岩石力学参数手册

水利水电科学研究院
水利水电规划设计总院
水利电力情报研究所
水利水电岩石力学与工程情报网
合编

水 利 电 力 出 版 社

主 要 符 号 说 明

E_s	静弹性模量
E_o	静变形模量
E_d	动弹性模量
r	容重（密度）
η	孔隙率
ω	吸水率
R_c	抗压强度
R_w	饱和（湿）抗压强度
R_f	冻融强度
$\mathrm{tg}\varphi$	抗剪摩擦系数（俗称纯摩）
$\mathrm{tg}\varphi'$	抗剪断摩擦系数（俗称剪摩）
c'	抗剪断粘聚力
c	抗剪粘聚力
V_p	纵波速度
σ_1、σ_2、σ_3	地应力
μ	泊桑比
$\parallel$	平行层面（或裂隙）
$\perp$	垂直层面（或裂隙）
$\mathrm{tg}\varphi_1$	摩擦系数屈服值
K_e	弹性抗力系数
R_t	抗拉强度
K_c	断裂韧性

目　　录

序　言

编者的话

主要符号说明

第一部分　工程实例

工程实例概况一览表 …… 3

官厅水库 …… 8

十三陵抽水蓄能电站 ……12

潘家口水库及抽水蓄能电站 ……19

岗南水库 ……22

朱庄水库 ……26

恒山水库 ……31

万家寨水利枢纽 ……35

租仁水电站 ……43

葠窝水库 ……48

清河水库 ……52

白山水电站 ……56

三门峡水库 ……65

小浪底水利枢纽 ……67

陆浑水库 ……83

故县水库 ……89

河口村水库 ……94

陈村水电站 ……102

梅山水电站 ……109

新安江水电站 ……111

湖南镇水电站 ……114

紧水滩水电站 ……117

长诏水库 ……124

亭下水库 ……128

上犹江水电站……133
万安水利枢纽……135
水口水电站……140
棉花滩水电站……143
三峡水利枢纽……147
葛洲坝水利枢纽……159
隔河岩水利枢纽……173
丹江口水利枢纽……178
天福庙水库……186
凤滩水电站……190
双牌水电站……195
东江水电站……199
五强溪水电站……206
新丰江水库……211
枫树坝水电站……215
广州抽水蓄能电站……218
大广坝水电站……224
军渡水电站……228
天桥水电站……233
龙门水利枢纽……238
安康水电站……246
石泉水电站……255
李家峡水电站……260
刘家峡水电站……267
龙羊峡水电站……275
青铜峡水电站……283
泸西瓦水电站……286
岩滩水电站……293
大藤峡水电站……301
龙滩水电站……310
龚嘴水电站……319
映秀湾水电站……324
铜街子水电站……328

二滩水电站……340
昇钟水利工程……352
瀑布沟水电站……359
宝珠寺水电站……364
天生桥二级水电站……370
乌江渡水电站……375
盐水沟水电站……381
鲁布革水电站……387
漫湾水电站……393
羊卓雍湖水电站……400
第二部分　岩石的各类力学参数汇总表
表 1　混凝土与岩石接触面抗剪强度参数汇总表……409
表 2　火成岩物理力学参数汇总表……425
表 3　变质岩物理力学参数汇总表……448
表 4　沉积岩物理力学参数汇总表……461
表 5　软岩物理力学参数汇总表……502
表 6　软弱夹层物理力学参数汇总表……511
表 7　岩石（体）地应力实测值汇总表……524
表 8　部分水利水电工程锚固试验成果汇总表……530
表 9　浙江火山岩的物理力学性质成果表……531
表 10 四川红层岩石物理力学参数表……533
附录一　一些岩石（以金钢砂磨面）试验成果 ……536
附录二　一些岩石不同试验方法的抗拉强度比较表……537
附录三　葛洲坝工程粘土质粉砂岩剪切面起伏差对抗剪强度（混凝土/岩）的影响 ……537
附录四　几个常用法定计量单位与公制单位的换算关系…537
主要参考文献……538

内 容 提 要

本手册汇编了我国水利水电工程及一些其他工程的岩石力学参数。全书包括两大部分：第一部分介绍了建国以来已建和在建的66个大中型水利水电工程实例；第二部分汇总了各类岩石(体)的物理力学参数和混凝土与岩石接触面的抗剪强度参数。

本书主要读者对象为水利水电及其他有关部门(冶金、矿山、国防等)从事工程地质、工程设计的技术人员，也可供有关科研人员和院校师生参考。

岩石力学参数手册

水利水电科学研究院
水利水电规划设计总院　　合编
水利电力情报研究所
水利水电岩石力学与工程情报网

*

水利电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号)
各地新华书店经售
水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米　32开本　17.25印张　458千字
1991年5月第一版　1991年5月北京第一次印刷
印数0001—2790册
ISBN 7-120 01319-X/TV·466
定价16.50元

编 审 人 员 名 单

主　编　叶金汉

副主编　郁绮霞　夏万仁

编写人（按姓氏笔画顺序排列）

王世湘　王德淑　叶金汉　宁秩南
吴永茂　李云林　陈丕瑜　周增富
胡文华　郁绮霞　夏万仁

审定人（按姓氏笔画顺序排列）

马祖述　刘　普　朱建业　朱维申
李春敏　李碧玉　何　璟　邢凤山
陈祖安　杜延龄　赵鹤勤　陶振宇
黄仁福　潘家铮

序　言

岩石力学是一门密切联系工程建设的新兴学科。在我国社会主义建设事业中，几乎处处离不开岩石力学。岩体和工程建筑物本身实际上构成不可分的整体，工程设计必然要针对包括岩体在内的力学模型进行分析研究，而合理地测定或确定可靠的岩石力学参数，不仅是岩石力学中一个重要组成部分，而且是工程地质评价和工程优化设计的基本数据，合理确定这些参数对工程的安全性和经济性的影响极为巨大。

目前工程设计中对岩石力学参数的确定方法之一，是类比已建工程的经验来选用合适的数值。对当前岩石力学发展水平来说，它不失为一种合理和有效的方式。但是各项工程的地质条件各异，试验情况不同，如不充分掌握各工程的具体情况，是难以据此选定合适的数据。另外，个别单位和工程师掌握的资料毕竟有限，如欲从专门著作中直接查找，目前仅有70年代国外出版过一本《岩石力学性质手册》（Lama R.D.等编著，1978年版），虽说他山之石可以攻玉，但我国的地质和工程设计人员毕竟更盼望有一本较全面反映国内情况的文献可借鉴。现在这本《岩石力学参数手册》的问世，正满足了水利水电系统和其它关心岩石力学的各界人士的要求，这是一件可喜和有益的事。

本手册内容较为丰富。在第一部分中，收集了66个水利水电工程实例，在第二部分中，汇集了近200个岩体工程78种岩石数据，而且在编列这些资料时，充分考虑我国地域辽阔、各地区自然条件不同的情况，对同一种岩石（例如花岗岩）广泛搜集从西北、华东到西南地区的资料，幅度之广，是其它文献中少见的，这是本书的一个特点。

建国以来，随着工程建设的迅速发展，无论是岩石力学试验设备和方法，还是试验水平都有了显著提高，试验工作也从室内

测试为主逐步发展到现场大型试验（如抗力体试验、地应力测定等），尤其是近年来发展的钻孔变形测试、动力法及伺服三轴成果等，已不逊于国际水平。本书提供的资料，从纵的方面看，包括了50年代至80年代的各大型工程岩石试验资料，这些成果不仅凝聚着我国广大岩石力学试验人员的心血，也反映了我国岩石力学和测试技术的发展历程，这是本书的另一个特点。

要完成这样一本将科技成果与生产建设紧密结合的手册，非少数人所能胜任，本书编者充分发挥了“岩石力学与工程情报网”这一跨部门学术组织的作用，通过情报网的组织协调，共同努力，汇编成册，充分体现了社会主义体制的优越性，也是科技大协作的丰硕成果。

我希望这一本有实用价值的工具书与已出版的有关试验规程和勘测设计规范及岩体分类等配套使用，会对工程设计、计算、可靠度分析，特别对中小型工程设计参数选择发挥重要作用，产生明显的经济效益和社会效益；我更希望广大读者在应用这本手册时，能结合各自工程的实践，对数学力学模型的选取、分析试验方法的改进和工程完建后的性态，不断将信息反馈回给编者，这不仅可使本手册不断充实提高，而且有利于我国岩石力学的水平取得更迅速的发展，为祖国的四化大业作出贡献。是为序。

潘家铮

1990年11月1日

编 者 的 话

岩石力学参数是岩石力学的重要组成部分，它关系着工程的安全和经济。为此，国内外都对此进行大量的试验研究。每一个工程从勘测到设计施工，甚至运行阶段都或多或少地开展了岩石力学参数测试，积累了许多资料。在此基础上，国外于70年代出版过一本有关手册*，国内至今还未见有专门总结，我们藉助“水利水电岩石力学与工程情报网”这一全国性组织收集了建国以来的大中型水利水电工程及部份冶金矿山工程岩石的试验资料（共收集了110个工程实例和约200个工程岩石实际资料），经过分析，选择资料较全面的工程数据，编写成本手册。

鉴于国内外已出版一些有关手册，为节省篇幅和时间起见，本手册分两大部分，第一部分为已建和在建工程，还有少量待建工程共66个工程实例；第二部分为岩石各类参数汇总表，包括混凝土与岩石接触面的抗剪强度、工程的地应力和锚固试验参数等，既有室内岩块成果，也有岩体现场测值。手册中有50年代以来的一般常规指标，也有近几年岩石力学新项目（如地应力、钻孔变形、锚索等）参数，其目的是尽可能全面地反映我国岩石力学发展水平以及广大岩石力学工作者的辛勤劳动，以期对大型工程的可行性研究有参考作用，对中小型工程的设计和施工有实际借鉴价值。同时，考虑到我国地域广阔，南北自然条件各异，岩石（体）受到内外营力作用不同，会使同一种岩石的力学参数有所差别，故有重点地多选用了一些数据，仅花岗岩就收编了30处资料，以利岩石力学科研工作者参考。

使用本手册时，除了注意符号说明外，尚须说明两点：一是手册中除另有注明外，均是平均值；二是试验成果除单独附注

---

* R.D. Lama, V.S.Vutukuri, Handbook on Mechanical Properties of Rocks, Trans. Tech. Publ., 1978.

外，均系按岩石试验规程的方法（试件尺寸、成果整理等）所获得。

本手册在能源部科教司和水利部科教司支持下，共有25个单位近60人参加收集资料，由编写组分工编写。其中，胡文华负责四川、西藏工程编写，吴永茂负责黄河水利委员会管辖的河南、陕西工程编写，宁秩南和陈福魁负责中南片（湖南、广西）工程编写，王德淑负责西北片（甘肃、宁夏、青海）工程编写，李云林负责长江流域工程（三峡、葛洲坝等）编写，周增富负责东北片工程编写，王世湘负责华北片工程编写，陈丕瑜负责浙江、福建工程编写，夏万仁负责贵州及北京地区工程编写，郗绮霞负责岩滩等工程编写，叶金汉负责安徽、江西、广东、湖北和云南等省工程编写。最后，本手册的第一部分（工程实例）中属冀京、东北、甘肃及河南省大部工程由郗绮霞负责修改，其余工程由叶金汉负责修改；第二部分各参数表中除夏万仁参加表4及表6收编外，其余各表由叶金汉收编。全书由叶金汉统稿。

能源部潘家铮总工程师为本手册写了序言，特此致谢。

本手册的组织和编写时间较短，而编写的内容和资料较多，加上当前处于体制改革中，资料的收集和复校遇到许多困难，限于编者的水平，书稿中难免存在一些遗漏。不当之处，敬请读者批评指正。

编者

1990年8月

为本手册提供资料、素材、信息的单位和主要人员现列于下表中。在此，我们向他们致以衷心感谢。

单位名称	主要人员
水利电力部成都勘测设计院科研所	胡文华、雷泽宏等
黄河水利委员会设计院科研所	吴永茂、赵文根
水利电力部中南勘测设计院科研所	宁秩南、陈福魁等
水利电力部西北勘测设计院科研所	王德淑、韦寿鸿等
长江科学院	李云林、刘显清等
水利电力部东北勘测设计院科研所	周增富、谭国平等
水利电力部天津勘测设计院科研所	王世湘、邓世俊等
水利电力部北京勘测设计院	齐俊修、黄一和等
湖南省水利水电勘测设计院	张善余、陈中坚等
水利电力部昆明勘测设计院科研所	方大德、尹森育等
水利电力部华东勘测设计院科研所	沈永达、潘守义等
浙江省水利水电勘测设计院	钟侠文、王和章
江西省水利科学研究所	林　岚、徐雪帆
陕西省水电勘测设计院地勘总队	蔡中林、余正玉
广东省水电勘测设计院	涂希贤、郑养初
湖北省水利勘测设计院	张盛年
四川省水利水电勘测设计院	杨　建、陆恩施
河南省水利局科研所	张志远
黑龙江省水利勘测设计院	李松谷
河北省水利厅勘测设计院	李佩贵、韩淑芝
中国科学院武汉岩土所	许东俊
江苏省地质局岩矿测试中心	刘桂英
辽宁省水利学校	高恒华、王　民
水利水电规划设计总院	郑崇儒
水利水电科学研究院	叶金汉、夏万仁

注　李鸿钧（广东省水利水电科研所）、王志勇（广西壮族自治区电力局科研所）同志也寄来过试验资料。

第一部分　工 程 实 例

工程实例概况一览表

序号	工程名称	地理位置	所在河流	坝型	坝高 (m)	洞室尺寸 (长×宽×高)或洞径(m)	库容 (亿m³)	装机容量 (万kW)	勘设年份	岩石名称	备注
1	官厅	北京	永定河	土石坝	52		41.6	3.0	1954*	硅质灰岩	*70年代加高加固
2	十三陵	北京	东流河	土坝(地下厂房)		149×20.7×44.4		80	正施工中	砾岩	抽水蓄能电站
3	潘家口	河北迁西	滦河	混凝土重力坝	107.5		29.3	45	Ⅰ期1983年，Ⅱ期正建	片麻岩	Ⅱ期抽水蓄能电站
4	岗南	河北平山	滹沱河	土坝	62		15.6	4.5	1959	片麻岩	
5	朱庄	河北沙河	南渥河	浆砌块石坝	95		4.4	0.45	1981	石英砂岩	
6	恒山	山西浑源	唐峪河	双曲拱坝	68.7		1.34	0.1	1962	薄层灰岩、泥灰岩	
7	万家寨	山西偏关	黄河	混凝土重力坝	90		8.96	102	初设中	薄层灰岩	
8	桓仁	辽宁桓仁	浑江	混凝土大头坝	78.5		34.1	22.25	1972竣工	安山凝灰集块岩	
9	葠窝	辽宁辽阳	太子河	混凝土重力坝	50.3		7.93	3.7	1972发电	变粒岩	
10	清河	辽宁开原	清河	土坝	39.6		9.7	0.9	1965竣工	砾岩	
11	白山	吉林桦甸	第二松花江	混凝土重力拱坝	149.5		53.1	90	1985竣工	混合岩	
12	三门峡	河南三门峡	黄河	混凝土重力坝	106		354	116	1962	闪长玢岩	
13	小浪底	河南孟津	黄河	堆石坝	167		126.5	156	待建	细砂岩、粉砂质粘土岩	

续表

序号	工程名称	地理位置	所在河流	坝型	坝高(m)	洞室尺寸(长×宽×高)或洞径(m)	库容(亿m³)	装机容量(万kW)	勘设年份	岩石名称	备注
14	陆浑	河南嵩县	伊河	砂卵石坝	52	13.1×8×10	11.6	0.9	1965竣工	玄武粉岩	泄洪洞
15	故县	河南洛宁	洛河	混凝土重力坝	121		11.75	6.0	正施工中	石英斑岩	
16	河口村	河南济源	沁河	堆石坝	117		3.3	1.2	待建	片岩、白云岩	
17	陈村	安徽泾县	青戈江	混凝土重力拱坝	76.3		24.6	15	1979竣工	石英细砂岩	
18	梅山	安徽金寨	史河	连拱坝	88.3		22.75	16	1956竣工	花岗岩	1963年加固
19	新安江	浙江建德	新安江	混凝土重力坝	105		178	66.25	1961竣工	砂岩、石英砂岩	
20	湖南镇	浙江衢县	乌溪江	混凝土坝(引水洞)	129	$D=7.8$	20.6	17	1980竣工	流纹斑岩	
21	紧水滩	浙江云和	瓯江	双曲拱坝	102		10.4	30	1986竣工	花岗斑岩	
22	长诏	浙江新昌	新昌江	浆砌石重力坝	68		1.64	0.6	1979竣工	熔结凝灰岩	
23	亭下	浙江奉化	奉化江	混凝土重力坝	76.5		1.5	0.4	1984竣工	凝灰熔岩	
24	上犹江	江西上饶	赣江支流	混凝土重力坝	68		8.2	6.0	1957竣工	石英砂岩、板岩	
25	万安	江西万安	赣江	混凝土重力坝	64.5		22.16	50	1988发电	细砂岩、粉砂岩	
26	水口	福建闽清	闽江	混凝土重力坝	101		23.4	140	正在施工	黑云母花岗岩	

27	棉花滩	福建永定	汀　江	混凝土重力坝	114		22.14	60	待　建	黑云母花岗岩	
28	三　峡	湖北宜昌	长　江	混凝土重力坝	165/170		300/393	1300/1768	待　建	闪云斜长花岗岩	坝高有高低二方案
29	葛洲坝	湖北宜昌	长　江	混凝土闸坝	52.5		15.8	271.5	1988竣工	粉砂质粘土岩	
30	陆河岩	湖北长阳	清　江	混凝土重力拱坝	151		34	120	正施工中	石灰岩、页岩	
31	丹江口	湖北均县	汉　江	混凝土坝	97		209.8	90	1974竣工	辉长辉绿岩	
32	天福庙	湖北远安	黄柏河	浆砌石拱坝	63.3		0.638	0.564	1978建成	灰　岩	
33	风　滩	湖南沅陵	酉　水	混凝土空腹坝	112.5		13.9	40	1978发电	砂岩、石英砂岩	
34	双　牌	湖南双牌	湘江消水	双支墩大头坝	58.8		4.14	13.5	1963竣工*	板岩、砂岩	*1973年事故后加固
35	东　江	湖南资兴	耒　水	混凝土双曲拱坝	157		81.2	50	1987竣工	花岗岩	
36	五强溪	湖南桃源	沅　水	混凝土重力坝	87.5		29.9	150	1987开工	变质砂岩、板岩	
37	新丰江	广东河源	新丰江	混凝土支墩坝	105		115	29.5	1960发电	花岗岩	
38	枫树坝	广东龙川	东　江	混凝土重力坝	95.3		15.5	16	1973发电	安山玢岩	
39	广　州	广东从化	流溪河	堆石坝（地下厂房）	60	146.5×22×45.6	0.17	120	正施工中	花岗岩	抽水蓄能电站
40	大广坝	海南东方	昌化江	混凝土坝	57		14.95	20	1989开工	斑状花岗岩	
41	军　渡	陕西吴堡	黄　河	混凝土闸坝	39		1.53	30	初　设	粘土岩、细砂岩	
42	天　桥	山西保德 陕西府谷	黄　河	混凝土坝	53		0.66	12.8	1977竣工	灰　岩	

续表

序号	工程名称	地理位置	所在河流	坝型	坝高 (m)	洞室尺寸(长×宽×高)或洞径(m)	库容 (亿m³)	装机容量 (万kW)	勘设年份	岩石名称	备注
43	龙门	陕西宜川 山西乡宁	黄河	堆石坝 (地下厂房)	212	180×28.5 ×67.6	113.5	210	可行性研究	粉砂岩、粘土岩	
44	安康	陕西安康	汉江	混凝土重力坝	128		25.8	80	正在施工中	千枚岩	
45	石泉	陕西石泉	汉江	空腹重力坝	66		4.4	13.5	1975竣工	云母石英片岩	
46	李家峡	青海尖扎	黄河	混凝土重力拱坝	165	52×28.5 ×67.2	16.5	200	1988开工	斜长片岩、混合岩	
47	刘家峡	甘肃永靖	黄河	混凝土重力坝(地下厂房)	147	86×31 ×59	57	122.5	1974竣工	云母石英片岩	
48	龙羊峡	青海共和	黄河	混凝土重力坝(地下厂房)	176		247	128	1987发电	花岗闪长岩	
49	青铜峡	宁夏青铜峡	黄河	混凝土闸坝	42.7		5.65	27.2	1967建成	砂岩、灰岩	
50	拉西瓦	青海贵德	黄河	双曲拱坝 (地下厂房)	250	210×29 ×67	10.56	372	初设	花岗岩	
51	岩滩	广西都安	红水河	混凝土重力坝(地下厂房)	111		24.3	121	正在施工	辉绿岩	
52	大藤峡	广西桂平	红水河	混凝土重力坝	64		33.4	120	可行性研究	石英细砂岩、粉砂岩	
53	龙滩	广西天峨	红水河	未定 (地下厂房)	192	402×29 ×75.5	162.1	420	可行性研究	泥板岩、砂岩	
54	龚嘴	四川峨边	大渡河	混凝土重力坝(地下厂房)	85	106×24.5 ×55	3.1	70	1978竣工	花岗岩	

55	映秀湾	四川汶川	岷　江	混凝土闸坝（地下厂房）	17	87×20×39.5		13.5	1971发电	闪长岩	
56	铜街子	四川乐山	大渡河	混凝土重力坝	81		2.0	60	正施工中	玄武岩、凝灰岩	
57	二　滩	四川渡口	雅砻江	双曲拱坝（地下厂房）	240	296×26×72.6	58	300	正施工中	正长岩、玄武岩	
58	异　钟	四川南部	西　河	土石坝	73		13.4		1983	粘土岩、砂岩	
59	瀑布沟	四川甘洛	大渡河	土石坝	183		50.6	330	可行性研究	玄武岩、流纹岩	
60	宝珠寺	四川广元	白龙江	混凝土重力坝	132		25.5	70	正施工中	粉砂岩、页岩	
61	天生桥	贵州安龙	南盘江	混凝土重力坝（引水洞）	58.7	$D=10$m	0.26	88	正施工中	灰岩、泥岩	
62	乌江渡	贵州遵义	乌　江	混凝土重力坝	165		23.0	63	1983竣工	灰岩、页岩	
63	盐水沟	云南会泽	以礼河	土　坝（地下厂房）	6	80×12.8×21.8	0.0012	14.4	1966发电	玄武岩	引水式
64	鲁布革	云南罗平	黄泥河	土石坝（地下厂房）	101	125×18×39	1.11	60	1988发电	石灰岩、白云岩	
65	漫　湾	云南云县	澜沧江	未　定	126		9.2	150	正在施工	流纹岩	
66	羊卓雍湖	西藏贡嘎	雅鲁藏布江水系	（引水洞）		长5864m $D=$ 2.7m	148	12	初设中	辉长岩、粉砂岩	引水式

官 厅 水 库

一、工程概况

官厅水库位于北京城西北约80km的永定河上，工程以防洪、城市工业供水、农业灌溉、发电、渔业等综合利用为目的。拦河坝为直线型土石坝，最大坝高52m（加高前45m），坝顶长391m，溢洪道位于左岸；溢流堰长57m。设有宽高各5 m闸门9座，泄流量为2550m^3/s，水库控制流域面积43400km^2，总库容量41.6亿m^3，装机容量3万kW。

官厅水库是建国初期修建的一座大型水库，1951年开工，1954年建成，1955年发电．70年代为提高防洪抗震标准进行了大坝加固加高。

二、工程地质条件

基岩为中震旦系蓟县统雾迷山组硅质灰岩，含有大量硅质条带及硅质结核、团块状的中厚层、厚层硅质灰岩，岩石坚硬性脆，并夹有多层钙质页岩及灰岩薄层。岩层产状平缓64°～85°/NW，∠15°～19°。

坝区地层受多次构造运动的影响，断层裂隙相当发育，节理密度为20～31条/m^2，基岩中夹有不同类型的软弱夹层，仅溢洪道地段可见30余条，按走向可分4组：

1.272～310°/NE(SW)，∠70°～85°断层面一般沿走向和倾向均呈舒缓波状，破碎带由糜棱岩、角砾岩、碎裂岩及压碎岩组成，充填泥质或钙质胶结，一般较疏松。

2.60°～88°/SE，∠30°～80°断层面一般呈舒缓波状。断层破碎带大多由角砾岩和压碎岩组成钙质薄膜或泥质薄膜充填。

3.340°～10°/SW(SE)，∠60°～85°断层面光滑弯曲，宽度不等，有断层角砾岩。

4.40°～62°/SE，∠74°～85°断层面弯曲、粗糙，产状变化

大，由角砾岩和压碎岩组成，局部有糜棱岩。

坝区位于官厅-归庄窝背斜的北翼，构造线呈NWW向展布。溢洪道地段岩层中，层间错动发育，根据第5～8层总厚度211m的硅质灰岩中有38条层间错动型的软弱夹层，平均间距5.5m。层间错动面延伸长，分布稳定。与溢洪道有关的软弱夹层有f_3、f_4、f_5、f_7、f_8等，与断层或裂隙组成潜在的不稳定体。

三、工程岩石力学问题

溢洪道边墙和闸室地基中软弱夹层与断层、裂隙组成潜在不稳定体，存在深部滑动问题以及闸基的压缩变形问题。在查明其性质后，施工中均做了处理。

四、试验工作量

类别	试验项目	试验方法	单位	组数
室内试验	物理化学性质	干容重、饱和度、比重、化学及差热分析	组	24
	抗压强度	干抗压试验	块	2
		湿抗压试验	块	4
	抗剪强度	软弱夹层单面抗剪试验	组	11
		混凝土/岩石单面抗剪试验	组	2
现场试验	变形试验	承压板法	点	5
	抗剪强度	原状中型抗剪试验	组	7
		软弱夹层原位抗剪试验	组	7

五、岩石力学诸参数

（1）岩块物理力学性质试验成果表

岩石名称及风化程度	干容重 (g/cm³)	比重	饱和吸水率 (%)	干抗压强度 (MPa)		湿抗压强度 (MPa)		试件尺寸及形状 (m³)
				完整岩块	裂隙发育岩块	完整岩块	裂隙发育岩块	
硅质白云岩，微风化	2.81/(6)	2.83/(6)	0.05/(6)	331.5	178～330 / 256	240	177.7 ~199.7	0.1×0.1 (圆柱形)

注　表列分数中，分子表示范围值，分母表示平均值；
括号中数字表示试验组数。

（2）现场岩体变形试验成果表

岩石名称	地质特征	试验条件	变形模量 (GPa)	弹性模量 (GPa)
硅质灰岩	厚层、巨厚层，新鲜，微风化，隐裂隙发育	∥层理	19.3	15.4
		⊥层理	13.7	14.0
硅质灰岩	厚层、中厚层夹薄层硅质灰岩或钙质页岩，裂隙发育	∥层理	8.7	10.6
		∥层理	11.0	11.8
		⊥层理	9.5	10.4

（3）软弱夹层物理特性试验成果表

夹层名称及编号	天然容重 (g/cm³)	比重	流限 (%)	塑限 (%)	塑性指数	颗粒组成（%） >0.05	0.05～0.005	<0.005	<0.002	土定名
f_{8-1}	1.96	2.77	20.1	10.3	9.8	59.3	26.9	13.8	6.2	轻壤土
f_{8-3}	2.23	2.82	22.5	14.7	7.8	30.0	60.0	10.0	5.0	轻粉质壤土
f_{8-4}		2.76	23.7	14.5	9.2	70.0	20.0	10.0	4.0	轻壤土
f_4			33.0	17.8	15.2	53.1	19.0	27.9	24.5	重壤土

（4）软弱夹层力学性质试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪试验 方法	组数	屈服值 tgφ	屈服值 c (kPa)	峰值 tgφ	峰值 c (kPa)	现场抗剪试验 方法	组数	峰值 tgφ	峰值 c (kPa)	备注
f_3	原状样中剪	3	0.62	120	0.83	80					室内抗剪试验系扰动样，风干碾压过筛，饱和固结快剪
f_4	原状样中剪	3	0.44	11	0.55	20					
f_{8-1}	土工试验				0.62	0					
f_{8-3}	土工试验				0.64	60					
f_{8-4}	土工试验				0.40	30					
f_7	原状样中剪	3	0.64	20							
f_3							平推直剪	3	0.34	89	破碎夹层
f_4							平推直剪	3	0.50	72	破碎夹层

（5）软弱夹层地质特征、矿化分析成果表

夹层名称及编号	基岩岩性	夹层特征	厚度(mm)		成因类型	粘土矿物成份	pH	可溶盐含量(%)	有机质含量(%)	矿物成份(%)		
			夹层	夹泥						SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3
f_5（左岸）	雾迷山组薄层灰岩	角砾岩、碎裂岩、岩屑、钙质粉末和泥，分布稳定	10～20	局部夹泥	层间错动	伊利石为主，高岭石、蛭石次之	7.7	0.02	0.20	54.58	2.36	25.73
f_4（左岸）	薄层灰岩夹钙质页岩	碎裂岩，糜棱岩粉和泥，分布稳定	1～30	1～20	层间错动	伊利石为主，高岭石、蛭石次之	7.1	0.04	0.53	53.78	2.36	27.00
f_3（左岸）	雾迷山组薄层页岩和钙质页岩	碎裂岩、鳞片状碎屑和泥，分布稳定	40～80	1～80	构造型	伊利石为主，高岭石、蛭石次之	7.4	0.02	0.0	53.72	2.36	24.24
f_2（左岸）	雾迷山组钙质页岩	碎裂岩、砾岩、岩屑糜棱岩、岩粉和泥	20		构造型	高岭石、伊利石为主，蛭石、绿泥石，蒙脱石次之	8.3	0.22	0.15	30.66	30.71	12.36
f_1（左岸）	雾迷山组钙质页岩	角砾岩、角砾碎屑和泥，不连续	1～10	0.5～2（泥膜）	构造型					46.92	2.29	22.71

（6）岩石参数建议值与采用值

岩石名称	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	μ	tgφ	c (kPa)	备注
硅质灰岩，巨厚层，微风化或新鲜	2.8	120	10.0	0.27	0.65	0	建议值
硅质灰岩，中厚层夹薄层，微风化	2.7	100	6.0	0.33	0.60	0	
硅质灰岩，薄层状，弱风化	2.6	80	4.0	0.36	0.55	0	
断层破碎带	2.2		1.0	0.45	0.40	0	
夹泥层					0.25	2.0	
破碎夹层					0.30	1.5	
钙质页岩夹层					0.35	1.0	
					0.40	0	
夹泥层					0.25	0	采用值
混凝土/岩石(硅质灰岩)					0.60～0.65	0	

十三陵抽水蓄能电站

一、工程概况

十三陵抽水蓄能电站位于北京市昌平县十三陵水库左岸东流河上，距北京城区约38km。

工程由上池、引水系统、地下厂房及下池等建筑物组成。电站利用已建的十三陵水库为下池，另在上寺沟修建上池，引水隧洞全长2300m，内径为5.2m，地下厂房建于左岸蟒山南坡两个

小山梁之间的砾岩层内；厂房尺寸（长×宽×高）为149m×20.7m×44.4m；主变室平行布置于厂房的下游侧、其尺寸为124.2m×15.3m×24.6m（长×宽×高）、两洞室岩柱厚度为35.85m。左岸尚有母线洞、交通洞、排风洞及压力钢管、尾水洞等构成洞室群。电站装机80万kW。

工程正在施工准备中。

二、地下厂房区地质条件

1.地层岩性：厂区地层为中侏罗纪砾岩（J_2^3），属河流相沉积，岩层为巨厚层状。砾岩呈暗紫色、灰紫色，组构复杂，砾岩占75%～90%，胶结物和砂基碎屑占10%～25%，砾石主要成份为安山岩、流纹岩、灰岩、粉砂岩和石英岩等。粒径一般为0.02～0.03m；胶结物主要有钙质、铁质、粘土质和硅质，普遍呈变质和重结晶现象。

2.地质构造：砾岩呈单斜岩层，产状自南向北走向由NE45°，逐渐变为NW340°，倾向变为NE，倾角为10°～20°。厂区共发现断层199条，可分为三组：（1）NE0°～30°/SE，∠30°～85°，呈压性，层面平直光滑，断层带由糜棱岩、断层泥组成，断层带宽0.05～0.25m，如f_5和f_6；（2）NE40°～60°/SE，∠25°～75°，呈压扭性，层面呈微波状，断层由角砾岩、糜棱岩、断层泥组成，部分碎裂岩未胶结但挤压紧密，破碎带宽为0.02～0.3m，如f_2等；（3）NW265°～300°/NE，∠75°—85°，属张性或张扭性，层面粗糙不平。断层带由角砾岩、碎裂岩夹少量断层泥组成，破碎带宽0.1～0.5m，如f_{13}等。厂区主要发育的裂隙有NW290°～295°/SW或NE，∠60°—85°。

三、工程的岩石力学问题

1.厂区围岩（砾岩）的组构复杂，需查明其物理力学性质变化。

2.左岸地下洞室群密布，断层较多，需论证洞室的变形稳定，并查明地应力场。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(个)数	
物理性质		365/26	1155/69			分母为烘干状态，分子为湿状态
抗压强度	干燥	47				
	饱水状	44				
抗剪强度	抗剪断	3				
	抗剪	16				
	夹泥层	3				
变形特性	应变片	31	82			
	承压板法				21	
	动力法	35	94			声波法
抗拉强度	劈拉法	21				
应力测试	解除法			3孔		
锚杆拉拔试验					15	
围岩变形监测				3/3	21/9	分母为收敛计，分子为多点位移计

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学试验成果表

岩石名称及风化程度	比重	容重 (g/cm³)	饱和容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿
复成份砾岩（新-微）	2.73	2.71	2.72	0.91	0.32	67.9～178.6 / 113.2	33.5～138.5 / 69.9

岩石名称及风化程度	抗拉强度 (MPa)	抗剪强度(断) tgφ′	抗剪强度(断) c′ (kPa)	静弹模(GPa) 干	静弹模(GPa) 湿	动弹模(GPa) 干	动弹模(GPa) 湿	泊桑比	微波速 (m/s)
复成份砾岩（新-微）	3.1～10.9 / 5.70	2.60	1230	57.0	52.0	69.0	68.2	0.24	5321

注　表列分数中，分子表示范围值，分母表示平均值。

（2）现场岩体变形试验成果表

岩石名称及风化程度	试验点位置	力与层面关系	试验方法	组数	变形模量 E_o (GPa)	弹性模量 E_s (GPa)
砾岩，新鲜，无裂隙	220m试验洞	垂直层面	承压板法	5	22.4	32.4
		平行层面		5	30.0	46.3
砾岩，新鲜，有少量裂隙	220m试验洞	垂直层面	承压板法	6	14.8	24.5
		平行层面		6	20.9	34.4
砾岩，裂隙密集带或断层破碎带（无泥）	220m试验洞		承压板法	4	1.04	1.54
砾岩，断层破碎带(包括夹泥)含水量高	220m试验洞	12°～70°	承压板法	4	0.068	0.22
砾岩，裂隙节理发育	220m试验洞		承压板法	1	8.4	12.5

（3）软弱夹层物理性质试验成果表

夹层名称及编号	天然状态		比重	流限	塑限	塑性	颗粒成份(%)				土定名	结构面特征		
	含水量(%)	干容重(g/cm³)		(%)	(%)	指数	>0.05	0.05～0.005	<0.005	<0.002		性质	宽度(mm)	地质特征
f_{14-1}	21.2	1.56	2.77	30.0	17.8	12.2	79.5	6.5	14.0	11.5	轻壤土			
f_{14-2}	7.4	1.56	2.78				64.5	11.5	24.0	20.0	重壤土			
f_{14}	16.7	1.83	2.78	30.0	17.8	12.2	56.5	10.5	33.0	28.0	粘土			
f_2							79.0	12.0	9.0	6.5		压扭性	20～90	面微起伏平直、断层角砾岩、泥，石英脉
f_3							86.5	9.5	4.0	1.5		压性	30～150	面平直光滑，起伏差10～20mm，断层角砾岩，石英脉
f_5							80.0	10.0	10.0	5.6		剪性	30～150	面平直光滑，起伏差20～30mm，石英脉夹5mm断层泥
f_6							85.0	9.0	6.0	4.0				面平直光滑，起伏差30mm，断层泥糜棱岩，角砾岩
T_1							72.0	20.0	8.0	5.0				
T_1右							88.5	7.5	4.0	1.6				

（4）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	条件	试验方法	组数	室内抗剪强度				备注
				屈服值		峰值		
				tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	
T_1	沿裂隙面	中型剪，平推	2	0.47	80	0.60	46	沿裂面剪坏
T_{12}			2	0.49	50	0.54	30	
T_{23}			4	0.53	45	0.59	46	
T_{24}	原状夹泥层	土工快剪	1			0.11	6	
f_{14-2}			1			0.17	16	
f_{14-1}			1			0.26	10	
f_2	原状夹泥层	中型剪，平推	2	0.8	10	0.89	22	部分在砾岩中剪断
f_3			2	0.39	20	0.47	45	
f_5			2	0.34	40	0.37	35	
f_6			2	0.44	30	0.475	65	

（5）地应力测试成果表

岩石名称	最大地应力			中间地应力	
	σ_1 (MPa)	方位角	倾角	σ_2 (MPa)	方位角
砾岩	−11.0	NE48.5°	5.7°	−10.3	NW271.5°
	−9.6	NW309.9°	−9.7°	−4.5	NE380°
	−10.8	NW300.1°	35.4°	−6.9	NW330.1°
	−10.0	NW300°	5～10°	−6.0	SW210°

岩石名称	中间地应力	最小地应力			备注
	倾角	σ_3 (MPa)	方位角	倾角	
砾岩	−82.2°	−8.8	NW319°	5.3°	孔底应变
	−11.4°	−1.3	NE79.4°	75.0°	孔底应变
	−50.6°	−3.0	NE41.0°	−15°	孔底应变
	20°	−4.0	NE	70°	综合值

（6）岩体锚杆试验表

锚杆类型	数量	长度 (m)	直径 (mm)	锚头型式	张拉力 (T)	备注
实心螺纹钢	15根	3	22	砂浆全长胶结式	6.3～10.5 8.10	非破坏试验

（7）岩石参数建议值

岩石	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	变形特性		抗剪强度	
				E (GPa)	μ	tgφ	c (kPa)
砾岩	2.70	50	1.0～1.5	30～40		1.0～1.2	1000～1500
砾岩，微风化	2.65		1.5	20	0.27～0.30		
灰岩、砾岩接触带	1.7		0	1.0		0.27	10
断层破碎带	1.7		0	1.5		0.36	10
影响带				5～7			
泥化夹层						≤0.20	0
破碎夹层						0.25～0.30	10
充填岩屑夹层						0.5～0.6	15～20

（8）岩石参数采用值

岩石	容重 (g/cm³)	抗拉强度 (MPa)	E (GPa)	μ	抗剪强度	
					tgφ	c(kPa)
砾岩	2.65～2.70	1.0～1.5	15～20	0.27～0.30	1.0～1.2	1000～1500
灰岩	2.65	1.5	20	0.25	1.0	1000
灰岩、砾岩接触带	1.7	0	1.0	0.45	0.27	10
断层破碎带	1.7	0	1.0	0.45	0.36	10

潘家口水库及抽水蓄能电站

一、工程概况

潘家口水库位于河北省唐山与承德地区交界处，在迁西县洒河桥镇上游9km的滦河干流上，是开发滦河的骨干工程。其下游6 km处是下池抽水蓄能电站——潘家口水利枢纽二期工程。

潘家口水库挡水建筑物为混凝土宽缝重力坝，坝高107.5m，库容29.3亿m^3，装机容量45万kW。本工程于1973年勘测，1974年施工，1981年竣工。

下池工程由拦河闸及河床式水电站组成，拦河坝为混凝土重力坝，坝轴线方向NE45°最大坝高28.5m，全长1098m，有效库容1000万m^3，死库容452万m^3，年发电量3000万kW·h。下池工程目前正在施工中。

二、工程地质条件

坝基地层为太古界角闪斜长片麻岩，插有少量侏罗纪侵入的闪长玢岩、细晶闪长岩和辉闪岩岩脉，除个别宽约10～15m外，其它都不超过1 m，与围岩接触较好。片麻岩和岩脉岩性坚硬，块状构造，片麻理产状NW270°～280°/NE或SW，∠75°～80°。

下池坝址处于滦河和洒河汇流三角地带上游，岩性相同。

坝址构造受东西向和北东向构造控制。断裂发育，主要有三组，即东西向、北东向和北西向，以陡倾角断层为主。一期工程坝基有大小断层数十条，但规模不大，除走向NE40°～60°的F_{12}宽2～7 m外，其它都不超过1 m。但有走向近东西与坝轴线接近平行的缓倾角断层，倾向上游，倾角30°左右，有夹泥。节理以北北东一组为最发育，间距一般都在1 m以内。

三、工程岩石力学问题

未发现贯穿于坝基的不利抗滑稳定的软弱结构面，混凝土与基岩接触面抗滑稳定问题是该工程的主要岩石力学问题。

四、试验工作量

试验项目		室内	现场
		组数	组数
抗压强度	干抗压 饱水状	12/ 74/19	
抗剪强度	抗剪断 抗剪	4/5 4/	15/2 10/2
物理性质		241/15	
抗拉强度	劈裂法	/15	
变形试验	承压板 静力法	41/	12/ 14/

注　表列分数中，分子为Ⅰ期主体工程，分母为Ⅱ期(下池)工程。

五、岩石力学诸参数

(1)室内岩石物理力学特性试验成果表

岩石名称 (岩性、风化程度)	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	抗拉强度 (MPa)
角闪斜长片麻岩	2.72	2.69	0.24	51～148 91.4(5)	87(5)	
角闪斜长片麻岩，微风化	2.74	2.73	0.15	89.3/(5)		
条带状角闪斜长片麻岩	2.78	2.77	0.21		123.2～158.3 138.7(5)	9.38～14.3 12.2(5)
斜长角闪片麻岩	3.04	3.03	0.14	64～140 102(2)	20～67 42(3)	
细晶闪长岩	3.12	2.98	0.07		202～214.8 208.4(2)	12.8～12.9
细晶闪长岩	3.04	3.02	0.37		69～197 133(2)	
花岗片麻岩	2.68	2.65	0.19		143.7～218.7 190.6(3)	10～12.6 11.7(3)
闪长玢岩脉					0.39～104.4 34.6(6)	

续表

岩石名称（岩性、风化程度）	E（GPa）	抗剪强度（峰值） 类型	tgφ	c(kPa)	备注
角闪斜长片麻岩	11.9(2)				
角闪斜长片麻岩，微风化	11.8(5)	混凝土/岩	2.76/5	1750/5	下池岩样，混凝土标号150#
条带状角闪斜长片麻岩					下池
斜长角闪片麻岩	0.91				
细晶闪长岩					下池
细晶闪长岩	0.98				
花岗片麻岩					
闪长玢岩脉	13.2				

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	变形特性(GPa) 条件	方法	变模 E_o	弹模 E_r	声波法 E_d（GPa）	抗剪试验 类型	试验尺寸（m²）
角闪斜长片麻岩	垂直片理	承压板法	5.7/9	8.9/9	11.6/9	岩/岩（新-弱）	0.5×0.5
	平行片理		4.4/2	6.4/2	8.0/2		
细晶闪长岩脉	垂直片理	承压板法	15.5	37.5	5.3		
角闪斜长片麻岩，微风化						混凝土/岩	0.5×0.5

续表

岩石名称	抗剪试验					备注
	组数	抗剪断(峰)		抗剪(峰)		
		tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	
角闪斜长片麻岩	12	1.64	820	1.30	280	变形特性中分母数为组数
细晶闪长岩脉						
角闪斜长片麻岩，微风化	2	1.36	360	1.85	166	混凝土标号250*

（3）参数建议值和采用值

	岩石名称	抗压强度 (MPa)	E_o (GPa)	tgφ/tgφ′	c (kPa)
建议值	角闪斜长片麻岩，微风化	35.01～106.11	25.5～35.3	0.72/	
	角闪斜长片麻岩，弱风化	63.25	9.8～19.6	0.70/	332

	岩石名称	抗压强度 (MPa)	E_o (GPa)	tgφ/tgφ′	c (kPa)
采用值	角闪斜长片麻岩，微风化			0.75/1.25 (主体工程)	0/c′=641 (主体工程)
	角闪斜长片麻岩，弱风化		9.8	0.70 (下池)	0 (下池)

注 tgφ栏中，分子为纯摩，分母为剪摩。

岗南水库

一、工程概况

岗南水库是已建工程。位于河北省石家庄市西北62km的平

山县滹沱河中游西岗南村。该工程以防洪灌溉为主，兼发电的综合利用工程。主坝为粘土斜墙坝，坝长1643m，顶宽7m，坝高62m。副坝为均质土坝，左岸13个，右岸5个，共长4250m，坝高38m。总库容15.58亿m^3，装机容量4.5万kW。

正常溢洪道、非常溢洪道、新增溢洪道位于左岸。除新增溢洪道外，其他主要建筑物是于1958年3月开工建设，1959年7月开始拦洪蓄水。为了提高岗南水库的防洪标准，于1978年6月开始施工，破开原一号副坝修建新增溢洪道。

二、工程地质条件

坝址和新增溢洪道出露地层为太古界变质岩系，主要岩性为花岗片麻岩，其次有云母片麻岩、角闪片麻岩。片麻理产状走向北东，倾向东南（下游），倾角21°～43°。岩层中伟晶岩脉穿插分布甚广，裂隙、岩脉错综交叉，将地基岩体切割成块状体。

坝区构造裂隙主要有三组：（1）走向NW290°/SW∠35°；（2）NW315°/NE，∠84°；（3）NE50°/NW，∠50°～60°。

新增溢洪道基坑开挖过程中发现有29条倾向下游的软弱夹层和夹泥层，以及倾向上游的F_2和f_2等断层，特别是F_2断层破碎带宽，含泥量多；夹泥层与F_2断层组合成不利的滑动面，影响闸基基础和消能工程的稳定。

上述软弱夹层主要由云母片麻岩、云母片岩等薄夹层组成，夹于花岗岩之中。有两种类型："原生型"大部份矿物风化蚀变为蛭石、高岭土，一般未被错动；另一种是被挤压错动过，夹泥层有擦痕或光面。如cn_6、cn_7、cn_1。

（本文资料主要是新增溢洪道岩土试验成果。）

三、工程岩石力学问题

1.坝区存在各类片麻岩，且风化较深。需论证它们的抗剪强度和变形性质；

2.新增溢洪道进口引水渠翼墙以及闸室和消能工程均建于强风化岩石上，建基面以下岩体中又存在倾下游的软弱夹层，工程的抗滑稳定问题十分突出。

四、试验工作量

试验项目		室内试验组数	现场试验组数
抗压强度	干燥	25	
	饱水状	41	
抗剪强度	抗剪断	11	10
	抗剪	14	
变形特性	承压板		16
	动力法		30

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石力学试验成果表

岩石名称	室内抗剪(断)试验			备注
	类型	tgφ(试验值)	c(试验值)(kPa)	
花岗片麻岩，全风化	混凝土/岩石	0.93	330	1958年所做混凝土/岩石的试验成果
	混凝土/岩石	1.10	360	
	岩石/岩石	0.96	150	
角闪片麻岩，全风化	岩石/岩石	0.96	150	

（2）岩石参数建议与采用值

岩石及夹层名称	E(采用值)(GPa)	tgφ		c(建议值)(kPa)
		建议值	采用值	
混凝土/云母片麻岩(强)		0.35～0.40	0.42	
混凝土/花岗片麻岩(全)		0.42～0.45	0.42～0.45	120～280
cn_1、cn_2		0.30	0.25	10～15
cn_3、F_3		0.22～0.30	0.22	5～10
花岗片麻岩(全、强、弱)	0.4～1.1			

（3）软弱夹层力学特性试验成果表

夹泥名称及编号	室内抗剪试验					现场抗剪试验					备注
	组数	屈服值		峰值		组数	屈服值		峰值		
		tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)		tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	
cn_1夹泥层	1	0.30	5.0	0.43～0.59	4.0～11.0	1	0.39	25.5	0.44	31.4	基岩为角闪片麻岩，夹泥厚度5～20mm
cn_6夹泥层	1	0.32	20.0	0.46	17.0	2	0.24	35.0	0.29	65.2	主要矿物：蛭石及水云母，夹泥厚度5～30mm，基岩为角闪片麻岩、花岗岩
F_1断层				0.39～0.46	18.0～34.0						
F_4断层				0.40～0.50	2.0～11.0						主要矿物：水云母、蒙脱石
cn_7夹泥层				0.55	11.0						

朱 庄 水 库

一、工程概况

朱庄水库位于河北省邢台地区沙河县境内的滏阳河支流南浬河上，是以防洪、灌溉为主，结合发电的综合利用水利工程。挡水建筑物为浆砌块石坝，最大坝高95m，坝顶全长544m，河床为溢流坝段，坝内泄洪底孔；左岸有放空洞、输水洞，电站在右岸分高低机组，总装机容量4500kW。总库容4.36亿m^3。70年代勘测设计，1981年竣工。

二、工程地质条件

库区广泛分布太古界片麻岩系。坝址区出露地层为震旦系下部的碎屑岩系，岩性为石英岩、石英砂岩和砂页岩等，层次分明，厚薄不等，其下部与太古界片麻岩成不整合接触，不整合面以下片麻岩顶部有约10m古风化壳。片麻岩的片麻理产状、走向NE，倾向NW，倾角30°左右。震旦系地层产状NE40°～60°/SE，∠6°～8°。不整合面的产状与上部震旦系地层相同。石英砂岩按其岩性分9大层，大坝建于II～VI大层上。河流自NW流向SE。

坝基石英砂岩间夹有多层软弱夹层及夹泥层，主要为薄层粉砂岩、页岩等，共发现70多层，与坝体稳定关系最大的有II-5、cn_{1_2}，对两岸坝段影响较大的还有III层底、IV层底。软弱夹层层位稳定，延续长，产状与石英岩一致，倾下游。泥化夹层厚度除III层底、IV层底为2～5 cm外，一般为1～5 mm。

坝基范围内断层，除较大的F_6和F_4断层外，还有许多小断层，裂隙密集带。其中：

F_6断层：N15°～30°E/NW，∠7°～11°、破碎带宽0.8～5 m，断层下盘有倒转、直立现象，上盘破碎断层面波状起伏，有较厚断层泥。该断层影响右岸坝头稳定，施工中挖除。

F_4断层：出露于右岸15坝段，与坝轴线呈45°～50°东延至

14～11坝段过导流洞口至消力池基础下。破碎带宽约 8～10m，有糜棱岩和断层泥，质软，变形指标低。它们切割坝基，加之软弱夹层构成复杂地质条件。

三、工程岩石力学问题

由于坝下基岩内存在有深度不同的向下游缓倾的软弱夹层，略垂直河流方向的裂隙亦较发育，其组合对坝体抗滑稳定条件十分不利。同时，F_4穿过右岸坝基，对坝体坝基应力和变形也有影响，为论证其稳定性，勘测和施工期间进行室内外试验，提供各岩层力学参数和坝基稳定性分析依据。

四、试验工作量

试验项目		室内 组数	现场 组数	备注
物理性质		20		基岩大部为1958年试验，资料不全
抗压强度		4		
抗剪强度	抗剪断	226*	15	*软弱夹层
	抗剪			
变形特性	承压板		水平 6 垂直 3	
	动力法		43	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学试验成果

岩石名称	取样地点	比重	容重 (g/cm³)	饱和吸水率 (%)	孔隙率 (%)	抗压强度(MPa) 干	湿	抗冻后
石英砂岩	豆王木	2.67	2.62	0.33	1.87	302.7	238.3	285.3
石英砂岩	坝基	2.67	2.62	0.62	1.87	244.8	238.3	210.1
石英砂岩	南山	2.67	2.62	0.34	1.87	243.2	217.5	208.8

注　表列为1958年试验成果。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	试验地点	变形特性（静力法试验）		
		试验方法	作用力方向	变形模量 E_0 (GPa)
肉红色石英砂岩（Ⅱ）	主坝 4#竖井 16#硐	承压板法	水　平	11.7/4
肉红色石英砂岩（Ⅱ）	主坝16#硐	承压板法	垂　直	16.4/2
板状石英砂岩（Ⅲ层顶）	副坝 6#硐	承压板法	垂　直	4.8
条带状砂岩（Ⅳ）	副坝10#井	承压板法	水　平	2.9
F_4			水　平 垂　直	
Ⅳ层底夹泥层			垂直层面	
页　岩（Ⅰ）				

（3）软弱夹层物理特性试验成果表

夹层名称及编号	天然状态			
	含水量 (%)	容重 (g/cm³)	干容重 (g/cm³)	>0.05
Ⅳ底层 （左岸）	22.1/7	1.91/7	1.63/7	64.7/7
Ⅳ底层 （右岸）	15.8	2.14	1.85	70.3
Ⅲ层底 （左岸）	15.8/5	1.69/5	1.46/5	55.3/5
Ⅲ层底 （右岸）	17.0	1.99	1.70	75.4
Ⅱ～5	25.0/2	1.87/2	1.50/2	43.6/2
cn72		1.41/2	0.67/2	45.0/2

弹性模量 E_s (GPa)	动力法试验 地震法 E_d (GPa)	抗剪试验 类型	试件尺寸 (m)	抗剪断 tgφ	抗剪断 c(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)
19.1/4	29.2	岩/砂岩	0.5×0.5	0.87	100	0.84	100
19.8/2	32.6						
6.6	4.1	Ⅱ-Ⅲ岩/砂岩	0.5×0.5				
4.9	15.4						
	1.48～1.9 0.36～1.32						
	0.15						
		页岩/砂岩	0.5×0.5	0.39	75	0.47	75

颗粒组成(%) 0.05～0.005	颗粒组成(%) <0.005	土定名	矿物成份 主要	矿物成份 次要	备注
15.5/7 12.7	20.0/7 17.0	中壤土 中壤土	方解石		泥质砂岩、页岩，泥化夹层
24.8/5 12.7	20.0/5 11.2	中壤土 轻壤土	伊利石	蒙脱石	泥质砂岩、页岩，泥化夹层
23.3/2	33.1/2	砂质粘土	伊利石		页岩，泥化夹层
28.9/2	26.2/2	重壤土	伊利石		

（4）软弱夹层力学特性试验成果综合表

夹层名称及编号		饱、固、快剪		饱和快剪		室内中型剪(0.15×0.15m)		现场试验(0.5×0.5m)	
		tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)
Ⅳ层底(左岸)		0.28	13/7	0.12	14/5	0.352	19/3	0.339	28.6/2
Ⅳ层底(右岸)		0.35	18/	0.43	7	0.405	2.9		
Ⅲ层底	(左岸)	0.33	4/5	0.37	21/1	0.47	3.0	0.25	40
	(右岸)	0.29	23	0.23	25	0.40	7.1	0.22	25
Ⅱ～5						0.35	11	0.38	14
cn72		0.30	8.0					0.41	9.0

注 1.试验成果均为峰值(图解法)；

2.现场试验剪断面多沿泥和岩石接触面剪断，不在夹泥本身，接触面平稳光滑则抗剪强度小，反之则大；

3.岩石起伏程度，层理延展，夹泥延续好坏及颗粒组成对成果影响较大；

4.本表只摘取4个夹层资料，其它从略；

5.cn72饱、固、快成果是天然含水量的扰动样，现场抗剪仅用两快样分析整理，其中快剪面右两层夹泥，最小＝乘法 $f=0.39$，$c=14.5$kPa。

（5）溢流坝段混凝土/基岩，软弱夹层摩擦系数采用值

层次	坝段	部位	摩擦系数
混凝土/厚层砂岩	8、10	上加部份	0.60
混凝土/薄层砂岩	9	上加部份	0.55
软弱夹层 Ⅱ～5			0.29
软弱夹层 cn72	9		0.22～0.25
	8、10		0.29～0.31

（6）溢流坝段基岩变形模量和泊桑比采用值

项目		变形模量(GPa)		泊桑比	
		E_1	E_2	μ_1	μ_2
新鲜花岗片麻岩		15.0		0.20	
古风化壳		1.0	2.0	0.27	0.25
Ⅰ层砂页岩互层		1.0	2.0	0.27	0.25
Ⅱ层石英砂岩	灌浆前	2.0	2.5	0.25	
	灌浆后		4.0	0.25	0.23
F_1断层破碎带		0.5		0.3	

注 1.E_1、μ_1为现场实测变形参数前参考其他工程选用值；E_2、μ_2为实测后的采用计算值；

2.由于有一部份试验是在基岩已做固结灌浆处理后进行的，条件所限，动力法做的多，静力法少，表层多，深层少，成果相差较大，采用值是领导、专业人员依据成果，结合实际地质条件商定的。

恒 山 水 库

一、工程概况

恒山水库位于山西省浑源县境浑河支流唐峪河上，距浑源县城约5km。

主要建筑物为双曲薄拱坝和电站，混凝土拱坝高68.7m，坝顶长140m，右岸布置一条直径1m的排沙兼发电灌溉的输水管道和地面发电厂，左岸开挖长58m、宽15m的溢洪道，并设置重力墩，重力墩高5m、宽10m、长20m。装机容量1000kW，库容1.34万m^3。

工程于1958年开工，1962年建成，1966年正式蓄水。

二、工程地质条件

坝址岩层为晚寒武纪中厚石灰岩、薄层白云质灰岩和泥灰岩，还有少量页岩，岩层产状为NE40°～60°/SE，∠15°～20°，倾向上游偏左岸。

坝肩岩体含有八层软弱夹层，为风化的薄层泥质灰岩和页岩，浸水泥化，夹层厚度为0.10～0.2m，成层分布，延伸长。另有新层F_1通过坝基，破碎带宽0.1～0.3m，为角砾岩和泥充填。右岸有F_2断层走向NW，倾角70°～85°。

灰岩与页岩中主要发育两组节理：NE和NW，在坝肩处受卸荷作用而张开。

坝址为V型河谷，左岸为凸岸，山体较薄，右岸坝肩下游有大冲沟切割。岩体风化深度达20余m。

三、工程的岩石力学问题

1.左岸山头高度不足，两面临空，开挖溢洪道存在稳定问题，设计采取了重力墩和包墙等措施。

2.右岸岩体有F_2断层通过，北西向裂隙切割，具有滑动可能，施工时以混凝土塞和孔深25m的固结灌浆处理。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验		备注
		组数	组数	块(点)数	
物理性质		20			
抗压强度	干燥	10			
	饱水状	4			
抗剪强度	抗剪断		4		另混凝土/岩2组
	抗剪	3	4		
变形特性				5	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa)	
						干	湿
石灰岩，中厚层，新鲜	2.72	2.70	0.99	0.22	0.24	150.2	123.8
石灰岩，竹叶状，新鲜	2.75	2.72	1.09	0.11	0.14	88.4	85.7
白云质灰岩，新鲜	2.75	2.71	1.04	0.56	0.56	126.6	63.4
灰岩，薄层	2.75	2.68	2.95	0.20	0.21	99.1	79.4
泥灰岩，微风化	2.77	2.49	10.11	0.41	3.61	43.7	23.3
薄层灰岩泥灰岩互层，风化	2.74	2.55	1.61	1.61	1.65	30.0	11.2
页岩	2.69	2.57	4.4	2.87	2.95		25.9

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性，风化程度）	变形特性		抗剪强度（峰值）						
	方法	E_0 (GPa)	类型	试件尺寸 (cm)	法向应力 (MPa)	抗剪断		抗剪	
						$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)
11～1层，薄灰岩与泥灰岩互层	承压板	5.9	岩/岩	50×50		0.95	59	0.88	59
9～10层，中厚层灰岩	承压板	4.24	岩/岩	50×50		0.83	8	0.8	37
13～5层，中厚灰岩	承压板	6.4～9.0							
薄层泥灰岩	承压板	5.9～4.2	岩/岩	50×50	9.81	1.08	5		
13层，灰岩，风化	承压板	6.2							
灰岩，新鲜	承压板	9.2							
F_1断层	承压板	3.3～3.5	F_1层面/岩	50×50		1.21	40	0.92	147
页岩			岩/岩	50×50		1.25	207	1.11	96

万家寨水利枢纽

一、工程概况

万家寨水利枢纽是黄河北干流上的一座控制性水利水电枢纽工程。地处山西、内蒙古交界地带，拟建坝址位于山西省偏关县万家寨村西侧。

主要挡水建筑物为混凝土重力坝，坝高90m，库容8.96亿m^3，装机容量102万kW。

工程于1959年开始勘测设计，1989年提出可行性研究报告。

二、工程地质条件

坝址地层主要由寒武、奥陶系及第4系组成。寒武、奥陶系地层为中厚层、薄层的灰岩、白云质灰岩、白云岩、鲕状、竹叶状灰岩、泥灰岩和页岩等。具有明显的层理，微晶至中粒结构。中寒武系至中奥陶系地层，根据地质特征共划分为8组22层，泥灰岩、页岩常呈条带状夹层状、互层状集中出现形成泥灰岩、页岩集中带。坝基岩体为第5层和第4层（中寒武系）。第5层以中厚层、厚层灰岩为主，岩体完整较好。在河床基岩面以下有一薄层灰岩和泥灰岩、页岩集中带（属第4层），岩石软、强度低。

岩层产状总的走向NE30°～60°/NW，∠2°～8°，在平缓的单斜地层上发育有规模不大的层间褶曲和断裂。缓倾角软弱结构面主要为层间剪切带和泥化夹层。在软硬相间岩层接触带附近，常有泥灰岩、页岩集中带，多由劈理化岩石、岩屑及糜棱岩组成，规模不大，数量较多。其泥化夹层一般0.01～0.06m。

节理主要有（1）280°～300°/SW或NE，∠80°～90°；（2）20°/NW∠80°～90°；（3）45°～65°/SE或NW，∠80°～90°。岩石弱风化带厚度：左岸5～8m，右岸3～4m。

三、工程主要岩石力学问题

1.混凝土坝与第5层中厚层灰岩接触面的抗滑稳定问题。

2.第5层灰岩与第4层薄层灰岩与薄层泥灰岩互层接触面的抗滑稳定问题，坝肩局部地段发现层间夹泥，尤以第24层（单层厚5～20mm）为控制抗滑稳定的主要软弱夹层。

四、试验工作量

试验项目		室内试验（组数）	现场试验（组数）
抗压强度	干抗压	52	
	饱水状	45	
抗剪强度	抗剪断	13	19
	抗剪		
	裂隙面		
变形试验	承压板法		20
	动力法		7
	静力法	23	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	弹性模量 E (GPa)	抗剪强度 类型	抗剪强度 组数	抗剪强度 抗剪断 tgφ′	抗剪强度 抗剪断 c′(kPa)
薄层灰岩与薄层泥灰岩互层	2.74	2.71	0.40	153.0/19	115.5/9	23.13/9	岩/岩	4	0.86/4	625.6/4
页岩	2.74	2.62	1.59	154/5	81.4/10	18.17	岩/岩	5	1.58/5	403/5
灰岩与泥灰岩互层	2.76	2.68	0.98		50.01		岩/岩	2	2.44/2	2329/2
泥灰岩C_2g^4	2.73	2.60	1.54	104.3/3	101.9/		岩/岩	1	1.25	490.3
薄层灰岩夹泥灰岩		2.73	0.06			23.91				
灰岩与页岩互层	2.75	2.73	0.19	141.46	103.85	19.80				
中厚层灰岩	2.74	2.73	0.18		173.47	21.63				
页岩夹灰岩条带	2.73	2.59	1.83			11.77				

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称		岩体类型	试验条件	变形特性		
				试验方法	变形模量 E_o (GPa)	弹性模量 E_t (GPa)
薄层灰岩与薄层泥灰岩互层		薄层状	垂直层面	承压板法	15.14/6	26.30/6
ϵ_1^Z页岩		薄层状	平行层面	承压板法	3.32/2	5.86/2
灰岩	第五层	中厚层状	垂直层面	承压板法	16.74/4	27.81/4
灰岩		中厚层状	平行层面	承压板法	11.34/2	21.26/2
灰岩		中厚层状				
泥灰岩		层状				
薄层灰岩夹薄层泥灰岩互层		层状	平行层面			
紫红色页岩		薄层状				
页岩夹灰岩条带		层状				
薄层灰岩夹泥灰岩条带透镜体		层状	平行层面	承压板法	8.80/4	16.39/4

纵波速V_p (m/s) (地震法)	抗剪试验					备注
	试验类型	试件尺寸 (m^2)	组数	抗剪断(峰值)		
				$tg\varphi'$	c' (kPa)	
3901	岩/岩	0.5×0.5	6	0.98	528.58	
	岩/岩	0.5×0.5	1	0.74	107.87	
3123/3	岩/岩	0.5×0.5	2块		568.78～1272.90	两点抗切试验
5093/4	岩/岩	0.2×0.2	1	2.23	5589.8	现场中剪
	混凝土/岩	0.5×0.5	1	1.32	951.24	
	岩/岩	0.5×0.5	1	0.63	191.23	
3333～6667	岩/岩	Φ0.13	1	1.18	1960	现场岩芯快速中剪试验
	岩/岩	Φ0.13	1	1.69	2730	现场岩芯快速中剪试验
	岩/岩	Φ0.13	1	1.03	2110	

（3）软弱夹层物理特性试验成果表

夹层名称及编号	天然状态					
	组数	含水量（%）	容重（g/cm³）	干容重（g/cm³）	饱和度（%）	孔隙比（%）
NJ01泥化夹层	1	7.8	1.97	1.83	98.3	0.69
NJ02泥化夹层	1	6.6	1.88	1.76	101.1	0.70
NJ04泥化夹层	1	27.1	1.50			

（4）软弱夹层试验成果综合表

夹层名称及编号	地质特征				矿化成份分析		
	母岩名称	成因类型	厚度(m)		主要矿物	SiO_2	Fe_2O_3
			夹层	夹泥			
NJ01泥化夹层	薄层灰岩与薄层泥灰岩互层（$\epsilon_2 g^4$）	层间剪切带	0.05	0.01～0.05	伊利石	29.24	3.55
NJ02泥化夹层	薄层灰岩与薄层泥灰岩互层（$\epsilon_2 g^4$）	层间剪切带	0.06	0.01～0.06	伊利石	45.4	5.88
NJ04泥化夹层	薄层泥灰岩夹薄层灰岩（$\epsilon_2 Z^6$）	层间剪切带		0.002～0.01	伊利石	38.28	9.89

比　重	流　限 (%)	塑　限 (%)	颗　粒　组　成		
			>0.05 (%)	0.05～0.005 (%)	<0.005 (%)
2.71	34.1	18.2	10.5	40.5	49.0
2.75	31.1	17.7	39.5	35.0	25.5
2.81	40.8	21.4	20.5	39.0	40.5

(%)	室内抗剪试验			现场抗剪试验			备　注
Al_2O_3	方　法	峰　值		方　法	峰　值		
		tgφ	c(kPa)		tgφ	c (kPa)	
13.24	饱、固、快	0.344	11.77				室内控制干容重 1.61～1.62
14.77		0.424	6.86	平推法	0.51	22.6	现场饱水抗剪
11.26				平推法	0.35	102.97	现场饱水抗剪

（5）参数建议值及采用值

岩　　性	tgφ	c (kPa)	备　　注
混凝土/灰岩	$f=0.7$ $f'=1.0$	$c=0$ $c'=1000$	建议值
第5层ϵ_1Z^4	$f=0.7$ $f'=1.0$	$c=0$ $c'=2000\sim3000$	
第4层ϵ_1Z^4	$f=0.55$ $f'=0.7$	$c=0$ $c'=700$	已考虑了层间剪切带和泥化夹层在内的因素
岩石裂隙面	$f=0.65$	$c=0$	
层间剪切带	$f=0.45$	$c=0$	
泥化夹层	$f=0.3-0.35$	$c=0$	
混凝土/岩	$f=0.7$ $f'=1.0$	$c=0$ $c'=1000$	采用值
第五层ϵ_1Z^5	$f=1.0$	$c'=2000$	
第四层ϵ_1Z^4	$f'=0.7$	$c'=700$	

注　$f'=\text{tg}\varphi'$，c'为抗剪断值。

桓仁水电站

一、工程概况

桓仁水电站位于辽宁省桓仁县境内浑江中游，坝型为混凝土单支墩大头坝，最大坝高78.5m，坝后式厂房，装机容量为22.25万kW，总库容为34.1亿m^3。

1956年开始进行工程的初步设计工作，1958年开工，1968年第一台机组发电，1972年竣工。

二、工程地质条件

坝址区地层为中生代侏罗-白垩系火山碎屑岩，由安山凝灰岩和安山凝灰集块岩组成，岩层产状NE8°～15°/NW，∠15°～20°，由上至下共分16层，坝基岩层为第9～11层。

第9层为厚层安山凝灰集块岩，层理明显，岩石致密，抗风化能力强。

第10层为厚层安山凝灰岩，易风化和软化。中部夹有一层厚度为0.03～0.1m的泥状软弱夹层。

第11层安山凝灰集块岩，顶部有一厚度为0.5～3.0m的绿泥石富集带，且断续分布有厚度约0.02～0.03m的亚粘土软弱夹层。

坝址位于向斜的一翼，坝区断层主要有两组：（1）NE10°～30°/SE，∠56°～86°，为正平推断层；（2）NW280°～300°，属平推断层。平均每10～15m有一条小断层，断距仅0.2～0.5m。较大断层有F_1，斜穿13#～21#坝段，垂直断距5～15m，破碎带宽4～14m并夹有厚度10～50mm的断层泥。

构造裂隙较发育，间距一般0.6～1.0m，主要4组的产状为：（1）NE10°～20°/SE(NW)，∠70°～85°；（2）NW270°～295°/NE(SW)，∠70°～85°；（3）NW310°～325°/NE，∠60°～85°；（4）NE80°～90°/SE，∠60°～70°。

三、工程中岩石力学问题

大坝建于层状岩体上，第10层安山凝灰岩质软易风化，第11层顶部存在绿泥石富集带，加之缓倾角泥化夹层的存在，坝基抗滑稳定和变形稳定问题比较突出。为论证上述问题，勘测和施工期进行了大量室内及现场岩石力学试验，以提供相应力学参数。

1963年结合补强设计又进行了现场12点岩体变形试验、现场29点大面积（0.5×0.5m）软弱夹层抗剪试验及室内43组力学试验。

四、试验工作量

试验项目		室内试验组数	现场试验		备注
			组数	块(点)数	
物理性质		430			
抗压强度	干燥	309		6	
	饱水状	424			
抗剪强度	抗剪断	129	2*		*混凝土/岩
	抗剪			33	
	结构面	58			
变形特性	应变片	16			
	承压板			13	

五、岩石力学诸参数

（1）岩石物理力学特性试验成果表

岩石名称（风化程度）	组数	比重	密度 (g/cm³)	吸水率 (%)	孔隙率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿
第9层 灰绿色安山凝灰集块岩	5～48	2.68	2.53	5.60	0.92	147.3	111.2
第10层 紫红色安山凝灰岩	29～32	2.71	2.58	4.70	1.17	107.7	52.0
第11层 深灰色安山凝灰集块岩	84～120	2.72	2.60	4.41	0.73	121.0	76.6

岩石名称（风化程度）	变形模量 (GPa)	室内抗剪强度 类型	组数	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)
第9层 灰绿色安山凝灰集块岩	38.55	混凝土/岩	11	1.39	1600	1.04	900
		岩/岩	6	1.15	2160	0.88	0
第10层 紫红色安山凝灰岩	43.6	岩/岩	8	1.42	1750	0.68	1300
第11层 灰色安山凝灰集块岩	47.11						

岩石名称（风化程度）	现场抗剪试验 类型	组数	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)
第9层 灰绿色安山凝灰集块岩						
第10层 紫红色安山凝灰岩						
第11层 深灰色安山凝灰集块岩	混凝土/岩	2	1.16	1300	0.8	900

注　抗剪试件为0.2m×0.2m，混凝土标号200*。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	法向应力 (MPa)	变形特性	
		方法	E_o (GPa)
安山凝灰集块岩，层状（第9层）	2.5	承压板铅直向 (1m×1m)	62.2～26.5 / 46.7
	2.5	水平向	22.7～59.5 / 41.1
安山凝灰岩，层状（第10层）	2.5	承压板铅直向	5～8.4 / 6.9
安山质凝灰岩，层状（第11层）	2.5	承压板	16.1～32.5 / 23.9
安山凝灰集块岩，软弱夹层	1.2	(0.5m×0.5m)	3.448

（3）软弱夹层物理力学特性试验成果表

夹层名称及编号	天然状态				流限 (%)	塑限 (%)
	含水量 (%)	容重 (g/cm³)	饱和度 (%)	孔隙比 (%)		
第9层下部，亚粘土					29	16
第9层下部，亚粘土	12	2.15～2.17	0.77～0.81	0.42～0.40	30	15
第10层顶部，小3层	12.9～12.7	2.11～2.15	0.78～0.85	0.44～0.41	34	18
第10层顶部，小6层	13.7	2.12	0.80	0.47	40	19

（4）F_1断层物理力学特性试验成果表

夹层名称及编号	含水量 (%)	容重 (g/cm³)	饱和度 (%)	孔隙比 (%)	流限 (%)	塑限 (%)	颗粒组成(%)		
							>0.05	0.05～0.005	<0.005
F_1	12.0	2.15	0.79	0.41	25	14	60	17	23

抗剪强度(峰值)				备注
方法	组数	tgφ	c(kPa)	
				承压板面积1m×1m
平推	29点	0.19	125	试件尺寸0.5m×0.5m
				承压板面积0.5m×0.5m

颗粒组成(%)			土定名	室内抗剪试验			
				方法	组数	峰值	
>0.05	0.05～0.005	<0.005				tgφ	c(kPa)
75	4	21	砾质重壤土(扰)	饱、固、快	3～8	0.394	20
76	10	14	砾质重壤土(原状)		3	0.466	50
68	13	19	砾质中壤土(原状)		12～14	0.331	90
38	28	34	含少量砾砂质壤土(沙)		3	0.260	30

土定名	压缩性试验						
	P 值(MPa)	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
砂质重壤土	沉降值(mm/m)	4.6	8.8	17.7	30.0	45.6	59.4

（5）岩石参数采用值

岩　　石	E (GPa)	tgφ	c(kPa)	备　　注
安山凝灰集块岩，第9层	30	0.7	0～600	
安山凝灰集块岩，第10层	5	0.7～0.8		
安山凝灰集块岩，第11层	16～20	0.65～0.70		
软弱夹层，第9层	0.10	0.36	30	
软弱夹层，第10层	0.10	0.25	0	
软弱岩，第11层	1.5	0.43～0.52	0	
混凝土/岩	0.55	0		老混凝土，一般采用 tgφ＝0.70
混凝土/绿泥石带	0.55	0		不同坝段采用 tgφ＝0.65～0.70

蔓窝水库

一、工程概况

本工程位于辽宁省辽阳市境内太子河干流上。距辽阳市约30km。挡水建筑物为混凝土重力坝，全长532m，共分31个坝段，溢流坝段15个、电站占3个，其余为两岸坝段。最大坝高50.3m，设14个溢流孔（12m×12m），在闸墩中间隔布置6个底孔（3.5m×8m）。电站为坝后式厂房，装机3台，总容量3.72万kW。总库容7.93亿m^3，控制太子河全流域面积44.5%，水库以防洪、灌溉为主兼有工业供水、发电等综合利用。工程于1970年开工，1972年基本建成。

二、工程地质条件

坝址在太子河中下游河谷的峡口处，右岸为一、二级阶地，左岸较陡。基岩为前震旦系浅变质的混合岩系—变粒岩，细粒及微晶结构，致密坚硬。按矿物含量不同划分为含团块黑云母变粒岩、石英变粒岩、长石黑云母变粒岩等。部份坝段有绿泥石片岩

分布（呈星条状）次生变质矿物较多，结构松软，有明显片理及片麻状构造，岩层倾角为70°～80°。

坝区岩石风化强烈，强风化带遍布全区，左岸风化较深，约6～13m。

断裂构造发育，主要断层有4类：（1）产状NE20°～29°/NW∠58°～71°的平推断层，平行于坝轴线，破碎带宽度不等，最大的在1m以上，小者成一细小剪切裂隙，如F_{65}断层；（2）NW20°～30°/SW，∠57°～65°和走向NE38°～42°/SE，∠58°～67°，斜穿坝线的逆断层，错距为0.5～1.8m，破碎带宽0.05～1.0m，如左岸F_{40}断层；（3）NE75°～85°/NE，∠46°～74°正断层，破碎带宽0.2～0.4m。节理产状类同，有顺河、垂直河流和水平节理3组，坝基（肩）的岩体多成六面体，左岸坝肩岩体较破碎，风化较深。

三、工程岩石力学问题

1.重力坝抗滑稳定问题，需提供微风化、弱风化石英变粒岩的岩石力学参数以及研究断层破碎带和软弱夹层对坝基稳定性的影响程度。

2.左坝肩岩体破碎、风化较深，需研究其变形失稳和处理措施。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验	
		组数	组数	块(点)数
抗压强度	干燥 饱水状	25 17		
抗剪强度	抗剪断 抗剪		10	42*
变形特性	承压板			16
物理性质		25		

* 另有资料为15组，共53块。

五、岩石力学诸参数

岩石名称及风化程度	比　　重	容　　重 (g/cm³)	孔　隙　率 (%)
云母绿泥石片岩，弱风化	2.73	2.65	2.93
石英变粒岩，微风化	2.72/7	2.67/7	1.93/
石英变粒岩，弱风化	2.71/3	2.16/3	1.84/3
石英变粒岩，强风化	2.13/5	2.61/5	3.59/5
云母石英变粒岩，风化	2.71/2	2.67/2	2.55/2

注　在斜线左上的数字为平均值，在斜线右下的数字为组数。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称及风化程度	变形特征			试验类型
	试验方法	变形模量 E_o (GPa)	弹性模量 E_r (GPa)	
云母石英片岩，弱风化				混凝土/岩石
变粒岩，新鲜	承压板（小循环）	53.00		混凝土/岩石
变粒岩，微风化	承压板（大循环）	10.65/4	11.76/4	混凝土/岩石
		13.0/4	13.5/4	混凝土/岩石
变粒岩，弱风化				混凝土/岩石
片岩，微风化	承压板（小循环）		7.34	

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

吸水率 (%)	抗压强度 (MPa)		
	干	湿	冻融
0.31	74.6	69.4	55.3
0.06/7	168/8	125.7/3	
0.27/2	114.2/6	108.7/7	
0.21/5	131.8/9	114.1/5	131.4/5
0.26/2	119.4/8	96.4/2	110.4/2

试件尺寸 (m)	抗剪强度				备注
	抗剪断		抗剪		
	tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	
0.5×0.5	1.09	719	0.76	660	
0.5×0.5	1.98	1200	0.73	30	
	1.26/4	620/4	0.7/4	460/4	601洞
	1.41/3	720/3	0.79/4	310/4	602洞
	1.50	1340	0.80	760	602洞
	1.17	420	0.71	1400	

（3）岩石力学参数采用值

岩石	E (GPa)	tgφ		备注
		类型	数值	
变粒岩，微风化	20～25	混凝土/岩	0.65	右岸
变粒岩，弱风化	8～12		0.60	左岸
云母绿泥石片岩			0.6～0.65	
断层碎屑带			0.50	

清河水库

一、工程概况

清河水库位于辽宁省开原县境内清河上，主要挡水建筑物为斜墙土坝，最大坝高39.6m。总库容9.71亿m^3，水库以灌溉、防洪为主。右岸溢洪道，堰顶宽60m。左岸输水洞，洞径5.5m。电站装机容量0.9万kW。

工程于1958年开工，1959年建成。溢洪道于1965年全部完工。

二、工程地质条件

坝区主要地层为中生代白垩系陆相沉积的紫红色砾岩与紫红色砂岩互层。溢洪道地层中还间夹薄层凝灰质夹泥层（C_2^{1-3}），并有闪长斑岩岩脉侵入，北侧外围为燕山期花岗岩，输水洞岩体为花岗片麻岩。

溢洪道地区断层发育，大小断层相互切割，主要有4组：（1）NW40°～80°/SW，∠15°～40°，如F_{21}、F_{31}；（2）NE30°～40°/SE，∠40°～85°，如F_{24}；（3）NE50°～70°/SE，∠35°～75°，如F_{25}、F_{61}；（4）NE60°～80°/NW，∠35°～85°，如

F_{111}和F_{137}。岩层层间受力扭曲产生错动较多，其中延伸较长的有C_{164}和C_{56}，其余错动带破碎岩石厚度不大，约0.2～0.3m，断续分布，但常有厚约10～30mm的粘土夹层；有时层间错动中有切层现象而变为断层，如R_{141}软弱夹层切层成为F_{87}断层。节理常有泥质或方解石。

三、工程岩石力学问题

1.溢洪道部位岩体中存在薄层凝灰质夹泥层以及层间错动破碎带中粘土夹层，需论证溢洪道边坡稳定问题。

2.溢洪道开挖中曾多次发生滑坡和大变形（1960年9月沿F_{21}断层发生Ⅰ号滑坡，方量达千余立方米，1964年滑坡才处于稳定状态）。其中C_{56}等软弱夹层对稳定起主要控制作用。

四、试验工作量

试验项目		室内 组数	现场 组数	备注
抗压强度	干抗压	8		
	饱水状	124		
抗剪强度	抗剪断	13		混凝土/岩石
	抗剪	24	3	软弱夹层

五、岩石力学诸参数

岩石名称及风化程度	比　重	容　重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	抗压强度 干
花岗片麻岩，弱风化	2.80	2.56	8.5		
紫红色砂岩，弱风化	2.75	2.70	1.82	0.32	155.1/2
紫红色砂岩，强风化	2.75	2.69	2.18	0.71	147.2/2
紫红色砾岩，弱风化	2.72	2.64	2.94	0.84	135.9/2
紫红色砾岩，强风化	2.72	2.64	2.94	0.82	138.2/2

（2）软弱夹层物理力学特性试验成果表

夹层名称及编号	含水量 (%)	容重 (g/cm³) 湿	容重 (g/cm³) 干	孔隙比 (%)	比　重	流　限 (%)	塑　限 (%)	塑性指数
C56	22.6/6	2.09/6	1.71/6	0.46/2	2.78/6	39.2/5	17.2/5	22.0/5
R141	19.1/6	2.16/6	1.81/6		2.82/6	31/6	15.5/6	15.5/6
C164	7.5/16	2.28/16	2.12/16		2.7/7	22.6/7	12/7	11/7
C164					2.76/3	26/3	14/3	12/3
F31	13.9	2.09	1.83	0.54	2.82	35	15	20
6号探槽	19.4	2.06		0.58	2.83			

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

(MPa)	抗剪强度				备注
湿	类型	组数	tgφ	c(kPa)	
124.0			0.60	0	抗剪试件5cm×5cm
125.2/2	混凝土/岩	1	0.92	0	×5cm，tgφ值由抗剪
119.1/2	混凝土/岩	5	0.53～0.57	0	断试验推求
90.8/2	混凝土/岩	8	0.74～0.60	0	
76.1/2	混凝土/岩	5	0.55～0.56	0	

颗粒组成(%)			土定名	抗剪试验				备注
>0.05	0.05～0.005	<0.005		方法	组数	峰值 tgφ	峰值 c(kPa)	
22	33	44	粘土或砾质粘土	饱、快	3	0.149	23	
				饱、固、快	1	0.268	17	
19	25	56	粘土或粉砂质粘土	饱、快	2	0.283	35	主要是凝灰质夹泥
				饱、固、快	3	0.216	21	
69	17	14	砾质壤土	饱、快	14	0.146	43	
31	37	32	重壤土或粉质粘土					
19	25	56	粘土	饱、固、快	1	0.231	50	
				固、快	1	0.394	37	
				饱、固、快	2	0.213	32	

（3）参数采用值

岩石名称	抗压强度(MPa)	tgφ	c(kPa)
混凝土/砾岩(弱风化)	50.0	0.55～0.60	100
混凝土/砾岩(强风化)		0.40～0.45	
断层泥		0.14	20

白山水电站

一、工程概况

白山水电站位于吉林省桦甸县第二松花江上。混凝土重力拱坝，最大坝高149.5m，坝长676.5m，总库容53.1亿m^3。一期工程采用右岸地下厂房，装机容量为90万kW，二期工程采用左岸引水式地下厂房，装机容量60万kW，电站总装机容量为150万kW。右岸地下厂房长121.5m、高54m、宽25m，并布置有引水隧洞、尾水隧洞等44座大小不等地下洞室，是一座以发电为主，兼有防洪等综合效益的大型复杂的水力枢纽。

工程勘测工作始于1957年，1975年开工，其间曾几次中断勘测工作。1983年第一台机组投产发电，1985年竣工。

二、工程地质条件

大坝基岩为前震旦系混合岩，岩石致密坚硬，抗风化能力强，内含有黑云母片岩和角闪云母片岩等母岩残留体，直径为0.05～0.3m，大者可达1.2m，质软易风化，影响岩体的均一性，右岸坝肩上部分布有第四系玄武岩。

混合岩中穿插有中基性岩脉，规模较大的有：斜穿左坝肩27#

～28#坝段的细粒角闪斜长岩脉（ω_2）以及出露左坝头的细粒花岗闪长岩墙（$\gamma\delta$）。岩脉宽度9～17m，质硬性脆，节理发育；岩脉与两侧围岩相比其完整性较差，变形模量低。

由于多次构造变动，岩体完整性受到一定程度破坏，坝址区断裂发育。坝基断层主要有NNW（顺河）和NEE(横河）两组，多为陡倾角断层。其中倾角较缓的规模较大的断层有F_1、F_3，倾角30°～40°，两者相对倾斜，构成楔形体，岩体破碎风化强烈，地表破碎带宽度5～10m。构造裂隙以走向NE60°～90°（横河）和走向NW320°～350°（近于顺河）两组陡倾角裂隙为主，一般延伸长度5～30m、间距1～3m，其次为走向NE10°～30°陡倾裂隙，坝基有缓倾角裂隙多组，一般延伸不长。

地下厂房置于混合岩地层内，上覆岩体60～100m，厂区无大断层通过，岩体完整性好，下游边墙有f_1断层与44#、49#、56#、195#节理、80#缓倾节理组成的楔形不稳定体。

三、工程的岩石力学问题

（1）通过岩石力学试验了解基岩本身，基岩与混凝土结合面以及软弱夹层和不利于坝体、边墙、边坡的缓倾角结构面的抗剪强度，以论证坝基（肩）的抗滑稳定问题以及地下洞室边墙的稳定问题。

（2）由于混合岩的不均一性，加之岩脉的穿插。断裂切割致使局部密集成带，岩体破碎，风化深。就其承载强度、不均匀沉陷和抗滑稳定等问题，均难满足拱坝地基的要求。为确定建基高程，对不同部位不同高程岩体风化程度及其变形特性需进行全面测试，以论证开挖深度和确定处理方案。

（3）地下厂房区洞室群纵横交叉，上覆岩体厚度变化大。通过地应力测试了解地下厂房区的岩体应力状态，以论证厂房位置和边墙稳定性。

（4）地下厂房下游边墙局部岩体被f_{15}、f_1断层斜穿，并有T_{49}、T_{54}、T_{56}和T_{88}节理切割，形成不稳定体，需研究预应力锚固和高压灌浆的可能性。

四、试验工作量

试　验　项　目	组　数
物理力学性	369
变形试验	85
抗力系数	4 断面
应力测量	
抗剪(断)	19
预应力锚索(坝与地下厂房)	

五、岩石（体）力学诸参数

岩石名称（裂隙、风化程度）	组数	比重	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	湿	冻融
混合岩，新鲜	54	2.76	2.69	2.92	0.16	156.4	125.7	105.0
			2.68	3.02	0.25			
混合岩，微风化	31	2.75	2.69	2.40	0.24	135.2	95.8	81.3
弱风化	44	2.77	2.70	2.33	0.34	108.3	78.8	65.3
细粒角闪斜长岩	3		3.06	2.67	0.52	159.6	67.4	
云母残留体	1	2.91	2.87	1.37	0.16	38.6	22.5	

块　（点）　数	备　　注
	其中物理358组
	包括声波法(静力41组)
	二条试验洞长15～20m进行水压法试验
35	
104	地下厂房78根，15°坝段26根

注：应力测量和水压法试验系在施工期间进行。

（1）室内岩石物理力学试验成果表

抗剪强度							备　注
E_r (GPa)	类　型	组数	抗剪断		抗　剪		
			$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)	
56.5	岩/岩	1	2.1	8700			中剪试件200mm×200mm
54.4	岩/岩	14			0.64	0	φ50细磨面
	节理面	5	0.65	1500			劈开面
	混凝土/岩	16	1.23	180			
	混凝土/岩	26	0.86	150			小值平均值
46.8							

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（裂隙、风化程度）	变形特性					
	点数	方法	E_o (GPa)	E_r (GPa)	E_d (GPa)	K_o (kg/cm³)
混合岩，块状，新鲜	23	承压板	6.5～58.6 25.4		41.9～55.5 52.4	
混合岩，微风化	18	承压板	3.48～34.5 14.7		30.9～56.6 44.2	1260
混合岩，微风化		水压法				1000
混合岩，破碎，弱风化	7	承压板	1.9～10.3 5.3		24.4～58.1 39.8	120
混合岩，全风化	1	承压板	0.84			
细粒花岗闪长岩脉	9	承压板	1.7～14.4 4.1			380
细粒角闪斜长岩脉	7	承压板	0.92～6.9 3.4			
断层破碎带	12	承压板	0.12～6.9 3.1			

注 1.$tg\varphi_r$、c_r为屈服值；

2.K_o为水压法数值(1977年)，试洞直径3m。

*1975年抗剪断$tg\varphi'=2.0$，$c'=2600kPa$。

（3）软弱夹层物理性质试验成果

夹层名称及编号	组数	含水量 (%)	容重 (g/cm³)	干容重 (g/cm³)	比重
混合岩F_1断层244-F_1	3	1.78	1.75	0.55	2.74

抗剪强度								
类型	试件尺寸 (m)	组数	抗剪断		抗剪			
			$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi_1$	c_1 (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)
岩/岩	0.5×0.5	4	1.4*	3200*				
混凝土/岩	0.5×0.5	5 (小值平均)	1.19	2500	0.85	500	1.0	1200

流限 (%)	塑限 (%)	塑性指数	颗粒组成(%)			土定名
			>0.05	0.05～0.005	<0.005	
30.6	16.3	14.3	52.6	23.0	22.3	碎质重壤土

（4）软弱结构面力学特性试验成果表

	夹层名称及编号	成因类型	起伏差(mm)	充填物厚度(mm)	地质特征
1	244-F，混合岩F，断层	构造断裂，风化	较平整	5～30	破碎带夹泥层，含少量碎屑，大部为10～20mm小岩块，下部岩面较平整，具塑性，产状N335W～N20E，NE，∠21°～26°
2	260～64混合岩(新~微)	构造	10～30	局部充填1～2	缓倾面，较平整；粗糙；局部充填粘土、亚粘土
3	260～65混合岩	构造	10		缓倾面，面较平整，普遍有方解石脉充填
4	1～277f8混合岩	构造		10～30	软弱夹层，为断层破碎带，泥夹碎屑，泥厚1～2mm

（5）预应力锚索试验

部位	根数	长度(m)	直径(mm)	锚固方法
15坝段	26 6×7φ4	16	76	对穿式
地下厂房边墙	78	12～16.5	76	对穿式

抗剪试验（峰值）				备注
方法	组数	tgφ	c (kPa)	
现场平推直剪	1	0.49	17	
室内	3	0.41	40	
现场平推直剪	1	0.86	220	沿节理面剪断，推力平行节理面，与倾向一致
	1	0.86	420	推力方向与倾向相反
现场平推直剪	1	0.65	60	沿节理面剪断
现场铅直荷载法	1	0.30	10	沿节理面剪断

封孔吨数（t）	张拉吨数（t）	预应力损失（%）	测力计类型
50.4	57.5	12.9	测力环
53.0	60	11	测力环

（6）地应力测试成果表

岩石名称	最大主应力 σ_1 (MPa)	最小主应力 σ_3 (MPa)	备注
混合岩	21.1	10.1	在260平洞表面解除
	22.6	10.0	
	29.6	19.7	
	17.6	13.7	
	9.4	7.1	
	39.6	34.9	

（7）抗剪参数的建设采用值

序号	项目	tgφ	c (kPa)	备注
1	新鲜混合岩(抗剪断强度)	1.12	256	
2	混合岩沿天然节理面（抗剪强度）			
	(1)缓倾角裂隙（新鲜及微风化）	0.60	10	沿裂隙面基本无风化现象，无泥质充填
	(2)缓倾角裂隙(弱风化)	0.50	0	沿裂隙面风化有铁锈及少量岩屑泥膜充填
	(3)陡倾角裂隙	右岸0.60	10	裂隙面较新鲜，基本无泥质充填
		左岸0.55	0	裂隙面有轻微风化现象，有铁锈
3	断层泥及断层面			
	(1)f_7，f_{8-1}，F_1，F_{1-1} F_{1-2}，γδ接触带	0.30	0	壁面波状起伏，夹泥连续，含岩屑、碎块成份较少
	(2)f_{8-1}，ω_2接触带，f'_{8-1}	0.30～0.35	0	壁面有起伏，充填物含岩屑碎石较多
	(3)f_{8-1}	0.40～0.45	0	壁面起伏大，无连续夹泥充填
4	混凝土/混合岩 抗剪强度（剪摩）	0.93	193	采用小值平均值(设计采用值)
	(纯摩)	0.70	0	原初设报告中建议值

三门峡水库

一、工程概况

三门峡水库位于黄河中下游，河南省陕县（现改三门峡市）境内，是黄河干流上第一座大型水利工程，原规划“蓄水拦沙，综合利用”。主要建筑物为混凝土重力坝，最大坝高106m，总库容354亿m^3。装机容量116万kW。工程于1955年开工，1964年建成。

由于对黄河多泥沙的特点认识不足，水库在蓄水后仅一年半就淤积泥沙15亿t，造成河床抬高，库容大减。为此，1962年决定改变水库运用方式，将闸门全开泄流。为了保证发挥发电、灌溉等效益，于1964年开始改建，左岸增建两条泄流排沙洞（8m×8m），将已回填混凝土的8个溢流底孔凿通，并将电站坝段5个进水口底板高程降低，改装5台低水头机组、容量为25万kW。改建后的库容为32亿m^3。

二、工程地质条件

坝区的岩石为中生代闪长玢岩，呈岩床状侵入石炭二叠纪岩层，岩床走向NEE，倾向上游，倾角12°～14°，其下伏的石炭纪煤系地层以不整合关系覆盖在中奥陶纪石灰岩之上，岩层全厚15～52m。

受燕山期及喜马拉雅造山运动影响，闪长玢岩有两组构造裂隙：（1）NE30°～60°/SE；（2）NW320°～350°/SW。倾角均为70°～85°。岩层中有破碎带及断层，规模不大，倾角近于垂直。

三、工程中岩石力学问题

1.混凝土坝与基岩接触的抗滑稳定是主要问题。

2.左岸新增泄流排沙洞通破碎带区的稳定及处理。

四、试验工作量

试验项目		室内		现场组数	备注
		组数	块数		
物理性质		335			
抗压强度	干燥	72	168		
	饱水状	231	558		
抗剪强度	抗剪断			3	光面试件
	抗剪	5			
变形特性	承压板			6点	
	泊桑比			53	
	动力法			53	地震法
	抗力系数			2	双筒法

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗剪强度 类型	抗剪强度 组数	抗剪强度 tgφ
闪长玢岩	2.71	2.59	0.62	198/31	107/31			
	2.70	2.60	0.70	176/6	142/10			
砂质页岩	2.74	2.56～2.58	3.03	46/5	29/8	岩/岩	1	0.37
						混凝土/岩	1	0.40
砂岩		2.32～2.63		109/2	77/20			
铝七质页岩	2.86	2.83	0.45	47/9	47/20	岩/岩	1	0.30
						混凝土/岩	1	0.32
灰质氩岩	2.75	2.51	4.4	23.8～38	9.8～19.1	岩/岩	1	0.35

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	性状	变形特性			地震法	抗剪断强度			
		条件	方法	E_s (GPa)	E_d (GPa)	类型	组数	峰值 $tg\varphi'$	峰值 c' (kPa)
闪长玢岩	微风化		承压板	20.1	16.7	混凝土/岩	1	2.25	620
	微风化		承压板	20.7	31.4	混凝土/岩	1	1.24	1270
			承压板	21.1					
		平行		32.6					
		垂直		14.7		混凝土/岩	1	0.38	1630
	弱风化	垂直		7.4					

（3）岩石参数建议值与采用值

岩石	建议值				备注	采用值	
	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	$tg\varphi$		容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)
闪长玢岩，微～弱风化	2.62	117.7	14.7	0.75	混凝土/岩	2.60	117.7
闪长玢岩，风化	2.50	39.2～58.8					
砂岩，弱风化	2.63	49～58.8				2.63	49～58.8
砂质页岩	2.58	24.5				2.58	24.5
炭质页岩	2.51	4.9～14.7				2.51	4.9～14.7
煤层	1.78	4.9				1.78	4.9

小浪底水利枢纽

一、工程概况

小浪底水利枢纽位于河南省洛阳市以北40km的黄河干流上，

南岸属孟津县，北岸属济源县，上距三门峡水利枢纽130km，下距焦枝铁路桥8km。

小浪底水利枢纽开发目的是以防洪、防凌、减淤为主，兼顾供水、灌溉和发电综合利用。总库容为126.5亿m^3。主要水工建筑物有：斜墙堆石坝一座，最大坝高167m，左岸副坝一座和五条泄洪洞（洞径14.5m三条、10.5×13m和10×12m各一条）、三条排砂洞（洞径6.5m）、一条排漂洞（10×12m），六条发电洞（洞径7.8m）以及溢洪道和非常溢洪道各一座，半地下厂房（长220m、宽30m）亦位于左岸，总装机容量为156万kW。

本工程勘测始于50年代初，曾先后就高、中、低坝方案5个坝址进行比较，最终选定高坝开发，第三坝址和当地材料坝方案。

二、工程地质条件

坝址区出露地层主要为上二迭系和下三迭系内陆湖相沉积的砂页岩层，主要岩性有：硅质细砂岩；钙质、泥质胶结的粉细砂岩；泥质、钙质砂砾岩；粉砂质、粘土质页岩以及粉砂质粘土岩。根据岩性将上二迭系（P_2）划分为4个岩组（P_2^1～P_2^4）；下二迭系（T_1）划分为7个岩组（T_1^1～T_1^7）。河床坝基覆盖层一般厚20余m。

坝基河床主要分布有粉砂质粘土岩（P_2^4）、粉砂岩粘土岩和砂岩互层（P_2^3）。右岸坝肩主要是P_2^3砂岩和粘土岩互层，下部是砂岩层（P_2^2），岩层倾向下游，P_2^{3-4}层中有承压含水层。岩层产状走向$N\sim NW/E\sim NE$，倾角7°～15°。左坝肩基岩裸露，岩层倾向山里，主要出露T_1^1～T_1^5硅质、钙质胶结的粉细砂岩和细砂岩层。地下洞群除T_1^1～T_1^5地层外，出口段还分布有T_1^6岩组。

坝址砂页岩的砂岩层中普遍夹有薄层粘土岩，与坚硬的细砂岩或半坚硬的粉砂岩构成硬，软相间的互层结构，受构造作用形成泥化夹层。各岩组中都有泥化夹层分布，在断层附近岩层倾角较陡地段以及厚层砂岩夹薄层页岩的地层中分布较密，在上述的岩组中每隔3～4m有一层夹层，主要是泥和碎屑；夹层厚约0.5～

2cm，一般坚硬密实，有的相变成1～2mm泥膜，连续性好，延伸长。根据泥化夹层的结构构造和粒度成份划分为5类（即A、B、C、D、E型），作为研究夹层力学强度的基础。

坝址位于狂口背斜东部倾伏端附近，背斜轴线在右坝肩通过，大部地层倾向下游偏左岸。主要断层左岸有：北东向的F_{1}和东西向F_{236}、F_{232}；右岸有F_{1}断层。断层带一般宽2～3m，F_{28}、F_{1}宽达20～60m。F_{1}断层位于右岸坝基，产状NW280°～300°/NE∠80°～85°，规模较大，右坝基、坝肩的其他断层多属其分支断层，由断层泥和角砾岩组成。

主要节理有4组：(1)NW270°～280°/SW∠80°；(2)NW340°～350°/SW∠80°；(3)NE10°～20°/SE∠80°；(4)NE60°～70°/SE∠70°～80°，属剪切性节理。

三、工程主要岩石力学问题

1.在查明不同建筑物地段地基中泥化夹层的分布规律的同时，确定不同结构面以及不同类型泥化夹层的抗剪和变形特性指标，以论证坝基抗滑稳定及基岩边坡稳定性。

2.枢纽全部地下建筑均集中在左岸山体中，构成复杂的洞室群，加上F_{231}、F_{238}断层与洞室交角较小，洞室进口段又有F_{28}断层，其穿过的岩层是层状、互层或夹层状结构的岩体，须提出岩体稳定性评价和保证洞室稳定的处理措施。

3.左岸分水岭单薄，岩层倾向下游，岩体内有泥化夹层，下游有临空面，当受到地震力作用下岩体的稳定性问题突出。

4.粘土岩的膨胀、崩解、风化速度以及右岸边坡开挖裸露后的保护问题。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块数	
抗压强度	干抗压		713			
	饱水状		649			

续表

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块数	
抗拉强度	劈裂法		146			
抗剪强度	抗剪	7	27	45	176	其中一组(5块)现场三轴试验
物理性质		504				
变形试验	承压板法				85	室内弹模干23块、湿402块
	动力法		827		528	
	泊桑比		1362			
应力解除测量	光弹性			1		
	钻孔解除法			2		
其它	膨胀性		27			
	锚杆(索)				83	大洞室锚索试验3根
现场监测				2		
耐崩解					15	
长期风化观测					6	
渗透					2	

五、岩石物理力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称	组数	干容重 (g/cm³)	饱和吸水率 (%)	吸水率 (%)	比重	抗拉强度 (MPa)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	E(湿) (GPa)	μ	备注
钙、钙泥质砾岩	27	2.67	0.43	0.34	2.72	41.9		60.9	29.2	0.20	第三坝址试验成果
钙硅质砾岩	36	2.68	0.37	0.29	2.71	5.74	109.2	83.6	48.6	0.27	
泥钙质、钙质、硅钙质细砂岩和粉细砂岩	153	2.63	0.51	0.42	2.68	6.30		131.4	34.8	0.21	
钙硅质、硅质细砂岩和粉细砂岩	81	2.64	0.24	0.20	2.67	11.8	216.9	238.2	60.0	0.18	
钙泥质粉砂岩，新鲜	16	2.65	0.21	0.12	2.67	6.6		155.0	53.0	0.22	
泥钙质、钙质粉砂岩	17	2.63	0.79	0.67	2.71	7.4		88.6	20.0	0.27	
粉砂质粘土岩	12	2.68		3.97				33.5	14.6	0.13～0.22	
钙质、钙泥质、砾岩	28	2.65	1.02	0.81	2.74		63.7	47.1			第二坝址试验成果
泥质粉砂岩	26	2.59	2.13	2.09	2.76		58.8	49.9			
砂质页岩	76	2.58	2.64	2.45	2.78		35.1	22.7			

（2）粘土质泥岩、粘土岩膨胀性及其物理力学性质试验成果表

岩石名称	岩层代号	试件数量（个）	含水量（%）	膨胀压力（MPa）	径向约束膨胀率（%）	自由膨胀率（%）	
						纵向	横向
粘土页岩及泥岩	T₁	6	1.45～2.46	0.65	4.09	5.14	0.67
		4		1.07	10.1	9.4	1.56
粉砂质泥岩	T₁	5	0.91～2.65	0.173	1.43	2.44	0.46
		1		0.105	0.51		
粉砂岩	T₁	5	1.14～1.75	0.269	0.66	1.75	0.32
		1		0.235	0.75	1.80	0.30
粘土岩，新鲜	P₁	3	2.97	0.014	0.710		
		6		0.296	3.49	2.69	0.93
粘土岩	T₁（π25洞）	9	2.2～2.56	0.216	0.96	1.83	0.22

（3）各类岩体变形特征汇总表

岩性	试验方法	试验点数	变形模范围值
粉砂质粘土岩	‖层面	2	2.99～6.39
	⊥层面	4	0.50～2.67
泥质钙质砂岩	‖层面	1	
	⊥层面	5	5.37～18.14

比重	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)					吸水率 (%)	饱水率 (%)
		干	饱和	35天水下	35天露天	35天(1天水下、1天露天)		
2.86	2.65	63.6	11.6					
2.80	2.65	59.0	16.9					
2.73	2.63	102.4	20.8					
2.75	2.63	35.2						
2.77	2.66 2.57(干)	61.5	5.0	13.9	28.7	11.1	3.57	3.8

量 (GPa)	弹性模量 (GPa)	
平均值	范围值	平均值
4.69	12.23～9.51	10.87
1.33	0.53～3.82	1.91
16.28		45.35
8.31	7.93～26.47	12.28

岩性	试验方法	试验点数	变形模 范围值
钙质硅质砂岩	∥层面	12	8.47～33.83
	⊥层面	7	4.46～16.49
断层影响带	⊥层面	1	
断层严重影响带	⊥层面	1	
断层泥	⊥断层面	1	0.022
	∥断层面	2	0.167～0.180
松弛带	∥层面	2	1.01～8.24
	⊥层面	5	1.08～2.17

注　表中均为现场承压板法成果。

（4）现场三轴试验成果表

岩石名称	试件尺寸 (m)
钙硅质砂岩、钙泥质粉砂岩互层	0.6×0.6×1.2

（5）软岩夹层和泥化夹层物理性质指标统计表

项目	天然含水量 (%)	天然容重 (g/cm³)	干容重 (g/cm³)	孔隙比
软岩夹层		2.42 (20)	0.18 (20)	
泥化夹层	14.16 (22)	2.23 (22)	1.97 (46)	0.437 (34)

注　（　）中数字表示试验组数。

续表

域 (GPa)	弹性模量 (GPa)	
平均值	范围值	平均值
18.62	12.84～60.51	30.38
7.78	6.35～45.35	17.80
1.25		2.00
0.77		1.47
	0.154	
0.173	0.347～0.453	0.400
4.65	1.67～10.67	6.17
1.76	1.40～3.30	2.28

最大侧压力 (MPa)	抗剪强度	
	φ	c(kPa)
0.98	47°04′ (tgφ＝1.07)	147

饱和度 (%)	液性指数	土粒比重	塑性指数 (%)
		2.84 (24)	
91.8 (22)	0.28 (21)	2.83 (53)	11.9 (22)

（6）泥化夹层物理特征试验成果表

夹层编号	所在平硐	岩组代号	泥化夹层型式	夹层厚度 (mm)
π20一支洞	20#	T_1^{1-1}	不连续泥膜型（含页岩片、岩粉）	<1.0
π20二支洞	20#	T_1^{1-1}	泥夹碎屑型	10～45
π20三支洞	20#	T_1^{1-1}	泥夹碎屑型	2～15
π11二支洞	11#	T_1^{1-1}	不连续粉砂夹泥、泥膜型	0.3～25
π29一支洞①	29#	T_1^{1-2}	全泥型	13～26
π29一支洞②	29#	T_1^{1-2}	泥夹碎屑型	13～26
π29二支洞	29#	T_1^{1-2}	泥夹碎屑型	5～40
π36	36#	P_2^{1-2}	全泥型	5～40
π36加深洞	36#	P_2^{1-2}	全泥型	0.2～30

（7）泥化夹层室内抗剪试验成果

夹泥层类型	组数	摩擦系数 范围值
全泥型（A）	7	0.344～0.176
泥夹碎屑与泥夹粉砂型（B）	3	0.325～0.231
碎屑夹泥型（C）	2	0.364～0.344
粉砂夹泥型（D）	5	0.488～0.195
泥膜型、碎屑型（E）	3	0.488～0.222

注　室内中型剪20组，采用饱和固结快剪法，饱和时间5～10h，试样0.1m×0.1

颗粒组成（%）			土的定名	主要矿物成份
>0.05	0.05～0.005	<0.005		
40.6	39.2	20.2	含少量角砾的中壤土和重粉质壤土	
23.4	37.8	38.8	粉质粘土	伊利石、蒙脱石、绿泥石
65.25	22.25	12.5	砾质轻壤土	伊利石、蒙脱石、绿泥石
				伊利石、蒙脱石、绿泥石
33.0	34.3	32.7	含少量砾粘土	伊利石为主，蒙脱石次之
32.9	31.2	35.5	含少量砾粘土	伊利石为主，蒙脱石次之
				伊利石为主，蒙脱石次之
27.3	37.2	35.5	粘　　土	
50.5	25.5	24.0		伊利石为主，绿泥石、高岭石、蒙脱石

（峰值）	凝　聚　力　（峰值）	
平　均　值 (kPa)	范　围　值 (kPa)	平　均　值 (kPa)
0.249	22～4	13
0.268	20～0	7
0.352	15～14	14.5
0.351	14～5	11
0.364	19～2	12

[3].

（8）泥化夹层现场直剪试验成果表

夹层编号	岩组代号	试验条件				组数/块数
		试件尺寸 m^2	方式	饱和方法	饱和水含量（%）	
π20—支洞	T_2^1	0.5×0.5	平推	四周浸水 14天	6.8～12.3	2/8
π20二支洞	T_2^1	0.7×0.7	平推	中心注水 饱和	7.4～15.9	1/3 2/9
π20三支洞	T_2^1	0.7×0.7	平推	中心注水 30～45天		2/10
π11二支洞	T_2^1	0.5×0.5	平推	四周浸水 15天		1/5
π29—支洞	T_2^{1-3}	0.7×0.7	平推	中心注水 30～45天	10.7～16.5	1/4 2/9
π29二支洞	T_2^{1-3}	0.7×0.7	平推	中心注水及四周浸水 30～45天		2/9 1/3
π36	P_2^{1-3}	0.7×0.7	平推	中心注水及四周浸水 30天	10.0～20.3	2/10
π36加深洞	P_2^{1-3}	0.7×0.7	平推	中心注水四周灌水 40天	16.4～21.9	2/10
π06		0.5×0.5	平推			1/ 1/
一坝址右岸基岩露头	T_2^1	0.5×0.5	平推	四周浸水		1/

峰值		残余值		有无限制膨胀	备注
tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)		
0.37	5			无	
0.19	0			无	剪力方向的倾角5～10°，沿泥顶部剪断，有泥挤出，剪断面光滑，有擦痕
0.225*	3.3*	0.2	0	有	
0.28	20			有	
(0.28) 0.38	(3) 32			无	
0.19	13			有	π29—支洞①
0.23	13	0.21	0		π29--支泥②
0.23	5	0.22	0	有	
0.19	0			无	
0.20	1.0	0.16	0	有	沿夹泥顶部、底部剪断，擦痕明显
0.21	17			有	沿底、顶部剪断
0.18	3			无	全泥型，第二组夹层厚20～60mm，伊利石为主
0.24	44			无	全泥型，第三组夹层厚5～20mm，伊利石为主
0.31	0			无	泥膜型，夹层厚小于1.0mm

（9）地应力测试成果表

岩石名称	最大应力			中间
	σ_1 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_2 (MPa)
钙泥质粉砂岩T₁	3.57	205.3	51.42	2.84
钙泥质粉砂岩T₁	3.47	46.97	88.69	2.80
钙泥质粉砂岩	5.65	37.6	82.9	4.29
上部钙质细砂岩，下部钙泥质细砂岩	2.44	341.0	62.71	2.21
上部钙质细砂岩，下部钙泥质细砂岩	4.02	47.0	6.82	2.98

（10）岩体锚杆（索）试验

岩体（位置）	锚杆(索)类型	根数/间距 (m)	长度 (m)	孔径 (mm)	内外锚头型式
硅质细砂岩，泥质粉砂岩与钙质细砂岩夹薄层页岩(大洞室)	预应锚索	83/3～5	15～17	φ110	机械胀壳式 胶结式-内锚头 锚塞-外锚头

地应力		最小地应力			备注
方位角	倾角	σ_3 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	
14.6	38.09	0.95	108.7	5.26	压磁法虚拟交会
193.7	1.1	1.06	283.9	0.72	孔径法三孔交会
202.7	7.4	1.78	292.9	1.95	在室内用声发射法实测
179.2	26.11	0.75	85.6	7.38	孔径法虚拟交会
256.9	70.56	1.01	54.8	18.09	孔径法三孔交会

封孔吨位 (t)	张拉力 (拉破) (t)	预应力损失 (%)	测力计类型	备注
30～60	84	30	电测压力传感器	6×7Φ4高强钢丝以500#水泥按水灰比0.45、水砂比1:1作二次灌浆

（11）岩石层面抗剪强度建议采用值

岩性		抗剪断		抗剪	
		$f=tg\varphi$	c(kPa)	$f=tg\varphi$	c(kPa)
细砂岩层面		0.706	176		
粉砂岩层面	T_1^1 T_1^2	0.606	122	0.55	550
	T_1^3	0.616	274	0.50	114
粘土质页岩层面		0.68	360	0.45～0.5	100
粉砂质页岩层面				0.45～0.5	40
弱风化粉砂质页岩				0.31	0
砂岩节理面		0.65	49		

（12）泥化夹层抗剪强度采用值（初设阶段）

位置	抗剪强度	
	f	c(kPa)
左岸坝肩及分水岭地段	0.25～0.27	5.0
河床部位	0.23	5.0
其中粘土岩	0.28	5.0
右岸坝肩	0.23	5.0

注　根据现场大型试验、室内试验，结合泥化夹层连续性和泥化程度确定。

（13）岩石变形参数采用值（初设阶段）

岩性	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	变形模量 (GPa)		弹性模量 (GPa)	
			⊥	∥	⊥	∥
砂岩	2.62	>58.8	8.0	12.0	12.0	20.0
粘土岩	2.58	19.6	2.0	3.0	3.50	5.0
风化卸荷带	2.60		2.0	2.0	2.4	2.4
断层带	2.20		0.2	0.3	0.25	0.34
断层影响带	2.40		1.0	1.0	1.5	1.5

陆 浑 水 库

一、工程概况

陆浑水库位于黄河支流伊河上，河南省嵩县境内，距洛阳市70kM，是一座以防洪为主，兼有灌溉、供水和发电综合利用的大型水利工程。

主要建筑物有：粘土斜墙砂卵石坝，最大坝高52m，总库容11.6亿m^3。泄洪洞长491m，8m×10m无压城门洞型，布置于右岸。溢洪道长490m亦在右岸。输水洞位于右坝肩80m附近，为一直径3.5m的圆形高压隧洞，全长303m，电站装机2500kW；灌溉发电洞位于泄洪洞与输水洞之间，长300.5m，洞径5.7m，灌溉134万亩，另装机6500kW。本工程总装机容量9000kW。

主体工程于1958年开工，1965年竣工。

二、工程地质条件

坝区地层为下震旦系海相的灰页岩、火山喷发岩和白垩纪侵入的正长岩脉、煌斑岩脉、石英岩脉。灰页岩主要为变质页岩、灰岩、砂质页岩、粘土质页岩。在坝址区以薄层或俘掳体分布于火山岩中，共有4层，产状NE10°～52°/SW，∠20°～43°。

火山喷发岩共有6层：第1、2层为安山玢岩，分布于坝基下；第3层为辉绿玢岩与玄武玢岩；第4～6层为玄武玢岩。均分布于右岸，每层顶部都有灰页岩。

正长岩脉分布于第3层玄武玢岩中；煌斑岩脉主要分布于第4层玄武玢岩中；石英岩脉则穿插于断层破碎带中。

玄武玢岩根据风化破碎程度分为5个带，其特征分述如下：

微弱破碎带（Ⅴ）：岩石坚硬，裂隙发育，块度0.5～1.0m，裂隙充填物为方解石，裂隙面有风化现象，岩芯采取率100%。

中等破碎带（Ⅳ）：岩石坚硬，裂隙较发育，裂隙有方解

石充填，部分已风化，块度0.3～0.05m，采取率50～70%。

中等强烈破碎带（III）：隐蔽裂隙发育，裂隙中多为氧化铁、岩屑充填，矿物大部分变异，块度0.15～0.3m，采取率40～50%。

强烈破碎带（II）：岩石矿物成份全部变异，斑晶模糊不清，岩性松软，块度0.05～0.15m采取率10～30%。

极强烈破碎带（I）：岩石风化为粉末及碎粒，矿物全部变异。

对工程影响较大的有4条断层：F_{2-3}在左坝肩，为区域性断层，NE75°～85°/NW，∠70°；F_5位于坝下的顺河大断层，NE60°/NW，∠70°宽40m；F_{11}位于泄洪洞塔基下，NE70°/NW，∠70°～80°宽12m；F_{46}位于溢洪道闸基NE40°～60°/SE，∠40°～60°宽5～18m。

F_{46}断层按组成物质的含泥量和粒径划分为5个小区，各区特征如下：

分　　区	I_a	I_b	I_c	I	II
各区所占面积(%)	7	42	45	2	4
组成物质与位置	断层泥与糜棱岩，位于断层两壁	角砾、碎屑、断层泥、粉粒，位于断层壁附近	角砾、碎屑，岩粉，位于断层中间		
粘土粉粒含量(%)	20	10	5		
一般粒径(mm)	10以下	30以下	30～50		
最大粒径(mm)		100	100以上		

三、工程岩石力学问题

1.泄洪洞进口塔基不均匀沉陷问题；

2.溢洪道进口闸基玄武岩、页岩等破碎，有沉陷和抗滑稳定问题；

3.溢洪道高边坡及泄洪洞进出口高边坡稳定问题。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验	
		组数	块数	组数	块数
抗压强度	干抗压		220		
	饱水状		349		
抗剪强度	抗剪	56		8	
	裂隙面	3			
变形模量(承压板法)					17
物理性质		133			
其它	山岩压力				8
	锚杆(索)				30

五、岩石力学诸参数

(1)室内岩块物理特性试验成果表

岩性	风化程度	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗拉强度 (MPa)
玄武玢岩	Ⅴ	2.75/8	0.31/8	0.38/8	8.2
	Ⅳ	2.70/19	0.62/19	0.77/19	5.0
	Ⅲ	2.75/2	0.55/	0.78/2	5.9
	Ⅱ	2.62/2	1.92/2	2.0/2	2.9
	Ⅰ	2.59/22	1.81/22	1.96/22	2.6
	Ⅰ	2.40	3.91	4.21	1.1
玄武玢岩		2.76/32	0.47/32	0.59/32	4.6/32
页岩		2.68/6	0.42/6	0.49/6	6.1/6
	强风化	2.40	4.15	12.09	0.40
粘土质页岩		2.66	0.80	0.96	3.80
灰页岩	弱风化	2.60/2	2.34/2	2.39/2	
变质页岩		2.72/3	0.71/3	0.74/3	7.0
正长安山岩		2.56	3.12	3.30	
安山玄武岩		2.78	0.13	0.18	2.0
角砾状碎屑岩		2.54	4.58	5.21	1.7
煌斑岩脉		2.39/14	5.15/14	5.70/14	0.8

续表

岩性	风化程度	抗压强度(MPa)		变形特性	
		干	湿	E (GPa)	μ
玄武玢岩	Ⅴ	161.1	152.9	24.52	0.22
	Ⅳ	101.3	100.8	24.52	0.15
	Ⅲ	204.2	150.3		
	Ⅱ	43.1	47.1	39.2	
	Ⅰ	62.2	37.5		
	Ⅰ	13.1	5.9	4.9	0.01
玄武玢岩		100.4	98.2	27.55	
页岩		114.8/2	100.4/6		
	强风化		5.2		
粘土质页岩		113.8	106.4		
灰页岩	弱风化	29.0	24.0		
变质页岩		87.8		19.50	
正长安山岩		16.6	14.8		
安山玄武岩		101.1			
角砾状碎屑岩		8.5			
煌斑岩脉		17.0	11.0	6.10	

注　各项分母数值表示试验组数。

（2）室内岩块抗剪强度试验成果

岩性	抗剪强度				备注
	试验类型	组数	tgφ	c (kPa)	
安山玢岩	岩石/岩石	8	0.64	40	光面试件
安山岩(风化)	岩石/岩石	1	0.65	80	
玄武玢岩	岩石/岩石	11	0.63	40	
玄武玢岩	岩石/岩石	3	0.60	7	
玄武玢岩	岩石/岩石	2	0.64	54	
辉绿玢岩	岩石/岩石	3	0.62	55	
页岩	岩石/岩石	2	0.57	49	
	页岩/玄武玢岩	1	0.47	5	
	变质页岩/页岩	2	0.57	48	
煌斑岩	岩石/岩石	6	0.70	55	

续表

岩性	抗剪强度				备注
	试验类型	组数	tgφ	c (kPa)	
煌斑岩	岩石/岩石	4	0.66	76	与层理成45°，风干样
	岩石/岩石	4	0.59	82	与层理成45°，饱和状态
	岩石/岩石	4	0.65	51	平行层理，风干样
	岩石/岩石	4	0.63	73	平行层理，饱和状态
玄武岩	Ⅰ、Ⅱ区玄武岩	3	1.14	100	中型剪，单点法，裂隙面抗剪值

（3）岩体力学特性现场试验成果表

岩石名称	岩体类型	变形特性		抗剪试验（峰值）					备注
		试验方法	变形模量 E_0 (GPa)	类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断 tgφ	抗剪断 c (kPa)	
F_{1-1} 断层带 I_a	散体	承压板	0.0078						
I_b			0.022	岩石/岩石	40×45×80	1	1.21	2	崩落法
					50×50	1	0.70	7	压碎法
F_{1-2} 断层带 I_c			0.063		40×45	1	0.36	4	崩落法
					50×50	1	0.70	8	压碎法
F_{2-1} 断层带 I_b、I_c					50×50	2	1.0	50	折凸法：tgφ=1.20，c=13kPa
									折凸法：tgφ=1.37，c=15kPa
页岩		承压板	0.235						
页岩			0.327						
玄武岩（Ⅱ）			0.103						
玄武岩（Ⅱ、Ⅲ）			0.461	混凝土/岩石			0.66	100	石英斑岩本身
							1.57	1080	tgφ′=1.42
玄武岩（Ⅳ）			7.70						c=1180kPa

（4）岩体锚杆试验成果

岩体	锚杆(索)类型(实心、空心、预应力)	锚杆根数/间距 (m)	埋入深度 (m)	直径 (m)	内外锚头型式	张拉力(拉破)(t)	破坏形式	备注
玄武岩(Ⅰ)	实心，光面钢筋	3根	0.88～1.0	0.025	胶结式	5.70	砂浆体拔出	砂浆体龄期14d，强度15.1～20.9MPa
玄武岩(Ⅱ)	实心，光面钢筋	2根	0.97	0.025		11.6	岩体破坏	砂浆体龄期14d，强度20.9～25.8MPa
玄武岩(Ⅲ)	实心，光面钢筋	2	0.96～1.0	0.025		12.9	岩体破坏	砂浆体龄期14d，强度18.3～25.8MPa
辉绿岩(Ⅲ)	实心，粗头	1	0.91	0.025	胶结式	16.7	岩体破坏	
辉绿岩(Ⅲ)	实心，光面	1	1.64～1.84	0.016		7.4		
断层带(Ⅰ)	实心，光面	3	1.7～1.9	0.025	胶结式	13.4	岩体破坏	砂浆体龄期14d，强度19.5～21.3MPa

注　本工程共进行30根锚杆试验，上表只列部分成果。

（5）溢洪道和进水塔岩石参数建议采用值

岩石名称	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	μ	tgφ	c (kPa)
玄武岩 Ⅰ－Ⅱ			0.30			
Ⅱ－Ⅲ			1.0			
Ⅲ－Ⅱ			1.0			
Ⅲ－Ⅳ			2.0			
页岩			0.98			
F_{4-}断层			0.06			
(I_0)			0.65		0.50	0
页岩与玄武岩接触面软弱层和断层壁					0.26	0
玄武砂岩 Ⅰ			0.30			
Ⅱ	2.57		0.50			
Ⅲ	2.67～2.70	64.1	2.0～7.0			
Ⅳ	2.74		5～10.0	0.20	0.75	0
Ⅴ			10.0	0.20	0.75	0

注　除容重、抗压强度为建议值外，E、μ、tgφ均为采用值。

故县水库

一、工程概况

故县水库位于河南省洛宁县境内，黄河支流洛河中游峡谷区。坝型为混凝土宽缝重力坝，最大坝高121m，总库容11.75亿m³，装机容量6万kW是一座以防洪为主结合灌溉、发电等综合利用的水利工程，灌溉102万亩。

工程于1954年开始勘测，1978年开工，目前正在施工。

二、工程地质条件

坝基岩层系下震旦系石英斑岩，总厚度340m，覆盖于辉绿岩之上；石英斑岩节理裂隙发育，强烈风化层厚3～5m。石英斑

岩之间夹有凝灰岩，在两岸呈带状分布。岩层产状为280°～290°/SW∠25°～30°，倾向上游。

坝基下石英斑岩与辉绿岩之间为强烈风化带。并有两条较大的断层 F_1 和 F_8 分别横切河谷和顺左坝肩通过，这些构造形迹是本坝基岩体中的主要薄弱环节。

节理主要有：（1）5°～20°/SE或NW，∠70°～90°；（2）40°～70°/NW，∠70°～85°；（3）280°～290°/SW或NE，∠15～35°；（4）320°～340°/NE，∠70～80°。断层 F_1 的产状为 NE 40°～45°/NW，∠70°，破碎带宽 3～5m，充填糜棱岩，少量断层泥。

三、工程主要岩石力学问题

1.坝基下存在的强风化带及缓倾角夹层、断层所引起的滑动稳定问题；

2.大坝两岸裂隙岩体的边坡稳定问题，特别是右坝肩陡壁岩体的稳定性问题突出。

四、试验工作量

试验项目		室内	现场		备注
		组数	组数	块数	
抗压强度	干燥	406			另有冻融试验47组
	饱水状	212			
抗剪强度	抗剪断	19	17	28	其中混凝土/岩10组
	抗剪	12			
	裂隙面		2	11	
抗拉强度	劈裂法	13			现场为承压板法
变形特性	静力法	18		23	
	动力法			155	
物理性质		480			

五、岩石物理力学参数

（1）室内岩块物理力学特性试验表

岩石名称（风化程度）	容重 (g/cm³)	饱和吸水率 (%)	吸水率 (%)	比重	抗拉强度 (MPa)	抗压强度 (MPa) 干
红褐色石英斑岩(微)	2.59/7	0.77/7	0.64/7	2.71/7	11.8/4	136.1
灰褐色石英斑岩(弱)	2.53/4	0.49/4	0.39/4	2.65/4	9.38/4	117.0
灰绿色石英斑岩(微)	2.62/4	0.39	0.31	2.73	13.90	147.6
安山岩	2.69/23		0.96/19	2.80/20		116.8/25
辉绿岩(微～新)	2.68/86		1.22/72	2.80/88		123.9/99
凝灰岩	2.78/13		0.50/12	2.85/11		169.1/9
玄武岩	2.69/32		1.10/25	2.78/35		116.9/37
斑状、顽球状玄武岩	2.67/50		1.57/22	2.74/40		120.5/53
石英斑岩	2.61/250	1.72/50	1.685/178	2.74/256		117.5/217
石英斑岩(风化)	2.59/10	2.07/10	2.04/10	2.73/10		105.9/5
断层角砾岩	2.61/1		2.48/1	2.81/1		117.7/3

岩石名称（风化程度）	抗压强度(MPa) 湿	抗压强度(MPa) 冻融	变形特性 E(GPa) 干	变形特性 E(GPa) 湿	变形特性 μ	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)
红褐色石英斑岩(微)	113.9		51.3	60.5	0.23	0.66/3	5～15
灰褐色石英斑岩(弱)	88.3		47.1	69.9	0.26	0.67	0
灰绿色石英斑岩(微)	133.1		50.4	61.6	0.23	0.69/5	26
安山岩	115.5/6	111.7/2					
辉绿岩(微～新)	88.6/12	167.5/9					
凝灰岩	137/4			33.2	0.37(湿)	0.58	65
玄武岩		207.4/2					
斑状、顽球状玄武岩		158.5/9					
石英斑岩	91.4/167	61.3/62				0.68/2	40
石英斑岩(风化)	58.6/8	46.4/8					
断层角砾岩							

注　1.各项的分母为组数；
2.抗剪为中型剪试验成果。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	变形特性			抗剪试验（峰值）							备注
	试验方法	变形模量E_0 (GPa)	弹性模量E_r (GPa)	试验类型	试件尺寸 (m)	组数	抗剪断 $tg\varphi'$	抗剪断 c' (kPa)	抗剪 $tg\varphi$	抗剪 c (kPa)	
石英斑岩(Ⅲ区)	承压板	15.16	27.76	岩/岩	0.50 ×0.5	1	1.50	2840			
（Ⅱ区）	承压板	6.05	9.56	岩/岩	0.5×0.5	2	1.42	1180			
						1	1.87	450			
（Ⅰ区）	承压板	2.59	3.89	岩/岩	0.5×0.5	1	1.03	670			
石英斑岩（Ⅱ区）				岩/岩	0.5×0.5	2	1.65	1325			沿裂隙面剪，剪面凹凸不平
（Ⅱ-Ⅲ区）				岩/岩	0.5×0.5	2	0.63	170			沿裂隙面剪，并有夹泥
Ⅰ和Ⅱ区，弱风化				170*混凝土/石英斑岩	0.5×0.5	3	1.57	1370	1.06	590	
Ⅱ区，微风化				148*混凝土/岩石	0.5×0.5	3	1.09	1080			
Ⅰ区，中等风化				200*混凝土/岩石	0.5×0.5	4	1.385	1520	0.99	575	
凝灰岩(Ⅳ区)	承压板	18.8	49.3								
F_1断层	承压板	0.20	0.28								
F_2断层	承压板	0.84	1.08								

（3）故县水库参数建议值

岩石			E (GPa)		摩擦系数		凝聚力 (kPa)	
			弹模	变模				
断层泥质糜棱岩			0.3	0.02～0.1				
石英斑岩	强裂隙割切区	(Ⅰ)	3.9	2.2				
	中等裂隙割切区	(Ⅱ)	7.8	4.9				
	弱裂隙割切区	(Ⅲ)	14.7	9.8				
	完整岩石区	(Ⅳ)	19.6	12.74				
凝灰岩	弱裂隙切割区	(Ⅲ)	19.6	12.74				
	完整岩石区	(Ⅳ)	24.5	19.6				
辉绿岩	完整岩石区	(Ⅳ)	32.3	29.4	f'	f	c'	c
石英斑岩向下游缓倾角	沿裂隙面				0.60	0.60	0	0
	沿组合面				1.10	1.00	160	196
混凝土/石英斑岩						0.70		0

注 $f'=\mathrm{tg}\varphi'$，c'为抗剪断参数。

（4）故县水库参数采用值

岩石			部位	E (GPa)	μ	抗剪强度		备注
						$\mathrm{tg}\varphi$	c (kPa)	
石英斑岩	块状结构	(Ⅳ)	河床385高程以下岩体	35.3	0.167			平面有限之分析所用的数据
		(Ⅲ)	河床385～405高程岩体	19.6	0.20			
	镶嵌结构	(Ⅲ)	河床405～423高程岩体	9.8	0.25			
		(Ⅱ)	河床423高程以上岩体	4.9	0.28			
辉绿岩块状结构(Ⅳ)			断面中右部份	49.0	0.167			
石英斑岩			$r=2.6$ g/cm³	14.0	0.2			三维有限元分析所用的数据
F_1断层糜棱岩			$r=2.2$ g/cm³	0.5	0.35			
夹泥层			$r=2.2$ g/cm³	0.14	0.40	0.25	0	

续表

岩石	部位		E (GPa)	μ	抗剪强度		备注
					tgφ	c (kPa)	
$F_{1,1}$断层			0.74	0.35	0.50	300	同上
其它断层			0.2	0.35	0.50	0～200	
混凝土/石英斑岩					0.60	0	
$F_{1,1}$和风化混成岩					0.50	0	

河口村水库

一、工程概况

河口村水库位于黄河支流沁河中游，河南省济源县境内，南距焦枝铁路22km，是黄河下游防洪、防凌、灌溉、发电综合利用的水利枢纽工程，目前尚未开工兴建。

工程由大坝、溢洪道、泄洪洞、灌溉发电洞和电站组成。坝型为粘土心墙堆石坝，最大坝高117m；溢洪道和泄洪洞均布置于左岸，两条泄洪洞尺寸为8.5m×12.5m，最大流速35m/s。库容3.3亿m^3，电站装机容量1.2万kW。

1956～1968年进行规划阶段的勘测工作；1968～1970年进行初步设计阶段工作；1979～1984年补充初设工作，选定了二坝线高土石坝方案。

二、工程地质条件

拟建的二坝线出露地层有前震旦系花岗片麻岩、正长片麻岩、石英云母片麻岩、少量铁质石英碧玉岩，在该地层中还有侵入的花岗伟晶岩、细晶岩岩脉、岩株等；中震旦系石英砾岩、中厚层细粒石英岩状砂岩；下寒武系岩性有白云岩、页岩、粉砂岩、灰岩、泥灰岩互层。河床为花岗岩，右岸为泥灰岩、砾岩。

坝区构造形迹由北向南分三区：峪铁沟至老断沟以北为一单斜构造区；两沟以南至五庙坡断层间为一褶皱断裂发育区；五庙

坡断层以南至盘谷寺断层为断层密集区。在褶皱断裂区与工程有密切关系的断层有：①龟头山逆掩断层（即 F_{11}）出露于二、三坝线的左坝肩，片麻岩被推伏在震旦系碎屑岩之上，产状NW 300°～310°/SW，∠20°～27°，断层带宽0.5～2m，其组成物质分两带：断层泥带、压碎岩带。泥带厚0.01～0.1m含角砾断层泥，分布不连续；压碎岩带厚0.4～1.9m。②五庙坡断层：主要由F_6、F_7、F_8三条近东西向断层组成，出露于左坝肩临近主体工程，宽度6.0～70m，三条断层带联成一体，其组成物质为散体结构的断层泥、含泥角砾及碎块岩。

三、工程主要岩石力学问题

1.左岸龟头山的山体稳定问题。F_{11}断层自龟头山北坡的中下部切入山体与五庙坡断层相交，构成一个向SW方向滑移呈东西延展的三角体，由于高角度裂隙的切割，山体稳定问题十分突出。

2.由于龟头山右塌滑体位于左坝肩及溢洪道进口处，溢洪道和泄洪洞进口段洞脸存在稳定问题。

3.右岸坝肩岩体向SE突出，形成层面倾向NNE，倾角3°～7°的三面临空的单斜岩体，在下寒武系地层中发育着3～5层构造泥化夹层和岩溶夹层，对岩体稳定有一定控制作用，需查明其物理力学性质，右坝肩的稳定情况亦需进一步研究。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块数	
抗压强度	干抗压 饱水状		39 107			
抗剪强度	抗剪			4	21	
抗拉强度	劈裂法		49			
变形试验	承压板法 泊桑比		29	21	21	另有室内弹模38块
物理性质		68				

五、岩石力学诸参数

（Ⅰ）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称	取样地点	容重 (g/cm³)	饱和吸水率 (%)	吸水率 (%)
花岗岩、伟晶花岗岩	坝基	2.60/6	0.35/6	0.31/6
片麻岩、花岗片麻岩 石英云母片麻岩	坝基、左坝肩、溢洪道、泄洪洞、Ⅰ线	2.67/24	0.32/24	0.29/24
云母石英片岩 云母绿泥石片岩	泄洪洞出口、溢洪道	2.73/5	0.36/5	0.29/5
铁质石英碧玉岩	一坝线	2.68/1	0.33/1	0.31/1
石英砾岩	右坝肩	2.65/1	0.26/1	0.24/1
粉砂岩、铁质石英砂岩	溢洪道进口、右坝肩	2.65/1	0.13/1	0.12/1
石英岩状砂岩	右坝肩	2.61/1	0.36/1	0.35/1
板状白云岩、角砾状白云岩	溢洪道右坝肩	2.68/2	1.10/2	1.03/2
厚层白云岩	溢洪道	2.63/4	1.59/4	1.54/4
泥灰岩(下层)	右坝肩	2.44/2	3.04/2	2.72/2
板状白云岩	右坝肩	2.82/1	0.07/1	0.06/1
泥灰岩(上层)	右坝肩	2.26/2	6.6/2	6.16/2
板岩、泥质白云岩	右坝肩	2.38/2	4.64/2	4.35/2
断层角砾岩	溢洪道	2.60/4	1.95/4	1.90/4
压碎板状白云岩	溢洪道	2.55/2	2.69/2	2.60/2

注　表中所列分数表示“试验平均值/组数”。

比　重	抗拉强度 (MPa)	抗压强度(MPa)		变　形　特　征	
		干	湿	E (GPa)	μ
2.65/6		146.3/7	102.7/14	43.97/2	0.28/1
2.72/24	湿7.95/15	140.2/11	80.3/42	39.5/20	0.17/12
2.81/5	5.15/11		36.9/5	29.6/4	0.27
2.79/1			171.9/3		
2.68/1		278.3/3	135.3/3		
2.68/1	湿8.9/1		277.4/3		
2.68/1			439.0/3		
2.82/2	湿3.97/5	113.5/3	86.3/4	湿93.14/1	0.41/1
2.83/5	湿7.08/1		81.3/5	湿78.79/4	0.25/4
2.71/2	湿3.9/3	76.0/3	28.2/4		
2.84/1			426.5/3		
2.75/2	湿4.74/2	17.6/6	10.8/7	湿21.5/1	0.29/1
2.77/8	湿3.57/2	43.75/6	54.8/2	28.76/2	0.25/2
2.86/4	湿3.57/6		66.3/4	69.46/4	0.30/4
2.75/2			77.5/5		

（2）现场岩体变形特性试验成果表

岩石名称	试点数量	试验条件	变形特
			变形模量 E_o
花岗片麻岩(AnZ)	1		11.7
	1		19.9
云母石英片岩(AnZ)	3（均值）		20.4
云母石英片岩(AnZ)近断层裂隙发育	2（均值）		5.45
钙质页岩($\epsilon_1 m'$)	1	垂直层面	4.42
	1	垂直层面	0.97
泥质粉砂岩及粉砂质页岩($\epsilon_1 m'$)	1	垂直层面	2.71
	1	垂直层面	10.0
板状、泥质白云岩($\epsilon_1 m'$)，微风化	1	垂直层面	28.8
	1	垂直层面	3.0
	1	垂直层面	2.2
含泥断层角砾岩及断层泥	3	近似垂直断层面	0.34
断层影响带	2	平行层面	0.51

性(GPa) 弹性模量 E_s	声波法 E_d (GPa)	试点地质描述
13.9	41.1	岩石微风化，局部云母富集，裂隙发育闭合
28.8		岩石新鲜坚硬，SiO_2含量高，石英透镜体较多
31.5	41.1	岩石坚硬，局部夹石英透镜体
8.10	11.8	岩石坚硬，裂隙发育
6.08	12.4	岩石新鲜完整
1.46		有裂隙，局部破碎
3.89	12.4～16.3 / 14.1	试件位于两断层间，岩石破碎，断层充填有岩粉岩屑
14.2		岩石微风化，裂隙不甚发育，试件完整
39.2	14.35	岩石微风化，裂隙不发育
4.8		岩石新鲜完整，试件内外有两条小断层，方解石充填闭合
3.6		岩石较软，层理发育
0.59	3.6	F_1断层南壁
1.08		断层泥夹岩石碎屑、碎块，母岩为云母片岩

（3）软弱夹层（带）物理力学特性试验成果表

夹层编号	取样位置	天然状态				流限
		含水量（%）	干容重（g/cm³）	孔隙比	饱和度（%）	（%）
夹泥4-1	4*洞	21.5	1.72	0.62	97	30
夹泥4-2	4*洞	18.1	1.84	0.55	93	26
夹泥4-8	4*洞	13.9	1.93	0.43	89	32
夹泥3-7（镜面）	3*洞	12.8	2.02	0.34	100	30
夹泥3-7（镜面）	9*洞	19.2	1.79	0.52	100	
夹泥3-7（镜面）	10*洞	22.7	1.69	0.61	100	
夹泥3-7（镜面）	10*洞	20.4	1.73	0.58	96	
夹泥3-7（镜面）	15*洞	16.3	1.88	0.48	95	

注　表中抗剪强度数字均为固结剪力试验结果。

（4）软弱夹层（断层）现场大型抗剪试验成果表

夹层编号	岩石名称	结构特征	试验方法
F_{11}	片麻岩	可塑性，厚度一般0.02m	平推直剪（饱和）
构造三层夹层	白云岩	泥和泥夹岩屑，厚度不等	平推直剪（饱和）限制夹泥
F_{11}	铁质石英碧玉岩	断层角砾岩夹少量断层泥	直剪斜推（饱和）

塑限 (%)	颗粒组成 (%)			土样定名	抗剪强度	
	>0.05	0.05～0.005	<0.005		tgφ	c (kPa)
21	12	74	14	轻粉质壤土	0.75	15
18	16	72	12	轻粉质壤土	0.63	15
21	<0.1mm 19	59	22	重粉质壤土	0.775	25
21	<0.25mm 23	62	15	重粉质壤土	0.140	61
	<0.25mm 19	37	44	粘　土	0.20	69
	9	40	51	粘　土	0.189	60
	18	41	41	粉质粘土	0.21	63
	13	75	12	中粉质壤土	0.394	28

推力方向	试件尺寸 (m)	抗剪试验		备　注
		tgφ (峰)	c (峰) (kPa)	
沿倾向	0.7×0.7	0.23	30	沿剪切面剪破
沿倾向	0.7×0.7	0.32	100	
沿倾向	0.5×0.5	0.446	30	

（5）岩石渗透试验

岩　石	试件尺寸 (mm³)	渗透形式	渗透压力 (MPa)	渗透系数 (cm/s)
石灰岩	φ59.8×149.8	径向辐合	2.94	1.84×10^{-4}
石灰岩	φ59.7×149.8	径向辐散	7.45	2.05×10^{-3}

（6）岩石力学参数建议值

岩　石	E(GPa)	tgφ	c(kPa)
页岩，泥质粉砂岩，泥质白云岩	2～2.9		
花岗片麻岩，云母石英片岩	14.7～19.6		
花岗片麻岩，云母石英片岩，性较差	0.98～2.9		
云母石英片岩，裂隙发育	4.9		
断层角砾岩	0.18		
夹泥层		0.25	5

陈村水电站

一、工程概况

陈村水电站建在安徽省泾县境内的淮河支流青弋江上，是一座以发电和防洪为主的大型水利工程。主要建筑物为混凝土重力拱坝，最大坝高76.3m，库容24.6亿m^3，坝后式厂房，装机容量15万kW。

工程于1958年开工，1962年停工，1965年复工，从1958年以来勘测工作断续进行，1979年基本竣工。

二、工程地质条件

1.岩性：坝址区主要为上志留系石英细砂岩、砂页岩，一般以夹层或互层出现，其产状为450/NW，∠33°～45°，倾下游偏左岸。

2.断层与节理：坝基岩构造裂隙多，主要裂隙有6组：（1）

10°～50°/NW，∠40°～50°；（2）30°～50°/NW，∠30°～50°；（3）30°～70°/SE或NW，∠50°～90°；（4）75°～290°/SW或NW，∠45°～90°；（5）290°～330°/SW或NE，∠50°～90°；（6）330°～350°/NE或SW，∠55°～90°。密度20～30条/m。断层以NW～NWW平移断层最发育，其中规模较大有F_{35}、F_{32}、F_{239}等，近NW向斜交剪切断层有F_{11}、F_{28}等，还有层间断层如f_{112}。

三、工程存在的岩石力学问题

由于开工仓促，主要地质问题未查明，开挖坝基后发现：

1.两岸基础岩体断层裂隙发育，层间错动多，风化较严重，原室内少量岩石试验代表性不足。

2.不透水层较深，存在坝基渗漏。

3.对软弱夹层性质不清，右岸存在抗滑稳定问题及不均匀压缩变形。

四、试验工作量

项目		抗压强度		抗拉强度	抗剪强度		
		干	湿		抗剪断	抗剪	裂隙面
室内试验	组数	72			2	2	
	块数			8	23	30	8
现场试验	组数				7	8	
	块数				38	42	11
备注							

项目		变形特性					
		承压板	狄维法	水压法	钻孔变形计	地震法	电阻片法
室内试验	组数						
	块数						8
现场试验	组数			1			
	块数	61	1	4	13	89	
备注					F_{11}（断层带）		

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称 （岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	湿抗压强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)
石英细砂岩，新鲜	2.71	0.58	175	52～280
石英细砂岩，微风化	2.67	0.54	73.7	34～55
石英细砂岩，弱风化	2.58	1.2	68.4	34
石英细砂岩，弱风化				
砂质页岩，新鲜	2.67	0.71	129.6	54
砂质页岩，微风化	2.71	0.77		
砂质页岩，微-弱风化	2.67	1.21	51.1	
砂质页岩，弱风化		1.61	38.8	
泥质页岩，微风化	2.65	1.52	120.8	24
泥质页岩，弱风化			50.7～51.5	
泥质页岩，强风化			18.4～38.8	

抗剪强度（峰值）						
类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断		抗剪	
			$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)
岩/岩			1.10	300	0.71	500
岩/岩		6	0.62	130	0.64	50
岩/岩		20	0.62	0		
裂隙面		2	0.51	88		
	10×10				0.62	130

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性			
	条件	方法	E_o (GPa)	E_s (GPa)
石英细砂岩，新鲜		承压板	27.2	50.4
石英细砂岩，微风化		承压板		
石英细砂岩，微-弱风化		承压板	5.3～19.0 / 10.6	8.6～20.5 / 12.9
石英细砂岩，弱风化		承压板	3.2～6.6 / 5.21	8.2～10.6 / 8.9
石英细砂岩夹薄层页岩		承压板	10.0	18.5
石英细砂岩，弱风化		承压板	6.6	12.8
石英细砂岩，弱风化		狭缝法	6.85	14.14
石英细砂岩夹页岩		水压法	9.8	13.74
石英细砂岩夹页岩	平行层面	钻孔变形计	44.4	73.6
石英细砂岩夹页岩	垂直层面	钻孔变形计	41.8	
石英细砂岩夹页岩		地震法		23.5
砂质页岩		承压板		13.2

类型	试件尺寸 (cm)	最大法向应力 (MPa)	组数	抗剪强度（峰值） 抗 tgφ	抗剪强度（峰值） 剪 c(kPa)	备注
混凝土/岩	50×50	2.5	1	1.09	30	剪切面起伏差0.5cm左右
混凝土/岩	50×50		3	0.93～1.15 / 1.02	180～620 / 412	起伏差0.5～2cm
混凝土/岩	50×50	2.5	3	1.16～1.32 / 1.24	140～460 / 300	起伏差2～4cm
混凝土/岩	20×20		1	1.02	660	
						承压板直径0.45m
岩/岩	50×50	2.0	2	0.29～0.65 / 0.427	40～110 / 91.7	
岩/岩	50×50	2.0	1	0.55	260	层面抗剪
岩/岩	50×50			0.38	160	层面抗剪
混凝土/岩	50×50		1	1.10	30	层面抗剪
岩/岩				1.22		抗剪断

（3）岩石（体）参数的建议值与采用值

岩石	容重 (g/cm³)	湿抗压强度 (MPa)	变形特性		抗剪强度		备注
			E (GPa)	μ	tgφ	c (kPa)	
石英细砂岩，微风化	2.66	50～200	18.1		0.55～0.65	170	抗剪参数为混凝土/岩
石英细砂岩，弱风化		20～100	3.42～8.67		0.42～0.6	100～170	建议值
裂隙面					0.25～0.30	0	建议值
断层					0.42	170	建议值
石英细砂岩，微风化	2.66	50～200			0.6～0.7	100～170	混凝土/岩 采用值
石英细砂岩，弱风化	2.58	20～100	3～8		0.42～0.6	100～260	岩/岩 采用值
三种岩石混合值			12.0		0.65	0	采用值

梅山水电站

一、工程概况

工程建在淮河支流史河上，安徽省金寨县境内。主要水工建筑物为一座混凝土连拱坝，最大坝高为88.24m，16个拱，每垛墙为双支墩，两岸接重力坝，全长约443.5m。这是我国建国初期建成的高坝之一，为一座防洪，灌溉及发电综合开发的水利枢纽，总库容为22.75亿m^3，灌溉353万亩，装机容量16万kW。1953年开始勘查，1954年开工，1956年竣工。

二、工程地质条件

坝址区岩层大部为燕山期花岗岩，淡红色，坚硬，无大断层，但有二组裂隙及一些小断层（F_1、F_2及F_3）切割岩体。裂隙的走向为NE及近EW，宽1～3mm，延伸约10～20m，充填物为风化碎屑和铁锰氧化物。

两岸谷坡较陡，尤其右岸三面临空，存在一组平缓节理（倾向河床，倾角0°～10°），分布广泛，卸荷裂隙深达地表下10m，严重风化约5～8m。加上施工中清基不彻底，防渗差，造成运行期渗压增大，于1962年11月上旬发生坝基滑动和漏水。

主要断层：F_1的产状90°/S，∠80°～85°，破碎带宽0.1～0.3m，局部糜棱岩化，充填高岭土。F_2产状90°/N，∠80°～85°，为节理密集带，节理间距为0.1～0.2m。F_3产状70°/SE，∠70°～85°，破碎带宽0.8～1.2m，局部糜棱岩化。

右岸坝基为陡裂隙与缓节理所切割，完整性较差，事故后检查，发现F_1下游以NNE裂隙发育（间距为0.1～0.5m），裂隙张开宽1～3mm，充填风化物，延伸长，为水库水量渗入的主要通道。

三、工程中岩石力学主要问题

1.岩石虽坚硬，但坝基遍布缓倾角裂隙，加上两组陡裂隙存

在，形成渗漏通道，坝基渗压增大。

2.连拱坝14垛与15拱台下岩石已风化，裂隙中夹有泥，张开宽1～5mm，为事故主要滑动面。

3.开工前未做岩石力学方面试验，抗滑稳定分析缺乏真实的抗剪强度参数。

四、试验工作量（缺）

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	比重	吸水率（%）	抗压强度（MPa）		抗剪强度（峰值）			备注
			干	湿	类型	抗剪（断） tgφ′	抗剪（断） c′（kPa）	
细粒花岗岩，新鲜	2.99	0.006	104.5	100～120	岩/岩	0.63～0.68	0～100	试件直径110～130mm
细粒花岗岩，微风化	2.71	0.031		52.5	岩/岩	0.70	40	

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	抗剪强度				
	类型	试件尺寸（cm）	组数	峰值 tgφ	峰值 c(kPa)
细粒花岗岩，新鲜	岩/岩		1	0.61	
细粒花岗岩，新鲜	裂隙面	35×40	2	0.56～0.62	0
细粒花岗岩，微风化	裂隙面	50×50	2	0.44～0.61	0
细粒花岗岩，微风化	裂开面		1	0.51	0

（3）坝基岩体锚索试验成果表

锚杆(索)类型	根数	长度(m)	锚索直径(mm)	锚头型式	封孔吨位(t)	张拉力(t)	预应力损失(%)	备注
大芯管隔离架分层(按同心圆排列)	110	47	125φ5 165φ5	混凝土外锚头	240 324		6.4～8.6 最大20	φ5高强钢丝σ_p>160 kg/mm², E=1.7～2.0GPa预应力孔共102个，锚固孔径 φ110 和 φ130

（4）岩石抗剪强度参数建议值与采用值

岩石	建议值		采用值		备注
	tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	
细粒花岗岩，微风化	0.56～0.60	0			均为裂隙面
细粒花岗岩，弱风化	0.5～0.64	0			
缓裂隙面			0.65		
事故破裂面			0.60		

新安江水电站

一、工程概况

新安江水电站位于浙江省建德县境内新安江铜官峡。大坝为混凝土宽缝重力坝，厂房顶溢流。最大坝高105m，坝顶长466.5m，总库容178亿m³，装机容量66.25万kW，工程以发电为主，兼顾防洪、航运和水产养殖。

工程于1955年开始勘测设计，1957年5月开始施工，1960年4月第一台机组发电，1961年建成。

二、工程地质条件

坝址区出露地层为泥盆系千里岗砂岩和下石炭系乌桐石英砂岩。千里岗砂岩分布于坝址左岸、河床及右岸下游，占坝基面积

约 3/4。砂岩呈灰绿色、厚层，按粒径大小可分为含砾砂岩、中粒砂岩、细粒砂岩和砂质页岩；石英砂岩分布于右坝肩及右河床上游，以含砾石英砂岩为主，层间夹薄层云母页岩厚度一般数厘米，最大可达2.5m以上。页岩松软，浸水易软化崩解。

坝址处于倒转褶皱的反常翼部位，岩层产状 45°～70°/SE，∠45°～85°。主要小断层和裂隙按其性质归纳为 5 类：（1）层面裂隙；（2）剪切裂隙；（3）横张裂隙，走向北西，倾角陡；（4）岸坡剪裂隙，走向顺河，倾向河床，倾角10°～30°；（5）缓倾裂隙，倾角一般在10°以内。

岸坡上部风化深度约10～20m，岸坡下部为 5～15m，个别地带较深。

坝址河流流向自北向南，河谷呈 V 形，左岸坡角 40°，右岸坡角30°，两岸小冲沟发育，地下水埋深与风化深度大致相同，岩层渗透性差。

三、工程岩石力学问题

1.坝基岩石致密坚硬，无大断层通过。河床及两岸在地表以下一定深度范围内虽分布有近水平的缓倾裂隙和夹泥层，但未贯穿上下游，夹泥层也未连续成层。经开挖处理后，地质条件较好。混凝土与岩石接触面为抗滑控制面。

2.右岸乌桐石英砂岩与所夹厚层页岩因岩性软硬不同，有产生局部地段不均匀沉陷的可能性。运行中应加强监测。

3.由于两岸岩性不一，构造断裂发育，自然边坡也较陡，特别是顺坡裂隙和近水平缓倾裂隙相互切割，其组合对坝肩、岸坡稳定不利。

四、试验工作量

试验项目		室内试验组数	现场试验组数	备注
抗压强度	干抗压 饱和状	130 130		其中石英砂岩30组 另有室内外弹模试验
抗剪强度	抗剪断 抗　剪	110 497	19 19	
物理性质		不　详		

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称（风化程度）	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	弹性模量 E (GPa)	抗剪强度 类型	抗剪强度 组数	抗剪强度 tgφ′	抗剪强度 c′(kPa)	备注
千里岗砂岩(新鲜)	2.73	2.65	0.42	116	109		光面摩擦	110	0.628	2.0	
千里岗砂岩(弱风化)	2.69	2.62	0.83	82	76						
乌桐石英砂岩(新鲜)	2.65	2.59	0.41	130	117	14.5					
乌桐石英砂岩(弱风化)	2.64	2.58	0.46	129	109						石英砂岩抗压试验共30组
流纹斑岩					286.6～294	18～22					

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（风化程度）	岩体类型	弹性模量 E_r (GPa)	抗剪试验 试验类型	试件尺寸 (m)	组数	抗剪断 tgφ′（峰）	抗剪断 c′(kPa)（峰）	抗剪断 tgφ′（屈）	抗剪断 c′(kPa)（屈）	抗剪 tgφ（峰）	抗剪 c(kPa)（峰）
千里岗砂岩(新)	块状		岩石/岩石		6	1.81～1.16	2280				
千里岗砂岩(新～微)	块状		混凝土/岩石	0.5×0.5	8	1.14	60				
砂岩～石英砂岩	块状	14.5	混凝土/岩石	0.5×0.5	5	1.2～1.66	660～280				
流纹斑岩	块状		混凝土/岩石	0.5×0.5	2	1.0	1080	0.97	200		

注　混凝土标号110#，弹性模量采用承压板法。

（3）岩石参数建议值与采用值

岩石名称	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	tgφ	c (kPa)	备注
千里岗砂岩(新)	2.65	110	0.60～0.65	0	不考虑顺坡和水平裂缝的切割情况
石英砂岩(新)	2.59	110	0.50～0.55	0	
砂质页岩(新)			0.32	0	
云母页岩(新)			0.26	0	
砂岩或石英砂岩夹页岩		80			岩石完整
砂岩或石英砂岩夹页岩		30～50			岩体受构造挤压，不完整
砂岩～石英砂岩			0.52	13～20	建议值
砂岩～石英砂岩			0.5～0.58	0	采用值

湖南镇水电站

一、工程概况

湖南镇水电站位于浙江省衢县境内的乌溪江上，距衢县城约30余km。

主体工程包括拦河坝、引水隧洞和厂房；大坝为混凝土梯形坝，由23个坝段组成，最大坝高为129m，坝顶长440m；右岸有压隧洞洞径7.8m，全长1300m，最大水头83m；厂房位于下游5km的荻青村，装机容量17万kW，总库容为20.6亿m³。为一座具有发电为主，兼顾防洪、灌溉和航运等综合利用的枢纽工程。

工程于1957年开始勘测，1958年提出初设要点报告并开工，1962年停建，1970年复工，1979年发电，1980年底竣工。

二、工程地质条件

坝址处于河流峡谷段，两岸地形高耸，山坡约45°，呈V型状。基岩为侏罗系统汶斑岩，晶屑熔结凝灰结构，具假流纹构

造。岩石致密、坚硬。

坝区岩层属浙东南火山岩系燕山期产物，呈NE向展布。

坝区小断层以北西向的高倾角张性或张扭性断层为多，与坝基直接有关的断层如F_7、F_8、F_9和F_{11}等；节理裂隙尤以原生柱状节理最发育，顺坡裂隙和缓倾角裂隙次之，其中缓倾角裂隙倾向北西，倾角10°～20°，裂隙间距小，充填有黄色粘土和高岭土；顺坡裂隙走向近南北，倾向河床，倾角25°～50°，多为泥质和岩片充填。

三、工程主要岩石力学问题

1.两岸坡陡，原生柱状节理发育，加之顺坡裂隙切割，特别是左岸顺坡裂隙较发育，对坝肩岸坡岩体稳定性不利。经施工处理，运行未见异常，并定期进行岸坡变形监测。

2.坝基存在缓倾角裂隙夹有粘土，为论证大坝稳定性，开展了岩石力学特性试验。

3.引水隧洞围岩厚度不大，设计采用喷锚支护，需研究围岩的承载能力和变形特性。

四、试验工作量

试验项目		室内试验组数	现场试验		备注
			组数	块(点)数	
物理性质		21			另有断裂韧性K_{Ic}试验16块
抗压强度		21			
抗剪强度	抗剪断				
	抗剪	4			
	混凝土/岩		1	4	
变形特性	承压板			4	
	水压法		3次		D＝2m和4m
	动力法		63测段		地震法

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称（风化程度）	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	抗剪强度（室内） 类型	组数	抗剪 tgφ	抗剪 c (kPa)
流纹斑岩(新)	2.65	2.61/7	0.175	200～320		岩/岩	4	0.877	340
流纹斑岩(弱)				171.9	79.3				
流纹斑岩(弱)	2.63	2.49/5	5.34	61.0	58.0				
流纹斑岩(弱)	2.64	2.27	4.38	63.0	45.0	K_{Ic}	16块	2.355	$MPa\sqrt{M}$

注　试验室中型剪，试件0.2m×0.2m；在右岸；容重栏中，分母为组数；K_{Ic}试件尺寸为4×4×16.2cm。

（2）现场岩体力学特征试验成果表

岩石名称（风化程度）	岩体类型	变形特征 试验条件	试验方法	变形模量 E_o (GPa)	动力法 E_d (GPa)	现场抗剪强度 类型	组数	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)
流纹斑岩(新)	Ⅰ～Ⅱ	平行层面	承压板法	2.3	6.37	混凝土/岩	1	1.0	198	0.97	200
		垂直层面	承压板法	1.3	3.92						
流纹斑岩(风化)	Ⅳ	平行层面	承压板法	0.76	2.94						
		垂直层面	承压板法	0.06	0.98						

注　右岸引水隧洞，抗剪试件0.5m×0.5m；混凝土标号220*；起伏差10mm。

（3）参数建议值

岩石名称及风化程度	弹性模量 E(GPa)	$tg\varphi$	c(kPa)
流纹斑岩(新)，完整	18～22	1.0	600～1000
流纹斑岩(新)，一般	10～25	0.8	
矿化流纹斑岩	4～6		
挤压破碎带	0.5～1.0		

（4）参数采用值

部位	岩/岩$tg\varphi$(抗剪值)
0～3 坝段	0.60～0.72
4 坝段	0.62
5 坝段	0.60
6～9 坝段	0.70
13～15坝段	
10～12坝段	0.72

紧水滩水电站

一、工程概况

紧水滩水电站位于浙江省云和县境瓯江大溪上游的支流龙泉溪上。

水力枢纽由拦河坝、坝后厂房、中浅孔泄洪建筑物、引水管道和航运、过木建筑物以及开关站等所组成。拦河坝为混凝土三心变厚双曲拱坝，坝高102m，坝顶宽5m，坝顶弧长约350m。拱冠处坝底宽24.6m。总库容10.4亿m^3，装机容量30万kW。本工程以发电为主，兼顾航运、过木（竹）及防洪等综合效益。

1957年选坝，1958年～1959年及1974年～1979年初设，1983

年10月施工截流，1986年底二台机组投产。

二、工程地质条件

坝基基岩为燕山期侵入的花岗斑岩，岩石坚硬，但断裂构造较发育，坝址区主要有北东向、北北东向两组压性结构面及少量张性和扭性结构面。断层有8条，沿坝轴线有左岸F_4产状320°/SW，∠50°～60°，破碎带宽0.2～0.5m，局部充填风化土0.02～0.04m；右岸F_2的产状为308°～322°/NE，∠50°，破碎带宽1～1.5m，夹高岭土0.01～0.04m。河床呈U字形。

节理主要有：（1）302°～327°/NE，∠45°～77°；（2）10°～30°/SE，∠50°～75°；（3）近EW，倾向N或NE80°/NW∠8°。

坝基岩渗透性较小，相对隔水层埋藏深：左岸7～14m，河

试验项目		室内试验 组数
物理性质		25
抗压强度	烘干	68
	饱水状	2
抗剪强度	抗剪断	32
	抗剪	32
	裂隙面	
变形特性	承压板	
	狭缝法	
	泊桑比	8
	动力法	10(声波)

床10～20m，右岸5～23m。

坝区风化带浅，强风化0～5m，弱风化带深为0～18.3m，微风化带为8～93m。

三、工程中存在的岩石力学问题

1.坝基河床部分未发现软弱夹层；左岸有F_4、F_{15}和F_{20}结构面的不利组合，右岸有F_2、F_8、F_{10}和F_{17}结构面形成的不利楔形体，对稳定性不利。

2.弱风化深度大，开挖深度大，尤以右岸最深，需论证基建面岩体力学性质。

3.右岸坝肩基岩节理发育，在径向剪应力作用下须考虑破碎带对坝肩基础的稳定性及应力集中问题。

四、试验工作量

现场试验		备注
组数	块（点）数	
31		
	24点	
	10	
18	22	另一资料钻孔声波76孔，地震法648m

五、岩石力学诸参数

岩石名称（岩性，风化程度）	比重	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿
花岗斑岩，新鲜	2.64	2.59～2.60 2.59		0.28	186～249.7 217.9	161.7～163.3 162.5
花岗斑岩，新鲜	2.60		1.87	0.59	192.5	122.9
花岗斑岩，微风化	2.64	2.57～2.64 2.59		0.37	115.3～293.9 15.9	96.9～214.8 146.9
花岗斑岩，弱～微风化	2.64	2.55～2.58 2.57		0.47	110～178	90.8～137 117.00
花岗斑岩，弱风化	2.63	2.55～2.59 2.57		0.50	128～194.5	90.5～117 105.78
花岗岩，新鲜	2.61	2.52	3.07	0.99	183.4	137.1
花岗岩，弱风化	2.61	2.55	2.61	0.59	145.8	99.9
F_1断层夹泥						
F_2断层夹泥						

注　表列分数中，分子表示范围值，分母表示平均值。

（1）岩石室内物理力学性质试验成果表

变形特性		抗剪强度（峰值）						备注
				抗剪断		抗剪		
E(GPa)	μ	类型	组数	tgφ′	c′ (kPa)	tgφ′	c (kPa)	
52.6～69.4 61.0	0.18	岩/岩	20	1.2	2500			
62.67	0.17							
52.4～71.9 59.75	0.19	混凝土/岩	1	1.27	900	0.79	0	声速V_p=4972m/s
51.5~70.16 59.39	0.20							V_p=4983，混凝土标号115*
54.8～62.6 58.49								
54.33								
8.7		岩/岩	3			0.26	1	充填高岭土，糜棱岩厚0.5～2cm
0.7		岩/岩	2	0.25	3			断层泥及糜棱岩厚0.5～2cm

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性			纵波速(m/s)	
	方法	E_0 (GPa)	E_s (GPa)	声波法	类型
花岗斑岩，新鲜	承压板	44.5	77.6	5028	混凝土/岩
花岗斑岩，微风化	承压板	20.88	28.72	4000～5000	混凝土/岩
花岗斑岩，弱风化	承压板	10.5～15.4	23.68	3000～4000	岩/岩
花岗斑岩，强风化	承压板		6.67	2000～3000	
破碎带		0.48			

（3）软弱夹层力学性质试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪强度			
	方法	峰值		方法
		$tg\varphi$	c (kPa)	
F_2	土工	0.26	1	直剪
F_4	土工	0.25	1	直剪
破碎带				直剪
天然湿结构面				直剪

抗剪强度（峰值）					备注
试件尺寸 (cm)	抗剪断		抗剪		
	$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)	
50×70	0.31～0.53	340			岩性坚硬，存在高倾角结构面E值试点裂隙发育
50×70			0.53	65	
50×70			0.31	340.0	

现场抗剪试验

抗剪断强度				抗剪强度			
屈服值		峰值		屈服值		峰值	
$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)
0.27	340	0.31	350	0.31	280	0.39	35
0.38	500	0.44	600	0.42	567	0.52	67
0.47	120	0.53	180	0.53	230	0.64	267
						0.70	510

（4）软弱夹层物理特性试验成果表

夹层名称及编号	流限 (%)	塑限 (%)	颗粒组成 (%)				备注
			>0.05	0.05～0.005	<0.005	<0.002	
F_3	34.8	19.8	68.1	18.5	13.3	0.1	夹糜棱岩厚0.5～2cm
F_4	30.5	16.9	55.5	25.5	18.0	1.0	夹糜棱岩厚0.5～2cm

（5）岩石力学参数建议采用值

岩石	抗压强度	变形特性		抗剪断		抗剪	
	(MPa)	E (GPa)	μ	$\mathrm{tg}\varphi'$	c' (kPa)	$\mathrm{tg}\varphi$	c (kPa)
花岗斑岩，新鲜	180～200	28～35		1.20	2500	0.75	500
花岗斑岩，微风化	148～180	14.8～20				0.70	500
弱风化岩含F_4	120	1.16～2.0				0.35	0
弱风化岩无夹泥	128	23.0～37				0.56	0
破碎带						0.42	50
混凝土/岩石				1.0	1000	0.7	500

长 诏 水 库

一、工程概况

长诏水库位于浙江省新昌县境内曹娥江支流新昌江上，控制流域面积277km²。大坝坝型为浆砌块石重力坝，最大坝高68m，坝顶长210m。总库容1.64亿m³，装机容量6000kW。水库以防洪为主，结合灌溉、发电。1972年开工，1979年完工。

二、工程地质条件

基岩为侏罗系上统火山岩系，主要岩性为紫红色含砾凝灰岩、熔结凝灰岩及脱玻珍珠斑岩。岩层产状总趋向倾右岸，倾角20°～25°。

主要断裂有：F_1分布于河床部分3#坝段，贯穿上下游坝基，属张性断层；断层带由3个断裂面组成，在地表相重迭后，向深

部呈扇形分开，产状为NE50°～75°/NW，∠47°～56°。其中一条断裂面宽 0.10～0.2m，均由断层角砾和白色断层泥充填，胶结很差；破碎带总宽 1.0～5.0m。F_2分布在右岸6*坝段，产状为NE75°～80°/NW，∠62°～72°，破碎带宽20cm，有次生黄泥充填，并有石英晶洞，局部地方可见绢云母化蚀变。断层上盘岩体中缓倾角层间错动，破碎夹层发育。F_{15} 分布于左岸 1*坝段，产状为NE80°～90°/NW，∠50°～74°，破碎带宽15～30cm，充填石英及绢云母化蚀变物。属正断层，贯穿于上下游。

在河床3*、4*坝段及左岸5*、6*坝段的含砾凝灰岩中，分布着由层间错动形成的破碎夹层共 8 层，其中以Pb_5、Pb_6、Pb_8较差，尤其以Pb_8最差，延伸最远，夹层由片状及鳞片状碎块组成，一般厚 2～5cm，局部可达10cm，内含 1～2cm 已泥化成粘土矿物，夹层面及石片上有明显擦痕。

三、工程中的岩石力学问题

1.河床部分3*、4*坝段岩基下 5.0～18.0m，有 Pb_8 破碎夹层，需在沿夹层进行抗剪强度试验，并核算该两坝段抗滑稳定。

2.检验夹层充填物稳定性和泥化速度，相应作出粘土矿物种类鉴定和化学成份分析。

3.对设计中提出的3*、4*坝段坝后混凝土齿墙加固方案，进行岩体变形特性试验，提供坝后支撑岩体的弹性模量。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗压强度	干燥	5	20			
	饱水状	5	20			
抗剪强度	抗剪断	8	36	1	1	室内有岩石本身4组，夹泥4组
	抗剪	8	36	1	1	
变形试验	承压板				2	
物理性质		5	20			另有化学分析5组

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	变形特性 E (GPa)	变形特性 μ	抗剪强度 类型	抗剪强度 组数	抗剪强度 峰值 tgφ	抗剪强度 峰值 c(kPa)
绢云母角砾凝灰岩，新鲜	2.54～2.60	0.3～0.58	280	220～200	90.0	0.23				0
绢云母化蚀变凝灰岩，微风							岩/岩(中剪)	8	0.256～0.342	0
化凝灰岩，新鲜	2.57～2.63	0.3～0.64	220～260	170～210	66.7					

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	试点编号	变形特性 条件	E_o (GPa)	E_t (GPa)	抗剪强度 类型	试件寸尺 (cm)	组数	峰值 tgφ	峰值 c(kPa)	备注
凝灰角砾岩，新鲜	左-1	力与坝轴垂直	52	85						承压板面积2000 cm²，最大法向应力4MPa
凝灰角砾岩，新鲜	左-2	力与坝轴垂直	37	60						
绢云母化蚀变凝灰岩，微风化		平行夹层			岩/岩	110×100	1	0.42	33	单点法

（3）软弱夹层地质特性表

夹层名称及编号	位置	岩性	分布	厚度（m）		成因类型
				夹层	夹泥	
破碎夹层Pb_5，Pb_6	3*、4*坝段，左岸5*、6*坝段	片状及鳞片状碎块	河床基岩面下2～15m	0.02～0.05	0.01～0.02	层间错动

（4）泥化夹层化学矿物成份成果表

夹层名称及编号	粘土矿物			易溶盐	有机质含量	难溶盐含量			
	分析方法	主要矿物	次要矿物	（%）	（%）	SiO_2（%）	Fe_2O_3（%）	Al_2O_3（%）	SiO_2/R_2O_3
Pb8夹上	X-衍射晶体分析	伊利石	高岭上、蒙脱石	0.0196		68.4	2.68	13.96	2.21
Pb8夹中				0.0334		63.4	4.07	20.06	1.41
Pb8夹下				0.0366		73.2	2.80	12.72	2.52
Pb8夹-3				0.010	0.29	61.24	3.16	20.36	1.42
Pb6次生充填泥				0.05	0.31	51.96	4.93	26.67	0.89

（5）岩石参数建议值与采用值

岩石	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	E (GPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c(kPa)	备注
绢云母化角砾凝灰岩	2.60	100～200	5～6	14～16	1.1～1.2		建议值
绢云母化角砾凝灰岩				10	0.55	0	采用值
破碎夹层					0.30	0	采用值
3#、4#坝段齿墙处岩体				上部18.0 下部25			采用值
混凝土/岩					0.65～0.70	0	采用值

亭下水库

一、工程概况

亭下水库位于浙江省奉化县溪口镇上游约5km处的奉化江支流剡江上，距宁波市44km，控制流域面积176km²。坝型为混凝土重力坝，最大坝高76.5m，坝顶长317m。总库容1.5亿m³，装机容量4000kW。水库以防洪灌溉为主，结合发电。确保剡江两岸10万亩农田免受洪涝灾害；结合配套工程，并可减轻鄞奉平原40万亩农田洪涝威胁，为鄞东南地区农田提供灌溉。

1978年开工，1983年12月完工，1984年4月并网发电。

二、工程地质条件

基岩为侏罗系上统磨石山组火山岩，自下而上的岩性分布为：层状角砾凝灰岩、角砾凝灰溶岩、球泡状硅化流纹岩与绢云母化珍珠斑岩互层，流纹质凝灰岩和流纹岩。

断裂构造较发育，但规模不大，破碎带宽一般5～40cm，个别1.3～1.5m，充填物以角砾岩、糜棱岩为主，局部含泥。

主要断裂有：F_{44}位于左岸坝头，产状NW15°～30°/SW，

∠70°～80°，破碎带宽 20～40cm，影响带宽 0.45～2.0m；F_{48}位于右岸，产状NE70°～80°/NW，∠80°～90°，破碎带宽 40～80cm，影响带宽1.4～1.5m；F_{39}位于河床部分 11#～12#坝段，产状NE50°～75°/SE 或NW，∠77°～85°，破碎带宽10～40cm，局部宽1.3～1.5m，充填碎屑、断层角砾和断层泥及绢云母化蚀变物。

节理主要有NE70°/SE，∠80°和NW20°，NE，∠80°两组，与坝轴线呈35°～55°夹角。

在河床 8 个坝段坝基的层状角砾凝灰岩层中，分布有 8 层以上缓倾角软弱夹层，埋深于河床基岩面以下 2～15m范围内，夹层厚一般 6～15cm，最厚达 40cm，薄的呈缝隙状层面接触。夹层是由层间错动破碎而成，由母岩破碎的碎片、碎屑和岩粉夹砂质粘土组成，碎屑常呈鳞片状定向排列，部分已遭软化和泥化，局部还有次生黄泥充填如Pb_5、Pb_6等。夹层平均产状NE70°/NW，∠15°，倾向左岸偏上游。

三、工程存在的岩石力学问题

1.分布于坝基的破碎夹层，产状平缓，抗剪强度低，又贯通上下游，是坝基抗滑稳定的控制层，也是坝基的主要工程地质问题。

2.掌握坝基软弱夹层的物理力学特性，确定抗剪强度和压缩变形值，以便在工程中采取相应处理措施。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
物理性质		7	25			另有夹层化学分析 3 组
抗压强度	干燥	7	25			
	饱水状	7	25			
抗剪强度	抗剪断			3	16	其中岩/岩2组、混凝土/岩 1 组室内条中剪，试件 20cm×20cm
	抗剪	1		3	16	
变形试验	承压板法				5 点	其中断层带 4 组

五、岩石力学诸参数

岩石名称 （岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	 湿
层状角砾凝灰岩，新鲜	2.44	0.85	260	110
角砾凝灰熔岩，新鲜	2.56	0.52	370	280
角砾凝灰熔岩，微风化				
角砾凝灰熔岩，微风化				
含燧石凝灰熔岩，新鲜	2.56	0.8～2.0	120～200	120～180

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称 （岩性、风化程度）	试验 条件	变形特性 方法	E_0 (GPa)	E_s (GPa)	类型	试件尺寸 (cm²)
紫红色凝灰熔岩，块状，新鲜	平行层面	承压板			混凝土/岩	60×50
凝灰熔岩，块状，新鲜	平行层面	承压板	51.78	78.52		
		狭缝法	11.38～62.39 32.3	14.4～54.34 38.06		
凝灰熔岩，在 F_{4-1} 附近	平行层面	承压板	10.73	22.97		
角砾凝灰岩，新鲜			14.33～67.84 34.44	18.17～59.86 35.34		
		承压板	18.05～28.27 22.91	22.46～49.24 33.08		
角砾凝灰岩，微风化					岩/岩	110×100

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

变形特性		抗剪强度				备注
		类型	组数	峰值		
E (GPa)	μ			tgφ	c(kPa)	
25～45	0.18					
74	0.25					
		岩/岩，中剪		0.495～0.75	30～270	有夹泥
		岩/岩，直剪		0.466～0.70	2	

抗剪强度（峰值）						备注
最大法向应力 (MPa)	组数	抗剪断		抗剪		
		tgφ'	c'(kPa)	tgφ	c(kPa)	
4.0	1	1.48	800	0.70	2120	混凝土标号 150*，起伏差大于 1 cm
	1			0.87	1200	混凝土标号 150*，起伏差大于 1 cm
	1	1.54	380			混凝土标号 150*，起伏差 5 cm
				0.68	850	有夹层
				0.90	810	

（3）软弱夹层化学矿物成份分析成果表

夹层名称及编号	夹层				粘土矿物			化学分析				备注
	岩性	分布	夹层厚(m)	成因类型	分析方法	主要矿物	次要矿物	pH	SiO_2(%)	Fe_2O_3(%)	Al_2O_3(%)	
破碎夹层 Pb_1	母岩碎片，岩粉	坝基下2～15cm	0.06～0.15	层间错动	X-衍射差热分析	伊利石	高岭土，蒙脱石	7.25	63.02	3.31	19.15	粘土矿物由电子显微镜分析
破碎夹层 Pb_2								7.49	66.86	2.05	17.56	
破碎夹层 Pb_4									67.91	1.57	17.14	
脱玻珍珠岩及原生夹层								6.53	65.24	4.46	17.18	

（4）岩石参数建议采用值

岩石	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	抗剪强度		E (GPa)	备注
				tgφ	c(kPa)		
角砾凝灰岩，新鲜	2.56	90～100	4～6	1.1～1.3	1000～1200	16～18	建议值
含燧石凝灰岩及流纹岩				0.7	0		采用值
凝灰熔岩、流纹岩、珍珠岩互层				0.65	0		采用值
角砾凝灰岩				0.5～0.6	0		采用值

上 犹 江 水 电 站

一、工程概况

上犹江水电站位于江西省上饶市境内赣江支流上。主要水工建筑物为一混凝土重力坝，最大坝高68m，全长由10个坝段组成，丙至庚段为溢流段，坝内式厂房。总库容为8.22亿m^3，装机容量6万kW。

本工程于1954年开始勘测，1955年动工，1957年建成。

二、工程地质条件

1.坝区岩性：坝址为中下泥盆系跳马涧长石石英砂岩、石英砾岩（D_1^1）、砾状石英砂岩夹薄层板岩（D_1^2）、石英砂岩和紫色板岩，岩石致密坚硬，抗风化能力强。

2.构造特性：坝区位于铁肩关向斜的东南翼，岩层产状为30°/NW，∠25°～30°，倾上游偏右岸。坝区沿板岩夹层曾多次受构造应力作用，产生层间错动，其破碎带产状与岩层一致，尤以D_1^1层中有厚0.1～0.8m的板岩夹层，较破碎，又受地下水长期活动影响，形成0.05～0.15m厚的泥化夹层，强度很低。另有EW向扭性断层（F_2、F_4）、NE 35°断层（如F_1、F_{17}），其中F_1为压性，倾向NW、倾角30°～43°，断距1 m左右，层间错动发育。主要节理有：（1）70°～80°/SE，∠70°～80°；（2）340°～350°（近SN向）/NE或SW，∠50°～80°；（3）300°～310°/NE，∠70°～85°；（4）20°～30°/SE或NW，∠70°～85°。尤以前两组最发育。

三、工程岩石力学主要问题

1.坝基抗滑稳定问题：基岩中软弱结构面较发育，有板岩破碎夹层22层，泥化夹层26层，夹层产状为30°/NW∠28°（倾上游偏右岸），厚度一般仅数厘米，延伸长；泥化层厚在0.03～0.05m，最厚达0.15m，加上两组扭性裂面切割，形成坝下浅层

滑动体。

2.坝基渗透稳定性：板岩泥化夹层性劣，结构松散（泥包石状），浸水崩解，在库水位条件下易产生机械潜蚀。

3.左坝头边坡稳定性：由于几组结构面切割，岩体成块状，岸坡开挖将出现危岩陡壁。大坝上游300m处有约100万m^3的堆积层，结构松散，透水性强，有待处理。

四、试验工作量

试验项目	室内试验		现场试验		备注
	组数	块数	组数	块(点)数	
物理性质		18			
力学性		519			
1.湿抗压强度	10				
2.抗剪强度	19				其中三轴11组
3.抗剪断			17	34	其中混凝土/岩8组

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称	湿抗压强度	抗剪强度			
		类型	组数	峰值	
	(MPa)			tgφ	c(kPa)
花岗质长石石英砂岩	95.5	岩/岩	5	0.51	13
石英砾岩	186.0	砂岩/板岩	4	0.35	7
砾状石英砂岩	210.0	砾岩/板岩	4	0.37	9
石英砂岩	233.7	混凝土/岩	4	0.60	6
灰绿色板岩	76.7	混凝土/岩	2	0.58	9
泥化夹层		夹层	4	0.24	30
		夹层	4	0.25～0.30	0～8

（2）岩石参数建议采用值

岩石	抗压强度 (MPa)	抗剪强度	
		tgφ	c(kPa)
长石石英砂岩	70	0.50	10
石英砂岩	150	0.30	3
石英砾岩	120	0.32	5
板岩	50	0.27	5
混凝土/岩		0.55	60

万安水利枢纽

一、工程概况

万安水利枢纽位于江西万安县境内赣江上，主要水工建筑物为混凝土重力坝，最大坝高为64.5m，总库容22.16亿m^3，电站装机容量为50万kW。工程于1958年选坝，1960年开工，1962年停建，1978年重新施工，1988年发电。

二、工程地质条件

1.地层岩性，坝址区为单斜地层，主要岩层为侏罗系中上统罗坳群浅变质的砂页岩互层，并有少量燕山期石英闪长岩侵入。岩层产状为40°～70°/NW∠10°～35°，倾向下游。

2.断裂特征：构造裂隙发育，大小断层繁多，主要裂隙有：（1）40°～70°/NW，∠10°～35°；（2）350°～5°/NE或SE，∠45°；（3）290°～300°/NE，∠80°～85°；（4）13°～24°/NW，∠45°～72°；（5）320°～330°/NE，∠50°～70°；（6）69°～78°/NW，∠85°。断层有：f_{33}、f_{48}、F_{53}、f_{210}及f_{160}等，其中f_{33}的产状为350°～360°/NE或E，∠45°～50°，破碎带宽1～3m，为白色断层泥及其裸包的压碎岩、角砾糜棱岩充填。f_{216}的产状为20°～30°/NW，∠72°～75°，破碎带宽0.5～1.2m，充

填物为碎块岩、部分片状构造岩及角砾岩，已硅化。其余断层均为陡倾角，破碎带宽度都在2 m以内，均为碎块岩夹角砾岩，大部硅化。

坝区岩石除河床外均已风化，两岸强风化带深5.3～33.3m，弱风化带深5.8～53.8m，微风化带为4.5～35.8m。

三、工程存在的岩石力学问题

1.坝基存在风化软弱夹层和挤压软弱夹层，倾角较缓，须查明其力学性质，同时有陡断层组合，将构成局部坝段的（浅层或深层抗滑）稳定性不足。

2.左坝肩岸坡稳定问题，左坝肩上游有f_{46}、f_{123}、f_{30}等20余条断层，并有平行和近垂直两组裂隙，加上岩石风化严重，施工中曾发生过大崩塌；厂房坝段分布有f_{38}断层，性状差，开挖后将使断层上盘岩体形成不稳定的三角岩体。

3.左坝肩岩石风化较深，如何优选开挖深度问题。

四、试验工作量

试验项目		现场试验		备注
		组数	块数	
抗剪强度	抗剪断	7	32	岩/岩3组，混凝土/岩4组
	抗剪	6		
	软弱面	4	18	软弱面3组，炭质夹层1组
变形特性	承压板	8	20点	

注　另有物理性及抗压强度试验，数量不详。

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa)	
					干	湿
细砂岩，新鲜	2.64～2.79 2.74	2.14～2.75 2.56	0.04～0.11 0.07	0.13～0.17 0.14	98～203 111	88～149 78

注　分子为范围值，分母为平均值。

（2）岩石力学参数建议采用值

岩石	E(GPa)	抗剪强度		备注
		tgφ	c(kPa)	
细砂岩，微风化	15～16	0.6～0.65		混凝土/岩
细砂岩，弱风化	2～6	0.55		混凝土/岩
软弱夹层		0.3～0.4	0	

（3）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性					类型
	条件	试验方法	E_o (GPa)	E_r (GPa)	E_d (GPa)	
细砂岩，新鲜	φ50	承压板	$\frac{14.9\sim39.9}{27.1(3)}$	$\frac{18.7\sim69.9}{37.3(3)}$	56.8	岩/岩
微风化					32.0	岩/岩
弱风化		承压板	$\frac{3.3\sim2.1}{2.7(2)}$	$\frac{4.29\sim5.98}{5.1(2)}$	11～17.6	混凝土/岩
						混凝土/岩
细砂岩，强风化		承压板	$\frac{0.48\sim1.35}{0.92(2)}$	$\frac{1.3\sim2.9}{2.1(2)}$		
粉砂岩，新鲜						混凝土/岩
f_1断层		承压板	0.227	0.758		
f_{1-1}断层						岩/岩

试件尺寸 (cm²)	组数	抗剪（断）强度（峰值） 抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)	备注
3000	1			0.38～0.54 0.46	29～44 37	1.混凝土/岩有二组：一组为新鲜岩，另一组为弱风化岩； 2.混凝土标号为150*～180*
3000	1			0.43	52	
3000	1	1.34	1640	0.87～1.15 1.04	130～420 260	
3000	1	1.56～1.62 1.59	1213～1400 1306	1.18～1.33 1.26	260～544 366	
3000	1			0.66～1.45 0.93	160～280 245	
						炭质夹层
3000	1			0.42	29	沿夹层面剪切

水口水电站

一、工程概况

水口水电站位于福建省闽清县境闽江干流上，水库回水与沙溪口水电站尾水相接。坝址控制流域面积52438km²。枢纽工程由拦河坝、发电厂房、船闸及过筏机等建筑物组成，拦河坝系混凝土宽缝重力坝，最大坝高101m，坝顶全长786m，包括溢流坝段、泄水底孔坝段、厂房坝段和两岸挡水重力坝段。总库容23.4亿m³，装机容量140万kW，是华东地区最大的水电站，本工程以发电为主，兼顾航运等效益。

1976年2月至1977年12月进行选坝阶段勘测工作，1980年9月完成初设，1987年开工。

二、工程地质条件

坝址为黑云母花岗岩，由红色全晶质中细粒结构，块状构造，呈岩林状，属燕山早期岩浆活动的产物，由于后期分异作用，岩脉有酸、中、基性。

结构面分原生节理（70°/SE，∠78°；335°/SW，∠85°；50°/NW，∠15°～20°）构造节理（70°～80°/NW，∠70°～80°；310°～330°/NE，∠80°～90°）和卸荷节理（左岸320°～330°/SW，∠20°～30°；右岸300°～320°/NE，∠20°～30°）。

坝址断层有6条，其中坝轴线上自左岸到右岸河床部位通过有：F_1产状80°/NW，∠80°～90°，破碎带宽度1.5～2.0m，压碎岩未胶结，风化剧烈；F_2产状50°～60°倾角近垂直，破碎带宽度0.5～1.0m，岩石被挤压呈片状，脉络较差，有断层泥；F_3产状70°～85°/NE，∠65°～85°，破碎带宽度0.6～3.6m，充填断层角砾岩、糜棱岩、胶结差，松散；F_4产状50°/NE，∠60°～70°，破碎带宽度0.3～0.5m，有泥炭充填和擦痕。

坝基相对隔水层：左岸15～30m，河床大于25m，右岸20～

30m。

河谷呈梯形，基岩大面积裸露，覆盖层及风化层均较浅。

三、工程存在的岩石力学问题

1.坝基不存在大面积软弱结构面，影响大坝抗滑稳定主要是坝基与混凝土接触面。

2.两岸顺坡节理发育，还有东西向陡倾角节理切割岩体，一旦大坝、船闸等基坑开挖，会在局部地段形成高边坡，顺坡节理在坡脚下出露，使上部岩体处于临空，需对局部不稳定岩体进行分析处理。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验	
		组数	块数	组数	块(点)数
抗压强度	干燥	9			
	饱水状	9			
抗剪强度	抗剪断			27	
	抗剪			27	
变形特性	承压板				
	地震法			4 段	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)
黑云母花岗岩，新鲜	2.61	2.58	0.29	158.6	142.6	60.96
黑云母花岗岩，新鲜					101.1	35.1
黑云母花岗岩，弱风化					25.5～74.3	
黑云母花岗岩，强风化	2.61		0.85	110.2	72.8	

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性风化程度）	变形特性			E_d(GPa)	抗剪强度（峰值）							备注
	方法	E_o (GPa)	E_s (GPa)	地震法	类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断		抗剪		
								tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)	
黑云母花岗岩，新鲜	承压板	76.3	87.9	57.0	岩/岩，平推	50×50	1	1.97	4843			裂隙面，起伏差0.5～2.0cm
	承压板	74.0	96.8		岩/岩，平推	50×50	1			0.61	8.4	
					岩/岩，平推	50×50	1			0.78	98	
黑云母花岗岩					混凝土/岩		2	1.79	2080	1.35	550	混凝土标号309*

（3）岩石参数建议采用值

岩石名称	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	μ	抗剪强度			
					tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)
黑云母花岗岩，新鲜	2.56	122.5～93.1	36.3～53.9	0.22	1.5	235～294		
黑云母花岗岩，弱风化					1.1	118～147		
黑云母花岗岩，节理发育			19.6～34.3	0.25～0.26				
黑云母花岗岩，强风化	2.11	37～25.8						
黑云母花岗岩，节理面							0.70	
节理面风化，夹泥							0.5～0.6	
断层破碎带			2.0～2.9	0.3～0.35				
混凝土/新鲜岩石					1.2	98～118	0.75	
混凝土/弱风化岩					1.0	78～98	0.73	

注 tgφ′、c′为抗剪断；tgφ、c为抗剪参数。

棉花滩水电站

一、工程概况

棉花滩水电站位于福建省永定县峰市下游约25km的汀江干流上。1982年10月选坝会议审查后，选定福至亭坝址。坝型为混凝土宽缝重力坝，最大坝高114m，坝顶长346m。中部设4个表孔溢洪道，厂前鼻坎挑流，厂房尺寸133m×28.4m×50m（长×宽×高），装机容量60万kW。右岸设2个泄水底孔作放空水库用。开关站设在下游右岸山坡上。总库容22.14亿m^3。本工程以发电为主，兼顾航运及防洪等综合效益。

二、工程地质条件

基岩为燕山期早期侵入黑云母花岗岩，质地致密，块状结构。

两岸地形较对称，河谷狭窄呈V形，地表基本无覆盖层，岩体新鲜。顺河未发现大的断层，从钻孔岩芯知，分布有构造形成的裂隙密集带。北东向的断层大致与河流垂直，在两岸形成冲沟；北西向的断层与河流平行，左岸分布较密集，还有一些东西向与南北向的裂隙，缓倾角裂隙较少，都被陡倾角断裂所截断。两岸岸坡在一定深度范围内发育中等倾角、缓倾角的，倾向河床的卸荷裂隙。上述断层与裂隙密集带以压碎岩为主，局部有高岭土充填和地下水活动，形成了带状或层状的风化夹层。各种断裂的分布与组合及其发育形成的风化夹层，控制着本坝址的工程地质条件。

坝址较大的断层：左岸F_8、F_1、F_{26}、F_9；右岸F_{20}、F_{19}、F_{17}。风化程度：左岸180m高程以上有5～10m全风化；右岸125m高程以上为全风化，地表以下10～30m受构造断裂影响。

三、工程存在的岩石力学问题

1.坝基不存在大面积软弱结构面，影响大坝抗滑稳定的因素

主要是坝基与混凝土接触面强度；

2.坝基存在北西向、北东向断裂并带来有关问题：沿断裂带的风化带加深、断裂与缓倾裂隙控制着边坡稳定与坝基的局部稳定和变形特性；断裂的分布也影响到泄洪消能部位的冲刷深度等。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验
		组数	组数
抗压强度	干燥	40	
	饱水状	40	
抗剪强度	抗剪断		10
	抗剪		10
变形特性	承压板		18个点

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	湿	变形特性 E(GPa)	μ
黑云母花岗岩，新鲜	2.65	2.59	0.35	215.9	157.1	52.2	0.20
黑云母花岗岩，微风化	2.64	2.59	0.33	212.7	147	53.8	0.19
黑云母花岗岩，弱-微风化	2.64	2.59	0.45	191.6	161.4	48.9	0.21
黑云母花岗岩，弱风化	2.64	2.59	0.41	202	146.7	53.9	0.19
碎裂花岗岩，新鲜	2.66	2.57	0.40	173	120.6	54.6	0.22
花岗斑岩，新鲜	2.70	2.63	0.21	364.2	301.1	52.3	

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性			抗剪强度（峰值）							备注
	方法	E_o (GPa)	E_r (GPa)	类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)	
花岗岩，块状，微风化	承压板	41.15	69.16	岩/混凝土	60×50	3	1.08～1.31 1.16	1370	0.8～1.16 0.97	600	混凝土标号159#，起伏差小于0.5cm
花岗岩，块状，弱风化		5.09～6.32	12.09	岩/岩	55×50	1	1.2	0			节理面
花岗岩，块状，弱风化		15.35	20.11								
黑云母花岗岩，弱风化	承压板			混凝土/岩	60×50	2	1.22	1080	0.87	450	混凝土标号210#～154#
黑云母花岗岩，弱风化				混凝土/岩	60×50	1	1.67	1000	0.81	180	混凝土标号250#
花岗岩，块状，新鲜	承压板	13.12	28.32								
花岗岩，块状，新鲜		23.22	38.32								
黑云母花岗岩，F_1断层		3.24	5.43								承压板面积1662cm²

续表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性			抗剪强度（峰值）							备注
	方法	E_0 (GPa)	E_r (GPa)	类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断		抗剪		
							$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)	
F_{11}与F_{12}交汇带	承压板	1.93	3.07	夹泥/岩		2	0.16～0.32 0.24	500～1000 750	0.14	150	
F_8断层		1.72	3.93								
花岗斑岩脉		12.14	15.27								承压板面积1660cm²

（3）软弱夹层抗剪强度现场试验值

夹层名称及编号	试验方法	试件尺寸 (cm²)	组数	屈服值		峰值		备注
				$tg\varphi$	c(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)	
硅化带节理面	斜推	55×50	5			1.2	0	
风化裂隙夹泥层	斜推	50×50	3	0.14	15	0.32	100	黄色粘土厚1～5cm
		50×50	2	0.14	15	0.16	100	粘土厚15cm

三 峡 水 利 枢 纽

一、工程概况

三峡工程位于湖北省宜昌市境内长江干流上，选定坝址为三斗坪坝址，距下游葛洲坝水利枢纽约40km，控制流域面积100万km^2，占全流域面积56%，坝轴线位于NW向河段，多年平均流量为14700m^3/s，年平均径流量4510亿m^3，坝址水面宽1000余m，高程200m处谷宽2500～3000m，两岸坡度较缓（10°～25°）。

枢纽工程由混凝土重力坝、坝后式厂房，双线四级通航船闸等建筑物组成。当设计最大坝高165m，蓄水位150m时，库容300亿m^3，装机26台机组，总装机容量1300万kW。另一方案的设计蓄水位为170m，最大坝高175m，库容393亿m^3，坝长1983.1m，总装机容量为1768万kW。

工程于1956年开始勘探，1979年初步设计选定三斗坪坝址，1983年完成可行性研究，1984年后继续进行岩石力学试验研究工作。

二、地质条件

坝址地基主要为前震旦系闪云斜长花岗岩，另有花岗岩脉及伟晶岩脉侵入，右岸坝肩有细粒闪长岩包裹体。

基岩较完整、坚硬、强度高。断裂构造的走向多为近南北向，陡倾角断层有F_{23}（高家冲断裂），F_7（狮子包断裂）和F_8等、倾角较陡（60°～80°），其中F_{23}断层走向340°～350°/NE，破碎带宽5～13m，有厚0.10～0.3m千枚岩带，并有0.5～1.5cm泥化层，F_8的产状与F_{23}相同，分布于左岸，构造岩胶结良好（云英岩化），破碎带宽1～4.5m。陡裂隙有四组：（1）330°

～345°/NE，∠60°～80°；（2）10°～30°/NW，∠65°～80°；（3）60°～80°/NW，∠65°～80°；（4）290°～310°/NE，∠60°～80°。坝基缓倾角结构面不发育，延伸性差，且大部闭合，胶结良好。仅左岸厂房坝段缓倾角结构面较发育，其倾角10°～30°，倾向下游，连通率为14%，绝大部分为硬性结构面。

坝址区风化壳（全、强、弱风化带）厚度平均为21.5m，以山脊地段最厚，山坡与一级阶地次之，坝线已避开深风化槽（风化壳厚度大于25m）。

三、工程的主要岩石力学问题

1.在可行性研究中将微风化岩体作为大坝利用基岩。但弱风化带下部岩体的完整性、坚硬程度和强度均与微风化岩体相近，为此，1983年以来进一步研究风化带划分标准和弱风化带上部利用的可能性，局部坝基低变形模量引起的不均匀变形。

2.大坝抗滑稳定性，确定混凝土与基岩胶结面的抗剪强度；对左岸厂房坝段存在缓倾角节理，F_7等断层斜穿坝基，加之下游又有机组基础的深开挖，需研究其稳定性。

3.永久性船闸及电厂端墙的高边坡（高40～80m）稳定，全风化带岩体一般占深挖边坡高度的1/3左右，加上风化壳中岩脉、缓陡裂隙的存在使得局部边坡有可能失稳。

4.岩体初始应力场及其对岩体稳定性影响，尤其是它对人工高边坡稳定的影响有待论证。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验	
		块数	组数	块(点)数
抗压强度	干燥	979		2
	饱水状	1191		

续表

试验项目			室内试验	现场试验	
			块数	组数	块(点)数
抗剪强度		抗剪断		23	
		抗剪		16	
		裂隙面		9	
抗拉强度		直接法	18		
变形特性		室内	325		
		承压板法			23
		狭缝法			13
		水压(或双筒)法			9
		动力法		23/1500*	
		泊桑比	296		
		抗力系数		13	
物理性质			1122		
应力测量		钻孔解除法		1 孔	

* 分母表示声波法，分子表示地震法。

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	比重	容重 (g/cm³)	饱和吸水率 (%)	孔隙率
闪云斜长花岗岩，新鲜	2.74～2.76 2.76(115)	2.64～2.69 2.64(115)	0.09～0.16 0.16(115)	0.26～0.47 0.45(43)
闪云斜长花岗岩，微风化	2.76	2.65	0.25(274)	0.71(152)
闪云斜长花岗岩，弱风化	2.76(155)	2.62(153)	0.45(153)	1.59(55)
闪云斜长花岗岩，强风化	2.73(5)	2.51(5)	1.03(5)	
闪云斜长花岗岩，全风化	2.73(2)	2.61(2)	1.13(2)	
细粒闪长岩，新鲜	2.88(4)	2.75(2)	0.07(2)	
细粒闪长岩，微风化	2.86(4)	2.76(4)	0.16(4)	
细粒闪长岩，弱风化	2.87(6)	2.76(4)	0.13(6)	
闪长岩，新鲜	2.88(26)	2.80(26)	0.11(26)	0.42(24)
闪长岩，微风化	2.9(5)	2.78(3)	0.07(5)	0.11(3)
闪长岩，弱风化	2.83(5)	2.72(5)	0.15(5)	0.24(3)
辉绿岩，弱风化	2.72(6)	2.65(5)	0.26(6)	0.68(6)
细粒花岗岩	2.71(27)	2.58(27)	0.28(27)	0.99(9)
花岗岩	2.7(34)	2.62(34)	0.17(34)	0.54(34)
碎斑岩，微风化	2.72(47)	2.53(49)	1.37(4)	4.47(31)
碎裂花岗岩	2.68(4)	2.6(4)	0.4(4)	1.34(4)
碎裂闪长岩，新鲜	2.92(3)	2.84(3)	0.18(3)	0.56(3)
碎裂闪长岩，微风化	2.72(49)	2.61(153)	0.75(151)	2.27(131)
碎裂闪长岩，弱风化	2.75(8)	2.57(8)	1.78(8)	4.61(8)
碎裂闪云斜长花岗岩，微风化	2.74(5)	2.64(5)	0.71(5)	1.92(5)
碎裂闪云斜长花岗岩，弱风化	2.74(5)	2.64(5)	0.71(5)	1.92(5)
闪长岩脉，微风化	2.91(15)	2.82(15)	0.21(15)	0.7(15)
闪长岩脉，弱风化	2.95(4)	2.87(4)	0.27(4)	0.88(4)
辉绿岩脉，	2.84(34)	2.76(34)	0.24(30)	0.96(30)
糜棱岩，新鲜	2.73(14)	2.51(12)	1.55(12)	
糜棱岩，微风化	2.74(12)	2.51(12)	2.37(12)	6.7(10)
糜棱岩，弱风化	2.79(2)	2.57(2)		

注　表中所列分数，其分子表示范围值；分母表示平均值，括号内表示试验组数。

抗压强度 (MPa)		抗拉强度	变形特性		
干	湿	(MPa)	E_o (GPa)	E_s (GPa)	μ
118.3～125.2	98.0～144.4		60.8～67.6	61.3～69	0.21～0.28
121.2(87)	99.8(89)		64.2	65.2	0.25
15.7～211.3	25.8～211.6	7.52(2)	57.5～96.9	40.2～80.4	0.23(48)
122.4(287)	106.7(301)		63(56)	65.2(48)	
32.2～159.1	8.23～144.6	2.2～8.12	39～64.2	44.4～66.1	0.18(4)
102(148)	72.8(169)	6.0(15)	51(4)	54.8(4)	
18.8～68.7	20.1～51.1		8.66		
46(3)	35.1(4)				
0.06(2)					
217.9(2)	198(2)				
232.6(4)	202.6(4)				
215.8(6)	178(6)		94.6		0.18
134.4(25)	99.9(27)		85.9(16)		0.28(16)
170(7)	125.6(6)		99.0(3)		0.27(3)
156.8(4)	110.1(4)		75.8(2)		0.24(2)
189.9(6)	251.6(6)		72.3(4)	73.3(4)	0.26(4)
125.9(20)	101.7(22)		60.1(14)		0.27(13)
166.8(42)	133.7(42)		52.9(6)		0.16(16)
80.5(24)	68.6(50)		40.9(13)	45(11)	0.21(10)
201.1(5)	183(4)		52.6(4)		0.16(4)
112.9(3)	67.1(3)		62.8(2)		0.22(2)
81.8(123)	53.8(170)		36.9(72)		0.19(61)
26.2(2)	32.6(8)		22.1(4)	32.4(4)	0.32
103.5(30)	73.3(56)		49.7(19)		0.19(19)
	53.6(5)		30.3(3)		0.12
179.6(15)	121.4(15)		71.7(10)		0.23(10)
131.7(6)	120.1(6)		65.3(4)		0.28(4)
145.8(34)	117.8(34)		67.1(20)		0.27(20)
111.8(7)	64.1(11)				
54.8(2)	93.5(12)		47.7(9)	49.2(8)	0.22(9)
29.61	14.5		46.3(3)		

（2）现场岩体强度特性及中型剪力试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	岩体类型	试验类型	试件尺寸（cm）
闪云斜长花岗岩，新鲜	块状、镶嵌	混凝土/岩，斜推	50×60
闪云斜长花岗岩，微风化		斜推	50×60
闪云斜长花岗岩，微风化		斜推	50×60
闪云斜长花岗岩，微风化		混凝土/岩，平推	50×60
闪云斜长花岗岩，微风化		混凝土/岩，斜推	50×60
闪云斜长花岗岩，弱风化	块状、镶嵌	混凝土/岩，斜推	50×60
		混凝土/岩，斜推	50×60
闪云斜长花岗岩，微风化	块状、镶嵌	岩/岩，斜推	50×50
闪云斜长花岗岩，弱风化			50×50
闪云斜长花岗岩，强风化	破碎带角砾岩		50×50
闪云斜长花岗岩，微风化	光滑无充填	岩/岩，斜推	100×40
	光滑但不平		100×40
	稍粗糙、平直		100×40
	粗糙、平直		100×40
闪云斜长花岗岩，强风化	粗糙	岩/岩，斜推	16×16
	充填泥0.1～0.15cm	岩/岩，斜推	16×16
细粒闪长岩，风化疏松	风化岩	岩/岩	15×25

抗剪		抗剪断		备注
tgφ	c(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	
1.0～1.2 1.07(4)	250～800 550(4)	1.0～1.47 1.2(4)	1200～2000 1600(4)	起伏差为0.5cm，混凝土标号86#～266#
0.95～1.2 1.06(4)	500～600 550(4)	1.17～1.77 1.36(5)	1400～2650 1910(5)	三斗坪坝址
0.6～0.88 0.74(3)	300～1000 600(3)	0.7～0.93 0.84(3)	580～1700 1280(3)	三斗坪坝址
		1.59	1100	三斗坪坝址
1.3	100	1.7	1000	太平溪坝址
0.96～1.1 1.03	0～600 300	1.15～1.43 1.29	1300～2000 1600	
		0.83	1600	
		1.8	1080	剪断面不平整，起伏差4～10cm
1.26	1520	1.51～1.8 1.65	1960～2160 2060	
1.36	1810	1.54～1.7 1.62	1960～2160 2110	
		0.67	1200	沿结构面剪断，面不平
		0.83	3000	$\int_{1-1}$试件后部向上弯
		0.86	1300	太平溪坝址1号洞内F_{1-1}
		1.14	1200	太平溪坝址1号洞内F_{1-1}
		0.75	700	现场携带式剪切仪试验
		0.37	160	现场携带式剪切仪试验
		0.71	800	室内中型剪

（3）现场岩体变形特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	岩体类型	变形特	
		试验方法	E_o(GPa)
闪云斜长花岗岩，新鲜	整体	承压板法	58.8
闪云斜长花岗岩，新鲜		承压板法	88.2
闪云斜长花岗岩，微风化			38.2～68.6 46.67(8)
闪云斜长花岗岩，弱风化			21.6～38.2 33.3(4)
闪云斜长花岗岩，弱风化		水压法	15.0
闪云斜长花岗岩，新鲜	块状	柔性扁千斤顶	65.1(2)
闪云斜长花岗岩，微风化	块状	柔性扁千斤顶	37.1～43.1 40.5(4)
闪云斜长花岗岩，微风化	镶嵌	柔性扁千斤顶	14.7～16.4 15.5(3)
闪云斜长花岗岩，弱风化	镶嵌	柔性扁千斤顶	15.4～28.4 21.9
闪云斜长花岗岩，弱风化	碎裂	水压法	5.6～15.0 9.2
闪云斜长花岗岩，微风化		双筒法	
细粒斜长岩，新鲜			46.1～51.9 49.0
碎斑岩	碎裂	承压板法	12.7～29.4 19.3(3)
碎裂岩			11.8～14.7 13.4(3)
石英闪长岩，微风化		承压板法	19.6
石英闪长岩，弱风化			16.2

性	纵波速度V_p(m/s)		备注
E_s(Gpa)	地震法	声波法	
	5500～6300 5900	5800(2)	承压板面积2500cm²
	4000～5900 4970(16)	5640(883)	
	3700～4500 4300(3)	5250(127)	
			水压试洞直径1.8m，长6m
68.1(2)		5890	压力枕面积3000～5770cm² (狭缝法)
43.0～51.3 47.1(3)		5370	
17.8～19.4 18.8(3)		5350	
18.7～33.7 26.2		5570	
62			1号平洞内
56.3(2)			橡皮囊法D＝107cm
24.8			
19.6			

（4）地应力测试成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	深度（m）	最大主应力			中间主应力			最小主应力		
		σ_1（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_2（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_3（MPa）	方位角（度）	倾角（度）
闪云斜长花岗岩，新鲜	94.8	3.8	340	3	0.39	250	8	−2.0	90	80
	122.2	8.9	33	17	4.6	285	47	0.39	137	38
	129.7	10.2	74	27	5.8	302	53	3.3	177	23
闪云斜长花岗岩，微风化	77.5	9.5	86	21	3.1	333	45	−4.1	193	37
	74.4	6.8	319	−64	3.7	238	5	1.2	330	25
闪云斜长花岗岩，弱风化	42.2	2.8	57	−9	−1.5	327	1	−3.5	54	81
	39.4	8.5	43	−18	4	300	−34	−0.9	336	50
闪云斜长花岗岩及辉绿岩，新鲜	91.4	11.9	60	15	2.9	349	−48	−2.9	318	38

（5）岩石参数建议值

岩石名称（岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	E (GPa)	μ	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	备注
闪云斜长花岗岩 新鲜及微风化（Ⅰ、Ⅱ类）	2.75	100	5～7	30～40	0.18～0.2	1.2～1.3	1500～2000	混凝土/岩，tgφ=0.95～1.05，c=1400～1600
弱风化(下部)	2.74	90～100	4～5	20～30	0.23	1.2	1000	混凝土/岩，tgφ=0.8～0.9，c=1000～1200
Ⅲ类岩体				20～30	0.25			Ⅰ，Ⅱ类岩体为整体块状结构，Ⅲ类岩体为块状结构
Ⅳ类岩体				10～20	0.25			
Ⅴ类岩体				0.5～2.0	0.30			
强风化	2.7	15～20			0.26			Ⅳ类岩体为镶嵌结构
全风化						0.5～0.6	40	Ⅴ类岩体为碎裂结构，E为岩体变形模量

注　初设采用值，弱风化下部$f=0.8$，新鲜岩/混凝土$f=1.0$.

续表

岩石名称（岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	E (GPa)	μ	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	备注
闪云斜长花岗岩结构面 新鲜，微风化，平直						0.5～0.6	0	
全、强风化，平直光滑						0.35～0.4	0	
新鲜，微风化，稍粗糙						0.6～0.7	50	
全、强风化，稍粗糙						0.35～0.45	20	
起伏粗糙，新鲜						0.8～0.7	100	
起伏粗糙，全、强风化						0.45～0.5	20	
极粗，新、微风化						0.8～1.0	150	
极粗，全、强风化						0.5～0.55	20	

葛洲坝水利枢纽

一、工程概况

葛洲坝工程位于湖北省宜昌市，长江三峡出口南津关下游2.3km，上距三峡坝址约40km。集水面积100万km^2，多年平均流量14300m^3/s。工程主要任务是发电和航运，以后又可作为三峡工程的反调节水库。坝轴线全长2595m，横跨大江（主河槽）、二江和三江。坝体由闸（泄水闸、冲砂闸和船闸）、坝（两岸）及河床式厂房等组成。最大坝高52.5m。设计发电水头18.6m，装机容量271.5万kW，库容15.8亿m^3。

1959～1960年完成规划，1970年动工兴建，同时进行初设勘察，1973～1974年初设补充勘察。1981年第一台机组发电，1988年最后一台机组完建。

二、工程地质条件

坝基为白垩系下统、河流相红层。岩性主要为砾岩、砂岩、粉砂岩及粘土质粉砂岩互层，并夹大量的粉土岩类夹层。地层层序从老至新依次分布在大江、二江及三江。岩层基本呈单斜构造，走向北东20°～50°（与河流近平行），倾向南东（倾左岸微偏下游），倾角6°～8°（个别达12°）。构造形迹主要为沿软弱夹层产生层间剪切错动，并在两个剪切错动带之间岩体内形成规模不大的潜伏断裂。发育较完善的层间剪切带具有等距性，如夹层308～227和230，202和130，112，地层间距大约30m左右有一带。K^{2-3-3}及K_1^{2-1-4}两层岩组，层面发育，单层厚(0.05～0.20m)～(0.1～3.0m)，常称之为多层面，多夹层的岩组。K_1^{2-1-1}、K_1^{2-1-2}、K_1^{2-1-3}次之，其它岩组层面一般不发育。

坝基下软弱夹层多且复杂，共有70余层。按性状分为5大类：

Ⅰ、普遍泥化的粘土岩夹层，岩性为纯粘土岩，厚约数厘米

至数十厘米，层位稳定。层间剪切错动破坏严重，一般具有2～3个错动面，平直光滑有擦痕。沿错动面附近为构造糜棱岩粉普遍泥化带。

II_1、局部泥化粘土岩夹层，岩性为粘土岩、粉砂质粘土岩，有时为粘土质粉砂岩。层位比较稳定，厚度一般在数厘米之内。沿错动面有数毫米厚泥化物，部分为泥膜。

II_2、透镜状粘土岩夹层，岩性为粘土岩，呈透镜体分布在粉砂岩或砂岩内，层位不稳定，有零星泥化点。

III、砾状粘土岩或粘土团块夹层，岩性主要为粘土类团块，个别含小石块，层位不稳定，局部泥化。

IV、含炭质条带夹层，岩性主要为微细层理发育的粉砂岩，沿层面富集炭屑、云母片，常呈透镜体或鸡窝状分布在砂岩内，失水脱开。

V、粉砂岩含粘土岩条带夹层，岩性主要为粉砂岩，夹有粘土岩条带和透镜体，受剪切破坏较明显，有泥化现象。

断层规模一般都较小，以缓倾角为主，规模较大或与建筑物关系密切的有12条。其中断层f_1的产状330°～350°/NE，∠25°～35°，破碎带宽0.1～0.5m，面呈舒缓波状，有泥膜；断层f_{15}的产状为330°～350°/NE，∠20°～35°，破碎带宽一般0.1～0.3m，最大达1m，有1～3mm泥；f_{114}的产状320°～330°/SW∠20°～28°，破碎带宽0.2～0.3m，充填物为泥粉和碎屑岩块；断层f_{112}的走向70°～80°/SE，∠20°～28°，充填着劈理状碎屑岩，未胶结，宽0.4～0.7m。这些断层对建筑物的影响远不及软弱夹层。

三、工程中主要岩石力学问题

1.坝基抗滑稳定性、坝基软弱夹层较多，且倾角平缓，倾向下游，抗剪强度低，是控制本工程抗滑稳定的主要问题。

2.二江电厂基坑开挖时，曾发生沿夹层水平错动，最大位移达81mm，错位具有明显的方向性，影响范围大，需研究其机制及对建筑物的影响程度。

3.研究基坑抗力体的作用及地应力的方向和大小。

4.泥质软岩开挖后，风化情况及处理措施。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗压强度	干燥	212			1	
	饱水状	330			7	
双轴强度					2	
抗剪强度	三轴			8		其中大型1组
	抗剪断			22		其中2组剪切面积近4 m^2
	抗剪	2				
	软弱夹层	10				
抗拉强度		32				
变形特性	岩块	18				
	承压板				32	
	狭缝法				28	
	动力法			70孔	8*	*与静力法比较
抗力体强度					2	
应力测量	钻孔解除			2孔		
	水压致裂			2孔		

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)
K_1^1钙质砾岩	2.73	2.6～2.84	2.46～3.36	0.6～0.64	0.98～1.26
K_1^1砾岩	2.70	2.62			1.21
K_1^1钙泥质砾岩	2.78	2.68	3.49	0.46	1.35
K_1^1泥钙质砾岩	2.80	2.76		0.49	1.05
K_1^1泥质砾岩	2.81	2.66	3.32	0.53	1.22
K_1^{1-1}砂岩	2.70	2.42			
K_1^{1-1}粉砂岩	2.72	2.33～2.45	8.55～15.1	2.56～4.18	
K_1^{1-1}粉砂岩、粘土质粉砂岩	2.71	2.35～2.45		3.18	
K_1^{1-2}粘土岩	2.69	2.42		3.19	
K_1^{1-4}粉砂岩					
K_1^{1-4}粘土岩					
K^{2-4}砂岩					

抗拉强度 (MPa)	抗压强度 (MPa)			变形特性	
	组数	干	湿	E(GPa)	μ
	3	71.3～31.1 60.3	84.3～13.3 57.4	10.4(1)	0.16
	8		52.1～19.6 39.4		
		43.7～64.7 54.2	41.9～17.4 44.7	54.2～3.92 22.9	0.11～0.32
	4	37.0～86.8 51.8	18.7～57.4 33.1	18.4	0.09～0.14
		76	53.4～59.2 56.3	28.4	0.01～0.14
	2	61.5			
	28	3.24～26.7 14.1	5.88～23.7 10.3	0.79～1.37 1.08	0.11～0.46 0.29
0.27～1.13 0.67	64	1.96～37.8 16.6	1.57～26.4 10.1	2.16～5.0 3.23	0.5～0.10
0.46～1.01 0.52	10	1.08～13.7 7.06	4.21～8.62 6.66	2.2～4.8 3.3	0.15～0.43
	7	5.49～17.7 12.0	5.1～22.3 11.3		
	12	2.84～26.9 13.8	5.49～17.4 9.4		
	8	18.4～42.8 28.5	7.84～40.4 21.2		

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	试验条件	变形特性		
		方法	E_o(GPa)	E_s(GPa)
粘土质粉砂岩	水平	狭缝法	1.22～1.29 1.26	1.96～31.7 2.57
粘土质粉砂岩，裂隙较多	水平	狭缝法	0.34	0.56
粘土质粉砂岩，含斑点	铅直	刚性板	1.02～1.4 1.22	1.6～1.72 1.65
粘土质粉砂岩，含斑点	水平	刚性板	1.53～1.82 1.66	2.49～2.74 2.59
粘土质粉砂岩，含斑点	铅直	狭缝法	1.11	1.33
粘土质粉砂岩，微裂隙多	铅直	双轴法	0.87	1.30
中粒砂岩，新鲜	水平	狭缝法	2.45	
中粒砂岩，新鲜	铅直	刚性板	19.6	
砂岩，松软，裂隙少	铅直	刚性板	2.6	4.74
砂岩，松软，裂隙少	水平	狭缝法	2.67～3.31 2.89	5.44～6.02 5.73
砂岩，弱风化	铅直	刚性板	0.57～0.91 0.78	2.19～0.76 1.31
紫红色砂岩，多裂隙	铅直	单轴	0.39	1.67
紫红色砂岩，疏松	铅直	狭缝法	0.86～1.5 1.09	0.97～2.36 1.72
粘土质粉砂岩，软弱	铅直	刚性板	0.75～1.37 1.07	1.18～2.62 1.79
粘土质粉砂岩，新鲜	铅直	刚性板	1.67	—
粘土质粉砂岩，弱风化	铅直		0.34	—

纵波速 (m/s)	抗剪断强度				
	类型	试件尺寸(cm)	组数	峰值	
				$tg\varphi'$	c'(kPa)
2930	大三轴	100×150	1	0.94	706
3090	抗力体	170×230×1000	1	1.04	235
2780	中剪	25×25	1	1.82	388
3300					
3260	三轴	35×35×75	1	1.59	1380
4000					
3120					
2780					
3370					
2930～3090	三轴	30×30×60	1	1.55	647
	三轴	30×30×60	3	0.92～1.04 0.99	642～813 742
	岩/岩	60×50		0.82	136

岩石名称（岩性、风化程度）	试验条件	变形特性		
		方法	E_o(GPa)	E_r(GPa)
粘土质粉砂岩，吸水软化	铅直	刚性板	1.05	1.79
粘土质粉砂岩，裂隙少	铅直	刚性板	2.59	3.76
K_1^{1-1-1}紫红色粉砂岩，软弱	铅直	刚性板	$\frac{0.6\sim0.69}{0.68}$	$\frac{1.02\sim1.22}{1.12}$
K_1^{2-1-2}紫红色粉砂岩，软弱	水平	刚性板	0.75	0.90
K_1^{2-1-2}紫红色粉砂岩，软弱	铅直	狭缝法	0.87	1.60
K_1^{2-1-2}紫红色粉砂岩，软弱	水平	狭缝法	$\frac{0.47\sim0.69}{0.57}$	$\frac{0.77\sim1.6}{1.11}$
K_1^1砾岩，新鲜	铅直	刚性板	19.2	
钙泥质砾岩	铅直	柔性板	51.5	55.6
钙质砾岩，较坚硬	铅直	柔性板	47.7	67.1
泥钙质砾岩孔隙性	铅直	柔性板	8.7	11.4
钙泥质砾岩	铅直	柔性板	14.3	19.7
泥质砾岩	铅直	单轴	6.2	
K_1^{1-1-1}杂砾岩，局部风化	水平	刚性板	10.5	24.3
粘土质粉砂岩，裂隙少				

续表

纵波速 (m/s)	抗剪断强度				
	类型	试件尺寸(cm)	组数	峰值	
				tgφ	c(kPa)
2930	混凝土/岩	25×30	1	0.84	278
3090	三轴	35×35×75	1	1.68	627
2780～3300	混凝土/岩	60×50	1	1.24	870
4000					
5000					
	混凝土/岩	100×60	1	1.7	2070
	混凝土/岩	100×60	1	1.23	1370
	混凝土/岩（快剪）	60×50	4	1.6～1.22 / 1.38	220～490 / 363

（3）主要泥化夹层地质特征及物理化学矿物分析成果表

夹层名称及编号	地质特征	厚度（m）		物理			
	岩性	夹层	夹泥	含水量（%）	容重（g/cm³）	流限（%）	塑限（%）
308粘土质粉砂岩，泥化夹层	猪肝色、灰绿色，层间错动，泥化普遍	0.4～4.38	0.01～0.03	34～48.7	1.75～1.85	67～69.8	33～41
230泥化层	白色，粉砂质粘土岩，普遍泥化	0.01～1.27	0.005～0.05	27.1～37.1	1.8～1.98	43	18～26
	紫红色			19.3～26.4	2.03～2.15	35～46	17～26
227粘土岩泥化夹层	猪肝色，紫红色粘土岩，分布稳定，普遍泥化	0.02～1.10	0.001～0.16	37.9～49.7	1.77～1.80	60～67	29～39
219粉砂质粘土岩泥化层	灰色，局部粘土岩团块，分布稳定，泥化	0.02～3.07	0.001～0.09	21.1～23.8	2.03	35	15
218粘土岩泥化夹层	灰绿色，夹细砂岩，泥化普遍	0.4～1.3	0.001～0.01	22.5	1.99	29	17
202粘土岩泥化夹层	夹粉砂质粘土岩，分布稳定泥化带个别面不连续	0.05～2.6	0.001～0.20	21.2～24.9	2.12	31～33	16～19
132粘土岩泥化夹层				36	1.37	31	17

特性				土定名	矿化分析					
颗粒组成（%）					方法	主要矿物	次要矿物	SiO_2（%）	Fe_2O_3（%）	Al_2O_3（%）
<0.05	0.05～0.005	<0.005	<0.002							
8～11	20～43	49～69	32～52	粘土	X射线	伊、蒙、高	石英、长石方解石	58	6.86	22.2
		30～60	60		X射线	绿、蒙、伊	石、长、方	56.4	5.62	24.6
		20～48	35		X射线	高、蒙、绿	石、方	55.1	8.95	20.6
13～18	25～42	31～57	29～42	粘土		蒙、高、伊	石英、方解石	53.3	7.61	23.3
		41		粘土	X射线	绿、伊、蒙	石英、方解石	52.7	9.25	21.7
	40		40	重粘土	X射线	绿、伊、蒙	石、方	53.1	8.83	22.2
12	36	46～59	32～40	粘土		伊、绿、高		52.5	8.28	23.8
12	61	39	12							

（4）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪强度					
	试验方法	组数	屈服值		峰值	
			tgφ	c (kPa)	tgφ	c (kPa)
308泥化层	土工，饱和快剪	16	0.18	15..	0.22	17.6
230粘土岩泥化层	土工，饱和快剪	13			0.26	18.6
227泥化层	土工，饱、固、快	14	0.20	18.6	0.22	2.16
219粘土岩层面裂隙泥化带	土工，饱、固、快	1	0.32	29.4		
219碎状粘土岩层面泥化						
218粘土岩泥化层	土工，饱、固、快	1			0.24	24.5
202粘土岩泥化层	土工，饱、固、快	1			0.24	20.6
132粘土岩泥化层	土工，饱、固、快	1			0.20	4.9

（5）地应力测试成果表

岩石名称	深度 (m)	最大主应力			中
		σ_1 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_2 (MPa)
粉砂岩不均一，局部相变	51	3.01	26		
	63	2.94	20		
砂砾岩(灰岩，石英砂岩为主)	57	5.1			
粉砂岩，紫红色	10.3	0.294	18	−11	0.137
粉砂岩	7.3	0.42	27	−26	0.176
	3.6	0.38	41	16	0.245

现 场 抗 剪 强 度

方法	组数	屈服值		峰值	
		tgφ	c (kPa)	tgφ	c (kPa)
大型快剪	4	0.19	2	0.22	9.8
中型快剪	1	0.36	4.9	0.44	313.6
大型快剪 中型快剪	1 1			0.21 0.23	3.9 9.8
大型快剪	1	0.19	31.4	0.23	61.7
中型快剪	1	0.25	22.5	0.28	29.4

间主应力		最小主应力			备注
方位角 (度)	倾角 (度)	σ_3 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	
		2.57	296		解除法，最大、最小值为水平主应力
		2.35	290		水压破裂
		2.35			
		0.001			解除法，由于基坑开挖应力已释放，测值偏小
		−0.049			
		0.147			

（6）岩石参数建议值与采用值

岩石	建议值					采用值						备注
	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	tgφ	c (kPa)	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	μ	tgφ	c (kPa)	
钙质砾岩	2.6～2.84	29.4	29.4	0.85	294	2.44	29.4～39.2	6.86～9.8	0.24	0.65	294	混凝土/岩
泥质砾岩	2.66		29.4	0.55	49		9.8	1.47～1.96	0.25	0.55	49	混凝土/岩
钙泥质砾岩	2.68		9.8							0.65		混凝土/岩
泥钙质砾岩	2.76		14.7							0.65		岩/岩
钙质砂岩(坚硬)		39.2	19.6				40	19.6				
砂岩		19.6～39.2	2.59	0.60	78		19.6	2.59	0.28	0.60	78	混凝土/岩
										0.60	78	岩/岩
疏松砂岩		9.8～19.6	0.98				9.8	0.98	0.33			
粉砂岩	2.23	7.84～19.6	0.98	0.50	49		9.8	1.96	0.30	0.50	49	混凝土/岩
粘土质粉砂岩	2.45		1.57	0.50	49		9.8	1.62	0.30	0.50	49	岩/岩
粘土岩	1.91～2.48	6.86～7.84	0.039				4.9	0.039	0.37			
粉砂质粘土岩			0.078				4.9	0.078	0.37			
碳状粘土岩								0.147				
砂岩、粉砂岩层面										0.45～0.55	29	

（7）岩石的抗剪参数建议值与采用值

岩石	建议值		采用值	
	tgφ	c (kPa)	tgφ	c (kPa)
III类碳状粘土岩夹层	0.35	49	0.35	49
IV类含炭质条带粉砂岩夹层	0.35	29.4	0.35	29.4
II₁类粘土岩夹层	0.30	24.5	0.33	24.5
II₁类粘土岩夹层、泥化	0.25～0.28	19.6	0.25～0.28	19.6
201、203、208、212夹层			0.25～0.28	20
112、113夹层	0.30	9.80	0.30	
II₁类粘土岩夹层泥化区（129、132夹层）			0.25	
306、307、319夹层	0.25～0.28	4.9～9.8	0.25	49
I类 202夹层 129、131夹层	0.20	4.9	0.20 0.20	4.9
I类308、227、218夹层	0.17	4.9	0.17	4.9
断层破碎带	0.30	9.8	0.30	9.8
粘土岩层面	0.35	24.5	0.30	24.5
抗力体滑出面			0.35	4.9

隔河岩水利枢纽

一、工程概况

隔河岩水利枢纽位于湖北长阳县境内，是清江梯级开发综合利用的一个骨干工程。主要建筑物有混凝土重力拱坝，河岸引水式电站厂房及通航船闸等；最大坝高为151m，坝长653.5m，总库容为34亿m^3，装机容量为120万kW。

工程于1968年勘测试验以来，开展了室内外岩石试验，并于1987年开工，现正在施工中。

二、工程地质条件

1.岩性：坝址处于长江中下游东西向构造带的两端，长阳背

斜的南翼。岩层主要是寒武纪石龙洞灰岩，产状为10°～20°/SE，∠25°，呈单斜展布，倾向上游。电站厂房基础为巨厚层石牌页岩，两岸重力坝段为平善坝页岩，引水隧洞通过的岩层有红溪灰岩、平善坝页岩和石龙洞灰岩。

2.断裂特性：对坝基和拱座有影响的断层有F_{10}，它规模较大，产状为340°～350°/SW，∠75°～80°，破碎带宽0.3～4.0m，性状差，且在坝基下与302层间错动面交汇；右岸尚有F_4、F_{16}及F_{18}等断层，产状变化大，倾角较陡(70°～80°)，断层破碎带宽为0.8～1.5m。节理主要有：（1）280°～300°/NE或SE，∠60°～70°；（2）340°～350°/NE或SW，∠60°～80°；（3）5°～10°/NW或SE，∠70°～80°；（4）40°～90°/NW或SE，∠60°～70°，尤以前二组最为发育。

泥化夹层为沿层间错动带泥化，共有4层，间距为50～70m，其中201夹层为灰白色软泥，厚1～5mm；301夹层为黄褐色软泥，厚1～20mm；302夹层为黄褐色软泥，厚1～10mm；401夹层为灰白色软泥，厚5～260mm。

三、工程中岩石力学问题

1.由于坝区岩体存在泥化夹层多条，除须了解坝区岩体的力学性质外，尤要查明软弱结构面和泥化夹层的物理力学性参数。

2.岩体的不均匀变形对坝基稳定性影响。

3.302夹层与F_{10}断层构成滑移体、301夹层与断层F_4组成的滑移体等对坝基及拱座岩体抗滑稳定性的影响。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验		备注
		块数	组数	块(点)数	
抗压强度	干状态	189			
	饱水状	189			
抗剪强度	抗剪断		3		其中混凝土/岩2组
	抗剪			20	其中混凝土/岩13块
	裂隙面			42	包括夹层

续表

试验项目			室内试验	现场试验		备注
			块数	组数	块(点)数	
变形试验	静力法	室内	10			
		承压板法			29	
		扁千斤顶法			13	刚性板25点，柔性板4点
		水压(或双筒)			1	
		径向千斤顶			2	
		钻孔变形计			114	
	动力法			34		其中地震法20，余为超声波法

五、岩石力学诸参数

(1)室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称	抗压强度(MPa)		弹性模量E (GPa)
	干	湿	
鲕状灰岩	51.4～157.7 103.1(12)	54.4～116.5 78.9(12)	7.23
粗粒灰岩	64.7～99.1 76.8(8)	36.5～44.1 66.7(9)	
细粒灰岩	69.4～77 73.4(2)	54.9～75.9 63.6(3)	
细晶灰岩	36.8～76.8 54.3(7)	25.2～76.6 51.7(7)	
中粒灰岩	65.5～94.7 77.6(3)	46.2～109.2 72.5(3)	
细晶灰岩裂隙带	27～63.8 45.6(3)	30.4～46.4 39.9(3)	4.12
致密微晶灰岩	95.6～113.7 105.3(3)	76.4	
致密微晶灰岩，含泥质条带	41.8～101.1 68.2(6)	29.5～78.1 54.7(8)	
薄层条带灰岩	68.5～148.9 107.6(3)	59.8～132.3 81.7(3)	
泥质页岩	26.7～31.5 29.1(2)	15.2～28.1 21.7(3)	2.89

注 1.本表系长科院1968、1983年试验资料汇编；
2.分数中的分子表示范围值；分母表示平均值，括号中数字表示试验组数。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	变形特性				试验类型	试件尺寸(cm)
	试验条件	试验方法	E_o(GPa)	E_r(GPa)		
灰岩	斜交	刚性承压板	35.28	36.9	混凝土/岩	50×60
		柔性承压板	17.4(3)	27.4(3)		
	平行层面	狭缝法	16.5(2)	2.1(3)		
	垂直	狭缝法	5.5	8.9		
薄层条带灰岩		刚性承压板	14.6(8)	28.4(8)		
	垂直	狭缝法		12.6		
	平行	狭缝法	33.3			
灰岩，粉砂岩夹页岩	斜交	刚性承压板	2.05(2)	4.32(2)	泥灰岩/岩	50×60
角砾岩	斜交	狭缝法	27.15	39.3		
页岩	垂直	狭缝法	3.0(2)	3.92(2)	混凝土/岩	50×60
	平行	狭缝法	0.41	0.74	岩/岩	50×60
	平行	刚性承压板	7.2(3)	15(3)		
	垂直	刚性承压板	1.04(2)	1.52(2)		
301夹层	平行	狭缝法	6.3	11.4		
	垂直	狭缝法	2.6	4.1		
	斜交	狭缝法	1.31	2.72		
302夹层	斜交	刚性承压板	0.22	1.10	302夹层	50×60
					201夹层	50×60
					401夹层	50×60

抗剪断				抗剪					备注
屈服值		峰值		屈服值		峰值		残余值	
tgφ′	c(kPa)	tgφ′	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	tgφ	
		1.60	1180			1.08	590		混凝土标号200#，起伏差小于0.2cm，沿胶结面破坏
				0.25	60	0.35	70～90		剪切面平直、光滑
		0.92	290			0.92	160	0.73	混凝土标号200#，起伏差小于0.2cm
0.54	70	0.73	130						
				0.39	40	0.47～1.46			泥化面，起伏差1～2.5cm
				0.26	30	0.35	70		剪切面，起伏差0.2～3cm
				0.22	25				泥化面，起伏差0.2~0.5cm

（3）岩石参数建议采用值

岩石名称	抗压强度 R_c(MPa)	弹性模量 E_s(GPa)	μ	tgφ	c(kPa)	备注
灰岩，微风化	40～53		0.25	1.0～1.2	880～1180	
灰岩，弱风化	40～50	7～10	0.27			
页岩	10～20	0.5～1.0	0.35	0.6	98	
				0.6	98	混凝土/岩
页岩弱风化				0.5	50	
201夹层和401夹层				0.23～0.25	20	

丹江口水利枢纽

一、工程概况

丹江口水库位于湖北省均县，地处丹江与汉江汇合口下游0.5km的汉江干流上，坝址以上控制流域面积95220km²。枢纽由混凝土坝、两岸土石混合坝、坝后式电站、升船机和引水灌溉渠首等组成。混凝土坝坝型为宽缝重力坝及重力坝，共分57个坝段，全长1141m（其中河床部分宽缝重力坝长582m），两岸土石坝全长1353m（其中左岸长1223m，右岸长130m）。最大坝高97m，总库容209.8亿m³，总装机容量90万kW。1951年选坝，1958年1月完成初设，同年9月开工，1956年至1966年间续进行岩石力学试验，1968年10月第一台机组发电，1974年竣工。

二、工程地质条件

坝基主要为震旦纪变质火成岩、岩脉侵入体。从右岸到左岸

依次为辉长辉绿岩、闪长岩、闪长玢岩和辉绿岩。

基岩裂隙发育，倾角一般为60°～85°，缓倾角裂隙少，且集中出现在河床地带变质闪长玢岩中。裂隙宽度一般小于0.5mm，充填钙质、铁质等。

主要断层有14条，泄流坝段F_{204}，产状323°～350°/NE，∠74°～88°，破碎带宽0.6～6.0m，充填糜棱岩，块状构造岩；溢流坝段F_{241}，产状315°～331°/NE，∠70°～85°，破碎带宽0.9～8.2m，充填糜棱岩，块状构造岩、构造粘土岩；厂房坝段有F_{185}和F_{609}，前者走向340°～350°/NE，∠70°～85°，破碎带宽5.0～6m，充填角砾岩、块状构造岩和糜棱岩；后者产状20°/NW，∠64°～87°，破碎带宽0.2～7.0m，充填构造和角砾岩。

三、工程的岩石力学问题

1.坝基岩体应具备足够的强度和完整性，保证建筑物不致发生过大的沉陷。

2.大坝基础及岩体均应具有足够的抗剪强度，尤其混凝土与基岩接合面应满足抗滑稳定要求；在岸坡地质情况复杂地区，更应保证开挖边坡和自然岸坡的稳定。

四、试验工作量

试验项目	抗压强度		抗剪强度		弹性模量	
	干燥	饱水	抗剪断	抗剪	承压板	动力板
室内(组数)	169	179				
现场(组数)			20	11	30	35

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	变形特性 E(GPa)	变形特性 μ
变质辉长辉绿岩，弱裂隙带	2.96	0.11	0.12	95～155 121.8(12)	81～130 104(12)	54.6～65.5 60.1	0.28
变质辉长辉绿岩，强裂隙带	2.92	0.13	0.15	102～133 118.5(13)	65～129 96.5(11)	60.3～97.9 76.6	0.28
变质辉长辉绿岩，强裂隙带	2.88	0.21		69～123 93.7(11)	53～95 76.2(11)	69.4～92.4 80.9	0.28
变质辉长辉绿岩，块状	2.91		0.21	47～139 97.5(25)	16～94 58.4(25)	43～76.9 72.7(3)	0.30
变质辉长辉绿岩，糜棱岩	2.71	1.23		7～40 28.5(12)	2.6～15.5 7.1(14)	7.1～32 17.9(5)	0.31
变质辉长辉绿岩，含角砾，糜棱岩	2.69	1.10	1.13	14.2～48.4 25.3(4)	3.3～14.5 7.9(5)	7.10	0.34
变质闪长岩，弱裂隙带	2.96	0.13		114～126 122(5)	107～123 112(5)	90.1～96.1 93.1	0.28
变质闪长岩，强裂隙带	2.92	0.14		112～128 119(5)	77～115 99(5)	72.5～98.4 82.3	0.27
变质闪长岩，（块状）	2.90	0.52		177	79		0.28

续表

岩石名称（岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	变形特性 E(GPa)	变形特性 μ
变质闪长岩，糜棱岩	2.72	0.82		54～69 / 61	30～52 / 51		0.28
细斑晶变质闪长玢岩，弱裂隙带	2.93	0.30		171～194 / 182	129～173 / 151		0.27
细斑晶变质闪长玢岩，强裂隙带	2.80	0.41		111～188 / 143	101～120 / 111		0.27
细斑晶变质闪长玢岩，糜棱岩	2.75	1.2		17～51 / 34	15		0.31
中斑晶变质闪长玢岩，弱裂隙带	2.77	0.3		174～277 / 209	172～201 / 189		0.27
中斑晶变质闪长玢岩，强裂隙带	2.72			139～163 / 151(7)	139～163 / 119(4)	66.3	0.27
中斑晶变质闪长玢岩，弱风化	2.71			92	73		0.29
中斑晶变质闪长玢岩，块状	2.62	0.81		30～128 / 63	28～59 / 46	28.9～59.8 / 41.9	0.28
中斑晶变质闪长玢岩，片状	2.65			87～141 / 114	62～109 / 85		0.27
中斑晶变质闪长玢岩，糜棱岩	2.59			35～40 / 37	16～29 / 23		0.31

续表

岩石名称（岩性，风化程度）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	变形特性 E(GPa)	变形特性 μ
变质辉绿岩，块状	2.91					56.1	0.30
变质辉绿岩，（弱裂隙带）	2.94		0.25	96～139 / 125(5)	69.7～139 / 96(5)		0.30
变质辉长辉绿岩，弱风化	2.89		0.30	77	58		0.29
变质辉长辉绿岩，强风化	2.79			53～55 / 54	13～19 / 15.7		0.34
变质辉长辉绿岩，块状	2.85			56～86 / 71	58～64 / 61		0.29
石英片岩	2.81		0.67	39～67 / 55	29～79 / 47		0.34
绿泥石片岩	2.74		0.67	18～58 / 34(23)	11～56 / 23(22)		0.35
片状糜棱岩	2.74		0.90	20～38 / 31(3)	14～21 / 17(3)		0.35
变质绿泥石片岩	2.72			40～99 / 72(6)	30～69 / 49(6)		0.32

注　表列分数中，分子表示范围值；分母表示平均值，括号内的数字表示试验组数。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性，风化程度）	试验条件	试验方法	试验类型	试件尺寸(cm)	抗剪断（峰值）			抗剪(峰值)		备注
					tgφ′	c′(kPa)	组数	tgφ	c(kPa)	
变质辉绿岩，新鲜	平行层面	平推	岩/岩	30×30	1.50	2180	1	0.72	1000	
变质辉绿岩，弱风化、裂隙带				30×30	1.75	2500	1			
粗斑晶变质闪长玢岩，微风化				30×30	1.68	2640	1			
粗斑晶变质闪长玢岩，微风化				30×30	1.51	2000	1	0.73	750	
石英片岩，强裂隙带	平行层面	斜推	岩/岩	50×60	1.49	810	1	1.22	340	
石英片岩，强裂隙带				50×60	1.54	1920	1			
变质辉绿岩，新鲜	平行层面	平推	混凝土/岩	50×50	1.10	1600	1	0.72	250	混凝土标号131#，起伏差0.5～1cm
变质辉绿岩，块状				50×50	1.12	1300	1	0.97	120	混凝土标号131#，起伏差0.5～1cm

续表

岩石名称（岩性，风化程度）	试验条件	试验方法	试验类型	试件尺寸(cm)	抗剪断（峰值） tgφ′	抗剪断（峰值） c′(kPa)	抗剪断（峰值） 组数	抗剪(峰值) tgφ	抗剪(峰值) c(kPa)	备注
变质辉绿岩，微风化				50×50	1.17	1150	1	0.93	200	混凝土标号127#，起伏差0.5～1cm
变质辉绿岩，弱风化				50×50	1.13	1120	1	0.74	600	混凝土标号130#
粗斑晶变质闪长玢岩，微风化				50×50	1.0	1120	1	0.73	50	混凝土标号109#，起伏差0.5～1cm
粗斑晶变质闪长玢岩，弱风化				50×50	0.8	1200	1	0.62	500	混凝土标号102#，起伏差0.5～1cm
粗晶变质闪长玢岩，新鲜	平行层面	斜推		50×50	1.17	1370	1	/	/	混凝土标号63#，起伏差0.5～1cm
绿泥石云母片岩				50×60	1.22	1440	1	/	/	混凝土标号138#，起伏差1～1.5cm
绿泥石云母片岩				50×60	1.30	1840	1	/	/	混凝土标号206#，起伏差1～1.5cm
变质碎状绿泥石片岩				50×60	1.25	1440	2	1.0	350	混凝土132#，起伏差1～1.5cm
石英片岩夹绿泥石片岩				50×60	1.59	1250	1	0.96	360	混凝土标号204#，起伏差1～1.5cm

（3）现场岩体变形特性成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形试验				备注
	试验条件	试验方法	E_o (GPa)	E_s (GPa)	
绿泥石云母片岩	平行层面	承压板	0.8～15 9.14(8)	3.9～28 17.5(4)	
	平行层面	动力法		50.9	
石英片岩夹绿泥石片岩	平行层面	承压板	1.2～8.9 4.4(6)	2.5～14.0 10.6(4)	
		动力法		14.8～33.9 24.1(10)	
石英、绿泥石片岩		承压板	0.89～4.5 2.7	5.4～9.6 7.5	
石英片岩夹辉绿岩		承压板	4.9～36 20.4	9.9～83 46.4	
变质碳状绿泥石片岩	平行层面	承压板	11～16 13.5	34～35 34.5	
	平行层面	动力法		23.5～66.9 37.7	
变质辉长辉绿岩微风化		承压板	2.7～1.95 2.3		
变质闪长岩、新鲜		承压板	9.3		板强裂隙带
中斑晶变质闪长玢岩微风化		承压板	1.3～7.3 4.2		属断层破碎带

（4）岩石参数建议采用值

岩石名称	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	$tg\varphi$	c (kPa)
I类岩石(坚硬，块体)	80	20	0.75	0
II类岩石(块体10～30cm)			0.68	0
III类岩石(软弱)			0.5～0.53	0

天福庙水库

一、工程概况

天福庙水库位于湖北省宜昌地区远安县境内黄柏河中游。工程的主要建筑物为左岸溢流重力坝及其余坝段的浆砌石双曲拱坝。拱坝坝顶中心角91.5°，坝顶宽4.2m，坝顶弧长168.5m，最大坝高为63.3m。总库容为6380万m^3，坝后设两级电站，总装机容量为5640kW。工程是灌溉为主（约150万亩），兼有防洪、发电、拦沙和养殖等综合效益。工程于1974年冬动工，1978年建成。

二、工程地质条件

1.地层岩性：坝址出露下寒武系天河板组($\varepsilon_1 t$)岩层，由下而上为泥质条带灰岩、白云质灰岩，豆状鲕状及藻类灰岩，可分为9小层，在右坝肩总厚度86m，岩层产状平缓，走向NE35°/SW，∠5°～15°，偏右岸。

2.断裂构造：坝区受近NW-SE向一对扭力作用而形成一系列压扭性断层，主要有F_{15}、E_6、F_1和F_3等，F_1和F_6断层物质已胶结，F_3断层胶结性较差，并有软泥充填。

主要节理有4组：（1）NW300°～330°，（2）近SN，（3）NE20°～40°，（4）NE70°～90°。倾角均近直立，顺河向断裂发育，倾角陡立。右岸以NW向裂隙发育，其延伸长度一

般为0.5～2m，有的数条连成一条，长达10m。

天河板组岩层还有一些软弱夹层，控制右坝肩岩体稳定性的主要有t_3、t_5和t_7。t_3层的中部和下部为厚10m的泥质条带灰岩，共有6条厚0.02～0.2m泥灰岩夹层；t_5层底部为厚0.1～0.2m的泥灰岩和泥质灰岩；t_7层顶部为0.3m厚的泥质条带灰岩和泥质灰岩。

三、工程中岩石力学主要问题

工程建成后，因右坝肩岩体稳定安全系数不足，未能正常蓄水，主要有：

1.断层多，将较单薄的右坝肩岩体切割，加之地形向下游扩散，存在抗滑稳定性问题。

2.对右坝肩中存在的软弱夹层力学性质不清楚，尤其是t_5层这一控制性夹层的物理力学性需查明。

四、试验工作量

试验项目	抗剪断	抗剪		变形特性		备注
		裂隙面	软弱夹层	承压板	扁千斤顶	
室内（块数）		9				
现场（块数）	4	19	12	9	1	t_3层5块，t_5 7块，t_6 4块，t_8 3块

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	湿抗压强度（MPa）	抗剪强度						备注
		试验类型	组数	抗剪断		抗剪		
				$tg\varphi'$	c'（kPa）	$tg\varphi$	c（kPa）	
白云质灰岩，微风化	120	岩/岩	2	1.54	7600	1.30	1000	试件10cm×10cm×10cm 中剪，裂隙面粗糙

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	变形特性				抗剪强度								
	试验条件	方法	E_0 (GPa)	E_r (GPa)	类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断峰值		抗剪屈服值		抗剪峰值	
								$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi_1$	c' (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)
白云质灰岩	垂直层面	承压板	2～5.2 3.5	4～7 6	岩/岩	50×60	1	1.24	1400			0.81	900
白云质灰岩	平行层面	承压板	7～16 9.2(3)	20～25 22.5(3)									
	垂直层面			12～24.5 18.3	混凝土/岩	50×60	1	1.30	1000			0.91	500
	平行层面	超声波		30～76 48.1(4)	混凝土/岩	50×60	1	0.93	700			0.78	0
灰岩，泥质条带					岩/岩	50×60	1	0.84	1100			0.75	800
					岩/岩	50×60	1	0.60	300			0.57	300
F_1（角砾岩）		狭缝法	1.0	2.0									
		超声波		4.0			1						
F_{11}					岩/岩	50×60				0.48	2500		

（3）软弱夹层物理性质试验成果表

夹层名称及编号	天然状态			流限	塑限
	含水量（%）	容重（g/cm³）	孔隙比（%）	（%）	（%）
泥质条带灰岩 t_1^1	28.9	1.35	0.85	45.2	22.2

夹层名称及编号	颗粒组成（%）				土定名
	≥0.05	0.05～0.005	<0.005	<0.002	
泥质条带灰岩 t_1^1	38.0	0.7	41.1	20.2	

注　右坝肩取样试验。

（4）软弱夹层力学特性成果表

夹层名称及编号	现场抗剪试验			备注
	方法	屈服值		
		tgφ	c（kPa）	
泥质条带灰岩 t_1^1 中下部	直剪	0.4	0	饱和抗压强度0.2MPa
t_1^1 顶部	直剪	0.4	340	

（5）夹层地质特征及矿化分析成果表

夹层名称及编号	夹层				分析方法	比表面积
	分布	厚度（m）		成因类型		（m²/g）
		夹层	夹泥			
泥质条带灰岩 t_1^1	右坝肩广布	0.02～0.2	0.01～0.02	层间挤压	X射线差热分析	129

夹层名称及编号	难溶盐				备注
	SiO_2（%）	Fe_2O_3（%）	Al_2O_3（%）	SiO_2/R_2O_3	
泥质条带灰岩 t_1^1	3.95	0.87	1.99	1.37	试验前浸水达2个月

（6）岩石参数采用值

岩石	弹性模量 E (GPa)	抗剪强度		备注
		$tg\varphi$	c (kPa)	
白云质灰岩，平行	5～7	0.99	840	岩/岩
白云质灰岩，垂直	3.5～4.0			
混凝土/岩石		0.74	560	
夹层		0.32	0	
条带灰岩		0.67	660	岩/岩

凤滩水电站

一、工程概况

凤滩水电站位于湖南省沅陵县境内，沅水支流酉水的下游，距县城45km。控制流域面积17500km²。枢纽由空腹重力拱坝、坝内式厂房、过船筏道（右岸）和泄洪底孔等建筑物所组成。拱坝轴线半径243m，最大坝高112.5m，坝顶弧长488m，中部溢流段弧长255m，分13孔泄洪，每孔净宽14m。溢流坝空腹内设置厂房及220kV变电开关站，电站装机总容量40万kW；总库容为13.9亿m³。工程于1955年规划，1970年3月初设，同时10月正式开工兴建，1978年5月发电，1980年12月完建。

二、工程地质条件

自然地形坡度40°～50°，枯水期坝址河床宽140m，覆盖层较薄，左右两岸残坡积层厚度0.5～1m，河床卵砾石层厚3～5m，基岩为P^1_{tbx}～P^9_{tbx}层砂岩及石英砂岩组，性坚硬致密。坝基为前震旦系板溪群变质岩，岩性以中厚至厚层砂岩、石英砂岩及长石石英砂岩为主，基岩较为完整。但P^9_{tbx}层（紫色石英砂岩与长石石英砂岩夹砂岩）组中，基岩节理较发育，风化较深，厚度达62m。

基岩中节理裂隙比较发育主要有以下两组：

1.走向30°～40°，倾向NW者居多，倾角为70°～80°。

2.走向300°～310°/SW或NE，∠80°左右。

主要断层有7条：（1）F_1产状300°～310°/SW，∠80°～87°；（2）F_{100}产状290°～310°/NE，∠85°～87°；（3）F_{22}产状301°～315°/SW，∠78°～85°；（4）F_6产状305°～320°/SW，∠75°～85°；（5）F_{23}产状315°～325°/SW，∠80°～88°；（6）F_{25}产状305°～315°/SW，∠87°～89°；（7）F_{66}产状318°/SW，∠80°。

地下水沿断层破碎带和节理裂隙活动，河床基岩深度35m以上，单位吸水量为0.01～0.1L/min，35m以下一般小于0.01L/min，但断层和层间错动带，透水性较大。

三、工程的岩石力学主要问题

1.由于坝基下断层，层间错动，节理裂隙发育，且其中有破碎夹泥连续成层，存在大坝沿软弱结构面（或组合面）滑动的可能性。

2.由于各软弱结构面交织如网，上下游贯通，形成渗漏通道，且在软弱层中多夹有泥，在高水头作用下，容易产生管涌，并影响大坝稳定性。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验		备注
		组数	组数	块(点)数	
抗压强度	干燥	5			
	饱水状	5			
抗剪强度	抗剪	50	9		其中混凝土/岩3组
	软弱夹层	9	1		
物理性质		5			
变形试验	承压板法			20点	
应力测量	应变计法			4孔	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	组数	容重 (g/cm³)	孔隙率 %	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗剪强度 类型	组数	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′ (kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c (kPa)
P_{1b}^{1-2}紫灰色石英砂岩	1	2.69	0.01	0.17	211.3	198.9	混凝土/岩	2			0.65～0.74	170～160
P_{1b}^{1}灰棕色石英砂岩	1	2.74	0.003	0.08	185.3	193.9						
P_{1b}^{1}灰棕色石英砂岩，微风化	1	2.71	0.003	0.10	164.2	191.1						
石英砂岩	1	2.71	0.003	0.09	294.0	182.9	岩/岩	2			0.56～0.52	50
P_{1b}^{1-1}紫色砂岩	1	2.68	0.01	0.18	229.2	151.1	岩/岩	1			0.52	20
P_{1b}^{1}灰绿色石英砂岩							混凝土/岩	2			0.67～0.65	200～130
P_{1b}^{1}灰绿色石英砂岩							岩/岩	2			0.52～0.57	50～140
紫色砂岩							混凝土/岩	1			0.58	400
砂岩							层面	13	0.49	105	0.60	22
NE节理面							岩/岩	12	0.57	135	0.63	28
NW节理							岩/岩	6	0.52	25	0.60	56

注　抗剪参数均为小值平均。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性			抗剪强度					备注
	条件	方法	E_o (GPa)	类型	试件尺寸 (cm)	组数	峰值 $tg\varphi$	峰值 c (kPa)	
灰绿色砂岩	垂直层理	承压板	41	混凝土/岩	50×50	大于2	0.81～1.02	500～600	
	平行层理		18						
	水平		6.6						距F_1 1.2m
P_{lh}^{1-1}石英砂岩	水平向	承压板	12.7						
石英砂岩，新鲜，完整	垂直层面		31.6						1.承压板面积0.125～0.25m²
P_{lh}^{1-2}灰绿砂岩	斜交	承压板	30.0						
P_{lh}^{1-2}灰绿砂岩节理发育	垂直层面		3.85						2.最大垂直应力3 MPa
P_{lh}^{1-3}长石石英砂岩	垂直层面								
	水平	承压板	19.4						
灰绿色砂岩	水平向		8.2						
紫色砂岩	水平向	承压板	11.0						
紫色砂岩，节理发育	水平向		6.1						
长石石英砂岩	垂直层面	承压板	15～19.4 17.2						
P_{lh}^{1-1}夹层	平行层面		1.19						
夹层			1.3						
P_{lh}^{1-1}石英砂岩	垂直层面	承压板	18.8						距P_{lh}^{1-2} 1.47m
	垂直层面		11.8						距P_{lh}^{1-2} 0.5m
	水平向		4.55						距P_{lh}^{1-2} 0.5m

（3）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪试验				现场抗剪试验				备注
	方法	组数	峰值		方法	组数	峰值		
			tgφ	c (kPa)			tgφ	c (kPa)	
夹泥(粒径<10mm)	土工	5	0.42～0.53 0.48	10～150 20	直剪				液限11.9%
夹泥(粒径<0.5mm)	土工	4	0.19～0.25 0.23	14～27 20					液限36%
10*夹泥层					直剪	7	0.15～0.51 0.31	5～180 86	水饱和4天

（4）地应力测试成果表

岩石名称	深度 (m)	最大主应力			中间主应力			最小主应力			备注
		σ_1 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_2 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_3 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	
前震旦系	67.9	−11.59	2.24	51.8	−1.96	260	9.4	−0.09	163	36.7	岩体裂隙较发育，硅化严重
		−6.12	7～16	32.9～42	1.19	293	53.1	4.05	211	15～47	
长石石英砂岩		−4.41	345	46.9	−1.89	150	14.4	0.49	189	11.4～39.6	
原始应力场		−4.26	1	49.9	−1.42	113	17.7	−0.12	216	34.6	初步设计书

（5）岩石力学参数的建议采用值

岩石名称	抗压强度(MPa)	E (GPa)	抗剪强度		备注
			tgφ	c (kPa)	
砂岩	159	12～15			
石英砂岩	183～199	15			
长石石英砂岩		11～15			
基岩沿切层剪切			0.70	1000～1500	
破碎泥化夹层		0.5	0.25	20	
层面夹薄层不连续泥			0.40	20～30	
层面或节理面无充填物，闭合			0.60	40	
混凝土/基岩			0.70		切层剪断
砂岩/板岩			0.50	0	
断层充填有泥及角砾		0.5	0.25	20	夹泥为主
			0.45	50	

双牌水电站

一、工程概况

双牌水电站位于湖南省双牌县境内的湘江支流消水上，距县城4km，是一个发电、灌溉、航运等综合利用的水利工程。坝型为混凝土双支墩大头坝，两岸为浆砌石重力坝，最大坝高58.8m，总长311m。电站为坝后封闭式厂房，装机容量为13.5万kW。库容4.14亿m^3，灌溉面积75万亩，并建有100t级船闸一座。工程于1958年初勘测，同年冬施工，1961年蓄水，1963年竣工。

二、工程地质条件

坝基地质为泥盆系跳马涧组沉积岩系，主要岩性为紫红色板岩、砂岩及石英砂岩和灰绿色砂岩、石英砂岩夹页岩，坝头为石英砂岩与板岩、页岩互层，褶皱剧烈，断层较多，节理裂隙发育，风化较深；河床为砂岩板岩互层，自上而下大致分为4个小层，砂质板岩及泥质板岩互层厚11～17m，石英砂岩厚1.2～1.8m，砂质板岩厚5.4～6.0m，石英砂岩厚3.2～5.4m。

岩层产状330°～340°/SW，∠8°～20°，总的趋势倾向下游，

略偏左岸，顺水流向视倾角约为7°～9°。

河床地质构造较为单一，褶皱平缓，岩性新鲜完整，风化甚浅。

基岩层面之间有5层破碎夹层，各夹层自5层向下编号为f_1～f_5，分布在溢流坝基下约16m深度范围内，各夹层间距1.5～6m。f_1位于D_1^{III-4}中第3小层泥质板岩底部；f_2位于D_1^{III-4}中第2小层砂质板岩底部；f_3位于D_1^{III-4}板岩底部与D_1^{III-4}石英砂岩顶部交界面上，f_4位于D_1^{III-3}石英砂岩底面与D_1^{III-2}砂质板岩顶面，f_5位于D_1^{III-3}板岩底部与D_1^{III-1}石英砂岩的交界面上。

f_1、f_2分布及残存面积较小，埋藏较浅，大部已被清除，对坝基稳定影响较小。f_3、f_4、f_5三个夹层分布范围较大，按其性状与深度不同，对坝墩的稳定将有不同的影响，为坝基滑动的主要控制性夹层。

夹层充填物主要是板岩碎片、碎屑，片厚为0.1～5mm，保持母岩性质，原状结构，充填紧密，并夹有少量岩粉，近地表或断层F_{101}、F_{102}附近的夹层张开，局部有外来黄泥充填。

6#～7#支墩破碎夹层有局部架空，形成地下水良好的渗流通道。

三、工程的岩石力学问题

大坝在运行10余年后，始发现坝基渗流异常，经补充勘测查明：在坝基受力深度内，下伏有数层倾向下游的缓倾角破碎夹层，而且已被坝下游挑流形成的冲刷坑切断，显然沿夹层的抗滑稳定存在严重问题。坝基加固计算分析中需研究破碎夹层的抗剪参数及锚固效果。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗压强度	干燥		4			室内试件7cm×7cm×5cm
	饱水状		6			

续表

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗剪强度	抗剪断			14		混凝土/岩以40°碳化硅磨面
	抗剪	29				岩/岩以80～100°碳化硅磨面
	裂隙面	76				
变形试验	承压板				9点	
	室内法					
物理性质			9			
预应力锚索					8孔	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学特性试验成果表

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	湿
砂质板岩					
灰绿色板岩	2.72	2.53	2.39	69.5	33.2
灰绿色砂岩	2.70	2.47	2.72	77.0	43.0
板岩	2.81	2.70	0.55		108.1
泥质板岩	2.81	2.67	0.85	69.1	53.0
石英砂岩	2.69	2.63	1.19	153.2	87.7

岩石名称	弹性模量 E_r (GPa)	抗剪强度 类型	组数	抗剪 tgφ	抗剪 c (kPa)	备注
砂质板岩	$\frac{6.6\sim42.1}{24.7}$					
灰绿色板岩						
灰绿色砂岩		岩/岩	26	0.73	127	磨光面(140°碳化硅)
板岩		岩/岩	45	0.53	57	磨光面(140°碳化硅)
泥质板岩						
石英砂岩		岩/岩	31	0.75	194	光毛面混合
		混凝土/云母质砂岩	3	0.75	194	法向应力2.4MPa

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	试验类型	试件尺寸 (cm²)	组数	抗剪强度				备注
				屈服值		峰值		
				tgφ	c (kPa)	tgφ	c (kPa)	
石英砂岩	岩/岩	50×50	1	0.335	0	0.375	0	范围值 平均值
砂岩（2～5层夹层）	岩/岩	50×50	4	0.305～0.385 0.33	0～39 23	0.35～0.43 0.39	0～30 10	砂岩完整，剪坏后断面高差2～3cm

（3）软弱夹层力学试验成果表

夹层名称及编号	方法	组数	抗剪强度		备注
			tgφ	c (kPa)	
1～4，6～10（石英砂岩与板岩间夹层）	单点法	9	0.26～0.65 0.42	4～137 67	范围值 平均值
f_4破碎夹层		5	0.35～0.43 0.38	0～300 60	

（4）坝基岩体锚杆（索）试验成果表

锚杆(索)类型（空心、实心或预应力）	锚索根数	锚索直径 (cm)	长度 (m)	锚头型式	封孔吨位 (t)
123φ5 165φ5	3	78	36	胶结式	245
（大芯管同心分层分离架）	3	90	36	胶结式	325

锚杆(索)类型（空心、实心或预应力）	张拉力 (t)	预应力损失 (%)	测力计类型	备注
123φ5 165φ5	280	3～6	反力计（钢弦式）	$E=186$GPa $\sigma_p=160$kg/mm²
（大芯管同心分层分离架）	375			锚固段长4～9.4m，溢洪道段共计275孔

（5）岩石力学参数建议值与采用值

岩石名称	容重 (g/cm³)	E (GPa)	μ	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	备注
基岩持力层	2.6	8.0	0.2	0.70	300	建议值
f_1～f_4		0.8	0.25	0.42～0.46	0	建议值
F_{16}断层		1.0	0.25	0.45	0	建议值
F_{46}、F_{76}、F_{74}		0.5	0.25	0.45	0	建议值
混凝土/岩				0.8	300	建议值
f_1～f_4				0.42	0	采用值
f_1～f_4				0.45	0	6#、7#支墩下 采用值
f_4				0.48	0	其它部位 采用值

东江水电站

一、工程概况

东江水电站位于湖南省资兴县东江镇境内湘江支流耒水干流上。主要水工建筑物有混凝土双曲拱坝、坝后厂房、溢洪道及放空洞等，双曲拱坝坝顶中心弧长438m，最大坝高157m，底宽为35m；库容为81.2亿m^3，装机容量为50万kW，以发电为主。

本工程于1956年规划，1958年选坝，1977年初步设计，1978年开工，1987年竣工。

二、工程地质条件

坝区岩性：坝区岩层有震旦、寒武系浅变质岩和中晚期侏罗世岩浆岩，两者接触胶结很好。大坝座落在新鲜花岗岩上，岩性坚硬致密，风化较浅，抗压强度高。岩性细分为：中细粒花岗岩（γ_4^1），块状构造，粒状结构；中～粗粒斑状花岗岩（γ_4^2），块状构造，粒状结构；中细～中粒斑状花岗岩（γ_5^1），块状构造，粒状及斑状结构。

断裂构造特征：坝区河床基岩完整，没有大断层及破碎带存在，河床节理主要走向为$N340°$～$350°W/NE$，$\angle 70°$～$85°$者较发育，部分为石英脉充填。河流沿走向NW的一组节理发育，将构成坝基渗漏途径。

坝区主要断层为F_1及F_2，均在坝前，F_3断层距拱冠坝踵为9.6m（在右岸最近处仅6m）。

F_3断层的特点是：产状$N60°$～$75°E/SE$（上游），$\angle 65°$～$80°$，断层破碎带宽0.2～1.0m，两侧影响带宽1～1.5m，延伸长。

在F_3上游有与F_3近于平行的，其性状相近的F_2断层。但距坝踵较远。

坝后有多条横跨河床的裂隙，在右坝头比较有影响的有K_5、K_7、K_8，它们距坝趾分别为35m，45～50m和90～100m，走向均为NE，倾向SE，倾角分别为65°～90°、75°～85°和70～75°。左岸K_6恰位于坝基下，产状70°～80°/SE，$\angle 75°$～$80°$，破碎带宽度0.2～0.3m，裂隙长200m。另外还有卸荷裂隙。

三、工程的岩石力学问题

1.由于顺河一组节理发育，易构成渗漏通道，大坝抗滑稳定问题值得研究。

2.坝下存在大裂隙K_6，使大坝易产生变位，需研究变形问题。

3.坝前存在大断层F_3，虽倾向上游，但距坝踵较近，需研究对坝基应力分布影响问题。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗压强度	干燥	14	42			
	饱水状	14	42			
抗剪强度	抗剪断	1			10	
	抗剪	3				混凝土/岩
	裂隙面	17		2	6	光面(室内)
变形试验	承压板				23点	
	狭缝法				2	
	地震法				27	另声波405m
	泊桑比	12				
应力测量	解除法				13	
物理性质		14				

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（年代、岩性、风化程度）	组数	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿
侏罗系，粗粒花岗岩，新鲜	7	2.61～2.64 / 2.62	1.13	0.26	159.1～224 / 185.7	116～208.9 / 173
侏罗系，粗粒花岗岩，弱风化	2	2.55	3.29	1.40	170.1～227.9 / 201.4	116.1～189 / 147.9
中细粒斑状花岗岩，新鲜	5	2.62	0.76	0.18～0.44 / 0.28	213.6～263.5 / 243.1	176.4～231.2 / 209.5
细粒花岗岩，新鲜						
中细粒花岗岩，新鲜						
粗粒多斑状花岗岩						
中粗粒斑状花岗岩						
中细粒斑状花岗岩						
细粒斑状花岗岩						
细粒斑状花岗岩，微风化						

注　表列分数的分子表示范围值，分母表示平均值，括号内数字表示试验组数。

变形特性		抗剪强度（峰值）				备注
E (GPa)	μ	类型	组数	抗剪 tgφ	抗剪 c (kPa)	
44.2～55.8 / 51.0(3)	0.21	岩/岩	4	0.53	42	40*碳化硅磨面，水中剪切
		岩/岩	1	0.52	11	40*碳化硅磨面，水中剪切
52～61.2 / 55(6)	0.26	岩/岩	3	0.52	73	
47.6～66.3 / 54.2(3)	0.19					
		混凝土/岩	1	0.79	160	
		混凝土/岩	1	0.82	410	
		混凝土/岩	1	0.91	270	
		岩/岩	7	0.52	37	40*碳化硅磨面，水中剪切
		岩/岩	2	0.51	49	40*碳化硅磨面，水中剪切

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性					地震法	
	点数	条件	方法	E_0 (GPa)	E_s (GPa)	E_d (GPa)	类型
粗粒斑状花岗岩，新鲜	2		承压板	36～54 45	60.0	53.0	
粗粒斑状花岗岩，弱风化					声波19.0		岩/岩
细粒花岗岩	9		承压板	11～46 24		54～74 60	
中细粒斑状花岗岩	8		承压板	28～58 43.5		31～64 53	
中粗粒斑状花岗岩	4		承压板	29～47 33.8		54～77 64.7	
花岗岩夹石英脉							岩/岩
F，断层	2		狭缝法	0.82～1.82 1.32			岩/岩

（3）地应力测试成果表

岩石名称（年代、岩性）	深度 (m)	最大地应力		
		σ_1 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)
侏罗系细粒花岗岩	75～80	13.83(4)	124.6～356.9	49.4
		13.81(2)	88.1～102.5	28.2
		11.13	319.2	33.2
		7.08(2)	330.1	11.9
		6.07	111.3	9.8
		6.11	120.1	26.3

注　负值表示拉应力。

抗剪强度（峰值）							备注
试件尺寸 (cm²)	最大法向应力 (MPa)	组数	抗剪断		抗剪		
			$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi$	c' (kPa)	
50×40	2.4	10块	1.94	3442	1.46	2893	
80×60	2.4	1	0.91	1937	1.1	417	石英脉剪断，剪切面较平整
60×40	2.4	1	1.54	3285	0.58	2941	

中间地应力			最小地应力		
σ_2 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_3 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)
4.80	41.7	8.6～54.9	−4.06	266.2	31.7
9.39	358.8	34.5	4.61		48.1
−1.73	232.1	4.5	−4.82	328.9	52.3
2.35	48.3	73.4	0.77	247.4	30.7
1.64	34.8	53.6	−0.76	14.4	34.7
−1.31	3.2	42.4	−2.67	231.3	36.2

（4）岩石参数建议值与采用值

岩石	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	抗剪参数 tgφ	抗剪参数 c (kPa)	备注
花岗岩，新鲜	150～200	30～40 25～30	0.7～0.75	300	横线上为建议值 横线下为采用值
花岗岩，微风化		20～30 20			
花岗岩节理较发育		10～20	0.65	0	
岩石，新鲜～微风化			1.20	3250	抗剪断值
断层裂隙		0.5～3.0			
断层影响带		8			
混凝土/岩，新鲜			0.75～0.8 0.75	0	

五 强 溪 水 电 站

一、工程概况

本水电站位于湖南省桃源县境内沅江干流上，是沅水梯级开发的第一个水利枢纽。枢纽由混凝土重力坝、电站厂房和垂直升船机等组成。混凝土重力坝最大坝高为87.5m，装机容量120万kW，总库容为29.9亿m^3。

本工程于1956年开始规划，1977年进行初设，1989年开工。

二、工程地质条件

1.坝址岩性：坝区岩层由前震旦系上板溪群浅变质的砂岩与

板岩类岩石互层组成，岩性致密、坚硬，但因薄层泥质岩层间滑动后，在地下水活动、泥化等作用下，形成破碎泥化夹层。坝区自P_{1}^{3}₆至P_{1}^{3}₁岩组的厚度为498m中计有各类软弱夹层135层，总厚度为5.8～12.5m。

2.坝区断裂特征：本区位于新华夏系雪峰山隆起带八面山弧形构造的东北端，主要构造线NEE。坝址左岸为五强溪大背斜顶部，背斜轴面倾角65°～70°。岩层经受多次构造运动，岩层发生强烈褶曲和倒转，主要产状为60°～80°NW及SE，∠40°～55°。断层多，有F_{87}、F_{63}、F_{82}、F_{83}、F_{64}和F_{1}等，其中F_{87}的产状70°～85°/SE～NW，∠62°～86°，破碎带宽0.8～3.0m，为糜棱岩及断层泥，断层面上有多组擦痕；上盘有牵引褶曲；F_{1}断层为90°～100°/SW，∠52°～84°，破碎带宽1～1.5m，充填物为石英脉和断层泥（厚0.5～36mm）及铁锰质，片理和劈理发育；F_{63}为55°～70°/SE，∠65°～88°，破碎带宽0.48～2.0m，主要为角砾岩，断层上下界面有10～100mm厚的断层泥和铁锰质。F_{82}产状为40°/NW，∠70°～85°，破碎带宽0.3～0.4m，大部份为棱角状碎岩，充填次生黄泥和灰白色厚10～15mm的断层泥；F_{83}为340°/SW，∠70°～85°，破碎带宽0.3～0.5m，角砾岩未胶结，充填铁锰质及灰白色泥。

主要节理有：（1）70°/ES～WN，∠60°～80°，闭合状的剪节理；（2）50°～60°/NW，∠50°～60°，有时有石英脉充填（在石英砂岩及石英岩中多见）；（3）张节理330°～340°/NE～SW，∠75°～88°，充填泥质或石英脉和方解石脉。

三、工程中岩石力学主要问题

1.坝基抗滑稳定性：设计上须核算坝基接触面的滑动，其次，由于岩体存在多层软弱夹层和反倾向节理，特别是左岸坝基断层多，有可能组合成棱体滑动。

2.高边坡稳定问题，坝区岩层褶皱强烈，断层多，夹层密集，风化较深，岩体较破碎，加上岩层倾向河床，施工开挖后易产生高边坡滑动。

四、试验工作量

试验项目	物理性质	抗压强度		抗剪强度		变形特性	
		干	湿	抗剪断	抗剪	承压板	动力法
室内(组数)	73	66	66		53	8	
现场(组数)				29	52	38	9

五、岩石力学诸参数

(1)室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称(年代、岩性、风化程度)	容重 (g/cm³)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)
板岩	2.67～2.74 2.72(13)	0.33～0.76 0.47(13)	47.8～83.2 70.4	40.7～74.4 57.1	10.2～33.6 21.9
砂岩	2.61～2.74 2.69(28)	0.21～1.86 0.92(28)	65.2～133.4 110	59.8～114.2 90.2	92.6(3)
石英岩	2.6～2.71 2.66(25)	0.14～0.44 0.26(25)	109～261 181	102～232 164	5.8～36.9 23.2(3)
层面、节理面					
石英岩夹泥					

岩石名称(年代、岩性、风化程度)	抗剪强度 试验类型	组数	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c (kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c (kPa)	备注
板岩	岩/岩	2			0.77～0.89 0.83	160	
砂岩	岩/岩	6			0.41～1.04 0.64	160～760 330	起伏差5～20mm
石英岩	层面	2			0.57～1.19 0.84	100～380 223	起伏差5～20mm
层面、节理面		29			0.30～0.91 0.64	52～160 60	
石英岩夹泥		3			0.22～0.34 0.27	5～68 47	

注　表列分数的分子表示范围值，分母表示平均值，括号内为试验组数.表(2)、表(3)同此。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性					抗剪试验						备注
	试验条件	试验方法	E_o (GPa)	E_t (GPa)	地震法E_d (GPa)	类型	组数	抗剪断		抗剪		
								$tg\varphi'$	c (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)	
千枚状板岩	垂直地面	承压板	1.67～16 6.56(6)	4.25～10.2 68.1(4)	45.5	岩/岩	1	1.10(2)	2100	1.26	800	砂岩试点面积0.1m～0.25m，
砂岩		承压板	1.46～32.3 13.7(11)	2.48～92.6 45.5(6)	43.4～51.0 47.3(3)	岩/岩	1	1.70(2)	3200	1.24	3400	其它岩石大部面积0.2～0.25m'
砂质板岩			3.48～14.7 9.1		44.8	岩/岩	5	1.12	1440	1.04～1.36 1.18		
石英岩	铅直向	承压板	1.92～15.2 7.39(5)		43.5							
板岩			1.94～18.3 8.85(5)	4.33～33.6 16.6(3)	48.3～61.3 54.8	混凝土/岩	17	0.92～1.52 1.13(1)	900～3800 1713	0.83～1.33 1.04(17)	480～1800 1052	
石英砂岩		承压板	1.57～32.9 14.1(7)	3.5～41.8 19.2(3)	48.6							
石英砂岩	垂直层面		33.0	41.8								
石英岩夹砂岩			43.3	45.5								试点面积0.15m'
破碎夹泥			4.98									

（3）软弱夹层物理性质试验成果表

夹层名称及编号	天然状态					流限
	组数	含水量（%）	干容重（g/cm³）	饱和度（%）	孔隙比（%）	（%）
f_1夹泥	2	1.39	1.94	88	0.44	22.5
*PN*破碎夹层	1	14.9	1.86	85.5	0.48	24.5
P破碎夹层	3	1.91	1.68	81.4	0.65	32.6
*BN*夹层	1	13.4	1.86	78.2	0.47	29.7

夹层名称及编号	塑限（%）	颗粒组成（%）				土定名
		>0.05	0.05～0.005	<0.005	<0.002	
f_1夹泥	15.3	72.7	13.7	13.6		含砾轻壤土
*PN*破碎夹层	16.7	63.8	20.7	15.5		含砾轻壤土
P破碎夹层	19.0	27.8	37.7	34.5		粉质粘土
*BN*夹层	17.2	47.0	29.0	24.0		砾质重壤土

（4）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪强度				现场抗剪强度			
	方法	组数	峰值 tgφ	峰值 c (kPa)	方法	组数	峰值 tgφ	峰值 c (kPa)
f_1夹泥	平推	2	0.18～0.27 0.23	12～14	直剪	8	0.15～0.31 0.22	2～65 28
*PN*破碎夹泥层	平推	1		31	直剪	5	0.28～0.42 0.36	10～120 57
		3	0.29～0.35	11～21				
		1	0.29	60				
泥化板岩*BN*					平推	11	0.22～0.46 0.31	0～18 10
P破碎夹层					平推	4	0.5～0.66 0.56	94～280 152

（5）泥化夹层化学矿物成份分析成果表

夹层名称及编号	夹层位置	分布	粘土矿物分析方法	比表面积 (m^2/g)
f_1夹泥层	D_4Ⅲ支洞，D_{11}及D_4Ⅱ支洞	连续	差热法	>60
PN_{s11}夹泥层	D_{11}洞，D_4Ⅲ支洞	连续		

夹层名称及编号	可溶盐含量 (%)	有机质含量 (%)	难溶盐含量 (%) SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3
f_1夹泥层	0.05	2.11	60.4	6.15	21.85
PN_{s11}夹泥层			55.2	3.99	27.56

（6）岩石力学参数建议值

岩石	弹性模量 E (GPa)	抗剪断 $tg\varphi'$	抗剪断 c' (kPa)	抗剪强度 $tg\varphi$	抗剪强度 c (kPa)
新鲜完整岩体	7	1.1	1900	0.60	0
软弱夹层				0.20	0
破碎带	0.25				
缓倾节理				0.52	0

新丰江水库

一、工程概况

新丰江水库位于广东省河源县境内新丰江上，距广州市约160km，是一座供工业用水、农田灌溉及发电的综合利用工程。

主要水工建筑物为混凝土坝和电站。混凝坝为单支墩大头

坝，最大坝高105m，全长440m，共分19个坝段，溢流坝段在河床中部，靠两岸为重力坝段，河床式电站，装机容量29.5万kW，库容115亿m³。

工程于1955年开始规划，1956～1957年初步设计，1958年开工，1960年发电。

二、工程地质条件

1.坝址岩性：坝基为燕山期中生代中粗粒花岗岩，受历次构造运动，岩体完整性差、强度不均一；坝区还有细晶花岗岩及煌斑岩脉（310°～330°/NE，∠80～85°）侵入，岩脉在花岗岩的强风化至弱风化带中蚀变为强风化岩，在微风化带内变成弱风化岩、右岸风化较左岸深约20m，河床基岩裸露。

2.断裂构造：库区有两个构造体系——东西向构造带和北东向构造带（产状为40°—50°/SE，∠70°），本区处于河源——郴武大断裂带。河源冲断层和灯塔逆掩断层在坝址附近与东西构造带交汇，北东向构造活动显著，形成3组结构面，即NE向、NW向横断层及两组X型节理，其中缓节理330°～340°/SW，∠10°～40°在弱风化带中形成风化夹层。主要断层有f_{11}、f_{15}及f_{17}等，其中f_{11}产状为30°～45°/SE，∠84°，破碎带宽0.15～0.25m，充填物为糜棱岩和压碎岩；f_{17}产状为90°/N，∠85°，破碎带宽0.2m。由糜棱岩和风化土组成；f_{15}产状325°～354°/NE，∠80°，破碎带宽0.1～0.15m，为裂隙带压碎岩。

三、工程的主要岩石力学问题

1.右岸风化较深，坝基深开挖后尚存有断续的平缓风化裂面，其抗剪强度为抗滑稳定控制参数，有待研究确定。

2.河床及左岸坝基抗滑稳定以混凝土／岩石接触面为控制条件。

3.水库诱发地震突出，水库于1959年10月蓄水后，随库水位抬高、地震逐渐频发，1962年3月发生6.1级强震，大坝坝体产生水平裂缝并贯穿上下游，截至1974年底，记录到$M_L \geqslant 0.2$地震共25万余次。

四、试验工作量

项目	物理性质	抗压强度		抗剪强度		变形特性		备注
		干	湿	抗剪断	抗剪	承压板法	地震法	
室内试验(组)	51	51	51		65			
现场试验(组)				29		17(7)	11段	仅有7点资料

五、岩石力学诸参数

(1)室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称(岩性、风化程度)	组数	比重	容重(g/cm³)	吸水率(%)	抗压强度(MPa)	
					干	湿
粗粒花岗岩，新鲜	17	2.65	2.60	0.27	205.7	162.2
粗粒花岗岩，微风化	7	2.63	2.59	0.556	162.8	128.9
粗粒花岗岩，弱风化	9					
细粒花岗岩，新鲜	18	2.65	2.60	0.291	197.4	170.7
细粒花岗岩，微风化	9	2.63	2.58	0.468	159.5	136.7

岩石名称(岩性、风化程度)	抗剪强度(峰值)				备注
	类型	方法	tgφ	c(kPa)	
粗粒花岗岩，新鲜	岩/岩	直剪，磨光	0.57～0.60		
粗粒花岗岩，微风化	岩/岩	直剪，磨光	0.54～0.58		
粗粒花岗岩，弱风化	混凝土/岩		1.33	1400	岩石磨光面
细粒花岗岩，新鲜					
细粒花岗岩，微风化					

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性			抗剪强度（峰值）							备注
	方法	E_o (GPa)	E_s (GPa)	类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断		抗剪		
							$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)	
粗粒花岗岩，新鲜	承压板	57.7	68.0	混凝土/岩	70×70	1	1.21	1880	1.16	1040	
粗粒花岗岩，裂隙多		16.0	17.0								〃
粗粒花岗岩，微风化		5.9	6.83			8			0.99		
粗粒花岗岩，裂隙多		3.18	3.66								（1963年资料）
细粒花岗岩，新鲜	承压板	52.5	62.5	混凝土/岩	70×70	1	1.22	2180	1.08	1800	另1963年8组
细粒花岗岩，裂隙		6.0	6.8	混凝土/岩	50×50	1	1.29	1330	1.11	730	$tg\varphi$=1.15及1
软弱结构面				岩/岩	干 50×50				〃682	42	
					湿				0.490	20	

（3）岩石力学参数建议采用值

岩　石	抗压强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	备　注
花岗岩，新鲜		40以上			混凝土/岩tgφ值：原采用0.73，地震后采用左岸0.75，右岸0.65
花岗岩，微风化	130.0		0.75		
花岗岩，弱风化	100	17～32	0.65		
花岗岩，强风化	低于20.0			30	
花岗岩，全风化				20～30	
风化夹层			0.40	10	

枫树坝水电站

一、工程概况

枫树坝水电站位于广东龙川县境内东江干流上，主要水工建筑物为混凝土宽缝重力坝，最大坝高95.3m，坝顶长415m，由23个坝段组成（其中5*、7*坝段为空腹重力坝），两岸边为重力坝段，坝内式厂房，装机总容量为16万kW，坝顶溢流。库容为15.5亿m^3。1958年规划，1969年初步设计，1970年开工，1973年发电。

二、工程地质条件

坝区岩石为燕山运动印支早期的安山玢岩，右岸基岩为凝灰质安山玢岩及霏细安山玢岩，左坝头岩石为辉石安山玢岩、角闪石安山玢岩。岩石的结晶度差，主要矿物为辉石、角闪石、斜长石和少量石英。辉石多已蚀变为纤闪石化，其它矿物绿泥石化或绢云母化，坝基中尚有纳长斑岩脉（11～17*坝段）。

工程处于北部南岭地区的东西向构造带，新华夏构造运动使岩体被挤压破碎，断裂发育，大致有7组：（1）近EW/N或S，

∠7°～20°，如F_{85}、F_{50}及F_{22}等，其中以F_{85}为最大，破碎带宽0.3～2.0m，夹泥1～3 cm；（2）近EW向陡倾角断层有，F_{40}、F_{1}和F_{10}等，其中以F_{40}（EW/S，∠58°～70°）规模最大，破碎带宽0.2～2.5m，水平断距约170m；（3）近SN/E或W，∠70°～86°，如F_{3}、F_{5}等，破碎带宽0.2～0.4m，角砾岩胶结较好；（4）NNE向压扭性断裂，如F_{38}、F_{103}等，以F_{38}断层规模最大，断层带宽0.8m，糜棱岩有擦痕；（5）NW向裂隙，发育普遍，呈密集分布，产状在河床为N35°～55° W/SE，∠40°～80°；（6）NNW向裂隙；（7）NE向裂隙。坝址以（4）和（5）两组裂隙最为发育。

试验地段在3#～4#坝段，岩石为绛红色条带状安山玢岩、有缓裂隙通过，其它几处为细晶安山玢岩，裂隙发育。

三、工程的岩石力学问题

1.坝基为安山玢岩，受多次构造运动影响，岩体破碎，矿物多已蚀变，需研究不同岩体的力学性质。

2.坝基岩体断裂发育，完整性较差，特别是有一组缓倾角结构面存在，有必要论证抗滑稳定性，并确定各类岩石的抗剪强度。

3.左坝头岩石风化较深，需研究强-弱风化岩体处理。

四、岩石试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
物理性质		11				
抗压强度	干燥	3				
	饱水状	11				
抗剪强度	抗剪断			3	36	混凝土/岩
	抗剪裂隙面	4	40		10/32	其中32为混凝土/岩
变形特性	承压板				4点	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称	容重 (g/cm³)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗剪强度 类型	抗剪强度 方法	抗剪强度 组数	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	裂面摩擦 tgφ	裂面摩擦 c (kPa)
凝灰质安山玢岩，微风化	2.83	0.133	126.9(3)	97.2(4)	岩/岩		4	0.548		0.69	30
角闪石安山玢岩，微风化	2.77	0.284	130.8(3)	91.97(4)	岩/岩		7	0.586		0.676	10

（2）现场岩体力学试验成果表

岩石名称	变形特性 方法	变形特性 E_t (GPa)	变形特性 E_s (GPa)	抗剪强度（峰值） 类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c (kPa)	备注
细晶安山玢岩（角闪石安山玢岩），微风化				岩/岩		2	1.0	1820	0.95	600	
				混凝土/岩	60×50	3	1.15	820			混凝土标号100*
条带安山玢岩（凝灰质安山玢岩），微风化	承压板	5.75	18.0	岩/岩	60×50	1			0.87	480	
				混凝土/岩	60×50	3	1.22	1800			混凝土标号 200*～250*
粗方晶安山玢岩，强风化	承压板	6.35	16.0								
条带安山玢岩天然裂面									0.68	30	

（3）岩石的抗剪参数的建议采用值

岩石名称	$tg\varphi$	c (kPa)	岩石名称	$tg\varphi$	c (kPa)
凝灰质安山玢岩	0.7～0.72	200	安山玢岩/混凝土	0.6～0.7	0
角闪石安山玢岩	0.72	200	缓裂面	0.6	0
粗方晶安山玢岩，强风化	0.45	0			

广州抽水蓄能电站

一、工程概况

工程位于广州市从化县吕田镇境内流溪河上，距广州市约90km，距流溪河水电站35km。本工程是华南、港澳地区重大能源工程，它与大亚湾核电站配套调节运行。

电站枢纽主要建筑物有上库、引水管道、地下厂房及下池等。上库位于召大水上游陈子洞盆地，库容1700万m^3，大坝为钢筋混凝土面板堆石坝，最大坝高60m，长290.5m。下池位于九曲水上游小杉盆地，坝体亦为钢筋混凝土面板堆石坝，长115m，高37m。引水管道总长3850m，洞径9 m；地下厂房尺寸为146.5m×22m×45.6m（长×宽×高）。主厂房与变压器洞间距35m。装机容量120万kW。

工程于1986年10月提出可行性研究报告，1988年完成初步设计，同年8月开工，现正在施工中。

二、工程地质条件

水库位于岭南南昆山脉北坡的几级夷平地（盆地），工程所在的岩体为燕山期佛岗复式花岗岩，主要岩性为中粗粒（斑状）黑云母花岗岩（$\gamma_5^{3(3)}$）、中细粒花岗岩（$\gamma_5^{3(1)}$）及煌斑岩脉等。岩石形成早，受气液自变质交代蚀变，形成纳长石化、微弱

云母化、绿泥石化，具有易风化和吸水软化的特点。在不同部位形成不同种类蚀变带。

本区构造的基本轮廓是，早期为东西向构造，后期叠加一北东向构造。东西向属佛岗-丰良构造带，北东向构造以广从断裂为代表。本电站处于此两构造带复合部位的东南侧，断层多，断层带宽1～3 m。

试验洞在主厂房的上部S10°E向的探洞内。岩性为黑云母花岗岩，有陡、中倾角的断层和裂隙，蚀变带沿断裂发育，洞壁大部为中度蚀变花岗岩。

三、工程的主要岩石力学问题

1.蚀变带岩石为本工程的主要工程地质问题，在评价时须了解此类蚀变花岗岩的强度和变形特性；

2.查明蚀变花岗岩体成洞条件之一，岩石的膨胀性质；

3.地下厂房区洞群多，蚀变带多，须进行洞室围岩的稳定性分析及地应力场测定。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块数	
物理性质		64				
矿化分析		14				
抗压强度	干燥	6				
	饱水	6				
抗剪强度	三轴	5			10	
	承压板				20	
变形特性	钻孔膨胀计			3孔		OYO型4149仪器
应力测量	解除法			4孔		另在高压管道进行1组水压致裂试验

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果

岩石名称（岩性，风化程度）	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	μ	抗剪强度（三轴） tgφ	抗剪强度（三轴） c (kPa)	备注
花岗岩，中粗粒，中度蚀变	2.4～2.5 2.44	6.02～9.3 8.15	1.46～3.15 2.47	17.3～27.4 23.3	5.9～14.0 10	3.5～13.6 7.6*	0.18	0.66* 0.78*	5200 10300	*蒙脱石化，E＝4.1GPa 高岭石化，E＝11.1GPa
花岗岩，轻度蚀变	2.45～2.59 2.53	3.38～8.24 6.36	0.53～2.55 1.86	35.5～46.5 41.4	15.1～28.8 18.9	13.6～28.4 21.9	0.14	0.80	14500	
花岗岩，微弱蚀变	2.52～2.61 2.57	2.63～5.52 3.75	0.41～1.47 0.86	52.3～75.9 63.5	32.3～55.4 40	30.2～41.0 33.9	0.14	0.98	21200	
中粗粒花岗岩，微风化—新鲜	2.56～2.65 2.61	2.0～2.1 2.05	0.23～0.45 0.34	106～119 112.5	81～89 85	38～42 39.3	0.14	1.117	22300	
中粗粒花岗岩，弱风化	2.49～2.62 2.55	2.4～2.8 2.6	0.5～0.7 0.6	88～93 90	60～67 69	31.1～38.0 35	0.17			
中粗粒花岗岩，强风化	2.1～2.6 2.4	8.9～9.6 9.2	2.7～3.4 3.1	19～43 33	11～20 15	3.5～6.4 4.9	0.19			

（2）现场岩体力学特性试验成果

岩石名称	变形特性			声波法 E_d (GPa)	抗剪强度（三轴）					备注
	方法	E_o (GPa)	E_t (GPa)		类型	尺寸 (cm)	组数	$tg\varphi$	c (kPa)	
中粗花岗岩，中度蚀变，黏土化	承压板	0.02～0.34 / 0.12	0.26～2.4 / 1.4	18.5	岩/岩	50×50×100		0.41	240	承压板试验，最大法向应力，11.2～14.3MPa
中粗花岗岩，高岭石化	承压板	0.98～5.27 / 2.68	5.86～14.9 / 9.7	23.2	岩/岩	50×50×100		0.67	320	
	钻孔膨胀计	1.5	6.0							
中粗花岗岩，轻度蚀变	承压板	2.7～8.46 / 5.2	14.8～22.2 / 19.1	30	岩/岩	50×50×100		0.88	720	
中粗花岗岩，微弱蚀变	承压板	7.96～12.9 / 10.6	30.16～39.16 / 34.2	34.5						
中粗花岗岩，微风化	承压板	9～32 / 17.3	26～46 / 33.5	56.4						
中粗花岗岩，弱风化	承压板			47.6						
中粗花岗岩，强风化	承压板			20.4						

（3）现场膨胀试验成果

试点号	岩性	方法	含水量(%)	
			试验前	试验后
BP-1	蒙脱石化花岗岩	洞壁自由膨胀	1.33	4.38
BP-2	蒙脱石化花岗岩		2.30	4.87
BP-3		洞壁膨胀力	2.41	4.43
BP-4	蒙脱石化(轻-中度)岩		2.80	3.18
BP-6	蒙脱石化花岗岩	自由膨胀	1.15	4.63

试点号	粘土矿物含量(%)			膨胀力 (MPa)	膨胀量 (mm)	时间 (h)	备注
	蒙脱石	高岭石	水云母				
BP-1	4	4～5	12		7.99 0.96 0.414	441	变形未稳定崩脱
BP-2	12	15	9		8.883 0.006 0.002	238	崩脱
BP-3	8	8	8	0.482	2.049	223	膨胀稳定144h
BP-4	4	8	5	0.072	0.455	255	稳定225h
BP-6	4	9	9	—	0.045 0.014 0.005	44	崩脱

（4）地下厂房区地应力测试成果

孔号	岩性	最大主应力			中间主应力			最小主应力			埋深
		σ_1 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_2 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_3 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	(m)
ZK623	中粗粒花岗岩	7.79	140	62	2.59	345	26	0.63	250	10	140.95
		10.57	78	78	9.12	318	60	3.83	227	10	210.2
		13.85	6	82	10.68	140	5	8.36	230	6	307.5
PD-ZK03	中粗粒花岗岩	12.9	343	44	8.95	222	28	6.49	112	32	331.55
		11.5	170	52	9.94	356	38	8.17	264	3	377.7
PD-ZK01	中粗粒花岗岩	10.90	168	67	5.87	357	22	5.09	265	3	401.25
		11.8	169	70	6.42	291	11	5.02	24	17	427.5
		15.08	158	75	10.43	311	13	9.01	43	4	497.5
PD-ZK05	中粗粒花岗岩	14.38	313	67	8.22	145	22	6.93	54	4	303.9
		10.94	153	82	7.82	325	8	6.06	55	1	326.4
		12.5	133	60	9.31	353	24	7.26	255	17	355.1

注 1.均为解除法；

2.除ZK623孔为地表外，其余均在勘探平洞内钻孔。

大广坝水电站

一、工程概况

大广坝水利水电工程位于海南岛西部东方县境内昌化江中游，坝址距海口市275km，距八所港48km。该工程具有发电、灌溉及供水等综合效益，是海南省最大的水电站。

主要建筑物包括：溢流坝及非溢流坝、地下厂房及水道系统。拦河坝由混凝土坝和两岸土坝组成，坝顶总长5827m，其中混凝土坝长719m，最大坝高55m；土坝最大坝高44m。右岸地下厂房总长87m，宽14m，高35.7m，总库容17.1亿m^3，总装机容量为24万kW。工程于1989年开工兴建。

二、工程地质条件

大广坝在已建的小广坝电站低坝下游约25m处，枯水期天然河面宽约500m，两岸地势平坦。

坝址区地层较简单，主要为中生代印支期斑状花岗岩，岩脉及近代第四系地层。

混凝土坝主要座落在河床斑状花岗岩上，基岩裸露，岩石坚硬，多为微风化，仅局部断层或节理密集带呈弱风化状态，厚1.5m。

地质构造较为简单，以小断层和节理裂隙为主要构造形迹，无区域性大断裂。河床坝基共有14条断层通过，断层规模均不大，破碎带宽一般为0.1～1m。节理裂隙发育，节理以近东西组为主，密集短小而闭合；裂隙则以近南北组为主、分布稀疏，延伸较长。

坝基断裂结构面以陡倾角为主，约占总数的97%；缓倾角结构面不发育，仅占总数的3%，不构成基岩内深层或浅层滑动的弱面，大坝抗滑稳定控制面为混凝土与基岩胶结面。

地下厂房围岩为微风化至新鲜斑状花岗岩，岩性单一，构造

简单，地质条件较好，但厂房顶部岩层厚约14m，仅一倍洞宽。

三、工程的岩石力学问题

由于坝基岩石工程地质条件较好，且坝体高度较低，抗滑稳定问题不突出。唯地下厂房埋深较浅，上覆岩层厚度仅一倍洞宽，在施工及运行期，地下洞室围岩变形和应力监测将是本工程较突出的问题。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验	
		组数	块数	组数	块(点)数
抗压强度	干燥	6	18		
	饱水状	6	18		
抗剪强度	抗剪断或三轴	5	25	9	44
	抗剪			9	44
	裂隙面	10	40		
抗拉强度	直接拉伸	6	18		
	劈裂法	6	18		
变形特性	承压板				20点
	电阻片	12	36		
	泊桑比	12	36		
应力测量	钻孔解除法			2孔	8点
	动力法				43
物理性质		12	36		

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称 （岩性）、风化程度	容重 (g/cm³)	饱和吸水率 (%)	孔隙率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	抗拉强度 (MPa)
斑状花岗岩	2.64(6)	0.29	0.75	134	97	4.2
	2.62	0.64	1.63	128	93	8.0(18)

（2）岩体力学特性试验成果表

岩石名称	岩体类型	变形特性 试验方法	E_t (GPa)	E_s (GPa)
斑状花岗岩	Ⅰ	承压板	23.5	37.6
	Ⅱ		11.2	23.0
	Ⅲ		4.4	15.7
	Ⅰ、Ⅱ类			
断层带			0.52	1.22

（3）地应力测试成果表

岩石名称 （年代、岩性）	深度 (m)	最大主应力 σ_1 (MPa)	最大主应力 方位角 (度)	最大主应力 倾角 (度)	中 σ_2 (MPa)
斑状花岗岩	19.3	−1.42	168.4	4.2	−0.73
中生代印支期		−10.7	348	8	−3.1

变形特性		抗剪强度				备注
E (GPa)	μ	类型	组数	$\mathrm{tg}\varphi$	c (kPa)	
55	0.20	直剪	10	0.73	560	节理面
51	0.21	三轴	5	1.34	1020	
		抗切	3		4800	

试验类型	抗剪强度				
	抗剪断峰值			抗剪	
	组数	$\mathrm{tg}\varphi'$	c' (kPa)	$\mathrm{tg}\varphi$	c (kPa)
混凝土/岩	14点	1.54	1570	0.74	830
	9点	1.28	1210	0.69	450
	21点	1.52	930	0.78	400

间主应力		最小主应力			备注
方位角 (度)	倾角 (度)	σ_3 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	
259.2	−11.1	−0.43	238	78.2	8点平均值
266	45	−0.53	250	44	室内声发射成果

（4）岩石参数的建议采用值

岩石名称	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	E (GPa)	μ	抗剪强度		备注
						$tg\varphi$	c (kPa)	
斑状花岗岩，新鲜	2.66	125	2～3	23	0.22			
斑状花岗岩，微风化	2.64	95	1.2～1.5	18	0.25			
斑状花岗岩，弱风化	2.62	70	0.5～0.8	11	0.27			
节理面新鲜						0.70	300	
节理面，微风化						0.65	200	
节理密集带				3	0.30			
混凝土/微风化						1.20	1200	抗剪断值
混凝土/弱风化						1.10	1000	抗剪断值
断层破碎带				0.5	0.35			

军渡水电站

一、工程概况

军渡水电站拟建于黄河北干流军渡，右岸为陕西省吴堡县城，左岸为山西省柳林县境。计划兴建径流电站(闸坝高39m)，发电水头6～13.6m，装机容量30万kW，总库容1.53亿m³。

二、工程地质条件

坝区岩层主要属上二迭统石千峰组和下三迭统刘家沟组。坝

基出露岩石，在河床从左至右，由老到新分别为P_2sh^4砂岩、粘土岩互层，P_2sh^5厚层中砂岩及P_2sh^6粘土岩夹砂岩，上部为T_1l^1砂岩夹页岩。岩石中不同层位上分布面积大小不同的泥化夹层14层，以P_2sh^{4-1}，P_2sh^{4-5}两层分布最广，为坝基滑移控制面。各类粘土岩、泥质粉砂岩，失水干裂，遇水泥化，风化速度很快。

电站所在大地构造单元，属祁、吕、贺山字型伊陕盾地东南缘，马头山-应雨神山背斜的西翼，岩层走向近于SN/W或SW，∠3°～15°，地质构造总的特征是地层褶皱轻微，断裂少见，坝区内基本为单斜地层。

三、主要岩石力学问题

1.坝体与基岩接触面的抗滑稳定。

2.左坝肩泥化夹层的抗滑稳定，基岩中P_2sh^{4-1}和P_2sh^{4-5}两层泥化夹层为滑动控制面，尤以前者夹泥较厚，强度低。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验		备注
		组数	组数	块(点)数	
抗压强度	饱水状	41			
抗剪强度	抗剪断		5	20	
	抗剪		7	22	
抗拉强度	劈裂法	12			
变形特性	承压板	29*		17	*室内为千分表法
物理性质		41			其中泥化夹层物理力学性6组

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	物理性质			
	组数	干容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)
粉砂质粘土岩，微风化(P_1sh^4)	4	2.59	1.7*	/
粉砂质粘土岩，(P_1sh^4)	3	2.62	1.4*	/
细砂岩(P_1sh^3)，微风化	4	2.41	0.72	1.09
细砂岩，(P_1sh^3)	5	2.43	0.77	0.93
中细砂岩(P_1sh^3)，微风化	7	2.36	1.56	1.76
粉细砂岩，微风化	9	2.43	0.81	1.13
粘土岩夹砂岩，微风化	5	2.58	2.49*	/
砾岩(P_1sh^3)，微风化		2.50	0.41	0.57
砾岩，(P_1sh^4)	3	2.48	0.25	0.46

* 表示含水率。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性				
	试验条件	方法	E_o (GPa)	E_s (GPa)	声波法 E_d (GPa)
钙质厚层细砂岩(P_1sh^3)	垂直层面	承压板	2.4～5.43	4.58～8.4	
粉砂质粘土岩(P_1sh^4)	垂直层面		0.35～1.83 1.59～7.13	0.8～4.02 2.96 2.24～10.82	9.30
钙质厚层中细砂岩(P_1sh^3) 粉砂质粘土岩(P_1sh^4)	垂直层面	承压板	3.62～11.8 0.18～1.83	3.81～14.4 0.39～5.5	13.75

强度（MPa）		变形特性	
湿抗压	湿抗拉	$E_{湿}$ (GPa)	μ
77.6～101.6 89.6	1.3～7.2 2.8		
5.8～80.0 48.4	3.5～9.8 5.8		
32.6～102.6 71.1		8～25 12	0.15～0.35 0.20
63.3～130.5 90.1		8～24 14	0.16～0.34 0.26
44.3～95.4 72.0		6～19 12	0.1～0.26 0.17
39.1～114.8 76.3		5～21 12	0.1～0.38 0.22
5.5～55.9 39.9	1.0～6.6 3.5		
9.7～111.4 65.1		13～66 40	0.1～0.39 0.23
41.4～110.5 79.6		16～26 22	0.15～0.28 0.24

抗剪强度（峰值）							备注
试验类型	试件尺寸 (cm)	抗剪断			抗剪		
		组数	$tg\varphi'$	c (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)	
岩/岩	50×50	1	1.44	780			破坏后剪切面高出预剪面1～8 cm，有泥膜
岩/岩	50×50	1			0.65	160	
混凝土/岩	50×50	2	1.59	1180	0.96	0	混凝土标号90～140*
混凝土/岩	50×50	1	1.08	270	0.91	150	

（3）软弱夹层室内物理力学特性成果表

夹层编号	天然状态				颗粒组成（%）			抗剪强度			
								原状样		重塑样	
	含水量（%）	干容重（g/cm³）	孔隙比	饱和度（%）	>0.05	0.05~0.005	<0.005	tgφ	c（kPa）	tgφ	c（kPa）
P_1sh^4中6-1		1.82			20	40	43			0.33	16
P_1sh^4中4-5					29	32	39				
P_1sh^4中4-1	16.8 19.31	1.82 1.91	0.51 0.44	100	17	33	50	0.33 ~0.37	10	0.30	25
P_1sh^3中3-2					12	39	49			0.34	25
P_1sh^3中2-2					5	50	45				

（4）软弱夹层现场抗剪试验成果表

夹层名及编号	结构特征（充填物、厚度）	试验方法	推力方向	试件尺寸（cm）	抗剪强度		剪坏情况
					tgφ	c（kPa）	
砂岩、粘土岩层面 4*-5*(D_4)	灰绿色泥膜，厚0.5~3mm	直剪，斜推	岩层倾角	50×50	0.34	60	沿中细砂岩与粘土岩层面断开，局部起伏差达6cm，饱和21 d
4*-1*(D_4)	灰绿色粘泥和粘土岩碎岩屑，厚2~9cm				0.14	6	沿夹泥面剪断，剪切面光滑、平整，饱和21 d
粉砂岩夹层 3*-2*(D_3)	泥膜和泥质页岩，厚1~2cm	斜推		50×50	0.43	30	沿P_1sh^3泥质页岩剪断，饱和21 d

（5）岩石参数建议值

岩石	抗剪强度		岩石	抗剪强度	
	tgφ	c (kPa)		tgφ	c (kPa)
粘土岩	0.55	0	夹层4*-5*	0.25	0
混凝土/粘土岩	0.55	0	夹层4*-1*	0.18	0
混凝土/砂岩	0.67	0	夹层3*-2*	0.35	0

天桥水电站

一、工程概况

天桥水电站系黄河干流北部一座径流式电站，位于晋陕两省交界处，左岸属山西省保德县，右岸属陕西省府谷县，下距两县城均为8km。主要水工建筑物为一座混合坝，最大坝高53m，右边为土坝（高23m），中间部分为泄洪闸。电站厂房在左边，靠左岸为混凝土重力坝。电站以发电为主，兼顾灌溉，装机容量为12.8万kW，抽水灌溉120万亩，自流灌溉0.4万亩。库容0.66亿m^3。

工程在1960年开始勘测设计，1970年开工，1976年发电，1977年基本竣工。

二、工程地质条件

坝区为中奥陶统石灰岩形成的峡谷区，岩层产状近水平，微倾向下游偏南东或南西，倾角5°～10°，厚度达140～150m；按岩层可分为14个岩组（O_1^1、O_1^2……O_2^{13}、O_2^{14}），大部分为棕灰色灰色、白云质灰岩及角砾状灰岩互层、各岩层厚薄相差较大，薄者仅1.5m，最厚可达57m，其中对建筑物关系较大的有如下三层：

O_2^{11}层：岩质坚硬性脆，裂隙发育，局部出露土坝坝基覆盖以下，形成“透水窗”。

O_2^{12}层：角砾状灰岩，厚13.6～17.0m，岩性较软弱，并夹有多层软弱夹层，裂隙不甚发育。主要露出于3*机组至7*闸基及土坝坝基。

O_2^{13}层：棕灰色灰岩，厚19～21m，岩质坚硬性脆，裂隙发育，顶部夹有3～5层厚度为0.1～0.6m的软弱夹层，系层间错动形成，分布于厂房和泄洪闸，构成一个倾向下游5°～10°和岩层产状一致的滑动面。

坝址区有F_1、F_{11}（通过坝基）、F_{12}、F_8断层，断层带内由钙质胶结的断层角砾岩组成，有溶孔，透水性相当大。

坝址区岩层中两组裂隙发育，其产状NW285°～320°与NE40°～60°。

三、工程主要岩石力学问题

1.厂房、泄洪闸抗滑稳定。

2.坝区有承压水，泥化夹层承压水头较高，易使软弱夹层进一步软化，崩解和冲刷。

3.O_2^{12}夹层中的软弱夹层抗冲性差，闸段的流速较高，易产生冲刷坑。

4.左岸重力坝抗滑稳定和不均匀沉陷。

5.坝肩山头的稳定和坝肩上游滑坡体的稳定性。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗压强度	干燥	19				
	饱水状	22				
抗剪强度	抗剪断			6	23	
	抗剪	23				
物理性质		27				另有矿化分析75块

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)
O_1^1泥质灰岩	2.84 (2)	2.60 (2)	2.23 (2)	2.53 (2)
O_1^1灰岩	2.85	2.54	2.46	3.30
$O_1^{1^a}$泥质灰岩	2.85	2.65	2.18	2.19
$O_1^{1^b}$泥质灰岩	2.85 (7)	2.69 (7)	2.54 (7)	2.83 (7)
$O_1^{1^c}$角砾状灰岩	2.79 (11)	2.66 (11)	1.70 (11)	1.84 (11)

岩石名称（岩性、风化程度）	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	备注
O_1^1泥质灰岩		104.8～148 / 126.4	0.725	150	岩/岩
O_1^1灰岩		141.9	0.65	50	
$O_1^{1^a}$泥质灰岩	235.1	198.2	0.53	10	
$O_1^{1^b}$泥质灰岩	218.1	142～198 / 167.2	0.63	40	
$O_1^{1^c}$角砾状灰岩	100.5	23.3～61.1 / 46	0.68	900	
			0.68	180	砂浆/岩

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	抗剪试验					备注
	试验类型	试件尺寸（cm）	组数	抗剪断强度 tgφ′	抗剪断强度 c′（kPa）	
钙泥质灰岩	岩/岩	50×50	1	0.79	80	混凝土标号138*～173*
泥质灰岩		50×50	1	0.45	70	
白云质灰岩	混凝土/岩	50×50	1	1.23	2740	
灰岩、坚硬	混凝土/岩	50×50	1	1.52	1010	
灰岩、泥灰岩、较软		50×50	1	0.75	310	

（3）软弱夹层矿化特性分析表

夹层名称及编号	取样位置	易溶盐（%）	难溶盐（%）	有机质（%）
O_2^{12} 层，泥质灰岩	平洞Ⅰ	0.17	79.9	
O_2^{12} 层，黄灰色灰岩	平洞Ⅱ	0.15	56.3	
O_2^{12} 层，黑色泥灰岩		0.28	76.5	1.1
O_2^{12} 层，灰黄色泥质灰岩		0.17	69.3	
O_2^{12} 层，灰黑色泥质灰岩		0.15	43.9	0.44
O_2^{12} 层，白云岩	基坑	0.14	62.7	
O_2^{12} 层，白云岩		0.15	61.2	
O_2^{12} 层，白云岩		0.15	39.5	1.54
O_2^{12} 层，页状灰岩		0.18	44.3	

夹层名称及编号	矿物成份（%）				夹层分类	备注
	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	烧失量		
O_2^{12} 层，泥质灰岩	48.4	9.8	21.3	7.9	1	1类呈泥化；
O_2^{12} 层，黄灰色灰岩	52.4	4.0	28.7	6.9	1	2类厚层状遇水崩解；
O_2^{12} 层，黑色泥灰岩	47.8	4.4	23.8	11.9	2	3类油脂光泽，薄层理
O_2^{12} 层，灰黄色泥质灰岩	47.3	4.9	22.6	8.1	1	遇水不崩解
O_2^{12} 层，灰黑色泥质灰岩	53.1	3.6	23.8	9.5	1	
O_2^{12} 层，白云岩	49.4	4.5	25.4	8.3	1	2.55～3.05m深处
O_2^{12} 层，白云岩	52.8	7.2	20.6	8.6	1	4.4～5.0m处
O_2^{12} 层，白云岩	53.9	4.3	21.5	7.6	3	12.7～13.1m处
O_2^{12} 层，页状灰岩	54.6	4.2	21.5	7.9	1	5.7～6.0m处

（4）软弱夹层物理力学特性成果表

夹层编号	天然状态			流限	塑限
	含水量（%）	干容重（g/cm³）	饱和度（%）	（%）	（%）
坑1	7.8	1.9	100	24	14.5
坑2	19.5	1.9	100	24.6	15.3
坑3	29.0	1.8	100	20	14

夹层编号	颗粒组成（%）			抗剪强度		备注
	>0.05	0.05～0.005	<0.005	tgφ	c（kPa）	
坑1	46.3	29.3	24.2	0.53	35	以重塑土作饱和快剪
坑2	28.6	54.7	16.7	0.60	43	
坑3	15.5	54.5	30	0.10	5	

（5）岩石参数的建议值与采用值

岩石名称	容重（g/cm³）	抗压强度（MPa）		抗剪强度		备注
		干	湿	tgφ	c（kPa）	
O_1^3灰岩、白云质灰岩	2.60		126.4			建议值
O_1^{1-2}岩石（灰岩）	2.54～2.62	147～196	98～147			
O_1^{1-2}岩石（灰岩）	2.65	147～196	98～147			
O_1^3角砾状灰岩	2.55	68.6～98	19.6～29.1			
软弱夹层，泥状				0.35	0	
软弱夹层，较硬				0.40	0	
O_1^{1-2}/混凝土				0.5～0.51	0	
混凝土/角砾状灰岩				0.65～0.70	0	
混凝土/O_1^{1-2}层岩石				0.65	0	采用值
混凝土/O_1^{1-2}岩石				0.40	0	
混凝土/O_1^3（角砾状）（白云质灰岩、页岩）				0.40	0	

续表

岩石名称	容重 (g/cm³)	抗压强度(MPa)		抗剪强度		备注
		干	湿	tgφ	c (kPa)	
岩/岩(泄洪闸 3*、4*、5*)				0.50	0	采用值
岩/岩(泄洪闸 其余部位)				0.45～0.48	0	

龙门水利枢纽

一、工程概况

龙门水利枢纽位于黄河北干流末端，陕西宜川县和山西乡宁县境内。50年代末曾在甘泽坡坝址开始勘测设计工作。70年代重点比较了舌头岭坝址和甘泽坡坝址，于1978年初提出选坝报告，选定舌头岭坝址，并确定枢纽主要任务为防洪、减淤、灌溉、发电、航运综合利用。1989年10月提出可行性研究报告，推荐588m蓄水位方案，总库容114亿m³，对三条坝线进行比较，推荐二坝线地下厂房方案：大坝为心墙堆石坝，最大坝高212m，坝顶宽20m，长1290m，泄水建筑物和排砂洞以及六条洞径8m的引水隧洞均布置在左岸，地下厂房尺寸：180m×28.5m×67.64m（长×宽×高），装机容量210万kW。

二、工程地质条件

库区河谷狭窄，基本呈U形谷，两岸高出河床300m以上，坝址区河宽约250～300m，河段呈S形，形成两处凸岸。舌头岭坝址出露地层为二迭和三迭系紫红色陆相碎屑岩，自下至上分5个岩组：

1.紫红色砂质粘土岩为主，夹砂岩粉砂岩及薄层石膏岩，该

层处于河床下约90m（矸峰组）。

2.紫红色中厚层细粒石英砂岩为主，夹薄层粉砂质粘土岩及数层透镜状共生砾岩。该层在第一岩组之上河谷两岸底部（刘家沟组）。

3.紫红色厚至薄层细砂岩和粉砂质粘土岩，其中砂岩占70%，粘土岩占30%，分布坝址两岸中部。

4.紫红色粉砂质粘土岩为主（约占90%以上）。分布坝址两岸中上部（和尚沟组）。

5.灰绿色、紫红色砂岩为主夹薄层粉砂质粘土岩，砂岩占65%，分布坝址顶部（二马营组）。

上述地层按岩性可分为4种：（1）粘土岩、粉砂质粘土岩类；（2）泥质粉砂岩类；（3）钙质、钙泥质粉砂岩类；（4）硅质、硅钙质砂岩类。

构造泥化夹层多分布在第二、三岩组砂岩层中，一般厚0.01m，最厚0.2m或薄呈泥膜，遇水泥化。其中在第二岩组顶部石英砂岩中夹有薄层粘土岩经构造错动有6～8m破碎岩层。

第四系松散岩层分布在1～5级阶地上，河床覆盖层深5～18m，为粉细砂和中细砂夹砾石。

坝址地质构造简单，为平缓单斜地层，岩层产状NE20°/NW，∠2°～3°，未发现大断层。节理有两组：（1）近东西向一组，节理面平直、光滑、闭合，延伸长，倾角陡；（2）近南北向一组，节理面平直，延伸短，倾角80°。

三、工程的主要岩石力学问题

1.左岸岩体较单薄，岩层倾向下游，且有临空面和泥化夹层存在，当地震力作用下岩体的稳定性值得研究。

2.坝基和边坡的岩石类别多，尤其是粘土岩的膨胀性、风化速度以及开挖裸露的保护等问题均需分析。

3.枢纽的地下建筑物均集中在左岸岩体中，形成复杂的洞室群，加之F_{236}、F_{238}断层与洞室交角不大，岩层又具层状或互层、夹层状结构，存在着评价围岩稳定和保证洞室稳定的问题。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗压强度	干燥	109/43				
	饱水状	101/43				
抗剪强度	抗剪断	/6	/28	12/		
	抗剪	105/12	/30	18/8	38/	舌头岭坝址室内包括5组三轴
物理	性质	395/67				另有化学分析166块，镜鉴204块
抗拉强度	劈裂法	0/4				
变形试验（模量）	室内	/40				另有现场动力法试验
	承压板				25/19	
其它	蠕变				0/5	
	崩解	0/3				
	膨胀性	0/3			5/	
石膏溶滤		2/			2	

注　表列分数中，分子为甘泽坡坝址，分母为舌头岭坝址。

五、岩石力学诸参数

（1）舌头岭坝址室内岩石物理力学性质成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗拉强度 (MPa)	E (GPa)	抗剪断 类型	抗剪断 块数	抗剪断 峰值 tgφ′	抗剪断 峰值 c′ (kPa)	抗剪 峰值 tgφ	抗剪 峰值 c (kPa)	备注
硅质、硅钙质砂岩	2.66(18)	0.75(18)	0.86(18)	152～233 190	77～194 141		21.9							
钙质、钙泥质粉砂岩	2.64(18)	1.16(18)	1.35(18)	94～179 142	41～161 96		13.6							
泥质粉砂岩	2.61(3)	1.17(3)	1.75(3)	68～131 109	22～50 41									
粘土岩、粉砂质粘土岩	2.65(16)	1.17(16)	1.77(16)	76(4)	17～85 52	饱和4.0	6.5							
J_{01}～J_{10}粘土岩								岩/岩	9	0.906	2480	0.64	1560	中型剪，剪切面基本平整
J_{01}～J_{10}粉砂质粘土岩								岩/岩	11	1.07	2470	0.93	2650	中剪
棕红色钙泥质粉砂岩								岩/岩	16	0.772	450	0.488	480	剪切面起伏差小于1.6cm

注 表列分数中，分子为范围值，分母为平均值；括号内为试验组数。

（2）舌头岭坝址现场岩体力学特性成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	试验条件	变形特性试验			动力法 E_d (GPa)	位置
		方法	E_o (GPa)	E_r (GPa)		
厚层砂岩	垂直层面	承压板	54.9～116.1 91.7	177.6～201.3 189.2	35.7	
砂页岩互层	平行层面	承压板	31.5～44.4 38.0	91.6～225 159		1*洞
	垂直层面	承压板	3.2～5.0 3.9	3.4～7.9 5.2		
J、h粘土岩，新鲜		承压板	73.3	212	27.4	11*洞
粘土岩，微风化		承压板	52.1	87.2	22.1	11*、16*洞
粘上岩，弱风化			33.8	55.2	18.3	14*、16*洞

（3）软弱夹层物理性质试验成果表

夹层名称及编号	天然状态			流限	塑限
	含水量 (%)	容重 (g/cm³)	孔隙比 (%)	(%)	(%)
灰绿色粘土岩PD_{2-1}	21.2	1.78	0.7	28.4	16.2
钙硅质细砂岩Di_{2-7}				20	14

夹层名称及编号	颗粒组成(%)			土定名	备注
	>0.05	0.05～0.005	<0.005		
灰绿色粘土岩PD_{2-1}	15	43	42	粉质粘上	粘土岩综合值
钙硅质细砂岩Di_{2-7}	27	57	16	中壤土	

（4）软弱夹层现场抗剪试验成果表（舌头岭坝址）

夹层名称及编号	结构特性	试件尺寸 (cm)	方法	推力方向	抗剪强度 峰值 tgφ	抗剪强度 峰值 c (kPa)	抗剪强度 残余值 tgφ	抗剪强度 残余值 c (kPa)	备注
灰绿色粘土岩 PD_{3c1}	夹泥薄最厚达1～3cm，石英、长石及水云母为主	70×70	直剪，平推	SE	0.185	5	0.16	0	沿夹泥面剪开
钙硅质细砂岩 Di_{3c7}	夹层厚2～16cm，夹泥0.5～1cm	70×70	平推	SW	0.190	4	0.17	0	剪切面光滑、平整，沿夹泥剪断
粉砂质粘土岩 D_{3c}	方解石脉或石英脉厚1～2cm，夹岩屑和泥(厚2～8mm)	70×70	平推		0.37	40	—	—	剪切面基本平整

（5）甘泽坡坝址室内物理力学试验成果表

岩石名称 (岩性、风化程度)	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗剪强度 类型	抗剪强度 组数	抗剪强度 峰值 tgφ	抗剪强度 峰值 c (kPa)	备注
砂岩 P_1	2.53(8)	2.29	2.30	82.1(7)	54.4(8)	岩/岩	2	0.76	2	
砂质页岩	2.58(7)	1.29	1.29	83.4(4)	74.3(2)	岩/岩	3	0.62	17	
页岩	2.57(5)	3.20	3.84	53(3)	13.4					

续表

岩石名称（岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗剪强度 类型	抗剪强度 组数	抗剪强度 峰值 tgφ	抗剪强度 峰值 c (kPa)	备注
煤层	1.36(2)	1.81				煤/煤	2	0.41	0	
砂岩 C	2.50(5)	2.59	2.75	103.8(3)	51.2(4)	岩/岩	2	0.65	0	
砂质页岩	2.63(4)	1.35	1.51	37.2(3)	22.7(3)					
页岩	2.60(19)	1.01	1.13	93.4(4)	45.9(4)	岩/岩	5	0.49	29	
灰岩	2.69(3)	0.08	0.13	139(3)	98.9(2)	岩/岩	1	0.60	0	
铝土页岩	2.44(6)			68.8(2)	32.0	岩/岩	2	0.35	1	
灰岩 O	2.72(52)	0.6	0.71	146.7(53)	127.6(53)	岩/岩	15	0.70	3	抗剪试件为O₁层
							22	0.64	6	抗剪试件为O₂层
泥质灰岩	2.66(26)	1.21	1.31	121.2(23)	77.9(23)	岩/岩	31	0.66	6	
角砾岩	2.69(3)	0.31	0.53							

（6）甘泽坡坝址岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形试验					抗剪试验								备注
	条件	方法	E_0 (GPa)	E_d (GPa)	位置	类型	抗剪断（峰值）				抗剪		
							方法	组数	$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)	
O_2^{1-1}厚层灰质白云岩	垂直地面	承压板	30.0	40.3	14#洞	混凝土/岩石	直剪	4			1.05	190	混凝土标号200#
O_2^{1-1}白云质泥灰岩		承压板	17.9	15.2	2#洞			8	1.47	410	1.36	270	图解法
O_2^{1-3}白云质泥灰岩	垂直壁面	承压板	35.1	28.8	10#洞	混凝土/岩石		11块	1.20	570	1.11	260	最小二乘法
	平行河流		0.59（综合值）		10#洞								
O_2^{1-1}粘土质泥灰岩			/			岩/岩		4	0.76	80	0.76	40	图解法
石膏	溶滤前		E_t= 0.52 ~0.78						1.37	150	0.78	大于50	
	溶滤后		E_t= 0.38 ~0.48						0.76	110	0.76	100	

安 康 水 电 站

一、工程概况

安康水电站位于陕西省安康市汉江上游干流上，在安康市西南18km处。拦河坝为整体式混凝土重力坝，最大坝高128m，坝后式厂房，库容25.8亿m^3，装机容量80万kW。工程以发电为主，兼有防洪、航运、养殖等综合经济效益。坝址控制流域面积35700km^2。

1970年开始勘测设计工作，1975年完成技术设计并开始施工，1990年第一台机组发电。

二、工程地质条件

1.地层岩性：主要为震旦系千枚岩，有少量加里东期的中-基性侵入体。地层产状：NW280°～300°/SW，∠50°～80°，倾向上游。

2.地质构造：坝址位于背斜翼部，构造发育。主要节理4组：（1）NW280°～300°/SW，∠35°～75°；（2）NW320°～340°/NE，∠50°～75°；（3）NE 40°～70°/NW，∠50°～60°；（4）NW310°～350°/NE，∠15°～30°；（5）NE 10°～25°/SE，∠15°～30°。

主要断层有：（1）$F_{,}$，290°～295°/SW，∠58°～65°，破碎带宽度6～14m，充填黑色断层泥厚0.25～1.3m，其余为块状、片状压碎岩。（2）F_{4}，285°～300°/SW，∠43°～64°，破碎带宽度0.68～0.8m，充填糜棱岩1～10cm，断层泥0.5cm，角砾岩和破碎岩50～100cm。（3）F_{18}，70°～300°/s，∠25°～55°，破碎带宽度0.1～4.3m，充填糜棱岩、岩片、粘泥。（4）F_{21}，320°～335°/NE，∠66°～75°，破碎带宽度0.15～0.20m，充填泥、糜棱岩及岩片。

岩体结构以层状薄层状为主，少部为厚层状或块状结构。

3.风化分带：（1）强风化带，两岸30～50m，河床0 m；（2）弱风化带，两岸8～20m，河床0～5 m。

三、工程的岩石力学问题

1.坝基压缩变形：众多的层间错动带，特别是坝址F_{18}断层，坝前有较大的陡倾角断层F_3，由于坝线与地层走向平行，可能产生较大的累积变形，它们会对大坝的应力分布等产生不利的影响。

2.坝基抗滑稳定：在坝基下存在多组缓倾角断层，深层抗滑稳定问题突出。

3.边坡的稳定问题：多组断层组合在边坡不同部位构成不稳定棱体；强风化岩体在适当的地形条件下产生倾倒变形。施工期间曾发生十多处边坡失稳病害，破坏岩体方量从几千至22万m^3不等。有待研究处理。

四、试验工作量

试验项目		室内试验组数	现场试验		备注
			组数	块(点)数	
物理性质		403			
抗压强度	干燥	93			
	饱水状	93			
抗剪强度	三轴	12			中型剪 混凝土/岩10组
	抗剪	10			
	抗剪断	19	10	40	
	软弱夹层	90	2		
变形试验	电阻片	93			
	承压板			24	
	地震法		64		
应力测量	解除法			3	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗拉强度 (MPa)	变形 E (GPa)
绢云母千枚岩，微风化	2.79	0.29	66.86	41.27	1.37	19.9
绿绢千枚岩，微风化	2.81	0.30	70.78	44.8	2.9	12.6～38.5
	2.74	0.33	79.51	45.29		
钙绿千枚岩，微风化	2.91	0.18	83.43	59.8		
绿泥石千枚岩，微风化	2.90	0.39	156.86	108.82		
闪长岩，微风化	2.90	0.30	168.04	109.9		
辉石角闪岩，微风化	3.18	0.30	200.88	114.31		
绢云母千枚岩，强风化						
绿绢千枚岩，强风化						

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形试验 方法	最大法向力 (MPa)	E_o (GPa)	E_s (GPa)	地震法 E_d (GPa)
绢云母千枚岩，薄片	狭缝法	3.92	41.67	60.69	
绢云母千枚岩，微风化					
绿绢千枚岩，微风化	狭缝法	3.92	45～58.8 / 51.9	81.37～17.5 / 128.0	46.1～52.0
绿绢千枚岩，弱风化	承压板	3.33	1.31		
绢云母千枚岩，破碎带	狭缝法	2.94	0.1～1.22 / 0.75	0.78～10.9 / 3.82	
绿绢千枚岩，破碎带	狭缝法	3.92	3.06～12.04 / 6.5	4.84～19.56 / 12.11	18.6～34.3

特性	抗剪强度（峰值）						备注
μ	类型	组数	抗剪断		抗剪（三轴）		
			$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)	
0.28	岩/岩	2	3.25	2060	0.70	4410	三轴试件9cm×20cm圆柱体
0.18～0.27	岩/岩	3	1.30	1600	0.78	7180	
	岩/岩	6			0.69～0.7	4900	
	岩/岩	4	3.42	3870			
	岩/岩	4	2.28	2790			

混凝土/岩抗剪试验（峰值）

方法	试件尺寸 (cm)	抗剪断		抗剪	
		$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)
直剪，平推	50×50	0.85	850	0.78	200
直剪，平推	50×50	1.02(2)	1310(2)	0.8～1.04 / 0.92	320～280 / 300
直剪，平推	50×50	0.88～0.96 / 0.92		0.88～0.96 / 0.92	100～800 / 450

（3）软弱夹层物理性质试验成果表

夹层名称及编号	含水量（%）	干容重（g/cm³）	饱和度（%）	孔隙比（%）	流限（%）
F_3	10.8	1.92	67.2	0.46	28.9
F_4					2.98
F_{16}					33.2
F_{18}	23.4	1.60	86.9	0.74	36.1
F_{21}					28.5
f_{16}	10.6	1.98	72.5	0.40	25.7
f_{15}, f_{25}					34.6
f_9, f_{26}, f_{27}, f_{28}					31.6
f_1^b	11.85～25.75	1.79		0.59	31.94

（4）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪			现场抗剪试验			
	方法	峰值		方法	组数	峰值	
		tgφ	c（kPa）			tgφ	c（kPa）
F_3	饱、固、快（原状）	0.57	441				
F_{16}	饱、固、快	0.44	147				
F_{21}		0.43	245				
f_{16}	饱、固、快	0.48	275				
f_{15}, f_{25}		0.30	490				
f_9, f_{26}, f_{27}, f_{28}		0.34	490				
f_1^b	饱、固、快（原状）	0.35	358				
	中剪	0.29	180				

塑限 (%)	颗粒组成 (%)				土定名
	>0.05	0.05~0.005	<0.005	<0.002	
14.6	85.66	12.3	2.0	1.75	砾质砂壤土
18.6	99.13	0.8	0.07		粗砂
17.9	68.7	25.3	6.0	4.0	
18.8	75.8	16.7	7.5	4.3	砾质重砂壤土
20.1	90.0	8.5	1.5	1.0	
15.3	82.9	11.96	5.14	2.44	砾质轻砂壤土
22.1	66.9	16.4	16.7	12.2	砾质轻砂壤土
19.8	81.2	12.4	6.4	4.6	细砾
20.15	46.42	33.77	19.73	10.73	砾质重砂壤土

夹层名称及编号	室内抗剪试验			现场抗剪试验				备注
	方法	峰值		方法	组数	峰值		
		tgφ	c (kPa)			tgφ	c (kPa)	
f_9	中剪	0.36	70	平推	1	0.49	18	
F_1	固、快(扰动)	0.27	588					扰动试件
F_{18}	固、快	0.25	588					
F_4		0.60	314					
F_{16}	固、快	0.26	294					
f_{10}		0.39	686					
f_4				平推	1	0.53	20	试件50cm×50cm

（5）软弱夹层地质特征及矿化分析成果表

夹层名称及编号	粘土矿物			夹层		成因类型
	分析方法	主要矿物	次要矿物	分布	夹层厚度（m）	
F_{18}	X射线，红外光谱，差热分析及电镜等	云母、蒙、绿水云母、绿泥石	蛭石 蒙脱石	连续	0.10～0.3	构造
f_1^5				连续	0.002～0.1	构造
f_{13}^5					0.13	
$f_{\cdot}$				连续	0.08	构造
f_{15}^5					0.058	
$f_{1\cdot}$				连续	0.02	构造

（6）地应力测试成果表

岩石名称	深度（m）	最大地应力			中
		σ_1（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_2（MPa）
震旦系绢云母千枚岩	103.4～173.7	16.63	288		6.96
绢绿千枚岩	3.5～7.0	5.10*	246	62	4.02*

pH	易溶盐含量（%）	有机质含量（%）	难溶盐含量（%）			备注
			SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	
7.4～7.9	0.062	0.2～1.11	46.6～57.2	1.43～4.21	15.14～19.73	充填物为断层泥、岩屑
8.4	0.041	0.97	58.1	5.88	15.2	充填物为断层泥、岩片、石英脉（缓倾角断层带）
						充填物为岩片、糜棱岩
7.7	0.02	0.38	58.86	4.77	14.95	压碎岩，局部有石英粉末及黄泥
7.5	0.02	0.17	67.54	5.95	11.31	岩片、黄泥局部为角砾岩（缓倾角断层带）
						角砾岩及红粘泥

间地应力		最小地应力			备注
方位角（度）	倾角（度）	σ_3（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	
		3.86			在平洞（深25m）底掌面压磁法解除
291	−21	1.27**	194	−19	孔内测试 相应为两水平应力，**为垂直主应力

（7）岩石参数建议采用值

岩石	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	E (GPa)	μ	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′ (kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c (kPa)	备注
Z_2^1千枚岩	2.72	30		0.60	0.28					E值中分子为垂直层面，分母为顺层面
Z_2^1千枚岩	2.75	40	0.1	8	0.26			0.55	300	
Z_2^1千枚岩	2.75	40	0.4	8/10	0.25			0.55	300	
Z_2^2千枚岩	2.77	45	0.5*	12/18	0.20			0.6	500	抗拉强度中带＊者为垂直层值
J_1^1	2.30			1	0.38			0.31	3	
F_{18}	2.0			0.5	0.40			0.30	5	
F_{21}	2.2			2.0	0.35			0.45	100	
F_{19}	2.5			2.0	0.35			0.45	100	
F_4	2.4			1.5	0.36			0.45	100	
F_8	2.1			0.5	0.40			0.45	100	
混凝土/微风化岩						0.79	740	0.65	0	
混凝土/弱风化岩						0.54	0	0.50	0	
混凝土/强风化岩						0.40	0			

石 泉 水 电 站

一、工程概况

石泉水电站位于汉江上游陕西省石泉县县城以上1km的峡峪出口，水库以发电为主，同时兼有灌溉、渔业等综合效益。大坝为空腹重力坝，坝高66m，全长353m，库容4.92亿m^3（正常高水位410m）可满足约1万亩农田灌溉的用水，装机容量13.5万kW。1958～1960年完成高坝方案初设（正常高水位为470m）。1960年完成技设，1970年按低坝方案施工，1973年发电，1975年竣工。

二、坝址工程地质条件

1.坝址范围内分布的地层为下志留纪黑云母石英片岩，岩石中的黑云母有时平行片理分布，呈鳞片状结构，有时垂直片理面分布呈针柱状结构，时而均匀分布，时而聚成斑点，沿片岩片理和裂隙有少量石英闪长岩和石英脉呈岩床或岩脉侵入。

施工开挖中，共揭露大小断层30余条，这些断层按其结构面可分成下列4组：

（1）295°～315°/SW，∠50°～75°；（2）325°～340°/SW，∠50°～75°；（3）270°～280°/NE，∠60°～80°；（4）50°～70°/NW，∠50°～70°。

2.主要断层特征：F_{79}断层：270°/SW，∠72°～78°，破碎带宽度0.5m，构造碎屑充填，具有透水性，向上游宽度减小。F_{140}断层：291°/NE，∠59°，破碎带宽度0.5m，大部分为胶结糜棱岩，少部分为绿泥石，方解石充填，具有弱透水性。F_{15}断层：87°/NW，∠78°，破碎带宽度0.5m～1.0m，由胶结不良的构造碎屑组成，单位吸水量为0.01～0.08L/min。

坝址构造裂隙比较发育，在弱风化岩石中多为张开的，在微风化岩石中多闭合的，按其产状可分为下列4组：

（1）NE16°～90°/SE或N，∠16°～38°；（2）NE70°～

SE155°/SE或NE，∠8°～32°；（3）NW270°～355°/N或NE，∠14°～37°；（4）NW280°～310°/SW，∠42°～64°。

构造裂隙宽度一般为0.1～0.5cm，稍大者为1～5cm，裂隙中的充填物多为钙质、泥质及氧化铁，个别宽度较大者尚有砂土及岩屑，岩脉多为沿下列两组断裂侵入：

（1）NW351°～N13°E/SW或NW，∠68°～83°；

（2）NW351°/SW，∠64°～80°。

脉岩宽5～30cm，与围岩接触较差，两侧有少量岩片及粘泥。

顺层构造挤压破碎带由岩片，岩屑及云母和暗色矿物含量较高的软弱夹层组成，两侧多伴有少量粘泥。

三、工程的岩石力学问题

1.坝址区压缩变形问题：基岩工程地质条件良好，但施工中揭露大小断层30余条，尤其是陡倾角断层对大坝的应力分布产生不利的影响。

2.坝基抗滑稳定性：因坝区构造裂隙发育，厂房坝段在开挖丙块时，出露倾向下游对抗滑稳定不利的断续延伸的缓倾角裂隙，故存在抗滑稳定问题。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验		备注
		组数	组数	块(点)数	
物理性质		200			
抗压强度	干燥	70			
	饱水状	81			
抗剪强度	抗剪断	31	10		混凝土/岩10组(室内)
	抗剪	30	10		混凝土/岩现场4组
变形试验	电阻片法	42			
	承压板法			7	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	变形特性 E (GPa)	变形特性 μ	抗剪强度 类型	抗剪强度 组数	抗剪强度 $tg\varphi$	抗剪强度 c (kPa)
云母石英片岩，新鲜，微风化	2.71 (46)	0.27 (46)	127.8 (48)	104.3 (50)	21～124 / 50(33)	0.21	岩/岩	23	0.56	16
							混凝土/岩	6	0.74	35
黑云母石英片岩，弱风化	2.69 (15)	0.32 (17)	90 (11)	62.5 (12)	12～43 / 23(5)	0.13	岩/岩	6	0.55	5
							混凝土/岩		0.83	15
石英闪长岩	2.95 (6)	0.23 (4)	127.4 (4)	117.2 (5)	56～84 / 70(2)	0.20	岩/岩	1	0.69	0
							混凝土/岩		0.97	110
压碎岩	2.65 (4)	0.67	97.5 (6)	60.7 (11)	45～147 / 96	0.14	岩/岩	1	0.65	0
							混凝土/岩	1	0.80	0

注　表列分数中，分子为范围值；分母为平均值，括号内为试验组数。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	类型	试件尺寸 (cm)	抗剪断 峰值		抗剪强度 峰值	
			$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)
黑云母石英片岩，新鲜	岩/岩	40×50	1.42	3400	1.05	1430
	混凝土/岩		1.34	1670	1.08	600
黑云母石英片岩，微风化	岩/岩		1.08～1.94 1.33	2100～2630 2380	0.94～1.34 1.10	1110～1950 1350
	混凝土/岩		1.1～1.67 1.31	1150～2250 1500	1.0～1.14 1.07	150～700 470
黑云母石英片岩，弱风化	岩/岩		1.40*	2610	0.85～1.22 1.03	1410～1500 1450
	混凝土/岩		1.01～1.22 1.11	1050～2140 1700	0.9～0.98 0.94	420～700 560
石英闪长岩，微风化	岩/岩		1.84	3320	1.00	1250
	混凝土/岩		0.86	1600	0.85	550
黑云母石英片岩，挤压带	岩/岩		0.46～0.6 0.53	1250～1490 1370		

* 小值平均。

（3）现场岩体变形特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	试验方法	变形模量（GPa）	备注
黑云母石英片岩，新鲜	承压板	23(2)	垂直应力3.6MPa
黑云母石英片岩，弱风化		7.4～19.9 11.7(3)	
石英闪长岩，微风化		20.1	垂直应力4.8MPa
压碎岩，微风化		8.7	垂直应力4.2～3.6MPa
压碎岩，弱风化		1.8	
压碎岩呈碎块镶嵌，未胶结	承压板	1.2	垂直应力4.2MPa

（4）岩石参数的建议采用值

岩石名称	容重（g/cm³）	抗压强度（MPa）	E（GPa）	μ	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c（kPa）	备注
黑云母石英片岩，微风化			15～20		0.80		
黑云母石英片岩，弱风化	2.70	60(湿)	10～15	0.30	0.7～0.75		
混凝土/微风化岩体					1.1	1150	试件饱水
混凝土/弱风化岩体					1.0～0.85	1300～930	
构造压碎岩			1.5～2.0		0.35～0.50	0	

李家峡水电站

一、工程概况

李家峡水电站是黄河上游第三个梯级电站，位于青海省东部尖扎、隆化两县交界的李家峡峡谷，距西宁市 约88km。是一个以发电为主，兼有综合利用的大型枢纽工程，坝型为混凝土重力拱坝，坝高65m，电站采用坝后式和窑洞式厂房（右岸），地下厂房尺寸：长52m、宽28.5m、高67.2m，共装机5台，总容量200万kW，年平均发电量59亿度。设计坝高165m，总库容16.5亿m^3。1978年开始进行地质勘探工作，1988年开始动工兴建。

二、工程地质条件

坝址位于李家峡峡谷中段，两岸谷坡对称，坝址右岸山体雄厚，左岸因黄河、左坝沟及左坝1#支沟的切割，形成一个三面临空的条形山梁，其间断裂结构发育，致使岩体较为破碎。

本区出露的地层为前震旦系变质岩，主要由三种岩性组成，条带状混合岩、黑云母角闪斜长片岩和花岗伟晶岩脉，风化较深。

岩层片理呈单斜状，其产状为NW310°～320°/SW，∠40°～50°，倾向上游略偏右岸，片理走向与河流夹角45°～65°。

坝址区的地质构造比较复杂，其主要构造结构面有以下几组：

1.顺层挤压破碎带及同一方向的断裂结构面，如f_{32}、f_{35}等，产状NW315°～326°/SW，∠35°～60°，破碎带宽度0.4～1m，组成物质主要是糜棱岩、片状岩和少量断层泥，厚度不等，多为0.03～0.05m，这类断裂结构在右坝肩及地下厂房均有出露，是控制坝肩变形及洞室围岩稳定的主要结构面。

2.高倾角断层和节理：在河床区平行于河流流向（北东东向），发育有高倾角（75°～85°）断层，如F_{20}、F_{26}、F_{50}等，这一方向的断层均横穿大坝，并贯穿厂房区，构成坝基顺河破碎带，其宽窄变化大，胶结差，控制着大坝的承载强度和渗透稳定性。

3.缓倾角结构面，这类结构面的走向NE20°～40°/NW，∠6°～20°，对建筑物的抗滑稳定影响较大，如T_{148}等。

三、工程的主要岩石力学问题

1.坝前滑坡体存在：右岸Ⅰ号滑坡，左岸Ⅱ号滑坡分别离坝前180m和800m，特别是Ⅱ号滑体属顺层推移式，后缘裂缝在发展中。

2.坝基抗滑稳定性：坝基中有顺河断层F_{20}、F_{50}及缓倾角结构面存在，需核算其抗滑稳定；左坝肩存在3组节理（顺坡挤压裂隙、高倾角裂隙和走向NE15°～45°张裂隙），局部地段开挖时存在不稳定岩体。

3.各类结构面的力学性质的确定及开挖深度研究。

四、试验工作量

试验项目		室内试验组数	现场试验		备注
			组数	块(点)数	
抗压强度	干燥	66			资料来源："李家峡坝基岩体物理力学特性及参数取值报告"，1989
	饱水状	66			
抗剪强度	三轴	10			
	抗剪断	1	11		
	抗剪	33	7		
	裂隙面	18	12		室内为中型剪
抗拉强度	劈裂法	8			
变形试验	承压板		46		
	扁千斤顶		3		即狭缝法
	动力法			203	其中声波法97，地震法106
	电阻片法	68			
物理	性质	102			
应力测量	钻孔解除法		97		
	恢复法		76		
	动力法		33		整体地震

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	施力方向	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	湿
斜长片岩，微风化	斜交	3.01	0.27	0.11	123	89
	垂直片理				150	85
	平行片理				127	73
混合岩，微风化	斜交	2.7	0.51	0.14	120	83
	垂直片理				140	90
	平行片理				131	80
花岗伟晶岩脉		2.61	0.73	0.23	110	79

注　资料来源："李家峡工程岩体分级及力学参数选值报告"，1987。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性 试验方法	E_o (GPa)	E_s (GPa)	声波法 E_d (GPa)	试验类型
斜长片岩，微风化	承压板	12.9(13)	20.9	50.3	混凝土/岩
斜长片岩，微风化					岩/岩
斜长片岩，弱风化	承压板	6.4(12)	14.6		
混合岩，微风化	承压板	9.1(12)	17.7	62.1	混凝土/岩
					岩/岩
混合岩，弱风化	承压板	4.9	12.0		

注　1.括号内为试验组数；2.资料来源："李家峡工程初步设计"。

抗拉强度	变形特性		抗剪强度			
	E	μ	类型	组数	抗剪断	
(MPa)	(GPa)				$tg\varphi'$	c' (kPa)
7.5	70	0.25	三轴	1	0.84	1200
	81	0.24		2	1.38	2000
	110	0.21		2	1.66	1800
7.6	70	0.26	三轴		1.37	2340
	85	0.24			1.32	1800
	102	0.23			1.78	800
7.5	54	0.26				

抗剪强度（峰值）

试件尺寸	组数	抗剪断		抗剪	
(cm)		$tg\varphi'$	c' (kPa)	$tg\varphi$	c (kPa)
40×40	2	1.15	2120	0.88	600
40×40	3	1.4	1400		
40×40	2	0.90	2000	0.88	500
40×40	3	1.5	3200		

（3）软弱夹层物理性质试验成果表

夹层名称及编号	组数	比重	流限 (%)	塑限 (%)	颗粒组成 (%)				土定名
					>0.05	0.05~0.005	<0.005	<0.002	
F_{16}断层泥	12	2.77	44.2	22.7	29	23.9	25.9	20.8	重壤土
F_{17}断层泥	12	2.68	50.1	22.4	23.2	39.5	25.5	11.8	重粉质壤土
F_{18}断层泥	13	2.71	42.8	25.1	35.6	28.7	21.2	13.7	重壤土
F_{14}断层泥	4	2.86	34.1	19.6	48.7	27.2	15.1	11.2	重砂壤土

注　资料来源："李家峡工程初步设计报告"，1984。

（4）泥化夹层化学矿物成份分析成果表

夹层名称及编号	粘土矿物			比表面积 (m^2/g)	阳离子交换量 (mg/100g)	难溶盐含量(%)			备注
	分析方法	主要矿物	次要矿物			SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	
F_{14}断层	差热法	蒙脱石	高岭土	222.5	60.9	46.2	16.44	19.96	3组资料

（5）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪试验						现场抗剪试验				备注
	组数	方法	峰值		残余值		方法	组数	峰值		
			tgφ	c (kPa)	tgφ	c (kPa)			tgφ	c (kPa)	
F_{26}	12 3	土工 中型剪	0.38 0.45～0.60	30 30	0.29	20	直剪	1	0.28	20	中型剪试件20cm×20cm
F_{27}	4	中型剪	0.5～0.6	40			直剪	1	0.29	40	
F_{29}	12 1	土工、饱、固 中型剪	0.38 0.34	30 20	0.29	20					
F_{28}	1	中型剪	0.64	0							
F_{32}							直剪	1	0.48	0	
F_{34}	4	土工、饱、固	0.46	40	0.38	20	直剪	2	0.32	20	
F_{35}	1	中型剪	0.45	70							
F_{39}	5	土工、饱、固	0.29	20	0.23	10					
T_{148}	2	中型剪	0.51～0.55	0			直剪	1	0.58	80	
NEE裂隙	5	中型剪	0.4～0.5	100			直剪	4	0.6～0.7	130～280	
顺河陡裂面	1	中型剪	0.6	50							

注　资料来源：水电部西北设计院科研所1988年试验报告。

（6）地应力测试成果表

岩石名称	深度 (m)	最大主应力			中间主应力			最小主应力		
		σ_1 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_2 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_3 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)
前震旦系变质岩	130	5.5	58	43	4.5	275	41	2.8	168	20

注　测点在31～1#洞内。

（7）岩石力学参数建议值

岩石及其分级		抗剪断参数		抗剪强度		变形模量 (GPa)	弹性模量 (GPa)
		$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)		
基岩	A级(完整)	1～1.2	2000～3000	0.9～1.0	0	17～23	32～43
	B级(层状，微风化)	0.9～1.0	1000～2000	0.7～0.9	0	10～17	19～32
	C级(碎裂，弱风化)	0.7～0.9	500～1000	0.6～0.7	0	4～10	7.5～19
	D级(碎裂，强风化)	0.6～0.7	300～500	0.5～0.6	0	1.5～4	3～7.5
结构面	NE60°/NW∠60°，微风化			0.45～0.6	250		
	NE60°/NW∠60°，弱风化			0.25～0.45	200		
	NE30°/NW∠50°，微风化			0.45～0.6	300		
	NE30°/NW∠50°，弱风化			0.35～0.45	250		
	NW320°/NE∠60°，微风化			0.5～0.65	300		
	NW320°/NE∠60°，弱风化			0.35～0.5	200		
	缓倾裂隙面，微风化			0.45～0.6	350		
	缓倾裂隙面，弱风化			0.3～0.45	250		
断层破碎带(F_1、F_{11})						1.0～1.2	
NEE向(F_{16}、F_{17})						0.8～1.0	
NW向(f_{11}、f_{14}等)						1.2～1.5	
影响带						2～3	

注　资料来源："李家峡坝基岩体特性及参数取值研究报告"，西北设计院，1989。

刘家峡水电站

一、工程概况

刘家峡水电站位于甘肃省永靖县境内黄河干流上，距兰州市约100km，是一座以发电为主兼有防洪、灌溉、防凌、养殖等综合利用的水利水电枢纽工程。主坝为混凝土重力坝，长204m，最大坝高147m，左右岸各有混凝土副坝一座，右岸设置溢洪道长636m，以黄土副坝与岸坡连接。总库容57亿m^3，电站厂房为地下和坝后混合式厂房，地下厂房开挖跨度31m，高60m、长86m，上覆岩体厚55m，5台机组总装机容量122.5万kW。

本工程于1956年开始进行初步设计，1958年动工，1961年停工缓建，1964年复工，1969年第一台机组发电，1974年全部竣工。

二、工程地质条件

坝基出露岩层为前震旦系结晶片岩，以云母石英片岩为主，并有少量角闪片岩。红柳沟背斜斜穿主坝，其轴线与坝轴线交角为20°，坝基处于背斜下游翼，产状NE10°～30°/NW，∠20°～40°。岩层总的趋势倾向下游偏右岸，左坝肩受F_{69}断层影响，产状NE5°～30°/NW，∠10°～35°。坝区风化较浅。

穿过坝基的断层有10多条，归纳为3组：（1）NE60°～80°/SE(为主)，∠60°－80°，如F_{69}、F_{175}、F_{155}；（2）NW345°～360°/SW，∠50°～80°，如F_{132}、$F_{主-3}$、$F_{主-12}$；（3）NW280°～300°/NE(为主)，∠60°～80°如：F_{92}。

左坝肩变质片岩中层面裂隙和顺层构造挤压破碎带较发育。

地下厂房、高压引水洞、排沙洞、泄洪洞（原导流洞）均位于右岸，围岩与坝基相同，岩体坚硬完整，在红柳沟背斜下游翼。

三、工程主要岩石力学问题

（1）主坝坝基抗滑稳定主要控制在混凝土与坝基岩体的接触面上。为此，进行了现场大型试验来提供有关参数。

（2）左坝肩范围内地基分布有构造挤压破碎带和3组较发育的构造裂隙与结晶片岩的片理面构成不利稳定的三角体，在库水渗入和坝体作用条件下，易产生微小变形，施工中已进行防渗、固结和排水处理。

（3）地下厂房上游壁高达50m，岩层倾向厂内，有少量顺层构造挤压破碎带与裂隙组合形成局部的不稳定体，又因靠近岸边，地下水渗入对上游壁稳定不利，施工中已进行锚固和多方面的防渗处理。

四、试验工作量

试验项目		室内试验（组数）	现场试验（组数）
抗压	烘干	48	
	饱和	40	
混凝土/岩石	抗剪断		13
	抗剪		13
岩/岩	抗剪	68	
结构面中型剪		6	
弹性模量（地震法）			21 另有承压板法3组
岩石三轴试验		8块	
岩石物理、力学性		64	
破碎带物理、力学性		52	
岩石化学分析		4	
岩石抗拉试验（劈裂法）		4	
弹性抗力系数（双筒法）			5
山岩压力（锚杆测力计）			6（两断面）

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称及风化程度	片理方向	物理性质					抗压强度(MPa)				抗拉强度(MPa)	弹性模量		备注
		比重	容重γ(g/cm³)	孔隙率n(%)	吸水率w(%)	饱和吸水率(%)	组数	烘干	饱和	冻融25次后		组数	E(GPa)（电阻片法）	
云母石英片岩，微风化	⊥	2.83	2.77	1.86	0.12	0.14	16	152	114	219	8.2～17.7	8	43.7～58.5/53.8	⊥为加力方向垂直片理
	∥						10	145	120			9	95～277.0/127.3	∥为力平行片理
	斜交						33	135	114	122	14.1			
云母石英片岩，弱风化	⊥	2.87	2.78	2.92	0.10	0.10	4	116	98	94		2	30.0	
	∥						3	113	106			2	49.0	
角闪片岩，微风化	⊥	2.98	2.93	1.11	0.11	0.13	2	244	222					
	∥						2	279	243					
	斜交						3	191	147					
角闪片岩，弱风化	⊥	3.08	2.95	1.40	0.10	0.12	5	219	200					
	∥						3	221	162					

（2）岩块室内抗剪试验成果表

岩石名称及风化程度	抗		
	光	面	
	类 型	组 数	tgφ
云母石英片岩，微风化（斜交片理）	岩/岩	38	0.48
	混凝土/岩	30	0.43
云母石英片岩，弱风化（斜交片理）	岩/岩	30	0.53
	混凝土/岩	18	0.47

（3）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称及风化程度	变形特性			
	片理方向	组 数	试验方法	弹性模量 E_d (GPa)
云母石英片岩，微风化	斜 交	4	地震法	63.5
云母石英片岩，弱风化	斜 交	3	地震法	42.0
角闪片岩，微风化(538*洞)	斜 交	4	地震法	64.7
角闪片岩，微风化(坝基)	斜 交	6	地震法	31.5
F_{11}影响带（构造块状岩）	斜 交	1	地震法	24.0
F_{11}断层带（碎屑角砾岩）	斜 交	3	地震法	2.0

剪强度			
剪试验	三轴试验		
c (kPa)	组数	tgφ	c (kPa)
70 60	2	1.19	8000
100 70			

抗剪（断）试验						
组数	试验类型	片理方向	抗剪断		抗剪	
			tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)
6	混凝土/岩石	斜交	1.05	1130	1.03	110
4	混凝土/岩石	斜交	1.40	1350	0.88	1000
3	混凝土/岩石	斜交	1.78	350	1.30	40

（4）软弱夹层地质特征及化学分析表

夹层编号	夹层厚度	
	夹层 (m)	夹泥 (cm)
F_{4-3}	0.15～3.0	1～2
F_{7-2}	0.5～1.0	1～2
T_{1+2}	0.05～0.1	
R_{p-6}	0.02～0.4	
R_{p-1-2}	0.02～0.15	

（5）软弱夹层物理力学性试验成果表

夹层编号	天然含水量 (%)	比重	流限 (%)	塑限 (%)	颗粒组成 (%)		
					>0.05	0.05～0.005	<0.005
F_{6-2}	9.88	2.98	38.4	15.8	21	23	36
F_{4-1}	10.01	2.86	24.84	13.77	51	21	
F_{8-2}	19.04	2.75	36.27	20.0	32	48	
T_{1+2}		2.70	40.4	28.3	85.4	2.7	1
R_{p-1-2}		2.84	23.6	12.1	85.5	10.3	4.5
R_{p-6}		2.91	20.2	11.8	95.6	3.4	1
T_{1+7}							
F_{1-8}	1.83	2.81	20.2	11.5	51	13	14
F_{9-1}		2.70	46.15	26.2			

易溶盐 (%)	难溶盐 (%)	备注
0.87	5.22	平移断层，充填碎屑、角砾
1.32	5.63	平移断层，充填碎屑、角砾
0.158	67.33	构造裂隙，充填方解石，少量泥
0.179	89.72	挤压破碎带，充填岩块及黄绿色粉末
0.151	94.53	充填黄绿色岩屑、粘土和阳起石化物质

	室内抗剪试验						
<0.002	组数	土工法		中型剪(抗剪断)		中剪(抗剪)	
		tgφ	c(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)
18	1	0.20	18				
	6	0.43	30				
	8	0.33	15				
		0.85	20				
	各1	0.62	64	0.5	190	0.5	120
	各1	0.67	14	0.42	130	0.24	150
	各1			0.47	100	0.47	98
10	2	0.5	20				
	2	0.45	15				

（6）岩石参数建议采用值

岩石	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	变形特性 E (GPa)	变形特性 μ	tgφ	备注
云母石英片岩，微风化	2.78	150	130	28	0.25	0.75～0.8	混凝土/岩的抗剪值
云母石英片岩，弱风化	2.78	110	100	10～15	0.25	0.65～0.7	
角闪片岩，微风化	2.93	260	230	28	0.25	0.75～0.8	
角闪片岩，弱风化	2.93	220	190	10～15	0.25	0.7～0.75	
粗砂岩，微风化	2.30	35	10	1	0.38	0.52	
粗砂岩，弱风化	1.90	6	0.6	2.5	0.38	0.50	
中、细砂岩，微风化	2.10	14	2	0.8	0.38	0.45	
中、细砂岩，弱风化	1.90	5	0.5	1	0.38	0.40	
F41，碎屑岩	2～2.2					0.45	
F92，碎屑岩	2～2.2					0.40	
F69，块状岩				5～7	0.27	0.6～0.65	
F69，角砾岩				0.8～1	0.28		
左坝肩挤压破碎带	2～2.2					0.45～0.5	
缓倾角 R_2 类						0.34～0.4	
陡倾角T类						0.4～0.47	

龙羊峡水电站

一、工程概况

龙羊峡水电站为黄河上游一座大型综合利用的水电工程，位于青海省共和县境内，龙羊峡进口下游约1km处，距西宁市约140km。

枢纽工程由混凝土重力拱坝、左右岸重力墩及混凝土副坝、右岸溢洪道、坝后主、副厂房等组成。最大坝高177m，库容247亿m^3，装机容量128万kW。1976年开始施工，1987年第一台机组发电。

二、工程地质条件

坝址所在河段由西向东流，峡谷呈陡峻的V字形，谷深约150m，谷坡沿较大断层形成冲沟，坝线下游300m处，沿F_7断层带发育成大冲沟，使得左坝肩下游支撑岩体显得单薄。

坝址区地层主要为印支期花岗闪长岩及三迭系变质砂岩，主要建筑物布置在花岗闪长岩内，坝线上游及冲刷消能区右岸有三迭系变质砂岩出露。岩层产状为300°～330°/SW，∠3°～6°。

花岗闪长岩主要由长石、石英和少量黑云母组成，岩性坚硬，常有伟晶岩脉等侵入。变质砂岩为硅质胶结，岩性极硬。

坝基有断层F_{120}和F_{18}，其中F_{120}的产状为N40E/SE，∠70°，破碎带宽2～5m，充填物为碎裂岩、角砾岩、蚀变岩和断层泥；F_{18}产状为340°～350°/NE，∠50°～60°，破碎带宽为1.3～4m，属角砾岩及风化岩，右岸上游另有伟晶花岗岩劈理带G_4，其倾角在80°以上，宽5～10m。

坝址位于青藏歹字型、祁吕山字型西翼与河西系3个构造体系的复合部位，坝区内的断裂按产状可分为NNW、NW、SN、NE和NWW 5组，根据断裂规模、充填物质和力学特征，可分为4级断裂结构面，产状如下：1、330°～350°/NE，∠50°～60°；2、310°～330°/NE，∠70°～80°；3、340°～25°/NE或NW，∠15°～30°；4、20°～50°/SE或NW，∠75°以上。

三、工程的主要岩石力学问题

1.左、右岸坝肩岩体抗滑稳定问题：由于断裂结构面的不利组合，使得左坝肩支撑岩体单薄，存在岩体抗滑稳定问题。虽然右坝肩支撑岩体比左坝肩厚，但右坝肩中、上部有倾向下游的缓倾夹泥裂隙及近于直立的断裂结构面，因此，右坝肩也存在抗滑稳定问题。

2.左、右坝肩深部岩体的压缩变形问题。左岸F_{73}、F_{71}、F_{32}、F_{67}等NWW组断层，在2550m高程以上，距拱端较近，在高程2570m与坝头接触；在2530～2540m高程，上述断层交会形成宽约15m左右强风化破碎带，由于这些断层走向与合力方向近于正交，加之F_{120}贯穿上、下游，有可能产生较大压缩变形。

3.高边坡岩体稳定问题。

四、试验工作量

试验	项目	室内组数	现场组数	备注
抗压强度	干抗压	44		
	饱水状	35		
抗剪强度	抗剪断	5	19	另外室内三轴，F_{13}和F_{11}各2组共20块
	抗剪	24	5	
	裂隙面	26	6	
抗拉强度	劈裂法	3	22	
变形试验	承压板		25	
	承压板		16	断层结构面
	钻孔变形计		45	
	动力法		336段次	
	千分表法	7		
地应力测量	钻孔解除法		3	
物理性质		138		见“龙羊峡水电站技术设计”

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学性试验成果表

岩石名称及风化程度	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	变形特性(GPa) 弹性模量 E	变形特性(GPa) 泊桑比 μ	室内抗剪 类型	组数	tgφ	c(kPa)	备注
花岗闪长岩，微风化	2.57～2.66 /2.61	0.3～3.68 /1.31	0.08～0.49 /0.26	0.11～0.42 /0.27	111～236/186	68～161/128	75～100/84	0.18～0.30 /0.24	光面摩擦	7	0.63	13	
花岗闪长岩，弱风化	2.54～2.64 /2.59	0.7～3.4/1.83	0.17～0.94 /0.39	0.18～1.05 /0.42	73～180/127	76～144/114	33～50/42	0.22～0.30 /0.26	光面摩擦	13	0.59	11	
变质砂岩，微风化	2.71～2.76 /2.75	1.43～1.81 /1.62	0.06～0.13 /0.08		208～300/251	187～248/220							
伟晶岩，弱风化	2.50～2.63 /2.58	1.13～5.30 /3.00	0.18～0.97 /0.68	0.22～1.07 /0.77	91～118/106	24～151/69	14～45/26	0.23～0.29 /0.25	光面摩擦	4	0.47	8	
F_{11}角砾岩					14.4～57.7 /46.1(3)		24.8～96.3 /50(10)		三轴	2	0.32	550	F_{11}的抗拉强度 1.56～5.23 / 3.28(7)
F_{11}角砾岩					9.60～16.8		20～77.6 /44.9(10)		三轴	2	0.43	330～720	F_{11}的抗拉强度 0.9～4.17 / 2.11(12)
G_4									岩/岩(光面)		0.46	7.5	

注　表列分数中，分子为范围值；分母为平均值，括号内为试验组数。

（2）现场岩石特性成果表

岩石名称及风化程度	变形特性				纵波V_p(m/s)		剪力试验					
	方法	组数	E_0 (GPa)	E_t (GPa)	地震法	声波法	试验类型	试件尺寸(cm²)	抗剪断		抗剪	
									$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)
花岗闪长岩，微风化	承压板	10	35.1	61	5400	>5000	混凝土/岩石	630	0.87～1.23 1.05	540～1000 800	0.84～0.90 0.88	127～530 340
花岗闪长岩，弱风化	承压板	15	13.3	51	4760		混凝土/岩石	630	1.17～1.38 1.28	580～640 600	0.79～0.83 0.80	370～420 400
花岗闪长岩，强风化					2000～3000	3000～3500	混凝土/岩石	630	1.50～1.90 1.60	500～760 610	0.95～1.35 1.00	60～90 70
F_{t1}	承压板	2	3.35	4.95								
F_{t1}		3	2.57	5.44								
F_{t2}		3	0.64	1.08								
F_{t3}		4	0.085	0.64								
G_t		4	2.2	4.6								

注　混凝土/岩石抗剪断试验，混凝土强度17MPa，岩面起伏差10～20mm；
变形模量试验，承压板直径40cm，最大正应力5.33MPa。

（3）软弱夹层物理物性试验成果表

夹层名称及编号	位置	夹层		天然状态				流限	塑限	颗粒组成（%）			
		夹层厚（m）	夹泥厚（m）	组数	含水量（%）	容重（g/cm³）	孔隙比（%）	（%）	（%）	>0.05	0.05～0.005	<0.005	<0.002
F_{11}断层	左岸	1.034	0.005	4	10.9	2.23	0.41	31.04	15.42	>60	17.3	20.0	
F_{12}断层	两岸	1.51	0.018	3	5.57	2.28	0.23	32.88	16.10	>55	23.4	19.2	
F_{111}断层		2.78	0.015	4	11.5	2.11	0.40			>65	13.3	20.5	

（4）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪试验			现场抗剪试验					
	组数	峰值		方法	组数	峰值		残余值	
		f	c(kPa)			$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)
F_{14}夹泥	2	0.44	210						
F_{14}角砾岩	3	0.81	70						
F_{13}糜棱岩	8	0.42	210						
F_{13}角砾岩	5	0.67	150						
F_{130}夹泥	3	0.60	90						
F_{130}角砾岩	2	0.92	90						
T_{31}				楔形体法	4	0.46	20	0.37	35
F_{134}				平推法	4	0.43	10	0.36	6
缓倾断裂				楔形体法	3	0.32	55	0.31	40

（5）地应力测试成果表

岩石名称（年代、岩性）	深度（m）	最大地应力			中间地应力			最小地应力			备注
		σ_1（MPa）	方位角	倾角	σ_2（MPa）	方位角	倾角	σ_3（MPa）	方位角	倾角	
花岗闪长岩		1.81	SW245°	14°	1.02	NE77°	75°	0.69	SE155°	2°	应力解除法，滑坡后缘750*硐
		1.25	SE127°	74°	0.83	NE13°	7°	0.40	NW281°	15°	应力解除法，7*地段
	65	5.34	SW240°	18°	2.55	SE115°	60°	−0.43	NW338°	22°	应力解除法，右岸352*硐，距岸边80～40m
	68	9.35	NW311°	1°	3.29	NE38°	66°	1.76	NE41°	23°	应力解除法，左岸2530帷幕灌浆，廊道上游壁距岸70～78m
	68	4.03	NE50°	29°	3.33	SW208°	58°	1.21	NW315°	10°	应力解除法，左岸2530帷幕灌浆廊道上游壁距岸边56～58m
	68	3.34	NE72°	57°	2.30	SW192°	17°	−0.059	NW291°	26°	应力解除法，左岸2530帷幕灌浆廊道上游壁距岸边18～20m
	68	4.01	NE83°	47°	1.86	SW202°	23°	0.41	NW310°	32°	应力解除法，左岸2530帷幕灌浆廊道上游壁距岸边18～22m

（6）岩石参数建议值

岩性	容重 (g/cm³)	饱和抗压强度 (MPa)	变模E_o (GPa)	μ	抗剪强度		混凝土/岩石抗剪强度	
					tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)
花岗闪长岩	2.60	100～120	22	0.26	1.0	2000	0.70	500
F_{16}			4～5	0.31	0.3～0.35			
F_{67}			4～5	0.31	0.3～0.35			
F_{71}			4～5	0.31	0.30			
F_{73}			2.6～3.7	0.31	0.30			
F_{120}			2.8～4	0.32	0.30～0.35			

（7）断层变形模量采用值

断层编号	破碎带E_o(GPa)		影响带E_o(GPa)	
	2500以上	2500以下	2500以上	2500以下
F_{16}	2.0	2.88	2.5	3.6
F_{67}	0.64	0.8	2.1	3.02
F_{71}	2.3	3.31	2.5	3.6
F_{72}	0.64	0.8	2.1	3.02
F_{120}	0.85	1.15	1.7	2.45
C_t	1.4	2.02		
A_t	3.9	5.62		

青铜峡水电站

一、工程概况

青铜峡水电站位于黄河中游、宁夏回族自治区青铜峡县境内，大坝为闸墩式电站与重力坝组成，最大坝高42.7米，水头20m，总库容5.65亿m^3，装机容量27.2万kW，灌溉600多万亩。

该工程于1956～1958年进行初步设计工作，1958年技施设计与施工同时进行，1967年电站建成发电。

二、坝址工程地质条件

坝址区地层为中奥陶系砂页岩与灰页岩互层组成，砂岩的单层厚度0.2～0.3m，层间夹薄层页岩，风化深度一般为3～5m；灰岩单层厚度一般为0.05～0.15m，层间夹页岩，风化深度2～3m，页岩单层厚度为0.01～0.05m（部分页岩遇水易泥化）。

岩层产状：走向NE70°～80°/SE，∠60°～80°，岩层走向与河流成40°～50°交角，倾向上游；页岩对大坝不起控制作用。

坝址区断裂构造较发育，主要有以下两组，即NNW的张（扭）性断层，如F_1、F_5、F_6、F_7等，以及NEE向的压性断层，如F_{54}、F_{57}等。

由于张性断层破碎带较宽，对工程的影响也较大，而压性断层宽度较小，延伸不长，且断层带胶结较好，对工程无影响。

在灰、页岩互层中岩溶发育，其形态有溶洞及溶蚀裂隙两种，岩溶主要沿NNW方向的张性断层与张裂隙发育，并呈串珠状分布。

三、工程主要岩石力学问题

1.坝基抗滑稳定，主要是需了解混凝土与基岩胶结面的抗剪强度。

2.研究断层破碎带的力学性质及其对坝基稳定性的影响。

四、试验工作量

试验项目		室内组数	现场组数	备注
抗压强度	干抗压	25		
	饱水状	25		
抗剪强度	抗剪断		11	
	抗剪	43	11	
变形试验	电阻片法	12		
	承压板法		17	
	动力法		49	地震法测定
物理性质		36		

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	弹性模量 (GPa)
砂岩	2.69 (20)	2.61	3.0	0.93	1.03	76～243 /160	30～159 /88	22～99 /49
灰岩	2.72 (4)	2.67	1.8	0.68	0.80	50～212 /115	32～124 /76.5	19～101 /48
断层方解石角砾岩	2.70 (1)	2.64	2.22	0.48	0.58	20～52 /38	12～59 /34	
砂浆块/砂岩								
砂浆块/灰岩								

岩石名称	抗剪强度 类型	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)	备注
砂岩	岩/岩			0.72	17	中剪试件10cm×10cm
灰岩	岩/岩			0.69	38	

续表

岩石名称	抗剪强度					备注
	类型	抗剪断		抗剪		
		$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)	
断层方解石角砾岩	岩/岩			0.72	53	25组为物性试验
砂浆块/砂岩	混凝土/岩	1.15		0.68	40	
砂浆块/灰岩		1.72		0.68	0	

注　表列分数中，分子为范围值，分母为平均值；比重栏中，括号内为试验组数。

（2）现场岩体力学试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性				纵波速
	试验条件	试验方法	E_o (GPa)	E_s (GPa)	V_p(m/s)
砂岩，弱风化	垂直层面	承压板	1.2	2.3	3700～4300
灰岩，弱风化	垂直层面	承压板	1.1	2.0	3800～4100
断层角砾岩		承压板	0.29	0.65	

岩石名称（岩性、风化程度）	抗剪强度						备注
	试验类型	试件尺寸 (cm)	抗剪断		抗剪		
			$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)	
砂岩，弱风化	混凝土/岩	40×40	1.50	780	0.96	140	剪切面起伏差约20mm
灰岩，弱风化	混凝土/岩	40×40	1.25	900	0.88	200	
断层角砾岩	混凝土/断层	40×40	1.20	700	0.71	70	
	混凝土/断层	40×40			0.57	90	
	混凝土/破碎带	40×40	0.68		0.60		

（3）岩石参数建议值

岩石名称	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	μ	抗剪强度	
					tgφ	c(kPa)
砂岩	2.6	76～87	12	0.3	0.69	0
灰岩	2.6	76～87	12	0.3	0.64	0
页岩					0.25	0
强风化岩					0.50	0
断层带			2～5		0.25～0.50	

拉西瓦水电站

一、工程概况

拉西瓦水电站位于青海省贵德县与贵南县交界处，拟在龙羊峡出口上游4.5km石门坝址兴建双曲拱坝，包括泄洪段全长544.8m，最大坝高250m。右岸地下厂房，其尺寸为长210m，宽29m，高67m，装机容量372万kW。库容10.6亿m³，是黄河上游正在勘测设计中的最大水电站。1982年开始勘测规划，现正处初步设计阶段。

二、工程地质条件

坝址区为中生代印支期侵入中粗粒花岗岩，岩体质量良好，风化较浅。河谷两岸边坡高达700m，坝顶以上坡高450m。右岸地下厂房埋深300～600m，围岩为微风化花岗岩，块状结构，强度较高。

坝址上距拉西瓦区域大断层1.3km，下距伊黑龙区域大断层3km。坝区无较大断裂，仅NNW向及NNE向断裂构造发育，中、高倾角断裂有80余条，缓倾断裂18条，是控制地下洞室、坝肩和高边坡稳定的主要因素，裂隙发育规律与断裂基本一致。

据地应力测试，最大主应力值20MPa左右。

三、工程主要岩石力学问题

1.本工程处于高地应力地区，地下建筑物围岩稳定问题分析中需了解地应力场分布及其对建筑物围岩稳定的影响。

2.坝肩抗滑和变形稳定问题，尤其是在左坝肩，有几组结构面组成棱体，且倾向河床，对坝肩稳定极为不利，论证中需提供不同结构面岩体的力学特征参数值，如F_{28}、F_{29}、Hf_4、Hf_6等构成的棱体和F_{29}、Hf_4构成的变形体，需进行研究。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块数	
抗压强度	干抗压	56				
	饱水状	56				
抗剪强度	抗剪断	4	2	3		室内三轴试验25块ϕ5×10cm
	抗剪	9				
	裂隙面	11		13		为中型剪
抗拉强度	劈裂法	6				
变形试验	承压板			12		室内E、μ各35块
	钻孔变形计				56	
	钻孔解除法			7		压磁法4孔，孔径法3孔
物理性质		65				

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称及风化程度	比重	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗拉强度 (MPa)	变形特征 弹性模量 E (GPa)	变形特征 泊桑比 μ	抗剪强度 类型	抗剪强度 组数	抗剪强度 三轴(抗剪) tgφ	抗剪强度 三轴(抗剪) c(kPa)
花岗岩，微风化	2.69	2.68	0.46	0.14	0.17	150.7	128.8	7.0	50～68	0.22	岩/岩	4	0.93	4000
		2.68		0.12	0.15	162.7	108.9	6.96	56	0.21				
变质长英砂岩，微风化	2.74	2.73	0.30	0.08	0.11	260.5	167.3		70	0.22				
帘石化角岩及灰岩，微风化	2.77	2.75	0.57	0.17	0.20	131.5	91.2		68	0.27				
混合岩，微风化	2.80	2.77	0.88	0.24	0.32	153.7	130.6		62	0.24				

注 1.三轴试件φ5共25块；

2.资料摘自“拉西瓦工程可行性研究报告”，1986年。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性）及风化程度	试验组数	变形特性			抗剪试验				
		试验方法	变形模量 E_0 (GPa)	弹性模量 E_s (GPa)	试验类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断（峰值） $tg\varphi'$	抗剪（峰值） $tg\varphi$
弱风化花岗岩，裂隙发育	2	承压板	6.9～11.0 / 9.0	11～17 / 14.3	混凝土/岩	60×60	1	1.2	0.95
					混凝土/岩	60×60	1	1.4	0.95
微风化花岗岩，有裂隙	3	承压板	14～19 / 17.1	24～37 / 30					
微风化花岗岩，无裂隙	3	承压板	16～44 / 33.5	25～110 / 41					
微风化花岗岩，有裂隙	3	承压板	19～24 / 21.4	36～46 / 41					

注　变形试验承压板$D=0.5$m，试验分别在11*、5*、5-2*、7*洞内进行；抗剪试验为平推法，方向SW向，试件起伏差<0.5cm，混凝土标号200*岩性，粗粒花岗岩块状结构微风化。

（3）泥化夹层物理化学矿物成份分析成果表

夹层名称及编号	夹层厚度（米）			粘土矿物		易溶盐含量（%）	天然状态		比重	流限（%）	塑限（%）	颗粒组成			上定名
	夹层	夹泥	成因类型	主要矿物	次要矿物		含水量（%）	容重（g/cm³）				>0.05	0.05～0.005	<0.005	
F_{16}	0.1～0.25	0.001～0.005	断层挤压破碎带	石英、长石、伊利石	蒙脱石	0.053	11.2	1.8	2.63	33.1	15.3	88.8	8.6	2.5	含砂粘质土
Hf_4	0.1～0.25	0.001～0.005	缓倾断层带	石英、长石	方解石、伊利石	0.084	14.7		2.68	24.3	13.4	82.3	12.5	5.1	含砂粘质土
Hf_3	0.05～0.20	泥不连续	缓倾断层带	石英、长石		0.13	11.5		2.71	21.9	10.9	73.1	18.9	8.0	
F_{184}	0.15～1.00	局部有泥	断层带	石英、长石	绢云母	0.05	17.8		2.64	27.4	12.7	84.3	10.5	5.2	含砂粘质土
F_{178}	0.30～0.40		断层带	石英、长石	伊利石	0.17	8.7		2.65	40.9	17.4	87.0	9.1	3.3	

（4）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪试验				现场抗剪试验			
	方法	组数	峰值		夹层号	组数	峰值	
			tgφ	c(kPa)			tgφ	c(kPa)
F_{33}	饱、固、快(土工)	4	0.49	16	Hf_4缓倾断裂面	2	0.55	400
F_{2_0}	中型剪	2	0.40	65	F_{33}	1	0.40*	580
$F_{1_{11}}$	饱、固、快	1	0.61	3	F_{2_0}	1	0.53	860
$F_{1_{12}}$	饱、固、快	1	0.54	49	F_{33}	1	0.42*	240
Hf_1	饱、固、快	1	0.61	2	Hf_1	1	0.54	380
Hf_2	中型剪	1	0.55	60	Hf_2	1	0.61	2020
Hf_3	中型剪	1	0.47	80	Hf_3	1	0.40	540
Hf_4	饱、固、快	2	0.56	18	Hf_4	2	0.61	1120
Hf_4	中型剪	1	0.45	130	Hf_4	2	0.50	1440

注 1.本表摘自“拉西瓦工程可行性研究报告，西北水电勘测设计院，1986；
2.现场抗剪试验用便携式直剪仪；
3.试件尺寸为12cm×12cm，天然含水状态；
4.*为饱水状态。

（5）地应力测试成果表

岩石名称（岩性）	岩石风化程度	最大地应力			中间地应力			最小地应力			备注
		σ_1 (MPa)	方位角	倾角	σ_2 (MPa)	方位角	倾角	σ_3 (MPa)	方位角	倾角	
中生代印支期花岗岩	新鲜完整	22.8	350°	41°	13.3	69°	11°	9.47	327°	46°	压磁法，右岸2#硐
		22.7	338°	33°	18.6	88°	27°	13.1	28°	45°	压磁法，右岸2#硐
		14.5	302°	51°	9.48	66°	16°	3.65	153°	9.7°	压磁法，右岸14-1#硐
		9.48	320°	54°	5.96	86°	23°	2.73	9°	26°	压磁法，左岸11#硐
		20.5	12°	39°	14.0	82°	22°	5.7	331°	42°	孔径法，右岸2#硐
花岗岩	新鲜	21.6	63°	19°	13.0	336°	6°	7.47	83°	69°	孔径法，左岸5#硐
		8.8	65°	28°	5.5	28°	55°	2.16	326°	17°	孔径法，左岸5#硐

（6）岩石参数建议值

岩石名称	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	μ	tgφ	c(kPa)	备注
新鲜花岗岩	2.68	100	7	18～24	0.25	1.0	0	E_0值
				32～43				E_r值
弱风化花岗岩	2.68	95	6	16～20	0.25	0.9	0	E_0
				28～35				E_r
断层影响带				3～5	0.35	0.55	0	
断层破碎带				2	0.35	0.4～0.5	0	
夹泥层				1		0.3～0.35	0	

岩滩水电站

一、工程概况

岩滩水电站位于广西红水河中游，巴马县和都安县交界的河段上。上游距龙滩梯级166km。枢纽由混凝土重力坝、电站和通航建筑物（左岸）等组成。溢流坝最大坝高111m，坝后式厂房，总装机容量近期为121万kW。库容24.3亿m³。

工程于1978年开始勘测设计，1982年完成初步设计报告，1984年开工，现正施工中。

二、工程地质条件

坝基地层为中生代印支期($\beta_{\mu 5}^{1}$)辉绿岩侵入体，呈岩床出露，厚度约210～230m，与上覆围岩（下二迭系栖霞灰岩PI_q）和下覆围岩（石炭系马平灰岩C_{2m}）呈整合接触同步褶皱变形。上、下围岩均为大理岩夹角岩，厚度较大。辉绿岩中有灰岩捕掳体和石英岩脉、方解石脉穿插，岩脉两侧分布有热液蚀变辉绿岩。右岸石英岩脉和蚀变岩厚达32m，左岸岩脉多条。上述岩系岩层产

状20°～40°/NW，∠15°～25°。

坝区构造断裂大致归纳为4组，有代表性的断层为：F_{66}产状334°/SW，∠30°～35°，破碎带宽度0.05～0.1m，充填物为风化碎屑岩片和泥，分布在21*～22*坝段；F_{67}产状300°～340°/SW，∠22°～31°，破碎带宽度0.05～0.1m，充填物为风化碎屑、岩片，少量泥质，分布在15*～18*坝段；F_{84}产状近SN/W，∠45°～50°，破碎带宽度0.1～0.3m，充填物为压碎岩、夹泥和角砾，分布在左岸坝肩；F_{48}产状70°～75°/E，∠80°～85°，破碎带宽度0.6～2.0m，充填物为岩屑、方解石脉和角砾，分布在溢流坝段下游；F_{65}产状NE60°/NW，∠15°～25°，充填物为强风化破碎岩，含泥膜2～6cm，节理以NNE向缓倾角一组最发育。

岩体风化形态有碎块状、球状、袋状及夹层状，垂直方向各向异性。大坝厂房建基于微风化～新鲜岩体上，局部在弱风化下部岩体上。明渠纵向导墙建基于弱风化带上部，碾压混凝土围堰建基在强风化带下部岩体和弱风化带上部岩体。

三、工程的主要岩石力学问题

1.坝基辉绿岩的强、弱、微风化带中均分布有构造型和风化型的软弱缓倾结构面。特别是北北西～北西向缓倾断裂（F_{66}、F_{67}）与顺河向、横河向的高倾角断裂构成的不稳定楔形体，控制了坝基抗滑稳定，需了解岩体及各类结构面的物理力学特性，论证坝基及其它建筑物的地基稳定。

2.辉绿岩体风化是坝址主要工程地质问题，了解各类风化体物理力学特性，确定不同建筑物（包括围堰）的建基高程。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗压强度	干燥	77				
	饱水状	74				

续表

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗剪强度	抗剪断	9		15		室内混凝土/岩14块
	抗剪					另室内抗切46块
	裂隙面		6	55		另室内中剪试件15块
变形试验	电阻片法		27			
	承压板				44点	
	钻孔变形计				15点	
	声波法				411点	
抗拉强度	劈裂法		10			
物理性质		86				
矿化分析			20			

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	干容重(g/cm³)	吸水率(%)	饱和吸水率(%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	抗切强度(MPa) 剪断面尺寸(mm)	抗切强度(MPa) 平均值	抗切强度(MPa) 小值平均值	抗拉强度(MPa)
中晶辉绿岩，新～微风化	3.02	0.15	0.20	229.6	197.5	50×50	113		22.5
中晶辉绿岩，弱风化	3.00	0.28	0.33	139.8	124.7	50×50	113.54	98.5	
中晶辉绿岩，强风化	2.61	3.79	4.11		93				

续表

岩石名称（岩性、风化程度）	干容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗切强度(MPa) 剪断面尺寸 (mm)	抗切强度(MPa) 平均值	抗切强度(MPa) 小值平均值	抗拉强度 (MPa)
细晶辉绿岩，新～微风化	3.04	0.10	0.14	271.7	221.2				15.6
细晶辉绿岩，强风化	2.73	1.17	1.42	175.0	83				
辉长辉绿岩，新鲜	2.99	0.36	0.44	191.7	147.0				11.7
辉长辉绿岩，弱风化	2.92	0.69	0.78	210.8	153.1				
辉长辉绿岩，强风化	2.85	1.26	1.41	156.7	79.8				
蚀变辉绿岩	2.87	0.63	0.72	111.0	74.7	50×50	85.76	61.5	
蚀变辉绿岩，强风化	2.47	5.13	5.78		40.6				
粗晶辉长辉绿岩						50×50	107.7	87.2	10.2
粗晶辉绿岩，微裂隙多						50×50	121.2	80.1	
混合岩	3.01	0.35	0.42	247.6	180.4				
石英岩	2.62	0.23	0.34	78.1					
大理岩	2.73	0.22	0.26	64.5	59.4				
灰岩	2.71	0.30	0.34	87.7	60.9				
角岩	2.88	0.62	0.69	127.5	58.4				

（2）室内岩石弹性模量及抗剪（脱开面）试验成果表

岩石名称	弹性模量(GPa)			最大法向应力(MPa)	抗剪参数		剪切面性状
	点数	平均值	小值平均值		屈服值		
					tgφ	c(kPa)	
细晶辉绿岩，新～微风化	1	100		3.02	0.78	120	剪切面平整，起伏差0～2mm
细晶辉绿岩，微风化				5.15	0.75	240	剪切面无锈色，起伏差0～2mm
细中晶辉绿岩，新鲜	3	107.5					
细中晶辉绿岩，弱风化				2.59	0.90	220	剪切面较粗糙，起伏差0～5mm
粗晶辉绿岩，新鲜	2	92.4					
粗晶辉绿岩，弱风化				2.41	0.84	100	顺齿剪，起伏差0～3mm
粗晶辉绿岩，强风化				2.67	0.74	120	顺齿剪，起伏差0～3mm
蚀变辉绿岩	10	76.24	64.44				
蚀变辉绿岩，方解石脉	6	61.37	42.75				
中粗晶角闪正长岩，弱风化				3.18	0.67	30	剪切面有大量方解石充填，厚0.5mm
构造岩	5	49.9	21.96				
灰岩	1	22.65					

注　浸水7天，每次剪断位移为1～2mm。

（3）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	试验条件	变形特性			抗		
		方法	E_0(GPa)	E_r(GPa)	类型	试件尺寸(cm)	法向应力(MPa)
辉长辉绿岩，新～微风化	垂直、水平	承压板	20.0 26.6	41.95	混凝土/岩	50×50	3.3
辉绿岩，弱风化					混凝土/岩	50×50	0.8
强风化					混凝土/岩	50×50	0.8
中细晶辉长辉绿岩，微风化	垂直	承压板	22.0		岩/岩	50×50	2.4
蚀变辉绿岩，新～微风化					岩/岩	50×50	2.4
蚀变辉绿岩，节理发育，弱风化	垂直	承压板	1.67	2.49	岩/岩	50×50	3.2
蚀变辉绿岩，节理发育，弱风化					岩/岩	50×50	3.42
辉绿岩，弱风化					岩/岩	50×50	2.7
辉绿岩，强风化					岩/岩	40×40	0.8
辉绿岩，节理面夹石棉					岩/岩	50×50	2.5
辉绿岩，节理面夹泥					岩/岩	40×40	0.8
F_{43}影响带	垂直	承压板	0.35	0.50	断层带	50×50	
F_{43}破碎带	水平	承压板	0.23		断层带	50×50	
F_{47}	垂直	承压板	0.45		断层带	50×50	
F_{34}	垂直	承压板	0.14		断层带	50×50	
F_{43}，弱风化	垂直	承压板	0.12～0.17				
$\int_{D34}$					破碎夹层	50×50	

剪断试验					抗剪		备注
组数	屈服值		峰值		峰值		
	tgφ′	c′(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)	
3			1.30	1337	1.03	8300	混凝土标号150*、170*、185*
4			1.04	858	0.77	3810	
3			0.83	467	0.71	1730	
1			0.67	310			
1			0.90	232			沿结构面剪坏
1			0.62	120			节理面有钙质，泥质风化物
1			0.47	480			节理面有泥膜，起伏差小于15mm
1			0.60	1270			起伏差20～25mm
2			0.63	65			节理面夹砂质粘土
1	0.33	150	0.38	150			起伏差10～20mm
2			0.27	28			夹泥厚5～7mm
3	0.33	73	0.46	90			起伏差5～10mm
3	0.34	188	0.47	369			断层由石英岩屑泥构成
1			0.48	120			岩屑，夹泥，起伏差0～30mm
1	0.41	21	0.47	60			断层泥厚，起伏差0～30mm
3点	0.27	0					单点法

（4）软弱夹层物理力学性质试验成果表

夹层名称及编号	天然状态			流限	塑限	颗粒组成(%)			土定名	室内抗剪强度		
	含水量(%)	干容重(g/cm³)	孔隙比(%)	(%)	(%)	>0.05	0.05～0.005	<0.005		方法	峰值 tgφ	峰值 c(kPa)
$F_{13}(a)$	15.5	1.73	70	32.3	23.3	87.5	6.9	55	砾石类土	快剪	0.499	410
$f_{P_{1+2}}$、$F_{13}(b)$	17.5	1.74	68	29.0	20.6	66.2	22.8	11.0	砾质轻壤土	饱和快剪	0.499	70
F_{17}				29.4	24.2		7.5		砾石类土			

（5）岩石力学参数建议值

岩石	允许承载力 R(MPa)	变形模量 E_0(GPa)	弹性模量 E_r(GPa)	抗剪断强度 tgφ′	抗剪断强度 c′(kPa)	备注
辉绿岩等				1.00	1000	
F_{17}、新鲜区				0.60	150	
F_{17}、风化区				0.56	120	
缓裂面				1.0	500	
F_{13}下游				0.75	380	
侧向切割面					600	
F_{13}破碎带	0.8～2.0	1.0	1.54			实际采用 R＝0.8MPa
F_{13}影响带		6.0	9.23			
混凝土/岩石(新鲜)				1.2	1200	

大藤峡水电站

一、工程概况

大藤峡水电站位于广西壮族自治区桂平县境内，为红水河下游黔江干流上一座具有发电、航运综合效益的大型水力枢纽。混凝土重力坝，最大坝高64m。河床式厂房；装机容量120万kW。库容33.4亿m^3。船闸位于左岸，长190m，宽23m。

1979年至1984年完成可行性研究。

二、工程地质条件

坝址区地层由泥盆系下统碎屑沉积岩组成，自下而上分15大层，总厚度500m。其中1～7层属于莲花山组，8～15层属于那高岭组。与建筑物有关的岩层为5～11层（即D_1L_5～D_1L_{11}）。主要岩石有紫红色～灰黑色的细砂岩、泥质细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩及泥岩等5种。

坝址区主要构造是一对平缓开阔的褶曲，轴向NNE，岩层常见产状NE10°～25°/SE，∠10°～25°倾向下游偏左岸。在该褶曲基础上又发育次级小褶曲，轴向NE，一般间距30～50m，延伸长100～500m。已发现断层约140余条，以走向NWW最发育，多数为高倾角（大于65°），宽度小于0.5m。大部分层间受剪切作用形成软弱夹层（即层间剪切带）通常由泥化带、片状岩和碎屑岩组成。软弱夹层特点是分布广、频率高、倾角缓且延伸长，多数已泥化，性状差。

溢流坝段和左岸厂房地段，有斜切坝基的F_{19}断层及D_{1n8-3}层间剪切带。F_{19}断层是坝区最大的一条断层，走向N20°～30°E，倾向NW，倾角75°以上，破碎带0.2～2.5m，由断层泥、糜棱岩、片状岩、岩屑组成，断层泥厚5～10mm，D_{1n8-3}剪切破碎带含30%～40%软岩，质软破碎泥化带厚度多为2～5mm，局部达20mm。

三、工程岩石力学问题

1.坝基岩石岩性多变，节理密集，缓倾角软弱结构面发育，岩体的完整性、均一性较差。尤其F_{19}断层斜切坝基与其他软弱结构面组合，形成不稳定棱体，其抗滑和变形稳定问题更为突出。

2.泥岩和泥质粉砂岩岩芯在空气中暴露数小时后出现裂纹，数日后裂成碎块状。其强度和崩解速度问题是需要研究的岩石力学问题之一。

3.右岸厂房边坡高400余m，天然边坡角25°～30°；岩层顺坡倾斜，倾角22°～30°。厂房开挖，顺坡向软弱夹层出露，又有F_{16}和陡倾裂隙切割，将形成不稳定岩体。

四、试验工作量

序号	试验项目	单位	数量	备注
1	室内岩石、土试验	块	607	可行性阶段； 其中物理72块，力学性63块， 弹模18组
2	夹层矿化分析	组	95	
3	点荷载试验	组	68	
4	原位抗剪试验	组	32	
5	原位变形试验	点	30	
6	原位管涌试验	点	3	

五、岩石各物理力学参数

（1）室内岩石物理力学特性试验成果表

岩石名称	组数	比重	容重(g/cm³)		孔隙率	吸水率
			干	湿	(%)	(%)
紫红色，石英细砂岩	5	2.70	2.67	2.68	0.88	0.15
灰绿色，石英细砂岩	5	2.69	2.67	2.68	0.55	0.19
紫红色，细砂岩	5	2.73	2.69	2.70	1.39	0.23
灰绿色，细砂岩	5	2.69	2.67	2.67	1.04	0.22
灰黑色，细砂岩	2	2.71	2.68	2.69	0.93	0.13
紫红色，泥质细砂岩	4	2.76	2.73	2.74	1.08	0.40
紫红色，泥质粉砂岩	2	2.75	2.70	2.73	1.82	0.78
灰绿色，泥质粉砂岩	2	2.72	2.69	2.69	1.19	0.57
灰黑色，泥质粉砂岩	2	2.77	2.72	2.75	1.88	0.80
紫红色，泥岩	1	2.80	2.78	2.80	0.71	0.76
灰绿色，泥岩	2	2.74	2.62			1.15
灰黑色，泥岩	1	2.78	2.76	2.83	1.24	1.37

岩石名称	抗压强度 (MPa)		弹性模量 E (GPa)
	干	湿	
紫红色，石英细砂岩	230.8	186.9	72.86(9)
灰绿色，石英细砂岩	178.5	170.9	68.90(3)
紫红色，细砂岩	155.4	117.2	57.73(4)
灰绿色，细砂岩	196.5	133.9	56.60(2)
灰黑色，细砂岩	190.4	160.5	
紫红色，泥质粉砂岩	135.4	80.6	36.85(4)
紫红色，泥质细砂岩	128.3	50.6	
灰绿色、泥质粉砂岩	143.9	87.5	
灰黑色，泥质粉砂岩	119.6	66.3	
紫红色，泥岩		24.8	
灰绿色，泥岩	57.6	17.8	
灰黑色，泥岩	64.1		

续表

类型	室内抗剪试验					备注
	组数	抗剪断		抗剪		
		tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)	
序号9/2岩石层面	1	0.88	1100			湿状态
混凝土/岩石	1	1.17	1000	0.97	250	
混凝土/岩石	2	1.22	63	0.73	430	混凝土标号100*
岩/岩	1	2.80	1450			新鲜、完整、湿
混凝土/岩	4	1.11	55	0.96	10	湿状态
序号4/5岩石层面	1	2.69	550			
混凝土/岩	1	0.97	135	0.97	15	
岩/岩	1	1.46	2400			新鲜、完整、湿
混凝土/岩	3	1.13	59	0.94	8	混凝土标号100*

（2）岩体原位变形试验成果表

岩石名称及风化状况	点数	试验方法	加载方向	状态	变形模量（GPa）
紫红色石英细砂岩，新鲜	2	承压板	垂直	湿润	12.084～43.737 27.911
紫红色石英细砂岩，微风化	3				4.325～7.894 6.338
紫红色石英细砂岩，弱风化	3				0.657～1.059 0.840
紫红色细砂岩，微风化	4	承压板	垂直	湿润	5.943～1.530 3.079
紫红色泥质细砂岩，微风化	1	承压板			4.795
紫红色泥质细砂岩，弱风化	4				0.863～1.535 1.190
灰绿色石英细砂岩，微风化	3				5.454～1.312 3.246
紫红色细砂岩，断层破碎带	3	承压板	水平	湿润	0.456～1.500 0.942
紫红色～灰绿色泥质细砂岩，断层破碎带	2		垂直		0.255～1.096 0.676
灰黑色泥质粉砂岩，层间破碎带	5		垂直		0.122～0.416 0.235

注 1.表列分数中，分子为范围值，分母为平均值；
2.试件直径50cm，面积为1962.5cm²。

（3）现场岩体变形特性试验成果表

岩石名称	组数	试验方法	加载方向	变形模量 E_0(GPa)
紫红色石英细砂岩，新鲜	2	承压板	铅直	12.1～13.7 27.9
紫红色石英细砂岩，弱风化	1	承压板	铅直	4.41
紫红色细砂岩，弱风化	3	承压板	垂直层面	0.67～1.08 0.86
紫红色细砂岩，微风化	4	承压板	铅直	4.3～7.9 6.34
紫红色细砂岩，弱风化	3	承压板	铅直	0.65～1.06 0.84
紫红色泥质细砂岩，微风化	1	承压板	铅直	4.8
紫红色泥质细砂岩，弱风化	4	承压板	铅直	0.86～1.54 1.19
灰绿色泥质细砂岩，弱风化	1	承压板	铅直	1.42
	2	承压板	水平	0.255～1.1 0.68
灰黑色泥质粉砂岩，层间破碎带	5	承压板	铅直	0.125～0.42 0.24
断层破碎带	3	承压板	水平	0.46～1.53 0.96

（4）现场岩体抗剪试验成果表

岩石名称	试验类型	试件尺寸(cm)	组数	抗剪断强度		抗剪强度(峰值)	
				$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)
紫红色石英细砂岩，新鲜	混凝土/岩	50×50	1	1.14	1570	1.07	590

（5）软弱夹层物理特性试验成果表

夹层名称及编号	组数	含水量（天然）（%）	比重	流限（%）	塑限（%）
305-13	5	16.86	2.80	30.6	17.80
520-D_1n-8-3	5	15.56			

（6）坝基软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	软弱夹层特征			
	成因类型	起伏差（mm）	充填物厚度（mm）	产状
304-11 石英细砂岩、泥质粉砂岩（弱风化）	轻微层间错动，局部风化	3～10	局部夹泥 1～5	N10°～20°E，SE∠18°～25°
305-13 泥质粉砂岩，粉砂质泥岩（弱风化）	层间错动，风化	1～5	5～15	N0°，E，∠22°～26°
514-2-2 514-2-3 细砂岩，泥质粉砂岩（微风化）	轻微，层间错动	5～15	10～50 局部夹泥 1.0	N330°～355°W，NE∠10°～14°
520-D_1n-8-3 泥质粉砂岩、细砂岩（弱）	层间错动，风化	一般 1～3，局部 5～12	5～10	N350°W，NE∠10°
D_{1n}-10-15 细砂岩（弱风化）	层间错动	5～10	5～15	N320°～350°W，NE∠15°～20°
307-7 石英细砂岩，泥质细砂岩，泥质粉砂岩	层间错动	5～10	局部夹泥 5～10	N5°～20°E，SE∠25°

塑性指数	颗粒组成（%）			土定名
	>0.05	0.05～0.005	<0.005	
12.80	64.8	9.40	25.8	碎质砂质粘土
	61.4	11.0	27.6	碎质砂质粘土

地质特征	现场抗剪试验					备注
	方法	峰值		残余值		
		tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	
泥质粉砂岩，局部破碎，泥化	平推直剪	0.42	0	0.39	0	破碎
				0.28	0	局部泥化
碎屑夹泥，局部泥化，呈硬塑状，层理明显	平推直剪	0.34	0	0.32	0	沿夹泥层面剪断，局部在夹泥中剪断
薄层状，层理微细，质软，局部碎裂夹泥	平推直剪	0.85	140	0.40	120	沿泥质粉砂岩和细砂岩层面剪断
泥包岩屑，局部以岩屑或泥为主，较软，连续呈层	平推直剪	0.22	50	0.22	40	沿夹层上下层面剪断
全部泥化，滑腻可塑，局部呈片状	平推直剪	0.225	40	0.225	0	沿夹泥剪坏
泥岩、泥质粉砂岩，局部破碎，泥化	平推直剪			0.23	20	沿夹泥层面剪断
				0.33～0.50	100～200	沿泥岩层面剪断

（7）泥质岩石风化随时间变化的试验成果表

观测时段（d）	试件数（个）	点荷载强度指数I_s（径向，MPa）	强度降低率 k（%）	风化速度 V	备注
0	29	2.128	0		$K=\frac{I_{s,0}-I_{s,i}}{I_{s,0}}\times 100$ $V=\frac{\Delta I_s}{\Delta T}$(MPa/h) 式中 $I_{s,0}$为观测开始时的点荷载强度指数 $I_{s,i}$为第i天的点荷载强度指数 ΔT_s为某观测时段内点荷载强度指数之差 ΔT为观测时段
2	27	1.404	34	3.62	
4	30	1.137	47	1.34	
8	28	0.830	61	1.02	
12	27	0.468	78	0.91	

注　岩石为黑色泥质粉砂岩。

（8）岩石的抗剪强度建议采用值

岩石	tgφ	c(kPa)
软弱夹层	0.3	0
混凝土/岩	0.6	0

龙滩水电站

一、工程概况

龙滩水电站位于红水河上游，距广西壮族自治区天峨县15km，是该河流上规模最大的水电工程。坝址控制流域面积98500km²，占红水河流域面积的71.2%。多年平均流量1640m³/s，年径流量517亿m³。目前工程正按正常蓄水位400m设计，按375m建设，最大坝高192m，库容为162.1亿m³，装机容量420万kW。远景设计时，最大坝高216.5m，库容为272.7亿m³，装

机容量为540万kW。坝型推荐为混凝土重力坝和混凝土面板堆石坝，无论何种坝型均有巨大的地下洞室群体。只是混凝土面板堆石坝的地下厂房规模更大，尺寸为402.4m×29m×75.5m（长×宽×高）。

二、工程地质条件

坝址河谷为V型，河床覆盖层厚0～6m，河床两侧基岩裸露，宽10～70m，左岸地形整齐，右岸由于受冲沟切割略显单薄，两岸岸坡坡度32°～42°。

坝址地层为中、下三迭统板纳组（T_{2+3}）和罗楼组（T_{1+2}），均为轻微变质的浅海深水相碎屑岩组，两者之间为连续沉积，前者位于坝址及坝下游地段，岩层以厚层砂岩为主，夹泥板岩及层凝灰岩；后者分布在坝址上游，以薄层至中厚层硅质泥板岩、硅泥质灰岩为主。

坝址位于八奈背斜东翼，岩层呈单斜构造。河床无大顺河断层，缓倾角断裂不发育，一般破碎带胶结不好。坝区有4组陡倾角断裂，平面上呈米字型组合：其中主要两组为：（1）340°～355°/NE，∠55°～63°，以层间错动为主，数量多达200余条，平均间距4～5m，（2）30°～60°/NW或SE，∠60°～85°，这组断裂发育程度仅次于前组，平均间距为30～50m。主要断层有F_{30}、F_{63}、F_{99}和F_{60}等，其中F_{30}产状为60°/NW，∠75°，破碎带宽3～5m，充填物为碎裂岩、糜棱岩和断层泥；F_{63}的产状为55°～65°/SE，∠80°，破碎带宽1.0～3.6m，充填物为碎屑岩、糜棱岩夹大量断层泥，泥厚0.3～0.6m；F_{99}产状为50°/NW，∠36°～68°，破碎带宽0.05～0.3m，充填物为碎裂岩、石英脉碎块和断层泥，F_{60}产状为67°/NW或SE，∠82°，破碎宽为0.6～2m，充填物为未胶结碎裂岩、糜棱岩及大量断层泥。节理以陡倾角76°/NW，∠82°为主，缓倾角节理10°/NW，∠23°随机分布，连续性差。

弱风化带下限岩体内节理面结合紧密，唯泥板岩劈理较发育，走向与岩层近于一致，倾角70°～80°，倾向下游，其对岩石

的力学强度影响较大。

坝址岩体风化主要表现为面状风化和沿断裂夹泥层风化两种类型。弱风化下限，在河床部位深2～5m，礁滩部位15～20m，两岸岸坡15～40m。

三、工程存在的岩石力学问题

1.坝基抗滑稳定：坝基深层和浅层滑动，以及沿层面与劈理面、软弱结构面组合的复合滑动面的抗滑稳定问题。

2.左岸岩质高边坡开挖的稳定性和弱风化岩体的可利用程度。

3.大型地下洞室层状围岩的稳定性。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗压强度	干燥	115	345			
	饱水状	184	552			
抗剪强度	抗剪断	8	40	14	70	室内另有三轴试验31组
	抗剪	4	20	14	70	现场另做大三轴2块
	软弱夹层			11	55	
变形试验	承压板				39	
	狭缝法				2	
	动力法			842测段		
	泊桑比	24	72			
地应力	钻孔解除法				9	另室内以声发射法127块
物理性质		124				
抗拉强度	直接拉伸	10	30			
	劈裂法	15	45			

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称及风化程度	物理性质			
	组数	容重 (δ/cm³)	饱和吸水率 (%)	孔隙率 (%)
砂岩，新鲜	14	2.73	0.17	0.35
砂岩，新～微风化				
砂岩，弱风化	13	2.68	0.5	1.38
砂岩，强风化	10	2.67	0.73	2.11
泥板岩，新鲜	60	2.75	0.26	0.73
泥板岩，微风化	35	2.74	0.29	1.44
泥板岩，微风化				
泥板岩，弱风化	13	2.73	2.73	1.47
泥板岩，强风化	10	2.68	1.24	3.69
灰岩，微风化	6	2.69	0.32	0.86
层凝灰岩，新鲜	2	2.69	0.11	0.37
泥板岩与砂岩互层，新鲜	9	2.74	0.25	0.73
泥板岩夹层凝灰岩，新鲜	2	2.74	0.23	0.73

岩石名称及风化程度	抗压强度(MPa)		抗拉强度(MPa)	变形特性	
	干	湿		E(GPa)	μ
砂岩，新鲜	183	155	3.6	77.3	0.25
砂岩，新～微风化					
砂岩，弱风化	168	119		67.4	0.25
砂岩，强风化	128	78		55.9	0.25
泥板岩，新鲜	142(27)	85	2.6	81.6	0.27
泥板岩，微风化	83(10)	60			
泥板岩，微风化					
泥板岩，弱风化	61	39		55.3	0.20
泥板岩，强风化	43	18		41.7	0.26
灰岩，微风化	164	114	0.4	65.5	0.24
层凝灰岩，新鲜	178	135	5.4	83.9	0.25
泥板岩与砂岩互层，新鲜	138	102	3.1	82.2	0.25
泥板岩夹层凝灰岩，新鲜	180	102	1.8	80.5	0.28

续表

类型	组数	抗剪强度				备注
		抗剪断		抗剪		
		$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)	
岩/岩	2	1.83	6380			
混凝土/岩	2	1.36	2200	1.04	820	
岩/岩	2	1.21	6730			
三轴	11	1.15	1470			当 $\sigma_3=5\sigma_3$ 时，$tg\varphi'=1.88$，$c'=10100$kPa
混凝土/岩	2	1.07	770	0.73	550	
三轴	5	1.11	8000			当 $\sigma_3=5\sigma_3$ 时，$tg\varphi'=0.97$，$c'=1670$kPa

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称及风化程度	变形特性			波速(m/s)
	试验条件	试验方法	E_0 (GPa)	声波法
泥板岩、夹砂岩、新鲜		承压板	18.8	4560～6170 / 5550
泥板岩，夹砂岩，微风化		承压板	11.1	4100～5870 / 5170
泥板岩，夹砂岩、弱风化		承压板	3.5	3470～5790 / 4790
泥板岩，夹砂岩、强风化		动力法		2460～4450 / 3590
泥板岩夹粉砂岩，新鲜		动力法		5000～5660 / 5310
泥板岩夹粉砂岩，微风化		动力法		4560～5420 / 4980
泥板岩夹粉砂岩，弱风化		动力法		4050～5040 / 4560
泥板岩夹粉砂岩，强风化		动力法		3580～4070 / 3890
T_{1a}泥板岩、砂岩互层，新鲜		承压板	27.7	4800～5860 / 5320
T_{1a}泥板岩、砂岩互层，微风化		承压板	14.8	4420～5780 / 5310
T_{1a}泥板岩、砂岩互层，弱风化		动力法		3470～5470 / 4640
层凝灰岩，新鲜		承压板	38.6	4980～5640 / 5320
层凝灰岩，微风化		承压板	15.7	4680～5550 / 5230
层凝灰岩，弱风化		承压板	5.2～8.2	3870～5500 / 4990
砂　岩				
砂岩，微风化				
砂岩，弱风化				
泥板岩，微风化	垂直层面 平行层面			
泥板岩，微风化				
泥板岩，弱风化				

类型	抗剪强度					备注
	抗剪断			抗剪		
	组数	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)	
混凝土/岩	2	0.85	1500	0.65	1000	
岩/岩	1	1.21	1050	1.07	1070	
岩/岩	1	1.70	2740	1.62	1860	
混凝土/岩	2	1.30	1990	1.11	830	
混凝土/岩	2	0.9	2400	0.8	1200	
岩/岩	1 1	1.29 1.16	3580 1930	1.24 1.01	3160 1870	另大三轴(0.86m×0.86m×1.72m)单点法 tgφ=0.95～1.32, c=1850kPa
混凝土/岩	3	1.10	1990	1.06	760	
混凝土/岩	1	1.00	1700	0.94	750	

（3）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	试验方法	抗剪强度（现场）		
		组数	峰值	
			$tg\varphi$	c(kPa)
泥板岩，闭合节理	平推	1	0.66	70
砂岩，弱风化节理	平推	1	0.60	0.42
砂岩、泥板岩互层，节理		1	0.76	690
波痕层面	平推	2	0.80	640
光滑层面，层间错动		2	0.43	200
砂岩、泥板岩内夹层	直剪，平推	6点	0.33	130
砂岩，反倾向裂隙夹泥层		1	0.22	260
砂岩夹石英脉		1	0.74	570
F_{11}断层	平推	1	0.45	100

（4）地应力测试成果表

岩石名称（年代、岩性）	深度（m）	最大主应力			中间主应力			最小主应力			备注
		σ_1（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_2（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_3（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	
T_{2b}钙质粉砂岩	182	−11.46	275°	−4.2	−3.93	203.9	77.3	−2.8	184.1	−12	现场孔径法
泥板岩		−16.95	88.6	10.7	−6.44	347.4	45.8	−5.9	8.4	−42.3	
砂岩		−20	303	8	−7.2	217	25	−6.5	196	−63	现场孔径法
泥板岩		−23	96	8	−6.9	357	50	−1.9	12	−39	室内声发射法(127块)

（5）岩石参数的建议值

岩石名称		容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	E (GPa)	μ	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c(kPa)	备注
砂岩，微风化		2.73	200	0.8	15～20	0.25	1.5	2450	
泥板岩	微风化	2.74	100	0.5	15	0.27	1.1	1480	
	弱风化	2.70	80		10		1.0	980	
混凝土/砂岩							1.2	1300	新鲜～微风化岩
混凝土/砂岩							0.9	800	弱风化岩
混凝土/泥板岩							1.0	1100	微风化
							0.75	500	弱风化岩
混凝土/岩							0.65		
层间错动					1.0	0.34	0.45	100	
断层							0.45	50	
软弱夹层及碎屑					0.02～0.15	0.34	0.30	30	
夹泥层							0.22	30	

龚嘴水电站

一、工程概况

龚嘴水电站位于四川省峨边县长江流域岷江水系的最大支流大渡河中下游。该电站的总装机容量为70万kW，总库容为3.74亿m³。主要建筑物有混凝土宽缝重力坝，最大坝高86m，坝顶长度447m，坝后电厂（河床式）及地下电厂的尺寸为长106m，宽24.5m，高55m。该工程1966年初设，同年3月开工，1972年5月发电1978年底电站全部投入运行。

二、工程地质条件

1.岩性：坝址区岩石为古老前震旦系澄江期花岗岩，其中有较多同期辉绿岩脉穿插。坝基岩石主要是灰白色中粒似斑状黑云母花岗岩，其次为细粒二云母花岗岩，以及局部有团块的肉红色花岗岩。

2.构造：本工程位于川滇南北向构造带与四川盆地北东向构造带交接地区的五渡-利店挤压冲断层与二峨山断裂之间的南北向龚嘴宽缓背斜上。坝基内花岗岩体主要有4组裂隙：（1）向上游偏左岸的缓倾角裂隙（90°/N，∠15°～25°）；（2）顺河裂隙，陡倾角（315°～335°/SW，∠80°）；（3）斜穿河流的陡倾角裂隙（0°/E，∠70°～80°）；（4）横河中倾角裂隙（30°～60°/SE，∠50°～60°）。辉绿岩有3组原生节理，一组平行接触面，另外两组与接触面垂直，反倾共轭，它们将辉绿岩切割成平卧的、长轴方向与坝轴平行的枕状体，其直径0.5m，节理间充填绿泥石膜（1～3mm）。主要断层有F_6、F_1、F_{105}、F_{101}、F_{102}以及F_{10}、F_{106}等，除F_1断层为低倾角之外，一般均为中高倾角，其破碎带宽度一般在0.2～0.7m范围内，断层内一般为碎裂岩、断层泥或密集平行裂面。岩体风化深度：左岸强风化带一般10～15m，弱风化带一般15～30m；右岸强风化带小于5m，弱风化带一般10～30m；左侧河床强风化带5～14m，弱风化带13～31m。

三、工程的主要岩石力学问题

1.坝基花岗岩内由倾向上游偏左岸的缓倾角裂隙与顺河陡裂隙等组合的楔形体深层滑动及河床右侧坝基岩体内强风化夹层所构成的浅层滑动，以及以辉绿岩3组原生节理构成的浅层滑动等结构面剪切强度问题。

2.河床左侧坝基下岩石水平卸荷裂隙带的压缩变形问题。

3.右坝肩岩体稳定性：有一微倾上游的构造破碎带（已强风化），顶部有厚0.01～0.02m的糜棱岩与另3条断层组合，将形成一不稳定棱体。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块(点)数	
抗压强度	干燥 饱水状	不详				
抗剪强度	抗剪断 抗剪	56		27		其中混凝土/岩12组 室内以中剪为主，试件15×15cm
变形试验	承压板 地震法 径向千斤顶			2570m 3	45点	
物理性质		6				

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称(岩性、风化程度)		容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	抗剪强度（峰值） 类型	组数	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)	备注
中粒花岗岩	微风化	2.60	0.27	139.2	127.4	混凝土/岩	12	1.11	0			饱和下，混凝土标号98～117*
	弱风化	2.61	0.40	142.5	118.0	混凝土/岩	17	0.87	530			饱和下，混凝土标号133～173*
						混凝土/岩	5	0.91	0			混凝土200～210*

续表

岩石名称（岩性、风化程度）		容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗剪强度（峰值） 类型	组数	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)	备注
中粒花岗岩	强风化	2.56	0.68			岩/岩	5	0.60	390			缓倾面
辉绿岩	微风化	2.92	0.25	287.7	245.6	混凝土/岩	3	0.557	360			天然裂面，混凝土120～180°
辉绿岩	弱风化	2.92	0.26	243.0	210.8	混凝土/岩	3	0.624	635			人工裂面
SZ_β辉绿岩						混凝土/岩	6	0.557	426			天然裂面，混凝土350°
SZ_β辉绿岩						混凝土/岩		0.53	200			天然裂面$SZ\beta_1$
SZ_β辉绿岩						混凝土/岩		0.79	280			天然裂面$SZ\beta_2$
中粒花岗岩						岩/岩	11			0.722	575	缓倾面，饱和下

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（岩性、风化程度）	变形特性			地震法	抗剪强度（峰值）					备注
	方法	E_0 (GPa)	E_t (GPa)	E_d (GPa)	类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断		
								tgφ′	c′(kPa)	
中粒花岗岩，微风化	承压板	7.02	41.50	46.9	岩/岩	50×50	3	1.30	590	饱和
弱风化		7.02	11.88	16.75		50×50	3	1.48	470	表面浸水
强风化		0.87	1.69	5.70		100×100	2	0.654	310	表面浸水
全风化		0.38	0.78	0.60		50×50	5	0.606	374	缓倾面
断层影响带	承压板	2.59	4.56		岩/岩	50×50	7	0.512	491	缓倾面，有粘土
断层破碎带		0.73	1.04			50×50	3	0.56	161	缓倾面，有粘土
辉绿岩、弱风化		7.90	20.48							
辉绿岩破碎带		1.4	3.43							承压板直径50.5cm

（3）岩石参数建议采用值

岩石	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	μ	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c(kPa)	备注
中粒花岗岩，微风化	2.61	136.0	47	0.20			
中粒花岗岩，弱风化	2.61	87.0	8.6～10.6	0.2～0.25			
中粒花岗岩，强风化	2.43	10～20	0.6～1.6	0.3～0.35			
花岗岩，缓倾面，弱风化			6～8		0.64	0	
花岗岩，缓倾面，弱风化			6.0		0.54	0	有风化夹层
辉绿岩，缓倾面			6～8		0.60	0	
断层影响带			3.1～4.7	0.25～0.30			
破碎带			0.6～1.2	0.3～0.35			
混凝土/弱风化花岗岩			6～8		0.75	0	
混凝土/辉绿岩			6～8		0.52		

映秀湾水电站

一、工程概况

映秀湾水电站位于四川省汶川县映秀乡，是长江支流岷江上游的一座引水式电站。电站总装机容量为13.5万kW。主要建筑

物包括：一座高17m、长183m的拦河闸，一条有压隧洞，长3842m、洞断面8m×6.2m，以及一座发电厂。地下厂房尺寸：87.3m×20.0m×39.5m（长×宽×高）。该工程1965年8月开工，1971年第一台机组发电。1983年竣工。

二、工程地质条件

拦水闸座落在约45m厚的漂卵砾石夹砂层上。

隧洞穿过的岩石分上下两段，上段岩石为蚀变闪长岩及闪长岩。该段内有两组断层，一组是近东西向（与洞轴交角大于60°）断层，其规模小；另一组为中低倾角的北西向断层（与洞轴交角30°）。此段岩体虽遭较强烈的构造破坏，但裂隙挤压较紧密，岩体完整性及坚固性较好。下段岩石为花岗闪长岩及蚀变闪长岩。该段内断裂发育，构造破坏强烈，主要有北东向40°～60°、近东西向及近南北向等3组断层，其中近南北向断裂为中低倾角，且近于平行洞向。

电厂基岩为花岗闪长岩，构造破坏强烈，岩体完整性一般较差。

三、主要岩石力学问题

1.引水隧洞下段岩体变形稳定问题较为突出。

2.高山峡谷的地应力对地下厂房岩体稳定影响。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块数	
抗压强度	干抗压 饱水状	13	34 20			
变形试验	承压板法			11	13	其中有二处为径向千斤顶法共10点
物理性质		13	12			
钻孔应力解除及恢复					8	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	变形特征 弹性模量E (GPa)
闪长岩	3.008	2.927(自然)	0.361	186.7	182.9	43.0
花岗闪长岩	2.761	2.671(自然)	0.312	214.5	155.6	47.9～69.6
蚀变闪长岩	2.944	2.93(自然)	0.277	127.9	123.9	
	2.92	2.90(自然)	0.514	150.0	122.2	44.4
	2.795	2.746(风干)	0.447	142.2	118.3	40.0
混杂花岗岩	2.111	2.715(自然)	0.308	119.5	118.5	42.4
中粗花岗岩	2.693	2.57(风干)	0.430	143.4	89.4	
蚀变花岗岩	2.721	2.676(风干)	0.338	194.9	163.5	50～55
闪长细晶岩	2.687	2.67(自然)	0.401	239.8	212.5	24.0

注　参见“四川岷江映秀湾水电站初步设计及附件”（工程地质报告），1965。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	岩体类型	变形特性 试验方法	变形模量 E_o (GPa)	弹性模量 E_s (GPa)	单位抗力系数 K_o (MPa/m)
闪长岩	完整	承压板法	13.9～32.3	62.5～66.0	1.984
	裂隙发育	钢垫法	0.464～4.42 / 2.61	1.3～16.4 / 7.5	
	少量裂隙	承压板法	3.09	7.98	
	断层破碎带	承压板法	0.10	0.30	
花岗闪长岩	较完整	钢垫法	12.43		

续表

岩石名称	岩体类型	变形特性			单位抗力系数
		试验方法	变形模量 E_0 (GPa)	弹性模量 E_s (GPa)	K_s (MPa/m)
花岗闪长岩	部分破碎，轻度蚀变	钢垫法	10.20	76.50	
	裂隙发育	钢垫法	0.32～0.40	0.9～1.37	
	f_1断层带		0.096～0.129	0.433～0.78	
蚀变花岗闪长岩	完整	钢垫法	34.2		
	部分破碎、轻度蚀变	钢垫法	5.8～10.0 / 7.14		0.505
	微风化裂隙发育	钢垫法	1.9～2.4 / 1.68	7.42	0.169
	呈碎块		0.34～0.39	1.01～1.02	
千枚岩、片岩		钢垫法	0.27	0.69	
角砾熔较岩	粉状		0.056	0.183	

注 1.表列分数中，分子为范围值，分母为平均值；
2.钢垫法即径向千斤顶法.

（3）地应力测试成果表

岩石名称	最大 σ_1 (MPa)	最小 σ_3 (MPa)	备注
花岗闪长岩	22.2		应力恢复法
	13.2	9.1	应力解除法
	12.9		应力恢复法
	9.16	16.08	应力解除法
	11.2		应力恢复法
	15.0		浅孔应力恢复法
	8.5	15.5	浅孔应力解除法
	22.3	11.1	浅孔应力解除法

（4）岩石参数建议采用值

岩　　石	容　重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa) 干/湿	E/E_0 (GPa)	备　　注
花岗闪长岩，较完整	2.76	199 / 175.5	25.0～45.0 / 8.0～16.0	1.抗压强度栏内，分母为湿抗压，分子为干抗压； 2.E值栏内，分母为变形模量，分子为弹性模量
花岗闪长岩，裂隙发育			4.7 / 1.44	
花岗闪长岩，裂隙较发育			6.0 / 1.5	
蚀变花岗闪长岩，完整	2.93	201.2 / 190.6	35.0	
闪长岩，完整	2.87	190 / 173.4	60.0	
闪长岩，裂隙发育			5.0～15.0 / 2.0～4.0	
花岗闪长岩，断层破碎带，角砾糜棱岩	2.14		0.15～0.50 / 0.05～0.13	
花岗闪长岩，构造破碎带，裂隙密集带			0.9～1.3 / 0.3～0.4	
闪长岩(细晶)岩脉	2.88	199.4 / 188.8		

铜街子水电站

一、工程概况

铜街子水电站位于四川省乐山市新华乡，是大渡河中游末端最后一个梯级。该工程为以发电为主的综合利用水力枢纽。总库容2亿m³。主要水工建筑物为一座混凝土重力坝，最大坝高81m，坝顶溢流段宽为19.5m；左右岸用堆石坝相接，河床式厂房宽度为24.6m。电站装机容量60万kW。本电站子1966年勘测，1978年完成初步设计，1986年开工，现正在施工中。

二、工程地质条件

1.岩性：主要岩层为二迭系峨眉山玄武岩及部分沙湾组砂页岩，二迭系玄武岩有5次喷溢轮回，其间有明显的间歇面，可分5大层。大坝就座落在第5层玄武岩上，下伏第4层玄武岩。而第5层玄武岩可分为3大相5小层，即顶部相的凝灰岩、凝灰质玄武岩；内部相的致密玄武岩及细长柱状节理玄武岩；底部相的灰绿色玄武岩。

2.构造：坝址区位于北北东向紫斗村背斜南东翼，喻坝短轴背斜向北倾伏端。坝基岩体内主要分布有倾向南东、倾角29°～34°的F_5断层及倾向北西、倾角24°～25°的F_6断层，这两条断层向下游走向转为南北偏西，以及位于第4层和第5层玄武岩之间的C_5层间错动带及发育在第五层玄武岩内的L_6层内错动带，前者倾向北东、倾角6°～8°，后者主要分布在第5层玄武岩顶底部。岩体内裂隙节理以层面节理、柱状节理为主，前者大致与层面平行，且多在大层的顶底部出现，后者常见于各大层中部。

C_5层间错动带约0.04～0.95m厚，主要是因凝灰岩及含炭碎屑岩经褶皱变动剪切挤压破碎而成，带内主要为断层泥，糜棱-断层泥，糜棱岩及糜棱-角砾岩、片岩等构成。上下盘影响带为劈理、碎裂岩带。

L_6层内错动带有时呈数条近于平行排列原生层面裂隙，有时呈两条首尾间由一系列劈理或原生缓裂隙衔接构成。

三、工程主要岩石力学问题

1.坝基由于C_5层间错动构成滑移面存在，加之顺河陡倾角裂面侧面切割，以及横河陡倾角裂隙、上游柱状节理等所形成的滑移棱体稳定问题。

2.由C_5层间错动带及F_5、F_6断层剪切强度低、变形大所产生的稳定问题。

3.导流明渠的导墙岩基为弱风化细长柱状节理玄武岩，岩层节理发育，且有倾向河床的错动带L_6和缓倾角裂隙等软弱夹层，承受水头高达43m，存在滑动失稳的可能性。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验	
			块数	组数	块数
抗压强度	干抗压 饱水状		20 20		
抗剪强度	抗剪		30件	26	127点
变形试验	承压板			33	另有动力法15处

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	变形特征 弹性模量 E (GPa)	抗剪强度 类型	抗剪强度 块数	抗剪强度 抗剪 tgφ	抗剪强度 抗剪 c(kPa)	备注
凝灰岩	2.13～2.89	1.73～2.62	3.31～12.7	13.2～104.4	1.98～74.1	0.52～2.9 1.9					
凝灰质玄武岩	2.18～2.88	2.49～2.71	1.11～4.48	72.5～109.0	39.9～104.6	2.67～3.7 3.12					
玄武岩	2.85～2.96	2.60～2.88	0.21～3.76	107.9～226.5	78.8～222	3.71～9.4 7.36	天然裂面	22	0.75	273	饱和，室内中剪，斑状玄武岩

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	岩体类型	试验条件	变形特性			纵波速V_p(m/s)	备注
			试验方法	变形模量 E_0 (GPa)	弹性模量 E_r (GPa)	声波法	
凝灰岩$P_2\beta_1^1$		垂直	承压板法	0.273～10.81	0.321～17.15	(∥)5850～9400 (⊥)3425～3640	
			狭缝法	7.38	9.87	3480	
玄武岩$P_2\beta_1^1$		湿润	承压板法	(⊥)2.63～7.63	3.89～11.70	2350～5200	
		湿润	狭缝法	19.5	23.7	4230	
玄武岩$P_2\beta_1^1$		湿润 垂直	承压板法	2.78	4.86	4780	
L_C,玄武岩层内错动$P_2\beta_1^1$	层内破碎带	饱和	承压板法	0.017～0.0132	0.071～2.09	2470～2570	

续表

岩石名称	岩体类型	试验条件	变形特性			纵波速V_p(m/s)	备注
			试验方法	变形模量 E_0 (GPa)	弹性模量 E_s (GPa)	声波法	
L_{c_1}玄武岩层内错动$P_1\beta_1^1$		湿润	狭缝法	6.6	7.9	4610	
L_{c_1}玄武岩层内错动$P_1\beta_1^2$	斑状	湿润	承压板法	(⊥)2.49	3.56	3490	
L_{c_1}玄武岩层内错动	斑状		水平承压板法	1.78	2.50	4280	
杏仁状凝灰岩$P_1\beta_1^1$		饱和	承压板法	(⊥)2.20	2.68	2780	与施力方向垂直
角砾状凝灰岩$P_1\beta_1^1$		饱和	狭缝法	(∥)0.735～0.80	1.02～1.17	2570～3460	与施力方向平行

$C_1,E_61\text{-}6,D_1$		饱　和	承压板法	0.015	0.09		
$F_4,E_610\text{-}1,D_{11}$	断　层	湿　润	狭 缝 法	0.0185～0.038	0.32～0.52		垂直断层
$F_4,E_610\text{-}1,D_{11}$	断　层	湿　润	承压板法	$\frac{(\perp)\ 0.15}{(//)\ 1.34}$	$\frac{0.42}{2.47}$		
$P_1\beta_4,E_61\text{-}4,D_1$		饱　和	承压板法	(⊥)0.10	0.37		垂直向加荷
$P_1\beta_1,E_65\text{-}\frac{1}{2},D_1$		湿　润	承压板法	(⊥)0.79～1.56	1.27～1.83		垂直向加荷
$P_1\beta_1,E_6\text{II}\text{-}3,D_1$		饱　和	狭 缝 法	16.2	66.0		
$P_1\beta_1,E_61\text{-}5,D_1$	破 碎 带	饱　和	承压板法	0.062	0.28		

（3）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	岩体类型	试验类型	试件尺寸(cm)	组数	抗剪	
					抗剪	
					屈服值	
					$tg\varphi'$	c'(kPa)
凝灰岩 $P_2\beta_2^1$		岩/岩	50×50	2		
		混凝土/岩	50×50	2	0.82	120
玄武岩 $P_2\beta_2^1$		岩/岩	50×50	2		
		岩/岩	50×50	6点	1.3～1.63 1.45	374～672 557
玄武岩 $P_2\beta_2^1$		混凝土/岩	50×50	1	1.41	540
L_{C_2}玄武岩层内错动 $P_2\beta_2^1$	层内破碎带	岩/岩	50×50	4点	0.32～0.61 0.43	0～60 37.5
L_{C_2}玄武岩层内错动 $P_2\beta_2^1$		岩/岩	50×50	11点		
	斑状	岩/岩	50×50	5点		
L_{C_2}玄武岩层内错动	斑状	岩/岩	50×50	13点		
		岩/岩	50×50	2点		

试验						备注
断		抗		剪		
峰值		屈服值		峰值		
tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	
0.68～0.77	169～180			0.77	180	τ_{f-}，完整岩石为 $f=0.68$，$c=16.9$，水平剪，饱和
0.95	120	0.82	20	0.92	80	沿凝灰岩内部剪断，混凝土150*水平剪，饱和
1.95～2.18	260～720			2.01～2.18	140～720	湿润，水平剪，较完整
1.6	1130	1.23	330～460	1.27～1.48 1.35	830～1190 1047	单点斜剪、多点斜剪15°，饱和
1.46	760	1.30	480	1.46	760	沿胶结面剪断，混凝土150*，湿润
		0.31～0.58 0.40	20～120 75			单点15°斜剪，饱和
0.31～0.63 0.51	59～490 227					多点水平剪，湿润
				0.31～0.84 0.557	59～530 271	单点水平剪，湿润
0.3～0.53 0.38	10～80 25			0.31～0.50 0.435	50～67 59	多点水平剪，饱和
		0.38(1)	80(1)	0.38～0.53 0.46	150～190 170	单点15°斜剪，饱和

（4）软弱夹层物理特性试验成果表

夹层名称及编号	天然状态			比重	流限	塑限
	含水量（%）	容重 (g/cm³)	干容重 (g/cm³)		（%）	（%）
D_{1-1} D_2平洞	11.4	2.38	2.14	2.89		
τ_1平洞	18.0	2.23	1.89	2.98	34.8	21.4
$\tau_6$3-1平洞		1.68			26.8	18.3

（5）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪				
	方法	峰值		方法	组数
		tgφ	c(kPa)		
τ*3-1平硐	固结快剪	0.32	100		
$C_3,P_2\beta_3/P_2\beta_4$				多点水平剪	4点
$C_4,P_2\beta_4/P_2\beta_5$				多点水平剪	6点
$C_5,P_2\beta_5/P_2\beta_6$				多点水平剪	8点
				单点水平剪	1点
				多点水平剪	34点
				单点水平剪	1点

颗粒组成（%）				土定名	备注
>0.05	0.05～0.005	<0.005	<0.002		
73	14	13		轻壤土	
60	22	18		中壤土	
		42	31.5	砂质粘土	

现场抗剪试验						备注
抗剪断				抗剪		
屈服值		峰值		屈服值		
tgφ′	c′(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)	
						扰动样(固、快)
0.37	90	0.52	150			饱和
0.29～0.38 0.34	30～120 75	0.3～0.44 0.37	30～170 100	0.24	0	饱和
0.24	15	29	20			饱和
0.20	0	0.25	10			饱和
0.27	24	0.31～0.34 0.33	21	0.32	10	饱和
		0.64	65			剪切面通过糜棱岩，饱和

（6）软弱夹层地质特征资料表

夹层名称及编号	夹	
	位　　置	岩　　性
C_4层间错动带	坝　下	断层泥，糜棱岩角砾岩，片岩
L_4层内错动带	川　上	糜棱角砾岩，片岩为主，单条的为碎裂岩

（7）泥化夹层化学矿物成份分析成果表

夹层名称及编号	粘　土　矿　物		pH	可溶盐含量（%）
	分析方法	主要矿物		
D_{1-1}平洞	差热分析，伦琴射线分析	绿泥石	6.7	0.08
τ_1平洞	差热分析	蒙脱石	6.0	0.54

（8）岩体锚杆（索）试验

锚杆（锚索）类型	锚杆（索）根数	长　度（m）	锚杆（索）直　径（cm）
大芯管滑板式隔离架（同心圆排列）	36	34～40	ϕ 5×162

层			备注
分布	厚度（m）	成因类型	
连续	0.04～0.95	剪切挤压破碎	第5层/第4层玄武岩
长20～40m $\pm$	0.1～0.4(呈带) 0.02～0.05(单条)	剪切挤压破碎	第5层玄武岩内

有机质含量（%）	难溶盐（%）			备注
	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	
2.57	32.38	24.44	11.18	参见“大渡河铜街子水电站初步设计，第三篇工程地质(附件)”，1978
0.45	51.5	18.6	11.3	

锚头型式	封孔吨位（t）	预应力损失（%）	备注
胶结式，墩头锚头	320	预计15(实4-5)	孔ϕ150，高强钢丝，$E=2GPa$ $\sigma_p>160kg/mm^2$，夹角65°

（9）铜街子参数建议采用值

岩石	容重 (g/cm³)	抗压强度（湿）(MPa)	E_o (GPa)	μ	tgφ	c (kPa)	备注
松散凝灰岩	1.97	2.7～13.5	0.3～0.5	0.35	0.35	0	
凝灰岩	2.34	34.3～38.8	2.0～3.0	0.30	0.55	0	
凝灰玄武岩	2.51～2.61	74.3～104.2	3.0～5.0	0.27	0.60	0	
玄武岩	2.75～2.88	140～184.8	1.0～2.0 3.0～5.0 7.0～10.0	0.25～0.27	0.65	0	E_o为破碎、中等、完整三类
砂岩			2.0～3.0	0.30	0.50	0	
页岩粘土岩			1.0～2.0	0.32	0.40	0	
混凝土/玄武岩					>0.65		
混凝土/凝灰岩					0.5～0.55		
层间错动C,I型			0.01～0.015	0.40	0.25		
层间错动I型					0.35		
F_1、F_2断层破碎带					0.35		
坝体整体稳定计算C,					0.25		采用值

二 滩 水 电 站

一、工程概况

二滩水电站位于四川省西部渡口市米易盐边县境内，系雅砻江下游河段梯级开发中的第一期工程，是一座以发电为主的综合利用水利枢纽。该电站装机容量为300万kW，库容58亿m³。主要建筑物有：（1）溢流式双曲拱坝，最大坝高240m；坝顶长度763.3m；（2）右岸泄洪洞2条，I号洞长1255.32m，II号洞长1385.85m，有压段圆形断面（D=13m），明流段断面尺寸14m×14m；（3）左岸地下厂房尺寸（长×宽×高）为

296.2m×26m×72.6m。

该工程于1973年9月～1985年9月为初步设计阶段，目前正在施工中。

二、工程地质条件

1.岩性：枢纽区基岩由二叠系玄武岩，后期侵入的正长岩（包括同源辉长岩）及因侵入活动影响而形成的变质玄武岩等组成。玄武岩可分4层，其中第二、三层玄武岩与建筑物有关。第二层玄武岩下部为斑状晶质玄武岩，主要分布在大坝上游，上部为微粒隐晶玄武岩，分布在右坝肩中下部及坝下消能区一带。在1020～1100m高程还有两条近似平行的围岩蚀变带，即所谓的“纤闪石化玄武岩”（或称III类岩），其主要特点是隐微裂隙发育，裂隙中普遍充填滑石、绿泥石、皂石等，此外，在消能区还有称之为“裂而绿泥石化玄武岩”软弱岩体，其分布具有随机性，裂而充填绿泥石。第三层玄武岩下部为细粒杏仁状玄武岩，上部为玄武质火山碎屑角砾集块岩，主要分布于右坝肩中下部及消能区下游段。变质玄武岩主要分布于大坝上游左岸及河床，岩质坚硬、完整，均一性好。正长岩是主体建筑物的地基及洞室围岩，岩石坚硬、完整，均一性好，而辉长岩只零星分布于正长岩体内或正长岩与玄武岩间，形态也不规则。

2.构造：坝址区位于川滇南北向构造带的中段西部共和断块核部隆起区向南倾覆端的正长岩体上。枢纽区小断层，破碎带呈中高角度垂直或斜交河床分布，一般延伸较短，连续性差；较大断层f_{20}分布在右坝肩，f_5、f_{26}、f_{27}等分布在消能区。断层破碎带宽度一般在0.6m以内，最宽约1.0m。岩体内节理裂隙发育，经统计可分6组，（1）30°～50°/NW，∠60°～80°；（2）300°～320°/NE，∠60°～70°；（3）70°～290°/NW，∠50°～70°；（4）45°～70°/SE，∠45°～70°；（5）15°～345°/NW～NE，∠55°～70°；（6）70°～270°/SE～NE，∠20°～40°，节理面一般充填钙膜或方解石膜，或绿泥石膜，正长岩内裂隙节理面一般起伏不平，玄武岩、蚀变玄武岩或纤闪石玄武岩内裂隙

节理面较平直，或光滑或粗糙。岩体风化一般以裂隙风化或夹层风化为主，在空间上呈间隔式分布，其中全强风化带水平深度一般在20m之内，个别可达88m，垂直深度10～20m；弱风化带水平深度一般为40～60m，个别可达85m，垂直深度为30～50m；微风化带水平深度一般为70～100m，垂直深度为30～90m。

三、工程主要岩石力学问题

1.坝基抗滑稳定问题中起控制作用的短小连贯性差的节理裂隙及小型软弱带的剪切强度问题及右坝肩1020～1100m高程的两条宽10～25m的纤闪石化玄武岩带的变形稳定问题。

2.大坝建基面弱风化岩体可利用性研究中的强度及变形问题。

值得指出的是，二滩坝基岩体，根据影响岩体地质力学特性主要地质因素及其岩体物理力学指标，对岩体进行质量分级，并分6大级、16亚级，以此为基础为工程设计提供岩石力学建议指标。

四、试验工作量

试验项目		室内	现场	备注
		组数	组数	
抗压强度	干抗压 饱水状	169 167		
抗剪强度	抗剪断 抗剪 裂隙面	 33	42	
抗拉强度	劈裂法	74		
变形试验	承压板 钻孔变形计 动力法 抗力系数		148 101点 62(2000余米) 2	蠕变4组 9孔 动静对比
应力测量	光弹性		3个断面	
	钻孔解除法		空间14；平面11	
物理性质		322		

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗拉强度 (MPa)	变形特征 弹性模量 E (GPa)	室内抗剪 类型	组数	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)	备注
正长岩	2.69/(34)	0.68/(13)	212.4/(72)	176.5/(74)	8.68/(33)	30～60/(55)	岩/岩	11	0.75	320/(50)	A-C-1缓面,NW NE陡面; C-2,天然陡面; E-2,天然陡面; E-3,天然缓面; D_1天然缓面;
蚀变玄武岩	3.09/(32)	0.19/(32)	201.5/(27)	176.8/(24)	11.53/(5)	79～130/(6)	岩/岩	5	0.65	30	
微粒隐晶玄武岩	3.08/(34)	0.06/(29)	216.0/(30)	191.3/(29)		100～130/(50)	岩/岩	4	0.55	110/(5)	
细粒杏仁状玄武岩	2.97/(20)	0.22/(31)	263.9/(32)	189.7/(31)	11.2/(27)	70～100 (42)	正长岩/正长岩	8	0.51	11/(5)	
辉长岩	3.13/(3)	0.17/(9)	166.4/(9)	107.2/(9)	9.84/(9)	60～90/(6)	正长岩/正长岩	6	0.65	180/(70)	
正长岩缓面强风化夹泥									0.58	50	中型剪，试件 30cm×30cm

（2）现场岩体变形特性试验成果表（A）

岩石名称及风化程度	岩体类型	试验组数	变形特性			纵波速	抗力系数k_0 (MPa/m)
			试验方法	变形模量E_0 (GPa)	弹性模量E_r (GPa)	声波法 (m/s)	
正长岩，新鲜完整	块状	8	承压板	52.0	97.0	5000～5500	
正长岩，微风化	裂隙较发育	14		17.0	33.0	4100～5300	1.370～2.820
正长岩，微～弱风化		7		5.2	8.2	3700～5000	
正长岩，强风化	裂隙密集带	7		2.0	3.7	2000～4000	
正长岩，断层破碎带		3		0.37	0.82	2000	
蚀变玄武岩，新鲜	较完整	8	承压板	66.0	127.0	5500～6600	
蚀变玄武岩，弱风化	裂隙发育	6		16.0	31.0	4700～5000	
蚀变玄武岩，弱～强风化	裂隙发育	9		6.0	11.0	3700～4800	
蚀变玄武岩，强风化带		13		1.34	2.20	3700以下	
微粒隐晶玄武岩	新鲜完整	10	承压板	38.0	120.0	5500～6500	
微粒隐晶玄武岩，微风化	完整性差	12		15.0	27.0	5300～6500	
微粒隐晶玄武岩，微～弱风化	裂隙发育	14		6.5	13.0	5000～6300	0.095～0.405
微粒隐晶玄武岩，强风化	破碎带	22		1.4	3.30	3400以下	
杏仁状玄武岩	完整新鲜	1	承压板	37.0	45.0		
杏仁状玄武岩，微风化	裂隙发育	3		13.0	26.0		
杏仁状玄武岩，强风化	破碎带			0.2～0.7	0.7～3.0		

注　资料引自“四川省雅砻江二滩水电站初设岩石力学试验研究报告”，1985。

（3）现场岩体变形特性试验成果表（B）

岩石名称	岩体类型	试验条件	变形特性			备注
			试验方法	变形模量 E_o (GPa)	弹性模量 E_s (GPa)	
正长岩		铅直	钻孔膨胀计	77.9	95.0	5*洞
		铅直		128.1	172.4	13*洞上支洞
二层玄武岩		水平	膨胀计	19.9	102.2	12*洞支洞，最大荷载6MPa
蚀变玄武岩		铅直		45.?	119.0	11*洞1支洞
		铅直		19.1	38.3	4*洞
斜面绿泥石化玄武岩		铅直	钻孔膨胀计	77.9	95.0	哈扎支洞
		铅直		60.6	80.5	哈扎支洞
		水平		53.2	111.8	13*洞上支洞
纤闪石化玄武岩		铅直	膨胀计	17.68	40.6	
正长岩		铅直		3.51～12.8	12.6～13.8	铅直方向孔
玄武岩	绿泥石化	铅直	膨胀计	6.65～10.0	8～10.7	铅直方向孔
	纤闪石化	铅直		40.3	80.7	铅直方向孔
	蚀变	铅直		0.6～3.6	1.78～16.7	铅直方向孔

（4）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称及风化程度	抗剪试验									备注
	试验类型	试件尺寸(cm²)	组数	抗剪断				抗剪		
				屈服值		峰值		峰值		
				tgφ′	c′(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)	
正长岩，新鲜，完整，块状			2	1.6	2800	2.05	3500			
正长岩，微风化，裂隙多	岩/岩	50×50	1					0.75	500	平推，缓倾面新鲜
正长岩，微～弱风化	混凝土/岩	50×50	不详			1.22～1.42	500以上	1.14～1.15	400	平推，沿胶结面剪断
缓倾面已风化夹泥膜	岩/岩	50×50	3					0.81	2000	
蚀变玄武岩，新鲜，较完整	混凝土/岩					0.96～1.56	200～700	0.67～1.04	200～700	平推，混凝土175～189°，起伏差1～5cm
微粒隐晶玄武岩，新鲜，完整	岩/岩		2	1.38	2000	1.73	2200			C-2
微粒隐晶玄武岩，微风化，完整性差	岩/岩		2	1.15	800	1.73	2600			
微粒隐晶玄武岩，微～弱风化，裂隙发育	混凝土/岩	50×50	2			1.54～1.55	450	1.24	300	平推，混凝土150～273°，沿胶结面剪断，起伏差0.5～2cm
	岩/岩	50×50	1	0.78	500	1.23	1100			D-1
	混凝土/岩	50×50				1.50	800	1.48		混凝土167°，试件面起伏差0.5～2cm，沿胶结面剪断

（5）地应力测试成果表（空间应力）

岩石名称	最大地应力		中间地应力		最小地应力		备注
	σ_1 (MPa)	方位角	σ_2 (MPa)	方位角	σ_3 (MPa)	方位角	
正长岩	26.0	34°	9.0	140°	2.5	277°	孔径法，1.2以N为0°顺时针
	18.8	31°	7.5	141°	−1.9	245°	孔径法，1.2以N为0°顺时针，旋转
	19.5	20°	6.7	160°	5.7	260°	压磁法
	23.6	35°	16.0	115°	6.3	169°	孔壁法
辉长岩	17.2	13°	10.7	52°	8.3	284°	孔径法
	22.3	13°	9.8	155°	5.6	87°	孔径法
	29.5	18°	22.1	135°	18.7	123°	压磁法
正长岩	24.4	35°	23.1	135°	9.8	123°	压磁法
蚀变玄武岩	38.4	22°	17.3	111°	10.4	195°	压磁法
	29.6	359°	11.7	76°	7.4	275°	压磁法
三层玄武岩	28.6	16°	16.8	101°	10.8	172°	压磁法
	30.3	11°	22.0	95°	4.1	341°	孔径法
	32.6	48°	14.8	132°	9.3	343°	孔壁法
正长岩	9.6	353°	4.5	163°	4.3	261°	压磁法
	10.9	28°	4.2	123°	1.4	54°	孔径法

（6）地应力测试成果表（平面应力）

岩石名称	深度 (m)	最大地应力 σ_1' (Mpa)	最大地应力 φ (度)	中间地应力 σ_2' (MPa)	备注
正长岩		24.5	31°	2.9	2*洞1*支洞掌子面，孔径法
		16.9	46°	1.7	2*洞2*支洞掌子面，孔径法
	37.5～59.4	31.5	29°	10.6	2*洞0＋200m，孔径法
		19.8	27°	2.2	2*洞0＋510m，孔径法
		20.7	45°	5.3	2*洞0＋415m，孔径法
		20.4	43°	4.6	4*洞0＋143m，孔径法
		10.0	54°	0.5	4*洞0＋49m，孔径法
		33.9	52°	11.2	4*洞0＋88.9m，孔径法
		49.4～65.9	N28°～50°E	20.2～32.0	河床左岸
		39.4～40.7	N12°～32°E	22.6～24.8	河床右岸
		6.7	15°	0.8	4*洞3*支洞0＋42.5m，孔径法，NE向水平孔

注 1.深孔为垂直孔，其余测点NW向为水平孔；
2.$\sigma_1'$$\sigma_2'$为垂直于钻孔的平面上的主应力，称代表主应力；
3.φ为与水平轴夹角，深孔中的φ为σ_1'的方位角。

（7）参数建议采用值

岩　　石	抗压强度 (MPa)	E_0 (GPa)	抗剪断强度	
			$tg\varphi'$	c'(kpa)
A，正长岩，变质玄武岩，辉长岩	120.5～216	35	1.73	5000
B，玄武岩		25	1.73	4000
C_1，正长岩		15	1.43	3200
C_2，各类玄武岩		10	1.2	2000
D_1，正长岩		4～5.5	0.84	1200
D_2，玄武岩		4	0.84	1000
E-1，纤闪石化玄武岩	112.0	0.8～1.5 (深部为2.5)	0.58	600
E-2，裂面，绿泥石化玄武岩		2.5	0.58	800
E-3，正长岩及各类玄武岩		1.5	0.70	500
F，正长岩及各类玄武岩		0.5～1.0	0.50	100～200
断层带片状块状岩屑		1.0	0.50	200
断层带角砾岩		0.30	0.36	50

（8）岩体特征资料表

岩石名称	风化程度（五分法）	结构类型
正长岩(ξ_c)变质玄武岩，$P_1\beta_L$玄武岩，辉长岩	微风化～新鲜	整体结构
玄武岩($P_1\beta_2$，$P_1\beta_4$)	微风化～新鲜	整体块状结构
正长岩(ξc)	弱偏微风化为主	块状结构
各类玄武岩	弱偏微风化为主	块状镶嵌结构
正长岩(ξc)	弱偏强风化下段	镶嵌或块状结构
玄武岩($P_1\beta_1$、$P_1\beta_L$、$P_1\beta_3$)	弱偏强风化下段为主	镶嵌、碎裂结构
纤闪石化玄武岩$P_1\beta_1$III	微风化～新鲜	碎裂镶嵌结构
裂面绿泥石化玄武岩($P_1\beta^*$)	微风化～新鲜	镶嵌碎裂结构
正长岩及各类玄武岩	微偏强风化上段为主	碎裂结构
	全、强风化为主	散体结构
断层带	由片状、块状、劈理岩屑组成无连续断层泥，由角砾岩、屑岩块及1～5cm不连续的断层泥充填	

工程质量分类	岩体裂隙情况		备注
	裂隙间距(cm)	充填物特征	
A	>100	无次生充填及原生充填，部分钙膜绿泥石熏染	
B	80	无次生充填，有方解石、绿帘石	
C-1	50	个别裂隙局部充填次生夹泥泥膜	一般无原生充填，部分钙膜或绿泥石浸染
C-2	40	个别裂隙局部充填次生夹泥泥膜	原生充填绿泥石浸染，膜状或方解石膜
D-1	30	部分裂隙充填	
D-2	30	部分裂隙充填	
E-1	密集	无次生充填，软弱矿物普遍1～3mm	
E-2	密集	无次生充填，软弱矿物普遍1mm	
E-3	25	裂隙普遍充填次生夹泥及泥膜	
F	密集		

昇钟水利工程

一、工程概况

昇钟水利工程位于四川省南部县昇钟区境内的西河上，枢纽位于碑垭庙附近。该工程是以灌溉为主的水利工程。库容13.39亿m^3。主要建筑物有：粘土心墙土石坝，坝高73m，坝顶长度390m，坝顶宽度9 m，坝底宽度506m。工程于1973年～1974年进行勘测。1983年竣工。

二、工程地质条件

1.岩性：坝址区岩石主要包括侏罗系上统重庆群蓬莱镇岩组的J_3^{t-}②、J_3^{t-}①紫红色砂质粘土岩及砂质粘土岩与泥质砂岩互层的岩石；白垩系城墙岩群的K⑤、④、③、②、①砂岩与砂质粘土岩互层岩石，其中J_3^{t-}②、①及K②、①岩石主要分布在1.5倍水头范围的坝基范围，K⑤、④、③主要分布在坝肩。

2.构造：坝址区地质构造简单，属金仙场向斜南东翼，岩层平缓，没有大断裂与褶皱，其岩层产状为NE45°/NW，∠1.5°，发育的裂隙主要有3组，其中以N40°～55°E走向一组最为发育，另外两组为层面裂隙和N60°～80°W走向的裂隙。3组裂隙的倾角均在70°以上。在坝基处有10条较大的软弱带及风化破碎带，如K①层砂岩中的9、10、11号破碎带及K②层中砂岩风化带等，约1.29～6.08m。砂岩或砂质粘土岩风化破碎带主要沿裂隙发育；砂岩软弱带主要沿交错层理及微细纹理发育；砂质粘土岩软弱带主要沿缓倾角裂隙发育或与砂岩突变接触软弱地段发育。

三、主要岩石力学问题

主要有砂岩与粘土岩及砂岩软弱带、风化带的剪切强度、变形稳定及地基承载力等问题。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验		备注
		组数	组数	块数	
抗压强度	干抗压	70		2*	*现场大体积承载试验
	饱水状	39			
抗剪强度	抗剪		42点		单点法
变形试验	承压板		32点		
物理性质		73			

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度(MPa)	
				干	湿
K，泥质砂岩	2.71(3)	2.53(3)	2.38(4)	78.6(9)	68.0(9)
K，钙质砂岩；弱风化	2.67(25)	2.33(24)	5.43(25)	44.9(23)	23.5(23)
K，钙质粉砂岩	2.71(19)	2.44(13)	2.88(13)	49.5(12)	41.5(10)
K，砂质粘土岩	2.74(22)	2.40(15)	5.82	22.8(22)	
K，粘土岩	2.73	2.25		4.36	破坏
K，粘土岩	2.75(2)	2.27(2)		14.4(7)	5.7(2)
J，砂质粘土岩	2.75	2.41	3.06	20.5	崩解
J，砂质粘土岩新鲜	2.75	2.31～2.32 2.27(2)	7.25～7.5 7.4(2)	27.3～77.0 52.2(2)	
K'砂岩	2.68	2.21～2.44 2.29(9)	5.72	19.9～61.2 39.1(9)	8.3～46.0 27.3(9)

注 1.资料摘自水电部成勘院“四川地区红层岩石(岩体)物理力学性质指标汇编，”1979.

2.括号内数字为试验组数。

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（年代、岩性）风化程度	岩体类型	试验条件	变形特性		
			试验方法	变形模量E_0 (GPa)	弹性模量E_e (GPa)
砂岩有炭质薄片	K②	垂直层面	平板载荷	0.713～3.0 1.470(9)	1.436～5.342 2.54(5)
砂岩裂隙面，新鲜	K③	平行层面	承压板	0.745～13.46 3.490(12)	1.20～17.82 5.58(9)
砂岩破碎带	K②				
砂岩软弱带有少量绢云母	K②				
砂岩软弱带有粘土膜	K②				
砂岩软弱带有泥质层纹理	K②				
砂质粘土岩软弱带	K①-5	垂直层面	承压板	0.069～1.52 0.400(4)	0.152～2.12 0.670(4)
砂岩/砂质粘土岩					
薄砂岩风化、裂隙发育					
砂岩/砂质粘土岩上					
粘土岩	K(1)	平行层面	承压板	0.377(1)	0.710(1)
砾石	K(1)	平行层面	承压板	1.730～6.82 3.15(3)	3.82～9.25 5.7(3)
粘土岩	K(1)-6		承压板	0.049～0.17 0.097(3)	0.11
砂质粘土岩新鲜	K(1)-3	垂直层面	承压板	1.116(1)	1.82(1)

抗剪试验					
试验类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪		备注
			tgφ	c(kPa)	
本身单点法	40×40 50×50	4	0.53～0.54 0.544	40～90 70	斜向推，闭合层面，多数面粗糙
本身单点法	以下同	1	0.56	40	水平向推
本身单点法		5	0.355～0.595 0.499	34～300 114.8	水平推向
本身单点法		2	0.49～0.55	55～60	水平推向
本身单点法		6	0.3～0.4 0.368	35～105 61	水平推向
本身单点法		2	0.22～0.25	95～110	水平推向
本身单点法		10	0.22～0.30 0.246	40～120 61.5	斜向推，剪切面最大起伏差6cm，多有擦痕
岩/岩		3	0.21～0.28 0.228	81～140 114	斜向推，剪切面平整，剪切面积1760～2700cm²
岩/岩		6	0.18～0.28 0.155	60～120 81	水平向推
岩/岩		1	0.67	120	斜向推

（3）软弱夹层物理特性试验成果表

夹层名称及编号	天然状态		比重	流限	塑限
	含水量（%）	容重（g/cm³）		（%）	（%）
$K^{②}$砂岩风化破碎带	28.8	1.44	2.67		
	27.3	1.53	2.68	29.1	
	26.6	1.57	2.67	25.7	
$K^{②-1}$粘土岩泥化夹层	35.6	1.37	2.74	35.6	21.6
	38.3	1.37	2.74	38.3	21.8
	36.0	1.37	2.74	36.0	22.3
	38.9	1.32	2.76	38.9	24.1

（4）软弱夹层地层及力学性分析成果表

夹层名称及编号	夹层	粘土矿物		
	成因类型	分析方法	主要矿物	次要矿物
$K^{②}$	砂岩层面裂隙受地下水及风化作用	X衍射 差热分析	水云母及高岭石	蒙脱石 石英
$K^{①-2}$	地下水长期活动，粘土岩，风化形成			
9号破碎带	粘土岩，强风化，夹泥			

颗粒组成（%）			土定名
>0.05（%）	0.05～0.005（%）	<0.005（%）	
83.0	11.1	5.9	轻砂壤土
75.5	15.9	8.6	重砂壤土
60.5	24.0	15.5	中壤土
6.3	58.1	35.6	粉质粘土
5.0	40.3	54.7	粘土
6.5	52.2	41.3	粉质粘土
5.2	47.6	47.2	粉质粘土

现场抗剪试验				
方法	组数	试件尺寸（cm^2）	抗剪强度	
			$tg\varphi$	c(kPa)
直剪，饱、固、快	1	1600～2800	0.61	90
	2	1600～2800	0.22	48
	2	1600～2800	0.2～0.22	48～50

（5）岩石参数建议值

岩　　石	抗压强度(MPa)	E/E_o (GPa)	tgφ	c(kPa)	备　　注
$K^{①-6}$粘土岩	0.6	0.1/0.06	0.20		
$K^{①-6}$砂质粘土岩	0.8	0.18/0.1			
$K^{①-2}$砂质粘土岩		1.0/0.6			
$K^{②}$砂岩	1.0	1.5/1.0	0.46	10	闭合层面
$K^{②}$砂质粘土岩		0.6/0.3			$K^{①}$砂岩按高程 E 值，横线上为 378～397.5 m 横线下为 414m 以上
$K^{③}$砂岩	1.0	$\frac{2.2\sim3.0}{1.2\sim2.0}$			
$K^{③}$砾岩	2.0	3.0/2.0			
$K^{②}$砂岩破碎带			0.45	10	
$K^{②}$砂岩软弱带			0.44	10	无　　泥
$K^{②}$软弱带			0.22	15	泥质层纹面
$K^{②}/K^{①}$砂岩/粘土岩			0.22	20	
$K^{①-2}$软弱夹层破碎带，局部泥化			0.19	10	

注　表列斜线上数字为弹性模量，斜线下数字为变形模量。

瀑布沟水电站

一、工程概况

瀑布沟工程位于长江流域水系的大渡河中游，地处四川省汉源和甘洛两县交界。

1967年对上坝址进行过勘探工作，1980～1982年6月规划选点地质勘测，于1985年12月提交可行性研究（比较坝址）专题报告。据该报告推荐拟在上坝址兴建土石坝方案。其主要水工建筑物有：实心墙土石坝，最大坝高188m，坝顶长度583m；左岸首部式地下厂房，厂房尺寸306m×26.6m×70m（长×宽×高），装机容量330kW，库容50.64亿m^3。

二、工程地质条件

坝区地形为中高山峡谷，自然坡度一般为35°～50°。

1.岩性：上坝址的右岸及河床岩石为浅变质玄武岩，隐裂隙发育，完整性差。在I、III线还有流纹质凝灰岩及含砾流纹岩分布；左岸及II线岩石为粗～中粒花岗岩，岩体完整性好。中坝址坝基岩石为流纹岩；下坝址岩石主要为中厚层状凝灰质砂岩、含砾砂岩等。岩石风化程度以弱～微风化为主，上坝址右岸中粗粒花岗岩风化较强；两岸坡以局部裂隙型风化为主。卸荷带深度为13～17m，张开度1mm。

2.断裂构造：瀑布沟工程位于滇南的南北向、北西向和北东向三大构造断裂带复合区，西有汉源-昭觉断裂，东有宜坪-美姑断裂，南有苏雄-大菁盘复式背斜。坝段内无大的断裂分布，次级断裂除田街子、河边（F_7）断层外，均属侵入接触破碎带、岩脉挤压破碎带、小型构造破碎带。岩体内发育的节理裂隙主要为北西向、近南北向、北东向和近东西向4组，均为陡倾角裂隙。

三、工程的主要岩石力学问题

1.右岸边坡及坝基有NNW～NW向F_1断层和F_2断层存在，

坝肩与坝基岩体的稳定性将受影响。

2.坝前右岸岩体稳定性问题，该处岩体呈粒裂状，如倾倒、折断或弯曲，当水库蓄水后，可能产生局部失稳，威胁大坝安全。

3.地下洞群的稳定性及地应力场待了解。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验	
		组数	块数	组数	块(点)数
抗压强度	干燥	83			
	饱水状	80			
抗剪强度	抗剪断	2		8	
	裂面抗剪			1	
抗拉强度	劈裂法	63			
变形特性	承压板				56
	电阻片				
应力测量	钻孔解除			3孔	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称及风化程度	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	抗拉强度 (MPa)	变形特性 E (GPa)	变形特性 μ	抗剪断强度 tgφ	抗剪断强度 c(KPa)
浅变质玄武岩 新～微风化	3.05	2.98	0.32		55.3～434.6 / 202.3	157.8	5.3～19.1 / 11.2	68.5		1.44	2110
浅变质玄武岩微风化	3.08 (27)	2.99 (27)	0.25 (27)	0.4 (27)	164.8 (24)	99.3 (26)	5.92 (21)	64.9 (12)	0.17 (23)	1.54	1360
流纹岩	2.68 (16)	2.63 (16)	0.19 (16)	0.21 (15)	245.9 (16)	192.7 (16)	6.02 (8)	65.7 (15)	0.17 (14)	1.6	1750
中粒花岗岩	2.68 (33)	2.61 (33)	0.43 (34)	0.49 (33)	140.8 (32)	97.3 (32)	4.22	38.7 (19)	0.14 (17)	1.04	2570
凝灰岩	2.85 (2)	2.83	0.11 (2)	0.17 (2)	114.5 (2)	73.9 (2)	3.13 (2)		0.17		
辉绿岩	3.07	2.99	0.41	0.42							

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称及风化程度	变形特性				纵波速 (m/s)
	条件	方法	E_o(GPa)	E_s(GPa)	
变质玄武岩，新～微风化	平行层面	承压板	18.6	30.5	5600～6580
变质玄武岩，弱风化			12.2～17.3 / 15.6	26.4～31.6 / 22.4	
变质玄武岩	垂直裂面	承压板	15.4	29.9	4360
变质玄武岩，弱风化			4.5	8.8	
流纹岩	平行纹理	承压板	13.4	36.3	
中粒花岗岩	平行纹理	承压板	15.5	34.5	
中粒花岗岩，弱风化			7.9	13.2	4470～5000
凝灰岩	平行	承压板	5.59	8.73	5870
辉绿岩	平行	承压板	13.8	34.47	4970

（3）岩体地应力测试成果表

岩石名称	最大地应力		
	σ_1(MPa)	方位角（度）	倾角（度）
花岗闪长岩	16	59	20
	21.7	84	15
	10	77	70

抗剪断强度							备注
类型	试件尺寸 (cm)	组数	峰值		屈服值		
			$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi'$	c'(kPa)	
岩/岩	50×50	1	1.54	1360	1.31	1160	
岩/岩	50×50	2	1.30	2850	1.10	2420	
岩/岩	50×50	1	1.60	1750	1.36	1490	
		3	2.10	1525	1.78	1190	缓倾面有泥膜，$tg\varphi=0.58$，$c=750$kPa
		1	1.04	2035	0.88	2180	

中间地应力			最小地应力		
σ_2(MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_3(MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)
9.1	49	41	2.6	11	42
12.0	14	52	8.8	16	34
6.5	46	−77	5.9	12	11

（4）岩石力学参数的建议值

岩石		变形模量 (GPa)	弹性模量 (GPa)	抗剪断强度	
				tgφ	c(kPa)
变质玄武岩	微风化	12～17	16～25	1.44	1300
	弱风化	4～5	6～10	1.2	1000
花岗岩	新～微风化	12～20	16～30	1.75	1200
	弱风化	9～11	12～15	1.2	1200
流纹岩	新～微风化			1.6	1300
凝灰岩	微风化	1.5～2.5	4～6		
	弱风化	1.2～2.0	3～4		

宝珠寺水电站

一、工程概况

宝珠寺水电站位于四川省广元市三堆镇附近，为嘉陵江水系白龙江干流上第二个梯级电站，距上游碧口水电站87km。工程以发电为主，兼有灌溉、防洪等效益。大坝为混凝土重力坝，最大坝高132m，库容25.5亿m^3。坝后式厂房，装机容量70万kW，可灌溉农田233万亩。工程目前正进行初步设计。

二、工程地质条件

坝址处河谷呈V字型，左岸山体宽厚，右岸山体较单薄。坝址区出露的地层有中奥陶系条带状钙质粉砂岩（O_2^1）和志留系粉砂质页岩（S_1）。岩层产状70°～85°/SE，∠20°～45°，倾向下游。钙质粉砂岩又可分为4层：钙质粉砂岩O_2^{1-1}，厚层钙质粉砂岩O_2^{1-2}和O_2^{1-3}，钙硅质粉砂岩O_2^{1-4}；其中O_2^{1-1}层的层理发育，失水崩解，岩性不均一，强度较低，总厚度约46m，为坝址区较差层位；钙硅质粉砂岩O_2^{1-4}层中夹极薄层钙泥质粉砂岩，岩性也不均一，强度变异大；O_2^{1-2}和O_2^{1-3}层的岩性均一、完整，强度较高。

各岩层层间夹有极薄钙泥质粉砂岩，因构造错动及地下水作

用而泥化，其中以O_2^{2-4}中最为发育，如有D_1、D_2和D_{10}等。在O_2^{2-3}和O_2^{2-2}层中，软弱夹层有D_5、D_6和D_{19}等。其产状与岩层一致，但界面多呈微波状，起伏差为0.01～0.015m。

坝址位于大茅山背斜倾覆端的南东翼，岩层为单斜构造，坝区断裂构造较发育。

节理主要有两组：（1）NW275°～295°/SE，∠65°～75°；（2）NE10°～20°/NW，∠55°～65°。断层主要有：F_4、F_{10}和F_{21}等，F_4的产状NE35°～55°/NW，∠51°～67°，破碎带宽0.5～2.3m，角砾岩和糜棱岩充填。F_{10}的产状为45°～75°/NW，∠50°～75°，破碎带宽2.8～3.6m，充填为角砾岩、糜棱岩和断层泥。F_{21}断层的产状为6°～35°/NW，∠65°～72°，破碎带宽0.12～1.0m，充填物为角砾岩和糜棱岩。

三、主要的岩石力学问题

1.坝基抗滑稳定：坝基泥化夹层倾向下游，倾角30°～45°，与左坝肩F_{10}和f_4组合；右坝肩有F_{21}和F_5（陡倾角）及河床F_4和F_2等组合构成楔形滑移体，稳定性较差。

2.左岸坝后岸坡稳定：主要是左岸O_2^{2-4}层砂岩中有泥化夹层发育，其与NNE向f_4组合形成滑移体，加上坝基坑开挖使其支撑岩体变薄，需研究处理。

3.各泥化夹层的力学指标的确定。

四、试验工作量

试验项目		室内试验		现场试验		备注
		组数	块数	组数	块数	
抗压强度	干抗压 饱水状	48 48				
抗剪强度	抗剪断 抗　剪 夹泥裂隙面	 39 20		17 17 9		现场先做抗剪断，后做抗剪 室内抗剪中有泥化夹层19组
变形试验	承压板 动力法			25 253		地震法1063测点和穿透147段，声波86段
物理性质		48				

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)
O_2^{2-1}粉砂岩	2.73	2.71	0.90	0.64	0.70
O_2^{2-2-1}粉砂岩	2.70	2.67	0.37	0.32	0.41
$O_2^{2-2-2}O_2^{2-3}$	2.71	2.70	0.74	0.27	0.36
O_2^{2-4}粉砂岩	2.69	2.64	1.97	0.32	0.38
O_2^1粉砂岩		2.74		0.25	0.34
S_1页岩	2.77	2.68	3.09	0.94	0.84

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	试验组数	变形特性			纵波速度V_p (m/s)
		试验方法	变形模量E_0 (GPa)	弹性模量E_e (GPa)	地震法
S_1(河床)		承压板			4000～5200
S_1(左岸)	2		3～5.2	7.0	3000～4100
O_2^{2-4}	2	承压板	12～31	30～34	4000～4400
$O_2^{2-1}O_2^{2-2-1}$	9		15～56		4000～5000
O_2^{2-2-1}底部5cm					2600～3600
O_2^{2-2-1}	2	承压板	3.3		3600～4000
O_2^{2-1}顶部3cm			2～3	3.3	3600
O_2^{2-1}钙质粉砂岩			6.3～10.5	9.6～16.7	3000～5000
F_4破碎带		承压板	1.4	2.7	1600～4200
F_{10}破碎带		承压板	2.3		2800～3700

抗压强度(MPa)		抗剪强度			
干	湿	类型	组数	抗剪	
				tgφ	c(kPa)
147	122	岩/岩	9	0.61	0
197	164	岩/岩	2	0.59	0
242	203	岩/岩	5	0.62	0
225	160	岩/岩	2	0.49	3
186	138				
54	42	岩/岩		0.62	8

抗剪试验							
试验类型	试件尺寸(m)	最大荷重(MPa)	组数	抗剪断		抗剪	
				tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)
混凝土/岩	0.4×0.4	2.4	3	0.75	1800	0.69	440
混凝土/岩	0.4×0.4	2.4	1	1.40	2150	1.09	500
混凝土/岩	0.4×0.4	2.4	8	1.15	1450	0.88	400
混凝土/岩	0.4×0.4	2.4	1	1.39	1740	1.30	570
				0.65～1.50	1800～2700	0.56～1.00	590～1700

（3）软弱夹层物理特性与矿化分析成果表

夹层名称及编号	含水量 (%)	干容重 (g/cm³)	流限 (%)	塑限 (%)	颗粒组成（%）		
					>0.05	0.05～0.005	<0.005
D_1	22.7(4)	1.54(4)	28.3	17.6	52.1	32.8	14.4
D_2	30.1(2)	1.64(2)	30.9	18.9	57	28.7	13.2
D_3	26.2(3)	1.65(3)	29.5	16.0	48.5	32.8	17.3
D_4	29.0(4)	1.52(4)	34.4	19.4	63.1	22.6	12.4
D_5	20(5)	1.97(5)	28.1	18.1	57.0	20	23.0
F_{14}	19.2	1.76	28.1	17.6	57.6	25.6	15.8
F_4	9.8	2.11	17.1	11.2			
f_3	22.6		30.4	18.9			
f_5	27.5	1.5	33.4	19.6			

（4）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪试验			
	方法	组数	峰值	
			tgφ	c(kPa)
D_1	扰动饱和快剪	4	0.29	18
D_2		2	0.22	16
D_3		3	0.15	13
D_4		5	0.29	20
D_5		4	0.15	26
F_{14}			0.25	13
F_4			0.42	57

化学成分（%）						土定名	备注
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	PH		
73.76	12.71	3.29	0.36	3.47	5.4	碾质中壤土	
						中壤土	夹泥厚 5～15cm
							夹泥厚 0.1～1cm
54.3	17.17	5.41	5.52	4.95	5.3		
51.52	17.5	5.87	5.95	5.02	5.3	重壤土	
						断层泥	
						断层泥	
							比重2.72

现场抗剪试验					备注
方法	试件尺寸 (cm)	组数	峰值		
			tgφ	c(kPa)	
直剪	50×50	2	0.38～0.45	4	左岸5号洞内
	50×50	6	0.35～0.49	15	
	50×50	1	0.71	10	

（5）宝珠寺工程参数建议值

岩石	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	E (GPa)	μ	tgφ	c(kPa)	备注
O_2^{1-1}粉砂岩	2.71	87.5	6～8	0.27	0.88	960	tgφ值为混凝土/岩石抗剪断
O_2^{1-2-3}与O_2^{1-4}	2.70	180.6	20	0.25	1.00	500～900	
O_2^{1-4}	2.64	122.4	12	0.25	0.90	1000	
S_1页岩	2.68	38.4	4～6	0.27	0.60	600	
D_1夹层					0.25	0	岩/岩
D_2夹层					左0.35 右0.3～0.35	0	
D_3夹层					0.35～0.50	0	
F_4					0.30	0	
F_{10}					0.3～0.35	10	
F_{11}					0.25～0.40	10	
f_4					0.25	10	

天生桥二级水电站

一、工程概况

天生桥二级（坝索）水电站位于贵州省安龙县、广西壮族自治区隆林县境南盘江天生桥峡谷和坝索峡谷之间的河湾段上，以发电为主，结合灌溉、防洪等综合利用。混凝土重力坝，坝高58.7m，坝底宽49.31m，库容2600万m³，最大水头204m，装机容量88万kW，上游高坝建成后，将扩大装机44万kW，总容量

共计132万kW。

泄洪设施规模，表孔9个，冲沙闸3孔，引水隧洞3条，总长9.58km，洞径10.8m。于1965年选坝，1975年完成初设报告，1982年施工。

二、工程地质条件

1.地层岩性：主要为三迭统薄层至中厚层灰岩与泥岩页岩互层，其间夹有少量砂岩，有泥化夹层。左岸灰岩因溶蚀F_3断层通过，透水强烈。

2.地质构造：位于尼拉背斜南翼，岩层呈单斜展布，地层产状320°～350°/SW，∠40°～50°，倾上游偏右岸。

主要结构面分组：（1）320°～340°/NE，∠20°～30°；（2）50°～70°/NW，∠70°～80°；（3）EW/S或N，∠50°～80°；（4）SN/E或W，∠80°～88°。主要断层：F_9产状45°～50°/SE，∠80°，破碎带宽度0.8～4m，充填物为灰岩内钙质，胶结良好，砂页岩中泥质胶结较差；F_{182}产状280°～285°/NE，∠55°，破碎带宽度0.5～1m，充填物为钙泥质胶结差的角砾岩；F_{188}产状40°/NW，∠80°～90°，破碎带宽度0.2～0.3m，充填物为岩石碎屑，泥质胶结不良。F_{189}产状70°～75°/NW，∠65°，破碎带宽度0.1～0.3m，充填物为钙质，胶结较差。

3.风化分带：强风化带2～5m；弱风化带5～10m；微风化带10～15m。

三、工程的岩石力学问题

1.坝址区抗滑稳定与压缩变形问题：坝区共有31层泥化夹层，总厚0.83m，尤其白色和黑色夹泥层的抗剪参数和变形模量很低，是大坝稳定控制因素。

2.岸坡稳定问题：左岸山头岩层为灰岩与页岩互层，存在少量泥化夹层，地层开挖可能导致局部的不稳定。右岸岩层褶曲普遍，岩层向山里及河床倾斜，并发育反倾向裂隙，岩体风化十分严重，张开深度达50m，可能导致近坝址滑坡。

四、试验工作量

类别	试验项目	单位	初设及补充初设	技施设计	合计
室内试验	物性力学	组	98	178	274
现场试验项目	抗剪(断)	组	85	39	124
	地应力	点/组		4/2	4/2
	地震法	测段	35	211	246
	声波法	点		1097	1097
	电测	点	1000		1000
	钻孔电视	孔	6		6
	雷达透视	孔	8		8

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称		比重	容重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa)	抗剪强度 类型	组数	峰值 tgφ	峰值 c(kPa)	备注
T_3^{1-1}	砂岩	2.72	2.68	100	岩/岩	1	0.45	0	室内磨光面
	泥岩	2.75	2.65	20	岩/岩	6	0.45	43	中型剪，试件风化
T_3^{1-2}	砂岩	2.72	2.68	80	岩/岩	6	0.90	85	
	页岩	2.75	2.65	20	岩/岩	2	0.75		室内磨光面
T_3^{1-3}	灰岩、砂页岩	2.78	2.70	60					
	页岩	2.75	2.68	15					
T_3^{1-4}	灰岩	2.75	2.70	80	三轴		1.07	2500	
	页岩	2.75	2.65	20					
T_3^{1-5}	灰岩及砂岩	2.70	2.70	60					
	页岩	2.75	2.65	15					
T_3^{1-6}	砂岩	2.70	2.67	100					
	泥岩	2.74	2.65	30					

（3）软弱夹层物理性质试验成果表

夹层名称及编号	天然状态		颗粒组成(%)			土定名
	组数	容重 (g/cm³)	>0.05	0.05～0.005	<0.005	
F_{B_1}断层夹泥	1	2.22	74	14	12	轻壤土
ZH_2	1	2.15	61	21	18	中壤土

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	变形试验					抗剪试验			
	条件	方法	E_o (GPa)	E_r (GPa)	E_d (GPa)	试验类型	峰值 组数	tgφ	c(kPa)
T_1^{7-1}厚层泥岩	平行层面	承压板	2.5	4.6	37.8				
薄层灰岩夹页岩	平行层面		4.4	9.4	56.0				
	垂直层面		1.4	1.52					
灰岩、砂岩和页岩	斜交			2.5					
T^{1-1}薄层灰岩夹页岩	斜交		6.9	12.3	77.4	岩/岩	3	0.68～0.92	440～1040
	垂直层面		4.6	6.3	57.4				
					34.1				
中厚层灰岩	斜交		4.3	7.5	80.5	岩/岩	1	0.96	1400
薄层灰岩夹碳质页岩	垂直层面		5.1	11.1	76.1		1	1.30	330
（灰岩为主）					54.0				
薄层灰岩夹炭质页岩	垂直层面		3.5	8.9	43.6				
薄层灰岩夹页岩	垂直层面		2.8	8.6	75.2				
灰黑色钙质泥岩及砂岩	垂直层面			10.6	79.1				
T_1^{5}～T_1^{5}厚层灰岩					46.8				

注　动力法为地震法测E_d，测点岩石与静力法试点差别较大。

（4）软弱夹层力学特性试验成果表

夹层名称及编号	主要矿物	室内抗剪试验				现场抗剪试验					
		方法	组数	峰值		方法	组数	屈服值		峰值	
				tgφ	c(kPa)			tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)
F_{B_1}断层夹泥		快剪	4	0.2	33		2	0.33	122		
F_{B_2}断层泥			1	0.22	43						
F_{B_3}断层泥、碎石			1	0.35	28						
黑灰色夹泥	石英、伊利石			0.2～0.25	100	原位顺层	5			0.48	1600
灰白色夹泥	伊、蒙、及黄铁矿			0.15～0.2	50						
泥岩中反倾向裂面							2			0.95	510

（5）坝基岩体力学强度参数建议值

岩		抗压强度(MPa)	允许抗压强度(MPa)	抗剪强度		变形模量 E_0(GPa)
				tgφ	c(kPa)	
T_{1j}	灰岩、砂岩	60～80		0.70		
	泥页岩	15～20				
$T_1^{1}j^{1}$、$T_1^{2}j^{1}$岩体			1.5	0.75	300	40
$T_1^{1}j^{2}$、$T_1^{2}j^{1}$、$T_1^{3}j^{1}$岩体			1.2～1.3	0.70	200～300	30
$T_1^{1}j^{3}$、$T_1^{2}j^{3}$、$T_1^{3}j^{3}$岩体			0.8～1.0	0.60	100～200	20
$T_1^{3}j^{2}$岩体			1.0～1.1	0.65	200	25
T_{1a}岩体		60	3.0	0.75	300～400	200
反倾向裂隙面				0.70	100～200	
破碎页岩夹层				0.35	70	0.20
灰白色夹泥				0.23	30	0.01
灰黑色夹泥				0.27	40	0.018

乌江渡水电站

一、工程概况

乌江渡水电站位于贵州省遵义县境内乌江干流上，它是我国修建在石灰岩地区的大型电站。大坝为整体式拱形重力坝，坝高165m，坝顶弧长396m。库容23亿m^3，水库控制流域面积为27790km^2。电站厂房为坝后溢流式厂房，厂房上游有坝内副厂房，其上部为4孔挑流式溢洪道。电站厂房装有3台机组，总容量为63万kW。工程于1960年选坝，1963年初步设计，1970年开工兴建，于1979年至1982年3台机相继投产。

二、工程地质条件

地层岩性为上二迭统乐平煤组及长兴灰岩、下三迭统沙堡弯页岩、玉龙山灰岩及九级滩页岩，大坝和厂房基础为玉龙山灰岩，厚层块状致密坚硬，岩溶发育的总体积达8.6万m^3。

坝区主要断层有F_{20}，走向40°～60°/，破碎带宽1～5m，由角砾岩、压碎岩和密集方解石组成，局部有夹泥，下盘岩溶发育。F_{148}断层产状10°/NW，∠5°～40°，破碎带宽0.3～1.0m，糜棱岩胶结，断层埋藏于右岸地下，在620～680m高程，将沙堡弯页岩错断。F_{50}断层产状50°～70°/SE，∠60°～80°，破碎带宽0.2～3.0m，局部为角砾岩，压碎岩大部分为泥夹块石，有两个断层面和两组以上擦痕。F_{44}断层产状55°/SE，∠65°～80°，破碎带宽0.1～0.3m，充填物为压碎岩和密集方解石脉，局部夹泥，沿断层有串珠状溶洞发育，以垂直形态为主。F_{120}断层产状60°～70°/SE，∠60°～85°，破碎带宽0.1～0.5m，内有角砾岩、糜棱岩、压碎岩及泥，断层中串珠状溶洞发育。

主要构造节理有3组、其走向为NE、NWW和NW；缓倾角节理不发育。

三、工程中岩石力学问题

1.坝址附近为页岩，还有f_{129}断裂密集带，可能沿不连续节理滑动及产生压缩变形。

2.右坝肩有断裂密集带，近EW向夹泥裂隙、岩溶发育，可能存在NE、NWW的断裂构成的滑动棱体。

3.近坝库区左岸，黄崖边坡不稳定，距坝450m左右，方量约300万m^3，有待研究处理。

四、试验工作量

试验项目		室内试验组数	现场试验组数	备注
湿抗压强度		14		
抗剪强度	抗剪断	1	14	
	抗剪	16	10	
	软弱夹层	13	5	室内为土工法
抗拉强度(劈裂法)		3		
变形试验	承压板法		9点	
	狭缝法		13点	
	动力法	15		另室内弹性模量4组
应力测量(恢复法)			10	
物理性质		14		

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称及风化程度	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	抗拉强度 (MPa)	弹性模量 E (GPa)	抗剪强度 试验类型	组数	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)	备注
T_1^{1-1}灰岩，新鲜	2.65	0.35	64.7	59.6	2.43	87.2	岩/岩				0.80	6	混凝土/岩抗剪面积 0.0025m²（8组）
T_1^{1-2}灰岩，新鲜	2.67	0.32	71.2	62.2	2.65	74.2					0.77	1	0.09m²（1组）
T^{1-1}灰岩	2.67		78.5	64.3		73.7					0.69	25	
灰岩，新鲜	2.65		63.2	57.7			岩/岩	1	1.35	4310			
灰岩，新鲜							混凝土/岩	4			1.30	690	
灰岩，新鲜								8			0.83	220	
T_1^3页岩	2.60		76.9	9.8	0.64	22.6							
方解石脉，新鲜	2.65										1.4	2255	

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称及风化程度	变形特性			动力法（GPa）	
	方法	E_o（GPa）	E_r（GPa）	地震法 E_d	声波法
灰岩，新鲜	狭缝法	14.7～45.1 31.0(3)	22.6～55.4 40.2(5)		
灰岩，微风化	承压板	17.8～18.6 18.1(4)		25.3～45.0 33.7(6)	
灰岩夹炭质夹层	狭缝法	2.45～4.71 3.58	3.04～10.59 6.82		67.2～83.5 73.4
灰岩穿过断层					38.1～58.1 47.8(3)
页岩，新鲜	狭缝法	23.1(2)	24.8～32 28.4		
页岩，微风化	承压板	17.7			
页岩，弱风化	承压板	4.02～6.71 5.40			
页岩，强风化	承压板	1.77～2.75 2.26			
页岩，裂隙发育					18.1～21.3 19.6(5)
页岩较破碎	狭缝法	7.84～14.5 10.8(5)	10.9～21.7 15.3(3)		
页岩，小断层		1.47	2.65		
方解石脉，新鲜					

注　表列分数中，分子为范围值；分母为平均值，括号内为试验组数。

抗剪试验						
试验类型	试件尺寸 (cm)	抗剪断		抗剪		组数
		$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)	
混凝土/岩	40×60	1.73～1.52 1.32	1080～1720 1440			5
岩/岩		1.44～2.03 1.79	740～3480 2540			6
岩/岩	40×60			0.89～1.02 0.96	120	2
混凝土/岩				0.98～1.1 1.04	49～420 283	

（3）软弱夹层物理性质试验成果表

夹层名称及编号	天然状态			流限	塑限	颗粒组成（%）				土定名
	组数	含水量（%）	容重（g/cm³）	（%）	（%）	>0.05	0.05～0.005	<0.005	<0.002	
T_1、T_4、T_{14}夹泥	3	41.6	1.75	58.6	22.2	32.5	28.3	39.2	27.0	F_{14}夹泥
T_1、T_6、T_7及T_{14}夹泥	4	84.4	1.56	80.2	30.4	49.8	14.1	30.9	55.0	NWW夹泥
T_1、T_3夹泥	2	22.8	2.18	33.8	18.8	9.9	37.7	52.4	33.6	层面夹泥

（4）软弱夹层力学性质试验成果表

夹层名称及编号	室内抗剪试验				现场抗剪试验				备注
	方法	组数	峰值		方法	组数	峰值		
			tgφ	c(kPa)			tgφ	c(kPa)	
T_1、T_4、T_{14}夹泥	土工	3	0.05～0.06	3～12					夹泥厚6mm，重塑样品
T_1、T_4、T_{13}、T_7夹泥	土工	4	0.01～0.03	2～14					
T_1、T_3夹泥		2	0.09～0.10	10～12					
NNW裂面夹泥	固结、快剪	4	0.2～0.5 0.29	25～59 40					
灰岩夹泥					平剪	5	0.92～2.36 1.37	80～330 150	

（5）岩石抗剪强度建议值与选用值

岩石名称及风化程度		抗剪断强度		抗剪强度		备注
		tgφ	c(kPa)	tgφ	c(kPa)	
玉龙山灰岩		1.50	2400	1.5	400～800	试验推荐
方解石，新鲜		1.19	1050	1.0	200	
方解石，风化		0.94	500	0.8	100	
溶蚀夹泥		0.25	35	0.25	35	
河床灰岩		0.95	1450			选用值
九级薄页岩层面		0.30	100			
右岸	NWW裂面			0.6	300	
	NE裂面			0.78	1000	
	缓倾角裂面	0.9	1400			
左岸	NWW裂面			0.75	950	
	NW裂面			0.70	700	
	缓倾角裂面	0.9	1400			
F_{13}		0.65～0.75	300～400			
f_{13}夹泥				0.25	30	

盐水沟水电站

一、工程概况

盐水沟水电站位于云南会泽县境内金沙江支流以礼河上，以礼河工程共分4级开发，一级为毛家村电站，二级为水槽子电站，本电站为梯级开发的第三级电站。其主要水工建筑物有首部均质土坝，高6m，形成一调节池，库容为12.1万m^3，后接引水隧洞和高压管道。洞径2.9m，总长度为4565m；电站总水头为723m，地下厂房尺寸为80.3m×12.8m×21.8m（长×宽×高），装机容量为14.4万kW。本工程于1957年开工，1966年

发电。

二、工程地质条件

1.地层岩性：干沟调节池为洪积和湖积层，盐水沟引水道和地下厂房区出露岩层均为二迭系峨嵋山玄武岩，厚约1500m，可分为3层：I层以斑状玄武岩为主，II层为致密玄武岩与火山角砾岩的互层，III层以致密玄武岩为主。另有凝灰岩层，产状为NW40°～43°/SW，∠35°～37°，质软，多风化成粘土或片状，层面有泥化现象，与钢管道夹角小，对工程建筑物有影响。

2.断裂构造：本区处于鄂黔滇褶皱西缘，在康滇地块东侧。盐水沟向斜构造为NNW向，褶皱断裂较发育，西距小江大断裂约3km。水工建筑物通过大小断层有110条，以NW向正断层最发育，倾角陡，且有平移性质。规模较大的有F_{23}、F_3和F_4等，

试验项目		室内试组数
物理性质		127
抗压强度	干燥	
	饱水状	
抗剪强度		3
变形试验	承压板	
	狭缝法	
	双筒法	
	径向千斤顶	
	动力法	
应力测量	应变计	
	恢复法	

NE向断层以平移断层有F_{10}和F_{19}。

节理主要有3组：（1）NW55°～75°/NE，＜50°～85°；(2)NW 45°～75°/SW，∠30°～55°，为层面节理，裂隙宽3～5cm；（3）NE64°～85°/NW，∠55°～85°。尤以第一组最发育。

三、工程中岩石力学的问题

1.以礼河工程为我国第一座高水头引水电站，对其高压管道围岩（玄武岩和凝灰岩）的物理力学性质必须查明。

2.对高压水工隧洞设计，按当时设计规范必须首先确定围岩的变形特性—岩石弹性模量和抗力系数。为此，水利电力部决定在本工程首次进行双筒法和千斤顶法（即承压板法）等现场岩石试验。

四、试验工作量

验	现场试验		备注
块数	组数	块（点）数	
1254			
1143			
	2		
		30	
		4	
	1处*	12	*试验洞三个断面
	3		
	12		其中部分为钻孔解除
	4		

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

岩石名称及风化程度	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	抗剪强度（峰值） 类型	抗剪断 tgφ′	抗剪断 c′(kPa)	抗剪 tgφ	抗剪 c(kPa)	备注
$P_2\beta$玄武岩，坚硬	2.98	0.76	0.22	281	229.2	岩/岩	0.717	2			
	2.91～2.98 2.94(5)	1.44	1.19	131.8～342 203.9(5)	55～126.1 85.6(5)						
$P_2\beta$玄武岩，软弱	2.98	5.71	1.05	331							
$P_2\beta$玄武岩，多气孔	2.79～2.91 2.86(3)	2.99	0.96	99.6～147.9 128.2(3)	82.3～97.4 87.9(3)	混凝土/岩			0.72	2	
$P_2\beta$，玄武岩，弱风化	2.84	5.67	1.14	78.5	67.8	混凝土/岩			0.7～0.73	2	
火山角砾岩	2.71～2.96 2.83(3)	4.87	1.58	105.3～197 144.1(3)	52～77.6 69(3)						
全风化玄武岩						岩/岩	0.364～0.57 0.49(3)	17～72 51			固结慢剪

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称及风化程度	试验条件	变形试验			地震法	抗剪强度（峰值）				
		方法	E_o (GPa)	E_t (GPa)	E_d (GPa)	类型	抗剪断		抗剪	
							$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)
$P_1\beta$玄武岩；坚硬	平行节理	承压板		20.4～34.0 23.4(4)	68.5					
	垂直节理			13.7(2)						
玄武岩，软弱			0.25～1.49 0.87	3.75～4.75 4.3		岩/岩			0.249～0.256 0.25	30～90 45
玄武岩，破碎			1.21～3.86 2.5	3.57～15.68 9.9(5)	34.0					
玄武岩，全风化						岩/岩	0.089	0		
火山角砾岩，破碎			0.66～8.52 3.47(4)	2.14～14.2 8.2(3)						

注　表列分数中，分子为范围值；分母为平均值，括号内为试验组数。

（3）围岩弹性抗力系数试验成果表

岩石名称	地质条件	最大荷重 (MPa)	抗力系数 K_0(MPa/m)	试验方法	备注
$P_1\beta$玄武岩	坚硬，致密，节理不发育	0.7	1.860～3.390 2.520	双筒法	竖坑直径 90cm
	较破碎	1.95	2.260～2.810 2.585	径向千斤顶	试洞直径 1.8～2.0m
火山角砾岩	节理不发育，质地疏松	0.3	0.330～0.578 0.554	双筒法	
凝灰岩	紫褐色，呈片状，岩性软	0.2	0.00399～0.00748 0.005	双筒法	

（4）地应力测试成果表

岩石名称	深度 (m)	最大地应力 σ_1 (MPa)	最大地应力 倾角 (度)	最小地应力 σ_2 (MPa)	最小地应力 倾角 (度)	备注
$P_1\beta$玄武岩，坚硬	175	18.3 4.9	74.5 46	18.2 2.5		洞壁解除与恢复
火山角砾岩，坚硬	40	−9.1 4.4	54.7 77	−6.6 −0.72		

（5）岩石抗力系数建议值

岩石	K_0(MPa/m)
玄武岩，坚硬	1.200～2.000
玄武岩，破碎	0.300～0.600
玄武岩，弱风化	0.080
火山角砾岩	0.300～0.600

鲁布革水电站

一、工程概况

鲁布革水电站位于云南罗平县境内黄泥河上。主要水工建筑物有：粘土心墙堆石坝，坝高101m；左岸有溢洪道；压力隧洞，洞径8m，长9428m，两条压力管道洞径为4.6m，长度分别为508m和543m；地下厂房尺寸为125m×18m×39m（长×宽×高），埋深300m。总库容为1.11亿m³，装机容量60万kW。1977年选坝，1979年进行初步设计，1982年开工，1989年第一台机组发电。

二、工程地质条件

枢纽地区出露的地层有石炭系、二迭系和三迭系。石炭系中上统灰岩主要在雄武背斜轴部河谷深切，两岸坡在75°以上

1.岩性：三迭系下统永宁镇组（T_{1y}）为石灰岩夹泥岩，分布于坝址和厂房区。三迭系中统关岭组（T_{2g}）为白云岩、石灰岩，其分布在坝址、引水隧洞及地下厂房区。岩层产状由坝区的NW35°/SW，∠30°～40°呈单斜向下游展布转为厂区的走向大致为NW或SW/NE，∠10°～35°。

2.构造：工程位于雄武构造带的西南端，断裂带由走向近似、相距100m左右的3～4条断层组成，自北东向南西延伸至隧洞区。主要断层F_{201}、F_{206}呈舒缓波状、多由角砾岩、糜棱岩组成，一般均较宽，还有F_2和F_{205}等断层穿过坝基和隧洞，不同程度影响着岩层的完整性及厂房区洞室应力状况。厂区主要节理有4组：（1）NE30°～60°/NW，∠30°～60°，延伸较长，多为方解石充填，局部夹泥；（2）NW30°～60°/SW，∠60°—70°，多充填钙质；（3）NW66°～85°/SW，∠30°～60°，常见溶蚀夹泥；（4）NEE/NW，∠45°～60°，延伸长5～10m。

三、工程的主要岩石力学问题

1.本枢纽两岸岩石风化强烈，右岸受断层影响完整性较差，主

要问题是白云岩和灰岩的各向异性程度及其力学性质有待论证。

2.地下厂房区有F_{203}（NE40°～50°/SE，∠25°～45°）和F_{313}（NE10°～45°/SE，∠45°～60°）交汇，并在主副厂房洞室下方通过，应研究厂区地应力场和岩体的稳定性。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验		备注
		块数	组数	点(块)数	
抗压强度	干燥	188			
	饱水状	186			
抗剪强度	抗剪断		7		*室内为三轴试验
	抗剪	54*	6		
	裂隙面		1		
变形试验	室内	66			包括断层带13组
	承压板			54	
	狭缝法			3	
	声波法	27			
物理性质		55			
应力测量			3	6	三孔交汇共65次

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩石物理力学特性试验成果表

岩石名称	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	变形特性 E(GPa)	变形特性 μ	抗剪强度 类型	抗剪强度 组数	抗剪强度 峰值 tgφ	抗剪强度 峰值 c(kPa)
T_{1y}白云质灰岩，完好	2.7～2.77 2.74(7)	1.39	0.3	60.4～132.9 102.2(7)	38.9～123.9 80.3(7)	49～57	0.28	平行层面	1	0.594	1490
白云质灰岩，层理明显	2.85(2)	1.75	0.3	100.7(5)	75.4(6)	49	0.22	垂直层面	1	0.456	3350
T_{1g}灰质白云岩，坚硬完整	2.69～2.79 2.74(10)	1.4	0.38	48.7～126.7 82.5(10)	46～134 82.4(10)			平行层面	1	0.354	2000
T_{1g}灰质白云岩，节理发育	2.83	2.12	0.35	947(3)	473(3)	55	0.27	垂直层面	1	0.249	2910
T_{1g}灰质白云岩，角砾状	2.69～2.78 2.74(9)	1.71	0.34	64.6～106.8 8.13(9)	21.9～121.0 72.6(9)			平行层面	1	0.384	3450
T_{1g}灰质白云岩，角砾状								垂直层面	1	0.424	2850
白云岩，坚硬完整	2.72～2.82 2.75(13)	2.43	0.46	36.0～229 114(74)	12～246 89(77)	51.5	0.24				

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称（年代、岩性、风化程度）	变形特性				纵波速（m/s）
	条件	方法	E_o（GPa）	E_s（GPa）	声波法
白云质灰岩，坚硬		承压板	13.1～19.7 16.4(2)	17.2～96.2 56.7	
			57.5	73.5	
白云质灰岩，层理发育	垂直层面	承压板	0.97	2.59	
灰质白云岩，完整	垂直层面	承压板	17.7～3.6 1.07	3.32～7.7 5.5	4400～5800
	平行层面		41.8～76.4 50.3(7)	42.8～120 56.6(6)	
灰质白云岩，方解石脉	平行层面		7.6	39.4	
	垂直层面		3.6	7.7	
白云岩，坚硬		承压板	13.2～39.3 28.6(4)	20.7～166.5 72.2(4)	
白云岩，节理发育			7.22～8.55 8.6(7)	11.3～18.9 13.7(7)	
			1.47	3.49	
泥灰岩，完整	平行层面	承压板	5.8～10.9 8.15(3)	9.5～20.4 14.0(3)	
泥灰岩，节理发育	平行层面		1.88～2.2 2.04	2.6～4.2 3.4	
	垂直层面		2.38		
泥灰岩	垂直层面	狭缝法	4.71～7.07 5.9(3)	6.64～10.6 8.9(3)	
	平行层面		1.07	1.38	

抗剪试验							备注
类型	试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断		抗剪		
			tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)	
灰岩/灰岩	40×40	1	1.96	62	1.28	110	
岩/岩	50×50	1	0.384	150	0.268	1000	
混凝土/岩	50×50	1	1.92	1820	1.43	80	
岩/岩		1	0.675	70	0.649	30	溢洪道处，层间挤压面（充填碎屑；砂质粘土）

（3）地应力测试成果表

岩石名称	深度 (m)	最大主应力			中间主应力			最小主应力			备注
		σ_1 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_2 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	σ_3 (MPa)	方位角 (度)	倾角 (度)	
T_{1y}白云质灰岩	300	17	NW60～80	20～30	11.8	SE10～20	40～60	4.5	NE30～50	20～35	上游支洞内
T_{2g}灰质白云岩		14.4	NW40～60	10～20	10.6	SW40～60	40～60	4.0	NE40～50	10～30	主洞
		17.3	SW70	35～50	13	SE20～50	40～50	5.2	NE25	0～20	下游支洞内

（4）岩体特征资料表

岩石	编号	岩体裂隙情况					备注
		性质	产状	裂隙糙度 (cm)	充填物特征	连续性	
泥灰岩	2°结构面	层间挤压	倾角32°	10～40	砂质粘土，局部夹碎屑、小砾石	连续	厚5～10cm，较干燥（在溢洪道部位）

（5）岩石力学参数建议采用值

岩石	抗压强度 (MPa)	弹性模量 E(GPa)	抗剪强度		备注
			tgφ	c(kPa)	
白云岩、灰岩，块状	大于 60	7～30	0.65～0.70	100	混凝土/岩
白云岩、灰岩，层状		平行层面 5～7	0.6～0.65	50～100	
白云岩、灰岩，碎裂状	30～50	2.5～4.0	0.55～0.60	30～50	混凝土/岩
泥灰岩，层状，碎裂	小于 30	1～1.5			
钙质节理			0.6～0.65	50～100	
层间挤压，风化夹层			0.2～0.25	20～50	

漫湾水电站

一、工程概况

本枢纽位于云南省云县境内澜沧江上，距昆明市506km。其主要水工建筑物有大坝、电站和泄洪洞等，大坝坝型未定（混凝重力坝或土石坝），最大坝高126m，压力管道长109m，洞径7.5m，左岸2条导流洞，断面尺寸为15m×18m，总长890m，泄洪洞断面尺寸为12m×15m。坝后厂房，总库容9.2亿m^3，装机容量150万kW，为一座以发电为主的水利工程。本工程1981年选坝，1986年开工，现正在施工中。

二、工程地质条件

1.岩性：坝址出露地层为中三迭统的酸性火山岩，按其喷发旋回由下至上分为流纹岩、流纹质火山碎屑岩、流纹岩。工程布

置在上部的流纹岩段。岩体呈块状，性坚硬，无原生软弱夹层，流层也不发育，河谷岸坡为42°～52°。

2.断裂构造特征：坝区断层发育，属于低次级的伴生或派生构造，全区揭露共有65条，对坝区影响较大的有F_{301}、F_{357}、F_{351}、F_{326}及F_{305}等。其发育基本方向有4组：北西、东西、南北及北东，以北西向一组最发育，左岸F_{393}断层产状NW20°～30°/SW，∠56°～67°；还有小断层十分发育，平均2.8m一条，长度在10～50m；顺坡向断层延伸长达20m，断层破碎带宽度不一（20～200m），特点是充填物以碎屑为主，倾角陡。

节理主要有4组：（1）NW20°～40°/SW，∠40°～53°；（2）NW60°～70°/SW，∠50°～65°；（3）NW40°～60°/NE，

试验项目		室内试验	
		组数	块数
抗压强度	干燥	22	198
	饱水状	25	228
抗剪强度	抗剪断		3
	抗剪	13	30
变形试验	电阻片	4	27
	承压板		
	狭缝法		
	动力法	10	
应力测量	钻孔解除		
物理性质		91	点荷载501块
剪切模量			

∠45°～65°；（4）EW/S，∠70°。局部密集成带。

两岸岩体风化，全风化和强风化带均在20m左右，左岸风化带较深；弱风化带为17～63m，右岸弱风化带深为10～25m。

三、工程中的岩石力学问题

1.坝基为流纹岩，无原生软弱夹层，节理裂隙面粗糙，延伸不远，故坝基抗滑稳定性受混凝土块与基岩接触面控制。

2.坝区断层较多，局部构造挤压带有蚀变，裂面上有高岭土，加上岩性变化，其力学性质有待查明。

3.左岸导流洞进口段，受断层交汇影响，岩体较破碎，稳定性差，施工中曾发生边坡失稳事故，蓄水后仍可能有坍滑。

四、试验工作量

现场试验		备注
组数	块（点）数	
	5	现场为载荷试验 试件46cm×46cm
8	103	另有软弱夹层4组
	58点	
	2	
	18	
2	4孔	
		其中断层角砾岩11组
11		软弱夹层/岩石

五、岩石力学诸参数

岩石名称	比重	容重 (g/cm³)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)
T₂流纹岩，微风化	2.69	2.55～2.70 2.66(22)	1.48	0.29
T₂流纹岩，弱风化	2.70	2.50～2.78 2.65(41)	2.24	0.36
T₂流纹岩，弱风化（节理有泥）	2.70	2.28～2.7 2.57(24)	5.49	1.59
凝灰熔岩，微风化	2.71	2.62～2.67 2.65(5)	2.36	0.55
角砾岩(糜棱岩泥)	2.69	2.43(7)	10.0	3.72

注 1.表列分数中，分子为范围值；分母为平均值；括号内为试验组数；

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	试验条件	变形特性 方法	E_o (GPa)	E_r (GPa)	波速 (m/s) 声波法	类型
T₂流纹岩，新鲜	平行节理		52.4	61.1		
T₂流纹岩，微风化		承压板	26.7～58.9 41.4(3)	43～83.5 58.2(4)	5286	
T₂流纹岩，节理发育		承压板	7.0～14.9 11.5(7)	8.4～36.4 35.1(7)		

（1）室内岩石物理力学性质试验成果表

抗压强度（MPa）		变形特性		μ
干	湿	E_s (GPa)	E_d (GPa)	
25.9～359.8 138.2(37)	95.5(63)	61～95 70(9)	71～93 80.1(5)	0.21
10.3～268 116.9(84)	13.4～262.2 97.6(136)	41～107 70(13)	49～99 76(4)	0.22
20.1～164 76.8(30)	25～123 39(78)	18～75 54(5)		0.17
133.2(5)	119.4			
40.8～99.6 56.6(7)	22.7～70.1 27.3(7)	25	35	

2.室内三轴3块，新鲜流纹岩$tg\varphi = 1.03, c = 21.3$。

抗剪强度（峰值）						备注
试件尺寸 (cm)	组数	抗剪断		抗剪		
		$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)	
		1.56	16600			混凝土标号 160～200*

岩石名称	试验条件	变形特性			波速(m/s)	
		方法	E_o (GPa)	E_r (GPa)	声波法	类型
T，流纹岩，节理发育	斜交	承压板	13.7	36.4		
块状流纹岩；弱风化		承压板	4.3～18.7 10.1(13)	7.3～29.4 16.7(13)	4820～5257	混凝土/岩
块状流纹岩，节理闭合			8.6	13.9		
流纹岩，网状，弱风化		承压板	0.7～3.94 2.3(7)	1.25～7.42 2.6(6)	4321～4632	岩/岩
		狭缝法	3.07	4.66		
蚀变流纹岩，弱风化					3300～4000	岩/岩
角砾岩，断层带		承压板	2.8～7.7 5.3(2)	4.5～9.2 6.6		
断层(碎质土厚10～20mm)						夹层/岩

（3）地应力测试成果表

岩石名称	最大地应力			中间地应	
	σ_1 (MPa)	方位角(度)	倾角(度)	σ_2 (MPa)	方位角(度)
T，流纹岩	1.17	28	18.5	0.84	−34.4
	1.06	40.3	21.3	0.86	−20.3
	3.61	30.1	13.3	3.0	126

续表

抗剪强度（峰值）						备注
试件尺寸(cm)	组数	抗剪断		抗剪		
		tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)	
	2	1.73～2.14 1.93	700～1250 963			
	1	1.62	480	1.14	0	
	2	1.43～1.73 1.58	1130	0.9～0.97 0.93	300～400 350	
						现场抗压强度 0.25～0.38MPa
	3	0.364	60	0.314～0.48 0.35(3)	36～50 43(3)	

力	最小地应力			深度	备注
倾角(度)	σ_1(MPa)	方位角(度)	倾角(度)	(m)	
53	0.46	−73.2	30	100	在洞323内
50.6	0.33	−63	30.5		在洞323内
23.3	1.49	92.5	62.3		在洞304内

（4）岩石参数建议值

岩　　石	类　　别	抗剪强度	
		tgφ	c(kPa)
流纹岩，弱风化	岩/岩	0.35～0.40	20～40
流纹岩，弱风化	混凝土/岩	0.8	400

羊卓雍湖水电站

一、工程概况

羊卓雍湖水电站是一座拟建的引水式电站。电站厂房位于西藏自治区首府拉萨市以南 90km 的贡嘎县干巴乡境内，装机容量12万kW，通过一条长5864m、直径2.7m的隧洞，从位于雅鲁藏布江以南喜马拉雅山以北的天然的羊卓雍湖取水，该湖蓄水量148亿m^3，电站尾水注入雅鲁藏布江。本工程于 1974 年勘测，1977年完成初步设计，1982年进行补充设计。

二、工程地质条件

1.岩性：主要岩层包括上三迭统郎杰学组浅变质砂板岩夹薄层淡水灰岩，以及侏罗-白垩系黑色页岩、泥岩等。其中，引水隧洞进水口岩层为上三迭统郎杰学组折岗段互层的砂板岩；引水隧洞所经地段岩层的扎马龙段互层的砂板岩及部分辉绿辉长岩；厂区岩层为郎杰学组动波段下部互层的砂板岩。

2.构造：羊卓雍湖引水式电站位于雅鲁藏布江断裂带范围内，其构造特征以线状褶皱（构造线方向 NWW～EW）为主。一般来说，引水隧洞进水口岩体裂隙发育，完整性差，岩层呈NW75°～80°/NE，∠10°～30°的单斜构造；隧洞区岩层褶皱剧

烈，且有F_1、F_2、F_3等几条规模较大断层。构造线以东西向和北西向为主，与洞轴线呈较大交角，尤其是隧洞线穿过抗巴拉向斜、白朗复向斜和羊圈倒转背斜的核部及断层部位，岩体破碎。作为主厂房基础的互层砂板岩无大断裂通过，基岩强风化深度一般为 6～13m。

三、主要岩石力学问题

1.引水隧洞进水口岩体变形及强度稳定问题。

2.引水隧洞经过向斜、背斜核部及较大规模断层时洞体变形稳定问题。

四、试验工作量

试验项目		室内试验	现场试验
		组数	组数
抗压强度	干抗压	38	
	饱水状	36	
抗剪强度	裂隙面		6
变形试验	承压板法		45
物理性质		40	

五、岩石力学诸参数

（1）室内岩块物理力学特性试验成果表

岩石名称及风化程度	试件组数	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)
层状粉砂岩，新鲜完整	2	2.71	2.61	0.615
层状粉砂岩	10	2.72	$\frac{2.67\sim2.63}{2.65}$	0.31
层状细粉砂岩	3	2.72	2.64	0.344
层状粉砂岩，弱风化	4	2.71	$\frac{2.44\sim2.26}{2.35}$	3.04
厚层细粉砂岩，风化	2	2.63	2.61	
厚层状细砂岩	10	2.73	$\frac{2.67\sim2.65}{2.66}$	0.28
辉长岩	3	3.05	2.99	0.112
灰绿色泥质板岩	4	2.74	2.51	0.718
砂质板岩	2	2.68	2.60	

注　表列分数中，分子表示大值平均～小值平均，分母表示算术平均值。

抗压强度（MPa）		变形特征		备注
干	湿	弹性模量 E (GPa)	泊桑比 μ	
91.0	51.8			柱状试件5cm×5cm×10cm
150.6～104.1 124.1	117.8～68.1 90.1			
150.8	89.0	10～12	0.2～0.25	
77.4～51.4 64.4	36.1～16.3 26.3			
88.2				
188.4～126.3 154.5	129.8～79.8 110.9	12～14	0.2～0.25	
153.9	96.7	13	0.2～0.25	方形试件：5cm×5cm×5cm
121.0	73.6	4～8	0.30	柱形试件：5cm×5cm×10cm
		8～10	0.30	

（2）现场岩体力学特性试验成果表

岩石名称	试件组数	岩体类型	试验条件	变形特性		
				试验方法	变形模量 E_o (GPa)	弹性模量 E_e (GPa)
辉绿辉长岩	2		天然	承压板	12.79	22.7
断层角砾岩	2		//		0.65	2.96
泥质板岩	1		//	承压板	3.547～1.054 1.740	8.879～1.693 3.426
	6		⊥		1.019～0.326 0.644	1.216～0.555 0.900
泥质板岩	2	破碎	⊥	承压板	0.14	0.367
	1	完整	⊥		6.84	14.28
砂质板岩	6		天然		3.91～1.67 1.88	5.196～1.67 2.800
细粉砂岩	7		//	承压板	2.152～0.756 1.190	4.531～1.83 2.475
	8		⊥		3.04～0.504 1.138	4.405～0.671 1.104
厚层状砂岩	4	混合		承压板	5.59～27.67 14.2	4.344～1.015 26.24

注　1.承压板直径50.5cm；
2.表列分数的含义与前表同。

抗剪试验							备注
试验类型	试件尺寸(cm)	组数	抗剪 屈服值 tgφ	抗剪 屈服值 c(kPa)	抗剪 峰值 tgφ	抗剪 峰值 c(kPa)	
本身	30×30	1	0.388	110	0.456	130	弱风化，层面间无充填，天然状态
本身	30×30	2	0.415	77	0.488	99	弱风化，层面间无充填，浸水状态
砂岩/板岩	50×50	1	0.11	0	0.20	0	微～弱风化，接触面有白色泥膜1～3mm
砂岩/板岩	50×50	2	0.26～0.41 / 0.355	20	0.3～0.48 / 0.39	24	微～弱风化，接触面有泥膜1～5mm，面有起伏
							完整，风化，破碎

（3）岩石参数建议采用值

岩　石	容　重 (g/cm³)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	变形模量E_0 (GPa)	弹性模量E_r (GPa)	μ	tgφ	c(kPa)
辉绿辉长岩	2.99	150	100	13	23	0.25	0.60	0
厚层状细砂岩	2.66	150	110	14	26			
细粉砂岩	2.65	120～150	90	1.2	2.5	0.25	0.5～0.55	0
砂质板岩	2.60			2.0	2.8			
泥质板岩	2.51	120	70	1.7	3.4		0.40	0
断层角砾岩								
混凝土/板岩							0.4～0.5	0

第二部分　岩石的各类

力学参数汇总表

表 1　　混凝土与岩石接触面抗剪强度参数汇总表

岩石名称	岩体性状	室内抗剪强度		现场抗剪强度				混凝土标号	组数	试件尺寸(cm)与试验方法	工程名称	备注
				抗剪断		抗剪						
		tgφ	c (kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)					
闪长玢岩				2.25	620				1		三门峡	
	新鲜	0.89	410	0.72	1050	0.53	330	125	2	50×50	丹江口	
安山玢岩	条带状			1.2～1.23				200～251		50×60	枫树坝	人工斜面，起伏差2cm
	细晶			1.04～1.19	860	0.87	600	100～163		50×60		
流纹岩				1.93	963				2	50×60	泼湾	
				1.0	1080				2		新安江	
流纹斑岩	新鲜			1.0	108	0.97	200	220	1	50×50	湖南镇	起伏差1cm
石英斑岩	弱风化			1.57	1370	1.06	590	170	3	50×50	故县水库	
				1.39	1520	0.99	575	200	4	50×50		
	微风化			1.09	1080			148	3	50×50		
花岗斑岩	弱风化			1.72	1020	0.5	680	150	1	50×60，斜推	麻家边水库	
	新鲜	0.79	0					115	1		紧水滩	
	弱风化			0.31～0.53	500	0.31	400					

续表

岩石名称	岩体性状	室内抗剪强度		现场抗剪强度				混凝土标号	组数	试件尺寸(cm)与试验方法	工程名称	备注
				抗剪断		抗剪						
		$tg\varphi$	c (kPa)	$tg\varphi'$	c'(kPa)	$tg\varphi$	c(kPa)					
花岗闪长岩	新鲜			2.10	819	1.76	554	262	1	50×50	高湖	
	弱风化			2.02	918				1	50×50		
	微风化	0.63	13	1.6	610	1.0	70	170	3	25×26	龙羊峡	起伏差1cm
	弱风化	0.59	11	1.28	600	0.8	400	170	2	25×26		
				1.05	800	0.88	340	170	2	25~26		
花岗岩				1.79	2080	1.35	55	309	2	50×50	水口	
				1.57	1350	1.37	270	250	2	50×50		
				1.53	1120	1.41	418	250		100×100		
	斑状	1.34*	1020*	1.52	930	0.78	400		3		大广坝	*三轴值
黑云母花岗岩	斑晶弱风化	1.06	160	1.47	680			166	1	50×50	广东南告	
	强风化			1.43	820			140	1	40×60	欧阳海	起伏差0.3~0.5cm
花岗岩				1.38	1510	1.35	700	200	1	50×50	水口	
				1.22	210	1.26	180	200		50×50	山东流清河	起伏差0.5cm

				1.21	1880	0.81	600	200～253		50×60	新丰江	人工磨面，起伏差2cm
				1.20	1000	0.95	0	200	2	60×60，平推	拉西瓦	
		0.58	60	1.19	1408	1.02	598		5	50×50	水口	
	微风化	1.11	0					98～117	12	20×20	龚嘴	饱水状态
	弱风化	0.91	0					200～210	5	20×20		
花岗岩	中粗粒	0.82	410						2		东江	40*金刚砂磨面
	中细粒	0.79	270						2			
	粗粒	0.79	160			1.13	220		2			
	节理面	1.08	420						4		东江	起伏差0.1～0.3cm
	斑状，新鲜	0.93	75			0.85	550		1		大坳	缓节理面
		0.58	60	1.19	1408	1.02	598		5	50×50	水口	
黑云母花岗岩	斑晶，微风化			1.24	1032			120～130	5	40×60	欧阳海	
	弱风化			1.22	1080	0.87	450	154	2	60×50	棉花滩	起伏差小于0.5cm
玄武岩	新鲜			1.65	880	1.63	500	150	2	50×50	铜街子	
	微风化			1.54	450	1.24	300	175～189	2	50×50	二滩	起伏差0.5～2cm
	弱风化			0.96	700	0.67	200	175	2	50×50		
	多气孔	0.72	2								盐水沟	光面

续表

岩石名称	岩体性状	室内抗剪强度		现场抗剪强度				混凝土标号	组数	试件尺寸(cm)与试验方法	工程名称	备注
				抗剪断		抗剪						
		tgφ	c(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)					
玄武岩	弱风化	0.72	2								盐水沟	光面
	新鲜	2.45*	1480*					220	10	15×15	册田水库	*抗剪断值
安山凝灰集块岩		1.04	90	1.16	1300	0.80	900	200			桓仁	
凝灰安山岩		0.94	835						4		辽宁碉得海水库	
安山岩	强风化			1.2	1780	0.66	270	150		50×50	黑龙江桃山水库	起伏差小于2cm
正长岩				1.22	500	1.14	400	158～280	2	50×50	二滩	起伏差1～5cm
燧石	厚层	0.78	650	1.26	1060	1.08	300	100～150			桃花江(子良岩)	起伏差0.5～1cm
闪云斜长闪长岩	块状			1.70	1000	1.3	100			50×60	三峡	太平溪坝址
	微风化			1.36	1910	1.06	550		4	50×60		三斗坪坝址
	弱风化			1.29	1600	1.03	300		2	50×60	三峡	太平溪坝址
	新鲜			1.20	1600	1.07	550		4	50×60		三斗坪坝址
	微风化			0.84	1280	0.74	600		3			
				0.83	1600							太平溪坝址

石英闪长岩	微风化			0.86	1600	0.85	550				石泉	
辉绿岩	块状新鲜			1.50	218			131	8	30×30	丹江口	起伏差 0.5~1cm
	微风化			1.17	1300	0.78	150	125	7	50×50		
	弱风化	1.13	580	1.04	858	0.77	380	100~150	4	50×50	岩滩	
	强风化	0.90	600	0.83	467	0.71	173	150	3	50×50		
辉长辉绿岩	新鲜微风化	1.07	900	1.30	1327	1.03	830	150~185	3	50×50		
辉绿岩		0.56	360					120~180	12	20×20	碧壩	天然裂面，饱水状
混合岩	弱风化	0.86*	150	1.23	180						白山	*天然节理，小值平均
	片麻状新鲜			1.19	2260	1.11	800	200	3			
	新鲜	0.94	650	1.06	2160	1.0	1500	175~220	5	50×50		起伏差 0.5~1.0cm
凝灰熔岩	块状，新鲜			1.48	800	0.79	166	150	2	60×50	亭下	起伏差 1cm左右
碎屑凝灰岩	弱风化			1.33~1.65	1400~1700				3		临江	
熔凝灰岩	块状，微风化			1.09	2300	0.89	480	130~185	3	60×50	豌窑水库	起伏差 0.2~0.4cm
玻屑凝灰岩	流纹，微风化			1.15	1380	0.84	446	200	1	60×50	下岸	起伏差 0.5cm
凝灰岩				1.11	4200						响洪甸水库	
				0.99	260	0.98	600	150	1	50×50	铜街子	
	变质，微风化	0.65	600								碧口	

续表

岩石名称	岩体性状	室内抗剪强度		现场抗剪强度				混凝土标号	组数	试件尺寸(cm)与试验方法	工程名称	备注
				抗剪断		抗剪						
		tgφ	c(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)					
灰岩	厚层			0.83	1350	0.67	800	175	1	40×60	江坡	起伏差0.5~0.6cm
	网状			0.76	1550	0.74	900	197~348	2	40×50		起伏差0.5~0.8cm
				0.67	51				1		四川白马寺	
灰岩夹泥岩	弱风化			1.42	950	1.14	1680		1	40×50	大化	Ⅱ坝线
灰岩、泥灰岩	较软	0.89	22	0.75	310			173	1	50×50	天桥	
灰岩	白云质			1.92	1820				1	50×50	鲁布革	起伏差0.5~1cm
	鲕状			1.60	1180	1.08	590	200		50×50斜推	隔河岩	起伏差<2cm
灰岩	白云质	2.60*	1230	1.52	1010			173	3	50×50	天桥	室内7cm×7cm抗剪断
				1.32	950				1		万家寨	
	新鲜	1.30	690	1.32	1440	1.1~1.13	200~550	111~287	8*	40×60	乌江渡	*有一组试件1m×1m
	白云质，页状			1.32	1300	0.78	1200	146~180	2	40×60	江-坡	室内试件20cm×30cm
	厚层			1.20	1370	0.87	1050	200~358	5	40×60		起伏差0.5~0.8cm
灰岩	白云质，微风化			1.30	1000	0.91	500		2	50×60	天福庙	

	弱风化			1.25	870	0.96	100		1	40×40	青铜峡	起伏差2cm左右
	白云质	0.60	46	1.23	2740			138	1	50×50	天桥	
	凝灰质			1.15	320	0.9	230	167	2	50×50	白色水库	
灰岩	层状			1.04	1605	0.89	677	203	6	50×50	江垭	起伏差0.3~0.5cm
灰岩	龟裂纹，微风化			0.91	800	0.57	500	200	I	50×60	湖北塘口电站	起伏差±2cm
	弱风化			0.85	312			200	2	50×50	黄壁庄	起伏差0.2~2cm
	层状滑石化			0.74	1300	0.65	800	147~299	2	40×50	江垭	
粘土岩	砂质，新鲜			1.31	600	0.99	225		2	60×50	偏窗子水库	
	砂质			1.17	50	0.57	85	150	2	50×50	马迴水库	
				1.08	270	0.91	150	90	I	50×50	军渡	
	弱风化			1.03	1360	0.96	1000	140~150	3	50×60	巩河	
						0.64	200	200		50×60		
页岩	砂质			0.75	1800	0.69	440		3	40×40	宝珠寺	
		0.67	167						1		双牌	
	坚硬			0.88	690	0.84	240				盘石头	
				0.92	290	0.92	160	200		50×60，斜推	隔河岩	
页岩		0.75	130	1.07	770				2		龙滩	起伏差<0.5cm

续表

岩石名称	岩体性状	室内抗剪强度		现场抗剪强度				混凝土标号	组数	试件尺寸(cm)与试验方法	工程名称	备注
				抗剪断		抗剪						
		tgφ	c(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)					
页岩	砂质					0.64			4		花木桥	
	砼质					0.47	30		1	70×70	汾河二库	有夹泥，浸水20天
	风化	0.42	50								黄材水库	
	泥质			0.42	163	0.40	104	185	1	50×60	广东青年水库	
泥岩	弱风化					0.63	170	120	5	40×50	大化水电站	
泥岩夹灰岩	弱风化					0.99	560	170	4	40×50		
砂岩	弱风化	0.92*							1		清河水库	*由抗剪断值推求
		0.75	101						3		双牌	
		0.59	36						4		大江边水库	
	强风化	0.53～0.57	0						5		清河水库	
	新鲜					0.95	310		1		沅口水库	
	风化					0.82	137		1			
	细中粒，变质			0.65	420	0.57	410	220	1	50×60	广东青年水库	

细砂岩		0.52～0.74	85～672	1.84	1630	0.65	138	170	2	50×50	柘溪	
				1.59	1180	0.96	0	140	2	50×50	军渡	
	新鲜			1.34	1640	1.04	260	150～180	1	60×60 平推	万安	
	块体	0.55	25	1.23	1360	1.05	338	240～252	2	40×60	沙天河	
				1.10	1830	0.84	1140	136	14		杨五庙	
				1.03	1550			157	1	50×60	广西苍梧爽岛	
	弱风化					1.03	250	150	1	50×60	万安	
		1.11*	55					156	5		大藤峡	抗剪断值
	泥质	0.97	15					127～150	1			
千里岗砂岩				1.66	660	0.4～0.6	200～380		5	50×50	新安江	
粉砂岩				1.76	500	1.70	0		2		紫坪铺	
				1.63	1050	0.93	245	150～180	1		万安	
	粘土质，完整			1.57	120	1.38	108	220～250	1	60×50	葛洲坝	
				1.40	2150	1.09	500		1	40×40	宝珠寺	
				1.39	1740	1.30	570		1	40×40		
	粘土质			1.38	360	1.08	145	220～250	4	60×50	葛洲坝	
	裂隙发育			1.34	230			220～250	2	200×100		

续表

岩石名称	岩体性状	室内抗剪强度		现场抗剪强度				混凝土标号	组数	试件尺寸(cm)与试验方法	工程名称	备注
				抗剪断		抗剪						
		tgφ	c(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)					
粉砂岩				1.15	1480	0.88	400		8	40×40	宝珠寺	
				1.10	290	0.81	147		1	60×50	葛洲坝	
	泥钙质			0.9	260	0.73	157	150～200	2	60×50		
		0.94	15						3		大藤峡	
	微风化			0.64	200	0.55	150	200		50×60	巩河水库	起伏差±2cm
砂砾岩	钙质			2.0	840	1.08	300	150	2	50×60	宝鸡峡	
砾岩	钙质，坚硬			1.7	2070	1.0	1290		1	100×60	葛洲坝	起伏差0.5～1cm
	泥质			1.23～1.30	1370～700	0.60	980	100～214	1	100×60		起伏差0.5～1.5cm
	紫红色，弱风化	0.6～0.74							2		清河水库	
	强风化	0.55～0.56							5			
石英细砂岩		0.97	250	1.14	1600	1.07	600	127～156	1		大藤峡	
	微风化			1.10	300	0.65	30		1		陈村	起伏差2～3cm
	新鲜			1.30	100	1.09	320		1	60×60		起伏差0.5～1cm

石英砂岩		0.76	549	1.81	1820	1.08	560		2		柘溪	
		0.58	1280	1.80	1820	0.58	305	170	3			毛面
	含碎屑层状，弱风化	0.88	139	1.45	1720			150	4	50×60	长源	
	弱风化	0.88	280	1.14	1300	1.03	1084	134	16，1*		杨五庙坝址	起伏差 0.5～1cm，*现场
	弱风化			1.11	310			200	2	50×50	桃林口水库	起伏差 0.2～1cm
	强风化			0.69	201			200	2	50×50		起伏差 0.5cm
	细中粒，变质			0.65	420	0.57	410	220	1	50×60	广东青年水库	
	破碎	0.885*			580	0.65～0.74	60～170		2		风滩	
						0.73	60		1		花木桥	
		0.65～0.67	130～200			0.91			2		风滩	
						0.90	1330		1		江垭	
		0.66	39						2		水府庙	
		0.62	156						1		双牌	
	风化	0.47	130						6		黄材水库	
		0.28	13	0.34	28				2		朱庄水库	
白云岩	厚层			1.38	1860	1.12	720	150～200	2	50×50	汾河二库	
						1.29	450			50×50		

续表

岩石名称	岩体性状	室内抗剪强度		现场抗剪强度				混凝土标号	组数	试件尺寸(cm)与试验方法	工程名称	备注
				抗剪断		抗剪						
		tgφ	c(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)					
白云岩				1.33	146	1.05	140	200	1	50×50	龙门	
				1.28	110				2		鲁布革	
白云岩夹页岩				0.55	30			150		70×70	汾河二库	浸水1天
板岩	泥质层状，微风化			1.54	1800	1.25	1350	115～170	2	40×60	数溪口	起伏差0.5～2cm
	泥质层状，弱风化			1.35	960	0.98	550	184～221	2	40×60		
砂板岩	带状	0.72*	676	1.23	1890	0.73	227	170	2	50×50	柘溪	起伏差1.5～2cm
泥板岩	微风化	0.73	550	1.10	1590	1.06	760		3		龙滩	*抗剪断 tgφ=0.91
板岩	砂质，新鲜	0.85	450	1.03	1500	0.92	1740	126～330	18，2*	40×60	杨五庙坝址	*现场组数
				1.03	2500	0.58	1550	351	1	40×60		浸水2年，起伏差0.5～1cm
				1.02	1200	1.03	960	112	2	50×50	五强溪	
泥板岩，灰岩互层	微风化	1.04	820	1.0	1700	0.94	750		1		龙滩	
板岩	弱风化			0.85	1500	0.65	1000		2			
				0.72～1.52	920～3600	1.06	1070	126～219	13	40×60	五强溪	起伏差0.5～1cm

板岩	新鲜	0.70	137						17		双牌	40#金刚砂磨面
	砂质	0.66	28						2		浔天河	
	带状	0.64	202						2		水府庙	
		0.58	60	0.42	150				2	50×40	双牌	现场浸水
		0.58	9						2		上犹江	
		0.50	30						2		大江边水库	
砂岩	变质，微风化			1.85	601	1.62	470	140～214	1	50×50	高潮	
	弱风化			1.55	1200	1.24	1157	140～214	2	50×50		
	强风化			1.18	1245	0.91	1043	140～214	1	50×50		
		0.58	400	1.84	2150	0.81～1.02	500～660		82	50×50	风滩	
		0.70	20	1.76	1600	0.70	20	150	1		盐锅峡	
	含煤			1.54	190	1.43	140		5	50×50	紫坪铺	
	弱风化			1.50	780	0.88	200		2	40×40	青铜峡	
	微风化	1.04	820	1.36	2200	0.86	1200		2		龙滩	起伏差小于0.5cm
		0.89	550	1.26	1580	1.20	480	126	18		杨五庙	
				1.23	185				1	40×40	小什字水库	
	节理面			1.20							白龟山	

续表

岩石名称	岩体性状	室内抗剪强度		现场抗剪强度				混凝土标号	组数	试件尺寸(cm)与试验方法	工程名称	备注
				抗剪断		抗剪						
		tgφ	c(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)					
砂岩				1.06	190	1.0				60×50	江口	
	强风化			1.0	590	0.91	680	320		60×50	葛洲坝	起伏差1~2cm
片岩	弱风化	1.11	35	1.85	240	1.70	100		2		太平湾	
云母片岩				1.48	850	1.16	350	150	1	60×50	沙溪口	
云母长英片岩	鳞片，变晶			1.43	1200	0.97	160	150	1	60×50		
云英钠长片岩	新鲜			1.42	3600	1.30	108		1	50×50	黄龙电站	
	弱风化			1.09	3000	0.81	228		1			
黑云母石英片岩	新鲜			1.37	1670	1.08	600		1		石泉	
	微风化			1.31	1500	1.07	470		1			
	弱风化			1.11	1700	0.85	620		1			
绿泥石钠长片岩	新鲜			1.35	2680	1.15	84		2		黄龙	
云母石英片岩	微风化			1.29	890	1.16	383		2		刘家峡	起伏差0.5~1cm
	弱风化			1.09	719	0.76	660			50×50	葛窑水库	

				1.21	540	0.94	340	168	3	50×50	黑河水库	起伏差 0.5～1cm
	坚硬，脆			1.15	1370	1.05	400	150	1	50×60	石头河	起伏差 1.2～1.8cm
斜长片岩	弱风化			1.15	212	0.88	60		2		李家峡	
				0.90	200	0.88	50		2			
云母石英片岩	微风化	0.43*	60	0.74～1.03	110～1300	0.65	800		2	50×50	刘家峡	*光面摩擦
角闪斜长片麻岩		2.89	2210	1.36	360			150*，250*	5	50×50	潘家口	*现场值
		2.76	1760	1.49	770	1.30	280	150	5	50×50		室内为抗剪断
花岗片麻岩				1.42	370			200		50×50	岗南水库	剪切面起伏不平
	弱风化			1.38	570			200	1	50×50	西大洋水库	起伏差 <0.5cm
	强风化			0.85～1.09	110～300			200		50×50	岗南水库	
角闪片麻岩	微～弱风化			1.89	587	1.07	177	150～250	4	50×50，斜推	大黑汀水库	起伏差 0～2cm
		0.45	1300								磨子潭	
云母片麻岩	强风化	0.66	200	0.62	200				1			室内饱和、同、快
变粒岩	新鲜			1.98	1200	0.73	30		1		葛窝水库	
	含石墨，弱风化	1.11	35	1.65	420	1.25	280		2		太平湾电站	
	弱风化	1.05	163	1.65	66	1.2	150		3,1*			*现场数
变粒岩	微风化	1.26～1.41	620	0.70～0.79	460				4		潘窝水库	

续表

岩石名称	岩体性状	室内抗剪强度		现场抗剪强度				混凝土标号	组数	试件尺寸(cm)与试验方法	工程名称	备注
				抗剪断		抗剪						
		tgφ	c(kPa)	tgφ′	c′(kPa)	tgφ	c(kPa)					
变粒岩	弱风化	1.5	1340	0.80	760				1		葭蒿水库	
石英岩	紫色	0.88～0.91	280	0.73～1.89	360～1050	1.03	1080				杨五庙坝址	
	弱风化			1.14	1300			134	1			
绢云母千枚岩	弱风化			1.52	960	0.88	800	140～150	3		安康	起伏差0.5～1cm
	新鲜			1.08	1150				2	50×50	黑龙关	起伏差0.5cm
	微风化			1.02	1217	0.80	320	140～150	2		安康	
千枚岩	较完整			1.01	1000	0.81	140			20×20	长湖电站	
				0.60	88	0.55	85	150	5	50×50	黄壁庄水库	起伏差0.5cm
绢云母千枚岩	微风化	0.55	800								碧口	
	弱风化	0.50	600									

表 2

火成岩物理力学参数汇总表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
安山岩	坚硬	2.70	0.25	308.6	217.5					下苇甸	
		2.65	0.52	241.6	126.5					临江水电站	
		2.69	0.96	116.8	115.5					故县水库	
	新鲜	2.58	0.55	112.1	84.2					白山	
	凝灰质			63.8	21.4			0.8～0.85	86	闹得海水库	
正长安山岩		2.56	3.12	16.6	14.8					陆浑水库	
安山岩	强风化	2.61	0.6					0.65～0.70*		黑龙江桃山水库	*现场值
流纹岩	新鲜	2.60	0.14	239.5	214.3	70		0.51	41	古田一级电站	光面抗剪
	弱风化	2.59	0.16	214.5				0.47	7		
	新鲜	2.64	0.23	245.9	192.7	65.7	8.23/	1.6*	175		*现场值
	凝灰质，新鲜	2.65	0.56	179	172					玉溪水电站	
	微风化	2.66	0.28	163.6	128					漫湾	
	微风化	2.51	1.97	149	97	57.9				张湾水库	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
流纹岩	新鲜	2.59	0.15～0.26	140～150	130～140	40～77				横锦水库	
	微风化	2.66	0.29	138.2	95.5	70				漫湾	
	弱风化	2.38	3.59	148	95			1.73	2360	张湾水库	
	凝灰质	2.58	0.67	78.1	66					浙江玉溪水电站	
	节理发育	2.57	1.59	76.5	39	54				漫湾	
	弱风化	2.65	0.36	116.9	92.6	70					
	凝灰质，弱风化	2.27	4.38	63	95	34.8～44				湖南镇	
	碎裂，弱风化	2.43	1.32		28.8		2.6/			横锦水库	
玄武岩	细粒、杏仁状	2.97	0.22	263.9	189.7	7～10	11.2/	1.33*	600*	二滩水电站	*现场值
	致密	2.88	0.19	225.4	184.8			*0.55		以礼河一级电站	*室内
	微粒，隐晶	3.08	0.06	216	197.3	10～13		1.38～1.73*	2000	二滩	*现场值
	浅变质，新鲜微风化	3.01	0.30	207.8	136.5	76.9	6.97/	1.66*	1600		*三轴
	坚硬	2.94	0.22	203.9	85.6	26.4～34*		0.72	20	盐水沟	*现场值

玄武岩	蚀　变	3.09	0.19	201.5	176.5	7.9～13		0.65	30	二　滩	
	杏仁状	2.86	1.54	196.4	185.4					毛家村水电站	
	弱风化	2.91	0.35	170.5	135.1					石景山 龙口灰坝	
	弱风化	2.96	0.14	166.5	91					毛家村电站	
		2.80	0.79	143	76.6					白　山	
	多气泡孔	2.86	0.96	128.2	87.9					盐水沟	
	破　碎	2.75	0.18	126.8		9.9					
	斑　状	2.67	1.57	120.5			/158.5			放　县	
		2.69	1.10	116.9			/207.4			放　县	
	凝灰质	2.88	0.21	107.9	78.8	7.36		0.75	273	铜街子	
安山玄武岩		2.78	0.13	101.1	—		2.0/			陆　浑	
玄武岩		2.53		100		43				海南琼山	
	凝灰质	2.71	1.17	72.5～109	39.9～104.6	3.12～4.86		1.23*	460*	铜街子水电站	*现场值
	弱风化	2.88	0.57	64.1	49.3		/14.7			以礼河 二级电站	
	节理发育，全风化	2.69	1.99	53.3	39.9	0.075				以礼河 一级电站	
	全风化	2.47	3.17	41.1	12.3						
	多气孔	2.62	2.31		31.5～92.8	8.3～11.8				山西册田水库	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
武玄岩	纤闪石化					40.1				二滩水电站	力与层面垂直
混合岩	新鲜	2.65	0.34	223.4	134.4					太平哨	
		2.71	0.01	176.2	144.4	84.3				红石	
		2.59	0.28	163.2	139.5					太平沟	
		2.69	0.16	156.4	125.7			0.85	250	白山	
		2.58	0.58	155.8	123.8		/111.6			太平湾	
				152	146					江西大段	
		2.74	0.21	141.3	89.3	9.0	/97.8			白山	
	微风化	2.70	0.14	140	90					李家峡	力与层面垂直
		2.69		135.8	100.9	64.38		0.65	抗切 10.1 MPa	白山	tgφ为节理面
		2.69	0.24	135.2	95.8	54.57	/88.0	0.65	60	白山	
		2.75	0.12	129.1	98.8	95.1	/126.3			红石	

混合岩	弱风化	2.68	0.34	125.9	84.4					太平哨	
		2.66	0.31	122.2	79.3	5.22				白山	
		2.70	0.14	120	83	70.0	7.6/	1.32*	1800*	李家峡	*室内三轴，力与层面平行
		2.65	0.08	116.3	68		/71.4			白山	试件 $h/d=1.0$
		2.80	0.20	113.7	92.6		/84.6				试件7×7×7
		2.64	0.90	111.1	71.9		/93.8			红石	
		2.63	0.30	110	68	36.0				大鞍	
	弱风化	2.62	0.48	108.3	78.8	46.82			抗切7.7MPa	白山	
			0.20	93	47.9		/82.2				试件10cm×10cm×10cm
花岗岩	中细粒，新鲜	2.62	0.23	243.1	209.5	54.2		0.52*～0.61	11～35	东江水电站	*光面
	中粗粒，新鲜	2.60	0.31	298.3	205			0.71	7	建溪水电站	80*金刚砂磨面
	细粒，新鲜	2.61	0.27	210	160			0.70	31	白莲河	
	新鲜	2.68	0.10	205.4	156.9～172.4	45	/163.9			红石	
黑云母花岗岩	弱风化	2.59	0.41	202	146.7	53.9				棉花滩	
	弱风化	2.60	0.4	201	183	52.6				三峡	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
黑云母花岗岩	弱风化	2.55	1.4	201	147.9	33.8*		1.46*	289*	红石	*现场值
	细粒，微风化	2.58	0.26～0.35	197.4	170.7	62.5*		0.60	0	新丰江	
		2.59	0.33～0.45	191～212	147～161.4	48.9～53.8		0.97	600	棉花滩	
	粗粒，新鲜	2.62	0.26	185.7	173	51		0.53	42	东江	
花岗岩	粗粒，新鲜	2.52	0.99	183.4	137.1					紧水滩	
	弱风化	2.50	1.0	175	130			0.70	41	白莲河	
黑云母花岗岩	新鲜	2.59	0.35～0.40	173～215.9	120.6～157.1	54.6～52.2				棉花滩	
混杂花岗岩	蚀变	2.68	0.34	194.9	163.5	50～50				映秀湾	
花岗岩	中粗粒，新鲜	2.67 (比重)		176.4～223.1		2.25～8.83*				南垅河	*现场值
	新鲜	2.58	0.50	176.1	138.2					水丰	
		2.62	0.17	166.8	133.7	52.9				三峡	
黑云母二长花岗岩	新鲜	2.61	0.37	163	71.1	52.3					
黑云母花岗岩	斑状，微风化	2.58	0.35	161.2	132.8			0.58	0	新丰江	

花岗岩	细粒，新鲜	2.62	0.39	160	123	59.6				江西罗湾水库	
黑云母花岗岩	巨环状，微风化	2.68	0.16	159.2	141.8	33.8～51.2*		0.65	1360	欧阳海水库	*现场值
	中细粒，新鲜	2.61（比重）	0.29	158.6	142.6	60.9～72.4		1.97*		水口	*现场抗剪断
绢云母花岗岩	硅化	2.71		156.1		61				黑龙江铜山	
花岗岩	弱风化	2.52	1.05	154.7	75.1	3.74	3.3/	2.43*	820*	青岛港	*抗剪断值
	片麻状，新鲜	2.64	0.25	153.1	126.4	33.4				青石岭	
	微风化	2.61	0.43	153	119	47.4				高湖	
		2.68	0.12	150.7～162.7	108.9～128.8	5～6.8	7.0/	0.93*	400	拉西瓦	*三轴值
		2.58	0.31	150.6	102.5					水丰	
	中细粒，新鲜	2.58	0.20	148.9	133.4					三峡	
	细晶	2.68	0.15	148.9	104		/127.9			红石	
黑云母花岗岩		2.60	0.47	146.6	113.6	67.4	10.7/	1.54	2300	青岛治污工程	
花岗岩	微风化	2.54	1.0	144.9	76.8					水丰电站	
	粗粒，弱风化	2.52	0.51	145.8	99.9	5.4				紧水滩	
	中粒，微风化	2.57	0.43	143.4	89.4	12.2～24.4				映秀湾	
	粗粒，新鲜	2.69	0.29	1.44	75	34.1				江西安村电站	
	中粗粒，弱风化	2.61	0.40	142.5	118			0.722*	575*	龚嘴	*缓节理面、饱水状

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
花岗岩	中粒，微风化	2.62	0.43	140.8	97.3	38.7	3.87/	1.41	379	瀑布沟电站	
	中粗粒，微风化	2.60	0.27	139.2～160	127.4			1.31*	490*	龚嘴	*现场值
	细粒，斑状	2.59		132.2		55.5				广东平远	
	中粒新～微风化	2.57	0.39	131.7	127.6	0.37**		0.61*	24*	流溪河	*光面 **现场值
		2.68		126.6		61.2				浙江闲林埠	
	细粒，微风化	2.58	0.28	125.9	104.7	60.1				三峡	
闪云斜长花岗岩	细粒，微风化	2.65	0.16～0.25	122.4	99.8～106.7	64.2～65.2	7.5/				
白云母花岗岩	中粒新鲜	2.67	0.12	122	88.6	46～52.9				江西大坳	
混杂花岗岩	中粒微风化	2.68	0.31	119.5	118.5	42.4				映秀湾	
花岗岩	片麻状	2.64		118.6						青石岭	
黑云母花岗岩	弱风化	2.62	0.30	116	89.3			0.64	1210	欧阳海水库	
花岗岩		2.70		115.3		85.2				黑龙江德都	
	中粒，新-微风化	2.61	0.34	112.5	85	39.3		1.11*	2230*	广州蓄能电站	*三轴

花岗岩	新鲜	2.53	1.68	108.4	79.8					水丰	
	弱风化	2.56	0.97	106	58	29.7～38.4				江西七星水库	
	中细粒，强风化	2.49（比重）	0.85	110.2	72.8			0.66		水口电站	
	细粒，新鲜	2.99（比重）	0.006	104.5	100			0.63～0.68	100	梅山水库	
闪云斜长花岗岩	碎裂，微风化	2.64	0.71	103.5	73.3	49.7	6.0/			三峡	
花岗岩	粗粒，微风化	2.63	0.33	102	45	34.1				江西安村电站	
黑云母花岗岩	弱风化	2.61		101.1	25.5～74.6	35.1		0.78		水口电站	
花岗岩	新鲜	2.52	0.74	99.8	87.8	2.9	7.8/			山东流清河	
	细粒，微风化	2.59	0.40	99.4	74.7	57.2				三峡	
	片麻状，微风化	2.63	0.36	95.7	90.2	27				青石岭	
绢英花岗岩	碎裂状			95			2.2～5.9/	1.37	850	山东莱州金矿	
白云母花岗岩	弱风化	2.56		92.9	65	40.1				江西大坳	
花岗岩	中粒，弱风化	2.55	0.60	90	63	35				广州蓄能电站	
		2.59	0.76	79	37	19.5				江西安村电站	
	斑状，云英岩化	2.46	1.55	75.6	58	17.0				青石岭水库	
绢英花岗岩				75			4.4/	1.23*	1000*	山东莱州金矿	*抗剪断
花岗岩	强风化	2.54	1.15	70.5	61.1					欧阳海水库	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
花岗岩	中粒，弱风化	2.59	0.46	76.7	38.2	19.1	1.6/	0.88	155	漫布沟电站	
		2.56	0.52	68.1	61.1					紧水滩电站	
		2.62	2.18	65.7	54.9					白云	
	弱风化	2.47	1.98	70.5	31	1.0	2.62/	0.58	360	青岛港机房	
	黄铁云英岩化	2.48	3.40	42.9	24	7.7				青石岭	
	强风化	2.33	5.65	40	23	18.4				江西七星水库	
	粗粒，蚀变	2.44	2.47	23.3	10	7.6		0.41	320	广州蓄能电站	
角闪花岗岩		2.69	0.39		142.7					紫荆关电站	
花岗岩		2.55	0.46		123.4						
闪云斜长花岗岩	碎裂，弱风化	2.64	0.71		53.6	32.7				三峡	
	微风化	2.71 (比重)	0.03		52.5			0.70	40	梅山	
	节理面							0.44*～0.61*			*现场值
	中粗粒，新鲜	2.68	0.12～0.14			80*				拉西瓦	*三轴

花岗岩	细粒，新鲜					55		0.52	73	东　江	
	斑　状	2.70	1.1			55.35		0.61	1620	欧阳海水库	
	强风化	2.40	3.1	33	15	4.9				广州蓄能电站	
	裂隙发育					12.5～13.0				连江口	
闪长岩	新　鲜	3.02	0.21	276.9	227.4	82.9				渔子溪	
	细粒，微风化	2.76	0.16	232.6	202.6					三　峡	
花岗闪长岩	新　鲜	2.69	0.17	223.4	173.9	39.9				江西高湖	
闪长岩	新　鲜	2.98	0.24	219.8	208.5	65.5				渔子溪	
	细粒，新鲜	2.75	0.07	219.7	198					三　峡	
	弱风化	2.76	0.13	215.8	178						
花岗闪长岩	微风化	2.69	0.21	211.3	146.3	37.0				江西高湖	
		2.93	0.36	186.7	182.9	43.0				映秀湾	
	微风化	2.82	0.21	179.6	121.4	71.7				三　峡	
	块　状	2.90	0.52	177	79					丹江口	
石英闪长岩		2.73	0.22	174	121					罗　湾	
闪长岩	微风化	2.78	0.07	170	125.6					三　峡	
	微风化	2.90	0.30	168	109.9					安　康	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
闪长岩		2.66	0.82	157.8	140.6		8.9/	1.28	1300	安徽铜矿	
	弱风化	2.72	0.27	156.8	110.1	75.8				三峡	
花岗闪长岩	中细粒，新鲜	2.72	0.25	148	86	50.9				江西罗湾水库	
闪长岩	新鲜	2.86 (比重)	0.30	144.6	110.9					万安	
花岗闪长岩		2.60	0.99	138.2	100	79.2				安徽大华山	
	中细粒，微风化	2.73	0.21	138	82	54.4				罗湾水库	
闪长岩	新鲜	2.80	0.11	134.4	99.9	85.9				三峡	
	弱风化	2.87	0.27	131.7	120.1	65.3					
花岗闪长岩	斑状	2.59		122.1		40.9				山东溜河	
闪长岩	变质，微裂隙	2.96	0.13	122	112	93				丹江口	
	变质，强风化	2.92	0.14	119	99	82.3					
	碎裂状，新鲜	2.84	0.18	112.9	67.1	62.8				三峡	
花岗闪长岩				105.7	99.7		抗切强度 12.9 MPa	1.33*	1300*	山东姜家窑金矿	*抗剪断

花岗闪长岩	弱风化	2.69	0.83	94	59	31.6				罗湾水库	
闪长岩	碎裂状，微风化	2.61	0.75	81.8	53.8	36.9				三峡	
花岗闪长岩	强风化	2.55	2.48	39	7	5.39				江西奉新	
闪长岩	碎裂状，弱风化	2.57	1.78	26.2	32.6	32.4				三峡	
	细晶	2.98	0.37		202～214.8		12.8～12.9			潘家口下池	
	细晶，弱风化	3.02	0.07		69～196	0.98				潘家口	
花岗闪长岩	微风化	2.70						1.99	470	江西遂川安村电站	
	弱风化							1.30	1030		
石英闪长岩		2.95	0.23	127.4	117.2	70		0.69	0	石泉	
花岗斑岩	新鲜	2.61	0.21	864.2	301.1	52.3				棉花滩	
	新鲜	2.60	0.26	249	163	59.4				紧水滩	
流纹斑岩	新鲜	2.60	0.14	244.3	239.5			0.51	41	古田一级	
花岗斑岩	新鲜	2.61	0.12	239.3	183.6	62.5	/170.7			红石	
流纹斑岩	弱风化	2.59	0.16	214.5						古田一级	
花岗斑岩	弱风化	2.69	0.14	197.1	169.9					麻家边水库	
	微风化	2.59	0.37	178	117.4	51.5				紧水滩	
流纹斑岩	弱风化	2.61	0.18	171.9	79.3	0.76*				湖南镇	*现场值

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
辉长斑岩		2.67	0.43	157.4	89.2	13.5				密云水库	
石英斑岩	微风化	2.62	0.31	147.6	133.1			0.69	26	放县	
花岗斑岩	弱风化	2.57	0.50	128	105.8					紧水滩	
石英斑岩	有裂隙，弱风化			117	88.3	47.1		0.67	0	故县	
煌斑岩	新鲜	2.75	0.64	98	35					江西七星电站	
碎斑岩	微风化	2.53	1.37	80.5	68.6	45.0		0.26	207	三峡	
煌斑岩	全风化							0.26	207	陆丰、南告	
闪长玢岩		2.68	0.13	210.8	186.1		/122.3			红石	
	中斑晶	2.77	0.30	209	189		-			丹江口	
玢岩	新鲜	2.59	0.46	203	164.4					下马岭	
闪长玢岩	新鲜	2.62	0.23	198	107	7.06		2.25	620	三门峡	*抗剪断
		2.70	0.41	190	126.6					太平湾	
辉绿玢岩	新鲜	2.85	0.19	187	174					江西大坳	

闪长玢岩	细晶，微风化	2.93	0.30	182	151					丹江口	
	块状，变质	2.90	0.52	177	79						
	弱风化	2.60	0.70	176	142	2.0～2.26		1.24	127	三门峡	
辉绿玢岩				172	115	70.3				大坳	
玢岩				169		80				大伙房水库	
玄武玢岩	弱风化	2.75	0.31	161.1	152.9	24.5	8.2/	0.64	54	陆浑水库	
玢岩	弱风化	2.61	0.38	159.4	125.2					下马岭	
石英闪长玢岩	黑云母	2.66		156.2	86.7					广东阳春	
闪长玢岩		2.72		151	119	66.3				丹江口	
闪长玢岩	板状	2.62	0.81	63	46	41.9				丹江口	
	弱风化	2.95	0.24	34.9	26.4	5.9～7.8				潘家口	
玢岩	弱风化	2.61	0.38	15.9	12.5					下马岭	
玄武玢岩	强风化	2.61	1.02	13.1	5.9			0.7	55	陆浑	
闪长玢岩	绿泥化，新鲜					81.3				齐溪水电站	铅直向施力
						54.69				浙江齐溪电站	水平向施力
安山玢岩	片理化，微风化					29.5					
辉绿岩	块状，弱风化	2.62	0.81	71～97.3	55.7～61	56.1～72.2				丹江口	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
辉绿岩	微风化	3.04	1.0			78		0.67	310	岩滩	
	微风化	2.92	0.25	287.7	245.6					龚嘴	
	新鲜	2.96	0.22	272.5	245.8			0.58*	0	思宁大桥	*光面
	中粗粒，新鲜			271.7	221.2	107	22.5/	0.90	2300	岩滩	
		2.72	0.52	249.2	202.6			0.68		连江口	
	弱风化	2.92	0.26	243	210.8			0.625*	150	龚嘴	*现场值，浸水
	中粗粒，新鲜	3.02	0.15	229.7	197.5					岩滩	
辉长辉绿岩	弱风化	2.92	0.69	210.8	153.1	2.49*～22.2	10.2/				*现场值，节理发育
		2.99	0.36	191.7	115.5		11.1/				
辉绿岩		2.65	0.26	189.9		73				三峡	
	强风化	2.61	1.17	156.7～175	79.8～83			0.635～0.73	600	岩滩	
		2.92	0.58	147.5						山西下交湾水库	
		2.76	0.24	145.8	117.8					三峡	

辉绿岩		2.71	0.38	142	140.8		/140			红石	
	弱风化	3.00	0.28	139.8	124.7					岩滩	
	新鲜	2.71	0.23	137.3						流溪河	
	变质	2.96	0.11	125.5	112			1.75*	2500*	丹江口	*现场值
	弱裂隙带	2.94	0.25	125	96						
	新鲜	2.68	1.22	123	88.6		/117.5			故县	
		2.72	1.04	118.1	58			0.53	28	模式口电站	
	蚀变	2.87	0.63	111	74.7	52.4		0.47～0.62	85～480	岩滩	
		2.80		110.4		55.0				湖北钟祥	
	微风化	3.00	0.34	107		40.8～66				百色水库	
辉长辉绿岩	变质	2.91		97	81	67.9				丹江口	
辉绿岩	强裂隙带	2.92	0.13	88～118.5	69.5～96.5	76.6～80.9				青岛港	
	弱风化	2.68	1.92	96.6	43.4		4.29/	1.0*	200		*抗剪断
		2.93	0.13	80.6		10.3				密云人防洞	
辉长岩		3.13	0.17	166.4	107.2	60～90	9.8/			二滩	
		2.99	0.12	153.9	96.7	1.3				羊卓雍湖	
正长岩		2.69	0.68	212.4	176.5	3～6		0.75	320	二滩	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
正长岩		2.54	1.35	104.1	96.4	58.3				龙桥乡	
	微风化			48	38	17.8				江西铁矿	
蛇纹岩	矿化	3.00		96.6		45.7				金川矿	
	透闪石	2.58		93.7		95					
		2.55		62.2		41.3				江苏六合	
		2.55		59.3		30.6				金川矿	
粗玄岩	含气孔	2.63		99.7		24.8				广东逐溪	
		2.32		49.9		16.2					
		2.24		46.7		34.0				海南琼山	
角砾凝灰岩	新鲜	2.56	0.52	370	280	74				亭下水库	
		2.44	0.85	260	110	25～45					
凝灰岩	安山质	2.55	1.38	259.8	173	47.7	/130			临江水电站	
	流纹质	2.46	2.61	248	206.4	53.9	/109.9				

凝灰岩	安山质	2.68	0.15	241.9	225.6	62.3	/193.3			临江水电站
	新鲜	2.63	0.30	220～260	170～210	66.7	..			长沼水库
熔结凝灰岩	晶屑，新鲜	2.57	0.45	240	219	72.0				下岸水库
		2.61	1.75	200～300				0.88	340	湖南镇
		2.53	0.30	200～210	170～190	21～30				里石门水库
		2.58	0.24～0.31	190～200	130～185	64～72				雅溪一级水电站
		2.52	0.76	170～200	110～160	23～46				碗窑水库
	晶屑，微风化	2.62	0.09	190～193	153～179	55～62				浙江周公宅水库
凝灰岩	白垩系	2.50	2.12	178.5	153.5			0.45	10	黄坛口
层凝灰岩		2.69	0.11	178	135	83.9	5.4/			龙滩
熔结凝灰岩	微风化	2.58	0.22～0.46	169～205	129～178	50～66				浙江谢村源水库
凝灰岩	安山质	2.59	0.53	176.2		52.8	/195.2			临江水电站
角砾凝灰岩	流纹质	2.58	1.12	173.3	125.7		/97.2			
凝灰岩	白垩系，新鲜	2.65	0.34	155.8				0.61	11	富春江电站
	安山质	2.63	1.03	151.1	89	43.3	/55.6			临江
	新鲜	2.47	7.08	146	86	52.8				江西七星电站
角砾凝灰岩	新鲜	2.59	0.33～0.39	140～190		57.0				浙江华光潭电站

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
凝灰岩	变质，块状	2.90	0.20	130～170	100	8.7～15.0		0.65～0.70		碧口	
熔结凝灰岩	新鲜	2.61	0.11～0.24	130～180	104～142	65～74	6～9/			浙江横山水库	
	微风化	2.65	0.55	133.2	119.4					漫湾	
凝灰岩		2.94	0.18	126.8						毛家村电站	
熔结凝灰岩	新鲜	2.49～2.53		123	107	8.23～9.34				龙溪水库	
	含燧石，新鲜	2.56	0.82	120～200	120～180					亭下水库	
	含角砾，块状	2.52	0.20	120～140		16				里石门水库	
	晶屑，新鲜	2.62	0.09	120～140		18～22	6～8/	1.0～1.2	1300～1500	周公宅水库	
角砾凝灰岩		2.32	0.11	117.5～124		59.9～62.6				浙江龙溪电站	

凝灰岩		2.83	0.11	114.5	73.9	74.5	3.13/			瀑布沟电站	
	变质，块状，微风化	2.90	0.20	110～145	60～80	6～12				碧口	力与层面平行
熔结凝灰岩	含角砾，新鲜	2.59	0.3～0.4	110～140		18～22	6～8/	1.2	2000	华光潭电站	
	晶屑，块状，新鲜	2.60	0.2～0.5	100～130		18～20	6～8/	1.3	1500	谢村源水库	
角砾凝灰岩	绢云母化，新鲜	2.60	0.3	100～120		14～16	5～6/	1.0～1.2	1100～1200	长诏水库	
熔结凝灰岩	新鲜	2.58	0.24	100～120		18		1.0	1500	雅溪一级电站	
凝灰岩		2.38		98	56	33.0				七星电站	
熔结凝灰岩	弱风化	2.45		97	91	4～11.93				龙溪水电站	
凝灰岩		2.75	0.23	94	55.7					白山	
	弱风化	2.53		91	58	29.8				七星电站	
	安山质	2.65	0.53	209.2	172.0	43.7	/157			临江水电站	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
凝灰岩	含叶腊石	2.59	2.02	82.2	34.7					临江水电站	
熔结凝灰岩	含斑弱风化	2.42	1.6～3.1	80	50	4～4.7				丰满水电站	
凝灰岩	变质，板状，弱风化	2.90	0.16	80～100	40～50	8.7		0.60～0.62	20	碧口	
熔结凝灰岩	弱风化	2.61	0.53	75	49	3.65～39				横山水库	
凝灰岩	变质		0.16	65～90	30～40	8.7		0.60	20	碧口	
沉角砾凝灰岩	弱风化	2.33		60～90	50～78	3.65～4.0				龙溪水电站	
凝灰岩	千枚状	2.65	0.76	82.4	39.4	35.7	2.7/			瀑布沟	
熔结凝灰岩	蚀变绿泥石化	2.65	0.70	60～80		3～4		0.9～1.1	1100～1400	周公宅水库	
凝灰岩		2.62	3.31	13.2	1.7	1.9				铜街子	

		2.71	0.41	65.3	27.5					白　山	
角砾凝灰岩	绢云母	2.54	0.3～0.58			90.5				长诏水库	
安山集块岩	凝灰质	2.61	0.72	188.7	80.1		/88.5	0.62*	4	桓　仁	*光面试件 3×3×3cm
	凝灰质，灰绿色	2.53	0.93	147.3	111.2	38.55		1.04	900		
		2.64	1.19	143.4	96.8		/78.9	0.63	3		*光面试件 7×7×7cm
		2.65	0.52	118.2	55.1		/78.8	0.53	0		
	紫红色	2.58	1.17	107.7	52	43.6				桓　仁	
	深灰色	2.60	0.86	101.1	47.1						
				55.1						雨得海水库	
二辉橄榄岩		3.0				20*	2.5	0.60	1400	金川矿	*变形模量

表 3　　变质岩物理力学参数汇总表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
大理岩		2.70	0.32	141.4	117.1	100.1				怀宁丹山	
	矽卡化			129.1		79.5	5.3/	1.05	2750	安庆铜山	
	新鲜	2.70	0.03	104.1	83.8	74.2				冯家山	
		2.70	0.24	96.5						江苏大连山	
	微风化	2.72	0.23	82.5	78.5	97.2	6.1/	1.11	18500*	安庆铜矿	*抗剪断值
				86.5		70		0.485		大冶铁矿	
				78.8	56.6		2.3/	0.84	1800	武钢刘家畈矿	
	坚硬	2.72	0.17	75.2	64.9					绿水河	
		2.73	0.22	64.5	59.2					岩滩	
		2.68	0.46	60.4	59.4		4.6/	0.75	11500*	马鞍山桃冲矿	*抗剪断
		2.69	0.27	60.2						江苏大连山	
大理岩夹角岩				54		88.2		1.60*	13500*	铜陵铜矿	*抗剪断值
大理岩		2.67	0.33	20.6	13.1					冯家山	

绿泥斫枚岩	微风化	2.90	0.39	156.9	108.8	62.8				安　康	
千枚岩	微风化	2.69	0.75	112	76					江口、龙门口	
		2.68	1.17	98	53	54.1	1.3	1.38*	1430*	江　口	*室内三轴，力与层面平行
钙绿千枚岩	微风化	2.91	0.18	83.4	59.8			0.70	4900	安　康	
千 枚 岩		2.70	0.70	81.7	48.1					西洱河三级	
绢绿千枚岩	微风化	2.74	0.33	79.5	45.3	12.6～38.5				安　康	
绢云母千枚岩	微风化	2.79	0.29	66.9～70.8	41.3～44.8	20.1	2.9～1.3	0.70	72		
绢英千枚岩	微风化	2.70	0.20	60～80	30～40	80～100		0.60	10	碧　口	力与层面平行
	弱风化	2.55	0.27	45～65	20～30	20～30		0.55	10		
	薄片状、弱风化	2.90	0.27	20～30	10	10～30		0.50	10		
		2.60	0.20	25	10～20			0.53	10		
千 枚 岩	强风化	2.25	4.98	7	4					江口、龙门口	
								0.76	259	长湖电站	
石 英 岩		2.62		294.7	232.1					杨五庙坝址	
	紫灰色	2.68		266.5	232.8	36.0				五强溪	
		2.62		246.9	235.8					杨五庙	
	钙　质	2.75	0.24	222	193.4					黑河水库	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
石英岩	新鲜	2.71	0.20	222	178	74.6				江西罗湾	
	紫色	2.62		205.6	153.6	36		0.72	280	五强溪	
	灰白色	2.68		194.1	153.5	5.8				杨五庙	
	微风化	2.75	0.29	194	137					江西罗湾	
	灰白色	2.58		180	166.2					五强溪	
	弱风化	2.73	0.56	162	99					江西罗湾	
	坚硬	2.70	0.14	145.1	139.1			0.64	17	大柳树	
	坚硬	2.67	0.41	140.5	78.8	18.7				引滦工程	
	肉红色	2.60		125.2	73.4					五强溪	
绢云母石英岩		2.76		119.3		75.3				黑龙江铜山	
石英岩		2.69		112.5	80.5					杨五庙坝址	
	灰绿色	2.57		96.4	78.5					五强溪	
	紫色	2.62			295.6						

石英岩	肉红色	2.64			209.8					五强溪	
	肉红色	2.64			112.7						
	紫色，弱风化	2.54			90.3						
	紫色				50.2						
	节理发育							0.86	11.3	河南白龟山	
钙卡岩	石榴子石	3.38		171.3		92.2				山东淄河	
	透闪石	3.02		139.7		88.3					
		3.21	0.19	124.6	122.3		8.7/	1.48*	1800*	安徽铜矿	抗剪断*
片麻岩	混合岩化	2.61		242.4			9.1/			连云港码头	
角闪斜长片麻岩		2.71	0.07	219.7	207.7	16.7				潘家口下池	
黑云母斜长片麻岩	新鲜	2.74	0.11	213.3	182.2					水丰电站	
		2.66	0.79	148.6	119.8						
片麻岩		2.67	0.29	137.4	78.7	39(混)				河口村	
	混合化			133.5		44.7				江苏东海	
角闪斜长片麻岩		2.72	0.20	125.2	57.4	12.8				引滦入津隧洞	
角闪片麻岩	新鲜			119.8	102.3					黄壁庄	
	新鲜			117.5	52.0	81.4*			抗切 14.6mPa	岗南	*动力法

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
角闪斜长片麻岩	黑云母	2.80	0.09	112.6	65.5	15.4				引滦入津隧洞	
花岗片麻岩	新鲜			104	101				抗切 13.4MPa	岗南	
片麻岩				103.6	51.6	44.8				西洱河	
		2.66		102.3	52.6	86.7*					*为现场承压板法
角闪斜长片麻岩	微风化	3.03	0.14	102	42	0.91				潘家口	*现场值
斜长片麻岩		2.66		101		50.5				滦县	
片麻岩	微风化	2.65		101	53.4	39.2		2.19*	250	西洱河	*现场值
石墨斜长片麻岩		2.70		97.4		60.3				山东文登	
角闪斜长片麻岩	微风化	2.69	0.24	91.4	87	1.19		1.30*	280	潘家口	*现场值
云母片麻岩				88.1	33				抗切 3.3MPa	岗南	
黑云母斜长片麻岩	新鲜	2.74	0.25	83.8	69.9	27.9				青石岭	
花岗片麻岩		2.63	0.20	81.0	57.6	108				密云水库人防洞	
角闪斜长片麻岩		2.70	0.17	65～114.1	52.3	6.2*				潘家口	*现场值

片麻岩	混合岩化	2.90		53.5			3.5/			连云港码头	
花岗片麻岩		2.65	0.19		190.6					潘家口下池	
角闪斜长片麻岩		2.75	0.09		147.4	14.7				密云水库人防洞	
	条带状	2.76	0.16		144.3		9.45/			潘家口下池	
角闪斜长片麻岩		2.70	0.18		129					潘家口	
花岗片麻岩	弱风化	2.56	8.5		124	6.4～10.4				洺河水库	
	新鲜				118.5					黄壁庄	
斜长角闪片麻岩		2.73	0.07		116.7	1.21				引滦入津隧洞	
角闪花岗片麻岩		2.74	0.05		104.4	15.3				密云水库人防洞	
花岗片麻岩	微风化				77～102.8					黄壁庄	
角闪斜长片麻岩		2.78	0.18		75.3	1.12				潘家口下池	
角闪斜长片麻岩		2.71	0.17		74～119.1					潘家口	
		2.79	0.14		63.8	4.6				密云水库人防洞	
		2.70	0.19		45.9～82.4	1.04*				*潘家口	*现场值
花岗片麻岩	弱风化				39.3～52.3					黄壁庄	
	弱风化			49.3	38.5	0.21*				岗南	*现场值，力与层面垂直
片麻岩		2.48～2.64	1.02～2.82		16.1～48.8	0.017				河南长竹河水库	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
花岗片麻岩	全风化					0.0166		0.93	15	岗南	tgφ、c为室内抗剪断，力与层面垂直
角闪片岩	微风化			279	243					刘家峡	力与层面平行
		2.93	0.11	244	222						力与层面垂直
云母石英片岩	绿泥石，新鲜	2.70	0.7	237.8	154.1	76.2				石头河	
石英片岩	钙质	2.75	0.24	222	193.4	109				黑河水库	
角闪片岩	弱风化	2.95	0.10	219	200					刘家峡	力与层面垂直
				221	162						力与层面平行
				191	147						力与层面斜交
云母石英片岩	微风化	2.77	0.12	152	114	53.8		0.48*	100		*光面抗剪，力与层面垂直
斜长片岩	微风化	3.01	0.11	150	85	81	7.5/	1.34*	2000*	李家峡	*三轴值
云母石英片岩	微风化			145	120	107.4				刘家峡	力与层面平行

云母石英片岩	绿泥石，微风化	2.63	1.50	143.7	81.8	58.6				石头河	
绿泥石片岩		2.99	0.36	143.6	114.7	56				黑河水库	力与层面垂直
片岩	新鲜	2.68	0.37	144	89					石洞，文会电站	
	微风化	2.72	0.17	129	74	80.8				石洞	
云母石英片岩	新鲜微风化	2.71	0.27	127.8	104.3	59.0		0.56	16	石泉	
斜长片岩	微风化	3.01	0.11	127	73	110	7.5/	1.66*	18000*	李家峡	*三轴值
云母长英片岩	弱风化	2.58	0.57	124.6	70.2	19.8*	0.9/	0.9	910	沙溪口	*现场值
斜长片岩	微风化	3.01		123	80	70		0.86	12000*	李家峡	*三轴值
云母石英片岩	弱风化	2.70		113	106			0.52*	100	刘家峡	*光面抗剪，力与层面平行
绿泥石片岩		2.99	0.36	110.5		121.6				黑河水库	力与层面平行
云母石英片岩	弱风化	2.78	0.10	110	98			0.47*	70	刘家峡	*光面，力与层面垂直
云母绿泥石片岩		2.83	0.30	109.6	89.9	32～45.7				黑河水库	力与层面垂直
石墨片岩	微风化	2.75	0.28	104.1	73.6					太平湾	
钠长片岩	阳起石		0.33	100		12.3～23.5		1.35*	268	黄龙电站	*现场值
云母石英片岩	弱风化	2.69	0.32	90	82.5	23.0		0.55	5	石泉	
		2.67	0.83	80.9	54.2	20.9				黑河水库	力与层面垂直

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
云母石英片岩	绿泥石，弱风化	2.70	0.70	80.7	34.2	39.2				石头河	
钠长片岩		2.98	0.20	80		3.4～5.7				黄龙电站	
硅质片岩		2.62		80		11.1		1.07	80	甘肃洞库	
云母片岩	弱风化	2.66	0.87	79.2	33.9	39.2				绿水河	
云母绿泥石片岩	弱风化	2.65	0.31	74.6	69.4					菱窝水库	
绿泥石片岩	变质，碎状	2.72		72	49					丹江口	
黑云母片岩	弱风化	2.66	0.82	70.5	37					绿水河	
片岩		2.60		70～90	40～60					西洱河一级	
云母片岩	坚硬	2.74	0.53	67.2	44.8					绿水河	
石墨片岩		2.71	0.48	65.1	42.9					太平湾	
钠长片岩	白云母，新鲜	2.68	0.33	64		14.7～21.6		1.73*	2900*	黄龙电站	*室内三轴
砂质片岩	薄层	2.66		60		6.7		0.966	60	甘肃洞库	
绿泥石石英片岩		2.81	0.67	55	47					丹江口	

云母片岩	弱风化	2.69	1.20	45.3	22					绿水河	
石英云母片岩	新鲜～微风化	2.55	2.35	42.8～96.4	20.4					南湾水库	
绿泥石片岩		2.74	0.69	34	23					丹江口	
云母片岩	全风化	2.65	1.84	30.8	13.8					绿水河	
	千枚质	2.54		25		2.1		0.727	34	甘肃洞库	
	全风化	2.53	2.58	19	8.2					绿水河	
绿泥石片岩		2.57		14.6	5.3					冯家山	
云母绿泥石片岩		2.67	0.08		56					陡窝水库	
石英钠长片岩		2.68	0.74		50	9～11.9				黄龙	
云母片岩	铁质新鲜	2.56	2.10		27.6～67	25.1				南湾水库	
片岩	炭质新鲜	2.35	5.0		37～31.7	16.4					
云母片岩	裂隙多新鲜	2.52	0.62～2.64		30.5	23.4					
石英钠长片岩	白云母弱风化	2.17			25	1.3		1.09	3000*	黄龙电站	*室内三轴
云母片岩	弱风化	2.70	1.37		20.4	2.1				绿水河	
	千枚质	2.54						0.56	330	沙溪口	
片岩		1.88		4						石洞、文会	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
板岩	泥质，新鲜	2.51		121	73.6	4～8				羊卓雍湖电站	
	微风化	2.71	0.89	109	47					枫渡	
	新鲜	2.71	0.65	97	70	88.7					
	钙质，新鲜	2.71	0.08	84.2	78.8	81.2				冯家山水库	
		2.72	0.45	70.4	57.1	21.9		0.83	160	五强溪电站	
板岩	灰绿色	2.53	2.39	69.5	33.2			0.53	57	双牌	
	紫色，泥质	2.67	0.85	69.1	53						
	弱风化	2.58	2.08	66	40	40.9				枫渡	
	强风化	2.34	4.99	38	20	10.7					
	微风化	2.55	2.72	33.9	17.5	37.3				安徽冬至	
	炭质	2.12		14	3.8			0.25	25	松涛水库	

板　岩	泥质，新鲜			36		7.5～12.6*		0.46	0	苍梧爽岛电站	*现场值
	白云质，微风化	2.70	0.14	34.3	25	45.8				新疆和田	
角砾岩		2.88	0.62	127.5	58.4					岩　滩	
		2.61	1.85	73.6	72.9					鲁布革	
		2.43	3.72	56.6	27.3					漫　湾	
		2.46	3.30	54.6	25.5						
		2.58	0.83	42.8	24.0					万　安	
		2.21	5.3	39.5	8.2					六郎洞	
		2.64	0.48	38.0	34	3.2		0.72	53	青铜峡	
		2.61	2.48		117.7					故县水库	
		2.60	1.90		65	6.81	3.57/			河口村水库	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
角砾岩		2.49	2.74		52.4					万安	
变粒岩		2.71	0.35	205	136.8	51.6				太平湾	
	新鲜	2.66	0.29	216.2	183.1	62.5					
		2.68	0.41	190	126.6	40.5					
	微风化	2.67	0.06	168	117.6			0.80*	760	葠窝水库	*现场值
	阳起石化	2.80		138.9		89.7				福建马坑	
	含石墨	2.69	0.28	134.8	76.8	31.7				太平湾	
石英变粒岩	风化	2.61	0.21	131.8						葠窝水库	
变粒岩	绿泥石化	2.73	1.2	122.1		62.8				石家庄	
石英变粒岩	弱风化	2.67	0.26	119.4	96.5			0.71*	1400*	葠窝水库	*现场值
		2.66	0.29	114.2	108.7						
	粒状，变质	2.72		72	69					丹江口	
糜棱岩		2.74	0.90	31	17					丹江口	

表 4　　沉积岩物理力学参数汇总表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
石灰岩		2.83	0.06	290.5	126.9	7～20				向阳口电站	
	泥质	2.65	2.18	235.1	198.2			0.53	1000	天桥水库	
	新鲜	2.78	0.11	219						下马岭电站	
	泥质	2.69	2.54	218.1	167.2			0.63	4000	天桥水库	
	瘤状	2.76		202.5	155.1	77.9				塘口电站	
	中厚层		0.25	200.6	169.7					龙口电站	
		2.69	0.35	197	137	28				陈家村水库	
	泥质，龟裂纹	2.74	0.25	186.3	138.1					宝珠寺	
		2.81	0.25	184	173	45.5				陈家村水库	
	砾状	2.81	0.25	177	86.7			0.71	30	万家寨	
	条带状	2.69	0.13	176	118.4					江垭	
		2.71		167.4	139.6	63.5				塘口电站	
	龟裂纹	2.66		167	124.4	75.3					

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
石灰岩	榴状	2.71	0.71	166.4	73.7					以礼河四级电站	
灰岩	花斑状	2.72	0.30	163.6	139.5	11.1				穿黄洞（南水北调工程）	
	中厚层	2.70	0.16	162.2	153.8					龙口水电站	
	泥质	2.69	0.10	158.6	132.4					江垭水电站	
	龟裂	2.70		156		74.2				塘口水电站	
	斑状	2.71	0.24	154	103.8	9.5				穿黄隧洞	
	龟裂	2.66		152.6	109.9	89.8				塘口电站	
	中厚层，新鲜	2.70	0.22	150.2	123.8			0.88	19	恒山水库	
		2.68		144.6	136					徐州铜山	
	方解石脉	2.68	0.13	143.6	126.5					江垭水电站	
	泥质	2.72	0.44	142.3	93.3			0.63		龙门（甘泽坡坝址）	
		2.68		138.7	106.1	80.2				徐州北郊山	
	致密状	2.72	0.11	137.3	130.8	12.6				穿黄洞	

灰岩											
	细　　状	2.71	0.21	136	101.8	8.1				穿 黄 洞	
	帘石化、微风化	2.75	0.17	131.5	91.2	6.8				拉 西 瓦	
	新　　鲜	2.70	0.14	131	114	65.5				柘　　林	
	结 晶 状	2.70	0.08	131.5	105.5	8.94	3.43/	0.81	1600*	彭　　水	*三轴值
	条 带 状	2.65	0.74	130.4	124.2	34.1				山西北引黄	
	厚　　层	2.76	0.14	130.4	109.6	11.4				穿黄(东线)	
	微 风 化	2.69	0.09	130	112	63.2				柘　　林	
		2.59		128.8	104	81.0				徐州铜山	
	白云质,新鲜	2.71	0.59	126.6	63.4					恒　　山	
	粗粒,条带状	2.69	0.37	127.2	97.5					江　　堰	
		2.71	0.06	125.3	116.3	79.7		0.78*	1570*	河南东庄水库	*抗剪断值
	细　　状	2.71	0.23	122.6	85.1	10.7				穿 黄 洞	力与层面垂直
	豹 皮 状	2.74	0.53	120.5	110					徐　　州	力与层面垂直
				120.3	83.5					小什字水库	
		2.65	0.36	120	95					普定电站	
	中 厚 层	2.71	0.28	118.7	84.8	4.4				龙　　门	
	花 斑 状	2.72	0.09	118.3	88.1	8.8				穿 黄 洞	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
灰岩	中厚层	2.69	0.47	118.2	78.7	11.5				龙门	
				117.9	97.5					马鞍山桃冲矿	
	泥质	2.71	0.18	116.6	88.5	8.12	11.0/	1.43*	1320*	彭水	*三轴值
	瘤状	2.68	0.43	115.7	107.9	59.8				湖北利川	
		2.67	0.68	115	76.5		0.69/	38		青铜峡	
	豹皮状	2.69	0.33	114.6	98					徐州列塞山	力与层面平行
		2.63		114.5	96.6					徐州铜山	
	白云质、坚硬	2.75	0.26	114	89	51.5		1.28*	1000*	鲁布革	*现场值
		2.68		109.4	104.6	98.4				徐州铜山	
	泥质	2.71	0.37	112.3	77.6			0.66	0	龙门	
	方解石脉多			110.8	83.4					丰收河大寨电站（云南）	
		2.68		109.4	104.6	98.4				徐州北堆山	
	粉砂质	2.48	3.56	109.2	75.9		/71.6			河南巴家咀水库	

灰岩	豹皮状	2.70	0.39	109.1	91.7					徐州列塞山	力与层面垂直
	白云质，完整	2.74	0.30	107.7	90.3	49—57		0.59	14900*	鲁布革	三轴值，力与层面平行
	含方解石细脉	2.65	0.46	107.4	39.4					江垭水电站	
	硅质	2.68	0.59	107.0	84						
	鳊状	2.70		106.8	84	86.5				徐州铜山	
		2.70	0.25	105.6	89.6					徐州列塞山	力与层面平行
		2.67		105.4	73.2	90.1				徐州铜山	
	隐晶			105.0	55	40		0.54	3300*	东风水电站	*室内三轴
		2.66	0.39	104.8	84.7	94.8～117.4				徐州铜山大黄山	
	粗粒			103.1	78.9	36.9*		1.60*	118	隔河岩水电站	*现场值
		2.72	0.35	102.7				0.81	34	河南盘石头水库	
		2.84	0.07	103.3	88.8					白山	
	白云质，块状	2.80	0.68	102.6	75.1	66.6		0.54	18	南河电站	
	白云质	2.85	0.30	100.7	75.4	49				鲁布革电站	
灰岩泥岩互层、薄层、灰岩	弱风化	2.70	0.47	100.2	37.6			0.64	130	大化水电站	
		2.70	0.20	100—110	80—110					天生桥一级电站	
灰岩、泥灰岩互层	新鲜	2.68	0.20	99.1	79.4					恒山水库	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
灰岩		2.70	0.25	98.9	94.8					徐州列塞山	力与层面垂直
		2.68		97.2	84.5	98.3				徐州铜山	
		2.68	0.29	97.3						四川红旗水库	
	白云质，节理发育	2.83	0.35	94.7	47.3	49～55		0.25	291	鲁布革	
	竹叶状	2.65	0.85	94.1		45.2				山西北引黄	
	瘤状	2.68		93.4		62.2				塘口电站	
	鲕状，弱风化	2.68	0.32	93.2	45.5	80				观音阁水库	
	白云质	2.54		92.8		76.1				徐州铜山大黄山	
		2.68	0.53	92.9	70.4	2.90		1.38*	8000*	马鞍山桃冲矿	*抗剪断
	鲕状	2.69	0.05～0.33	91.9～165.7	73.2～1	29.9～89.2				林县金牛山水库	
		2.73	0.15	90.4	60.9	10.0				山东穿黄洞	
		2.66		90	39.7	104.4				徐州铜山	
		2.69	1.40	89.6	78.5					六郎洞电站	

		2.68		89.2	65.7	59.4				徐州铜山	
	泥质	2.66		88.7							
	中厚层，竹叶状，新鲜	2.72	0.11	88.4	85.7					恒山水库	
	鳊状	2.71	0.60	85.5	61	78		0.83	1000*	观音阁水库	*抗剪断
				84.5	36.4					马鞍山桃中矿	
灰岩泥岩互层、薄层		2.71	0.37	83.8	61.3			0.62	60	大化水电站	力与层面垂直
灰岩	沥青质	2.86	0.35	82	71					三门峡	
	坚硬	2.65	0.57	81.6	71.4					六郎洞电站	
灰岩泥岩互层	薄层，微风化	2.71	0.46	80.8	59.7			0.61	80	大化水电站	力与层面垂直
灰岩		2.69	0.37	82.2	62.7	3.2		1.43*	7000*	马鞍山桃中矿	*抗剪断
		2.64		79.2	24.8	47.5				徐州铜山	
石灰岩	裂隙发育	2.70	0.07	79.6	48.9	4.1*				东庄水库	*现场值
	新鲜	2.67		78.5	64.3	73.7		0.69	25	乌江渡	
灰岩	硅质	2.72	0.04	78.1	65.6	68.95				冯家山水库	
	糟状	2.70	0.74	75.7	55.8					以礼河四级电站	
	豹皮状	2.65		75.6	72.8	71.0				徐州铜山	
	含燧石结核	2.66	0.45	74.2	46.4					江垭水电站	
		2.21	4.13	78.9	53					瓦店子水库	
	泥质	2.53	2.38	78.6	68	5.58*		0.56*	40*	昇钟水库	* 现场值
		2.47	2.72	77	43		≈	0.35～0.43*	10*	双牌	* 现场值
	泥质	2.34	3.75	75.8	52.5					葫芦口	
灰岩	钙质	2.59	1.03	75.3	53					香水渡	
	泥钙质	2.41		75.2	20.9					南充三岔水库	
		2.38	2.54	75	66.7					李家嘴水库	
		2.40	2.71	73	63.2					罗江口水库	
		2.58		71.5	67.2					五强溪	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
灰岩	泥质	2.61	0.14	73.8	23					江垭电站	
		2.60		72.9	29.2	32.5				徐州铜山	
		2.72	0.17	72.2	64.0					小井沟	
	白云质	2.68		72.3	64.1	93.0～96.7				徐州铜山	
	白云质，泥质	2.69	0.51	72	46.6	2.8				江垭水电站	
	泥质	2.53	3.94	65	27.8			0.75	15	龙门	
	白云质，角砾状	2.74	0.34	64.6				0.42	28.5	鲁布革	
	新鲜	2.65～2.67	0.32～0.35	64.7～71.2	59.6～62.2	74.2～87.2				乌江渡电站	
	瘤状	2.70		63.6		70.6				塘口电站	
		2.71	0.30	64.5	59					白山	
	条带状、薄层			55	28.5	28.4*				隔河岩	*现场值
				53	21					马鞍山桃中矿	
	泥质	2.01		53						徐州铜山	

	颗　　状	2.77	0.09	48.6	30.4	10.65				观音阁水库	
		2.25	5.25	46.6	31.4					红旗水库	
	〃	2.61	1.34	46				0.53	0	六郎洞电站	
	含燧石结核	2.64	0.56	39.8	30.0					江垭水电站	
		2.33	4.4	36.2	23.5					偏窑子水库	
灰岩、泥岩互层	薄层，风化	2.55	1.61	30	11.2					恒山水库	
		2.62	0.81	23.2	12.3	3.26				江垭水电站	
		2.35		17.3						徐州铜山	
	泥　　质	2.01		5.3						徐州铜山	
	硅质，新鲜	2.85	0.10		187.5—218.4	13.2				河北于桥水库	
	结　　晶	2.71	0.45		192.8	14.1				穿黄洞	
	白云质	2.69	1.06		169.3	47.2～59.9				江　　垭	
灰　岩	条带状，新鲜	2.81	0.10		160.5	94.6				金牛山水库	
	厚　　层	2.73	0.15		146.9	8.2～10.1	4.4～5.0			穿黄隧洞	
	致　　密	2.54	2.46		141.9			0.65	500	天桥水库	
		2.69	0.30		140.7					翟邱长山	
		2.71	0.15		139.8	5.5	4.9			穿黄隧洞	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙，风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
灰岩	泥质	2.60	2.23		126.4			0.75	15000	天桥水库	
	白云质，微风化				120.0	6～18.3		1.54*	7600*	天福庙水库	*现场值
	泥质，燧石条带	2.70	0.08		119.7	2.9				江垭	
灰岩，泥灰岩互层	薄层	2.71	0.40		115.5	22.3		0.83	223	万家寨水库	力与层面垂直
灰岩	条带状，微风化	2.69	0.36		100.4					霍邱长山	
	泥质	2.72	0.39		95.7					江垭	
灰岩夹泥灰岩	薄层	2.70	0.52		76.5	22.3				万家寨	
灰岩		2.5～2.6			68.7～98.1	19.6		0.5～0.6		猫跳河	
	条带状	2.67	0.49		66.1					霍邱长山	
		2.70	0.25		60.7	5.6				穿黄洞	
	白云质，有溶洞孔	2.44	4.95		38.8	29.6～31.4				江垭水电站	
		2.65			49～68.7	14.71				猫跳河	
					12～27.5					引滦工程	
	白云质	2.75	0.92		239.8	196.4				西北口水库	

灰岩	豹状	2.68			5.7			1.38*	18000*	徐州铜山	*抗剪断
	蠕状	2.70	0.39		6.9					穿黄洞	
	厚层	2.73	0.20		8.5					穿黄洞	
	新鲜				40.2			1.35	431～690	乌江渡	
霏细岩	新鲜	2.65	0.68	357	244.9	44.88				十三陵蓄能电站	
		2.62	0.68	330	264	4.49*				向阳口水电站	*变形模量
	弱风化	2.61	0.94	323.5	197.8	47.17				十三陵蓄能电站	
		2.63	0.70	308	240	4.8*				向阳口水电站	*变形模量
白云岩	硅质，微风化	2.81	0.05	331.5	191.4					官厅水库	
		2.81	0.05	292.6	177.7						
	硅质，条带，新鲜	2.82	0.42	270	250					张坊水库	
	硅质，微风化	2.79	0.39	235.1	224.5	51.35				十三陵蓄能电站	
		2.68	1.56	218.8	141					江垭水电站	
	微风化	2.71	1.38	207.8	131.8	37				山西北引黄隧洞	
	灰质	2.79	0.21	167.6						银邱长山	
	硅质，条带，微风化	2.78	0.56	159	126					张坊水库	
	灰质	2.78	0.40	158.3						霍邱长山	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
白云岩	灰质	2.67	1.93	150.3	114.4					江垭水电站	
	灰质	2.73	0.32	142.1						霍邱长山	
	灰质	2.73	0.19	128.2							
	灰质、薄层	2.49	3.06	121.4	78.3	13.9		0.72*	420*	河北龙口电站	* 现场值力与层面垂直
	灰质	2.84	0.14	118.7						以礼河四级电站	
	微风化	2.73	1.09	117.1		50.9				山西北引黄	
	灰质	2.76	0.21	111.5						霍邱长山	
	角砾状	2.68	1.03	111.2	84.6	91	3.97/			河口村水库	
		2.62	0.45	110	80					普定	
	灰质	2.83	0.35	94.7	47.3	58				鲁布革水电站	
	厚层、坚硬	2.70	0.44	85.1	77.4					云南丰收河	
	灰质、坚硬	2.74	0.38	82.8	82			0.35	2000*	鲁布革	* 三轴值
		2.80	0.33	80～100	60～80	67		0.54		南河	

白云岩	灰质	2.65	0.66	80～90	70～80	55～65		0.55～0.60		南河电站	
		2.76	0.99	79.7	79.4					以礼河二级电站	
	厚层、坚硬	2.70	0.50	66.4	58.1					丰收河大寨水电站	
	灰质	2.84	0.24	74.2	59.1	55				鲁布革	
	灰质	2.69	0.25	64.6	21.9						
	泥质	2.56	4.06	54	38.9					龙口水电站	
	凝灰质	2.51	4.06	37.7						山西北引黄	
	硅质，条带	2.62	1.58	35.8						张坊水库	
	泥质，弱风化	2.53	0.55	35	18					普定电站	
	泥质，微风化	2.72	0.99		200.4	28.8				山西北引黄	
		2.75	0.88		158.7	48.3					
		2.85	0.15		109.2	39.9				河南、东庄水库	
	厚层	2.63	1.54		79.7	17.0				河口村水库	
	新鲜	2.70	0.24～1.12		71.6～140.7	22.8～70.9				金牛山水库	
	板状	2.82	0.06		41.8					河口村水库	
芒硝岩		2.35		24.9		29.6			830	华东盐矿	
		2.08		12.6					250		

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
芒硝岩		2.10		7.7						华东盐矿	
		2.01			26.4	10.2			380		
		1.91—2.36			22.3～22.9				160—180		
		2.01			18.3				280		
		2.30			9.2				80		
石英细砂岩		2.71	0.09	274	182.9	19.4*/15.0*		0.49	105	风滩	* 现场值
细砂岩	钙质，硅钙质	2.64	0.20	238	216	59.9				小浪底	
石英细砂岩		2.67	0.15	234.8	186.9	72.6		1.1	88	大藤峡	
		2.69	0.17	211.3	198.9			0.52～0.57	50～140	风滩	
	紫红色	2.68	0.10	201.5	138.6	82.3				大藤峡	
	灰绿色	2.67	0.36	196.8	118.9	69.5		2.8*	1450*		* 抗剪断
		2.67	0.21	187	168.2						

细砂岩	变质	2.72	0.54	177.1	176.9					江西罗湾水库	
	钙质	2.55	1.68	172.8	115.0	20.4	/121.7			碛口水库	
	紫红色	2.69	0.23	155.4	117.2	57.7				大藤峡	
	厚层	2.66	0.28	154.5	110.9	13～26.2				羊卓雍湖电站	
	变质,紫红色	2.75	0.26	154.2	60.5					湖南敷溪口	
	完整	2.64	0.54	153	95					万县咸池水库	
	角岩化	2.63		146.7		63.5				福建闽东南	
	灰黄色	2.79		142.1	133.9					五强溪	
	泥钙质	2.63	0.42		131.4	34.8				小浪底	
	泥质	2.73	0.40	135.4	80.6	37.9				大藤峡	
	灰黑色	2.70	0.22	132.9	95.7						
粉细砂岩	钙质	2.50	2.06	135.2	90.3	11.7	/70.2			碛口水库	
细砂岩	石英质，浅灰色	2.72		132.8	101.6	13.5		0.66*	280	杨五庙坝址	*浸 水
	新鲜	2.55	1.78	131.1	97.8	11.69* 16.9		1.5*	580	万县龙河	* 现场值
	紫灰色	2.72		126.7	112.2					杨五庙	
	泥钙质	2.53	1.93	125.6	66.5					碛口水库	
	新鲜	2.56	0.07～0.17	111	78	79		0.46	37～52	万安	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
细砂岩	紫色	2.70	1.39	104	47.1	81.1*				湖南浔天河	* 现场值力与层面垂直
	钙质	2.52	2.06	96.7	65					碛口水库	
		2.32	3.91	91.1	52.2					蒲江小河子水库	
	弱风化	2.60	1.31	92.1	62.5					云南丰收河大寨电站	
	灰色	2.90	0.59	90.4	40.2	0.71				石景山灰坝	
		2.04		71						徐州铜山	抗切强度 1 MPa
	灰绿色，劈理发育	2.75		65.2	59.8	5.0*				杨五庙坝址	* 现场值
		2.72	1.94	56	13.5					石景山龙口灰坝	
	全风化	2.18	8.01	48.1	25.1					丰收河大寨电站	
		2.72		49		29	2.1/	0.66*	240	武钢刘家畈矿	* 三轴
	泥质，风化	2.22	5.65	42.7	23.1					榆林王圪堵水库	
粉细砂岩	新鲜	2.17		39.2	21.7	6.7					
细砂岩	钙质	2.51	1.58	36	34.3						

细砂岩夹泥岩		2.62	1.48	33.4	20.4					天生桥一级电站	
细砂岩		2.70		28.3～30.4		15～20		0.97	1950	湖北塘口电站	平行层面 E =62～63Gpa
		2.67	0.73	22.8	14.2～16.1					天生桥一级电站	
	弱风化	2.26	4.17	18.2	13.3					小井沟	
		1.98	8.19	15.3	11.6					榆林王圪堵水库	
		2.67	0.82	13.9	8.6					天生桥一级电站	
石英细砂岩	新鲜	2.71	0.58		175	52		0.71	500	陈村	
细砂岩	微风化	2.43	0.77		90.1	14				军渡	
石英细砂岩	微风化	2.67	0.54		73.7			0.62	130	陈村	
细砂岩		2.36	1.56		72	12～8.4				军渡	
石英细砂岩	弱风化	2.58	1.2		68.4			1.02*	662*	陈村	* 现场值
细砂岩		2.42	2.0		41.4					榆林王圪堵水库	
		2.48	2.0		35.9	0.69				山西北引黄工程	
						75.7		0.52*	108	柘溪	* 光面
粉砂岩	泥质	2.74	0.19	279.7		11.07	9.9/	1.38*	390	安徽庐江	*抗剪断，抗切13.6Mpa
	钙质	2.70	0.27	242	203	15～36*		0.62	0	宝珠寺	* 现场值

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
粉砂岩	钙硅质	2.64	0.32	225	160	12～31*		0.49	3	宝珠寺电站	* 现场值
		2.67	0.32	194	164			0.59	0		
	钙质	2.74	0.25	186	138	15*					* 现场值
	紫色，变质			183	156.6					湖南敷溪口	
		2.61	0.56	167			12.8/			安徽庐江	抗切 13.4MPa
		2.75	0.19	161.4			12.7/	1.48*	230*		*抗剪断，抗切16.3MPa
细粉砂岩		2.64	0.34	150.8	89	1～1.2				羊卓雍湖	
粉砂岩	钙泥质	2.73	0.64	147	122	3.3～10.5		0.61	0	宝珠寺	
	浅灰	2.60	0.39	145.7	89.8		3.41/	1.27*	1800*	彭水电站	*现场值，抗切3.86MPa
	钙质	2.64	1.16	142	96	13.6		0.77	450	龙门	* 抗剪断
	灰绿色	2.68	0.42	140.6	76.9					大藤峡	
	紫红色，泥质	2.70	0.78	128.3	50.6						
	层状，新鲜	2.65	0.31	124	90.1					羊卓雍湖电站	

粉砂岩	灰黑色	2.69	0.57	124.4	49.6					大藤峡	
石英粉砂岩	铁质胶结	2.80		119.8		29.3				四川乐至	
粉砂岩	灰黑色,泥质	2.72	0.80	119.6	66.3	0.42		1.46*	240*	四川	* 抗剪断
	灰绿色,变质	2.78		118.8	40.3					湖南敷溪口	
	钙质	2.61	1.47	118	66			1.34*	1200	鱼吼电站	* 现场值
	泥质	2.61	1.17	109	41					龙门	
	凝灰质	2.61	0.46	106.7			7.6/	1.66	180	安徽庐江	抗切 14.7MPa
	紫红色,泥质	2.67	0.91	102.1	47.3					大藤峡	
	灰黑色,泥质	2.72	0.66	98.1	51.4					大藤峡	
	钙质	2.66	0.61	91.7	60.5					紫坪铺	
		2.61	0.62	91	51.8					羊卓雍湖电站	
		2.50		79	61.3					葫芦口	
石英粉砂岩	铁钙胶结	2.58		88.2		27.2				四川乐至	
粉砂岩	泥质	2.58	1.68	86.3	52.8	2.36*				龙河	* 现场值
石英粉砂岩		2.64	0.63	83.9	57.4	31.3	3.8			湖南渔溪	
粉砂岩		2.50		79	61.3					葫芦口水库	
石英粉砂岩	钙铁胶结	2.42		69.2		2.54				邛崃	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
粉砂岩	泥质	2.58	2.30	61	34.8	3.6				小井沟	
		2.54	2.45	57.4	23.0					小什字水库	
	灰黑色	2.81	1.32	54.5	21.2					大藤峡	
		2.41	3.32	52.4	14.7					太平湾	
	钙质	2.44	2.88	49.5	41.5					昇钟	
	泥质	2.41	3.65	46.1	15.9					太平湾	
	弱风化	2.50	3.42	45.3	28.1					香水渡	
	泥质	2.52	3.16	45.3	21.0			1.0	120	小什字水库	
		2.55	4.81	42.8	8.3	1.21				石景山灰坝	
石英粉砂岩	铁钙胶结	2.27		39.8		8.8				四川马边	
粉砂岩	钙质弱风化	2.64	1.41	37.6	33.2			0.57	20	六郎洞	
	泥质	2.52	3.10	33	29			0.29*	70*	葫芦口水库	*有夹泥，现场值
	钙质	2.20	5.56	32.2						陕西王圪堵水库	

粉砂岩	泥　质	2.31	4.55	30.6	9.9					太平湾	
	泥　质	2.14	10.24	20.6	1.5	1.17		1.03*	190*	淮阴清浦	* 抗剪断
		2.63		16.6	10.5	9.7				湖北巩河水库	
粉砂岩、页岩	互　层	比重2.77		15.9		0.89	7.3			羊卓雍湖电站	力与层面垂直
粉砂岩	砖红色、钙质	2.33	2.56	15.9				0.84*	278		*现场值
	粘土质	2.35	3.18	14.3	6.17	3.23	0.9			葛洲坝	
		2.37	13.32	10～14.1	4.0	0.94～1.37					
	泥质，新鲜			8.1～15.0	2.9～8.6					四川长征渠引水洞	
	钙质，全风化	2.41	2.9	1.9～8.3						六郎洞	
	铁　质	2.65	0.12		271.9		8.9			河口村	
		2.43	0.81		76.3	10.8～12.0		1.44*	780*	军　渡	* 现场抗剪断
	板状，新鲜				49.8					桃林口水库	
砂　岩	变质，微风化	2.75	0.08	251	220					龙羊峡	
				249		1.82*		0.54	80	昇　钟	(*) 现场值 力与层面垂直
	紫　色			229.2	151.1			0.52	20	风　滩	
	浅紫色	2.67	0.13	214	206					大藤峡	
		2.71	0.23	198.8	118.7	64.3				大藤峡	

续表

岩石名称	岩体性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
砂岩	硅质	2.66	0.75	190	140	21.9				龙门	
	钙质，新鲜	2.73	0.11	183	155.2	77.3	3.6	0.71	280	龙滩	
	灰绿色	2.70	0.19	180	117	52.9				大藤峡	
	变质、中厚层、新鲜	2.70	0.14	175	119	75.5				江西高湖	
	紫红色	2.75	0.38	162.9	77.7					大藤峡	
	新鲜	2.61	0.93	160	88			0.72	17	青铜峡	
	弱风化	2.70	0.32	155.1	125.2					辽宁清河水库	
	微风化	2.70	0.13	155	88	60.5				高潮	
	变质，新鲜	2.66	0.60	151.9	119.1	2.2				西洱河	
	泥质	2.72	0.33	150	102.7	43.4				大藤峡	
	新鲜	2.64	1.67	149.1	124.3					万县威池水库	
	强风化	2.75	0.71	147.2	119.1					清河水库	
	微～弱风化	2.71	0.23	141.2	37.7	61.3				江西大坳	

砂岩		2.61	0.84	138.5	135.4			0.60	0	六郎洞电站	
	薄　层	2.76		137.1	120.4					五强溪	
	微风化	2.64	0.41	133	67	80.8				土锐大坳	
长石砂岩	钙质、中细粒、新鲜			131.9	106.8	10.0				四川江口	
	中粒、钙质	2.59	2.12	131.2	94.4					丹江口	
	弱风化	2.67	0.40	121	74	36.68				大　坳	
	新　鲜	2.65	0.42	116	109	14.5*		0.63*	20	新安江	光面，*现场值
	钙质、新鲜	2.64	0.60	115.9	100					六郎洞	
	中　粒	2.47(比重)		113.9	77.6					湖北漳河水库	
		2.69	0.21—0.92	110	90.2	92.6		0.64	330	五强溪	
砂　岩	弱风化	2.58	1.76	107.8	74			0.41	0	龙　河	
		2.50	2.59	103.8	51.2			0.65	0	龙　门	
		2.63	1.73	101	51					三门峡	
	紫色、完整	2.64	1.12	98.7	61.1	6.76*		0.466	20	湖南洛夭河	*现场值，力与层面平行
	钙　质	2.65	0.87	95.8	81.5	27.4				紫坪铺	
		2.36	3.46	95.5	54.5					四九滩	
	钙泥质	2.51	3.46	95.3	51.3	9.7*		1.28*	390*	偏窗子	* 现场值

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
砂岩		2.55	1.97	93.8	53.3					鱼嘴	
		2.64		90.8		49.5				徐州鸡毛山矿	
		2.54		90.6	71			0.74	20	龙门	
	硅质			86.7	80.3					湖南桃花江	子良岩水库
	冰渍			86.4	80.8						
	泥质	2.32	3.64	86.1	58.7	5.18				小井沟	
	弱风化	2.60	1.31	86	38	31.4				高湖	
		2.53	2.29	84	34			0.75	0	龙门	
	弱风化	2.62	0.83	82	76					新安江	
	泥质	2.58	2.81	81.3	19.3					月江口水库	

粗砂岩	弱风化	2.62	0.50	71	41.8					龙口灰坝	
	弱风化	2.62	0.47	71.2	36					石景山龙口灰坝	
砂岩		2.57	1.54	71.3	60.8					三门峡	
	紫红色	2.67	1.91	69	44					鲁布革	
	泥钙质	2.39	3.88	68.7	56.2					四川大洪河水库	
	弱风化	2.63	1.29	68	49	18.39				上饶大坳	
		2.74	1.0	65.2	59.8	89.6				五强溪	
	微风化	2.66	0.71	65	62.9					六郎洞	
		2.53	2.29	61.9	52					龙门	
	泥质	2.62		60	44.4					狮子滩	
	弱风化	2.66	0.70	59.9	51.6					六郎洞	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
砂岩	含砾			59.6		35.6	3.6			武钢刘家畈矿	
长石砂岩	中细粒、新鲜	220～232	5.75～6.47	58.6～70.8	37.8～59.3	4.8～5.6 7.32*				四川长滩水库	*力垂直层面
砂岩		2.22	5.6	58.2	23.9					沱江水库	
	微风化	2.75	0.19	57.8	53.2	66.1				大坳	
	泥钙质	2.51		55.7	47.3					狮子滩	
	泥质	2.45	3.95	52.2	41.0					小什字水库	
		2.25		49.7	42.1					威远红旗水库	
		2.28	4.75	49.4	35.3	2.77～3.5*		0.56*	40*	昇钟	* 现场值
粗砂岩	弱风化	2.19	5.1	47.1	25.5			0.41*	50	小井沟	* 现场值
砂岩	强风化	2.52	2.77	47	13.9	19.8				大坳	
	弱风化	2.35	4.4	46.9	30.7					大洪河	
	弱风化	2.35	6.5	45.5	17.2	8.2				照龙潭	
	弱风化	2.33	5.34	44	23.5					昇钟水库	

砂岩	集块状	2.62	3:36	43	7.6					石景山龙口灰坝	
	泥钙质、弱风化	2.38		41.3						南充三岔水库	
	泥钙质、弱风化	2.15	6.65	41	26.0	4.6～5.93*				葫芦口	* 现场值
				39.1	27.3	2.54		0.54	73	昇钟水库	
粗砂岩	砾质	2.20	7.78	38.4	12.9					太平湾电站	
砂岩	泥质	2.57	1.49	37.5	15.6					万县戚池水库	
	钙粒	2.61		37.5	8.3	22.3				湖北巩河水库	
粗砂岩				34.6		19.2		0.47	210	武钢刘家畈矿	
砂岩		2.28	2.64	36.5	24.8					小井沟	
	钙泥质	2.23	6.4	30.8	21.1		0.3	0.53	70	巴家嘴	
粗砂岩	孔隙多	2.08	8.94	25.3	13.7	3.9		0.65	17		
砂岩	条带状	2.39		25.3	7.8					五强溪	
		2.41		22.6						河南石寺矿	
中砂岩	孔隙多	1.96	10.63	20.7	12.1	6.7		0.59	40	巴家嘴	
砂岩	强风化	2.34	5.27	17	8	6.45				上饶大坳	
	强风化	2.26	5.68	18	5	15.99				江西高湖	
	新鲜	2.21	6.14	14.5	5.1			0.67	18	新疆和田喀拉格尔电站	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
砂岩		2.44	5.09	13.5	4.2					石景山龙口灰坝	
		1.95		0.69			0.06	0.609		内蒙舒兰煤矿	
					223	2.45～17.8*1.82*		0.26	130	昇钟	* 现场值
					62.1			0.28～0.39*	29～65	仪陇恩德水库	* 现场值
		2.61	0.35		43					昇钟	
					3.8～12.1					河南白沙水库	
								0.62	28～56	凤滩水电站	节理面
	风化				1.4			0.34	58	松涛水库	
石英砂岩	紫红色	2.68	0.12	276.6	221.7	72.7				大藤峡	
	灰白色	2.43	3.09	265	183.5					江垭	
	灰绿色	2.66	0.17	260	197.2	82.3				大藤峡	
	完整(II层)	2.62	0.619	244.8	238.3	63.4		0.47	75	朱庄	
		2.64	0.42	193	163.8						

石英砂岩	灰白色	2.57	0.97	171.5	89.2			0.63	720	江　垭	
	含铁质	2.59	0.58	164.5		0.59				山西下交谆	
	中细粒、厚层	2.64	0.63	161.8	132.1			0.90*	70	以礼河四级电站	* 现场值
	紫　色	2.63		155.9	143					五强溪	
		2.63	1.19	153.2	87.7			0.375*～0.63	0～1090	双　牌	* 现场值
		2.55	1.76	150	98.7					磉口水库	
	中细粒、钙质胶结	2.62		145.9		56.9				苏州采蓬	
	完整、新鲜	2.40	2.22	144.6	58.7	25.2	6.6			湖南渔潭	
	细粒、泥质胶结	2.58		135.3		51.7				苏　州	
	细粒、硅质胶结	2.69		132.8		34				四川雷波	
	新　鲜	2.59	0.41	130	117			1.81*	288*	新安江	* 现场值
	弱风化	2.58	0.46	129	109						
		2.63		114.5	109.9					马鞍山隧洞	
		2.58		114.2	110.1	71					
		2.69	0.92	110	90.2	41.8*		0.64*	330	五强溪	* 现场值
		2.69	0.25	104.9	91.9	15.7				石景山龙口灰坝	
	灰绿色	2.58		96.5	78.8			0.24*～0.54	250	五强溪	*层面抗剪

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
石英砂岩	含砾、完整			94.8	82.1	33.2		0.91*	869	岔桶爽岛电站	* 中剪
	铁质、泥质胶结、裂隙多	2.43	1.60	92.4		2.35*				云南以礼河四级电站	* 现场值
		2.48		87.4	47.3	44.5				马鞍山隧洞	
		2.58	0.63	79.2	45.1	7.5				石景山龙口灰坝	
	中细粒、钙质胶结	2.61		69.6		23.6				四川崇庆	
	细粒、泥钙质胶结	2.51		67.2		15.5				南京人防洞	
	细粒、石膏胶结	2.45		65		33.5				四川乐至	
		2.32	4.48	61.5	42			0.54	1350	柘溪	
	片状	2.64		56.9～70	51～54.9	32.4				新疆乌尔塔克赛水库	
	粗粒	2.28	4.65	44.2	29.9	1.22				山西北引黄	
		2.36		38.1		3.6				南京人防洞	
	钙质、孔隙多	1.98	10.4	20.4	11.8	7.6	0.11	0.63	60	巴家嘴	
	板状、风化	2.17		15.4	14.4			0.61 0.38*	10 164*	松涛水库	* 节理面

	碾 状					210.5								上犹江电站	
	弱风化					156.2	13.7			0.71	20	桃林口			
长石石英砂岩						95.5				0.51	13	上犹江			
	强风化					72.3						桃林口			
石英砂岩		2.62	0.40			58	0.78					山西下交洋水库			
					3.7～12.1							河南白沙水库			
长石石英砂岩		2.59	1.01							0.54	720	风滩水电站			
	板 状						3.3* 1.7～2.2					朱庄水库		* 力与层面平行	
	条带状						0.49* 0.24								
石英砂岩	微风化						13.7			0.71	20	桃林口		* 力与层面平行	
	厚层、弱风化						12.9,* 12.6			0.66	170				
	薄层、弱风化						5.4,*5.3			0.53	130				
石英砾岩		2.65	0.24	272.6	132.6							河口村			
	微风化	2.61	0.95	189	125							江西柘林水库			
	新鲜	2.64	0.17	139	80.9	78.9						江西大坳			
砾岩	强风化	2.64	0.82	138.2	76.1							清河水库			
	新鲜	2.72	0.27	136	93	67.5						柘林水库			

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
砾岩	紫红色，弱风化	2.64	0.84	135.9	90.8					清河水库	
石英砾岩		2.56	2.29	133	78					江西长岗水库	
砾岩	完整	2.71	0.32	113.2	69.9	52		2.6*	1230*	十三陵蓄能电站	* 双面剪切仪值
		2.71（比重）	5.95	100	83.7					莲花山(川)	
	弱风化	2.46	2.13	93	36					柘林水库	
				84.3		60	3.1	0.67	3400*	武钢刘家畈矿	* 三轴值
		2.63	0.82	82	81					月江口(川)	
	泥质	2.66	0.53	76	56.3					葛洲坝	
		2.61	1.68	72	41.4					龙河	
	泥质	2.38		69.5	41.5					小什字水库	
	钙泥质	2.65	0.96	68.3	48.4					磁口水库	
		2.61	0.60	64.4	49.1					葛洲坝	
	复成份			54.3	40.5			0.87	320	十三陵蓄能电站	

	泥钙质	2.79	0.33～0.43	51.8	33.1	22.9		0.82*	136	葛坝洲	*粉砂岩/砾岩
	强风化	2.49	2.93	36	14					栢林水库	
	砂质	2.59		34	12.1					小什字水库	
石英砾岩		2.77	0.07		293.7					丰满	
砾岩					186			0.37	9	上犹江电站	
		2.48	0.25		79.6	22*				军渡	*湿状态下
		2.50	0.41		65.1	40*					
石英砾岩	强风化	2.53	1.73		52.9					岳城水库	
		2.66	0.28		30.2					丰满	
		2.58	1.01		9.6						
砂砾岩	新鲜	2.48	1.98	75	51	1.41				宝鸡峡	
	钙泥胶结、弱风化	2.51	1.6	49.5	23.9	1.22				灵宝峡	
	弱风化	2.43	4.24	45.7	17.2					秦和	
	强风化	2.06	7.41	17.5	2.6						
页岩		2.39		154	81					徐州铜山	
	砂质、微风化	2.72(比重)	0.28	152.2	98.2					万安	
		2.61	1.70	149.7	78.2	1.27		1.58	400	万家寨电站	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
页岩	砂质	2.68	0.27	135.4	114.2					万安	
	新鲜	2.73	0.43	129.4	73.5						
角页岩	微风化	2.79	0.13	117.3	106.5	7.8		1.48*	1200*	安庆铜矿	* 抗剪断
页岩	劈理发育	2.75	0.30	115.4	78.6	81.3	1.5	0.59	400	龙滩	三轴 tgφ =1.48
页岩		2.68	0.42	114.8	63.6			0.59～0.85	76	陆浑	
	粘土质	2.66	0.80	113.8	106.4			0.65	51		
页岩灰岩互层		2.71	0.12	107.3	38	75		0.80	1080	观音阁水库	
页岩	砂质、新鲜	2.64	1.21	104	48.7					六郎洞电站	
		2.26		99	93					徐州铜山	
	粉砂质	2.44	3.48	95.3	56.5	12.7～26.5	0.96	0.55	30～44	巴家咀	
		2.41	3.3	88.4	41.8					葫芦口电站	
		2.60	0.9	93.4	45.9			0.49	29	龙门	
页岩灰岩互层	弱风化	2.68	0.33	87.2	30.5	70				观音阁水库	

页　岩		2.64	0.68	83.7	51.5	56.3		0.61	13	南　河
		2.62	1.59	81.4		10.72				万家寨
		2.63	0.74	78.8	39.2			0.59	5	龙门(甘泽坡坝址)
灰页岩		2.70	0.64	76.4	54.5			1.14	100	陆浑水库
页　岩		2.62	1.23	74.4～83.4	74.3			0.61～0.62	17～24	龙　门
	泥　质	2.61	1.81	72	48.2					紫坪铺
	砂质、微风化	2.51	3.96	71.7	18.2					六郎洞电站
	砂质、弱风化	2.60	0.96	69.1	44.2					
	铝土质	2.44		68.8	32			0.35	1	龙　门
	砂　质	2.61	1.64	68.2	44.2					紫坪铺
	炭　质	2.64		66.9		17.5				塘口水电站
	砂质、弱风化	2.71	0.93	65.1						万　安
	砂质微风化	2.57	2.10	65.1	45.6					六郎洞电站
	砂　质	2.52	2.08	63.5	17.3					小什字水库
	煤　质	2.63	1.6	55	35.9					紫坪铺
	铝土质	2.83	0.45	54	48.5			0.37		三门峡
	粉砂质	2.68	0.94	54	42			0.62	8	宝珠寺

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
页岩		2.33		54						徐州铜山	
	钙质、紫红色			50～96.7				0.33	1690*	东风	*室内三轴
	炭质	2.65		47.9		22.4				塘口电站	
	砂质	2.54		46	29	2.25*				三门峡	* 现场值
	泥质、板状	2.38	4.35	42.8		28.2	3.57			四川	
		2.60	3.19	42.4				0.59	20	盘石头水库	
		2.58	0.85	39.3	18			0.44	33	龙门	
		2.63	1.35	37.2	22.7			0.40	44	龙门	
		2.61	0.75	35.0	27.5					紫坪铺	
	砂质			33	17.8					葫芦口	
		2.55	1.61	30	11.2					恒山水库	
	水云母	2.44	3.76	29.9	21.3	17.8				湖北长顺电站	
	强风化	2.61	2.34	29	24					陆浑水库	

页岩		2.60		26.3	9.8	2.66	0.64				乌江渡	
		2.56		25.7	18						徐州铜山玉林矿	
	炭质、裂隙	2.51	4.4	24	19	0.4～0.7*			0.35		三门峡	* 现场值
	紫红色	2.25	7.6	20.6	6.7	1.85			1.23	1500	淮阳精浦	
		2.65		20					0.45	430	天生桥二级电站	
砂页岩		2.66		14.3	11.1						徐州铜山	
页岩	泥质	2.61	1.79	12.1		1.52～3.91			0.73	130	四川	
	全风化	2.41		4.3							六郎洞电站	
	砂质、新鲜	2.67	0.71		129.6	54			0.62	1300	隙村	
砂页岩		2.32	9.54	8.6			1.92		0.509	2080	内蒙舒兰矿	
				15	10	3.25					南河电站	
页岩	泥质、微风化	2.65	1.52		120.8	0.40*					陈村	* 现场值
	砂质、弱风化	2.78	0.60		112.7						万安	
	砂质、微风化	2.80	0.29		42.5							
	强风化	2.40	4.15		5.2				0.55	82	陆浑水库	
	粉砂质、层状	2.49	7.59						0.37*	10	盐锅峡	*小值平均
泥灰岩		2.66	1.21	121.2	77.9				0.66	8	龙门(甘溪坡坝址)	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
泥灰岩	瘤状	2.68	0.58	114.1	108.7	50.9				湖北长顺电站	
		2.65	1.46	110	41.2			0.77	0	盘石头水库	
		2.51		79	36.7					徐州铜山	
泥灰岩	白云质、微风化	2.77	0.41	43.7	23.3					恒山水库	
		2.48	2.36	28.3	16.5	1.9		0.57	740	龙口水电站	力与层面垂直
泥灰岩、泥质灰岩泥岩互层		2.63	1.48	27.5						天生桥一级电站	
泥灰岩		2.65	1.54	20～33.4	15～30						
		2.26	6.16	17.3	10.6	21.5	4.74			河口村	
		2.60	1.54		101.9					万家寨	
泥岩	砂质	2.66～2.60	3.11～1.17	131	22.6～54.6					江口电站	
	黑色、炭质	2.70	0.89	81.4	54					大化	力与层面垂直
	灰黑色	2.73	0.62	62.9						大藤峡	
	砂质、新鲜	2.39	4.15	48	10.3			0.58	46	新疆和田	

泥岩	含钙芒硝	2.29	6.76	38.3	36.8			0.81	710	淮阴、清浦码头	
		2.48	7.28	28	10.6	6.5		0.67	520	淮阴、清浦码头	
	紫红色	2.65	1.54	20～33.4	15～30					天生桥一级	
	紫红色	2.25	7.6	20.6				1.23	1500	清浦码头	
		2.65		20						天生桥二级	
	砂质	2.18～2.42	4.35～8.7	14.8～39.2	13.6～30.4					长滩水库	
		1.98	11.2	4.6～35.1	3.7～33					长滩水库	
				10	3	2.1				南河电站	
		2.09	14.54	8.2			0.39			内蒙舒兰煤矿	
泥岩夹细砂岩		2.67	0.77～0.81	8.7～10.4	5.1～7.7					天生桥一级	
粘土岩	砂质、新鲜			144	56.7					昇　钟	
	砂质、微风化	2.43	5.84	139～151.7	35.5～45.9	0.49*～1.08		2.07**	613	马迴电站	* 现场值 **双面剪切值力与层面垂直
	砂　质	2.54	2.82	94.7	75.7					下洞水库	
		2.50	6.36	91.1	52.2					蒲江小河子水库	
	砂　质	2.65	1.17	76	52	6.5	4.0	0.93	2650		
	砂　质	2.52		61.8	51.9					李家嘴水库	
		2.56	2.12	52.7	18					月江II水库	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
		2.23	7.4	52.2						昇钟	
		2.56	3.25	45.9	13.9					小什字水库	
		2.59	2.64	43.1	18.6					偏窗子水库	
		2.57		42	27.9					狮子滩	
		2.36	6.5	40.6	11.4					三岔水库	
		2.51	2.5	38	19.6					四九滩电站	
			6.5	35.2	8.4					红旗水库	
黏土岩	粉砂质、新鲜	2.54	2.65	34.7		5.8～7.1		0.66	94	马迴电站	力与层面垂直
	砂质	2.62	1.98	34.5	19					上洞水库	
	砂质	2.55		31.7	16.3					下洞水库	
		2.53		31.6	9.9					狮子滩	
	砂质	2.54	2.84	31.6	19.6					东西关寨水库	
		2.58	2.91	31	23					罗江口电站	

砂　质	2.54	2.7～4.8	24.9～25.2	12.3～14.6					葫芦口水库	
	2.69		24.7		29.5				塘口电站	
粉砂质、新鲜	2.49	3.09	24	20.3	2.0				马迴电站	力与层面垂直
	2.35	5.82	22.9						昇　钟	
	2.70		20.7		10.3				塘口电站	
砂　质	2.33	6.16	16.2	8.6					四川黑龙潭水库	
砂　质	2.27		14	5.7					昇　钟	
	2.60	1.7	13.3						偏窗子水库	
粘土岩			11.0						红旗水库	
	2.25		4.4						昇　钟	
粉砂质微风化	2.59	1.7		89.6		2.8			军渡电站	
砂　质	2.27	7.4		52.2	1.82				昇　钟	
粉砂质	2.58	2.49		39.3～48.4					军　渡	
粉砂质	2.68	3.93		33.5	14.56				小浪底	
砂　质	2.41	3.06		20.5	1.82				昇　钟	
粉砂质	2.62			5.5	4.6				巩河水库	
	2.51	1.94		5.0					小井沟水库	
粉砂质							0.37*	40*	龙　门(舌头空坝址)	*现场值

表 5　　软岩物理力学参数汇总表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
灰岩页岩互层	弱风化	2.68	0.33	87.2	30.5	7.0				观音阁水库	
灰岩	薄状	2.77	0.09	48.6	30.4						
石英砾岩		2.66	0.28		30.2					丰满	
绢英千枚岩	微风化	2.60	0.20	65	30					碧口	
灰岩	含燧石结核	2.64	0.56	39.8	30					江垭	
泥岩		2.65	1.54	33.4	30					天生桥一级电站	
石英砂岩		2.28	4.65	44.2	29.9	1.22				山西北引黄	
灰岩		2.60		72.9	29.2	32.5				徐州铜山柳泉矿	
粉砂岩	泥质	2.52	3.10	33	29			0.29	70	葫芦口	
云母片麻岩	弱风化			49.4	28.2					岗南水库	
		2.50	3.42	45.3	28.1					广元香水渡	
粘土岩	砂质	2.57		42	27.9					狮子滩	
灰岩	泥质	2.53	3.93	65	27.8					龙门	

页　岩		2.61	2.75	35	27.5					紫坪铺
砂　岩				39.1	27.3	2.54				昇　钟
角砾岩		2.43	3.72	56.6	27.3					漫　湾
闪长玢岩	岩脉，弱风化	2.95	0.24	54.9	26.8	0.78				潘家口(杨叉子坝址)
灰　岩	薄层，条带			55	26.5	28.4				隔河岩
芒硝岩		2.01			26.4	10.2				华东盐矿
砂　岩	弱风化	2.15	6.65	41	26	4.6				葫芦口水库
粉砂岩	弱风化	2.59	1.91	32.8	25.7					万　安
角砾岩		2.46	3.3	54.6	25.6					漫　湾
砂　岩	弱风化	2.19	5.1	47.1	25.5			0.41	50	小井沟水库
细砂岩	全风化	2.18	8.01	48.1	25.1					云南、丰收河大寨电站
石英片岩	含白云母，弱风化	2.17			25.0	1.3		1.09	3000	黄　龙
灰　岩		2.64		79.2	24.8	47.5	4.2			徐州铜山
砂　岩		2.28	2.64	36.5	24.8					小井沟水库
花岗岩	强风化	2.33	5.65	40	23	18.4				江西七星水库
角砾岩		2.58	0.83	42	24					万　安
灰页岩		2.61	2.34	29	24					陆　浑
油页岩		2.09	15.5	26.1			8.1	0.25	3900	龙口矿区

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
砂岩	强风化	2.22	5.6	58.2	23.9					沱江水库	
砂岩	钙质，弱风化	2.33	5.34	44	23.5					昇钟	
灰岩		2.33	4.4	36.2	23.5					偏窗子	
灰岩	白云质，微风化	2.77	0.41	43.7	23.3					恒山	
细砂岩	泥质	2.22	5.65	42.7	23.1					陕西王圪堵水库	
灰岩	泥质	2.61	0.14	73.8	23					江垭	
花岗岩	强风化	2.33	5.65	40	23	18.4				江西七星水库	
绿泥石片岩		2.74	0.69	34	23					丹江口	
粘土岩		2.58	2.91	31	23					罗江口电站	
页岩	砂质	2.63	1.35	37.2	22.7			0.40	44	龙门(甘泽坡坝址)	
云母片岩	弱风化	2.69	1.2	45.3	22.0					绿水河	
白云岩	灰质	2.69	0.25	64.6	21.9					鲁布革	
粉细砂岩	新鲜	2.17		39.2	21.7	6.7				陕西王圪堵水库	
安山岩	凝灰质			63.8	21.4			0.8	86	辽阳得海水库	
粉砂岩	灰黑色	2.81	1.32	54.5	21.2					大藤峡	

水云母页岩		2.44	3.76	29.9	21.3	17.8				鄂利川长顺电站	
粉砂岩	泥　质	2.52	3.16	45.3	21			1.0*	120	小什字	*现场抗剪断
灰　岩				33.7	21					马鞍山栊中铁矿	
砂　岩	泥钙质	2.41		75.2	20.9					三岔水库	
粘土岩	砂　质	2.41	3.06		20.5	1.82				昇　钟	
	砂　质	2.51	2.5	38	19.6					四九滩电站	
	砂　质	2.54	2.84	31.6	19.6					东西关寨水库	
砂　岩	泥　质	2.58	2.81	81.3	19.3					月江口	
粘土岩	砂　质	2.62	1.98	34.5	19					上洞水库	
粘土岩	砂　质	2.59	2.64	43.1	18.6					偏窗子	
页　岩	砂质微风化	2.51	3.96	71.7	18.2					六郎洞	
粘土岩	砂　质	2.56	2.12	52.7	18					月江口	
白云岩	泥　质	2.53	0.55	35	18					普　定	
页　岩		2.56		25.7	18					徐州铜山	
页　岩				33	17.8					葫芦口	
板　岩	风　化	2.55	2.72	33.9	17.5	37.3				安徽冬至	
页　岩	砂　质	2.52	2.08	63.5	17.3					小什字水库	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
细砂岩	钙质	2.51	1.58	36	17.3					陕西王圪堵水库	
砂岩	弱风化	2.35	6.50	45.5	17.2	8.2				黑龙潭	
糜棱岩	片状	2.74	0.90	31	17					丹江口	
泥灰岩		2.48	2.36	28.3	16.5	1.9				龙口电站	
粘土岩	砂质	2.55		31.7	16.3					下洞水库	
片麻岩		2.48	2.82		16.1	0.017				河南长竹河水库	
粉砂岩	泥质	2.41	3.65	46.1	15.9					太平湾	
辉长辉绿岩	强风化	2.70		54	15.7					丹江口	
砂岩	泥质	2.57	1.49	37.5	15.6					万县威池水库	
页岩		2.63	2.03	21.4	15.5	1.1	1.53	0.68	2680*	彭水	*室内三轴值
粉砂岩		2.41	3.32	52.4	14.7					太平湾	
粘土岩	砂质	2.54	2.7	25.2	14.6					葫芦口水库	
玄武岩	软弱	2.65	3.7	19.2	14.4					以礼河二级	

细砂岩、泥岩	互　层	2.67	0.73	22.8	14.2					天生桥一级	
砾　岩	强风化	2.49	2.93	36	14					栢　林	
砂　岩	变质，强风化	2.52	2.77	47	13.9	19.8				江西大坳	
粘土岩		2.56	3.25	45.9	13.9					小什字水库	
云母片岩	全风化	2.65	1.84	30.8	13.8					绿水河	
细砂岩		2.72	1.92	56.0	13.5					石景山龙口灰坝	
细砂岩	弱风化	2.26	4.17	18.2	13.3					小井沟	
泥　岩	砂　质	2.42	4.35	14.8	13.6					长滩水库	
粗砂岩	砾　质	2.20	7.78	38.4	12.9					太平湾	
砂　岩		2.61	0.38	15.9	12.5					下马岭	
灰　岩		2.62	0.81	23.2	12.3		3.26			江　垭	
玄武岩	节理发育，全风化	2.47	3.17	41.1	12.1					以礼河一级	
砾　岩	砂　质	2.59		34	12.1					小什字	
细砂岩		1.98	8.19	15.3	11.6					陕西王圪堵水库	
灰　岩	薄层，风化	2.55	1.61	30	11.2					恒　山	
粘土岩		2.36	6.5	40.6	11.4					三　岔	
砂页岩		2.66		14.3	11.1					徐州铜山	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
绢英千枚岩	薄片，微风化	2.60	0.20	25	10			0.53	10	碧口	
石英砾岩		2.58	1.01		10.7					丰满	
泥灰岩		2.25	6.16	17.3	10.6	21.5				河口村	
泥岩		2.48	7.28	28	10.6	6.5		0.67	520	淮阳	
粉砂岩		2.63		16.6	10.5	9.7				鄂巩河水库	
绢英千枚岩	薄片状，弱风化	2.90	0.27	30	10	10.0		0.5	10	碧口	
粘土岩		2.53		31.6	9.9					狮子滩	
粉砂岩	泥质	2.31	4.55	30.6	9.9					太平湾	
页岩		2.60		26.3	9.8	2.66	0.64			乌江渡	
芒硝岩		2.30			9.2				抗切380	华东盐矿	
粘土岩		2.50	6.36	34.9	8.7					蒲江小河子水库	
		2.33	6.16	16.2	8.6					黑龙潭	
	砂质		6.5	35.2	8.4					红旗水库	

砂　岩	钙　粒	2.61		37.5	8.3	22.3				鄂、巩河水库	
粉砂岩		2.55	4.81	42.8	8.3	1.21				石漱山灰坝	
角砾岩		2.21	5.3	39.5	8.2			0.48*	0	六郎洞	*岩石粗面摩擦
云母片岩	松软，全风化	2.53	2.58	19	8.2					绿水河	
砂　岩	强风化	2.34	5.27	17	8	6.45				上饶大坳	
砂　岩	条带状	2.39		25.3	7.8					五强溪	
大理岩				16.9	7.6					闸南水库	
	集块状	2.62	3.36	43	7.6					石景山龙口灰坝	
花岗闪长岩	强风化	2.55	2.46	39	7	5.39				江西李新	
页　岩	紫红色	2.25	7.6	20.6	6.7	1.85				淮　阳	
粉砂岩	粘土质	2.35	3.18	14.3	6.2	3.23	0.9/			葛洲坝	
玄武玢岩	强风化	2.62	1.92	15.1	5.9		1.1/			陆　浑	
粘土岩		2.27		14	5.7					昇　钟	
粘土岩	砂　质	2.62			5.5	4.6				巩河水库	
绿泥石片岩	弱风化	2.57		14.6	5.3					冯家山水库	
页　岩	强风化	2.40	4.15		5.2			0.55	82	陆　浑	
砂　岩	微风化	2.21	6.14	14.5	5.1			0.67	18	新疆哈拉喀尔电站	

续表

岩石名称	岩石性状（裂隙、风化、夹层）	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	抗压强度 (MPa) 干	抗压强度 (MPa) 湿	E (GPa)	抗拉强度/冻融 (MPa)	抗剪强度 tgφ	抗剪强度 c (kPa)	工程名称	备注
砂岩	变质，强风化	2.26	5.68	18	5	15.9				江西高湖	
粘土岩		2.51	1.94		5					小井沟	
砂岩	集块状	2.44	5.09	13.5	4.2					石景山灰坝	
粉砂岩		2.37	3.32	14.1	4					葛洲坝	
千枚岩	强风化	2.25	4.98	7	4					江口	
石英砂岩		2.59	1.01		3.7					河南白沙水库	
粉砂岩	泥质	2.14	10.24	20.6	1.5	1.17		1.03	190	安徽淮阳	
芒硝岩		2.35		24.9		29.6			抗切380	华东盐矿	
泥岩	紫红色	2.25	7.6	20.6				1.23	760	淮阳	
页岩		2.65		20				0.45	430	天生桥二级	
粘土岩		2.69		20.7		10.3				来风塘口	
		2.60	1.7	13.3				1.07	70	偏窗子	
芒硝岩		2.08		12.6					抗切250	华东盐矿	
粘土岩		2.25		4.4				0.24	7	昇钟	
页岩	全风化	2.41		4.3						六郎洞	

表 6　　软弱夹层物理力学参数汇总表

夹层编号	夹层特征	成因类型	夹层厚度 (m)	夹泥厚度 (cm)	容重 (g/cm³)	含水量 (%)	抗剪强度 f′	抗剪强度 c′(kPa)	抗剪强度 f	抗剪强度 c(kPa)	工程名称	备注
308夹层	层间错动，普遍泥化	构造型	0.4～4.38	1～3	1.75～	14.2～48.7			0.22	17.6	葛洲坝水利枢纽	
230夹层	紫红色，普遍泥化	构造	0.01～1.27	0.5～5	2.03～2.15	19.3～26.4	0.22	9.8	0.26	18.6	葛洲坝	大型快剪 $f=0.22$, $c=9.8$kpa
227夹层	粘土岩泥化层	同上	0.02～1.1	0.1～16	1.77～1.80	37.2～49.7			0.22	2		
219夹层	层间错动，普遍泥化	同上	0.02～3.09	0.1～9	2.03	21.1～23.8			0.32	29.4		
218夹层	连续分布，泥化		0.4～1.3	0.1～1	1.99	22.5			0.21	3.9	葛洲坝	中剪
202夹层	层间错动，普遍泥化		0.05～2.6	0.1～20	2.12	21.2～24.9	0.23	61.7	0.24	20.6		
132夹层	粘土岩泥化夹层			0.05～0.1	1.37	36	0.28	29.4	0.20	4.9		
313夹层	粘土岩夹层				2.31	11.3	0.48	166.6				
307夹层	碎状粘土岩	构造		0.00～50	2.02	8.3	0.39～0.43	58.8～68.6				
113夹层	碎状粘土岩	同上			2.02	14.0	0.40	39				
131夹层	粘土岩	原生型		0.5～1.0		34	0.22	19.6				
213夹层	粘土岩	同上		0.2～0.6			0.30	9.5				

注　f'为岩石抗剪断摩擦系数；c'为抗剪断粘聚力；f为抗剪摩擦系数；c为抗剪粘聚力。

续表

夹层编号	夹层特征	成因类型	夹层厚度 (m)	夹泥厚度 (cm)	容重 (g/cm³)	含水量 (%)	抗剪强度 f′	抗剪强度 c′(kPa)	抗剪强度 f	抗剪强度 c(kPa)	工程名称	备注
218夹层	粘土岩	原生	0.4～1.3		2.03	21.1	0.38	137	0.26	24.5	荷洲坝	
9层底	局部亚粘土，主要碳质重粘土	构造		0.1～0.4	2.15～2.17	12	0.466	50	0.39	20	长仁	
10层顶	3小层，碳质中壤土	同上			2.11～2.15	12.9～12.7			0.33	90		饱和，固结快剪
10层顶	6小层，砂质壤土	同上			2.12	13.7			0.19	12.5		
320	粘土岩与粉砂岩层面								0.43*	49.6	葛洲坝	*现场值
302	粘土岩夹层，局部软化			0.1～3.44					0.42	52.9		饱和、固、快
301	层面泥化带，连续性差			0.05～1.33					0.31	30.4		
129	粘土岩泥化夹层				1.76	50			0.20	33.3		土工法
115					2.09	20.4			0.30	35.8		
f_{111}	断层泥								0.24	13		中剪 $tg\varphi=0.28$ $c=15.9kPa$
f_{111}	白云岩夹炭质页岩			0.3					0.36	20	熊渡	层服值 $tg\varphi=0.24$ $c=12kPa$
	砂页岩夹层				15.7～34.5	12.2	0.30～0.42*	70～170			陈村	*现场值

夹3-2	粉砂岩粘土岩及泥质页岩夹层	构造		0.15	4				0.14	60*	碛口水库	*现场值
D_{1s}	泥化夹层			0.02～0.09	2～9				0.19	20		起伏差1～5cm
PD_{1s}、夹层	粘土岩，长石，水云母，粉质粘土			1～3	1.78	21.1	0.19	5			龙门	残余值 $f=0.16$
D_{1s}	细砂岩，夹泥			0.5～1			0.19	4				残余值 $f=0.17$
D_{2s}	粉砂质粘土岩夹岩屑和泥			方解石脉厚1.0			0.37	40				
C_3'	页岩	原生型		0.01～0.5	1.81				0.41	2		
C_2	铝土页岩	同上		0.01～0.3	2.16	19.7			0.29	9		
第一滑带	砂质页岩，炭质泥岩夹泥层	构造		0.5～10	2.61	4.3～14.25			0.38～0.48	40～90	韩城电厂	室内原状中剪
第二滑带	砂质泥岩，有岩屑	同上		0.1～18	2.66				0.30～0.35	20～50		浸水5～7天
第三滑带	泥岩夹泥层，含碎石	同上		1.5～10	2.67				0.30	20～40		
第四滑带	泥质砂岩夹泥层	同上		0.4～8					0.25～0.35	30～55		
F_4	绿绢千枚岩，凹坑有夹泥	构造		0.1～1			0.53	20	0.48	8	安康	
f_6	绿绢千枚岩，充填碎屑及泥	同上		3～5			0.49	18				构造岩厚层
f_1^b	绿绢千枚岩，碎片泥膜	同上	0.02～0.1		2.08	11.9～25.2			0.35	35.2		室内中剪，原状
F_{1s}	充填断层泥，糜棱岩	同上	0.10～3.0		1.6	23.4			0.44(0.25)	1.5(5.8)		括号内为固结快剪
f_{1s}^b	充填岩片及糜棱岩	同上	0.13						0.30	4.9		
f_7	充填压碎岩及糜棱岩	构造	0.08				0.34	89	0.30	4.9		

续表

夹层编号	夹层特征	成因类型	夹层厚度(m)	夹泥厚度(cm)	容重(g/cm³)	含水量(%)	抗剪强度 f′	抗剪强度 c′(kPa)	抗剪强度 f	抗剪强度 c(kPa)	工程名称	备注
f_{1-1}	岩面有粘泥	构造	0.02						0.26	2.94	安康	
毛-2	白色岩粉，碎石，矿物泥化					52.9			0.47	45	毛家村电站	浸水固结快剪
f_4	岩块，岩屑及泥	构造	0.01～0.03						0.55	20	官厅水库	室内原状中剪
f_5	碎屑岩、砾岩、糜棱岩和泥	构造	0.001～0.08		1.96～2.23				0.4～0.64	6		
f_7	碎屑岩、砾岩、糜棱岩和泥	构造	0.02						0.64	20		
f_8	泥膜	构造	0.001～0.01						0.34～0.50	720～89		
f_5^1	破碎夹泥层	构造		泥膜			0.33	63			向阳口二级电站	
f_6^1	破碎夹泥层	构造		1.5～2.5			0.29	50				
f_6^2	破碎夹层糜棱岩	构造		泥膜			0.51	50				
f_{1-1}	破碎夹泥层	构造		泥膜			0.42	28				
f_{1-1}^2	破碎夹层	构造		泥膜			0.60	83				
f_2	角砾岩，碎屑断层泥	构造		0.5～5					0.47	45	十三陵抽水蓄能电站	室内原状中剪
f_4	角砾岩，碎屑断层泥	构造		3～5					0.37	35		

f_1	岩屑，断层泥	构造		0.5～1.5					0.48	65	十三陵抽水蓄能电站	
T_1	钙质，泥质充填	构造		0.5～1.0					0.60	46		
T_{1-2}	泥钙质膜	构造		0.2～0.4					0.54	30		
T_{1-3}	充填岩屑、岩粉	构造		0.1～0.5					0.59	46		
R_3夹层	片状岩、角砾岩，碎屑、泥	构造	0.03～0.04	0.1～2	1.98	23	0.46	55			张坊水库	
R_4	片状岩、岩粉，泥膜	构造	0.03～0.05	0.05～3			0.54	136				
R_5	碎裂岩，含碎屑、泥	构造	0.02～0.01	0.1～1			0.56	20				
R_6	碎屑岩，岩屑和泥	构造	0.02～0.03	1.5～2			0.41	46				
R_7	挤压片状岩和泥	构造	0.005～0.02	0.5～1			0.42	24				
F_1	细粒断层角砾岩及断层泥	构造	0.1～0.3						0.51	50	恒山水库	
Cn_1	角闪片麻岩夹泥层	构造		0.5～2			0.44	30	0.44	10	岗南水库	屈服值$f'=0.39$ $c'=30$kpa
Cn_8	蛭石及水云母	构造		0.5～3			0.58	70	0.49	20		
NJ_{0-4}	泥化夹层，以伊利石为主	构造		0.2～1	1.50	27.1	0.35	100			万家寨	现场浸水，饱、固、快
NJ_{0-2}	泥化夹层，以伊利石为主	构造	0.06	1～6	1.85～1.90	4.8～8.5	0.51	20	0.42	7		
NJ_{0-1}	泥化夹层，以伊利石为主	构造	0.05	1～5	1.97	2.5～7.8			0.34	12		饱、固、快
II-5	泥质粉砂岩和页岩	原生	0.005～0.02	0.2～0.5	1.87	25.0	0.38	14	0.35	11	朱庄水库	饱、固、快
Cn-72	页岩和泥质砂岩，泥化层	构造	0.03～0.05	0.1～0.3	1.41	111.1	0.40	9				

续表

夹层编号	夹层特征	成因类型	夹层厚度 (m)	夹泥厚度 (cm)	容重 (g/cm³)	含水量 (%)	抗剪强度 f′	抗剪强度 c′(kPa)	抗剪强度 f	抗剪强度 c(kPa)	工程名称	备注
右III层底	薄页状砂岩及页岩	原生	0.1	0.02～0.03	1.99	17	0.22	25	0.29	23	朱庄水库	
VI层底	泥质粉砂岩夹粘土	原生	0.1～0.2	0.01～0.02	2.14	15.8～22.1	0.34	28	0.28～0.35	13～18		
	石英砂岩夹页岩，错动泥化	构造					0.46	23	0.27	25	潘家口	
C_{58}	粘土或砾粘土	构造		1～3	2.09	2.26			0.15	23	清河水库	饱和、快剪
R_{141}	粘土或粉质粘土	同上			2.16	19.1			0.28	35		
C_{118}	砾质壤土	同上			2.28	7.5			0.15	43		
F_{31}	粘土	同上			2.09	13.9			0.23	50		饱和，固结，快剪
244-F_4	破碎带夹泥层、砾块夹泥	同上	0.005～0.03	1～2	1.75	1.78	0.49	17	0.42	40	白山电站	
$\Pi_{28}T_1^1$	泥夹碎屑，伊利石为主	原生型		0.2～4.5	2.42	6.8～15.9	0.19～0.37	2	0.27	7	小浪底	饱和，快剪
$\Pi_{11}T_1^1$	粉砂岩火泥膜，不连续	原生型		0.05～2.5			0.21～0.38	3	0.36	12		
$\Pi_{29}T_1^{1-3}$	泥夹碎屑	原生型	0.5～4.0	1.3～2.6		10.7～16.5	0.19～0.23	13				
$\Pi_{36}P_1^{1-1}$	全泥	原生型		0.5～4.0	1.97		0.01～0.20	17	0.25	3		饱和，快剪
F_2	充填高岭土，原棱岩	构造	0.04～0.11	0.5～2			0.39	35	0.26	1	紧水滩	

F_4	充填断层泥、糜棱岩	构造	0.05～0.15	0.5～2			0.52	67	0.25	3	紧水滩	
Pb_{1-6}	破碎夹层(变质凝灰岩)	层间错动	0.02～0.05	0.01～0.06			0.42	33			长　　诏	试件 110cm×110cm
f_3	泥质条带灰岩	层间挤压	0.02～0.2	0.01～0.02	1.35	28.9	0.40	0			天福庙水库	
$f1～4$，$6～10$	砂岩与板岩间夹层	挤压					0.42	67			双牌电站	单点法
f_4	破碎夹层	构造					0.38	60				
f_1	破碎夹泥层含砾质壤土	构造	0.1～1.0	0.05～3.6	2.21	19.3	0.23	12～14	0.22	28	五强溪	
PN	破碎夹泥层砾质轻壤～重壤土	构造			1.68*～1.86	1.91～14.9	0.36	57	0.20～0.35	11～60	五强溪电站	干容重，平推
F_{26}	糜棱岩、片状碎裂岩，有泥	构造	0.25	2.0	2.04～2.77*	16.5	0.28	20	0.38	20	李家峡电站	*比重
F_{27}	同上	构造	0.30	2	2.26～2.68	1.97	0.29	40	0.5～0.6	40		原状快剪 $tg\varphi=0.26$ $c=84kPa$
F_{34}	糜棱岩，角砾有泥	构造	0.20	4	2.04～2.86	16.6	0.32	20	0.32	55		
f_{36}	片状岩岩、角砾岩，夹少量泥	构造	0.4～0.5	3	2.71				0.34	20		
f_{35}	糜棱岩，挤压片状岩	构造	0.35	6					0.45	70		中剪
F_{33}	块状碎裂岩	构造	0.2～1.2	0.1～5			0.48	0				
F_{40}	充填碎屑、角砾，有粘土	构造	0.5～3.0	1～2	2.24*	9.88			0.20	18	刘家峡	*干容重
F_{41}	同上	构造	0.5～1.5	1～2		19.04			0.33	15		
F_{510}	裂隙夹泥，岩块较多	构造	0.005～0.05						0.37	70		原状中剪
T_{147}	片状岩，方解石，石英脉及泥	构造	0.03～0.1						0.47	100		

续表

夹层编号	夹层特征	成因类型	夹层厚度 (m)	夹泥厚度 (cm)	容重 (g/cm³)	含水量 (%)	抗剪强度 f'	抗剪强度 c'(kPa)	抗剪强度 f	抗剪强度 c(kPa)	工程名称	备注
R_p-19	岩屑、粘土和阳起石	构造	0.02～0.15						0.29	88～170	刘家峡	
R_p-5	岩屑、粉末	构造	0.02～0.4						0.42	130		
F_{16}	断层角砾岩夹泥	构造	1.03	0.5	2.23	10.9			0.44	210	龙羊峡	
F_{19}	角砾岩、糜棱岩、方解石夹泥	构造	0.1～0.25	0.1～0.5	1.80	11.2			0.49	16	拉西瓦	饱和、固、快，中剪$tg\varphi=0.4$，$c=65$kPa
Hf_4	糜棱岩、角砾岩	构造型	0.1～0.25	0.1～0.5	2.68*	14.7	0.55	400	0.56	18	拉西瓦	比重，中剪$c=80$kPa $tg\varphi=0.47$
F_{172}	糜棱岩、角砾岩	构造型	0.2～0.4		2.65	8.7			0.54	49		
Hf_5	岩屑、棱岩	构造型	0.05～0.2	泥不连续	2.71	11.5			0.61	2		中剪$tg\varphi=0.55$ $c=60$kPa
F_{184}	碎块岩、角砾岩、方解石、糜棱岩	构造型	0.15～1.0	局部有泥	2.84	17.8		*	0.61	3		
$F_{18}(a)$	风化碎屑、岩片、泥	构造型	0.05～0.1		2.00	15.5	0.47	369			岩滩水电站	中剪、屈服值 $tg\varphi_1=0.34$，$c_1=188$
SH301							0.34	90			西北口水库	

$f_{D_{1+2}}$	风化碎屑、岩片，少量泥质	构造型	0.05～0.1		2.10		0.48	120			岩滩	比重，中剪
305-13	碎屑夹泥，局部泥化	构造型	0.005～0.015			17.3	0.34	0			大藤峡	残余值$tg\varphi'$-0.32
520-D_1n	泥、岩屑，连续呈层	构造型	0.005～0.01			15.56	0.22	50			大藤峡	残余值 $tg\varphi'=0.22$ $c=40kPa$
C_1	断层泥、糜棱岩、角砾岩	层间错动	0.04～0.95	0.1～2.5			0.29	20			铜街子	屈服值 $tg\varphi=0.24$ $c'=15kPa$
$K^{(2)}$	壤土主要矿物水云母、高岭土	构造型			1.44～1.57	26.6～28.8	0.61	90			昇钟水库	
$K^{①-2}$	碎块及粘土岩风化	构造型	0.08～0.3		1.32～1.37	35.6～38.9	0.22	48	0.24	9	昇钟水库	
D_1	连续性泥化夹层	原生型	0.01～0.05	0.1～1.5	1.54	22.1	0.38～0.45	4	0.29	18	宝珠寺	
D_2	透镜状泥化夹层	原生型	0.15～0.3	0.05～15	1.64	30.1			0.15	13	宝珠寺	
D_3	连续性泥化夹层	原生型	0.01～0.05	0.1～1.5	1.65	26.2			0.22	16	宝珠寺	
D_4	同上	原生型	0.01～0.05	0.1～1.5	1.52	29.0	0.71	10	0.15	26	宝珠寺	
D_5	同上	原生型	0.01～0.05	0.1～1.5	1.97	20.0	0.35～0.49	15	0.29	20～22	宝珠寺	
FB_1	断层中夹泥	构造型			2.22		0.33	122	0.20	33	天生桥二级水电站	
TNWW裂隙	夹泥	构造型			1.56	84.4			0.29	40	乌江渡	
F_{34}	泥含砂砾	构造型	0.1～0.3	0.1～0.4		13.97	0.51	164			大黑汀水库	
F_{15}	断层泥较坚硬，含少量碎石	构造型		0.2～2.0		16.96	0.31	157			大黑汀水库	

续表

夹层编号	夹层特征	成因类型	夹层厚度 (m)	夹泥厚度 (cm)	容重 (g/cm³)	含水量 (%)	抗剪强度 f′	抗剪强度 c′(kPa)	抗剪强度 f	抗剪强度 c(kPa)	工程名称	备注
F_{13}	有石英脉，上下有泥	构造型	0.1～0.3	1.5～2.1	1.85	19.0	0.47	158			大黑汀	
F_4	断层夹泥，大理岩基面光滑	构造型	0.15～0.45		1.25～1.29	0.25～0.47	0.17	60	0.19*	10	青山水库	*饱和，固结值仅饱和$tg\varphi=0.13$
	粘土岩夹层	原生型	0.2～0.3		1.90	13.94			0.50	68	兰岗水库	
	泥化夹层	原生型	0.01～0.05		1.66	0.48			0.50	24	下马岭水电站	
	泥灰岩，错动	次生型	0.01～0.2		1.72	47	0.28	26			海子水库	
	泥化夹层、粘土页岩	原生型	0.1～0.25	0.2～20	2.30	7.79	0.31	0.0	0.31～0.49	25	盐锅峡水电站	
	粘土岩破碎夹层	原生挤压		<5			0.16	35			新开口水电站	
F_4	断层面	构造型		0.1～0.7			0.36	610			下桥水电站	
	夹泥	构造型	0.1	2.0		55.0			0.23	22	回龙寨水库	固结，慢剪
	粉砂质页岩夹层	原生型	1.1	1.3	1.82	19.0	0.24	9			车坝水库	
(psh)3-2 6-1	砂岩粘土岩互层	原生型		0.05～0.3	1.82～1.91	16.8～19.31	0.14～0.43	3～6	0.30～0.35	16～25	军渡水电站	
6-I 4-1	夹层夹泥、粘土矿物集中		0.01～0.05	0.01～0.2			0.66	80			四里岩水库	起伏差较大

II	夹层夹泥不连续		0.03～0.003	0.1～0.3			0.69	64			四里坪水库	
I	岩石碎屑，胶结差地方泥多	构造挤压	0.1～0.12				0.34	80			上安水电站	
C_{63}	无充填物，为泥膜			泥膜			0.66	173			桃林口水库	
F_{14}	夹泥含岩石碎屑	构造型	0.02	0.2～2			0.53	133				
CN补I	夹泥层、黄泥夹碎屑		0.01～0.05	0.5～1.0			0.323	80			岗南水库	
VI组	层面夹泥，连续	原生型	0.03～0.05	0.2～0.5			0.42	49			桃林口水库	
I	泥板岩夹层	原生型					0.58	150			涔天河水电站	
	泥化板岩		0.05～0.15		2.06	10.96	0.27	51	0.24	0～13	上犹江	
B	夹层	原生型	0.5～1.0				0.50	400			垭口水电站	
$\tau_{2,3}$	断层泥(黄色粘土)			1～2			0.36	40			漫湾	屈服值tgφ=0.306，c′=40kPa
301	黄褐色，软泥			0.1～2.0			0.31～0.39	70～90			滔河岩	屈服值f′=0.39，c′=40kPa
302	同上			0.1～1.0			0.47					屈服值f′=0.26，c′=30
401	灰白色，软泥			0.5～26			0.22	25				屈服值
	砂岩、泥板岩间夹层						0.33	130			龙滩	
	砂岩，裂隙夹泥层						0.22	260				
1-277f_8	断层破碎带	构造型		0.1～0.2			0.30	100			白山	
π_5	全泥	原生		0.5～6			0.18～0.24	3-45			小浪底	

续表

夹层编号	夹层特征	成因类型	夹层厚度 (m)	夹泥厚层 (cm)	容重 (g/cm³)	含水量 (%)	抗剪强度 f′	抗剪强度 c′(kPa)	抗剪强度 f	抗剪强度 c(kPa)	工程名称	备注
Hf_6		构造					0.61	1120	0.45	130	拉西瓦	
G_4	劈理带						0.32	55	0.46	7.5	龙羊峡	
Z_1	中壤土				2.23	1.8			0.32	100	铜街子	固结，快剪
f_4	断层泥，高塑性	构造	0.05～0.1	1～4	1.61	30	1.83	13.0			鲁布革	
τ_{2+3-2}	细碾质土			1～2		13.7	0.41	36			漫湾	
T_{1z}	石英砂岩，缓裂面夹泥			0.1～0.2					0.54	142	天堂山水库	
T_3,T_4	层面夹层				2.18	22.8			0.10	12	乌江渡	
2#结构面	层间挤压，碎屑砂质粘土	构造	0.05～0.1				0.65	30			鲁布革	
F_{1a}	断层破碎带，夹泥	构造		1～5			0.24	44			天堂山水库	
F_{1a}	同上，全风化砂岩	构造	0.20～0.4				0.64	40				中剪
F_4	断层破碎带，夹泥	构造							0.42	57	宝珠寺电站	
	软弱结构面					20.0			0.49	20	新丰江水库	

注：$f=\mathrm{tg}\varphi$，$f'=\mathrm{tg}\varphi'$；f'及c'为现场抗剪断参数。

表 7　　岩石（体）地应力实测值汇总表

岩石名称（年代、岩性）	工程名称	深度 (M)	最大应力 σ_1 (MPa)	最大应力 方位角（度）	最大应力 倾角（度）	中间应力 σ_2 (MPa)	中间应力 方位角（度）	中间应力 倾角（度）	最小应力 σ_3 (MPa)	最小应力 方位角（度）	最小应力 倾角（度）	备注
白垩系粉砂岩 (K_1)	葛洲坝	3.6	0.38	41	16	0.25			0.15			孔壁法全应力房测量，三江厂
		7.3	0.42	27	−26	0.18			−0.05			基坑
		10.3	0.29	18	−11	0.14			0.001			基坑开挖影响
粉砂岩	葛洲坝	51	3.01	26					2.57	296		
		63	2.94	20					2.35	290		水压致裂法
砂砾岩		57	5.10						2.35			水压致裂法
侏罗纪 砾岩	十三陵		−9.6	309.9	−9.7	−4.5	380	−11.4	−1.3	79.4	75	孔底应变
			−11.0	48.5	5.7	−10.3	271.5	−82.2	−8.8	319	5.3	同上
			10.8	300.1	35.4	−6.9	330.1	−50.6	−3.0	43	70	孔底应变
辉绿岩	百色水库		8.5	9.47	76.7	4.68	152.7	10.8	3.24	244.4	7.4	孔径法
细粒花岗岩	东江	75	13.8	124.6	49	4.8	41.7	8.6	4.1	266	31.7	
			11.3	319.2	33.3	−1.73	232.1	4.5	−4.8	328.9	52.3	
			7.1	330	11.9	2.35	48.3	56.4	0.77	247.4	30.9	

续表

岩石名称（年代、岩性）	工程名称	深度（M）	最大应力			中间应力			最小应力			备注
			σ_1（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_2（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_3（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	
细粒花岗岩	东江	180	6.1	111.3	9.8	1.64	34.8	53.6	−0.76	14.4	34.7	
中生代花岗岩	拉西瓦	272	22.8	350	41	13.3	69.0	11	9.47	327	46	右岸2*洞.压磁法
花岗岩，新鲜，完整			14.5	302	51	9.48	66	16	3.65	153	9.7	左岸14-1*洞，压磁法
			9.48	320	54	5.96	86	23	2.73	9	26.0	右岸11*洞，压磁法
花岗岩，新鲜		158	20.5	12	39	14	82	22	5.7	331	42	右岸2*洞，孔径法
			21.6	63	19	13	336	6	7.47	83	69	左岸5*洞，孔径法
		110	8.8	65	23	5.5	28	55	2.16	326	17	左岸5*洞，孔径法
斑状花岗岩	大广坝	19.3	−1.42	168.4	4.2	−0.73	259.2	−11.1	−0.43	258.0	78.2	8点平均值
			−10.7	348	8	−3.1	266	45	−0.57	250	44	室内声发射法
花岗闪长岩	龙羊峡	65	5.34	240	18	2.55	115°	60	−0.43	338	22	右岸352*洞，解除法
		68	9.35	311	1	3.29	38	66	1.76	41	23	左岸帷幕灌浆廊道，解除法
		68	3.34	72	57	2.3	192	17	−0.06	291	26	左岸帷幕灌浆廊道，解除法
花岗闪长岩	龙羊峡	68	4.03	NE50	29	3.33	SW208	58	1.21	NW315	10	应力解除

花岗岩	龙羊峡	68	4.01	NE83	47	1.86	SW202	23	0.41	NW310	32	
		68	1.81	SW245	14	1.02	NE77	75	0.69	SE155	2	
花岗闪长岩	映秀湾	209	22.2									应力恢复
			13.2							9.1		应力恢复
			9.16							16.1		应力恢复
			22.3							11.1		浅孔应力解除
			8.5							15.5		浅孔应力解除
花岗闪长岩	瀑布沟		16.0	NE59	20	9.1	NW49	41	2.6	SE11	42	钻孔变形，计解除法
			21.7	NE84	15	12.0	NE14	52	8.8	SE16	34	三点交会
			10.0	S0.0	70	6.5	NE46	-77	5.9	NE12	11	
花岗闪长岩	龙羊峡	65	1.25	127	74	0.83	13	7	0.4	281	15	7*地段，解除法
			1.81	245	14	1.02	77	75	0.69	155	2	750*洞，解除法
中粗粒花岗岩	广州蓄能电站	141	7.79	140	62	2.59	345	26	0.63	250	10	ZK623孔，解除法
		210	10.57	78	78	9.12	318	6.0	3.83	227	10°	ZK623孔，解除法
中粗粒花岗岩	广州蓄能电站	331	12.9	343	44	8.95	222	28	6.49	112	32	PDZK 03 孔，解除法
		401	10.9	168	67	5.87	357	22	5.09	265	3	PDZK 01 孔，解除法
		497	15.08	158	75	10.43	311	13	9.01	43	4	PDZK 01 孔，解除法

续表

岩石名称（年代、岩性）	工程名称	深度（M）	最大应力			中间应力			最小应力			备注
			σ_1（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_2（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_3（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	
闪云斜长花岗岩	三峡	39.4	8.5	43	−18	4	300	−34	−0.9	336	50	左岸船闸部位，铅直孔
闪云斜长花岗岩	三峡	42.2	2.8	57	−9	−1.5	327	1	−3.5	54	81	深孔水下三向应变计法
弱风化	三峡	74.4	6.8	319	−64	3.7	238	5	1.2	330	25	解除法
微风化	三峡	77.5	9.5	86	21	3.1	333	45	−4.1	193	37	解除法
闪云斜长花岗岩，新鲜	三峡	91.4	11.9	60	15	2.9	349	−48	−2.9	318	38	解除法
	三峡	94.8	3.8	340	3	0.39	250	8	−2.0	90	80	解除法
	三峡	122.2	8.9	33	17	4.6	285	47	0.39	137	38	解除法
	三峡	129.7	10.2	74	27	5.8	302	53	3.3	177	23	解除法
二迭系玄武岩（p,β）	盐水沟	175	4.9		46	2.5						压磁法
	盐水沟		18.3		74.5	18.2						
中三迭统流纹岩（T_1）	漫湾	100	1.17	28	18.5	0.84	−34.4	53	0.46	−73.2	30	323° 洞
	漫湾		3.61	30.1	13.3	3.0	126	23.3	1.49	92.5	62.3	304° 洞
二迭系正长岩	二滩	100	26	34		9.0	140		2.5	277		孔径法

正长岩				18.8	31		7.5	141		−1.9	245		孔径法
				19.5	20		6.7	160		5.7	260		压磁法
				23.6	35		16.0	115		6.3	169		孔壁法
辉长岩	二滩			17.2	13		10.7	52		8.3	284		孔径法
				22.3	13		9.8	155		5.6	87		孔径法
				29.5	18		22.1	135		18.7	123		压磁法
蚀变玄武岩	二滩			38.4	22		17.3	111		10.4	195		压磁法
				29.6	359		11.7	76		7.4	275		压磁法
三层玄武岩	二滩			26.6	16		16.8	101		10.8	172		压磁法
角闪片岩	李家峡		130	5.5	58	43	4.5	275	41	2.8	168	20	
黑云母片麻岩	西洱河一级		150	6.4	3.7	40.6	4.3	89.2	3.3	2.85	3.7	49.2	引水隧洞，浅孔解除
混合岩	白山		100	21.1	与洞轴夹角	84.6				10.1			
	白山			22.8	与洞轴夹角	53.7				10.05			恢复法
	白山			29.6	与洞轴夹角	90.8				19.7			
	白山			39.6	与洞轴夹角	70.9				34.9			
	白山			17.6	与洞轴夹角	100.1				13.6			
	白山			9.4	与洞轴夹角	177.4				7.1			

续表

岩石名称（年代、岩性）	工程名称	深度（M）	最大应力			中间应力			最小应力			备注
			σ_1（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_2（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	σ_3（MPa）	方位角（度）	倾角（度）	
震旦系绢绿千枚岩	安康	7.0	5.1	24.6	62	4.0	291	−21	1.27	194	−19	压磁法
绢云母千枚岩		103.4～173.7	16.6	288		6.96			3.86			
熔凝灰岩	天荒坪	240	17.9	19	9	9.5	47	−17	4.0	83	−47	
	天荒坪	660	27.3	68	22	15.1	5	−68	4.2	19	22	
灰岩	东风		−122.5	110.9	3.6	−6.65	199.4	21.6	5.84	209.9	68	
		265	15.2	−271.7	23.1	−11.35	340.3	46.5	−3.66	203.2	40.6	
			−6.3	286.0	4.9	−3.21	198.4	−25.8	−2.21	[illegible]	63.7	
			−8.4	263.7	18.8	−4.77	163.6	27.3	−2.64	[illegible]	55.9	
			−11.7	282.6	7.7	−6.93	185.6	41.5	−6.24	[illegible]	47.5	
		190	−18.1	123.3	−5.1	−9.92	31.6	−18.7	−7.22	[illegible]	70.6	
			−17.6	86.2	−19.3	−12.0	342.6	−33.7	−2.73	[illegible]	[illegible]	
			−8.8	122.2	−2.4	−3.75	208.4	58.5	−2.83	[illegible]	[illegible]	
		155	−13.5	301.1	0.6	−6.73	209.9	63.6	−6.67	[illegible]	−26.2	
大理岩	金川	120	16.8	NW28	57	12.1	SW35	16	5.8	SE63	28	

T_{1y}白云质灰岩	鲁布革	300	16～18	NW60～80	20～30	10.6～14.0	SE10～20	40～60	3.5～5.2	30～50	20～35	上游支洞
T_{1z}灰质白云岩		300	13.5～15	40～60	10～20	10～11	40～60	40～60	3～5	40～50	10～30	厂房主洞
		300	16～19	SW70	35～50	12.5～14	20～50	40～50	4～7	0～25	0～20	下游支洞
二迭系钙泥质粉砂岩	小浪底	100	3.57	265.3	51.4	2.89	14.6	38.1	0.97	108.7	5.3	压磁法，Π_{11}洞内
			3.47	47.0	88.7	2.80	193.7	1.1	1.06	283.9	0.7	孔径法，Π_{11}洞内
			5.65	37.6	82.9	4.29	202.7	7.4	1.78	292.9	1.9	室内声发射法
钙质细砂岩			2.44	341.0	62.7	2.21	179.2	26.1	0.75	85.6	7.4	孔径法
			4.02	47	6.8	2.98	256.9	70.6	1.01	54.8	18.1	孔径法
前震旦系石英砂岩	风滩	67.9	-11.59	2.24	51.8	-1.96	260	9.4	-0.09	163	36.7	
裂隙较发育			-6.12	7～16	33～42	1.19	218～293	7.5～53.1	4.05	211～287	15～47	孔径法
			-4.42	345～352	47	-1.89	150～291	14.4～40.4	0.49	189～250	11.4～39.6	
			-7.45	330	23	1.91	110～165	60.1	3.95	56～61	18.0	
			-4.26		49.9	-1.42	113	17.7	-0.12	210	34.6	初设报告原始应力场
三迭统钙质粉砂岩(T,b)	龙滩	182	-11.46	275	-4.2	-3.93	203.9	77.3	-280	184.1	-12	
泥板岩			-16.95	88.6	10.7	-6.44	347.4	45.8	-5.0	8.44	-42.3	
			-23.2	96	8	-6.9	357	50	-1.9	12	-39	室内声发射法
砂岩			-20.0	303	8	-7.2	217	25	-6.5	196	-63	室内声发射法

注 $\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3$为负值者表示压应力。

表 8　　部分水利水电工程锚固试验成果汇总表

岩石名称	工程名称	锚索长度 (m)	间距 (m)	锚索体类型	锚索(杆)根数	张拉吨位 (t)	预应力损失 (%)	锚头型式	使用年代	备注
花岗岩	梅山水电站	30～48	2	123φ5或165φ5	184	240	6.4～8.6	混凝土外锚头	1963～65	坝基预应力共102孔
				大芯管隔离架分层		324				
混合岩	白山水电站	12～17		对穿式 6×7φ4	78	60	11		1982	大坝、地下厂房
玄武岩、辉绿岩	陆浑水库	15～17	实心锚杆φ25 30 4.9～16.7					胶结式		砂浆14天强度15.1～25.8MPa，溢洪道
泥质粉砂岩与钙质细砂岩夹薄层页岩	小浪底	15～17	3～5	6×7φ4	83	30		胎壳式内锚头锚塞型外锚头	1983	泄洪洞
细砂岩	洪门	30	1.5～3.0	66φ7	33	244			1981	溢流坝基
玄武岩	铜街子	34～40		162φ5大芯管滑板式	36	320	4～5	胶结式	1987	
砂岩与泥质板岩	双牌	36		123φ5或165φ5	168	280	3～6	胶结式	1972～78	溢流坝段共275孔
绢云母石英千枚岩	碧口	10～12	2～4	6×7φ3或156φ5	102	220			1978	泄洪洞
变质砾岩	丰满	10～12	2～4	6×7φ4	47	50			1978	*另混凝土/岩处用18×7φ4 200t，长50～80m，4根
闪长岩	镜泊湖	12.6～21.6	1.5	22φ7	20	95			1975	放空洞岩塞
绿泥石	麻石	38		165φ5	99	220			1973	

表-9　浙江火山岩的物理力学性质成果表

工程名称	岩性	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	孔隙率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	软化系数	抗拉强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	泊桑比
横山水库	熔结凝灰岩，新～微风化	2.68	2.61	0.11～0.24		130～180	104～144	0.66	6～9	65～74	0.19～0.29
	弱风化	2.68	2.61	0.55～0.70		75	49			36～39	0.12～0.17
横锦水库	流纹岩，新鲜	2.65	2.59～2.61	0.15～0.26	0.49～0.85	140～150	130～140	0.92	6.0～13.2	40～77	0.15～0.16
	碎裂流纹岩，弱风化	2.63	2.43～2.53	0.57～1.32	1.83～3.78	/	28.8～96.9		2.6～4.7	50～58	0.12～0.13
长沼水库	绢云母化凝灰岩，新鲜	2.64	2.54～2.60	0.30～0.58		280	200～220	0.71		90.5	0.23
	紫红色凝灰岩，新鲜	2.70	2.57～2.63	0.31～0.64		220～260	170～210	0.77		66.7	0.25
亭下水库	角砾凝灰岩，新鲜	2.60	2.56	0.52	1.92	370	280	0.74		74.4	0.25
	层状角砾凝灰岩，新鲜	2.66	2.44	0.85	9.77	260	110	0.43		25～45	0.18
	凝灰岩含燧石块	2.67	2.56	0.8～2.0		120～200	120～180	0.9			
	球泡流纹岩	2.69	2.51	2.26	6.69		55				
	硅化流纹岩	2.60	2.55	0.62	1.92	280～320	180～250	0.65			
黑石门水库	含角砾，玻屑熔凝灰岩，新鲜	2.65～2.67	2.47～2.52	0.18～0.30		200～210	170～190	0.81		21～30	0.25～0.30
大白岸电站	灰白色石英斑岩		2.51	1.24		200	150	0.75			
	玻屑凝灰岩		2.51～2.57	2.56～2.61	1.22～2.55	140～180	80～110	0.6			

续表

工程名称	岩性	比重	容重 (g/cm³)	吸水率 (%)	孔隙率 (%)	抗压强度(MPa) 干	抗压强度(MPa) 湿	软化系数	抗拉强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	泊松比
华光潭电站	含角砾熔结凝灰岩，新鲜	2.63～2.64	2.59	0.33～0.39	1.52～1.89		140～190			57	0.18～0.19
狮子岭水库	凝灰熔岩(石英斑岩)	2.62～2.67	2.56～2.60	0.24～0.50	1.89～2.07	180～250	150～230	0.54			
雅溪一级电站	青灰色凝灰熔岩，新鲜	2.66～2.69	2.58	0.24～0.31	2.5～3.6	190～220	130～180	0.62		64～74	
硫窑水库	紫红色熔结凝灰岩，新鲜	2.65	2.52～2.6	0.15～0.76	2.6～3.7	170～200	110～160	0.66		23～46	0.11～0.22
下岸水库	紫红色熔结凝灰岩	2.65	2.57	0.45	2.64	240	219	0.91		72	0～1
周公宅水库	晶屑熔结凝灰岩，微风化	2.65～2.68	2.62	0.07～0.09		190～193	153～179	0.80		55～62	0.13～0.18
	蚀变珍珠斑岩，微风化	2.7～2.72	2.65	0.61～0.70		58～104	20～70	0.35		45～50.3	0.14～0.21
丰源水电站	含砾熔结凝灰岩，新鲜	2.61～2.65	2.5～2.6	0.3～0.1		170～220	110～170	0.65	4.5～7.6		
玉溪水电站	凝灰流纹岩，新鲜	2.68	2.65	0.50		179	171.6	0.95			
	凝灰流纹岩，弱风化	2.61	2.58	0.67		78.7	66	0.85			
龙溪电站	沉角砾凝灰岩，新鲜	2.65	2.31～2.36			117～124	86～92	0.73	5.99～6.26		
	弱风化	2.64	2.17～2.33			60～92	60～78	0.85	3.65～4.05		
	熔结凝灰岩，新鲜	2.65	2.49～2.53			123	107	0.87	8.22～9.34		
	弱风化	2.64	2.45～2.49			97	91	0.94	4.0～11.93		

表 10　　四川红层岩石物理力学参数表

岩层年代	岩石名称		容重 (g/cm³)	吸水率 (%)
J	细砂岩	钙质胶结	2.46～2.66	1.0～3.6
		弱风化	2.24～2.28	4.17
J.K.	砂岩	钙质	2.55～2.72 2.64	0.4～2.0 1.0
		泥钙质	2.27～2.56	2.43～5.01
		泥质	2.15～2.55 2.33	1.4～6.2 4.1
	砂岩	弱风化钙质	1.9～2.35 2.17	1.0～9.4 6.6
		泥钙质	2.06～2.58	1.31～3.6
J	粉砂岩	钙质	2.55～2.67 2.57	0.4～5.0 2.44
		泥质	2.5～2.65 2.55	0.6～5.2 2.71
		弱风化	2.37～2.60	1.3～4.9
J	粘土岩，砂质		2.39～2.64	1.36～6.32
	粘土岩，砂质		2.23～2.45	4.05～8.01
T	页岩	砂质	2.53～2.67 2.60	0.8～3.0 1.81
		泥质	2.57～2.66	1.1～2.8
		炭质	2.58～2.68	0.6～2.3
T	泥岩		2.5～2.65 2.53	1.6～6.0 3.52
J	砾岩		2.6～2.71 2.66	0.2～1.27 0.5
J.KT.	砂砾岩，泥钙质		2.46～2.62	1.03～2.24
	灰岩		2.6～2.78 2.69	0.2～1.4 0.68

岩层年代	岩石名称		抗压强度(MPa)		弹性模量 E(GPa)
			干	湿	
J	细砂岩	钙质胶结	72～185	51.5～148	11.4*
		弱风化	18.2	13.3	
J.K.	砂岩	钙质	104～149.5	40～120	12.4～36.6
		泥钙质	56～137.1	37.7～101	
		泥质	17.1～119	20～80 51	2.4～9.1
	砂岩	弱风化钙质	12.7～116.4	22.4～81.6	1.3～3.6
		泥钙质	30～77.2	7.2～20.3	0.24
J	粉砂岩	钙质	84～107	10～60 40.9	
		泥质	22～110	8～71.8	1.6～5.3
		弱风化	15～89	4～50 29.8	
J	粘土岩，砂质		34～73	11～52.6	0.68～1.6*
	粘土岩，砂质		14～41	9.3～28.8	0.188～0.26*
T	页岩	砂质	45～133	10～95 45	3.2～5.2
		泥质	54～118	12～91	0.72～5.93
		炭质	17～82	12～61	0.10～0.44
T	泥岩		2～54	2～20 15.4	0.8～3.5
J	砾岩		69.6～97.5	40～100 62.2	4.34～8.25
J.K.T.	砂砾岩，泥钙质		80～145	37～78.8	2.75*
	灰岩		70～180	30～130 83.5	5.81

续表

抗剪强度		抗拉强度 (MPa)	工程名称	备注
tg φ	c(kPa)			
1.50	250～580	2～3.1	龙河、威池等	*为现场测定值
0.99～1.15	100		小井沟	
0.65～1.21	120～250		昇钟、苏滩等	340组
0.40～0.56	40～105	1.5～2.8	三岔、大洪河等	
0.40～1.0	180	1.15～2.4	昇钟、偏窗子等	236组
		2.04	三岔、四九滩等	81组
0.22～0.4	35～95		昇钟、罗江口等	
1.0～1.34	120	1.7～2.9	紫坪铺、小什字等	51组
0.49	95	1.0～1.4	龙河、香水寨等	73组
		1.13	小井沟	
0.87	80		下洞、月江口、葫芦口等	
0.2～0.33	50～120		罗江口、狮子滩等	
0.48	20～130	0.85	小什字、葫芦口等	72组
			紫坪铺、苏滩	
0.42	88		紫坪铺、苏滩	
			小井沟	88组
		1.5～2.5	月江口、小什字、龙河等	88组
0.44～0.60	100～250		月江口、偏窗子等	
			偏窗子、小什字等	67组

附录一　一些岩石(以金钢砂磨面)试验成果

(《水利水电工程地质》，1974年)

岩石名称	地质年代	抗压强度 (MPa)	抗剪强度	
			tg φ	c(kPa)
辉绿岩		1700	0.45	0
石英砂岩	震旦纪	1658	0.49	54
花岗岩	燕山期	1600	0.70	31
泥灰岩	石炭纪	1283	0.60	21
石英砾岩	泥盆纪	1262	0.69	10
花岗闪长岩	三迭纪	1161	0.64	5
云母石英片岩	前震旦纪	1130	0.55	28
砂岩	寒武纪	1089	0.82	2
角闪花岗岩	白垩纪	1065	0.57	
薄层灰岩	奥陶纪	1063	0.75	22
砂质页岩	侏罗纪	1044	0.69	39
白云质泥灰岩	奥陶纪	872	0.67	5
鲕状灰岩	奥陶纪	878	0.70	23
石英砂岩	寒武纪	681	0.82	2
大理石	前震旦纪	637	0.60	51
页岩	侏罗纪	438	0.70	47
中粒砂岩	寒武纪	399	0.75	3
千枚岩	前震旦纪	89	0.78	25
细砂岩	前震旦纪		0.51	17
玄武岩			0.72	2

附录二　一些岩石不同试验方法的抗拉强度比较表

岩石名称	直接拉伸	劈裂法	R_t(拉)/R_t(劈)
黑云母石英闪长岩	10.3	9.4	1.1
黑云母石英闪长岩	6.1	8.1	0.75
黑云母石英闪长岩	11.5	8.8	1.31
白云质灰岩，灰白色	3.2	3.2	1.0
白云质灰岩	3.7	3.7	1.0
白云质灰岩，鲕状	3.95	3.87	1.02
砂质粘土岩	0.25	0.4	0.62

附录三　葛洲坝工程粘土质粉砂岩剪切面起伏差对抗剪强度(混凝土/岩)的影响

岩体编号	剪切面起伏差(mm)	tg φ	差值(%)
f_{56}	1.0～1.3	1.10	100
f_{108}	3.0～5.0	1.22	110
f_{103}～f_{105}，f_{107}等	5.0～10.0	1.33～1.6	120～145

附录四　几个常用法定计量单位与公制单位的换算关系

1 N(牛顿)＝0.10197kgf(公斤力)；

1 Pa(帕)＝0.10197×10^{-4}kgf/cm²(公斤力/厘米²)；

1 kPa(千帕)＝10^3Pa＝0.010197kgf/cm²(公斤力/厘米²)；

1 MPa(兆帕)＝10^6Pa＝10.197kgf/cm²(公斤力/厘米²)；

1 GPa(吉帕)＝10^9Pa＝10197kgf/cm²(公斤力/厘米²)。

主 要 参 考 文 献

[1] 水利电力部，水利水电工程岩石试验规程（SLJ204-81，SL 2-81），水利出版社，1981。

[2] 水利电力部科研所、中国科学院地质所，水利水电工程地质，科学出版社，1974。

[3] 中国大坝委员会，中国大坝（Large Dams in China），水利电力出版社，1987。

[4] 叶金汉，水工有压隧洞岩石抗力系数理论公式的探讨，水利水电技术，1962．No.8。

[5] 叶金汉、吴永平，三向应力状态下石英云母片岩强度试验研究，水利水电科学研究院科学研究论文集第23集（结构、岩土、抗震部分），水利电力出版社，1984。

[6] 叶金汉、吴永平，鲁布革水电站地下厂房围岩的变形特性试验研究，水利水电科学研究院科学研究论文集第30集（结构、岩土、抗震部分），水利电力出版社，1988。

[7] 陶振宇等，岩石力学的理论与实践，水利出版社，1981。

[8] 陈厚群等，新丰江水库地震及其对大坝的影响，中国科学，No.1，1974。

[9] 叶金汉等，径向千斤顶法测定岩石变形特性的一些问题，水利学报，1980.No.3。

[10] Ye Jinhan, Relationship Between the Loading Speed and Fracture Toughness of Rhyolite, Proc. Inter. Confer. on Fracture of Concrete and Rock, Houston（SEM），1987.

[11] 水利水电工程地质情报网，水利水电工程岩体测试技术手册，1987。

[12] 水利水电工程地质情报网　中国高坝工程地质，1984。

[13] 坝基软弱夹层地质调查组，水利水电工程坝基软弱夹层抗滑稳定问题的探讨，水利电力勘测设计（水利电力部规划设计管理局），1979.No.1。

[14] 胡文华等，四川盆地红层岩石（体）物理力学性质指标汇编，水电部成都勘测设计院科研所，1983。
[15] 水电部东北勘测设计院科研所，白山水电站工程试验与新技术研究，1989。
[16] 水电部西北勘测设计院，李家峡坝基岩体特性及参数取值研究报告，1989。
[17] 水电部中南勘测设计院，红水河龙滩水电站岩石力学试验汇编，1989。