

ICS 27.140

P 59

备案号: J914—2009



中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5415 — 2009

水电水利工程地下建筑物 工程地质勘察技术规程

Technical code for underground project geological
investigation of hydropower and water resources



2009-07-22 发布

2009-12-01 实施

中华人民共和国国家能源局 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 总则	3
4 术语和定义	4
5 地下建筑物工程地质勘察内容	6
5.1 基本地质条件勘察内容	6
5.2 围岩工程地质特性勘察内容	8
6 地下建筑物工程地质勘察方法	11
6.1 隧洞工程地质勘察方法	11
6.2 地下厂房系统工程地质勘察方法	12
7 地下建筑物围岩稳定性工程地质评价	15
7.1 地下建筑物位置选择	15
7.2 围岩分类和围岩稳定性工程地质评价	16
7.3 岩爆预测	18
7.4 涌水、突泥预测	19
7.5 地温、有害气体及放射性预测	19
7.6 外水压力预测	20
7.7 高水头压力隧洞围岩稳定性工程地质评价	21
7.8 气垫式调压室围岩稳定性工程地质评价	22
8 地下建筑物施工地质	23
8.1 专门性工程地质问题勘察	23
8.2 施工地质工作	23
8.3 围岩处理地质工作	25
8.4 围岩监测地质工作	25

附录 A (规范性附录)	层状岩层单层厚度划分	27
附录 B (规范性附录)	岩体结构面分级	28
附录 C (规范性附录)	岩体风化带划分	29
附录 D (规范性附录)	岩体卸荷带划分	31
附录 E (资料性附录)	围岩坚固系数、单位弹性抗力 系数和强度应力比确定	32
附录 F (规范性附录)	岩体地应力和岩爆的判别	34
附录 G (资料性附录)	软质岩成因类型划分	37
附录 H (资料性附录)	膨胀岩特征判别及分类	38
附录 I (资料性附录)	易溶盐岩类型	40
附录 J (规范性附录)	围岩工程地质分类	41
附录 K (资料性附录)	各类围岩主要物理力学参数 经验取值	49
附录 L (资料性附录)	围岩失稳机制类型及破坏形式	50
附录 M (规范性附录)	隧洞周边允许位移相对值	51
附录 N (规范性附录)	地下洞室有害气体最大允许浓度及 空气成分主要指标	52
附录 P (规范性附录)	瓦斯隧洞分类	53
附录 Q (规范性附录)	地下洞室放射性控制标准	54
附录 R (资料性附录)	外水压力折减系数	55
条文说明		57

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2005 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业〔2005〕739 号）的要求制定的。

为做好水电水利工程地质勘察工作，在 GB 50287《水力发电工程地质勘察规范》的基础上，组织制定水电水利工程区域构造稳定性、水库区、喀斯特、边坡、坝址、地下建筑物工程地质勘察技术规程等六项技术规程，进一步系统地规范水电水利工程地质勘察工作。

本标准在编写过程中，总结了我国水电水利工程地下建筑物工程地质勘察的经验，吸取了相关的科研成果，并与有关技术标准进行了协调。

本标准对地下建筑物工程地质勘察的内容、方法、技术要求和围岩稳定工程地质评价原则，以及施工地质工作等进行了具体的规定。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 F、附录 J、附录 M、附录 N、附录 P、附录 Q 为规范性附录。

本标准的附录 E、附录 G、附录 H、附录 I、附录 K、附录 L、附录 R 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电规划设计标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准起草单位：中国水电顾问集团成都勘测设计研究院。

本标准主要起草人：陈卫东、李文纲、杜明祝、陆继伯、沙椿。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市宣武区白广路二条一号，100761）。

the 1990s, the number of people in the UK who are employed in the public sector has increased by 1.5 million, from 2.5 million in 1980 to 4 million in 1995. The public sector has also become an important employer of women, with 5.5 million women employed in the public sector in 1995, compared with 4.5 million in 1980.

There are a number of reasons why the public sector has become an important employer of women. One reason is that the public sector has a high proportion of women in its workforce. In 1995, 85% of the public sector workforce were women, compared with 75% in 1980. This is due to a number of factors, including the fact that the public sector has a high proportion of jobs that are traditionally held by women, such as teaching, nursing, and social work.

Another reason why the public sector has become an important employer of women is that it has a high proportion of jobs that are full-time. In 1995, 65% of the public sector workforce were employed full-time, compared with 55% in 1980. This is due to a number of factors, including the fact that the public sector has a high proportion of jobs that are essential to the functioning of the state, such as those in the health and education sectors.

A third reason why the public sector has become an important employer of women is that it has a high proportion of jobs that are well-paid. In 1995, the average salary of a public sector employee was £18,000, compared with £15,000 in 1980. This is due to a number of factors, including the fact that the public sector has a high proportion of jobs that are in the higher grades of the public sector pay scale, such as those in the senior management and professional grades.

There are a number of other reasons why the public sector has become an important employer of women. One reason is that the public sector has a high proportion of jobs that are secure. In 1995, 85% of the public sector workforce were employed on permanent contracts, compared with 75% in 1980. This is due to a number of factors, including the fact that the public sector has a high proportion of jobs that are essential to the functioning of the state, such as those in the health and education sectors.

Another reason why the public sector has become an important employer of women is that it has a high proportion of jobs that are flexible. In 1995, 15% of the public sector workforce were employed on flexible contracts, compared with 5% in 1980. This is due to a number of factors, including the fact that the public sector has a high proportion of jobs that are essential to the functioning of the state, such as those in the health and education sectors.

A third reason why the public sector has become an important employer of women is that it has a high proportion of jobs that are well-located. In 1995, 65% of the public sector workforce were employed in the London region, compared with 55% in 1980. This is due to a number of factors, including the fact that the public sector has a high proportion of jobs that are essential to the functioning of the state, such as those in the health and education sectors.

There are a number of other reasons why the public sector has become an important employer of women. One reason is that the public sector has a high proportion of jobs that are well-located. In 1995, 65% of the public sector workforce were employed in the London region, compared with 55% in 1980. This is due to a number of factors, including the fact that the public sector has a high proportion of jobs that are essential to the functioning of the state, such as those in the health and education sectors.

Another reason why the public sector has become an important employer of women is that it has a high proportion of jobs that are well-located. In 1995, 65% of the public sector workforce were employed in the London region, compared with 55% in 1980. This is due to a number of factors, including the fact that the public sector has a high proportion of jobs that are essential to the functioning of the state, such as those in the health and education sectors.

1 范 围

本标准规定了水电水利工程地下建筑物工程地质勘察的内容、方法和工程地质评价及施工地质工作要求。

本标准适用于大型水电水利工程和抽水蓄能电站地下建筑物工程地质勘察。工程地质条件复杂的中型水电水利工程可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB 16356 地下建筑氡及其子体控制标准
- GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
- GB 50086 锚杆喷射混凝土支护技术规范
- GB 50287 水力发电工程地质勘察规范
- DL/T 5006 水电水利工程岩体观测规程
- DL/T 5010 水电水利工程物探规程
- DL/T 5013 水电水利工程钻探规程
- DL/T 5050 水利水电工程坑探规程
- DL/T 5109 水电水利工程施工地质规程
- DL/T 5185 水电水利工程地质测绘规程
- DL/T 5194 水电水利工程地质勘察水质分析规程
- DL/T 5195 水工隧洞设计规范
- DL/T 5331 水电水利工程钻孔压水试验规程
- DL/T 5335 水电水利工程区域构造稳定性勘察技术规程
- DL/T 5337 水电水利工程边坡工程地质勘察技术规程
- DL/T 5338 水电水利工程喀斯特工程地质勘察技术规程
- DL/T 5353 水电水利工程边坡设计规范
- DL/T 5357 水电水利工程岩土化学分析试验规程
- DL/T 5367 水电水利工程岩体应力测试规程
- DL/T 5368 水电水利工程岩石试验规程

3 总 则

3.0.1 为统一水电水利工程地下建筑物工程地质勘察的内容、技术要求，提高工程地质勘察质量，特制定本标准。

3.0.2 地下建筑物工程地质勘察任务包括查明水电水利工程地下建筑物区的工程地质条件，分析影响地下洞室围岩稳定性的工程地质因素，评价地下洞室围岩的稳定性，为地下洞室的设计、施工开挖和围岩支护提供工程地质资料。

3.0.3 地下建筑物工程地质勘察除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

4 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

4.0.1

围岩 surrounding rock

地下洞室周围，由于开挖而引起应力重新分布的岩体，或指对洞室稳定和变形可能产生影响的岩体。

4.0.2

水力隧洞 hydraulic tunnel

水电水利工程设置于岩（土）体中的，用于输水、发电、灌溉、泄洪、导流、放空、排沙等且具封闭断面的通道。

4.0.3

水电站地下厂房 underground power house

建在地面以下的水电站厂房。

4.0.4

洞室群 group of grottoes

由多个人工开挖的洞室所形成的地下建筑物系统。

4.0.5

傍山隧洞 side mountain tunnel

沿山坡走向穿过山体的隧洞。

4.0.6

越岭隧洞 over mountain line tunnel

穿越山岭的隧洞。

4.0.7

岩爆 rock burst

在高地应力岩体中开挖洞室，围岩中应力突然释放，造成洞壁岩块爆裂、弹射的动力现象。

4.0.8

涌水 inrush of water

在地下洞室施工过程中，穿过含水或透水岩层所发生的地下水向洞内冒出或突然喷出的现象。

4.0.9

突泥 projecting mud soil

在地下洞室施工过程中，穿过充填泥质物的溶洞或含泥量较大的断层破碎带等地段时所发生的突然大量冒泥现象。

4.0.10

高水头压力隧洞（高压隧洞） high head pressure tunnel

洞内压力水头不小于 100m 的隧洞。

4.0.11

气垫式调压室 air cushion surge shaft

部分充水、部分充压缩空气的密闭调压室。

4.0.12

深埋隧洞 deep beried tunnel

埋藏深度大于 300m 的隧洞。

4.0.13

长隧洞 long tunnel

长度大于 2000m 的隧洞。

4.0.14

大跨度地下洞室 large span grotto

跨度大于 20m 的地下洞室。

5 地下建筑物工程地质勘察内容

5.1 基本地质条件勘察内容

5.1.1 地下建筑物基本地质条件勘察的主要内容应包括地形地貌、地层岩性、地质构造、物理地质现象、喀斯特、水文地质条件等。

5.1.2 地形地貌勘察应包括下列内容：

1 地下建筑物区内地貌形态和成因类型，分析其与岩性、地质构造和新构造运动的关系。

2 隧洞沿线地表水系与沟谷的发育程度、切割深度及地表水流量变化。

3 地下厂房枢纽布置区地形地貌特征，沟谷分布、切割深度及山体完整程度。

5.1.3 地层岩性勘察应包括下列内容：

1 岩浆岩的矿物成分、结构、原生构造和岩相特征；侵入岩体和脉岩的产出形态、分布规模，与围岩的接触关系，接触带的蚀变特征；喷出岩流动构造及分带，喷发旋回，与上、下地层的接触关系。对岩浆岩的蚀变、喷发间断、岩脉及其接触程度等，应重点勘察。

2 沉积岩的矿物成分、胶结程度、结构、构造特征、岩性岩相变化、沉积韵律特征、建造类型、地层接触关系。对地下建筑物区分布的软弱岩层、可溶岩类、煤系地层、膨胀岩类、易溶盐岩类等，应重点勘察。沉积岩的单层厚度划分应符合附录 A 的要求。

3 变质岩的矿物成分、结构、构造、变质程度及其变质作用类型。对千枚岩、板岩、片岩等软弱岩层应重点勘察。

4 按岩石的成因类型、岩质特征、结构特征、成层组合条件以及岩石物理力学特性等因素划分地下建筑物区工程地质岩组。岩组划分详细程度应与工程地质测绘比例尺相适应。必要时,对软弱夹层、膨胀岩、易溶盐岩、喀斯特岩层、有害气体及放射性矿物赋存的岩层等,可以放大比例尺表示。

5 地下建筑物进出口段、傍山浅埋段、过沟段第四系覆盖层的物质组成、结构、厚度及成因类型。

5.1.4 地质构造勘察应包括下列内容:

1 地下建筑物区所处大地构造部位,外围主要褶皱与断裂构造的分布和规模。

2 褶皱的形态特征、规模及展布。

3 断层的分布、产状,破碎带及影响带宽度与构造岩组成,按产状对断层进行分组,按规模对断层进行分级,按性状对断层进行分类。地下建筑物区岩体结构面分级见附录 B。

4 对地下建筑物围岩稳定性有重要影响的断层,应予重点勘察。必要时,研究断层的活动性及其对隧洞工程的影响。断层的活动性的研究应符合 DL/T 5335 的有关规定。

5 节理裂隙的发育情况,宜采用国际岩石力学学会现场及实验室标准化委员会推荐的方法,调查统计组数、方位(各组优势产状)、间距(单位 m)、延续性(单位 m)、粗糙起伏程度、裂隙面风化蚀变程度、张开度(单位 mm)、充填物、渗流、岩块尺寸(块体尺寸指数 I_b 、体积裂隙数 J_v)。统计窗口数量应根据实际情况确定;统计窗口的布置应具有地质代表性,并应考虑其方向性。

5.1.5 物理地质现象勘察应包括下列内容:

1 岩体风化程度及深度,各风化带在洞室进、出口及浅埋洞段的分布、厚度及其特性,以及不同风化带岩石的强度特性和岩体的完整程度,分析其对洞口边坡及围岩稳定性的影响。岩体风化带的划分应符合附录 C 的规定。

2 岩体卸荷带特征及分布深度。岩体卸荷带划分应符合附

录 D 的规定。

3 边坡变形破坏类型（包括崩塌、滑坡、蠕变等）、特征、变形破坏机制及其对洞口边坡与浅埋洞段稳定性的影响。边坡岩（土）体变形破坏勘察的内容、方法和评价，应符合 DL/T 5337 和 DL/T 5353 的有关规定。

4 泥石流的分布与类型、规模、流域特征、形成条件，研究泥石流的发育历史，预测发展趋势，分析对进、出口的影响。

5 采空区的分布、形态、规模、地面和地下变形破坏特征，分析其对隧洞围岩稳定的影响。

6 在严寒地区和部分高原地区还应勘察冻融岩屑流、冻融泥石流等的分布、规模、特征，分析其对隧洞进、出口段和浅埋洞段的影响。

5.1.6 地下建筑物区喀斯特勘察内容，应符合 DL/T 5338 的有关规定。

5.1.7 水文地质条件勘察应包括下列内容：

1 地下建筑物区地下水的基本类型、水位、水压、水量、水温和水化学成分，岩体的含水性和透水性，划分含水层与相对隔水层，并结合地下水的露头（泉），分析各含水层的补给、径流与排泄条件，划分水文地质单元。

2 重点勘察洞室可能通过的向斜轴部、断层破碎带及其交汇部位、节理裂隙密集带、浅埋段、过沟段等部位的汇水条件。

3 地下水、地表水的物理性质和化学成分，评价其腐蚀性。评价内容应符合 GB 50287 的有关规定。

4 进行地下水位、水量、水温及水质等的长期观测。

5.2 围岩工程地质特性勘察内容

5.2.1 围岩物理力学性质勘察应主要包括下列内容：

1 岩石的密度、饱和单轴抗压强度、点荷载强度、弹性模量、泊松比、声波值等。

2 岩体的弹性(变形)模量、抗剪强度、波速值等。必要时,测试研究围岩的单位弹性抗力系数。

3 结构面的抗剪(断)强度,软弱结构面、软弱夹层的变形与渗透变形参数等。

4 确定围岩坚固系数、围岩单位弹性抗力系数和围岩强度应力比,参见附录 E。

5.2.2 岩体地应力状态勘察应包括下列内容:

1 地下建筑物区岩体地应力量级、方向,并进行岸坡及谷底岩体地应力状态的分带(区)。岸坡及谷底岩体地应力状态的分带(区)应符合附录 F 的有关规定。

2 高地应力引起的岩芯饼化和洞壁岩爆现象,进行岩体地应力分级和岩爆的判别。岩体地应力分级和岩爆的判别应符合附录 F 的有关规定。

5.2.3 特殊岩(土)物理力学性质勘察应包括下列内容:

1 软质岩的天然含水率、密度、崩解性指数和自由膨胀率等,必要时进行流变特性测试研究。软质岩成因类型划分参见附录 G。

2 膨胀岩的矿物成分、化学成分、阳离子交换量、饱和吸水率、膨胀率、自由膨胀率、膨胀力等。膨胀岩特征判别及分类参见附录 H。

3 易溶盐岩类在有压流水作用下的溶解性、溶蚀速度、溶陷量、盐胀性及其对混凝土和金属结构的腐蚀性。易溶盐岩类型划分参见附录 I。

4 黄土的含水率、液限、塑限、抗剪强度、自重湿陷系数、湿陷系数等,并计算黄土自重湿陷量和累积湿陷量。

5 冻土的地温、地下水埋深、多年冻土上限深度、季节性冻土的下限深度、冻土的冻融特性和冻胀量等,对冻土围岩的冻胀量和融陷性应重点勘察。

5.2.4 有害气体及放射性物源赋存岩类勘察应包括下列内容:

1 可能产气、储气岩层的分布,有害气体的运移、聚集条件、封闭条件等,进行有害气体的测试。

2 收集有关放射性物源的区域地质资料,利用勘探平洞、钻孔、施工支洞及溶出的地下水,测定氡及子体平衡当量浓度和环境放射性辐射量等。

5.2.5 针对不同类型岩体应重点勘察以下内容:

1 对坚硬完整岩体,应重点测试研究岩体地应力状态、岩石与岩体的强度,分析高地应力岩体对开挖洞室围岩的影响。

2 对裂隙块状岩体,应重点勘察各种结构面的发育情况、组合形态,测试物理力学特性,分析其组合块体对围岩的稳定性影响。

3 对层状岩体,应重点调查层面构造,测试力学性质的各向异性特征,分析对围岩稳定性的影响。

4 对软弱岩体,应重点测试黏土矿物成分、物理水理力学性质及流变特性等,分析其对成洞的不利影响。

6 地下建筑物工程地质勘察方法

6.1 隧洞工程地质勘察方法

6.1.1 工程地质测绘应符合下列规定：

1 在收集已有地形地质资料的基础上，开展隧洞区工程地质测绘。各勘察设计阶段工程地质测绘的方法、范围及比例尺应按 GB 50287 和 DL/T 5185 的有关规定执行。

2 利用施工导洞及支洞，进行地质编录测绘。

3 根据收集的地质资料和工程地质测绘成果，进行工程类比与综合分析判断。

6.1.2 勘探应符合下列规定：

1 对隧洞进出口、过沟段、浅埋段，以及可能存在重大工程地质问题的地段应进行勘探。

2 勘探的主要手段应采取洞探、钻探及物探。对超深埋越岭隧洞，必要时可进行超长洞探。

物探方法、钻探方法、洞探方法应分别符合 DL/T 5010、DL/T 5013、DL/T 5050 的要求。

6.1.3 试验和测试应符合下列规定：

1 取样进行岩石物理力学性质试验、磨片鉴定、矿物化学成分分析等，软质岩和膨胀岩的膨胀特性及耐崩解性等专门试验，易溶盐岩的溶蚀特性专门试验，黄土的专门试验与测试，冻土的专门试验与测试。当隧洞穿越可能的活断层时，进行断层带活动年代测龄。岩土体矿物化学成分分析应符合 DL/T 5357 的要求，岩（土）体的物理力学性质试验应符合 DL/T 5368 的要求。

2 利用探洞或施工导洞进行岩体回弹值测试、孔洞波速测试、钻孔综合测井。必要时，进行强度试验、变形试验、孔内弹

模试验、地应力测试、单位弹性抗力系数测试。岩体地应力测试方法应符合 DL/T 5367 的要求。物探测试方法应符合 DL/T 5010 的要求。

3 在钻孔、探洞、施工导洞内进行有害气体、放射性及地温的测试。

4 对地下水、地表水取样进行水质分析试验。水质分析方法应符合 DL/T 5194 的要求。

5 进行钻孔压水试验,必要时开展水力劈裂和高压压水试验。钻孔压水试验方法应符合 DL/T 5331 的要求。

6.1.4 应在钻孔、平洞中进行地下水动态长期观测,观测时间不得少于一个水文年,观测项目应包括地下水位、水压、水量、水温及水质等。

6.1.5 在重要或复杂地质条件的隧洞开挖过程中,应布置围岩变形观测和监测。围岩变形观测和监测应符合 DL/T 5006 的要求。

6.2 地下厂房系统工程地质勘察方法

6.2.1 工程地质测绘应符合下列规定:

1 在收集已有地形地质资料的基础上,开展地下厂房系统区工程地质测绘,查明地下厂房系统区的地形地貌、地层岩性、地质构造、物理地质现象、喀斯特、水文地质条件及地应力状态等基本地质条件,分析主要工程地质问题。各勘察设计阶段工程地质测绘的方法、范围及比例尺应按 GB 50287 和 DL/T 5185 的有关规定执行。

2 利用施工导洞及支洞,进行地质编录测绘。

6.2.2 勘探应符合下列规定:

1 地下厂房系统勘探应控制一定范围,以查明调压井、高压管道、岔管及地下厂房洞室群的地质条件。勘探的主要手段是洞探、钻探、物探。

2 地下厂房等洞室的勘探应进行洞探。对常规地下厂房,探

洞宜在拟建厂房的拱座高程附近纵横方向布置；对抽水蓄能电站地下厂房，宜在洞顶以上 30m~50m 纵横方向布置。并视地质条件的复杂程度和拟建厂房的规模，可在探洞内进行竖井或不同方向的钻孔。勘探的深度以埋置最深、水头最高的岔管为控制。

3 对常规调压井和气垫式调压室均应进行洞探、钻探。对高压管道应进行钻探，必要时布置洞探。

4 宜进行孔间、洞间 CT 层析成像。在施工详图设计阶段，应进行围岩开挖爆破松动圈范围测定。

物探方法、钻探方法、洞探方法应分别符合 DL/T 5010、DL/T 5013、DL/T 5050 的要求。

6.2.3 物理力学性质试验和测试应符合下列规定：

1 取样进行岩石物理力学性质室内试验，包括岩石的密度、吸水率、单轴抗压强度、抗剪强度、波速、动弹性模量、泊松比等试验和岩石磨片鉴定、矿物化学成分分析。必要时进行结构面抗剪强度试验、岩石三轴强度试验、流变试验和特殊岩的专门试验等。

2 在探洞内进行岩体现场试验，包括岩体及结构面的抗剪强度、静弹性模量与变形模量试验；波速（声波、地震波）测试，建立岩体波速与静变形模量的相关关系。必要时，进行岩体抗压试验、软岩三轴试验、软岩流变试验等。根据需要，对高压管道进行围岩单位弹性抗力系数测试。

3 岩体地应力状态测试可采取应力解除法、应力恢复法及水压致裂法等。应根据测试成果，进行地应力场分析。在气垫式调压室探洞内应进行水压致裂法测试。

岩土体矿物化学成分分析应符合 DL/T 5357 的要求，岩石（体）的物理力学性质试验应符合 DL/T 5368 的要求，岩体地应力测试方法应符合 DL/T 5367 的要求，物探方法应符合 DL/T 5010 的要求。

4 取样进行地下水、地表水水质分析试验。水质分析方法应

符合 DL/T 5194 的要求。

5 在钻孔、探洞和施工导洞内应进行有害气体、放射性及地温的测试。

6.2.4 水文地质试验应符合下列规定：

1 进行钻孔压水试验。钻孔压水试验方法应符合 DL/T 5331 的要求。对高压管道、岔管、气垫式调压室等布置地段，应进行钻孔高压压水试验，其最大试验压力值不小于设计最大水头值的 1.2 倍。根据需要，开展水力劈裂试验。

2 测定钻孔和探洞内地下水的水位（水压）、水量、水温。必要时，采用钻孔渗压计测定地下水渗透压力。

3 进行地下水渗流场的数值分析。

6.2.5 进行地下水动态长期观测，观测时间不得少于一个水文年，观测项目应包括地下水位、水压、水量、水温及水质等，分析与气象等因素的相关关系。

6.2.6 根据需要，进行围岩变形观测，并应符合下列规定：

1 结合勘探平洞或开挖模型试验洞，配合开展围岩变形（位移）量测。

2 施工详图设计阶段，配合布置围岩变形监测。

围岩变形观测和监测应符合 DL/T 5006 的有关规定。

7 地下建筑物围岩稳定性工程地质评价

7.1 地下建筑物位置选择

7.1.1 隧洞选线应遵循下列原则:

1 隧洞选线应根据隧洞区工程地质条件,结合水工隧洞应用的要求和枢纽总布置进行。总体原则宜避开对隧洞围岩稳定不利的工程地质、水文地质条件复杂的区段,宜选择较短的路线。对长隧洞,应考虑施工支洞成洞及进出口条件。

2 洞线宜避免穿越沟谷、山脊鞍部及大型喀斯特汇水洼地等负地形。当需要穿越沟谷时,应查明沟谷内覆盖层的厚度及物质组成等,为研究确定洞线最佳过沟位置提供资料。越岭深埋引水隧洞和跨流域长距离输水隧洞,应尽量绕避分水岭上大型负地形地带。

3 洞线宜避开大规模的断层破碎带、活断层、易溶盐岩、膨胀岩、喀斯特洞穴发育带、采空区、有害气体及放射性物源富集区段、地下水汇集区(如向斜轴部、导水断层、喀斯特暗河)等。洞线与主要断裂及特殊岩带应尽量具有较大的交角,不宜小于 30° 。当隧洞需穿越活断层时,应研究断裂活动时代、方式(蠕滑、黏滑)、速率等,预测其在工程使用期限内累计最大可能蠕滑位移量或最大可能突发位移量,为隧洞设计特殊结构型式提供依据。

4 隧洞进、出口应根据枢纽总体布置要求,宜布置在山坡完整、斜坡稳定、基岩裸露、岩质坚硬、风化卸荷较弱的岩体上或覆盖层较浅的地带。

7.1.2 地下厂房系统选址应遵循下列原则:

1 应首先考虑地下厂房,兼顾其他洞室,综合岩性、岩体结

构及完整性、软弱结构面的分布、风化卸荷深度、地应力状态、水文地质条件及喀斯特洞穴的分布等；并结合水工布置要求，选择地下厂房系统的位置。

2 厂址在地形条件上要求山体雄厚、完整、稳定，避免深切沟谷和较大的地形起伏。

3 厂址宜选在具适宜的上覆和侧覆岩体厚度、岩体坚硬完整、水文地质条件简单的部位。地下厂房宜布置在地应力正常带内，应避开区域性断裂、活断层、采空区、强烈风化卸荷岩体、大型喀斯特洞穴、暗河等。

4 进、出口的位置应与厂房协调，宜选在谷坡顺直、基岩裸露、岸坡稳定地段，洞口前场地相对平坦，便于布置施工场地，应避开滑坡、崩塌、变形体及泥石流等不良物理地质现象分布及影响的地段。

7.1.3 地下厂房轴线方向应在选定厂址位置的基础上，根据岩体结构面发育特征、地应力状态及厂区枢纽建筑物布置的要求等综合研究确定，并应符合下列要求：

1 在对地质结构面进行产状分组、规模分级和性状分类的基础上，厂房轴线宜与断层及主要裂隙组走向具有较大夹角，其夹角不宜小于 60° 。

2 在高地应力区，厂房轴向与厂区围岩初始地应力最大主应力方向的夹角不宜大于 30° 。

3 在喀斯特发育地段，厂房轴线的确定还应考虑避开喀斯特大型洞穴管道。

7.2 围岩分类和围岩稳定性工程地质评价

7.2.1 地下建筑物围岩分类，应分为围岩初步分类和围岩详细分类。根据分类结果，评价围岩的整体稳定性，并可作为确定支护类型的基础。围岩分类应符合附录 J 的规定。

7.2.2 围岩初步分类应根据岩质类型和岩体结构类型或岩体完

整程度等因素进行。

7.2.3 围岩详细分类应在围岩初步分类和工程地质分段的基础上,以控制围岩稳定的岩石强度、岩体完整程度、结构面状态、地下水状态和主要结构面产状等五项因素之和的总评分为基本判据,围岩强度应力比为限定判据进行分类。

7.2.4 大跨度地下洞室围岩除采用本标准的分类外,尚可采用其他有关围岩分类方法进行综合评定和对比。

7.2.5 围岩岩体和结构面物理力学性质参数取值除应符合 GB 50287、DL/T 5367、DL/T 5368 的有关规定外,还应符合下列规定:

- 1 在开展岩体及结构面变形和强度试验的基础上,分析变形和强度的试验值,结合围岩工程地质分类和工程地质类比,提出围岩物理力学性质参数地质建议值。

- 2 必要时,可进行钻孔高压压水试验和劈裂压水试验,确定围岩的渗透和渗透变形参数。

- 3 应根据岩体地应力测试、地应力场分析,结合对高地应力现象的地质分析、区域地质构造应力分析、地形地貌分析等,综合确定地应力的量级和方向。

- 4 应根据垂直和平行层(似层)面方向的变形和强度试验成果,结合围岩受力特征等因素,综合确定层状围岩变形和强度的各向异性参数。

- 5 各类围岩的物理力学性质参数经验取值,参见附录 K。

7.2.6 围岩稳定性的工程地质分析应包括下列内容:

- 1 围岩稳定性的地质因素分析,应从影响围岩稳定性的岩质特性、岩体结构(结构面发育特征、岩体结构类型)、地下水和岩体应力状态等四个方面进行。

- 2 应通过围岩工程地质分类,对围岩整体稳定性进行综合分析评价。应对地下厂房洞室群各洞室、洞室各部位分别进行围岩分类及稳定性评价。

3 应通过块体分析,确定结构面的不利组合,评价围岩局部稳定性。

4 应对勘探平洞、施工导洞、支洞及开挖洞室发生的塌方进行调查,分析围岩失稳破坏的控制因素、围岩变形破坏的力学机制及破坏形式。围岩失稳机制类型及破坏形式参见附录 L。

5 围岩稳定性工程地质分析应重点研究中陡倾角结构面对边墙、端墙和缓倾角结构面对顶拱围岩稳定性的不利影响。

7.2.7 围岩局部稳定性的计算分析,当围岩应力小,围岩中存在软弱结构面不利组合块体时,只考虑重力作用,进行块体极限平衡分析和关键块体稳定估算。当为散体介质围岩时,可采用普氏塌落拱理论计算可能塌落拱高度及山岩压力。

7.2.8 现场测试分析应包括下列内容:

1 可采用原位模型试验洞、施工开挖期原位监测和运行期监测,测试围岩的位移、应变、应力、渗压、渗水量,以及支护的应力、应变等。

2 根据围岩变形现场监测成果,建立洞周围岩允许位移相对值作为围岩稳定性的判据。洞周围岩允许位移相对值见附录 M。

7.2.9 在对软质岩的流变特性、膨胀岩的膨胀特性、易溶盐岩在高压水流条件下的溶蚀特性和腐蚀特性、黄土的湿陷特性及冻土的冻融特性等研究的基础上,评价对围岩稳定性的影响,为特殊处理提供依据。

7.3 岩 爆 预 测

7.3.1 应从岩性及岩体强度、岩体结构特征及完整性、地应力等级及方向、地下水活动状态等方面研究岩爆发生的地质因素。

7.3.2 应根据实测的最大主应力值或估算的自重应力值、岩石饱和单轴抗压强度,以及已发生岩爆或岩芯碎裂等高地应力现象,计算岩石强度应力比,对岩体初始地应力进行分级。岩体初始地应力的分级应符合附录 F 的有关规定。

7.3.3 对完整~较完整的中硬~坚硬岩体且无地下水活动的地段,围岩发生岩爆的预测,应根据岩石强度应力比、发生岩爆的临界埋深和发生岩爆的主要现象等进行岩爆烈度分级。岩爆烈度分级应符合附录 F 的有关规定。

7.3.4 结合洞室开挖中发生的岩爆现象,以及围岩二次应力、声发射特征、微地震及氦气逸出量等测试监测资料综合分析,完善岩爆预测标准。

7.3.5 可采取其他预测方法进行对比研究和预测。

7.4 涌水、突泥预测

7.4.1 涌水预测应在对地下建筑物区水文地质条件勘察的基础上,分析沿线地下水位、向斜汇水构造、断层破碎带及影响带、节理裂隙密集带、喀斯特通道等含水透水带及其与地表沟谷的联系,观测地表沟水、泉水流量,分析地下水补给、径流、排泄条件,划分水文地质单元,结合地区水文、气象资料,选用水文地质的类比法、水量均衡法、地下水动力学法及三维渗流场分析等方法,预测过沟段及可能涌水段的最大涌水量和稳定涌水量,评价对工程的危害程度,并提出处理措施的建议。

7.4.2 突泥预测应调查地表沟谷、喀斯特洼地、落水洞及其充填物的厚度与性状、地表塌陷特征,分析地下建筑物区喀斯特洞穴管道系统的分布及其充填情况,研究地下建筑物穿越的喀斯特洞穴管道与地表落水洞、洼地及沟水的连通情况,预测突泥发生的洞段及突泥规模,评价对工程的危害程度,并提出处理措施的建议。

7.5 地温、有害气体及放射性预测

7.5.1 地温预测可采用下列方法:

1 收集地区地温地热有关资料和地区的地温增温梯度值及地面多年平均气温值,估算不同埋深洞段的地温。

2 根据地下建筑物区的钻孔和探洞不同深度实测地温资料,确定地温增温梯度值,预测洞室地温。

3 在地形、地层岩性、地质构造条件复杂的深埋长隧洞区,可根据岩石、断层的导热系数、导温系数和水文地质条件,采用有限元法模拟隧洞区域地温场,分析地温场特征,预测洞室地温。

7.5.2 有害气体及放射性预测应符合下列要求:

1 应在收集区域地质资料的基础上,分析有害气体生成的地质环境,利用探洞、钻孔进行有害气体含量测试,按照国家颁布的有关标准,评价和预测其危害程度,提出防护措施的建议。地下洞室有害气体最大允许浓度及空气成分主要指标见附录 N。

2 当地下建筑物通过含煤、含油、含气等地层时,或邻近地区存在该类地层,应在分析其产出状态和瓦斯生成环境、运移及聚集条件的基础上,利用探洞、钻孔探测瓦斯含量、压力、涌出量等,按照国家和行业颁布的有关标准进行评价和预测其危害程度,提出防护措施的建议。瓦斯隧洞分类见附录 P。

3 当地下洞室通过放射性物源地层和洞室深埋时,或邻近地区存在该类放射性物源,应在调查洞室区地层岩性、地质构造条件的基础上,分析放射性物质储存地质条件,按国家标准 GB 16356、GB 18871 和行业颁布的有关标准,探测和预测洞室区潜在的放射性成分和放射性危害,提出防护措施的建议。地下洞室放射性控制标准见附录 Q。

7.6 外水压力预测

7.6.1 外水压力的预测应分析研究下列内容:

1 洞室区及沿线地层岩性、地质构造、岩体透水性、地下水活动状态、地下水位、地下水补给、径流、排泄条件等。

2 地下水位的确定可利用钻孔、泉、井、支沟直接观测。当无实测资料时,可根据岩体的风化卸荷特征等综合分析推测。

3 喀斯特发育地区,还应研究洞室区及沿线的喀斯特发育特

征, 地表水与地下水的水力联系等。

7.6.2 外水压力的确定应按下列方法进行:

1 根据洞室上覆岩体的透水性及地下水活动状态, 用对地下水位进行折减的方法估算外水压力, 其折减系数的取值参见附录 R。

2 利用埋设在洞室衬砌内的渗压计, 直接测定外水压力。

3 当存在多层水文地质结构, 围岩地下水与上层地下水联系微弱, 且采用限裂衬砌结构时, 可考虑将内水水头视为外水压力值。

7.7 高水头压力隧洞围岩稳定性工程地质评价

7.7.1 钢板衬砌的高压管道围岩稳定性工程地质评价, 应研究在围岩不能全部承受内水压力的情况下, 不透水钢板衬砌与围岩共同承受内压, 可采用单位弹性抗力系数评价围岩抵抗径向变形的能力。单位弹性抗力系数值的确定可根据岩体弹性(变形)模量和泊松比按附录 E 式(E.2)进行计算, 或根据围岩的地质条件及其分类类比确定。必要时, 进行现场原位测试。

7.7.2 混凝土衬砌高压管道围岩稳定性工程地质评价应包括下列内容:

1 山体抗抬稳定性评价。有压隧洞洞身部位最小覆盖厚度, 按洞内静水压力小于洞顶以上岩体重力的要求确定, 可用式(7.7.2)计算:

$$C_{RM} = \frac{h_s \gamma_w F}{\cos \alpha \gamma_r} \quad (7.7.2)$$

式中:

C_{RM} ——岩体最小覆盖厚度(不包括全、强风化带及强卸荷带厚度), m;

h_s ——洞内静水压力水头, m;

γ_w 、 γ_r ——分别为水、岩石的重度， N/m^3 ；

α ——河谷岸边谷坡坡角 $^\circ$ ， $\alpha > 60^\circ$ 时取 $\alpha = 60^\circ$ ；

F ——经验系数，一般取 1.3~1.5。

2 围岩抗水力劈裂稳定性评价。有压隧洞应满足洞内静水压力小于围岩最小主应力的要求，宜进行水压致裂法测试，确定最小主应力值。

3 围岩抗渗稳定性评价。混凝土衬砌高压管道宜设置在 I、II 类不透水或微透水围岩中，或经高压灌浆后围岩的透水率应小于 1.0Lu。

7.8 气垫式调压室围岩稳定性工程地质评价

7.8.1 喷锚支护或混凝土衬砌气垫式调压室围岩稳定性工程地质评价内容及方法应符合 7.7.2 的要求。

7.8.2 围岩中最小主应力值、高压压水试验压力值及围岩高压固结灌浆压力值的确定，均应大于气垫式调压室的设计气压值。当采用水幕闭气结构时，尚应大于水幕设计水压值。

7.8.3 根据勘探及开挖初期揭示的气室、水幕廊道等建筑物布置地段的围岩工程地质条件、围岩类别、围岩地应力、围岩高压透水透气特性等资料，评价围岩的稳定性，为最终确定气垫式调压室的位置、轴线、型式、围岩处理措施等提供依据。

8 地下建筑物施工地质

8.1 专门性工程地质问题勘察

8.1.1 专门性工程地质问题勘察应在审查批准的可行性研究报告的基础上进行, 论证可行性研究报告审查中提出的专门性工程地质问题。对招标设计评审中要求补充论证的和施工期、水库蓄水过程中出现的专门性工程地质问题亦应进行勘察。

8.1.2 根据施工开挖揭露的地质情况, 应及时复核围岩的地质条件和围岩工程地质详细分类, 并应复核围岩物理力学性质参数。配合设计进行下列专门性勘察:

- 1 当局部洞段存在围岩失稳时, 应复核可能失稳边界条件及其参数, 分析变形破坏机制与类型。

- 2 当围岩中存在不良工程地质问题时, 应配合设计复核其支护处理方案。

8.1.3 专门性工程地质问题勘察方法应符合下列规定:

- 1 勘察方法和勘察工作量应根据地质问题的复杂性、可行性研究阶段查明深度和场地条件等因素确定。

- 2 应利用各种施工开挖面, 收集地质资料。

- 3 进行专门性工程地质测绘, 根据需要布置专门的勘探与试验。

8.1.4 专门性勘察工作结束后, 应提交专门性工程地质勘察报告。

8.2 施工地质工作

8.2.1 地下建筑物施工地质工作可分为开挖期和最终断面形成后两期进行。当采用全断面施工时, 可一次完成。

8.2.2 开挖期的施工地质工作应包括下列内容:

- 1 编录施工开挖揭露的各种地质现象。
- 2 随着施工开挖巡视记录施工情况。
- 3 必要时,进行试验和测试工作。
- 4 预测预报可能出现的地质问题。
- 5 修正、复核围岩工程地质分类及围岩工程地质分段。
- 6 参加围岩支护方案研究。

8.2.3 最终断面形成后的施工地质工作应包括下列内容:

- 1 进行围岩工程地质测绘。
- 2 核定围岩工程地质分类及物理力学性质参数。
- 3 编写围岩工程地质说明书。
- 4 参与围岩验收。

8.2.4 施工地质编录及测绘应随开挖和扩挖进行,观察施工情况,编录各种地质现象,必要时布置波速、地质雷达等测试,并收集测试资料,为评价围岩稳定、优化支护方案设计提供依据。

8.2.5 必要时,布置室内岩石物理力学性质复核试验、水质分析、围岩变形模量、抗剪强度和地应力复核性测试等。

8.2.6 施工期视需要开展地下水涌水、围岩变形破坏、高地应力及岩爆现象、地温、有害气体及放射性等的观测和监测工作,并进行预测和预报。

8.2.7 进行最终洞室围岩的质量评价,参与围岩验收并填写地质意见。

8.2.8 地下建筑物施工地质编录与测绘、取样与试验、观测与预报、评价与验收工作的内容应符合 DL/T 5109 的有关规定。

8.2.9 施工地质工作结束后,应对所收集、编录的全部资料进行分类整理、归档。归档资料应包括以下内容:

- 1 施工地质工作大纲、技术规定和要求。
- 2 施工地质测绘、编录等原始记录、底图和地质说明。
- 3 各项测量资料、试验成果、施工地质专题研究成果。

- 4 地质照片、录像成果。
- 5 施工地质简报、施工地质预报及附图。
- 6 需要长期保存的岩土样本及其他实物资料。
- 7 施工期的地质监测成果及运行期的地质监测要求。
- 8 施工地质日志, 重要地质问题技术会议记录、决定。
- 9 上级批示文件、会议纪要、有关单位对围岩工程地质问题的鉴定意见与咨询意见。
- 10 与设计、施工、监理、业主及其他有关单位的技术性往来文件。
- 11 设计变更、优化地质资料。
- 12 地下建筑物区各阶段工程地质勘察报告、专题报告、单项工程地质说明书、工程安全鉴定地质自检报告、工程验收地质说明书、竣工地质报告及附图。
- 13 归档目录及说明书。

8.3 围岩处理地质工作

- 8.3.1 应根据开挖后复核的地下建筑物围岩工程地质分类, 提出围岩支护设计调整的建议。
- 8.3.2 应针对结构面不利组合块体, 提出对围岩局部加固处理的建议。
- 8.3.3 必要时, 可针对不良洞段围岩提出下列特殊加固措施的建议:
 - 1 对破碎围岩采用超前灌浆。
 - 2 对断层破碎带及软弱岩带采用钢支撑或管棚法施工。
 - 3 预防岩爆采用预裂爆破、超前孔及灌水等释放应力的处理措施。

8.4 围岩监测地质工作

- 8.4.1 根据施工开挖揭示的围岩工程地质条件和稳定状态, 提出

围岩变形监测的意见及建议。

8.4.2 围岩监测宜包括下列内容：

- 1 边墙、顶拱应力变形（位移）及底板回弹隆起监测。
- 2 围岩的声波测试及松弛范围测试。
- 3 岩爆发生的微震监测。
- 4 地下水动态（水位、水压、流量、水温、水质）监测。
- 5 围岩加固处理措施效果检测。

8.4.3 施工开挖期应根据围岩监测资料，获得有关围岩稳定性及支护效果方面的动态信息，评价洞室围岩稳定性，提出支护设计优化的建议。

8.4.4 提出运行期围岩监测建议。

附 录 A
(规范性附录)
层状岩层单层厚度划分

A.1 层状岩层的单层厚度划分，应符合表 A.1 的规定。

表 A.1 层状岩层单层厚度划分

单层厚度 m	划分描述
>2.00	巨厚层
2.00~0.60	厚 层
0.60~0.20	中厚层
0.20~0.06	薄 层
<0.06	极薄层

附 录 B
(规范性附录)
岩 体 结 构 面 分 级

B.1 岩体结构面按规模分级应符合表 B.1 的规定。

表 B.1 岩 体 结 构 面 分 级

级 别	规 模	
	破碎带宽度 m	破碎带延伸长度 m
I	>10.0	>10 000 区域性断裂
II	1.0~10.0	1000~10 000
III	0.1~1.0	100~1000
IV	<0.1	<100
V	节理裂隙、层面、片理、劈理等	

附录 C

(规范性附录)

岩体风化带划分

C.1 岩体风化带的划分,应符合表 C.1 的规定。

表 C.1 岩体风化带划分

风化带	主要地质特征	风化岩纵波速与新鲜岩纵波速之比
全风化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全部变色, 光泽消失; 2. 岩石的组织结构完全破坏, 已崩解和分解成松散的土状或砂状, 有很大的体积变化, 但未移动, 仍残留有原始结构痕迹; 3. 除石英颗粒外, 其余矿物大部分风化蚀变为次生矿物; 4. 锤击有松软感, 出现凹坑, 矿物手可捏碎, 用锹可以挖动 	<0.4
强风化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大部分变色, 只有局部岩块保持原有颜色; 2. 岩石的组织结构大部分已破坏; 小部分岩石已分解或崩解成土, 大部分岩石呈不连续的骨架或心石, 风化裂隙发育, 有时含大量次生夹泥; 3. 除石英外, 长石、云母和铁镁矿物已风化蚀变; 4. 锤击哑声, 岩石大部分变酥, 易碎, 用镐撬可以挖动, 坚硬部分需爆破 	0.4~0.6
弱风化 (中等风化)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 岩石表面或裂隙面大部分变色, 但断面仍保持新鲜岩石色泽; 2. 岩石原始组织结构清楚完整, 但风化裂隙发育, 裂隙壁风化剧烈; 3. 沿裂隙铁镁矿物氧化锈蚀, 长石变得浑浊、模糊不清; 4. 锤击发音较清脆, 开挖需用爆破 	0.6~0.8
微风化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 岩石表面或裂隙面有轻微褪色; 2. 岩石组织结构无变化, 保持原始完整结构; 3. 大部分裂隙闭合或为钙质薄膜充填, 仅沿大裂隙有风化蚀变现象, 或有锈膜浸染; 4. 锤击发音清脆, 开挖需用爆破 	0.8~1.0
新鲜	<ol style="list-style-type: none"> 1. 保持新鲜色泽, 仅大的裂隙面偶见褪色; 2. 裂隙面紧密, 完整或焊接状充填, 仅个别裂隙面有锈膜浸染或轻微蚀变; 3. 锤击发音清脆, 开挖需用爆破 	

C.2 使用表 C.1 时,遇有下列情况之一时,岩体风化带的划分可适当调整:

C.2.1 当某一级风化岩体厚度很大需要进一步细分时,可再分出两个或三个次一级亚带,分别采用上、中、下带命名。

C.2.2 选择性风化作用地区,当发育囊状风化、隔层风化、沿裂隙风化等特定形态的风化带时,可根据岩石的风化状态确定其等级。

C.2.3 某些特定地区,岩体风化剖面呈非连续性过渡时,分级可缺少一级或二级。

C.2.4 碳酸盐岩地区,可根据岩石的溶蚀程度进行分带。

附 录 D
(规范性附录)
岩 体 卸 荷 带 划 分

D.1 岩体卸荷带的划分，应符合表 D.1 的规定。

表 D.1 岩 体 卸 荷 带 划 分

卸荷带	主 要 地 质 特 征
强卸荷	卸荷裂隙发育较密集，普遍张开，一般开度为几厘米至几十厘米；多充填次生泥及岩屑、岩块，有架空现象，部分可见松动或变形；卸荷裂隙多沿原有结构面张开，岩体多呈整体松弛
弱卸荷	卸荷裂隙发育较稀疏，开度一般为几毫米至几厘米；部分次生泥充填，卸荷裂隙分布不均匀，常呈间隔带状发育；卸荷裂隙多沿原有结构面张开，岩体部分松弛
深卸荷	深部裂缝松弛段与相对完整段相间出现，呈带发育，张开宽度几毫米至几十厘米不等；一般无充填，少数夹泥；岩体弹性波纵波速变化较大

附 录 E
(资料性附录)

围岩坚固系数、单位弹性抗力系数和强度应力比确定

E.1 围岩坚固系数确定:

E.1.1 围岩坚固系数可按式 (E.1) 估算。

围岩坚固系数:

$$f = a \frac{R_b}{10} \quad (\text{E.1})$$

式中:

f ——围岩坚固系数;

R_b ——岩石饱和单轴抗压强度, MPa;

a ——修正系数, 小于或等于 1, 与围岩强度、完整性有关。

E.1.2 根据围岩类别和已建工程类比确定围岩坚固系数。

E.2 围岩单位弹性抗力系数确定:

E.2.1 围岩单位弹性抗力系数可按式 (E.2) 估算。

$$K_0 = \frac{E}{(1 + \mu)100} \quad (\text{E.2})$$

式中:

K_0 ——围岩的单位弹性抗力系数, MPa/cm;

E ——围岩的弹性 (变形) 模量, MPa;

μ ——围岩泊松比。

E.2.2 必要时, 在专门试验洞内, 采用径向液压枕法或水压法直接测试围岩单位弹性抗力系数。

E.2.3 根据围岩类别和已建工程类比, 确定各类围岩的单位弹性抗力系数。

E.3 围岩强度应力比可按式 (E.3) 计算。

$$S = \frac{R_b K_v}{\sigma_m} \quad (\text{E.3})$$

式中:

S ——围岩强度应力比;

R_b ——岩石饱和单轴抗压强度, MPa;

K_v ——岩体完整性系数, 为岩石与岩体纵波速之比的平方;

σ_m ——围岩的最大主应力, MPa, 无实测资料时, 应按附录 F 确定。

附 录 F

(规范性附录)

岩体地应力和岩爆的判别

F.1 岩体地应力的确定应符合下列规定：

F.1.1 在无实测地应力成果时，根据地质勘察资料，利用理论计算和经验对初始地应力场作出评估。

F.1.1.1 在构造应力等因素影响不显著的地区，一般情况下，初始应力的垂直向应力为自重应力 γH ，水平向应力不小于 $\gamma H \cdot \mu / (1 - \mu)$ 。

F.1.1.2 通过对区域历次构造形迹的调查和对近期构造运动的分析，确定初始地应力的最大主应力方向。

历次发生的地质构造运动，常影响并改变自重地应力场。一般情况下，垂直向主应力和最大水平向主应力可按表 F.1 取值。

表 F.1 受构造应力影响较大地区的主应力

主应力	埋深 m	
	<1000	≥1000
垂直向主应力 σ_v	$(0.8 \sim 3) \gamma H$	$(0.8 \sim 1.2) \gamma H$
最大水平向主应力 σ_H	$(0.8 \sim 3) \sigma_v$	$(0.7 \sim 2) \sigma_v$
注：H 为埋深，m； γ 为岩石的密度， t/m^3 。		

F.1.1.3 埋深大于 1000m，随着深度增加，初始地应力场逐渐趋向于静水压力分布，埋深大于 1500m 以后，一般可按静水压力分布考虑。

F.1.1.4 在峡谷地段，从谷坡至山体以内，可划分为地应力释放区、地应力集中区和原始地应力区。峡谷区地应力释放和集中的影响范围，在水平方向一般为谷宽的 1~3 倍。河谷快速下切的地

区,一般应力释放区的影响范围较小,反之,则应力释放区的影响范围变大;谷坡位置越高,地应力释放区的影响范围越大。对两岸山体,最大主应力方向一般平行于岸坡。在河谷谷底较深部位,最大主应力方向趋于水平且转向垂直于河谷。

F.1.1.5 发生岩爆或岩芯饼化现象,应视为存在高地应力,此时,可根据岩体在开挖过程中出现的主要现象,按表 F.2 进行评价。

F.1.2 有实测地应力成果时,直接利用实测值。根据需要,通过回归分析确定初始地应力场。

F.2 岩体初始地应力的分级应符合表 F.2 的规定。

表 F.2 岩体初始地应力的分级

应力 分级	最大主应 力量级 σ_m MPa	岩石强度 应力比 R_b/σ_m	主 要 现 象
极高地 应力	$\sigma_m \geq 40$	< 2	<p>硬质岩:开挖过程中时有岩爆发生,有岩块弹出,洞壁岩体发生剥离,新生裂缝多;基坑有剥离现象,成形性差;钻孔岩芯多有饼化现象。</p> <p>软质岩:钻孔岩芯有饼化现象,开挖过程中洞壁岩体有剥离,位移极为显著,甚至发生大位移,持续时间长,不易成洞;基坑岩体发生卸荷回弹,出现显著隆起或剥离,不易成形</p>
高地 应力	$20 \leq \sigma_m < 40$	$2 \sim 4$	<p>硬质岩:开挖过程中可能出现岩爆,洞壁岩体有剥离和掉块现象,新生裂缝较多;基坑时有剥离现象,成形性一般尚好;钻孔岩芯时有饼化现象。</p> <p>软质岩:钻孔岩芯有饼化现象,开挖过程中洞壁岩体位移显著,持续时间较长,成洞性差;基坑有隆起现象,成形性较差</p>
中等地 应力	$10 \leq \sigma_m < 20$	$4 \sim 7$	<p>硬质岩:开挖过程洞壁岩体局部有剥离和掉块现象,成洞性尚好;基坑局部有剥离现象,成形性尚好。</p> <p>软质岩:开挖过程中洞壁岩体局部有位移,成洞性尚好;基坑局部有隆起现象,成形性一般尚好</p>
低地 应力	$\sigma_m < 10$	> 7	无上述现象
注: R_b 为岩石饱和单轴抗压强度, MPa; σ_m 为最大主应力, MPa。			

F.3 岩爆的判别应符合下列规定：

F.3.1 岩爆烈度分级应符合表 F.3 的规定。

表 F.3 岩爆烈度分级

岩爆分级	主 要 现 象	岩爆判别	
		临界埋深 m	岩石强度 应力比 R_p/σ_m
轻微岩爆	围岩表层有爆裂脱落、剥离现象，内部有噼啪、撕裂声，人耳偶然可听到，无弹射现象；主要表现为洞顶的劈裂—松脱破坏和侧壁的劈裂—松胀、隆起等。岩爆零星间断发生，影响深度小于0.5m；对施工影响较小	$H \geq H_{cr}$	4~7
中等岩爆	围岩爆裂脱落、剥离现象较严重，有少量弹射，破坏范围明显。有似雷管爆破的清脆爆裂声，人耳常可听到围岩内的岩石撕裂声；有一定持续时间，影响深度0.5m~1m；对施工有一定影响		2~4
强烈岩爆	围岩大片爆裂脱落，出现强烈弹射，发生岩块的抛射及岩粉喷射现象；有似爆破的爆裂声，声响强烈；持续时间长，并向围岩深度发展，破坏范围和块度大，影响深度1m~3m；对施工影响大		1~2
极强岩爆	围岩大片严重爆裂，大块岩片出现剧烈弹射，震动强烈，有似炮弹、闷雷声，声响剧烈；迅速向围岩深部发展，破坏范围和块度大，影响深度大于3m；严重影响工程施工		<1
注： H 为地下洞室埋深，m。			

F.3.2 临界埋深可根据下式计算：

$$H_{cr} = 0.318 R_b (1 - \mu) / (3 - 4\mu) \gamma \quad (F.1)$$

式中：

 H_{cr} ——临界埋深，即发生岩爆的最小埋深，m； R_b ——岩石饱和单轴抗压强度，MPa； μ ——岩石泊松比； γ ——岩石重力密度，10kN/m³。

F.3.3 表 F.3 的岩爆判别适用于完整~较完整的中硬、坚硬岩体，且无地下水活动的地段。

附 录 G
(资料性附录)
软质岩成因类型划分

G.1 软质岩的地质成因类型划分, 参见表 G.1。

表 G.1 软质岩的地质成因类型划分

软质岩类型	代表性岩石
火山型	部分凝灰岩、凝灰质页岩
沉积型	泥质页岩、钙质页岩、灰质页岩、油页岩、泥岩、斑脱岩、泥灰岩、贝壳灰岩、白垩、石膏、石膏质砾岩、泥质粉砂岩、贝壳灰岩、疏松砂岩
变质型	绿泥石片岩、滑石片岩、石墨片岩、蛇纹片岩、绢云母千枚岩、钙质千枚岩、泥质板岩、蚀变岩
风化型	各类风化岩 (全、强风化带, 部分弱风化带)、泥质碎屑岩、碎裂岩

附 录 H

(资料性附录)

膨胀岩特征判别及分类

H.1 膨胀岩野外地质特征判别参见表 H.1。

表 H.1 膨胀岩的野外地质特征判别

地 貌	一般形成波状起伏的低缓丘陵, 相对高度 20m~30m, 丘顶多浑圆, 坡面圆顺, 山坡坡度缓于 40°, 岗丘之间为宽阔的 U 形谷地, 当具有砂岩夹层时, 常形成一些陡坎
岩 性	主要为灰白、灰绿、灰黄、紫红和灰色的泥岩、泥质粉砂岩、页岩, 风化的泥灰岩, 风化的基性岩浆岩, 蒙脱石化的凝灰岩以及含硬石膏、芒硝的岩石等。岩石由细颗粒组成, 遇水时多有滑腻感。泥质膨胀岩的分布地层以石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、第三系为主
结构构造	岩层多为薄层和中、厚层状, 裂隙发育, 裂隙多被灰白、灰绿色等富含蒙脱石物质充填
风 化	风化裂隙多沿构造面、层理面进一步发展, 使已被结构面切割的岩块更加破碎; 地表岩石碎块风化为鸡粪土, 剥落现象明显; 天然含水的岩石在暴晒时多沿层理方向产生微裂隙; 干燥的岩块泡水后易崩解成碎块、碎片和土状

H.2 膨胀岩的分类参见表 H.2。

表 H.2 膨 胀 岩 的 分 类

类别	崩解特征及重量变化	膨胀率 F %	膨胀力 P_p kPa	饱和吸 水率 W_m %	自由膨胀 率 F_s %
非膨胀岩	泡水 24h 岩块完整、不崩解, 重量增加小于 10%	<3	<100	<10	<30
弱膨胀岩	泡水后, 有少量岩屑下落, 几小时后岩块开裂成 0.5cm~1.0cm 碎片或大片, 手可捏碎, 重量可增加 10% 左右	3~15	100~300	10~30	30~50

表 H.2 (续)

类别	崩解特征及重量变化	膨胀率 F %	膨胀力 P_p kPa	饱和吸 水率 W_m %	自由膨胀 率 F_s %
中膨胀岩	泡水后, 1h~2h 崩解为碎片, 部分下落, 碎片尚不能捏成土饼, 重量可增加 30%~50%	15~30	300~500	30~50	50~70
强膨胀岩	泡水后即刻剧烈崩解, 成土状散落, 水浑浊, 10min 可崩解 50%, 20min~30min 崩解完毕	>30	>500	>50	>70

附 录 I
(资料性附录)
易 溶 盐 岩 类 型

I.1 易溶盐岩类型，参见表 I.1。

表 I.1 易 溶 盐 岩 类 型

类型	代表性矿物	基本性质
硫酸盐类	石膏、硬石膏、芒硝	无吸湿性，重结晶时体积减小
氯盐类	岩盐（石盐）、钾石盐	溶解度大，明显的吸湿性，重结晶时体积不变化
碳酸盐类	苏打	对崩解速度影响大，水溶液有很大碱性
钾镁质盐类	泻利盐、六水泻盐	溶解度大

附录 J

(规范性附录)

围岩工程地质分类

J.1 围岩工程地质分类,可分为围岩初步分类和围岩详细分类。根据分类结果,评价围岩的稳定性,并可作为确定支护类型的基础。围岩分类评价应符合表 J.1 的规定。

表 J.1 围岩工程地质分类评价

围岩类别	围岩稳定性评价	建议永久支护类型
I	稳定。 围岩可长期稳定,一般无不稳定块体	不支护或局部锚杆喷薄层混凝土。 大跨度时,喷混凝土,系统锚杆加钢筋网
II	基本稳定。 围岩整体稳定,不会产生塑性变形,局部可能产生组合块体失稳	
III	局部稳定性差。 围岩强度不足,局部会产生塑性变形,不支护可能产生塌方或变形破坏。完整的较软岩,可能短时稳定	喷混凝土,系统锚杆加钢筋网。大跨度时,并加强柔性或刚性支护
IV	不稳定。 围岩自稳时间很短,规模较大的各种变形和破坏都可能发生	喷混凝土,系统锚杆加钢筋网,并加强柔性或刚性支护,或浇筑混凝土衬砌
V	极不稳定。 围岩不能自稳,变形破坏严重	浇筑混凝土衬砌
注:大跨度地下洞室指跨度大于 20m 的地下洞室。		

J.2 围岩初步分类主要依据岩质类型和岩体结构类型或岩体完整程度,适用于规划和预可行性研究阶段,并应符合表 J.2 的规定。

表 J.2 围岩初步分类

岩质类型	岩体结构类型	岩体完整程度	围岩初步分类	
			类别	说 明
硬 质 岩	整体状或巨厚层状结构	完整	I、II	坚硬岩定 I 类, 中硬岩定 II 类
	块状结构	较完整	II、III	坚硬岩定 II 类, 中硬岩定 III 类
	次块状结构		II、III	坚硬岩定 II 类, 中硬岩定 III 类
	厚层状或中厚层状结构		II、III	坚硬岩定 II 类, 中硬岩定 III 类
	互层状结构		III、IV	洞轴线与岩层走向夹角小于 30° 时, 定 IV 类
	薄层状结构		IV、III	岩质均一, 无软弱夹层时, 可定 III 类
	镶嵌结构	完整性差	III	
	块裂结构		IV	
	碎裂结构	较破碎	IV、V	有地下水时, 定 V 类
	散体结构	破碎	V	
软 质 岩	整体状或巨厚层状结构	完整	III、IV	较软岩无地下水时定 III 类, 有地下水时定 IV 类; 软岩定 IV 类
	块状或次块状结构	较完整	IV、V	无地下水时定 IV 类; 有地下水时定 V 类
	厚层、中厚层或互层状结构		IV、V	无地下水时定 IV 类; 有地下水时定 V 类
	薄层状或块裂结构	完整性差	V、IV	较软岩无地下水时定 IV 类
	碎裂结构	较破碎	V、IV	较软岩无地下水时定 IV 类
	散体结构	破碎	V	

J.3 岩质类型的确定,应符合表 J.3 的规定。

表 J.3 岩 质 类 型 划 分

岩 质 类 型	硬质岩		软质岩	
	坚硬岩	中硬岩	较软岩	软 岩
岩石饱和单轴抗压强度 R_b MPa	$R_b > 60$	$60 \geq R_b \geq 30$	$30 > R_b > 15$	$15 \geq R_b > 5$

J.4 岩体完整程度的划分,应符合表 J.4 的规定。

表 J.4 岩 体 完 整 程 度 划 分

岩体完整程度	完整	较完整		完整性差		较破碎	破碎
结构面发育组数	1~2	1~2	2~3	2~3	2~3	>3	无序
结构面间距 cm	>100	100~50	50~30	30~10	<10	<10	
结构面发育程度	不发育	轻度发育	中等发育	较发育	发育	很发育	

注: 结构面间距指主要结构面间距的平均值。

J.5 岩体结构类型的划分,应符合表 J.5 的规定。

表 J.5 岩 体 结 构 类 型

类型	亚 类	岩 体 结 构 特 征
块状结构	整体状结构	岩体完整, 呈巨块状, 结构面不发育, 间距大于 100cm
	块状结构	岩体较完整, 呈块状, 结构面轻度发育, 间距一般 100cm~50cm
	次块状结构	岩体较完整, 呈次块状, 结构面中等发育, 间距一般 50cm~30cm
层状结构	巨厚层状结构	岩体完整, 呈巨厚层状, 结构面不发育, 间距大于 100cm
	厚层状结构	岩体较完整, 呈厚层状, 结构面轻度发育, 间距一般 100cm~50cm

表 J.5 (续)

类型	亚 类	岩 体 结 构 特 征
层状结构	中厚层状结构	岩体较完整,呈中厚层状,结构面中等发育,间距一般 50cm~30cm
	互层状结构	岩体较完整或完整性差,呈互层状,结构面较发育或发育,间距一般 30cm~10cm
	薄层状结构	岩体完整性差,呈薄层状,结构面发育,间距一般小于 10cm
镶嵌结构	镶嵌结构	岩体完整性差,岩块嵌合紧密~较紧密,结构面较发育~很发育,间距一般 30cm~10cm
碎裂结构	块裂结构	岩体完整性差,岩块间有岩屑和泥质物充填,嵌合中等紧密~较松弛,结构面较发育~很发育,间距一般 30cm~10cm
	碎裂结构	岩体较破碎,岩块间有岩屑和泥质物充填,嵌合较松弛~松弛,结构面很发育,间距一般小于 10cm
散体结构	碎块状结构	岩体破碎,岩块夹岩屑或泥质物,嵌合松弛
	碎屑状结构	岩体极破碎,岩屑或泥质物夹岩块,嵌合松弛

J.6 围岩详细分类应以控制围岩稳定的岩石强度、岩体完整程度、结构面状态、地下水和主要结构面产状五项因素之和的总评分为基本判据,围岩强度应力比为限定判据,主要用于可行性研究、招标和施工详图设计阶段,并应符合表 J.6 的规定。

表 J.6 围 岩 详 细 分 类

围岩类别	围岩总评分 T	围岩强度应力比 S
I	$T > 85$	> 4
II	$85 \geq T > 65$	> 4
III	$65 \geq T > 45$	> 2
IV	$45 \geq T > 25$	> 2
V	$T \leq 25$	
注: I、II、III、IV类围岩,当其强度应力比小于本表规定时,围岩类别宜相应降低一级。		

J.7 围岩强度应力比 S 可根据下式求得:

$$S = \frac{R_b K_v}{\sigma_m} \quad (\text{J.1})$$

式中:

R_b ——岩石饱和单轴抗压强度, MPa;

K_v ——岩体完整性系数, 为岩体的纵波波速与相应岩石的纵波波速之比的平方;

σ_m ——围岩的最大主应力, MPa, 当无实测资料时可以自重应力代替。

J.8 地下洞室围岩详细分类中五项因素的评分应符合下列规定:

J.8.1 岩石强度的评分应符合表 J.7 的规定。

表 J.7 岩石强度评分

岩质类型	硬质岩		软质岩	
	坚硬岩	中硬岩	较软岩	软岩
饱和单轴抗压强度 R_b MPa	$R_b > 60$	$60 \geq R_b > 30$	$30 \geq R_b > 15$	$15 \geq R_b > 5$
岩石强度评分 A	30~20	20~10	10~5	5~0
注 1: 岩石饱和单轴抗压强度大于 100MPa 时, 岩石强度的评分为 30。 注 2: 当岩体完整程度与结构面状态评分之和小于 5 时, 岩石强度评分大于 20 的, 按 20 评分。				

J.8.2 岩体完整程度的评分应符合表 J.8 的规定。

表 J.8 岩体完整程度评分

岩体完整程度	完整	较完整	完整性差	较破碎	破碎
岩体完整性系数 K_v	$K_v > 0.75$	$0.75 \geq K_v > 0.55$	$0.55 \geq K_v > 0.35$	$0.35 \geq K_v > 0.15$	$K_v \leq 0.15$

表 J.8 (续)

岩体完整程度		完整	较完整	完整性差	较破碎	破碎
岩体完整性评分 B	硬质岩	40~30	30~22	22~14	14~6	<6
	软质岩	25~19	19~14	14~9	9~4	<4
注 1: 当 $60\text{MPa} \geq R_b > 30\text{MPa}$, 岩体完整性程度与结构面状态评分之和 > 65 时, 按 65 评分。 注 2: 当 $30\text{MPa} \geq R_b > 15\text{MPa}$, 岩体完整性程度与结构面状态评分之和 > 55 时, 按 55 评分。 注 3: 当 $15\text{MPa} \geq R_b > 5\text{MPa}$, 岩体完整性程度与结构面状态评分之和 > 40 时, 按 40 评分。 注 4: 当 $R_b \leq 5\text{MPa}$, 属极软岩, 岩体完整性程度与结构面状态不参加评分。						

J.8.3 结构面状态的评分应符合表 J.9 的规定。

表 J.9 结构面状态评分

结构面状态	张开度 W mm	闭合 ($W<0.5$)		微 张 ($0.5\leq W<5.0$)								张开 ($W\geq5.0$)		
	充填物	无充填				岩 屑		泥 质		岩屑	泥质			
	起伏粗糙状况	起伏粗糙	平直光滑	起伏粗糙	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	起伏粗糙	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	起伏粗糙	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑		
结构面状态评分 C	硬质岩	27	21	24	21	15	21	17	12	15	12	9	12	6
	较软岩	27	21	24	21	15	21	17	12	15	12	9	12	6
	软 岩	18	14	17	14	8	14	11	8	10	8	6	8	4

注 1：结构面的延伸长度小于 3m 时，硬质岩、较软岩的结构面状态评分另加 3 分，软岩加 2 分；结构面延伸长度大于 10m 时，硬质岩、较软岩减 3 分，软岩减 2 分。

注 2：当结构面张开度大于 10mm，无充填时，结构面状态的评分为零。

J.8.4 地下水状态的评分应符合表 J.10 的规定。

表 J.10 地下水状态评分

活 动 状 态			干燥到渗水 滴水	线状流水	涌 水
水量 q [L/(min · 10m 洞长)] 或压力水头 H (m)			$q \leq 25$ 或 $H \leq 10$	$25 < q \leq 125$ 或 $10 < H \leq 100$	$q > 125$ 或 $H > 100$
基本 因素 评分 T'	$T' > 85$	地 下 水 评 分 D	0	0~ -2	-2~-6
	$85 \geq T' > 65$		0~ -2	-2~-6	-6~-10
	$65 \geq T' > 45$		-2~-6	-6~-10	-10~-14
	$45 \geq T' > 25$		-6~-10	-10~-14	-14~-18
	$T' \leq 25$		-10~-14	-14~-18	-18~-20
注：基本因素评分 T' 系前述岩石强度评分 A 、岩体完整性评分 B 和结构面状态评分 C 的和。					

J.8.5 主要结构面产状的评分应符合表 J.11 的规定。

表 J.11 主要结构面产状评分

结构面 走向与 洞轴线 夹 角		90° ~ 60°				< 60° ~ 30°				< 30°			
结构面 倾角		> 70°	70° ~ 45°	< 45° ~ 20°	< 20°	> 70°	70° ~ 45°	< 45° ~ 20°	< 20°	> 70°	70° ~ 45°	< 45° ~ 20°	< 20°
结构 面产 状评 分 E	洞顶	0	-2	-5	-10	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-12	-12
	边墙	-2	-5	-2	0	-5	-10	-2	0	-10	-12	-5	0
注：按岩体完整程度分级为完整性差、较破碎和破碎的围岩不进行主要结构面产状评分的修正。													

J.9 本围岩分类不适用于埋深小于 2 倍洞径或跨度的地下洞室和特殊土、喀斯特洞穴发育地段的地下洞室。极高地应力区 ($\sigma_m \geq 40\text{MPa}$ 、 $R_b/\sigma_m < 2$) 和极软岩 ($R_b \leq 5\text{MPa}$) 中的围岩分类，

可根据工程实际情况进行专门研究。

J.10 大跨度地下洞室围岩的分类除采用本分类外, 尚可采用其他有关国家标准综合评定, 还可采用国际通用的围岩分类方法(如 Q 系统分类法、RMR 分类法) 对比使用。

附 录 K
(资料性附录)

各类围岩主要物理力学参数经验取值

K.1 各类围岩主要物理力学性质参数经验取值，参见表 K.1。

表 K.1 各类围岩主要物理力学参数经验取值

围岩类别	密度 ρ t/m ³	摩擦系数 f'	凝聚力 C' MPa	变形模量 E_0 GPa	泊松比 μ	坚固系数 f	单位弹性 抗力系数 K_0 MPa/cm
I	>2.7	1.3~1.5	1.8~2.2	>20	0.17~0.22	>7	>70
II	2.5~2.7	1.1~1.3	1.3~1.8	10~20	0.22~0.25	5~7	50~70
III	2.3~2.5	0.7~1.1	0.6~1.3	5~10	0.25~0.30	3~5	30~50
IV	2.1~2.3	0.5~0.7	0.3~0.6	1~5	0.30~0.35	1~3	5~30
V	<2.1	0.35~0.5	<0.2	<1	>0.35	<1	<5

附 录 L

(资料性附录)

围岩失稳机制类型及破坏形式

L.1 围岩失稳机制类型及破坏形式的划分参见表 L.1。

表 L.1 围岩失稳机制及破坏形式

失稳机制类型	破坏形式		力学机制	岩质类型	岩体结构类型
围岩强度—应力控制型	脆性 破裂	岩爆	压应力高度集中突发脆性破坏	硬质岩	块状及厚层状结构
		劈裂剥落	压应力集中导致拉裂		
		张裂塌落	拉应力集中导致张裂破坏		
	弯曲折断		压应力集中导致弯曲拉裂	硬质岩	层状、薄层状结构
	塑性挤出		围岩应力超过围岩屈服强度, 向洞内挤出	软弱夹层	互层状结构
	内挤塌落		围压释放, 围岩吸水膨胀, 强度降低	膨胀性软质岩	层状结构
	松脱塌落		重力及拉应力作用下松动塌落	软质岩、硬质岩	散体、碎裂、块裂结构
弱面控制型	块体滑移塌落		重力作用下块体失稳	硬质岩 (弱面组合)	块状及层状结构
混合控制型	碎裂松动		压应力集中导致剪切破碎及松动	硬质岩 (结构面密集)	碎裂、块裂、镶嵌结构
	剪切滑移		压应力集中导致滑移拉裂	硬质岩 (结构面组合)	块状及层状结构

附 录 M
(规范性附录)
隧洞周边允许位移相对值

M.1 隧洞周边允许位移相对值应符合表 M.1 的规定。

表 M.1 隧洞周边允许位移相对值 %

围岩类别	隧 洞 埋 深		
	<50m	50m~300m	300m~500m
III	0.10~0.30	0.20~0.50	0.40~1.20
IV	0.15~0.50	0.40~1.20	0.80~2.00
V	0.20~0.80	0.6~1.60	1.00~3.00
注 1: 洞周边位移相对值系指两测点间实测位移累计值与两点间距离之比。两测点间位移值也称收敛值。 注 2: 脆性围岩取表中较小值, 塑性围岩取表中较大值。 注 3: 本表适用于高跨比为 0.8~1.2 和下列跨度的隧洞: III类围岩 $\leq 20\text{m}$; IV类围岩 $\leq 15\text{m}$; V类围岩 $\leq 10\text{m}$ 。 注 4: I、II类围岩中进行量测的地下工程, 以及III、IV、V类围岩中在注 3 范围之外的地下工程应根据实测数据的综合分析或工程类比方法确定允许值。			

附 录 N
(规范性附录)

地下洞室有害气体最大允许浓度及空气成分主要指标

N.1 地下洞室有害气体最大允许浓度应符合表 N.1 的规定。

表 N.1 地下洞室有害气体最大允许浓度表

名 称	符 号	最大允许浓度	
		体积比 %	重量比 mg/m ³
一氧化碳	CO	0.002 40	30
氮氧化物	换算成 NO ₂	0.000 25	5
二氧化硫	SO ₂	0.000 50	15
氨	NH ₃	0.004 00	30
硫化氢	H ₂ S	0.000 66	10

N.2 地下洞室工作面空气成分的主要指标为：氧气应不低于 20%（体积比），二氧化碳含量不高于 0.5%（体积比）。

附 录 P

(规范性附录)

瓦 斯 隧 洞 分 类

P.1 瓦斯隧洞分为低瓦斯隧洞、高瓦斯隧洞及瓦斯突出隧洞三种, 瓦斯隧洞的类型按隧洞内瓦斯工区的最高级确定。

P.2 瓦斯隧洞工区分为非瓦斯工区、低瓦斯工区、高瓦斯工区和瓦斯突出工区四类。

P.3 低瓦斯工区和高瓦斯工区可按绝对瓦斯涌出量进行判定, 当全工区的瓦斯涌出量小于 $0.5\text{m}^3/\text{min}$ 时, 为低瓦斯工区; 瓦斯涌出量大于或等于 $0.5\text{m}^3/\text{min}$ 时, 为高瓦斯工区。

P.4 瓦斯隧洞只要有一处有突出危险, 该处所在的工区即为瓦斯突出工区。瓦斯突出应同时满足表 P.1 所列四项指标。

表 P.1 瓦 斯 突 出 的 指 标

瓦斯压力 P MPa	瓦斯放散初速度 ΔP mmHg	煤的坚固系数 f	煤的破坏类型
≥ 0.74	≥ 10	≤ 0.5	III、IV、V
注: III类为强烈破坏煤; IV类为粉碎煤; V类为全粉煤。			

P.5 瓦斯工区根据其含瓦斯的情况, 可划分为非瓦斯地段和三级、二级与一级三种含瓦斯地段并分别采用不同的衬砌结构。含瓦斯地段等级的分类应按表 P.2 确定。

表 P.2 瓦 斯 地 段 等 级

地段等级	吨煤瓦斯含量 m^3/t	瓦斯压力 P MPa
三	< 0.5	< 0.15
二	≥ 0.5	$0.15 \leq P < 0.74$
一	/	≥ 0.74
注: 当按吨煤瓦斯含量及瓦斯压力确定的地段等级不一致时, 应取较高者。		

附 录 Q
(规范性附录)
地下洞室放射性控制标准

Q.1 地下洞室氡及其子体控制标准应符合下列规定:

Q.1.1 已用地下建筑的行动水平为 400Bq/m^3 (平衡当量氡浓度);

Q.1.2 待建地下建筑的设计水平为 200Bq/m^3 (平衡当量氡浓度)。

Q.2 放射性照射的剂量限值, 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:

Q.2.1 年有效剂量: 1mSv 。

Q.2.2 特殊情况下, 如 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv , 则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv 。

Q.2.3 眼晶体的年当量剂量: 15mSv 。

Q.2.4 皮肤的年当量剂量: 50mSv 。

附 录 R
(资料性附录)
外 水 压 力 折 减 系 数

R.1 外水压力折减系数(β_e)的取值可根据围岩地下水活动情况,结合采用的排水措施按表 R.1 选用。

表 R.1 外水压力折减系数表

级别	地下水活动状态	地下水对围岩稳定的影响	β_e 值
1	洞壁干燥或潮湿	无影响	0~0.20
2	沿结构面有渗水或滴水	软化结构面的充填物质,降低结构面的抗剪强度,软化软弱岩体	0.10~0.40
3	严重滴水,沿软弱结构面有大量滴水、线状流水或喷水	泥化软弱结构面的充填物质,降低其抗剪强度,对中硬岩体发生软化作用	0.25~0.60
4	严重滴水,沿软弱结构面有小量涌水	地下水冲刷结构面中的充填物质,加速岩体风化,对断层等软弱带软化泥化,并使其膨胀崩解及产生机械管涌。有渗透压力,能鼓开较薄的软弱层	0.40~0.80
5	严重股状流水,断层等软弱带有大量涌水	地下水冲刷带出结构面中的充填物质,分离岩体,有渗透压力,能鼓开一定厚度的断层等软弱带,并导致围岩塌方	0.65~1.00
注:在喀斯特暗河、洞穴与地表水连通良好时,其折减系数取 0.80~1.00。			

水电水利工程地下建筑物 工程地质勘察技术规程

条 文 说 明

目 录

3	总则	59
5	地下建筑物工程地质勘察内容	60
5.1	基本地质条件勘察内容	60
5.2	围岩工程地质特性勘察内容	64
6	地下建筑物工程地质勘察方法	67
6.1	隧洞工程地质勘察方法	67
6.2	地下厂房系统工程地质勘察方法	67
7	地下建筑物围岩稳定性工程地质评价	70
7.1	地下建筑物位置选择	70
7.2	围岩分类和围岩稳定性工程地质评价	71
7.3	岩爆预测	79
7.4	涌水、突泥预测	80
7.5	地温、有害气体及放射性预测	81
7.6	外水压力预测	83
7.7	高水头压力隧洞围岩稳定性工程地质评价	83
7.8	气垫式调压室围岩稳定性工程地质评价	83
8	地下建筑物施工地质	85
8.1	专门性工程地质问题勘察	85
8.2	施工地质工作	85
8.3	围岩处理地质工作	86
8.4	围岩监测地质工作	86

3 总 则

3.0.1 地下建筑物工程地质勘察是水电水利工程地质勘察的重要组成部分。制定本标准的目的就是为做好水电水利工程地下建筑物工程地质勘察工作，统一地下建筑物工程地质勘察的内容、方法及围岩稳定性工程地质评价的原则，使地下建筑物工程地质勘察工作有章可循，并使其能符合 GB 50287 及相关规程的要求，达到提高地下建筑物工程地质勘察质量的目的。

3.0.2 水电水利工程地质勘察的主要任务是为水电水利工程的规划、设计和施工服务，提供其所需的工程地质勘察资料。因此，本标准规定地下建筑物工程地质勘察的任务是查明水电水利工程地下建筑物区的工程地质条件，对主要工程地质问题进行分析评价，为地下建筑物的布置、施工及围岩支护提供工程地质资料和建议。

5 地下建筑物工程地质勘察内容

5.1 基本地质条件勘察内容

5.1.3 本条规定了岩浆岩、沉积岩、变质岩和第四系覆盖层勘察的主要内容，包括一般性勘察内容和重点勘察内容两个方面。重点勘察是指在一般性勘察的基础上，对地下建筑物稳定性有影响的工程地质性质不良岩（土）体，需采用多种勘察手段进行重点勘察或专门性研究。

1 岩浆侵入岩和脉岩的勘察内容包括：岩性（岩石的矿物成分、组织结构、原生内部构造及其工程地质特性），岩相特征（内部相、过渡相、外部相或边缘相），规模，原生节理，侵入次序或期次，与围岩的接触关系（侵入接触、沉积接触），接触类型（急变型、过渡型、渐变型），接触程度（焊熔接触、裂隙接触、断层接触）和接触产状等。岩石的蚀变和岩脉的穿插往往弱化了工程地质性质，应予以重点勘察。

喷出岩的勘察内容包括：岩性（岩石的矿物成分、结构构造及其工程地质性质），岩相和岩石组合特征，原生构造（柱状、气孔或杏仁状、流纹状、枕状），喷发韵律与岩流层序，喷发环境（海底喷发、陆地喷发）；各岩流层的分布、厚度、层间层内接触关系、构造错动和产状变化等。喷发间断面多为软弱的凝灰物质或古风化壳，应予以重点勘察。

2 沉积岩的勘察内容包括：岩石类型（碎屑岩类、黏土岩类、化学和生物岩类等），岩石的矿物成分、化学成分、结构、结晶情况或胶结情况（胶结物成分、胶结类型、胶结程度）、构造特征（层理特征、层面构造、结核或缝合线等）和工程地质特性；各岩组（层）的分布、厚度、岩性岩相特征、沉积环境、沉积韵律、地层

层序、接触关系（整合接触、平行不整合接触、角度不整合接触）、化石组合、地层年代和产状变化等。对软弱岩层、可溶岩层等应予以重点勘察。

3 变质岩的勘察内容包括：岩性（岩石矿物成分、结构、构造及其工程地质特性），岩石的成因类型（正变质岩类、副变质岩类），变质岩类型（片麻岩类、片岩类、千枚岩类、板岩类、块状变质岩类、混合岩类等），变质作用类型（区域变质、动力变质、接触变质、混合岩化等），变质程度，划分变质岩带；各岩组（岩类）的分布、厚度、产状、岩石组合、岩相变化、地层层序、接触关系、地质年代等。对千枚岩、泥质板岩、碳质板岩、绿泥石片岩、绢云母片岩等软弱岩层、应予以重点勘察。

4 第四系覆盖层的勘察内容包括：成因类型、物质组成、土层名称、结构、构造特征、密实（或胶结）程度、厚度变化、沉积环境、形成年代、变形破坏特征、分布范围及所处地貌单元等。

5.1.4 本条规定了地质构造勘察的主要内容，说明如下：

1 对区域地质构造条件的调查，主要是通过收集区域地质资料、遥感地质及路线调查等方法，了解工程区所处大地构造部位，进行区域构造稳定性初步分析。有关区域构造稳定性评价方法，见 DL/T 5335。当隧洞需穿越活断层时，应研究断裂活动时代、方式（蠕滑、黏滑）、速率等，预测其在工程使用期限内累计最大可能蠕滑位移量或最大可能突发位移量，为隧洞特殊结构型式设计提供依据。

2 构造岩按固结程度可分为：未固结的断层角砾、断层泥和固结的脆性碎裂岩系列、韧性糜棱岩系列。脆性碎裂岩系列无新生重结晶作用，按碎裂程度由弱到强细分为初角砾岩、角砾岩、碎斑岩、碎粒岩、碎粉岩等；韧性剪切糜棱岩系列基质中普遍发生新生重结晶作用，按剪切作用的程度由弱到强细分为初糜棱岩、（眼球状）糜棱岩、糜棱岩、超糜棱岩等。应注意碎粉岩、碎粒岩

的软化、泥化与后期充填次生泥以及未固结的活断层中的断层泥的区别。

3 对地下建筑物围岩稳定性有重要影响的断层特别是缓倾角断层在顶拱分布、与洞室轴线交角小于 30° 的中陡倾角断层在边墙分布时,应重点研究其分布、规模、性状、力学特征、控水条件及其与其他结构面的组合关系。

4 节理裂隙(不连续结构面)现场调查统计,建议按国际岩石力学学会现场及试验室标准化委员会推荐的描述方法,要求每个典型区段统计面积不小 10m^2 。统计窗口数量根据实际情况确定,统计窗口的布置应具有地质代表性,并应考虑其方向性。节理裂隙的张开度应包括泥质及岩屑充填物的宽度。块体尺寸指数 I_b 为各组节理裂隙的平均间距,体积节理裂隙数 J_v 为各组节理裂隙间距的倒数和。

5 节理组数及其优势面产状,可由节理极点图或极点等密图确定。在断层和节理裂隙调查统计的基础上,进一步研究地下建筑物区岩体结构的确定性模型,必要时可研究节理网络概化模型。

5.1.5 本条规定了物理地质现象勘察的主要内容,说明如下:

1 岩体风化勘察内容主要包括:岩体的风化颜色、组织结构变化与破坏情况、矿物风化蚀变程度,风化裂隙的发育情况,裂面风化特征,充填物及性质,锤击特征等;分析岩体风化与岩性、构造、地貌和气候等因素的关系,研究岩体风化的一般规律。地下厂房系统地段岩体风化程度、深度和形态特征(带状、囊状、夹层状、球状等)应详细勘察,并进行岩体风化程度分带的划分,确定各风化带在各工程部位的分布、厚度和工程地质特性。对风化带的划分应以地质宏观鉴定为主,辅助一些测试手段(声波、地震波、点荷载强度、回弹值等)。应注意区分局部夹层式风化和囊状风化现象。

2 岩体卸荷勘察内容主要包括:岩体卸荷或卸荷裂隙的分

布、产状、规模、延续性、张开宽度、充填物性质等；分析岩体卸荷与谷坡坡度、坡高、坡面形态、岩性、构造、岩体应力状态及量级、第四纪新构造运动等因素的内在联系，研究岩体卸荷的形成机理、一般特征和规律。重点勘察地下厂房系统地段岩体卸荷带分布深度及其特征，同时注意其对岩体透水性和稳定性的影响。在高山峡谷区，应重视可能存在的深部卸荷现象对围岩稳定性影响的勘察研究。

3 边坡（谷坡）稳定性勘察主要内容包括：隧洞进、出口及浅埋洞段边坡岩土体岩性、结构、天然边坡目前稳定状况、可能的变形破坏模式及边界条件，影响工程开挖边坡稳定性的主要因素及可能的变形破坏机制及模式、规模、边界条件等，并应符合 DL/T 5337 和 DL/T 5353 的有关规定。

4 泥石流勘察内容主要包括：隧洞进、出口及浅埋洞段附近泥石流发育的地质环境和形成条件，包括地形条件、松散物源条件、地质构造条件、水文气象条件、植被条件及人类活动等；泥石流流域特征和堆积物性质；泥石流历史活动特征与分类；泥石流物源的启动条件与发展趋势预测。评价其对地下建筑物进、出口选择和浅埋段洞身的影响，提出防治措施的建议。

5.1.7 本条规定了水文地质条件勘察的内容，说明如下：

1 地下水的勘察除应利用泉、井、暗河伏流、钻孔、探洞等观测点调查地下水特征外，还应查明地下水出逸点的位置、高程、岩性、构造和地貌特征，地下水的出逸状态（涌水、流水、渗水、滴水）和分布情况。地下水的基本类型可按其埋藏条件分为包气带水、潜水和承压水三类，每一类又可按其含水介质的性质分为孔隙水、裂隙水和喀斯特水。

2 地下水的补给、径流、排泄条件勘察的主要内容包括：地下水的补给来源方向、补给区位置及特征；地下水的径流途径、流向、水力坡降、径流量变化及其与地表水体的关系；地下水的排泄区位置、排泄方式和排泄量大小。

5.2 围岩工程地质特性勘察内容

5.2.1 本条规定了围岩物理力学性质勘察的内容,说明如下:

1 围岩坚固系数是普氏塌落拱理论表征围岩坚固性质的参数。普氏理论对散体结构、碎裂结构类围岩较为实用。

2 围岩单位弹性抗力系数 K_0 是表示围岩承载能力或承受隧洞内水压力能力的一个量化的参数。

3 围岩强度压力比是表征围岩稳定性的指标之一,也是围岩稳定程度地质分类的限定判据。

5.2.2 本条规定了岩体地应力状态勘察的内容,说明如下:

1 岩体地应力按成因划分为天然应力(初始应力)和感生应力(二次应力)两类。岩体初始地应力包括自重应力、构造应力(活动的和残余的)及变异应力(岩体物理、化学变化及岩浆侵入所形成的)。岩体感生应力是人类工程活动所引起的应力。岩体地应力状态是复杂的,随地区的地形、地质条件和所经历的地质历史而异,并制约着岩体的力学特征和破坏机制。地下建筑物工程地质勘察中,应对岩体地应力的形成、量级、空间状态进行测试和研究。

工程实践表明:合理的开挖方法,对减轻二次应力集中导致围岩开裂等不利影响至关重要。

2 河谷下切致使河谷临空面附近岩体地应力重分布和地应力集中,初始地应力状态发生明显变化。在坡脚及谷底,重分布后的最大主应力方向与谷底或河床走向近于平行。在岸坡上,最大主应力方向一般平行坡面,最小应力方向则与之近于垂直。最大主应力值亦随之由岩体向外逐渐增高,至河谷临空面达到最大值,形成地应力集中。最小主应力的变化则与之相反,当河谷临空面附近(特别是坡脚和谷底处)岩体受到的集中地应力超过其强度,一旦发生破裂变形时,在围绕河谷临空面附近形成一地应力降低带,高地应力集中区则向岩体内部转移。在河谷断面上,

岩体地应力从外向里可划分为地应力释放低值带（地应力释放区）、地应力集中高值带（地应力集中区）、地应力正常带（原始地应力区）。

地应力释放低值带（地应力释放区），分布在河谷周边浅表部位，一般与两岸卸荷松弛风化带相对应。地应力集中高值带（地应力集中区），分布于河谷底部及坡脚部位，高地应力常引起岩心饼裂、岩爆（劈裂松弛、松脱、爆裂弹射等）等变形破坏现象。地应力正常带（原始地应力区），岩体处于高围压状态，高地应力常引起隧洞开挖环状劈裂破坏现象。

3 高地应力对围岩力学性质的影响是复杂的，在勘察设计中应充分认识和研究，以避免弊就利。

高地应力区如在保持天然围压状态下，可增强岩体连续性和降低线性结构面效应。地应力对围岩形成的围压越大，围岩稳定程度越高，即使软弱结构面也能提高其密实度和固结程度，使含水量降低，围岩的强度和抗变形能力提高。

高地应力地区的地应力有明显的方向性，在地下开挖后形成临空面，导致应力重分布。在临空面附近，地应力集中增高，形成二次地应力，并通过围岩的变形破坏而释放，产生“内鼓”、葱片剥落和岩爆，对围岩稳定不利。

在高地应力地区，应结合最大主应力的方向和岩体结构，研究确定适宜的洞轴方向和洞型；同时，综合考虑利用围压效应和回避洞周应力的过大集中而采取超前释放地应力、合适的开挖方法、适宜的支护措施与最佳的支护时间，以维持围岩的稳定性。

5.2.3 本条规定了特殊岩（土）物理力学性质勘察的内容，说明如下：

1 膨胀岩类系指富含膨胀性黏土矿物的软质岩和部分断层破碎带等。它随开挖过程围压释放，岩体松弛，黏土矿物（主要是蒙脱石）吸水致使矿物晶格发生膨胀，产生有害的膨胀压力，增大支护的外荷载，恶化围岩的稳定性。

2 易溶盐岩类系指地层中富集的卤素盐类、硫酸盐类等矿物,在水的作用下发生快速溶解,形成空穴,使岩体疏松,强度和完整性降低,恶化围岩的稳定性。

根据区域地层岩性及沉积环境特征研究成果,调查易溶盐岩类的分布部位与产出形式(夹层状、透镜体状、星点状等),取样进行矿化分析,查明易溶矿物的类别如卤素盐类(氯化钠盐、氯化镁盐等)、硫酸盐类(硫酸钠盐、石膏和硬石膏等硫酸钙镁盐)。取样测定在水流作用下其溶解性及溶蚀速度,评价对围岩稳定的影响和对混凝土及钢结构的腐蚀性,为设计隔水等保护措施提供依据。

5.2.4 本条规定了有害气体及放射性物源赋存岩类勘察的内容,说明如下:

1 有害气体主要是含煤含油有机岩类地层中蕴藏的一氧化碳、氮氧化物、硫化氢等气体,并可能沿构造通道(断层及张性裂隙)运移上升至非气储藏岩层中聚集。应根据地层岩性特征,结合已经显露的矿苗、气苗和有关矿产部门或生产单位开采的情况,调查可能的产气、储气岩层和运移聚集的构造条件,进行有害气体的测试和监测。

2 瓦斯隧洞地质工作是通过调查、勘测,掌握隧洞通过区瓦斯赋存的地质条件和分布规律,测试瓦斯涌出量、瓦斯压力、瓦斯放散初速度及煤的坚固系数等,进行瓦斯隧洞分类、分区、分段,为隧洞设计、施工提供地质依据。由于瓦斯具流动、运移的特性,所以规定瓦斯地层工作范围应较一般隧洞适当扩大。

3 放射性岩类主要是由岩浆侵入岩体中放射性物源形成的零星小矿包和沿某些特定的构造破碎带及活动性断裂带等形成放射性物质的聚集。放射性剂量的超标,将对人体健康带来严重危害。应利用平洞、施工支洞等测定放射性剂量,如氡及子体平衡当量浓度、环境放射性辐射量等。

5.2.5 本条根据多年来的地下工程勘察经验,提出针对不同类型岩体勘察论证的重点。

6 地下建筑物工程地质勘察方法

6.1 隧洞工程地质勘察方法

6.1.1 本条规定了隧洞工程地质测绘的要求，说明如下：

隧洞工程地质勘察的特点是需要勘察的线路长，范围广，跨越不同的地质单元，可能遇到的工程地质问题多，尤其是深埋或越岭隧洞，难以开展重型勘探工作。因此，在隧洞工程地质勘察中应强调勘察方法的针对性和适宜性。

在工程地质测绘中，除主要采用地质点填图外，在勘察初期还应开展遥感解译工作。同时，强调工程类比与综合分析。在施工开挖初期充分利用导洞和支洞，检验复核地质条件。

从地形条件分析，控制洞长、埋深、进口、出口、施工支洞位置及交通条件，预测深埋段高地应力、过沟浅埋段及进口、出口段的主要工程地质问题。从岩性条件分析，预测软质岩、可溶岩、松散地层及特殊岩的工程地质问题。从构造条件分析预测穿越大断层、活断层洞段围岩稳定问题及向斜轴部与断裂构造涌水问题。

6.1.2 本条规定了隧洞工程勘探的要求，说明如下：

在一般情况下，长隧洞沿线布置重型勘探有一定的难度，但必须强调在对过沟段、浅埋段，进、出口部位及存在重大工程地质问题的地段应布置勘探。如锦屏二级水电站为勘探越岭深埋引水隧洞，开挖了两条各 5000 多米的超长探洞。

6.1.3、6.1.4 所列隧洞工程开展的试验、测试及长观工作内容均是最基本的内容。

6.2 地下厂房系统工程地质勘察方法

6.2.1 本条规定了地下厂房系统工程地质测绘的要求，说明如下：

地下厂房系统工程地质勘察方法适用于厂房三大洞室（主厂房、主变压器室、尾水调压室）及调压井、压力管道、岔管、尾水洞、出线洞、交通洞等附属洞室，以及坝址枢纽区的泄洪洞、导流洞、放空洞、冲沙洞等。

地下厂房系统工程地质勘察的特点是地下厂房勘察区洞室多、规模大、结构复杂，对工程地质勘察的要求高，须采取工程地质测绘、勘探（钻探、洞探、物探）、试验与测试等综合勘察方法和手段，并需较多的勘察工作量，以查明洞群区的工程地质—围岩岩体力学性质条件，进而分析评价洞群区围岩稳定性，提出围岩处理与加固的地质建议。

工程地质测绘是工程地质勘察的基础，应结合勘探以及施工初期揭示的地质条件对工程地质测绘成果予以复核。

6.2.2 本条规定了地下厂房系统勘探布置的一般原则，钻探、洞探是必不可少的，宜在拱座附近高程布置洞探，洞身穿过拟建洞室边（端）墙后，应有一倍边墙高的洞长，查明可能在边墙上出露的中陡倾角的结构面，以控制高边墙和顶拱的地质条件。

以探洞地质资料收集、编录为基础，综合其他勘探成果，绘制探洞高程和洞室顶拱、腰部、底板等高程平切地质剖面，以及洞室纵横地质剖面。通过三维 CAD 成图，推测地质结构的空间展布，尤其是特定的软弱结构面及其不利组合，建立确定性的岩体结构模型。进行节理裂隙调查统计，必要时，建立节理网络概化模型，为洞室选位定线和围岩稳定性研究评价提供依据。

鉴于高压管道要有足够的埋深，地下厂房区重型勘探（钻孔、平洞）应有相当的深度，以埋置最深、水头最高的岔管为控制，探洞的长度一般要求达到 0.7 倍最大水头值；钻孔尚须布置适量的水压致裂、高压压水等特殊试验项目。

6.2.3 本条规定了地下厂房系统围岩物理力学性质试验与测试，说明如下：

围岩岩体地应力状态测试方法较多，根据工程运行工况，地

下厂房洞群宜采取应力解除法，高压管道、岔管及气垫式调压室宜采取水压致裂法。

6.2.4、6.2.5 条文规定了地下厂房系统水文地质试验和地下水长期观测，说明如下：

1 高压压水试验是在高压管道、岔管及气垫式调压室工程地质勘察中必须开展的水文地质试验。

2 水力劈裂试验是专门针对围岩中软弱岩带进行的破坏试验，视需要开展。

3 地下水渗流场的数值分析，应在取得地下厂房系统布置区的水文地质结构、边界条件、水文地质参数及地下水位长期观测资料的基础上进行。

4 为了解大型地下厂房区地下水动态，随勘察阶段的深入，逐步建立地下水及相应地表水的长期观测网。

6.2.6 本条规定了地下厂房系统围岩变形观测，说明如下：

在大型地下厂房勘察设计阶段，为更有效地研究较大范围岩体开挖洞室围岩的变形特性，反求更具代表性的地应力、弹性模量等参数，建立正确的计算地质模型，预测大型洞群围岩稳定性和确定设计与施工支护方案，可结合勘探平洞扩挖模型试验洞，开展围岩变形（位移）观测。

7 地下建筑物围岩稳定性工程地质评价

7.1 地下建筑物位置选择

7.1.1 本条规定了隧洞选线应遵循的一般原则, 说明如下:

1 条文分别从总体上、地形、岩性、构造条件以及进出口等方面提出了隧洞选线的原则要求。

2 近十多年来, 在我国西部地区, 一些水电站工程引水隧洞穿越了具有一定活动性的断层, 经开展断层的活动性及其对工程影响的专门研究后, 为隧洞特殊结构型式设计提供了依据。

7.1.2 本条规定了地下厂房系统选址应遵循的原则, 说明如下:

1 地下主厂房宜布置在地应力正常带内。厂址最小岩体覆盖厚度: 对完整围岩, 一般要求不宜小于 1.5~2.0 倍开挖跨度; 对裂隙较发育的围岩, 不宜小于 2.0~2.5 倍开挖跨度; 对完整性较差的围岩, 不宜小于 2.5~3.0 倍开挖跨度。

2 厂区相邻洞室的间距, 可根据工程经验类比及辅以围岩稳定性数值分析、试验洞位移监测资料分析等方法确定。一般要求间距: 对完整坚硬围岩, 不宜小于 1.0~1.5 倍开挖跨度; 对中等围岩, 不宜小于 1.5~2.0 倍开挖跨度; 对较差围岩, 不宜小于 2.0~2.5 倍开挖跨度。在高地应力区完整坚硬岩体或“硬、脆、碎”岩体中开挖洞室, 应注意应力调整围岩松弛破损的问题, 其洞室间距不宜过小。

7.1.3 本条规定了地下厂房轴向确定的原则, 说明如下:

1 当岩体结构面比较发育且处于低地应力地区, 以考虑岩体结构条件为主; 当岩质坚硬完整, 软弱结构面不发育, 裂隙短小闭合, 性状较好, 又处于较高地应力地区时, 厂房轴向确定则以考虑地应力因素为主。

2 通过断层及节理裂隙调查统计,分析岩体结构条件,提出岩体结构的确定性及概化模型。应用赤平极射投影图(或极点图)进行结构面组合与初拟轴向空间关系的分析,优化调整轴线,预测各部位围岩的局部稳定性。重点抓住主要结构面与边墙、顶拱的关系,一般要求主要结构面与厂轴夹角(二线角)大于 60° ;主要结构面与边墙、顶拱的夹角(二面角)要大;主要结构面的不利组合,在边墙和顶拱上不存在或出现较少。

3 在高地应力地区,厂房轴向不宜完全平行最大主应力方向,否则对与厂房边墙大角度相交(垂直)的进水、尾水、母线洞岩柱及高端墙的围岩稳定不利。根据初拟轴向,结合地应力实测资料及地应力场回归成果,分析厂房洞室开挖后边墙和顶拱的二维应力状态,对比厂房高跨比与相同两方向正应力比,若二者一致或接近,洞周不产生或不形成过大的拉应力区,否则应调整轴向或断面形状,使边墙、顶拱处于较好的应力状态。在实际工程中,往往三向地应力不完全互相垂直,或厂轴与最大主应力有一定的夹角时,则应转换与厂轴相应的主应力和剪应力,以边墙和顶拱所受正应力之比进行分析。

4 影响厂轴确定的枢纽布置条件主要是进水、尾水建筑物的布置,尤其是进水线路要求平顺通畅。有时与由岩体结构和地应力条件确定的厂轴不协调,此时应综合分析,在基本合理的基础上,互相调整。

5 地下厂房系统选址及选线应在预可行性研究阶段初拟代表性方案,可行性研究阶段调整选定。必要时,在招标设计阶段优化。

7.2 围岩分类和围岩稳定性工程地质评价

7.2.1 本条对围岩工程地质分类作了规定,说明如下:

围岩工程地质分类是对地下工程岩体工程地质特性进行综合分析、概括及评价的方法,是地下工程设计施工与运行经验的总

结,故分类的实质是广义的工程地质类比,目的是对围岩的整体稳定程度进行判断,并指导开挖及系统支护设计。当存在特定软弱结构面的不利组合影响围岩的局部稳定性时,则应采取特殊的加固处理措施。

7.2.2 本条对围岩初步分类作了规定,说明如下:

地下洞室围岩初步分类属于宏观判断性质的分类,适用工程地质资料较少的规划、预可行性阶段。初步分类主要依据反映围岩坚固性质的岩质类型、完整程度和岩体结构类型,而地下水状况对较完整的硬质岩质量影响不大,仅作为限定因素,对软质岩及较破碎的硬质岩的分类有影响。

7.2.3 本条对围岩详细分类作了规定,说明如下:

1 围岩详细分类是在初步分类的基础上,以岩石强度、岩体完整性和结构面状态为基本因素,均为正值;以地下水状态和主要结构面产状为修正因素,均为负值。以上该五项评分采用和差累积法,求出一个多因素复合指标——累积总评分,并考虑围岩应力状态,以围岩强度应力比为限定判据,最后综合判定围岩类别。主要用于可行性阶段、招标设计阶段和施工详图设计阶段。

2 对于大跨度、高边墙的地下洞室,顶拱及边墙、端墙,应分别进行评分和分类。

7.2.4 大跨度地下洞室围岩的分类除采用本标准的分类外,还可采用国内外其他围岩分类(如 Q 系统分类法、RMR 分类法等)进行对比使用。

7.2.5 本条对围岩物理力学性质参数选取作了规定,说明如下:

1 在规划、预可行性研究设计阶段,现场和室内试验成果较少,可参考附录 K 进行取值。

2 在可行性研究设计阶段,根据现场、室内试验成果和围岩分类及工程类比,进行各类围岩的物理力学性质参数取值。

3 在招标设计、施工详图设计阶段,必要时,可根据复核的现场、室内试验成果和围岩分类,调整各类围岩的物理力学性质

参数取值。

7.2.6 本条对围岩稳定性的工程地质分析作了规定,说明如下:

1 岩质特性分析。根据岩石饱和单轴抗压强度,将岩石分为硬质岩(坚硬岩、中硬岩)和软质岩(较软岩、软岩)。对于坚硬的较完整的围岩,要注意高地应力问题。对于软质岩,特别是泥岩、云母片岩、千枚岩、泥质板岩及易溶岩等,常因遇水而软化、泥化、膨胀、溶解及崩解(泥岩的崩解通常是吸水、失水反复作用的结果),使围岩强度降低,随时间延续常具流变特性,产生较大变形而破坏。对这类围岩常采取及时封闭、隔水等措施。

2 岩体结构条件分析。分析洞室所通过的褶皱、断层、节理裂隙及其组合对围岩稳定性的影响。洞线垂直褶皱轴向比平行褶皱轴向有利于围岩稳定;横穿陡倾角紧密褶皱比舒缓褶皱有利于顶拱围岩稳定;向斜轴部常形成地下水汇集的储水构造,应注意其涌水影响围岩稳定性。洞室垂直穿过断层带可最大限度缩小外露长度,减小其不利影响;当洞线与其夹角小于 30° 时,对围岩稳定最为不利;当破碎带宽且以松软物质为主时,对围岩稳定性不利影响最大;对于规模不大的断层,尤其注意分析与其他结构面(特别是软弱结构面)有无不利组合,具体分析不稳定块体出露的部位、规模,可能产生的松动压力,为加固处理提供依据。通过节理裂隙调查统计,首先按产状归纳分组。重点调查层面裂隙及其他贯通性长大裂隙的规模性状,运用赤平极射投影、极点图、实体比例投影等方法,分析节理裂隙及其与断层的组合关系,筛选出分别对顶拱、两侧边墙及端墙围岩稳定不利的组合模式(当节理裂隙与特定断层组合时,其具体位置可以确定);根据各组裂隙的长度,研究互相交切性,估算不利块体的规模;根据各组裂隙的性状及力学性质,评价围岩的稳定性。一般而言,若在顶拱存在向下方扩散的组合块体,在边墙存在组合交线以中陡倾角倾向洞内的组合块体时,对围岩稳定性最为不利。

3 地下水作用分析。地下水的影响主要表现在对断层、节理

裂隙等结构面和软岩的软化、泥化及膨胀等；流动的地下水对结构面松软充填物的潜蚀，对易溶岩的溶解；向斜轴部或导水断裂及交汇带的构造涌水；喀斯特发育带的集中涌水等，均使围岩的稳定性恶化。而硬质岩体及刚性结构面的水敏性弱，地下水对其围岩稳定影响不大。凡在地下水位线以下、水敏性强的围岩中开挖，应加强排水等处理措施。

4 岩体地应力条件分析。据国内外对岩体初始地应力实测资料统计，水平应力普遍大于垂直应力，垂直应力基本等于或略大于上覆岩体的重量，表明在大多数情况下，地下洞室围岩内贮存天然应力源以构造应力为主。岩体中最大水平主应力方向，主要取决于现代构造应力场。根据地应力测试并结合地质力学分析等，综合确定最大水平主应力的方向。在进行岩体初始地应力条件分析时，要考虑三方面因素：① 断裂构造对地应力量级、方向的局部影响；② 地形切割、谷坡形成与演化结果是表部地应力释放降低，岩体松弛，以自重应力为主；浅部地应力集中增高，主应力方向产生偏转，最大主应力大致与坡面及谷底面平行，而最小主应力则与之近于垂直；深部逐渐恢复到初始地应力的正常状态；③ 岩体的强度、完整性及其抗变形性明显影响岩体地应力集聚的程度，弹性模量较高的岩体有利于地应力的积累。随围压增高，岩体由块裂介质向连续介质转化，强度和弹性模量逐渐提高。在高压地下管道设计中，考虑岩体初始地应力，可提高岩体承担内水压力的能力。同时，当岩体中最小主应力大于内水压力且留有一定安全裕度条件下，可防止岩体产生水力劈裂，对减轻高压管道衬砌设计具有经济效益。

5 洞室开挖影响围岩二次应力状态的因素。主要是初始地应力场特征、断面形状及围岩自身的地质条件。初始地应力大，围岩二次应力也大。表征初始地应力场特征参数主要是侧压力系数 λ ， λ 值可据实测应力成果，水平应力与垂直应力的比值估计确定。在单一洞室条件下，围岩二次应力状态与不同 λ 值的初始地

应力场的关系一般如下:

- 1) $\lambda = 0$ 时, 即水平应力为 0, 出现在围岩中发育张性断裂带及洞室处于斜坡卸荷带内。对于任何断面形状及高跨比的洞室, 其顶板均出现最大拉应力集中, 而边墙为压应力集中。
- 2) $\lambda = 1$ 时, 即各方向水平应力均与垂直应力相等的静水式应力场, 位于近期末受明显构造挤压的深部塑性变形区, 以及具有高塑性的沉积岩层中, 或者洞室横断面上水平应力与垂直应力相等的构造应力和自重应力叠加的应力状态下。对任何断面形态及高跨比的洞室, 都不出现拉应力集中区。
- 3) $0 < \lambda < 1$ 的初始地应力场时, 洞室顶板拉应力集中程度与 λ 值的增大呈反比, 并逐渐转化为压应力集中, 而边墙一般为压应力集中且随 λ 值增大而减小。为消除顶板围岩的拉应力集中, 可改善断面形状, 加大高跨比。当 $\lambda = 0.25 \sim 0.43$ 时, 为比较典型的自重应力场, 一般出现在未受构造扰动和挤压的坚硬岩层中, 其水平应力由垂直自重应力导出。当 $0 < \lambda < 0.25$ 时, 为比较接近 $\lambda = 0$ 的应力状态。当 $0.43 < \lambda < 1$ 时, 为自重应力与构造应力叠加的应力场。
- 4) $\lambda > 1$ 时, 水平应力大于垂直应力, 为构造应力与自重应力叠加的应力场。洞室顶板不出现拉应力, 而为压应力集中, 但边墙随 λ 值的增加, 由压应力转化为拉应力集中。为改善边墙围岩不利的二次应力状态, 可减小高跨比。

以上分析表明, 在遇到的以构造应力为主、水平应力大于垂直应力的地区, 要充分利用 λ 值的异向性, 洞线选择尽可能考虑到横断面上 λ 值接近 1, 或优化断面形状, 以改善洞周二次应力状态, 消除或减小拉应力区。由于地应力对围岩稳定性的影响,

主要是通过洞室开挖, 洞周围岩二次应力的形成所反映, 分析在初拟洞线、洞型的情况下, 出现拉应力区的可能部位, 拉应力区围岩是不稳定的。对于压应力集中部位, 应根据围岩强度应力比评价围岩的稳定性。当围岩强度与初始最大主应力之比小于 4 时, 将出现应力超限, 形成塑性区, 围岩稳定性差; 当比值小于 2 时, 围岩不稳定。断层等软弱结构面及层状各向异性岩体对二次应力分布的不利影响, 将可能在弱面上产生剪应力导致块体失稳, 或增大压应力和拉应力的集中程度。

6 影响围岩稳定性的地质因素是多方面的, 不同工程的地质条件各不相同。围岩分类法是一种既能全面又能有所侧重反映各种因素的综合影响, 对围岩整体稳定性作出判断并指导支护设计的方法。

7 应用块体分析法找出可能不稳定块体特别是特定软弱结构面的组合在围岩中分布的位置、几何形状、影响范围, 分析可能失稳破坏的形式, 初步判断围岩的局部稳定性。确定滑移方向、滑移面、切割面及其面积, 可能不稳定块体体积和重量。通过测试及工程类比, 选取结构面的强度参数, 考虑重力及围岩应力作用, 运用块体极限平衡理论验算由特定弱面组合块体围岩的局部稳定性, 以便为加固处理提供依据。

8 洞室塌方的工程地质分析。塌方的产生往往是多种影响围岩稳定性的不利因素综合作用的结果, 分析应包括以下内容:

- 1) 围岩强度与塌方的关系分析。塌方大多发生在强烈风化带、卸荷松弛带、断层破碎带及交汇带和软弱岩层中。围岩强度愈小, 塌方规模愈大。
- 2) 岩体结构与塌方的关系分析。散体和碎裂结构岩体塌方的几率最高。由结构面的不利组合形成的塌方几率较高, 其中以顶拱组成的屋脊形和边墙组成的倾向洞内中陡倾角的楔形块体最为典型。
- 3) 地下水活动与塌方的关系分析。地下水的活动, 对围岩

稳定性恶化从而导致塌方具重要影响。在断层、裂隙发育及水敏性强的软岩洞段，地下水将因洞室开挖而富集，对围岩不仅产生外压（静压），而且将产生动水压力，从而促进塌方产生。

- 4) 围岩应力与塌方的关系分析。洞室开挖前，岩体处于三向受力的状态。随洞室的开挖，形成二次应力场。当围岩强度能承受集中的应力，或虽不能承受但围岩的松弛变形在较小的允许范围内时，二次应力达到新的平衡状态，围岩不会发生明显的失稳。当围岩不能承受集中的应力，且松弛变形不能控制时，围岩应力不平衡，产生了向洞内方向的山岩压力，围岩失稳发生塌方。在硬脆岩体高地应力地区，洞室开挖产生岩爆也是围岩应力不平衡，围岩强度不能适应过高的应力集中而突发的失稳破坏现象。
- 5) 施工方法与塌方的关系分析。对潜在不稳定围岩，若施工开挖及爆破方法不当，不及时进行临时支护等，均可促使塌方。

据已有围岩变形破坏及塌方实例的调查分析，为提高对塌方处理的针对性，按导致失稳破坏的主控因素，可将围岩失稳的机制归纳为以下三种基本类型：① 围岩强度—应力控制型，进一步按围岩失稳的特征来划分出五种破坏形式，即坚硬块状岩体脆裂（岩爆、劈裂、剥落、张裂塌落）、层状岩体弯曲折断、软弱夹层塑性挤出、软弱岩体内挤塌落、散体松脱塌落。由于散体几乎丧失了抗压强度，其抗剪强度亦低，在垂直应力—重力作用下导致塌落，故散体松脱塌落破坏形成亦归于围岩强度—应力控制型的一种特例。② 软弱结构面控制型，其破坏形式为块体滑移塌落，表现为围岩中局部特定块体的不稳定，往往需特殊的加固处理。③ 混合控制型，压应力集中导致剪应力超限，大于结构面抗剪强度，围岩发生剪切破坏，既受强度—应力控制，也受结构面控制。

进一步按结构面发育程度和性状，分为碎裂松动和剪切滑移两种破坏形式。

7.2.7 本条对围岩局部稳定性计算分析作了规定，说明如下：

1 当围岩应力小，围岩中存在软弱结构面不利组合块体时，只考虑重力作用，合理选取结构面力学性质参数，采用块体极限平衡分析方法计算块体的稳定性。

2 当围岩为散体结构、碎裂结构和松散土体时，可采用普氏塌落拱理论计算可能塌落高度和围岩压力。实践表明该理论对坚硬完整岩体不适合。

7.2.8 本条对围岩现场测试分析作了规定，说明如下：

1 现场测试分析包括前期通过原位模型试验洞，量测围岩的变形及应力，分析围岩变形的时空效应，验证并改进围岩应力应变数值分析模型，反分析地应力和岩体弹性模量，为围岩稳定性评价、优化支护设计及施工开挖程序提供资料。施工开挖期监测要求在施工时布设位移及应力监测系统，随洞室开挖及支护过程，获得有关围岩稳定性及支护工作状态的信息，评价围岩稳定性和支护效果，为进一步针对性地修正支护参数及后续开挖提供依据。运行期原形监测，一般是将施工期的监测系统转入长期观测，据施工监测情况和运行期要求确定。

2 围岩现场监测的应用。通过变形监测，建立围岩的位移标准即允许变形值。附录 M 隧洞周边允许位移相对值系根据 GB 50086《锚杆喷射混凝土支护技术规范》的规定。根据围岩变形（洞周收敛或围岩位移）和支护应力（如锚杆内力、喷层应力）观测资料，可建立围岩与支护的特征曲线，两条曲线的交点即为平衡点，据此预测围岩的稳定性。围岩收敛观测的时间过程曲线，可用于确定最佳支护的时机：一般考虑在收敛速率明显下降时；收敛量已达最大允许值的 80%~90%时；收敛速率达到 0.15mm/d 或顶拱位移速率小于 0.1mm/d 时。位移的反分析，用逆演法求得初始地应力及岩体参数。正演法反分析，即为一种反馈优化设计法。

7.3 岩 爆 预 测

7.3.1 本条对岩爆发生的地质因素研究作了规定,说明如下:

1 岩爆是高地应力地区地下洞室开挖出现的特殊工程地质问题,表现为围岩突然释放大量弹性应变能的剧烈脆性破坏,其产生的机制是高蓄能硬脆岩体在高地应力环境下,洞室开挖,围岩应力集中超过或接近围岩强度。

2 调查岩爆的强度类型、规模(深度、宽度)、爆裂面的形态特征与洞壁的关系、爆裂面形成的力学机制(压张、压剪或张剪)、岩爆发生的时空规律、岩爆的动力特征,分析研究岩爆沿洞轴线和横断面上深度和宽度变化规律及分布规律。

7.3.2 本标准附录 F 岩体初始地应力的分级是按 GB 50287 规定的。岩体初始应力的分级除考虑最大主应力量级外,尚需考虑岩石强度应力比(R_b/σ_m)作为分级的定量指标。

7.3.3~7.3.5 岩爆预测分前期预测和开挖期预测。前期预测一般根据岩石强度应力比和发生岩爆的临界埋深,以及探洞中的岩爆现象进行预测分析。开挖期预测还可结合二次应力、声发射特征、氦气逸出量等测试成果及已出现的岩爆现象进行预测。

岩爆的类型可分为岩石弹射、爆裂脱落、剥离劈裂等几种主要类型。岩爆的预测与判别,除根据附录 F 所列的临界埋深和岩石强度应力比两项指标及岩爆现象外,还可参见以下几种岩爆发生的经验准则:

1 我国石灰岩地区,当围岩强度与最大主应力比值小于 2.5 时,将发生强烈岩爆;小于 5 大于 2.5 时,有中等岩爆发生。

2 前苏联顿巴斯的准则(对埋深 400~1200m 的坑道):

$\sigma_z/\sigma_c < 0.25$ 岩体稳定,不易发生岩爆;

$\sigma_z/\sigma_c = 0.25 \sim 0.45$ 岩体中等稳定;

$\sigma_z/\sigma_c > 0.45$ 岩体稳定性差,易发生岩爆。

其中: σ_z 为地应力场第一主应力; σ_c 为岩石单轴抗压强度。

3 前苏联 N·A 多尔恰尼诺夫判据:

$\sigma_{\max} \leq 0.3 \sigma_c$ 无岩石弹射、剥落;

$\sigma_{\max} = (0.5 \sim 0.8) \sigma_c$ 岩石弹射、剥落;

$\sigma_{\max} > 0.8 \sigma_c$ 岩爆、强烈岩射。

其中: σ_{\max} 为围岩应力; σ_c 为岩石单轴抗压强度。

4 Barton 判据, 见表 1。

表 1 Barton 判 据

σ_1/σ_1	σ_1/σ_1	结 论
5~2.5	0.33~0.16	轻微岩爆
<2.5	<0.16	严重岩爆

其中: σ_1 为最大初始地应力; σ_c 为岩石单轴抗压强度; σ_1 为岩石抗拉强度。

5 据国内外岩爆弹射程度分析统计, 弹射的猛烈程度与围岩的强度呈正相关关系。

$\sigma_c \geq 180\text{MPa}$ 的围岩若发生岩爆, 为强烈弹射;

$\sigma_c = 120\text{MPa} \sim 180\text{MPa}$ 的围岩若发生岩爆, 为中等弹射;

$\sigma_c \leq 120\text{MPa}$ 的围岩若发生岩爆, 为微弱弹射。

其中: σ_c 为围岩单轴抗压强度。

6 根据已发生岩爆的特征, 如部位、横断面上的位置、发生时间、爆裂面特征、岩爆块体的形状大小等研究预测岩爆。

7.4 涌水、突泥预测

7.4.1 本条对涌水预测作了规定, 说明如下:

涌水类型分为构造涌水和喀斯特涌水。构造涌水往往与洞室通过导水断裂、裂隙密集带或向斜汇水构造有关。喀斯特涌水往往是洞室揭穿地下暗河, 涌水流量大, 压力高, 且具季节性。当隧洞位于地下水位以上时, 枯水期洞内干燥, 无涌水现象; 在雨

季暴雨时,地表水沿洼地、落水洞,直接渗入洞室。位于洞室底板以下的暗河,在暴雨时若排泄不畅而补给丰富时,将形成地下暗河,水位上涨涌高,发生短时大流量高压涌水。此外,喀斯特涌水还有突发性和不均匀性。深埋长隧洞涌水往往具有高压突水的特点。

7.4.2 本条对突泥预测作了规定,说明如下:

突泥是洞室穿过充填型喀斯特洞穴时,高压泥石流的突涌现象。一般是洞室揭穿喀斯特暗河、溶洞中突水,携带大量泥土、碎块石充填物突然涌出。

7.5 地温、有害气体及放射性预测

7.5.1 本条对地温预测作了规定,说明如下:

在深埋隧洞及高地温异常区隧洞的开挖过程中,常出现高地温现象,造成热害。地温预测可据地下洞室区域已有地温地热资料 and 地区的地温增温梯度值及地面多年平均气温,估算不同埋深洞段的地温。在一般情况下,地温梯度值约为 $12^{\circ}\text{C}/\text{km} \sim 25^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。应注意以下情况:

1 当地表地形起伏大,临空散热条件较好,岩体内部地下水循环交替较强烈或裂隙通气条件较好,有高山融雪水的入渗补给等时,均可能出现地温负增长现象。

2 当隧洞区发育有活动断裂带或具有深部地下水循环条件的断裂带,且沿断裂带有温泉、热泉出露时,注意可能出现高热活动引起的地温梯度高异常现象。此时可根据温泉、热泉温度及其循环条件与隧洞关系,预测隧洞的高地温。

7.5.2 本条对有害气体及放射性预测作了规定,说明如下:

1 当洞室通过含煤、含油、含气等有机岩类地层和岩浆侵入岩体等含放射性物源岩层时,洞室区可能存在超标的有害气体或放射性危害的问题,应严格按国家及行业有关标准和规范进行预测评价。附录 N 中地下洞室有害气体最大允许浓度及空气成分主

要指标来源于 CHECCAQ01《中国水电顾问集团公司, 水电勘测设计企业安全生产管理规程》的规定。

2 附录 P 中瓦斯隧洞分类来源于 TB 10120、J 160《铁路瓦斯隧道技术规范》的规定。具有瓦斯突出危险的隧洞, 由于瓦斯在煤层中的含量、压力、涌出规律、煤层的赋存条件、含水、涌水等难以在勘察设计阶段中完全准确掌握, 为确保安全, 应根据施工开挖揭示的煤层及瓦斯的逸出情况, 加强防护处理。施工单位须严格安全措施, 防止瓦斯爆炸。

3 TB 10120、J 160《铁路瓦斯隧道技术规范》还规定采用综合指标法预测瓦斯突出危险性:

1) 瓦斯突出的指标测定:

在岩石工作面向突出煤层至少钻两个测压孔, 测定煤层瓦斯压力。在钻测压孔的过程中, 每米煤孔应采用一个煤样, 测定煤的坚固性系数 (f); 应将两个测压孔所得的坚固性系数最小值平均, 作为煤层软分层的平均坚固性系数; 应将坚固性系数最小的两个煤样混合后, 测定煤的瓦斯放散初速度指标 (ΔP)。

2) 煤层瓦斯突出的危险性可按式判别:

$$D = 0.0075H(P-0.74)/(f-3) \quad (1)$$

$$K = \Delta P/f \quad (2)$$

式中:

D ——煤层的突出危险性综合指标;

K ——煤层的突出危险性综合指标;

H ——开挖工作面埋深, m;

P ——煤层瓦斯压力, 取两个测压钻孔实测瓦斯压力的最大值, MPa;

ΔP ——软分层煤的瓦斯放散初速度指标, mmHg;

f ——软分层煤的平均坚固性系数。

- 3) 用综合指标 D 和 K 预测煤层突出危险性的临界值应符合表 2 的规定。

表 2 综合指标 D 、 K 的临界值

煤层突出危险性综合指标 D	煤层突出危险性综合指标 K	
	无烟煤	其他煤种
0.25	20	15
注 1: 当式 (1) 中两个括号内的计算值都为负时, 则不论 D 值多小, 都为突出威胁煤层。		
注 2: 地质勘探进行煤层突出危险性预测时, 突出威胁应为无突出危险煤层。		

4 放射性地区是指所含放射性物质超过国家相关规定的地区。附录 Q 地下洞室氡及其子体控制标准系根据 GB 16356 的规定。放射性照射的剂量限值系根据 GB 18871 的规定。

7.6 外水压力预测

7.6.1、7.6.2 外水压力是指作用在衬砌和支护上地下水的压力。通常外水压力的确定, 需查明地下洞室区地下水位, 按洞室以上地下水的水柱高度并考虑围岩透水特性等, 估算静水压力值。

7.7 高水头压力隧洞围岩稳定性工程地质评价

7.7.1、7.7.2 在水电工程中, 地下高压管道是一种特殊的隧洞, 除了满足一般隧洞的稳定条件外, 尚需承受很高的内水压力。高压内水外渗将导致围岩上抬、水力劈裂、渗透破坏等, 从而引起管道渗漏及山体边坡失稳等工程地质问题。

7.8 气垫式调压室围岩稳定性工程地质评价

7.8.1~7.8.3 气垫式调压室与常规调压井相比, 其高程降低至厂房高程附近, 引水线路一坡到底, 引水线路相对较短, 减少了常

规调压井和引水线路等部位上山施工公路，具环保效益和经济效益。但气垫式调压室对围岩质量要求较高，应保证围岩抗抬、抗劈裂、抗渗稳定性。如采用全封闭隔水隔气结构时，对围岩的要求可适当降低。

8 地下建筑物施工地质

8.1 专门性工程地质问题勘察

8.1.1 专门性工程地质问题的勘察内容，一般应根据可行性研究报告审查和招标设计评审中要求补充论证的问题而确定。

施工期专门性工程地质问题勘察内容包括：施工开挖揭露的一般性不良地质问题，可通过施工地质工作与设计工作配合，结合施工开挖一并研究处理。但有时会遇到一些前期勘察中不可预见的、没有查明或研究深度不够的复杂地质问题，导致围岩的处理措施和处理工程量发生较大变化，甚至可能引起地下建筑物位置和轴线变更等，应进行专门性勘察或补充勘察。

8.1.2 围岩不良工程地质问题主要包括：塌方、岩爆、涌水和高压突水突泥、地温地热异常、有害气体、放射性、膨胀性软弱围岩大变形、易溶围岩溶蚀加剧等。

8.2 施工地质工作

8.2.1~8.2.7 条文根据施工程序，分别对围岩在开挖期和最终断面形成后的施工地质工作内容作了明确规定。两个期间的施工地质工作是互相联系的。

编录和测绘是施工地质的基础性工作，贯穿施工的全过程，需要编录和测绘的内容较多，但在实际工作中应根据工程的具体情况有所侧重，抓住关键性的地质现象和影响围岩质量的地质问题进行编录与测绘。

观测是预报的基础，预报是为施工开挖和可能的设计变更提供信息，应根据地下建筑物开挖揭露的围岩地质情况进行及时预报。

条文还规定了评价与验收的要求。围岩评价是验收的基础，验收是工程建设的重要程序，施工地质人员应参加围岩验收工作。

8.2.8 施工地质工作的主要方法可采用地质巡视、观察、素描、实测、摄影、录像，以及必要的现场测试和补充勘探试验等。施工地质工作应及时、准确，力求全面记录施工期揭露的主要地质现象和不良地质问题的处理情况。

8.2.9 施工地质资料是工程设计和建设的重要基础资料，特别是当地下建筑物工程施工期和运行期围岩出现异常现象，需要分析和查询原因时，施工地质资料是重要的依据之一。因此施工地质工作期间和结束后应及时整编各项原料资料，建立“施工地质日志”，编写单项工程验收地质说明书、工程安全鉴定地质自检报告、竣工地质报告等，并做好资料归档工作。竣工地质报告应突出开挖后的实际地质条件、围岩评价、不良地质问题的处理情况，并应与前期勘察成果进行对比分析，总结经验教训。

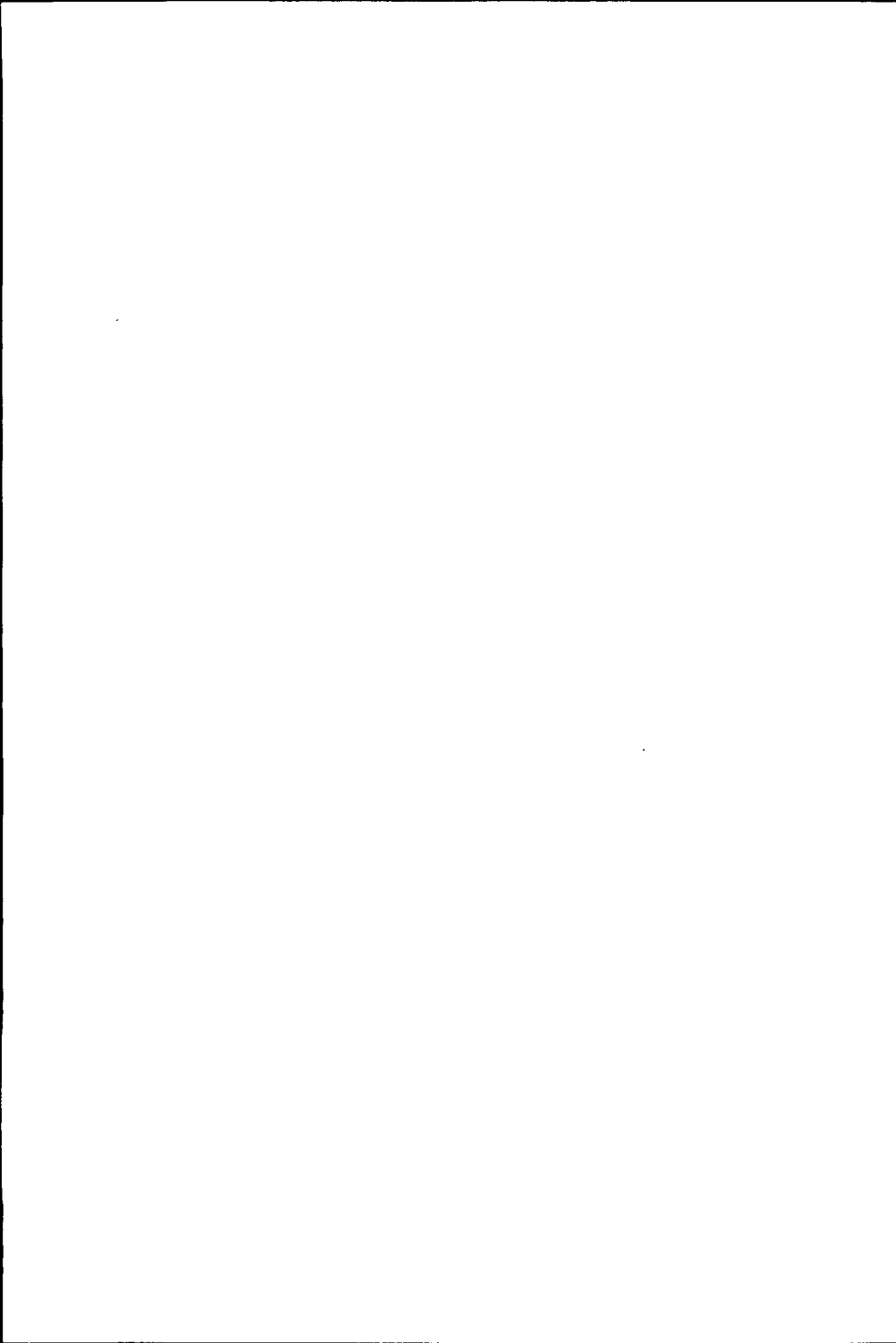
8.3 围岩处理地质工作

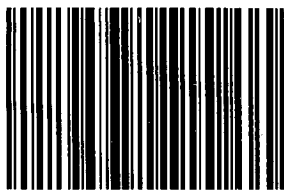
8.3.1~8.3.3 围岩处理的地质工作主要是：根据前期勘察中查明的主要工程地质问题和开挖中揭示的不良地质现象进行分析，结合建筑物特点和环境条件，提出支护处理措施的建议，参与围岩处理方案的研究，并根据检测和监测成果，配合设计对处理情况和处理效果作出评价。

8.4 围岩监测地质工作

8.4.1~8.4.4 条文列举了地下建筑物围岩在施工开挖期和运行期监测项目的地质建议。在施工期和过水运行期，围岩地质环境将发生变化。通过监测及其资料分析，能了解地下建筑物区水文地质、工程地质条件的变化和发展趋势，验证前期勘察的地质结论和施工处理的效果。因此，监测资料是优化设计和保证施工及工程安全运行的重要依据。围岩在施工开挖和水库蓄水过水过程

中，会出现一些新的地质现象和地质问题，施工期已有的监测项目和内容亦可能有不足之处。因此，提出完善施工期和运行期监测内容的建议是必要的。





155083.2291

销售分类建议：规程规范/
水利水电工程/水利水电勘测设计

DL/T 5415—2009

中华人民共和国电力行业标准
水电水利工程地下建筑物
工程地质勘察技术规程
DL/T 5415—2009

*

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
北京市同江印刷厂印刷

*

2009年12月第一版 2009年12月北京第一次印刷
850毫米×1168毫米 32开本 2.875印张 72千字
印数0001—3000册

*

统一书号 155083·2291 定价 13.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究