

测量与地质 ·

# 那吉水利枢纽坝基第三系软岩工程地质特性评价

黄国展

(广西水利电力勘测设计研究院 南宁 530023)

〔文摘〕 通过大量的勘探和试验工作,分析那吉水利枢纽坝基第三系软岩的工程地质特性,并参照国内外类似工程的经验,对软岩地基进行评价,最后提出初步处理措施。

〔关键词〕 那吉水利枢纽 坝基 软岩 工程地质特性 胀缩性 评价

〔分类号〕 P642

## 引言

那吉水利枢纽位于郁江上游的右江河段,百色市下游 38 km 的那吉村傍,是以航运和发电为主、兼顾灌溉和其他效益的中型水利综合利用工程,是百色水利枢纽的反调节水库,主要建筑物有船闸、溢流坝和厂房等。主坝设计坝高 34 m,设计正常蓄水位 114 m,相应库容为 2.11 亿 m<sup>3</sup>,电站总装机容量 51 MW,通航吨位为 2 ×500 t。

大坝基础为新第三系红层,岩性主要为泥岩、含粉砂泥岩、泥质粉砂岩、疏松粉细砂岩、生物碎屑岩、

煤系(含炭页岩或薄煤层)等,在水利水电建设中将第三系红层列为软岩之一,常具有一些特殊的工程地质问题,如:承载力低、抗滑稳定性差、抗冲刷能力低等。为此,必须对该软岩的工程地质特性进行评价。

## 1 软岩的物理力学指标分析

### 1.1 岩石矿物成份和结构

为了了解软岩的矿物成份和结构,分别对含粉砂泥岩、疏松粉细砂岩、生物碎屑岩和煤系进行岩矿鉴定,其岩石矿物成份和结构详见表 1。

表 1 岩石矿物成份和结构表

岩 石 名 称	主要矿物 成份及含量	次要矿 物成份	结 构	构 造	胶结物及 胶结方式
含粉砂 泥 岩	绢云母 28 % ~ 83 % 或高岭石 50 %,石英 15 % ~ 20 %	绿泥石、金红石、锆石、电 气石、泥质、铁质等	显微鳞片泥质结构、粉砂 质结构	块状 构造	
疏松粉 细砂岩	石英 94 % ~ 96 %	绢云母、白云母、电气石、 锆石、金红石、铁质、泥 质、绿泥石、高岭石及碳 酸岩矿物等	显微鳞片泥质结构的细 砂质及粉砂质结构	块状 构造	胶结物主要为绢云母及 少量细粒石英,为孔隙— 接触式胶结
生物碎 屑 岩	菱铁矿 58 %,方解石 20 %,高岭 石 18 %	绢云母、铁质、泥质	显微粒结构、生物碎屑 结构	块状 构造	生物碎屑主要为螺壳,由 方解石组成
煤系	石英 74 %,绢云母 24 %	炭质、泥质、铁质、锆石、 电气石、绿泥石、斜长石、 金红石等	显微鳞片泥质结构	页状 构造	

### 1.2 物理力学指标分析

室内岩石试验总共做了 30 组。岩石状况均为弱风化,其试验成果整理汇总于表 2。小试件(小口径岩芯样)力学强度的试验受岩石失水干裂和软化

的影响,成果的代表性较差。相对来说中型试件的试验成果可信度较高。为了验证室内试验成果的可信度,进行了野外大型抗剪试验和野外原位变形试验。野外大型抗剪试验,试验点岩性为含粉砂泥岩,

表 2 室内岩石物理力学性质试验成果统计表

名 称	容重干湿/ $\text{g cm}^{-3}$		比重	饱和吸水率/%	单轴抗压强度/MPa		软 化 系 数	抗剪强度		变形模量 MPa	剪切
	干	湿			干	湿		$f$	$c$ / MPa		
含粉砂泥岩	1.90	2.21		17.1	4.88	1.41	0.170	0.54	0.38	560.8	
疏松粉细砂岩	2.12	2.22		5.6	23.72	4.01	0.241	0.89	0.97	1 991.5	中型剪
泥 岩	1.87	2.16		15.82		0.94		0.475	0.405		
泥 岩	2.09	2.26	2.71	25.79	28.07	6.74		0.28	0.02		
泥质粉砂岩	2.23	2.35	2.71		55.41	21.07	0.3				
粉砂岩	2.23	2.42	2.70	7.03	77.02	27.44	0.36	0.97	0.87		土工剪
硬砂岩	2.54	2.56	2.71	1.72	126.3	67.7	0.54				

岩体状态为弱风化。试验成果列于表 3。试件的剪切破坏面,混凝土/岩石的 5 个点全在混凝土与岩石的接触面上,岩石/岩石的仅有 1 个点的剪断面是平直的,其余 4 个点均为凹凸不平的。从两组试件的破坏面看,混凝土/岩石的接触面将是今后坝基抗滑稳定的控制面。野外原位变形试验,试验点岩性为含粉砂泥岩,岩体状态为弱风化,纵波速度为 1 800 m/s。试验压力设计共分 5 级,最大应力为 0.6 MPa,但在试验过程中发现应力为 0.12 MPa 时,变形模量高,当应力增加到 0.24 MPa,0.36 MPa 时,变形模量出现逐级降低,而且有一试点当应力增加到0.36 MPa 时,变形量达到 9.94 mm 还难以稳定,有超岩体极限荷载之势,根据上述情况,将预定的 4 级应力改为 3 级应力,即删去 0.36 MPa 级以上的试验。成果整理列于表 4。从表 4 中明显看出含粉砂泥岩的变形模量很小。含粉砂泥岩胀缩性试验,据桂林工学院采用专家系统进行膨胀土判别的方

法,即根据化学成份、矿物成份、野外表象、物理力学指标、地质成因及形成环境等进行综合判定,结论为“那吉水利枢纽坝址泥岩为 Ⅲ类膨胀,其胀缩性中等”。从单项指标分析我们认为,那吉坝址泥岩的胀缩性定为弱—中等较为适宜。另用岩块干燥饱和吸水率来反映泥岩的胀缩特性,岩块干燥饱和吸水率大于等于 20 %时为膨胀性泥岩,而坝基泥岩的岩块干燥饱和吸水率为 37.64 %。因此,泥岩具有膨胀性。

表 3 现场岩体抗剪(断)试验成果汇总表

试验内容	各剪切阶段	抗剪断		抗 剪		试验条件	平均含水量/%
		$f$	$c$ / MPa	$f$	$c$ / MPa		
混凝土与含粉砂泥岩	峰 值	0.5	0.20	0.49	0.08	右岸露天平台	12.4
	残余值	0.45	0.16	0.43	0.10		
含粉砂泥岩与含粉砂泥岩	峰 值	0.48	0.005	0.43	0.005	浸泡水 10 天后	14.4
	残余值	0.48	0.005	0.43	0.005		

表 4 现场岩体变形试验(刚性承压板)成果汇总表

岩体名称	试验条件	应力循环	应力 / MPa	全变形 / $\mu\text{m}$	弹性变形 / $\mu\text{m}$	塑性变形 / $\mu\text{m}$	$k_1$	$k_2$	变形模量 / MPa	弹性模量 / MPa	塑性模量 / MPa
含粉砂泥 岩	饱和 10 天以上	1	0.12	420	200	220	48	52	94.0	198.2	179.6
		2	0.24	1 710	700	1 010	41	59	46.3	113.1	78.3
		3	0.36	5 210	1 000	3 410	35	65	22.8	66.0	34.6
含粉砂泥 岩	饱和 10 天以上	1	0.12	630	290	340	46	54	62.8	136.5	116.4
		2	0.24	2 200	880	1 320	40	60	36.0	90.0	59.9
		3	0.36	4 500	640	3 860	14	86	22.0	154.6	25.6
含粉砂泥 岩	饱和 10 天以上	1	0.12	1 750	650	1 100	37	63	22.6	61.0	36.0
		2	0.24	4 020	1 210	2 810	30	70	19.7	65.4	28.2
		3	0.36	9 940	2 590	7 350	26	74	12.0	45.9	16.1

1.3 岩体纵波(  $V_p$  )测试

通过对 45 个钻孔的声波测试结果进行分析研究,泥岩类岩体纵波速度在 1 500 m/s ~ 3 000 m/s ,砂岩类岩体纵波速度在 1 500 m/s ~ 3 700 m/s 间变化。岩体风化程度与岩体纵波速度之间的关系如表 5。

表 5 岩体风化程度与岩体纵波速度关系表 m/s

岩 性	新 鲜	微风化	弱风化	强风化	全风化
泥岩类岩体	> 3 000	3 000 ~ 2 400	2 400 ~ 1 800	1 800 ~ 1 600	< 1 600
砂岩类岩体	> 3 500	3 500 ~ 2 800	2 800 ~ 2 000	2 000 ~ 1 700	< 1 700

2 工程地质特性评价

2.1 工程地质特性

(1) 第三系软岩为内陆冲积相——湖相堆积,为含煤的砂泥岩系。岩性随地区不同而变化,其工程地质条件也各异,其中砂质泥岩和泥岩是工程研究的重点。

(2) 泥岩湿化后易崩解。泥岩在空间暴露后极易失水干裂,浸水易软化、崩解,具快速风化特性。钻孔岩芯取出不超过 10 分钟就开始出现裂纹,随后裂纹增多延展,几小时后岩芯就会干裂呈饼状。用成岩胶结系数(岩石结构的粉末材料干燥饱和吸水率与不规则岩块的干燥饱和吸水率之比)来反映泥岩的湿化崩解特性,岩块干燥饱和吸水率为

37.64 % ,粉末干燥饱和吸水率为 43.84 % ,胶结系数为 1.16 ,泥岩的破坏性状为泥状。

(3) 泥岩的胀缩特性。坝址泥岩为含伊利石、高岭石及绿泥石为主的膨胀性泥岩,其胀缩性为弱—中等,且泥岩具有膨胀性,当其膨胀压力大于建筑物荷载时,将会影响建筑物安全。

(4) 泥岩的渗透性一般比较低,当其裂隙不发育时,其透水率  $q < 1Lu$  ,属微透水层。但由于泥岩具有膨胀性,特别是在无约束情况下,或其膨胀压力大于建筑物荷载时,岩石膨胀开裂,特别是失水干裂后水流将从裂缝中带走软化后的细颗粒,形成渗透通道并可能引起渗透变形。

(5) 软岩的单轴抗压强度比较低,并与其含水状态有关,当岩石浸水饱和后,其抗压强度明显降低。泥岩一般的单轴干抗压强度为 0.33 MPa ~ 9.36 MPa 之间。由于岩石的抗压强度低,特别是湿化后其强度明显降低,可能会造成其承载力不能满足建筑物的要求等。

(6) 软岩的抗剪强度低,特别是存在有层间剪切带或软弱夹层时,将会控制建筑物的抗滑稳定性。坝基虽然未发现有泥化夹层之类的特软层带,但是存在间夹于层间的生物碎屑层、煤线或炭质页岩等相对软弱层。

(7) 软岩生成时代新,成岩作用差,波速低、变模小、流变特性明显。

2.2 力学参数建议值

根据国内外资料(见表 6)以及利用工程类比法得出软岩的力学参数建议值(见表 7)。

表 6 国内外软岩力学参数建议值

坝 名	坝基岩层时代	坝 型	坝 高 / m	$c$ / MPa	$\varphi$ / °	无侧限抗压强度 / MPa
日本龟山坝	上新世	重力坝	34.5	0.35 ~ 0.80	36	14
日本高龙坝	更新世	重力坝	24.5	0.26	32	1.7
日本鯖石川坝	更新世	重力坝	37.0	0.34 ~ 0.45	29 ~ 37	2.5 ~ 5.7
日本正善寺川坝	中新世晚期	重力坝	47.0	0.35 ~ 0.6	35	3.7 ~ 4.3
中国甘肃省尼那水电站	上新世	重力坝	45.5	0.45 ~ 0.50	0.05 ~ 0.1	0.8
中国湖北省王甫洲水电站	古新世	重力坝	33.9	0.35 ~ 0.40	0.15 ~ 0.2	0.3

表 7 那吉水利枢纽的力学参数建议值

岩石类别	风化程度	饱和抗压强度 / MPa	弹性模量 / MPa	变形模量 / MPa	抗 剪 强 度		允许承载力 / MPa
					$c$ / MPa	$f$	
泥 岩	弱风化	0.78			0	0.32(层面) ~ 0.34(岩体)	0.30 ~ 0.35
含粉砂泥岩	弱风化	1.03	110.3	30.2	0	0.34(层面) ~ 0.36(岩体)	0.35 ~ 0.40
疏松细砂岩	弱风化	1.2 ~ 1.4			0	0.50 ~ 0.55	0.5 ~ 0.6
煤系、炭质页岩					0	0.25 ~ 0.30	

### 2.3 工程地质评价

(1) 软岩地基:坝址第三系那读组属内陆盆地边缘河湖相沉积,由于其古地理沉积环境的不稳定,岩相岩性变化大。在诸多岩层中,对坝基起控制作用的是疏松粉细砂岩、含粉砂泥岩和泥岩。这些岩体成岩作用差、波速低,岩性软弱,且不均一,属极软岩类。岩石的孔隙率较大,高达 24%~37%,天然容重与干容重的差值亦较大,力学强度低;泥岩类岩石粘粒含量较高,其胀缩性为弱—中等。天然状态下泥岩湿抗压强度为 0.49 MPa~1.39 MPa,岩体纵波速度为 1 500 m/s~3 000 m/s;含粉砂岩湿抗压强度为 1.38 MPa~1.43 MPa,变形模量为 22.4 MPa~63.1 MPa,岩体纵波速度为 1 500 m/s~3 000 m/s;疏松粉细砂岩湿抗压强度为 0.92 MPa~7.1 MPa,岩体纵波速度为 1 500 m/s~3 700 m/s。因此,各类岩石作为混凝土建筑物的地基,其强度低,且泥岩类岩石具有一定的胀缩性,需采取结构措施;同时为保证岩体天然含水状态和岩体结构不受破坏,在施工开挖过程中要采取特殊的措施,如基坑

排水、预留保护层、基础面及时覆盖等。

(2) 软弱层带抗滑稳定:坝基持力层中未发现泥化夹层之类的特软层带,只有间夹于层间的生物碎屑层、煤系等相对软弱层。根据钻探资料,这些软弱层往往具有厚度小、不稳定,延续性差,呈透镜体状产出的特点。经镜下鉴定,生物碎屑层的矿物成份主要为菱铁矿和方解石,炭质页岩主要为石英、绢云母及炭质等,矿物较稳定,岩石自身具有一定的强度,对抗稳定不利的主要是煤系的层面。煤系主要出露在上坝线,埋藏最浅为基岩顶板以下 3 m 和 6 m 处各有一层,厚约 25 cm。对这些埋藏较浅的软弱层要作适当的处理,主要是防止层面的软化。

**致谢:**该文得到了广西水利电力勘测设计研究院副总工欧阳季文高级工程师的大力帮助和指导,在此表示衷心的感谢。

#### 参考文献

- 1 范秋雁,凌国智,柯尊敬. 广西第三系泥岩的物理力学特性研究. 广西大学学报(自然科学版). 1997(22 增刊):40~43.

(收稿日期:1998-08-02)

(责任编辑:周 群)

## Engineering geologic features of 3rd system incompetent bed of the Naji WRPP dam foundation

Huang Guozhan

Guangxi WREP survey, design and research institute, Nanning, 530023

**Abstract** Through a great quantity survey and test work, the author analysed the engineering geologic features of 3rd system incompetent bed of the Naji WRPP dam foundation, evaluated the incompetent bed dam foundation by consulting domestic and foreign similar project experiences, and proposed preliminary processing measures.

**Key words** the Naji WRPP, dam foundation, incompetent bed, Engineering geologic features, swell - shrink, evaluation