

Analysis of Slope and Reinforcement Treatment of Right Dam Shoulder Project of Datungxia Water Conservancy Hub

Jinchao Zhang

Guangxi Datungxia Water Conservancy Project Development Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530200, China

Abstract

Datungxia water conservancy project is a key project with comprehensive utilization of flood control, shipping, power generation, water pressure and irrigation. The project is located at the end of the Qianjiang River section of the Xijiang River system in the Pearl River basin, and the dam site is located in Guangxi At 6.6km upstream of Qianjiang Rainbow Bridge in Guiping City, the geographical coordinates are east longitude 110° 01' and north latitude 23° 28', which is the last step in the cascade planning of Hongshui River. The hub buildings mainly include water discharge, power generation, navigation, water retaining, irrigation and fish buildings, etc. The water retaining buildings are composed of the main dam of Qianjiang, the secondary dam of Qianjiang and the secondary dam of Nanmu River. The discharge, power generation and navigation buildings are arranged on the main dam of Qianjiang, and the fish roads are arranged on the main dam of Qianjiang and the secondary dam of mu River respectively. Irrigation water intake and ecological discharge facilities are arranged on the secondary dam of Nanmu River. In the second phase of the right bank, the right bank retaining dam section, the right bank workshop dam section and the right bank discharge sluice are arranged successively.

Keywords

water conservancy hub; slope geology; stability analysis

大藤峡水利枢纽右坝肩工程边坡与加固处理分析

张锦朝

广西大藤峡水利枢纽开发有限责任公司, 中国·广西 南宁 530200

摘 要

大藤峡水利枢纽是一座以防洪、航运、发电、补水压咸、灌溉等综合利用的流域关键性工程。工程位于珠江流域西江水系的黔江河段末端, 坝址在广西桂平市黔江彩虹桥上游6.6km处, 地理坐标为东经110° 01', 北纬23° 28', 是红水河梯级规划中最末一个梯级。枢纽建筑物主要包括泄水、发电、通航、挡水、灌溉取水及过鱼建筑物等, 挡水建筑物由黔江主坝、黔江副坝、南木江副坝组成。泄水、发电、通航建筑物布置在黔江主坝上, 鱼道分别布置在黔江主坝和南木江副坝上。灌溉取水口及生态放流设施布置在南木江副坝上。其中右岸二期工程从右至左依次布置为右岸挡水坝段、右岸厂房坝段和右岸泄水闸。

关键词

水利枢纽; 边坡地质; 稳定分析

1 引言

本边坡位于黔江主坝右岸, 紧邻右岸厂房坝段, 因右岸厂房和挡水坝段坝基开挖而形成, 最高处达 147m。在右岸厂房安装间建成后混凝土浇筑至 19.00m 高程, 故 19.00m 以下高程为临时边坡, 19.00m 以上高程为永久边坡。永久边坡级别为 1 级, 临时边坡级别为 5 级。右岸边坡基岩地层为那高岭组 D1n11 层和 D1n12 层, 岩层走向与边坡走向基

本一致, 其中那高岭组 D1n11 层软弱夹层发育, 性状较差; 山体内部发现 3 条陡倾角走向 N55° ~80° W 断层破碎带, 且节理较发育。右岸厂房和右岸挡水坝段 坝基开挖扰动其坡脚, 使其底缘侧临空, 构成以软弱夹层为底滑面, 陡倾角节理为后缘拉裂面的不利组合, 并且侧向冲沟发育, 边坡稳定性较差, 存在剪切—滑移破坏的可能性。右岸边坡规模范围较大, 且临近右岸厂房坝段, 若边坡临时施工期失稳, 则极大影响施工工期、危及施工人员的人身安全; 若边坡永久运行期失稳, 则严重影响右岸厂房的正常发电运行。建成右岸厂房安装间和右岸挡水坝段的部分坝基边坡, 存在侧向深层稳定问题, 若出现失稳, 则严重影响工程安全^[1]。

【作者简介】张锦朝 (1989–), 男, 中国广西贵港人, 本科, 工程师, 从事水利水电工程管理研究。

2 右岸边坡基本地质条件

进水渠至右岸厂房安装间的右岸山坡，为一条形山脊，山体相对单薄，地面高程 35~100m，地形坡度一般 20°~25°。右岸山坡覆盖层厚 2~8m，由粘土和混合土碎石组成；基岩地层为那高岭组 D1n11 层和 D1n12 层，岩层走向 N25° E，倾向 SE，倾角 17°~22°。其中那高岭组 D1n11 层软弱夹层发育，产状同层面；由钻孔和右岸平硐揭露的 D1n11 层软弱夹层可知，软弱夹层分布密度大，连续性好，组成物多为泥夹碎屑，厚度一般 1~3mm，性状较差。该边坡发育 3 条断层 F207、F232 和 F238，走向为 N55°~80° W，均为陡倾角，规模较小。山体内部主要发育四组节理：①组节理走向 N10°~20° E，倾向 SE，倾角 20°~22°，为层面节理；②组节理走向 N50°~70° W，倾向多为 NE，倾角 80°~85°，节理面平直光滑；③组节理走向 N30°~40° E，倾向 SE，65°~75°，面平直光滑；④组节理走向 N20°~30° W，倾向多为 NE，倾角 80°~85°，面平直光滑。山体内部地下水位埋深一般 20~35m，由 CZK214 钻孔 2014 年地下水位长期观测资料可知，地下水位随季节变化变幅亦较大，雨季地下水位高程 63.92m。

3 右坝肩工程开挖边坡抗滑稳定性分析

3.1 工程地质条件分析

大藤峡工程右坝肩自然边坡地形相对完整，地面高程为 65~170m，坝轴线处河流流向由 SE 向转向正 S 向。自然地形相对平缓，以 61.0m 为界，在该高程以下的地形坡度为 25°，以上坡度为 15°。右坝肩边坡表层为厚度 2~8m 的覆盖层，由粘土、碎石土组成，下伏基岩为那高岭组 D1n13~D1n8 等，其岩性主要为细砂岩、灰砂岩、泥岩等，层理与层面发育，岩层产状为 N10°~25° E/SE10°~20°，呈单斜结构^[2]。根据平硐与钻孔资料，在 D1n10、D1n11、D1n12、D1n13 地层中广泛发育有工程地质性质较差的软弱夹层，延伸长度大，连续性好，多为泥夹碎屑充填，厚度一般为 1~3mm，间距一般为 3~5m。右坝肩边坡岩体发育有断层 F207、F180、F226、F238、F233 等，其中断层 F207 发育规模较大，其他断层发育规模较小。

根据大藤峡水利枢纽总体布置情况，大藤峡工程右岸布置有挡水坝段、厂房等水工建筑物，因布置地面厂房的需要，对右坝肩进行开挖，开挖高程范围为 -17.5~130m，开挖坡比为 1:1.5~1:2.5 之间，最终形成一个最大高度为 110m 的工程开挖边坡。先采用赤平投影分析方法，对右坝肩工程边坡各部位的可能失稳模式进行定性分析，并在分析结果的基础上，采用规范建议的刚体极限平衡分析方法，对右坝肩工程开挖边坡在不同工况条件下的抗滑稳定性进行定量分析评价。

3.2 抗滑稳定分析计算条件

3.2.1 计算滑动模式

本次稳定分析主要讨论右坝肩工程开挖边坡沿岩体内部发育的软弱夹层整体与局部滑动的稳定状况，具体地说，主要分析以下几种滑动模式的稳定状况：

- ①沿软弱夹层整体滑动。
- ②沿软弱夹层由中部至底部滑动。

根据现场调查情况，右坝肩工程边坡岩体广泛发育有倾向 SE、倾角近直立的陡倾角随机结构面。以该结构面为后缘切割面，以层面或软弱夹层为底滑面相互组合是右坝肩边坡的控制性滑动模式，稳定分析主要讨论这一滑动模式的抗滑稳定性。考虑到陡倾角随机裂隙的深度一般不超过 10m，故在稳定分析时，在滑裂面顶部设置一个竖直拉力缝，并假定其深度不超过 10m，用来模拟后缘切割面的 J1 或 J2 的影响。

3.2.2 稳定分析计算工况

根据“水利水电边坡设计规范（SL386—2007）”的要求，并结合右坝肩边坡的实际情况，本次稳定分析复核的工况有：

①开挖边坡施工期，主要复核边坡在天然条件、考虑降雨工况条件下的稳定性。

②开挖边坡正常运行期，主要复核边坡在正常蓄水位、正常蓄水位遭遇降雨以及库水位骤降时的稳定性。

根据设计资料，大藤峡水电站的特征水位为：正常蓄水位 61.00m，汛限水位 47.60m，死水位 47.60m。此外，右岸挡水坝段坝顶高程为 64.00m。

对于降雨工况，研究区雨量充沛。根据设计，右岸坝头布置有两个长期地下水位观测孔，即 CZK51 与 CZK214，一年内的水位观测结果如表 1 所示。

表 1 右坝肩水位观测孔的地下水位观测结果

钻孔编号	枯水期地下水位/m	丰水期地下水位/m	水位变幅/m
CZK51	50.0	47.8	2.2
CZK214	47	64.0	17.0

从表 1 的观测结果可以看出，右坝肩边坡的地下水位受降雨的影响显著，表明了边坡岩体内部竖向裂隙发育。在本次稳定分析计算中，拟通过给定滑裂面上的孔压系数 $yu=0.2$ （即相当于滑裂面以上约有 40% 的土条高度充水）来模拟降雨对边坡稳定性的影响，同时给定滑裂面上的孔压系数 $yu=0.25$ （相当于滑裂面以上约有 50% 的土条高度充水）进行敏感性分析。

在稳定分析中，对孔压系数的具体处理方式：

①当土条底滑面位于浸润线以下时，按浸润线确定底滑面的孔隙水压力。

②当土条底滑面位于浸润线以上时，按孔压系数确定底滑面的孔隙水压力。

根据水位观测孔 CZK214 的具体位置，当地下水位由

47.0m 上升至 64.0m 时, 相当于孔压系数 $y_u=0.20\sim0.25$ 。

此外, 在进行降雨工况的稳定性复核时, 假定后缘拉力缝充满水。

对于施工期, 假定坡外无水, 坡体内部的地下水位与开挖前的自然边坡相同, 同时稳定分析还将对浸润线的位置开展敏感性分析。对于正常运行期, 稳定分析, 假定坡体内部的浸润线与正常蓄水位齐平。考虑库水位骤降工况, 计算中假定库水位由正常蓄水位 61.0m 骤降死水位 47.6m 时, 坡体内部的浸润线与骤降前相同。从抗滑稳定分析的角度, 这一处理方式是偏于安全的。

根据抗震安评成果, 枢纽区 50 年超越概率 10% 的地震动峰值加速度为 0.054g, 相应的地震基本烈度为 VI 度, 因此稳定分析不考虑地震荷载对边坡稳定性的影响。

3.2.3 稳定分析参数

稳定分析采用的岩体与结构面的物理力学参数的地质建议值如表 2 所示。

表 2 稳定分析采用的岩体与结构面的物理力学参数的地质建议值

材料类型		抗剪强度参数			天然容重	饱和容重	
		f	φ , °	c , kPa	γ , kN/m ³	γ_{sat} , kN/m ³	
岩体(IV类)		0.70	34.99	700	27.0	27.0	
软弱 夹层	连通率						
	$n=0.8$	D1n11	0.14	13.0	40.0	25.0	25.0
		D1n10~D1n12	0.28	17.1	42.0	25.0	25.0
	连通率						
	$n=1.0$	D1n11	0.28	15.64	20	25.0	25.0
		D1n10~D1n12	0.26	14.57	15	25.0	25.0
层面		0.43	24.33	150	—	—	
节理		0.50	26.57	80	—	—	
断层		0.75	35.64	20	—	—	

注: ①分析时忽略条块界面抗剪强度参数对边坡稳定性的影响。

②稳定分析时考虑软弱夹层的连通率 $n=0.8$ 。

3.3 开挖边坡 I 区抗滑稳定分析

3.3.1 典型计算剖面选取

本次稳定分析选取剖面 Q1-Q1、Q2-Q2 与 Q3-Q3 作为典型计算剖面, 分析在不同工况条件下沿软弱夹层发生平面滑动的稳定性。此外, 地层 D1n10、D1n11 等软弱夹层的间距一般为 3~5m, 稳定分析假定软弱夹层的平均间距为 4m, 以建立相应的计算模型。为表述方便, 各地层中软弱夹层的编号由高至低依次为软弱夹层①、软弱夹层②、软弱夹层③……

3.3.2 计算成果与分析

由于右坝肩开挖边坡 I 区位于大坝下游, 水库蓄水与库水位变动对其稳定性影响不大, 故稳定分析仅讨论开挖边坡在天然状况、考虑降雨等工况条件下的稳定性。天然状况下, 各计算剖面沿软弱夹层整体与局部滑动的安全系数在 1.42~4.80 之间。考虑降雨影响, 当滑面的孔压系数 $Y_u=0.2$

时, 各剖面的抗滑稳定安全系数在 1.38~4.61 之间; 当滑面的孔压系数 $Y_u=0.25$ 时, 各剖面的安全系数在 1.40~4.61 之间。计算结果表明, 开挖边坡 I 区各计算剖面在不同工况条件下的抗滑稳定安全系数满足规范要求。

3.3.3 软弱夹层连通率的敏感性分析

前文讨论了软弱夹层的连通率取 0.8 时, 开挖边坡 I 区不同工况条件下的抗滑稳定分析成果, 本节对软弱夹层的连通率进行敏感性分析。这里讨论一种最极端的情况, 即假定软弱夹层全连通的情况, 软弱夹层连通率 $n=1.0$ 时, 右坝肩开挖边坡 I 区各计算剖面在不同工况条件下的抗滑稳定分析成果^[3]。从计算结果可以看出, 与考虑软弱夹层连通率 $n=0.8$ 的计算结果相比, 考虑软弱夹层全连通的情况下, 各计算剖面的抗滑稳定安全系数降低 0.5~1.0 左右, 表明软弱夹层的连通率对该部位边坡的稳定性影响显著。此时, 除剖面 Q1-Q1 沿 D1n11-7 地层发育的部分软弱夹层剪出以及 Q2-Q2 剖面沿 D1n12 地层发育的软弱夹层剪出的安全系数偏小, 略低于规范要求。

4 结语

对施工期边坡开挖过程应力变形分布规律进行计算分析, 分析结果表明:

①边坡变形分布规律符合一般规律, 位移量值随着开挖深度的增加而增大, 边坡开挖后, 位移主要集中在开挖面附近, 最大 x 向位移为 14.9mm, 最大 y 向位移为 13.1mm, 最大竖向位移为 63.9mm, 均位移软弱夹层在开挖面出露位置附近。

②软弱夹层在开挖面出露对边坡位移影响较大, 施工期应对出露部位进行及时加固处理。

③锚索加固后边坡整体位移减小约 20%, 边坡表面和软弱夹层塑性区分布范围明显减少, 说明锚索具有良好的支护作用。

④三维有限差分强度折减计算结果表明, 加固前边坡安全系数为 1.95, 加固后为 2.05。

考虑到软弱夹层的连通率对边坡的稳定性影响显著, 建议进一步研究软弱夹层的连通率的合理取值。为减少边坡开挖岩体卸荷松弛对边坡扰动的影响, 建议在边坡开挖的过程中, 在进行下一级马道开挖前对上一级马道进行及时支护处理。

参考文献

[1] 柴永幸.压力分散型锚索在高边坡加固工程中的应用研究[J].价值工程,2024,43(12):143-146.
[2] 袁巧丽.水利工程建设过程中边坡加固的处理路径探讨[J].珠江水运,2024(7):127-129.
[3] 武侠.高边坡稳定问题及加固措施研究[D].天津:天津大学,2015.