

Application of Reinforcement Technology for Complex Geological Slope Collapse

Jianghua Wu

China Water Conservancy and Hydropower No.16 Engineering Limited Company, Fuzhou, Fujian, 350000, China

Abstract

The application of slope reinforcement technology in complex geological collapse. After the collapse in the process of slope excavation, according to the revealed geological conditions, after the calculation of the stability of the slope after the collapse, the slope reinforcement technology in terms of safety, engineering quantity, engineering investment and on-site construction difficulty is economically reasonable.

Keywords

slope; collapse; reinforcement technology

复杂地质边坡塌方加固技术应用

吴江华

中国水利水电第十六工程局有限公司, 中国·福建 福州 350000

摘要

复杂地质塌方边坡加固技术应用, 边坡开挖过程中塌方后, 根据揭露的地质情况, 在完成塌方后边坡稳定的计算之后, 塌方边坡加固从安全、工程量、工程投资及现场施工难度等选用经济合理的边坡治理技术。

关键词

边坡; 塌方; 加固技术

1 工程概况

某水库最大供水流量为 $0.338\text{m}^3/\text{s}$ 。水库正常蓄水位为 648.00m , 总库容为 436万 m^3 , 有效库容为 377万 m^3 。水库为小(Ⅰ)型水库, 工程等别为Ⅳ等工程, 主要建筑物级别为4级, 次要建筑物级别为5级。本工程主要建筑物为大坝挡水及泄水建筑物等, 按4级建筑物设计; 次要建筑物为消能防冲建筑物等, 按5级建筑物设计^[1,2]。

2 边坡塌方原因分析

右岸坝基上游侧崩塌的主要原因如下: ①右岸坝基上游侧边坡为近顺向坡, 发育两条陡倾角结构面及两条顺层缓倾角结构面, 两组结构面的不利组合, 是边坡失稳的主要影响因素。②右岸坝基上游侧边坡 $605.00\sim 654.00\text{m}$ 高程由于发育了两条陡倾角结构面, 且两条结构面挤压强烈, 风化较深, 结构面附近的岩体由于受挤压影响, 岩体较破碎, 强风化下限相对偏低, 是边坡失稳的次要影响因素。③雨季地表水下渗大大降低了边坡岩体及结构面的物理力学参数, 且使得结

构面内的孔隙水压力升高, 是边坡失稳的重要诱发因素。

3 边坡塌方后稳定计算

3.1 计算原理

根据现场后边坡实际情况及推断的可能滑动面(或推测蠕动面), 建立计算模型, 采用理正岩土岩质边坡稳定分析软件中的简单平面滑动稳定分析模块进行计算。计算方法采用 SL386—2017《水利水电工程边坡设计规范》中规定的不平衡推力传递法^[3]。

3.2 计算断面、计算参数与计算工况

根据大坝上游侧右岸坝肩后边坡现状、地层分布及现场的基本情况, 本阶段选取剖面分析后边坡岩体在层面与破碎带组合及强风化层间组合下的抗滑稳定安全系数, 其计算分析模型见图1。根据最新地质资料, 本次着重分析右岸坝肩上游侧边坡在表1所列工况下的整体稳定情况。

3.3 计算结果及分析

由最新地质成果可知, 大坝上游右岸后边坡受断层破碎带 J2、f3、f4 与软弱夹层层面 NJ5、NJ6 的组合影响其边坡稳定, 本次边坡计算根据理正岩土岩质边坡稳定分析软件中的简单平面滑动稳定分析方法, 计算大坝上游右岸加固后边坡在不同工况下各种滑裂面组合的整体稳定安全系数。其

【作者简介】吴江华(1979-), 男, 中国江西上饶人, 本科, 工程师, 从事建筑施工技术应用研究。

整体抗滑稳定安全系数计算成果详见表 2。

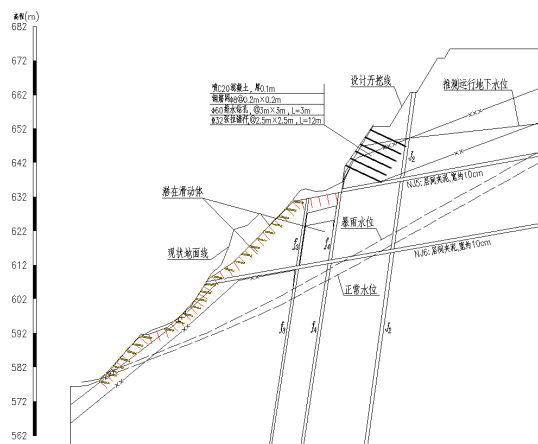


图 1 边坡剖面整体抗滑稳定计算分析模型

根据表 2 计算结果可知，大坝右岸上游侧边坡在 NJ5、NJ6 夹层层面与 f3、f4、J2 破碎带组成的各种划裂面，除 NJ5-J2 划裂面组合在正常蓄水位、库水位降落期、库水位降落期 + 暴雨、施工期及施工期 + 暴雨等工况下计算值大于规范规定的允许值外，其他划裂面组合在各种工况下边坡的整体抗滑稳定安全系数计算值均小于规范规定的允许值，从计算结果可以看出，边坡存在整体不稳定。

4 边坡塌方加固技术方案及方案比选

4.1 边坡塌方加固技术方案

根据测量的实测边坡进行抗滑整体抗滑稳定计算，其结果显示已开挖的边坡其整体抗滑稳定安全系数均不满足规范要求，需对右岸坝基上游侧边坡（即高程为 654.00 ~ 581.00m 间、顺河向桩号为 0-080~0-000m（坝轴线）、垂直河流向桩号为坝 0+110m~ 坝 0+200m 范围内的边坡）进行加固。本次边坡塌方加固拟定如下两个方案：

方案一：对现状边坡进行削坡处理，从坡脚至 f4 断层处坡比为 1:1.5，且每隔 15m 设有 2m 宽马道，在高程 588.00m 处设有两级挡墙，每级挡墙高 5m。另外，针对削坡形成的坡面及现状坡面采取如下加固措施：①对坡比为 1:1.5 坡面采用长度为 3m 的 $\Phi 25$ 砂浆锚杆（间距

1.5m × 1.5m）、 $\Phi 8$ 钢筋网（间距 200 × 200mm）、表面喷 C20 混凝土（厚 100mm）封闭；②对削坡形成的 f4 坡面（近似垂直面）采用入岩长度为 12m 的 PSB930 Φ PS32 张拉锚杆（间距 2.5 × 2.5m，锚固段长 3m，施工时注意设置止浆塞）、 $\Phi 8$ 钢筋网（间距 200 × 200mm）、表面喷 C20 混凝土（厚 100mm）进行锚喷封闭防护；③ 634.00m~654.00m 高程边坡之间采用入岩长度为 12m 的 PSB930 Φ PS32 张拉锚杆（间距 2.5 × 2.5m，锚固段长 3m，施工时注意设置止浆塞，锚杆轴向拉力设计值经计算后取为 360kN）、 $\Phi 8$ 钢筋网（间距 200 × 200mm）、表面喷 C20 混凝土（厚 100mm）进行锚喷封闭防护；④在锚喷支护基础上再对 NJ6 夹层层面以上 625.00m~640.00m 高程之间边坡布设预应力锚索，锚索竖向间距为 5m（共 4 排），水平间距为 5m，锚索长 35m，其中锚固段长 6m，自由段长 29m；锚墩尺寸为 1.5 × 1.5 × 0.6m，混凝土强度等级为 C30。

方案一关键点在于现状边坡按 1:1.5 坡比削坡后形成的 NJ6-f4 划裂面稳定性。其整体抗滑稳定安全系数计算成果详见表 3。根据表 3 计算结果可知，按 1:1.5 坡比削坡后形成 NJ6-f4 组合划裂面在各工况下计算值均大于规范规定的允许值，说明削坡后形成的划裂面是稳定的，说明方案一加固技术是合理的。

方案二：对 NJ6 以下现状边坡表面作清坡处理；对 NJ6 以上与 f4 破碎带间现状边坡削坡至 623m 高程，可降低滑动体潜在的安全隐患^[4-9]。针对现状坡面及削坡形成的坡面采取如下加固措施：①对 NJ6 以下现状边坡采用长度为 3m 的砂浆锚杆（间距 1.5m × 1.5m）、 $\Phi 8$ 钢筋网（间距 200 × 200mm）、表面喷 C20 混凝土（厚 100mm）封闭。② 634.00~654.00m 高程边坡之间采用入岩长度为 12m 的 PSB930 Φ PS32 张拉锚杆（间距 2.5 × 2.5m，锚固段长 3m，施工时注意设置止浆塞，锚杆轴向拉力设计值经计算后取为 360kN）、 $\Phi 8$ 钢筋网（间距 200 × 200mm）、表面喷 C20 混凝土（厚 100mm）进行锚喷封闭防护。③在锚喷支护基础上再对 NJ6 夹层层面以上 625.00~640.00m 高程之间边坡布设预应力锚索，锚索竖向间距为 5m（共 4 排），水平间距为 5m，锚索长 35m，其中锚固段长 6m，自由段长 29m；锚墩尺寸为 1.5 × 1.5 × 0.6m，混凝土强度等级为 C30。

表 1 右岸坝肩上游侧边坡稳定分析计算工况

运用条件	计算工况	荷载		备注
		自重	地下水压力	
正常运用条件	库水位在正常蓄水位 648.00m 工况	√	√	不考虑坡外静水压
	库水位由正常蓄水位 648.00m 降至 620.00m 工况	√	√	不考虑坡外静水压
非常运用条件 I	库水位在正常蓄水位 648.00m 时，遇暴雨工况	√	√	不考虑坡外静水压
	库水位由正常蓄水位 648.00m 降至 620.00m 时，遇暴雨工况	√	√	不考虑坡外静水压
	施工期工况	√	√	坡外无水
	施工期 + 遇暴雨工况	√	√	坡外无水

方案二关键点在于 NJ6 夹层层面以下现状边坡和 NJ6-f4 组合划裂面（削坡至 623m 高程）的稳定性。其抗滑稳定安全系数计算成果详见表 4。

根据表 4 计算结果可知，NJ6 夹层层面以下现状边坡和 NJ6-f4 组合划裂面在各工况下计算值均大于规范规定的允许值，说明 NJ6 夹层层面以下现状边坡和 NJ6-f4 组合划裂面（削坡至 623m 高程）是稳定的，说明方案二加固技术是合理的。

4.2 方案比选

为选出最优加固技术方案，下面主要从工程量、工程

投资及现场施工难度三个角度对两种加固方案进行对比，两方案工程量及投资比较见表 5。

从工程量及投资比较上分析，方案一和方案二工程量相差较大，且方案二比方案一投资节省 47.47 万元。从现场施工难度来讲，方案一需对现状边坡按 1:1.5 坡比削坡，且开挖工程量较大，而方案二仅对现状边坡作简单清坡即可，可减少不必要开挖工作。另外，两种加固方案的锚喷支护工作难度相当，且锚索施工孔径所需造孔设备相当，施工难度相同。综合分析，本次边坡加固技术方案采用方案二。

表 2 右岸坝基上游侧边坡整体抗滑稳定安全系数计算成果表

计算断面	运用条件	计算工况	滑裂面组合	计算值	规范要求最小整体抗滑稳定安全系数
2-2 剖面	正常运用条件	库水位在正常蓄水位 648.00m	NJ ₆ 与 f ₃ 组合	1.035	1.1~1.05
			NJ ₆ 与 f ₄ 组合	1.004	
			NJ ₅ 与 J ₂ 组合	1.357	
			NJ ₆ 与 J ₂ 组合	0.906	
		库水位由正常水蓄水位 648.00m 降至 620.00m	NJ ₆ 与 f ₃ 组合	1.035	1.1~1.05
			NJ ₆ 与 f ₄ 组合	1.004	
			NJ ₅ 与 J ₂ 组合	1.848	
			NJ ₆ 与 J ₂ 组合	0.914	
	非常运用条件 I	库水位在正常蓄水位 648.00m 时，遇暴雨	NJ ₆ 与 f ₃ 组合	1.012	1.1~1.05
			NJ ₆ 与 f ₄ 组合	0.979	
			NJ ₅ 与 J ₂ 组合	1.048	
			NJ ₆ 与 J ₂ 组合	0.818	
		库水位由正常蓄水位 648.00m 降至 620.00m 时，遇暴雨	NJ ₆ 与 f ₃ 组合	1.012	1.1~1.05
			NJ ₆ 与 f ₄ 组合	0.979	
			NJ ₅ 与 J ₂ 组合	1.336	
			NJ ₆ 与 J ₂ 组合	0.863	
		施工期	NJ ₆ 与 f ₃ 组合	1.035	1.1~1.05
			NJ ₆ 与 f ₄ 组合	1.004	
			NJ ₅ 与 J ₂ 组合	2.122	
			NJ ₆ 与 J ₂ 组合	0.914	
施工期 + 遇暴雨	NJ ₆ 与 f ₃ 组合	1.012	1.1~1.05		
	NJ ₆ 与 f ₄ 组合	0.979			
	NJ ₅ 与 J ₂ 组合	1.904			
	NJ ₆ 与 J ₂ 组合	0.863			

表 3 NJ₆-f₄ 组合划裂面整体抗滑稳定安全系数计算成果表

计算断面	运用条件	计算工况	计算值	规范要求最小整体抗滑稳定安全系数
NJ ₆ -f ₄ 组合划裂面	正常运用条件	库水位在正常蓄水位 648.00m	1.222	1.1~1.05
		库水位由正常水蓄水位 648.00m 降至 620.00m	1.222	1.1~1.05
	非常运用条件 I	库水位在正常蓄水位 648.00m 时，遇暴雨	1.205	1.1~1.05
		库水位由正常蓄水位 648.00m 降至 620.00m 时，遇暴雨	1.205	1.1~1.05
		施工期	1.222	1.1~1.05
		施工期 + 遇暴雨	1.222	1.1~1.05

表 4 NJ₆ 夹层层面以下现状边坡和 NJ₆-f₄ 划裂面抗滑稳定安全系数计算成果表

计算断面	运用条件	计算工况	计算值	规范要求最小整体抗滑稳定安全系数
NJ ₆ 夹层层面以下现状边坡	正常运用条件	库水位在正常蓄水位 648.00m	1.529	1.1~1.05
		库水位由正常蓄水位 648.00m 降至 620.00m	1.479	1.1~1.05
	非常运用条件 I	库水位在正常蓄水位 648.00m 时, 遇暴雨	1.509	1.1~1.05
		库水位由正常蓄水位 648.00m 降至 620.00m 时, 遇暴雨	1.667	1.1~1.05
		施工期	6.818	1.1~1.05
		施工期 + 遇暴雨	1.549	1.1~1.05
NJ ₆ -f ₄ 组合划裂面 (削坡至 623.00m 高程)	正常运用条件	库水位在正常蓄水位 648.00m	1.641	1.1~1.05
		库水位由正常蓄水位 648.00m 降至 620.00m	1.922	1.1~1.05
	非常运用条件 I	库水位在正常蓄水位 648.00m 时, 遇暴雨	1.641	1.1~1.05
		库水位由正常蓄水位 648.00m 降至 620.00m 时, 遇暴雨	1.641	1.1~1.05
		施工期	2.333	1.1~1.05
		施工期 + 遇暴雨	2.197	1.1~1.05

表 5 边坡加固方案工程量及投资比较表

项目	单位	方案一	方案二	备注
土方开挖	m ³	5670	0	
石方开挖	m ³	8745	0	
C30 (2) 混凝土	m ³	50	50	锚墩
护坡喷混凝土 C20 (1) (有筋), 厚 0.1m	m ³	480	520	
护坡 Φ8(HPB300) 钢筋网, 间距 0.2m × 0.2m	t	19	21	
边坡砂浆锚杆 Φ25(HRB400), L=3m, 间距 1.5m × 1.5m	根	1320	1470	
边坡张拉锚杆 Φ32(HRB400), L=12m, 间距 2.5m × 2.5m	根	290	300	
边坡锚索 (10 根 Φ15.2 钢绞线), L=35m, 间距 3.0m × 3.0m	束	36	36	
坡面钻排水孔, 直径 60mm, L=3m, 间距 3m × 3m	m	1600	1740	
Φ50 塑料排水盲管, L=3m, 间距 3m × 3m	m	1600	1740	
坡面塑料排水盲管外包土工布 (200g/m ²)	m ²	250	270	
工程投资	万元	332.80	285.33	

5 结语

因地质原因导致边坡塌方, 需根据工程的实际情况, 并综合分析处理后的稳定性、施工方案可行性、施工安全、工程费用及经济效益等因素, 采用科学、合理、切实可行的处理方案。在边坡塌方加固时, 做到合理投入资源、精心组织施工、科学管理、严格监控, 做到零风险边坡塌方加固处理。

参考文献

[1] GB 50487—2008 水利水电地质工程勘察规范[S].

[2] GB/50199—2013 水利水电工程结构可靠度设计统一标准[S].

[3] SL 386—2017 水利水电工程边坡设计规范[S].

[4] SL 725—2016 水利水电工程安全监测设计规范[S].

[5] SL52—2015 水利水电工程施工测量规范[S].

[6] DL/T5255—2010 水电水利工程边坡施工技术规范[S].

[7] GB 50086—2015 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范[S].

[8] GB 51210—2016 建筑施工脚手架安全技术统一标准[S].

[9] SL 398—2007 水利水电工程施工通用安全技术规程[S].