

鱼梁航运枢纽工程闸坝泥岩基础 剪切软弱带加固处理

朱卫国¹, 曾尚洁²

(1. 广西交通规划勘察设计研究院, 广西 南宁 530029; 2. 南宁市水利局, 广西 南宁 530001)

摘要: 鱼梁航运枢纽工程闸坝基础开挖过程中发现岩层中层间存在剪切软弱带且节理裂隙较为发育, 岩体完整性较差; 同时, 层间剪切软弱带、节理裂隙面、岩层面等结构面互相切割, 组合形成大小不一的块体, 对坝基抗滑稳定较为不利, 经计算, 深层滑动不满足规范要求。经多方案对比分析研究, 最终采用挖除部分软弱夹层、布设锚筋桩和基础固结灌浆等措施组合的地基处理方案。

关键词: 闸坝; 泥岩剪切软弱带; 加固处理; 锚筋桩; 深层抗滑稳定

中图分类号: TV 223.3⁺2 ; U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0145-06

The reinforcement treatment to shear weakness zone in the mudstone foundation of gate dam in Yuliang navigation junction project

ZHU Wei-guo¹, ZENG Shang-jie²

(1. Guangxi Communications Planning Surveying and Designing Institute, Nanning 530029, China;

2. Nanning City Water Conservancy Bureau, Nanning 530001, China)

Abstract: In the process of excavating the foundation of gate dam in Yuliang navigation junction project, it is discovered that the shear weakness zone exists in the middle of rock stratum and the joint fissure is relatively developed; the integrity of rock mass is relatively bad. Meanwhile, the structural surfaces such as interlayer shear weakness zone, joint fissure surface and rock surface mutually cut each other and form into different size of blocks which are unfavorable to the anti-sliding stability of dam foundation. The deep-layer sliding doesn't meet the standard requirements through calculation. After contrastive analysis and study on many schemes, the comprehensive foundation treatment scheme is adopted by combing with measures such as excavating partial weak interlayer, laying anchor pile layout and grouting the foundation for consolidation.

Keywords: gate dam; mudstone shear weakness zone; reinforcement treatment; anchor pile; deep-layer anti-sliding stability

1 工程概况

鱼梁航运枢纽位于广西百色市田东县城下游约 7.0 km 的英和村右江河段上, 是一座以航运为主、结合发电, 兼顾其他效益的水资源综合利用工程。枢纽沿坝轴线从左至右依次布置有船闸、

非溢流坝、溢流坝、电站厂房、右岸接头刺墙、鱼道和鱼类增殖保护站等建筑物; 其中溢流坝段长 177 m, 由 9 孔 16 m×11.5 m(宽×高)的泄水闸组成, 堰顶高程为 88.50 m, 坝顶高程为 111.80 m。枢纽布置见图 1。

收稿日期: 2016-03-09

作者简介: 朱卫国 (1978—), 男, 高级工程师, 从事水利工程、港口与航道工程设计工作。

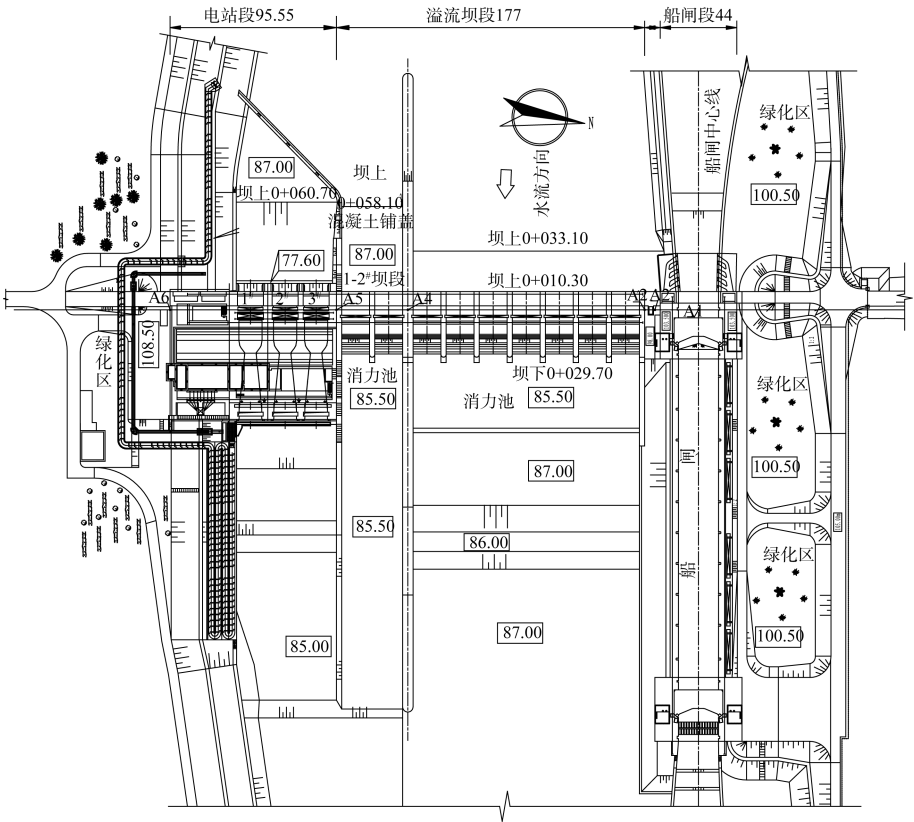


图 1 枢纽总体布置 (单位: m)

2 地形地质条件

坝址河段河道较顺直, 为不对称的宽阔“U”形谷, 河床地形较平缓, 平(枯)水期河水位约 89 m, 河面宽度约 185~260 m, 水深 1~5 m。

坝址区出露地层较简单, 主要有第 4 系全新统地层、下第 3 系始-渐新统那读组(E_{2-3n})、下第 3 系古-始新统(E_{1-2})及三迭系中统百逢组第 2 段

(T_2b^2) 地层。根据右岸一期基坑开挖揭示, 坝址区有 3 类不同性质层间剪切软弱带发育, 它们相互间呈平行排列, 产状为 $40^{\circ}N\sim55^{\circ}W$, $10^{\circ}\sim12^{\circ}NE$, 与岩层产状基本相同, 倾向下游偏左岸, 埋深从右岸至左岸逐渐增加。从上至下依次为 f_3 、 f_4 、 f_5 层间剪切软弱带, 见图 2。混凝土与岩体之间抗剪强度指标见表 1, 剪切软弱带抗剪强度指标见表 2。

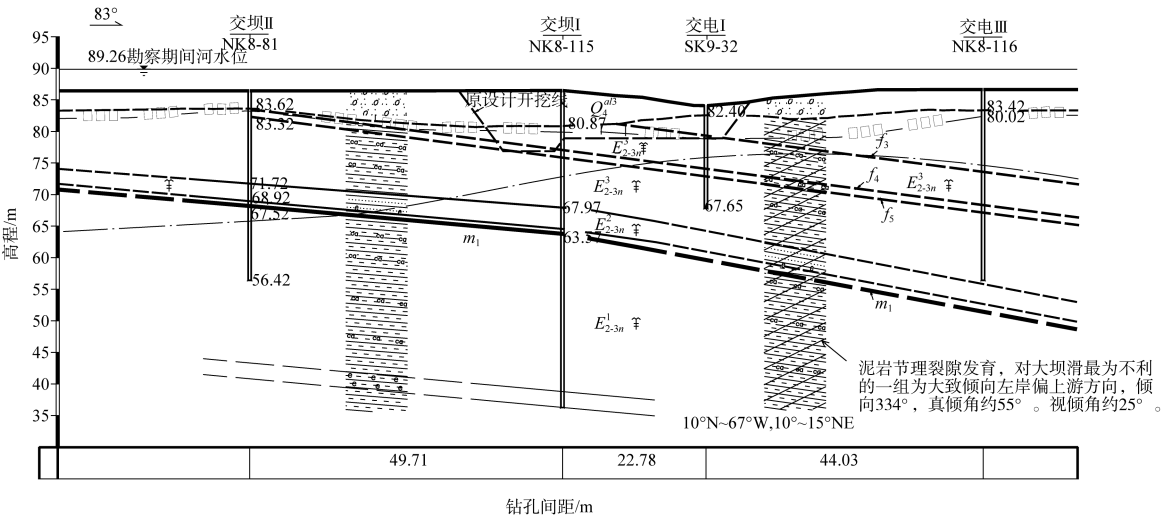


图 2 1#~2#坝段地质剖面

表 1 混凝土/岩体抗剪强度指标地质建议值				
岩性	抗剪断强度		抗剪强度	
	f'	C'/MPa	f	C/MPa
混凝土/泥岩	0.37	0.05	0.27	0.015
混凝土/钙质泥岩	0.50	0.10	0.35	0.005
混凝土/粉砂岩	0.70	0.15	0.45	0.050

表 2 剪切软弱带抗剪强度指标地质建议值				
剪切带	抗剪断强度		抗剪强度	
	f'	C'/MPa	f	C/MPa
f_3	0.07	0.017	0.06	0.015
f_4	0.10	0.020	0.08	0.018
f_5	0.25	0.010	0.18	0.003
节理裂隙面	0.25	0.010	0.18	0.003

3 基础处理方案

根据鱼梁航运枢纽工程的特性和基岩的特点,原设计中基础处理采用了齿槽、固结灌浆、帷幕灌浆、基础排水、将 1[#]和 2[#]坝段合并为整体坝段(1[#]~2[#]坝段)等工程措施。后因地质情况发生变化,对抗滑桩加固方案和锚筋桩加固方案进行了对比分析,最终确定采用挖除部分软弱夹层、布设锚筋桩和基础固结灌浆等措施相组合的地基加固处理方案。

3.1 挖除部分软弱夹层

由于各层间剪切软弱带埋藏深浅不一,在施工开挖时,全部挖除难度大,故只对层间剪切软弱带埋藏较浅处作了挖除处理:坝上 0+8.10 m~坝下 0+10.47 m 范围内的剪切破碎带全部清除,坝下 0+10.47 m~坝下 0+26.70 m 范围内清除坝左 0+000 m~坝左 0+015.38 m 范围内的剪切破碎带;清除剪切破碎带后将基础整理为台阶式基础,建基面座落于钙质泥岩上;开挖时应注意保护泥岩免遭损坏和风化,开挖面验收合格后马上覆盖 C25 富浆混凝土,同时,对 3[#]坝段侧的立面泥岩及时进行喷护。除与电站厂房段相邻处开挖至 67.50 m 高程外,其余建基面实际开挖高程为 74.0~78.0 m(图 3)。

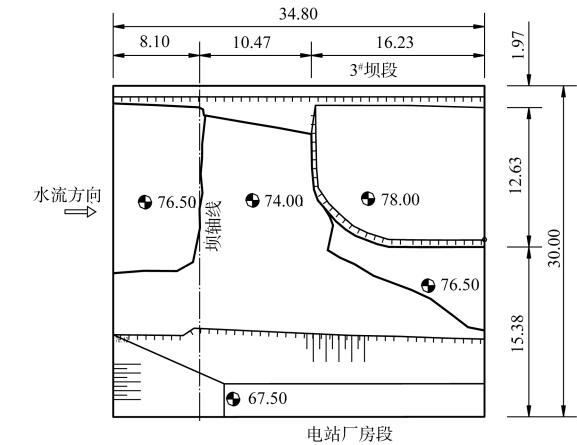


图 3 1[#]~2[#]坝段基础开挖 (单位: m)

3.2 锚筋桩

3.2.1 锚筋桩设计

根据《水利水电工程喷锚支护技术规范》^[1]及现场抗拔破坏试验数据^[2],锚孔的平均黏着力为 155.7 kN/m²。初步确定锚筋桩设计参数为:3 根 $\phi 32$ mm 的 II 级螺纹钢筋点焊成束,钢筋接长采用钢套筒连接,锚筋束长 11.5、12.0、18.0 m,锚固段穿过 f_5 软弱夹层不小于 9.5 m,外露 2.0 m,端头设锚固板,钻孔孔径 $\phi 150$ mm,考虑加固效果与施工后取孔斜倾向上游 25°,全断面水泥砂浆灌、封孔,锚筋桩轴向抗拉设计值不小于 320 kN。结合现场开挖情况,鱼梁航运枢纽在 1[#]~2[#]闸坝段坝基设置了 187 根 3 $\phi 32$ mm@2.0 m 的系统锚筋桩(图 4),其中,锚筋束长 11.5 m 的锚筋桩 79 根,锚筋束长 12.0 m 的锚筋桩 56 根,锚筋束长 18.0 m 的锚筋桩 52 根。

3.2.2 锚筋桩抗拔试验^[3]

锚筋桩注浆结束,砂浆试块强度达到设计值后,随机选取 9 根检验锚筋桩的抗拔力是否达到设计要求,最大试验荷载为锚筋桩轴向受拉承载力设计值的 1.1 倍。锚筋桩试验荷载加至设计荷载的 1.1 倍(352 kN)时,压力稳定,锚头位移相对稳定,实测的锚头位移在 0.07~1.56 mm。锚筋桩的抗拔力满足要求。试验结果见表 3。

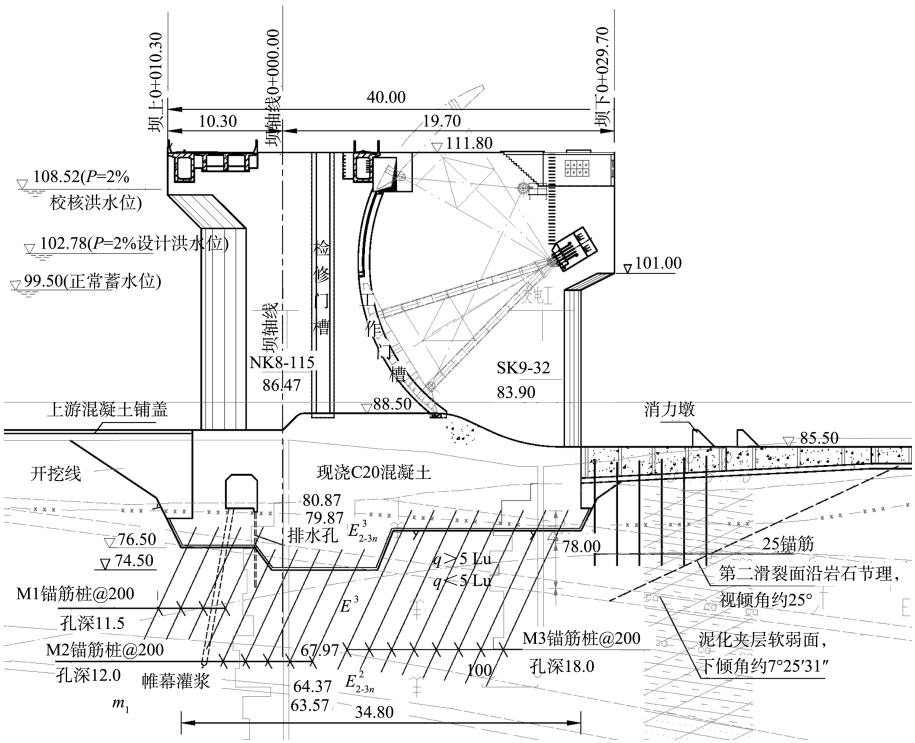


图 4 锚筋桩布置立面(单位:m)

表 3 锚筋桩抗拔试验结果

锚筋桩位置	锚筋桩编号	总位移/mm	承载力设计值/kN	最大试验荷载/kN	是否合格
高程 76.5 m 平台	M1-14	0.14	320	352	合格
	M1-22	0.07	320	352	
	M1-26	0.31	320	352	
高程 74.0 m 平台	M2-27	0.95	320	352	合格
	M2-43	0.26	320	352	
	M2-55	0.56	320	352	
高程 78.0 m 平台	M3-24	0.28	320	352	合格
	M3-32	0.12	320	352	
	M3-40	1.56	320	352	

注：最大试验荷载为锚筋桩承载力设计值的 1.1 倍。

3.3 固结灌浆

鱼梁航运枢纽工程下伏基岩主要为泥岩、钙质泥岩等软质岩，具失水易开裂、遇水易软化和崩解特点。泥岩、钙质泥岩暴露后易出现裂纹，同时，基坑开挖后岩体也会产生卸荷裂隙。因此，需进行基础固结灌浆以增强混凝土与基础面的结合，同时封闭岩体开挖卸载后产生的裂隙和固结风化岩体，以增强基础的整体性。固结灌浆孔的深度原设计为：固结灌浆孔在帷幕上游时要求进入岩面 5.0 m，在帷幕下游时要求进入岩面 2.0 m；

固结灌浆孔采用梅花形布置孔距和排距均不大于 4.0 m。地质条件变化后，固结灌浆均要求入岩深度不小于 5.0 m；为保证开挖坡面处的接触强度，沿“几”字形陡坡面新增 10 个固结灌浆孔，间距约为 3 m，孔轴线与竖直面成 10°角，入岩深度不小于 0.5 m(图 5)。

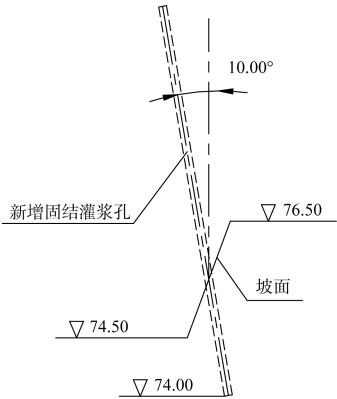


图 5 新增固结灌浆孔 (单位: m)

4 加固效果分析

固结灌浆用以增强混凝土与基础面的结合，封闭岩体开挖卸载后产生的裂隙和固结风化岩体，增强基础的整体性。固结灌浆对闸坝抗滑稳定的影响在计算中不做具体考虑。闸坝抗滑稳定计算

5 结 论

1) 针对泥岩和泥岩剪切软弱带的特点,采用挖除部分剪切软弱带、布设锚筋桩和基础固结灌浆等措施组合的地基加固处理方案,处理后,坝基深层抗滑稳定计算安全系数有较大改善,可以满足规范要求,有效解决了深层抗滑的问题。

2) 鱼梁航运枢纽工程实际表明:锚筋桩可显著提高坝基的抗剪强度,对于泥岩地质条件,采用锚筋桩进行加固处理是可行且可靠的。

3) 鱼梁航运枢纽工程以安全运行 2 年后,闸坝无明显水平位移,基础加固处理成功、效果良好。但由于坝基处理的锚筋桩设计和施工目前无规程规范可循,且经验积累不足,今后应用时仍应谨慎,现场试验是必不可少的。

~~~~~  
(上接第 134 页)

2) 在推荐的阀门双边开启  $t_v=5\sim 6\text{ min}$  工况下,闸室充水最大流量分别为 146 和  $133\text{ m}^3/\text{s}$ ;泄水最大流量分别为 122 和  $116\text{ m}^3/\text{s}$ ,充泄水系统平均流量系数分别为 0.802 和 0.699,单边充、泄水系统平均流量系数分别为 0.818 和 0.712。

3) 闸室内船舶停泊条件试验成果表明:经闸室消能工方案比较,试验推荐方案为连续消力槛方案(槛高×槛宽:0.6 m×0.6 m,距闸墙 1.2 m),此方案下阀门  $t_v=4\sim 7\text{ min}$  双边开启时,1 000 t 干散货船舶测得的最大纵向系缆力为 8.5~4.2 kN,最大横向力为 6.0~2.5 kN;1 000 t 集装箱船舶测得的最大纵向系缆力为 9.6~5.0 kN,最大横向力为 6.5~2.2 kN。船闸在各种运行工况下,船舶系缆力满足规范要求。

4) 研究结果表明:孟洲坝二线船闸闸室平面尺度较大,要求充、泄水时间短,输水强度高,瞬时流量大,采用的闸墙长廊道侧支孔形式是合理可行的,该输水系统各项指标达到了预期的设计目标和要求。

参考文献:

[1] 水利部松辽水利委员会.SL 377—2007 水利水电工程喷锚支护技术规范[S].中华人民共和国水利部.北京:中国水利水电出版社,2007.

[2] 广西交通科学研究院.广西右江鱼梁航运枢纽工程锚筋桩抗拔破坏试验报告[R].南宁:广西交通科学研究院,2011.

[3] 广西交通科学研究院.广西右江鱼梁航运枢纽工程锚筋桩抗拔试验报告[R].南宁:广西交通科学研究院,2011.

[4] 陈胜宏,汪卫明,杨志明.筱溪水电站重力坝坝基锚筋桩加固研究[J].岩土力学,2010,31(4):1 151-1 156.

[5] Spang K, Egger P. Action of fully-grouted bolts in jointed rock and factors of influence[J]. Rock Mech RockEngng, 1990, 23(2): 201-229.

[6] 水利部长江水利委员会长江勘测规划设计研究院. SL 319—2005 混凝土重力坝设计规范[S]. 中华人民共和国水利部.北京:中国水利水电出版社,2005.

( 本文编辑 武亚庆)

参考文献:

[1] 王召兵,彭永勤.孟洲坝枢纽二线船闸输水系统水力学模型试验研究报告[R].重庆:重庆西南水运工程科学研究所,2015.

[2] 王召兵,彭永勤.孟洲坝二线船闸侧墙廊道输水系统布置计算分析论证报告[R].重庆:重庆西南水运工程科学研究所,2015.

[3] 王召兵,刘平昌.嘉陵江红岩子船闸输水系统水力学模型试验研究报告[R].重庆:重庆西南水运工程科学研究所,2002.

[4] 宣国祥,黄岳.西江航运干线桂平二线船闸闸底长廊道输水系统水力学模型实验研究[J].水运工程,2009(12):98-102.

[5] 刘平昌,彭永勤.贵港二线船闸侧墙廊道输水系统水力学试验研究报告[R].重庆:重庆西南水运工程科学研究所,2010.

[6] 南京水利科学研究院,天津水运工程科学研究所. JTJ 306—2001 船闸输水系统设计规范[S]. 中华人民共和国交通部,北京:人民交通出版社,2001.

( 本文编辑 郭雪珍)