

面板堆石坝趾板置于全风化基岩上的工程技术措施

丁 韵¹, 郑子祥²

(1. 中国水电顾问集团华东勘察设计研究院, 浙江 杭州 310014;

2. 国家能源局大坝安全监察中心, 浙江 杭州 310014)

摘要: 为保证混凝土面板堆石坝岸坡趾板置于全风化基岩上的安全可靠, 分析了地基承载力、地基渗流控制、趾板稳定性和趾板不均匀沉降这4个关键技术问题, 并结合越南宣光面板堆石坝工程提出了确保地基承载力、趾板与全风化基岩牢固连接、保证地基渗流稳定、设置趾板伸缩缝等工程技术措施。大坝监测结果表明, 宣光面板堆石坝在运行期间渗流量较小, 大坝变形正常。运用本文探讨的工程技术措施, 将趾板置于全风化基岩上是安全可行的。

关键词: 趾板; 全风化基岩; 渗控措施; 地基承载力; 面板堆石坝

中图分类号: TV641.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2013)06-0080-03

Engineering measures of CFRD's plinth placed on completely weathered rock//DING Yun¹, ZHENG Zixiang²
(1. East China Investigation and Design Institute, China Hydropower Engineering Consulting Group Co., Hangzhou 310014, China; 2. Large Dam Safety Supervision Center, National Energy Administration, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to ensure the safety and reliability of CFRD's plinth placed on the bank slope of completely weathered bedrock, this paper analyses four key technical issues, including the bearing capacity of foundation, the seepage control of foundation, the stability of plinth, and the differential settlement of plinth. With the engineering example of Vietnamese Tuyen Quang CFRD, some appropriate engineering measures were proposed, which include improving the bearing capacity of foundation, strengthening the connection between plinth and completely weathered bedrock, ensuring the seepage stability of foundation and setting plinth expansion joints in different bedrock junctions. The dam safety monitoring results show that the seepage volume of Tuyen Quang CFRD is small, and the deformation regularity of the dam is normal. By application of the engineering measures proposed in this paper, placing the plinth on completely weathered bedrock is safe and feasible.

Key words: plinth; completely weathered bedrock; seepage control measures; bearing capacity of foundation; CFRD

与黏土心墙和斜墙堆石坝相比, 面板堆石坝具有坝体断面小、投资省、工期短、安全性好等优点, 特别是在年降雨天数较多导致黏土施工受到限制的地区, 面板堆石坝成为一种富有竞争力的坝型。从1985年开始我国采用现代筑坝技术设计和建造了大量混凝土面板堆石坝, 据不完全统计, 截至2009年底, 我国坝高30 m以上的已建、在建和拟建面板堆石坝约有260座^[1]。

DL/T 5016—1999《混凝土面板堆石坝设计规范》对趾板地基的要求为: “趾板宜置于坚硬、不冲蚀和可灌浆的弱风化至新鲜岩石上。对置于强风化或有地质缺陷的岩石上的趾板, 应采用专门的处理措施”^[2]。我国绝大多数面板堆石坝的混凝土趾板均置于弱风化至新鲜的基岩上, 少数面板堆石坝的两岸趾板置于经过处理的强风化基岩上, 如湖北小

溪口右岸上部、水布垭左岸上部趾板等; 个别面板堆石坝的河床趾板直接置于深厚覆盖层地基上, 趾板下设混凝土防渗墙, 如浙江省余姚市梁辉面板堆石坝^[3-4]。岸坡趾板置于强风化基岩和残积土上的面板堆石坝有澳大利亚的Reece坝^[5]和哥伦比亚的萨尔瓦兴娜坝^[6]。当两岸的全风化基岩深厚, 尤其超过30 m时, 若要挖除全风化基岩将趾板置于弱风化(或强风化)基岩上, 趾板地基开挖将很深, 因此为保证趾板置于全风化基岩上的可行性及安全性, 研究趾板地基的关键技术问题将具有非常重要的意义。

1 关键技术问题

趾板是承上启下的防渗结构, 在施工期, 趾板既是地基防渗灌浆的平台, 又是面板浇筑施工的起始工作面和滑道; 在运行期, 趾板主要与面板以及设有

止水的周边缝形成坝基以上的防渗体;另外,趾板与经过固结灌浆和帷幕灌浆处理后的稳定岩基连成整体,封闭地面以下的渗流通道,在地基以下形成一个完整的防渗体系。因此,对于置于全风化基岩上的趾板,必然要解决地基承载力、地基渗流控制、趾板稳定性以及趾板不均匀沉降这4个问题。

1.1 地基承载力

趾板地基为全风化基岩时,虽然其承载能力较低,但和弱风化基岩一样,仍应与趾板连为整体,在施工期承受趾板混凝土自重和灌浆压力,在运行期承受趾板传递的水荷载。对于趾板底部的全风化基岩要求具有一定的承载力。根据工程经验,标准贯入试验的平均标贯数(以下简称 SPT)大于 15 击即可满足承载力要求,但仍需要进行验算。同时,在尽量不扰动和不降低全风化基岩承载力的前提下,应在趾板和地基之间设置宽度大于趾板底宽的砂浆垫层,以降低趾板地基应力。

1.2 地基渗流控制

与弱风化基岩上的趾板设计一样,全风化岩基上的趾板下游渗透水流逸出点坡降应控制在地基的允许出逸比降范围内^[5],并通过趾板将地基防渗帷幕与混凝土面板连接成完全封闭的防渗体系。主要的工程措施有:延长渗径,即加宽趾板或在下游设置混凝土防渗连接板,并在下游做好反滤保护^[7];在趾板上游设置防渗铺盖。

1.3 趾板稳定性

趾板一般可不作稳定分析。当趾板置于全风化基岩上时,需验算运行期趾板向下游的抗滑稳定性。趾板稳定性分析采用刚体极限平衡法,计算中不计趾板锚筋作用及面板与趾板之间的荷载传递,并忽略趾板下游端侧向堆石压力。计算中主要荷载为趾板自重、表面竖向水压力、底部扬压力、上下游侧水压力^[5]。当趾板不能满足稳定要求时,可适当增大趾板的宽度。

1.4 趾板不均匀沉降

对于弱风化基岩(硬基)上的混凝土趾板,通常不考虑趾板不均匀沉降问题。为了简化趾板止水系统,趾板可不设置伸缩缝,仅设置施工缝,采取跳块浇注趾板的方法。施工缝按冷缝处理,只打毛而不设止水,但要求钢筋通过施工缝。对于全风化(或强风化)基岩(软基)上的趾板,宜考虑趾板不均匀沉降问题。

2 工程技术措施

根据本文研究的趾板地基关键技术问题,结合越南宣光面板堆石坝工程,探讨安全可行的工程技

术措施。

越南宣光水利枢纽工程位于宣光省文言乡和南杭镇交界的 Gam 河上,主要任务是防洪、供水、发电。坝址控制流域面积 14 972 km²,为多年调节水库,电站装机容量 342MW,多年平均发电量 12.95 亿 kW·h。水库总库容 24.54 亿 m³,正常蓄水位 120.00 m,死水位 90.00 m,校核洪水位 122.55 m。该工程于 2003 年 11 月截流,2006 年 5 月下闸蓄水,2008 年 6 月竣工。

宣光水利枢纽由左岸钢筋混凝土面板堆石坝、溢洪道、引水发电系统、右岸挡水坝段等组成。混凝土面板堆石坝为 1 级建筑物,按照重现期 1000 年洪水设计,5000 年洪水校核,最大坝高 91.5 m,坝顶高程 124.50 m,坝顶长 1 105.42 m(其中面板堆石坝顶长 626.41 m),坝顶宽 10 m,上游坝坡 1:1.4,下游平均坝坡为 1:1.608。

左岸趾板沿线地层主要为页岩、片岩及灰岩,其中页岩、片岩分布较多,岩石风化较强烈,新鲜岩体的单轴饱和抗压强度为 28 MPa,岩体单轴饱和抗压强度小于 30 MPa,属软质岩。全风化基岩的天然状态压缩系数为 0.23 MPa⁻¹,属中压缩性土,该全风化基岩在孔深 1.55~6.55 m 的标准贯入试验的 SPT 为 24.3 击。左岸趾板地基高于 90 m 高程时,弱风化线迅速下降,基岩由弱风化转为强风化,正常蓄水位工况下 90 m 高程强风化基岩上的趾板承受水头为 30 m;趾板地基高于 106 m 高程时,基岩由强风化转为全风化,106 m 高程全风化基岩上的趾板承受水头为 14 m,趾板以下全风化基岩的最大厚度超过 40 m,趾板置于全风化基岩的长度约为 50 m。

中国水电顾问集团华东勘察设计研究院咨询专家在总结澳大利亚 Reece 坝成功经验的基础上,借鉴我国面板堆石坝堆石体置于全风化基岩上的地基处理经验,并结合宣光面板堆石坝的实际情况,认为只要全风化岩基达到一定的密实度,其 SPT 大于 15 击,在采取特殊的工程措施后可以将该工程的趾板置于全风化基岩上。该工程于 2007 年蓄水至正常蓄水位,2008—2011 年的监测结果表明,正常蓄水位时大坝最大渗流量为 6.5 L/s,与我国同规模的面板堆石坝渗流量相比偏小;同时大坝变形正常。这说明该工程左岸岸坡趾板置于全风化基岩上是安全和成功的。

2.1 确保地基承载力

施工期不扰动基岩以确保不降低全风化地基的承载力,趾板地基全风化基岩开挖前在趾板地基上部预留约 1.0 m 的保护层,在浇筑趾板混凝土前几天再进行保护层人工开挖。趾板地基开挖完成后,在全风化基岩上部设置厚度约为 10 cm、强度等级为

M10 的砂浆垫层,作为趾板和全风化基岩硬软结构的过渡层。趾板宽 5.0 m,厚 0.5 m,砂浆垫层在趾板上游,比趾板宽 1.0 m,作为施工期通道以避免趾板混凝土立模、绑扎钢筋的施工人员挤压全风化基岩。在砂浆垫层及趾板混凝土中预留固结和帷幕灌浆孔,以减少灌浆对地基的扰动。趾板在施工期和运行期的受力均较小,经核算,施工期和运行期趾板底部的最大地基应力小于 0.1 MPa,小于地基允许承载力 0.2 MPa,满足地基承载力要求。

2.2 趾板与全风化基岩牢固连接

经复核,在运行期趾板沿基岩面向下游的抗滑稳定安全系数为 3.12,满足抗滑稳定要求。由于全风化基岩提供的摩擦力较小,在施工期和运行期趾板的稳定性比弱风化基岩的差。为了确保趾板地基稳定,采取趾板和全风化基岩牢固连接,并适当加长趾板底部锚杆的深度,比常规工程的趾板锚杆(通常为 4~5 m)长 2 m,即取 6~7 m,以确保在帷幕灌浆和固结灌浆期间趾板不会向上抬动。

2.3 保证地基渗透稳定

a. 确定合适的趾板宽度,并延长趾板下游渗径。全风化基岩的趾板宽度取 5.0 m,正常蓄水位工况趾板全风化基岩的水力梯度为 2.8,小于规范允许值(3~5)^[2],但仍大于该区域全风化基岩的允许渗透坡降(2~4),因此,仍需要延长趾板渗径。在趾板的下游设置混凝土防渗连接板,其长度为趾板上游水头的一半,使趾板与防渗连接板的联合体的水力梯度小于 2;并在混凝土防渗连接板的顶部及下游铺设反滤料(包括小区料、垫层料、过渡料)延伸至下游坝脚(图 1),延长趾板的渗径以防趾板下游坝基发生渗透破坏。

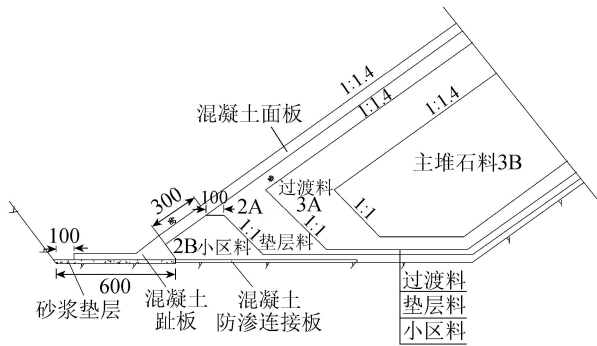


图 1 全风化基岩上混凝土趾板典型布置(单位:cm)

对于坝基 106 m 高程的趾板,即使不计入趾板防渗连接板下游小区料和垫层料的辅助防渗作用,仅计入趾板和防渗连接板的联合体,沿水流方向的长度就达到 12 m,正常蓄水位工况下的水力梯度为 1.17,校核洪水水位工况下的水力梯度为 1.38,均小于该区域全风化基岩的允许渗透坡降(2~4),所以

该区域的全风化基岩不会发生渗透破坏。

b. 确保固结灌浆效果。和常规趾板地基处理一样,需要在趾板全风化基岩上进行固结灌浆。固结灌浆采用手风钻钻孔,灌浆孔布置和常规基岩的一样,固结灌浆施工按两序进行,采用单孔灌浆方法。固结灌浆采用浓浆 1:0.8、1:0.6(或 0.5)两个比级,灌浆压力取弱风化基岩灌浆压力的 1/2 左右,为 0.1~0.2 MPa,灌浆栓塞置于基岩面以上 0.3 m 左右的趾板混凝土内。

c. 确保帷幕灌浆效果。在固结灌浆完成后,采用手风钻钻孔进行趾板帷幕灌浆。帷幕灌浆的作用是封闭全风化基岩内可能存在的渗漏通道,减少地基渗流量,防止地基发生渗透破坏。由于岸坡部位作用水头小,帷幕灌浆孔仅布置 1 排。为了确保帷幕灌浆的效果和防止全风化基岩在帷幕灌浆时产生挤压破坏,与其他工程的帷幕灌浆技术不同^[8],本工程帷幕采用低压、浓浆、两比级的灌浆技术。帷幕灌浆压力取常规灌浆压力的 1/2 左右,采用浓浆 1:0.8、1:0.6(或 0.5)两个比级。采用孔口封闭灌浆法,第 1、2、3 段的段长为 2 m、3 m 及 5 m(第 4 段以下也为 5 m),灌浆压力分别为 0.1~0.15 MPa、0.15~0.25 MPa、0.25~0.35 MPa。重点确保趾板与全风化基岩接触段的灌浆效果,趾板与全风化基岩接触部位的灌浆段先行单独灌注并待凝,灌浆栓塞置于基岩面以上 0.3 m 左右的趾板混凝土内。灌浆孔的布置与弱风化基岩上的趾板布置相同,孔距为 2 m,帷幕灌浆施工按 3 序进行,若个别孔段吸浆量大无法结束,帷幕灌浆孔孔距可继续加密至 1 m 或 0.75 m。

2.4 设置趾板伸缩缝

左岸 106 m 高程(全风化与强风化交接处)、90 m 高程(强风化与弱风化交接处)的趾板均设置伸缩缝,缝内布置铜片止水,以适应不均匀沉降。

3 结 论

a. 当两岸的全风化基岩深厚时,只要全风化基岩达到一定的密实度,采取一定的工程措施,将趾板置于全风化基岩上是安全可行的。

b. 在施工期和运行期趾板受力均较小,施工期不扰动基岩以确保不降低地基的承载力,设置砂浆垫层并适当增加其宽度,趾板地基的承载力仍可满足要求。

c. 防止地基渗透破坏是保证趾板地基安全可靠的关键;在趾板下游设置混凝土防渗连接板,在防渗连接板的顶部及下游铺设反滤料并伸至下游坝脚,以延长渗径和防止地基发生渗透破坏,同时,采用低压、浓浆、两比级的帷幕灌浆技术,确保帷幕灌浆的施工质量。(下转第 94 页)

用炉火及电暖气加温,为减少新老混凝土的温度应力,保证新老混凝土结合良好,仓面温度维持在5~14℃。养护时每日早、午、晚各测一次室外、棚内及仓内温度。涵洞压力段于2009年12月14日至2010年3月24日进行施工,2009年1月31日暂停施工,2010年2月22日复工。期间室外温度变化范围为-38~0℃;棚内(第1道保温层)温度变化范围为3~9℃;仓内(第2道保温层)温度变化范围为5~14℃。

5 施工质量检验与验收评定

涵洞压力段边顶拱衬砌加固共分6个单元工程,边顶拱混凝土抗压强度试验检验6组,根据SL176—2007《水利水电工程施工质量检验与评定规程》附录C中普通混凝土试块试验数据统计方法^[8],抗压性能合格。抗冻试验检验1组,F200弹性模量为83.4%,大于60%,质量损失率为1.5%,小于5%,抗冻性能合格。抗渗试验检验1组,加压至0.8MPa,8h内试件表面均未渗水,抗渗性能合格。经现场质量验收评定,6个单元工程合格率及优良率均为100%,外观及工程质量优良^[9]。

6 结 语

在高寒环境下,通过对头屯河水库涵洞压力段作业区内外采取多重温控措施,运用边顶拱钢模台车高性能混凝土衬砌加固技术,压力段边顶拱单循环每仓混凝土浇筑量19 m³,台车单循环工作时间平均为4 d,有效地保证了压力段衬砌加固的施工。该技术在提高涵洞压力段衬砌质量、表面光洁度和衬砌施工效率等方面的优越性在实践中得到了充分体

现,为今后类似工程积累了经验。

参考文献:

[1] 马军. 头屯河水库除险加固工程施工导截流设计[J]. 水科学与工程 技术,2012(1):21-22. (MA Jun. Design of construction diversion and river closure in Toutun River reservoir reinforcement project [J]. Water Science and Engineering Technology,2012(1):21-22. (in Chinese))

[2] 马军. 球墨铸铁衬护技术在头屯河水库涵洞底板抗冲磨加固中的应用[J]. 水利水电技术,2012,43(7):77-80. (MA Jun. Application nodular cast iron to abrasion-resistant reinforcement of bottom slab of draw-off for Toutun River[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012,43(7):77-80. (in Chinese))

[3] 陈亚宁. 新疆头屯河流域山地侵蚀与减沙治理研究[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1995.

[4] SL303—2004 水利水电工程施工组织设计规范[S].

[5] 马军,艾克拜尔·买买提. 高落差涵洞事故门井筒加固施工技术[J]. 水利水电科技进展,2012,32(4):66-69. (MA Jun, MAIMAITI A. High performance concrete lining reinforcement technology of side and top arch of culvert in alpine environment [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012,32(4):66-69. (in Chinese))

[6] DL/T5169—2002 水工混凝土钢筋施工规范[S].

[7] DLT5144—2001 水工混凝土施工规范[S].

[8] SL176—2007 水利水电工程施工质量检验与评定规程[S].

[9] SL223—2008 水利水电建设工程验收规程[S].

(收稿日期:2012-12-20 编辑:骆超)

(上接第82页)

参考文献:

[1] 杨泽艳,周建平,蒋国澄,等. 中国混凝土面板堆石坝的发展[J]. 水力发电,2011,37(2):18-22. (YANG Zeyan, ZHOU Jianping, JIANG Guocheng, et al. Development of concrete faced rockfill dam in China[J]. Water Power, 2011, 37(2):29-34. (in Chinese))

[2] DL/T 5016—1999 混凝土面板堆石坝设计规范[S].

[3] 朱晟,顾淦臣. 建造在河床覆盖层上的面板堆石坝[J]. 水利水电科技进展,1996,16(3):9-11. (ZHU Sheng, GU Ganchen. CFRD placed on sand and grave on the riverbed [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 1996,16(3):9-11. (in Chinese))

[4] 朱孟业. 建造在深厚覆盖层上的梁辉水库面板堆石坝[J]. 浙江水利科技,1997(3):34-35. (ZHU Mengye. CFRD constructed on thick sand and grave in Lianghui Reservoir[J]. Zhejiang Hydrotechnies, 1997(3):34-35. (in Chinese))

[5] 唐新军. 混凝土面板堆石坝的趾板布置与设计[J]. 水力发电,1993,19(1):29-34. (TANG Xinjun. Layout and design of CFRD's plinth[J]. Water Power, 1993,19(1):29-34. (in Chinese))

[6] 蒋国澄,傅志安,凤家骥. 混凝土面板坝工程[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1997.

[7] 杨晓明,张斌,黄继平. 强风化地基上的小溪口混凝土面板堆石坝趾板设计与地基处理[J]. 水利规划与设计,2004(3):70-74. (YANG Xiaoming, ZHANG Bin, HUANG Jiping. Design and foundation treatment of plinth on intensively weathered rock in Xiaoikou CFRD's [J]. Water Resources Planning and Design, 2004(3):70-74. (in Chinese))

[8] 李林枫. 横泉水库坝基风化基岩帷幕灌浆施工技术[J]. 西北水电,2011(1):30-33. (LI Linfeng. Construction technology for curtain grouting of weathered bedrock in Hengquan Reservoir [J]. Northwest Hydropower, 2011(1):30-33. (in Chinese))

(收稿日期:2012-04-15 编辑:周红梅)