

基于土工合成材料的石碛水库电站堤坝防渗漏性能优化研究

王昕

武义县源口水库管理处

DOI:10.12238/hwr.v9i5.6386

[摘要] 石碛水库坐落于金华江的钱塘江支流武义江的上游,具有防洪、灌溉、发电等多重功能,是我国重要的水利水电工程。水电站大坝防渗性能的好坏,直接关系到工程的安全性与效益。针对石碛水库电站坝基渗漏现象,本文从工程概况、地质条件及施工条件三个方面,分析了现行防渗措施的不足之处,阐述了一种新型工程材料—土工复合材料,并对其在堤坝防渗漏中的应用原理及优势进行了探讨。基于以上研究,文章从土工合成材料的选择和施工工艺的优化,并与传统的防渗技术进行对比分析,并且提出了基于土工合成材料的防渗性能优化方案。研究结果表明,土工合成材料可有效改善坝体防渗性能,减少渗漏风险,可为类似工程的防渗设计与施工提供参考。

[关键词] 石碛水库; 电站堤坝; 土工合成材料; 防渗漏; 性能优化

中图分类号: TV74 **文献标识码:** A

Research on the Optimization of Anti-seepage Performance of the Shixia Reservoir Power Station Dam Based on Geosynthetics

Xin Wang

Wuyi County Yuankou Reservoir Management Office

[Abstract] The Shixia Reservoir, located upstream of the Wuyi River (a tributary of the Qiantang River in the Jinhua River system), is a key water conservancy and hydropower project in China with multiple functions including flood control, irrigation, and power generation. The anti-seepage performance of its dam directly impacts the safety and efficiency of the project. This paper analyzes the limitations of existing anti-seepage measures from three aspects: project overview, geological conditions, and construction environment, aiming to address the seepage issues in the dam foundation of Shixia Reservoir Power Station. A novel geosynthetic composite material is introduced, and its application principles and advantages in dam anti-seepage are discussed. Based on this research, an optimized anti-seepage scheme using geosynthetics is proposed, focusing on material selection and construction process improvements, and compared with traditional techniques. The results demonstrate that geosynthetics can effectively enhance the dam's anti-seepage performance and reduce leakage risks, providing valuable references for similar projects in terms of anti-seepage design and construction.

[Key words] Shixia Reservoir; power station dam; geosynthetics; anti-seepage; performance optimization

引言

水利工程堤坝防渗是保障工程安全与效益的关键环节。石碛水库作为兼具防洪、灌溉、发电功能的重要枢纽,其电站坝基渗漏问题威胁工程安全与区域经济发展。传统防渗技术在复杂地质条件下存在局限性,而土工合成材料凭借防渗、过滤、排水等综合性能,为堤坝防渗优化提供了新路径。本文结合石碛水库工程特点,分析渗漏成因,探讨土工合成材料的应用原理与优化方案,以为同类工程提供技术参考。

1 石碛水库电站工程概况与渗漏问题分析

1.1 工程概况

石碛水库坝址位于桃溪镇双溪村柏树脚村上中游约500米熟溪干流麻阳港,距武义县城约30公里。枢纽工程主要由拦河坝、泄水建筑物、放水建筑物、发电导流建筑物、发电厂、升压器和生活区等部分组成。水电站引水系统位于左岸,由竖井进水,发电引水洞,压力调节井和压力管线组成,自闸井中心线至分岔点水平投影,全长3163.1米。进水口设在坝头上游600m处,进水高程329.50m,设计按50年一遇、1000年一遇洪水校核。导流洞为马蹄形断面,断面尺寸2.6m,流量为4.20m/s,纵坡 $i=1/200$,水平投影长度为2959.1m。压力管道分为上平面和下平面两段,水平投影长194.00m;岔管为内加强月牙肋式,主管直径1.50m,支

管直径0.80m。发电厂房位于武义县白姆乡坞驮畈村,装机容量为2×1.6MW,厂区由发电厂房、副厂房、升压站、尾水渠等组成^[1]。

1.2地质条件

该隧道揭露地层为侏罗系上统大爽组(J3d),岩性主要为流纹质角砾凝灰岩、熔凝华、珍珠岩,局部夹青灰色砂泥岩,并被第四系所覆,部分厚度0~2m,局部厚。入口段盖层厚度较大,ZK115钻孔揭露盖层厚度14.8m、强风化带2.80m~3.60m、弱风化带0.80m~3.00m。断层主要发育有F144、F145、F143、F142、F138、F136、F124等,断裂走向主要为北西向,多为高角产状,断裂宽度一般在1~2m到3~4m之间,主要由断层泥、碎裂岩组成。厂房区属侏罗系上统大爽组(J3d)地层,岩性为构造致密、硬度高的流纹质角砾凝灰岩。厂房西侧覆盖着一层厚度1.5~2.5m的厚堆积物,为夹碎石、卵石、砾石的粉质粘土,结构松散,透水性强;东侧为全新统第四系冲洪积砾石层,ZK118钻孔揭露,厚度约为7.60m,松散至稍密,夹有漂石。

1.3渗漏问题分析

从施工阶段揭露的情况看,下平洞出口洞脸南侧存在一条较破碎的J2节理发育带,并向电站基坑延伸。尽管采取了挂网喷浆、开排水孔(10m以上深岩体、边坡设置排水孔)等措施,护坡边坡虽然没有明显的变形,但仍有可能出现渗漏水问题。不同风化层和土质边坡的渗透系数有很大的差别,在水头的作用下更容易发生渗透现象。传统的混凝土衬砌和灌浆措施在复杂地质条件下,存在着明显的细裂隙和长期的渗流作用,因此存在着防渗效果衰减的风险。

2 土工合成材料的类型与防渗原理

2.1土工合成材料的类型

土工合成材料种类繁多,在水利工程防渗漏中常用的主要有土工膜、复合土工膜、土工布、土工复合材料等。其中,土工膜是由高分子材料制成的一种防渗材料,按材料可分为聚乙烯薄膜、聚氯乙烯薄膜等。其防渗机理主要取决于材料本身的致密、低渗透性和阻水性。复合土工膜是由土工膜和土工布两部分共同构成的,它们共同起到防护和加固的作用。结果表明土工布具有良好的防渗性能,能有效防止土颗粒堵塞土工膜,提高膜材的抗拉强度及抗撕裂强度。土工织物是由纤维经针刺编织而成的具有渗透性能的土工合成材料,按制作方法可分为针刺式和编织式两种。土工织物的主要功能是排水、过滤和保护,主要用于排水,防止土颗粒流失,保持结构的稳定性。复合土工膜是由两种或两种以上的土工材料复合而成,如土工格栅和土工膜、土工布与土工膜等,具有多种功能,可满足不同工程的防渗要求。

2.2防渗原理

土工合成材料应用于堤坝防渗,其基本原理是:(1)防渗作用。隔离具有不同渗透性的土壤,阻止土壤颗粒相互混排,阻止土壤颗粒移动而形成渗漏通道。如在堤防不同土层之间铺设土工膜或复合土工膜,可有效隔离防渗层和非防渗层。(2)过滤效

应。土工布具有良好的渗透性,可以让水通过,防止土粒流失。土工布包覆排水体,可防止土粒堵塞排水孔,保证排水畅通,降低坝体内部水压,减少渗漏风险。(3)排水作用。土工合成材料与土工复合结构内的排水通道可将渗透水及时排出堤外,降低土体含水率,提高土体稳定性,如在堤坡上铺设土工排水板,可有效地集水排出,减少坡面水的积聚。(4)渗透效应。土工膜和复合土工膜的低渗透性可有效阻止水分渗透,是防渗漏的核心材料,它可以在坝体基础和坝基坡面上形成一道连续的防渗屏障,阻断渗漏通道^[2]。

3 基于土工合成材料的石硐水库电站堤坝防渗漏性能优化方案

3.1材料选择

根据石硐水库电站大坝的地质情况和渗漏情况,从材料防渗、抗拉强度、耐久性、变形适应性和施工简便等几个方面,选择了复合土工膜作为大坝防渗材料。复合土工膜是由聚乙烯(PE)和厚度不小于0.5mm的两布一膜结构组成的,其单位面积重量大于300g/m²。聚乙烯土工膜具有良好的防渗、抗化学侵蚀和抗老化性能,并能适应堤坝土体的变形;针刺非织造土工织物具有良好的防渗和排水性,可以有效地防止土颗粒对土工膜的破坏,提高土工膜的整体强度。堤坝边坡采用HDPE作为排水材料,具有较高的抗压强度、良好的排水性和耐久性。排水板凸台高度大于20mm,可形成充足的排水通道,有效排除渗水。

3.2施工工艺优化

3.2.1基面处理

在铺设土工合成材料之前,必须对基面进行严格的处理,基面应清除杂物、尖状物及疏松土层,确保基面平整牢固。对岩基表面进行清理和打磨,去除浮岩和突出的部分;基层压实后的压实度不小于90%;为了保证防渗层的连续性和密封性,对某些特殊部位,如节理发育区、断层破碎区,必须先进行水泥浆抹平,然后再铺设土工合成材料。

3.2.2复合土工膜铺设

复合土工膜的铺设要遵循“先上游后下游,先边坡后坝”的原则。根据设计要求,将复合土工膜铺设在地基、边坡上,在铺设过程中应注意膜面平整,防止膜面起皱和破损。双层复合土工膜搭接宽度大于100mm,采用热熔焊接或挤压焊接的方式进行,焊接质量应符合相关规范要求。焊接前应对焊缝进行清洗,确保焊缝表面干净、干燥。焊接完毕后,应对焊缝进行检测,检测方法有充气法和真空法两种^[3]。

3.2.3土工排水板铺设

堤坝边坡铺设排水板时,排水板的长边宜与边坡平行,由下至上。排水板的搭接宽度不小于50mm,可以用搭接扣或焊接的方法进行连接。排水板铺设完毕后,为防止土颗粒堵塞排水沟,需在排水板上铺一层土工布作过滤层。土工织物的铺设必须平整牢固,搭接宽度不小于100mm。

3.2.4保护层施工

复合土工膜和土工排水板铺设完成后,为防止外界因素的

破坏,应做好防护工作。保护层为粘土或混凝土,保护层厚度大于500mm,分层压实,压实度不小于90%;保护层厚度大于100mm,混凝土浇筑采用C20砼,浇筑时振捣密实、平整。

3.3与传统防渗技术的对比分析

在石硤水库水电站工程中,传统的防渗技术如混凝土衬砌、注浆等,均有各自的局限。虽然混凝土衬砌具有较高的强度和良好的防渗性能,但是其对地基的变形比较敏感,容易出现裂缝,引起渗漏。例如,在节理发育区或断层破碎带附近,因地基差异沉降而产生裂缝,形成渗流通道。注浆主要用于裂缝和孔隙的封堵,对细微裂隙的封堵效果有限,且注浆扩散范围难以精确控制,导致局部区域灌浆不充分,存在渗漏隐患。与传统防渗漏浆技术相比,(1)复合土工膜和排水板具有良好的柔韧性和延展性,能够适应大坝的变形而不发生开裂和破坏,保证了防渗系统的连续性和有效性。(2)土工合成材料施工工艺简单,可大大缩短施工时间,提高施工效率^[4]。如复合土工膜焊接施工,由于其施工周期长,施工速度快,施工速度快。(3)土工合成材料不仅具有良好的防渗性能,而且具有滤、排、防等多种功能,可有效防治坝体渗漏。如在复合土工膜中设置土工布层,起过滤作用,防止土颗粒堵塞,提高土工膜的抗拉强度;加筋排水板可使渗透水及时排出,降低坝体内部水压,提高坝体稳定性。

4 预期效果与效益分析

4.1预期效果

针对石硤水库水电站工程实际情况,采用复合土工膜构成的连续防渗墙,可有效阻断水的渗入,保证坝体渗流量满足设计要求。加筋排水板可使渗流水及时排出,降低坝体内部水压力,减小渗流场对土体变形和破坏的影响。同时,该技术还具有较强的自适应变形能力,能有效应对地基长期变形,保证防渗系统的长期可靠运行。

4.2效益分析

4.2.1经济效益

在前期投入上,尽管其材料单价较传统粘土夯实、混凝土浇筑等方式提高10%~15%,但模块化生产及标准化施工流程可使现场施工工期缩短30%~50%。以某中型水库为例,常规混凝土防渗墙施工需120天,但采用复合土工膜+锚固沟工艺仅需45天,直接节省机械租赁费用28万元,人工19万元。工期缩短,水库蓄满蓄水功能提前实现,提前三个月投产,发电收入可增加约150万元。复合材料在长期服役条件下的耐久性优势更加明显。设计使用寿命50年以上的HDPE土工膜,其耐酸碱、耐生物腐蚀性性能远优于20~25年(30~35年)传统粘土防渗层(30~35年)和砌石(30~35年)的使用寿命^[5]。某小流域堤防工程资料显示,采用传统方法进行裂缝修补及防渗处理的堤段,平均每10年投资约80万元;但是在过去的20多年中,只进行过2次局部维修,累计费用

不足15万元。按50年寿命计算,每公里可节省约385万元的运营维护成本,加之膜材料可回收性(旧膜再生率70%),进一步降低了环境治理成本。

4.2.2社会效益

本项目的成功实施,不仅能有效地减轻因渗漏造成的洪水灾害,保障下游居民的生命财产安全,而且能保障水库的供水、灌溉和发电等重要功能。这些功能对于区域经济和社会发展都有着十分重要的作用,可以为当地人民提供持续稳定的供水,促进工农业生产,保障电力供应,为地区繁荣稳定打下良好的基础。

4.2.3环境效益

土工合成材料是一种新型的防渗材料,它能有效地减少传统防渗漏技术对混凝土和水泥等建筑材料的依赖,减少能源消耗和环境污染。采用该材料,既能提高施工效率,又能降低工程造价,又能有效控制渗漏。这样的渗漏防治能力,既能减少因渗漏而造成水资源浪费,又能保护与维持人类赖以生存的生态环境。

5 结束语

石硤水库水电站坝体的防渗问题,对整个工程的安全运行和综合效益具有重要意义。针对目前存在的渗流量及传统防渗技术的不足,利用土工合成材料对渗流量进行优化具有重要的现实意义。基于以上研究,本项目提出的复合土工膜+土工排水板联合防渗方案,可大幅提升土石坝防渗性能,降低渗漏风险,同时保证防渗效果。在此基础上,进一步开展复杂地质条件下土工材料的长期服役性能研究,优化其结构和性能,提高其在极端环境下的可靠性。本项目研究成果将为我国水利水电工程建设提供技术支持,具有重要的理论意义与实际应用价值。

[参考文献]

- [1]孟志杰.水利工程中水库堤坝防渗施工技术及其防治方法[C]/2024智慧施工与规划设计学术交流论文集,2024:1-3.
- [2]廖志彬,胡婉婷,安彦平,等.土工膜防渗水库的缺陷渗流量估算方法研究[J].水资源与水工程学报,2024,35(5):130-136.
- [3]黄晓岚.水利工程中水库堤坝防渗施工探究[J].黑龙江科学,2024,15(4):134-137.
- [4]李长勇.水库堤坝劈裂灌浆防渗加固施工技术[J].河南水利与南水北调,2024,53(7):58-59.
- [5]张吉刚.水利工程中水库堤坝防渗施工技术实践应用[J].数字农业与智能农机,2023(2):40-42.

作者简介:

王昕(1972—),男,浙江武义人,本科,工程师,从事源口水库生产技术。