

水利工程综合防渗体系关键技术研究与应用

胡玉杰

内蒙古兴安盟突泉县水利事业发展中心

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6752

[摘要] 渗漏问题属于水利工程施工中重要的技术难题。本文对渗漏形成的过程和主要的影响因素进行了详细的分析,并且提出了灌浆防渗、混凝土防渗墙、土工膜铺设等技术在施工过程中的一些关键点以及质量控制措施。通过对各种防渗方案技术特点及适用范围进行对比分析后得出结论,按照工程地质条件、水文环境、功能要求来综合选择防渗技术的实施方案。研究成果不但为防渗工程设计和施工提供技术参考,也是工程运行维护阶段质量控制和效果评价的依据,对提高水利工程防渗效果、保证工程长期安全运行有重大的理论和实践意义。并且对复合防渗技术的应用前景和智能监测手段发展趋向进行了研究。

[关键词] 水利工程; 防渗施工; 灌浆技术; 质量控制

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Research and application of key technologies for comprehensive anti-seepage system in water conservancy engineering

Yujie Hu

Inner Mongolia Xing'an League Tuquan County Water Conservancy Development Center

[Abstract] Leakage is an important technical problem in the construction of water conservancy and hydropower projects. This article provides a detailed analysis of the process and main influencing factors of leakage formation, and proposes some key points and quality control measures for grouting anti-seepage, concrete anti-seepage walls, geomembrane laying and other technologies in the construction process. After comparing and analyzing the technical characteristics and applicable scope of various anti-seepage schemes, a conclusion is drawn that the implementation scheme of anti-seepage technology should be comprehensively selected based on engineering geological conditions, hydrological environment, and functional requirements. The research results not only provide technical references for the design and construction of anti-seepage engineering, but also serve as the basis for quality control and effect evaluation during the operation and maintenance stage of the project. They have significant theoretical and practical significance for improving the anti-seepage effect of water conservancy and hydropower engineering and ensuring the long-term safe operation of the project. Research on the application prospects of composite anti-seepage technology and the development trend of intelligent monitoring methods.

[Key words] water conservancy and hydropower engineering; Anti-seepage construction; Grouting technology; quality control

在水利工程建设与运行中,渗漏是直接影响工程安全、耐久性与功能效益的核心技术难题。特别是在内蒙古等寒冷地区,频繁的冻融循环进一步加剧了防渗体系失效的风险。本文旨在系统分析渗漏成因,重点探讨灌浆、混凝土防渗墙、土工膜等关键技术的施工要点与质控方法,并结合寒冷地区特殊条件提出针对性措施,以期构建高效、可靠的工程防渗体系提供理论参考与实践依据。

1 水利工程渗漏机理与影响因素

1.1 渗漏形成的基本机理

水利工程渗漏的本质就是水在压力的作用下,经过介质内部的孔隙、裂隙和各种不连续面而发生的迁移。达西定律是用来描述多孔介质里渗流基本规律的公式,它用到的是水力梯度、渗透系数和过流面积。当渗透坡降大于土体临界值时,会引发渗透变形,比如细颗粒流失引起的管涌或者粗颗粒架空引起的流

土,进而加重渗漏,威胁到工程的安全。混凝土结构的渗漏一般从施工缝、变形缝、裂缝、蜂窝麻面等部位开始发展,土石坝渗漏大多发生在坝基接触带、绕坝渗流和坝体内部集中渗流通道处,岩基渗漏主要是由断层、溶蚀管道、风化裂隙等地质构造所控制。

1.2地质条件对防渗的影响

工程场地地质情况属于决定防渗体系设计及效果的关键要素。基岩的裂隙发育程度决定着它的渗透性,密集的节理裂隙会使渗透系数明显增大。覆盖层厚度及物质组成对于坝基渗流起着决定性的作用,透水砂砾层一般需要做深部防渗处理。地下水位以及它的动态变化影响到渗透压力的分布,高水位工况对于防渗的可靠性提出了更高的要求。土体的颗粒级配及密实度决定了它的渗透性和变形性,细粒土的渗透性好但是容易开裂,粗粒土的渗透性差但是稳定性较好。岩溶地区由于溶洞、暗河等不良地质现象的存在,防渗处理比较复杂,需要对地质条件做详细的勘察,给设计提供依据。

1.3施工质量与材料性能的作用

防渗工程实际效果的好坏很大程度上取决于施工质量以及材料性能。混凝土的配合比,尤其是水灰比,决定着它的密实度和抗渗等级;施工中振捣不够、养护不周会造成内部缺陷。灌浆材料的凝结时间、结石率、强度等指标要符合设计要求,保证灌浆体完整有效。土工膜厚度、力学性能和耐久性指标决定着防渗层的长期可靠度。人为操作因素也很重要,施工缝处理不当、缝面清理不干净、结合不好常常是渗漏的途径;温度应力和冻胀作用在寒冷地区容易造成裂缝,破坏防渗连续性。因此严格的控制过程和材料的把控就是保证防渗体系有效性的基本条件。

2 主要防渗施工技术分析

2.1灌浆防渗技术的应用

灌浆防渗技术就是把浆液注入到岩体的裂隙或者土层的空隙里面,让其凝固之后成为防渗帷幕的一种技术方法。帷幕灌浆的工艺是沿坝轴线布设单排或多排灌浆孔,孔距、排距按裂隙发育情况确定。施工采用分序加密法,先灌基本孔序再灌加密孔序。浆液以水泥浆为主,对细裂隙可以采用化学浆液。灌浆压力及注入量为重要控制参数,必须加以控制。另外还有固结灌浆、接触灌浆等工艺,分别用来提高岩体的强度、解决结构结合面的问题。在施工过程中要建立健全的记录体系,包含钻孔资料、压力曲线、浆液消耗量等,为质量评价提供数据支持。

2.2混凝土防渗墙施工要点

混凝土防渗墙是重要竖向防渗构造,适合于深厚覆盖层坝基防渗工程。主要的施工工艺有抓斗法、冲击法、铣槽法等,应根据地质情况和墙体长度而定。施工前必须做试验段施工,确定泥浆配比、成槽速度和混凝土配合比等关键技术参数。护壁泥浆对于保证槽壁的稳定性以及清除钻渣起着重要的作用,它的比重、粘度、含砂率等指标必须严格控制。槽段划分要结合施工能力和混凝土浇筑连续性要求来定,墙体接头处理也是保

证防渗效果的关键部分。混凝土浇筑采用导管法施工,要准确把握导管深和提升速度。最后用钻孔取芯法检测墙体混凝土的强度、完整性及设计厚度等质量指标。

2.3土工膜防渗层铺设技术

土工膜属于一种重要的柔性防渗材料,在水利工程的防渗方面有明显的优势,主要表现在施工速度快、适应地基变形能力大的特点上^[1]。材料的选择要根据工程的具体环境条件来确定,聚乙烯土工膜有很好的耐老化性,聚氯乙烯土工膜则有较好的柔韧性。施工前必须对基面做严格的处理,彻底清除尖锐的物体,并保证表面平整密实。铺设时应按水流方向铺设,膜片的连接用热熔或者热风焊接的方法,焊缝的质量要经过充气压力测试和拉伸试验验收。铺设完毕后应及时设置土料或者混凝土保护层,并且要建立可靠的锚固系统,保证防渗体系的完整。施工的整个过程要特别注意环境温度对焊接质量的影响,在适宜温度下开展工作。

2.4复合防渗技术的综合运用

在复杂的工程地质条件下,单一的防渗措施很难达到理想的效果,一般都会采用多种技术相互配合的复合防渗方案。典型的组合形式有:垂直防渗结构和水平铺盖层相结合形成立体防护体系;灌浆帷幕和刚性防渗墙相连接来处理结构薄弱处;柔性土工膜和黏性土层复合发挥材料的协同作用等。完整的防渗体系要设置好的排水系统以减小渗透压力,完善的监测系统用来监视渗动的动态变化。复合方案的设计要对工程地质特征、防渗等级要求和经济技术条件等进行综合分析,用多方案比较论证的方法来确定最佳的技术组合。

3 防渗施工质量控制与检测

3.1施工过程质量控制措施

建立全过程的质量管理体系,是保证防渗效果的前提。施工前的技术交底要明确质量标准、操作规程,使施工人员充分了解设计意图和技术要求。原材料进场检验严格控制,水泥、砂石料、外加剂等材料必须有质量证明文件,并按要求进行抽检。施工配合比的确定要经过试验室试配,符合设计强度和工作性能的要求后才能用于正式施工^[2]。对关键工序设立质量控制点,并指派专人进行旁站监督,及时发现并纠正质量偏差。施工记录的完整性、准确性关系到质量追溯,每一道工序完成之后必须如实记录施工参数及检测数据。隐蔽工程在覆盖之前必须经过监理工程师的检查验收,合格后才能进入下一道工序。质量缺陷处理要查明原因,制定出相应的补救措施,并报批之后实施并验证其效果。施工环境条件的控制也很重要,雨天、低温等不适宜的情况需要采取防护措施或者停止施工。

3.2防渗效果检测方法

防渗工程完成后要对整个系统做系统的检测评价,来检验它的质量。灌浆质量用压水试验来检测,将检查孔内的水压控制在一定的范围内,根据透水率的大小来判定灌浆的效果,透水率降到设计值以下就合格了^[3]。防渗墙检测包含钻孔取芯与物探两种,钻孔取芯检验混凝土强度、均匀性及墙体连续性,物探用

声波或者电法探测墙体缺陷。土工膜铺设质量检测包含焊缝检验与渗漏检测,焊缝用真空罩或者充气法来检查气密性,整体防渗性能可以经由蓄水试验来验证。渗流量观测是用来评价防渗效果的一种方法,在运行期间对渗流量进行定期测量,和设计允许值相比较,超标时找出原因并处理。渗压监测反映的是渗流场的分布,用埋设测压管或者渗压计的方法来观测不同的位置的孔隙水压力,从而判断渗流的状态是否正常。外部检查时会发现表面的缺陷,及时对防渗结构裂缝、渗水、变形等异常情况进行修补。检测结果应出具完整的报告,对发现的问题提出处理意见,为工程验收提供依据。

3.3 常见质量问题及处理

灌浆过程中出现的冒浆、串浆属于常见现象,冒浆的原因有孔口段封堵不严或者裂隙发育过度,处理办法就是加强封口或者调节灌浆压力,串浆表示相邻孔段连通,需要改变灌浆顺序或者采用间隔灌浆。防渗墙夹层会造成防渗效果不好,因为槽内泥浆性能不好或者浇筑中断的时间过长,防治办法就是严格控制泥浆指标,合理安排施工进度。土工膜焊缝开裂是由于焊接温度控制不当或者焊接速度过快,返工时把缺陷段切除重新焊接,并扩大检查范围。混凝土裂缝的处理根据裂缝宽度和深度来决定,表面裂缝用表面封闭法处理,贯穿裂缝需要用灌浆修补法处理,严重的裂缝要进行加固处理。渗漏发生之后的应急处理要迅速找到渗漏部位,采用临时堵漏措施控制险情,然后制订出永久性的处理方案^[4]。质量事故的处理要按照程序,上报主管部门,组织专家论证,保证处理方案的安全性、有效性。

4 寒冷地区防渗施工特殊技术

4.1 冻融影响下的防渗设计

内蒙古地区冬季寒冷,冻融循环对防渗结构的影响较大。水分在孔隙中冻结膨胀产生冻胀力,容易造成材料开裂,反复冻融加快了结构的劣化。防渗设计要满足抗冻的要求,混凝土的配合比应为抗冻等级不小于F200的,掺入引气剂改善孔隙结构,防渗层埋深应低于冻结线,排水设施必须设置保温层或者加深埋设以防止冻胀。土工膜要选用低温性能好的材料,尽量避免寒冷季节施工。护坡结构应采用抗冻材料,并设置保温层,保持防渗体系在冻融环境中长时间的稳定。

4.2 冬季施工技术措施

水利工程建设周期受季节的影响,有些工程需要在冬季施工,必须采取专项的技术措施。混凝土冬季防渗施工要保证入模温度不小于5℃,可以通过加热水和骨料提升到机内的温度、运输过程中采取保温措施来实现。浇筑完成后要及时覆盖保温材料或者搭建暖棚,必要时使用蒸汽养护,保证混凝土在受冻前达到临界强度。灌浆施工要加防冻剂防止浆液结冰,对管道做保温

处理。土方工程中遇有冻土时,必须用机械或爆破的方法进行处理,回填前必须清除冰雪和冻块。焊接作业应在遮蔽的环境中,根据温度调节焊接参数。现场应设置气象检测仪器,遇有极端天气时应暂停室外作业。

4.3 运行期冻害防治

水利工程运行期的冻害防治属于一项长期的、系统的工程。冬季可以采用放空水库的方法来防止冰层对坝面结构造成破坏,但是需要考虑对防渗体系的影响,并且要制定出科学的调度方案。对于需要冬季蓄水的工程,要加强对冰情的监测,在冰盖厚度或者冰压力超过设计允许值的时候,要及时进行破冰作业^[5]。渗水处如果有冰锥现象,就会使渗漏通道变大,在此之前需要找到并处理好渗漏点。背水坡排水沟要保持通畅,必要时设置融冰装置。混凝土表面的冻融剥蚀可以采用聚合物砂浆进行修补。应定期对土工膜的老化情况做检查,并及时更换有破损的地方。需要建立冬季专项巡查制度,主要对防渗结构的工作状态进行检查,一旦发现异常立即分析处理,保证工程的安全过冬。

5 结束语

水利工程防渗施工质量的好坏直接关系到水利工程长期的安全和效益。通过对渗漏机理以及主要的影响因素进行分析,对灌浆、混凝土防渗墙、土工膜等技术的关键施工要点和质量控制措施进行了系统的论述。经过研究可知,防渗方案的选择要依照工程地质、水文条件和功能要求来进行,并且需要创建起完整的质量控制与检测系统。寒冷地区还需要对冻融作用做专项设计和施工。该研究成果可以给类似的工程防渗设计和施工提供技术参考,对提高工程的耐久性、保证运行的安全具有重要的实践意义。未来复合防渗技术和智能监测手段的结合会成为主要的方向。

【参考文献】

- [1]黄新千.水利水电建筑工程中防渗墙施工技术的优化与应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(14):106-108.
- [2]朱伯强,周钰霖,薛珍珠.水利建筑工程施工中防渗技术研究[J].水上安全,2025,(09):176-178.
- [3]钟林.水利工程中水工建筑的防渗透技术分析[J].水上安全,2025,(04):133-135.
- [4]秦蒙.水利建筑工程施工中防渗技术探讨[J].江西建材,2021,(06):102+104.
- [5]秦根.水利水电工程建筑中混凝土防渗墙施工技术的运用[J].居舍,2021,(18):69-70.

作者简介:

胡玉杰(1978--),女,汉族,内蒙古兴安盟突泉县人,本科,中级职称,研究方向:水利水电建筑工程。