

水利工程中堤防防渗施工技术的应用与探讨

王竞葆

内蒙古自治区黄河三盛公水利枢纽管理中心 015200

DOI:10.32629/ems.v8i6.20529

[摘 要] 随着我国水利工程施工技术的不断提升和规模的持续扩大,对水利工程的堤防防渗技术也提出了严格要求。本文基于“上堵下排”的防渗加固基本原则,系统探讨了堤防防渗施工的核心技术类型,包括复合土工膜防渗法、高压喷射注浆法、垂直防渗墙技术、劈裂灌浆法等关键工艺的应用原理与施工要点;从材料选择、参数控制、流程优化三个维度分析了施工质量控制体系;结合行业标准与技术发展趋势,提出了智能化监测、生态化改良、新材料研发的优化路径。研究表明,堤防防渗施工需根据堤身土质、堤基地质特性及地理环境进行技术选型,通过标准化施工与全过程质量管控实现防渗效能最大化,为水利工程堤防建设的规范化、高效化提供技术参考。

[关键词] 堤防工程; 防渗施工技术; 质量控制; 技术优化; 水利防洪

一、引言

洪涝灾害是我国危害最大、造成损失最严重的自然灾害。河道堤防是我国防洪工程体系的重要组成部分,因此对其进行防控成为了水利工程领域的关键课题。渗透破坏的本质实际上就是堤身或者堤基在水头差的作用之下所产生的渗流运动。当渗透比降超过了土体的临界值之时,就很容易引发诸如管涌之类的灾害,进而对堤防的安全构成威胁。故而,研发并应用高效可靠的堤防防渗施工技术意义重大,借助科学的选型、标准化的施工来阻断渗流通道、延长渗径并且降低渗透比降,这对于提高堤防的抗渗能力、耐久性有着重要作用,是保障流域防洪安全、区域经济社会稳定发展的核心技术支撑。

二、堤防防渗施工核心技术类型及应用原理

2.1 堤身防渗技术体系

堤身防渗技术把“堵截渗流入口、强化堤身抗渗能力”当作核心内容,要依据堤身断面尺寸、土质条件、材料可得性来进行选型。黏土斜墙法是在临水侧堤坡铺填分层压实的

黏性土从而形成防渗层,铺填厚度不少于 2m,适用于堤身断面较小并且临水侧有充足滩地的场景,其核心原理是借助黏性土的低渗透性阻断表层渗流,让渗径长度得到延长。复合土工膜防渗法依靠“土工织物 + 土工膜”这种复合结构所具备的优势,成为堤身防渗方面的主流技术之一。在施工的时候,要先把坡面的草根石子清除掉,清除深度不能小于 30 厘米,之后铺设 10 厘米厚的细砂垫层,然后再铺设复合土工膜,在膜上覆盖中细砂保护层并且布设护坡工程。这项技术的渗透系数非常低,抗拉强度能够达到 $200 - 1500\text{g/m}^2$,适用于黏土缺乏或者滩地狭窄的堤段,要是和堤基垂直防渗墙相衔接,就能够形成全域防渗模式。垂直铺塑法借助开槽机沿着堤轴线开槽,在槽内铺设复合土工膜之后用黏土回填,要求膜体底部深入到堤基弱透水层,兼顾堤身、堤基的防渗工作,它的关键之处在于保证土工膜的厚度与强度,防止在施工过程中出现撕裂或者破损的情况。劈裂灌浆法是依照堤防应力分布规律而实施的一种方法。

2.2 堤基防渗技术体系

堤基防渗主要关注控制深层渗流,降低承压水头、出逸比降,常见技术有帷幕灌浆、垂直防渗墙、排渗井、减压沟等。帷幕灌浆是在迎水侧堤基钻孔并进行压力注浆,以此堵塞深层渗漏通道,适用于透水层较浅的堤基,灌浆材料主要是普通硅酸盐水泥,要依据地层特性来调整浆液水灰比(0.8-1.5)和注浆压力。垂直防渗墙技术是通过成槽、浇筑或者铺设防渗材料形成连续垂直防渗结构体,槽宽与深度依据堤基渗透特性确定,常用材料有混凝土、土工膜、水泥土等,其突出优势是防渗深度大、整体性强,能够有效阻断深层透水层的渗流。排渗井法适用于覆盖层较厚的堤基,通过在背水侧钻孔降低承压水头,削减大部分渗透压力,定期用潜水泵抽注水双向洗井可延长使用寿命,减压沟法则适用于覆盖层较薄的场景,需要深入透水层以下1m,填充下粗上细的砂石料,优先采用暗沟形式以免堵塞。加盖重与加铺盖技术作为辅助防渗手段,分别是在背水侧增加盖重削减出流水头、在临水侧铺设黏土铺盖延长渗径,加铺盖长度不应小于100m,加盖重土料透水性需不小于原地面土料,适用于特定地质条件下的堤基防渗补强。

2.3 高压喷射注浆防渗技术

高压喷射注浆技术有着适用范围广泛、施工便捷的优点,所以在堤身与堤基防渗方面都有大量应用。它的原理是借助高压射流(压力在20-40MPa之间)冲击破坏土体,从而让水泥浆液和土体混合凝固,最终形成固结体。依据喷射介质与结构的差异,可分为单管法、二重管法、三重管法、双高压旋喷工法(RJP)。单管法的桩径是0.5-0.9m,二重管法(也就是浆气复合射流)的桩径为0.8-1.5m,三重管法(水、气、浆三联射流)的桩径是1.0-2.0m,RJP工法是通过高压水先进行切割、高压浆再进行二次破碎,其加固深度与直径更大,而且均匀性更佳。施工参数要严格依照GB51004-2015

规范来执行。

三、堤防防渗施工质量控制体系

3.1 原材料质量控制

原材料是防渗工程的根基所在,它的性能会直接对防渗效果、工程耐久性产生决定作用。防渗材料必须要符合GB/T50600-2020《渠道防渗衬砌工程技术标准》的相关要求,复合土工膜应当具备诸如低渗透系数、高强度、抗老化、抗腐蚀等一系列特性,在进场之前需要对渗透系数、抗拉强度、撕裂强度等指标展开检测,还要添加防老化剂以便能够适应极端的高低温环境,水泥适宜采用普通硅酸盐水泥,外加剂与掺合料的用量需要借助试验来加以确定,水泥浆液的水灰比要严格控制在0.8-1.5这个范围之内,黏性土、砂石料等天然材料需要检测颗粒级配、压实度、渗透系数,黏土铺填的压实度不能低于设计标准。

3.2 施工参数精准控制

施工参数标准化对于保障防渗工程质量而言至关重要,不同技术类型应当制定与之相应的参数控制标准。在高压喷射注浆施工里,单管法、二重管法的水泥浆压力要控制于20至30MPa,三重管法的高压水射流压力为20至40MPa,气流压力是0.6至0.8MPa,提高速度为0.05至0.25m/min,依据试桩结果作动态调整,复喷措施能够用来扩大加固范围或者提高强度,复合土工膜铺设时要控制搭接宽度,采用热焊或粘接工艺以保证接缝密封性,防止出现虚焊、漏焊,铺设期间要避免膜体拉伸过度或者产生褶皱,垂直防渗墙施工过程中,钻机定位偏差不得超过50mm,槽宽与槽深需契合设计要求,墙体垂直度偏差控制在允许范围之内,浇筑或回填材料需要连续作业,防止出现断墙或者结合不良,劈裂灌浆的孔距、灌浆压力需依照堤身应力分布来确定,避免压力过大致使堤身开裂。

3.3 施工过程与竣工检测

施工过程检测要对整个流程加以贯穿,着重监控关键工序的质量。复合土工膜铺设完成后要进行充气试验来检测接缝的密封性,充气压力设定在 0.2–0.3MPa 之间,持续保持 30min 且压降不明显即判定为合格,在高压喷射注浆过程中,需要监测注浆压力、流量、提高速度等参数,同时记录冒浆量和冒浆浓度,并及时调整施工参数,垂直防渗墙施工的时候,运用超声波检测墙体的完整性与连续性,保证不存在孔洞、裂缝等缺陷。竣工后的检测涵盖渗透系数监测、防渗体完整性检测、稳定性验算,利用渗水试验、钻孔压水试验等方式测定渗透系数,为了其符合设计防渗等级的标准,借助数值模拟或者现场观测来验证防渗模式的长期稳定性,确保在设计水头作用下不会有渗透破坏的风险。

四、堤防防渗施工技术优化与发展趋势

4.1 智能化监测与管控技术

伴随物联网跟数字化技术的不断发展,堤防防渗施工逐步朝着智能化的方向转变。在防渗体、堤身、堤基布置渗透压力传感器、位移传感器等物联网设备,再结合无人机巡检系统,能够达成对渗流场、应力应变状态的实时动态监测,及时对异常渗流或者结构变形发出预警,数字孪生技术的运用能够建立堤防工程虚拟映射模型,模拟不同工况下的防渗效能,为施工参数优化、险情处置提供科学的依据,智能化施工设备的研发和应用,像自动化土工膜焊接机、精准灌浆控制系统等,能够减少人为操作误差,提高施工质量的稳定性和可靠性。

4.2 新材料研发与应用拓展

创新新材料对于提高防渗技术的效能而言是关键的驱动力。高性能复合土工膜的研发重点放在加筋改性、功能

拓展方面,借助嵌入锦纶丝之类的增强材料来增强抗拉强度、抗穿刺能力,添加特殊涂层以改进耐酸碱、抗老化性能,诸如速凝浆液、高渗透改性水泥浆、化学复合浆液等新型灌浆材料,能够适应复杂的地质条件,可提高灌浆结石体的强度、防渗性能,纳米材料与防渗材料进行复合应用,有希望进一步降低渗透系数,提高材料的耐久性、抗污染能力,从而拓展堤防防渗技术在极端环境下的应用场景。

五、结论

水利工程堤防防渗施工质量事关人民的生命财产安全,堤防防渗施工技术的应用、优化对于保障水利工程防洪安全而言非常关键,要依据工程地质和环境要求来科学选择类型,借助标准化施工、全过程质量控制达成防渗效能的最大化。复合土工膜防渗法、高压喷射注浆法、垂直防渗墙技术等核心工艺都有各自适用的场景,应当遵循“上堵下排”的原则,结合堤身、堤基的渗透特性建立协同防渗模式。施工质量控制贯穿于原材料检验、施工参数管控、过程检测与竣工验收的整个流程,严格依照相关行业标准,保证防渗体完整、连续且耐久。未来,堤防防渗施工技术会朝着智能化监测、生态化改良、新材料研发的方向发展,通过技术创新、集成应用,提高工程防渗的可靠性、生态兼容性、可持续性,为水利工程堤防建设的高质量发展给予支撑。

[参考文献]

- [1]李明杰,王军.复合土工膜在堤防防渗工程中的应用与性能优化[J].水利水电技术,2021,52(8):123–130.
- [2]张国栋,刘敏.高压喷射注浆技术在堤防防渗加固中的参数优化研究[J].人民黄河,2022,44(3):98–103.
- [3]李志强,赵伟.水利工程堤防防渗技术的创新与应用进展[J].节水灌溉,2024,(5):78–84.