

高喷防渗技术在水利工程中的运用

李雅然*

河北省水务中心, 河北 石家庄 050000

摘 要： 本文首先介绍了高喷防渗技术应用现状及其工作原理，从施工准备、施工设备与施工程序等环节探讨了高喷防渗技术在水利工程中的应用，最后结合相关实践经验，分别从准确确定高喷防渗施工技术参数等方面，提出了水利工程高喷防渗施工技术质量控制策略。

关 键 词： 水利工程；高喷防渗技术；施工方法；质量控制

Application of High Spray Seepage Prevention Technology in Water Conservancy Projects

Li Yaran*

Hebei Water Affairs Center, Shijiazhuang, Hebei 050000

Abstract： This paper first introduces the application status and working principle of high-spray anti-seepage technology, discusses the application of high-spray anti-seepage technology in water conservancy projects from the aspects of construction preparation, construction equipment and construction procedures, and finally, combined with relevant practical experience, puts forward the quality control strategy of high-spray anti-seepage construction technology from the aspects of accurately determining the technical parameters of high-spray anti-seepage construction.

Key words： water conservancy project; high spray anti-seepage technology; construction method; quality control

引言：

随着水利基础设施建设事业的快速发展，水利工程对施工技术的专业性与系统性提出了更高要求，迫切需要优化施工工艺，强化施工技术管理。当前形势下，有必要立足水利工程项目特点，创新高喷防渗技术工艺方法，提升施工效能，满足水利工程建设要求。

一、高喷防渗技术应用现状

高喷防渗技术是现代水利工程防渗处理中的常用方法，旨在利用高压喷射装置，在破坏作业对象原有土体结构构造状态的基础上，将提前预制完成的混合浆液等材料注入其中，当浆液材料固化成型后，形成具有特定强度的墙体结构，起到防渗作用。根据高喷凝结体运动轨迹不同，水利工程高喷防渗施工可分为旋喷、定喷和摆喷等多种作业方式^[1]。近年来，国家相关部门高度重视高喷防渗技术的完善与创新，在细化完善施工工艺种类，丰富施工质量检验验收标准等方面制定并实施了诸多宏观政策规定，为新时期全面优化提升高喷防渗技术价值效用提供了有效遵循。同时，广大工程技术人员同样在优化校核高喷防渗施工技术参数，提高施工作业过程灵活性与多样性等方面进行了诸多卓有成效的研究与探索，初步构建形成了系统成熟的施工技术规范，成效显著。尽管如此，受限于诸多主客观要素，当前水利工程高

喷防渗技术应用水平尚有较大提升空间，需立足水利工程项目实际，进一步总结技术经验，增强施工质效。

二、高喷防渗技术的工作原理

（一）高压喷射流的构造

现代水利工程对防渗性能具有较高要求，应根据施工作业规范，适当加大喷射流的切割范围，以获取较大直径的凝结体，增强防渗效果。高压喷射流的主要构造分初期区域、主要区域和終了区域等，喷嘴在特定角度下首先对初期区域进行喷射，并在完成空气能量交换后，缩小喷射核，增大喷射宽度，进入主要区域。处于主要区域的喷射流流速降低，对施工作业对象的破坏压力持续减弱，最终在本区域内实现喷射流和土层的搅拌混合。

（二）气体保护层对喷射流的保护作用

研究表明，在无气体保护层的状态下，喷射流的形态相对分

* 作者简介：李雅然（1997.8.28），性别：女，民族：汉，籍贯：衡水冀州区，供职单位：河北省水务中心，职称：助工，学历：本科，研究方向：水利水电工程。

散,通常与周围静止的空气形成直接接触,容易在空气摩擦阻力影响下形成较大喷射速度差,不利于取得最优作业效果。而在有气体保护层情况下,则可通过其阻断保护作用,避免空气摩擦阻力对高压喷射流强度产生的影响,有助于提高喷射作业稳定性,起到更好的切割效果^[2]。因此,高喷防渗施工应视具体作业要求,优化设置保护层,抑制喷射流过度横向发散,保证喷射核长度。

（三）高压喷射流对土体的破坏机理

在特定压力下形成的高压喷射流具有较强射动压力,可对土体结构形成外部应力作用,射流速度和流量系数越高,则喷射流的射动压力越高,对土体结构的破坏强度也越大。喷射流可在内外部诸多要素影响下形成搅拌效应,使喷射流流速或压力出现协同振动现象,这在土层远近或深浅不一等差异化施工作业环境中更具适用性。高压喷射流介质压力会随土层环境变化而形成不同的疲劳应力,通过衍生出的惯性力使土层受到破坏,直至应力消失。

（四）高压喷射的注浆机理

高压喷射注浆的过程即将浆液介质转入工程土体结构的过程,受工作条件、水位地质和施工设备等多重因素影响。在切冲掺搅作用下,被外部压力切割下来的土体颗粒可与浆液进行充分混合,并通过升扬置换作用、充填挤压作用和渗透凝结作用等,形成渗透凝结层,凝结固化后取得水利工程防渗处理效果。在上述过程中,应注重水泥土固结体的防渗性能,根据工程环境土层颗粒级配等条件,优化设定各项技术参数,以充分压缩填充其天然孔隙。

三、高喷防渗技术在水利工程中的应用分析

（一）施工准备

施工准备环节是高喷防渗施工的首要环节,应在正式施工前全面收集包括工程勘察、施工设计任务书、结构设计图等在内的工程资料,详细掌握设计意图,提高施工作业针对性。对水利工程施工现场进行调查,了解作业范围内的水电路路与建筑物分布等状态,形成完整有序的施工作业方案,编写施工组织设计,明确各项作业步骤的具体技术要求,并制定施工总进度计划。对高压喷射作业人员进行必要培训,使其熟练掌握高喷防渗施工各项机具的操作使用方法,颁发上岗证^[3]。调试各项施工设备,优化其工况状态,主要关键设备应配有备用设备,避免施工设备故障而导致的作业中断。

（二）施工设备

高压防渗施工所需用到的施工设备种类较多,应按照技术工艺要求进行灵活配备。其中,造孔系统通常由钻机、钻头、钻具和水管等构成,可为高压喷射作业提供基础支持,准确定位喷射区域与范围,保持钻孔斜率满足要求。供水系统和供气系统为高压喷射施工分别提供清水和压缩空气,保持喷射作业连贯性^[4]。供浆系统则可将事先预制完成的浆液输送给喷射装置,通常由泥浆搅拌机、灌浆泵、储浆桶和输浆管等构成。喷射装置是高喷防

渗施工的重要装置,为浆液喷射提供稳定载体,应视具体作业环境优化调整流速系数和流量系数。

（三）施工程序和灌浆工艺

1. 施工程序

在钻孔环节,使用专用钻机对准孔位,对孔位稳定施加额外应力,在达到设计底高程后,停止操作。使用水平尺等控制钻孔斜率,将孔位偏差控制在1—2cm范围内。在下喷射管环节,采用“边下管、边送水”作业方法,避免喷嘴堵塞,并将喷嘴对准喷射方向。在喷射灌浆环节,则需严格设定喷射强度和喷射面,控制单位时间内喷射浆液用量,防止单次作业喷射量过多或过少而影响防渗效果。强化喷射灌浆过程检查,执行提升、旋转、摆动速度等要求。喷射完成后,及时对各个喷射管路进行清洗,清除附着其上的超重残渣。为防止固结体应力变化而出现的凹陷,需向孔内充填灌浆。

2. 灌浆工艺

根据水利工程项目现场实际,保持自上而下的喷射灌浆程序,若单次灌浆无法形成预期的固结体,则可进行二次灌浆处理,将喷射灌浆范围的搭接跨度控制在100mm以上。对于天然地质相对复杂的情况,则可根据土层密实度、含水量和富水状态等条件,合理调整优化喷射嘴角度、提升速度和旋转速度等参数,以排除潜在因素扰动影响,完成长桩高压喷射。在不改变原有技术参数的前提下,对灌浆作业面进行复喷,以此增加固结体荷载强度和直径。若灌浆流量变化明显或压力失稳失衡,容易出现冒浆现象,应及时检查管路密封性,堵塞空洞或通道,或采用速凝浆液,适当提高喷射压力^[5]。

（四）高压喷射防渗施工要点

1. 工程地质环境研究和现场实验

水利工程地质环境是高喷防渗施工作业面临的主要客观条件,其状态优劣与喷射防渗施工效果具有直接关联,应在施工实践中进行必要现场实验。根据调查获取到的地质、地形和水文等数据资料,设定符合工程实际的高压喷射防渗作业流程,针对可能出现的各类异常状态采取相应处理方案,改进施工作业布置形式。充分利用有利工程地质环境,可将前序孔作为地质先导孔,监测灌浆施工压力参数和提升速度等,通过监测到的技术参数修正施工工艺。高压喷射各类介质具有析水作用,在不同温度环境下具有不同收缩程度,同样应通过现场实验控制旋喷凹穴深度。

2. 动水条件下施工

动水环境对高压喷射防渗技术的干扰作用较强,其渗径较短,渗流参数变化明显,应重点防止灌浆浆液被冲蚀问题,确保固结效果。根据动水强度,调整高喷防渗灌浆工艺流程,或提高浆液浓度,降低喷射提升速度。在灌浆材料中掺入特定比例的速凝剂,延缓高喷防渗浆液固结过程,防止出现管内凝结现象,使所形成的桩体混合物具有技术强度。采用分序灌浆作业法,间隔一个孔或多个孔进行循序灌浆作业。将高喷防渗施工中形成的固结体进行充分连接,灵活采用切割式连接方式或焊接式连接方式等,形成连续性、紧密性的防渗结构^[6]。

四、水利工程高喷防渗施工技术质量控制探讨

（一）准确确定高喷防渗施工技术参数

不同技术参数对高喷防渗施工效果具有不同影响，需根据施工环境与技术标准等，准确校核各项施工技术参数^[7]。在喷射压力确定中，参数数值越大，所形成的喷射强度越高，单位时间内的浆液喷射量相应更高，对工程土层目标对象的破坏力越大，通常将低压水泥浆的灌注压力控制在1.0MPa—2.0MPa之间为宜。高喷防渗作业中的喷嘴移动方式多种多样，不同移动方式在适用条件、喷射效果与喷射速度等方面存在显著差异，应视工程需要，予以灵活择用。在粘性土或砂土环境下，可根据单管法、二重管法和三重管法工艺要求，将固结体直径保持在0.4—0.2m之间。

（二）优化喷射注浆设计及工程布置

在高喷防渗作业施工前，应根据复合地基承载力特征值、面积置换率和桩体截面积等参数，计算水利工程所处环境的地基承载力，采用单桩荷载试验方式对校核桩身强度折减系数，以此为参考设定符合实际的高喷防渗工艺。事先做好水利工程地基处理，将高压喷射作业范围内可能影响施工进程的障碍物进行全部清理，同时保持工程结构荷载和承台土地自重。若工程地质松软，则可对地基进行必要加固，或加密布孔，提高钻孔数量，优化灌浆孔分布状态。细化工程布置与现场管理，保持对高喷防渗施工过程的动态管理，保持作业连贯^[8]。

（三）工程质量检查与施工过程中参数检测

影响水利工程高喷防渗施工质量的因素多种多样，应在施工中注重质量检查与施工参数检测，以确保施工质量和效率。在高压喷射注浆施工技术方案形成后，应根据水利工程项目实际，对相关作业内容进行现场试验或试验性施工，合理设定喷射施工作业范围，提升固结体刚度条件和强度条件。核定注浆孔具体位置及喷射注浆起始标高，实行严格的工序控制，结合试验性施工结果调整优化浆液配合比与水灰比等。将高压水压力、高压气压力、高压气流量、浆液压力和浆液密度等作为重点参数进行动态

检测，满足施工现场作业要求。

（四）增强高压喷射防渗固结体的耐久性

耐久性指标是评判水利工程高喷防渗施工质量的重要指标，关系到高压喷射注浆技术的应用效益^[9]。在防渗效果方面，应按照高喷防渗技术的适用条件，选择具有代表性的评价指标，对固结体耐久性进行综合评价与分析，查找其在施工作业中的相对不足，并将耐久性评价结果作为调整优化高喷防渗施工工艺的参考。在使用年限方面，应选择符合水利工程技术要求的原材料，并适量添加膨润土、粉煤灰或聚合物等，提高防渗固结体渗透系数。根据高喷防渗固结体的侵蚀机理，增大防渗固结体厚度。

（五）施工中常见事故及特殊情况处理

固结体不完整不垂直、固结体强度不均、喷射流压力较低和喷射深层长桩等均是高喷防渗施工中的常见问题，若不及时采取专业技术处置，则势必影响最终施工成果。现代自动化技术与信息化技术的创新发展，为高喷防渗施工过程控制提供了更为灵活多变的工具载体，使传统技术条件下难以取得的施工过程控制效果更具实现可能^[10]。对此，可在高喷施工作业面的特定区域配置自动监测装置，以动态化的方式连续采集高喷施工作业数据信息，绘制形成动态强度监测曲线，准确辨识异常信息，以及时调整高压喷射作业方式。

五、结语

综上所述，受项目特点、施工设计与过程管理等要素影响，当前水利工程高喷防渗施工实践中依然存在诸多短板，不利于取得最优施工效果。对此，技术人员应摒弃传统陈旧的施工作业思维观念，宏观审视高喷防渗技术的核心内涵与应用原理，精准把握高喷防渗技术的各项关键施工环节，拓展丰富施工质量控制方法，积极有效做好施工过程监测，优化工程布置，准确校验各项施工技术参数，为全面实现高喷防渗技术价值奠定基础，为促进水利工程建设事业高质量发展贡献力量。

参考文献

- [1] 苏李刚.高喷灌浆技术在水利工程基础防渗处理中的应用[J].工程建设与设计(电子版),2020(11):94-95,98.
- [2] 万庆玲.高压喷射灌浆在水利工程防渗处理中的应用分析——以江西省五河及潘阳湖重点圩堤工程为例[J].水利建设与管理,2015,35(10):14-16.
- [3] 朱亮亮.高喷防渗墙的工艺及其与钢板桩结合防渗的应用[J].广东土木与建筑,2022,29(09):106-109.
- [4] 陈功民.水利工程中堤坝灌浆防渗加固技术[J].河南科技,2010,(10).
- [5] 马智武.水利工程堤防防渗施工技术探究[J].四川水泥,2021(09):219-220.
- [6] 张涵钊.高喷灌浆技术在水利工程建设及基础防渗处理中应用研究[J].中国新技术新产品,2023(13):115-116.
- [7] 王安亮,马凤超.混凝土防渗墙在水利工程施工中常见问题的原因分析[J].农村实用科技信息,2011,(1).
- [8] 王丽.防渗技术在水利工程施工中的应用研究[J].工程技术研究,2021,6(20):261-262.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2021.20.116.
- [9] 任长远,李德智,班玉刚.水利工程防渗控制措施[J].农村实用科技信息,2010,(5).
- [10] 林其池.小议高喷灌浆技术在水利工程基础防渗处理中的应用[J].现代经济信息,2022(22):328,330.