

水利水电施工中的高压喷射灌浆技术

赵培君

乐亭县水利局水利物资供应站 河北 唐山 063600

摘要：在水利水电施工中，高压喷射灌浆技术凭借独特优势成为地基处理的关键手段。该技术借助高压设备将浆液喷射至土体，实现土体加固与防渗。施工涵盖施工准备、钻孔、喷射灌浆及质量检测验收等流程。通过优化施工参数、强化过程监控、严格质量检测与缺陷修复等质量控制措施，可保障施工质量。其能增强地基承载力、提高防渗性能，适应复杂地质条件，在堤防加固、坝体防渗等工程中应用广泛，对保障水利水电工程安全稳定运行意义重大。

关键词：水利水电施工；高压喷射灌浆技术；防渗处理

1 高压喷射灌浆技术

高压喷射灌浆技术是一种广泛应用于地基处理与防渗加固工程领域的先进施工技术。该技术主要借助高压设备，将水泥浆液或其他化学浆液以极高的压力（通常可达数十兆帕）通过特制喷嘴喷射至地下土层中。在喷射过程中，高速浆液对周围土体产生强烈的冲击、切割和搅拌作用，使土体结构遭到破坏，并与浆液充分混合，形成具有一定强度和抗渗性能的固结体。这些固结体相互搭接、咬合，能够有效提高地基承载力，减少地基沉降，增强土体的整体性和稳定性，同时起到良好的防渗堵漏效果。高压喷射灌浆技术可根据工程需求和地质条件，灵活采用单管法、双管法、三管法等不同施工工艺，适用于多种土质条件，如砂土、粉土、黏性土、淤泥质土等，在水利水电、建筑、交通、矿山等众多领域都有着广泛的应用。

2 高压喷射灌浆技术在水利水电施工中的显著优势

2.1 强大的填充与加固能力

在水利水电工程施工中，工程基础往往面临着复杂的地质条件，如软弱土层、砂砾石层等，这些土层承载力低、稳定性差，难以满足工程结构对地基的要求。高压喷射出的浆液以极高的速度冲击土体，能够将土体中的孔隙和裂隙充分填充，使原本松散的土体变得密实^[1]。在喷射过程中，浆液与土体发生一系列物理化学反应，形成具有较高强度和稳定性的固结体。这些固结体不仅自身具有较高的承载能力，还能将周围土体胶结成一个整体，大大提高了地基的整体强度和稳定性。

2.2 高度可控的灌浆质量

高压喷射灌浆技术具有高度可控的灌浆质量优势，能够确保灌浆效果满足工程设计要求。在施工过程中，施工人员可以通过调整喷射压力、浆液流量、喷嘴移动速度等参数，精确控制浆液的喷射范围和固结体的形

状、尺寸及强度。先进的监测设备可以实时反馈灌浆过程中的各项参数，使施工人员能够及时发现并解决灌浆质量问题。高压喷射灌浆所使用的浆液配比可以根据工程需要进行精确调整，以满足不同的强度和抗渗要求。通过严格的质量控制措施，能够保证每个灌浆孔的灌浆质量都符合标准，从而提高整个工程的灌浆质量。

2.3 高效的施工速度与成本效益

水利水电工程通常具有工期紧、任务重的特点，因此施工速度和成本效益是工程实施过程中需要重点考虑的因素。高压喷射灌浆技术在这方面表现出显著优势。高压喷射灌浆设备具有较高的工作效率，能够在短时间内完成大量的灌浆作业。其施工过程相对简单，不需要复杂的施工工艺和大量的模板支撑，减少了施工准备时间和人力投入。该技术对施工场地的要求较低，可以在较小的空间内进行施工，适应性强，能够提高场地的利用率。从成本效益角度来看，高压喷射灌浆技术所使用的原材料主要是水泥等常见材料，成本相对较低。而且，由于该技术能够有效提高地基承载力，减少地基处理工程量，从而降低了工程总体造价。其高效的施工速度可以缩短工程工期，减少工程的管理费用和资金占用成本，提高工程的经济效益。

2.4 广泛的适应性与灵活性

水利水电工程所处的地质环境千差万别，不同的工程对地基处理的要求也各不相同。高压喷射灌浆技术具有广泛的适应性和灵活性，能够适应各种复杂的地质条件和工程需求。该技术可以应用于多种土质条件，包括砂土、粉土、黏性土、淤泥质土等。对于不同土质，可以通过调整施工参数和浆液配比，达到最佳的灌浆效果。在处理不同形状和尺寸的基础时，高压喷射灌浆技术也能够灵活应对。高压喷射灌浆技术还可以与其他地基处理方法相结合，形成复合地基处理方案，进一步提

高地基处理效果。这种灵活的组合方式能够满足不同工程对地基承载力、抗渗性、稳定性等多方面的要求，为水利水电工程的顺利实施提供了有力保障。

3 高压喷射灌浆技术施工工艺与流程

3.1 施工准备

高压喷射灌浆技术施工前的准备工作是确保工程顺利进行和施工质量达标的基础，涵盖多个关键环节。

(1) 技术准备：施工团队需深入研究设计图纸，明确工程对地基处理的具体要求，包括灌浆范围、深度、强度指标等。依据这些要求，结合现场地质勘察报告，制定详细的施工方案，确定高压喷射灌浆的参数，如喷射压力、浆液配比、提升速度等。对施工人员进行全面的技术交底，使其熟悉施工工艺、质量标准和安全操作规程^[2]。(2) 材料准备：根据设计要求，采购质量合格的水泥、外加剂等原材料。水泥应符合相关标准，具有适当的强度等级和良好的性能；外加剂要根据工程需要选择，如速凝剂、减水剂等，以改善浆液的性能。材料进场后，要进行严格的检验和试验，确保其质量符合要求。还需准备好灌浆管、喷嘴、钻机等施工设备和工具，并进行调试和检查，保证设备正常运行。(3) 现场准备：对施工现场进行清理和平整，清除障碍物和杂物，确保施工场地畅通。设置施工标志和安全防护设施，保障施工人员和设备的安全，搭建临时设施，如材料仓库、设备停放区等，为施工提供便利条件。

3.2 钻孔作业

钻孔是高压喷射灌浆施工的重要环节，其质量直接影响后续灌浆效果。根据设计孔位，将钻机准确就位，并进行调整和固定，确保钻机的垂直度和水平度符合要求。在钻机就位过程中，要仔细核对孔位坐标，避免出现偏差。采用合适的钻具和钻进方法进行钻孔。在钻进过程中，要严格控制钻进速度和压力，避免钻杆晃动和孔斜。要密切观察钻孔情况，如出水量、岩屑等，及时记录钻孔参数。对于不同地质条件，要采取相应的钻进措施。钻孔完成后，检查钻孔情况，查看孔内是否存在塌孔、缩径等异常现象，若有问题及时采取处理措施，如重新扫孔等，为后续灌浆创造良好条件。

3.3 喷射灌浆施工

喷射灌浆是高压喷射灌浆技术的核心环节，通过高压设备将浆液喷射到土体中，实现土体的加固和防渗。按照设计要求的浆液配比，将水泥、外加剂和水等原材料加入搅拌机中进行搅拌，制备成均匀的浆液。在搅拌过程中，要严格控制搅拌时间和搅拌速度，确保浆液的质量稳定。要对浆液的性能进行检测，如密度、粘度、

凝结时间等，如不符合要求，要及时调整浆液配比。将喷射管缓慢下入钻孔中，直至设计深度。在下管过程中，要防止喷射管扭曲和损坏，确保喷射管与孔壁之间有一定的间隙，以便浆液能够顺利喷射。当喷射管到达设计深度后，开始进行喷射灌浆。根据设计参数，调整喷射压力、浆液流量和提升速度等。在喷射过程中，要使喷射管保持匀速提升，同时进行旋转或摆动，使浆液均匀地喷射到土体中。喷射方式有单管法、双管法和三管法等，不同的喷射方式适用于不同的地质条件和工程要求。施工人员要密切观察喷射情况，如喷射压力、浆液回浆量等，如出现异常情况，要及时调整喷射参数或停止喷射，进行检查和处理。喷射灌浆完成后，要对孔口进行回灌，将孔内多余的浆液和空气排出，使孔内浆液饱满。回灌材料可以采用水泥浆或水泥砂浆。回灌完成后，及时对孔口进行封孔处理，防止浆液流失和孔口坍塌。

3.4 质量检测与验收

质量检测与验收是确保高压喷射灌浆施工质量的重要环节，通过检测和评估，判断工程质量是否符合设计要求和相关标准。第一、质量检测：质量检测方法包括钻孔取芯、标准贯入试验、静力触探试验等。钻孔取芯可以直观地观察灌浆体的形状、尺寸和均匀性，检测其强度和密实度；标准贯入试验和静力触探试验可以测定灌浆体的承载力和变形特性。还要对浆液的性能进行检测，如抗压强度、抗渗性能等。根据检测结果，对灌浆质量进行评估，如发现质量问题，要及时采取补救措施^[3]。第二、验收：在质量检测合格的基础上，组织相关单位进行工程验收。验收内容包括施工资料、质量检测报告、工程实体质量等。施工单位要提供完整的施工资料，包括施工记录、质量检验报告等。验收单位要按照相关标准和规范，对工程进行全面检查和评估，如符合验收要求，则出具验收合格报告；如不符合要求，则要求施工单位进行整改，直至验收合格为止。

4 高压喷射灌浆技术的质量控制与优化策略

4.1 施工参数优化

施工参数的合理优化是高压喷射灌浆技术质量控制的关键前提，直接影响灌浆效果与工程质量。喷射压力是决定浆液扩散范围和固结体质量的核心因素，压力过小，浆液难以有效穿透土体，固结体强度不足；压力过大，则可能导致孔壁坍塌、浆液浪费甚至引发安全事故。因此需依据土层性质、渗透系数等精准设定。例如，在砂土层中，因土体颗粒较粗、渗透性较好，可适当提高喷射压力以扩大浆液扩散半径；而在黏性土层

中,土体孔隙小、渗透性差,应降低压力,防止浆液在孔口附近过度集中。施工过程中,可结合现场试喷结果,动态微调压力参数,确保浆液在土体中形成理想的扩散形态。浆液配比决定了其流动性和固化后的强度,水泥作为主要胶凝材料,其用量需根据工程要求确定。为改善浆液性能,常添加外加剂。如速凝剂可加快浆液凝固速度,减少浆液流失,适用于地下水位较高或土体易坍塌的情况;减水剂能降低浆液用水量,提高其强度和耐久性。在配比设计时,需通过实验室试验和现场试验,综合考虑土体特性、施工条件等因素,确定最佳的水泥用量、水灰比和外加剂掺量。喷射管的提升速度影响浆液在土体中的填充和胶结效果,提升速度过快,浆液未能充分填充土体孔隙,固结体不密实;提升速度过慢,浆液在局部堆积,造成浪费且影响施工效率。应根据喷射压力、浆液扩散半径等参数,通过理论计算和现场试验确定合理的提升速度范围。

4.2 过程监控与调整

对施工过程进行实时监控和及时调整是保证高压喷射灌浆质量的重要手段。在喷射过程中,利用压力传感器和流量计实时监测喷射压力和浆液流量。若发现压力或流量出现异常波动,如压力突然下降或流量急剧减少,可能意味着孔壁坍塌、浆液堵塞或设备故障等问题。此时,应立即停止喷射,检查设备运行状况和孔内情况,及时清理堵塞物或采取补救措施,如重新钻孔或调整喷射参数。观察孔口返浆情况可直观了解浆液在土体中的扩散和填充效果。正常情况下,返浆应均匀、连续,颜色和浓度与原浆液相近。若返浆量过少或无返浆,可能表明浆液在土体中扩散不畅或存在孔隙通道;若返浆量过多且颜色异常,可能是土体中存在软弱夹层或浆液稀释严重^[4]。针对这些情况,应及时调整喷射参数,如增加喷射压力、降低提升速度或调整浆液配比。详细记录施工过程中的各项参数,包括喷射时间、压力、流量、提升速度、孔口返浆情况等。通过对这些数据的分析,可及时发现施工过程中存在的问题和规律,为后续施工提供参考。

4.3 质量检测与缺陷修复

质量检测是评价高压喷射灌浆工程质量的重要依据,而针对检测出的缺陷进行及时修复是确保工程质量达标的必要措施。常用的质量检测方法有钻孔取芯、标准贯入试验、静力触探试验等。钻孔取芯可直接观察灌浆体的形状、尺寸和均匀性,检测其强度和密实度;标准贯入试验和静力触探试验可测定灌浆体的承载力和变形特性。通过综合运用多种检测方法,全面评估灌浆体的质量。根据质量检测结果,对灌浆体存在的缺陷进行分析和判断。常见的缺陷有灌浆体不密实、强度不足、存在裂缝等。分析缺陷产生的原因,如施工参数不合理、土体条件复杂、浆液配比不当等,为缺陷修复提供依据。针对不同类型的缺陷,采取相应的修复措施。对于灌浆体不密实或强度不足的部位,可采用补灌的方法,在缺陷部位重新钻孔进行喷射灌浆;对于存在裂缝的灌浆体,可采用压力灌浆法,将高强度水泥浆或化学浆液注入裂缝中,进行填充和加固。在修复过程中,要严格按照修复方案进行施工,确保修复质量。同时对修复后的部位进行再次检测,直至质量符合要求为止。

结束语

高压喷射灌浆技术作为水利水电施工中的重要技术,在提升工程质量、保障工程安全方面发挥着不可替代的作用。随着科技的不断进步,该技术在施工工艺、设备性能等方面持续改进优化。未来,应进一步深入研究高压喷射灌浆技术,不断探索创新,提高施工效率和质量。同时加强施工管理,严格质量控制,确保该技术在水利水电工程中更好地应用,为我国水利水电事业的发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]张秀娟.高压喷射灌浆技术在水库防渗加固中的应用[J].黑龙江水利科技,2023,51(04):122-125.
- [2]程雄辉.高压喷射灌浆技术在病险坝防渗加固中的应用[J].科技创新与应用,2022,12(33):48-51.
- [3]苑广会.高压喷射灌浆技术在水利水电施工中的应用[J].云南水力发电,2022,38(10):234-236.
- [4]杜翔宇.水利水电施工中的高压喷射灌浆技术解析[J].智能城市,2021,7(06):45-46.