

水利工程中灌浆技术的应用现状与改进措施探讨

艾志刚 辛 聪

浙江省第一水电建设集团股份有限公司 浙江 杭州 310052

摘 要：本文深入剖析水利工程中灌浆技术的应用现状，详细阐述灌浆技术在堤防、水坝、渠道及地下工程等不同场景下的具体应用情况，并精准指出当前应用中存在的灌浆材料性能欠佳、灌浆工艺缺陷、施工质量控制困难以及环境因素干扰等关键问题。针对这些问题，提出研发新型灌浆材料、优化灌浆工艺、加强施工质量控制以及有效应对环境因素等改进措施。旨在为水利工程中灌浆技术的进一步发展提供全面、深入且具有实践指导意义的参考依据。

关键词：水利工程；灌浆技术；应用现状；改进措施

1 引言

水利工程是国家基础设施的重要组成部分，在防洪、发电、供水等领域作用关键。地基处理质量直接影响工程安全与稳定，灌浆技术因其加固、防渗效果显著而广泛应用。该技术通过注入浆液提高地基承载力与稳定性，保障工程长期运行。然而，随着工程规模扩大和要求提升，灌浆技术面临诸多挑战，亟需深入研究改进。因此，探讨其应用现状与优化措施具有重要意义。

2 水利工程中灌浆技术的应用现状

2.1 在堤防工程中的应用

2.1.1 渗漏处理

对于堤身存在的渗漏通道，可采用水泥灌浆或化学灌浆进行封堵。在某堤防工程中，通过地质勘察发现堤身存在多处渗漏通道，最大渗漏量达到50L/s。针对这种情况，采用了水泥-水玻璃双液灌浆技术。水泥浆液水灰比为0.8：1，水玻璃模数为2.8-3.2，波美度为35-40，水泥浆液与水玻璃的体积比为1：0.5。在堤身上布置灌浆孔，孔距为2m，孔深根据渗漏通道的深度确定，一般为5-10m。灌浆压力控制在0.3-0.5MPa，通过压力将浆液注入渗漏通道，填充空隙，切断渗漏路径。经过灌浆处理后，堤防的渗漏量降低至5L/s以下，防渗能力得到了显著提高。

2.1.2 洞穴处理

对于堤身的洞穴，可根据洞穴的大小和位置，选择合适的灌浆材料和工艺进行填充加固。当洞穴较小（直径小于0.5m）时，可采用黏土灌浆进行填充；当洞穴较大（直径大于0.5m）时，可采用水泥灌浆或混凝土灌浆。在某堤防洞穴处理中，发现一处直径为1m的洞穴，深度为3m^[1]。采用了水泥-砂灌浆技术，水泥与砂的比例为1：2，水灰比为0.6：1。通过灌浆管将浆液注入洞穴，直至洞穴被完全填充。灌浆过程中，控制灌浆压力为0.2-

0.3MPa，防止浆液外溢。经过处理后，洞穴得到了有效加固，防止了洞穴进一步扩大，保障了堤防的稳定性。

2.2 在水坝工程中的应用

2.2.1 帷幕灌浆

帷幕灌浆是在大坝上游侧或坝体内布置一排或多排灌浆孔，形成一道连续的防渗帷幕，阻止库水渗漏到坝基以下，降低坝基扬压力，提高大坝的稳定性。在某大型水坝工程中，帷幕灌浆孔距为2m，排距为1.5m，孔深根据坝基的地质条件和防渗要求确定，一般为30-50m。采用水泥灌浆，水泥浆液水灰比根据灌浆阶段进行调整，初始阶段水灰比为3：1，逐渐变稀至0.5：1。灌浆压力根据孔深和地质情况进行控制，一般为1-3MPa。通过分序加密的灌浆顺序，先灌下游排孔，再灌上游排孔，最后灌中间排孔，逐步提高帷幕的防渗性能。经过帷幕灌浆处理后，坝基的渗透系数降低至 1×10^{-6} cm/s以下，防渗效果显著。

2.2.2 固结灌浆

固结灌浆则是在大坝基础范围内进行灌浆，改善地基的物理力学性能，提高地基的承载能力和均匀性，减少地基的不均匀沉降。在某水坝固结灌浆工程中，灌浆孔距为3m，孔深为5-10m。采用水泥灌浆，水泥浆液水灰比为0.8：1-1：1。灌浆压力根据地基的强度和灌浆孔的深度进行控制，一般为0.5-1.5MPa。通过固结灌浆处理，地基的压缩模量提高了20%-30%，承载能力得到了显著提升。

2.3 在渠道工程中的应用

2.3.1 防渗处理

对于渠道的渗漏部位，可采用黏土灌浆或水泥灌浆进行防渗处理。在某渠道防渗工程中，渠道为梯形断面，底宽为3m，边坡系数为1：1.5。采用黏土灌浆技术，黏土浆液的含水量控制在30%-40%，通过灌浆管

将浆液注入渠道底部和两侧的渗漏部位。灌浆孔距为1.5m,孔深根据渠道的地质条件和渗漏情况进行确定,一般为2-4m。灌浆压力控制在0.1-0.2MPa。经过黏土灌浆处理后,渠道的渗漏量减少了70%以上,防渗效果明显。

2.3.2 基础加固

在渠道基础处理中,对于软弱地基或存在隐患的地段,可通过灌浆加固提高基础的承载能力,防止渠道坍塌。在某渠道基础加固工程中,发现一处软弱地基,地基承载力仅为80kPa。采用了水泥-粉煤灰灌浆技术,水泥与粉煤灰的比例为1:1,水灰比为0.7:1。灌浆孔距为2m,孔深为3-5m。灌浆压力根据地基的强度进行调整,一般为0.3-0.5MPa。经过灌浆加固处理后,地基的承载力提高至150kPa以上,有效防止了渠道坍塌。

2.4 在地下工程中的应用

2.4.1 围岩加固

对于围岩破碎、节理发育的地段,可采用预灌浆或后灌浆的方式进行加固。在某隧洞工程中,隧洞直径为5m,围岩为IV类围岩,节理裂隙发育。采用了超前小导管预灌浆技术,小导管直径为42mm,长度为3.5m,间距为0.3m。灌浆材料为水泥-水玻璃双液浆,水泥浆液与水玻璃的体积比为1:0.6。灌浆压力控制在0.5-1.0MPa。通过超前小导管预灌浆,提高了围岩的整体性和强度,减少了开挖过程中的塌方风险。

2.4.2 防渗处理

在隧洞开挖后,对围岩和衬砌之间的空隙进行灌浆填充,提高隧洞的防渗能力和衬砌的稳定性。在某隧洞防渗灌浆工程中,采用回填灌浆和固结灌浆相结合的方法。回填灌浆孔距为3m,排距为3m,孔深根据衬砌与围岩之间的空隙大小确定,一般为0.5-1m。固结灌浆孔距为4m,孔深为3-5m。灌浆材料均为水泥浆液,水灰比根据灌浆阶段进行调整。经过灌浆处理后,隧洞的渗漏量显著降低,衬砌的稳定性得到了提高。

3 水利工程中灌浆技术应用存在的问题

3.1 灌浆材料性能有待提升

目前,常用的灌浆材料如水泥、化学浆液等,在性能方面仍存在一些不足。水泥灌浆虽然具有强度高、成本低等优点,但其凝结时间较长,在低温环境下凝结时间会进一步延长,影响施工进度。同时,水泥灌浆的渗透性相对较差,对于一些细微裂缝和孔隙的填充效果不理想。化学浆液虽然具有良好的渗透性和凝结时间可调性,但价格较高,且部分化学浆液可能对环境造成一定的污染^[2]。此外,一些新型灌浆材料的研发和应用还不够广泛,其性能和适用性还需要进一步验证和完善。

3.2 灌浆工艺存在不足

灌浆工艺的合理性直接影响灌浆效果。在实际施工中,灌浆工艺存在一些问题。例如,灌浆压力的控制不够精确,压力过大可能导致地基或结构物破坏,压力过小则无法使浆液充分填充孔隙和裂缝。灌浆孔的布置和间距不合理,可能导致部分区域灌浆不充分,而部分区域则出现过度灌浆的情况。此外,灌浆顺序和方法的选择不当,也会影响灌浆的质量和效果。例如,在帷幕灌浆中,如果灌浆顺序不合理,可能会导致浆液在帷幕中分布不均匀,影响防渗效果。

3.3 施工质量控制难度大

灌浆施工的质量控制涉及多个环节,包括原材料检验、灌浆设备调试、灌浆过程监控等,难度较大。在原材料检验方面,由于灌浆材料种类繁多,质量参差不齐,部分施工单位对原材料的检验不够严格,导致不合格材料进入施工现场。在灌浆设备调试方面,设备性能的稳定性和可靠性对灌浆质量有重要影响。然而,一些施工单位对设备的维护和调试不够重视,设备故障频繁发生,影响灌浆施工的正常进行。在灌浆过程监控方面,虽然目前已经采用了一些监测手段,如压力传感器、流量计等,但监测数据的准确性和实时性仍有待提高,无法及时发现和解决灌浆过程中出现的问题。

3.4 环境因素对灌浆施工的影响

水利工程的建设环境复杂多样,环境因素对灌浆施工产生一定的影响。例如,在低温环境下,水泥灌浆的凝结时间会延长,强度增长缓慢,甚至可能出现冻害现象,影响灌浆质量。在地下水位较高的地区,灌浆过程中可能会出现浆液被地下水稀释或冲走的情况,导致灌浆效果不佳。此外,地质条件的复杂性也会给灌浆施工带来困难,如遇到溶洞、断层等不良地质体,灌浆施工的难度会大大增加。

4 水利工程中灌浆技术的改进措施

4.1 研发新型灌浆材料

4.1.1 水泥基灌浆材料

研发具有快速凝结、高渗透性、高强度等特点的水泥基灌浆材料。通过添加外加剂和矿物掺合料,改善水泥灌浆的性能。例如,添加早强剂可以使水泥灌浆在低温环境下的凝结时间缩短至2-3h,初凝强度提高30%以上;添加减水剂可以提高水泥浆液的流动性,使其能够更好地填充细微裂缝和孔隙。

4.1.2 环保型化学灌浆材料

加强对环保型化学灌浆材料的研发。选择无毒、无污染的化学原料,制备出性能优良、价格合理的化学浆

液。例如,研发以水为溶剂的水性环氧树脂灌浆材料,减少对环境的危害。同时,探索新型复合灌浆材料的研发,将水泥、化学浆液等不同材料的优点结合起来,开发出具有更优异性能的灌浆材料。

4.2 优化灌浆工艺

4.2.1 灌浆压力控制

采用先进的压力控制系统,实现灌浆压力的精确控制和实时监测。根据不同的工程地质条件和灌浆要求,合理设定灌浆压力,并在灌浆过程中及时调整,确保灌浆压力在安全范围内^[3]。例如,采用智能压力控制器,可以将灌浆压力的误差控制在 $\pm 0.05\text{MPa}$ 以内。

4.2.2 灌浆孔布置和间距确定

结合地质勘察资料和工程经验,进行科学合理的设计。通过数值模拟和现场试验等方法,优化灌浆孔的布置方案,使浆液能够均匀地填充到地基或结构物的孔隙和裂缝中。例如,在某大坝帷幕灌浆工程中,通过数值模拟确定了合理的灌浆孔间距为1.8m,排距为1.3m,有效提高了帷幕的防渗性能。

4.2.3 灌浆顺序和方法选择

根据具体情况制定合理的灌浆方案。例如,在帷幕灌浆中,采用分序加密的灌浆顺序,先灌下游排孔,再灌上游排孔,最后灌中间排孔,逐步提高帷幕的防渗性能。在回填灌浆中,采用分段灌浆的方法,将灌浆区域分成若干段,依次进行灌浆,确保衬砌与围岩之间的空隙填充密实。

4.3 加强施工质量控制

4.3.1 原材料检验

建立严格的原材料检验制度,加强对水泥、化学浆液、外加剂等原材料的质量检测。对每一批次的原材料都要进行抽样检验,确保其性能符合要求。例如,对水泥进行细度、凝结时间、强度等指标的检测;对化学浆液进行粘度、固化时间、强度等指标的检测。对于不合格的原材料,坚决禁止进入施工现场。

4.3.2 灌浆设备调试

加强对灌浆设备的维护和管理。定期对设备进行检查、调试和维修,确保设备性能的稳定性和可靠性。在灌浆施工前,对设备进行试运行,检查设备的各项参数是否正常,如压力、流量、转速等。例如,对灌浆泵进行性能测试,确保其流量和压力能够满足灌浆要求。

4.3.3 灌浆过程监控

采用先进的监测技术和设备,提高监测数据的准确性和实时性。除了压力传感器、流量计等常规监测手段

外,还可以引入无损检测技术,如超声波检测、雷达检测等,对灌浆质量进行全面、准确的监测。一旦发现监测数据异常,及时采取措施进行处理。例如,当压力传感器监测到灌浆压力超过设定值时,自动调整灌浆设备的压力,确保灌浆压力在安全范围内。

4.4 应对环境因素的措施

4.4.1 低温环境施工

在低温环境下施工时,可以采取加热原材料、添加防冻剂等方法,提高浆液的流动性和早期强度。对灌浆设备进行保温处理,防止设备因低温而损坏。例如,在水泥灌浆中,将水泥和水加热至20-30℃后再进行配制,同时添加适量的防冻剂,使浆液在低温环境下的凝结时间缩短至3-4h。

4.4.2 地下水位较高地区施工

在地下水位较高的地区,可以采用排水、降水的措施,降低地下水位,减少地下水对灌浆施工的影响。同时,调整灌浆工艺和浆液配方,提高浆液的抗稀释能力。例如,采用管井降水的方法,将地下水位降低至灌浆孔以下1-2m,然后采用水泥-水玻璃双液浆进行灌浆,提高浆液的抗稀释能力。

4.4.3 复杂地质条件施工

对于复杂的地质条件,在施工前进行详细的地质勘察,了解不良地质体的分布和性质。制定针对性的灌浆施工方案,如采用超前灌浆、分段灌浆等方法,处理溶洞、断层等不良地质体。例如,在遇到溶洞时,先采用水泥-砂灌浆对溶洞进行初步填充,然后再进行常规灌浆,确保灌浆质量。

结语

灌浆技术在水利工程如堤防、水坝、渠道及地下工程中应用广泛,对保障工程稳定性和安全性至关重要。然而,仍面临材料性能、工艺、施工质量控制及环境影响等问题。为解决这些问题,需要研发新型材料、优化工艺、强化质量控制、应对环境挑战。随着科技进步和工程建设需求的增长,灌浆技术将持续创新,为水利工程建设与运行提供更可靠的支持。

参考文献

- [1]王奋发.水利工程建设中灌浆施工技术应用探究[N].中华建筑报,2024-08-20(011).
- [2]朱红波.水利工程中基础灌浆施工技术应用研究[J].农业灾害研究,2025,15(02):227-229.
- [3]王翔.分析水利工程中基础灌浆施工技术应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(01):202-204.