

隧道衬砌渗漏水双液注浆治理工艺探究

肖楠轩

中国交建总承包经营分公司 北京 100088

摘要：本文以隧道衬砌渗漏水为研究对象，应用双液注浆技术对其治理工艺进行了探索。通过对渗漏水产生原因的分析，论述双液注浆技术处理渗漏水的方法，提出控制浆液混合比例，准确控制注入深度和处理复杂施工环境等技术对策。研究成果表明：双液注浆技术可以有效地处理隧道衬砌渗漏水问题，增强隧道结构耐久性与安全性。本研究为隧道衬砌渗漏水处理提供了一种全新的技术路径与理论依据。

关键词：隧道衬砌；渗漏水治理；双液注浆；施工技术

引言

道路桥梁是交通基础设施的重要组成部分，其施工技术及管理上也不断地追求高标准、高质量。但隧道施工过程中衬砌渗漏水现象始终困扰着工程质量。该问题不但会影响隧道使用寿命及行车安全，而且会造成结构损坏及维护成本的提高。所以，探讨行之有效的治理策略对确保隧道工程长期稳定安全运行有着十分重要的作用。研究目的是对双液注浆治理工艺进行深入探讨，并通过对比分析及案例分析提出有针对性的技术优化，为隧道衬砌渗漏水处理提供科学依据与技术支撑。

1 双液注浆技术概述

双液注浆技术对隧道衬砌渗漏水处理效果较好，该技术的基本原理是利用高压设备向地层同时灌注2种不同特性浆液。两种浆液注入时相遇产生化学反应，快速固化形成有一定强度及抗渗性的固结体，有效地封堵渗漏水通道实现渗漏水处理。

隧道衬砌渗漏水处理采用双液注浆技术效果显著。既可迅速关闭渗漏点、降低水对隧道结构冲刷，又可提高隧道整体稳定性与耐久性。与人工封堵和表面防水处理的常规方法相比较，双液注浆技术有很多优点^[1]。一是其注浆材料流动性、渗透性优良，能深入微小渗漏缝隙达到全面封堵目的。二是双液注浆成型固结体具有较高强度和抗渗性能，能有效地抵抗地下水长期冲刷。另外，该项技术具有施工效率高，受隧道交通的影响较少等特点，可以在确保隧道正常运营的前提下完成处理。

双液注浆技术在实践中表现出较好的处理效果。如某隧道工程因地质条件的复杂性导致隧道衬砌多处渗漏水。经双液注浆技术处理，渗漏水现象得到有效控制，隧道结构稳定性明显提高。同时该项技术也减少后期维护成本和延长隧道使用寿命。所以双液注浆技术已经成为隧道衬砌渗漏水处理的一种最主要方法，有着广泛的

应用前景与发展空间。

2 双液注浆技术难点分析

2.1 浆液混合比例控制

隧道衬砌渗漏水采用双液注浆处理工艺时，控制浆液混合比例是保证处理效果的关键环节。混合比例不合适，将直接影响浆液凝固时间，强度及稳定性，从而影响渗漏水封堵效果。具体地说，如果水泥浆和水玻璃浆配比较高，则可能会造成浆液固化时间太长，很难快速形成有效封堵层；相反，如果配比较低，可能会导致浆液提前固化，从而影响注浆均匀连续进行。

为了达到准确混合比例控制的目的，对技术提出了非常苛刻的要求。一是要使用高精度计量设备来保证各浆液用量准确。二是注浆设备性能要求平稳可靠，避免注浆过程中由于设备故障造成混合比例失控。另外施工人员还需要通过专业培训来熟练运用浆液混合比例控制技巧来保证实际工作中可以精准地实施。

为了达到准确混合，可以采用一系列的技术措施。如引入自动化控制系统对浆液混合比例、注浆速率等参数进行预先设定的程序实现准确控制。同时定期做好注浆设备的保养与标定工作，保证设备一直保持良好的状态。施工时，浆液质量也需要实时检测，当检测到混合比例有偏差时，应立即调整^[2]。采取上述措施后，浆液混合比例精确度及稳定性均可得到显著提升，进而保证了双液注浆处理工艺效果。在实践中，在某隧道衬砌渗漏水处治工程中通过准确控制浆液混合比例成功地对渗漏点进行快速堵塞，处治效果明显。

2.2 注入深度的精确控制

隧道衬砌渗漏水采用双液注浆处理技术时，准确控制注入深度对于处理效果具有重要影响。深入分析得知注入深度对注浆材料分布范围及其与渗漏水区域接触面积有直接影响。如果注入太浅，注浆材料就有可能不能将

渗漏点全部覆盖,造成处理不彻底的问题;而且注入过深会浪费材料甚至给隧道结构带来不应有的扰动。

为了保证注入深度准确,必须先根据渗漏水具体情况及隧道衬砌构造特征,采用地质勘探,渗漏点定位相结合的方法,才能科学,合理地确定注入目标深度。在施工阶段,我们可以使用尖端的注浆工具,并结合如压力传感器和深度计这样的实时监控技术,来对注浆流程进行精准的管理和控制。同时在注浆材料选择上还需要综合考虑材料的流动性和凝固时间,才能保证在预设深度上形成较好的封堵层。另外,施工人员专业技能与操作经验也是不容忽视的,需要结合现场情况对注浆参数进行灵活调节,才能保证治理效果最佳。通过实施该系列技术方案,可有效促进双液注浆处理技术在隧道衬砌渗漏水治理中的运用。

2.3 施工环境的复杂性应对

复杂多样的隧道内环境给双液注浆施工带来严峻的挑战。隧道内空间狭窄,采光不充分,并常常伴随着湿滑,泥泞等恶劣环境,这一切直接影响施工人员作业的效率与安全。在这种环境中施工不仅需要施工人员拥有精湛的技术水平而且还要对突发状况具有灵活的应变能力。

施工空间受限是双液注浆工艺推行过程中存在的主要问题。受隧道内部空间的限制,大尺寸施工设备通常很难进入其中,迫使施工人员使用更小更灵活的注浆设备。但是小型设备对注浆压力以及注浆量进行控制时可能会受到一些限制,需要施工人员对作业过程进行更精细,更精准的处理^[3]。另外,空间限制也会造成注浆孔位布置的局限,从而影响注浆效果。要想攻克这一难题,施工人员需做好细致的现场勘查工作,对注浆孔位做出合理的规划,同时运用先进的注浆技术与装备来保证注浆工作能够顺利开展。

在复杂的施工环境下,我们有针对性地提出一系列应对策略。一是要加强对施工人员的训练与教育,增强其技术水平与安全意识。通过经常组织技术培训、应急演练等活动,施工人员对双液注浆技术有了熟练掌握,遇到紧急情况能快速作出正确的应对措施。二是对注浆设备及工艺进行了优化。考虑到隧道内部空间受限,可研究开发更小更有效的注浆设备及采取先进注浆工艺来提高注浆效率及注浆质量。同时,还可以利用现代科技手段,如无人机、机器人等,对隧道内部进行远程监控和操作,以减少人员进入隧道的风险。三是强化现场管理与监控。施工时必须严格遵守操作规程,保证每个环节的作业达标。与此同时,还需要加强施工现场监控与管理,发现并化解可能存在的隐患,保证施工工

作能够顺利开展。通过采取上述应对策略,可有效应对复杂施工环境的挑战,促进双液注浆技术处理隧道衬砌渗漏水问题。

3 双液注浆技术治理方案

3.1 渗漏水成因分析

隧道衬砌渗漏水原因复杂多变,深刻认识根本原因是有效治理方案形成的先决条件。一是衬砌材料缺乏耐久性是造成渗漏水现象的主要因素。实际工程中衬砌材料由于长期处于潮湿和腐蚀的环境下,容易出现老化和开裂的问题,继而导致水分的渗入。如一些混凝土衬砌由于配合比或维护不当等原因,初期强度不够,后期容易出现裂缝而成为渗漏的通道。

二是施工缺陷同样是渗漏水不可忽视的原因。在隧道施工时,如果衬砌浇筑,振捣不够致密,或者出现模板拼接不严密,脱模过早的情况,都会造成衬砌结构内出现缝隙或者缺陷,从而提供水分渗漏的通道^[4]。另外防水层铺设质量也是一个至关重要的问题,如果防水卷材搭接不牢固,焊接不紧密,或遇到尖锐物体戳破,都会降低防水效能。

三是地下水位的变化及复杂的地质条件对隧道衬砌渗漏水亦有显著影响。随季节变化或者地下水开采活动的进行,地下水位出现波动,水位升高时隧道周边土体的水就会渗入隧道内,加大渗漏风险。同时,地质条件的多样性,如断层、裂隙、软弱夹层等,也为水分提供了天然的渗透通道。在地质构造比较复杂的地区,隧道衬砌受地质应力影响较容易出现开裂现象,这就进一步加重渗漏水现象。

鉴于以上渗漏水产生的原因,双液注浆技术因其特有的优点已成为处理隧道衬砌渗漏水问题的一种行之有效的方法。通过对浆液混合比例、注入深度等参数的准确控制,采用双液注浆技术可快速充填衬砌内间隙、裂缝等部位,并形成密实防水层有效地阻挡水分渗透。同时对于不同原因渗漏水,双液注浆技术也可以灵活地调整注浆策略及材料配比以保证最大限度地发挥治理效果。

3.2 双液注浆技术应用对策

双液注浆施工期应对注浆压力,注浆量和浆液混合比例这几个关键参数进行实时监测。注浆压力需控制在合理范围内,以避免对隧道衬砌造成不必要的损害。注浆量需要根据水渗透的具体状况进行灵活调节,以确保浆液能有效地填补渗透区域。与此同时,准确控制浆液混合比例也是非常关键的,其直接关系到注浆材料强度与稳定性。所以施工前应标定注浆设备以保证混合比例精度。

为了保证施工质量也必须采取一系列的质量保证措施。一方面要强化施工人员培训与管理,增强施工人员专业技能与责任意识。经过定期培训与考核,保证施工人员能熟练运用双液注浆技术、严格执行操作规程^[5]。另一方面要建立健全施工质量管理体系并明确各个环节质量标准及责任分工。加强施工期关键环节监督与检验,发现质量问题及时整改。另外,还应建立质量追溯机制对有质量问题施工段实施追溯与分析,以总结经验,不断提高施工工艺。

针对施工质量监控的具体措施,可采用以下策略:一是利用现代信息技术,如物联网、大数据等,实现对注浆过程的智能化监控。通过在注浆设备上安装传感器,实时采集和传输关键参数数据,为施工人员提供及时、准确的监控信息。二是建立注浆效果评估体系,对注浆后的隧道衬砌进行渗漏水检测和强度测试,以评估注浆效果是否达到预期。三是加强与其他施工环节的协调配合,如与隧道开挖、支护等环节的衔接,确保整个施工过程的顺利进行。同时,还应建立应急响应机制,对施工中可能出现的突发情况进行快速响应和处理,以保障施工质量和安全。

3.3 实际案例验证

某隧道衬砌渗漏水处理工程普遍采用双液注浆技术。隧道因长期营运,衬砌结构多处发生渗漏水,对道路安全及行车舒适度造成严重的影响。为了解决这一难题,项目团队确定了双液注浆技术的处理方案。

项目团队处理时,先详细调查渗漏点,查明渗漏水原因及范围。然后,依据勘察结果制定双液注浆处理具体办法。在方案执行期间,项目团队对浆液混合比例进行严格把控,保证注浆材料性能稳定。同时采用先进注浆设备及技术手段对注入深度进行精准控制,从而有效地避免注入深度不合适造成治理效果差。另外,项目团队为应对隧道内环境复杂,施工空间有限的难题,采用

灵活多样的施工工艺与策略保障治理工作顺利开展。

经双液注浆处理,隧道渗漏水情况明显好转。该治理方案在成功地堵塞渗漏点的同时,也提高衬砌结构整体稳定性及耐久性。项目团队根据处理前与处理后的资料比较分析后发现,渗漏水大幅度降低,隧道内环境得到有效地改善。另外,项目团队根据本案例实际使用效果提出了进一步优化注浆材料配方和提升注浆设备智能化水平的改进意见,希望能对今后隧道衬砌渗漏水处理起到更大效果。这些改进意见不仅有利于促进双液注浆技术处理效果的提高,而且对同类工程也有一定的借鉴与参考作用。

4 结语

双液注浆技术应用于隧道衬砌渗漏水处理显示出显著效果,有效地解决渗漏水问题,保证隧道结构稳定安全。通过对浆液混合比例与注入深度的准确控制及对复杂施工环境的灵活处理,该项技术达到高效治理的目的。今后,伴随着科技的不断革新和研究开发,隧道衬砌渗漏水处理工作会越来越智能化和精细化,从而为道路桥梁建设和促进交通基础设施高质量发展提供扎实的技术支持。

参考文献

- [1]钟坤城,邓景峰,邓景豪,等.管井结构渗漏水综合治理工艺[J].中国建筑防水,2024,12:43-46.
- [2]陈继宏,郭腾,王杰,等.隧道渗漏水渗流场响应及注浆治理效果分析[J].市政技术,2023,10:210-217.
- [3]梁智鹏.矿山法地铁隧道渗漏水注浆治理技术研究[J].建井技术,2022,3:47-52.
- [4]陈三强,陈虹宇,吴贤国,等.基于Copula-云模型的地铁运营隧道渗漏水风险评价[J].土木工程与管理学报,2019,5:90-95.
- [5]戴金龙.封堵工艺在隧道渗漏水病害治理中的应用研究[J].福建建材,2019,3:76-78.