

隧道帷幕注浆技术研究

季鸿运

中铁十七局集团第五工程有限公司

摘要：随着我国经济的发展，城市建设中，铁路隧道工程逐渐增多，施工技术也在不断提高，铁路隧道帷幕注浆技术就是其中一项重要的施工技术，对于城市基础设施建设具有重要意义。隧道帷幕注浆技术在使用过程中会遇到很多问题，如注浆压力大、注浆效果差等，为了提高施工质量，需要对其进行科学合理的应用。本文以某工程为例，介绍了该工程帷幕注浆技术的具体应用，以期为我国铁路隧道施工工程技术水平的提升提供参考。

关键词：隧道工程；帷幕注浆；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.22.044

隧道工程是城市基础建设的重要组成部分，具有施工规模大、施工环境复杂、受地质条件影响较大等特点。由于隧道工程的施工环境复杂，因此在施工中容易出现涌水现象，对施工安全和施工质量产生不利影响^[1]。帷幕注浆技术是在隧道工程中应用较为广泛的一种防水技术，能够有效防止地下水渗透，进而为隧道工程的施工安全提供保障。为此，文章将结合某隧道工程实例，对帷幕注浆技术在该工程中的应用展开分析和探讨，希望能够为同类工程提供借鉴。

一、帷幕注浆技术概述

帷幕注浆技术是指在隧道工程施工过程中，通过在隧道衬砌结构内部布设注浆管路或注浆通道等方式，将水泥浆液注入地层或岩石内，从而达到固结和填充岩石空隙、提高围岩稳定性、防止地下水渗透等目的。在帷幕注浆技术中，浆液主要由水泥浆和固化剂组成。水泥浆由水泥、水玻璃和掺合料等组成；固化剂则包括水泥-水玻璃、粉煤灰-水泥等。通过对浆液的合理配置和科学应用，可以达到帷幕注浆的目的^[2]。在帷幕注浆技术中，注浆管路的设置是确保帷幕注浆效果的关键所在。在实际施工中需要将管路连接到注浆孔内，并对管路进行固定和封闭处理。通过对管路连接方式和密封方式的合理选择，能够确保注浆效果和施工质量。

帷幕注浆技术作为隧道工程施工中常用的一种防水

技术，具有明显的优势。具体表现在以下几个方面：

- (1) 帷幕注浆技术具有较高的固结体强度和抗渗性；
- (2) 帷幕注浆法在防渗止水方面具有明显优势；
- (3) 帷幕注浆法具有较高的经济性。

因此，在隧道工程施工中应用帷幕注浆技术能够有效提高隧道工程施工质量和施工效率。

二、工程概况及问题分析

畹町隧道位于云南省德宏傣族景颇族自治州境内，全长5995m，为单线铁路隧道。洞身DK326+850~DK326+700段穿越法帕-畹町断裂，该断裂位于可溶岩与非可溶岩接触带，且断裂在平面上分别与线路DK328+900右侧约500m处的法坡水库和DK328+750右侧约705m处的Csh-WD-6号泉点（下降泉）相交，洞身与断层相交处的线路标高低于水库水面约57m，低于泉点出水口约60m，地勘资料预测该断裂导水性较强，贮水空间大，极易引起水库和泉点失水，且该断层破碎带发生涌水、突泥风险较高。

经初步调查，该区的基础断裂程度为II级。根据以上资料，并结合实际的工程技术应用，预计其施工用水量为 $330 \text{ m}^3 / (\text{d} \cdot \text{km})$ 。

(一) 注浆方案提出

通过对本项目前期勘察成果及注浆段水文地质条件的研究，认为在本项目中可以进行隧道开挖施工，但对于突水、冒泥等问题，则需采取提前帷幕灌浆等措施。所以，在本工程中，主要使用的是帷幕注浆技术，通过孔口管和小管道来对其进行特殊的注浆，确保钻孔的长度在30到35m之间，注浆加固的厚度在4到5 m之间，整个工程全程都采取的是全断面注浆模式，下面将本次工程的注浆主要参数列于表1中。

表1 某隧道工程的注浆帷幕主要参数

每循环注浆长度	单孔有效扩散半径	孔底间距	注浆范围	注浆压力
30~35m	2m	<3m	隧道开挖后断面外的4~5m	正常注浆压力应为静水压力的+0.5MPa左右

（二）工程项目的帷幕注浆技术问题措施

第一，在钻孔施工作业中，采取慢速、轻压、多给水的作业模式，并以钻孔数据为中心，进行有关资料的记载，确保资料的完整性，包括起止时间、孔号、进尺、岩石裂隙发育情况、涌出水量、涌出部位等。在钻井实践中，本项目采取了单井放水控制的方法进行施工。首先，观测单井放水能否达到0.5升/秒，若能达到，应使钻井持续进行；若采出水超过标准，应暂停钻进，采用注浆处理等方法加强地层强度，从而达到治理目的。

第二，根据现场实际条件和实验数据，选择出最优的水泥浆液用量。在施工过程中，要对其配合比与浆液浓度进行严格的控制，可以使用网筛进行过滤筛选（网筛为1×1mm网格）。将过滤后的水泥浆液添加到叶片立式搅拌机中进行二次搅拌，确保水泥浆液被充分搅拌，以便能够满足0.2mm以下的岩溶裂隙注浆。

第三，在注浆作业中，要特别重视注浆作业中可能出现的堵漏现象，并对注浆作业进行相关的水压试验，对注浆作业的密封情况进行严格的检验。最终，结合管道压力注入清水，将岩体裂隙完全冲洗干净，确保灌浆通道的高效扩展，提高灌浆充填裂隙的致密和完整性^[3]。

第四，根据本项目的建设特点，避免出现钻孔的问题，比如对用水和注水速率进行有效的控制，使每个孔与孔的间距都尽可能的大，这样就可以更好的掌握注水速率。

第五，对于本项目的整个帷幕注浆，必须符合下列几个要求才能顺利进行。比如注浆压力应在设计注浆最终压力0.5 MPa以上；或单个钻孔的灌浆质量必须超过设计注浆质量的80%。总的来说，本工程的建设要确保每个钻孔都符合以上的要求，并且要避免漏浆，这样才能算得上是隧道段的注浆帷幕施工建设已经结束。

三、工程隧道帷幕注浆技术质量控制措施

（一）加强浆液、注浆参数的控制

采用超前探孔的方式勘察隧道内的真实情况，根据勘察的地质条件和涌水的状态，施工管理人员确定采用水泥-水玻璃形式的浆液。而与之相适应的泥浆配制比例又是影响灌浆成败的重要原因之一。经过有关试验，本项目最后得出了以1: 0.5~1: 1为混合比例的水泥与

水玻璃混合料。

在选择注浆参数时，需要考虑以下几个方面：

（1）注浆材料：在选择注浆材料时，需要根据注浆工艺的要求，选择合适的注浆材料，以满足帷幕注浆施工需要。

（2）浆液配比：在施工过程中，需要根据隧道工程地质条件、水文条件等，合理控制浆液的配比，确保浆液能够满足帷幕注浆施工需要。

（3）注浆压力：在选择注浆参数时，要注意对注浆量、注浆速度和注浆孔间距等方面进行合理控制。在选择注浆参数时，需要考虑到不同的施工阶段，采用不同的注浆参数。在施工过程中，要根据地层和工程地质情况、水文情况等因素，合理选择注浆参数。如：在地下水较为丰富的情况下，要合理控制注浆量；在地下水较为丰富的情况下，要合理控制注浆量等^[4]。

根据本工程整个项目的设计要求，注浆区域为基坑边界线外三米。将循环注浆段的长度严格限制在2m，而根据浆液扩散半径的1.5~1.6倍，一般为2~3m。而本项目选择的注浆端径为3米。在隧洞内的涌水流压强为0.45百万帕斯卡，一般来说，注浆的最后压力应在1.5至4百万帕斯卡之间。最后，根据本工程中地层的具体情况，选择了1.8兆帕的灌浆压力作为灌浆压力。要根据岩石的开裂度、裂缝度、浆液的填充速率来估计并决定注浆量。

（二）加强施工过程控制

首先，在施工前，需要对注浆施工的方案进行详细的审查，审查合格后才可实施；其次，在进行注浆时，需要严格按照相关要求进行操作，并且在注浆完成之后需要对浆液的固结度进行检测，以确保浆液的固结度达到设计要求；最后，在注浆结束后需要及时将注浆管拔出并清理干净，以防造成堵塞^[8]。除了以上两点之外，还需要对注浆过程中的压力、流量、速度等参数进行严格控制。具体而言：（1）对于压力的控制要保证其在安全范围内；（2）对于流量的控制要保证其在设计要求范围内；（3）对于速度的控制要保证其在安全范围内。另外，还需要对注浆量进行严格控制，一般情况下应当控制在设计值以内。

结语

综上所述，随着社会经济的快速发展和城市化进程

的加快，隧道工程建设越来越多。由于地下水对隧道工程建设产生很大影响，隧道帷幕逐渐技术应用已成为当前隧道工程建设中的关键技术之一。本文结合某铁路隧道建工程设为实例，针对该隧道出现的突水、崩塌现象，采用了帷幕注浆技术来治理。经过对其进行注浆处理，经检验，其注浆效果符合有关的规范和标准，说明了本文所采用的注浆施工是可行的，可以为同类的工程提供借鉴。有关工作人员要主动研究，学习和学习国外的有关应用技术，并与国内隧道项目的具体状况相联系，从而制定出更加科学、更加合理地施工计划，从而给国内的基础设施建设事业带来持续的发展活力。

参考文献

[1]王占奎,米献炜,崔江余, et al. 帷幕注浆技术在天河山隧道穿越富水断层破碎带施工中的应用[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(6): 84-89.

[2]宋小春. 富水软弱围岩隧道新型高聚物帷幕注浆技术与参数优化研究[J]. 江苏建筑职业技术学院学报,

2023, 23(1): 23-29.

[3]刘治宏. 高压富水隧道施工中超前帷幕注浆技术的使用[J]. 模型世界, 2022(6): 190-192.

[4]刘海涛. 全断面帷幕注浆技术在暗挖地铁隧道施工中的应用[J]. 工程建设与设计, 2021(5): 124-125, 128.

[5]于松波. 帷幕注浆施工技术在公路隧道穿越浅埋冲沟段的应用[J]. 公路交通技术, 2022, 38(4): 150-155.

[6]程旭蛟. 超前帷幕注浆技术在大坪地隧道应用效果分析[J]. 城市建筑, 2020, 17(5): 167-169.

[7]朱胥仁. 浅谈高原冰水沉积层隧道帷幕注浆施工技术[J]. 企业技术开发(学术版), 2019, 38(6): 38-41.

[8]孔凡朋. 隧道工程超前帷幕注浆加固施工技术——以新建汕头至汕尾铁路站前工程汕头湾海底隧道为例[J]. 高铁速递, 2022(3): 82-84.

