

高速公路隧道突泥涌水段注浆加固技术分析研究

陈三生

岳阳市公路桥梁基建总公司, 中国·湖南 岳阳 414000

摘要: 由于高速公路隧道施工跨度较大, 不可避免地遇到一些复杂的地质情况, 使得地质灾害容易发生, 既会增加隧道施工的难度, 还会增加隧道施工的风险性, 从而带来不可估量的经济损失和伤亡。其中, 突泥、涌水是隧道施工中较为的典型地质灾害。论文先分析突泥涌水的成因、危害性及处理策略, 然后结合具体的工程, 对隧道突泥涌水段的注浆加固技术进行分析研究, 旨在提升隧道突泥涌水段注浆加固施工的质量, 保证隧道施工的安全, 并为类似工程处理提供参考。

关键词: 高速公路; 隧道施工; 突泥涌水; 注浆加固技术

Analysis and Research on Grouting Reinforcement Technology in Mud and Water Inrush Section of Expressway Tunnel

Sansheng Chen

Yueyang Highway and Bridge Infrastructure Corporation, Yueyang, Hunan, 414000, China

Abstract: Due to the large span of highway tunnel construction, it is inevitable to encounter some complex geological conditions, making geological disasters prone to occur. This not only increases the difficulty of tunnel construction, but also increases the risk of tunnel construction, resulting in incalculable economic losses and casualties. Among them, mud and water inrush are typical geological hazards in tunnel construction. The paper first analyzes the causes, harmfulness, and treatment strategies of sudden mud and water inrush in tunnels. Then, combined with specific engineering projects, it analyzes and studies the grouting reinforcement technology for tunnel sudden mud and water inrush sections, aiming to improve the quality of grouting reinforcement construction in tunnel sudden mud and water inrush sections, ensure the safety of tunnel construction, and provide reference for similar engineering treatments.

Keywords: expressway; tunnel construction; muddy water; grouting reinforcement technology

1 引言

近年来, 随着经济快速发展, 高速公路建设项目越来越多, 隧道施工项目随之增加。复杂地质条件是隧道施工过程中普遍存在的难题, 在复杂地质条件影响下, 极易出现各种地质灾害。其中, 受到软弱断层破碎带的影响, 隧道周围围岩稳定性较差, 承载能力不足, 加之这种岩土层还会受到地质作用影响, 出现软弱夹层; 若该地区地下水丰富, 则在隧道施工过程中就容易出现突泥涌水这一地质灾害, 不仅严重影响隧道正常施工, 还会对人员安全与工程工期产生不利影响。因而, 有必要深入研究隧道突泥涌水段的加固处理技术。论文结合某高速公路项目, 对隧道突泥涌水段注浆加固技术进行了探讨。研究表明, 要想有效提升隧道突泥涌水段注浆加固的效果, 具体需要从注浆材料、注浆顺序、注浆压力、注浆量、成孔标准这些方面加以控制。

2 突泥涌水的成因、危害性及处理策略

2.1 突泥涌水的成因

一般来说, 导致公路隧道施工期间发生突泥涌水问题的原因主要包括自然因素和技术因素两个方面。

在自然因素方面, 主要包括这几点: ①在隧道施工中, 受到软弱断层破碎带的影响, 使得隧道附近围岩结构的强度大大降低, 如此在岩体内就容易形成突泥涌水的结构面; ②在软弱破碎围岩地段, 岩土内分布大量的裂隙、缝隙及节理结构, 在岩溶发育期间, 会形成许多断层面及沉积层, 如果在岩土内部发生突泥涌水, 水体会沿着这些裂隙、断层面迅速蔓延, 在水压力的影响下, 隧道周围岩体应力发生变化, 岩体会出现溶蚀软化的现象, 进而产生突泥涌水的地质病害; ③在水压力的作用下, 水流量不断增大, 水压力还会转变为水动能, 对隧道围岩结构产生侵蚀影响, 势必会降低围岩结构的自稳性, 进而引发突泥涌水问题。

在技术因素方面, 集中体现在地质勘察不到位、设计与施工技术不合理等, 这些都会加大隧道突泥涌水问题发生。

2.2 突泥涌水的危害性

一旦隧道发生突泥涌水问题, 就会对隧道的正常施工与后续运营产生不利影响。首先, 在隧道穿越软弱破碎围岩时, 较容易引起突泥涌水, 且在涌水量较大的情况下, 水中会有大量的泥沙, 这不仅会对施工设备有冲毁的风险,

还会严重威胁施工人员的安全。其次，如果已经发生了突水涌泥的问题，此时水体会带走大量的泥沙，导致土体内部空洞范围越来越大，一旦受到重力作用，将会出现地表沉降、塌陷等问题。再次，伴随着涌水量的增加，隧址区域的地表水位和地下水位也会随之降低。最后，在发生突泥涌水后，会带走施工现场的泥浆等物质，在一定程度上会污染周围的环境。

2.3 突泥涌水的处理策略

针对隧道施工中出现的突泥涌水问题。首先，应在隧道穿越破碎断层带时，重视地质勘察工作的开展，并结合地质勘察结果，采用地震预报、雷达探测、钻探等方法，探测分析隧址区的地质特征。在此基础上，采取预防性的措施，确保隧道施工安全有序地开展。具体可通过引排、截留等方式进行处理，也可以通过回填加固、地表水疏排等措施，避免岩溶水对隧道施工产生不利影响，进一步提升隧道处理的效果。其次，为提升突泥涌水段的处理效果，可适当增加注浆长度，并提升注浆液体的强度。如果隧道穿越采空区，应根据采空区分布情况和积水、岩层情况，采取适宜的排水、加固和回填等措施，降低突泥涌水问题对隧道施工的不利影响。最后，也要综合考虑隧道施工现场的水文地质情况，制定完善的应急处理方案，一旦发现在隧道施工过程中有突发性突泥涌水事故，立即启动应急方案，争取在最短的时间内处理事故，由此降低事故带来的不利影响。各部门应明确自身的职责，施工人员也要具有强烈的安全防范意识，提升自身的自救能力。

3 项目背景

3.1 工程概况

某高速公路隧道为分离式双车道隧道，全长为 1853m，隧道截面尺寸为半圆拱形，洞高 5m，洞跨 10.5m。该隧道纵向穿过 2 条断层破碎带，隧址区具有丰富的地下水资源。隧道围岩等级为 IV 级。

3.2 水文地质概况

该隧道围岩主要为砂岩和泥岩，受风化与地下水影响，局部裂隙发育，岩体破碎，围岩强度较低，整体稳定性较差。隧道地层岩性主要为上部第四系坡积粉质黏土含块石、下伏侏罗系中统自流井组、强一中风化泥岩砂岩。

4 注浆加固方案设计与分析

4.1 初步处理

由于隧道穿过断层破碎地带，岩体裂隙发育，岩体富水性强，围岩稳定性差，使得在实际施工过程中出现突泥涌水的概率较高。在该项目实际施工中，待施工至进洞 245m 处穿越断层破碎带时，就发生了突泥涌水事故。通过对现场勘查后发现，在隧道掌子面前方 27m 有松散的塌方体。为了避免坍塌进一步扩展，需要进行初步处理，在具体的处理中，在塌方体外部采用 C20 模浇筑一道混凝土止浆墙，并

用 $\Phi 22$ 的拉结砂浆锚杆将止浆墙与周边围岩连接加固，同时用沙袋在止浆墙与隧道掌子面之间的空腔进行回填处理。这样的做法，也能为后续的超前注浆加固处理奠定良好的基础。

4.2 事故处置方案

针对隧道穿越断层破碎带时发生突泥涌水的问题，对事故段采用注浆加固技术，注浆范围为隧道掌子面前方 30m 和后方 30m（包括止浆墙）。第一次注浆作业结束后，先开挖 25m，预留出 5m 不开挖，并作为下一次存货的止浆岩盘。在隧道开挖轮廓线外 8m 进行注浆横向加固，主要沿着隧道开挖的轮廓线布置两圈注浆孔，并呈梅花形进行交错布置，最外圈注浆孔在隧道开挖轮廓线 7m 处，内圈则在 3m 处。具体可如图 1 所示。

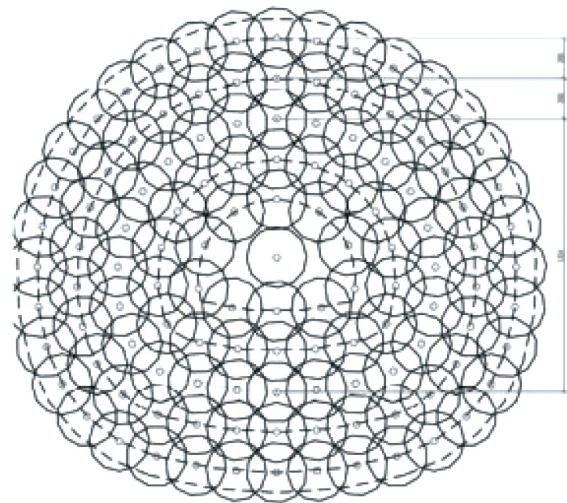


图 1 注浆加固断面设计

5 隧道突泥涌水段注浆加固技术要点

5.1 注浆工艺

1. 总体施工工艺

在隧道突泥涌水段采用注浆加固技术，主要为前进式分段注浆工艺。在实际施工中，首先需要确定注浆孔的孔位，组织专业测量人员，标定确定注浆孔的深度，并合理确定钻孔钻进的角度。在注浆前采用手风钻开孔，料，注浆时以单液浆为主，水玻璃-硅酸盐水泥组成的双液注浆为辅。其中，硫铝酸盐水泥为具有早强快硬特性的 425 水泥，425 普通硅酸盐水泥，浓度为 35~38Be 的水玻璃。具体的浆液配比如表 1 所示。

表 1 浆液配比参数

名称	浆液配比	
	水灰比	体积比
硫铝酸盐水泥单液浆	0.8 : 1~1 : 1	
普通水泥单液浆	0.6 : 0.8~0.8 : 1	-
普通水泥 - 水玻璃双液浆	0.8 : 1~1 : 1	1 : 0.3~1 : 1

浆液材料选择的原则为：①在注浆循环中，采用普通硅酸盐水泥单液浆作为顶水注浆孔的堵水材料；②终孔同样采用普通硅酸盐水泥单液浆；③分段注浆需根据现场实际情况及涌水量确定，若单孔涌水量低于 $10\text{m}^3/\text{h}$ ，采用普通硅酸盐水泥单液浆，若单孔涌水量在 $10\sim 30\text{m}^3/\text{h}$ ，需要根据现场实际情况确定，但如果单孔涌水量高于 $30\text{m}^3/\text{h}$ ，需要先用普通硅酸盐水泥单液浆注浆，并检测注浆过程中的注浆压力，如果注浆压力无法上升，则需要改用硫酸盐水泥单液浆注浆。

5.2 注浆过程控制

在分段注浆施工过程中，也需要明确其施工顺序。注浆顺序应是从外向内、自上而下，同时遵循动态调控、逐步推进的原则进行注浆。在实际施工中，需要通过注浆封堵涌水量较大的裂隙，然后按照发散一约束的原则有序开展注浆作业。施工步骤为：①施作隧道外轮廓的涌水注浆孔，实现外轮廓线的堵水；②施作内轮廓线的涌水注浆孔，采用跳孔方式施工，通过内外涌水注浆，提升堵水效果；③在达到初步的堵水效果后，间隔施作外轮廓剩余的注浆孔，之后施作内轮廓剩余的注浆孔；④施作掌子面的加固孔，采用跳孔方式组织施工。在完成全部注浆施工之后，需要检查隔孔，若发现有涌水量较大的注浆孔，需要加强注浆，由此巩固提升注浆的效果。

5.3 注浆结束控制与检查

单孔注浆压力设定为 3MPa ，采用定压的方式，作为单孔注浆结束的评判标准。在注浆结束后，应及时通过钻芯检验的方法评估浆液扩散加固的情况，然后结合检验的结果动态调整终孔压力，而不是机械地以一个固定值作单孔注浆结束的评判标准。在单孔的注浆压力达到设定的终孔压力值后，应至少保持 5min 以上才可结束单孔注浆作业。在完成全部单孔注浆后，若全部注浆孔均能达到设定注浆压力，

且无漏注的情况，可初步认定为全段结束。这期间需要及时记录注浆的情况，对注浆量的分布情况进行分析，针对注浆过程中的薄弱环节，需要按照 10% 的比例打设注浆效果检查孔，检查标准为单孔出水量小于 $2\text{L}/\text{min}$ ，如果全部注浆效果达标，可结束注浆，但如果发现不合格的情况，则需要及时补充注浆，直到全部注浆孔的注浆效果达到设计要求为止。

6 结语

综上所述，在高速公路隧道施工建设过程中，引起隧道突泥涌水的原因有许多，往往是在多种因素的综合作用下，从而引发隧道突泥涌水问题。这就需要在施工前，加强施工区域的地质勘察，并制定突泥涌水灾害的防治方案，确保突泥涌水事故得以有效处理。另外，在突泥涌水处置过程中，注浆加固是常见的病害处治手段，而注浆质量直接影响突泥涌水加固的效果。为此，论文以某高速公路隧道为背景，着重对突泥涌水注浆加固技术进行分析研究，包括注浆工艺、注浆顺序、注浆控制等这些内容，并在施工病害处治中获得了良好的效果。通过实践证明，注浆加固技术是处理隧道松散体的有效手段，值得进一步推广应用。

参考文献：

- [1] 胡思维. 炭质泥岩隧道洞顶地表裂隙披露及注浆加固[J]. 广东公路交通, 2021, 47(6): 44-48.
- [2] 肖罗峰. 地铁隧道施工中复杂地质超前注浆加固施工技术[J]. 工程机械与维修, 2021(6): 172-173.
- [3] 张俊伟. 基于注浆加固工况的隧道下穿既有通道相互力学作用分析[J]. 工程建设与设计, 2021(19): 167-170.
- [4] 谢飞. 不同出水状态岩质隧道围岩注浆加固方法和材料选择研究[J]. 市政技术, 2021, 39(9): 83-86.
- [5] 舒恒, 彭雨杨, 宋明, 等. 超大直径盾构隧道穿越岩溶发育区地表注浆合理加固范围[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(25): 10948-10955.