

# 浅析富水地层中盾构施工防喷涌技术

戴佳伟

合肥市轨道交通集团有限公司

**[摘要]**盾构在穿越富水沙层或者裂隙水发育地层时常会出现喷涌现象,不仅影响施工安全、进度,过大的喷涌更会引起地表沉降等次生灾害。本文结合工程实例,在分析喷涌发生因素的基础上,综述喷涌控制技术措施,为地铁高效施工提供借鉴。

**[关键词]**盾构;富水沙层;防喷涌

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.09.385

## 引言

在地铁盾构隧道施工中,时常遇到承压水或岩层裂隙水发育地层,控制喷涌是中国当前地铁盾构隧道工程亟待解决的关键技术问题。为有效控制喷涌,首先应理解喷涌发生的机理,再提出相应的解决措施。

朱伟等建立了盾构机内水压力递减模型,基于模型推导了水压力和流量的变化关系来用于解释喷涌发生的机理<sup>[1]</sup>,得出了喷涌由排土口的水压力和渗流量共同控制,土体的渗透系数成为影响喷涌发生最主要的因素和最敏感的条件。当螺旋输送机出口处当水压和涌水量均较大时,才会发生喷涌事故,否则不构成喷涌,尚属可控范围。赵宗智<sup>[2]</sup>等把影响螺旋输送机渣土水头分布的附加推力、地层弹性模量、地下水位高度、刀盘埋深作为研究对象,最终得出超孔隙水压力大小与隧道埋深、地下水水位高低关系不大,决定性影响因素是正面附加推力大小。建立了考虑施工正面附加推力影响的渣土水头分布模型,通过推导得出正面附加推力与开挖面超孔隙水压力间的关系式,给出了轻微喷涌和严重喷涌的预警指标。陈泽<sup>[3]</sup>等研究喷涌发生机理后,建立压力水头递减模型得出螺旋输送机出渣口的压力水头与相应参数的比例关系,从而设计出一种新型防喷涌装置,将该装置应用于工程实际,取得了良好的效果。贺少辉<sup>[4]</sup>等为砂卵石地层中高压水条件下改良渣土的定量参数确定建立了试验模拟与测试方法。

## 1. 盾构喷涌原因分析

### 1.1 水文地质原因

实际工程中,很多项目因工程勘察不准确,导致盾构所穿越的地层与设计文件穿越的地层情况有偏差,盾构穿越的地层含水量大。当盾构机掘进过程中位于富水地层时,对原状地层有扰动,地下水会通过岩层裂隙进入土仓,且存在较大的水压力,打开仓门后,造成喷涌。尤其盾构处于中风化或者砂卵石地层,裂隙水发育,仓内岩石颗粒非亲水性,未能有效改变渣土渗透性,在水力梯度大的情况下,更易发生喷涌。

### 1.2 止水措施不到位

当处在下坡掘进时,如果同步注浆及二次注浆不及时,盾构机后方的水会经过管片外围孔隙流到刀盘位置,容易随切屑

下的土体一起进入土仓内。

### 1.3 掘进参数不当

盾构司机往往按照以往的施工经验选择掘进参数,没有根据实际地层情况作出相应调整,再加上遇到强度较大岩层时,推进速度较小,仓位设置过低,螺旋机切屑的渣土均为小石块,输送出的渣土呈现分离状态,添加的膨润土及泡沫剂又不适合该地层渣土改良,更加剧了螺旋机尾部的喷涌。

## 2. 采取的措施

### 2.1 掘进参数调整

针对上软下硬地层中,升高仓内压力,阻止仓内进水。根据地层实际情况,减小刀盘扭矩,降低刀盘的贯入度,增加盾构刀盘转速,提高盾构掘进速度。降低螺旋机出渣速度,增加土仓仓位,保证仓内渣土的覆盖螺旋机顶部。

### 2.2 增设封水环

针对处于下坡掘进的盾构机,为防止地下水从盾构后方管片外侧流到刀盘处,在盾尾后方管片吊装孔中加注水泥水玻璃双液浆,形成一道止水环,对于有承压水的地层,因加密封水环。随着盾构推进,二次注浆及时跟上,用来充填尾部空隙,弥补地层损失。

### 2.3 渣土改良

防止喷涌的另外一种方法是对仓内渣土进行改良,解决螺旋机喷涌问题的关键在于改良渣土的渗透性和渣土黏度<sup>[5]</sup>,改良后的渣土应当具有较小的孔隙比,较低的渗透性,合适的黏度以及较好的流动性。施工中常见是添加膨润土、泡沫剂及高分子聚合物。采用膨润土对渣土进行改良,能够有效降低刀盘扭矩,在渣土表面形成泥膜,减小土体内摩擦角,改善渣土的和易性。泡沫中的活性剂分子可吸附在土颗粒表面,增加土体流动性、减小摩擦角的作用;高分子聚合物中的能够吸收比自身体积大几百倍的水,并填充土颗粒空隙,形成高黏性溶胶,降低渗透性,减小发生喷涌的可能性。

实际工程中经常是喷涌发生后再进行对应的土体改良,理论上土体改良进行的越早越有利于地层变形的控制,因此,结合现场实际对可能发生的喷涌进行提前预判,提前进行土体改良等措施。

## 2.4 辅助气压

清理出仓内部分渣土，利用盾构保压系统向土仓内加压，再通过加入气体与土仓的碴土和液体混合，平衡刀盘开挖面的水土压力，维持开挖面的稳定。相比较传统添加高分子聚合物方式采用加气排水方式对周边环境的影响较小，自然空气会快速进入盾壳与地层的开挖间隙，平衡盾壳周围土体和地下水。

## 2.5 降低水压

减小水压力是避免盾构喷涌的一个重要方法。首先判断喷涌水的来源，若打开盾尾后方的管片吊装孔，仅有少量水流出，则喷涌水主要来自盾构前方，可以在地面预先打降水井降水。若水来自盾尾后方管片外围地层，则通过合理布置放水孔，降低掘进过程开挖面的水压缓解喷涌。

## 3. 工程实例

某盾构隧道，处于-25‰变为+18.698‰的变坡段，区间间距12~16米，埋深18.15米~31.28米，下穿段地层从上到下依次为素填土、粉质黏土、淤泥层、粉砂夹粉质黏土、粉细砂夹粉土、全风化泥质砂岩、强风化泥质砂岩、中风化泥质砂岩。天然单轴抗压强度平均值为31.08MPa，泥质砂岩富水性及透水性均较弱，裂隙水总体贫乏，地下水总体不发育。区间大部分场区地处河漫滩，地下水主要为上层滞水、承压水和基岩孔隙、裂隙水。下坡推进过程中盾构穿越局部基岩裂隙水丰富区，且与附近河道存在水力联系。由于开挖面上水压力过高，盾构处于中风化岩层，土仓内的岩石碎块不具有止水性，螺旋输送机很难将仓内的水土混合后一起排出。过高的水压力带动土颗粒一起在仓门打开的瞬间，在无压的隧道内部喷涌而出，最终导致管片拼装区积水较多，以致盾构施工处于“掘进一喷涌一清渣一管片安装”的低效率循环中。

本工程实例中，为保持连续快速推进，定时维修保养盾构机及后配套设备。严密监控螺旋机出土口的出土情况和土仓的压力变化情况，发生喷涌时关闭螺旋机出土口处的闸门，保持土仓内的土压稳定。

根据区间的盾构参数同步注浆即6.1~6.5m<sup>3</sup>/环，注浆压力控制在0.1~0.3MPa。当管片脱出5环后及时组织二次注浆，二次注浆通过二次注浆泵将水泥浆和水玻璃通过管片上预留的注浆孔注入管片与周围土体之间，二次注浆采用压力控制，压力控制在0.3MPa以内。每隔3环采用二次注浆进行封水环注浆，保证下坡阶段成型隧道的水不聚集到盾尾。定期进行开孔检查，若水流量过大，减少封水环间隔。

另外为防止泥水渗漏过多，在出土仓门处皮带机两侧焊接

封闭钢板（如图1），改变仓门开启角度，控制喷涌渣土的方向，使得绝大部分渣土能够通过皮带机运送出去。另外控制螺旋输送机仓门的开启度，喷涌较大时，控制到10%以下，始终保持土仓内压力稳定。盾构机因故复推后，应先关闭螺旋输送机仓门，适当向前掘进，使得仓内土体充分搅拌均匀，然后将螺旋输送机仓门小角度开启。对于遗漏在拼装区的泥水，用水稀释后，采用泥浆泵抽出，提高清理效率。

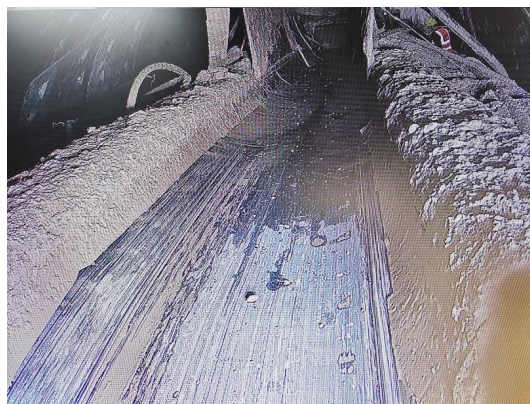


图1 螺旋机出渣口改造图

## 4. 结语

(1) 地层中水量大、渗透系数高是发生喷涌的主要原因，施工中应进行壁后同步注浆及二次补浆，合理调整注浆参数，加密封水环，尽量降低水进入土仓的可能性。

(2) 项目实施前仔细研究工程周边环境、地质勘查报告及设计文件，从盾构机选型及刀盘配置上解决问题。项目实施过程中，相似地层中若遇到喷涌现象，应总结盾构机掘进参数、泥浆配比、止水方式等相关经验，用于指导后续推进。

(3) 喷涌过大时，应注重实际出土量控制，避免超挖。及时调整土仓压力、推力、螺机转数等参数，防止水土流失过多，造成地面沉降，同时应加强对周边环境的巡视、监测。

## 参考文献

- [1] 赵宗智, 崔明, 荆敏等. 考虑施工过程的土压平衡盾构喷涌预警研究[J]. 北京交通大学学报, 2020, 44(06): 1-7.
- [2] 陈泽, 钟志全, 袁树林. 土压平衡盾构新型防喷涌装置[J]. 建筑机械化2019(10): 47-49.
- [3] 贺少辉, 张淑朝, 李承辉等. 砂卵石地层高水压条件下盾构掘进喷涌控制研究[J]. 岩土工程学报2017, 39(9): 1583-1590.
- [4] 魏文义. 土压平衡盾构加气排水防喷涌技术研究[J]. 科技研究, 2021(2): 38-42.
- [5] 齐保卫, 马琳, 韩洋洋, 赵江涛, 李坤. 盾构法施工喷涌防治技术[J]. 建筑机械化, 2021(7): 27-37.