

大直径泥水盾构泥岩地层掘进施工控制技术

赵斌

中铁十四局集团大盾构工程有限公司, 江苏 南京 211800

[摘要]随着社会的不断发展, 交通、通讯、电力开始向地下延伸, 对地下隧道的要求不断提高。盾构机作为一种地下隧道施工的一种工程机械被广泛应用。安全穿越泥岩地层及构建筑物是本次掘进施工中的关键所在。文中基于海瑞克 S-1227 盾构机在南宁留村隧道事例, 结合大直径泥水盾构在穿越全断面泥岩地层时作业情况, 针对在施工作业中遇到的刀盘结泥饼、舱内滞排、刀盘扭矩大、掘进速度慢等问题, 进行了相关的原因分析, 并针对性地提出处理措施, 总结实践经验并进行探讨, 为其他类似工程中遇到的类似问题的处理提供参考。

[关键词]泥水盾构; 泥岩地层; 滞排; 适应性改造

DOI: 10.33142/ec.v5i4.5840

中图分类号: U456.31

文献标识码: A

Construction Control Technology of Large Diameter Slurry Shield Tunneling in Mudstone Stratum

ZHAO Bin

China Railway 14th Bureau Group Mega Shield Engineering Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211800, China

Abstract: With the continuous development of society, transportation, communication and power begin to extend underground, and the requirements for underground tunnels are increasing. Shield machine is widely used as a kind of construction machinery for underground tunnel construction. Safe crossing of mudstone stratum and structures is the key in this excavation construction. Based on the case of Herrick S-1227 shield machine in Liucun tunnel in Nanning, combined with the operation of large-diameter slurry shield when crossing the full section mudstone stratum, this paper analyzes the relevant causes of the problems encountered in the construction operation, such as mud cake binding of cutterhead, sluggish discharge in cabin, large torque of cutterhead and slow tunneling speed, puts forward the treatment measures, summarizes the practical experience and discusses them, which provides a reference for the treatment of similar problems encountered in other similar projects.

Keywords: slurry shield; mudstone stratum; sluggish drainage; adaptive transformation

引言

在城市隧道的施工工法中, 盾构法施工以其高效性、高安全性及高适应性等优点成为城市隧道施工工法的首要选择。盾构法施工中最常用的为泥水平衡盾构和土压平衡盾构, 两种盾构对地层的适应性也有区别: 在地层渗透系数较大的富水砂层、砂砾层等地层中宜选用泥水平衡盾构; 其他地层中宜选用土压平衡盾构。

由于受隧道线路走向及各地区地质条件的影响, 本次隧道盾构的掘进断面在均一地层中, 遇到特殊复杂的地质情况, 对盾构的掘进施工造成极大的困难。

随着相关技术的迅速发展, 大直径泥水盾构已经被使用于越来越多的复杂地层。徐汪豪等依托清华园盾构隧道, 对大直径泥水盾构在复杂互层地层下的掘进参数进行了研究。李波等结合武汉三阳路越江隧道泥饼淤积、掘金低效等问题, 对大直径盾构在复合地层中的设备及参数改进进行了研究。针对海域软土地层, 陈桥等对掘进推进系统的参数控制进行了研究, 给出了分区推力的建议控制范围和优选方案。王振飞等以北京地下直径线盾构隧道试验段工程为依托, 系统分析了富水砂卵石地层大直径盾构施工刀具的磨损规律及磨损原因。

泥岩地层中一般使用土压平衡盾构施工, 泥水盾构施工的案例较少, 关于这方面的施工控制技术研究较为有限。本文以南崇铁路 NCZQ2 标留村隧道为例, 总结泥岩地层中泥水盾构掘进施工的经验。结合施工中遇到的问题, 针对泥岩地层中刀盘结泥饼舱内滞排、刀盘扭矩大、推进速度慢等问题, 提出处理措施

1 工程概述简介

1.1 工程概况

留村隧道位于南宁市江南区、经开区, 隧道起始于 DK8+605 留村南端尽头西侧, 出口段明挖隧道沿留村路下敷, 后下穿那洪大道及上跨在建地铁 4 号线区间隧道, 下穿 272 地质队宿舍、东盟汽配城、南站大道、湘桂线、反倒线、环发线、外包线、海吉星冷链、下穿云桂高铁后, 沿云桂高铁向东下穿地铁 5 号线亭洪西路站(在建)、壮锦大道、在建亭洪路延长线后终于 DK4+599 云桂高铁北侧。

主要施工内容为一座留村隧道, 隧道进口包含 U 型槽 210m, 明挖隧道 269m, 隧道出口为明挖隧道 1240m, 中间盾构段长 4006m。

全线自南向北共设置 2 个井口, 1#竖井为盾构接收井, 该竖井位于云桂高铁北侧, 中心里程为 DK4+599。2#竖井

为盾构始发井，位于留村南端尽头西侧，利用明挖基坑场地条件进行整体始发，中心里程为 DK8+605。

留村路隧道设计为单洞双线隧道，管片外径 12.4m，内径 11.3m，厚度 0.55m，环宽 2m，采用 6+2+1 分块设计。CRTS I 型双块式无砟轨道 11.45 铺轨公里。

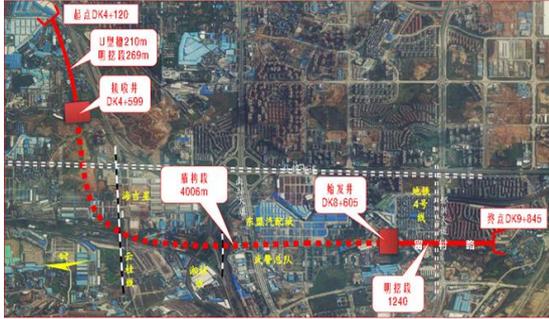


图 1 轨道走向图

1.2 工程地质

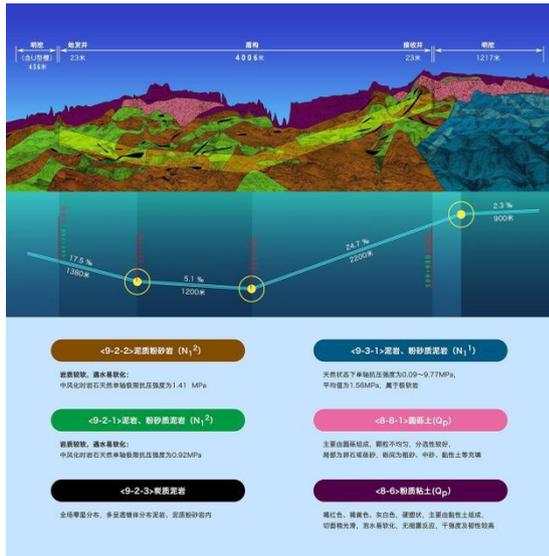


图 2 地层图

主要穿越地质为：

<9-2-1>W2 中风化泥岩、粉砂质泥岩；

<9-2-2>W2 中风化泥质粉砂岩；

少量 <9-2-3> 碳质泥岩。

1.3 盾构概况

根据水文地质条件，留村隧道盾构区间采用 1 台开挖直径为 $\phi 12.86\text{m}$ 的海瑞克泥水平衡盾构施工。

盾构刀盘采用面板+辐条的复合式刀盘。

- 开口率： 47%
- 重量： 250t
- 中心鱼尾刀： 8 把
- 正面撕裂刀： 26 把
- 边缘撕裂刀： 12 把

正面刮刀： 192 把

边缘铲刀： 40 把

搅拌棒： 2 处

盾构泥浆环路管路 6 路通往开挖仓，9 路通往工作仓。

2 盾构施工情况

2.1 泥岩地层掘进情况

隧道盾构于 2019 年 12 月 26 日始发后至 2020 年 3 月 29 日掘进至 50 环（1~20 环为泥质粉砂岩，粉砂质泥岩地层，21~50 环地层为 1/3 泥岩，2/3 粉砂岩）。逐步出现刀盘扭矩增大，泥浆门堵塞滞排，掘进速度慢等情况，37~50 环掘进参数出现变化，盾构掘进进入泥岩地层后，扭矩持续增大，推力持续增大，掘进速度持续下降，伴随着仓内严重的堵塞滞排，泥水分离设备分离出来的渣土越来越少。

2.2 原因分析

2.2.1 掘进效率低的原因分析：

根据掘进速度慢，刀盘扭矩大以及分离出来的渣土情况，判断仓内严重淤积滞排。将泥水分离设备分离出来的泥岩地层中的中风化泥岩土样进行颗粒分析，土样见下图 3。



图 3 风化泥岩土样

中风化泥岩主要由蒙脱石、石英、云母、菱镁矿、长石和方解石组成，其中蒙脱石是一种典型的粘土矿物。蒙脱石具有强大的离子交换能力和亲水性及其优异的吸水膨胀能力和吸附能力。这种粘土矿物遇水膨胀，且非常粘稠，极易团聚抱团，因此推测蒙脱石是地下泥岩粘附盾构刀盘，造成仓内滞排的根本原因。

于 3 月 3 日带压进仓进行检查，发现刀盘上刀箱、开口处均被严重堵塞，同时由于泥岩强度较低，掌子面较软，造成撕裂刀及刮刀在掌子面形成轨迹，不能有效切削、破岩，进一步造成刀盘面板也被糊住，中心位置完全堵死，仓内严重淤积，泥水仓舱壁沾附大量泥块。

2.2.2 造成滞排的原因分析

(1) 刀盘设计

本工程盾构机采用常规式刀盘

刀盘开口率 47%，其中辅臂为面板式，不利于切削下来的渣土的流动，易在刀盘辅臂与掌子面间挤压形成泥饼；刀盘背部搅拌棒长度距离泥水仓舱壁板距离过远，不能很好地将渣土搅拌起来。

(2) 气泡舱结构设计

气泡舱是泥水平衡盾构机所独有的舱室，上部为压缩空气，下部分为泥浆，通过调节上部压缩空气的压力来平衡掌子面压力。

①吸口：吸口至前闸门距离 1210mm，距离过长，导致吸口对前闸门处吸力不足，致使前舱渣土不能排出，造成前舱滞排。

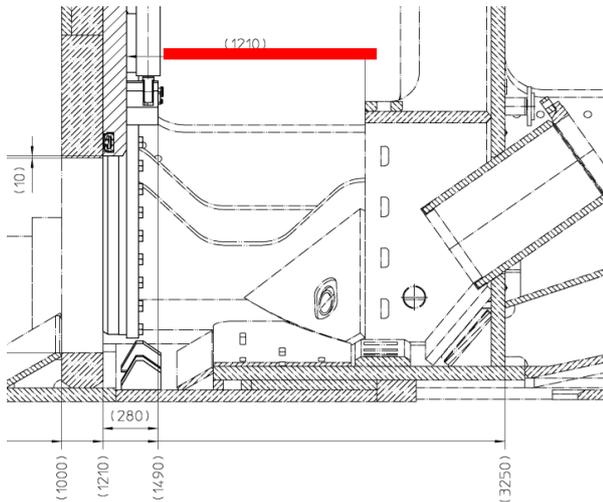


图4 吸口

②碎石机：本项目前舱设置为碎石机，最大破碎直径 1000mm，最小为 18mm。

本项目碎石机设计在此地层中效果不佳，主要体现在地层主要为泥岩及泥质粉砂岩，基本无强度较大的孤石或圆砾，且该碎石机设计不利于渣土的排出。

③格栅：本项目吸口前部设置格栅防止大块渣土直接进入吸口堵塞吸口或对出浆泵造成损伤。格栅整体尺寸 2000x1000mm，其中间开口尺寸为 200x200mm。

在此类地层条件下，格栅同样对渣土的排出造成一定的影响，致使出浆泵吸口负压，造成前舱渣土滞排。

3 处理措施

3.1 带压进仓清理

带压进仓清理前舱是最直接解决舱内滞排问题的方法，但工期长、费用高、风险系数高，且不能从根本上解决舱内滞排问题。至 3 月 20 日共计进仓 90 仓，将刀盘开口间渣土及工作仓渣土基本清理完成，3 月 21 日恢复掘进，仅顺利掘进 2 环后，掘进速度明显下降，扭矩增大。于 3 月 29 日再次进仓检查，发现舱内滞排依然严重，随后再次进行了清理。

3.2 对盾构机设备改造

(1) 刀盘改造

针对此类地层建议盾构机刀盘选用辐条式：

增强渣土的流动性，防止渣土在刀盘与掌子面间挤压形成泥饼；增加刀盘背部搅拌棒长度及数量，提高对渣土的搅拌能力，减少渣土在仓内淤积。

(2) 拆除格栅，碎石机停止使用

针对格栅对渣土外排中的阻碍作用，拆除吸口正前方中间位置格栅，使得吸口直接将渣土抽走。

碎石机停止使用，使两侧大鄂完全打开，不影响渣土向吸口方向流动。

(3) 吸浆口管路改造

吸浆口距离前闸门距离过远，为提高吸口对渣土的吸力，延长吸浆管路至前闸门后部 20cm，为不影响后期接收时碎石机的使用，管路延伸采用法兰盘式连接方便后期管路的拆除。

(4) 改造舱内冲刷管路

渣土在工作仓粘附及堆积必然需要一定的时间及过程，若在工作仓增大冲刷能力，提高泥浆管路的冲刷效果，减少渣土在工作仓堆积的时间及效果，必然能改善泥水仓及工作仓堆积情况。增大冲洗效果最直接的途径就是提高冲刷管路的泥浆流速及压力。

选择性的对工作仓内泥浆循环管路进行加强改造。减小冲刷管路出口的口径并延伸至前闸门后部，加强冲刷管路对前闸门渣土的冲刷效果。

V5 碎石机冲刷管路 DN100 变径至 DN50 并延伸至前闸门处。如下图 5：



图5 冲刷管路

②V6、V7 碎石机底部冲刷管路 DN100 变径至 DN50 并延伸至前闸门处。如下图 6：

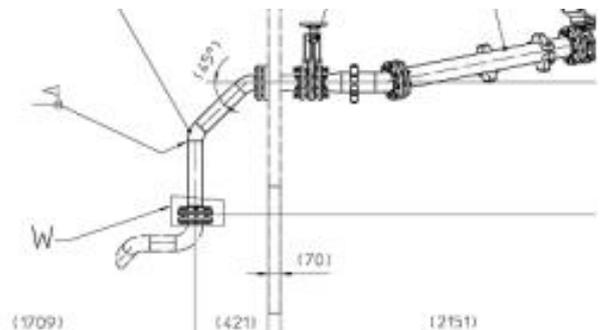


图6 改造前结构图

③V3、V4 底部冲刷管路 DN200 变径至 DN50 并延伸至前闸门处。

改造之后，改善了工作仓内的循环环境及冲刷下过，出渣效果得到了明显的改善。

④增加冲刷泵

考虑到开挖仓距离刀盘掌子面距离过长，牛腿位置为盲板，刀盘冲刷孔少且冲刷压力不足，在盾构机 P0.1 泵后部增加一台 P0.2 泵利用进浆管路及水平探测管路对刀盘及开挖仓增大冲刷流量及压力，减少渣土在开挖仓的黏结，加快渣土流动，防止刀盘结泥饼、开挖仓渣土淤积。

3.3 优化盾构掘进参数

(1) 根据地面监控量测及建构筑物情况，实行半仓推进模式。半仓气压模式是：利用顶部建仓的平衡管向开挖仓进气通过环流排出泥浆，使得开挖仓上部用压缩空气填充且与气垫仓的压力平衡，开挖仓浆液为半仓。与满仓推进相比。①降低刀盘开口和刀箱被黏土塞满的可能；②有利于渣土的流动：上部气体中切削下的渣土直接落入下部泥浆中，减少了渣土悬浮在浆液中的时间，更有利于渣土的流动；③冲刷更有效：冲刷系统泥浆可直接作用于刀盘面板，有效的防止刀盘结泥饼；④提高掘进效率。扭矩减小，总推力降低，有效推力增加，增加贯入度，提升掘进速度，进而提高掘进效率。

(2) 根据掘进参数定期采用分散剂或双氧水对刀盘进行浸泡，用于消除或减少泥饼形成的概率，减少后期带压进仓频次，降低施工风险。

(3) 在泥岩段掘进过程中严控泥浆指标，要求进浆比重不超过 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ ；

(4) 增大仓内泥水循环流量及循环时间。

(5) 控制掘进速度 $10\sim 15\text{mm}/\text{min}$ ，刀盘转速控制在 $1.2\sim 1.3\text{rpm}$ ，减小切削土体粘附刀盘可能性。

4 改造后盾构施工情况

4.1 改进后盾构机施工参数分析

(1) 改进后推进速度如图 7。

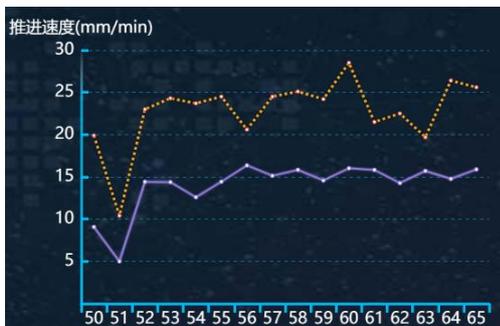


图 7 推进速度对比图

管路改造后推进速度明显上升，速度基本稳定在 $9\sim 18\text{mm}/\text{min}$ 。

(2) 改进后刀盘扭矩如图 8。



图 8 刀盘扭矩对比图

管路改造后推进速度明显上升，扭矩基本稳定在 $10\text{MN}\cdot\text{m}$ 。

(3) 改进后贯入度如图 9。



图 9 贯入度对比图

管路改造后推进速度明显上升，贯入度基本稳定在 $12\text{mm}/\text{rot}$ 。

4.2 改进后施工区域监测数据分析

改造后对施工区域进行地表沉降监测 50-65 环间距 30m，共布设地表监测断面 4 个，点号 DB20~DB23。自 3 月 1 日至 6 月 1 日各观测点沉降变化曲线如下图 10 盾构机通过时略有沉降，沉降幅度保持在 4mm，通过后数据趋于稳定。改造后设备对该地层适应性增强，能够保证高效、稳定、安全掘进作业。

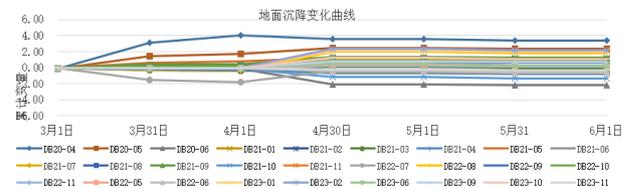


图 10 沉降变化曲线图

5 结语

根据盾构泥岩段地层中掘进采取的各项处理措施及相应效果，综合对比，总结行之有效的措施如下：①降低泥浆比重：尽可能采用 $1.1\sim 1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 比重的泥浆进行循环；②带压进仓清理：进仓清理效果明显，但效率低、投入大、工期长，恢复掘进后很快后会再次出现滞排现象，

故此项措施只能作为辅助措施；③加强工作仓冲洗效果：尽可能在仓内上设置点对点的高压泥浆冲洗，尽可能降低冲洗口与前闸门的距离；减少刀盘泥饼附着点，以及渣土在舱内的停留时间，从而缓解刀盘结饼速率；④选用合适浓度的添加剂：根据地层岩土的化学分析报告，采用有针对性的添加剂，并根据实际情况进行配比试验，根据施工情况进行使用。⑤在确保掌子面稳定的前提下，可尝试采用半仓掘进模式。

[参考文献]

- [1]陈桥,孙振川,张兵,等.超大直径盾构在海域软土地层掘进推进系统参数控制方法研究——以汕头海湾隧道工程为例[J].隧道建设(中英文),2020,40(1):126-133.
- [2]李波,包蓁.武汉轨道交通7号线三阳路越江隧道施工关键技术[J].隧道建设(中英文),2019,39(5):820-831.
- [3]徐文平,王星钧.泥水平衡盾构穿越泥岩地层时的施工

技术[J].建筑机械化,2019,40(3):52-53.

[4]徐汪豪,倪婉昱,赵海涛,等.清华园盾构隧道复杂互层地层下的掘进参数研究[J].隧道建设(中英文),2018,38(2):373-378.

[5]徐文平.穿越泥岩地层的泥水平衡盾构推进技术与实践[J].企业科技与发展,2018(2):153-156.

[6]张海彬.泥水平衡盾构机泥岩地层适应性优化改造探索[J].山西建筑,2017,43(19):151-152.

[7]曾垂刚.泥岩地层中泥水盾构掘进施工技术[J].建筑机械化,2017,38(6):48-52.

[8]王振飞,张成平,张顶立,等.富水砂卵石地层大直径盾构刀具的磨损与适应性[J].北京交通大学学报,2013,37(3):62-67.

作者简介:赵斌(1983-)男,南京人,本科毕业于石家庄铁道大学,主要从事盾构隧道相关工作。