

Construction Technology of Shield Crossing Upper and Lower Hard Strata

Jinlong Liu

Nanjing Branch of CCCC Tunnel Engineering Bureau Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

In order to ensure the smooth tunneling of the shield, measures such as bentonite replacement, suspending agent and WSS grouting reinforcement are adopted to improve the shield tunneling. The construction effect is good, which effectively controls the ground settlement and the safety of surrounding buildings in the process of shield tunneling, and provides a reference for similar situations encountered in the construction of relevant projects in the future.

Keywords

high soft and low hard formation; muck replacement; muck improvement

盾构穿越上软下硬地层施工技术

刘金龙

中交隧道工程局有限公司南京分公司, 中国 · 江苏 南京 210000

摘 要

为保证盾构顺利掘进, 采用膨润土置换、悬浮剂、WSS注浆加固等措施改善盾构掘进。施工效果较好, 有效地控制了盾构掘进过程中地面沉降和周边建筑物的安全, 为今后相关工程在施工中遇到类似情况提供参考。

关键词

上软下硬地层; 渣土置换; 渣土改良

1 引言

花岗岩、混合岩及灰岩等硬岩地层主要分布于中国东南、华南及华北沿海地区。硬岩和软弱土层, 两者地质特性差别较大, 盾构隧道由于埋深及线路坡度原因, 隧道不可避免会有部分位于硬岩、部分位于软弱土层中。盾构在上软下硬复合地层中施工通常会遇到参数异常、推进速度缓慢、超挖、地面下沉甚至会造成坍塌、刀盘磨损严重、螺旋机喷涌等问题。这些技术难点也成为制约盾构施工的关键性因素, 从事隧道施工的技术人员也一直在研究和分析。

2 工程实例简介

佛山市城市轨道交通 3 号线工程创意园站至逢沙站盾构区间长 1958m, 采用土压平衡盾构法施工, 刀盘开挖直径 6.48m, 掘进至 750 环位置时底部存在基岩凸起, 导致盾构机掘进缓慢、渣土改良效果差、出渣困难、喷涌等问题, 地面距离构筑物较近, 施工风险较高。

该区域顶部覆土深度约 23.4m, 该处地质情况由上至下

分别为素填土、淤泥质土、淤泥质粉细砂、粉质黏土、粉细砂、花岗岩; 隧道通过的地层主要为上部硬塑状砂质黏性土, 底部为中风化花岗岩, 隧顶为粉细砂层, 为典型的上软下硬复合地层; 地面建筑物为电建明悦华府。

3 上软下硬复合地层的特征

上软下硬地层主要由下部的硬岩地层和上部的软弱土层组合而成的岩土地层。上部土层软弱, 不能承受过多的扰动, 下部的岩层强度能达到几十甚至一百兆帕以上, 本工程穿越的复合地层为下部为中风化花岗岩, 顶部为黏土层和粉细砂层^[1]。

4 上软下硬地层的施工风险

由于上软下硬地层的特殊性, 使得盾构机在施工过程中容易产生下列风险:

①由于隧底是岩层, 刀盘贯入岩层难度较大, 而切削软土层较容易, 使得盾构机盾体姿态容易上浮。

②由于地层分布不均, 刀具在地层交界面容易发生磕碰, 造成刀具刀圈损坏, 推力降低时, 刀具达到不旋转的启动扭矩, 容易发生偏磨。

【作者简介】刘金龙(1986-), 男, 中国河北承德人, 本科, 工程师, 从事市政地铁施工技术研究。

③在上软下硬地层中施工,因底部的硬岩强度高贯入度较小,速度缓慢,顶部软土扰动后易变形涌入土仓,形成喷涌,导致出土量过大,最终造成地面下沉或坍塌。

④施工过程中为了保持上部软土地层的稳定,通常土仓压力略高于掌子面水土压力,而施工过程中掘进、出渣缓慢,土仓内渣土温度升高,刀盘容易出现结泥饼的现场。

5 施工中主要问题

因前期筹划准备不充分和施工过程中对地层的判断出现偏差,施工过程中易发生如下问题:

①地质预报不准确、掘进参数设置不合理,刀盘转速、扭矩、推力较大,盾构掘进不顺利、姿态难以控制等问题。

②渣土改良效果差、出渣量难以控制,地表沉降及坍塌。

③盾构刀具磨损严重,需频繁带压开仓。

④上部软土松动,大量泥水涌入土仓,形成喷涌,刀盘出现卡死现象;为防止地面沉降,往往土仓压力较高,容易引起地面隆起冒浆等问题。

6 施工前准备

6.1 技术准备

施工前针对地层变化区域提前做好地质预报,可根据地勘图初步确定地层改变处,在地层变化位置前后 10~20m 范围内加密地质探孔,通过钻孔取芯的方式详细判断地质变化情况,确定岩面高度及岩层的强度,绘制地质变化图。

6.2 优化施工参数

第一,在穿越上软下硬地层前,需要做好目标区域沉降及构筑物情况的把握,以此确定施工参数。

第二,施工人员在掘进参数进行优化时,要做好沉降规律的总结,通过科学分析方式的应用对相关掘进参数进行扩展,以此提高施工效率。

同时,还需要做好地面沉降控制工作,保证盾构施工能够在此环境下良好完成,避免在施工中出现较大的沉降和地面坍塌问题。

6.3 材料设备及人员

在盾构穿越工程建设中,对于盾构机性能的保证以及后配设备的维护可以说非常重要的一项工作。施工人员要通过科学措施的应用保证盾构机能够得到合理的应用,即保证其具有平稳的运行状态。对于拌合站以及注浆设备,在施工之前也需要对其状态进行全面的检测保养,保证其具有较好的运行状态,能够在施工中快速通过风险区域^[2]。

6.4 施工环境调查

在盾构穿越上软下硬地层前,做事施工环境的调查可以说是非常重要的一项工作。在该项工作开展中:首先,施工人员能够对施工区域气象条件具有充分的了解,将其作为工程勘察工作的关键;其次,要做好目标区域地层分布成因

的把握,在此基础上对地下水类型做好分析;最后,要做好岩土参数测量工作,在联系实用性原则的基础上在地质条件调查工作中做好静态检测以及速度测试技术的应用,以此为后续工作打下基础。

7 盾构穿越上软下硬地层的技术措施

7.1 新型渣土改良剂的应用

渣土改良是盾构穿越技术应用中的关键内容,作为施工人员,在实际盾构施工中需要对该技术进行优化应用,通过该技术的应用,能够将螺旋输送机以及刀具设备保护的基础上做好软岩稳定性的控制,以此保证施工中土压能一直维持在一定的稳定水平。本工程采用新型渣土改良剂(悬浮剂)改善渣土流塑性。

7.1.1 悬浮剂技术性能

悬浮剂有效成分在一定压力作用下能够选择性地通过化学物理作用粘附于渣土表面,能够将松散的渣土与水通过悬浮剂的“桥联”作用糅合调整为较好流塑性状态,从而达到掌子面稳定、止水、均匀顺畅出渣的目的。

悬浮剂能根据不同的施工地质状况,可防止渣土沉底凝聚,使渣土具有良好的流变性,分散均匀,细颗粒形成悬浮态,有效降低渣土的透水性,减少刀具及螺旋机的磨损。具有良好的润滑降低扭矩的作用。在富水地层使用可以有效防止喷涌。悬浮剂可以和泡沫剂同时使用。具有使用方便,环保,用量低,对设备无腐蚀性和地层适用范围宽广等优点。

7.1.2 不同地层配置用量

黏土,交互层,使用配比浓度,水与智能渣土悬浮剂比例为 1000 : 0.5 到 1000 : 1,根据地层含水量而定。

沙土与卵石交互层,使用配比浓度为水与智能渣土悬浮剂比例在 1000 : 1 到 1000 : 5,根据地层含水量而定。

富水砂层/砂卵石地层,水量大,为达到止水防喷涌状态,推荐使用浓度为 1000 : 5,配比浓度最高可达 1000 : 10。

硬岩掘进,主要是降低扭矩,减少刀具磨损,可将浓度配比为 1000 : 1。若裂隙水丰富,可将用量相对应提高;

以上用量仅供参考,实际用量以达到出渣顺畅不喷涌为前提。考虑到泵送性,悬浮剂最大与水配比浓度不超过 1000 : 10。

7.1.3 注入量

参考用量每环为 5 方悬浮剂水溶液。根据地层不用,观察盾构机掘进实时参数灵活掌握速度、扭矩、推力,螺旋机出土口出渣状态,目的为排出的渣土能达到流塑状态不喷涌。根据地层自身含水量不同,使用本产品的用量也无具体指标,地层含水量大则使用比例较高且注入量小,地层含水量低则使用比例相应较低,且注入总量高。

7.2 膨润土渣土置换技术的应用

在盾构施工过程中,膨润土的应用越来越广泛,作为渣土改良剂的一种,可以快速置换渣土,形成泥膜阻挡掌子面水流入土仓,降低渣土和土仓温度,润滑刀具可明显提高盾构掘进施工效率,但传统的膨润土制备方法需要较大的发酵池和发酵时间,对盾构的持续施工产生较大影响,本项目为解决膨润土发酵时间的问题采用 TRCMC 系列制备机(剪切泵)。该设备具有如下优点:

① TRCMC 制备机可大大提高膨润土颗粒的水化程度。

② 在配置膨润土浆液时,TRCMC 制备机可加速土颗粒在水中的分散程度。

③ 增加膨润土与水接触的表面积,增大颗粒表面离子交换的频率,从而提高膨润土颗粒的水化速度。

④ 通过剪切泵制备的膨润土浆液不需要进行发酵,可直接用于施工,充分保证了盾构的连续施工,大大提高了施工效率。

⑤ TRCMC 制备机体积小,安装方便,施工效率高,对现阶段城市地铁施工空间狭小,场地受限制的问题可以有效地解决。

膨润土浆液制备完成后,通过渣土运输车辆将膨润土运至盾构机储浆罐,通过人舱顶部球阀注入土仓内部,注入压力高于土仓压力 1.3~1.5 倍,分三次注入,使膨润土充分扩散至掌子面,注入过程中匀速转动刀盘,使土仓内渣土和膨润土搅拌均匀,在此过程中可配合悬浮剂使用,使渣土达到良好的流塑性。当渣土充分搅拌后,开始掘进,在掘进过程中同步注入膨润土,根据本项目经验数据,平均每环(进尺 1.5m)消耗膨润土 6~8m³。通过此项施工技术,可有使掘进速度达到 10~20mm,有效地控制出渣量和防止喷涌,可以较好地控制地表和建构筑的沉降,减少地面坍塌和空洞。

7.3 WSS 注浆加固技术的应用

盾构机在上软下硬地层中掘进,极易造成刀具损坏和偏磨,当需要更换刀具时因为上部的软土层不具有自稳性,本项目上部为淤泥质土和粉细砂层,砂层透水性大,气密性差,常规建泥膜气压开仓技术无法应用,本项目部采用 WSS 注浆加固处理措施,有效地解决了富水砂层条件下带压开仓的问题。

7.3.1 洞内超前注浆加固

超前注浆孔位于盾构机前盾位置,沿盾构机上半周散射布置,共计 6 个孔。

通过超前注浆孔往土仓内注入发酵至少 24 小时的钠基膨润土混合液,水与膨润土的质量配比为 8 : 1,粘稠度控制在 60~80s,泥浆比重控制在 1.1~1.15 之间,膨润土的作

用为使顶部土仓压力稳定在带压开仓时设定的压力并高出约 0.2bar,使掌子面形成初步的泥膜,同时防止水泥、水玻璃浆液流入土仓,固结刀盘。

注浆前在盾尾和拼装机间空隙部位搭设操作平台,平台要求稳固操作空间充足。

注浆前保持土仓满土状态,注浆压力控制在 1~2Mpa 之间,注浆方式为后退式。注浆压力达到 3.0bar,停机观察,土仓压力下降后继续注浆。

注浆过程中间隔转动钻杆,防止钻杆被凝固的浆液包裹,时间间隔为 3min,钻杆旋转不小于 8 转。持续注浆至压力稳定在 3.5bar,钻杆拔出 10cm 继续注浆。当钻杆退出长度 0.8m,土仓压力升至 3.5bar,观察 15min 至土仓压力基本稳定。

完成以上操作后,注入磷酸-水玻璃混合液进行封孔作业。

封孔完成 10min 后,开始将钻杆缓慢退出并拆除。待钻杆全部拆除后,将超前注浆孔法兰封堵,防止涌水涌泥。

7.3.2 地面注浆加固

在地层稳定性差,砂层、透水性强的软弱地层,可采用地面加固辅助措施,加强加固效果。

地面注浆加固范围为刀盘前 2m、后 6m 之间的区域,隧道结构范围及隧道边线两侧各 1.5m 的区域,根据试压效果考虑是否增大加固面积。刀盘前方 2m 和盾体两侧范围内加固深度为 22m。盾体上方 1.5~2m 范围内采用磷酸水玻璃加固。

WSS 注浆孔为梅花桩布置,孔距 2~3m,若周边存在管线,注浆孔应距离管线 0.5m 以上,具体施工根据现场管线位置,对注浆孔进行调整。

WSS 工法采用 AB 溶液型浆液(A 成分为水玻璃、B 成分为磷酸)和 AC 型悬浊型浆液(A 成分为水玻璃、C 成分为水泥浆)两种浆液。AC 液比 AB 液强度高,但 AB 液止水效果更好。为了达到止水加固的目的,上部采用 AC 液,下部采用 AB 液。

注浆加固顺序由盾体上最后一排向前(掘进方向)分别依次注浆,每排注浆时由一端向另一端跳孔进行^[3]。

注浆量计算:

加固区长度 L=8m,宽度 W=9m,深度 h=22m,e 为地层空隙率。

AC 液用量: $V_1 = (L \times W \times h) \times e$

AB 液用量: $V_2 = [L \times W \times h - V_1] \times e$

正式注浆前,先进行试验桩施工,确定注浆参数,根据实际情况需要对参数进行优化调整,以满足施工要求。

注浆压力根据试验确定,注浆时加强与隧道内沟通,

土仓压力不能超过 4bar。

注浆结束后缓慢转动刀盘，转速控制在 0.5~1.0rpm。

注浆方式采用后退式分段注浆，每次注浆段长 0.4~0.5m。

待底部达到要求后慢速提升钻杆继续下段注浆，相邻孔位提升高度适当错开。

7.3.3 注浆加固完成验收标准

通过注浆压力和注浆量双指标控制。加固及泥膜建立完成后进行保压试验，试验人员要记录空压机加载启动的频率，若供气量小于供气能力的 10% 时，开仓气压能在 6h 内无变化或不发生大的波动时（ $\pm 0.05\text{bar}$ ），保压试验合格，加固效果满足要求，若在保压过程中供气量大于供气能力的 50% 时，应重新加固处理。

准备工作完成后，开始进行带压开仓作业，严格按照开仓流程实施。

8 结语

土压平衡盾构在上软下硬的复合地层中施工的技术要求较高，风险难度较大。通过上述措施，佛山市轨道交通 3 号线创逢区间盾构顺利完成上软下硬复合地层施工，并取得了良好的效果，为今后类似工程提供了参考和经验，降低土压平衡盾构在复杂地质情况下施工的风险。

参考文献

- [1] 孔浩威.上软下硬地层地下连续墙成槽施工[J].中国科技信息,2006(16):78-79.
- [2] 方俊波,刁天祥.上软下硬地层地下连续墙成槽施工[J].现代隧道技术,2002(1):80-81.
- [3] 朱正荣.盾构穿越上软下硬地层的施工措施分析[J].中外建筑,2016(6):93-94.