

砂卵石复合地层盾构隧道施工预加固技术

侯策源 陈 添 薛宏平

(上海建科工程咨询有限公司,上海 200032)

摘 要 在复合地层中进行盾构隧道掘进时常常会面临掘进参数恶化、掘进速度下降等问题。基于此,文章针对成都地铁1号线三期工程盾构隧道穿越砂卵石复合地层施工实例,采用地面注双液浆及管棚预加固技术对地层进行预加固处理。结果表明:地层经过预加固处理后,盾构掘进过程中刀盘扭矩和推力下降显著,掘进速度明显提高,两种预加固方式都能很好地改善盾构在复合地层中的掘进情况。

关键词 砂卵石 复合地层 地铁工程 盾构施工 预加固 注浆 管棚

中图分类号:TU443; U455.4

文献标识码:A

1 引言

在复合地层地铁工程施工中,开挖面地质情况复杂、物理力学特性多变等因素会影响工程施工的正常进行。因此,在复合地层进行盾构隧道施工时,为了降低对地面的影响,常常需要对盾构掘进区域进行预加固^[1,2]。

目前复合地层预加固的主要方法有管棚加固法^[3-5]、注浆预加固法^[6,7]、咬合桩加固法^[8-10]、超前锚杆法及冻结法^[6]等多种方式。地面注浆预加固法主要是通过地面钻孔注入双液浆,使浆液在土层中流动并凝结,以此改良土体的力学特性,提高其承载能力。管棚预加固法则是通过向隧道上方一定范围内打入钢管,然后在这些钢管中注浆或灌注混凝土,从而在土层中形成刚度较大的预支护结构。咬合桩加固法多使用在需要保护既有建(构)筑物而地层条件较差的情况下;超前锚杆法主要应用在软弱围岩中;人工冻结法则多运用在透水性强的软弱土层中。

不同的加固方法各有优缺点,在使用过程中应结合工程实际情况具体考虑。成都地铁1号线三期工程牧华路站—广福站区间隧道部分穿越砂卵石复合地层,为解决盾构掘进参数恶化、掘进速度下降等问题,采用了地面注浆预加固和超前大管棚预加固

两种方式,改良了土体力学特性,取得了良好的盾构施工效果。

2 工程概况

成都地铁1号线三期牧华路站—广福站区间左线隧道全长1 402.875 m(ZDK27+327.050~ZDK 28+733.250),区间右线隧道全长1 406.2 m(YDK27+327.050~28+YDK733.250)。区间隧道埋深为14~17 m,沿线土层由上往下依次主要由杂填土、粉土、砂岩组成,部分区域在砂岩上方存在不同厚度的砂卵石地层。具体情况见表1。

3 地层预加固措施

3.1 掘进情况

牧华路站—广福站区间隧道左线自第38环(右线自第8环)开始进入砂卵石复合地层。在盾构进入砂卵石复合地层后,掘进参数急剧恶化,推力和扭矩迅速增高(推力 $>23\times 10^3$ kN,扭矩 >560 kN·m),掘进速度下降明显(平均推进速度 <10 mm/min)。为此,决定停机进行分析,研究应对措施。

3.2 地面注浆预加固

区间隧道左线始发端至里程ZDK28+410段(共

修改稿返回日期:2018-07-13

作者简介:侯策源(1970-),男,高级工程师,主要从事地下工程研究工作,E-mail:pdct90@126.com.

表1 区间隧道地层分级情况

Table 1 Strata classifications of the running tunnel

层号	岩土名称	岩土特征	开挖后稳定状态	围岩基本类别
1	杂填土	松散—稍密	易塌	Ⅱ
2	粉质粘土	可塑	自稳性差	Ⅱ
3	粉土	稍密	自稳性差	Ⅱ
4	细砂	稍密、饱和	不能自稳	I
5	卵石土	中密、饱和	自稳性差	Ⅲ
6	强风化砂岩	碎块状、极软岩	自稳性一般	Ⅳ
7	中等风化砂岩	短柱状、极软岩	自稳性较好	Ⅳ

323 m)和右线始发端至里程YDK28+415段地面为荒地,右线砂卵石复合地层段穿越大石堰渠,该段区域隧道埋深为14~16 m,区域地表无其它建构筑物。

经过专家会诊,决定对砂卵石复合地层区域进行地面钻孔注浆预加固,钻孔直径为90 mm,深度为11~18 m,钻至岩层与砂卵石地层交界面。注浆工艺为袖阀管(PVC管)注浆,泄浆孔直径为6 mm,注浆孔间距为0.5 m。袖阀管套壳采用水泥和膨润土配置,水灰比为1:1,水泥和膨润土比例为1:1.5,注浆材料为水泥和水玻璃双液浆,水泥浆水灰比为1:1,水泥浆与水玻璃体积比为1:1,水玻璃浓度为15%~20 Be',注浆压力控制在0.15~1 MPa之间。

在施工过程中,当套壳料置换结束后插入袖阀管,单节袖阀管长度为4 m,相邻两节袖阀管之间用长度为20 cm的PVC套管连接,采用U-PVC胶合剂将二者粘牢。待套壳料养护5~7 d,其强度达到0.13~0.15 MPa以后,将注浆内管与双塞管连接好一起放置到袖阀管底部,由下往上注入双液浆,并严格控制注浆时的注浆压力和注浆管的注浆量,当地层注浆量低于1~2 L/min或注浆压力为0.25~1 MPa时停止注浆。

与左线隧道情况类似,在右线隧道进行地面钻孔注浆预加固。由于右线砂卵石复合地层段将穿越大石堰渠,加固作业分两个区域进行,加固至岩层与砂卵石地层交界面。在大石堰南侧(里程YDK28+780~YDK28+685)区域内钻孔间距为1.5 m×1.5 m,累计布孔50个,深度为9~12 m,加固材料与左线隧道所用材料相同。在大石堰北侧,钻孔间距为2 m×2 m,隧道上方每个断面布置5个加固孔,钻孔深度为11~18 m。注浆方式和注浆工艺流程与左线隧道相同。

3.3 管棚预加固

区间隧道左线第901~935环,右线第883~937环再次进入上部为砂卵石、下部为砂岩的复合地层。由于临近接收端,施工时决定采用大管棚进行加固处理,采用冲击跟管钻进工艺,加固深度为50 m,直接利用 $\phi 146$ 的钢管作为外管,钢管内穿入冲击钻头、冲击器、钻杆,一边破除岩层一边顶进,同时跟踪测量角度,从而完成管棚的铺设,最后封孔注浆,钻孔示意图1。

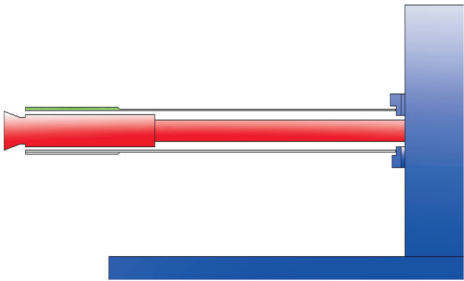


图1 接收端管棚加固冲击钻孔示意

Fig.1 Scheme of impact drilling in pipe-roof reinforcement at receiving end

图2为接收端加固区单线孔位布置情况,相关参数如下:

- (1) 管棚规格为 $\phi 146 \times 10$ mm,环向间距为282 mm,单洞23根,总计46根。5根管棚注浆一次。
- (2) 管棚位置距离盾构线路周边120°范围外扩200 mm。
- (3) 管棚长度分别为50 m和30 m。
- (4) 左线管棚初始角度为隧道角度(β)+3%,右线管棚初始角度为隧道角度(β)+2%。
- (5) 管棚单节长度为12 m。
- (6) 管棚采用钢花管,花眼直径为10 mm,间距为200 mm,梅花形布置。
- (7) 注浆水灰比为1:1,注浆压力控制在0.6~1.0 MPa,采用P.O42.5R水泥。

在施工时需要注意以下几点:

- (1) 钢管端口需做坡口处理。
- (2) 钢管每节长度为12 m,尺寸不够的需要提前接好。
- (3) 钢管上钻花眼,间距为20 cm,呈梅花形布置。

4 预加固效果

经过地面预加固处理,在恢复掘进后盾构掘进参数有所改善。左线选取40环(第170环~210环,第174环参数缺失)的掘进参数进行分析,图3为该

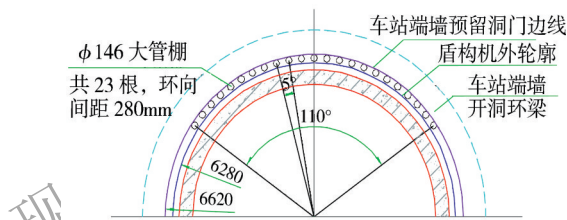


图2 管棚预加固孔位布置示意(单位:mm)

Fig.2 Layout of the drilling holes in pipe-roof pre-reinforcement(Unit: mm)



图3 左线隧道复合地层碴样

Fig.3 Samples of the compound stratum at the left tunnel

区段碴样。从图3中可以看出,在该复合地层中卵石粒径跨度较大,且不同卵石物理力学特性明显不同,导致在掘进过程中不同时刻掘进参数变化较大。

图4所示为地层预加固后该区段盾构推力与速度的变化情况。从图中可以看出,地层经过预加固处理后,盾构掘进推力明显下降,基本稳定在 $12 \times 10^3 \sim 18 \times 10^3$ kN范围内,速度保持在15 mm/min以上,说明地面注浆加固取得了良好效果。需要说明的

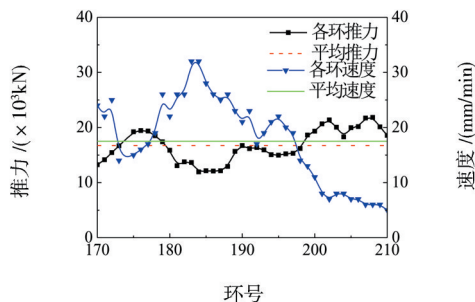


图4 地层预加固后第170~210环盾构推力和掘进速度变化情况

Fig.4 Variations of shield thrust and advance rate between ring 170 and ring 210 after stratum pre-reinforcement

是,在第200~210环阶段推力有两个上升过程,这是因为此阶段在盾构机刀盘内形成泥饼,致使掘进参数再次恶化。

从图4中还可以看出,在此阶段盾构掘进速度与推力之间存在此消彼长的关系:在第170~175环、第184~192环以及第195~200环,盾构掘进速度逐渐降低而推力逐步增大,而在第175~184环和第192~195环盾构掘进速度逐渐增大而推力逐渐减小,这与该区域的地质情况有关。图5为第170~200环的地质情况示意图,图中两根虚线间表示隧道轮廓,掘进方向从左至右。结合图4、图5可以看出,掌子面上砂卵石的含量在掘进过程中是不断变化的,这种变化直接引起了盾构掘进过程中的推力与速度的变化。

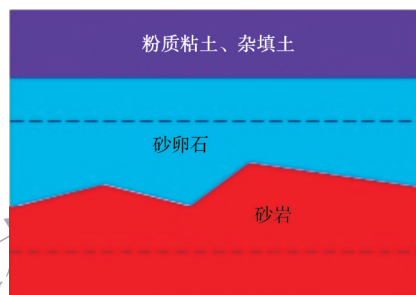


图5 第170~210环地层变化情况示意

Fig.5 Stratum conditions between ring 170 and ring 210

图6为左线隧道预加固后盾构扭矩的变化情况。从图中可以看出,通过对地面进行预加固处理后,扭矩有明显下降,且在第170~200环稳定在400~500 kN·m范围内,表明地面预加固取得了比较好的效果。此外,由于盾构机刀盘内泥饼的形成,使得在第200环以后扭矩变小,这与前面盾构推力和速度的变化情况是相对应的。

结合图4~图6还可以看到,在此阶段,引起盾

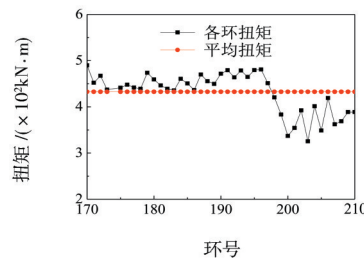


图6 地层预加固后第170~210环盾构扭矩变化情况

Fig.6 Variations of shield torque between ring 170 and ring 210 after stratum pre-reinforcement

构掘进参数变化的主要原因一方面在于掘进过程中掌子面上砂卵石占比的变化;另一方面则是卵石粒径及力学性质的变化。在掘进过程中当刀盘遇到较大的单个卵石时,需要先利用滚刀顶进将其挤压切破后才能继续向前推进,这就使得盾构推力和速度出现较大变化,而扭矩的变化相对比较平稳。

图7所示为右线隧道第890~930环区域内盾构推力和速度变化情况,图8为地层预加固后盾构的扭矩变化情况。从图中可以看出,经过地面预加固处理后,盾构掘进数据得到改善,推力基本稳定在 $16 \times 10^3 \sim 23 \times 10^3$ kN以内,扭矩稳定在 $270 \sim 420$ kN·m以内,掘进速度基本稳定在20 mm/min以上,说明地面预加固取得了比较明显的效果。需要指出的是,由于盾构需要切破个别较大的卵石,使得部分掘进环的数据波动较大,掘进参数与平均值偏离较大。对比图4~图8可以看出,在该区段内地层预加固后盾构掘进参数比地面注浆区域情况更好,这是因为

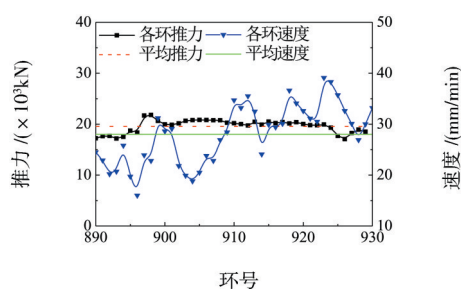


图7 地层预加固后第890~930环盾构推力和速度变化情况

Fig.7 Variations of shield thrust and advance rate between ring 890 and ring 930 after stratum pre-reinforcement

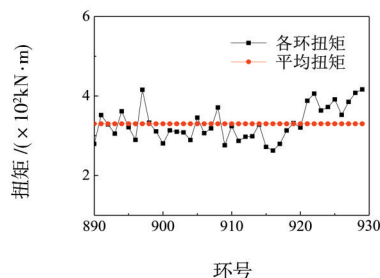


图8 地层预加固后第890~930环盾构扭矩变化情况

Fig.8 Variations of shield torque between ring 890 and ring 930 after stratum pre-reinforcement

该区域内的地质情况相对较好。在该区段内,砂卵石地层和砂岩地层界面曲线变化起伏较地面钻孔注浆区域更平稳。

5 结论

通过结合成都地铁1号线三期牧华路站—广福站区间砂卵石复合地层施工实例,可以得出以下结论:

(1) 在复合地层进行盾构掘进时,需要控制好盾构掘进参数;同时应保持连续掘进,尽量减少非正常停机。

(2) 在复合地层中掘进时,如果地面条件允许,可以采用注双液浆(水泥+水玻璃)的方式提前对地层进行预加固,降低地层软硬不均带来的影响。

(3) 在盾构掘进前应做好地质勘测工作,对掘进沿线出现的不良地质情况提前做好应对措施,并在掘进过程中做好监测工作。

参考文献

References

- [1] 吉小明,许江海,王捷江. 复杂环境下富水地层中隧道围岩组合预加固技术应用分析[J]. 现代隧道技术, 2016, 53 (增2): 1-8.
JI Xiaoming, XU Jianghai, WANG Jiejiang. Application Analysis of Combined Pre-reinforcement Technology of Tunnel Surrounding Rock in Water-rich Ground under Complex Environment[J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53 (S2): 1-8.
- [2] 谭忠盛,马栋,孙晓静,等. 不停航机场跑道下大断面隧道施工技术[J]. 土木工程学报, 2015 (增1): 378-382.
TAN Zhongsheng, MA Dong, SUN Xiaojing, et al. Construction Technology of the Large-section Tunnel under the Non-stop Flight Runway[J]. China Civil Engineering Journal, 2015 (S1): 378-382.
- [3] DANIELE PEILA, SEBASTIANO PELIZZA. Ground Reinforcing and Steel Pipe Umbrella System in Tunnelling[M]. Logos Verlag, 2003.
- [4] GUENTHER M VOLKMANN, WULOF SCHUBERT. A Contribution to the Effect and Behavior of Pipe Roof Supports[C]// Eurock 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium, 2004.

- [5] 李兴高, 袁大军, 周江天, 等. 超长管幕在浅埋暗挖隧道下穿机场跑道施工中的应用[J]. 铁道建筑, 2014 (2): 67-69.
LI Xinggao, YUAN Dajun, ZHOU Jiangtian, et al. Application of Super Long Tube Curtain in Construction of Shallow Buried Tunnel under Runway[J]. Railway Engineering, 2014 (2): 67-69.
- [6] 何晟阳. 上软下硬复合地层中地面加固施工技术[J]. 城市建设理论研究, 2014 (36): 5032-5033.
HE Shengyang. Ground Reinforcement Construction Technology in Upper-soft and Lower-hard Composite Formation [J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2014 (36) : 5032-5033.
- [7] 杨坪, 唐益群, 彭振辉, 等. 砂卵(砾)石层中注浆模拟实验研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28 (12): 2134-2138.
YANG Ping, TANG Yiqun, PENG Zhenhui, et al. Study on Grouting Simulating Experimental in Sandy Gravels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28 (12): 2134-2138.
- [8] 张茵涛. 砂层隧道预加固咬合桩施工技术与费用分析[J]. 现代隧道技术, 2016, 53 (3): 195-201.
ZHANG Yintao. Construction Techniques for and Cost Analysis of Secant Piles for the Pre-reinforcement of Tunnels in Sand Strata [J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53 (3): 195-201.
- [9] 朱正国, 孙星亮. 干燥粉细砂隧道超前预加固与施工研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32 (9): 1909-1916.
ZHU Zhengguo, SUN Xingliang. Pre-reinforcement and Construction of Tunnel in Dry Fine Sand Layers[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32 (9): 1909-1916.
- [10] 李世才, 石光荣, 伍军, 桃树坪隧道富水未成岩粉细砂预加固施工技术[J]. 现代隧道技术, 2011, 48 (2): 116-119.
LI Shicai, SHI Guangrong, WU Jun. Construction Techniques of Advance Reinforcement for Immature Fine Sandstone Stratum with Rich Water in Taoshuping Tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2011, 48 (2): 116-119.

Pre-reinforcement Technology of Shield Tunnelling in Compound Stratum with Sand and Gravel

HOU Ceyuan CHEN Tian XUE Hongping

(Shanghai Construction Engineering Consulting Co. Ltd, Shanghai 200032)

Abstract It is often to encounter deterioration of tunnelling parameters, decrease of advance rates and so on during shield tunnelling in compound stratum with sand and gravel. Pre-reinforcement techniques, which are composed of two-component grouting on ground and pipe-roof grouting in tunnel, were adopted in phase III of Chengdu metro line 1 in compound stratum with sand and gravel. The results show that cutterhead torque and thrust decrease and advance rates increase significantly during shield tunnelling after ground pre-reinforcement, these two pre-reinforcement methods both can improve shield tunnelling in the compound stratum with sand and gravel.

Keywords Stratum with sand and gravel; Compound stratum; Metro engineering; Shield construction; Pre-reinforcement; Grouting; Pipe-roof