

砂卵石条件下泥水分离技术研究与应用

王广余¹, 孙善辉², 苏清贵²

(1. 北京铁路局地下直径线工程建设指挥部, 北京 100045; 2. 中铁隧道集团北京地下直径线项目部, 北京 100045)

[摘要] 通过北京铁路北京站至北京西站地下直径线工程泥水处理系统的研究与应用实践经验, 总结了城市繁华地段砂卵石条件下大直径盾构泥水分离应用技术, 希望对类似工程有借鉴作用。

[关键词] 泥水盾构; 泥水分离; 压滤

[中图分类号] U455 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)12-0041-05

1 前言

泥水分离系统作为泥水盾构施工的重要组成部分, 一方面为开挖面提供稳定特性的泥浆, 形成较好的泥膜, 保证开挖面的稳定; 另一方面将掘进过程中切削下来的碴土分离出来^[1]。

北京直径线盾构段施工场地十分狭小, 且施工环保要求达到零排放, 这对 12.04 m 大直径泥水盾构及泥水分离系统施工提出了非常高的要求。

2 工程地质与水文地质

盾构隧道主要穿越的地层: 圆砾⑦1层、⑨1层, 卵石⑦层、⑨层, 粉质粘土⑧层、⑩层, 粉土③2层(见表1); 杂色, 密实, 湿-饱和, 一般粒径 20~60 mm, 大于 20 mm 的颗粒含量约占总重的 65%; 亚圆形, 中粗砂充填, 砾石主要成分为辉绿岩、砂岩等; 卵石粒径向西逐渐加大, 向东逐渐减小, 粉质粘土层逐渐增加, 地质资料显示最大粒径 200 mm, 大于 0.08 mm 的颗粒含量约占总重的

98% (见图1)。根据 5# 竖井实际开挖揭露, 盾构隧道穿越地层中存在 $\phi 650$ mm 的大直径卵石。

盾构隧道所在地层主要为空隙潜水和孔隙承压水, 最大渗透系数 $K = 150$ m/d, 最大水土压力为 0.3 MPa。

表1 隧道围岩分级及土石可挖性分级

Table 1 Tunnel surrounding rock classification and soil & stone can be excavate classification

地层岩性	层底标高/m	围岩分级	修正后围岩分级	土石可挖性分级
卵石⑦层	5.4~20.6	V	VI	III
圆砾⑦1层		V	VI	III
粉质粘土⑧层	0.3~2.7	V	VI	II
粉土③2层		V	VI	II
卵石⑨层	大部分钻孔	V	VI	III
圆砾⑨1层		V	VI	III
粉质粘土⑩层	未穿透此层	V	VI	II

[收稿日期] 2010-08-10

[作者简介] 王广余(1962—), 男, 河北大场县人, 工程师, 主要从事工程施工管理工作; E-mail: wangguangyu01@yahoo.com.cn

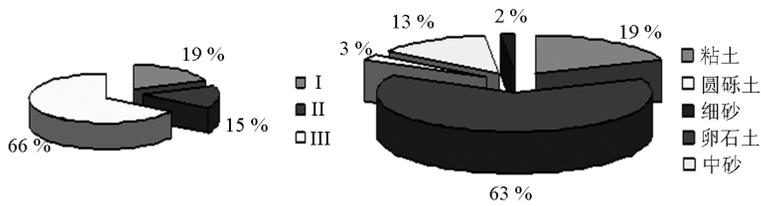


图1 盾构区间各地层所占比例图

Fig.1 Working area underground layer proportion

3 直径线泥水盾构相关施工指标

相关施工指标见表2。

表2 直径线泥水盾构相关施工指标表

Table 2 Several technical indexes of diameter slurry shield

参数	数值	参数	数值
刀盘功率 / (kV·A)	1 800	进浆密度/(t·m ⁻³)	1.1
刀盘转速 / (r·min ⁻¹)	0.85 ~ 2.3	排浆密度/(t·m ⁻³)	1.3
最大总推力 / kN	107 500	允许通过的最大粒径 / mm	160
最大推进速度 / (mm·min ⁻¹)	40	管径	14"
进浆流量 / (m ³ ·h ⁻¹)	955(掘进期间)、1 250(旁通期间)	进浆泵功率/kW	315
排浆流量 / (m ³ ·h ⁻¹)	1 250	数量/台	3
		排浆泵功率/kW	315,500
		数量/台	1,5

注:1"=2.54 cm

4 泥水分离系统的选型及配置

4.1 泥水分离系统的选型

泥水分离系统的选型要与盾构机的选型、掘进参数、地质条件等紧密联系在一起,不同的地质工况条件决定了不同的泥水分离系统模式^[2]。

直径线泥水盾构对泥水分离系统的要求如下。处理能力为1 500 m³/h,泥浆平均流量为1 250 m³/h;分两级处理。泥浆分离前密度:排泥密度平均为1.30 t/m³,最大为1.40 t/m³,分离后泥浆比重平均为1.1 t/m³,最大为1.2 t/m³。排渣能力为

360 m³/h。泥水处理设备进出管接口按排/送泥管直径14"设计。处理最大粒径为160 mm。粗筛能分出大于3 mm的颗粒,一级旋流能分离出0.074~3 mm的颗粒,二级旋流能分离出0.020~0.074 mm的颗粒,渣料含水率低于5%,达到可用汽车直接运输的条件。噪声控制:达到北京市城市夜间施工标准。

主要在宜昌黑旋风、台湾铂元及德国沙堡三家进行比选,最终选择台湾铂元泥水分离系统。设备主要参数对比分析见表3。

表3 主要参数对比分析表

Table 3 Main parameters comparison analysis

内容	台湾铂元	德国沙堡 MAB1500
泥水处理能力/(m ³ ·h ⁻¹)	1 600	1 500
最大颗粒尺寸/mm	160	160
一级分离最大精度/mm	0.074	0.074
二级分离最大精度/mm	0.020	0.020
占地尺寸	稍微小	偏大
总功率/kW	630	719 + 200
设计制造、调试周期/周	20	37
泥浆分离后比重	1.1~1.2	1.1~1.2
泥浆分离前比重	1.3~1.4	1.3~1.4
设计寿命/年	15	15
噪声控制/dB	40~55	加隔音房达55
设备总价/万元	1 000	2 991

振动马达、旋流器采用国际知名品牌,整体可靠;电耗少,节能;生产周期短	技术成熟,价格昂贵;总功率大;占地大,场地无法满足;结构复杂
------------------------------------	--------------------------------

4.2 泥水分离系统的配置

直径线盾构掘进穿越了北京“砂砾(卵)石地层,粉砂、细砂、中-粗砂地层和粉土-粘土地层”3种典型地层,因而需要针对不同地层条件适时调整分离系统的设备配置,以满足不同地层条件盾构掘

进的需要。

4.2.1 预分筛

预分筛 VDS - 1833 先以“双层式震动筛选机”方式进行粗颗粒筛分,上层筛分 10 mm 以上的砾石、砾砂、大石块和粘土球块,下层筛分 3 ~ 10 mm 颗粒,经预分筛筛选出的颗粒可直接装载运送。

预分筛安装在一级旋流桶槽上端,经筛选出的小于 3 mm 颗粒泥浆直接进入一级旋流泥浆箱。

4.2.2 一级旋流子系统

一级旋流泵将经过预分筛筛选后的浆液泵进一级旋流器(型号 SFR - 800X160)进行分离,将浆液中 0.074 ~ 3 mm 颗粒分离出,小于 0.074 mm 的浆液颗粒直接进入二级旋流泥浆箱。

4.2.3 二级旋流子系统

二级旋流泵将经过一级旋流处理后的浆液泵进二级旋流器(型号 SC - 800/20)进行分离,将泥浆中 0.020 ~ 0.074 mm 颗粒分离出。小于 0.020 mm 的泥浆颗粒则进入沉淀池。一、二级旋流器见图 2、图 3。



图 2 一级旋流器

Fig. 2 The first-order hydra-cyclone



图 3 二级旋流器

Fig. 3 The second-order hydra-cyclone

5 泥水分离系统的实施效果

5.1 卵石、圆砾地层中泥水分离效果

盾构区间西段卵石、圆砾含量较多,颗粒粒径较大,大于 2 mm 的颗粒含量占 75 % 以上,每循环掘进后泥水比重上升 0.015 ~ 0.01,分离效果比较理想。分离效果如图 4、图 5 所示。

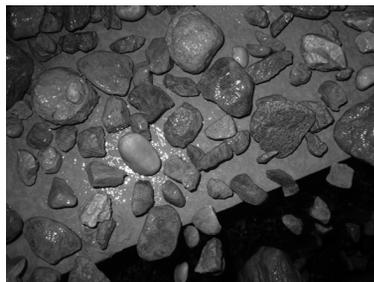


图 4 预筛效果图

Fig. 4 Pre-screening



图 5 二级旋流效果图

Fig. 5 The second-order rotational flow

5.2 粉质粘土、粉土地层中的实施效果

自 DK5 + 500 开始,地层中粉细砂和粉质粘土等细颗粒含量逐渐增多,泥水系统无法分离,微细颗粒直接进入泥水循环池导致泥浆比重上升过快,每掘进循环比重上升 0.05 ~ 0.06。经对泥水分离碴土以及地层钻孔深度取样分析,发现小于 2 mm 的颗粒含量较之原地勘报告描述出入较大,含量在 25 % ~ 70 % 之间,造成一、二级旋流处理能力难以满足正常掘进需求,致使筛板溢浆,浆液比重大,设备负荷大,循环系统携碴能力差,盾构扭矩、推力大,刀盘刀具、管、泵、阀、各类精密流量计及传感器磨损严重等一系列问题,特别是泥水处理场地狭小,产生的高浓度废浆无法处理,直接导致盾构无法正常推进。碴土试验与地勘资料颗粒含量对比见表 4。

表4 碴土试验与地勘资料颗粒含量对比表

Table 4 Muck screening test and underground layer material comparison

里程	颗粒组成/%		备注
	筛分试验	地勘资料	
DK5 + 355.9	粒径 20 ~ 60 mm 含量 67 % , 粒径 2 ~ 20 mm 含量 6 % , 小于 2 mm 含量 27 %	最大粒径 125 mm , 一般粒径 25 ~ 40 mm , 砾石含量约 65 %	碴土取样
DK5 + 311.2	粒径 20 ~ 60 mm 含量 51 % , 粒径 2 ~ 20 mm 含量 21 % , 小于 2 mm 含量 28 %	最大粒径 120 mm , 一般粒径 20 ~ 45 mm , 砾石含量约 65 %	碴土取样
DK5 + 265.0	粒径 20 ~ 60 mm 含量 17 % , 粒径 2 ~ 20 mm 含量 51 % , 小于 2 mm 含量 32 %	最大粒径 100 mm , 一般粒径 20 ~ 40 mm , 砾石含量约 65 %	碴土取样
DK5 + 026.48	粒径 20 ~ 60 mm 含量 16 % , 粒径 2 ~ 20 mm 含量 27 % , 小于 2 mm 含量 48 %	最大粒径 120 mm , 一般粒径 40 ~ 65 mm , 大于 20 mm 颗粒含量约 65 %	原状土
DK5 + 026.48	粒径 20 ~ 60 mm 含量 34 % , 粒径 2 ~ 20 mm 含量 16 % , 小于 2 mm 含量 50 %		原状土

因此,必须对泥水处理系统进行相应调整和优化,使泥水系统的处理能力满足粉质粘土、粉土、粉细砂含量较高地层的施工需要。

6 实施过程中常见故障及应对措施

6.1 粗颗粒含量高地层中系统的常见故障及处理

粗颗粒(大于 2 mm)含量占 75 % 以上的地层中,泥水系统分离效果较好,主要常见故障有管路、预筛、一级、二级旋流器、旋流泵及筛板磨损严重,需要采取以下措施:

- 1) 将泥水系统进料管路改为双层耐磨复合管,提高其耐磨性,增加使用寿命。
- 2) 试用新工艺、新材料,耐磨、耐冲击的一级、二级旋流器、筛板及旋流泵。
- 3) 加强设备的维保工作。

6.2 细颗粒含量高地层中系统的常见故障

细颗粒(小于 2 mm)含量占 25 % 以上的地层中,泥水分离效果较差,常见故障有泥浆比重居高不下,管路、预筛、一级、二级旋流器、旋流泵及筛板磨损严重,设备超负荷运转,电机烧坏频繁,排浆泵负荷大,排碴能力差,盾构扭矩、推力大,掘进速度降低,盾构刀盘刀具、管、泵、阀、各类精密流量计及传感器磨损严重等一系列故障和问题。针对此类地层,确定以筛分、压滤为主,絮凝沉淀为辅的方式进行碴土分离。

1) 增加泥水分离处理能力:在现有泥水系统上增加一套一、二旋流系统,并结合土层的颗粒分析调整现有设备预筛、脱水筛的筛孔尺寸和组合方

式,同时更换现有一、二级旋流碴浆泵,提高筛分效果,加大泥水分离的处理能力。压滤机布置及压滤效果见图 6、图 7。



图6 压滤机布置效果图

Fig. 6 Filte-press machine



图7 压滤效果图

Fig. 7 Filte-press

2) 对分离后的高比重泥浆进行压滤分离处理,根据原系统能力和地层颗粒含量的最不利分析,增加 6 台压滤机对泥浆进行压滤处理。

3) 利用原 5# 竖井和暗挖隧道做大型应急沉淀池,通过对泥浆参加絮凝剂,加速泥浆沉淀,增加泥

浆处理能力。

7 结语

直径线泥水系统为全国产化设备,通过精心的选型及对不同地层条件的适应性改造,证明此设备是适用的,国产化是可行的。但是目前盾构仅施工全段的1/3,随着盾构掘进段微细颗粒含量愈来愈高,需要随时根据地层变化和盾构掘进优化调整设备、设施配置。提高泥水系统微细颗粒的分离能

力、高浓度泥浆的压滤、沉淀能力及提高盾构、泥水整套循环系统的耐磨能力是今后的主要优化方向。

参考文献

- [1] 项兆池,楼如岳,傅德明.最新泥水盾构施工技术[R].上海:上海隧道工程股份公司,2001.
- [2] 刘建航,侯学渊.盾构法隧道[M].北京:中国铁道出版社,1991.
- [3] 北京直径线砂卵石地层泥浆特性试验研究报告[R].北京:北京铁路局地下直径线工程建设指挥部,2007.

Research and application on separation technology of slurry and water under sandy-gravel stratum

Wang Guangyu¹, Sun Shanhui², Su Qinggui²

(1. Underground Diameter Project Construction Headquarters, Beijing Railway Board, Beijing 100045, China; 2. Beijing Underground Diameter Project Department, China Railway Tunnel Group, Beijing 100045, China)

[Abstract] This paper gives a summary on application technology of slurry and water separation in condition of sandy-gravels layers in city's busiest street on base of underground diameter project from Beijing railway station to Beijing railway west station, with the hope of providing reference to the future similar project.

[Key words] slurry tunnel machine; separation of slurry and water; filter-press