

浅谈大直径泥水平衡盾构施工泥水处理系统 应用及固废循环利用

林 洋

(宏润建设集团股份有限公司, 上海 200235)

摘 要: 结合杭州某隧道工程, 介绍了大直径泥水平衡盾构施工泥浆处理系统的设备选型、运行效果评估等, 重点分析了隧址地层的岩土工程特性、分离渣土的产生数量预测、泥水处理系统设备性能和实际使用效果, 提出了基于岩土工程分析进行渣土生成数量预测, 进而选择泥水处理系统设备的思路, 并对今后泥水处理系统应用的经济效益及相应的固废循环利用的实施前景作了展望。

关键词: 盾构施工; 泥水处理系统; 泥水分离; 渣土管理; 固废循环利用

中图分类号: TU73 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7195(2020)02-0153-05

Discussion on application of slurry treatment system and solid waste recycling of large diameter slurry shield construction

LIN Yang

(Hongrun Construction Group Co., Ltd. Shanghai 200235, China)

Abstract: Based on a tunnel engineering in Hangzhou, this paper introduces the equipment selection, operation effect evaluation of the slurry separation system for tunnelling by large diameter slurry shield machines. The geotechnical properties of the tunnel site stratum, prediction of the quantity of separated waste soil, equipment performance of the slurry treatment system and its actual application effects were analysed in detail. The importance of predicting the quantity of separated waste soil based on geotechnical engineering analysis for the selection of the slurry treatment system equipment is proposed. And the economic benefits of the slurry treatment system and the prospects of relevant solid waste recycling are looked forward.

Keywords: shield construction; slurry treatment system; slurry separation; waste soil management; solid waste recycling

0 引 言

泥水平衡盾构具有相对较高的地层损失率控制精度和适用于高水压条件等复杂地质工况等优势, 一直广泛用于穿越江河水体的城市道路隧道和地铁等隧道施工, 但由于其循环泥浆数量和产生废弃泥浆数量较大, 传统上采取泥浆直接排放的粗放施工已难以实现, 需要采用泥水分离设备对循环泥浆进行分离处理。以往由于在设备选型时并未充分研究土层地质的岩土工程组成特性, 所选设备常无法满足盾构掘进的工效需求或分离效果不理想。随着国内各发达地区和城市基础设施建设的高速发

展, 近年来大量新建隧道采用泥水平衡盾构掘进施工, 特别是大直径盾构对泥水处理系统的性能要求更高, 本文结合杭州市某工程大直径泥水平衡盾构施工泥水处理系统的应用案例, 主要介绍了该工程泥水处理系统的设备选型、运行效果和渣土固废循环利用等情况。

1 工程背景

该隧道是穿越钱塘江连接杭州市钱江新城核心区 and 钱江世纪城亚运场馆区的重要过江通道, 是杭州市“拥江发展”战略中城市交通主干网络的重

要组成部分。该隧道设计为双向4车道的城市道路隧道,全长2.8 km,其中越江盾构段长度约1 680 m,采用2台直径为11.70 m大直径泥水平衡盾构机掘进施工。

1.1 工程地质条件

工程线位场区地貌主要为钱塘江河床及两岸的冲海积平原区,越江盾构穿越的地层主要包括③₄砂质粉土(2.0%,占比,下同)、③₅粉砂夹粉土(3.0%)、③_{5'}砂质粉土(0.5%)、③₆粉砂夹粉土(6.0%)、③₇砂质粉土夹淤泥质土(3.0%)、⑥₁淤泥质粉质黏土夹粉砂(12.5%)、⑦₁粉质黏土(18.0%)、⑧₂粉质黏土(2.0%)、⑨₂层含砂粉质黏土(1.0%)、⑫₁层粉细砂(10.0%)、⑫₄层圆砾层(42.0%)。

1.2 地层组成分析

根据岩土工程勘察报告土体颗粒分析成果,隧

址沿线各土层的土粒组成如表1。

根据前述土体工程性质及颗粒组成分析,该隧道工程盾构沿线地层可主要分为粉土类、黏土类、砂土类和碎石土类,共4个类别,其中粉土类(③层)总占比约14.5%,黏土类(⑥、⑦、⑧、层)总占比约33.5%,砂土类(⑫₁层)总占比约10.0%,碎石土类(⑫₄层)总占比约42.0%。

2 泥水处理系统设备选型与应用

2.1 盾构机环流系统性能

泥水平衡盾构施工原理主要是通过大流量泥浆循环将刀盘切削下来的土渣混合后经管道携带、泵送至始发井地面泥水处理系统或泥浆池中,经分离或沉淀处理后满足盾构掘进指标要求的泥浆循

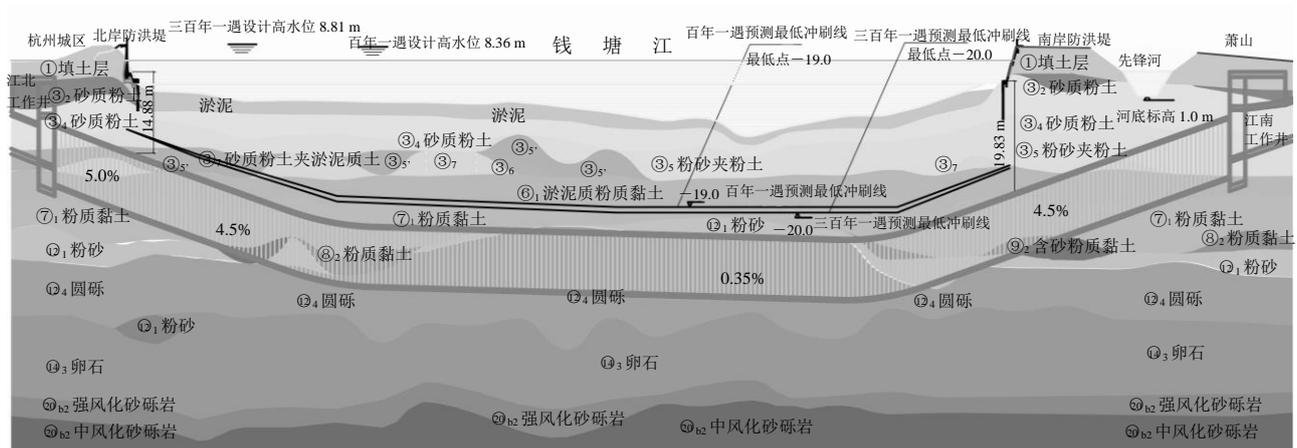


图1 隧道地质纵剖面图

Fig. 1 Geological profile of tunnel

表1 各土层颗粒组成

Tab. 1 Particle composition of each soil layer

层号	岩土名称	各土层土粒组成 (mm, %)						
		>20.00	20.00~2.00	2.00~0.50	0.50~0.25	0.25~0.075	0.075~0.005	<0.005
③ ₄	黏质粉土	—	—	—	0.5	13.4	81.2	4.9
③ ₅	粉砂夹粉土	—	—	0.3	5.7	47.4	42.8	3.9
③ _{5'}	砂质粉土	—	—	—	1.6	23.0	69.2	6.2
③ ₆	粉砂夹粉土	—	—	—	15.6	31.3	49.9	3.3
③ ₇	粉土夹淤泥质土	—	—	—	—	14.9	79.4	5.7
⑥ ₁	淤泥质粉质黏土	—	—	—	1.9	12.4	77.5	8.2
⑦ ₁	粉质黏土	—	—	—	2.4	13.5	77.2	6.9
⑧ ₂	粉质黏土	—	—	—	12.3	66.0	20.4	1.3
⑨ ₂	含砂粉质黏土	—	—	—	4.2	34.5	51.1	10.2
⑫ ₁	粉砂	—	0.6	4.1	14.9	44.9	32.1	3.4
⑫ ₄	圆砾	48.4	24.2	8.1	7.7	5.2	4.8	1.6

环进入盾构开挖舱继续使用。该隧道采用的泥水平衡盾构机开挖直径 11.70 m, 设计最大推进速度 60 mm/min, 计算掘削土体量约 6.45 m³/min, 载渣比取 0.25, 泥浆流量需达 25.8 m³/min, 即为 1 548 m³/h, 本工程盾构设备环流系统设计能力为进浆 1 700 m³/h, 排浆 2 000 m³/h, 进排浆管道均采用 DN 400 管径。

2.2 泥水处理系统选型

根据泥水处理系统的渣浆分离工作原理和以往工程经验, 块状大颗粒直接经预筛分离, 如卵砾石、黏土块; 粗颗粒经一级、二级单元旋流器分离, 主要为粒径在 0.05~10 mm 范围的土粒成分; 细颗粒则重新回流到泥浆池经指标调整后再次进入盾构泥浆循环管路。连续使用的循环泥浆随着密度、粘度等指标的劣化, 超标泥浆不能继续用于盾构掘进则抽排至三级单元压滤机或离心机进行固化处理。

为更加合理地选择泥水分离系统, 需科学、准确地对隧道开挖地层进行研究和计算, 以保证所选设备性能满足施工生产工效需求的同时实现总成本最合理的最优方案。对此可根据土层颗粒分析采用物质守恒的方法对渣浆产生数量进行预测计算, 计算结果见表 2。

如表 2 所示预测计算结果, 经一级、二级单元分离的体积约 26.6 万 m³(占总开挖体积约 73.5%), 剩余土体细颗粒溶入泥浆, 换算为需经三级单元固化处理的超标泥浆体积约为 23.4 万 m³。

根据上述分析计算和行业内主要设备厂商产品性能的比选, 该隧道泥水处理系统选用了 2 套处理能力为 2 000 m³/h 的 MTP-2000 型一、二级旋流

分离单元与 4 套处理能力为 50 m³/h 的 APN18 压滤设备三级处理单元的组合方案。其中 MTP-2000 型一、二级旋流分离设备理论分离粒度 20 μm (其一级旋流理论分离粒度 75 μm), 出渣含水率约 30%~40%, 主要包括渣浆分离机(含预筛)单元、一级旋流器(含振动筛)单元和二级旋流器(含振动筛)单元, 见图 2; APN18 三级压滤设备出渣含水率约为 25%~35%, 主要包括压滤机及配套设备。

2.3 泥水处理系统应用情况

通过在盾构掘进施工期间针对典型地层的泥水处理系统分离和压滤效果进行跟踪观察和现场物料抽样统计, 泥水处理系统的整体处理能力基本能够满足两台大直径泥水平衡盾构机的施工需要。其中, 泥水分离设备(图 3)可保持在 1 600~1 800 m³/h 流量下连续稳定运行, 分离效果较好, 各典型土层的分离干渣(图 4)数量与预测数量较为接近, 例如, 在③₅层和③₇层粉土混合断面地层条件下, 实际可分离干渣数量基本保持在 35~60 m³/环, 占单环开挖量的 16.3%~27.9%; 在⑦₁层全断面粉质黏土条件下, 实际可分离干渣数量保持在 80~135 m³/环, 占单环开挖量的 37.2%~62.8%; 在⑫₄层全断面圆砾地层条件下, 实际可分离干渣数量保持在 170~195 m³/环, 占单环开挖量的 79.1%~90.7%。施工期间单台泥浆压滤设备连续处理泥浆的能力约为 270~450 m³/d, 成饼率 25%~35%, 主要影响因素为泥浆中土颗粒的粒径和矿物成分的差异等, 例如, 在全断面砂土地层掘进条件下, 超标泥浆的密度较高、黏度较低, 压滤效率和成饼率相对较高, 而在全断面淤泥质土或黏土地层掘进条件下, 超标泥浆的密度较低、黏度较高, 压

表 2 分离渣土和废弃泥浆的数量预测

Tab. 2 Prediction of the quantity of separated waste soil and waste slurry

土层编号	土层占比/%	渣块比例/%	溶浆比例/%	成浆比例/%	可分离体积	废浆量/m ³
③ ₄	2.0	0.0	79.97	79.97	1 520	11 164
③ ₅	3.0	0.0	49.79	49.79	5 713	9 773
③ ₅	0.5	0.0	71.95	71.95	532	2 564
③ ₆	6.0	0.0	53.65	53.65	10 547	20 927
③ ₇	3.0	0.0	76.96	76.96	2 621	16 181
⑥ ₁	12.5	19.7	79.82	64.10	17 020	66 524
⑦ ₁	18.0	38.9	78.73	48.10	35 429	57 136
⑧ ₂	2.0	33.8	30.16	19.97	6 071	2 673
⑨ ₂	1.0	34.8	61.47	40.08	2 273	2 576
⑫ ₁	10.0	0.0	39.87	39.87	22 807	24 264
⑫ ₄	42.0	0.0	7.55	7.55	161 281	19 919
合计	100.0	—	—	—	265 813	233 702

滤效率和成饼率相对较低（图5），此外，受泥浆池容量、施工速度等现场条件影响，输送给压滤设备的超标泥浆的密度和粘度指标波动较大，一定程度上影响泥浆压滤的效率和成饼率。

综上，该隧道所选用的泥水处理系统组合方案在实际施工中泥水分离和泥浆压滤运行效果较好，实现了全干渣外运，符合项目基本预期，在工效、成本、环保之间取得了较好的平衡。

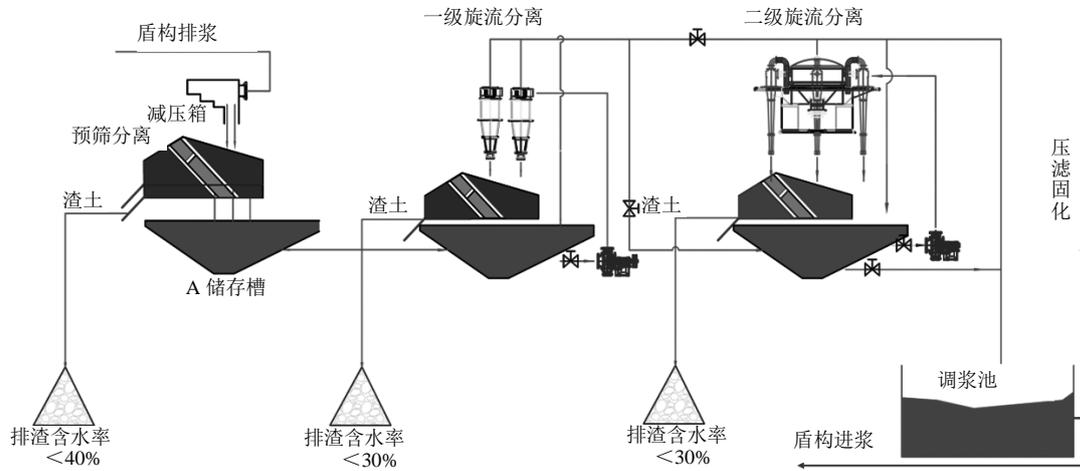


图2 泥水分离系统工艺流程图
Fig. 2 Process chart of slurry separation system

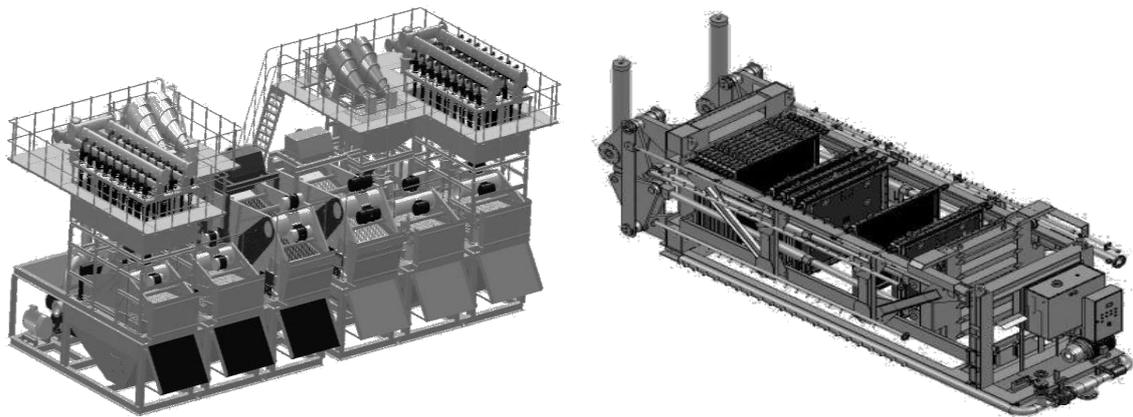


图3 泥水分离设备和泥浆压滤设备
Fig. 3 Slurry separation equipment & Slurry filter equipment

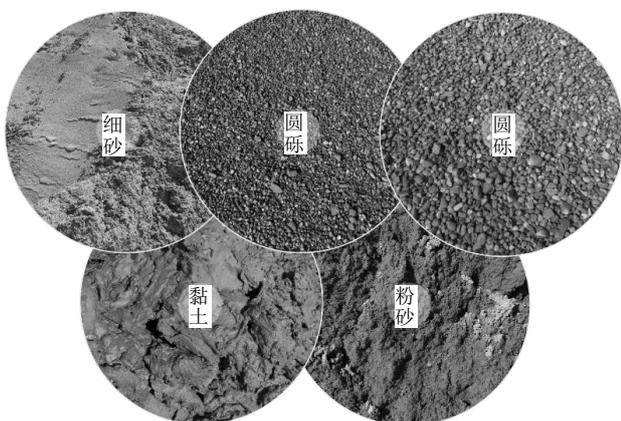


图4 泥水分离设备产生的渣土样本
Fig. 4 Waste soil sample produced by slurry separation equipment

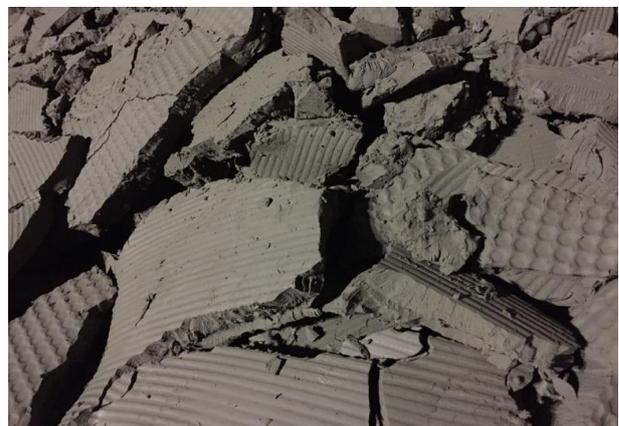


图5 泥浆压滤产生的土饼样本
Fig. 5 Sample of soil cake produced by slurry separation equipment

3 渣土分类与固废循环利用

3.1 渣土分类

如前述,泥水分离设备按照渣土粒径的区段进行分离,实现了不同粒径渣土的初步筛分和出料,施工中渣土均按照预筛、一级和二级旋流的各出料区分别进行装车和外运,特别是卵砾石、砂等具有较高经济价值的可循环利用材料。此外,施工场区规划时已将压滤设备布置在单独生产区域,压滤产出的土饼也实现了专区储存和外运。

3.2 固废循环利用

根据施工中泥水分离设备和压滤设备生产的渣土分类,经对相关行业的市场调研,本工程施工产生的渣土具有以下几个用途,见表3。

但是,目前受制于运距和市场成熟度等因素,本工程渣土实际循环利用数量仅约 15.7 万 m^2 (圆砾石和砂),而弃置数量约 20.6 万 m^2 。

表3 渣土用途
Tab. 3 Application of waste soil

渣土类别	描述/说明	数量/ m^3
砂性土(土饼)	可作为换填、回填料	57 600
黏性土(土饼)	含水量低(35%)可作为路基二灰土原料	42 500
圆砾石	可作为园林景观材料,或用于混凝土拌合等的建筑材料	82 000
砂	可作为混凝土拌合	75 000
粉砂土(松散)	可作为回填料	45 000
黏性土(泥渣)	弃置(若充分晾晒可用)	60 800

4 结 语

本文基于杭州市某隧道工程的应用案例,根

据工程地质勘察数据和岩土工程分析建立的模型对渣土生成数量进行预测,用以指导设备选型,并对泥水处理系统的运行情况进行了评估,对泥水分离系统和压滤设备产出的干渣数量进行抽样统计并与预测成果进行比较分析,对渣土分类管理和循环利用价值进行分析,并得出以下结论:

(1) 科学、合理的渣土产量预测能够有效地指导泥水处理系统的设备选型、制定合理的泥水处理施工方案,从而更加契合盾构施工需要并提高施工效率。

(2) 随着环保要求、渣土管理标准的提高和泥水处理系统设备采购与运行成本的降低,泥水平衡盾构隧道施工采用泥水处理系统相较于传统的弃浆直接外运可降低综合成本,实现项目管理效益最大化。

(3) 泥水处理系统分离渣土易于分类、存放和处置消纳,符合国家绿色施工政策导向,随着各地区市场的逐渐成熟,固废循环利用将产生更高的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] Ferguson G, Zhang L, Lin Y. Driving the slurry TBMs for Shanghai Yangtze River Tunnel[M]// Huang R. et al. The Shanghai Yangtze River Tunnel-Theory, Design and Construction: London: Taylor & Francis Group. 2008: 181-191.
- [2] 刘豫东,王洪新. 泥水加压盾构泥水分离与处理方法及模式[J]. 现代隧道技术, 2007, 44(2): 56-60.
- [3] [日]土木学会. 隧道标准规范(盾构篇)及解说[M]. 朱伟译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [4] 朱伟, 闵凡路, 钟小春. 泥水加压盾构泥浆与泥膜[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [5] 李广信. 岩土工程 50 讲[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.