

上海地区大直径泥水平衡盾构施工 泥水处理系统配置及应用

邵 亮

(上海市第二市政工程公司)

摘 要:针对大型泥水平衡盾构在市区施工的困难及上海地区的特殊地质情况,采用了沉淀池和机械分离相结合的泥水分离系统,以及可控化、高精度的泥水性能调整系统。系统设备占地小、泥水分离效率高,泥水处理费用低。通过施工实践,本泥水处理系统的设计和运行达到了预期的要求。

关键词:越江隧道;泥水平衡盾构;泥水处理系统;沉淀池;机械分离

1 前言

目前,在人口密集、交通繁忙的城市地下工程施工中,盾构法已成为一种先进、便捷、安全的隧道施工工法。其中,泥水平衡盾构由于对不同土层的适应性强、排土连续、施工进度快、便于自动化管理,以及在掘进过程中对地面沉降变形影响小等特点,已广泛应用于直径 $>11\text{ m}$ 的越江道路隧道施工中。

但泥水平衡盾构需要采用性能优良的膨润土泥水来保持开挖面的稳定和排送弃土。弃土会污染泥水,降低泥水性能,直接影响盾构的掘进施工,故需进行更换和处理。另外,泥水处理还需投入较多的费用以及防止废弃泥浆对环境的污染。这一切又会制约泥水盾构的推广使用。

上海地区的地下土层多为粉土及黏性土,且市区施工场地狭小,因此泥水处理的难度较大,弃泥排放困难,所以泥水处理系统的研究对泥水盾构的推广使用至关重要。近年来,在上海复兴东路、大连路及西藏南路等越江隧道工程多台大直径泥水平衡盾构工程的施工实践中,对泥水处理系统进行了设计及应用的研究,已取得了较好的效果和经验。现以直径为 11.2 m 和 11.58 m 的泥水平衡盾构为例进行介绍。

2 上海地区越江隧道的工程概况

2.1 工程地质

1) 越江隧道盾构穿越的土层标高通常为 $-11.19\sim-31.15\text{ m}$,穿越的土层为灰色砂质粉土、灰色黏土、暗绿色黏土、草黄色粉细砂等。

2) 土质颗粒分析。

灰色砂质粉土: $0.074\sim0.05\text{ mm}$ 占 $6.2\%\sim17.4\%$, $0.05\sim0.01\text{ mm}$ 占 $65.7\%\sim74.3\%$ 。

草黄色砂质粉土: $0.074\sim0.05\text{ mm}$ 占 $13.5\%\sim16.8\%$, $0.05\sim0.01\text{ mm}$ 占 $62.5\%\sim71.3\%$ 。

草黄色粉细砂: $0.25\sim0.074\text{ mm}$ 占 $67.3\%\sim83.7\%$, $0.074\sim0.05\text{ mm}$ 占 $6.3\%\sim12.4\%$, $0.05\sim0.01\text{ mm}$ 占 $6.3\sim12.4\%$ 。

灰色黏土和暗绿色黏土:黏土的颗粒为 0.005 mm 左右。

2.2 盾构掘进主要施工参数

1) 盾构机数量:为了加快施工进度,越江隧道工程一般安排2台盾构,双线平行掘进。

2) 盾构推进速度:最大掘进速度 $1.5\sim3.5\text{ cm/min}$ /单台,即16环(24 m)/日/2台。

3) 盾构掘进排弃土量: $2400\text{ m}^3/\text{d}$ (2台盾构同时掘进时)。

4) 盾构排泥流量: $30\sim33\text{ m}^3/\text{min}$ (2台盾构同时掘进时)。

5) 盾构送泥流量: $29\sim31\text{ m}^3$ (2台盾构同时掘进时)。

6) 盾构送泥泥水参数:在黏性土层推进时,送泥比重 $1.20\sim1.22$,黏度 $20\sim22\text{ s}$;在砂性土层推进时,送泥比重 $1.25\sim1.30$,黏度 $22\sim30\text{ s}$ 。

7) 盾构排泥泥水的参数:在黏性土层推进时,排泥比重 $1.30\sim1.35$;在砂性土层推进时,排泥比重 $1.35\sim1.48$ 。

2.3 泥水处理系统主要设计参数

1) 泥水处理系统应将泥浆中 $>0.03\text{ mm}$ 的土

体颗粒分离出 70%。

2) 盾构机头的排出的泥水经泥水处理系统处理后泥浆密度应降低 0.112。

3) 泥水处理系统处理能力: 30 ~ 33 m³/min (2 台盾构同时掘进时)。

4) 泥水处理系统再生泥水供应能力: 29 ~ 31 m³ (2 台盾构同时掘进时)。

5) 新制膨润土浆性能指标: 比重 1.10, 拌制量/h ≥ 200 m³, 送入调整槽流量 ≥ 100 m³/h。

6) 新制 CMC 浆性能指标: 液体浓度 30%, 拌制量/h ≥ 20 m³, 送入调整槽流量 ≥ 10 m³/h。

7) 再生泥水性能指标: 在黏土层中推进时, 比重 1.20 ~ 1.22, 粘度 20 ~ 22 s; 在砂性土层推进时, 送泥比重 1.25 ~ 1.30, 黏度 22 ~ 30 s。

3 泥水处理系统的总体设计方案

3.1 目前常用的泥水处理系统方案

泥水处理系统通常由泥水分离系统、泥水再生系统及废浆废渣排放系统组成。目前常用的泥水处理方法有: 沉淀分离法和机械分离法。前者在国内采用较多, 后者在国外采用较多。这两种方案仅是泥水分离采用的方法不同, 而泥水再生和废浆废渣排放方法均大同小异。

3.2 方案的选择

在泥水沉淀池处理方案中, 从排泥管排出的含有渣土的大比重的泥水, 进入沉淀池后经自然沉淀后分离出渣土。由于使用膨润土和 CMC 制作的泥水粘度和悬浮作用较大, 泥水中的渣土沉淀速度较慢, 因此, 沉淀池的面积需要很大。否则细小的土颗粒难以沉淀, 分离效果不佳。

机械分离法处理方案在国外使用较多, 泥水全部采用机械设备和化学絮凝剂进行分离, 效果好, 占地少, 但费用极高。

由于城市施工现场泥水处理场地较小, 采用单纯的泥浆沉淀池的方案因占地面积大而不可取; 而采用机械分离的方案, 泥水处理成本较高, 且许多设备还需进口。综合以上两方面的因素, 上述工程均选用沉淀池和机械分离相结合的泥水处理方案。充分利用沉淀池分离费用低、机械分离系统效率高、占地小的优点。

3.3 泥水处理系统的工作及工艺流程原理

盾构掘进时, 大刀盘切削下来的土体经搅拌和前舱的泥水混合, 形成高密度泥水, 并由排泥泵和管

道输送到地面泥水处理场地。首先进入振动筛筛分离出 >0.2 mm 的土颗粒, 筛余的泥水再进入沉淀池自然沉淀分离, 其分离的渣土可外运。沉淀池末端的泥水采用二级旋流器分离: 第一级分离出 >0.074 mm 的土颗粒; 除砂旋流器上溢口排出的泥水再进入除泥旋流器进行第二级分离, 分离出 0.01 ~ 0.035 mm 以上的土颗粒, 然后进入调整槽调整泥水性能指标。泥水的性能指标采用动态调整, 即一边向盾构供泥, 一边调整泥水性能指标。调整时预先将拌制好的膨润土浆、CMC 浆和清水分别用变量泵根据需要的量加入调整槽。调整中的泥水性能指标值通过数据采集系统传输到泥控室数显屏上, 供调整操作使用。为了使泥水性能指标调整精细, 设置 2 个调整槽, 一个供粗调, 另一个供细调。经调整后的泥浆用送泥泵送入盾构 (见图 1) 循环使用。

4 泥水处理系统主要组成部分的设计

4.1 泥水沉淀池

沉淀池分离泥水是依靠渣土自身的重力沉降来完成的, 但沉降的速度受诸多因素的影响, 根据影响球形小颗粒在液体中的自由沉降诸因素的数学关系公式 (又称 Stokes 定律):

$$v = \frac{g}{18\eta}(\rho_s - \rho)d^2 \quad (1)$$

式中: v 为颗粒沉降速度; g 为重力加速度; η 为液体粘度; ρ_s 为颗粒密度; ρ 为液体密度; d 为颗粒直径。

通过计算, 可以看出膨润土泥水中渣土沉降速度很慢。为此, 要求沉淀池能够减缓泥水流速和延长泥水流动路径。而市区的施工场地有限, 如复兴东路隧道工程沉淀池的场地仅有 42.5 m × 32 m。为了在有限的场地内充分发挥沉淀池的沉淀作用, 沉淀池采用多室迷宫式布置。即利用沉淀池的宽度, 用侧墙隔成迷宫式的流槽 (槽宽 7 m), 将泥水流动路径延长到 186 m, 每隔一定距离在流槽内再设置隔墙, 将流槽分割成多个串联的沉淀仓, 进一步减缓泥水流速, 使沉淀池达到使泥水中直径 >0.2 mm 的土颗粒大部分沉淀, 且泥水密度降低 0.032 的设计预期目的。

4.2 机械分离设备

4.2.1 振动筛筛分装置

用于第一级泥水分离。可筛除泥浆中含有的直径 >0.20 mm 的土颗粒。振动筛体积小, 筛分效果好, 对泥水中的大颗粒弃渣分离效率高, 可减轻沉淀

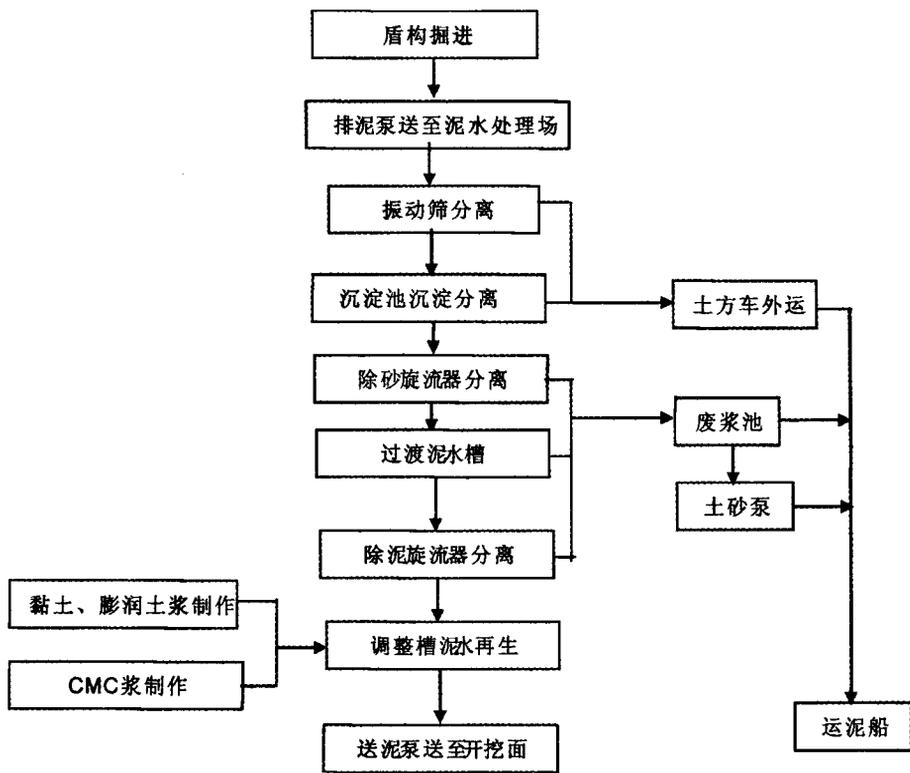


图1 泥水处理系统工艺流程图

池的分离压力。

使用振动筛主要是解决筛网的堵塞问题。我们选用了较先进的直线高频复合筛网振动筛,其振动频率高,振幅大。筛网由两层筛网组成,筛分效果好,不易堵塞。振动筛筛网目数和面积的确定。因2台盾构的循环泥浆的流量 $Q = 30 \sim 32 \text{ m}^3/\text{min}$,故系统设置4台振动筛,每个振动筛的面积为 5 m^2 。筛网网眼的大小为80目,筛网孔径为 0.178 mm 。振动筛的振动频率 $1000 \text{ 次}/\text{min}$,振幅 3.5 mm ,单个振动筛处理流量 $8 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

4.2.2 水力旋流器分离装置

水力旋流器是靠离心力进行浓缩分级的分离设备,其占地面积小,处理能力大,分离效率高,速度快,无运动部件,广泛应用于固液分离系统中。泥水在泥浆泵的压力下沿切线方向进入旋流器筒体,顺旋流器内壁高速旋转,土体颗粒在离心力作用下沿筒壁下沉,经底流口排出,而低密度的泥水由中心溢流管排出。土体颗粒所受的离心力公式为:

$$F = \frac{\pi d^2}{6} (\delta - \Delta) \frac{V_t^2}{r} \quad (2)$$

式中: d 为颗粒直径; δ 为颗粒密度; Δ 为介质密度; V_t 为切线速度; r 为回转半径。

从式中可以看出,为了提高分离效果,可通过提

高入料压力(即回转速度)或减小旋流器回转半径。经沉淀池沉淀后的泥水所含土体的颗粒在 $0.2 \sim 0.005 \text{ mm}$ 之间,范围较大,所以应采用较大回转半径的除砂旋流器和较小回转半径的除泥旋流器,来实施分级分离 $>0.01 \text{ mm}$ 以上的土体颗粒,同时提高泥浆泵的送浆压力。

1)除砂旋流器分离装置,用于第二级泥水分离。经振动筛筛分和沉淀池沉淀后的泥水用泵送到由旋流器组成的除砂旋流器中进行第二级分离。分离泥水中直径 $>0.074 \text{ mm}$ 以上的土颗粒。

旋流器采用了日本进口的MD9旋流器,其直径为D230,可分离粒度 $0.02 \sim 0.074 \text{ mm}$,单台处理能力 $0.8 \text{ m}^3/\text{min}$,可降低泥水密度 0.035 。根据单台盾构机头掘进时的设计流量计算,所需D230型旋流器20台,最大处理量为 $16 \text{ m}^3/\text{min}$,满足使用要求。旋流器的下溢口流量为总处理流量的20%,下溢口的废浆通过流槽排放在废浆池中。

每4台旋流器和1台泵合为1组,共设置5组,每组的处理流量为 $3.2 \text{ m}^3/\text{min}$ 。为保证达到设计要求的处理流量,应合理设置泥浆泵的工作点。该工作点的流量为 $4.5 \text{ m}^3/\text{min}$,扬程为 35 m ,以使泥浆泵工作时能够达到 $3 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 左右的旋流压力和 $>3.2 \text{ m}^3/\text{min}$ 的流量。

2) 除泥旋流器分离装置,用于第三级泥水分离。经除砂旋流器分离后的泥水从除砂器上溢口排放到过渡泥水槽,再用泥浆泵送入除泥旋流器进行第三级分离,分离粒度范围为0.01~0.035 mm。

由于除泥器所分离的土体颗粒较小,需选用回转半径较小的旋流器。

根据泥水处理总量平衡的原则,由于经除砂器处理后的泥水流量为总流量的80%,所以由除泥器处理的总流量应为12~12.8 m³/min。经计算,共设置82台D100旋流器。

泥浆器由12台旋流器和1台泵组成1组,共7组。每组设备处理流量为1.72 m³/min。泥浆泵的工作点设置流量为2.4 m³/min,扬程为45 m。

4.3 泥浆再生系统

4.3.1 膨润土及CMC浆制作装置

1) 膨润土浆拌制槽,用于膨润土的预水解、拌制和储存。该系统设置2个膨润土拌制槽及3个膨润土储浆槽。膨润土先在膨润土拌制槽内搅拌均匀,然后再泵送到膨润土储浆槽内充分水解后使用。膨润土拌制槽采用钢制圆桶和旋转叶片搅拌。

2) CMC溶解槽,用于CMC的预溶解。CMC遇水后呈球状小胶团,难以均匀溶解在水中,因而在加入泥水前必须预先加以搅拌,待其充分溶解后再加入调整槽。该泥水系统CMC拌制采用集中拌制,由一个CMC溶解槽和一个CMC储存槽组成。

4.3.2 泥水性能调整系统

对于经过泥水分离后,其性能下降的循环泥水必须进行补充和调整,使其恢复原有的使用性能,并保持泥水系统中的泥水总量不变。该系统泥水性能的调整采用了动态调整方式。即调整槽的使用工况为一边将经处理后的泥水泵入,一边根据需要泵入膨润土浆、CMC浆和清水。泥水的性能通过连续添加膨润土、CMC浆和清水进行调整。

为进一步提高调整的精度,将作为调整性能用的膨润土浆和CMC浆严格按照一定的配比分别拌制。在添加膨润土浆和CMC浆的输送管道上设置流量计和电动闸阀,在调整槽中设置了泥水比重传感器,自动测量泥水比重,并将流量和比重的数据反

馈到泥控室显示屏上,供操作人员根据调整槽内的泥水指标,精确调整膨润土和CMC的添加量,从而控制再生泥水的性能指标。

由于循环泥水的流量为 $Q = 14 \sim 15 \text{ m}^3/\text{min}$,为了保证原浆和添加物充分搅拌的时间,调整槽的容量选为120 m³。每条线设置2个调整槽。调整槽采用钢制圆桶,直径6.5 m,高度5.5 m,采用旋转叶片搅拌。

4.4 应急系统

由于泥水处理系统的某些设备较易发生故障,为了防止泥水处理系统发生故障时不影响盾构的掘进,该系统设置了应急泵送系统。具体布置为:在沉淀池的末端设置2台泥浆泵,在泥水处理系统发生故障时将经沉淀池处理后的泥浆,跳过发生故障的除沙器或除泥器直接送入调整槽内以应急。应急泵的流量为总送浆量的30%,即 $Q = 4 \text{ m}^3/\text{min}$,扬程25 m。

4.5 废泥浆和沉淀弃土排放系统

1) 采用泥浆泵把废泥浆通过管道排放到停靠在码头上的泥浆船上,然后再外运丢弃。泥浆排放泵为3台,分别设置在废浆池(2台)和沉淀池末端(1台)。

2) 沉淀弃土的排放:使用挖土机及土方车将沉淀池内的沉淀土运到土方船丢弃。

5 结语

在上海地区多项大直径泥水平衡盾构越江隧道工程的施工中,对泥水平衡盾构掘进施工中至关重要的泥水处理,采用了沉淀池和机械分离相结合的高效泥水处理系统,以及设置了可控化、高精度的泥浆性能调整系统,便于在施工中根据不同的土层和掘进参数配制相适合的泥浆,从而确保了开挖面的稳定和泥水输送系统的通畅。该系统设备占地面积小、泥水分离效率高,既适应了市区施工场地狭窄的特点,又降低了泥浆处理的费用,取得了很好的效果。

(收稿日期:2010-07-06)