

富水砂层盾构下穿大型市政雨水箱涵技术控制要点

汪小南

武汉市城市投资开发集团有限公司, 湖北 武汉 430023

[摘要] 武汉地铁目前进入大规模建设阶段, 地铁盾构施工需要穿越地下管线复杂的繁华区域, 如果施工控制不当可能导致管线受损, 引发严重后果, 因此, 地铁工程建设中管线保护是一项重要风险控制点。本篇文章以武汉地铁某区间施工为例, 针对富水砂层土压平衡盾构穿越大型市政雨水箱涵的风险进行了分析, 并提出了关键性技术控制要点, 有效确保了工程施工安全。

[关键词] 富水砂层; 土压平衡盾构; 砖砌雨水箱涵; 施工技术控制

DOI: 10.33142/sca.v6i7.9596

中图分类号: U455.43

文献标识码: A

Key Points for Technical Control of Shield Tunneling through Large Municipal Rainwater Tank Culverts in Water Rich Sand Layers

WANG Xiaonan

Wuhan Urban Investment and Development Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430023, China

Abstract: Wuhan Metro is currently entering a large-scale construction phase, and shield tunneling construction requires crossing complex and bustling areas of underground pipelines. Improper construction control may lead to pipeline damage and serious consequences. Therefore, pipeline protection is an important risk control point in subway engineering construction. This article takes the construction of a certain section of Wuhan Metro as an example to analyze the risks of soil pressure balance shield tunneling through large municipal rainwater box culverts in rich sand layers, and proposes key technical control points to effectively ensure the safety of engineering construction.

Keywords: rich water sand layer; earth pressure balance shield tunneling; brick rainwater tank culvert; construction technology control

引言

武汉地铁某区间位于汉阳区鹦鹉大道, 线路长约1262m, 水平线间距14~20.6m, 隧道覆土厚度为8~10.3m。区间所处长江一级阶地富水砂层, 采用土压平衡盾构法施工, 左右线均从海洋乐园站始发, 在前进村站接收。区间沿线路走向地面下敷设有一条3*2米的砖砌结构雨水箱涵, 平面上与区间左线隧道结构基本重叠, 隧道结构顶距箱涵底最小净距仅3.74米。海前区间正值雨季施工, 须采取切实有效的措施保护好既有雨水箱涵, 避免因箱涵渗漏危及市政道路与隧道安全。本文主要针对富水砂层土压平衡盾构穿越大型市政雨水箱涵的风险进行了分析, 并提出了关键性技术控制要点。

1 工程概况

1.1 设计概况

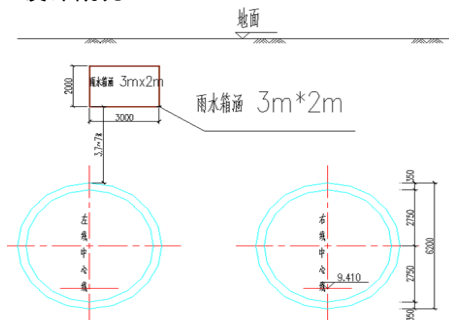


图1 隧道与箱涵断面关系图

该区间线路长约1262m, 水平线间距14~20.6m, 隧道覆土厚度为8~10.3m。区间沿线路走向地面下敷设有一条3*2米的砖砌结构雨水箱涵, 平面上与区间左线隧道结构基本重叠, 隧道结构顶距箱涵底约3.74~7.07m, 如图1所示。

1.2 工程地质情况

该区间沿鹦鹉大道敷设, 地形较平坦, 地面高程一般在22.65~24.55m之间, 最大高差1.90m, 地貌单元属长江一级阶地。区间从地面往下依次为: (1-1)杂填土、(2)粉质黏土夹粉土、(3-2)粉质黏土、(3-4)粉质黏土夹粉土、(3-5)粉质黏土夹粉砂、粉土、(4-1)粉细砂、(4-2)中细砂层, 盾构主要穿越4-1粉细砂层, 局部穿越3-5粉质黏土夹粉砂、粉土, 如图2所示。

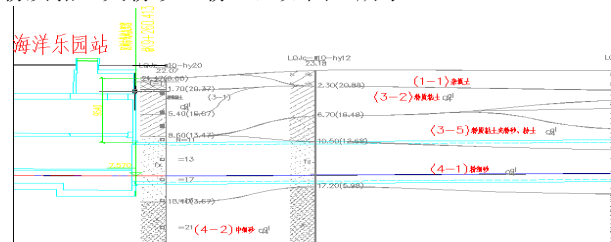


图2 海前区间地质断面图

1.3 水文地质情况

(1) 地下水的类型。对施工有影响的地下水有上层

滞水、孔隙承压水。上层滞水主要赋存于填土层中，孔隙承压水主要赋存于(4-1)、(4-2)层。施工期间，地下水位位于地面以下6.5m~8.4m。

(2) 渗透性。场区内(2)层为弱透土层，(3-2)层为相对隔水层，(3-4)、(3-5)层为弱透土层、(4-1)、(4-2)层为含水层。各土层渗透性指标如表1所示。

表1 岩土渗透性指标

岩土名称	地层代号	渗透系数 (cm/s)		渗透性分析
		垂直	水平	
粉质黏土夹粉土	2	5.0×10^{-6}	5.8×10^{-5}	弱透土层
粉质粘土	3-2	4.5×10^{-6}	2.9×10^{-6}	微透土层
粉质黏土夹粉土	3-4	5.7×10^{-6}	4.8×10^{-5}	弱透土层
粉质黏土夹粉砂、粉土	3-5	2.5×10^{-5}	6.5×10^{-4}	弱透土层
粉细砂	4-1	8.0×10^{-3}	1.2×10^2	强透土层
中细砂	4-2	2.0×10^2	2.2×10^2	强透土层

2 工程风险分析及技术控制要点

该区间所处长江一级阶地富水砂层。排水箱涵平面上与区间左线隧道结构基本重叠，且最小净距仅3.74米；加之海前区间正值雨季施工，如盾构施工措施不到位，可能造成箱涵渗漏，从而危及市政道路与隧道安全。综合考虑区间的特点、周边环境、工程及水文地质条件，富水砂层土压平衡盾构穿越大型市政雨水箱涵需要重点控制以下几个方面。

2.1 下穿前的施工准备工作

(1) 优化盾尾刷密封构造和择优选择盾尾油脂：针对海前区间粉细砂层及下穿雨水箱涵沉降控制严格的特点，本区间盾构机盾尾密封采用前两道钢丝刷+后一道钢板刷的方式，利用钢板刷耐磨性强的特性，将钢板刷放置盾尾最后一道，防止砂土进入后两道盾尾刷内破坏盾尾密封。

在更换最后一道钢板刷的同时还对钢板刷进行了改进，用45°折角的反扣板扣住管片，加强盾尾密封性。具体形式见图3。

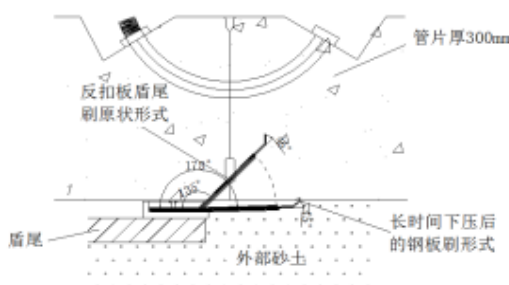


图3 钢板刷在砂土中运行模拟图

在改善盾尾刷的同时，针对粉细砂的地层情况，采用与地层相适应、性能稳定、业界口碑较好的油脂，具体性能指标详见表2。

表2 油脂性能指标

序号	检查项目	指标要求
1	外观	乳白色纤维膏状物
2	稠度	220~280
3	密度 25° C	1.25~1.35
4	泵送性	可泵出油脂
5	挥发性, 80±20° C5h, %	≤0.5
6	耐水性 (3.0Mpa, 5min 无渗漏)	无渗漏

(2) 加强盾构机的维修保养：在盾构穿越箱涵以前，对盾构机及其配套设备进行全面维修保养，保证盾构机以最佳状态穿越箱涵；其次在掘进通过雨水箱涵时组织专班加强盾构机的维修保养，将盾构机的维修保养工作穿插到掘进施工当中去，保证盾构机连续、匀速掘进。

(3) 设定合适的土压值：设定正确的土压值是下穿成功与否的关键，下穿时的掌子面土体压力按下式计算：

$$\text{正面平衡压力: } P=k \times h \times k_0$$

P: 平衡压力 (包括地下水)

k: 土体的平均重度 (取 18.7KN/m³)

h: 隧道中心埋深

k₀: 土的侧向静止平衡压力系数, 取 0.6

$$P=k \times h \times k_0=18.7 \times (11.2 \sim 13.5) \times 0.6$$

$$=0.13\text{MPa} \sim 0.15\text{MPa}$$

考虑盾构在实际掘进过程中损失的土压一般为0.02~0.03MPa，故平衡压力的设定值为0.15MPa~0.17MPa。具体施工设定值根据盾构埋深、所在位置的土层状况以及监测数据进行动态调整。

(4) 穿越前的试推进：海前区间盾构出海洋乐园站后约100米即穿越雨水箱涵，因此将此段长度作为试推进段。在试推进段中，分别设定不同的施工参数，模拟穿越的工况条件，查看在各种参数控制下盾构机推进的影响，从而总结出盾构穿越箱涵的最佳施工参数，特别是盾构推进过程中切口土压、同步注浆以及二次注浆的参数，以此确保盾构顺利穿越，并将影响降到最低。

2.2 下穿时的施工控制措施

(1) 出土量控制：因砂性土自密性较高，出土量可按常规理论出土量的95%~98%，防止过量超挖、欠挖。

(2) 推进速度控制：施工时，推进速度不宜过快，尽量做到缓慢、均衡、连续施工，减少对周围土体的扰动，避免在途中有较长时间耽搁。如果推得过快则刀盘开口面对地层的挤压作用相对明显，地层应力来不及释放，所以正常推进时速度应控制在2~3cm/min。

(3) 油缸总推力应控制在10000~17000KN。如推力过大应通过调整盾构姿态或进行土体改良降低刀盘扭矩来降低油缸总推力。

(4) 盾尾间隙控制：盾尾间隙会影响到管片拼装质量和盾尾密封系统，应保证管片与盾构机形成同心圆，上、

下、左、右的间隙量尽量均等。

(5) 土体改良：土体改良是降低刀盘扭矩，盾构持续推进的关键，采用砂层发泡剂改良砂土能够显著地降低砂土的渗透系数，但是砂土的透水性强、保水性差，因此对于富水砂层，单纯靠发泡剂改良渗透性效果不理想，应同时注入膨润土，增加砂中细粒组分的百分比含量、充填砂土孔隙，这样既能提高堵水性能，又能同时改善砂土流动性，提高保水性能，避免“喷涌”事故的发生。

盾构机渣土改良系统在刀盘上配备有4个注入孔，分散在刀盘的不同切削轨迹上，每个孔注入膨润土覆盖直径为1.5m，在刀盘转动的情况下可覆盖整个掌子面范围。

注入参数：1) 膨润土泥浆：膨润土：水=1：10（质量比），注入率15%（与渣土体积比）；2) 泡沫剂：发泡液浓度为2%，发泡倍率15倍，注入率为20%~40%（与渣土体积比）。

(6) 同步注浆控制

①同步注浆配合比：根据富水砂层流动性强、孔隙率大的特点，同步注浆浆液采用外掺剂HPMC配制抗水分散性强的早强性能浆液，为确保浆液填充效果，具体浆液配合比见表3。

表3 同步注浆浆液配比（单位：kg）

水泥	粉煤灰	膨润土	砂	水	HPMC1
200	300	200	1000	400	0.54

试验结果为：扩展度为22~24cm；凝结时间为9~12h；7d抗压强度为1.9~2.1MPa，28d抗压强度为3.4~3.7MPa；浆液PH为8.7，具有体积收缩率小、早强及抗水分散性等特点，能满足砂层地质同步浆液质量要求。

②注浆控制：下穿期间注浆点位主要选择在上部，由上至下填充建筑空隙，注浆压力值应控制在0.2~0.3MPa，避免压力过大造成注浆管路损坏或盾尾密封被冲破。

③注浆量控制：经计算每环建筑空隙为2.8m³，砂性土填充系数按150%考虑即4.2m³，下穿箱涵时为保证填充量，注浆填充系数提升至180%即5m³。

(7) 二次补注浆控制

①二次注浆配合比，详见表4。

表4 二次注浆浆液配比（单位：kg）

单液浆（水泥：粉煤灰：水）				
0.75：0.75：1				
双液浆配合比				
水泥（g）	水（ml）	水玻璃（ml）	初凝时间	终凝时间
150	60	108.4	2min40s	14min30s

②二次补注浆控制，为保证土体充分填充，二次补注

浆宜采用单液浆。为有效控制沉降，二次注浆应设置在盾尾后5环的位置进行跟踪注浆处理，应每隔5环用双液浆打环箍，有效阻隔地下水对浆液的稀释，并采取二次、多次跟踪注浆，确保壁厚注浆效果。

③二次注浆量按同步注浆体积收缩比的20%考虑即1m³，盾构机主要穿越砂质地层，填充量还应当适当提高，保证每环补注浆量不低于1.2m³。

(8) 加强施工监测，实行信息化施工。盾构机穿越箱涵期间，应对箱涵、地表加密监测，及时反馈监测信息，根据监测结果及时调整掘进参数，降低盾构施工带来的沉降，尽量减小对箱涵的扰动。

2.3 下穿后的跟踪处理措施

为减小排水箱涵的沉降，在盾构穿越箱涵后，还可根据下穿情况及实时监测情况进行管片壁后补注浆处理，保证后期沉降稳定。

3 控制效果

项目部主要通过盾构施工前期设备维保、施工过程中优化参数控制与加强监测、施工后及时补注浆等措施，有效的保证了盾构顺利下穿大型市政雨水箱涵。目前，海前区间左右线已双线贯通，市政雨水箱涵与城市道路沉降数据均符合要求，详见表5。

表5 工后沉降监测数据

序号	项目	规范值	最大沉降值
1	箱涵沉降	30mm	12mm
2	道路沉降	30mm	15mm

4 结语

穿越大型市政雨水箱涵安全风险控制的要点主要是做好盾构施工前期设备维保、施工过程中优化参数控制和信息化施工、施工后及时补注浆等工作。在实际施工中，如能重视上述工序，严格按照要求把每道工序落到实处，就能很大程度地降低或避免此类的施工风险，减少不必要的损失。上述技术控制措施不仅对下穿雨水箱涵，对于穿越其他管线和建构筑物同样具有指导意义。

【参考文献】

[1] 赵守宪. 土压平衡式盾构机富水砂层施工的沉降分析及对策[J]. 铁道技术监督, 2014, 42(9): 116.
 [2] 徐岩, 赵文, 黄龙光. 高照富水砂层土压平衡盾构关键施工技术[J]. 施工技术, 2011, 40(7): 102.
 作者简介：汪小南（1975.12—），男，湖北工业大学，土木工程，武汉市城市投资开发集团有限公司，副总经理，高级工程师。