

超浅埋富水砂层盾构下穿动物园 人工湖即到达接收施工技术研究

曹智俊 岳铁吉

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南省郑州市 450000

DOI: 10.12238/ems.v6i12.10809

[摘要] 随着城市地铁工程的发展,类极限条件下盾构法施工项目越来越多,以深圳地铁7号线盾构区间在超浅埋富水砂层条件下盾构穿越人工湖即到达接收的工程施工为实例,通过对盾构机在极限埋深富水砂层中穿越带水人工湖后即到达接收的风险进行剖析,对施工措施方案进行研究和优化并应用验证其有效性和可行性。该施工技术能够有效保障施工的安全、质量和进度,为类似工程提供了宝贵的借鉴经验。

[关键词] 地铁隧道;超浅埋;富水砂层;盾构下穿人工湖;到达接收

Research on the construction technology of ultra shallow buried water rich sand layer shield tunneling through the artificial lake of the zoo to reach the receiving site

Cao Zhijun Yue Tieji

China Water Resources and Hydropower 11th Engineering Bureau Co., Ltd.

Zhengzhou City, Henan Province 450000

[Abstract] With the development of urban subway engineering, there are more and more shield tunneling construction projects under extreme conditions. Taking the construction of Shenzhen Metro Line 7 shield tunneling through an artificial lake under ultra shallow buried water rich sand layer conditions to reach the receiving site as an example, this paper analyzes the risk of the shield tunneling machine passing through a water rich artificial lake in an extremely deep buried water rich sand layer to reach the receiving site, studies and optimizes the construction measures, and applies them to verify their effectiveness and feasibility. This construction technology can effectively ensure the safety, quality, and progress of construction, providing valuable reference experience for similar projects.

[Keywords] subway tunnel; Ultra shallow burial; Rich water sand layer; Shield tunneling through artificial lakes; Arrival Reception

1、引言

盾构法施工因其安全性高、施工快、影响小等优势,在城市地铁、市政管廊、引水隧道等工程中得到了广泛应用。在专业领域常有盾构下穿河流、湖泊等地表大型水体的工况,在盾构下穿该类水体过程中可能出现冒顶、击穿湖底透水、涌水涌砂、地表沉陷、隧道上浮破坏等安全风险问题;超浅埋富水砂层中较长距离穿越湖泊施工则因地层富水、稳定性和气密性差、洞身设计覆土抗浮不足等极端工况则面临着诸多技术难题,施工风险极大。同时,下穿营业动物园人工湖敏感地带还须考虑对人工湖及其周边生态环境、动物的影响

和保护。因此,本文施工技术研究与应用成果具有重要的现实意义。

2、工程概况

深圳地铁7号线二期工程北大站~西丽湖站区间盾构在深圳市野生动物园内部下穿人工湖(天鹅池)和湖边道路后达到接收井施工地段隧道埋深仅1.5~4.9m、长约95m,即在湖底段最小覆土埋深仅1.5m(<1/4洞径为超浅埋地层),湖面有金丝猴、长臂猿、天鹅、鹈鹕等珍稀动物分布于湖中岛上,湖水深约2m。动物园天鹅池园区正常营业阶每日游客量大,且周边有给水、雨水、污水管分布。采用 $\phi 6470\text{mm}$ 复合

式土压平衡盾构机掘进, 盾构管片是 C50P12、外径 6.2m、环宽 1.5m、厚 0.35m 的双面楔形 40mm 通用设计。

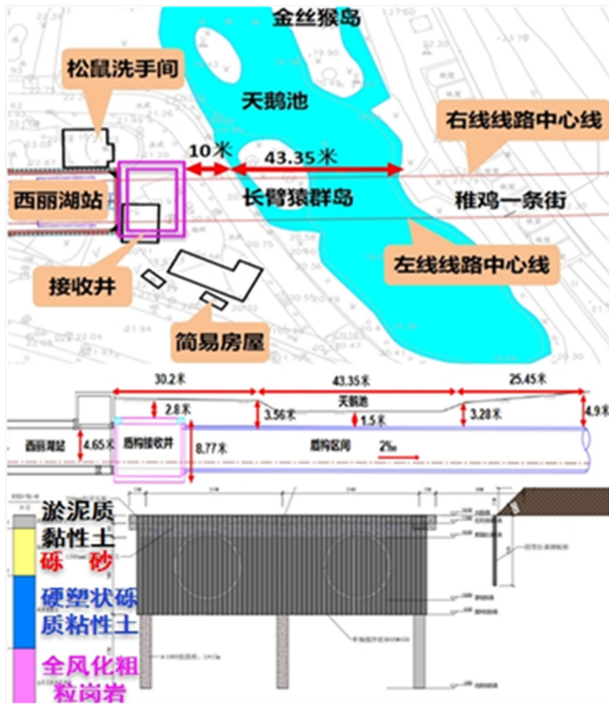


图1 超浅埋下穿天鹅池段平剖面位置关系图

隧道洞身主要位于砾砂、粉质黏土、硬塑状砾质黏性土中, 覆土地层为素填土、含有机质砂、粉质黏土、砾砂。淤泥质黏土和砾砂为不良软弱地质, 地层渗透性强、含水量高, 围岩自稳性和气密性差; 地下水位高与湖水有强水力联系。盾构施工中极易发生涌水涌砂、坍塌、击穿、冒顶、湖底坍塌、隧道结构上浮破坏、严重影响动物园区动物和游客安全等风险。

超浅埋富水软弱地层若不采取有效保证措施则不能满足盾构掘进施工条件和洞身结构抗浮要求; 经过多次技术专家探讨和方案比选, 选择了盾构法过湖设计方案, 采取水泥搅拌桩预加固地层、抗拔桩+抗浮盖板的方式克服掌子面不稳、易击穿、涌水涌砂、气密性差、覆土抗浮不足等问题, 最终通过盾构掘进控制技术安全顺利高效得完成了下穿湖泊即到达接收的施工任务。

3、施工工艺技术

针对本工程条件施工主要是做好盾构机选型、加固地层改善掘进条件、抗浮措施、临近水体接收技术、盾构穿越超浅埋湖底段掘进控制、厚浆措施、测量监测及信息联动反馈体系等方面工作, 通过分解任务方法逐个攻克难题。

3.1 盾构机选型及配置问题

针对超浅埋富水砂层、水泥搅拌桩加固的超浅埋富水砂层地层、盾构机掘进掌子面切削约 50cm 素混凝土抗浮盖板的地质条件和可能的钢筋侵入问题, 着重选择复合式土压平衡盾构机、6 主梁米字型重型刀盘并在外围配置贝壳撕裂刀和耐磨块、18 吋 22mm 厚刃单刃滚刀、刀盘盘整体开口率 35%、6 路泡沫喷头、双闸门螺旋机、加强盾尾密封和铰接密封等

适应富水软硬不均地层配置, 保证渣土改良和掘进工效; 通过双泵配置的同步注浆系统、具备双液浆功能的二次注浆系统控制保证壁后注浆及时和密实, 注浆过程中逐渐方量和注浆压力双控控制。

3.2 施工前关键技术措施

(1) $\Phi 600@450\text{mm}$ 单轴水泥搅拌桩加固: 对隧道轮廓外 3m、顶部至素混凝土底部、底部至砾砂层以下 1m 或隧道底下 1m, 采用不小于 42.5 强度等级的普通硅酸盐水泥、水灰比 0.6~0.8、18% 水泥掺量等主控参数控制施工质量, 使加固土体有良好的自稳性、密封性, 加固 90 天后土体的强度 $\geq 1.0\text{MPa}$, 渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-6}\text{cm/s}$, 大大改善盾构掘进地层条件。

(2) 抗浮技术措施

采用三排间距 9m、直径 1m、长 15m 抗拔桩+0.7m 厚 C35 钢筋混凝土+1.3m 厚 C20 素混凝土抗浮盖板设计 (见图 1), 掘进切削约 0.5m 厚素混凝土使增加管片与抗浮盖板之间的直接浮力传递接触面积, 及时跟进同步注浆和二次注浆并调整增加固结体强度, 取得了良好的抗浮效果、最大限度控制了该段管片变形。抗浮计算如下:

抗浮计算公式: $G_1+W+G_2 > K_0 F_{浮}$, G_1 为管片自重, W 为每环管片上覆土重量, $F_{浮}$ 为地下水浮力或未初凝砂浆的浮力, G_2 为抗拔桩的抗拔力, K_0 值大于 1.2 才能满足施工和使用阶段抗浮要求。进过计算湖底部分管片自重约 231.57kN/环、管片上覆土体 (重度 17.6kN/m^3 , 水体 10kN/m^3) + 压板 (重度 25kN/m^3) 有效重量 194kN、提供抗拔力 178kN/环、浮力 452.86kN, $K_0 = (G_1+W+G_2) / F_{浮} = (231.57+194+178) / 452.86 = 1.35 > 1.2$, 满足抗浮要求。盾构掘进过程中, 桩基抗拔力 1071kN/根, 满足抗浮需提供 430kN 即可, $1071-430=641\text{kN} > 480\text{kN}$, 盾构顶进过程中抗浮满足要求。

3.3 盾构掘进控制技术

(1) 掘进模式调整

在进入覆土埋深 > 1 倍洞径地段前观察土压平衡模式下降压加气量数据变化、地表的湖泊以及附近 50m 范围内有无异常, 在发现浅埋段地表开始漏气或降压加气量显著增大时, 应及时调整降低对应土仓压力和提高仓位, 超浅埋段漏气或泡沫是可预见的必然现象则须提前 10 环调整为使用分散型泡沫剂调整至满仓掘进模式。以匀速、连续、快速施工通过。

(2) 土压仓力控制

按照分区段平稳过的方式控制土仓压力, 土仓以土压平衡为主, 严格关注地表和泡沫流量控制土仓压力避免击穿、冒顶等现象; 因掌子面地层富水, 泡沫流量控制 $\leq 50\text{L/min}$ 确保不堵塞即可, 过程中监控渣土改良效果、渣土温度、掘进速度、扭矩有无异常, 着重保证加气不对地表湖面造成影响, 必要时停止加气保持泡沫孔加混合液或水避免堵塞。

根据静止土压力 $K_0 \gamma H$ 公式计算 ($K_0=0.5$, $\gamma=17.6$, $H=1.5 \sim 4.9\text{m}$, 水深 2m, 即 $0.35 \sim 0.6\text{bar}$ 、波动范围 $\pm 0.05\text{bar}$) 设置土仓压力。满仓掘进模式下, 土仓压力略大于水土压力 $0 \sim 0.1\text{bar}$ 即穿越湖底段 $0.35 \sim 0.45\text{bar}$ 、附近约 $0.4 \sim 0.6\text{bar}$ 。

最终抗浮盖板变形 $\leq 2.5\text{mm}$, 周边地表沉降最大变形 -16.73mm ; 在盾构通过后出现一次因注浆压力偏大(湖中长臂猿岛范围)沿隧道上方监测点打设的钢筋漏气和砂浆现象, 盾构保持连续快速掘进远离并调整注浆速度和双液浆补充注浆控制处理。

(2) 刀盘转速和掘进速度控制: 主要控制范围 $0.8\sim 1.2\text{r/min}$, 软弱地层控制掘进速度 $20\sim 35\text{mm/min}$, 保护下穿湖泊切削素混凝土段的边缘滚刀和确保渣土改良效果(无大块、流塑状态良好); 若加固段地层有卡刀盘时和接收破桩过程降低转速 $0.8\sim 0.9\text{r/min}$ 尝试性逐步调节; 下穿过程避免大纠偏, 做好管片选型。

(3) 刀盘扭矩控制: 主要为满仓掘进模式下切削抗浮盖板混凝土和破桩, 扭矩 $< 2\text{MN}\cdot\text{m}$ 控制、瞬时波动 $< 0.4\text{MN}\cdot\text{m}$ 。注重观察渣土无大块否则降低速度增加低膨胀率分散性泡沫剂注入量, 在水泥水搅拌范围扭矩偏大 $1.6\sim 2.0\text{MN}\cdot\text{m}$, 有底层加固固结土体强度不均现象。

(4) 总推力辅助上述参数调整, $1200\sim 750\text{T}$ (下穿湖底段 $750\sim 1000\text{T}$), 若有显著增大现象则及时查明原因再继续推进。

(5) 壁后注浆: “注浆压力、注浆量”双控, 同步注浆的砂浆配合比砂含量适当增加(配合比: 水泥: 砂: 粉煤灰: 膨润土: 水 $=120: 450: 510: 60: 500, \text{kg/m}^3$)、初凝时间 $6\sim 8\text{h}$ 、注浆压力 $\leq 2.5\text{bar}$ 、注浆量 $5.5\sim 6.5\text{m}^3$ (通过注浆试验和压力反应逐步调节), 根据地表沉降和壁后注浆效果检查适当调整二次注浆量; 超浅埋段 $2\sim 3$ 环/次在顶部水泥水玻璃(1: 1)双液注浆 $0.3\sim 0.5\text{m}^3$ 、注浆压力 $< 0.4\text{MPa}$, 10环以水泥-水玻璃双液浆为主、单液浆辅助并钻孔检查注浆效果。抗浮盖板最大变形量 -2.5mm , 接收端地表沉降最大 -16.73mm 。

(6) 出土量自然方量的约 $1.2\sim 1.25$ 松散系数计算($59\sim 61.6\text{m}^3$), 渣斗理论方量 $18\text{m}^3/\text{个}$, 4斗/环, 结合龙门吊称重数据分析每环出渣量, 渣土方量和称重双控并在过程中详细记录。

(7) 在进入浅埋段之前, 应评估刀具的磨损程度, 并在必要时提前开启仓门检查并更换刀具和泡沫管路, 特别是边缘滚刀。半径刀刃口建议选择 $22\sim 24\text{mm}$ 、 $56\sim 58\text{HRC}$ 高抗冲击性的刀具, 以保持泡沫管路的畅通(对于注入压力较大的情况, 应提前进行处理)。

(8) 人员管理和执行是关键环节。应提前应急演练, 沟通产权方, 严格落实施工方案的安全技术交底和掘进参数指令交底。盾构司机应具备3年以上的操作经验或具有在类似复杂地层中独立操作的实践经验。同时, 配备经验丰富的土木工程师、机电工程师等专业人员。实施24小时不间断的地面巡视, 保持信息化联系, 及时应对各种突发问题。

(9) 在盾构下穿过程中, 应增加地表、抗浮盖板、洞内隧道的测量监测频率, 及时反馈监测结果并指导施工, 特别是关注沉降变形和水位变化等情况。盾构通过后持续监测地表和隧道直至相关数据趋于稳定。

3.4 钢套筒到达接收技术

接收端隧道埋深仅约4米, 覆土地层为素填土和砾砂; 洞身处于砾砂和硬塑状砾质粘土层中。接收端临近地表湖泊水体, 地下水与天鹅池之间存在较强水力联系, 采取盾构钢套筒到达接收方法。在贯通前, 钢套筒底部约 $1/3$ 区域浇筑厚度 < 15 厘米的素C20砼垫层。气密性试验的最大压力 > 1.5 倍水土压力, 防止因埋深浅导致沿围护结构施工缝的击穿和漏气现象。填充盾构土或泥浆至 $> 2/3$ 总体积, 避免洞内螺旋机出口处渣土过稀而出现喷涌大量漏浆现象影响贯通过程掘进。钢套筒安装姿态轴线较盾构洞通时姿态降低约 2 至 3 厘米。

注意事项: 在盾构通过湖泊段后约10环开始刀盘开始破桩施工, 在破桩过程中, 密切观察竖井结构、地表及湖面是否存在异常的漏气、漏水或变形情况, 确保地面安全无异常。一旦发现异常, 应立即停止掘进, 查明原因并分析后迅速处置后, 迅速推进至停机位置(盾尾刷将围护结构范围处)。保持土仓满泥浆状态有利于进行注浆封环。到达停机位置后, 应立即在盾尾处进行水泥-水玻璃双液浆封环注浆, 并逐步向洞内检查和注入。检查管片壁后注浆是否密实、无明水。之后, 再推进 30 至 50 厘米, 使盾尾刷处于洞门预埋环处, 此时应注双液浆至壁后间隙饱满, 钢套筒、洞门、洞身无明显渗漏。待 12 小时后, 泄压、出空土仓泥浆, 检查钢套筒、洞门及附近内部有无渗漏。确认无异常后, 方可进入拆机阶段。

4、结束语

通过对超浅埋富水砂层盾构下穿动物园人工湖及到达接收施工技术的研究和应用, 没有出现地下空洞、沉降超标、击穿湖底大量渗水等事故问题, 4 天/次左线、右线盾构先后安全顺利的完成穿越湖泊施工任务, 取得了良好的经济效益和社会效益。当前, 此类极端工况极为罕见, 特别强调在超浅埋条件下创造盾构法隧道的抗浮条件, 以满足盾构施工和隧道结构的抗浮要求。针对软弱地层问题, 通过水泥搅拌桩加固改善盾构掘进掌子面自稳性和气密性, 防止击穿、冒顶等影响湖面整洁和动物的安全。掘进过程中, 重点控制防击穿的掘进模式、出渣量、地层沉降变形、壁后注浆效果控制、钢套筒安装加固质量以及接收端和浅埋段双液浆封环止水效果, 确保安全。总之, 超浅埋富水砂层盾构下穿动物园人工湖及到达接收施工技术是一项复杂的系统工程, 需要在工程实践中不断探索和创新, 以提高施工技术水平, 确保工程的安全、质量和进度。

【参考文献】

- [1]黄晴, 盾构法浅埋隧道下穿湖泊及桥梁施工技术.《基础建设》2017. 11;
- [2]王宇声, 富水软弱地层浅覆土盾构掘进施工技术研究.《中国高新技术企业》2015. 03;
- [3]任继鹏, 含大漂石富水砂卵石地层盾构下穿河流及桥涵施工技术, 城镇建设 2021. 08 (22)