

近距离侧穿高压电力塔盾构始发施工保护技术

何 雄 王天经 王 诚 王启哲

中建三局第三建设工程有限责任公司 湖北武汉 430070

摘 要: 盾构始发施工时容易对附近既有建(构)物安全产生影响,需采取相关保护措施。文章以武汉市机场河截污箱涵工程盾构施工为例,针对盾构始发时近距离侧穿高压电力塔施工存在的安全风险,采用微型钢管桩隔离电力塔承台、高压旋喷桩加固穿越区土体、注浆充填盾构间隙、辅助注浆纠偏、风险分区管理、自动化实时监测以及理论分析等综合技术措施及管理手段,顺利通过侧穿高压电力塔段。

关键词: 盾构始发;侧穿;土体加固;注浆

Protection technology of high voltage power tower shield

He Xiong Wang Tianjing Wang Cheng Wang Qizhe

Third Construction Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430070

Abstract: It is easy to affect the safety of the existing buildings (structures) in the vicinity, so relevant protective measures should be taken. Article in Wuhan airport river sewage box culvert engineering shield construction as an example, for the shield from the close side through the safety risk of high voltage power tower construction, the miniature steel pipe pile isolation power tower cap, high pressure rotary spray pile reinforcement soil area, grouting filling shield clearance, auxiliary grouting deviation, risk zoning management, automatic real-time monitoring and theoretical analysis and other comprehensive technical measures and management means, smoothly through side through high voltage power tower.

Key words: shield starting; side penetration; soil reinforcement; grouting

前言

武汉市机场河水环境综合治理截污箱涵工程采用地下浅覆盖盾构施工,始发段受既有高压铁塔桩基的影响,给盾构施工带来较大挑战,本文就对盾构始发近距离侧穿高压电力塔施工技术进行介绍和探讨^[1-2]。

目前,盾构始发和到达(进出洞)安全掘进控制技术仍是困扰盾构隧道施工的主要难题之一,盾构进出洞施工中,面临掌子面失稳、土体坍塌、涌水涌砂、地表沉陷、盾构“抬头及磕头”等诸多施工风险。一般而言,盾构进出洞一旦出现事故,多波及邻近区域,且后果多较为严重。

1 工程概况

1.1 工程简介

武汉市机场河水环境综合治理截污箱涵工程位于武汉市东西湖区,本工程为了截流机场河东渠上游的合流制污水,防止雨季溢流,将截流污水输送至机场河 CSO 进行调蓄及强化处理。本项目盾构线路总长约 3050m,盾构隧道内径为 4250mm,管壁厚 250mm、隧道外径为 4750mm,管片通用环环宽 1200mm,坡降为 0.5‰。

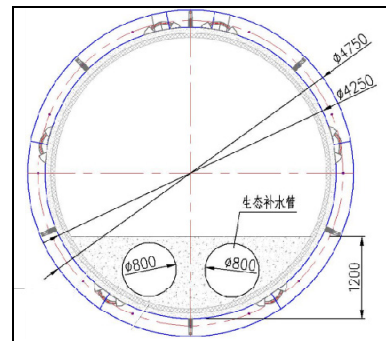
1.2 重难点分析

本项目与高压铁塔桩基的最小水平净距仅 2.52m,工作面失稳而危及高压铁塔安全的可能性大,安全风险高,属典型的近距离

侧穿高压电力塔盾构始发施工。因此,从保证高压铁塔安全要求出发,不能发生事故和险情。同时,相关法律法规对电力设施保护非常严格,如何将高压铁塔变形控制在允许范围内,是本工程控制的重点。

1.3 工程选用盾构简介

本工程盾构隧道主要功能是输送雨水,运行期间最大内压 $\leq 0.1\text{Mpa}$ 。盾构隧洞采用单层预制钢筋混凝土管片衬砌,错缝拼装。

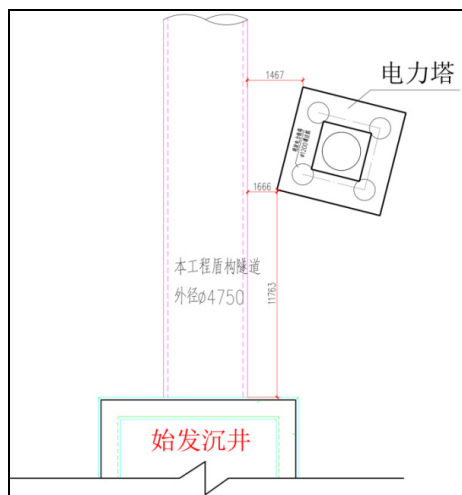


机场河截污箱涵工程隧道断面图

盾构机采用土压平衡小半径盾构机,主要构造有刀盘、刀盘驱动、壳体、推进系统、螺旋输送机、管片拼装机、后配套辅助系统等。盾构刀盘开挖直径 4980mm,刀盘开口率约 36%,盾尾密封结构形式为 3 道钢丝刷加 1 道止浆板,盾构机盾尾间隙 45mm。同步注浆采用单液浆,二次注浆采用双液浆。

1.4 盾构隧道与高压电力塔关系简介

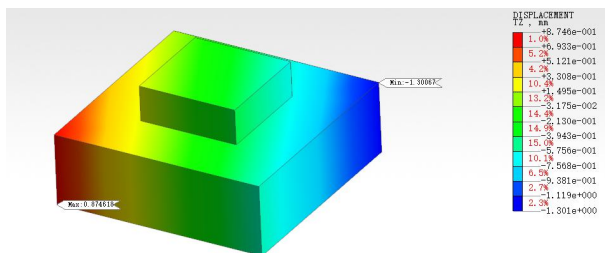
在起点里程 K0+015 附近侧穿 110 千伏李先一二回铁塔桩基础，盾构与高压铁塔桩基的最小水平净距约 2.52m。



电力塔与盾构隧道平面位置关系图

2 模型计算

提取盾构掘进至铁塔位置时，铁塔基础的变形云图，结果如下：



钢管杆基础轴向水平位移云图

从计算结果可知，盾构掘进至高压铁塔位置时，承台基础 X 向最大位移为 1.12mm，承台基础 Y 向最大位移为 1.68mm，水平位移矢量和为 2.02mm。承台基础最大竖向位移差（ ΔZ ）为 2.17mm，计算得到倾斜量为 0.26‰。

通过计算结果进行分析论证，明确高压铁塔加固施工参数，确定实施方案，使得盾构掘进施工对该铁塔基础的变形影响较小，基础最大水平位移增量为 2.02mm，最大倾斜增量为 0.26‰，小于水平位移增量不大于 6mm、倾斜增量不大于 5‰的变形控制标准。

3 盾构近距离侧穿高压电力塔施工技术

3.1 盾构掘进控制技术

3.1.1 盾构分体吊装始发施工

盾构机前盾 120t，后盾 55t，刀盘 40t，螺旋输送机 23t，使用 550t 汽车吊配合 250t 汽车吊分体吊装下井组装。分体始发要求如下：

1) 盾构在空载向前推进时，主要控制盾构的推进油缸行程和限制盾构每一环的推进量。要在盾构向前推进的同时，检查盾构是

否与始发台、始发洞发生干涉或是否有其他异常情况或事故的发生，确保盾构安全的向前推进；

2) 主要通过盾构机的推油缸行程来控制姿态；

3) 在保证盾构正常推进的情况下，稍微降低总推力和刀盘扭矩；

4) 在盾尾完全进入洞体后，调整洞口密封，进行洞口注浆。浆液要求顺利注入且要有早期的强度；

5) 反力架、负环管片的拆除时间根据背衬注浆的砂浆性能参数和盾构的始发掘进推力决定。

3.1.2 土压平衡掘进控制措施

盾构始发掘进通过电力铁塔时，根据此段地质、覆土厚度、地面建筑情况并结合地表沉降监测结果调整土仓压力，推进速度保持相对平稳，控制好纠偏量，尽量减少对土体的扰动，为管片拼装创造良好的条件。同时同步注浆量要根据推进速度、出碴量和地表监测数据及时调整，将施工轴线与设计轴线的偏差及地层变形控制在允许的范围内。

(1) 土仓压力值 P 的选定

根据计算得出合理的上部土压值，以土压平衡模式掘进，具体施工时，根据盾构所在位置的埋深、土层状况及地表监测结果进行调整。

(2) 出碴量的控制

盾构隧道每环理论出碴量（实方） $= \pi/4 \times D^2 \times L = 3.14/4 \times 5.02^2 \times 1.2 = 23.74m^3$ ；

其中：D——盾构机刀盘直径

L——每循环掘进距离

掘进时每环出碴量严格控制在 31 ± 1 方（土方松散系数取 1.3），防止因超排土或欠排土导致地层失稳，造成沉降或隆起。

(3) 推进速度

掘进速度及推力的选定以保持土仓压力为目的，根据施工的实际情况确定并调整掘进速度及推力。盾构掘进速度为 20 ~ 40mm/min。

(4) 盾构轴线及地面沉降控制

推进过程中，拟将盾构隧道设计中心线整体抬高 3cm，垂直向趋势保持在 +3，以防盾构机下沉。将施工测量结果不断地与计算的三维坐标相校核，及时调整。

根据值班工程师指令设定盾构推进参数，推进与衬砌外注浆同步进行。不断完善施工工艺，严格控制施工后地表最大变形量。

(5) 碴土改良剂

泡沫剂用量根据地质情况以及排出的碴土的状况进行适当的调整。

(6) 同步注浆及二次注浆

1) 注浆量

按照: $Q=V \times \lambda$

式中: λ ——注浆率(取 1.5~2.0, 曲线地段及砂性地层段取较大值, 其它地段根据实际情况选定)

V ——盾尾建筑空隙(方)

$V=\pi \times (2.51^2-2.375^2) \times 1.2=2.5\text{m}^3$; 则: $Q=3.75 \sim 5$ 方/环;

此段同步注浆宜适当调高压力, 加大同步注浆量。

2) 注浆压力

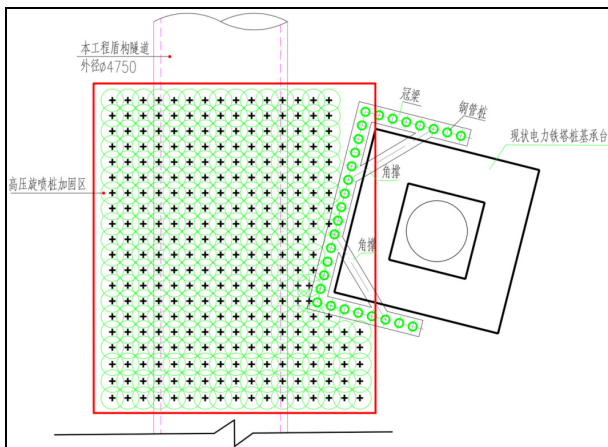
通常同步注浆压力一般为 1.1~1.2 倍的静止土压力, 同步注浆控制在 0.25~0.4Mpa, 二次注浆压力为 0.3~0.6Mpa。

二次补强注浆一般在管片与围岩间的空隙充填密实性差, 致使隧洞变形得不到有效控制或管片衬砌出现渗漏的情况下实施。施工时采用隧道监测信息反馈, 结合洞内超声波探测管片衬砌背后有无空洞的方法, 综合判断是否需要二次注浆。进入侧穿高压塔段后, 对管片背后注双液浆, 双液注浆采用水泥—水玻璃双液浆, 凝固时间控制在 40s。

3.2 电力塔周边地层加固施工

为保证盾构始发安全通过电力塔, 盾构施工前, 先搭设高压旋喷桩进行端头加固, 然后沿电力塔承台靠近隧道一侧打设微型钢管桩作为隔离, 再在盾构掘进范围及周边采用高压旋喷桩加固。待加固体达到设计强度后, 再进行盾构掘进施工。

本项目微型钢管桩、旋喷桩加固的平面布置, 详见下图。



高压铁塔加固布置图

3.2.1 钢管桩施工

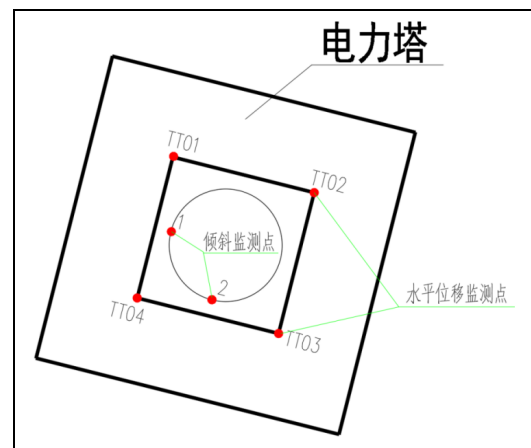
微型钢管桩成孔直径 300mm, 共 29 根, 内置□219 钢管, 壁厚 6.0mm, 长约 17m, 注浆材料为水泥砂浆, 细骨料采用中粗砂。桩位偏差不大于 20mm, 桩顶标高偏差不大于 20mm, 垂直偏差不大于 0.5%。钢管连接接头应相互错开, 接头处对接焊后套 245×12 长度 600mm 的无缝钢管, 再焊接在一起。

3.2.2 高压旋喷桩施工

高压旋喷桩直径 800, 桩长 11 米, 共 305 根, 三管旋喷施工, 施工顺序如图。通过试验确定水泥掺量约为被加固湿土重的 30%。旋喷桩施工时的钻杆垂直度偏差不超过 1%, 桩位布置的偏差不大于 50mm, 成桩直径和桩长不得小于设计值, 桩体立方体抗压强度 $f_{cu} \geq 3\text{MPa}$ 。

3.2.3 高压电塔施工期间监测

在盾构施工期间, 对施工影响范围内的高压铁塔实施监测, 判定盾构施工对其影响程度; 根据监测数据及时优化调整掘进施工参数, 做到信息化动态施工管理。监测点布置如下图:



盾构施工期间铁塔监测点布置

4 结论

盾构始发掘进是盾构施工的关键工序, 始发阶段掘进参数处于调整适应状态, 安全风险高, 尤其始发端存在既有建(构)物时, 对沉降控制要求非常严格, 对加固方案要求较高。本工程推荐的微型钢管桩隔离、高压旋喷桩加固、注浆充填、辅助注浆纠偏、自动化监测等综合技术措施能够降低施工风险, 有效保证施工安全, 为类似工程提供参考。

参考文献:

- [1]耿生春, 秦林, 黄求新等. 地铁隧道超小半径曲线盾构始发施工技术[J]. 天津建设科技, 2020, 30(3): 23-24. (GENG S C, QIN L, HUANG Q X, et al. Research on the Starting Construction Technology of Ultra Small Radius Curve Shield in Metro Tunnel[J]. Tianjin construction science and technology, 2020, 30(3): 23-24. (in Chinese))
- [2]任杰. 地铁盾构隧道始发端近距离侧穿老旧建筑沉降控制措施[J]. 铁道勘察, 2021, 47(2): 134-139. (REN J. The Settlement Control Measurements of Metro Tunnel Closely Passing by Old Buildings at the Shield Originating End[J]. Railway investigation and surveying, 2021, 47(2): 134-139. (in Chinese))