

基于高压线下受限空间的盾构全过程施工关键技术研究

李 帅 辛 帝

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

【摘 要】：随着城市轨道交通与地下基础设施建设的快速推进，盾构施工常面临复杂周边环境制约，高压线下受限空间施工因存在高压触电、基坑失稳等多重风险，成为工程安全管控的重点与难点。本文结合深圳市城市轨道交通 15 号线工程同乐车辆段高压电力管线迁改工程（花卉至留仙洞段）土建工程实例，系统分析高压线下受限空间盾构工作井施工的核心风险，针对性研究高压防护等关键安全技术，构建全过程安全管控体系，通过现场应用验证技术可行性与有效性。经工程实践验证，有效解决了高压线下空间受限、安全距离不足等施工难题。

【关键词】：高压线下；受限空间；盾构施工；安全防护；关键技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.047

引言

城市轨道交通建设的快速发展推动地下空间开发不断向复杂环境延伸，盾构施工凭借高效、安全的优势成为地下工程建设的核心技术手段。然而，在城市建成区施工中，盾构工作井及区间施工常受高压电力架空线路制约，110kV 及以上等级高压线周边施工存在严格的安全距离要求，受限空间内的设备作业、材料运输等环节面临极高的高压触电风险。深圳地铁 15 号线同乐车辆段工程中，110kV 及 220kV 高压架空线影响了三分之一区域的主体施工，高压电力管线迁改后可释放大量土地资源，保障车辆段按节点通车。该工程涉及的 6#盾构始发工作井等 8 座工作井及相关区间均需在高压线下受限空间内施工，工作井与高压线的水平距离最小仅 3.7m，净空高度受限，施工难度极大。本文以该工程为依托，系统研究高压线下受限空间盾构全过程施工的安全防护措施与关键技术，构建科学完善的施工管控体系，为同类工程提供理论支撑与实践借鉴。

1 工程概况

1.1 项目基本信息

深圳市城市轨道交通 15 号线工程同乐车辆段高压电力管线迁改工程（花卉至留仙洞段）线路全长 4.7km，4.4km 为地下敷设方式，工程线路沿高压线下方从南向北走向，涵盖 1 个明挖区间、3 个盾构区间、1 个顶管区间、8 座工作井及 1 个新建留仙洞终端。所有工作井围护结构均采用明挖顺筑法施工，暗挖段、明挖段及各工作井均在高压线下方开展作业。

工程涉及的高压电力架空线路包括 3 组 6 回 220kV 线缆（荆岸甲乙线、妈贤甲乙线、欢西甲乙线）和 1 组 2 回 110kV 线缆（仙热 I、II 线），各工作井与

高压线的净空距离存在差异，部分工作井距离未满足《电力设施保护条例实施细则》规定的水平 10m、高度 8m 的安全距离要求，施工安全风险突出。

1.2 核心工作井参数

J6 工作井作为盾构双始发井，位于深圳地铁 15 号线同乐车辆段咽喉区内，为地下二层结构，是本次研究的重点对象。其起点里程为 K0+2670.793，终点里程为 K0+2730.039，主体长度约 60.4m，标准段宽度 10.4m，基坑开挖深度 17.291m。该工作井围护结构采用 $\Phi 800\text{mm}@1000\text{mm}$ 钻孔灌注桩 + $\Phi 600\text{mm}@1000\text{mm}$ 旋喷桩止水，搭配 2 道混凝土支撑和 1 道钢支撑支护，施工区域上方为 220kV 欢西甲乙线及 110kV 仙热 I、II 线，与塔基最小净距 19.77m，场地标高降低 1.4m 后线下净空为 21.7m，施工空间受限明显。

1.3 工作井与高压线位置关系

各工作井与高压线的净空距离直接影响施工安全与设备选型，具体参数如下表所示：

表 1 工作井距离高压线净空距离

序号	工作井及施工段	地面标高	高压线距离工作井中心水平距离	高压线净高
1	明挖段及 J1 工作井	8.7m	3.7m	22m
2	J5 工作井	9.27m	7.54m	18.54m
3	J6 工作井	11.29m	12.1m	20.3m
4	J8 工作井及新建留仙洞终端	29.6m	7.9m	28.2m

高压线下受限空间施工核心风险分析

高压线下受限空间盾构施工的风险贯穿全过程，

涉及电气安全、基坑稳定、设备作业等多个维度，需精准识别并针对性防控。

(1) 高压触电风险。施工过程中，低净空钻机、履带吊等机械设备的起升高度若超出安全限界，或材料运输过程中违规超高超宽，可能与高压线发生直接接触或形成放电间隙，引发高压触电事故。部分工作井与高压线水平距离不足 10m，受限空间内设备作业半径受限，进一步增加了误触风险。(2) 基坑失稳风险。工作井基坑开挖深度最大达 17.291m，高压线下施工需兼顾基坑支护与高压线安全，支护结构施工空间受限，可能导致支护强度不足；同时，施工机械作业产生的振动、地下水位变化等因素，可能引发基坑边坡坍塌或涌水涌砂，威胁周边管线及高压线塔基安全。(3) 设备作业风险。高压线下净空受限，常规施工设备因高度过高无法使用，需选用低净空专用设备，设备选型与适配难度大；同时，设备吊装、盾构机盾体翻身等重型作业在受限空间内开展，对操作精度与指挥协调要求极高，易发生设备碰撞或坠落事故。

2 高压线下受限空间施工安全防护措施

2.1 迪尼玛绳防护网搭建

为构建垂直方向的安全防护屏障，在工作井施工前沿围挡设置防护网立杆，形成水平防护网，严格控制防护网与高压线的安全距离^[1]：220kV 高压线净距不小于 8.0m，110kV 高压线净距不小于 6.0m。



图 1 J6 工作井施工范围搭设防护网

防护网立杆基础采用 C25 混凝土独立基础，尺寸为 1.5m×1.5m×2.5m，顶部埋设钢板，立柱与基础通过螺栓连接。立柱采用三根直径 100mm 的镀锌钢管焊接制作，根据工作井与高压线的相对位置，差异化设计立杆高度：J6 工作井 1 号、7 号、8 号、9 号、10 号立杆高度为 9.5m，其余立杆高度为 15.7m，确保防护网整体平整，J6 工作井与高压线塔及高压线相对位置关系如图 1 所示。防护网选用直径 6mm 的迪尼玛绳，采用 5m×10m 的网格间距，防护网上缠彩色三角警示绳作为高度标志。立杆安装采用人工配合 25 吨汽车吊进行，每四个立柱为一个单元，防护网在地面完

成绑扎后，通过立柱上的滑轮组或 U 形环筋整体提升，拉绳拉紧固定于立杆上，防止松垂。限高杆立杆贴反光胶带，顶部绑迪尼玛绳，沿纵向主拉绳每隔 5.0m 设置横向拉绳，形成完整防护网体系。

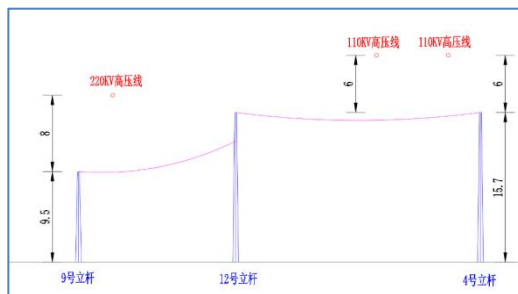


图 2 J6 工作井施工范围防护网立杆平面布置图

2.2 机械设备近电预警装置安装

所有进场的起升设备均安装近电预警装置，将预警距离设置为 8m，当机械设备起升高度接近高压线安全限界时，报警器立即发出声光报警，操作手需立即停止起升操作，在安全前提下降低设备高度^[2]。需安装近电预警装置的设备包括低净空旋挖钻机、反铲挖掘机、伸缩臂履带吊车、门式起重机等。装置安装前需进行调试校准，确保预警灵敏度与准确性；施工过程中安排专人定期检查装置运行状态，避免因设备振动、恶劣天气等因素导致装置失效。

2.3 门式起重机安全防护措施

门式起重机作为工作井施工的核心设备，需采取多重绝缘与接地措施，防范高压触电风险。设备金属结构表面涂刷绝缘漆并缠绕防静电胶带，司机室地面铺设绝缘垫，大梁行走区域同样铺设绝缘垫，形成全方位绝缘防护^[3]。操作人员需穿戴绝缘鞋和绝缘手套进行作业，严禁在未采取绝缘措施的情况下接触设备金属部件。门式起重机采用 4mm² 的软铜线做接地处理，接地线间距为 20m，要求接地电阻不大于 4Ω，重复接地电阻不大于 10Ω，确保设备发生漏电时，电流能迅速导入大地，降低触电风险。

3 高压线下受限空间盾构全过程关键施工技术

3.1 工作井围护桩施工技术

工作井围护桩施工是高压线下受限空间施工的首个关键环节，需解决设备高度受限、施工精度要求高的难题。设备选型方面，根据 J6 工作井最小施工净空 15.7m 的要求，选用 SH36H 低净空旋挖钻机，该设备工作状态高度仅 8m，最大钻孔直径 2m，最大钻孔深度 30m，完全满足高压线下限高施工需求。施工流程严格遵循“准备—护筒埋设—钻机就位—分批跳孔施工—清孔—钢筋笼吊放—导管安装—水下混凝土灌

注”的顺序。钻机在高压线保护区外完成组装后移动至施工区，采用分批跳孔施工方式，避免相邻桩施工相互影响^[4]。

清孔分两次进行，成孔后采用钻斗掏除钻渣或浊水循环清孔，钢筋笼采用4m每节分段制作，接头采用搭接单面焊接，由25t汽车吊吊装下井，吊装采用基本臂（长10.2m），作业半径控制在38.5m，汽车吊顶部距离迪尼玛绳防护网12.5m，严格遵守限高要求。混凝土采用HBT60型地泵输送入模，首批混凝土确保导管埋入深度不小于1.0m，灌注过程连续进行，实时监测混凝土面高度并调整导管埋深。

3.2 工作井主体结构施工技术

工作井主体结构采用竖向分层施工方式，侧墙与中（顶）板分开浇筑，底板浇筑至板面上30cm，负一层侧墙从环梁顶面开始施工，环梁施工时预埋侧墙钢筋及止水板，防水做法与普通施工缝一致。

钢筋工程中，加工区设置在高压线以外场地，半成品钢筋通过12m平板车运输至工作井旁，利用XGC25T伸缩臂履带起重机吊运至井下后按设计图纸安装。支模架工程中，模板及支架材料按照专项施工方案进行安装，利用XGC25T伸缩臂吊装至井下。

混凝土工程采用商品混凝土，由罐车运输至现场，通过HBT60型地泵输送入模，以插入式振捣器为主、平板振捣器配合振捣，确保混凝土密实度。防水工程按“底板防水→侧墙防水→顶板防水”的顺序施工，确保防水效果。

3.3 盾构机盾体吊装技术

盾构机盾体吊装是高压线下受限空间施工的重难点，本工程区间盾构外径4600mm，大型部件包括前盾、中盾、尾盾、刀盘，其中中盾单体重量最大达68t，且施工净空限制为14.5m，常规吊装设备无法满足要求。采用“双机协作翻身+单机吊装下井”的施工方

案：盾体翻身作业由一台SAC4500全地面起重机和一台HCZ4500随车起重机协同完成，两台吊车配合调整盾体姿态，确保翻身过程平稳可控；翻身完成后，由SAC4500全地面起重机单独承担吊装下井任务，该设备在受限空间内作业半径灵活，起吊能力满足68t重物吊装需求^[5]。吊装前进行试吊验收，试吊高度控制在0.6m以内，检查吊具受力、设备稳定性等情况；吊装过程由专人统一指挥，配备专职安全员全程监护，严格控制吊机起升速度与作业范围，避免设备触碰防护网或高压线。

3.4 盾构区间施工技术

盾构区间施工过程中，地面管片吊装、渣土外运及材料运输等环节仍需严守高压线下安全要求。管片吊装采用25t龙门吊，通过前期设置的绝缘与接地措施，避免与防护网近距离接触产生静电危害；渣土外运选用低净空运输车辆，运输路线避开高压线正下方区域，设置专用运输通道，减少对施工区域的干扰。盾构掘进过程中，实时监测地面沉降与高压线塔基位移，采用BIM技术模拟作业范围，精准控制掘进参数，避免因掘进扰动导致塔基失稳；定期检查近电预警装置与防护网完整性，及时处理设备故障与防护隐患，保障施工全过程安全可控。

4 结论

本文结合深圳市城市轨道交通15号线工程同乐车辆段高压电力管线迁改工程实践，针对高压线下受限空间盾构施工的核心难题，系统研究了安全防护体系与全过程关键施工技术，得出以下结论：220kV高压线下受限空间盾构施工的核心风险为高压触电，需结合工况构建针对性的防护体系和管控措施，严格落实安全距离要求，才能确保施工安全；“物理防护+监测预警+人防管控”四位一体的高压防护体系，能够有效规避高压触电风险，提升高压防护的科学性和可靠性；科学的吊机选型、严格的地基处理、吊具检验、试吊验收及统一指挥，是盾构机吊装安全的关键，全过程安全管理体系的构建，能够实现施工全流程安全可控。

参考文献：

- [1] 李光耀,张江卫,刘启政,等.受限空间盾构分体始发机理与工程实践研究[J].工程机械,2025,56(11):10-17+128.
- [2] 刘岸军,李卫华.受限空间下盾构隧道竖井装配施工关键技术研究[J].福建建材,2025,(06):97-100.
- [3] 于天煜,刘清华.受限空间内盾构三阶段分体始发施工技术研究[J].建筑施工,2024,46(11):1855-1860.
- [4] 苏穗东,徐岛琦,邓仕伟.城市受限空间下电力盾构隧道及顶管同步施工技术研究[J].工程技术研究,2024,9(20):63-65.
- [5] 钟威,巫启航.受限空间下盾构隧道及顶管同步施工技术研究[J].广州建筑,2024,52(03):88-92.