

城市轨道交通双线双层车辆段施工技术研究

刘学虎

中国水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：面对城市核心区轨道交通用地紧张问题，本文以深圳地铁 15 号线与 29 号线一期工程共建的同乐双线双层车辆段为研究对象，从工程地质条件与核心技术难点入手，重点探讨地基处理、主体结构叠建、河道改移、高压线迁改协调、上盖物业开发及全自动运行配套等关键施工技术。通过差异化地基处理方案、上下层结构协同施工工艺及多专业协调机制，解决了双层荷载传递、复杂环境约束下施工组织等问题，实现工程质量与工期目标。通过本文的探究，旨在为同类双线双层车辆段建设提供技术参考。

【关键词】：城市轨道交通；双线双层车辆段；叠建施工；地基处理

DOI:10.12417/2705-0998.25.20.034

引言

随着城市轨道交通网络的快速发展，核心区土地资源日益稀缺，在此前提下，双线双层车辆段因其能高效利用竖向空间、节约用地的优势，成为重要建设模式。此类工程面临地质条件复杂、上下层结构协同受力、周边环境约束多等技术挑战。深圳同乐车辆段作为 15 号线与 29 号线一期工程共建项目，采用“地面+地上”叠建方案，集成全自动运行、上盖物业开发等功能，其施工技术研究对推动同类工程建设具有重要意义。

1 工程概况

1.1 项目背景与线路关联

深圳地铁 15 号线全长 32.26km，是串联前海、南山与宝安中心区的地铁环线，全地下敷设，采用 6A 编组列车，仅设同乐车辆段 1 座，定位为定修级，共享 12 号线机场东车辆段大架修资源；深圳 29 号线一期起于红树湾南站至兴东站，线路长 11.3km，初期及近期采用 4 编组 6A 列车，远期为 4、6 编组混跑，其规划的同乐停车场与 15 号线车辆段合建。

同乐车辆段选址于南山区与宝安区交界处，用地面积 21.64ha，采用“地面+地上”叠建方案：15 号线车辆段位于地上一层，承担本线定临修、周月检及停放任务，设停车列检位近期 48 列位、远期 58 列位；29 号线停车场位于地上二层，共享 15 号线检修及辅助设施，设停车列检位 21 列位。车辆段场坪标高 11.54m（黄海 56 高程），按百年一遇洪水位设计，抗震设防烈度 7 度，场地类别 II 类。

1.2 工程地质与水文地质条件分析

车辆段段址呈南北向布置，南北长约 1.1km、东西宽约 274m，原始地貌北部为冲洪积平原、中部为中台地、南部为低台地，现状地势中部高南北低、西侧低东侧高，地面高程 7m~26m，人为活动强烈导致原始地貌破坏严重。

场地地层分为四层：人工填土层填筑时间超 10 年且均匀性差；冲洪积层含流塑状淤泥质黏土；残积层由花岗岩风化而成；燕山期粗粒花岗岩分为全风化至微风化四个风化带，存在

人工填土、软土、风化孤石等不良地质。段内涉及新圳河左支流（百年洪水位 10.72m）与双界河（百年洪水位 10.2m），属亚热带海洋性气候，年平均气温 23.1℃、降雨量 1903.9mm，需针对性制定防雨防风措施。

1.3 工程核心技术难点

车辆段施工面临着地质、双层叠建等多重挑战。其一，地质条件复杂，施工区域的人工填土、花岗岩风化孤石及软土增加了地基施工难度；其二，双层叠建及上盖物业开发功能导致荷载传递复杂，需确保上下层结构协同受力与沉降控制；第三，周边环境约束多，涉及 4 组 8 回高压走廊迁改、新圳河左支流改移、深惠城际盾构下穿及教育用地协调；四是需同步实现上盖覆绿与全自动运行功能，平衡荷载控制与运营需求；五是多专业交叉作业密集，对施工时序与工序衔接要求极高。

2 双线双层车辆段关键施工技术

2.1 地基处理施工技术

(1) 地质适应性处理方案

地基处理根据其特性不同选用对应的处理方案，针对人工填土及软土区域采用换填法，换填材料选用 A、B 组填料，厚度根据承载力要求确定；残积土与风化岩区域采用钻孔灌注桩基础，库区单层盖板区域桩径选用 800mm 和 1000mm，双层盖板区域选用 1000mm 和 1200mm，上盖开发区域选用 1500mm 和 2000mm，均按嵌岩桩设计，最小桩长不小于 7m，进入中风化花岗岩深度不小于 1.0 倍桩径；风化孤石区域采用地质雷达超前探测，发现孤石后用静态爆破或金刚石钻进破碎清除，避免影响桩基施工质量^[1]。

(2) 桩基施工技术要点

桩基施工用到的是旋挖钻方式，结合花岗岩风化特点确定嵌岩深度。采用膨润土泥浆护壁，控制泥浆比重 1.2-1.4，防止孔壁坍塌；采用二次清孔工艺，第一次清孔后下放钢筋笼，第二次用气举反循环法清孔，确保孔底沉渣厚度不大于 50mm。混凝土浇筑采用导管法水下施工，导管埋深控制在 2-6m，混

混凝土坍落度 180-220mm，浇筑过程持续振捣，确保桩身混凝土密实，桩基施工完成后需进行桩身完整性及承载力试验，合格后方可进入下道工序^[2]。

2.2 主体结构叠建施工技术

(1) 框架结构施工

上下层结构柱网对齐，采用 $8m \times 8m \sim 9m \times 9m$ 柱网，框架抗震等级三级（局部大跨度框架二级）。立柱模板选用定型钢模板，立柱操作架采用可整体吊盘口脚手架及组合式灯笼架，立柱钢筋笼采用预制整体吊装方式施工。柱、墙混凝土强度等级 C35~C70，梁、板混凝土强度等级 C40~C45，采用泵送浇筑，分层厚度不大于 500mm，振捣采用插入式振捣器。

(2) 双层盖板施工技术

双层盖板施工严格控制标高：地上一层（15 号线）盖板顶标高 20.998m，地上二层（29 号线）盖板顶标高 31.298m，采用水准仪精密控制，偏差不超过 $\pm 3mm$ 。盖板结构采用双向板设计，厚度 250-400mm，板底钢筋双向通长布置，支座处增设附加钢筋，确保荷载均匀传递至框架柱。施工顺序为先施工地上一层结构，待混凝土强度达 100% 后再施工地上二层，避免下层结构承受过大施工荷载。盖板施工时预留联络线、管线等孔洞，孔洞周边增设加强钢筋，尺寸偏差不超过 $\pm 5mm$ 。

(3) 上下层结构衔接技术

设置 1 条上下层联络牵出线，采用框架结构形式，其盖板顶作为上下层盖顶覆绿公园联系坡道，轨面标高精准匹配设计要求。施工中用全站仪定位，确保上下层框架柱中心偏差不超过 5mm，柱垂直度偏差不超过 1/1000 柱高。上下层结构接缝采用企口设计，浇筑混凝土前清理基层浮渣并涂刷界面剂，确保接缝密实无渗漏，实现上下层结构协同受力^[3]。

2.3 河道改移与箱涵施工技术

(1) 新圳河左支流改移方案

因 15 号线出入线与新圳河左支流平面交叉，需将段内 362m 长明渠改为暗涵。改移需穿越车辆段核心施工区域，且施工周期涵盖汛期，汛期水位高于设计洪水位、水流流速快，新老河道碰口施工需保障区域排水不中断，施工窗口期仅 1-2 个月，且需提前协调水利部门获批施工许可。施工时需在原河道设置三期导流设施，先在河道内侧设置临时导流渠分流洪水，新河道施工至设计标高后，选择枯水时段进行新老河道碰口，施工时既要控制碰口施工精度避免渗漏风险，又要压缩施工时间减少对周边排水系统的影响。

(2) 箱涵施工工艺

箱涵基础采用 C30 混凝土条形基础，地基承载力不足区域换填 500mm 厚碎石。钢筋选用 HRB400 级，底板钢筋保护层厚度 50mm，侧墙及顶板保护层厚度 35mm，绑扎偏差不超过

$\pm 10mm$ 。模板采用钢模板，接缝处粘贴密封胶防漏浆，支撑刚度满足浇筑荷载要求。混凝土分底板、侧墙、顶板三次浇筑，每次浇筑高度不超过 2m，顶板浇筑后覆盖保湿养护不少于 14 天。箱涵外侧涂刷 1.5mm 厚水泥基渗透结晶型防水涂料，接缝处用遇水膨胀止水条密封，确保防水效果。

2.4 高压线迁改与综合管廊协调施工

(1) 高压走廊迁改路径

段内 8 回高压线路（6 回 220kV、2 回 110kV）下方需进行桩基施工，核心风险为设备触碰高压线导致触电风险及城市大面积停电。技术难度体现在：高压线下作业净空受限（220kV 线路下方安全净空不小于 6m），常规钻机高度超标，需选用低净空钻机或冲击钻进行桩基施工，低净空钻机作业半径小、冲击钻施工振动易影响线路稳定性；同时桩基施工区域紧邻高压塔基础，施工扰动可能导致塔基沉降，进一步增加作业风险^[4]。

(2) 施工安全控制

防护措施方面，在高压线路下方搭设全封闭绝缘防护棚，防护棚顶部采用绝缘材料设置，四周设置绝缘挡板，确保施工区域与高压线路物理隔离；施工机械（钻机、起重机）金属外壳全程接地，起升设备安装近电报警装置。管控措施方面，划定高压线下施工禁入区，设置醒目标识牌，配备 2 名专职安全监护人员全程旁站监护；施工前对操作人员进行高压安全专项交底，所有人员持证上岗；采用便携式电场强度检测仪实时监测施工区域电场强度，一旦超标立即停工调整；优化桩基施工工序，低净空钻机与冲击钻交替作业，缩短单桩施工时间，减少高压环境下作业时长。

2.5 上盖覆绿施工技术

(1) 覆绿荷载控制

上盖覆绿选用轻质种植土，密度控制在 $1.3g/cm^3$ 以内，平均厚度 1.5m，避免增加盖板荷载。设置台地坡地景观，坡度控制在 1:3 以内，将覆绿荷载均匀分摊至盖板结构。上盖布设纵横向排水盲沟，间距 5m，采用 $\Phi 100mm$ 透水软管，排水纵坡 1%，雨水经收集后接入段内排水系统，防止积水影响结构安全。

(2) 立体绿化施工

植物选型以乡土耐旱灌木、草本为主，避免种植高大乔木，减少根系对盖板结构的破坏。施工顺序为先施工盖板防水层，再铺设排水层、过滤层，最后回填种植土并种植植物，各层施工偏差不超过 $\pm 20mm$ 。将东侧规划教育用地运动场移至盖板上，设置篮球场、足球场等设施，运动场地面采用塑胶材料，基层为透水混凝土，确保排水畅通与功能整合。

2.6 全自动运行配套施工技术

车辆段划分无人区（停车列检库、洗车库、咽喉区）与有人区（镟轮库、检修库、办公区），采用 2.5m 高防护网隔离，网孔尺寸 50mm×50mm。在停车列检库尾部设置门禁系统和信号 SPKS 开关，每 2 线为一个独立分区，车辆停满后启动 SPKS 开关锁闭分区，检修人员凭授权门禁卡进入。库中部设置横向地下检修通道，宽度 1.5m，高度 2.2m，采用 C30 混凝土浇筑，保障检修人员通行安全。同时在人工驾驶区域设置有人/无人转换轨，长度按列车长度+车挡安全距离+信号机距道岔距离确定，15 号线 4 辆编组转换轨长 94.4m，6 辆编组长 140m，满足全自动运行切换需求。

3 质量与安全控制措施

3.1 质量控制要点

为确保地基结构稳定可靠，在选择混凝土原材料的时候，就需要全面核验供应商产品，确保各项指标达标，并对原材料进行进场检验，配合比根据现场原材料性能动态调整，确保强度达标。采用塑料垫块控制钢筋保护层厚度，垫块强度不低于混凝土强度等级且布置间距不超过 1m；盖板、箱涵等防水部位施工后需进行 24 小时闭水试验，渗漏量需符合规范要求。设置 50 个沉降观测点覆盖主体结构及地基处理区域，施工期间每周观测 1 次，竣工后每月观测 1 次并持续 1 年，确保工后沉降不超过 200mm、年沉降速率不超过 50mm/年。同时，严格控制关键施工参数，详情如表 1 所示：

表 1 同乐车辆段关键施工参数控制表

控制项目	设计要求	施工允许偏差	检测方法
桩基桩径	800mm、1000mm、1200mm	±50mm	超声波检测
柱身垂直度	≤1/1000	≤1/500	经纬仪检测
框架柱垂直度	≤1/1000	≤1/800	全站仪检测

盖板标高	20.94m（一层）、31.54m（二层）	±3mm	水准仪检测
箱涵尺寸	3.0×3.0m	±10mm	钢尺检测
种植土厚度	1.5m	±20mm	钢尺检测

通过超声波检测、经纬仪检测等对应方法，保障桩基、框架柱、盖板等关键结构的尺寸与位置精度。

3.2 安全防护措施

全方防护工作主要围绕施工环节展开，比如，要求高空作业人员必须佩戴安全带，并在作业平台设置 1.2m 高防护栏杆和安全网；基坑周边设防护栏杆，涂刷红白相间警示漆，配备警示标志与夜间警示灯。施工机械定期保养维修，操作人员持证上岗，机械作业半径内禁止无关人员停留；施工现场采用 TN-S 接零保护系统，配电箱设置漏电保护器，电缆线穿管保护以防破损漏电。同时，车辆段内设置 7m 宽环形消防通道，设 2 处出入口与湖滨路衔接，配备消防栓、灭火器等器材且消防栓间距不超过 120m。

3.3 环境保护与节能措施

对于生产过程中产生的含油废水，要设置 1 座废水处理对其进行针对性处理，处理后部分用于中水回用，部分排入城市污水管网。选用低噪音施工设备，施工时间控制在 7:00-22:00，避免夜间施工影响周边居民。施工现场配备洒水车，每天洒水 3 次，材料堆场覆盖防尘网，运输车辆加盖篷布，控制扬尘污染^[5]。在物资总库及牵引混合变电所屋面设置光伏发电系统，选用节能灯具，降低能源消耗。

4 结语

深圳市同乐双线双层车辆段通过针对性解决地质处理、结构叠建、环境协调等技术难题，实现了工程顺利推进。其差异化地基处理方案、上下层结构协同施工工艺及多专业协调机制，有效保障了工程质量与工期，验证了双线双层车辆段在节约用地、功能集成方面的优势。研究成果可为城市核心区同类轨道交通车辆段建设提供技术借鉴，推动轨道交通工程向高效、集约、绿色方向发展。

参考文献：

- [1] 宁正,张雷,何积丰.面向冲突化解的双线交汇区段列车编队双层优化模型[J].同济大学学报(自然科学版),2024,52(01):18-26.
- [2] 姚勇慧.双线铁路软岩隧道施工大变形控制技术研究[J].中国新技术新产品,2023,(23):81-83.
- [3] 宫寅.城市轨道交通车辆段和停车场轨道工程常见专业接口探讨[J].城市轨道交通研究,2023,26(06):152-156.
- [4] 孙弘烈.双层变高钢桁连续梁桥车辆荷载效应研究[D].福州大学,2022.
- [5] 杨冬营.城市轨道交通选线设计优化理论与应用研究[D].西南交通大学,2022.