

装配式地铁车站的经济性与施工技术综合研究

钟桂笙

(深圳地铁建设集团有限公司, 广东 深圳 518010)

摘要: 为响应我国城市轨道交通建设从“规模扩张”向“品质提升”的转型需求,以深圳地铁22号线工程为例,综合探讨了装配式地铁车站的全生命周期经济效益、关键施工技术体系及其综合效益。通过对比分析全预制、叠合式装配式车站以及传统现浇模式在概算、工期、人工、材料及环保等方面的量化数据,并结合高精度测量定位、智能调姿台车与龙门吊等核心技术的工程实践,系统剖析了该模式的优劣。结果表明,装配式车站虽前期建安成本较高,但能显著缩短工期、大幅降低现场劳动力需求与材料消耗,并减少施工废弃物与碳排放,体现出优异的绿色建造与综合效益。其成功实施依赖于智能建造技术与全链条一体化管理的深度融合。随着技术普及与产业链成熟,装配式建造将成为推动城市轨道交通高质量发展的重要路径。

关键词: 装配式地铁车站;经济性分析;智能建造;施工技术;综合效益;绿色建造

中图分类号: TU924

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)07-0445-05

Comprehensive Research on Economy and Construction Technology of Prefabricated Metro Stations

ZHONG Guisheng

(Shenzhen Metro Construction Group Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: In response to the transition demand of urban rail transit construction from “scale expansion” to “quality enhancement” in China, taking the Shenzhen Metro Line 22 Project as an example, the full-life-cycle economic efficiency, key construction technology systems, and comprehensive benefits of prefabricated metro stations are comprehensively discussed. By comparing and analyzing a quantitative data of fully-prefabricated stations and stacked prefabricated stations as well as traditional cast-in-situ mode in terms of budget estimates, construction period, labor, materials, and environmental performance, and combined with the engineering practices of core technologies such as high-precision measurement positioning, intelligent posture-adjusting platforms and gantry cranes, the advantages and disadvantages of this model are systematically analyzed. The results indicate that although the initial construction and installation costs of prefabricated stations are higher, the construction schedule can be significantly shortened, the on-site labor demand and material consumption are drastically reduced, and the construction waste and carbon emissions are reduced, demonstrating the excellent green construction and comprehensive benefits. The successful implementation of the project relies on the deep integration of intelligent construction technology and whole-process integrated management. As the technology becomes widespread and the industrial chain matures, the prefabricated construction will become an important path for promoting the high-quality development of urban rail transit.

Keywords: prefabricated metro station; economic analysis; intelligent construction; construction technology; comprehensive benefits; green construction

0 引言

随着我国城市化进程的深入推进与城市发展理念的全面革新,城市轨道交通建设正经历一场由“规模扩张”向“品质提升”的战略转型。在这一背景下,

传统的现浇施工模式已难以完全适应新时代对工程建设效率、环境影响、资源节约与施工安全提出的更高要求。装配式建造技术作为一种具有革命性的建造方式,以其绿色环保、高效优质、节能低碳的突出特点,在城市轨道交通领域逐步获得广泛关注与推广应用。

装配式建造不仅改变了传统施工中劳动密集、现场湿作业为主的建造模式,更通过构件预制化、生产工厂化、现场装配化的方式,实现了工程建设全过

收稿日期: 2025-12-25

基金项目: 中铁四局集团有限公司科技研发项目,城市核心区多层叠合装配式地铁车站绿色建造关键技术与应用(2025-7)

作者简介: 钟桂笙(1993—),男,硕士,工程师,从事城市轨道交通建设管理工作。

程的标准化、精细化管理。卞波等^[1]提出针对装配式地铁车站建造阶段的综合效益评价指标,并对无锡地铁S1号线南门站建造综合效益进行量化分析。张军等^[2]提出定量和定性相结合的方法,从设计、生产、施工、效益方面制定了装配式地铁车站评价体系。评价体系的指标设置既注重关键结果也关注过程控制。龙建平等^[3]提出龙门吊通过协同微调定位、顶推油缸等功能,实现构件全流程精准控制,解决了传统吊装中构件偏移、受力不均等问题,有效提升施工精度与效率。何冠鸿等^[4]着重分析装配式技术在车站整体结构、预制和叠合构件、结构节点、结构抗震、内部结构等方面的研究与应用情况,提出目前存在的问题及未来主要研究方向,为轨道交通的装配化、标准化和产业化提供技术支持。近年来,在北京、上海、深圳等地的地铁建设中,装配式车站已从试点走向规模化应用,展现出其在缩短工期、提升质量、降低环境影响等方面的显著优势^[5-8]。特别是在土地资源紧张、环保要求严格、施工周期紧迫的城市核心区,装配式技术所具有的少扰民、低排放、快进度等特征,使其成为实现绿色建造与可持续发展的重要路径。杨秀仁^[9]对大型地下结构预制装配新技术研究策略进行全面深入的分析和探讨,介绍国内外地下工程预制装配技术应用现状,分析预制装配技术应用于地面建筑和地下结构的不同特性,提出地铁车站预制装配关键技术及研究要点,并介绍取得的主要技术经济和社会效益。

基于中铁四局、中铁南方等单位在深圳地铁22号线等工程中的实践资料,结合具体案例,系统分析装配式车站在全生命周期内的经济性表现、关键施工技术体系、项目管理创新机制及其在节能环保方面的综合效益。通过对装配式车站建造全过程的梳理与总结,旨在为行业提供可借鉴的理论支持与实践指导,推动我国城市轨道交通装配化建造技术的标准化、体系化发展,助力工程建设领域的高质量转型与升级。

1 装配式地铁车站简介

1.1 工程概况

本研究依托深圳地铁22号线,全线设7座装配式车站,其中叠合装配式车站2座(香梅北站和梅丰站),总装配长度共91环273 m;全预制装配式车站5座(岗头北站、松轩站、桂花站、库坑站、黎光站),总装配长度共318环636 m。

1.1.1 叠合装配式车站

如图1所示采用“预制+现浇”叠合型结构形式,底板现浇,侧墙、顶板为环宽3 m的叠合构件,预制构件主要由叠合侧墙、中立柱、叠合梁、叠合中板、叠合顶板组成。混凝土为C40P12(内侧预制件)和C35P10(外侧后浇叠合层)防水混凝土。结构采用外侧全包防水、后浇混凝土叠合层及细部节点防水加强等防水体系。

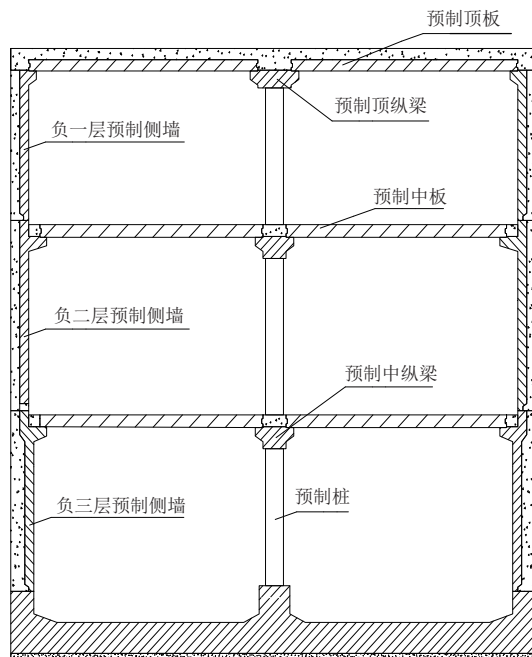


图1 叠合装配式构件分布图

1.1.2 全预制装配式车站

如图2所示全预制装配式结构车站采用环宽2 m的“矩形+柱”结构形式,主要构件由底板、底纵梁、中柱、侧墙、中纵梁、中板、顶纵梁、顶板组成,接头形式为注浆式榫槽。混凝土为C50P12(内侧预制件)和C55P12(纵梁和中柱)。结构采用“结构自防水+接缝密封”防水体系。

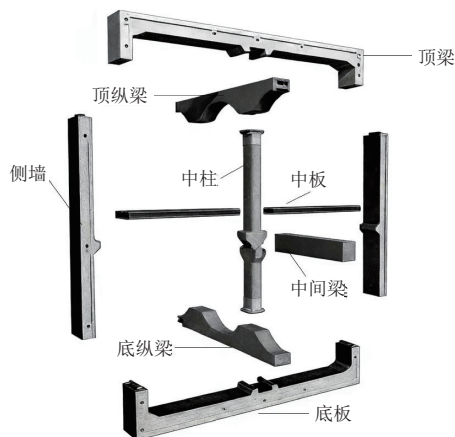


图2 全预制装构件分布图

1.1.3 装配式车站重难点

装配式地铁车站为中国中铁在深圳地区首次实施应用的新工艺工法,其主要特点:一是预制构件样式多、预埋件多、构件预制精度要求高^[10],其中叠合装配平均每站点预埋件多达 22 355 个(套)/站,全预制装配平均每站点预埋件多达 28 921 个(套)/站,预制构件尺寸精度允许误差 2~5 mm;二是拼装结构拼缝数量多、样式多样、拼缝精度高、防水施工要求高,其中环缝精度≤7 mm、纵缝精度≤8 mm;三是结构尺寸大、预制构件重量重,其中叠合式装配构件最大重量 31.28 t,全预制装配构件最大重量 104.9 t,吊装作业密集,运输、安装作业风险高;四是深圳地铁五期装配式车站采用新理念、新标准、新工艺,与国内其他地铁建设差异较大,可借鉴经验有限,成本管控挑战较大^[11]。

2 装配式车站经济分析

通过分析中铁四局承建的装配式车站经济成本、施工效率、技术创新、环保优势及综合效益,对比分析全预制装配式、叠合式装配式与现浇车站的概算、工期、人工成本等核心指标,对装配式车站的经济效益平衡点进行了初步论证。

2.1 全预制装配式经济分析

2.1.1 概算指标

以青岛地铁 6 号线一期工程采用的装配式车站与传统现浇车站为例,在围护结构型式基本相同前提下,全预制装配式车站造价概算 1.63 万元/m²,比常规现浇车站 1.24 万元/m²高 0.39 万元/m²。尽管装配式车站概算较高,但通过采用空腔薄壁等创新性的轻量化设计方案,可有效地减少混凝土和钢筋等主要建筑材料的用量,此外通过提高预制件生产模板、拼装设备利用率,可进一步降低装配式车站的概算。

2.1.2 成本对比分析

以淮河西路站为例,现浇车站与全预制装配式车站对比分析如表 1 所示。

人工费用方面。装配式车站较传统现浇车站可节省约 54% 的成本支出。这一显著差异主要源于装配式车站采用高度机械化的施工模式,通过工厂预制构件与现场拼装工艺相结合,大幅减少了现场施工人员数量;而传统现浇车站则需要大量工人进行钢筋绑扎、模板支设和混凝土浇筑等人工密集型作业。

表 1 成本对比分析表

类别	现浇车站	全预制装配式结构车站
工期	结构分 7 段,平均每块结构用时 10 d,混凝土养护周期 28 d,预计工期 170 d	标准车站装配式结构平均为 70 环,成熟工艺条件下施工工效 1.5 环/d,单座车站用时约 95 d,节省工期 75 d
人员	160 人(架子工 40 人、钢筋工 60 人、木工 45 人、混凝土工 15 人)	30 人(拼装及张拉 12 人,粘胶条、卸车、吊装 8 人,注浆 6 人,龙门吊司机 2 人,分离式台车司机 1 人,带班 2 人)节省人员 130 人
周转材料	(1)木胶板使用量(三次周转): $128\times 21\times 2\div 3=1\,792\text{ m}^2$ (2)钢模板使用量(供三个作业面使用): $15\times 2\times 3\times 1.5=135\text{ t}$ (3)盘扣式脚手架使用量(供三个作业面使用): $45\times 3=135\text{ t}$	(1)模板使用量:预制构件使用定制型钢模板 (2)装配式构件现场避免了支架体系的使用
机械	现场材料倒运使用 50 t/100 t 吊车,混凝土浇筑使用水泵进行浇筑等	使用 160 t 智能龙门吊及分离式台车
混凝土施工	采用常规商品混凝土,现场泵送浇筑,总体费用较低	(1)采用高强度、高性能混凝土,并添加外加剂(如早强剂、减水剂)以确保早期强度和耐久性,材料成本更高 (2)在构件厂内生产,涉及蒸汽养护、专用场地、设备折旧和能源消耗,生产成本低

材料费用方面,装配式车站相较现浇车站增加了约 53% 的投入,造成这一成本上涨的主要原因是:拼装式构件需在专业预制厂标准化生产,涉及模具制作、质量控制等环节,加上运输和储存费用,使其单位成本显著高于现场浇筑混凝土材料费用。

机械费用方面。装配式车站较现浇车站高出约 63%,差异幅度最为明显。这主要是因为装配式施工需配备 160 t 级大型门式起重机、专用拼装台车等重型设备,其采购或租赁费、运输安装费及日常维护费均远高于现浇车站常用的汽车吊、混凝土泵车等常规机械的投入成本。

2.1.3 绿色环保

与传统现浇车站相比,装配式车站能够提高生产效率,每个车站节省工期 4 个月;减少作业人员投入,每个班组由 160 人减少至 30 人;车站结构为预制厂预制,显著提高结构工程质量;降低施工风险,高支模施工等危大施工大幅减少,施工安全性显著提升;更符合绿色建造,每座装配式车站节省钢材约 800 t,木材 800 m³,施工废弃物减少 50%,碳排放量减少 4 158 t。

2.2 叠合式装配式车站经济分析

2.2.1 概算指标

以深圳22号线施工的装配式车站和现浇车站结构部分为例,叠合装配式车站的经济指标为4 982元/m²,而传统现浇车站经济指标为4 325元/m²。

2.2.2 工筹及投入

叠合装配式拼装计划从2025年1月开始拼装,2026年7月拼装完成。结合无锡地铁调研情况以及项目部自身工况,项目部叠合装配式车站施工工效如下:每层每段合计用时15 d。

- (1)支撑拆除、侧墙防水铺贴:3 d;
- (2)预制柱安装:每2根(含安装及全部浇筑)2 d;
- (3)预制侧墙:安装每8块用时3 d;
- (4)中纵梁安装:每2根用时2 d;
- (5)板安装:每8块用时3 d;
- (6)叠合装配式车站,单套工装设备计划投入劳动力45人。

较现浇结构相比,大大缩短了工期。

2.2.3 利润测算

(1)统筹设备资源优化。构建共享装配施工新模式,实现了香梅北站、北环中学站多功能龙门吊与预制构件拼装设备在工区间动态调配,使拼装台车的投入数量从原来的2套减少到了1套,降低设备成本约150万元。

(2)通过优化设计方案和合理调整施工组织,有效减少了550 m²的临时用地需求,不仅显著降低了土地租赁费用支出,还节省了相关的场地平整、基础设施建设等配套工程的建设成本投入。

(3)采用预制构件现场组装的新型建造模式,通过工厂化预制与现场装配的有机结合,不仅保证了施工质量,还在保证工程进度的前提下,实现了建设成本的有效控制。

3 装配式地铁车站拼装关键技术

3.1 工程概况

桂花站是深圳地铁22号线一期由南向北第19座车站,位于观光路与田螺湖路斜交路口东侧,呈东西向敷设。车站为地下三层局部两层岛式车站,基坑标准段宽19.8 m,基坑深17.6~22.3 m,长度298.4 m,中部为110 m装配段。

装配段为全预制矩形框架结构,为10.5 m站台地下2层标准装配段,结构宽度19.8 m,高度14.23 m,环宽1.994 m,共计55环。外围衬砌环采用闭腔薄壁

结构,由底板、侧墙、顶板4个预制块组成,内部体系包含中立柱、底纵梁、中纵梁、顶纵梁、中板5个预制块。

装配式预制构件采用C50P12抗渗混凝土。构件间采用通缝拼接方式,弯螺栓连接,环向的各预制构件之间、纵向的环与环之间均采用注浆式榫槽接头连接,接缝设置凹凸榫槽;环向各预制构件之间接缝均设置了环向定位销棒实现纵缝定位,方便快速拼装定位及限制构件接头错位变形^[12]。

接头接缝采用“两垫一注一嵌”防水做法,即两道复合橡胶密封垫+灌注改性环氧浆液+沟槽内嵌缝。接缝(榫槽)注浆材料应选用高强度,流动性好的材料,其凝固时间应满足注浆施工要求的改性环氧树脂+石英粉,兼具结构传力作用和接缝防水强化作用。

3.2 拼装工艺流程

基坑开挖见底后,依次进行精平条带施工、反力架安装、底板块拼装、底纵梁、立柱、中纵梁安装、侧墙块安装、中板块安装、顶纵梁安装及顶板块拼装。

底板块每拼装完成4环及时进行肥槽回填、底部填充注浆,回填达到设计强度后拆除对应支撑,侧墙及顶板每安装4环进行拼缝注浆、侧墙背后回填。形成12块底板、4块中板、4块顶板阶梯型作业流程。

3.3 拼装关键技术

3.3.1 感知先行,高精度测量与定位

(1)构建高精度控制网。装配式结构测量控制网借鉴高铁轨道CPⅢ测量技术,在现浇结构上逐层布设多对网状控制点,构建一套高精度测量网络。高质量构建核心精密控制技术,采用微米级精密强制对中标志,重复性和互换性误差不大于0.4 mm,装配段110 m范围测距误差不超过0.71 mm。

(2)采用高精度测量机器人。测量放样采用徕卡TS60第五代机器人,通过任意设站方法安置于线路中线附近,测站观测的控制点不少于3对。测站设置完成后,对周围控制点进行检核测量,控制点坐标不符值限差 ± 1 mm。

(3)实现高精度测量定位。一是构件吊装前,在构件角点各安装一个小棱镜,测量构件姿态,确定误差小于1 cm后吊装就位;二是就位后重新测量构件姿态,采用千斤顶进行纠偏,千斤顶安装行程传感器,可实时测量顶进位移;三是张拉紧固和安装螺栓后再次复核,确定无误后复紧螺栓,采集数据,为下一环提供基准。

3.3.2 智能调姿,多维度微调与纠偏

(1) 180 t智能龙门吊

180 t智能龙门吊是为了适用于内支撑体系下全预制构件拼装而定制改进,对比传统设备,具有以下四大优势:一是通过增加角度、位移及重量等多种传感器,构建了集成化的智能操控系统,可直接看到门吊的运行状态和构件的实际位置,实现了高空作业的精准化与自动化,显著减少人为干预,使作业精度和综合效率得到有效保障;二是在硬件上集成防撞、制动限位,结合高精度受力传感器,在控制上引入基于PLC的电子防摇摆算法,预防了构件摆动隐患,实现了构件吊装平稳,大幅降低了安全风险;三是在小车上搭载了高精度移动定位系统,通过液压油缸赋予其四个方向上的自动微调功能,能够稳定实现3 mm的最小定位精度,攻克了传统设备因定位粗略而导致的拼装对接难、质量一致性差的问题;四是将每块构件的定位信息提前输入上位机进行预设路径,利用传感器实现构件一步到位,单块构件安装循环作业4 h缩短至1.5 h,效率提升1.6倍,实现了从“经验驱动”到“数据驱动”的根本性转变。

(2) 多功能台车

结合深圳地铁22号线拼装式车站预制构件构造形式,设计专项拼装台车,该台车能够适应10.5 m、11 m和12 m站台宽度预制构件拼装。该台车主要具有以下优点:一是智能化突破,采用PLC智能程序控制液压系统,能精准调节油缸行程,提供了拼装稳定性,为构件拼装提供了精准微调能力;二是自由度突破,借鉴盾构拼装机的设计理念,集成了中板、侧墙及中立柱的专用调整油缸,构成了一个多维度的微调系统,无论是顶升、横移、纵移还是顶推动作,都能举重若轻,灵活精准地调整大型构件姿态;三是自动化突破,台车行走系统、顶升系统可一键遥控,可分区位移,提升了施工效率,确保了行走与拼装协同的安全与精准。

3.3.3 拼缝质量,源头与过程相结合

拼缝质量控制是装配式拼装质量关键卡控要点:一是拼缝宽度控制,每块构件拼装后采集最终姿态,输入软件计算偏差,指导后续拼缝控制,消除多块构件拼装后产生的“误差累积效应”,源头上保证拼缝质量;二是防水施工质量控制,防水条黏贴时清除槽部浮灰,对位黏贴,并进行验收,对黏贴防水的构件及时防护,防止遇水失效;三是拼缝注浆填充度控制,拼缝注浆目的是为了将构件组合为刚性体,与

常规地层注浆不同,拼缝注浆按照理论注浆量控制为主,注浆压力为辅的模式,防止因注浆压力过大造成拼缝防水失效的问题出现^[13-14]。

4 结 语

装配式技术在地铁工程中的成功应用,是一场深刻的建造方式与生产关系的系统性变革。

本研究证实,全链条一体化的统筹管理是成功的关键前提。它突破了传统工程管理的条块分割,通过建立穿透式的协同组织体系,实现了从战略策划到现场拼装的全过程资源优化与价值创造,是驾驭装配式建造复杂系统的核心软实力。

智能建造技术是支撑这场变革的硬核支柱。从构件生产的“智造”到现场施工的“毫米级拼装”,智能装备与数字孪生、物联网等技术的深度融合,不仅保障了工程质量和安全,更从根本上提升了生产效率,重塑了建筑业的生产模式,驱动产业向工业化、数字化升级。

装配式建造的终极价值更体现在其卓越的综合效益上。其在工期、环保、质量与安全方面带来的巨大提升,完美响应了新时代对工程建设“绿色、高效、优质、安全”的核心要求。尽管当前仍面临初期成本、标准统一与人才储备等挑战,但随着技术普及、产业链成熟和规模效应显现,其经济性将愈加凸显。

展望未来,装配式智能建造的演进将更加注重AI与BIM的深度赋能、施工装备的集群化与无人化、以及基于云平台的全产业链生态协同^[15]。这一模式不仅将为我国“交通强国”与“双碳”战略的实施提供坚实支撑,也为全球基建领域的可持续发展贡献出极具参考价值的“未来方案”。

参考文献:

- [1] 卞波,杨永博,祝林盛,等.无锡装配式地铁车站工业化建造综合效益分析[J].施工技术(中英文),2024,53(8):44-47.
- [2] 张军,莫振泽,李鹏,等.装配式地铁车站评价体系研究[J].施工技术(中英文),2024,53(2):117-121;127.
- [3] 龙建平,管大刚,谭帅,等.智能龙门吊在地铁装配式车站施工中的应用研究[J].时代汽车,2025(24):196-198.
- [4] 何冠鸿,翟利华,卢晓智,等.装配式地铁车站技术研究与应用现状分析[J].中国标准化,2019(8):12-14.
- [5] 杨秀仁.地铁车站装配式结构建造技术研究与应用[J].隧道建设(中英文),2022,42(3):345-354.
- [6] 雷英,李鸿岩,陈冲,等.装配式地铁车站建造成本分析[J].都市快轨交通,2023,36(2):136-140.
- [7] 朱旻,孙晓辉,陈湘生等.地铁地下车站绿色高效智能建造的思考[J].隧道建设(中英文),2021,41(12):2037-2047.
- [8] 杨秀仁.我国预制装配式地铁车站建造技术发展现状与展望[J].

(下转第459页)