

矩形装配式地铁车站结构方案及力学性能分析

范奇^{1,2}, 林放^{1,2}, 黄美群^{1,2}, 李孟廷¹, 彭智勇^{1,2}

(1. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037;

2. 城市轨道交通绿色与安全建造技术国家工程研究中心, 北京 100037)

摘要: 为研究矩形装配式地铁车站力学性能, 聚焦深圳地铁五期项目中研发并应用的矩形全预制装配式车站结构方案, 结合采用干式连接的全预制装配式结构方案的演化过程, 详细介绍矩形结构方案的断面设计方案、结构分块及接头、梁柱内支撑体系和静动力力学特性等多个关键方面。矩形装配式车站结构方案可灵活适应不同站台宽度要求, 采用通用可调模板有效提高了矩形结构方案构件通用性。同时, 矩形结构可适用于三层两跨或两层三跨等不同型式车站的结构拓展。此外, 通过足尺接头试验验证矩形装配式车站接头的抗弯承载性能, 验证已有接头研究的理论计算方法在接头构造尺寸变化条件下的适用性。研究成果旨在为后续装配式结构设计与应用提供经验与参考。

关键词: 城市轨道交通; 地铁车站; 矩形装配式车站; 干式连接; 注浆式榫槽接头

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2024)05-0078-09

Structure Scheme and Mechanical Performance Analysis of Rectangular Prefabricated Metro Stations

FAN Qi^{1,2}, LIN Fang^{1,2}, HUANG Meiqun^{1,2}, LI Mengting¹, PENG Zhiyong^{1,2}

(1. Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd., Beijing 100037; 2. National Engineering Research Centre for Green and Safe Construction Technology in Urban Rail Transit, Beijing 100037)

Abstract: This study focuses on a rectangular prefabricated station structure scheme developed and applied for the first time to the Shenzhen Phase V Project. Combined with the evolution process of the prefabricated structure scheme with dry connections, this paper introduces in detail the section design scheme of the rectangular structure scheme, structural partitioning and joint, bracing system of the beam-column, and static and dynamic performances. The rectangular prefabricated station structure scheme can be applied to different station width requirements, and an adjustable template is used to effectively improve the universality of the rectangular-structure components. Simultaneously, the rectangular structure can be expanded to accommodate different types of stations, such as three-layer two-span or two-layer three-span. Additionally, the bending bearing capacity of a rectangular assembled station joint was verified by a full-scale joint test, and the adaptability of the theoretical calculation method of the existing joint research to structural size changes was verified. The results of this study are intended to provide a reference and experience for subsequent prefabricated structure designs and engineering applications.

Keywords: urban rail transit; metro station; rectangular prefabricated station; dry connection; grouted mortise-tenon joint

收稿日期: 2024-05-27 修回日期: 2024-07-03

第一作者: 范奇, 男, 博士, 工程师, 主要从事城市轨道交通工程的设计与研究, fanqi@tju.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFB1201104); 北京城建集团创新项目(CJJT2022-002); 中国城市轨道交通协会重大科研专项(CAMET-KY-2022016)

引用格式: 范奇, 林放, 黄美群, 等. 矩形装配式地铁车站结构方案及力学性能分析[J]. 都市轨道交通, 2024, 37(5): 78-86.

FAN Qi, LIN Fang, HUANG Meiqun, et al. Structure scheme and mechanical performance analysis of rectangular prefabricated metro stations[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(5): 78-86.

预制装配式建造技术是我国推动建筑产业化发展的重要支撑技术之一，具有绿色环保、高效优质的优点，近年来受到业内的广泛关注，相关研究成果与工程应用在我国多城市相继落地^[1-3]。

地铁车站的预制装配式建造案例最早见于国外^[4-6]，这些施工案例进行了不同类型预制装配工法的探索，其中预制构件接头多采用钢筋连接的现浇接头，部分方案结构体系较为复杂，现浇+预制相混合的模式未能完全体现出装配式技术的优势，因此没有大规模的推广应用^[7]。

自2012年我国首例装配式车站长春袁家店站建设以来，国内多座城市陆续开始装配式车站的建设，采用的技术路线各具特色，主要可以归纳为两大类，一类是基于干式接头连接的装配式结构，另一类是预制构件+湿接头+叠合现浇混凝土的装配整体式结构^[8]。其中，以注浆式榫槽接头干式连接技术、闭腔薄壁构件轻量化技术及两垫一注一嵌防水技术为核心和技术特征的全预制装配式车站已在长春、青岛和深圳等3座城市陆续建成^[9]。为适应不同地区差异化的地质条件和施工环境，满足城市建设需求，全预制装配式车站的结构方案在不同城市也进行了针对性调整，其结构方案演变历程如图1所示。长春地铁为单拱大跨双层车站，主体结构环拆分为7块；青岛地铁二期车站将主体结构环拆分调整为5块；深圳地铁四期车站，根据当地建设需求，将拱顶构件合并为一块，拱顶高度由高拱调整为坦拱；青岛地铁三期部分车站沿用二期结构方案，部分车站采用了底板现浇的4分块坦拱方案。目前地铁车站全预制装配式建造技术已研发出不同型式高拱、坦拱多种结构类型。

矩形装配式车站结构最早见于苏联，其采用的矩形框架体系较为复杂，如图2所示，顶部构件采用搭接装配，其余部位采用现浇湿接头连接。深圳地铁五期落地矩形全预制装配式车站，采用干式连接的矩形全预制装配式车站在世界范围内尚属首例。本文紧密结合深圳地区的实际工程背景，对矩形预制装配式车站的结构方案进行了详细介绍。从结构断面、分块方案及接头、梁柱内支撑体系等多个角度，详细分析了矩形结构设计关键技术点。采用数值分析方法，对矩形装配式车站的力学行为进行分析，计算得到接头部位不同工况下的包络内力组合，进一步通过试验研究的方法，对矩形装配式车站接头的抗弯承载能力进行了实证分析，并对现有理论计算方法对接头尺寸变化

的适用性进行了验证。本文研究旨在为后续装配式车站结构设计与工程应用提供有力的参考和经验。

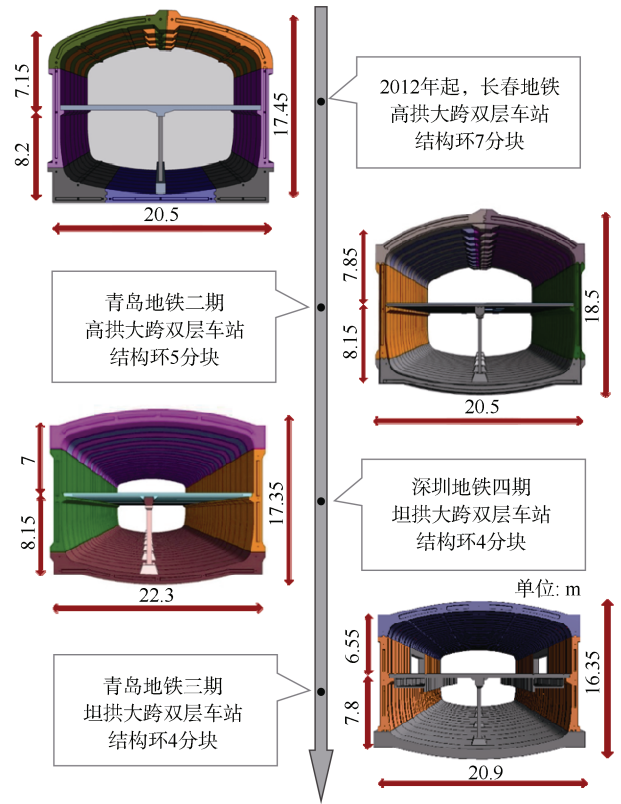


图1 全预制装配式车站演变

Figure 1 Structural evolution of fully prefabricated station

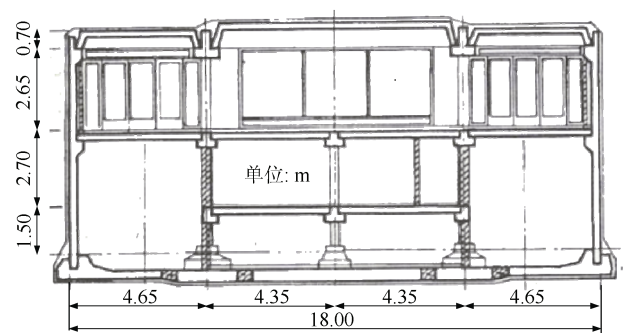


图2 苏联矩形装配式车站

Figure 2 Soviet rectangular prefabricated station

1 结构方案

1.1 深圳地质条件与基坑支护体系

深圳是一个依山面海的新兴城市，地势东南高西北低，北部多丘陵沟谷，微地貌发育。该地区地质发育多样，地层组成复杂。深圳湾沿岸及珠江口东岸的多个地区广泛分布着浅海相或海陆交互沉积物，而龙岗区则分布石炭系下统石磴子组的灰岩、白云质灰

岩和大理岩。深圳市各区地质条件复杂且差异大，地下水资源丰富且埋藏浅。

基于该地区的地质特点及复杂性，深圳地铁车站基坑多采用明挖法施工，围护结构多采用“地连墙+内支撑”形式、“灌注桩+桩间止水帷幕+内支撑”形式、“咬合桩+内支撑”形式。因此，单环预制构件的分块及拼装需要对内支撑体系有良好的适应性^[10]。

1.2 结构断面

目前地铁车站结构断面主要有拱形和矩形两种形式，拱形结构具有结构形式简单、结构受力良好、建筑效果好等优点，但由于结构起拱，因此结构埋深较深，且对地层条件有较高要求；矩形结构传力明确，埋深较浅，对不同地层条件适应性好，但需设置梁柱内支撑。深圳地铁在四期修编线路工程成功实施了多座拱形装配式车站结构，如图 3(a)所示，积累了大量技术与施工经验^[11]。在深圳地铁五期线路实施中，本着因地制宜、能装尽装的原则，结合深圳地区地质条件复杂，基坑开挖和土方处理成本较高的特点，首次应用了矩形装配式车站结构，其结构断面形式如图 3(b)所示。以 12 m 宽站台标准站断面为例，矩形结构宽 21.3 m，高 14.23 m。优化调整后的装配式车站断面与采用传统现浇工法施工的断面相比，结构宽度一致，高度基本相当。矩形装配式结构的断面高度较拱形装配式车站的断面高度降低 3.12 m。

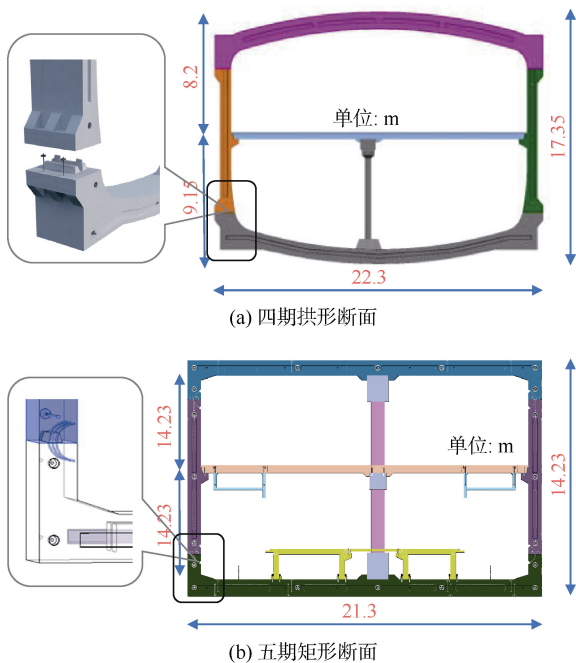


图 3 深圳预制装配式车站断面方案

Figure 3 Section scheme of prefabricated station in Shenzhen

两层两跨矩形断面可适用于站台宽度 10.5~12 m，结构宽度 19.8~21.3 m 范围的装配式车站。标准的侧墙构件可采用通用模具制作，顶板、底板与中楼板等构件可采用端模可调的通用模板制作，适应其长度变化，有效提高了矩形结构方案的尺寸适应灵活性。同时矩形结构可依上述原理拓展为三层两跨或两层三跨型式，如图 4 所示。

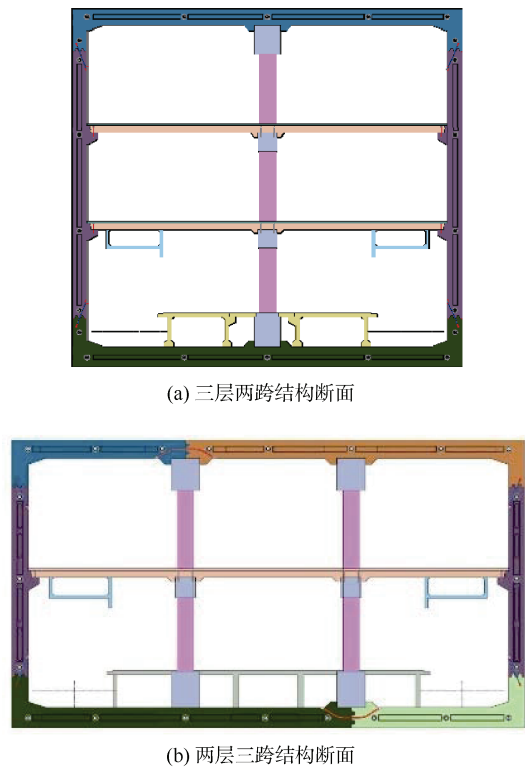


图 4 矩形装配式车站结构拓展方案

Figure 4 Rectangular prefabricated station structure expansion scheme

1.3 结构分块及接头

以 12 m 站台双层矩形装配式车站为例，车站主体结构共分 4 块，均采用轻量化的闭腔薄壁预制构件，顶板块尺寸为 21.3 m×1.994 m×2.35 m，混凝土用量为 40 m³，质量约为 100 t；底板厚度 1 m，尺寸为 21.3 m×1.994 m×2.53 m，混凝土用量为 43.6 m³，质量约为 109 t；侧墙块尺寸为 9.35 m×1.994 m×0.8 m，混凝土用量为 14.6 m³，质量约为 36.5 t。

构件之间采用注浆式榫槽接头与弯螺栓连接。注浆式榫槽接头咬合作用明显，具有良好的抗轴压、抗弯及抗剪承载性能和受力稳定性。断面分块主要考虑接头的承载特性及接头的受力和稳定性要求，接头布置位置应有利于在施工期间和使用阶段装配式结构体

系的承载和稳定, 结构拆分和接头位置确定宜按预制构件形式简单、规格类型少、接头数量少的原则进行控制。底板结构在环内宜采用整块构件, 当受到长度限制需要拆分时, 如图 4(b) 两层三跨车站, 接头宜设置在底纵梁的支点处。

1.4 梁柱及中板内支撑体系

与拱形结构方案相比, 矩形结构增加了内部梁柱结构, 车站内部梁柱体系均采用预制装配结构, 如图 5 所示, 车站主体内部结构包含顶纵梁、底纵梁、中纵梁、立柱和中板等预制构件。

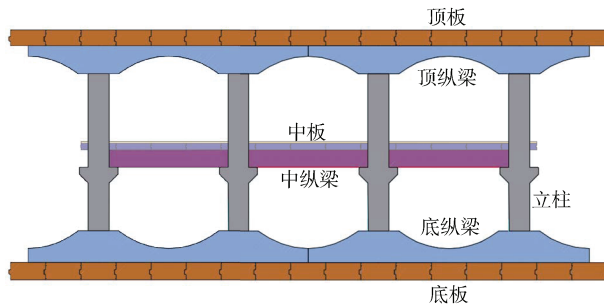


图 5 矩形装配式车站梁柱体系示意

Figure 5 Schematic diagram of rectangular prefabricated station beam and column system

顶纵梁与底纵梁为变截面预制型钢混凝土连续梁, 采用反鱼腹形式, 预制梁构件跨度为分为 $4\text{ m}+8\text{ m}+4\text{ m}$ 、 $4\text{ m}+10\text{ m}+4\text{ m}$ 两种, 跨中截面高度分别为 0.6 m 和 1.0 m , 支座处截面尺寸为 $1.3\text{ m}\times 1.6\text{ m}$ 。中纵梁为等截面预制钢筋混凝土筒支梁, 长度为 6.8 m 、 8.8 m , 截面尺寸均为 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 。框架柱为预制混凝土柱, 在中纵梁下方设有牛腿。为适应不同站台宽度车站、层数、覆土等因素的受力要求, 并实现构件标准化, 柱截面尺寸统一选定为 $0.8\text{ m}\times 1.2\text{ m}$ 。预制立柱下端与底纵梁通过预留杯口和螺栓进行连接; 立柱上端设置柱帽, 并通过螺栓与顶纵梁可靠连接; 柱中部与纵梁之间的连接通过设置在立柱上的牛腿搭接, 并通过螺栓连接固定。

2 矩形装配式车站静动力学行为分析

2.1 计算模型概况

对于首次提出的矩形预制装配式车站结构体系, 使用 Midas NX 计算软件, 基于平面应变假设, 建立了车站主体标准断面的梁弹簧荷载结构模型。如图 6 所示, 模型考虑地连墙围护结构与地层荷载, 车站主体底面与侧面设置法向地基弹簧和切向地基弹簧, 结

构参数与地层参数均按工程实际情况进行取值, 计算模型选取软土地层, 车站顶部覆土厚度 4.5 m , 进行静、动(地震分析)力学行为分析。

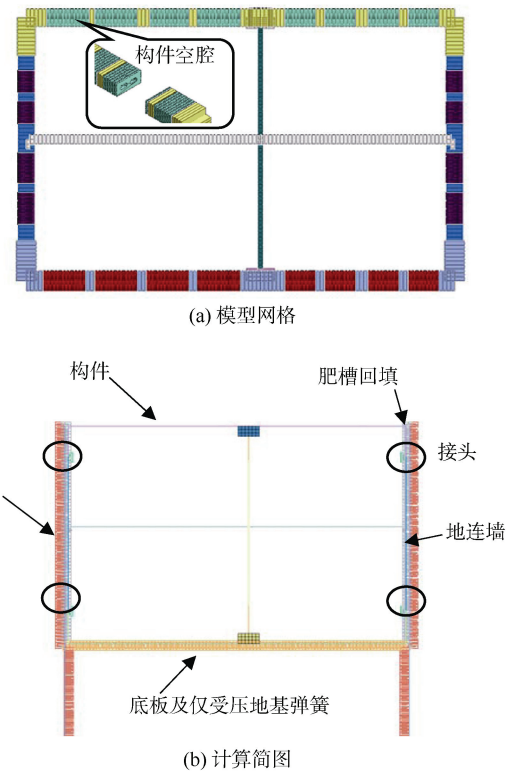


图 6 矩形装配式车站结构模型

Figure 6 Structure model of rectangular prefabricated station

在计算分析中, 预制装配式车站结构的力学行为与传统现浇结构有显著区别, 主要原因是预制构件间通过注浆式榫槽接头连接。既有研究已经揭示了注浆式榫槽接头在装配式结构体系中表现出的“变刚度”特性^[12-13], 接头节点的内力状态(主要是轴力和弯矩)会对接头的抗弯刚度产生影响, 因此计算中采用多次计算、迭代逼近的方式确保计算所采用的抗弯接头刚度与其内力状态相匹配^[14]。计算考虑了闭腔薄壁预制构件空腔截面和接头的“变刚度”特性, 迭代计算方法如图 7 所示。

2.2 静动力计算结果分析

矩形结构装配式车站内力分布如图 8 所示, 弯矩较大的位置为顶底板跨中、底板角部。模型同时计算对比了同工况下现浇车站的内力分布, 计算结果如图 9 所示。装配式车站内力分布模式与现浇车站分布模式基本一致, 模型考虑接头特性对接头位置的内力计算结果影响较为显著。

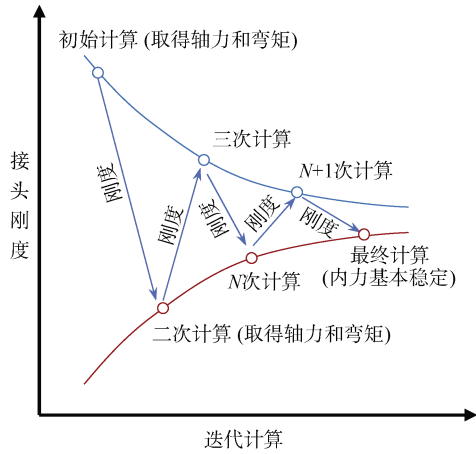


图 7 接头刚度迭代计算方法

Figure 7 Iterative calculation method of joint stiffness

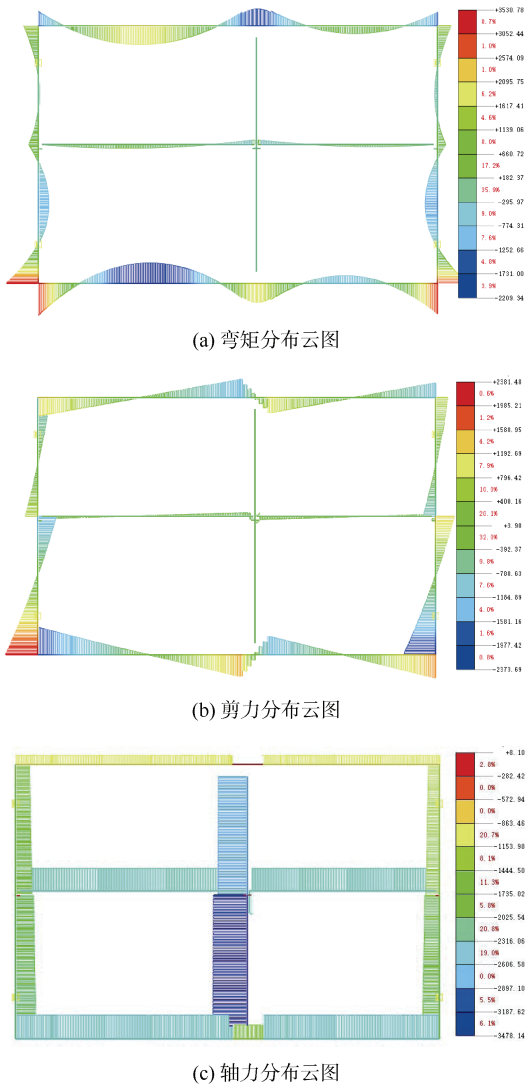


图 8 矩形装配式车站结构内力计算结果

Figure 8 Calculation results of internal force of rectangular prefabricated station structure

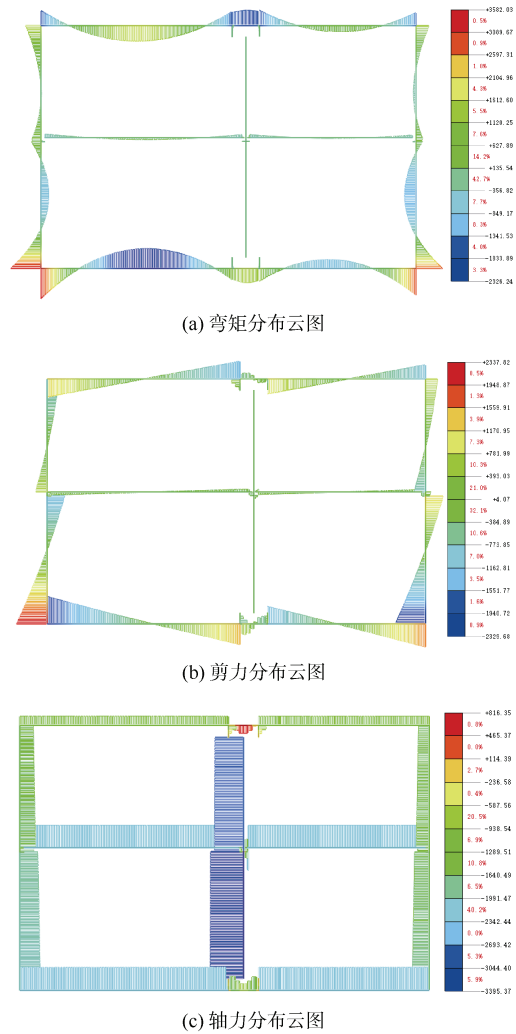


图 9 同工况现浇车站结构内力计算结果

Figure 9 Calculation results of internal forces in cast-in-place station structures under the same working conditions

装配式车站接头与现浇车站对应位置计算内力对比如表 1 所示，表中给出了装配式车站接头和现浇车站对应位置轴力、弯矩和剪力计算结果，同时给出了接头内力与现浇车站对应位置内力的比值。与现浇车站相比，矩形装配式车站左上、右上、左下、右下接头轴力与现浇车站基本一致；弯矩分别减小约 55%、28%、96%(左下接头临近反弯点，弯矩绝对值较小)、29%；左上、右上接头剪力分别减少约 12%和 9%，左下和右下接头剪力各增加约 4%。采用具有“柔性”特性的变刚度接头，会影响车站结构内力分布，使接头对应位置的弯矩显著减小。

采用反应位移法和时程分析法对矩形装配式车站进行抗震动力分析计算，结果显示，矩形装配式车站的中柱轴压比、层间位移角等指标均满足规范要求，具体计算结果本文不再展开介绍。

表 1 接头与现浇车站对应位置计算内力对比

Table 1 Comparison of internal forces calculated at the joints and corresponding positions of cast-in-place stations

内力	类型	左上接头	右上接头	左下接头	右下接头
轴力/kN	现浇车站	1 457	1 159	2 028	1 681
	变刚度接头	1 455	1 173	1 977	1 650
	接头/现浇	99.9%	101.2%	97.5%	98.2%
弯矩/kN·m	现浇车站	543	187	134	277
	变刚度接头	244	134	4.8	196
	接头/现浇	44.9%	71.7%	3.6%	70.8%
剪力/kN	现浇车站	504	496	1082	1074
	变刚度接头	442	450	1 126	1 118
	接头/现浇	87.7%	90.7%	104.1%	104.1%

3 接头承载力试验验证分析

既有装配式车站结构研究中，已经开展了针对注浆式榫槽接头的原型试验研究，提出了接头结构理论和计算方法^[15-17]，相关成果支撑了长春、青岛、深圳地铁四期修编拱形断面装配式车站的成功建设。深圳地铁五期车站结构调整后，其构件接头的形式也进行了较大调整，取消了接头外置凸台，减小了截面厚度，将外置受拉侧直螺栓紧固改为内部弯螺栓紧固。

为验证构造调整后接头的承载能力及已有理论计算方法的适用性，开展了矩形装配式车站接头抗弯性能足尺试验研究。

3.1 试验装置与加载工况

接头试件采用深圳地铁五期装配式车站结构 1:1 原型接头结构尺寸，试件尺寸如图 10 所示。接头试件单侧长 1.6 m，高 0.8 m，纵向宽度取 1 m，榫槽拼接接缝宽度 4 mm，试件包括无螺栓单榫、有螺栓单榫、

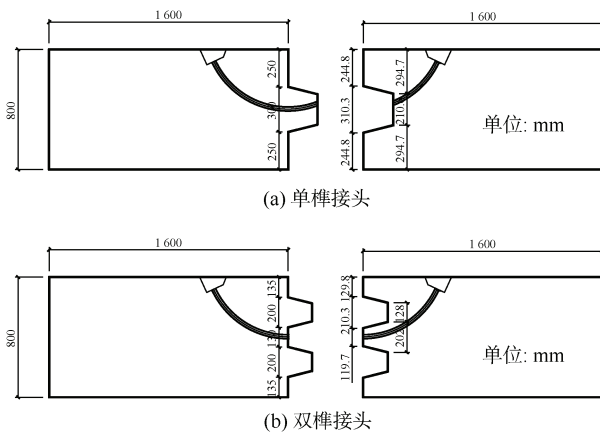
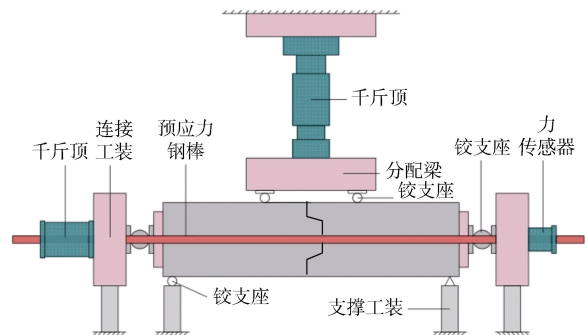


图 10 试验接头尺寸示意

Figure 10 Geometric diagram of test joint

无螺栓双榫、有螺栓双榫共计 4 种型式。试验加载装置采用四点弯矩加载方式，接头轴力由水平千斤顶施加，实验加载方式示意与照片如图 11 所示。



(a) 加载装置示意



(b) 试件加载装置照片

图 11 接头弯矩加载试验

Figure 11 Joint bending moment loading test

接头试验加载按校核加载与破坏加载两个阶段进行。校核加载首先对设计工况的内力组合进行接头承载能力验证，加载内力组合根据结构分析得到接头的实际内力进行设计。首先分别对采用单榫接头和双榫接头的车站结构进行数值模拟分析，计算考虑 2.5 m 和 4.5 m 覆土厚度，计算工况包括施工过程荷载、准永久组合荷载和基本组合荷载，得到不同工况的接头内力，按最不利情况包络确定需验证的接头轴力与弯矩，接头试验校核加载的内力组合如表 2 所示。试验过程按轴力从小到大的顺序依次加载，每个轴力工况下，弯矩从零加载至设计值后卸载，再进行下一组轴力工况的弯矩加载。每组试件校核加载完成后，再进行轴力 700 kN 工况下的弯曲破坏加载。

3.2 校核加载试验结果分析

4 组不同型式试件校核加载的弯矩-挠度曲线结果如图 12 所示，试验结果显示，单榫接头与双榫接头在设计工况中，弯矩-挠度曲线均处于线性阶段，试验过

程中，接头试件混凝土均未出现任何裂缝，针对设计工况校核，单榀接头与双榀接头均可满足承载力要求。

表 2 接头试验加载内力组合

Table 2 Joint test loading internal force combination

试件	轴力/kN	弯矩/kN·m
单榀 1	440	70
单榀 2	510	120
单榀 3	670	110
单榀 4	720	180
单榀 5	940	270
双榀 1	440	70
双榀 2	510	120
双榀 3	620	110
双榀 4	720	190
双榀 5	1 030	320

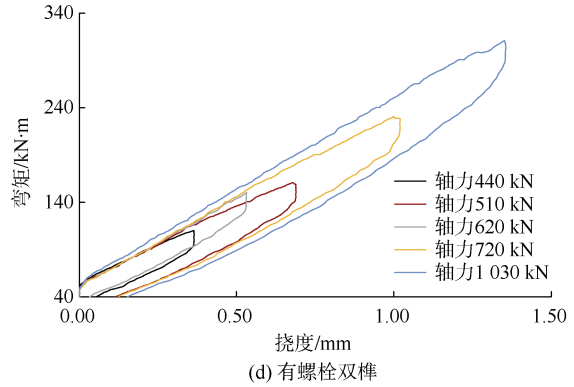
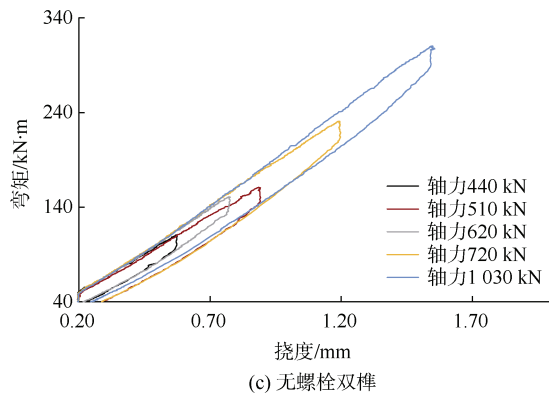
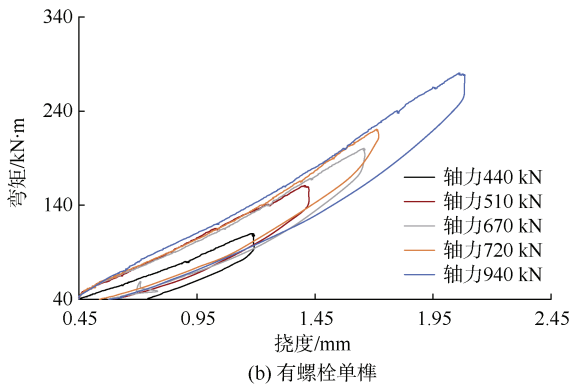
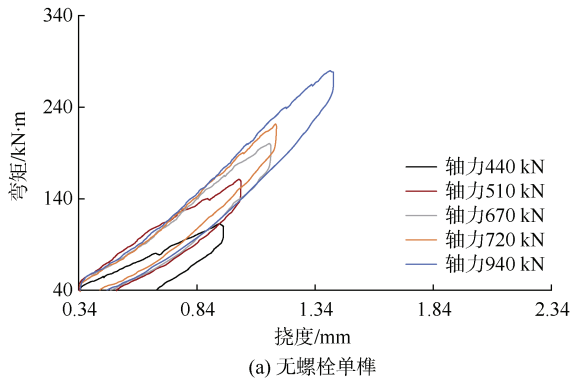
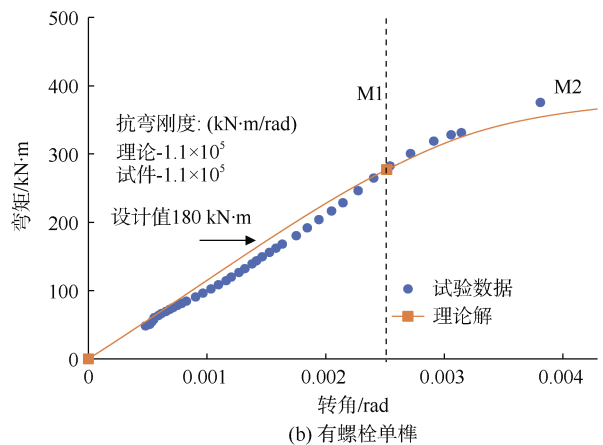
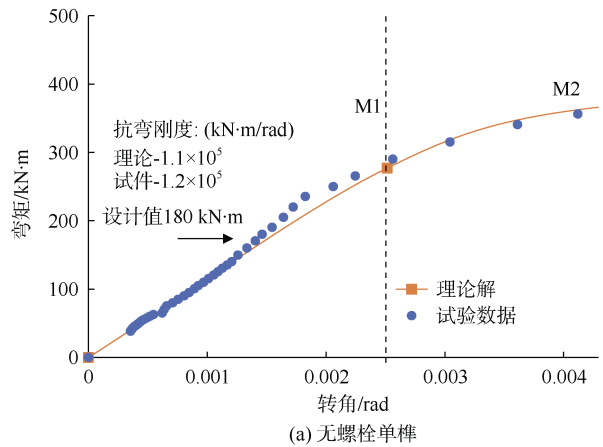


图 12 接头试件校核加载弯矩-挠度试验结果
Figure 12 Joint verification loading bending moment-deflection test results

3.3 破坏加载试验结果分析

4 组试件 700 kN 轴力下的破坏加载试验得到的弯矩-转角曲线如图 13 所示。试验结果中，无螺栓单榀与有螺栓单榀试件在 700 kN 的轴力下承载最大弯矩值分别为 356 kN·m 和 360 kN·m，与设计工况 720 kN 轴力对应弯矩 180 kN·m 相比较，仍分别具有 1.98 倍和 2 倍以上的安全承载力储备。无螺栓双榀与有螺栓



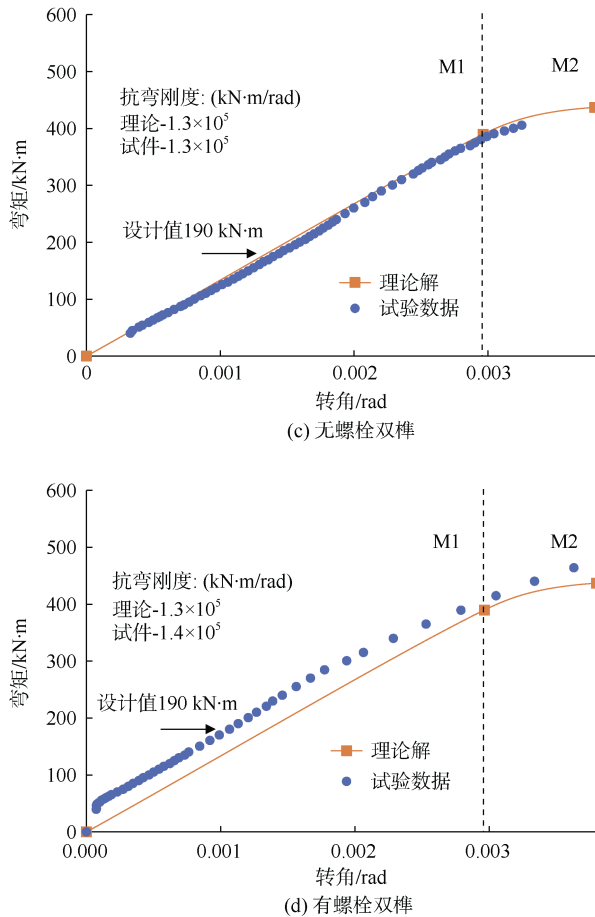


图 13 接头试件破坏加载弯矩-转角试验结果

Figure 13 Joint failure loading bending moment-rotation test result

双榀试件在 700 kN 的轴力下承载最大弯矩值分别为 405 kN·m 和 440 kN·m，与设计工况 720 kN 轴力对应弯矩 190 kN·m 相比较，仍分别具有 2.13 倍和 2.32 倍以上的安全承载力储备。

对比不同接头的承载力曲线结果可以发现，双榀接头的极限承载力略大于单榀接头，在接头变形的线性阶段，弯螺栓对接头承载性能影响较小，但在接头塑性变形阶段，弯螺栓对接头的变形延性起到了一定的有利作用。

同时，结果中对比了基于长春装配式车站的接头试验的理论计算结果^[18]，在接头 M2 类线性承载范围内，4 种试件的承载试验结果与抗弯刚度的理论解基本吻合，误差均在实验误差范围内，本次试验结果也验证了既有理论计算方法对接头尺寸变化的情况仍具有良好的适应性。

4 结论

在深圳地铁四期修编工程拱形断面装配式车站成

功应用的基础上，对深圳地铁五期工程所采用的矩形断面装配式车站结构方案和力学性能进行了分析研究，得出以下结论。

1) 采用干式连接的矩形全预制装配式车站与同形式传统现浇车站结构宽度、高度基本相当。矩形装配式车站结构型式对不同车站宽度的变化具有良好的适应性，同时可方便地进行双层三跨、三层双跨等不同型式车站结构的拓展。

2) 矩形装配式车站结构断面拆分主要考虑接头承载特性及接头的受力和稳定性要求，接头布置位置应有利于在施工期间和使用阶段装配式结构体系的承载和稳定，结构拆分和接头位置确定宜按预制构件形式简单、规格类型少、接头数量少的原则进行控制。

3) 经验算和试验验证，在深圳地铁五期工程装配式车站结构的实际受力工况下，接头能够满足承载和变形的安全性要求。通过将接头线性和类线性承载阶段作为接头设计承载使用区间进行分析，接头的安全承载力储备为 1.98~2.32 倍。既有注浆式榀槽接头承载力理论计算方法在接头构造调整和尺寸变化情况下仍具有较好的适用性，理论计算结果与本次试验基本吻合。

总的来说，深圳地铁五期矩形装配式车站方案的提出，丰富了全预制装配式车站结构方案的多样性，提高了结构体系的包容性，为全装配式车站应用推广迈出了崭新的一步。

参考文献

- [1] 钱七虎. 利用地下空间助力发展绿色建筑与绿色城市[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(11): 1737-1747.
QIAN Qihu. Underground space utilization helps develop green buildings and green cities[J]. Tunnel construction, 2019, 39(11): 1737-1747.
- [2] 王俊, 赵基达, 胡宗羽. 我国建筑工业化发展现状与思考[J]. 土木工程学报, 2016, 49(5): 1-8.
Wang Jun, Zhao Jida, Hu Zongyu. Review and thinking on development of building industrialization in China[J]. China civil engineering journal, 2016, 49(5): 1-8.
- [3] 顾泰昌. 国内外装配式建筑发展现状[J]. 工程建设标准化, 2014 (8): 48-51.
- [4] 地盘工学会. 盾构法的调查·设计·施工[M]. 牛清山, 陈凤英, 徐华译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [5] C.H.勿拉索夫. 俄罗斯地下铁道建设精要[M]. 钱七虎, 戚承志译. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [6] 李太惠. 明斯克地铁单拱车站设计施工经验[J]. 地铁与轻轨, 1995(2): 44-48.

- [7] 杨秀仁. 明挖地铁车站预制装配式结构理论与实践[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
YANG Xiuren. Theory and practice of prefabricated assembly structure of open-cut subway station[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [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]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(11): 1849-1870.
YANG Xiuren. Development status of and outlook for construction technology for prefabricated metro stations in China[J]. Tunnel construction, 2021, 41(11): 1849-1870.
- [9] 杨秀仁. 明挖预制装配式隧道结构拼装设计方法及关键技术[J]. 都市轨道交通, 2023, 36(2): 2-13.
YANG Xiuren. Design method and key technology for assembling open-excavated prefabricated tunnel structures[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(2): 2-13.
- [10] 李孟廷, 白雪梅, 吴成刚, 等. 装配式地铁车站预制中板梁柱设计方案研究[J]. 都市轨道交通, 2023, 36(2): 127-135.
LI Mengting, BAI Xuemei, WU Chenggang, et al. Design scheme of medium plate beam column in prefabricated metro station structures[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(2): 127-135.
- [11] 吴成刚, 李孟廷, 彭智勇. 深圳地铁16号线装配式车站结构断面选型分析[J]. 隧道建设(中英文), 2022, 42(增刊2): 320-327.
WU Chenggang, LI Mengting, PENG Zhiyong. Cross-section Structure Selection of Prefabricated Station in Shenzhen Metro line 16[J]. Tunnel construction, 2022, 42(S2): 320-327.
- [12] 杨秀仁, 林放, 黄美群. 地铁车站预制装配式结构注浆式单榫长接头抗弯承载性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2020, 53(4): 111-118.
YANG Xiuren, LIN Fang, HUANG Meiqun. Research on flexural bearing capability of long grouted single mortise-tenon joints for prefabricated metro station structures[J]. China civil engineering journal, 2020, 53(4): 111-118.
- [13] 杨秀仁, 黄美群, 林放. 地铁车站预制装配式结构注浆式单榫短接头抗弯承载性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2020, 53(5): 57-64.
YANG Xiuren, HUANG Meiqun, LIN Fang. Experimental study on flexural bearing capability of short grouted single mortise-tenon joints in prefabricated metro station structure[J]. China civil engineering journal, 2020, 53(5): 57-64.
- [14] 林放. 基于原位监测的装配式地铁车站结构拱顶接头力学性能分析[J]. 隧道建设(中英文), 2022, 42(3): 430-436.
LIN Fang. Mechanical property analysis of top arch joint for prefabricated underground metro station structure based on In-suit monitoring[J]. Tunnel construction, 2022, 42(3): 430-436.
- [15] 杨秀仁, 黄美群, 林放. 地铁车站预制装配式结构注浆式单榫短接头抗弯承载性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2020, 53(5): 57-64.
YANG Xiuren, HUANG Meiqun, LIN Fang. Experimental study on flexural bearing capability of short grouted single mortise-tenon joints in prefabricated metro station structure[J]. China civil engineering journal, 2020, 53(5): 57-64.
- [16] 林放, 杨秀仁, 王臣. 注浆式榫槽接头关键构造参数影响研究[J]. 都市轨道交通, 2023, 36(2): 34-44.
LIN Fang, YANG Xiuren, WANG Chen. Influence of key structural parameters of grouted single-tenon joints[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(2): 34-44.
- [17] 林放. 附加张力装置对注浆式榫槽接头力学性能的影响研究[J]. 都市轨道交通, 2023, 36(2): 45-53.
LIN Fang. Effect of auxiliary tension device on mechanical properties of grouted mortise-tenon joint[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(2): 45-53.
- [18] YANG Xiuren, LIN Fang. Prefabrication technology for underground metro station structure[J]. Tunnelling and underground space technology, 2021, 108: 103717.

(编辑: 傅依萱)

封面车站设计理念

重庆轨道交通5号线幸福广场站以“坚守廉洁、幸福一生”为设计理念, 综合运用了壁画、插画等艺术形式以及视觉、听觉全方位交互式表现手法, 设计了阳光大厅、青春倡廉、廉洁轨道、家风助廉、巴渝廉韵五个文化空间。阳光大厅, 清莲田田, “红岩”生辉, 寓意廉洁自律营造风清气正的社会氛围; 青春倡廉, 以现代插画展现重庆青年厚植廉洁根基、构筑青春高地的场景; 廉洁轨道, 以诸多史实照片聚焦重庆城市交通发展; 家风助廉, 以中国家庭的日常视角, 倡导清正廉洁的家风; 巴渝廉韵, 展现巴渝清廉人物群像及历史事件, 歌颂历代廉吏清官的精神气节。

重庆市轨道交通(集团)有限公司 供稿