

# 永临结合装配式地铁车站构件型式与拼装模式比选\*

李育慧<sup>1</sup> 麦家儿<sup>1\*\*</sup> 孙菁<sup>1</sup> 王利军<sup>2</sup> 何冠鸿<sup>1</sup>

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州;

2. 广州地铁建设管理有限公司, 510330, 广州//第一作者, 工程师)

**摘要** 目的:装配式车站已在我国多个城市的地铁车站中有所应用,针对装配式地铁车站永临结合方案研究不足的问题,需对装配式地铁车站永临结合方案的结构型式、拼装模式进行分析。**方法**:介绍了永临结合装配式车站方案;介绍了构件连接型式及其拼装模式;对不同梁型(预制普通混凝土梁、预制型钢混凝土梁、钢-混组合梁和预应力箱梁)的预制横纵梁构件在装配式地铁车站中的应用进行了适用性分析和经济性比选。**结果及结论**:永临结合方案能节省工程工期和造价;顶板、中板与侧墙采用铰接连接能提升施工速度和精确度;顶板和楼板的预制板可根据受力和开孔情况而采用不同的拼装模式;当横向跨度较小时,预制普通混凝土梁具有适应性广、施工方便的优势;随着横向跨度的增大,采用预应力箱梁能有效控制构件的造价、自重和尺寸。

**关键词** 地铁;装配式车站;构件型式;拼装模式

**中图分类号** U231.4

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.09.005

reinforced concrete beams, steel-concrete composite beams, and prestressed box beams) in prefabricated metro stations is carried out. **Result & Conclusion**: The PTI scheme can save construction time and costs. The use of hinged connections between the floor slab, middle slab and sidewalls can improve construction speed and accuracy. The prefabricated panels for roof slab and floor slab can be assembled in different modes based on stress conditions and openings. For smaller transverse spans, precast ordinary concrete beams offer advantages of wide adaptability and convenient construction. As the transverse span increases, the use of prestressed box beams can effectively control component costs, self-weight and dimensions.

**Key words** metro; prefabricated station; component type; assembly mode

**First-author's address** Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China

## Comparative Selection of Component Types and Assembly Modes for Permanent-Temporary Integration Prefabricated Metro Stations

LI Yuhui, MAI Jiaer, SUN Jing, WANG Lijun, HE Guanhong

**Abstract** Objective: Prefabricated stations are widely used in metro systems across various cities in China. However, the research on PTI (permanent-temporary integration) scheme for prefabricated metro stations is insufficient. Therefore, it is necessary to analyze the structural types and assembly modes in PTI scheme for prefabricated metro stations. Method: The scheme of PTI in prefabricated station is introduced, and types of component connections and assembly modes are discussed. An applicability analysis and economic comparison of prefabricated transverse and longitudinal beam components with different beam types (precast ordinary concrete beams, precast steel-

装配式地铁车站的结构型式主要分为全预制装配式和装配整体式,前者采用构件干式连接,避免了现浇湿式作业,由预制构件通过榫卯等型式直接拼装而成。长春轨道交通2号线双丰站、兴隆堡站等即为我国首批采用全预制装配技术的地铁车站<sup>[1]</sup>。全预制装配式地铁车站具有预制率高、现场无浇筑等优点,但其构件自重大,对运输和吊运条件要求高,且其防水性能也尚未经过长期验证。因此,更多城市采用的是装配整体式地铁车站,其由预制构件可靠连接,并与现场后浇材料形成整体的装配式结构,其受力特性等同现浇结构。上海轨道交通15号线吴中路站是我国首座软土地区采用预制拼装结合现浇叠合拱壳的无柱大跨地铁车站,其站厅层采用预制无柱拱板+现浇拱座的叠合拱壳结构<sup>[2]</sup>。济南轨道交通1号线方特站运用深基坑

\*广州市院士专家工作站资助项目(2021 创新中心 030 号);广东省城市轨道交通工程建造新技术企业重点实验室资助项目(2017B030302009)

\*\*通信作者

大尺寸预制叠合结构施工方法,将预制肋叠合墙、复合立柱和预应力叠合顶板应用于地铁车站,在缩短施工工期的同时节约了施工成本。在北京、哈尔滨、青岛和无锡等我国多个城市也在地铁车站中应用或规划应用装配式地铁车站。

目前,装配式车站的主要受力构件基本选用预制普通混凝土,其造价分析仅局限于装配式混凝土结构与现浇结构的对比研究<sup>[3-4]</sup>,缺少对构件型式和材料方面的比选分析。基于此,本文在上涌公园装配式车站成功实践的基础上<sup>[5]</sup>,针对装配式地铁车站永临结合方案研究不足的问题,对装配式地铁车站永临结合方案的结构型式、拼装模式进行了深入研究,对预制横梁、纵梁的梁型进行了比选分析。本研究可为地铁和城际铁路装配式车站的设计提供理论基础。

## 1 永临结合装配式车站方案概述

永临结合装配式地铁车站方案的设计思路为将临时围护结构与永久主体结构相结合。永临结合装配式地铁车站结构型式示意图如图1所示。车站的主要围护结构,即地下连续墙和混凝土支撑,兼做车站永久结构的侧墙(或侧墙的一部分)和楼板横梁。该方案的主要建造工序为:①成槽浇筑地连墙;②土方开挖;③依次施工第1道—第3道混凝土支撑(第2道支撑标高与顶板标高对应、第3道支撑标高与楼板标高对应);④开挖至坑底后施工底板,浇筑侧墙与地连墙形成叠合结构;⑤施工楼板与第3道支撑相连接;⑥施工顶板与第2道支撑相连接;⑦回填覆土;⑧拆除第1道支撑。通过永临结合的施工方式可以省去侧墙或只需增设较薄

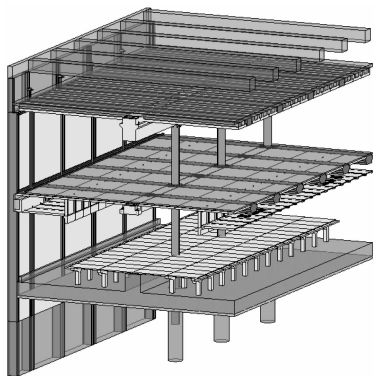


图1 永临结合装配式地铁车站结构型式示意图

Fig.1 Diagram of PMI prefabricated metro station structure type

的侧墙与地连墙叠合受力,不需要对支撑进行拆除,既节约了工程造价,又简化了施工工序,符合绿色建筑的发展趋势。

本方案立足于广州地铁新一轮线网建设,可应用于各种跨度、深度和大部分地层条件的地铁车站。需要注意的是,由于车站主体两端为盾构端头井及与风亭开口段,结构受力较为复杂,这两部分仍采用现浇混凝土结构,其余部分则采用装配式结构。在广州市新一轮线网规划的市内地铁车站、城际地铁车站中,按照其横向跨度主要可分为以下3种:标准跨度车站,横向跨度约为10~11 m;单岛四线越行车站,横向跨度约为16~17 m;无柱车站或双岛四线车站,横向跨度约为22~24 m,其中有柱车站的跨度考虑了结构柱。各类型车站典型断面示意图如图2所示。本方案采用标准化构件设计思路,各主要构件采用了统一断面尺寸、按特定模数增加长度、调整配筋等方法,以期用更低的设计成本实现对于不同类型车站的普遍适用性。

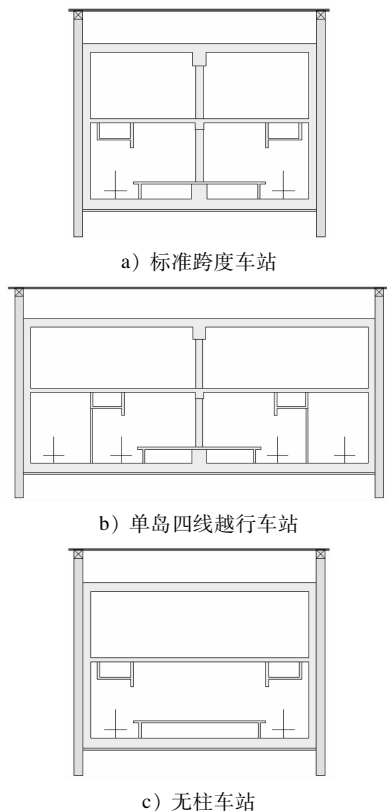


图2 各类型车站典型断面示意图

Fig.2 Diagram of typical sections of various station types

## 2 构件连接型式及其拼装模式

### 2.1 顶板、中板与地连墙连接型式

目前,各城市的装配式地铁车站顶板、中板与

侧墙的连接均采用刚性接头(湿式连接或干式连接),对于在地面装配式结构常用的简支结构型式未见应用。从施工角度来看,对于地连墙永临结合方案,若顶板、中板与侧墙之间采用固支方案,则地连墙施工阶段需要预留大量的钢筋接驳器或其他预埋件来进行可靠连接,这不但增加了施工难度,而且在装配过程中还易发生预留件错位的问题,对装配式施工的质量和拼装速度影响也较大,阻碍了装配式施工的推广。采用铰支连接可有效避免该问题,减少施工难度并提升施工效率。各连接节点的构造为:①在顶板横梁支点处,地连墙预留企口,顶板横梁搭接在企口上并用钢棒定位与固定;②在中板横梁支点处,地连墙预留钢筋接驳器用以固定半预制腰梁,中板横梁搭接于腰梁上并用钢棒定位与固定;③根据柱网长度进行分段,将纵梁两端固定在钢管柱上,纵梁之间利用端头的钢板和锚栓实现刚性连接;④通过纵梁预留的侧向牛腿和钢板,将横梁固定在纵梁上。所有节点均已根据实际工程条件进行验算和加强设计。经试算结果可知,相比于固支方案,铰支连接方案中顶板和中板梁的最大内力增大了约50%,其在控制挠度和裂缝方面也劣于固支方案,整体工程成本增加了约15%~25%。此外,增加横梁高度会引起标准跨度车站每层净高增大0.1~0.3 m。

采用时程分析法对采用铰支连接方案的两层无柱大跨车站进行抗震分析,结果表明:在E2地震作用下,车站最大层间位移角为 $1.23‰(1/813)$ ,小于规范限值 $1.82‰(1/550)$ ,满足抗震性能I级要求;在E3地震作用下,车站最大层间位移角为 $2.53‰(1/395)$ ,小于规范限值 $4.00‰(1/250)$ ,满足抗震性能II级要求。

在满足结构安全性的前提下,采用铰支连接方案需增加主要构件尺寸和工程造价,但其装配段工期预计可节省约30%,可大幅度改善重要节点的施工质量。为解决装配式施工难度和速度的问题,本方案的顶板、中板与地连墙和中纵梁的连接均采用铰支连接。

## 2.2 顶板和中板拼装模式

回筑阶段时,在顶板横梁和中板横梁中间的空隙拼装楼板预制构件,其拼装方式有3种(见图3):密铺同规格横梁、密铺横向预制板、搭接纵向预制板。其中:密铺同规格横梁和密铺横向预制板的受力模式类似,后续密铺的构件将其承担的荷载传递

至侧墙或纵梁上,不向两侧横梁传递荷载;搭接纵向预制板方式中,预制板两端搭接在两侧横梁上,而板上荷载也传递至两侧横梁,横梁承担了支撑间距范围内楼板的所有荷载,导致其内力较大。

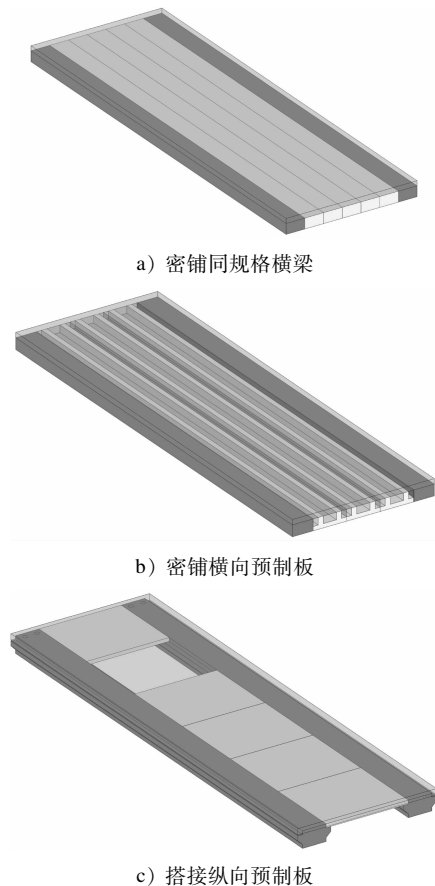


图3 3种楼板预制构件拼装方式

Fig. 3 Prefabricated component assembly modes of three types of floor slabs

顶板直接承担了覆土的水土压力,若将其支撑间距范围内的荷载全部传递至横梁,则横梁的尺寸和自重会显著增大,故顶板采用密铺同规格横梁和密铺横向预制板的拼装方式。对于中板而言,其承担的荷载主要为板上人群荷载及设备荷载等,荷载总量相对较小,同时由于中板上孔洞较多,因此在横向跨度较小时,宜采用搭接纵向预制板的拼装模式,以更好地适应楼板开孔的情况。

此外,为使拼装后的楼板具有更平整的表面和更好的受力性能,预制构件上均预留甩筋。待拼装完成后,在预制构件的顶部现浇一层钢筋混凝土。

## 2.3 不同施工阶段下的构件受力分析

以地下两层地铁车站为例进行计算,车站柱网纵向跨度为9 m,地连墙厚度为800 mm(兼做永久

侧墙)。基坑第 1 道支撑为临时混凝土支撑,纵向间距为 9.0 m,第 2 道和第 3 道支撑采用顶板和中板横梁,纵向间距取为 4.5 m。

车站横梁、纵梁的受力阶段分为基坑阶段工况和使用阶段工况。基坑阶段工况主要为基坑开挖及回筑过程中,梁所受到的水土压力、竖向施工荷载和混凝土浇筑荷载等,该阶段主要以轴压承载力和压弯承载力评价梁的安全性。使用阶段工况中的顶板梁主要考虑覆土荷载、地面超载和吊顶风管荷载等,中板梁主要为装修荷载、人群荷载和设备荷载,该阶段以抗弯承载力和抗剪承载力评价梁的安全性。

经核算,各梁的控制工况为使用工况,因而后续分析均以使用阶段的抗弯承载力和抗剪承载力指标作为构件受力计算的控制因素。

### 3 横纵梁梁型比选

#### 3.1 各梁型特点分析

本文选取工程中常用的预制普通混凝土梁、预制型钢混凝土梁、钢-混组合梁、预应力箱梁这 4 种梁类型(见图 4),分析其不同在不同横向跨度下的特点和经济性。

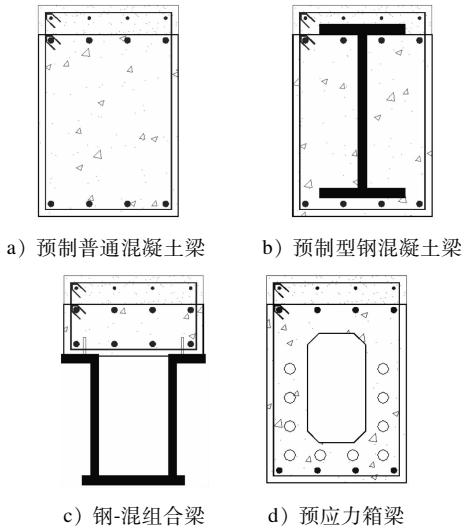


图 4 不同梁类型示意图

Fig. 4 Diagram of different beam types

预制普通混凝土梁是目前最常用的预制梁结构,具有工艺简单成熟、适应性强等优点。由于内插型钢的作用,预制型钢混凝土梁具有承载能力强、节点连接方便等特点。但这 2 种梁类型均存在尺寸、自重较大的缺点。钢-混组合梁在支座处U

型槽钢内填充混凝土,而跨中部分不填充,可充分利用混凝土材料的抗压性能和型钢的抗拉性能,具有自重较小的优点,但其需考虑防火防腐要求,外露的型钢需进行表面处理。通过施加预应力,预应力箱梁能显著增强构件的抗弯承载力,有效控制构件挠度,具有很好的抗裂性能,但其张拉工艺相对复杂。各梁在顶部预留插筋,拼装完成后在顶板、中板上统一浇筑现浇层。

#### 3.2 各梁型经济性比选

在相同外力作用下,计算顶板横梁、顶板纵梁、中板横梁和中板纵梁在采用各梁型时的断面尺寸、梁预制部分自重和梁的每延米造价,以此来比选各梁型的经济性。其中,梁的每延米造价由不同工艺的材料单价组成(材料单价参考了广州地铁 11 号线上涌公园站的实际造价和定额),并综合考虑了预制工艺、构件运输、起吊设备和现场装配的费用。

在 3 种典型装配式车站跨度下(标准跨度车站横向跨度为 10.5 m、单岛四线越行车站横向跨度为 17.0 m 和无柱车站横向跨度为 24.0 m),当顶板横梁宽度为 1.4 m 时,各梁型的顶板横梁每延米造价和预制部分自重如图 5 所示。由图 5 可知:当横向跨度小于 14.0 m 时,预制普通混凝土梁造价较低;随着横向跨度的增大,预应力箱梁的造价优势逐渐增大;顶板横梁自重曲线与每延米造价曲线规律类似。因此,在单岛四线越行车站或无柱车站等横向跨度大于 14.0 m 的装配式车站中,建议顶板横梁采用预应力箱梁类型。顶板纵梁、中板横梁、中板纵梁规律类似,此处不再赘述。不同横向跨度下,各梁型的每延米造价和预制部分自重计算结果如表 1 和表 2 所示。

#### 3.3 各梁型选型小结

综合分析各梁型的特性和经济性,建议在小横向跨度(横向跨度小于 14.0 m)装配式车站中,顶板和中板横纵梁均采用预制混凝土梁;在大跨度(横向跨度大于 20.0 m)装配式车站中,各梁可采用预应力箱梁,以控制梁的造价、自重和尺寸;在横向跨度介于大跨度和小跨度之间的装配式车站中,可综合预制厂家的生产情况混合采用不同梁型,如对受力较大的顶板采用预应力箱梁、受力较小的中板采用预制混凝土梁。此外,当中板采用预制板搭接在横梁上的拼装模式时,在大跨度装配式车站中,其横梁的尺寸和造价都将有大幅度的增加,建议当横

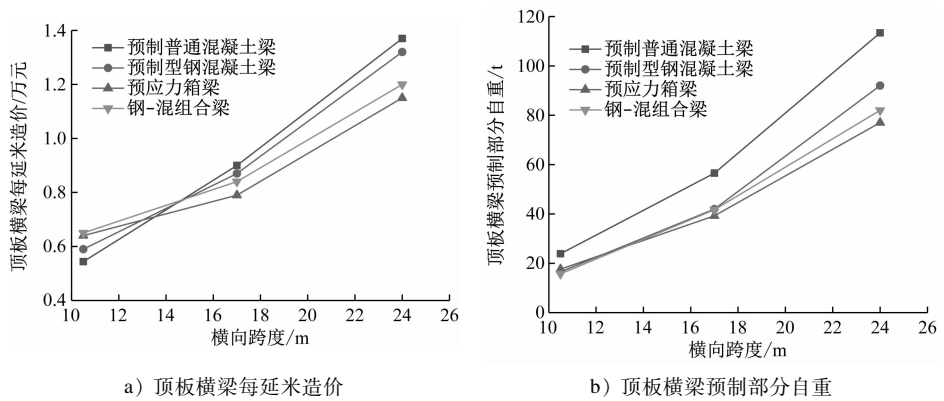


图 5 不同跨度下各梁型的顶板横梁每延米造价和预制部分自重

Fig. 5 Top slab transverse beam cost per linear meter and precast part self-weight under different span conditions

表 1 不同横向跨度下各梁型的每延米造价

Tab.1 Cost per linear meter of different beam types under different transverse span conditions

横向跨 度/m	预制普通混凝土梁 每延米造价/万元				预制型钢混凝土梁 每延米造价/万元				预应力箱梁每延米 造价/万元				钢-混组合梁每延米 造价/万元			
	顶板 横梁	中板 横梁	顶板 纵梁	中板 纵梁	顶板 横梁	中板 横梁	顶板 纵梁	中板 纵梁	顶板 横梁	中板 横梁	顶板 纵梁	中板 纵梁	顶板 横梁	中板 横梁	顶板 纵梁	中板 纵梁
10.5	0.54	0.30	0.87	0.38	0.59	0.31	0.92	0.40	0.64	0.38	1.15	0.42	0.65	0.32	1.11	0.45
17.0	0.90	0.53	1.55	0.51	0.87	0.47	1.34	0.49	0.79	0.49	1.57	0.52	0.84	0.56	1.50	0.59
24.0	1.37	0.76	2.11	0.76	1.32	0.76	1.90	0.71	1.15	0.73	1.89	0.64	1.20	0.82	1.93	0.76

表 2 不同横向跨度下各梁型的预制部分自重

Tab.2 Precast part self-weight of each beam type under different span conditions

横向跨 度/m	预制普通混凝土梁自重/t				预制型钢混凝土梁自重/t				预应力箱梁自重/t				钢-混组合梁自重/t			
	顶板 横梁	中板 横梁	顶板 纵梁	中板 纵梁	顶板 横梁	中板 横梁	顶板 纵梁	中板 纵梁	顶板 横梁	中板 横梁	顶板 纵梁	中板 纵梁	顶板 横梁	中板 横梁	顶板 纵梁	中板 纵梁
10.5	24	13	37	18	17	8	28	11	18	14	32	15	16	6	29	8
17.0	57	39	57	26	42	25	46	17	39	32	42	22	42	19	40	16
24.0	113	81	88	40	92	68	71	29	77	69	66	32	82	62	58	26

向跨度超过 20.0 m 时,采用密铺横向预制板或密铺同规格横梁的方式拼装中板。小跨度和大跨度方

案下的装配式地铁车站 BIM(建筑信息模型)如图 6 所示。

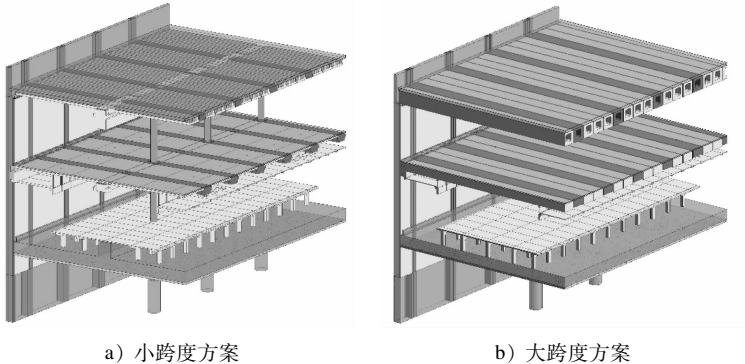


图 6 2 种跨度方案下的装配式地铁车站 BIM

Fig. 6 BIM of prefabricated metro station under two span schemes

## 4 结语

本文立足于广州地铁新一轮线网建设,研究了永临结合的装配式车站方案,并对其构件拼装模式和梁型比选方面进行了研究。主要获得以下几个结论:

1) 永临结合方案通过将临时围护结构的地连墙和支撑兼做永久使用的车站侧墙和横梁的方式,不但节省了施工工期,还避免了临时构件的浪费。

2) 采用铰接模式连接顶板、中板与侧墙,这对于施工速度及施工精确度有较大的提升,同时还能降低施工难度。通过加强连接节点和加大构件尺寸可以满足构件的结构安全要求,整体造价的增幅处于可接受范围。

3) 对于顶板而言,由于其受力较大,适合采用密铺同规格横梁的拼装模式;对于中板而言,可将预制板纵向搭接在横梁上,以便于对楼板灵活开孔。对于大跨度的装配式地铁车站,中板梁内力较大,也可采用密铺横向预制板或密铺同规格横梁的拼装模式。

4) 对预制横纵梁构件采用不同梁型(预制普通混凝土梁、预制型钢混凝土梁、钢-混组合梁和预应力箱梁)进行了适用性分析和经济性比选。当横向跨度较小时,预制普通混凝土梁具有适应性广、工艺简单的优势。随着横向跨度的增大,采用预应力箱梁能有效控制构件的造价、自重及尺寸。

5) 永临结合方案在工程造价上的优势较为明显,但在实际应用中也存在一定的问题,如地连墙接缝防水及耐久性问题、支撑与楼板的空间协调性问题、开挖阶段与永久使用阶段的不同受力模式问题、装配式构件的拼装模式和连接方式问题。对于

上述几个问题的研究及其解决方法是今后永临结合装配式地铁车站研究及应用的关键。

## 参考文献

- [1] 杨秀仁. 明挖地铁站预制装配结构理论与实践[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.  
YANG Xiuren. Theory and application of prefabricated open-cut metro station structure[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
  - [2] 杨勇. “预制+现浇”叠合拱壳工艺在地铁车站中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(3): 203.  
YANG Yong. Application of 'prefabrication + cast-in-situ' superposition arch shell technology in metro station construction[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(3): 203.
  - [3] 郭泽, 吴春冬, 蒋小锐. 采用型钢混凝土组合结构的新型地铁装配式车站结构研究[J]. 工程技术研究, 2021, 6(17): 119.  
WU Ze, WU Chundong, JIANG Xiaorui. Study on new subway assembled station structure with steel reinforced concrete composite structure[J]. Engineering and Technological Research, 2021, 6(17): 119.
  - [4] 张建芳. 城市轨道交通装配式车站混凝土结构造价影响因素及投资分析[J]. 铁路工程技术与经济, 2021, 36(1): 25.  
ZHANG Jianfang. Cost factors and investment analysis about the prefabricated concrete structure of station for urban rail transit projects[J]. Railway Engineering Technology and Economy, 2021, 36(1): 25.
  - [5] 裴行凯, 麦家儿, 何冠鸿, 等. 装配式地铁车站二次结构构件连接节点性能研究[J]. 广东土木与建筑, 2019, 26(11): 101.  
PEI Xing kai, MAI Jia er, HE Guan hong, et al. Research on performance of connection nodes of secondary structural members in prefabricated metro stations[J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2019, 26(11): 101.
- (收稿日期:2022-08-01)
- 
- (上接第 26 页)
- ## 参考文献
- [1] 可文海, 管凌霄, 薛齐, 等. 盾构隧道开挖引起的邻近群桩竖向位移研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2020, 51(8): 2353.  
KE Wenhai, GUAN Lingxiao, XUE Qi, et al. Study on vertical displacement of adjacent pile group caused by shield tunnelling[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2020, 51(8): 2353.
  - [2] 赵晓勇. 地铁盾构隧道侧穿高铁桥群桩设置隔离桩影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(5): 116.  
ZHAO Xiaoyong. Influence analysis of setting separation piles for metro shield tunnel side-crossing high-speed railway bridge pile groups[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(5): 116.
  - [3] 周智. 地铁盾构隧道下穿既有高铁桥数值模拟及实测施工影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(5): 140.  
ZHOU Zhi. Numerical simulation and field measured construction influence analysis of metro shield tunnel under-passing existing high-speed railway bridge[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(5): 140.
- (收稿日期:2021-04-09)