

预制内隔墙应用于地铁车站工程关键技术*

李 涛¹ 费金新¹ 徐小涛² 杨 政¹

(1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉; 2. 徐州地铁集团有限公司, 221018, 徐州)

摘 要 [目的] 预制内隔墙在地铁车站工程中的应用尚不多见,有必要对预制内隔墙应用于地铁车站工程中的方案及关键技术进行研究。[方法] 针对地铁车站工程的应用场景,提出了成套预制内隔墙结构应用体系,解决了预制内隔墙的配筋设计和拼接方案,确定了预制内隔墙的最优构造形式和结构安全厚度,研究了预制内隔墙的抗裂措施,并形成了全套关键技术。[结果及结论] 在保证施工质量的前提下,预制条板的拼缝抗拉强度可以达到或超过其自身的抗拉强度;预制条板拼缝抗拉强度与拼缝砂浆的抗压强度没有直接关系。拼接错缝距离为 900 mm 的拼接条板试件平面外抗弯承载力较弱;拼接错缝距离为 600 mm 的拼接条板试件平面外抗弯承载能力较强。地铁车站的预制内隔墙材料建议采用陶粒混凝土空心隔墙条板。所提预制内隔墙成套关键技术已应用于徐州地铁 3 号线二期工程。

关键词 地铁; 车站; 预制内隔墙

中图分类号 U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.05.013

Key Technologies for the Application of Prefabricated Interior Partition Walls in Metro Station Projects

LI Tao¹, FEI Jinxin¹, XU Xiaotao², YANG Zheng¹

(1. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China; 2. Xuzhou Metro Group Co., Ltd., 221018, Xuzhou, China)

Abstract [Objective] The application of prefabricated interior partition (hereinafter abbreviated as PIP) walls in metro station projects is still relatively rare. Therefore, it is necessary to study the schemes and key technologies for this application.

[Method] In view of the application scenarios of metro station projects, a complete set of application systems for PIP wall structures is proposed. The reinforcement design and splicing schemes of PIP walls are solved, the optimal structural form and structurally safe thickness, as well as the crack-resistance measures of PIP walls are determined and studied, and a full set of key technologies is formed. [Result & Conclusion] Under the premise of ensuring construction quality, the tensile

strength of the prefabricated panel joints can reach or exceed the panel inherent tensile strength. There is no direct relationship between the tensile strength of the prefabricated panel joints and the compressive strength of the joint mortar. The out-of-plane flexural bearing capacity of the spliced panel specimens with a staggered joint distance of 900 mm is relatively weak, while that of the spliced panel specimens with a staggered joint distance of 600 mm is relatively strong. It is recommended that the material of PIP walls in metro stations adopt ceramsite concrete hollow partition wall panels. The proposed complete set of key technologies for PIP walls has been applied to the second-phase project of Xuzhou Metro Line 3.

Key words metro; station; prefabricated interior partition wall

0 引言

我国地铁车站的内隔墙材料主要采用加气混凝土砌块,然而该砌块材料具有砌筑效率低、耗费大量人工、现场湿作业量大和砌块防水抗渗性差等缺点。目前,我国各级政府正在大力推广绿色环保理念,预制内隔墙是一种符合建筑工业化要求的绿色环保预制调板墙材,随着建筑工业化和绿色建筑的发展进程,预制内隔墙将逐步取代砖砌内隔墙和砌块内隔墙,成为建筑内隔墙的主要墙材之一。

已有文献对预制内隔墙在民用建筑中的应用进行了研究^[1-3],但在地铁车站工程中的应用尚不多见。鉴于此,本文针对地铁车站工程应用场景,提出一种成套预制内隔墙结构应用体系,以期对预制内隔墙在地铁车站工程中的全面推广与应用有一定的指导作用。

1 预制内隔墙应用于地铁车站需解决的问题

预制隔墙应用于地铁车站需解决的问题有:

* 中铁第四勘察设计院集团有限公司课题(0675-200J0C010251)

1) 超高预制内隔墙结构安全问题。城市轨道交通车站的站台层和站厅层高度普遍较大,一般可达 5 m 左右,因此预制内隔墙均为超高条板隔墙。超高预制内隔墙墙体高厚比大,容易发生平面外失稳破坏。在正常使用工况中,预制内隔墙主要承受平面内的竖向静荷载,而平面外失稳的安全隐患难以检查,一旦遭受地震、冲击振动等偶然水平动荷载,则可能导致墙体突然失稳破坏,为车站内设备和人员安全带来极大的隐患。因此,应深入、系统地研究地铁车站中超高预制内隔墙设计及施工措施的科学合理性。

2) 预制内隔墙开裂问题。预制内隔墙的拼缝容易产生开裂问题,城市轨道交通建筑空间跨度大,同时又是人员密集场所,所使用的预制内隔墙较长,在美观、防火、隔音等方面需有更高的要求,因此有必要对预制内隔墙的抗裂性能进行分析。

3) 预制内隔墙构造设计问题。基于预制内隔墙结构安全性及开裂性能的研究结果,提出合理的构造设计,以保证预制内隔墙的结构安全和良好的抗开裂性能。

2 总体方案

2.1 工程背景

以徐州地铁 3 号线二期蟠桃站为例,将其作为预制内隔墙应用试验点,在地铁车站地下一层设备区采用预制内隔墙材料代替传统的加气混凝土砌块。车站设备区隔墙布置 BIM(建筑信息模型)示意图如图 1 所示。

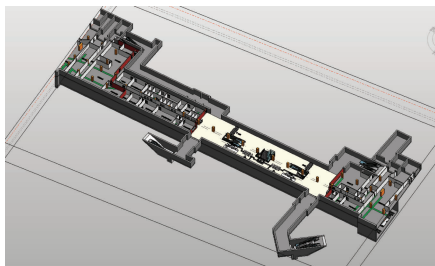


图 1 车站设备区隔墙布置 BIM 示意图

Fig. 1 BIM schematic diagram of partition wall layout in station equipment area

2.2 预制内隔墙技术标准

预制内隔墙应用于地铁工程时,所需满足的技术标准应不低于现有砌体墙所要求的技术标准,主要分为强度、防火性能和密闭隔音等要求。

1) 强度要求。满足隔墙承受自重荷载、地震、

风压荷载作用条件下的承载力安全。

2) 防火性能要求。墙体材料耐火等级分为 3 h 防火墙和 2 h 防火墙。其中:3 h 防火墙用于两个防火分区之间的墙体;2 h 防火墙用于车控室、车控室机房、变电所、照明配电室、通信及信号机房、气瓶间、消防泵房、通风机房、环控电控室、站台门控制室、UPS(不间断电源系统)电源室等,发生火灾时仍需运行的房间。

3) 密闭隔音要求。应尽量减少墙体开裂导致的防水、防火、隔音功能减弱或失效。

2.3 车站预制内隔墙结构体系

本文所提适用于地铁车站的成套预制内隔墙结构应用体系方案,是基于大量理论分析,同时结合试验对比和数值模拟研究得到的。该方案解决了预制内隔墙的配筋设计和拼接方案问题,确定了预制内隔墙的最优构造形式和结构安全厚度,明确了预制内隔墙的抗裂措施。所提方案已形成全套关键技术,并成功应用于徐州地铁 3 号线二期工程。

蟠桃站内隔墙采用预制条板,水平拼缝按照 600 mm 一块进行拼接,拼缝以燕尾槽形式连接,采用错缝拼接上下两块预制条板,条板隔墙仅在端头拐角处设构造柱。预制条板拼接内隔墙照片如图 2 所示。



图 2 预制条板拼接内隔墙照片

Fig. 2 Picture of prefabricated spliced panel interior partition wall

蟠桃站设备区预制内隔墙墙体施工安装工序为:①基础清理;②按照排版图弹出墙板定位线;③现场拌合专用砂浆;④基层和板墙侧面满涂砂浆;⑤顺序安装墙板;⑥墙板下用木楔子楔紧;⑦砂浆或混凝土填实底口缝隙;⑧撤除木楔并填实孔洞;⑨墙面开关盒开孔及水电管线安装作业;⑩板缝填嵌缝剂、粘嵌缝带;⑪成墙验收;⑫移交精装。

2.4 预制内隔墙吊运及安装

考虑到钢丝绳吊装容易损坏板墙表面,通常采

用专用夹具或吊带吊装预制内隔墙板材。板材宜侧立搬运,水平码放,堆放墙板部位处的场地要求平整且坚实。

采用竖板安装方式安装内隔墙板材。预制内隔墙条板运输至安装部位后,采用机械(电葫芦等)设备配合人工立板。采用吊带将板材竖向起吊至安装部位,工人将板扶正并于板顶及底部均匀涂抹黏结砂浆后,使用专用撬棍使板卡入角钢内槽。

3 关键技术分析

3.1 预制内隔墙最优构造形式

地铁工程中的预制内隔墙除了承受自重外,可能还需承受两种水平荷载作用:地震作用和风压作用。在这两种荷载作用下,有可能导致条板隔墙在平面外遭到破坏或条板与主体结构的连接处遭到破坏。为保证预制内隔墙在上述荷载作用下的安全性,应对预制内隔墙进行构造设计,通过模型试验,对比分析不同构造形式下的预制内隔墙力学性能,从安全可靠、施工便捷性、建设成本等方面综合考虑,最终确定地铁车站预制内隔墙的最优构造形式。

3.1.1 预制条板拼缝抗拉强度试验

当预制内隔墙内的拉应力超过预制内隔墙的抗拉强度时,隔墙就会开裂。因此,提高预制内隔墙的抗拉强度是防止隔墙开裂的有效措施之一。为寻找最优的条板拼缝构造方式,制作了预制条板拼缝抗拉强度试验装置,拼缝抗拉强度试验装置示意图及实物图如图3所示。通过在预制条板拼缝试件下端悬挂砝码配重,利用砝码质量施加竖向荷载。试件由两块宽度为600 mm、厚度为150 mm的预制陶粒混凝土条板拼接而成,条板高度分别为200 mm和300 mm。拼缝砂浆材料分为成品砂浆和普通水泥砂浆。通过该试验结果可知:在保证施工质量的前提下,预制条板的拼缝抗拉强度可以达到或超过其自身的抗拉强度;预制条板拼缝抗拉强度与拼缝砂浆的抗压强度没有直接关系。

3.1.2 预制条板拼接强度试验

在平面外荷载作用下,拼接条板隔墙会产生弯矩和剪力。当条板隔墙高度较小时,可以采用单块条板拼装。单块通长的条板内沿长度方向配有通长的钢丝,使得其在平面外荷载作用下的抗弯性能良好。当隔墙高度较大时,为了便于运输和施工,

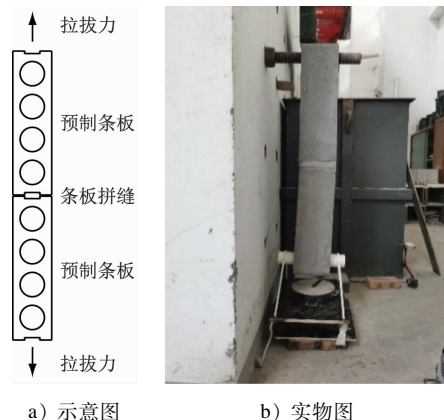


图3 拼缝抗拉强度试验装置示意图及实物图

Fig. 3 Schematic diagram and picture of the joint tensile strength test device

需采用竖向拼接条板。由于水平拼缝的存在,拼接条板在拼缝处沿条板长度方向的钢筋被截断,条板所受弯矩只能通过侧边的拼缝传至相邻条板,进而传递至主体结构。由此可知,水平拼缝的存在大大削弱了条板隔墙承担平面外荷载的能力,需由相邻条板通过拼缝形成整体墙片以共同承担平面外荷载。

为了研究拼接条板对平面外荷载的承载能力及破坏模式,进行拼接条板平面外抗弯试验。通过试验模拟预制内隔墙拼缝的实际受力情况,明确预制内隔墙拼缝的破坏模式、极限承载力及变形特性,以期为拼接预制内隔墙的推广应用提供依据。

平面外抗弯及破坏试验照片如图4所示。分析试验结果可知:拼接错缝距离为900 mm的拼接条板试件平面外抗弯承载力较弱;拼接错缝距离为600 mm的拼接条板试件平面外抗弯承载能力较强。

3.1.3 预制内隔墙平面外静载和冲击试验

为验证预制内隔墙在平面外荷载作用下的强度和稳定性,设计了预制内隔墙足尺模型试件,分析条板隔墙的破坏模式和受力薄弱部位。平面外加载分为平面外均布静力加载和平面外集中冲击加载,其中:平面外均布静力加载用于模拟地震作用和风压作用;平面外冲击加载用于模拟隔墙承受的局部冲击作用。采用气囊施加隔墙平面外的均布荷载,采用砂袋冲击施加隔墙平面外的冲击荷载。预制内隔墙平面外静载及冲击荷载试验装置示意图如图5所示。荷载试验模型及破坏结果实物图如图6所示。分析试验结果可知:地震和冲击荷



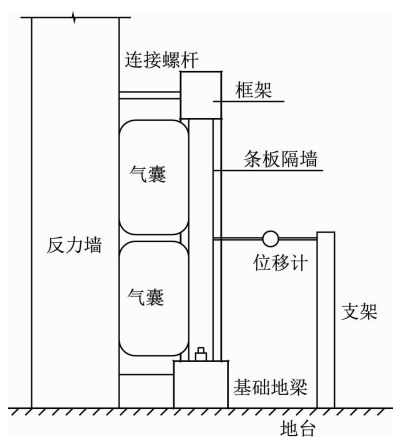
a) 平面外抗弯试验



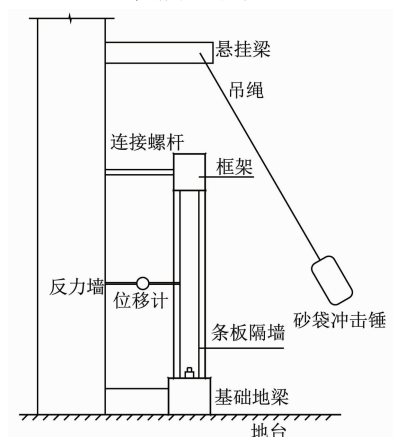
b) 平面外抗弯破坏试验

图4 平面外抗弯及破坏试验照片

Fig.4 Picture of out-of-plane bending and failure test



a) 静载试验装置



b) 冲击荷载试验装置

图5 静载及冲击荷载试验装置示意图

Fig.5 Schematic diagram of static load and impact load test device



a) 荷载试验模型实物图



b) 破坏结果实物图

图6 荷载试验模型及破坏结果实物图

Fig.6 Load test model and picture of its failure result

载作用下,预制内隔墙的平面外结构安全性良好。

3.2 预制内隔墙开洞情况

不同于民用建筑内隔墙,地铁车站内隔墙的设备区有大量管线需穿越设备房,导致内隔墙需开设大量洞口,开洞后对预制内隔墙的结构强度和刚度均有削弱作用。针对预制内隔墙开洞情况,将开洞直径分为小于等于1.2 m和大于1.2 m两种工况进行研究。

对于预制内隔墙开洞小于等于1.2 m的洞口,根据洞口1.2 m的尺寸上限设计并制作足尺条板模型。分析试验结果可知,在承受同样荷载的情况下,开洞预制隔墙与未开洞预制条板相同部位的位移没有明显差别,且洞口处也并未显示出薄弱情况。由此可见,对于开洞小于等于1.2 m的洞口,预制内隔墙可以不需要采取任何额外的加强措施。

对于预制内隔墙开洞大于1.2 m的大洞口,地铁工程中主要为设备区房间门洞,对于该类型门洞,可考虑在门洞顶增设预制过梁板,并在预制过梁板两侧预留钢筋及注浆孔。在两侧预制条板的空心孔洞中插入钢筋,钢筋伸至预制过梁板预留的钢筋及注浆孔后进行套筒灌浆。该方案可以达到预制过梁板与两侧预制条板刚性连接的目的。

3.3 预制内隔墙配筋设计

预制内隔墙的配筋设计除了需考虑抗震和抗风等使用工况的荷载影响外,还需考虑条板运输和安装工况来进行包络配筋设计。

3.3.1 运输及安装工况计算分析

预制内隔墙一般采用端部两点吊装形式,吊点布置在预制条板两端。在预制条板自重作用下,条板的计算简图为均布荷载作用下的简支梁。

本文中,单块条板最大长度不大于3.2 m,简支梁跨度按照3.2 m计算。预制条板厚度为150 mm,抽芯率为30%,条板材料密度为 $1\,600\text{ kg/m}^3$,条板标准宽度为600 mm。单块条板的均布线荷载为

1.008 kN。吊装时,条板跨中最大弯矩为 2.52 kNm,采用中强度直径为 4 mm 的预应力丝,其抗拉强度设计值为 510 MPa,跨中所需配筋面积为 42.2 mm²。

3.3.2 抗震及抗风工况计算分析

预制条板安装后,其上下端与主体结构相连,在水平地震作用和风荷载作用下相当于竖向的简支梁。本文中,预制内隔墙净高不大于 5.0 m,因此,简支梁跨度按照 5.0 m 计算。

本文中,邻轨行区风压标准值为 0.8 kPa。风荷载作用下,预制内隔墙单块条板跨中最大弯矩为 2.25 kNm。考虑到预制内隔墙的竖向为 2 块条板错缝拼接而成,同一列条板在竖向并不连续,单列条板没有水平面外抗弯承载能力,相邻两块条板的风压作用由其中一块条板承担,故将条板跨中弯矩设为原来的 2 倍,即 4.50 kNm。采用中强度直径为 5 mm 的预应力丝,其抗拉强度设计值为 510 MPa,跨中所需配筋面积为 75.4 mm²。

根据吊装计算、抗震计算、抗风计算结果,取各工况最大计算配筋面积为条板的实际配筋面积。适用于本项目的条板配筋为一般条板,采用单侧 4 根直径为 4 mm 的高强钢丝,邻轨行区条板采用单侧 4 根直径为 5 mm 的高强钢丝,钢丝抗拉强度设计值不低于 510 MPa。预制内隔墙配筋平面示意图如图 7 所示。

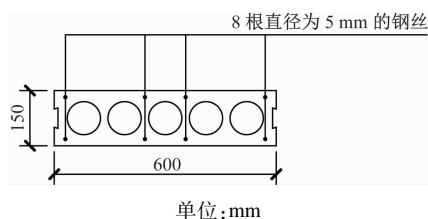


图 7 预制内隔墙配筋平面示意图

Fig. 7 Schematic plan of reinforcement for prefabricated interior partition wall

3.4 预制内隔墙抗裂性能

预制内隔墙的抗裂性能较差,墙体容易在条板拼缝处产生裂缝。地铁车站中的预制内隔墙不仅超高,很多情况下还超长,更容易出现墙体开裂问题。因此,需对预制条板隔墙的抗裂性能进行研究。

预制内隔墙的裂缝可分为受力裂缝和变形裂缝。受力裂缝是由条板隔墙受到外力所致的,如建筑不均匀沉降使条板隔墙受力,从而导致条板隔墙开裂。变形裂缝是由于条板隔墙在环境温度、湿度

变化情况下产生收缩或膨胀变形导致的。条板隔墙的这种变形与周边主体结构的变形不一致,进而使条板隔墙受到拉应力,当拉应力超过条板隔墙抗拉强度时,条板隔墙即产生开裂。研究资料表明,条板隔墙的变形裂缝占隔墙裂缝数量的 80% 以上,结构变形不一致是条板隔墙开裂的主要原因。因此,下文重点研究条板隔墙变形裂缝的开裂机理与隔墙裂缝控制问题。

目前,常见的隔墙条板种类有陶粒混凝土空心隔墙条板和 ALC(蒸压轻质加气混凝土)隔墙条板。陶粒混凝土空心隔墙条板以陶粒混凝土为主要原料,采用地模挤压成型工艺生产,隔墙条板内部抽孔以减轻自重,陶粒混凝土材料密度较大,防水性能好,地模挤压工艺生产的隔墙条板长度灵活,是地铁站隔墙的首选条板。ALC 隔墙条板采用加气混凝土制作,材料密度较小,条板自重较轻,由于 ALC 是多孔材料,防水性能较差,吸水率较高,在地铁站中的非潮湿、非防水场合也可使用。

在环境温度、湿度变化情况下,通过试验研究预制条板和主体结构(混凝土)的长度变化规律,以及不同拼缝构造的隔墙条板拼缝抗拉强度。试验对象为陶粒混凝土空心隔墙条板和 ALC 隔墙条板,同时以普通混凝土材料作为对比材料,同时进行对比试验。3 种隔墙条板在自然条件下、吸水条件下和脱水条件下的试件长度变化量对比如图 8 所示。

由图 8 可知:相较于 ALC 隔墙条板,陶粒混凝土空心隔墙条板长度变化量受温度变化影响较小,但其受湿度影响较大。这是由于混凝土体积变化量受环境温度、湿度影响均较小,但其会出现长期干燥收缩现象。

综上所述,地铁站的预制内隔墙材料建议采用陶粒混凝土空心隔墙条板。

4 结语

相比于传统加气混凝土砌块砌筑,预制内隔墙有着不可替代的优势,其在地铁站工程领域中具有广阔的发展前景。本文提出一套适用于地铁站的预制内隔墙结构应用体系方案,通过模型试验对比,研究了不同构造形式下预制内隔墙的力学性能,以及预制条板拼缝的抗拉强度、拼接强度。本文开展了预制内隔墙平面外静载和冲击荷载试验,从安全可靠、施工便捷性、建设成本等方面综合考虑,确定了地铁站预制内隔墙的最优构造形

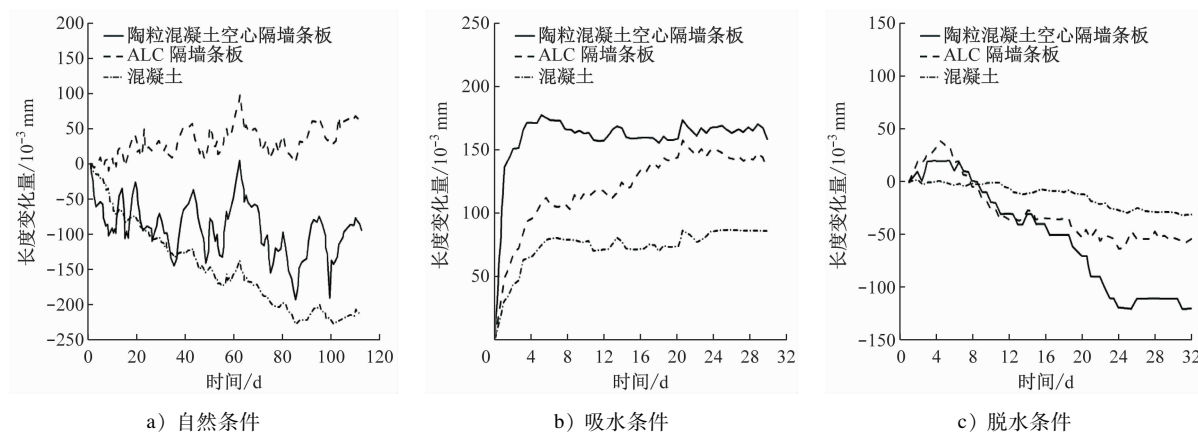


图8 3种隔墙条板在不同条件下的试件长度变化量对比

Fig. 8 Comparison of length changes for three types of partition wall panel specimens under different conditions

式。此外,本文提出了地铁车站预制内隔墙开洞方案;综合考虑吊装运输、抗震和抗风荷载影响,提出了包络性的预制条板配筋方案。最后,在不同环境温度、湿度条件下,研究了3种隔墙条板在自然条件下、吸水条件下和脱水条件下的试件长度变化量,提出地铁车站的预制内隔墙最优材料——陶粒混凝土空心隔墙条板。

目前,预制内隔墙在我国地铁工程中的应用尚处于起步阶段,其理论研究和案例参考尚不丰富,建议进一步加强预制内隔墙的试验研究和项目宣传,出台相关法规和技术规程,以推动其在地铁工程中进一步快速、持续、健康地发展。

参考文献

- [1] 刘传朋, 方文珊, 黄一昕. 《市域(郊)铁路设计规范》主要技术标准研究[J]. 铁路工程技术与经济, 2021, 36(5): 9.
LIU Chuanpeng, FANG Wenshan, HUANG Yixin. Research on

key technical standards of code for design of suburban railway[J]. Railway Engineering Technology and Economy, 2021, 36(5): 9.

- [2] 任天晔. 预制装配式结构在大型市政地下工程中的施工应用[J]. 城市道桥与防洪, 2018(1): 177.
REN Tianye. Application of prefabricated structure in construction of large-sized municipal underground project[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2018(1): 177.
[3] 李大鹏. 广东民用建筑隔墙板的比较研究[J]. 广东建材, 2019, 35(12): 29.
LI Dapeng. Comparative study on partition board of civil buildings in Guangdong[J]. Guangdong Building Materials, 2019, 35(12): 29.

· 收稿日期:2023-03-04 修回日期:2023-07-30 出版日期:2025-05-10
Received:2023-03-04 Revised:2023-07-30 Published:2025-05-10
· 通信作者:李涛,高级工程师,005221@crfsdi.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第74页)

- CHEN Zhao, SUN Jingnan, ZHOU Zilong, et al. Research on performance evaluation of safety management in road engineering construction site based on DEA method[J]. Journal of Changsha University of Science & Technology (Natural Science), 2022, 19(1): 105.
[10] 刘梅, 许林宇, 廖彬超, 等. 基于数据驱动的施工安全隐患特征网络分析与预警策略[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2023, 63(2): 191.
LIU Mei, XU Linyu, LIAO Binchao, et al. Data-driven network analysis of construction hazard characteristics and warning strategy

[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2023, 63(2): 191.

· 收稿日期:2024-04-24 修回日期:2024-12-17 出版日期:2025-05-10
Received:2024-04-24 Revised:2024-12-17 Published:2025-05-10
· 第一作者:尹大伟,工程师,premieretx@yahoo.com
通信作者:胡文发,副教授,wenfahu@sina.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license