

新型装配式临时作业棚结构开发与有限元分析

杨志坚,刘一迪,李帼昌,苏志华

(沈阳建筑大学土木工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 改进施工现场不可重复利用、不标准化的临时作业棚. 开发一种可工厂预制,现场拼装、安装及拆卸简易、可重复使用且整体安全的新型装配式临时作业棚. 方法 针对沈阳地区的雪荷载和风荷载对新型装配式临时作业棚结构各构件截面及连接节点进行设计,并通过有限元分析软件 ABAQUS 对新型装配式临时作业棚整体结构施加雪荷载和两个方向的风荷载进行分析. 结果 新型装配式临时作业棚在雪荷载作用下,最大位移为 13.85 mm,出现在上层檩条;最大应力为 108 MPa,出现在横向框架. 在两个方向的风荷载作用下,最大应力分别出现在斜撑与柱底处,分别为 153 MPa 与 121.6 MPa;最大位移均出现在上部防护结构,分别为 58.47 mm 与 25.21 mm. 结论 设计的新型装配式临时作业棚在正常使用中满足《钢结构设计标准》(GB50017—2017)与《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB51022—2015)中对钢结构强度与刚度设计要求,具有良好的受力性能,可以应用于实际工程中.

关键词 装配式;临时作业棚;静力性能;有限元分析

中图分类号 TU733

文献标志码 A

Structural Development and Finite Element Analysis of a New Prefabricated Temporary Work Shed

YANG Zhijian, LIU Yidi, LI Guochang, SU Zhihua

(School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: A new prefabricated temporary work shed was developed by improving its shortages in construction site, such as non-reusability and non-standardization, which can be prefabricated in factory and assembled in site, installed and disassembled simply, reused and safely. Considering the snow and wind load in Shenyang, the section and joint of the new prefabricated temporary work shed were designed, and the snow and wind load are applied to the structure of the new prefabricated temporary work shed by the finite element analysis software ABAQUS. The results showed that under snow load, the maximum displacement of new prefabricated temporary work shed is 13.85 mm, which appears on upper purlin; the maximum stress appears on the transverse frame, which is 108 MPa. Under wind load in two directions, the maximum displacements both appear on upper

收稿日期:2018-07-28

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0702102)

作者简介:杨志坚(1984—),男,副教授,博士,主要从事钢与混凝土组合结构方面研究.

safeguard structure, the displacements are 58.47 mm and 25.21 mm, respectively; the maximum stress appear on diagonal brace and columns base, which are 153 MPa and 121.6 MPa, respectively. The New prefabricated temporary work shed not only meets the requirements of strength and stiffness design in Standard for design of steel structure(GB50017—2017) and Technical code for steel structure of light-weight building with gabled frames(GB51022—2015) in normal use, with good mechanical performance. The New prefabricated temporary work shed can be applied in practical projects.

Key words: prefabricated; temporary work shed; static performance; finite element analysis

在建筑施工现场,绿色装配式建筑体系的应用越来越广泛^[1-5],临建设施逐渐向装配式、绿色施工及标准化方向发展^[6-8].施工现场的临建设施是施工企业为进行建筑工程施工必须搭建的用于生活和生产的临时建筑物、构筑物及其他临时设施.临建设施用以支持施工作业,在确定尺寸和形状后,将其适当地定位在施工现场内^[9-10].其中,临时作业棚是施工现场临建设施的重要组成部分.目前,部分施工现场为缩短临时作业棚施工周期,在临时作业棚施工过程中多以速度快为原则,工业化生产及施工安装水平低.此类做法多采用一次性耗材,通过在现场焊接完成拼装,不仅消耗资源,而且在后续拆改过程中会产生大量建筑垃圾,产生较高的建筑垃圾处理费用,间接增加工程成本^[11],同时简易的、不规范的临时作业棚极易引发施工现场的不安全^[12].为满足绿色发展和可持续发展的宗旨,改进施工现场临时作业棚的不足,针对施工现场临时作业棚无法工业化批量生产,现场焊接作业多,无法循环使用等问题,笔者开发了一种新型装配式临时作业棚结构形式,并对其进行雪荷载和风荷载作用下的静力性能分析,以满足建筑工业化临建设施对临时作业棚的需求.

1 新型装配式临时作业棚开发

1.1 新型装配式临时作业棚结构形式

新型装配式临时作业棚结构形式如图1所示,并将临时作业棚的各个方向定义 x 轴, y 轴以及 z 轴.新型装配式临时作业棚参数

如表1所示.



图1 新型装配式临时作业棚结构形式
Fig.1 Structural form of new prefabricated temporary work shed

表1 临时作业棚参数
Table 1 Dimension properties of temporary work shed

构件	高/mm	长/mm	间距/mm	数量/个
立柱	4 000	—	3 000	3
横梁	6 000	—	3 000	3
下层檩条	6 000	—	880	7
横向框架	400	5 700	3 000	3
纵向框架	600	6 000	6 000	2
上层檩条	6 000	—	800/850	7

新型装配式临时作业棚满足建筑工业化、标准化的要求,采用单根立柱,双层防护的设计.临时作业棚的构件和连接部件全部进行标准化设计,在工厂预先完成制作与焊接,然后按照施工现场的需求灵活布置,拼装时采用螺栓连接,达到无现场焊接的建筑工业化要求.新型临时作业棚的拼装及拆卸过程简易,并且拆卸后不影响临时作业棚结构中主要构件的重复利用,充分节约资源.此种临时作业棚的下部结构采用单根立柱的形式,有利于扩大其使用空间、方便材料运输;

上部结构采用双层防护,其中下层铺设钢板用于防雨防雪,上层铺设脚手板用于防止施工现场坠落物体,可以有效地保护施工现场处于临时作业棚内的工人、材料和机器安全可靠。为满足建筑工业化要求,在工厂先预制所有构件及连接板,并对构件与连接板进行焊接,现场拼装时各连接节点均使用螺栓连接。新型装配式临时作业棚结构的具体连接方式:立柱通过立柱顶端预先焊接连接板及螺栓与横梁连接;斜撑与立柱和横梁通过斜撑端部预先焊接的连接板及螺栓进行连接,下层檩条沿横向方向通过螺栓连接于横梁上;横向框架搭设在下层檩条上,且横向框架侧面预先焊接的连接板与纵向框架侧面预先焊接的连接板通过螺栓连接;纵向框架预先在底部焊接连接板并通过螺栓使其与横梁连接;下层檩条上纵向铺设彩钢板;上层檩条预先焊接连接板,沿横向方向铺设并通过螺栓与横向框架进行连接;最后于上层檩条上纵向铺设脚手板。

1.2 构件与节点的设计

临时作业棚在使用过程中主要承受雪荷载及风荷载,临时作业棚承受的雪荷载及风荷载可采用《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)计算。以沈阳地区为例,通过沈阳地区的基本雪压和基本风压计算得出的雪荷载标准值和风荷载标准值对结构各构件的截面与结构连接节点进行设计;临时作业棚属于对雪荷载及风荷载比较敏感的结构,因此计算时基本雪压及基本风压的取值应适当提高。设计时采用100年重现期的雪压及风压。

屋面水平投影面上的雪荷载标准值:

$$s_k = \mu_r s_0 \tag{1}$$

式中: s_k 为雪荷载标准值; μ_r 为屋面积雪分布系数; s_0 为基本雪压。

临时作业棚中主要由上部围护结构承受风荷载,围护结构的风荷载标准值:

$$w_k = \beta_{gz} \mu_{sl} \mu_z w_0 \tag{2}$$

式中: w_k 为风荷载标准值; β_{gz} 为高度 z 处的阵风系数; μ_{sl} 为风荷载局部体型系数; w_0 为基本风压。

临时作业棚属于敞开式房屋,承受的风荷载来自 x 轴方向或 z 轴方向,此时临时作业棚风荷载局部体型系数取值如图2所示。

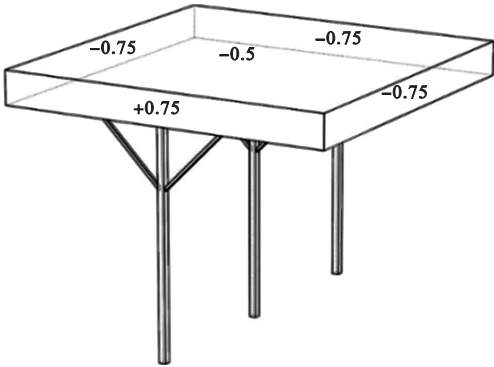


图2 风荷载作用体形系数

Fig. 2 The body shape coefficient under wind load

对新型装配式临时作业棚结构进行雪荷载及风荷载作用下的结构内力计算,结构计算过程:通过上层檩条承受的雪荷载和脚手板自重以及上层檩条的挠度限值设计上层檩条的截面尺寸;上层檩条搭设在横向框架上,通过上层檩条传递的荷载以及上层檩条的自重设计横向框架的截面尺寸,纵向框架采用横向框架相同的截面尺寸;下层檩条传递上部传递下来的荷载并承受彩钢板的自重,根据彩钢板的自重及下层檩条的挠度限值设计下层檩条的截面尺寸;通过横梁承受下层檩条传递的上部结构荷载、纵向框架的自重及下层檩条的自重,设计横梁的截面尺寸;根据斜撑承受的来自上部结构的轴力设计斜撑的截面尺寸;通过承受的来自上部结构的轴力及承受的风荷载设计立柱的截面尺寸^[11]。通过计算得到各结构构件截面尺寸如表2所示。

临时作业棚的节点是根据现有的装配式节点形式进行改进^[13-19],并根据结构计算设计其尺寸,节点形式及尺寸如图3所示。

节点的连接螺栓均采用4.8级普通螺栓,采用普通螺栓连接时,连接板预留螺栓孔

靠近梁端的区域其纵向位移较大,故与其梁端区域相连的上部防护结构纵向位移也较大,因此在荷载导致的挠度与横梁变形的共同作用下,两侧梁端上部的上层檩条即檩条1及檩条7的竖向位移最大,值为13.85 mm,达到了整个结构最大竖向位移.由《钢结构设计标准》(GB50017—2017)中对钢结构位移的限制要求可知,受弯构件挠度限值为 $L/200$, L 为受弯构件长度,构件满足挠度限值要求.

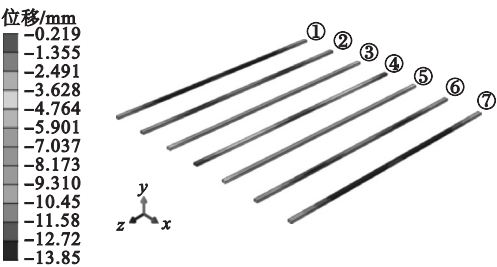


图4 上层檩条y轴方向位移云图

Fig. 4 The y direction displacement contour of upper purlins

图5为新型装配式临时作业棚整体钢结构在雪荷载作用下的应力云图. 新型装配式临时作业棚在承受雪荷载时,纵向荷载由脚手板向下传递,平均传递给7根上层檩条,通过上层檩条分配给3个横向框架,由于中间横向框架的荷载由上层檩条的跨中传递,中间的横向框架分担的纵向荷载为两侧横向框架的2倍,因此结构的较大应力均出现在中间横向框架上.

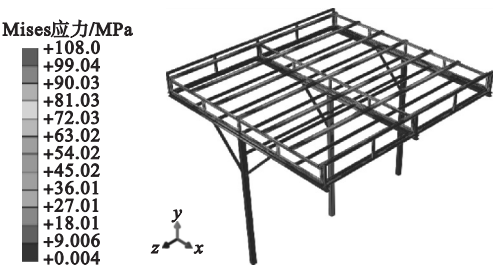


图5 整体钢结构应力云图

Fig. 5 Stress contour of steel structure

图6为中间横向框架的Mises应力云图,图7为中间横向框架的竖向位移云图. 在

图6的应力云图中标出应力较大的区域,编号为①~⑤;同时对腹杆进行编号. 中间框架承担来自上层檩条的荷载作用,按照结构力学求解器力学模型计算结果可知腹杆2以及腹杆4分担的纵向荷载较大,在腹杆框架连接节点处的应力相对较大,因此应力较大区域出现在腹杆2以及腹杆4与框架相连接的节点处,即区域①、③、④、⑤应力较大. 从图7可以看出,腹杆1与腹杆5位置沿y轴方向的竖向位移较大,可达到12.6 mm;腹杆2与腹杆4的竖向位移达到6~7 mm,而腹杆1位置的竖向位移小于1 mm,可以看出横向框架出现弯曲变形,而弯矩最大位置为②区域. 由于②区域附近的变形较小,从而承受了较大的弯矩,所以②区域应力最大,值为108.0 MPa. 可以得出结论:新型装配式临时作业棚整体结构中最大应力未达到屈服应力,且未达到《钢结构设计标准》(GB50017—2017)中钢材设计用强度指标的强度设计值215 MPa,因此临时作业棚整体钢结构在雪荷载的作用下满足强度要求.

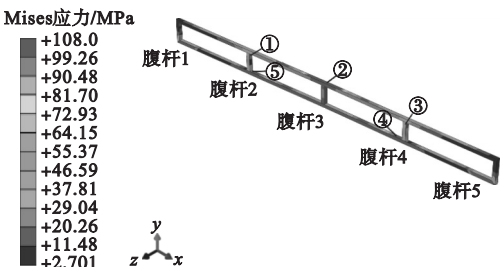


图6 中间横向框架应力云图

Fig. 6 Stress contour of middle transverse frame

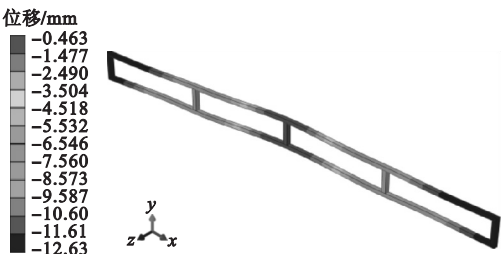


图7 中间横向框架y轴方向位移云图

Fig. 7 The y direction displacement contour of middle transverse frame

2.4 风荷载作用下作业棚受力分析

通过分别在 x 轴方向及 z 轴方向对有限元模型施加水平力来模拟新型装配式临时作业棚承受 x 轴方向及 z 轴方向水平风荷载,在模型的上部防护结构施加通过图 2 中给出的体型系数计算得到的风荷载,然后分别对 x 轴方向及 z 轴方向风荷载作用下临时作业棚有限元模型的应力分布云图以及位移云图进行分析.

在 x 轴方向的风荷载作用下,临时作业棚整体结构应力云图如图 8 所示.此时主要由临时作业棚的立柱承担水平风荷载,每根立柱独立承担其对应区域的风荷载作用.临时作业棚在 x 轴方向的风荷载作用下,其中间一榀框架承担的风荷载作用最大,故取中间一榀框架的应力分布云图进行分析,中间一榀框架应力云图如图 9 所示.在水平风荷载作用下,上部防护结构承受水平风荷载作用力的直接作用,一榀框架中立柱处于一端固定一端自由的受弯状态,其固定端承受的弯矩以及弯曲变形最大,故整体钢结构的应力较大值出现在中间一榀框架立柱的底部,其应力最大值出现在柱脚加劲肋与立柱连接处局部区域的应力集中区域,最大应力值为 153.0 MPa,《钢结构设计标准》(GB50017—2017)中规定角焊缝的强度设计值为 160 MPa、钢材设计用强度指标的强度设计值 215 MPa,因此临时作业棚整体钢结构在 x 轴方向水平风荷载作用下满足强度规范中对于强度要求.

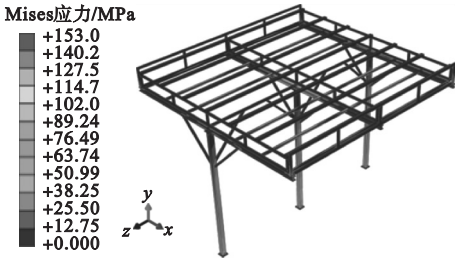


图 8 x 轴水平风荷载整体钢结构应力云图
Fig. 8 Stress contour of steel structure with x -axis horizontal wind load

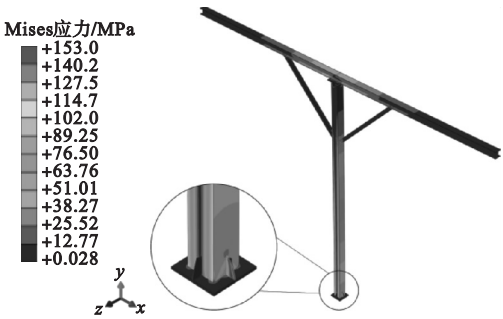


图 9 中间一榀框架应力云图

Fig. 9 Stress contour of middle frame

图 10 为新型装配式临时作业棚的有限元模型在 x 轴方向水平风荷载作用下的位移云图.由于临时作业棚在 x 轴方向水平风荷载作用下,上部防护结构在 x 轴方向的位移为整体钢结构在 x 轴方向位移的叠加,故其在轴方向的位移最大,值为 58.47 mm,由《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB51022—2015)可知,在风荷载作用下,此类结构柱顶位移限值为 $H/60$, H 为柱的高度,通过计算得到此临时作业棚的柱顶位移限值为 66.67 mm.因此整体钢结构的最大位移满足位移限值要求.



图 10 整体钢结构 x 方向位移云图

Fig. 10 The x direction displacement contour of steel structure

图 11 为在 z 轴方向的风荷载作用下,临时作业棚整体结构应力云图.此时主要由临时作业棚的 3 根立柱共同分担水平风荷载,每根立柱的柱脚都承受水平风荷载作用的 $1/3$;同时由 $y-o-z$ 平面内斜撑与下层檩条传递水平风荷载作用,且与立柱连接的 $y-o-z$ 平面内斜撑可提高整体钢结构整体

稳定性,故应力较大区域出现在立柱的柱脚区域与立柱和 $y-o-z$ 平面内斜撑连接区域。

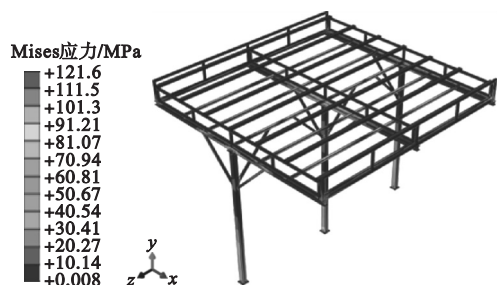


图11 z 轴水平风荷载整体钢结构应力云图

Fig. 11 Stress contour of steel structure with z -axis horizontal wind load

图12为临时作业棚在 z 轴方向水平风荷载作用下其下部框架应力云图。从图中可以看出整体钢结构的最大应力出现在 $y-o-z$ 平面内斜撑底部与立柱连接的位置,整体钢结构的应力最大值为121.6 MPa,《钢结构设计标准》(GB50017—2017)中的强度设计值215 MPa,因此临时作业棚整体钢结构在 z 轴方向水平风荷载作用下满足强度要求。

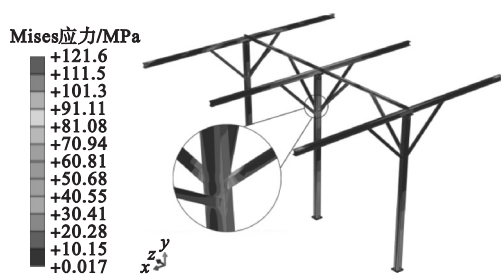


图12 下部框架应力云图

Fig. 12 Stress contour of lower frame

图13为新型装配式临时作业棚在 z 轴方向风荷载作用下整体钢结构在 z 轴方向的位移云图。由于临时作业棚的上部防护结构在 z 轴方向的位移值为下部结构在 z 轴方向位移的叠加,故其在 z 轴方向的位移最大,值为25.21 mm,因此整体钢结构的最大位移满足《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB51022—2015)中规定的位移限值要求。

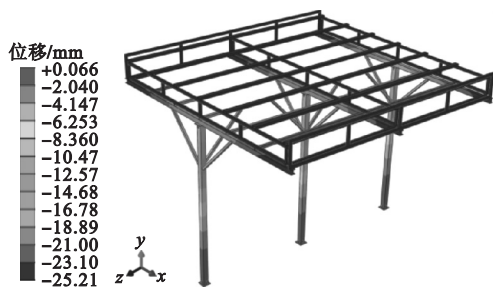


图13 整体钢结构 z 轴方向位移云图

Fig. 13 The z direction displacement contour of steel structure

3 结 论

(1)新型装配式临时作业棚采用装配式钢结构,拼装及拆卸过程简易,符合建筑工业化和标准化的要求。单根立柱的设计可扩大使用空间、方便材料运输,双层防护结构可保证安全,充分满足使用要求。

(2)新型装配式临时作业棚在雪荷载作用下,最大位移为13.85 mm,出现在上层檩条;最大应力为108 MPa,出现在横向框架。在两个方向的风荷载作用下,最大应力分别出现在斜撑与柱底处,值为153 MPa与121.6 MPa;最大位移均出现在上部防护结构,值为58.47 mm与25.21 mm。

(3)新型装配式临时作业棚在雪荷载和风荷载作用下,整体钢结构满足《钢结构设计标准》(GB50017—2017)与《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB51022—2015)中对于强度和刚度的要求,故正常使用过程中此临时作业棚结构安全可靠。

参考文献

- [1] 郝际平,孙晓岭,薛强,等.绿色装配式钢结构建筑体系研究与应用[J].工程力学,2017,34(1):1-13.
- [2] HAO Jiping, SUN Xiaoling, XUE Qiang, et al. Research and applications of prefabricated steel structure building systems[J]. Engineering mechanics, 2017, 34(1): 1-13.
- [3] HONG J K, SHEN GQ, Li Z D, et al. Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost-benefit analysis [J]. Journal of cleaner production, 2018, 172: 649-660.
- [3] 叶青.浅析临时设施建设领域中绿色施工的

- 节能减排措施[J]. 低碳世界, 2017(21): 16-17.
(YE Qing. Analysis on energy saving and emission reduction measures of green construction in temporary facilities construction[J]. Low carbon world, 2017(21): 16-17.)
- [4] 吴智, 周焯, 李晓光. 装配式临建设施标准化的探索与应用[J]. 工程技术, 2016(5): 30.
(WU Zhi, ZHOU Ye, LI Xiaoguang. Exploration and application of standardization of assembled construction facilities[J]. Engineering technology, 2016(5): 30.)
- [5] 陈志远, 卢洲洋, 俞一波. 绿色施工标准化在项目管理中的运用[J]. 施工技术, 2014, 43(增刊2): 490-493.
(CHEN Zhiyuan, LU Zhouyang, YU Yibo. Application of green construction standardization in project management[J]. Construction technology, 2014, 43(S2): 490-493.)
- [6] 贺灵童, 陈艳. 建筑工业化的现在与未来[J]. 工程质量, 2013, 31(2): 1-8.
(HE Lingtong, CHEN Yan. Present and future of Beijing industrialization[J]. Construction quality, 2013, 31(2): 1-8.)
- [7] 樊冬冬, 文江涛, 纪明野. 标准化临建设施在绿色施工中的应用[J]. 施工技术, 2014, 43(增刊2): 524-526.
(FAN Dongdong, WEN Jiangtao, JI Mingye. Application of standard temporary facilities in green construction[J]. Construction technology, 2014, 43(S2): 524-526.)
- [8] 徐永选, 刘建军, 吴波. 推行工具式临建, 倡导绿色施工[J]. 工程技术(引文版), 2015(11): 120-121.
(XU Yongxuan, LIU Jianjun, WU Bo. Implementing tool-based temporary facilities, advocating green construction[J]. Engineering technology (citation edition), 2015(11): 120-121.)
- [9] ELBELTAGI E, HEGAZY T, ELDOSOUKY A. Dynamic layout of construction temporary facilities considering safety[J]. Journal of construction engineering and management, 2004, 130(4): 534-541.
- [10] 李运闯. 施工现场可重复使用的临时设施[J]. 建筑工人, 2018, 19(1): 12-14.
(LI Yunchuang. Reusable temporary facilities at construction site[J]. Builders' monthly, 2018, 19(1): 12-14.)
- [11] 倪顺全. 标准化临建设施在绿色施工中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2015, 5(22): 9747-9747.
(NI Shunquan. Application of standard temporary facilities in green construction[J]. Urban construction theory research, 2015, 5(22): 9747-9747.)
- [12] 袁超. 浅析建筑施工临时设施安全问题和对策[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2014, 4(34): 1020-1020.
(YUAN Chao. Brief analysis on safety problems and countermeasures of temporary facilities in construction[J]. Urban construction theory research, 2014, 4(34): 1020-1020.)
- [13] VEGTE G J, CHOOS Y S, LIANG J X, et al. Static strength of T-joints reinforced with doubler or collar plates. II: numerical simulations[J]. Journal of structural engineering, 2005, 131(1): 129-138.
- [14] 陈全红, 赵建昌. 钢柱、柱脚底板、混凝土基础三者相互作用研究[J]. 钢结构, 2007, 22(10): 23-27.
(CHEN Quanhong, ZHAO Jianchang. The nonlinear finite element analysis of interaction among section steel frame column, soleplate and concrete foundation[J]. Steel construction, 2007, 22(10): 23-27.)
- [15] 施刚, 石永久, 王元清. 钢框架梁柱端板连接的非线性有限元分析[J]. 工程力学, 2008, 25(12): 79-85.
(SHI Gang, SHI Yongjiu, WANG Yuanqing. Nonlinear finite element analysis of end-plate connections in steel frames[J]. Engineering mechanics, 2008, 25(12): 79-85.)
- [16] 李黎明, 陈以一, 李宁, 等. 外套管式冷弯方钢管与H型钢梁连接节点的抗震性能[J]. 吉林大学学报, 2010, 40(1): 67-71.
(LI Liming, CHEN Yiyi, LI Ning, et al. Seismic performance of outer-shell connection of cold-formed square tubular column and H-shaped steel beam[J]. Journal of Jilin university(engineering and technology edition), 2010, 40(1): 67-71.)
- [17] 但泽义, 罗福盛, 邓玉孙. 钢柱脚与混凝土基础刚接连接设计方法探讨[J]. 钢铁技术, 2010, 34(5): 27-32.
(DAN Zeyi, LUO Fusheng, DENG Yusun. Discussion on design method of rigid connection between steel column base and concrete foundation[J]. Iron & steel technology, 2010, 34(5): 27-32.)
- [18] 郁有升, 张颜颜, 李建峰, 等. 一种新型梁柱装配式刚性节点滞回性能研究[J]. 建筑钢结构进展, 2014, 16(2): 1-5.
(YU Yousheng, ZHANG Yanyan, LI Jianfeng, et al. Study on hysteretic behavior of a new prefabricated beam-to column rigid connection. [J]. Progress in steel building structures, 2014, 16(2): 1-5.)
- [19] 汪明辉, 刘伟. 套筒式圆钢管柱-钢梁连接节点力学性能研究[J]. 钢结构, 2015, 30(1): 21-24.
(WANG Minghui, LIU Wei. Study on the mechanical properties of the sleeve joints of steel tubular column-steel beam[J]. Steel construction, 2015, 30(1): 21-24.)
- [20] 《钢结构设计手册》编辑委员会. 钢结构设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
(Editorial board of steel structure design manual. Steel structure design manual[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004.)

(责任编辑: 徐玉梅 英文审校: 唐玉兰)