

胡晨, 石开荣, 姜正荣. 新型格栅组合模架可调支撑顶端接头受压性能试验研究[J]. 华南地震, 2022, 42(2): 78-83. [HU Chen, SHI Kairong, JIANG Zhengrong. Experimental Study on Compressive Capacity of the Adjustable Support Joint for New Grille Composite Formwork [J]. South China journal of seismology, 2022, 42(2): 78-83]

## 新型格栅组合模架可调支撑顶端接头 受压性能试验研究

胡晨<sup>1</sup>, 石开荣<sup>1,2</sup>, 姜正荣<sup>1,2</sup>

(1. 华南理工大学 土木与交通学院, 广州 510640; 2. 华南理工大学 亚热带建筑科学国家重点试验室, 广州 510640)

**摘要:** 新型格栅组合模架由铝合金格栅、塑料模板(面板)及可调支撑体系等组成, 相比传统的模板脚手架, 具有拆装方便、绿色环保等优势。可调支撑顶端接头是连接格栅的关键传力节点, 为此对其受压性能进行了试验研究及有限元分析, 结果表明: 可调支撑顶端接头在受压荷载作用下的试验数据与有限元模拟结果基本一致, 随着荷载的增加, 顶端接头竖向位移先线性增加, 随后趋于平缓, 荷载-位移曲线具有明显的线性段和非线性段; 其中单点受压、两点受压及四点受压的单点平均试验荷载分别在 24 kN、14 kN 和 10 kN 以下时, 荷载-位移曲线基本呈线性关系变化, 当试验荷载分别为 32 kN、24 kN 和 19 kN 时达到节点的极限承载力。由此为新型格栅组合模架的设计计算提供了理论依据。

**关键词:** 可调支撑顶端接头; 受压性能; 试验; 有限元分析

中图分类号: TU731.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2022)02-0078-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2022.02.0

## Experimental Study on Compressive Capacity of the Adjustable Support Joint for New Grille Composite Formwork

HU Chen<sup>1</sup>, SHI Kairong<sup>1,2</sup>, JIANG Zhengrong<sup>1,2</sup>

(1. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** The new grille composite formwork is composed of aluminum alloy grille, plastic template and adjustable support system. Compared with the traditional formwork and scaffold, it has advantages in construction efficiency, safety and environmental protection. The top joint of adjustable support is the key force-transmitting joint for connecting the grille, thus, the experimental research and finite element analysis of its compressive performance are carried out. The results show that the experimental data and finite element analysis results of the

收稿日期: 2022-03-02

基金项目: 广东省现代土木工程技术重点实验室资助项目(2021B1212040003)

作者简介: 胡晨(1996-), 男, 硕士研究生, 主要从事新型模板脚手架体系、钢结构研究。

通信作者: 石开荣(1978-), 男, 博士, 副教授, 主要从事钢结构、预应力钢结构、大跨度空间结构、新型模板脚手架体系研究。

E-mail: krshi@scut.edu.cn

top joint under compression are basically consistent, the displacement first increases linearly with the increase of load and then tends to be flat. The load-displacement curve has distinct linear and nonlinear segments. Under the cases of single-point compression, two-point compression and four-point compression, when the average experimental loads of one-point are respectively below 24 kN, 14 kN and 10 kN, the load-displacement curves are linear, and the ultimate bearing capacity of the joint are 32 kN, 24 kN and 19 kN respectively. Therefore, it provides a theoretical basis for the design and calculation of the new grille composite formwork.

**Keywords:** Adjustable support top joint; Compressive performance; Experiment; Finite element analysis

0 引言

脚手架作为建筑工程中重要的临时支撑体系,被广泛应用于房建、桥梁、隧道等工程施工中。随着当前建筑工业化的发展,将涌现越来越多的新型脚手架体系,而其安全性问题尤为重要<sup>[1-2]</sup>。

脚手架的安全性与其节点受力性能密切相关。朱启新等<sup>[3]</sup>开展了扣件式钢管脚手架节点半刚性性能的试验研究,提出了节点的半刚性计算模型。JIA 等<sup>[4]</sup>研究了扣件式钢管脚手架中直角扣件的力学性能及其主要破坏形式。石开荣、许洁槟等<sup>[5-6]</sup>对套扣式钢管脚手架节点受拉、压、扭性能进行试验及有限元分析,建立了相关节点模型。庄金平、蔡雪峰等<sup>[7-8]</sup>对直角扣件钢管节点的抗滑与抗扭性能进行了试验研究,并给出回归计算公式。

对于该新型格栅组合模架,其可调支撑顶端接头是连接格栅的关键节点,对架体的整体受力影响较大。本文拟对其受力性能进行试验研究,从而为实际工程应用提供理论依据。

1 新型格栅组合模架及可调支撑顶端接头节点

新型格栅组合模架<sup>[1-2]</sup>(图1)由铝合金格栅、可调支撑(图2)及塑料模板(面板)等组成。可调支撑顶端接头(图3)水平插入其钢管顶部的顶座钢板,格栅与接头卡接以形成受力整体。

该新型格栅组合模架相比传统的木模与钢管,具有拆装方便、绿色环保的优势,但因理论研究不足,其推广受到一定的限制。

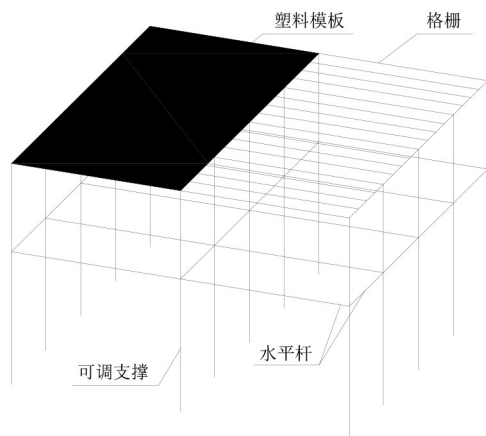


图1 新型格栅组合模架体系  
Fig.1 New grille composite formwork system

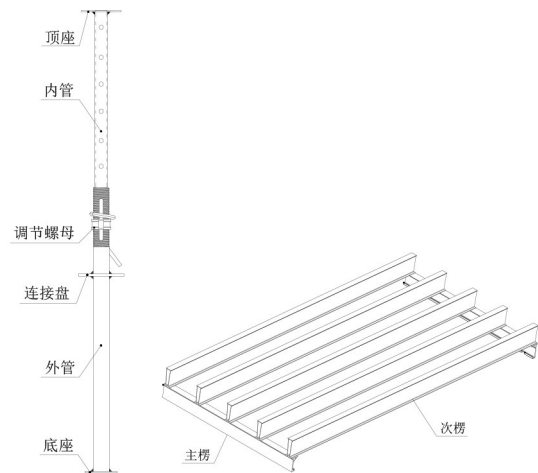


图2 可调支撑及格栅  
Fig.2 Adjustable support and grille

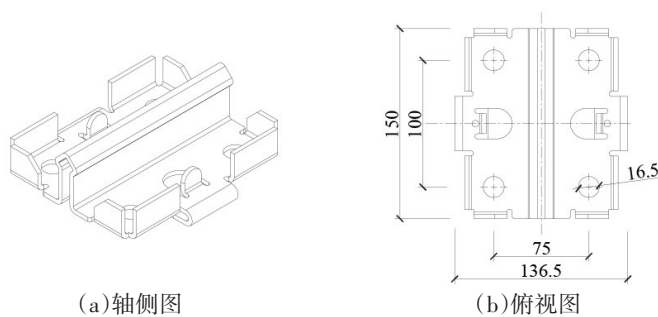


图3 可调支撑顶端接头  
Fig.3 Adjustable support top joint

2 可调支撑顶端接头受压性能试验

2.1 试验设计

2.1.1 试验仪器

本次试验的研究对象为可调支撑顶端接头(如图3所示),试验仪器包括静态液压试验机、位移计、静态应变测试分析系统等。

2.1.2 试验方案

可调支撑顶端接头受压试验方案如图4所示,由静态液压试验机施加竖向压力作用于可调支撑顶端接头,其竖向位移由位移计自动读取。

根据新型格栅组合模架在实际应用中的受力状态,可调支撑顶端接头搁置的格栅数量可为1~4块,因此选取了3种最不利的典型工况进行试验,分别为单点受压、两点受压(同侧)和四点受压,每种工况分别制作3个尺寸相同的试件。

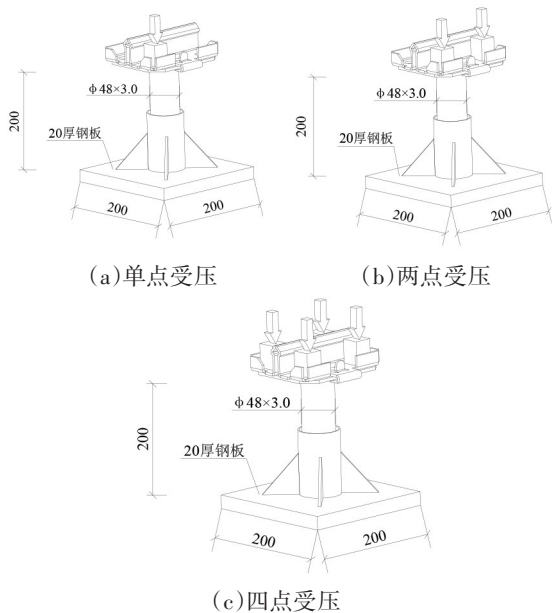


图4 顶端接头受压性能试验  
Fig.4 Experiments of top joint compression

试验时将试件对中固定,通过试验机及配套垫块对试件施加荷载。预加载后正式加载,以4 kN为一级,直至试件破坏。试验过程中观察到节点发生明显变形时应减缓加载速度,当节点出现严重变形或发生破坏丧失承载能力时,停止加载。

2.1.3 试验测点布置

顶端接头的位移采用位移计来测量,三种工况下的位移测点布置如图5所示,分别布置于可调支撑顶座的四角。

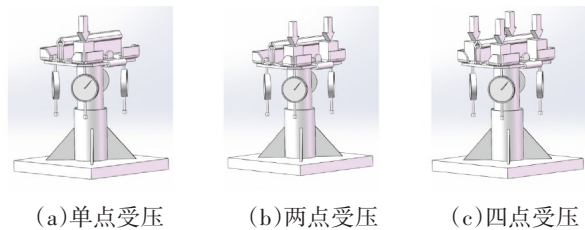


图5 位移测点布置图

Fig.5 Layout of displacement measuring points

2.2 试验结果分析

2.2.1 单点受压

单点受压总荷载-位移曲线如图6所示。试验中受压荷载从0增大至24 kN时,荷载-位移曲线基本呈线性关系变化。随着荷载进一步增大,位移增长速度加快,顶端接头一角向下弯曲并增大,节点逐渐失去传递荷载的能力,可以认为此时节点已进入非线性阶段。当达到32 kN时,顶端接头变形严重(如图7),卸载后无法复原,节点此时已达到承载能力极限状态,故可将32 kN视为节点单点受压的极限荷载。其破坏模式为顶端接头一角的弯曲变形过大且不可恢复。

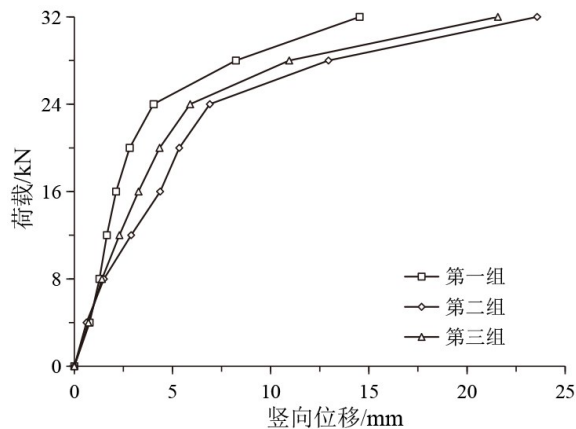


图6 单点受压总荷载-位移曲线图

Fig.6 Load-displacement curves of single-point compression

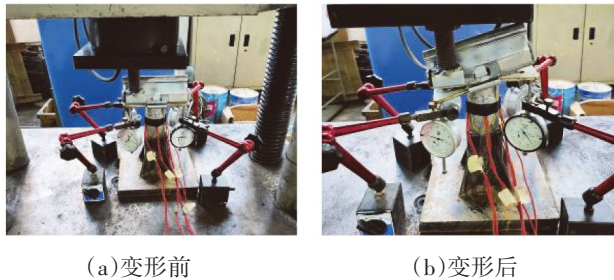


图7 单点受压性能试验

Fig.7 Experiments of single-point compression

2.2.2 两点受压

两点受压总荷载-位移曲线如图8所示。试验



中受压总荷载从0增大至28 kN(对应单点平均荷载为14 kN)时,荷载-位移曲线也基本呈线性关系变化。随着荷载进一步增大,位移增长速度加快,顶端接头一侧向下弯曲并增大,节点逐渐失去传递荷载的能力,可以认为此时节点已经进入非线性阶段。当两点总荷载达到48 kN(对应单点平均荷载为24 kN)时,顶端接头变形严重(如图8),卸载后无法复原,节点此时已达到承载能力极限状态,故可将48 kN(对应单点平均荷载为24 kN)视为节点两点受压的极限荷载。其破坏模式为顶端接头一侧的弯曲变形过大且不可恢复。

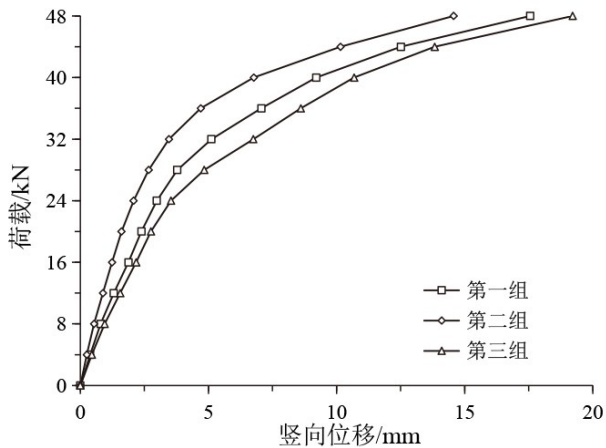
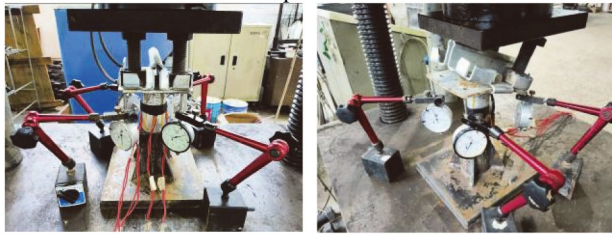


图8 两点受压总荷载-位移曲线图  
Fig.8 Total load-displacement curves of double-point compression



(a)变形前 (b)变形后  
图9 两点受压性能试验

Fig.9 Experiments of double-point compression

2.2.3 四点受压

四点受压总荷载-位移曲线如图10所示。试验中受压总荷载从0增大至40 kN(对应单点平均荷载为10 kN)时,荷载-位移曲线基本呈线性关系变化。类似地,随着荷载进一步增大,位移增长速度加快,顶端接头四角向下弯曲并增大,节点逐渐失去传递荷载的能力,可以认为此时节点已进入非线性阶段。当四点总荷载达到77 kN(,对应单点平均荷载为19 kN)时,顶端接头变形严重(如

图11),卸载后无法复原,节点此时已经达到承载能力极限状态,故可将77 kN(对应单点平均荷载为19 kN)视为节点四点受压的极限荷载。其破坏模式为顶端接头四角的弯曲变形均过大且不可恢复。

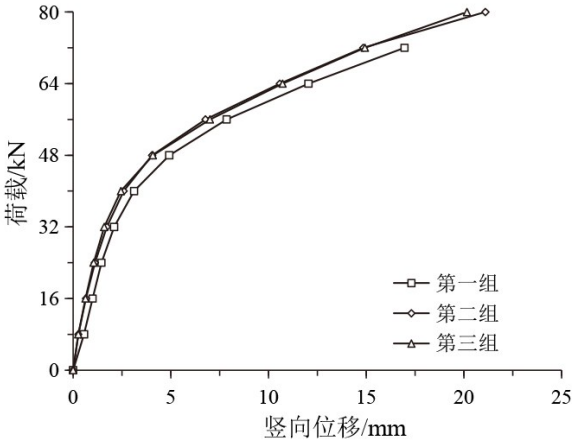


图10 四点受压总荷载-位移曲线图  
Fig.10 Total load-displacement curves of four-point compression



(a)变形前 (b)变形后  
图11 四点受压性能试验

Fig.11 Experiments of four-point compression

3 可调支撑顶端接头受压有限元分析

3.1 有限元模型

采用有限元软件ABAQUS进行数值模拟分析,建立可调支撑顶端接头受压有限元模型,如图12所示。钢材为Q235B,采用双折线本构模型,相关材料参数按材性试验取值,即:屈服强度359 MPa,抗拉强度419 MPa,弹性模量201 297 MPa。接触方面,在可调支撑顶座和接头之间建立摩擦系数为0.15的面面接触;边界条件方面,限制可调支撑立杆下端表面各自由度以建立固定约束,同时将支撑顶座上表面的圆孔耦合在圆心处,以施加垂直向下的集中荷载。以此分析可调支撑顶端接头在竖向荷载作用下的受压性能。

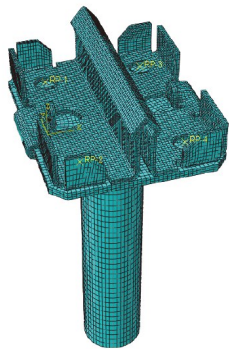
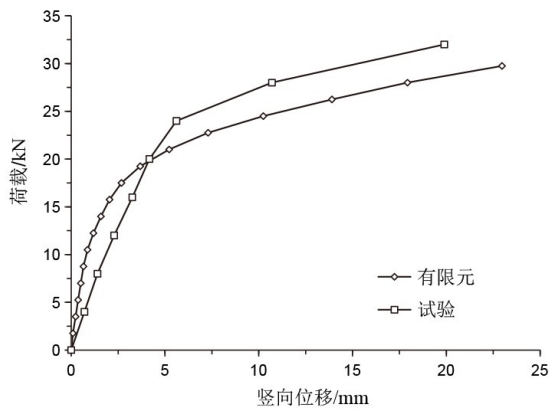


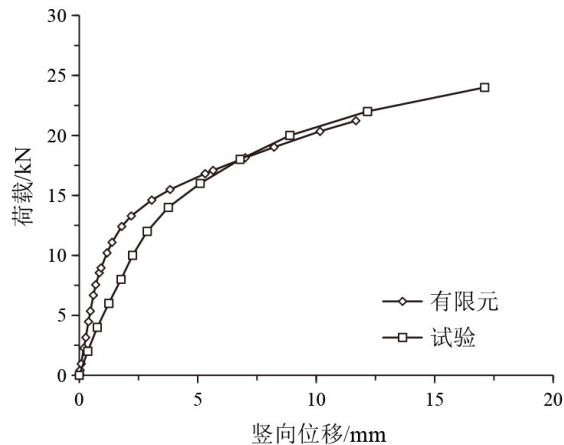
图 12 可调支撑顶端接头有限元模型  
Fig.12 Finite element model of adjustable support top joint

3.2 有限元结果与试验对比

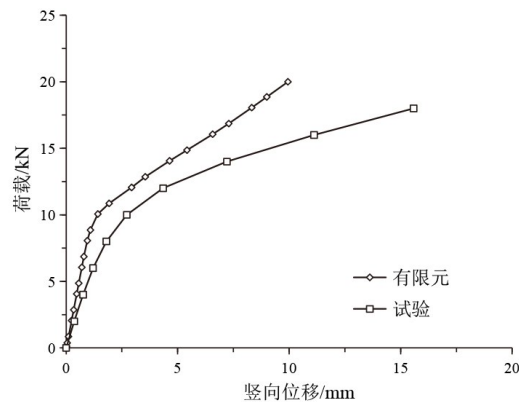
对于单点受压、两点受压和四点受压作用下，节点所承受的单点平均荷载更能反映其受压性能与承载特征，因此图 13 给出关键测点在试验与有限元模拟下的单点平均荷载-位移曲线的对比图。其中试验部分取 3 次试验的平均值，单点受压工况荷载为测点荷载，两点受压工况荷载为两个测点荷载平均值，四点受压工况荷载为四个测点荷载平均值。图 14 给出了三种试验工况下节点在线性极限和非线性极限状态时的应力云图。



(a)单点受压



(b)两点受压



(c)四点受压

图 13 单点平均荷载-位移曲线对比图

Fig.13 Comparison of the average experimental load-displacement curves of one point

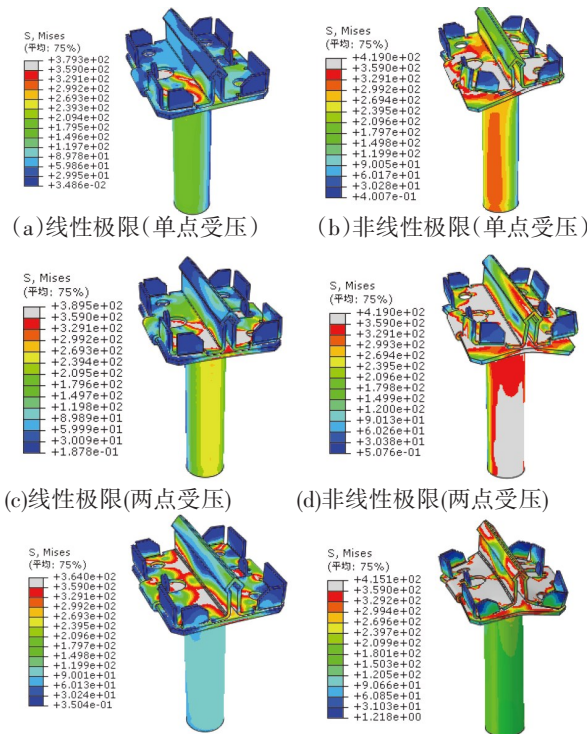


图 14 可调支撑顶端接头等效应力云图

Fig.14 Equivalent stress clouds of adjustable support top joint

从图 13、14 可得出以下结论：

- (1)试验数据与有限元模拟结果的规律基本一致，均有明显的线性阶段和非线性阶段；
- (2)从有限元分析结果可以看出，节点受压进入非线性阶段时，单点平均荷载分别为 17.5 kN(单点受压)、13.3 N(两点受压)、10.1 kN(四点受压)；节点受压达到极限承载能力状态时，单点平均荷载分别为 29.5 kN(单点受压)、21.1 N(两点受压)、20.0 kN(四点受压)，与试验数据相符；

(3)应力云图形象反映了节点的受力状态,线性极限状态时,仅在荷载作用点位置附近出现材料屈服,而非线性极限状态时,节点大部分区域的材料均已屈服而破坏;

(4)随着加载点位的增加(单点→两点→四点),该节点受压进入非线性段的平均荷载逐渐减小,其相应的最终极限荷载亦逐渐减小,这是因为加载点之间存在着相互关联作用,产生不利的削弱影响,从而降低了单点的平均受压承载能力。

## 4 结论

(1)可调支撑顶端接头节点在受压荷载作用下的试验数据与有限元模拟结果基本一致,随着荷载的增加,顶端接头竖向位移先线性增加后趋于平缓进入非线性阶段。

(2)可调支撑顶端接头进入非线性段的单点平均试验荷载逐渐减小,分别为24 kN(单点受压)、14 N(两点受压)、10 kN(四点受压)。

(3)该节点受压破坏时的单点平均试验荷载亦逐渐减小,分别为32 kN(单点受压)、24 kN(两点受压)、19 kN(四点受压)。

## 参考文献

- [1] 石开荣,卢永徽,林金龙,等.改进型阵列式组合模架体系整体稳定性研究[J].施工技术,2021,50(21):83-88.
- [2] 石开荣,林金龙,许洁槟,等.新型阵列式组合模架足尺稳定性试验及有限元分析[J].工业建筑,2020,50(3):142-146.
- [3] 朱启新,万雨辰,张其林.钢管脚手架扣件节点的转动刚度试验和计算模型[J].山东建筑大学学报,2010,25(5):499-502+518.
- [4] Jia L, Liu H B, Chen Z H, et al. Mechanical properties of right-angle couplers in steel tube-coupler scaffolds[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2016, 125:43-60.
- [5] 许洁槟.新型套扣式钢管脚手架节点性能研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [6] 石开荣,许洁槟,姜正荣,等.新型套扣式钢管脚手架节点的水平向抗压性能[J].华南理工大学学报(自然科学版),2019,47(12):43-52.
- [7] 庄金平,蔡雪峰,吴建亮.周转后直角扣件钢管节点抗滑性能的试验研究[J].福州大学学报(自然科学版),2013,41(3):117-122.
- [8] 蔡雪峰,庄金平,周继忠.直角扣件钢管节点抗扭性能试验研究[J].工程力学,2012,29(2):107-113.