

附着式升降脚手架新型钢结构附着节点应用研究

王秀丽¹, 崔健¹, 赵涛²

(1. 兰州理工大学土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃第七建设集团股份有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要 目的 研究附着升降脚手架与钢结构建筑连接节点, 为合理评价该类节点受力性能和变形规律提供依据. 方法 对2个新型附着节点进行3种工况下的有限元模拟, 分析节点附着在不同位置、不同钢梁尺寸和不同数量下钢结构建筑和节点本身的受力变形特征, 绘制应力位移曲线; 在有限元基础上进行架体在升降、使用和防坠过程的现场试验, 绘制试验过程应力曲线, 并将有限元和试验过程的应力曲线进行对比. 结果 当节点附着在钢梁端部且梁高较大时, 节点和建筑结构的应力变形最小; 通过有限元与试验的对比, 在升降和坠落的瞬间, 节点和钢梁应力激增或骤减, 而钢柱应力变化较平缓. 结论 此类节点本身的受力性能良好, 但附着位置和钢梁截面属性对节点受力变形性能有显著影响, 钢梁的抗扭性能对节点的破坏有决定性影响.

关键词 附着式升降脚手架; 钢结构; 附着节点; 有限元

中图分类号 TU731.2

文献标志码 A

Research on New Steel Structure Attachment Node Applied on Attached Lifting Scaffold

WANG Xiuli¹, CUI Jian¹, ZHAO Tao²

(1. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, China, 730050; 2. Gansu Seventh Construction Group Co. Ltd., Lanzhou, China, 730000)

Abstract: The connection node between the attached lifting scaffold and the steel structure is studied to provide a basis for the reasonable evaluation of the force performance and deformation law of this type of node. Finite element simulation of 2 new attachment nodes under 3 working conditions was performed, the stress and deformation characteristics of steel structures and nodes under different locations, different steel beam sizes and different numbers were analyzed, and stress-displacement curves were drawn. Based on the finite element method, the field test of the frame during the lifting, using and anti-falling process is carried out. The stress curve of the test process is drawn, and the stress curve of the finite element and the test process are compared. When the node is attached to the end of the steel beam and the beam height is large, the stress deformation of the node and the building structure is the smallest. Through the comparison of the

收稿日期: 2019-02-14

基金项目: 国家重点研发计划专项项目(2017YFC0703905-05)

作者简介: 王秀丽(1963—), 女, 教授, 博士, 主要从事钢结构方面研究.

finite element and the test, the stress of the node and the steel beam suddenly increases or decreases at the moment of lifting and falling, but the stress variation of the steel column is gentle. The stress performance of this kind of node itself is good, but the attachment position and the steel beam section property have a significant influence on the force deformation performance of the joint, the failure of the joint is seriously affected by the torsional behavior of the steel beam.

Key words: attached lifting scaffold; steel structure; attached node; finite element

随着我国城市化程度的不断提高、装配式建筑的大力推广以及对土地资源利用等更高的要求,高层和超高层建筑已经成为城市建设的主要类型.在此基础上,附着式升降脚手架等高空作业防护设备得到了大力发展.相比传统落地钢管脚手架,附着式脚手架可以大量节约钢管和扣件等材料的使用量,与一般的悬挑脚手架相比,操作简便的同时较大程度地增加了效率^[1-2],特别在建筑物高度超过80 m的情况下,附着式升降脚手架的经济适用性更加明显^[3].因此,在众多的安全防护设备中,附着式升降脚手架凭借其良好的性能和突出的优点脱颖而出,受到了越来越多的青睐.附着式升降脚手架,就是依附在建筑物主体结构上,依靠自身的升降设备,满足施工需求而自主升降的脚手架体系^[4].它的组成大致分为五个部分,即以桁架、立杆、导轨和脚手板等由螺栓固定成整体的架体系统;电脑模块和传感器组成的载荷控制系统;电动升降设备和固定吊点组成的提升系统;外挂防护网和脚手踢板等组成的防护安全系统;由导向座、连墙件和防坠器等组成的附着支撑装置系统^[5].

附着支撑装置系统是脚手架架体和建筑物主体连接的关键部位.文献[6]研究了连墙件只与内立杆相连时对脚手架立杆最大弯矩的影响程度和规律,得到了仅与内立杆连接时,最大弯矩主要出现在连墙件立杆节点处,最大弯矩的影响程度可达近一倍.文献[7]研究了配备不同形式的支座对附着脚手架架体及支座的应力位移影响情况,提出了

支座刚度大时,应力和位移较小.文献[8-15]均采用有限元模拟的分析方法先后对架体的动力响应、模态和受力特性进行了研究,分析得到了架体在高空风荷载、不同步升降和倾斜升降等不同环境下结构安全性的影响评价.

附着式升降脚手架多附着在以混凝土为主体的建筑物上,通过预埋螺栓固定导座实现建筑物与架体的连接,显然这种方式无法继续用在钢结构为主体的建筑物上.国内已有多个钢结构大型项目在施工过程中成功应用了这类脚手架,诸如南京紫峰大厦、江苏财富中心、上海锦沧文华大酒店和上海中信城等^[16-19].这些钢结构建筑与附着脚手架的连接都是借助了一种新型的附加节点,连接方式有了很显著的改变.

附着节点作为脚手架和钢结构连接必不可少的配件,其形式较为统一,多为抱箍式结构.优点是安全可靠,能较好地发挥钢结构的材料性能,缺点是占用了钢梁上翼缘,会对楼面板的铺设及后续施工造成影响.目前附着节点的研究已经形成施工先于理论的局面,针对节点部分的研究成果较少.基于此,笔者参照原有混凝土的连接特征和已适配钢结构附加节点的形式,沿用导轨式附着脚手架的导座,设计了两种新型的附着节点.通过实体建模与有限元分析,得到了节点的一些基本受力规律,并以甘肃七建设备租赁公司LZC10型附着式升降脚手架为对象进行了附着节点试验,验证了附着节点的有限元分析结果和破坏特点,得到了节点工作的应力分布规律.

1 附着节点的设计与模型建立

1.1 模型几何参数

根据现场搭设的试验架体尺寸,节点设计附着于1~3层,每层设置4个节点,分别作用于梁高为250 mm和400 mm的H型钢梁上.考虑节点的重复利用及便于施工,并适用于原有固定导座(见图1),设计了加劲肋开孔和装配抱箍两种节点形式(见图2).其中节点①通过加劲肋的螺栓孔与钢梁连接,节点②通过可装配的抱箍构件与钢梁连接.导座从原有的直接同建筑物连接变为与附着节点的连接,成功实现架体的附着.



图1 原有固定导座
Fig.1 Original guide bearing

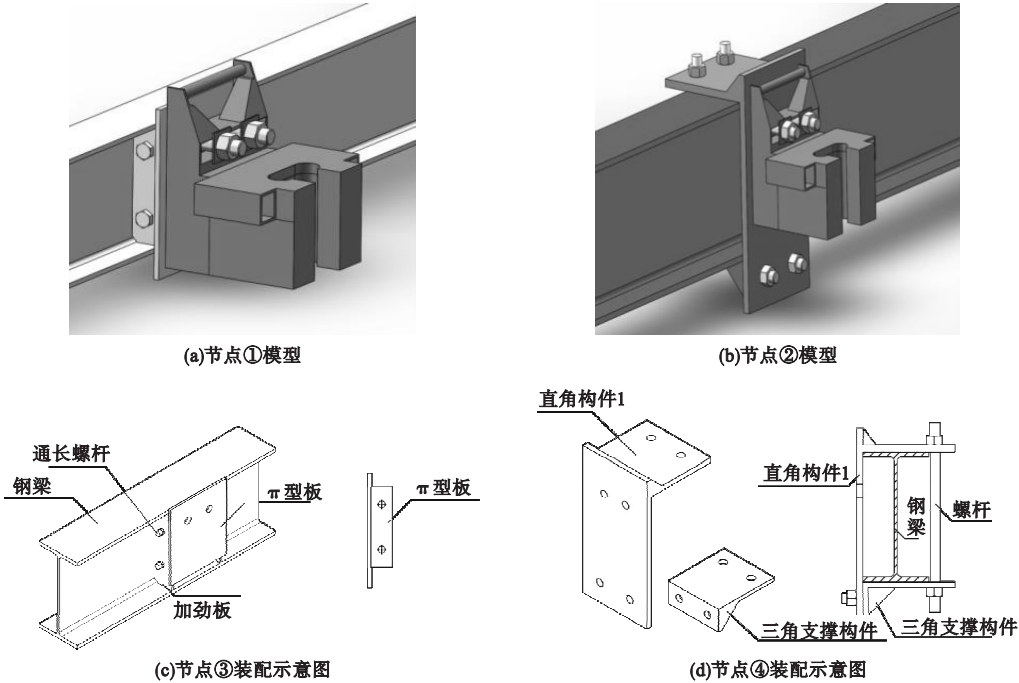


图2 节点模型
Fig.2 Model of the attached nodes

1.2 有限元模型参数设置

1.2.1 单元及材料属性

附着节点利用 solidworks 软件进行实体建模,材料均为 Q235 钢,钢材密度 $\rho = 7\,850\text{ kg/m}^3$,弹性模量 $E = 206\text{ GPa}$,泊松比 $\mu = 0.3$,体积模量 $K = 167\text{ GPa}$,剪切模量 $G = 76.9\text{ GPa}$.建模后利用 ANSYS workbench 模块对接并进行有限元分析.

1.2.2 荷载设置

架体在使用过程中主要分为两个阶段:架体通过自行升降达到施工作业层的升降阶段,这个阶段主要由电动提升装置进行控制;第二阶段为满足实际工程施工需要而进行的正常使用阶段.根据实际操作的情况和附着脚手架的技术规程将各工况下荷载情况在表1中列出.为了能较为真实的进行试验模

拟,便于现场操作,现场采用了高 14 m、宽 12 m 的架体,架体每米的质量为 523 kg,在 1~3 层每层布置 4 个附着节点.分析时将架体对节点及钢梁的作用进行了等效,分别考虑架体自重和正常使用时的荷载效应,将这些作用力等效为作用在导座上的一组附加弯矩和一个竖直向下的力,这些作用最终由附加节点传递到支撑钢梁上.钢梁尺寸和跨度均参照现场试验所设计的架体尺寸,分析时在钢梁的两端施加固定约束.

表 1 架体荷载标准值

Table 1 Loading standards of the frame			
工况类别	施工类型	同时作业 层数/层	每层活荷载标准值/ (kN·m ⁻²)
使用工况	结构施工	2	3.0
	装修施工	3	2.0
升降工况	结构和装 修施工	2	0.5

2 不同工况下附着节点的受力分析

附着式脚手架可以根据建筑物外立面形

式的不同进行相应的装配组合,节点可能附着在钢结构的任何位置,这就要求附着节点在不同的安装部位都能保持安全和稳定.结合施工中钢结构的受力特征和附着节点的安装特点,主要从以下几个方面对附着节点进行分析和验证.

2.1 节点附着在不同截面钢梁下的变化规律

高层建筑结构的截面尺寸不是一成不变的,底层至顶层截面尺寸都会有很大的不同,针对这种情况就需要对节点附着在不同截面钢梁的情况进行分析.截面尺寸越大,相应抵抗外力的能力也就越高,反之亦然.对钢梁截面尺寸越小的情况进行分析就越能反映问题,因此本次分析采用截面高度分别 250 mm、300 mm 和 400 mm 的 H 型钢梁.图 3 为附着位置在跨中、钢梁跨度为 3.9 m 情况下,这两种节点分别附着在上述三种不同尺寸钢梁下的应力位移情况.

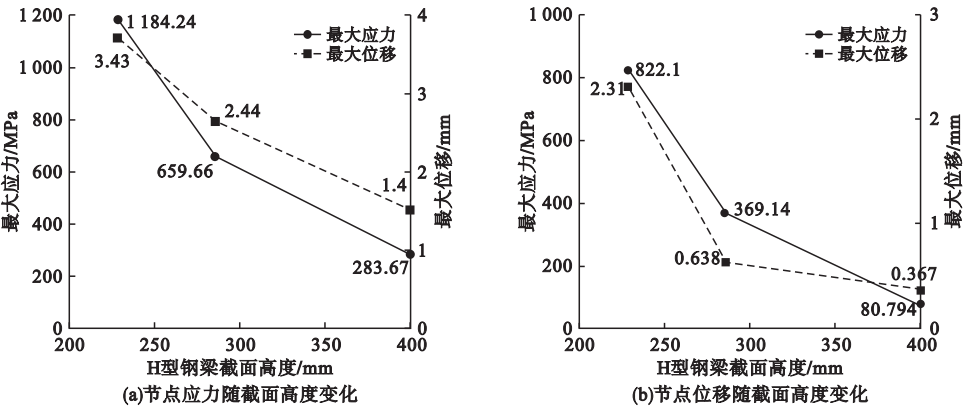


图 3 节点应力、位移随梁截面高度变化

Fig. 3 Curves of node stress and deformation varying with beam height

由图 3 可以看到,随着所附着钢梁截面尺寸的增加,节点的最大应力及位移均会减小.当钢梁截面高度较小时,节点最大应力已明显超过钢材所能承受的极限承载力,构件失效.但是,还可以发现,图中曲线的斜率随着截面高度的不断增大而变得平缓,最大应

力及位移的减小速度随着截面高度的增大而变慢.当附着在 400 mm 钢梁跨中时,已达到正常工作应力水平.可以看出,这两个附着节点的受力性能受到钢梁截面特性的极大影响,并且节点的受力特性在附着一定截面高度或更大时已能达到正常工作水平.

2.2 节点附着在钢梁不同位置时的变化规律

随着建筑工业化水平的不断提高和建筑技术的日新月异,例如迪拜塔和上海中心等建筑物越来越受到市场的青睐. 这些建筑外立面形式丰富独特,造型别具一格,但同时对施工防护体系和设备的要求也更高. 因此,有必要考虑脚手架附着在不规则外立面的情况,通过节点在钢梁任意位置的附着,模拟立面形式的多样对节点的影响,分析发现当附着节点距钢梁端部距离越大,最大应力和变形也会越大(见图4).

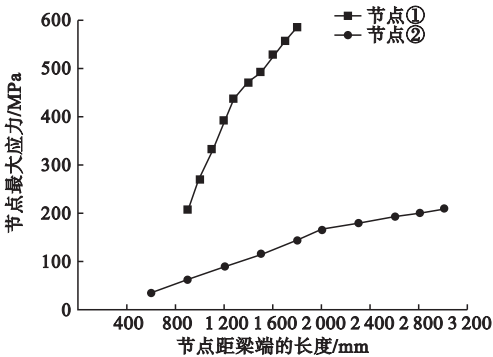


图4 节点附着位置对应力的影响

Fig. 4 Effect of node attachment position on stress

这两类节点附着在不同尺寸钢梁上,其中节点①附着在梁高 300 mm、跨度 3.6 m 的钢梁上,节点②附着在梁高 400 mm、跨度 6 m 的钢梁上. 图中可以明显看到这两类节点的应力值随着附着位置的不同程线型变化,距离端部越近受力性能越好,应力值随着距端部的距离逐渐增大,在跨中达到极值. 其中节点①在跨中时最大应力达到了 580 MPa,节点②在跨中时最大应力达到了 208 MPa.

2.3 同一钢梁附着不同数量节点的变化规律

建筑施工附着升降脚手架管理暂行规定中明确提出架体直线布置时的支撑跨度应小于 8 m,架体曲线或折线布置时的支撑跨度应小于 5.4 m^[20]. 实际工程常常会遇到大跨度钢梁,那么就必须处理好多个节点同时作用于一个梁的情况. 根据规范要求和本次分析钢梁长度,对 6 m 跨度钢梁同时附着两个

节点的情况进行分析. 附着节点个数不同对受力特征的影响如图 5 所示.

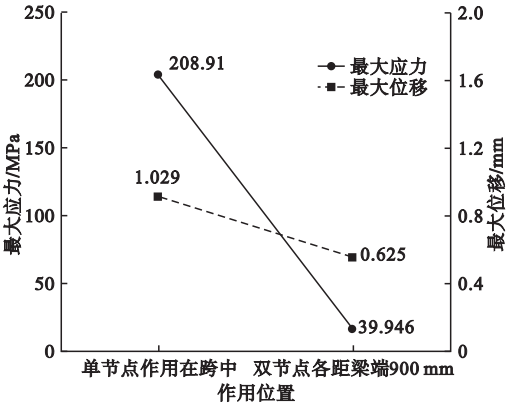


图5 附着节点个数不同对受力特征的影响

Fig. 5 Effect of the attached nodes number on the mechanical characteristics

由图 5 可知,虽然作用在每个节点的力和弯矩是相同的,即同时附着两个节点的钢梁将承受双倍的力的作用,但得出的结果却恰恰相反. 附着两个节点的应力和位移,比作用一个节点时的情况小很多. 这是因为两个节点布置在钢梁两端,而单个节点布置在跨中,这就再次说明节点附着在跨中对钢梁影响巨大. 同时也可以看到,同一钢梁布置多个节点时,合理优化布置方案,尽量避免布置在距离跨中较近的不利位置可以提高整个架体的附着稳定性.

2.4 附着节点的最不利位置

通过分析发现,这两类节点因为附着形式的不同而最不利位置相差较大,其中节点①的最不利位置出现在 π 型板构件和加劲肋连接的螺栓处,节点②的最不利位置出现在抱箍钢板和钢梁下翼缘接触的表面. 节点①加劲肋构件与 π 型板连接处的螺栓受到拉力和剪切力的作用,节点②抱箍钢板受到导座作用后给予钢梁下翼缘一个较大的压力.

3 现场试验

试验场地由甘肃七建设备租赁公司提供,所用建筑结构为五层钢结构单榀框架,所用钢梁尺寸同有限元分析一致,架体部分采

用该公司 LZC10 型附着式升降脚手架. 节点按照有限元模型和附着钢梁尺寸进行加工, 其中节点①附着在高 250 mm 的钢梁上, 节点②附着在高 400 mm 的钢梁上, 节点实物如图 6 所示.

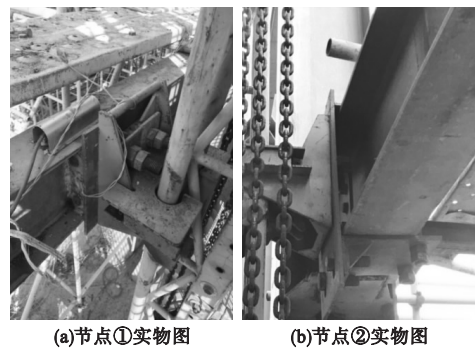


图 6 节点加工后实物图

Fig. 6 Field pictures of the attached nodes

3.1 节点试验

试验旨在验证有限元分析结果以及观察架体在实际工作中的问题. 通过对节点部分有限元分析时应力最大处数据的采集, 对比二者的应力曲线, 得到最终结果, 并以此为基础对节点安全可靠性进行合理的评价. 由上文提到的这两种节点的最不利位置可以看

到, 由于节点构造问题均无法布设应力传感器, 因此结合节点安装后的实际情况, 将传感器放置在了应力较大的位置. 其中节点①的应变片放置在了加劲肋和导座的接触位置, 节点②的应变片放置在了下翼缘和导座的接触位置. 试验分别依次模拟了脚手架的上升、下降、工作及防坠的情况.

此次试验参照施工顺序分 4 个阶段进行, 即加载阶段、提升阶段、下降阶段和防坠阶段. 加载阶段分两次在首层和二层进行重物的放置, 以此模拟正常使用及升降状态下的装修施工荷载, 此阶段节点应力随着重物的放置呈正比例增长. 提升阶段架体以 9 cm/min 的速度向上提升, 节点应力较加载停滞略微增大, 但在架体由静止到起吊的瞬间, 应力瞬间增大, 随后在架体匀速上升后在正常使用水平上下浮动. 下降阶段同上升阶段类似, 同样在转变运动状态时有较大突变, 随着运动状态的稳定在一定范围内上下浮动. 防坠阶段通过防坠支撑控制架体进入此状态, 此阶段时间短变化快, 最大应力在防坠装置启动瞬间突然增大后逐渐平稳 (见图 7).

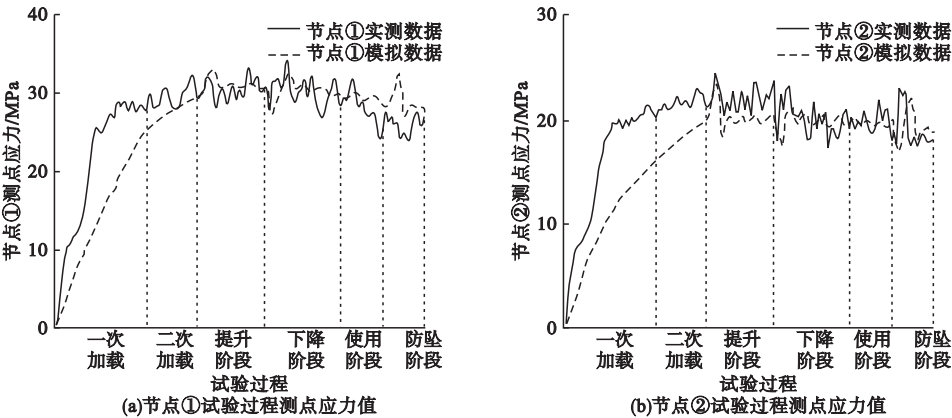


图 7 节点测点应力值

Fig. 7 Tested stress of the nodes

图 7 是上述 4 个阶段试验与有限元模拟过程下最大应力点位的数据曲线对比图, 其中节点①附着在梁高 250 mm 距离端部 900 mm 的位置、节点②附着在梁高 450 mm 距离端部 600 mm 的位置. 通过对比有限元

模拟与试验数据不难看出: 在 4 个阶段转换的瞬间, 节点应力因为架体状态的改变而产生应力的激增和骤降, 应力曲线有明显的拐点和波动, 但变化幅度不是很大, 随着运动状态的稳定, 曲线在很小的幅度内上下浮动. 经

过进一步数据比对,节点试验数值较有限元分析数据起伏较大,这可能与现场试验存在一定的干扰有关。

3.2 钢结构主体部分

为了得到架体在升降使用过程中对建筑结构的影响,本次试验根据有限元结果在钢梁和钢柱上布置合理测点,其中钢梁测点紧邻节点附着的位置,钢柱测点分别布置在四根柱子的底部.图8为二层框架梁JL2-1到JL2-6测点应变曲线图,图9为2个钢柱JZ5、JZ6的测点应变曲线图。

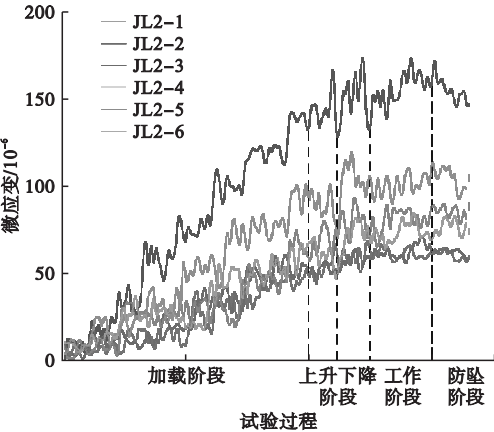


图8 钢梁测点应变值

Fig. 8 Tested strain of the beam

图8中应变曲线形状相似,曲线数值大小随着紧邻附着节点和钢梁截面的不同有明显差异.应变由大到小依次为JL2-1、JL2-5、JL2-4、JL2-6、JL2-3和JL2-2. JL2-1测点布置在梁截面高度250 mm的①类节点附近, JL2-5测点布置在梁截面高度300 mm的①类节点的附近,均因节点应力较大影响到钢梁的应力与应变;而其余4个测点应变数值较小,则是因为布置在距节点较远或钢梁截面较大的位置.6组应变曲线呈现相同的变化特征,特别是在上升、下降和防坠时,应变曲线在运动状态改变瞬间有明显的波动,后随着运动状态的稳定趋于平稳.这不仅与节点部分的变化特征相同,而且再次验证了有限元分析的结果。

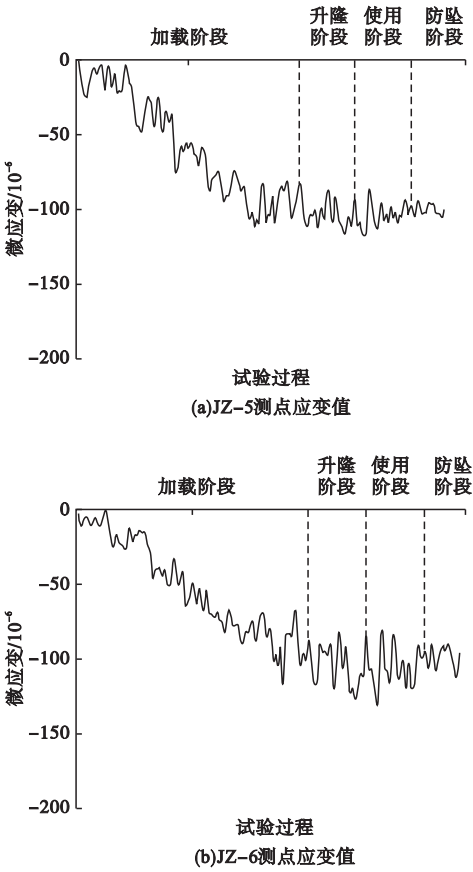


图9 钢柱测点应力值

Fig. 9 Tested strains of the column

图9中的2个钢柱因承受压力的作用应变均为负值,虽然附着节点在钢梁上的布置情况各不相同,但是传递到钢柱上的应变数值及规律相差不大.在整个实验过程中,在加载完成后测点的应变始终在 100×10^{-6} 上下波动,不会随着架体状态的改变发生明显变化.因此可以看出,架体在各种荷载作用下仅对钢梁的受力特性和变形产生影响,而基本不会影响钢柱的承载情况。

3.3 节点破坏试验

根据有限元分析可知,当节点位于跨中、梁的跨度较大时容易出现破坏,而随着建筑结构梁截面尺寸的增加,节点上的应力会有明显的变小,可见钢梁的属性对节点的受力和变形有重要的影响.针对这种情况,现场取了一根跨度3.9 m、高度250 mm的钢梁,将受力性能较差的节点①固定在跨中位置,给

予一个和架体作用时相当的力,观察其变化情况。通过加载,钢梁连同节点一起发生了扭转变形,变形程度愈来愈明显,随之发生破坏。破坏位置与有限元模拟最不利位置相同,连接螺栓发生剪切破坏。为了对比钢梁的变形对节点承载力的影响,现场又取了一根同样尺寸的钢梁,节点附着位置及加载情况均和破坏时相同,但对钢梁做了加固处理(见图10),限制其扭转变形。可以明显地发现随着荷载的增加,钢梁未发生明显扭转,节点直至加载完毕也没有发生破坏。



(a)加固前

(b)加固后

图10 节点加固前后对比图

Fig. 10 Comparison between with and without node reinforcement

4 结 论

(1)本次设计和分析的两种附着节点在不受其他条件的影响下最大应力在55~75 MPa,在有效附着的同时有较好的安全储备。

(2)节点的应力变形随着附着截面尺寸的增加而减小,特别在截面尺寸较小时,尺寸效应较大,而在截面增加到一定尺寸后,节点正常工作,尺寸效应的影响程度不再明显。

(3)随着节点距钢梁端部距离的增加,节点应力及变形数值逐渐变大,呈线性变化规律,并在跨中达到极值。

(4)单节点跨中布置相比双节点梁端布置,应力位移更大,应尽量合理优化布置方案,避免布置在距离跨中较近的不利位置可以提高整个架体的附着稳定性。

(5)通过对比加固前后钢梁破坏试验,

在限制钢梁扭转后,节点始终没有发生破坏,再次验证了节点本身强度满足要求。结合有限元模拟得出的钢梁及节点的变形形态,认为影响钢梁附着节点最主要的因素是钢梁截面的扭转属性。

(6)本次分析的两种钢结构附着节点构造简单易于使用,但会根据附着钢梁的跨度、截面尺寸大小和附着位置等不同产生受力特征的差异。截面属性特别是扭转刚度对此类节点影响显著,因此在装配此类节点时应综合考虑以上因素,均匀合理布置。

参考文献

- [1] 毛华荣,王进,马军星,等.桅柱式升降工作平台结构有限元分析[J].建筑机械,2011(19):104-106.
(MAO Huarong, WANG Jin, MA Junxing, et al. Finite element analysis of mast-climbing work platform[J]. Construction machinery, 2011(19):104-106.)
- [2] 朱正权.导座式升降脚手架爬升过程中动力响应分析研究[D].合肥:安徽建筑大学,2016.
(ZHU Zhengquan. Dynamic response analysis of the guide seat type climbing scaffold during in the process of climbing[D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2016.)
- [3] 余宗明.高层建筑脚手架及其优化选择[J].建筑技术,1999(8):7-9.
(YU Zongming. High-rise building scaffolding and its optimization[J]. Architecture technology, 1999(8):7-9.)
- [4] 王峰,温雪兵,郭玉增,等.常用附着式升降脚手架的类型和特点[J].建筑机械化,2016,37(6):28-30.
(WANG Feng, WEN Xuebing, GUO Yuzeng, et al. The types and features of the commonly used adhesive lifting scaffolding[J]. Construction mechanization, 2016, 37(6):28-30.)
- [5] 张健,刘曦,韦蓼英.附着式升降脚手架的应用效果分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2003,19(1):19-21.
(ZHANG Jian, LIU Yan, WEI Liaoing. Analysis of adhering adjustable scaffolds[J]. Journal of Shenyang jianzhu university(natural science), 2003, 19(1):19-21.)
- [6] 秦桂娟,刘国文.连墙件设置缺陷对脚手架立杆最大弯矩的影响[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2019,35(1):109-116.
(QIN Guijuan, LIU Guowen. The influence of the tie member with defects on the maximum bending moment of scaffold upright tube[J]. Journal of Shenyang jianzhu university(natural science), 2019, 35(1):109-116.)

- [7] 刘晓旭,马治民,赵明,等. 支座形式对附着式升降脚手架影响分析[J]. 施工技术,2017,46(18):70-73.
(LIU Xiaoxu, MA Zhimin, ZHAO Ming, et al. Effect of support style on performance of attached lifting scaffolds [J]. Construction technology, 2017, 46(18):70-73.)
- [8] 赵飞. 超高层建筑附着升降脚手架施工性能研究[D]. 上海:同济大学,2008.
(ZHAO Fei. Study on technical performance of attached self-lifting scaffold for super high buildings [D]. Shanghai: Tongji University, 2008.)
- [9] 罗继曼,邢艳,刘大江,等. 基于 ANSYS 的施工升降导轨架结构模态分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2009,25(3):570-573.
(LUO Jiman, XING Yan, LIU Dajiang, et al. Modal analysis of mast of builder's hoist based on ANSYS [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2009, 25(3):570-573.)
- [10] 宾莹,莫秋云,张旭. 提升脚手架自动控制系统动态特性分析及仿真[J]. 世界科技研究与发展,2009,31(3):430-432.
(BIN Ying, MO Qiuyun, ZHANG Xu. Dynamic characteristic analysis and simulation for automatic lifting-scaffold control system [J]. World sci-tech r & d, 2009, 31(3):430-432.)
- [11] 杨艳. 升降平台动力学分析[D]. 重庆:西南大学,2009.
(YANG Yan. Dynamic analysis of lifting platform [D]. Chongqing: Southwest University, 2009.)
- [12] 秦桂娟,吴思怡,葛文志. 风载作用下扣件式钢管脚手架大横杆受力分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2016,32(5):855-862.
(QIN Guijuan, WU Siyi, GE Wenzhi. Stress analysis of longitudinal horizontal tube in steel tubular scaffold with couplers under wind load [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2016, 32(5):855-862.)
- [13] 王美华,李荣帅,张文泽. 装配式建筑结构施工升降工作平台结构的静力分析[J]. 建筑施工,2017,39(8):1231-1235.
(WANG Meihua, LI Rongshuai, ZHANG Wenzhe. Static analysis of lifting working platform structure for fabricated building construction [J]. Building construction, 2017, 39(8):1231-1235.)
- [14] 王美华,李荣帅,张文泽. 装配式建筑施工升降工作平台动力学特性研究[J]. 建筑施工,2017,39(6):893-896.
(WANG Meihua, LI Rongshuai, ZHANG Wenzhe. Dynamic property analysis of construction lifting platform for prefabricated building [J]. Building construction, 2017, 39(6):893-896.)
- [15] 王秀丽,胡隆德,冉永红. 附着式升降脚手架不同步运动时结构的响应分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2018,34(4):666-675.
(WANG Xiuli, HU Longde, RAN Yonghong. Response analysis of structure of the attached lifting scaffold during the unsynchronized motion [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2018, 34(4):666-675.)
- [16] 张伟峰. 南京紫峰大厦钢结构工程整体升降脚手架施工技术[J]. 建筑施工,2010,32(8):812-814.
(ZHANG Weifeng. Construction technology of integral lifting of scaffold for steel structure works of Nanjing zifeng tower [J]. Building construction, 2010, 32(8):812-814.)
- [17] 顾永明. 整体升降脚手架在上海外滩中信城超高层结构施工中的应用[J]. 建筑施工,2014,36(7):841-843.
(GU Yongming. Integral lifting scaffold applied to ultra tall structural construction in Shanghai citic plaza construction [J]. Building construction 2014, 36(7):841-843.)
- [18] 刁伟俊. 附着式整体脚手架在城市更新项目中的施工研究[J]. 建筑施工,2018,40(6):925-928.
(DIAO Weijun. Construction research on attached monolithic scaffolding in urban renewal project [J]. Building construction, 2018, 40(6):925-928.)
- [19] 徐卫星,高路恒,陈旭元. 江苏财富中心 LPT-01 型组合式施工防护升降平台关键技术[J]. 施工技术,2017,46(8):133-136.
(XU Weixing, GAO Luheng, CHEN Xuyuan. Key technology of LPT-01 type modular construction protection lifting platform construction technology of Jiangsu commercial union center [J]. Construction technology, 2017, 46(8):133-136.)
- [20] 建设部建筑管理司安全处. 建筑施工附着升降脚手架管理暂行规定[J]. 施工技术,2000(12):1-5.
(Safety Office in the Construction Management Department of the Ministry of Construction. The interim provisions on the administration of attached lifting scaffolding for construction [J]. Construction technology, 2000(12):1-5.)

(责任编辑:刘春光 英文审校:范丽婷)