

文章编号: 1673-9469 (2018) 01-0042-06

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2018.01.010

数字近景摄影测量在钢桁架节点试验中的应用

李万庆¹, 续玉倩², 孟文清², 郭庆林², 王睿²

(1.河北工程大学管理工程与商学院,河北邯郸056038; 2.河北工程大学土木工程学院,河北邯郸056038)

摘要: 针对钢桁架节点变形场测量问题,以某输煤栈桥钢桁架节点试验为依托,利用数字近景摄影测量技术进行位移测量。首先运用定点拍摄方法获取变形图像,然后进行图像预处理与像素坐标提取,对测点的位移变化规律进行分析。结果表明:近景摄影测量技术在钢桁架节点的全场变形测试中测量精度能够满足试验需要,并且该技术具有简便的操作性及很强的实用性。

关键词: 管桁架节点; 近景摄影测量技术; 变形; 数字图像处理

中图分类号: TU39

文献标志码: A

Application of digital close-range photogrammetry in steeltruss node test

LI Wanqing¹, XU Yuqian², MENG Wenqing², GUO Qinglin², WANG Rui²

(1.School of Management Engineering and Business, Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China;
2.School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China)zhuyaocongshi)

Abstract: In view of the deformation field measurement problem of steel truss node, in this paper, we carried out a certain coal conveying trestle steel truss node test and performed displacement measurement by using the digital close-range photogrammetric technology. Firstly, we took fixed-point shooting method to obtain the deformation image. Secondly, we conducted the image pre-processing and the pixel coordinate extraction. And finally, we analyzed the displacement change rule of the measurement point. The results show that the measurement accuracy from the close-range photogrammetric technology can meet the needs of the whole deformation test of steel truss node experiment, and the close-range photogrammetric technology has characteristic of simple operation and strong practicability.

Key words: pipe truss node; close-range photogrammetry; deformation; digital image processing

输煤栈桥在煤炭矿井及选煤厂的内部运输系统构成中占有关键地位。现阶段输煤栈桥的上部承重结构多为钢桁架结构^[1],其中节点是钢桁架结构中的重要组成部分,直接影响结构的力学性能、安全与使用。长期以来,专家学者们一直在对节点受力性能进行研究。2001年开始,国内的一些专家学者也开始进行钢节点的性能试验研究,并获得了较大的成就,为钢节点的研究做出了巨大贡献^[2-5]。在进行节点受力性能研究时大多是利用位移计来测量节点各杆件的位移情况,但位移计安装比较复杂,准备过程费时费力且测量点比较有限。近些年近景摄影测量技术及数字图像处理技术飞速发展,在各行

业的应用越来越广泛^[6],近景摄影测量准备过程简便,操作简单,利用普通数码相机就可进行测量且可以测量试件的全场变形,故利用其进行节点的变形测量成为必然趋势。本文将数字近景摄影测量技术应用到栈桥管桁架节点试验测试中,从多方面检测节点的变形情况,使试验结果更加的精准,节点的变形情况更加的直观。

1 工程概况

本文以某输煤栈桥钢桁架节点为工程背景,该栈桥类型属于管桁架结构,栈桥跨度为30 m,宽度

收稿日期: 2017-11-09

特约专稿

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(E2016102079)

作者简介: 李万庆(1954-),男,河北邯郸人,博士,教授,从事工程管理理论、技术及应用方面的研究。

为6.9 m, 该栈桥的下弦节点平面外通过一节点板连接H型钢梁, 以承受皮带走廊、运煤设备及其它荷载。这种节点形式受力比较复杂, 属于新型节点形式。目前对其研究较少, 其设计方法尚无具体规范条文可以直接参考, 有必要选取其典型节点进行模型试验, 以评估该类节点的受力性能, 破坏模式以及极限承载力。本次试验选取栈桥上受力较大的一个典型节点, 节点材料采用Q345钢, 节点杆件弹性模量为200 GPa, 节点示意图如图1所示。

2 全场测量方案设计

本次试验将近景摄影测量技术运用到节点全场变形的测试中, 近景摄影测量技术的具体实施情况如以下几方面所述。

2.1 数码相机的检校

在利用数码相机获取图像过程中由于镜头光学畸变影响, 像点坐标会产生误差, 影响量测精度, 故必须对数码相机进行检校。

本文通过软件PhotoModeler Scanner利用室内检校板(图2)对试验所用数码相机进行检校。该检校板为一个十二行十二列的共面点阵, 共144个标识点, 其中4个编码标识点, 可自动识别匹配且具有唯一身份^[7]。

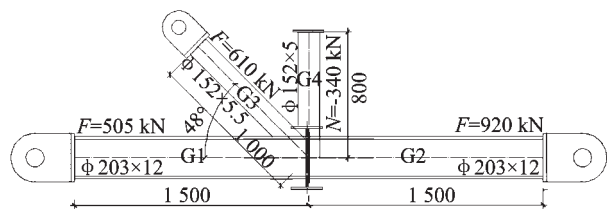


图1 节点示意图
Fig.1 Node diagram

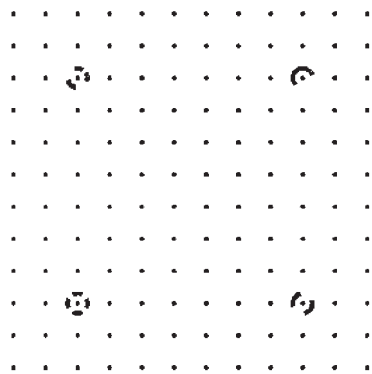


图2 室内检校板
Fig. 2 Indoor calibration plate

拍摄时, 检校板保持不动, 用相机从四个方向分别拍摄2张照片, 其中一张相机90°旋转拍摄, 共8张照片。

将拍摄图像导入PhotoModeler Scanner软件, 利用软件检校板块进行相机检校, 经图像处理得到相机检校结果。

从检校结果可以得到下列信息: 本次试验所用相机型号为Canon EOS 6D, 相机焦距为24.833 6 mm。像主点坐标为(18.032 8 mm, 12.183 4 mm)。K1, K2, K3为径向畸变(radial distortion)改正系数; P1, P2为偏心畸变(decentering distortion)改正系数; 像幅为5 472×3 648。相机检校完成后, 仔细检验检校报告, 各项标准的偏差均在精度限差之内。

通过软件像素坐标提取功能可以得到检校板上4个控制点的坐标及坐标精度, 且精度均在±0.1 mm以下, 可以很清楚地看出相机检校结果较好。

2.2 标志点的选取与布设

对钢管节点静力性能试验, 采用数字摄影技术对节点各部分的变形进行实时观测测量, 为了保证和提高测量精度, 在数据采集过程中需要布置合适的人工标志。人工标志大部分为平面型, 一般采用黑白相间的颜色。标志的外形较多, 通常根据测量对象、测量方法及测量环境进行选择^[8]。

本次试验在室内对钢桁架节点进行定点拍摄, 为了得到钢桁架节点杆件上一些点的坐标值信息, 必须在相应位置布置标志点。考虑拍摄对象特征及要求, 将一个正方形九等分, 选取中间和四个角的部分做成黑色, 材质为纸质, 黑白相间使标志点非常容易辨识。

根据节点变形监测目的, 选取弦杆和腹杆轴线上相应位置布设标志点, 其中上部腹杆标志间距为200 mm, 底部主弦杆标志中心间距为150或100 mm, 在试件外安装大型校准标尺, 黑白方格长度均为25 mm^[9]。具体标志点的布置如图3所示。

2.3 数码图像的采集

将试验开始前状态作为起始状态, 采集数字图像, 共采集包括初始状态在内的16级荷载作用下的结构变形图像。试验测试开始前, 将数码相机架立于支架上并固定。调整数码相机, 使其视角能够覆盖整个试件。调整相机摄像参数, 采用延时摄影方式, 延时时间依据加载速率确定。为提高摄影测量精度,

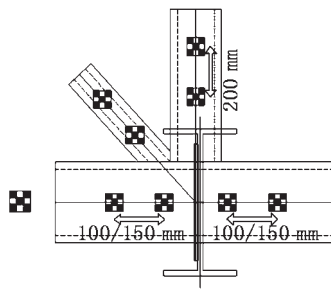


图3 标志点布置方案图

Fig.3 Map of signage scheme

试验过程中可对弦杆进行单独拍照,获取局部标志图像。对于不可定量量测的构件局部变性破坏,实时拍摄照片,反应破坏现象。

3 数字近景摄影测量技术的应用

3.1 数字图像预处理

在实际试验过程中,由于环境和设备等因素的不同,图像的获取存在光照不均、阴影等噪声干扰。为突显图像特征和降低噪声干扰,必须通过合理的方法对图像进行滤波和对对比度增强的处理^[10]。

利用 Image-Pro Plus 软件可以改变图像的对比

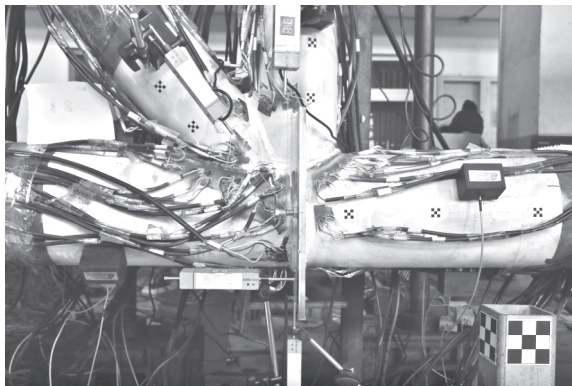


图4 预处理前图像

Fig.4 Pretreatment Image

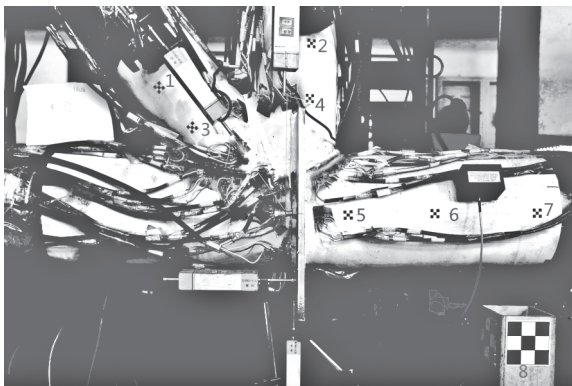


图5 预处理后图像

Fig.5 Postprocessing image

度,这种处理能够提高视觉判断的质量,对比度扩展增强,使图像特征更加明显。对于管桁架节点来说,增强标志点上黑色与白色的对比度有利于提高像素坐标提取的准确度,提高测量精度,预处理前图像如图4所示,预处理后图像如图5所示。

用 Photo Modeler Scanner 软件进行测点标志的像素提取,像素提取之前如图5所示把标志点进行编号,按顺序对标志点像素坐标进行提取,选取标志点中心黑色方块的坐标。量取各杆轴线上标志点的像素边长求取尺寸换算系数,进而得到各标志点的实际位移变化。

3.2 尺寸换算系数确定

利用 Photo Modeler Scanner 软件对图中标志点进行像素提取,并基于图中的编码标志点确定了图中对应于1#~4#点,5#~7#点以及8#点的实际尺寸换算系数,如表1所示。

表1 尺寸换算系数汇总

Tab.1 Summary of size conversion coefficient

点号	1~4	5~7	8	平均值
像素/mm	0.181	0.176	0.165	0.174

3.3 钢节点各杆相对位移变化

通过尺寸换算系数对测量的像素距离进行换算并计算钢节点各杆上标志点相对位移变化。图6、图7是两根杆上各标志点对应的荷载—位移曲线。

由图6分析可知,由于在试验加载过程中一直在协调千斤顶的加载顺序控制节点的水平位移,导致节点在试验过程中的实际水平位移比 ABAQUS 模拟位移小。通过对数字近景摄影测量数据的分析得出,前几级加载过程中拉、压荷载等级不同步的原因,导致试件杆件受力不平衡,数据出现回弹现象,通过协调拉、压加载过程后期趋于稳定。

由图7各杆荷载—竖向位移曲线分析可以得出,数字摄影测量数据与 ABAQUS 有限元模拟数据结果有一定的差距。其原因是有限元模拟计算为理想状态,实际实验过程还有小部分架体位移没有完全消除。但曲线的发展趋势基本一致呈线性变化,表明测量结果比较可靠。

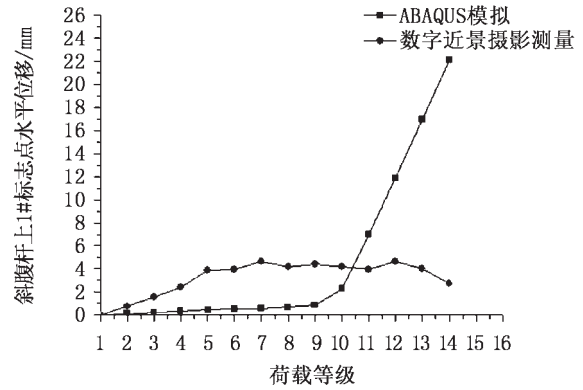
此外通过分析数据可以得出竖杆在竖向荷载 400 kN 时,竖杆节点区域进入塑性阶段极限荷载 800 kN;斜杆在 700 kN 时斜杆节点区域进入塑性阶段,极限荷载 1200 kN。节点的竖杆设计荷载

为 340 kN，斜杆的设计荷载 610 kN。

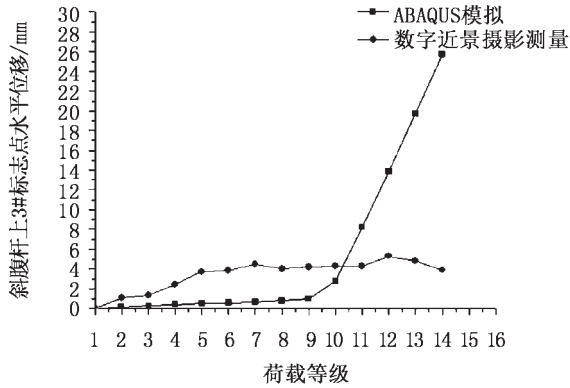
4 结论

1) 运用近景摄影测量技术可以获得钢桁架节点各杆件的位移变化，从而获取钢桁架节点结构的复杂位移场。

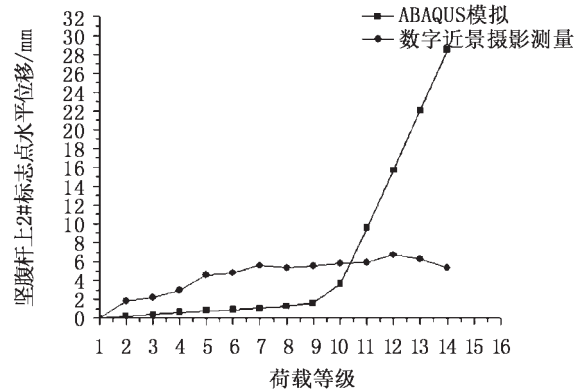
2) 利用数码相机来获取钢桁架节点的影像检测节点变形，此种方法具有简便的操作性，数据分析结果与有限元模拟结果比较证明，数字近景摄影测



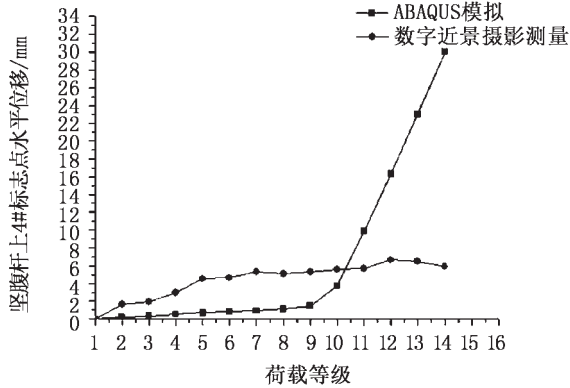
(a) 斜腹杆上 1# 标志点荷载—水平位移曲线



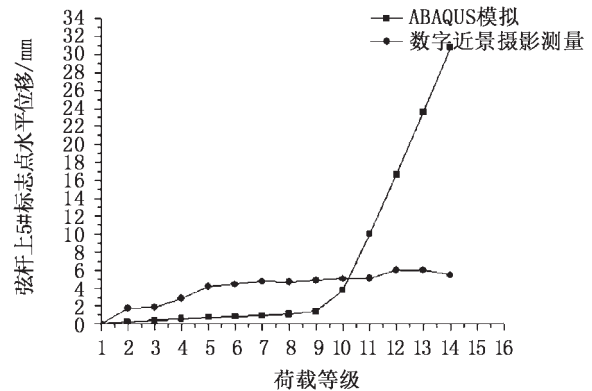
(b) 斜腹杆上 3# 标志点荷载—水平位移曲线



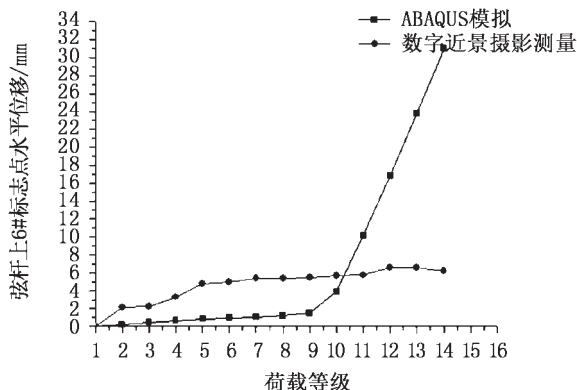
(c) 竖腹杆上 2# 标志点荷载—水平位移曲线



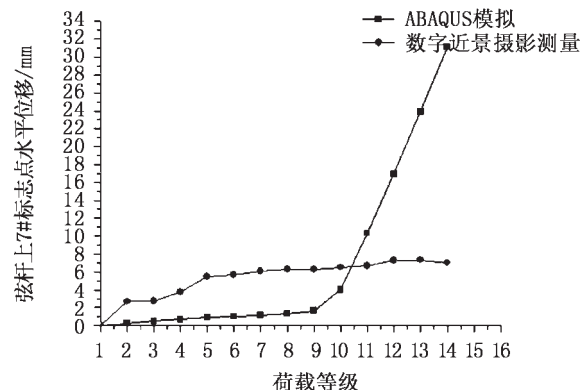
(d) 竖腹杆上 4# 标志点荷载—水平位移曲线



(e) 弦杆上 5# 标志点荷载—水平位移曲线



(f) 弦杆上 6# 标志点荷载—水平位移曲线



(g) 弦杆上 7# 标志点荷载—水平位移曲线

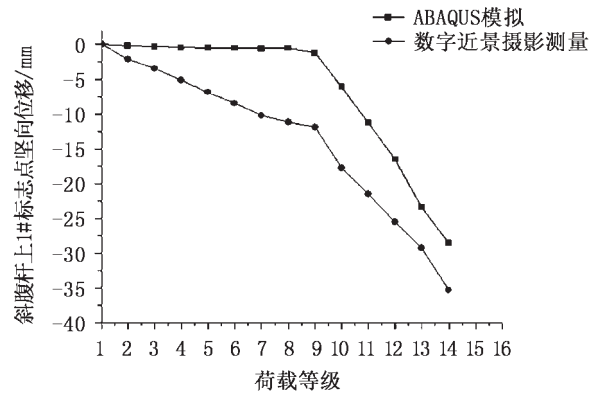
图 6 各杆荷载—水平位移曲线

Fig.6 Load - horizontal displacement curve

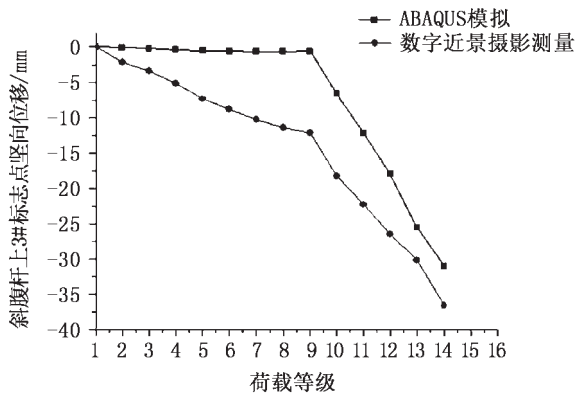
量结果比较可靠,为钢桁架节点的变形检测找到了一条新的可行途径。

3) 利用室内检校板对本次试验使用的数码相机进行了检校,结果证明相机精度较高,较好地达到了试验数据的精度要求。

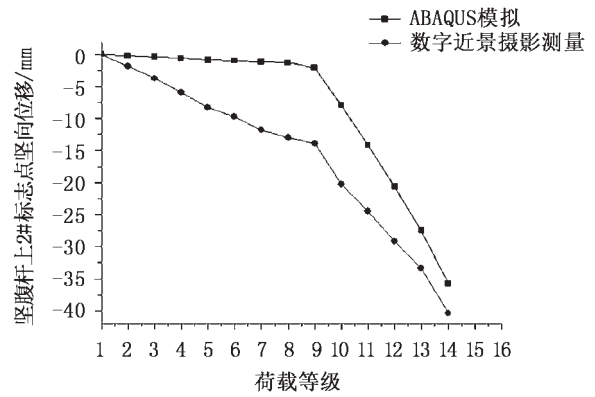
4) 近景摄影测量的一个特点就是广泛使用人工标志。本次试验根据拍摄对象特点和试验要求选择了合适的标志点并进行了布设,为精度提供了进一步的保证。



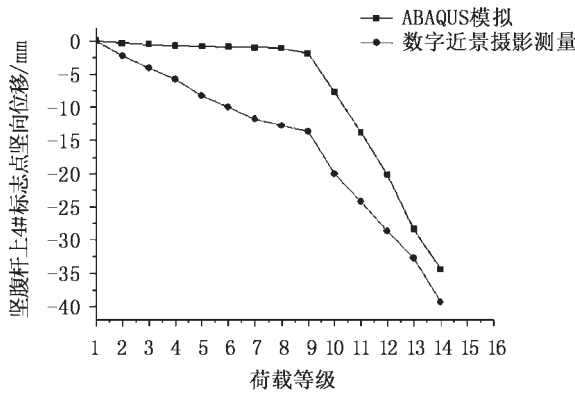
(a) 斜腹杆上1#标志点荷载—竖向位移曲线



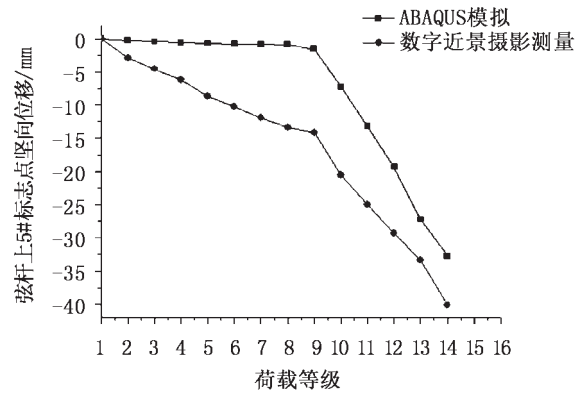
(b) 斜腹杆上3#标志点荷载—竖向位移曲线



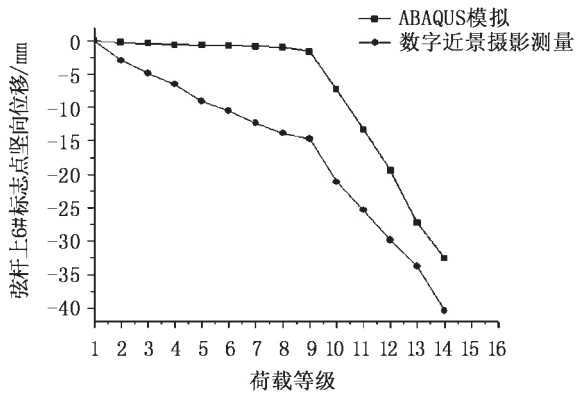
(c) 竖腹杆上2#标志点荷载—竖向位移曲线



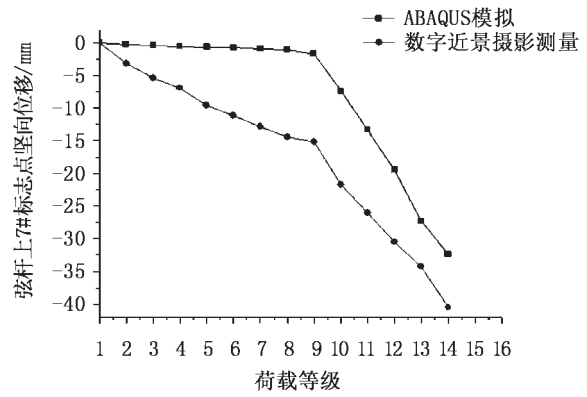
(d) 竖腹杆上4#标志点荷载—竖向位移曲线



(e) 弦杆上5#标志点荷载—竖向位移曲线



(f) 弦杆上6#标志点荷载—竖向位移曲线



(g) 弦杆上7#标志点荷载—竖向位移曲线

图7 各杆荷载—竖向位移曲线

Fig.7 Load - vertical displacement curve

参考文献:

- [1] 李伟, 焦守林, 蒋丽丽. 钢管桁架在输煤栈桥中的应用[J]. 山东煤炭科技, 2015(9): 127-129.
- [2] FUNG T C, SOH C K, GHOWH M, et al. Ultimate capacity of completely overlapped tubular joints I. An experimental investigation[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2001, 57(8): 855-880.
- [3] FUNG T C, SOH C K, GHOWH M, et al. Ultimate capacity of completely overlapped tubular joints II. Behavioral study[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2001, 57(8): 881-906.
- [4] 隋炳强, 罗兴隆, 王发强, 等. 中美欧圆钢管相贯节点设计方法比较[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2012, 29(2): 20-23.
- [5] 严德绪, 万红霞, 王小平. 钢管受拉变截面拼接节点试验及有限元分析[J]. 工业建筑, 2014(6): 112-116.
- [6] 陈汗青, 万艳玲, 王国刚. 数字图像处理技术研究进展[J]. 工业控制计算机, 2013, 26(1): 72-74.
- [7] 程效军, 许诚权, 周行泉. 基于 PhotoModeler Scanner 的普通数码相机快速检校研究[J]. 遥感信息, 2011(4): 80-84.
- [8] 冯文灏. 近景摄影测量[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
- [9] 梁菲. 近景摄影测量在桥梁变形监测中的应用[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2010.
- [10] 郭庆林. 沥青混合料内部应力分布及其对粘弹性能的影响研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.

(责任编辑 王利君)

(上接第41页)约束作用还没完全发挥。随着荷载继续增加, 受拉侧混凝土开裂, 受拉区 CFRP 布的工作效果越来越明显, 于是就呈现出加固与未加固柱承载力的差值越来越大。

2) 在其他参数不变的情况下, 随着肢长比的增大, 极限承载力下降。

3) 黏贴 CFRP 布能提高构件极限承载能力, 当肢长比分别为 1、1.4 和 2 时, 极限承载力分别提高 19%、22% 和 24%。

4) 肢长比越大, 受拉区 CFRP 布、钢筋的抗拉特性发挥的越充分, CFRP 布对承载力提高的幅度越大, 所以 CFRP 布对肢长比较大的钢筋混凝土 L 形柱的加固效果较为明显。

参考文献:

- [1] RONG Bin, FENG Changxi, ZHANG Ruoyu, et al. Compression-bending performance of L-shaped column composed of concrete filled square steel tubes under eccentric compression[J]. International Journal of Steel Structures, 2017, 17(1): 325-337.
- [2] 刘广斌. 钢筋混凝土异形柱抗震性能分析[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
- [3] 郝彬. 十字形截面方钢管混凝土组合异形柱压弯性能研究及可靠度和优化分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2014.
- [4] 刘红飞. 钢筋混凝土异形柱框架结构抗震性能分析[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2016.
- [5] 施柏楠, 张新培. 混凝土异形柱抗剪承载力可靠度分析及公式调整[J]. 土木工程学报, 2017, 50(2): 18-25.
- [6] DWI Agus Setiawan Wardaya, HANDOKO Sugiharto, PAMUDA Pudjisuryadi. Compressive Strength of Post Fire Exposed Concrete Column Wrapped with Fiber Reinforced Polymer[J]. Civil Engineering Dimension, 2017, 19(2): 105-110.
- [7] OMAR Ahmed Farghal, HESHAM Mohamed Ahmed Diab. Prediction of axial compressive strength of reinforced concrete circular short columns confined with carbon fiber reinforced polymer wrapping sheets[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2013, 32(19): 1406-1418.
- [8] ISSA Moshen A, ALROUSAN Rajai Z, ISSA Moussa A. Experimental and Parametric Study of Circular Short Columns Confined with CFRP Composites[J]. Journal of Composites for Construction, 2009, 13(2): 135-147.
- [9] 曹怀超. 碳纤维布及组合加固改善高强混凝土方柱延性研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [10] 崔熙光, 万广宇, 田虹. CFRP 加固钢筋混凝土腹板受拉 L 形柱的试验研究[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2008, 24(3): 402-406.

(责任编辑 王利君)