

基于热点应力分布的起重机桁架臂K形节点疲劳试验方法研究

蔡福海^{1,2} 王欣² 盛林³ 殷宏成² 高顺德²

(1. 常州机电职业技术学院 机械工程学院, 常州 213164)

(2. 大连理工大学 机械工程学院, 大连 116023)

(3. 江苏省特种设备安全监督检验研究院, 南京 210000)

摘要:【目的】起重机桁架臂焊缝数量多、受力状况复杂,其疲劳试验存在样本少、试验时间长、成本高等难点,因此,拟在单独K形节点中获得同整体臂架等效的应力分布,以简化分析。【方法】首先,确定了5种可行的K形节点工装方案;其次,针对危险区域的等效热点应力分布情况开展了量化对比;最后,针对应力分布比较符合实际情况的2种约束方式进行疲劳试验,并对试验结果进行分析。【结果】结果表明,采用单独弦杆轴力加载和辅助杆加载这2种约束方式下的热点应力分布情况比较符合整体臂架节点的实际应力分布,比载荷同时作用于弦杆和腹杆上或载荷单独作用于腹杆上这2种加载方式更为合理;采用辅助杆约束加载方式的疲劳寿命的中值误差不大于10%;当对疲劳试验的精度要求不高时,单弦杆加载是一种比较简便的疲劳试验方法,其中值误差不超过20%。通过单独弦杆轴力加载和辅助杆加载这2种方式即可对整体臂架的危险节点进行分析,为起重机臂架疲劳试验方法的选择提供了参考。

关键词: 起重机; 桁架臂; K形节点; 疲劳试验方法; 等效热点应力分布

中图分类号: TH114 **DOI:** 10.16579/j.issn.1001.9669.2026.05.009

0 引言

桁架系统广泛应用于起重机、钢结构厂房、立体车库、海洋平台、桥架等领域^[1-27-34],但桁架系统的焊接工艺复杂,焊缝众多,出现疲劳损伤的概率较大^[3-4]。由于整体桁架臂疲劳试验成本高、耗时长,进行全尺寸、多样本试验几乎是不可能的。

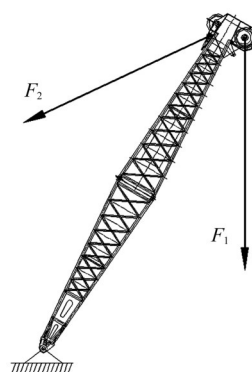
目前,桁架系统疲劳试验一般采取2种试验方法。第1种试验方法是进行缩小比例的模型试验,其主要用于桥梁、车辆、钢结构建筑等领域^[5-6]。这种方法的优点是桁架系统的受力情况比较符合实际情况;缺点是疲劳试验的加载力和加载频率不可能过高,而且要考虑尺寸效应的影响,试验周期长、费用高。第2种试验方法是针对桁架系统的关键节点进行分析,如K形节点等,主要用于海洋平台结构、船舶结构等领域^[7-8]。此方法的优点是可以进行多样本试验,可以进行高频加载,试验周期短;缺点是节点的受力情况与实际桁架系统中的受力情况并非完全一致,节点的疲劳性能数据不能完全真实地反映桁架系统的疲劳性能。

本文对比整体臂架与K形节点在危险区域的热点应力分布,通过构造最佳K形节点工装约束,建立单独

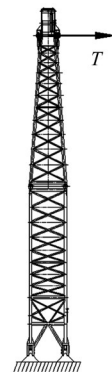
K形节点加载轴力与整体臂架应力分布的简化映射关系,为桁架臂节点疲劳试验方法的选择提供参考。

1 起重机桁架臂的载荷特点

起重机桁架臂所受的载荷情况复杂。在起重机作业时,臂架除了承受变幅平面内的轴向载荷和平面内的弯曲载荷外,还承受回转平面内的侧向弯矩。总体而言,臂架整体受压,而K形节点则承受拉-压复合疲劳载荷,如图1所示^{[9][10]1287-1292}。



(a) 臂架变幅平面受力图



(b) 臂架回转平面受力图

收稿日期: 2024-08-02 修回日期: 2024-08-20

基金项目: 江苏省产学研合作项目(BY20231358); 江苏省普通高校自然科学研究计划项目(23KJB470003); 江苏省特种设备安全监督检验研究院科技计划项目[KJ(Y)2023031, KJ(Y)2023046]; 江苏省高校“青蓝工程”项目

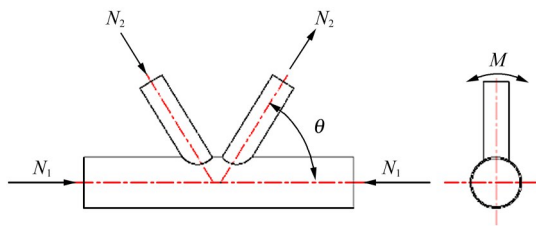
作者简介: 蔡福海,男,1982年生,浙江瑞安人,博士,副教授; 主要研究方向为工程起重机械疲劳与可靠性; E-mail: cfhdut@163.com。

引用格式: 蔡福海,王欣,盛林,等. 基于热点应力分布的起重机桁架臂K形节点疲劳试验方法研究[J]. 机械强度, 2026, 48(5): 75-82.

CAI Fuhai, WANG Xin, SHENG Lin, et al. Study on fatigue test method for K-joints of crane lattice booms based on hot spot stress distribution[J]. Journal of Mechanical Strength, 2026, 48(5): 75-82.



免费获取



(c) K形接头受力图

F_1 -工作载荷; F_2 -拉索拉力; T -侧向载荷; N_1 、 N_2 -平面内轴力; M -平面外弯矩。

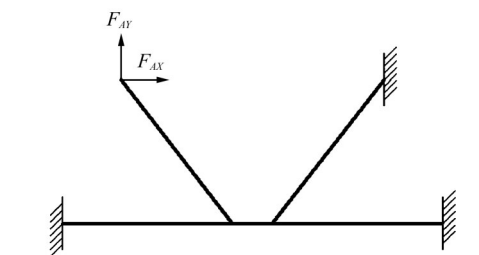
图1 桁架臂及其接头外载受力简图

Fig. 1 Schematic diagram of external loads on lattice boom and its joints

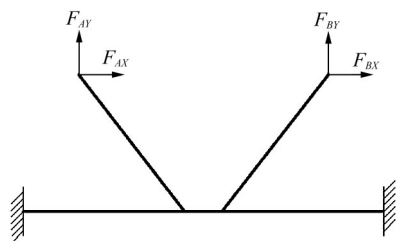
2 桁架臂疲劳试验方法

2.1 约束方式

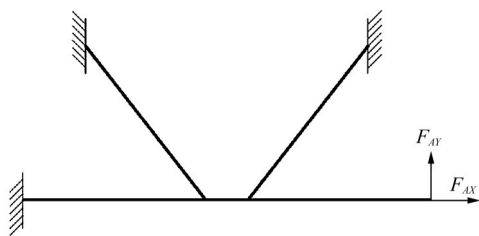
本文只对轴力和平面内弯矩联合作用下的节点进行研究,根据工装上单节点(简称单节点)与臂架中的节点(简称整体节点)的受力等效,构造5种约束方式,如图2所示。



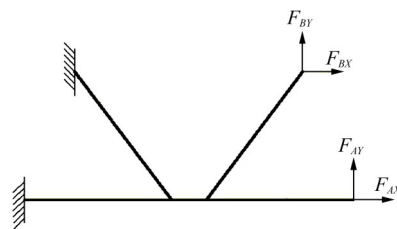
(a) 约束1:单腹杆加载



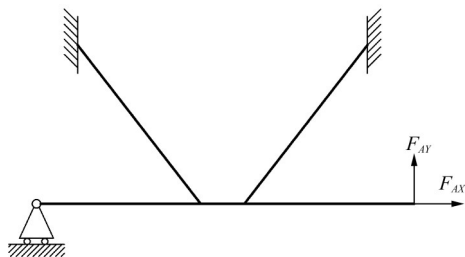
(b) 约束2:双腹杆非平衡加载



(c) 约束3:单弦杆加载



(d) 约束4:单弦杆和单腹杆加载约束



(e) 约束5:单弦杆与辅助拉杆加载约束

图2 K形节点典型约束方式原理图

Fig. 2 Schematic diagram of typical constraint modes for K-joints

臂架节点的实际约束为杆件连接,具有一定的挠度。参考海洋工程平台的节点疲劳试验,设计约束5,添加辅助杆,将腹杆的受力方向约束在轴线方向,这样就可以实现弦杆与腹杆节点相连接部分的挠度模拟效果^{[1]27-34}。

2.2 约束工装设计原理

根据相关标准^{[11]41-44[12]5-6[13]5-6}约束工装与疲劳试件,有以下3个基本设计原则:

1)工装对试件夹持可靠度的要求:夹持装置在试验过程中向试件传递循环轴向力和转矩时,应没有反向间隙;其几何特性中的同轴度应能确保试验机的弯曲应变不大于零载时的50微轴向应变与所加轴向机械应变的5%的较大者^{[12]5-6[13]5-6}。因此,试件端部与固定约束或作动器之间采用法兰螺栓紧固连接,确保它们之间无间隙,满足同轴度要求。

2)工装和试件强度的要求:夹持装置的材料应选择在试验条件范围内都能正常工作的材料,要满足疲劳试验本身的强度要求和疲劳试验的次数要求,防止工装由于强度不足而先于试件发生破坏^{[11]41-44}。因此,工装机械强度和疲劳强度应为试件相应强度的2~3倍以上,尤其是在试件法兰连接处应使用多个筋板加强。由于试件的研究关键点在焊趾处,试件与法兰连接处也需要加强,如图3所示。

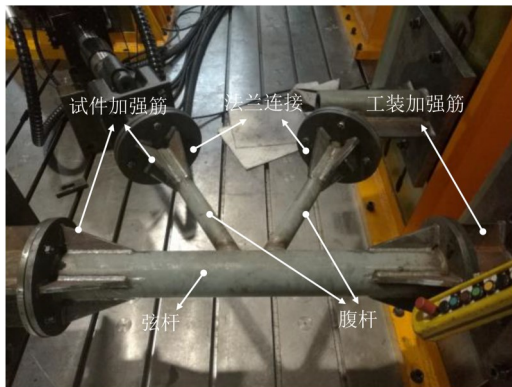


图3 K形节点与工装加强示意图(适用于约束1~约束4)

Fig. 3 Schematic diagram of the K-joint and fixture reinforcement (for constraints 1 to 4)

3) 作动器最大加载力的要求: 通过有限元技术, 确定某型号起重机桁架臂的最大受力点, 并通过节点力传递方法, 获取弦杆和腹杆的最大轴力, 作为作动器的最大加载力^{[14]95-99}。

针对约束 5 的工装, 设计如图 4 所示的辅助拉杆工装, 其强度既要满足 K 形管的疲劳试验要求 (辅助拉杆的柔性比 K 形管大, 使 K 形管的腹杆具有一定的变形空间), 又要约束 K 形管腹杆端部, 使端部不产生较大的位移, 以模拟 K 形管在整体桁架臂中的变形、受力情况:

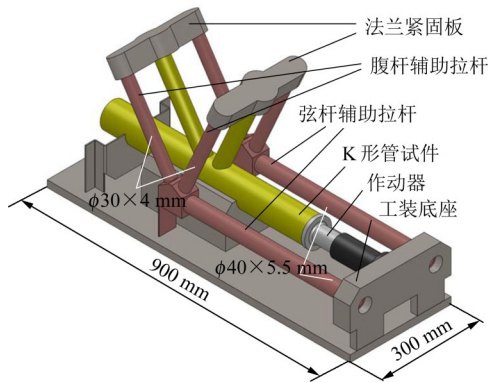


图 4 约束 5 工装设计图

Fig. 4 Design drawing of fixture for constraint 5

1) 辅助拉杆直径和壁厚设计: 根据上述要求和被测试件尺寸 (图 5), 设计辅助拉杆长度和端部紧固部位。辅助拉杆的直径可以比 K 形管的相应腹杆和弦杆的直径短 20%, 端部采用法兰紧固连接。

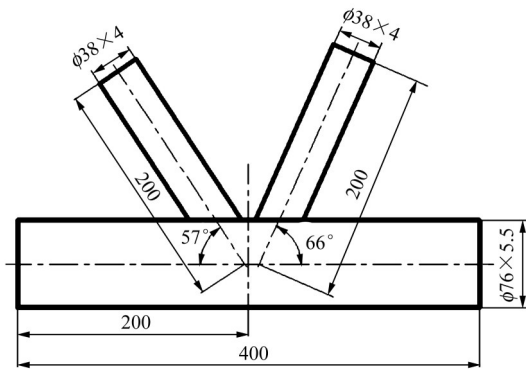


图 5 K 形接头外形图

Fig. 5 Outline drawing of the K-joint

2) 辅助拉杆材料和焊接要求: 所使用材料的屈服强度均等于或大于 K 形管试件材料的屈服强度, 所使用材料一般为 Q460 或者 20Mn2。在多个辅助拉杆的连接处, 焊缝等级为 1 级, 防止出现应力集中。

2.3 单元模型

对 K 形管单节点采用 20 节点六面体单元建模, 用不同密度的网格对不同的区域进行网格划分, 如图 6 所示。为方便计算, 对焊趾区域每 18° 取 1 个点, 其中, 左、右两侧分别按照逆时针和顺时针方向取点, 如图 7

所示。

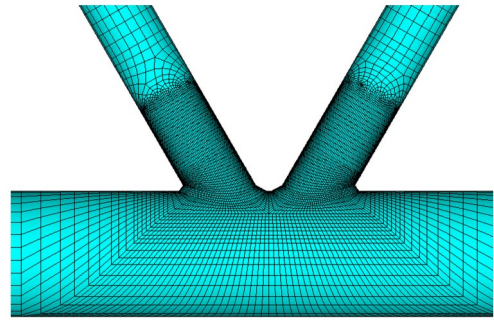


图 6 K 形节点单元划分

Fig. 6 Element division of the K-joint

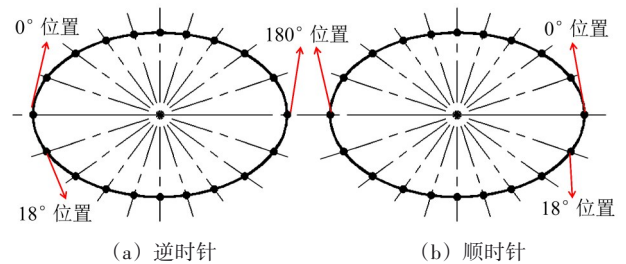


图 7 应力计算点位置 (弦杆俯视图)

Fig. 7 Location of the stress calculation points (top view of the chord member)

不直接通过有限元或者应力测试获取计算点的应力, 而是通过表面热点应力外推法计算出计算点的应力^{[15]80-82}, 其取点的位置如图 8 所示。

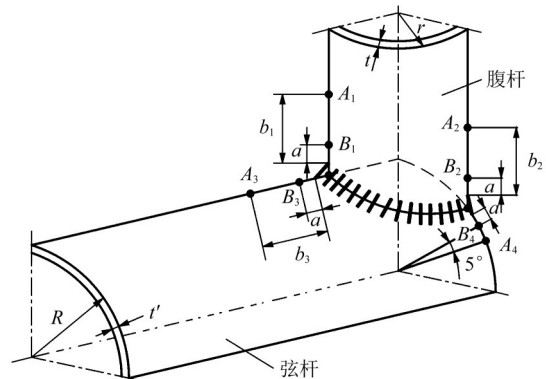


图 8 表面热点应力外推法的取值点

Fig. 8 Auxiliary points for the surface hot spot stress extrapolation

图 8 中, $a = 0.2\sqrt{rt}$, $b_1 = b_2 = 0.65\sqrt{rt}$, $b_3 = 0.5\sqrt{Rt'}$ 。其中, r, t 分别为腹杆的半径、壁厚; R, t' 分别为弦杆的半径、壁厚。

基于线性外推法的焊趾处热点应力计算式为

$$\sigma_{bhs} = \frac{b_1 \sigma_a - a \sigma_{b_1}}{b_1 - a} \quad (1)$$

$$\sigma_{chs} = \frac{b_3 \sigma_a - a \sigma_{b_3}}{b_3 - a} \quad (2)$$

式中, σ_{bhs} 为腹杆焊趾处的热点应力; σ_{chs} 为弦杆焊趾处的热点应力; $\sigma_a, \sigma_{b_1}, \sigma_{b_3}$ 分别为到焊趾的距离为 a, b_1, b_3 处的点的表面 Mises 应力, 其他参数同图 8。

3 案例分析

以质量为 50 t、长度为 18 m 的桁架臂起重机为研究对象,对其危险区域进行分析^{[10]1287-1292[15]80-82},其外形图和危险区域如图 9 所示。对起重机经常工作的 5 个典型工况进行分析,具体工况如表 1 所示。通过有限元分析,可得到每个工况下的轴力数据^{[14]95-99},如表 2 所示。

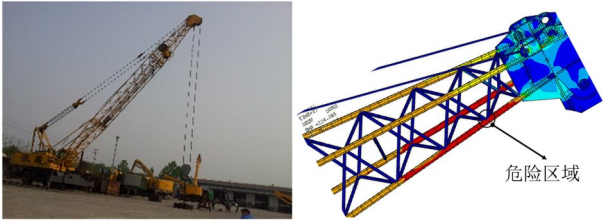


图 9 某质量为 50 t、长度为 18 m 的桁架臂起重机

Fig. 9 A lattice boom crane with a mass of 50 t and a length of 18 m

表 1 计算工况

Tab. 1 Calculation conditions

工况	载荷/t	幅度/m	动作	工况概率/%
1	40	6		5
2	25	8		15
3	20	10	起升-回转-下降	60
4	15	12		15
5	10	14		5

表 2 K 形管的轴力

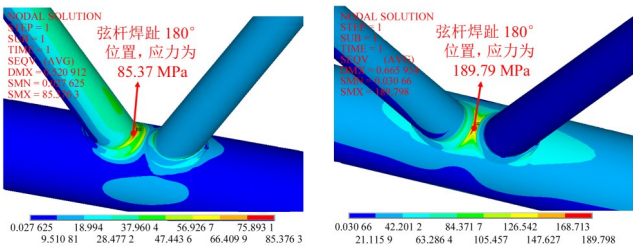
Tab. 2 Axial force of the K-shaped tube

工况	弦杆轴力/kN	左腹杆轴力/kN	右腹杆轴力/kN
1	304.95	19.04	-10.98
2	184.34	6.39	-1.34
3	143.96	-3.35	0.68
4	96.84	-1.53	4.42
5	60.53	-1.74	3.74

注:负号表示压力。

3.1 最大应力点的位置及应力的

大小
工况 2 下的应力分布云图如图 10 所示,大部分焊趾的应力集中点在弦杆焊趾 180°方向,出现疲劳裂纹的概率较高,仿真的裂纹与臂架实测裂纹出现点比较吻合^[16-17]。



(a) 约束 1

(b) 约束 2

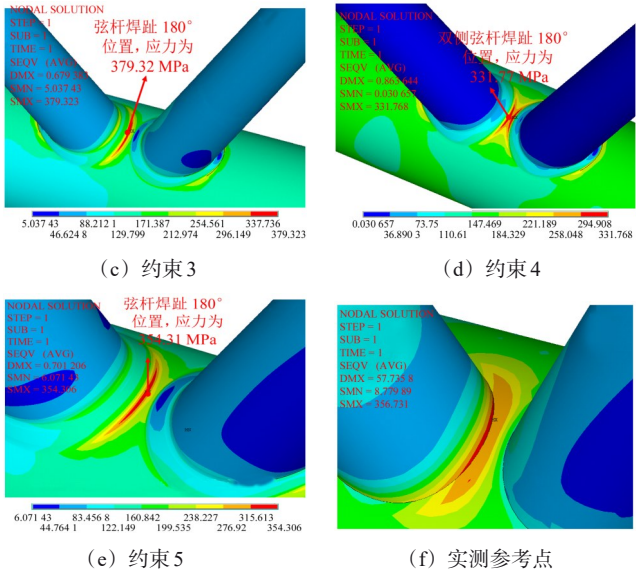
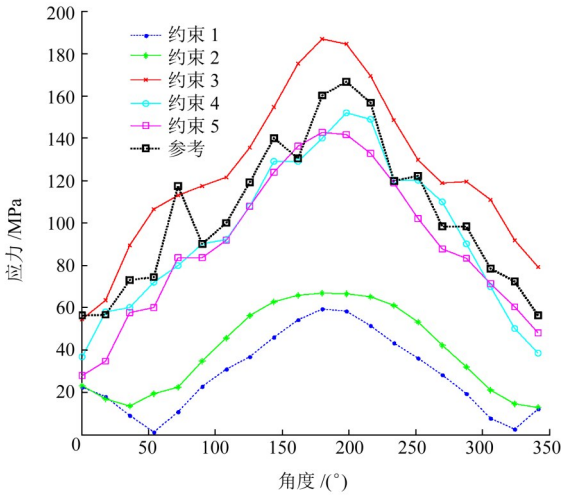


图 10 工况 2 下的最大应力点位置比较

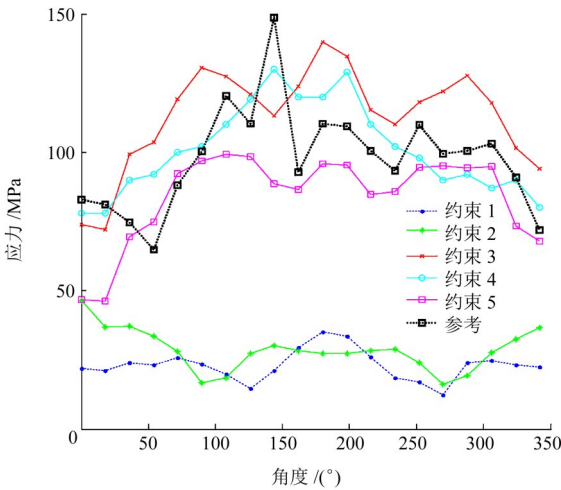
Fig. 10 Comparison of the maximum stress point locations under condition 2

3.2 危险区域应力分布

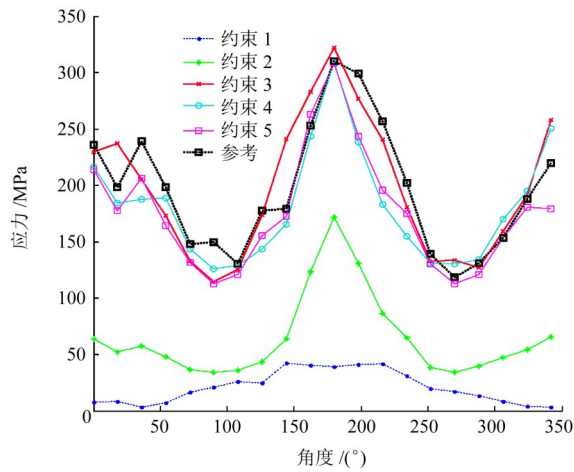
图 11、图 12 分别为 K 形管在工况 2 下焊缝焊趾的等效热点应力分布及其误差比较图,分析可知:



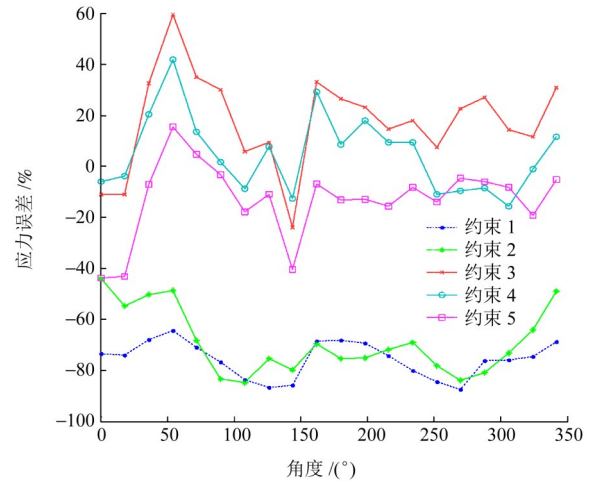
(a) 左腹杆焊趾应力对比



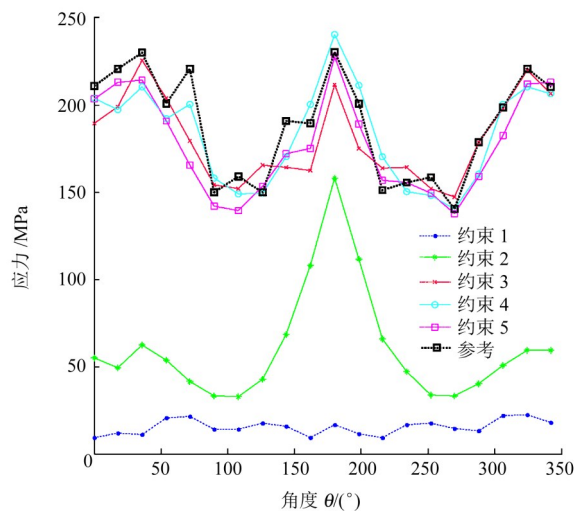
(b) 右腹杆焊趾应力对比



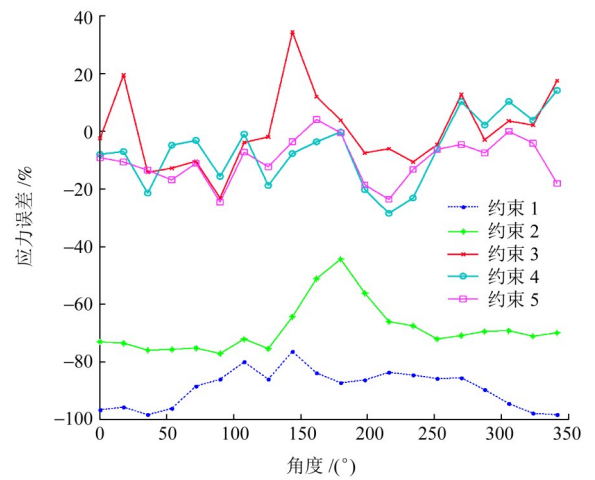
(c) 左弦杆焊趾应力对比



(b) 右腹杆焊趾应力误差对比



(d) 右弦杆焊趾应力对比

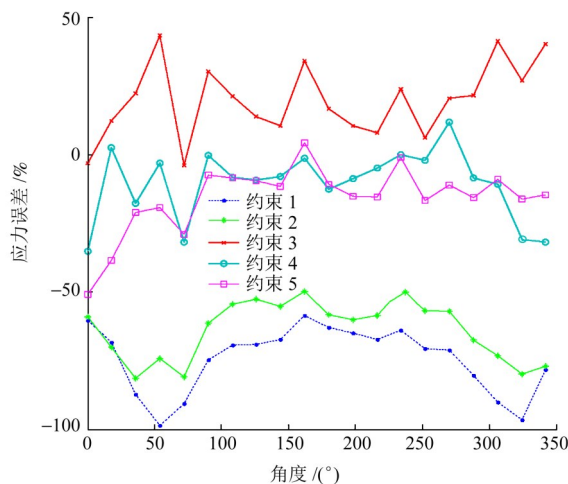


(c) 左弦杆焊趾应力误差对比

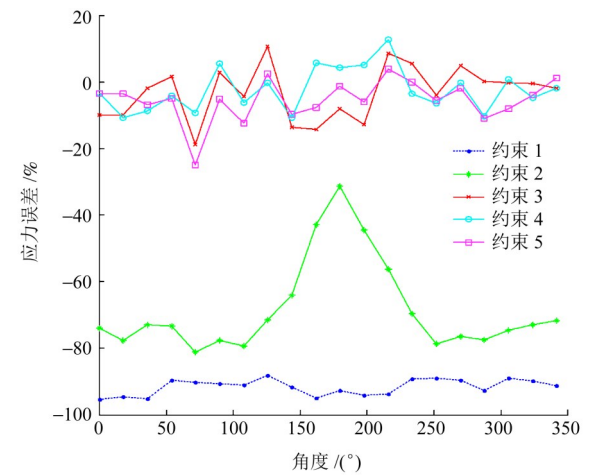
图 11 工况 2 下的等效热点应力分布比较

Fig. 11 Comparison of the equivalent hot spot stress distribution under condition 2

1) 约束 3、4、5 的腹杆与弦杆焊趾应力分布趋势和整体节点的应力分布趋势比较吻合, 约束 1、2 的应力同参考值相差较大。



(a) 左腹杆焊趾应力误差对比



(d) 右弦杆焊趾应力误差对比

图 12 工况 2 下的等效应力误差对比

Fig. 12 Equivalent hot spot stress error distribution under condition 2

2) 约束 5 的弦杆危险点在 180° 位置, 在该位置, 最大计算误差不超过 5%, 满足工程精度要求。

其他工况下的约束方式亦可按照上述流程进行分析, 分析结果如表 3 所示, 约束 3 和约束 5 的应力分布趋势与实测数据比较吻合。

表3 单节点与整体节点的应力分布趋势对比

Tab. 3 Comparison of the stress distribution trends between single node and integral nodes

工况	左腹杆	右腹杆	左弦杆	右弦杆
1	符合	符合	不符合	不符合
2	符合	不符合	符合	符合
3	符合	符合	符合	符合
4	不符合	不符合	符合	符合
5	符合	符合	符合	符合

3.3 疲劳试验

为量化对比约束3和约束5的疲劳试验寿命精度,对这2种约束下的K形管进行疲劳试验。按照Miner法则,基于热点应力法(壁厚 $t=5.5\text{ mm}$)计算了K形管的疲劳寿命,其计算式^{[11]41-44}为

$$\log N_i = \frac{12.476 - 3 \log (\Delta S_i)}{1 - 0.18 \log (16/t)} \quad (3)$$

$$N_m = \frac{1}{\sum p_i / N_i} \quad (4)$$

式中, N_i 为第*i*个工况下的疲劳循环次数; ΔS_i 为第*i*个工况下的应力幅;壁厚 t 取 5.5 mm ; N_m 为考虑工况概率的计算疲劳循环次数; p_i 为第*i*个工况占有所有工况的概率,如表1所示。疲劳寿命计算结果如表4所示。

表4 疲劳寿命计算结果

Tab. 4 Fatigue life calculation results

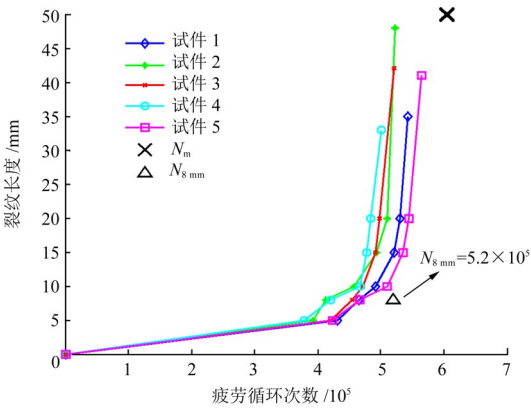
约束	应力幅或疲劳循环次数	工况				
		1	2	3	4	5
3	$\Delta S_i/\text{MPa}$	349	322	211	166	145
	N_m	6.04×10^5				
5	$\Delta S_i/\text{MPa}$	345	308	185	145	121
	N_m	7.88×10^5				

疲劳失效以裂纹穿透K形管弦杆壁厚为判定依据。目标起重机已经服役9年,按照每年工作180~200 d、每天工作4~6 h、每个工作循环周期为1 min进行计算,其已服役循环次数为 $(3.8\sim 6.4) \times 10^5$,平均值为 5.2×10^5 ,危险点处的焊缝裂纹长度约为8 mm。设对应的K形管试件的破坏循环次数为 $N_{8\text{ mm}}$ 。

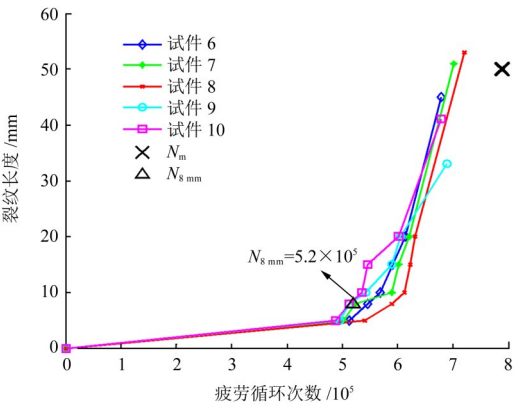
约束3和约束5下的疲劳循环次数试验结果如图13所示,其量化的比较结果如表5所示。裂纹长度为8 mm时的疲劳循环次数对比如图14所示,其量化的比较结果如表6所示。

由图13、图14、表5、表6可知:

1)2种约束下的裂纹-循环次数曲线符合断裂力学中的裂纹扩展基本趋势,说明这2种约束方式是合理的。



(a) 约束3



(b) 约束5

图13 K形管疲劳寿命试验结果对比

Fig. 13 Comparison of fatigue life test results for K-shaped tubes

表5 断裂时的疲劳寿命对比

Tab. 5 Comparison of fatigue life at fracture

约束	计算循环次数	试验循环次数均值	误差/%
3	6.04×10^5	5.31×10^5	12.09
5	7.88×10^5	6.94×10^5	11.93

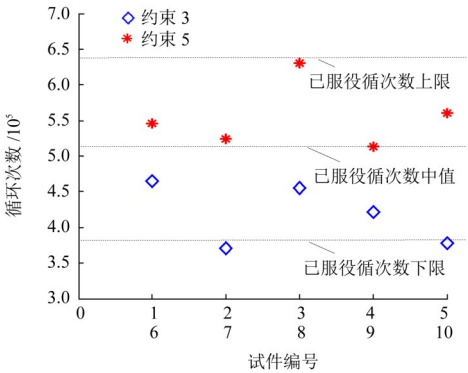


图14 裂纹长度为8 mm时K形节点的寿命对比

Fig. 14 Comparison of life of the K-joints at the crack length of 8 mm

2)2种约束下的K形管危险区域的热点应力幅不同,约束5的寿命比约束3的寿命长23%左右。其原因为约束5下弦杆和腹杆的受力更加均匀。

3)2种约束下的计算寿命比试验寿命的均值长12%左右,其原因为计算所依据的规范只考虑了理想的材料特性和焊接质量。疲劳试验试件因焊接质量之间存在差异而寿命偏短^[18]。

表 6 裂纹长度为 8 mm 时的疲劳寿命对比

Tab. 6 Comparison of fatigue life when crack length is 8 mm

约束 3		约束 5	
试件	疲劳循环次数/ 10^5	试件	疲劳循环次数/ 10^5
1	4.65	6	5.46
2	3.71	7	5.24
3	4.55	8	6.31
4	4.21	9	5.13
5	3.78	10	5.61
参数	约束 3	约束 5	
均值/ 10^5	4.18	5.55	
中值误差/%	-19.6	6.7	

4)当裂纹长度为 8 mm 时,约束 3 的中值误差为 -19.6%,约束 5 的中值误差为 6.7%,约束 5 比约束 3 具有更高的精度和更小的分散率。

4 结论

为了在单独 K 形节点中获得与整体臂架等效的应力分布,对 5 种可行的 K 形节点工装方案进行了量化对比,选取了 2 种较为符合实际情况的约束(约束 3 和约束 5)开展疲劳试验,得到如下主要结论:

1)起重机臂架的节点具有复杂的受力特性,单独 K 形节点的加载轴力与整体臂架中的轴力具有一一对应的关系,可以通过对整体臂架的有限元分析获取危险节点的轴力。

2)单独弦杆轴力加载(约束 3)和辅助杆加载(约束 5)下的热点应力分布比较符合整体臂架节点的应力分布,比载荷同时作用于弦杆和腹杆上或载荷单独作用于腹杆上的加载方式更为合理。

3)对比臂架上的实际裂纹长度所对应的循环次数可知,K 形管在约束 5 下的循环次数中值误差比约束 3 下的更小,但约束 5 的工装比较复杂。当疲劳试验的精度要求不高时,可以用约束 3 进行疲劳试验,其中值误差不超过 20%。

参考文献(References)

- [1] SONSINO C M. Comparison of different local design concepts for the structural durability assessment of welded offshore K-nodes [J]. International Journal of Fatigue, 2012, 34(1): 27-34.
- [2] 鲁佳,王超. 基于改进抛射弹丸算法的门式起重机主梁优化[J]. 机械强度, 2023, 45(3): 756-762.
LU Jia, WANG Chao. Optimization of gantry crane girder based on improved projectile-target algorithm [J]. Journal of Mechanical Strength, 2023, 45(3): 756-762. (In Chinese)
- [3] 王爱红,徐格宁,高有山. 桥式起重机随机应力谱获取及疲劳剩

余寿命估算[J]. 机械工程学报, 2012, 48(18): 192-198.

WANG Aihong, XU Gening, GAO Youshan. Random stress spectrum acquisition and fatigue residual life estimate for overhead travelling crane [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(18): 192-198. (In Chinese)

- [4] RIAD B, OKBA H, SAMIR S. Fatigue life assessment of welded joints in a crane boom using different structural stress approaches [J]. Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 2019, 13(2): 5048-5073.
- [5] 李国荣,刘玉芝. 高强度桥梁钢结构的焊接接头疲劳性能试验研究[J]. 焊接技术, 2023, 52(11): 29-33.
LI Guorong, LIU Yuzhi. Experimental study on fatigue performance of welded joints for high-strength bridge steel structures [J]. Welding Technology, 2023, 52(11): 29-33. (In Chinese)
- [6] 徐步震,任明,胡定祥,等. 焊接钢结构车辆振动疲劳试验量级分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2023, 46(3): 104-107.
XU Buzhen, REN Ming, HU Dingxiang, et al. Vibration fatigue test magnitude analysis of welded steel structure vehicle [J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2023, 46(3): 104-107. (In Chinese)
- [7] XU C H, LIU G, LI Z Y, et al. Multiaxial fatigue life prediction of tubular K-joints using an alternative structural stress approach [J]. Ocean Engineering, 2020, 212: 107598.
- [8] 王欣,杨绍坤,金三强,等. 小吨位桁架臂起重机 K 节点疲劳试验方法[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(3): 13-16.
WANG Xin, YANG Shaokun, JIN Sanqiang, et al. Research on fatigue test method of K-joints for small-tonnage lattice boom cranes [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2016, 35(3): 13-16. (In Chinese)
- [9] 蔡福海,金三强,王欣. 桁架臂 K 型管接头寿命评估方法的对比分析与研究[J]. 中国工程机械学报, 2016, 14(5): 388-393.
CAI Fuhai, JIN Sanqiang, WANG Xin. Comparative analysis on fatigue life assessment for tubular K-joints of truss booms [J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2016, 14(5): 388-393. (In Chinese)
- [10] 蔡福海,王欣,彭黎,等. 基于非线性累积损伤理论的起重机桁架臂 K 节点疲劳寿命研究[J]. 机械科学与技术, 2014, 33(9): 1287-1292.
CAI Fuhai, WANG Xin, PENG Li, et al. Analysis of the fatigue life for K-nodes of crane based on the non-linear cumulative damage theory [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2014, 33(9): 1287-1292. (In Chinese)
- [11] HOBACHER A F. Fatigue design of welded joints and components: recommendations of IIW joint working group XIII-XV [M]. Dordrecht: Springer, 1996: 41-44.
- [12] 全国钢标准化技术委员会. 金属材料 多轴疲劳试验 轴向-扭转应变控制热机械疲劳试验方法: GB/T 41154—2021 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 5-6.
National Technical Committee on Steel Standardization. Metallic materials—multiaxial fatigue testing—axial-torsional strain-

- controlled thermo-mechanical fatigue testing method: GB/T 41154—2021 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2021: 5-6. (In Chinese)
- [13] 全国钢标准化技术委员会. 金属材料 多轴疲劳试验设计准则: GB/Z 40387—2021 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 5-6. National Technical Committee on Steel Standardization. Metallic materials—principles and designs for multiaxial fatigue testing: GB/Z 40387—2021 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2021: 5-6. (In Chinese)
- [14] 兆文忠, 李向伟, 董平沙. 焊接结构抗疲劳设计理论与方法 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017: 95-99. ZHAO Wenzhong, LI Xiangwei, DONG Pingsha. Theory and method of anti-fatigue design of welded structures [M]. Beijing: China Machine Press, 2017: 95-99. (In Chinese)
- [15] 蔡福海. 起重机桁架臂疲劳寿命与可靠性研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2014: 80-82. CAI Fuhai. Fatigue life and reliability research of crane lattice boom [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014: 80-82. (In Chinese)
- [16] HRABOWSKI J, HERION S. Design recommendations for fatigue-loaded hollow section K-joints with gap [J]. Procedia Structural Integrity, 2019, 19: 267-274.
- [17] 邵永波. 平衡轴力作用下 K 节点焊缝周围应力分布规律 [J]. 机械工程学报, 2007, 43(3): 228-234. SHAO Yongbo. Stress distribution along weld toe for tubular K-joints subjected to balanced axial loads [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(3): 228-234. (In Chinese)
- [18] 王欣, 岳增可, 蔡福海, 等. 基于结构应力法的起重机焊缝多轴疲劳寿命研究 [J]. 机械强度, 2022, 44(5): 1226-1231. WANG Xin, YUE Zengke, CAI Fuhai, et al. Research on multi-axial fatigue life of crane weld based on structural stress method [J]. Journal of Mechanical Strength, 2022, 44(5): 1226-1231. (In Chinese)

Study on fatigue test method for K-joints of crane lattice booms based on hot spot stress distribution

CAI Fuhai^{1,2} WANG Xin² SHENG Lin³ YIN Hongcheng² GAO Shunde²

(1. School of Mechanical Engineering, Changzhou Vocational Institute of Mechatronic Technology, Changzhou 213164, China)

(2. School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

(3. Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210000, China)

Abstract: [Objective] Crane lattice booms feature numerous welds and complex stress conditions, and their fatigue tests are plagued by difficulties such as limited samples, long test time, and high costs. Therefore, this paper aims to obtain a stress distribution in an individual K-joint that is equivalent to that of the integral boom, so as to simplify the analysis. [Methods] Firstly, five feasible fixture schemes for the K-joint were determined. Secondly, a quantitative comparison was carried out on the equivalent hot spot stress distribution in the critical region. Finally, fatigue tests were performed on two constraint modes with stress distributions relatively close to the actual situation, and the test results were analyzed. [Results] The results show that the hot spot stress distributions under the two constraint modes-axial loading on a single chord member and loading with auxiliary members, are relatively consistent with the actual stress distribution of joints in the integral boom, and are more reasonable than loading schemes where loads act simultaneously on the chord and brace members or solely on the brace members. The median error of fatigue life under the auxiliary member constraint loading scheme is no more than 10%. When low precision is acceptable for fatigue tests, single-chord loading is a relatively simple fatigue test method, with a median error not exceeding 20%. The two loading schemes (single-chord axial loading and auxiliary member loading) can be used to analyze critical joints of the integral booms, providing a reference for the selection of fatigue test methods for crane booms.

Key words: Crane; Lattice boom; K-joint; Fatigue test method; Equivalent hot spot stress distribution

Corresponding author: CAI Fuhai, E-mail: cfhdut@163.com

Fund: Industry-University-Research Cooperation Project of Jiangsu Province (BY20231358); Natural Science Research Program for Universities of Jiangsu Province (23KJB470003); Science and Technology Program of Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute of Jiangsu Province [KJ(Y)2023031, KJ(Y)2023046]; Qing Lan Project of Universities in Jiangsu Province

Received: 2024-08-02 Revised: 2024-08-20

(编辑: 刘星泽)