

双轴等拉低周疲劳实验装置

黄思敬 朱淑彦 纪炳炎

(材力教研室)

摘 要

本文给出能在一般单向加载液压疲劳试验机上做双轴等拉低周疲劳实验研究的双向拉伸装置,并对有关影响因素进行了讨论。

本试验是在百吨液压低周疲劳试验机上进行的。双向拉伸装置已经受近百万次疲劳载荷,其中交变载荷幅值 $5.5t$,亦经受近20万次。在使用过程,各构件完好合手使用要求,将十字试样进行低周疲劳断裂试验,成功地开出合格裂纹,用它进行超速条件下叶轮材料性能研究亦取得初步结果。可以认为它适用于平面应力集中问题低周疲劳性能的研究。若使用液压高、中周疲劳试验机,它还可用于双轴载荷下裂纹试样裂纹扩展的研究。

本文指出了双向拉伸装置有待改进的方面。

关键词: 双向拉伸装置 双轴等拉、低周疲劳、交变载荷。

Low Cycle Fatigue Tests Under Biaxial Loading

Huang Sijing Zhu Shuyan Je Bingyan

Abstract

The biaxial tension device is presented which can research the equibiaxial tension low cycle fatigue tests with uniaxial hydraulic fatigue testing machine and reference influencing factors are discussed.

The tests make use of the low cycle fatigue test machine of 100t. The device has been sustained fatigue loading about one million times concluding subjected alternative load amplitude of $5.5t$ about two hundred thousands times. These components which are assemblies of the

device are good in use and suitable for requirement. The cruciform specimens for biaxial fatigue tests has been cracked successfully in internal hole. The primary results are obtained on the device to study impeller material properties under the condition of super velocity. The device is suitable to studying the low fatigue properties under concentration of plane stress. It is used to study the fatigue crack growth under biaxial load when it make use of high and intermediate cycle fatigue hydraulic fatigue testing machine.

This paper pointed out that the device will require further improvement.

Key words: biaxial tension device, equibiaxial tension, low cycle fatigue, alternating load

前 言

我国研制2.3万kw燃机生产工艺需要进行超速处理。这项新工艺是美国通用公司保密的技术，不向任何国家出售，为此，需要实验以探求有关工艺技术措施。本课题就是此项任务的研究内容之一。

叶轮在工作时其应力状态是轴对称情形，实验需按双轴等拉应力状态考虑。它需要一种双向拉伸加载设备，目前国内尚没有。为此，设计了这种装置，即用一般单向加载的疲劳试验机就能进行模拟轴对称应力状态试验。

1 双轴拉伸装置的研制和调试

1.1 装置原理、装配图和轮廓图

双向拉伸装置原理见图1所示。E、F、G、H四点连成一正方形。连接点均为铰链。在E、F处通过拉棒和单向疲劳试验机夹具连接。据静力学原理可知，若E、F分别受力P作用时，则A、B、C、D处均受 $\sqrt{2}P$ 的力。这样就能使试样中心区域附近应力状态为各向等拉均匀分布的应力状态。要达到上述要求，设计该装置时要考虑受力后装置中构件和试样会发生变形而影响改变原几何尺寸大小比例。因此，首先使装置系统变形所产生影响较小，以达到误差范围内。各构件连接处要紧密封，间隙要小，使装置能在疲劳载荷下正常工作。设计时考虑装置能承受0~5吨疲劳载荷。图5为装置轮廓图。

1.2 装置调试情况

(1) 检查载荷5吨时，该装置系统变形的影响。测定了图1中E、F两点距离表明，在5吨时发生的变化，原距离为240毫米，改变值为1.5mm。可见系统变形所引起的尺寸比例大小的改变是不大的。

(2) 用电测方法检验试样中心区域内各个方向应变值或应力值的均匀性。在无孔试样(见附图2)(即原设计的34CrMo/A材料试样)中心范围 $\phi 32$ 直径圆周上选择间距

相等的 8 个点处 (见图 3)。用电测法测量其切向应变值。结果见表 1。

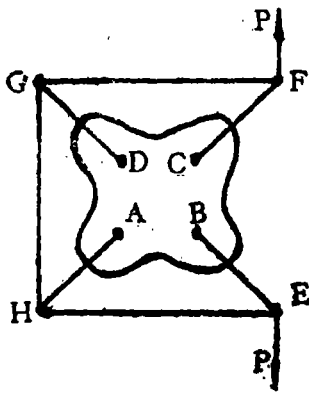


图1 双向拉伸装置原理图
Fig.1 Principle of the device

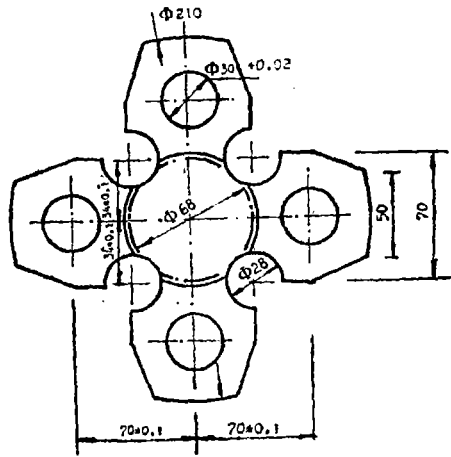


图2 无孔试样图
Fig.2 Specimen of no hole

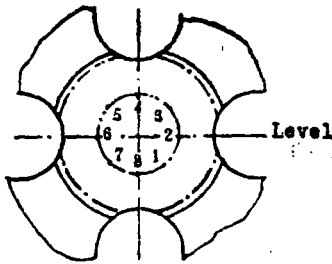


图3 无孔试样测点位置
Fig.3 Measured point position of no hole specimen

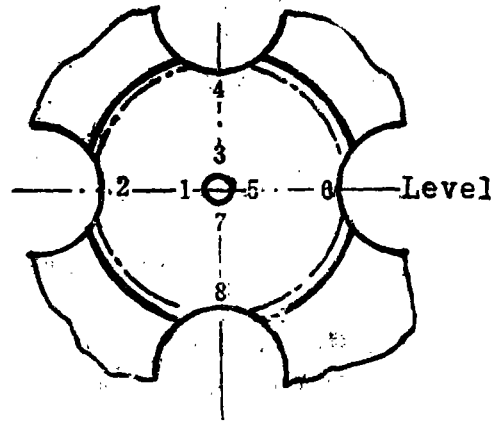


图4 有内孔测点位置
Fig.4 Measured point position of circular hole of specimen

表 1 无内孔试样各点应变值

Table 1 strain of measured point of no hole specimen

| Ordinal number of nodal point | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Strain | 65 | 70 | 50 | 85 | 85 | 50 | 85 | 90 |

注: 各点应变值是 $\Delta P = 4000\text{N}$, 每增加 4000N 时各点平均应变值。应变值单位为微应变 10^{-6} 。

(3) 检验试样有内孔 $\phi 10$ 后,在负荷时内孔孔边和试样缺口处应变分布情况。选择测定点位置见图4,结果见表2。测值为多次测量平均值。

表2 各点应变值
Table 2 strain of measured points

| Ordinal number Of nodal point | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| strain | 94 | 56 | 234 | 196 | 102 | 560 | 217 | 78 |

为了了解全区域应力分布情况还采用反射式光弹测定方法。图6是其等差线图。采用了改进的试样。

从电测和光测结果可见内孔处值基本均匀,但上下与左右值差别较大。另外缺口处(图示6点)应变值大,裂纹不可能首先在内孔出现。要改进原有试样(图2)设计,即要据内孔处首先起裂纹的条件选择设计试样。

(4) 平面问题弹性有限元法计算分析

新设计试样是封闭式十字试样,中心部位改变了厚度,它是多孔的有限边界试样。进行了七种不同方案的设计分析。考虑原程序容量的限制,试样力学简图采用位移和应力边界条件完全对称的试样四分之一区域。计算结果是近似的弹性结果(见图8)。表3中反映了变更试样各区域的厚度,改变了缺口处宽度b对试样应力值改变的全面情况。这样的分析为试样形式选择提供了有力依据。将有限元分析结果和电测、光测的结果相比较,两者是有差异的。有限元分析方案5中改变 P_x 、 P_y 的比值的结果表明,比值的改变对内孔边附近应力分布均匀性影响不大。电测结果显著差别是和位移边界条件,试样各区域刚度有关。如果试样各区域几何尺寸选择合适是能使这种差异(指垂直和水平位置值的差异)在较小误差范围内的。考虑经费和时间等条件的限制有关弹塑性的分析未进行。

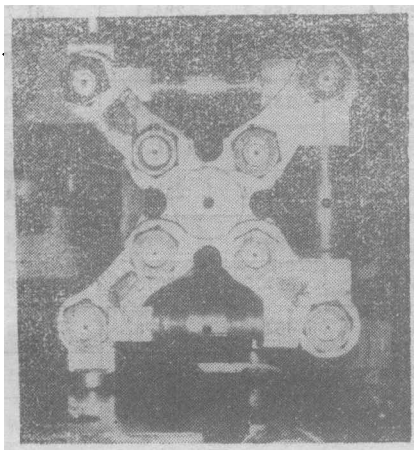


图5 双向拉伸装置图

Fig.5 Biaxial tension device

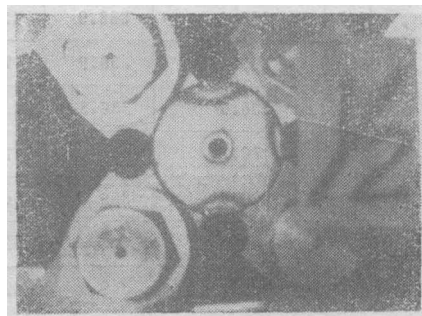


图6 试样光测等差线图

Fig.6 Isochromatic lines of specimen

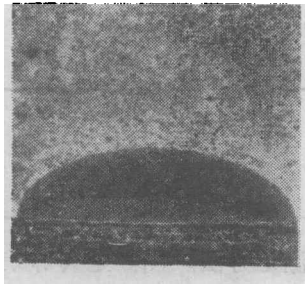


图7 内孔裂纹图

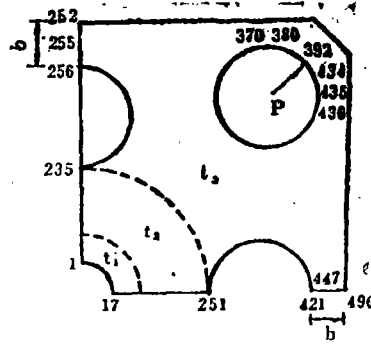


图8 试样1/4区域

Fig. 7 Typical cracked near the hole middle specimen Fig 8 A quarter region of pecimen

在以上研究基础上, 参考文献〔1〕、〔2〕、〔3〕等, 终于在新设计试样上 (见图5轮廓图), 在内孔孔边处开出合格的裂纹 (见图7)。

表3 有限元分析计算结果
Table 3 Results of finite element analysis

| Ordinal number of nodal point | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | |
|-------------------------------|--|--|--|--|---------------|---|---|--|--|--|--|--|--|--|
| | $t_1=1\text{ mm}$ $t_2=4\text{ mm}$ $t_3=12\text{ mm}$ $b=20.5\text{ mm}$ | $t_1=1\text{ mm}$ $t_2=3\text{ mm}$ $t_3=12\text{ mm}$ $b=10\text{ mm}$ | $t_1=1\text{ mm}$ $t_2=2\text{ mm}$ $t_3=12\text{ mm}$ $b=75\text{ mm}$ | $t_1=1\text{ mm}$ $t_2=3\text{ mm}$ $t_3=12\text{ mm}$ $b=20.5\text{ mm}$ | t, b see 1. | $t_1=1\text{ mm}$ $t_2=2\text{ mm}$ $t_3=14\text{ mm}$ $b=7.5\text{ mm}$ | t, b see 3. Thick element of 99, 106, 107, 108 equal 20mm | $p=34090\text{ N}$ $p_y=36500\text{ N}$ | $p=34090\text{ N}$ $p_y=36500\text{ N}$ | $p=34090\text{ N}$ $p_y=36500\text{ N}$ | $p=34090\text{ N}$ $p_y=36500\text{ N}$ | $p=34090\text{ N}$ $p_y=36500\text{ N}$ | $p=34090\text{ N}$ $p_y=36500\text{ N}$ | $p=34090\text{ N}$ $p_y=36500\text{ N}$ |
| Edge of hole | 1 ~ 17 | 222~245.5MN/m | 361.6~372.2 | 441.1~459.6 | 240.1~243.6 | 207.3~237.3 | 323.8~311.9 | 320~331.2 | | | | | | |
| Edge of notch | 235 | 161.8 | 288.7 | 399.0 | 188.6 | 165.6 | 253.0 | 258.2 | | | | | | |
| | 256 | 245.7 | 465.7 | 526.7 | 252.0 | 249.0 | 348.0 | 270.7 | | | | | | |
| | 251 | 174.6 | 315.1 | 442.1 | 207.4 | 169.7 | 284.1 | 281.7 | | | | | | |
| | 421 | 239.0 | 469.6 | 532.3 | 267.6 | 216.9 | 351.5 | 272.8 | | | | | | |
| | 447 | 138.9 | 338.9 | 428.1 | 142.1 | 135.4 | 253.4 | 179.0 | | | | | | |
| | 490 | 765 | 56.6 | 77.7 | 76.5 | 70.1 | 41.2 | 7.6 | | | | | | |
| | 255 | 136.5 | 336.3 | 423.9 | 139.5 | 139.9 | 251.2 | 112.4 | | | | | | |
| | 252 | 76.7 | 57.1 | 78.3 | 76.9 | 83.0 | 41.8 | 1.9 | | | | | | |
| Edge of the loading holes | 370 | 365.3 | 359.6 | 360.1 | 361.7 | 367.5 | 250.3 | 347.8 | | | | | | |
| | 380 | 443.2 | 427.5 | 424.3 | 441.9 | 454.0 | 302.6 | 423.8 | | | | | | |
| | 392 | 445.3 | 349.2 | 423.8 | 446.4 | 464.2 | 307.1 | 432.1 | | | | | | |
| | 436 | 365.5 | 349.2 | 348.0 | 361.7 | 362.2 | 243.3 | 338.8 | | | | | | |
| | 435 | 440.8 | 402.8 | 398.4 | 439.4 | 427.5 | 285.0 | 399.6 | | | | | | |
| | 434 | 443.2 | 419.7 | 414.3 | 444.2 | 423.8 | 301.2 | 424.2 | | | | | | |

* Ordinal number of nodal point see Fig.8, p: load $P=50000\text{ N}$, t: thick, b: the width of edge.

试验是在百吨液压低周疲劳试验机上进行。

2 初步结果和讨论

双向拉伸装置除承受静荷试验外,还经受近百万次疲劳载荷,其中在交变载荷幅度5.5t下也经受近20万次。在使用过程各部分构件完好,合乎使用要求。从开出纹裂的结果可见,它是能适用于平面应力集中问题低周疲劳性能的研究。使用它进行超载条件下低周疲劳试验研究也得到初步结果。它也完全适用于双轴载荷下试样裂纹扩展的研究。

下面几点有待改进:首先,目前试样几何尺寸较大且复杂,加工不方便,费材料,可改用组合式试样。第二,要考虑平面应变条件下低周疲劳性能研究还要克服许多困难。第三,试样中心区域在大载荷条件下各向应力的均匀性是有待改进的。采用组合式试样能解决此问题。

参 考 文 献

- [1] Charvat, M. H.,: Journal of testing and evaluation, 8 (1981), 9
- [2] Wilson, I. H., White D. J.,: Journal of strain analysis 6 (1971), 27
- [3] Hopper, C. D. and miller, K. J.,: Journal of strain analysis 12 (1977), 34

本课题工作得到南京汽轮机厂大力支持帮助,试验中得到我院熊翼翔、邓报钧老师的帮助,计算工作得到冯钧一老师的帮助,还得到王振老师指导,在此表示感谢。