离心机吊篮耳轴扭矩测试技术

陈胜来, 刘谦

(中国工程物理研究院 总体工程研究所,四川 绵阳 621900)

摘要:在进行离心试验前,需要对离心机吊篮进行配平。对于大质量试验件,经常由于其质心位置尺寸 不够准确,难以进行精确配平,当加速度载荷很大时,离心机吊篮耳轴会承受很大的不平衡扭矩。针对离心 机吊篮转轴结构的特殊性,提出采用粘贴应变片、根据测点应变计算扭矩的测量方案,并进行了测量原理分 析和试验验证。

关键词:离心试验;吊篮;扭矩;不平衡力矩 中图分类号:TB122;V216.56 文献标识码:A 文章编号:1672-9242(2013)01-0102-03

Technology of Torque Measurement on Trunnion of Centrifuge Suspended Basket

CHEN Sheng-lai, LIU Qian

(Institute of System Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: It's necessary to equipoise the suspended basket of centrifuge before centrifugal test. But the accuracy is not always compatible with uncertain center–of–gravity station of massive sample. There will be unbalanced moment acting on the trunnion, with high centripetal acceleration. In allusion to the especial structure, the method of using strain gauge to measure the trunnion torque of centrifuge suspended basket was proposed. Accordingly, the principle was enunciated, and the experiment was described to show that the theory and method is correct and feasible.

Key words: centrifugal test; suspended basket; torque; unbalanced moment

在工业生产、科学研究、日常生活中,扭矩测量 的需求十分广泛,其中以旋转轴的扭矩测试最为常 见。大到测功机,小到扭力扳手,市场上可以购买到 各种各样的扭矩测量装置。解决旋转轴扭矩测量的 方案各不相同,有传统的应变式、电磁式,也有新颖 的声表面波、逆磁致伸缩法等¹¹⁻⁴¹。

离心机是用来进行加速度试验的设备,试验件

安装在离心机上做匀速圆周运动,利用试验件受到 的向心加速度模拟使用加速度环境,这就是离心试 验的基本原理,见式(1)。

$$a = \omega^2 r \tag{1}$$

式中: ω为离心机转动角速度; r 为试验件质心 到离心机转轴的距离, 即旋转半径; a 为离心机上试 验件质心处的向心加速度, 它是由向心力产生的。

收稿日期:2012-08-13

作者简介:陈胜来(1979—),男,湖北麻城人,硕士,工程师,主要研究方向为工程力学。

在离心试验中这种向心力由离心机转臂作用于试验件;反之,试验件有一大小相等、方向相反的离心力作用于离心机。

离心机臂架结构如图1所示,试验件通过夹具 安装于离心机吊篮内,离心机吊篮是安装夹具和试 验件的重要部件,一般由钢制成;耳轴中心轴轴对称 结构,通过两侧耳轴与离心机转臂相连。试验件加 速度方向为从试验件质心处指向离心机旋转轴的方 向,吊篮可绕耳轴转动,以改变试验件的相对姿态, 达到改变加速度试验方向的目的。试验方向确定、 试验安装完成之后,离心机吊篮必须通过锁紧装置 (一般是胀套或楔块结构)锁紧,以防止离心机运行 过程中出现吊篮绕耳轴的转动。锁紧装置一般都有 最大不平衡扭矩指标,因此试验前必须在离心机吊 篮的另一侧安装合适的配重(质量)块,以平衡试验 件的惯性力矩,即离心机吊篮配平。



图 1 离心机臂架结构 Fig. 1 Centrifuges boom structure

对于大质量试验件,通常由于其质心位置尺寸 不够准确(实际值和设计值有偏差或者无法进行准 确测量),在静态或者过载较小情况下,吊篮耳轴会 承受较小的扭矩。扭矩随过载增加而增加,当加速 度载荷很大时,也可能会增大。例如,某次试验过载 达到120g,试验件质量800 kg,如果试验件质心位置 存在20 mm的偏差,不平衡力矩将达到19 200 N·m; 对于未装满液体的容器试验件的离心试验,由于试 验过程中离心机吊篮耳轴不平衡扭矩随加速度值变 化,不平衡扭矩也可能达到很大的一个值^[5]。因此, 建立针对离心机吊篮转轴不平衡扭矩的在线监测 系统,对一些大质量试验件、高过载值的离心试验 进行在线监测,能够很好地保障设备安全和试验安 全。

2 测量原理分析

测量应变、扭矩是一种常规的扭矩测量手段。 首先测量旋转轴表面的应力应变值,再将测量值代 入相应的力学公式折算,最终获得旋转轴上承受的 扭矩大小。从第一枚应变片设计成功至今,应变计 已经从原先单一的电阻式应变计逐渐发展成为利用 多种物理原理制成的应力敏感元件,例如声表面波 传感器、逆磁致伸缩材料传感器、压电式扭矩传感器 等^[6]。

离心机吊篮转轴变形主要由弯矩和扭矩导致, 测量系统测到的应变应该仅由扭矩产生。

测量扭矩时选用4个电阻值和灵敏度相等的应 变片来组成测量电桥的4个桥臂,且应变片与轴表 面圆周线应呈±45°,如图2a所示。R₁,R₂,R₃和R₄ 分别代表各应变片的电阻,且R₁=R₂=R₃=R₄,组桥如 图2b所示。



图 2 应变片布置 Fig. 2 Strain gauge arrangement

在外部合力(弯矩和扭矩)作用下,应变片在测量点处随同轴一起变形,记为 ε_{M} 和 ε_{M} ;温度变化时,应变片温度应变记为 ε_{ℓ} ,各应变片感受的应变分别为:

$$\begin{cases} \varepsilon_{1} = -\varepsilon_{M_{\star}} + \varepsilon_{M_{\star},1} + \varepsilon_{\iota,1} \\ \varepsilon_{2} = \varepsilon_{M_{\star}} + \varepsilon_{M_{\star},2} + \varepsilon_{\iota,2} \\ \varepsilon_{3} = -\varepsilon_{M_{\star}} + \varepsilon_{M_{\star},3} + \varepsilon_{\iota,3} \\ \varepsilon_{4} = \varepsilon_{M_{\star}} + \varepsilon_{M_{\star},4} + \varepsilon_{\iota,4} \end{cases}$$
(2)

因为各枚应变片的电阻值R、灵敏度系数K以及温度场皆相同,所以 $\varepsilon_{\iota,1} = \varepsilon_{\iota,2} = \varepsilon_{\iota,3} = \varepsilon_{\iota,4}$ 。应

变片1与应变片4、应变片2与应变片3分别在相同的母线上,所以 $\varepsilon_{M,,1} = \varepsilon_{M,,4}, \varepsilon_{M,,2} = \varepsilon_{M,,3}$ 。各枚应变片组全桥,应变仪读数为 $\varepsilon, \varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 = 4\varepsilon_{M_e}$,即 $\varepsilon_{M_e} = \varepsilon/4$ 。可见,全桥测量得到的应变完全由扭转变形产生。

材料的切变模量为 $G,G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$,且应变

 $\gamma = 2\varepsilon_{M_s}$,由胡克定律可知:

$$\tau = G \cdot \gamma = \frac{E\varepsilon_{M_{\star}}}{(1+\mu)} \tag{3}$$

式中: τ 为切应力; μ 为材料的泊松比; E为材料的弹性模量。扭矩 $M_x = W \tau$, 扭矩测量方程见式(4)。

$$M_{x} = W \frac{E\varepsilon_{M_{x}}}{(1+\mu)} = \frac{WE}{(1+\mu)} \cdot \frac{\varepsilon}{4}$$
(4)

式中:W为抗扭截面模量。可见,扭矩*M*_x与测 点应变 *e* 成线性关系,利用标定试验确定线性系数, 即可通过监测过程中的应变值计算得到扭矩。

3 全桥应变片测量扭矩试验

按照上述监测方案,进行了全桥应变片测扭矩 试验。如图3所示,被试件为采用过盈配合的转轴, 具体结构形式在文献[7]中有详细介绍。应变片为全 桥应变片,与轴线成45°夹角进行粘贴,如图3a所 示,试验时选取了不同位置共8个测点,根据测量结 果选择较为合理的测点进行监测试验。



图3 试验现场 Fig. 3 Test site

试验加载装置如图 3b 所示,采用静力协调加载 系统进行同步加载。两只作动筒分别施加竖直方向 的拉力和压力,力臂长度均为 0.5 m,共进行了 6 kN· m的标定试验和 8 kN·m的监测试验,试验过程中连 续测量各测点应变。

选取应变值较大的两个测点S1和S2绘制应变随 扭矩变化曲线,如图4所示,可见测点应变基本随扭 矩线性增加,满足式(4)的规律。S1,S2测点位于同一 截面,图4中斜率相差较大,分析认为是由于贴片时 角度偏差导致的,S2测点处应变片角度更接近45°。





依据图4中应变-扭矩关系曲线拟合得到S1,S2 测点的线性关系式,并以此作为标定结果进行监测 试验,与实测扭矩进行比较,结果如图5所示。S1监 测扭矩与实测值偏差为-0.48~0.09 kN·m;S2监测 扭矩与实测值偏差为-0.46~0.16 kN·m。





(下转第113页)

计合理,研制成本较低,性能可靠,指标达到设计要求,满足船载无线电测控设备标校的需要。该信标 已应用于船载测控设备的海上标校,有效地验证和 调整了测控设备技术状态,为航天测控任务的圆满 完成做出了贡献。

参考文献:

柴华,吴连才.基于协同频谱感知的无线电台通信组织
[J].四川兵工学报,2011,32(4):132—134.

- [2] 马志强. 靶场大地测量[M]. 北京:国防工业出版社, 2004.
- [3] 查光明,熊贤祚.扩频通信[M].西安:西安电子科技大学 出版社,1999.
- [4] 田耘,徐文波,张延伟.无线通信FPGA设计[M].北京:电 子工业出版社,2008.
- [5] ZHANG Yong-liang, XUE Jun, ZHAO Wen-hua, et al. A Method of Setting Radio Beacon' s Frequency Based on MCU[C]// The 2011 International Conference on Electric and Electronics. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2011:839—845.

(上接第104页)

4 结语

针对离心机吊篮耳轴这一特殊的转轴结构,提出 利用测量应变的方法进行不平衡扭矩的实时监测。 测量方程显示转轴扭矩与测点应变成线性关系,利用 标定试验确定线性系数,即可通过监测过程中的应变 值计算得到扭矩。选择合理位置粘贴全桥应变片,进 行了验证性试验,试验结果显示该方法可行。

国测试,2011,37(2):87—96.

- [2] 刘丽霞. 车辆扭矩与转速测试系统[J]. 仪表技术与传感器,2010(7):89—91.
- [3] 王岩,储江伟. 扭矩测量方法现状及发展趋势[J]. 林业机 械与木工设备,2010,38(11):14—18.
- [4] 谢仕鸿,聂海雄,王效岗.中厚板矫直机接轴扭矩在线监测系统研究[J]. 重型机械,2011(1):39—42.
- [5] 陈胜来,朱长春,邓志刚.某油箱离心试验的吊篮动平衡 分析[J]. 装备环境工程,2010,7(6):243-246.
- [6] 王登泉,杨明,叶林.非接触式旋转轴扭矩测量现状[J]. 电子测量技术,2010,33(6):8—12.
- [7] 刘谦,邓志刚. 离心机吊篮锁紧机构的设计研究[J]. 装备 环境工程,2010,7(6):241—243.

参考文献:

[1] 沈观林. 应变电测与传感器技术的新发展及应用[J]. 中

(上接第109页)

在磨削钛合金台阶轴时要考虑清根,选用的砂 轮粒度应比钛合金一般件磨削更细,在砂轮硬度方 面更硬。这与加大切削力是相矛盾的,在普通砂轮 的磨削中只能通过减少端面磨削余量来解决。顶尖 问题采用合金钢顶尖加润滑的方法是较为简单的解 决方法。

3 结论

对TC4 钛合金的性能和磨削经验,目前已有较 多报道,但根据零件的形状及磨削部位不同还要具 体对待。针对台阶轴磨削在余量及顶尖方面,相对 其它件磨削做了一些总结。当然,这只是在通用的 条件下,若在专业的钛合金磨削中采用人造金刚石 JR 和陶瓷立方氮化硼 CBN 砂轮将会得到更好效 果。经过对钛合金性能的了解和加工摸索,克服其 难磨削的弱点,保证了台阶轴的精度和使用要求。 该轴在使用中既能满足抗磁、耐磨和强度等调试要 求,又能避免与同为钛合金材料的零件在配合时发 生亲和作用,同时在试验环境下抗腐蚀、锈蚀能力 强,充分发挥了钛合金的材料优势,保证了测试轴的 反复使用精度。

参考文献:

- [1] 张小福,张红霞,陈燕. 磨削钛合金用陶瓷CBN砂轮的研制[J]. 新技术新工艺,2006(9):37—39.
- [2] 翟丽君,郭永嘉.磨削钛及钛合金的砂轮选择[C]//中国 有色金属工业协会钛锆铪分会2009年年会论文集.(余 不详)