

专用平衡机检定方法研究

栗合营¹, 俞梅¹, 唐博²

(1 南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042 2 南京市计量测试所动平衡检测研究中心, 江苏 南京 210042)

[摘要] 在动平衡机的检定标准中对于通用动平衡机的检定作出相应详细的说明, 而对专用动平衡机的检定, 要求参照通用动平衡机的检定进行。随着动平衡机的广泛使用, 尤其是专用平衡机的大量出现, 其检定显然是无法可依的。所以依据动平衡原理结合通用动平衡机检定的方法, 抓住平衡机检定的核心: 最小可达剩余不平衡量 e_0 、不平衡减少率 URR。通过测试的方法, 可先测出平衡机的最小可达剩余不平衡量, 然后通过这个结果计算校验的试重, 再验证平衡机的最小可达剩余不平衡量是否合格。通过圆图表法确定平衡机的不平衡减少率, 得到平衡机在方位指示的准确度。

[关键词] 最小可达剩余不平衡量 e_0 、不平衡减少率 URR, 专用平衡机

[中图分类号] TH113.25 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2007)03-0084-05

Discussion on Verifying of Special Balancing Machine

Li Heying¹, Yu Mei¹, Tang Bo²

(1. School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

2. Nanjing Measurement-Testing Academy Balancing Verifying Center, Nanjing 210042, China)

Abstract It devises detailed explanation for verifying of common balancing machine in verifying standards, but verifying of special balancing machines needs referring to common ones. By widely using of balancing machine, especially special ones, most special balancing machines cannot be verified by rules. According to dynamic balancing principles combined with methods of verifying of common balancing machines, the essentials of the verifying are obtained: minimum reachable remaining counterbalance e_0 and unbalancing reducing rate URR. The minimum reachable remaining counterbalance can be measured by test, then the checkout's testing weight can be reckoned, and it can be validated if the checkout of minimum reachable remaining counterbalance of the machine is up to grade or not. Ensuring unbalancing reducing rate by allowing circle graphology, then the azimuth indicatory exactitude of balancing machine is gained.

Key words minimum reachable remaining counterbalance e_0 , unbalancing reducing rate URR, special balancing machine

0 引言

平衡机是对转子不平衡进行测量和校正的设备。平衡机自身性能的好坏直接关系到转子的平衡精度和平衡效率, 并最终影响到旋转机械的振动与噪声的大小及机械寿命的长短等诸多性能。平衡机生产厂家在动平衡机的制造中, 均按照等同采用国际标准 ISO 2953:1999 的国家标准以及行业标准进行产品出厂检验。而定期对使用中或维修后的动平衡机进行检定, 则是继续保证平衡机性能可靠、精度合格的有效手段。对通用平衡机检定可以国家标准《通用卧式平衡机校验法》(GB 4201-84)和《立式平衡机校验法》(GB 7622-87)为依据, 标准中对校验转子、试重及校验方法都做了明确的规定, 而对于专用平衡机的检定并没有予以说明。目前, 专用平衡机的使用已经非常广泛, 对专用平衡机的检定要求也越来越多, 迫切需要权威的依据和一套行之有效的方法。

2004 年国家标准化管理委员会和中国机械工业联合会下达了相应标准项目计划, 2005 年底由全国试

收稿日期: 2006-12-02

作者简介: 栗合营(1956-), 副教授, 主要从事机械振动及动平衡测试、机电一体化的教学与研究。E-mail: lhheyng@njnu.edu.cn

验机标准化委员会归口修订的 3项关于平衡机的国家标准完成了征求意见稿. 其中在交通部 1996年底颁布的《车轮动平衡机的计量检定规程》(JJG(交通)010-96)基础上修订的《车轮平衡机的检验》,为第一个专用平衡机检验国家标准.

检定专用平衡机主要包括检测平衡机的最小剩余不平衡量 (e_0), 以及不平衡减少率 (URR) 两项. 然后将检测结果参照国家关于转子动平衡的等级标准得到平衡机达到的等级标准. 专用平衡机因为针对的转子不同, 有时很难使用标准校验转子进行检定, 也无法确定最小剩余不平衡量 (e_0). 所以专用平衡机的检定需要确定实际的最小可达剩余不平衡量. 因为专用平衡机是专为某种转子设计, 所以转子相对比较固定, 在保证平衡机驱动装置稳定的情况下, 测出的转子的最小剩余不平衡量就是平衡机的最小可达剩余不平衡量. 可以通过这种方式确定平衡机的最小可达剩余不平衡量. 然后再验证此最小可达剩余不平衡量是否合格. 测试和验证过程中主要需解决的问题是转子和试重的选择.

1 转子重量和平衡转速的选择

1.1 转子重量的选择

由于无法使用标准转子对专用平衡机进行检定, 只能选用专用平衡机的专用转子. 如果某专用平衡机的转子是单一的, 则只能用此转子进行校验. 如果不是单一的, 选用的原则参考国家标准, 即检定立式平衡机选用重量靠近平衡机使用量程 1/3 左右的校验转子. 例如一台标称 5 kg 的立式专用平衡机, 校验转子重量选用 $1/3 \times 5 \text{ kg} \approx 1.6 \text{ kg}$. 检定卧式平衡机选用重量靠近平衡机量程两端的两个校验转子, 例如一台标称 5 kg 的卧式专用平衡机, 校验转子重量分别选用 0.5 kg 和 5 kg 不同的转子校验的结果可能会有不同.

1.2 平衡转速的选择

检定平衡机平衡转速的原则通常应选择最不理想状态进行, 参考国家标准. 检定卧式专用平衡机时, 对于轻的校验转子, 用平衡机使用说明书规定的最低转速, 因为这时平衡机灵敏度最低; 对于重的校验转子, 用平衡机使用说明书规定的最高转速, 因为这种情况下最能检验平衡机的承载能力和重载时的平衡精度. 检定立式专用平衡机时, 选用平衡机说明书规定的最低转速, 因为立式平衡机的轴线与地面垂直, 一般不会出现过载情况, 所以只考虑灵敏度问题.

2 确定转子实际剩余不平衡量的方法

转子的实际剩余不平衡量采用 12 点法确定, 步骤如下:

2.1 平衡机的定标值

使用被检定的平衡机, 根据平衡机的读数将校验转子平衡. 转子上剩余的剩余不平衡量即为平衡机对这个转子所能达到的最小不平衡量.

将一块相当于转子剩余不平衡量 5~10 倍的试重 (其重径积为 m_r), 依次加在转子 12 等分的各个角度位置上, 并读出相应角度的不平衡数 (A 格数). 在坐标纸上作出相应的点, 通过这些点绘一条曲线. 用 12 个读数的算术平均值作一水平直线. 其纵坐标值 $A_{\text{平均}}$ 就是试重的测量值. 用试重除此值, 可得出平衡机的定标值 K .

$$A_{\text{平均}} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} A_i \text{ (格)}, \quad (1)$$

$$K = (m_r) / A_{\text{平均}} \text{ (g} \cdot \text{mm / 格)}. \quad (2)$$

2.2 实际剩余不平衡量的测量和计算

曲线的幅值即为实际的剩余不平衡量的测量值 A_{mar} . 即

$$A_{\text{mar}} = \frac{A_{\text{max}} - A_{\text{min}}}{2} \text{ (格)}. \quad (3)$$

其实际的剩余不平衡量即

$$U_{\text{mar}} = A_{\text{mar}} K \text{ (g} \cdot \text{mm)}. \quad (4)$$

双面平衡的转子应在两个校正平面上分别进行测量.

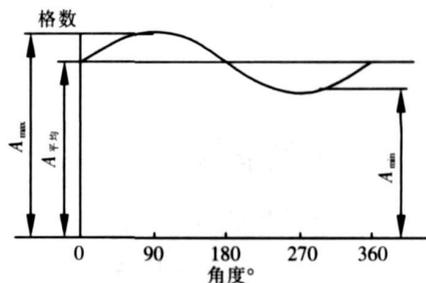


图 1 转子实际剩余不平衡量图

Fig.1 The remain counterbalance of rotor

2.3 最小剩余不平衡量 e_0 的计算

一般来说, 转子质量越大, 其允许的剩余不平衡量也较大, 因此有必要将剩余不平衡量 U_{mar} 与转子的质量 M 联系起来. 即 $e = U_{mar} / M$, e 是转子单位质量的不平衡量, 称为不平衡率. e_0 即最小可达剩余不平衡量, 是平衡机能使转子达到的剩余不平衡量的最小值 ($g \cdot mm / kg$).

如果是单面平衡机, 则 $e_0 = U_{mar} / M$ (其中 M 为转子质量).

如果是双面平衡机, 需要在两个校正面上分别进行测量, 测得的两个剩余不平衡量分别为 U_{mar1} 和 U_{mar2} , 则

$$e_0 = \frac{U_{mar1}}{M_1} = \frac{U_{mar2}}{M_2}, \quad (5)$$

$$M_1 + M_2 = M. \quad (6)$$

其中 M 为转子质量, M_1 为第 1 面的对应的转子质量, M_2 为第 2 面的对应的转子质量.

2.4 测量实例

试验参数: 转子质量 M 为 16 kg 试重 2.6 g 试重 1.8 g 校正半径 R 为 60 mm; 平衡转速 650 rpm.

根据公式 (1)、公式 (2) 和公式 (3) 可以算出 $A_{平均1} = 1.72$ (格) $K_1 = 90.70$

($g \cdot mm / 格$), $A_{mar1} = 0.105$ (格).

$A_{平均2} = 2.54$ (格) $K_2 = 61.42$

($g \cdot mm / 格$), $A_{mar2} = 0.175$ (格).

根据公式 (4), 第 1 校正面的实际剩余不平衡量 $U_{mar1} = 9.52$ ($g \cdot mm$)

同理第 2 校正面的实际剩余不平衡量 $U_{mar2} = 10.75$ ($g \cdot mm$)

根据公式 (2) 和公式 (6) 的关系可以算出 $M_1 = 7.52$ kg $M_2 = 8.48$ kg 从而算出 $e_0 = 1.3$ ($g \cdot mm / kg$).

表 1 16 kg 平衡机剩余不平衡量测量数据记录

Table 1 16 kg remain counterbalance measure date of sixteen kilogram balancing machine

试验平面	试重位置 / °	幅值 / 格	试验平面	试重位置 / °	幅值 / 格
第 1 面	0	1.81	第 2 面	0	2.39
	30	1.78		30	2.35
	60	1.75		60	2.35
	90	1.73		90	2.48
	120	1.72		120	2.64
	150	1.65		150	2.68
	180	1.60		180	2.70
	210	1.65		210	2.67
	240	1.63		240	2.66
	270	1.77		270	2.53
	300	1.77		300	2.48
	330	1.80		330	2.42

3 试重的确定

试重的质量精度、安装位置的要求可以参考国家标准的规定, 试重的形状要容易确定质心. 试重的质量以上面得出的 U_{mar} 为计算依据. 如:

一般最小可达剩余不平衡量的校验时, 若用 $10U_{mar}$ 的试重, 则试重的质量为:

$$m = \frac{10U_{mar}}{r} = \frac{10A_{mar}K}{r}, \quad (7)$$

其中: m 为试重质量; r 为试重半径.

上述 16 kg 平衡机的左校正平面试重 $m_1 = \frac{10U_{mar1}}{r} = \frac{10A_{mar1}K_1}{r} = 1.6$ g 右校正平面试重 $m_2 =$

$$\frac{10U_{mar2}}{r} = \frac{10A_{mar2}K_2}{r} = 1.8$$
 g

4 最小剩余不平衡量 e_0 的校验

按照国家标准的校验方法, 双面平衡机两校正平面的试重应该同时同相地加在各个角度上, 但因为所用转子不是标准转子, 两个校正平面的相互影响可能比较大, 所以在对两个校正平面的校验分别进行. 校验方法如下:

(1) 用 $10U_{mar1}$ 的试重依次加在专用转子 1 面 12 等分的各个角度位置上, 测试相应的 A_i 读数. 去掉 1 面的试重, 用 $10U_{mar2}$ 的试重依次加在专用转子 2 面 12 等分的各个角度位置上, 测试相应的 A_i 读数.

(2) 分别计算各面的平均值 A_i 并按下式计算 A_0

$$A_0 = A_{\text{平均}} / 10 \quad (9)$$

(3) A_i 的所有读数若符合公式 $8.84_0 < A_i < 11.24_0$, 则 e_0 值校验合格.

(4) 若测试值不能满足 $8.84_0 < A_i < 11.24_0$, 说明平衡机实际的 e_0 值比上面测出来的值大一些, 需要增大试重重新测试.

(5) 单面平衡机用一组试重进行校验, 校验方法和双面平衡机类似.

上述平衡机校验结果如表 2 所示.

试验参数: 转子质量 M 为 16 kg 第一面试重 1.6 g 第二面试重 1.8 g 校正半径 R 为 60mm; 平衡转速 650 rpm.

表 2 16 kg 平衡机剩余不平衡量校验数据记录表

Table 2 16 kg remain counterbalance veify date of sixteen kilogram balancem achine

试验平面	试重位置 /°	幅值 /格	试验平面	试重位置 /°	幅值 /格
第 1 面	0	1.15	第 2 面	0	1.64
	30	1.13		30	1.63
	60	1.08		60	1.79
	90	1.06		90	1.74
	120	1.06		120	1.82
	150	1.01		150	1.80
	180	0.96		180	1.88
	210	1.02		210	1.86
	240	0.97		240	1.83
	270	1.11		270	1.77
	300	1.09		300	1.73
	330	1.13		330	1.60

根据公式 (1) 和公式 (9) 可以算出:

$$A_{\text{平均}1} = 1.06 \quad A_{01} = 0.106 \quad A_{\text{平均}2} = 1.76 \quad A_{02} = 0.176$$

从表中的数据可以看出, 此平衡机两个校正平面都符合公式 $8.84_0 < A_i < 11.24_0$, 所以此平衡机 $e_0 = 1.3 (g \cdot \text{mm} / \text{kg})$ 经校验是正确的.

5 不平衡减少率 URR 的校验

e_0 检定合格之后, 继续用这个转子做不平衡减少率 URR 的校验.

为每个校正平面分别准备 $5U_{\text{max}}$, $25U_{\text{mar}}$ 的试重, 用 $5U_{\text{mar}}$ 作固定试重, 用 $25U_{\text{mar}}$ 作移动试重.

校验方法如下:

(1) 分别在两个校正平面的 12 个等分角度上任意选择一个作为固定试重的位置, 但两端的位置不能同相或反相.

(2) 分别在两个校正平面的 12 个等角度上任意选择一个作为移动试重的起始位置.

(3) 将一个平面上的移动试重每次增加 30° , 将另一个试验平面上的移动试重每次减少 30° , 碰到固定试重时跳过.

(4) 将每次试重的位置和读数记录下来, 并且将读数画在许用圆图 2 上.

(5) 所有读数都在对应的许用圆内为合格.

(6) 单面平衡机用一组试重进行校验, 校验方法和双面平衡机类似.

表 3 和图 2 是上述平衡机的 URR 校验结果, 许用圆图显示此平衡机的不平衡减少率为 80%.

试验参数: 转子质量 M 为 16 kg 最小可

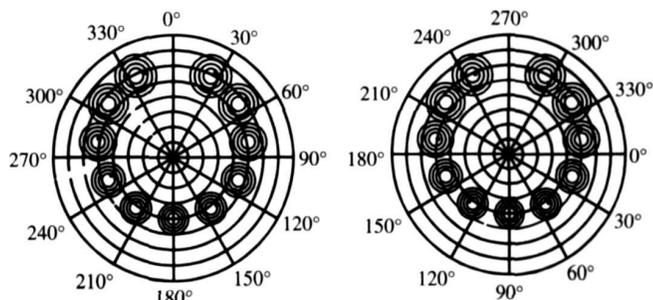


图 2 许用圆图

Fig.2 Allowable circularity picture

达剩余不平衡量 e_0 为 1.3 (g•mm/kg)、第一面固定试重 0.8 g 放置在 0° 位置上、移动试重 4 g 第二面固定试重 0.9 g 放置在 270° 位置上、移动试重 4.5 g 校正半径 R 为 60mm; 平衡转速 650 rpm

表 3 16 kg 平衡机不平衡减少率校验数据记录表

Table 3 16 kg remain unbalancing reducing rate verify data sixteen kilogram balancing machine

试验平面	移动试重位置 /°	显示幅值 /格	显示相位 /°	试验平面	移动试重位置 /°	显示幅值 /格	显示相位 /°
第 1 面	90	2.74	67	第 2 面	0	4.58	341
	120	2.46	118		330	4.80	314
	150	2.23	137		300	5.13	284
	180	2.10	190		270	5.33	271
	210	2.13	225		240	5.18	247
	240	2.27	254		210	4.95	231
	270	2.70	284		180	4.35	192
	300	2.81	301		150	3.89	67
	330	3.08	342		120	3.72	131
	360	3.31	359		90	3.68	103
	30	3.28	27		60	3.72	50
	60	3.25	52		30	4.03	7

6 结束语

针对专用平衡机无法用标准转子校验的问题, 本文提出使用专用平衡机检验的转子进行校验, 通过实验的方法测出平衡机的实际最小剩余不平衡量, 计算校验需要的试重, 然后参考国家标准《通用卧式平衡机校验法》和《立式平衡机校验法》, 以及推荐国家标准《车轮平衡机的检验》验证所测的数值是否合格. 通过这种方法, 针对国标关于转子动平衡等级标准中的 11 个等级, 得到每个等级都对应的 e_0 范围, 将测得的 e_0 与之对比可以检验出专用平衡机的性能. URR 是平衡机方位指示准确度的参考值, 其 % 值愈大, 其方位指示愈准确. 对于生产和使用专用平衡机有很大的帮助. 目前上述方法应用在对省内专用平衡机检定中, 较准确、客观地起到把关作用.

[参考文献] (References)

- [1] 周仁睦. 转子动平衡 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1992.
Zhou Remu. Dynamic Balancing About Rotor [M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 1992 (in Chinese)
- [2] 徐芳麟. 平衡技术原理与技巧 [M]. 上海: 上海科技大学出版社, 1992.
Xu Fanglin. Principle and Mechanics of Balancing Technology [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology University Press, 1992 (in Chinese)
- [3] 叶能安, 余汝生. 动平衡原理与动平衡机 [M]. 武汉: 华中工学院出版社, 1985.
Ye Nengan, Yu Rusheng. Principle and Machine of Balancing [M]. Wuhan: Huazhong University of Technology Press, 1985 (in Chinese)
- [4] 胡正荣. 平衡机设计应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
Hu Zhengrong. Design and Application of Balancing Machine [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1988 (in Chinese)
- [5] 季文美. 机械振动 [M]. 北京: 科学出版社, 1985.
Ji Wenmei. Mechanical Vibration [M]. Beijing: Phoenix Science Press, 1985 (in Chinese)
- [6] 于梅. 动平衡机及其计量特性 [J]. 现代计量测试, 2000(5): 3-8.
Yu Mei. Dynamic balancing and measuring traits [J]. Modern Measurement and Test, 2000(5): 3-8 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]