



中华人民共和国工业和信息化部 兵工民品计量技术规范

JJF（兵工民品）0041—2024

曲轴动平衡机校准规范

Calibration Specification for Crankshaft Dynamic Balancing Machine

（报批稿）

××××—××—××发布

××××—××—××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

曲轴动平衡机 校准规范

Calibration Specification for
Crankshaft Dynamic Balancing Machine

JJF（兵工民品） 0041—2024

归口单位：中国兵器工业标准化研究所

主要起草单位：国营第六一六厂

参加起草单位：山西柴油机工业有限责任公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

张艺超（国营第六一六厂）

闫志义（国营第六一六厂）

赵 勇（国营第六一六厂）

参加起草人：

路江玉（山西柴油机工业有限责任公司）

王 倩（山西柴油机工业有限责任公司）

吕天超（国营第六一六厂）

孔 冰（国营第六一六厂）

李晓霞（山西柴油机工业有限责任公司）

目 录

引言.....（Ⅱ）

1 范围.....（1）

2 引用文件.....（1）

3 术语和计量单位.....（1）

4 概述.....（1）

5 计量特性.....（2）

6 校准条件.....（2）

6.1 环境条件.....（2）

6.2 测量标准及其他设备.....（2）

7 校准项目和校准方法.....（2）

7.1 校准项目.....（2）

7.2 校准方法.....（3）

8 校准结果表达.....（6）

9 复校时间间隔.....（6）

附录 A 校验转子.....（7）

附录 B 原始记录格式.....（8）

附录 C 校准证书内页格式.....（11）

附录 D 不平衡量测量不确定度评定示例.....（12）

附录 E 相位示值误差测量不确定度评定示例.....（15）

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

曲轴动平衡机校准规范

1 范围

本规范适用于质量容量(200~700) kg、试验转速(100~400) r/min的曲轴动平衡机的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

GB/T 4201-2006 平衡机的描述检验与评定

凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本规范;凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1

不平衡量(U) amount of unbalance

不平衡质量与其质心至轴线距离(半径)的乘积。计量单位为 $\text{g}\cdot\text{mm}$ 。

3.2

最小可达剩余不平衡量(U_{mar}) minimum achievable residual unbalance

平衡机能使转子达到的剩余不平衡量的最小值。计量单位为 $\text{g}\cdot\text{mm}$ 。

3.3

试验质量的不平衡量 unbalance of test mass

在校验转子每试验平面施加的试验质量所产生的不平衡量,总是以 U_{mar} 的单位表示,即最小可达剩余不平衡量的倍数。计量单位为 $\text{g}\cdot\text{mm}$ 。

3.4

平面分离比 plane segregation ratio

校验转子两个试验平面的干扰比。

4 概述

曲轴动平衡机是依据刚性转子的动平衡原理,采用振动传感器,将被测曲轴由离心惯性力引起的机械振动量转换为电信号,经过数据处理系统计算,可以准确地测试出曲轴剩余不平衡量的量值和相位,以便于曲轴后续的加工修正,其原理示意图如图1所示。

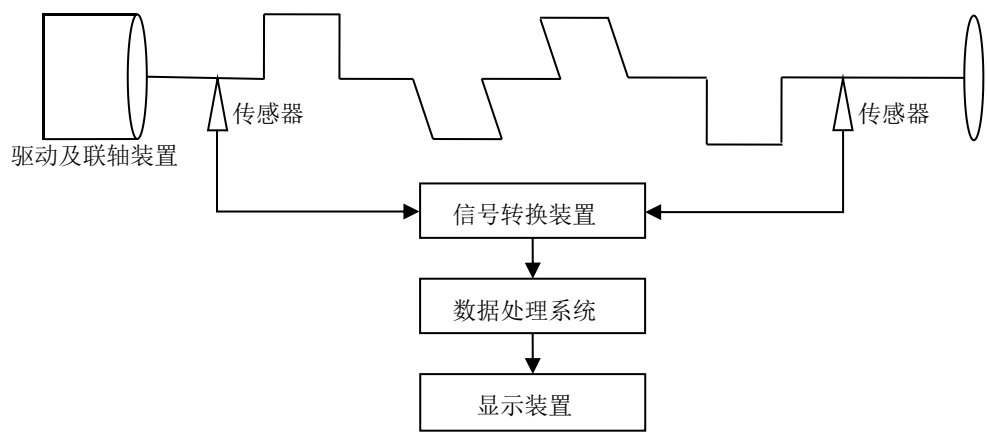


图 1 曲轴动平衡机原理示意图

5 计量特性

曲轴动平衡机技术指标见表 1。

表 1 曲轴动平衡机技术指标

| 计量特性 | 每个平面最小可达剩余不平衡量 | 平面分离比 | 重复性误差 | 相位示值误差 |
|------|---|--------------|---------------------------|---------------|
| 指标要求 | $U_{\text{mar}} \leq 500 \text{ g} \cdot \text{mm}$ | $\leq 1: 20$ | $\leq 0.5 U_{\text{mar}}$ | $\pm 3^\circ$ |

注：以上计量特性可根据曲轴平衡机性能指标及产品技术要求进行调整。

6 校准条件

6.1 环境条件

- 6.1.1 环境温度：（10~35）℃。
- 6.1.2 相对湿度：≤85%。
- 6.1.3 现场环境不应有影响校准结果的振源、电磁干扰等现象。

6.2 测量标准器及其他设备

6.2.1 校验转子

曲轴动平衡机标配的校验转子，要求见附录 A。

6.2.2 专用砝码

核算成试验质量的不平衡量（砝码质量与其回转半径的乘积）后进行使用，满足 $5U_{\text{mar}}$ 和（100~300） U_{mar} 两种规格的 M₁ 等级砝码。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

曲轴动平衡机的校准项目见表2。

表 2 曲轴动平衡机校准项目一览表

| 序号 | 校准项目 | 校准方法条款 |
|----|------------|--------|
| 1 | 外观及附件检查 | 7.2.1 |
| 2 | 最小可达剩余不平衡量 | 7.2.3 |
| 3 | 平面分离比 | 7.2.4 |
| 4 | 重复性误差 | 7.2.5 |
| 5 | 相位示值误差 | 7.2.6 |

7.2 校准方法

7.2.1 外观及附件

目测检查曲轴动平衡机的外观和标志等。曲轴动平衡机应有铭牌，上面标明产品名称、型号、规格、标称的最小可达剩余不平衡度、制造厂名称或商标、出厂编号等。曲轴动平衡机附件应齐全。专用校验转子及专用砝码（试验质量）不应有磕碰、损伤、锈蚀和其他影响使用的缺陷，各部件连接应牢固可靠。显示装置显示清晰、稳定可靠，跟踪及时。检查结果记入原始记录，原始记录格式见附录 B。

7.2.2 校准前准备

7.2.2.1 将校验转子平稳安装至曲轴动平衡机上，确保将校验转子“0°”位置对准驱动轴轴端的基线标志。

7.2.2.2 启动曲轴动平衡机进行初始不平衡的校正，使校验转子每个试验平面的剩余不平衡量平衡至 $5U_{\text{mar}}$ 以下。如平衡机无校正或补偿程序，可在校验转子的校正平面（转子的两个端面，见图 2）附加橡皮泥进行校正。

注：1. 如平衡机无校正或补偿程序，可以现场称重橡皮泥，将橡皮泥附加在校验转子的校正平面上来进行校正。

2. 附加在校验转子校正平面上的橡皮泥质量，通过所需要的不平衡量除以其质心所在位置的半径导出。

7.2.2.3 在校验转子两个试验平面上的螺孔中，分别加上相当于 $5U_{\text{mar}}$ 不平衡量的试验质量（专用砝码），如图 3 所示，这两个试验质量不应同相或反相；启动平衡机进行 3 次平衡校正，并记录不平衡量值。

7.2.2.4 移除施加在两个试验平面的试验质量，启动平衡机测试剩余不平衡量值并记录，改变平衡机相角基准 60° 后，再次启动平衡机测试剩余不平衡量值并记录，期间不允许校正。如果每个平面的剩余不平衡量不小于 $0.5U_{\text{mar}}$ ，允许重新进行启动平衡校正，如再次平衡启动校正后每个平面的剩余不平衡量依旧不小于 $0.5U_{\text{mar}}$ ，记录不平衡量值，且校准结束。

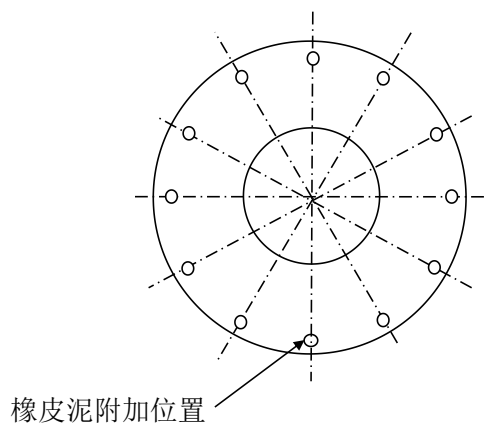


图2 校验转子校正平面示意图

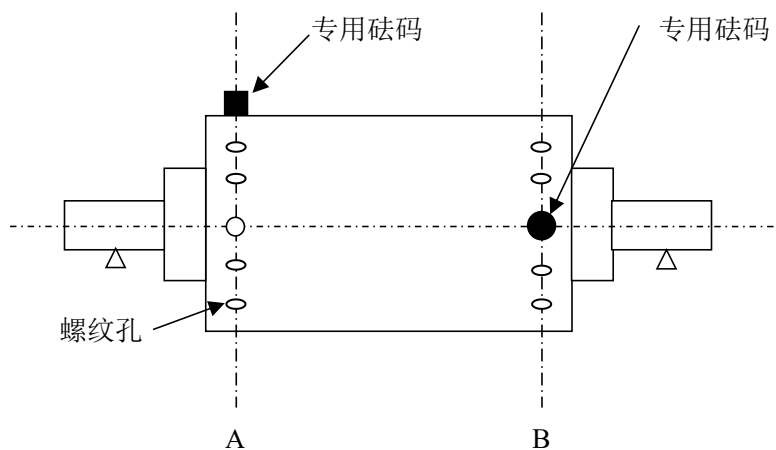


图3 校验转子试验平面施加专用砝码示意图

7.2.3 最小可达剩余不平衡量

7.2.3.1 用两个相当于 $5U_{\text{mar}}$ 的试验质量分别加在校验转子两个试验平面 0° 位置的螺孔上，启动平衡机，读取并记录两个试验平面的不平衡量示值 U_i ，重复以上操作步骤，分别在 30° 、 60° 、 90° 、 120° 、 150° 、 180° 、 210° 、 240° 、 270° 、 300° 、 330° 位置上施加试验质量，读取并记录相应不平衡量示值 U_i 。

7.2.3.2 按公式 (1) 分别计算两个试验平面 12 个位置不平衡量示值 U_i 的算数平均值 \bar{U} 。

$$\bar{U} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} U_i \quad (1)$$

式中：

U_i ——12 点中第 i 点的读数， $\text{g} \cdot \text{mm}$ ；

\bar{U} ——12 点读数的算术平均值， $\text{g} \cdot \text{mm}$ 。

7.2.3.3 两个试验平面的不平衡量示值 U_i 的读数要符合公式(2)的要求。若不符合,按照公式(3)计算修正值。

$$0.88 \leq \frac{U_i}{U} \leq 1.12 \quad (2)$$

$$\Delta U_i = U_s - U_i \quad (3)$$

式中:

ΔU_i ——12 点中第 i 点的修正值, $\text{g} \cdot \text{mm}$;

U_s ——试验质量的不平衡量标称值, $\text{g} \cdot \text{mm}$ 。

7.2.4 平面分离比

7.2.4.1 将一个不平衡量相当于 $125U_{\text{mar}}$ 的试验质量,置于校验转子 A 平面某一位置的螺孔上,启动平衡机,读取并记录 A 试验平面不平衡量示值 U_A 和 B 试验平面不平衡量示值 U_B ,在原试验质量施加位置间隔 90° 和 180° 的两个位置上分别进行上述操作,记录两个试验平面的不平衡量值, A 面对 B 面的分离比 I_{AB} 按照公式(4)计算:

$$I_{AB} = \frac{U_B}{U_A} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

I_{AB} ——A 面对 B 面的分离比;

U_B ——在校正平面 A 上加上规定的的不平衡量后, B 面的不平衡量示值;

U_A ——在校正平面 A 上加上规定的的不平衡量后, A 面的不平衡量示值。

7.2.4.2 将同一试验质量置于校验转子 B 平面内,重复上一操作步骤, B 面对 A 面的分离比 I_{BA} 按照公式(5)计算。

$$I_{BA} = \frac{U_A}{U_B} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

I_{BA} ——B 面对 A 面的分离比;

U_A ——在校正平面 B 上加上规定的的不平衡量后, A 面的不平衡量示值;

U_B ——在校正平面 B 上加上规定的的不平衡量后, B 面的不平衡量示值。

7.2.4.3 计算 A、B 试验平面各点的分离比,选取最大值作为校准结果。

7.2.5 重复性误差

7.2.5.1 将一个相当于 $5U_{\text{mar}}$ 的试验质量置于校验转子 A 试验平面任一位置的螺孔内,启动平衡机,重复测量 4 次不平衡量值,计算 4 次读数的最大值与最小值之差,即为 A 试验平面的重复性误差。

7.2.5.2 将一个相当于 $5U_{\text{mar}}$ 的试验质量置于校验转子 B 试验平面任一位置的螺孔内,重复上一操作步骤,计算 B 试验平面的重复性误差。

7.2.6 相位示值误差

7.2.6.1 将一个相当于 $5U_{\text{mar}}$ 的试验质量置于校验转子A试验平面上一已知相位的螺孔内,启动平衡机,记录相位示值。在原试验质量施加位置间隔 90° 和 180° 的两个位置上分别进行相同操作,读取并记录相位示值。

7.2.6.2 将一个相当于 $5U_{\text{mar}}$ 的试验质量置于校验转子B试验平面,重复上一操作步骤,记录B试验平面三个位置的相位示值。

7.2.6.3 计算A、B试验平面的三个位置相位示值与理论相位值之差,绝对值最大的相位示值与理论相位值之差为曲轴动平衡机的相位误差。

8 校准结果表达

校准结束后应出具校准证书,校准证书内页格式见附录C。校准证书应准确、客观的报告校准结果。校准结果用校准数据的形式给出,并给出测量不确定度评定示例见附录D、E。校准证书应包括委托方要求的、说明校准结果所必需的和所用方法要求的全部信息,具体包括:

- a) 标题,如“校准证书”或“校准报告”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点;
- d) 证书或报告的唯一性标识(如编号),每页及总页数的标识;
- e) 送校单位的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期,如果与校准结果的有效性和应用有关时,应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时,应对抽样程序进行说明;
- i) 对校准所依据的技术规范的标识,包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名,以及签发日期;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准,不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

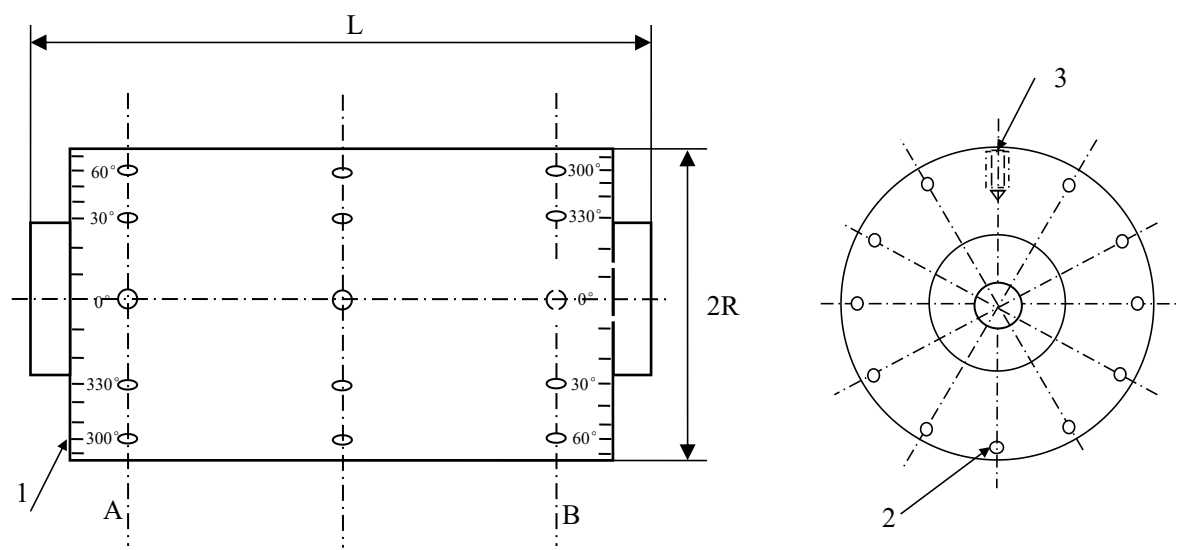
复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定,建议不超过12个月。

附录 A

校验转子

校验转子应满足以下要求：

- a) 校验转子形状如图 A.1 所示；
- b) 校验转子为恒态（刚性）转子，其不平衡随转速没有明显变化。
- c) 校验转子尺寸、质量、和最高试验转速应符合 GB/T 4201-2006 的要求，校验转子质量应与被测曲轴质量尽可能接近，校准选取的转速应与曲轴测试时选择的转速一致；
- d) 校验转子平衡品质级别优于被测曲轴工艺要求的平衡品质级别，不应有磕碰、变形；
- e) 校验转子同轴度、圆柱度及轴端跳动应优于被测曲轴；
- f) 校验转子角度位置允差为 $\pm 0.5^{\circ}$ 。



- 1——每隔 10° 等间隔分度刻出 36 条刻线，每隔 30° 用数字标上度数值；
- 2——用于调整平衡在两端的一端面上均布的 12 个螺孔；
- 3——在两个试验平面的每个平面上均布的 12 个螺孔。

图 A.1 校验转子形状示意图

附录 B

原始记录格式

| 被检设备信息 | | | | | | | |
|--|----|------------------|--------------|-----------------------|----------|---------------|--|
| 送检单位 | | 型号规格 | | 出厂编号 | | 出厂日期 | |
| 生产厂家 | | 校准日期 | | 校准温度 | | 校准湿度 | |
| 标称的 $U_{\text{bar}}/e_{\text{bar}}$ | | 专用转子 质量 kg | | 施加试验质量 的回转半径 mm | | 平衡转速 r/min | |
| 标准器信息 | | | | | | | |
| 名称 | 规格 | | 准确度等级/最大允许误差 | | 证书编号及有效期 | | |
| 专用砝码 | | | | | | | |

1 外观及附件检查

表 1 外观及工作正常性检查

| 项目 | 检查结果 |
|------|------|
| 外观检查 | |
| 附件检查 | |

2 平衡校正

表 2 平衡校正

测量单位：

| 试验质量的不平衡量（gmm） | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|----------|----------|-------|
| 6 次平衡 | 平面的读数装置 | A | B | 校正次数 |
| | | 示值 x_i | 示值 x_i | |
| | 第 1 次操作 （初始不平衡量校正） | | | 1 |
| | 第 2 次操作 | | | 2 |
| | 第 3 次操作 | | | 3 |
| | 第 4 次操作 | | | 4 |
| | 第 5 次操作 （剩余不平衡量） | | | 不允许校正 |
| | 第 6 次操作 （相位基准改变 60°） | | | 不允许校正 |
| $U_i \leq 0.5 U_{\text{bar}}$ | | | | |

3 最小可达剩余不平衡量

表 3 最小可达剩余不平衡量

测量单位：

| 试验质量的不平衡量（gmm） | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 最小可达 剩余 不平衡量 | 位置 | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 平均值 |
| | A 校正面示值 | | | | | | | | | | | | | |
| | 平均值的倍数 | | | | | | | | | | | | | / |
| | B 校正面示值 | | | | | | | | | | | | | |
| | 平均值的倍数 | | | | | | | | | | | | | / |
| | $0.88 \leq \frac{U_i}{U} \leq 1.12$ | | | | | | | | | | | | | |

4 A、B 平面的分离比

表 4 A、B 平面的分离比

| 试验质量的不平衡量（gmm） | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------|--------|---|--------|---------|----------|------|-------------|--------|---|----|---------|------|------|----------------|
| 分离比 | A 对 B | 相位 | | 0 ° | 90 ° | 180 ° | 270° | B 对 A | 相位 | | 0° | 90 ° | 180° | 270° | 分离 比最 大值 |
| | | 读 数 | A | | | | | | 读 数 | A | | | | | |
| | | | B | | | | | | | B | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

5 重复性误差

表 5 重复性误差

测量单位：

| 试验质量的不平衡量（gmm） | | | | | | | |
|----------------|----|--|---|---|---|---|----|
| 重复性 误差 | 次数 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 误差 |
| | A | | | | | | |
| | B | | | | | | |

6 相位示值误差

表 B.6 相位示值误差

测量单位：

| 试验质量的不平衡量（gmm） | | | | | |
|----------------|-------------|---|---|---|---|
| 相位 误差 | 相位/次数 | | 1 | 2 | 3 |
| | 已知相位角 | | | | |
| | 读数相位角 | A | | | |
| | | B | | | |
| | 相位误差 | A | | | |
| | | B | | | |
| | 相位误差 最大值 | | | | |

附录 C

校准证书内页格式

| | |
|---------|------|
| 项目 | 检查结果 |
| 外观检查 | |
| 外观及附件检查 | |

| 序号 | 校准项目 | | 结果 | | | | | | | | | | | | | | 测量单位： | |
|----|---------------|--|-----------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|-----|---|-------|--|
| 1 | 平衡校正 | | 试验不平衡量标称值 | | | | A | | B | | 平衡启动 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 第五次启动平衡 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 第六次启动平衡（相位改变 60° 后） | | | | | | | |
| 2 | 最小可达剩余不平衡量 | 位置 | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 平均值 | | | |
| | | A 校正面示值 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 平均值的倍数 | | | | | | | | | | | | | | / | | |
| | | B 校正面示值 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 平均值的倍数 | | | | | | | | | | | | | | / | | |
| | | $0.88 \leq \frac{U_i}{\overline{U}} \leq 1.12$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | A、B 平面分离比最大值 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 重复性误差 | | A | | | | | | | | B | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | A、B 平面相位误差最大值 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

附录 D

不平衡量测量不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 环境条件：温度 20.2℃，相对湿度 32%。

D.1.2 被测对象：曲轴动平衡机。

D.1.3 测量方法：在完成初始不平衡校正和启动平衡校正后，将不平衡量为 2747.5 g·mm 的专用砝码施加在校验转子试验平面上，记录曲轴动平衡机不平衡量示值。

D.2 测量不确定度来源

D.2.1 施加试验质量的专用砝码引入的测量不确定度

D.2.2 曲轴动平衡机分辨力引入的测量不确定度

D.2.3 测量重复性引入的测量不确定度

D.3 测量模型

被校曲轴动平衡机不平衡量示值修正值的计算公式见 (D.1)。

$$\Delta U = U_s - U_x \quad (\text{D.1})$$

考虑到被校动平衡机的分辨力对测量结果的影响，测量模型如式 (D.2) 所示。

$$\Delta U_m = U_s - U_x + \delta U_x \quad (\text{D.2})$$

式中：

ΔU ——被校曲轴动平衡机不平衡量示值修正值，g·mm；

U_s ——试验质量不平衡量值（专用砝码标称值），g·mm；

U_x ——被校曲轴动平衡机不平衡量示值，g·mm；

δU_x ——被校曲轴动平衡机的分辨力对测量结果的影响，g·mm。

D.4 标准不确定度评定

D.4.1 加载试验质量的专用砝码标称值引入的标准不确定度 $u(U_s)$ 的评定 (B 类评定)

按照专用砝码标称值与回转半径核算出的试验质量不平衡量量值，以 g·mm 为单位，其允许误差为 $\pm 0.5\%$ ，以 2747.5 g·mm 的专用砝码为例，其所引入的极限误差为 13.738 g·mm，分布为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度：

$$u(U_s) = \frac{13.738 \text{ g} \cdot \text{mm}}{\sqrt{3}} = 7.93 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

D.4.2 曲轴动平衡机不平衡量测量重复性引入的不确定度 $u(U_x)$ (A类评定)

用一试验质量产生的不平衡量为 $2747.5 \text{ g} \cdot \text{mm}$ 的砝码，选一不平衡量分度值为 $1 \text{ g} \cdot \text{mm}$ 的曲轴动平衡机做10次动平衡测量，获得不平衡量示值数据如表D.1。

表 D.1 不平衡量示值数据

| | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 不平衡量示值 / $\text{g} \cdot \text{mm}$ | 2729 | 2735 | 2791 | 2762 | 2756 |
| 次数 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 不平衡量示值 / $\text{g} \cdot \text{mm}$ | 2739 | 2766 | 2741 | 2739 | 2775 |

测量的平均值：

$$\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 2753.3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

平均值的实验标准差：

$$s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2} = 6.34 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

则曲轴动平衡机不平衡量测量重复性引入的不确定度标准不确定度为：

$$u(U_x) = s(\bar{x}) = 6.34 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

D.4.3 被校曲轴动平衡机分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta U_x)$ (B类评定)

被校曲轴动平衡机不平衡量的显示分度值为 $1 \text{ g} \cdot \text{mm}$ ，分布为均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，所以其引入的标准不确定度：

$$u(\delta U_x) = \frac{1 \text{ g} \cdot \text{mm}}{2\sqrt{3}} = 0.29 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

D.5 合成标准不确定度

不确定度分量一览表见表 D.2。

表 D.2 不确定度分量一览表

| | | | |
|-----------------|--------|----------------------------------|------|
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 不确定度值 | 评定方法 |
| $u(U_s)$ | 专用砝码 | $7.93 \text{ g} \cdot \text{mm}$ | B 类 |
| $u(\delta U_x)$ | 分辨力 | $0.29 \text{ g} \cdot \text{mm}$ | B 类 |
| $u(U_x)$ | 测量重复性 | $6.34 \text{ g} \cdot \text{mm}$ | A 类 |

上述所分析的各项标准不确定度分量均不相关，则其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u^2(U_s) + u^2(\delta U_x) + u^2(U_x)} = \sqrt{7.93^2 + 0.29^2 + 6.34^2} \text{ g} \cdot \text{mm} = 10.16 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

D.6 扩展不确定度

按置信水平 $p = 95\%$, $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u_c = 21 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

根据以上测量不确定度的评定, 最小可达剩余不平衡量 $500 \text{ g} \cdot \text{mm}$ 的曲轴动平衡机不平衡量修正值的扩展不确定度为 $21 \text{ g} \cdot \text{mm}$ 。

附录 E

相位示值误差测量不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 环境条件：温度 20.2℃，相对湿度 32%。

E.1.2 被测对象：曲轴动平衡机。

E.1.3 测量方法：在完成初始不平衡校正和启动平衡校正后，使用专用砝码在校验转子试验平面 90° 的角度位置上施加不平衡量，记录曲轴动平衡机相位示值。

E.2 测量不确定度来源

E.2.1 校验转子角度位置最大允许误差引入的测量不确定度

E.2.2 测量重复性引入的测量不确定度

E.2.3 曲轴动平衡机分辨力引入的测量不确定度

E.2 测量模型

被校曲轴动平衡机相位示值修正值的计算公式见（E.1）。

$$\Delta A = A_s - A_x \quad (\text{E.1})$$

考虑到被校动平衡机的分辨力对测量结果的影响，测量模型见式（E.2）。

$$\Delta A = A_s - A_x + \delta A_x \quad (\text{E.2})$$

式中：

ΔA ——被校曲轴动平衡机相位示值修正值，°；

A_s ——校验转子试验质量施加位置的相位值（校验转子上角度位置度数值），°；

A_x ——被校曲轴动平衡机相位示值，°；

δA_x ——被校曲轴动平衡机的分辨力对测量结果的影响，°。

E.3 标准不确定度评定

E.3.1 校验转子角度位置最大允许误差引入的标准不确定度 $u(A_s)$ 的评定（B类评定）

校验转子角度位置最大允许误差为 $\pm 0.5^\circ$ ，其半宽度为 0.5° ，在区间内认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度：

$$u(A_s) = \frac{0.5^\circ}{\sqrt{3}} = 0.29^\circ$$

E.3.2 曲轴动平衡机相位测量重复性引入的不确定度 $u(A_x)$ （A类评定）

将专用砝码施加在校验转子试验平面 90° 的角度位置上,使用动平衡机做10次不平衡量的相位测量,获得相位示值数据如表E. 1。

表 E. 1 相位示值数据

| | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 相位示值/ $^\circ$ | 88.3 | 89.1 | 88.5 | 88.8 | 88.2 |
| 次数 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 相位示值/ $^\circ$ | 89.3 | 88.7 | 88.1 | 88.6 | 89.5 |

测量的平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 88.7^\circ$$

平均值的实验标准差:

$$s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2} = 0.15^\circ$$

因此,标准不确定度为:

$$u(A_x) = s(\bar{x}) = 0.15^\circ$$

E. 3.3 被校曲轴动平衡机分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta A_x)$ (B类评定)

被校曲轴动平衡机相位的显示分度值为 0.1° , 分布为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 所以其引入的标准不确定度:

$$u(\delta A_x) = \frac{0.1^\circ}{2\sqrt{3}} = 0.03^\circ$$

E. 4 合成标准不确定度

确定度分量一览表见表 E. 2。

表 E. 2 不确定度分量一览表

| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 不确定度值 | 评定方法 |
|-----------------|----------------|--------------|------|
| $u(A_s)$ | 校验转子角度位置最大允许误差 | 0.29° | B 类 |
| $u(A_x)$ | 测量重复性 | 0.15° | A 类 |
| $u(\delta A_x)$ | 分辨力 | 0.03° | B 类 |

上述所分析的各项标准不确定度分量均不相关, 所以其合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u^2(A_s) + u^2(\delta A_x) + u^2(A_x)} = \sqrt{0.29^2 + 0.15^2 + 0.03^2} = 0.33^\circ$$

E.5 扩展不确定度

按置信水平 $p = 95\%$ ， $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 0.7^\circ$$

中华人民共和国工业和信息化部

兵工民品计量技术规范

曲轴动平衡机校准规范

JJF(兵工民品) 0041—2024

版权所有 不得翻印