# 

机械计量技术规范

**中华人民共和国工业和信息化部发布**

2021-xx-xx实施

2021-xx-xx发布

关节轴承摆动磨损试验机校准规范

（报批稿）

**Calibration Specification for the**

**Spherical Plain Bearing Wear Performance Testing Machine**

JJF（机械）1079-2022

中华人民共和国工业和信息化部

关节轴承摆动磨损试验机

校准规范

Calibration Specification for the Spherical Plain Bearing Wear Performance Testing Machine



JJF（机械）1079-2022

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：上海市轴承技术研究所

参加起草单位：中国合格评定国家认可中心

机械工业轴承产品质量检测中心（上海）/上海尚轴轴承质量检测所

中机试验装备股份有限公司（原长春试验机

研究所）

本规范委托全国机械汽车专业计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

孙运奖（上海市轴承技术研究所）王雅琪（上海市轴承技术研究所）

丁力永（中国合格评定国家认可中心）

王阳（中国合格评定国家认可中心）

傅明（上海市轴承技术研究所）

**参加起草人：**

李银龙（机械工业轴承产品质量检测中心（上海）/上海尚

轴轴承质量检测所）

谢贞轩（机械工业轴承产品质量检测中心（上海）/上海尚

轴轴承质量检测所）

陆华（机械工业轴承产品质量检测中心（上海）/上海尚

轴轴承质量检测所）

孙宝瑞（中机试验装备股份有限公司（原长春试验机研究所））

**目录**

[引言 （II](#_Toc19839)）

[1 范围 （1](#_Toc12920)）

[2 引用文件 （1](#_Toc10912)）

[3 概述 （1](#_Toc3659)）

[4 计量特性 （2](#_Toc22017)）

[4.1 外观、结构间相互作用和安全性 （2](#_Toc5267)）

[4.2 示值误差 （3](#_Toc5267)）

[4.3 示值重复性/均匀性/波动性 （3](#_Toc11688)）

[5 校准条件 （3](#_Toc10442)）

[5.1 环境条件 （3](#_Toc5784)）

[5.2 测量标准及辅助设备 （3](#_Toc13015)）

[6 校准项目和校准方法 （4](#_Toc9009)）

[6.1 外观、结构间相互作用和安全性 （4](#_Toc30856)）

[6.2 示值误差 （4](#_Toc32415)）

[6.3 示值重复性/均匀性/波动性 （8](#_Toc32415)）

7 [校准结果表达 （9](#_Toc23499)）

8 [复校时间间隔 （9](#_Toc23499)）

[附录A 测量不确定度评定 （10](#_Toc32415)）

[附录B 校准证书内页信息 （29](#_Toc32415)）

引言

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、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》和GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》共同构成支撑本校准规范编制的基础性系列文件。本规范参照JJF 1101-2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》、JJG 229-2010《工业铂、铜热电阻检定规程》、GB/T2611-2007《试验机通用技术要求》、GB/T5226.1-2019《机械电气安全机械电器设备第1部分：通用技术条件》等标准而编制。

本规范为首次发布。

关节轴承摆动磨损试验机校准规范

* 1. 范围

本校准规范适用于含负载、摆角、频率、温度、位移、扭矩等工作参数且工作温度范围为（-60～240）℃的关节轴承摆动磨损试验机的校准。

* 1. 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》

JJF 1101-2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》

JJG 229-2010《工业铂、铜热电阻检定规程》

GB/T2611-2007 《试验机通用技术要求》

GB/T5226.1-2019《机械电气安全机械电器设备第1部分：通用技术条件》

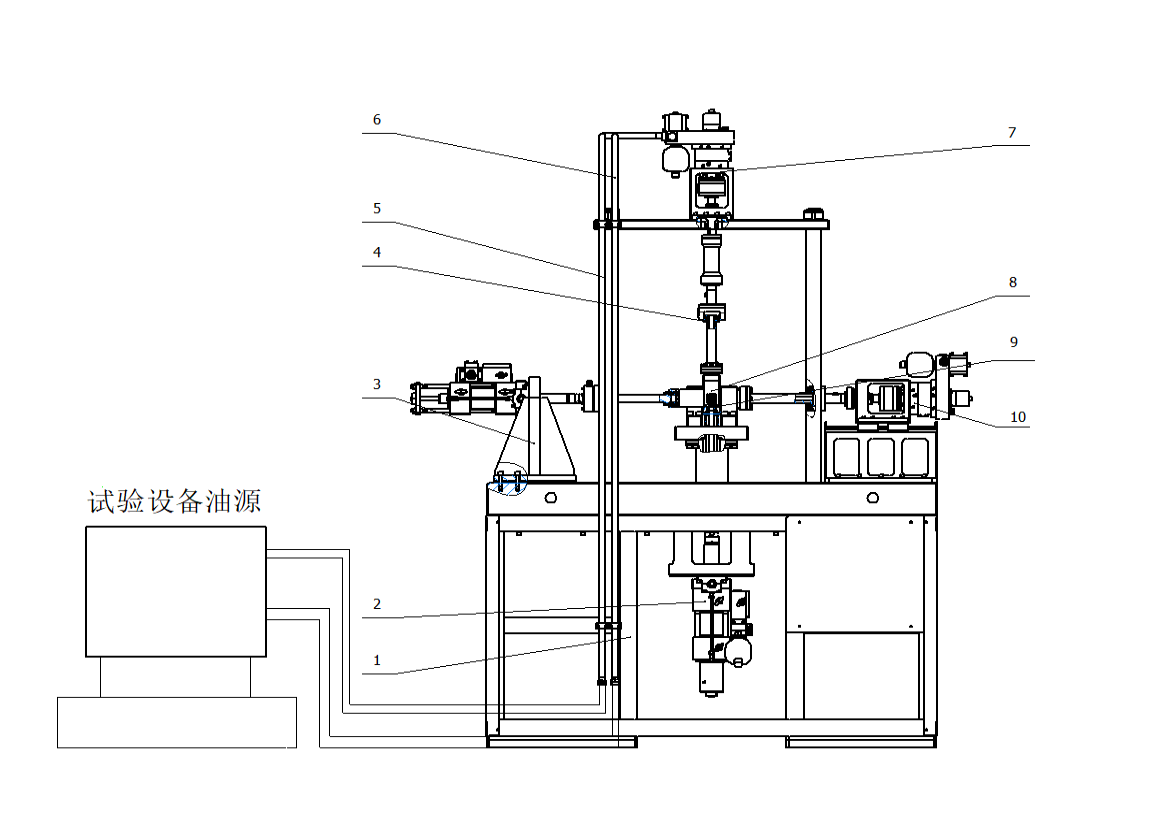
凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

* 1. 概述

关节轴承摆动磨损试验机是一种在具有负载、摆角、摆动频率、温度等可调参数工况环境下对关节轴承进行摆动磨损试验的试验装置，试验时关节轴承在试验机上设定的（可调）各参数下运行，经规定的试验时间后，对被试验关节轴承的磨损量、扭矩变化等指标进行测定并评估其相对于试验要求的符合性。各参数数据一般可由试验机上的综合显示屏读出，个别参数也可通过独立的表具测量获得。

典型的关节轴承摆动磨损试验机结构示意图如图1。

常用关节轴承摆动磨损试验机的型号、结构和载荷大小会有所不同，所具有的功能和参数多少也会略有不同，但工作原理基本相同。



1—主机框架 2—竖向（轴承径向）加载机构 3—横向（轴承轴向）加载机构

4—联接器5—进油管路 6—回油管路 7—摆动加载机构

8—工装夹具及试验轴承 9—联接器 10—摆动加载机构

**图1 关节轴承摆动磨损试验机示意图**

4 计量特性

4.1 外观、机构间相互作用和安全性

4.1.1 试验机整机外观不应有影响其计量性能准确度的损伤。试验机各零件的已加工面，不应有锈蚀、毛刺、碰划伤和其他缺陷。设备铭牌及相关标度标识清晰可辨，参数指标与设备现状相一致，警示色标清晰可见。软件运行显示装置应显示清晰、完整正确，有自检功能的装置自检应能符合要求。

4.1.2 工作状态下各传动机构应运行平稳、动作灵活，无相互干涉，并能正确定位。外露的皮带轮等传动件应有防护装置，无影响机械安全性的损伤。

4.1.3 在工作状态下，液、气管路系统应满足GB/T2611-2007 《试验机通用技术要求》中8和9的要求，如压力均衡稳定，各个部件的连接处不应有泄漏现象等。

4.1.4 电气安全应满足GB/T 2611-2007《试验机通用技术要求》中7的要求（电磁兼容要求除外），如被校试验机应有明显的接地端钮及接地标识。

4.2 示值误差

试验机各项目/参数示值误差要求见表1规定。

表1 示值误差（最大允差）和示值重复性

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目/参数 | | 测量范围 | 最大允差 | 示值重复性/均匀性/波动性 |
| 1 | 负载*P* | | (-1000~1000)kN | ±2% | -- |
| 2 | 加载速率*v* | | (0.1~600)kN/min | ±5% | -- |
| 3 | 摆角*θ* | | (-40~40) º | ±1° | -- |
| 4 | 频率*f* | 摆动 | (0.1~25) Hz | ±5% | -- |
| 交变加载 | (0.1~25) Hz | ±5% | -- |
| 5 | 温度*T* | 环境箱 | (-60~240)℃ | ±2℃ | 均匀性：≤1.5℃  波动度：±1.2℃ |
| 轴承监测 | (0~200)℃ | ±1.5℃ | -- |
| 6 | 位移（磨损量）*s* | | (0.001~1) mm | ±2μm | 重复性：≤2μm |
| 7 | 扭矩*M* | | (1~10000) N·m | ±3% | 重复性：≤3% |
| 8 | 时间*t* | | -- | ±0.1 min | -- |
| 注：因校准只给出测量结果，不进行合格判定，故上述计量特性要求仅供各相关方参考。 | | | | | |

4.3 示值重复性/均匀性/波动性

各相关项目/参数的示值重复性/均匀性/波动性要求见表1规定。

5 校准条件

* 1. 环境条件

1. 校准时的环境条件应与试验机工作时的环境要求基本匹配。温度：5℃～35℃，湿度≤70%RH，试验机电源电压：220V±10V和380V±10V，液、气系统工作压力加载波动小于5%。

5.2 测量标准和其他设备

校准所用的测量标准和其他设备的要求见表2规定。

1. 表2 测量标准和其他设备要求

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 特性 | | 测量标准名称 | 测量范围 | 最大允差/准确度等级 |
| 1 | 负载*P* | | 力值测量标准装置（如标准测力仪及显示装置） | (-1000~1000) kN | 0.3级 |
| 2 | 加载速率*v* | | 加载速率测量标准装置 | ≤600kN/min | 0.3级 |
| 3 | 摆角*θ* | | 角度测量标准装置 | (-45~45) º | 0.5级 |
| 4 | 频率*f* | 摆动 | 频率监测系统 | (0.1~50) Hz | 0.2级 |
| 交变加载 | 加载变化频率标准装置 | (0.1~25) Hz | 0.2级 |
| 5 | 温度*T* | 环境箱 | 温度测量标准装置 | (-60~240) ℃ | （*t*:℃） |
| 轴承监测 | 温度测量标准装置（如标准铂电阻温度计等） | (0~200) ℃ | 2等 |
| 6 | 位移（磨损量）*s* | | 精密微动台架 | (0.0002~0.4) mm  (0.001~2) mm | ±0.2μm  ±0.5μm |
| 7 | 扭矩*M* | | 扭矩测量标准装置 | (0.1~10000) N·m | 0.3级 |
| 8 | 时间*t* | | 电子秒表 | (0.01～3600) s | ±0.1s |

6 校准项目和校准方法

6.1 外观、机构间相互作用和安全性

6.1.1 外观：目测。

6.1.2 机构间相互作用及机械安全：目测。

6.1.3 液、气系统安全性：目测（参照GB/T2611-2007 《试验机通用技术要求》中7的要求）。

6.1.4 电气安全性：参照GB/T2611-2007 《试验机通用技术要求》中7的要求以及GB/T5226.1-2019《机械电气安全机械电器设备第1部分：通用技术条件》中18.2~18.4的要求（保护接地、绝缘电阻和耐压试验）。

6.2 示值误差

示值误差校准应在被校试验机开机预热15分钟后进行，并进行必要的规范性调校。

关节轴承摆动磨损试验机上各参数量值系统各自独立，故试验机校准时可对每个参数独立进行校准，校准时其他参数基本处于卸荷状态（不参与），必要时这些参数的设置信息应在校准原始记录和证书中有所表述。

6.2.1 负载（力值）

负载（力值）校准点应在被校试验机测量范围的10%～100%内均匀选取，一般均匀选取至少5个校准点（应覆盖范围二端）。

将力值测量标准装置（如标准测力仪）固定安置在被校试验机工作台上的试验受载位置，或采取把力值测量标准装置与被测设备力传感器串联连接在一起的方式安置固定。在开始加载之前先将被校试验机的屏显控制界面负载示值和力值标准装置的示值分别置零，然后被校试验机开始逐步加载力值至校准点，待数据稳定后读取示值，同时读取被校试验机自身显示屏上示值*P*和力值标准装置上示值*P0*，以*P-P0*得到示值绝对误差，并计算示值相对误差（*P-P0*）/*P0*。

校准时加载方向应为力值校准点从小到大以递增方式连续进行一组校准操作（各点校准过程之间不回零），直至加载至最大校准点。换向操作时先退回零位（并应至少静止60秒以使加载力完全卸载），然后同样方法实施反向校准。

6.2.2 加载速率

根据设备的加载速率能力范围，至少选取三个不同的加载速率点进行校准（一般为满量程的20%、60%、100%）。

将被校试验机加载轴端与加载速率测量标准装置接触或串联连接，然后先预加一定的载荷，将被校试验机控制界面切换至负荷状态，选择好需要校准的加载速率点位，在正式加载之前先将被校试验机的屏显控制界面加载速率示值和加载速率标准装置的示值分别置零，然后开始加载力值并同时计时，至载荷终点时停止加载并同步截停时间，同时读取被校试验机自身显示屏上获得值*v*和标准测量装置上获得值*v0*，以*v-v0*得到示值绝对误差，并计算示值相对误差（*v-v0*）/*v0*。

预加载荷与最终载荷的差值一般应为示值满量程的50%以上，且应记录其二点数值。

6.2.3 摆角

摆角校准点应在被校试验机测量范围的10%～100%内均匀选取，一般情况按正负两个方向，每一方向均匀选取至少5个校准点。

开始前将角度测量标准装置采用磁性吸附的方式或在被校试验机相关旋转体表面打孔固定的方式安置固定好后，先将试验机屏显控制界面的摆动角度示值与角度测量标准装置的示值均置零，然后逐步转动角度至校准点，待数据稳定后读取示值：在该校准点上同时读取被校试验机自身显示屏上示值*θ*和摆角测量标准装置上示值*θ0*，以*θ‒θ0*得到示值绝对误差。如此逐角度点由小到大递增方式进行校准，校准中一个方向上（如正向）各点测量过程之间不回零，全程校准完毕后回零（回零时应至少稳定30秒），然后进行另一个方向（如负向）的校准。

6.2.4 频率

6.2.4.1 （试验样品）摆动频率

选取被校试验机单向摆动角度满量程的90%作为频率校准测量条件（幅值设置），按照设备标称频率范围均匀选取至少5个校准点（*fi*），每点校准过程的摆动次数设定应不小于*fi*×60（*fi*为所选频率校准点），即试验持续时间至少 1分钟以上。

将频率测量标准装置的监测探头采用磁铁吸附等方式安置在被校试验机摆动机构相关位置的固定端，在被校试验机控制界面上设置所需的频率校准点及其幅值、次数（时间）等信息，再将被校试验机屏显控制界面的频率示值和频率标准装置的示值均进行置零，然后开机测量，直至设定的次数（或时间）停机，在该校准点上同时读取被校试验机自身显示屏上示值*f*和频率标准装置上示值*f0*，以*f - f0*得到示值绝对误差，并计算示值相对误差（*f - f0*）/*f0*。校准证书上应有设置频率、幅值和摆动试验持续时间的相应描述。

6.2.4.2 （负载）交变加载频率

关节轴承摆动磨损试验机通常还具备以一定的频率进行力值交变加载的功能，此时变载的频率也应进行校准。校准时按照设备标称加载频率范围均匀选取至少3个校准点，幅值按100%设置，校准过程的摆动次数设定不小于*fi*×60（*fi*为所选频率校准点），即试验时间应持续1分钟以上。

校准时将力值频率传感器串联接入加载系统（同本规范6.2.1），先在被校试验机控制界面上设置需校准的加载频率点位、幅值、次数（时间）等信息，再将屏显控制界面的变载频率示值和力值频率标准装置的示值分别置零，然后开机测量，直至设定的次数（或时间）停机，分别读取被校试验机上示值*f*和标准装置上的示值*f0*，以*f - f0*得到示值绝对误差，并计算示值相对误差（*f - f0*）/*f0*。校准证书上应有设置频率、幅值和摆动试验持续时间的相应描述。

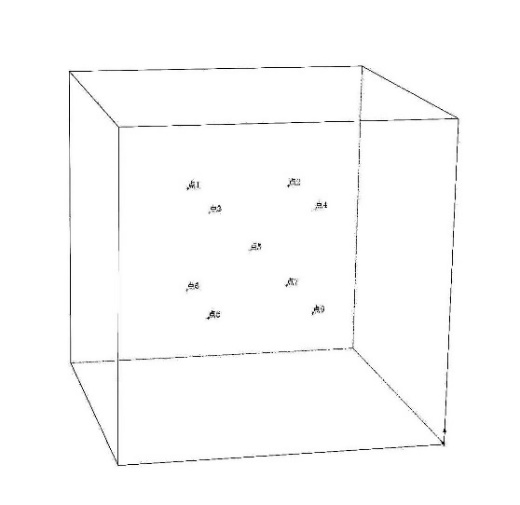
6.2.5 温度

6.2.5.1 环境温度箱

应按照被校设备标称温度范围均匀选取至少5个校准点（应覆盖试验机工作范围中的最大与最小温度二端）。

参照JJF 1101-2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》的方法，将温度测量标准装置连接安置于试验机环境温度箱中，按图2示意呈空间9点位布置（外围8个测试点与工作室内壁距离不小于各边长的1/10），先将试验机屏显控制界面的温度示值和温度测量标准装置的示值进行等值设置，再将试验机设定至所需校准点，然后开机进行升温或降温，待到达校准点且温度稳定后，开始读取9个点位在温度测量标准装置上各自的示值*Toij*(*j*=1~9)，并同时读取试验机上显示的温度示值*Tmi*，每2分钟读取一次，至少连续读取10次（共20分钟），然后将10次测值数据平均后记作该空间点的*Toij（ave）*、*Tmi（ave）*（*i=*1~10, *,j*=1~9)，计算各点的绝对误差*Toij（ave）*-*Tmi（ave）*，以中心点位（*j*=5）数据报出作为该温度校准点的示值误差。

如此按递增顺序单向（0℃为基点正向或负向）完成所有标称温度范围的校准点的校准。一个方向完成后回零并稳定（至少5分钟），然后进行另一方向校准。



**图2 环境温度箱校准点位示意图**

6.2.5.2 （试验轴承）监测温度

对于有试验轴承温度监测要求和功能的试验机，一般温度测量均是以温度传感器直接接触轴承样品监测点的方式进行读值。故校准时只需将温度传感器拆下单独校准即可，校准方法应按该类传感器所涉的相关校准规程/规范进行（如JJG229-2010等）。

6.2.6 位移（磨损量）

位移（磨损量）校准点应在被校试验机测量范围内均匀选取至少5个点（应覆盖测量范围二端点）。

开始前先将被校试验机上的位移（磨损量）传感器取下（与试验机接口端仍保持连接），将其安装至位移测量标准装置（如精密微动台架）上，将位移测量标准装置先置零，然后将位移（磨损量）传感器测头与标准装置接触并加压，当观察到被校试验机屏显控制界面的位移（磨损量）示值发生变动后（变动量应大于20μm）将传感器固定，再将被校试验机屏显控制界面上的位移（磨损量）示值置零，然后启动位移测量标准装置至第一个校准点，待数据稳定后读取该点示值，该点示值读取完成后则再次启动位移标准装置至下一个校准点，如此从小到大以递增位移方式完成所有校准点的校准（过程中不回零位）。校准示值读取和评价方式为：在某个校准点上同时读取被校试验机自身显示屏上示值*S*和位移标准装置上示值*S0*，以*S-S0*得到示值绝对误差。

每校准点应重复进行三次校准操作，取其平均值作为该校准点的示值误差。

6.2.7 扭矩

扭矩校准点应在被校试验机测量范围的10%～100%内均匀选取，选取至少5个校准点（应覆盖范围二端点）。

开始前先将扭矩标准装置与试验机摆动轴串联连接在一起，并接入一个扳手在摆动轴上，将被校试验机屏显控制界面上的扭矩示值和扭矩标准装置的示值分别进行置零，然后沿摆动轴的回转方向转动扳手，转到校准点并数值稳定后读取示值，如此逐点递增施加扭矩并读取示值（每点校准后回零，然后进行下一点校准）。校准示值读取和评价方式为：在某个校准点上同时读取被校试验机自身显示屏上示值*M*和扭矩标准装置上示值*M0*，以*M-M0*得到示值绝对误差，并计算示值相对误差（*M-M0*）/ *M0*。

每校准点应重复进行三次校准操作，取其平均值作为该校准点的示值误差。

6.2.8 时间

由于试验机单次运行时间较长，故时间的校准仅截取其中一小段时间进行（不大于20分钟），其间至少选择3个校准点。

开始校准前，准备好秒表并置零，然后启动试验机，在计值开始的同时按下秒表，等待试验机屏显界面的时间显示到达校准点*t*时截停秒表，读取秒表的示值*t0*，计算试验机显示时间*t*与秒表显示时间t0的差值作为示值绝对误差，并计算示值相对误差（*t- t0*）/ *t0*。

每校准点应重复进行三次校准操作，取其平均值作为该校准点的示值误差。

6.3 示值重复性/均匀性/波动性

6.3.1 位移（磨损量）示值重复性

选取被校试验机位移（磨损量）传感器量程的1/2位置和1/5位置为校准点，在重复性条件下对该二点各进行五次重复测量，测量方法与本规范6.2.6相同，但每次测量前均需退回置零。五次测量结果中位移标准装置测得的最小值和最大值之差即为示值重复性。

6.3.2 扭矩示值重复性

选取被校试验机扭矩传感器量程的二分之一位置为校准点，在重复性条件下对该点进行五次重复测量，测量方法同本规范6.2.7，但每次测量前均需退回置零。五次测量结果中扭矩测量标准装置测得的最小值和最大值之差除以其平均值即为示值重复性。

6.3.3 环境温度箱温度均匀性

按照本规范6.2.5.1方法，在某一温度校准点进行n次连续测量，将其在温度测量标准装置上获得的9个空间点位测值均值中的最大值和最小值之差按下式（1）进行平均计算，即为该校准点的温度均匀性。

(1)

式中：

——温度均匀性，℃

—— 9个空间校准点n次测量后各点均值中的最大值，℃

—— 9个空间校准点n次测量后各点均值中的最小值，℃

6.3.4 环境温度箱温度波动性

对于某一温度校准点，按照本规范6.2.5.1方法，在温度测量标准装置上获得9个空间点位之中心点的n次测值，其中的最大值和最小值之差的二分之一即为该温度校准点的温度波动性,见下式（2）。

(2)

式中：

——温度均匀性，℃

—— n次测量时中心校准点中的最大值，℃

—— n次测量时中心校准点中的最小值，℃

7 校准结果表达

7.1 主要参数示值误差校准不确定度的评定方法见附录A，其评定依据为JJG1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》等。

7.2 经校准的关节轴承摆动磨损试验机出具校准证书，校准证书的内容见附录B。

8 复校时间间隔

复校时间间隔的长短是由被校关节轴承摆动磨损试验机的使用情况、使用者、设备本身质量等因素决定，使用单位可根据使用情况自主决定复校时间间隔，但建议一般用途关节轴承摆动磨损试验机的复校时间间隔不大于1年。

附录A

A.1力值（负载）示值误差校准的测量不确定度评定

A.1.1 测量方法

在校准试验机的力值（负载）加载示值误差时，当被校试验机开机加载达到设定的校准点时，试验机屏显显示的加载力值与力值测量标准装置上显示的力值之差即为该校准点的力值示值绝对误差（相对误差则为示值绝对误差除以校准点位值）。

A.1.2 测量模型

由测量方法可得到测量模型为：

式中：

——力值（负载）示值误差，N；

——试验机力值（负载）示值，N；

——力值测量标准装置示值，N。

A.1.3 测量不确定度来源分析

根据测量方法可知，力值（负载）示值误差校准结果的不确定度来源主要为测量重复性误差引入的不确定度分量和力值测量标准装置示值误差引入的不确定度分量。

试验机在进行力值校准时与其他试验机参数无干涉，其数据系统相对独立。

A.1.4 不确定度传播率

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的传播率表达式：

式中：

—— 合成标准不确定度，μm

—— 由测量重复性引入的标准不确定度分量，μm

—— 由力值测量标准装置自身示值误差引入的标准不确定度分量，μm

灵敏系数：

A.1.5 标准不确定度评定

A.1.5.1 由测量重复性引入的不确定度分量

设校准点为500N，在重复测量条件下，进行10次重复测量。得到结果为：502N、501N、502N、500N、503N、500N、504N、497N、502N、498N，由贝塞尔公式计算得到=2.183N，则测量重复性引入的不确定度分量为：

A.1.5.2 由力值测量标准装置示值误差引入的不确定度分量

经核查力值测量标准装置的技术说明书（经外送溯源校准符合要求），显示其精度为0.3级，即最大允许误差为±0.3%，置信区间半宽则为*a=*500×0.3%=1.5N，在区间内均匀分布，*k*=。则由力值测量标准装置示值误差引入的不确定度分量为：

A.1.6 合成标准不确定度

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的表达式为：

式中：

——合成标准不确定度，N；

——由测量重复性引入的标准不确定度分量，N；

——由力值测量标准装置示值误差引入的标准不确定度分量，N。

——灵敏系数

标准不确定度分量汇总见表A.1.1。

表A.1.1标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定值 | 灵敏系数 |  |
| 1 |  | 测量重复性 | 2.183N | 1 | 2.183N |
| 2 |  | 力值测量标准装置示值误差 | 0.866N | -1 | 0.866N |

合成标准不确定度为：

A.1.7 试验机力值（负载）示值误差校准的扩展不确定度

取包含因子*k=*2，扩展不确定度为：

由此得到相对量扩展不确定度为：

A.2 加载速率示值误差校准的测量不确定度评定

A.2.1 测量方法

在校准加载速率示值误差时，当被校试验机达到设定的校准点时试验机屏显显示的速率值与速率测量标准装置上读取的速率值之差即为该校准点加载速率示值绝对误差（相对误差则为绝对示值误差除以校准点）。

A.2.2 测量模型

由测量方法可得到测量模型为：

式中：

——加载速率示值误差，kN/min；

——试验机加载速率示值，kN/min；

——加载速率测量标准装置示值，kN/min。

A.2.3 测量不确定度来源分析

根据测量方法可知，试验机加载速率示值误差校准结果的不确定度来源主要为由测量重复性误差引入的不确定度分量和加载速率测量标准装置示值误差引入的不确定度分量。

试验机在进行加载速率校准时与其他试验机参数无干涉，其数据系统相对独立。

A.2.4 不确定度传播率

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的传播率表达式为：

式中：

—— 合成标准不确定度，μm

—— 由测量重复性引入的标准不确定度分量，μm

—— 由加载速率测量标准装置自身示值误差引入的标准不确定度分量，μm

灵敏系数：

A.2.5 标准不确定度评定

A.2.5.1 由测量重复性引入的不确定度分量

设校准点为20kN/min，在重复测量条件下，进行10次重复测量。得到结果为：20.2kN/min、20.1kN/min、20.1kN/min、20.0kN/min、19.9kN/min、19.8kN/min、20.1kN/min、20.0kN/min、19.9kN/min、20.0kN/min，由贝塞尔公式计算得到=0.1197kN/min，则测量重复性引入的不确定度分量为：

A.2.5.2 由加载速度测量标准装置示值误差引入的不确定度分量

经核查外送校准的加载速度测量标准装置的校准证书，证书显示其测量不确定度为0.20kN/min（*k*=2），则由加载速度测量标准装置示值误差引入的不确定度分量为：

A.2.6 合成标准不确定度

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的表达式为：

(A3.2)

式中：

——合成标准不确定度，；

——由测量重复性引入的标准不确定度分量，；

——由加载速度测量标准装置示值误差引入的标准不确定度分量，。

——灵敏系数

标准不确定度分量汇总见表A.2.1。

表A.2.1标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定值 | 灵敏系数 |  |
| 1 |  | 测量重复性 | 0.1197kN/min | 1 | 0.1197kN/min |
| 2 |  | 加载速率测量标准装置示值误差 | 0.10 kN/min | -1 | 0.10 kN/min |

合成标准不确定度为：

A.2.7 试验机加载速率示值误差校准的扩展不确定度

取包含因子*k=*2，扩展不确定度为：

由此得到相对量扩展不确定度为：

A.3 摆动角度示值误差校准的测量不确定度评定

A.3.1 测量方法

在校准试验机摆动角度示值误差时，当被校试验机达到设定的校准点时试验机屏显上显示的角度值与角度测量标准装置上显示的角度值之差即为该校准点角度示值绝对误差（相对误差则为绝对示值误差除以校准点）。

A.3.2 测量模型

由测量方法可得到测量模型为：

式中：

——角度示值误差，°；

——试验机角度示值，°；

——角度测量标准装置示值，°。

A.3.3 测量不确定度来源分析

根据测量方法可知，角度示值误差校准结果的不确定度来源主要为由于测量重复性引入的不确定度分量和角度测量标准装置示值误差引入的不确定度分量。

试验机在进行摆动角度校准时与其他试验机参数无干涉，其数据系统相对独立。

A.3.4 不确定度传播率

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的传播率表达式：

式中：

—— 合成标准不确定度，μm

—— 由测量重复性引入的标准不确定度分量，μm

—— 由摆动角度测量标准装置自身示值误差引入的标准不确定度分量，μm

灵敏系数：

A.3.5 标准不确定度评定

A.3.5.1 由测量重复性引入的不确定度分量

设校准点为10°，在重复测量条件下，进行10次重复测量。得到结果为：10.2°、10.5°、10.4°、10.3°、10.2°、10.1°、10.0°、9.7°、9.9°、10.2°，由贝塞尔公式计算得到=0.2369°，则测量重复性引入的不确定度分量为：

A.3.5.2 由角度测量标准装置示值误差引入的不确定度分量

经核查角度测量标准装置的技术说明书（经外送溯源校准符合要求），显示其精度为0.5级，即最大允许误差为±0.5%，置信区间半宽则为，在区间内均匀分布，*k*=。则由力值测量标准装置示值误差引入的不确定度分量为：

A.3.6 合成标准不确定度

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的表达式为：

式中：

——合成标准不确定度，°；

——由测量重复性引入的标准不确定度分量，°；

——由标准角度传感器示值误差引入的标准不确定度分量，°。

——灵敏系数

标准不确定度分量汇总见表A.3.1。

表A.3.1标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定值 | 灵敏系数 |  |
| 1 |  | 测量重复性 | 0.2369° | 1 | 0.2369° |
| 2 |  | 角度测量标准装置示值误差 | 0.02887° | -1 | 0.02887° |

合成标准不确定度为：

A.3.7摆动角度示值误差校准的扩展不确定度

取包含因子*k=*2，扩展不确定度为：

A.4频率示值误差校准的测量不确定度评定

A.4.1 测量方法

在校准试验机的摆动频率的示值误差时，当被校试验机开机达到设定的校准点时，试验机屏显显示的频率值与频率测量标准装置上显示的频率值之差即为该校准点的频率示值绝对误差（相对误差则为绝对示值误差除以校准点值）。

A.4.2 测量模型

由测量方法可得到测量模型为：

式中：

——摆动频率示值误差，Hz；

——试验机摆动频率示值，Hz；

——频率测量标准装置示值，Hz。

A.4.3 测量不确定度来源分析

根据测量方法可知，摆动频率示值误差校准结果的不确定度来源主要为测量重复性误差引入的不确定度分量和频率测量标准装置示值误差引入的不确定度分量。

试验机在进行频率校准时与其他试验机参数无干涉，其数据系统相对独立。

A.4.4 不确定度传播率

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的传播率表达式为：

式中：

—— 合成标准不确定度，μm

—— 由测量重复性引入的标准不确定度分量，μm

—— 由摆动频率测量标准装置自身示值误差引入的标准不确定度分量，μm

灵敏系数：

A.4.5 标准不确定度评定

A.4.5.1 由测量重复性引入的不确定度分量

设校准点为10Hz，在重复测量条件下，进行10次重复测量。得到结果为：10.1Hz、10.0Hz、10.2Hz、10.0Hz、9.9Hz、9.9Hz、10.1Hz、10.0Hz、9.8Hz、10.1Hz，由贝塞尔公式计算得到=0.1197Hz，则测量重复性引入的不确定度分量为：

A.4.5.2 由频率测量标准装置示值误差引入的不确定度分量

经核查频率测量标准装置的技术说明书（经外送溯源校准符合要求），显示其精度为0.2级，即最大允许误差为±0.2%，置信区间半宽则为*a=*10×0.2%=0.020Hz，在区间内均匀分布，*k*=。则由频率测量标准装置示值误差引入的不确定度分量为：

A.4.6 合成标准不确定度

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的表达式为：

(A3.2)

式中：

——合成标准不确定度，Hz；

——由测量重复性引入的标准不确定度分量，Hz；

——由力值测量标准装置示值误差引入的标准不确定度分量，Hz。

——灵敏系数

标准不确定度分量汇总见表A.4.1。

表A.4.1标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定值 | 灵敏系数 |  |
| 1 |  | 测量重复性 | 0.1197Hz | 1 | 0.1197Hz |
| 2 |  | 频率测量标准装置示值误差 | 0.011547Hz | -1 | 0.011547Hz |

合成标准不确定度为：

A.4.7 试验机频率示值误差校准的扩展不确定度

取包含因子*k=*2，扩展不确定度为：

由此得到相对量扩展不确定度为：

A.4.8 以上表述为被校试验机摆动频率示值误差校准的不确定度评定方法，试验机承受交变工作负载时的加载频率示值误差校准的不确定度评定方法按同理进行。

A.5 温度示值误差校准的测量不确定度评定

A.5.1 测量方法

在校准试验机环境温度箱的温度示值误差时，当被校试验机开机加温达到设定的校准点时，试验机屏显上显示的温度值与温度测量标准装置上显示的温度值之差即为该校准点的温度示值绝对误差（相对误差则为绝对示值误差除以校准点）。温度箱各布点位置处置方法相同。

A.5.2 测量模型

由测量方法可得到测量模型为：

式中：

——温度示值误差，℃；

——试验机温度示值，℃；

——温度测量标准装置示值，℃。

A.5.3 测量不确定度来源分析

根据测量方法可知，温度示值误差校准结果的不确定度来源主要为测量重复性误差引入的不确定度分量和温度测量标准装置示值误差引入的不确定度分量。

试验机在进行温度校准时与其他试验机参数无干涉，其数据系统相对独立。

A.5.4 不确定度传播率

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的传播率表达式为：

式中：

—— 合成标准不确定度，μm

—— 由测量重复性引入的标准不确定度分量，μm

—— 由温度测量标准装置自身示值误差引入的标准不确定度分量，μm

灵敏系数：

A.5.5标准不确定度评定

A.5.5.1 由测量重复性引入的不确定度分量

校准点位置为中央点，设校准点温度为100℃，在重复测量条件下，进行10次重复测量。得到结果为：101℃、99℃、100.5℃、100℃、99.5℃、100℃、100℃、99℃、100.5℃、101℃，由贝塞尔公式计算得到=0.7246℃，则测量重复性引入的不确定度分量为：

A.5.5.2 由温度测量标准装置示值误差引入的不确定度分量

经核查温度测量标准装置的技术说明书（经外送溯源校准符合要求），显示其最大允差为，则置信区间半宽则为，在区间内均匀分布，*k*=。则由温度测量标准装置示值误差引入的不确定度分量为：

A.5.6 合成标准不确定度

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的表达式为：

式中：

——合成标准不确定度，℃；

——由测量重复性引入的标准不确定度分量，℃；

——由温度测量标准装置示值误差引入的标准不确定度分量，℃。

——灵敏系数

标准不确定度分量汇总见表A.5.1。

表A.5.1标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定值 | 灵敏系数 |  |
| 1 |  | 测量重复性 | 0.7246℃ | 1 | 0.7246℃ |
| 2 |  | 温度测量标准装置示值误差 | 0.2021℃ | -1 | 0.2021℃ |

合成标准不确定度为：

A.5.7试验机温箱内温度示值误差校准的扩展不确定度

取包含因子*k=*2，扩展不确定度为：

A5.8 以上表述为被校试验机环境温度箱/腔内温度的示值误差校准的不确定度评定方法，试验轴承本体温度监测得到的温度示值误差的校准不确定度评定方法按同理进行（必要时，此时还应考虑环境温度的影响分量）。

A.6 位移（磨损量）示值误差校准的测量不确定度评定

A.6.1 测量方法

在校准试验机的位移（磨损量）示值误差时，当被校试验机开机加载达到设定的校准点时，试验机屏显上显示的位移（磨损量）值与位移测量标准装置上显示的位移（磨损量）值之差即为该校准点的位移（磨损量）示值绝对误差（相对误差则为绝对示值误差除以校准点位值）。

A.6.2 测量模型

由测量方法可得到测量模型为：

式中：

——位移量示值误差，mm；

——试验机位移量示值，mm；

——位移测量标准装置示值，mm。

A.6.3 测量不确定度来源分析

根据测量方法可知，位移量示值误差校准结果的不确定度来源主要为测量重复性误差引入的不确定度分量和位移测量标准装置示值误差引入的不确定度分量。

试验机在进行位移校准时与其他试验机参数无干涉，其数据系统相对独立。

A.6.4 不确定度传播率

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的传播率表达式为：

式中：

—— 合成标准不确定度，μm

—— 由测量重复性引入的标准不确定度分量，μm

—— 由位移测量标准装置自身示值误差引入的标准不确定度分量，μm

灵敏系数：

A.6.5 标准不确定度评定

A.6.5.1 由测量重复性引入的不确定度分量

设校准点为20μm，在重复测量条件下进行10次重复测量。得到结果为：20.2μm、19.6μm、20μm、20.4μm、20μm、20μm、20.4μm、19.8μm、19.6μm、19.8μm, 由贝塞尔公式计算得到=0.2898μm，则测量重复性引入的不确定度分量为：

A.6.5.2 由温度测量标准装置示值误差引入的不确定度分量

经核查位移测量标准装置的技术说明书（经外送溯源校准符合要求），校准点为20μm时显示其最大允许误差为±0.2μm，置信区间半宽则为*a=*0.2μm，在区间内均匀分布，*k*=。则由频率测量标准装置示值误差引入的不确定度分量为：

A.6.6 合成标准不确定度

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的表达式为：

式中：

——合成标准不确定度，μm；

——由测量重复性引入的标准不确定度分量，μm；

——由位移测量标准装置示值误差引入的标准不确定度分量，μm。

——灵敏系数

标准不确定度分量汇总见表A.6.1。

表A.6.1标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定值 | 灵敏系数 |  |
| 1 |  | 测量重复性 | 0.2898μm | 1 | 0.2898μm |
| 2 |  | 位移测量标准装置示值误差 | 0.1155μm | -1 | 0.1155μm |

合成标准不确定度为：

A.6.7 试验机位移（磨损量）示值误差校准的扩展不确定度

取包含因子*k=*2，扩展不确定度为：

A.7 扭矩示值误差校准的测量不确定度评定

A.7.1 测量方法

在校准试验机的扭矩示值误差时，当被校试验机开机加载达到设定的校准点时，试验机屏显上显示的扭矩值与扭矩测量标准装置上显示的扭矩值之差即为该校准点的扭矩示值绝对误差（相对误差则为绝对示值误差除以校准点）。

A.7.2 测量模型

由测量方法可得到测量模型为：

式中：

——扭矩示值误差，N·m；

——试验机扭矩示值，N·m；

——扭矩测量标准装置示值，N·m。

A.7.3 测量不确定度来源分析

根据测量方法可知，扭矩示值误差校准结果的不确定度来源主要为测量重复性误差引入的不确定度分量和扭矩测量标准装置示值误差引入的不确定度分量。

试验机在进行扭矩校准时与其他试验机参数无干涉，数据系统相对独立。

A.7.4不确定度传播率

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的传播率表达式为：

式中：

—— 合成标准不确定度，μm

—— 由测量重复性引入的标准不确定度分量，μm

—— 由扭矩测量标准装置自身示值误差引入的标准不确定度分量，μm

灵敏系数：

A.7.5 标准不确定度评定

A.7.5.1 由测量重复性引入的不确定度分量

设校准点为10N·m，在重复测量条件下，进行10次重复测量。得到结果为：10.0N·m、9.9N·m、10.0N·m、10.0N·m、10.1N·m、9.9N·m、10.0N·m、10.1N·m、10.0N·m、10.1N·m，由贝塞尔公式计算得到=0.07379N·m，则测量重复性引入的不确定度分量为：

A.7.5.2 由扭矩测量标准装置示值误差引入的不确定度分量

经核查扭矩测量标准装置的技术说明书（经外送溯源校准符合要求），显示其精度为0.3级，即最大允许误差为±0.3%，置信区间半宽则为*a=*10×0.3%N·m，在区间内均匀分布，*k*=。则由频率测量标准装置示值误差引入的不确定度分量为：

A.7.6 合成标准不确定度

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的表达式为：

式中：

——合成标准不确定度，N·m；

——由测量重复性引入的标准不确定度分量，N·m；

——由扭矩测量标准装置示值误差引入的标准不确定度分量，N·m。

——灵敏系数

标准不确定度分量汇总见表A.7.1。

表A.7.1标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定值 | 灵敏系数 |  |
| 1 |  | 测量重复性 | 0.07379 N·m | 1 | 0.07379 N·m |
| 2 |  | 扭矩测量标准装置示值误差 | 0.01732N·m | -1 | 0.01732N·m |

合成标准不确定度为：

A.7.7试验机扭矩示值误差校准的扩展不确定度

取包含因子*k=*2，扩展不确定度为：

由此得到相对量扩展不确定度为：

A.8 时间示值误差校准的测量不确定度评定

A.8.1 测量方法

在校准试验机的时间示值误差时，当被校试验机开机加载达到设定的校准点时，试验机屏显上显示的时间值与时间测量标准装置（如数字式秒表）上显示的时间值之差即为该校准点的扭矩示值绝对误差（相对误差则为绝对示值误差除以校准点）。

A.8.2 测量模型

由测量方法可得到测量模型为：

式中：

——扭矩示值误差，秒；

——试验机扭矩示值，秒；

——扭矩测量标准装置示值，秒。

A.8.3 测量不确定度来源分析

根据测量方法可知，时间示值误差校准结果的不确定度来源主要为测量重复性误差引入的不确定度分量和时间测量标准装置示值误差引入的不确定度分量。

试验机在进行时间校准时与其他试验机参数无干涉，其数据系统相对独立。

A.8.4 不确定度传播率

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的传播率表达式为：

式中：

—— 合成标准不确定度，μm

—— 由测量重复性引入的标准不确定度分量，μm

—— 由时间测量标准装置自身示值误差引入的标准不确定度分量，μm

灵敏系数：

A.8.5 标准不确定度评定

A.8.5.1 由测量重复性引入的不确定度分量

设校准点为120s，在重复测量条件下，进行10次重复测量。得到结果为：120.6s、120.5s、120.0s、119.5s、120.2s、120.7s、120.0s、119.4s、119.8s、120.1s，由贝塞尔公式计算得到=0.4392s，则测量重复性引入的不确定度分量为：

A.8.5.2 由时间测量标准装置示值误差引入的不确定度分量

经核查时间测量标准装置的技术说明书（经外送溯源校准符合要求），显示其精度(MPE)为±0.1s，设其在区间内均匀分布，*k*=。则由时间测量标准装置示值误差引入的不确定度分量为：

A.8.6 合成标准不确定度

根据测量模型和不确定度来源分析，可得合成标准不确定度的表达式为：

式中：

——合成标准不确定度，秒；

——由测量重复性引入的标准不确定度分量，秒；

——由时间测量标准装置示值误差引入的标准不确定度分量，秒。

——灵敏系数

标准不确定度分量汇总见表A.8.1。

表A.8.1 标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定值 | 灵敏系数 |  |
| 1 |  | 测量重复性 | 0.4392 s | 1 | 0.4392 s |
| 2 |  | 时间测量标准装置示值误差 | 0.0577 s | -1 | 0.0577 s |

合成标准不确定度为：

A.8.7 试验机时间示值误差校准结果的扩展不确定度

取包含因子*k=*2，扩展不确定度为：

由此得到相对量扩展不确定度为：

**附录B**

校准证书内容

校准证书至少应包括以下信息：

1. 标题：“校准证书”；
2. 实验室名称和地址；
3. 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
4. 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
5. 客户的名称和地址；
6. 被校对象的描述和明确标识；
7. 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用相关时，应说明被校对象的接收日期；
8. 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
9. 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
10. 本次校准所用测量标准及其溯源性及有效性说明；
11. 校准环境的描述；
12. 校准结果及其测量不确定度的说明；
13. 对校准规范的偏离的说明；
14. 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
15. 校准结果仅对被校对象有效的声明；
16. 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

————————————