



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1610—2017

---

## 电动、气动扭矩扳子校准规范

Calibration Specification  
for Electric and Pneumatic Torque wrenches

2017-02-28 发布

2017-05-28 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 电动、气动扭矩扳子校准规范

Calibration Specification for  
Electric and Pneumatic Torque Wrenches

JJF 1610—2017

---

归口单位：全国力值硬度计量技术委员会

主要起草单位：河南省计量科学研究院

中国计量科学研究院

参加起草单位：广东省计量科学研究院

陕西东方航空仪表有限责任公司

阿特拉斯·科普柯（中国）投资有限公司

**本规范主要起草人：**

王广俊（河南省计量科学研究院）

张中杰（河南省计量科学研究院）

孟 峰（中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

付江红（河南省计量科学研究院）

李 闯（广东省计量科学研究院）

冯俊杰（陕西东方航空仪表有限责任公司）

张 巍 [阿特拉斯·科普柯（中国）投资有限公司]

# 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 术语 .....	( 1 )
3.1 螺栓螺母扭矩连接模拟器 .....	( 1 )
3.2 高扭矩率 .....	( 1 )
3.3 低扭矩率 .....	( 1 )
3.4 紧固扭矩 .....	( 1 )
4 概述 .....	( 1 )
5 计量特性 .....	( 1 )
5.1 高扭矩率示值相对误差 .....	( 1 )
5.2 高扭矩率示值重复性 .....	( 1 )
5.3 低扭矩率示值相对误差 .....	( 1 )
5.4 低扭矩率示值重复性 .....	( 2 )
5.5 内插误差 .....	( 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 .....	( 4 )
9 复校时间间隔 .....	( 5 )
附录 A 电动、气动扭矩扳子示值误差校准不确定度评定方法和示例 .....	( 6 )
附录 B 电动、气动扭矩扳子校准记录格式 .....	( 13 )
附录 C 电动、气动扭矩扳子校准证书内页格式 .....	( 15 )

## 引 言

本规范按 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》要求编制。

本规范主要参考 GB/T 16823.2《螺纹紧固件紧固通则》、GB/T 16823.3—2010《紧固件扭矩夹紧力试验》、GB/T 26547—2011《螺纹紧固件用回转式工具 性能试验方法》和 GB/T 5621—2008《凿岩机械与气动工具 性能试验方法》等编制而成。

本规范为首次发布。

## 电动、气动扭矩扳子校准规范

### 1 范围

本规范适用于电动扭矩扳子、气动扭矩扳子、螺栓拧紧机等校准。  
本规范不适用于冲击式扳子的校准。

### 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 5621—2008 凿岩机械与气动工具 性能试验方法

GB/T 16823.2 螺纹紧固件紧固通则

GB/T 16823.3—2010 紧固件 扭矩—夹紧力试验

GB/T 26547—2011 螺纹紧固件用回转式工具性能试验方法

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

#### 3.1 螺栓螺母扭矩连接模拟器 experimental threaded joint

校准中模拟不同螺纹连接状态，起缓冲作用的连接器（以下简称模拟器）。模拟器包括高扭矩率和低扭矩率模拟器。

#### 3.2 高扭矩率 high torque rate

扭矩从试验扭矩级的10%到100%，相对应的角位移不大于27°。

#### 3.3 低扭矩率 low torque rate

扭矩从试验扭矩级的10%到100%，相对应的角位移不小于650°。

#### 3.4 紧固扭矩 tightening torque

为达到规定预紧力拧紧螺栓或螺母所需要的力矩。

### 4 概述

电动、气动扭矩扳子（以下简称扭矩扳子）是能够输出设定扭矩的拧紧螺栓紧固件用回转式动力工具，由马达、扭矩控制机构、扭矩输出机构等部分组成，使用的动力能源一般为电能驱动和空气动能驱动，输出扭矩的控制方法采用有离合器、电流、气压等几种形式。常见的种类有机械式-气动定扭扳子、离合器式-气动定扭扳子、电流型定扭电动扳子和电动螺栓拧紧机等。

### 5 计量特性

#### 5.1 高扭矩率示值相对误差

#### 5.2 高扭矩率示值重复性

#### 5.3 低扭矩率示值相对误差

## 5.4 低扭矩率示值重复性

## 5.5 内插误差

## 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： $\leq 85\%$ 。6.1.3 工作电源的电压波动不超过额定电压的 $\pm 10\%$ 。

6.1.4 周围无影响校准结果的震源、电磁干扰和腐蚀性介质。

6.1.5 气动扭矩扳子进气要求

6.1.5.1 气动扭矩扳子气压和气流量应符合制造厂的说明书要求。

6.1.5.2 气动扭矩扳子空转时，进气压力不应小于额定压力的98%。

6.1.5.3 在接近设定扭矩值时，进气压力应在额定压力的 $(100\pm 1)\%$ 范围内。

6.1.6 充电式电动扭矩扳子的电压和电流应符合使用要求。

## 6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 扭矩仪：扭矩测量采用回转式扭矩传感器，显示仪表能显示峰值，采样频率不小于500 Hz；扭矩仪的示值扩展不确定度不大于被校扭矩扳子示值的扩展不确定度的1/3。

## 6.2.2 模拟器

6.2.2.1 高扭矩率模拟器：工作范围为扭矩标称值的 $(5\sim 100)\%$ ；扭矩标称值的10%到100%扭矩范围角度转动不大于 $27^\circ$ ；扭紧扭矩与转动角度相关曲线的直线度优于 $\pm 2\%FS$ ；滑动期间的摩擦载荷不应超过扭矩标称值的5%。6.2.2.2 低扭矩率模拟器：工作范围为扭矩标称值的 $(5\sim 100)\%$ ；扭矩标称值的10%到100%扭矩范围角度转动不小于 $650^\circ$ ；扭紧扭矩与转动角度相关曲线的直线度优于 $\pm 10\%FS$ ；滑动期间的摩擦载荷不应超过扭矩标称值的5%。

## 7 校准项目和校准方法

## 7.1 校准项目

扭矩扳子的校准项目见表1。

表1 电动、气动扭矩扳子校准项目一览表

序号	校准项目	以扭矩量值显示的扭矩扳子	非扭矩量值显示的扭矩扳子
1	高扭矩率示值相对误差	+	-
2	高扭矩率示值重复性	+	+
3	低扭矩率示值相对误差	+	-
4	低扭矩率示值重复性	+	+
5	内插误差	-	+

注：表中“+”表示可校准项目，“-”表示不校准项目。

## 7.2 校准方法

### 7.2.1 校准点选择

扭矩扳子的校准按照用户要求选取校准点。用户无明确要求时，在测量范围内选取包括最大值和最小值 3 个点。

### 7.2.2 模拟器安装

根据扭矩扳子的校准点和紧固的旋转方向选择相应的高扭矩率模拟器、低扭矩率模拟器，将其稳固地安装在工作台上。

### 7.2.3 动力源检查

7.2.3.1 气动扭矩扳子应保证连接到气动扭矩扳子进气口上软管 3 m 处的进气压力保持在 (0.615~0.645) MPa，并检查气源应符合 6.1.5 要求。

7.2.3.2 充电式电动扭矩扳子应符合 6.1.6 要求。

### 7.2.3 扭矩示值的校准

#### 7.2.3.1 预加扭矩

将模拟器、扭矩传感器、扭矩扳子依次连接起来，并且保证它们的同轴性，将扭矩仪示值置零，施加扭矩到校准点的最大值。按照以上操作进行 3 次预加扭矩。

#### 7.2.3.2 施加扭矩

卸除模拟器紧固扭矩，静置模拟器 30 s 后，根据选择的各个校准点，保持扭矩扳子稳定，分别在高、低扭矩率模拟器上施加扭矩，施加扭矩过程中记录扭矩仪的示值，依次重复 10 次。

### 7.2.4 高扭矩率示值相对误差

高扭矩率示值相对误差按式 (1)，(2) 计算：

$$\bar{T}_{Hj} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T_{Hji} \quad (1)$$

$$\delta_{Hj} = \left[ \frac{T_j - \bar{T}_{Hj}}{\bar{T}_{Hj}} \right] \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\bar{T}_{Hj}$ ——使用高扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点扭矩仪示值的算术平均值，Nm；

$T_{Hji}$ ——使用高扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点第  $i$  次校准的扭矩仪示值，Nm；

$\delta_{Hj}$ ——使用高扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点的示值相对误差，%；

$T_j$ ——第  $j$  个校准点的扭矩扳子设定值，Nm。

### 7.2.5 高扭矩率示值重复性

高扭矩率示值重复性按照公式 (3) 计算：

$$R_{Hj} = \frac{T_{Hjimax} - T_{Hjimin}}{\bar{T}_{Hj}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$T_{Hjimax}$ ——使用高扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点扭矩仪的最大扭矩示值，Nm；

$T_{Hjimin}$ ——使用高扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点扭矩仪的最小扭矩示值，Nm；

$\bar{T}_{Hj}$ ——使用高扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点扭矩仪示值的算术平均值，Nm；



$R_{Hj}$ ——使用高扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点的示值重复性，%。

### 7.2.6 低扭矩率示值相对误差

低扭矩率示值相对误差按式 (4)，(5) 计算：

$$\bar{T}_{Lj} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T_{Lji} \quad (4)$$

$$\delta_{Lj} = \left[ \frac{T_j - \bar{T}_{Lj}}{\bar{T}_{Lj}} \right] \times 100\% \quad (5)$$

式中：

$\bar{T}_{Lj}$ ——使用低扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点扭矩仪示值的算术平均值，Nm；

$T_{Lji}$ ——使用低扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点第  $i$  次校准的扭矩仪示值，Nm；

$\delta_{Lj}$ ——使用低扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点的示值相对误差，%；

$T_j$ ——第  $j$  个校准点的扭矩扳子设定值，Nm。

### 7.2.7 低扭矩率示值重复性

低扭矩率示值重复性按照公式 (6) 计算：

$$R_{Lj} = \frac{T_{Ljimax} - T_{Ljimin}}{\bar{T}_{Lj}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$T_{Ljimax}$ ——使用低扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点扭矩仪的最大扭矩示值，Nm；

$T_{Ljimin}$ ——使用低扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点扭矩仪的最小扭矩示值，Nm；

$\bar{T}_{Lj}$ ——使用低扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点扭矩仪示值的算术平均值，Nm；

$R_{Lj}$ ——使用低扭矩率模拟器时，第  $j$  个校准点的示值重复性，%。

### 7.2.8 内插误差

内插误差按照公式 (7) 计算：

$$I_j = \frac{T_{ej} - T_j}{T_j} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

$I_j$ ——第  $j$  个校准点的内插误差，%；

$T_{ej}$ ——按照校准方程求出与第  $j$  个校准点校准结果算术平均值相对应的理论值，Nm；

$T_j$ ——第  $j$  个校准点的扭矩扳子的设定值，Nm。

## 8 校准结果

校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- 1) 标题，“校准证书”；
- 2) 实验室名称和地址；
- 3) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 4) 送校单位的名称和地址；
- 5) 被校对象的描述和明确标识；

6) 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;

7) 对校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;

8) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;

9) 校准环境的描述;

10) 校准结果及其测量不确定度;

11) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识, 以及签发日期。

## 9 复校时间间隔

校准时间间隔由用户根据使用情况自行确定, 建议复校间隔不超过半年。

## 附录 A

## 电动、气动扭矩扳子示值误差校准不确定度评定方法和示例

## A.1 概述

## A.1.1 校准依据

JJF 1610—2017《电动、气动扭矩扳子校准规范》。

## A.1.2 环境条件

室温（10~35）℃。

## A.1.3 测量标准

扭矩仪，扩展不确定度： $U_{\text{brel}}$ ， $k=2$ 。

## A.1.4 被测对象

电动、气动扭矩扳子。

## A.1.5 测量过程

A.1.5.1 在规定环境条件下，使用示值相对允差  $\delta_{\text{brel}}$  的扭矩仪测量电动、气动扭矩扳子在设定扭矩值  $T_j$  下扭紧高扭矩率模拟器时输出的扭矩量值，该过程重复进行  $n$  次，以  $n$  次测量值  $T_{\text{H}ji}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 的算术平均值作为电动、气动扭矩扳子的输出扭矩值  $\overline{T_{\text{H}j}}$ ；

A.1.5.2 在规定环境条件下，使用示值相对允差  $\delta_{\text{brel}}$  的扭矩仪测量电动、气动扭矩扳子在设定扭矩值  $T_j$  下扭紧低扭矩率模拟器时输出的扭矩量值，该过程重复进行  $n$  次，以  $n$  次测量值  $T_{\text{L}ji}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 的算术平均值作为电动、气动扭矩扳子的输出扭矩值  $\overline{T_{\text{L}j}}$ 。

## A.1.6 评定结果的使用

符合上述条件的电动扭矩扳子，一般可直接使用本不确定度评定方法导出的公式计算校准结果的扩展不确定度。

## A.2 测量模型

## A.2.1 高扭矩率示值相对误差：

$$\delta_{\text{H}j} = \left[ \frac{T_j - \overline{T_{\text{H}j}}}{\overline{T_{\text{H}j}}} \right] \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

## A.2.2 低扭矩率示值相对误差：

$$\delta_{\text{L}j} = \left[ \frac{T_j - \overline{T_{\text{L}j}}}{\overline{T_{\text{L}j}}} \right] \times 100\% \quad (\text{A.2})$$

## A.3 不确定度来源

a) 扭矩仪引入的不确定度分量  $u_b$ ；

b) 由于各种随机因素影响导致的测量重复性引入的不确定度分量  $u_R$ （包括扭矩扳

子复现设定值的重复性、峰值记录时扭矩值不确定性、气压源的波动、测量过程中扭矩扳子的温度影响、扭矩仪与扭矩扳子连接的附加响应等)。

#### A.4 标准不确定度的评定

##### A.4.1 高扭矩率示值相对误差的标准不确定度评定

###### A.4.1.1 扭矩仪引入的标准不确定度分量 $u_b$ 评定

已知扭矩仪示值相对允差  $\delta_{\text{brel}}$ ，按照均匀分布，则扭矩仪引入的标准不确定度为：

$$u_{\text{bH}} = \frac{\delta_{\text{brel}}}{\sqrt{3}} \times \bar{T}_{\text{Hj}} \quad (\text{A.3})$$

###### A.4.1.2 由于各种随机因素影响导致的扭矩测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_R$ 评定

根据实际测量的数据，使用贝塞尔公式计算出的试验标准偏差作为测量重复性引入的标准不确定度：

$$s_{\text{THj}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{\text{Hji}} - \bar{T}_{\text{Hji}})^2}{n-1}} \quad (\text{A.4})$$

则平均值的试验标准偏差为：

$$u_{\text{RH}} = \frac{s_{\text{THj}}}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.5})$$

##### A.4.2 低扭矩率示值相对误差的标准不确定度评定

###### A.4.2.1 扭矩仪引入的标准不确定度分量 $u_b$ 评定

已知扭矩仪示值相对允差  $\delta_{\text{brel}}$ ，按照均匀分布，则扭矩仪引入的标准不确定度为：

$$u_{\text{bL}} = \frac{\delta_{\text{brel}}}{\sqrt{3}} \times \bar{T}_{\text{Lj}} \quad (\text{A.6})$$

###### A.4.2.2 由于各种随机因素影响导致的扭矩测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_R$ 评定

根据实际测量的数据，使用贝塞尔公式计算出的试验标准偏差作为测量重复性引入的标准不确定度：

$$s_{\text{TLj}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{\text{Lji}} - \bar{T}_{\text{Lji}})^2}{n-1}} \quad (\text{A.7})$$

则平均值的试验标准偏差为：

$$u_{\text{RL}} = \frac{s_{\text{TLj}}}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.8})$$

#### A.5 合成标准不确定度的评定

##### A.5.1 高扭矩率示值相对误差的合成标准不确定度评定

根据公式 (A.1) 得灵敏系数为：

$$c_{1, \delta_H} = \frac{\partial \delta_H}{\partial T_j} = \frac{1}{T_{Hj}} \quad (\text{A. 9})$$

$$c_{2, \delta_H} = \frac{\partial \delta_H}{\partial T_{Hj}} = -\frac{T_j}{T_{Hj}^2} \quad (\text{A. 10})$$

则高扭矩率示值相对误差的合成标准不确定度为：

$$u_c(\delta_H) = \sqrt{\left[\frac{1}{T_{Hj}} \cdot u_{RH}\right]^2 + \left[-\frac{T_j}{T_{Hj}^2} \cdot u_{bH}\right]^2} \quad (\text{A. 11})$$

#### A. 5.2 低扭矩率示值相对误差的不确定度评定

根据公式 (2) 得灵敏系数为：

$$c_{1, \delta_L} = \frac{\partial \delta_L}{\partial T_j} = \frac{1}{T_{Lj}} \quad (\text{A. 12})$$

$$c_{2, \delta_L} = \frac{\partial \delta_L}{\partial T_{Lj}} = -\frac{T_j}{T_{Lj}^2} \quad (\text{A. 13})$$

则低扭矩率示值相对误差的合成标准不确定度为：

$$u_c(\delta_L) = \sqrt{\left[\frac{1}{T_{Lj}} \cdot u_{RL}\right]^2 + \left[-\frac{T_j}{T_{Lj}^2} \cdot u_{bL}\right]^2} \quad (\text{A. 14})$$

### A. 6 扩展不确定度的评定

#### A. 6.1 高扭矩率示值相对误差的扩展不确定度为：

$$U_H = k u_c(\delta_H), \quad k = 2 \quad (\text{A. 15})$$

#### A. 6.2 低扭矩率示值相对误差的扩展不确定度为：

$$U_L = k u_c(\delta_L), \quad k = 2 \quad (\text{A. 16})$$

### A. 7 不确定度评定举例

#### A. 7.1 电动扭矩扳子不确定度评定举例

##### A. 7.1.1 计量标准

名称：扭矩仪；测量范围：(5~100) Nm；准确度等级 1.0 级。

##### A. 7.1.2 辅助设备

高扭矩率模拟器；

低扭矩率模拟器。

##### A. 7.1.3 测量对象

电动扭矩扳子，预置扭矩：20 Nm。

##### A. 7.1.4 动力源检查

测量确认工作电源的电压为 220 V，波动小于 1%，满足校准条件要求。

##### A. 7.1.5 测量过程及数据

将设定值为 20 Nm 的电动扭矩扳子按照本规范的校准方法，得到校准数据，具体见表 A.1 和表 A.2。

表 A.1 扭矩仪在高扭矩率模拟器上校准得到的数据

标称值 Nm	应用高扭矩率模拟器的测量值/Nm					测量平均值 $\bar{T}_{Hj}/\text{Nm}$	实验标准差 $s_{THj}/\text{Nm}$	平均值的试验标准偏差 $u_{RH}/\text{Nm}$
20	21.70	21.94	21.54	21.65	21.96	21.733	0.221	0.070
	21.64	21.72	21.90	21.77	21.78			
	21.93	21.41	22.35	21.89	21.46			
	21.83	21.48	21.72	21.80	21.72			
	21.27	21.69	21.84	21.50	21.83			

表 A.2 扭矩仪在低扭矩率模拟器上校准得到的数据

标称值 Nm	应用低扭矩率模拟器的测量值/Nm					测量平均值 $\bar{T}_{Lj}/\text{Nm}$	实验标准差 $s_{TLj}/\text{Nm}$	平均值的试验标准偏差 $u_{RL}/\text{Nm}$
20	20.49	20.72	20.08	20.95	20.59	20.554	0.282	0.089
	20.40	20.99	20.04	20.70	20.75			
	20.00	20.86	20.45	20.18	20.39			
	20.35	20.53	20.46	20.56	20.89			
	20.42	20.78	20.72	20.71	20.85			

## A.7.1.6 标准不确定度评定

A.7.1.6.1 已知扭矩仪在测量电动扭矩扳子时的扩展不确定度为： $U_{\text{brel}} = 1.0\%$ ， $k=2$ ，则：

$$u_{\text{bH}} = \frac{\delta_{\text{brel}}}{\sqrt{3}} \cdot \bar{T}_{Hj} = 0.125 \text{ Nm}$$

$$u_{\text{bL}} = \frac{\delta_{\text{brel}}}{\sqrt{3}} \cdot \bar{T}_{Lj} = 0.119 \text{ Nm}$$

A.7.1.6.2 测量重复性引入的标准不确定度分量按照实验标准偏差分别按照公式(A.4)、(A.5)、(A.7)、(A.8)计算，具体结果见表A.1和表A.2。

A.7.1.7 根据公式(A.1)、(A.2)则灵敏系数为：

$$c_{1, \delta_H} = \frac{\partial \delta_H}{\partial T_j} = \frac{1}{T_{Hj}} = 0.046(\text{Nm})^{-1}$$

$$c_{2, \delta_H} = \frac{\partial \delta_H}{\partial T_{Hj}} = -\frac{T_j}{T_{Hj}^2} = -0.043(\text{Nm})^{-1}$$

$$c_{1, \delta_L} = \frac{\partial \delta_L}{\partial T_j} = \frac{1}{T_{Lj}} = 0.049(\text{Nm})^{-1}$$

$$c_{2, \delta_L} = \frac{\partial \delta_L}{\partial T_{Lj}} = -\frac{T_j}{T_{Lj}^2} = -0.048(\text{Nm})^{-1}$$

#### A.7.1.8 标准合成不确定度评定

各不确定度分量和灵敏系数等具体数据见表 A.3。

表 A.3 不确定度来源一览表

不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏系数
扭矩仪示值不准确 $u_{bH}$	0.125 Nm	$-0.043 (\text{Nm})^{-1}$
高扭矩率模拟器测量结果的重复性 $u_{RH}$	0.070 Nm	$0.046 (\text{Nm})^{-1}$
扭矩仪示值不准确 $u_{bL}$	0.119 Nm	$-0.048 (\text{Nm})^{-1}$
低扭矩率模拟器测量结果的重复性 $u_{RL}$	0.089 Nm	$0.049 (\text{Nm})^{-1}$

根据表 A.3 中的数据，代入式 (A.11) 和 (A.14)，分别计算得：

$$u_c(\delta_H) = \sqrt{\left[\frac{1}{T_{Hj}} \cdot u_{RH}\right]^2 + \left[-\frac{T_j}{T_{Hj}^2} \cdot u_{bH}\right]^2} = 0.0063 = 0.63\%$$

$$u_c(\delta_L) = \sqrt{\left[\frac{1}{T_{Lj}} \cdot u_{RL}\right]^2 + \left[-\frac{T_j}{T_{Lj}^2} \cdot u_{bL}\right]^2} = 0.0072 = 0.72\%$$

#### A.7.1.9 扩展不确定度评定

A.7.1.10 高扭矩率示值相对误差的扩展不确定度为：

$$U_H = 1.3\% \quad (k=2)$$

A.7.1.11 低扭矩率示值相对误差的扩展不确定度为：

$$U_L = 1.5\% \quad (k=2)$$

### A.7.2 气动扭矩扳子不确定度评定举例

#### A.7.2.1 计量标准

名称：扭矩仪；测量范围：(5~100) Nm；准确度等级 1.0 级。

#### A.7.2.2 辅助设备

高扭矩率模拟器；

低扭矩率模拟器。

#### A.7.2.3 测量对象

气动扭矩扳子，预置扭矩：35 Nm。

#### A.7.2.4 动力源检查

气动扭矩扳子进气口上软管长度 2.03 m，进气压力设定 0.630 MPa，气动扭矩扳子空转时进气压力为 0.626 MPa，为额定压力的 99.4%。在接近设定扭矩值时，进气压力为 0.630 MPa，为额定压力的 100%。满足校准要求条件。

#### A.7.2.5 测量过程及数据

将设定值为 35 Nm 的气动扭矩扳子按照本规范的校准方法，得到校准数据，具体见表 A.4 和表 A.5。

表 A.4 扭矩仪在高扭矩率模拟器上校准得到的数据

标称值 Nm	应用高扭矩率模拟器的测量值/Nm					测量平均值 $\bar{T}_{Hj}/\text{Nm}$	实验标准差 $s_{THj}/\text{Nm}$	平均值的试验标准偏差 $u_{RH}/\text{Nm}$
35	36.59	36.13	36.18	36.12	36.06	35.956	0.214	0.043
	35.78	35.78	36.06	35.77	35.60			
	36.18	35.72	35.79	35.88	35.86			
	35.83	36.03	35.90	36.10	36.16			
	35.71	36.07	35.81	35.85	35.95			

表 A.5 扭矩仪在低扭矩率模拟器上校准得到的数据

标称值 Nm	应用低扭矩率模拟器的测量值/Nm					测量平均值 $\bar{T}_{Lj}/\text{Nm}$	实验标准差 $s_{TLj}/\text{Nm}$	平均值的试验标准偏差 $u_{RL}/\text{Nm}$
35	35.82	35.26	36.17	35.77	34.91	35.640	0.576	0.115
	34.80	35.13	35.29	35.35	36.58			
	35.68	35.84	35.64	35.79	34.62			
	34.95	35.28	36.63	36.43	35.38			
	35.45	35.65	35.59	36.38	36.61			

## A.7.2.6 标准不确定度评定

A.7.2.6.1 已知扭矩仪在测量气动扭矩扳子时的扩展不确定度为： $U_{\text{brel}} = 1.0\%$ ， $k=2$ ，则：

$$u_{\text{bH}} = \frac{\delta_{\text{brel}}}{\sqrt{3}} \cdot \bar{T}_{Hj} = 0.208 \text{ Nm}$$

$$u_{\text{bL}} = \frac{\delta_{\text{brel}}}{\sqrt{3}} \cdot \bar{T}_{Lj} = 0.206 \text{ Nm}$$

A.7.2.6.2 测量重复性引入的标准不确定度分量按照实验标准偏差分别按照公式(A.4)、(A.5)、(A.7)、(A.8)计算，具体结果见表A.4和表A.5。

A.7.2.7 根据公式(A.1)(A.2)，灵敏系数为：

$$c_{1, \delta_H} = \frac{\partial \delta_H}{\partial T_j} = \frac{1}{T_{Hj}} = 0.028(\text{Nm})^{-1}$$

$$c_{2, \delta_H} = \frac{\partial \delta_H}{\partial T_{Hj}} = -\frac{T_j}{T_{Hj}^2} = -0.027(\text{Nm})^{-1}$$

$$c_{1, \delta_L} = \frac{\partial \delta_L}{\partial T_j} = \frac{1}{T_{Lj}} = 0.028(\text{Nm})^{-1}$$



$$c_{2, \delta_L} = \frac{\partial \delta_L}{\partial T_{Lj}} = -\frac{T_j}{T_{Lj}^2} = -0.028(\text{Nm})^{-1}$$

#### A.7.2.8 标准合成不确定度评定

各不确定度分量和灵敏系数等具体数据见表 A.6。

表 A.6 不确定度来源一览表

不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏系数
扭矩仪示值不准确 $u_{bH}$	0.208 Nm	$-0.027 (\text{Nm})^{-1}$
高扭矩率模拟器测量结果的重复性 $u_{RH}$	0.043 Nm	$0.028 (\text{Nm})^{-1}$
扭矩仪示值不准确 $u_{bL}$	0.206 Nm	$-0.028 (\text{Nm})^{-1}$
低扭矩率模拟器测量结果的重复性 $u_{RL}$	0.115 Nm	$0.028 (\text{Nm})^{-1}$

根据表 A.3 中的数据，分别代入式 (A.11) 和 (A.14)，分别计算得：

$$u_c(\delta_H) = \sqrt{\left[\frac{1}{T_{Hj}} \cdot u_{RH}\right]^2 + \left[-\frac{T_j}{T_{Hj}^2} \cdot u_{bH}\right]^2} = 0.0058 = 0.58\%$$

$$u_c(\delta_L) = \sqrt{\left[\frac{1}{T_{Lj}} \cdot u_{RL}\right]^2 + \left[-\frac{T_j}{T_{Lj}^2} \cdot u_{bL}\right]^2} = 0.0066 = 0.66\%$$

#### A.7.2.9 扩展不确定度评定

A.7.2.10 高扭矩率示值相对误差的扩展不确定度为：

$$U_H = 1.2\% \quad (k=2)$$

A.7.2.11 低扭矩率示值相对误差的扩展不确定度为：

$$U_L = 1.4\% \quad (k=2)$$

## 附录 B

## 电动、气动扭矩扳子校准记录格式

送样单位名称：\_\_\_\_\_ 规格型号：\_\_\_\_\_ 编号：\_\_\_\_\_

制造厂：\_\_\_\_\_ 校准地点：\_\_\_\_\_ 校准日期：\_\_\_\_\_

温度：\_\_\_\_\_ °C 相对湿度：\_\_\_\_\_ %；标准器名称：\_\_\_\_\_ 型号：\_\_\_\_\_ 编号：\_\_\_\_\_

准确度等级：\_\_\_\_\_；气源气压：\_\_\_\_\_ MPa 空转时气压：\_\_\_\_\_ MPa \_\_\_\_\_ %

接近设定扭矩值时：\_\_\_\_\_ MPa \_\_\_\_\_ %；电压/电流：\_\_\_\_\_  正常

仪器使用记录：使用前：\_\_\_\_\_ 使用后：\_\_\_\_\_

1. 高扭矩率模拟器 型号规格：\_\_\_\_\_ 旋转方向：\_\_\_\_\_  顺时针  逆时针

校准点 Nm	实测值/Nm										平均值 Nm
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

2. 低扭矩率模拟器 型号规格：\_\_\_\_\_ 旋转方向：\_\_\_\_\_  顺时针  逆时针

校准点 Nm	实测值/Nm										平均值 Nm
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

## 3. 校准结果

校准点		项目				
		平均值 Nm	示值相对误差 %	示值重复性 %	内插误差 %	扩展不确定度 % ( $k=2$ )
高扭矩率 模拟器						
	校准方程					
低扭矩率 模拟器						
	校准方程					

校准证书号：\_\_\_\_\_ 核验员：\_\_\_\_\_ 校准员：\_\_\_\_\_

## 附录 C

## 电动、气动扭矩扳子校准证书内页格式

校准结果						
校准点		项目				
		平均值 Nm	示值相对误差 %	示值重复性 %	内插误差 %	扩展不确定度 % ( $k=2$ )
高扭矩率 模拟器						
	校准方程					
低扭矩率 模拟器						
	校准方程					