

# 从量传溯源过程探求扭矩工具不确定度控制方法

## Uncertainty Control Method of Torque Tool Based on Wrench Transmission Retrieval

中航工业汉航集团东方仪器厂 范润华

**[摘要]** 通过对量值溯源传递系统传递检索,结合实际操作各环节控制要点,从影响量值传递准确性、稳定性、不确定度各分量进行归纳分析和验证,探讨扭矩工具量值不确定度控制措施方法。

**关键词:** 量传 扭矩工具 不确定度 控制方法

**[ABSTRACT]** The transmission chain of wrench transmission retrieval is searched, and the effects on accuracy, stability and uncertainty of wrench values are concluded and analyzed. The uncertainty control method of torque tool is discussed.

**Keywords:** Wrench transmission Torque tool Uncertainty Control method

扭矩系列扳手作为推给力值标准化的得力工具,越来越广泛地运用于机械加工装配的各个环节,对其量值传递溯源的质量控制技术需求成为普遍关心的课题。在此通过对量值溯源传递系统传递链的检索,结合实际操作分析各环节控制要点,从影响量值传递准确性、稳定性和不确定度各分量进行归纳分析和验证,探讨扭矩工具不确定度控制措施方法。

扭矩扳手的数值准确性、稳定性由扭矩检定仪保证,扭矩检定仪的不确定度由检定装置验证,因此检定装置的不确定度便成为扭矩工具量值真实可靠的决定因素。检定装置(NJJ)主要由砝码和检定杆组成,砝码和检定杆按准确度级别 1.0 级要求设计生产,依据扭矩扳子检定仪检定规程 JJG797-92,检定时将被检仪器六角方榫接头部分与检定装置以六角孔联接,然后根据各检测点力矩大小,加载相应的砝码,在砝码重力作用下产生一个标准扭矩值,同时被检检定仪显示屏也显示一个相应的扭矩值,用这个扭矩值与标准扭矩值相比较,从而判定被检仪器是否满足技术条件要求。

砝码和检定杆的允许误差都是以相对值来表征的,因此不同的检定装置的相对误差和相对不确定度应是相同的。

依据计量法规标准要求,计量标准(器具)逐级传递,传递要求为:上一级计量标准器具的精度(不确定度)高出下一级精度至少 3 倍,量值不确定等级要求:扭矩扳子检定仪检定装置(不确定度 0.3%)→扭矩扳子检定仪(不确定度 1%)→扭矩系列工具(不确定度 4%),必须符合量值传递规律和要求,如表 1 所示。

### 1 扭矩扳子检定仪检定装置不确定度评定

选定 NJJ-100/300 检定装置 180 (N·m) 点为代表,来评定其不确定度,其他型号检定装置评定方法相同。

#### 1.1 数学模型

$$M=N \cdot L$$

其中,  $L$  为检定杆有效力臂;  $N$  为砝码的重力值;  $M$  为砝码重力与检定杆产生的力矩。

#### 1.2 不确定度来源

表 1 国家 / 企业标准、检定规程要求

序号	名称	标准规程要求	实际生产要求
1	扭矩扳子检定仪检定装置	检定杆力臂长度误差为 $\pm 0.10\%$ , 砝码力值误差 $\pm 0.05\%$ 检定周期: 1 年	检定杠杆有效力臂长度误差为 0.10%, 砝码力值误差 $\pm 0.015\%$ (M2 级) 检定周期: 1 年
2	扭矩扳子检定仪	示值相对误差 $(\ominus)$ : $\pm 1\%$ 示值重复性 (R): $\pm 1\%$ 检定周期: 起始为 3 个月连续 2 个周期检定合格下次可适当延长 1 倍, 但最长不能超过 2 年	示值相对误差 $(\ominus)$ : $\pm 1\%$ 示值重复性 (R): $\pm 1\%$ 检定周期: 3 个月
3	扭矩扳子	示值相对误差 $(\ominus)$ : $\pm 4\%$ 示值重复性 (R): $\pm 4\%$ 检定周期: 1 年	示值相对误差 $(\ominus)$ : $\pm 4\%$ 示值重复性 (R): $\pm 4\%$ 检定周期: 1 年
4	砝码	力值误差 $\pm 0.05\%$ 检定周期: 1 年	力值误差 $\pm 0.015\%$ (M2 级) 检定周期: 1 年

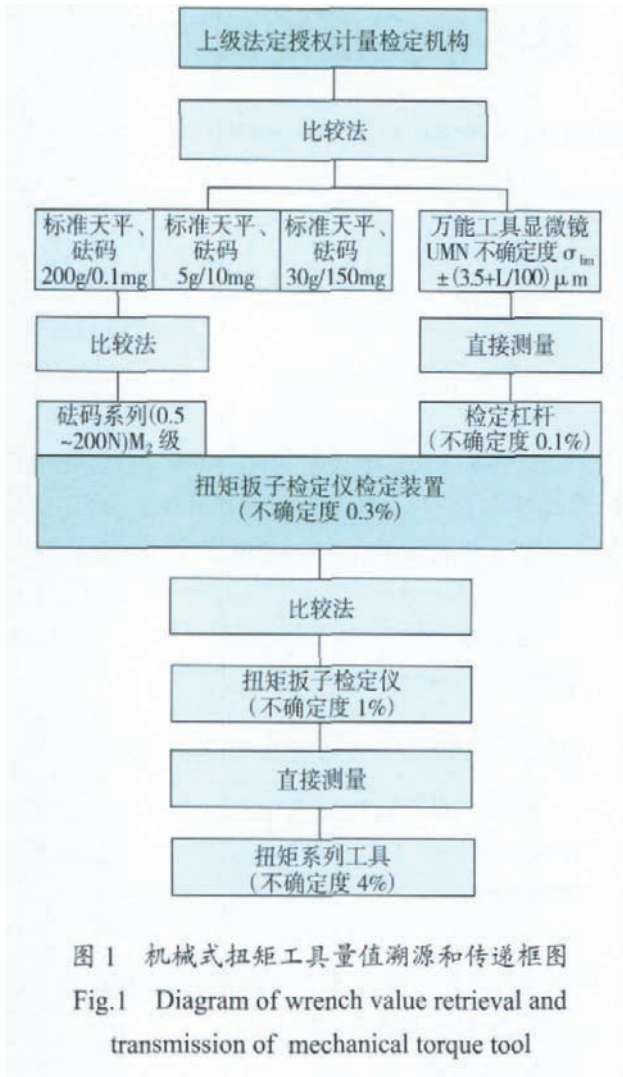


图1 机械式扭矩工具量值溯源和传递框图  
Fig.1 Diagram of wrench value retrieval and transmission of mechanical torque tool

(1) 砝码引入的不确定度  $u_N$ : 砝码质量允差引入的不确定度  $u_{N1}$ ; 砝码产生的重力受空气浮力影响引入的不确定度  $u_{N2}$ 。

(2) 检定杆引入的不确定度  $u_L$ : 检定杆长度允差引入的不确定度  $u_{L1}$ ; 检定杆微量弹性变形引入的不确定度  $u_{L2}$ 。

(3) 检定装置系统摩擦引入的不确定度: 检定时, 被检仪器转接头一端的六角方榫与检定杆六角方孔联接, 另一端四方直接与检定仪传感器联接, 转接头通过滚动轴承支撑固定, 滚动轴承产生的摩擦力矩几乎为零, 忽略不计。

### 1.3 不确定度评定

评定 NJJ-300 检定装置 180 (N·m) 点, (砝码质量: 300N ± 0.045N 检定杠杆长度: 600mm ± 0.6mm) 为例, 其它点的评定方法相同以此类推。

由计量检定规程 JJG99-90 可知: 300N 砝码质量允

差引入的不确定度

$$u_{N1} = 0.045N。$$

考虑到受空气浮力的影响, 质量为  $m$  (kg) 的砝码在重力场中产生的重力为

$$N = (1 - \rho_k / \rho_f) mg$$

其中,  $\rho_k$  为空气密度;  $\rho_f$  为砝码材料密度;  $m$  为砝码质量;  $g$  为重力加速度。

$\rho_k$  若按约定的标准空气密度  $\rho_k = 0.0012 \text{ g/cm}^3$ , 砝码材质按铸铁  $\rho_f = 7.85 \text{ g/cm}^3$  计算, 重量 300N 的砝码由空气浮力引入的不确定度为

$$u_{N2} = 0.046N$$

由 JJG797-92 可知 600mm 检定杆由长度允差引入的不确定度为

$$u_{L1} = 0.6\text{mm}$$

在实际检定中, 检定杆受到砝码重力必然产生一定微量弹性变形, 使得杠杆长度中心线产生一定的挠度, 从而与砝码产生的重力不垂直, 即偏离一定角度, 这时实际力臂长度应为  $L \cos \theta$ , 重力实际产生的力矩应为  $N \cdot L \cos \theta$ , 由此引入的系统误差, 按  $\theta = 2^\circ$  计算

$$u_{L2} = 300 \times (1 - L \cos 2^\circ) = 0.37\text{mm}$$

### 1.4 合成标准不确定度的计算

(1) 砝码重力  $N$  引入的不确定度为

$$u_N = (u_{N1}^2 + u_{N2}^2)^{1/2} = 0.064N。$$

(2) 检定杠杆引入的不确定度为

$$u_L = (u_{L1}^2 + u_{L2}^2)^{1/2} = 0.71\text{mm}。$$

检定装置的力矩值  $M$  通过  $N$  和  $L$  间接测量得出, 且变量  $N$  和  $L$  独立不相关, 对式  $M = N \cdot L$  分别求  $N$  和  $L$  的偏导数, 计算检定装置合成标准不确定度:

$$u_c = (L^2 \cdot u_N^2 + N^2 \cdot u_L^2)^{1/2} = 0.22N \cdot m。$$

取置信概率  $P = 95\%$ , 包含因子  $K = 2$ , 则扩展不确定度:

$$U_p = 0.22 \times 2 = 0.44N \cdot m。$$

扭矩检定装置相对扩展不确定度:

$$u_{rel} = 0.44 / 180 = 0.25\%$$

小于检定装置不确定度 0.3%, 由此可以判断扭矩扳子检定仪检定装置满足计量标准要求。

## 2 检定杆扇形头

理论上, 力矩 = 力臂 × 力, 这就要求检定杆必须保持水平, 但是实际上, 检定杆受自身的弹性变形、六方榫配合间隙、砝码重力作用的影响, 总是要下倾一个角度, 并随砝码加载重量越大, 下倾越明显, 这样就会产生一个重力分量, 实际力矩值减小。为了解决这一问题, “准达”

检定杆采用了扇形头设计, 钢丝通过扇形头加挂砝码并使其竖直向下, 无论检定杠杆上扬或下倾, 钢丝切线总是和杠杆与方榫连接中心点距离(有效力臂)保持不变。采用检定杠杆扇形头的设计很好的解决了随砝码重量增加, 检定杠下倾而产生的重力分量, 解决了此因素影响力矩准确度的问题。

### 3 扭矩检定仪示值稳定性影响因素分析

在实际使用中扭矩检定仪的不确定度保证的情况下, 扭矩扳手的不确定度由其预置值与检定仪显示值的比较而来, 现将检定仪使用中经常出现的主要问题做以归纳分析供读者参考:

- (1) 检定仪面膜损坏;
- (2) 转接头滚动轴承内粘有灰尘铁末;
- (3) 开关失灵;
- (4) 钢丝绳分叉;
- (5) 个别点示值超差;
- (6) 联接板松动变形。

检定仪采用集成电路触摸式面膜, 频繁使用导致面膜磨损; 转接头滚动轴承内粘有灰尘铁末滚动轴承部分产生磨擦, 从而影响力矩值, 检定仪作为精密检定仪器, 外表应经常进行擦拭, 内部灰尘脏物也应进行及时的清理; 开关失灵, 钢丝绳分叉属使用中正常现象。这些必须经过及时地调整校准以消除实际使用中可能产生一定的力矩分量。

为了防止在生产中因检定仪示值超差而造成扭矩扳手产品精度值偏离规范要求, 建议:(1) 生产调试用与检验检定产品使用的检定仪应分开, 避免出现生产调试与检验一台仪器, 保证检测仪器能客观反应检测产品的实际值。(2) 设计人员(通过试验计算等方式)明确给出检定仪的使用寿命年限, 达到使用年限的检定仪应淘汰或改制。

若同一把扳手用不同的检定仪检定, 结果示值出现了一定范围内的差异, 其实这种现象也是正常的。因为每一台仪器都存在一定的系统误差, 检定仪允许相对偏差( $\pm 1\%$ ), 如果两台检定仪一台接近上偏差, 一台接近下偏差, 那么两台检定仪本身误差积累就有可能相差 $2\%$ , 检定同一把扳子就会存在数值上明显的差异, 为了避免因此而产生的不合格, 建议:

- (1) 进行检定仪的周期检定和扳手出产检定时, 应通过调试, 尽可能避免检测点出现上、下极限值;
- (2) 生产与检验使用不同台检定仪, 尽量避免生产与检验共用一台仪器。

### 4 影响扭矩扳手数值稳定性关键因素及解决措施

#### 4.1 主弹簧

主弹簧是扭矩扳手产品的核心部件, 弹力线性的好坏直接影响扭矩扳手产品示值准确性和稳定性。在有效弹性范围内, 弹簧一个重要的特性——应力松弛, 也就是弹簧在反复使用后, 相同应变条件下, 应力相应减小的特性。反映在扭矩扳手上, 会出现使用一定时间后, 力矩值会逐渐减小的现象。为了防止这种现象发生, 在主弹簧使用前进行热压时效处理。

#### 4.2 装配后的时效磨合

生产下线的经检定合格的扭矩扳手放置一段时间后, 重新复验发现扳子的示值与先前的记录可能出现较大的差异, 甚至产生不合格。这是因为扳子的示值与扳手主弹簧、杠杆传递系统摩擦有关。扳手内部机构通过磨合能减小系统传递的磨擦, 使示值保持相应的对稳定性。  
(责编 侧卫)

## 8m 低速风洞及 4m 动态风洞 在哈尔滨奠基开工

2009年9月29日, 投资近2.6亿元, 征地10万 $m^2$ 的国家重点基础建设项目——中航工业气动院8m低速风洞及4m动态风洞项目在哈尔滨奠基开工。

该项目批复建设周期4年, 中航工业气动院计划力争3年完成建设并实现试验能力。项目建成后, 将为我国军民机研制、尤其是大型飞机研制提供精细化、综合化、高精准度的气动力试验, 为气动力设计技术发展提供性能卓越的大型试验与验证设备平台, 填补我国在8m量级回流式风洞设备领域空白, 增强我国低速风洞实验技术领域的国际交流与合作实力。

在奠基仪式上, 中航工业气动院院长赵波表示, 一个国家大型先进的风洞对飞机研制、对航空工业发展有着不可替代的作用。此项目按照国际先进水平设计, 建成后将对我国的飞机研制, 包括大型军用飞机和民用飞机的研制产生极大的推动作用和技术牵引作用, 也将对黑龙江省、哈尔滨市航空产业的发展产生积极的推动作用。赵波表示, 中航工业气动院将在集团“两融、三新、五化、万亿”战略思想的指导下, 争取各方支持, 积极发挥单位优势, 为航空的发展和地方经济的进步做出贡献。

(本刊记者 凌川)