

量质源检测有限公司计量技术规范

LZYG 0002—2017

液压扭矩扳手系统校准规范

2017-08-01 发布

2017-09-01 实施

量质源检测有限公司 发布

武汉天煜达精密机械有限公司

液压扭矩扳手系统校准规范

LZYG 0002-2017

本规范经量质源检测有限公司 2017 年 08 月 01 日批准, 并自 2017 年 09 月 01 日起施行。

起草单位: 量质源检测有限公司

本规范主要起草人:

杨思凡 量质源检测有限公司

宋永铭 量质源检测有限公司

黄琴 量质源检测有限公司

石洛宾 量质源检测有限公司

目 录

引 言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语	1
3.1 液压扭矩扳手	1
3.2 弹性元件式压力表（可统称：压力表）	1
3.3 最小二乘法	1
4 概述	1
4.1 原理	1
4.2 组成	2
5 计量特性	2
5.1 通用技术要求	2
5.2 计量性能	2
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 校准用标准设备	3
7 校准项目和校准方法	3
7.1 压力示值误差的校准	3
7.2 扭矩输出线性误差与重复性	4
8 校准结果的表达	4
9 复校时间间隔	5
10 测量结果的不确定度评定	5
附录 A	6
附录 B	7
附录 C	11
附录 D	13

引 言

本规范根据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2010《通用计量术语及定义》、JJF 1059-2012《测量不确定度评定与表示》规定的规则编写。

本校准规范在制订过程中充分考虑了 JJG707-2014《扭矩扳子检定规程》，本规范给出了液压扭矩扳手计量特性的校准条件、校准项目和校准方法。

本规范系首次发布。

天津煜达精密机械有限公司

武汉天煜达精密机械有限公司

液压扭矩扳手系统校准规范

1 范围

本校准规范规定了对液压扭矩扳手系统进行校准时的计量特性、校准条件、校准项目、校准方法、校准结果的处理及复校时间间隔。

本校准规范适用于新制造（或新购置）、使用中、修理后的液压扭矩扳手系统校准。

2 引用文件

本校准规范引用下列技术条件

JJG 52 《弹性元件式一般压力表、压力真空表和真空表》

JJG 707 《扭矩扳子检定规程》

JJF 1001 《通用计量术语及定义》

JJF 1059.1 《测量不确定度的评定与表示》

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

3 术语

3.1 液压扭矩扳手

液压扳手是液压扭矩扳手（hydraulic torque wrench）简称，是以液压为动力，提供大扭矩输出、用于螺栓的安装及拆卸的专业螺栓预紧工具。可分为驱动式液压扳手、中空式液压扳手、开口式液压扳手、液压冲击扳手。

3.2 弹性元件式压力表（可统称：压力表）

以弹性敏感元件为感压元件的测量压力的仪表。[JJF 1008-2008 定义 4.1]

3.3 最小二乘法

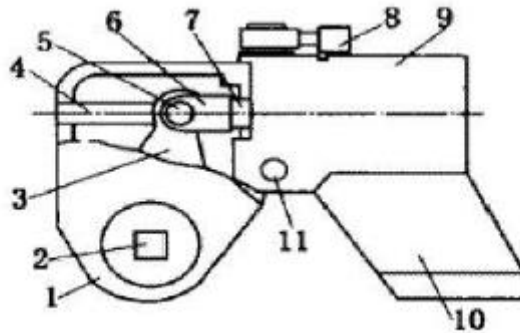
最小二乘法（又称最小平方法）是一种数学优化技术。它通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配。利用最小二乘法可以简便地求得未知的数据，并使得这些求得的数据与实际数据之间误差的平方和为最小。最小二乘法可用于曲线拟合。

4 概述

液压扭矩扳手系统是以液压为动力，把输入液压值转换为扭矩值进行输出，用于大型螺栓的安装及拆卸的专业液压类工具，经常用来紧固或拆卸大于一英寸的螺栓。

4.1 原理

液压扳手主要由三部分组成，机壳（也叫壳体），液压缸和传动部件。液压缸输出压力，液压缸活塞杆与传动部分组成运动副，液压缸中心到传动部件中心距离是液压扳手放大力臂，液压缸输出压力乘以力臂，就是液压扳手理论输出扭矩。



1.机壳 2.方轴 3.摇臂组合机构 4.滑道 5.销轴
6.连接叉 7.活塞杆 8.油管接头 9.液压缸 10.反力臂

图1 液压扳手组装图

4.2 组成

液压扳手一般由动力源和执行机构两大部分构成。其中，液压泵作为动力源，以液压油作为传压介质，驱动拆装执行机构，从而完成大型螺栓的拧紧及拆卸工作。

5 计量特性

5.1 通用技术要求

5.1.1 液压扳手铭牌上应标明名称、型号、规格、制造厂的名称或商标、出厂编号和出厂日期等。

5.1.2 液压扳手及其附件不应有裂纹、损伤、锈蚀及其他缺陷，附件应齐全，各部件不得任意更换。

5.1.3 液压扳手附带液压泵能正常工作，无卡滞、无漏油，输出动力不足等状况，液压泵压力表应能正常显示数值。

5.1.4 外露金属部件应经过防锈、防腐处理，表面光亮。

5.2 计量性能

液压扭矩扳手系统技术指标见表 1 和表 2。配备数字式压力计的测量误差应小于 $\pm 0.5\%$ 。

表 1 压力表的准确度等级及最大允许误差

准确度等级 (级)	最大允许误差 (%)			
	零位		测量上限的 (90~100)%	其余部分
	带止销	不带止销		
1.0	1.0	± 1.0	± 1.6	± 1.0
1.6 (1.5)	1.6	± 1.6	± 2.5	± 1.6
2.5	2.5	± 2.5	± 4.0	± 2.5
4.0	4.0	± 4.0	± 4.0	± 4.0

注 1: 使用中的 1.5 级压力表最大允许误差按 1.6 级计算, 准确度等级可不更改。

注 2：压力表最大允许误差应按其量程百分比计算。

表 2 液压扭矩扳手的基本误差限

项目	新出厂	使用中
线性误差	3%	5%
重复性	1%	3%
液压泵系统误差	5%	5%

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $(20\pm 10)^{\circ}\text{C}$

相对湿度： $\leq 85\%$

其它条件：校准时不得有影响校准结果的干扰源。

6.2 校准用标准设备

6.2.1 数字压力计：准确度等级不低于 0.5 级，测量上限应与被测液压泵的压力仪表额定压力值相适应；

6.2.2 标准扭矩测量仪：根据被测液压扭矩扳手选用适当的标准扭矩测量仪，校准设备的扩展的数值应不大于被测液压扭矩扳手各项技术指标要求的 1/3；

7 校准项目和校准方法

校准项目见表 3

表 3 校准项目一览表

校准项目		首次校准	后续校准	使用中检查
外观与附件、工作正常性		+	+	+
液压 输入 部分	示值误差	+	+	+
扭矩 输出 部分	线性误差	+	+	+
	重复性	+	+	+

7.1 压力示值误差的校准

液压泵系统可单独校准，也可与液压扳手校准同步进行。

在液压泵输出压力量程内均匀选取不少于 10 个压力校准点，将液压泵与压力校验仪串联，平缓加压，记录液压泵压力数值与压力校验仪示值，每个压力校准点至少测量 3 次。

液压泵系统误差计算：

$$\delta_i = \frac{p_i - p_{0i}}{p_{0i}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

δ_i —第 i 点的压力测量误差, MPa;

p_i —第 i 点压力测量值, MPa;

p_{0i} —第 i 点数字压力计示值, MPa。

7.2 扭矩输出线性误差与重复性

校准点选取原则为从液压泵输出压力下限至上限均匀选取不少于 10 个输出压力值。

校准前, 应在液压扳手量程下限预载 3 次, 然后按照选定的校准点逐级平稳地施加压力直至额定压力值, 读出和记录液压扳手各点输出扭矩值。

线性误差计算:

根据最小二乘法线性拟合原理, 拟合输入压力(P)与输出扭矩(T)线性方程 $T=a+bP$,

a, b 是线性方程系数, 具体求法在附录 D 中详细介绍。以上测量过程至少重复 3 次。

规定线性误差为:

$$e = \frac{\overline{M}_i - M}{M} \times 100\% \quad (2)$$

示值重复性为:

$$R = \frac{M_{i\max} - M_{i\min}}{M_i} \times 100\% \quad (3)$$

式(2), (3)中:

\overline{M}_i ——每一校准点 i 次示值算数平均值, Nm;

M ——最小二乘法拟合线性方程在该校准点计算出理论值, Nm;

$M_{i\max}$ ——第 i 次示值最大值, Nm;

$M_{i\min}$ ——第 i 次示值最小值, Nm。

原始记录格式参见附录 A。

8 校准结果的表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或报告应至少包括如下信息:

- 标题, “校准证书”;
- 实验室名称和地址;
- 进行校准的地点 (如果与实验室的地址不同);
- 证书或报告的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;
- 送校单位的名称和地址;
- 被校对象的描述和明确标识;

g) 进行校准的日期，若与校准结果的有效性及应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性及应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

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、职务或等效标识，以及签发日期；

o) 校准结果仅是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。

经校准的液压扭矩扳手系统，发给校准证书或校准报告，加盖校准印章。

9 复校时间间隔

液压扳手系统的复校时间间隔一般为 1 年。根据液压扳手系统的使用环境条件、使用频率以及使用部位的重要性也可由用户和校准单位商定液压扳手系统的时间间隔。

10 测量结果的不确定度评定

参见附录 B

附录 B

液压扭矩扳手测量结果不确定度的评估

1. 概述

1.1 测量依据文件：液压扳手系统校准规范

1.2 计量标准仪器：液压扳手校准装置

1.3 被测对象：液压扭矩扳手

1.4 不确定度分量分析：分析校准液压扳手的测量结果不确定度的主要来源有：①重复性测量引入的不确定度分量 $u(Tm_1)$ ；②液压扳手与校准装置的连接方式和施扭位置复现性引入的不确定度分量 $u(Tm_2)$ ；③环境温度变化引入的不确定度分量 $u(Tm_3)$ ；④液压扳手校准装置扭矩测量部分的不确定度分量 $u(Ts_1)$ ；⑤液压扳手校准装置压力测量部分的不确定度分量 $u(Ts_2)$ ；⑥液压扳手校准装置分辨力引入的不确定度分量 $u(Ts_3)$ 。

2. 数学模型

被检液压扳手的示值误差由下面方程得到：

$$e = T_m - T_s \quad (1)$$

式中：

e —液压扳手的示值误差

T_m —被检液压扳手的示值

T_s —液压扳手标准装置示值

3. 不确定度传播率

由下式：

$$u_c^2(e) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (2)$$

得：

$$u_c^2(e) = c^2(T_m)u^2(T_m) + C^2(T_s)u^2(T_s) \quad (3)$$

式中：

$u(T_m)$ —被检液压扳手示值的不确定度分量

$u(T_s)$ —液压扳手标准装置的不确定度分量

$$c(T_m) = \frac{\partial e}{\partial T_m} = 1$$

$$c(T_s) = \frac{\partial e}{\partial T_s} = -1$$

即：

$$u_c^2 = u^2(T_m) + u^2(T_s) \quad (4)$$

4. 标准不确定度评定

液压扳手校准实验数据见表 1

表 1 液压扳手校准结果数据

输入压力 (psi)	输出扭矩 (N·m)				重复性 %	线性误差 %
	第一次	第二次	第三次	平均值		
2000	874	876	876	875	0.2	-0.7
2500	1092	1094	1094	1093	0.2	-0.6
3000	1312	1314	1320	1315	0.6	-0.3
3500	1540	1532	1534	1535	0.5	-0.2
4000	1760	1752	1754	1755	0.5	-0.1
4500	1982	1972	1974	1976	0.5	0.0
5000	2194	2194	2194	2194	0.0	0.0
5500	2410	2414	2414	2413	0.2	0.0
6000	2624	2632	2632	2629	0.3	-0.1
6500	2846	2852	2860	2853	0.5	0.1
7000	3066	3072	3084	3074	0.6	0.1
7500	3316	3310	3318	3315	0.2	0.8
8000	3566	3546	3546	3553	0.6	1.3
8500	3744	3734	3750	3743	0.4	0.4
9000	3920	3924	3942	3929	0.6	-0.4
9500	4136	4138	4152	4142	0.4	-0.5
10000	4352	4352	4354	4353	0.0	-0.7

4.1 被校液压扳手示值引起的不确定分量 $u(T_m)$

a. 被检液压扳手示值重复性的不确定度 $u(T_{m1})$ ，属 A 类不确定度评定：

以最大重复性误差测量点 1315N m 为例，测量结果取 3 次平均。

$u(T_{m1})$ 根据贝塞尔公式计算：

$$u(T_{m1}) = s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \quad (5)$$

式中：

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (6)$$

n—测量次数

故：

$$u(T_{m1}) = 0.32\% \quad (7)$$

b. 液压扳手与校准装置的连接方式和施扭位置复现性引入的不确定度分量 $u(Tm_2)$

由于液压扳手本身结构特点以及校准过程中连接方式和施扭位置存在的偏差，使液压扳手在不同人员、不同连结方式、不同施扭位置，其校准结果会在一定范围内存在分散性。此范围可以通过大量的试验或经验数据的积累来确定。本实验室其测量结果分散性一般不超过 $\pm 0.1\%$ ，均匀分布取扩展因子 $k=2$ 。故：

$$u(Tm_2) = \frac{0.10\%}{2} = 0.05\% \quad (8)$$

c. 环境温度变化引入的不确定度分量 $u(Tm_3)$

根据要求，液压扳手应在温度范围(10~30)℃，相对湿度不大于 85% 环境下进行校准，本实验室环境条件为：温度：20.4℃；相对湿度：46%RH，满足技术要求，故环境温度变化对校准结果的不确定度影响可忽略不计。故：

$$u(Tm_3) = 0.00\% \quad (9)$$

$$u(Tm) = \sqrt{u^2(Tm_1) + u^2(Tm_2) + u^2(Tm_3)} = \sqrt{(0.32\%)^2 + (0.05\%)^2} = 0.33\% \quad (10)$$

4.2 液压扳手校准装置的不确定度分量 $u(Ts)$

a. 扭矩测量部分的不确定度分量 $u(Ts_1)$

由校准证书给出液压扳手校准装置扭矩测量部分相对扩展不确定度为 0.1%，扩展因子 $k=2$ ，则：

$$u(Ts_1) = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\% \quad (11)$$

b. 压力测量部分的不确定度分量 $u(Ts_2)$

液压泵系统经校准，相对误差为 $\pm 0.05\%$ ，使用时示值误差服从均匀分布，取扩展因子 $k=2$ ，则：

$$u(Ts_2) = \frac{0.05\%}{2} = 0.03\% \quad (12)$$

c. 液压扳手校准装置分辨力引入的不确定度分量 $u(Ts_3)$

液压扳手校准装置的分辨力值为 2N·m，估读引起的误差认为其半宽 a 为 1N·m 的范围内，服从均匀分布，包含因子 k 取 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u(Ts_3) = \frac{1}{1315 \times \sqrt{3}} = 0.04\% \quad (13)$$

$$u(Ts) = \sqrt{u(Ts_1)^2 + u(Ts_2)^2 + u(Ts_3)^2} = \sqrt{(0.05\%)^2 + (0.03\%)^2 + (0.04\%)^2} = 0.07\% \quad (14)$$

4.3 合成标准不确定度的计算

4.3.1 主要标准不确定度一览表

表 2 主要标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$ci = \frac{\partial f}{\partial xi}$	$ ci u(x)$
$u(T_{m1})$	测量重复性	0.32%	1	0.33%
$u(T_{m2})$	连接方式和施扭位置复现性	0.05%		
$u(T_{m3})$	环境温度变化	0.00%		
$u(T_{s1})$	扭矩测量误差	0.05%	-1	0.07%
$u(T_{s2})$	压力测量误差	0.03%		
$u(T_{s3})$	校准装置分辨力	0.04%		

4.3.2 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u^2(T_m) + u^2(T_s)} = \sqrt{(0.33\%)^2 + (0.07\%)^2} = 0.34\% \quad (15)$$

5. 扩展不确定度

$$U = k \times u_c = 0.7\% \quad (16)$$

式中:

$$k=2$$

结果分析:

通过对各不确定度分量的计算和扩展不确定度的计算, 可见最终测量结果的扩展不确定度主要由被校液压扳手测量重复性及液压系统引入的不确定度决定。

附录 D

最小二乘法线性拟合

最小二乘法就是将一组符合 $Y=a+bx$ 关系的测量数据，用计算的方法求出最佳的 a 和 b 。

求回归直线

设直线方程的表达式为：

$$y = a + bx \quad (1)$$

要根据测量数据求出最佳的 a 和 b 。对满足线性关系的一组等精度测量数据 (x_i, y_i) ，假定自变量 x_i 的误差可以忽略，则在同一 x_i 下，测量点 y_i 和直线上的点 $a+bx_i$ 的偏差 d_i 如下：

$$d_1 = y_1 - a - bx_1$$

$$d_2 = y_2 - a - bx_2$$

⋮

$$d_n = y_n - a - bx_n$$

规定：当 $d_1^2+d_2^2+\dots+d_n^2$ 对 a 和 b 为最小时， d_1, d_2, \dots, d_n 也为最小。取 $(d_1^2+d_2^2+\dots+d_n^2)$ 为最小值，求 a 和 b 的方法叫最小二乘法。

$$\text{令： } D = \sum_{i=1}^n d_i^2 = D = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - a - bx_i]^2 \quad (2)$$

D 对 a 和 b 分别求一阶偏导数为：

$$\frac{\partial D}{\partial a} = -2[\sum_{i=1}^n y_i - na - b\sum_{i=1}^n x_i]$$

$$\frac{\partial D}{\partial b} = -2[\sum_{i=1}^n x_i y_i - a\sum_{i=1}^n x_i - b\sum_{i=1}^n x_i^2]$$

再求二阶偏导数为：

$$\frac{\partial^2 D}{\partial a^2} = 2n; \quad \frac{\partial^2 D}{\partial b^2} = 2\sum_{i=1}^n x_i^2$$

$$\text{显然：} \quad \frac{\partial^2 D}{\partial a^2} = 2n \geq 0; \quad \frac{\partial^2 D}{\partial b^2} = 2\sum_{i=1}^n x_i^2 \geq 0$$

满足最小值条件，令一阶偏导数为零：

$$\sum_{i=1}^n y_i - na - b \sum_{i=1}^n x_i = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i - a \sum_{i=1}^n x_i - b \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \quad (4)$$

引入平均值：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i ;$$

$$\overline{x^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 ; \quad \overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

则：

$$\begin{aligned} \bar{y} - a - b\bar{x} &= 0 \\ \overline{xy} - a\bar{x} - b\overline{x^2} &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

解得：

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (6)$$

$$b = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \quad (7)$$

将 a、b 值带入线性方程 $y = a + bx$ ，即得到回归直线方程。