



# 内蒙古自治区地方计量技术规范

JJF (蒙) 066—2024

## 液压螺栓拉伸器校准规范

Calibration Specification for Sydraulic Bolt Stretcher

2024-03-01 发布

2024-06-01 实施

内蒙古自治区市场监督管理局 发布

# 液压螺栓拉伸器校准规范

Calibration Specification for  
Sydraulic Bolt Stretcher

JJF(蒙)066—2024

归口单位：内蒙古自治区市场监督管理局  
主要起草单位：内蒙古自治区计量测试研究院  
参加起草单位：中广核新能源投资（深圳）有限公司  
内蒙古分公司

本规范委托内蒙古自治区计量测试研究院负责解释

**本规范主要起草人：**

赵生荣（内蒙古自治区计量测试研究院）

樊建锋（内蒙古自治区计量测试研究院）

梁云龙（内蒙古自治区计量测试研究院）

**参加起草人：**

李贺佳（内蒙古自治区计量测试研究院）

刘明江（内蒙古自治区计量测试研究院）

刘鹏英（内蒙古自治区计量测试研究院）

苗宝平（中广核新能源投资（深圳）有限公司内蒙古分公司）

# 目 录

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 引 言 .....                  | (II) |
| 1 范围 .....                 | (1)  |
| 2 引用文件 .....               | (1)  |
| 3 术语和计量单位 .....            | (1)  |
| 3.1 术语 .....               | (1)  |
| 3.2 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)  |
| 6.3 操作适应性 .....            | (3)  |
| 7 校准项目和校准方法 .....          | (3)  |
| 7.1 外观与附件 .....            | (3)  |
| 7.2 相对分辨力 .....            | (3)  |
| 7.3 内泄漏 .....              | (3)  |
| 7.4 示值重复性、示值误差和内插误差 .....  | (4)  |
| 8 校准结果 .....               | (5)  |
| 9 复校时间间隔 .....             | (6)  |
| 附录 A 校准原始记录格式(示例) .....    | (7)  |
| 附录 B 校准证书内容及内页格式(示例) ..... | (8)  |
| 附录 C 测量结果不确定度评定示例 .....    | (10) |

## 引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、CB/T 3457-1992《液压拉伸器》与 JJG 621-2012《液压千斤顶》编写。

本规范为首次制定。

# 液压螺栓拉伸器校准规范

## 1 范围

本规范适用于具有指示功能且测量上限不超过 2000kN 的液压螺栓拉伸器(以下简称螺栓拉伸器)的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJF 1001 通用计量术语及定义

CB/T 3457-1992 液压拉伸器

JJG 621-2012 液压螺栓拉伸器

JJF(新)15-2008 液压拉伸器

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 术语

#### 3.1.1 额定压力 rated pressure or force

螺栓拉伸器额定预紧力值所对应的压力值。

#### 3.1.2 内泄漏 internal leak

螺栓拉伸器在压力保持时,因内部密封不良产生的漏油现象。

#### 3.1.3 分辨力 resolution

引起相应示值产生可察觉到变化的被测量的最小变化。

#### 3.1.4 校准方程 calibration equation

为了使螺栓拉伸器能在给定力值范围内连续使用,根据有限次数的定度数据建立的螺栓拉伸器压力表值与施加的标准力值之间的关系式。

### 3.2 计量单位

螺栓拉伸器使用的计量单位为法定计量单位:千牛(kN)、兆帕(MPa)。

## 4 概述

螺栓拉伸器主要用于各种规格螺栓的定值紧固和拆卸,广泛应用于风力发电机组装配、火电机组装配、采矿机械安装等领域。

工作时，动力源输出的高压油经高压油管输送至活塞缸，在压力作用下活塞缸中活塞上移，带动拉伸螺母向上移动。拉伸螺母与工作螺栓螺纹联接，从而拉长工作螺栓，使螺栓伸长达到要求的变形量，变形控制在螺栓弹性变形范围之内，然后进行预紧或拆卸作业。

螺栓拉伸器一般由液压泵、高压油管、指示器和拉伸体组成。其中液压泵为动力源，压力表显示泵输出压力，高压油管链接液压泵和拉伸体。拉伸体是实现螺栓拉伸的执行元件，主要由支承桥、缸体、活塞、拉伸螺母和密封圈组成。

## 5 计量特性

5.1 指示器显示压力值时，螺栓拉伸器准确度级别及技术指标见表 1。

表 1 指示器显示压力值时，螺栓拉伸器准确度级别及技术指标

| 等级 | 示值重复性 $R$<br>% | 内插误差 $I$<br>% | 相对分辨力 $R_{es}$<br>%FS | 内泄漏 $L_k$<br>%FS |
|----|----------------|---------------|-----------------------|------------------|
| A  | 2              | $\pm 2$       | 0.2                   | 5                |
| B  | 5              | $\pm 5$       |                       |                  |

注：以上指标不做合格判定依据，仅供校准及测量不确定度评定时参考。

5.2 指示器显示力值时，螺栓拉伸器准确度级别及技术指标见表 2。

表 2 指示器显示力值时，螺栓拉伸器准确度级别及技术指标

| 等级 | 示值重复性 $R$<br>% | 示值误差 $\delta$<br>% | 相对分辨力 $R_{es}$<br>%FS | 内泄漏 $L_k$<br>%FS |
|----|----------------|--------------------|-----------------------|------------------|
| A  | 2              | $\pm 2$            | 0.2                   | 5                |
| B  | 5              | $\pm 5$            |                       |                  |

注：以上指标不做合格判定依据，仅供校准及测量不确定度评定时参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

螺栓拉伸器应在温度（10~35）℃、相对湿度不大于 80%条件下进行，校准过程中温度波动不大于 2℃。

### 6.2 测量标准及其它设备

6.2.1 螺栓拉伸器校准用测量标准及其它设备见表 3。

表 3 校准用测量标准及其它设备

| 名称 | 测量范围 | 准确度等级或最大允许误差 | 用途 |
|----|------|--------------|----|
|    |      |              |    |

|       |             |                       |       |
|-------|-------------|-----------------------|-------|
| 标准测力仪 | (0~2000) kN | 0.5 级及以上              | 力值测量  |
| 秒表    | (0~3600) s  | MPE: $\pm 0.10s$ (1h) | 内泄漏测量 |

6.2.2 受力框架或张力杆必须有足够刚度，其结构在承受最大力值时无明显变形。

### 6.3 操作适应性

测力仪的安装应保证其主轴线与螺栓拉伸器工作轴线相重合，力值加载时各受力部件无相互摩擦和其它影响力值情况。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 外观与附件

7.1.1 螺栓拉伸器主体上应具有下列标识：产品名称、型号规格、出厂编号、制造厂名称、额定油压、活塞面积（如适用）等信息。

7.1.2 指示装置为压力表时，表盘刻度与标记清晰指针无松动和弯曲。加力时指针走动均匀，无停滞和跳动现象；未加力时，指针应位于零位或“缩格”内，测量上限为额定油压的 130%~200%。

### 7.2 相对分辨力 $R_{es}$

根据定义，模拟式指示器（压力表）的分辨力  $r$  为最小分度值的 1/10 或 1/5；数字式指示器的分辨力  $r$  为分度值，按公式（1）或（2）计算相对分辨力  $R_{es}$ 。

a) 指示器以压力为单位时：

$$R_{es} = \frac{r}{p_N} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$p_N$ ——螺栓拉伸器额定压力，MPa。

b) 指示器以力值为单位时：

$$R_{es} = \frac{r}{F_N} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$F_N$ ——螺栓拉伸器额定力值，kN。

### 7.3 内泄漏 $L_k$

将螺栓拉伸器安装在校准装置上，加载至额定油压关闭截止阀和油泵，读取 5min 内其油压最大下降值，按公式（3）或（4）计算内泄漏  $L_k$ 。

a) 指示器以压力为单位时：



$$L_k = \frac{\Delta p}{P_N} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$p_N$ ——螺栓拉伸器额定油压，MPa；

$\Delta p$ ——内泄漏油压下降的最大值，MPa。

b) 指示器以力值为单位时：

$$L_k = \frac{\Delta F}{F_N} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$F_N$ ——螺栓拉伸器额定力值，kN；

$\Delta F$ ——内泄漏试验力下降的最大值，kN。

#### 7.4 示值误差、示值重复性和内插误差

7.4.1 测力仪的安装应保证其主轴线与螺栓拉伸器轴线相重合。

7.4.2 启动油泵将螺栓拉伸器加力至最大力值，预加载三次。

7.4.3 校准点从螺栓拉伸器额定力值的 20%（以整数点为宜）开始，按递增顺序逐点进行校准，至各校准点保持稳定后记录测力仪读数和螺栓拉伸器示值（压力值或力值），直至最额定力值，校准点应尽量均匀分布，一般不少于 5 点，也可以根据客户要求选择校准点。

7.4.4 进行 7.4.3 步骤 3 次。

7.4.5 有关技术指标的计算方法。

7.4.5.1 螺栓拉伸器指示器显示压力值时：

a) 以测力仪标准值为依据，在螺栓拉伸器指示器上读数，按照公式（5）、（6）分别计算重复性  $R$  和内插误差  $I$ 。

$$R = \frac{p_{i\max} - p_{i\min}}{p_i} \times 100\% \quad (5)$$

$$I_i = \frac{p_{ci} - \overline{p_i}}{p_i} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$p_{i\max}$ ， $p_{i\min}$ ， $\overline{p_i}$ ——第  $i$  次测量时，螺栓拉伸器指示器 3 次重复测量的最大值、最小值与平均值，MPa；

$p_{ci}$ ——由校准方程求出的与负荷相对应的示值拟合值，MPa。

b) 以螺栓拉伸器指示器为依据，在测力仪上读数，按照公式（7）、（8）分别计算重复性  $R$  和  $I$ 。

$$R = \frac{F_{i\max} - F_{i\min}}{\bar{F}_i} \times 100\% \quad (7)$$

$$I_i = \frac{p_i - p_{ci}}{p_{ci}} \times 100\% \quad (8)$$

式中:

$F_{i\max}$ ,  $F_{i\min}$ ,  $\bar{F}_i$ ——第  $i$  次测量时, 对应校准点 3 次重复测量测力仪上读数的最大值、最小值与平均值, kN;

$p_i$ ——校准点对应的螺栓拉伸器指示器压力值, MPa;

$p_{ci}$ ——由校准方程求出的与负荷相对应的示值拟合值, MPa。7.4.5.2 螺栓拉伸器指示器显示力值时:

a) 以测力仪标准值为依据, 在螺栓拉伸器上读数, 按照公式 (9) 进行示值误差  $\delta$  的计算。

$$\delta = \frac{\bar{F}_i - F}{F} \times 100\% \quad (9)$$

式中:

$\bar{F}_i$ ——第  $i$  次测量时, 重复测量 3 次, 螺栓拉伸器示值的平均值, kN;

$F$ ——测力仪指示的力值, kN。

b) 以螺栓拉伸器指示器为依据, 在测力仪上读数, 按照公式 (10) 进行示值误差  $\delta$  的计算。

$$\delta = \frac{F_i - \bar{F}_i}{F} \times 100\% \quad (10)$$

式中:

$\bar{F}_i$ ——第  $i$  次测量时, 重复测量 3 次, 测力仪指示器上的读数的平均值, kN;

$F_i$ ——第  $i$  次测量时, 螺栓拉伸器的示值, kN。

7.4.6 当螺栓拉伸器指示器显示压力值时, 根据需要给出其最小二乘法的 1 次或 2 次曲线方程。该方程是以力值为自变量的力-压力校准方程。

## 8 校准结果

### 8.1 校准记录

校准记录应尽可能详尽记载测量数据和计算结果, 记录格式见附录 A。

### 8.2 校准证书

校准证书由封面和校准结果组成, 经校准的仪器应出具校准证书, 校准证书应包括的

信息及推荐的校准证书内页格式见附录 B。

## 9 复校时间间隔

螺栓拉伸器的复校时间间隔建议不超过 6 个月,或者根据实际使用情况自行决定复校时间间隔。如果仪器经维修、更换重要部件,应随时校准。

## 附录 A

## 校准原始记录格式（示例）

## 螺栓拉伸器校准原始记录

|                        |                  |   |       |     |                   |             |          |       |
|------------------------|------------------|---|-------|-----|-------------------|-------------|----------|-------|
| 仪器名称                   |                  |   |       |     | 校准日期              |             |          |       |
| 委托单位名称                 |                  |   |       |     | 记录编号              |             |          |       |
| 委托单位地址                 |                  |   |       |     | 证书编号              |             |          |       |
| 校准地点                   |                  |   |       |     | 环境温度              |             |          |       |
| 外观检查                   |                  |   |       |     | 相对湿度              |             |          |       |
| 标准器名称                  |                  |   | 准确度等级 |     |                   |             |          |       |
| 型号/编号                  |                  |   | 测量范围  |     |                   |             |          |       |
| 溯源机构                   |                  |   | 溯源证书号 |     |                   | 有效期至        |          |       |
| 校准依据                   |                  |   |       |     |                   |             |          |       |
| 类别<br>名称               | 型号规格             |   | 出厂编号  |     |                   | 生产厂家        |          |       |
| 液压螺栓拉伸器                |                  |   |       |     |                   |             |          |       |
| 压力指示器                  |                  |   |       |     |                   |             |          |       |
| 校准点<br>(MPa / kN)      | 指示器示值 (MPa / kN) |   |       |     | 重复性<br>(%)        | 示值误差<br>(%) | 内插误差     |       |
|                        | 1                | 2 | 3     | 平均值 |                   |             | 计算值(MPa) | I (%) |
|                        |                  |   |       |     |                   |             |          |       |
|                        |                  |   |       |     |                   |             |          |       |
|                        |                  |   |       |     |                   |             |          |       |
|                        |                  |   |       |     |                   |             |          |       |
|                        |                  |   |       |     |                   |             |          |       |
| 校准方程:                  |                  |   |       |     |                   |             |          |       |
| 相对分辨率 $R_{es}$ (%FS) : |                  |   |       |     | 内泄漏 $L_k$ (%FS) : |             |          |       |
| 测量结果不确定度 (示值误差/内插误差) : |                  |   |       |     |                   |             |          |       |

校准: \_\_\_\_\_ 核验: \_\_\_\_\_ 共 1 页 第 1 页

## 附录 B

### 校准证书内容及内页格式

B.1 校准证书至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对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) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离说明；
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；

未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

## B.2 校准证书（内页）格式（示例）

| 类别<br>名称  | 型号规格     | 出厂编号              | 生产厂家                          |
|---|----------|-------------------|-------------------------------|
| 液压螺栓拉伸器   |          |                   |                               |
| 压力指示器   |          |                   |                               |
| 压力表示值<br>(MPa)  | 负荷值 (kN) | 内插误差 (%)          | 内插误差测量<br>结果的不确定的<br>$U(k=2)$ |
|   |          |                   |                               |
|   |          |                   |                               |
|   |          |                   |                               |
|   |          |                   |                               |
|   |          |                   |                               |
|   |          |                   |                               |
| 外观检查:   |          |                   |                               |
| 相对分辨力 $R_{cs}$ (%FS) :                                |          | 内泄漏 $L_k$ (%FS) : |                               |
| 校准方程: $P=a+bF=$<br><br>$P$ -压力表读数, MPa; $F$ -负荷值, kN。 |          |                   |                               |

## 附录 C

## 测量结果不确定度评定（示例）

## C.1 测量结果不确定度评定（内插误差）

## C.1.1 概况

## C.1.1.1 环境条件

环境温度：21.3℃ 相对湿度：31%RH

## C.1.1.2 测量用标准器及辅助试验设备

标准器及辅助试验设备的主要技术参数如表 C.1.1 所示：

表 C.1.1 标准器和辅助试验设备参数性能

| 名称          | 规格型号        | 准确度等级 | 测量范围        | 出厂编号         | 生产厂家          |
|-------------|-------------|-------|-------------|--------------|---------------|
| 标准测力仪       | 20518-600kN | 0.3   | (50—600) kN | HHFA-V121591 | 北京弘豪福安仪器有限公司  |
| 液压螺栓拉伸器校准装置 | LS-001      | ----- | (0—1000) kN | 20200001     | 内蒙古自治区计量测试研究院 |

## C.1.1.3 测量过程

依据校准规范对同一液压螺栓拉伸器进行三组数据测量如下表 C.1.2 所示

表 C.1.2 测量液压螺栓拉伸器三组数据

| $f$ (kN) | $P_1$ (MPa) | $P_2$ (MPa) | $P_3$ (MPa) | $\bar{P}$ (MPa) |
|----------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| 50       | 12.2        | 12.2        | 12.2        | 12.2            |
| 100      | 22.7        | 22.7        | 22.7        | 22.7            |
| 200      | 43.7        | 43.6        | 43.7        | 43.7            |
| 300      | 64.7        | 64.6        | 64.7        | 64.7            |
| 400      | 85.8        | 85.8        | 85.8        | 85.8            |
| 500      | 106.8       | 106.7       | 106.8       | 106.8           |
| 550      | 117.4       | 117.3       | 117.3       | 117.3           |

其中  $f$  为标准力值； $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  和  $\bar{P}$  分别为液压螺栓拉伸器第一次压力表读数、第二次压力表读数、第三次压力表读数和平均值压力表读数。

以 550kN 点为例计算如下。

## C.1.2 测量模型

## C.1.2.1 建立测量模型

$$I = \frac{P_c - \bar{P}}{\bar{P}} = \frac{af + b - \bar{P}}{\bar{P}} = \frac{af}{\bar{P}} + \frac{b}{\bar{P}} - 1 \quad (\text{C.1.1})$$

$$b = \bar{P} - a\bar{f} \quad (\text{C.1.2})$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n f_i P_i - n\bar{f}\bar{P}}{\sum_{i=1}^n f_i^2 - n\bar{f}^2} \quad (\text{C.1.3})$$

其中  $I$  为压力表内插示值误差； $P_c$  为直线方程  $P_c=af+b$  用最小二乘法得出的压力值 (MPa) 与力值(kN)对应关系； $\bar{P}$  为压力表示值的算术平均值； $a$  为直线方程斜率 MPa/kN； $b$  为直线方程的截距 MPa； $f$  为检测时标准器力值示值； $n$  为实验的次数

则  $a = 0.2102\text{MP/kN}$ ； $b = 1.6695\text{MP}$

#### C.1.2.2 灵敏度系数

$$a \text{ 的灵敏度系数 } c_1 = \frac{\partial I}{\partial a} = \frac{f}{\bar{P}}$$

$$b \text{ 的灵敏度系数 } c_2 = \frac{\partial I}{\partial b} = \frac{1}{\bar{P}}$$

$$\bar{P} \text{ 的灵敏度系数 } c_3 = \frac{\partial I}{\partial \bar{P}} = -\frac{af + b}{\bar{P}^2}$$

$$f \text{ 的灵敏度系数 } c_4 = \frac{\partial I}{\partial f} = \frac{a}{\bar{P}}$$

$$c_1 = 8.4951\text{kN} \cdot \text{MPa}^{-1}; c_2 = 0.0154\text{MPa}^{-1}; c_3 = -0.0280\text{MPa}^{-1}; c_4 = 0.0032\text{kN}^{-1}$$

#### C.1.2.3 传播率公式

认为各参量之间互不相关

$$\begin{aligned} u_c^2 &= [c_1 u(a)]^2 + [c_2 u(b)]^2 + [c_3 u(\bar{P})]^2 + [c_4 u(f)]^2 \\ &= \left[\frac{f}{\bar{P}} u(a)\right]^2 + \left[\frac{1}{\bar{P}} u(b)\right]^2 + \left[-\frac{af + b}{\bar{P}^2} u(\bar{P})\right]^2 + \left[\frac{a}{\bar{P}} u(f)\right]^2 \end{aligned} \quad (\text{C.1.4})$$

### C. 1. 3 标准不确定度评定

#### C.1.3.1 由最小二乘法直线方程斜率 $a$ 引入的不确定度 $u_a$ ；

假设每组测量值的个数为  $n$ ，第  $i$  次施加的力为  $f_i$ ，施加力值的平均值  $\bar{f}$ ，且第  $i$  次读取的压力表示值为  $P_i$ ，读取压力表示值的平均值为  $\bar{P}$ ，则  $a$  引入的测量不确定的为：



$$\text{令 } S_{ff} = \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2 = \sum_{i=1}^n f_i^2 - n(\bar{f})^2 \quad (\text{C.1.5})$$

$$S_{fp} = \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})(P_i - \bar{P}) = \sum_{i=1}^n f_i P_i - n\bar{f}\bar{P} \quad (\text{C.1.6})$$

残差的试验标准偏差  $s(P_i)$

$$s(P_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - af_i - b)^2}{n-2}} \quad (\text{C.1.7})$$

则

$$u(a) = s(a) = \frac{s(P_i)}{\sqrt{S_{ff}}} \quad (\text{C.1.8})$$

$$u(a) = 0.000057 \text{MP/kN}$$

C.1.3.2 由最小二乘法直线方程截距  $b$  引入的不确定度  $u(b)$  ;

$$u(b) = s(b) = s(P_i) \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i^2}{nS_{ff}}} \quad (\text{C.1.9})$$

$$u(b) = 0.02004 \text{MPa}$$

C.1.3.3 由液压拉伸器的重复性测量引入的不确定度  $u(\bar{P})$  ;

由液压拉伸器  $i$  点  $j$  次 ( $j=3$ ) 重复性引入的不确定度,  $C$  为极差系数 1.69,

则

$$u(P) = \frac{P_{i_{\max}} - P_{i_{\min}}}{1.69} \quad (\text{C.1.10})$$

在 550kN 处  $u(P) = 0.0592 \text{MPa}$

C.1.3.4 由标准器引入的力值不确定度  $u(f)$  。

标准器主要不确定度来源是标准测力仪, 证书给出是 0.3 级合格, 按均匀分布,  $u(f_i)$  如下

$$u(f_i) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_i \cdot 0.3\% \quad (\text{C.1.11})$$

在 550kN 处  $u(f_i) = 0.9527 \text{kN}$

## C. 1. 4 合成不确定度分量一览表

表 C. 1. 3 标准不确定度一览表

| 标准不确定度分量 $u_i$   | 不确定度来源     | 灵敏度系数 $c_i$                              | 不确定度 $u_i$     | $ c_i  \times  u(x)  (\%)$ |
|------------------|------------|--|----------------|----------------------------|
| $u(a)$           | 最小二乘法斜率    | $8.4961 \text{kN} \cdot \text{MPa}^{-1}$ | 0.000057 MP/kN | 0.0487                     |
| $u(b)$           | 最小二乘法截距    | $0.0085 \text{MPa}^{-1}$                 | 0.02004 MPa    | 0.0310                     |
| 550kN 处 $u(P)$   | 液压螺栓拉伸器重复性 | $-0.0280 \text{MPa}^{-1}$                | 0.0592 MPa     | 0.1657                     |
| 550kN 处 $u(f_i)$ | 标准测力仪      | $0.0259 \text{kN}^{-1}$                  | 0.9527 kN      | 0.3094                     |

C. 1. 5 合成不确定度  $u_c$ 

由上可知在 550kN 处的合成不确定度由 C.4 式可得  $u_c \approx 0.36\%$

C. 1. 6 扩展不确定度  $U_{\text{rel}}$ 

取  $k=2$  时  $U_{\text{rel}}=0.72\%$ 。

## C. 1. 7 不确定的评定报告

螺栓拉伸器在 550kN 测量点内插误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}=0.72\% \quad k=2$$

## C. 2 测量结果不确定（示值误差）

## C. 2. 1 概述

## C.2.1.1 环境条件

环境温度：21.5℃ 相对湿度：35%RH

## C.2.1.2 测量用标准器及辅助试验设备

标准器及辅助试验设备的主要技术参数如表 C.2.1 所示：

表 C. 2. 1 标准器和辅助试验设备参数性能

| 名称 | 规格型号 | 准确度等级 | 测量范围 | 出厂编号 | 生产厂家 |
|----|------|-------|------|------|------|
|----|------|-------|------|------|------|

|             |             |       |             |              |               |
|-------------|-------------|-------|-------------|--------------|---------------|
| 标准测力仪       | 20518-600kN | 0.5   | (50—600) kN | HHFA-V121591 | 北京弘豪福安仪器有限公司  |
| 液压螺栓拉伸器校准装置 | LS-001      | ----- | (0—1000) kN | 20200001     | 内蒙古自治区计量测试研究院 |

### C.2.1.3 测量过程

选择 500kN 测量点进行测量，螺栓拉伸器对标准测力仪施加负荷到测量点，可得到与标准力值相对应螺栓拉伸器的示值，该过程连续进行 3 次，以 3 次示值的算术平均值减去标准力值，既得到该测量点的示值误差。

## C. 2. 2 测量模型

### C.2.2.1 建立测量模型

测量模型以示值误差的形式给出，如公式 (C.2.1) 所示：

$$\Delta F = \bar{F} - F \quad (\text{C.2.1})$$

式中： $\Delta F$ ——螺栓拉伸器的示值误差，kN

$\bar{F}$ ——螺栓拉伸器 3 次示值的算术平均值，kN

$F$ ——标准测力仪的标准力值，kN

### C.2.2.2

由于被校准螺栓拉伸器的标准不确定度分量和标准测力仪的标准不确定度分量彼此独立，各不相关，根据不确定度传播定律，螺栓拉伸器的示值误差合成标准不确定度由下式计算：

$$u_c^2(\Delta F) = c_1^2(\bar{F}) u^2(\bar{F}) + c_2^2(F) u^2(F) \quad (\text{C.2.2})$$

式中： $u(\bar{F})$ ——螺栓拉伸器示值的标准不确定度

$u(F)$ ——标准测力仪的标准不确定度

灵敏系数  $c_1(\bar{F}) = \frac{\partial \Delta F}{\partial \bar{F}} = 1$  和  $c_2(F) = \frac{\partial \Delta F}{\partial F} = -1$  代入 (C.2.2) 式得：

$$u_c^2(\Delta F) = u^2(\bar{F}) + u^2(F)$$

### C.2.2.3 不确定度来源

螺栓拉伸器校准结果不确定度来源主要包括：

- (1) 螺栓拉伸器重复性引入的标准不确定度  $u_{\text{rel}}(\bar{F}_1)$ ；
- (2) 标准测力仪引入的标准不确定度  $u_{\text{rel}}(F)$ ；
- (3) 被校准螺栓拉伸器分辨力引入的标准不确定度  $u_{\text{rel}}(F_2)$ 。

## C. 2. 3 标准不确定度评定

选择 500kN 校准点, 进行不确定的评定, 依据校准规范进行测量并计量测量结果如表 C.2.2 所示。

表 C. 2. 2 测量螺栓拉伸器三组数据

| 校准点 (kN) | 示值 (kN) |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|
|          | 1       | 2      | 3      | 平均值    |
| 500      | 498.27  | 499.82 | 498.63 | 498.91 |

C.2.3.1 被校准螺栓拉伸器测量重复性引入的标准不确定度  $u_{\text{rel}}(\bar{F})$ 

根据检定规程, 在重复性条件下读取 3 次显示值, 由于测量次数较少, 采用极差法计算单次测量结果的实验标准差, 公式如下:

$$s(F_i) = \frac{F_{i\max} - F_{i\min}}{1.69}$$

3 次测量结果平均值相对形式的标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(\bar{F}) = \frac{s(F_i)}{F\sqrt{3}}$$

表 C. 2. 3 不确定度的 A 类评定

| 校准点<br>(kN) | 示值 (kN) |        |        |        | $s(F)$<br>(kN) | $u_{\text{rel}}(\bar{F})$<br>(%) |
|-------------|---------|--------|--------|--------|----------------|----------------------------------|
|             | 1       | 2      | 3      | 平均值    |                |                                  |
| 500         | 498.27  | 499.82 | 498.63 | 498.91 | 0.92           | 0.106                            |

C.2.3.2 标准测力仪引入的标准不确定度  $u_{\text{rel}}(F)$ 

标准测力仪经上级检定机构检定合格, 最大允许误差为  $\pm 0.3\%$ , 按均匀分布处理, 取包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 则标准不确定度  $u_{\text{rel}}(F)$ :

$$u_{\text{rel}}(F) = \frac{0.3\%}{\sqrt{3}} \times 100\% = 0.173\%$$

C.2.3.3 被校准螺栓拉伸器分辨力引入的不确定度分量  $u_{\text{rel}}(F_2)$ 

被校准螺栓拉伸器各校准点分辨力引入的标准不确定度:

$$u_{\text{rel}}(F_2) = \frac{e}{2F\sqrt{3}} \times 100\%$$

各校准点分辨力引入的标准不确定度如表 C.2.4 所示:

表 C. 2. 4 分辨力引入的标准不确定度

| 校准点 $F$ (kN) | 分度值 $e$ (kN) | $u_{\text{rel}}(F_2)$ (%) |
|--------------|--------------|---------------------------|
|--------------|--------------|---------------------------|

|     |      |        |
|-----|------|--------|
| 500 | 0.01 | 0.0006 |
|-----|------|--------|

#### C.2.4 合成不确定度分量一览表

表 C.2.5 不确定度分量一览表

| 标准不确定度分量                  | 不确定度来源      | 不确定度 (%) |
|---------------------------|-------------|----------|
| $u_{\text{rel}}(\bar{F})$ | 被校准螺栓拉伸器重复性 | 0.106    |
| $u_{\text{rel}}(F)$       | 标测力仪引入      | 0.173    |
| $u_{\text{rel}}(F_2)$     | 被校准螺栓拉伸器分辨力 | 0.0006   |

为避免重复计算，在测量重复性  $u_{\text{rel}}(\bar{F}_1)$  与分辨力  $u_{\text{rel}}(\bar{F}_2)$  之间选取较大值进行合成。

#### C.2.5 合成标准不确定度

根据不确定度传播率，合成标准不确定度计算公式为：

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\bar{F}) + u_{\text{rel}}^2(F)}$$

其中  $u_{\text{rel}}(\bar{F})$  与  $u_{\text{rel}}(F_2)$  选取较大值进行合成，在 500kN 校准点合成不确定度为：

$$u_{\text{crel}} = 0.203\%$$

#### C.2.6 扩展不确定度 $U_{\text{rel}}$

取  $k=2$  时， $U_{\text{rel}}=0.41\%$ 。

#### C.2.7 不确定的评定报告

螺栓拉伸器在 500kN 测量点示值误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}=0.41\% \quad k=2$$