



中华人民共和国国家计量校准规范

JJF ××××-××××

高速列车用螺栓轴向力测试设备 校准规范

Calibration Specification for Testing Equipment of Bolt Axial Stress for
High-Speed Trains
(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

高速列车用螺栓轴向力测试 设备校准规范

Calibration Specification for Testing
Equipment of Bolt Axial Stress for
High-speed Trains

JJF××××-××××
代替××××-××××

归口单位：全国铁路专用计量器具计量技术委员会铁路专用力学电学分技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规程委托全国铁路专用计量器具计量技术委员会铁路专用力学电学分技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

参加起草人：

目 录

引 言	II
1 范围.....	3
2 引用文件.....	3
3 术语.....	3
4 概述.....	3
5 计量特性.....	4
6 校准条件.....	4
7 校准项目和校准方法.....	4
8 校准结果.....	7
9 复校时间间隔.....	7
附录 A 高速列车用螺栓轴向力测试设备校准原始记录参考格式	8

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》共同构成制定本校准规范的基础性系列规范。

本规范主要参考 GB/T 3098.1-2010《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》、GB/T 43232-2023《紧固件 轴向应力超声测量方法》、GB/T 16823.3-2010《紧固件 扭矩-夹紧力试验》等编制而成。

本规范为首次发布。

高速列车用螺栓轴向力测试设备校准规范

1 范围

本规范规定了高速列车用螺栓轴向力测试设备的术语、概述、计量特性、校准条件、校准项目和校准方法、校准结果以及复校时间间隔。

本规范适用于高速列车领域基于超声波方法的螺栓轴向力测试设备的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 16823.3-2010 紧固件 扭矩-夹紧力试验

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

3 术语

3.1 螺栓轴向力测试设备 testing equipment of bolt axial stress

用于测量螺栓轴向力的设备，具有超声波检测探头和温度传感器，通过采集超声波在螺栓中的声时差计算出螺栓的轴向力。

3.2 标定螺栓 reference bolt

用于建立轴向力与测量参数的关系，是处于自由状态的试验用螺栓，材料和型号规格应与被测量螺栓基本一致。

3.3 紧固扭矩 tightening torque

拧紧时，施加于螺母或螺栓头部的扭矩。

3.4 夹紧长度 clamping length

装配后，螺栓、螺母支承面或机体表面与螺母支承面之间的距离。

3.5 声时差 time difference of flight

材料应力变化引起材料中超声传输延时的相对变化量。

3.6 应力系数 stress coefficient

表征声时差和材料应力对应关系的系数。

4 概述

高速列车用螺栓轴向力测试设备基于材料声弹性原理和胡克定律，采用超声波技术实现对螺栓的轴向力检测，螺栓轴向力引起的声速变化及螺栓长度变化，共同导致超声波沿其轴向传播的声时发生变化。因此可以通过超声波测量方法测量螺栓加载前后的声时差来计算出螺栓的轴向力。

5 计量特性

5.1 轴向力测试设备示值相对误差

5.2 轴向力测试设备示值重复性

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(10~35)℃，相对湿度：≤85%，校准过程中，温度变化不大于2℃。

6.1.2 工作电源的电压波动不超过额定电压的10%

6.1.3 周围无影响校准结果的震源、电磁干扰和腐蚀性介质

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 轴力传感器

轴力传感器应能采集连续拧紧点，具有足够的侧向和轴向刚度，采样频率不低于500Hz，准确度应优于1%。校准时，由轴力传感器所引入的测量扩展不确定度($k=2$)应不大于被测轴向力测试设备最大允许误差绝对值的1/3。

6.2.2 拉力试验机

拉力试验机应符合 GB/T16825.1 的规定，准确度等级应不低于1级，装夹紧固件时，应避免斜拉，可使用自动定心装置。校准时，由拉力试验机、配套工装及环境条件所引入的测量扩展不确定度($k=2$)应不大于被测轴向力测试设备最大允许误差绝对值的1/3。

注：可选择以上任意一种设备作为测量标准器。

6.2.3 标定螺栓

6.2.3.1 公称直径≥5mm，推荐长径比≥3：1；

6.2.3.2 性能等级 8.8 级及以上，声学各向同性材料；

6.2.3.3 测量范围：(30%~90%) $R_{p0.2}$ ，不同性能等级螺栓的屈服强度 ($R_{p0.2}$) 参考值见表 1。

表 1 螺栓屈服强度参照表

螺栓性能等级	8.8	9.8	10.9	12.9
屈服强度/MPa	640	720	900	1080

6.2.4 压电元件

压电元件应为陶瓷应变片，固有频率介于 2MHz~10MHz 之间。

6.2.5 耦合剂

应选择透声性良好且不损伤检测表面的耦合剂，在工作温度范围内探头应与被检件表面具有稳定可靠的声耦合。在标定过程和校准过程中应采用相同的耦合剂，并保持相同的耦合状态。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

高速列车用螺栓轴向力测试设备校准项目一览表见表 2。

表2 轴向力测试设备校准项目一览表

校准项目	首次校准	后续校准	使用中检验
外观	+	+	+
示值相对误差	+	+	+
示值重复性	+	+	+

注：“+”表示应校准项目；“-”表示可不校准项目

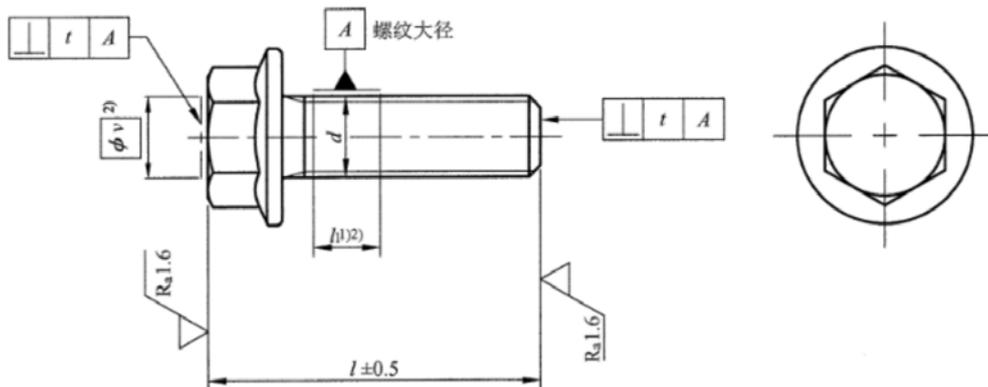
7.2 校准方法

7.2.1 外观

用目力观察，开关等调节旋钮应齐全，超声波探头应状态完好，温度传感器应处于有效状态。

7.2.2 标定螺栓加工

标定螺栓的头部和尾部应加工成平面，加工要求应按图 1 执行，平面粗糙度 R_a 应不大于 1.6，垂直度公差要求应按表 3 执行。加工后螺栓的总长公差应在 $\pm 0.5\text{mm}$ 范围内。加工过程中，应保持螺栓表面清洁、干燥，避免对螺纹及其他表面造成污染或磕碰伤。清洁螺栓端面，在其中一端轴线中心处使用耦合剂粘贴压电元件。



注：

1. 基准 A 应尽可能靠近头部，并在距头部 $0.5d$ 以内，基准 A 可以是光杆或螺纹部分，但应避开螺纹收尾或下圆角部分。
2. $l_1 = d, v = d$

图 1 标定螺栓加工要求

表 3 标定螺栓垂直度 t 公差要求

尺寸	公称直径 d (mm)		
	$6 \leq d \leq 10$	$10 < d \leq 16$	$16 < d \leq 30$
t/mm	0.05	0.08	0.14

7.2.3 应力系数标定

7.2.3.1 标定点选择

在标定螺栓测量范围内均匀选取包括最大值、最小值在内的 5 个标定点。

7.2.3.2 标定方法

7.2.3.2.1 轴力传感器标定法

- (1) 在规定的条件下，使用符合要求的轴力传感器，在测量范围内对标定螺栓进行标定试验，标定点按 7.2.3.1 要求选择，宜使用至少 5 支标定螺栓进行标定试验；
- (2) 标定过程中，首先通过试验夹具将螺栓固定在轴力传感器上，装夹应符合 GB/T 16823.3-2010 中 6.2 的规定，测量零应力的声时差 Δt_{c0} ，然后选择合适量程的拧紧工具，持续平稳施加紧固扭矩拧紧标定螺栓；
- (3) 以轴力传感器的显示值作为标准，拧紧到标定点时，需在 5s 内同时采集轴力传感器的显示值 F_{c1} 以及轴向力测试设备的声时差 Δt_{c1} ，重复上述步骤，直到所有标定点均纪录完成；
- (4) 重复步骤 (2)、(3)，直至所有标定螺栓完成标定数据记录；
- (5) 将所有标定数据按照不同轴向力测试设备的标定规则拟合成基准应力曲线，得到应力系数，并反馈至轴向力测试设备中，完成标定。

7.2.3.2.2 拉力试验机标定法

- (1) 在规定的条件下，使用符合要求的拉力试验机，在测量范围内对标定螺栓进行标定试验，标定点按 7.2.3.1 要求选择，宜使用至少 5 支标定螺栓进行标定试验；
- (2) 标定过程中，首先通过试验夹具将螺栓固定在拉力试验机上，装夹应符合 GB/T 16823.3-2010 中 6.2 的规定，测量零应力的声时差 Δt_{c0} ，启动拉力试验机匀速施加载荷，对螺栓进行拉伸；
- (3) 以拉力试验机的显示值作为标准，拉伸到标定点时，需在 5s 内纪录拉力试验机的显示值 F_{c2} 以及轴向力测试设备的声时差 Δt_{c2} ，纪录完成后，继续拉伸至下一标定点，重复上述步骤，直到所有标定点均纪录完成；
- (4) 重复步骤 (2)、(3)，直至所有标定螺栓完成标定数据记录；
- (5) 将所有标定数据按照不同轴向力测试设备的标定规则拟合成基准应力曲线，得到应力系数，并反馈至轴向力测试设备中，完成标定。

7.2.3.3 轴向力测试设备在首次校准时，必须进行应力系数标定，标定螺栓规格根据用户实际使用需求选择，每组应力系数仅可作为同规格、同批次螺栓的参考标准，在更换螺栓规格或批次时，均应重新进行应力系数的标定工作；

注：

1. 标定后的螺栓作为标准螺栓需专门存放，用于对轴向力测试设备后续同规格螺栓测试的校准工作；
2. 轴向力测试设备在后续校准时，若无新增螺栓规格，可直接使用已知的标定螺栓进行示值误差和示值重复性的校准。

7.2.4 计量特性计算方法

7.2.4.1 示值相对误差

校准时环境温度与标定时环境温度差应不大于 2℃，并且超声波探头位置、采集线长度等配套设备应相同。

任取 1 颗同批次标定螺栓置于轴力传感器或拉力试验机上，应保持夹紧长度与标定时一致，在测量范围内根据用户需求选择校准点，若用户无明确要求，则均匀取至少 5 个校准点，分别施加载荷至目标值，以轴力传感器或拉力试验机的显示值作为标准轴向应力 F_0 ，轴向力测试设备通过 7.2.3 标定的应力系数计算出轴向力 F_1 ，在 5s 内记录该组数值，记录格式见附录 A，随后加载至下一个测量点。每颗螺栓每个点仅测量 1 次，需取 3 颗标定螺栓分别加载至上述校准点，取 3 次测量的平均值作为计算依据，轴向力测试设备在每个点的示值相对误差应按公式 (1) 进行计算：

$$\delta = \frac{F_1 - \bar{F}_0}{\bar{F}_0} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

式中：

δ ——示值相对误差；

\bar{F}_1 ——轴向力测试设备示值平均值；

\bar{F}_0 ——标准器示值平均值。

7.2.4.2 示值重复性

轴向力测试设备的示值重复性应按公式（2）进行计算：

$$R = \frac{F_{0max} - F_{0min}}{\bar{F}_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

式中：

R ——示值重复性；

F_{0max} ——在设定校准点时标准器3次示值的最大值；

F_{0min} ——在设定校准点时标准器3次示值的最小值；

\bar{F}_0 ——标准器示值平均值。

8 校准结果

8.1 经校准合格的轴向力测试设备，出具校准证书，至少应包含以下信息：

——标题，“校准证书”；

——实验室名称和地址；

——证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

——用户的名称和地址

——被校准对象的明确描述；

——进行校准的日期，如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；

——所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

——本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

——校准环境的描述；

——校准结果及其测量不确定度；

——校准证书签发人的签名及日期。

8.2 经校准不合格的轴向力测试设备，出具校准结果通知书，并注明不合格项目。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 12 个月。

附录 A
(资料性)

高速列车用螺栓轴向力测试设备校准原始记录格式

送样单位:		规格型号:		测量范围:							
制造厂:		出厂编号:		准确度等级:							
标准器名称:		测量范围:		编号:							
准确度等级:		发证机构:									
证书编号:			有效期至:								
依据标准:											
校准地点:				温度:							
外观检查:				相对湿度:							
螺栓规格:	等级:	材料:	公称直径:	屈服强度:							
测量点 ()	轴向力测试设备示值 ()				标准器示值 ()				示值相对误差	示值重复性	扩展不确定度 $U_{rel} (k=2)$
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值			
备注:											

校核员: _____

证书编号: _____

校准员: _____

校准日期: _____