

铁路货车生产中内径千分尺快速校准方法探讨

应 珺 李书任 罗毅 熊韬

(中车长江车辆有限公司 湖北武汉 430212)

摘要: 在铁路货车修造行业, 轮对组道工序涉及到大量零部件的精密测量, 如: 轴承、车轴、车轮轮毂孔及相关配件的尺寸。大批量生产时, 如何在生产现场实现内径千分尺的快速校准, 是提升测量效率及测量结果有效性的关键。本文通过对采用标准环规的方法和采用测长机的方法进行对比, 研究生产现场采用标准环规快速校准内径千分尺的可行性, 从而实现快速校准, 提高检测效率的预期用途。

关键词: 内径千分尺、轮对压装、标准环规、不确定度评定

1 概述

近年, 根据国铁集团对 C70E 型敞车的新工艺要求, 我司采用符合 TB/T1013-2011 标准要求的 ZL-C 材质碾钢整体车轮。在生产过程中发现, 新材质的不仅影响了车轮的机械性能, 也影响了生产进度及质量控制。通过对整体工序的理论分析和现场验证发现, 车轮加工及轮对压装中孔径测量结果的有效性, 是提升轮对压装质量合格率的关键^[1]。

在轮对、轮轴工序的现场, 我司常用测量工具是内径千分尺。日常使用前, 内径千分尺应进行校准^[2-4], 实验室采用测长机检定^[5-6]方法, 但在进行大批量生产的修造现场, 测长机检定法受到了生产节奏、检测效率等现实的制约。针对此现状, 如何在保证测量精度的前提下, 又能提升工作效率, 是本次探讨方向。

本次实验的目的: 其一: 测长机的检定方法作为常规检定方法, 在生产现场测量出现争议时, 可作为仲裁方法。其二, 探讨标准环规在生产现场进行快速校准的可行性。

2 比对方法

2.1 比对方法设计

选择分度值 0.01mm 的内径千分尺作为被测对象, 经充分等温, 验证应用标准环规对内径千分尺进行快速校准的方法。先用特定尺寸的标准环规测量内径千分尺示值误差, 后用测长机测量内径千分尺示值误差。测长机检定方法参阅 JJG 22-2003《内径千分尺检定规程》^[7], 将检定结果值进行比对, 计算检测/检定状态置信度 (E_n), 从而得到是否满意的判定。

2.2 所用检定装置

所使用的测长机和标准环规的信息如表 1。

表 1 标准器及技术指标

序号	仪器名称	最大允许误差/不确定度
1	Trimos 高精度测长机	MPEV = ± (0.5 μm + 1 × 10 ⁻⁶ L)
2	二等标准环规	2 等

2.3 比对判断

2.3.1 计算方法

L=150mm 表 2 150mm 标准不确定度一览表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i \times u(x_i) / \mu\text{m}$
u_1	测量重复性	0.48	1	0.48
u_2	检定用环规	0.5	1	0.5
u_3	内径千分尺和环规的线胀系数差	$0.816 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$0.15 \times 10^6 \times 5 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \mu\text{m}$	0.612
u_4	内径千分尺和环规的温度差	0.289 °C	$0.15 \times 11.5 \mu\text{m}/^\circ\text{C}$	0.499
$u_c = 1.050 \mu\text{m}$				

L=200mm 表 3 200mm 标准不确定度一览表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i \times u(x_i) / \mu\text{m}$
u_1	测量重复性	0.48	1	0.48
u_2	检定用环规	0.5	1	0.5
u_3	内径千分尺和环规的线胀系数差	$0.816 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$0.2 \times 10^6 \times 5 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \mu\text{m}$	0.816
u_4	内径千分尺和环规的温度差	0.289 °C	$0.2 \times 11.5 \mu\text{m}/^\circ\text{C}$	0.665
$u_c = 1.260 \mu\text{m}$				

比对结果采用 E_n 的方法, 将上述方法得到的检定结果值进行比对。

$$E_n = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}}$$

公式中:

x_1 —采用标准环规测得的数值

x_2 —采用测长机测得的数值

U_1 —采用标准环规测量结果的不确定度

U_2 —采用测长机测量结果的不确定度

2.3.2 判定标准

当 $|E_n| \leq 1$ 结果满意;

$|E_n| > 1$ 结果不满意, 需停止工作, 寻找原因采取纠正措施。

3 计算标准不确定度分量

3.1 用标准环规测量内径千分尺示值误差

3.1.1 测量方法

根据现场轴承、车轮轮毂孔及相关配件的尺寸测量需求, 选择了内径分别为 $\Phi 150\text{mm}$ 及 $\Phi 200\text{mm}$ 的标准环规, 在 $(20 \pm 3) \text{ } ^\circ\text{C}$ 的环境下, 进行检定结果的测量不确定度分析。

3.1.2 数学模型

1) 内径千分尺的示值误差 e :

$$e = L_m - L_b + L_m \cdot \alpha_m \cdot \Delta t_m - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \quad (1)$$

式中:

L_m —内径千分尺的示值 ($20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 条件下);

L_b —标准环规的标称直径 ($20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 条件下);

α_m 和 α_b —内径千分尺和标准环规的线膨胀系数;

$\delta\alpha$ —内径千分尺和标准环规的线膨胀系数差;

δt —内径千分尺和标准环规的温度差;

Δt_m 和 Δt_b —内径千分尺和标准环规偏离参考温度 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的数值。

2) $\Phi 150\text{mm}$ 及 $\Phi 200\text{mm}$ 的标准环规检测的测量结果标准不确定度一览表

表4 示值误差实验数据

标准环规直径尺寸/mm	10次测量平均值/mm	示值误差 $x_i/\mu\text{m}$	合成标准不确定度 $u_c/\mu\text{m}$	扩展不确定度(k=2), $U_1=k \times u_c/\mu\text{m}$
150.0001	149.9972	2.9	1.050	2.10
199.9982	199.9942	4.0	1.260	2.52

3.1.3 标准不确定度计算数据汇总

用标准环规测量内径千分尺示值误差实验数据见表4

3.2 用测长机测量内径千分尺示值误差

3.2.1 测量方法

采用3.1.1的方法读数,将内径千分尺置于测长机支座上,在(20±3)℃的环境条件下充分等温(两者温度差不大于0.5℃),用测长机测量内径千分尺的长度,进行检定结果的测量不确定度分析。

3.2.2 数学模型

(1) 内径千分尺的示值误差 e :

$$e = L_m - L_b + L_m \cdot \alpha_m \cdot \Delta t_m - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b + L \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (3)$$

式中: L_m —内径千分尺的示值(20℃条件下);

L_b —测长机的示值(20℃条件下);

α_m 和 α_b —内径千分尺和测长机的线膨胀系数;

Δt 、 Δt_m 和 Δt_b —环境温度、内径千分尺和测长机偏离参考温度20℃的数值;

$\Delta \alpha$ —内径千分尺和测长机的线膨胀系数差。

(2) 测长机检测的测量结果标准不确定度一览表

L=150 mm 表5 150mm 标准不确定度一览表

准不确定度标 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i \times u(x_i) /\mu\text{m}$
u_1	测量重复性	0.21 μm	1	0.21
u_2	测长机	0.38 μm	-1	0.145
u_{21}	测长机引入	0.38 μm		0.40
u_{22}	分辨力引入	0.03 μm		0.03
u_3	线膨胀系数引入	0.816×10 ⁻⁶ ℃ ⁻¹	0.15×10 ⁶ ×3℃* μm	0.369
u_4	温度差	0.38℃	0.15×11.5 $\mu\text{m}/\text{℃}$	0.654
u_5	线胀系数差	1.732℃	L· $\Delta \alpha = 0.15\mu\text{m}/\text{℃}$	0.261
$u_c = 0.90\mu\text{m}$				

L=200 mm 表6 200mm 标准不确定度一览表

准不确定度标 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i \times u(x_i) /\mu\text{m}$
u_1	测量重复性	0.21 μm	1	0.210
u_2	测长机	0.40 μm	-1	0.161
u_{21}	测长机引入	0.40 μm		0.40
u_{22}	分辨力引入	0.03 μm		0.03
u_3	线膨胀系数引入	0.816×10 ⁻⁶ ℃ ⁻¹	0.3×10 ⁶ ×3℃* μm	0.738
u_4	测长机和内径千分尺间的温度差	0.38℃	0.3×11.5 $\mu\text{m}/\text{℃}^{-1}$	1.308
u_5	线胀系数差	1.732℃	L· $\Delta \alpha = 0.30\mu\text{m}/\text{℃}$	0.52
$u_c = 1.67\mu\text{m}$				

表7 示值误差实验数据

内径千分尺尺寸/mm	10次测量平均值/mm	示值误差 $x_i/\mu\text{m}$	合成标准不确定度 $u_c/\mu\text{m}$	扩展不确定度(k=2), $U_2=k \times u_c/\mu\text{m}$
149.9978	149.9993	1.5	0.80	1.60
199.9967	199.9990	2.3	1.00	2.00

3.2.3 标准不确定度计算数据汇总

用测长机测量内径千分尺示值误差实验数据见表7。

4 比对结果与分析

4.1 比对结果

现将两种方法得到的实验数据整理汇总,将 x_1 、 x_2 、 U_1 、 U_2 的结果记录在表8中,并在此结果上进行 E_n 值判断。

表8 比对数据及分析

校准设定尺寸/mm	$x_1/\mu\text{m}$	$U_1/\mu\text{m}$	$x_2/\mu\text{m}$	$U_2/\mu\text{m}$	E_n
150.000	2.9	1.050	1.5	1.6	0.73
200.000	4.0	1.260	2.3	2.0	0.72

环境条件:采用标准环规检定时温度20.6℃,湿度63%RH;采用测长机检定时温度20.5℃,湿度59%RH

4.2 比对结果分析

(1) 根据工作要求,选取150mm、200mm工作测量点,通过10组数据的示值误差比对,发现 E_n 值均小于1,比对结果满意,证明生产现场采用标准环规快速校准内径千分尺的方法可行。

(2) 随着测量长度的增大,采用标准环规的测量不确定度和采用测长机的测量不确定度都有递增趋势。

5 结论

由本次比对试验结果可知:在本厂的日常生产中,根据测量需求,采用满足测量不确定度要求的特定内径值标准环规,在生产现场快速校准内径千分尺的方法可行。

参考文献:

[1]铁路货车轮轴组装检修及管理规则,中国铁道出版社,2016年8月:18-21

[2]刘秋云:内径千分尺检定中应注意的事项[J].中国计量,2012年08期。

[3]王方:倪一超.常用内径千分尺零位调试方式[A].江苏省计量测试学术论文集(2011)[C].2011年。

[4]王玉静;李燕.内径千分尺示值误差测量结果不确定度评定[J].重工与起重技术,2013年03期。

[5]刘艳玲;赵庶嫻;付彬.内径千分尺检定方法偏离的探讨[A].第十八届中国科协年会一分3 计量测试技术及仪器学术研讨会论文集[C].2016年。

[6]JJG 22-2003 内径千分尺检定规程.国家质量监督检验检疫总局,2003年3月:5-6。

[7]JJG 22-2014 内径千分尺检定规程.国家质量监督检验检疫总局,2014年11月。