

# T<sub>6DK</sub> 型检衡车测量结果不确定度评定

□国家轨道衡计量站 彭冲 安爱民 侯秀林 逯文娟 伊静

**【摘要】**本文依据JJG 567-2012《轨道衡检衡车》和JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》，分析了T<sub>6DK</sub>型检衡车测量过程，建立了测量数学模型，分析了不确定度来源，对T<sub>6DK</sub>型检衡车测量结果的不确定度进行了评定，以名义质量为20t的T<sub>6DK</sub> 8066310和名义质量为84t的T<sub>6DK</sub> 8066314进行了实例分析。分析结果表明：使用标准轨道衡能够开展T<sub>6DK</sub>型检衡车的检定工作。

**【关键词】**T<sub>6DK</sub>型检衡车；标准轨道衡；不确定度评定

文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2023）07-0040-04

## 概述

自动轨道衡是列入国家强制检定目录的计量器具，在铁路、煤炭、冶金、电力、石化等行业应用广泛，其量值准确与否事关企业的经济效益、社会效益，铁道货车超偏载检测装置是列入铁专目录的计量器具，用于检测铁路货车的超载和偏载情况，对于铁路运输安全具有重要意义。T<sub>6DK</sub>型检衡车（以下简称“检衡车”）是检定自动轨道衡和铁道货车超偏载检测装置的计量标准，也是一种铁路特种车辆，可随铁路列车挂运，用于对全国自动轨道衡、铁道货车超偏载检测装置进行检定。本文依据JJG 567-2012《轨道衡检衡车》和JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》对检衡车测量结果的不确定度进行评定。

**测量方法：**使用符合JJG 444-2005《标准轨道衡》的标准轨道衡，按照JJG 567-2012《轨道衡检衡车》对T<sub>6DK</sub>型检衡车进行测量。

**环境条件：**温度0~40℃，相对湿度不大于85%RH。

**测量标准：**标准轨道衡，测量范围为20~100t，准确度等级为Ⅰ级。

**被测量检衡车：**最大允许误差为 $\pm 3.0 \times 10^{-4}$ 。技术状态满足，外观完好；各零部件无影响工作性能的损伤；车内无积水、沙尘、杂物，车顶无积雪，车内砝码表面无损伤且摆放正常；检衡车体标记正常，

未到段修期和厂修期。

## 1 测量过程

在JJG 567-2012《轨道衡检衡车》规定的环境条件下，按照“检定规程中7.2检定项目和检定方法要求”进行测量。对标准轨道衡的空秤进行清零，然后使其处于休止状态。将检衡车停放在标准轨道衡的中央位置，对其进行称量，记录示值，该示值为检衡车的调量前质量值。

利用配重块，将调量前质量调整到10kg的整数倍，记录示值，该值为调量后质量1。再次进行称量，记录示值，该值为调量后质量2。记录标准轨道衡空秤示值。调量后质量1和调量后质量2的平均值加上标准轨道衡在该称量点的修正值，即为检衡车的最终质量值。

## 2 不确定度评定

### 2.1 不确定度分析数学模型

$$m=I+\Delta I_k \quad (1)$$

式中：m——检衡车质量值，kg；

I——标准轨道衡的示值，kg；

$\Delta I_k$ ——标准轨道衡在此称量点时的修正值。

### 2.2 不确定度来源

根据检衡车测量结果不确定度分析数学模型可知，检衡车测量结果受检衡车测量重复性、标准轨道衡、标准轨道衡指示器分辨力的影响。检衡车测量结果不确定度汇总如表1。

表1 检衡车测量结果不确定度汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	评定方法	灵敏度系数
$u_1$	检衡车测量重复性	A类评定	1
$u_2$	标准轨道衡	B类评定	1
$u_3$	标准轨道衡指示器分辨力	B类评定	1

### 2.3 标准不确定度分量评定

(1) 检衡车测量重复性引入的不确定度分量 $u_1$

由测量重复性引入的不确定度分量用A类方法评定, 用标准轨道衡对调量后的检衡车重复称量10次, 用贝塞尔公式(2)得到重复性。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中:  $S$ ——试验标准偏差, kg;

$I_i$ ——检衡车第*i*次测量值, kg;

$\bar{I}$ ——检衡车10次测量的平均值, kg;

$n$ ——检衡车测量的次数,  $n=10$ 。

实际测量过程中, 不区分方向共称量两次, 取平均值作为检衡车最终的质量值, 因此使用公式(3)确定检衡车测量重复性引入的不确定度分量 $u_1$ 。

$$u_1 = \frac{S}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

(2) 标准轨道衡引入的不确定度分量 $u_2$

标准轨道衡引入的不确定度用B类方法评定。

由于检衡车的最终质量值需要使用标准轨道衡在该称量点的修正值, 因此使用公式(4)确定标准轨道衡引入的不确定度分量 $u_2$ 。

$$u_2 = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{\text{inst}}^2} \quad (4)$$

式中:  $U$ ——标准轨道衡的扩展不确定度, kg;

$k$ ——覆盖因子, 取 $k=2$ ;

$u_{\text{inst}}$ ——标准轨道衡不稳定性引入的不确定度, kg。

①标准轨道衡的扩展不确定度 $U$

标准轨道衡的上级计量标准是F2等级的砝码,

标准轨道衡的扩展不确定度满足 $U \leq \frac{1}{3} |\text{MPE}|$ , 取

$U = \frac{1}{3} |\text{MPE}|$ ,  $k=2$  标准轨道衡在20~40t (含40t) 称

量范围内的最大允许误差MPE为 $\pm 2\text{kg}$ , 在40 (不含40t) ~100t 称量范围内的最大允许误差MPE为 $\pm 5\text{kg}$ 。

②标准轨道衡不稳定性引起的标准不确定度 $u_{\text{inst}}$

标准轨道衡不稳定性引起的不确定度可以参考标准轨道衡多次检定后变化值估计出来, 也可以根据标准轨道衡的稳定性变化不能超过 $|\text{MPE}|$ 。

采用多次检定后变化值, 按均匀分布根据公式(5)得到 $u_{\text{inst}}$

$$u_{\text{inst}} = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{2\sqrt{3}} \quad (5)$$

式中:  $u_{\text{inst}}$ ——标准轨道衡不稳定性引入的不确定度, kg;

$I_{\text{max}}$ ——多次检定后的最大值, kg;

$I_{\text{min}}$ ——多次检定后的最小值, kg。

采用标准轨道衡的稳定性变化不能超过 $|\text{MPE}|$ , 按均匀分布根据公式(6)得到 $u_{\text{inst}}$ 。

$$u_{\text{inst}} = \frac{|\text{MPE}|}{2\sqrt{3}} \quad (6)$$

式中:  $u_{\text{inst}}$ ——标准轨道衡不稳定性引入的不确定度, kg;

$|\text{MPE}|$ ——标准轨道衡的最大允许误差, kg。

(3) 标准轨道衡指示器分辨力引入的不确定度分量 $u_3$

标准轨道衡指示器分辨力引入的不确定度用B类方法评定。标准轨道衡在20~40t (含40t) 称量范围内的实际分度值 $d$ 为2kg, 在40 (不含40t) ~100t 称量范围内的实际分度值 $d$ 为5kg。

按均匀分布, 使用公式(7)确定标准轨道衡指示器分辨力引入的不确定度分量 $u_3$ 。

$$u_3 = \frac{d}{2\sqrt{3}} \quad (7)$$

(4) 合成标准不确定度 $u_c$

各不确定度分量不相关，各分量的灵敏度系数均为 1，因此其合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \quad (8)$$

(5) 扩展不确定度  $U$

取  $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c \quad (9)$$

### 3 以 T<sub>6DK</sub> 8066310 和 T<sub>6DK</sub> 8066314 为例进行分析

为满足自动轨道衡和铁道货车超偏载检测装置的检定检测工作，T<sub>6DK</sub> 型检衡车总质量会被配成约为 20t, 50t, 68t, 76t, 84t 五个质量值中的一个。标准轨道衡在 20~40t (含 40t) 称量范围内的最大允许误差

差 MPE 为  $\pm 2\text{kg}$ ，在 40 (不含 40t) ~100t 称量范围内的最大允许误差 MPE 为  $\pm 5\text{kg}$ 。为了验证是否满足检衡车溯源要求，每个质量值都选择了一辆检衡车进行分析，结果均能满足要求。篇幅有限，本文只将名义质量约为 20t 的 T<sub>6DK</sub> 8066310 和名义质量约为 84t 的 T<sub>6DK</sub> 8066314 进行详细描述。

#### 3.1 T<sub>6DK</sub> 8066310 和 T<sub>6DK</sub> 8066314 标准不确定度分量评定

(1) 测量重复性引入的不确定度分量  $u_1$

用标准轨道衡对调量后的 T<sub>6DK</sub> 8066310 和 T<sub>6DK</sub> 8066314 重复称量 10 次，得到结果如表 2。

表 2 T<sub>6DK</sub> 8066310 和 T<sub>6DK</sub> 8066314 重复称量结果表

单位：kg

次数 检衡车	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T <sub>6DK</sub> 8066310	22010	22010	22012	22010	22010	22010	22010	22010	22010	22010
T <sub>6DK</sub> 8066314	82350	82350	82350	82350	82350	82355	82350	82350	82355	82350

T<sub>6DK</sub> 8066310 的测量结果如下：

平均值：22010kg

单次试验标准偏差  $s=0.63\text{kg}$

实际称量是取两次称量的平均值，则

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{2}} = 0.44\text{kg}$$

T<sub>6DK</sub> 8066314 的测量结果如下：

平均值：82350kg

单次试验标准偏差  $s=2.11\text{kg}$

实际称量是取两次称量的平均值，则

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{2}} = 1.49\text{kg}$$

(2) 标准轨道衡引入的不确定度分量  $u_2$

标准轨道衡的扩展不确定度满足  $U \leq \frac{1}{3} | \text{MPE} |$ ，

取  $U = \frac{1}{3} | \text{MPE} |$ ， $k=2$  按照标准轨道衡的稳定性变化

不能超过  $| \text{MPE} |$  得到  $u_{\text{inst}} = \frac{| \text{MPE} |}{2\sqrt{3}}$ 。

T<sub>6DK</sub> 8066310 的质量值为 22010kg，属于 20~40t (含 40t) 的范围内，此时标准轨道衡的最大允许误差

差 MPE 为  $\pm 2\text{kg}$ 。

根据公式 (4) 得，对于 T<sub>6DK</sub> 8066310 标准轨道衡引入的不确定度分量：

$$u_2 = \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{3} \times 2}{2}\right)^2 + \left(\frac{2}{2 \times \sqrt{3}}\right)^2} = 0.67 \text{ kg}$$

T<sub>6DK</sub> 8066314 的质量值为 82350kg，属于 40~100t 的范围内，此时标准轨道衡的最大允许误差 MPE 为  $\pm 5\text{kg}$ 。

根据公式 (4) 得，对于 T<sub>6DK</sub> 8066314 标准轨道衡引入的不确定度分量：

$$u_2 = \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{3} \times 5}{2}\right)^2 + \left(\frac{5}{2 \times \sqrt{3}}\right)^2} = 1.67 \text{ kg}$$

(3) 标准轨道衡指示器分辨力引入的不确定度分量  $u_3$

T<sub>6DK</sub> 8066310 的质量值为 22010kg，属于 20~40t (含 40t) 的范围内，此时标准轨道衡的实际分度值  $d$  为 2kg。

根据公式 (7) 得对于 T<sub>6DK</sub> 8066310，标准轨道衡指示器分辨力引入的不确定度分量：

$$u_3 = \frac{2}{2\sqrt{3}} = 0.58 \text{ kg}$$

$T_{6DK}8066314$  的质量值为 82350kg, 属于 40~100t 的范围内, 此时标准轨道衡的实际分度值  $d$  为 5kg。

根据公式 (7) 得对于  $T_{6DK}8066314$ , 标准轨道衡指示器分辨力引入的不确定度分量:

$$u_3 = \frac{5}{2\sqrt{3}} = 1.44 \text{ kg}$$

(4) 合成标准不确定度  $u_c$

根据公式 (8) 得:

$$T_{6DK}8066310 \quad u_c = \sqrt{0.44^2 + 0.58^2 + 0.67^2} = 1.0 \text{ kg}$$

$$T_{6DK}8066314 \quad u_c = \sqrt{1.49^2 + 1.44^2 + 1.67^2} = 2.7 \text{ kg}$$

(5) 扩展不确定度

根据公式 (9) 得:

$$T_{6DK}8066310 \text{ 测量结果的 } U=2 \times 1.0=2.0\text{kg} \quad (k=2)$$

$$T_{6DK}8066314 \text{ 测量结果的 } U=2 \times 2.7=5.4\text{kg} \quad (k=2)$$

### 3.2 测量不确定度报告

$T_{6DK}8066310$  各不确定度分量汇总结果见表3。

表3  $T_{6DK}8066310$  各不确定度分量汇总一览表

标准不确定度分量				合成标准不确定度	扩展不确定度 ( $k=2$ )
符号	不确定度来源	标准不确定度量值	灵敏度系数	1.0kg	2.0kg
$u_1$	测量重复性	0.44kg	1		
$u_2$	标准轨道衡	0.67kg	1		
$u_3$	标准轨道衡指示器分辨力	0.58kg	1		

$T_{6DK}8066310$  质量值的最大允许误差MPE为  $\pm 3.0 \times 10^{-4}$ 。  
 $T_{6DK}8066310$  的质量值为22010kg, 则此检衡车的最大允许误差MPE为  $\pm 3.0 \times 10^{-4} \times 22010 = \pm 6.603\text{kg}$ 。

$T_{6DK}8066310$  测量结果的扩展不确定度  $u=2.0\text{kg}$  ( $k=2$ )  $< 1/3 \times 6.603 = 2.201\text{kg}$ , 满足溯源要求。

$T_{6DK}8066314$  各不确定度分量汇总结果见表4。

表4  $T_{6DK}8066314$  各不确定度分量汇总一览表

标准不确定度分量				合成标准不确定度	扩展不确定度 ( $k=2$ )
符号	不确定度来源	标准不确定度量值	灵敏度系数	2.7kg	5.4kg
$u_1$	测量重复性	1.49kg	1		
$u_2$	标准轨道衡	1.67kg	1		
$u_3$	标准轨道衡指示器分辨力	1.44kg	1		

$T_{6DK}8066314$  质量值的最大允许误差MPE为  $\pm 3.0 \times 10^{-4}$ 。  
 $T_{6DK}8066314$  的质量值为82350kg, 则此检衡车的最大允许误差MPE为  $\pm 3.0 \times 10^{-4} \times 82350 = \pm 24.705\text{kg}$ 。

$T_{6DK}8066314$  测量结果的扩展不确定度  $u=5.4\text{kg}$  ( $k=2$ )  $< 1/3 \times 24.705 = 8.235\text{kg}$ , 满足溯源要求。

## 4 结语

自动轨道衡和铁道货车超偏载检测装置可以为贸易结算和铁路货运安全保驾护航。检衡车是检定、检测自动轨道衡和铁道货车超偏载检测装置的计量标准, 其溯源的正确与否, 直接关系到自动轨道衡和铁道货车超偏载检测装置称量数据的准确性。本文依据测量过程分析影响检衡车测量结果的因素, 确定检衡车测量结果的不确定度来源。根据标准轨道衡不同的称量范围, 选择了名义质量为 20t 的  $T_{6DK}8066310$  和名

义质量为 84t 的  $T_{6DK}8066314$  进行实例分析。分析结果表明, 标准轨道衡两个测量范围均能满足检定规程要求, 能够开展检衡车的检定工作。

## 参考文献

- [1] JJG 567-2012 轨道衡检衡车 [S].
- [2] JJG 444-2005 标准轨道衡 [S].
- [3] 钱悦磊, 李学宝, 高长律. JJG 567-2012 《轨道衡检衡车检定规程》解读 [J]. 中国计量, 2014 (02): 125-127.

## 作者简介

彭冲 (1991-), 男, 河北省石家庄晋州市人, 管理学硕士, 现工作于中国铁道科学研究院标准计量研究所国家轨道衡计量站, 从事力学计量工作。