

数字指示轨道衡检定结果的不确定度评定

安爱民¹ 高长律¹ 王平²

(1. 国家轨道衡计量站 2. 中铁检验认证中心)

[摘要] 根据不确定度评定中的 GUM 法, 依据 JJG 781-2002《数字指示轨道衡》, 建立了数字指示轨道衡的测量数学模型, 详细分析了测量过程中不同秤量点的各个环节带来的不确定度分量, 最后计算得到相应的测量结果。

[关键词] 计量学 轨道衡 不确定度

1. 引言

数字指示轨道衡(也称为“静态电子轨道衡”)属于静态称量轨道衡的一种, 它是在铁路线上使用的装有电子装置具有数字指示功能, 用于称量静止状态铁路货车的大型衡器, 是列入《中华人民共和国强制检定的工作计量器具明细目录》的强制检定计量器具, 轨道衡的应用遍及铁路、煤炭、冶金、电力、石化等行业, 其量值准确性与企业的经济效益、社会效益, 社会经济发展和铁路运输安全密切相关。本文采用 JJF 1059.1-2012《测量不确定度的评定与表示》^[1] 中的 GUM 法对数字指示轨道衡的测量不确定度进行评定, 验证其满足 JJG 781-2002《数字指示轨道衡》^[2] 的要求。

2. 测量原理和测量设备

2.1 测量原理

数字指示轨道衡的测量对象为铁路的四轴货车, 称量时将被称量的铁路车辆停于轨道衡承载器上, 称重指示器将称重传感器输出的车辆载荷信号进行处理, 转换为质量值, 并显示出称量结果。数字指示轨道衡测量过程示意图见图 1 所示。

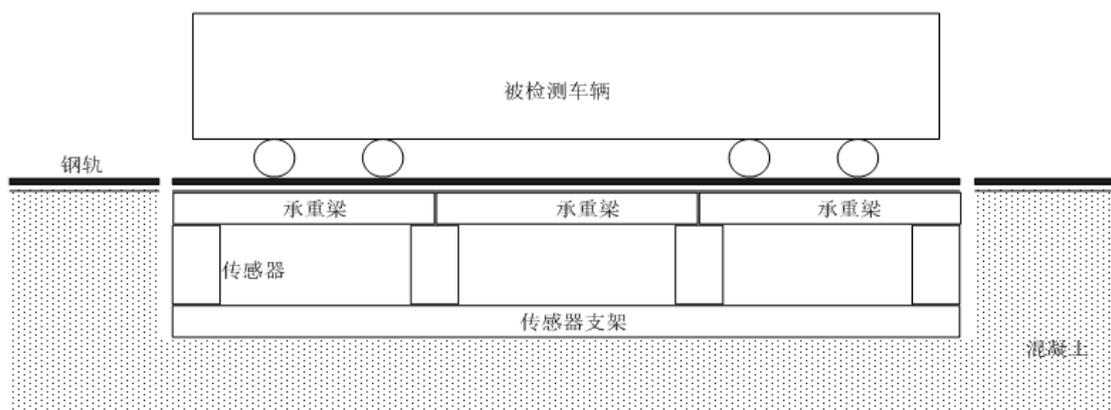


图 1 数字指示轨道衡测量过程示意图

在对数字指示轨道衡进行检定时, 依据 JJG 781-2002《数字指示轨道衡》, 利用我国研制的

T_{6FK} 、 T_7 型砝码检衡车组合成一定质量的载荷加载到轨道衡的承载器上，通过找闪变点方法确定其化整前的示值 P ，计算 P 与 m 之差，即为轨道衡示值误差 E 。因此，测量的模型见公式（1）。

$$E = P - m = I - m + 0.5e - \Delta m \quad (1)$$

式中：

E ——轨道衡称量的示值误差，kg；

P ——化整前的示值，kg；

I ——轨道衡称量的示值，kg；

Δm ——附加的小砝码，kg；

m ——加载检衡车或砝码的质量值，kg。

2.2 主要测量设备与环境条件

主要测量设备为符合 JJG 567-2012《轨道衡检衡车》^[3] 的 T_7 型砝码检衡车，砝码检衡车中另有符合 JJG 99-2006《砝码》^[4] M_1 等级和 M_{12} 等级砝码若干，数字指示轨道衡为 GCS-100 型，检定分度值： $e=d=20\text{kg}$ ，准确度等级：中准确度级 III 级；温度：20℃；湿度：30%。

3. 方差和灵敏系数

由公式（1）得方差传播公式，如下式（2）所示：

$$u^2(E) = c_1^2 u^2(I) + c_2^2 u^2(m) + c_3^2 u^2(\Delta m) \quad (2)$$

式中：

$u(E)$ ——示值误差的测量不确定度，kg；

$u(I)$ ——由轨道衡示值引入的不确定度分量，kg；

$u(m)$ ——由检衡车或标准砝码引入的不确定度分量，kg；

$u(\Delta m)$ ——由附加砝码引入的不确定度分量，kg；

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial E}{\partial I} = 1, c_2 = \frac{\partial E}{\partial m} = -1, c_3 = \frac{\partial E}{\partial \Delta m} = -1$$

因此，公式（2）变为：

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m) + u^2(\Delta m) \quad (3)$$

由于实际测量时附加标准砝码的值和误差均很小，对检定结果的不确定度影响很小，可以忽略不计，因此公式（3）可简化为公式（4）。如下所示：

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m) \quad (4)$$

4. 各输入量的标准不确定度评定

4.1 由轨道衡示值引入的标准不确定度分量 的评定

$u(I)$ 的不确定度主要来源于轨道衡测量重复性和分辨力等因素。

4.1.1 测量的重复性引入的标准不确定度分量 的评定

使用 T₇ 型砝码检衡车中的砝码和砝码小车组合成 18t 和 40t 两个称量点，将砝码和砝码小车加到检衡车中，组合成大于 80t 的称量点 82060kg（其余 240kg 的 M₁ 等级砝码进行用于零点跟踪及闪变点测试使用），各称量点在数字指示轨道衡上进行 3 次重复性称量，得到实测值的测量列：

(1) 18t 最小称量时：

化整前示值 P 为 17998kg、18000kg、18000kg，估计服从正态分布，则单次测量结果的实验标准差 s 为：

$$s = \frac{R}{C} = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{1.69} = 1.2(\text{kg})$$

实际测量中仅测量 1 次，因此 $u_1(I_{18}) = 1.2(\text{kg})$ 。

(2) 40t 称量点时：

化整前示值 P 为 40000kg、40002kg、40002kg，估计服从正态分布，则单次测量结果的实验标准差 s 为：

$$s = \frac{R}{C} = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{1.69} = 1.2(\text{kg})$$

实际测量中仅测量 1 次，因此 $u_1(I_{40}) = 1.2(\text{kg})$ 。

(3) 大于 80t 称量点时：

化整前示值 P 为 82064kg、82062kg、82060kg，估计服从正态分布，则单次测量结果的实验标准差 s 为：

$$s = \frac{R}{C} = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{1.69} = 2.4(\text{kg})$$

实际测量中仅测量 1 次，因此 $u_1(I_{80}) = 2.4(\text{kg})$ 。

4.1.2 由分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(I)$ 的评定

由于轨道衡的示值误差是通过逐个添加 0.1e 的小砝码，采用闪变点法来确定化整前的示值，其不确定度分量可作为均匀分布处理，因此：

$$u_2(I) = \frac{0.1e}{2\sqrt{3}} = \frac{2}{2\sqrt{3}} = 0.58(\text{kg})$$

4.1.3 由标准砝码和检衡车误差引入的标准不确定度分量 $u_3(m)$ 的评定

对应于 18t 和 40t 称量点，使用 T_7 砝码检衡车中的砝码和砝码小车组合成 18t 和 40t，根据 JJG 99-2006《砝码》， M_{12} 等级的砝码及砝码小车的相对最大允许误差为 $\pm 1.0 \times 10^{-4}$ ，因此 18t 称量点时 M_{12} 等级砝码及砝码小车组合的最大允许误差 mpe 为 $\pm 1.8\text{kg}$ ；40t 称量点时 M_{12} 等级砝码及砝码小车组合的最大允许误差 mpe 为 $\pm 4.0\text{kg}$ ；大于 80t 称量时，由检衡车空车和所有 M_{12} 等级砝码组合成总质量 82060kg，50t 的 M_{12} 等级砝码的最大允许误差 mpe 为 $\pm 5.0\text{kg}$ ，空车质量值及部分 M1 等级砝码质量值为 32060kg（由于 M1 等级砝码误差很小，可一并考虑到空车质量中），按照相对最大允许误差 $\pm 1.5 \times 10^{-4}$ 计算，则其最大允许误差 mpe 为 $\pm 4.8\text{kg}$ ，检衡车空车是由标准轨道衡来检定的， M_{12} 等级砝码是由 F_2 等级砝码通过大质量比较仪来检定的，因此视为不相关。按照均匀分布来考虑，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，因此：

(1) 18t 最小称量时：

$$u_3(m_{18}) = \frac{1.8}{\sqrt{3}} = 1.0(\text{kg})$$

(2) 40t 称量点时：

$$u_3(m_{40}) = \frac{4.0}{\sqrt{3}} = 2.3(\text{kg})$$

(3) 大于 80t 称量点时：

$$u_3(m_{80}) = \sqrt{u_3(m_{\text{砝码}})^2 + u_3(m_{\text{空车}})^2} = \sqrt{\left(\frac{5.0}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{4.8}{\sqrt{3}}\right)^2} = 4.0$$

5. 合成标准不确定度的评定

5.1 轨道衡测量时各称量的不确定度分量汇总表如表 2、表 3、表 4。

表 2 18t 称量点时不确定度分量一览表

序号	分量	标准不确定度来源	标准不确定度 (kg)
1	$u_1(I_{18})$	测量的重复性	1.2
2	$u_2(I)$	分辨力	0.58
3	$u_3(m_{18})$	标准砝码	1.0

表 3 40t 称量点时不确定度分量一览表

序号	分量	标准不确定度来源	标准不确定度 (kg)
1	$u_1(I_{40})$	测量的重复性	1.2
2	$u_2(I)$	分辨力	0.58
3	$u_3(m_{40})$	标准砝码	2.3

表 4 大于 80t 秤量点时不确定度分量一览表

序号	分量	标准不确定度来源	标准不确定度 (kg)
1	$u_1(I_{80})$	测量的重复性	2.4
2	$u_2(I)$	分辨力	0.58
3	$u_3(m_{80})$	标准砝码及空车	4.0

5.2 合成标准不确定度的计算

各输入量彼此独立不相关，因此，合成标准不确定度见公式（5）

$$u_c(E) = \sqrt{u(I)^2 + u(m)^2} \quad (5)$$

(1) 18t 最小秤量时：

$$u(E_{18}) = \sqrt{u_1(I_{18})^2 + u_2(I)^2 + u_3(m_{18})^2} = 1.7(\text{kg})$$

(2) 40t 秤量点时：

$$u_c(E_{40}) = \sqrt{u_1(I_{40})^2 + u_2(I)^2 + u_3(m_{40})^2} = 2.7(\text{kg})$$

(3) 大于 80t 秤量点时：

$$u_c(E_{80}) = \sqrt{u_1(I_{80})^2 + u_2(I)^2 + u_3(m_{80})^2} = 4.7(\text{kg})$$

6. 扩展不确定度的评定

依据 JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》的要求，通常取包含因子 $k=2$ 。轨道衡在 18t、40t 和大于 80t 秤量点的扩展不确定度为：

(1) 18t 最小秤量时：

$$U(18) = K \times u_c(E_{18}) = 2 \times 1.7 = 3.4(\text{kg})$$

(2) 40t 秤量点时：

$$U(18) = K \times u_c(E_{40}) = 2 \times 2.7 = 5.4(\text{kg})$$

(3) 大于 80t 秤量点时：

$$U(18) = K \times u_c(E_{80}) = 2 \times 4.7 = 9.4(\text{kg})$$

7. 检定结果不确定度的报告与表示

(1) 18t 最小秤量时，其示值误差测量结果的扩展不确定度 $U(18) = 3.4\text{kg}$ ，包含因子 $k=2$ 。

(2) 40t 秤量点时，其示值误差测量结果的扩展不确定度 $U(40) = 5.4\text{kg}$ ，包含因子 $k=2$ 。

(3) 大于 80t 秤量点时，其示值误差测量结果的扩展不确定度 $U(80) = 9.4\text{kg}$ ，包含因子 $k=2$ 。

8. 结论

对于数字指示轨道衡检定结果不确定度结果表明：不确定度主要来源于重复性、分辨力以及上级

计量标准器带来的不确定度。对于 18t、40t、大于 80t 这三个称量点而言，检定结果满足其相应称量点最大允许误差的 1/3，通过以上分析评定，使用轨道衡检衡车检定数字指示轨道衡是满足要求的。

【参考文献】

[1] JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示 [S].

[2] JJG 781-2002 数字指示轨道衡 [S].

[3] JJG 567-2012 轨道衡检衡车 [S].

[4] JJG 99-2006 砝码 [S].

作者简介：安爱民（1980- ），男，陕西富平县人，工学硕士，副研究员，现工作于中国铁道科学研究院国家轨道衡计量站，从事力学计量工作。

地址：北京市海淀区大柳树路 2 号主楼，

邮政编码：100081，

联系电话：18601193893