

标准轨距铁路轨距尺示值误差的不确定度评定

1 概述

通过对轨距尺示值误差测量结果不确定度评定, 确认规程提出的轨距尺示值误差的技术要求、测量原理、测量条件、测量方法和测量程序的科学性、可行性、经济性。

2 任务和目标不确定度

2.1 测量任务

测量任务是对轨距尺的轨距进行检定。

2.2 目标不确定度

根据计量学原理, 评定轨距示值误差的包含区间宽度(包含概率为95%)与其最大允许误差的绝对值MPEV之比, 应小于或等于1:3。如轨距尺轨距的最大允许误差为 $\pm 0.25\text{mm}$, 考虑到各项经济成本和现场实际情况, 于是得到与规程技术要求相对应的目标不确定度(对应包含区间半宽度(包含概率为95%)) $U_{Tgj} = 0.083\text{mm}$; 0级轨距尺超高的最大允许误差为 $\pm 0.30\text{mm}$, 考虑到各项经济成本和现场实际情况, 于是得到与规程技术要求相对应的目标不确定度(对应包含区间半宽度(包含概率为95%)) $U_{Tgj} = 0.10\text{mm}$;

3 测量方法、程序和条件

3.1 测量方法

①轨距:

分别将检定器调整至轨距测量点1435mm(同时对应查照间隔1391mm和护背距离1348mm), 1410mm, 1425 mm(同时对应查照间隔1381mm和护背距离1338mm), 1445mm(同时对应查照间隔1401mm和护背距离1358mm), 1455mm, 1470mm, 从轨距尺上读取轨距、查照间隔和护背距离的示值, 再读取检定器各轨距测量点复现值。标尺类2级轨距尺轨距测量点应包括: 1435 mm, 1430 mm, 1445 mm, 1455 mm和1470mm。

②超高:

首先把检定器零位水平指示装置调整至零位。

将检定器超高测量点由零位分别调整至 50mm, 100mm, 150mm, 180mm(2 级标尺类轨距尺为 50mm, 100mm, 150mm), 以及其他任意一非零点, 将轨距尺置于检定器测量块顶面之上, 轨距尺超高示值与检定器超高复现值之差即为超高示值误差。

3.2 数学模型

对于轨距测量模型, 轨距示值误差按公式(1)计算。

$$\Delta_{35i} = L_{35i} - (L_{si} - k_t(t - 20^\circ\text{C}))$$

式中:

Δ_{35i} ——第*i*个测量点的示值误差, mm, 其中*i*=1, 2, 3...;

L_{35i} ——第*i*个测量点的轨距尺轨距示值, mm;

L_{si} ——第*i*个测量点的检定器轨距复现值, mm;

k_t ——温度修正系数, 对于铝制尺身的标尺类轨距尺, $k_t = 0.015\text{mm}/^\circ\text{C}$; 对于0级和1级轨距尺, $k_t = 0$;

t ——检定环境实际温度, $^\circ\text{C}$ 。

对于超高测量模型, 轨距尺超高示值与检定器超高复现值之差即为超高示值误差。

$$e_{cg} = H_x - H_0$$

式中:

e_{cg} ——轨距尺的超高示值误差, mm;

H_0 ——检定器的示值, mm;

H_x ——轨距尺的示值, mm。

4 不确定度来源和评定

4.1 数显式轨距尺轨距测量

4.1.1 对于轨距测量, 不确定度分量的说明和计算

4.1.1.1. 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

选用 0 级数显类轨距尺轨距测量点 1470mm, 在重复测量条件下, 用轨距尺检定器连续测量 10 次, 得到读数值为 1469.98mm、1469.98mm、1469.99mm、1469.99mm、1469.98mm、1469.97mm、1469.97mm、1469.98mm、1469.98mm、1469.98mm, 该次测量实验标准差 $s=0.007\text{mm}$

$$u_1 = s = 0.007\text{mm}$$

4.1.1.2. 数显类轨距分辨力引入的标准不确定度分量 u_2

数显类轨距分辨力为 0.01mm, 取其区间半宽 0.005mm, 服从均匀分布, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_2 = 0.005 / \sqrt{3} = 0.0029\text{mm}$$

4.1.1.3. 轨距尺检定器轨距量杆引入的标准不确定度分量 u_3

轨距尺检定器轨距量杆的不确定度由证书得: $l=0.020\text{mm}$, $k=2$, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_3 = 0.020 / 2 = 0.01\text{mm}$$

4.1.1.4. 轨距尺检定器轨距不确定度引入的标准不确定度分量 u_4

块规式轨距尺检定器轨距不确定度为 $l=0.02\text{mm}$, $k=2$, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_4 = 0.02 / 2 = 0.01\text{mm}$$

4.1.1.5. 检定器测量面对其两顶面的垂直度引入的标准不确定度分量 u_5

检定器测量面对其两顶面的垂直度为 0.05mm, 根据检定器的工作特点, 故每个测量面垂直度, 误差的存在使得相应误差值等概率落于估计区间 $(-0.025 \sim 0)\text{mm}$ 内任何处, 即 $0.025/2=0.0125\text{mm}$, 考虑到两端测头的要求相同, 服从均匀分布, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_5 = \sqrt{2} \times 0.0125 / \sqrt{3} = 0.01\text{mm}$$

4.1.1.6. 轨距尺检定器活动测量块纵向摆动引入的标准不确定度分量 u_6

检定器活动测量块纵向摆动不大于 0.01mm, 取其半宽为 0.005mm, 服从均匀分布, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_6 = 0.005 / \sqrt{3} = 0.0029\text{mm}$$

4.1.1.7. 轨距尺检定器偏离标准温度 20°C 引入的标准不确定度分量 u_7

轨距尺检定器的线膨胀系数为 $11.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 轨距尺检定器偏离标准温度 20°C ,

并以等概率落于估计区间 $(-1\sim+1)^\circ\text{C}$ 内任何处, 取其区间半宽 0.3°C , 服从均匀分布, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_7 = (1470 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 1) / \sqrt{3} = 0.0098\text{mm}$$

4.1.1.8. 稳定性引入的标准不确定度分量 u_8

轨距稳定性的允许变化量为 0.02mm , 服从均匀分布, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_8 = 0.02 / \sqrt{3} = 0.012\text{mm}$$

4.1.2 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_8^2} = 0.025\text{mm}$$

4.1.3 扩展不确定度 U

$$U = 0.05\text{mm}, k = 2$$

轨距尺轨距最大允许误差为 $\pm 0.25\text{mm}$, 目标不确定度为 0.083mm , 其扩展不确定满足要求。

4.2 标尺式轨距尺轨距测量

4.2.1 对于轨距测量, 不确定度分量的说明和计算

4.2.1.1. 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

选用2级标尺类轨距尺轨距测量点 1470mm , 在重复测量条件下, 用轨距尺检定器连续测量10次, 得到读数值为 1470.0mm 、 1470.0mm 、 1470.0mm 、 1470.0mm 、 1470.0mm 、 1470.0mm 、 1470.0mm 、 1470.0mm 、 1470.0mm 、 1470.0mm , 该次测量实验标准差 $s=0.0\text{mm}$

$$u_1 = s = 0.0\text{mm}$$

4.2.1.2. 轨距尺检定器轨距量杆引入的标准不确定度分量 u_2

轨距尺检定器轨距量杆的不确定度由证书得: $U=0.020\text{mm}$, $k=2$, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_2 = 0.020 / 2 = 0.01\text{mm}$$

4.2.1.3. 轨距尺检定器轨距示值误差引入的标准不确定度分量 u_3

块规式轨距尺检定器轨距不确定度为 $U=0.02\text{mm}$, $k=2$, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_3 = 0.02 / 2 = 0.01\text{mm}$$

4.2.1.4. 检定器测量面对其两顶面的垂直度引入的标准不确定度分量 u_4

检定器测量面对其两顶面的垂直度为 0.05mm , 根据检定器的工作特点, 故每个测量面垂直度, 误差的存在使得相应误差值等概率落于估计区间 $(-0.025\sim 0)\text{mm}$ 内任何处, 即 $0.025/2=0.0125\text{mm}$, 考虑到两端测头的要求相同, 服从均匀分布, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_4 = \sqrt{2} \times 0.0125 / \sqrt{3} = 0.01\text{mm}$$

4.2.1.5. 轨距尺检定器活动测量块纵向摆动引入的标准不确定度分量 u_5

检定器活动测量块纵向摆动不大于 0.01mm , 取其半宽为 0.005mm , 服从均匀分布, 则由此引入的标准不确定度为

$$u_5 = 0.005 / \sqrt{3} = 0.0029\text{mm}$$

4.2.1.6. 轨距尺检定器与被测轨距尺膨胀系数差引入的标准不确定度分量 u_6

检定器的膨胀系数为 $11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，轨距尺尺身的膨胀系数为 $22.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，偏离标准温度 20°C 的偏差不超过 $\pm 1^\circ\text{C}$ 范围内，服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为

$$u_6 = [1470 \times (22.6 - 11.5) \times 10^{-6} \times 1] / \sqrt{3} = 0.0094\text{mm}$$

4.2.1.7. 轨距检定器与被测轨距尺间的温度差引入的标准不确定度分量 u_7

检定器与轨距尺温度平衡后测量，但实际测量时有一定温度差，温度差在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 范围内，服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为

$$u_7 = (1470 \times 22.6 \times 10^{-6} \times 1) / \sqrt{3} = 0.019\text{mm}$$

4.2.1.8. 稳定性引入的标准不确定度分量 u_8

轨距稳定性的允许变化量为 0.02mm ，服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为

$$u_8 = 0.02 / \sqrt{3} = 0.012\text{mm}$$

4.2.2 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_8^2} = 0.03\text{mm}$$

4.2.3 扩展不确定度 U

$$U = 0.06\text{mm}, k = 2$$

轨距尺轨距最大允许误差为 $\pm 0.25\text{mm}$ ，目标不确定度为 0.083mm ，其扩展不确定满足要求。

4.3 数显式轨距尺超高测量

4.3.1 对于超高测量，不确定度分量的说明和计算

4.3.1.1. 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

选用 0 级数显类轨距尺超高测量点 180mm ，在重复测量条件下，用轨距尺检定器连续测量 10 次，得到读数值为 178.65mm 、 178.65mm 、 178.65mm 、 178.70mm 、 178.65mm 、 178.70mm 、 178.65mm 、 178.65mm 、 178.70mm 、 178.65mm ，该次测量实验标准差 $s=0.024\text{mm}$

$$u_1 = s = 0.024\text{mm}$$

4.3.1.2. 超高分辨力引入的标准不确定度分量 u_2

超高分辨力为 0.05mm ，取其区间半宽 0.025mm ，服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为

$$u_2 = 0.025 / \sqrt{3} = 0.015\text{mm}$$

4.3.1.3. 检定器零位共面性引入的标准不确定度分量 u_3

检定器零位共面性是 0.04mm ，取其区间半宽 0.02mm ，服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为

$$u_3 = 0.02 / \sqrt{3} = 0.012\text{mm}$$

4.3.1.4. 轨距尺检定器超高复现值不确定度引入的标准不确定度分量 u_4

轨距尺检定器超高复现值不确定度为 $U=0.02\text{mm}$ ， $k=2$ ，则由此引入的标准不确定度

为

$$u_4 = 0.02 / 2 = 0.01\text{mm}$$

4.3.1.5. 轨距尺检定器纵向水泡对中误差引入的标准不确定度分量 u_5

检定器纵向水泡的分度值不大于 $20''$ ，由此导致测量块上平面的高度差，服从三角分布，则由此引入的标准不确定度为

$$u_5 = 1505 \times \sin(20/10/3600) / \sqrt{6} = 0.006\text{mm}$$

4.3.1.6. 稳定性引入的标准不确定度分量 u_6

超高稳定性的允许变化量为 0.02mm ，服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为

$$u_6 = 0.02 / \sqrt{3} = 0.012\text{mm}$$

4.3.2 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 0.035\text{mm}$$

4.3.3 扩展不确定度 U

$$U = 0.07\text{mm}, k = 2$$

轨距尺超高最大允许误差为 $\pm 0.30\text{mm}$ ，目标不确定度为 0.10mm ，其扩展不确定满足要求。

4.4 标尺式轨距尺超高测量

4.4.1 对于超高测量，不确定度分量的说明和计算

4.4.1.1. 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

选用 2 级标尺类轨距尺超高测量点 150mm ，在重复测量条件下，用轨距尺检定器连续测量 10 次，得到实际值为 150.2mm 、 150.2mm 、 150.0mm 、 150.2mm 、 150.2mm 、 150.2mm 、 150.0mm 、 150.0mm 、 150.2mm 、 150.2mm ，该次测量实验标准差 $s=0.097\text{mm}$

$$u_1 = s = 0.097\text{mm}$$

4.4.1.2. 检定器零位共面性引入的标准不确定度分量 u_2

检定器零位共面性是 0.04mm ，取其区间半宽 0.02mm ，服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为

$$u_2 = 0.02 / \sqrt{3} = 0.012\text{mm}$$

4.4.1.3. 轨距尺检定器超高复现值引入的标准不确定度分量 u_3

轨距尺检定器超高复现值不确定度为 $U=0.02\text{mm}$ ， $k=2$ ，则由此引入的标准不确定度为

$$u_3 = 0.02 / 2 = 0.01\text{mm}$$

4.4.1.4. 轨距尺检定器纵向水泡对中误差引入的标准不确定度分量 u_4

检定器纵向水泡的分度值不大于 $20''$ ，由此导致测量块上平面的高度差，服从三角分布，则由此引入的标准不确定度为

$$u_4 = 1505 \times \sin(20/10/3600) / \sqrt{6} = 0.006\text{mm}$$

4.4.1.5. 超高稳定性引入的标准不确定度分量 u_5

超高稳定性的允许变化量为 0.02mm，服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为

$$u_5 = 0.02 / \sqrt{3} = 0.012\text{mm}$$

4.4.2 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 0.10\text{mm}$$

4.4.3 扩展不确定度 U

$$U = 0.20\text{mm}, k = 2$$

轨距尺超高最大允许误差为 $\pm 1.20\text{mm}$ ，目标不确定度为 0.40mm，其扩展不确定满足要求。