

《工程测量型视频监测仪 校准规范》

测量不确定度评定报告

《工程测量型视频监测仪校准规范》编写组

2025 年 3 月

F.1 测距示值误差测量结果不确定度评定

F.1.1 测量方法

测距示值误差在室内长导轨标准基线上进行，在距视频监测仪约 4m 处设置起始测点，并在（4~50）m 范围内大致均匀分布 5 个测点。首先测出起始点到视频监测仪的距离，再依次测出其它各测点到视频监测仪的距离，通过比较各测点的相对距离值与标准基线的标准值计算测距示值误差。

F.1.2 测量模型

$$e = \Delta - D \quad (\text{F.1.1})$$

式中：

e ——测距示值误差，mm；

Δ ——测点至起始测点的距离，mm；

D ——测点至起始测点的基线标准值，mm。

F.1.3 方差和灵敏系数

引起测量结果不确定度的各分量彼此独立，故：

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(\Delta) + c_2^2 u^2(D) \quad (\text{F.1.2})$$

灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial e}{\partial \Delta} = 1$ ； $c_2 = \frac{\partial e}{\partial D} = -1$ 。

F.1.4 不确定度分量的评定

F.1.4.1 测量重复性引入的不确定度 u_1

在距视频监测仪约 30m 处安置反射棱镜，用视频监测仪视频画面的十字丝照准反射棱镜中心并测量出距离值，连续读数 10 次，结果为：33.6932m、33.6937m、33.6931m、33.6937m、33.6940m、33.6942m、33.6939m、33.6938m、33.6935m、33.6935m，10 次测量结果根据贝塞尔公式计算标准偏差 s ，由于校准时取 3 次读数的平均值，且需要计算相对起点的距离，则：

$$u_1 = \frac{\sqrt{2}s}{\sqrt{3}} = 0.28\text{mm}$$

F.1.4.2 气象条件引入的不确定度 u_2

长导轨基线以因瓦标准尺为标准器，在室内条件下，气象条件对长导轨基线的影响量很小可忽略不计，但对视频监测仪的光电测距结果有一定的影响，一般

认为温度和气压是光电测距误差的主要影响量，当温度变化 1℃或气压变化 340Pa 时，可产生 10^{-6} 的测距影响。与标准气象条件相比，假设气压的变化为 $\pm 340\text{Pa}$ ，室内温度的变化为 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，在 50m 范围内按均匀分布估计，则：

$$u_2 = \frac{50 \times 10^3 \times 10^{-6} \times (5+1)}{\sqrt{3}} = 0.17\text{mm}$$

F.1.4.3 阿贝误差引入的不确定度 u_3

棱镜安装好后，由于测量轴线不在标准基线的轴线上，存在阿贝误差，假设阿贝误差在 0.2mm 以内，按均匀分布估计，则：

$$u_3 = \frac{0.2 \times 2}{\sqrt{3}} = 0.23\text{mm}$$

F.1.4.4 标准器示值误差引入的不确定度 u_4

根据长导轨标准基线的溯源证书，标准器示值测量结果的扩展不确定度为 $U=3\mu\text{m}+2 \times 10^{-6}L$ ， $k=2$ ，当 $L=50\text{m}$ 时：

$$u_4 = \frac{3 + 2 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^6}{2} = 51.5\mu\text{m} = 0.05\text{mm}$$

F.1.4.5 标准器示值稳定性引入的不确定度 u_5

长导轨基线标准器的年稳定性一般不大于 $0.02\text{mm}+1 \times 10^{-5}L$ ，当 $L=50\text{m}$ 时按均匀分布估计，则：

$$u_5 = \frac{0.02 + 1 \times 10^{-5} \times 50 \times 10^3}{\sqrt{3}} = 0.30\text{mm}$$

F.1.5 标准不确定度一览表

见表 F.1.1。

表 F.1.1 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 u_i		不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)/\text{mm}$	灵敏系数 c_i	$ c_i \times u(x_i)/\text{mm}$
$u(\Delta)$	u_1	测量重复性引入的不确定度	0.28	1	0.28
	u_2	气象条件引入的不确定度	0.17		0.17
	u_3	阿贝误差引入的不确定度	0.23		0.23
$u(D)$	u_4	标准器示值误差引入的不确定度	0.05	-1	0.05
	u_5	标准器示值稳定性引入的不确定度	0.30		0.30

F.1.6 合成标准不确定度

上述各不确定度分量相互独立不相关，则：

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \\ &= \sqrt{0.28^2 + 0.17^2 + 0.23^2 + 0.05^2 + 0.30^2} \\ &= 0.50\text{mm} \end{aligned}$$

F.1.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U = u_c \times k = 0.50 \times 2 = 1.0\text{mm}$$

F.1.8 测量结果不确定度报告

(4~50) m 范围内测距示值误差测量结果不确定度报告为：

$$U=1.0\text{mm}, k=2。$$

F.2 尺寸测量误差测量结果不确定度评定

F.2.1 测量方法

尺寸测量误差以远处标准尺测量为例，在距视频监测仪约 30m 处水平放置标准尺，从实时视频中测量标准尺中一段刻线间的长度，通过比较测出的长度值与标准尺刻线间的长度标准值计算尺寸测量误差。

F.2.2 测量模型

$$\delta = L - A \quad (\text{F.2.1})$$

式中：

δ ——尺寸测量误差，mm；

L ——长度测量值，mm；

A ——标准尺刻线间距长度，mm。

F.2.3 方差和灵敏系数

引起测量结果不确定度的各分量彼此独立，故：

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(L) + c_2^2 u^2(A) \quad (\text{F.2.2})$$

灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial L} = 1$ ； $c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial A} = -1$ 。

F.2.4 不确定度分量的评定

F.2.4.1 测量重复性引入的不确定度 u_1

在距视频监测仪约 30m 处水平放置标准尺，在标准尺中选择一段 1.2m 的刻线间距，用视频监测仪的实时视频测出该段尺寸，重复测量 10 次，测量结果为：1.2022m、1.2023m、1.2027m、1.2025m、1.2024m、1.2026m、1.2021m、1.2025m、1.2021m、1.2028m，10 次测量结果根据贝塞尔公式计算标准偏差 s ，则：

$$u_1 = s = 0.24\text{mm}$$

F.2.4.2 温度偏离引入的不确定度 u_2

标准尺为铝合金材质，当温度偏离其校准温度 20℃ 时会有热膨胀影响，已知铝合金的热膨胀系数为 $23.2 \times 10^{-6} \text{℃}^{-1}$ ，假设温度偏离为 $\pm 10 \text{℃}$ （室外），均匀分布，在标准尺 2m 范围内，则：

$$u_2 = \frac{23.2 \times 10^{-6} \times 10 \times 2 \times 10^3}{\sqrt{3}} = 0.27\text{mm}$$

F.2.4.3 标准器误差引入的不确定度 u_3

标准尺厘米分度任意两刻线间距误差不大于 $\pm 0.6\text{mm}$ ，按均匀分布估计，则：

$$u_3 = \frac{0.6}{\sqrt{3}} = 0.35\text{mm}$$

F.2.5 标准不确定度一览表

见表 F.2.1。

表 F.2.1 标准不确定度一览表

标准不确定度 分量 u_i		不确定度来源	标准不确定度 值 $u(x_i)$ /mm	灵敏系数 c_i	$ c_i \times u(x_i)$ /mm
$u(L)$	u_1	测量重复性引入的不确定度	0.24	1	0.24
$u(A)$	u_2	温度引入的不确定度	0.27	-1	0.27
	u_3	标准器引入的不确定度	0.35		0.35

F.2.6 合成标准不确定度

上述各不确定度分量相互独立不相关，则：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0.24^2 + 0.27^2 + 0.35^2} = 0.50\text{mm}$$

F.2.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U = u_c \times k = 0.50 \times 2 = 1.0\text{mm}$$

F.2.8 测量结果不确定度报告

(0~2) m 范围内尺寸测量误差测量结果不确定度报告为：

$$U=1.0\text{mm}, k=2。$$

F.3 位移监测误差测量结果不确定度评定

F.3.1 测量方法

位移监测误差采用直线位移装置进行测量，在距视频监测仪约 30m 处放置直线位移装置及监测标靶。直线位移装置的前后位移轴与视频监测仪的测距光轴平行，监测标靶的靶面朝向视频监测仪。首先让视频监测仪测量出监测标靶的初始位置，然后在直线位移装置的一个轴上移动一位移参考值，再由视频监测仪读取监测靶标的移动位移，通过比较读取的位移值与位移参考值计算位移监测误差。下面以监测标靶上下移动为例对位移监测误差测量结果进行不确定度评定。

F.3.2 测量模型

$$\sigma = H - S \quad (\text{F.3.1})$$

式中：

σ ——位移监测误差，mm；

H ——靶标位移监测值，mm；

S ——位移参考值，mm。

F.3.3 方差和灵敏系数

引起测量结果不确定度的各分量彼此独立，故：

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(H) + c_2^2 u^2(S) \quad (\text{F.3.2})$$

灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \sigma}{\partial H} = 1$ ； $c_2 = \frac{\partial \sigma}{\partial S} = -1$ 。

F.3.4 不确定度分量的评定

F.3.4.1 测量重复性引入的不确定度 u_1

选择一段标准位移 20mm，用视频监测仪读取该段位移值，重复读取 10 次，测量结果为：19.5mm、19.3mm、19.0mm、19.7mm、19.0mm、19.4mm、19.8mm、19.1mm、19.0mm、19.5mm，10 次测量结果根据贝塞尔公式计算标准偏差 s ，因取 3 次读数平均值，则：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.17\text{mm}$$

F.3.4.2 标准器误差引入的不确定度 u_2

位移装置误差不大于 $\pm 0.2\text{mm}$ ，按均匀分布估计，则：

$$u_2 = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12\text{mm}$$

F.3.5 标准不确定度一览表

见表 F.3.1。

表 F.3.1 标准不确定度一览表

标准不确定度 分量 u_i		不确定度来源	标准不确定度 值 $u(x_i)$ /mm	灵敏系数 c_i	$ c_i \times u(x_i)$ /mm
$u(H)$	u_1	测量重复性引入的不确定度	0.17	1	0.17
$u(S)$	u_2	标准器引入的不确定度	0.12	-1	0.12

F.3.6 合成标准不确定度

上述各不确定度分量相互独立不相关，则：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.17^2 + 0.12^2} = 0.21\text{mm}$$

F.3.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U=u_c \times k = 0.21 \times 2 \approx 0.5\text{mm}$$

F.3.8 测量结果不确定度报告

(0～50) mm 范围内位移监测误差测量结果不确定度报告为：

$$U=0.5\text{mm}, k=2。$$
