

中华人民共和国工业和信息化部
建材计量技术规范

JJF (建材) XXXX-202X

基桩入土深度计校准规范

Calibration Specification for Pile-Soil Depth Meter

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

基桩入土深度计

校准规范

JJF(建材) XXXX—202X

Calibration Specification for

Pile-Soil Depth Meter

归口单位：

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国建材工业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和定义.....	(1)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
8 校准结果表达.....	(7)
9 复校时间间隔.....	(8)
附录A.....	(9)
附录B.....	(10)
附录C.....	(11)

引 言

本规范按JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》,JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》进行编写,根据JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》的要求评定不确定度,参考了JGJ 106-2014《建筑基桩检测技术规范》、JGJ/T 422-2018《既有建筑地基基础检测技术标准》、JGJ/T 152-2019《混凝土中钢筋检测技术标准》和DB32/T 4397-2022《钢筋混凝土桩中钢筋笼长度检测技术规程》中相关定义和技术内容。

本规范为首次发布。

基桩入土深度计校准规范

1 范围

本规范适用于基桩入土深度计的系统校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

JJF 1094-2002 测量仪器特征评定

JJG 1-1999 钢直尺检定规程

JJG 237-2010 秒表

GB/T 9056-2004 金属直尺

JGJ 106-2014 建筑基桩检测技术规范

JGJ/T 422-2018 既有建筑地基基础检测技术标准

JGJ/T 152-2019 混凝土中钢筋检测技术标准

DB32/T 4397-2022 钢筋混凝土桩中钢筋笼长度检测技术规程

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

3 术语和定义

3.1 基桩入土深度计 Pile-Soil Depth Meter

用于测量基桩入土深度的专用工具，由测量轮、旋转编码器、传感器电缆、数字显示器等部件组成，其中连接传感器自重的电缆是深度（垂直状态）测量器件。

3.2 标记段 Tag segment

电缆通过已配装200cm长钢直尺的测量支架，模拟实际工况下的电缆松弛状态，依次锁定两端夹持器，在电缆做等长度标记。

3.3 测量段 Measurement segment

电缆上至少5个连续的标记段。

3.4 测量轮标线 Measurement wheel marking point

安装在旋转编码器上的测量轮，轮上某一位置的径向线段，标线宽度不大于0.5mm，用于确定测量段的起始/结束点。

3.5 刚性测量支架 Rigid Measurement Bracket

用于夹持调节传感器电缆，一端带有滑轮，能够利用计量钢尺测量电缆在连接传感器自重状态下的长度。

4 概述

基桩入土深度计中，进入检测通道的连接各类传感器的电缆是主要深度测量器件。通过传感器电缆与安装在旋转编码器上测量轮之间的摩擦，将电缆的直线上下移动带动旋转编码器旋转并计数，进而通过数字显示器的显示功能，组成系统的入土深度测量器具。

基桩入土深度是基桩声波透射法、磁测井法、基桩成孔质量检测等方法中的必要测量参数，其测量结果能够表征基桩的入土深度及基桩内部缺陷的竖向位置。其准确度是由旋转编码器、测量轮、数字显示器和连接传感器的一体电缆以及移动速度等各种要素相互作用的系统结果。

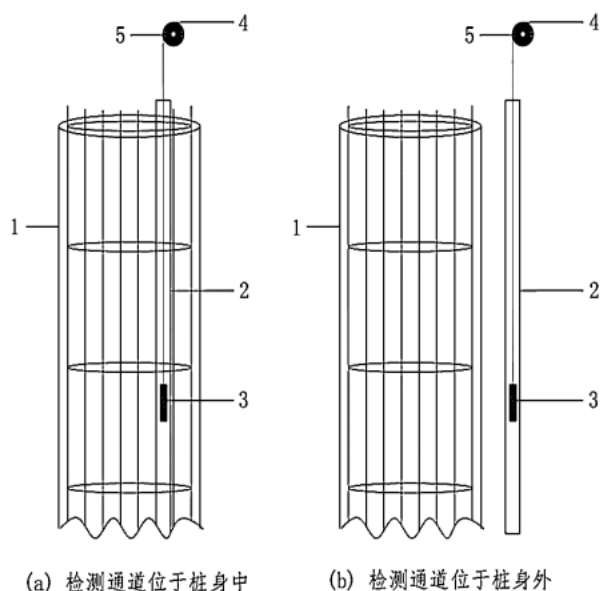


图1 桩身入土深度检测示意图

1——基桩 2——检测通道 3——传感器 4——电缆 5——测量轮

5 计量特性

5.1 示值漂移

在规定的校准条件下，1分钟内示值漂移不大于1cm。

5.2 示值变动性

重复测量同一深度点，示值变动性不大于1cm。

5.3 示值误差

不大于测量段长度1%。

5.4 回程误差

同一深度点正反向测量值之差的绝对值不大于测量段长度0.2%。

注1:对计量特性另有要求的深度计，按有关技术文件规定的要求进行校准。

注2:以上指标要求还应符合各类测试设备整机的合格性判断。

6 校准条件

6.1 环境条件

兼容户外相关各种检测方法，且无影响校准结果的振动、电磁干扰等。

6.2 校准用标准器具及其他设备

表1 校准用标准器具及其他设备

标准器名称	技术要求	对应标准
钢直尺	测量范围：0cm~200cm 允许误差：±0.35mm 分度值：1mm	JJG 1-1999钢直尺检定规程
电子秒表	测量范围：0s~35999s 允许误差：1h±0.1s 分度值：0.01s	JJG237-2010秒表
刚性测量支架	带夹持器（净间距≤200cm）、滑轮及钢直尺卡槽	/
标记笔	红色、油性标记笔，笔迹宽度≤0.5mm	/

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

表2 校准项目

序号	校准项目
1	示值漂移
2	示值变动性
3	示值误差
4	回程误差

7.2 校准原理

保持客户原有连接各类传感器的一体电缆、带有标线的测量轮、旋转编码器、数字显示器和户外作业工况的条件，利用工程已有的垂直检测通道，在检测通道上方架设刚性测量支架，连接传感器的电缆通过测量支架两端的夹持器及滑轮进入检测通道，确保连接传感器的电缆松弛状态与实际工况一致，依次锁定两端夹持器，然后用红色油性记号笔在电缆200cm处做等长度标记。

然后松开夹持器，电缆在同样工况状态下，依次每200cm通过刚性测量支架两端夹持器，使用刚性测量支架上的钢直尺，测量并在电缆做等长标记，连续标记5段，形成1000cm的测量段。

然后，将已标记的电缆测量段回收，将该测量段顺序通过测量轮进入检测通道，在该测量段起始/结束标记通过测量轮标线时读取数据，按照不大于0.25m/s的平均速度匀速提升（或下降）电缆。将实际获取的客户深度计上显示的数据，与1000cm测量段比对，计算其两者的误差。

校准的关键是，按照客户实际连接传感器自重后的电缆松弛状态进行基桩入土深度计的系统校准，同时约定电缆的提升（或下降）运动速度，注明校准时的环境条件，不计电缆老化和测量轮磨损等因素的影响。

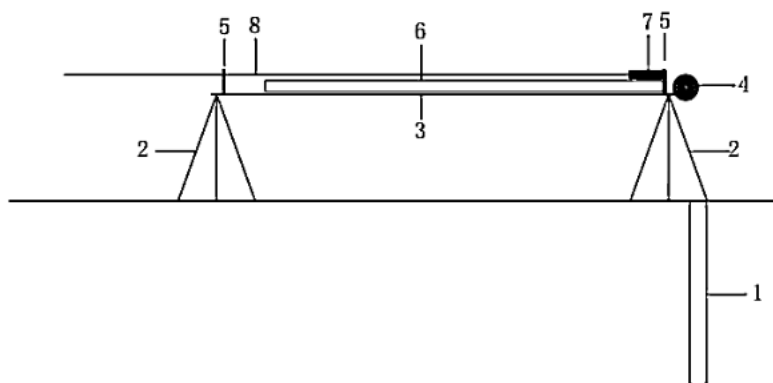


图2.1 首段标记段量取示意图

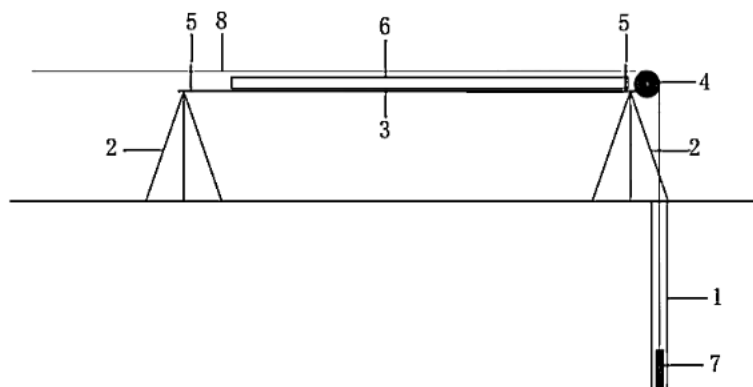


图2.2 其余标记段量取示意图

图2 标记段量取示意图

- 1——检测通道 2——支架 3——刚性测量支架 4——滑轮
5——夹持器 6——钢直尺 7——传感器 8——电缆

7.3.1 校准前准备

7.3.1.1 检查基桩入土深度计外观，确认其测量轮、旋转编码器、数字显示器等工作正常，并在测量轮某一位置做清晰标线。

7.3.1.2 检查传感器及电缆，确认其集成一体、表面无影响电缆长度的扭结、损伤。

7.3.1.3 检查测量轮与电缆接触面，确认无油污、灰尘等影响运动的物质。

7.3.1.4 记录校准日期、时间、温度。按照使用说明书对深度计进行预热和初始化。

7.3.1.5 测量支架设置

a. 在工程现场设刚性测量支架，测量支架应稳固，保证连接传感器的电缆能够垂直进入检测通道。

b. 在刚性测量支架卡槽处安装200cm钢直尺。

7.3.1.6 传感器电缆准备

a. 将传感器电缆通过刚性测量支架的夹持器及滑轮，传感器进入已有检测通道。

c. 依次锁定两端夹持器，确保电缆受力与工作状态一致。

d. 采用200cm钢直尺量取等长度电缆，用标记笔在电缆两端进行清晰标记。

e. 然后解锁两端夹持器，传感器电缆在自重作用下移动。

f. 重复c, d, e步骤，连续标记5段，总长度为1000cm，作为一测量段，确认每一测量段的起始点和结束点。

7.3.1.7 测量段数量

当传感器电缆长度不大于25.0米时，至少取一个测量段；当传感器电缆长度大于25.0m且不大于60.0m时，至少取两个测量段；当传感器电缆长度大于60.0m时，至少取三个测量段。

7.3.2 示值漂移

7.3.2.1 校准步骤

a. 将传感器电缆穿过测量轮，提升传感器，使测量段的起始标记与测量轮标线重合。

b. 保持传感器电缆完全静止，启动深度计测量功能，记录初始读数 F_0 。

c. 在1分钟时间内，每间隔10秒读取一次深度计示值(F_i)，共读取7个示值（包括初始读数）。

7.3.2.2 数据处理

示值漂移按公式(1)计算：

$$\Delta\beta = |F_i - F_0| \quad (1)$$

式中：

$\Delta\beta$ ——示值漂移（取各时刻示值的最大值、最小值，分别与初始读数计算差值，取两差值中的较大值的绝对值。），cm/min；

F_i ——1分钟内示值最大值和最小值，cm；

F_0 ——示值初始读数，cm。

7.3.3 示值变动性

对同一测点重复测量10组，计算每组深度计示值的差值，取其最大值作为示值变动性。

7.3.3.1 校准步骤

a. 将传感器电缆通过测量轮，在测量段上任意选择一个标记。

b. 启动深度计测量功能，提升传感器，当测量段标记与测量轮标记点重合时，记录深度计示值 F_{i-1} 。

c. 继续提升传感器至一定高度（高度 $\leq 0.5\text{m}$ ），稳定5s后下降传感器，当标记与测量轮标记点重合时，记录深度计示值 F_{i-2} 。

d. 重复步骤b、c，测量10组深度计示值（ F_{i-1} ， F_{i-2} ）。

7.3.3.2 数据处理

传感器升降前后每组深度计示值之差按公式（2）计算：

$$\Delta F_i = |F_{i-2} - F_{i-1}| \quad (2)$$

式中：

ΔF_i ——第*i*组示值之差，cm

F_{i-1} ， F_{i-2} ——复位前、后第*i*组两次深度计示值，cm

示值变动性按公式（3）计算：

$$\Delta F = \Delta F_{\max} \quad (3)$$

式中：

ΔF ——示值变动性，cm

ΔF_{\max} ——示值之差最大值，cm

7.3.4 示值误差校准

7.3.4.1 校准步骤

a. 将传感器电缆水平置于刚性测量支架上，确保电缆受力与工作状态一致，依次锁定两端夹持器，通过钢直尺依次测量传感器末端至测量段的起始点之间的距离为 L_0 。

b. 下降传感器，当测量段起始点与测量轮上标线重合时，在深度计上设置初始深度为 L_0 ，继续下降传感器，直至测量段结束点与测量轮标线重合时，记录深度计示值 L_{i-1} 。

c. 提升传感器，当测量段起始点与测量轮线重合时，记录深度计示值 L_{i-2} 。

d. 重复步骤b、c，测量3次深度计示值。

7.3.4.2 数据处理

深度计长度示值按公式（4）计算

$$L'_i = L_{i-1} - L_{i-2} \quad (4)$$

式中

L'_i ——深度计长度示值，cm

L_{i-1} 、 L_{i-2} ——深度计在测量段结束点和起始点分别与测量轮上标线重合时示值，cm

深度计示值平均值按公式（5）计算

$$\bar{L} = \frac{\sum L'_i}{n} \quad (5)$$

示值误差按公式（6）计算

$$\delta = \frac{|\bar{L} - L|}{L} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

δ ——示值误差，%

L ——测量段长度，1000cm

7.3.5 回程误差

7.3.5.1 校准步骤

a. 将传感器电缆穿过测量轮，启动深度计测量功能，提升传感器；

b. 当测量段结束点与测量轮标线重合时，设置深度计读数为0，继续提升，当测量段起始点与测量轮标线重合时，记录深度计示值 F_{S-i} 。

c. 下降传感器，当测量段起始点与测量轮标线重合时，记录深度计示值 F_{X-i} 。

d. 重复步骤b、c，记录3组深度计示值（ F_{S-i} ， F_{X-i} ）。

7.3.5.2 数据处理

深度计示值正反向读数差值按公式（7）计算

$$\Delta h_i = |F_{X-i} - F_{S-i}| \quad (7)$$

式中：

Δh_i ——深度计示值正反向读数差值，cm

F_{X-i} ——传感器向下移动至某标记时，第i组深度计示值，cm

F_{S-i} ——传感器向上移动至某标记时，第i组深度计示值，cm

深度计示值正反向读数差值平均值公式（8）计算

$$\overline{\Delta h} = \frac{\sum \Delta h_i}{n} \quad (8)$$

回程误差按公式（9）计算

$$\varepsilon = \frac{\overline{\Delta h}}{L} \times 100\% \quad (9)$$

式中：

ε ——回程误差，%

L ——测量段长度，1000cm

7.3.6 不确定度的评定：

根据JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》规定给出测量结果的不确定度。

8 校准结果表达

经校准的基桩入土深度计发给校准证书，校准结果内容见附录A，证书中至少应包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同)；
- d) 证书的唯一性标识(如编号)、每页及总页数的标识；
- e) 委托单位名称和地址；
- f) 设备的名称、制造商、型号规格、编号；
- g) 进行校准的日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效期说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 校准证书或校准报告签发人签名或等效标识；
- m) 校准人和核验人签名；
- n) 校准结果仅对该被校对象有效的声明；
- o) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书。

9 复校时间间隔

复校时间间隔是由仪器的使用情况、仪器本身质量和相应检测技术要求等诸因素所决定的。

使用者可根据实际使用情况，自主决定复校时间间隔。

考虑到传感器电缆存在老化和温度影响，建议复校时间间隔不超过6个月。

附录A

校准报告内页格式

校 准 结 果

项目	技术要求	校准结果			备注
1. 示值漂移 (cm/min)					
2. 示值变动性 (cm)					
3. 示值误差		校准深度段 (cm)	示值 (cm)	示值误差 (%)	U= (k=2)
4. 回程误差 (%)					
注意：此校准报告妥善保存，下次校准时须出示此证					

校准内容以下结束

校准原始记录

型号	规格	编号	制造商
----	----	----	-----

状况：新制/使用中/修理后

示值漂移										不确定 (cm)			
初始值 (cm)	维持1min示值 (cm)						U= (k=2)						
	10s	20s	30s	40s	50s	60s							
示值变动性													
	1	2	3	4	5	6				7	8	9	10
正测示值													
反测示值													
示值误差													
校准段 (cm)	传感器末端至测量段起始点距离 (cm)		项目	1	2	3							
			测量段结束点示值 (cm)										
			测量段起始点示值 (cm)										
回程误差													
项目		1		2		3							
正行程示值 (cm)													
回程示值 (cm)													
钢卷尺编号: _____													
计量检定有效期: _____													

校准依据

校准员

核验员

校准日期_____年_____月_____日

附录C

桩基入土深度计（基桩声波透射仪）示值误差测量结果不确定度分析实例

C.1 测量方法

C.1.1 测量原理

基桩入土深度计是用于测量基桩入土深度的专用工具，主要由传感器电缆和测量轮、旋转编码器、数字显示器等部件组成。在保持实际使用工况的条件下，利用钢直尺作为标准器，在传感器电缆上标记1000cm测量段，以不大于0.25m/s的速度通过深度计测量轮，读取深度计显示值，与标准值进行比较，计算示值误差。

C.1.2 测量过程

1. 使用200cm钢直尺（MPE：±0.35mm）在传感器电缆上标记1000cm测量段。
2. 控制电缆以不大于0.25m/s的速度通过深度计测量轮。
3. 读取深度计显示值，记录数据。
4. 重复测量3次，取平均值作为测量结果。
5. 计算示值误差。

C.1.3 测量数据

以1000cm测量段为例，重复测量3次，测量数据如下表：

表C.1 示值误差测量值

测量次数	标准值 L_s (cm)	显示值 L_d (cm)	示值误差 δ (cm)	相对误差 δ_{rel} (%)
1	1000	1004	4	0.4
2	1000	1002	2	0.2
3	1000	1005	5	0.5
平均值	1000	1003.67	3.67	0.367

C.2 数学模型

C.2.1 示值误差计算公式

$$\delta = L_d - L_s \quad (C.1)$$

式中：

δ —示值误差，cm；

L_d —深度计显示值，cm；

L_s —测量段长度, cm

C.2.2 相对示值误差计算公式

$$\delta_{rel} = \frac{L_d - L_s}{L_s} \times 100\% \quad (C.2)$$

C.2.3 不确定度传播公式

由于 L_d 和 L_s 相互独立, 示值误差的不确定度传播公式为:

$$u_c(\delta) = \sqrt{u^2(L_d) + u^2(L_s)} \quad (C.3)$$

C.3 合成标准不确定度计算公式

根据不确定度来源分析, 示值误差的合成标准不确定度为各分量的方和根:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \quad (C.4)$$

式中:

u_1 —钢直尺示值误差引入的不确定度分量;

u_2 —标记对齐误差引入的不确定度分量;

u_3 —读数分辨力引入的不确定度分量;

u_4 —测量重复性引入的不确定度分量;

u_5 —速度控制引入的不确定度分量;

u_6 —温度影响引入的不确定度分量;

C.4 不确定度评定

C.4.1 不确定度来源分析

根据测量原理和测量过程, 示值误差测量结果的不确定度主要来源于:

1. 钢直尺示值误差引入的不确定度分量 u_1 ;
2. 标记对齐误差引入的不确定度分量 u_2 ;
3. 读数分辨力引入的不确定度分量 u_3 ;
4. 测量重复性引入的不确定度分量 u_4 ;
5. 速度控制引入的不确定度分量 u_5 ;
6. 温度影响引入的不确定度分量 u_6 ;

C.4.2 标准不确定度分量评定

C.4.2.1 钢直尺示值误差引入的不确定度分量 u_1

钢直尺最大允许误差为 $\pm 0.35\text{mm}$ (0.035cm)，服从均匀分布，包含因子 $K = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = 0.035\text{mm} / \sqrt{3} = 0.0202\text{cm}$$

自由度 $\nu_1 = 50$ 。

C. 4. 2. 2 标记对齐误差引入的不确定度分量 u_2

测量时，钢直尺与被测电缆标记对齐最大误差估计为 $\pm 0.5\text{mm}$ (0.05cm ，两端合计)，服从均匀分布，包含因子 $K = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = 0.05\text{mm} / \sqrt{3} = 0.0289\text{cm}$$

自由度 $\nu_2 = 12$ 。

C. 4. 2. 3 深度计读数分辨力引入的不确定度分量 u_3

深度计分辨力为 1cm ，服从均匀分布，区间半宽为 0.5cm ，包含因子 $K = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_3 = 0.5 / \sqrt{3} = 0.2887\text{cm}$$

自由度 $\nu_3 \rightarrow \infty$ 。

C. 4. 2. 4 测量重复性引入的不确定度分量 u_4

根据3次重复测量数据，计算实验标准差：

示值误差平均值： $\bar{\delta} = 3.67\text{cm}$

单次实验标准差： $S(\delta) = \sqrt{\sum (\delta_i - \bar{\delta})^2 / (n-1)} = 1.5275\text{cm}$

由于实际测量以3次测量平均值为结果，故：

$$u_4 = S(\delta) / \sqrt{3} = 1.5275 / \sqrt{3} = 0.8819\text{cm}$$

自由度 $\nu_4 = n-1 = 2$ 。

C. 4. 2. 5 电缆移动速度控制引入的不确定度分量 u_5

电缆移动速度要求为不大于 0.25m/s ，控制误差为 $\pm 0.05\text{m/s}$ 。对于 1000cm 测量段，速度变化引起的测量误差估计为 $\pm 2\text{cm}$ ，服从均匀分布，包含因子 $K = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_5 = 2 / \sqrt{3} = 1.1547\text{cm}$$

自由度 $\nu_5 = 5$ 。

C. 4. 2. 6 环境温度影响引入的不确定度分量 u_6

环境温度变化 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，钢直尺热膨胀系数 $\alpha = 11.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，对 1000cm 测量段的影响为：

$$\Delta_l = L_s \times \alpha \times \Delta T = 1000 \times 11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 5 = 0.0575\text{cm}$$

服从均匀分布，包含因子 $K = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_6 = 0.0575 / \sqrt{3} = 0.0332 \text{ cm}$$

自由度 $\nu_6 = 12$ 。

C.4.3 标准不确定度分量汇总

表C.2 标准不确定度分量汇总

不确定度来源	符号	不确定度分量 (cm)	自由度
钢尺示值误差	u_1	0.0202	50
标记对齐误差	u_2	0.0289	12
读数分辨力	u_3	0.2887	∞
测量重复性	u_4	0.8819	2
速度控制	u_5	1.1547	5
温度影响	u_6	0.0332	12

C.4.4 合成标准不确定度计算

各不确定度分量互不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2)}$$

$$u_c = \sqrt{(0.0202^2 + 0.0289^2 + 0.2887^2 + 0.8819^2 + 1.1547^2 + 0.0332^2)}$$

$$= 1.4822 \text{ cm}$$

C.4.5 有效自由度计算

采用Welch-Satterthwaite公式计算有效自由度：

$$\nu_{eff} = u_c^4 / \sum [u_i^4 / \nu_i]$$

$$\nu_{eff} = 1.4822^4 / \left(\frac{0.0202^4}{50} + \frac{0.0289^4}{12} + \frac{0.2887^4}{\infty} + \frac{0.8819^4}{2} + \frac{1.1547^4}{5} + \frac{0.0332^4}{12} \right)$$

$$\approx 7.34$$

有效自由度 $\nu_{eff} \approx 7.34$ ，取整为7。

C.4.6 扩展不确定度评定

C.4.6.1 包含因子确定

根据有效自由度 $\nu_{eff} = 7$ ，置信概率 $p = 95\%$ ，查t分布表得：

$$k_{95}=t_{95}(7)=2.365$$

C.4.6.2 扩展不确定度计算

$$U_{95}=k_{95}\times u_c=2.365\times 1.4822=3.5054\text{cm}$$

修约后取： $U_{95}=3.5\text{cm}$ ($k=2.365$)

C.4.6.3 相对扩展不确定度计算

对于1000cm测量段，相对扩展不确定度为：

$$\begin{aligned}U_{95\text{rel}} &= (U_{95}/L_s) \times 100\% \\ &= (3.5/1000) \times 100\% \\ &= 0.35\%\end{aligned}$$