《TDR土壤水分监测仪校准规范》

不确定度评定报告

**TDR土壤水分监测仪校准规范起草组**

**2025年3月**

目录

[一、工作原理 1](#_Toc192172391)

[二、校准程序 1](#_Toc192172392)

[（一）校准条件 1](#_Toc192172393)

[（二）校准项目和校准方法 2](#_Toc192172394)

[三、校准结果及不确定度计算 6](#_Toc192172395)

[（一）校准方法概述 6](#_Toc192172396)

[（二）测量模型 6](#_Toc192172397)

[（三）不确定度来源和不确定度分量评定 6](#_Toc192172398)

[（四）合成标准不确定度 8](#_Toc192172399)

[（五）扩展不确定度 8](#_Toc192172400)

# 一、工作原理

时域反射仪是利用特高频电磁波在土壤中的传导特性来测定土壤含水量的仪器。仪器发出一个电压脉冲，其上升沿极快，从同轴电缆传到插入土壤的传感器探针。TDR一般具有2～3根平行探针，组成一个波导传输线，土壤是其电介质。传输中，脉冲信号遇到电介质阻抗发生变化之地点，一部分信号会反射回来，这样的反射尤其会发生在探针的起始、终端两点。测量出起始、终端之间的传输时间t，由探针长L即可以计算出电磁波的传播速度v。再计算出介电常数ε。由介电常数推算体积含水量。

# 二、校准程序

# （一）校准条件

1.环境条件

（1）温度：(5~40) ℃；

（2）相对湿度：不超过95%（40 ℃）；

（3）校准过程中TDR土壤水分监测仪不应受到强磁场和强电场的干扰。

2.标准器及其他设备

（1）电子天平

称重范围：1g~3000g；最大允许误差±0.01g；等级：Ⅱ级。。

（2）环刀

不带边，高50mm，允许误差0~+0.25%，内径50.46mm，最大允许误差±0.08%。

（3）烘箱

控温范围：0℃~110℃。

（4）辅助工具

环刀手柄、铝盒、削土刀、专用桶、橡皮锤、铁锤、铲刀、喷水壶、筛子等。

# （二）校准项目和校准方法

1.校准项目

表1校准项目

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 校准项目 |
| 1 | 测量准确度 |
| 2 | 测量重复性 |

2.校准方法

2.1测量准确度

2.1.1土样选取

a）土样选取可根据校准需要选用不同质地的土壤，主要包括砂土、壤土、黏土等土壤；

b）土样宜选用理化性状较为稳定，一致性较好，便于实际校准时保持同一基准条件的土壤。

2.1.2土样预处理

取足量的土壤去除根系、杂草、砾石等杂质平铺在阴凉通风处并阴干，直到可过筛为止，将土碾碎，碾碎后土壤颗粒宜不大于5mm。将碾碎后的土壤放入电动振动筛中，电动振动筛宜分为两层，上层为孔径2mm的土壤筛，下层孔径为1mm的土壤筛，过筛后获得备用土样。

2.1.3制备特定含水量土样方法

1. 校准时，宜制备不少于4组含水量的标准土样，对应体积含水量区间为0～10%、10%～20%、20%～30%、30%～40%，饱和含水量较低的土壤，土样含水量制备到饱和即可；
2. 制备前应确定需要配置的土柱直径、土柱高度，并计算土柱体积；
3. 根据土壤的容重、土柱体积和目标体积含水量区间，计算所需水和备用土壤重量；
4. 用分辨力为0.01g的电子天平分别称取所需重量的水和备用土壤；
5. 将称取的水和备用土壤混合并搅拌均匀，放入密封容器中平衡24 h。

2.1.4土柱装填方法

预制含水量土样静置24h后，取出搅拌均匀，分多层装填。每层装入的土样量依据分层数量平均分配土样，分层压实。压实土样应保持压实均匀性，装填完成后应用保鲜膜将土样容器口密封，防止水分蒸发。管式仪器应在土柱装填过程中提前置入土样容器，针式仪器可在测量时插入土样。

2.1.5土样取样方法

仪器数据采集完成后，在标准土样内选取不少于3处未经扰动过的土壤位置；将环刀刃口向下放在土样上，将环刀垂直向下压，至土样高于环刀上刀口，使用切土刀削去两端土并修平，将取出土样放入铝盒中，用精度为0.01g的电子天平称取土样质量；实验过程应及时称重，避免待测土样水分流失。

2.1.6土样烘干方法

将称重后的土样和铝盒一起放入电热恒温干燥箱中烘干，烘箱温度应设置在105℃（±2℃），持续恒温24h至恒重。

2.1.7计算测量准确度

测量准确度用绝对误差的平均绝对值来表示，应按照公式（1）计算。

 (1)

式中：

n——测量次数，应不少于6次；

——绝对误差的平均绝对值；



——第i次测量的体积含水量。



——标准体积含水量，应按公式（2）计算。



(2)

式中：

——为烘干法的重量含水量，应按公式（3）计算。



（3）

式中：

Q1——为烘干前土的重量（g）；

Q2——为烘干后土的重量（g）。

——为土壤干容重，应按公式（4）计算。



（4）

式中：

Q2——为烘干后土的重量（g）；

V——为取样的总体积（cm3）。

2.1.8测量重复性

测量重复性用实验标准差来表示，按公式（4）计算。

(5)

式中：

――实验标准差；



――第i次测量结果；



――n次测量的平均值；



# 三、校准结果及不确定度计算

# （一）校准方法概述

电子天平称得的土壤中水的重量含水量与干容重的乘积得到土壤中水的体积含水量作为标准值，与被校仪器示指作比较，计算两者之间的误差。

按照校准规范要求，在0%～40%含水量区间内取4个校准点 每个校准点重复校准6次。

# （二）测量模型

在含水量区间范围内，示值误差为：



式中：-绝对误差，单位：%；-被校仪器示指平均值，单位：%；-标准值，单位：%。

# （三）不确定度来源和不确定度分量评定

1. 电子天平示指误差引入的标准不确定度

由电子天平检定证书可知。装置在0g~1000g时的最大误差为0.02g，则半宽为0.02g，假设均匀分布，相对标准不确定度为



2. 被测量的测量结果的重复性（即测量结果的离散性）引起的相对标准不确定度（）

在含水量0%～10%、10%～20%、20%～30%、30%～40%四个区间内，每个区间选择一个含水量土样作为校准点，共4个校准点，每个校准点校准6次。根据校准规范要求分别计算各个流速校准点的重复性误差，计算结果如表2所示，

表2测量误差校准记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准值（%） | 测量值（%） | | | | | | 平均值（%） | 准确度  （≤2%） | 重复性  （≤1%） |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 8.36 | 7.5 | 7.2 | 7.3 | 7.6 | 7.4 | 7.5 | 7.4 | 0.94 | 0.15 |
| 2 | 16.70 | 16.2 | 16.0 | 16.4 | 16.3 | 16.3 | 16.6 | 16.3 | 0.40 | 0.20 |
| 3 | 26.87 | 28.3 | 28.2 | 27.6 | 27.7 | 28.2 | 27.6 | 27.9 | 1.06 | 0.30 |
| 4 | 39.78 | 39.4 | 39.3 | 39.2 | 39.5 | 39.2 | 39.2 | 39.3 | 0.48 | 0.13 |

由原始数据可得：在标准土样含水量为8.36%时，重复性为0.15 %，在标准土样含水量为16.70%时，重复性为0.20%。

采用A类方法评定。

选择土壤含水量为8.36%作为校准点，在短时间内重复测量6次，得到的测量结果为：7.5%、7.2%、7.3%、7.6%、7.4%、7.5%，由贝塞尔公式计算得：

，

选择土壤含水量为16.70%作为校准点，在短时间内重复测量6次，得到的测量结果为：16.2%、16.0%、16.4%、16.3%、16.3%、16.6%，由贝塞尔公式计算得：

，

3. 被测仪器分辨力引入的标准不确定度

被测仪器的分辨力为0.1%，区间半宽为0.05%，假设均匀分布，则



1. 环刀误差引入的不确定度

由SL110-2014 切土环刀校验方法知。环刀的误差要求高50mm，允许误差0~+0.25%，内径50.46mm，最大允许误差±0.08%。

环刀体积

假设均匀分布，=*0.15*%

# （四）合成标准不确定度

电子天平示指误差引入的标准不确定度远小于其余3个分量的不确定度，输入量彼此独立不相关，所以合成相对不确定度可按下式计算得到，选择土壤含水量16.70%为校准点，计算如下



# （五）扩展不确定度

取扩展因子 k=2，选择土壤含水量16.70%为校准点，则相对扩展不确定度为



按照上述计算方法，四个不同含水量土样校准点的扩展不确定度计算结果如下表3：

表3 扩展不确定度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 校准点（%） | 8.36 | 16.70 | 26.87 | 39.78 |
| 测量结果的不确定度（*k*=2） | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 |