

# 中华人民共和国农业行业标准

NY/T 4375—2023

## 一体化土壤水分自动监测仪技术要求

Technical requirements for automatic soil moisture-monitoring  
instruments with integrated design

2023-04-11 发布

中华人民共和国农业农村部 发布





目 次

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 结构、组成和可靠性 ..... 1

    4.1 结构..... 1

    4.2 组成..... 2

    4.3 可靠性 ..... 2

5 实验室要求 ..... 2

    5.1 通用要求 ..... 2

    5.2 传感器 ..... 3

    5.3 数字终端 ..... 3

6 试验方法 ..... 4

    6.1 试验要求 ..... 4

    6.2 试验方法的内容 ..... 4

7 现场使用 ..... 5

    7.1 田间检验要求 ..... 5

    7.2 田间试验 ..... 6

    7.3 考核验收 ..... 7

附录 A(资料性) 田间测量准确度试验 ..... 9

参考文献 ..... 12

# 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由农业农村部市场与信息化司提出。

本文件由农业农村部农业信息化标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中国农业大学、全国农业技术推广服务中心、北京市农林科学院智能装备技术研究中心、爱迪斯新技术有限责任公司、河南瑞通水利工程建设集团有限公司、四川长虹电器股份有限公司、河南黄河水文勘测设计院。

本文件主要起草人：石庆兰、杜森、吴勇、钟永红、张钟莉莉、沈欣、陈广锋、李道亮、凌毅立、杨佩中、孙龙清、郑文刚、曹春燕、王科、阳丹。



# 一体化土壤水分自动监测仪技术要求

## 1 范围

本文件规定了一体化土壤水分自动监测仪的组成、技术要求和试验方法。  
 本文件适用于一体化土壤水分自动监测仪(以下简称“监测仪”)的研发、设计制造、检测和使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 2423.18 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Kb:盐雾,交变(氯化钠溶液)
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP 代码)
- GB/T 9359 水文仪器基本环境试验条件及方法
- HJ 613 土壤 干物质和水分的测定 重量法
- NY/T 1121.4 土壤检测 第4部分:土壤容重的测定
- NY/T 1782 农田土壤墒情监测技术规范
- NY/T 3180 土壤墒情监测数据采集规范
- SL/T 364 土壤墒情监测规范
- SL/T 810—2021 土壤水分监测仪器检验测试规程

## 3 术语和定义

HJ 613、NY/T 1121.4、NY/T 1782、SL/T 364 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**一体化土壤水分自动监测仪 automatic soil moisture-monitoring instruments with integrated design**

一种将模拟传感器、数字终端及供电单元等功能模块高度集成并进行一体化设计,用于土壤含水量自动监测的测量装置。

### 3.2

**率定公式 calibration formula**

在不同含水量条件下,对被测土壤采用人工取土烘干法测得土壤含水量与监测仪输出电信号参量进行最小二乘法回归分析,所拟合出的函数关系式。

[来源:SL/T 364—2015,3.14,有修改]

## 4 结构、组成和可靠性

### 4.1 结构

监测仪的结构主要包括太阳能板、电池、数字终端电路板、传感器检测电路板、感知探头等,其结构示意图见图1。

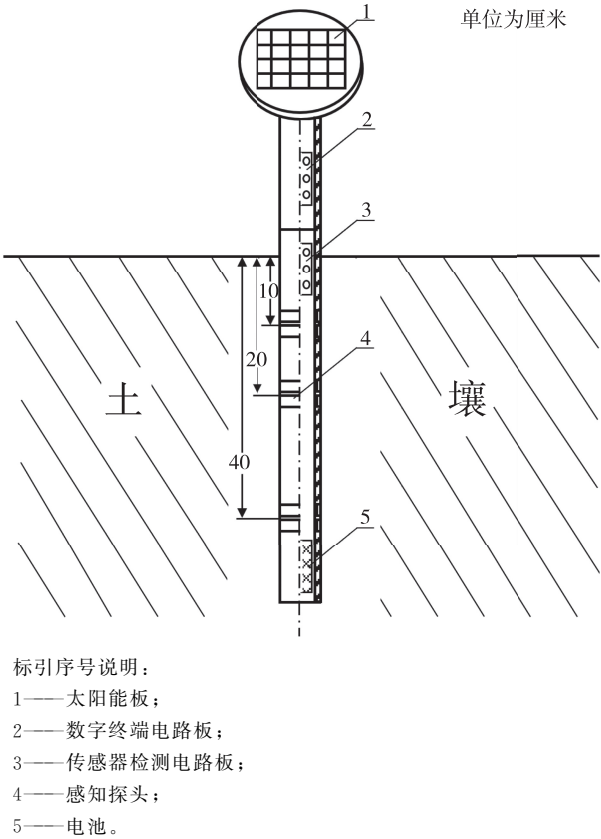


图 1 监测仪结构示意图

4.2 组成

监测仪由传感器、数字终端及电源等单元组成，其组成框图见图 2。

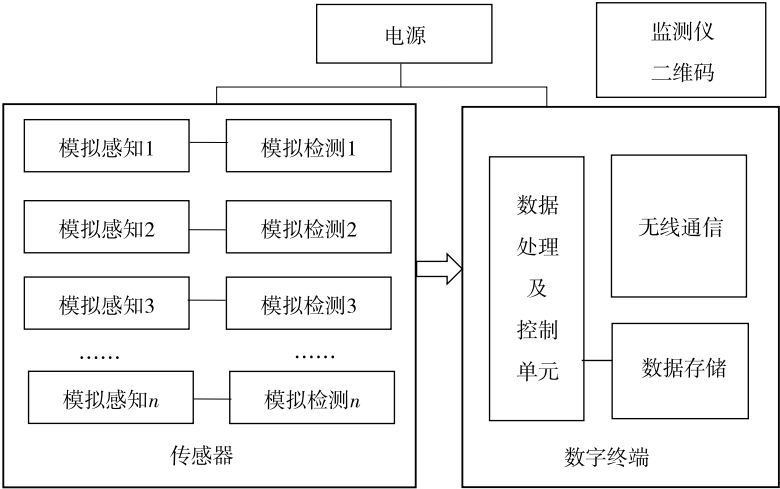


图 2 监测仪组成框图

4.3 可靠性

监测仪平均无故障工作时间(MTBF)应不小于 16 000 h。

5 实验室要求

5.1 通用要求

5.1.1 外观

监测仪的接插件及线缆(供电线缆及通信线缆等)都应合理布置在设备机壳内部,不应裸露在机壳外,

安装时不宜有现场布线。

### 5.1.2 环境适应性

监测仪应能适用下列工作环境：

- a) 温度： $-30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：不低于 95% (40  $^{\circ}\text{C}$  时，无凝露)。

### 5.1.3 电源适应性

#### 5.1.3.1 工作电压

监测仪应采用直流供电；电压：4.0 V, 5.0 V, 允许偏差  $-10\%\sim 10\%$ 。

#### 5.1.3.2 功耗

监测仪静态值守电流应不大于 1 mA；工作电流应不大于 300 mA。

### 5.1.4 防腐蚀

监测仪应能在下列盐雾测试条件下，外观无色变、破损并正常工作：

- a) 温度： $(35\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) pH: 6.5~7.2；
- c) 盐雾溶液浓度： $5\%\pm 0.1\%$ ；
- d) 沉降量： $1\text{ mL/h}\sim 2\text{ mL/h}$ ；
- e) 喷雾时长不少于 48 h。

### 5.1.5 外壳防护等级(IP 等级)

监测仪外壳防护等级应达到 IP68。

### 5.1.6 水密性

监测仪最高点浸入水下应低于水面 1 m，浸水压力不低于 0.01 MPa，浸入水中时间不少于 48 h，各部件连接处应保持良好的密封且能正常工作。

## 5.2 传感器

### 5.2.1 测量范围

监测仪传感器测量范围为  $0\%\sim 60\%$  (体积含水量)。

### 5.2.2 分辨力

监测仪传感器分辨力为  $0.1\%$  (体积含水量)。

### 5.2.3 测量准确度

实验室条件下测量值与烘干法相比较的绝对误差应符合下列要求：

- a) 体积含水量在不大于 15% 时，误差范围为  $-1.5\%\sim 1.5\%$ ；
- b) 体积含水量在大于 15% 时，误差范围为  $-2.5\%\sim 2.5\%$ 。

## 5.3 数字终端

### 5.3.1 无线通信

监测仪的无线通信应采用广域物联网通信技术，通信信道应在 4G、5G 中选用。

### 5.3.2 数据采集与传输

监测仪数据采集与传输应符合 NY/T 3180 的规定。

### 5.3.3 数据存储

监测仪在通信中断情况下应存储数据，固态存储芯片容量不应低于 8 MB，通信恢复后应自动补发数据。

### 5.3.4 联机调试功能

#### 5.3.4.1 移动终端自查

监测仪应配置包含服务器地址及设备 ID 号的二维码。可通过移动终端微信扫码或 App 软件自行检查传感器、数字终端及数据平台联机工作情况，土壤水分与土壤温度大于 0 为正常工作状态。

自查包括但不限于各感知探头、电量、网络信号等内容。

5.3.4.2 远程控制

监测仪应具备远程接收并执行下列控制命令的功能：

- a) 修改采集频次：修改数据采集频次(默认 1 次/h)，最小频次为 1 次/5 min；
- b) 参数设置：可远程设置监测仪率定公式系数；
- c) 远程升级：可通过服务器对监测仪软件程序进行远程在线升级。

6 试验方法

6.1 试验要求

6.1.1 试验前可对受检监测仪进行常规性能检查测试，试验过程中不应调整监测仪。

6.1.2 试验使用的仪器仪表或试验装置，有计量要求的应经过定期检定或校准，并取得合格证书且在有效期内使用。

6.1.3 自制试验装置，应进行自校准或检验合格后方可使用。

6.1.4 试验用的仪器仪表或装置，其准确度指标应高于监测仪相关参数指标的准确度指标。

6.2 试验方法的内容

6.2.1 通用要求

6.2.1.1 外观

通过实际操作和目测检查，记录测试情况。

6.2.1.2 环境适应性

按 GB/T 9359 规定的相关试验方法进行试验，检查并记录监测仪的工作情况。

6.2.1.3 电源适应性

6.2.1.3.1 工作电压

用数字万用表测量电源电压。联机测试，在电压拉偏时，检查并记录监测仪的工作情况。

6.2.1.3.2 功耗

用数字万用表分别测量数字终端休眠时静态值守电流、数据发送时的工作电流，记录测试结果。

6.2.1.4 防腐蚀

按 GB/T 2423.18 中规定的试验方法进行检测，检查并记录监测仪工作情况。

6.2.1.5 外壳防护等级(IP 等级)

按照 GB/T 4208 规定的试验方法进行检测，检查并记录监测仪工作情况。

6.2.1.6 水密性

将监测仪进行浸水试验，检查并记录监测仪工作情况。

6.2.2 传感器

6.2.2.1 测量范围

将监测仪分别插入饱和黏质土壤样本中和纯水中测得 2 次土壤体积含水量，测量最大值按公式(1)进行估算，记录测试情况。

$$\theta_{\max} = \theta_s + (\theta_w - \theta_s) \times 20\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\theta_{\max}$  ——测量值的最大值，用百分数表示(%)；

$\theta_s$  ——饱和黏质土壤样本中所测得的土壤体积含水量，用百分数表示(%)；

$\theta_w$  ——纯水中所测得的土壤体积含水量，用百分数表示(%)。

注：测量最小值：空气中的值为 0。

6.2.2.2 分辨力

检查监测仪测量值，查验并记录数值。



6.2.2.3 测量准确度

监测仪测量准确度按下列步骤进行：

- a) 按 SL/T 810—2021 中 6.3 规定的标准土样制备要求与步骤，分别制备体积含水量为 7%±3%、15%±3%、25%±3% 的土壤样本，高饱和含水量的土壤可适当增加样本数量；
- b) 采用容积为 100 cm<sup>3</sup> 的环刀对上述样本取样，并按 HJ 613 描述的方法进行测定，测定结果数值上等于被测样本的体积含水量；
- c) 将监测仪分别插入上述被测样本中查看测量值，并与烘干法测定值相减即为测量绝对误差；
- d) 记录测试情况。

6.2.3 数字终端

6.2.3.1 无线通信

开机后通过移动终端扫二维码或 App 软件查看通信组网方式，记录测试情况。

6.2.3.2 数据采集与传输

按 NY/T 3180 规定进行数据采集与传输功能测试，记录测试情况。

6.2.3.3 数据存储

屏蔽数字终端使之无法发送数据，将监测仪复位并重新发送，反复 2 次～3 次，解除屏蔽后检查接收端数据补发情况，记录测试情况。

6.2.3.4 联机调试功能

6.2.3.4.1 移动终端自查

通过移动终端扫二维码或 App 软件检查监测功能，开机后用手紧握感知探头直到数据发送为止，依次轮流手握其他探头逐个检查，按表 1 的规定，填写功能检查结果。

表 1 功能检查记录

功能检测项	土壤水分	土壤温度	电量	网络信号	采集时间
第 1 感知探头					当前时间（年、月、日、 时、分、秒）
第 2 感知探头					
第 3 感知探头					
... ..					
第 $n$ 感知探头					
备注	检查项正常:√;不正常:×				

6.2.3.4.2 远程控制

在数据平台软件中按下述方法对监测仪进行远程控制功能测试，记录测试情况：

- a) 修改采集频次：在用户终端软件中将默认的采集频次修改为 1 次/5 min，查看接收数据间隔是否正确，查看后设置为期望的采集频次；
- b) 参数设置：打开用户终端软件中的公式参数设置，公式的系数是否可置数；
- c) 远程升级：通过通信软件对监测仪嵌入式微处理器程序发布升级命令，并将新程序上传至监测仪，自动重启后远程查看监测仪软件版本号是否更新。

7 现场使用

7.1 田间检验要求

7.1.1 田间校准

监测仪在田间首次应用或重新更换监测位置时，需要在被测点重新取土对率定公式进行田间校准。

7.1.2 干容重的测定

在待测土壤监测点旁边，分层取土测定土壤干容重，土层深度应与监测层深度相一致。按 NY/T 1121.4 规定的方法测定。

7.1.3 土壤含水量的公式转换

采用人工取土烘干法与监测仪测量值相比较时,应采用相同的含水量表示法(体积含水量或质量含水量)。如果不相同,应按公式(2)进行转换。

$$\theta_v = \theta_m \rho_s \dots\dots\dots (2)$$

式中:  
 $\theta_v$  ——被测土壤体积含水量,用百分数表示(%);  
 $\theta_m$  ——被测土壤质量水量,用百分数表示(%);  
 $\rho_s$  ——土壤容重。

7.1.4 工具、材料准备

准备烘箱、电子天平(0.01 g)、盛土样铝盒、环刀、环刀柄、削土刀、锤子、米尺、铁锹、对比观测记载簿、专用取土钻(筒钻)、计算机等。

7.2 田间试验

7.2.1 监测仪的安装

- 监测仪在田间使用按下述步骤安装:
- a) 按照监测仪探头管径及深度用取土钻在被测点位置钻孔,并在各监测深度位置取样土各 40 g~50 g 以备计算容重;
  - b) 取出的其余土壤去除根系、砾石等杂质,用水调和成黏稠状泥浆并回填进钻孔中,将监测仪插入钻孔泥浆中,上下插拔几次排出其中的空气;
  - c) 开机并通过移动终端查看数据平台是否正常。

7.2.2 人工采样

田间公式率定及测量准确度分析都需要通过人工采样、烘干后的测定值与监测仪的测量值相比较,人工采样按下述步骤进行:

- a) 以监测仪为圆心做一个半径为 75 cm 的围堰并拍实,以备灌水用,见图 3。

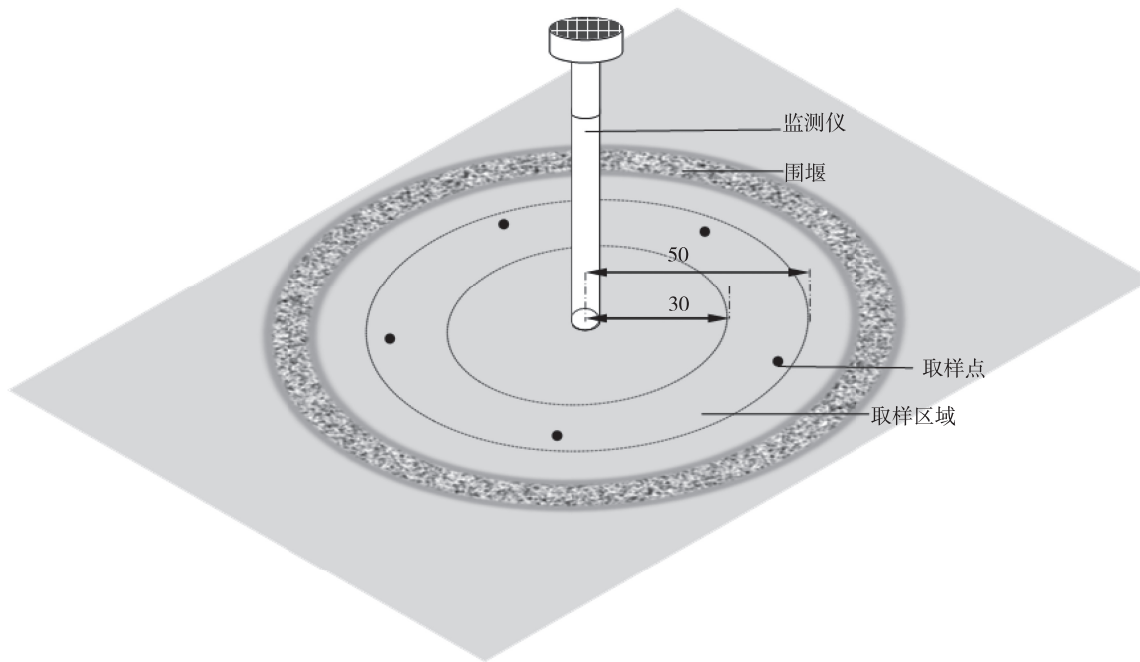


图 3 野外检测现场示意图

- b) 向围堰内缓慢均匀地灌水,当水淹到围堰处暂停灌水,待水下去一些后继续灌水,在平台读取灌水数据直至 40 cm 深度的水分饱和(含水量不增加)。
- c) 以监测仪为圆心,半径为 30 cm 和 50 cm 的弧线内,每次需在 5 条垂线上各取 3 个深度 10 cm、20 cm、40 cm 一共采集 15 个土样(各 50 g 左右),土样采集完即刻称重。
- d) 剩余土柱不要丢弃,要按结构装回原来的土层中并用筒钻压实。如果钻孔尚未填满,需另外取土

将其填平、压实，并用小木棍做上标记，下次取样应避开这些采样点。

- e) 每次取完土样后定量向监测仪周围注水，8 h~10 h 后再取样、再注水，直到土壤饱和。一般注水 3 次~4 次后能满足 40 cm 层也能达到饱和。
- f) 在对比观测期间，实时观察监测仪含水量变化的过程线及测量值的变化，确定土壤水分有较大变化时再取样（体积含水量变化百分数不小于 3）。在每次取样的同时，现场填写田间相对误差原始记载簿，现场记录人工采样时刻的监测仪测量值，记录表格可参照附录 A 中的表 A. 2。

7.2.3 率定公式的田间校准

田间校准后的率定公式按公式(3)计算。

$$y' = mf(x) + n \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $m、n$  ——待测土壤中校准后率定公式平移系数，可参照 A. 1 的方法计算；
- $x$  ——率定公式中的自变量、监测仪的输出电信号参量；
- $f(x)$  ——监测仪校准前的率定公式。

7.2.4 田间测量准确度

7.2.4.1 要求

田间测量准确度应符合下列要求：

- a) 体积含水量不大于 15% 时，测量绝对误差范围为 -1.5%~1.5%；
- b) 体积含水量在 15%~30% 时，测量绝对误差范围为 -3%~3%；
- c) 体积含水量在大于 30% 时，测量绝对误差范围为 -4%~4%；
- d) 田间测量准确度按公式(4)、公式(5)计算。

$$\delta_A = \theta_{v烘} - \theta_{v仪} \dots\dots\dots (4)$$

$$\delta_R = \frac{\theta_{v烘} - \theta_{v仪}}{\theta_{v烘}} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- $\delta_A$  ——绝对误差的数值，单位为百分号(%)；
- $\delta_R$  ——相对误差的数值，单位为百分号(%)；
- $\theta_{v烘}$  ——烘干法测量土壤体积分含水量的数值，单位为百分号(%)；
- $\theta_{v仪}$  ——监测仪测量土壤体积分含水量的数值，单位为百分号(%)。

7.2.4.2 原始记录

将监测仪田间测量准确度原始记录填入表 A. 2 中，然后与烘干法测定值进行比较，计算田间测量准确度。

7.2.4.3 检验

田间测量误差检测结果按表 A. 3 统计，判定监测仪的田间测量准确度是否满足要求。

7.3 考核验收

7.3.1 考核

7.3.1.1 安装调试好的监测仪应进行运行考核，考核按供需双方约定的书面方案进行。

7.3.1.2 监测仪的考核应包括但不限于下列内容：

- a) 实验室抽检情况；
- b) 监测仪现场安装的规范性；
- c) 现场安装所需时长；
- d) 率定公式的田间校准及验证报告；
- e) 田间测量准确度检验结果；
- f) 监测仪试运行期间的数据曲线图；
- g) 考核周期内的故障发生率；

h) 备品备件的库存和质量验收情况。

### 7.3.2 验收

7.3.2.1 监测仪完成安装调试和考核并通过验收后,方可正式投入运行。

7.3.2.2 监测仪建设项目应根据国家或工业工程项目验收的相关规定,以及供需双方约定的验收方案进行验收。

附 录 A  
(资料性)  
田间测量准确度试验

A.1 率定公式

由于质地不同、容重不同而导致实验室初始的率定公式在田间发生“偏移”，偏移关系见图 A.1。图中实曲线是实验室率定公式，虚曲线是待测土壤平移校准后的率定公式。

监测仪初始率定公式符合公式(A.1)，经待测土壤校准后的监测仪率定公式符合公式(A.2)。

$$y = f(x) \dots\dots\dots (A.1)$$
$$y' = my + n \dots\dots\dots (A.2)$$

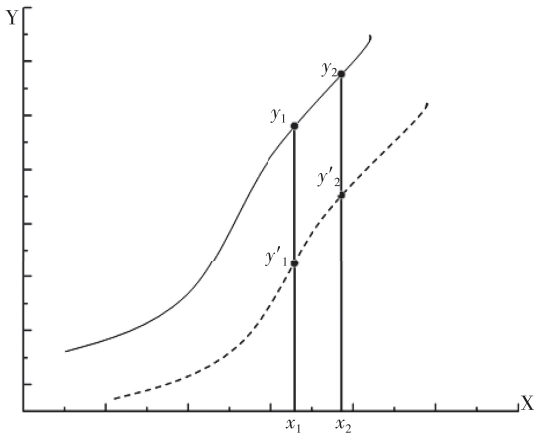


图 A.1 监测仪在不同土壤中的偏移关系

A.2 率定公式演算

分别在土壤较干和较湿时各取 1 次土，按公式(A.3)、(A.4)、(A.5)计算  $m$ 、 $n$  的值，演算过程中的测量公式及平移系数计算，填入表 A.1。

$$\begin{cases} y'_1 = my_1 + n \\ y'_2 = my_2 + n \end{cases} \dots\dots\dots (A.3)$$
$$m = \frac{y'_1 - y'_2}{y_1 - y_2} \dots\dots\dots (A.4)$$
$$n = \frac{y_1 y'_2 - y_2 y'_1}{y_1 - y_2} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

- $m$ 、 $n$  ——待测土壤中校准后率定公式平移系数；
- $x_1$  ——第一次取土时监测仪的电压值；
- $y_1$  ——第一次取土时采用初始公式计算的土壤含水量；
- $x_2$  ——第二次取土时监测仪的电压值；
- $y_2$  ——第二次取土时采用初始公式计算的土壤含水量；
- $y'_1$  ——第一次取土时刻采用烘干法获得的待测土壤实际含水量；
- $y'_2$  ——第二次取土时刻采用烘干法获得的待测土壤实际含水量。

表 A.1 测量方程的田间率定系数表

设备 ID	取土时刻	取土深度 cm	初始公式				烘干法		平移系数	
			$x_1$	$y_1 = f(x_1)$	$x_2$	$y_2 = f(x_2)$	$y'_1$	$y'_2$	$m = \frac{y'_1 - y'_2}{y_1 - y_2}$	$n = \frac{y_1 y'_2 - y_2 y'_1}{y_1 - y_2}$
		10								
		20								
		40								
田间校准后的率定公式为： $y' = mf(x) + n$										

A.3 田间测量准确度原始记录表

田间测量准确度原始记录按表 A.2 格式填写，田间测量误差检测结果统计按表 A.3 格式填写。

表 A.2 田间测量准确度原始记录表

监测仪型号：		监测地点：      市(县)                      乡(镇)                      村(屯)																	
测次：		观测时间：		年	月	日	时	分	烘干温度：105℃		烘干时间：		日	时	分	~	日	时	分
烘干法	监测深度	10 cm					20 cm					40 cm							
	垂线号	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤			
	铝盒编号																		
	盒重+ 湿土重量 g																		
	盒重+ 干土重量 g																		
	铝盒重量 g																		
	干土重量 g																		
	水分重量 g																		
	土壤质量 含水量 %																		
	平均土壤 质量含水量 %																		
	平均土壤 体积含水量 %																		
	土壤干容重 g/cm <sup>3</sup>																		
监测 仪法	土壤体积 含水量 %																		
绝对误差 %																			
相对误差 %																			
土壤质地																			
备注：如果监测仪的测量方程是体积含水量，烘干法需要乘以干容重换算为体积含水量，再与监测仪比较。																			

表 A.3 田间测量误差检测结果统计表

监测仪型号：                      监测地点：                      市(县)                      乡(镇)                      村(屯)

序号	检测时间	深度 cm	土壤体积含水量百分数(%)		相对误差 %	合格否
			烘干法	监测仪法		
1	年/ 月/ 日/ 时/ 分	10				
		20				
		40				
		.....				
2	年/ 月/ 日/ 时/ 分	10				
		20				
		40				
		.....				
3	年/ 月/ 日/ 时/ 分	10				
		20				
		40				
		.....				
.....	.....	10				
		20				
		40				
		.....				
备注	对比观测次数要求:一般不少于3组数据,相邻2次观测点的含水量变化百分数不小于3。					

参 考 文 献

- [1] GB/T 28418 土壤水分(墒情)监测仪基本技术条件
-