

ICS 07.060

CCS N93

团体标准

T/CHES XXX—20XX

时域反射法土壤水分监测仪器

Time domain reflectometry soil moisture monitoring instrument

（征求意见稿）

请将您发现的有关专利信息及支持性文件随意见一并反馈

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

目 次

前言	IV
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般规定	2
5 工作原理和结构组成	2
5.1 工作原理	2
5.2 组成	3
6 基本参数及性能特征	4
7 技术要求	5
7.1 外观	5
7.2 工作环境适应性	5
7.3 测量范围	5
7.4 测量准确度	5
7.5 测量重复性	6
7.6 测量能力与抗电导率干扰性	6
7.7 工作电流	6
7.8 电源适应性	6
7.9 绝缘性能	6
7.10 防腐蚀性	6
7.11 外壳防护等级	7
7.12 机械环境适应性	7
8 土样及氯化钾溶液制备	7
8.1 试验土样制备	7
8.2 氯化钾溶液的制备	8
9 试验方法	8
9.1 试验要求	8
9.2 主要试验设备及试剂	9
9.3 试验方法内容	9
10 检验规则	11
10.1 出厂检验	11
10.2 型式检验	11

11	标志和使用说明书	12
11.1	标志	12
11.2	使用说明书	12
12	包装、运输、贮存	12
12.1	包装	12
12.2	运输	12
12.3	贮存	13
13	安装、运行和维护	13
13.1	插针式探针	13
13.2	运行和维护	13
附录 A	（资料性） 土壤水分监测常用参数查询表	14

前 言

根据中国水利学会团体标准制修订计划安排，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。

本文件的发布机构对于专利的范围、有效性和验证资料不提出任何看法。专利持有人应向本文件的发布机构保证，他愿意同任何申请人在合理和非歧视的条款和条件下，就使用授权许可证进行谈判。自本文件发布实施之日起，专利持有人未在本文件发布机构进行专利许可备案的，因使用本文件而发生专利侵权的，本文件发布机构不应承担任何责任。

本文件由中国水利学会提出并归口。

本文件由中国水利学会负责解释。

本文件起草单位：天津特利普尔科技有限公司、水利部信息中心、水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心、江苏南水科技有限公司、河南安宏信息科技有限公司、辽宁省河库管理服务中心（辽宁省水文局）、河南省水文水资源局、山东省水文局、黄河水土保持西峰治理监督局。

本文件主要起草人：陆明、何生荣、章树安、王兴泽、卢玉、刘惠斌、章雨乾、何俊霞、李根峰、王晨光、郜文旺、刘薇、蒋泽民、陆之平、张敦银、徐海峰、邓超、吴喜军。

引 言

土壤含水量是土壤分析的常规项目，在水利、水文、农业、气象以及岩土工程等诸多领域，土壤水分的测量都具有着重要的意义。

诸多仪器测量方法中，通过测量土壤介电性质的介电法，由于其快速、不破坏土壤原有组织结构、对环境没有污染影响以及最容易实现自动化在线监测的优点，应用比较广泛。

介电法原理测量土壤含水量，易受土壤电导率变化的干扰。在实际应用中，不可避免会遇到不同类型的土壤，以及因为田间耕作、灌溉、施肥等原因导致电导率变化的情况。目前国内外一些介电法原理测量土壤水分的设备，一类是通过对不同土壤的含水量与介电常数之间的关系进行率定的方法加以解决，另一类是通过改变测量的土壤介电特征值，减小电导率的影响的技术方法加以解决，避免对不同土壤含水量与介电常数关系的多次率定。

时域反射技术（Time Domain Reflectometry, TDR）测量土壤含水量是通过测定土壤表观介电常数，其受电导率的干扰较小，因此，在一定容重范围内，对于不同类型的土壤，采用统一的土壤含水量与介电常数之间的关系，就能达到一定的测量精度要求，而无需逐个率定，极大地方便了土壤含水量监测工作。

时域反射法土壤水分监测仪器

1 范围

本文件规定了时域反射法土壤水分监测仪器的工作原理和结构组成、基本参数、技术要求、试验方法、检验规则、标志和使用说明书、包装、运输、贮存、安装、运行和维护等。

本文件适用于水利、农林、国土资源等领域进行土壤水分监测时所使用的时域反射法土壤水分监测仪器（以下简称监测仪器）。

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 1226 一般压力表
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/5080.1 可靠性试验 第1部分：试验条件和统计检验原理
GB/T 9359 水文仪器基本环境试验条件及方法
GB/T 9969 工业产品使用说明书总则
GB/T 15966 水文仪器基本参数及通用技术条件
GB/T 19705 水文仪器信号与接口
GB/T 50095 水文基本术语和符号标准
GB/T 28418 土壤水分（墒情）监测仪器基本技术条件
JJF 1001—2011 通用计量术语及定义
SL 61 水文自动测报系统技术规范
SL 180—2015 水文自动测报系统设备 遥测终端机
SL 364—2015 土壤墒情监测规范
SL 651—2014 水文监测数据通信规约

3 术语和定义

GB/T 50095、JJF 1001—2011界定的以及下列术语和定义适用于本文件

3.1

时域反射法土壤水分监测仪器 Time Domain Reflectometry soil moisture monitoring instrument

利用时域反射法原理，用以监视、测量土壤中水分含量的器具或装置。

3.2

时域反射法 time domain reflectometry

通过发射电磁波信号，准确测量发射信号及相应反射信号的传输时间以获取土壤表观介电常数，从而实现土壤水分测量的方法。

3.3

表观介电常数 apparent dielectric constant

真空中电磁波的传输速度与介质中电磁波的传输速度比值的平方。

注：真空中电磁波的传输速度为 2.99792458×10^8 m/s。

3.4

干容重 dry bulk density

一定容积的土壤（包括土粒及粒间的孔隙）烘干后质量与烘干前体积的比值。

3.5

时域测量迹线 Time domain measuring traces

反映测量的电磁参量（电压、反射系数、阻抗等）随时间变化的曲线图像。

3.6

电导率 conductivity

用来描述物质中电荷流动难易程度的参数。

注：电导率常用符号 σ 表示，其标准单位是西门子/米（S/m）。

4 一般规定

4.1 监测仪器应包括但不限于下列功能：

- 监测仪器应具备存储 2 年以上数据及图像资料的能力，支持历史数据及图像资料的导出；
- 监测仪器应具有在线校时功能；
- 监测仪器应具有显示或显示输出功能，能够显示或调用时域测量迹线；
- 同一型号探针应具有良好的互换性。

4.2 监测仪器在实验室环境下进行检测时，应提供监测仪器预设土壤体积含水量与其表观介电常数之间的关系公式，该公式应不受土壤类型影响。

4.3 监测仪器进行现场观测作业时，土壤含水量监测应满足 SL 364 的规定。

5 工作原理和结构组成

5.1 工作原理

信号源发射电磁波信号，由信号采集器和信号处理器测量电磁波在探针中传播的往返时间，按公式（1）计算表观介电常数，通过在监测仪器中预设土壤体积含水量与其表观介电常数之间的关系公式，来计算土壤体积含水量。工作原理示意图见图1。

$$Ka = \left(\frac{c}{v}\right)^2 = \left(\frac{c \cdot \Delta t}{2L}\right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Ka ——测量土壤的表观介电常数；

c ——光速， 2.99792458×10^8 m/s；

v ——电磁波沿所埋置探针的传播速度，m/s；

Δt ——电磁波在探针内传播的往返时间，s；

L ——探针长度，m。

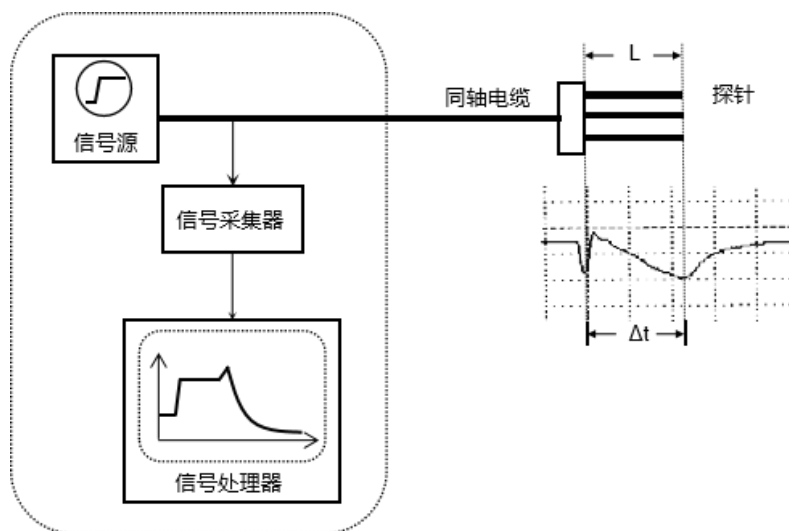


图1 时域反射法（TDR）工作原理示意图

5.2 组成

5.2.1 监测仪器依据其工作方式可分为人工便携式与固定埋设式两类，其中人工便携式仪器也称为移动墒情自动监测仪器。

5.2.2 人工便携式仪器组成，主要包括供电电源、测量主机（信号发生器、数据采集模块、数据处理模块、人机交互模块）和探针。组成示意图见图2。

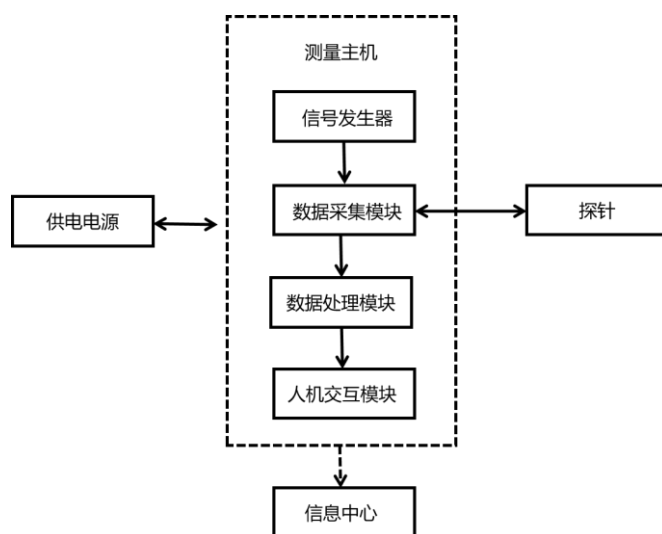


图2 人工便携式土壤水分监测仪器组成示意图

5.2.3 固定埋设式仪器组成，主要包括供电电源、测量主机（信号发生器、数据采集模块、数据处理模块）、远程控制通讯模块和探针。组成示意图见图3。

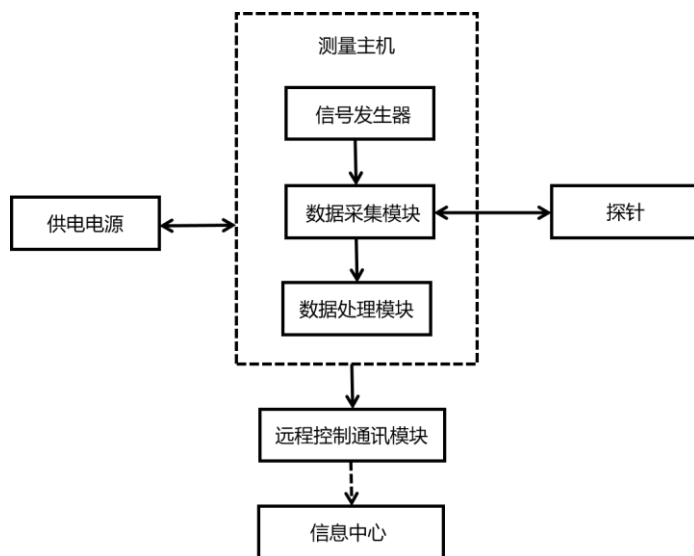


图3 人工便携式土壤水分监测仪器组成示意图

6 基本参数及性能特征

监测仪器的基本参数应符合表1的规定。

表1 基本参数

参数名称	参数值	参数说明
时间分辨力	$\leq 12 \text{ ps}$ （皮秒， 10^{-12} 秒）	监测仪器测量发射信号及相应反射信号的传输时间。
上升沿时间	$\leq 300 \text{ ps}$ （皮秒， 10^{-12} 秒）	电磁波信号由低电平上升至高电平过

		程中，由幅值的 10%上升至幅值的 90%所需的时间间隔。
测量分辨力	≤0.1%	体积含水率
信号接口与输出	模拟量输出宜为0 V~2.5 V或4 mA~20 mA。 数字量输出可选RS232、RS485等通用接口标准。	测量主机输出接口

7 技术要求

7.1 外观

监测仪器外观应满足下列要求：

- 整机结构应完整，表面光洁、无毛刺、无明显机械损伤和涂覆破坏现象；
- 操作按钮及开关件应顺畅无卡阻；
- 显示装置应显示正常、数字清晰；
- 外观标识应清晰完整。

7.2 工作环境适应性

7.2.1 工作环境

监测仪器应能适应下列环境正常工作：

- 空气温度：-10℃~55℃；
- 土壤温度：0℃~45℃；
- 空气相对湿度：95%（40℃时，无凝露）。

7.2.2 特殊环境

对高寒或高热地区，监测仪器应能适应下列环境不损坏：

- 空气温度：-25℃~60℃；
- 土壤温度：-20℃~55℃
- 空气相对湿度：100%。

7.3 测量范围

监测仪器的测量范围宜为0%~50%体积含水量。

7.4 测量准确度

监测仪器的测量准确度用测量绝对误差来表示，与烘干法相比，体积含水率0%~45%，干容重1.2~1.6的土壤体积含水量测量的绝对误差的平均绝对值应不大于2%。绝对误差的平均绝对值可按公式（2）计算。

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n |\theta_i - \theta_{\text{烘}}|}{n} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

式中:

$\bar{\delta}$ ——绝对误差的平均绝对值;

θ_i ——第*i*次测量的体积含水率;

$\theta_{烘}$ ——采用烘干法计算出的体积含水量, $\theta_{烘}=\omega\times\gamma_0$, ω 为烘干法的重量含水量, γ_0 为土壤干容量;

n ——测量次数, $n\geq 6$;

7.5 测量重复性

在实验室中, 重复性条件下, 仪器的测量重复性用实验标准差来表示, 用公式(3)计算实验标准差, 其值应不大于1%。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

s ——实验标准差;

q_k ——第*k*次测量的偏差值

$\bar{q}$ ——*k*次测量的平均偏差值;

n ——传感器测量次数, $n\geq 6$ 。

7.6 测量能力与抗电导率干扰性

监测仪器的测量能力与抗电导率干扰性, 用测量不同质量浓度氯化钾溶液的表观介电常数(K_a)来判定。监测仪器测量1‰氯化钾溶液、2‰氯化钾溶液的表观介电常数, 与相同水温纯水的理论表观介电常数值对比, 绝对测量误差应在 ± 3 之内。

7.7 工作电流

固定埋设式土壤水分监测仪器的值守电流应不大于50mA; 工作电流一般应不大于1400mA。

7.8 电源适应性

监测仪器应采用直流供电, 电源额定电压宜用12 V。在额定电压的-15%~20%之间波动时, 仪器应正常工作。如采用自适应电源, 在监测仪器规定的电压范围内应能正常工作。

7.9 绝缘性能

监测仪器的绝缘电阻应不小于2 M Ω 。

7.10 防腐蚀性

监测仪器应能适应盐雾的土壤测量环境, 正常工作时不应产生腐蚀现象。

7.11 外壳防护等级

监测仪器埋入土壤部分的外壳防护等级应达到IP68，浸水压力不低于0.01Mpa；其他部分的外壳防护等级应达到IP65。应能使监测仪器的探针孔、接线孔、盖板等处保持良好的密封，仪器设备箱也应具备密封能力。

7.12 机械环境适应性

7.12.1 抗振动

监测仪器在包装状态下，在承受扫频振动频率为10HZ~150 HZ~10 HZ、扫频速度为1倍频程/min、加速度为2g，应能满足下列要求：

- a) 外包装箱不得有任何损坏和变形，产品内部结构中各结合部不得有松脱、零部件破损等现象。
- b) 产品各项功能正常。

7.12.2 自由跌落

监测仪器在包装状态下，在离地面垂直高度为25cm处自由跌落后，应能满足下列要求：

- a) 外包装箱不得有任何损坏和变形，产品内部结构中各结合部不得有松脱、零部件破损等现象。
- b) 产品各项功能正常。

8 土样及氯化钾溶液制备

8.1 试验土样制备

8.1.1 土壤选取

土壤选取应符合下列要求：

- a) 选用红壤、黑土、潮土、黄壤作为试验用土壤；
- b) 土壤理化性状应较为稳定，一致性较好。

8.1.2 土壤预处理

土壤预处理应符合下列步骤：

- a) a) 选取好的土壤去除根系、杂草、砾石等杂质，平铺在阴凉通风处阴干；
- b) b) 将阴干后的土碾碎，先用孔径 2mm 标准筛粗筛；
- c) 粗筛后的土再用孔径 1mm 标准筛细筛，获得备用土壤。

8.1.3 土样制备要求与步骤

8.1.3.1 土样制备要求

试验土样制备应符合下列要求

- a) 对各试验用土壤，分别制备体积含水量 0%~10%、10%~20%、20%~35%、35%~50%的 4 种区间的试验土样，饱和和含水量较低的土壤，土样含水量制备到饱和；
- b) 应使用蒸馏水或去离子水作为制备试验土样用水；
- c) 试验土样不同位置的体积含水量差值应不大于 $\pm 1\%$ 。

8.1.3.2 试验土样制备步骤

试验土样制备应符合下列步骤：

- a) 制备试验土样前应确定需要配置的土柱直径、土柱高度，并计算土柱体积；
- b) 根据土壤的容重、土柱体积和目标含水量区间，计算所需水和备用土壤重量；
- c) 用感量为 0.1g 的天平分别称取所需重量的水和备用土壤；
- d) 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 24h；
- e) 取出密封容器中的土壤再次搅拌，均匀放入制作土柱的容器中，分层压实，即可制得目标体积含水率的土样；
- f) 用保鲜膜将土样容器口密封，防止水分蒸发。

注1：根据土柱高度，按照 2cm~3cm 厚度进行分层均匀压实装填。

注2：容重根据土壤类型确定，饱和含水量较低的土壤，试验土样含水量制备到饱和即可。

8.2 氯化钾溶液的制备

8.2.1 空白试样的制备

空白试样的制备按下列要求和步骤进行：

- a) 在容器上标记刻度线；
- b) 将探针完全垂直放置于试样中，其位置处刻度线宜大于探针长度 5cm；
- c) 往容器中加入实验用水定容至标记刻度处，计算实验用水的体积 v ，根据公式(4)计算实验用水的质量 m ；

$$m = \rho \cdot v \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- m ——水的质量，g；
- V ——水的体积， cm^3
- ρ ——水的密度， g/cm^3 ； $\rho = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$
- d) 临用现配。

注：实验用水：25℃时，电导率不高于0.2mS/m

8.2.2 0.1%氯化钾溶液的制备

0.1%氯化钾溶液的制备按下列要求和步骤进行：

- a) 按照氯化钾（g）：水（g）=1：1000，用精度为 0.01 g 的分析天平称取氯化钾（分析纯）；
- b) 将称取的氯化钾溶于装有实验用水的容器（空白试样）中完全混匀，配置质量浓度为 0.1%氯化钾溶液。因 0.1%氯化钾溶液中的氯化钾相对质量极小且溶于水，此处混合物总体积中氯化钾体积忽略不计。

8.2.3 0.2%氯化钾溶液的制备

氯化钾溶液的制备按下列要求和步骤进行：

- a) 按照氯化钾（g）：水（g）=1：1000，用精度为 0.01 g 的分析天平称取氯化钾（分析纯）；
- b) 将称取的氯化钾全部倒入溶于装有 0.1%氯化钾溶液容器中完全混匀，配置质量浓度为 0.2%氯化钾溶液。此处混合物总体积中氯化钾体积忽略不计。

9 试验方法

9.1 试验要求

9.1.1 宜在下列室内试验环境条件下进行试验：

- a) 温度：10℃～30℃；
- b) 相对湿度：40%～90%。

9.1.2 有计量要求的测试设备应经检定合格，准确度应高于被测仪器的准确度；其它测试设备的精度应高于被测参数精度指标。

9.1.3 测试中不应调整被测仪器设备。

9.2 主要试验设备及试剂

9.2.1 主要试验设备包括：

- a) 高低温交变湿热试验箱；
- b) 输出信号检测的仪器。主要包括：
 - 1) 专用测试装置（具有电压显示、专门接口等），或者四位半数字万用表。
 - 2) 电源：输出电压应满足土壤墒情测定仪的需要。
- c) 振动试验台；
- d) 跌落试验台；
- e) 电子天平，0.1 g；
- f) 分析天平，0.01 g；
- g) 电热恒温箱；
- h) 绝缘电阻测试仪；
- i) 温度计，0.1℃；
- j) 外壳防护试验台。

9.2.2 主要试剂包括：

- a) 标准土样；
- b) 实验用水：25℃时，电导率不高于0.2mS/m；
- c) 氯化钾（分析纯）。

9.3 试验方法内容

9.3.1 外观

目测和手动检查。

9.3.2 工作环境条件

试验前，在常温状态下，参比工作条件下，准备标准土样1份，使用被检监测仪器进行土壤体积含水率的测量，读取测量数据3次，记录并检查测试情况。

将监测仪器放置到高低温交变湿热箱中，分别在低温-20℃、高温55℃、相对湿度95%（40℃时，无凝结）三种工作环境条件下，恒定保持各4小时，检查监测设备的性能指标，读取测量数据3次，记录并检查测试情况。

试验后，恢复到常温状态下，检查被测监测仪器的工作情况。

9.3.3 测量范围

在5%、10%、20%、30%、35%附近各取一点，选配标准土样进行测量，检查并记录监测仪器的工作情况。

9.3.4 测量准确度

测量准确度按下列方法和步骤进行：

- a) 将监测仪器的探针分别插入按 8.1.3 要求配置好的目标含水率标准土样中；
- b) 将探针与监测仪器连接。每个试验土样定点测量 6 次，记录测量值；
- c) 完成上述测量后，选取 3 处未经扰动过的土壤位置，用容积为 100cm³ 的环刀取样，采用烘干法，测量试验土样重量含水量，并计算出体积含水量；
- d) 根据公式（2）计算测量准确度。

9.3.5 测量重复性

在重复性条件下，按 9.3.4 的测量方法，测量待测试样，连续观测不少于 6 次，按公式（3）计算实验标准差，记录并检查测试情况。

9.3.6 测量能力与抗电导率干扰性

9.3.6.1 注意事项

测试前应注意下列情况：

- a) 探针表面附有小气泡时，应轻晃探针将其排除，以免引起测量误差；
- b) 氯化钾溶液应临用现配，配置后应及时测定。

9.3.6.2 试验试样

按下列要求准备试验试样：

- a) 0.1%、0.2% 的待测氯化钾溶液，待测液的温度修正偏差为 ± 1 °C。
- b) 空白试样。

9.3.6.3 测试步骤

按下列步骤进行测试：

- a) 用实验用水冲洗干净探针并擦干水分，使用温度计测量待测氯化钾溶液的温度并记录。将探针插入待测氯化钾溶液中，在监测仪器上读取氯化钾溶液表观介电常数 $K_{\text{钾}}$ 并记录。
- b) 空白试样按照与氯化钾溶液的测定相同步骤测量实验用水的介电常数 $K_{\text{水}}$ 并记录。
- c) 测试完成后，检查两种介质介电常数的测量情况。

9.3.7 工作电流

用万用表检测监测仪器的工作电流，记录并检查测试情况。

9.3.8 电源适应性

在参比工作条件下，将监测仪器通电后，调节供电电源，使其在额定值的 90%~120% 范围内变化，测试不少于 3 次，记录测量值，检查并记录监测仪器的工作情况。

9.3.9 绝缘性能

用绝缘电阻测试仪对测量传感器进行绝缘性能测试，记录并检查测试结果。

9.3.10 防腐蚀性

将监测仪器放入盐雾试验箱中，按 GB/T 2423.18—2000 中的第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章的相关规定，进行不少于 48 h 的交变盐雾试验，试验后检查仪器外观及工作情况。

9.3.11 外壳防护等级

将监测仪器放置在防护试验台，按GB 4208对应等级规定的试验方法进行试验，试验后，检查测量传感器的工作情况。

9.3.12 机械环境适应性

9.3.12.1 振动试验

将包装好的测量传感器固定在振动试验台上，进行10Hz~150Hz~10Hz、扫频速度为1倍频程/min、加速度为2g的扫频试验，每轴向进行3个周期，试验后记录并检查测试情况。

9.3.12.2 自由跌落试验

将包装好的测量传感器放置在跌落试验台上，进行垂直高度为25 cm的自由跌落试验，每组3次，试验后记录并检查测试情况。

10 检验规则

10.1 出厂检验

10.1.1 批量生产的产品，应逐台进行出厂检验。

10.1.2 出厂检验应由制造厂质量检验部门按或本标准 7.1、7.3、7.4、7.7、7.8、7.9 的规定进行。

10.1.3 每台产品检验合格后，应有合格证方可出厂。

10.2 型式检验

10.2.1 要求

10.2.1.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定；
- b) 正式批量生产后，结构、材料、工艺等改变，可影响产品性能时；
- c) 正常生产时，定期或积累一定产量后，应周期性检验；
- d) 产品停产 1 年后，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 市场用户方提出进行型式检验要求时；
- g) 商业合同中有产品型式检验条款时。

10.2.1.2 型式检验应按本标准规定的全部试验项目进行全性能检验。

10.2.2 抽样规则

抽样按每批监测仪器数量的5%~10%随机抽样，每批最少应不少于三台；若产品总数量少于三台，应全部检验。

10.2.3 判定规则

判定规则如下：

- a) 型式检验中有两台及以上产品不合格时，应判该批产品不合格；

- b) 有一台不合格时，应加倍抽取产品样品进行检验，若仍有不合格时，应判该批产品不合格；若全部检验合格，则除去第一批抽样不合格的产品，该批产品应判为合格。

10.2.4 互换性

经过型式检验的产品，更换易损件，并经出厂检验合格后，方能出厂。

11 标志和使用说明书

11.1 标志

11.1.1 产品标志

产品应在显著部位设有铭牌，并清晰标识下列内容：

- a) 产品名称、型号；
- b) 制造商名称及商标；
- c) 出厂编号及日期。

11.1.2 包装标志

外包装箱应标志下列内容：

- a) 仪器型号及名称；
- b) 制造商名称及地址；
- c) 仪器数量；
- d) 箱体尺寸（mm）；
- e) 净重或毛重（kg）；
- f) 运输作业安全标志；
- g) 执行标准号等。

11.2 使用说明书

应符合GB/T 9969的规定，并应包括监控系统的接口定义和通信协议，安装方法以及常见故障的处理方法。

12 包装、运输、贮存

12.1 包装

12.1.1 包装箱应经济、坚实可靠。

12.1.2 包装应有保证箱内零、部件不互相碰撞、摩擦的衬垫措施。

12.1.3 包装箱间隙内应填入干燥、柔软材料，应有防潮、防尘、防震等防护措施。

12.1.4 包装时，周围环境及包装箱内应清洁、干燥。

12.1.5 随同装箱的技术文件应有装箱单、产品合格证、使用说明书等。

12.2 运输

包装好的产品应适应各种运输方式。

12.3 贮存

12.3.1 产品应贮存在干燥、通风、防晒和无化学物质侵蚀的室内环境中。

12.3.2 产品应适应温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不超过 90%的贮存环境。

13 安装、运行和维护

13.1 插针式探针

插针式探针平行于地面安装，应按下述顺序步骤进行安装：

- a) 挖取安装剖面：在探针安装点向旁侧 25cm 处挖安装剖面，开挖范围不应小于 1.0m （长） $\times 0.5\text{m}$ （宽），挖出的原状土按顺序分层放置。挖土同时在各安装层次进行环刀取土，用于测定土壤体积含水率、土壤容重。
- b) 探针定位：在土壤剖面上根据各探针安装层次确定各层探针的安装定位点；为避免上层探针影响水分自然下渗干扰下层探针监测数据，各层探针应在垂直方向上错开，相邻层水平间距宜大于 30cm 安装。
- c) 探针埋设：在传感器安装定位点处，将传感器平行于地面插入土壤剖面中，传感器的三针需保持平行且完全插入土壤剖面中，保证传感器的手柄与剖面不留有空隙，防止探针与原状土接触不实，影响测量精度。连接线在线槽中不宜拉的太紧，避免回填土沉降后，将传感器连接线拉断。
- d) 联机检查：传感器安装完毕后，经现场联机检查，确认传感器正常工作后再进行原状土回填操作。
- e) 原土回填：分层回填原状土，传感器周围的原状土应分层压实。壤回填后，第一次大的降水后，应该及时检查传感器安装区域，回填土是否发生沉降及沉降的多少，适当的给予补充并压实。

13.2 运行和维护

13.2.1 当发现仪器出现异常或监测数据偏差较大时，应记录日志，根据故障情况及时进行必要的处理。

13.2.2 在监测仪器投入运行后，工作人员应按相关要求做好日常使用和维护工作。

附 录 A
(资料性)
土壤水分监测常用参数查询表

A.1 不同温度下水的介电常数

水在不同温度下的介电常数理论值见表A.2。

表A.1 不同温度下水的介电常数理论值速查表

序号	温度 (°C)	介电常数值 (F/m)
1	0	87.9
2	2	—
3	4	—
4	5	85.9
5	6	—
6	8	—
7	10	83.95
8	12	—
9	14	—
10	15	82.04
11	16	—
12	18	—
13	20	80.18
14	22	—
15	24	—
16	25	78.36
17	26	—
18	28	—
19	30	76.58
20	32	—
21	34	—
22	35	74.85
23	36	—
24	38	—
25	40	73.15