



中华人民共和国国家标准

GB/T 44878—2024

冻土观测 频域反射法

Frozen soil observation—Frequency domain reflection method

2024-11-28 发布

2025-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 原理 1

5 观测条件 2

6 观测仪器 2

7 观测步骤 4

8 质量控制 4

9 观测报告 4

参考文献..... 5

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。

本文件由中国气象局提出。

本文件由全国气象仪器与观测方法标准化技术委员会(SAC/TC 507)归口。

本文件起草单位：河南省气象科学研究所、河南中原光电测控技术有限公司、中国气象局气象探测中心、北京华云东方探测技术有限公司。

本文件主要起草人：陈海波、余国河、李鹏、吴东丽、成林、吴苏、李树岩、刘银锋、李翠娜、牛娜、赵国强、师丽魁、王艳斌、张广周、田宏伟、张溪荷、陈涛、胡程达。

冻土观测 频域反射法

1 范围

本文件描述了使用频域反射法观测冻土的原理、观测条件、观测仪器、观测步骤、质量控制和观测报告。

本文件适用于频域反射法对冻土的观测。

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 31162 地面气象观测场（室）防雷技术规范

GB/T 35221 地面气象观测规范 总则

3 术语和定义

GB/T 35221 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冻土 frozen soil

含有水分且温度下降到 0℃或 0℃以下呈冻结状态的土壤。

[来源：GB/T 35234—2017, 3.1, 有修改]

3.2

冻土观测 frozen soil observation

观测和记录冻土的冻结层次及其上下限深度的活动。

3.3

频域反射技术 frequency domain reflection technology

通过测定介质对特定频带扫频信号反射峰的频率来测量介质介电常数的技术。

3.4

频域反射法冻土观测 frequency domain reflection method for frozen soil observation

基于频域反射原理测量土壤介电常数技术，并通过土壤冻结与非冻结状态下介电常数的显著差异而进行的冻土观测。

4 原理

土壤冻融过程中，土壤中水-冰相变引起土壤介电常数变化，导致土壤电容改变，基于 LC 振荡电路频率响应原理，采用频域反射技术的仪器自动测量土壤的反射频率，从而根据土壤反射频率的变化判别土壤冻结状态，进行土壤冻结层次及其上下限深度观测。

土壤介电常数见公式(1)，土壤电容与土壤介电常数的关系见公式(2)，土壤反射频率与构成振荡电

路的电感和电容的关系见公式(3),利用土壤冻融状态识别模型判别土壤冻结状态,见公式(4)。

$$\epsilon = \sum V_i \epsilon_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

ϵ ——土壤介电常数;

V_i ——为土壤中物质 i 的体积占整体体积的比例;

ϵ_i ——土壤中物质 i 的相对介电常数。

$$C = k\epsilon \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

C ——土壤电容;

k ——几何常数。

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C+C_b)}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

f ——土壤反射频率;

L ——振荡电路电感;

C_b ——与仪器有关的电容。

$$S_j = \begin{cases} 1, & \frac{f_{R,j} - f_j}{f_{R,j}} > a \\ 0, & \frac{f_{R,j} - f_j}{f_{R,j}} \leq a \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

S_j ——第 j 层土壤冻结状态,1 代表冻结,0 代表未冻结;

$f_{R,j}$ ——第 j 层土壤冻结前频率基准值;

f_j ——第 j 层土壤冻融过程中频率测量值;

a ——经验常数。

5 观测条件

5.1 观测场地

观测场地符合以下条件:

——存在短时冻土、季节冻土或永久冻土活动层的区域;

——代表当地冻土区独特的气候条件、植被覆盖、地形、地质、土壤等自然环境特性的地段;

——距离建筑物、道路、河流、供暖管道等在 20 m 以上。

5.2 观测时间

地表温度降到 0℃ 或 0℃ 以下时开始观测,直至土壤完全解冻为止,24 h 连续自动观测。

6 观测仪器

6.1 性能指标

频域反射法冻土观测仪器由数据采集器、传感器、供电单元和通信模块等组成,性能指标应符合表 1 的要求。

表 1 频域反射法冻土观测仪器性能指标

项目		性能指标
测量技术	技术体制	频域反射技术
	扫频范围	80 MHz~160 MHz
测量性能	测量层次	≥3
	深度测量范围	0 cm~450 cm
	深度分辨力	1 cm
	深度允许误差	±2 cm
电气性能	工作电源	采用 12 V 蓄电池供电,并具有交流电或太阳能等充电系统
	信号输出	具有 RS232/RS485 接口
	功耗	≤2 W
工作环境适应性	温度	-50℃~60℃
	相对湿度	5%~100%
电磁兼容性	静电放电抗扰度	接触放电:±4 kV;空气放电:±8 kV
	射频电磁场辐射抗扰度	频率范围:80 MHz~1 000 MHz;电场强度极限值:3 V/m
	电快速瞬变脉冲群抗扰度	输出电压峰值:±2 kV[交流(AC)],±1 kV[直流(DC)];重复频率:5 kHz
	浪涌(冲击)抗扰度	电压波形:1.2/50 μs;电流波形:8/20 μs;浪涌幅值:线对地±2 kV(AC),线对地±1 kV(DC)
可靠性		平均故障间隔时间大于 16 000 h
时钟		具有自动校时功能
存储		存储容量不小于 6 个月

6.2 仪器安装

- 仪器安装满足下列条件:
- 在非冻土期进行安装;
 - 仪器置于防护围栏内,距防护围栏内边缘和地沟不应小于 1 m,并给出明显标识;
 - 数据采集器机箱等其他相关装置置于传感器正北位置,连接电缆应穿入电缆管理入地下或敷设在电缆井内,不应架空敷设;
 - 根据观测地段可能出现的最大冻土深度,选择长度适宜的传感器;
 - 传感器与土壤接触紧密,零刻度线与地面齐平;
 - 具备防雷装置,接地电阻不宜大于 4 Ω;
 - 如安装在地面气象观测场,与其他仪器互不影响,防雷装置应符合 GB/T 31162 的要求。

6.3 元数据记录

- 仪器安装后应记录以下元数据:
- 台站信息:区站号、台站名称、经度、纬度、海拔高度、行政位置;
 - 环境信息:土壤类型、土壤质地、土壤水文常数、地形特征;

——仪器信息：型号、编号、安装深度、安装日期。

6.4 时制与日界

观测采用北京时，以 20 时为日界。

7 观测步骤

7.1 数据采集与计算

整点后，每隔 10 min 采集一次土壤反射频率值，至下一整点共采集 6 次，取 6 次算术平均值作为下一整点的土壤反射频率值。

示例：19:00 后，每隔 10 min 采集一次土壤反射频率值，从 19:10～20:00 共采集 6 次，取 6 次算术平均值作为 20:00 的土壤反射频率值。

7.2 数据处理

以小时土壤反射频率值为基础，利用土壤冻融状态识别模型判别土壤冻结状态，计算该小时土壤冻结层次及其上下限深度。

7.3 数据存储

仪器自动存储小时观测数据，观测数据包含区站号、仪器标识符、仪器编号、观测时间、冻结层次及其上下限深度以及数据采集器、传感器、供电单元和通信模块的工作状态。

7.4 数据传输

仪器每小时整点定时上传一次小时观测数据。

8 质量控制

8.1 仪器具有数据质量分析功能，能自动检查数据是否超越界限，传输编码格式、校验码是否正确，对异常数据进行标记且不参与相关算法处理。

8.2 仪器应按照下列要求进行维护：

- 至少每 3 个月对仪器防水性、供电与通信系统进行一次检查，对太阳能板进行一次清洁；
- 每年冻土观测前，检查传感器的零刻度线与地面是否齐平，若产生位移需及时调整；
- 每年冻土观测期间，根据需要定期巡检，发现故障及时处理；
- 每年雷雨季节前，对防雷装置进行维护。

8.3 仪器应定期核查，周期为 2 年。

9 观测报告

观测报告中至少给出以下几个方面的内容：

- a) 观测目的；
- b) 观测地点、时间、仪器设备信息；
- c) 仪器设备运行情况；
- d) 观测数据完整性和准确性分析；
- e) 观测数据质量评估结果。

参 考 文 献

[1] GB/T 4797.1—2018 环境条件分类 自然环境条件 温度和湿度

[2] GB/T 4798.4—2023 环境条件分类 环境参数组分类及其严酷程度分级 第4部分:无气候防护场所固定使用

[3] GB/T 5080.1—2012 可靠性试验 第1部分:试验条件和统计检验原理

[4] GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

[5] GB/T 17626.3—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分:射频电磁场辐射抗扰度试验

[6] GB/T 17626.4—2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

[7] GB/T 17626.5—2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验

[8] GB/T 33703—2017 自动气象站观测规范

[9] GB/T 33705—2017 土壤水分观测 频域反射法

[10] GB/T 35234—2017 地面气象观测规范 冻土

[11] GB 50324—2014 冻土工程地质勘察规范

[12] QX/T 567—2020 自动土壤水分观测仪

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

冻土观测 频域反射法

GB/T 44878—2024

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.net.cn

服务热线:400-168-0010

2024年11月第一版

*

书号:155066·1-77897

版权专有 侵权必究