

便携式土壤水分采集仪标定的探讨

邹文安¹, 徐立萍^{1,2}, 徐加林¹

(1.吉林省墒情监测中心, 吉林 长春 130033; 2.吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130026)

摘要: 以便携式土壤水分采集仪实际标定的操作过程为例^[1-2], 重点阐述该类仪器具体的标定原则、技术要求 and 标定方法等, 对其它以介电常数法为原理的土壤水分自动采集仪的标定具有借鉴和参考作用, 为新型土壤水分自动采集仪的技术发展及业务化应用进行了有益的探索。

关键词: 土壤含水量; 介电常数; 采集仪; 标定技术

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0852(2013)03-0043-04

土壤含水量是表述土壤干湿程度, 反映农作物水分状况的重要物理参数, 是农牧业生产条件中的一项关键指标。目前, 土壤含水量监测方法较多, 主要可分为三类: 一类是直接测量土壤的重量含水量或体积含水量, 如烘干法、中子仪法; 二类是通过监测土壤的基质势来实现的, 如张力计法、电阻法; 第三类是通过测量土壤的介电常数来计算土壤中含水量, 如时域法、频域法、驻波法等^[3-5]。

自 2002 年开始, 随着时域反射仪(Time Domain Reflectometry, 缩写为 TDR)与频域反射仪(Frequency Domain Reflectometry, 缩写为 FDR)的推广应用, 介电常数法土壤水分采集仪得到了迅速发展, 该方法具有快捷、准确和连续自动监测等优点, 是目前比较先进的土壤水分监测设备, 在国内外得到了越来越广泛的应用。

常见的便携式土壤水分采集仪通常是指以介电常数法采集土壤水分, 主要由土壤水分传感器、数据采集器、电源、GPS 和挖土采样设备等组成, 具有采集土壤含水量、经纬度和 GSM 信息发送等功能。该采集仪属移动式的土壤墒情监测设备, 是对固定点墒情监测、人工点墒情监测的重要补充, 具有便利、机动、快速、准确等优点, 广泛用于土壤水分的临时监测、应急监测和补充加密测次等。

1 标定缘由

“标定”通常是指对仪器的一种计量校准(也称“率

定”), 其实质是对所使用仪器的准确度(精度)进行某种量值溯源性的测试确认。

本文探讨的“介电常数法土壤水分采集仪”主要应用了被测介质中表观介电常数随土壤含水量变化而改变这一原理。

时域反射仪(TDR)是通过测量土壤中的水和其他介质的介电常数差异来测定土壤含水量。由于空气、干土和水中的介电常数相对固定, 假如特定的土壤和介电常数的关系已知, 就可间接对土壤水分进行有效介电常数测量^[7]。加拿大水文学者 Topp(1980)等人研究表明, 土壤的介电常数 K 与土壤的体积含水量之间的关系较稳定, 这一关系式受土壤类型、土壤密度、土壤温度及孔隙水传导度的影响很小, 因而使用时域反射仪(TDR)进行土壤含水量测定时, 无需对不同的土壤类型或监测地块进行标定, 但对于表面积较大的粘土、导电性能好的盐碱土和容重较小的有机质土则需要标定^[6]。

频域反射仪(FDR)是通过土壤的介电常数变化原理来测定土壤含水量的。其原理是插入土壤中的探针与土壤之间形成电容, 形成一个类似高频震荡回路。通过特殊设计的探针产生高频信号, 探针的阻抗随土壤阻抗变化而产生电压驻波, 驻波随探针周围介质的介电常数变化增减从而在晶体振荡器产生电压。电压的差值体现了土壤介电常数的差异。由于土壤介电常数的变化通常取决于土壤的含水量, 通过监测传感器输出电压和土壤含水量关系(即土壤水分采集仪标定过程), 就能直接稳定地反应各种土壤的真

实水分含量^[8]。

2 标定原则

对于便携式土壤水分采集仪而言,每台仪器均需进行多个地块土壤含水量监测,由于土壤结构、土壤质地、土壤类型等方面的差异,导致各种土壤的介电常数也不尽相同,为此需要对土壤的介电常数进行测定。时域反射仪(TDR)需要对粘土、盐碱土和有机质土等特定几种土壤的介电常数进行测定^[6],频域反射仪(FDR)则需要对监测地块的介电常数进行测定。

便携式土壤水分采集仪在使用之前,应对不同土壤质地的监测地块进行仪器标定;同一地块不同土层的介电常数需测定(便携式土壤水分采集仪标定),土层深度可按墒情监测站土壤含水量垂向测点布设方法确定,若不同土层土壤质地差异不大,可对代表性土层的介电常数进行测定(便携式土壤水分采集仪标定);更换传感器的便携式土壤水分采集仪应重新进行标定。

标定后的便携式土壤水分采集仪公式校正需定期进行,每年校正一次。校正时机可选择为:春季(土壤封冻融化以后)、夏季(降水致使土壤达到饱和以后)或发生严重干旱时期。

3 标定流程

标定流程主要包括土壤水分采集、土壤水分输出曲线(传感器输出电压与人工烘干法测得含水量关系线)建立和公式校正等操作过程。其中,土壤水分采集采取便携式土壤水分采集仪和人工烘干法两种方法同时监测,分别测取传感器输出电压和土壤含水量;传感器输出电压可以直读(电压显示)的方式获取,若便携式土壤水分采集仪没有传感器输出电压显示功能,则可通过设定便携式土壤水分采集仪初始参数方式进行提取。可假定便携式采集仪土壤水分初始计算公式为 $\theta = kv$,于是 $v = \theta/k$ 。式中: θ 为便携式采集仪监测的土壤体积含水量,%; k 为系数; v 为传感器输出电压,V。

便携式土壤水分采集仪标定流程见图1。

4 标定技术要求

以人工烘干法作为土壤含水量的标准测量方法,标定实验时应监测土壤干容重。

标定时应利用人工烘干法测得的土壤含水量与采集仪的监测值进行分析比较,建立相应的土壤水分输

出曲线,宜用多项式或幂指数函数形式表达土壤水分输出曲线(相关系数需达到0.8以上),此函数即为监测地块的率定公式。

土壤水分输出曲线是通过不同量级的土壤含水量实验样本(传感器输出电压与烘干法测得重量含水量)创建起来的,同一土层要求每个量级实验样本数为2~3组,即低含水量(含水量小于10%)、中等含水量(含水量为10%~20%)和高含水量(含水量大于20%)均为2~3组,总实验样本数以6~9组为宜。

标定后的采集仪需进行公式校正检验(已标定的采集仪和人工烘干法进行土壤含水量对比监测实验),达到检验标准,方可投入生产使用。

公式校正检验标准的评价指标:烘干法测得土壤含水量与采集仪测得土壤含水量的多次误差均值 $\bar{\sigma}$ 小于等于4%^[3]。

计算公式为:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - a_i|}{N} \quad (1)$$

式中: x_i 为采集仪观测值,%; a_i 为人工观测值,%; N 为对比观测次数; $\bar{\sigma}$ 为对比观测(体积含水量)多次误差均值,%。

值得注意的是,个别采集仪监测是体积含水量,人工烘干法监测是重量含水量,进行公式校正检验时需将体积含水量转化成重量含水量(等于土壤体积含水量/土壤干容重)。

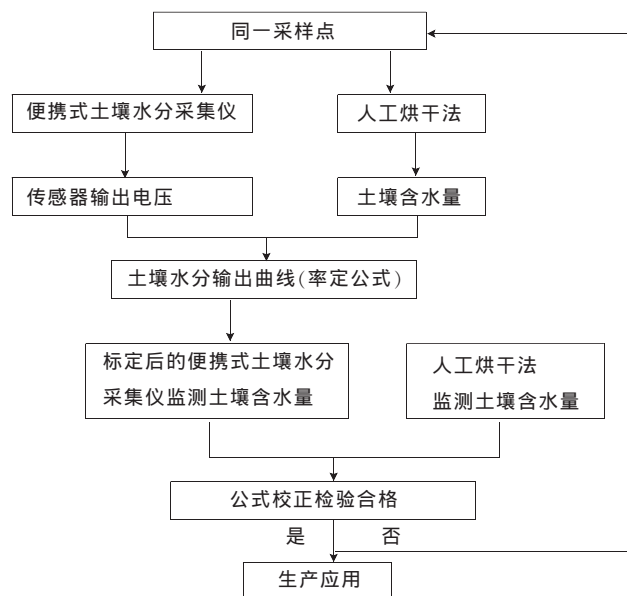


图1 便携式土壤水分采集仪标定实验流程图

Fig.1 Portable soil moisture collecting instrument calibration diagram

公式校正检验数据不少于6次。若通过检验,即可设置为该地块的率定公式;若采集仪未通过检验,分析查找原因,排除采集仪故障原因后,对建立的土壤水分输出曲线进行完善,再进行检验;若仍达不到检验标准,应对传感器进行更换^[3]。

5 标定方法

标定可采用实验室标定法、田间标定法、实验室与田间相结合标定法。

实验室标定法就是在固定监测地块采集原状土样本(土体不能翻动,土壤结构不能破坏)带回实验室,用人工干预的方法使其含水量达到饱和,然后使其自然失水,直至土壤含水量低于10%以下。期间,利用人工烘干法、便携式土壤水分采集仪分别监测土样本的土壤含水量,同时提取传感器输出电压,测取不同量级土壤含水量的传感器输出电压与人工烘干法测得含水量多组数据,创建土壤水分输出曲线即传感器输出电压与人工烘干法测得含水量关系线,实现便携式土壤水分采集仪标定。

田间标定法是在监测地块完成便携式土壤水分采集仪标定任务。大量级、长历时的天然降水使监测地块土壤含水量达到较高水平,此时进行高含水量标定实验;在适墒期间和发生干旱时期,分别进行中等含水量和低含水量的标定实验。该方法特点是:人工不干预,标定结果真实可靠,具有代表性;不足就是标定周期过长,尤其需要发生干旱时才能监测到低含水量标定实验数据。

实验室与田间相结合标定法就是在监测地块分别完成高含水量和中等含水量标定实验,在实验室完成低含水量标定实验。为缩短标定实验周期,本法采集到的原状土样本可直接在实验室内使其自然失水,不需要饱和后再失水这一过程。

6 标定结果

土壤水分输出曲线是传感器输出电压与土壤含水量的关系线,也是便携式土壤水分采集仪标定结果的表达形式,数值化的土壤水分输出曲线(数学表达式)即是便携式土壤水分采集仪的率定公式。以土壤水分传感器输出电压 v 作为 x 轴,以人工烘干法监测的土壤重量含水量 θ 作为 y 轴,利用Microsoft Excel中“图表”中的“XY散点图”绘图功能,点绘土壤重量含水量 θ 与传感器输出电压 v 关系图,通过“添加趋势线”等

技术手段,将已建立的土壤重量含水量 θ 、传感器输出电压 v 相关关系转化成数学表达式,该数学表达式即为便携式土壤水分采集仪率定公式。

通常情况下,率定公式可采用多项式来表达,形如 $\theta=Av^3+Bv^2+Cv+D$ 。式中: θ 为土壤重量含水量,%; v 为传感器输出电压,伏; A 、 B 、 C 均为系数, D 为常数项。根据 θ 、 v 关系点据拟合程度,率定公式也可选择一次项($\theta=Cv+D$)或二次项($\theta=Bv^2+Cv+D$)来表达。图2是吉林省某移动监测地块的标定实验成果^[1]。

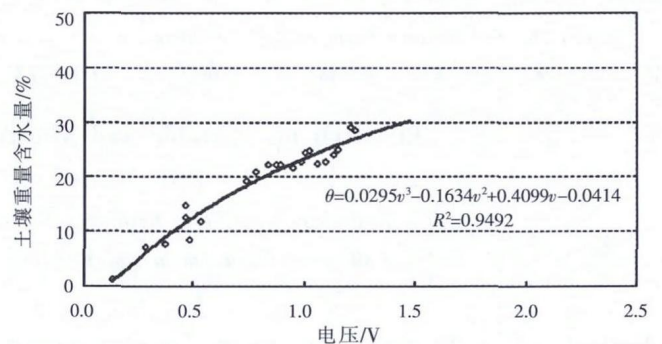


图2 传感器输出电压与土壤重量含水量关系线图

Fig.2 The output voltage of the sensor and the weight of the soil moisture graph

7 结语

通过上述关于采集仪标定技术的探讨,基本可以获得如下主要结论:

(1)移动墒情监测是对固定墒情站点、人工墒情站的重要补充,具有便利、机动、快速、准确等优点,广泛用于土壤水分的临时监测、应急监测和补充加密测次等;

(2)时域反射仪、频域反射仪等采用介电常数法的便携式土壤水分采集仪需要进行准确度标定;

(3)便携式土壤水分采集仪在使用之前应针对不同土壤质地的监测地块进行仪器标定;

(4)使用者应根据实际情况采用实验室标定法、田间标定法,或实验室和田间相结合的标定方法;

(5)标定时,应尽可能在不同量级的土壤含水量实验样本中均有分布;

(6)按照本文提出的方法标定后的便携式土壤水分采集仪,其输出含水量为土壤重量含水量;

(7)标定后的便携式土壤水分采集仪还需进行率定公式校正检验,校验合格后,仪器方可投入实际生产使用。

参考文献:

- [1] 吉林省墒情监测中心. 吉林省墒情评价指标实验及旱情分析技术研究[R]. 2011.(Soil Moisture Monitoring Center of Jilin Province. Soil moisture indices and analysis of drought experimental technology for Jilin Province [R]. 2011.(in Chinese))
- [2] 吉林省水文水资源局. 吉林省水文计算手册 [R]. 2011.(Hydrology and Water Resources Bureau of Jilin Province. Hydrological Computation Handbook for Jilin Province [R]. 2012. (in Chinese))
- [3] 中国气象局. 自动土壤水分观测规范(试行)[S]. (China Meteorological Bureau. Automatic Soil Moisture Observation Criterion(Try out) [S].(in Chinese))
- [4] SL 364-2006, 土壤墒情监测规范 [S]. (SL 364-2006, Technical Standard for Soil Moisture Monitoring[S].(in Chinese))
- [5] NY/T 1782-2009, 农田土壤墒情监测技术规范[S]. (NY/T 1782-2009, The Technical Rules for Soil Moisture Monitoring in Farmland [S].(in Chinese))
- [6] 陈川亮. 时域反射法(TDR)在膨胀土水分量测中的若干问题研究[D]. 广西大学, 2006:3-5. (CHEN Chuanliang. Study on the Application of Time Domain Reflectometry (TDR) in Swelling Soil [D]. Guangxi University, 2006:3-5.(in Chinese))
- [7] 段爱旺. 时域反射仪(TDR)及其应用[J]. 灌溉排水学报, 1995, (1). (DUAN Aiwang. Time domain reflectometry (TDR) and its application [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 1995, (1).(in Chinese))
- [8] 唐修雄, 董克非. 以介电常数为中心的自动土壤水分观测设备标定体系的探讨[J]. 气象水文海洋仪器, 2011, (4):15-16. (TANG Xiuxiong, DONG Kefei. Calibration system of automatic soil moisture observation equipment based on dielectric constant [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instrument, 2011, (4):15-16.(in Chinese))

Research on Portable Soil Moisture Collecting Instrument Calibration

ZOU Wenan¹, XU Liping^{1,2}, XU Jialin¹

(1. Hydrology and Water Resources Bureau of Jilin Province, Changchun 130033, China;

2. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: Taking the portable soil moisture collecting instrument calibrating process as an example, this paper introduced the specific calibration principle, technical requirements and calibration methods, which is a reference for the other soil moisture automatic acquisition instrument calibration based on the dielectric constant method, and provides a beneficial exploration for development of soil moisture automatic acquisition instrument technology and operational application.

Key words: soil moisture; dielectric constant; collection instrument; calibration technology

(上接第 96 页)

- [18] 祝慧娜, 袁兴中, 曾光明, 等. 基于区间数的河流水环境健康风险模糊综合评价模型 [J]. 环境科学学报, 2009, 29 (7): 1527-1533. (ZHU Huina, YUAN Xingzhong, Zeng Guangming, et al. An integrated fuzzy model based on interval numbers for assessment of environmental health risks of water sources [J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, 29(7): 1527-1533.(in Chinese))
- [19] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准 [S]. (GB 3838-2002, Surface Water Quality Standards[S].(in Chinese))

Water Quality Analysis and Health Risk Assessment for Drinking Water Sources at Chongqing Section on Jialingjiang River

LIU Yuechen, WANG Yun, WU Shubao, WANG Chunlei, CHEN Lina, LI Kun

(Chongqing Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Chongqing 401147 China)

Abstract: Assessment for the six drinking water sources at the Chongqing section on the Jialingjiang River from 2009 to 2011 was made based on the WQI model and the water environmental health risk analysis model, and the difference between the main factors of the two methods was compared. The results show that the water quality of these water sources is still good in general, and there is a little difference between urban and suburban, but the health risk level for individual person is generally high, and that in the city is higher than that in the suburb. Various kinds of pollutants are possible to affect the WQI value while the carcinogens (As, Cd, and especially Cr⁶⁺) are the main factors affecting R_g. The two models have different emphasis, using WQI model and the water environmental health risk analysis model will be beneficial to assessing the water quality and the impact on human health objectively and comprehensively.

Key words: Jialingjiang River; water source; WQI model; health risk assessment model