

环刀称重法介电类土壤水分传感器公式率定

邹文安¹, 吕守贵², 金福一³

(1.吉林省水文水资源局,吉林 长春 130022; 2.吉林省水文水资源局通化分局,吉林 通化 134000;
3.辽宁省水文局,辽宁 沈阳 110003)

摘要:传感器是墒情自动监测仪器设备重要组成部分,是决定墒情监测数据精度的核心器件,科学合理进行传感器精度校准(率定)十分重要。从生产实际出发,依据有关技术规范和文献成果,利用被测介质中表观传感器输出电信号随着土壤含水量变化而改变这一原理,系统阐述了环刀称重法进行介电类土壤水分传感器公式率定方法,为进一步规范实验室土壤水分传感器率定流程和技术要求提供借鉴和参考,为研究土壤物理特性、墒情实验和墒情监测与评价等提供技术支撑。

关键词:介电类;土壤水分传感器;退水称重;公式率定

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2018)05-0071-04

1 引言

目前,我国水利系统常用的土壤墒情自动监测仪器主要以介电类为主,包括时域反射法和频域法,出台了一些相关技术规范^[1-2]。这两种方法都是通过测量土壤介电常数来间接测量土壤含水量,由于土壤质地不同,土壤的介电常数也有较大差异^[3-4]。在实际工程运用中,介电类墒情自动监测仪器安装后,监测仪器出厂自带的通用公式可能与监测站土壤质地不匹配,造成监测数据不准确,或者在监测仪器使用一段时间后,监测仪器本身因时漂、温漂、土壤结构变化等原因造成墒情监测数据不准确、不可靠,无法科学准确进行墒情评价^[5]。为此,土壤墒情自动监测仪器在投入生产应用前,需要对监测仪器进行公式率定,才能保证墒情数据监测精度。

“公式率定”通常是指对仪器的一种计量校准(也称“标定”),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。常见的土壤水分传感器公式率定方法主要有现场测定法和实验室测定法两种。其中,现场测定法包括围埂灌水法、人工巡回比测法,是国内普遍采用的率定方法。该法是在土壤水分传感器埋设现场,利用人工烘干法测取不同量级土壤含水量及其对应的传感器输出电信号,通过建立传感器输出信号与土壤含水量关系式,实现传感器的公式率

定;实验室率定法是在实验室内利用现场采集到代表性土样,在实验室浸泡至饱和后,在土壤水分自然退水过程中,连续进行人工烘干法土壤含水量及传感器输出电信号测定,并建立二者对应关系式^[6-7]。两种方法共同点是均需要人工烘干法连续测定不同量级土壤含水量,区别是前者在现场测定,需驻测,成本高;后者在实验室测定,需在现场采集待测原状土运回实验室进行操作。

本文主要介绍环刀称重法介电类土壤水分传感器率定方法,即利用环刀土样退水连续称重和输出电信号连续测定,在实验内实现传感器的公式率定。

2 方法简介

利用环刀在野外钻取原状土实验样本,带回实验室浸泡至土样饱和,插入待测传感器;然后,从高含水量到低含水量逐次测定实验土样整体质量(包括环刀、湿土样、托盘、传感器及数据线,在整个实验过程中,如果认为环刀、传感器及数据线质量是恒定已知的,质量的变化实际上是土壤含水量的衰减)和传感器输出电压。经过一段退水时间后,实验土样含水量降至较低水平时(如土样因早开裂,或土壤含水量低于5%)时,取出传感器,停止实验。对实验土样一次性称重、烘干,计算出逐次土壤含水量,得到若干组土壤

收稿日期:2017-05-05

作者简介:邹文安(1968-),男,吉林东丰人,教授级高级工程师,主要从事墒情监测、墒情评价研究。E-mail:jlszwz@163.com

含水量与传感器输出电压后,建立土壤含水量与传感器输出电压相关关系,根据相关关系点距拟合出对应关系式,该关系式即为传感器土壤含水量计算公式。

本方法理论依据充分,方法简单,测定成本低(不需要人工烘干法连续测定土壤含水量),易于操作,可批量测定;可覆盖土壤从高含水量到低含水量,测定结果具有代表性。不足之处就是土样退水过程受温度、湿度影响较大,存在退水时间过长现象。

本方法适用于固定埋设式和便携式针式土壤水分传感器公式率定。

3 率定过程及技术要求

3.1 实验仪器设备

土样采集设备:挖土锹、环刀、削土刀、滤纸。其中,环刀为不锈钢材质(可自制),壁厚不应小于2mm。环刀高度应大于传感器探针长度1~2cm,直径应大于传感器直径2~3cm。

烘干称重设备:电子天平(感量为0.01g)、烘干箱、干燥器、托盘、毛巾、盛水容器。

数据采集设备:针式传感器、数据采集终端、数据线、供电设备等。

3.2 土样采集与浸泡^[1]

(1)采样前,应在已称重的环刀内壁均匀地涂上一层薄薄的凡士林油,以减少摩擦阻力,防止取样过程中环刀内土柱开裂。在土样采集现场,用挖土锹水平开挖,开挖深度等于土样采集深度减去环刀高度的一半,刨平采样平面后,环刀垂直向下,用力均衡地将环刀垂直完全压入土中(与采样平面平行)。盖上环刀顶盖,用挖土锹挖去环刀周围土壤,在环刀底端口下方3~5cm处切断土壤,用削土刀刮去环刀外壁上的土壤,削平环刀底端口处多余的土壤。最后在环刀底端口处垫上滤纸,盖紧有孔底盖,防止土样散落。每个采集深度应采集土壤样品2份。

采集到的土样样品(环刀和土样)应包好,竖直摆放,土样样品周围可用碎纸、泡沫或海绵等杂物挤实,防止运输过程中土样样品倾倒、碰撞、震荡,造成土样开裂、散落。

(2)在实验室去掉环刀顶端无孔顶盖,将环刀有孔底盖一面朝下放入平底盛水容器中,缓慢加水,保持水面比环刀上缘低1~2mm。注意水面不得高于环刀上缘。如果水面高于环刀上缘,会造成土样样品表面液化,随着水体震荡而漂移、流失;浸泡时间不应少于

24h,确保环刀内土样含水量达到饱和状态;浸泡过程中要注意随时补水,保持盛水容器内水位不变。

3.3 安装传感器

土样样品浸泡达到饱和后,应进行传感器安装。

安装方法:将环刀移出盛水容器,用毛巾擦净环刀外壁附着的水珠,垂直立在托盘内。将传感器从上而下缓慢垂直插入环刀内土壤,均匀用力,不得倾斜和摇晃。要求传感器探针位于环刀中心,不得接触环刀内壁(探针外边缘距环刀内壁1~2cm为宜),传感器探针应完全插入土壤且与土壤密切接触不留空隙。完成传感器安装后,移除环刀底端有孔底盖、滤纸,更换托盘,进行称重。

安装传感器时,如果土样中含有砂石、植物根须或其他杂物且难以安插到位时,应舍弃该土样,采用第二份土样安装传感器。

3.4 退水称重及输出电压监测

(1)传感器安装后,将环刀整体放在天平上称重(记为 G_1),该质量为环刀、湿土样、托盘、传感器(含数据线,下同)质量之和;完成首次称重后,将传感器连接至数据采集终端,监测传感器输出电压(记为 V_1)。

(2)每次称重、电压测量完成后,均要断开传感器与数据采集终端数据线,且环刀、土样和传感器相对位置不变,环刀应竖直悬空放置在不吸水的支架上,让土样中水分自然排泄和蒸散发。

(3)退水称重与输出电压监测是相匹配的,一一对应的。应先称重,后测电压,分别记录为 G_i 和 V_i 。土样整体称重时,先用毛巾擦净环刀外壁附着的水珠,然后带托盘整体称重。

(4)由于土样高水退水较快,为了测取较完整的退水数据,应加密高水监测频次。一般情况下,第一日称重(测电压)次数不少于4次;自第二日起,可每日监测一次。

(5)实验过程中应保持环刀内土壤自然蒸散发,不得对其吹风或烘烤。实验数据一般不小于20组,并均匀涵盖土壤含水量从高到低变化过程。当传感器电压不再降低时,认为土壤接近或达到干土状态时,停止实验。

(6)拔出传感器,将传感器探针上附着的土壤清理干净放回环刀内,土样不得有散落。将环刀连同土样一并放入烘箱内进行烘干,烘干时间不小于24h,确保环刀内土样彻底烘干。烘干结束后,将土样放进干燥器内,自然冷却后,进行称重(环刀+干土),记为 G_g 。

3.5 土壤含水量计算

干土质量 W_g 计算: $W_g = G_g - \text{环刀质量}$ 。

各次测量的土壤重量含水量 θ_i 计算, 见式(1)。

$$\theta_i = \frac{G_i - G_0}{W_g} \times 100 \quad (1)$$

式中: θ_i 为第 i 次监测的土壤重量含水量, %; G_i 为第 i 次监测, 环刀+湿土+传感器+托盘, g; G_0 为烘干后, 环刀+干土+传感器+托盘, g; W_g 为干土质量, g; $i=1, 2, 3, \dots$ 。

3.6 拟合率定公式

(1) 利用 Microsoft Excel 中“图表”中的“XY 散点图”绘图功能, 以土壤水分传感器输出电压 V_i 作为 x 轴, 以人工烘干法监测的土壤重量含水量 θ_i 作为 y 轴, 点绘各测次土壤重量含水量 θ_i 与传感器输出电压 V_i 关系图。

(2) 生成散点图后, 根据关系图数据点距, 按仪器原率定公式类型添加趋势线。例如, 选择多项式类型, 阶数设置为 3, 选中显示公式和显示 R^2 , 确定后得到多项式率定公式。当相关系数平方值即 $R^2 > 0.95$ 时, 表明点线关系吻合较好, 具有代表性, 实验结果是可用的; 否则, 重做率定。

3.7 检验率定公式

将率定公式置入墒情自动采集仪遥测数据采集终端 (RTU), 进行精度校正检验, 即与人工烘干法测定土壤含水量进行比测检验, 达到检验标准, 方可投入生产使用。

检验率定公式评价指标: 人工烘干法测得土壤含水量与采集仪测得土壤含水量差值的绝对值小于等于 4% 视为合格^[1], 样本总合格率不得低于 80%^[5]。

检验率定公式对比监测样本不少于 6 组。若通过检验, 即可为该采集仪设置新率定的公式; 若未通过检验, 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^[8]。

4 方法应用实例^[7]

本方法在辽宁省绥中墒情站进行了墒情自动监测仪器率定实验。

(1) 土样采集。土样采集在绥中墒情站监测地块现场进行, 距传感器 1m 左右地点采集土样, 采样深度按规范要求设置。由于该墒情站监测地块耕作层土壤质地 (壤土) 是一致的, 不需要 3 个监测层 (10cm、20cm、40cm) 的传感器都进行公式率定, 可选取代表

性的监测层率定即可^[9]。本次选取耕作层 20cm 作为取样深度, 按照土样采集要求, 利用大环刀采集 2 份土样带回实验室。

(2) 土样浸泡、传感器安装、退水称重及输出电压监测按本文“3 率定过程及技术要求”进行。

(3) 拟合率定公式。本次退水过程历时 19d, 共采集实验数据 23 组。其中, 传感器输出电压为 0.34~1.80V, 土壤重量含水量为 2.9%~35.2%。实验数据见表 1。

表1 仪器率定实验数据记录表

Table1 The instrument calibration test data

序号	测量时间	测定质量 / g 传感器+环刀 +湿土+托盘	传感器 电压 / V	土壤 含水量 /%
1	4-27 10:30	1092.22	1.80	35.2
2	13:30	1090.82	1.77	34.8
3	17:30	1089.33	1.76	34.4
4	20:00	1088.37	1.75	34.2
5	4-28 8:30	1085.36	1.75	33.3
6	4-29 8:30	1077.19	1.72	31.0
7	4-30 8:30	1070.37	1.69	29.1
8	5-1 8:30	1062.44	1.62	26.9
9	5-2 8:30	1050.69	1.44	23.7
10	5-3 8:30	1036.13	1.23	19.6
11	5-4 8:30	1025.04	1.10	16.5
12	5-5 8:30	1016.06	0.99	14.0
13	5-6 8:30	1013.37	0.95	13.3
14	5-7 8:30	1010.59	0.92	12.5
15	5-8 8:30	1003.02	0.85	10.4
16	5-9 8:30	997.57	0.78	8.9
17	5-10 8:30	995.75	0.76	8.4
18	5-11 8:30	991.40	0.71	7.1
19	5-12 8:30	986.59	0.65	5.8
20	5-13 8:30	983.32	0.58	4.9
21	5-14 8:30	980.01	0.51	4.0
22	5-15 8:30	978.29	0.41	3.5
23	5-16 8:30	976.18	0.34	2.9

注: 本次实验中, 传感器重 370.35g; 环刀+托盘重 236.49g; 环刀+干土+托盘重 595.43g。

将相关数据录入 Excel 电子表格。选中输出电压与土壤重量含水量两列, 插入 XY 散点图, 添加 3 阶多项式趋势线, 选择显示公式和 R^2 , 生成输出电压与土壤含水量关系线, 见图 1。

结果显示, 相关系数平方值 $R^2 = 0.993$, 大于 0.95, 表明输出电压与土壤含水量关系显著, 代表性较好, 表示本次率定实验结果是可用的。

输出电压与土壤含水量率定关系式为的三次多项式, 即 $y = 0.862x^3 + 3.553x^2 + 11.33x - 2.277$ 。式中的 y 代

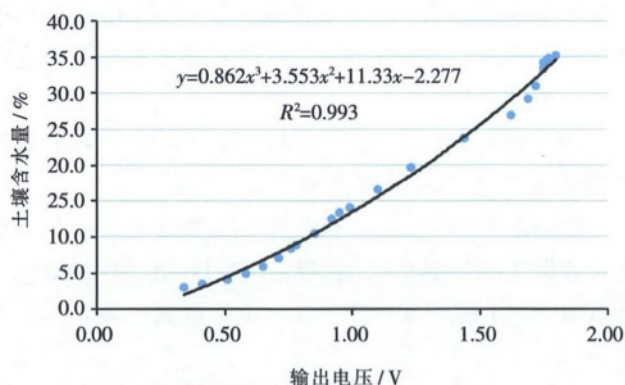


图1 输出电压与土壤含水量关系线图

Fig.1 The relationship between the output voltage and soil water content

表土壤重量含水量,百分数表示; x 代表传感器输出电压,单位为V。

(4)检验率定公式。将率定关系式置入本站墒情自动监测站遥测数据采集终端,然后进行人工监测土壤含水量与墒情自动监测土壤含水量同步对比检验。在土层深度10cm、20cm、40cm自动采集土壤含水量,同步进行人工烘干法测定土壤含水量,比测数据不少于6组。

检验结果表明:同步比测采集数据共33组,有27组数据差值的绝对值小于4%(合格),准确度达81.8%,合格率超过80%,率定公式可用。

5 注意事项

(1)受环刀尺寸(环刀高度一般不超过63.7mm,部分型号的传感器探针大于该高度)影响,环刀率定实验受到一定限制。为了拓展该方法使用空间,可根据选用的传感器探针长度需要,自制不锈钢环刀及有孔底盖,这样可满足不同类型针式传感器率定。

(2)实验使用的针式传感器型号与墒情站现场安装埋设的针式传感器型号必须一致。现场采集到的土壤质地与埋设传感器的土壤质地应保持一致,且采集到的土样结构不得改变,实验过程中土样不得有散落和遗失。

(3)在率定实验(土样退水)过程中,随着土样中的水分下渗和蒸散发,土样质量(土壤含水量)、传感器输出电压会逐渐变小;但有时个别测次会出现反曲现象,即土样质量(土壤含水量)、传感器输出电压不降反升,主要原因是受温度、湿度的影响,属正常现象,只要总体呈下降趋势,实验可继续进行。

(4)当实验土样含水量降至较低水平时,或土样因

干开裂严重,影响到插入针式传感器正常监测时,应停止实验。

(5)黏性土壤在加热烘干时会在表层形成坚硬的胶状外壳,阻止水分向外蒸散发,导致环刀内土样烘干不彻底。建议进行二次烘干,即第一次烘干后,将环刀取出,将土样放到大铝盒中切碎,对大铝盒及其土样再次烘干。

6 结语及建议

(1)随着国家防汛抗旱指挥系统二期工程项目和各省(区、市)地方旱情信息采集系统的建设,全国各省(区、市)墒情自动测报系统已初具规模,墒情信息应用已势在必行。传感器是墒情自动测报系统重要组成部分,是决定墒情自动监测质量的核心器件,其公式率定是该系统投入生产应用前必做的基础工作,是保证墒情数据精度的重要技术措施,应高度重视。

(2)目前,国内常见的传感器公式率定方法有现场围埂灌水法、人工巡回比测法,实验室环刀称重法、标准土样测定法等,这些方法各有所长,也都有不足。具体采用哪种方法,应根据本地实际情况,合理选用。

(3)加强对土壤墒情自动监测仪器传感器率定方法的研究,积极开展有关率定方法对比试验,总结各地率定工作经验,发现和解决率定工作中存在的各类问题,尽快制定规范的传感器公式率定(精度校准)技术规程,统一操作方法和技术指标,为提高墒情自动监测质量,做好墒情评价和旱情分析提供可靠技术支持。

参考文献:

- [1] SL 364-2015,土壤墒情监测规范[S].(SL 364-2015,Technical Standard for Soil Moisture Monitoring[S].(in Chinese))
- [2] 中国气象局综合观测司.自动土壤水分观测规范(试行)[S].(China Meteorological Bureau Comprehensive Observation Division. Automatic Soil Moisture Observation Criterion(Try out)[S].(in Chinese))
- [3] 朱安宁,吉丽青,张佳宝,等.不同类型土壤介电常数与体积含水量经验关系研究[J].土壤学报,2011(2):263-268.(ZHU Anning,JI Liqing,ZHANG Jiabao,et al. Empirical relationship between soil dielectric constant and volumetric water content in various soils[J]. Acta Pedologica Sinica,2011(2):263-268. (in Chinese))
- [4] 唐修雄,董克非,隋一勇,等.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,SUI Yiyong,et al. The dielectric constant as the center of the automatic soil moisture observation equipment calibration system [J]. Meteorological,Hydrological and Marine instrument,2011,(4):15-16.(in Chinese)) (下转第41页)

Reconstruction of Runoff-sediment Sequences and Its Change Law at Tangnaihai Hydrometry Station in Yellow River Source Area

LIU Jing¹, JI Li¹, LI Zhiwei^{1,2}, YU Guoan³, TIAN Shimin⁴

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

2. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100104, China;

4. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: The precipitation data from the Zeku Meteorology Station during 1959–2011, annual runoff and sediment discharge data from the Tangnaihai Hydrometry Station during 1956–2011 were taken to established correlation with $\delta^{18}\text{O}$ determination sequences of the adjacent position (Wanxiang Cave in Gansu Province). This paper studied the changes of precipitation and runoff-sediment sequence in the millennium scale which based on the establishment of the variation curves of precipitation with 10-year moving average, and the annual runoff and sediment discharge with 5-year moving average and 10-year moving average. The results show that R^2 values of the fitting equations are all greater than 0.6 except the calibration equation of annual sediment discharge at the Tangnaihai Hydrometry Station with 5-year moving average, and the correlation is relatively high. The annual runoff of the Yellow River source is decreasing while the trend of annual sediment discharge is approximately the same, and its changes are mainly related to precipitation. At the Tangnaihai Hydrometry Station, the changes of annual runoff and sediment discharge in the 1800a scale can be divided into 9 stages, of which 5 stages show an increasing trend and the other 4 stages show a decreasing trend.

Key words: Yellow River source; runoff; sediment discharge; flow-sediment reconstruction; climate change; correlation analysis

收稿日期:2017-05-15;修回日期:2017-06-15;录用日期:2017-06-20;责任编辑:王金星

(上接第 74 页)

[5] 杨建青,王金星,章树安,等. 土壤水分监测仪器野外测试分析研究[J].

水文,2012,32(5):57-61.(YANG Jianqing, WANG Jinxing,ZHANG Shu'an,et al. Comparison on performance of soil moisture monitoring sensors through field monitoring study [J],Journal of China Hydrology,2012,32(5):57-61. (in Chinese))

[6] 智永明,韩继伟,邓超,等. 基于原状土柱土壤水分传感器率定方法

的研究[J].水文,2016,36(4):48-52.(ZHI Yongming, HAN Jiwei, DENG Chao, et al,Soil moisture sensor calibration method based on undisturbed soil column[J]. Journal of China Hydrology,2016,36(4):48-52. (in Chinese))

[7] 章树安,林祚顶. 土壤墒情监测与分析预测应用技术[M].长春:吉林

大学出版社,2017.(ZHANG Shuan,LIN Zuoding. Application of Soil Moisture Monitoring and Analysis Forecasting[M].Changchun: Jilin University Press,2017. (in Chinese))

[8] 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))

[9] 邹文安,徐立萍,徐加林. 便携式土壤水分采集仪标定的探讨[J].水

文,2013,33(3):43-46.(ZOU Wenan,XU Liping,XU Jialin. Portable soil moisture collecting instrument calibration research [J].Journal of China Hydrology,2013,33(3):43-46. (in Chinese))

Dielectric Type Soil Moisture Sensor Formula Calibration Based on Ring Knife Weighing Method

ZOU Wenan¹,LV Shougui²,JIN Fuyi³

(1. Hydrology and Water Resources Bureau of Jilin Province, Changchun 130022,China;

2. Tonghua Hydrology Water Resources and Survey Bureau of Jilin Province,Tonghua 134000,China;

3. Hydrological Bureau of Liaoning Province,Shenyang 110003,China)

Abstract:The sensor is an important part of the automatic monitoring equipment of soil moisture,which is the core device that determines the accuracy of moisture monitoring data. It is very important to scientifically and rationally calibrate the sensor accuracy. Based on the actual production,according to the relevant technical specifications and literature results,this paper systematically described the dielectric type soil moisture sensor formula calibration based on ring knife weighing method, according to the principle that the measured medium apparent sensor output signal will change with the soil moisture changing, so as to provide reference for further standardizing the process and technical requirements of the laboratory soil moisture sensor, and provide technical support for study on the soil physical characteristics, soil moisture experiment, and moisture monitoring and evaluation.

Key words: dielectric class; soil moisture sensor; backwater weighing; calibration formula