

土壤水分传感器实验室校准与一致性分析

高炉东¹, 张继光², 王黎明³, 刘焕乾³

(1. 湖南省气象局, 湖南长沙 410118; 2. 湖南省气象信息中心, 湖南长沙 410118; 3. 湖南省气象技术装备中心, 湖南长沙 410007)

摘要 介绍了自动土壤水分传感器的测量原理和实验室校准方法, 以湖南省气象部门业务运行的 26 套 DZN3 型自动土壤水分站逐层传感器实验室校准数据为基础, 分析了自动土壤水分传感器的一致性。

关键词 FDR; 土壤水分; 传感器; 一致性

中图分类号 S126 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)20-366-03

土壤水是植物吸收水分的主要来源(水培植物除外), 土壤水分含量的状态和变化, 是植物的生长状况好坏的主要决定因素, 对土壤水分的测定是保障农业生产的重要手段, 同时还是科学决策和防范山体滑坡的重要参考依据。土壤水分传感器主要用来自动测量土壤含水量(需要连接采集器, 组成目前主要采用的 FDR 自动土壤水分观测仪), 因此, 为保证其测量数据的准确性, 需要定期对传感器进行校准。

1 测量原理和数据生成

1.1 测量原理 FDR 自动土壤水分观测仪是基于频域反射法(Frequency Domain Reflectometry)原理而设计, 传感器由一对电极(平行排列的金属棒或圆形金属环)组成一个电容, 电容与振荡器组成一个调谐电路, 用 100 MHz 正弦曲线信号扫描土壤, 电容量的变化与两极间被测介质(土壤)的介电常数成正比。因水的介电常数比一般介质的介电常数要大, 所以当土壤中的水分增加时, 其介电常数相应增大。根据电容量与土壤水分之间的对应关系, 即可测出土壤体积含水量。

依据安装方式的不同, 可分为插针式和管式 2 种(图 1)。

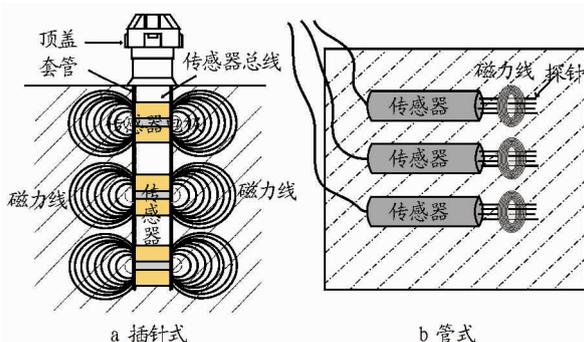


图 1 FDR 土壤水分传感器测量原理

1.2 自动土壤水分数据生成 利用传感器在水和空气中测得的频率定义归一化频率 SF :

$$SF = \frac{F_a - F_s}{F_a - F_w} \quad (1)$$

式中, F_a 、 F_w 、 F_s 分别为传感器放置于空气、水、土壤中所测得的频率。

在不同土壤样本的基础上建立归一化频率 SF 与土壤体

积含水量 θ_v 之间的经验关系:

$$SF = 0.1957\theta_v^{0.404} + 0.0285 \quad (2)$$

2 实验室校准方法

2.1 校准标准物制作 将实验需要的至少 100 kg 的 240 目玻璃砂进行晾晒或使用烘箱烘干, 保证玻璃砂中基本无水分。烘干后的玻璃砂使用双层塑料袋密封包装, 制作过程中需使用的容器及工具均应洗涤干净, 烘干后保持干燥^[1]。制作前应将要使用的仪器进行校准。根据各校准点、水量计算: 设 240 目玻璃砂容重为 1.5 g/cm^3 , 计算所需玻璃砂重量和加水量, 各校准点标准物质配比见表 1。

表 1 标准物质配比

校准点	体积// cm^3	加水量//g	玻璃砂重量//%
5% 体积含水量	5 130.5	256.5	7 695.8
15% 体积含水量	5 130.5	769.6	7 695.8
25% 体积含水量	5 130.5	1 282.6	7 695.8
32% 体积含水量	5 130.5	1 641.8	7 695.8

校准前将管式传感器(或针式传感器)校准容器放置在平坦、牢靠工作台上。校准装置如图 2 所示。

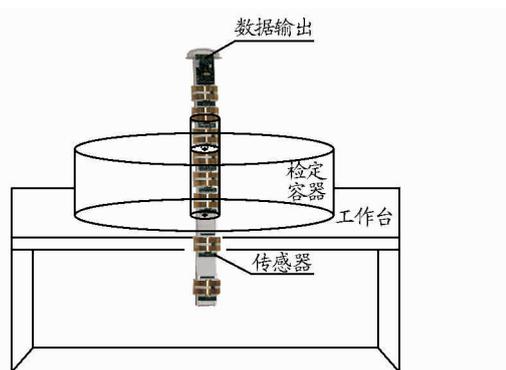


图 2 实验室校准示意

2.2 校准技术要求 将观测仪置于空气中, 测量此时的体积含水量, 小于 0.3% 视为合格; 将传感器置于装满纯水的水桶中, 测量此时的体积含水量, 接近 100% 视为合格。

土壤水分传感器的静态校准结果的最大允许误差为^[2]: 在 $\pm 2.5\%$ 之间; 静态校准结果(各层之间)的不一致性为: 在 $\pm 1.5\%$ 之间。

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - a_i|}{N} \quad (3)$$

作者简介 高炉东(1975-), 男, 湖南邵阳人, 工程师, 从事气象观测和服务业务管理研究。

收稿日期 2015-05-21

式中, x_i 分别为仪器观测值; a_i 为人工观测值; N 为对比观测次数; $\bar{\sigma}$ 为人工对比观测土壤体积含水量多次平均值的绝对误差。

3 传感器校准

3.1 校准数据读取 分别校准土壤水分观测仪的 8 支传感器的测量值(土壤体积含水量), 每隔 1min 采集 1 次测量值,

共采集 4 次测量值, 取 4 次测量值的平均值作为测量结果, 测量结果减去标准值得出测量误差。

对 26 个站点的 202 个传感器分别进行 4 个标准校准点的测试, 取 4 次归一化频率平均, 并用公式(2) 计算出相应的体积含水量值。

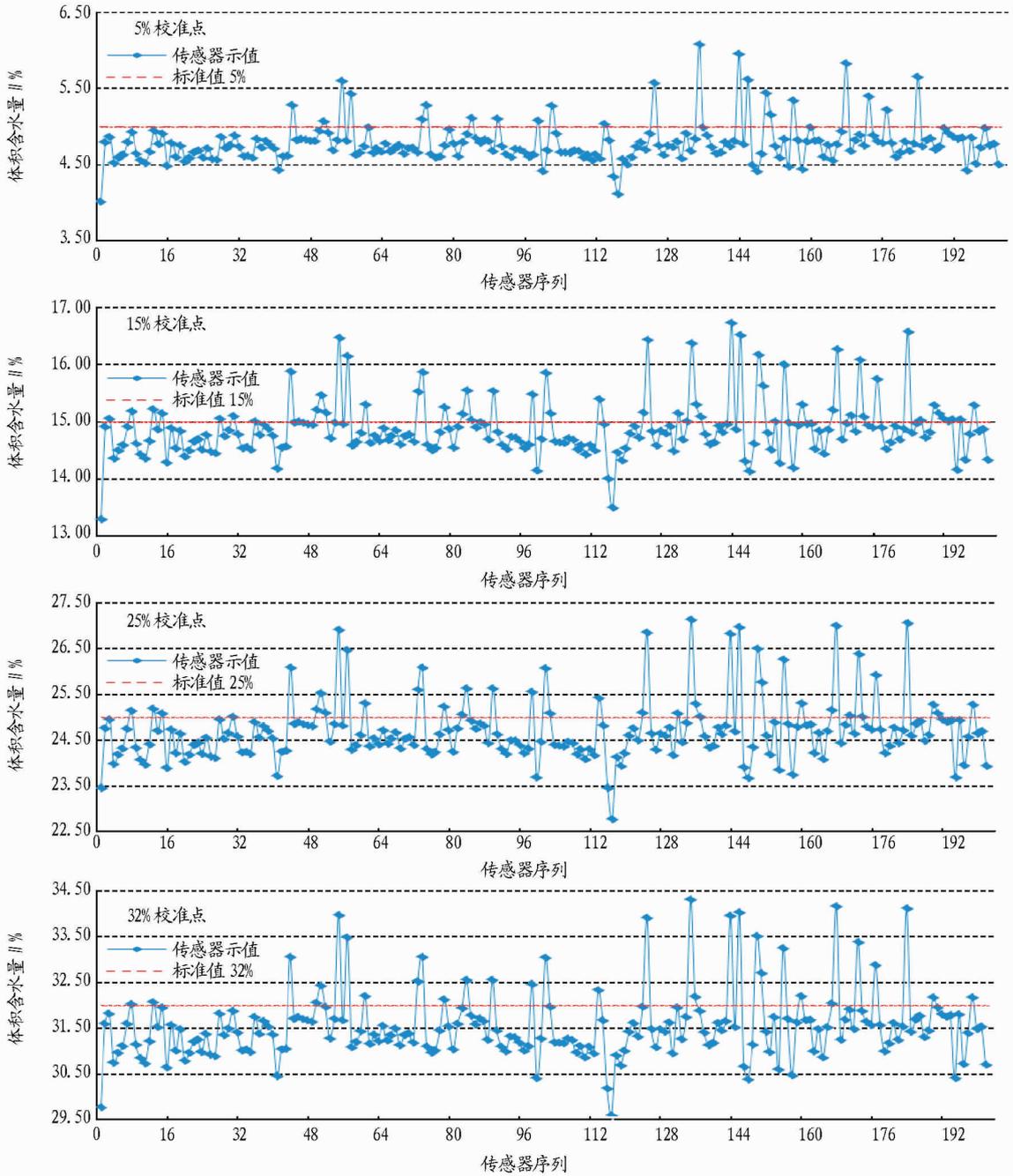


图 3 传感器在 5%、15%、25%、32% 校准点上的测量值分布

3.2 静态校准结果分析 从图 3 可以看出, 在 4 个(5%、15%、25%、32%) 标准检测点上, 传感器被测值普遍低于标准值, 低于标准值的传感器数量分别占 89.1%、72.7%、78.7%、84.2%; 随着标准点的湿度值增大, 绝对误差的振幅也随之增大, 绝对误差振幅平均值分别为 0.3、0.37、0.58 和 0.73, 其中高于标准值误差平均振幅分别为 0.39、0.48、

0.72、0.91, 随标准点湿度增加有上升的趋势, 低于标准值误差平均振幅分别为 0.29、0.33、0.55、0.70, 随标准点湿度增加有上升的趋势; 在 4 个标准点上, 大于标准值最大振幅分别为 1.08、1.74、2.15、2.32, 低于标准值的最大振幅分别为 -0.99、-1.71、-2.25、-2.41; 所有传感器在 4 个标准点上的平均偏差为 0.50。

利用公式(3)计算得出,静态对比检查误差全部在 $\pm 2.5\%$ 之间,处于规定的误差范围内。各层传感器的不一致性(有正负差值)的站点情况:在4个标准点上,其中桑植作物地段60 cm深度的差值最大,其平均差值为1.76,冷水滩40 cm深度次之,平均差值为1.73;传感器在4个标准点上差值最小为0.09,有江华站20 cm、衡阳地段20 cm、临武站100 cm、平江站40 cm、赫山站80 cm、冷水滩站80 cm、澧县站40 cm共7个层次。

3.3 静态校准一致性 由于自动土壤水分观测仪器受安装地点的不同导致其安装在空气和水中的标定基准频率不同,即公式(1)的 F_a 和 F_w 一定的差异,所以要进行同一个站点不同层次传感器之间的一致性检查。从图3可以看出,在4个标准检测点上,有33个传感器出现正差值和负差值,占16.3%;21个传感器(总数的10.4%)在4个标准检测点上正差值,在每个标准检测点上的平均差值分别为0.40、1.00、1.27、1.27;148个传感器(总数的73.3%)在4个标准检测点上负差值,在每个标准检测点上的平均差值分别为-0.33、-0.33、-0.58、-0.78。

利用公式(3)计算站点之间传感器不一致性,在5%标准检测点上,最大不一致性为0.44(桑植作物地段),最小为0.14(衡阳作物地段);在15%标准检测点上,最大不一致性为0.62(衡阳农气站),最小为0.14(澧县);在25%标准检测点上,最大不一致性为0.92(桑植作物),最小为0.20(澧县);在32%标准检测点上,最大不一致性为1.12(桑植作物),最小为0.14(澧县)。

4 业务运行分析

用桑植作物地段和江华站点土壤水分站2013年1月1日~2014年4月21日475个时间序列8个层次(离地面深度10、20、30、40、50、60、80、100 cm)日平均体积含水量和日累计降水量,分析体积含水量和降水量的关系,结果见图4。根据“3.2”的分析,桑植作物地段传感器不一致性在3个标准检测点上表现最大,体现在图4a中为浅层和深层之间的较大差值,且浅层的体积含水量数据明显长时间处于过饱和状

态,最大达95%,而据1981~2007年全国23个农气一级站的极值统计来看,土壤体积含水量 $\leq 55\%$ ^[3]。江华站各层传感器一致性较好,平均不一致性为0.52,从图4b可以看出深层体积含水量高于浅层,各个层次对降水有明显的响应,响应变化幅度也较均匀一致。

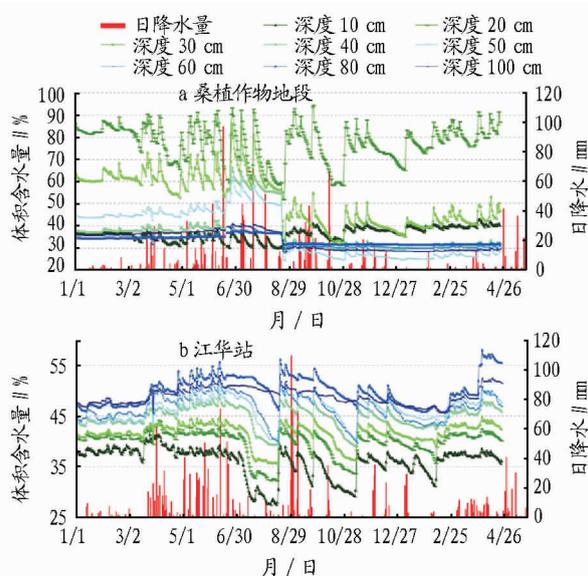


图4 桑植作物地段和江华站观测体积含水量和降水量情况

5 结语

在实验室环境下对土壤水分传感器进行校准能够很好地控制标准检测点的实验精度,能更加真实地检测出自动土壤水分传感器的测量水分效果,在保证标准校准点精确度的基础上,利用实验对比数据可以将体积含水量数据进行校正,使校正后的测量值在标准检测点数据上达到均方误差最小。

参考文献

- [1] 中国气象局探测中心. FDR型自动土壤水分观测仪实验室校准方法[S].北京:中国气象局,2013.
- [2] 中国气象局综合观测司.自动土壤水分观测规范(试行)[S].2010.
- [3] 张志富.自动站土壤水分资料质量控制方案的研制[J].干旱区地理,2013,36(1):103.

(上接第365页)

参考文献

- [1] 顾朝林,张敏.长江三角洲城市群发展研究[J].长江流域资源与环境,2006,15(16):771-775.
- [2] OKUNUKI K. Urban analysis with GIS[J]. Geo Journal,2001,52:181-188.
- [3] 王新生,刘纪远,庄大方,等.中国特大城市空间形态变化的时空特征[J].地理学报,2012,60(3):392-400.
- [4] 张虹鸥,叶玉瑶,陈绍愿.珠江三角洲城市群城市规模分布变化及其空间特征[J].经济地理,2006,26(5):806-809.
- [5] 肖亚丽,蒋大和.长三角城市群生态城市建设定量评价[J].长江流域资源与环境,2007(5):549-553.
- [6] LIU J Y, ZHAN J Y, DENG X Z. Spatio-temporal patterns and driving forces of urban land expansion in China during the economic reform era[J]. Ambio,2005,34(6):450-455.
- [7] CHAVEZ P S J R. An improved dark-object subtraction technique for at-

mospheric scattering correction of multispectral data[J]. Remote Sensing of Environment,1988,24:459-479.

- [8] 黄岚.环境和行为关系——人居空间模式的比较分析[J].安徽建筑,2006(2):11-13.
- [9] 黄特军.扶贫自愿性移民搬迁的模式研究与效果评价——以广西为例[D].南宁:广西大学,2002.
- [10] 金其铭,董昕,张小林.乡村地理学[M].南京:江苏教育出版社,1991:49-51.
- [11] 姜广辉,张凤荣,秦静,等.北京山区农村居民点分布及其变化与环境关系[J].农业工程学报,2006,22(11):85-92.
- [12] 姜广辉,张凤荣.北京市农村居民点用地内部结构特征的区位分析[J].资源科学,2007,29(2):137-144.
- [13] 姜广辉,张凤荣.基于Logistic回归模型的北京山区农村居民点变化的驱动力分析[J].农业工程学报,2007,23(5):132-139.
- [14] 姜广辉,张凤荣.科学发展观指导下的农村居民点布局调整和整理[J].国土资源科技管理,2012(4):117-123.