

田间土壤含水量的原位测定

——TDR 仪的应用

周刘宗 周凌云 徐梦熊 陈志雄

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

Henryk Sobczuk

(波兰科学院农业物理所)

摘 要

本文介绍了TDR仪的原理和使用方法,并根据实际使用情况对该仪器的田间适用性进行了评价。研究表明,该仪器适用于田间原位测定,且精度较为满意。TDR仪具有快速、精确和使用方便等优点,应用前景广阔。

关键词 TDR仪; 土壤含水量; 原位测定

土壤含水量不仅是土壤物理学中常用的一个土壤物理性质指标,也是有关的农学、林学和水文学研究及土木建筑工程设计中不可缺少的最基本的资料。测定土壤含水量的方法很多,最近又崛起一些其他方法,如时域反射仪法(TDR)和遥感法等,由于它们有突出的优点,已经引起土壤物理学界的重视(Catriona et al, 1991)。其中以时域反射仪法尤为引人注目。

在不少试验研究及农业生产中,常需定点原位连续监测土壤含水量。因此,人们一直在探索一种准确、简便、快速、省时的测量方法。时域反射仪法就是这一探索的最新成果。目前,这一仪器已进入商业市场。本研究中所使用的是波兰 Easy Test 公司生产的型号为 FOM/mts 的 TDR 测试仪,这种仪器可同时测定土壤温度、含水量和电导率 3 项参数。

1 原 理

TDR 是英文 Time Domain Reflectometry 的首字母缩写,是一种测量电磁脉冲从发射源出发到遇到障碍物产生反射后返回发射源所需时间的技术。其实,这一方法与声纳探测仪、激光测距法等属同一类型。Topp(1980)最早将这一技术用于土壤含水量的测定,经过十多年的试验与改进,已广为人们所承认。该法利用电磁波在土壤中的传播特性测定土壤含水量。

电磁波在介质中的传播速度可由下式确定:

$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \quad (1)$$

式中: C 为电磁波在真空中的传播速度,即 $300,000 \text{ km/sec}$; ϵ 为传播介质,如土壤等的介电常数; μ 为磁性常数。

就土壤固体颗粒而言, ϵ 一般为 2 左右,而水的介电常数 ϵ 通常在 80 左右。因此,土壤含水量的改变对土壤介电常数的变化影响很显著。实际上,土壤介电常数 ϵ 是土壤含水量 θ

的函数，即 $\epsilon = \epsilon(\theta)$ 。通过测定土壤的介电常数 ϵ 可反求土壤含水量 θ 值。土壤属非磁性介质，其磁性常数 μ 为 1，于是可由(1)式解出 ϵ ，得：

$$\epsilon = \left(\frac{C}{V}\right)^2 \tag{2}$$

只要能测出 V ， ϵ 便能确定。 V 的测定可根据电磁波在一已知距离内传播所需的时间确定，即：

$$V = \frac{D}{t} \tag{3}$$

式中 D 为已知的波的传导距离， t 为传播这一距离所需的时间。显然，测定的关键是传播时间 t 。

TDR 仪主要组成部分及其连接如图 1 所示。其中阻隔器的设置一方面是为防止电磁脉冲刚进入土壤时，过多能量被反射回探测器；另一方面，它还起到滤波的作用。计时系统要求能对脉冲发生器和接收器同步计时。传导线又称探头，一般为铜芯电缆或一对平行电极板。

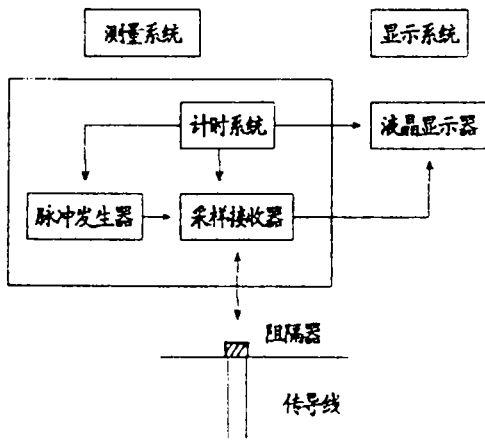


图1 TDR各组成部分连接示意图

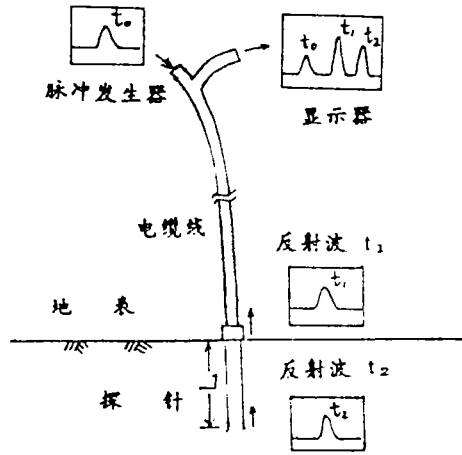


图2 TDR工作过程示意图

图 2 是 FOM / mts 的工作过程示意图。图中 t_0 是探测器测到的由脉冲发生器发出的脉冲， t_1 是脉冲刚与土壤接触所发生的反射波， t_2 为部分脉冲波沿探针传导到探针顶端因间断而沿导线反射到接收器的脉冲。 t_0 、 t_1 和 t_2 还分别表示这 3 个波到达接收器的时间。由该图可得出下列关系式：

$$D = 2L \tag{4}$$

$$t = t_2 - t_1 \tag{5}$$

式中， L 为探针的长度，通常为 10cm； D 为脉冲的传播距离，是探针长度的两倍； t 为相应的传播时间，一般在毫微秒量级。为了能获得较高的测量精度，要求 t 的测量误差不大于 t 的 1%。

将(3)、(4)和(5)式代入(2)式得：

$$\epsilon(\theta) = \left[\frac{C(t_2 - t_1)}{2L} \right]^2 \tag{6}$$

经过标定工作, 可将 ε 及对应的含水量 θ 值拟合成 $\theta \sim \varepsilon$ 函数关系, 如下式:

$$\theta = -17.293 + 11.478\sqrt{\varepsilon} \quad (7)$$

根据 Topp 等人(1980)的研究, 对于不同质地的各种矿质土壤, $\theta \sim \varepsilon$ 关系可用统一的标定曲线拟合, 误差在 $0.05\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 以内。他们的研究还表明, 容重和温度对 $\theta \sim \varepsilon$ 关系影响甚小。这些研究成果给 TDR 技术的实际应用带来了便利。

2 材料与方 法

试验在封丘农业试验站内进行。供试土壤为砂壤土(0—30cm)。在一块 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 的平坦试验地上, 按 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 间距划分网格, 共 441 个节点。在节点处分 3 层, 每层 10cm 深, 用 TDR 仪同时测定其土壤温度、含水量和电导率。测定第二层和第三层时, 先用土钻在节点处分别将 0—10cm 和 10—20cm 土壤取出。此外, 在节点处, 每层随机取约 30 个土样, 用烘干法测定土壤重量含水量。将重量含水量转换成体积含水量时, 容重以节点附近土壤容重实测结果代替。

3 结果与讨论

根据所测得的数据, 利用统计方法分析了 TDR 仪的测量误差, 并对土壤含水量的空间变异性进行了初步探讨。

3.1 TDR 仪测量精度

图 3 为 TDR 法和烘干法测定结果(体积含水量)关系图。图中斜率为 0.844, 截距为 $0.00983\text{cm}^3/\text{cm}^3$, 相关系数为 0.86。样本数为 96。在 95% 置信度下, 两者显著相关。TDR 法测定值与烘干法测定值之差的绝对值最大为 $0.062\text{cm}^3/\text{cm}^3$, 最小为 $0.0003\text{cm}^3/\text{cm}^3$; 且两者差值平方和的均方根为 $0.0217\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 。此测定结果系利用仪器内已有的标定曲线, 即 $\theta \sim \varepsilon$ 关系求得, 而不是对试验地土壤重新标定后测定, 这一误差是可以接受的。TDR 仪测定结果总体偏大, 这可能是两者并非同时测定所引起。试验中是先用 TDR 仪测定, 然后在第二天再取样用烘干法测定。由于有蒸发损

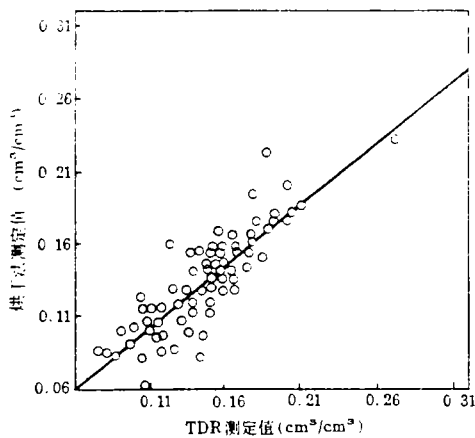


图 3 TDR 法与烘干法测定结果关系图

失, TDR 仪测定值普遍偏高。另一方面, 烘干法测定的重量含水量换算为体积含水量时所用的容重值以结点附近容重代替也是误差来源之一。综合上述分析, 可以认为 TDR 法在田间的测量精度比较令人满意。

3.2 含水量的空间变异性

图 4 为试验地土壤含水量在东西向的空间分布图。从图中可以看出其空间变化较平缓。利用地统计学对其进行半方差分析, 结果见图 5。半方差图表明, 东西向 0—10cm 土层土壤含水量的变程约为 5m。因为测定间距为 1m, 这一相关距值可视为小尺度范围内的变异

状况。

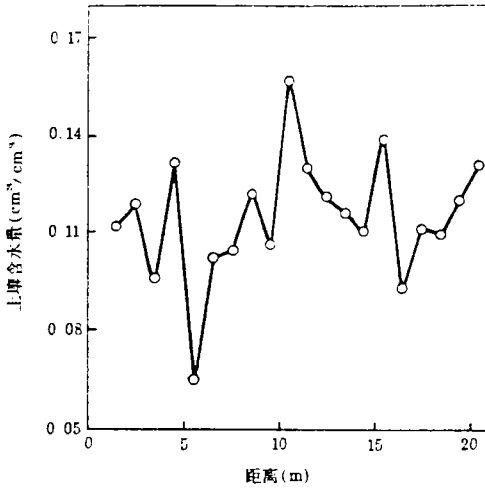


图4 东西向土壤含水量的空间变化图

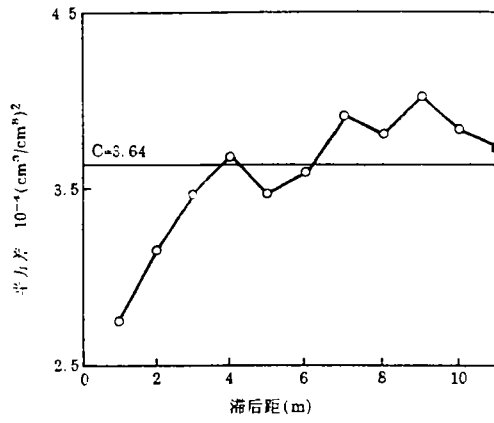


图5 东西向土壤含水量实测半方差图

4 结 语

TDR 仪是一种新型的土壤水分测试仪器，它具有使用简便，测定速度快，精度高，无放射性和适于长期定位观测等优点。最近又研制成功能进行自动采样的 TDR 仪。在不久的将来，TDR 仪可望成为土壤含水量监测的常规仪器。需要指出的是，这一仪器售价昂贵，这是难以推广的主要原因。此外，据我们的使用经验，测定时应注意以下两点：一是应尽可能保证两根电极探针平行插入土中，否则会造成较大测定误差，甚至会导致完全不合理的测定结果；二是如果所测定的土壤质地为粘土，则应选用适于测定粘土含水量的 TDR 仪。

参 考 文 献

[1] Catriona M. K. Gardner et al., Soil water content, in K. A. Smith and C. E. Mullins (ed) Soil analysis: physical methods. New York: Marcel Dekker inc. 1991.
 [2] Topp, G. C., J. L. Davis and A. P. Annan, Water Resour. Res. 1980, 16: 674—582.