

时域反射法(TDR)测定红壤含水量的精度

高国治

张斌 张桃林

孙玉龙

(江苏省农业科学院 南京 210004) (中国科学院南京土壤研究所) (河海大学)

摘要 研究了两种 TDR 仪在红壤上的应用,结果表明红壤性质对 TDR 仪测定土壤含水量的精度有影响,不经过重新标定,Trase 系统的精度在 5% 以内,FOM/mts 的精度大于 5%。经过标定后 Trase 的精度还可提高。

关键词 红壤;TDR;土壤含水量

土壤含水量是现代农业科学、环境科学及最近发展起来的一些交叉学科,如全球变化等实验或模拟研究中的重要项目之一。因而,土壤含水量的原位测定技术发展很快,包括负压计,中子仪,石膏电极,频域电容仪,遥感法以及时域反射法(TDR)等。其中 TDR 法因为其测定准确、快速、简便,测定结果较少地受环境因素、土壤质地、土壤温度和土壤盐分的影响^[1-3],因而正成为研究或实际应用中长期连续原位测定土壤含水量的常规仪器之一。

美国 Soilmoisture Equipment Corp.生产的 Trase 系统和波兰 Easy Test Ltd.生产的 FOM/mts 系统是中国生态研究网络(CERN)使用的两个 TDR 系统。这两种仪器在黄土和砂壤土上应用的精度较高^[4-6]。Trase 系统采用阶跃脉冲(step pulse),能量大,受土壤介质的影响较小,且具有贮存波形的功能;FOM/mts 系统采用针状脉冲(impulse),轻便易于田间使用;两者的波形示意图见图 1。本文主要介绍这两个 TDR 系统在我国南方第四纪红粘土发育的普通红壤上的应用结果。

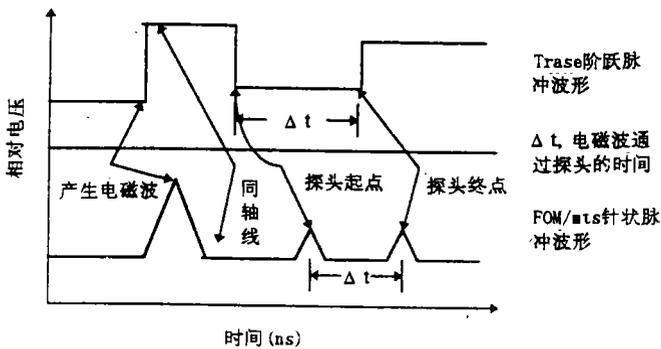


图1 Trase系统和FOM/mts系统的波形示意图

1 材料与方法

试验在中国科学院红壤生态站进行。供试土壤为第四纪红粘土发育的普通红壤。采集一

典型红壤剖面所有层次的土壤, 风干并充分混合后过筛(2mm)。土壤的机械组成为, 砂粒 204.0g/kg, 粉砂 339.8g/kg, 粘粒 456.2g/kg。称取 16.75kg 风干土若干份, 按试验处理分别加入一定量的水(表1), 充分湿润后分两组均匀地装入 $\Phi 250\text{mm} \times 250\text{mm}$ 的 PVC 环桶中。一组(I1)用 Trase 和 FOM/mts 的两针探头同时测定土壤含水量。另一组(I2)用 Trase 的表层两针探头(15cm 长, 非平衡式)和可埋式三针探头(20cm 长, 平衡式)同时测定土壤含水量。然后用环刀取 4 个重复的样品, 烘干后计算土壤体积含水量。

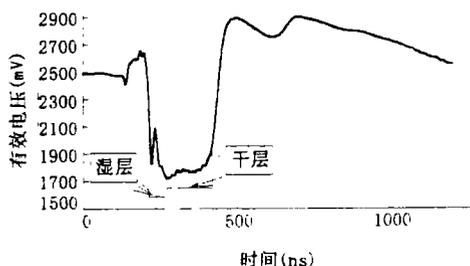
表1 试验处理

处理号	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
加入水量(L)	0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0

注: 风干土重都为 16.75kg。

2 结果与讨论

Trase 系统能储存电磁波通过土壤中探头时的波形图。图 2 是土壤含水量为 $0.268\text{cm}^3/\text{cm}^3$, $K_a = 14.5$ 时, 电磁波通过表层两针探头时的波形图。波形表明探头长度范围内土壤上湿下干性质, 并表明电磁波在红壤中有明显的波动和衰减。FOM/mts 无储存波形功能, 不能提供波形图。



($\theta = 0.268\text{cm}^3/\text{cm}^3, K_a = 14.5$)

图2 红壤上 Trase 系统电磁波脉冲通过探头的波形图

表2 Trase 和 FOM/mts 两针探头测定红壤体积含水量($0.01\text{cm}^3/\text{cm}^3$) 结果比较

代号	θ_V	θ_{Tr}	$\theta_{FOM/mts}$	θ_{F2}	$\theta_V - \theta_{Tr}$	$\theta_V - \theta_{FOM/mts}$	$\theta_V - \theta_{F2}$
T0	8.62	7.5	5.60	9.39	1.12	3.02	-0.77
T1	11.30	8.63	6.43	11.86	2.67	4.87	0.56
T2	13.50	8.87	7.03	12.32	4.64	6.47	1.18
T3	16.47	11.03	7.97	16.03	5.43	8.50	0.44
T4	21.31	15.40	12.10	21.38	5.91	9.21	-0.07
T5	29.34	26.20	21.27	29.92	3.14	8.07	-0.58
T6	32.25	29.83	27.47	31.58	2.42	4.78	0.67
T7	40.59	36.77	34.30	40.39	3.83	6.29	0.20
SE					3.95	6.70	0.65

注: $\theta_V, \theta_{Tr}, \theta_{FOM/mts}$ 分别是环刀法, Trase 两针探头, FOM/mts 两针探头测定结果, θ_{F2} 为 Trase 两针探头标定方程计算的土壤体积含水量。

2.1 用 Trase 和 FOM/mts 探头测定红壤含水量的结果

Trase 和 FOM/mts 探头测定的土壤体积含水量比烘干法的测定结果总体偏小(表 2)。Trase 系统表层两针探头的测定值与烘干法测定值之差的绝对值最大为 $0.0591\text{cm}^3/\text{cm}^3$, 最小值为 $0.0112\text{cm}^3/\text{cm}^3$, 两者差值的标准差(SE)为 $0.0395\text{cm}^3/\text{cm}^3$, FOM/mts 三者的值分别为 $0.0921\text{cm}^3/\text{cm}^3, 0.0302\text{cm}^3/\text{cm}^3, 0.0670\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 。表明利用 TDR 技术测定土壤水分含量的精度在红壤上较其它土壤下降^[4-6]; Trase 系统的测定误差大多在 $0.05\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 以内, FOM/mts 系统的测定误差超过了 $0.05\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 。

由于 FOM/mts 系统内固化了一条标定曲线, 不能输入重新标定曲线, 所以结果标定需要在数据采集之后完成, 而 Trase 系统可以接受重新标定曲线。表 3 是 Trase 系统两种探头的标定曲线, 其计算结果见表 2 和表 4。Trase 系统在采用重新标定的曲线后, 测定误差可明显降

低。

表 3 Trase 系统红壤体积含水量(0.01cm³/cm³)与介电常数的重新标定曲线

代号	处理	模拟方程	R ²
F1	I1 两针探头	$\theta = 0.0085K_a^3 - 0.4183K_a^2 + 7.7747K_a - 20.349$	0.9885
F2	I1 两针探头	$\theta = 0.0144K_a^3 - 0.6625K_a^2 + 10.636K_a - 28.683$	0.9964
F3	I2 三针探头	$\theta = 0.0108K_a^3 - 0.5084K_a^2 + 8.5265K_a - 18.805$	0.9794

注: θ, K_a 分别为体积含水量和介电常数

2.2 Trase 系统两种探头的测定结果

Trase 系统两种探头的测定结果间也有一定的差异(表 4)。可埋式三针探头的测定结果与烘干法测定结果的差值超过了 0.05cm³/cm³, 而表层两针探头的测定结果与烘干法测定结果的差值大多小于 0.05cm³/cm³。表明两针探头的测定精度大于可埋式三针探头, 这可能是可埋式三针探头在插入坚实土壤的过程中, 其波导探头间距极易改变之故。

表 4 Trase 系统表层两针探头和可埋式三针探头测定的土壤体积含水量(0.01cm³/cm³)

代号	θ_v	θ_{Tr}	θ_{TrB}	θ_{F1}	θ_{F3}	$\theta_v - \theta_{Tr}$	$\theta_v - \theta_{TrB}$	$\theta_v - \theta_{F1}$	$\theta_v - \theta_{F3}$
T0	7.36	7.53	6.53	8.81	9.79	-0.17	1.01	-1.45	-2.43
T1	15.51	10.90	8.73	14.59	14.31	4.61	6.79	0.92	1.20
T2	16.90	11.60	8.98	15.10	14.90	5.30	7.93	1.80	2.00
T3	19.63	15.75	11.58	19.90	18.83	3.78	7.95	-0.37	0.70
T4	23.87	21.20	19.55	25.41	25.79	2.67	4.32	-1.54	-1.92
T5	29.10	25.43	24.08	29.03	29.32	3.68	5.03	0.07	-0.22
T6	32.43	28.65	28.88	31.98	31.93	3.78	3.55	0.45	0.50
T7	40.27	36.95	37.4	40.66	40.90	3.32	2.87	-0.39	-0.63
SE						3.70	5.45	1.06	1.42

注: $\theta_v, \theta_{Tr}, \theta_{TrB}$ 分别是烘干法、Trase 表层两针探头、Trase 可埋式三针探头的测定结果, θ_{F1}, θ_{F3} 分别为用标定方程计算的土壤水分体积含水量。

综上所述, TDR 仪测定土壤含水量, 具有无放射性, 测定速度快等优点, 但在红壤上的测定值总体偏小, 其原因可能与红壤的氧化铁含量高、质地粘重及土壤机械物理性质随土壤水分含量变化较大, 使电磁波脉冲通过插入红壤中的探头时衰减迅速有关。Trase 采用阶跃脉冲能量大, 衰减较小, 所以测定结果较精确。该系统经过重新标定后其测定精度还可提高, 且数据存储量大(190 幅图或 5700 个读数), 可同时采集 256 个点的数据, 所以更适合多点长期定位观测。

参 考 文 献

- 1 Topp D C, J L Davis, A P Annan. Water Resour. Res. 1980, 16:674 - 582
- 2 Topp G C, J L Davis. Soil Sci. Soc. Am. J., 1985, 49:19 - 24
- 3 Simpson J, R Meyer. Proc. Int. Conf. on measurement of soil and plant water status. Utah state Univ., Logan, Ut., 1987
- 4 张书函, 康绍忠等. 6050X1 型时域反射仪的测定原理与灵敏性. 西北农业大学学报, 1996, 24(3):10 - 15
- 5 张书函, 康绍忠等. 时域反射仪的测量精度及其与中子仪的对比. 西北农业大学学报, 1996, 24(3):98 - 101
- 6 周刘宗, 周凌云等. 田间土壤含水量的原位测定——TDR 仪的应用. 土壤, 1996, 4:213-216