

时域反射仪的测量精度及其与中子仪的对比*

张书函¹ 康绍忠^{1,2} 聂光镛³

(1 西北农业大学农业水土工程研究所, 2 中科院水利部西北水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

(3 内蒙古自治区水利所, 呼和浩特 010020)

摘要 野外和室内试验表明, 用 6050XI 型时域反射仪(TDR)测定土壤含水率与中子仪法相比, 速度快, 精度高; 还发现随着导棒长度的增大, TDR 与烘干法测定结果的偏差有所增大, 文中给出了 5 种导棒长度的校正公式。

关键词 时域反射仪, 土壤含水率, 测量精度, 中子仪

中图分类号 S274.1

目前最常用的测定土壤含水率的方法是烘干法和中子法, 但各有其不可克服的缺陷^[1]。近几年兴起的时域反射仪(TDR)法弥补了这两种方法的不足并具有众多优点。在其测量原理和灵敏性分析的基础上^[2], 就其测量精度作以介绍, 并与中子仪进行对比。

1 TDR 的测量精度分析

仪器的精度是反映仪器测量性能的一个综合指标, 通过精密度和准确度两个方面来描述^[3]。

1.1 精密度分析

用 15, 30, 45 cm 的标准不锈钢导棒在不同测点测定了土壤容积含水率 θ_v , 每个测点读 10 次数, 求其平均值 $\bar{\theta}_v$, 标准差 σ , 变差系数 C_v , 结果如表 1。从表中可以看出, 导棒长度和土壤含水率大小对精密度几乎没有影响。根据数理统计原理, 取总体的 σ 为 0.0035, 相对误差 $\leq 5\%$, 则每个测点测定时最少的读数次数 $n = 0.0188 / \bar{\theta}_v^2$; 若要求单点测定的绝对误差 $\leq \Delta\theta_v$, 则 $n = 0.000188 / (\Delta\theta_v)^2$ 。由此可知, 实际测定时每点读 3 次数取平均值即可基本上消除随机误差对精度的影响。

表 1 TDR 的精密度分析结果

导棒长度 (cm)	测点 序号	各次读数含水率值 θ_v (cm ³ /cm ³)										$\bar{\theta}_v$ (cm ³ /cm ³)	σ	C_v
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
15	1	0.191	0.193	0.193	0.193	0.195	0.199	0.193	0.193	0.191	0.195	0.1936	0.0022	0.0140
	2	0.065	0.066	0.068	0.068	0.067	0.064	0.066	0.067	0.069	0.064	0.0664	0.0016	0.0245
	3	0.246	0.249	0.250	0.251	0.248	0.253	0.251	0.254	0.253	0.253	0.2508	0.0024	0.0097
	4	0.365	0.365	0.358	0.361	0.364	0.363	0.362	0.357	0.362	0.361	0.3616	0.0024	0.0066
	5	0.302	0.300	0.305	0.303	0.306	0.302	0.301	0.301	0.303	0.303	0.3026	0.0017	0.0058
30	1	0.079	0.078	0.077	0.078	0.076	0.076	0.079	0.077	0.077	0.078	0.0775	0.0010	0.0132
	2	0.111	0.109	0.109	0.114	0.110	0.113	0.117	0.111	0.118	0.112	0.1124	0.0030	0.0245
	3	0.325	0.326	0.327	0.326	0.323	0.326	0.319	0.323	0.326	0.327	0.3248	0.0024	0.0073
45	1	0.153	0.155	0.152	0.150	0.152	0.151	0.154	0.153	0.155	0.152	0.1527	0.0016	0.0102
	2	0.284	0.289	0.285	0.287	0.288	0.285	0.289	0.289	0.286	0.284	0.2866	0.0016	0.0057

收稿日期: 1995-11-02

* 中科院“百人计划”、国家自然科学基金和内蒙古自治区水利厅资助项目。

1.2 准确度分析

1.2.1 实验方法 由于 TDR 测定是一个圆柱型土体的平均含水率^[4],用导棒竖直接入法和水平插入法测定土壤含水率(图 1),并与烘干法测定结果进行比较来检验 TDR 的测量精确度。用直径为 9.87 cm,高为 22 cm 和直径为 25.81 cm,高为 35 cm 的圆桶进行入渗法试验,桶中装土后测得初始含水率 θ_0 ,加定量水 W_0 均匀入渗,测定均匀入渗后含水率 θ_e ,依导棒长度 l 按 $W=L \cdot (\theta_e - \theta_0) \pi \cdot d^2/4$ 计算理论入渗量 W ,并与 W_0 进行比较。

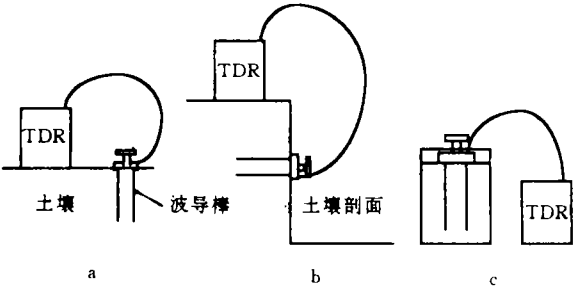


图 1 TDR 与烘干法对比试验装置示意图
a. 导棒竖插法;b. 导棒平插法;c. 入渗法

1.2.2 结果与分析 用波导棒竖直接入法对 15,30,45,60,70 cm 5 种长度的导棒进行的对比实验,统计分析结果如表 2。

表 2 导棒竖直接入时 TDR 测定结果分析 cm³/cm³

导棒长度 (cm)	参 数		导棒长度 (cm)	参 数	
	$\Delta\theta_e$	σ		$\Delta\theta_e$	σ
15	0.0103	0.0049	60	0.0286	0.0077
30	0.0170	0.0071	70	0.0359	0.0050
45	0.0220	0.0089			

可见 TDR 与烘干法测定值的偏差 $\Delta\theta_e$ 总体上比较小,且都为正值并且随导棒长度的增加而增大。

为了提高精度需要校正,以 TDR 测定结果为自变量 X ,烘干法测定结果为因变量 Y ,进行回归分析,结果如表 3。用表 3 中的结果对 15,30,60 cm 导棒另外 5 次测定值进行了校正,与烘干法对比,结果表明,用回归方程订正 TDR 测定结果是可行的。

表 3 导棒竖直接入时 Y 的回归结果

导棒长度 (cm)	回归方程 $Y=AX+B$			
	A	B	相关系数 R	显著水平 α
15	0.9901	-0.0084	0.9978	0.01
30	1.0001	-0.0172	0.9943	0.01
45	1.019	-0.0255	0.9911	0.01
60	0.9963	-0.0276	0.9928	0.01
70	1.081	-0.0557	0.9917	0.01

用水平插入法对 15 cm 导棒进行了 63 次对比试验,将 TDR 与烘干法测定值点绘在图 2 中。可见所有实测点都较好地落在斜率为 1 的直线上;TDR 与烘干法测定值的偏差有正有负而不象竖直插入法那样单一为正;计算得 63 个测点的平均绝对误差为 $0.0147\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。这表明用水平插入导棒法测土壤含水率有相当可靠的精度,不需要校正。

从入渗法的实验结果(表 4)可以看出,TDR 测定土壤含水率计算的理论入渗量与实际入渗量的误差是比较小的。由于大桶实验以多点的平均值作为桶内土壤的含水率,一定程度上克服了入渗和土壤的不均匀,使得大桶实验的总体误差比小桶实验的小。

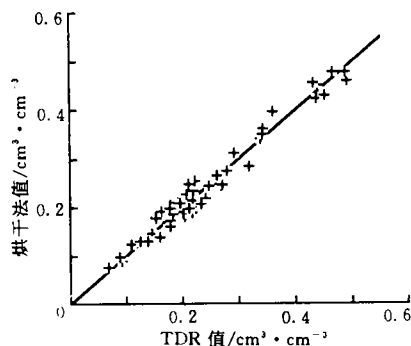


图 2 波导棒平插时 TDR 测值与烘干法值的对比

表 4 入渗法的 TDR 测量结果分析

试验号	加水量 $W_0(\text{cm}^3)$	初含水率 $\theta_{v0}(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	渗后含水率 $\theta_v(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	$\Delta\theta_v$ $(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	理论入渗量 $W^*(\text{cm}^3)$	$\Delta W^*=W^*-W_0$ (cm^3)	$\frac{ \Delta W^* }{W_0}$ $(\%)$
A ₁	60.4	0.1950	0.2474	0.0524	60.13	-0.39	0.65
A ₂	101.5	0.1407	0.2409	0.1002	114.98	13.48	13.28
A ₃	160.0	0.1330	0.2772	0.1442	165.49	5.49	3.43
A ₄	120.5	0.1433	0.2427	0.0994	114.08	-6.42	5.33
B ₁	810.0	0.1276	0.2233	0.0957	751.05	-58.95	7.28
B ₂	1000.0	0.1332	0.2637	0.1305	1024.16	24.16	2.42
B ₃	550.0	0.1415	0.2167	0.0752	590.17	40.17	7.31
B ₄	770.0	0.1384	0.2348	0.0964	756.63	-13.46	1.75

注:试验号中的 A 表示小桶试验,B 表示大桶试验。

2 TDR 与中子仪的对比

试验在两个测点进行,先用 DR501 型中子仪测定 30 cm 及以下不同深度处的含水率,在距测管 15 cm 处挖剖面,在与中子仪测点的相同深度处靠近测管水平打入 30 cm 波导棒,用 TDR 测定含水率并取土用烘干法对比,结果见表 5,可见 TDR 与中子仪都具有较高的测量精度,可用 TDR 代替中子仪进行土壤含水率的野外测定,以弥补中子仪深度小于 30 cm 深的测定不准的问题。

表 5 用中子仪和 TDR 测定的土壤含水率结果对比

测定深度 (cm)	1 号测点					2 号测点				
	$\theta_{v\text{中子}}$	$\theta_{v\text{TDR}}$	$\theta_{v\text{烘干}}$	$\Delta\theta_{v1}$	$\Delta\theta_{v2}$	$\theta_{v\text{中子}}$	$\theta_{v\text{TDR}}$	$\theta_{v\text{烘干}}$	$\Delta\theta_{v1}$	$\Delta\theta_{v2}$
30	0.1599	0.1560	0.1498	0.0101	0.0062	0.2243	0.2220	0.2329	-0.0086	-0.0109
40	0.1568	0.1593	0.1550	0.0018	0.0043	0.2172	0.1945	0.2267	-0.0095	-0.0322
50	0.1631	0.1638	0.1635	-0.0004	0.0003	0.2064	0.1973	0.2075	-0.0011	-0.0102
60	0.1654	0.1650	0.1637	0.0017	0.0013	0.2178	0.2220	0.2222	-0.0044	-0.0002
70						0.2190	0.2206	0.2186	0.0004	0.0014

注:表中 $\Delta\theta_{v1}=\theta_{v\text{中子}}-\theta_{v\text{烘干}}$; $\Delta\theta_{v2}=\theta_{v\text{TDR}}-\theta_{v\text{烘干}}$ 。

3 结 论

6050X1 型时域反射仪(TDR)测定土壤含水率具有较高的精度,能够达到中子仪的水平,以3次连续读数的平均值作为测点含水率值可以基本上消除随机误差对精度的影响。由于其测速快,30 cm 以上精度较高,便于移动,比中子仪更具有优越性。运用 TDR 竖直测定土壤某一深度内平均含水率时,因上下层含水率、容重的不均匀导致测定结果有些偏大,并随导棒长度增大而增大,因而需要校正。

参 考 文 献

- 1 土壤水分测定方法编写组. 土壤水分测定方法. 北京:水利电力出版社,1986
- 2 张书函,康绍忠,张富仓等. 6050X1 型时域反射仪的测量原理与灵敏性. 西北农业大学学报,1996(3):10~15
- 3 严钟豪,谭祖根. 非电量电测技术. 北京:机械工业出版社,1983
- 4 Topp G L, Davis J L. Time-Domain Reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. Advance in Irrigation, 1985(3):101~127

Measurement Precision of Time-Domain Reflectometry and Its Comparision with Neutron Probe

Zhang Shuhan¹ Kang Shaozhong^{1,2} Nie Guangyong³

(1 Institute of Agricultural Soil-Water Engineering, Northwestern
Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

(2 Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and Ministry
of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

(3 Inner Mongolia Institute of Water Conservancy, Huhhot, Inner Mongolia, 010020)

Abstract The results of field and in-door experiments and comparison with Neutron Probe showed that the 6050X1 Time-Domain Reflectometry (TDR) had high precision and speed in measuring soil water content, also the longer the wave guides is, the bigger the variation error in the results measured with TDR. This paper presents five adjusting formulas for the length selection of water guides.

Key words Time-Domain Reflectometry, soil water content, measuring precision, neutron probe