

## 中子仪测量农田土壤水分精度的比较研究<sup>\*</sup>

毛 飞 任三学 刘庚山 郭安红 张佳华

(中国气象科学研究院 北京 100081)

**摘 要** 采用国产 IAG-II 型和美国产 503DR 型 2 种中子仪进行农田土壤水分精度测量对比试验研究结果表明,与土钻法比较,IAG-II 型中子仪的平均精度略高于 503DR 型中子仪;14℃ 和 25℃ 温度下 IAG-II 型中子仪稳定性优于 503DR 型中子仪,而 52℃ 温度下则反之,且 503DR 型中子仪性能受温度的影响小于 IAG-II 型中子仪,表明 2 种仪器均可用于科研和业务。对 503DR 型中子仪 1991 年和 2002 年建立的标定方程进行统计检验分析比较表明,2 条标定方程的剩余标准离差( $s$ )无显著差异,截距( $a$ )和斜率( $b$ )差异显著,表明这 2 条标定方程不能合并。

**关键词** 中子仪 测量精度 稳定性 标定方程

**A comparative study on water content accuracies measured by neutron probes in cropland.** MAO Fei ,REN San-Xue ,LIU Geng-Shan ,GUO An-Hong ,ZHANG Jia-Hua( Chinese Academy of Meteorological Sciences ,Beijing 100081 ,China ) ,*CJEA* 2005 ,13( 4 ) :103~106

**Abstract** A comparative study on water content accuracies measured by two neutron probes which are IAG-II (made in China) and 503DR (made in U. S. A. ) were conducted. The results show that the average accuracy of IAG-II against soil drill is a little higher than that of 503DR ;the stabilities of IAG-II in the condition of 14℃ and 25℃ are better than those of 503DR ;the stability of 503DR in the condition of 52℃ is better than that of IAG-II and the effect of temperature on 503DR is less than that on IAG-II . The two neutron probes can be applied in professional work and study. Using statistical method ,two regression equations built in 1991 and 2002 for 503DR are compared. The results show that the residual standard deviation of two regression equations do not have a notable difference and between the constants( $a$ ) and coefficient( $b$ ) of two regression equations ,there exists a notable difference ,so the two regression equations can not be merged.

**Key words** Neutron probe ,Measurement accuracy ,Stability ,Regression equation

( Received July 30 ,2004 ;revised Sept. 5 ,2004 )

中子仪测定土壤湿度既快速又省力,且不破坏土壤结构,可弥补常规土钻法的不足。国外自 20 世纪 50 年代以来有关中子仪的系统误差和性能及其测定土壤水分的精度研究已见诸报道<sup>[3]</sup>,目前已广泛应用于农业、林业监视土壤水分变化中。国内也进行了中子仪性能与土钻法的比较研究<sup>[1]</sup>,目前已应用于科研和业务中。本试验对比研究了国产 IAG-II 型和美国产 503DR 型 2 种中子仪测量农田土壤水分精度,为检验中子仪在不同环境下建立的标定方程可靠性提供有效方法。

### 1 研究方法

对比试验分别于 1991 年 6~9 月份和 2002 年 6~8 月份在中国气象局固城农业气象试验站进行,参试仪器为中国原子能科学研究院核技术应用研究所生产的 IAG-II 型中子仪和美国 CPN 公司生产的 503DR 型中子仪。试验用测管 1991 年安装于农田中,2002 年安装在试验小区内,农田和试验小区土壤结构不同。1991 年 6 月份在农田对 IAG-II 型和 503DR 型中子仪同时进行标定,标定前对测管附近土壤进行水分处理以增大土壤水分梯度,处理后土壤湿度为重量含水量的 16%~27%。根据中子仪测量土壤水分原理,选择无边缘效应、代表性较好的 30cm、60cm、90cm 和 120cm 土层标定取样,2 种仪器各取得 16 对样本。2002 年 6~8 月份在土壤水分试验小区对同一台 503DR 型中子仪再次进行标定,标定取样为 30cm、60cm 和 90cm 土层,共取得 15 对样本。2 次标定中子仪采用 64s 计数,土钻取样为离测管约 20cm 处对称 2 点的平均,用最小二乘法建立标定方程。1991 年 7~9 月份进行中子仪与土钻法比较试验,中子仪采用 16s 计数,土钻取

<sup>\*</sup> 社会公益研究专项资金项目(2001DIB20096)和教育部留学回国基金项目资助

样为离测管约 50cm 处取 1 点,每深度取 4 根测管的平均作为样本值。每种仪器各取得 60 对样本。于 1991 年环境条件基本一致下进行 2 种仪器稳定性比较,均在屏蔽状态下连续读取相同个数的 64s 计数,并换算到 1s 计数,其中环境温度为 14℃ 和 25℃ 时在室外进行试验,52℃ 温度时在室内恒温箱内进行试验。

## 2 结果与分析

### 2.1 IAG-II 型与 503DR 型 2 种中子仪比较

1991 年建立的 2 种仪器的标定方程及其相关系数见表 1,由表 1 可知 2 种仪器标定方程相关系数分别

表 1 2 种中子仪的标定方程及其相关系数比较\*

Tab.1 Regression equations and correlation coefficients of two kinds of neutron probes

中子仪 Neutron probes	标定方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	样本量/对 Number of samples
IAG-II	$Y = 148.3370x - 5.3161$	0.9601	16
503DR	$Y = 41.36x - 14.4980$	0.9412	16

\*表中 Y 为土壤容积含水量(%),X 为中子仪计数比。

为 0.9601 和 0.9412,均 > 0.01 显著性水平,且 IAG-II 型中子仪相关系数略大于 503DR 型中子仪。2 种中子仪与土钻法测定历次各土层平均绝对误差和相对误差比较见表 2。由表 2 可知 IAG-II 型中子仪历次平均绝对误差和相对误差分别为

1.18% 和 3.78%,而 503DR 型中子仪则分别为 1.32% 和 4.19%。503DR 型中子仪的误差略大于 IAG-II 型中子仪,且 2 种仪器平均相对误差均 < 5%,可满足气象部门进行常规土壤湿度观测对仪器精度的要求。2 种仪器 6 次对比试验的平

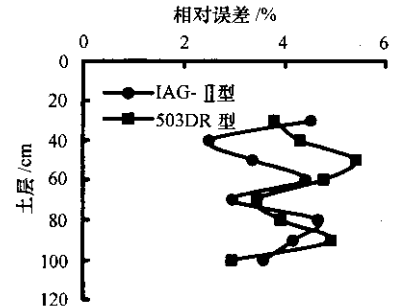


图 1 2 种中子仪平均相对误差垂直变化  
Fig.1 The vertical variance of relative error of two kinds of neutron probes

表 2 2 种中子仪绝对误差与相对误差比较

Tab.2 Absolute error and relative error of two kinds of neutron probes

日期(月·日) Date(month·day)	IAG-II 中子仪 Neutron probes IAG-II		503DR 中子仪 Neutron probes 503DR	
	绝对误差/% Absolute error	相对误差/% Relative error	绝对误差/% Absolute error	相对误差/% Relative error
	07-12	1.43	4.43	2.04
07-14	0.93	2.83	1.14	3.39
07-16	1.13	3.64	1.18	3.91
07-18	1.13	3.45	1.04	3.20
09-17	1.26	4.41	1.24	4.30
09-27	1.18	3.89	1.28	4.23
平均	1.18	3.78	1.32	4.19

表 3 2 种仪器辐射剂量比较

Tab.3 Radiation doses of two neutron probes

距离/cm Distance	IAG-II 中子仪 Neutron probes IAG-II		503DR 中子仪 Neutron probes 503DR	
	$\gamma$ 射线/ $mR \cdot h^{-1}$ Ray	中子( $n$ ) $mR \cdot h^{-1}$ Neutron	$\gamma$ 射线/ $mR \cdot h^{-1}$ Ray	中子( $n$ ) $mR \cdot h^{-1}$ Neutron
	10	0.60	0.72	0.4~0.6
20	0.20	0.36	0.1~0.2	0.8~1.3
30	0.15	0.36	0.05	0.6~0.9
40	0.10	0.22	0.03	0.4~0.6
50	本底	本底	0.02	0.3~0.5

均相对误差随土壤深度变化见图 1。图 1 表明  $\geq 60$ cm 土层 2 种仪器的平均相对误差较接近,变化趋势也基本一致,而 40cm 和 50cm 土层 503DR 型中子仪的误差则大于 IAG-II 型中子仪,二者变化趋势相反。14℃、25℃ 和 52℃ 3 种温度时 503DR 型中子仪变异系数分别为

5.1%、5.5% 和 5.0%,最大差值为 0.5%,而 IAG-II 型中子仪则分别为 4.1%、4.7% 和 6.2%,最大差值为 2.1%,这表明环境温度对 503DR 型中子仪性能稳定性的影响较小,尤其是 52℃ 高温下该仪器计数值的变异系数反而略下降。14℃ 和 25℃ 温度时 IAG-II 型中子仪变异系数小于 503DR 型中子仪,52℃ 温度时则反之。2 种仪器在屏蔽状态下不同距离处的  $\gamma$  射线和中子( $n$ )剂量比较见表 3。

2 种仪器读取标准计数方法 503DR 型中子仪是在屏蔽体里读取标准计数,要求每次读数在周围环境条件相同下进行,其优点操作简便,而 IAG-II 型中子仪是把测管装在半径 > 30cm 水桶(用当地水)中央读取计数,其优点是考虑了当地水质,而不同水质对中子仪计数值有一定影响。

### 2.2 503DR 型中子仪标定方程比较

1991 年和 2002 年分别对 503DR 型中子仪建立了标定方程(见表 4,表中符号同表 1)。根据 2 次标定取样数据,用统计检验方法<sup>[2]</sup>对 2 条标定方程进行分析比较,其所用参数见表 5。采用  $F$  检验法比较剩余标准离差  $s_1$  和  $s_2$ ,将  $s_1^2$  和  $s_2^2$  中数值大的作为分子,数值小的作为分母:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (1)$$

表 5 2 条标定方程所用参数比较

Tab.5 Parameters used two regression equations

项 目 Items	年份 Years	
	1991	2002
标 定 方 程	$Y_1 = a_1 + b_1 X_1$	$Y_2 = a_2 + b_2 X_2$
样 本 量	$n_1$	$n_2$
剩余标准离差	$s_1$	$s_2$
剩余标准离差的自由度	$f_1$	$f_2$
自变量平方和	$l_{x_1 x_1}$	$l_{x_2 x_2}$
自变量平均数	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$
因变量平均数	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$

式(3)中符号同式(2)和表 5。用式(3)计算得  $t$  为 3.71。查  $t$  分布表,当  $N = f_1 + f_2 = 14 + 13 = 27$  时 5% 的  $t$  值为 2.05,小于  $t$  的绝对值 3.71,因此  $b_1$  和  $b_2$  有显著差异,故不能将它们合并计算同一个  $b$ 。用  $t$  检验法检验  $a_1$  和  $a_2$  有无显著差异,其计算式为:

$$t = \frac{a_1 - a_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{\bar{x}_1^2}{l_{x_1 x_1} + l_{x_2 x_2}} + \frac{1}{n_2} + \frac{\bar{x}_2^2}{l_{x_1 x_1} + l_{x_2 x_2}}}} \quad (4)$$

式(4)中符号同式(2)和表 5。用式(4)计算得  $t$  为 -2.38。查  $t$  分布表,当  $N = f_1 + f_2 = 14 + 13 = 27$  时 5% 的  $t$  值为 2.05,小于  $t$  的绝对值 2.38,因此  $a_1$  和  $a_2$  有显著差异,故不能将它们合并计算同一个  $a$ 。由上述比较可知 2 次标定的总体标准差和标定方程的精度无显著差异,但  $a_1$  和  $a_2$  以及  $b_1$  和  $b_2$  有显著差异,故 503DR 型中子仪经过 11 年使用后其测量精度仍可信;由于 2 次标定的时间、季节、土壤结构、取样土层和所用测管厚度的差异 2 个标定方程不能合并,在新建立的土壤水分试验小区测量土壤湿度时,建议应采用 2002 年新建立的标定方程。若  $b_1$  和  $b_2$  以及  $a_1$  和  $a_2$  无显著差异,可据下式计算 2 条标定方程合并后共同的  $a$  和  $b$ :

$$b = \frac{b_1 l_{x_1 x_1} + b_2 l_{x_2 x_2}}{l_{x_1 x_1} + l_{x_2 x_2}} \quad (5)$$

$$a = \frac{n_1 \bar{Y}_1 + n_2 \bar{Y}_2}{n_1 + n_2} - b \frac{n_1 \bar{X}_1 + n_2 \bar{X}_2}{n_1 + n_2} \quad (6)$$

合并后的标定方程为:

$$Y = a + bX \quad (7)$$

式(5)~(7)中符号同表 5。

### 3 小结与建议

本研究表明 14℃ 和 25℃ 温度下 IAG-II 型中子仪性能稳定性优于 503DR 型中子仪,而 52℃ 温度下 503DR 型中子仪性能稳定性优于 IAG-II 型中子仪。503DR 型中子仪性能稳定性受温度的影响小于 IAG-II

表 4 503DR 型中子仪标定方程比较\*

Tab.4 Comparison of regression equations for neutron probe 503DR

年 份 Years	标 定 方 程 Regression equation	相 关 系 数 Correlation coefficient	样 本 量 / 对 Number of samples
1991	$Y = 41.36x - 14.498$	0.9412	16
2002	$Y = 22.902x - 5.5527$	0.9126	15

\*表中  $Y_i$  和  $X_i (i=1, 2)$  同表 1,  $a_i$  和  $b_i (i=1, 2)$  为标定方程待定参数。

用式(1)计算得  $F$  为 1.22。据  $f_1 = 16 - 2 = 14$  和  $f_2 = 15 - 2 = 13$ ,查  $F$  表,得上限值  $F_{0.05}(13, 14) = 2.51$ ,大于 1.22,表明  $s_1$  和  $s_2$  无显著差异,2 个总体标准差是相等的,也表明 2 条标定方程的精度无显著差异。因此把  $s_1$  和  $s_2$  合并,用下式计算合并后的剩余标准离差( $s$ ):

$$s = \sqrt{\frac{f_1 s_1^2 + f_2 s_2^2}{f_1 + f_2}} \quad (2)$$

式(2)符号同式(1)和表 5。用式(2)计算得  $s$  为 1.312。用  $t$  检验法检验  $b_1$  和  $b_2$  差异计算式为:

$$t = \frac{b_1 - b_2}{s \sqrt{\frac{1}{l_{x_1 x_1}} + \frac{1}{l_{x_2 x_2}}}} \quad (3)$$

型中子仪。国产 IAG-II 型中子仪测量精度和仪器性能与美国进口 503DR 型中子仪基本相当,可基本满足科研和业务要求。统计检验表明中国气象局固城农业气象试验站使用 10 多年的 503DR 型中子仪其测量精度仍可信,但分别在 1991 年和 2002 年建立的 2 个标定方程差异显著,建议在土壤水分试验小区测量土壤湿度时应采用 2002 年新建立的标定方程。中子仪测量土壤水分的精度受仪器内在功能和所建立的标定方程影响,前者由仪器生产者和中子仪测量土壤水分的原理所决定,后者由仪器使用者所决定。故后者应在土壤剖面结构复杂的地区做好标定取样工作,建立好标定方程是提高中子仪测量精度的关键。若土壤结构垂直差异明显可根据具体情况进行分段标定,即对差异明显的土层分别建立标定方程,同时要比各土层分段标定与不分段标定的测量精度,择其优者,而前者应在仪器改进中综合考虑如何提高 0~30cm 表层土壤含水量的测量精度。

### 参 考 文 献

- 1 逢春浩. 中子水分仪在中国科学院禹城综合试验站的应用. 农田蒸发研究. 北京:气象出版社,1991. 49-60
- 2 中国科学院数学研究所统计组. 常用数理统计方法. 北京:科学出版社,1979
- 3 Greacen E. L. Soil water assessment by the neutron method. CSIRO Australia, 1981

---

### 欢迎订阅 2006 年《农业现代化研究》

《农业现代化研究》是由中国科学院农业研究委员会和中国科学院亚热带农业生态研究所主办的农业综合性学术刊物,科学出版社出版,主要刊登农业发展战略和农业基础科学及其交叉学科的理论研究、基础研究和应用研究方面的学术论文、科研报告、研究简报和文献综述等,包括农业发展战略、农业可持续发展、区域农业、生态农业、农业生物工程、信息农业、农村生态环境、农业经济、农业产业化、农业系统工程、农业机械化、高新技术应用、资源利用与保护和国外农业等,适于广大农业科技工作者、农业院校师生、各级领导干部和管理人员、农业工作者阅读。本刊为双月刊,逢单月出版,国际标准大 16 开本,国内外公开发行,国内邮发代号:42-46,国外发行代号:BM6665,每册定价 6.80 元,全年 40.80 元,全国各地邮局(所)均可订阅,漏订者也可直接汇款至本刊补订,地址(410125)湖南省长沙市马坡岭中国科学院亚热带农业生态研究所《农业现代化研究》编辑部。