

γ 透射法在大型称重式蒸渗仪中的应用

杨新民

张建丰 王文焰 沈冰

(西安理工大学水资源研究所, 西安 710048)

THE APPLICATION OF γ-TRANSMISSION IN A LARGE SCALE LYSIMETER

Yang Xin-min

Zhang Jian-fen Wang Wen-yan Shen Bing

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

关键词 蒸渗仪, γ 透射法, 土壤水分剖面

中图分类号 O571.32

蒸渗仪(Lysimeter)是一种装满土壤、置于田间地下的反映自然环境、表面裸露或生长有植物的容器,以及用一定方式测定向上或向下离开土体的水和其它物质运移及转化值的装置。它起始于17世纪^[1],在最近的几十年间,随着机械电子学、土壤物理学、计算机等学科的发展和相互交叉渗透,使得对蒸渗仪的研究和应用不断深入,蒸渗仪的结构、精度和功能等方面得到了较大的改进和提高。

1 蒸渗仪的基本工作原理

目前国内外已建成的蒸渗仪,尽管种类繁多,但它们的共同特点是在盛土容器中观测其土壤水分动态变化,量测不同时段水分总量,研究土体中水分收支量及变化过程,从而研究水量平衡特别是耗水(总蒸散)的过程^[2-3]。

土壤水量平衡方程式为:

$$P + I + R + C = Et + D + \Delta W \quad (1)$$

式中, P ——大气降水量; I ——灌水量; R ——地表径流量; C ——汽态凝结水量; E_t ——蒸散发量; D ——深层土壤渗漏量; ΔW ——时段内土壤储水的变化量。

在地下水位埋深较浅的地区, 还应加上潜水蒸发 E_g 项。这里 P, I 很容易用标准容器直接计量, $R, D, C, \Delta W$ 及 E_g 也可以通过一些简单装置直接测量, 这样, 就很容易求出 E_t 。这就是蒸渗仪的基本工作原理。

如何高精度的测量 ΔW , 这是蒸渗仪的设计、加工的关键所在。我们设计的蒸渗仪土体面积是 $3\text{m}^2 (1.5\text{m} \times 2\text{m})$, 装土深度为 3m , 土体加上钢筒容器、底盘、称架、杠杆等, 整个称重系统达 20 吨。在称重方式上, 选用了机电结合式, 采用非平衡测定原理及零偏置电路, 代替机械配量, 即利用机械杠杆平衡掉“死荷载”, 通过杠杆交换, 用位移传感器量测“活动荷载”(增量部分)引起的位移变化量, 根据率定公式再换算成重量变化, 即为蒸散(或降水)量, 从而实现高精度测量的目的, 并且利用温度校正曲线对位移传感器每次所测量的值进行温度补偿校正, 消除因温度变化而引起位移传感器的变化量, 从而进一步保证量测精度。系统的自动测量设计为每小时一次, 整点测量, 其数据文件按句自动生成, 并存储在硬盘上; 计算机的监视器可以显示由位移传感器测量的蒸散、降雨量的句变化过程图形, 并能随时调取、显示以前测得的数据和图形。

2 土壤含水量剖面的 γ 透射法量测系统

我们知道, 蒸渗仪测出的是个综合值, 所测的土壤水分变化量是整个土体内的总量变化值。而为了研究农田蒸散和降水入渗过程, 并能校验相应条件下蒸渗仪测得的蒸渗量, 必须要求能测出蒸渗仪土体内详细的土壤水分剖面分布及变化过程。

通常在蒸渗仪中使用张力计或中子仪来测量土壤剖面的水分变化, 这对蒸渗仪称重系统的量测精度是有一定影响的。因此, 我们率先将 γ 透射法用于野外大型高精度称重式土壤蒸渗仪上, 测量蒸渗仪内土壤水分剖面的动态变化。

利用 γ 透射法测定土壤含水量的基本原理是: γ 射线在穿透质地和密度一定而厚度为 L 的土体时, 其能量衰减程度主要取决于其含水量的大小。也就是说, 当土体中含水量发生变化时, 由于水对射线具有吸收作用而使透过土体的射线强度发生变化。由于 γ 透射法量测土壤含水量基于以下基本关系^[4-5]:

$$\Delta\theta = \frac{1}{\mu L} \ln \frac{I_0 - I_e}{I_i - I_e} \quad (2)$$

$$\theta_i = \theta_0 + \Delta\theta \quad (3)$$

由式(2)和式(3)可得:

$$\theta_i = \theta_0 + \frac{1}{\mu L} + \ln \frac{I_0 - I_e}{I_i - I_e} \quad (4)$$

式中 θ_i ——第 i 点土壤体积含水量; θ_0 ——第 i 点初始土壤体积含水量; μ ——水的质量吸收系数 (cm^2/g); L —— γ 射线穿透土体的厚度 (cm); I_0, I_i ——对应于 i 点初始时刻及 t 时刻后土壤含水量的计数率, 以单位时间所测之脉冲数表示 (n/s); I_e ——自然界放射性强度的计数率(本底值)。

测量所使用的主要仪器有: (1)Cs¹³⁷(铯)放射源; (2)FJ-367能谱探头; (3)FH-463A定标器。由于定标器没有配置与计算机专用的数据接口,需对定标器进行部分改造,将被测信号从定标器与打印机的接口板,经电平转换后送至 PC 总线数字量输入接口板,以便使计算机从相应的 I/O 端口上将数据读入内存缓冲区^[2,6]。另外,由于本系统采用的是单源双探头装置,仅用一个定标器来量测两个探头的计数,故需配置探头转换测定控制的硬件设计。在量测及数据采集过程中,主机与定标器在时序上的配合非常重要。主机不仅要在适当的时刻向定标器发出启动/复位等控制命令,而且要知道应何时从定标器中读取数据。本系统利用了光标器与微型打印机的握手线(联络信号)作为数据采集硬中断信号,即当定标数据稳定后发出脉宽为 3ms 的正脉冲经中断接口电路去触发中断。这样,主机在不影响前台程序运行的情况下,通过后台(中断服务程序)实时地完成数据采集过程。其量测系统的硬件结构见图 1,它可分为被测量土体单元、数据采集通道、计算机主机系统、位置控制系统四大部分。

在该蒸渗仪 3 米深剖面上,我们设计为每 10cm 为一层,共有 30 个测点。主要包括点位信号形成的硬件电路,电机控制电路的设计,以及电机自动、随机手动运行控制系统的设计。其中点位信号形成,可采用循环码数字编码盘来实现,即利用角度-数字的转换,将垂直的直线位移转变成角位移,与光电管的配合使用,使其循环编码盘的信号转变为电信号输入门电路,并需要有一套模-数转换装置来联接。所有数字量的输入、输出通道均采用光电隔离,直流电源采用工业级 PC 电源,并采用了有效的抗干扰措施,弱电部分与强电部分严格隔离。

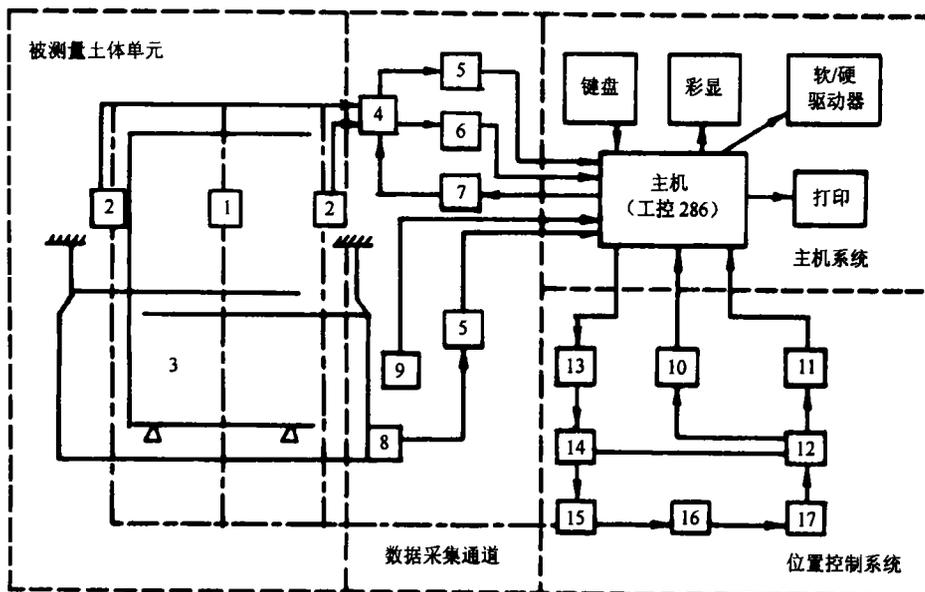


图1 测量系统的结构示意图

其量测方式设计为全扫描测量和随机补测两种运行模式,可根据实际需要模式转换菜单灵活切换。所谓全扫描测量,是在计算机的控制下,测量系统从表层测点至底层

测点范围(即全剖面测点)内,进行一次自动扫描测定;而随机补测是,系统可按照操作人员从键盘上输入点位指令,自动运行到该测点进行量测,它能够对蒸渗仪中任意深度处测点做随机性量测,因而具有较强的适应性,并可在特殊点上测出较好的数据分布。该系统也具有人为随时量测功能,可以根据不同研究内容及实际情况加测、补测数据。

系统设计为每天上午 10 时自动测量一次土壤水分剖面,其文件按月自动生成,即每月 1 日系统自动生成一个文件,并自动存贮在硬盘或软盘中,并可绘出每次测量的土壤水分含量剖面曲线图。其图形显示分为在线含水量剖面显示和过去剖面的随时调用显示。在过去剖面调用显示中,又分为单剖面显示和双剖面叠加显示,以便于直观地比较含水量剖面变化情况。

3 土壤含水量测量精度分析

由 γ 透射法测量土壤含水量的基本公式(4)可知其量测精度取决于各施测因子(即 μ 、 L 、 I_0 和 I_i)的量测精度。对于某一测点任意一次含水量的测量, I_i 值的测量误差只影响该次土壤含水量的测量精度,对于某一测点的 I_0 的测量误差,也只影响到该测点每次所测的含水量的精度,而对于一次实验的 μ 值的测量误差,将直接影响到整个实验所有测点的每一次的土壤含水量的精度。在土体厚度 L 及水的质量吸收系数 μ 已定,并采用合理的测定 μ 值的方法和工作条件的情况下,决定土壤含水量的测量精度将主要取决于 γ 射线穿透土体的

表1 γ 透射法与烘干法的比较

测点 (cm)	γ 法 θ_i (%)	烘干法 θ_i (%)	相对误差 (%)
10	18.30	18.67	-1.98
50	17.62	17.80	-1.01
90	17.33	17.42	-0.52
130	17.73	17.81	0.45
170	17.98	17.75	1.30
210	15.87	15.65	1.41
250	10.65	10.48	1.62
290	8.58	8.74	-1.94

强度 I_0 及 I_i 的量测精度。 I 的大小是以单位时间的计数值来表示的,显然计数值愈大其相对标准误差愈小,所求得含水量的精度亦愈高。为此可以采用提高放射源的强度,或延长测量时间,或重复多次测量的方法,均能达到减小相对误差的目的^[7,8]。

但是在土壤水的动态研究中,因含水量在剖面上的分布变化迅速,首先应尽可能地缩短测量时间,以使测量结果能够正确代表该时刻土体含水量的变化情况,及时捕捉到湿润峰到达的位置,同时有利于计算机对测量系统进行实时控制。这样,当被测土体的厚度 L 及初始含水量 θ_0 已定的情况下,则需根据实验的性质和目的,首先确定出测量土壤含水量精度的控制要求及允许的测量时间,然后根据控制精度与 I_0 间的函数关系(见文献[1]),使得各测点的 I_0 实测计数值大于其计算值,方能满足测量精度的要求。

在本蒸渗仪中, $L = 75\text{cm}$, $\mu = 0.074$, 测量时间采用 30 秒,精度控制要求在 $\pm 2\%$, 则求得 I_0 应大于 6000 脉冲数。例如,我们 1997 年 4 月 18 日用 γ 透射法与烘干称重法进行了对比测定,其结果见表 1, I_0 值在 6871—9856 脉冲数之间(均超过 6000),即保证了各测点含水量的精度达到 $\pm 2\%$ 的要求,并由计算机自动绘出其土壤水分剖面曲线图(见图 2)。

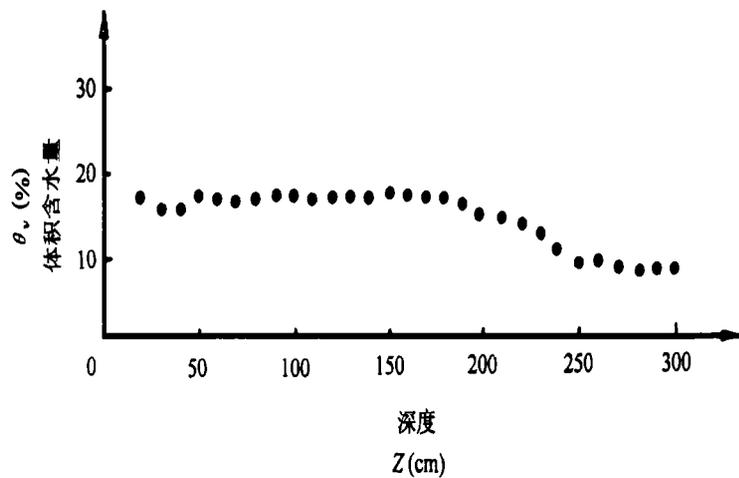


图2 蒸渗仪内土壤水分剖面图

4 结 语

利用 γ 透射法进行土壤含水量的测定,由于它具有量测迅速、不破坏土体,层间分辨率高、可定点连续重复观测,且量测精度较高等优点,目前已愈来愈被国内外土壤、农业、水利等方面的科学工作者所重视,并在这些领域中得到不同程度的应用,尤其是在非饱和土壤水分运动研究中更显示出其优越性。这次,我们首先将此方法应用于野外台站的大型高精度称重式土壤蒸渗仪上,并利用计算机对其土壤剖面上30个测点的数据采集,实行自动实时测定处理及控制,它为田间蒸散和降水入渗实验研究提供了一种较先进的量测方法和技术手段。无疑,它对推动我国实验水文学的发展具有重要的实际意义,并为相关领域的科学研究提供了一种较先进的技术设备和实验环境。但是,如何由计算机自动监测土壤剖面中根系分布,即土壤剖面中根系密度和水分含量同整个土体的蒸散发量同时确定,将有待于今后进一步研究、改进和完善。

参 考 文 献

1. 张增圻,徐振辞. 近年来国外蒸渗器的发展情况. 国外农学—灌溉排水, 1987, (15): 1—8
2. 杨新民,沈冰,张建丰,梁一民. 大型高精度土壤蒸渗仪的计算机测控. 农业工程学报, 1996, 12(3): 73—76
3. Marek T H, Schneider A D, Howell T A, Ebeling L L. Design and construction of large weighing monolithic lysimeters. Transactions of the ASAE, 1988, 31(2): 477—484
4. 沈晋,王文焰,沈冰著. 动力水文实验研究. 陕西科学技术出版社, 1991
5. 李樟苏编著. 同位素技术在水利工程中的应用. 水利电力出版社, 1990
6. 孙强,张建丰,史竹叶,赵军. 二维土壤非饱和水运动实验系统的计算机检测与控制. 水土保持学报, 1994, 8(4): 83—90
7. 熊运章,林性粹,董家伦. γ 法在土壤水动态研究中的应用及改进. 西北农学院学报, 1981, (1): 23—34
8. Schmugge T J. Survey of methods for soil moisture determination. Water Resources Research, 1980, 16(6): 961—979