

大型称重式蒸渗计的研制

柯晓新 林日暖 徐国昌
彭素琴 杨兴国 张旭东

(兰州干旱气象研究所, 兰州 730020)

提 要

介绍了安装在兰州干旱气象研究所定西综合试验站的大型称重式蒸渗计, 它的有效蒸散面积约 4.0m^2 , 原状土柱深约 2.6m , 测试精度 0.1mm , 是我国气象部门研制的第一台大型称重式蒸渗计。

关键词: 蒸渗计; 蒸发; 蒸散。

1 引 言

蒸渗计(Lysimeter)是测定蒸发或蒸散量以及土壤中水分渗漏速度和渗漏量的一种仪器。一般认为, 性能良好的蒸渗计可视为测定蒸发或蒸散的“标准”仪器, 是研究各种蒸发或蒸散测定和计算方法的基础, 国内外在蒸发或蒸散研究中蒸渗计的研制均占十分重要的地位。我们借鉴国内外的经验, 在兰州干旱气象研究所定西综合试验站研制了一个面积大、代表性好、精度高的蒸渗计。

2 设计中的技术问题

(1) 蒸渗计的灵敏度和精度

从称重计量观点看, 灵敏度为仪器能够反应的最小重量值的 1.4 倍, 精度为仪器能够精确反应的重量的值。为与气象上降水的表示方法一致, 国内外均采用毫米作为灵敏度和精度的度量单位。因我们所关心的不仅是作物不同生育期的蒸散总量、日总量, 而且要研究蒸散的日变化状况, 且应用地区是半干旱旱作农业区, 因此, 选择蒸渗计精度为 0.1mm , 灵敏度为 0.01mm 。

(2) 有效蒸散面积

仪器蒸散面积应结合所要求的精度、灵敏度、测定资料有足够的代表性, 以及盛土容

器本身对作物和容器中土壤热状况的影响程度等因素统筹考虑。据有关资料介绍^[1], 0.27m²和2m²的蒸渗计其测值比5m²蒸渗计测值分别大27%和8%,而3.7m²的与4.05m²的测值十分近似。WMO^[2]规定不得小于3m²,因此,我们取蒸渗计有效蒸散面积为4m²。

(3) 土柱深度

蒸渗计被测土柱深度与所需研究的植物根系分布、仪器使用地区地下水位深浅、气候特征及有无灌溉条件等状况有关。WMO规定:其深度至少有1.0m。对可能出现连续长时间干旱的旱作农业区或有限灌溉区,其深度还应适当加深。考虑仪器安装地区气候干旱少雨,当家作物为小麦,旱作时根系可达2.0m左右,地下水位较深,土壤水分来源主要是天然降水,我们定土柱深为2.5m。

(4) 土柱形状

国内外蒸渗计的形状大都采用矩形,这样容易使仪器内作物种植状况与周围大田取得一致。由于受选用材料的限制,并考虑圆形钢桶受力状况要优于矩形钢桶,故定圆形。

(5) 土柱特征

蒸渗计被测土柱最好是原状土,即土柱剖面的各层土壤容重与周围大田相似,以保证土壤的热量、水分传输特性与大田相同。我们选择的是原状土。

(6) 给排水装置

在蒸渗计盛土容器底部应有给排水装置,当容器中土壤水分含量低于周围大田时,可补充水分;当土壤水分含量达到饱和时,可排出多余水分。在地下水位较浅、降水较丰富的地区,给排水装置是非常重要的和必不可少的。这台Lysimeter安装的地理位置在甘肃定西半干旱区,年降水量平均425mm,一般不会出现整个土柱水分饱和的情况。因此,给排水装置主要是用于根据土壤水分的测试结果补充盛土容器底层土壤水分。为了使Lysimeter中的土壤水分垂直输送状况大体与大田相似,在原状土柱下设计了0.3m上细下粗的砾石层,给排水管安置在砾石层底部中央,管口用塑料编织布封口防止管口阻塞。

(7) 环境状况

Lysimeter的环境状况关系到平流对观测值的影响程度。研究表明:在主导风向上风方应有100m的下垫面过渡区^[3],在其周围应有100m²的缓冲区^[2],这对多风、干旱地区尤为重要。在较湿润气候区,研究对象是低杆作物时,要求可适当放宽。定西综合试验站地面以偏南和偏北风为主,基本与要安装Lysimeter的试验地块走向一致。根据周围环境状况,我们Lysimeter定位在距试验地南边简易土路边沿52m,距东西围栏距离分别约20m和17m处,基本满足Lysimeter的环境要求。

3 蒸渗计的基本结构

该仪器由盛土容器(钢桶)及附件、地下室、地下通道和下井、称重测试及计算机数据采集存贮控制系统四部分组成。图1是仪器的基本结构简图,由于施工中尺寸掌握偏差,实际尺寸与技术要求尺寸略有差异。

(1) 盛土容器及附件

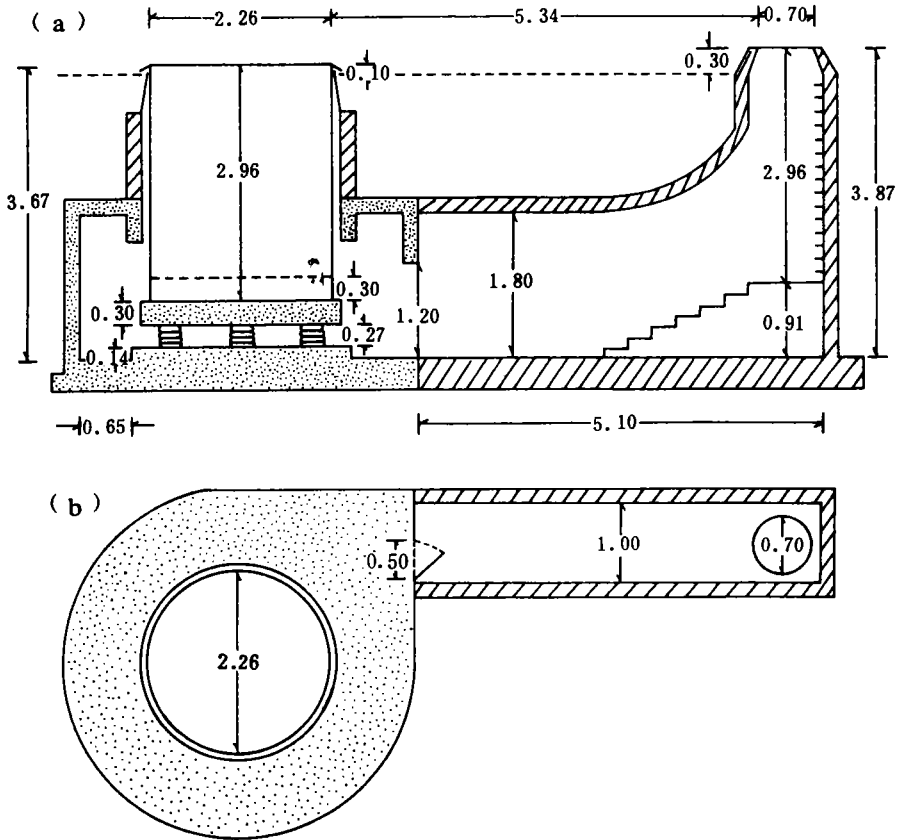


图 1 蒸渗计结构示意图

(a)侧面图 (b)俯视图(图中数字的单位为 m)

盛土容器是一个面积 4.01m^2 、深 2.96m 的圆柱形钢桶. 钢桶由厚 5.5mm 的钢板焊接而成. 其底板是 30cm 厚的钢筋混凝土板. 桶内有深 2.56m 的原状土, 其表面与周围大田在一个平面上. 在原状土柱下面有约 30cm 上细下粗的砾石层, 直径 3cm 的给排水管装在底板中央砾石层下, 并与给排水桶相连. 为防止降水外溢, 盛土钢桶上沿比原状土柱表面高 10cm , 同时考虑雨水可能通过钢桶与外护壁间的间隙降到地下室, 在钢桶上口沿安装有向外倾斜的防雨装置, 底板突出钢桶部位作为放置配重砝码的平台.

(2)地下室部分

地下室的建造原则是: 在施工及今后维修允许的前提下, 尽可能建得小, 以使盛土容器中土壤热状况尽量接近周围大田. 地下室形状为一带直角的圆形地下室, 分上下两部分. 下面部分为厚 20cm 的钢筋混凝土整体结构, 除去土桶所占空间, 在其周围形成宽 65cm 高 1.8m 的环形通道. 上面为混凝土砖结构的圆形外护壁, 在其上方有一高约 40cm 去顶圆锥的环形钢圈, 为防止水渗漏, 外护壁与环形钢圈之间加有防水垫圈. 整个地下室外做有冷底油两道, 再两毡三油的外防潮层和两层内防水砂浆.

(3)地下通道和下井

在下井口位置的确定和地下通道的设计中,要注意下井口离开蒸渗计蒸散面的距离和地下通道深度,以保证下井盖对蒸散测试影响小及蒸渗计周围有足够深的土壤耕作层。我们的下井口离蒸渗计边缘约 5.7m,地下通道上的土壤层厚约 1.7m。

(4) 称重测试及计算机数据采集存储控制系统

这部分主要包括预加平衡力、压式称重传感器、前置放大器、模数转换及显示、计算机数据采集显示打印贮存及电源开关控制。

弹簧平衡力共布了四个,中间一个,另三个以底板中点为圆心,间隔 120° ,分布在底板边缘。三个压式称重传感器分布在弹簧之间,间隔为 120° 。称重传感器输出信号经放大送模数转换并显示。PC-1500 计算机采集数值信号,并储存或送 PC/XT 微机存盘。每天的采集次数、每次采集时间、采样速率均可人为设定,由 PC-1500 计算机控制执行。

4 称重方式的选择与确定

目前国内外已建成的测定实际蒸发或蒸散的蒸渗计较多^[1,4],不论哪种类型的蒸渗计,其功能都是测定盛土容器中土柱因蒸发、蒸散、渗漏、降水或灌溉而引起的重量变化,只是最后给出重量变化的结果方式不同而已,由此也决定了各种方法的优缺点。为使蒸渗计的测试结果具有足够代表性,对蒸渗计的面积及深度都有一定的要求,一般规模的蒸渗计其总重量大都在几吨到几十吨范围内,而我们期望的灵敏度和精度折合重量仅几十克或几百克。因此,为了提高蒸渗计的灵敏度和精度,目前较普遍使用的是采用某种方式先抵消蒸渗计的“死”负载(“dead”load),然后用较灵敏的传感器测其“活”负载(“live”load)的方法。蒸渗计的灵敏度和精度的高低,也主要体现在选用抵消“死”负载的方式和传感器上。而利用机械杠杆平衡“死”负载,通过杠杆变换用传感器测“活”负载,是国内外大型蒸渗计研制中经常采用的方法。

通过多种形式蒸渗计的比较及对施工难易程度和经费状况的考虑,我们选择用强力弹簧作为平衡力平衡掉“死”负载,用小量程精度较高的压式称重传感器作为“活”负载测量元件的称重方案。

根据设计中确定的技术指标,我们可大概算出土柱和盛土容器的固定总重量。土柱(原状土和砾石层)以当地平均干土容重 1.2 计算,重约 13.44t,加上钢桶重 0.91t 和底板重 3.56t,固定总重约 17.91t。土壤水分变化按 8%—26% 计算,则总重量变程为 2.42t。若采用三个量程 800kg 综合精度为万分之二的压式传感器,覆盖总重量变程且不考虑其它因素,满量程只能准确测出 480g(相当于 0.12mm 水柱)的重量变化。为提高精度和灵敏度只有选用小量程传感器,这里选择用 250kg 的传感器,满量程可准确测出 150g(相当于 0.0375mm 水柱)的重量变化,考虑二次仪表等引入的测量误差,称重系统的整体精度基本可满足设计中 0.1mm 的要求。而小量程传感器不能完全覆盖总重量变程的不足,这可通过加配重的方式来弥补。因此,这种称重方式在理论上是合理的,实践证明也是可行的。

但是,这种方案也存在不足之处,首先是采用弹性平衡力存在弹簧疲劳问题,再就是压式称重传感器的零点输出随时间漂移问题^[5]。考虑这些误差的引入均为非常缓慢的过程,因此对小时或日蒸发、蒸散量的确定影响较小,而对较长时间的累积蒸发、蒸散量会有

一定影响.为此,每年需要进行一次标定,使上述影响的最长时间序列限制在1年之内.而采用其它平衡力方式,如机械杠杆平衡同样也存在因杠杆的机械变形而引入误差,因此要找到一种理论上、实践中尽善尽美的方法是比较困难的.此外,弹簧平衡力的引入在有风力扰动时,引起的输出信号波动可通过对采集到的数据进行平滑处理来解决.

5 蒸渗计测试蒸发或蒸散的原理

蒸渗计均有一个与大气进行水分交换的工作界面(称为蒸散面),对于这台蒸渗计安装的地区来说,只测试通过界面进出水分的最后总效应来确定蒸发或蒸散量.根据研究应用目的,界面上可种植所关心的植物,如小麦玉米等.根据测试蒸发或蒸散的目的,可采用水分平衡方程:

$$P + I + R + F = ET + D + \Delta W \quad (1)$$

其中, P :大气降水量; I :灌水量,旱作农业的 $I = 0$; R :地表径流,即流入和流出蒸渗计的地表水,设计中蒸渗计盛土容器边缘高出地表,切断了地表水交换,因此, $R = 0$; ET :蒸发或蒸散量; D :深层土壤渗漏量,考虑蒸渗计地处半干旱气候区且有2.56m的原状土和30cm砾石层的实际情况,可取 $D = 0$; ΔW :蒸渗计被称盛土容器的重量变化,除去施肥播种等人为影响外,就是盛土容器与大气水分交换的总效应; F :地下水补给或排水量.甘肃定西地下水水位较深(约18m),土壤水分主要依靠天然降水.但蒸渗计毕竟切断了被测土柱与地下水的联系,因此,当其底部土层水分含量与周围大田出现一定的差异时,需补充底层土壤水分.

由此,水分平衡方程可简化为:

$$P + F = ET + \Delta W \quad (2)$$

式(2)中 ΔW 由蒸渗计准确测出; F 是人为加的水量,可准确的予以称重控制; P 可从气象站的雨量记录中获得,最后算出蒸发或蒸散量.

6 蒸渗计的标定与检测

蒸渗计在标定前必须注意几个问题:①蒸渗计有效蒸发或蒸散面积的确定.在将重量换算成毫米数时,需代入有效蒸发面积,因此蒸渗计有效蒸发面积的准确确定,直接关系到今后测试结果的准确性.我们得出实际蒸渗计上口面积为 4.01m^2 .②保证被测物体没有重量变化,即切断被称重蒸渗桶与周围环境的物质交换而引起的重量变化(主要指水分交换),在蒸发面上覆盖塑料薄膜是个好办法,并注意塑料薄膜与钢桶上沿口的粘合.

共进行了两次现场标定,1991年7月标定时,蒸渗计已种植了玉米,为尽量减小标定的误差,标定工作放在蒸发、蒸散较小的夜间进行.1992年4月春小麦播种前我们又作了一次覆盖有塑料薄膜的标定.每次标定为三个重复,即将一定重量范围的砝码加卸一次为一个重复,共进行三次.加(卸)砝码时,在蒸渗计蒸散面上均匀对称地放置(取下).

图2是两次标定结果曲线.图中横坐标为加在蒸渗计上的重量,纵坐标为显示器上显示的重.因横坐标、纵坐标与显示值和应显示值之差相比大许多,为看起来方便将误差

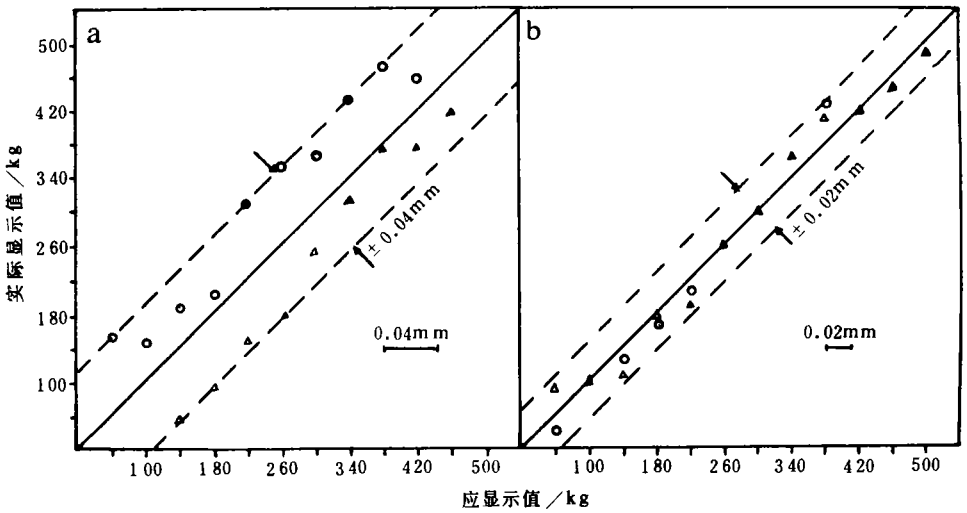


图2 标定曲线图(a)1991年7月 (b)1992年4月(实线为1:1线,虚线为显示值与应显示值的最大偏差,O、△分别表示加载和卸载时显示值,▲表示O与△点重合)

进行了人为放大.从图中可看出,1991年7月的标定曲线最大误差为±0.04mm水柱(约160g),1992年4月的最大误差范围为±0.02mm水柱(约80g),达到设计中提出的0.1mm精度要求.同时,也说明标定时环境状况对标定结果有一定影响.

蒸渗计的稳定性测试:图3是蒸散面覆膜后两次采样的分析图.图3a为两次采样实际数据点图,采样速率为每分钟4个,每次采样时间为20分钟.虚线为它们的平均值,变化范围为±0.04mm.图3b为实际数据经滤波处理后的点图,其变化范围大大减小,仅为±0.01mm.说明考虑风扰动影响后,仪器的工作状况基本是稳定的.

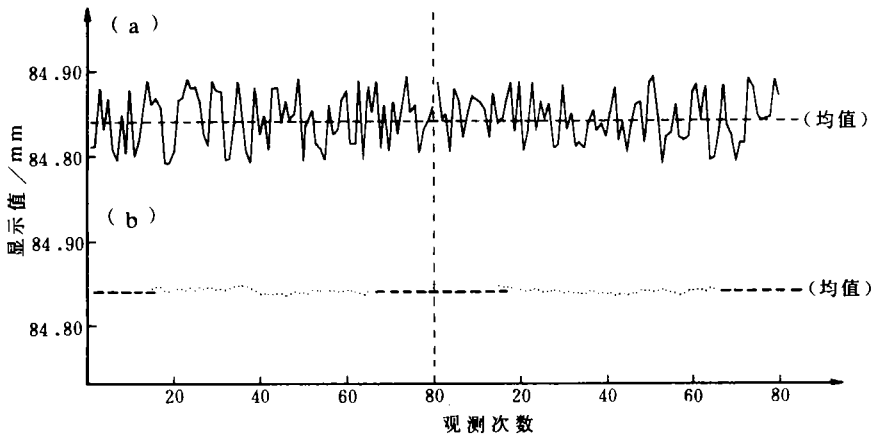


图3 蒸散面覆膜数据分析图 (a)实际数据 (b)滤波后的数据

7 结 束 语

此台大型称重式蒸渗计从设计到研制建成,虽有许多国内外经验可供借鉴,但仍带有一定的试验性质.通过这次实践对其中的许多技术问题有了比较清楚的了解,为蒸渗计的进一步开发利用奠定了基础.从最后的结果看,达到了预期设计要求.这是我国气象部门研制的第一台大型蒸散观测装置,和国内外同类仪器相比,达到了 80 年代中期国际先进水平.

参 考 文 献

- 1 唐登银,谢贤群. 农田水分与能量试验研究(中国科学院禹城综合试验站). 北京:科学出版社,1990. 26—34.
- 2 WMO-No. 8. Guide to Meteorological. Instruments and Methods of Observation. Fifth edition. Geneva:WMO, 1983. 8. 8—8. 9.
- 3 Howell G. T., McCormick R. L., Phene C. J. Design and installation of large weighing Lysimeter. ASAE., 1983. paper No. 83-2060: 1—12.
- 4 罗森堡 N. J. 小气候-生物环境. 何章起,施鲁怀译. 第 1 版. 北京:科学出版社,1982. 211—216.
- 5 王云章. 电阻应变式传感器应用技术. 北京:中国计量出版社,1991. 223—232.

MANUFACTURE OF THE LARGE WEIGHING LYSIMETER

Ke Xiaoxin Lin Rinuan Xu Guochang
Peng Suqin Yang Xingguo Zhang Xudong
(Lanzhou Arid Meteorological Institute, Lanzhou 730020)

Abstract

A large weighing lysimeter installed in Dingxi comprehensive testing station is introduced. It has an efficient evapotranspiration area of about 4.0m^2 , an undisturbed soil depth of about 2.6m and a measuring accuracy of 0.1mm. It is the first large weighing lysimeter employed in meteorology in China.

Key words: Lysimeter; Evaporation; Evapotranspiration.