

党选发,杨兴国,张旭东,等. GQZ-Z1 型称重式蒸渗计的研制及标定[J]. 干旱气象,2013,31(4):835-839, doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-04-0835

## GQZ-Z1 型称重式蒸渗计的研制及标定

党选发<sup>1</sup>,杨兴国<sup>2</sup>,张旭东<sup>3</sup>,孔令旺<sup>1</sup>,李晓峰<sup>1</sup>,杨启国<sup>4</sup>

(1. 甘肃省气象信息与技术装备保障中心,甘肃 兰州 730020; 2. 宁夏回族自治区气象局,宁夏 银川 750002; 3. 西北区域气候中心,甘肃 兰州 730020; 4. 甘肃省气象局,甘肃 兰州 730020)

**摘要:**在土壤水分蒸散量测量仪器研制中,首次在蒸渗计的原状土柱与反滤层接触部分安装了自动补(抽)水设备,使土桶内原状土柱与大田内的土壤水分保持一致。提出了传感器的参数选用原则和蒸渗计标定方法。经过安装和标定使用,GQZ-Z1 蒸渗计的精度达到设计和观测 0.1 mm 的要求,能够有效提高农田蒸散量的观测精度,其测定值能很好地反映植物在短时段内的蒸散变化。

**关键词:**GQZ-Z1 蒸渗计;研制;标定

**文章编号:**1006-7639(2013)-04-0835-05 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-04-0835

**中图分类号:**P414.8

**文献标识码:**A

### 引言

农田蒸散量是地表水分平衡中的重要组成部分,在区域和全球水分平衡中具有重要意义。不论是干旱研究<sup>[1-4]</sup>,还是作物蒸散量研究<sup>[5-6]</sup>,它们都无法脱离土壤蒸散的环节,然而这些研究中所涉及的蒸散量基本都是通过间接方式获得<sup>[7]</sup>。那么,如何准确、有效地测定农田土壤水分的蒸散和渗漏,合理开发利用水资源,是目前农业气象中一项十分重要的研究内容。为此,就需要提供测试精度高、稳定性好、简单易用的测量仪器来满足需求。

蒸渗计(简称 Lysimeter)是根据水量平衡原理设计的一种用来测量农田水文循环各主要成份的仪器,主要用于测试农田土壤水分蒸发和作物蒸腾所散失的总水量及土壤水分渗漏量,同时还可以监测降雨量、凝结水及沙尘天气的干湿沉降等。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,已在干旱和陆面过程的研究<sup>[8]</sup>,以及在山区植被带林地与草地不同覆盖状况下的蒸散研究<sup>[9]</sup>,尤其在农田及农作物的蒸散应用研究中<sup>[10-11]</sup>,发挥着重要的作用。

称重式蒸渗计是蒸渗计的 2 种类型之一<sup>[12]</sup>,它是利用传感器测定盛土容器中土壤因蒸发、蒸散、渗漏、降水或灌溉而引起的土壤水分重量变化。为研

究不同尺寸蒸渗计的代表性问题,在气象行业已有的大型称重式蒸渗计(LG 型)的基础上<sup>[13-14]</sup>,研制了 GQZ-Z1(即甘肃省气象局蒸渗计-中型)中型称重式蒸渗计,以满足气象业务化需求。LG 型大型称重式蒸渗计是甘肃省气象局兰州干旱气象研究所 20 世纪 90 年代研制的,其蒸渗土柱表面积为 4 m<sup>2</sup>,其设计没有充分考虑土桶内外桶之间的热交换及土桶内外土壤水分的平衡问题。在不改变仪器精度的基础上,为提高性价比,设计 GQZ-Z1 型中型称重式蒸渗计的土柱表面积为 2 m<sup>2</sup>,土桶采用内外 2 层,中间填充绝热材料,以防止桶内外热交换;同时为了使蒸渗计土桶内原状土和农田的土壤水分状况保持一致,根据其土柱内和农田内土壤湿度的差异,增加了自动补抽水装置,从而使测量的数据更加接近农田蒸散的实际值。另外,还自主研制了传感器垂直升降支架和独立开发了数据采集的计算机软件控制处理程序。

### 1 GQZ-Z1 型蒸渗计系统结构、工作原理及特点

#### 1.1 系统结构及工作原理

GQZ-Z1 型蒸渗计主要由 3 个性能相近的强力弹簧、3 个 SQC-A500kg 悬臂梁高精度压力传感

收稿日期:2013-03-21;改回日期:2013-07-22

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106043)的资助

作者简介:党选发(1972-),男,甘肃庆阳人,高级工程师,主要从事气象仪器计量检定与技术装备保障的研究. Email:dangxfa@163.com

器、传感器支架、补偿接线盒、采集数据通信电缆、XK3101D 型称重显示控制器和微机管理系统等硬件组成(图 1 所示)。

GQZ-Z1 型蒸渗计的称重土柱表面积为  $2 \text{ m}^2$ , 为了消除内外热交换的影响, 钢桶采用内外 2 层, 内钢桶是用物理力学性质较好的  $5 \text{ mm}$  厚的不锈钢板制作, 外钢桶厚  $2 \text{ mm}$ , 中间填充绝热材料, 防止桶内外热交换。钢桶内装有  $2.0 \text{ m}$  厚的当地原状壤土, 其下为  $35 \text{ cm}$  厚的反滤层, 底部反滤层由粗沙和卵石组成, 钢桶上端高出土柱表面约  $10 \text{ cm}$ , 有防水沿。原装

土壤是从就近的大田中用精细施工方法取出的, 与大田土壤成份保持一致。原状土柱中在距顶层  $20 \text{ cm}$ 、 $40 \text{ cm}$ 、 $80 \text{ cm}$ 、 $160 \text{ cm}$  处分别安装温度传感器, 与当地气象站的地温相对应。在原状土柱与反滤层粗沙的接触部分安装了自动补(抽)水设备, 同时在原状土柱与大田的同一深度安装了土壤水分仪, 通过自动补(抽)水设备的采集器对原状土柱和大田的土壤水分含量进行采集和判断, 如果两者存在差异, 就自动启动补(抽)水装置对原状土柱内进行补水或抽水, 直到原状土柱与大田内的土壤水分保持一致。

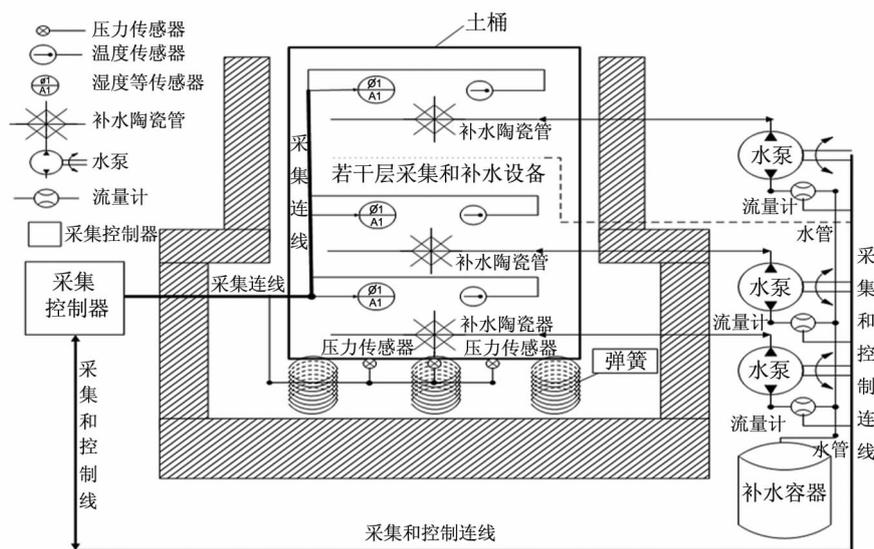


图 1 蒸渗计结构图

Fig. 1 Structure diagram of the weighing lysimeter

GQZ-Z1 利用安装在原状土桶体下面的 3 个强力弹簧平衡盛有原状土的钢桶的重量, 通过 3 个并联的 SQC-A500kg 悬臂梁压力传感器, 不断地采集由植物蒸腾、土壤蒸发、降水及渗漏等引起的土壤和水分重量变化, 压力传感器的应力变化产生微伏级的电压信号, 通过补偿接线盒减少传感器灵敏度不一致引起的误差, 再经屏蔽传输电缆送往前置放大器进行放大滤波, 通过 A/D 转换变成直流电压信号, 直流电压信号 MOS-51 通过单片机进行放大处理并显示, 处理后的数字信号通过 RS-232 接口送入计算机进行数据采集处理储存, 并转化为蒸散量 (mm), 前后 2 次测值之差即为当前时段的蒸散量。

安装在农田中的蒸渗计, 其监测系统中盛装原状土的钢桶隔离了农田土壤水系循环, 对于蒸渗计中被分离的原装土柱, 测试的作物生理耗水量及土壤水分蒸发, 只是一个增加重量与减少重量的动态过程。可利用其水量平衡方程式:

$$\Delta S = P + I + Q - \Delta R - ET \quad (1)$$

式(1)中:  $\Delta S$  为土壤蓄存水量的变化量;  $P$  为降水量;  $I$  为灌溉量;  $Q$  为地下水流量;  $\Delta R$  为净地表径流量;  $ET$  为植物蒸腾和土壤蒸发量。以上所有变量的单位均为 mm。

对于蒸渗计,  $\Delta R$  一般可忽略, 方程(1)可改写为:

$$ET = P + I + Q - \Delta S \quad (2)$$

式(2)中:  $P$  和  $I$  由雨量计和计量水表直接测得;  $Q$  为地下水流量, 代表蒸渗计补(抽)水装置补进和排除土柱的水量, 由补(抽)水装置直接测得;  $\Delta S$  代表降水或灌溉后水分的增加量, 为测量农田蒸腾蒸发作用导致水分的变化, 由称重式蒸渗仪测定  $\Delta S$ , 根据当地观测的风速、温度、蒸发进行订正计算, 得出实际的蒸散变化量。

## 1.2 特点

GQZ-Z1型蒸渗计除了强力弹簧、压力传感器、称重显示控制器是在原有LG型蒸渗计的基础上,量程相应做了调整和性能有所改进外,还具有自己独有的特点:

1)采用了内外桶双层设计,并在外桶内壁上设置有绝热材料,以减少桶内土壤与周围空气之间的热量侧向交换,使桶内土壤的热状况与周围大田的相近,从而提高了监测的代表性。

2)在内桶内不同高度的平面上安置了多套土壤水分和温度传感器,可以实时监测桶内外土壤水分和温度的差异,使整个系统的监测更具有代表性。

3)在桶内土柱下的反滤层设置有由若干根多孔陶瓷管呈放射状布置构成的补水装置,补水装置的供水管与双向水泵相连,形成了水分平衡系统,从而可根据土桶和周围大田之间的土壤水分差异自动对原状土补充和抽取水分,确保原状土与周围大田的土壤水分保持一致,以保所测蒸散量的代表性。

4)系统软件集设备自动控制、数据自动采集、多要素图形动态显示、数据自动存储和后期处理等功能于一体,数据实时采集,实时生成采集文件并传输,提升了设备的自动观测水平。

## 2 蒸渗计技术参数

在土壤水分蒸渗量的测定中,压力传感器测量的是一个增加与减少压力的动态过程。把测量作物生理耗水量和土壤水分蒸发受力称为负行程(卸载),作物的浇灌、降雨量、凝结水受力称为正行程(加载)。理论上确定蒸渗计有效面积为 $2\text{ m}^2$ ,称重测量的分辨率为 $20\text{ g}(0.01\text{ mm})$ ,其蒸渗量与蒸渗计重量的换算如下所示:

$$V = Sh = \frac{m}{\rho} \quad (3)$$

式(3)中: $V$ 为蒸渗计中水的体积,单位: $\text{m}^3$ ;  $S$ 为蒸渗计表面积,单位: $\text{m}^2$ ;  $h$ 为蒸渗计中水的高度(即称重显示控制仪的显示值,也是蒸渗计中水的蒸渗量),单位: $\text{mm}$ ;  $m$ 为水的质量,单位: $\text{kg}$ ;  $\rho$ 为水的密度,单位: $\text{kg}/\text{m}^3$ 。根据蒸渗计面积为 $2\text{ m}^2$ ,则(3)式可简化为:

$$h = \frac{m}{2000} \quad (4)$$

根据各地的土壤含水量、蒸发量、降雨量及土壤容重的计算,得出GQZ-Z1型蒸渗计的测量量程为 $750.00\text{ mm}$ (即 $750\text{ mm}$ 相当于 $1\ 500\text{ kg}$ )。其基本参数如表1。

表1 GQZ-Z1型蒸渗计的基本参数(单位:mm)

Tab.1 The basic parameters of GQZ-Z1 lysimeter (Unit:mm)

测量范围	分辨率	非线性误差	测量精度
0~750	0.01	$5 \pm 0.3$	0.1

## 2.1 压力传感器的主要技术参数和选择

### 2.1.1 传感器的主要技术参数

SQC-A500kg压力传感器作为GQZ-Z1型蒸渗计中电测信号的敏感器件,其技术参数如表2。灵敏度高、线性好的传感器有利于提高测量数据的精度。

表2 SQC-A500kg压力传感器的技术参数及指标

Tab.2 The technical parameters and indicators of SQC-A500kg pressure sensor

技术参数	技术指标
额定载荷/kg	500
灵敏度/(mV/V)	$2 \pm 0.1$
非线性误差/%FS	0.03
滞后/%FS	0.03
重复性/%FS	0.03
输入电阻/ $\Omega$	385
输出电阻/ $\Omega$	351
供桥电压/V	12(DC/AC)
温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	$-20 \sim +60$
允许过负荷/%FS	150

### 2.1.2 传感器的选用原则

压力传感器在选择应用时根据安装结构要求,选择具有线性好、稳定性好、灵敏度高、滞后及蠕变小的产品。当选用传感器型号确定以后,一个蒸渗计所选用传感器的灵敏度系数和输出输入电阻值应尽量保持一致(有些数值可以通过对仪器微调实现),这样有利于提高蒸渗计系统测试精度。

### 2.2 称重显示控制器主要技术指标

XK3101D型称重显示控制器主要技术性能符合GB/T7724-1999《称重显示控制器》规定的准确度等级的3级标准。

(1)示值非线性度 $0.01\% \text{FS}$ ;

(2)传感器信号输入灵敏度 $0.3\ \mu\text{V}/\text{d}$ ;

(3)输入信号范围 $0 \sim 30\text{ mV}$ ;

(4)零位温度影响 $\leq 0.1\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ,满量程温度影响 $\leq 10\text{ PPM}/^{\circ}\text{C}$ ;

(5)称重传感器激励电压一般为 $12\text{ V}$ 。

### 3 蒸渗计的标定

由于新的称重传感器与配套的二次仪表显示控制器在使用之前未建立对应的线形关系<sup>[15-16]</sup>,故需要对其进行标定。标定时,采用 10 kg 的标准砝码,对蒸渗计测量系统中加载标准砝码,进行全量程 0~750 mm 的测量标定。

#### 3.1 标定前准备

(1)用 3 个千斤顶支起蒸渗计桶体,使 3 个压力传感器脱离桶体,用手分别按压每个传感器,称重显示控制器应分别有明显变化。

(2)打开称重显示控制器后面板 DIP 开关窗,将 DIP4 开关置于 ON,并按回零键将显示器清零。然后,缓慢去掉千斤顶,使强力弹簧承压。

(3)将 DIP2、DIP6 开关置于 ON,设定分度数( $n$ )、分度值( $d$ )、小数点位( $p$ )等参数。

根据满量程称量值确定分度数、分度值,其关系式:

$$M = d \times n \quad (6)$$

式(6)中  $M$  是满量程称量值, $d$  是分度值, $n$  是分度数。现假设秤的量程  $M$  为 1 500 kg,分度值  $d$  为 0.2 kg(相当于 0.1 mm),分度数  $n$  为 7 500。

因此,将要设定的参数分别设为  $n = 7\ 500$ 、 $d = 0.1$ 、 $p = 1$ ,其它参数用默认值,并将 DIP2 开关置于 OFF。

(4)调整传感器支架,使每个传感器按相同的顺序依次缓慢地与桶体接触并承重,每个传感器每次承重 16.7 mm(即称重显示器控制器显示 16.7),直到 3 个传感器共承重 50 mm(即称重显示器控制器显示 50.0)。

(5)按回零键使显示为零,将 DIP4 开关置于 OFF。

#### 3.2 蒸渗计的标定

(1)将称重显示控制器后面板开关 DIP3、DIP6 置于 ON,进入标定状态。

(2)将 100.0 mm 水质量对应的砝码(即 20 个 10 kg 的标准砝码)放置在称重式蒸渗计表面中央位置。

(3)按称重显示控制器前面板的标定键,屏幕出现 in;按打印键(数字变化键)至出现 1;按去皮键(位数变化键)至出现 100;按标定键出现 good 后显示 100.0 ± 0.1。

(4)依次缓慢将砝码取下,按步骤 3.1 节(4)的方法使 3 个传感器承重至 50.0。

(5)以每次增加 5.0 mm 水质量对应的砝码(即 1 个 10 kg 的标准砝码)依次放置在大型称重式蒸渗计表面中央,增加到 100.0 mm 水质量,每放一个砝码记录一次显示器读数。

(6)再按步骤 3.2 节(3)的方法使显示器显示 150.0 ± 0.1。

(7)将砝码依次取下,每取一个砝码记录一次显示器读数。

(8)将 1 mm 水质量对应的砝码(即 1 个 2 kg 的标准砝码)置于蒸渗计桶体表面边沿 3 个不同点位,以标定偏载,若显示器数值相差不超过 ± 0.1,说明偏载符合要求。

(9)计算记录中每点的误差值,若符合要求则该点标定成功。

(10)如非线性误差不符合计量性能要求的指标,则按步骤 3.1 节(4)将传感器承重新调整至 50.0,重复步骤 3.2 节的(5)~(8),直至该点标定满足要求。

(11)再每隔 50 或 100 标定下一点,根据标定时的蒸渗计重量和当地未来降水量情况确定标定的上限。

(12)标定成功后,将 DIP3、DIP6 开关置于 OFF,标定工作结束。

(13)精度及灵敏度测定。将 0.1 mm 水质量对应的砝码(即 1 个 200 g 的标准砝码)置于蒸渗计桶体中央,若显示器数值增加 0.1,说明精度符合要求。

## 4 结 论

甘肃省气象局研制的用于测定农田土壤蒸渗的 GQZ-Z1 型中型称重式蒸渗计,其设计灵敏度为 0.01 mm,但是为了与降水量和水面蒸发的精度 0.1 mm 对应起来进行对比观测研究,故在称重显示控制器里面设置其分辨率为 0.1 mm。

经过安装和标定使用,该蒸渗计的精度达到设计和观测要求,能够有效提高农田蒸散量的观测水平,其测定值能很好地反映植物在短时段内的蒸散变化情况,是一种比较方便实用的测定农田植物的蒸腾、土壤水分的蒸发和渗漏的仪器。

#### 参考文献:

- [1] 王文,段莹. 2011 年长江中下游冬春连旱早期土壤的湿度变化[J]. 干旱气象,2012,30(3):305-314.
- [2] 段晓凤,刘静,张晓煜,等. 基于旱灾指数的宁夏小麦产量分析[J]. 干旱气象,2012,30(1):71-76.
- [3] 林婧婧,申恩青,刘德祥. 甘肃省近 58 a 春末夏初旱变化特征及

- 其对夏粮的影响[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 77-80.
- [4] 宁慧芳, 林婧婧, 陈佩璇. 甘肃省气候暖干化与农业干旱灾害的联系[J]. 干旱气象, 2010, 28(2): 198-201.
- [5] 何炎红, 田有亮, 郭连生. 乌兰布和沙漠可能蒸散的研究[J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 61-66.
- [6] 张高斌, 郭建茂, 吴元芝, 等. 山西万荣县近52 a气候特征及其与参考作物蒸散量和土壤湿度的关系[J]. 干旱气象, 2011, 29(1): 94-99.
- [7] 武夏宁, 胡铁松, 王修贵, 等. 区域蒸散发估算测定方法综述[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 257-261.
- [8] 张强, 王胜, 问晓梅, 等. 黄土高原陆面水分的凝结现象及收支特征试验研究[J]. 气象学报, 2012, 70(1): 128-135.
- [9] 宋克超, 康尔泗, 金博文, 等. 两种小型蒸渗仪在黑河流域山区植被带的应用研究[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 617-623.
- [10] 汪秀敏, 申双和, 韩晓梅, 等. 大型称重式蒸渗仪测定的冬小麦农田的蒸散规律研究[J]. 气象与环境科学, 2011, 31(3): 31-38.
- [11] 姜峻, 都全胜, 赵军, 等. 称重式蒸渗仪系统改进及在农田蒸散研究中的应用[J]. 水土保持通报, 2008, 28(6): 67-72.
- [12] 朱宇玺. 美国农业气象和农田蒸散研究[J]. 气象, 1996, 22(6): 3-9.
- [13] 柯晓新, 林日暖, 徐国昌. 大型称重式蒸渗仪的研制[J]. 应用气象学报, 1994, 5(2): 151-157.
- [14] 刘士平, 杨建锋, 李宝庆, 等. 新型蒸渗仪及其在农田水文过程研究中的应用[J]. 水利学报, 2000(3): 29-36.
- [15] 阎敬泽, 杨启国. 高精度传感器在LG-I型蒸渗仪中的选择标定和检验应用方法[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(11): 1163-1165.
- [16] 阎敬泽. 大型蒸渗计的标定方法[J]. 气象, 1998, 24(2): 57-58.

## Development and Calibration of the GQZ - Z1 Type Weighing Lysimeter

DANG Xuanfa<sup>1</sup>, YANG Xingguo<sup>2</sup>, ZHANG Xudong<sup>3</sup>, KONG Lingwang<sup>1</sup>,

LI Xiaofeng<sup>1</sup>, YANG Qiguo<sup>4</sup>

(1. Meteorological Information and Technology & Equip Support Center of Gansu, Lanzhou 730020, China; 2. Ningxia Autonomous Region Meteorological Service, Yinchuan 750002, China; 3. Northwest Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China; 4. Gansu Provincial Meteorological Service, Lanzhou 730020)

**Abstract:** For the first time, a water pump system was incorporated in the place between the undisturbed soil column and the inverted filter in the weighing lysimeter, which is used to balance the moisture between the undisturbed soil in the soil bucket and the fields. Also, the principles for the parameters selection of the sensors and the methods for the calibration of lysimeter were proposed in the paper. It was found that the modified weighing lysimeter, namely GQZ - Z1, satisfied the 0.1 mm of design and observation precision requirement. Higher accuracy in the measurement of evapotranspiration in farmland can be reached by the new GQZ - Z1 lysimeter. The measured value effectively reflected the evapotranspiration variation of the plant within a short period.

**Key words:** GQZ - Z1 lysimeter; development; calibration