

蒸渗仪地下水位自动平衡系统设计

郭相平, 陆红飞, 陈 盛

(河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要:为准确保持大田水位与蒸渗仪水位的实时相平,并测定地下水补给量和深层渗漏量,提出了一种蒸渗仪水位自动平衡系统的设计方法。该系统基于连通器原理,并利用水、汞的导电性差异而设计,由3部分组成:①水位监测装置,包括蒸渗仪和大田的地下水位观测井及连接管;②水位感应和控制装置,由内盛液态汞的U形管以及控制电路组成,能比较大田和蒸渗仪的水位差,并通过电磁继电器打开/关闭供排水电磁阀;③供(排)水与量测装置,由供水装置、排水装置及其电磁阀和量测装置组成。该系统结构简单,造价低廉,易于维护和管理;初步测试表明,该系统具有较好的控制精度,适于地下水位变化较大的地区使用。

关键词:蒸渗仪;地下水位;同步变化;自动平衡系统

中图分类号:S274.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2014)02-0036-04

An automatic balancing system design to ground water table of lysimeter//GUO Xiangping, LU Hongfei, CHEN Sheng
(Key Laboratory of High-Effective Irrigation and Drainage and Agricultural Water and Soil Environment in Southern China, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to synchronize the water table of a lysimeter with that of farmland, and measure the amount of recharge of groundwater and deep percolation, a design method for an automatic balancing system of the water table of a lysimeter is put forward. Based on the principle of a communicating vessel, and designed according to the electrical conductivity differences between water and mercury, the system consists of three parts: (1) water level detecting equipment, consisting of two observation wells and connecting pipes, (2) a water level sensor and controlling equipment, composed of a U-shape glass filled with mercury and control circuits, which can compare the difference of groundwater level between farmland and a lysimeter, and can switch on/off solenoid valves for water supply and drainage through electromagnetic relays; and (3) various equipment, including water supply and drainage equipment, solenoid valves, and measurement devices. The system is simple in construction, cheap, and easy to maintain and manage. The initial testing results indicate that the system has good accuracy, and is appropriate for application in areas where the water table varies rapidly.

Key words: lysimeter; ground water table; synchronous variation; automatic balancing system

在地下水位较浅的地区,地下水补给是作物需水量的重要组成,某些情况下可达作物需水量15%~95%;灌溉条件下,深层渗漏量亦可达作物需水量10%左右甚至更高^[1-3]。但大田地下水补给量和深层渗漏量测定困难,国内外农田需(耗)水规律研究主要采用有底蒸渗仪方法^[4-6]。由于地下水位影响作物根系层土壤中水(盐)和根系的分布,进而影响作物生长和需水规律,因此需尽量保持蒸渗仪与大田地下水位实时相同以提高试验精度。

目前国内外在如何实现蒸渗仪地下水位(以下称内水位)与大田地下水位(以下称为外水位)的同步变化研究和应用方面主要存在以下不足:①内外

水位变化的实时性不足。目前考虑地下水位影响的主流方法是按作物生育阶段设置不同水位^[7-8],如郁进元等^[9]研制的水位恒定装置,可将地下水位控制在设计深度;刘波等^[10]设计的蒸渗仪,自动化程度较高,但也未能解决内外水位的实时同步问题。②所用设备结构复杂而昂贵,使用和管理不便,如刘士平等^[11]设计的轨道式水位平衡系统,通过上下移动安装在竖直导轨上的马氏瓶,可调整蒸渗仪地下水水位,与文献^[9]相比虽有改进,但仍需人工观察和操作,工作量大且设备复杂,造价亦高。采用电子水位传感器对内外水位进行实时监控,并通过微机自动控制水位,技术上可行,但费用高,国内外目前

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划(2012BAB03B02);江苏省水利科技项目(围垦区灌排系统优化布局研究)(2012560212)

作者简介:郭相平(1968—),男,山东成开人,教授,博士,主要从事灌排理论与技术研究。E-mail:xpguo@hhu.edu.cn

尚未见实际应用。

针对上述问题,本文依据连通器原理,利用液态汞和水的电导性差异,提出了一种蒸渗仪地下水位自平衡感应与控制系统的的设计方法,可在内外水位差超过设定值时启闭供(排)水装置,以保持内外水位实时相平。本文仅对该系统的工作原理进行论述,有关供排水及其量测技术已经相当成熟,不再赘述。

1 系统组成与及其功能

地下水位自动平衡系统包括 3 部分,如图 1 所示。

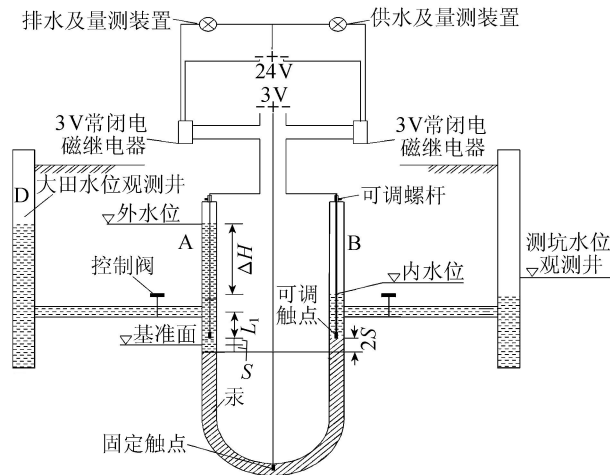


图 1 地下水位自动平衡系统的组成

a. 水位监测装置。包括蒸渗仪和大田的两个地下水位观测井及与之相连的连接管及控制阀,用于监测内外水位变化,并与水位感应和控制装置相连。对于称重式蒸渗仪,控制阀前管道可用软管,方便蒸渗仪上下移动。控制阀主要用于系统检修时防止地下水泄出。

b. 水位感应和控制装置。该部分是本系统的核心部分,包括 U 形玻璃管(含汞柱)、固定触点和可调触点、连接电路、电磁继电器以及调节螺杆等。U 形管中装入适量汞,其两端臂管的上口均与大气相通,以防土壤出现负压时汞进入土壤。可调螺杆菌位于 U 形管两侧臂管上,用于调整可调触点与汞柱上端之间的距离,以控制内外允许水位差。固定触点设置于 U 形管底部,与汞柱相连。当可调触点与汞接触时,可接通电磁继电器电路,打开供(排)水装置进行供(排)水操作。由于水具有弱导电性,而电磁阀工作电压一般在 12 ~ 24 V 甚至更高,若直接利用触点控制电磁阀启闭,当可调触点与汞柱面接近时,会引起水电解,并可能导致电磁阀误操作。故本系统采用低压电磁继电器(3 V)感应可调触点的接触与分离,控制较高电压的电磁阀启闭。

c. 供(排)水与量测装置。由于蒸渗仪面积一般不大,可采用水箱或马氏瓶从蒸渗仪底部供水,在电磁继电器启动供水电磁阀后,通过水位变化测定补水量。排水量可用自动翻斗计测定,或参照郁进元等^[7]的方法测定。

2 系统工作原理与流程

2.1 工作原理

本系统基于连通器原理和汞、水之间导电性差异而设计。当内外水位相同时,U 形管两端汞柱相平,此时的汞柱面为基准面。当 U 形管 A 端地下水位上升而 B 端不变时,压力差将使 B 端汞柱上升。当汞柱上升到一定高度后,与位于汞柱上端的可调触点接触,利用液态汞的导电性接通电路,执行供排水操作,并测量供排水量。汞柱上升的高度与内外水位差成正比例变化。通过调整可调触点与基准面的距离,可设定内外允许水位差。

当水位差较小时,汞柱与可调触点之间不接触。由于水的弱电导性,电路处于断开状态。

2.2 工作流程

当外水位高于内水位时(如暴雨后大田水位上升),U 形管 A 端的水压大于 B 端(图 1),B 端水位不变而汞面升高,直至两端压力相等。若 U 形管为等截面管,则 A 端汞面下降高度等于 B 端汞柱上升值。设水和汞的密度分别为 1.0 g/cm^3 和 13.6 g/cm^3 。当内外水位差为 ΔH 时,则有

$$2S + \Delta H = 27.2S \quad (1)$$

式中: S 为 A 端 U 形管汞柱下降高度或 B 端汞柱上升高度(相对于基准面),cm。显然有

$$S = \Delta H / 25.2 \quad (2)$$

若将 B 端可调触点下端置于基准面以上 S 处,则当内外水位差大于或等于 $25.2S$ 时,B 端汞柱触及可调触点,电磁继电器启动,接通供水电磁阀电路,供水装置开始向蒸渗仪补水。随着内水位升高,B 端汞面逐渐下降直至与触点脱离,电磁继电器关闭进水阀,补水结束。

同理,当内水位超过外水位时,A 端汞柱上升。当升高到一定数值时,触及可调触点,电磁继电器打开蒸渗仪的排水阀,内水位下降,A 端汞柱亦逐渐下降直至脱离可调触点,排水停止。

通过调整可调触点下端距离基准面的距离,可以改变内外水位差的允许值。

本系统亦可作为蒸渗仪恒定水位器使用。断开 U 形管 A 端与外水位观测井的连接,并注水使两端汞柱齐平,当前水位即为控制水位。也可将蒸渗仪的排水管出口高程设为设计控制水位,同时取消排

水阀,当蒸渗仪地下水位高于设计地下水位时,直接通过排水口溢流排除。

3 装置验证

在河海大学节水园区对上述装置进行了应用验证。蒸渗仪长 150 cm、宽 60 cm、高 100 cm,底部铺 10 cm 碎石滤层,其上为 80 cm 沙壤土。底部对角线两端附近各设直径 10 mm 蝶阀(高于底板 5 cm),其中一端蝶阀连接 U 形管。另一端蝶阀接直径 10 mm 的三通管,分别与供水瓶和排水软管相连。供水瓶与排水管分别由常闭电磁阀(直径 10 mm 直通式,24 V)控制。供水瓶容积为 2L,采用医用输液瓶向蒸渗仪滤层滴水。供水速度在 0~500 mL/h 之间可调。

试验前向蒸渗仪灌水(池塘水,电导率 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$),使其地下水位埋深保持在 50 cm 左右。经多次试验,地下水位升(降)10 cm 的灌(排)水量为 1 600 mL 左右,耗时 3.0~3.5 h。测试时排水速度约为 300 mL/h(约 100 滴/min),补水速率为 250 mL/h(约 80 滴/min)。

U 形管采用玻璃管,内径约 7 mm,两端臂管高 50 cm。底部中间位置和两臂管中分别置入直径 1 mm 的铜导线作为可调触点,连接 2 个 3 V 直流电磁继电器,分别控制供水和排水电磁阀开关。为加快测试进程,U 形管 A 端与直径 50 mm 的玻璃管(D 管)连接,模拟大田地下水位变化,连接方式见图 2。

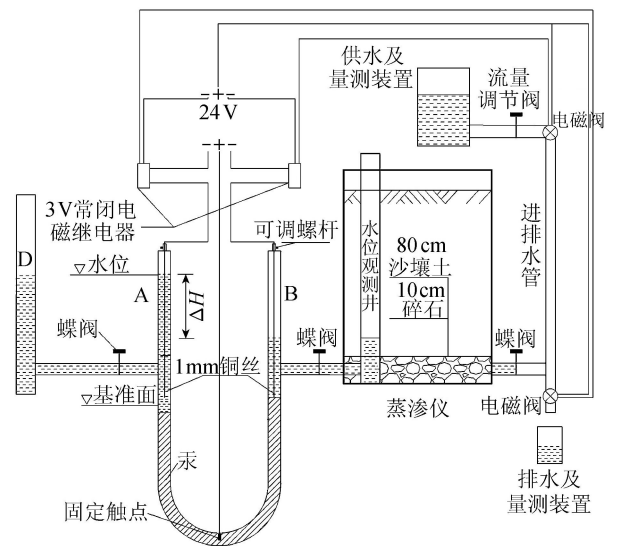


图2 地下水位自动平衡系统验证装置示意图

向 U 形管加入汞使汞柱高出底部 5 cm 左右,并向 A 端加水使两边水位相平。臂管中铜导线下端距汞柱 4 mm(内外允许水位差 10.1 cm)。此时通过电磁继电器的电流为 0.01 mA,未观察到水电解现象。

通过向 D 管缓慢供水和排水,模拟大田地下水位升高和降低工况,测试结果表明,系统可在设计状况下开启供(排)水装置,基本实现内外水位的实时

相平。3 次测试的结果如表 1 所示。

表1 不同工况下地下水位自动平衡系统的测试结果

工 况	设计水位 差/cm	启动水位 差/cm	供(排) 水量/mL	供(排)水 时间/min	实际水位 差/cm
大田水位上升	10.1	10.1	645(供)	155	6.3
大田水位下降	10.1	10.2	742(排)	145	5.7

从模拟结果来看,实际精度大于设计值。其原因是当汞柱上升时,只有接触到可调触点后,电磁阀才能打开;但当汞柱下降时,由于液态汞与铜线之间的浸润作用,只有汞柱面低于触点 1.5~2 mm 时,才能断开电路。浸润现象的存在有利于提高控制精度。

4 结 语

本系统结构简单,造价低廉,易于维护。利用低压电磁继电器启动供排水装置,较好地减轻了水的电解现象。初步测试表明,该装置具有技术可行性和较高的控制精度。

合理确定内外允许水位差是系统正常运行的关键。差值过小,触点与汞柱距离过近,两点之间电阻小而电流大,会引起水电解,甚至导致电磁阀误操作。根据甜椒、玉米、小麦试验资料^[1,3,12-15],作物需水量在地下水位变化 20 cm 左右时差别较小,故建议 ΔH 取 10~15 cm,此时可调触点与汞柱基准面的距离为 4~6 mm。由于浸润现象,实际控制误差在 6~10 cm,可满足试验精度要求。

系统适用的地下水位变化范围与蒸渗仪廊道深度和 U 形管安装位置有关。安装时,U 形管汞柱基准面须低于内外水位的最低值以下 5 cm 左右(图 1 中 $L_1>5\text{ cm}$),此时允许的水位差可达 126 cm,满足绝大部分试验要求。

为避免超量供(排)水以及由此可能产生的误操作,系统的供(排)水速率应不高于蒸渗仪土壤的渗吸(渗漏)速率,避免出现底部滤层被疏干或出现过量补水情况。因此,需要通过试验确定最佳供(排)水速率,并使供(排)水口尽可能远离水位观测井。

本文仅提出了地下水位自动平衡系统的工作原理,而对具体技术参数与工艺问题,如可调触点材料的选择,防止汞对金属触点的溶解技术等,未作深入探讨。另外,当地下水含盐量较高时,如何减轻水电解及防止电磁阀误操作等,也需进一步完善解决。

参考文献:

[1] 刘战东,肖俊夫,俞建河,等. 地下水埋深对夏玉米根冠生长和耗水量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(4): 44-47. (LIU Zhandong, XIAO Junfu, YU Jianhe, et al. Effects of different groundwater depths on root and

- shoot growth and water consumption of summer maize[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(4): 44-47. (in Chinese))
- [2] 郭枫,郭相平,袁静,等. 地下水埋深对作物的影响研究现状[J]. 中国农村水利水电, 2008(1): 63-66. (GUO Feng, GUO Xiangping, YUAN Jing, et al. Advances in effects research of groundwater level on crop[J]. China Rural Water and Hydropower, 2008(1): 63-66. (in Chinese))
- [3] EVETT S R, SCHWARTZ R C, HOWELL T A, et al. Can weighing lysimeter ET represent surrounding field ET well enough to test flux station measurements of daily and sub-daily ET[J]. Advances in Water Resources, 2012, 50: 79-90.
- [4] KAY P, BLACKWELL P A, BOXALL A B A. A lysimeter experiment to investigate the leaching of veterinary antibiotics through a clay soil and comparison with field data[J]. Environmental Pollution, 2005, 134(2): 333-341.
- [5] 王振龙,刘森,李瑞. 淮北平原有无作物生长条件下潜水蒸发规律试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 26-32. (WANG Zhenlong, LIU Miao, LI Rui. Experiment on phreatic evaporation of bare soil and soil with crop in Huaibei plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6): 26-32. (in Chinese))
- [6] MARSAL J, GIRONA J, CASADESUS J, et al. Crop coefficient (K_c) for apple: comparison between measurements by a weighing lysimeter and prediction by CropSyst[J]. Irrigation Science, 2013, 31: 455-463.
- [7] 乔冬梅,齐学斌,庞鸿滨,等. 地下水作用下微咸水灌溉对土壤及作物的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 55-61. (QIAO Dongmei, QI Xuebin, PANG Hongbin, et al. Effects of brackish water irrigation on soil and crop under different groundwater depths [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(11): 55-61. (in Chinese))
- [8] AHMED A T, KHALID H A, AHMED A A, et al. A lysimeter experimental study and numerical characterisation of the leaching of incinerator bottom ash waste [J]. Waste Management, 2010, 30(8/9): 1536-1543.
- [9] 郁进元,何岩. 蒸渗仪自动恒定地下水位装置的研制[J]. 中国农村水利水电, 2006(12): 148-149. (YU jinyuan, HE Yan. Study on an automatic device to keep constant of groundwater table for lysimeter [J]. China Rural Water and Hydropower, 2006(12): 148-149. (in Chinese))
- [10] 刘波,姜彤,翟建青,等. 新型蒸渗仪及其对陆面实际蒸发过程的观测研究[J]. 气象, 2010, 36(3): 112-116. (LIU Bo, JIANG Tong, ZHAI Jianqing, et al. New design and observation of lysimeter on actual evapotranspiration [J]. Meteorological, 2010, 36(3): 112-116. (in Chinese))
- [11] 刘士平,杨建锋,李宝庆,等. 新型蒸渗仪及其在农业水文过程研究中的应用[J]. 水利学报, 2000, 31(3): 29-36. (LIU Shiping, YANG Jianfeng, LI Baoqing, et al. A new large weighing lysimeter and its application to agro-hydrological process studies [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 31(3): 29-36. (in Chinese))
- [12] 刘战东,牛豪震,贾云茂. 不同地下水埋深对冬小麦需水量的影响[J]. 节水灌溉, 2010(8): 1-3. (LIU Zhandong, NIU Haozhen, JIA Yunmao. Influence of groundwater depth on evapotranspiration of winter wheat [J]. Water Saving Irrigation, 2010(8): 1-3. (in Chinese))
- [13] 丁加丽,彭世彰,徐俊增,等. 不同地下水埋深时甜椒需水量及作物系数试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(6): 30-33. (DING Jiali, PENG Shizhang, XU Junzeng, et al. Evapotranspiration and crop coefficient of sweet peppers under different groundwater table [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(6): 30-33. (in Chinese))
- [14] 俞建河,丁必然,张广群,等. 夏玉米不同地下水位埋深条件下的耗水量及其与产量的关系[J]. 节水灌溉, 2012(1): 31-33. (YU Jianhe, DING Biran, ZHANG Guangqing, et al. Effects of different groundwater levels on water consumption and yield of summer mai [J]. Water Saving Irrigation, 2012(1): 31-33. (in Chinese))
- [15] 宋丰萍,胡立勇,周广生,等. 地下水位对油菜生长及产量的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(8): 1508-1509. (SONG Fengping, HU Liyong, ZHOU Guangsheng, et al. Effects of water table on tapeseed (*Brassica napus* L.) growth and yield [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(8): 1508-1509. (in Chinese))

(收稿日期:2013-05-20 编辑:熊水斌)

