

地面灌溉水深测量仪的研制及性能测试

李益农, 许迪, 李福祥

(国家节水灌溉工程技术研究中心(北京), 中国水利水电科学研究院水利研究所, 北京 100044)

摘要: 对地面灌溉条件下水流扩散过程实时监测是地面灌溉系统田间评价的主要内容, 观测数据为相应的数值模拟和系统性能评价奠定了基础。该文介绍了一种研制的梯度式地面灌溉水深测量仪, 可在田间任意地点实现地表水深(位)变化过程和推进与消退时间的自动监测。室内外测试结果表明: 仪器对地表水深(位)动态变化过程的反应灵敏, 水深测量精度为 ± 5 mm, 但当仪器应用于首次灌溉的田块时, 松软地面造成的仪器沉降对水深测量精度可能的影响范围为 8 ± 3 mm, 在后续使用时就可以忽略仪器沉降的影响。仪器对地面水流推进时间的测定精度相对较高, 相对误差小于 11%, 但测得的水流消退时间与人工观测结果最大相对误差为 29%, 表明使用仪器进行水流消退时间观测时有一定的条件限制。研制的仪器可基本满足地面灌溉试验中对地表水深(位)进行动态监测的需求。

关键词: 地面灌溉; 水深; 测量; 传感器

中图分类号: S275.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2006)01-0032-05

李益农, 许迪, 李福祥. 地面灌溉水深测量仪的研制及性能测试[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 32-36.

Li Yinong, Xu Di, Li Fuxiang. Development and performance measurement of water depth measuring device applied for surface irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(1): 32-36. (in Chinese with English abstract)

0 引言

地面灌溉试验中往往要求对入地流量、地表水流推进与消退时间、地面水深等灌溉变量实施监测, 用于评价灌溉系统性能和模拟地表灌溉水流运动过程^[1-3]。地表水流推进与消退时间一般为定点观测, 根据畦田长度, 确定适当的观测间距后由人工进行观测。相对来讲, 水流推进时间的观测较为容易, 比较客观; 受田间条件限制, 水流消退时间的观测具有较大的主观性, 人为因素的影响较大。而在作物密植的情况下, 水流推进和消退时间观测的难度都加大, 而且田间观测的人力消耗也较大; 由于地面灌溉条件下的田间水流运动具有流速相对缓慢、水深变化幅度相对较小的特点, 使得观测地面水深的难度较大。在以往地面灌溉试验中, 常采用带有标尺的测量框架或断面测量仪开展田间水深观测^[4,5], 这种使用手动方式调整测量标尺高度、依靠目测手段判断水深的人工观测方式不仅耗时费力, 而且难以开展对水深的实时监测, 且测量精度也无法得到保障。因此, 为了更好地开展地面灌溉田间评价工作, 提高地面灌溉水流运动过程数据的观测精度, 文献[6]给出了一种利用改进的双气泡水头测量系统^[6,7]来测量田块类不同点处水深的方法, 该装置通过测量压力得到地面水深, 但结构较复杂。本文介绍了一种适宜于地面灌溉试验使用的水深测量仪, 给出了该仪器的结构型式和工作原理, 通过对水深测量仪性能的室内外测试结果进行分析, 评价

设备的性能指标。

1 水深测量仪的结构组成与工作原理

地面灌溉水深测量仪由主机、水深传感器、筒体和电池仓等部分构成(见图 1)。仪器整体采用圆筒式分体结构, 上部由主机和电池仓组成, 主机、电池仓与筒体间采用螺栓联接, 水深传感器被固定在筒体底板处, 主机顶部镶嵌有 LCD 显示屏和触摸式控制按键, 实时显示测量信息。

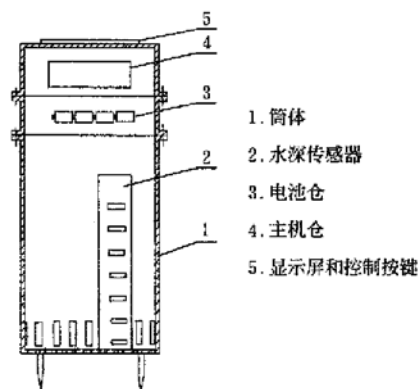


图 1 水深测量仪的结构

Fig. 1 Structure of the water depth measuring device

1.1 主机

仪器主机具备时间设置、信号抓取、数据整理、数据存储与显示以及数据传输等系列功能, 通过微处理器(CPU)、数字电路、时钟、LCD 显示屏、Flash 存储器、R232 接口和触摸式控制按键等部件予以实现。主机内置的时钟发生器可产生实时时钟信号, 使多台水深测量仪的时钟保持同步, 以保证田间水深测量在同一时钟基础上进行; Flash 存储器的容量为 16K, 可满足一次完整灌溉试验数据存储的需求, 被存储的数据包括地面水

收稿日期: 2005-03-21 修订日期: 2005-11-18

基金项目: “十五”国家重大科技专项课题“精细地面灌溉技术研究”(2002A A 2Z2041)

作者简介: 李益农(1963-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。北京市车公庄西路 20 号 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 100044。Email: liyinong@iwahr.com

流到达测点的时间、测点处水流消退的时间、测点处水位变化的时间过程; LCD 显示屏用来显示开展田间试验的日期和时间、地面水流到达测点和消退的时间、实时测定的水深值; R232 接口用于与计算机的联结, 完成数据通讯工作, 使用超级终端通讯软件可直接将试验数据调入计算机, 并以文本格式文件(*.TXT) 进行保存; 触摸式控制按键采用单键与组合键相结合的设计方式, 具有接通(断开)电源、时间设定、数据通讯、数据清除等操作功能。

图 2 给出水深测量仪的工作流程。在实际测量中, 当电源接通后, CPU 即以一定的频率(10 次/s) 连续捕获水深传感器发出的信号和时钟信号, 并与上一次捕获的水深信号进行对比。若信号发生变化, 主机将捕获的水深传感器信号和同步时钟信号进行数字化处理后, 传送到 LCD 显示屏, 并同时将该信息保存在 Flash 存储器内。

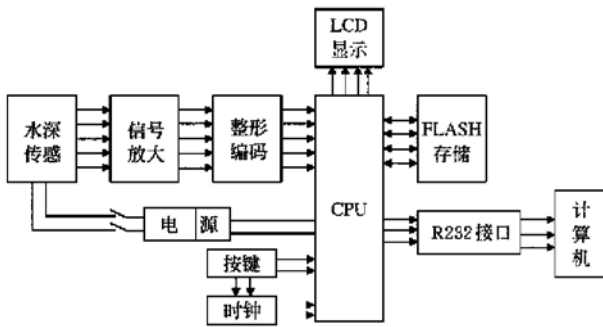


图 2 水深测量仪工作流程示意图

Fig. 2 Flowchart of working process for water depth measuring device

1.2 水深传感器

水深传感器用于监测田间测点处的水深变化过程, 并向主机传递相应的水深信号。由于地面灌溉水流的扩散速度相对较慢、水深相对较浅(畦灌水深不超过 15 cm, 沟灌水深不超过 20 cm), 现有水深传感器性能均难以满足地面灌溉浅水条件下的测量要求, 故需开发专用的水深传感器。

开发的梯度式水深传感器由多条非闭合、等间距(5 mm)、平行排列的水深传感电极和驱动、放大、编码电路组成, 有效的水深测量范围在 0~ 20 cm, 水深的测量精度为±5 mm。在低电压条件下, 单个电极在空气中不发生导电现象, 当地面水流同时淹没安置在筒体底板的零电极和其上的任一电极时, 水流作为导电介质将使两电极间形成闭合电路, 产生电流信号。当测点处水深上升或下降一个梯度(5 mm) 时, 传感电极的闭合会立即趋使电路发生闭合, 驱动电路产生的电位变化通过信号放大后, 经编码处理传送到主机。尽管水深传感器测量水深的范围是不连续的, 但 5 mm 的测深梯度可以满足地面灌溉试验所要求的水深测量精度。

1.3 筒体和电池仓

圆柱形筒体采用铝合金材料制成, 筒体下部为格栅式设计, 在保证筒体强度前提下, 尽可能减小格栅的尺

寸, 尽量减小对地面水流运动的阻挡影响。为最大限度地反映田间观测点处的土壤入渗条件, 圆筒底板采用蜂窝式均布圆孔形式设计, 减少其对垂向水流入渗造成的不利影响。底板上安装的 3 个固定桩角可牢固地插入土内, 有效避免因土壤过水松软后导致仪器发生下沉、晃动、倾斜的现象, 保证测量数据的准确性。

电池仓为 PVC 材料注塑成型, 内置 4 节 1 号电池, 可连续工作 48 h 以上。由于该仪器采用低功耗电路设计, 故电池蓄电量一般可满足至少一次田间灌溉试验观测对时间的需求。

2 水深测量仪性能的室内测试

将被测试的水深测量仪放置在一个装有进水口和出水口的平底容器内(图 3)。调整仪器的时钟使之与人工记录时钟保持一致后, 通过进水口向容器内缓慢注水, 当水面上升达到仪器最大测深值 20 cm 时, 停止注水; 随后打开发出水口, 缓慢向外排水, 使容器内的水面稳定下降直至零水位出现。室内测试历时 1.2 h。图 4 给出采用水深测量仪和人工测量方法测定的容器内水深升降变化的过程线, 可以看到利用两种测试方法测定的水深动态变化过程非常相近。水深传感电极对水深变化的敏感性很好, 可有效地测量出容器内水深变化的过程。

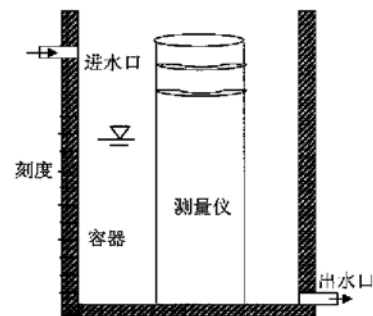


图 3 室内测试装置

Fig. 3 Indoor experiment of water depth measuring device

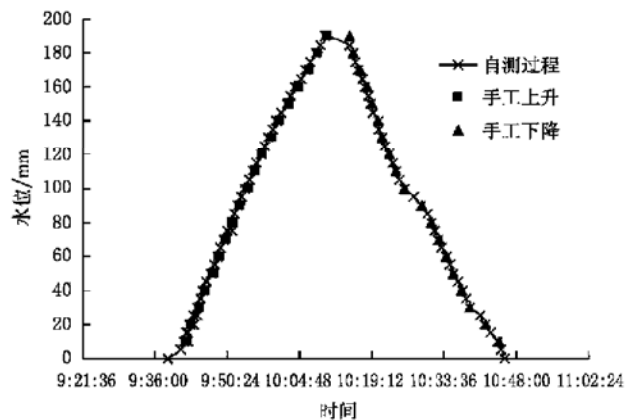


图 4 水深变化过程测量结果的比较

Fig. 4 Comparison of the measured results of water depth changes

3 水深测量仪性能的田间测试

3.1 测试条件与水深测点布设

在北京市大兴区国家节水灌溉工程技术研究中心(北京)灌溉试验基地内进行了水深测量仪性能的田间测试。为便于评价水深测量仪田间应用考核的结果,选用的试验地块均为采用激光控制平地技术进行土地精平后的裸地,其中第1次测试的畦田规格 $10\text{ m}\times 20\text{ m}$,地面相对高程标准偏差值 2.0 cm ,入畦流量 $11.5\text{ m}^3/\text{s}$,供水历时 19.7 min ;第2次测试的畦田规格 $15\text{ m}\times 30\text{ m}$,地面相对高程标准偏差值 2.2 cm ,入畦流量 $12.5\text{ m}^3/\text{s}$,供水历时 38.9 min 。2次灌溉中均在水流推进至畦尾后又继续供水 3 min ,以使畦面能被水面所覆盖。

2次田间测试中,将水深测量仪等距布置在畦田内,布设间距分别为 4 m 和 5 m ,相应地放置了15台和18台测量仪。在安装测量仪时,选择田块内平整地面,将测量仪底端的固定桩角完全插入地面,使测量仪内底板与地面齐平。待水深测量仪安装定位后,利用水准仪测量各仪器的顶面高程,用于将测得的水深换算到同一高程基面,以便对比各仪器的测量结果;同时在灌溉完成后再一次测量各仪器的顶面高程,并将此数据与灌溉前的数据对比,评价由于灌溉可能产生的地面沉陷对水深测量结果的影响。此外,在测试过程中除利用水深测量仪观测田面水深外,还采用人工观测方式同步同位观测水流推进到各测点的时间以及从各测点处消退的时间。

3.2 仪器沉降对水位观测精度的影响评价

在田间测量时,仪器安放在地面。当水流经过后,松软的地面可能造成仪器沉降,使水位观测产生误差。表1给出了2次田间测试中由于灌溉湿润地面产生的仪器沉降量的统计特征值。

田间第1次测试时实测不同测点处仪器产生的沉降量最小值为 2 mm ,最大值为 12 mm ,平均值为 8 mm

mm ,标准偏差值为 3 mm ;第2次测试时沉降量最小值为 0 ,最大值为 9 mm ,平均值为 2.5 mm ,标准偏差值为 3 mm 。由此可见,经过1次灌溉后,地面充分密实,可以有效地减少由于地面松软造成的仪器沉降量。对观测水位精度而言,在第1次灌溉时仪器沉降量影响最大,超过了仪器水深传感器电机的观测梯度,由表1的结果可知,可能的影响范围是 $8\pm 3\text{ mm}$;而当地面经过1次灌溉后再次使用本仪器测试时,仪器沉降量显著减少,可能的影响范围是 $2.5\pm 3\text{ mm}$,基本上在仪器自身系统误差范围内。因此,当在首次灌溉的田块内应用研制的水深测量仪时,应考虑仪器沉降对水位测量的影响;在其后的灌溉中应用时,就可以忽略仪器沉降对水位测量的影响。

表1 灌溉湿润地面产生的仪器沉降量统计特征值

	by irrigation			
	最小值	最大值	平均值	标准偏差值
第1次测试	2	12	8	3
第2次测试	0	9	2.5	3

3.3 利用相对稳定时段的测点水位数据检验测量仪水位测量精度

图5给出2次田间测试得到的部分测点处水面相对高程的变化过程。当地面灌溉水流推进到各测点时,水位迅速抬升,在灌水停止后都达到最大值,并出现短暂的水位相对稳定时段,其长短与各测点所处的田面位置和地面相对高程有关,随后各测点水位呈下降趋势,直到接近零水位。当灌水停止、地面水流开始进入消退阶段时,各测点的水位降速取决于该处的土壤入渗特性和地面高程差异引起的水流横向扩散程度。对田面凸点而言,水流在垂向下渗的同时向四周凹处做扩散运动,水位下降迅速;而田面低洼点处受积水的影响,水位下降速率相对缓慢。

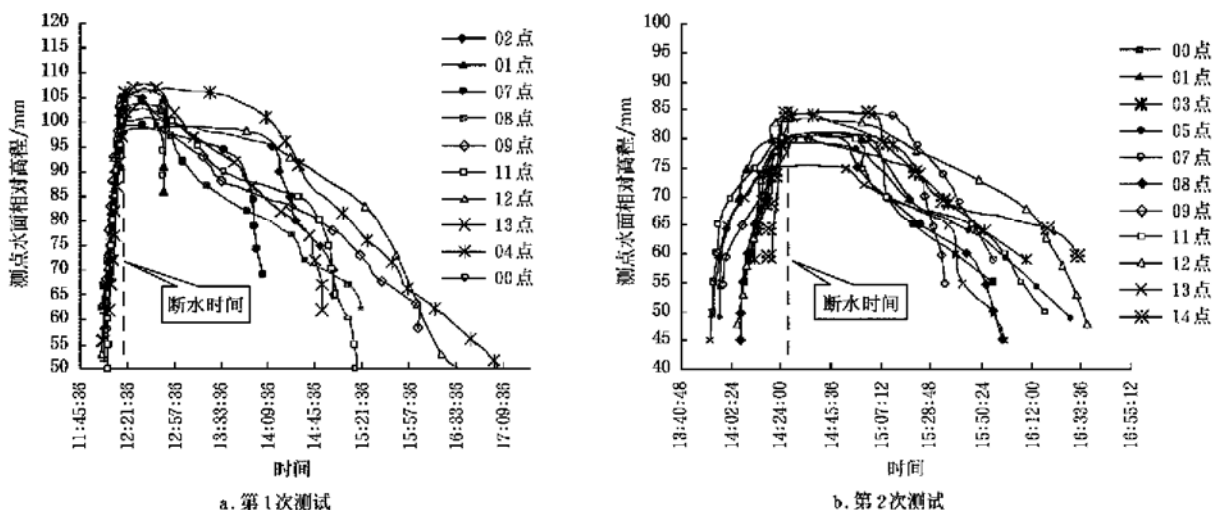


图5 利用水深测量仪得到的不同测点处水面相对高程变化过程

Fig. 5 Variations of relative elevation of water surface measured by device at different measuring points

当停止向畦田灌水后, 如图 5 所示, 各测点水位出现相对稳定时段, 此时的整个畦面被水面完全覆盖。如前所述, 测试田块经过激光控制按零坡度精准平整, 从理论上讲由水深测量仪观测数据换算得到的所有测点处的水面相对高程在水位稳定阶段应该是相同的。但由于本仪器的水深传感器存在 5 mm 的观测梯度, 水深的测量精度为 ±5 mm, 所以可能产生的水位波动范围最大为 10 mm。

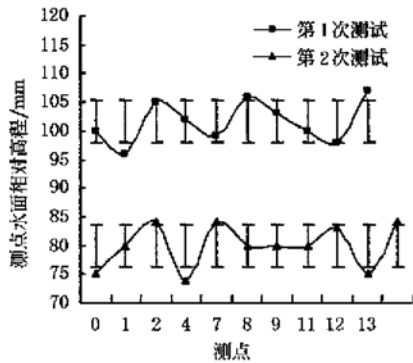


图 6 不同测点处水面相对高程波动范围
Fig. 6 Relative elevations of water surface at different measuring points during stable period

图 6 给出 2 次测试中在上述水位相对稳定时段内不同测点处的观测结果。由图 6 知, 实际观测得到的水位并不完全在同一水平面内, 其中第 1 次测试时的水位

波动范围在 10 mm 左右, 不同测点处水面相对高程的最大绝对误差小于 5 mm, 最大相对误差小于 4.8%; 第 2 次测试时的水位波动范围在 8 mm 左右, 不同测点处水面相对高程的最大绝对误差同样小于 5 mm, 最大相对误差则小于 5.8%。图 6 中不同测点处实测水面相对高程值存在的波动范围在仪器的系统误差范围内, 表明仪器可以在田间正常工作, 具有较好的水深(位)测量精度。田间观测显示, 水流扩散过程中自身的涌动以及风吹的作用都可以造成水面波动, 使测点处的水面相对高程观测值出现波动。降低仪器观测值波动范围的可能途径为缩小水深传感器的观测梯度, 即采用更窄的传感电极, 提高对水深的感应精度。

3.4 利用水流推进与消退数据检验测量仪时间测量精度

表 2 给出第 1 次田间测试中利用水深测量仪与人工观测方式同步同位观测的水流推进到各测点的时间以及从各测点消退时间的对比结果。对水流推进时间而言, 水深测量仪观测值与人工观测结果之间非常接近, 两者的绝对误差都小于 2 min, 相对误差都小于 11%。仪器观测的水流推进时间通常略长于人工观测结果的原因是在人工观测条件下, 当水流锋面推进到测点时即认为水流到达该点, 而在仪器观测状态下, 测点处需有一定的积水深度且被第 1 个水深传感电极感应到时, 才视为水流到达的时间, 该误差属于仪器系统误差, 可根据数据处理的需要做相应修正。

表 2 仪器测定的水流推进和消退时间与人工观测结果的比较

Table 2 Comparison of water advance and recession time measured by device and manual observation

测点位置	水流推进时间				水流消退时间			
	人工观测/min	仪器观测/min	绝对误差/min	相对误差/%	人工观测/min	仪器观测/min	绝对误差/min	相对误差/%
04	1.7	1.6	0.1	6	142.8	167.8	- 25.0	18
12	13.2	14.5	- 1.3	10	158.8	165.9	- 7.1	5
03	18.8	20.8	- 2.0	11	84.8	109.4	- 24.6	29
14	30.3	30.6	- 0.3	1	79.8	84.1	- 4.3	5
07	16.8	18.6	- 1.8	11	126.8	125.4	1.4	1
00	10.8	11.5	- 0.7	7	160.8	126.0	34.8	22
05	7.3	6.9	0.4	6	82.8	89.5	- 6.7	8
13	2.8	3.0	- 0.2	7	155.8	130.5	25.3	16
02	0.8	0.9	- 0.1	12	73.8	86.5	- 12.7	17
01	2.2	2.4	- 0.2	10	68.8	79.1	- 10.3	15
11	4.8	4.6	0.2	5	114.8	148.2	- 33.4	29
09	8.3	8.9	- 0.6	7	85.8	104.7	- 18.9	22
08	16.8	16.3	0.5	3	77.8	99.5	- 21.7	28
06	20.8	22.0	- 1.2	6	109.8	139.6	- 29.8	27

对水流消退时间而言, 水深测量仪观测值通常都大于人工观测结果(表 2), 两者的最大绝对误差为 34.8 min, 最大相对误差为 29%, 其中有 8 个观测结果间的绝对误差都小于 25 min, 对应的相对误差都小于 20%。人工观测下把握水流消退判断尺度的主观性和仪器设备的自身特性是引起两种观测结果之间出现差异的主要原因。在人工观测条件下, 受判断测点处水流消退时间人为主观性因素较大的影响, 观测结果往往会出现因

人而异的现象。同时, 对水流消退时间的判断是根据测点四周的地面积水状况而定, 若邻近地面已无积水, 即使此处仍有少量积水也被视为水流已消退, 反之则认为水流尚未消退。因此, 对人工观测而言, 水流消退时间实际上反映了测点一定范围内的水流消退状况; 而当使用仪器进行观测时, 若测点处存有局部积水, 则水深传感电极需待积水完全消失后, 才给出水流消退的信号。也就是说仪器测量得到的水流消退时间代表的是与传感

电极对应的某一点处的水流消退状况,其代表的面积范围往往比人工观测时要小。如果仪器最低端的传感电极恰好处在相对低洼处,就可能出现局部积水现象,显著延长入渗时间,使仪器观测的消退时间较大,如表2中体现出来的大于20%的水流消退时间相对误差。因此,在两种观测条件下,均会遇到对测点处因局部积水引起入渗过程缓慢造成的对水流消退时间难以准确判断的问题。对无积水现象的测点,由于水深传感电极的敏感性,利用仪器观测的水流消退时间要比人工观测结果相对准确,而对有积水的测点,还需借助人工目视方法来辅助判别水流消退的时间,以便相对改善测定精度。

4 结 论

研发的梯度式水深测量仪可在地面灌溉条件下实现对畦(沟)内任意地点的地表水深(位)变化过程和人流推进与消退时间的自动监测,对观测的数据进行实时储存与显示,通过专用接口与计算机实现数据交换,便于观测资料的后续处理,提高了实测水深(位)数据的准确度和观测工作的效率。室内外测试结果表明,水深测量仪对地表水深(位)动态变化过程的反应敏感,仪器自身的水深测量精度为 ± 5 mm,当仪器应用于首次灌溉的田块时,松软地面造成的仪器沉降对水深测量精度有一定的影响,可能的影响范围是 8 ± 3 mm;仪器对地面水流推进时间的测定精度相对较高,与人工观测结果相比,两者的绝对误差小于2min,相对误差小于11%;当仪器放置在地面低洼处,使用仪器测得的水流消退时间与人工观测结果有较大差异,最大相对误差可为29%。因此,在使用仪器进行水流消退时间观测时,对无积水

现象的测点,由于水深传感电极的敏感性,利用仪器观测的水流消退时间要比人工观测结果相对准确;而对有积水的测点,还需借助人工目视判断,改善仪器的观测精度。田间测试显示仍需对水深测量仪的筒体下部结构、水深传感器的固定方式、水深传感电极的形状与排列方式等做进一步改进,以便提高仪器的测量精度和田间适用性。

[参 考 文 献]

- [1] Walker W R, Skogerboe G V. Surface irrigation, theory and practice[M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 1987.
- [2] Li Yinong. Basin irrigation in North China: evaluation, modelling and design for improvement[D]. Ph. D dissertation, Lisbon: Universidade Tecnica De Lisboa, Instituto Superior De Agronomia, 1999.
- [3] Fangmeier D D. Influence of land-leveling precision on level-basin advance and performance[J]. Trans ASAE, 1999, 42(4): 1019- 1025.
- [4] Li Yiyinong, Calejo M J. Surface irrigation[A]. In: L. S. Pereira, A. Musy, R. J. Liang and M. Hann (eds.). Water and soil management for sustainable agriculture in the North China Plain[C]. ISA, Lisbon, 1998: 236- 303.
- [5] 许迪,李益农.农业持续发展的农田水土管理研究[M].北京:中国水利水电出版社,2000.
- [6] Clemmens A J, Strelkoff T S, Tamimi A H. Field verification of two-dimensional surface irrigation model[J]. J Irrig Drain Eng, 2003, 129(6): 402- 411.
- [7] Dedrick A R, Clemmens A J. Double-bubblers coupled with pressure transducers for water level sensing[J]. Trans ASAE, 1984, 27(3): 779- 783.

Development and performance measurement of water depth measuring device applied for surface irrigation

Li Yinong, Xu Di, Li Fuxiang

(National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research,
China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: The real-time monitor flow diffusion process under surface irrigation is the key content of field evaluation of surface irrigation system. The real-time measurement data supply fundamental basis for numerical simulation and system capability evaluation. A water depth measuring device applied under surface irrigation condition was developed and measured. It can automatically measure and record the variation of water depth at given points, as well as the advance time and recession time. The device has been examined under the indoor and the field conditions. The application results show that the adopted sensor is sensitive to the dynamic variation of the water depth with measuring precision ± 5 mm. However, the depression of the device caused by the irrigation could produce (8 ± 3) mm errors for water depth measuring when the field is irrigated firstly. The effect of the depression could be omitted for succeeding irrigation. The device shows high precision for measuring advance time with the relative error is less than 11% while the maximum relative error for recession time is 29%, indicating the limitation to use the device for measurement of recession time. The device could be basically satisfactory for the dynamical measurement of water depth for surface irrigation.

Key words: surface irrigation; water depth; measurement; sensor