

文章编号:1672-3317(2017)03-0075-04

# 墒情监测站基座埋设对土壤水分分布的影响

毛程阳<sup>1</sup>, 缴锡云<sup>1,2</sup>, 宋国强<sup>3</sup>, 刘凯华<sup>1</sup>, 郭维华<sup>1</sup>

(1.河海大学 水利水电学院 南京 210098; 2.河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 南京 210098; 3.河北省防汛抗旱指挥部办公室, 石家庄 050011)

**摘要:**为确定传感器埋设的合理位置,借助Hydrus-2D软件,对长、宽、高均为50 cm,顶面埋设在地面以下50 cm的基座,结合中国科学院南皮生态农业试验站冬小麦抽穗期的情况,建立了土壤水分运动模型,分别模拟了在有无基座的条件下各时期的土壤体积含水率,并计算了不同条件下因埋设基座而产生的偏差。结果表明,离基座越近,影响越明显。基座的埋设使得其周边土壤雨后的含水率偏大,灌前的含水率偏小。雨后的偏差主要表现在70 cm深度以下的土层,灌前的偏差主要表现在80 cm深度以内的土层。因此,在水平方向与基座的距离不小于70 cm的剖面上埋设传感器,含水率偏差的绝对值均控制在0.02以内,基座对含水率测量的影响可以忽略。

**关键词:**墒情监测;土壤含水率;基座;传感器;数值模拟

中图分类号:S152.7

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.03.013

毛程阳,缴锡云,宋国强,等. 墒情监测站基座埋设对土壤水分分布的影响[J]. 灌溉排水学报,2017,36(3):75-78.

## 0 引言

随着计算机网络技术的发展,农业节水逐步向智能化和自动化的方向发展<sup>[1]</sup>。固定式的自动墒情监测站在农业生产中得到了越来越多的应用。固定式墒情监测站由远程数据中心、互联网与GPRS网络、无线监测站组成,可以实现墒情的实时同步监测,并且可以扩展多种传感器,相比于传统的墒情监测手段,优势明显。在墒情测量精度和布设方式方面,当土壤含水率较低时,电磁波的传输速度和含水率的相关性不够明显,TDR测量误差偏大<sup>[2]</sup>;针对不同湿度的土壤,当质量含水率为5%~22%时,TDR的测量精度较烘干法高<sup>[3]</sup>;土壤水分传感器埋设在地表以下10、30、60、100 cm的位置是合适的<sup>[4]</sup>;遥感数据和土壤墒情非参数模型的建立,减小了土壤质地、体积质量以及植被覆盖等因素对模型精度的影响<sup>[5]</sup>。遥感等非接触式的墒情测量方法目前还不成熟,烘干法、时域反射法等传统方法较为准确,但无法实现快速和大尺度的测量<sup>[6]</sup>。国内外学者对墒情的研究集中在测量方法和仪器本身精度二方面,而测量大田中的墒情,仪器的使用以及测量过程会对土壤环境产生扰动,进而影响水分分布,导致局部的测量数据不具备代表性。固定式墒情监测站可以实现全天候的快速测量,但基座的埋设必然会对周边土体的含水率产生影响。为此,在中国科学院南皮生态农业实验站,以冬小麦抽穗期的土壤含水率为研究对象,针对不同土壤初始含水率以及降雨量,利用Hydrus-2D软件模拟计算有无混凝土基座时的土壤体积含水率的差别,以期探明基座对水分分布的影响效应,并确定传感器埋设的合理位置。

## 1 材料及方法

### 1.1 研究区域概况

研究地点在中国科学院南皮农业生态试验站内,位于河北省沧州市南皮县境内。该地区属于海河流域的子流域——黑龙港流域,是典型的井灌区。研究区域地下水埋深5~7 m,土壤多为盐渍化脱盐潮土,部分

收稿日期:2016-08-17

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(201301014)

作者简介:毛程阳(1991-),男,江苏人。硕士研究生,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:maofelixmao@outlook.com

通信作者:缴锡云(1962-),男,河北人。教授,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:xyjiao@hhu.edu.cn

为盐化潮土和滨海潮土,耕地土壤为轻质土壤。研究区域年降水量400~550 mm,降雨通常集中在夏季,春、秋、冬季雨量稀少。

## 1.2 研究方法

根据文献[7-8]的研究成果,沧州地区土壤的田间体积持水率为0.342。在模拟计算中,对土壤根系层的初始含水率设定为5种情况,分别为田间持水率的100%、90%、80%、70%、60%。降雨条件分别为1日降雨和无雨。根据南皮生态试验站的降雨数据,选取5种典型降雨量。采用文献[9]建立的黑龙港流域农田有效降雨量估算模型计算有效入渗量,带入Hydrus-2D模型进行计算。典型降雨的选取结果见表1。

表1 典型降雨量的选取

雨型	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
时间	20120629	20120725	20120726	20120826	20110724
雨量/mm	5.0	20.4	40.2	52.0	123.9

以河北地区冬小麦抽穗期的土壤含水率为研究对象。抽穗期冬小麦的生长对水分的需求量大,对墒情监测的准确性要求高<sup>[10]</sup>。根系层深度定为1 m,潜在腾发量6 mm/d,地下水埋深5 m<sup>[9,11-12]</sup>。采用SEDI-MA4-12激光粒度仪分析耕作层(0~100 cm)土壤混合样的颗粒组成,土壤砂粒量为11.84%,粉粒量为66.21%,黏粒量为21.95%,按国际制分类标准确定土壤质地为粉壤土,并代入RETSC软件推求土壤水分特征曲线的模型参数。土壤水分特征曲线选取van Genuchten模型<sup>[13]</sup>,模型参数滞留含水率 $\theta_r$ 为0.075 6,饱和体积含水率 $\theta_s$ 为0.448 8,曲线性状参数 $\alpha$ 、 $n$ 分别为0.005 5、1.617 7,饱和导水率 $K_s$ 为13.26。

固定式墒情监测站数据采集与传输单元包括数据采集器、远程传输单元、太阳能板和蓄电池,由无缝钢管支撑,下有混凝土基座,基座尺寸为50 cm(长)×50 cm(宽)×50 cm(高),混凝土基座顶面埋设在地表面以下50 cm。根据以上条件,借助Hydrus-2D软件构建模型。在基座的四周选取一个方向布设探头。地表以下1 m的土层剖面上,以10 cm为间隔布设10层探头,水平方向离基座2 m的范围内,同样以10 cm为间隔布设20列探头,共设置200个。模型中输入的主要参数和模型界面分别见表2和图1。

表2 模型中输入的部分参数

模拟参数	参数值
深度	100 cm
不同质地土壤数量	1
根系层深度	100 cm
潜在腾发量	6 mm/d
上边界条件	大气边界
下边界条件	恒定含水率
土壤水分特征曲线模型	无滞后效应的VG模型
根系吸水模型	Feddes根系吸水模型

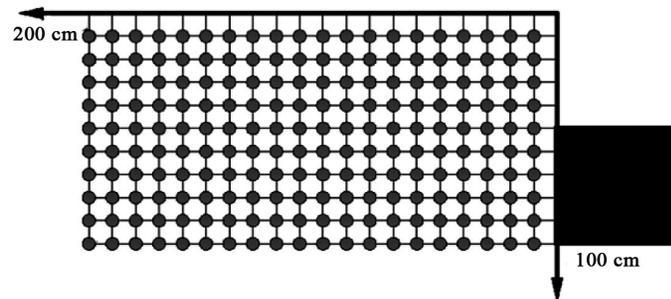


图1 Hydrus-2D软件模型界面

通过Hydrus-2D软件模拟得到埋设混凝土基座前后,在离基座横向距离200 cm以内,作物根系层不同深度的体积含水率。将基座埋设后的含水率和没有基座时的值进行比较,分析墒情传感器基座对水分分布的影响,确定传感器埋设的横向安全距离。

## 1.3 数据处理

将Hydrus-2D软件模拟得到的含水率数据导入Excel 2013中,利用Excel软件计算有无基座2种情况下土壤体积含水率的偏差,并绘制不同深度含水率以及含水率偏差的曲线图。

## 2 结果与分析

### 2.1 基座埋设对雨后含水率的影响

图2为初始含水率为田间持水率的70%,1日大暴雨的情况下,雨后1 d基座对含水率的影响情况。其中,体积含水率的偏差为有基座情况下各点的土壤含水率(体积)与无基座情况下对应点处的含水率直接相减得到的数值。

从图2可以看出,深度越深,距离基座越近,含水率的偏差越明显。随着与基座距离的增大,基座对含水率的影响越来越小。其他初始含水率和降雨的情况下,混凝土基座对水分分布的影响也具有类似的规律。

综合分析不同初始条件下基座对含水率的影响,重点关注雨后3 d内各个监测点含水率的最大偏差,以此确定埋设混凝土基座以后布置传感器的合理位置。最大偏差的统计结果见表3。从表3可以看出,混凝土基座上表面距离地面50 cm时,距离基座10 cm处,深度为70、80和90 cm的体积含水率最大偏差达到0.147 2。固定式墒情监测站配套的传感器若埋设在这个位置,测量值将不能有效地代表大田中相应深度的含水率。研究<sup>[1]</sup>发现,TDR测量土壤体积含水率精度较高时绝对误差在0.02以内,相对误差在10%以内。水平方向与基座的间隔大于等于70 cm的位置,含水率的最大偏差均被控制在传感器的测量精度内,可以认为在这些位置埋设传感器是合理的。

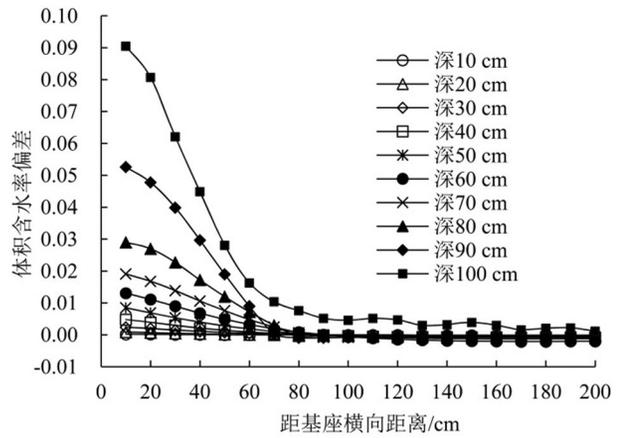


图2 含水率的偏差情况

表3 体积含水率最大偏差

离基座的水平距离/cm	深10 cm	深20 cm	深30 cm	深40 cm	深50 cm	深60 cm	深70 cm	深80 cm	深90 cm	深100 cm
10	-0.005 9	-0.014 8	-0.010 0	-0.009 9	0.019 7	0.036 2	0.083 6	0.075 3	0.147 2	0.090 5
20	-0.005 9	-0.014 8	-0.010 1	-0.010 0	0.013 3	0.025 4	0.068 3	0.060 5	0.135 2	0.080 7
30	-0.005 8	-0.014 8	-0.010 1	-0.010 2	-0.009 6	0.014 1	0.040 9	0.043 3	0.115 1	0.069 0
40	-0.005 9	-0.014 8	-0.010 9	-0.010 8	-0.009 7	0.008 8	0.020 3	0.026 5	0.043 4	0.058 4
50	-0.005 8	-0.014 7	-0.010 9	-0.010 8	-0.009 7	-0.008 5	0.007 9	0.021 9	0.019 5	0.040 0
60	-0.005 9	-0.014 7	-0.010 9	-0.010 8	-0.009 8	-0.008 5	0.005 2	0.008 0	0.009 0	0.022 3
70	-0.005 9	-0.014 7	-0.009 8	-0.010 4	-0.009 8	-0.008 5	-0.000 6	-0.003 4	-0.003 4	0.016 4
80	-0.005 8	-0.014 7	-0.009 8	-0.010 4	-0.009 8	-0.009 9	-0.001 4	-0.004 3	-0.004 3	0.016 3
90	-0.005 8	-0.014 7	-0.009 8	-0.010 4	-0.009 8	-0.010 9	-0.002 7	-0.004 8	-0.005 7	0.014 8
100	-0.005 8	-0.014 8	-0.010 9	-0.010 8	-0.009 7	-0.011 5	-0.002 9	-0.006 8	-0.007 8	0.016 3

## 2.2 基座埋设对灌前含水率的影响

在Hydrus-2D软件中,以田间持水率为初始含水率,模拟抽穗期无雨时根系层内的水分分布。选取田间持水率的60%为灌水下限<sup>[9]</sup>,无基座情况下模拟至灌后30 d时,土壤耕作层平均含水率达到灌水下限。比较同时期有基座埋设与无基座埋设的土壤水分分布情况(图3),分析基座埋设对灌前含水率的影响(图4)。

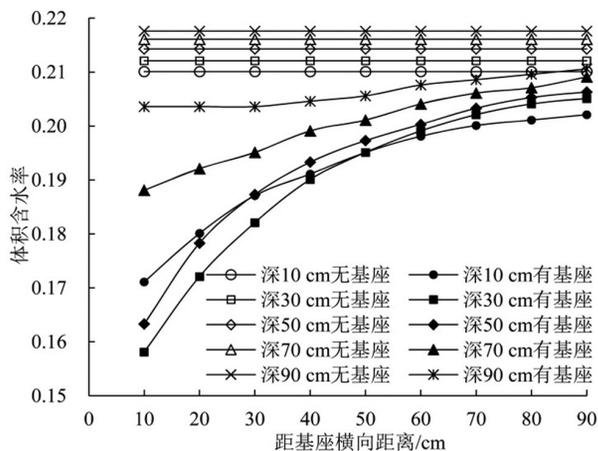


图3 混凝土基座对水分分布的影响

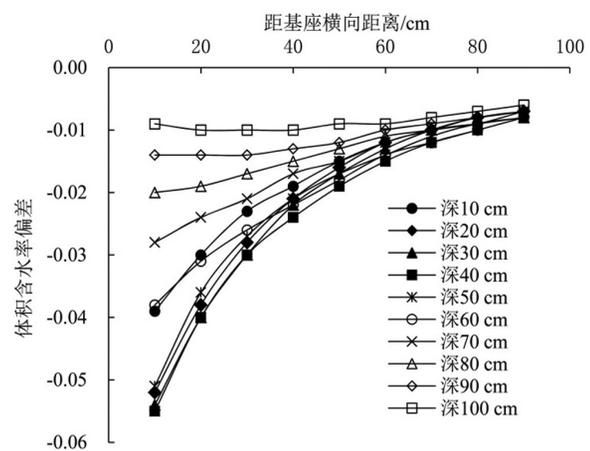


图4 灌前含水率的偏差情况

从图3可以看出,埋设基座使得灌前测量的土壤含水率普遍偏小,基座对灌前水分分布的影响是不可忽略的。这种影响在不同深度也存在差异,20~50 cm深度的含水率偏差最为明显。因此,在传感器埋设时需要确定合理的埋设位置。

图4显示,灌后冬小麦抽穗期正常耗水的情况下,当根系层的平均含水率达到灌水下限时,混凝土基座对水分分布的影响不同于雨后的情况。基座的埋设导致灌前测得的土壤含水率偏小,且浅层土壤偏小的情况更显著。在与基座水平间隔为10 cm的剖面上,80 cm深度以上含水率偏差的绝对值均大于0.02。40 cm

深度的含水率在埋设基座前后,体积含水率减小了近6%,受混凝土基座的影响最为明显。随着与基座水平距离的增大,水分分布受基座的影响越来越小。分析认为,基座的埋设一方面导致土体固有含水率的减少,另一方面浅层土壤靠近地表且根系密度大,水分消耗的速率快,而埋设基座后,干扰了水分的垂向运动。水平方向与基座间隔大于等于50 cm的剖面上,含水率偏差的绝对值均小于0.02,传感器的测量值可以有效避免基座的影响并较好地反映大田中灌前的土壤墒情,对指导灌溉有重要意义。

### 3 结论

混凝土基座顶面埋设在地表以下50 cm处时,会干扰土壤水分运动,进而对周边土壤含水率产生显著影响。对比埋设混凝土基座前后相同位置处的含水率并计算偏差,通过模拟计算与分析,得到以下主要结论:

1)埋设的混凝土基座,将导致近距离处的雨后土壤含水率偏大,灌前土壤含水率偏小;距离基座越近,偏差越大。雨后的偏差主要表现在70 cm深度以下的土层,灌前的偏差则集中表现在80 cm深度以内土层。

2)与基座间隔70 cm的剖面上,雨后含水率偏差的绝对值均在0.02以内;与基座间隔50 cm的剖面上,灌前含水率偏差的绝对值也小于0.02。因此,为使不同深度的传感器测量值均能有较好的代表性,传感器距离混凝土基座的水平距离应不小于70 cm。

#### 参考文献:

- [1] 陈兴,程吉林,朱春龙,等. 大型灌区管理信息系统的研究与开发[J]. 灌溉排水学报,2006,25(02): 53-57.
- [2] SKIERUCHA. Accuracy of soil moisture measurement by tdr technique[J]. International Agrophysics,2000,14(4): 417.
- [3] 孙立,董晓华,陈敏,等. TDR测定不同湿度土壤含水量的精度比较研究[J]. 安徽农业科学,2014,14(42): 4 279-4 281.
- [4] 史岩,李帆,孙凯,等. 墒情监测中土壤水分传感器埋设位置研究[J]. 莱阳农学院学报,2006,23(3): 179-184.
- [5] LAKHANKAR T, GHEDIRA H, TEMIMI M, et al. Non-parametric Methods for Soil Moisture Retrieval from Satellite Remote Sensing Data [J]. Remote Sensing, 2009, 1(1): 3-21.
- [6] 白燕英,魏占民,刘全明,等. 基于ETM+遥感影像的农田土壤含水率反演研究[J]. 灌溉排水学报,2013,32(4): 76-102.
- [7] 李峰,缴锡云,李盼盼,等. 田间土壤水分特征曲线参数反演[J]. 河海大学学报(自然科学版),2009,37(4): 373-377.
- [8] 苏欣. 作物水肥利用对地下水位变化的响应[D]. 南京:河海大学,2012.
- [9] 庄杨. 黑龙港流域农田有效降雨量估算模型[D]. 南京:河海大学,2015.
- [10] 杨静敬,路振广,邱新强,等. 不同灌水定额对冬小麦耗水规律及产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2013,32(3): 87-89.
- [11] 邱新强,高阳,黄玲,等. 冬小麦根系形态性状及分布[J]. 中国农业科学,2013,46(11): 2 211-2 219.
- [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.
- [13] VAN GENUCHTEN M T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44(5): 892.

## Effects of Base Layout of the Monitoring Station on Soil Water Distribution

MAO Chengyang<sup>1</sup>, JIAO Xiyun<sup>1,2</sup>, SONG Guoqiang<sup>3</sup>, LIU Kaihua<sup>1</sup>, GUO Weihua<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-water Resourced and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Flood Control and Drought Relief Headquarters Office of Hebei Province, Shijiazhuang 050011, China)

**Abstract:** In order to determine the suitable position for sensors, the concrete base, which was all 50 cm in length, width and height, was buried 50 cm below ground, and the modeling of the movement of soil water during the heading period of winter wheat in ecological test station of Nanpi in Hebei province was set up by Hydrus-2D. The volumetric water contents before and after inbuilt concrete base were calculated by Hydrus-2D, and the deviations caused by the concrete base under different conditions were also analyzed. The result showed that soil water content around the base was increased after the rain and reduced before irrigation. The deviation was notable at the depth of more than 70 cm after the rain and less than 80 cm before irrigation. The influence decreased with the increasing distance between monitoring points and the concrete base. The absolute value of water content deviations were less than 0.02 and the influence could be ignored at the profile 70 cm away from the concrete base.

**Key words:** soil moisture monitoring; soil water content; concrete base; sensors; numerical simulation

责任编辑:刘春成