

# 波涌灌溉技术田间适应性分析

刘群昌, 许迪, 谢崇宝, 黄斌

(国家节水灌溉北京工程技术研究中心)

**摘要:** 利用地面灌溉模型对波涌灌溉条件下地表水流及入渗过程进行模拟, 在模拟结果与田间实测资料对比基础上, 确定适宜的田间灌水参数, 即土壤入渗强度、田块规格、田面坡度、入地流量、田间微地形等的变化范围, 给出适合于波涌灌水方法应用的田间组合条件, 提出波涌灌水技术对壤类土质的田间适应性, 为制定波涌灌溉的田间实施方案提供科学的依据。

**关键词:** 波涌灌溉; 田间适应性; 灌水参数; 灌溉效率; 灌水均匀度

**中图分类号:** S275.8

**文献标识码:** A

**文章编号:** 100226819(2002)0120035206

波涌(涌流或间歇)灌溉是一种先进的地面灌水技术, 与传统地面灌溉方法相比, 具有节水、节能、省工、灌水质量高等特点。波涌灌水技术的节水机理、地表水流特性、田面土壤入渗特性等的基础理论研究已取得较大进展<sup>[1~4]</sup>, 但在田间应用研究方面, 尤其是对波涌灌溉方法的田间适应性研究上还缺乏系统的综合性分析评价。

波涌灌溉技术要素和田间灌水参数是影响波涌灌溉系统性能的重要因素, 前者通常包括波涌间歇供水周期时间、供水周期数以及循环率等参数, 后者则是在特定的波涌灌水技术要素组合下影响田间灌水效果的参数, 如土壤入渗性能、田块规格、田面坡度、入沟(畦)流量、田间微地形状况等。由于波涌间歇供水状况改变了连续灌条件下的地面水流运动状态和土壤入渗性能, 故定量分析田间灌水参数对波涌灌水质量的影响, 对改善地面灌溉系统性能、选择适宜的波涌灌溉设计参数至关重要。本文采用地面灌溉模型对不同田间灌水参数组合下的波涌灌溉地表水流运动过程进行模拟, 在给定的波涌灌溉技术要素下, 以波涌灌水质量评价指标为依据, 确定田间灌水参数的适宜变化范围, 给出适宜于波涌灌溉方法应用的田间组合条件。

## 1 试验与方法

### 1.1 田间灌溉试验

波涌灌溉田间试验于 1999~2000 年分别在北京大兴的半壁店乡和北京昌平的百善镇进行。两地种植的主要作物为冬小麦和夏玉米, 作物灌溉以地

面畦灌为主, 部分采用沟灌。大兴试验地点表层土壤的质地为砂壤土(砂粒 56.0%、粉粒 36.7%、粘粒 7.3%); 昌平试验点的地表土壤为中壤(砂粒 43.6%、粉粒 39.9%、粘粒 16.5%)和粘壤(砂粒 10.0%、粉粒 55.3%、粘粒 34.7%)。

田间波涌灌溉试验利用自行研制的波涌灌溉设备<sup>[5]</sup>实现间歇交替的供水过程, 入畦(沟)流量由安装在波涌灌溉设备引水硬管上的超声波流量计控制, 实施流量动态监测。在冬小麦畦灌试验中, 共设计 14 种灌水处理, 完成 42 个畦块的田间试验工作, 其中畦宽 2~5 m、畦长 100~300 m, 畦面坡度 0.0004~0.003, 入畦单宽流量 1.5~4 L/(s·m)。在夏玉米沟灌试验中, 完成 15 组共 45 条沟的田间灌水试验, 平均沟口宽度 50 cm、沟中宽 30 cm、沟深 24 cm、沟长 100~225 m、沟底坡度 0.0007~0.003, 入沟流量 1.0~3.0 L/s。

田间灌溉试验中, 视地块长度沿畦(沟)纵向每 10~20 m 处设立定位观测点, 记录波涌灌各供水周期内的水流推进时间、推进距离和地面水深。在灌前和灌后, 沿各定位点处采集土样, 取样深度分别为 20、40、60、80 和 100 cm。利用室内土样烘干法测定土壤的含水率, 用于评价波涌灌水的质量。

### 1.2 灌水质量评价指标

波涌灌溉的灌水质量评价指标通常包括: 灌溉效率  $E_a$ 、灌水均匀度  $E_d$  和储水效率  $E_n$ <sup>[6]</sup>。为与地面连续灌溉的效果对比, 用节水率  $SR$  作为评价指标

$$E_a = \frac{W_1}{W_1 + W_2 + W_3} \times 100\% \quad (1)$$

$$E_d = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n 2\beta Z_i - Z_{avg}\beta}{N Z_{avg}} \right] \times 100\% \quad (2)$$

$$E_n = \frac{W_1}{W_1 + W_0} \times 100\% \quad (3)$$

收稿日期: 2001203220 修订日期: 2001210219

基金项目: 国家“九五”重点科技攻关项目(962006202201)

作者简介: 刘群昌, 硕士, 高级工程师, 北京市海淀区车公庄西路 20 号 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 100044

$$SR = \frac{m_c - m_s}{m_c} \times 100\% \quad (4)$$

式中  $W_1$ ——保存在计划湿润层内的水量;  
 $W_2$ ——深层渗漏水量;  $W_3$ ——沟(畦)尾弃水量;  
 $W_0$ ——计划湿润层灌水不足量;  $Z_i$  和  $Z_{avg}$ ——分别  
 灌后沿田面各观测点处土壤的入渗水量和平均入渗  
 水量;  $N$ ——观测点数目;  $m_c$ ——连续灌条件下的  
 灌水定额;  $m_s$ ——与连续灌相同条件下波涌灌的灌  
 水定额。

### 1.3 波涌灌溉技术要素

波涌灌溉技术要素包括: 间歇供水周期的时间、  
 供水周期数以及循环率等。其中供水周期的时间是  
 指一次间歇灌水运行与停止所需的全部时间, 而完  
 成整个灌水过程所需要的供水周期数量称为周期  
 数, 循环率则是指一次供水周期内的灌水时间与周  
 期时间的比值。波涌灌溉的总灌水时间等于各供水  
 周期灌水时间之和, 可参照同等田间条件下连续灌  
 水时间的 70%~90% 进行估算<sup>[7]</sup>。田块长度在 200  
 m 以上时, 以 3~4 个供水周期为宜, 200 m 以下的  
 地块, 则采用 2~3 个供水周期<sup>[8]</sup>。每个供水周期内  
 的灌水时间可在 30~60 min 范围内选择<sup>[9]</sup>。为便于  
 波涌灌溉设备的工作运行和田间实施操作, 取循环  
 率为 1:2, 即一次供水周期内的灌水时间与停水时  
 间相等。

### 1.4 地面灌溉模型

利用地面灌溉模型(SRFR)<sup>[10]</sup>模拟地面畦(沟)  
 灌溉中的水流推进过程, 采用零惯量模型描述地表  
 水流运动方程

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial A_z}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (6)$$

式中  $x$ ——水流推进距离;  $y$ ——水深;  $t$ ——灌  
 水时间;  $A_z$ ——单位长度的入渗量;  $A$ ——过流断  
 面的截面积;  $Q$ ——灌水流量;  $S_0$ ——地面坡度;  
 $S_f$ ——阻力坡降。

SRFR 模型的输入参数可分为 3 类: (1) 田块参  
 数, 包括长度、地面微地形条件和地面坡度; (2) 灌  
 溉管理参数, 包括灌溉需水量、入畦(沟)流量及灌  
 溉供水时间; (3) 土壤参数, 包括土壤入渗参数和  
 田面糙率系数。其中土壤入渗参数和田面糙率系数  
 可根据田间试验观测数据进行估算。模型输出结果  
 包括: 水流推进与消退曲线, 田间入渗水深分布,  
 灌溉系统性能的评价指标等。

### 1.5 土壤参数的确定

在波涌间歇供水条件下, 田面存在的吸湿饱和  
 与脱湿排水交替发生的变化过程会显著改变土壤表  
 层性能, 造成表层土壤入渗能力的下降和田面阻水  
 性能的减弱。为了真实地反映出田间间歇供水条件  
 下地面土壤入渗性能和田面阻水特性的变化, 应分  
 别确定波涌灌溉条件下相应于各供水周期的土壤入  
 渗参数和田面糙率系数。

采用水量平衡法<sup>[11]</sup>确定波涌灌各供水周期内  
 的土壤入渗参数, 其中土壤入渗性能由 Kostikov  
 公式给予描述<sup>[12]</sup>

$$I = kt^A \quad (7)$$

式中  $I$ ——土壤入渗量, m;  $t$ ——入渗受水时间,  
 min;  $k$ 、 $A$ ——待定的土壤入渗参数。

波涌灌溉下, 利用实测的田间水流推进数据, 针  
 对各供水周期内的入畦(沟)水流推进过程, 列出相  
 应的水量平衡方程, 分别估算相应于各周期的土壤  
 入渗参数  $k$  和  $A$  的平均值<sup>[13]</sup>。表 1 给出的估算结  
 果表明, 随着波涌间歇供水次数的增加, 各周期内  
 相同时间下的累计土壤入渗量在逐渐减少。以砂壤  
 土为例, 波涌畦灌各供水周期内 30 min 下的累计  
 土壤入渗量分别为 11.2、6.5 和 2.9 cm; 相同时间  
 内, 波涌沟灌各供水周期的累计土壤入渗量依次  
 为 12.0、7.2 和 3.0 cm, 土壤入渗性能下降的趋  
 势显著。

波涌灌水条件下的田面糙率系数  $n$  可通过各供  
 水周期内实测的地表水深、水流推进速度等观测数  
 据, 利用如下公式计算<sup>[1]</sup>

$$n = R^{2/3} i^{1/2} v^{-1} \quad (8)$$

式中  $v$ ——田块内的水流平均推进速度;  $i$ ——地  
 面坡度;  $R$ ——水力半径, 通常  $R = A / \alpha X$ , 其中  $A$   
 为水流横断面积,  $X$  为湿周。对于畦田,  $R = bh / (b + 2h)$ ,  
 其中  $b$  为畦宽,  $h$  为畦面水深; 对于沟灌,  $R$  值可  
 根据沟型断面计算得到。

波涌灌溉试验中, 利用田间观测得到的畦(沟)  
 面水深和血流推进速度等数据, 利用式(8)计算相  
 应于各周期的田面糙率系数(表 1), 其中地面水深  
 的观测可采用沟形断面仪或专用测量架进行<sup>[14]</sup>。表  
 1 的结果表明, 随着波涌间歇供水次数的增加, 各  
 周期内的田面糙率系数逐渐减小。

从第 3 个供水周期以后, 已湿润土壤的入渗性  
 能和田面的阻水性能基本趋于稳定, 据试验测定第  
 3、4 个供水周期入渗参数值和田面糙率系数的变  
 化均小于 3%, 因此第 3 个供水周期以后的土壤入  
 渗参数值和田面糙率系数可视为常量。

表 1 波涌灌溉相应于各供水周期的土壤参数

Table 1 Changes in soil parameters under surge irrigation

波涌灌 水方式	土壤 类型	第 1 个供水周期			第 2 个供水周期			第 3 个供水周期		
		$k_1$	$A_1$	$n_1$	$k_2$	$A_2$	$n_2$	$k_1$	$A_3$	$n_3$
		$\bar{Q}_m \cdot m \cdot in^{-1} \cdot A_1$			$\bar{Q}_m \cdot m \cdot in^{-1} \cdot A_2$			$\bar{Q}_m \cdot m \cdot in^{-1} \cdot A_3$		
畦灌	粘壤土	0.0083	0.4064	0.206	0.0051	0.3010	0.168	0.0020	0.2020	0.113
	中壤土	0.0092	0.5470	0.198	0.0066	0.4108	0.159	0.0057	0.2985	0.096
	砂壤土	0.0118	0.6610	0.193	0.0099	0.5512	0.156	0.0077	0.3993	0.091
沟灌	粘壤土	0.0079	0.4923	0.211	0.0059	0.3873	0.170	0.0019	0.2187	0.092
	中壤土	0.0087	0.5372	0.203	0.0061	0.4289	0.165	0.0058	0.2773	0.085
	砂壤土	0.0116	0.6915	0.195	0.0114	0.5687	0.161	0.0081	0.3898	0.081

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤入渗性能

对上述 3 种具有不同入渗性能的土壤上进行波涌灌水质量的模拟评价。输入参数为: 田块长 200 m、田面坡度 0.003、间歇供水周期 4 次、每个周期的灌水时间 60 min、入畦单宽流量 3 L $\ddot{o}$ (s $\cdot$ m)、入沟流量为 2.0 L $\ddot{o}$ s。

针对不同的土质条件, 先以水流推进到畦(沟)尾的时间作为连续灌条件下的供水时间, 模拟计算得到相应的灌水定额, 再根据连续灌时间的 80% 估算波涌灌水时间, 从而确定间歇供水的周期和每个周期的灌水时间, 最后计算灌水定额。

表 2 土壤入渗性能对波涌灌水质量影响的模拟

Table 2 Simulations for the effect of infiltrability on performances of surge irrigation %

土壤 类型	波涌畦灌				波涌沟灌			
	$E_a$	$E_d$	$E_n$	SR	$E_a$	$E_d$	$E_n$	SR
粘壤土	84.6	88.0	61.8	-1.8	88.3	78.3	42.5	0.3
中壤土	81.0	88.9	87.0	17.1	83.8	73.4	88.6	28.2
砂壤土	78.2	83.6	81.3	15.9	80.2	75.3	98.4	29.1

表 2 给出的模拟结果表明在入渗性能较弱的粘壤土质条件下, 波涌灌溉虽具有较高的灌溉效率  $E_a$  和灌水均匀度  $E_d$ , 但相对较低的储水效率  $E_n$  意味着土壤计划湿润层的储水量不足, 较小的 SR 值说明与连续灌相比, 波涌灌的节水效果不佳。在砂壤土和中壤土上应用波涌灌溉技术较为适宜, 较佳的灌水质量评价指标显示出其良好的适应性。

表 3 土壤入渗性能对波涌灌水质量影响的田间试验结果

Table 3 Field observations on the effect of infiltrability on performances of surge board irrigation

土壤 质地	土壤入渗强度	入畦流量	$E_a$	$E_d$	SR
	$\bar{Q}_m \cdot h^{-1}$	$\bar{Q}_L \cdot (s \cdot m)^{-1}$	$\bar{Q}\%$	$\bar{D}\%$	$\bar{S}\%$
粘壤土	44	2.0	89.1	83.2	-14.2
中壤土	86	2.5	83.8	86.3	16.3
砂壤土	176	3.0	81.3	82.0	18.0

表 3 给出的田间波涌灌溉试验结果证实了以上模拟计算得出的结论。在与模拟条件相同的状况下, 若以干燥土壤在最初 1 h 的入渗强度  $I_1$  作为土壤渗透性能的评定标准, 则试验地点处的中壤和砂壤土 ( $I_1 = 86 \sim 176 \text{ mm } \ddot{o}h$ ) 适宜于波涌灌溉方法的应用, 而对粘壤土 ( $I_1 < 44 \text{ mm } \ddot{o}h$ ), 波涌灌条件下的节水效果则不佳。

田间观测和室内模拟结果表明, 砂壤和中壤土比较适宜于波涌灌溉技术的应用, 故以下在壤质土条件下分析田块规格、田面坡度、入沟(畦)流量、田间微地形状况等田间灌水参数对波涌灌溉系统性能的影响。其中波涌灌溉各供水周期的土壤入渗参数和田面糙率系数取自表 1 给出的中壤土和砂壤土参数的均值。由于该表给出的土壤参数是在不同灌溉试验处理下估算得到的平均值, 基本反映出土壤入渗性能和田面阻水特性变化的一般规律, 故在模拟计算中可直接加以应用。

### 2.2 田块规格

田块规格对波涌灌水质量的影响主要反映在畦(沟)长的差异上。表 4 给出畦(沟)长度对波涌灌水质量影响的模拟结果。模拟条件: 田面坡度 0.003、间歇供水周期 2~4 次、每个周期的灌水时间 30~60 min、入畦单宽流量 3 L $\ddot{o}$ (s $\cdot$ m)、入沟流量 2.0 L $\ddot{o}$ s、灌水定额 800 m<sup>3</sup> $\ddot{o}hm^2$ 。

表 4 畦(沟)长度对波涌灌水质量影响的模拟

Table 4 Simulations for the effect of the border or furrow field length on performances of surge irrigation %

沟(畦)长 度 $\ddot{o}m$	波涌畦灌				波涌沟灌			
	$E_a$	$E_d$	$E_n$	SR	$E_a$	$E_d$	$E_n$	SR
50	69.2	82.0	58.8	-7.0	67.8	82.0	33.4	-8.7
100	75.5	84.0	76.5	2.0	78.8	81.0	78.2	-0.9
150	78.7	87.0	83.1	13.0	80.5	84.0	81.1	2.1
200	80.6	88.0	82.8	19.1	81.6	85.0	82.4	9.7
250	83.9	85.0	83.7	76.2	83.7	86.0	84.6	30.2
300	88.4	82.0	85.8	24.4	85.8	87.3	87.9	36.3
350	84.8	81.0	81.9	17.8	81.2	78.0	82.1	32.1
400	78.0	75.0	76.0	11.3	72.5	73.5	73.5	22.4
450	60.3	70.2	62.4	6.5	62.1	71.3	70.3	11.2
500	58.4	62.0	53.5	0.1	56.4	64.1	60.5	3.4

从表 4 中可以看到,畦(沟)长度为 50m 时的灌水均匀度尽管较高,但灌溉效率和储水效率均较低,节水率小于零,波涌灌水的效果不理想,畦(沟)长度大于 350m 时,用来评价灌水质量的各项指标呈下降趋势。畦(沟)长度在 100~ 350m 范围内,波涌灌溉方法具有较佳的灌水质量。

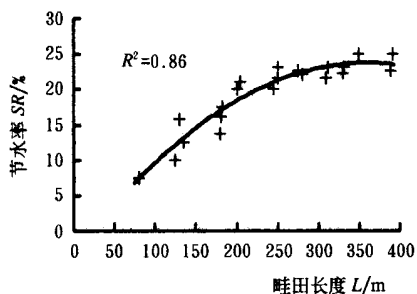


图 1 波涌畦灌下畦长与节水率的关系

Fig 1 Relationship between the border length and water saving ratio under surge border irrigation

图 1 给出与模拟条件相类似的状态下根据田间试验观测结果得到的畦长与节水率间的关系。波涌畦灌下的节水率随畦块长度的增加而增大,当畦田长度超过 350m 时,节水率开始出现下降的趋势。考虑到畦(沟)过长会不利于田间栽培和灌溉管理,且较差的田间微地形状况对灌水质量的负作用愈加明显,故波涌灌溉条件下的最大畦(沟)长度以不超过 400m 为宜,可在 100~ 350m 范围内选择。

2.3 田面坡度

在田块长度 200m、间歇供水周期 4 次、每个周期的灌水时间 60min、入畦单宽流量 3 L ö(s · m)、入沟流量 2.0 L ös、灌水定额 800 m<sup>3</sup>öhm<sup>2</sup> 的条件下

模拟的田面坡度变化对波涌灌水质量的影响结果参见表 5。

表 5 波涌畦灌下畦长与节水率的关系

Table 5 Relationship between the border length and water saving ratio under surge border irrigation %

沟(畦)长度öm	波涌畦灌				波涌沟灌			
	E <sub>a</sub>	E <sub>d</sub>	E <sub>n</sub>	SR	E <sub>a</sub>	E <sub>d</sub>	E <sub>n</sub>	SR
0	71.4	71.5	80.7	11.1	63.0	63.0	84.5	13.1
0.000001	73.1	74.8	80.9	17.2	65.1	67.0	82.1	15.9
0.00005	82.5	83.3	82.6	21.6	70.2	71.0	88.0	21.3
0.0001	85.5	86.9	83.0	20.8	80.9	84.0	90.3	24.0
0.0005	89.6	91.0	85.8	19.2	84.2	87.0	91.4	20.9
0.001	88.6	93.0	87.8	13.7	87.6	85.0	89.4	18.8
0.005	86.1	85.0	84.2	11.2	84.0	86.0	85.9	18.7
0.01	79.6	76.2	80.7	8.6	82.5	83.0	86.3	12.4
0.05	76.3	72.4	72.1	4.3	76.0	79.0	80.6	11.4

由表 5 列出的模拟结果可知,当畦面坡度在 0.00005~ 0.005 范围内,波涌畦灌的灌水效率在 85% 左右,灌水均匀度 E<sub>d</sub> 为 83%~ 93%,储水效率 E<sub>n</sub> 在 84% 左右,节水率 SR 均大于零,波涌畦灌具有良好的灌溉性能。当沟底坡度在 0.0001~ 0.01 之间时,波涌沟灌的 E<sub>a</sub> 值为 81%~ 87%,E<sub>d</sub> 值为 85% 左右,E<sub>n</sub> 值大于 85%,波涌沟灌具备较好的灌水质量。

2.4 入畦(沟)流量

表 6 给出入畦(沟)流量变化对波涌灌水质量影响的模拟和田间试验结果,模拟是在沟(畦)长度 200m、田面坡度 0.003、间歇供水周期 4 次、每个周期的灌水时间 60min、灌水定额 800 m<sup>3</sup>öhm<sup>2</sup> 的模拟条件下得到。

表 6 入畦(沟)流量对波涌灌水质量影响的模拟

Table 6 Simulations and field observations for the effect of the intake flow rate on performances of surge irrigation %

流量 öL · (s · m) <sup>-1</sup> 或 L · s <sup>-1</sup>	波涌畦灌模拟结果				波涌沟灌模拟结果				波涌沟灌试验结果			波涌畦灌试验结果			
	E <sub>a</sub>	E <sub>d</sub>	E <sub>n</sub>	SR	E <sub>a</sub>	E <sub>d</sub>	E <sub>n</sub>	SR	E <sub>a</sub>	E <sub>d</sub>	SR	流量 öL <sub>1</sub> (s <sub>1</sub> m) <sup>-1</sup>	E <sub>a</sub>	E <sub>d</sub>	SR
1.0	63.2	68.2	61.9	-1.4	64.9	62.0	73.5	5.3				1.4	73.9	77.0	9.3
1.5	69.8	74.5	77.8	8.1	82.9	80.0	82.5	19.9	82.2	83.1	18.5	2.2	81.2	83.1	17.0
2.0	80.4	80.8	79.0	16.7	83.9	82.0	83.0	25.5	84.1	82.3	22.2	3.1	86.0	84.0	26.1
2.5	85.1	82.0	85.3	14.3	81.7	84.0	81.4	27.3				3.5	85.3	87.6	27.8
3.0	87.5	85.8	88.0	29.3	83.2	83.0	80.6	26.8	86.7	84.4	23.0	3.8	81.3	82.6	24.5
3.5	86.4	88.0	84.6	26.2	79.2	79.0	78.6	18.4	78.6	76.4	14.6	4.3	82.3	81.6	23.4
4.0	82.8	82.0	78.7	22.9	72.0	74.0	75.0	4.9				5.1	76.8	78.0	15.9
5.0	78.6	79.0	75.4	16.1											

随着入畦单宽流量的增加,波涌畦灌的灌水质量评价指标呈现出先增后降的趋势。当流量小于 2 L ö(s · m)时,E<sub>a</sub>、E<sub>d</sub> 和 E<sub>n</sub> 值均较低,节水率 SR 出现负值,波涌畦灌的灌水质量较差;而当流量大于 4 L ö(s · m)后,所有的评价指标值出现下降趋势。考

虑到较大的入畦水流对表层土壤的冲刷侵蚀作用,则适宜的单宽流量应保持在 2~ 4 L ö(s · m)之间,以便获得较佳的波涌畦灌性能。对沟灌而言,随着入沟单宽流量的增加,各项灌水评价指标的变化趋势类似于畦灌,较小的或较大的入沟流量均带来较差

的灌水质量。波涌灌下的适宜入沟流量应根据沟断面的大小在 1.5~ 3 L ös 之间进行选择。

田间观测结果是在与模拟条件类似的情况下相应于不同入畦(沟)流量得到的。可见, 入畦单宽流量控制在 2~ 4 3 L ö(s · m) 范围下的波涌畦灌系统性能良好, 而入沟流量在 1.5~ 3 L ös 之间, 可获得较好的波涌灌水效果。

### 2.5 田间微地形状况

田面微地形反映出畦(沟)内的地面起伏状况, 可采用田面平整精度指标  $S_d$  (cm) 予以表示<sup>[15, 16]</sup>, 它等于田块内所有测点的地面高程的标准偏差值

$$S_d = \sqrt{\frac{2}{n-1} \sum_{i=1}^n (h_i - h_{ii})^2} \quad (9)$$

式中  $h_i$ ——田块内第  $i$  个测点的高程, cm;  $h_{ii}$ ——第  $i$  个测点的期望高程, cm, 为该点的设计坡度高程;  $m$ ——田块内所有测点的数量。较大的  $S_d$  值表明田块具有较差的田面微地形条件, 这不仅指水流推进的纵向坡面上, 还包括垂直水流方向横断面上的地形起伏状况。田块微地形测量中, 沿畦长方向分左、右两条纵线测量各点高程, 测点间距 5 m, 线距依畦宽实地确定。

表 7 田间微地形对波涌灌水质量影响的模拟和田间试验结果

Table 7 Simulations and field observations for the effect of microtopography on performances of surge irrigation %

$S_d$ öcm	波涌畦灌模拟结果				波涌沟灌模拟结果			$S_d$ öcm	波涌畦灌试验结果		
	$E_a$	$E_d$	$E_n$	SR	$E_a$	$E_d$	$E_n$		$E_a$	$E_d$	SR
0.0	84.7	85.1	86.9	17.1	82.6	85.0	82.4	1.2	86.3	85.4	23.2
0.5	88.9	87.4	89.8	22.2	86.2	87.8	84.4	2.7	80.6	83.1	16.2
1.0	85.6	85.9	87.0	25.0	84.7	86.0	83.6	3.4	78.0	80.2	15.1
2.0	83.0	82.2	85.3	24.0	82.4	85.0	81.2	4.3	75.1	75.5	12.9
3.0	79.1	80.5	82.0	19.0	80.1	82.0	80.9				
4.0	76.5	78.3	80.6	14.2	77.5	78.0	80.0				
5.0	72.1	76.5	78.5	12.4	76.2	72.0	79.5				

表 7 给出田间微地形条件对波涌灌水质量影响的评价结果, 它是在畦(沟)长度 200 m、田面坡度 0.003、入畦(沟)流量 2.5 L ö(s · m) (或 L ös)、间歇供水周期 4 次、每个周期的灌水时间 60 min、灌水定额 800 m<sup>3</sup> öhm<sup>2</sup> 条件下模拟得到的。随着田面  $S_d$  值的增大, 田间微地形条件对波涌灌溉系统性能的不利影响会增强。当畦田的  $S_d$  值大于 3 cm 或沟田的  $S_d$  值大于 4 cm 以后, 波涌灌水的质量将会明显变差。田面不平整程度对波涌畦灌系统性能影响的事实还可由田间观测结果所证实, 用来评价波涌畦灌性能的各项指标随  $S_d$  值增大而变差的趋势表明, 田面微地形条件对评价指标的不利影响是非常显著的。

### 2.6 田间适应性

影响波涌灌溉系统性能的田间灌水参数主要有: 土壤质地(土壤入渗性能)、田块规格、田面坡度、入畦(沟)流量、田间微地形条件等。根据上述田间灌溉试验数据和模拟计算结果, 在壤类土质条件下, 适宜于波涌畦灌技术应用的田间组合条件是: 畦长 100~ 350 m, 畦面坡度 0.000 05~ 0.005, 入畦单宽流量 2~ 4 L ö(s · m), 畦块田面平整精度指标小于 3 cm; 适宜于波涌沟灌方法应用的田间组合条件是: 沟长 100~ 350 m, 沟坡 0.000 1~ 0.01, 入沟流量

1.5~ 3 L ös, 沟面平整精度指标小于 4 cm。

## 3 结 论

通过田间波涌灌溉试验和数学模拟计算相结合的方式, 定量研究波涌灌溉条件下的田间灌水参数对波涌灌水质量的影响。利用田面平整精度作为指标, 模拟分析田面平整状况对波涌灌溉系统性能的影响, 克服了以往在研究波涌灌水过程中忽略田面微地形条件对灌水质量影响的不足。提出的适宜于波涌灌方法应用的田间组合条件为波涌灌溉技术设计方案的制定提供了科学的依据。

### [参 考 文 献]

- [1] Walker W R, Skogerboe G V. Surface Irrigation—Theory and Practice [M]. Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1987.
- [2] 王文焰等. 波涌灌溉试验研究与应用 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1994.
- [3] 樊志升, 胡毓骥, 周子奎. 间歇畦灌灌水技术及其节水机理的试验研究 [J]. 灌溉排水, 1997(4): 34~ 38.
- [4] 刘洪禄. 波涌灌溉机理及其灌水技术的研究 [D]. 北京: 农业工程大学, 1993.
- [5] 谢崇宝, 黄 斌, 刘群昌等. 波涌灌控制阀及自控器的研制 [J]. 水利水电技术, 1999(10): 23~ 26.
- [6] 水利部部颁标准. 农田水利技术术语 (SL 6293) [S]. 北

- 京: 水利电力出版社, 1993
- [7] Rogers D H, Lam F R. Surge flow irrigation experience A SAE Paper MCR, 1984
- [8] 王云涛, 施丽贞. 涌流灌溉技术[J]. 节水灌溉, 1998 (1): 12~15
- [9] Allan S Humpherys. Surge irrigation: 2 Management[J]. ICD Bulletin, 1989(2): 56~61.
- [10] Strelkoff T. SRFR 20 5: A computer programme for simulating flow in surface irrigation furrows basins borders USDA ARS, Water Conservation Lab, Phoenix, 1993
- [11] Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems[M]. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 45 1995
- [12] Kostiakov A N. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration[A]. In Trans 6th Commission, Int Society of Soil Science[C], Moscow. In Russian Part A, 1932
- [13] 刘群昌, 许迪, 李益农等. 应用水量平衡法确定波涌灌溉下土壤入渗参数[J]. 灌溉排水, 2001(2): 31~36
- [14] 许迪, 蔡林根, 王少丽等. 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
- [15] De Sousa P L, Dedrick A R, Clemmens A J, et al. Effect of furrow elevation differences on level basin performance[J]. Trans of the ASAE, 1995(1): 1123~1129.
- [16] 李益农, 许迪, 李福祥等. 田面平整精度对畦灌系统性能影响的模拟分析[J]. 农业工程学报, 2001(4): 43~48

## 《农业工程学报》2002 年第 5 期英文论文征稿启事

《农业工程学报》是由中国科学技术协会主管, 由中国农业工程学会主办的国家一级学术期刊。双月刊, 每逢单月 25 日出版, 由各地邮局征订发行。中文核心期刊, 已被国内外 15 家著名文献检索数据库收录, 如美国的 EI、英国的 CAB International Agriculture, Publication Online (出版在线)、中科院引文数据库、清华大学编辑的中国学术期刊光盘版数据库等。为促进国内外学术交流, 扩大学报知名度, 为争取进入更多的知名数据库, 本刊编委会决定, 继 2001 年第 1 期之后, 2002 年《农业工程学报》第 5 期仍拟将以英文正文附中文摘要形式集中向国内外介绍中国农业工程科技和教育的发展情况和最新研究成果。

英文辑刊登内容与学报报道的范围一致, 主要包括: 农业水土工程, 农业机械与农业机械化工程, 农村能源与生物环境工程, 农产品加工与贮运工程, 农业自动化与农业信息技术及相关领域的技术基础理论、土地整理工程等方面, 特别征集能反映我国农业工程某一领域发展情况的综述文章和具有原创性成果的论文。

### 来稿要求:

1. 请欲投稿的作者务于 2002 年 7 月 15 日以前将已经英文表达审查修改定稿的英语论文寄到

本刊编辑部。

2. 来稿要求文字精练, 语句通顺, 论点明确, 数据可靠。每篇论文字数在 8000 词以内(约大 16 开 6 页内), 来稿须按标题名、作者姓名(汉语拼音)、单位、摘要、关键词、论文正文、参考文献及详细中文摘要(包括研究的目的、方法、结果和结论)的顺序书写, 获得各种基金资助的论文请注明基金名称及资助编号。

3. 稿中的公式、外文字母、符号必须分清大小写、正斜体、上下脚标。文中图表力求简明清晰, 只附最必要的, 一般要求图表合计不超过 6 幅。表格采用三线表; 插图须用绘图纸清绘, 计算机绘图用激光打印, 照片须用清晰原照。常用度量衡一律采用法定国际单位, 单位符号以英文缩写字母表示。

4. 请用打印稿和软磁盘投稿, 也可用电子邮件投稿, 但应注意插图和表格的传送(有时图表打不开或发送无效)。来稿请附作者单位、详细通讯地址、邮编、电话、电子邮件地址及最快捷的联系方式。请自留底稿, 不论刊用与否, 恕不退稿。

5. 来稿刊登与否由编委会经严格“三审制”审定, 拟特请部分英文写作水平较高的同行专家审稿。对选用的稿件本刊有权修改、删节。对已录用刊发的论文收取 1500 元版面费。

(下转第 48 页)

were increased but not so high when the concentration of sodium polymer was raised pH value was almost not affected Ions with two positive charges, such as  $[Ca^{2+}]$  and  $[Mg^{2+}]$  have a negative impact on drinking water characteristic of sodium polymer markedly, which is stronger than that of one positive or negative charge, such as  $Na^+$  and  $H_2PO_4^-$ . It does not influence the drinking water of sodium polymer for different concentrations of urea When soil is added with sodium polymer, the water holding capacity is raised, the aggregate of the soil is increased, this feature on sandy soil is more remarkable than that on clay soil, especially when there is 0.005% to 0.01% sodium polymer in soil The test indicated that over 90% water holding by the sodium polymer can be used by plant Based on the current results, it can be concluded that there are four aspects for action of sodium polymer, (1) conserving water by itself, (2) raising water holding by improving soil structure, (3) enhancing growth of plant and raising fertilizer use efficiency, (4) and reducing soil evaporation The field test result showed that using sodium polymer by hole method at  $15 kg \cdot hm^{-2}$ , the yields of corn and potato were increased by 22% and 16%, and the ratios of investment to benefit were 1:3.5 and 1:4.2, respectively. When sodium polymer was mixed with urea or with urea and phosphorus fertilizer, the urea and phosphorus fertilizer use efficiencies were increased by 18.7% and 27.1%, respectively.

**Key words:** aquasorb (sodium polymer); ion reaction; soil improvement; soil and water conservation; corn (*Zea mays* L.); potato (*Solanum tuberosum* L.) yield; fertilizer use efficiency

**Model Application of Water Flow and Solute Transport During Non-steady Diffusion From Subsurface Emittter Source** ..... (27)

Xu Di, Cheng Xianjun (*National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research Beijing, Beijing 100044, China*)

**Abstract:** A model developed by the authors is used to describe flow of soil water and transport of solute during subsurface drip irrigation and fertigation Impacts on flow of water and transport of solute of factors such as soil texture and structure, discharge rate of emitters, depth of laterals and time lasted in a single irrigation are simulated Results show that for a specific soil, discharge rate of emitter and depth of lateral are, among others, two potential factors that have more powerful impacts on the performance of SDI system. To improve fertigation efficiency, appropriate strategy of fertigation should be adopted. Changing the fertigation strategy for coarse textured soils to involve application of nutrients at the beginning of an irrigation cycle can help maintain larger amounts of solute close to and above the emitter thereby making them less susceptible to leaching losses

**Key words:** subsurface drip irrigation; soil texture and structure; discharge rate; depth of laterals; fertigation

**Visualization Methods Based on Flow Field Numerical Computation of Pumping Stations** ..... (31)

Wang Yeming<sup>1,2</sup>, Tan Jianrong<sup>2</sup>, Ji Yangjian<sup>2</sup> (*1. College of Water Conservancy & Architecture Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China*)

**Abstract:** It is a new way and method to design passageways of pumping stations by flow field numerical computation in order to optimize their hydraulic designs Based on flow field computation method, their realized methods were studied according to engineering requirements, including processing all kinds of functional curves, visualization of axial velocity for outlet section and other sections as well as reprocessing and display of 3D computation grids Using ARX of AutoCAD, all kinds of visualization functions above can be realized

**Key words:** passageways; flow field; pumping station; numerical calculation; visualization; computation grids; contour line

**· Soil and Water Engineering ·**

**Adaptability of Surge Flow Irrigation Applying on Farmland** ..... (35)

Liu Qunchang, Xu Di, Xie Chongbao, Huang Bin (National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research Beijing, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Field experiments on surge flow and continuous flow irrigation were conducted. And a computer model SRFR was used to simulate the surface flow phases under continuous and surge water application. The effect of each factor such as infiltrability, geometrical size of the field, field slope, intake flow rate and microtopography, etc. on performances of both irrigation systems was separately evaluated by means of simulations and observations to determine field parameters and conditions adaptable to the application of surge irrigation.

**Key words:** surge irrigation; field adaptability; irrigation parameters; irrigation efficiency; water distribution uniformity

### **Genetic Optimization Layout and Artificial Neural Networks Optimal Design of Pressurized Tree Water-Pipe Network** ..... (41)

Zhou Rongmin<sup>1</sup>, Lei Yanfeng<sup>1</sup>, Lin Xingcui<sup>2</sup> (1. College of Environment & Hydraulics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Northwest Science & Technology University of Agriculture & Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Single Parent Genetic Algorithms (SPGA) and the method of Hopfield Neural Networks (HNN) were respectively applied to optimal layout and optimal design of pressurized tree pipe network which were able to acquire an optimal design scheme with minimum annual cost on the basis of the least cost optimal tree layout. And the study shows that the method is feasible and effective and can reduce the cost of pipe network project and improve the design level and design efficiency.

**Key words:** tree water pipe network; optimal design; optimal layout; single parent genetic algorithms; Hopfield Neural Networks

### **Lateral Layout of Drip Irrigation Under Plastic Mulch for Cotton** ..... (45)

Cai Huanjie, Shao Guangcheng, Zhang Zhenhua (The College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest Science & Technology University of Agriculture & Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The field experiments were conducted at the Experimental Station of Soil Amelioration, Shihezi, Xinjiang Uygur Autonomous Region from May to August in 2000. It showed that the lateral distance of 110 cm could meet the water demand of cotton growth. Through the comparison of plant height, leaf area, root length, cotton yield and quality for 3 different lateral distances, the lateral distance of 110 cm, i.e., one lateral controls 4 rows of cotton, is better than other 140cm and traditional distance (average 70 cm), which can save one-third of lateral and reduce the investment of system to a large extent.

**Key words:** cotton; drip irrigation under plastic mulch; lateral layout

### **Drought Diagnosis Indexes and Drip Irrigation Decision Making for Cotton Under Mulch** ..... (49)

Hu Xiaotang<sup>1</sup>, Li Mingsi<sup>2</sup>, Ma Fuyu<sup>1</sup> (1. Agricultural College, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003, China; 2. Water Conservation and Architectural Engineering College, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

**Abstract:** Based on experiments by using the methods of weighing soil moisture through drying and neutron probe, the soil drought condition was diagnosed for the cotton which was irrigated respectively with drip irrigation under mulch and furrow irrigation. By using two selected indexes of drought diagnosis, the soil moisture content suitable for growing crop and the crop water stress index (CWSI) were evaluated. According to the experiments and analyses, it is revealed that the soil moisture conditions required by the growing cotton, do not change with the irrigation techniques. In its high water demand period, the cotton, whether it was irrigated with drip irrigation under mulch or with furrow one, has almost identical index for drought diagnosis. Due to its poor drought tolerance and its high drought danger, however, the cotton irrigated with the drip irrigation under mulch should be given more water for the drought diagnosis compared with the one irrigated with furrow technique when the irrigation scheme decision is made for the cotton.

**Key words:** water-saving irrigation; drip irrigation under mulch; drought diagnosis; cotton