

文章编号:0559-9350(2010)06-0732-07

## 不同微地形条件下入渗空间变异对畦灌性能影响分析

白美健,许迪,李益农

(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 100048)

摘要:入渗空间变异对畦灌性能影响显著。本文基于构建的畦灌数值模拟试验条件,借助二维灌溉模拟模型,针对规格不同的3类畦田系统模拟分析不同微地形空间变异程度、入畦单宽流量和坡度条件下入渗空间变异对畦灌性能的影响,讨论其影响程度与入渗和微地形空间变异程度、入畦单宽流量和坡度之间的关系。结果表明,入渗空间变异主要对灌溉均匀度 $CU$ 和灌溉效率 $E_d$ 产生影响,对水流恰好覆盖整个田面所需灌水量基本无影响,入渗空间变异越强畦灌质量越差。当入渗空间变异为弱变异时,在实际工作中可不考虑其影响,当入渗空间变异系数 $C_v$ 大于0.5以后其影响则非常显著;入渗空间变异对畦灌性能的影响程度随微地形空间变异的变化趋势与坡度密切相关,零坡度条件下随着微地形空间变异的减小而增加,当田面平整精度较高( $S_d$ 小于2cm)且坡度为零时,其影响尤为显著,实际应用中不容忽视。

关键词:入渗;空间变异性;畦灌性能;微地形;影响程度

中图分类号:S152.7;S281;S275.3

文献标识码:A

## 1 研究背景

畦灌作为目前国内外应用最为广泛的一种田间灌溉方式,影响其灌溉性能的要害很多,其中微地形和入渗是两个最为主要的要素。关于微地形和入渗空间变异对畦灌性能的影响,国内外学者开展了大量田间试验和数值模拟工作<sup>[1-4]</sup>,研究结果表明微地形和入渗空间变异对畦灌性能影响显著。

针对微地形空间变异对畦灌性能影响方面的研究<sup>[4-5]</sup>多数学者主要考虑微地形起伏幅度的影响,而忽略同一微地形起伏幅度下高低起伏位置空间分布差异的影响,但最近的研究表明微地形起伏位置空间分布差异对畦灌系统影响显著<sup>[6]</sup>,微地形空间变异应包括微地形起伏幅度和起伏位置空间分布差异两方面。

关于入渗空间变异对畦灌性能影响方面的研究<sup>[2,7-8]</sup>,已有研究结果给出了考虑空间变异与不考虑空间变异两种极端情况下的结果,对不同入渗空间变异程度下其影响如何的分析相对较少。另一方面微地形和入渗空间变异同时存在,Zapata和Playan<sup>[2]</sup>应用二维灌溉模型分别对不考虑田面微地形、考虑田面微地形、不考虑土壤入渗空间变异性及考虑土壤入渗空间变异性4种组合情况下的畦田灌溉过程进行模拟,结果表明微地形和入渗空间变异对畦灌性能的影响是相互制约的,但对于不同变异程度下二者对畦灌性能的交互影响效应如何缺乏系统分析。

本文在同时考虑微地形起伏幅度和起伏位置空间分布差异两方面的条件下,借助二维灌溉模拟模型<sup>[3,9]</sup>,针对规格不同的3类田块系统模拟分析不同微地形空间变异条件、田面坡度和入畦单宽流量下入渗空间变异对畦灌性能的影响,探讨其影响程度与入渗和微地形空间变异程度以及田面坡度和入畦单宽流量之间的关系。研究结果可为田间灌溉评价、设计和管理中何种情况下需考虑以及如何考虑入渗空间变异性提供依据。

收稿日期:2008-09-01

基金项目:国家自然科学基金(50909100);“十一五”(863计划)课题(2006AA100210);“十一五”(863计划)课题(2006AA100221)

作者简介:白美健(1974-),女,四川人,高级工程师,博士,主要从事节水灌溉技术研究。E-mail:baimj@iwhr.com

## 2 试验与方法

**2.1 入渗和微地形空间变异性指标** 入渗空间变异指田面各点土壤入渗能力之间的差异,入渗能力大小采用相同时间的灌溉水入渗深度进行描述,实际灌溉过程中不仅田面各点的入渗能力差异会对畦灌过程产生影响,而整个田块的平均入渗能力也会对畦灌过程产生直接影响。因此,入渗空间变异对畦灌性能的影响程度与田面各点之间入渗能力的变异幅度和整个田块的平均入渗能力都相关,在分析入渗空间变异对畦灌性能影响时,采用标准偏差与均值的比值,即变异系数  $C_v$  对入渗空间变异性大小进行描述更为合理。

微地形空间变异包括微地形起伏幅度和起伏位置空间分布差异两个方面。已有研究结果<sup>[6]</sup>表明同一微地形起伏幅度下微地形起伏位置空间分布差异对畦灌性能的影响程度与微地形起伏幅度密切相关。本文的分析中微地形起伏幅度采用田面相对高程标准偏差  $S_d$  进行描述,同一微地形起伏幅度下微地形起伏位置空间分布差异采用  $S_d$  相同的  $m$  组田面相对高程数据进行描述,相应的该  $S_d$  对应的畦灌性能指标值采用起伏位置空间分布不同的  $m$  组田面相对高程数据对应的畦灌性能指标值的平均值。

**2.2 畦灌性能评价指标** 通常采用灌溉效率  $E_a$  和灌溉均匀度  $CU$  对畦灌性能进行评价<sup>[10]</sup>。本文考虑到灌溉效率和灌溉均匀度与实际平均灌水深度直接相关,且地面灌溉中实际平均灌水深度受水流是否能覆盖整个田面的制约<sup>[11]</sup>,因此,在分析入渗空间变异对畦灌性能影响时,除灌溉效率和灌溉均匀度外,还选取灌溉水流恰好覆盖整个田面时所需的平均灌水深度  $Z_{adv}$  作为评价指标。

$$E_a = \frac{Z_s}{Z_{avg}} \quad (1)$$

$$CU = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Z_i - Z_{avg}|}{n \cdot Z_{avg}} \quad (2)$$

式中:  $Z_s$  为灌后储存在根区的平均水深,mm;  $Z_{avg}$  为平均灌水深度,mm;  $n$  为田面节点数目;  $Z_i$  第  $i$  个节点处的灌水深度,mm。

**2.3 灌溉模拟模型** 本文采用二维灌溉模拟模型 B2D<sup>[3,9]</sup>对地面灌溉水流运动过程进行模拟。该模型基于二维 Saint - Venant 方程考虑了灌溉水流沿畦田长度方向的推进和沿畦田宽度方向的扩散过程,模型输入中通过输入田面各节点的高程值和入渗参数值来反映二者的空间变异对灌溉过程的影响。通过该模型可模拟得到不同灌溉条件下田面各节点处的水流推进时间、消退时间、田面水深和入渗深度。

**2.4 数值试验设计** 针对规格不同的 3 类畦田(条畦(100m × 5m)、窄畦(150m × 20m)和宽畦(100m × 50m))开展不同微地形条件下入渗空间变异对畦灌性能的影响研究,各畦田尺寸采用以往研究成果中统计所得各类畦田尺寸的均值<sup>[12]</sup>。数值试验中主要考虑田面微地形和土壤入渗空间变异性、田面设计坡度、入畦单宽流量 4 个要素。根据微地形标准偏差值的实测变化范围<sup>[12]</sup>,田面微地形空间变异程度设置 7 个水平( $S_d = 0, 1, 2, 3, 4, 5$  和 6cm);入渗空间变异程度设置 6 水平( $C_v = 0, 0.1, 0.5, 0.8, 1.1$  和 1.5);田面设计坡度设置 2‰和 0‰两个水平;入畦单宽流量设置  $4L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$  和  $2L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$  两个水平;共计 168 种组合。

**2.5 数值模拟方法与条件** 针对 3 类田块,参照以往研究结果<sup>[13]</sup>确定不同微地形起伏幅度下( $S_d = 1, 2, 3, 4, 5$  和 6cm)  $Z_{adv}$ 、 $E_a$  和  $CU$  的估计区间精度分别满足 3mm、1% 和 1% 时需随机生成的田面相对高程最小样本容量值  $m$ ,利用微地形随机模拟模型分别模拟生成相应的起伏位置空间分布不同的田面相对高程数据,其中条畦下随机生成的田面相对高程分别为 1 组、18 组、55 组、78 组、107 组、150 组,窄畦下分别为 1 组、45 组、73 组、82 组、87 组、104 组,宽畦下分别为 1 组、31 组、45 组、66 组、101 组、124 组。根据 Monte - Carlo 方法,随机生成均值相同但入渗空间变异系数分别为 0.1、0.5、0.8、1.1 和 1.5 的入渗参数。

不同坡度、入畦单宽流量、微地形和入渗空间变异程度组合得到一系列灌溉模拟条件,利用二维灌

溉模拟模型对不同数值模拟条件下的灌溉过程进行模拟,得到田面各节点的推进、消退时间和入渗深度等值,利用方程(1)和(2)计算得到相应的灌溉性能指标  $CU$  和  $E_a$ 。灌溉需水量取  $80\text{mm}$ ,实际灌溉供水时间以水流恰好覆盖整个田面为准,保证田内最小入渗深度  $Z_{\min} > 0$ 。采用扇形入流方式实施畦灌,入流口设置在畦块短边中央,入地水流呈扇形状向畦内推进。根据畦块规格和灌溉模拟精度需求,分别将条畦、窄畦和宽畦的畦面按  $1\text{m} \times 1\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 2\text{m}$  和  $5\text{m} \times 5\text{m}$  的计算网格剖分。灌溉模拟中采用的土壤入渗参数均值和畦面糙率系数来自华北地区典型砂壤土的资料 ( $k = 0.0045\text{m}/\text{min}^a$ 、 $a = 0.46$ 、 $f_0 = 0.0003\text{m}/\text{min}$ 、 $n = 0.12$ )<sup>[13-14]</sup>。

### 3 结果与分析

**3.1 入渗空间变异性对畦灌性能的影响** 图1给出各类畦田入畦单宽流量  $q$  为  $4\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  和  $2\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 、田面设计坡度为  $0$  和  $2\%$ 、田面相对高程标准偏差  $S_d$  为  $0$  和  $6\text{cm}$  所得8种要素组合下各畦灌性能指标值随入渗空间变异系数  $C_v$  的变化曲线。

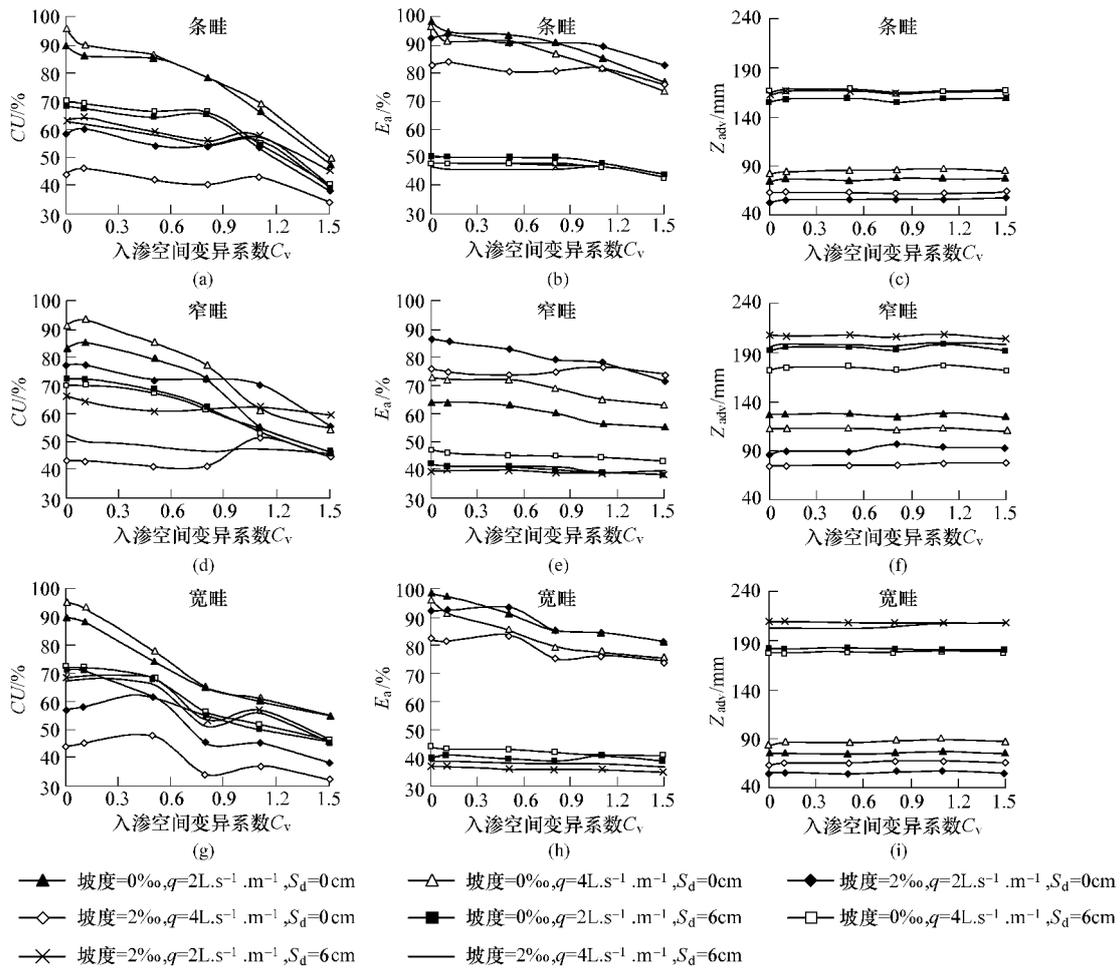


图1 不同要素组合下各类畦田的畦灌性能指标随  $C_v$  的变化曲线

曲线总体变化趋势表明,不同要素组合下随着  $C_v$  的增加,水流恰好覆盖整个田面所需的平均灌水深度  $Z_{adv}$  变化不明显,灌溉效率  $E_a$  和灌溉均匀度  $CU$  逐渐降低,降低趋势在  $C_v$  大于  $0.5$  以后更为明显。 $C_v$  由  $0$  增至  $1.5$  时,不同要素组合下  $Z_{adv}$  的平均波动幅度不超过  $4\text{mm}$ ;条畦、窄畦和宽畦下不同要素组合对应的  $E_a$  均值分别由  $71\%$  降至  $61\%$ 、 $59\%$  降至  $53\%$ 、 $68\%$  降至  $59\%$ ,平均降低  $8.3$  个百分点, $CU$  均值分别由  $69\%$  降至  $42\%$ 、 $69\%$  降至  $49\%$  和  $71\%$  降至  $46\%$ ,平均降低  $24$  个百分点。

表 1 给出不同入畦单宽流量、坡度和微地形标准偏差下 3 类畦田的畦灌性能指标  $CU$ 、 $E_a$  和  $Z_{adv}$  与入渗空间变异系数  $C_v$  间的相关分析结果,表中结果与图 1 基本一致。总体而言,土壤入渗空间变异系数与  $CU$  和  $E_a$  间呈中度到高度负相关,而与  $Z_{adv}$  间呈弱相关或不相关,且其它灌溉要素组合不同,入渗空间变异系数与畦灌性能指标之间的相关性强弱也存在差异。相比而言,宽畦下相关性更强,表明入渗空间变异性对畦灌性能的影响更为明显,这与宽畦下田块尺度相对较大有关。在不同的要素组合中坡度 = 0 和  $S_d = 0$  时各类畦田的土壤入渗空间变异系数与  $CU$  和  $E_a$  相关性最强,相关系数都在 0.95 以上。

综上分析表明,入渗空间变异对  $Z_{adv}$  基本不影响,对  $CU$  影响最显著,对  $E_a$  影响次之, $CU$  和  $E_a$  随着入渗空间变异程度的增加而减小,且入渗空间变异程度越大其影响程度越大, $C_v > 0.5$  以后更为显著。宽畦下入渗空间变异性对畦灌性能的影响更为明显。

表 1 不同要素组合下入渗空间变异程度与畦灌性能指标间的相关分析结果

		条畦			窄畦			宽畦		
		$CU$	$E_a$	$Z_{adv}$	$CU$	$E_a$	$Z_{adv}$	$CU$	$E_a$	$Z_{adv}$
入 渗 空 间 变 异 系 数 $C_v$	坡度 = 0 $q = 2, S_d = 0$	-0.95**	-0.96**	0.66	-0.96**	-0.97**	-0.26	-0.98**	-0.98**	0.36
	坡度 = 0 $q = 4, S_d = 0$	-0.97**	-0.97**	0.71	-0.98**	-0.96**	-0.38	-0.98**	-0.96**	0.80
	坡度 = 2 $q = 2, S_d = 0$	-0.81	-0.90*	0.92**	-0.90*	-0.99**	0.75	-0.87*	-0.92**	0.38
	坡度 = 2 $q = 4, S_d = 0$	-0.83*	-0.83*	0.12	0.40	-0.13	0.89*	-0.82*	-0.86*	0.73
	坡度 = 0 $q = 2, S_d = 6$	-0.90*	-0.87*	0.39	-0.98**	-0.97**	0.02	-0.99**	-0.42	-0.65
	坡度 = 0 $q = 4, S_d = 6$	-0.91*	-0.79	0.23	-0.98**	-0.97**	-0.06	-0.98**	-0.95**	0.76
	坡度 = 2 $q = 2, S_d = 6$	-0.88*	-0.91*	0.35	-0.80	-0.72	-0.41	-0.92*	-0.94**	-0.25
	坡度 = 2 $q = 4, S_d = 6$	-0.90*	-0.64	0.16	-0.92**	-0.79	0.54	-0.92*	-0.94**	0.89*

注:相关显著性检验,\*\* ( $p \leq 0.01$ );\* ( $0.01 < p \leq 0.05$ );无\* ( $p > 0.05$ )

3.2 入渗空间变异对畦灌性能的影响程度与微地形空间变异间的关系 2.1 节的分析已表明入渗空间变异性越大( $C_v$  越大),入渗空间变异对畦灌性能的影响程度越大,故采用  $C_v = 1.5$  与  $C_v = 0$  对应的灌溉性能指标值之间的绝对误差(AE)作为量化其影响程度大小的指标,绝对差值越大其影响程度越大。

图 2 给出各类畦田不同入畦单宽流量和坡度下  $C_v = 1.5$  与  $C_v = 0$  对应的各灌溉性能指标值之间的绝对误差随微地形标准偏差  $S_d$  的变化曲线。

表 2 给出了不同入畦单宽流量和坡度下微地形空间变异程度与入渗对畦灌性能影响程度间的相关分析结果。

图 2 总体变化趋势表明, $C_v = 1.5$  与  $C_v = 0$  对应的  $Z_{adv}$  的绝对误差随  $S_d$  的变化不明显,平均波动幅度为 4mm,最大不超过 8mm,这与入渗空间变异自身对  $Z_{adv}$  的影响不明显有关。

$E_a$  的绝对误差总体上随着  $S_d$  的增加逐渐减小,零坡度下  $E_a$  绝对误差随  $S_d$  增加而减小的趋势更为显著,由表 2 知零坡度下入渗空间变异对  $E_a$  的影响程度与微地形空间变异性之间具有高度负相关性,相关系数大于 0.91; $S_d$  由 0 增至 6cm 时,条畦、窄畦和宽畦下  $E_a$  的绝对误差分别由 23% 降至 6%、10% 降至 4% 和 19% 降至 2%,相比而言,宽畦下入渗空间变异对  $E_a$  的影响程度受微地形条件的影响更为显著。 $CU$  的绝对误差随  $S_d$  的变化趋势与坡度的关系更为密切,零坡度下随着  $S_d$  增加各类畦田的  $CU$  绝对误差都呈减小趋势,表 2 结果表明二者具有中度到高度的负相关关系, $S_d$  由 0 增至 6cm 时, $CU$  绝对误差的均值由 40% 降至 27%;2% 坡度条件下  $CU$  的绝对误差随  $S_d$  增加多数条件下呈略微增加的趋势(除窄畦外),二者呈中度到高度正相关关系,这与条畦和宽畦下所需  $Z_{adv}$  相对较少,坡度自身对  $CU$  值影响显著有关。

以上分析表明零坡度下微地形空间变异与入渗空间变异对畦灌性能影响程度之间的相关关系更为显著,田面平整精度越高,入渗空间变异对畦灌性能的影响程度越大,入渗空间变异性对畦灌性能的影响更不容忽视。

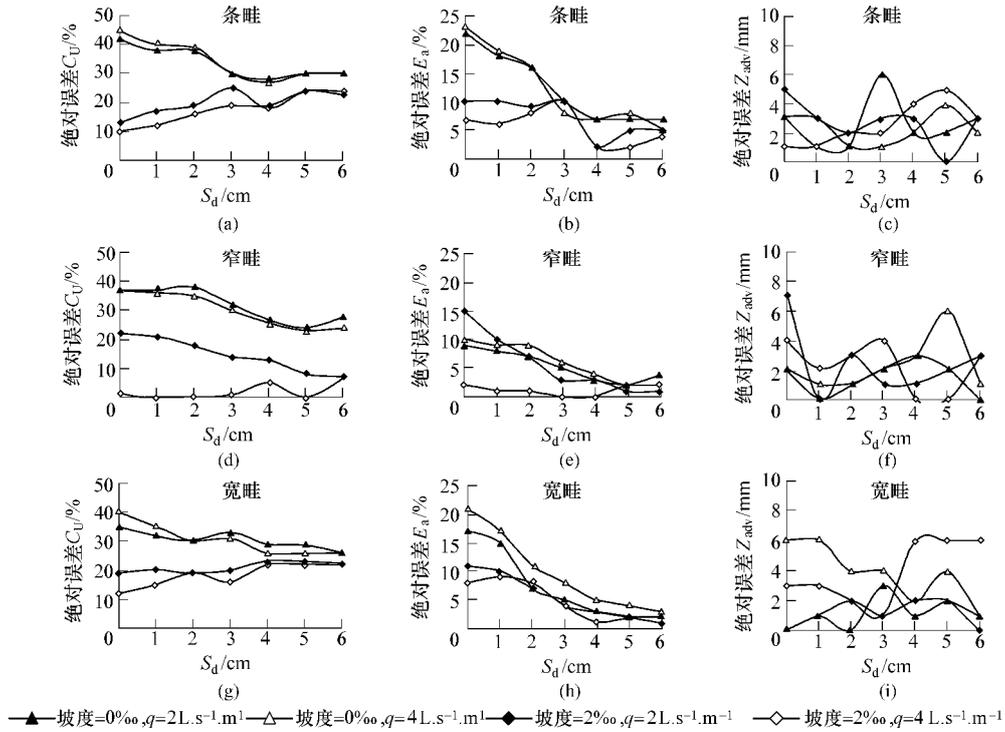


图2 各类畦田  $C_v = 1.5$  与  $C_v = 0$  对应的各性能指标值之间的绝对误差随  $S_d$  的变化曲线

表2 不同要素组合下微地形空间变异程度与入渗空间变异对畦灌性能影响程度间的相关分析结果

		条畦			窄畦			宽畦		
		$CU$	$E_a$	$Z_{adv}$	$CU$	$E_a$	$Z_{adv}$	$CU$	$E_a$	$Z_{adv}$
微地形 空间变 异程度 ( $S_d$ )	坡度=0 $q=2$	-0.88 **	-0.95 **	0.14	-0.88 **	-0.91 **	-0.15	-0.88 **	-0.94 **	0.43
	坡度=0 $q=4$	-0.87 *	-0.94 **	0	-0.96 **	-0.92 **	0.43	-0.92 **	-0.96 **	-0.87 *
	坡度=2 $q=2$	0.77 *	-0.76 *	-0.56	-0.99 **	-0.94 **	-0.33	-0.83 *	-0.93 **	0.17
	坡度=2 $q=4$	0.98 **	-0.58	0.81 *	0.63	0.08	-0.45	0.90 **	-0.93 **	0.69

注:相关显著性检验, \*\* ( $p \leq 0.01$ ); \* ( $0.01 < p \leq 0.05$ ); 无\* ( $p > 0.05$ )

就入畦单宽流量而言,图2表明在其它条件相同情况下, $C_v = 1.5$ 与 $C_v = 0$ 对应的各畦灌性能指标值间的绝对误差随入畦单宽流量的变化趋势不明显,且没有一致的规律可寻,入渗空间变异性对畦灌性能的影响程度受入畦单宽流量的影响很小,其原因在于入流量大小主要对水流推进过程产生影响,而入渗空间变异引起的入渗水深分布的不均匀性直接受各点入渗能力的影响,与水流推进快慢没有直接关系。

就坡度而言,不同条件下 $C_v = 1.5$ 与 $C_v = 0$ 对应的 $Z_{adv}$ 的绝对误差随坡度的变化趋势不明显。 $E_a$ 的绝对误差随坡度的变化趋势较明显,总体上各类畦田 $E_a$ 的绝对误差是零坡度条件大于2‰坡度条件,且 $S_d < 2\text{cm}$ 时有无坡度条件下对应的 $E_a$ 绝对差值之间的差距更为明显,此时条畦、窄畦和宽畦下零坡度对应的 $E_a$ 的绝对误差比2‰坡度条件的对应值分别大12%、2%和8%。 $CU$ 的绝对误差随坡度的变化趋势非常明显,各种条件下 $CU$ 的绝对误差都是零坡度条件大于2‰坡度条件,且 $S_d < 2\text{cm}$ 时有无坡度条件下对应的 $CU$ 绝对差值之间的差距更为显著,条畦、窄畦和宽畦下零坡度对应的 $CU$ 的绝对误差比2‰坡度条件的对应值大16%、22%和11%。

以上分析表明入渗空间变异对畦灌性能的影响程度与坡度之间关系密切,尤其是对于田面平整精度高( $S_d < 2\text{cm}$ )的田块,零坡度下入渗空间变异对畦灌性能的影响更为显著。

#### 4 结论

在畦田内土壤平均入渗能力相同时,不同要素组合下入渗空间变异对水流恰好覆盖整个田面所需

灌水量  $Z_{adv}$  基本没影响, 主要对灌溉均匀度  $CU$  影响显著, 对  $E_a$  影响次之。综合各种要素下的平均情况, 入渗空间变异系数  $C_v$  每增加 0.1, 灌溉均匀度  $CU$  约降低 2 个百分点, 入渗空间变异程度与  $CU$  间呈高度负相关关系。当入渗空间变异为弱变异性时 ( $C_v < 0.1$ ), 各种情况下考虑与不考虑入渗空间变异所得  $CU$  之间的绝对误差都不大于 2%; 当  $C_v$  增至 0.5 后入渗空间变异对  $CU$  的影响变得更为显著, 相比而言, 宽畦下入渗空间变异的影响更为明显。

入渗空间变异对畦灌性能的影响程度除与自身的变异程度相关外, 与微地形空间变异程度和坡度关系密切。零坡度条件下入渗空间变异对畦灌性能的影响程度比有坡度条件下大, 此时田面平整精度越高, 入渗空间变异对畦灌性能的影响更为显著。所以在地面平整条件较好 ( $S_d < 2\text{cm}$ ), 且田面无坡度情况下 (如水平畦田灌溉) 入渗空间变异对畦灌性能的影响则不容忽视。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] Clemmens A J. Border irrigation uniformity: combined effect of infiltration [J]. Trans. Amer. Soc. of Agric. Engrs. ,1986 ,29(5) : 1314 - 1319.
- [ 2 ] Zapata N , Playan E. Simulating elevation and infiltration in level-basin irrigation [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ,2000 ,126(2) :78 - 84
- [ 3 ] Playan E , Faci J M. Characterizing microtopographical effects on level-basin irrigation performance [J]. Agricultural Water Management ,1996 ,29: 129 - 145.
- [ 4 ] 李益农, 许迪, 李福祥. 田面平整精度对畦灌系统性能和作物产量影响的试验研究 [J]. 水利学报, 2000, (12):82 - 87.
- [ 5 ] Clemmens A J , El-Haddad Z , et al. Statistical approach to incorporating the influence of land-grading precision on level-basin performance [J]. Transactions of the ASAE ,1999 ,42(4) : 1009 - 1017.
- [ 6 ] 白美健, 许迪, 李益农. 随机模拟畦面微地形分布及其差异性对畦灌性能的影响 [J]. 农业工程学报, 2006 ,22(6) :28 - 32.
- [ 7 ] Rayej M , Wallender W W. Time solution of kinematic-wave model with stochastic infiltration [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering , ASCE ,1988 ,114(4) : 605 - 621.
- [ 8 ] Schwankl L J , Raghuvanshi N S , Wallender W W. Furrow irrigation performance under spatially varying conditions [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ,2000 ,126(6) : 355 - 361.
- [ 9 ] Playan E. Two-dimensional simulation of basin irrigation: I: THEORY [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering , ASCE ,1994 ,120(5) : 837 - 856.
- [10] Burt C M , Clemmens A J , Strelkoff T S , et al. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering , ASCE ,1997 ,123(6) :423 - 442.
- [11] 刘钰, Pereira L S. 考虑地面灌水技术制约的灌溉制度优化 [J]. 农业工程学报, 2003 ,19(4) :74 - 79.
- [12] 白美健, 许迪, 李益农, 等. 畦面微地形空间变异性分析 [J]. 水利学报, 2006 ,37(7) :813 - 819.
- [13] 白美健. 微地形和入渗时空变异性及其对畦灌性能影响的研究 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2007.
- [14] 许迪, 李益农, 程先军, 等. 田间节水灌溉新技术研究与应用 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.

## Effects of spatial variability of infiltration on basin irrigation performance under different microtopography conditions

BAI Mei-jian ,XU Di ,LI Yi-nong

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research ,Beijing 100048 ,China)

**Abstract:** A two-dimensional irrigation model was used to simulate the effect of spatial variability of infiltration on basin irrigation performances under different microtopography , inflow and basin slope. The relationship among the influence degree , their spatial variance degree and other irrigation factors are discussed. The results show that following the increase of spatial variability of infiltration the basin irrigation performance decrease. The infiltration spatial variability mainly affects the irrigation uniformity ( $CU$ ) and irrigation efficiency ( $E_a$ ). It almost does not influence the average irrigation depth required to complete the advance ( $Z_{adv}$ ). When the infiltration spatial variability is weak , its effect can be ignored in practice , but when the spatial variance coefficient of infiltration  $C_v$  is more than 0.5 the influence on the irrigation performances is obvious. When basin slope is zero , following the decrease of spatial variability of microtopography the influence degree of infiltration spatial variability on irrigation performance increases. under the condition of land levelling precision is good ( $S_d < 2\text{cm}$ ) and basin slope is zero , its influence is more obvious.

**Key words:** microtopography; infiltration; spatial variability; basin irrigation performance; influence degree

(责任编辑:吕斌秀)

---

(上接第 731 页)

## Research and verification on discriminating index for bottom tearing scour

JIANG En-hui<sup>1,2</sup> , LI Jun-hua<sup>1</sup> , ZHAO lian-jun<sup>1</sup> , CAO Yong-tao<sup>1</sup>

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research , Zhengzhou 450003 , China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research , Beijing 100048 , China)

**Abstract:** The field survey and physical model experiments indicate that the layered sedimentation formed on the river bed is the necessary pre-conditions of the occurring of bottom tearing scour phenomena and the instantaneous uplift force due to different propagation speeds of pulse pressure waves acting on the upper and lower surfaces of the mud layer during sediment hyper-concentrated flood is the direct cause exciting the tearing scour. In this paper , based on the analysis on dynamic relationship and the transient flow model , a critical index of bottom tearing scour is established , in which the coefficient  $K$  is determined by experiments. It is found that the experimental results agree well with sediment transport data observed in the North Main Reach of the Yellow River and the observation data obtained from the Longmen Hydrological Station.

**Key words:** bottom tearing scour; transient flow model; discriminating index; consolidated clay; sediment incipient

(责任编辑:李福田)