

田面微地形对滴灌灌水均匀性的影响

朱德兰^{1,2,3}, 吴普特^{2,3}, 王 健²

¹中国科学院水土保持研究所; ²西北农林科技大学资环学院;

³国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西杨凌 712100

摘要:首先分析了田面微地形对滴头实际工作压力的影响, 田面越不平整, 滴头实际工作压力与设计工作压力的差值越大, 当田面局部高差大于滴头设计工作压力时, 滴头流量等于零; 然后提出了田面微地形产生的流量偏差率公式, 并用泰勒级数展开; 最后利用描述统计方法和独立样本 T-检验的方法对余项进行分析, 置信度为 99% 的余项取值区间为 0.001~0.002, 说明余项能够被忽略, 田面微地形产生的流量偏差率公式可以用简单的形式来表示。

关键词:田面微地形; 滴头实际工作压力; 泰勒级数; 流量偏差率

The Influence of the Farmland Micro-terrain on the Emission Uniformity for the Emitter

Zhu Delan^{1,2,3}, Wu Pute^{1,2,3}, Wang Jian²

¹Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources;

²College of Resources and environment, Northwest Sci-tech University of A & F ISWC;

³National Engine Research Center of Water Saving-irrigation for Yang-Ling, Shaanxi 712100

Abstract: The influence of the farmland micro-terrain on the actual operation pressure of the emitter was analyzed firstly. The more uneven the farmland was, the more deviation between the actual operation and designs pressure of the emitter was. When the designs pressure of the emitter was below to sectional difference of farmland elevation, the flow of the emitter would be equal of zero. The calculation formula of the flow deviation rate of the emitter, which was from the farmland micro-terrain, was proposed and developed by the formula of Taylor. By method of described statistic and T-test, the surplus of the formula of Taylor was analyzed. The result indicated that the surplus could be neglected and the calculation formula of the flow deviation rate of the emitter, which was from the farmland micro-terrain, was determined by simple form.

Key words: Farmland micro-terrain, The actual operation pressure of the emitter, The Taylor progression, The flow deviation rate of the emitter

微灌的先进性主要反映在它的节水性和灌水的均匀性, 因此满足灌水均匀度是滴灌设计、施工的前提条件, 离开它滴灌设计可以说无从谈起。灌水均匀度是衡量微灌系统灌水质量的重要指标, 也是微灌系统设计的一项重要参数, 影响灌水均匀度的因素主要有水力偏差、灌水器制造偏差、田面平整度、滴头堵塞状况、计算公式的精度、灌水器的布置形式与组合等。目前还很难对一处微灌系统的灌水均匀度

出准确估计, 最有效的方法是进行实地测量, 在微灌系统设计中则以某种均匀度指标作为设计参数。因此, 在微灌设计中如何把影响均匀度的参数都考虑进去, 以尽可能减小计算值与实际值之间的差距是设计中的一个重要问题。

水力偏差是引起流量偏差的主要因素, 在目前国际国内滴灌设计规范中仍仅考虑水力偏差。水力偏差是由水流过程中的摩擦损失和地形高差引起的,

由 How ell 和 H ilter^[1]等人提出平坦地形条件下流量偏差率与水力偏差率之间的公式,该公式沿用至今。H isao Anyoji 和 I-Pai Wu^[2]利用泰勒公式从理论上推导出流量偏差率与水力流量偏差系数、制造偏差系数、流态指数之间的关系。Bralts^[3,4]等人提出考虑制造偏差和水力偏差时流量偏差系数计算公式,Kameli 和 Keller^[5]提出了考虑制造偏差和水力偏差的均匀度计算公式。郑耀泉^[6]、陈昌渠^[7]得出考虑水力偏差和制造偏差时,水力偏差系数与总灌水均匀度、制造偏差系数之间的关系,并建立了灌水器工作水头变差率与灌水均匀度公式,该公式可直接用于水力学计算。同时考虑水力偏差、灌水器制造偏差、田面微地形三因素对灌水均匀度影响的思想由张国祥(2003)首次

提出,但尚未在这方面作过系统研究,所以,田面微地形对滴灌灌水均匀度的影响有待进一步研究。

1 田面微地形对滴头实际工作水头的影响

田面微地形反映了田面起伏的状况,滴灌毛管平铺在地面上,地面不平整引起了毛管的不平整,而在滴灌设计中假定毛管平直没有起伏,这种与实际情况不符的假定,造成了滴灌设计的误差。对于均匀坡或平坡而言,在一条毛管上,由于田面不平整,使某些滴头的位置高程偏离设计高程,当滴头高程低于设计高程时,滴头的实际工作水头将高于设计值,当滴头高程高于设计高程时,滴头的实际工作水头将低于设计工作水头,如图 1 所示。当地面坡度较小时,设计者往往将非零坡按平坡处理,由此造成滴头

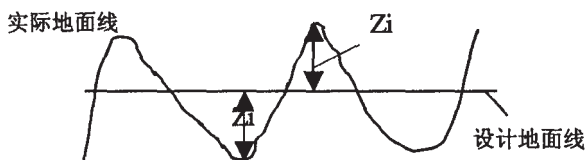


图 1 平坡时的田面局部高

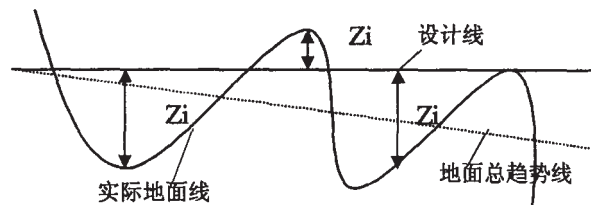


图 2 非零坡按平坡设计时的田面局部高

实际高程偏离设计高程,如图 2 所示。

将设计高程与田面实际高程的差值,定义为田面局部高 (Z_i),当田面实际高程高于设计值时 Z_i 为负值,否则,为正值。

$$H_{dsh} = H_d + Z_i \quad (1)$$

式中: H_{dsh} 为滴头实际工作压力 (m); H_d 为滴头设计工作压力 (m); Z_i 为田面局部高 (m)

$$q_{sh} = KH_{dsh}^x \quad \dots \dots (2)$$

式中: q_{sh} 为滴头实际流量 (L/h); K 为滴头制造系数; x 为流态指数。

由公式 (1)、(2)可以看出,当田面实际高程高于设计值时 (Z_i 为负值),滴头实际流量小于设计流量,当 $|Z_i| \geq Hd$ 时,滴头实际流量等于零,由此可知,滴头设计工作压力越小,地面微地形对滴灌均匀性影响程度越大,在满足滴灌均匀性的条件下,田面局部高是滴头设计工作压力值的决定因素,田面局部高越大,即地面越不平整,滴头设计工作压力应越大。

2 田面微地形产生的流量偏差率计算

如图 3 所示,地面总趋势线为毛管设计线,实际地面线为毛管实际铺设线, H_{f1} 、 H_{f2} 分别为 1 点和 2

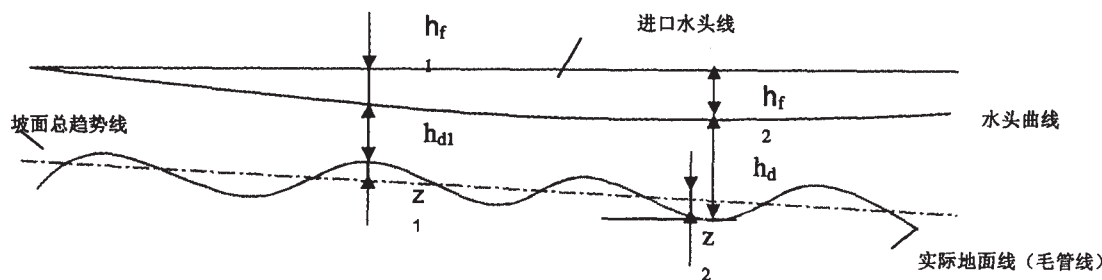


图 3 毛管水压力线

点的水头损失, h_{d1} 、 h_{d2} 为 1 点和 2 点的滴头实际工作压力, Z_1 、 Z_2 为 1 点和 2 点的田面局部高, Z_1 规定为负值, Z_2 规定为正值。

令 Z_{max} 为最大田面局部高, Z_{min} 为最小田面局部高,则

$$\Delta Z = Z_{max} - Z_{min} \quad \dots \dots (3)$$

$$q_{zv} = \frac{\bar{K}(H_d + Z_{max})^x - \bar{K}(H_d + Z_{min})^x}{\bar{K}H_d^x} = (1 + \frac{Z_{max}}{H_d})^x - (1 + \frac{Z_{min}}{H_d})^x \quad \dots \dots (4)$$

令 $\beta_1 = \frac{Z_{max}}{H_d}; \beta_2 = \frac{Z_{min}}{H_d}$, 显然 $-1 < \beta_1 < 1; -1 < \beta_2 < 1$

利用泰勒公式,

$$(1+\beta_1)^x = 1 + x\beta_1 + \frac{x(x-1)}{2}\beta_1^2 + \frac{x(x-1)(x-2)}{3 \times 2 \times 1}\beta_1^3 + \dots + \frac{x(x-1)(x-2)(x-n+1)}{n \times \dots \times 3 \times 2 \times 1}\beta_1^n \dots \dots \dots (5)$$

由于 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{x(x-1)(x-2)(x-n+1)}{n \times \dots \times 3 \times 2 \times 1}\beta_1^n = 0$, 所以 $(1+\beta_1)^x$

可按泰勒公式展开。

$$(1+\beta_2)^x = 1 + x\beta_2 + \frac{x(x-1)}{2}\beta_2^2 + \frac{x(x-1)(x-2)}{3 \times 2 \times 1}\beta_2^3 + \dots + \frac{x(x-1)(x-2)(x-n+1)}{n \times \dots \times 3 \times 2 \times 1}\beta_2^n \dots \dots \dots (6)$$

将(5)、(6)代入(4)得到:

$$q_{zv} = x(\beta_1 - \beta_2) + \frac{x(x-1)}{2}(\beta_1^2 - \beta_2^2) + \frac{x(x-1)(x-2)}{3 \times 2 \times 1}(\beta_1^3 - \beta_2^3) + \dots + \frac{x(x-1)(x-2)(x-n+1)}{n \times \dots \times 3 \times 2 \times 1}(\beta_1^n - \beta_2^n) \dots \dots \dots (7)$$

$$R_n = \frac{x(x-1)}{2}(\beta_1^2 - \beta_2^2) + \frac{x(x-1)(x-2)}{3 \times 2 \times 1}(\beta_1^3 - \beta_2^3) + \dots + \frac{x(x-1)(x-2)(x-n+1)}{n \times \dots \times 3 \times 2 \times 1}(\beta_1^n - \beta_2^n) \dots \dots \dots (8)$$

分析余项 R_n , 若余项很小, 可忽略, 则 q_{zv} 可近似的表示为:

$$q_{zv} = x(\beta_1 - \beta_2) = x \frac{\Delta Z}{H_d} \dots \dots \dots (9)$$

根据微灌水力学, $0.2 < x < 0.8$ 。由于总流量偏差率包括制造偏差、田面高偏差和制造偏差三部分, 滴灌设计规范规定, 总流量偏差率不超过 20%, 则 $q_{zv} < 0.2, \beta_1 < 0.5, |\beta_2| < 0.5$ 。利用计算机程序求解, 随即生成 500 组 x, β_1, β_2 值, 计算出 500 组 q_{zv} 近似值和余项 R_n 值, 由于 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{x(x-1)(x-2)(x-n+1)}{n \times \dots \times 3 \times 2 \times 1}\beta_1^n = 0$, 当 n 值满

足 $\left| \frac{x(x-1)(x-2)(x-n+1)}{n \times \dots \times 3 \times 2 \times 1}\beta_1^n \right| < 10^{-6}$, 公式(7)中的前 n 项之和为 q_{zv} 的实际值, 计算结果见表 1(由于篇幅所限

表 1 余项 R_n 误差分析

计算组数	x	β_1	β_2	余项 R_n	q_{zv} 实际值	q_{zv} 近似值
1	0.6233	0.1833	-0.1949	0.0012	0.237	0.2357
2	0.3737	0.1254	-0.2437	0.0063	0.1442	0.1379
3	0.2084	0.2401	-0.2537	0.0021	0.105	0.1029
4	0.6254	0.0613	-0.1536	0.0025	0.1369	0.1343
5	0.7175	0.2476	-0.1434	-0.0035	0.2771	0.2805
6	0.7771	0.2678	-0.0641	-0.0053	0.2527	0.2579
7	0.7697	0.141	-0.1813	0.0014	0.2495	0.248
8	0.6602	0.0633	-0.1982	0.0044	0.177	0.1726
9	0.4812	0.1245	-0.2057	0.004	0.1629	0.1589
10	0.5886	0.1159	-0.1199	0.0002	0.1391	0.1388

表 2 余项 R_n 描述统计分析

平均值	标准误差	中值	标准偏差	样本方差	最小值	最大值	置信度	置信区间
0.0007	0.0006	0.0007	0.0044	2E-05	-0.008	0.0125	0.99	[0.001,0.002]

表 3 q_{zv} 近似值与实际值独立样本 T 检验

	平均	方差	观测值	合并方差	假设平均差	df	t Stat	t 单尾临界	t 双尾临界
实际值	0.1667	0.0058	50	0.0059		98	0.0491	2.3650	2.6269
近似值	0.1659	0.0059	50						

仅列出 10 组数据)。

首先对余项 R_n 进行一般的描述统计分析, 分析结果见表 2。

由表 2 可以看出, 置信度为 99% 的 R_n 的取值区间为 0.001~0.002, 由此可知, 计算田面局部高差流量偏差率时, 余项 R_n 可忽略。另外, 利用独立样本 T-检验法检验 q_{zv} 近似值与实际值的平均值是否相等, T 检验结果见表 3。

由表 3 可以看出, 实际统计量 $T=0.0491$, t 单尾临界值为 2.365, t 双尾临界值为 2.6269, 统计量 T 远远小于 t 单尾临界和 t 双尾临界, 说明接受 q_{zv} 近似

值与实际值的平均值和中心位置相等的假设。

由此进一步说明, 余项 R_n 可忽略, 公式(9)即为田面局部高差流量偏差率计算公式。

3 讨论

3.1 在滴灌系统设计中考虑了田面微地形这一重要因素, 对曾被忽略的田面不平整度给予高度重视, 田面不平整度不仅是灌水均匀性公式分析的基础, 而且决定了滴头设计工作压力值, 在滴灌设计中, 滴头流量偏差率由三部分构成, 即田面微地形偏差、制造偏差和水力偏差, 为了满足灌水均匀度要求, 滴头流量偏差率应小于 20%。田面局部高一般在 0.1~0.5m

之间,若取田面微地形流量偏差率 $q_{av}=5\%$,则滴头设计工作压力应为 1~5m 之间,这一结果表明,目前滴头设计工作压力常用值为 5~10m 实际上引起了能量的浪费。

3.2 滴头设计工作压力、额定工作压力有不同的内涵。滴头出厂时,制造厂提供一系列水力参数,如工作压力范围、额定工作压力、额定流量、流态指数等,工作压力范围是一个区间,最低值称为最小工作压力,最高值称为最大工作压力,在此压力范围内,制造厂应保证滴头正常运行,额定工作压力是工作压力范围内的一个压力(常常是工作压力范围内的中间值或中偏大值),又称最佳工作压力,滴头在最佳工作压力下工作时的出流量称额定流量,滴头制造厂希望滴灌设计者和操作者尽可能使滴头工作在该压力点或附近。设计工作压力是设计者确定的滴灌系统运行时滴头的工作压力。目前,在滴灌工程设计过程中,设计者往往参考生产厂家提供的滴头水力参数,选定与设计流量相匹配的滴头额定工作压力作为设计工作压力,滴头额定工作压力常用值为 5~10m,导致设计工作压力值也在 5~10m 之间。本来应该先确定滴头设计工作压力,然后选择滴头,使滴头额定工作压力与设计工作压力相匹配,而目前设计中则由额定工作压力决定设计工作压力,究其实质,是因为没有理论来指导设计工作压力如何取值,没有人研究为什么滴头额定工作压力常用值为 5~10m,而不是 1~4m 甚至更低。研究的由田面局部高差和流量偏

差率确定滴头设计工作压力的做法,将目前设计中以额定工作压力决定设计工作压力的方法变为由设计工作压力选择与之匹配的额定工作压力的做法。

3.3 田面微地形流量偏差率公式 ($q_{av}=x \frac{\Delta Z}{H_d}$)最初由张国祥提出,但没有对余项产生的误差进行分析,研究通过余项分析,完善了该理论。

参考文献

- 1 Howell T A, Hilder E A. Designing Trickle Irrigation Laterals for Uniformity[J], Journal of The Irrigation and Drainage Division ASCE, 1974, 100(4):443~454
- 2 Wu I P, Gitlin H M. Energy Gradient Line For Drip Irrigation Laterals [J], Journal of The Irrigation and Drainage Division ASCE, 1975, 101(4): 323~326
- 3 Bralts V F, Wu I-pai, Gitlin H M. Manufacturing Variation and Drip Irrigation Uniformity[J], ASAE, 1986, 26(6):1659~1664
- 4 Bralts V F, Edwards D M. Field Evaluation Submain Units[J]. ASAE, 1986, 26(6):1659~1664
- 5 凯勒 J,喀麦利 D.滴灌设计[M].罗元培译.北京:水利出版社,1999. 51~57
- 6 郑耀泉,陈昌渠.微灌均匀度参数之间的关系及其应用[J].灌溉排水, 1994, 13(2):7~10
- 7 王留运.微灌灌水器制造偏差系数的计算方法与研究[J].喷灌技术, 1993, 12(2):6~11

致谢:此论文在研究过程中得到中国灌溉排水中心张国祥教授级高工指导,在此一并致谢!

(上接第 398 页)

着明显的时空差异,历史形成的以家庭联产承包为主体的高度分散经营体制和农业劳动者素质相对低下、农村基础设施落后和信息闭塞等将严重制约中国的现代化进程。

国外农业信息化令人瞩目的成就和国内农业信息技术研究与推广应用的良好态势表明,信息农业是中国农业现代化发展的方向。借助现代信息科学技术手段提高资源利用效率以缓解中国资源与人口的矛盾、提升生产经营管理水平、强化劳动者整体素质和能力以及加强农村基础设施建设是中国农业可持续发展的必然选择。而通过农业信息化改变中国

农业的行业弱质性、提高劳动者整体素质和激活农业的内在活力将是实现中国农业和国民经济“跨越式”发展的战略性举措,也是妥善、有效解决中国“三农”问题的捷径。

参考文献

- 1 徐可英.21世纪农业现代化的发展趋势——农业信息化.农业现代化研究,1999,20(4):215~217
- 2 李杰,张建顺,官宏义.国内外农业信息技术发展概况.天津农林科技, 2000,(2):36~39
- 3 孙九林.信息化农业科技前沿与发展战略.中国工程科学,2002,4(9):1~7
- 4 唐启国.浅谈农业现代化与农业信息化建设.农业现代化研究,2004,25(1):56~58