

微灌工程设计灌水均匀度的选定

陈渠昌^① 郑耀泉
(水利部牧区水科所) (北京农业工程大学)

提 要 通过对农作物产量与水的关系及灌水均匀度与工程造价之间的关系分析,建立了工程投入与产出比函数,并据此优化确定微灌设计灌水均匀度的值。分析结果与算例指出,在工程设计时,一味追求高的灌水均匀度,往往会导致经济上的不合理。

关键词 微灌工程 设计灌水均匀度

Optimizing Determination of Irrigation Uniformity in the Design of Micro-irrigation System

Chen Quchang

(Hydraulic Institute for Pastoral Area, MWR)

Zhen Yaoquan

(Beijing Agricultural Engineering University)

Abstract By means of analyzing the relations between crop yield and water, and between irrigation uniformity and engineering cost, a rate function of engineering input/output was established. According to the function, the design value of irrigation uniformity for micro-irrigation system can be determined by means of optimizing method. Analytical results and a counting example show that it would unreasonable in economics if only a high irrigation uniformity is pursued.

Key words Micro-irrigation Design uniformity Optimizing

1 引 言

在以往的微灌工程设计中,设计参数灌水均匀度 C_u 通常是被作为定值处理,其值是专家值或经验值,缺乏有力的科学依据。灌水均匀度的大小,既影响到灌溉工程造价,也影响到作物产量。因此,对设计灌水均匀度 C_u 的选定,存在经济合理性问题。

将设计灌水量和灌水均匀度作为经济影响因素考虑分析的立足点,均是在灌水量田间分布已知的假定下进行的。如在田间灌水量为正态分布(水力偏差小于总偏差的 6%)^[1]或在灌水量田间分布为梯形和三角形分布的假定下^[2],分析灌水均匀度对作物产量的影响。对于滴灌来说,灌水量田间分布为正态的假定是比较接近于实际的。但当水力偏差较大时,这一假定也不成立。因此,本文在考虑这一问题时,从另一途径,直接建立灌水均匀度与微灌工

收稿日期:1994-12-17 1995-03-07 修订

① 陈渠昌, 硕士, 工程师, 内蒙古自治区呼和浩特市昭乌达路付 13 号 水利部牧区水利科学研究所, 010010

程造价的关系,以投入产出比函数为目标函数,确定设计灌水均匀度的最优值。

2 设计灌水均匀度与微灌工程造价的关系

在不考虑运行费用的情况下,单位面积田间管网造价 Z 可表为^[3]:

$$Z = \frac{b}{R} \cdot \frac{D^a}{L_c} + \frac{N \cdot b \cdot D_c^a}{L} = \frac{b}{R \cdot L_c} [KK_a L F \frac{Q^m}{\beta h}]^{a/n} + \frac{bN}{L} [KK_a L_c F e \frac{Q_c^m}{(1-\beta)h}]^{a/n} \quad (1)$$

式中 a, b 为管道单价函数指数与系数; D, D_c 分别为支毛管管径; L, L_c 分别为支毛管长度; Q, Q_c 分别为支毛管流量; F, F_c 为支毛管多孔系数; K, K_a 为流量系数和加大系数; R 为毛管布置系数; N 为毛管条数; $\beta, (1-\beta)$ 分别为支毛管压力差分配比例; h 为单元允许压力差; m 为流态指数。

由式(1),可将田间管网造价 Z 表达成允许压力差 h 的函数:

$$Z = A_z \cdot h^{-a/n} \quad (2)$$

式中 A_z 为与管网特性等有关的综合系数。据水头偏差率的定义和文献[3]的模拟结果:

$$h_v = \frac{h_m - h_n}{h_m} \quad (3)$$

$$h_v = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot Cu + \alpha_3 \cdot Cu^2 \quad (4)$$

可得到单位面积田间管网造价与设计灌水均匀度之间的关系如下:

$$Z = A_z \cdot h_m^{-a/n} (\alpha_1 + \alpha_2 \cdot Cu + \alpha_3 \cdot Cu^2)^{-a/n} \quad (5)$$

式(2)~(5)中: h_v 为单元水头偏差率; h_m, h_n 分别为单元内灌水器最大、最小工作水头; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 均为回归系数。

3 灌水均匀度对作物产量的影响

3.1 腾发量与作物产量之间的关系

作物腾发量 ET 由田间水量平衡方程给出:

$$ET = I + R - D + M \quad (6)$$

式中 I 为灌水量, mm; D 为排泄量与深层渗漏量, mm; M 为土壤水分变化量, mm; R 为降水量, mm。

在微灌情况下,灌溉是频繁进行的,土壤水分始终保持最佳状态^[4],故 M 可忽略不计。降雨量 R 以被作物腾发所利用的有效降雨量 P_o 计算。这样,(6)式可表示为:

$$ET = I - D + P_o \quad (7)$$

作物相对腾发量与作物相对产量之间的关系^[5]:

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \cdot \left(1 - \frac{ET}{ET_m}\right) \quad (8)$$

式中 Y_a, Y_m 分别为作物产量和作物最大产量; ET, ET_m 分别为作物腾发量和潜在腾发量; K_y 为作物产量反映系数。

3.2 灌水均匀度与田间腾发量之间的关系

在我国生产实践中,微灌设计常用的指导思想可分为两类。其中一类是以设计的平均灌水量满足作物需水要求为基础的。在这类设计中,除采用无制造偏差(实际中不存在)的压力

补偿式灌水器外,由于灌水的均匀性,在所灌田块中必有未被充分灌溉的部分田块,从而影响到作物的产量;灌水的均匀性愈差,灌溉田块的作物平均产量愈低。因此,作物的产量是灌水均匀度的函数。由于设计是以平均灌水量满足作物需水要求的,所以我们假定,当田块接收到大于平均流量的灌水时,即产生弃水;当田块接收到小于平均流量的灌水时,则田块未得到充分灌溉。在此假定基础上,充分灌溉区域的总弃排水量 D ,应等于非充分灌溉区域的总亏缺量(图 1)。由灌水均匀度 C_u 的定义有:

$$C_u = 1 - \frac{1}{q_a} \int_L |q - q_a| \cdot dl = 1 - \frac{1}{q_a} \cdot 2D$$

即有:

$$D = \frac{1}{2}(1 - C_u) \cdot q_a \quad (9)$$

将式(9)代入式(7)可得田块平均腾发量与灌水均匀度间的关系式:

$$ET = I + P_o - \frac{1}{2}(1 - C_u) \cdot q_a \quad (10)$$

式中 q_a 为单位面积一次灌溉平均灌水量,mm。

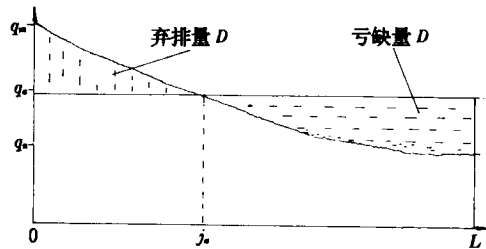


图 1 单元内灌水器流量分布排列示意图

3.3 灌水均匀度对作物产量的影响

利用相对腾发量与相对产量、腾发量与灌水均匀度之间的关系,由式(8)、式(10)可建立灌水均匀度 C_u 与产量的关系:

$$Y_a = Y_m \left[1 - K_r + K_r \frac{I + P_o - (1 - C_u)q_a/2}{ET_m} \right] \quad (11)$$

由于设计灌水深度 I 满足作物最大腾发量 ET_m 的要求,所以当不考虑降雨影响时, q_a 就等于设计的灌水深度 I ,这样式(11)可变为:

$$Y_a = Y_m \left[1 - \frac{1}{2}(1 - C_u)K_r \right] \quad (12)$$

式(12)表示了 q_a 满足(等于)作物需水要求设计基础上,不考虑降雨影响时设计灌水均匀度对作物产量的影响。从式(12)可见,作物的实际产量 Y_a 是灌水均匀度 C_u 的单增函数。当 C_u 取最大值 1 时, Y_a 取得最大值 Y_m ,这与常理是完全一致的。

4 设计灌水均匀度的优化选定

投入产出比,是工程建设的重要评价指标。本文,根据导出的式(6)和式(12),构造工程投入产出比函数 W 作为目标函数,以确定设计灌水均匀度 C_u 的最优值。

首先,将式(12)变形为:

$$Y_a = Y_m \left(1 - \frac{K_r}{2} \right) + (Y_m K_r / 2) \cdot C_u = A_r + B_r \cdot C_u \quad (13)$$

由式(6)与(13)可得目标函数 W :

$$\min W(C_u) = \frac{A_2 [hm(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot C_u + \alpha_3 \cdot C_u^2)]^{-a/n}}{A_r + B_r C_u} \quad (14)$$

对 $W(C_u)$,求 C_u 的导数并令其为 0 可得:

$$n \cdot B_y(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot Cu + \alpha_3 \cdot Cu^2) + a(\alpha_2 + 2\alpha_3 \cdot Cu)A_y = 0 \quad (15)$$

式(15)可变为:

$$A \cdot Cu^2 + B \cdot Cu + C = 0 \quad (16)$$

其中:

$$A_y = Y_m(1 - Ky/2) \quad (16-1)$$

$$B_y = K_y \cdot Y_m/2 \quad (16-2)$$

$$A = \alpha_3 \cdot B_y(n + 2a) \quad (16-3)$$

$$B = 2a \cdot \alpha_3 \cdot A_y + \alpha_2 \cdot B_y(a + n) \quad (16-4)$$

$$C = n\alpha_1 \cdot B_y + a \cdot \alpha_2 \cdot A_y \quad (16-5)$$

从而可求得设计灌水均匀度的优化值为:

$$Cu = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (17)$$

对于考虑运行费用的系统, Cu 的优化值虽无法表示为式(17)那样的简单形式, 但通过上述途径, 得出含有运行费用的 Cu 超越方程, 仍可以解得 Cu 的优化值, 这里不再赘述。

5 降雨对灌水效益的影响

当考虑降雨时, 微灌水量作为作物需水量的补充部分。设有效降雨量为 P_o , 由微灌系统补充灌溉水量为 I_c , 对应于 I_c 的单位面积一次平均灌水水量为 q_a , 则 $q_a = I_c$ 。要满足作物需水要求, I_c 应满足:

$$I_c + P_o = ET_m \quad (18)$$

亦即有:

$$q_a = ET_m - P_o \quad (19)$$

由式(18)、(19)和式(11)可得:

$$Y_a = Y_m \left[\left(1 - \frac{K_s}{2} (1 - P_o/ET_m)(1 - Cu) \right) \right] \quad (20)$$

同式(12)一样, 将式(20)写成:

$$Y_a = A_{yy} + B_{yy} \cdot Cu \quad (21)$$

式中:

$$A_{yy} = Y_m - \frac{K_s}{2} (1 - P_o/ET_m) \cdot Y_m \quad (21-1)$$

$$B_{yy} = \frac{K_s}{2} \cdot Y_m (1 - P_o/ET_m) \quad (21-2)$$

以下的工作同前一样, 即利用式(6)和(21)构造目标函数, 然后对目标函数求极值, 即可获得考虑降雨时滴灌系统补充灌溉设计灌水均匀度的最优值。其表达式与式(17)完全一样, 计算时只需将系数 A 、 B 、 C 计算式中的 A_y 、 B_y 以 A_{yy} 、 B_{yy} 代之即可。

由式(20)可见, 降雨削弱了灌水均匀度对产量的影响作用。有效降雨量 P_o 越大, Cu 的影响作用越不显著。由此亦可推知, 降雨对整个灌水效益的影响也是如此, 这是显而易见的。

6 算例与小结

文献[7]给出了比较详细的香蕉试验资料。下面,我们就利用文献[7]的数据,给出优化确定设计灌水均匀度的算例。

由文献[7]知, $Y_m=126\text{ t/ha}$, $K_r=0.63$ 。设滴灌系统是采用毛管调压设计方法,所用滴头的制造偏差率 $V_{me}=0.08$ 。那末,据文献[3]、[4]有:

$$\alpha_1 = -(2.2626 + 27.2091V_{me}) = -4.44$$

$$\alpha_2 = 9.649 + 77.4683V_{me} = 15.85$$

$$\alpha_3 = -(7.3328 + 54.1683V_{me}) = -11.67$$

据江西长峰塑胶有限公司提供的 PE 管道最新单价资料,可得管道单价函数 C , 为:

$$C_r = 0.0081D^{1.63} \quad (22)$$

设以勃拉修斯水头损失公式计算管网水头损失,则 $n=4.75$ 。将 $a=1.63$ 、 $n=4.75$ 和上述各已知值代入式(16-1)~(16-5)可得: $A_r=86.31$; $B_r=39.69$; $A=-3710.1$; $B=729.98$; $C=1392.8$ 。将 A 、 B 、 C 值代入式(17)计算得出设计灌水均匀度的优化值为:

$$Cu = 0.72$$

从以上算例可见,生长在南方多雨地区的香蕉,对灌水均匀度的要求并不高。

在我国微灌工程设计中,设计灌水均匀度通常均取 0.90 以上,较低的亦在 0.85 以上。但从上述算例可看出,并不是所有的微灌工程都要求高的设计灌水均匀度。相反对于对水分亏缺不十分敏感或多雨地区(降雨削弱了灌水均匀度对作物产量的影响)的作物来说,一味追求高的灌水均匀度,很可能导致经济上的不合理。因此,作者建议:滴灌系统设计,应根据作物的经济价值和对其对水分的敏感性,按照本文所给出的途径和思路,以投入与产出比最小(或产出投入比最大)或以净收益最大等为原则或目标,来确定系统的设计灌水均匀度,以避免盲目地使用专家值或经验值而造成经济上的浪费或不合理。

参 考 文 献

- 1 T W Sammis, I- Pai Wu. Effect of drip irrigation design and management on crop yield. Trans of the ASAE, 1985, 28 (3): 832~838
- 2 Ilan Amir, Idoseginer. Emitter uniformity as an economic factor in trickle system design. Trans of the ASAE, 1985, 28 (3): 826~831
- 3 陈渠昌. 滴灌灌水均匀度的模拟研究. [硕士学位论文], 北京农业大学, 1993
- 4 郑耀泉, 陈渠昌. 微灌均匀度参数之间的关系及其应用. 灌溉排水, 1994, 13(2)
- 5 袁宏源等. 高产省水灌溉制度优化模型研究. 水利学报, 1990(1): 1~7
- 6 傅琳, 董文楚, 郑耀泉等. 微灌工程技术指南. 北京: 水利电力出版社, 1989
- 7 Stephen C H Young, T W Sammis, I- Pai Wu. Banana yield as affected by deficit irrigation and patter of hateral hagouts. Trans of the ASAE, 1985, 28(2): 507~510