

微灌滴头设计工作压力取值理论研究^{*}

朱德兰¹, 吴普特^{1, 2}, 王 健¹, 常 兴¹

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2 中国科学院 教育部 水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 在满足由田间微地形偏差、灌水器制造偏差、水力偏差3因素引起的灌水流量偏差率的前提下, 提出了一种新的微灌滴头设计工作压力计算方法, 利用该方法可以确定农田不同种植模式下微灌滴头的设计工作压力值, 即在加压情况下, 地面坡度为零时, 首先提出毛管年费用计算公式, 然后以毛管年费用为目标函数, 用黄金分割搜索法求出满足灌水流量偏差率要求的滴头设计工作压力值。结果表明, 田面局部高差和允许流量偏差率是影响滴头设计工作压力的关键因素, 田面局部高差越大, 工作压力越大, 而允许流量偏差率越大, 滴头设计工作压力越小。在目前耕作条件下, 若以20%流量偏差率作为灌水质量指标, 则棉花、温室、果园滴头设计工作压力的最大值分别为0.5、1.0和2.5 m。

[关键词] 滴灌; 滴头设计工作压力; 田间微地形偏差; 灌水器制造偏差

[中图分类号] S275.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)10-0189-03

多年来, 微灌滴头设计工作压力常用值为80~100 kPa^[1-3], 此常用值使滴灌具备了能适应各种地形而不降低灌水均匀度的重大优点, 所以无人对此值的选择依据提出质疑并进行过论证。但在强调节约能源、降低系统造价的大背景下, 出现了温室重力式滴灌, 重力式滴灌具有工作压力低(0.1~1 m)、流量小(1~3 L/h)的特点, 该特点顺应了滴灌发展的潮流。据张国祥^[4]分析, 大量的耕地经过人们的长期耕作平整, 田面局部高差不大, 没有必要取这么大的滴头压力(10 m), 而且在大多数场合滴头设计压力有大幅度降低的潜力, 重力式滴灌即是一个很好的证明。但对不同的田面微地形条件在不牺牲滴灌优点的前提下, 滴头设计工作压力不能无限降低或随意取值, 所以准确研究确定微灌滴头工作压力具有十分重要的现实意义。另外, 田面高低不平是实际存在的自然现象, 由于田面不平整会使铺设毛管的某些滴头位置高程偏离设计高程, 从而引起实际工作水头与设计工作水头的误差, 进而引起流量偏差。为了将这种偏差限制在允许范围内, 必然对滴头设计工作压力提出一定要求。滴头设计工作压力越高, 这种偏差所占比重越小, 所以滴头设计工作压力的确定应以毛管为对象, 以田面微地形产生的流量偏

差为基础进行研究。为此, 本研究通过毛管年费用及其水力学分析, 提出了滴头设计工作压力计算模型, 以期在保持滴灌优点、降低滴灌造价的同时, 为灌水器的研制和毛管开发提供技术参考。

1 毛管年费用折算

毛管年费用主要包括材料投资和年运行费^[4-5]。可用下面公式表示:

$$W = V \cdot C / t + 2.777 \times 10^{-6} E \cdot T \cdot Q \cdot H \quad (1)$$

式中, W 为毛管年费用, 元; V 为毛管耗材量, m^3 ; C 为毛管材料单价, 元/ m^3 ; E 为电费, 元/($kW \cdot h$); T 为毛管年工作小时数, h ; Q 为毛管进口流量, L/h ; H 为毛管进口水压力, m ; t 为毛管折算年限, 年。

式(1)中, V 与毛管壁厚、毛管直径、毛管长度有关, 即

$$V = 3.14 \times 10^{-6} (D + e) \cdot e \cdot L \quad (2)$$

式中, D 为毛管内径, mm ; e 为毛管壁厚, mm ; L 为毛管长度, m 。

关于毛管壁厚 e , 有:

$$2\sigma \cdot e = \int_0^{\frac{D}{2}} p \cdot \frac{D}{2} \cdot \sin\theta \cdot d\theta = p \cdot D$$

则

$$e = \frac{p \cdot D}{2\sigma} = \frac{\gamma \cdot H \cdot D}{2\sigma} \quad (3)$$

^{*} [收稿日期] 2005-11-16

[基金项目] 陕西省自然科学基金项目(2005E234); 农业科技成果转化项目(04EFN217100395); 中国科学院知识创新项目(KZCX1-06-02-03)

[作者简介] 朱德兰(1969-), 女, 青海乐都人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事水资源高效利用研究。E-mail: dlzhu@126.com

[通讯作者] 吴普特(1963-), 男, 陕西武功人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事水资源高效利用研究。

式中, p 为毛管承受的最大水压力, kN/m^2 ; σ 为管道允许拉应力, kN/m^2 ; γ 为水的容重, kN/m^3 ; H 为毛管承受的最大水压力, m ; D 为毛管内径, mm 。

将(2), (3)式代入(1)式得:

$$W = \frac{3.14 \times 10^{-6} \cdot \gamma \cdot C \cdot L \cdot D^2}{4\sigma \cdot t} + \frac{3.14 \times 10^{-6} \gamma \cdot C \cdot L \cdot D^2 \cdot H}{2\sigma \cdot t} + \frac{2.777 \times 10^{-6} E \cdot T \cdot Q \cdot H}{\alpha} \quad (4)$$

令 $K_1 = \frac{3.14 \times 10^{-6} \cdot \gamma \cdot C \cdot L}{4\sigma \cdot t}$, $\alpha = 2.777 \times 10^{-6} E \cdot T$, 则(4)式变为:

$$W = K_1 \cdot D^2 \cdot H^2 + 2\sigma \cdot \gamma \cdot K_1 \cdot D^2 \cdot H + \alpha \cdot Q \cdot H \quad (5)$$

2 毛管水力学分析

在毛管设计中, 为了满足灌水均匀度的要求, 应将滴头流量偏差率限制在允许的范围内。在灌水流量偏差组成中, 若考虑微地形偏差、水力偏差和滴头制造偏差^[6-7], 则当一个滴灌系统完成后, 因水力因素、制造因素及田面局部高差因素产生的最大流量和最小流量出现在同一滴头, 流量总偏差率(或称流量总偏差率最大值)是3项流量偏差率所有组合中的最大值, 可近似用下式描述^[4], 即

$$[q_v] = q_{hv} + q_{zv} + q_{mv} = q_{hv} + \frac{\Delta Z \cdot x}{H_d} + q_{mv} \quad (6)$$

式中, $[q_v]$ 为允许流量偏差率, %; q_{hv} 为水力流量偏差率, %; q_{zv} 为田面微地形引起的流量偏差率, %; q_{mv} 为灌水器制造引起的流量偏差率, %; ΔZ 为田面局部高差, m ; x 为灌水器流态指数; H_d 为滴头设计工作压力, m 。

当灌水器选定后, q_{mv} 为定值, $[q_v]$ 由滴灌设计规范给出, 令 $q_v = [q_v] - q_{mv}$, 则 q_v 为定值。

由(6)式得:

$$q_{hv} = q_v - \frac{\Delta Z \cdot x}{H_d} \quad (7)$$

水力偏差率 q_{hv} 由水流运动中的水头损失和田面坡降引起, 当地面坡度不大时, Howell 等^[8] 分析认为, 一个灌水单元内灌水器流量偏差率 q_{hv} 与水压力偏差率 H_{hv} 存在如下关系:

$$H_{hv} = \frac{q_{hv}}{x} (1 + 0.15q_{hv} \frac{1-x}{x}) \quad (8)$$

毛管允许水头损失可表示为:

$$[\Delta h_l] = \mu H_d H_{hv} \quad (9)$$

式中, $[\Delta h_l]$ 为毛管允许水头损失, m ; μ 为系数, 当毛管进口安装调压管时 $\mu = 1$, 无调压管时 $\mu = 0.55$;

H_{hv} 为单个灌水单元的内水压力偏差率, %。

由(7), (8)和(9)式可得:

$$[\Delta h_l] = \mu \left[\frac{H_d q_v}{x} + \frac{0.15(1-x)H_d q_v^2}{x^2} - \frac{0.3(1-x)\Delta Z q_v}{x} - \Delta Z + \frac{0.15(1-x)\Delta Z^2}{H_d} \right] \quad (10)$$

令 $G_1 = \mu \left(\frac{0.3(1-x)\Delta Z q_v}{x} - \Delta Z \right)$; $G_2 = \mu \left(\frac{q_v}{x} + \frac{0.15(1-x)q_v^2}{x^2} \right)$; $G_3 = \mu (0.15(1-x)\Delta Z^2)$ 。则(10)式可简化为:

$$[\Delta h_l] = G_1 + G_2 \cdot H_d +$$

$$G_3/H_d = K F_1 f \frac{Q_m L}{D^n} \quad (11)$$

式中, K 为考虑局部水头损失的扩大系数; F_1 为多口系数; f, m, n 均为摩擦损失系数; Q 为毛管进口流量, m^3/h ; D 为毛管内径, mm ; L 为毛管长度, m 。

毛管进口水压力 H 为:

$$H = H_d + [\Delta h_l] = H_d + K F_1 f \frac{Q_m L}{D^n} \quad (12)$$

毛管进口水压力也可表示为:

$$H = G_1 + (1 + G_2)H_d + G_3/H_d \quad (13)$$

3 滴头设计工作压力计算模型

当地面坡度为零时, 水压力沿毛管长度逐渐减小。从理论上讲, 毛管壁厚应随水压力的减小而减小, 但在实际生产中, 一条毛管上的壁厚相等, 壁厚应按承受的最大水压力设计, 故毛管承受的最大水压力等于毛管进口水压力。

将(12)式代入(5)式, 可得毛管年费用计算公式为:

$$W = K_1 D^2 H_d^2 + 2\sigma \gamma^{-1} K_1 D^2 H_d + \alpha Q H_d + 2K_1 K \cdot F_1 f D^{2-n} Q^m L \cdot H_d + K_1 (K \cdot F_1 f)^2 D^{2-2n} Q^{2m} L^2 + 2\sigma \gamma^{-1} K_1 K \cdot F_1 f D^{2-n} Q^m L + \alpha \cdot K F_1 f Q^{m+1} D^{-n} L \quad (14)$$

将(13)式代入(5)式, 则毛管年费用计算公式又可表示为:

$$W = K_1 D^2 (A_1 + A_2 H_d + A_3/H_d + A_4 H_d^2 + G_3/H_d^2) + \alpha \cdot Q [G_1 + (1 + G_2)H_d + G_3/H_d] \quad (15)$$

式中, $A_1 = 2\sigma \gamma^{-1} G_1 + G_1^2 + 2(1 + G_1)G_3$;

$$A_2 = 2\sigma \cdot \gamma^{-1} (1 + G_2) + 2G_1 (1 + G_2);$$

$$A_3 = 2\sigma \gamma^{-1} G_3 + 2G_1 G_3;$$

$$A_4 = (1 + G_2)^2。$$

公式(14)和(15)为滴头设计工作压力计算的两

种表示方法, 滴头设计工作水头应该使毛管年费用最小。则滴头设计工作压力计算模型为:

$$M \ln W(H_d) \quad (16)$$

式(16)即为求 H_d 的一维优化模型。

利用黄金分割搜索法(或0.618法)编制计算机程序, 即可求得 $M \ln W$ 及所对应的 H_{do} 。利用式(14)和式(15)可得到相同的结论。

4 应用举例

某温室滴灌系统, 根据作物和土壤条件选定滴头流量为3 L/h、滴头间距为0.5 m, 根据地形条件选定毛管长度50 m, 布置滴头100个, 根据规范选定流量偏差率为0.2, 由滴头生产厂家提供的制造流量偏差率为0.03, 并测定田面微地形高差为0.2 m。请在毛管进口安装调压管的情况下, 确定滴头的设计工作压力。

利用计算机模型求解, 输入参数为: 田面局部高差 $\Delta Z = 0.2$ m, 允许流量偏差率 $[q_v] = 0.2$, 制造流量偏差率 $q_{mv} = 0.03$, 滴头流量3 L/h, 滴头数100个, 毛管进口流量 $Q = 0.3$ m³/h, 滴头间距0.5 m, 毛管长度 $L = 50$ m, 滴头流态指数 $x = 0.5$, 管材单价 $C = 16$ 000 元/m³, 管材使用寿命 $t = 2$ 年, 电费单价 $E = 0.5$ 元/(kW · h), 年抽水工作时数 $T = 100$ h/年, 管材许用应力 $\sigma = 2$ 500 kN/m²。则计算结果输出参数为: 滴头工作压力 $H_d = 1.0$ m, 水力流量偏差率 $q_{hv} = 0.07$, 田面流量偏差率 $q_{zv} = 0.10$, 水头损失 $H_f = 0.14$ m, 毛管直径 $D = 23$ mm, 水压力偏差率 $H_{hv} = 0.14$, 毛管年费用 $W = 6$ 元, 毛管进口水头 $H = 1.14$ m。

同理, 在新疆建设兵团的棉花滴灌和果园滴灌系统中, 当棉花和果园的田面局部高差分别为0.1和0.5 m, 输入上面参数, 可得到棉花滴灌和果园滴

灌的工作压力值分别为0.5和2.48 m。从该算例可以看出, 在温室滴灌系统中, 当滴头工作压力取为1 m时, 即能够满足灌水均匀度的要求。新疆棉花滴灌大部分利用渠水灌溉, 水头仅为0.8 m左右, 计算其滴头最大工作压力为0.5 m, 由此也说明了重力式滴灌能成功应用的原因。

5 结 语

1) 在滴灌系统设计中考虑了田面微地形这一重要因素, 对曾被人们忽略的田面不平整度给予了高度重视, 本研究发现田面不平整度是影响滴头设计工作压力值的关键因素, 田面局部高差越大, 滴头设计工作压力越高。

2) 本研究结论改变了滴头额定工作压力是“与生俱来”的观点, 滴头额定工作压力应随设计工作压力的改变而改变。滴头设计工作压力理论的建立为滴头额定工作压力的取值提供了指导, 而且将目前设计中“以额定工作压力确定设计工作压力”改为“由滴头设计工作压力选择与之匹配的额定工作压力”。

3) 应用举例从理论上揭示了重力式滴灌成功应用的原因, 而且说明在大多数情况下, 滴头设计工作压力有大幅度降低的可能。

4) 本研究仅从理论上分析了地面平坦情况下滴头设计工作压力取值、毛管壁厚及相应的毛管直径等, 但理论与实践相结合时还需要考虑实际要求, 如通过理论分析认为, 毛管壁厚为0.05 mm时即能满足水压力的要求, 但应用于实际时要考虑工厂是否便于生产太薄的塑料管, 其在搬运或铺设过程中是否易受损及其使用寿命是否太短等因素。本研究计算的毛管直径为连续管径, 在实际应用时应变为标准管径, 并需进行二次优化计算。

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] 傅琳, 董文楚, 郑耀泉. 微灌工程技术指南[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [3] Pedro V. New algorithm for hydraulic calculation in irrigation laterals[J]. Journal of The Irrigation and Drainage Division, 2005, 131(2): 220-226.
- [4] 张国祥. 廉价节能高效滴灌系统研究报告[R]. 陕西杨凌: 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 2002.
- [5] Kang Y H, Yuan B, Nishiyama S. Design of micro irrigation laterals at minimum cost[J]. Irrig Sci, 1999, 28(2): 125-133.
- [6] Bralts V F, Wu I P. Manufacturing variation and drip irrigation and irrigation uniformity[J]. Trans ASAE, 1981, 24(1): 113-119.
- [7] Bralts V F, Edwards D M. Field evaluation submain units[J]. Trans ASAE, 1986, 26(6): 1659-1664.
- [8] Howell T A, Hiler E A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity[J]. Journal of The Irrigation and Drainage Division, 1974, 100(4): 443-454.

(下转第196页)

Distribution law of deposits' dry bulk density and its application in sediment restoration of check-dam

WEI Xia¹, LI Zhan-bin^{1,2}, LI Xun-gui³, LU Ke-xin¹

(1 Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Environment Science and Engineering College, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: In view of the problem of differences resulted from the application of conversion parameter of 1.35 g/cm^3 to the benefit calculation of soil and water conservation for check dams, this study chose typical check dams, excavated the sections of the dams, analyzed section condition, collected soil samples of each layer, determined the dry bulk density of samples, analyzed the dry density distribution condition of the dams and restored the layer sedimentation amount of the dams. Results show that to the same check dam, the dry bulk density of each layer is not equal in depth, but has a fluctuating tendency along longitudinal direction with a small fluctuation margin; to the two typical check dams with similar depositing degree, the value and the variation amplitude of dry bulk density are resembled; and the presented method can restore the amount of the sedimentation and make the layer sediment yields correspond to the erosive rain more accurately, which offers a scientific and rational tool to depositing process analysis.

Key words: check dam; depositing matter; dry bulk density; layer sediment restoration; benefit calculation of soil and water conservation

(上接第191页)

Abstract ID: 1671-9387(2006)10-0189-CA

Theory on the calculation of operation pressure of micro-irrigation emitters

ZHU De-lan¹, WU Pu-te², WANG Jian¹, CHANG Xing¹

(1 College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 ISWC, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A new calculation method of micro-irrigation operation pressure was developed. This method was based on the acceptable emitter flow variation which resulted from the combined effect of farmland sectional altitude difference, manufacture variation and hydraulic variation. First of all, the equation of annual cost of the lateral was proposed. And then annual cost of the lateral, which included material cost and annual running cost, was used as objective function. The optimal micro-irrigation operation pressure was determined by using gold searching computer method under condition of the discharge variation being kept within acceptable limits. The research indicated that the most important factors affecting the micro-irrigation operation pressure were farmland sectional altitude difference and the acceptable emitter flow variation. The bigger the farmland sectional altitude difference was, the bigger the micro-irrigation operation pressure was. The smaller the acceptable emitter flow variation was, the bigger the micro-irrigation operation pressure was. The maximum micro-irrigation operation pressures on the cotton land, orchard and hot-house were 0.5, 1.0 and 2.5 m respectively.

Key words: drip irrigation; operation pressure of emitters; farmland sectional altitude difference; Manufacture variation