

# 考虑水温的塑料硬管沿程水头损失计算公式探讨

白 丹, 李占斌

(西安理工大学)

**摘 要:** 根据已有的塑料硬管沿程水头损失计算公式, 采用多元线性回归计算方法, 提出了微灌塑料硬管沿程水头损失计算公式, 这一公式同时考虑了管径、流速和水温等影响因素, 使计算结果更加符合实际。通过分析, 认为这一公式能满足设计要求, 可用于微灌工程的设计计算。

**关键词:** 塑料硬管; 微灌; 水头损失

中图分类号: S277.9

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0120064203

目前, 在计算微灌塑料硬管沿程水头损失时, 一般没有考虑温度变化的影响, 这样对计算结果的准确性有一定的影响, 而我国南北方气温存在较大的差异, 针对这一问题, 本文采用了多元回归分析的方法, 提出了改进公式。

## 1 基本计算公式及分析

### 1.1 基本公式

有压管道沿程水头损失计算的基本公式为达西-韦斯巴赫公式

$$h_f = K \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

式中  $h_f$  —— 沿程水头损失, m;  $V$  —— 管道流速, m/s;  $L$  —— 管长, m;  $D$  —— 管道内径, m;  $K$  —— 管道沿程阻力系数。

其水力坡度为

$$I = \frac{K}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

式中  $I$  —— 水力坡度,  $I = h_f / L$ 。

### 1.2 K值的确定

$K$  值与管道粗糙度和雷诺数  $R_e$  有关, 对于塑料硬管,  $K$  主要取决于  $R_e$

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \quad (3)$$

式中  $R_e$  —— 雷诺数;  $\nu$  —— 水运动粘滞系数,  $m^2/s$ 。

$\nu$  随温度和压力而变化, 但随压力变化关系甚微, 对温度变化较为敏感,  $\nu$  可按下面经验公式计算

$$\nu = \frac{177.5}{1 + 0.337T + 0.000221T^2} \quad (4)$$

式中  $T$  —— 水温,  $^{\circ}C$ 。

对于不同的  $R_e$  值,  $K$  值计算公式不同。

#### 1.2.1 哈京—波西里公式

当  $R_e < 2000$  时

$$K = \frac{64}{R_e} \quad (5)$$

#### 1.2.2 勃拉体斯公式

当  $2000 < R_e < 100000$  时

$$K = \frac{0.316}{R_e^{0.25}} \quad (6)$$

#### 1.2.3 瓦特—克勒公式

当  $100000 < R_e < 10000000$  时

$$K = \frac{0.13}{R_e^{0.172}} \quad (7)$$

### 1.3 基本计算公式分析

应用上述公式, 可计算出微灌塑料硬管沿程水头损失。计算过程中, 考虑了管道中流态的变化, 计算结果与实际情况比较吻合。但微灌毛管与支管均为多孔出流量, 在多孔出流管中, 各管段流量均不同, 应用上述公式应首先判别各管段流态 ( $R_e$  值), 根据  $R_e$  值选用适当的计算公式, 但工作量非常大。为减少计算量, 并提高计算精度, 提出以下简化公式。

## 2 简化公式的导出

### 2.1 影响 $I$ 值的基本因素

分析 (2) 式, 影响水力坡度  $I$  值大小的因素有  $K$ 、 $V$  和  $D$  值。而  $K$  值取决于  $R_e$ , 实际上与  $V$ 、 $D$  和  $\nu$  值有关, 根据 (4) 式,  $\nu$  值随  $T$  值而变化。分析表明影响  $I$  值大小的基本要素为  $V$ 、 $D$  和  $T$  值, 即  $I$  为  $V$ 、 $D$  和  $T$  的函数。

$$I = Q(V, D, T) \quad (8)$$

### 2.2 假定 $I$ 值计算公式形式

根据以上分析, 假定  $I$  值与  $V$ 、 $D$  和  $T$  有以下关系。

收稿日期: 2001206218 修订日期: 200121216

作者简介: 白 丹, 男, 西安理工大学教授, 研究方向为节水灌溉和环境系统工程, 西安, 710048

$$\hat{I} = CV^{b_1}D^{b_2}T^{b_3} \tag{9}$$

式中  $C$ ——待求的系数;  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ ——待求的指数。

对(9)式两边取自然对数得

$$\ln \hat{I} = \ln C + b_1 \ln V + b_2 \ln D + b_3 \ln T \tag{10}$$

在上式中令

$$\begin{aligned} \hat{y} &= \ln \hat{I} \\ b_0 &= \ln C \\ x_1 &= \ln V \\ x_2 &= \ln D \\ x_3 &= \ln T \end{aligned} \tag{11}$$

则(10)式变为

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \tag{12}$$

通过(11)式的代换,将(9)式的非线性关系转化为(12)式的线性关系。

2 3 回归系数的计算

在(12)式中,  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 和 $b_3$ 是待求的回归系数,而变量 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 与 $\hat{y}$ 呈线性关系,故回归系数的计算变成了一个三元线性回归问题,即确定回归系数使 $Q$ 值达最小。

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{13}$$

在上式中

$$y_i = \ln I_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{14}$$

$I_i$ 为根据基本公式(2)~(7)式,分别取不同的 $V$ 、 $D$ 和 $T$ 值进行组合,而算出的水力坡度值,其组合方案有 $n$ 个。

为使 $Q$ 值最小,应有

$$\frac{\partial Q}{\partial b_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) = 0 \tag{15}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b_j} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)x_{ij} = 0 \quad (j = 1, 2, 3) \tag{16}$$

求解(15)和(16)式,即可确定回归系数。

在计算中, $V$ 、 $D$ 和 $T$ 值的取值范围,应考虑到工程设计中的实际情况。对于流速 $V$ ,其值太大容易发生水击,水头损失也太大;其值太小,易发生沉淀和淤积,所需管径也较大,并不经济,其值范围控制在 $0.4 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 为宜。对于管径 $D$ ,取值范围定为 $0.012 \sim 0.2 \text{ m}$ 。对于 $T$ 值,根据我国气候情况,取值范围为 $5 \sim 30$ 。

$V$ 取值见表1, $D$ 和 $T$ 取值见表2。根据取值, $V$ 、 $D$ 、 $T$ 的组合方案数 $n = 22 \times 12 \times 6 = 1584$ 。将每个组合方案中的 $V$ 、 $D$ 、 $T$ 值( $i = 1, 2, \dots, 1584$ )代入基本公式(2)~(7)式,求出 $I_i$ ,并将 $V$ 、 $D$ 、 $T$ 和 $I_i$ 值按(11)式进行代换,而后代入(15)式和(16)式,

计算得回归系数(见表3)。

表 1  $V$  取值

Table 1  $V$  values

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$V/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
序号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$V/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5

表 2  $D$ 、 $T$  取值

Table 2 Values of  $D$  and  $T$

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$D/\text{m}$	0.012	0.015	0.02	0.025	0.032	0.04	0.05	0.065	0.08	0.1	0.15	0.20
$T/^\circ\text{C}$	5	10	15	20	25	30						

表 3 回归系数

Table 3 The coefficients of regression

回归系数	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
计算值	- 7.29589	1.76501	- 1.230011	- 0.08020001

2 4 简化公式

将算出的回归系数代入(12)式,并按(11)式进行有关变量与参数的代换得

$$I = 0.0006783V^{1.76501}D^{-1.230011}T^{-0.08020001} \tag{17}$$

将(17)式代入 $h_f = IL$ ,有

$$h_f = \frac{0.0006783V^{1.77}L}{D^{1.23}T^{0.0802}} \tag{18}$$

将 $V = 4Q/\pi D^2$ 代入上式

$$h_f = 0.531 \frac{Q^{1.77}L}{d^{4.77}T^{0.0802}} \tag{19}$$

式中  $Q$ ——流量,  $\text{L/s}$ ;  $d$ ——管道内径,  $\text{mm}$ 。

3 简化公式精度分析

3 1 复相关系数  $R$

计算得复相关系数 $R = 0.9997823$ ,表明 $V$ 、 $D$ 、 $T$ 与 $I$ 相关性甚为密切。

3 2 相对误差

简化公式(17)与基本公式(2)~(7)计算的 $I$ 值相对误差为

$$\delta = \frac{I_1 - I_2}{I_1} \times 100\% \tag{20}$$

式中  $\delta$ ——相对误差;  $I_1$ ——按基本公式(2)~(7)计算出的水力坡度值;  $I_2$ ——按(17)式算出的水力坡度值。

相对误差计算值见表4、表5和表6。从表中可以看出,最大相对误差为 $5.03\%$ ,可满足工程设计的要求。

表 4 $V = 2.5 \text{ m/s}$ 时 $I$ 值相对误差 %				表 5 $V = 1.5 \text{ m/s}$ 时 $I$ 值相对误差 %			
Table 4 Relative error of $I$ with $V = 2.5 \text{ m/s}$ %				Table 5 Relative error of $I$ with $V = 1.5 \text{ m/s}$ %			
$D/\text{mm}$	$T/\text{s}$			$D/\text{mm}$	$T/\text{s}$		
	5	20	30		5	20	30
0.012	2.13	3.07	0.71	0.012	2.87	3.81	1.47
0.040	0.25	0.70	1.71	0.040	0.51	1.46	0.93
0.100	2.11	1.12	3.40	0.100	1.32	0.35	2.79
0.150	2.93	1.95	4.43	0.150	2.15	1.17	3.63
0.200	5.03	2.54	3.53	0.200	2.73	1.75	4.23

表 6 $V = 0.4 \text{ m/s}$ 时 $I$ 值相对误差 %			
Table 6 Relative error of $I$ with $V = 0.4 \text{ m/s}$ %			
$D/\text{mm}$	$T/\text{s}$		
	5	20	30
0.012	4.78	5.02	3.40
0.040	2.47	3.40	1.05
0.100	0.66	1.61	0.77
0.150	0.14	0.82	1.59
0.200	0.72	0.24	2.18

4 结 语

通过回归分析计算,提出了微灌塑料硬管沿程水头损失简化计算公式(18)和(19)式,公式中引用了变量  $T$ ,使计算结果更为符合实际。一般情况下,可在已知  $q$ 、 $d$ 、 $L$ 、 $T$  值时,用(19)式计算  $h_f$  值,但有时也可在设计初期用(18)式初估  $h_f$  值。在使用该简化公式时,应注意使用范围,即  $V$  在  $0.4 \sim 2.5 \text{ m/s}$ ,  $d$  在  $12 \sim 200 \text{ mm}$ ,  $T$  在  $5 \sim 30$  以内。与基本公式(2)~(9)相比,简化公式可大大地减少计算量,且计算精度能满足工程设计的要求。

[参 考 文 献]

[1] 傅林等.微灌工程技术指南[M].北京:水力电力出版社,1988.9.  
[2] 吴持恭.水力学[M].北京:人民教育出版社,1979.3.  
[3] 白新桂.数据分析与试验优化设计[M].北京:清华大学出版社,1986.10.

《中国农业工程》  
——全面反映中国农业工程科学技术发展与历史经验的大型综合性专著

由著名农业工程专家、我国农业工程科技领域前辈学者之一、开拓我国现代农业工程学科建设与科学技术应用研究的主要奠基者之一陶鼎来教授,编撰的《中国农业工程》已于2002年1月,由中国农业出版社出版。

该专著系统地记录、回顾和总结了我国农业工程发展的具体内容、史实,反映了成就和经验;并从社会经济高度、从农业层面和从农业工程角度提出了各种独创性见解以及进行农业建设的科学方法等;记叙了我国农业工程学科技术全面发展与学科体系形成的过程,在总结国内外发展经

验的基础上,对农业工程学科的性质与内涵、建设项目的规划与管理,提出了一系列具有创新意义的阐述与解析,对我国农业发展面临的挑战与机遇、发展前景进行了分析讨论。

该专著不仅可作为广大农业工程科技和管理工作者以及农业工作者在新世纪工作的参考手册,也是农业工程大专院校教师和学生以及农村工作者和青年的有价值的参考文献。

该专著对进入21世纪研究推进我国农业工程科学技术发展与农业现代化建设,将具有重要的学习与参考价值。

**Key words:** spiral flow; transport; sediment; energy consumption

### **Equation of Friction Loss Along the Plastic Pipe of Micro-Irrigation System ..... (64)**

Bai Dan, Li Zhanbin (*Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China*)

**Abstract:** The equation for friction loss along the plastic pipe of micro-irrigation is presented adopting the multiple regression analysis according to existing friction loss equation. The new equation is superior to existing equation in calculated results owing to considering pipe diameter, flow velocity and water temperature at the same time. The calculated result is more precise. The error analysis shows that the equation is satisfied with the requirement of project design. The developed equation can be employed in the design of micro-irrigation pipe system.

**Key words:** plastic pipe; micro-irrigation; friction loss computing

### **Application of TC-30 Digital Water-level Monitoring Transmitter in Agricultural Water Conservancy Project ..... (67)**

Wu Jianhua<sup>1</sup>, Zhang Xu<sup>2</sup>, Jia Jinxia<sup>3</sup> (*1 Xi'an University of Technology, Xi'an 030024, China; 2 The Supplement Water Corporation of Datong, Datong 037000, China; 3 The Remote Sensing Center of Shanxi, China*)

**Abstract:** The pressure-type stage sensor, float-type stage sensor and capacitance-type stage sensor are widely used in agricultural water conservancy project in China. However, there exists some drawback when they are equipped in the project with hyper-concentration of sediment and swift flow, in which collecting message requires remote telemetry. It is an inevitable tendency to use modern computer technologies to explore the higher accuracy and highly adaptable devices of water-level measurement in the agricultural water conservancy project. TC301 new type stage sensor is presented in this paper, it practices new thought of simulative nerve theory, which succeeds in achieving new breakthrough in measuring water-level of agricultural water conservancy project, and the application effect is good.

**Key words:** agricultural water conservancy; computer; digital water-level transmitter

## **· Agricultural Machinery and Mechanization Engineering ·**

### **Soil Nitrogen Loss in Runoff and Sediment as Affected by Level Trench and Crop Rotation ..... (70)**

Zhang Xingchang (*Institute of Soil & Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China*)

**Abstract:** Compared with conventional tillage, level trench might reduce 7% in average of runoff amount on different slope land, the ammonium concentration in runoff increases 19%, its loss amount reaches 13.01 kg/(km<sup>2</sup> · a), also increases by 1.11 kg/(km<sup>2</sup> · a), the nitrate concentration in runoff reduced 27%, its loss amount is 16.18 kg/(km<sup>2</sup> · a) with reduction of 7.68 kg/(km<sup>2</sup> · a), in conclusion, the soil available nitrogen loss in level trench might reduce 6.57 kg/(km<sup>2</sup> · a) than that of conventional tillage. Level trench might retain 25% of soil loss, increase 13% of total nitrogen enrichment in sediment than that of conventional tillage, accordingly, soil nitrogen loss amount reaches 457 kg/(km<sup>2</sup> · a), it also reduces 13% of nitrogen loss than that of conventional tillage. Five years' rotation experiments show the erosion modules of rotation system with a season black soybean, a season soybean, and two seasons black soybean, a black soybean, reach 896 and 984 t/(km<sup>2</sup> · a) respectively, their modules are twice less than that of rotation system with broom millet and potato.

**Key words:** level trench; crop rotation; soil nitrogen loss

### **Computerized Simulation of Working Process of Seed Metering Device for 2BQM-2 Plastic Film Mulch Pneumatic Precision Planter ..... (74)**

Liu Hantao, Dou Weigu, Wang Zhuying, Zhao Shijie, Zhao Manquan (*Mechanical & Electrical College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China*)

**Abstract:** An analysis of the process of punching holes on the plastic film, grasping at the seed through suction holes, dropping off the seed and the operation mechanism of the 2BQM-2 model plastic film mulch