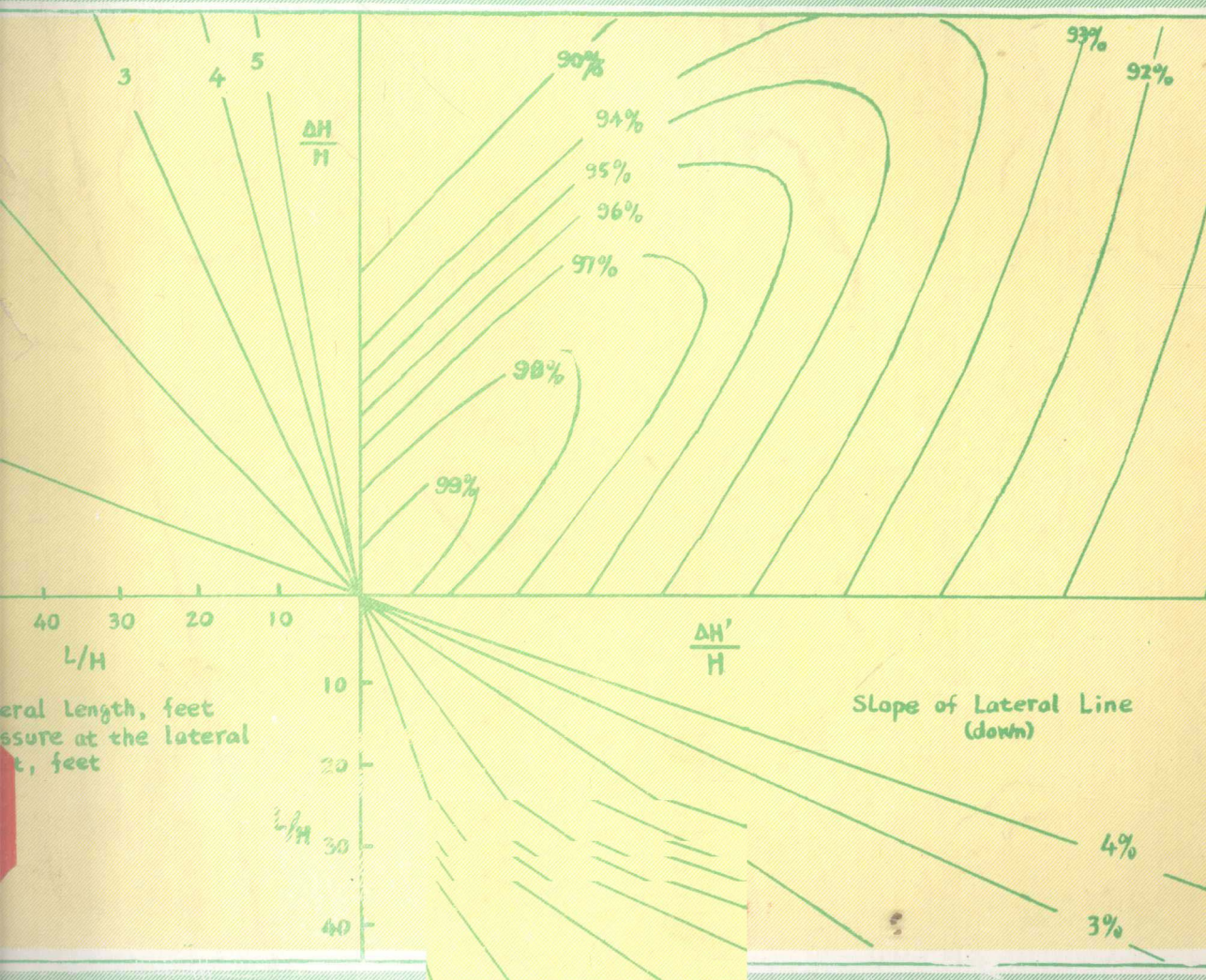


滴灌系统水力设计讲义



水利水电科学研究院水利研究所
北京农业机械化学院
一九八一年五月

前 言

一九八一年五月，美国夏威夷大学农业工程系教授吴义伯应水利水电科学研究院李纬质副院长和水利部灌溉研究所栗宗嵩所长的邀请，在水利水电科学研究院作了《滴灌系统水力设计》的讲学，系统地介绍了滴灌系统水力设计的研究成果。参加听讲的有全国各地从事滴灌科研和大专院校的部分同志共50多人。现将吴教授讲学的内容整理成册，以供从事滴灌科研、推广工作的工程技术人员参考。

按吴教授讲学的内容顺序，全册共分为十讲，主要是根据记录整理，并参考了吴义伯等发表的有关论文，进行了必要的编辑加工。参加整理的同志有北京农业机械化学院刘婴谷（第一、二讲）、张祖新（第三、四讲）、陶炎海（第五、六讲）、郑跃泉（第七、八、九、十讲）。全册由郑跃泉作了统一整理和加工。最后由水利水电科学研究院水利研究所审定。

这本讲义未经吴义伯教授校订，整理的内容难免有错误和不妥之处，请读者指正。

整理者一九八一年十月一日

目 录

第一讲 绪 论.....	(1)
第二讲 滴灌基础水力学.....	(5)
第三讲 均匀坡度上的毛管设计.....	(12)
第四讲 非均匀坡度上的毛管设计.....	(25)
第五讲 支管设计.....	(31)
第六讲 干管设计.....	(36)
第七讲 滴灌效率及滴灌计划.....	(44)
第八讲 灌溉试验与室内试验.....	(54)
第九讲 喷 灌.....	(59)
第十讲 地面灌溉.....	(63)

第一讲 绪 论

滴灌是以频繁、小量地直接向作物根区供水的一种灌溉方法，它可以根据作物的需水量准确地供水，使土壤经常保持湿润状态，而把“常规”的水量损失，如：地面流失，渗层渗漏和土壤水分蒸发等，减小到最低限度，所以滴灌是目前灌溉效率最高的一种灌溉技术。

今天，世界上由于现代工业日益发展，水资源日感不足，提高灌溉效率，寻找高效率的灌溉方法，成为研究灌溉问题的重要课题。

我这次来华讲学，主要介绍滴灌系统的设计，另外简略地介绍喷灌和地面灌溉，并且把滴灌、喷灌和沟灌效率粗略地加以比较。一共十讲，大约需要36个学时，安排两次解答问题的时间。

讲课时，除了课堂讲授外，还计划放映部分幻灯片，以增加感性认识。

滴灌只是一种灌溉方法，因此讲课就从灌溉问题讲起，第一讲计划讲两个问题：

第一节 灌溉和灌溉系统

灌溉是一个很复杂的问题，它涉及到水、土壤和作物三者的密切关系，组成了灌溉的整体。具体地说：由于水源与需要灌溉的面积不在同一个地方，就存在水的输送问题，通常用渠道系统或管道系统把水输送到田间；水到田间以后，要满足作物的需水要求，还存在着水的分配问题，即用什么方式及时而准确地给作物供水，在供水过程中，又受到土壤条件和作物需水情况的制约，最后达到灌水质量好，灌溉效率高，作物丰产、增收的目标。

在美国水的运输系统由土木工程师完成；而由农业工程师解决水在田间的分配问题。

现在我们着重讲水在田间的分配方式，通常有：地面灌溉，喷洒灌溉和滴水灌溉。

（一）地面灌溉：

常见的沟灌和畦灌是最古老的灌溉方法，沿用至今已有几千年的历史。在中国、埃及曾有过辉煌的成就。目前，地面灌溉在世界上仍是采用最广泛的一种灌溉方法。在美国，苏丹用一种长沟灌溉，就以苏丹的长沟灌溉为例，其长度甚至达2000米，在沟头用虹吸管把水引入灌水沟，水流到沟尾需九个小时，再灌九小时，共十八小时。此处还有一种短沟，沟长五米，灌水较均匀，但是土壤利用率较低，不便于机械耕作，管理用工多，所以目前有短沟改长沟的趋势。主要是管理问题，不是设计的问题，管理是十分重要的。

地面灌溉虽然广泛地运用于世界各国，但是它的效率很低，灌溉水存在严重的深层渗漏，地面流失和蒸发损失等，其灌溉效率大约50%左右，它意味着有一半以上的水不能得到有效的利用。随着工业的不断发展，工业与农业争夺水源的矛盾日益激烈，因此，改革灌溉方法，提高灌溉效率，势在必行。

（二）喷洒灌溉

在五十年前，美国首先使用喷洒灌溉，利用压力管道的水通过喷头喷洒在田间，进行灌

溉。它可以有效地防止地面流失和深层渗漏，因此灌溉效率提高到80%—90%。开始多采用固定式喷灌系统，但造价太高，一公顷土地面积需投资八千美元，为了降低造价，提高机具利用率，改用移动式喷灌系统。按照移动的方式可分为：

1. 人工移动式喷洒系统；
2. 机械牵引移动式喷洒系统；
3. 时针式圆形喷洒系统；
4. 管道平移式喷洒系统；

目前喷灌面积逐步扩大，有一些国家和地区，以喷灌为主要灌溉方式。

喷灌虽然是一种较理想的灌溉方法，但是对于某些株行距较宽的经济作物，成条状的林带及地形崎岖的山地作物，因种植分散采用喷灌仍造成水量浪费，近十年来出现了滴灌。

(三) 滴水灌溉

滴灌首先出现在以色列并非偶然，因为那儿水源匮乏，惜水如金。滴灌的灌溉效率可高达90%以上，因此滴灌对于这一类地区是一种理想的灌溉方法。

滴灌系统包括：主管、支管、毛管和滴头（图1—1）。

主管：如同一个运输系统，它向各支管分配总水量。

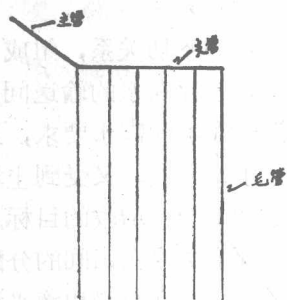


图1—1 简单滴灌系统示意图

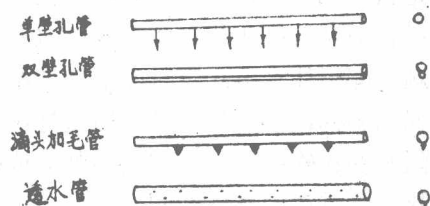


图1—2 毛管的类型

支管：如同一个控制系统，它可以调节水压，把所要求的流量送进每一根毛管，同时还需控制每一块田的灌水时间。

毛管：是直接向作物根区滴水的管道，必须使各出水口流量达到可接受的均匀度。毛管的类型有

- 1) 带孔单薄壁管（简称单壁管）
- 2) 带孔双腔薄壁管（简称双壁管）
- 3) 滴头加毛管
- 4) 透水管

目前，在美国透水管用得不多，因为容易堵塞，滴头加管道式的毛管，常用于果园；带孔单壁或带孔双壁管常用于甘蔗田。一亩约九千英尺，投资约270美元/亩，二年后甘蔗收获以前，在烧甘蔗叶时，即把毛管同时烧掉，用时再重新安装。

滴头的型式有多少？难以回答，因为世界各国都在制造滴头。我们国家自己也应该做滴

头，形式应简单，造价要便宜，目前微管滴头（即发丝滴头）运用较广泛。

此外，还有一些附属设备，如：过滤器，冲洗装置，压力计，压力调节装置，管件，阀门，化肥注入器等，都在滴灌系统中，各自有其用途。

滴灌的缺点是：容易堵塞，需安装过滤及冲洗装置。

综上所述，所谓灌溉系统，无论是地面灌溉，喷灌和滴灌都是分水问题，即如何灌水才能达到灌水质量好，灌溉效率高，这儿除了工程问题外，还有土壤问题、作物问题，如土壤的保水性、土壤的渗透力以及作物的需水情况等。

用下图说明水、土、作物三者之间的关系

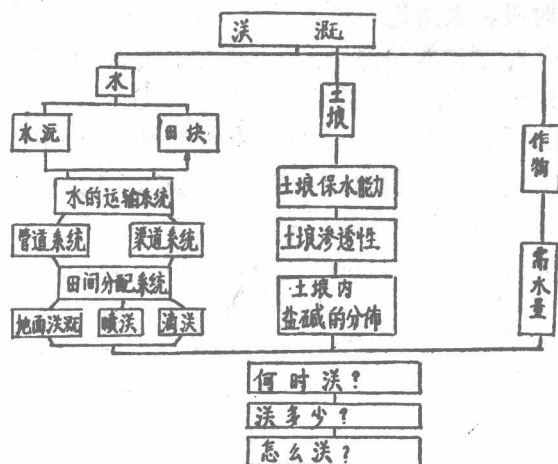


图1—3 灌溉与水、土、作物三者之间的关系

从上图可以清楚地看出，灌溉不仅仅是工程问题，也不是单一的土壤或作物问题，而是一个整体，它是水、土、作物三者不可分割的整体。

第二节 灌溉系统水力学

灌溉系统包括：地面灌溉（或沟灌）系统；喷灌系统和滴灌系统等，所涉及的问题较广。因为滴灌系统水力学将要重点讲授，而喷灌系统水力学与滴灌又有很多共同之处，因此，本讲重点介绍地面灌溉系统水力学的某些基本原理。

地面灌溉靠水的重力作用自动流向下流，在满足作物要求的同时，产生深层渗漏和地表水流失，一般灌溉水的有效利用系数约为50%左右。因此，需要了解灌溉水在田间的分布和流失，以便采取必要的措施，提高有效利用系数。

（一）地面水流和入渗地下水的分布

地面灌溉的水流状态由于受地表水流、地面粗糙度和入渗水量综合影响的结果，水流状态是不均匀，非稳定的及随空间而变的，如在一条灌水沟AB段，当沟中放入水流后，在不同时间地面和地下水流动剖面线如图1—4所示。

（二）水流与时间的关系

如果在水流到达沟的末端后，继续恒定向沟注入流量，在沟末端就产生出流，出流过程线

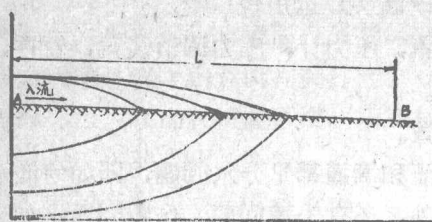


图1-4 沟灌纵剖面线

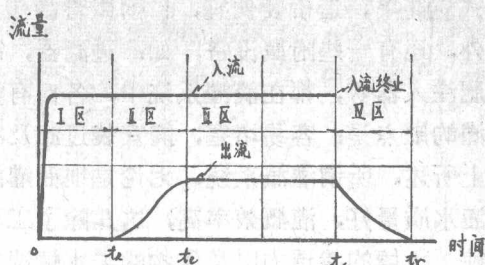


图1-5 沟灌入流和出流过程线

如图1—5所示。可按其特征分成四个区：

第Ⅰ区：为 $0—t_L$ 时段，水流达到沟长 L 末端的推进时间。为不稳定，非均匀流。入渗强度随时间和流程而变化。

第Ⅱ区：为 $t_L—t_c$ 时段，即推进时间到稳定出流时间。出流过程线为上升曲线，流态是不稳定，非均匀的，整个 AB 段充满了水，入渗强度随时间和 AB 段的位置而变。

第Ⅲ区：为 $t_c—t_s$ 时段，即稳定出流到停止入流的时间。出流量是常数，入渗强度 I 最小，就整个 AB 沟段而言是个常数。

第Ⅳ区： $t_s—t_r$ 时段，即停止入流到终止退水时间。流态是非均匀的、不稳定流。而入渗强度仍是个常数，并与第Ⅲ区的数值相同。

地面灌溉使用了几千年，但是要从理论上进行推导是很困难的。

(三) 理论公式：

地面灌溉的水流为不稳定、非均匀和随空间而变的流态。如何从理论上进行推导？可用一偏微分方程来表达地面灌溉水流的运动。

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial t} + u \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial y}{\partial x} = -I \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + y \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{u}{y} I = g(s_0 - s_f) \end{cases}$$

式中 y ——水深；

X ——水流长度；

u ——水流速度；

t ——时间；

g ——重力加速度，常数；

s_0 ——水面坡度；

S_f ——能量坡度；

I ——入渗强度。

如果是公路或机场的排水，因为柏油或混凝土地面无渗流，

$$I = 0$$

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial t} + u \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial y}{\partial x} = g(s_0 - s_f) \end{cases}$$

如果为洪水, $I = R$ (降雨强度)

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + y \frac{\partial u}{\partial x} = R \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial t} + y \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{u}{y} R = g(s_0 - s_f) \end{cases}$$

在排水、洪水和灌溉中, 以灌溉最难解, 至今还无法解, 因为排水和洪水中都有起始条件的水深, 而灌溉水没有。在美国, 虽然有很多人进行过一些推导, 假设了许多边界条件。用简化的方法可解, 而纯推理的方法至今还无法解。

喷灌和滴灌系统水力学与地面灌溉不同, 它们是稳定流, 不随时间而变, 因为总压力不变, 水力计算较简单。所以近几年来有较多的科研成果。

第二讲 滴灌基础水力学

滴灌系统可看作一个管道系统, 用来对植物根系灌水。理想的滴灌系统应该是每个滴头的出流量相等 (或出流量变化很小), 灌水均匀。

现在对滴灌系统水力学分析如下:

第一节 滴灌管中的水流条件

滴灌系统通常在稳定, 低压条件下工作, 水流条件是稳定流。

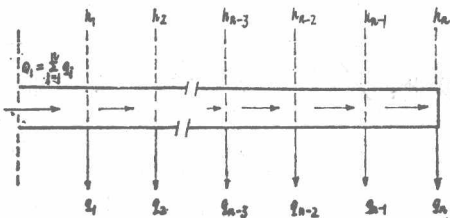


图1-1 沿滴灌管道的出流量和压力分布

毛管和支管的流量随着长度的增加而逐渐减少, 如图2-1。假定从首端算起 n 个截面的出流量是 $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, 而相应的压力是 $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ 。则任一截面 p 的流量可表示为:

$$Q_p = \sum_{i=p}^n q_i \quad (2-1)$$

式中, Q_p 为在第 p 截面的流量。毛管首端 ($i=1$) 供给总流量:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n q_i \quad (2-2)$$

由于沿管道的压力分布, 受到摩擦损失和地面坡度的影响。所以沿管道的出流量是变化的。

第二节 能量关系

在水平地面上, 沿滴灌管道的压力由能量梯度曲线决定, 而在有地面坡度的滴灌管道压力变化, 受能量坡度和地面坡度的影响。

根据能量定律, 可列出滴灌管路上任何断面的总能量公式:

$$H = Z + \frac{P}{r} + \frac{V^2}{2g} \quad (2-3)$$

式中: H ——总能量 (米或英尺);

Z ——位能 (米或英尺);

$\frac{P}{r}$ ——压能 (米或英尺);

$\frac{V^2}{2g}$ ——动能 (米或英尺), 因甚小, 可省略。

$$H = Z + \frac{P}{r} \quad (2-4)$$

$$\text{或 } H = Z + h \quad (2-4)'$$

能量随管长而变化可用下式表示:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dh}{dx} + \frac{dZ}{dx} \quad (2-5)$$

式中, $\frac{dH}{dx}$ 是能量的坡度,

$$\frac{dH}{dx} = -S_f$$

负号表示能量沿管长而减小。

式中, $\frac{dZ}{dx}$ 表示管道的坡度。

$$\frac{dZ}{dx} = \pm S_o$$

负号表示管道顺坡铺设; 正号表示管道反坡铺设。因此:

$$-S_f = \frac{dh}{dx} \pm S_o$$

$$\frac{dh}{dx} = S_o - S_f \quad (\text{顺坡}) \quad (2-6)$$

$$\text{或 } \frac{dh}{dx} = -S_o - S_f \quad (\text{反坡}) \quad (2-6)'$$

这就是滴灌管的基本能量公式。它说明沿滴灌管的压力分布是管道坡度和能量坡度的线性组合。可以由公式(2-6), (2-6)' 求出管道任一点的水压力。进行滴灌系统设计时, 在于恰当地控制 $\frac{dh}{dx}$, 以达到管道出流均匀。

第三节 摩擦损失

根据滴灌管基本能量公式, 其中地面坡度 S_o , 可以通过测量得出。能量坡度 S_f 为摩擦损失引起的, 可用达西—韦斯巴哈公式计算:

$$\Delta H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2-7)$$

式中：D——管道直径；
L——管道长度；
V——平均流速；
f——摩擦系数，f随水流状态不同而异。

第四节 管道水流状态

根据Moody图（图2—2），已知雷诺数 N_R 就可求出摩擦系数f。雷诺数 N_R 可分为三个区：

$N_R < 2000$	层流区
$2000 < N_R < 4000$	过渡区
$N_R > 4000$	紊流区

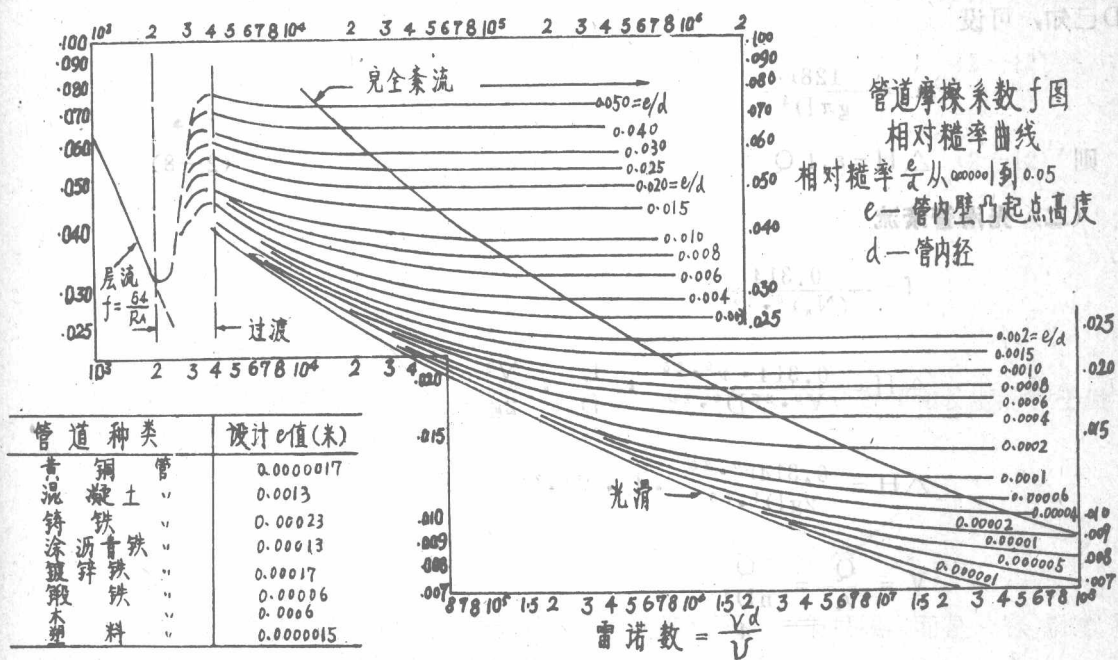


图2—2 摩擦系数和雷诺数关系曲线 N_R (Moody图)

滴灌管道是塑料管，通常认为是光滑管。由于毛管末端的流量减小到零，必定有一管段为层流。因此，在滴灌系统的设计中，只需根据图中两根曲线、层流和光滑管紊流即可。

(一) 层流：

层流时f只与 N_R 有关，与相对粗糙度无关，写出直线方程式：

$$f = \frac{64}{N_R}$$

$$\Delta H = \frac{64}{N_R} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v_2}{2g}$$

$$N_R = \frac{VD}{\nu}$$

式中, ν 为粘滞系数。

$$\Delta H = \frac{64\nu}{2g} \cdot \frac{L}{D^2} V$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad A = \frac{\pi D^2}{4}$$

式中, A 为过水断面,

$$\Delta H = \frac{128\nu}{g\pi D^4} \cdot LQ$$

若 D 已知, 可设

$$a_1 = \frac{128\nu}{g\pi D^4}$$

则 $\Delta H = a_1 LQ$

(2-8)

(二) 光滑管紊流

$$f = \frac{0.314}{(N_R)^{0.25}}$$

$$\Delta H = \frac{0.314 \cdot \nu^{0.25}}{V^{0.25} D^{0.25}} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$\Delta H = \frac{0.314\nu^{0.25}}{2gD^{1.25}} \cdot L \cdot V^{1.75}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$$\Delta H = \frac{0.314\nu^{0.25}}{2gD^{1.25}} \cdot L \cdot \frac{Q^{1.75}}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^{1.75}}$$

若式中 D 为已知, 设

$$a_2 = \frac{0.314\nu^{0.25} 4^{1.75}}{2g\pi^{1.75} D^{4.75}}$$

则 $\Delta H = a_2 LQ^{1.75}$

(2-9)

(三) 完全紊流状态

$f = \text{常数} C$

$$\Delta H = C \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{CL}{2gD} \cdot \frac{Q^2}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^2} = \frac{4^2 C}{2g\pi^2 D^5} LQ^2$$

设

$$a_3 = \frac{4^2 C}{2\pi^2 g D^5}$$

$$\Delta H = a_3 LQ^2 \quad (2-10)$$

综合上列各 ΔH 表达式, 可用一简单通用的公式代表:

$$\Delta H = aLQ^m \quad (2-11)$$

当 $m = 1$ 时, 为层流

$m = 1.75$ 时, 为光滑管紊流

$m = 2$ 时, 为完全紊流

在滴灌系统计算中, 经常用到的是威廉——哈赞公式, 对光滑管 $C = 150$, 表示如下:

$$\Delta H = 9.76 \times 10^{-4} \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} \Delta L \quad (\text{英制}) \quad (2-12)$$

$$\Delta H = 15.72 \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} \Delta L \quad (\text{公制}) \quad (2-12)'$$

式中 Q ——流量 (加仑/分或公升/秒);

D ——管径 (英寸或厘米)

L ——管长 (英尺或米)

ΔH ——总水头损失 (英尺或米)。

该公式出现于20世纪30年代, 威廉——哈赞对不同管材, 不同直径和长度的管子做了大量实验, 历时几十年。由式(2-11)

$$m = 1.852$$

第五节 滴灌管道的能量坡度线

在毛管和支管中, 流量随管长逐渐减小, 其能坡线不是一条直线, 而是一条指数型曲线。如果已知直径 D , 能量损失的微分方程式是:

$$dH = -aQ_l^m dl$$

$$\frac{dH}{dl} = -aQ_l^m$$

式中, a 和 m 是随流态而定的常数, dH 为已知长度 dl 的能量损失, Q_l 为距首端长度为 l 的流量。假设滴头出流量 q 是常数 (或变化很小), 并且滴头间距相等。由进口到给定长度的总流量可用下式表示:

$$Q = \left(N - \frac{l}{S}\right) q$$

式中 N ——整个管道滴头总数;

S ——滴头间距。

则能量损失的微分公式为

$$\frac{dh}{dl} = -aq^m \left(N - \frac{l}{S} \right)^m$$

或

$$\frac{dh}{dl} = -\frac{aq^m}{S^m} (L - l)^m$$

式中 L ——总长度, $L = NS$ 。

当长度为 l 时, 总摩擦损失 ΔH_l 可用下式表示:

$$\Delta H_l = -\frac{aq^m}{S^m} \int_0^l (L - l)^m dl$$

$$\Delta H_l = -\frac{aq^m}{S^m} \cdot \frac{(L - l)^{m+1}}{m+1} + C$$

当 $\Delta H_l = 0$; $l = 0$ 则:

$$C = -\frac{aq^m}{S^m} \cdot \frac{L^{m+1}}{m+1}$$

$$\Delta H_l = \frac{aq^m}{S^m(m+1)} \left[(L - l)^{m+1} - L^{m+1} \right]$$

当 $l = L$ 时, 即管道末端的摩擦损失:

$$\Delta H_l = -\frac{aq^m}{S^m(m+1)} L^{m+1} \quad (2-13)$$

若用无因次表示摩擦损失, 摩擦损失的比值为:

$$R_l = \frac{\Delta H_l}{\Delta H} = -\left[\frac{(L - l)^{m+1} - L^{m+1}}{L^{m+1}} \right] = -1 \left(\frac{L - l}{L} \right)^{m+1} \quad (2-14)$$

$$R_l = 1 - (1 - i)^{m+1}$$

式中 $i = \frac{l}{L}$ 。这个公式就是滴灌管路的能量坡度指数型曲线。对三种不同流态, 表示如下:

1) 层流状态:

$$R_l = 1 - (1 - i)^2$$

2) 光滑管的紊流状态:

$$R_l = 1 - (1 - i)^{2.75}$$

3) 完全紊流状态:

$$R_l = 1 - (1 - i)^3$$

图2—3中绘出三种流态的能坡线、计算机模拟与实验室实验的结果一致。如果用威廉—

哈赞公式，能坡线的公式是：

$$R_i = 1 - (1 - i)^{2.852}$$

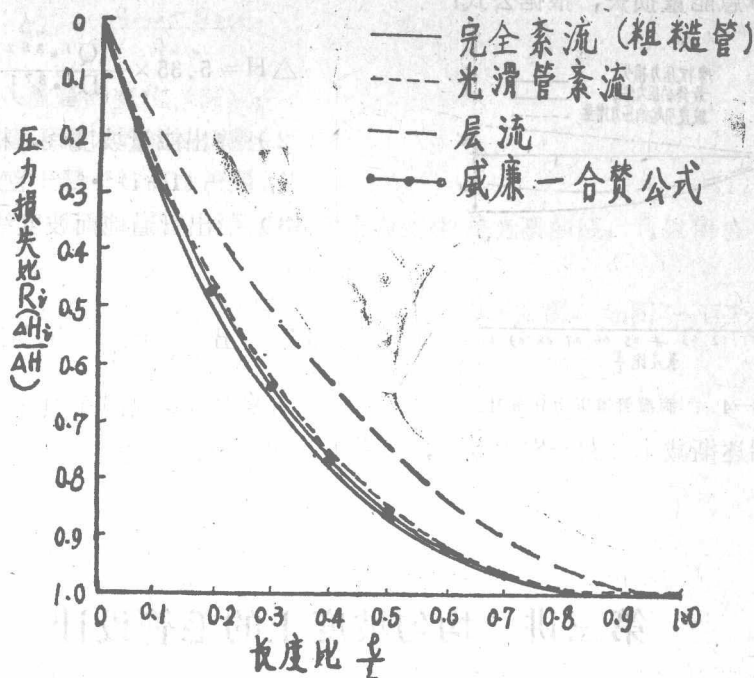


图2—3 无因次能量坡度线

无因次能坡线处于光滑管紊流和完全紊流两线的中间（如图2—3）

由公式（2—13）毛管和支管的总能量损失，采用威廉——哈赞公式； $m = 1.852$

$$\Delta H = 3.42 \times 10^{-4} \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} L \quad (\text{公制}) \quad (2-15)$$

$$\Delta H = 5.35 \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} L \quad (\text{英制}) \quad (2-15)'$$

绘制无因次能量坡度线的步骤是：

- 1) 由公式（2—15）或（2—15）' 求 ΔH ；
- 2) 对不同 i 求相应 R_i 值， $\Delta H_i = \Delta H R_i$ ；
- 3) 绘出能量坡度曲线（如图2—4）。

第六节 沿滴灌毛管的压力分布

对于滴灌管道的压力分布由式（2—6）、（2—6）'

$$\frac{dh}{dx} = \pm S_0 - S_f$$

式中 S_0 为管道坡度。“+”号表示下坡，“-”表示上坡，而 S_f 为能量损失坡度。上式所表

示的压力分布为管道坡度和能量损失的一种线性组合。

绘制毛管压力分布图的步骤如下(图2—4)：

1) 计算总能量损失，根据公式：

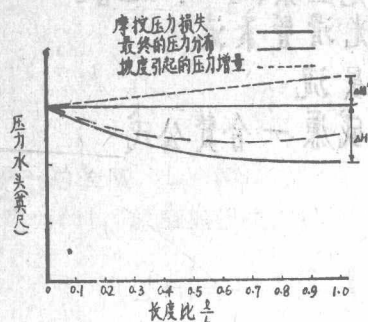


图2—4 滴灌管道压力分布图

$$\Delta H = 5.35 \times \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} \cdot L$$

2) 算出能量坡度线，根据公式：

$$R_i = 1 - (1 - i)^{2.852} \quad \Delta H_i = \Delta H R_i$$

3) 绘出管道地面坡度线(图2—4为下坡情况)

$$4) \text{ 绘出 } \frac{dh}{dx} = S_0 - S_f \text{ 曲线}$$

由图中可看出：在地面为下坡的情况下，管道压力开始逐渐减小，到一定程度后，又有上升的趋势。

第三讲 均匀坡度上的毛管设计

第一节 设计标准

在毛管设计中，考虑的主要标准是：根据已给定的滴头间距和地面坡度，来设计毛管或工作压力，以达到可以接受的滴头流量变化或均匀系数。

滴头流量变化的大小，可用均匀系数表示。

$$Cu = 1 - \frac{\Delta \bar{q}}{\bar{q}} \quad (3-1)$$

式中 Cu ——滴头流量均匀系数(%)；

$\bar{q}$ ——平均滴头的流量；

$\Delta \bar{q}$ ——各个滴头流量与平均滴头流量之差的绝对平均值。

例如 毛管上装有100个滴头；则

$$\bar{q} = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_{100}}{100}$$

$$\Delta q_1 = q_1 - \bar{q} \quad \Delta q_2 = q_2 - \bar{q} \dots$$

$$\Delta \bar{q} = \frac{|\Delta q_1| + |\Delta q_2| + \dots + |\Delta q_{100}|}{100}$$

均匀系数是对滴头流量变化大小进行定量的评价，但计算麻烦，滴灌设计上常用简单的方法，利用最大流量与最小流量相比较的方法来表示滴头流量变化：

$$q_{var} = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{max}} \quad (3-2)$$

式中 q_{var} ——滴头流量的变化(%)；

q_{max} ——毛管上最大的滴头流量；

q_{min} ——毛管上最小的滴头流量。

q_{max} 和 q_{min} 容易找出，设计简便。假定沿毛管压力变化是光滑曲线，可以用公式(3-2)表示滴头流量流化的大小。

由公式(3-1)和(3-2)计算出相应的Cu和 q_{var} 的关系图，如图3-1所示。

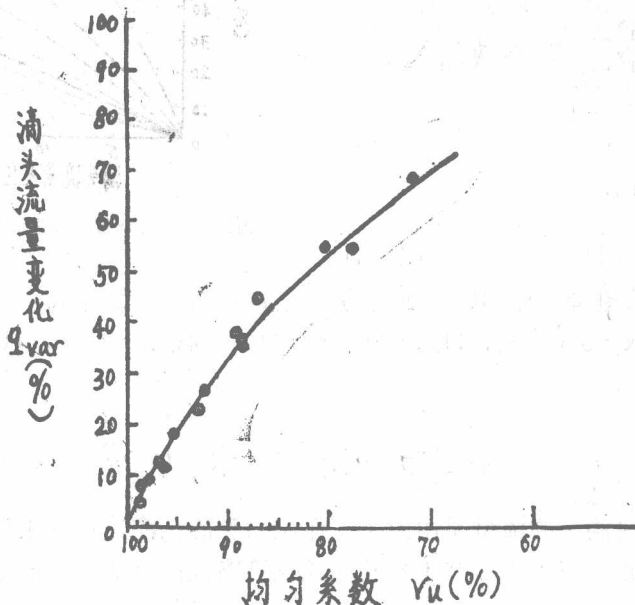


图3-1 滴头流量变化与均匀系数关系图

由图3-1可以看出，当滴头流量变化10%时，相当于均匀系数为98%；滴头流量变化20%，相当于均匀系数为95%。在滴灌设计中，通常要求均匀系数Cu不小于95%，即要求滴头流量变化不大于20%。

第二节 滴头流量与压力变化的关系

由水力学知道，沿滴灌毛管的压力变化是由于摩擦损失和坡度引起的，所以毛管沿程的滴头流量必定也发生变化。

毛管压力变化可用下式表示：

$$H_{var} = \frac{h_{max} - h_{min}}{h_{max}} = 1 - \frac{h_{min}}{h_{max}} \quad (3-3)$$

式中 H_{var} ——毛管压力变化(%)；

h_{max} ——毛管上最大压力水头；

h_{min} ——毛管上最小压力水头。

对于一般滴头，流量与压力关系式为：

$$q = ch^x \quad (3-4)$$

式中 q ——滴头流量；

c ——系数

h ——压力水头；

x ——指数。

将式(3-4)代入式(3-2)得：

$$q_{var} = 1 - \frac{Ch_{min}^x}{Ch_{max}^x} = 1 - \left(\frac{h_{min}}{h_{max}} \right)^x$$

由式(3-3)得

$$\frac{h_{min}}{h_{max}} = 1 - H_{var}$$

因此： $q_{var} = 1 - (1 - H_{var})^x \quad (3-5)$

不同 x 值的滴头流量变化和压力变化的关系曲线如图3-2所示。

对大多数滴头 $x = 0.5$ 左右， $H_{var} = 20\%$ 时，相应的 $q_{var} = 10\%$ ， $H_{var} = 10\%$ 时，相应的 $q_{var} = 5\%$ 。

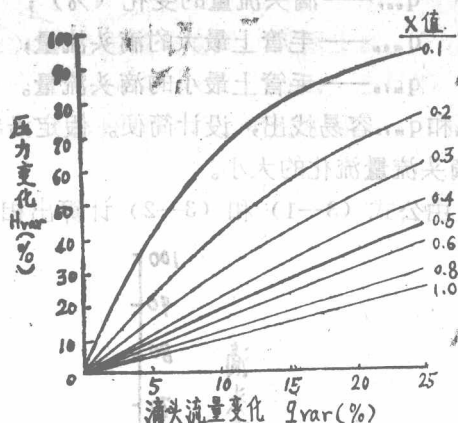


图3-2 不同 x 值的滴头流量变化与压力变化的关系

第三节 滴头水力学

一般来说，通过滴头的流量是由滴头工作压力和滴头流道尺寸来控制的。

滴头的型式大致有三大类：（1）孔口式或管嘴式；（2）长流道式；（3）压力补偿式。

（一）孔口式或管嘴式滴头

这类滴头通常具有固定的几何形状，所以它的过水截面是不变的。根据水力学原理，滴头流量和压力的关系，理论上可用下式表示。

$$q = a\sqrt{2gh} = a\sqrt{2g} h^{0.5} = Ch^{0.5} \quad (3-6)$$

所以

$$x = 0.5$$

式中 q ——滴头流量（公升/小时或加仑/小时）；

c ——系数；

a ——过水断面面积；

h ——压力水头（米或英尺）。

（二）长流道式滴头

这类滴头可看作是水在细小管内流动，如果流道面积是固定的，则滴头的过水能力可用