

灌溉技术的新进展——微灌

郑耀泉 刘婴谷

北京农业工程大学 (邮政编码100083)

提要 微灌技术的出现与应用,是灌溉技术的一个进步。它是现代各种灌溉方法中,水的利用率最高的一种灌溉技术。本文综合了微灌技术的发展和特点,微灌系统的组成,设备功能与结构;以及微灌的水力学问题,指出我国微灌技术的应用前景及有待解决的问题。

关键词 微灌;水力学问题;摩擦损失;灌水器流道结构

1 微灌技术的发展与应用

地面灌溉是最古老的灌溉技术,沿用了数千年。旱作农田中水在重力作用下,顺地面坡度流动,在流动中渗入湿润土壤,提供作物所需水分;水稻田则利用格田建立水层,满足作物生理和生态的需要。地面灌溉技术虽然已有很大的改进,但仍不能避免水的大量损失。据统计,地面灌溉水的利用率仅为40—60%。二次大战后,世界工业迅速发展,城市人口高度集中,需要提供更多的用水量和能源,同时也要求灌溉农业提供越来越多的粮食和其他农产品。因此,水资源和能源的供需矛盾日益尖锐,寻找高效节水节能灌溉技术成为灌溉技术革新发展总趋势。首先出现了喷灌,随后出现了微灌。微灌发展成一种独立的灌溉技术始于本世纪70年代初。它的高效节水和显著的技术特点受到广泛的注意,发展很快。

微灌是利用一套称为微灌系统的工程设施,将灌溉水从水源吸提、加压、过滤,通过管网输送、分配到田间,由安装在末级管道上的灌水器把水施灌于作物主要根区的部分土壤。按灌水器出流的形式,微灌分为滴灌、微喷灌和涌流灌。它的技术特点是:灌水器的出流量很小(2—250 l/h);灌水周期短,灌水次数多(例如果树一年灌水10—20次);灌溉在设备的严格控制下进行,只湿润灌溉面积上的局部土壤,水量损失小,水的利用率达90%以上;可在灌溉系统的首部注入化肥液,施肥和灌溉相结合;微灌土壤水的运移主要靠毛管力的作用,不破坏土壤团粒结构,可有效地调节土壤水、气、热和营养状况,为作物高产、优质创造条件;由于频繁灌溉保持土壤较高的含水率和较低的溶液浓度,可利用咸水灌溉,为扩大灌溉水源提供了新的途径;适应性强,对于地面灌溉难以实现的山丘坡地、沙漠土壤均可采用。

据1988年第4届国际微灌代表会议统计^[1],截至1986年全世界微灌面积达1582.5万

亩,比1981年的624万亩增加了150%。微灌作物的年总产值为41亿美元,平均亩产值259美元。美国微灌面积居世界首位,为600万亩,其次为以色列、澳大利亚、南非、意大利。中国微灌面积20万亩,居世界第8位。微灌多用于果树、蔬菜、甘蔗、苗木、药材等经济价值高的作物。在国际上微灌被称为昂贵的灌溉技术,设备亩投资500—1000美元。因此世界微灌面积仅占总灌溉面积的0.5%,只在经济发达、水资源紧张的国家中应用较多,如以色列占50%,美国占3%。

以色列水资源匮乏,平均年降水量 $1.933 \times 10^9 \text{ m}^3$,人均水资源占有量为 370 m^3 ,比中国人均占有量最少的海滦河流域 437 m^3 还少 67 m^3 ,仅为世界人均水资源量3.7%。以色列淡水资源可利用量为 $1.6 \times 10^9 \text{ m}^3$,而实际用水量为 $1.8 \times 10^9 \text{ m}^3$,需利用一部分咸水和再生水。以色列的土地资源亦很少,人均耕地面积1.3亩,其中60%的土地为贫瘠耕地。这样少的水土资源采用传统的地面灌溉,农业将是没有出路的,而微灌技术给以色列的农业带来了生机。由于采用了微灌,以色列的灌溉面积增加了60%,用水量却只增加23%,平均每亩耕地的用水量减少22.6%,每年农产品出口金额达6亿美元。

中国于1974年引进微灌技术,在北京、河北、山西等省市做适应性试验,随后向全国推广,其中山东、辽宁、陕西、甘肃发展较快。目前微灌设备已国产化,初步形成一定的生产能力;进行了微灌工程规划、设计理论的研究,降低了亩成本,目前约250—400元/亩,能适应农业投资的承受能力,对于微灌工程的施工安装、运行管理及管理体制等亦作了多方面的探索。中国人均水资源占有量仅为世界人均水量的1/4,且时空分布极不均匀,微灌技术将成为节水农业综合技术不可缺少的一部分。西北干旱、半干旱地区土地辽阔,水资源不足,微灌技术在开发利用土地资源中,将发挥巨大的作用。

2 微灌系统及其水力学问题

微灌系统可以划分成首部枢纽,输配水管网和灌水器几部分,每一部分由相应的设备组成。微灌系统水力学是微灌系统及设备的基础理论。它们的设计理论和计算方法的进步均有赖于水力学的研究。

2.1 首部枢纽 微灌系统的首部枢纽包括水泵、动力机(一般为电动机),过滤器,化肥液注入装置,以及闸阀、流量和压力监测仪表等。其功能是按灌溉计划适时适量地由水源提取灌溉水、加压、注入化肥液、过滤,并送入输配水管网。

过滤器是微灌的专用设备,也是首部枢纽最重要的部件。因为灌水器的流道和孔口很细,一般直径只有0.5—1.2 mm,必须将水中的固体污物过滤掉,以防止灌水器被堵塞,这是微灌成功与否的关键。常用的过滤器有筛网式过滤器、叠片式过滤器、砂过滤器、离心式水沙分离器等。

筛网式过滤器是采用细密的金属丝网或尼龙丝网作为过滤介质包于硬质孔眼圆筒上,将通过筛网的水中固体污物拦截在网上。筛网过滤器通过的流量与压降的关系为

$$Q_0 = CW_0 h_0^{1/\lambda} \quad (1)$$

式中 Q_0 为设计流量(m^3/h), C 为常数, W_0 为网眼净面积(m^2), h_0 为压降水头(m), λ 为流态指数。

过滤器在工作过程中网眼逐渐被堵塞,压降随之增大,当达到允许最大压降 h_{max} 时,过流量为 Q_1 ,需进行冲洗:

$$Q_1 = C W_1 h_{\max}^{1/2} \quad (2)$$

式中 Q_1 为压降达到 h_{\max} 时的流量, W_1 为未被堵塞的网眼净面积. 令

$$\alpha = 1 - (Q_1/Q_0) \quad (3)$$

$$\beta = 1 - (W_1/W_0) \quad (4)$$

则允许最大压降为

$$h_{\max} = \left(\frac{1-\alpha}{1-\beta} \right)^2 h_0 \quad (5)$$

叠片式过滤器是最近几年出现的新产品, 我国已于近期试制成功. 这种过滤器采用有纹路的塑料盘片, 重叠组装成过滤芯, 以代替滤网筒, 运行时盘片被压叠在一起, 控制过水孔眼的尺寸; 冲洗时松开盘片, 清洗污物.

离心式水沙分离器是利用旋流离心力分离水中比重大于 1 的沙粒. 由于水沙旋转加速所产生的离心作用, 比水重的颗粒下沉到集污室. 其结构和工作情况如图 1. 离心式水沙分离器常与筛网式过滤器配合使用, 安装在筛网过滤器前面, 作为初级过滤器, 以减少二级过滤器的清洗次数, 提高工作效率.

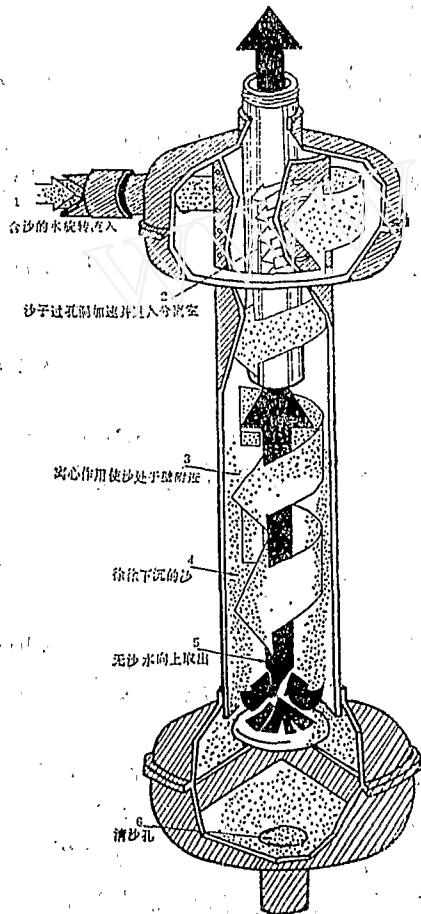


图 1 离心式水沙分离器工作情况

图 1 离心式水沙分离器工作情况
微灌系统的输配水管网一般分为干管、支管和毛管三级, 对于控制面积大的系统有的设主干管、分干管. 其中支、毛管 (有的系统还设分毛管) 为田间管网. 输配水管网的功能是把由首部枢纽进入的灌溉水输送分配到田间. 微灌系统的输配水管网是用各种规格的塑料管连接而成. 我国微灌用的塑料管采用 PE 塑料管, 有人建议干管可采用价格较低的 PVC 硬管, 但 PVC 管与 PE 半软管的连接问题有待研究解决.

砂过滤器是以砂粒为过滤介质拦截水中的污物. 砂过滤器通过的流量大, 适用于处理中、低颗粒含量的灌溉水, 对于过滤水中的有机质固体特别有效. 它的压力损失小, 约为 0.11—0.14 atm, 能自动清洗, 工作情况如图 2.

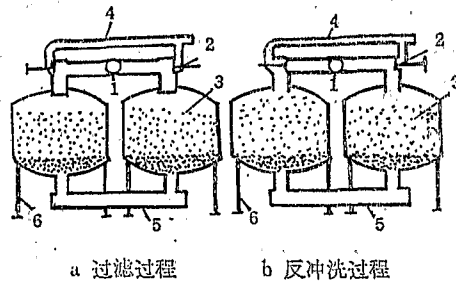


图 2 砂过滤器工作图

- 1 进水管, 2 三向阀门, 3 过滤砂体
4 排污管, 5 集水管, 6 支脚

2.2 输配水管网

微灌系统的输配水管网一般分为干管、支管和毛管三级, 对于控制面积大的系统有的设主干管、分干管. 其中支、毛管 (有的系统还设分毛管) 为田间管网. 输配水管网的功能是把由首部

微灌输配水管道水力学属有压管流问题。主要是建立输水流量与管道直径、压力水头损失、管道长度诸因素之间的关系,为工程设计提供可靠的计算公式。有压管流沿程摩擦损失的通用计算公式是 Darcy-Weisbach 公式

$$h_f = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

式中 h_f 为沿程摩擦损失, λ 为沿程摩擦系数, L 为管道长度, d 为管道内径, v 为断面平均流速, g 为重力加速度。

根据公式(6),对于某种特定管道和流量,计算沿程摩擦损失关键在于确定摩擦系数 λ ,可由实验确定。20世纪30年代 J Nikuradse 应用人工模拟不同粗糙度的管壁进行实验, C F Colebrook 采用实际工程管道进行实验,其结果均证实可以用 Reynolds 数为指标,考虑管道内壁的相对粗糙度,把流态划分为层流,光滑湍流,过渡区湍流和粗糙区湍流。Colebrook 还根据实验资料提出了一个计算摩擦系数的公式^[2]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + 0.27 \frac{\Delta}{d} \right) \quad (7)$$

式中 Re 为 Reynolds 数, Δ/d 为管道相对粗糙度, Δ 和 d 分别为当量粗糙度和管道内径。

为了简化计算,1944年 L F Moody 针对不同 Δ/d 的工程管道,将式(7)制成曲线图,称为 Moody 图^[2],供工程设计计算使用。

许多学者对塑料管道的摩擦损失进行了研究,提出了不同形式的计算公式。在国外微灌管道水力学计算多采用 Williams-Hazen 公式

$$\Delta H = \frac{15.27 Q^{1.862}}{d^{4.871}} L \quad (8)$$

式中 ΔH 为沿程摩擦损失水头(m), Q 为流量(l/s), d 为管道内径(cm), L 为管道长度(m)。10多年来我国微灌实践表明,公式(8)用于 $d < 5.0\text{cm}$ 的微灌塑料管误差较大,而采用下列 Blasius 公式^[3]具有更满意的精度:

$$\lambda = 0.316 / \text{Re}^{0.25} \quad (9)$$

或

$$\Delta H = 2.62 \times 10^{-5} (\nu^{0.25} Q^{1.75} / d^{4.75}) L \quad (10)$$

式中 ΔH 为沿程摩擦损失水头(m), ν 为水的运动粘性系数(cm^2/s), Q 为流量(l/h), d 为管道内径(cm)。

公式(9),(10)的严格条件是 $\text{Re} = 2 \times 10^3 - 10^5$ 。为了扩大计算方法的适用范围,我国微灌科技人员引入国外已有管流水力学研究成果中适用于不同 Re 值范围的塑料管道计算公式^[3]。由于这些公式均在水温 $t = 20^\circ\text{C}$ 条件下建立,笔者导出并引入了一个水温修正系数 α ^[3],对这些公式计算结果进行修正,以提高不同水温条件下的计算精度。其形式为

$$\Delta H_t = \alpha \Delta H_{20} \quad (11)$$

$$\alpha = (\nu_t / \nu_{20})^k \quad (12)$$

式中 ΔH_t 为任意水温 $t^\circ\text{C}$ 时的沿程摩擦损失水头, ΔH_{20} 为水温 20°C 时沿程摩擦损失水头, ν_t 和 ν_{20} 分别为水温 $t^\circ\text{C}$ 时和 20°C 时的水运动粘性系数, k 为相应于所采用计算公式中 Re 的指数。

张国祥等根据实验资料提出了一个适用于我国北方设计条件 ($t = 10^\circ\text{C}$) 的沿程摩擦损失计算公式^[3]

$$\Delta H = \alpha Q^m \quad (13)$$

$$m = 1.753(D/2.5)^{0.010}$$

$$\alpha = 1.006 \times 10^{-5} D^{-(0.123 \log D + 4.816)} \quad (14)$$

式中 ΔH 为沿程摩擦损失水头 (m), Q 为流量 (l/h), D 为管道内径 (cm)。

在水力学中, 局部阻力损失通常表示为

$$h_j = \xi v^2 / (2g) \quad (15)$$

式中 h_j 为局部阻力损失水头, v 为流速, g 为重力加速度。在微灌中常将 h_j 表示成流量 Q 的函数, 公式 (15) 变为

$$h_j = C Q^2 / d^4 \quad (16)$$

式中 C 为系数, d 为管道直径。

微灌管网的支、毛管沿程开出许多分水口, 是一种“多口出流”的管道。对于多口管水头损失的计算, 一般引入一个多口系数 F 进行修正。1942年 J E Christiansen 提出了多口系数的概念, 定义为多口出流管道摩擦损失与同直径、同长度非多口管道摩擦损失之比值^[4], 并导出多口系数 F 的计算公式

$$F = [1^m + 2^m + \dots + (N-1)^m + N^m] / N^{m+1} \quad (17)$$

式中 m 为流量指数, N 为孔口数。公式 (17) 是针对孔口间距相等, 出流量相等, 且进口至第 1 个孔口的距离与孔口间距相等的情况导出的。

1975年 M C Jensen 和 A M Fratim 导出了进口到第 1 个孔口距离与孔距之比 $x = 0.5$ 的等孔距、等出流量的 F 计算公式。1975年 Pair^[5] 导出了 F 的近似公式

$$F = \left[N \left(\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right) + x - 1 \right] / (N + x - 1) \quad (18)$$

多口出流管道沿程水头分布是微灌支、毛管水力计算的重要内容。Wu I-Pai 等^[6] 推导出了多孔管道的能量坡度线公式

$$R_i = 1 - (1 - i)^{m+1} \quad (19)$$

$$R_i = \Delta H_i / \Delta H \quad (20)$$

$$i = l/L \quad (21)$$

式中 R_i 为摩擦比, ΔH_i 为进口至 i 处的水头损失, ΔH 为全管长的摩擦损失, i 为相对长度, l 为进口至任一断面的长度, L 为管道全长, m 为流量指数。

公式 (19) 是假定沿程孔口无限多连续出流得出的。张国祥根据微灌支、毛管只有 10—25 个孔口的实际情况, 导出了 $x = 1$ 的等出流量多孔管摩擦比 R_i 的近似公式^[7]

$$R_i = 1 - \left(1 - \frac{i}{N + 0.48} \right)^{m+1} \quad (22)$$

式中 i 为孔号, N 为孔数。公式 (22) 在形式上与式 (19) 相似, 计算表明在孔口号大于 7 以后两式计算结果甚为相近。

2.3 田间管网 田间管网指支管及其所辖的毛管和分毛管所组成的管道系统。1 条支管所控制的灌溉面积是微灌的基本单元, 称为灌水小区。田间管网水力学计算是微灌系统水力

学的中心问题。其水力学计算的依据是设计均匀度。在微灌中沿用 Christiansen 均匀系统作为评价均匀度的指标。Christiansen 均匀系数定义为

$$C_u = 1 - (\Delta\bar{q}/\bar{q}) \quad (23)$$

式中 C_u 为均匀系数, $\Delta\bar{q}$ 为各灌水器流量与平均流量之差的平均值, \bar{q} 为灌水器平均流量。

为了将式 (23) 用于水力学计算, Wu I-Pai^[6] 统计分析了灌水器流量变差 q_v 与均匀系数 C_u 的近似关系, q_v 的定义为

$$q_v = 1 - q_{\min}/q_{\max} \quad (24)$$

式中 q_{\min} 和 q_{\max} 分别为灌水的最小流量和最大流量。为了实用方便, Wu I-Pai^[6] 又导出灌水单元内灌水器工作水头变化率 H_v 与 q_v 的关系:

$$H_v = 1 - (1 - q_v)^{1/x} \quad (25)$$

H_v 定义为灌水单元内最大灌水器工作水头和最小工作水头之差与最大灌水器工作水头之比。张国祥将 H_v 定义为灌水单元内最大灌水器工作水头和最小灌水器工作水头之差与平均灌水器工作水头之比, 并以设计灌水器工作水头作为平均灌水器工作水头, 得到下面近似公式^[3]:

$$H_v = \frac{q_v}{x} \left(1 + 0.15 \frac{1-x}{x} q_v \right) \quad (26)$$

式中 x 为流态指数。

因为灌水器工作水头的变化是支管和毛管摩阻损失及地形高程变化的结果, 对于同一 H_v , 支管的水头变化值和毛管的水头变化值可以有各种组合, 其相应的支、毛管直径和长度也有各种组合, 而每种组合的工程投资和运行费用也不相同。因此, 研究 H_v 在支、毛管两级的分配方案是一个受到关注的问题。1974 年美国 Rain Bird 喷灌公司的研究者提出了在平坦地形条件下, 允许水头变化率在支、毛管分配上的经济比例是 0.45 和 0.55^[8]。由于这种经济比例受管材规格、价格和地形的制约, 杨建康等^[9] 研究分析了适合我国条件下的经济比例, 认为在平坦地形条件下, 灌水单元内水头变化率分配给支管的经济比例与毛管的长度和条数成正比, 而与支管的长度成反比; 对于非平坦地面条件可通过计算机模拟计算确定。

为延长毛管长度, 减少支管数量, 在我国微灌系统设计中一般采用在毛管进口处安装调压器 (或调压管) 的办法, 以保证毛管进口工作水头等于设计值。这就相当于把 H_v 全部分配给毛管, 由此可以导出毛管适宜长度的计算公式^[3]。对于毛管的水力计算方法我国微灌科技人员近期进行了许多研究^[10-12], 这些方法的有效性有待实践检验。

微灌田间均匀度的估算方法是当前水力学研究的一个难题。这是因为影响均匀度的因素很多, 其中主要有水力摩阻引起的水头损失, 地形特别是不确定性的微地形, 灌水器的制造偏差, 水温的变化和灌水器的堵塞情况等。目前能够估计的是水力变差和灌水器的制造偏差造成的影响。1974 年 Rain Bird 公司提出了一个包含水力学变差和制造偏差的估算滴灌均匀度 E_u 的公式^[8]:

$$E_u = (1 - 1.27C_v/\sqrt{n})(q_{\min}/q_a) \quad (27)$$

式中 C_v 为滴头制造偏差系数, n 为一株作物安装的滴头数, q_{\min} 为最小滴头流量, q_a 为平均滴头流量。1981 年 Bralts^[13] 将水力学变差和制造偏差视作 2 个独立的事件, 根据统计学

原理提出了一个估算滴头流量总变差系数的公式

$$C_{v,q} = \sqrt{C_v^2 + C_H} \quad (28)$$

1986年 Bralts^[14] 将式(28)作了改进,使之成为

$$C_{v,q} = \sqrt{C_v^2 + \lambda^2 C_H^2} \quad (29)$$

并定义滴灌统计均匀度为

$$U_q = 100(1 - C_{v,q}) \quad (30)$$

式(28)~(30)中, $C_{v,q}$ 为总变差系数, C_v 为滴头制造偏差系数, C_H 为水力学变差系数, λ 为流态指数, U_q 为统计均匀系数。实验表明,用公式(30)计算结果与实测值相近^[15]。上列公式表明,为了保证微灌具有较高的均匀度,必须严格控制灌水器的制造精度。

2.4 灌水器 灌水器是安装在毛管或分毛管上的出流部件,是微灌系统最重要的部分。按灌水器结构和出流形式分为滴头、多孔滴灌带、微喷头和涌水器。其作用是使压力水流造成水头损失,消除多余的能量,形成很小的出流。通常滴头的流量只有1.5~12l/h,微喷头的流量为40~250l/h。按消能的作用原理又可将灌水器分为长流道型和孔口型两种。前者主要是水流在细长的流道内流动的过程中产生摩擦损失消能;后者则主要靠水流通过细小孔口产生的局部阻力损失消能。一般以下式表示灌水器流量 q 与工作水头 H 的关系:

$$q = KH^\lambda \quad (31)$$

式中 K 为系数, λ 为流态指数。

最简单的滴灌灌水器是在末级管道(毛管或分毛管)壁上钻出小孔(直径小于0.5mm),水通过小孔以滴水状或射流状直接施于作物植株附近的土壤。它的出流量大小和均匀度不容易控制,故改为在末级管道上插入1根直径0.7~1.0mm的塑料微管,成为长流道滴头的最初形式,出流量得到较好控制,滴灌均匀度也得到改善。但是微管的长度很大,流道很细,易被水中的固体污物堵塞,出流量受温度变化的影响大,田间管理不方便。70年代以来,许多国家对滴灌灌水器的结构进行了研究和改进。改进的方向主要是出流稳定,均匀,防堵塞能力强,使用方便。

公式(31)中,根据水力学原理可得到系数 K 与灌水器流道或孔口断面面积 A 和长度 L 的关系,长流道型为 $K = f(A, 1/L)$; 孔口型为 $K = f(A)$ 。由于1个滴灌系统在田间安装了成千上万个灌水器,而每个灌水器的工作压力水头 H 不可避免地存在差别,灌溉则希望 H 变化时 q 的变化小,甚至保持不变。这就必须有1个小的 λ 值并改变 A 或改变 A 和 L 来实现。另一方面,从增强灌水器的抗堵能力考虑,希望有较大的流道或孔口断面,但流道和孔口断面的增大又与要求小的流量形成矛盾。于是,世界各国对灌水器流道和孔口的结构进行了革新,大致可分为两类。

第1类为固定流道或孔口的断面。对于长流道滴头主要是以“迷宫”型流道代替“光滑”流道,以加强水流湍动,如图3。美国 Aglifin 公司制造的一种管间式滴头就是迷宫型长流



图3 迷宫型长流道

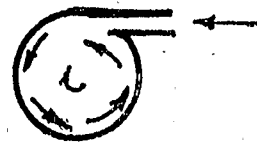


图4 涡流消能室示意图

道滴头的代表，它具有较大的流道断面，流道长度也较短。对于孔口滴头则采用带消能室的结构代替简单的孔口结构，并在消能室内采取增加湍动措施。例如带旋涡室的滴头就是其中的一种(图4)。压力水由切线方向进入旋涡室形成旋流，中心压力低于进口压力，当进口压力增大时，旋流速度随之加大，中心与进口压差也加大，从而保持滴头出口有比较稳定的压力。更为普遍的是消能室做成“迷宫”型。这类滴头的流态指数 $\lambda \approx 0.5$ ，且抗堵塞性能较好。

第2类为流道和孔口可变的断面，又称为压力补偿型。它是在滴头的流道或孔口装1个弹性膜片，当进入滴头的灌溉水压力增大时，弹性膜片贴紧流道或孔口，使过水断面减小，

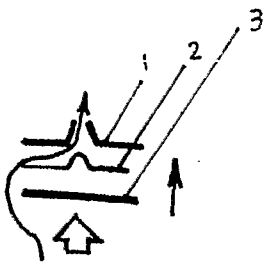


图5 可变孔口断面示意图
1 槽盖，2 膜片，3 垫片

以保持恒定的出流量，这种滴头的流态指数 $\lambda \approx 0$ 。图5为可变孔口断面示意图。以色列 Netafim 公司制造的压力补偿内藏式滴灌带是当今世界上最先进的滴灌灌水器。压力补偿型滴头还具有较好的抗堵性能和自动清洗功能。

我国微灌灌水器的制造在较长的时间内处于落后局面。1986年以前只制造“光滑”流道的管间式滴头和微管滴头以及简单孔口式滴头。前两种为光滑长流道型。以后制造了1种折射式微喷头和仿造了几种旋转式微喷头，由于工艺落后，原材料配方不理想，旋转式微喷头的正常工作小时数少，不能满足使用要求。1990年水利部农田灌溉研究所研究了1种孔口型压力补偿滴头，随后一些单位研究了其他形式的微喷头和滴灌带，使我国微灌灌水器的制造取得了可喜的进步。但总的说距离国际先进水平还相当大。目前一些单位正引进国外先进的制造技术，可望使我国灌水器的制造水平，在不太长的时间内取得长足的进步。

3 我国微灌技术发展有待解决的问题

微灌技术是一种先进的灌溉技术，是我国节水农业不可缺少的技术之一。为了使微灌技术的应用提高水平，取得更高的经济效益和社会效益，以下几方面有待于进一步解决。

①增加农民对微灌技术的了解，提高他们采用微灌技术的兴趣。中国农村长期处于较为落后的生产方式，受传统观念的束缚，习惯于地面灌溉（重力灌溉），对于以毛管力为土壤水移动的主要动力的微灌技术常常难于接受，对节省灌溉用水不大关心。因此，必须把采用微灌技术当作农业技术革新的一项内容，以微灌技术所取得的经济效益和使用者的增收吸引农民，引导他们采用这种先进的灌水技术。

②加强微灌系统水力学的研究，提高微灌设备的制造水平。微灌设备的技术性能取决于结构，而结构设计则以水力学理论为基础。目前我国制造的微灌设备主要是模仿国外的结构，由于缺乏对其水力学机理的研究，存在很大盲目性。水力学研究是改善设备性能和创造新型结构的不可缺少的工作。

③开展灌水器堵塞机理的研究，研究高抗堵性流道的结构。灌水器易被堵塞是微灌技术的一个难题，也是微灌的一个关键性问题。世界各国对此进行了许多研究，我国尚处于空白。开展对灌水器堵塞机理的研究也是改变我国灌水器流道结构落后的重要措施。

④提高微灌设备的制造水平。高质量的微灌设备是微灌取得明显经济效益的物质基础。目前我国微灌设备的制造水平明显落后于国际水平，特别是灌水器尤为突出，应从塑料配方

和制造精度两方面采取措施, 包括引进国外先进技术, 使我国微灌设备制造水平得到较大提高。

参 考 文 献

- 1 薛克宗, 刘婴谷. 国外微灌技术的应用与其在我国的发展前景. 北京农业工程大学学报, 10, 4 (1990): 101—103
- 2 黄文德 (主编). 水力学 (上册). 人民教育出版社, 北京 (1980): 171—180
- 3 傅琳, 董文楚, 郑耀泉. 微灌工程技术指南. 水利电力出版社, 北京 (1988): 133—135
- 4 丑树东. 灌溉支管的修正多口系数. 喷灌技术, 2 (1981): 49—51
- 5 佩尔 C H (主编). 喷灌 (姚汉源等译). 水利出版社, 北京 (1980): 150—152
- 6 Wu I-Pai, Howell T A, Hiler E A. Hydraulic design of drip irrigation system. Hawaii Agricultural Experiment Station, University of Hawaii, Western Regional Research Project W-128, 105 (1979): 7—15
- 7 张国祥. 等距、等量多孔管的磨损比计算. 喷灌技术, 4 (1983): 52—56
- 8 凯勒 J, 喀麦利 D. 滴灌设计 (罗远培译). 水利出版社, 北京 (1980): 63—64
- 9 杨建康, 陈学敏. 微灌系统田间管网允许压力差的最优分配法. 水利学报, 7 (1990): 31—36
- 10 张国祥. 微灌毛管水力设计经验系数法——微灌水力设计计算方法探讨之三. 喷灌技术, 1 (1991): 4—8
- 11 ——. 微灌毛管水力计算曲线图及其应用 (均匀管坡) ——微灌水力计算方法探讨之四. 同上, 2 (1991): 17—27
- 12 ——. 微灌毛管设计的中孔水头比法 (均匀管坡) ——微灌水力计算方法探讨之五. 同上, 3 (1991): 8—15
- 13 Bralts V F, Wu I-Pai, Gitlin H M. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. *ASAE*, 24, 1 (1981): 113—119
- 14 —, Edwards D M. Field evaluation of drip irrigation submain units. *ibid*, 29, 6 (1986): 1659—1664
- 15 郑耀泉, 宁耀克. 滴头制造偏差的模拟及滴灌系统随机设计方法的研究. 水利学报, 7 (1991): 1—6

THE ADVANCE OF IRRIGATION TECHNIQUES ——MICRO-IRRIGATION

Zheng Yao-quan Liu Ying-gu
Beijing Agricultural Engineering University

Abstract The appearance and the application of micro-irrigation signal a great advance of irrigation techniques. It is one of the best irrigation techniques of water-utilization efficiency in all modern irrigation methods. This paper describes the development and features of irrigation techniques, the form and the equipment function and the form of micro-irrigation system, and the hydraulics problems. The main problems and the application prospect in Chinese micro-irrigation techniques are presented.

Keywords *micro-irrigation; hydraulics problems; friction loss; structure of flow path*