

WEIGUAN JISHU
TANSUO YU YINGYONG

微灌技术

探索与应用

仵 峰 主编



黄河水利出版社

微灌技术探索与应用

仵 峰 主编

黄河水利出版社
· 郑州 ·

内 容 提 要

本书为水利部、中国农业科学院农田灌溉研究所建所 50 年来灌水技术研究室在微灌方面所做研究工作的论文精选。根据论文内容,归纳为六篇。第一篇为微灌灌水器水力性能试验研究;第二篇为微灌关键设备的研制;第三篇为地下滴灌方面的探索;第四篇涉及微灌工程设计;第五篇总结了微灌工程的运行、管理和经验;第六篇为有关微灌发展的看法、意见及展望。

本书可供科研单位、管理部门和教学单位从事与微灌相关工作的人员和师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

微灌技术探索与应用/仵峰主编. —郑州:黄河水利出版社,2008. 12

ISBN 978 - 7 - 80734 - 540 - 4

I. 微… II. 仵… III. 农田灌溉 IV. S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 183535 号

组稿编辑:马广州 电话:0371 - 66023343 E-mail: magz@ yahoo. cn

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940

传真:0371 - 66022620

E-mail: hhslebs@ 126. com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:19. 5

字数:445 千字

印数:1—1 000

版次:2008 年 12 月第 1 版

印次:2008 年 12 月第 1 次印刷

定价:73. 00 元

《微灌技术探索与应用》

编辑委员会

主任委员:傅琳

副主任委员:彭贵芳 张祖新

委员:(按姓氏笔画为序)

王万欣 仵峰 朱温如 李英能 吴高巍

郑仁塘 宰松梅 龚时宏 黄修桥 翟国亮

主编:仵峰

副主编:翟国亮 宰松梅

参编:范永申 冯俊杰 熊明洁 邓忠 刘杨

段福义 颜廷熠 韩启彪 贾艳辉 许海涛

赵红书

前言

微灌是一种高效的节水灌溉技术,受到了国内外的广泛关注。水利部、中国农业科学院农田灌溉研究所是我国国内唯一一所专门从事灌溉排水研究的专业性研究机构,也是国内最早开始微灌技术研究的单位之一。建所以来,灌水技术的研究一直是其重点研究方向之一,灌水技术研究室承担了包括喷灌、微灌、地面灌等各类灌水技术在内的应用基础理论研究、设备研制、技术体系集成及区域节水农业发展战略等相关研究任务。50年来,灌水技术研究室的全体工作人员不负众望,以吃苦耐劳的精神和踏实认真的作风激励着一代又一代的研究人员在微灌研究方面进行了不懈的探索和实践,先后研制出了折射微喷头、孔口滴头、流量调节器等微灌系统的关键设备,开展了木耳、茶叶、柑橘和胡椒等多种经济作物和蔬菜的田间试验,建成了国内第一个千亩大田滴灌示范工程,取得了丰富的研究资料 and 多项科研成果,获得了国家科学技术委员会、国家农业委员会、水利部、农业部、河南省和中国农业科学院等上级单位的多次嘉奖。与此同时,灌水技术研究室培育了多位国内知名的行业专家,主编了我国第一部系统介绍微灌知识的专著——《微灌工程技术指南》,起草了国内微灌领域的第一部行业标准——《微灌工程技术规范》(SL 103—95),发起并组织了我国第一个微灌学术交流平台——微灌情报网,凝聚了一批国内微灌行业的专家和精英……为我国的微灌事业做出了应有的贡献。

在长期的微灌技术探索 and 实践中,灌水技术研究室积累了大量珍贵的研究材料,以专著、论文、研究报告等形式与国内外同行进行交流,推动了我国微灌事业的发展。据不完全统计,截至目前,灌水技术研究室在各类刊物 and 学术会议上公开发表与微灌相关的论文达 120 余篇,从机理研究到生产实践、从设备研制到系统构建等方面,均进行了有益的尝试,成为我国微灌研究发展历程的缩影。为了系统地总结这些工作,适逢农田灌溉研究所成立 50 周年之际,对以往的论文、报告进行了归类 and 整理,一则对过去的工作进行总结,承前启后,继往开来,把微灌研究更深入地进行下去。二是希望能以史为鉴,指引今后的研究方向,同时也可作为一个系统性的资料,为后续的研究打下基础。

根据论文内容,对微灌技术的研究大体上归纳为六个部分。第一部分试验研究,主要包括国内几种常用微灌灌水器的水力性能试验。第二部分设备研制,是以灌水器研制为主的微灌关键设备的研制,涵盖了微喷头、孔口滴头、补偿式滴头、迷宫式滴头等。第三部分地下滴灌,较为系统地对地下滴灌技术进行了探索,包括室内外试验、数值模拟、田间考核、专用设备研制等。第四部分工程设计,针对微灌工程设计的特点进行了研究,内容涉及毛管适宜长度、管道(网)计算、均匀度分析、过滤设施及计算机辅助设计(CAD)等。第五部分示范应用,结合微灌工程示范点的建设,总结了微灌工程运行、管理的经验,并对不同应用条件下的效益进行了分析。第六部分发展研究,根据对微灌工作的体会,提出了对微灌发展的看法、意见及展望等。

在我们研究微灌的过程中,受到了党和国家的高度重视,研究工作得到了国家有关部门、地方各级政府和兄弟单位的大力支持,在此深表感谢。农田灌溉研究所灌水技术研究室先后有 50 余名科技人员参与了微灌技术的研究工作,除了参加本书编写的人员外,主要还有刘云发、杨素哲、黄慧珠、尹逢生、路银龙、梁红岩、吴惠心、楼豫红、韩相凤、王力刚、岳荣贵、张晓波、闫玉民、许贵全、齐凯新、马福才、吕谋超、郭志新、高胜国、李金山、杨跃辉、李辉、张丽、祖正学、王晖、向华安、辛小桂、牛军宜、张天举、丛佩娟等。上述成绩的取得,是他们用自己宝贵的青春年华换来的,他们为了我国微灌事业的发展做出的贡献令我们感到自豪,也将成为我们今后工作的动力。

受篇幅所限,在此仅挑选收录了 60 篇。在整理和编辑过程中,尽可能忠实于原文,仅对原文中的符号、格式等进行了统一,个别文字进行了修订,并由作者进行审定。此外,为了推进国际单位的实施,同时尊重原作者的单位使用习惯,以附录的形式给出了文中涉及的主要物理量的不同单位间换算,以便新老读者查阅。

由于编者水平有限,书中欠妥或谬误之处,敬请读者批评指正。

编 者
2008 年 6 月

目 录

前 言

第一篇 试验研究

国内几种常用滴头的流量均匀度测定	(1)
系列孔口滴头流量系数的测试	(5)
滴灌时的土壤浸润状况	(9)
低压微型塑料雾化喷头水力特性的初步探讨	(17)
发丝滴头出流规律试验研究	(25)
低压条件下灌水器水力性能试验研究	(29)
淹没出流条件下滴灌灌水器水力性能试验研究	(34)
新型微压滴灌灌水器水力性能试验研究	(37)
复合流道薄壁滴灌带的特性分析	(40)
三级流道结构滴灌带的水力性能试验	(43)
补偿式灌水器制造偏差分析及补偿区间的确定	(48)
微灌用石英砂滤料的过滤与反冲洗试验	(52)

第二篇 设备研制

补偿式稳流器的研究及应用	(58)
全补偿微灌系统灌水均匀度参数之间的关系分析	(61)
KD 型大流量系列孔口滴头的研制	(67)
补偿式滴头的研制	(70)
微压滴灌灌水器的研制	(75)
旋转式微喷头的研制和性能测试	(77)
齿形迷宫流道滴头消能过程的试验研究	(83)
平面迷宫式滴头的研制	(86)
微灌用砂石过滤器反冲洗参数试验	(90)

第三篇 地下滴灌

国内外地下滴灌研究及应用现状	(97)
地下和地表滴灌土壤水分运动的室内试验研究	(101)
地下滴灌条件下土壤水分运动模型	(104)
地下滴灌灌水器出口正压试验研究	(109)
地下滴灌灌水器水力性能试验研究	(113)

地下滴灌灌水器堵塞研究	(118)
地下滴灌条件下灌水器出口土壤水能态研究	(123)
地下滴灌条件下棉花土壤水分运移田间试验研究	(128)
渗灌管自由渗流试验分析	(131)
可移动地下滴灌装置的研制开发	(135)

第四篇 工程设计

河南省偃师县千亩滴灌试点滴灌系统的规划设计及安装	(140)
滴灌毛管适宜长度试验总结	(149)
均一下坡压力图形为 II—C 情况的毛管计算	(158)
不同坡度下压力对滴灌毛管均匀度的影响试验	(162)
Temperature Effects on Drip Line Hydraulics	(166)
Pressure Effects on Hydraulics Uniformity in Lateral Line	(173)
滴灌双壁管的设计计算	(178)
微灌变径支管优化设计方法研究	(184)
微灌系统的堵塞及防治措施	(188)
微灌过滤器用水压驱动反冲洗阀启闭机构的力学计算	(192)
滴灌工程 CAD 系统研究	(196)

第五篇 示范应用

河南省滴灌试验的开展情况及存在的问题	(201)
偃师县关窑大队移动式滴灌抗旱总结	(203)
千亩滴灌试点经济效益初析	(209)
1976 年辉县小麦滴灌试验初步总结	(214)
1978 年偃师县小麦滴灌试验总结	(216)
缺水条件下小麦滴灌关键水的模式及其增产效益	(225)
干旱岗丘地区大田作物滴灌适宜灌水时期的确定	(236)
提蓄滴灌溉系统的管理及运用	(244)
雾灌在黑木耳培育中的应用	(248)
关于柑橘雾灌工程经济效益及管理情况的调查	(255)

第六篇 发展研究

我国微灌发展中值得关注的问题	(258)
Fertigation in China	(261)
发展滴灌是坡地旱区实现水利化的有效途径	(266)
开发浅水 实施微灌 促进庭院经济的发展	(273)
我国大田作物滴灌现状及发展前景	(277)
地下滴灌技术的研究进展	(285)

滴头流道内部水流流动机理研究的进展与问题	(290)
灌溉的趋势——微续灌	(295)
附 录	(299)

第一篇 试验研究

国内几种常用滴头的流量均匀度测定

滴灌是一种增产、省水的先进灌水技术,它要求整个滴灌系统能适时、适量、均匀地供给作物水分,确保主要根系层土壤经常保持适宜的湿度。使水、肥、气、热、微生物活动始终处于良好的状况,为作物增产创造最有利的条件。有些滴灌发展较快的国家,在设计中要求滴灌均匀度(即在1条支管控制范围内,毛管上各滴头滴水量的均匀度)不低于90%。目前,我国在实际工作使用中很难达到这样高的水平。例如,我们在偃师千亩滴灌试点移动式滴灌区测得的滴灌均匀度仅为50%左右,可见我们的水平与其差距还很大,需要做更多的努力才能提高滴灌的灌水质量。

影响滴灌均匀度的因素很多,一般可归纳为3个方面:①设计不合理造成滴灌区内压力不均匀;②管理不善;③滴头质量差,其中尤以滴头的均匀度影响最大。由于孔口滴头本身的均匀度只有54.4%,所以造成移动式滴灌均匀度仅为50%左右(在田间用的是未进行均匀度挑选的滴头)。由此可见,滴头是滴灌系统的关键部件,它的质量好坏直接关系到整个滴灌系统的灌水质量。

为了提高滴灌系统中的滴灌均匀度,保证滴灌质量,摸清我国现有使用的几种滴头的性能,我们对国产9种常用的滴头进行了性能测定,现将测定结果简介如下,供有关部门参考。

1 测试装置

滴头测试装置:1个自制的压力箱,1个接水滑车和1张试验台。

(1)压力水箱:用厚度为3 mm的钢板制成高80 cm,直径60 cm的压力水箱。水箱上设有进水口、出水口、调压阀门、排气阀门。其作用是将自来水通过进水口不断地供给水箱用水,再利用调压阀门使压力控制在测试毛管所需要的压力上,以便进行不同压力下的滴头性能测定。

(2)测试毛管:根据不同滴头,按上所需的毛管3 m,每隔25 cm装1个滴头,共装10个滴头,测试毛管的首部和尾部各装1个标准压力表,测试时要求首部和尾部的压力差不得超过 0.05 kg/cm^2 。

(3)接水滑车:采用1个长3 m,宽0.2 m的木制小滑车,在车上对应测试滴头的位置放置10个小量杯。它的作用是使10个量杯能在同一时间接住和取出10个滴头在一定时间内所滴的水量。

(4) 试验台:混凝土板制成有排水系统的工作台。

2 测试方法及步骤

对每种滴头各随机选出 100 个,分 10 组进行测定,每组分别测定在 0.2、0.5、1.0、1.5、2.0 kg/cm² 5 种压力下的滴头滴水量,重复 1 次取其平均值,然后将所得资料用数理统计的方法加以整理、计算,最后求得各种滴头在不同压力下的平均流量和均匀度。其方法及步骤如下:

- (1) 打开自来水管开关,把水放入压力箱内,并排去箱内空气。
- (2) 通过调压阀调整箱内压力,使毛管上的压力稳定在需要施测的压力上。
- (3) 用秒表开始计时并同时接水滑车(连同量杯)推至相应的滴头下面接住每个滴头滴下的水量,当达到施测的时间时,按下秒表并拉出滑车。
- (4) 量出每个滴头的滴水量,做好滴头的表现情况的记录,并重复 1 次。
- (5) 按以上方法及步骤,做其他压力下的滴头测定。

3 试验结果及分析

将 9 种滴头的测定结果按数理统计的方法进行了整理、计算。

由下列公式计算出各种滴头在不同压力下的平均流量 Q_n 、标准离差 S 、离差系数 C_v 和均匀度 P 的值。测定的结果见表 1。

表 1 各种滴头在不同压力下的各种性能测定结果

滴头名称	不同压力下的性能测定结果															单位质量 (g/个)	单价 (元/个)
	$P=0.2$ (kg/cm ²)			$P=0.5$ (kg/cm ²)			$P=1.0$ (kg/cm ²)			$P=1.5$ (kg/cm ²)			$P=2.0$ (kg/cm ²)				
	平均流量 (L/h)	离差系数	均匀度 (%)	平均流量 (L/h)	离差系数	均匀度 (%)	平均流量 (L/h)	离差系数	均匀度 (%)	平均流量 (L/h)	离差系数	均匀度 (%)	平均流量 (L/h)	离差系数	均匀度 (%)		
沈阳大东塑料厂管状滴头 3 L/h	0.7950	0.093	90.7	1.71	0.082	91.8	2.87	0.08	92.0	3.85	0.090	90.9	4.90	0.092	90.85	0.40	0.12
沈阳大东塑料厂管状滴头 2 L/h	0.66	0.18	82.0	1.32	0.18	82.0	2.20	0.16	84.0	2.97	0.15	85.0	3.61	0.162	83.85	0.10	0.08
沈阳大东塑料厂分水式滴头	1.11 (6.67)	0.269	73.1	1.79 (10.7)	0.282	71.8	2.59 (15.55)	0.277	72.3	3.07 (18.47)	0.288	71.2	3.46 (21.74)	0.248	75.21	0.05	0.10
沈阳大东塑料厂螺纹式滴头	0.70	0.444	55.6	1.40	0.40	60	2.27	0.391	60.9	2.99	0.382	61.6	3.68	0.384	61.62	0.20	0.06
沈阳大东塑料厂孔口滴头	3.10	0.571	42.9	4.85	0.456	54.4	6.73	0.387	61.3	8.35	0.348	65.2	9.55	0.326	67.40	0.16	0.02

续表 1

滴头名称	不同压力下的性能测定结果															单位质量 (g/个)	单价 (元/个)
	P=0.2 (kg/cm ²)			P=0.5 (kg/cm ²)			P=1.0 (kg/cm ²)			P=1.5 (kg/cm ²)			P=2.0 (kg/cm ²)				
	平均 流量 (L/h)	离差 系数	均匀 度 (%)	平均 流量 (L/h)	离差 系数	均匀 度 (%)	平均 流量 (L/h)	离差 系数	均匀 度 (%)	平均 流量 (L/h)	离差 系数	均匀 度 (%)	平均 流量 (L/h)	离差 系数	均匀 度 (%)		
太原红旗塑料厂孔口滴头	2.18	0.381	61.9	3.54	0.393	60.7	5.19	0.376	62.4	6.47	0.369	63.1	7.64	0.39	63.10	180.02	
河北煎茶铺微型滴头	3.62	0.42	58.0	5.96	0.378	62.2	8.0	0.301	69.9	9.90	0.267	73.3	11.6	0.252	74.80	750.05	
沈阳大东塑料厂微型滴头	1.02	0.343	65.7	1.92	0.36	64.0	3.03	0.278	72.2	3.88	0.261	73.9	4.75	0.282	71.84	1270.05	
辽宁盖县微型滴头	0.51	0.657	34.7	0.95	0.526	47.4	1.43	0.517	48.3	1.80	0.439	56.1	2.19	0.485	51.50	900.05	

注:括号中数字为滴头的试验工作压力,单位为 mH_2O 。

3.1 平均流量

平均流量按下式计算:

$$\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n}{n} \quad (1)$$

式中: $Q_1, Q_2, \cdots, Q_n$ 为每个滴头的流量值; n 为测定的滴头数。

3.2 标准离差

标准离差按下式计算:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (2)$$

式中: $\bar{Q}$ 为平均流量; Q_i 为每个滴头的流量。

3.3 离差系数

离差系数 $C_v = S/\bar{Q}$, 也称不均匀率。

均匀度 $P = 1 - C_v$, 也称均匀系数。

从表 1 中可以看出:

(1) 沈阳大东塑料厂生产的管状滴头(3.2 L/h)性能较好, 不仅均匀度高而且比较稳定(见图 1), 当 $P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 时, 均匀度分别为 92% 和 84%, 前一种已经达到要求, 后一种稍加改进即可达到要求。流量也基本符合设计要求, 实测 $P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 时, 平均流量分别为 2.87 L/h 和 2.20 L/h(见图 2)。

这两种滴头的缺点是目下造价较高, 且搬动过程中容易与毛管脱节, 不适于移动式滴灌。

(2) 沈阳大东塑料厂生产的分水式滴头, 均匀度虽然平均只有 72.72%, 稍嫌低了一点, 但它的平均流量在不同压力下变化幅度较小, 均匀度也较稳定(见图 3、图 4), 而且它结构简单、体积小、成本低, 适合于果树滴灌。它的缺点是分水管过水断面小, 容易堵塞。此外, 由于 6 根分水管每次移动都要重新安放, 费时、费工, 不适于移动式滴灌。

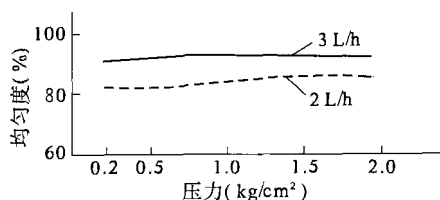


图1 管状滴头在不同压力下的均匀度

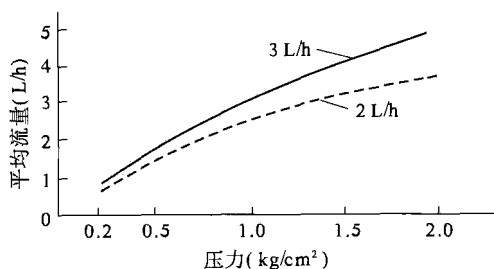


图2 管状滴头压力—平均流量关系曲线

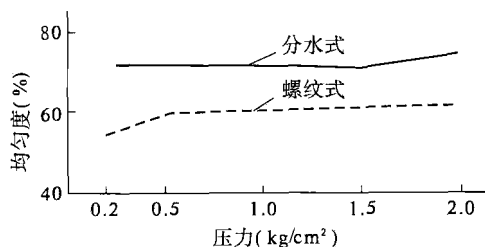


图3 分水式、螺纹式滴头在不同压力下的均匀度

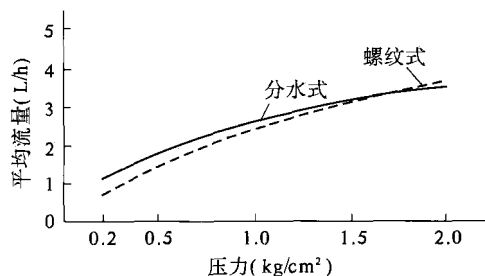


图4 分水式、螺纹式滴头压力—平均流量关系曲线

(3) 沈阳大东塑料厂生产的螺纹式滴头,在不同压力下平均流量较好,但均匀度较低,仅为 60.9% ($P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 时),而且滴头毛管结合过紧,不易安装和拆开,易堵塞,需做较大的改进方可推广(见图 3、图 4)。

(4) 沈阳大东塑料厂和太原红旗塑料厂生产的孔口滴头,具有结构简单、过水断面大、不易堵塞、体积小、用料省、成本低,与毛管连接牢靠等优点,适用于移动式滴灌,是一种有发展前途的滴头。但目前这两种滴头还不够理想,其均匀度都不高,只有 60% 左右,沈阳大东塑料厂的孔口滴头的均匀度在 $P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 以下变幅较大,平均流量随着压力的升高而增大,其变化幅度较大。当压力 $P > 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 时,平均流量偏大,滴头出流呈喷射状态,不易控制点滴,往往形成地面径流,影响滴灌质量,需继续改进(见图 5、图 6)。

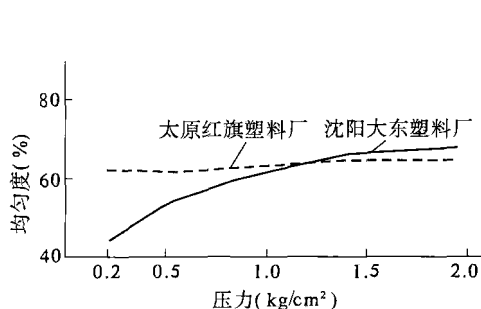


图5 孔口滴头在不同压力下的均匀度

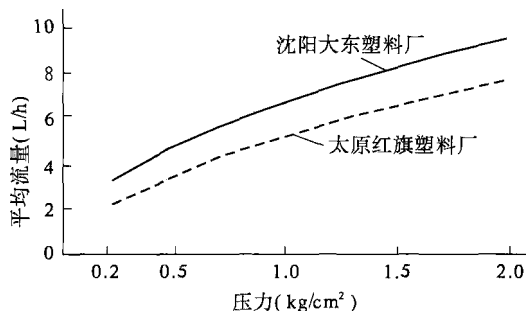


图6 孔口滴头压力—平均流量关系曲线

(5) 河北坝县煎茶铺、沈阳大东塑料厂、辽宁盖县生产的 3 种微型滴头的均匀度都较低,沈阳大东塑料厂和河北坝县煎茶铺的微型滴头稍好些,在 $P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 时,均匀度分别为 72.2% 和 69.9%,而辽宁盖县生产的微型滴头均匀度只有 48.3%,需要在设计和

工艺上加以改进。从各种压力下的平均流量看,河北坝县煎茶铺的滴头流量偏高,当 $P = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ 时, $\bar{Q} = 11.6 \text{ L/h}$; $P = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ 时, $\bar{Q}$ 也高达 3.62 L/h , 变化幅度太大, 只能在低压下使用。沈阳大东塑料厂产的微型滴头平均流量较好, 当 $P = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ 时, $\bar{Q} = 4.75 \text{ L/h}$; $P = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ 时, $\bar{Q} = 1.02 \text{ L/h}$, 变幅小。而辽宁盖县的微型滴头最高平均流量偏低, 当 $P = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ 时, $\bar{Q} = 2.19 \text{ L/h}$; $P = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ 时, $\bar{Q} = 0.51 \text{ L/h}$, 流量偏低, 在高压使用较好。

这 3 种微型滴头具有结构简单、体积小、用料省、成本低等优点, 但在其使用中易堵塞、易脱落、均匀度差, 需做较大的改进 (见图 7、图 8)。

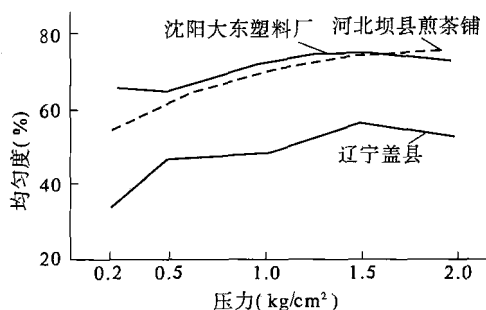


图 7 微型滴头在不同压力下的均匀度

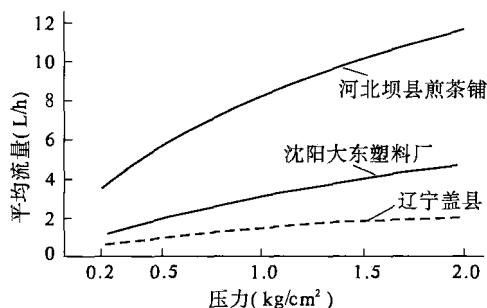


图 8 微型滴头压力—平均流量关系曲线

4 几点建议

(1) 为了使我国的滴灌设备迅速赶上和超过国外的先进水平, 应适当派出有关人员到国外考察, 并引进一些先进的设备, 特别是各种类型的先进滴头, 以便从中利用、改造、创新, 研制出适合我国使用情况的好滴头来。

(2) 为了解决现有滴头易于堵塞的问题, 应组织力量研制一批脉冲式滴头和喷雾式滴头。这两种滴头过水断面大、流速高、不易堵塞。

(3) 以现有管状滴头、分水式滴头为基础, 组织力量对其进一步改进, 生产出高质量的适用于固定式滴灌系统的一系列滴头; 在现有孔口滴头的基础上, 对其进一步改进, 生产出一批结构简单、质量好、成本低的小滴头。

(4) 由水利部组织有关科研、生产、使用部门组成滴灌设备攻关协作小组, 负责滴灌设备的研制工作。

(吴高巍. 原载于《喷灌技术》1981 年第 3 期)

系列孔口滴头流量系数的测试

为给孔口型滴头的研制工作提供理论依据, 对 KD 型系列孔口滴头的流量系数进行了测试, 测试的方法及其结果如下。

1 试验设备

(1)供水调压设备:自来水,首部设置不锈钢调压罐,测试用水经过 160 目网式过滤器过滤。

(2)压力测量设备:0.3 级标准压力表,测量范围 0~40 mH₂O。

(3)流量测量设备:手工测量,测量所用设备有接水缸、量杯和秒表等。

(4)滴头进、出口直径测量设备:100 倍显微镜,测量精度相当于 0.01 mm。

(5)水温测量设备:7151-1 型半导体温度计,误差 ±1℃。

2 试验方法

试验参照《灌溉设备:滴头技术要求和试验方法》ISO(TC23/SC 18N71)有关规定进行。

3 测试结果

孔口类滴头水力性能表达式为:

$$q = SC \sqrt{2gH} \tag{1}$$

式中: q 为滴头流量, m³/s; S 为出口断面面积, m²; g 为重力加速度, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$; H 为进口断面重心处压力水头, m; C 为流量系数。

将实测流量和压力代入式(1),算得每种滴头在一定压力水头下的流量系数 C 值,同一种滴头的 C 值取其在不同压力水头下流量系数的平均值(见表 1)。

表 1 系列孔口滴头实测流量系数计算

滴头 型号	出口直径 (mm)	进口直径 (mm)	流道长 (mm)	流道锥角	进口断面压力 水头(m)	滴头流量 (L/h)	同一滴头在不同 压力下的 C 值	同一滴头 平均 C 值
KD-1	0.53	1.50	7.00	7°56′	2.0	4.36	0.876 8	0.914 1
					4.0	6.31	0.897 3	
					6.0	7.86	0.912 6	
					8.0	9.15	0.920 0	
					10.0	10.35	0.930 8	
					12.0	11.33	0.930 2	
					15.0	12.68	0.931 1	
KD-2	0.55	1.50	7.00	7°46′	2.0	4.80	0.896 4	0.902 1
					4.0	6.78	0.895 3	
					6.0	8.34	0.899 2	
					8.0	9.72	0.907 6	
					10.0	10.86	0.907 0	
					12.0	11.87	0.904 9	
					15.0	13.26	0.904 2	

续表 1

滴头 型号	出口直径 (mm)	进口直径 (mm)	流道长 (mm)	流道锥角	进口断面压力 水头(m)	滴头流量 (L/h)	同一滴头在不同 压力下的 C 值	同一滴头 平均 C 值
KD-3	0.65	1.50	7.00	7°56′	2.0	6.61	0.883 8	0.892 3
					4.0	9.39	0.887 8	
					6.0	11.51	0.888 5	
					8.0	13.33	0.891 1	
					10.0	15.00	0.896 9	
					12.0	16.41	0.895 7	
					15.0	18.49	0.902 7	
KD-4	0.75	1.50	7.00	6°8′	2.0	9.12	0.915 9	0.926 5
					4.0	12.90	0.916 0	
					6.0	15.92	0.923 0	
					8.0	18.45	0.926 4	
					10.0	20.81	0.934 6	
					12.0	22.75	0.932 7	
					15.0	25.55	0.936 9	
KD-5	0.85	1.50	7.00	5°19′	2.0	11.46	0.896 0	0.914 3
					4.0	16.45	0.909 5	
					6.0	20.19	0.911 4	
					8.0	23.55	0.920 6	
					10.0	26.43	0.924 1	
					12.0	28.73	0.917 0	
					15.0	32.27	0.921 3	

4 试验结果

(1)经测试的 KD 型系列孔口滴头中的 5 种型号流量系数 C 值变化幅度很小,在 0.892 3~0.926 5 范围内,仅相差 3.83%。

(2)从表 1 中可以看出流量系数 C 值随着压力水头的升高略有所增大。

(3)由于滴头流道锥角变化范围不大(仅在 5°19′~7°56′),从测试结果中不易看出流量系数随流道锥角的变化趋势。

(4)5 种型号的滴头流量系数变化幅度很小,平均值为 0.909 86,因此 5 种孔口滴头水力性能可用下式表示:

$$q=0.909\ 86S\ \sqrt{2gH} \tag{2}$$

在实际应用中,流量 q 常以 L/h 计,出口断面面积 S 若用出口直径 d 表达,则:

$$q=11.389\ 2d^2\sqrt{H} \tag{3}$$

式中:q、d 和 H 分别以 L/h、mm 和 m 计。

(5)为了检验式(3)的精确性,表 2 给出了由式(3)计算得到的和由常用压力—流量

关系式 $q = C'H^x$ (该系列中 5 种孔口滴头的参数 C' 值和 x 值见表 3) 计算得到的 5 种孔口滴头在特定压力下的流量值, 并将它们与实测值进行了比较。从表 2 中可以看出, 虽然用式(3)计算的滴头流量与实测流量之间的差别较用 $q = C'H^x$ 计算的流量与实测流量之间的差别稍大, 但前者平均相对误差仅 1.45%, 大于 3% 的约占 5.7%, 且式(3)表示该系列 5 种孔口滴头总的水力性能, 便于记忆, 可用于指导新规格孔口滴头的研制。因此, 我们认为, 式(3)较式 $q = C'H^x$ 更有实用价值。

表 2 式(3)的精确性分析

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
滴头 型号	出口直径 $d(\text{mm})$	进口断面重 心处压力 水头 $H(\text{m})$	流量 $q(\text{L/h})$			计算结果与实测值比较(%)	
			实测	式 $q = C'H^x$ 计算结果	式(3) 计算结果	式 $q = C'H^x$ 计算 结果与实测值比较 $100(\text{⑤} - \text{④})/\text{④}$	式(3)计算结 果与实测值比较 $100(\text{⑥} - \text{④})/\text{④}$
KD-1	0.53	2.0	4.36	4.39	4.53	+0.69	+3.90
		4.0	6.31	6.33	6.40	+0.32	+1.43
		6.0	7.86	7.85	7.84	-0.13	-0.25
		8.0	9.15	9.13	9.05	-0.22	-1.09
		10.0	10.35	10.27	10.12	-0.77	-2.22
		12.0	11.33	11.31	11.09	-0.18	-2.12
		15.0	12.68	12.73	12.39	+0.39	-2.29
KD-2	0.55	2.0	4.80	4.80	4.87	0	+1.46
		4.0	6.78	6.81	6.89	+0.44	+1.62
		6.0	8.34	8.35	8.44	+0.12	+1.20
		8.0	9.72	9.66	9.75	-0.62	+0.31
		10.0	10.86	10.81	10.90	-0.46	+0.37
		12.0	11.87	11.85	11.94	-0.17	+0.59
		15.0	13.26	13.27	13.35	+0.08	+0.68
KD-3	0.65	2.0	6.61	6.60	6.81	-0.15	+3.02
		4.0	9.39	9.39	9.63	0	+2.55
		6.0	11.51	11.54	11.79	+0.26	+2.43
		8.0	13.33	13.36	13.61	+0.23	+2.10
		10.0	15.00	14.97	15.22	-0.20	+1.47
		12.0	16.41	16.43	16.67	+0.12	+1.58
		15.0	18.49	18.40	18.64	-0.49	+0.81
KD-4	0.75	2.0	9.12	9.08	9.06	-0.44	-0.66
		4.0	12.90	12.93	12.82	+0.23	-0.62
		6.0	15.92	15.94	15.70	+0.13	-1.38
		8.0	18.45	18.47	18.12	+0.11	-1.79
		10.0	20.81	20.71	20.26	-0.48	-2.64
		12.0	22.75	22.73	22.20	-0.09	-2.42
		15.0	25.55	25.49	24.82	-0.23	-2.86
KD-5	0.85	2.0	11.46	11.49	11.64	+0.26	+1.57
		4.0	16.45	16.41	16.46	-0.24	-0.06
		6.0	20.19	20.22	20.16	+0.15	-0.15
		8.0	23.55	23.44	23.28	-0.47	-1.15
		10.0	26.43	26.29	26.03	-0.53	-1.51
		12.0	28.73	28.87	28.51	+0.49	-0.77
		15.0	32.27	32.38	31.88	+0.34	-1.21