

PENWEIGUAN
JISHU JI SHEBEI

喷微灌技术及设备

袁寿其 李红 王新坤 刘俊萍 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

喷微灌技术及设备

袁寿其 李红 王新坤 刘俊萍 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面介绍了喷微灌技术及设备,全书共分8章,包括绪论、轻小型移动式喷灌机组设备、轻小型喷灌机组优化设计、大中型喷灌机、喷灌工程规划设计、多功能轻小型灌溉机组、微灌条件下土壤水分—溶质分布及施肥技术和微灌工程规划设计等内容。

本书可供从事喷微灌技术和节水灌溉工程研究及应用工作的工程技术人员及高等学校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

喷微灌技术及设备 / 袁寿其等编著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2015.3
ISBN 978-7-5170-3062-1

I. ①喷… II. ①袁… III. ①喷灌机—基本知识②微灌机械—基本知识 IV. ①S277.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第059578号

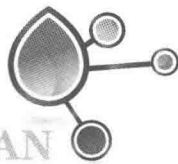
书 名	喷微灌技术及设备
作 者	袁寿其 李红 王新坤 刘俊萍 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 19.5印张 462千字
版 次	2015年3月第1版 2015年3月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	58.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

QIANYAN



我国是一个水资源严重短缺的国家，人多水少、水资源时空分布不均是我国的基本国情和水情，水资源供需矛盾突出仍然是可持续发展的主要瓶颈。农业是用水大户，近年来农业用水量约占经济社会用水总量的 62%，部分地区高达 90% 以上。农田灌溉水有效利用系数 0.52，与世界先进水平 0.7~0.8 有较大差距，水资源利用方式比较粗放，农业用水效率不高，节水潜力很大。大力发展节水农业，提高用水效率，是促进水资源可持续利用、保障国家粮食安全、加快转变经济发展方式的重要举措。

《国家农业节水纲要（2012—2020 年）》指出：把节水灌溉作为经济社会可持续发展的一项重大战略任务。在水资源短缺、经济作物种植和农业规模化经营等地区，积极推广喷灌、微灌、膜下滴灌等高效节水灌溉和水肥一体化技术。到 2020 年，在全国初步建立农业生产布局与水土资源条件相匹配、农业用水规模与用水效率相协调、工程措施与非工程措施相结合的农业节水体系。全国农田有效灌溉面积达到 10 亿亩，新增节水灌溉工程面积 3 亿亩，其中新增高效节水灌溉工程面积 1.5 亿亩以上，农田灌溉水有效利用系数达到 0.55 以上。全国旱作节水农业技术推广面积达到 5 亿亩以上，高效用水技术覆盖率达到 50% 以上。

喷灌和微灌技术突破了传统地面灌溉方法的局限性，使灌溉质量不再受地形、土壤等条件的影响，灌水时间、灌水部位、灌水均匀度、灌水定额等都能够科学地加以控制，能够实现“精确灌溉”。它不但能大幅度提高灌溉水利用率，还能更好地与机械化作业程度高的现代农业相配合，具有节水节肥、增产增收、便于管理等优点，是我国目前和今后一段时间推广应用的主要节水灌溉方式之一。

近年来，尤其是“九五”“十五”“十一五”“十二五”期间，依托国家重大项目开展节水灌溉新产品与新技术的联合攻关，我国开发出一批新型低成本、低能耗、精确喷灌及微灌关键装备，形成了高效喷微灌灌水技术、水肥一体化等适合中国国情的综合节水技术模式。

江苏大学流体机械工程技术研究中心从20世纪70年代起即开始喷灌设备的研制与开发,其国家重点学科——流体机械及工程以研究水泵与喷灌设备为特色,建有国家水泵及系统工程技术研究中心,新型节水灌溉装备与技术是其重要的特色研究方向。长期以来其科研创新团队承担了大量国家、省、市和企业项目,取得了丰硕的成果。

本书结合江苏大学节水灌溉装备与技术创新团队近年来承担的863计划“新型喷滴灌系统关键设备的研制与产业化开发(2004AA2Z4010)”“变量喷洒低能耗轻小型灌溉机组(2006AA100211)”及“精确喷灌技术与产品(2011AA100506)”等项目的部分研究成果,全面介绍了喷微灌技术及设备。全书包括绪论、轻小型移动式喷灌机组设备、轻小型喷灌机组优化设计、大中型喷灌机、喷灌工程规划设计、多功能轻小型灌溉机组、微灌条件下土壤水分—溶质分布及施肥技术和微灌工程规划设计等,希望本书的出版能为研制开发新型喷微灌设备提供设计理论和技术基础,对我国喷灌与微灌工程技术的推广应用作出贡献。

全书由江苏大学主持编写,撰稿人员有李红(第一章),袁寿其、李红、刘建瑞、朱兴业、刘俊萍、陈超、向清江(第二章),朱兴业、王新坤、蔡彬、刘俊萍(第三章)、汤跃、陈超、汤玲迪(第四章),蔡彬(第五章),袁寿其、李红、王新坤(第六章),褚琳琳(第七章),闫浩芳、王新坤(第八章)。全书由袁寿其、李红、王新坤、刘俊萍统稿。

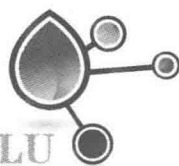
本书撰写过程中参考和引用了大量国内外相关文献,在此对这些文献的作者表示感谢。本书出版得到了863计划项目“精确喷灌技术与产品(2011AA100506)”及江苏省高校优势学科建设工程的资助,也一并表示感谢。最后,向对本书相关研究工作作出贡献的全体课题组成员和参加编写工作的人员表示真诚的感谢。

由于喷微灌技术及设备内涵丰富、发展迅速,有待进一步研究的内容很多,加之撰写时间仓促,书中不当之处,恳请读者批评指正。

袁寿其

2014年10月于江苏大学

目 录



MULU

前言

第一章 绪论	1
一、喷微灌技术的基本概念及特点	1
二、喷微灌系统的组成及分类	3
三、发展喷微灌技术及设备的意义	5
四、喷微灌技术及设备的发展概况与前景	6
参考文献	10
第二章 轻小型移动式喷灌机组设备	12
第一节 概述	12
一、喷灌用水泵	12
二、喷灌管材及附属设备	12
三、喷头	13
第二节 自吸离心泵	15
一、概述	15
二、自吸离心泵设计	17
三、影响自吸离心泵性能的因素	21
四、自吸离心泵典型结构	22
第三节 射流式自吸离心泵	24
一、射流式自吸离心泵结构与工作原理	25
二、射流式自吸离心泵设计	25
三、射流式自吸离心泵水力设计实例	33
四、喷嘴的射流原理及结构设计	40
五、回流阀的工作原理	41
第四节 射流式喷头	42
一、射流喷头的种类及结构形式	42
二、全射流喷头设计理论	44
三、全射流喷头结构优化及设计方法	48
四、新型射流喷头结构设计	54
五、全射流喷头与摇臂式喷头对比	57

六、全射流喷头运转试验研究	61
第五节 变量喷洒喷头	64
一、概述	64
二、变量喷洒理论及实现方法	66
三、变量喷洒喷头结构设计	68
四、变量喷洒喷头设计方法	72
五、变量喷洒喷头结构优化	74
六、变量喷洒喷头性能试验及评价	78
七、变量喷洒组合技术及应用	83
第六节 反作用式喷头	89
一、概述	89
二、反作用式喷头的结构	89
三、反作用式喷头的水量分布	89
四、R33 反作用式喷头工作原理	90
五、间断式散水盘对喷头水量分布影响的研究	92
第七节 喷头试验及试验方法	96
一、喷头试验类型及试验仪器	96
二、喷头的试验及方法	101
三、试验设计和试验报告	104
参考文献	107
第三章 轻小型喷灌机组优化设计	111
第一节 概述	111
第二节 轻小型喷灌机组管路水力计算方法	114
一、水头损失基本公式	114
二、轻小型喷灌机组水力计算方法	115
第三节 轻小型喷灌机组优化设计	118
一、轻小型喷灌机组能耗计算方法	118
二、轻小型喷灌机组能耗评价指标	120
三、轻小型喷灌机组优化数学模型	120
四、轻小型喷灌机组遗传算法优化	121
五、轻小型喷灌机组优化配置与节能降耗	124
第四节 河南栾川县抗旱应用实例	126
一、基本情况	126
二、轻小型灌溉机组的示范应用	126
三、轻小型灌溉机组田间喷灌结果和分析	126
参考文献	128

第四章 大中型喷灌机	130
第一节 卷盘式喷灌机	130
一、概述	130
二、卷盘式喷灌机工作原理	131
三、卷盘式喷灌机运行特性	131
四、卷盘式喷灌机调速特性	132
五、卷盘式喷灌机能耗	133
六、卷盘式喷灌机灌溉系统设计	133
第二节 圆形喷灌机	134
一、概述	134
二、圆形喷灌机组成	136
三、圆形喷灌机规划和布置	136
四、圆形喷灌机灌溉系统设计	137
五、圆形喷灌机水力计算	139
第三节 平移式喷灌机	140
一、概述	140
二、平移式喷灌机结构	141
三、平移式喷灌机规划与布置	141
四、平移式喷灌机灌溉系统设计	142
五、平移式喷灌机水力计算	143
参考文献	144
第五章 喷灌工程规划设计	145
第一节 喷灌工程规划设计技术要求	145
一、背景资料	145
二、设计说明书	145
三、设计图纸	146
四、设计预算书	148
第二节 喷灌系统设计方法	149
一、喷灌技术参数	149
二、喷灌系统灌溉制度	151
三、喷灌系统管道布置	152
四、喷灌系统管道水力计算	154
五、喷灌工程设计要点	162
六、喷灌工作制度确定	167
第三节 镇江南山茶场喷灌工程规划设计实例	170
一、喷灌工程规划设计基本资料	170
二、喷灌工程规划设计及灌溉制度拟定	171
参考文献	173

第六章 多功能轻小型灌溉机组	174
第一节 概述	174
第二节 喷滴灌两用灌溉机组	175
一、喷滴灌两用灌溉系统研究现状及发展趋势	175
二、轻小型喷滴灌两用灌溉机组结构设计	175
三、喷滴灌双工况自吸泵设计	177
四、基于迭代法的轻小型喷滴灌两用机组水力计算方法	181
五、轻小型喷滴灌两用灌溉机组优化配置实例	192
六、轻小型喷滴灌两用机组运行及喷洒试验	197
第三节 移固两用喷灌机组	208
一、普通轻小型移动式喷灌机组	208
二、移固两用喷灌机组结构设计	209
三、移固两用喷灌机组优化配置	218
四、移固两用喷灌机组田间试验验证	223
参考文献	228
第七章 微灌条件下土壤水分—溶质分布及施肥技术	229
第一节 微灌条件下水分分布	229
一、滴灌条件下水分分布	229
二、微喷灌条件下水分分布	231
三、涌泉灌条件下水分分布	233
第二节 微灌条件下盐分分布	234
一、滴灌条件下盐分分布	234
二、微喷灌条件下盐分分布	237
第三节 微灌施肥条件下氮素分布	239
一、滴灌条件下氮素分布	239
二、微喷灌条件下氮素分布	240
第四节 微灌施肥技术	241
一、微灌施肥特点	241
二、微灌施肥方法	241
三、肥料选择	241
参考文献	243
第八章 微灌工程规划设计	246
第一节 微灌工程规划	246
一、微灌工程规划任务与原则	246
二、微灌工程规划设计基本资料搜集	248
三、水量平衡计算	252
四、微灌工程总体布置	255

第二节 微灌系统设计	256
一、微灌系统布置	256
二、灌水器选择	262
三、微灌灌溉制度制定	263
四、微灌系统工作制度确定	268
五、微灌系统流量计算	269
六、微灌管道水力计算常用公式	272
第三节 基于遗传算法的微灌毛管水力解析及优化设计	274
一、已知进口压力的毛管水力解析	275
二、单向毛管极限长度优化	279
三、双向毛管极限长度优化	280
第四节 树状管网遗传算法优化设计	285
一、自压树状管网优化	285
二、机压树状管网优化	289
第五节 微灌系统过滤装置优化选型与配置	293
一、优化选型与配置方法	294
二、优化算例	296
三、小结	297
参考文献	297

第一章 绪 论

一、喷微灌技术的基本概念及特点

(一) 喷灌

喷灌是利用水泵加压或自然落差将水通过压力管道送到田间，经喷头喷射到空中，形成细小的水滴，均匀喷洒在农田上，为作物正常生长提供必要水分条件的一种先进灌水方法。喷灌是当今先进的节水灌溉技术之一，由于其便于机械化、自动化控制实施灌溉过程，在全世界得到迅速地发展，广泛运用于世界各国农业灌溉中^[1]。

1. 喷灌的优点

(1) 节约用水。灌溉水的损失，一是发生在从水源到田间的输水过程中，二是发生在田间灌水过程中。我国农田灌溉水有效利用系数为 0.52，其中有一半多的水量浪费在灌溉过程中。喷灌通常采用管道输水、配水，水量损失很小，而且灌溉时能使水比较均匀地洒在地面，不产生明显的深层渗漏和地面径流，灌溉水利用系数可以达到 0.8 以上。

(2) 增加农作物产量、提高农作物品质。喷灌作为节水灌溉技术之一，具有增加农作物产量、提高农作物品质的特点。喷灌对增加农作物产量的作用是多方面的。首先，喷灌可以适时适量地满足农作物对水分的要求，能够实现精细控制土壤水分、保持土壤肥力，适应换茬作物对水分的不同要求。喷灌像降雨一样湿润土壤，不破坏土壤团粒结构，为作物根系生长创造了良好的土壤状况，一般大田作物可增产 10%~20%，经济作物可增产 30% 左右，蔬菜可增产 1~2 倍。喷灌输水多采用地埋的形式，大大减少了渠道和田埂占地，一般可以提高耕地利用率 5%~7%。喷灌可以调节田间小气候，增加地面空气湿度，调节温度和昼夜温差，不但可避免干热风、霜冻对作物的危害，而且可显著提高作物的品质。

(3) 节省劳力。喷灌的机械化程度高，可大大减轻灌水的劳动强度和提高作业效率，免去年年修筑田埂和田间渠道的重复劳动，节省大量的劳动力，相比传统的地面灌溉方式可以提高劳动效率 20~50 倍。

(4) 适应性强。喷灌一个突出的优点是可用于各种类型的土壤和作物，受地形条件的限制小。例如：在砂土地或地形坡度达到 5% 等地面灌溉有困难的地方都可采用喷灌。在地下水位高的地区，地面灌溉使土壤层过湿，易引起土壤盐碱化，用喷灌来调节上层土壤的水分状况，可避免盐碱化的发生。由于喷灌对地形要求低，可以节省大量农田地面平整的工程量。

2. 喷灌的缺点

(1) 喷洒作业受风影响。喷灌作业时，风不但会吹走大量水滴，增加水量损失，降低喷洒效率，而且会改变水舌的形状和喷射距离，降低喷灌均匀度，影响灌水质量，故风力大于 3 级时不宜进行喷灌作业。



(2) 设备投资高。由于喷灌需要一定的设备和管材,同时系统工作压力较高,对设备耐压的要求也较高,因而喷灌系统的投资较高。如固定管道式喷灌系统需投资 900~1200 元/亩,半固定管道式喷灌系统需投资 300~450 元/亩,卷盘式喷灌机需投资 400~600 元/亩,大型喷灌机组需投资 500~800 元/亩。

(3) 耗能。地面灌溉只要将水通过渠道或管道输送到田间即可实现自流灌溉,喷灌则要利用水的压力使水流破碎成细小的水滴并喷洒在规定范围内,显然喷灌需要多消耗一部分能量。从节省能源的角度考虑,喷灌可向低压化方向发展,并结合喷灌和滴灌技术,发展微喷灌,达到节能目的。

(二) 微灌

微灌是一种新型的节水灌溉技术,包括滴灌、微喷灌、涌泉灌等。它可根据作物需水要求,通过管道系统与安装在末级管道上的特制灌水器,将水和作物生长所需的养分以较小的流量均匀、准确地直接输送到作物根部附近的土壤表面或土层中实施灌溉。微灌以少量的水湿润作物根区附近的部分土壤,因此是局部灌溉。

1. 微灌的优点

(1) 节约水量。由于微灌出水流量很小,可以实现精细灌溉,随时满足作物的需水要求,不会产生深层渗漏,而且大部分微灌是局部灌溉,只湿润作物根部附近的土壤表面,作物棵间蒸发损失小,因此可以更节约用水。

(2) 灌水均匀。微灌系统能够做到有效地控制每个灌水器的出水量,灌水均匀度高,均匀度一般可达 80%~90%。

(3) 增产。微灌能适时适量地向作物根部供水、施肥、施药,提高水、肥、药的利用效率,减少病虫害的发生,抑制杂草生长,保持土壤团粒结构,为作物生长提供良好的生长条件,有利于增产,提高产品质量。与其他灌水方法相比较,一般可增产 15%~40%。

(4) 适应性强。微灌的灌水强度可根据土壤的入渗特性选用相适应的灌水器,通过调节,不产生地表径流和深层渗漏。微灌可以在任何复杂的地形条件下有效地工作,甚至对某些在很陡的土地或乱石滩上的作物也可以采用微灌。

2. 微灌的缺点

(1) 灌水器易堵塞。灌水器中的水流通道堵塞是滴灌应用中最主要的问题。堵塞使毛管管路出水不均,严重时会使整个系统无法正常工作,甚至报废。引起堵塞的原因有物理因素、生物因素和化学因素,如水中的泥沙、有机物质、微生物和化学沉淀物等。因此,滴灌对水质要求较高,一般均应过滤,必要时还需经过沉淀和化学处理。目前已研制出少数大流道小流量、抗堵塞性能较好的滴头品种,随着研究的深入,滴头堵塞问题将会得到逐步解决。

(2) 盐分积累。当在含盐量高的土壤上进行滴灌或是利用咸水滴灌时,盐分会积累在湿润区的边缘,若遇小雨,这些盐分可能会被冲到作物根区,从而引起盐害。这时需进行冲洗,必要时辅以喷灌或地面灌溉。在没有充分冲洗条件的地方或是秋季无充足降雨的地方,则不要在高含盐量的土壤上进行滴灌或利用咸水滴灌。

(3) 一次性投入较大。与地面灌相比,滴灌系统所需设备和材料较多,成本较高。



二、喷微灌系统的组成及分类

1. 喷灌系统的组成

喷灌系统是指从水源取水到田间喷洒灌水整个系统的总称^[1-3]。一般由水源工程、水泵和动力机、管道系统、喷头以及附属工程和附属设备组成。

(1) 水源工程。喷灌系统一般需要修建引水、蓄水、提水和输配电等水源工程。河流、湖泊、渠道塘库、井泉等均可作为喷灌水源。水源应满足喷灌在水量和水质方面的要求。

(2) 水泵和动力机。除利用自然水头以外，喷灌系统的工作压力均由水泵提供。喷灌系统常用的水泵有离心泵、自吸泵、长轴井泵、深井潜水电泵等。在有电力供应的地区应尽量采用电动机与水泵配套，在用电困难的地方可用柴油机、手扶拖拉机等作为动力机与水泵配套。动力机转速和功率的大小根据水泵的配套要求而定。

(3) 管道系统。管道系统的作用是将压力水输送并分配到田间，管道应能承受一定的压力并通过一定的流量。管道系统一般分为干管、支管，干管起配水作用，支管是工作管道，支管上按一定间距安装竖管，压力水通过干管、支管、竖管，经喷头喷洒在田面上。管道可分为地埋管道和地面移动管道，地埋管道埋于地下，地面移动管道则按灌水要求沿地面铺设。大中型喷灌机组的工作管道往往和行走部分结合为一个整体。

(4) 喷头。喷头是喷灌系统的专用设备，一般安装在竖管上，或者安装在支管上，形式多种多样。其作用是将压力水通过喷嘴喷射到空中，形成细小的水滴，洒落在土壤表面。

(5) 附属工程和附属设备。如从河流、湖泊、渠道取水，则应设拦污设施；必要时应设置进排气阀、调压阀、安全阀等，以保证喷灌系统的安全运行；为保证喷灌系统安全过冬，灌溉季节结束后应排空管道中的水，需设泄水阀；为观察喷灌系统的运行状况，在水泵进出水管路上应设置真空表、压力表和水表；利用喷灌系统喷洒肥料和农药时，应有相应的调配和注入设备。移动喷灌机组在田间作业时，应按喷灌的要求规划田间作业道路和供水设施。以电动机为动力时应架设供电线路，配置配电箱和电气控制箱等^[4]。

2. 喷灌系统的分类

喷灌系统的类型很多，其分类方法也有多种。按系统获得压力的方式可分为机压喷灌系统和自压喷灌系统；按系统设备组成可分为管道式喷灌系统和机组式喷灌系统。

(1) 机压喷灌系统和自压喷灌系统。

1) 机压喷灌系统。机压喷灌系统是以机械加压获得工作压力的系统，在没有自然水头可利用时，为使喷灌水流具有一定的压力，必须用水泵加压，同时配备电动机、柴油机等动力设备。水泵的流量要满足灌溉要求，其扬程除应保证喷头工作压力外，还要考虑克服管道沿程和局部水头损失，以及水源和喷头之间的高差。

2) 自压喷灌系统。即当水源位置高于田面，且有足够的落差时，利用水源具有的自然水头，用管道将水引到灌区实现喷灌的一种灌溉系统。自压喷灌充分利用了天然水头，减少了系统的运行费用，是一种值得大力推广的喷灌方式。但自压喷灌受地形条件影响，存在一些特殊的问题，如当地形高程变化较大时，规划设计中应考虑进行压力分区，有时还要考虑设置减压和调压设施，用于保证系统安全运行和节约投资。



(2) 管道式喷灌系统和机组式喷灌系统。

1) 管道式喷灌系统。水源、喷灌用水泵与各喷头间由一级或数级压力管道连接,由于管道是这类系统中设备的主要组成部分,故称之为管道式喷灌系统。根据管道的可移动程度,又可分为固定管道式喷灌系统、半固定管道式喷灌系统和移动管道式喷灌系统三种。

固定管道式喷灌系统的各组成部分除喷头外,在整个灌溉季节或常年都是固定的,水泵和动力构成固定的泵站,干管和支管多埋于地下。这种喷灌系统运行操作方便,易于管理,生产效率高,工程占地少,且便于实行自动化控制,适用于灌水次数频繁、经济价值较高的蔬菜和经济作物区,以及城市园林、花卉、绿地的喷灌。其主要缺点是设备利用率低,耗材多,投资大,管道投资常占 50% 以上,甚至达 80% 左右。

半固定管道式喷灌系统的泵站和干管固定不动,支管和喷头是可移动的,故称为半固定管道式喷灌系统。与固定管道式系统相比,由于支管可以移动并重复使用,减少了用量,降低了投资;与移动管道式系统相比,由于机、泵、干管不移动,方便了运行操作,提高了生产效率。因此,半固定管道式喷灌系统的设备用量、投资造价和管理运行条件均介于固定管道式与移动管道式之间,是值得推荐和重点发展的形式。其适用于矮秆大田粮食作物,其他作物适用面也比较宽,但不适宜对高秆作物、果树等使用。

移动管道式喷灌系统从水泵、动力机、各级管道直到喷头都可以拆卸移动,轮流使用于不同地块。这种喷灌系统设备利用率高,设备用量与投资造价较低,适用于各种作物,但当为高秆密植作物,土质黏重或地形复杂的情况下,将给设备的拆卸移动带来困难。

2) 机组式喷灌系统。以喷灌机(机组)为主体的喷灌系统,称为机组式喷灌系统。其按喷灌机运行方式可分为定喷式和行喷式两类。

定喷式喷灌机组是指喷灌机工作时,在一个固定的位置进行喷洒。在田间布设一定规格的输水明渠或暗渠,每隔一定距离设置供抽水用的工作池,喷灌机沿渠(管)移动,在每个预定的抽水点(工作池)处作定点喷洒,达到灌水定额后,移动到另一个位置进行喷洒,在灌水周期内灌完计划灌溉面积。其包括手推(抬)式喷灌机、拖拉机悬挂式(或牵引式)喷灌机、滚移式喷灌机等。根据所用的机组不同,又可分为单喷头机组的系统和多喷头机组的系统。

行喷式喷灌机组是在连续移动过程中进行喷洒喷灌。这种喷灌系统机械化、自动化程度高,运行操作方便,工作效率高,喷洒时受风的影响小,喷洒均匀度较高,但一般耗能较多,一次性投资较高,维修保养需较高的技术水平。其包括拖拉机双悬臂式喷灌机、中心支轴式喷灌机、平移式喷灌机、卷盘式喷灌机等。

按配用动力的大小,喷灌机组又分为大、中、小、轻等多种规格。目前,我国应用较多的是轻小型喷灌机,它具有结构简单、使用灵活、价格较低等优点,缺点是移动频繁,特别是在泥泞的道路上移动困难。此外,中心支轴式喷灌机、平移式喷灌机和卷盘式喷灌机等大中型喷灌机也有较多的应用。

3. 微灌系统的组成

典型的微灌系统通常由水源工程、首部枢纽、输配水管网和灌水器四部分组成。

(1) 水源工程。江河、渠道、湖泊、水库、井、泉等均可作为微灌水源。



(2) 首部枢纽。包括水泵、动力机、过滤设备、施肥(药)装置、控制器、控制阀、进排气阀、量测仪表等。其作用是从水源取水增压并将灌溉水处理成符合微灌要求的水流送给输配水管网。

(3) 输配水管网。包括干管、支管、毛管及安全、控制和调节装置。其作用是将首部枢纽处理过的水安全合理地输送分配到灌水器。

(4) 灌水器。即直接灌水的部件,包括滴头、滴灌管(带)、微喷头、涌泉头和小管出流器等。其作用是消减管道内的水压力,将水流变为水滴、细流或喷洒状施入土壤。

4. 微灌系统的分类

根据灌水器的出水形态,微灌一般分为滴灌、微喷灌和小管出流灌等类型。

(1) 滴灌。滴灌是利用滴头、滴灌管(带)等灌水器,以滴水或细小水流的方式,湿润作物根区附近部分土壤的灌水技术。滴头流量一般不大于 12L/h,常用的滴头流量为 1~4L/h。滴头置于地面时,称为地表滴灌;滴头置于地面以下,将水直接施到地表下的作物根区,称为地下滴灌;把滴灌管(带)铺设在农膜下的灌溉方式称为膜下滴灌。

(2) 微喷灌。微喷灌是利用微喷头、微喷带(管)等灌水器,将压力水以喷洒状的水流形式喷洒在作物根区附近土壤表面的一种灌水方式,简称微喷。微喷头流量一般不大于 250L/h,常用的微喷头流量为 20~240L/h。

(3) 小管出流灌。小管出流灌是利用稳流器稳流和小管分散水流,以小股水流灌到土壤表面的一种灌水方法。小管出流灌灌水器的流量一般与微喷灌的相当。

三、发展喷微灌技术及设备的意义

目前,水资源短缺是制约我国经济社会发展的关键因素,节约水资源对于国民经济的发展具有重要意义。农业用水一直以来为全国用水之首。我国的农业灌溉水利用系数较低,远远低于以色列、美国等国家。因此,农业节水是缓解水资源短缺有效和必然的途径。2014年5月21日,李克强总理主持召开国务院常务会议,部署加快推进节水供水重大水利工程建设,指出:“在今明两年和‘十三五’期间分步建设纳入规划的 172 项重大水利工程。工程建成后,将实现新增年供水能力 800 亿 m^3 和农业节水能力 260 亿 m^3 、增加灌溉面积 7800 多万亩,使我国骨干水利设施体系显著加强。”

2014年9月29日,国务院新闻办公室举行新闻发布会,水利部副部长李国英介绍了中国节水灌溉发展状况。李国英强调,中国政府提出“把节水灌溉作为一项革命性措施来抓”。新世纪以来,连续 11 个中央 1 号文件和中央水利工作会议,都要求把节水灌溉作为重大战略举措,《国家农业节水纲要(2012—2020 年)》,对节水灌溉提出了明确的发展目标和要求。在中央和地方一系列政策措施出台和不断加大投入的情况下,我国节水灌溉发展进入前所未有的快车道。截至 2013 年年底,全国有效灌溉面积达到 9.52 亿亩,其中节水灌溉工程面积 4.07 亿亩,约占有效灌溉面积的 43%。高效节水灌溉面积 2.14 亿亩,约占有效灌溉面积的 22%,其中低压管道输水 1.11 亿亩、喷灌 0.45 亿亩、微灌 0.58 亿亩^[5]。

由此可见,农业节水潜力巨大。喷灌和微灌技术就是为解决水资源不足、提高灌溉效率而发展起来的灌溉技术之一。在多项节水措施中,节水灌溉设备是农业节水的重要保障,同时节水灌溉设备是农业机械中重要的一类。因此,大力发展喷微灌技术及设备是节



约水资源、实现社会可持续发展的必然要求^[1,5-6]。

四、喷微灌技术及设备的发展概况与前景

(一) 喷灌的发展概况与前景

1. 国外喷灌技术的发展历程与趋势

国外应用喷灌技术和喷灌工程,比我国要早,也要先进很多^[7]。喷灌最初出现在 19 世纪末,首先是在德国、意大利及美国等国家,第一代喷灌机出现在 1917 年,但在 1920 年以前喷灌应用仅限于灌溉蔬菜、苗圃、果园。国外最早采用喷灌大多是从固定式系统开始。20 世纪 30 年代出现了旋转式喷头和喷灌车,30 年代以后才逐渐在美国南部以及英、法、德、意等国得到一些发展。第二次世界大战以后,端拖式(1948 年)、滚移式(1951 年)、中心支轴式(1955 年)、卷盘牵引式(1966 年)以及平移自走式(20 世纪 60 年代末)等大中型喷灌机也相继问世,从而使喷灌技术迅速发展并走向世界各地。

当前,国外喷灌技术表现出以下趋势^[8-11]:

(1) 喷灌设备与喷灌系统多样化发展。不同的国家和地区适用不同的喷灌设备和喷灌系统,因此,各国都根据本国的特点因地制宜地发展多种多样的喷灌设备和喷灌系统。美国大力推广中心支轴式和平移式喷灌机,这两种喷灌机适合美国的农场现状,现在已在很多国家推广应用。俄罗斯主要发展双悬臂式喷灌机,近年来,又从美国引进“伐利”大型中心支轴式喷灌机,仿制为“费列加特”中心支轴式喷灌机以及“沃尔然卡”滚轮式大型喷灌机。德国、法国、澳大利亚等国则重点发展绞盘式喷灌机。

(2) 扩大单机和系统控制面积,提高机组适应能力。国外为了提高喷灌机的生产效率,减少设备投资,节省劳力和运行管理费用,努力扩大单机控制面积。美国内布拉斯加州乐克德公司研制了一台中心支轴式喷灌机,该机由 30 个塔架组成,长 1182m,在镀锌支管上安装有 421 个低压喷雾喷嘴,喷嘴尺寸随着中心支轴距离增加而加大,控制面积为 6556 亩,为世界最大的中心支轴式喷灌机。为了适应大型喷灌机的编组运行(一般为 2~10 台),提高生产效率和土地利用,目前美国的喷灌系统已由 20 世纪 50 年代 240~960 亩大小的单个地块,发展到 12000~60000 亩的大面积喷灌区。在扩大控制面积的同时,尽力提高机组的适应能力,喷灌机组的爬坡能力由 6% 提高到 30%;桁架结构也由过去的钢结构发展为铝合金结构,机架重量减轻 60%。

(3) 尽力节省能源。由于世界能源危机,近年来,一些国家不得不放慢了喷灌发展的速度。据美国内布拉斯加州调查,灌溉耗能占农业生产中耗能的 43%,而喷灌耗能又是其他耕作措施耗能的 10 倍。因此喷灌要取得发展,必然要走节能的道路。目前采用的节能措施主要有以下两项:

1) 发展低压喷头。美国将喷灌高压喷头换为工作压力为 0.245MPa 的低压喷头,每喷出 1000 m³ 水能耗节省 9.6 美元。苏联研制的双悬臂式喷灌机,喷头工作压力为 0.1MPa。1982 年在美国加州国际灌排设备展览会上,各国研制的低压喷头和喷滴灌结合的喷头达 100 多种,特别是新研制的异形喷嘴(方形、长方形喷嘴),在低压力时仍有较好的雨量分布,受到人们注目。20 世纪 90 年代后,各国生产的大型行喷式喷灌机几乎都改用了低压喷头。

2) 开辟新能源,如风能、沼气能、太阳能等。就喷灌而言,最有利用前途的是风能。



美国、澳大利亚等都开始利用风能。美国大平原地区有 1.2 亿亩的灌溉面积，在 20 世纪末有一半以上采用了风力泵。

(4) 广泛使用轻质管道和塑料管道。为了减少材料消耗，减轻机组重量，降低劳动强度，提高工作效率和降低喷灌管道的投资造价，国外广泛使用轻质管道和塑料管道。奥地利鲍尔公司是一家生产喷灌和其他农牧业设备的公司，它生产的薄壁镀锌钢管壁厚为 0.7mm，最大工作压力为 1.1~2.0MPa，一节长 6m，一个人可以扛两节，而且由于内外镀锌和采用快速接头，连接方便、迅速，使用寿命较长，适宜在喷灌系统中做移动支管。而在国内外使用量更大的薄壁铝管，壁厚也可做到 1.0mm，较薄壁钢管更为轻便。塑料管道、管件和塑料喷头大量采用，在很多国家塑料管道的用量占管道总用量的 2/3 以上。由于价格低廉的塑料管道大量使用，很多发达国家的灌溉系统已经取消了渠道而全部采用管道输水，如以色列、法国、西班牙等国家，输水管网遍布全国，农户只需购买节水灌溉设备，与管网系统连接，压力水即可进入田间。

(5) 采用自动化技术。随着计算机的发展，在喷灌系统中采用微机控制等自动化技术，从而节省了劳力，提高了喷洒质量和生产效率，保证了机组运行的可靠性。喷灌系统采用的自动化技术一般有以下几种：

1) 自动启闭。对固定、半固定式喷灌系统或者按照预先排定的轮灌周期，自动依次启闭喷头，或者根据田间土壤湿度计的信号，自动启闭喷头。

2) 同步控制。对中心支轴式和平移式喷灌机，为保持各塔架之间支管成一条直线，设有同步自动控制系统。对平移式喷灌机，为保证中心塔架沿直线行走，设有激光或其他方式的自动导向系统。

3) 联合调度。对不同压力区、不同喷灌区或多台喷灌机组采用联合调度运行，实行自动化控制，以达到合理、经济的目的。

4) 防霜冻。在喷灌系统中设防霜冻警报系统，当气温降低到某一限定值时，发出警报并自动开启喷灌系统。

为了提高喷洒质量，国外还采用了慢喷灌、间歇喷灌、脉冲喷灌和细滴喷灌等新技术。

(6) 发展综合利用，向国民经济各部门渗透。对喷灌设备进行综合利用，搞多项目作业，发挥喷灌设备多功能的经济效益。例如施化肥、农药和除草剂；防霜冻，防干热风；工业和运动场除尘，混凝土施工养护，工厂防暑降温；园艺花卉、草坪喷灌；城市喷泉，等等。

(7) 重视喷灌基础理论和新技术的开发研究。注意多学科配合和协作开展喷灌基础理论的研究，为喷灌设备的水力性能和机械性能不断完善与提高打下基础，并为合理地进行喷灌系统规划设计提供可靠的准则和依据。美国、俄罗斯、日本等国多年来一直重视基础理论研究，并取得了一些成果，如射流裂变原理、雨滴打击能量、管网水力特性、土壤入渗理论，等等。

2. 国内喷灌技术的发展历程与趋势

我国喷灌技术研究始于 20 世纪 50—60 年代，但真正起步却是 20 世纪 70 年代之后。喷灌技术在我国的发展大致经历了以下四个阶段^[12,13]：