

农田水利工程技术培训教材

喷灌工程技术

水利部农村水利司
中国灌溉排水发展中心 组编



黄河水利出版社

农田水利工程技术培训教材

水利部农村水利司 组编
中国灌溉排水发展中心

喷灌工程技术

主 编 周世峰
副主编 王留运

黄河水利出版社
· 郑州 ·

内 容 提 要

本书系农田水利工程技术培训教材的一个分册。全书共分为十二章, 主要内容包括概述、规划设计基本资料、喷灌设备分类与选型、喷灌工程规划、水力计算、管道式喷灌系统设计、机组式喷灌系统设计、园林喷灌系统设计、喷灌自动控制系统、喷灌工程施工和试运行、喷灌工程管理、喷灌工程设计实例及附录等。

本书较系统地总结了近年来全国各地在喷灌工程规划、设计、施工和管理中所取得的先进经验和科研成果, 并对相关新产品进行了介绍, 内容丰富, 实用性和可操作性强, 主要供培训基层水利人员及从事喷灌工程规划、设计、施工和管理的工作者使用, 亦可供相关专业院校师生及科研人员在教学、科研、生产等工作中参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

喷灌工程技术/周世峰主编. —郑州: 黄河水利出版社, 2011. 9

农田水利工程技术培训教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 999 - 0

I. ①喷… II. ①周… III. ①喷灌 - 技术培训 - 教材 IV. ①S275. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 028075 号

出 版 社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话: 0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

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: 14. 25

字数: 330 千字

印数: 1—5 000

版次: 2011 年 9 月第 1 版

印次: 2011 年 9 月第 1 次印刷

定价: 39.00 元

前 言

我国自 20 世纪 60 年代初从国外引进喷灌技术,在总结试点应用的基础上,70 年代开始在全国范围内进行喷灌技术研究和产品开发与生产应用。经过近 40 年的不懈努力,已基本形成了适合我国国情的喷灌技术体系,其内容丰富、体系完整、技术集成度高。目前,我国开发生产的各类喷灌工程所需的材料和设备产品配套齐全,并形成了一定规模的生产与供应能力,已能够满足当前的市场需求,但还有一些技术含量高的设备(如大型喷灌机组和园林喷灌设备产品等)与国际水平有一定的差距。为保证喷灌事业的健康发展,我国先后颁布了《喷灌工程技术规范》(GB/T 50085—2007)和《喷灌与微灌工程技术管理规程》(SL 236—1999)等国家和行业标准,为喷灌工程建设、管理和产品生产提供了科学依据及准则。20 世纪 90 年代以后,随着相关技术的不断提高与完善,新产品不断地出现,节水灌溉材料设备产业也迅速发展起来。随着国家对农业节水扶持政策的不断完善和投资力度的逐年加大,喷灌在我国水资源紧缺的北方平原地区得以大面积推广应用。近年来,我国喷灌技术推广应用趋于更加理性,逐年都在稳步发展,据不完全统计,2009 年全国喷灌面积为 293 万 hm^2 ,占节水灌溉工程面积的 11.36%,对我国的农业经济和生态环境可持续发展起到了十分重要的作用。

喷灌技术是我国目前应用最多的节水灌溉工程技术措施之一,喷灌具有节水、节地、省工、适应性强、保持水土、增产和提高作物品质等优点及综合效益。

本书以我国近年来推广应用的喷灌最新科技成果和生产实践经验为基础,以我国已颁布执行的相关技术标准为准绳,借鉴国外先进的节水灌溉技术和工程管理经验,同时参考了 1999 年版《喷灌工程技术》的部分内容编写而成,是一部实用性很强的专业工具书。

本书共分十二章,主要内容包括概述、规划设计基本资料、喷灌设备分类与选型、喷灌工程规划、水力计算、管道式喷灌系统设计、机组式喷灌系统设计、园林喷灌系统设计、喷灌自动控制系统、喷灌工程施工和试运行、喷灌工程管理、喷灌工程设计实例及附录等。本书主要供培训基层水利人员及从事喷灌工程规划、设计、施工和管理的工作人员使用,亦可供相关专业院校师生及科研人员在教学、科研、生产工作中参考使用。

本书各章编写分工如下:第一章由吴涤非、龚时宏、李光永、姚宛艳编写,第二章由邓丽、吴玉芹编写,第三章由王留运、姚宛艳、兰才有、张建平、郑睿编写,第四章由黄修桥、邓丽编写,第五章由龚时宏、周世峰编写,第六章由罗金耀、吴涤非编写,第七章由姚彬、张建平编写,第八章由张建平、王留运、潘云生、徐海洋编写,第九章由仵峰、张建平、王留运编写,第十章由周世峰、姚宛艳、郑睿编写,第十一章由张玉欣、周世峰编写,第十二章由吴涤非、周世峰、姚彬、王留运、徐海洋编写,附录由王留运、兰才有、姚宛艳、姚彬、郑睿编写。本书由周世峰任主编,由王留运任副主编。

本书由朱尧洲任主审，由李英能任副主审。在本书编写过程中，得到了有关专家和领导的大力支持和帮助，并参考和引用了许多国内外文献，在此一并表示衷心的感谢！
由于编者水平所限，书中缺点和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 3 月

目 录

加强农田水利技术培训 增强服务“三农”工作本领	陈 雷
前 言	
第一章 概 述	(1)
第一节 喷灌的概念和特点	(1)
第二节 喷灌系统的组成和分类	(2)
第三节 喷灌的发展概况与趋势	(6)
第二章 规划设计基本资料	(12)
第一节 地形与土壤资料	(12)
第二节 气象资料	(14)
第三节 作物资料	(15)
第四节 水源资料	(16)
第五节 生产条件和社会经济资料	(17)
第三章 喷灌设备分类与选型	(19)
第一节 喷 头	(19)
第二节 喷灌用水泵	(24)
第三节 喷灌管材及附属设备	(32)
第四节 喷灌机组	(37)
第四章 喷灌工程规划	(45)
第一节 规划原则及内容	(45)
第二节 规划参数	(47)
第三节 喷灌用水分析	(54)
第四节 喷灌水源分析	(56)
第五节 喷灌系统选型与布置	(58)
第六节 环境影响和水土保持	(62)
第五章 水力计算	(64)
第一节 管道沿程水头损失计算	(64)
第二节 管道局部水头损失计算	(67)
第三节 水锤计算	(68)
第六章 管道式喷灌系统设计	(72)
第一节 设计原则和内容	(72)
第二节 喷头的选择与组合形式	(74)
第三节 管道系统布置	(75)
第四节 喷灌工作制度的拟定	(78)

第五节	管道系统设计	(78)
第六节	系统参数确定及水泵选型	(83)
第七节	山丘区喷灌系统设计	(84)
第七章	机组式喷灌系统设计	(91)
第一节	轻小型喷灌机组灌溉系统设计	(91)
第二节	绞盘式喷灌机灌溉系统设计	(95)
第三节	大型喷灌机喷灌工程设计	(98)
第八章	园林喷灌系统设计	(103)
第一节	园林喷灌系统设计要点	(103)
第二节	园林喷灌设计参数	(105)
第九章	喷灌自动控制系统	(108)
第一节	水泵变频调节	(108)
第二节	调压罐恒压调节	(110)
第三节	喷灌系统自动化控制技术及设备	(111)
第十章	喷灌工程施工和试运行	(118)
第一节	工程施工	(118)
第二节	管道水压试验	(133)
第三节	试运行及验收	(134)
第十一章	喷灌工程管理	(136)
第一节	工程管理	(136)
第二节	设备运行管理	(137)
第三节	设备维护和保养	(142)
第四节	喷灌机组的运行管理和养护	(144)
第五节	用水管理	(146)
第六节	田间监测与灌溉预报	(148)
第十二章	喷灌工程设计实例	(150)
第一节	固定管道式喷灌系统设计	(150)
第二节	半固定管道式喷灌系统设计	(159)
第三节	绞盘式喷灌机系统工程设计	(165)
第四节	园林喷灌系统设计	(171)
附 录		(182)
附录一	常用喷头的规格及性能参数	(182)
附录二	常用水泵与变频设备的性能参数	(192)
附录三	管材、管件性能参数	(206)
附录四	喷灌机、喷灌机组主要性能参数	(212)
参考文献		(216)

第一章 概 述

第一节 喷灌的概念和特点

一、喷灌的概念

喷灌是喷洒灌溉的简称，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。

二、喷灌的特点

喷灌采用压力管道输送灌溉水，与传统地面灌溉相比，可以有效减少输水渗漏，提高输水效率；喷灌的田间灌溉采用喷头喷洒完成，一般不会产生径流和深层渗漏，田间水利用系数高；喷灌系统容易实现自动化，可有效降低人工的劳动强度。喷灌的具体优、缺点如下所述。

（一）喷灌的优点

1. 节约用水

我国的平均灌溉水利用系数为 0.49 左右，其中有一半多的水量浪费在灌溉过程中。灌溉水的损失，一是在从水源到田间的输水过程中，二是在田间灌水过程中。相对于传统的地面灌溉，喷灌通常采用管道输配水，输配水损失很小；灌溉时采用喷头直接将水均匀地喷洒到田面，只要设计正确和管理科学，就可以不产生明显的深层渗漏和地面径流；喷灌水利用系数可以达到 0.75 以上，较传统地面灌溉节水 40% 左右。

2. 提高农作物产量和品质

喷灌可以增加农作物产量，提高农作物品质，利于发展两高一优农业。喷灌对提高农作物产量和品质的作用是多方面的：喷灌可以适时适量地满足农作物对水分的要求，实现精细控制土壤水分、保持土壤肥力，能够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条件；喷灌输水多采用地埋的形式，可以减少沟渠和田埂占地，提高耕地利用率 5% ~ 7%，从而扩大作物种植面积，增加产量；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

喷灌系统易实现自动化运行，可减轻灌水的劳动强度和显著提高作业效率，免去年年修筑田埂和田间沟渠的重复劳动，节省大量的劳动力，与使用传统的地面灌溉方式相比可以提高劳动效率 20 ~ 30 倍。

4. 适应性强

喷灌几乎适用于灌溉所有的旱作物,如谷物、蔬菜、果树、棉花和烟草等;喷灌可以适应地形的一定起伏和地块形状的变化,不但适用于平原地区,而且在浅山、丘陵区也可以应用,在大多数情况下无须为喷灌而平整土地和控制地面坡度;喷灌还适用于各种土壤,如黏土、砂土等。

(二) 喷灌的缺点

1. 喷洒作业受风影响

喷灌作业时,风不但会增加喷洒水滴的蒸发和飘移损失,降低喷洒效率,而且会改变各方向喷射水流的射程和水量分布,影响灌水质量,故风力大于3级时一般不宜进行喷洒作业。

2. 投资高

与传统地面灌溉相比,喷灌增加了压力管道、阀门、喷头田间灌水设备,在水源处需要用水泵来加压,喷灌设备对耐压的要求也较高,因而喷灌系统的投资较高。目前,固定管道式喷灌系统需投资1 000~1 500元/亩^①,半固定管道式喷灌系统需投资400~600元/亩,绞盘式喷灌机需投资500~800元/亩,大型喷灌机组需投资800~1 200元/亩。

3. 耗能

地面灌溉只要将水通过渠道、管道送到地头即可实现自流灌溉,而喷灌运行则需要一定的工作压力使水流破碎成水滴并且喷洒到规定射程内,因此喷灌需要多消耗一部分能量。

喷灌耗能大的问题促进了喷灌向低压化方向的发展,低压喷头已在大型喷灌机组上得到广泛的应用,固定管道式喷灌系统也在向降低工作压力的方向发展。另外,我国有不少丘陵、浅山区的自然落差可以利用,在这些地区宜发展自压喷灌,减少能耗。

一般喷灌比地面灌溉耗能多,但在扬程高的提水灌区和地下水埋深大的井灌区,由于喷灌节约了灌溉用水,提高了灌水效率,因此总体上耗能可能会下降。

第二节 喷灌系统的组成和分类

一、喷灌系统的组成

喷灌系统由水源工程、水泵和动力机、管道系统、喷头及附属设备和附属工程组成,在有条件的地区,喷灌系统还设有自动控制设备。

(一) 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。喷灌的水源可以是河流、湖泊、水库、池塘、沟渠、井泉等,也可以是中水和再生水。水源应满足喷灌在水量和水质方面的要求。喷灌的建设投资较高,灌溉设计保证率一般要求不低于85%。

① 1亩=1/15 hm²。

（二）水泵和动力机

除利用自然落差外，喷灌系统的工作压力均由水泵提供。在有电力供应的地区应尽量采用电动机与水泵配套，无电地区可采用柴油机。轻小型喷灌机组通常采用喷灌专用自吸泵并以柴油机或汽油机带动，可以方便地移动。小型喷灌工程往往用水泵一次完成提水和加压工作；对于大型喷灌工程，为了降低系统各分区的工作压力，通常采用分级加压的方式。当喷灌系统实际工作流量经常变化时，可采用变频调速改变水泵转速、增减同时开启的水泵台数和配备调压罐等方法进行调节。

（三）管道系统

喷灌一般采用压力管道输配水，喷灌管道应能承受一定的压力并通过一定的流量。在渠灌区发展喷灌也可以先利用渠道输配水，在支渠或斗渠控制范围内设立喷灌取水加压泵站。喷灌管道通常分为干管和支管两级，必要时可增加一级分干管。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，竖管上装喷头。压力水通过干管、支管、竖管，经喷头喷洒到田面上。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。

（四）喷头

喷头是喷灌系统的专用灌水设备，形式多种多样，其作用是将管道内的连续水流喷射到空中，形成细小水滴，洒落到地面补充土壤水分。作业中喷头边喷边移动称为行走式喷洒（简称行喷），作业中喷头不移动称为定点喷洒（简称定喷）。单喷头的喷洒范围是圆形的，水量分布难以达到均匀，故实际应用中经常是多喷头作业，喷洒范围有叠加，称为喷头组合。

喷头按工作压力和射程的不同分为低压喷头（近射程喷头）、中压喷头（中射程喷头）和高压喷头（远射程喷头）三类，按喷头的结构形式和喷洒特征可分为旋转式（射流式）喷头、固定式（散水式、漫射式）喷头和喷洒孔管三类。

（五）附属设备和附属工程

喷灌工程中还有一些附属设备和附属工程。如果从河流、湖泊、渠道取水应设拦污设施；管道的输配水由阀门进行控制；为保护喷灌系统安全运行，管道系统中的某些部分应设进排气阀、调压阀、减压阀、安全阀等；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，在水泵进出管路上应设真空表、压力表及水表；利用喷灌喷洒肥料和农药时，应有相应的调配和注入设备。为了操作、保护闸阀等，设有阀门井、水表井等附属工程。采用绞盘式喷灌机等机组式喷灌系统时，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，配置低压配电箱和电气控制箱等。

二、喷灌系统的分类

喷灌系统的形式很多，各具特点。按系统获得压力的方式分类，可分为机压喷灌系统和自压喷灌系统。按系统构成的特点分类，可分为管道式喷灌系统和机组式喷灌系统。各类喷灌系统的优、缺点和结构特性见表 1-1。

表 1-1 各类喷灌系统的优、缺点和结构特性

类型		亩投资 (元)	优点	缺点	结构特性	适用条件
固定管道式		1 000 ~ 1 500	操作方便, 省工, 效率高, 占地少, 易管理, 便于自动化操作, 运行成本低, 喷洒质量高	使用管道多, 投资大, 设备利用率低, 竖管对机耕有影响	管道投资占 70% ~ 80%, 支管耗用量一般为 25 ~ 35 m/亩	适用于灌水频繁、经济价值高的蔬菜和经济作物, 也适用于城市园林、绿地、运动场草坪灌溉
半固定管道式		400 ~ 600	支管重复使用可降低投资, 操作较方便, 占地少, 效率高, 喷洒质量较好	人工移管不方便, 尤其是黏重土壤, 而且易损坏庄稼	支管可移, 干管固定, 管道投资占 50% ~ 60%, 平均亩管道用量: 支管为 2 ~ 3 m, 干管为 1 ~ 3 m	最适用于矮秆大田粮食作物, 对高秆作物、果园不适用
移动管道式		300 ~ 500	设备利用率高, 投资少, 占地少, 喷洒质量较好	干管、支管需拆卸、搬移, 劳动强度大, 效率较低, 易损坏庄稼	管道全部可移, 管道投资占 50% ~ 55%, 平均亩管道用量: 支管为 1 ~ 3 m, 干管为 1 ~ 2 m	适用于一套设备多井喷灌, 尤其适用于不稳定的不易埋管道的河滩地灌溉和高寒地区
定喷式 机组	轻小型 机组	100 ~ 150	一次投资少, 使用灵活, 结构简单, 便于综合利用	机组移动稍难, 喷洒质量较差, 劳动强度稍大, 控制面积小	配套动力为 2 ~ 12 kW, 结构简单, 多为人工或拖拉机移动	适用于零星分散土地、分散小水源、家庭果园、菜园、集雨和水窖节水灌溉
	滚移式、 端拖式、 悬臂式	200 ~ 500	投资较少, 结构较简单	机组移动不便, 维修有一定难度, 机组保有率低, 国内产品技术不太成熟	结构简单, 多为拖拉机移动	适用于有一定技术条件、能集中使用的作物, 多用于大田作物, 目前国内很少使用
行喷式 机组	中心支 轴式、 平移式	800 ~ 1 200	喷洒质量最好, 抗风干扰能力较强, 效率高, 劳动强度小, 自动化程度高, 操作方便	结构复杂, 耗用钢材多, 一次投入大, 技术条件要求高, 坡度大于 7° 时行走有困难	支管以中心支轴为圆心旋转或以中心支架为准平移, 喷头直接布置在支管上, 支管边移边喷	适用于地形平坦、连片的大块土地 (500 亩以上) 和技术条件、经济条件较好的大型农场
	绞盘式	500 ~ 800	结构较为简单, 定位工作较容易	入机压力要求较高 (0.4 ~ 0.8 MPa), 机组移位困难	拖拉机移动, 喷头小车边走边喷, 支管为 PE 半软管	最适用于甘蔗、牧草等灌溉

注: 表中亩投资仅供参考。

（一）机压喷灌系统和自压喷灌系统

机压喷灌系统是以机械加压获得工作压力的喷灌系统，一般使用各类水泵加压，动力机可采用电动机、柴油机、汽油机。水泵的流量要满足灌溉要求，其扬程应保证不小于喷头工作压力与管道沿程和局部损失水头，以及水源和喷头之间高差之和。

自压喷灌系统多建在山丘区，利用水源的自然落差，用管道将压力水引至喷灌作业区，把位能转变为动能以实现喷灌。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。

山丘区的自压喷灌系统有的是先用水泵将低处的水扬至高处的蓄水池中，然后按自压喷灌的方法实现喷灌，这主要是因为当地供电没有保证，所以在用电低谷（一般是夜间）时先将水扬至蓄水池中，灌溉时不需再依赖供电状况。这种扬水自压喷灌实质上还是属于机压喷灌系统。

（二）管道式喷灌系统和机组式喷灌系统

1. 管道式喷灌系统

管道式喷灌系统是以管道为主要设备，通过各级管道将动力机、喷头等连接成一个完整的灌溉系统，它是为区别机组式喷灌系统而命名的。管道式喷灌系统又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。

固定管道式喷灌系统的全部管道在整个灌溉季节甚至常年都是固定不动的，且管道多埋于地下。固定管道式喷灌系统的亩投资较高，但使用方便，适用于灌水频繁的蔬菜和经济作物及经济发展水平高、劳动力紧张的地区。固定管道式喷灌系统一般采用按支管轮灌的灌溉方式，为降低亩投资也可采用同时向多支管供水、每条支管只开启一两个喷头的方式，支管仅承担一两个喷头的流量，干管处于多孔出流的状态，干管、支管的管径均可减小。

半固定管道式喷灌系统的干管一般是固定不动的，支管移动使用，可提高支管的利用率，减少支管用量，亩投资低于固定管道式喷灌系统，在我国北方小麦产区具有很大的应用前景。为便于移动，支管应选用轻型管材，如薄壁铝管、薄壁镀锌钢管，并且配有各类快速接头和轻便的连接件、给水栓。随着塑料管道加工技术的提高和强度的增加，近年也有采用塑料管道做地面移动管道的。

移动管道式喷灌系统的干管、支管道均可移动使用，如移动喷灌泵（非机组式）配套塑料软管的移动喷灌系统就是这种形式。干管采用轻型管道沿地面铺设，在灌水过程中干管不移动，仅仅移动支管，灌溉结束时再整体移动的喷灌系统仍属半固定管道式喷灌系统。

2. 机组式喷灌系统

机组式喷灌系统是以喷灌机（机组）为主要设备，再配以管道、喷头组成的成套喷灌系统，其中的喷灌机在工厂完成制造和组装。该系统具有集成度高、配套完整、机动性好、设备利用率高和生产效率高等优点，在农业机械化程度高的国家较多采用。机组式喷灌系统运行时需与水源和供水设施正确结合才能正常工作，大型机组对田间工程

有较高的配套要求,故采用机组式喷灌系统除应作好喷灌机的选型外,还应按喷灌机的使用要求作好田间配套工程的规划、设计和施工。

我国一般按运行方式将喷灌机分为定喷式和行喷式两类,同时按配用动力的大小分为大、中、小、轻等多种规格。目前,我国应用较多的是轻小型喷灌机,此外中心支轴式喷灌机、平移式喷灌机和绞盘式喷灌机等大中型喷灌机也有一定范围的应用。

中心支轴式喷灌机和平移式喷灌机属大型行喷式喷灌机组,一般采用多跨式结构,并可根据地块大小选择跨数,跨数过少将影响其经济性,单机控制面积一般为 500 ~ 1 000 亩。

绞盘式喷灌机属于行喷式喷灌机,规格以中型为主,同时也有小型产品。绞盘式喷灌机结构紧凑,机动性好,生产效率高,单机控制面积可达 150 ~ 300 亩。喷灌机一般采用高压远射程单喷头作业,入机压力较高,能耗较大,对于灌水频繁的地区,应慎重选择。绞盘式喷灌机的另一个不足之处是需要田间留出机行道。

轻小型喷灌机组是指 12 kW 以下电动机或柴油机配套的喷灌机组,有手抬式和手推车式两种,均属定喷式喷灌机。轻小型喷灌机组是为适应 20 世纪 70 年代我国农村的动力情况和抗旱的要求发展起来的,配套动力为 2 ~ 12 kW,目前已成为配套完整、规格齐全的喷灌主导产品之一。轻小型喷灌机组适用于水源少而地块分散的山丘区和平原缺水地区,具有一次性投资少、操作简单、保管维修方便、适用于抗旱等优点。采用轻小型喷灌机组时不应忽视水源工程的建设,否则干旱时难以发挥作用。

第三节 喷灌的发展概况与趋势

一、国外喷灌发展概况与趋势

(一) 国外喷灌发展概况

最早的喷灌可以追溯到公元前 560 年巴比伦(现伊拉克)的空中花园,当时采用了称为人工降雨的自压喷灌。1900 年,作为一种现代灌溉技术,喷灌开始用于城市草坪的灌溉,以后又应用于苗圃和经济作物。20 世纪 20 年代,德国和意大利开始在农业上采用喷灌,美国也在加利福尼亚州的山坡果园中应用。悬吊孔管或安装固定喷头的高架管道成本昂贵,初期的喷灌都是采用铸铁管的固定系统。20 年代出现了旋转式喷头和喷灌车,30 年代研制成了双悬臂喷灌机。第二次世界大战后,高效喷头、轻质管道、快速接头的出现和改进,为喷灌发展提供了价格较低、性能可靠的设备,使喷灌可以用于不同地区 and 不同作物,并推动了移动管道式喷灌系统和半固定管道式喷灌系统的发展。端拖式(1948 年)、滚移式(1951 年)、中心支轴式(1955 年)、绞盘牵引式(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。

(二) 国外喷灌发展的趋势

1. 喷灌设备与喷灌系统多样化发展

不同喷灌设备和喷灌系统具有各自的适用性,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喷灌机和平移式喷灌机，这两种喷灌机适合美国的农场现状，现也在其他很多国家得到应用。俄罗斯主要发展双悬臂式喷灌机，近年来，也从美国引进中心支轴式喷灌机和滚移式大型喷灌机。德国、法国、澳大利亚等国则重点发展绞盘式喷灌机。

2. 单机和系统控制面积不断扩大，机组适应能力不断提高

为了提高喷灌机的生产效率，减少设备投资，节省劳动力和运行管理费用，各国都在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的中心支轴式喷灌机由 30 个塔架组成，长 1 182 m，控制面积达 6 556 亩，为世界最大的中心支轴式喷灌机。为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，目前美国的单个喷灌地块已由 20 世纪 50 年代的 240 ~ 960 亩发展到 12 000 ~ 60 000 亩。各种喷灌机最大控制面积参见表 1-2。

表 1-2 各种喷灌机最大控制面积

机型	绞盘式	双悬臂式	滚移式	中心支轴式	平移式
结构尺寸等	喷头射程 50 m	桁架长 120 m	支管长 400 m	支管长 805 m，最长 1 182 m，30 个塔架	支管长 605 m
最大控制面积 (亩)	500	750 ~ 950	500 ~ 1 000	6 556	1 900 ~ 3 800

在扩大控制面积的同时，各国还在努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，机架重量减轻约 60%。

3. 尽力节省能源

由于世界能源危机，一些国家不得不放慢了喷灌发展的速度。根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%，而喷灌耗能在灌溉耗能中占了大部分，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发展低压喷头和开辟新能源两项。

1) 发展低压喷头

据美国测算，将喷灌用的高压喷头换为工作压力为 0.25 MPa 的低压喷头，每喷出 1 000 m³ 水能耗节省 9.6 美元。苏联研制的双悬臂式喷灌机，喷头工作压力仅为 0.1 MPa。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。

目前，各国研制的低压喷头和喷滴灌结合的喷头达几百种，新研制的异型喷嘴（方形、长方形喷嘴）喷头在低压力时仍有较好的雨量分布，受到人们关注。

2) 开辟新能源

积极采用风能、沼气能、太阳能等新能源作为喷灌能源。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灌溉。

4. 广泛采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,国外广泛使用轻质管道和塑料管道。

国内外大量使用的薄壁铝管,壁厚可做到 1.0 mm,较薄壁钢管更为轻便。奥地利鲍尔公司生产的薄壁镀锌钢管壁厚仅为 0.7 mm,最大工作压力为 1.1~2.0 MPa,一节长 6 m,一个人可以抬两三节,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。

塑料管道、管件和塑料喷头得到大量使用,在很多国家塑料管道的用量已经占总管道用量的 2/3 以上。由于大量使用价格低廉的塑料管道,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,提高喷洒质量

电子技术的发展和在喷灌系统中的应用,使得喷灌系统节省了大量劳力,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

对于固定式、半固定式喷灌系统或者按照预先排定的轮灌周期依次启动喷头,或者根据田间土壤水分信号,自动启闭喷头。

2) 同步控制和导向控制

对于中心支轴式喷灌机和平移式喷灌机,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。对于平移式喷灌机,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,以达到安全可靠、经济合理的目的。

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,国外还采用了间歇喷灌、脉冲喷灌和细滴喷灌等新技术。

6. 发展综合利用

对喷灌设备进行综合利用,提高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。

7. 重视喷灌基础理论的研究,注重多学科协作配合

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了基础,为合理地进行喷灌系统规划设计提供了可靠的准则和依据。许多国家(如美国、俄罗斯、日本等)多年来一直重视基础理论研究,并取得了较大成果,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。

二、我国喷灌发展概况与趋势

(一) 我国喷灌发展概况

我国早期的喷灌是 20 世纪 60 年代从苏联引进的。把喷灌作为一项灌水新技术，正规的试验研究和大量使用则是从 1973 年开始的。从 1973 年至今，我国的喷灌发展经历了三个阶段。

第一阶段是 1973 ~ 1983 年，喷灌开始在一些地区推广使用，同时开始进行喷灌科学研究。1977 年喷灌技术被列为全国 60 个重点推广的新技术之一，1978 年被正式列入国家农田水利建设计划，十年内喷灌投资达十几亿元，建成了一批粮食和经济作物的大面积喷灌试点，喷灌面积达 800 万亩。喷灌科研也取得了许多进展，成立了农业节水的第一个科技信息网——喷灌情报网（后改为喷灌信息网）；1976 年，节水灌溉技术的第一个专业技术刊物——《喷灌技术》（现改为《节水灌溉》）开始发行；开始生产轻小型喷灌机组，引进生产了第一批摇臂式喷头，各种喷灌用管道开始研制和生产。但是这十年的发展也经历了较大的曲折，轻小型喷灌机组在这一时期发展迅速，但当时发展的轻小型喷灌机组质量差，保有率低，配套的喷头、管道质量也不过关，因此喷灌面积长期徘徊不前；另外，节水灌溉发展存在着认识上的较大差异，喷灌工程的规划设计和施工也没有统一标准，这些都影响了喷灌的进一步发展。

第二阶段是 1984 ~ 1995 年，主要是在巩固原有喷灌成果的基础上，统一认识、抓好试点、总结经验、探索模式、制定标准、稳步发展。1985 年颁布的《喷灌工程技术规范》（GBJ 85—85）是我国农田水利专业的第一个国家标准，它和以后颁布的《节水灌溉技术规范》（SL 207—98）、《微灌工程技术规范》（SL 103—95）等一系列标准和规范为指导我国节水灌溉以及喷灌事业的发展起了很大作用。经过了前十年的实践与探索，证明喷灌是解决我国农业缺水的一项革命性措施，发展喷灌势在必行等认识基本得到统一，克服了徘徊停顿的局面。从 1986 年起喷灌又开始较快发展，同时喷灌科研和机具设备的研制也取得了较大进展，能够自行生产满足喷灌要求的各种管道、管件，包括：引进薄壁金属管道生产线，特别是塑料管道的质量提高、规格标准化、管件齐全、价格低廉，使得塑料管道在节水灌溉包括喷灌中大量使用；引进和生产了各种类型的喷头，引进生产了中心支轴式、平移式等大型喷灌机组，这些为大规模发展喷灌提供了物质条件。

第三阶段是 1996 年至今，是喷灌理性发展的阶段，目前还处于这一阶段的持续过程中。随着农村生产责任制的推行，喷灌发展受到很大制约，喷灌的推广应用进入了理性发展阶段，其主要特点是由无序发展变为有序发展，由盲目发展变为因地制宜发展，由追求高起点发展变为追求高效益发展。这一阶段喷灌发展的一个重要特征是：喷灌已经不仅仅作为一种单独的灌水新技术来应用，而是和渠道防渗、低压管道输水灌溉、微灌等多种节水灌溉新技术，以及节水管理措施、节水农艺措施等其他技术和措施有机结合组成一个完整的农业节水系统。

(二) 我国喷灌发展趋势

按照我国节水灌溉的中长期发展规划，到 2020 年节水灌溉面积达 8 亿亩，其中喷

灌面积 1 亿亩，占 12.5%，喷灌所占的比重逐渐增加，发展的任务是很艰巨的，但已具备了一定的有利条件。

我国现已形成了一支数千人的喷灌技术骨干队伍，培养了几百名与喷灌技术有关的研究生和数万名操作管理人员，建立了几百家从事喷灌设计、施工的专业公司，制定了一系列与喷灌有关的技术标准，部分标准还在不断修订和完善中，这些都为喷灌的大规模发展创造了良好的技术条件。

在材料设备生产方面，我国也具备了一定的物质条件。我国先后开发了常用的喷灌产品和设备，如塑料管道、薄壁铝管、大型喷灌机组、轻小型喷灌机组等设备不但数量可以满足我国喷灌发展的需要，而且质量也有了较大的提高。

我国幅员辽阔，地形复杂，气候多变，土壤各异，作物多样，为喷灌的发展提供了有利的客观条件。根据统计，我国适宜发展喷灌的面积共达 6 亿亩。我国耕地 66% 以上是丘陵山坡地，坡耕地面积约 4 亿亩，这些土地无法采用传统地面灌溉解决灌溉问题。在山区，有很多地方可以修建水库、塘坝蓄水，发展自压喷灌。在半山区，可以采用轻小型机组和管道式喷灌。

我国经济作物的种植面积大（在 3.5 亿亩以上）、品种多。这些作物经济价值高，但大多种植在丘陵、山坡地上，实施地面灌溉很困难，采用喷灌后增产幅度大、收益快，因此也是发展喷灌的主要对象。

由上可以看出，我国发展喷灌的前景是广阔的、乐观的，要保证我国喷灌技术可持续发展，在今后的发展中应注意以下几个问题。

1. 认真作好喷灌的发展规划

喷灌发展规划是发展喷灌的宏观决策，也是进一步实施喷灌工程建设的前期工作。它不仅是一个技术问题，也是一个社会、经济、技术都要考虑的综合性问题。全国各地地区喷灌发展极不平衡，应通过综合比较各种因素，全面分析，合理布局，确定全国和各省区发展喷灌的方向、规模、重点和步骤等。喷灌发展规划应纳入农业节水和节水灌溉的总体规划之中，应当和农村水利总体规划一致，不能片面强调喷灌的发展而忽略其他节水灌溉技术的发展。

2. 继续加大喷灌的投入

中央和地方各级政府应继续加大对喷灌的投入，同时制定相应的惠农政策和对喷灌产品生产的优惠政策，鼓励私人投资发展喷灌，把喷灌作为一项保证农业生产持续发展的基础产业抓实、抓好。

3. 积极稳妥地引进国外先进喷灌技术和设备，加快我国喷灌设备产业化

20 世纪 70 年代以来，我国从欧美等发达国家引进先进的喷灌技术设备，使我国的喷灌技术有了很大发展，喷灌产品设备水平有了很大提高。今后的重点是加速我国喷灌设备的产业化、规模化、标准化，为喷灌的持续发展提供数量充足、质量优良的喷灌机具设备。

4. 加强喷灌技术的科研和新产品研发

喷灌技术是一门综合农业、林业、水利、机械、环境等多学科的应用科学技术。我国的喷灌技术水平与先进国家相比还存在一定的差距，为保证喷灌的顺利发展，应当增