



现代农业高新技术成果丛书

高效施药技术与机具

Efficient Pesticide Application
Technology and Equipment

何雄奎 主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

现代农业高新技术成果丛书

高效施药技术与机具

Efficient Pesticide Application
Technology and Equipment

何雄奎 主编



NLIC2970819369

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书系统总结了国家攻关计划“高效施药技术与机具开发研究”与科技支撑计划“高效施药技术研发与示范”、“863”高新技术计划“农作物靶标光谱探测技术”与“新型施药技术与农用器械”、国家自然科学基金委“农药雾滴在典型作物冠层中的沉积行为及高效利用”以及相关研究工作与技术内容;针对我国农业生产现状,介绍了适合于不同专业作物的自动对靶喷雾技术与机具、自走式水田风送喷杆喷雾技术与机具、循环喷雾技术与机具、防飘喷雾技术与机具、静电喷雾技术与机具、航空喷雾技术与机具等内容,尤其是该领域的研究方法。

本书可供植保机械科研人员使用,也可供农药生产使用者及各级农业技术推广人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高效施药技术与机具/何雄奎主编. —北京:中国农业大学出版社,2012.2
ISBN 978-7-5655-0459-4

I. ①高… II. ①何… III. ①农药施用 ②植保机具 IV. ①S48 ②S49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 251883 号

书 名 高效施药技术与机具
作 者 何雄奎 主编

策划编辑 孙 勇
封面设计 郑 川
出版发行 中国农业大学出版社
社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号
电 话 发行部 010-62731190,2620
编辑部 010-62732617,2618
网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>
经 销 新华书店
印 刷 涿州市星河印刷有限公司
版 次 2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷
规 格 787×1092 16 开 31.25 印张 770 千字
定 价 110.00 元

责任编辑 孙 勇
责任校对 王晓凤 陈 莹

邮政编码 100193
读者服务部 010-62732336
出 版 部 010-62733440
E-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

现代农业高新技术成果丛书

编审指导委员会

主 任 石元春

副主任 傅泽田 刘 艳

委 员 (按姓氏拼音排序)

高旺盛 李 宁 刘庆昌 束怀瑞

佟建明 汪懋华 吴常信 武维华

编写人员

主 编 何雄奎

副主编 曾爱军 刘亚佳 宋坚利 张 京

编 者 (按姓氏拼音排序)

陈 吉	陈舒舒	迟明梅	储金宇	代美灵
邓 丽	邓 巍	宫 帅	何雄奎	胡 成
李红军	李 丽	李 烜	李 扬	刘亚佳
刘 巧	马 晟	宋坚利	汪 健	王 凯
严苛荣	于 辉	张录达	张 京	赵 辉
曾爱军	仲崇山	周继中		

出版说明

瞄准世界农业科技前沿,围绕我国农业发展需求,努力突破关键核心技术,提升我国农业科研实力,加快现代农业发展,是胡锦涛总书记在 2009 年五四青年节视察中国农业大学时向广大农业科技工作者提出的要求。党和国家一贯高度重视农业领域科技创新和基础理论研究,特别是 863 计划和 973 计划实施以来,农业科技投入大幅增长。国家科技支撑计划、863 计划和 973 计划等主体科技计划向农业领域倾斜,极大地促进了农业科技创新发展和现代农业科技进步。

中国农业大学出版社以 973 计划、863 计划和科技支撑计划中农业领域重大研究项目成果为主体,以服务我国农业产业提升的重大需求为目标,在“国家重大出版工程”项目基础上,筛选确定了农业生物技术、良种培育、丰产栽培、疫病防治、防灾减灾、农业资源利用和农业信息化等领域 50 个重大科技创新成果,作为“现代农业高新技术成果丛书”项目申报了 2009 年国家出版基金项目,经国家出版基金管理委员会审批立项。

国家出版基金是我国继自然科学基金、哲学社会科学基金之后设立的第三大基金项目。国家出版基金由国家设立、国家主导,资助体现国家意志、传承中华文明、促进文化繁荣、提高文化软实力的国家级重大项目;受助项目应能够发挥示范引导作用,为国家、为当代、为子孙后代创造先进文化;受助项目应能够成为站在时代前沿、弘扬民族文化、体现国家水准、传之久远的国家级精品力作。

为确保“现代农业高新技术成果丛书”编写出版质量,在教育部、农业部和中国农业大学的指导和支持下,成立了以石元春院士为主任的编审指导委员会;出版社成立了以社长为组长的项目协调组并专门设立了项目运行管理办公室。

“现代农业高新技术成果丛书”始于“十一五”,跨入“十二五”,是中国农业大学出版社“十二五”开局的献礼之作,她的立项和出版标志着我社学术出版进入了一个新的高度,各项工作迈上了新的台阶。出版社将以此为新的起点,为我国现代农业的发展,为出版文化事业的繁荣做出新的更大贡献。

中国农业大学出版社

2010 年 12 月

序

自 2007 年始,我国农药产量与使用量居全球第一。随着农药在农业生产中的广泛应用,农药用量大、施药次数多、操作人员中毒、农产品农药残留超标、环境污染等负面问题已严重威胁到我国从业人员、食品及环境的安全,造成了不应有的损失以及其他不良后果,其原因是我国施药机械与技术相对落后,农药有效利用率不足 30%。

目前国产植保机械有 20 多个品种、80 多个型号,其中 80% 处于发达国家 20 世纪 50—60 年代的水平,尤其是年产量高达 800 万~1 000 万台(社会保有量 1 亿台以上)的各种手动喷雾器。用一种机型“防治各种作物的病虫害、打遍百药”是造成农药用量过大、农药浪费、农产品农药残留超标、环境污染、作物药害、操作者中毒等的重要原因之一。发达国家从五六十年代开始,已走上植保机械专业化的道路,并开发出各种专用扇形雾喷头,而迄今为止,我国 90% 以上的喷雾器仍在使用的圆锥雾喷头,人力驱动。同时,我国现有的植保机械品种不能适应病虫害适时和应急防治,用水量大、作业效率低。发达国家采用的高效专业植保机具用水量为 200 L/hm²,而我国现有的植保机具用水量高达 600~1 200 L/hm²,功效极低的同时还消耗了大量的水资源。

20 世纪 50 年代以来,国际上农药施用技术不断改进、完善,大量应用低容量(LV)、超低容量(ULV)、控滴喷雾(CDA)、循环喷雾(RS)、防飘喷雾(AS)等一系列新技术、新机具,施药量大大降低,农药的利用率和功效大幅度提高。但我国至今仍沿用 50 年代的手动喷雾器大容量淋雨式喷雾法,使农药大量流失于农田土壤中,既浪费了农药,又污染了环境。据统计,目前我国平均每公顷的用药量是以色列、日本的 1/8~1/4,美国和德国的 1/2,但农产品上农药残留却是它们的数倍,甚至数十倍,农药有效利用率最高不足 30%,流失量却高达 60%~70%。

针对上述问题,为适应农业生产发展的需要,增强防御控制农业有害生物的能力,20 世纪 90 年代末,我国先后编制了《植保工程建设规划》(2000—2005 年)和《植保工程建设规划》(2006—2010 年),2000 年以来,建设了蝗虫地面应急防治站、小麦条锈病菌源地综合治理试验站、农业有害生物预警与控制、农药残留与质量监测中心、苹果和柑橘非疫区、植物检疫隔离场、农用航空服务等 6 大类 850 余个项目。2008 年中央 1 号文件提出了“继续实施植保工程,探索建立专业化防治队伍,推进重大植物病虫害统防统治”的具体指示,把提高农药利用率、减少农药使用量与推进农作物病虫害专业化防治作为服务“三农”、农业转型升级、促进农民增收、满足农民群众需要的大事列入重要的议事日程。农业部与科技部“十五”、“十一五”期间一

直接将高效植保机械与新型施药技术的研发作为国家科技攻关计划、科技支撑计划与“863”高新技术计划的重点内容加以支持。2008年8月6日农业部发布的《农业部关于加快推进植保机械化的通知》指出,坚持“预防为主,综合防治”的方针,按照“公共植保、绿色植保”的理念,充分发挥植保机械在病、虫、草害防治方面的作用,加快推进研发高效施药技术与新型植保机械,突破我国植保工作中的瓶颈技术,提高植物病、虫、草害防治能力,促进农业稳定发展和农民持续增收。

面对这一现实,我们组织了有关人员,总结了近年来我们在农业部、科技部、国家自然科学基金委员会等的支持下与全国有关单位合作开展的主要植保机械与施药技术研究,特别是农业部“高效施药技术与机具开发研究(2001BA504B05)”与“高效施药技术研发与示范(2006BAD28B05)”、科技部“863”高新技术计划“农作物靶标光谱探测技术(2007AA10Z208)”与“新型施药技术与农用药械(2008AA100904)”、国家自然科学基金委员会“农药雾滴在典型作物冠层中的沉积行为及高效利用(30671388,30971940)”等研究结果,结合对国内外有关进展的综述,编写了本书,重点对近年来研发的新型药械与高效施药技术及研究方法进行了讨论。编者认为,高效施药技术与机具是实现我国农业生产全程机械化的重要环节,是“公共植保、绿色植保”的主要组成部分。

随着我国社会经济的快速发展,高效施药机械与新型施药技术必将成为农业高产高效、农产品安全、环境保护目标的重要手段与方法。我们编写本书的主要意图是希望借此为我国安全、高效、减量施药技术工作与正在实施的植保工程、统防统治、专业防治队伍建设等工作起到一定的指导作用。

参加本书写作的主要人员有数十人,其名字均在各章节中列出。中国农业大学药械与施药技术研究中心的许多老师和研究生参加了有关资料的收集和部分章节的编写与讨论,李秉礼先生与吴罗罗先生不辞辛苦审阅了有关章节,并提出了许多合理而又有重要意义的建议,曾爱军、刘亚佳、宋坚利、张京为本书的组织做了大量的工作,在此一并表示衷心的感谢。

何雄奎

2011年6月

前言

21 世纪前 10 年是我国高效施药技术与机具高速发展的 10 年。仅 2008 年我国植保机械社会保有量突破 1.25 亿台架,其中手动背负式喷雾器(3WS-16 型)保有量达到 1.1 亿台、背负式机动弥雾喷粉机(3W-18 型)500 万台、大型喷杆喷雾机(药箱 250 L 以上)40 万台、电动手持(与背负)喷雾器 20 万台。各地植保机械生产厂商 200 余家,生产各种植保机械 100 余种;植保机械总销量达 40 亿元,其中出口达 18 亿元,出口创汇超 3 亿元以上的生产厂家 4 家。同年,全国各种农作物病、虫、草鼠害防治面积突破 90 亿亩(1 亩=1/15hm²)次,其中机械化防治面积达 30%,挽回粮食作物损失 9 000 万 t,挽回棉花损失 200 万 t,挽回油料作物损失 286 万 t。果树病、虫、草害防治面积突破 40 亿亩次,应用风送喷雾技术、对靶喷雾技术与循环喷雾技术,防治面积达到 47.13 亿亩次,挽回果业损失 1 520 万 t。2008 年我国各地蔬菜病、虫、草害防治面积达到 5 亿亩次,应用低量与超低量喷雾技术、电动喷雾技术与静电喷雾技术,防治面积达到 6.5 亿亩次,挽回蔬菜损失 5 000 万 t。

尽管我们取得了惊人的成绩,但目前我国农药施药机械与施药技术水平还落后发达国家 20~30 年,农药利用率不足 30%,农药残留超标等报道经常见诸报端,这与我国高速发展的经济不相适应。在我国目前农业以小农户分散经营为主的国情下实现大面积、全面积地应用高效植保机械与施药技术施药,继而达到农作物高产高效、环境友好、农产品与施药人员人身安全,的确是前所未有的挑战。

近年来,我国针对植保机械与施药技术现状,开展了大量的技术与示范项目,应用于农业生产实践,取得了一定的成果。本书系统总结了国家攻关计划“高效施药技术与机具开发研究”与科技支撑计划“高效施药技术研发与示范”、“863”高新技术计划“农作物靶标光谱探测技术”与“新型施药技术与农用药械”、国家自然科学基金委员会“农药雾滴在典型作物冠层中的沉积行为及高效利用”以及相关研究工作与技术内容,针对我国农业生产现状,重点介绍了适合于不同专业作物的喷雾技术与机具及该领域的研究方法,分析、探讨了高效施药技术与机具的一些问题及解决问题的途径和方法。

鉴于我们有限的能力与水平,同时由于时间紧迫,错误与不足之处在所难免,敬请各位专家、同行批评指正,望广大读者阅后,提出宝贵意见。

编 者

2011 年 6 月

目 录

第1章 自动对靶喷雾技术与机具	1
1.1 自动对靶喷雾国内外技术研究进展	1
1.2 自动对靶喷雾机系统体系结构和组成	2
1.3 自动对靶喷雾机整机及关键工作部件设计	4
1.3.1 喷雾机的整体结构型式	4
1.3.2 喷雾装置	5
1.3.3 风机及风送系统	5
1.3.4 喷雾控制系统	6
1.3.5 静电系统	7
1.3.6 自动对靶系统	9
1.4 果园自动对靶喷雾机试验研究	10
1.4.1 红外光电探测器	10
1.4.2 实际试验及应用效果	11
1.4.3 静电喷雾装置试验研究	12
1.4.4 植株模拟测试	17
1.5 结论	18
1.6 致谢	18
参考文献	18
第2章 自走式水田风送低量喷杆喷雾技术与机具	21
2.1 国内外技术现状	21
2.2 研究系统体系结构和组成	22
2.3 自走式水田风送低量喷杆喷雾机整机及主要部件设计	23
2.3.1 喷雾机的整体结构型式	23
2.3.2 药液箱	25

2.3.3	轻型液泵	25
2.3.4	风机及出风管	27
2.3.5	增速箱	27
2.3.6	喷杆折叠机构	29
2.3.7	喷幅标识系统	29
2.3.8	“三位一体”组合式防滴喷头	29
2.4	提高农药在水稻上的有效附着率的高效施药技术研究	29
2.4.1	风送系统出口风速确定	29
2.4.2	有、无风送条件下雾滴沉积试验研究	30
2.5	试验与结论	31
2.6	致谢	31
	参考文献	32
第3章	循环喷雾技术与机具	34
3.1	引言	34
3.1.1	研究背景及意义	34
3.1.2	国外植保机械发展现状	34
3.1.3	“Π”型循环喷雾机(tunnel sprayer)研究现状	36
3.1.4	主要研究内容	38
3.2	药液雾化及雾滴在流场中的运动特性	38
3.2.1	材料与方法	38
3.2.2	不同粒径雾滴的分布	39
3.2.3	雾滴运动	41
3.2.4	雾化过程中气流流场运动	44
3.2.5	小结	46
3.3	“Π”型循环喷雾机设计与试验研究	47
3.3.1	整机研制实施方案	47
3.3.2	主要部件设计	48
3.3.3	小结	53
3.4	“Π”型循环喷雾机防飘性能研究	53
3.4.1	方法与材料	54
3.4.2	飘失量测定	55
3.4.3	“Π”型循环喷雾机与果园风送喷雾机药液飘失情况比较	56
3.4.4	小结	58
3.5	结论	58
3.6	致谢	59

参考文献	60
第4章 防飘喷雾技术与机具	65
4.1 引言	65
4.1.1 研究背景	65
4.1.2 罩盖防飘喷雾技术的国内外研究现状	66
4.2 导流挡板的防飘机理研究	70
4.2.1 气流对雾滴飘失的影响	70
4.2.2 冠层对雾滴沉积飘失的影响	72
4.2.3 导流挡板的防飘机理	76
4.3 3WFP-350 挡板导流式喷雾机的研制	85
4.3.1 挡板导流式喷雾机的设计要求	85
4.3.2 试验机具的设计	85
4.3.3 最优作业参数的确定	86
4.3.4 3WFP-350 挡板导流式喷雾机的整体结构设计	95
4.4 挡板导流式喷雾机的防飘性能研究	96
4.4.1 防飘性能的风洞试验	96
4.4.2 防飘性能的田间试验	101
4.4.3 喷施除草剂药效对比试验	104
4.5 结论	105
4.6 致谢	106
参考文献	106
第5章 小区喷雾技术与机具	109
5.1 引言	109
5.1.1 研究背景及意义	109
5.1.2 国内研究现状	110
5.1.3 国外研究现状	113
5.2 小区喷雾机方案确定	115
5.2.1 机械系统方案	115
5.2.2 喷雾高度和喷头间距的确定	115
5.2.3 速度计算系统	116
5.3 小区喷雾机的设计	116
5.3.1 液泵选择及性能测试	116
5.3.2 小区喷雾机的设计	117
5.3.3 小区喷雾机整机系统	119

5.4 小区喷雾机速度计算系统	120
5.4.1 小区喷雾机速度计算系统	120
5.4.2 速度计算系统的原理	121
5.4.3 速度计算系统软件	121
5.4.4 速度计算系统硬件	122
5.5 性能对比试验	125
5.5.1 试验材料与方法	125
5.5.2 试验结果分析	127
5.6 结论	128
5.7 致谢	129
参考文献	129
 第6章 机动背负式喷杆喷雾技术与机具	 131
6.1 历史与现状	131
6.2 原理与设计	134
6.3 使用方法	136
6.4 性能分析	137
6.5 应用前景	139
6.6 致谢	140
参考文献	140
 第7章 静电喷雾技术	 141
7.1 引言	141
7.1.1 研究背景及意义	141
7.1.2 农药静电喷雾技术研究进展	141
7.2 静电喷雾系统理论研究	143
7.2.1 雾滴荷电原理	144
7.2.2 雾滴荷电效果评定参数及测量方法	145
7.2.3 荷电雾滴的输运过程	146
7.3 气助式感应静电喷雾系统的研制与试验	149
7.3.1 系统组成	149
7.3.2 气助式感应静电喷头结构	150
7.3.3 高压电源的设计	152
7.3.4 荷质比测量装置	153
7.3.5 气助式感应静电喷头的荷电性能测试	155
7.3.6 气助式静电喷头的雾滴谱	156

7.3.7 气助式静电喷头的雾锥角	157
7.3.8 气助式静电喷头的气/液比	158
7.3.9 气助式静电喷头无冠层条件沉积特性	159
7.3.10 气助式静电喷头有冠层条件沉积特性	160
7.4 离心雾化式感应静电系统的研制与试验	173
7.4.1 离心雾化式感应静电系统结构	173
7.4.2 离心式感应静电喷头的荷电性能测试	173
7.4.3 离心雾化式感应荷电喷头的沉积特性	174
7.5 液力式扇形雾感应静电喷雾系统的研制与试验	174
7.5.1 喷头结构	175
7.5.2 荷电性能测试	175
7.5.3 雾滴粒径	177
7.5.4 模拟靶标上的沉积效果	180
7.6 液力式电晕静电喷雾系统的研制与试验	183
7.6.1 总体技术方案	183
7.6.2 高压电源的设计	184
7.6.3 高压电极的研制	184
7.6.4 荷质比测试装置的研制	185
7.6.5 雾化性能评价	186
7.6.6 结果与分析	187
7.6.7 荷电性能评价	189
7.6.8 沉积性能评价	191
7.7 结论	193
7.8 致谢	194
参考文献	194
 第8章 农作物靶标光谱探测技术研究	 197
8.1 农作物靶标探测技术研究意义及现状	198
8.1.1 引言	198
8.1.2 研究背景及意义	198
8.1.3 研究现状	201
8.2 靶标红外探测装置研究	203
8.2.1 红外探测装置Ⅲ型	203
8.2.2 试验研究	209
8.3 绿色植物靶标的光谱探测研究	210
8.3.1 探测系统方案	210

8.3.2 硬件设计	213
8.4 田间杂草与作物光谱识别探测	214
8.4.1 支持向量机分类原理	214
8.4.2 材料与方法	215
8.4.3 结果与分析	218
8.4.4 硬件	220
8.5 结论	222
8.6 致谢	223
参考文献	223
第9章 枣树防尘喷雾技术	229
9.1 引言	229
9.1.1 研究背景及意义	229
9.1.2 研究现状	230
9.2 洗涤原理和沉积量理论	233
9.2.1 洗涤液和洗涤效果	233
9.2.2 表面性质和沉积量	235
9.3 枣花和枣叶的表面性质	236
9.3.1 手持式显微镜观察试验	236
9.3.2 电镜试验	237
9.4 Silwet408 应用在洗尘喷雾中的优势	239
9.4.1 接触角的测定	239
9.4.2 扩展速度测试	240
9.5 室内洗尘效果测试和田间试验	241
9.5.1 测试洗涤效果和沉积量的关系	241
9.5.2 室内测试 Silwet408 溶液在枣叶和枣花上的沉积量	244
9.5.3 大田测定洗尘喷雾溶液的性能	246
9.6 结论	250
9.7 致谢	251
参考文献	251
第10章 风送式喷杆喷雾机减少雾滴飘失的仿真模拟研究	254
10.1 雾滴飘失仿真研究现状	254
10.1.1 研究背景	254
10.1.2 国内外研究雾滴飘失的进展及存在的问题	256
10.2 仿真试验设计及计算模拟	262

10.2.1	仿真试验条件假设	262
12.2.2	模拟模型初始参数测定和求解设置	265
10.2.3	计算机模拟步骤	268
10.3	气流速度场模拟试验	270
10.3.1	风幕气流均匀性的模拟	270
10.3.2	二维模拟试验可行性研究	272
10.3.3	正交模拟试验	280
10.3.4	全面模拟试验	281
10.4	风送喷杆喷雾机加导流板与不加导流板模拟试验的对比	284
10.4.1	试验目的	285
10.4.2	带导流板方案的初步确定	285
10.4.3	试验条件及试验方法	285
10.4.4	模拟实验结果及分析	285
10.5	研究结论	293
10.6	致谢	293
	参考文献	293
第11章	作物冠层微气候对雾滴沉积的影响	297
11.1	引言	297
11.1.1	研究背景及意义	297
11.1.2	影响农药飘失的主要因素	298
11.1.3	国内外关于环境条件和作物种类对雾滴沉积分布研究现状	301
11.2	温、湿度对雾滴沉积影响	302
11.2.1	材料与方法	302
11.2.2	不同温、湿度条件,在不同喷雾压力下雾滴在冠层中的沉积分布情况	302
11.2.3	相同温、湿度条件下,不同喷雾压力对雾滴沉积影响的比较	305
11.2.4	小结	307
11.3	风速对雾滴沉积影响	308
11.3.1	材料与方法	308
11.3.2	风速对雾滴沉积的影响	308
11.3.3	小结	312
11.4	施药参数对雾滴沉积影响	313
11.4.1	材料与方法	313
11.4.2	不同施药速度下的雾滴沉积分布	313
11.4.3	不同压力下的雾滴沉积分布	315
11.4.4	小结	317

11.5	风洞模拟试验	318
11.5.1	正交试验	318
11.5.2	温度、湿度单因素试验	322
11.5.3	风速单因素试验	322
11.5.4	小结	330
11.6	棉花冠层温度变化规律及其对雾滴沉积影响	330
11.6.1	试验材料与方法	331
11.6.2	晴天条件(31~41℃)棉花冠层一天中的温度变化及雾滴沉积分布	331
11.6.3	多云条件(24~32℃)棉花冠层一天中的温度变化及雾滴沉积分布	332
11.6.4	小结	333
11.7	结论	333
11.8	致谢	334
	参考文献	335
第12章	农药雾滴在水稻叶片上的沉积行为与效果研究	337
12.1	引言	337
12.1.1	研究背景及意义	337
12.1.2	影响水稻叶片上农药沉积的因素	337
12.1.3	液滴撞击行为	339
12.1.4	主要研究内容	340
12.2	雾滴撞击水稻叶片的理论分析	341
12.2.1	润湿理论	341
12.2.2	液滴在水稻叶片的临界脱落直径	342
12.2.3	液滴撞击固体表面的过程	343
12.2.4	液滴撞击固体表面过程中的能量耗散	346
12.2.5	影响液滴撞击固体表面行为的因素	347
12.3	水稻叶片表面微结构研究	348
12.3.1	扫描电子显微镜(SEM)工作原理	349
12.3.2	材料与方法	350
12.3.3	水稻叶片表面微结构形态及描述	350
12.3.4	雾滴在水稻叶片微结构上的临界脱落直径的计算	352
12.4	雾滴在水稻叶片上沉积部位的显微研究	356
12.4.1	数码显微照相法研究雾滴沉积状态	356
12.4.2	液氮急速冷却法研究雾滴沉积状态	357
12.4.3	扫描电子显微镜法研究雾滴沉积状态	358
12.5	影响雾滴撞击行为效果的因素研究	358