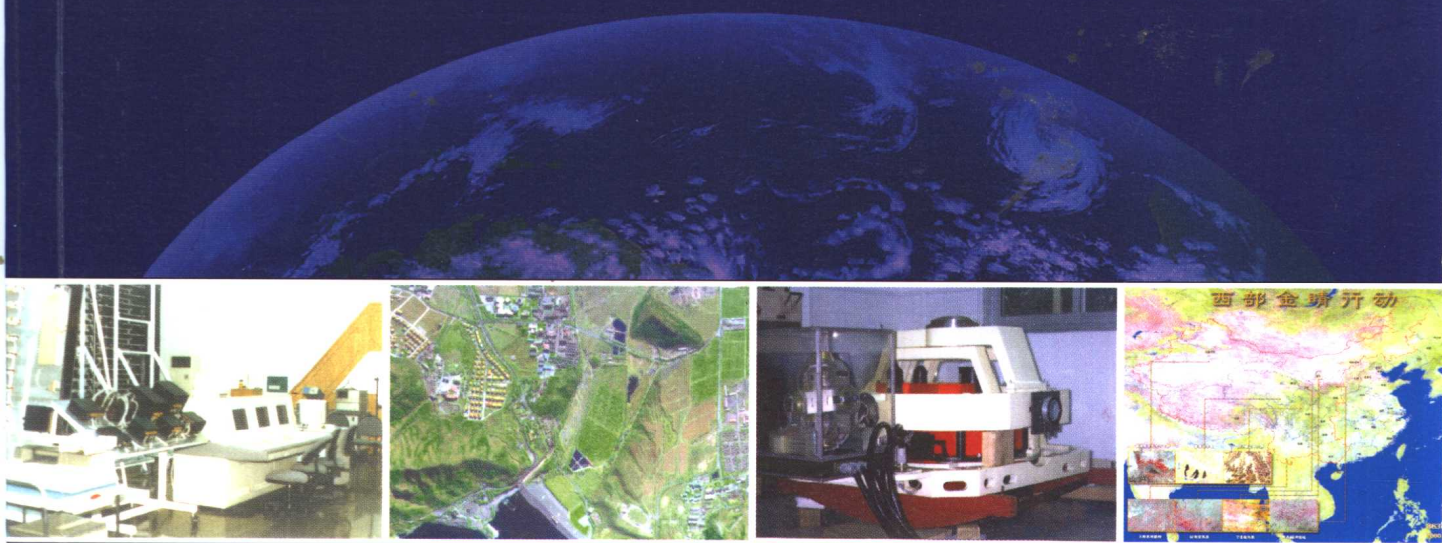


空间信息获取与处理系列专著

对地观测技术 与精细农业



王长耀 牛铮 唐华俊 等著



科学出版社

空间信息获取与处理系列专著

对地观测技术与精细农业

王长耀 牛 铮 唐华俊 等著

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书是国家高技术计划信息领域信息获取与处理技术(863-308)主题成果系列专著之一。本书重点介绍农业信息高新前沿技术——精细农业。书中分别介绍了对地观测技术与精细农业国际上的发展状况,总结了国家“九五”计划期间,我国利用新型对地观测技术开展农业,尤其是精细农业初步应用试验示范的技术、方法及所取得的成果,以及利用遥感技术、地理信息系统、全球卫星定位系统进行精细农作物管理,高效利用农业资源,促进农业可持续发展的有关技术。

本书可供从事对地观测、空间技术应用、信息资源开发,特别是现代农业、林业科学等领域的科学和管理工作者参考也可作为有关学校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

对地观测技术与精细农业/王长耀等著. —北京:科学出版社,2001
(空间信息获取与处理系列专著)

ISBN 7-03-009104-3

I. 对… II. 王… III. 遥感地面调查—应用—农业 IV. S127

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 87557 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

源海印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2001 年 2 月第一次印刷 印张:17 插页:1

印数:1—2 500 字数:372 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

国家 863 计划 308 主题

空间信息获取与处理系列专著

编辑委员会

名誉主编：匡定波

主 编：郭华东

副 主 编：许健民 倪国强

编 委（按姓氏笔画为序）

王长耀	王建宇	王德纯	朱敏慧	刘玉洁
刘永坦	孙文新	巫英坚	杨家德	杨震明
李小文	李文友	吴一戎	张光义	张永生
张钧屏	张意红	张澄波	郁文贤	林行刚
周心铁	郇辛樵	孟宪文	侯朝焕	姜文汉
姚岁寒	顾怀瑾	阎吉祥	龚雅谦	梁甸农
彭胜潮	景贵飞	强小哲	缪家驷	魏钟铨

国家 863 计划 308 主题

空间信息获取与处理系列专著

- 对地观测技术与可持续发展
- 合成孔径雷达卫星
- 空间探测相控阵雷达
- 对地观测与对空监视
- 航天遥感工程
- 对地观测技术与数字城市
- 对地观测技术与精细农业
- 多角度与热红外对地遥感
- 环境监测激光雷达
- MODIS 遥感信息处理原理与算法
- 对地观测系统与应用

空间信息获取与处理系列专著

序

信息获取与处理技术(308)主题是我国高技术计划最早设立的15个主题之一。20世纪80年代初,美国政府推出“星球大战计划”,接着欧洲出台了“尤里卡计划”。在亚洲,日本率先提出了“未来10年振兴科学技术政策大纲”。面对严峻的国际形势和世界的发展趋势,中国于1986年形成自己的高技术研究发展计划,明确提出308主题重点发展面向空间目标监视和空间对地观测的军民两用技术。

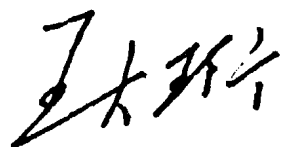
随着20世纪90年代初前苏联的解体、冷战的结束及其后“信息高速公路”、“知识经济”、“数字地球”的出现,308主题根据国际形势的发展和国家现代化建设的需要,科学地调整战略目标,卓有成效地部署实施研究计划。

15年来,308主题围绕对地观测和对空监视两大系统,突破了以新型对地观测系统星载合成孔径雷达、红外焦平面列阵成像和自适应光学为代表的六大关键技术,配套发展了超高速实时成像信息处理专用技术,取得一系列重大成果。星载合成孔径雷达等重大对地、对空关键技术成功地向国家建设主战场转移,实现了863计划与其他计划的有机衔接,带动了我国在这些领域的一系列技术进步和设备研制,开拓了我国对地观测技术和对空探测技术发展的新局面。

在863计划15年工作行将完成之际,308主题专家组决定撰写出版空间信息获取与处理系列专著,这是一项非常重要的举措:一是科研人员通过系统总结而进一步提高水平,二是可以让更多的人分享多年来的重要科研成果,三是对发展下一期的863计划建立了坚实的基础。这套系列专著的作者,包括了战略型科学家和工程

技术专家,他们长期工作在第一线,对该领域有直接的发言权。该系列专著包括 11 部书,从不同角度在不同程度上介绍了我国对地观测、对空监视高技术领域的发展,并对下一步的工作提出了设想与建议。本套专著的出版,是我国信息获取领域的一件大事,有重要的学术和实用意义。

我高兴地向读者们推荐这套高技术领域的系列专著。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '王大华' (Wang Dahua), written in a cursive style.

2001 年 2 月

空间信息获取与处理系列专著

前 言

新世纪到来之际,我国的 863 计划——高技术研究发展计划,历经 15 年的辉煌,将完成第一期庄严的历史使命。863 计划信息领域信息获取与处理技术主题,经过各级领导和五届专家组及全体参研人员的共同努力,也圆满地实现了她的预期目标。

作为 863 计划信息领域 4 个主题之一的“信息获取与处理技术主题”,1986 年立题伊始即明确其战略目标:发展各种信息获取与处理技术,重点是掌握高速、高精度的新型信息获取和实时图像处理技术,促进信息技术在各个领域的应用。1990 年提出,在重视对空监视的基础上,加强对地观测;1993 年进一步提出,在重视星载对地观测的同时,加强机载对地观测技术的发展。进入“九五”,进一步凝炼战略方向:以中国数字地球战略空间信息资源重大需求为导向,研究发展对空、对地观测技术,形成具有我国自主知识产权的实用化机载对地观测技术系统,开展数字图像处理及信息挖掘方法研究,研究对地观测小卫星有效载荷及卫星数据处理技术,进行应用示范,为我国数字地球战略铺垫基础,为国家可持续发展、国家安全战略服务。

15 年来,308 主题五届专家组在国家科技部领导下,依靠来自 20 多个部、委,分布在 19 个省、区、市的 61 个单位 3000 余名科技人员的精诚奉献,围绕对地观测与对空监测两大系统,突破 7 项关键技术,探索信息获取前沿,取得机载对地观测系统技术、星载合成孔径雷达技术、自适应光学望远镜技术等四大标志性成果;获得 X-SAR 系统样机、SAR 实时成像器、激光测污雷达、激光测风雷达、对地观测小卫星相机、MODIS 接收处理系统、InSb 红外焦平面组件及逆合成孔径雷达等 8 项代表性重点成果;在前沿信息获取方面,取

得新型光学传感器、聚束雷达、微型自适应光学技术等 5 类成果。成功开展机载对地观测系统应用示范,在城市、农业应用等领域取得显著成效,及时开展了“九八”抗洪、“九九”澳门回归、“西部金睛行动”和中关村科技园区遥感飞行等服务国家重大需求的专项。这些成果提高了我国信息获取与处理技术领域发展水平,缩短了我国在该领域与世界先进水平的差距,为国民经济建设、国家安全战略做出重要贡献。

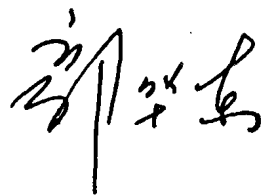
在 15 年研究即将完成之际,对长期以来的科研成果进行科学的、系统的总结,这对未来发展十分有益,为此我们决定出版这套空间信息获取与处理系列专著。本系列书由 11 部著作组成,书名分别是:《对地观测技术与可持续发展》、《合成孔径雷达卫星》、《空间探测相控阵雷达》、《对地观测与对空监视》、《航天遥感工程》、《对地观测技术与数字城市》、《对地观测技术与精细农业》、《多角度与热红外对地遥感》、《环境监测激光雷达》、《MODIS 遥感信息处理原理与算法》及《对地观测系统与应用》。对地观测内容构成本系列书的主体,介绍了对地观测原理、技术、应用与发展;侧重论述 308 主题近年来研究发展的光学传感器、成像雷达系统、信息处理方法及其在城市、农业、环境、资源、灾害等领域的应用,提出了 21 世纪初以可持续发展为牵引发展对地观测技术的建议及战略思考;空间监视内容是本系列书的又一重要方面,概述了空间目标探测与监视技术,介绍了空间探测相控阵雷达技术;激光雷达是信息获取技术的前沿领域之一,书中阐述了环境监测激光雷达原理与技术。

我们期望,这套专著能起到理论总结的作用、学术交流的作用;同时,我们也期望着她能对下一期国家高技术发展起到有益的参考作用。

15 年来,信息获取与处理技术主题工作受到科技部、科技部高新技术司、863 联合办公室、信息领域办公室各级领导的大力支持,得到各承研单位及课题组和关心 308 主题同志们的全力支持,在此谨代表主题五届专家组向以上领导与同志们致以真诚的谢意。诚然,没有大家的支持,本系列书也不可能问世,值此系列专著出版之际,向大家表示衷心的感谢。863 计划发起者之一的王大珩院士在百忙之中亲自为系列专著作序,我们向推动我国高技术计划的元勋

王大珩先生致以崇高的敬意。11部专著的数十位作者都是工作在863计划第一线的优秀科学家,在繁忙的工作之余,他们将高技术成果进行理论总结,为国家高技术“书写”奉献,亦特向各位辛勤的作者致以敬意。在本系列专著出版时又受到科学出版社的鼎力相助,特别是姚岁寒等先生付出了十分艰辛的劳动,谨此一并鸣谢。

系列专著不久将与大家见面了,鉴于水平与时间所限,书中不妥乃至错误之处在所难免,恳望读者不吝批评指正。

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely '姚岁寒' (Yao Suihan).

2001年元月

前 言

近几年来,在人们探索 21 世纪农业应用信息高新技术的发展中,关于“精细农业”(Precision Agriculture)技术的应用前景尤其引人注目。这一技术的早期研究与实践始于 20 世纪 80 年代初期的发达国家。当时,从事作物栽培、土壤肥力、作物病虫害管理的农学家在建立作物栽培模拟模型、作物管理与植保专家系统的应用研究与实践中,进一步提出了农田内以米为单位的小区作物产量和生长环境条件存在明显的时空差异性,因而建议对作物栽培管理实施精细定位、按需变量投入,即“处方农作”;在农业工程领域,由于自 20 世纪 70 年代中期微电子技术的迅速实用化,推动了农业机械装备的机电一体化和智能化监控技术,促进了农田信息智能化采集与处理技术研究的发展。上述技术的成熟,以及 80 年代以来各发达国家对农业经营中必须兼顾农业生产力、资源与环境相协调的广泛关切和迫切需求,为精细农业技术体系的形成准备了条件。海湾战争后,全球卫星定位系统(GPS)技术的民用化,使得它在许多国民经济领域的应用研究获得迅速发展,也推动了精细农业技术体系的广泛实践。近 20 年来,基于信息技术支持的作物科学、农艺学、土壤学、植保科学、资源环境科学和智能化农业装备与自动临近技术、系统优化决策支持技术(DSS)等,在全球卫星定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)等空间信息科技支持与组装集成的基础上,形成和完善了一个新的精细农业技术体系,并在试验示范应用中预示了良好的发展前景。精细农业建立在“空间差异”(Spatial Variability)数据采集与实时处理上,目的在于节约资源,降低成本,减少过量投入对环境的破坏。作为一种以信息知识为基础的农业微观管理系统,精细农业属于超前性的农业高新技术,是现代农业发展的必然结果。这一技术发展趋势,已经引起一些国家科技决策部门的高度重视。

我国是人口众多、资源相对缺乏的农业大国。我国拥有只占世界 1/7 不到的耕地,却养活着全球 1/5 以上的人口。经过 20 年的改革与发展,我国农业发展已进入了一个新的阶段,主要表现在农业综合生产能力大幅度提高,主要农产品产量稳步增长,农产品的供应由长期缺乏到供求总量大致平衡并出现丰年有余,农业抗风险能力逐渐增强。但随着农业领域国际竞争日趋激烈,我国农业的产业素质和农产品的国际竞争能力与发达国家相比仍有很大差距,农业高投入低产出的矛盾已经显现。据统计,目前我国化肥及农药利用率都在 30% 左右,降水利用率不足 35%,仅及发达国家的一半;每公顷耕地平均使

用农业动力约为 1 千瓦左右,相当于美国的 2 倍。不合理投入不仅加速了水资源的缺乏、环境的污染,而且使成本大大提高;据统计,1996 年国内小麦价格为 221.5 美元/吨,玉米价格为 168.5 美元/吨,分别高出同期国际市场价格的 35.3% 和 20.7%。由此可见,在市场经济条件下,我国农业的发展将面临市场和农业生产资源的双重制约,特别是中国加入 WTO 后必将会对我国农业产业产生深刻的影响。因此,为顺应国际市场的挑战和竞争,加快我国农业现代化建设已成为当务之急。

从 20 世纪 80 年代以来,我国在遥感、地理信息系统和全球卫星定位系统方面开展了大量的研究和应用工作,取得了举世瞩目的进展。在“九五”期间,国家高新技术计划信息获取与处理主题(863-308)专家组瞄准这一国际研究前沿,及时设立了“对地观测技术农业应用试验示范”课题,主要研究雷达及我国自行研制的成像光谱仪在农业、尤其是精细农业方面的应用潜力和应用方法。本书主要总结了利用我国自行研制的 71 波段和 128 波段航空成像光谱仪在北京市顺义核心试验区和沙河试验区、江苏省太湖试验区、河北省栾城试验区等地航空试验研究的结果,其中包括成像光谱仪数据的获取、成像光谱仪数据的处理与分析、农作物理化特性的反演、农作物旱情模型与估产模型、地理信息系统建立、智能信息处理技术以及 GPS 应用等研究成果。同时为了保持“对地观测技术”和“精细农业”概念的完整性,本书还汇集了精细农业生产实施过程中国内外有关技术的介绍。

本书汇集了“对地观测技术农业应用试验示范”课题有关成像光谱仪试验示范所取得的成果,凝结着参加研究的科学家和青年科技工作者的智慧和对研究工作执着的奉献精神。参加本项目研究和本书各章节拟定的科技人员是:王长耀、牛铮、唐华俊、周清波、姜小光、王汶、张庆员、刘正军、刘海启、刘佳、尹连旺、王成、董超华、张文健、杨联欢、赵春江、李贵才、张佳华、田庆玖、延昊、颜春燕、杨震、王纪华、吴文斌等。

“对地观测技术农业应用试验示范”课题历时四年,已经完成。本专著的出版只是本项研究成果的初步总结。如果本书的探索研究能为促进我国“精细农业”的发展作出一点贡献,对后来的研究者有所启迪,则不胜欣慰。由于时间仓促,疏漏、错误在所难免,祈望读者不吝赐教。

作者
2000 年 10 月

目 录

第一章 精细农业的概念	1
§ 1.1 精细农业的产生	1
1.1.1 精细农业产生的背景	1
1.1.2 精细农业产生的原因	3
1.1.3 精细农业产生的基础	5
§ 1.2 精细农业的概念	8
1.2.1 精细农业的含义	8
1.2.2 精细农业的指导思想	9
1.2.3 精细农业概念的不同理解	10
1.2.4 精细农业的原理	11
参考文献	12
第二章 精细农业的技术支撑体系	14
§ 2.1 精细农业中的 GPS 技术	14
2.1.1 GPS 技术	14
2.1.2 差分定位系统技术	15
§ 2.2 精细农业中的地理信息系统技术	16
2.2.1 GIS 的概念及组成	16
2.2.2 GIS 的功能	17
2.2.3 GIS 在精细农业中的应用	17
§ 2.3 精细农业中的遥感技术	19
2.3.1 农业遥感的兴起	19
2.3.2 遥感技术在精细农业中的应用	20
§ 2.4 产量成图及变量投入等技术	21
2.4.1 收获机械产量计量和产量成图技术	21
2.4.2 田间变量信息采集与处理技术	22
2.4.3 智能型处方农作机械和变量投入技术	23
2.4.4 系统集成技术	24
参考文献	24
第三章 精细农业遥感信息获取技术	26
§ 3.1 可见光及反射红外遥感技术	26
3.1.1 可见光与反射红外	26
3.1.2 小卫星计划	27
3.1.3 成像光谱技术	28

§ 3.2 热红外遥感技术	29
3.2.1 热红外	29
3.2.2 黑体、比辐射和辐射温度	29
3.2.3 热惯量	31
3.2.4 热红外遥感发展	32
§ 3.3 微波遥感技术	33
3.3.1 微波	33
3.3.2 微波遥感的优越性	34
3.3.3 微波遥感的发展	36
参考文献	36
第四章 成像光谱精细农业应用试验的数据获取与处理	38
§ 4.1 试验数据的获取	38
4.1.1 航空高光谱飞行试验参数	38
4.1.2 地物光谱测量数据	40
§ 4.2 数据预处理	41
4.2.1 辐射影响分析	41
4.2.2 大气订正与反射率反演	43
4.2.3 几何纠正	45
4.2.4 图像噪声分析与去除	46
§ 4.3 成像光谱数据分析	52
4.3.1 成像光谱数据的特点	52
4.3.2 光谱匹配技术	52
4.3.3 光谱导数信息	55
4.3.4 遥感图像的特征分析	57
§ 4.4 模式识别方法	71
4.4.1 统计模式识别法	71
4.4.2 神经网络分类法	74
参考文献	80
第五章 成像光谱数据农作物信息提取	82
§ 5.1 成像光谱数据农作物类型的识别	82
5.1.1 试验区与数据源	83
5.1.2 成像光谱数据特征选择	84
5.1.3 农作物信息逐级分层分类提取	93
§ 5.2 植物叶片化学组分反演	100
5.2.1 原理及方法	101
5.2.2 数据的获取与处理	102
5.2.3 结果分析	104
5.2.4 结论与讨论	107

§ 5.3 遥感监测作物水分亏缺的方法	108
5.3.1 方法概述	108
5.3.2 参数求算	111
§ 5.4 农作物长势监测与产量估算	114
5.4.1 高光谱数据作物长势信息提取	114
5.4.2 遥感-光合作物产量模型的光谱响应	115
5.4.3 遥感-光合作用作物产量模型(RSPCYM)	126
参考文献	133
第六章 精细农业空间信息分析技术	135
§ 6.1 地理信息系统的发展	135
6.1.1 地理信息系统的发展动态	135
6.1.2 GIS 的应用范围	136
6.1.3 GIS 技术应用于精细农业	138
§ 6.2 地理信息系统及其农业应用	140
6.2.1 空间数据的特征与表示方法	140
6.2.2 精细农业中的空间数据管理	144
6.2.3 精细农业中的空间数据获取	147
6.2.4 空间查询与空间分析	148
6.2.5 制图输出	152
§ 6.3 GIS 中的空间统计分析技术	153
6.3.1 空间统计分析概述	153
6.3.2 空间数据类型	154
6.3.3 地学统计分析	154
6.3.4 空间统计概述	158
§ 6.4 网络化 GIS 技术	163
6.4.1 两种主流网络 GIS 模式	163
6.4.2 分布式组件式 GIS 技术	168
6.4.3 WebGIS 技术及实施	170
6.4.4 建立基于 Internet 的农业信息网	173
参考文献	175
第七章 智能信息处理技术及其在精细农业中的应用	176
§ 7.1 专家系统及其在农业中的应用	177
7.1.1 概念与组成	177
7.1.2 知识的获取、组织与表示	178
7.1.3 推理机制	179
7.1.4 基于 GIS 的农业施肥专家系统	180
§ 7.2 精细农业中的数据挖掘技术	185
7.2.1 数据挖掘与知识发现及其农业应用前景	186

7.2.2 数据挖掘与知识发现方法	187
7.2.3 数据挖掘与知识发现系统的结构及开发方法	192
7.2.4 数据挖掘与知识发现技术在农业规划中的应用实例	193
§ 7.3 作物模拟系统	195
7.3.1 农田水盐运移模型总体框架	196
7.3.2 数学模型	196
7.3.3 实例计算	198
§ 7.4 从决策支持系统到空间决策支持系统	200
7.4.1 决策支持系统与空间决策支持系统	200
7.4.2 决策过程	200
7.4.3 DSS 与 SDSS 的基本结构与开发	201
7.4.4 面向农业可持续发展的 SDSS 的设计与实现	202
参考文献	205
第八章 GPS 技术发展及在精细农业中的应用	206
§ 8.1 GPS 技术系统	206
8.1.1 概述	206
8.1.2 GPS 产生背景	206
8.1.3 GPS 系统组成	208
8.1.4 GPS 系统特点	210
§ 8.2 GPS 定位原理	211
8.2.1 GPS 卫星信号	211
8.2.2 GPS 定位方法	211
8.2.3 GPS 数据采集与处理	213
8.2.4 GPS 成果的坐标转换	213
§ 8.3 GPS 系统在精细农业中的应用及发展趋势	214
8.3.1 GPS 系统在精细农业中的应用	214
8.3.2 GPS 系统应用政策	224
8.3.3 国外导航定位卫星发展趋势	225
参考文献	227
第九章 信息化精细农业生产	228
§ 9.1 综述	228
9.1.1 信息采集	228
9.1.2 信息分析和决策	230
9.1.3 生产实施	231
§ 9.2 车辆传统定位技术	232
9.2.1 独立推算定位技术	232
9.2.2 地面无线电定位技术	233
§ 9.3 农业信息地面采集技术	237

9.3.1 网格法土壤采样技术	237
9.3.2 作物产量成图	239
§ 9.4 基于实时感应的农机喷药技术	241
9.4.1 识别植物与土壤	241
9.4.2 识别作物与杂草	242
§ 9.5 变量速率技术	243
9.5.1 变速技术构成组件	243
9.5.2 一个变速喷洒器应用实例	246
§ 9.6 农业机械电子监控产品	248
9.6.1 播种监测设备	248
9.6.2 谷物损失监测设备	249
9.6.3 变量速率测控设备	249
参考文献	251