

现代导航、制导与 测控技术

刘兴堂 周自全 李为民 等 著
孙德建 何广军 刘 力



科学出版社

www.sciencep.com

现代导航、制导与测控技术

刘兴堂 周自全 李为民 等 著
孙德建 何广军 刘 力

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以全新的角度论述导航、制导与测控技术及其应用,重点总结并深入研究推动现代导航、制导与测控技术(系统)进步和工程应用的主要关键技术,诸如先进总体设计与实现技术,目标探测、识别与隐身技术,综合导航、惯性导航及组合导航技术,精确制导与复合/融合制导技术,现代测控技术与动能杀伤(KKV)技术,现代数据分析与信息融合技术,计算机网络与“数据链”通信技术,指挥控制与综合电子信息技术,复杂战场环境与信息对抗技术,地面、海上及空天试验技术,以及系统建模与仿真技术等。本书是作者长期从事导航、制导与测控科学研究和教学的成果总结,同时汲取了相关重要参考文献的营养,力求反映当今该领域的新思想、新观点、新动态和新的技术学术水平。

本书主要作为航空、航天、航海、兵器、信息、仿真等领域科学工作者和工程技术人员的重要参考书,也可作为高等院校特别是军事、军工院校相关学科专业高年级学生和研究生的高新技术教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代导航、制导与测控技术/刘兴堂等著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-026798-6

I. ①现… II. ①刘… III. ①导航②制导③预测控制 IV. ①TN96
②V448③TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 024937 号

责任编辑:刘宝莉 陈 捷 / 责任校对:林青梅

责任印制:赵 博 / 封面设计:鑫联必升

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 3 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2010 年 3 月第一次印刷 印张:33

印数:1—2 500 字数:633 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

主要作者简介



刘兴堂 男,1942年2月出生于陕西省三原县,硕士、空军级专家、文职将军。现任空军防空导弹精确制导与控制技术研究中心主任;空军工程大学教授、“控制科学与工程”学科博士生导师。兼任中国系统仿真学会常务理事、中国航空学会飞行力学及飞行试验分会委员、中国自动化学会仿真专业委员会副主任、中国计算机用户协会仿真应用分会理事、陕西省系统仿真学会副理事长。

1965年8月西北工业大学飞机设计与制造专业获学士学位;

1968年3月西北工业大学非线性振动理论专业获硕士学位;

1968~1982年在中国飞行试验研究院从事飞机控制系统试飞和模拟研究,曾任专业组长、大型飞行模拟器工程和航空重点仿真实验室建设主管工程师;

1982年特招入伍,在空军工程大学导弹学院从教至今,长期从事飞行器导航、制导与控制及复杂系统建模与仿真领域的教学和科研工作。

工作期间,获国家科技进步奖2项、省部级科技成果奖2项、军队科技进步奖7项,并荣获“全军优秀教师”称号;出版专著、译著和大型工具书16部:《机动飞机实用空气动力学》、《飞机舵面的传动装置》、《物理量传感器》、《现代系统建模与仿真技术》、《现代飞行模拟技术》、《空中飞行模拟器》、《精确制导、控制与仿真技术》、《导弹制导控制系统分析、设计与仿真》、《现代辨识工程》、《应用自适应控制》、《新俄汉科技综合词典》、《俄汉航空航天航海科技大词典》、《复杂系统建模理论、方法与技术》、《信息化战争与高技术兵器》、《精确制导武器与精确制导控制技术》及《现代导航、制导与测控技术》;发表学术论文百篇以上。

周自全 男,1940年出生于湖北省武汉市,本科,中国飞行试验研究院研究员,现任国家某重点型号飞机试飞总师、中航某重点实验室主任、《飞行力学》杂志社社长;曾任中国飞行试验研究院副院长、048工程专家组成员。

1964年8月西北工业大学飞机力学和控制专业获学士学位;

1968年9月至今在中国飞行试验研究院从事飞行试验与仿真研究。

工作期间,获省部级以上科技进步奖14项,其中包括国家科技进步成果特等奖、一等奖、二等奖各一项;荣立部级以上一等功5次、二等功1次;被授予全国国防科技工业系统劳动模范、国家级有突出贡献专家;荣获航空金奖、航空工业杰出

贡献奖等 7 项；出版专著 3 部；发表学术论文 60 余篇。

李为民 男，1964 年 10 月生，甘肃民勤人，博士、空军级专家、国务院学位委员会评议组成员、国家“863”计划航空航天领域专家组成员。现任空军工程大学导弹学院教授、博士生导师、副院长，兼任中国宇航学会无人机学会常务理事、中国系统仿真学会理事、中国军事运筹学会常务理事、中国军事系统工程委员会委员。

1983 年 7 月空军导弹学院测控专业获学士学位；

1990 年 5 月电子科技大学信号电路与系统专业获硕士学位；

1992 年 12 月电子科技大学电子与通信专业获博士学位。

1983 年执教以来，获国家科技成果进步奖 1 项，军队(省部)级科技进步奖 15 项，主持完成国家“863”计划课题、国家社科基金课题、国防预研基金课题多项，荣获“全军优秀教师”称号、军队院校育才金奖；主编和参编专著(教材)6 部，发表学术论文 60 余篇。

孙德建 男，1965 年 9 月出生于山东省招远市，硕士，现任空军航空大学教授、硕士生导师、图书馆馆长，空军高层次科技人才，中国国防科学技术信息学会理事。

1983 年 7 月空军工程学院航空机械专业获学士学位；

1999 年 6 月吉林大学计算机应用专业获硕士学位；

1987 年 7 月在空军航空大学任教至今，从事信息管理和计算机应用教学与科研工作。

工作期间，获军队科技进步奖二等奖 3 项。

何广军 男，1965 年 10 月生，陕西宝鸡人，博士，空军高层次科技人才。现任空军工程大学导弹学院控制与测试教研室主任、副教授、硕士生导师。

1988 年 7 月空军导弹学院控制与测试专业获学士学位；

1991 年 3 月空军导弹学院引信技术专业获硕士学位；

2001 年 4 月～2002 年 4 月俄罗斯莫斯科航空学院访问学者；

2002 年 5 月任空军工程大学导弹学院控制与测试教研室主任；

2009 年 8 月空军工程大学导弹学院导航、制导与测控专业获博士学位。

工作期间，出版专著和教材 10 部；主持和参与国家及军队科研项目 15 项，其中“863”项目 2 项、军队重点项目 8 项，获军队科技进步奖三等奖 2 项，全军教学银奖 1 项；发表学术论文 30 余篇。

刘力 男，1972 年 12 月出生于陕西省三原县，博士。现任空军航空兵某师工程师，中校军衔。

1994 年 8 月空军工程学院航空电子专业获学士学位；

1994 年 8 月～1999 年 8 月在空军第一试验训练基地从事航空机务保障工作；

1999 年 8 月～2001 年 8 月在空军航空兵某师从事航空机务保障工作；

2004 年 3 月空军工程大学导弹学院管理科学与工程专业获硕士学位；

2008 年 4 月空军工程大学导弹学院军事装备学专业获博士学位。

工作期间,获军队科技进步三等奖 1 项;出版著作、教材和工具书 6 部;发表学术论文 20 余篇。

前 言

现代导航、制导与测控技术是最具代表性的高新技术之一,紧系国计民生和社会文明,直接推动着四个现代化(工业、农业、科技和国防现代化)建设,并不断影响着现代战争形态演变和高技术兵器特别是军事航天器和精确制导武器的发展。

理论和实践证明,导航、制导与测控系统设计与实现从一开始就是航空航天飞行器、海上(水下)航行体和先进武器装备发展的关键环节,也一直是应用高新技术最快、最多的领域。

当前,人类社会正在向信息时代过渡,信息化战争已成为反映该时代特征的全新基本战争形态。信息化战争的最典型特点之一就是实现陆、海、空、天、信息一体化联合/协同作战,大量使用高技术兵器,实施基于效果的精确打击。防空、防天导弹武器及反导系统已成为国家和区域极为重要的防御力量。对此,现代导航、制导与测控技术(系统)起着十分重要的支撑作用,并在很大程度上决定着联合/协同作战效能和高技术兵器及反导系统的战技性能。

航天工程是当今社会发展最快的尖端科技领域之一,从第一颗人造卫星飞向太空至今,虽然只过去了五十多年的时间,却给人类带来了翻天覆地的变化。它不仅对现代科技、社会经济发展起到了巨大的推动作用,而且在军事上获得了广泛的应用,也必将对未来世界产生更加广阔而深远的影响。现代导航、制导与测控技术从来就是航天工程发展的核心技术之一,它涉及航天工程方案论证、设计制造和使用运行等方面。

综上所述,现代导航、制导与测控技术(系统)在现代科学技术、国民经济和国防建设发展中的重要地位和战略意义是显而易见的。因此,为了进一步发挥现代导航、制导与测控技术的巨大作用,认真总结和深入研究推动该技术发展的关键技术是十分必要的。

众所周知,虽然影响和推动现代导航、制导与测控技术(系统)进步的因素是多方面的,但笔者认为,其本质因素可归为两大方面,即实现精确导航、制导与测控的信息化及智能化程度和保证被控对象(如航天器、飞机、导弹、舰船、鱼雷等)的机动性水平高低。为了解决这两方面的问题,不少专家、学者付出了艰辛努力和极大代价,攻克了一个又一个关键技术。总结起来,这些关键技术主要包括:先进总体设计与实现技术,目标探测、识别与隐身技术,综合导航、惯性导航及组合导航技术,精确制导与复合/融合制导技术,现代测控技术与KKV(动能杀伤)技术,现代数据分析与信息融合技术,计算机网络与“数据链”通信技术,指挥控制与综合电子信息

技术,复杂战场环境与信息对抗技术,地面、海上及空天试验技术,以及系统建模与仿真技术等。

本书旨在从全新的角度论述现代导航、制导与测控技术及其应用,重点探讨和研究推动现代导航、制导与测控技术(系统)进步和工程应用的上述关键技术,使其成为该领域科学工作者和工程技术人员的重要参考书,以及高等院校、军事和军工院校高年级学生和研究生必备高技术知识教科书,以促进我国科学技术进步和国民经济发展,加速军队和武器装备的现代化建设。

全书共分 13 章。第 1 章阐明导航、制导与测控技术的一般概念,综述现代导航、制导与测控技术及系统,从精确导航、制导与测控技术及系统的需求角度,提出推动它们进步的主要关键技术;第 2 章论述导航、制导与测控技术的理论基础,综述各类导航、制导与测控的方法、技术及其应用,提出并探讨现代导航、制导与测控学科体系;第 3 章论述现代导航、制导与测控系统的先进总体设计方法和工程实现,主要包括计算机辅助设计、优化设计、虚拟设计、虚拟样机和并行设计工程等;第 4 章研究各类目标探测方法与技术,深入讨论目标识别技术和隐身技术;第 5 章在进一步论述惯性导航技术和系统的基础上,深入研究新型组合导航技术(系统)及其应用;第 6 章论述现代制导体制和精确制导技术,特别是复合/融合技术,讨论先进导引律设计与实现;第 7 章论述先进测控手段和控制策略及其应用,研究现代控制律设计与实现,并讨论超精确控制技术和 KKV 技术;第 8 章论述现代数据分析方法与技术及其在精确制导与控制中的应用,研究多传感器信息融合方法、算法及其在导航、制导、跟踪和识别等方面的应用;第 9 章论述计算机网络技术和战术数据链技术,研究其结构、特点及其在导航、制导与测控中的典型应用;第 10 章论述现代战场的复杂性,研究导航、制导与测控系统应对现代复杂战场环境的各类信息对抗技术;第 11 章论述新军事变革中的指挥控制特点,讨论现代指挥控制方式及综合电子信息技术应用;第 12 章论述地面、海上及空天试验对现代导航、制导与测控技术(系统)进步的重大推动作用,研究现代导航、制导与测控系统的典型试验设计与实现;第 13 章论述系统建模与仿真技术对现代导航、制导与测控技术(系统)发展的巨大支撑作用,讨论导航、制导与测控系统的全生命周期建模与仿真,以及虚拟环境和协同仿真技术的工程应用。

本书由刘兴堂教授主笔,撰写第 1、2、5~7 章,并进行统稿;孙德建教授撰写第 3、9 章;何广军副教授撰写第 4 章;李为民教授撰写第 8、11 章;刘力工程师撰写第 10 章;周自全研究员撰写第 12、13 章。参加部分章节撰写和校对工作的还有吴晓燕、李刚教授,赵玉芹、李小兵、刘宏、柳世考、赵敏荣、张君副教授,胡小明、牛中兴、董守贵高工,曾华、李保全讲师,以及宋坤、王超、李威等硕士和博士生;张双选讲师(在读博士生)完成了全文的绘图及打印工作。

本书的出版受到空军工程大学及导弹学院领导、机关和同仁们的热情鼓励和

帮助,得到了中国科学院科学出版基金资助,以及科学出版社领导和责任编辑的大力支持,特别是深受哈尔滨工业大学王子才院士、西北工业大学马元良院士和第二炮兵工程学院黄先祥院士的精心指导,这里一并衷心致谢。同时,对参考文献的作者深表敬意。

由于现代导航、制导与测控技术(系统)涉及知识面既广又深,而作者水平有限,书中难免存在不妥之处,诚请广大读者批评指正。

作 者

2009 年 11 月于空军工程大学导弹学院

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 一般概念	1
1.1.1 导航概念	1
1.1.2 制导概念	2
1.1.3 测控概念	2
1.2 导航、制导与测控技术及系统.....	3
1.2.1 导航技术及系统	3
1.2.2 制导技术及系统	4
1.2.3 测控技术及系统	5
1.2.4 综合技术及系统	6
1.3 现代导航、制导与测控技术.....	8
1.3.1 引言	8
1.3.2 地面、空中、海上精确导航	9
1.3.3 高技术兵器精确制导	10
1.3.4 航天工程精确测控	10
1.4 现代导航、制导与测控的关键技术	11
第 2 章 基础理论、方法与技术	13
2.1 导航理论、方法与技术	13
2.1.1 基本理论、方法与技术综述	13
2.1.2 无线电导航原理及应用	13
2.1.3 多普勒雷达导航原理及应用	15
2.1.4 惯性导航原理及应用	17
2.1.5 卫星定位导航原理及应用.....	19
2.1.6 天文导航原理及应用	21
2.1.7 地图匹配导航原理及应用.....	23
2.1.8 相对导航原理及应用	24
2.1.9 组合导航原理及应用	25
2.2 制导理论、方法与技术	26
2.2.1 基本理论、方法与技术	26

2.2.2	自主式制导原理及应用	28
2.2.3	遥控制导原理及应用	33
2.2.4	寻的制导原理及应用	36
2.2.5	复合/融合制导原理及应用	45
2.2.6	数据链制导原理及应用	49
2.3	测控理论、方法与技术	49
2.3.1	基本理论、方法与技术	49
2.3.2	测试原理及应用	50
2.3.3	控制原理及应用	50
2.3.4	测控原理及应用	52
2.4	现代导航、制导与测控学科体系	55
2.4.1	引言	55
2.4.2	理论体系	55
2.4.3	方法体系	55
2.4.4	技术体系	56
2.4.5	应用体系	56
第3章	先进总体设计与实现技术	58
3.1	系统总体技术及设计过程	58
3.2	多学科设计优化技术及应用	59
3.2.1	多学科设计优化(MDO)技术的提出	59
3.2.2	MDO 体系组成	59
3.2.3	MDO 的主要关键技术	60
3.2.4	MDO 技术应用实例	63
3.3	多目标优化设计方法与技术	65
3.4	智能优化设计技术及应用	66
3.4.1	问题提出	66
3.4.2	系统构成及功能	66
3.4.3	工程应用实例	67
3.5	计算机辅助设计技术及应用	68
3.5.1	引言	68
3.5.2	CAD 系统及其组成	69
3.5.3	CAD 技术及系统的应用	71
3.6	虚拟样机与虚拟设计技术及应用	73
3.6.1	引言	73
3.6.2	虚拟样机技术的关键技术	74

3.6.3 虚拟样机技术的工程应用	74
3.6.4 虚拟设计技术及工程应用	78
3.7 并行工程设计技术及应用	81
3.7.1 引言	81
3.7.2 并行工程设计的关键技术	82
3.7.3 并行工程设计技术应用实例	84
第4章 目标探测、识别与隐身技术	86
4.1 概述	86
4.2 目标探测、识别和确认基础	87
4.2.1 概念及术语	87
4.2.2 Johnson 判则	87
4.2.3 目标传递概率函数	88
4.2.4 目标纯探测与辨别预测	89
4.2.5 距离探测及判定	89
4.3 目标探测方法、技术及设备	90
4.3.1 引言	90
4.3.2 微光夜视探测	91
4.3.3 红外探测	93
4.3.4 激光探测	95
4.3.5 雷达探测	97
4.3.6 惯性感测	101
4.3.7 声(学)探测	103
4.3.8 多传感器探测	105
4.4 目标识别与确认技术	108
4.4.1 引言	108
4.4.2 雷达目标识别与确认	108
4.4.3 红外目标识别与确认	110
4.4.4 激光目标识别与确认	111
4.4.5 水声目标识别与确认	111
4.4.6 自动目标识别技术	112
4.4.7 作战识别技术及系统	114
4.5 目标隐身/反隐身技术	114
4.5.1 引言	114
4.5.2 隐身技术特点及关键技术	115
4.5.3 雷达隐身技术	115

4.5.4	光电隐身技术	115
4.5.5	声学隐身技术	117
4.5.6	反隐身技术	117
第5章	综合导航、惯性导航及组合导航	119
5.1	概述	119
5.2	导航综合系统与综合舰桥系统	119
5.2.1	导航综合系统	119
5.2.2	综合舰桥系统	120
5.3	惯性导航系统及其主要设备	122
5.3.1	引言	122
5.3.2	惯性导航系统	122
5.3.3	主要惯性导航设备	128
5.4	惯性导航系统的关键技术	130
5.5	组合导航技术基础	131
5.5.1	引言	131
5.5.2	组合导航系统构建技术	132
5.5.3	组合系统工作模式	133
5.5.4	组合系统状态估计方法	133
5.5.5	组合系统误差修正与容错技术	134
5.5.6	组合系统降阶方法	135
5.6	INS/SAR 组合导航系统	135
5.6.1	引言	135
5.6.2	合成孔径雷达	135
5.6.3	INS/SAR 组合导航系统	136
5.7	SINS/GPS 组合导航系统	138
5.7.1	引言	138
5.7.2	SINS/GPS 组合导航原理及组合方式	138
5.7.3	SINS/GPS 组合导航关键技术	140
5.7.4	SINS/GPS 组合导航的应用实例	141
5.8	智能融合组合导航技术及系统	143
5.8.1	引言	143
5.8.2	智能化导航信息源管理技术	143
5.8.3	智能滤波技术	144
5.8.4	智能融合技术	145
5.9	组合导航的其他技术问题	145

5.9.1	引言	145
5.9.2	惯性/星光组合导航技术及系统	145
5.9.3	容错滤波设计技术	146
5.9.4	组合导航系统的车载试验技术	146
第 6 章	精确制导与复合/融合制导技术	148
6.1	概述	148
6.2	制导体制及其分析与选取	148
6.2.1	常用制导体制体系	148
6.2.2	制导体制分析与选择	149
6.3	导引律设计与选取技术	152
6.3.1	引言	152
6.3.2	古典导引方法与导引律	152
6.3.3	典型比例导引及工程实现	153
6.3.4	现代导引方法与导引律	155
6.3.5	导引律分析与选择	160
6.3.6	向状态制导的最优导引律研究	162
6.4	导弹制导控制系统	163
6.4.1	引言	163
6.4.2	制导过程及系统基本结构	164
6.4.3	未来制导控制系统	165
6.5	水下制导定位技术及系统	166
6.5.1	引言	166
6.5.2	声纳系统及其声纳方程	166
6.5.3	水声精确定位导航系统	168
6.6	复合制导技术及应用	169
6.6.1	引言	169
6.6.2	复合制导体制的选择	169
6.6.3	复合制导系统的组成及运行	171
6.6.4	导弹截获跟踪系统	172
6.6.5	目标交接班技术	173
6.7	多模融合制导技术	177
6.7.1	引言	177
6.7.2	被动雷达/红外融合寻的制导	177
6.7.3	主动式毫米波/红外成像融合寻的制导	178
6.7.4	毫米波主/被动融合寻的制导	178

第7章 现代测控技术与 KKV 技术	179
7.1 概述	179
7.2 计算机测控技术及系统	180
7.3 智能化测控技术及系统	183
7.3.1 引言	183
7.3.2 智能化测控系统及其关键技术	183
7.3.3 智能控件化虚拟仪器	185
7.4 遥测、遥控技术及系统	186
7.5 网络化测控技术及系统	189
7.5.1 引言	189
7.5.2 网络体系结构与网络互连技术	190
7.5.3 航天测控网与测控船	191
7.6 导弹武器测控系统	193
7.6.1 引言	193
7.6.2 系统功能及主要任务	193
7.6.3 导弹武器测控系统组成及信息关系	194
7.6.4 导弹武器测控系统的结构、布局与设备	195
7.6.5 导弹武器测控支持保障系统	196
7.7 航天测控系统	197
7.7.1 引言	197
7.7.2 航天测控系统及各部分功能	197
7.7.3 航天测控中心	200
7.7.4 航天测控网	201
7.7.5 航天测量船	202
7.7.6 弹道导弹的遥测、外安系统	202
7.8 飞机、导弹及航天器的控制	204
7.8.1 引言	204
7.8.2 军用飞机控制	204
7.8.3 导弹武器系统控制	211
7.8.4 航天器控制	215
7.9 超精确控制与 KKV 技术	217
7.9.1 引言	217
7.9.2 超精确制导控制方法及系统	217
7.9.3 KKV 技术及其应用	218
7.9.4 防空反导系统与 KKV 技术	219

第 8 章 现代数据分析与信息融合技术	221
8.1 现代数据分析方法与技术	221
8.1.1 粗糙集理论及其应用	221
8.1.2 支持向量机与数据挖掘技术	222
8.1.3 模糊集合及其聚类分析方法	224
8.1.4 神经网络与系统辨识方法	226
8.1.5 时间序列分析方法	229
8.1.6 层次分析法	231
8.2 数据智能化分析基础	233
8.2.1 复杂工程系统与数据智能化分析	233
8.2.2 智能数据分析过程	234
8.2.3 智能化数据分析的功能及方法	235
8.2.4 神经网络的要素、特性及应用	237
8.3 基于神经网络的数据分析方法	238
8.3.1 数据分析方法流程	238
8.3.2 数据分析神经网络的构建	239
8.3.3 基于神经网络的主元分析法	243
8.3.4 基于神经网络的数据层次分析(AHP)法	248
8.4 数据寻优与几种新算法	250
8.4.1 最优化问题集求解方法	250
8.4.2 遗传算法及其应用	251
8.4.3 禁忌操作算法	252
8.5 多传感器信息融合技术	253
8.5.1 引言	253
8.5.2 多传感器数据融合方法综述	254
8.5.3 通用数据融合模型建立及应用	256
8.6 自动目标识别数据融合技术及应用	259
8.6.1 原理及流程	260
8.6.2 层次与方法	260
8.6.3 应用实例	262
8.7 数据关联新算法及应用	263
8.7.1 新算法提出	263
8.7.2 FMGJPDA 算法特点和流程	264
8.7.3 算法应用	266
8.8 分布式网络数据融合技术及应用	269

8.8.1 引言	269
8.8.2 典型分布式网络及其数据融合算法	269
8.8.3 基于 CI 算法的分布式数据融合	270
8.8.4 应用实例	271
8.9 自校正滤波技术及应用	272
8.9.1 引言	272
8.9.2 自校正卡尔曼滤波(器)	272
8.9.3 典型的自校正信息融合滤波方案	275
8.9.4 应用实例	276
8.10 多传感器信息融合系统	278
第 9 章 计算机网络与“数据链”通信技术	280
9.1 概述	280
9.2 计算机网络技术及其应用	281
9.3 “数据链”的概念、构成及典型数据链路	283
9.3.1 “数据链”的概念及提法	283
9.3.2 “数据链”的构成、分类及特点	284
9.3.3 典型数据链路及其应用	285
9.3.4 联合战术信息分发系统(JTIDS)	288
9.3.5 “数据链”工作过程及数据链间互连	289
9.4 世界各国“数据链”现状及发展趋势	290
9.4.1 世界各国(地区)“数据链”现状	290
9.4.2 世界“数据链”发展趋势	291
9.5 “数据链”网络通信技术的军事应用	293
9.5.1 “数据链”支持和验证网络中心战	293
9.5.2 “数据链”在情报、侦察、监视(ISR)系统中的应用	295
9.5.3 “数据链”在指挥控制快速联合作战中的应用	296
9.5.4 “数据链”在一体化 C ⁴ ISR 系统中的应用	298
9.6 “数据链”技术与精确制导武器系统	298
9.7 结语	301
第 10 章 复杂战场环境与信息对抗技术	303
10.1 概述	303
10.2 现代复杂战场环境	304
10.3 信息对抗样式与信息对抗技术	306
10.3.1 信息对抗的主要样式	306
10.3.2 信息对抗技术	307