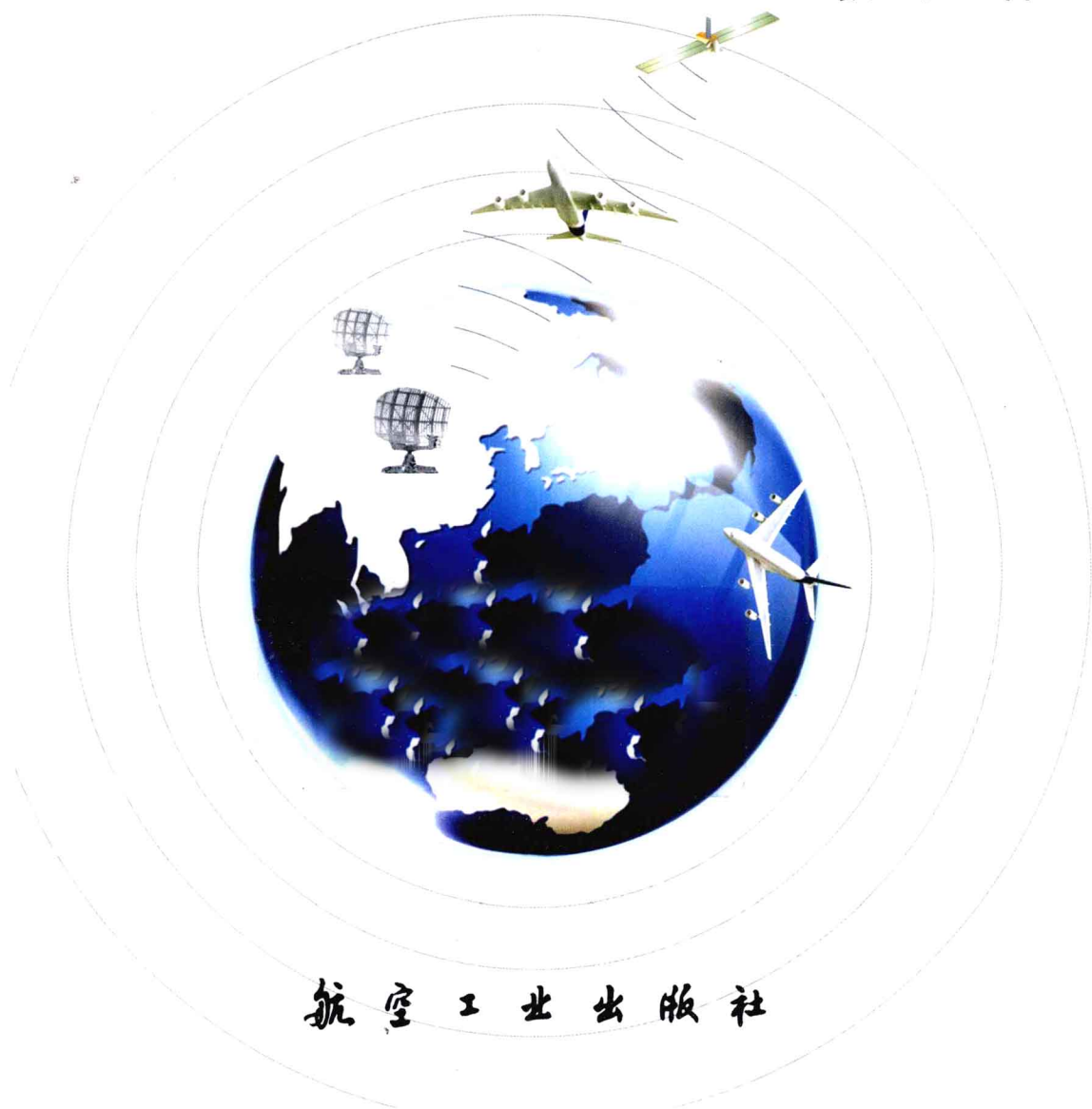


空地协同的空域监视

AIR-GROUND
COLLABORATIVE
AIRSPACE SURVEILLANCE

新技术

张 军 著



航空工业出版社

空地协同的空域 监视新技术

张 军 著

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

空地协同的空域监视技术是新一代航空运输系统中保障空中交通管制安全和提高飞行效率的核心技术。本书系统地阐述了空地协同的空域监视的概念、原理、理论模型与技术方法,并结合我国民航空管系统建设的工程实践进行了应用实例分析。本书共分5章。第1章概述民用航空的发展对空域监视技术的要求。第2章至第5章重点论述空地协同的空域监视中多星座卫星导航接收机自主完好性监测、多星座卫星导航增强、多源协同可信监视和航路安全容限监视等关键技术,并介绍其在我国民航中的典型应用。

本书强调理论与工程实践相结合,从民航空管的实际应用需求出发,将相关理论与我国民航工程实践紧密联系。本书可供空中交通信息工程及控制、空中交通管制、航空监视等相关专业的科研与工程技术人员使用,也可作为相关专业的研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

空地协同的空域监视新技术/张军著. --北京:
航空工业出版社, 2011. 3

ISBN 978 - 7 - 80243 - 302 - 1

I. ①空… II. ①张… III. ①航空导航—监视控制—
新技术 IV. ①V324

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第023712号

空地协同的空域监视新技术

Kongdi Xietong de Kongyu Jianshi Xinjishu

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

发行部电话: 010 - 64815615 010 - 64978486

北京世艺印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2011年3月第1版

2011年3月第1次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 17

字数: 330千字

印数: 1—2500

定价: 80.00元

序 言

空域监视是空中交通管制系统的核心，是保障航空运输安全和效率的关键。

随着航空运输业的持续发展，传统地基空域监视技术由于覆盖范围有限、监视精度低，难以满足全球大区域、高密度飞行的安全保障要求。卫星导航、卫星通信技术的快速发展，使得空地协同的空域监视技术成为 21 世纪空中交通管制系统发展的标志性技术。世界各航空发达国家纷纷将其列为未来航空运输系统发展的重点。

20 年来，作者带领科研团队围绕空地协同的空域监视技术开展理论研究、技术探索和关键技术攻关，同时紧密地与民航行业应用相结合，推动空域监视新技术的工程化应用，取得了包括 2009 年国家技术发明一等奖在内的一批重要成果。

本书吸纳了作者近年来在空地协同的空域监视技术领域取得的创新性研究成果，系统深入地阐述了空地协同的空域监视的基本概念、理论模型与技术方法，并结合我国民航空管系统建设的工程实践进行了应用实例分析。这是一本理论、技术与工程应用紧密结合的学术研究专著，具有较高的学术价值，相信本书的出版将对我国空域监视技术的发展和應用起到重要的推动作用。

中国工程院院士

管德

前言

空域监视系统被誉为空中的“千里眼”。空域监视系统通过利用各种信息化手段,实现对空域内飞机飞行态势的全面、有效监视,它是民航实施空中交通管制(简称“空管”)、保障航空运输安全高效有序运行的核心系统。随着民航飞行范围的不断拓展和空中交通流量的持续增加,空域运行环境日渐复杂,这对空域监视技术提出了新的要求。科学技术的进步使得空域监视技术与系统得以更新换代,空域监视的内涵和外延也得到进一步扩展。

纵观空域监视技术的发展历程,空域监视系统明显呈现出从独立被动式向主动协同式演变的特征。早期的空域监视技术相对简单,依靠话音通信和飞行员位置报告,实现地面管制系统对飞机飞行位置间断性的“模糊”监视。空管系统引入第一部一次雷达后,空域监视系统发生了重大变革,地面管制系统监视到飞机位置的连续性和精度显著提高。二次雷达的空管应用,使得飞机与地面管制系统的协作性加强,在实现对飞机位置实时监视的同时,管制人员还可以获得飞机的飞行高度、飞行速度、航向等重要信息。从根本上说,在传统监视手段中飞机大多处于被动监视的状态。随着机载航空电子技术的发展和卫星技术、空地数据链技术的应用,飞机自身具备了更为强大的定位与通信能力,通过主动发送飞机精确定位信息,与地面设备协同完成飞行监视,即空地协同式的监视方式,已成为空域监视技术发展的重要方向。

传统地基空域监视系统由于覆盖范围、监视精度有限,难以保障高原、荒漠、海洋等地区上空的飞行安全监视要求,也难以满足高密度航班大区域协同管制指挥的要求。为此,从20世纪80年代起,欧美等航空发达国家就开始着手研究空地协同的空域监视技术,并将其作为未来实现飞机“自由飞行”的核心技术。

笔者从1990年起开始从事协同式空域监视技术的研究。最早针对我国西部高原、海洋上空等无雷达覆盖地区民航飞机位置监视的问题,开展了民航自动相关监视系统的技术攻关与研发工作,这也是我国在协同式空域监视技术方向的首次尝试。1997年,中国民用航空总局与北京航空航天大学共同建立了民航数据通信及新航行系统科研基地;在此促进下,笔者与科研团队一道继续围绕协同式空域监视技术开展基础理论研究和关键技术攻关,同时紧密地与民航行业应用相结合,致力于推动协同式空域监视技术的工程化应用。十余年来,本团队在该领域承担了国家973计划、国家863计划、国家自然

科学基金、国家空管科研计划、民航空管重大工程等项目近 20 项；获国家技术发明一等奖 1 项；国家科技进步一等奖、二等奖各 1 项；发表论文 100 余篇，其中 SCI/EI 收录 80 余篇；获授权国家发明专利 37 项。

在空域监视技术研究和工程实践的过程中，笔者发现国内缺乏一本系统介绍空地协同的空域监视技术的书籍；特别是对从事本领域研究的新学者来说，又需要一本能将理论与实践相结合的学术著作。为此，结合笔者所在科研团队的研究成果和实践经验，撰写了这本著作，期望能够吸引更多的学者，共同推动本领域的技术进步。

理论与工程实践相结合是本书的一大特色。笔者努力从民航空管的实际应用需求出发，将空地协同的空域监视技术的理论研究和攻关成果与我国民航工程的实践联系起来，利用应用实例来验证理论、技术、方法的科学性和正确性。本书共包括 5 章。第 1 章描述航空运输业和空管的发展对民航空域监视技术的要求。第 2 章至第 5 章是本书的重点，阐述空地协同的空域监视若干关键技术；其中，第 2 章介绍多星座卫星导航接收机自主完好性监测技术，第 3 章介绍多星座卫星导航的地基增强和星基增强技术，第 4 章介绍多源协同可信监视技术；第 5 章介绍航路安全容限监视技术。

在本书的出版过程中，得到了管德院士的鼓励与支持，在此表示深深的谢意。在本书的写作过程中参考了大量的文献，笔者尽可能一一注明，但由于文献较多，疏漏在所难免，在此向被遗漏的作者表示歉意，并向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。特别感谢航空工业出版社，本书能够得以顺利出版发行，与他们的耐心指导和辛勤工作是分不开的。

由于本领域可供借鉴的专著鲜见，所开展的研究尚处于起步阶段，因此，本书的不足之处在所难免。真诚希望各位专家与学者能够提出宝贵的意见和建议。

张军
2011 年 2 月

缩略语

缩略语	英文全称	中文全称
AAD	Altitude Assigned Deviation	高度设置偏差
ADS	Automatic Dependent Surveillance	自动相关监视
ADS - B	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast	广播式自动相关监视
ADS - C	Automatic Dependent Surveillance - Contract	合同式自动相关监视
AGHME	Aircraft Geometric Height Measurement Element	飞机几何高度测量系统
AL	Alert Limit	告警门限
ANSP	Air Navigation Service Provider	空中航行服务提供商
APV	Approach with Vertical Guidance	垂直引导进近
ARP	Approximate Radial - error Protected	近似径向误差保护法
ARSR	Air Route Surveillance Radar	航路监视雷达
ASA	Aircraft Surveillance Application	飞机监视应用
ASE	Altimetry System Error	高度测量系统误差
A - SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance & Control System	高级场面移动引导与控制系统
ASR	Airfield Surveillance Radar	场面监视雷达
ASSA	Airport Surface Situational Awareness	机场场面态势感知
ATC	Air Traffic Control	空中交通管制
ATM	Air Traffic Management	空中交通管理
BMM	Block Maxima Method	区块最大分组法
BP	Back Propagation	反向传播
CA	Constant Acceleration	恒加速度
CAAC	Civil Aviation Administration of China	中国民用航空局
CD	Conflict Detection	冲突探测
CDFS	Cascade Dual Frequency Smoothing	级联双频平滑滤波
CDR	Conflict Detection and Resolution	冲突探测与解脱
CDTI	Cockpit Display of Traffic Information	驾驶舱交通信息显示
CMC	Code - Minus - Carrier	码减载波
CNS/ATM	Communication Navigation Surveillance, Air Traffic Management	新航行系统
CPA	Circular Protected Air - space	圆形保护区
CRM	Collision Risk Model	碰撞风险模型
CT	Coordinate Turn	协调转弯
CV	Constant Velocity	匀速

续表

缩略语	英文全称	中文全称
DFS	Dual Frequency Smoothing	双频平滑
DM-IMM	Distributed Multirate-Interacting Multiple Model	分布式多速率交互多模型
DPA	Dependent Parallel Approach	相关平行进近
DQM	Data Quality Monitoring	数据质量监测
EASA	European Aviation Safety Agency	欧洲航空安全局
ECEF	Earth Centered Earth Fixed	地心地固
EGMU	Enhanced GPS Monitoring Unit	增强型高度监视单元
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service	欧洲静地轨道卫星导航重叠服务
EGPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System	增强型近地警告系统
EM	Expectation Maximum	期望最大化
EPU	Estimated Position Uncertainty	估计位置不确定度
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation	欧洲空中航行安全组织
EVAcq	Enhanced Visual Acquisition	增强目视搜索
EVApp	Enhanced Visual Approach	增强目视进近
EVT	Extreme Value Theory	极值理论
EXM	Executive Monitoring	执行监测
FAA	Federal Aviation Administration	美国联邦航空局
FAROA	Final Approach and Runway Occupancy Awareness	最终进场和跑道占用情况感知
FD	Fault Detection	故障检测
FE	Fault Exclusion	故障排除
FOM	Figure of Merit	品质因数
FRAIM	Fast RAIM	快速接收机自主完好性监测
GBAS	Ground Based Augmentation System	地基增强系统
GDOP	Geometric Dilution of Precision	几何精度因子
GEO	Geostationary Earth Orbit	静地轨道
GEV	Generalized Extreme Value	广义极值
GFSK	Gauss Frequency Shift Keying	高斯频移键控
GLONASS	Global Orbiting Navigation Satellite System	全球轨道导航卫星系统
GLS	GNSS Landing System	GNSS 着陆

续表

缩略语	英文全称	中文全称
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球卫星导航系统
GPD	Generalized Pareto Distribution	广义 Pareto 分布
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
GRAS	Ground – based Regional Augmentation System	地基区域增强系统
GRIMS	Ground – based Regional Integrity Monitoring System	地基区域完好性监视系统
HAL	Horizontal Alert Limit	水平告警限
HDOP	Horizontal Dilution of Precision	水平精度因子
HFOM	Horizontal Figure of Merit	水平品质因数
HMU	Height Monitoring Unit	高度监测单元
HPL	Horizontal Protection Level	水平保护级
i. i. d	independent identical distribute	独立同分布
ICAO	International Civil Aviation Organization	国际民用航空组织
ICD	Interface Control Document	接口控制文件
IF	Inflation Factor	放大因子
IGP	Ionospheric Grid Point	电离层格网点
IGS	International GNSS Service	国际 GNSS 服务
IMM	Interacting Multiple Model	交互多模型
ION	Institute of Navigation	美国导航学会
IPA	Independent Parallel Approach	独立平行进近
IPP	Ionospheric Pierce Point	电离层穿透点
ISA	International Standard Atmosphere	国际标准大气
ISS	Integrated Surveillance System	综合监视系统
JPDO	Joint Plan and Development Office	联合计划发展办公室
LAAS	Local Area Augmentation System	局域增强系统
LHD	Large Height Deviation	大高度偏差
L-M	Levenberg-Marquardt	莱温伯格 – 麦夸特
LNAV	Lateral Navigation	水平导航
LPV	Localizer Performance with Vertical guidance	带垂直引导的航向信标性能
LSR	Least Square of Residuals	最小二乘残差
MAAR	Monitoring Agency for Asia Region	亚洲地区监控组织

续表

缩略语	英文全称	中文全称
MASPS	Minimum Aviation System Performance Specification	最低航空系统性能标准
MDA	Maximum Domain of Attraction	最大吸引场
MDE	Minimum Detectable Error	最小可检测误差
MEF	Mean Excess Function	平均超额函数
MLAT	Multilateration	多点定位
MLE	Maximum Likelihood Estimation	极大似然估计
MOPS	Minimum Operational Performance Standards	最低运行性能标准
MQM	Measurement Quality Monitoring	测量质量监测
MRCC	Multiple Reference Consistency Check	多基准一致性校验
MSAS	MTSAT Satellite – based Augmentation System	多功能卫星星基增强系统
MSCC	Multiple Station Consistency Check	多参考站一致性校验
MSL	Mean Sea Level	平均海平面
MSO	Message Start Opportunities	报文起始机会
NACp	Navigation Accuracy Category of Position	位置的导航精度类别
NextGen	Next Generation Air Transportation System	下一代航空运输系统
NIC	Navigation Integrity Category	导航完好性类别
NUC	Navigation Uncertainty Category	导航不确定度类别
NUCp	Navigation Uncertainty Category of Position	位置的导航不确定度类别
PBN	Performance Based Navigation	基于性能的导航
PDOP	Position Dilution of Precision	位置精度因子
PL	Protection Level	保护级
POT	Pick Over Threshold	超阈值
PRM	Precise Runway Monitoring	精密跑道监视
PSR	Primary Surveillance Radar	一次监视雷达
QQP	Quantile – Quantile Plot	分位数 – 分位数图
RAE	Royal Aerospace Establishment	皇家航空器研究院
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring	接收机自主完好性监测
RNAV	Area Navigation	区域导航
RNP (AR)	Required Navigation Performance (Authorization Re- quired)	授权所需导航性能
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics	航空无线电技术委员会
RTK	Real Time Kinematic	实时动态

续表

缩略语	英文全称	中文全称
RVSM	Reduced Vertical Separation Minimum	缩小垂直间隔
SA	Selective Availability	选择可用性
SBAS	Satellite Based Augmentation System	星基增强系统
SFS	Single Frequency Smoothing	单频平滑
SMR	Surface Movement Radar	场面监视雷达
SQM	Signal Quality Monitoring	信号质量监测
SSR	Secondary Surveillance Radar	二次监视雷达
TC	Trajectory Change	航迹改变
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System	交通警戒与防撞系统
TDOP	Time Dilution of Precision	时间精度因子
TEC	Total Electron Content	总电子容量
TIS - B	Traffic Information Services - Broadcast	广播式交通信息服务
TLS	Target Level of Safety	目标安全水平
TS	Target State	目标状态
TVE	Total Vertical Error	总高度偏差
UAT	Universal Access Transceiver	通用访问收发信机
UDRE	User Difference Range Error	用户差分测距误差
UERE	User Equivalent Range Error	用户等效测距误差
UTC	Universal Time Coordinated	协调世界时
VAL	Vertical Alert Limit	垂直告警限
VDOP	Vertical Dilution of Precision	垂直精度因子
VPL	Vertical Protection Level	垂直保护级
WAAS	Wide Area Augmentation System	广域增强系统
WP	Way Point	航路点

缩略语	1
-----------	---

第1章 绪论	1
--------------	---

1.1 引言	2
1.2 空域监视技术	3
1.2.1 空域监视技术的提出	3
1.2.2 空域监视技术的发展	4
1.3 空地协同的空域监视技术	9
1.3.1 空地协同的空域监视技术的提出	9
1.3.2 空地协同的空域监视技术的特点和组成	12
1.4 空地协同的空域监视关键技术	14
1.4.1 卫星导航增强技术	17
1.4.2 多源协同可信监视技术	18
1.4.3 航路安全容限监视技术	19
1.5 空地协同的空域监视技术的应用	20
1.6 本书内容安排	21
参考文献	22

第2章 卫星导航接收机自主完好性监测技术	25
----------------------------	----

2.1 RAIM 概述	26
2.1.1 技术简介	27

2.1.2 技术发展和关键问题	31
2.2 多星座卫星导航的快速选星方法	36
2.2.1 多星座卫星精度因子特性分析方法	37
2.2.2 基于最小精度因子的快速选星算法	48
2.3 双故障的 RAIM 算法	54
2.3.1 双星故障的卫星几何结构影响分析方法	55
2.3.2 双星故障快速检测和识别算法	57
2.4 RAIM 的加权可用性预测	63
2.4.1 单故障 RAIM 加权可用性预测算法	64
2.4.2 双故障 RAIM 加权可用性预测算法	68
2.4.3 仿真分析	69
2.5 RAIM 可用性预测系统	73
2.5.1 RAIM 可用性预测的民航运行需求	74
2.5.2 中国民航 GPS RAIM 可用性预测系统实施	75
2.5.3 中国民航 GPS RAIM 可用性预测系统的应用	77
2.6 本章小结	80
参考文献	81

03

第3章 卫星导航地基和星基增强技术

3.1 卫星导航地基和星基增强技术概述	85
3.1.1 技术简介	86
3.1.2 技术发展和关键问题	87
3.2 基于多频观测量的卫星导航地基增强技术	89
3.2.1 基于多频观测量的载波平滑滤波	90

3.2.2 基于多频观测量的定位误差包络	99
3.2.3 基于多频观测量的故障检测	109
3.3 基于多星座的卫星导航星基增强技术	113
3.3.1 基于多星座的星钟/星历误差改正和 完好性监测	114
3.3.2 基于多星座的电离层格网校正	120
3.4 地基区域完好性监视系统	125
3.4.1 地基区域完好性监视系统架构	126
3.4.2 地基区域完好性监视系统的主控站算法	131
3.5 本章小结	140
参考文献	141

04

第4章 多源协同可信监视技术 143

4.1 多源协同可信监视技术概述	144
4.1.1 技术简介	145
4.1.2 技术发展与关键问题	146
4.2 多源协同监视的航迹融合	148
4.2.1 多源协同监视的航迹预处理方法	149
4.2.2 多源协同监视的航迹融合算法	156
4.3 多源协同监视的可信度评估	168
4.3.1 星基监视数据多维度评估方法	169
4.3.2 星基监视数据链性能仿真模型	176
4.3.3 多源协同监视的可信度计算方法	187

4.4 多源协同可信监视系统	193
4.4.1 基于星基监视的中期航迹预测方法	194
4.4.2 多源协同可信监视系统应用	205
4.5 本章小结	209
参考文献	209

05

第5章 航路安全容限监视技术	212
5.1 航路安全容限监视技术概述	213
5.1.1 航路安全容限的相关概念	213
5.1.2 航迹保持性能监视技术	217
5.1.3 航路碰撞风险评估方法	220
5.2 飞机高度保持性能监测	222
5.2.1 气压高度与几何高度的精确转换算法	223
5.2.2 飞行高度保持偏差分布拟合及优度检验	231
5.2.3 我国高空飞机高度保持性能分析	234
5.3 航路垂向安全容限评估	239
5.3.1 航路垂直碰撞风险评估模型	239
5.3.2 飞机垂直重叠概率求解方法	244
5.3.3 航路垂向安全容限监视实例验证	245
5.4 本章小结	251
参考文献	252

第 1 章

绪论

空中交通管理（空管）（Air Traffic Management, ATM）是保障飞行安全、维护空中交通秩序、实施空域资源管理、提高航空运输效率的核心。保证航空器沿预先设定的航线飞行，保持航空器与航空器之间的适当间隔是空管的重要任务之一。间隔的含义是航空器之间基于时间或空间的距离。保持规定的距离可使航空器相撞的概率足够低，从而满足民用航空严格的安全水平要求。

为实现上述目标，空中交通管制员必须对其所管制空域内的飞机进行实时监视，一旦发现某架飞机偏离了预定航线，或与其他飞机、危险气象以及自然或人工障碍物的间隔过小，即存在潜在冲突的情况，就需要及时告知飞行员并给出合理的管制指令。此外，监视精度的提高和监视信息的丰富可使管制员更好地掌握空中交通态势，降低由于监视误差和信息缺失而人为增大的飞机间隔，从而增加空域容量、提高空域使用效率。因此，对飞机在空域内的飞行活动进行全面监视，是空管系统保障飞行安全、提高运行效率的关键^[1]。

航空运输业的快速发展推动了空中交通管理技术不断突破。进入 20 世纪 80 年代，跨洋飞行活动逐渐频繁，终端区飞行密度不断提高，公众对航空运输系统提出高效、低碳和环保的要求，这些都要求对飞机的飞行位置、飞行状态和空中气象等综合态势进行实时监视，从而实现飞机沿最优航线安全、高效飞行。为实现上述目的，空域监视技术开始从独立、被动式监视向主动、协同式监视方向发展。空地协同的空域监视，即飞机利用卫星导航系统进行定位，管制员利用空、天、地数据链实现对飞行位置和状态的获取、传输与处理，实现对空中交通态势的实时、精准监视。空地协同的空域监视已成为 21 世纪保障飞行安全，实施民用航空全球空域监视与高密度航班管制服务的核心技术，也是美欧等航空强国的新一代空管计划中需要从基础理论到工程实践进行大力突破的关键技术。

本书在总结作者多年从事空域监视技术领域研究工作成果的基础上，系

统介绍了空地协同的空域监视技术的内涵、理论与方法，并给出了它在我国民用航空中的典型应用。

1.1 引言

1903年，莱特兄弟发明了人类历史上第一架飞机，这是世界上首次实现重于空气的航空器的有动力、可操纵的飞行^[2]。1918年5月5日，世界上首条运输航线出现，为纽约—华盛顿—芝加哥。同年6月8日，伦敦与巴黎之间开始定期邮政航班飞行。交通运输系统从此出现了一种新的方式——航空运输。时至今日，航空运输仍是世界上最快的运输方式，商用航空运输飞机的巡航速度一般在800~900km/h。航空运输业取得了长足的发展，已逐渐成为转变经济发展方式、调整经济结构的重要推动力，对经济的拉动作用日益明显。

为了防止飞机在天空中相撞或者迷途，出现了最早的空中交通管制。1921年，伦敦克来伊顿机场（Croydon Airport）成为世界上第一个使用航空交通管制的机场。1926年，美国的航空法典（Air Commerce Act（1926））成为世界上第一部管理航空公司的法律。随着航空运输的发展，空中飞行的飞机数量增加，飞行活动范围扩大。为保证航空运输的安全和有序，对空管的运行理念革新和基础技术进步提出了越来越高的要求，逐渐形成了体系化的空管方法和系统。

第二次世界大战后，以陆基雷达监视为基础的空域监视技术很快取代了早期由飞行员进行人工位置报告的监视方式，极大提高了空管系统的空域监视能力和管制自动化水平。然而到了20世纪80年代，随着航空运输量的迅猛增长，在边远地区和大洋上空等雷达难以覆盖地区的商业飞行活动不断增加，在全球许多国家和地区的枢纽机场和主干航路上的空中交通密度不断提高，传统陆基空域监视技术逐渐难以满足全球航空运输业飞速发展的需求。

近年来，空地协同的空域监视技术开始应用于民用航空并迅速发展。

与传统的人工监视技术和陆基空域监视技术相比，空地协同的空域监视技术具有一系列突出的优势：①覆盖范围广，可实现全球无缝监视；②监视信息全，可实现对飞机全飞行状态的监视；③监视精度高，可支持高密度管制指挥。这一技术领域得到学术界和工业界的高度关注，已取得了丰硕的研究成果。为使空地协同的空域监视能够满足民用航空对飞机全球飞行、高密度飞行和灵活飞行进行管理的高要求，需要重点突破卫星导航增强、多源协同可信监视和航路安全容限监视等关键技术。