

终端空域规划

理论与方法

张明 著



科学出版社

终端空域规划理论与方法

张 明 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书追踪终端空域规划理论与方法的国际前沿,遵循交通运输工程学的方法论,围绕终端空域的空中交通预测、空域动态容量预测、终端空域扇区规划、扇区的动态运行管理、规划的综合评价和终端空域及机场的空中交通仿真评估技术,系统介绍了终端空域规划和评估相关关键理论和技术。

本书可作为高等院校空中交通规划与管理专业高年级本科生和研究生的教学用书,也可作为从事空域规划研究的技术人员和管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

终端空域规划理论与方法 / 张明著. —北京:科学出版社,2015.6

ISBN 978-7-03-044791-3

I. ①终… II. ①张… III. ①航空运输管理—研究 IV. ①F560.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 123736 号

责任编辑:孙伯元 / 责任校对:胡小洁

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:蓝正设计

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>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2015 年 6 月第一次印刷 印张:12 3/4

字数:244 440

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着航空运输业的迅猛发展,空中交通系统面临越来越严重的拥堵问题,有限的空域资源和不断增长的空中交通需求之间的矛盾日益突出,造成大量航班延误,带来巨额经济损失,也增加了空中交通系统不安全事件的隐患。终端空域是环绕某个机场提供空中交通服务空域,是航空器起飞进入航路或者从航路进港飞行的过渡空域系统。该空域具有航路结构复杂、空域资源有限、飞行流量和管制难度较大等特点。终端空域是整个空域系统的交通瓶颈,对其进行科学规划设计具有重要意义。目前,众多地区为适应交通需求增长新建和扩建机场,如何准确预测终端空域的容量和交通流量,如何优化设计终端空域扇区结构以保证空中交通安全运行,如何实现对空域设计方案科学合理的有效评估,是民航科技人员和空域管理部门的一个重要研究课题。

终端空域规划理论是国家空域资源管理理论与方法的重要组成部分,可以实现对终端空域资源的优化配置,保证终端空域空中交通运行的经济和安全。该方面研究始于20世纪60年代,在空中交通流量预测、管制员工作负荷的评估、机场容量评估建模、过渡航路规划设计、空域扇区优化设计、PBN下的飞行程序设计评估以及终端空域交通仿真评估技术等方面,国内外研究人员开展了卓有成效的研究。然而,由于终端空域具有空域资源稀缺性和空中交通复杂性的特点,其规划设计受到诸多因素的影响,如空域结构差异、天气的复杂变化、通信导航监视设备的有效覆盖、地形地貌特征和军航飞行活动等,还要考虑到空中交通管制员的管制调配行为对飞行活动的影响等;同时,对规划设计方案科学合理地有效评估,也应当考虑到空域运行的安全性、飞行活动的经济性、环境保护的有效性、多种类型空域用户的交通需求差异性、交通管制的便捷性和管制员工作负荷的安全裕度、航空器飞行延误的可控区间等诸多评估指标以及多评估指标的扰动影响。因此,终端空域空中交通系统是一个多维不确定的复杂系统,无法完全通过数学建模对空域设计和评估,需要综合利用数学建模、计算机仿真技术和专家的定性分析等多种手段,来实现对空中交通和终端空域容量预测、优化设计和方案的科学评估等完整的交通规划技术。

本书是空域规划理论方面的学术专著,全书秉承交通运输工程的方法论,系统

地介绍终端空域的交通需求预测、设计和评估的相关关键理论和技术,其中第3章~第5章介绍终端空域容量和空中交通预测理论和方法;第6章~第8章介绍终端空域扇区优化设计模型和方法;第9章和第10章介绍终端空域评估理论和技术,第9章从系统论的角度,采用定性和定量结合的方法,建立空域方案的综合评价方法,第10章介绍以虚拟管制技术为核心的终端空域空中交通仿真技术。

本书是作者近期在空域规划研究的基础上撰写的。部分研究工作得到了韩松臣教授的悉心指导,还得到了孙樊荣博士、卢朝阳副教授、汤新民副教授以及课题组众多研究生的帮助。本书研究工作得到了作者主持的国家自然科学基金委员会——中国民航局民航联合研究基金(No:U1233101,60979018)和中央高校基本科研业务费专著出版专项基金(No:NR2015076)的大力支持。在此,特致以诚挚的感谢!

撰写过程中,本人查阅了国内外最新空域规划设计的专业资料。由于终端空域规划是个新的研究领域,涉及问题较多,本书尚未涉及的相关问题,有待进一步完善,书中不足之处敬请读者指正。

张 明

2015年1月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 空域基本概念和属性	1
1.2 研究的意义和必要性	2
1.3 终端空域规划理论研究回顾	4
1.3.1 国内外新一代空中交通管理系统中空域规划和管理进展	4
1.3.2 空中交通预测研究	7
1.3.3 终端空域容量预测研究	8
1.3.4 空域扇区规划理论和方法研究	11
1.3.5 空域规划综合评估研究	13
1.4 本书内容安排	14
1.4.1 本书主要研究内容	14
1.4.2 本书的基本架构	17
参考文献	18
第2章 终端空域规划基础	23
2.1 空域分类	23
2.1.1 国际民航组织的空域分类方法	23
2.1.2 美国的空域分类方法	26
2.1.3 中国的空域分类方法	28
2.2 飞行高度层及其确定方法	31
2.3 终端空域规划的基本原则	33
2.4 飞行程序优化设计原则	35
2.5 中国民航终端管制区规划和管制扇区划设的工作办法	36
2.5.1 终端管制区规划的工作办法	36
2.5.2 管制扇区划设的工作办法	37
2.6 欧美终端空域规划设计阶段	40
2.6.1 欧洲航行安全组织终端空域规划设计阶段	40

2.6.2 美国联邦航空局终端空域规划设计阶段	42
2.7 终端空域规划设计主要影响因素	44
2.7.1 机场布局	45
2.7.2 用户要求	45
2.7.3 物理位置	46
2.7.4 环境因素	47
2.7.5 航路结构	47
2.7.6 国家边界	48
2.7.7 人员	49
2.7.8 设备	49
2.7.9 影响空域的关键因素识别	49
2.8 小结	50
参考文献	50
第3章 基于交通流智能预测模型的终端空域分布预测方法	52
3.1 引言	52
3.2 空中交通流量智能预测模型	53
3.3 基于双重力模型的空中交通 OD 分布预测	54
3.4 算例与数据分析	56
3.4.1 数据的统计	56
3.4.2 交通流智能预测模型预测空中交通流量	58
3.4.3 上海与其他各区域飞机流量的分布预测	59
3.5 小结	61
参考文献	61
第4章 基于人类动力学的终端空域扇区运行容量预测方法	62
4.1 引言	62
4.2 空域容量及其限制因素	62
4.2.1 空域容量概念	62
4.2.2 终端空域容量限制因素	64
4.3 基于人类动力学的终端空域容量预测	66
4.3.1 人类动力学发展	66
4.3.2 管制员通信工作负荷的人类动力学分析	68
4.3.3 基于人类动力学的终端空域容量预测	70

4.4 算例分析	71
4.5 小结	75
参考文献	75
第5章 基于复杂天气情景辨识的终端空域动态容量预测方法	77
5.1 引言	77
5.2 影响终端空域容量的天气	78
5.2.1 与天气相关的基本概念	78
5.2.2 云底高和能见度	78
5.2.3 云	78
5.2.4 风	79
5.2.5 降水	79
5.2.6 雾	80
5.3 天气类型的判定和情景树的生成	80
5.3.1 IFR 气象要素相关概念	80
5.3.2 IFR 天气类型规则的判别	81
5.4 天气类型的预测	89
5.5 天气类型影响的终端空域容量预测	90
5.6 算例分析	91
5.7 小结	95
参考文献	95
第6章 基于安全管制员工作负荷的扇区地理性规划模型	96
6.1 引言	96
6.2 管制员工作负荷在终端空域的分布	97
6.2.1 管制员工作负荷评估模型	97
6.2.2 管制员工作负荷在终端空域的量化分布	99
6.2.3 对管制员工作负荷的有限单元划分	99
6.3 空域扇区优化模型和算法	101
6.3.1 空域扇区优化模型	101
6.3.2 模拟退火算法确定扇区最优划分方案	104
6.4 算例分析	105
6.4.1 管制员工作负荷在终端空域的分布	105
6.4.2 空域扇区的优化	107

6.5 小结	109
参考文献	109
第7章 进离场航路分离的扇区功能性规划模型	111
7.1 引言	111
7.2 扇区功能性划分优化模型和算法	112
7.2.1 规划步骤	112
7.2.2 扇区功能性划分的优化模型	113
7.2.3 扇区功能性划分的优化算法	115
7.3 算例分析	117
7.3.1 上海终端空域航段负荷统计	117
7.3.2 上海终端空域功能性扇区划分	120
7.3.3 上海终端空域扇区优化分析及其结论	122
7.4 小结	123
参考文献	124
第8章 飞行流量时变的终端空域动态扇区运行规划方法	126
8.1 引言	126
8.2 样本局部异样条件下的空中交通流短期预测模型	127
8.2.1 聚类分析确定交通流的分类	128
8.2.2 神经网络集成模型	129
8.2.3 基于神经网络集成模型的异常数据清洗和预测	132
8.2.4 交通流短期预测的算例分析	134
8.3 空域飞行流量变化条件下的动态扇区规划	138
8.3.1 交通流变化条件下的动态扇区数量挖掘	138
8.3.2 动态扇区每日规划方案的确定	141
8.3.3 动态扇区规划的算例分析	142
8.4 小结	147
参考文献	147
第9章 基于改进可拓评价模型的安全管制综合评估方法	150
9.1 引言	150
9.2 基于集对联系度和熵值的安全管制评估指标权重模型	151
9.2.1 基于SHEL模型的指标体系建立	151
9.2.2 基于熵-集对联系度的指标权重模型	153

9.3 改进的可拓安全管制综合评价模型	157
9.3.1 可拓综合评价模型	157
9.3.2 可拓综合评价模型的应用局限及其改进	159
9.3.3 算例分析	160
9.4 小结	163
参考文献	164
第10章 终端空域及机场的交通仿真评估技术	166
10.1 概述	166
10.2 终端空域及机场交通仿真建模关键技术	169
10.2.1 虚拟管制建模技术	169
10.2.2 三维空域建模技术	172
10.2.3 随机飞机流生成技术	173
10.2.4 仿真数据分析技术	180
10.3 空管雷达管制模拟机验证	181
10.4 小结	184
参考文献	184
附录 相关数据和研究方案	185
附录 A 上海终端空域长期预测基础数据	185
附录 B 上海终端空域功能性扇区规划和地理性扇区优化方案	190

第 1 章 绪 论

空中交通管理 (air traffic management, ATM) 的任务是: 有效地维护和促进空中交通安全, 维护空中交通秩序, 保障空中交通畅通。空中交通管理包括空中交通服务、空中交通流量管理和空域管理。空域规划设计是空域管理中的一项重要工作。在研究空域规划设计之前, 有必要明确空域的基本概念和属性, 了解空域规划理论的研究现状。

1.1 空域基本概念和属性

空域是实现空中交通的物理空间, 是空中交通服务提供者向空域用户提供服务场所。终端空域是描述环绕某个机场提供空中交通服务空域。终端空域交通系统是航空器起飞进入航路或者从航路进港飞行的一个过渡空域系统, 该系统由标准进离场航线、进近程序、进离场移交点、等待航线和塔台管制区组成, 其中进近程序包括起始进近航线、中间进近航线、最后进近航线和复飞程序。进场的飞机从进场移交点开始按照标准仪表进场航线和进近程序飞向最后进近定位点, 然后落地 (或者复飞), 离场的飞机按照标准仪表离场程序, 爬升到规定高度从离场移交点离开终端空域加入航路飞行。

尽管空域是人们对地面以上三维空间的一种划分, 但是随着人们对航空活动认识的深入以及空中交通服务的不断改善, 空域被赋予了更加丰富的属性, 可以归纳为以下五点。

(1) 空域的资源属性: 空域是国家的公共资源, 具有稀缺性, 可满足国防、运输和科技活动的利益需求, 这种资源的优化配置应当保证各类空域用户的整体需求最大。

(2) 空域的主权属性: 空域的权属关系从法律上进行了规定, 国际民航组织公约规定, 各国对其领土上空享有主权, 这决定了各个国家对于管辖空域具有占有、使用、收益和最终支配权。

(3) 空域的时间和空间属性: 任何飞行活动必然存在对于空域的时间和空间的占有, 这种占有一方面具有可再生性, 即空域释放后, 其他用户可正常使

用;另一方面,具有独占性,形成不同用户对于同一时空下空域资源的竞争,需要通过灵活使用空域等手段科学配置空域资源。

(4) 空域的服务属性:为保障空域安全有序地运行,一方面需要在地面、航空器或卫星配备通信、导航和监视设备;另一方面需要空中交通管理部门提供相应空域的飞行情报、空中交通管制等空中交通服务。

(5) 空域的运行限制属性:出于政治、经济、军事、安全以及空中交通服务等方面的需要,在设置空域的时候通常还要对将在其中运行的飞行活动附加一些限制条件,如飞行规则、机载设备、飞行方向等。

1.2 研究的意义和必要性

随着经济的迅速发展,民用航空业进入了飞速发展时期,航空运输业持续高速发展为世界经济发展做出了重要的贡献,同时也使某些空域面临着越来越严峻的饱和和拥堵态势。有限空域资源与交通需求之间的矛盾日益突出,造成大量航班延误,带来巨额经济损失,也增加了航空运输系统不安全事件的隐患。据预测^[1],到2025年欧美航空运输量可达到目前的2~3倍,由此可见,提升航空运输系统的容量迫在眉睫。欧洲的SESAR(Single European Sky ATM Research)项目^[1]和美国的NGATS(Next Generation Air Transportation System)项目^[2]都提出在未来10~15年建立至少能容纳当前空中交通量3倍的航空运输系统,其中空中交通资源的科学设计和有效管理是一个重要方面。我国于2007年完成了《中国民航新一代空中交通管理系统发展总体框架》^[3]的制定,并将其列为重要研究议题。因此,空域资源的有效配置和科学规划设计成为空中交通管理研究的重要议题之一。

根据国际民航组织文件对终端管制区的定义^[4],终端管制区是指设在一个或几个主要机场附近的空中交通服务航路汇合处的管制区。终端空域^[5]是描述环绕某个机场提供空中交通服务空域,包括终端管制区、管制区域、管制地带、特殊规则应用地带和机场交通地带等空域。终端空域是整个空中交通系统中一个复杂的子系统,所有航路飞行的飞机由航路通过终端空域入口之一脱离航路,并融合到进场航线飞行,最后通过不同的进近航线飞向跑道降落。该空域具有航路结构复杂,空域资源有限,飞行流量和管制难度较大的特点,是整个空域容量提升的瓶颈。同时,我国空中交通管制员队伍薄弱,部分管制员超负荷工作,考虑到终端空域复杂的空中交通运行环境,这些都直接影响到飞行安全和航空运输业的效

益。因此,如何有效利用终端空域和管制资源成为空域规划研究者和管理者面临的紧迫问题。

终端空域扇区优化设计作为空域规划理论的重要组成部分,是解决空域和管制资源有效配置的一种重要理论和方法。根据国际民航组织对于管制扇区的定义,管制扇区(以下简称扇区)是指各个国家的空域规划部门将管制空域参照国际民航组织的相关文件划分基本管制单位,每个扇区对应设立一个管制席位,对于所辖空域提供空中交通管理服务,以保障飞行安全和有序。国际民航组织的空域扇区规划文件^[4-8]大多是各个成员国空域扇区规划经验的总结,多采用定性分析的方法,缺乏建立在严格数学模型基础上的定量分析。在这种相对粗犷的方法的指导下,我国的一些终端空域管制员工作负荷存在不均衡的现象。一部分扇区的管制员工作负荷较小,工作强度较小,设备的利用率和管制员的工作效率较低,而另外一些扇区的管制员工作负荷超出了管制员所能承受的程度,对飞行安全产生了不利影响。仅通过这种定性的空域扇区规划工作,易造成不同扇区在不同时段的管制员工作负荷不均衡的情况,进而降低空域的利用率 and 安全性。终端空域扇区优化设计理论和方法,可以提高我国民航管理部门对终端空域空中交通的安全水平,合理分配和使用管制资源和空域资源。

终端空域的交通预测和容量预测是开展空域规划设计的前提和基础。而对空域设计方案的评价,特别是定量的科学评价,又是获取合理空域规划方案的重要手段。两者都是终端空域规划理论不可或缺的重要组成部分。终端空域是空中交通最密集的复杂系统,空中交通流量和空域容量的准确预测以及终端空域规划方案合理科学的评价,都是终端空域规划理论研究中值得探讨和亟待解决的重要问题。

终端空域容量预测是实施空中交通资源有效管理与合理配置的一项关键技术。目前,众多地区为适应交通需求增长新建和扩建机场,如何准确预测终端空域容量是民航规划和建设部门亟待解决的首要问题。终端空域容量是指在一定的系统结构、管制规则和安全等级下,考虑可变因素(人为因素、天气因素等)的影响,在单位时间内所提供或能提供服务的航空器架次^[9]。终端空域由若干管制扇区构成,扇区是空中交通管制的最小业务单位,通过分析扇区的管制员工作负荷水平来确定空域运行容量,这已经得到业界的公认^[10]。同时,由于受复杂天气的影响,终端空域容量并非定值。据美国联邦航空局调查^[11],美国国家空域系统由于天气原因导致的航班延误是非天气原因导致延误的2倍,65%~75%的超过15分钟的航班延误是天气原因直接导致的,天气是影响终端空域容量的

主要因素。复杂天气下对终端空域容量的准确预测一直是空中交通管理的难题。因此,复杂天气下的终端空域动态容量预测研究对于高效使用空域资源、管制资源和科学实施终端空域的规划设计和空中交通流量管理,最终实现终端空域空中交通安全、有序和高效运行具有重要意义。

本书在国家自然科学基金委员会——中国民航局民航联合研究基金“面向空中交通资源管控的复杂天气下终端空域动态容量预测及仿真研究”(No: U1233101)和“终端空域规划若干关键问题研究”(No: 60979018)的资助下,在空域容量和空域安全性等空域性能指标的约束下,通过借鉴公路交通规划理论、人类动力学理论、数据挖掘方法和交通仿真技术等,建立终端空域规划相关理论方法和规划评价方法。通过本书的研究,探索符合我国国情的终端空域规划及评估的理论和方法。

1.3 终端空域规划理论研究回顾

终端空域是整个空中交通的枢纽,具有航线和机场分布密集,交通复杂程度较高,对管制指挥的安全性要求较高等特点。依照交通运输规划设计的普遍规律,本书着重围绕终端空域的规划提出了如下四方面问题,即空中交通预测、终端空域扇区容量预测、空域扇区规划方法和空域规划后评估依次讨论和研究。在介绍上述四个问题之前,需要了解国内外新一代空中交通管理系统中空域规划和管理方面的研究进展。

1.3.1 国内外新一代空中交通管理系统中空域规划和管理进展

经济的快速发展为航空运输业提供了良好的发展机遇。预测显示,到2025年,美国对航空运输的需求将增长到现有水平的3倍,而欧洲到2020年对航空运输的需求也将翻倍。我国在过去短短十几年时间,航空运输发展以15%增长,2006年我国航空运输总周转量位居世界第二位,已经成为民航大国。为适应航空业发展的需要,欧美等国家和地区先后提出了SESAR项目^[1]和NGATS项目,通过运用空管新技术,实现空中交通的安全性和容量需求。我国也于2007年提出了建设中国民航新一代空中交通管理系统^[2]。在空中交通新技术的引领下,空域规划和容量管理成为其中一项重要的研究内容。

1. 美国的下一代空中交通管理系统

美国为了建设一个更加安全、高效的国家空管系统,满足2003~2013年航

空运输的容量需求,于1999年1月提出了美国国家空域系统规划。该规划提出将在完善现有空管结构和体制的基础上,大力加强卫星导航、地空数据通信和综合监视等新航行系统技术。该规划还强调航空公司、军民航空管和机场等部门的信息共享和飞行协同决策,在保证飞行安全的同时,增加空域容量,提高空域使用效率。随后,在2002年美国联邦航空局发布了国家空域系统运行发展计划(operational evolution plan, OEP)。OEP在现有空管系统结构下,采用新的通信、导航和监视技术,实现飞行的精确跟踪和定位,采用更加智能的辅助决策系统,综合考虑航行情报、气象等多方面因素,实现对空域资源的优化配置和国家空域系统的重新设计;采用新的管制程序,增加机场及航路的飞行容量,保证飞机安全飞行。OEP更加强调信息共享、协同决策(collaborative decision making, CDM)等技术特征。2005年,美国推出了NGATS计划。该系统是一个全球性的复杂系统,关系到公众和若干(国有和私有)利益关系方,这个系统包括国家防御、国土保安、空中交通管理、商业和通用航空经营者及机场,涉及旅客、货物和军事飞行以及休闲飞行。NGATS将把用于国家防御与民用飞行的能力整合在一起,为民用、军事使用者提供服务,使航空旅行更加有效率和效益,更加安全。

在空域规划和容量管理方面,该系统提出协同运行的概念,目的是平衡飞行运营人的目标与空域整体性能,并实现容量管理、应急流量管理和航迹管理。其中,容量管理可以从飞行的几年前开始,并持续到飞行运行的当天。它包含长期管理和短期管理,配置现有的空域,也配置空域相关资源并协调长期的员工排班计划。长期容量管理通常需要数月乃至数年,包括开发新程序、设计空域、研究开发运用新技术、评估并减轻环境因素影响、分析安全和保安,以及与厂商、飞行运营人和其他利益相关方的合作等。短期容量管理通过配置人员、空域结构、基于性能的服务等资源提升容量。

2. 欧洲的单一天空计划

欧洲针对目前各国空域划分过小的问题,于1999年启动了“欧洲单一天空”的运行概念,先后得到了欧盟委员会、理事会和议会的批准,并于2004年4月进入立法阶段。其目标是消除不连续的空中交通管理,提高空中交通管理的控制能力及决策能力,适应欧洲航空运输业的发展。到2020年,SESAR项目将实现以星基为基础,一体化的通信、导航、监视,通过建立通用数据交换网络,伽利略导航卫星系统、雷达联网和自动相关监视系统,实现对欧洲高空空域的统一协

调指挥,以最大限度地提高空域安全、容量和效率,同时明确了对环境的保护和社会效益的体现,对公众服务的正常和舒适性要求。该系统提出了具体运行目标:当前容量 3 倍的容量,安全性能提高 10 倍,每次飞行对环境的冲击减少 10%,以及减少一半的空管成本。

欧洲单一天空计划所采取的许多行动都涉及空域的组织结构规划和使用问题。因此,欧盟委员会建立了欧洲高空飞行情报区、功能空域区块、空域分类、空域设计(航路和扇区)、灵活使用空域、空中交通流量管理等六方面规则,力争获得国际民航组织的支持,并在规则制定上确保与国际民航组织的框架保持一致。在空域结构重组过程中,除了空域重新分类方面取得的进展外,还通过自下而上的方法将欧洲的空域整合为九个功能空域区块(functional airspace block, FAB),以减少成员国之间、民航与军航之间、各空中航行服务提供者之间,以及系统之间的条块分割与各自为政,加速新技术的引入步伐。

3. 中国新一代空中交通管理系统

我国快速增长的宏观经济为航空运输业提供了良好的发展机遇。针对空中交通需求的增长,中国的新一代空中交通管理系统在未来 20 年内,建立天空地一体化的中国民航空中交通管理运行模式和技术支持体系,为全面提升空中交通服务水平,提高安全保障水平和运行绩效搭建平台。结合中国民航的实际情况,该系统提出了中国民航空中交通管理领域需要研究的关键技术和技术政策,包括有效地管理空中交通,提高空域容量,开展适应新需求的基础设施建设等运行理念,同时使民航运输的各参与方了解未来该系统在功能、运行、服务方面的发展趋势。该系统强调“以飞行运行为中心,以协同决策为手段,以新技术为支撑”,主要内容包括基于航迹的运行、协同交通流量管理、综合空域运行和场面运行。这些新技术主要包括星基导航系统、广域多组合式监视系统、数字数据通信系统、体现天空地一体化的空管自动化系统、协同决策信息共享平台以及多功能空中交通流量管理系统。新技术的定位和应用将使国家民用航空的运行和资源得到有效、充分、灵活的管理。

在空域规划与评估方面^[12],该系统以提高空域的利用率为目标,通过空域资源的“分时共用”公平、合理地为用户分配所需的空域,实现基于管制员工作负荷和交通复杂度的灵活扇区划分技术、航路结构的灵活划分技术、空域的灵活使用技术。具体包括:空域宏观规划,实现空域资源的战略性调整;可用空域分配,实现起飞前一日空域资源的战术性分配;扇区调整,实现根据当日飞行需

求的变化,空域扇区边界的动态调整;开辟临时航线,根据实施的拥塞情况,临时性地开辟分流航线。

1.3.2 空中交通预测研究

终端空域规划设计,首先必须建立在对未来终端空域空中交通准确预测的基础之上。对于空中交通的预测,各国民航部门进行了大量研究,其中美欧等发达国家和地区^[13-15]目前已经建立了与各自国家空域特点相适应的空中交通预测系统,用于对不同空域的空中交通、气象等变化给出预测方案,美国联邦航空局^[13]根据全国流量分布特点,采用回归分析等方法对未来10~20年全国交通流进行宏观预测;欧洲航行安全组织^[14]根据所在区域经济和人口增长等情况采用经济学思想,建立了工业和经济发展模型对未来航空运输发展情况进行宏观预测。同时,国内外相关学者在空中交通流量预测方法方面进行了如下研究:Faraway等^[15]利用神经网络能够记忆复杂的历史数据规律和趋势的特点,对大量的飞行流量历史数据进行学习,然后建立了基于神经网络的飞行流量预测模型;Ilona等^[16]根据历史数据,确定了时间序列模型的参数,建立了时间序列模型对民航飞行流量进行预测;崔德光等^[17,18]通过对民航飞行流量的影响因素的分析,提出人工神经网络结合回归方法对大王庄导航台的流量进行预测,获得了优于单独的人工神经网络的预测结果;徐肖豪等^[19]提出基于不同数据源的组合预测方法,通过对航班时刻数据、飞行计划数据和雷达数据进行统计和预测,通过采用遗传算法进行模型权值的寻优,建立了误差最小组合预测模型。

上述研究成果主要关注对预测方法的研究,试图通过预测方法的选择和组合来提高预测精度。但是,相对于航路空域,终端空域空中交通系统短期预测更具有复杂性和随机性。空中交通流量短期预测需要考虑的影响交通流的因素较多,预测精度受到影响的原因不仅仅在于预测方法,而要更多地关注预测样本数据本身,因为预测样本数据才是整个预测工作的源头和基础。由于空中交通流量受复杂随机因素的干扰,会使局部样本预测数据受随机因素干扰而失去规律性,导致样本数据“异样”,这是导致预测精度难以提高的重要原因。同时,在终端空域空中交通系统的长期预测中,国内外研究较少涉及对终端空域空中交通分布规律的预测研究,而对于终端空域的长期预测来讲,确定未来的交通分布是实施终端空域规划工作的前提。在长期预测中,需要针对终端空域空中交通流随季节周期性变化的特点,通过建立预测模型,确定终端空域的空中交通分布。