



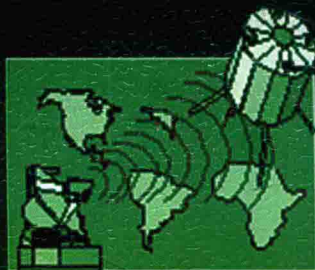
空中交通管理系列教材

KONGZHONG JIAOTONG
GUANLI XILIE JIAOCAI

主 编 ● 程 擎
副主编 ● 江 波 张雪华

通信 导航 监视设施

(第2版)



TONGXIN DAOHANG JIANSHI SHESHI



西南交通大学出版社

空中交通管理系列教材

通信 导航 监视设施

(第2版)

主 编 程 擎

副主编 江 波 张雪华

主 审 何秋钊

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容提要

本书介绍了民航当前采用的通信、导航、监视系统的种类、功能及工作原理,同时对卫星通信、卫星导航和自动相关监视的理论及技术也进行了详细阐述。通过该课程的学习,民航交通运输专业及其相关专业方向的学生能了解民航通信、导航、监视系统的体系结构,掌握设施设备的组成、功能及其应用,并具备相应的实践技能。

本书为空中交通管理、飞行签派和航行情报专业的专用教材,也可作为交通运输与规划专业研究生的选用教材,还可供空中交通管制保障部门(通信导航雷达部门)的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信 导航 监视设施 / 程擎主编. —2 版. —成都: 西南交通大学出版社, 2016.2
空中交通管理系列教材
ISBN 978-7-5643-4561-7

I. ①通… II. ①程… III. ①航空通信 - 教材 ② 航空导航 - 教材 ③航空 - 监视控制 - 教材 IV. ①V243.1
②V249.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 032028 号

空中交通管理系列教材

通信 导航 监视设施 (第 2 版)

主编 程 擎

责任编辑 宋彦博
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话 028-87600564 028-87600533
邮政编码 610031
网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 四川森林印务有限责任公司
成品尺寸 185 mm × 260 mm
印 张 17.5
字 数 437 千
版 次 2016 年 2 月第 2 版
印 次 2016 年 2 月第 6 次
书 号 ISBN 978-7-5643-4561-7
定 价 55.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

第 2 版前言

“通信、导航、监视设施”是交通运输专业的一门专业基础课，专门介绍民航当前所使用的以及未来可能使用的通信、导航、监视系统，具体内容包括无线电基础知识，民航通信系统、导航系统和监视系统。

本教材详细介绍了民航当前采用的通信系统、导航系统、监视系统的种类、功能及各系统的工作原理。同时，考虑到民航新一代空中交通管理系统的推进，以及各种新技术的逐步应用，本教材对卫星通信、全球卫星导航系统和自动相关监视等系统也进行了详细阐述。

本教材源于 1997 年开始使用的自编讲义。2004 年 1 月，魏光兴、程擎、张光明、江波和方学东对讲义进行了修订，并于同年 6 月在西南交通大学出版社出版。随着新一代空中交通管理系统新技术的逐步使用，空中交通管理、飞行签派及航行情报等人员对民航通信、导航、监视知识提出了新的要求。2014 年，中国民用航空飞行学院决定对本教材进行重新修订。新版教材按照新大纲重新设置教学内容，重新研讨了该学科的知识体系和学科特点。教材编写组收集了大量资料，对教材进行了大幅度的修订及改编，使教材的内容、结构、体系更贴近专业教学需要，更加符合民航发展的要求。

本书由中国民用航空飞行学院的程擎等老师编写，其中，第 1 章、第 2 章由江波编写，第 3 章、第 5 章由程擎编写，第 4 章由张雪华编写。全书由程擎统稿，何秋钊审阅。通信、导航、监视教学组的其他老师对本教材也提出了很好的建议。

在本书编写过程中，我们得到了中国民用航空飞行学院空中交通管理学院、教务处，以及提供资料的各民航单位的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

本书可作为民航交通运输专业学生及成人理论培训教材。由于本教材涉及面广，编者所掌握资料不全，加之水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2015 年 9 月于中国民用航空飞行学院

第 1 版前言

通信、导航、监视系统是民航生产实践中的重要保障系统，它是保证飞行正常、安全的重要手段。随着新航行系统的逐步实施，新技术得到了广泛应用；航空管理及运行手段的变革正在进行，程序化、制度化、科学化、自动化的航行系统正在形成；服务系统在航空中的地位越来越举足轻重，它的发展和进步必将给民航带来巨大而深远的影响。

《通信、导航、监视设施》是专门研讨民航当前及未来发展所采用的通信、导航、监视系统的教材，是空中交通管理、飞行签派及航行情报服务等交通运输专业的一门专业基础课。

本教材详细介绍了民航当前采用的通信系统、导航系统、监视系统的种类、功能及各系统的工作原理。同时，由于卫星技术的发展，新航行系统的逐步应用，对卫星通信、卫星导航和 ADS 监视的理论及技术也进行了详细阐述。

本教材于 1997 年开始使用，先后在交通运输专业、大改航、大改情、大改签专业试用。试用期间，广泛征求了教师和部分学生的意见，同时在教材的实用性方面，还征求了民航生产一线的专家和技术人员的意见，并详细分析了教材的反馈信息。在此基础上，重新搜集和消化了大量资料，重新研讨了该学科的知识体系和学科教学特点，对教材进行了大幅度的修订改编，并针对航空设备和地面保障系统的发展，删除了大量陈旧的内容，增加了许多新知识、新技术，使教材的内容、结构、体系更加完善，更加符合民航发展实际和发展要求。

本书共分为五章。第一章主要介绍了民航通信、导航、监视系统，新航行系统及对民航发展的影响；第二章主要讲述了无线电信号的产生、传播和接收；第三章主要介绍了民航平面通信网络和地-空通信系统、卫星通信系统，介绍了主要的数据通信网（X.25 分组交换网、帧中继 FR 网、数字数据网 DDN、异步传输模式 ATM）和中国民航数据通信系统；第四章主要讲述了民航近程导航系统和远程导航系统，包括 NDB、VOR、DME 及 ILS 系统，惯导 IRS 和卫星导航 GPS 系统；讨论了系统的工作原理和系统的性能；第五章主要介绍了民航的监视系统，包括雷达原理、一次雷达工作原理及性能参数，A/C 模式二次雷达和 S 模式二次雷达的工作原理及性能参数，自动相关监视 ADS 系统以及机载监视设备（TCAS、GPWS、EGPWS 和风切变探测系统）。

本书由中国民航飞行学院魏光兴等同志编写，其中，第一章由魏光兴编写，第二章由江波编写，第三章由张光明编写，第四章由方学东、魏光兴编写，第五章由程擎、魏光兴编写。全书由魏光兴统稿主编，张焕对全书进行了审阅。

本书在编写过程中，得到了民航西南管理局通导处、通信总站，中国民航飞行学院教务处，

中国民航飞行学院空管学院，中国民航飞行学院空管中心及领航教研室的大力支持，得到了朱代武、何秋钊、张焕的热心帮助，他们提出了不少宝贵意见，在此一并表示衷心感谢。

本书为民航交通运输专业及成人理论培训教材，由于编者资料占有不全、水平有限，书中错误和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 1 月于中国民航飞行学院

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 传统航行系统	1
1.2 新航行系统	3
1.3 世界各国新一代航空运输系统	9
第2章 无线电信号基础	11
2.1 无线电信号的产生	11
2.2 无线电信号的传播	27
2.3 无线电信号的接收	36
第3章 民航通信系统	42
3.1 通信概述	42
3.2 民航通信概述	47
3.3 高频通信系统	51
3.4 甚高频通信系统	55
3.5 选择呼叫系统	62
3.6 卫星通信系统	64
3.7 地-空数据链通信系统	79
3.8 平面数据通信网	85
第4章 民航导航系统	95
4.1 导航系统概况	95
4.2 无方向性信标系统	97
4.3 甚高频全向信标	106
4.4 测距机	120
4.5 仪表着陆系统	127
4.6 惯性导航系统	140
4.7 GNSS	154

第 5 章 民航监视系统.....185

5.1 民航监视系统概述.....185

5.2 雷达概述187

5.3 民航一次雷达206

5.4 民航二次雷达210

5.5 S 模式二次雷达226

5.6 自动相关监视（ADS）236

5.7 空中交通警戒和防撞系统253

5.8 近地警告系统261

参考文献.....271

第 1 章 绪 论

民用航空是国民经济的重要组成部分之一，而民航空中交通服务系统建设的好坏，直接关系到民用航空的安全、正常和效率。为了适应我国民航运输业快速增长的需求，空中交通服务系统的发展、建设必须与航空运输的发展速度相协调。

民航空中交通服务系统由空中交通管理系统、通信系统、导航系统、监视系统、气象系统、航行情报系统和其他支持系统等组成。其中，通信系统、导航系统和监视系统构成了航行系统的硬件部分。通信系统分为平面通信系统和地-空通信系统。平面通信系统包括机场总机、机场平面移动通信、电报网、雷达数据传输网、卫星传输网、自动情报网、分组交换网和管制移交通信等。地-空通信是飞机和地面管制单位、航空公司之间的通信。导航系统分为终端区域导航系统和航路导航系统两类。终端区域导航系统是指在终端区域引导飞机进离场、进近着陆的导航系统。航路导航系统是引导飞机沿航路飞行的导航系统。监视系统分为终端区域监视系统和航路监视系统，主要指地面空中交通管制单位用于对飞机状态进行监控的系统。

在通信、导航监视系统的发展过程中，国际民航组织（ICAO）于 20 世纪 80 年代提出了发展新航行系统的战略，因此本书把 20 世纪 80 年代以前的航行系统称为传统航行系统。

1.1 传统航行系统

1.1.1 传统航行系统的概况

20 世纪 80 年代，地-空通信主要采用语音通信，包括高频（HF）话音通信系统和甚高频（VHF）话音通信系统，在欧洲和北美也少量使用了低速的地-空数据链通信。

导航系统主要采用陆基导航系统。其中，终端区域导航系统包括无方向性信标系统（NDB）、甚高频全向信标台/测距仪（VOR/DME）系统、仪表着陆系统（ILS）和微波着陆系统（MLS）等；航路导航系统分为近程导航系统和远程导航系统两种，包括 NDB、VOR/DME、INS/IRS（惯性导航系统/惯性基准系统）、罗兰-C 和奥米加（OMEGA）导航系统等。

监视系统包括在高交通密度区域和终端区域使用的一次雷达和二次雷达监视，在雷达覆盖区域外，使用依靠话音通信来报告飞机位置的人工相关监视。

1.1.2 传统航行系统的缺陷

传统航行系统的通信导航监视（CNS）系统都是基于陆基的系统，是分散和各自独立的系统。随着飞行流量的日益增加，这些通信、导航和监视系统越来越不能适应民航发展的需要，它们在多个方面都制约着民航的发展。传统航行系统存在的主要缺点表现在以下几个方面：

① 陆基系统的覆盖范围有限：这些通信导航监视系统中在视线范围内传播的包括 VHF 通信、VOR、DME、一次雷达和二次雷达等，其覆盖范围有限。

② 精度低，可靠性差：中远程的陆基传播系统包括 HF 通信、NDB、罗兰-C 等，由于传播特性的可变性，其准确性和可靠性受地区、昼夜和季节气候的影响较大。

③ 全球难以以统一方式运作：不同的国家和地区采用的通信导航监视设施不同，导致使用不同的管制方式时，其管制间隔和流量不同，运行方式也不同。

④ 通信采用话音而缺少空-地数字数据交换系统，主要表现为：

➤ 速度慢：利用话音传送 200 个字符需 30 ~ 40 s，占用信道时间比较长。目前，空中交通繁忙的地区，VHF 频率资源已显得紧张，话音通信限制了 VHF 频率资源利用率的提高。

➤ 易出错：话音通信主要在机组人员、管制员及航务管理人员之间进行，长时间的飞行和讲话都易使人疲劳，加上各国、各地的语言、口音不一致，可能产生听不懂、听不清或说错、抄错的情况。

➤ 多信宿的限制：有些通信内容要先由话务员收下，然后人工转发给多个用户，进一步增加了出错的可能性，并且延长了通信时间。

➤ 业务种类受限制：某些计算机数据不便由人口述，飞机上所利用的地面数据库信息，也不便由话音通信来实现。

⑤ 随着民航的飞速发展，飞机数量和飞行流量有很大的增加，而传统通信导航监视系统很难适应飞机数量及流量的增加。

1.1.3 对新航行系统的总体要求

传统航行系统存在弊端，已越来越不适应民航的发展，需要变革。ICAO 很早就开始发展新航行系统，其对新航行系统的总体要求体现在安全、容量、效率和效益四个方面，具体为：

① 用新技术适应未来航行的需要，提高系统容量。

② 覆盖海洋、边远地区和高高度区域，实现全球无缝隙的覆盖。

③ 采用数字式数据交换，改善质量，提高空管自动化水平，保证航空安全。

④ 提高空管的灵活性，从程序管制过渡到设备监视下的管制，使空域的利用动态化。

⑤ 扩展监视的作用，在保证安全的前提下缩小飞行间隔，提高空域的利用率。

⑥ 提高精密定位能力，有利于实现区域导航和四维导航，扩展航线距离短而快捷的直飞航线，扩大飞行自由度，节约飞行时间和燃油。

⑦ 适应各种环境，包括不同空域环境、不同交通密度、不同机载设备、不同地面设备，并能适应多样化用户，以及全球飞行时跨区或飞越国境时的实用性。

1.2 新航行系统

1.2.1 新航行系统的产生

为解决现行航行系统在未来航空运输中的安全、容量和效率不足的问题，ICAO 基于对未来飞行流量增长和应用需求的预测，于 1983 年提出在飞机、空间和地面设施三个环境中发展基于卫星和数字信息的先进通信、导航和监视技术。由于当时有些系统设备仍在研制中，尚不具备所需运行条件，ICAO 将该建议称为未来航行系统（FANS）方案。1988 年 5 月，在 FANS 第四次会议上，ICAO 建议采纳主要基于卫星技术的全球新 CNS/ATM 系统，即 FANS 系统，其内容包括技术、运营、经济、财政、法律、组织等多个领域，为各地区实施新航行系统提供了更具体的指导。1990 年，FANS-II 委员会成立，负责制订 FANS 系统的实施计划和过渡安排。1991 年，FANS 的概念和基本方案在 ICAO 第十次航行会议上通过，并于 1992 年 10 月得到 ICAO 第 29 届大会批准。1993 年，FANS-II 委员会完成历史使命，FANS 系统转入实施阶段，同时改称 FANS 系统为 CNS/ATM 系统，简称新航行系统。

CNS/ATM 系统在航空中的应用给全球航空运输的安全性、有效性、灵活性带来巨大的变革，使空中交通管理进入了新的发展时代。

1.2.2 新航行系统的组成

新航行系统是一个以星基为主的全球通信、导航、监视加上自动化的空中交通管理系统，如图 1.1 所示。新航行系统由通信（C）系统、导航（N）系统、监视（S）系统和空中交通管理（ATM）系统四部分组成。其中，通信、导航和监视系统是基础设施：导航是系统的核心，通信是系统的必要条件，监视是系统保障安全的手段，三者缺一不可。空中交通管理是管理体制、配套设施及其应用程序的组合。新航行系统主要新在“星基”上，即系统的关键问题是卫星的应用。空中交通管理系统的关键问题是数字化、计算机处理及联网问题。

从新技术利用上说，新航行系统主要是卫星技术、数据链技术和计算机网络技术的综合应用。系统在采用新技术方面有如下特点：

- ① 利用卫星技术，从陆基通信导航监视系统逐步向星基通信导航监视系统过渡，逐步以星基系统为主；
- ② 数据链技术的开发利用可实现地-空、地-地、空-空之间可靠的数据交换；
- ③ 系统采用数字化、计算机处理和联网技术。

ICAO 在 1992 年批准了新航行系统的实施方案，并在 1993 年转入实施阶段。在多年的发展过程中，随着一些新技术的出现，ICAO 也修改了新技术实施规划方案，并在 2012 蒙特利尔第 12 次航行会议中，制定了通信导航监视系统的发展线路图。

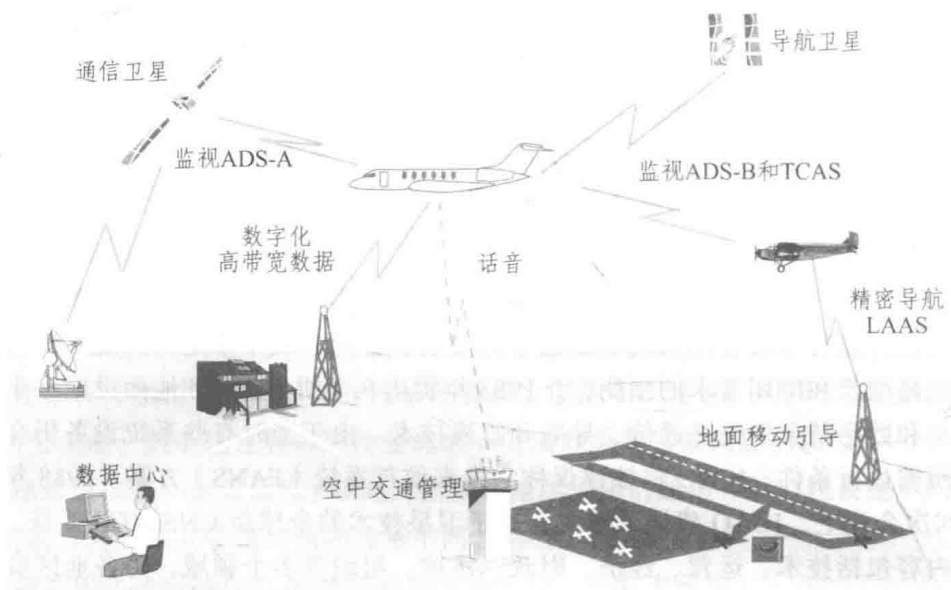


图 1.1 CNS/ATM 环境

1.2.2.1 通信系统

对于通信系统来说，最关键的是发展双向的数据通信，尤其是飞机与地面的通信。通信技术路线图实际上包括 3 部分，分别为空-地数据链通信、地-地通信以及空-地语音通信。

空-地数据链通信采用 HF 数据链通信、VHF 数据链通信和卫星数据链通信，其技术都从当前的飞机通信寻址与报告系统（ACARS）向航空电信网（ATN）发展。另外，空-地数据链通信系统还包括航空移动空港通信系统（AeroMACS），它有望提供大容量的数据链路，在飞机停靠闸口或停机坪时，实现飞机、车辆、固定站之间的高效率信息交换，以及支持不同的 ATM 和 AOC 应用。

地-地通信的互联网协议由 IPv4 全面发展为 IPv6，覆盖全部的语音通信。

空-地语音通信包括 VHF 语音通信、HF 语音通信和卫星通信，未来主要发展数字语音系统。

1.2.2.2 导航系统

对于导航系统来说，传统的无线电导航已经不能适应越来越繁忙的空中交通流量需求。为保证导航的安全、高效率以及空中交通的有序进行，国际民航组织必须发展新型的导航系统。

导航方式应从基于信号的传统导航方式向基于性能的导航方式转变，在不同的区域运用不同的 PBN 导航规范。应采用全球导航卫星系统（GNSS）来提供全球覆盖，并发展多频、多星座的全球导航卫星系统（GNSS），通过 GNSS 增强系统来提供 CAT I、CAT II 和 CAT III 类精密进近。应保留微波着陆系统（MLS）和仪表着陆系统（ILS），以缓解 GNSS 中断时对精密进近的需求。NDB、VOR 将逐步退出导航领域，改用 DME 组成陆基导航网络来支持 PBN 运行。

1.2.2.3 监视系统

监视系统的技术线路图包括场面监视、地-空监视和空-空监视三部分。场面监视技术包括场面监视雷达、多点定位监视、广播式自动相关监视和照相机。地-空监视包括一次雷达、二次雷达（SSR）、S 模式二次雷达、广域多点定位监视、广播式自动相关监视系统（ADS-B）和协约式自动相关监视系统（ADS-C）。空-空监视采用广播式自动相关监视系统（ADS-B）。

1.2.2.4 空中交通管理系统

空中交通管理系统是新航行系统的一个重要组成部分，是构筑在通信、导航和监视系统之上的管理系统，是配套设施及其应用程序的组合。其目的是使航空器运营者按其计划的时间起飞和到达，并在不降低安全水平的情况下，以最小约束的方式，按其满意的飞行面飞行。根据所实现的功能的不同，空中交通管理系统可分为以下几个子系统：空中交通流量管理（ATFM）子系统、空域管理（ASM）子系统、空中交通服务（ATS）子系统。空中交通服务又可分为空中交通管制（ATC）、航行情报服务（FIS）、告警服务（AL）。空中交通管理的技术线路图引入了所需空中交通管理性能（RATMP）这一概念。空中交通管理系统的关键问题是数字化、计算机处理及联网问题。

1.2.3 新航行系统的特点

新航行系统的特点反映在系统、技术和实施等方面。

1.2.3.1 系统方面

1. 新航行系统是一个完整的系统

新航行系统由通信系统、导航系统、监视系统和空中交通管理系统组成。实际应用中，虽然存在独立的可用技术和设备性能规定，但从完成安全、有效飞行任务总目标意义上来看，其中的通信、导航和监视系统以硬件设备和应用开发为主，空中交通管理则以数据综合处理和规则管理运行为主。通信、导航、监视和空中交通管理之间相辅相成，在科学的管理方法指导下，高性能的硬件设备能为实现 ATM 目标提供可靠的手段，为空中交通高效率运行提供潜能。不论是现在 ATC 的目标，还是今后全球 ATM 的目标，都是依赖于当时的可用技术和设备能力提出来的。新航行系统将各种可靠的手段（通信、导航、监视等）和方法（程序法规等）有机地综合在一起，对来自各信源的信息进行加工、处理和利用，实现一致的和无缝隙的全球空中交通管理。在实施空中交通管理的过程中，应将各分系统的高性能都体现在 ATM 的效益上，使空中交通在任何情形下都有条不紊。

2. 新航行系统是一个全球一体化的系统

新航行系统满足国际承认和相互运行的要求，对空域用户以边界透明方式确保相邻系统和程序能够相互衔接，适合于广泛用户和各种水平的机载电子设备。随着新航行系统不断完善而产生的所需总系统性能（RTSP）这一概念，将对总系统在安全性、规范性、有效性、空

域共享和人文因素方面做出规定。RTSP 成为发展新航行系统过程中普遍应用的系列标准，指导各国、各地区如何实施新系统，以保证取得协调一致的运行效果，使空中交通管理和空域利用达到最佳水平，从而实现全球一体化 ATM 的目标。

3. 新航行系统是一个以滚动方式发展的系统

纵观 ICAO 开始提出的 FANS 方案和其后再讨论制订的 CNS/ATM 实施方案，在新航行系统中，分系统成分发生了一些变化。例如：数据链通信中的甚高频数据链（VDL）通信重点发展 VDL 2 和 VDL 4，卫星通信中出现了铱星通信；导航系统中的陆基导航系统延长了测距仪（DME）的应用，GNSS 中新增加了“伽利略”卫星导航系统和“北斗”卫星导航系统，并增加了多种增强系统；监视技术中出现了多点定位技术、多基一次监视雷达技术，且 ADS 的应用更广泛。另外，ICAO 还先后增加了所需性能的概念。具体有：所需导航性能（RNP）、所需通信性能（RCP）、所需监视性能（RMP）、所需空中交通管理性能（RATMP）和在这些性能综合条件下的所需总系统性能（RTSP）。由此可见，ICAO 的工作方式已经从在新系统中使用和不使用什么设备的选择上转到注重制定所需性能标准上来。从已经颁布的 RNP 规定的应用结果来看，RNP 概念的应用实现了 ICAO 的预期目的。所需性能概念体现了 ICAO 发展航行系统的战略思想，即面对今后交通流量的持续增长和新技术的不断涌现，在完善各种性能要求，并在所需性能指导下，为各国、各地区提供广泛的新技术应用空间和发展余地。在标准化的管理模式下，新航行系统会不断地吸纳新技术、新应用，并使其向更趋于理想模式的方向发展。

1.2.3.2 技术方面

新航行系统利用了多种技术，其主要依赖的新技术可以表示为：卫星技术 + 数据链技术 + 计算机网络技术 + 自动化技术。其中，卫星技术和数据处理技术从根本上克服了陆基航行系统固有的而又无法解决的一些缺陷，如覆盖能力有限、信号质量差等。计算机技术和自动化技术是实现信息处理快捷、精确，减轻人员工作负荷的重要手段，如机载的飞行管理系统和空管自动化系统大大减轻了飞行员和管制员的工作负荷。

1.2.3.3 实施方面

在新技术的实施中，在不同的实施区域，可采用先辅后主和先易后难的方式。在走向新航行系统的进程中，必然有新老系统并存的过渡期。初期，新系统在运行中起辅助作用，即在功能上发挥补充能力作用；后期，除少部分优秀的现行系统作新系统的备份外，新系统成为空中交通管理的主角。随着人们对新航行系统体系认识 and 理解的加深，新技术的渗透将使新系统逐步平稳地取代现行系统。

所谓“先易后难”，指新系统先在对陆基设备影响小的地方或环境中实现应用，而在可能对陆基系统产生较大影响的场合迟后慎重应用。例如，PBN、GLS 技术首先应用于我国的偏远高原机场，随后在其他容量大的机场使用。

1.2.3.4 新航行系统对空中交通管理系统的影响

1. 陆基航行系统向星基航行系统转变

人类对空间技术的研究,解决了一些在陆地环境下无法解决的问题。卫星技术的应用是人类文明发展的重要标志。卫星技术可用性的提高是陆基航行系统向星基航行系统转变的关键。卫星通信技术在电视广播领域也得到了广泛的应用,经历了从租用、购买转发器开始,到自主发射卫星、使用专用转发器的发展过程。卫星通信技术也从服务于娱乐、日常生活发展到能以多种速率、多种方式传输多种数据,并应用于各个领域。在实现陆基通信方式困难的地方,卫星通信技术已经成为重要的依赖手段。与现行陆基导航系统相比,全球导航卫星系统具有高精度、多功能、全球性等优点,解决了航路设计受限于地面设施的问题,也为远距离或跨洋飞行提供了实时定位导航手段。当基本卫星导航系统与可靠的增强系统结合后,可将其用于全部飞行阶段。在建设具有相同规模和同样保证能力的常规空管系统所需经费方面,星基空管系统已向陆基空管系统提出了挑战。

2. 国家空管系统向全球一体化空管体系转变

在现行航行系统环境下,由于各国空中交通管理设施的能力不同,管制方法和管制程序以及在空域利用和最低间隔标准问题上缺乏一致性,因而对飞机的有效飞行增加了额外限制。在发展空中交通管理系统的过程中,国家与国家之间很少合作,使飞机不能有效发挥先进机载设备的能力,特别是现行航行系统缺乏全球覆盖性、规范性和有效性的共同基础。现行航行空中交通服务的安全水平仅限于某些空域范围,还不具备全球性的安全水平。这些都是现行系统无法满足未来交通增长要求和空域用户需求的原因。现行条件下,随着空中交通运输量的持续增长,空域的不连续性和国家航行系统的不一致性,会妨碍有限空域的最佳利用。

新航行系统中一体化的 ATM 能够使飞行员满足其计划的离港和到达时间,在最小的限制和不危及安全的情况下保持其优选飞行剖面。为此,需要空域和国家空管系统的部件、程序具有协调性和标准化,以国际统一的 ATM 标准和程序全面开发新航行系统技术。

新航行系统中的功能系统具有全球覆盖的特点,机载和地面设备之间相互联系和数据交换功能的兼容性保证了总系统能一致有效地工作。飞机无论在境内还是跨国飞行,都将获得全球一体化航行系统所提供的无缝隙空域管理的标准服务。

3. 空中交通管制向自动化方向转变

空中交通管制工作由复杂任务组成,要求管制员具有较高的技能和灵活应变的能力,如对空域的洞察力,可用信息的处理、推理和决断的独特能力。全球一体化 ATM 所显示的安全性、空域高容量和飞行有效性的要求,在管制员发挥其特有能力的同时,还要利用自动化手段改善管制工作效率。在航行数据采集处理、动态空域的组织、飞行状态的预测、解决冲突建议措施的选择过程中,自动化系统的快速解算能力将获得更及时、更准确的结果,帮助管制员自动进行空中交通活动的计算、排序和间隔,获得更直接的航路,以便在有限的空域内建立有效的飞行流量。同时,各种信息多途径自动有效的传输,极大地减轻了管制员的工作负荷。

目前,空中交通管制将以渐进方式引进自动化系统,利用计算机和有关软件协助管制员完成部分任务。应当明确,实现自动化的空中交通管制方式并不等于完全取代管制员。在实

际应用中,受各种随机因素和不可预见事件的影响,飞机不可能也不总是按其预定计划运行。因此,自动化的空中交通管制方式仍然需要发挥管制员特有的能力和灵活性特点。

1.2.4 我国当前航行系统状况

随着新航行系统在中国的推进,当前中国民航的航行系统取得了很大的进步。

1.2.4.1 通信系统方面

通信系统分为平面通信和地-空通信来建设。在平面通信方面,建成覆盖全国民用机场、航空公司及空中交通管制单位的中高速自动转报网络;建成以民航总局为中心,各地区管理局为分中心的民航数据交换传输网络,该网络包括分组交换设备和帧中继交换设备,分布在全国民航所有省会机场和大型航站;建成由话音通信网(TES)和数据通信网(PES)两部分组成的专用卫星通信网,该网络在全国125个机场建有数据通信网卫星小站,在95个机场建有话音通信网卫星小站,可分别提供数据和话音端口1200多个,数据端口1600多个。

1.2.4.2 地-空通信方面

甚高频通信已成为主要地-空通信手段,并达到了相当高的覆盖度。目前,在机场终端管制范围内,甚高频通信可提供塔台、进近、航站自动情报服务等通信服务。在航路对空通信方面,随着在全国大中型机场及主要航路(航线)上的甚高频共用系统和航路甚高频遥控台的不断建设,实现了我国东部地区6000m以上空域和其他地区沿国际航路6000m以上空域甚高频通信覆盖,在一些繁忙航路上达到了3000m以上的甚高频通信覆盖。另外,为满足在紧急情况下航空公司运控与飞机实现语音通信的要求,中国民航下发了《航空公司运行控制卫星通信实施方案》,规定了航空公司发展卫星通信的具体内容和实施计划表。

建成的中国民航甚高频地-空数据通信网络是目前国内覆盖范围最大的地-空通信网络之一。该网络可以为民航总局、航空公司和空管部门提供飞机在飞行过程中的实时动态及有关信息,并将地面有关部门的相关信息及时传递给飞行中的飞机。该网络目前已与美国阿瑞克(ARINC)地-空数据通信网和泰国通信公司的地-空数据链网络实现连通,可为飞机提供跨国的地-空甚高频数据通信服务,以满足航空公司及空中交通管理的各项应用需求,同时为将来向航空电信网(ATN)过渡奠定了基础。

1.2.4.3 导航系统方面

目前已建成全向信标370余套,全向信标/测距设备170余套;在全国主要机场配备仪表着陆系统150余套,有些机场的仪表着陆系统已按照II类运行标准开始使用。为推动基于性能导航(PBN)在民航的应用,我国民航总局下发了《中国民航基于性能的导航实施路线图》,规定了总的目标、关键任务和具体实施时间表。根据导航发展的要求,中国民航采取了多项措施,包括:陆基导航台布局的优化,在多个机场开发基于性能导航的飞行程序,地基增强系统(GBAS)的实验、建设,快速发展我国自己的北斗卫星导航系统(BDS)等。

1.2.4.4 监视系统方面

2010年,中国民用航空局空管行业管理办公室发布了咨询通告《中国民航监视技术应用政策》,对我国近期(2011—2020)、中期(2021—2025)和远期(2026—2030)的空管监视政策进行了规划。2012年,民航总局发布了《中国民用航空ADS-B实施规划》,对我国运输航空和通用航空实施ADS-B实施进行了总体规划并给出了具体的实施计划。根据我国的监视政策和前期多年的建设,中国民航雷达监视系统初具规模,在省会和干线机场基本上都装备了空管二次雷达,而且在主要机场都装备了空管一/二次雷达系统。东部大部分地区实现了全面覆盖,部分地区实现了双重甚至多重覆盖。但我国东北部分地区、西部许多区域不能实现雷达覆盖,这极大影响了在这些地区的空管监视。我国对成都—拉萨、B213等西部航路、南海区域和东北部分区域加强了ADS-B地面站建设,基本实现了对这些地区的ADS-B覆盖。

1.3 世界各国新一代航空运输系统

当ICAO在1993把FANS改名为CNS/ATM后,新航行系统便进入了逐步实施阶段。随着新航行系统各种技术的逐步实现和航空业的发展,世界各国提出了发展新一代航空运输系统,主要有美国提出的“新一代航空运输系统”(Next Generation Air Transportation System, NextGen)发展战略和欧洲提出的欧洲单一天空ATM实施计划(The Single European Sky ATM Research, SESAR)。

美国在2003年提出的NextGen不是一个全新的独立系统,而是在现有基础上采用新标准、新技术、新装备、新程序,集成相关航空业务子系统,采用新的运行方式、业务方式、管理模式过渡发展成为下一代航空运输体系系统。其目标在于改进航空运行的安全、容量、效率、可预测性、降低成本、更加环保等。

美国的NextGen由联合计划发展办公室(Joint Planning & Development Office, JPDO)负责总协调;由联邦航空局牵头研发改进机场基础设施、综合安全管理系统,制订环境保护措施,协调全球航空标准、设备及运行;由国土安全部建立多层次、自适应安保系统;由美国国家航空航天局(NASA)和美国联邦航空局(FAA)研究开发空中交通管理系统;由国防部研究开发网络信息平台 and 情景意识系统;由美国商业部研究开发提高气象能力以及降低天气影响。NextGen发展的核心技术包括:广播式自动相关监视(ADS-B)、NextGen的网络天气服务(NNEW)、系统范围内的信息管理(SWIM)、国家空域系统语音系统(NVS)、数据通信(Data Comm)和协同空中交通管理技术(CATMT)。

2004年11月19日,欧盟委员会和欧洲航行组织联手启动了名为欧洲单一天空实施计划(SESAR)ATM实施项目研究。欧洲单一天空实施计划的目的是对欧洲空中交通管制结构进行重组,根据空中交通流向和流量而不是根据国界来重新规划欧洲空域,在欧洲范围内建立一个统一的空管服务系统取代目前各自为政的空管系统及运行程序,以满足未来欧洲的安全、容量和效率需要。SESAR包括定义(2004—2008)、研发(2009—2013)、部署和实施(2014—2020)三个阶段。按照实施计划表,该项目当前正处于部署和实施阶段,工业界将承担该阶段的大部分费用,部署工业界研发制造的新系统、新设备,并保证新系统的实际应用。SESAR正在采用和研发的新技术包括:VDL2数据链通信、欧洲静止卫星导航覆盖系统(EGNOS)、多点定位监视、多基一次监视雷达(MSPSR)、机载间隔辅助系统(ASAS)、地基增强系统