

中国民航飞行学院研究生系列教材

ZHONGGUO MINHANG FEIXING XUEYUAN YANJIUSHENG XILIE JIAOCAI

XINYIDAI KONGZHONG JIAOTONG  
GUANLI XITONG

# 新一代空中交通管理系统

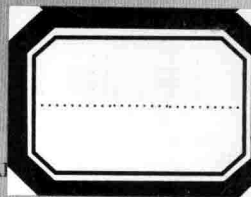
主编程擎 宋代武



西南交通大学出版社  
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

中国民航飞行学院研究生系列教材

ZHONGGUO MINHANG FEIXING XUEYUAN YANJIUSHENG XILIE JIAOCAI



# 新一代空中交通管理系统

XINYIDAI KONGZHONG JIAOTONG  
GUANLI XITONG

主 编 程 擎 朱代武

西南交通大学出版社

· 成都 ·

## 内容简介

本书主要介绍了新航行系统发展的民航地-空数据链通信系统、全球卫星导航系统、监视系统的新技术,详细阐述了各类新技术的工作原理、功能及特点。同时,对美国发展的新一代航空运输系统(NextGen)、欧洲发展的单一天空实施计划(SESAR)和自动化空中交通管理系统进行了详细阐述。

本书可作为空中交通规划与管理专业研究生教材,也可供交通运输、飞行技术专业本科生以及空中交通管理保障部门人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

新一代空中交通管理系统 / 程擎, 朱代武主编. —  
成都: 西南交通大学出版社, 2013.8  
中国民航飞行学院研究生系列教材  
ISBN 978-7-5643-2552-7

I. ①新… II. ①程… ②朱… III. ①空中交通管制  
- 管理信息系统 - 研究生 - 教材 IV. ①V355.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第188572号

---

中国民航飞行学院研究生系列教材

### 新一代空中交通管理系统

程擎 朱代武 主编

责任编辑	李芳芳
助理编辑	宋彦博
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路146号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网址	<a href="http://press.swjtu.edu.cn">http://press.swjtu.edu.cn</a>
印刷	成都中铁二局永经堂印务有限责任公司
成品尺寸	170 mm × 230 mm
印张	17.5
字数	314千字
版次	2013年8月第1版
印次	2013年8月第1次
书号	ISBN 978-7-5643-2552-7
定价	37.00元

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

# 前 言

通信、导航、监视系统和自动化的空中交通管理系统是空中交通管制工作的重要保障，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和新一代航空运输系统的提出，各种新技术得到了广泛应用，逐渐形成了新一代空中交通管理系统。新一代空中交通管理系统是国家实施空域管理、保障飞行安全、实现航空高效和有序运行的核心系统。

“新一代空中交通管理系统”是空中交通规划与管理专业研究生的一门专业基础课程，专门介绍新一代空中交通管理系统的新技术和发展趋势。编者针对国家新一代空中交通管理的需求，结合国内外最新的数据链通信、卫星导航、监视技术的应用和发展，编写了该教材。

本教材主要介绍了民航地-空数据链通信系统、卫星导航系统、监视系统的新技术，详细阐述了各类新技术的特点、功能及工作原理，并对美国的新一代航空运输系统(NextGen)、欧洲的单一天空实施计划(SESAR)和自动化空中交通管理系统进行了详细阐述。

本教材是在中国民航飞行学院自编讲义的基础上形成的。该讲义于2009年开始先后在空中交通规划与管理专业研究生2008级、2009级、2010级试用。试用期间，广泛征求了教师和学生的意见，同时，在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。在此基础上，重新收集和吸收了部分国外同类课程的资料，对讲义进行了修订改编，使其内容、结构、体系更加完善，更加符合民航实际和发展要求，最终，形成了本教材。

本书共分为6章。第1章主要介绍了新航行系统及其特点；第2章主要介绍了世界各国新一代航空运输系统；第3章主要介绍了民航地-空数据链通信系统；第4章主要介绍了全球卫星导航系统的类型，重点讨论了

全球定位系统及其增强系统，以及基于性能的导航（PBN）；第5章主要介绍了民航的监视系统，包括一次雷达、二次雷达、自动相关监视系统、多点定位系统；第6章介绍了自动化空中交通管理系统。

本书由中国民航飞行学院程擎、朱代武主编，全书的统稿和校对工作由程擎完成。校内外多位专家对本书进行了审读并提出了很好的建议，同时中国民航飞行学院研究生处、中国民航飞行学院空管学院对本书的编写给予了大力支持，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限和资料收集不全，书中难免存在一些不足之处，有待进一步完善和提高，敬请读者批评指正。

**编 者**

2013年5月于中国民航飞行学院

# 目 录

第 1 章 概 述 .....	1
1.1 ATM 概念提出前的航行系统 .....	2
1.2 新航行系统的产生 .....	4
1.3 新航行系统的组成 .....	5
1.4 对新航行系统的要求 .....	8
1.5 新航行系统的特点 .....	9
1.6 新航行系统给空管体系带来的变革 .....	11
思考题 .....	13
第 2 章 世界各国新一代航空运输系统简介 .....	14
2.1 NextGen .....	14
2.2 SESAR .....	22
2.3 其他国家新一代航空运输系统进展情况 .....	24
2.4 我国发展新一代民航运输系统有关情况 .....	25
思考题 .....	26
第 3 章 地-空数据链通信系统 .....	27
3.1 地-空数据链通信系统概述 .....	27
3.2 地-空数据链通信系统的组成和传输流程 .....	29
3.3 地-空数据链通信技术 .....	31
3.4 数据链通信系统的应用 .....	34
3.5 甚高频数据链通信系统 .....	37
3.6 HF DL .....	57
3.7 AMSS .....	59
3.8 航空电信网 (ATN) .....	63
3.9 数据链通信的应用 .....	68
思考题 .....	83

<b>第 4 章 民航导航系统</b> .....	85
4.1 GNSS 概况 .....	85
4.2 GPS .....	89
4.3 GNSS 增强系统 .....	124
4.4 卫星导航的完好性监测 .....	129
4.5 现代导航方法 .....	137
4.6 我国民用航空导航技术政策 .....	149
思考题 .....	151
<b>第 5 章 民航监视系统</b> .....	152
5.1 民航监视系统概述 .....	152
5.2 雷达概述 .....	153
5.3 民航一次雷达 .....	156
5.4 民航二次雷达 .....	158
5.5 S 模式二次雷达 .....	171
5.6 自动相关监视 (ADS) .....	185
5.7 多点定位系统 .....	208
5.8 机载间隔辅助系统 (ASAS) .....	215
思考题 .....	221
<b>第 6 章 自动化空中交通管理系统</b> .....	223
6.1 自动化空中交通管理系统的发展 .....	223
6.2 自动化空中交通管理系统的配置 .....	224
6.3 自动化空中交通管理系统的功能 .....	226
6.4 区域管制中心 .....	245
6.5 “欧洲猫-X”空管自动化系统 .....	248
思考题 .....	264
<b>附录 英文缩写名词对照表</b> .....	265
<b>参考资料</b> .....	272

# 第 1 章 概 述

随着商业飞行的开始，航空运输涉及的范围越来越广，为了保证安全和效率，要求飞行活动能按照一定的规则来组织，这就是空中交通管理。空中交通管理从 20 世纪 20 年代开始到现在，共经历了 4 个阶段。

第 1 阶段：20 世纪 30 年代以前。当时飞机的飞行高度低、航程短，飞机主要在基地附近飞行，并且只能在天气好的情况下飞行，因此制定了目视飞行规则。

第 2 阶段：1934—1945 年。在 1934 年以后，飞机的载客量和飞行速度都提高了，并且使用了无线电导航系统，飞行员在看不到地面的情况下也能确定飞机的位置。同时，管制员能通过无线电通信系统和飞行员通话，通过相互通信，管制员便能知道飞机的飞行状态。另外，这一阶段的飞行活动变得更加频繁。因此，目视飞行规则已经不能满足需要。鉴于此，各航空发达国家纷纷成立了空中交通主管机构，制定了使用仪表进行安全飞行的规则，并且建立其全国规模的航路网和相应的塔台、管制中心等。这些管制中心的任务就是接收各航站发来的飞行计划，再根据飞行员位置报告填写在飞行进程单上，然后确定飞机间的相互位置关系，发布管制指令。这种管制方法通常称为程序管制。

第 3 阶段：1945 年至 20 世纪 80 年代。随着航空技术的飞速发展，飞机的飞行速度、载客量和航程均大幅度提高，世界各国通过航空的交流日渐频繁。1945 年，世界各国联合成立了一个能把全世界的航空法规国际化的组织——国际民航组织（ICAO）。这个时期空中交通管理的重要进展是：雷达技术的出现及应用和仪表着陆系统（ILS）的应用。雷达技术应用于空中交通管制领域，可以使管制员在雷达屏幕上获得飞机的位置、呼号、高度和速度等参数，再加上地-空通信系统的发展，促使一些重要地区使用雷达管制取代了程序管制。当前，随着雷达覆盖面的不断扩大，雷达管制已经成为一种主要的管制手段。ILS 的出现，使飞机能在低能见度的情况下着陆，有力地保障了航班的准点率，提高了飞行的安全性。

第 4 阶段：20 世纪 80 年代后期至今。随着电子技术的飞速发展，计算



机技术在机载系统和空管地面设施的广泛应用，以及卫星系统在民航的应用，为了适应交通流量的增加，ICAO 在 20 世纪 80 年代提出了空中交通管理（ATM）的概念，以取代空中交通管制。

## 1.1 ATM 概念提出前的航行系统

### 1.1.1 旧航行系统的状况

旧航行系统即 ATM 概念被提出前的航行系统。

在 20 世纪 80 年代，一些航空业发达的地区实施了雷达管制，如欧洲和北美的大部分地区，但其他大部分陆地区域和海洋地区还是实施程序管制。当时航行系统中的通信系统（Communication）、导航系统（Navigation）和监视系统（Surveillance）随各地的实际情况各有不同。

通信系统中的地-空通信主要采用 VHF 话音和低速数据链通信、HF 话音通信，如图 1.1 所示。VHF 话音和低速数据链通信用于地面与飞机及飞机与飞机间的通信，在高交通密度区域和主要航路使用比较广泛。HF 话音通信用于边远陆地区域地面与飞机的通信。

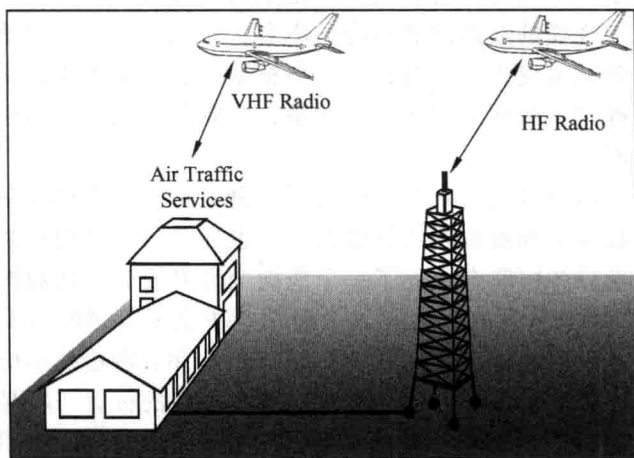


图 1.1 旧航行系统的通信系统

旧航行系统主要采用无线电导航系统，如图 1.2 所示。航路导航系统主要有无方向信标系统（NDB）、全向信标系统（VOR）、测距仪系统（DME）、惯性导航系统或惯性基准系统（INS/IRS）、塔康（TACAN）和罗兰 C

(LORAN-C) 等。终端区域主要采用仪表着陆系统 (ILS) 和微波着陆系统 (MLS) 实施精密进近, 也用 VOR/DME、NDB 实施非精密进近。我国主要使用 NDB、VOR/DME 和 ILS。

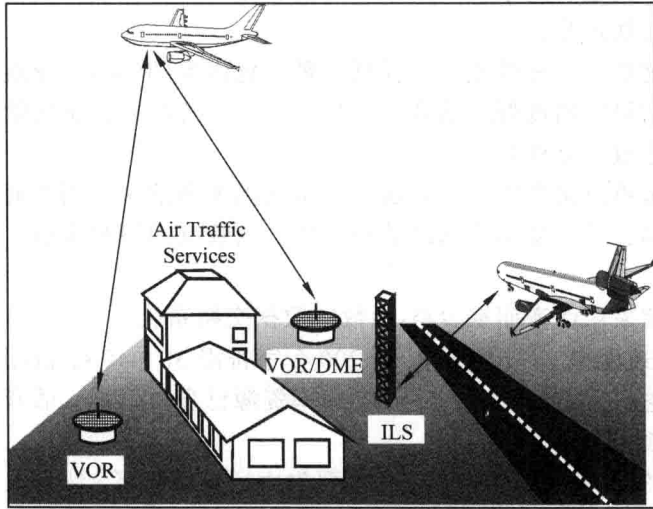


图 1.2 旧航行系统的导航系统

旧航行系统主要采用雷达监视, 如图 1.3 所示。包括一次雷达和二次雷达, 二次雷达采用 A/C 模式。另外, 在无雷达覆盖区域, 采用通过语音报告位置的人工相关监视。

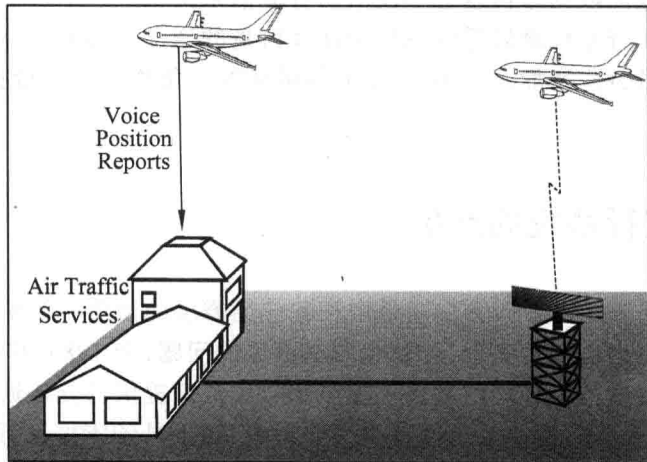


图 1.3 旧航行系统的监视系统

## 1.1.2 旧航行系统的弊端

随着飞行流量的日益增加,旧航行系统的通信、导航和监视系统越来越不能适应空中交通管理系统的需求,它们在多个方面都制约着民航的发展。其存在的主要缺点是:

(1) 精度低,可靠性差。如受到多种干扰因素的影响,导航系统的无方向信标系统的侧向精度低。话音通信报告飞机位置的方式确定的飞机位置精度低,从而导致可靠性差。

(2) 全球难以采用统一方式运作。不同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,其管制间隔和流量、运行方式都不同。

(3) 通信采用话音而缺少空-地数字数据交换系统。

① 传输速度慢。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。

② 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。

③ 易出错。话音通信主要在机组人员和管制员及航务管理人员间进行,长时间的飞行和讲话都易使人疲劳,加上各国、各地口音不一致,可能导致听不懂、听不清或说错、抄错的情况,从而对飞行产生危害。

④ 业务种类的限制。某些计算机数据不便通过语言来表达,飞机上机载设备要利用地面数据库信息也不便由话音通信来实现。

(4) 旧航行系统难以适应飞机架次及流量的增加。随着全球航空业的发展,飞行流量急速增加,如美国 2020 年的旅客、货物和飞行量将比 2002 年增长 2~3 倍。

## 1.2 新航行系统的产生

ICAO 基于对未来商务交通量增长和应用需求的预测,为解决旧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,于 1983 年提出在飞机、空间和地面设施三个环境中利用由卫星和数字信息提供的先进通信、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。

随着各种可用通信、导航和监视技术的日臻成熟，人们愈加注重由新系统产生的效益，同时认识到在实现全球安全有效航空运输目标上，自动化的空中交通管理（ATM）是使通信、导航和监视互相关联、综合利用的关键。ATM 的运行水平成为体现先进 CNS 系统技术的焦点。基于这一发展新航行系统的思想，1993—1994 年，ICAO 将 FANS 更名为“新航行系统”（CNS/ATM）。有关系统实施规划、推荐标准和建议措施等指导性材料的制定进一步加速了新航行系统的实施。1998 年，ICAO 全体大会再次修订了全球 CNS/ATM 实施规划，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。CNS/ATM 系统在航空中的应用将对全球航空运输的安全性、有效性、灵活性带来巨大的变革。新航行系统使空中交通管理进入了新的发展时代。

### 1.3 新航行系统的组成

新航行系统由通信（C）、导航（N）、监视（S）和空中交通管理（ATM）四部分组成。通信、导航和监视是基础设施，空中交通管理是管理体制、配套设施及其应用软件的组合。

新航行系统是一个以星基为主的全球通信、导航、监视加上自动化空中交通管理的系统，如图 1.4 所示。

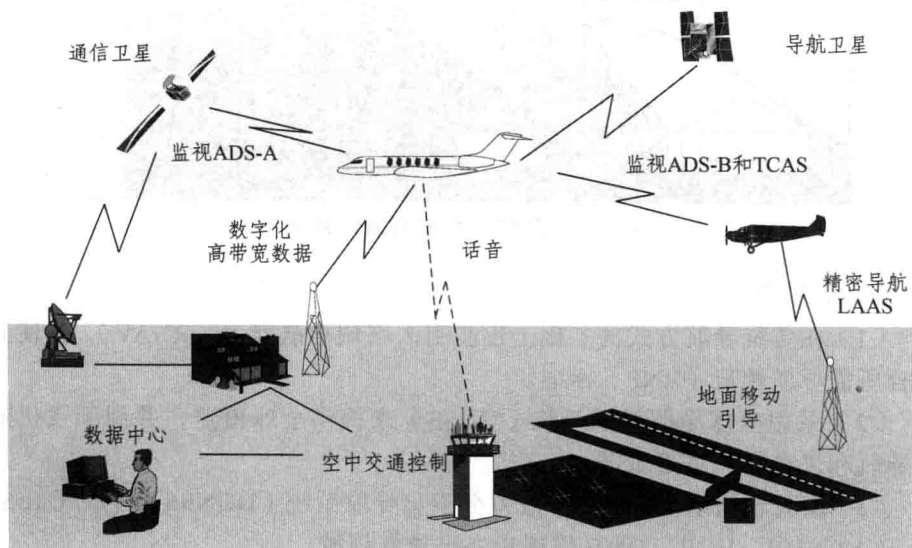


图 1.4 CNS/ATM 环境

从新技术利用上说，它主要是卫星技术、数据链技术和计算机网络技术的综合应用。新航行系统的关键是卫星应用问题。ATM 系统的关键是数据化、计算机处理及联网问题。

新航行系统四个组成部分的具体实施方案如下：

### 1. 通信系统

通信系统的关键在于发展双向的数据通信，尤其是飞机与地面的通信。其地-空通信传输途径有：VHF 话音/数据链通信、HF 话音/数据链通信、航空移动卫星通信（AMSS）、二次雷达 S 模式数据链通信，如图 1.5 所示。飞机机载电子设备之间，地面各个单位、部门之间，通过航空电信网（ATN）连接。这样，在不同的空-地、地-地通信网络端用户之间可提供无缝隙的数字交换。此外，在通信系统中逐步引入所需通信性能（RCP）概念。

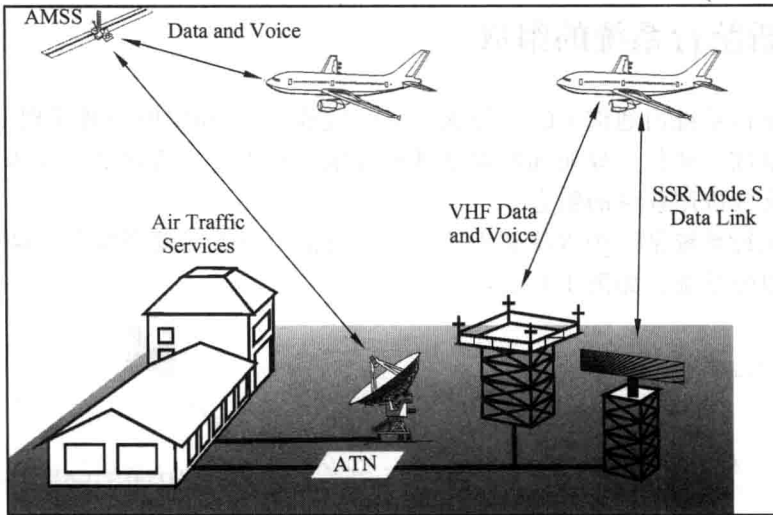


图 1.5 新航行系统的通信系统

### 2. 导航系统

(1) 在传统导航方式的基础上逐步引入区域导航能力（RNAV），并使其符合所需导航性能（RNP）标准。

(2) 采用全球导航卫星系统（GNSS）来提供全球覆盖，并用于飞机航路导航和进离场、进近着陆。

(3) 微波着陆系统（MLS）或差分卫星导航系统（DGNSS）将取代 ILS。

(4) NDB、VOR、DME 将逐步退出导航领域。

(5) 保留惯性导航 (INS/IRS), 同时发展与卫星导航结合的组合导航系统。新航行系统的导航系统如图 1.6 所示。

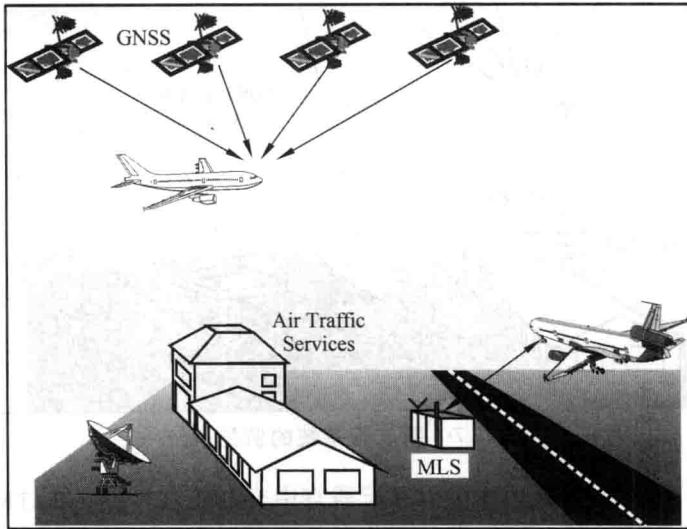


图 1.6 新航行系统的导航系统

### 3. 监视系统

(1) 二次雷达 (SSR) 广泛保留使用, 尤其在高空交通密度区域内, S 模式二次雷达将全面发展。

(2) 在其他区域, 特别是在海洋空域和边远陆地区域内, 将采用自动相关监视系统 (ADS), 这样可为那些只有很少或没有监视服务的区域提供综合监视信息。

(3) 在监视系统中引入所需监视性能 (RSP) 概念。

新航行系统的监视系统如图 1.7 所示。

### 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、导航和监视系统上的管理系统以及配套设施及其应用软件的组合。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。

根据其实现功能目标的不同, 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)、空域管理 (ASM)、空中交通服务 (ATS)。而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)。

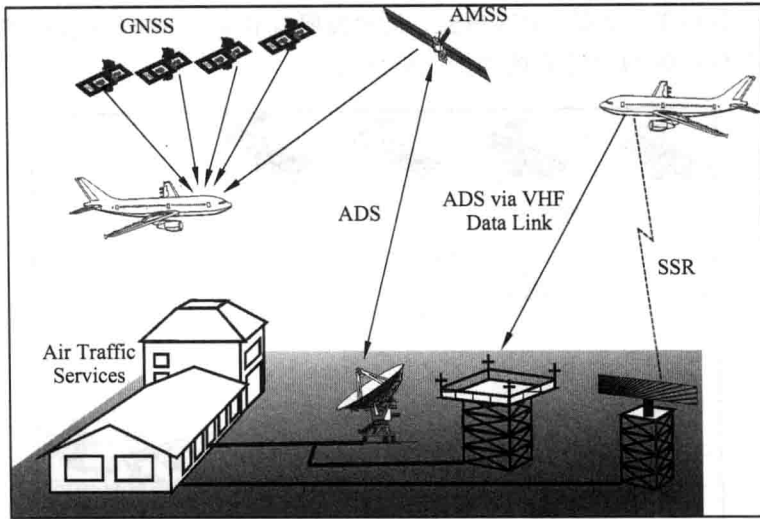


图 1.7 新航行系统的监视系统

此外，在空中交通管理中引入所需空中交通管理性能（RATMP）概念。新旧航行系统的对比如表 1.1 所示。

表 1.1 新旧航行系统的对比

项 目	旧航行系统	新航行系统
通 信	VHF 语音、HF 语音	VHF 语音/数据、AMSS 语音/数据、SSR S 模式数据链、HF 语音/数据、ATN、RCP
导 航	NDB、VOR/DME、ILS、INS/IRS、气压高度	RNP/RNAV、GNSS、DGNSS、INS/IRS、MLS、气压高度
监 视	PSR、SSR A/C 模式、话音位置报告	ADS、SSR A/C 模式、SSR S 模式、RMP
空中交通管理	ATC、FIS、AWS	ASM、ATS、ATFM、A/C、ATMP

## 1.4 对新航行系统的要求

- (1) 利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，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, 促进航空安全。

(4) 提高空管的灵活性, 从程序管制过渡到雷达和 ADS 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) 提高精密方位能力, 有利于实现区域导航和四维导航, 扩展短捷的直飞航线, 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。

## 1.5 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。

### 1.5.1 系统方面

#### 1.5.1.1 新航行系统是一个完整的系统

新航行系统由通信、导航、监视和空中交通管理系统组成。实际应用中, 各系统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认识, 其中的通信、导航和监视系统以硬件设备和应用开发为主, 空中交通管理系统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系统之间相辅相成, 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, 将来自各信源的信息进行处理和利用, 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过程中, 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地运行。



### 1.5.1.2 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遵循的要求，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，适用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）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作出规定。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，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。

### 1.5.1.3 新航行系统是一个以滚动方式发展的系统

总观 ICAO 开始提出的 FANS 方案和其后再一再讨论制定的 CNS/ATM 实施方案，在新航行系统组成中，一方面，分系统成分发生了一些变化；另一方面，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向注重制定所需性能标准上来。根据对已经颁布的 RNP 规定的理解和应用结果，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，并使其朝着更趋于理想模式的方向发展。

## 1.5.2 技术方面

新航行系统包括了多种技术，主要依赖的新技术可以表述为：卫星技术、数据链技术、计算机网络和自动化。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。计算机应用和自动化技术是实现信息快捷、精确处理，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。