

Doc 9992
AN/494



空域设计中使用基于 性能导航(PBN)的手册

经秘书长批准并由其授权出版

第一版 — 2013年

国际民用航空组织

Doc 9992
AN/494



空域设计中使用基于 性能导航(PBN)的手册

经秘书长批准并由其授权出版

第一版 — 2013年

国际民用航空组织

国际民用航空组织分别以中文、阿拉伯文、英文、法文、俄文和西班牙文版本出版
999 University Street, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7

订购信息和经销商与书商的详尽名单，
请查阅国际民航组织网站 www.icao.int。

第一版 — 2013 年

Doc 9992 号文件 — 《空域设计中使用基于性能导航（PBN）的手册》

订购编号：9992

ISBN 978-92-9249-265 -6

© ICAO 2013

保留所有权利。未经国际民用航空组织事先书面许可，不得将本出版物的任何部分复制、存储于检索系统或以任何形式或手段进行发送。

修订

《国际民航组织出版物目录》的补篇中公布了各项修订；在国际民航组织网站 www.icao.int 上有本目录及其补篇。以下篇幅供记录修订之用。

修订和更正记录

修订		
编号	日期	换页人

更正		
编号	日期	换页人

前言

本手册旨在为将基于性能的导航（PBN）应用于空域概念的制定过程提供分步指导。尽管最初是作为推动基于性能的导航实施的国际民航组织空域概念讲习班的辅助材料，但本手册也可以为参与基于性能的导航实施的各类利害攸关方所用。

空域规划人员和设计人员需了解空域概念与导航系统性能之间的相互依存关系，并将这两者与其他支持手段（通信（COM）、监视（SUR）和空中交通管理（ATM）程序和工具）相互参照。空域概念中实施基于性能的导航所带来的益处，必须足以补偿航空器和空中交通管制（ATC）系统设备、驾驶员和空中交通管制培训的费用，并且不会使因实施而开展的空域和程序设计变得徒劳。实现这一目标，需进行周密的规划，在此过程中须顾及空域概念和实施时机所强调的有关导航功能的具体要求，因为费用的多少取决于为满足新要求必须采用更新后的导航系统加以改装的机身的数量。

本手册旨在补充下列文件中关于空域设计和规划的现有程序和指导材料：

- 《空中航行服务程序 — 空中交通管理》（PANS-ATM，Doc 4444 号文件）
- 《空中航行服务程序 — 航空器的运行》（PANS-OPS，Doc 8168 号文件）；
- 《空中交通服务规划手册》（Doc 9426 号文件）；和
- 《基于性能的导航（PBN）手册》（Doc 9613 号文件）
- 《所需通信性能（RCP）手册》（Doc 9869 号文件）
- 《飞行程序设计质量保证手册》（Doc 9906 号文件）
 - 第 1 卷 — 《飞行程序设计质量保证体系》

本手册亦作为以下手册的并行参考文件：

- 《持续下降运行（CDO）手册》（Doc 9931 号文件）；和
- 《持续爬升运行（CCO）手册》（Doc 9993 号文件）。

未来发展

欢迎参与空域概念制定与实施的各方为实施基于性能的导航就本手册提出意见。请将意见寄至：

The Secretary General
International Civil Aviation Organization
999 University Street
Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7

目录

	页
术语表	(ix)
第 1 章 背景资料	1-1
1.1 基于性能的导航 (PBN)	1-1
1.2 空域概念	1-2
1.3 基于性能的导航的益处	1-2
第 2 章 过程	2-1
2.1 引言	2-1
2.2 规划阶段	2-2
2.3 设计阶段	2-9
2.4 验证阶段	2-20
2.5 实施阶段	2-29

术语表

缩略语/首字母缩略词

ACC	区域管制中心
AIM	航空情报管理
AIRAC	定期制航行通告
ANSP	空中航行服务提供者
ATC	空中交通管制
ATM	空中交通管理
ATS	空中交通服务
CCO	持续爬升运行
CDO	持续下降运行
CNS	通信、导航、监视
COM	通信
DME	测距仪
DTG	航行距离
FDP	飞行数据处理器
Fpm	每分钟英尺数
FMS	飞行管理系统
FTS	快速模拟
GA	通用航空
GNSS	全球导航卫星系统
HMI	人机界面
IAP	仪表进近程序
IFR	仪表飞行规则
INS	惯性导航系统
IRS	惯性参照系统
LPV	带垂直引导的航向台性能
NAV	导航
NAVAID	导航设备
PBN	基于性能的导航
RAIM	接收机自主完好性监视
RDP	雷达数据处理器
RNAV	区域导航
RNP	所需导航性能
RT	无线电传输
RTS	实时模拟
SARPS	标准及建议措施
SID	标准仪表离场
STAR	标准仪表进场
SUR	监视
TLS	目标安全水平
TMA	终端控制区
VFR	目视飞行规则
VOR	甚高频全向无线电信标

定义

空域概念 空域概念给出了空域内运行的概要和预定框架。制定空域概念是为了实现明确的战略目标，如提高安全、增加空中交通容量，以及减少环境影响等。空域概念可以根据通信、导航和监视/空中交通管理设想包含实际空域结构及其用户的具体细节，如空中交通服务航路结构、最小间隔、航路间距和超障裕度等。

区域导航 (RNAV) 一种导航方式，允许航空器在地面或空间导航设施的覆盖范围内，或者在航空器自备导航设备的工作能力范围内，或两者的组合，沿任意期望的航径飞行。

注：区域导航包括基于性能的导航以及其他不符合基于性能导航定义的运行。

持续爬升运行 (CCO) 一种通过空域设计、程序设计和空中交通管制实现的运行模式。在这种运行模式下，离场航空器尽最大可能借助最佳爬升发动机推力，以爬升速度不间断地爬升至巡航高度层。

持续下降运行 (CDO) 一种通过空域设计、程序设计和空中交通管制便利化实现的运行模式。在这种运行模式下，进场的航空器尽可能地在最后进近定位点/最后进近点之前，通过应用最低的发动机推力并最好以低阻力姿态持续下降。

注 1：最佳的持续下降运行始于下降起点，并使用可减少水平飞行航段、噪声、耗用燃料、排放和管制员/驾驶员通信的下降剖面，同时提高驾驶员和管制员的可预见性及飞行稳定性。

注 2：在航路中或进场阶段，尽可能在最高的高度开始持续下降运行，将最大限度地降低耗用燃料、噪声和排放。

导航设备 (navaid) 基础设施 导航设备基础设施是指满足导航规范要求的空基和/或陆基导航设备。

导航应用 按照设定的空域概念，在航路、程序和/或规定的空域范围应用导航规范及配套的导航设备基础设施。

注：导航应用是实现设定空域概念战略目标的要素之一，此外还包括通信、监视和空中交通管理程序。

导航功能 导航系统为满足空域概念要求必须具备的具体能力（如实施航段过渡、平行偏置能力、等待航线、导航数据库等）。

注：导航的功能性要求是选择特定导航规范的要素之一。

导航规范 对于航空器和机组人员的一组要求，以支持指定空域内基于性能导航的运行。有两类导航规范：

RNAV 规范 基于区域导航的导航规范，不要求机载性能监视和告警，以前缀 RNAV 标示，如 RNAV 5、RNAV 1。

RNP 规范 基于区域导航的导航规范，要求机载性能监视和告警，以前缀 RNP 标示，如 RNP 4、RNP APCH。

注：《基于性能导航手册》（Doc 9613 号文件）第 II 卷含有关于导航规范的详细指导。

基于性能的导航 对航空器沿 ATS 航路、仪表进近程序或在指定空域飞行的基于性能要求的区域导航。

注：性能要求以在特定空域环境中运行的精度、完整性、持续性、可用性和所需功能的导航规范来表述。

RNAV 运行 使用区域导航方式实施区域导航应用的航空器运行。区域导航运行包括本手册中未包含的其他区域导航运行。

RNAV 系统 一种区域导航系统，使航空器在地面导航设备信号覆盖范围内，或在机载自主导航设备的工作能力范围之内，或者二者的组合，沿任一期望的航径飞行。区域导航系统可以作为飞行管理系统（FMS）的一部分。

RNP 运行 使用 RNP 系统实施 RNP 导航应用的航空器运行。

RNP 系统 支持机载性能监视与告警的区域导航系统。

标准仪表进场（STAR） 按照仪表飞行规则（IFR）划设的进场航线，通常由 ATS 航路上一重要点过渡至实施公布的仪表起始进近程序的一点。

标准仪表离场（SID） 按照仪表飞行规则（IFR）划设的离场航线，通常由机场或机场一规定跑道过渡至指定的 ATS 航路上一规定的重要点，飞行航路阶段从该点开始。

第 1 章

背景资料

1.1 基于性能的导航 (PBN)

1.1.1 国际民航组织于 2008 年提出了基于性能的导航 (PBN) 概念, 并在《基于性能的导航 (PBN) 手册》(Doc 9613 号文件) 中做了详述。基于性能的导航概念取代了所需导航性能 (RNP) 的概念。

1.1.2 基于性能的导航引入了适航认证和针对在空域实施中使用 RNAV 系统的运行审批要求。基于性能的导航是空域概念的若干支持手段之一, 如图 1-1 所示。

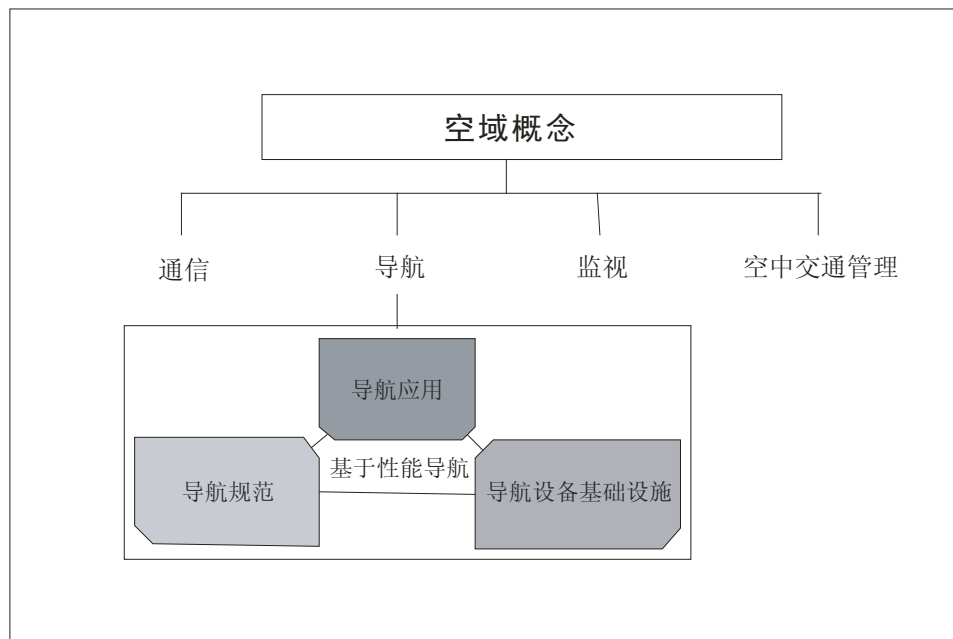


图 1-1 空域概念和基于性能的导航

1.1.3 基于性能的导航概念依赖于区域导航的使用。基于性能的导航由以下几个要素组成:

- a) 导航设备 (navaid) 基础设施;
- b) 导航规范; 以及

在空域概念下将上述两个要素应用于 ATS 航路和仪表程序的结果中, 于是产生第三个要素:

- c) 导航应用。

导航应用是制定空域概念的关键。NAVAID 基础设施详细说明了用于支持导航应用的导航规范所要求的空基或陆基导航设备。导航规范是一个技术和操作规范，其中详细说明了 RNAV 或 RNP 系统所要求的精度、完好性和连续性等方面的性能，另外还阐明了机载功能性、所需的导航传感器以及相关的培训和操作要求。各国依据导航规范制定有关基于性能的导航认证和运行审批的国家法规。

1.2 空域概念

1.2.1 空域概念描述了某个空域范围内拟议的运行，以及为促成这些运行对空域的组织。它包括空中交通管理运行概念的许多要素，如空域组织和管理、需求与容量平衡、交通同步、空域用户运行和冲突管理。制定空域概念是为了实现明确和隐含的战略目标，如：

- a) 改善或维护安全；
- b) 增加空中交通容量；
- c) 提高效率；
- d) 更准确的航径；以及
- e) 减少对环境的影响。

基于特定的通信、导航、监视/空中交通管理 (CNS/ATM) 假设，空域概念可包括空域的实际构成及其用户的详细资料：如空中交通服务 (ATS)、航路结构、最小间隔、航路间距和超障裕度。对于有效实施空域概念，良好的空域设计及与所有利害相关方（空域规划人员、程序设计人员、航空公司、通用航空 (GA)、军队、航空当局等）的合作是至关重要的（见图 1-2）。

1.2.2 一旦制定完毕，空域概念将详细说明该空域范围内预定的空域组织和运行情况，其中涉及所有的战略目标，明确了所有的 CNS-ATM 支持手段，以及任何运行和技术假设。空域概念是拟议空域设计及其运行的总体规划。

1.3 基于性能的导航的益处

1.3.1 与以往传统的导航方法相比，基于性能的导航享有很多优势。在传统的导航方法中，仪表飞行程序和空中航路基于特定的陆基导航设备及其相关的超障裕度标准。基于性能的导航的一些优势在于：

- a) 减少维护特定传感器航路和程序的需要，并降低相关成本；
- b) 无需为导航系统的每次改进规定特定传感器运行要求，从而避免高昂的成本支出；
- c) 可便于更有效地利用空域（航路布局、燃油效率及减噪）；
- d) 明确 RNAV 系统的使用方式；

- e) 提供一组供全球使用的数量有限的导航规范（这些规范是认证和运行审批材料的依据，可在全球范围内与适当的导航基础设施配套使用），简化运营人的运行审批程序；和
- f) 确保在一个国家或地区的运行审批在另一个国家或地区也适用于要求相同导航规范的导航应用。

1.3.2 使用基于性能的导航制定和实施空域概念，可在安全、环境、能力和飞行效率方面作出重大贡献，例如：

- a) 制定空域概念时结合基于性能的导航的方法，可确保以整体方式处理不一致的要求，在不影响安全性、环境影响下降、飞行效率或容量需求的前提下，使不同利益得以满足；
- b) 通过确保空中交通服务航路的布局和仪表飞行程序完全满足空中交通管理和超障裕度要求，增强了安全性；
- c) 在界定某个空域运行的过程中，当环境需求与容量增加同等重要时，使缓解环境影响方面得到改善；和
- d) 通过优化空中交通服务航路和仪表飞行程序的横向和纵向布局，增强了空域容量和飞行效率。

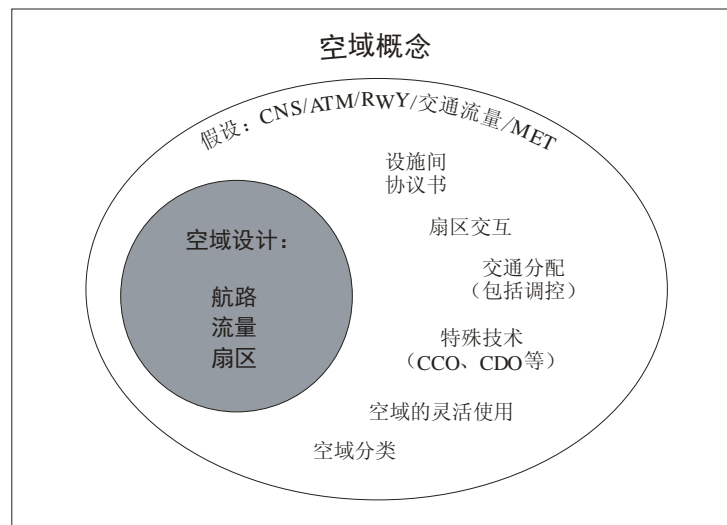


图 1-2 空域概念的构成

第 2 章

过程

2.1 引言

2.1.1 空域概念的制定和实施可以细分为规划、设计、验证和实施四个主要阶段。这四个主要领域内有 17 项不同的活动，见图 2-1。

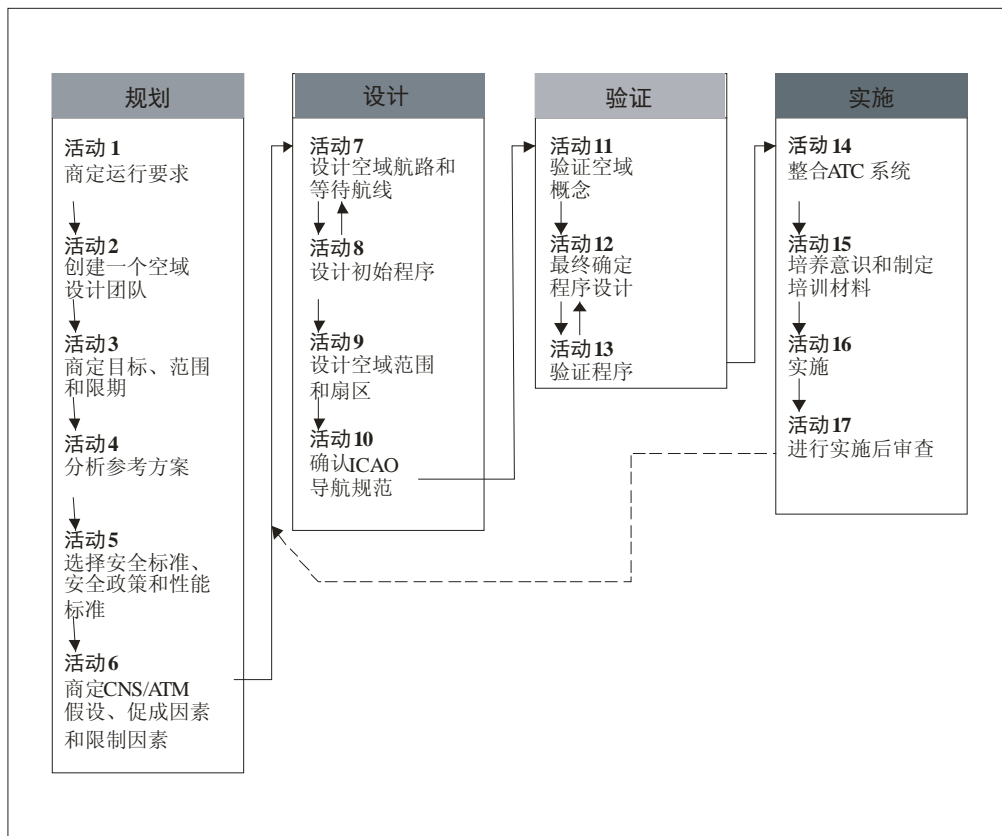


图 2-1 空域概念的制定和实施过程

2.1.2 空域重新设计通常是由某个触发了运行要求的事件发起。此类事件往往按一个或多个战略目标分类，如安全、容量、飞行效率、减少环境影响或准入。在拟议的空域变革中，虽然这些战略目标中有些可能是明确的，但其余的战略目标仍将是隐含的，因为通常情况下它们不应受到拟议变革的不利影响。这些目标之间往往存在着冲突，因此必须安排它们的优先次序，确保在任何时候维护安全都是最重要的目标。

2.1.3 若要成功制定空域概念，需具备两个先决条件：

- a) 全面的准备工作 — 规划必须考虑到方方面面，而且必须解决利害攸关方的各 种担忧；以及
- b) 迭代 — 空域制定并非一个线性过程。只有通过一系列的审查、验证和后续改进，才能产生良好的结果。

只有通过全面的规划，根据运行要求确定空域概念的范围和目标，才能够取得成功。

2.2 规划阶段

2.2.1 活动 1：就运行要求达成一致

空域变革由运行要求引发，其中包括以下示例：

- a) 在终端区增加新跑道或延长旧跑道（如，增加机场容量）；
- b) 在某个特定区域减少航空器噪声的压力（如，减少对某个住宅区环境的影响）；
- c) 支持空中交通预期增长的需要；或
- d) 更新 CNS 基础设施，以提高运行安全性和/或效率。

在详细说明目标战略的书面文件中，应明确说明推动空域再设计的各项要求，使后续工作有章可循。

2.2.2 活动 2：创建空域设计团队

2.2.2.1 为了满足活动 1 所确定的运行要求，必须对空域概念加以制定、验证和实施。空域概念必须满足所有要求，而不能由某个人闭门造车，独自完成。空域概念自开始到实施都是一个整体团队 — 空域设计团队 — 携手合作的成果。

2.2.2.2 空域设计团队应由一个空中交通管理专家带领。该专家须具有较强的项目管理技能以及关于所审核的特定空域的丰厚运行知识。空中交通管理专家将与以下人员携手合作：

- a) 亦熟悉空域运行的空中交通管制员；
- b) ATM 和 CNS 系统专家，熟悉现有的和规划的 CNS/ATM 系统；
- c) 来自使用该空域的运营商的技术驾驶员；
- d) 空域设计人员和仪表飞行程序设计人员；
- e) 其他空域用户（如军方、通用航空）；

- f) 机场和环境管理人员；以及
- g) 来自其他学科的专家（如有必要），如经济学家或数据中心专家。

团队构成如图 2-2 所示。

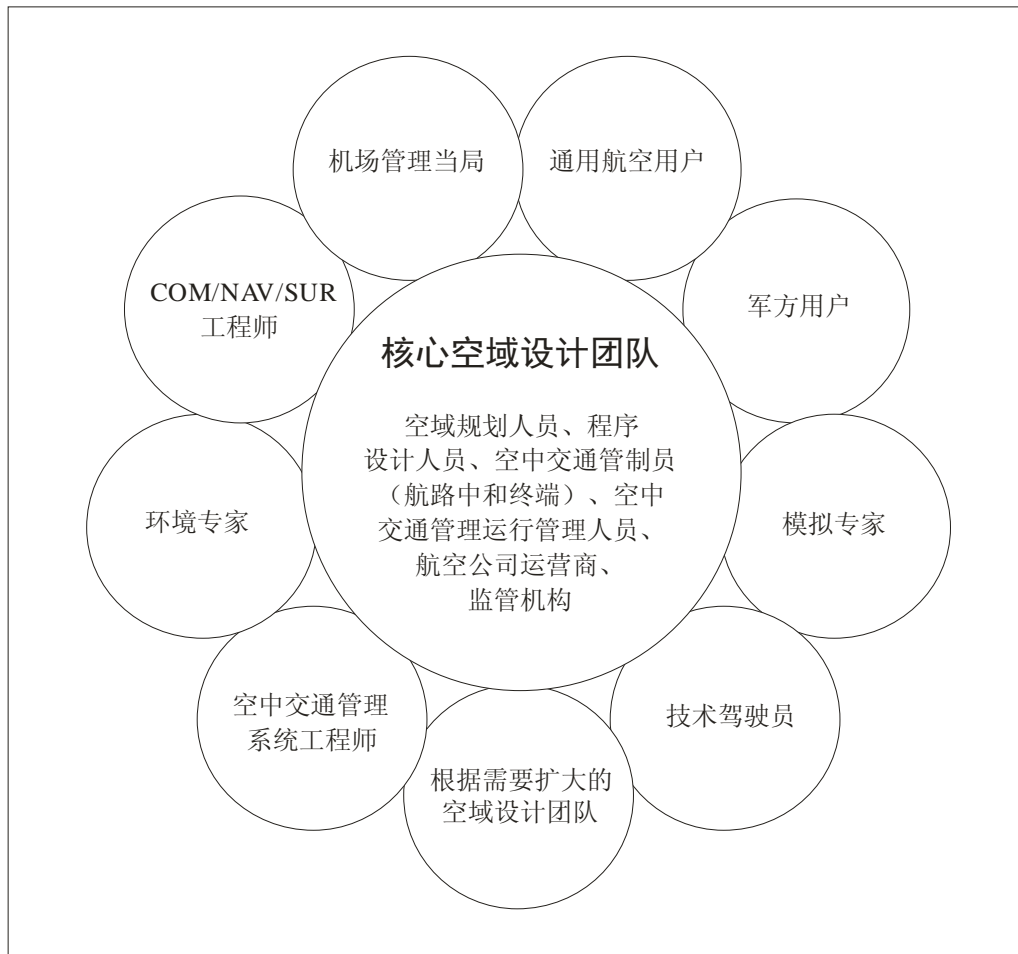


图 2-2 空域设计团队

2.2.3 活动 3：就目标、范围和期限达成一致

2.2.3.1 空域设计团队的首要任务之一是界定项目目标并就此达成一致。这些目标应当来自引发该项目的战略目标。例如，如果该项目由一个环境战略目标引发，则（空域）项目目标可能会与减噪相关（例如减少噪声足迹对附近一个小镇的影响）。另一种示例可能是出于要求实施某些变革的管理当局的指令。重要的是，应以书面形式阐明项目目标，确保驱动变革的理由得到满足。

2.2.3.2 界定项目范围的难度更大一些。将项目范围限制在完成既定目标所需的最低限度，是一种有效的做法。在所有项目中，扩大范围都会带来风险，而且，不受控制地扩大范围可能会导致期限延长，成本增加，以至于项目失去可行性。非常重要的一点是，有必要明确实现项目的各项目标需要开展的工作，就某些特定的工作内容达成一致并坚持到底，直至实现这些目标。

2.2.3.2.1 在很大程度上，项目范围是时间以及完成项目可用的人力和财力资源之间的函数。有两种可能性：要么团队根据需完成的各项工作来决定实施日期，要么实施日期是事先确定的，在此情况下团队根据可用的时间来调整范围或资源。

2.2.3.2.2 资源、时间和范围是项目规划“三角”的三个边（见图 2-3）。项目范围经过审查，而且可能会在空域概念设计的各个阶段进行反复修改。然而，在项目的后期阶段扩大项目范围往往会延长项目期限和/或增加项目所需的资源，这可能会减少项目成功的机率。可通过分阶段实施项目实现此类扩展需求。

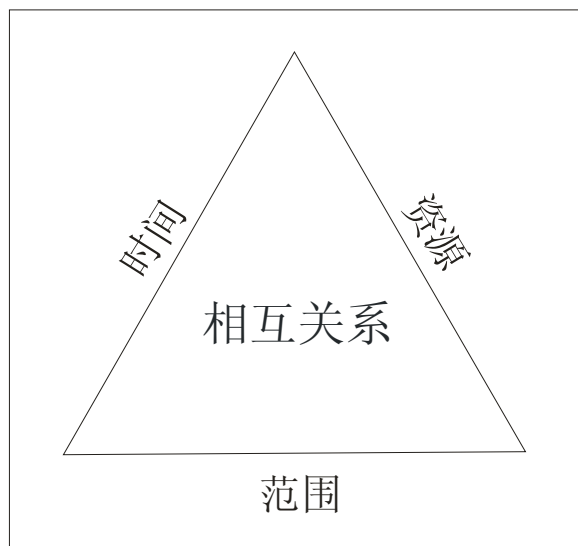


图 2-3 项目规划三角关系

2.2.3.3 确保项目生成的空域结构、航路和程序的主要变化规模可按区域进行管理极为重要。与面面俱到的任何一次性方法相比，在若干年间分步引进基于性能的导航空域和航路成功的可能性更大。另一方面，如果要保持连接性，航路结构变化通常需要修改相同定期制航行通告 (AIRAC) 周期内的相邻终端结构。然而，与数据中心之间开展协调和规划，对于避免使负责更新机载导航数据库的部门超负荷工作十分重要。

2.2.3.4 表 2-1 给出了含有时间估算的项目规划示例。

表 2-1 项目规划示例

	活动	天数
规划	1 就运行要求达成一致	10
	2 创建一个空域设计团队	5
	3 就目标、范围和期限达成一致	15
	4 分析参考方案	15
	5 选择安全标准、安全政策和性能标准	10
	6 就 CNS/ATM 假设、支持手段和限制因素达成一致	12
设计	7 设计空域航路和等待航线	14
	8 设计初始程序	20
	9 设计空域范围和扇区	20
	10 确定国际民航组织导航规范	5
验证	11 验证空域概念	20
	12 最终确定程序设计	22
	13 验证程序	20
实施	14 整合空中交通管制系统	30
	15 树立意识并制定培训材料	30
	16 实施	1
	17 开展实施后审查	30
所需的总天数		279

2.2.4 活动 4：分析参考方案

2.2.4.1 在开始设计新的空域概念之前，对当前的空域情况做出正确的评价是十分重要的。参考方案是对将引入基于性能的导航的当前运行空域的描述，其目的是为制定新的空域概念建立一条基线。

2.2.4.2 参考方案包括所有空中交通服务航路、标准仪表离场/标准仪表进场（SIDs/STARs）、空域范围（如，终端控制区（TMA））、空中交通管制扇区规划、空中交通数据以及中心之间和部门间的协调协议。当前空域组织的一个参考方案示例如图 2-4 所示。

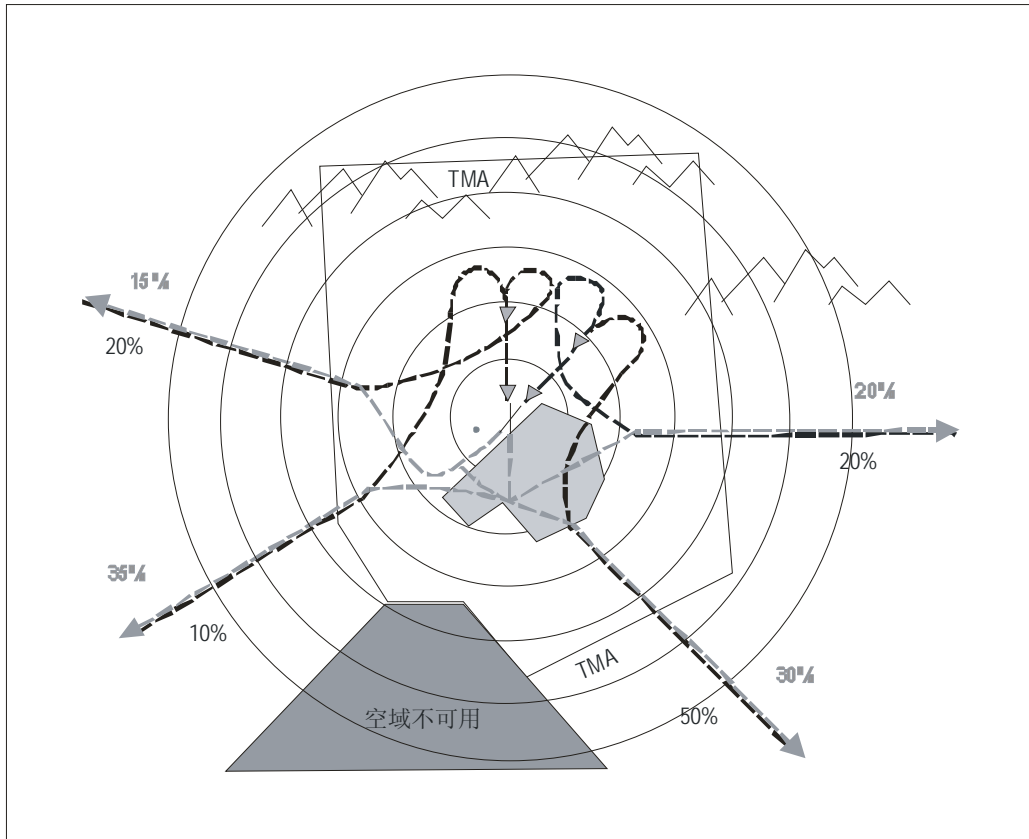


图 2-4 参考方案示例

2.2.4.3 参考方案的描述和分析是设计过程中的关键一步。通过分析参考方案的项目性能指标，可衡量当前空域的性能状况。也可有点把握地确定空域中表现良好、应当予以保持的部分，以及表现不佳或可以改善的部分。最后，也是最重要的，通过固定参考方案的性能，创建一个新的空域概念可以参照的基准（见图 2-5）。通过使用这个基准，可以确定拟议的空域概念是否优于参考方案，以及是否达到了安全和性能标准。通过分析参考方案，可能会导致需要更新项目的目标或范围。

注：目的不在于将参考方案和新方案的不同要素进行一一比较。要比较的是两个方案在性能方面的差异。

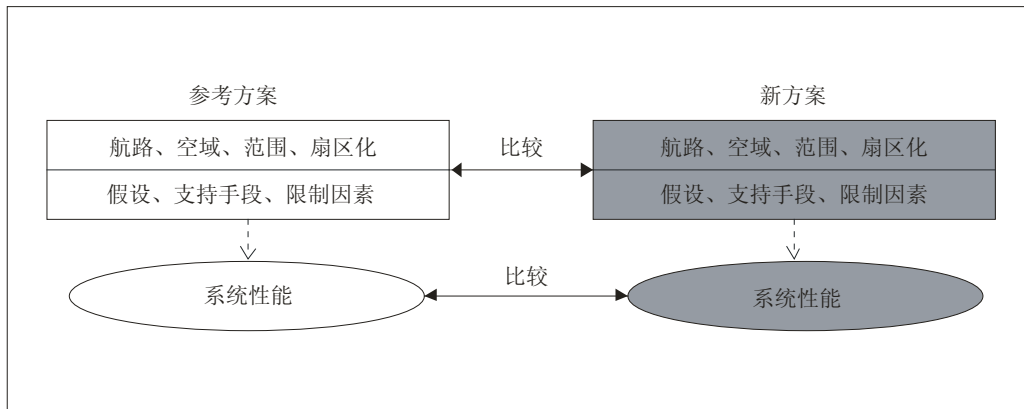


图 2-5 方案比较

2.2.5 活动 5：选择性能标准、安全政策和安全标准

2.2.5.1 对活动 4 中参考方案的深入分析，为新空域概念提供了直接资料。在活动 3 中，可能已经确定了项目的目标和范围（和/或由活动 4 进行更新），但仍有必要确定如何衡量项目的成功。例如，当实现了战略目标时，可能会认为项目是成功的——如果战略目标是使跑道 X 的吞吐量翻番（新空域概念的实时模拟（RTS）显示了这一点），则该项目已经满足了性能标准。

2.2.5.2 任何空域概念必须满足安全政策规定的安全标准。须在项目开始时就熟知安全政策。安全标准可以是定性或定量的，一般的做法是结合使用这两种方法。安全政策通常是在国家或区域层面公布的，因此是项目外部的。如果需要制定项目层面的安全政策，那么，重要的是，尽可能在项目的生命周期内，使该政策获得国家最高层面的批准。安全政策本身涉及如下问题：

- a) 应采用哪一安全管理体系？
- b) 应采用哪一种安全评估方法？和
- c) 需要什么证据来表明空域概念是安全的？

2.2.6 活动 6：就 CNS/ATM 假设达成一致

2.2.6.1 将制定的空域概念基于某些 CNS/ATM 假设。这些假设必须顾及预期在拟将实施的新空域运行时（例如在 20XX 年）所存在的环境。CNS/ATM 假设包括，例如：

- a) 预期在该空域运行的航空器的导航能力；
- b) 特定 TMA 范围内使用中的主跑道；
- c) 将在 LPV 过程中运行的比例；

- d) 主要交通流量（在 20XX 年，交通流量与当前流量可能会有所不同）；
- e) 空中交通服务监视和通信系统将于 20XX 年问世；和
- f) 特别针对空中交通管制系统的假设，如可使用扇区的最大数量。

这些假设如表 2-2 所示。

表 2-2 CNS/ATM 假设

<p>交通流量分析</p> <p>典型交通流量实例</p> <p>分布 — 时间/地理</p> <p>反复核对相邻设施的交通流量</p> <p>仪表飞行规则 (IFR) 目视飞行规则 (VFR) 组合</p> <p>民用/军方组合</p> <p>航空器性能组合</p> <p>(喷气式飞机/涡轮螺旋桨飞机/直升机)</p>	<p>使用中的跑道 (主/副)</p> <p>可用跑道/长度</p> <p>气象条件</p> <p>着陆辅助设备</p> <p>未开发地位置? 方向选择?</p> <p>跑道使用率统计</p>
<p>导航</p> <p>航空器导航设备</p> <p>NAV 基础设施和覆盖范围</p> <p>基于性能的导航传统组合</p>	<p>空中交通管制系统</p> <p>扇区/人员/设备</p> <p>交通排序和管理</p>
	<p>监视手段/覆盖范围</p> <p>雷达/ADS-B/MLAT/无</p>
	<p>通信手段/覆盖范围</p> <p>语音/数据链接</p>

2.2.6.2 交通流量假设将取决于预期的机队能力，并且应当充分了解可能的交通流量组合及分布。其中包括航空器类型组合（例如，重型和中型气式涡轮螺旋桨飞机/直升机/单引擎教练机）；航空器性能组合（最低速度、爬升梯度等）和运行角色组合（乘客、货运、培训等）。特别是，必须对预期的机队导航能力详加分析：

- a) 拥有 RNAV 系统的航空器数量？
- b) RNAV 系统使用哪几种主要的定位系统（全球导航卫星系统 (GNSS)、甚高频全向无线电信标 (VOR)、测距仪 (DME/DME)）？
- c) 是否安装了机载增强惯性导航系统/惯性参照系统 (INS/IRU)？
- d) RNAV 系统根据哪种标准进行了认证？
- e) 航空器和航空公司被批准从事哪些运行？和

f) 不能够实施拟议基于性能的导航应用的机队比例?

2.2.6.3 确定现有的 RNAV 设备审批、实际能力和所携带系统的资质以及在引入新空域概念之前预期实施的系统升级, 这些工作十分重要。获得有关特定 RNAV 能力的审批, 并保持驾驶员操作该项能力的技术娴熟, 运营商需要付出高昂的代价。因此, 运营商, 尤其是区域运营商, 将寻求满足空域现有导航要求所需的最低限度的审批。如果新的空域概念要求 RNAV 系统软件具备的功能, 但当前认证并不涵盖这个功能, 则运营商需要为获得审批并针对这个新功能为驾驶员提供培训而付出费用。然而, 这项费用(以及由此产生的实施时间)将明显低于采用新设备或软件装备航空器所需的费用。

2.2.6.3.1 在实施日期之前, 要求深入掌握机队能力, 并切实了解能力方面可能的提升。过分乐观地预测机队能力必然会导致重大的项目延误和取消。出于这些原因, 重要的是要与航空器运营商和监管机构进行沟通, 以便能够对机队的未来能力做出切实的估算, 并在项目的整个生命周期进行符合实际的成本效益分析。

2.2.6.4 项目的目标, 连同交通流量假设和预期的机队能力, 一起被用来确定哪些现有的国际民航组织导航规范可被应用于后续的设计阶段。该项规范被作为后续空域和程序设计的依据。导航规范、空域设计和程序设计步骤具有迭代性质, 而且可能会在活动 10 中, 对已明确的导航规范进行最终确认之前进行一些修改。

2.2.6.5 为新的空域概念选择交通流量实例与对机队本身的了解同等重要, 因为航路(ATS 航路、SIDs/STARs 或仪表进近程序(IAPs))规划应采用可确保最大飞行效率、最大容量和最小环境影响的方式进行(见图 2-6)。此外, 标准仪表离场和标准仪表进场/进近建立了主航路空中交通服务航路和使用中跑道入口之间的联系(因此有必要了解使用中的主跑道和副跑道)。新空域概念的交通流量实例通常是未来的交通流量实例, 其中对机队组合、飞行时间安排以及涉及飞行量和交通流量模式的需求评估作出了某些假设。

2.2.6.5.1 空域概念的成功与否取决于它的交通流量假设。可以采用多种模式确定空中交通预测, 尽管关于空中交通运行情况的现有空中交通管制知识有很大的帮助, 但必须深入分析 20XX 年拟议的交通流量实例, 同时也要顾及所有受影响的利害攸关方的预测。在交通流量实例中, 总是会找出某些特征, 例如, 每季、每周或每日的需求变化以及高峰时段的变化, 而且, 空域概念还必须考虑进场和离场流量之间的关系(见图 2-7)。

2.3 设计阶段

2.3.1 概述

2.3.1.1 一旦就 ATM/CNS 假设达成了一致, 便可以着手进行空域设计。对航路和终端空域而言, 空域设计是一个迭代过程, 这一过程在很大程度上要依靠团队中的管制员、驾驶员、空域设计人员和程序设计人员的定性评估和操作判断。

2.3.1.2 确保航路和终端空域之间的连贯性是关键——航路设计必须与终端设计完全集成。

2.3.1.3 程序设计人员必须参加运行管制员带领下的初始概念设计, 在此过程中担任推动者, 并从超障/空域裕度以及航空器性能的角度为拟做出的航路布局提供指导。

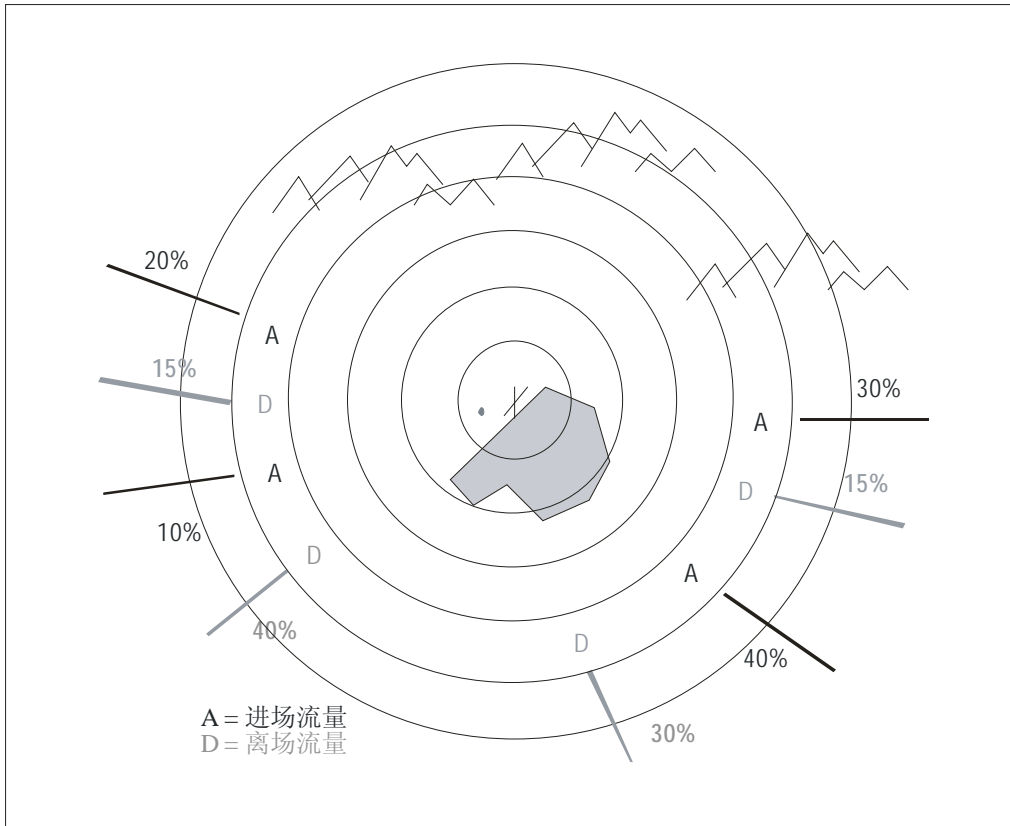


图 2-6 未来交通流量假设示例

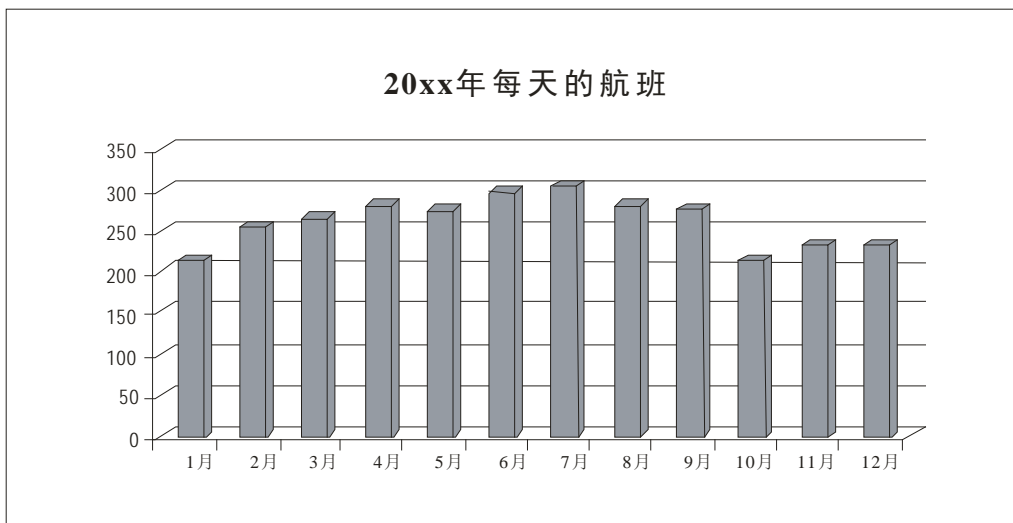


图 2-7 交通流量预测示例

2.3.1.4 团队中的技术驾驶员对于初始概念设计也是十分重要的，因为他们可提供实际的航空器性能信息（如与爬升/下降和转弯性能相关的信息），与依赖那些含有航空器性能参数的理论计算机模型相比，这些信息更为有效。

2.3.1.5 首先，团队需要设计标准仪表离场/标准仪表进场和空中交通服务航路。这是一个迭代分析过程，这个过程始于概念层面，并发展为一项详细和严格的设计活动。可以用铅笔在纸上进行设计（特别是在概念阶段），也可以使用软件支持（特别是在详细设计阶段）。确定航路布局通常要以交通需求、使用中的跑道、战略目标及障碍及空域预订所产生的限制条件为依据。如果需要陆基导航设备的支持，它也可能会取决于此类导航设备的覆盖范围（见图 2-8）。

注 1：所要求的航路间距和可用的 CNS 基础设施，可帮助确认活动 6 中的机队能力以及从现有的国际民航组织 RNAV 或 RNP 规范中作出的初步选择，是否能够为拟议的航路设计提供支持。

注 2：程序设计人员在终端空域航路描述和布局中所起的作用至关重要。正是这位专家可向团队提供有关设想的航路是否符合导航规范假设、以及是否可以根据 PANS-OPS 标准进行设计的咨询意见。

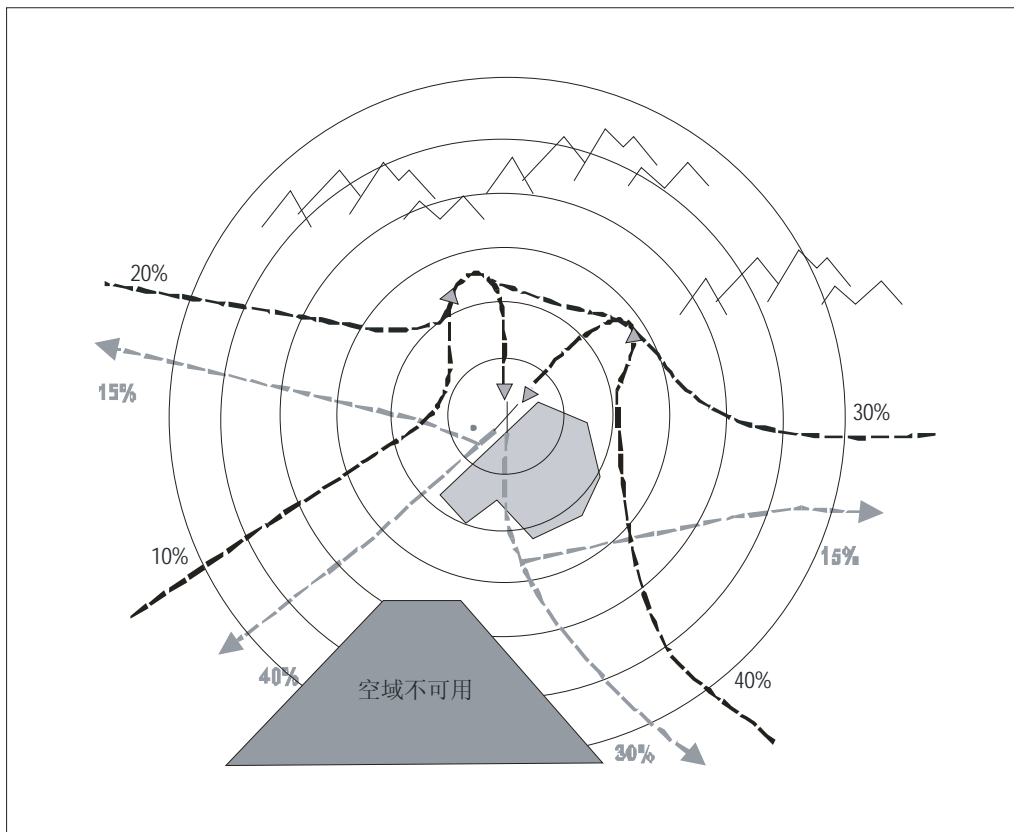


图 2-8 拟议的空域概念示例

2.3.1.6 在设计了航路并确保了适当的超障裕度之后，整个空域范围得到界定，从而保护所有的 IFR 航径 (TMA)。

注：在超过某个规定高度的整个空域被指定为管制空域的区域，高于此类高度的空域范围的定义可能具有较小的应用范围。

2.3.1.7 最后，为空中交通管理的目的，划分空域范围的扇区 (见图 2-9)。

2.3.1.8 不同活动和任务的迭代性质，意味着参与该过程的各利害关系方之间必须建立密切的合作 (见图 2-10)。

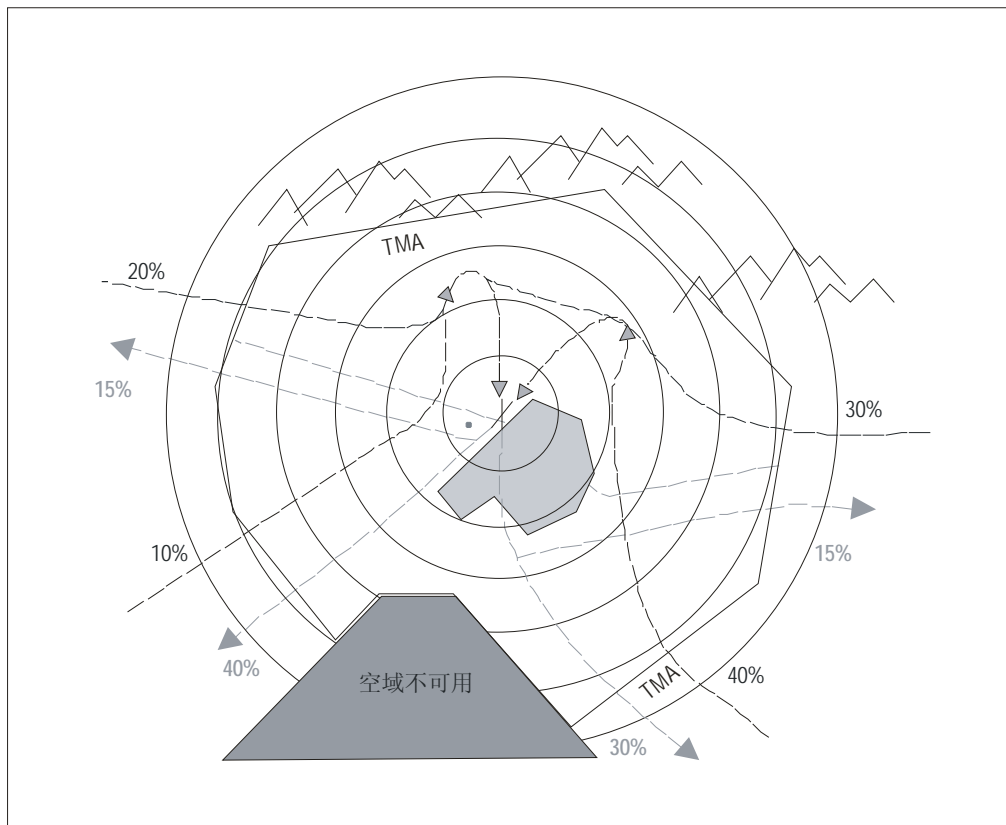


图 2-9 具有结构的空域概念示例

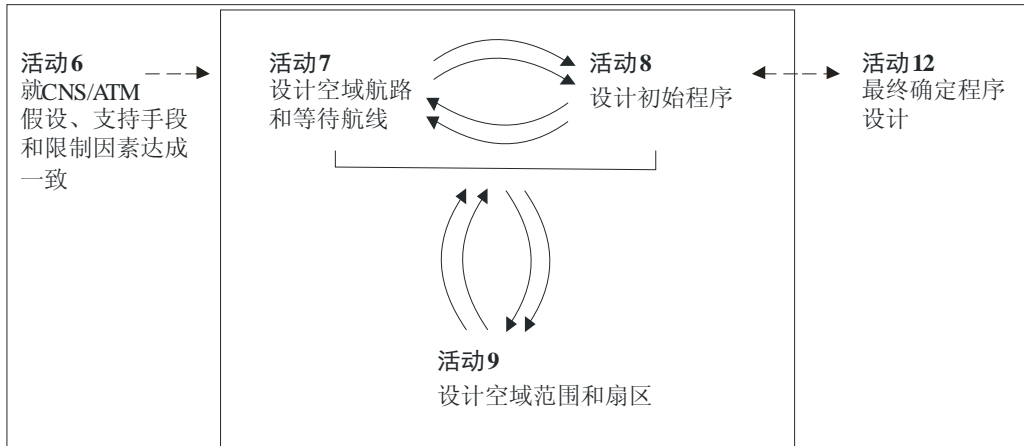


图 2-10 设计迭代

2.3.2 活动 7：空域航路和等待航线

2.3.2.1 只要路基或空基导航设备提供必要的覆盖范围，基于性能的导航就会使航路被安排在最佳位置成为可能。这意味着，做出航路布局的目的在于：

- a) 通过避免横向和垂直平面交通流量之间的冲突实现容量的优化；
- b) 采用较短的航路提高运行效率；
- c) 通过垂直窗口来支持持续下降运行（CDO）或持续爬升运行（CCO），从而帮助实现更加节省燃料的剖面，并降低环境影响（噪声、温室气体排放等）；

注：《持续下降运行（CDO）手册》（Doc 9931 号文件）详细介绍了 CDO，《持续爬升运行（CCO）手册》（Doc 9993 号文件）涵盖了 CCO。

- d) 避免噪声敏感区域；
- e) 避免平行航路在相同航路上产生双向交通流量；
- f) 提供两个机场之间的不同航路选择；
- g) 提高机场的可达性；以及
- h) 提高运行安全。

最重要的是，基于性能的导航可实现航路和终端程序之间的有效连通，从而确保航路的无缝连接。这些优势均不会使数十年期间建立的航路设计最佳做法失去效用。

注：在以下段落中，术语“ATS 航路”指那些通常根据附件 11、附录 1（如 UL611）划定的航路；“终端航路”指根据附件 11、附录 3（如 KODAP 2A）以及附件 4 第 11 章划定的 IAPs 和 SIDs/标准仪表进场航路。

2.3.2.2 空中交通服务航路网络覆盖了世界大部分洲，而且反映了各个陆地板块之间的主要交通流量。应在大陆、区域或地方层面（如适用）规划空中交通服务航路网络。这必然导致航线网络效率的提高，同时避免交通流量之间的潜在冲突。

2.3.2.3 在确定空域容量方面发挥重要作用的航路间距，在很大程度上有赖于 CNS/ATM 基础设施支持运行。例如，在实施了 RNAV 5 的高密度的欧洲空域，只有在足够的雷达监视、且空中交通管理基础设施支持管制员监控航迹行为的情况下，才能实现 10-15 海里的航路间距。航路间距也受到相关空域的地理状况、主要交通流量和混合交通运行数量的影响。一些航路间距标准可能只针对平行直线航段之间的距离，而未考虑到不同航空器在不同高度的可变转弯性能。许多航空器在 FL190 以上时限制倾斜角，这可能会导致在距离旁切航路点最多 20 海里之前便开始转弯。为在转弯过程中实现航迹分隔，有必要要求所有航空器或者能够按照固定半径转弯，或者在转弯点大幅增加航路间距。或者，在转弯过程中必须增加平行曲线航径之间的间距。

2.3.2.4 大陆交通流服务于多个机场，以避免飞跃交通与爬升和下降交通混杂，设计人员应当设法将空中交通服务航路（黑色）与往来机场的终端航路（灰色/虚线）分隔开（见图 2-11）。

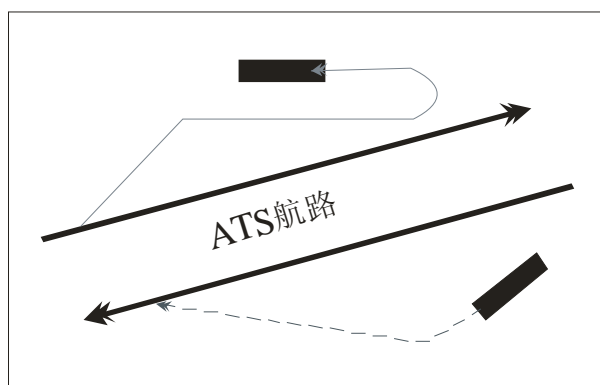


图 2-11 分隔开的航路

2.3.2.5 虽然运营商和环境管理者专注于每个终端航路布局的飞行效率、减少环境影响和超障裕度/飞行能力等方面，但空中交通管制必须将交通流量与所有航路一起打包管理。从空中交通管制的角度来看，空域设计专注于进场和离场流量之间的相互影响。这些不同的目标并不互相排斥。设计终端航路、并实现大部分显然是相互矛盾的目标是可以做到的。必须小心选择离场和进场航路的交叉点，以确保进场和离场航空器均不会受到限制。熟悉机队性能非常重要。图 2-12 中的图形显示了在 3%、7% 和 10% 的爬升梯度（蓝色）及 3 度和 10 度进场剖面（绿色）的条件下，与机场跑道相距不同距离的冲突区域的情况。

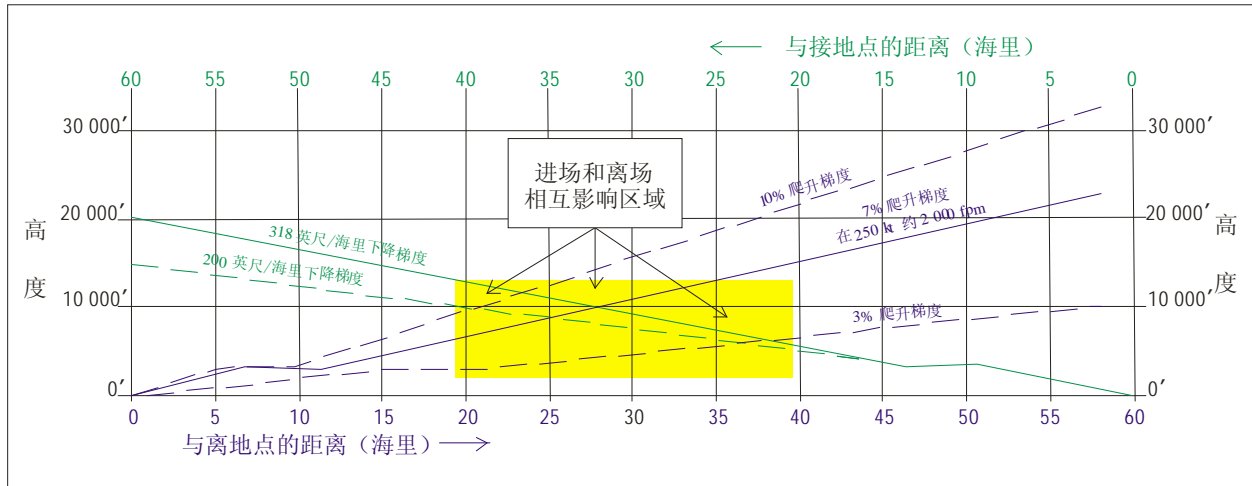


图 2-12 垂直相互影响

示例：当两个航空器均处于机场上空 9000 英尺的区域时，以 7% 的爬升梯度（蓝色实线）从距离跑道 25 航迹英里处离场，将与进场（绿色虚线）在距离入口 35 航迹英里处发生冲突。这个位置的交叉点会妨碍离场和进场。

2.3.2.6 从繁忙终端空域的设计中可以观察到，目前有三种空中交通管理“做法”或“模式”。第一种模式涉及许多等待航线，这些航线通过从分层盘旋等待向进场/进近系统馈送持续的进场交通流，保持对空域的压力。第二种模式在这方面较有弹性，为了避免航空器等待，这种模式为降落跑道设计了更长的终端进场航路。第三种模式预先规划高级排序，方法是通过调整离场和/或航路飞行时间的手册或自动化进场管理系统，从而在指定的终端进场点保持平衡的航空器流。在基于性能的导航扩展路径上提早线性延伸，或使用空中交通管理进场管理工具，使驾驶员能够更好地规划下降剖面，因而要胜于在低海拔高度终端等待。

2.3.2.7 基于性能的导航 标准仪表进场可被设计为具有“开放式”或“封闭式”航径的进场程序（见图 2-13）。开放式标准仪表进场为顺风航迹位置提供航迹指引，空中交通管制通常根据该指引指导航空器（被确定航向）拦截最后进场航迹。封闭式标准仪表进场为自动过渡至最后进近提供持续的最后进近航迹指引，并且因为航空器总是在规定的航径上，为驾驶员和管制员提供绝佳的可预见性。在封闭式 STAR 中，RNAV 系统始终有一个规定的降落距离，这个距离使垂直剖面能得以自动管理，从而实现最大飞行效率。封闭式 STAR 的设计和公布还可以采取这种方式，即，通过提供额外的航路点以延伸或减少航径，使之有助于空中交通管制做出策略性的替代航路选择。如果任何策略变化是在航空器到达了“下降起点”之后提供的，该变化就会影响到垂直剖面。开放式 STAR 要求提供航路的策略选择（引导）指示使航空器与最后进近航迹匹配。RNAV 系统可在空中交通管制干预之前在 STAR 上管理下降至最后进场点，但不能确保 CDO 剖面，因为飞行管理系统（FMS）无从知晓策略航路选择所涉及的大约航迹英里。在使用开放式 STAR 时，尽管空中交通管制的灵活性增加了，但也增加了驾驶员提前规划的难度。

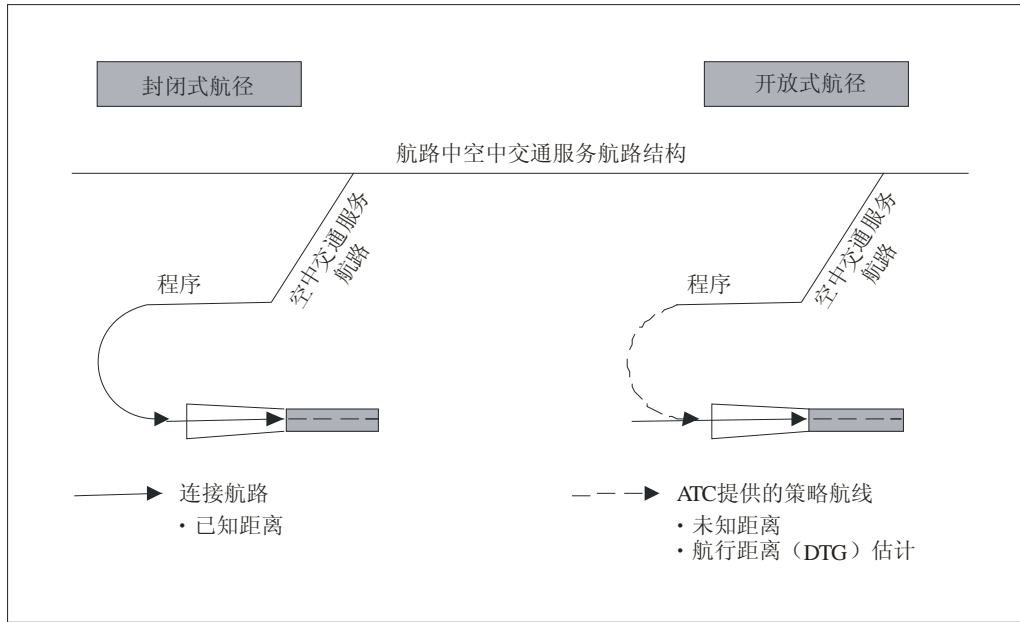


图 2-13 不同的 STAR 方法

2.3.2.8 若某个机场运行多条进场航路，会使空中交通管制面临排序方面的挑战。在某个空域范围内，传统的和具备运行基于性能的导航资格的航空器的组合情况可能会有所不同。选择开放式 STAR 还是封闭式 STAR，须考虑到运行环境、空中交通管制程序和可用的排序工具。目前正在制定空中交通管理方法，从而可在多个 CDO 进场航路上实现混合航空器机队的有效排序。这些方法包括：

- a) 点合并 — 一种使用开放式 STAR 设计的方法，该方法试图通过使用“横向等待弧”水平航段，使空中交通管制保持高度的灵活性和控制（见图 2-14）；
- b) 结构化决策点 — 一种使用封闭式航径 STAR 保持有效下降航径的方法，同时也保持了空中交通管制可尽量提前对航空器进行排序的优势。它之所以做到这一点，在于利用了封闭式航径 STAR 中至跑道的精确距离始终是已知的这一事实。然后，在不同的 STAR 上创建与机场等距的航路点。管制员使用这些等距航路点验证间隔，必要时，提前采取预定措施以调整间隔（见图 2-15）；
- c) 规定的时间间隔 — 一种正在制定的方法，该方法采用基于风险的动态分析来改善间隔方法，并可增加一定的容量。规定的时间间隔需要较高的自动化程度为驾驶员和管制员提供反馈，从而使每个航迹决策保持规定的安全水平；和
- d) 所需的进场时间 — 一种正在制定的方法，该方法在边远处的空域航路点预先为航空器指定具体的进场时间。这些时间指定允许驾驶员通过事先规划实现高效率的速度，并保持均衡的机场进场流，从而无须等待进场，同时还允许封闭式航径 CDO。

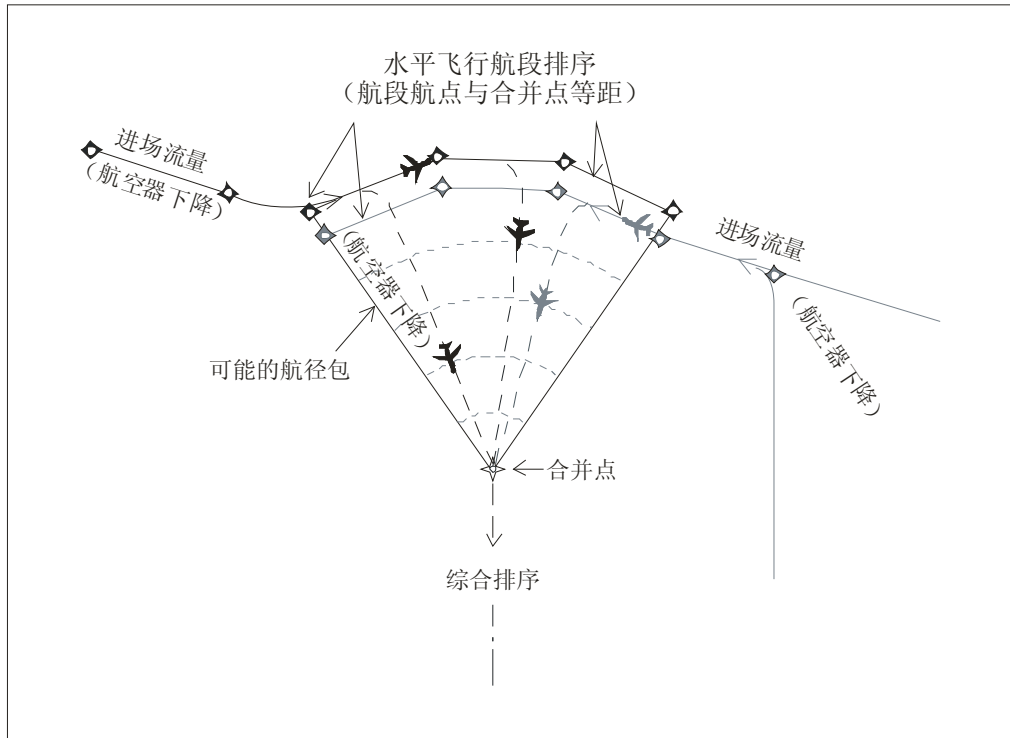


图 2-14 点合并设计示例

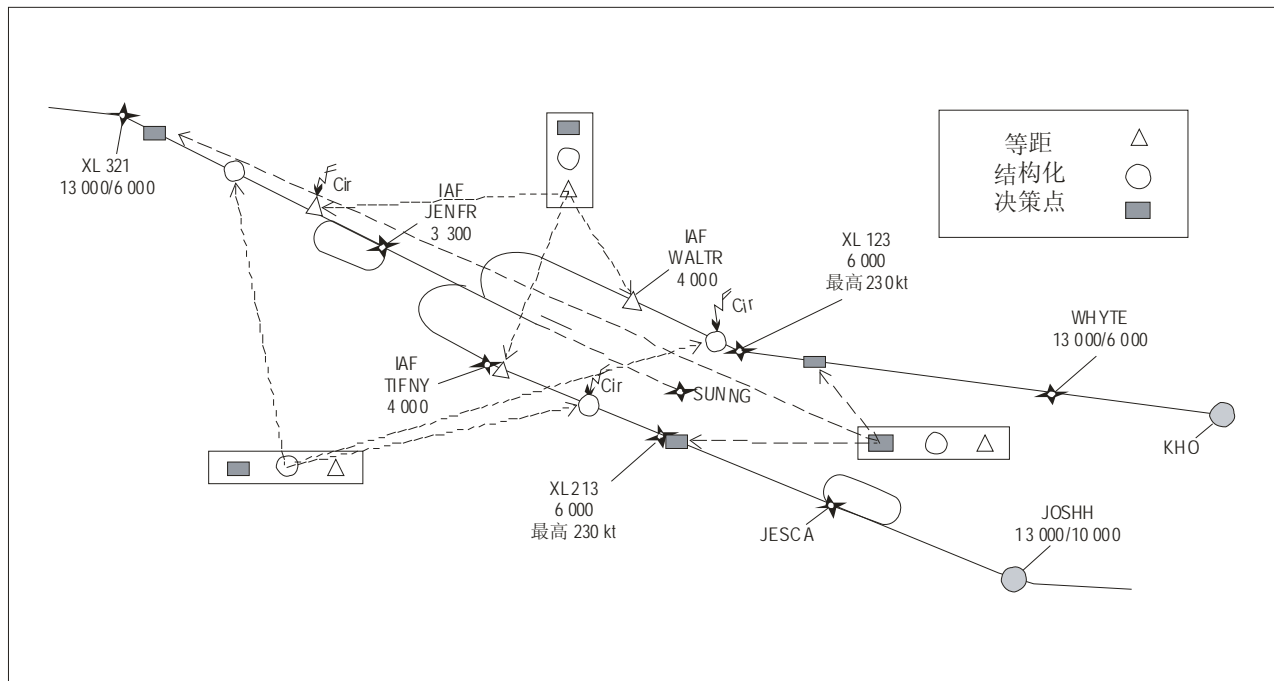


图 2-15 结构化决策点

2.3.3 活动 8：初始程序设计

2.3.3.1 初始程序设计与空域设计相呼应，并包括四个步骤：

- a) 首先，对空域设计进行分析，确认实现预期设计所需的导航性能；
- b) 其次，对机队能力进行分析，确定其是否符合预期设计所需的导航性能；
- c) 再次，对导航设备基础设施进行分析，确定 NAVAID 的覆盖范围是否足以支持预期设计——如果预计陆基导航设备可以使用，则应在作出重大设计承诺之前确定这些设备的可用性和覆盖范围；和
- d) 最后，对拟议的航路和等待航线进行分析，确定其可行性，同时顾及所需的导航性能（见上述第 2 点）、可用的 NAVAID 覆盖范围、适当的航路间距标准以及障碍限制条件；

2.3.3.2 如果机队能力或导航基础设施不足，则可能需要确定取舍，这意味着也许要变更空域概念。如果证明航路不可行，则必须重新考虑空域设计。

2.3.3.3 可在活动 6 的基础上，在设计过程中的早期作出导航性能的选择。随着设计变得更为具体，空域设计团队中的程序设计人员应当阐明是否需要某些功能，以及是否有望提供这些功能。

2.3.4 活动 9：空域范围和扇区

2.3.4.1 空中交通服务航路、终端航路、空域结构和空中交通管制扇区设计是一个迭代过程。空中交通服务和终端航路一旦完成，即可开始考虑空域结构和空中交通管制扇区。创建空域结构是为了保护 IFR 的垂直和横向航线，而且可能需要对航路进行修改，以确保其在空域结构中恰当无误。一旦完成了结构设计，便可以为空中交通管理的目的划分空域扇区，这时，同样可能有必要重新考虑航路的布局。结构和扇区都无需依照国界。出于飞行效率和能力的原因，设计跨境空域结构或扇区是可能的、甚至也是可取的做法。在这种情况下，需要考虑空中交通服务的委托。

2.3.4.2 空域扇区划分可分为功能划分或地理划分：

- a) 在地理扇区划分中，空域范围被划分为多个 3D 板块，管制员负责该板块（扇区）内的所有交通；以及
- b) 在功能扇区划分中，空域根据航空器飞行阶段的功能来划分结构。例如，在终端空域，某位管制员可能负责进场航空器，另一位可能负责同一个 3D 空域板块的离场航空器。

2.3.4.3 航路空域一般均按地理方式划分扇区，而终端空域可能使用一种或两种扇区划分方法（见图 2-16）。在许多单位，功能和地理扇区划分被混合使用。

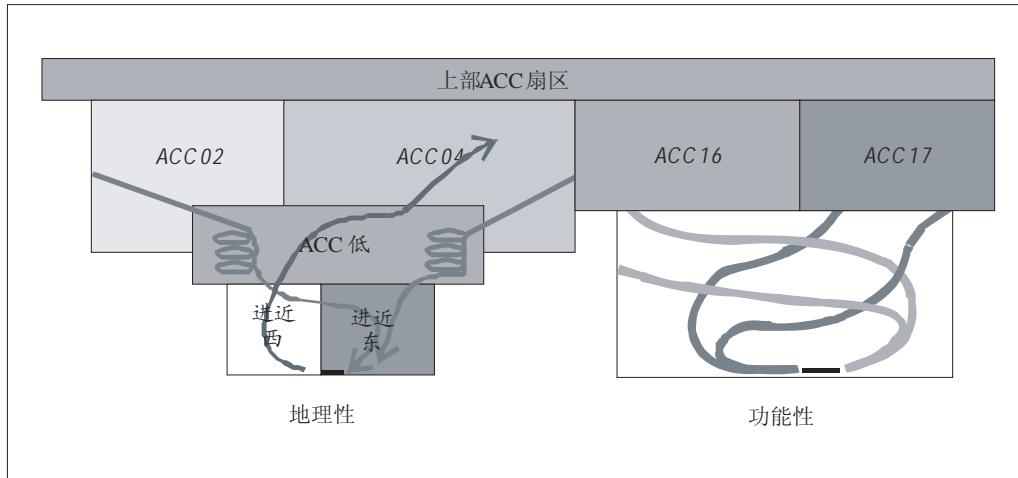


图 2-16 扇区划分示例

2.3.5 活动 10：确认活动 6 中确定的国际民航组织导航规范

2.3.5.1 该项活动在于确认源自基于性能的导航手册的导航规范在导航性能/功能性方面与空域概念的要求相符。这一点实现起来难度很大，之所以需要强调活动 6 中对航空器机队进行严格分析的重要性，原因正在于此。由于要求机队相当大的一部分需装备 RNAV 系统或传感器，以实现特定的功能性，这样很难产生成本效益，因此，有必要将设计活动 7 至 9 限制在现有航空器的能力范围之内。欧洲引进 RNAV 5 是一个有用的例子，说明了期望如何由于机队装备的原因而被迫“降级”。在 20 世纪 90 年代，最初的意图是实施 RNAV 1，但在实施日期的三年前，发现使用与 RNAV1 兼容的系统对旧设备进行预期自然更新的速度与预估相比要慢得多，而且改装费用过高，此时不得不降级至 RNAV 5。

2.3.5.2 如果发布必须加以执行的指令，那么，在空域中飞行的所有航空器都将能够飞行新的航路/程序。然而，必须证明指令的益处大于实施的成本。

2.3.5.3 一个选项也许是考虑一种混合的导航环境，其中存在着一个或多个基于性能的导航规范，而一些交通使用传统导航方式。通常在以下三种情形中，分别可产生混合导航环境：

- 实施一种基于性能的导航应用，但并非是强制执行，这样传统导航得以保留；
- 在某个空域范围使用一种“混合指令”——通常是航路或在海洋/远程程序运行中，其中要求沿一组航路或高度运行 RNAV 应用，而在相同空域范围内沿另一组航路或高度运行 RNP 应用；或者
- 在空域中实施 RNAV 或 RNP 混合应用，但不强制要求运营商能够执行这些应用。此时同样可授权未获得任何导航规范审批的航空器采用传统导航方式。

2.3.5.4 混合导航环境会对空中交通管制的工作负荷产生负面影响，特别是对密集航路或终端区的运行而言。混合导航环境的可接受性还依赖于空中交通服务航路或终端航路结构的复杂性、程序设计、空中交通管制

支持工具的可用性和功能性。空中交通管制工作负荷的增加可导致这样一种结果：在存在着一种主要能力水平的情况下，需要将混合模式运行限制在最多两种类型。在某些情况下，空中交通管制可能只能接受这样的一种混合环境，即：很大比例（70-90%）的交通流量已获得使用所需的导航规范的审批。出于这些原因，对混合导航环境中的运行情况作出恰当的评价，以确定此类运行的可行性，这一点至关重要。

2.4 验证阶段

2.4.1 概述

一旦完成空域设计，空域概念将变成一项需要进行验证和检查的综合性工作。验证工作分为多个阶段：

- a) 通常在设计过程中、以及完成空域设计时开展空域概念的验证；和
- b) 一旦完成设计过程，即着手对新航路开展验证。

注：下文涉及空域概念和空域设计的验证。有关仪表飞行程序设计的验证在《空中航行服务程序 — 航空器的运行》（Doc 8168号文件）第 II 卷 — 《目视和仪表飞行程序设计规范》和《飞行程序设计质量保证手册》（Doc 9906号文件）予以涉及。

2.4.2 活动 11：空域概念验证

2.4.2.1 空域概念验证的主要目标是：

- a) 评估是否可以通过空域设计和空域概念的实施大体实现项目目标，以及是否拥有一个正面的业务案例；
- b) 证明空域设计中空中交通管理的有效性；
- c) 找出概念潜在的不足之处，制定缓解措施；以及
- d) 提供设计的安全性证据，支持安全性评估。

2.4.2.2 验证方法可能会产生定量或定性的结果。这两种类型的结果都是需要的，而且两种验证须同时进行，因为它们都需要通过另一种方法产生的信息。尽管这些结果产生的方法不同，但重要的是将结果视作一个整体。总体而言，定量评估指的是用数值表示的、依靠量化数据的验证方法。一般而言，这些方法有赖于通常是基于计算机的模拟器。定性评估不依赖数据，但更依赖客观的分析、推理、论证和判断。然而，源于定量评估、不加分析的数据是不能够被接受的，因此，最终结果仍取决于有效利用定性评估工具。表 2-3 比较了不同的建模方法。

表 2-3 模型比较示例

	输入样本	所使用的评估基准	输出	验证方法
定性评估	公布和拟议的空域设计（航路/等待航线、结构和扇区）。	基于国际民航组织 SARPs、程序和指导材料及国家/地方法规的非数值性能和安全标准。	主要是文字/图表、推理、论证和判断。	— 专家 — CNS/ATM 判断 — 空域建模
定量评估	公布和拟议的空域设计（航路/等待航线、结构和扇区），通常采用计算机数据格式，表示空域的组织及流量样本。 调查 — 雷达数据记录、飞行计划记录、飞行记录、问卷调查。 统计与预测 — 机场运行统计数据、气象数据收集、交通需求、交通分布。	基于国际民航组织 SARPs、程序和指导材料及国家/地方法规的性能和安全标准的绝对数值性能和安全标准。	数值数据(为主)。	— 空域建模 — FTS/RTS — ATC 实况演练 — 飞行模拟 — 数据分析工具 — 统计分析 — 碰撞风险建模 — 噪声建模

2.4.2.3 如表 2-3 所示，几种用来进行空域概念验证的方法是：

- a) 空域建模；
- b) 快速模拟（FTS）；
- c) 实时模拟（RTS）；
- d) 空中交通管制实况演练；
- e) 飞行模拟；
- f) 数据分析工具；
- g) 统计分析；
- h) 碰撞风险建模；和
- i) 噪声建模。

2.4.2.4 每一种方法在成本、现实性、复杂性、时间和交通流量实例数量及所使用的测试案例等方面均有所不同。所使用的模拟方法越复杂，成本就越高，所需的准备/运行时间就越长，结果也就越接近现实。然而，通常出于涉及成本/时间的原因，随着所使用的模拟方法复杂性的增加，交通流量实例/测试案例的数量往往会减少（见图 2-17）。

2.4.2.5 多数基于计算机的验证工具均假设航空器具备品质非同寻常的导航性能，但这通常不会影响验证工作的主要目的，即检查空中交通管理的可使用性以及拟议的空域概念的安全性。若期望专门调查导航失效模式的影响，则需要对各种模拟方案进行额外的编程。应指出，航路间距标准已经考虑到导航失效模式，大多数空域概念将不需要特定的导航失效模拟。

2.4.2.6 所使用的验证方法的数量和程度及其持续时间与空域概念和交通流量实例的复杂性直接相关。变化数量越多，安全性和运行方面的影响越大，对准确性和详细调查的要求就越高，以证实运行带来的效益以及满足安全标准的情况。

2.4.2.7 设计团队应该为项目计划分配足够的时间，以进行相应级别的评估（建模、FTS 和 RTS、实况演练）。规划应尽可能灵活，因为一种验证方法会对序列中的下一个验证步骤产生重大影响，或可能会导致验证过程暂停，并返回到设计阶段。应在项目规划阶段精心策划验证程序，应尽量提前预订快速模拟和实时模拟的访问时间。许多项目都因为关键时刻模拟器的不可用而被推迟。

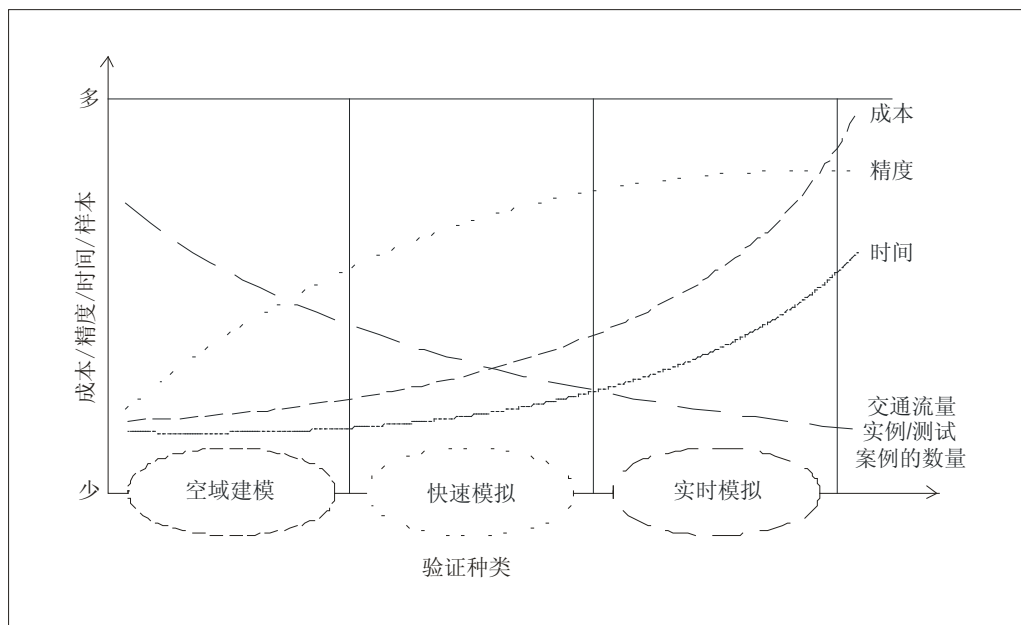


图 2-17 复杂性与成本的权衡

2.4.2.8 如果验证过程中查明的问题要求返回到项目设计阶段，不应对此进行抵制。出于很多原因（其中最重要的是成本），返回绘图板宜早不宜迟。

2.4.2.9 空域建模

2.4.2.9.1 空域建模是基于计算机的验证方法之一，往往被用来验证某个空域设计。在空域设计阶段使用空域建模，是因为它可帮助空域设计团队通过三维方式使布局和航路剖面、空域结构和扇区得到视觉展示。

2.4.2.9.2 空域建模工具可以作为简单的、按比例缩小的快速模拟器来使用。它们的主要用途是从总体上粗略地表现某种航路和空域结构（扇区）及其与选定的交通流量实例之间的相互影响。该工具根据某个特定空域组织（及其规则）中的交通流量实例（及其规则）所描述的飞行计划，生成简化的 4D 轨迹（位置+时间）。这些轨迹与空域板块一起，被用来计算一系列的统计数据，如扇区载荷、航段载荷和冲突。通过使用更先进的空域建模工具，可以得出更精确的关于工作负荷和扇区能力的的数据。表 2-4 列出了空域建模的优势与不足。

表 2-4 空域建模的优势与不足

优势	不足
<ul style="list-style-type: none"> • 灵活 • 易于评估各种替代方案 • 易于调整方案 • 易于生成测试案例 • 易于创建和评估“切合目前情况的”测试 • 易于测试大量的交通流量实例 • 可以使用由实际交通流量和空中交通管制环境导出的数据 	<ul style="list-style-type: none"> • 真实环境的粗略表示 • 只提供高层次的统计数据 • 不能复现管制员策略性的干预 • 航空器基本性能 • 简化的轨迹 • 无气象条件表示 • 在很大程度上，精度取决于评估能力和经验 • 具有高度的主观性，因此很难使用户参与其中

2.4.2.10 快速模拟

2.4.2.10.1 快速模拟经常被用来验证某个拟议的空域概念，而且它也可能被用来演示已实现的安全性目标。

2.4.2.10.2 空域设计团队可以在实时模拟之前使用快速模拟作为唯一的验证工具。快速模拟在人力资源方面的要求低于实时模拟，而且通常是用来改善拟议的设计、找出设计概念中的缺陷和/或准备实时模拟航径或直接实施的首选方法。

2.4.2.10.3 为获得模拟环境，需使用软件专用语言和语法对空域组织和交通流量实例进行编码。输入数据包括航路、分配给每一条航路的交通流量实例、空域结构和扇区，以及有关航空器和空中交通管理行为的各项规章制度。

2.4.2.10.4 快速模拟模拟器引擎基于飞行计划信息和规则，为每一个航空器生成 4D 轨迹（位置+时间）。该系统针对某些预先界定的事件（如冲突、水平变化、航路变化、扇区入口或出口）检查每一条轨迹。当检测到此类事件时，系统产生一个计数器增量，并触发与该事件相关的任务参数。例如，如果系统检测到航空器已经越过扇区边界，就会将算入该特定扇区内的航空器数量增加一个，并将激活分配给管制员的任务（例如移交、通信转移、身份）。在模拟器模型中，管制员行动按任务进行描述。这些任务是基本的空中交通管制行动，它们由特定事件引发，并有一个与之相关的时间值。这个值是现实生活中管制员完成该特定行动所需的时间。模拟器针对某个给定的测试案例添加任务参数的值，而其结果说明了管制员的工作负荷。通常情况下，如果数值不超过测试案例总时间的 70%，则不认为管制员负荷过重。当空中交通管制做法更加详细和规范时，工作负荷测量的精度也随之提高。表 2-5 列出了快速模拟的优势与不足。

2.4.2.11 实时模拟

2.4.2.11.1 实时模拟用于拟议的空域设计的后期验证阶段，也可以将其作为一种显示已经符合安全性目标和运行目标的方法。实时模拟往往是作为实施前的最后一次检查和预备步骤。之所以使用这种方法，主要是因为它可提供来自实际运行空中交通的管制员的实时反馈，及其实现高度真实的潜力。实时模拟也使空中交通管制员得以熟悉拟议的变化。

2.4.2.11.2 实时模拟力图尽可能准确地复现空中交通管制员的真实工作环境。一个实时模拟平台的主要组成部分包括：

- a) 模拟器引擎；
- b) 管制员实际操作席位；
- c) 驾驶员模拟假人和支线扇区；以及
- d) 数据记录系统。

2.4.2.11.3 模拟器引擎处理飞行计划和来自驾驶员模拟假人和管制员的输入，并以与可运行的雷达数据处理器（RDP）和飞行数据处理器（FDP）系统相同的方式，为管制员实际操作席位提供相关数据。表 2-6 列出了实时模拟的优势与不足。

表 2-5 快速模拟的优势与不足

优势	不足
<ul style="list-style-type: none"> • 扇区容量评估中最常用的方法之一 • 能够收集质量数据 • 相对无限的范围和极大的灵活性 • 评估各种替代方案相对简单 • 测试案例调整相对容易 • 测试大量交通流量实例相对容易 • 可以使用实际的交通和环境数据 • 结果的可接受性较高 • 可以评估目标安全水平（TLS）的实现情况 • 可以通知安全案例制定 	<ul style="list-style-type: none"> • “实际”运行的简化模型 • 只提供统计数据 • 不能复现管制员策略性干预 • 在很大程度上，结果的质量有赖于该模型的精度 • 有限的航空器性能和简化的航空器行为 • 关于气象条件的表示较少 • 很难使用户参与其中

表 2-6 实时模拟的优势和不足

优势	不足
<ul style="list-style-type: none"> • 与空中交通管制实况演练最接近的模拟方法，可以用来评估和验证模拟目标 • 有机会收集高品质的定量和定性数据 • 基于操作经验的管制员反馈（进一步的定性评估） • 来自驾驶员模拟假人的反馈（取决于其专业知识和模拟条件） • 可以说明和评估与人为因素表现相关的问题（进一步的定性和定量评估） • 自动数据收集（用于定量评估） 	<ul style="list-style-type: none"> • 缺少生气的环境：有限的人机界面（HMI）性能、非真实的无线电传输（RT）、有限的雷达性能 • 有限的航空器性能和简化的航空器行为 • 没有切实的航空器行为，由于驾驶员模拟假人没有或只有很少的航空经验 • 驾驶员模拟假人不能复现真正的机组人员表现 • 关于气象条件的表示较少 • 与人为因素表现相关的问题： <ul style="list-style-type: none"> — 管制员心态/态度

优势	不足
<ul style="list-style-type: none"> • 与实况演练相比，无限的范围和更大的灵活性（进一步的定性评估） • 无现场操作风险 • 允许测试应急程序和风险分析（定性和定量评估） • 易于评估各种替代方案 • 在线反馈和方案调整（定性评估） • 可以使用实际交通流量和环境数据（定量输入） • 管制员对结果的接受性较高（范围广泛的定性评估） • 使管制员得以熟悉拟议的变化 • 可以作为安全案例的一部分 	<ul style="list-style-type: none"> — 管制员能力 — 练习/情境学习曲线 — 评估的主观性（主要涉及工作负荷） — 大男子主义态度 — 管制员的反馈受历史经验的影响 • 对成本和时间要求很高 • 很可能是资源密集型 • 与运行中管制员提供模拟可能性相关的调度方面的困难 • 难以直接使用户参与其中

2.4.2.12 空中交通管制实况演练

2.4.2.12.1 空中交通管制实况演练可能是用得最少的验证方法。一般而言，这是因为尽管它提供了或许是最高程度的逼真性，但人们觉得这种方法的风险是最高的。在使用时，实况演练往往旨在使用一个非常有限的交通流量实例来评估空域变化的某项非常具体的因素，如一个新的 SID 或 STAR，或者一个新的扇区设计。表 2-7 中列出了空中交通管制实况演练的优势与不足。

表 2-7 空中交通管制实况演练的优势与不足

优势	不足
<ul style="list-style-type: none"> • 最准确的验证方法 • 收集实时数据 • 收集所有用户的反馈 • 用户对结果的接受性较高 	<ul style="list-style-type: none"> • 安全/风险考虑 • 需要非常详细的演练后分析 • 范围有限 • 灵活性有限

2.4.2.13 飞行模拟

2.4.2.13.1 全飞行模拟器因其在复现某个特定航空器类型的所有运行特征方面所具备的卓越真实性和精度而闻名。正常和不正常的情况，包括实际飞行中遇到的所有环境条件，均可被精确地模拟。由于技术进步以及飞行模拟显著节省了成本（与实际飞行时间相比），模拟器的使用有所增加。如今的商业飞行模拟器十分复杂，从而使精通某个航空器类型的驾驶员可以在飞行某一新类型的航空器本身之前，在模拟器里针对该新类型航空器进行充分的培训。

2.4.2.13.2 除了驾驶员培训之外，飞行模拟在其他航空领域也发挥了不可估量的作用，例如，研究、事故调查、航空器设计和开发、运行分析及太空飞行等其他活动。研究领域包括新概念、新系统、飞行品质和人为因素。大多数航空器制造商将研究模拟器作为航空器设计、开发和放行的一个组成部分。若不广泛使用飞行模拟，由于成本和安全性方面的原因，重大的航空项目目前将无从进行。

2.4.2.13.3 在若干领域，飞行模拟器可以协助终端空域项目的顺利完成。环境问题和强大的游说团体正在影响越来越多位置上终端航路（及其相关高度）的定位。仅通过使用数学模型和/或快速模拟，让这些团体相信环境问题已完全解决，这是非常困难的，而飞行模拟器的真实性可以为这种辩论提供很大的帮助。

2.4.2.13.4 使用具有代表性的航空器（模拟器），可以广泛地飞行各种空域备选方案，使可影响航空器噪声的机身构型、燃油消耗、飞行的航迹里数和海拔高度等数据得到记录。根据项目要求和收集到的数据的复杂性，这些结果可以被输入分析软件，用于分析航空器噪声和排放。

2.4.2.13.5 尽管实况飞行演练代价昂贵，难以与正在进行的运行结合，但除此之外，飞行模拟器与实际情形最为接近。如果飞行模拟器使用的是运行中线路的驾驶员，则将进一步提高信誉因素。航空公司将愿意参与其中，在其模拟器中使用新程序，从而验证时间和燃油消耗方面的效益。

2.4.2.14 噪声建模

2.4.2.14.1 对航空运输造成的环境影响的政治敏感性日益受到关注。在许多国家，终端航路布局的任何改变或引进任何新的终端程序，需要进行环境影响评估。很多时候，与地方管理委员会之间产生的最大政治问题是航空器噪声。

2.4.2.14.2 噪声模型使用一种高级快速实时模拟器，它能够计算出某个预先界定区域的噪声等值线。这些“噪声建模”功能被添加到“标准”快速实时模拟器所包含的典型功能中，比如，飞行轨迹的计算。

2.4.2.14.3 除了飞行轨迹之外，为了给每个模拟的航空器生成噪声等值线，噪声建模人员（根据航空器型号）确定估算的速度和引擎功率设定/推力。模拟器根据这些数据，并考虑到地形轮廓和其他环境条件（当日时间、气象条件等），计算预定检查点的噪声分布和噪声级。

2.4.2.14.4 结果的精度在很大程度上取决于模拟器使用的航空器型号的真实性，以及用于计算噪声分布的模型。航空器轨迹可以直接从所记录的现场运行雷达数据中得出，但须对推力设置和航空器构型建模。即便使用先进的计算技术，也很难模拟每个航空器的情形。动作被分配给各个“类型”的航空器，噪声“很大”的航空器（根据其数字或噪声级）用航空器型号加以表示，例如 B747-400。某些类型与那些具有类似噪声特征的

类型组合在一起。对于每一种类型，通过分析雷达数据计算出相对于航迹距离的平均剖面高度和速度，并被细分为适当的直线段。

2.4.2.14.5 每条航路的平均地面航迹根据雷达数据或标称航迹进行计算。准确的噪声暴露估算，要求对实际观察到的航迹的横向散射进行实际模拟。这项工作可通过创建额外的航迹完成，额外的航迹在标称航迹的两侧存在着一些标准偏差。标准偏差以及分配给航路的交通流量比例可通过分析雷达数据加以确定。

2.4.2.14.6 使用将噪声模型产生的结果，可帮助开发能够最大限度地降低噪声影响的设计。例如，可设计能够降低或分布噪声的多个程序，每个程序均进行定制，使之符合特定的航空器性能水平（见图 2-18）。

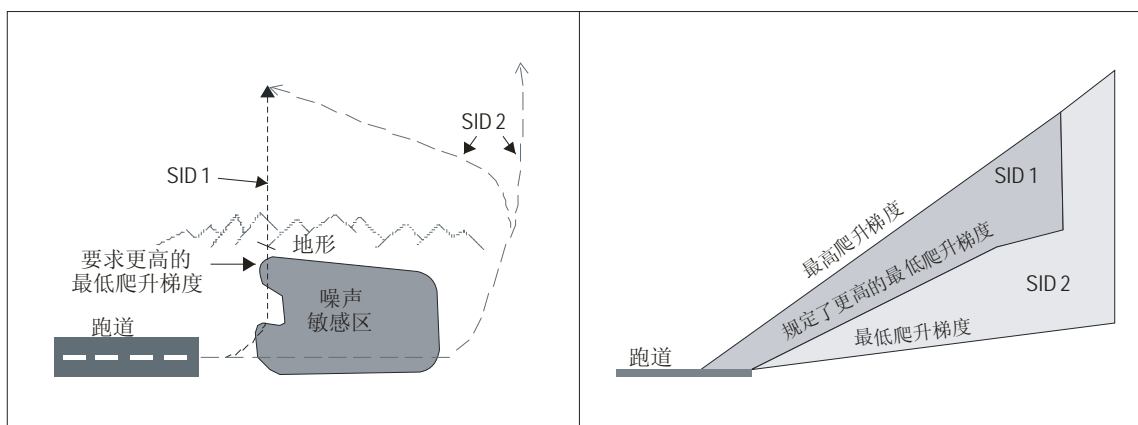


图 2-18 噪声和性能选项示例

2.4.3 活动 12：最终确定程序设计

只有在完成了空域概念的验证后，方可最终敲定程序设计过程。这是因为，在不了解拟议的概念是否可行的情况下便启动这一过程，代价将十分高昂。只有在完成了设计文件、生成了程序描述和草图且每个程序均经过独立检查以确保遵循了设计标准时，才可最终确定设计过程。

2.4.4 活动 13：验证程序设计

2.4.4.1 RNAV 或 RNP 仪表飞行程序或空中交通服务航路的创建遵从一系列步骤，自通过调查生成航空和障碍数据，到程序的最终公布及其随后用于机载导航数据库的编码。在此过程的每个步骤中，应设立质量控制程序，确保实现和保持必要精度的精度和完好性。仪表飞行程序设计的质量控制程序详载于 Doc 8168 号文件和 Doc 9906 号文件第 1 卷 — 《飞行程序设计质量保证体系》。这些文件包括由独立设计人员开展的设计审查，用于检查程序编码和飞行能力的桌面软件工具，用于检查飞行能力的飞行模拟器和飞行试验，以及用于验证导航数据库编码的数据对比演练。

2.4.4.2 初始飞行能力检查应考虑到众多的航空器类型以及在不同的天气条件下（风力/温度等）使用该程序的情况。在某些情况下，可能有必要采用更专业的软件或全飞行模拟器。可考虑使用实际航空器的飞行能力测试，但这些只能说明某个特定的航空器可以在一组特定的天气条件下正确执行程序的情形。就可用于此类飞行的航空器而言，其大小和速度很少能够代表满载 D 类航空器的性能。

2.4.4.3 数字地形数据的软件工具可用于确理论上当导航设备的适当覆盖范围。导航设备覆盖范围的飞行检查只适用于 DME/DME 定位。它需要拥有专门装备的飞行检查航空器，而且非常耗时。在许多情况下，它可以通过使用软件分析工具以及有关单个导航设备的现有飞行检查报告，确定覆盖范围是否足够。

2.5 实施阶段

2.5.1 实施与否的决策

2.5.1.1 拟议的空域概念是否可行以及是否可以实施，通常是在前文第 2.4.2 部分所述的各种验证过程期间才会显示出来。然而，是否要开始实施的最终决定，需要在项目生命周期中的某个预定的点做出。

2.5.1.2 开始实施的决策取决于如下决定性因素：

- a) 空中交通服务航路/程序设计符合空中交通和飞行运行的需求；
- b) 安全和导航性能要求已被满足；
- c) 支持实施所需的飞行计划处理、自动化和 AIP 出版物方面的变更已经完成；和
- d) 驾驶员和管制员的培训要求已被满足。

2.5.2 活动 14：空中交通管制系统集成

2.5.2.1 新的空域概念可能需要变更空中交通管制系统接口和显示器，从而确保管制员拥有关于航空器性能的必要信息和适当的显示器，以支持新的航路。设计团队在设计阶段将确定这种变化的需求。此类系统变更可能包括对如下软硬件的修改：

- a) 空中交通飞行数据处理器（FDP）；
- b) 空中交通雷达数据处理器（RDP）；
- c) 空中交通管制状态显示器；以及
- d) 空中交通管制支持工具。

2.5.2.2 例如，也有可能要求改变空中航行服务提供者（ANSP）发布航行通告的方法，以支持接收机自主完好性监视预测，或在发生地面导航设备停机时告知特定程序的不可用性。

2.5.2.3 还必须对空中交通管制程序进行审查。基于性能的导航空中交通的管理方法与现行的方法可能会有很大的不同，这意味着将需要开发、试验和记录新的程序。如果基于性能的导航实施涉及空中交通管制参与管理一个具有基于性能的导航和非基于性能的导航交通的混合环境，将会对空中交通管制的工作负荷产生显著影响，并可能需要对现有的空中交通管制系统和程序作出重大改变。特别是，空中交通管制必须能够区分具备能力和不具备能力的航空器，以确保每个航空器被赋予适当的服务和间隔。

2.5.2.4 项目团队需要对实施执行做出规划，规划不仅涉及本地空域和空中航行服务提供者，而且涉及与任何受影响方（可能包括相邻国家的空中航行服务提供者）之间的合作。

2.5.3 活动 15：意识和培训材料

采用基于性能的导航可能需要对飞行机组和管制员两方面做出相当大的投资，包括培训、教育和意识材料方面。在许多国家，培训教材和基于计算机的培训已被有效地用于教育和培训的某些方面。国际民航组织提供额外的培训材料和研讨会。《基于性能的导航(PBN)手册》(Doc 9613 号文件)第 II 卷 B 和 C 部分中的每个导航规范均谈及针对飞行机组和管制员的教育和培训。

2.5.4 活动 16：实施

2.5.4.1 只有通过全面的实施规划（作为项目总体规划的一部分），并在规划阶段中对所有关键因素进行周密细致的审查，实施才能成功。此外，每个假设必须具备充足的理由，并经过精心规划，才有可能使实施成功。这适用于空域概念开发、验证和实施的各个阶段。

2.5.4.2 每个空中航行服务提供者应当保持一个标准的实施规划过程。图 2-19 显示了一个典型的实施规划过程。

2.5.4.3 开始实施的决定需要在项目生命周期中的某个特定时刻作出，并应以被称为实施标准的某些决定性因素为依据，其中可能包括回答下列问题：

- a) 是否已满足了安全和性能标准？
- b) 是否对空中交通管理系统作出了必要的更改？
- c) 是否对地面导航系统作出了必要的更改？
- d) 制定空域概念所依据的假设及条件是否依然成立？（交通流量是否和预测的一样？机队是否装备得当且经过批准？等）；
- e) 关键支持手段是否全部到位？
- f) 驾驶员和管制员是否接受了适当的培训？以及
- g) 商业案例是否是正面的？

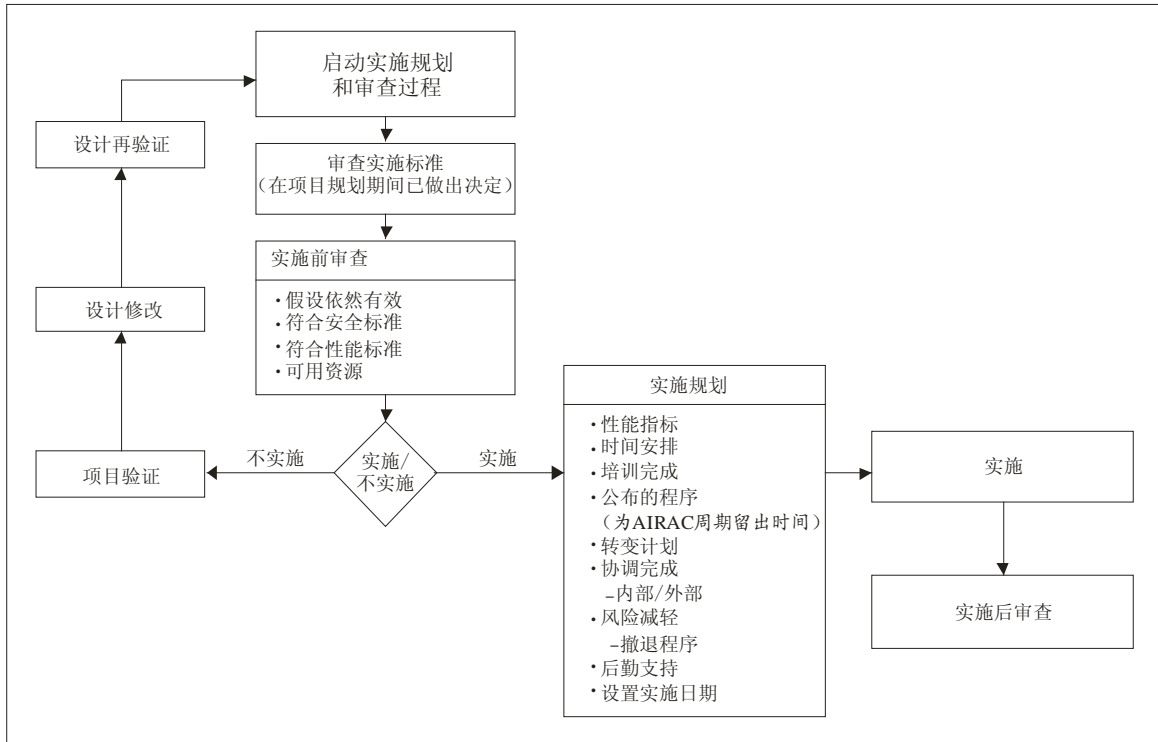


图 2-19 实施规划过程样本

2.5.4.4 应指出，与空域概念没有直接联系的突发事件可能会影响实施/不实施的日期。

2.5.4.5 “不实施”的决定必须得到尊重。它可能会非常令人沮丧，但重要的是不去寻求“变通”或“权宜之计”。对于不惜任何代价也要实施的建议，应坚决予以抵制。

2.5.4.6 “不实施”决定之后的步骤取决于做出此种决定的原因。在极端情况下，可能必须取消该项目，并返回到初始规划阶段。在其他情况下，适当的做法也许是审查假设、限制因素和支持手段，或制定一组新的验证活动或开展新的安全评估。

2.5.4.7 一旦作出“实施”决定，国家必须确定一个有效的实施日期，同时顾及数据流程和 AIRAC 周期。为了确保实施万无一失，空域设计团队应该与运行人员保持密切联系。在资源允许的情况下，团队成员应至少从实施的两天前到实施日期后的一周内，在运行大厅里全天工作。这样，空域团队将能够：

- a) 监督实施过程；
- b) 在必要时，支持中心主管/进近负责人或运营经理使用冗余或应急程序；
- c) 为运营管制员和驾驶员提供支持和信息；和
- d) 保持一份实施相关困难的记录，以备未来项目规划之用。

2.5.5 活动 17: 实施后审查

2.5.5.1 在空域变更实施之后, 应对系统进行监测并收集运行数据, 确保安全得到保持, 并确定是否已经实现了战略目标。如果实施后发生了意外事件, 项目团队应尽快将缓解措施落实到位。特殊情况下, 在解决具体问题期间, 也可以要求取消 RNAV 或 RNP 的运行。

2.5.5.2 实施后, 应对系统进行安全性评估, 并收集证据, 确保系统的安全性得到保证。

—完—

ISBN 978-92-9249-265-6



9 789292 492656