

XIANDAI FEIXING
CHENGXU SHEJI

现代飞行 程序设计

朱代武 陈 肯 周继华 编著



西南交通大学出版社

现代飞行程序设计

朱代武 陈 肯 周继华 ◎ 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

现代飞行程序设计 / 朱代武, 陈肯, 周继华编著
· 一成都: 西南交通大学出版社, 2019.6
ISBN 978-7-5643-6892-0

I. ①现… II. ①朱… ②陈… ③周… III. ①飞行 -
程序设计 - 研究生 - 教材 IV. ①V323

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 101866 号

现代飞行程序设计

朱代武 陈 肯 周继华 编著

责任编辑 刘 昕

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
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

官网 <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 18.5

字数 462 千

版次 2019 年 6 月第 1 版

印次 2019 年 6 月第 1 次

定价 62.00 元

书号 ISBN 978-7-5643-6892-0

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

前 言

仪表飞行程序是机场运行的基本条件之一，是组织实施飞行、提供空中交通服务的基本依据。所有可供民用航空器使用的机场，都必须设计仪表飞行程序，制定机场最低运行标准。

传统仪表飞行程序是我国长期以来使用的主流飞行程序。传统仪表飞行程序是基于地面导航设施来建立的，飞行人员需借助飞行仪表利用地面导航设施提供的航迹引导进行向或背台飞行，以及参考地面导航设施提供的定位信息确定航空器在空中的位置来完成预定的起飞离场或进场、进近和着陆，保证了仪表飞行程序飞行中的安全超障。

随着新建和改扩建机场的不断增多以及空中流量的迅速增长，传统仪表飞行程序的局限性越来越明显，很难适应民航发展的新形势。随着机载设备能力的提高、卫星导航及其他先进技术的不断发展，国际民航组织提出了“PBN”概念。PBN 的引入体现了航行方式从基于传感器导航到基于性能导航的转变。PBN 的飞行程序是飞行程序发展的方向，是解决空域拥挤、进离场航空器冲突、飞行延误，减轻飞行人员以及空中交通管理人员工作负荷的有效途径。我国也在 2009 年 10 月发布了《中国民航基于性能的导航设施路线图》1.0 版，明确指出我国民航未来的飞行程序和航路飞行将以 PBN 为方向，逐步取代现有的传统飞行程序和 ATS 航路。

为此，我们根据国际民航组织 DOC8168-OPS/611《目视和仪表飞行程序设计》和中国民用航空局颁发的有关咨询通告、行业标准和管理规定，并汲取我国民航在 PBN 飞行程序设计实践中的一些经验，编写了本教材，供交通运输规划与管理专业硕士研究生使用，内容符合硕士研究生课程教学大纲的要求。

为了便于学生理解和掌握，本教材在编排上根据教学内容的内在联系，力求由浅入深，突出重点，前后连贯，分别介绍了 PBN 概念、进近程序、进场和等待程序、离场程序、气压超障导航程序、GLS 精密进近程序、RNAV DME 飞行程序以及机场最低运行标准的制定等内容。本教材在文字叙述上力求通俗易懂，便于自学者阅读。

通过本教材的教学，学生应重点掌握 PBN 飞行程序的基本概念，熟悉有关飞行程序设计的一般准则、一般原理和基本方法，并能根据程序设计的结果，制定出机场运行的最低标准。

本教材在编写中借鉴了《目视和仪表飞行程序设计》教材的主要观点、编排结构和叙述风格，同时参照了国际民航组织 DOC8168 文件 2014 年第六版的相关内容，我院的任课教师也提出了宝贵的修改意见，在此一并致谢！

由于本教材涉及面较广，数据量较大，限于编者的水平，难免存在不足及疏漏之处，欢迎各位专家和广大读者批评指正。

编 者

2019 年 2 月于中国民航飞行学院

目 录

第一章 概 述	1
第一节 PBN 概念综述	2
第二节 PBN 程序构成及基本要求	7
第三节 PBN 程序设计的基本参数	12
第二章 PBN 进近程序设计	25
第一节 PBN 进近程序的建立	25
第二节 进近航段保护区	30
第三节 转弯保护区	38
第四节 超障高度/高 (OCA/OCH) 的计算	53
第五节 复飞程序	66
第六节 RNAV 的 T 或 Y 型程序设计	82
第七节 PBN 程序公布	87
第八节 导航数据库编码	93
第三章 APV/气压垂直导航 (Baro-VNAV) 程序设计	107
第一节 概 述	107
第二节 APV 航段	108
第三节 APV 航段 OCH 确定	114
第四节 APV/气压垂直导航进近程序公布	122
第四章 GLS 精密进近程序设计	125
第一节 概 述	125
第二节 GLS 飞行程序的建立	137
第三节 障碍物的评价	142
第四节 确定 GLS 精密进近的超障高度/高	150
第五节 GLSCAT I 最后进近航迹偏置	170
第六节 GLS 程序公布	170
第五章 PBN 进场航线及等待程序设计	175
第一节 PBN 进场航线	175
第二节 终端进场高度 (TAA)	180
第三节 最低扇区高度 (MSA)	184

第四节 RNAV 等待程序 185
 第五节 进场及等待程序的公布 203
 第六章 PBN 离场程序设计 208
 第一节 离场程序一般原理 208
 第二节 离场航线保护区 211
 第三节 离场程序的公布 230
 第七章 DME/DME RNAV 飞行程序设计 234
 第一节 DME/DME RNAV 程序设计的一般要求 234
 第二节 DME/DME RNAV 程序最低超障高计算 243
 第三节 DME/DME RNAV 程序资料公布 244
 第八章 机场运行最低标准 246
 第一节 起飞最低标准 246
 第二节 I 类 PA、APV、NPA 和目视盘旋的最低标准 248
 第三节 II/III 类 PA 的最低标准 251
 第四节 机场设备故障或降级对运行标准的影响 253
 第五节 飞行运行的要求 254
 附录 A 旁切航路点与飞越航路点的最短稳定距离 256
 附录 B 温度校正 267
 附录 C 空间内四个点确定的平面的高的算法 271
 附录 D 名词解释（中英文对照） 272
 附录 E 常用缩写词解释 285
 参考文献 289

第一章 概 述

仪表飞行程序是航空器在起飞离场和进场进近着陆的过程中，为防止航空器与航空器之间、航空器与地面障碍物之间相撞而提供的基于机载飞行仪表并对障碍物保持规定超障余度的一系列预定的机动飞行指令，包括对飞行路线、高度和机动区域的设定等。仪表飞行程序包括起飞离场程序、进场程序、进近程序，必要时还包括复飞程序和等待程序。除此之外，在一些特殊机场，民航局要求航空公司根据本公司的情况制作一发失效应急程序。上述不同类型的仪表飞行程序的建立为不同飞行目的航空器提供安全飞行的线路，它们共同组成了机场仪表飞行程序体系。

传统仪表飞行程序是基于地面导航设施来建立的，飞行人员需借助飞行仪表利用地面导航设施提供的航迹引导进行向或背台飞行，以及参考地面导航设施提供的定位信息确定航空器在空中的位置来完成预定的起飞离场或进场、进近和着陆，保证了仪表飞行程序飞行中的安全超障。程序设计中有关保护区的划设、定位点的设置以及航行参数的计算均要考虑地面导航设施种类、电磁环境、精度、工作范围及导航设施布局等综合影响。传统仪表飞行程序是我国长期以来的主流飞行程序，现阶段可供仪表飞行的机场都正式公布了传统方式仪表飞行程序。相关的空域规划工作、空中交通管理工作、飞行前的准备工作及航空器在终端区和机场空域内的飞行活动以及其他有关工作都是建立在传统仪表飞行程序基础上的。

基于地面导航设施的传统仪表飞行程序由于受地面导航设施类别、工作范围、导航设施布局等的制约，飞行航迹的精度不高，空域利用率较低。在机场进离场航班逐渐增加的情况下，传统飞行程序的缺陷越来越明显，越来越不适应民航运输快速发展的要求。

随着机载设备能力的提高以及卫星导航及其他先进技术的不断发展，国际民航组织（International civil aviation organization, ICAO）提出了“基于性能的导航（Performance based navigation, PBN）”概念。基于性能的导航是国际民航组织在整合各国区域导航（RNAV）和所需导航性能（Required navigation performance, RNP）运行实践和技术标准的基础上，提出的一种新型概念。它将飞机先进的机载设备与卫星导航及其他先进技术结合起来，涵盖了从航路、终端区到进近着陆的所有飞行阶段，提供了更加精确、安全的飞行方法和更加有效的空中交通管理模式。

PBN 的引入体现了航行方式从基于传感器导航到基于性能导航的转变。PBN 的飞行程序是飞行程序发展的方向，是解决空域拥挤、进离场航空器冲突、飞行延误，减轻飞行人员及空中交通管理人员工作负荷的有效途径。ICAO、欧洲航行安全组织均制定了相应的 PBN 实施计划，我国在 2009 年 10 月发布了《中国民航基于性能的导航设施路线图》1.0 版，明确指出我国民航未来的飞行程序和航路飞行将以 PBN 为方向，逐步取代现有的传统飞行程序和 ATS（Air traffic service）航路。

第一节 PBN 概念综述

随着全向信标/测距仪（VOR/DME）成功运用于导航和机载计算机，RNAV 概念出现并得以初步应用。RNAV 是一种导航方法，允许飞机在相关导航设施的信号覆盖范围内，或在机载自主导航设备能力限度内，或在两者组合下沿所需的航路飞行。这也是陆基航行系统条件下 RNAV 航路设计的特点。虽然可依靠机载计算机组件的作用在导航台的覆盖范围内设计一条比较便捷的航路，但仍按地面是否有导航台来设计航路。

陆基系统的 RNAV 航路可缩短航线距离，但飞行航路仍受到地面导航台的限制。卫星导航系统的应用，从根本上解决了由于地理环境复杂或地面建设导航台困难导致的空域不能充分利用、航路无法划设的问题。卫星导航系统以其实时、高精度等特性使飞机在飞行过程中能够连续准确地定位。在空域允许情况下，依靠卫星导航系统与飞行管理计算机的配合，飞机可以通过坐标定义的航路点选择和确定飞行航迹，不需要飞越地面导航台，就能实现任意两点间的直线飞行，或者最大限度地选择最便捷的航路。利用卫星导航，飞行航路不再受地面建台与否的限制，实现了真正意义上航路设计的任意性，因而卫星导航技术的应用使 RNAV 充分体现了随机导航和自由飞行的思想。

PBN 是 ICAO 在 RNAV 和 RNP 概念的基础上，以新航行系统（CNS/ATM）为基本架构，并在整合空域概念后提出的一个全新的航空运行概念。PBN 建立了覆盖航路、终端区、进近着陆等所有飞行阶段的导航应用规范，是一种更加精确、安全的飞行方法和更加高效、快捷的民用航空运行方式。

一、PBN 概念组成

PBN 是指在相应的导航基础设施条件下，航空器在指定的航路、仪表飞行程序或空域内飞行时，对系统精确性、完好性、可用性、连续性以及功能等方面的性能要求。PBN 的引入体现了航行方式从基于传感器导航到基于性能导航的转变。

PBN 在运行中具有如下的优点。

- （1）精确地引导航空器，提高飞行运行安全性。
- （2）提供垂直引导，实施连续稳定的下降程序，减少不可控撞地的风险。
- （3）改善全天候运行，提高航班正常性，保障地形复杂机场运行的安全。
- （4）实现灵活和优化的飞行航径，增加飞机业载，减少飞行时间，节省燃油。
- （5）避开噪声敏感区，提高环保水平。
- （6）通过实施平行航路和增加终端区内进、离场航路定位点，提高交通流量。
- （7）减小航空器间水平和纵向间隔，增大空域容量。
- （8）减少地空通信和雷达引导需求，便于指挥，降低管制员和飞行员的工作负荷。
- （9）减少导航基础设施投资和运行成本，提高运行的整体经济效益。

基于性能导航（PBN）概念由三个相互关联的要素组成：导航规范、导航系统基础设施和导航应用。

1. 导航规范

导航规范是在已定义的空域概念下对航空器和飞行机组提出的一系列要求，它定义了实施 PBN 所需要的性能及具体功能要求，同时也确定了导航源和设备的选择方式，能够对国家管理当局和运营人提供具体指导。导航规范被各个国家用作合格审定和运行审批的基础。导航规范详尽说明了沿特定航路、程序或在规定空域内运行的区域导航系统的各项要求，这些运行需要根据导航规范获得审批。具体要求包括（1）区域导航系统在精度、完好性、连续性和可用性方面所需具备的性能；（2）为达到所需性能，区域导航系统需要具备的功能；（3）整合到区域导航系统中的可用以达到所需性能的导航传感器；（4）为达到区域导航系统上述性能需要具备的飞行机组人员程序和其他程序。

PBN 包含两个基本导航规范：RNAV 和 RNP。其中 RNAV 是一种导航方式，它可以使航空器在导航信号覆盖范围之内，或在机载导航设备的工作能力范围之内，或二者的组合，沿任意期望的航径飞行。RNP 是一种 95% 的导航精度性能的声明，该性能要求在特定飞行阶段或航段符合指定值，且具备相应机载性能监控和告警功能（On-board performance monitoring and alerting, OPMA），以在特定飞行阶段或航段的所需导航性能不能达到要求时提醒飞行员。也就是说，RNP 是具有机载导航性能监视和告警能力的 RNAV，要求机载性能监视与告警的导航规范被称为 RNP 规范。不要求机载性能监视与告警的导航规范则被称为 RNAV 规范。使用机载性能监视与告警来区分 RNP 和 RNAV 十分方便。一般必须进行预期飞行的航空器系统，在功能方面存在较少差异性，却有诸多共同性，而这种区分方法简单明了。

国际民航组织《基于性能的导航（PBN）手册》（Doc 9613）详细阐述了 PBN 概念和如何实施 PBN 的有关指导说明，及下述各应用的导航规范。

（1）RNAV 10：用于支持航路飞行阶段的 RNAV 运行，支持在海洋或偏远区域空域以纵向距离为基础的最低间隔标准。设计准则尚未制定程序。

（2）RNAV 5：用于支持大陆空域航路阶段飞行的 RNAV 运行。

（3）RNAV 1 和 2：用于支持航路阶段飞行、标准仪表离场（SID）、标准仪表进场（STAR）和进近至 FAF/FAP 的 RNAV 运行，这些标准也适用于 RNAV 1 公布之前的地区/国家导航规范，如 P-RNAV。

（4）RNP 4：用于支持在海洋或偏远区域空域基于纵向距离最低间隔标准的航路阶段飞行的 RNAV 运行。

（5）RNP 2：用于支持洋区、偏远地区和大陆空域航路阶段飞行的 RNP 运行。

（6）RNP 1：用于支持 SID、STAR 和进近至 FAF/FAP 的 RNP 运行，没有或有 ATS 监视服务的限制，用于低到中等程度的交通量。

（7）高级 RNP（ARNP）：用于支持大陆空域的航路、SID、STAR 和进近程序的 RNP 运行。ARNP 导航要求的导航精度值：最后进近为 0.3 NM*；大陆航路为 1 NM 或 2 NM；在 SID、STAR、起始/中间进近和复飞的导航精度为 1 NM。可选择性要求则包括洋区/偏远空域的应用，在除最后进近外的所有终端区飞行阶段，允许为 0.3~1 NM，选择一个以 0.1 NM 为增量的导航精度。

（8）RNP 0.3：用于支持除最后进近以外，所有飞行阶段的直升机 RNP 运行。

* NM（海里）为距离单位，1 NM=1.852 km，后同。

(9) RNP APCH:⁴用于支持 RNP 进近运行至 LNAV、LNAV/VNAV、LP 和 LPV 的最低标准。

(10) RNP AR APCH: 用于支持 RNP 进近运行, 包括有直线和/或固定半径航段组成的最后进近航段, 最后进近的导航精度等于或小于 0.3 NM, 其他进近阶段为 1 NM, 相关准则见《要求授权所需导航性能 (RNP AR) 程序设计手册》(Doc 9905)。

导航规范的相关附件和附录一起包含在 ICAO 基于性能导航 (PBN) 手册中, 是选择性还是强制性的特定导航功能细节, 取决于具体的导航规范。

(1) 所有用于终端和进近程序的导航规范都要求具备按照特定的 ARINC424 航径终止码, 执行航段过渡和航迹保持的能力。特别是, 在终端区空域使用 RF 航径终止码执行固定半径转弯的能力, 见 RNP AR APCH 导航规范和 Doc 9613 文件第 II 卷的 C 部分的附录 1。RF 航径终止码功能在 ARNP 导航规范中是硬性要求, 在 RNP 1, RNP 0.3 和 RNP APCH 导航规范中则是一个选择性功能。其在 RNP AR APCH 运行中的应用, 列在文件 Doc 9905 中。

(2) 在航路飞行阶段执行固定半径转弯的能力, 见 Doc 9613 文件第 II 卷的 C 部分的附录 2。固定半径过渡 (FRT) 与航路结构上的各个航路点相互关联, 并可以在 ARNP 和 RNP 2 中使用。(如何使用 FRT 的指导还在制定当中, 一旦成熟, FRT 的设计准则将列入 PANS-OPS 中)

(3) 使用气压高度和 RNAV 信息确定相对于一个航径的垂直飞行航径和垂直指引, 即 Baro-VNAV, 列在 Doc 9613 文件第 II 卷的附录 A 中。

在 PBN 飞行程序设计中, 不同的飞行阶段采用不同的导航规范, 具体要求如表 1-1 所示。

洋区/偏远陆地、航路或终端导航规范标识代表所需导航精度, 这与最后进近使用的导航规范标识是不同的。另外, RNP X 和 RNAV X 中的 X 表示在 95% 的飞行时间内必须满足规定的精度, 如 RNAV 1 要求在 95% 的飞行时间内, 总系统容差不超过 1 NM; RNP 0.3 要求在 95% 的飞行时间内, 总系统容差不超过 0.3 NM。同样的 X, RNAV 和 RNP 对机载导航设备和机组程序会有很大的差别。RNAV 和 RNP 概念的区别在于 RNP 包括了对机载设备性能监视和告警 (OPMA) 的要求, 并能向飞行员显示是否达到了预定运行要求, 而 RNAV 不包括此要求。RNAV 5 是一项航路导航规范, 可用于 30 NM 以外和最低扇区高度以上的标准仪表进场初始阶段。

表 1-1 每个飞行阶段的导航规范 NM

	飞行阶段							
	海洋/远处	航路	进场	进近				离场
				起始	中间	最后	复飞 ^a	
RNAV 10	10							
RNAV 5		5	5 ^b					
RNP 4	4							
RNP 2	2	2						
RNAV 2		2	2					2
Advanced RNP ^c	2	1 或 2	1 或 0.3	1 或 0.3	1 或 0.3	0.3	1 或 0.3	1 或 0.3
RNP 1			1	1	1		1	1
RNAV 1		1	1	1	1		1	1

	飞行阶段							
	海洋/远处	航路	进场	进近				离场
				起始	中间	最后	复飞 ^a	
RNP 0.3 (Cat H)		0.3	0.3	0.3	0.3		0.3	0.3
RNP APCH (Part A) ^d				1	1	0.3	1	
RNP APCH (Part B) ^d				1	1	度 (°)	0.3 或 1 (起始直接 MISAP)	
RNP AR APCH				0.1 ~ 1	0.1 ~ 1	0.1 ~ 0.3	0.1 ~ 1	

注：a—RNP 的要求不适用于复飞起始和中间航段；b—RNAV 5 可以用于距 ARP 30 NM 以外的标准仪表进场（Standard instrument arrival, STAR）起始部分；c—高级 RNP 所有飞行阶段的核心要求都受 RNP 1 限制，最后进近阶段（RNP 0.3）、RNP 2 的洋区/偏远地区和大陆航路除外。在所有飞行阶段，允许一个精度值在 0.3~1.0 之间，以 0.1 NM 为增量的刻度选项，洋区/偏远/大陆航路（RNP 1 和 RNP 2）和最后进近（RNP 0.3）除外；d—A 部分—低至 LNAV 和 LNAV/VNAV 最低标准的 RNP APCH 运行；B 部分—低至 LP 和 LPV 最低标准的 RNP APCH 运行。

需要注意的是，对于任何特定的 PBN 运行，都可能使用到一系列 RNAV 和 RNP 应用。一次飞行可能始于一个 RNP 1 标准仪表离场的空域，然后分别经过 RNAV 2 和 RNP 4 的航路和洋区空域，最终以 RNAV 1 和 RNP APCH 的终端和进近运行结束，如图 1-1 所示。

在进近和复飞进近阶段可能存在的几种情况中，只要能够保证相近的总系统容差（Total system error, TSE），同一飞行阶段可以适用不同的导航规范。这并不意味着所有的规范都保证相同的功能性。因此在设计程序时，重要的是只考虑由相应导航规范提供的特定能力，以此确定合适的程序。

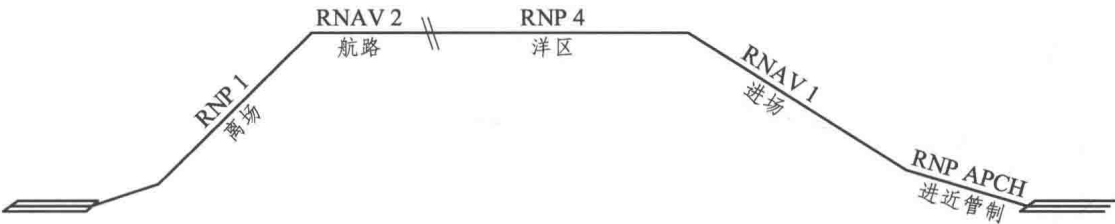


图 1-1 将 RNAV 和 RNP 规范应用于空中交通服务航路和仪表程序的示意图

此外，由于在实际运行中，RNAV 系统使用编入导航数据库的程序，因而驾驶员必须确保系统能够达到整个程序的运行要求。

2. 导航系统基础设施

导航系统基础设施是指每个导航规范中提及的星基或陆基导航系统。星基导航设施如 GNSS；陆基导航设施如 DME、VOR（没有 NDB）。基本 GNSS 定位适用于下述导航规范：RNAV 5、RNAV 2、RNAV 1、RNP 4、RNP 2、RNP 1、高级 RNP、RNP 0.3 和 RNP APCH（LP/LPV 最低标准除外）。

3. 导航应用

导航应用是按照空域概念，将导航规范及相关的导航系统基础设施应用于空中交通服务

航路、仪表进近程序和/或限定的空域范围。如何将导航规范和导航设备基础设施共同用于导航应用的实例，包括 RNAV 或 RNP 标准仪表离场和标准仪表进场、RNAV 或 RNP 空中交通服务航路，以及 RNP 进近程序。

二、PBN 飞程序常见概念

下面将课程中常用到的有关概念罗列如下，其他概念见有关章节或附录 D。

高：从一个规定的基准面量至一个平面、一个点或作为一个点的物体的垂直距离。

高度：从平均海平面（MSL）量至一个平面、一个点或作为一点的物体的垂直距离。

标高：从平均海平面量至地球表面或依附于地球表面的一个点或一个平面的垂直距离。

高度（高度层）：航空器在飞行中的垂直位置的通称，意指高、高度或飞行高度层。

机场标高：着陆区最高点的标高。

基准高（RDH）：下滑航迹或标称垂直航迹延伸至跑道入口处的高。

决断高度或决断高（DA/H）：在精密进近和类精密进近中规定的一个高度或高，在这个高度或高上，如果不能建立为继续进近所需的目视参考，必须开始复飞。需要注意的是决断高度（DA）是以平均海平面为基准，而决断高（DH）是以入口标高为基准。所需的目视参考是指驾驶员看到的目视助航设施一部分或进近区一部分，并有充分时间以评定相对于预定飞行航径的飞机位置和位置变化率。在有决断高的Ⅲ类运行，所需目视参考是为特定的程序和运行规定的目视参考。

最低下降高度或最低下降高（MDA/H）：在非精密进近或盘旋进近中规定的高度或高。如果不能建立为继续进近所需的目视参考，不得下降至这个高度以下。需要注意的是最低下降高度（MDA）是以平均海平面为准，最低下降高（MDH）是以机场标高为基准，如果入口标高低于机场标高 2 m 以上，则以入口标高为基准。盘旋进近的最低下降高（MDH）是以机场标高为基准；所需目视参考是指驾驶员应看到目视助航设施的一部分或进近区的一部分，并有充分让飞行员评估航空器相对于预定飞行航径的位置和位置变化率。在盘旋进近中，所需的目视参考是跑道周围的物体。为方便起见，当同时使用两种表示形式时，可以写成“最低下降高度/高”，简称为“MDA/H”。

入口（THR）：能用于着陆的那部分跑道的开始。

着陆入口点（LTP）：下滑道按规定的基准高飞越的点。其位置通过 WGS-84 的经度、纬度和椭球高确定。着陆入口点通常为跑道中线与入口的交点。

山区：一个地形剖面有起伏的区域，在 18.5 km（10.0 NM）内地形标高的变化超过 900 m（3 000 ft）*。

重要障碍物：任何地形、永久的或临时的人工固定物体，对临近或周围特征有垂直意义，并考虑会对执行该类运行设计程序的飞机形成潜在的安全危险。本文中使用“重要障碍物”术语的目的，只用于确定在程序相关要素计算中需要考虑并应该在航图上标识的物体。

航迹：航空器的飞行航径在地球表面的投影，这条航径上任何点的方向，通常以真北、磁北或网格北为基准量取的度数表示。

* ft（英尺）为英制单位，1ft=0.304 8 m，后同。

航向：航空器纵轴所指的方向，通常以北（真北、磁北、罗盘北或网格北）为基准，用“度”表示。

航道：航空器运行的期望方向，以距离北端（真北、磁北、网格北）的角度表示。

全球导航卫星系统（GNSS）：全球位置、速度和时间测定系统的通用术语，在世界范围提供定位和授时服务，由一个或多个卫星星座、机载接收机和系统完好性监视等组成，包括美国的 GPS、欧洲的 Galileo、俄罗斯的 Glonass、中国的北斗（BDS）和任何其他获批用于民航的卫星导航系统，以及机载增强系统（ABAS）、星基增强系统（SBAS）和地基增强系统（GBAS）。

飞行管理系统（FMS）：由机载传感器、接收机和具有导航及航空器性能数据库的计算机组成的一套综合系统，可为显示器和自动飞行控制系统（AFCS）提供性能和区域导航引导。

飞行程序设计人员：符合由各成员国制定的能力要求的，负责飞行程序设计的人员。

仪表进近运行：进近着陆使用仪表，用以进行基于仪表进近程序的导航指引。有两种方法实施仪表进近运行。

① 二维（2D）仪表进近运行，只使用水平导航引导。

② 三维（3D）仪表进近运行，同时使用水平和垂直导航引导。

注：提供水平和垂直导航引导的参考是地基无线电导航台，或从地基、天基、自备导航设备或它们的组合计算产生的数据。

仪表进近程序（IAP）：根据飞行仪表并对障碍物保持规定的超障余度所进行的一系列预定的机动飞行。这种机动飞行是从起始进近定位点或从规定的进场航路开始，至能完成着陆的一点为止，如果不能完成着陆，则至一个等待或航路超障准则适用的位置。仪表进近程序分类如下。

① 非精密进近程序（NPA），为设计用于 2D 仪表进近运行类型 A 的仪表进近程序。

注：非精密进近程序的飞行可以使用最后进近连续下降技术（CDFA）。

② 有垂直引导的进近程序（APV），为设计用于 3D 仪表进近运行类型 A 的基于性能导航（PBN）仪表进近程序。

③ 精密进近程序（PA），为设计用于 3D 仪表进近运行类型 A 或 B 的基于导航系统（ILS、MLS、GLS 和 SBAS Cat I）的仪表进近程序。

第二节 PBN 程序构成及基本要求

机场 PBN 飞行程序包含起飞离场、进场及等待、进近等飞行阶段，其中进近阶段是影响飞行安全最重要也是程序设计最复杂的阶段。在飞行程序设计及使用中，还常常用到关键飞行阶段这一概念，关键飞行阶段通常是指从进近程序中的最后进近定位点一直到整个复飞程序，或在离场时从机场标高到之上 2 500 ft。

一、PBN 进近程序的航段划分

PBN 进近程序通常由五个航段构成，如图 1-2 所示。

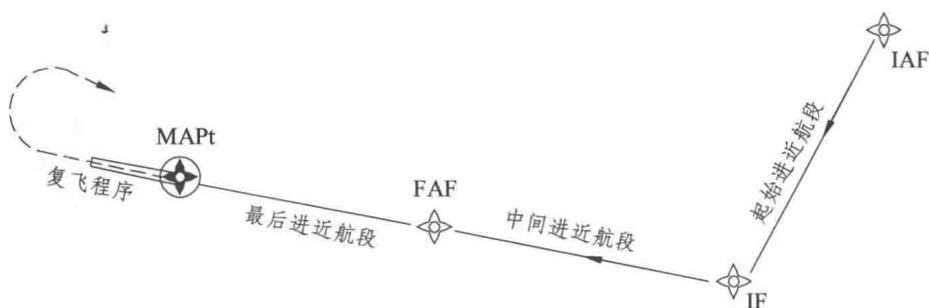


图 1-2 PBN 进近程序的航段

(1) 进场航线。

航空器从航线飞行阶段飞至起始进近定位点 (Initial approach fix, IAF) 的航段。一般在空中交通流量较大的机场设置这一航段, 主要用于理顺航路与机场运行路线之间的关系, 提高送行效益, 维护空中交通秩序, 保证空中交通流畅。

(2) 起始进近航段。

该航段从起始进近定位点 (IAF) 开始, 至中间进近定位点 (Intermediate approach fix, IF) 或最后进近定位点/最后进近点 (FAF/FAP) 为止。IAF 是一个标志起始进近航段开始, 进场航段结束的定位点, 主要用于航空器下降高度, 并通过一定的机动飞行完成对准中间或最后进近航段。在仪表进近程序中, 起始进近具有很大的机动性, 一个仪表进近程序可以建立一个以上的起始进近, 但其数量应按空中交通流向或其他航行要求加以限制。当中间进近定位点同时也是个航路点时, 就没有必要规定起始进近航段, 仪表进近程序就从中间进近定位点开始, 并使用中间航段的准则。

(3) 中间进近航段。

从中间进近定位点 (IF) 至 FAF/FAP 之间的航段。IF 标志起始进近航段结束, 中间进近航段开始的一个定位点。中间进近航段是起始进近与最后进近的过渡航段, 主要用于调整飞机外形、速度和位置, 并下降少量高度, 完成对准最后进近航迹, 进入最后进近。

(4) 最后进近航段。

最后进近航段是完成对准着陆航迹和下降着陆的航段, 其仪表飞行部分是从 FAF (ILS 进近从 FAP 开始) 至复飞点 (MAPt) 为止。其目视飞行部分可以向跑道做直线进入着陆, 或向机场做目视盘旋进近。

(5) 复飞航段。

从复飞点 (MAPt) 开始, 到航空器爬升到可以做另一次进近, 或回到指定的等待航线, 或重新开始航线飞行的高度为止。当判明不能确保航空器安全着陆时, 进行复飞时应有保证安全的必要手段, 因此, 每一个仪表进近程序都应规定一个复飞程序。

二、程序设计的基本原则和要求

所有民用航空器使用的可供仪表飞行的机场, 都必须设计仪表飞行程序 (传统飞行程序和 PBN 程序), 制定机场运行的最低标准。建立机场仪表飞行程序的目的, 是保证航空器在机场区域内按规定程序安全而有秩序地飞行, 以避免在起飞离场和进近着陆的过程中, 航空

器与地面障碍物、航空器与航空器之间相撞。

1. 程序设计的基本原则

确保飞行安全，提高经济效益，便于指挥、调配和飞行操纵，是建立每一个仪表飞行程序所必须达到的要求。

安全、经济、简便的原则，是机场仪表飞行程序设计所应遵循的基本原则。其中，安全是前提，设计的仪表飞行程序要保证航空器在拟定的飞行航线和高度上具有规定的超障余度，可以安全飞越或避开障碍物。为了确保飞行安全，仪表飞行程序设计必须以国际民航组织 8168 号文件，即《目视和仪表飞行程序的设计》为依据。8168 号文件是国际民航组织安全超障专家组经过十多年的工作，在大量试飞、数字模拟试验和碰撞模拟试验的基础上制定出来的关于飞行程序设计的规范，它所确定的安全指标为飞机与障碍物碰撞的概率不大于 1×10^{-7} ，即千万分之一。参加国际民航组织的国家和地区，都必须以此文件为依据设计仪表飞行程序。近年来，我国按照国际民航组织的标准，在原有机场的飞行程序改革和新机场的飞行程序设计方面，均取得了显著的成就。今后，对飞行程序的设计，仍然必须严格按照 8168 号文件的各项规定，结合各个机场的具体情况，进行精心设计，并按照民用航空局颁发的《民用航空机场运行最低标准制定与实施准则》来确定机场的最低运行标准。

设计的仪表飞行程序在确保安全的前提下，还必须达到经济和简便的要求。程序设计人员需要根据机场实际条件顺应空中流量流向，采用优化的飞行程序模式，设计最佳飞行程序方案。设计的飞行程序要满足航空器性能要求和符合空域使用要求，减少飞行冲突的可能性，便于飞行驾驶员操作，便于提供空中交通服务，提高航空器运行的安全、正常和效率以及机场容量和使用效率。同时，设计的飞行程序要与城市总体规划相协调，有利于环境保护，降低噪声影响，减少燃油消耗以及有助于航行新技术应用的推进。

2. 程序设计需要考虑的因素

飞行程序设计和拟定运行最低标准时应当考虑下列因素。

- (1) 地形和障碍物特征及净空处理方案。
- (2) 机场设施、设备保障条件。
- (3) 航空器类别、性能和机载设备能力。
- (4) 起飞一发失效应急程序的需要。
- (5) 驾驶员的操作。
- (6) 空域状况。
- (7) 与相关航路、航线的衔接。
- (8) 空中交通服务方式。
- (9) 航空气象特点。
- (10) 环境影响、机场发展和城市规划。

3. 程序设计的要求

飞行程序的安全可靠性建立在机场资料的完备和可靠的基础上。因此，程序设计人员必须充分收集有关资料，参加实地勘察，必要时请测绘部门对某些障碍物进行测量，以取得准确可靠的数据。机场和有关的文件资料，也是飞行程序设计的基本依据。按照中国民航民用

机场仪表飞行程序设计的要求，依据任务性质，分别编写《民用机场飞行程序预先研究报告》《民用机场飞行程序方案研究报告》和《民用机场飞行程序初步/正式设计报告》，上报民航有关主管部门审核批准。

飞行程序设计是一项综合性比较强、技术要求比较高的严密细致的工作，要求设计者不仅具有高度的责任心、科学的态度和严谨的作风，而且应具备较高的基础理论知识水平，熟悉程序设计规范，懂得飞机性能和导航设施的技术性能以及制图等其他有关知识。因此，每个程序设计人员都应努力学习和实践，不断提高自己的素质，以适应工作的需要。

4. 地图要求

设计不同阶段的飞行程序时，选择合适比例尺的地图是必要的。

(1) 确定与航路有关的导航设施最初位置和计算最低扇区高度时，用 1：1 000 000 和 1：500 000 地图。

(2) 验证最低扇区高度，标绘标准进场航线、直角和反向区域、起始/中间航段保护区和复飞时，用 1：250 000 地图。

(3) 仔细检查直角和反向程序保护区或中间进近航段、最后进近航段以及复飞航段保护区时，用 1：100 000 和 1：50 000 地图。

(4) 检查 GLS、ILS 等的精密航段，准备碰撞风险模型(CRM)障碍物数据时，用 1：25 000 和 1：10 000 地图。

三、采用的坐标系

在程序设计中，为了说明障碍物与跑道之间的位置关系，主要采用极坐标系和直角坐标系。极坐标系以跑道中心为原点，磁经线为起始边，用磁方位 (MB)、距离 (D) 和障碍物标高 (A) 或障碍物高 (障碍物离机场标高的高度 h) 来表示，如图 1-3 所示。

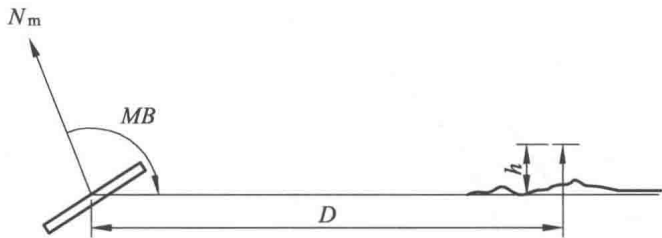


图 1-3 极坐标系

直角坐标系以跑道入口的中点为原点； x 轴与跑道中线延长线一致，跑道入口前 x 值为正值，入口后为负值； y 轴过原点与 x 轴相垂直，在进近航迹的右侧的 y 值为正值，左侧为负值； z 轴为过原点的竖轴，以入口标高为 0，高于入口平面时 z 值为正值，如图 1-4 所示。

测量部门提供的障碍物位置，通常以极坐标表示，而在程序设计中，为便于计算，常用直角坐标表示，如图 1-5 所示。极坐标可以通过下列公式换算为直角坐标。

$$x = -D \cos \alpha - \frac{L}{2}, \quad y = D \sin \alpha$$

式中， $\alpha = MB - MH$ ； D 为跑道中心至障碍物的距离； MH 为着陆跑道的磁方位； L 为跑道长度。

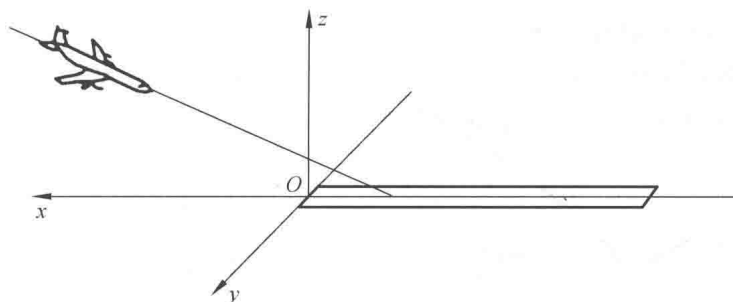


图 1-4 直角坐标系

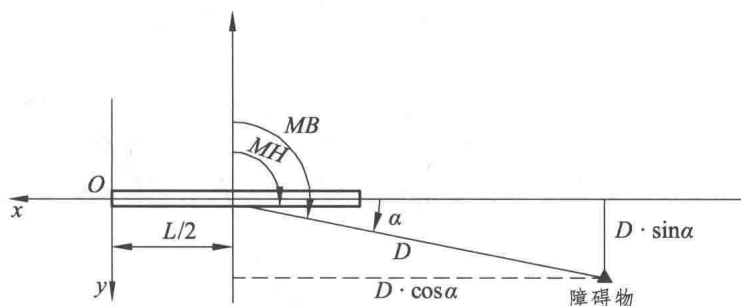


图 1-5 极坐标与直角坐标的换算

例 1.1 $MH=90^\circ$, $L=3\ 000\text{ m}$, $MB=120^\circ$, $D=5\ 000\text{ m}$, 求直角坐标 x , y 的值。

解：因 $\alpha = 120^\circ - 90^\circ = 30^\circ$ ，则

$$x = -5\ 000 \times \cos 30^\circ - \frac{3\ 000}{2} = -5\ 830\text{ (m)}$$

$$y = 5\ 000 \times \sin 30^\circ = 2\ 500\text{ (m)}$$

四、PBN 飞行程序设计过程

PBN 飞行程序在设计过程中使用的原则、设计参数、处理问题的思路及方法与传统飞行程序设计是一样的。但是与传统程序设计不同的是，在设计 PBN 飞行程序前程序设计人员需要根据国际民航组织 DOC9613 文件《基于性能导航（PBN）手册》的要求先确定导航需求，然后再确定可用的导航规范，具体做法如下。

（1）确定需求。

确定需求的具体步骤有① 制定空域概念；② 评估现有机队能力及可用的导航设施；③ 评估现有空中交通服务监视系统、通信设施和空中交通管理系统；④ 确定必要的导航性能及功能要求。

（2）确定用于实施的国际民航组织导航规范。

首先查阅国际民航组织导航规范，根据现有机队能力及可用的导航设施以及现有空中交通服务监视系统、通信设施和空中交通管理系统的情况，列出所有可能适用的 ICAO 导航规范。然后评估现有航空器机队和可用导航设施达到国际民航组织特定导航规范要求的能力，以及空中交通服务监视系统、通信设施和空中交通管理系统支持实施国际民航组织特定导航规范的能力。最后确认机载导航设备、导航设施、通信及监视系统满足的特定导航规范。