



# 第一章 PBN概念

中国民航飞行学院飞行技术学院

张光明 副教授

2009年12月29日

2009-12-29

1/46

CHINA CIVIL AVIATION FLIGHT COLLEGE

中国民航飞行学院



# PBN概念的发展

- **RNP**的出现，革新了民用航空的导航应用。
- 先后出现了如下缩写：
  - 欧洲：BRNAV / PRNAV
  - 美国：B类RNAV
  - RNP/RNAV 进近
  - RNP SAAAR（要求授权的特殊航空器和机组）
  - RNP4
  - 中东：RNP5
  - RNP0.3



# ICAO承诺

- 放弃“地区性RNAV”标准
- 重新讨论和定义：
  - RNAV
  - RNP



# ICAO PBN SORSG

- **ICAO PBN SORSG (Special Operations Requirements Study Group) —— ICAO PBN 专门运行要求研究小组)**
  - 整理RNAV和RNP的概念和术语
  - 自2007年3月起就可在网站上下载《PBN手册》
    - 包括两卷
    - 代替Doc 9613
  - 2007年4月27日，ICAO通过正式信函的形式解释了PBN概念以及包括两卷全部内容的PBN手册，并要求各国实施。
- **这一进程将阻止“地区性RNAV”标准的扩张**

2009-12-29

4/46





# ICAO推进PBN的目标

- 标准化
- 标准（或制定标准）的灵活性，以应对**规范化**的运行需要
- 全世界范围的标准协调性
- 官方正式公布标准



- 管理空域
- 提高航空器在山区的可达性
- 充分发挥航空器的优点
- 缩短航路



# PBN概念

- PBN是ICAO在整合各国RNAV和RNP运行实践和技术标准的基础上，提出的一种**新型运行**概念。
- PBN将航空器机载设备能力与卫星导航及其他先进技术相结合，涵盖了航路、终端区及进近**所有飞行阶段**，提供了更加精确、安全的运行方式。

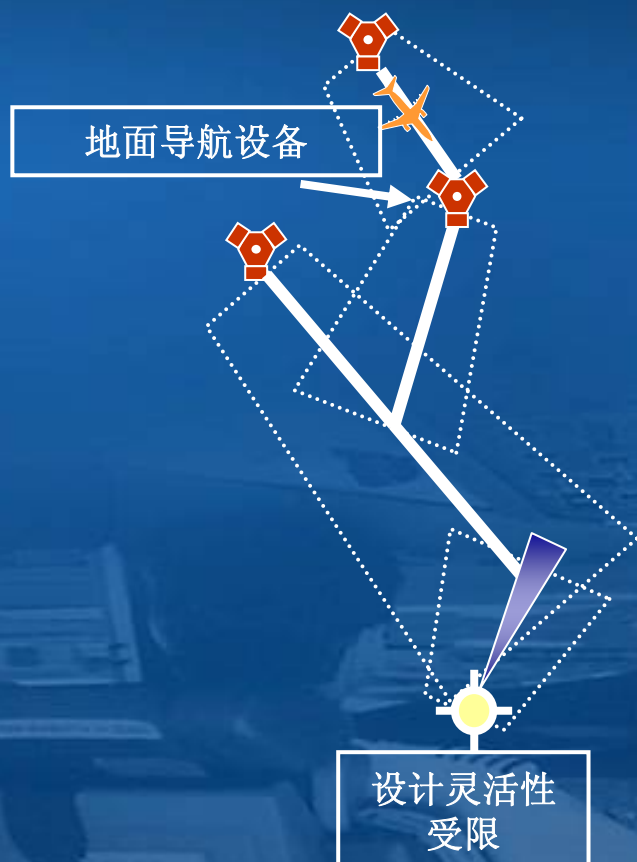


- PBN运行提出了在**指定空域**内运行的航空器的**导航性能**要求，这些导航性能要求包括精度、完好性、连续性、可用性和功能。
- PBN运行，代表了从基于传感器导航到**基于性能导航**的导航方式的转变。

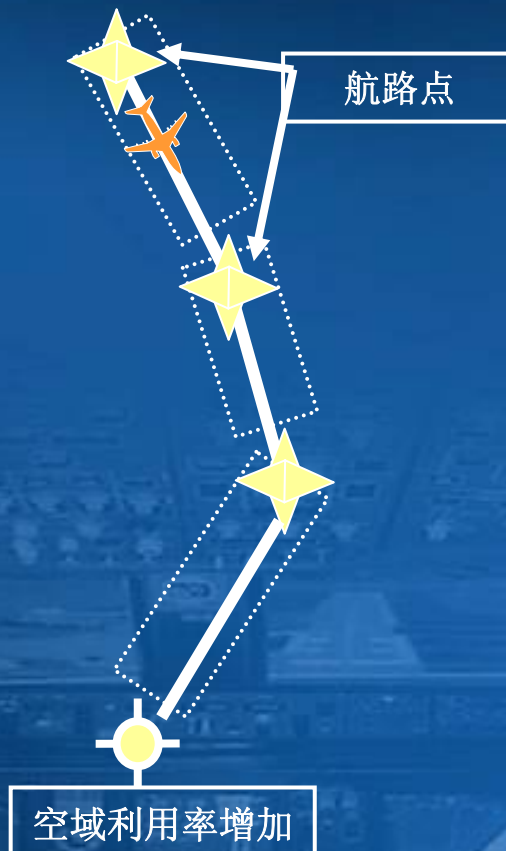




传统航路



RNAV



RNP



2009-12-29

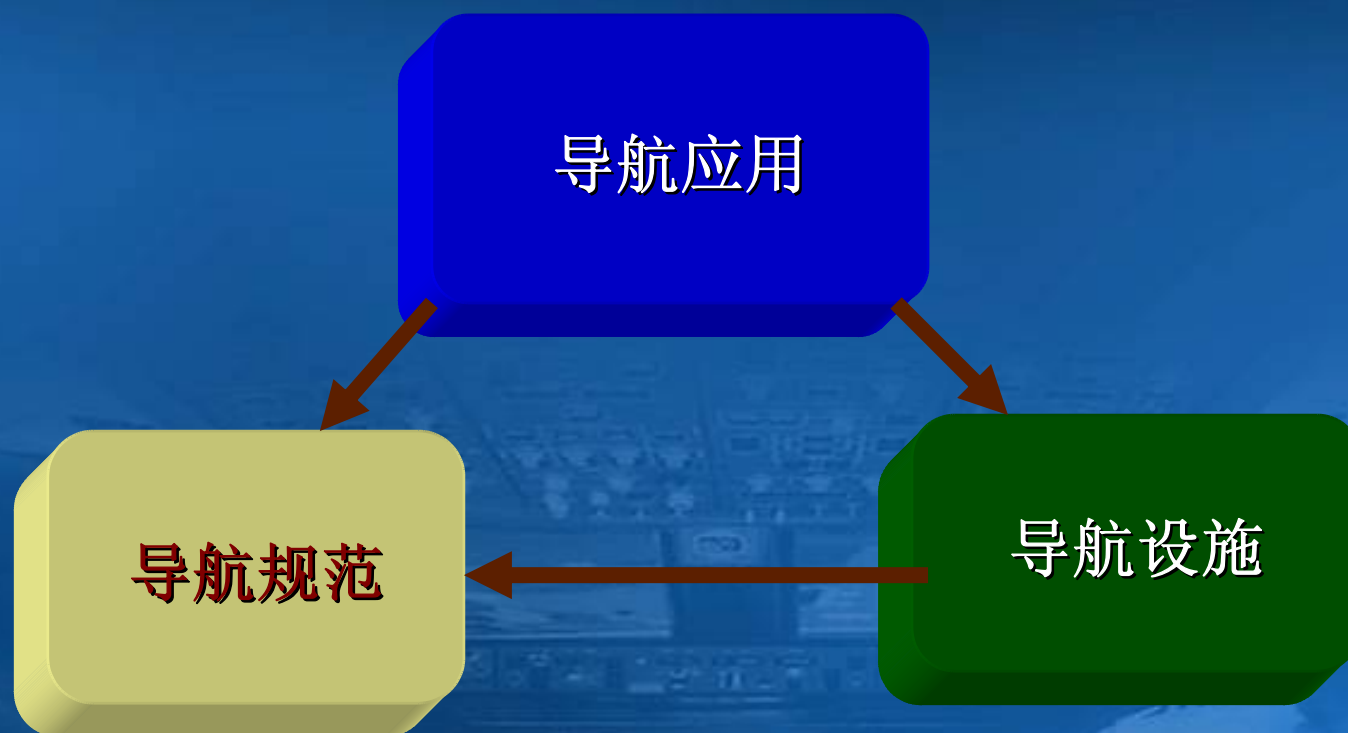
9/46

CHINA CIVIL AVIATION FLIGHT COLLEGE

中国民航飞行学院



# PBN概念的组成部分



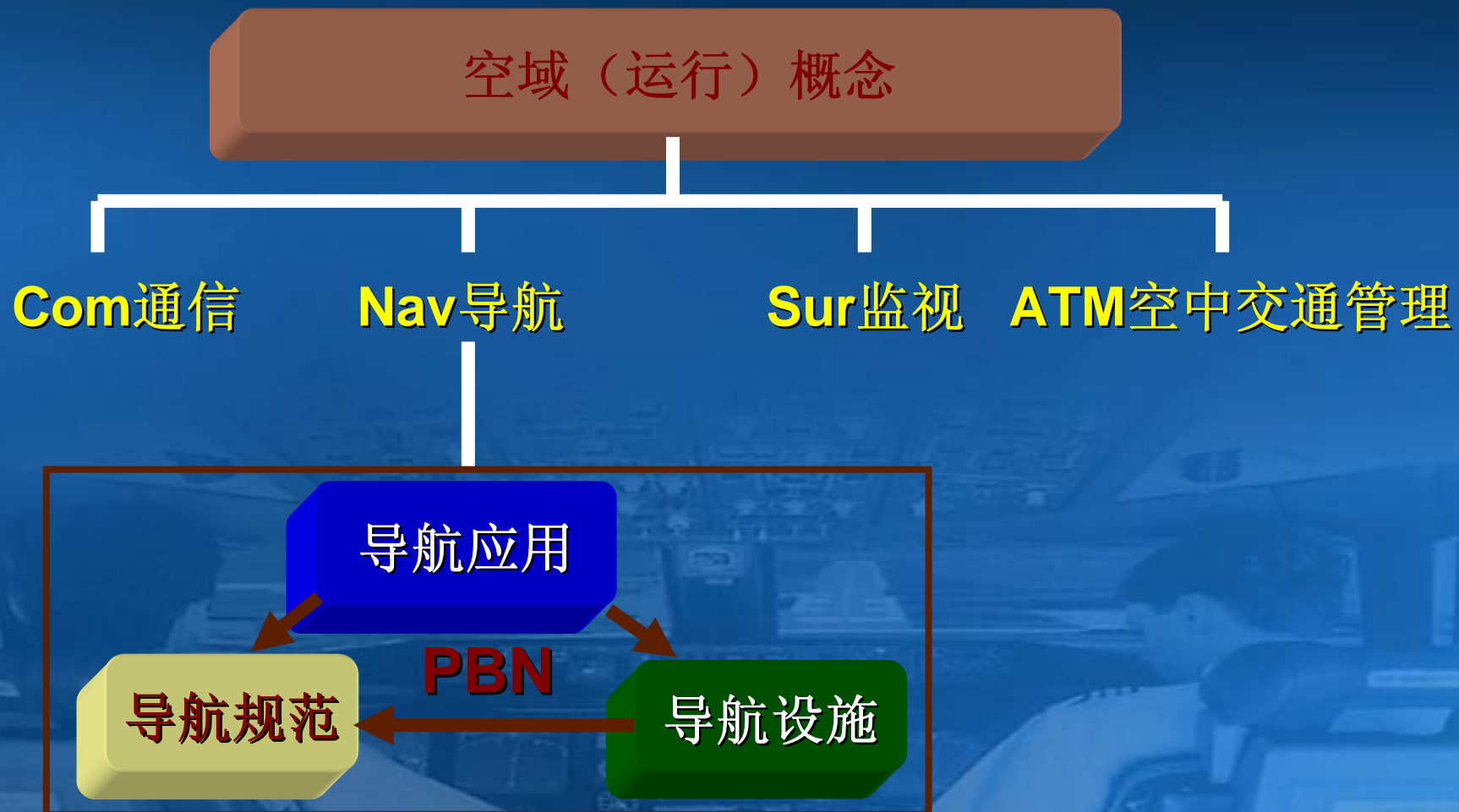


# 导航应用

- 导航应用是符合一定空域概念的航路、仪表进近程序和/或指定空域的流量的**导航规范**和相关的**导航设施**的应用。
- 终端区举例：
  - 导航规范：RNAV1（精度为1nm）
  - 导航设施：GNSS或DME/DME



# 空域概念







# 导航设施

- 导航设施涉及地基和卫星导航设施：
  - 地基导航设施包括：DME和VOR
  - 卫星导航设施包括：附件10定义的GNSS

参考：PBN手册第一卷第1.3节



# 导航规范

- **导航规范定义**

- 什么是RNAV系统的性能需求？
- 哪些是实现RNAV系统所需性能必须具备的功能？
  - 比如显示功能、航路段类型等
- 哪些是实现RNAV系统所需性能必须装载的导航传感器？
- 什么是实现RNAV系统所需性能必须的机组程序？



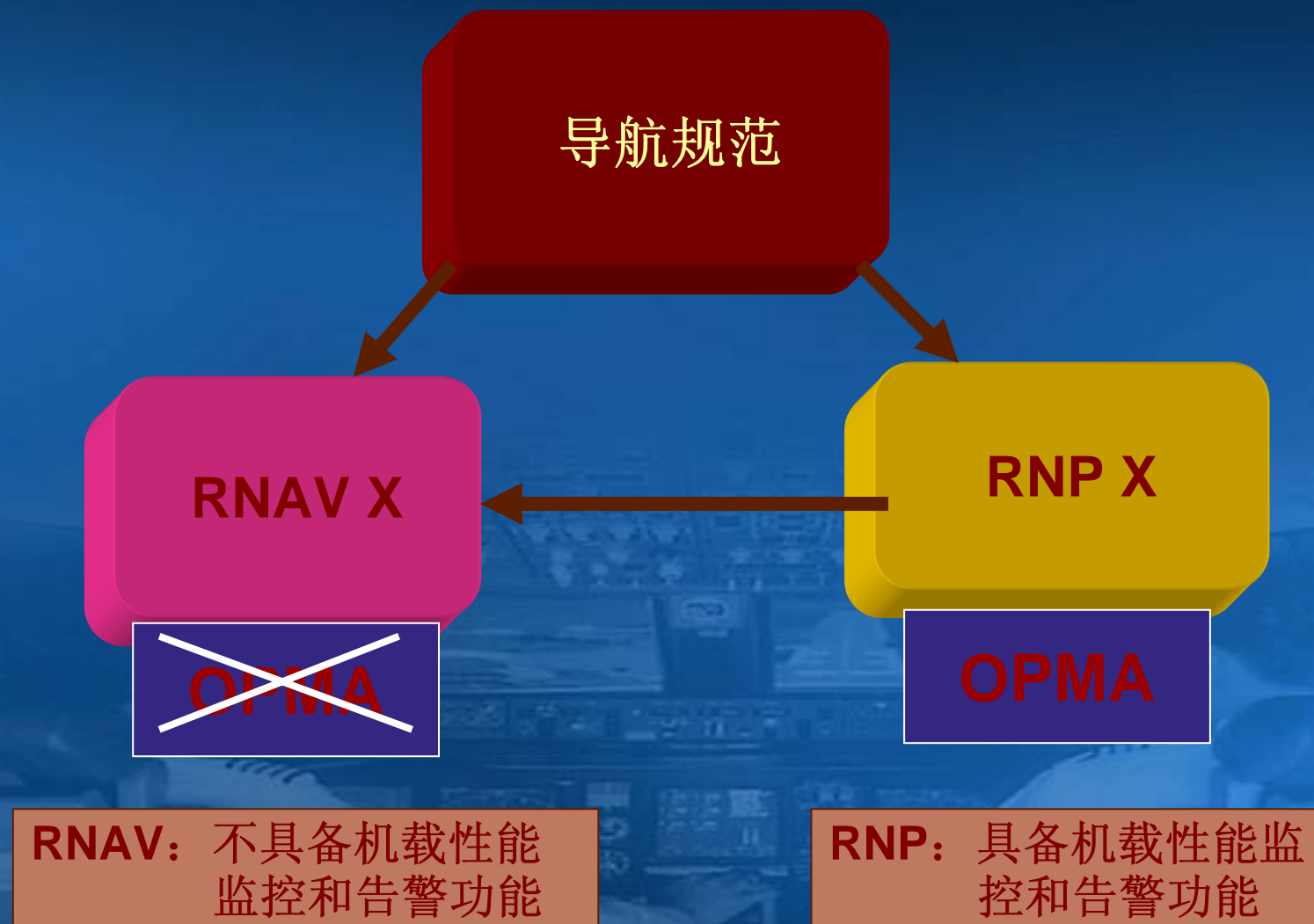
# 导航规范

- 导航规范应用于飞行全部阶段，包括从海洋航路到进近阶段。
- 存在两种类型的导航规范：
  - **RNAV**: 不具备机载性能监控和告警功能
  - **RNP**: 具备机载性能监控和告警功能（**OPMA**）

$$\text{RNP} = \text{RNAV} + \text{OPMA}$$



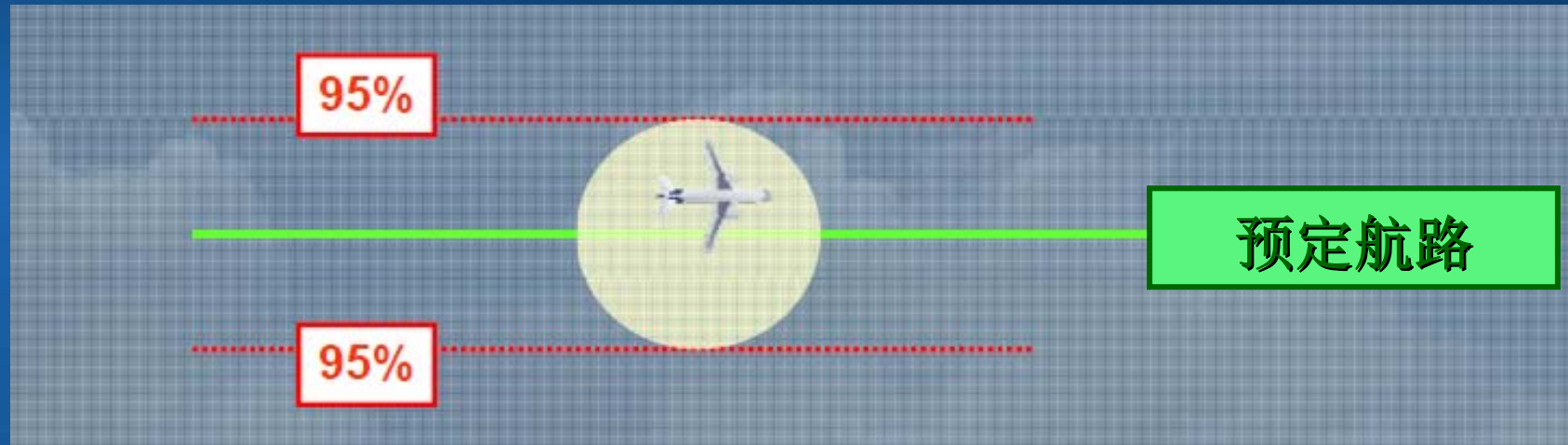
# PBN概念的组成部分







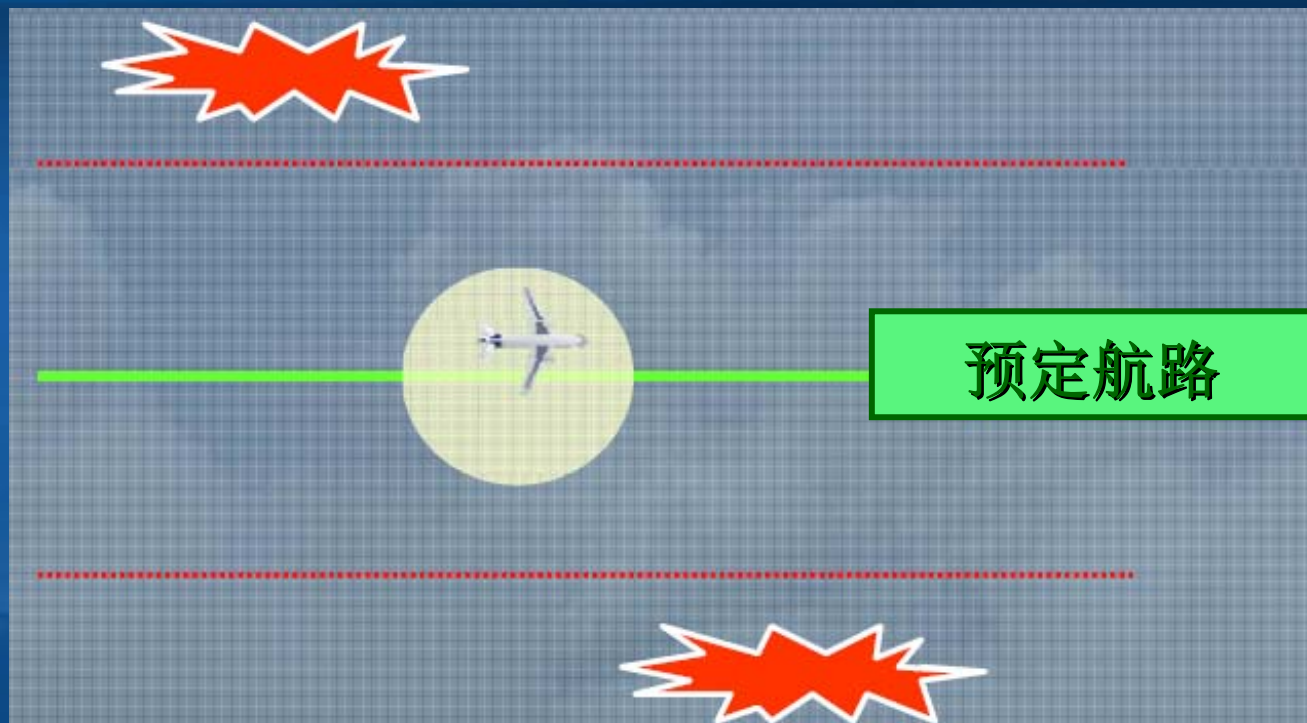
# RNP概念



~~包容度完好性~~

具备机载性能监控和告警功能

# 机载性能监控和告警功能OPMA



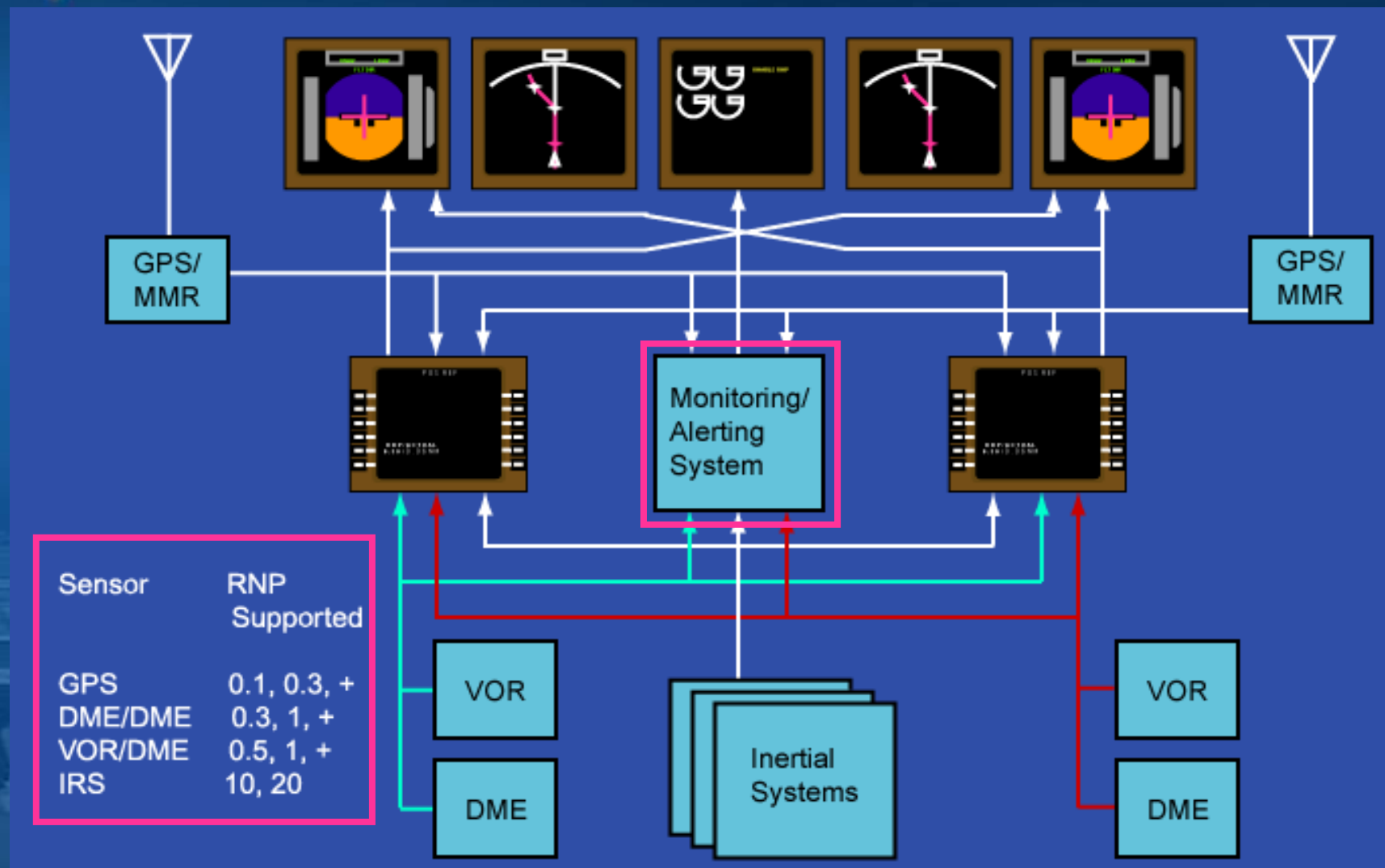
**OPMA**允许机组监控RNAV系统是否达到导航所需性能。

# 机载性能监控和告警功能OPMA

- OPMA功能在每一个RNP导航规范中均有明确定义。
- 检测所有误差，这些错误会影响航空器以任意路径、尽其能力飞行。
  - RNP导航规范提供了运行适合的系统总误差TSE。
    - TSE ≤ 95%的时间内所需导航精度
    - 每一架航空器的TSE超过规定TSE而没有告警的概率小于 $10^{-5}$



# 机载性能监控和告警功能OPMA



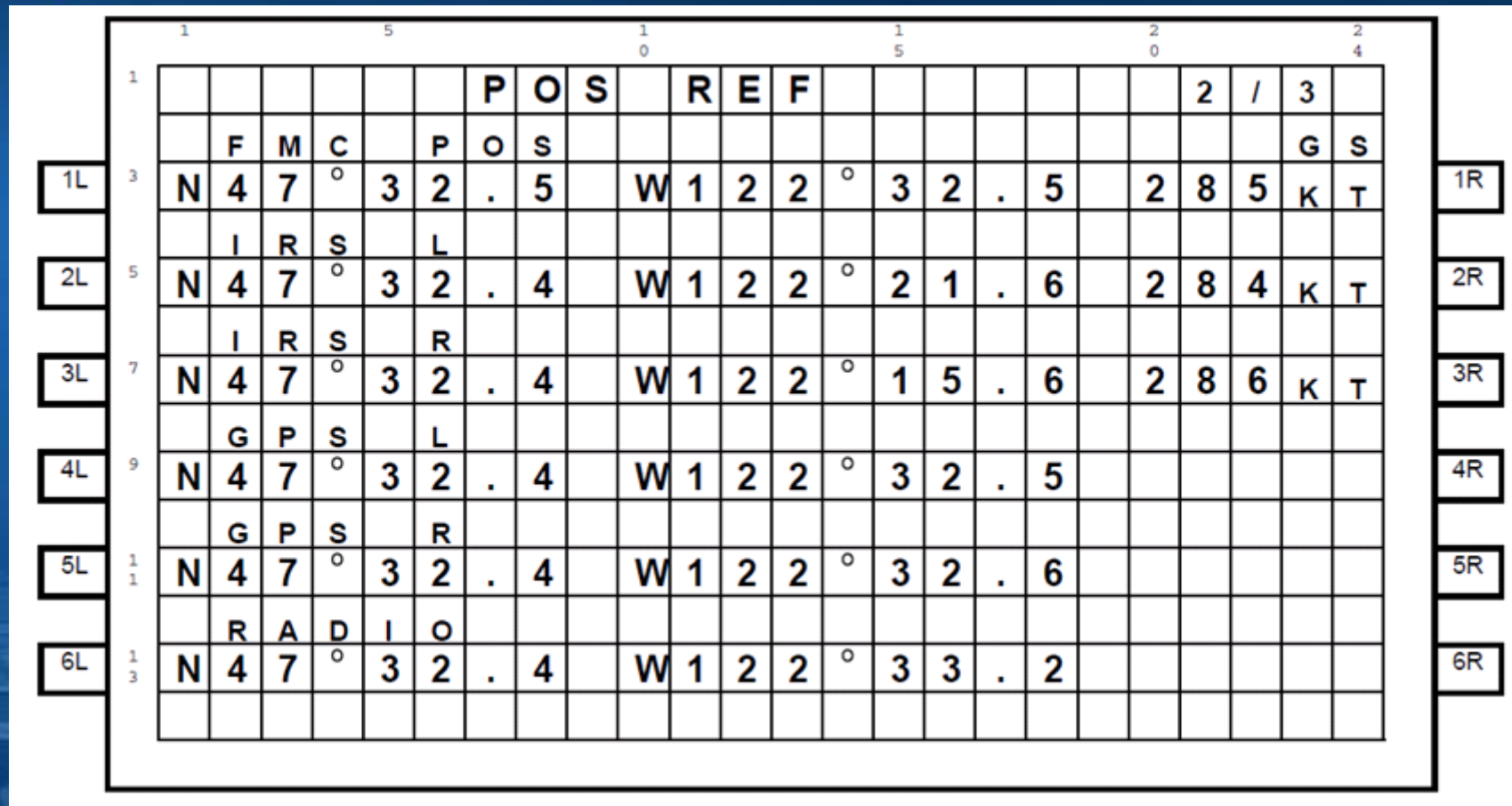
2009-12-29

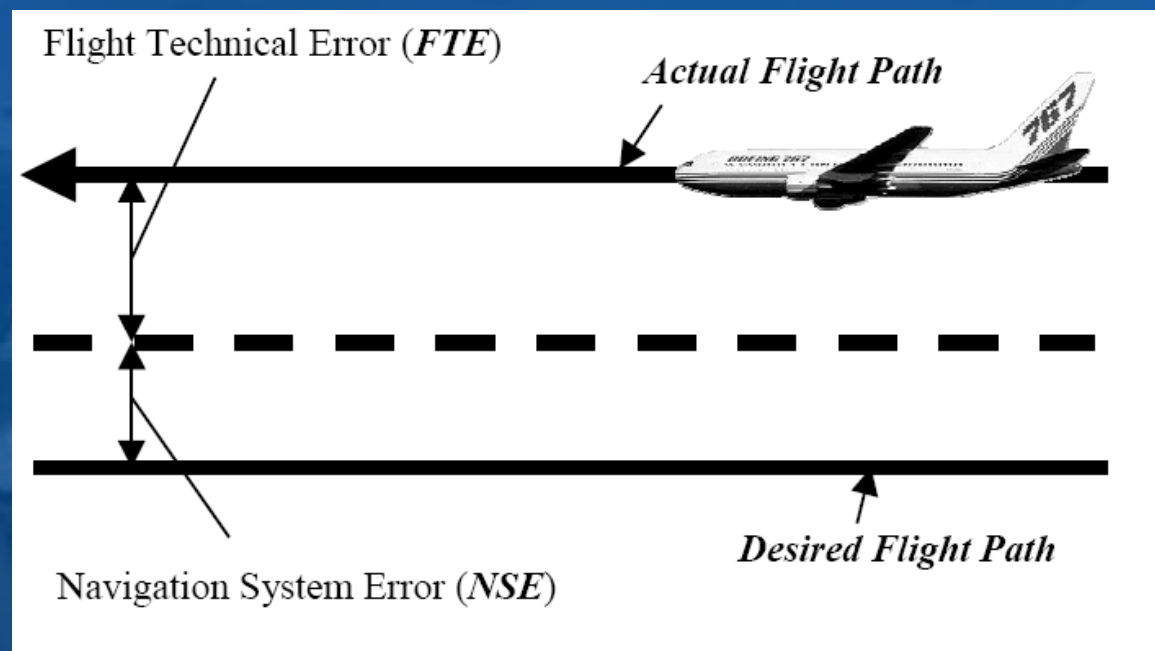
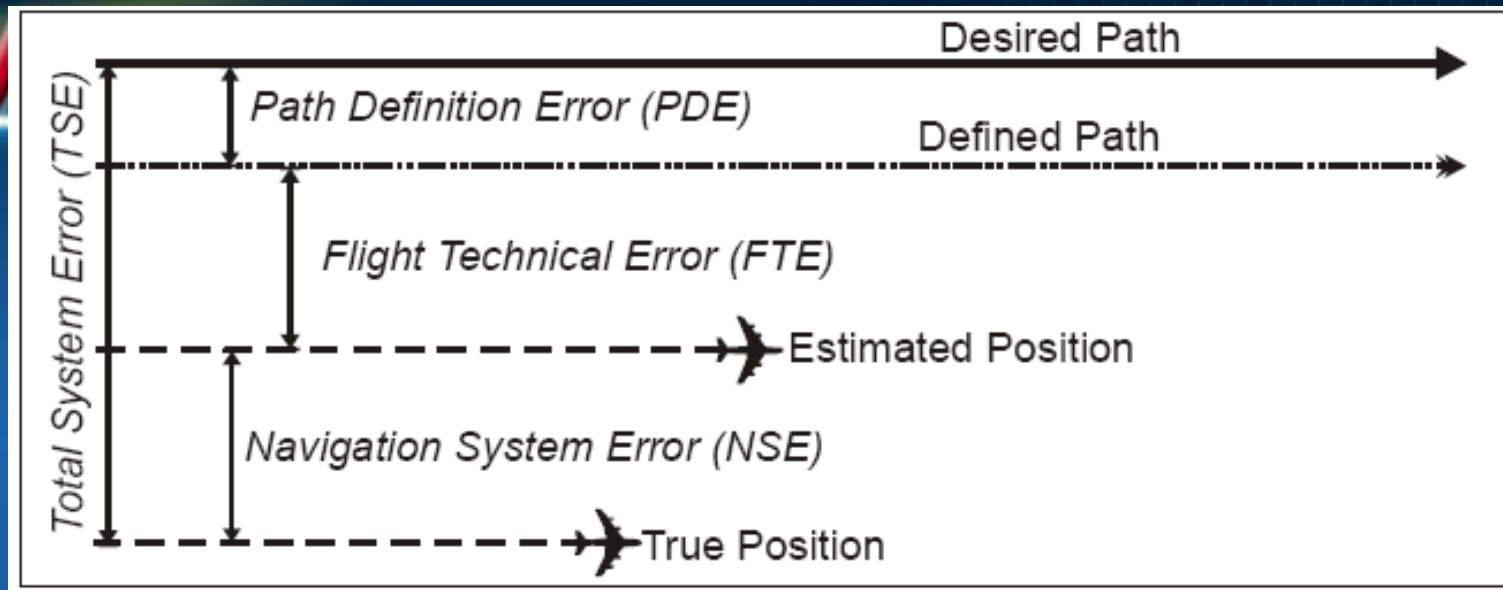
20/10



# 机载性能监控和告警功能OPMA

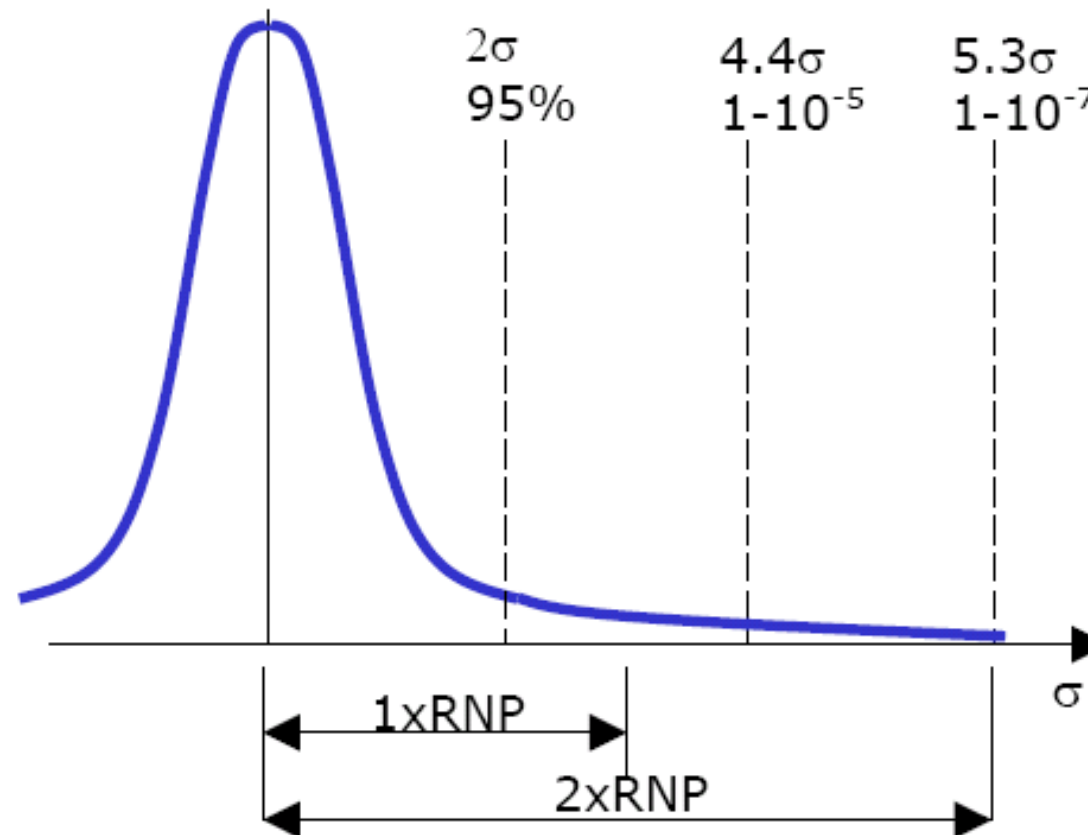
- 导航性能涉及**横向**、**纵向**、**垂直**导航性能，但机载监视和告警一般不考虑纵向。
- 用运行的**RNP**值来限制**TSE**，而**TSE**主要由**FTE**和**NSE**构成。
- 对**NSE**的监视和告警，波音飞机采用**ANP**值，而空客飞机采用**EPE**值。这两个概念算法上有差异，但是**本质**上差不多。
- 无论**ANP**还是**EPE**，都不是实际导航误差，只是利用**概率**的方式，来反映导航系统的导航性能。





2009-12-29

## TSE distribution in normal conditions



$$\text{TSE} = \sqrt{(\text{FTE})^2 + (\text{NSE})^2 + (\text{PDE})^2}$$

$$\text{TSE} = \sqrt{(\text{FTE})^2 + (\text{NSE})^2}$$





# FTE定义

飞行技术误差（FTE），是指在接通A/P时导致的航迹跟踪误差，或手操纵时飞行员保持航迹跟踪的误差。不包括由于误操纵导致的大误差。**FTE原则上不允许超过RNP值的一半。**

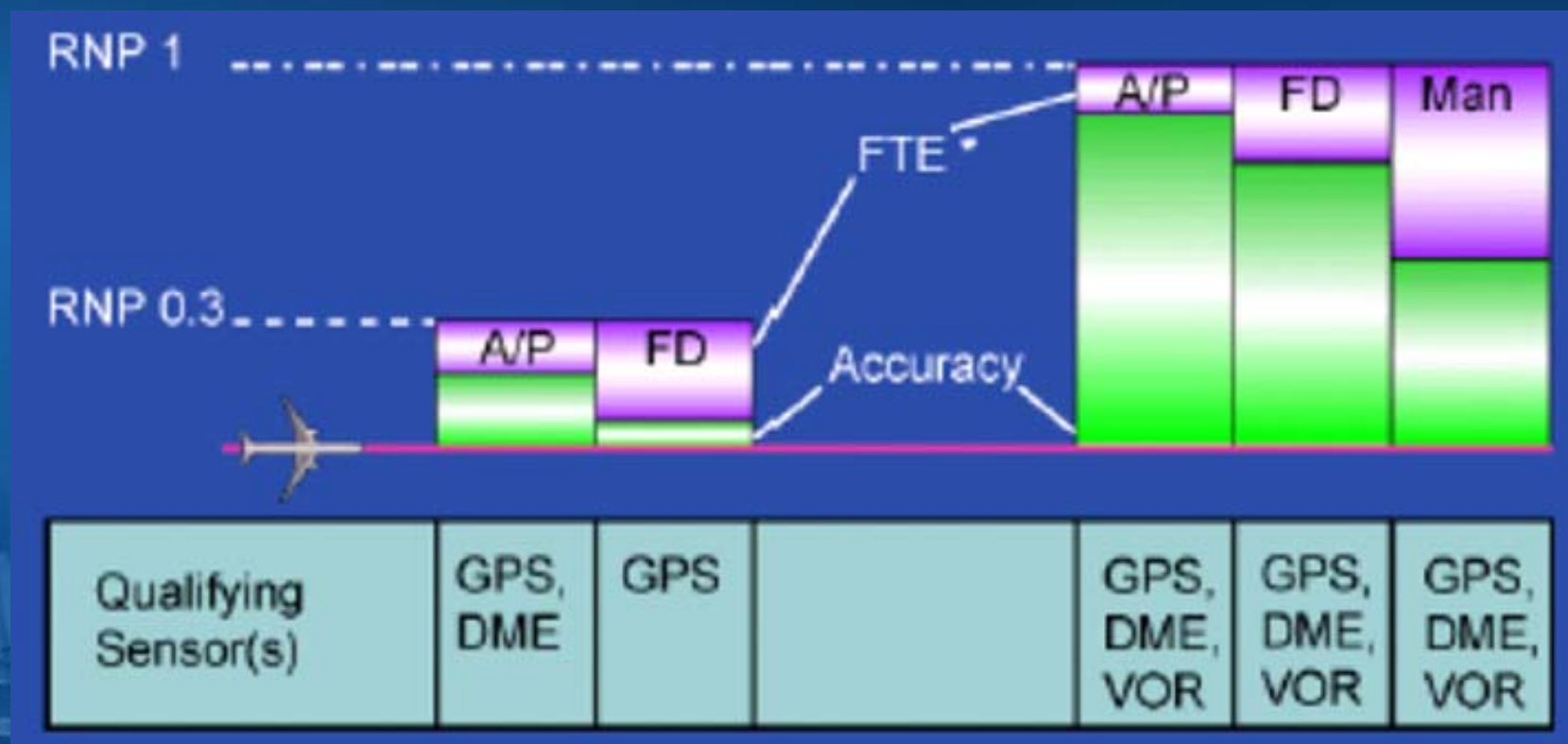
DO 208 extract:

FLIGHT PHASE	MANUAL (nmi)	COUPLED	
		FLIGHT DIRECTOR (nmi)	AUTOPILOT (nmi)
Oceanic	2.0	0.50	0.25
En Route	1.0	0.50	0.25
Terminal	1.0	0.50	0.25
Approach	0.5	0.25	0.125

FTE values  
used for  
certification



# FTE与RNP值的关系





# ANP定义

实际导航性能（**ANP**）是**RNP**运行中的重要概念，是基于**FMC**计算的当前位置、**FMC**计算出的**实际**导航系统误差，通常用**NM**表示。**FMC**计算的航空器位置，在**95%的概率**下落在以**ANP**值为半径的圆中。

如果适用**GPS**接收机作为导航传感器，**ANP**值主要包含以下误差项：

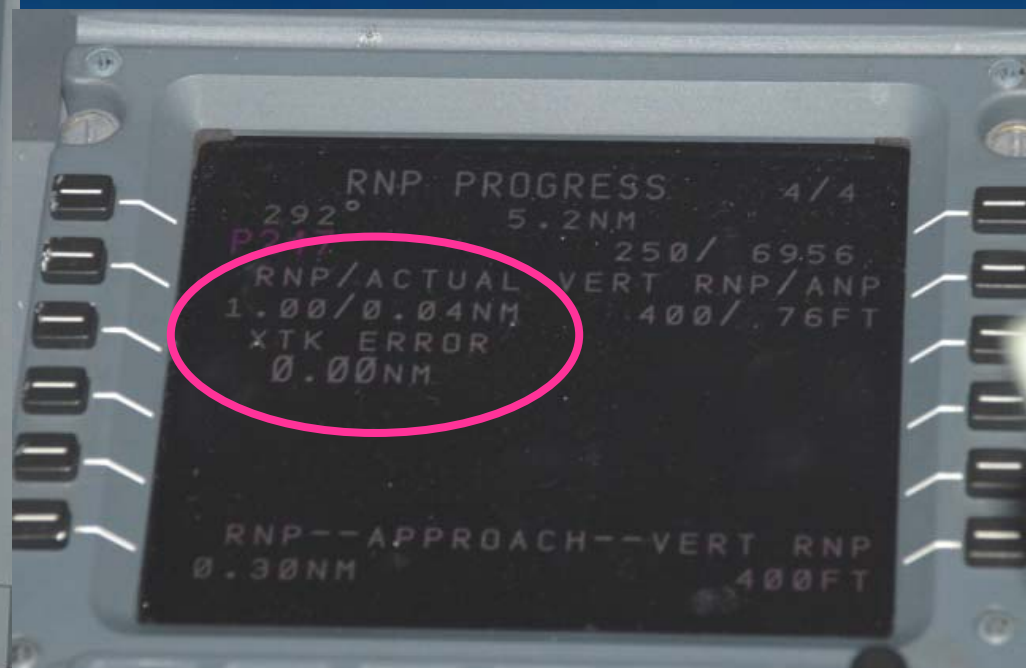
- GPS卫星星座布局引起的误差
- GPS卫星失效
- GPS卫星信号空间传播受到干扰



FMC计算的ANP值，不包含以下误差项：

- FMC或导航传感器的软硬件误差
- 飞行技术误差（FTE）
- 时钟引起的报告位置误差
- 导航数据库中航路点位置定义误差
- 本地数据与WGS-84坐标系之间的误差





2009年12月3日，在绵阳机场RNP程序试飞时，机载系统显示情况

2009-12-29

29/46

CHINA CIVIL AVIATION FLIGHT COLLEGE

中国民航飞行学院

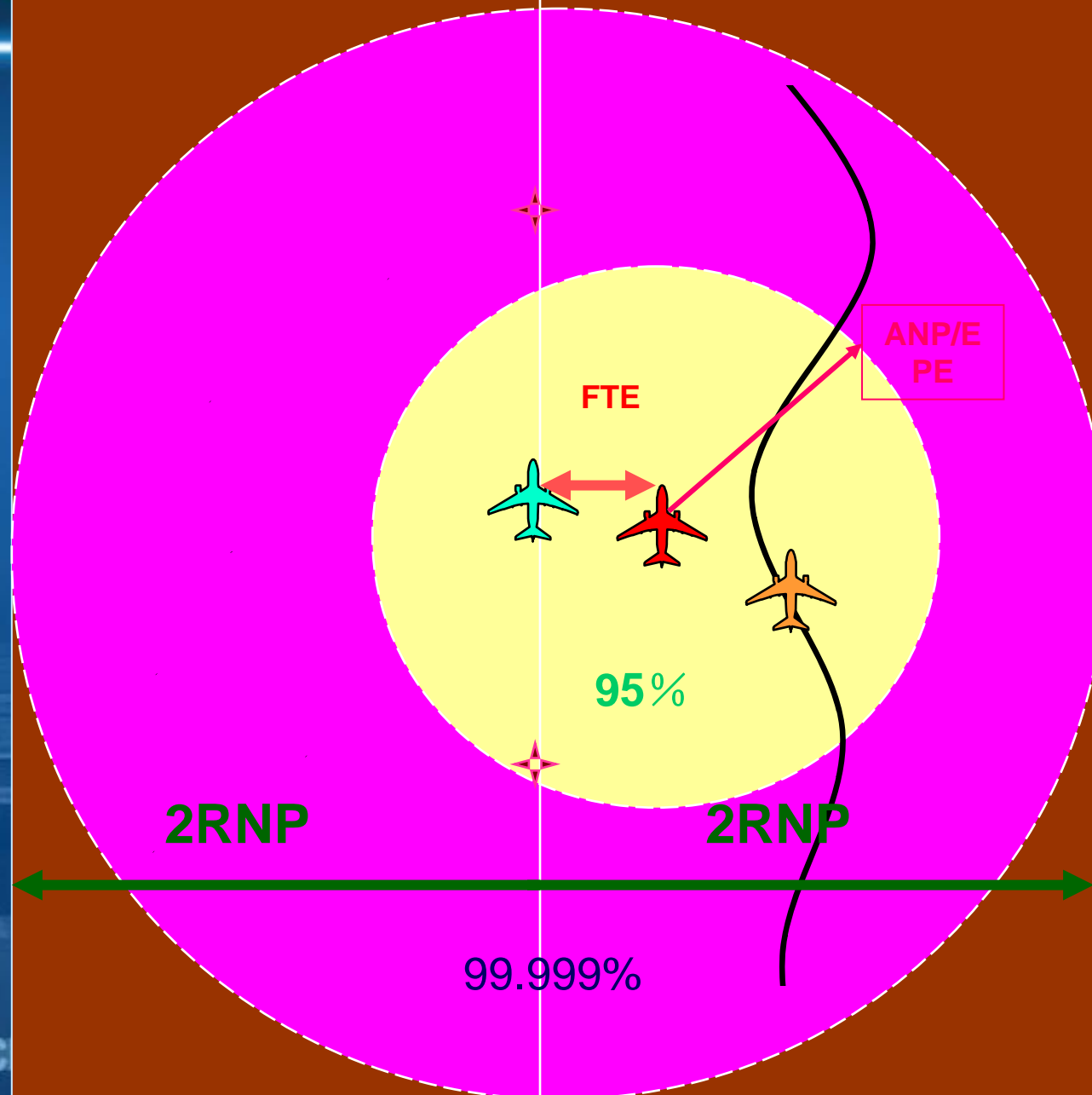


# GPS更新时的ANP

- GPS 更新时，ANP主要考虑以下误差源：
  - 卫星星座引入的位置误差（反映为水平完好性限制HIL（GPS））
  - 机载导航传感器引入的位置误差

FMC中的GPS位置完好性，由GPS接收机自主完好性监视（RAIM）提供。RAIM计算实际的保护区半径（HIL），它具有对GPS伪距的实际探测误差的功能。显示的ANP取决于未发现卫星失效时的最差情况，确保GPS误差被适当考虑。

# RNP 包容度(containment)



规定航迹



实际位置



FMC估计位置

一旦ANP/EPE超出  
RNP，系统就会告警

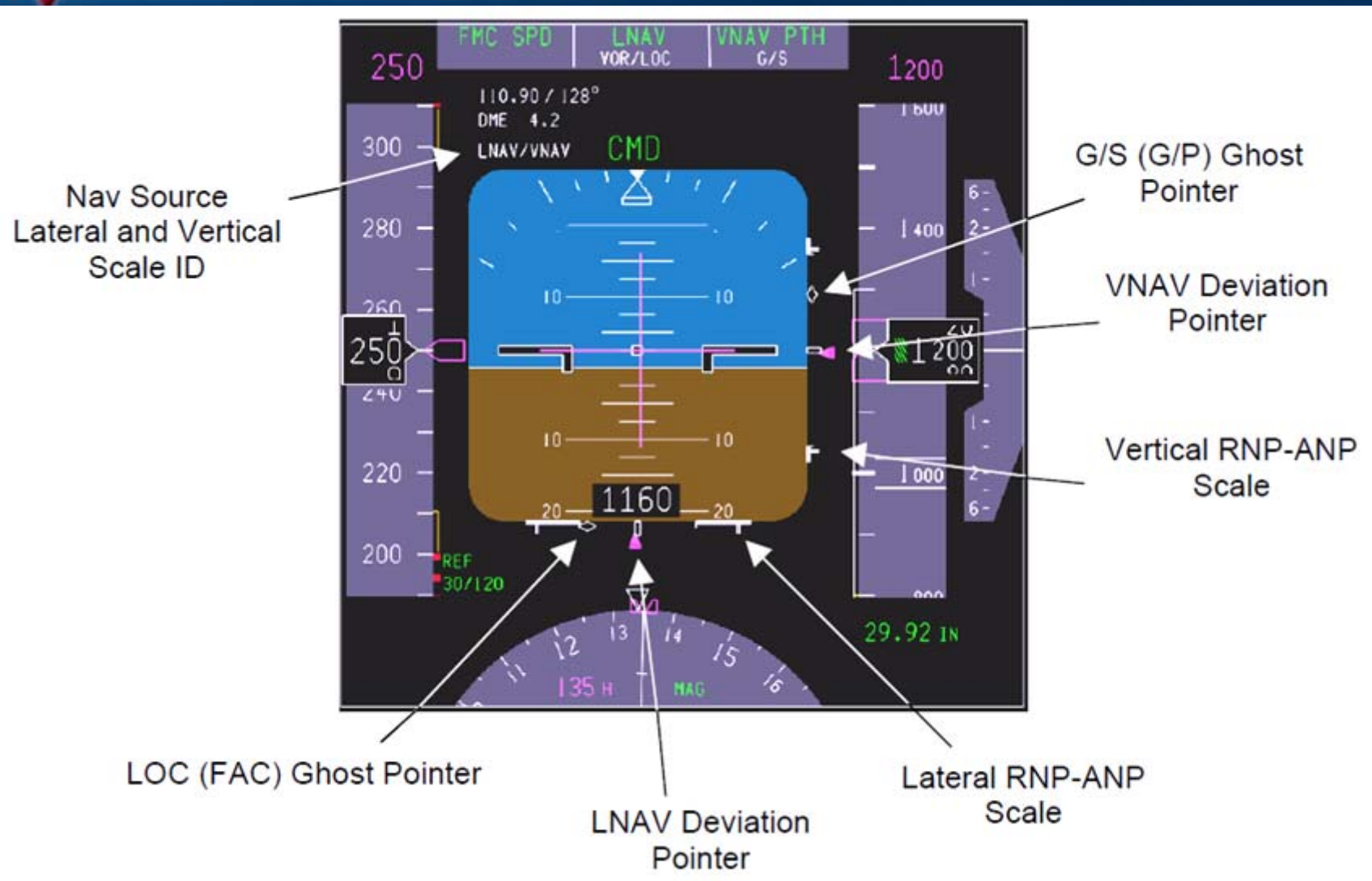


# FMS CUD页面

	1	5	10	15	20	24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
--	---	---	----	----	----	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

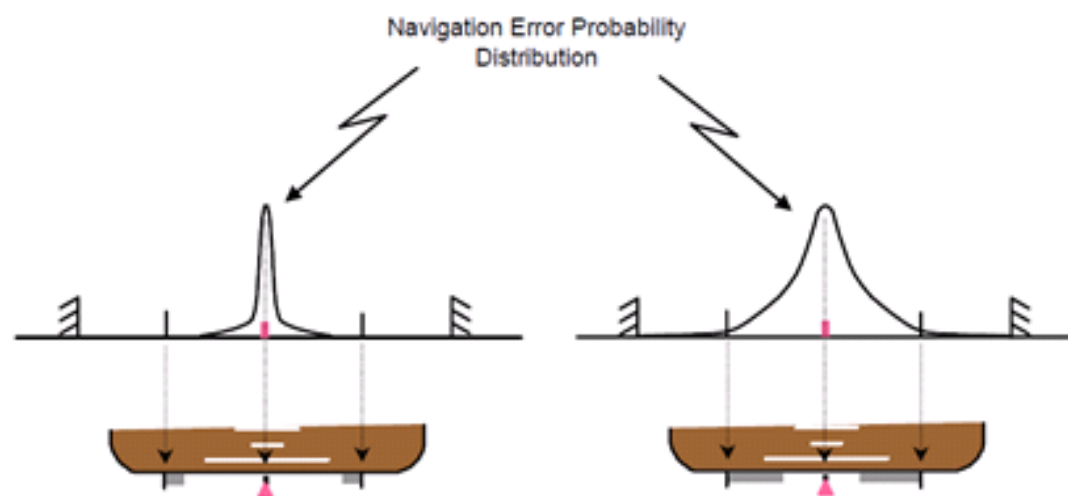
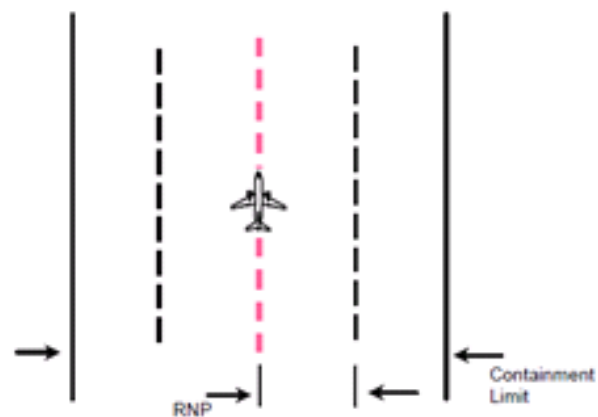


	1					R	N	P		P	R	O	G	R	E	S	S					4	/	4		
		2	8	6	°						6	.	1	N	M			G	P	3	.	0	°			
1L	3	F	F	2	8										1	5	0	/		2	9	0	0		1R	
		R	N	P	/	A	C	T	U	A	L		V	E	R	T		R	N	P	/	A	N	P		
2L	5	0	.	5	0	/	0	.	2	1	N	M				4	0	0	/		8	0	F	T	2R	
		X	T	K		E	R	R	O	R							V	E	R	T		D	E	V		
3L	7	L		0	.	0	6	N	M													4	5	H	I	3R
4L	9																									4R
5L	11																									5R
		R	N	P	-	-	A	P	P	R	O	A	C	H	-	-	V	E	R	T		R	N	P		
6L	13	0	.	5	0	N	M														4	0	0	F	T	6R



2009-12-29

34/40



Small Nav Error Distribution Deviation results in low ANP. Low ANP relative to RNP is indicated to aircrew by short length of ANP / RNP Bars.

Large Nav Error Distribution Deviation results in high ANP. High ANP relative to RNP is indicated to aircrew by increased length of ANP / RNP Bars.

2009-12-29

CHINA CIVIL

飛行學院



# EPE定义

- GPS/IRS组合导航模式下，要求：
  - $EPE < \text{要求精度 (RNP值)}$
  - $HIL_{GPS/IRS} < HAL$
- EPE是FMS计算的估计位置误差
- 如果RNP 0.1，则 $HAL = RNP = 0.1(95\%)$
- 如果RNP 0.1， $HAL = 2 \times RNP = 0.2$   
(99.999%)





$$EPE = \sqrt{(HFOM)^2 + (\delta_{\text{Schuler Bleed thru error}})^2 + (\Delta_{\text{latency}} \times GS)^2}$$

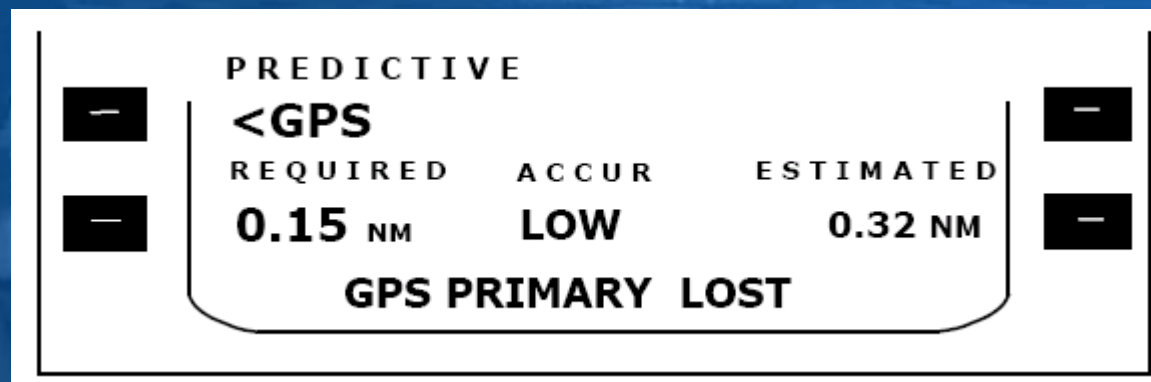
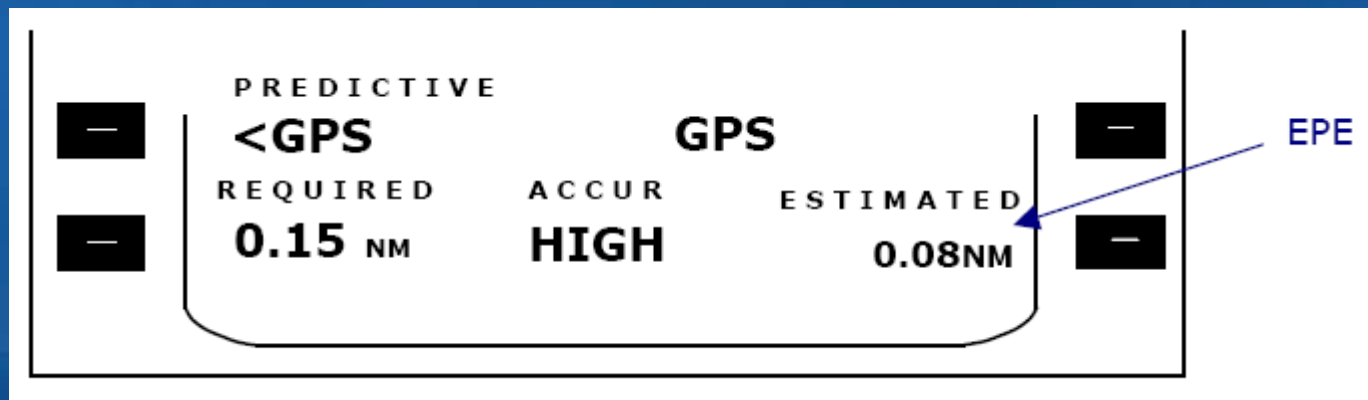
Horizontal Figure Of Merit (HFOM) is an output of the ADIRU hybridisation algorithm and is a  $2\sigma$  (or 95%) value of the position accuracy.

$\Delta_{\text{latency}}$  is the latency of the FMC = 0.74s

GS = Aircraft Ground Speed

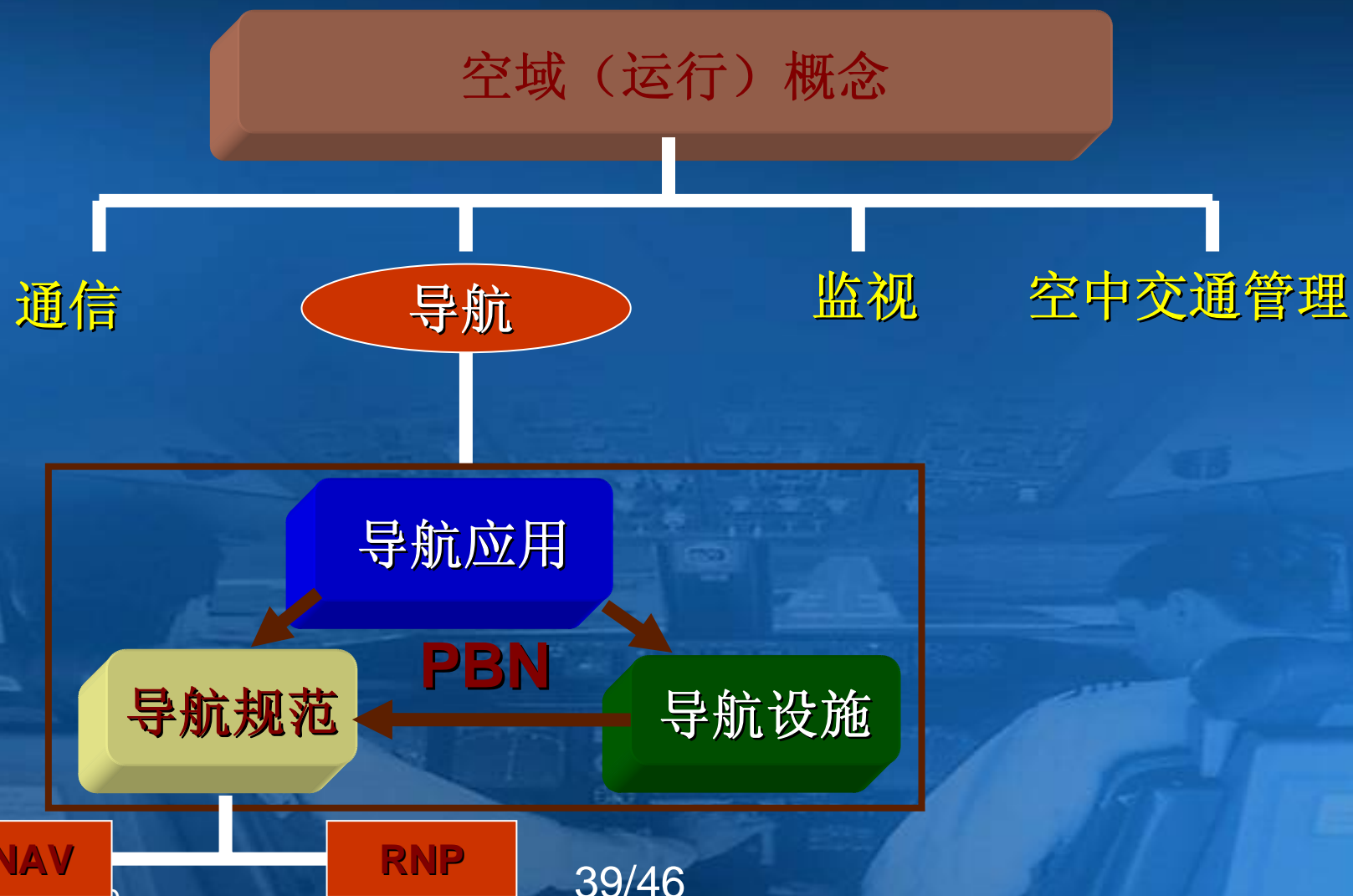
$\delta_{\text{Schuler Bleed thru error}}$  = 15.511 m or 0.00837 Nm

	<i>EPE&lt;Required ACCUR</i>	<i>EPE&gt;Required ACCUR</i>
$HIL_{GPIRS} < HAL$	<b>GPS PRIMARY</b> Accuracy "HIGH" NAV Mode: 3IRS/GPS	<b>GPS PRIMARY LOST</b> Accuracy "LOW" NAV Mode: 3 IRS/GPS
$HIL_{GPIRS} > HAL$	<b>GPS PRIMARY LOST</b> Accuracy "HIGH" NAV Mode: 3IRS/DME-DME or 3IRS/VOR-DME or 3IRS => depending on radio accuracy	<b>GPS PRIMARY LOST</b> Accuracy "LOW" NAV Mode: 3IRS/DME-DME or 3IRS/VOR-DME or 3IRS => depending on radio availability





# ICAO全球空域概念



2009-12-29

39/46

# ICAO导航规范和PBN执行目标

应用区域	导航规范		执行目标
	RNAV	RNP	
海洋	RNAV 10	RNP 4	2009年完成执行规划
航路/陆地	RNAV 5		
	RNAV 2		
	RNAV 1		
终端区	RNAV 2	BASIC RNP 1	
	RNAV 1		
进近		RNP APCH	2016年APV要应用于所有跑道
		RNP AR APCH	





# ICAO文件的可用性

- **2007年ICAO公布2本手册**
  - PBN手册（Doc 9613）
  - RNP AR程序设计手册（Doc 9905），执行**机组和运行需授权**的进近程序。不久后，手册又包含了离场程序。



# PBN手册的内容

- **第一卷：RNAV和RNP应用**
  - A部分：PBN概念
  - B部分：实施指南
    - 第3章：实施支持空域概念的导航规范
- **第二卷：导航规范**
  - B部分：RNAV实施程序
    - 实施RNAV10, RNAV5, RNAV2和RNAV1
  - C部分：RNP实施程序
    - 实施RNP4, Basic RNP, RNP APCH, Baro-VNAV



# PBN手册设计程序

- 执行和设计**RNAVx**或**RNPx**，程序设计者可以使用以下两个文件：
  - ICAO Doc 8168
  - PBN手册
- 这两个文件具有互补功能
  - Doc 8168提供保护区设计标准
  - PBN提供执行程序类型所需的性能和功能
    - **RNP APCH**意味着
      - RNP1用于中间进近（含）之前的航段及复飞航段
      - RNP0.3用于最后进近航段



# 标准比较

RNP APCH	RNP AR
最后进近阶段半宽为 <b>1.45nm</b> 到 <b>0.95nm</b>	最后进近阶段半宽为 <b>0.6nm</b> ( <b>2倍RNP</b> )
最后进近阶段 <b>RNP<math>\geq 0.3nm</math></b>	<b>RNP<math>&lt; 0.3nm</math></b>
运行 <b>RNAV1</b> 的 <b>FAF</b> 之前可选用 <b>RF</b> 航段	所有阶段都不可用 <b>RF</b> 航段
可选用 <b>VNAV</b>	必需使用 <b>VNAV</b>
中间进近阶段可选用横向引导	中间进近阶段必需使用横向引导





# 总结

- **PBN概念和执行RNP程序应该**
  - 所需性能的最优化应用
  - 协调执行
- **但是数据上要求很高**
  - 准确和可靠的数据
  - 航空学、地形学、测量学
- **适当有效地训练**
  - 飞行员
  - 空管人员
  - 程序设计人员

2009-12-29

45/46

CHINA CIVIL AVIATION FLIGHT COLLEGE

中国民航飞行学院



# 谢谢!

2009-12-29

46/46

CHINA CIVIL AVIATION FLIGHT COLLEGE

中國民航飛行學院