

咨询通告

编 号：AC-91-FS-2018-036

下发日期：2018年2月6日

编制部门：FS

批准人：胡振江

小型航空器实施非传统仪表飞行的运行要求

1. 目的

通用航空有大量小型航空器，并且多为目视飞行，存在少量仪表飞行活动，随着飞行活动的大幅增加，综合考虑气象变化因素，仪表飞行比例将逐步提升。而传统的仪表飞行，是依靠NDB、VOR或ILS等传感器和指针实现导航，对地面设备要求较高，无法实现全空域仪表运行。随着新的航行技术发展，基于卫星等导航源的导航方式，正在快速普及，它可提供直观精确的“地图导航”方式，有效增强驾驶员的航空器位置情景意识，减轻驾驶员负担，实现全空域仪表导航，有效提升通航安全水平。

本咨询通告明确了小型航空器实施非传统仪表飞行的训练和运行要求。

2. 适用范围

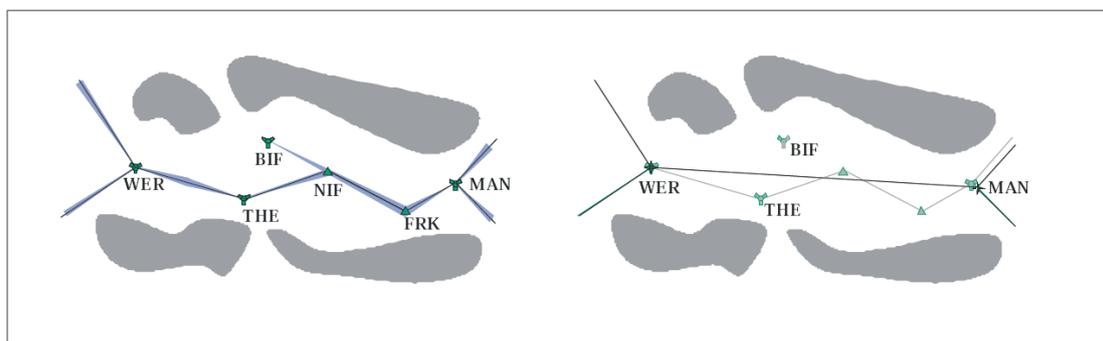
本咨询通告适用于小型航空器实施仪表飞行。小型航空器指审定的最大起飞全重小于5700千克的飞机，审定的最大起飞全重小于3180千克的直升机以及运动类航空器。对于小型航空器实施非传统仪表飞行，仅需遵循本咨询通告的相关规定。

3. 参考资料

- a. 《基于性能导航(PBN)运行审批手册》（ICAO Doc 9997）
- b. 《基于性能导航(PBN)手册》（ICAO Doc 9613）

4. 概述

4.1 非传统导航，即目前国际民航组织积极推行并在发展中的“PBN（基于性能导航）”。它体现了由基于传感器导航向基于性能导航的转变。根据在特定运行或空域所要求达到的精确性、完好性、可用性、连续性以及相应功能来确定航空器的系统性能要求。



从传统导航到基于性能导航的方式转变

4.2 基于性能导航包含两类基本导航规范：区域导航（RNAV）和所需导航性能（RNP）。基于性能导航将RNAV和RNP等一系列不同的导航技术应用归纳到一起，涵盖了从航路、终端区到进近着陆的所有飞行阶段。

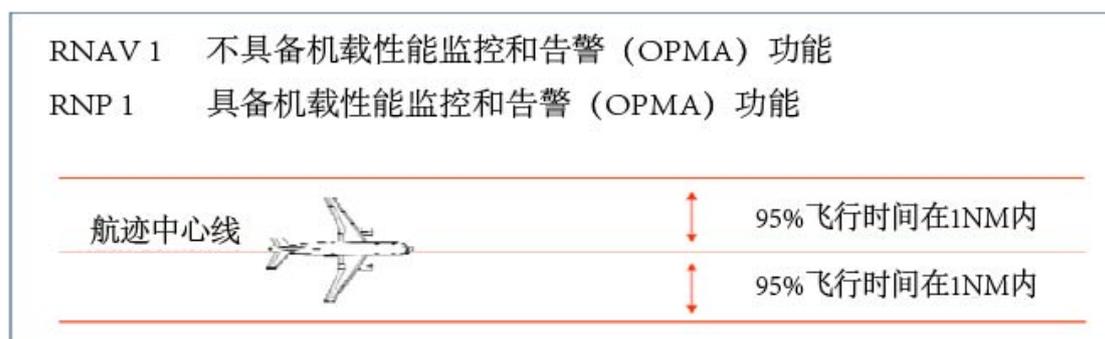
表1 飞行阶段导航规范的应用

导航规范	飞行阶段							
	航路 海洋/偏 远陆地	航路 陆地	进场	进近				离场
				起始	中间	最后	复飞	
RNAV10	10							
RNAV5		5	5					
RNAV2		2	2					2
RNAV1		1	1	1	1		1	1
RNP4	4							
基本 RNP1			1	1	1		1	1
高级 RNP	2	2/1	1	1	1	0.3	1	1
RNP APCH				1	1	0.3	1	
RNPAR APCH				1-0.1	1-0.1	0.3-0.1	1-0.1	
RNP 0.3*		0.3	0.3	0.3	0.3		0.3	0.3

*RNP 0.3为直升机运行所用

4.3 RNAV和RNP后面所跟的数字代表导航精度值，例如RNP1导航规范，要求在95%的飞行时间内，航空器位置必须满足标称航迹位置左右前后1海里以内的精度值要求。

4.4 RNP导航规范要求航空器具有机载性能监控和告警功能（OPMA），RNAV则不要求具备。



RNAV1 与 RNP1 主要区别

4.5 RNAV需要在雷达及其他监视环境下运行，具有局域特征，而RNP不要求雷达及其他监视，具有广域特征。RNAV运行的航空器应装有应答机设备，无应答机设备航空器只能运行RNP。

4.6 部分导航规范下飞机通信导航监视能力的要求。

表2 部分导航规范下通信导航监视能力

ICAO 导航规范	主用导航源	地面导航设施	通信	监视
RNP4	GNSS	不适用	语音（或CPDLC）/ADS-C（用于支持30NM×30NM间隔）	无雷达监视要求
RNAV1/2	GNSS, DME/DME, INS/IRS	DME	语音	雷达
基本 RNP1	GNSS	不适用	语音	无雷达监视要求
RNP APCH	GNSS	VOR, DME, NDB（仅可用于复飞）	语音	无雷达监视要求
RNP AR APCH	GNSS	不适用	语音	无雷达监视要求

4.7 考虑本咨询通告适用对象的实际运行需求，本咨询通告所述导航规范限于与飞行阶段相对应的RNAV1/2、RNP4、基本RNP1和RNP APCH等导航规范。用于直升机运行的RNP 0.3导航规范待制定。RNP AR参照AC-91FS-05（要求授权的特殊航空器和机组（SAAAR）实施公共所需导航性能（RNP）程序的适航和运行批准准则）。

4.8 GNSS导航源可为满足性能要求的北斗、GLONASS、GPS等

星基导航源。

4.9 基于性能导航的程序数据应基于WGS-84坐标系统，满足ICAO附件15《航行情报服务》的要求。

5. 航空器要求

5.1 可接受的机载设备符合性方法

如果在下述证书或文件之一中有明确说明，则可认定为此航空器满足特定的基于性能导航应用要求：

- a. 型号合格证(TC)；或
- b. 补充型号合格证(STC)；或
- c. 相关文件—航空器飞行手册或等效文件；或
- d. 得到设计国批准，并且得到注册国或运营人所在国（如果两者不同的话）认可的制造商的符合性声明。

5.2 通过航空器加改装PBN运行所要求的航电设备或系统，由STC或MDA(重要改装设计批准书)持有人提供PBN符合说明，或由航电设备制造商提供PBN符合说明，则无需在《航空器飞行手册》(AFM)中进行说明。

5.3 若无5.1所述证书或文件，运营人应证明航空器满足相应系统要求。本通告所涉及导航规范的航空器系统要求参见附件一。

5.4 自动驾驶仪并不是基于性能导航的必需设备。

5.5 飞行管理系统并不是基于性能导航的必需设备。RNP

APCH有两类系统，为独立系统和飞行管理系统。独立系统一般由控制装置、侧向偏离指示器、信号器面板（和地图显示）的全球导航卫星系统接收器组成。飞行管理系统分为飞行管理系统侧向导航系统和飞行管理系统侧向导航/垂直导航系统。小型航空器通常装备的是独立系统，如GARMIN1000。

6. 运行程序

6.1 总则

- a. 制定的标准运行程序（SOPs）必须涵盖基于性能导航运行中所使用各系统的正常和非正常（偶发事件）程序。
- b. 通用航空驾驶员必须确保持有由制造商提供、涵盖所有这些方面的适当程序/检查单。
- c. 标准运行程序必须在通用航空运营人的运行手册（OM）中体现。对于无运行手册要求的通用航空运营人，仍须将基于性能导航运行程序形成文件。
- d. 基于全球导航卫星系统运行建议对接收机自主完好性监视的故障探测（FD）或故障探测与排除（FDE）的可用性进行预测。
- e. 标准运行程序必须包括：飞行前的计划要求、开始运行之前拟采取的行动、运行期间拟采取的行动、不同飞行阶段的导航规范程序、飞行后程序和应急事件中拟采取的行动。

6.2 飞行前的计划要求：

- a. 飞行计划应包括飞行期间预期运行的基于性能导航的能力说明。
- b. 机载导航数据库必须是准确有效的，并且必须包含适用的程序、航路、航路点和导航设备。
- c. 必须检查适当的导航设备是否可用，该检查包括所需导航性能或接收机自主完好性监视预测，并必须关注相关的航行通告。

6.3 开始运行之前：

- a. 必须根据航图检查加载的程序。
- b. 必须确认选择正确的传感器，如果有要求，必须确认完成了导航设备的抑制。
- c. 必须确认选择了适当的所需导航性能值，确认导航性能适合该程序。
- d. 必须核查应急程序。

6.4 运行期间：

- a. 必须遵循制造商的操作说明/程序。
- b. 必须已经选择了适当的显示。
- c. 侧向和垂直偏离不得超过规定值。
- d. 必须遵守高度和速度限制。
- e. 如果出现完好性报警、导航显示标识为“无效”或者如果丧失完好性报警功能，必须终止该程序。

6.5 航路——RNP 4

a. 某些额外的规定按需增加到标准运行程序中，以明确说明RNP4运行程序。

b. 运营人的程序应确保飞行计划表明具备RNP4的能力，确定和报告航路RNP导航失能，并说明备用导航程序。

6.6 航路与进离场——RNAV2和RNAV1

a. 应特别关注从数据库中选择正确程序、核查程序、与航路的连接以及不连续处理。还应评估程序管理和新程序选择，包括跑道变更，以及机组做出的任何修正，诸如航路点的添加或删除。

b. RNAV1和RNAV2运行主要在导航设备充分覆盖的区域进行；应急程序一般涉及切换至传统陆基无线电导航。

6.7 进离场——RNP1

a. 除了对于全球导航卫星系统唯一要求之外，RNP1与RNAV1和RNAV2规范之间没有太大差异。

b. 全球导航卫星系统数据与其他定位数据整合在一起时有可能造成位置误差，并且有可能需要抑制其他导航传感器。应该确认当定位精确度降低时，相对于所要求的RNP1导航精确度不大可能产生较大影响。否则需要采取抑制其他传感器的方法，并且在运行程序中体现出来。

6.8 进近——RNP APCH

a. 运行程序应包括从导航数据库中选择正确的进近程序，并对显示的数据进行检查。

b. RNP APCH程序依赖全球导航卫星系统定位，开始进近之前，应该检查全球导航卫星系统（以及所需导航性能的可用程度）。

c. 任何时候都有可能由于失去信号而失去全球导航卫星系统更新，但是一般都不会即刻生成报警。失去全球导航卫星系统信号之后，如果可以保持定位完好性，会继续显示一个有效的位置。

d. 如果不能维持所需性能，就会生成报警。则应启动复飞，除非可以目视完成进近。

e. 导航规范允许将其他导航传感器信息同全球导航卫星系统整合在一起，前提是不得超出总系统误差。如果无法确立无线电更新效应，要求抑制无线电更新。如果可以确定无线电更新对所计算位置的精确性没有任何不利影响，便无需采取任何行动。

6.9 飞行后程序：

a. 机组应适当填写所要求的导航误差或故障报告。

b. 性能记录。运营人应该记录导航误差报告，并且进行分析，以确定是否需要采取相应解决行动。这类行动可能是替换或改进导航设备或者变更运行程序。采取的所有矫正行动都应记录在案。

c. 将性能记录发送至邮箱：fb_pbn@caac.gov.cn。提供的记录数据及相应分析，将为后续整体提高运行效果、降低风险，

获得建议措施提供支持。

6.10 出现应急事件情况时：

a. 必须将基于性能导航能力失效情况和拟采取的处置方案告知空中交通管制。

b. 如有可能，在下述情况下，须遵循文件中记载的程序：

(1) 与从惯性导航模式过渡到无线电导航模式不关联的导航误差；

(2) 与错误导航数据有关的突发侧向或垂直飞行航径偏离；

(3) 没有故障报警的重大误导信息；

(4) 基于性能导航设备全部失效或多处故障；

(5) 导致重大导航错误的地面导航问题；或

(6) 通信故障。

7. 导航数据库管理

7.1 本通告所涉及的基于性能导航规范都需使用导航数据库。

7.2 保持数据库的更新管理、差错检查和向导航数据库提供方报告差错的程序必须记入运行和维修管理手册。

7.3 运营人应制定相应的导航数据库管理程序，以确保：

a. 已经将正确的导航数据库加载到航空器上。

b. 供应方报告的任何数据库差错/遗漏都即刻通过飞行机组简报/程序移除等手段得到处理。

c. 飞行机组报告的任何数据库差错/遗漏都即刻通过飞行机组报告程序得到处理，并且反馈给数据库提供方。

d. 离场前飞行机组检查加载数据库的正确性。

e. 程序加载到区域导航系统中之后，在使用之前，飞行机组根据航图检查程序的航路点顺序、航路点过渡、航段长度、磁方位、高度限制和速度限制。

7.4 运营人要保证实施程序前导航数据库是正确的。飞行员对载入飞机的导航数据正确性进行观察检查，并负责。运行时不能完全依赖于导航数据库，如拟使用程序或航路的导航数据错误或与现行有效导航数据不相符，则不可以使用，或充分评估后，采取合理的操作或限制措施。

7.5 应该至少在定期制航行通告周期生效日期前一周内获得更新的导航数据库。未更新的导航数据库，可以在目视气象条件下用于模拟仪表飞行训练。

8. 仪表等级训练中的要求

8.1 飞行机组培训方案必须覆盖与基于性能导航运行相关的所有任务，并且提供充分的背景知识，以确保广泛了解该运行的各个方面。

8.2 必要时，应考虑飞行机组演示其已达到标准并保持能力的必要性，以及明确运营人记载其资格的方法。

8.3 知识要求。尽管不同的特定运行，内容和复杂程度会有

不同，但均应包括：区域导航、导航系统、设备运行和功能、飞行计划、运行程序、性能监视和告警及运行限制。

8.4 飞行培训要求

a. 已持有仪表等级的驾驶员

(1) 航路（海洋、偏远地区和大陆）运行一般不要求飞行培训。

(2) 进场和离场运行，仅需要进行地面理论培训，不需要进行飞行训练。

(3) 对于RNP APCH进近，应包含地面培训和飞行训练。飞行训练要求至少2小时，可以由飞行训练器或模拟机代替。

b. 申请仪表等级的驾驶员

(1) 航路运行可以通告、基于计算机培训或课堂讲解等方法进行理论培训。通常不要求进行飞行训练。

(2) 进场和离场运行，由于在较高工作负荷期间进场和离场运行要求严格地保持航迹，因此，除了需要进行理论培训以外，还应进行训练器或飞行训练。

(3) 对于RNP APCH进近，应包含地面培训和飞行训练。飞行训练要求10小时，其中50%可以由飞行训练器代替。

c. 在单驾驶员航空器使用独立的全球导航卫星系统设备的RNP APCH运行培训，通常要求进行多次飞行演练，每一次都要有飞行前和飞行后讲评。应特别关注导航系统的程序输入和管理，包括飞行中程序重新输入、等待、多次进近、模式

选择和识别、人的因素及导航系统功能性。

d. 装备飞行管理系统的航空器实施RNP APCH 时，进近管理一般更为容易，正常运行非常简单，一到两次进近就能达到相应能力。应提供附加培训，以确保熟悉并且有能力进行涉及进近计划变更、系统报警和复飞等的运行。还应关注至LNAV最低运行标准、至LNAV/VNAV最低运行标准、至带垂直引导的航向台性能最低运行标准的垂直导航方法。

9. 运行文件

运营人应将运行PBN所需合格要素体现在公司运行手册或其他相关文件中。至少应包含如下内容：

- a. 运行范围：包括所运行种类、基本航空器信息。
- b. 航空器/导航系统符合性：表明航空器区域导航系统合格的航空器飞行手册、航空器飞行手册修订、航空器飞行手册补编、型号证书数据表（TCDS）等。
- c. 培训资料：理论培训和飞行训练的课程详情，及课程完成记录。
- d. 运行政策和程序：制定的相关的标准运行程序。
- e. 维护操作规程：维护和维修规程。
- f. 最低设备清单更新：该运行的最低设备清单。

10. 运行要求

满足下列条件的运营人，可以实施PBN运行，而无需局方批准：

- a. 航空器应满足本咨询通告第5条要求。
- b. 按照本咨询通告建立了相应的运行程序和导航数据库管理程序。
- c. 对拟实施PBN运行的飞行人员进行了符合本咨询通告要求的航空理论知识和飞行训练。
- d. 建立了满足本咨询通告运行文件。

11. 废止和生效

本咨询通告自下发之日起生效。

附录一 各导航规范的系统要求

1. RNAV1 和 RNAV2 系统要求

a. RNAV1和RNAV2系统要求如下：

- (1) 单一区域导航系统；
- (2) 可以使用下述传感器：
 - (a) 测距仪/测距仪；
 - (b) 测距仪/测距仪/惯性参照装置；
 - (c) 全球导航卫星系统。
- (3) 包括航路和程序的导航数据库；
- (4) 区域导航系统故障显示；
- (5) 在位于主视野内的导航显示器上向执飞的驾驶员（和不执飞的驾驶员）连续指示相对于所显示航迹的航空器位置；
- (6) 至有效（向台）航路点的距离和方位显示；
- (7) 至有效（向台）航路点的地速或时间显示；
- (8) 显示有效导航传感器类型；
- (9) 侧向偏离显示必须有刻度标识，并且RNAV1满刻度偏转小于或等于±1海里或RNAV2小于或等于±2海里—允许的最大飞行技术误差为：
 - (a) RNAV1为0.5海里；
 - (b) RNAV2为1.0海里。
- (10) 自动航段排序和旁切或飞越转弯功能；
- (11) 执行航段过渡和保持与ARINC424一致的航迹：

- (a) 保持航线角至一高度 (CA) ;
- (b) 保持航线角至一定位点 (CF) ;
- (c) 直飞一定位点 (DF) ;
- (d) 定位点至手工终止 (FM) ;
- (e) 起始定位点 (IF) ;
- (f) 保持航迹至一定位点 (TF) ;
- (g) 保持航向至一高度 (VA) ;
- (h) 保持航向至一航路切入点 (VI) 。

b. 装备独立全球导航卫星系统导航系统的航空器应具有通过一个偏航指示器或飞机的水平状况指示器提供的航迹引导的功能 (RNAV2航路还应使用一个导航图显示器)。侧向偏离显示器常常包含在装置中。

c. 独立全球导航卫星系统中的ARINC424航径终止码各项限制, 不妨碍获得运行审批, 前提是运营人程序和机组培训足以保证所有的标准仪表离场和标准仪表进场程序达到计划飞行航径要求及其他各项要求。

2. RNP4 系统要求

a. RNP4系统要求如下:

- (1) 两套远程导航系统;
- (2) 至少有一个带故障探测与排除的全球导航卫星系统接收器;
- (3) 一个包括航路和程序的导航数据库;

- (4) 区域导航系统故障显示；
- (5) 在位于主视野内的导航显示器上向执飞驾驶员（和不执飞驾驶员）连续指示相对于所显示航迹的航空器位置；
- (6) 显示至现用“向台”（TO）航路点的距离和方位；
- (7) 显示至现用“向台”（TO）航路点的地速或时间；
- (8) 显示有效导航传感器类型；
- (9) 侧向偏离显示必须有刻度标识，满刻度偏转±4海里—允许的最大飞行技术误差2海里；
- (10) 自动航段排序和旁切转弯功能；
- (11) 平行偏置；
- (12) 直飞至定位点的能力；
- (13) 保持航线角至定位点的能力。

b. 装备独立全球导航卫星系统导航系统的航空器，应具有通过一个偏航指示器、飞机的水平状况指示器或一个导航地图显示器提供航迹引导的功能。接收机自主完好性监视报警默认为2海里，适于RNP4。侧向偏离显示器常常包含在装置中。

c. 对于安装了一个独立全球导航卫星系统或一个飞行管理系统的航空器，旁切过渡为标准功能，不需要进行专门的评估。但是一个独立的全球导航卫星系统接收器需要驾驶员启动转弯。

3. RNP1 系统要求

a. 除了对于全球导航卫星系统唯一要求之外，RNP1与RNAV1

和RNAV2规范之间没有太大差异。

4. RNP APCH 系统要求

a. RNP APCH系统要求如下：

- (1) 一个单一的区域导航系统；
- (2) 仅用全球导航卫星系统传感器；
- (3) 一个包含进近程序的导航数据库；
- (4) 在位于主视野内的导航显示器上，向执飞驾驶员（和不执飞驾驶员）连续指示相对于所显示航迹的航空器位置；
- (5) 识别有效航路点；
- (6) 显示至现用“向台”（TO）航路点的距离和方位；
- (7) 显示至现用“向台”（TO）航路点的地速或时间；
- (8) 侧向偏离显示必须有刻度标识，满刻度偏转适合RNP APCH—允许的最大飞行技术误差为：
 - (a) 初始、中间和复飞为0.5海里；
 - (b) 最后进近为0.25海里。

注：可以考虑角显示系统。

- (9) 自动航段排序及旁切或飞越转弯功能；
- (10) 执行航段过渡和保持与ARINC424一致的航迹：
 - (a) 保持航线角至指定高度/定位点至指定高度（CA/FA）；
 - (b) 保持航线角至定位点（CF）；
 - (c) 直至定位点（DF）；
 - (d) 等待/直角航线至人工终止（HM）；

- (e) 起始定位点 (IF) ;
- (f) 保持航迹至定位点 (TF) 。
- (11) 区域导航系统故障指示;
- (12) 超过导航系统误差报警门限指示。

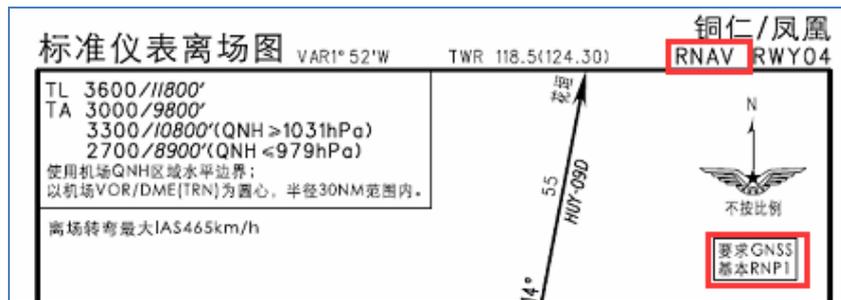
b. RNP APCH系统

- (1) 可以有两类RNP APCH系统，为独立系统和飞行管理系统。
- (2) 独立系统。一般具有代表性的是由一个配电盘的独立装置，由一个包括控制装置、侧向偏离指示器和信号器面板的全球导航卫星系统接收器组成。在一些情况下，该装置还可以包括地图显示。
- (3) 飞行管理系统。分为飞行管理系统侧向导航系统和飞行管理系统侧向导航/垂直导航系统。气压垂直导航 (Baro-VNAV) 一般可用于装备飞行管理系统的航空器。星基增强系统也可以提供垂直导航功能。

附录二 非传统仪表运行的相关知识点简介

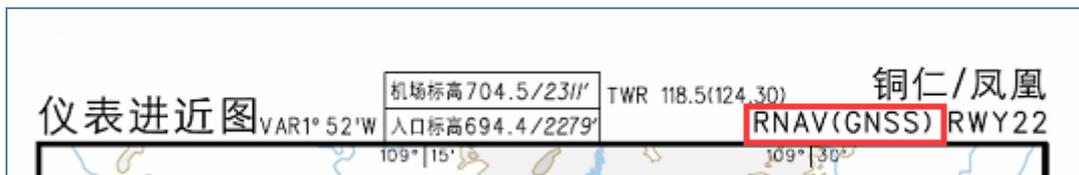
1. 航图标示

a. RNAV 或 RNP 的离场和进场程序在程序标示中使用RNAV 进行标定，在航图上以标注形式增加PBN导航应用类型。当需要时，在航图上以标注形式给出传感器类型。



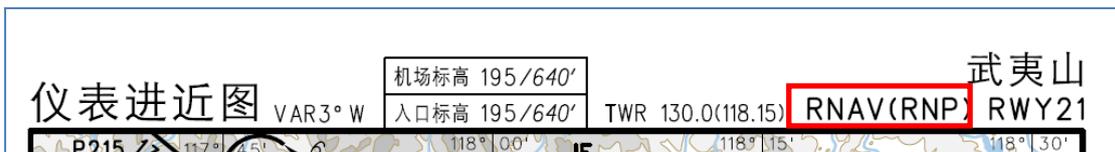
RNP1进场和离场航图标示

b. RNP APCH 程序，在航图上标示为 RNAV (GNSS)。



RNP APCH进近航图标示

c. RNP AR程序，在航图上标示为 RNAV (RNP)。



机组和航空器需要特殊授权

- 1、要求RF能力;
- 2、要求双套全球导航卫星系统和惯性基准组件;
- 3、运行温度限制-5℃~47℃(Baro-VNAV);
- 4、任何情况下的复飞,水平航迹都必须沿进近航迹直至DA(H)点后,加入复飞水平航迹。

RNP AR进近航图标示及说明

2. 运行标准

RNAV 进近程序的运行标准以如下形式标示在航图上:

a. 非精密进近程序 (NPA) ——LNAV

b. 有垂直引导的进近程序 (APV):

(1) Baro VNAV—— LNAV/ VNAV

(2) SBAS APV-I/II ——LPV

	A	B	C	D
LPV DA(H) VIS		763(60) 2510'(200') 800		
LNAV DA(H) VNAV VIS		830(128) 2730'(420') 1600		
LNAV MDA(H) VIS		900(198) 2960'(650') 3000		
盘旋 MDA(H) VIS	935(231) 3070'(760') 4300		965(261) 3170'(860') 4800	1015(311) 3330'(1020') 5000

最低运行标准信息

3. GNSS系统

a. GNSS (Global navigation satellite system) 即为全球导航卫星系统。GNSS为包含一个或多个星座,能提供定位、测速和授时 (PVT) 服务的卫星导航系统。当前包含GPS和GLONASS两个核心星座及其增强系统。

b. 随着GNSS的不断发展，欧洲的“伽利略”和中国“北斗”全球卫星导航系统正在建设，可以预见未来将出现多种卫星导航系统兼容运行的局面，以进一步增强GNSS系统的精度、连续性、完好性、可用性和功能。

4. 导航系统性能

对卫星导航系统的性能要求主要包括四个方面，即精度、完好性、连续性及可用性。

精度是GNSS的定位误差，指估计位置与实际位置之间的差异。

完好性是衡量整个系统所提供信息正确性的可信程度，系统在不能用于所预期的运行（或飞行阶段）时，向用户提供及时和有效告警的能力。

连续性是指在预计的运行过程中，系统无预期外中断的执行其功能的能力。

可用性是指在导航期间系统提供满足要求的导航信息的时间比例。

5. GNSS增强系统

PBN运行的基础是导航系统的精度、完好性、可用性和连续性等性能要求。为了提高GNSS的精度和完好性，GNSS增加了外部系统以增强其性能。GNSS增强系统有3种类型：机载增强系统（ABAS）、星基增强系统（SBAS）和陆基增强系统（GBAS）。

a. 机载增强系统（ABAS）

ABAS利用机载GPS信息和其他传感器信息，实现机载导航系统的完好性监控。目前普遍应用的增强系统为接收机自主完好性监视(RAIM)，

来监测用户定位结果的完好性，也可以使用其他形式的ABAS。在没有其他可用的增强系统时，用于航空的GNSS接收机必须具备ABAS功能，以提供完好性监视和告警。ABAS的主要形式为由RAIM算法提供的失效探测，可以通过多种途径获取RAIM预测值。

(1) RAIM（接收机自主完好性监视）

RAIM是设置在GPS接收机中的算法，对卫星故障反应迅速并完全自动，且无需外界干预。RAIM为导航设备提供星基导航卫星的完好性监控，并保障导航定位精度。通常要求，4颗有效卫星可进行定位计算，可见卫星数5颗以上才可实现故障检测（FD），如果检测到了故障，飞行员在座舱中就能接收到一个告警标志，指示GPS不可用。如果要实现故障检测和排除（FDE），至少需要6颗可见卫星。这才能将故障星从导航解算中排除，以使得操作可以在不间断的情况下继续。

RAIM的可用性计算是一个具有卫星数量和它们几何构型的函数。相关卫星在所覆盖区域内的运动（轨迹）和因例行维护或设备故障所造成卫星暂时性的运行中断，共同影响了RAIM可用性的计算结果。

对于民航用户来说，可以通过RAIM可用性预测的方式来避免飞行过程中遇到RAIM空洞的情况，增强GPS的可用性。RAIM可用性预测的目的是尽可能准确模拟预测机载接收机中RAIM算法在所需预测的当时当地的计算结果。

(2) Baro-Aiding（气压高度辅助）

气压高度辅助是一个集成的增强系统，允许GPS系统使用一个非卫星信号的输入源（飞机气压高度输入源），代替五分之一的所需卫星数量，同样可以满足RAIM精确度要求和完好性要求。气压高度辅助系

统需要4颗卫星和一个气压高度表输入源来检测完好性异常。所需的卫星数量的减少，进一步提高RAIM的可用性，降低卫星故障影响。

(3) IRS-Aiding（惯性参考系统辅助）

使用惯性参考系统来校正GPS信号，充分发挥各自优势并取长补短，利用GPS的长期稳定性与适中精度，来弥补IRS的误差随时间传播或增大的缺点，利用IRS的短期高精度来弥补GPS接收机在受干扰时误差增大或遮挡时丢失信号等缺点，并借助惯导系统的姿态信息和角速度信息，提高GPS接收机天线的定向操纵性能，使之快速捕获或重新捕获全球定位卫星信号，同时借助全球定位系统连续提供的高精度位置信息和速度信息，估计并校正惯导系统的位置误差、速度误差和系统其它误差参数，实现对其空中传递对准和标定，从而可放宽对其精度提出的要求。

b. 星基增强系统（SBAS）

星基增强系统，是一种广域覆盖增强系统，通过地球同步卫星搭载的导航增强信号发射器，向用户播发星历误差、卫星钟差、电离层延迟等多种修正信息，实现对原有卫星导航系统定位精度的改进。

星基增强系统主要有SBAS卫星、SBAS机载接收机和地面设备组成。地面设备包括地面地球站（GES）、参考站和主站组成，各站之间利用地面通信网络连接。

每个参考站有多台GNSS接收机，跟踪并测量到可见卫星的伪距，将观测结果发送到主站。主站证实卫星信号的完好性，计算一系列修正量，同时汇总系统的状态数据。将处理结果通过地球同步卫星数据链发送给广大用户，从而达到提高定位精度的目的。在可预见未来，

中国民航不采用SBAS作为GNSS增强系统。

目前，全球已经建立起了多个SBAS系统。包括美国的广域增强系统（WAAS）、欧洲同步卫星导航覆盖系统（EGNOS）、日本的多功能卫星增强系统（MSAS）和印度的GPS辅助静地轨道增强导航系统（GAGAN）等，但从全球航空器的使用情况来看，还是以WAAS和EGNOS为主。

WAAS(Wide Area Augmentation System)是由美国联邦航空局开发建立的用于空中导航的一个卫星传播系统，该系统主要是通过解决广域差分GPS的数据通信问题从而提高全球定位系统的精度和可用性。

c. 地基增强系统（GBAS）

地基增强系统(GBAS)是国际民航组织提出的用于航空飞行器进行精密进近的差分GPS的系统。它通过差分定位提高卫星导航精度的基础上，增加了一系列完好性监视算法，提高系统完好性、可用性、连续性的指标，在机场覆盖空域范围内，配有相应机载设备的飞机可以获得CATI甚至更高标准的精密进近、着陆引导服务。与ABAS和SBAS相比较，GBAS的精度更高，可以达到的着陆标准更低。

GBAS由地面站、监控设备和机载设备组成。GBAS地面站包括四对参考接收机和天线、地面数据处理设备、甚高频数据广播（VDB）设备和VDB天线等。地面数据处理设备通过结合来自每个参考接收机的测量值产生可见卫星的差分校正值；同时，通过实时监测导航信号本身或者是地面站的异常，形成卫星导航系统和本站自身的完好性信息；然后把FAS数据、校正值和完好性信息通过VDB播发给机载用户。一套GBAS设备可以为其安装所在机场的所有跑道端提供服务。