

# 第 1 章 飞机基本飞行机动—使用电子飞行显示

## 1.1 介绍

前面的章节讲述了仪表飞行的基础。操纵飞机并保持飞行安全需要飞行员使用及判读仪表上显示的信息并加以修正。飞行员必须认识到飞每种飞机及机型可能需要不同的技术。飞机重量、速度和形态改变需要飞行员改变他或她的技术方法来成功地执行姿态仪表飞行。在进行任何飞行机动之前，飞行员必须熟悉飞行员操作手册/飞机飞行手册（POH/AFM）中的所有章节。

第五章的第二节讲述了基本姿态仪表飞行机动并解释了如何通过判读电子飞行显示（EFD）上显示的指示来执行每种机动飞行。除过正常的飞行机动，将讲述使用“部分面板”的飞行。除仪表起飞之外，所有的机动飞行都可以在姿态航向基准系统（AHRS）组件处于模拟状态或不工作的“部分面板”上来完成。

## 1.2 直线平飞

### 1.2.1 俯仰控制

飞机的俯仰姿态是飞机的纵轴和实际天地线之间的角度。平飞时，俯仰姿态随空速和载荷变化。就培训而言，一般在小型飞机上忽略后面的因数。恒速时，平飞只有一个特定的俯仰姿态。慢速巡航时，平飞姿态的机头是高的，如『图 7-1』中指示；快速巡航时，平飞姿态的机头是低的。

『图 7-2』『图 7-3』

给出了在正常巡航速度时的姿态指示。

主飞行显示（PFD）上直接或间接指示俯仰的仪表是地平仪、高度表、升降速度表（VSI）、空速表（ASI）、空速趋势指示器和高度趋势指示器。

#### 1.2.1.1 地平仪

地平仪为飞行员提供了俯仰姿态的直接指示。EFD 系统上的放大的姿态



图 7-1 平飞时的俯仰姿态和空速，慢速巡航。

显示极大地增加了飞行员的处境意识。大多数地平仪都可以在 **PFD** 屏幕的整个宽度上显示。

通过改变升降舵的偏转来控制飞机的俯仰姿态。随着飞行员向后拉驾驶杆使得升降舵升起，黄色的“八”字符号开始从飞行水平线向上移动。这是由能感应地球的经度平面和飞机的纵轴之间角度变化的 **AHRS** 组件引起的。

**PFD** 屏幕上显示的姿态指示是外部视觉线索的一个表示。不是依赖在目视飞行规则（**VFR**）飞行期间看得见的自然天地线，而是飞行员必须依赖于 **PFD** 屏幕上的人工天地线。

在正常巡航速度时，黄色的“八”字符号（飞机符号）的顶部将位于人工天地线上。不像传统的地平仪，**EFD** 地平仪不许改变“八”字符号相对于人工天地线的位置。位置是固定的，因此“八”字符号的位置将一直显示由 **AHRS** 组件计算的俯仰姿态角度。



图 7-2 俯仰姿态降低且空速增加——指示需要增加俯仰。



图 7-3 各种俯仰姿态（右边），飞机显示水平飞行。

地平仪只显示俯仰姿态，而不指示高度。飞行员不应单独只使用地平仪来保持平飞。重要的是，飞行员要知道多小的上仰和下俯移位量会影响飞机的高度。要知道这个，飞行员应该练习递增俯仰姿态来熟悉每个俯仰姿态角度怎样改变高度。『图 7-4』『图 7-5』在这两种情况中，飞机将缓慢地增加高度。

“八”字符号全高大约为  $5^\circ$ ，它可给俯仰姿态调整提供精确的参考。飞行员必须通过参考地平仪来做出所需的俯仰姿态改变，然后配平任何多余的操纵力。减轻这些操纵力使得飞行更稳定，并且会减轻飞行员的工作量。一旦飞机已经配平好平飞，飞行员必须柔和、准确地操纵升降舵以改变俯仰姿态。



图 7-4 各种姿态（1 度至 5 度）的俯仰指



图 7-5 10 度的俯仰姿态

要掌握好柔和地操纵升降舵，飞行员必须要特别轻的握操纵杆。通常用拇指和 2 个手指足够来移动操纵杆。飞行员应该避免用整只手紧握操纵杆。当飞行员用整只手紧握操纵杆时，容易施加过大的操纵力，从而会改变飞机的姿态。

练习柔和、小量的上仰和下俯俯仰姿态改变直到可以进行准确的修正。训练时，飞行员能够以  $1^\circ$  增量做出俯仰姿态改变，柔和地操纵飞机的姿态。

掌握升降舵操纵的最后步骤是配平。要柔和地进行姿态仪表飞行，重要的是

要配平飞机以减轻任何的操纵力。完成配平后，即刻松开驾驶杆。注意飞机俯仰姿态移动的路线。再次握操纵杆，然后重新施加操纵力使回到先前位置的姿态。在操纵力方向上进行配平。较小的配平可以使俯仰姿态进行大的变化。如必要，耐心地多次进行配平。

一旦飞机已经配平好，尽可能地松开驾驶杆。当在驾驶杆上保持操纵力时，无意中施加到升降舵和副翼的操纵力会使飞机从所需的飞行路径上偏离。如果飞机在无颠簸的静流区已经配平好，飞行员应该松开驾驶杆并长时间的保持平飞。成功地在仪表气象条件（IMC）下飞行之前，配平是最难学的技术之一。

#### 1.2.1.2 高度表

当功率恒定时，从平飞（颠簸气流中除外）的任何偏离都是由俯仰变化造成的。如果功率恒定，高度表间接地给出了平飞时的俯仰姿态指示。当飞机在平飞时，因为姿态应该保持恒定不便，所以从所需高度的任何偏离预示有改变俯仰姿态的需要。例如，如果飞机正在增加高度，必须压机头。

PFD 上，随着俯仰姿态开始改变，高度带上的高度趋势指示器将开始显示移动方向上的变化。趋势指示器的增长率和高度表数值的变化帮助飞行员来决定需要多大的俯仰姿态变化来止住这个趋势。

随着飞行员越来越熟悉特定飞机的仪表，他或她将学会把俯仰姿态变化、高度带和高度趋势指示器联合起来使用。通过加入高度带显示和高度趋势指示器连同地平仪一起来扫视，飞行员开始交叉检查仪表。

#### 1.2.1.3 部分面板飞行

通过参考高度表作为主要的俯仰地平仪来练习部分面板飞行是种重要的技术。只通过单独地参考高度带和趋势指示器，不使用地平仪来练习操纵俯仰姿态。飞行员需要学会通过参考高度带和趋势指示器的变化率来对高度偏差做出修正。当在 IMC 和部分面板形态下操纵时，飞行员应该避免突然地移动操纵杆。对高度变化的突然动作反应会造成大的俯仰姿态变化，从而会造成与初始高度的更大偏差。

当飞行员通过单独地参考高度带和高度趋势指示器来操纵俯仰姿态时，可能会由于做出了大于必要的俯仰姿态修正而使飞机操纵过量。操纵过量会造成飞行员从高机头姿态移动到低机头姿态，反之亦然。需要进行小量的俯仰姿态变化确保采取迅速的修正措施有序地使飞机回到最初高度。

当出现高度偏差时，需要完成两个动作。首先，柔和地施加操纵力止住指针的移动。一旦高度带停止移动，改变俯仰姿态使开始回到进入高度。

在有限仪表的仪表飞行时，做出小量的、准确的操纵输入是有必要的。一旦指针指示移动表示高度出现偏差时，飞行员需要做出小量的操纵输入来止住偏差。快速地操纵引起上下波动只会增加偏差。这种波动会很快地造成飞行员失定向并开始过分专注高度。过分专注于高度表会造成方向操纵和空速操纵失误。

就经验来说，对于小于 100 英尺的高度偏差，使用 1° 的俯仰姿态变化，也就是等于 V 型符号高度的 1/5。小量渐增地改变俯仰姿态可以感觉出飞机的性能，可以消除对飞机操纵过量。

需要共同使用仪表，但是会出现仪表失效，这样使得飞行员只能依靠有限的仪表飞行。这也就是为什么部分面板飞行训练重要的原因。如果飞行员知道

如何独立地使用每个仪表，当其它仪表失效时，完成飞行将不会有重大的变化。

#### 1.2.1.4 升降速度表带

升降速度表带提供对俯仰姿态的一个间接指示并且为飞行员提供了对即将发生的高度偏差更直接的指示。除了趋势信息，升降速度也提供了变化率的指示。通过使用升降速度表带结合高度趋势带，飞行员对于需要进行多少修正有一个更好的了解。训练时，飞行员将学习特定飞机的性能并知道需要多大的俯仰姿态变化来修正特定的变化率指示。

不像老式的指针升降速度表，新的玻璃面板显示配有即时的升降速度表。系统中老式的组件有滞后的特性，它用来指示变化率信息。新的玻璃面板显示利用了不指示滞后的数字大气数据计算机。高度变化会立即显示并能很快地进行修正。

升降速度表带应该用来帮助确定需要改变多大的俯仰姿态来回到所需的高度。一个好的经验是使用升降速度变化率，变化率是高度偏差的两倍。然而，变化率决不能超过所飞飞机的最佳爬升率或下降率。例如，如果高度离所需高度偏差 200 英尺，那么 400 英尺每分钟（FPM）的变化率足够使飞机回到最初的高度。

如果高度变化为 700 英尺，那么两倍需要 1400FPM 的改变。大多数飞机不能采取这样的方法，所以限制改变到不能超过最佳爬升和下降率。最佳的变化率会在 500 到 1000FPM 之间变化。

仪表飞行员遇到的一种错误就是操纵过量。当指示出偏差超过最佳变化率 200FPM 以上时出现操纵过量。例如，高度表指示出高度偏差 200 英尺，表上应该指示升降速度变化率 400 英尺每分钟。如果升降速度变化率显示 600FPM（超过最佳 200），飞行员可能对飞机操纵过量。

当回到高度时，主要的俯仰姿态仪表是升降速度表带。如果指示出有任何从所需升降速度的偏差，使用地平仪做出适合的俯仰姿态变化。

随着飞机接近目标高度，减缓升降速度变化率以更稳定的方式截获高度。通常离目标高度的爬升或下降率 10% 内时开始减缓升降速度变化率以在目标高度改出。这可使得在没有快速操纵输入或由于 G 负荷而感觉不舒服的情况下飞行员在所需的高度改平。

#### 1.2.1.5 空速表（ASI）

空速表用于俯仰姿态的一个间接指示。如果功率调定和俯仰姿态恒定，空速会保持恒定。随着俯仰姿态降低，空速增加，应该抬升机头。

随着俯仰姿态增加，飞机的机头将抬高，这将造成迎角及诱导阻力的增大。增大的阻力将开始减缓飞机的动量，空速表上将会指示出来。空速趋势指示器将显示 6 秒内空速的趋势。相反地，如果飞机的机头开始降低，迎角和诱导阻力将减小。

当使用空速表作为俯仰姿态仪表时，会有滞后现象。不是与空速表构造相关的滞后，而是一个和动量变化相关的滞后。取决于动量的变化率，空速表有时可能不指示俯仰姿态的变化。如果正在使用空速表作为俯仰姿态变化的唯一参考，它可能不能用于快速修正。然而，如果进行了柔和的俯仰姿态改变，现代的玻璃

面板显示能够指示出 1 节的空速变化，还能够显示空速的趋势。

当通过单独参考飞行仪表飞行时，俯仰操纵时，有必要交叉检查所有的飞行仪表。通过交叉检查所有与俯仰有关的仪表，飞行员可以始终对飞机的姿态形成思维图像。

如先前所说的，俯仰姿态的主要仪表是能给飞行员提供对特定参数最有关信息的仪表。当处于水平飞行和保持高度不变时，哪个仪表显示直接的高度指示？能够显示高度的仪表只有高度表。其它仪表都是辅助仪表，它们能显示偏差高度的趋势，但是不能直接地指示高度。

辅助仪表预先警告即将发生的高度偏差。如果进行了有效的交叉检查，熟练的飞行员能更好的保持高度。

## 1.2.2 坡度操纵

谈论假设了飞机正处于协调飞行中，意思就是飞机的纵轴和相对风在一条线上。PFD 上，如果机翼时水平的，地平仪会有显示。转弯率指示器、侧滑指示器和航向指示器也指示了飞机是否在保持直线（零度坡度）飞行路径。

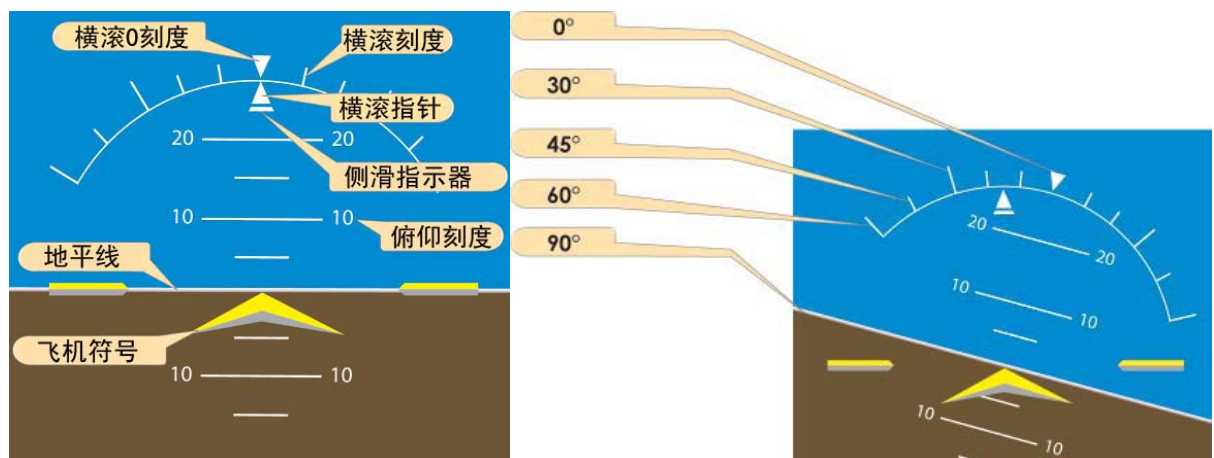
### 1.2.2.1 地平仪

地平仪是 PFD 上唯一能够显示准确的飞机坡度的仪表。可能是通过显示作为地平仪一部分的横滚刻度来做到的。

『图 7-6』标识了地平仪显示的组成部分。注意该显示的上部是蓝色的，代表天空，底部是棕色的，表示大地，分离它们的白线是天地线。和天地线平行的线是俯仰姿态刻度，它是以  $5^{\circ}$  为增量标记的， $10^{\circ}$  一标注。俯仰姿态刻度一直保持和天地线平行。

蓝色区域的曲线是横滚刻度。刻度顶部的三角形是零指针。刻度上的标识代表坡度。『图 7-7』横滚刻度一直保持与天地线的位置相同的。

横滚指针指示方向和坡度。『图 7-7』横滚指针和飞机符号在一条线上。横滚指针指示了飞机横轴比对自然天地线的角度。如果飞机的纵轴和相对风在一条直线上，侧滑指示器将显示一个协调的飞行。当横滚指针和侧滑指示器在一条线上时，横滚指针如有右或左偏转，将造成飞机转向右或左。因为横滚刻度上有小刻度，所以确定坡度在大约  $1^{\circ}$  以内是很容易的。协调飞行中，如果横滚的零指针和横滚指针在一条线上，飞机达到了直线飞行。



EFD 的一个优势就是消除了进动误差。指针式表的进动误差是由施加到旋转陀螺上的力引起的。对于新式的固态仪表，已经消除了进动误差。

因为地平仪能够显示准确的俯仰姿态和坡度，所有只有当尝试飞一个特定坡度或俯仰角度时，地平仪才是一个主要仪表。其它时间，姿态仪表可以考虑作为一个操纵仪表。

#### 1.2.2.2 水平位置指示器 (HSI)

HIS 是一个旋转  $360^{\circ}$  的指示磁航向的罗盘卡。HIS 是能够显示准确航向的唯一仪表。磁罗盘可以作为一个 HIS 失效情况下的备用仪表；然而，由于移动不稳定，它更多的作为一个辅助仪表来使用。

为使飞行员获得所需的变化率，重要的是要使他或她了解 HIS 改变航向显示的变化率

图 7-7 地平仪显示一个  $15^{\circ}$  的左坡度。

化率和符合该变化率所需的坡度的大小关系。

非常小的航向变化率表示坡度小，将花更多的时间从所需的直线飞行路径偏离。较大的航向变化率表示将以一个较快的速率出现一个较大的坡度。

#### 1.2.2.3 航向指示器

航向指示器是一个大的黑色框，有白色的数值指示飞机的磁航向。『图 7-8』飞机的航向显示最近的度数。当这些数值开始变化时，飞行员应该注意不在是直线飞行了。

#### 1.2.2.4 转弯速率指示器

转弯速率指示器给出了坡度的间接指示。它是一个洋红色的趋势指示器，能够向左和右指示二分之一标准转弯率及标准转弯率的转弯。转弯指示器通过从标准转弯率标志向外延伸洋红色线条，能够指示  $4^{\circ}$  每秒以下的转弯率。如果转弯率超过了  $4^{\circ}$  每秒，洋红色线条不能准确地指示下个 6 秒的航向，洋红色线条固定不动，将有一个箭头显示。这警告飞行员已经超过了操纵的正常范围这个事实。

#### 1.2.2.5 侧滑指示器

侧滑指示器是地平仪上被切割的三角形下部的一小部分。这个仪表指示飞机的纵轴是否和相对风在一条线上。『图 7-8』

当尝试保持直线飞行时，飞行员必须经常记住交叉检查横滚的零指针和横滚指针。只要航向保持不变，横滚指针和横滚的零指针不在一条线上，飞机不在协调飞行。要进行修正，飞行员应该踩舵使飞机回到协调飞行上。

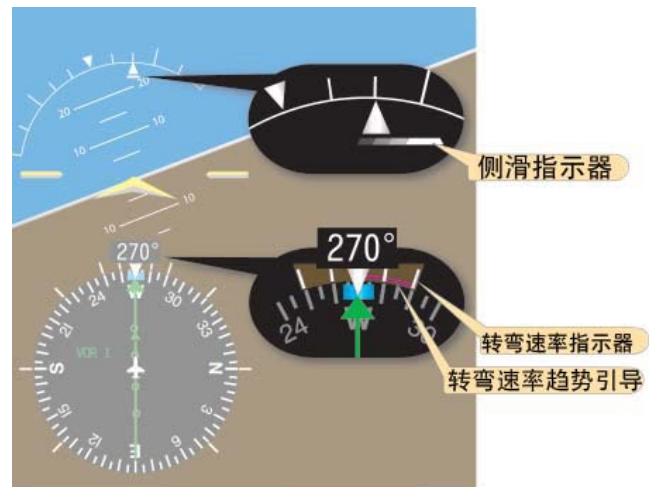


图 7-6 侧滑和转弯速率指示器。

1.2.3 功率控制

功率产生推力，在合适的机翼迎角下，推力克服重力、阻力和惯性来确定飞机的性能。

功率控制必须和它对高度及空速的影响相关，因为功率调定的任何变化会引起空速或飞机高度的变化。在任何给定的空速，功率调定决定了飞机是否处于平飞、爬升或下降。如果在直线平飞中功率增加且空速保持恒定，飞机将爬升；如果

如果在空速保持恒定的同时功率下降，飞机将下降。另一方面，如果高度保持恒定，施加的功率决定空速。

高度和空速之间的关系决定了需要改变俯仰姿态或功率。如果空速不在所需值，在决定必需改变功率之前，要经常检查高度表。考虑高度和空速是可互换的；高度可以通过压机头来换成空速，或者通过上仰机头来把空速转为高度。如果高度大于所需的高度且空速低，或反之亦然，单独地改变俯仰姿态可以使飞机回到所需的高度和空速。『图 7-9』如果空速和高度都高或者如果都低，有必要对俯仰姿态和功率都改变使回到所需的空速和高度。『图 7-10』



图 7-7 飞机在增加高度的同时空速下降。在这种情况下，飞行员已经降低了俯仰姿态。

如果在直线平飞中改变空速，必需协调俯仰姿态、坡度和功率以保持高度和航向恒定。对于在直线平飞中改变功率来使空速变化，单发、螺旋桨驱动

的飞机易于绕着所有的运动轴改变姿态。因此，为了维持高度和航向恒定，施加和功率变化成正比的各种操纵力。



图 7-8 单独地进行俯仰姿态调整是不够的，如图显示速度和高度都在增大。这种情况时，减小功率也是有必要的。

当增加功率来增加空速时，俯仰仪表会指示爬升，除非随着空速改变，施加向前的升降舵操纵力。当功率增加时，飞机趋于向左偏转和横滚，除非施加相反的副翼和方向舵操纵力。在这些变化之前要不断地交叉检查速度，这会由于飞机的类型、飞机的扭矩特征、功率大小和有关速度变化的不同而不同。

1.2.3.1 推力调定

如果早先就知道在直线平飞中，必要的用来保持各种空速的大约功率调定时，功率控制和空速改变将很容易。但是，要以任何可以感知的量去改变空速，

通常的程序是，在初始功率改变上减功率或增功率以加速空速变化率。（对于小的速度变化，或飞机上很快地减速或加速，不必去减小功率或增加功率。）

考虑一架飞机的举例，它需要 23"的进气压（Hg）来保持 120 节的正常巡航速度，需要 18"的进气压（Hg）来保持 100 节空速.保持直线平飞的同时空速从 120 节减小到 100 节将在下面讨论到，『图 7-11』『图 7-12』『图 7-13』进行了说明。



图 7-9 直线平飞（正常巡航速度）。



图 7-10 直线平飞（空速正在减小）。

功率减小之前的仪表指示，如『图 7-11』所示。在地平仪上已建立保持了基本姿态。在这些主要仪表上，注意到有俯仰姿态、坡度和功率控制的明确要求：

高度表——主要俯仰姿态仪表

航向指示器——主要坡度仪表

空速表——主要功率仪表

辅助的俯仰和坡度仪表如『图 7-11』中所示。注意辅助的功率仪表是进气压力表（或转速表，如果螺旋桨是固定螺距的）。然而，如果柔和地减小功率至大约 15"（低功率），进气压力表成为主要的功率仪表。『图 7-12』训练时，可以只通过简短的扫视功率仪表，通过感觉油门的移动、声音的变化和操纵力的感觉变化来改变功率调定。



图 7-11 直线平飞（减小的空速稳定时）。

随着推力减小，加快交叉检查，并准备好踩左舵、施加向后的升降舵压力和施加副翼操纵力，俯仰坡度仪表实时显示一个高度和航向的偏差。

随着越来越熟练，飞行员将学会交叉检查、解释并控制变化，但无航向和高度偏差。假设空气平稳和理想的操纵技术，随着空速减小，需要正比地增加飞机的俯仰姿态以保持高度。简要说，有效的扭矩控制意味着使用操纵方向舵来抵消偏转。

随着功率降低，高度表是主要的俯仰姿态仪表，航向指示器是主要的坡度仪表，进气压力表是暂时主要的功率仪表（『图 7-12』中，在 15"Hg）。随着飞机减速，应该配平操纵力。随着空速接近所需的 100 节空速，进气压力调节至大约 18"Hg，进气压力表成为辅助功率仪表。空速表再次成为功率的主要仪表。『图 7-12』

### 1.2.3.2 直线平飞中空速改变

练习在直线平飞中改变空速是个完美的方法,它会使飞行员对 3 个基本仪表的使用技术越来越熟练,在直线平飞的培训中会出现一些可预知的共同错误。如果已经学会了在光洁形态(最小阻力条件)下操纵飞机,通过在放出或收回襟翼和起落架时练习改变速度来提高在交叉检查和操纵方面的精通能力。练习的同时,一定要遵守 POH/AFM 中规定的起落架和襟翼操作空速限制。

在某些飞机上,如果起落架和襟翼已放出,可能有必要使用突然过大的姿态变化以保持直线平飞。起落架放出时,机头趋向于下俯,当襟翼展出后,升力瞬间增加(部分襟翼调定),紧接着随着襟翼接近最大完全展出,阻力显著增加。

操纵技术根据每架飞机的升力和阻力特性的不同而不同。因此,功率调定和配平变化的知识结合各种空速、起落架和襟翼形态会减少仪表交叉检查和解释中的问题。『图7-14』



图 7-12 交叉检查辅助仪表。

例如,假设一个直线平飞中,仪表指示 120 节,功率为 23"Hg 进气压力/2300 转每分钟 (RPM),起落架和襟翼收上。空速减小后,起落架和襟翼完全放出的情况下,同样高度的直线平飞需要 25"Hg 的进气压力/2500RPM。最大放起落架速度为 115 节;最大放襟翼速度为 105 节。空速减小至 95 节,起落架和襟翼放下,可以以下列方式来实现:

- 1.保持 RPM 在 2500,因为大功率调定会在全阻力形态中使用。
- 2.减小进气压力到 10"Hg。随着空速减小,加快交叉检查速度。
- 3.对增大的迎角进行配平,减小扭矩。

4.在 115 节放起落架。机头可能趋于下俯,减速率增加。升高俯仰姿态以保持高度恒定,并对拉杆力进行配平。如果在 105 节放全襟翼,必须特别迅速地

交叉检查、解释和操纵。一个更简单的技巧是在起落架放下后，在襟翼放下之前稳定姿态。

5. 由于 18"Hg 的进气压力可以在起落架放下的情况下保持 100 节水平飞行，所以柔和地增加功率至该调定直到空速表显示大于 105 节，然后重新配平。现在地平仪显示大约两个半条宽的高机头直线平飞姿态。

6. 操纵襟翼同时增加功率至预定的调定（25"Hg）以得到所需空速，有必要配平操纵力使得保持高度和航向恒定。现在地平仪显示一个条宽的低机头、空速为 95 节的直线平飞。

#### 1.2.4 配平技巧

配平操纵是要培养的最重要的飞行习惯之一。配平指减轻飞行员需要施加到操纵杆上来保持所需飞行姿态的任何操纵力。所要的结果就是飞行员可以把他或她的手从操纵杆上挪开，并且保持飞机在当前姿态上。一旦飞机配平到可以松杆飞行，飞行员能够分配更多的时间来监控飞行仪表和其它飞机系统。

要配平飞机，对操纵杆施加需要配平的操纵力，并在保持操纵力的方向上滚动配平轮。松开施加到操纵杆上的操纵力，监控主要仪表的姿态。如果达到了想要的性能，脱杆飞行。如果需要额外的配平，再次进行配平步骤。

对特定空速配平飞机，而不是俯仰姿态或高度。只要飞机速度改变，就需要进行重新配平。例如，飞机在 100 节直线平飞。增加 50RPM 将导致空速增大。随着空速增加，将会产生额外的升力，飞机将爬升。一旦在有些更高的高度上这个额外的推力稳定后，空速将再次稳定在 100 节。

这演示了配平是如何和空速关联的，而不是高度。如果要保持最初高度，需要对操纵杆施加向前的力，同时需要向前滚动配平轮来消除任何的操纵力。向前滚动配平轮等于增加已配平好的空速。只要空速一改变，需要进行重新配平。配平可以在任何的过渡期间完成；在最终配平前，空速必须保持恒定不变。如果不小心使得空速发生了改变，配平调整将不合适并且高度将改变直到达到了飞机配平的空速。

#### 1.2.5 直线平飞中的常见错误

##### 1.2.5.1 俯仰

俯仰错误通常是由下面的过失造成的：

1. 地平仪上的黄色的“八”字符号（飞机符号）调整不正确。

修正措施：一旦飞机已改平且空速已经稳定，对俯仰姿态做出小的修正以达到所需的性能。交叉检查辅助仪表以确认。

2. 交叉检查和对俯仰姿态仪表的判读不够。『图 7-15』

例如：空速指示低。飞行员认为机头俯仰姿态高，向前顶杆而没有注意到功率调定小是造成空速不一致的原因。

修正措施：加快检查所有辅助飞行仪表交叉检查的速度。在施加操纵力之前，应该稳定空速和高度。

3. 接受偏差。

例如：根据直线平飞的实际测试标准，飞行员的高度范围可以是 $\pm 100$ 英尺。当飞行员注意到高度已经偏差了 60 英尺时，因为高度保持稳定且在标准之内，所以没有进行修正。

修正措施:飞行员应该交叉检查仪表，并且当发觉到偏差时，应该采取迅速的修正措施使得飞机回到所需的高度。应该期盼出现高度偏差而不是接受它。

#### 4. 操纵过量——过大的俯仰姿态变化。

例如：飞行员注意到一个高度偏差。为了企图快速回到目标高度，飞行员进行了大的俯仰姿态改变。大的俯仰姿态改变会使姿态不稳定并增加错误出现。

修正措施:应该进行小的、柔和的修正使回到所需的高度（ $0.5^\circ$ 到  $2^\circ$ ，取决于偏差的严重程度）。仪表飞行中使用小量的修正来保持飞机的姿态。当在 IMC 下飞行时，飞行员应该避免进行大的姿态改变以避免丧失飞机操纵和空间失定向。

#### 5. 无法保持俯仰姿态修正。

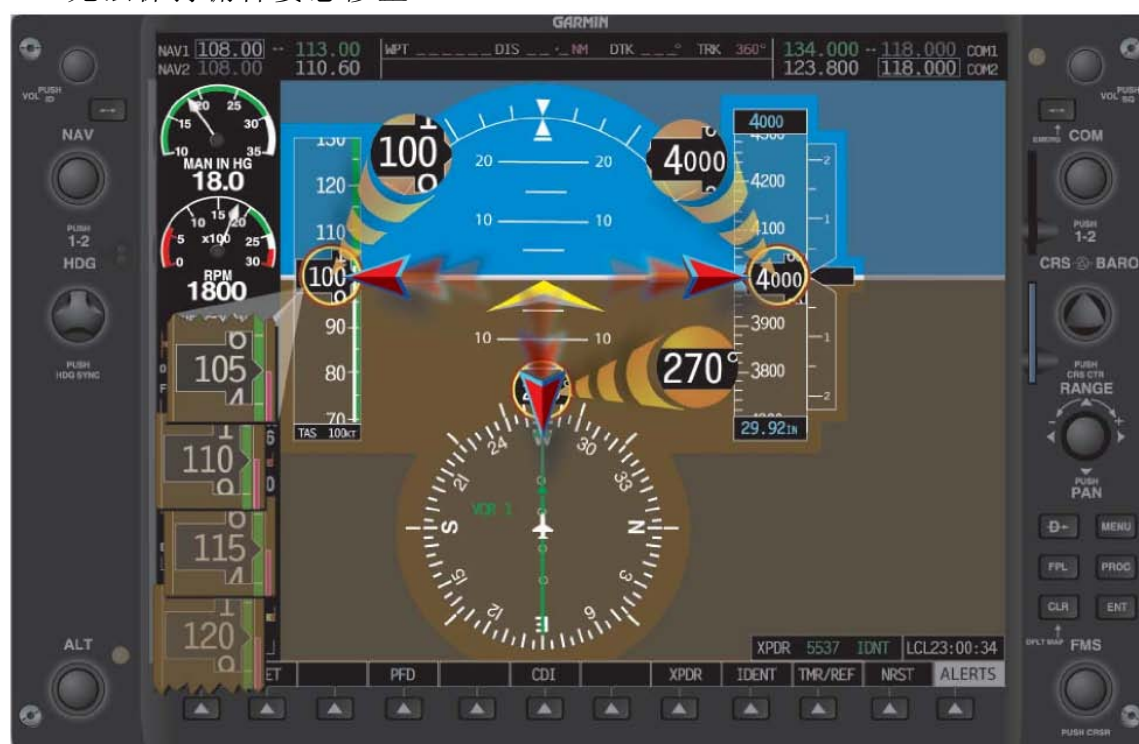


图 7-13 仪表交叉检查不充分。问题在于功率，而不是机头高。在这种情况下，飞行员不适当地降低了俯仰姿态。



图 7-14 飞行员过分专注于俯仰姿态和高度，而未注意到坡度指示。注意趋势线到了左边。

需要迅速地进行俯仰姿态改变并保持住以确认。由于为对飞机配平，飞行员将会多次地进行修正，并且会使得俯仰姿态多次改变。只要进行了俯仰改变，有必要重新调整配平以消除保持的任何操纵力。快速地交叉检查会帮助避免从所需俯仰姿态的任何偏差。

例如：飞行员注意到一个高度偏差。已完成了俯仰姿态的改变，但是没有对配平进行调整。由于分神，造成飞行员减缓交叉检查并开始无意地减小施加给操纵杆的力。结果俯仰姿态改变，因此恢复到所需的高度变得麻烦了。

修正措施:飞行员应该开始改变俯仰姿态，然后马上配平飞机以减轻任何的操纵力。应该快速地交叉检查以确认正在达到所需的性能。

## 6. 交叉检查期间过分入神。

分配给某一仪表的时间不相等，或者判读或者过分重视某一仪表。在交叉检查期间应该对各个仪表花同样的时间以避免发觉不到其中一个飞机姿态的偏差。

例如：飞行员进行了俯仰姿态修正，然后把所有的注意力放到高度表上来确认俯仰姿态修正是否有效。这时，没有注意航向指示器，而它显示了一个左转弯。『图 7-16』

修正措施:飞行员应该在交叉检查期间监控所有的仪表。不要过分专注在一个仪表上等待确认。继续扫视所有仪表以避免使飞机开始偏离另一个姿态。

#### 1.2.5.2 航向

航向错误通常由下面的过失造成，但不先于下面的过分：

1. 无法交叉检查航向指示器，特别在改变功率或俯仰姿态期间。
2. 航向改变错误理解，引起随后以错误的方向进行修正。
3. 无法注意并记住预选的航向。
4. 无法观察航向改变的变化率和与坡度的关系。
5. 对航向改变的修正操纵过量，特别在功率调定改变期间。
6. 对航向改变，过早地施加了方向舵操纵力。
7. 无法修正小的航向偏差。除非将航向的零误差作为目标，飞行员会容忍越来越大的偏差。修正  $1^\circ$  偏差所花的时间和注意力比修正  $20^\circ$  偏差所花的少得多。
8. 使用不正确的坡度修正。如果使用  $20^\circ$  的坡度修正一个  $10^\circ$  的航向偏差，在建立坡度之前，飞机将转过所需的航向，需要另外一个相反方向的修正。不要在当前的误差的基础上，由于修正方法而再次扩大误差。
9. 不注意造成先前航向误差的原因，从而重复相同的错误。例如，飞机失去配平，有左翼稍低的趋势。重复的进行小的左转弯修正，但忽略了配平。

#### 1.2.5.3 功率

功率错误通常由下面的过失造成，但不先于下面的过分：

1. 不熟悉飞机的特定功率调定和俯仰姿态。
2. 突然猛烈地使用油门。
3. 当改变功率、爬升或下降时，无法控制空速。

例如：当从下降改平时，加大功率以防止由于飞机的动量减小而空速减小。如果飞行员等待着增加功率直到飞机在水平俯仰姿态上建立后，飞机已经低于所需的速度，需要额外的调整功率调定。

4. 在空速改变期间，过于专注空速带或进气压力指示，造成空速、功率及俯仰姿态和坡度操纵不稳定。

#### 1.2.5.4 配平

配平错误通常是由下面的过错造成的：

1. 为使腿和脚部放到舒服的位置而不正确地调整了座椅或方向舵脚蹬。脚伸不开而难于减轻方向舵压力。
2. 对配平装置的工作不清楚，各种机型的配平装置不同。某些配平轮和飞机的轴线在一条线上；其它的不在一条线上。出现一些与期望相反的方向上的转动。
3. 不理解配平的原理，就是飞机是配平空速，而不是俯仰姿态。
4. 配平的顺序错误。配平用来缓解操纵力，不是为了改变俯仰姿态。正确的配平技巧是首先飞行员握住操纵轮，然后配平以减轻任何的操纵力。随着功率调定改变，需要一系列的配平改变。不断地利用小量的配平。

## 1.3 直线爬升和下降

---

每架飞机都有一个与特定重量的最有效爬升率对应的固定俯仰姿态和空速。POH/AFM 包含有所需爬升的速度。这些值基于最大全重。飞行员必须熟悉重量不同引起的速度变化大小，这样他们可以飞行期间进行速度补偿。

### 1.3.1 进入

#### 1.3.1.1 从巡航速度上的恒速爬升

从巡航速度进入恒速爬升，要缓慢、柔和地拉杆是黄色的“八”字符号（飞机符号）升起直到顶点到所需的俯仰度数。『图 7-17』保持拉杆力，柔和地增加功率到爬升功率调定。在开始改变俯仰前或已经建立所需的俯仰调定后可以开始增大功率。

如果想要进行一个非全功率的爬升，查阅 POH/AFM 上的特定爬升功率调定。俯仰姿态将依赖所飞机型变化。随着空速减小，需要增大操纵力以补偿保持姿态所需的附加升降舵偏转。利用配平来消除任何的操纵力。通过有效地使用配平，飞行员将更能够在不一直保持注意的情况下保持所需的俯仰姿态。因此飞行员能够分配更多的时间来保持对所有仪表的有效扫视。

升降速度表用来监控飞机的性能。如果进行了柔和的俯仰过渡，升降速度表应该开始立即显示一个向上的趋势并在与正在使用的俯仰姿态和功率调定相当的爬升率上稳定下来。

取决于当前重量和大气条件，这个爬升率将不同。这需要飞行员知道重量和大气条件是如何影响飞机性能的。

一旦飞机在恒定空速和俯仰姿态上稳定下来，俯仰姿态的主要飞行仪表将会是空速表，并且主要的坡度仪表将会是航向指示器。取决于机型，主要的功率仪表将会是转速表或进气压力表。如果俯仰姿态正确，空速应该缓慢地减小到所需的速度。如果空速有任何的变化，进行小量的俯仰改变直到飞机在所需的速度上稳定下来。空速的任何改变将需要进喜功能配平调整。

#### 1.3.1.2 从已建立空速上的恒速爬升

为了进入恒速爬升，首先要完成从巡航速度减小到爬升空速。随着空速减小，保持直线水平飞行。进入爬升与从巡航速度进入相似，例外就是当俯仰姿态增大时，功率必须增大。『图 7-18』由于阻力增大，俯仰姿态改变后增加功率将会显示空速减小。由于推力过大，在俯仰姿态改变之前增加功率将会造成空速增加。

#### 1.3.1.3 恒定爬升率爬升

在进入的方式上，恒定爬升率爬升与恒速爬升非常相似。随着功率增大，柔和地拉杆使黄色的“八”字符号抬起到所需的俯仰姿态，该姿态等同于所需的升降速度变化率。



图 7-15 从巡航速度上的恒速爬升。

在机动初始部分，俯仰姿态的主要仪表是空速表，直到升降速度变化率稳定下来，然后升降速度表带变成了主要仪表。然后空速表变成了主要的功率仪表。如果发觉到从所需升降速度的任何偏差，需要进行小量的俯仰姿态改变来获得所需的升降速度。『图 7-19』

当做出变化来补偿性能、俯仰姿态和功率的偏差时，飞行员操纵需要协调来保持稳定的飞行姿态。例如，如果升降速度低于所需的速度，但是空速是正确的，增大俯仰姿态会瞬间增大升降速度。然而，如果没有增加功率，增大的阻力将很快地开始减小空速。任一变量改变将引起另一变量的协同改变。

相反地，如果空速小，俯仰姿态高，单独地减小俯仰姿态可以来解决问题。格外轻微地压机头观察减小功率是否有必要。对该飞机的俯仰姿态和功率调定熟悉能帮助获得准确的姿态仪表飞行。

#### 1.3.1.4 改平

从爬升改平需要在达到所需高度之前减小俯仰姿态。如果在达到所需高度之前不改变俯仰姿态，在整个过渡期间飞机的动量造成飞机继续越过所需的高度直

到水平的俯仰姿态。要使用的提前量取决于升降速度变化率。较大的升降速度需要更大的提前量来改平。一个可利用的好经验就是以升降速度变化率的 10% 提前改出（ $1000\text{FPM} \div 10 = 100$  英尺提前）。



图 7-16 从已建立空速上的恒速爬升。



图 7-17 恒定爬升率爬升。

要在所需高度改平，参考姿态显示并向所需的水平俯仰姿态施加顶杆力，同时监控升降速度表和高度表带。变化率应该开始减缓，空速应该开始减小。保持爬升功率调定直到空速接近所需的巡航速度。随着空速增加，继续监控高度表以保持所需的高度。在到达巡航速度之前，必须减小功率以方式超过所需的速度。需要的提前时间量取决于飞机加速的速度。利用空速趋势指示器可以提供帮助，它显示了飞机到达所需的速度有多快。

要在爬升空速上改平，压低机头到合适的平飞俯仰姿态，同时减小功率到一个将保持所需速度的调定值。协调减小俯仰姿态和功率，空速应该不会变化。

### 1.3.2 下降

下降可以在各种空速和俯仰姿态上通过减小功率来完成，压低机头到一个低于平飞姿态的俯仰姿态，或增加阻力。一旦做出了这些改变，空速将最终稳定下来。在过渡阶段期间，唯一能显示准确的俯仰姿态指示的仪表是地平仪。如果不使用地平仪的话（例如部分面板飞行），空速表带、升降速度表带和高度表带将显示变化值，直到飞机稳定在一个恒定的空速和下降率上。

高度表带继续显示下降。保持俯仰姿态恒定不便使飞机稳定下来。在姿态或空速的任何改变期间，需要使用一系列的配平以消除需要施加给操纵杆的任何操纵力。在过渡期间加快扫视速度是重要的，因为飞机的飞行路径和速度正在改变。『图 7-20』

### 1.3.3 进入

可以恒定下降率、恒定空速或二者结合进行下降。以下的方法可以在有或无地平仪的情况下完成上述下降。减小功率使得飞机减速到所需的空速，同时保持直线平飞。随着飞机接近所需的空速，减小功率到一个一定值。

空速继续减小低于所需的空速，除非同时减小俯仰姿态。空速表带成为俯仰姿态的主要仪表。如果发觉到从所需速度的任何偏差，通过参考地平仪进行小的俯仰修正并和空速带确认所做的改变。利用空速趋势指示器判断空速是否会增加及在多少变化率。记住配平任何的操纵力。

恒定下降率下降的进入程序是一样的，只不过升降速度表带成为了俯仰姿态的主要仪表。主要的功率仪表会是空速表。当进行一个恒定下降率下降同时保持一个特定空速时，需要协调使用俯仰姿态和功率操纵。俯仰姿态的任何改变会直接地影响空速。相反地，只要俯仰姿态保持恒定不变，空速的任何改变会直接影响升降速度。

#### 1.3.3.1 改平

当从下降改平使回到巡航速度时，在增加俯仰姿态回到平飞姿态之前，首先开始增加功率到巡航功率。一个用于确定何时开始改平的技术是提前下降率10%的高度开始改平。例如，扶过飞机以1000FPM的下降率下降，在高于平飞高度100英尺时开始改平。如果改变俯仰姿态迟了，容易超过所需的高度，除非快速的进行俯仰姿态改变。避免做出任何快速的改变，它会引起操纵问题或空间失定向。一旦到水平俯仰姿态，使飞机加速到所需的速度。监控空速和高度带上的性能信息。调节功率以修正空速的任何偏差。通过交叉检查高度表带来确认飞机保持平飞。如果发觉到偏差，合适、柔和的改变俯仰姿态以回到所需的高度。俯仰姿态的任何变化需要对功率调定柔和、协调地改变。监控空速以保持所需的巡航速度。

要以恒定的速度改平，飞行员必须再次确认合适开始增加俯仰姿态到水平姿态。如果俯仰姿态是正在改变的唯一项目，随着飞机的俯仰姿态增大，空速会由于阻力的增大而改变。需要柔和、协调地增加功率到一个预定值以保持速度。配平飞机以减轻可能施加的任何操纵力。



图 7-18 顶部图像表示功率减小，以 500FPM 下降到高度 5000 英尺。底部的图像表示功率增加，改平开始。

### 1.3.4 直线爬升和下降中的常见误差

爬升和下降错误通常由下面的过失造成，但不先于下面的过失：

1. 开始爬升时对俯仰姿态操纵过量。熟悉飞机是达到准确姿态仪表飞行的关键。在飞行员熟悉与特定空速关联的俯仰姿态之前，飞行员必须对初始俯仰姿态设定进行修正。改变不会产生实时的、稳定的结果；必须保持耐心等待新的速度和升降速度变化率稳定下来。避免马虎地做出改变，然后在第一个改变确认之前，又匆忙地做出另一个改变。小的改变将产生更快的结果并且使得飞行路径更稳定。对俯仰姿态和功率进行大的改变更难于操纵，并且会进一步地给恢复过程造成麻烦。
2. 没有加快仪表交叉检查的速度。只要俯仰姿态和功率进行了改变，需要加快飞行员交叉检查仪表的速度。缓慢地交叉检查会导致其它飞行姿态的偏差。
3. 无法保持新的俯仰姿态。一旦改变俯仰姿态来修正偏差，在确认变化之前必须保持俯仰姿态。利用配平来帮助保持新的俯仰姿态。如果

俯仰姿态改变，确认初始俯仰变化是否足够来修正该偏差是不可能的。连续地改变俯仰姿态延迟了恢复过程。

4. 未利用有效的配平技巧。如果飞行员必须保持操纵力，如果改变俯仰姿态的话，确认初始修正将是不可能的。当手动保持俯仰姿态的时候，飞行员易于施加多余的操纵力或减缓操纵力。配平可使飞行员飞行时不握杆。

5. 无法学会使用正确的功率调定。只要飞行员不熟悉飞机的特定俯仰姿态和功率调定，或不使用它们，飞行路径的变化将持续很长时间。学会使用俯仰姿态和功率调定来加快飞行路径的改变。

6. 在做出俯仰姿态和功率调节之前，未交叉检查空速和升降速度。改变一个方面可能会修正其它的偏差。

7. 在改平期间使用俯仰姿态和功率不协调。在改平期间，需要协调俯仰姿态和功率调定来获得所需的结果。如果在增大功率之前俯仰姿态增大，将会产生额外的阻力，因此空速会减小低于所需的值。

8. 未利用辅助俯仰姿态仪表导致追逐升降速度表。始终使用地平仪作为操纵仪表，在其上改变俯仰姿态。

9. 未确定一个从爬升或下降改平的合适提前时间。等待过久会导致超过高度。

10. 波定——随着功率增大，在改平期间无法保持顶杆力。产生额外的升力导致飞机的机头上仰。

## 1.4 转弯

### 1.4.1 标准转弯率转弯

前节讲了直线平飞还有爬升与下降。然而，姿态仪表飞行不能单靠直线飞行来完成。在某些观点来说，飞机需要沿着矢量航路、全球定位系统（GPS）航道和仪表进近进行转弯机动飞行。仪表飞行的关键是要柔和、可控地改变俯仰姿态和坡度。仪表飞行应该是个缓慢但有准备的过程，从起飞机场飞到目的地机场，期间没有任何极端飞行机动。

应该以标准转弯率转弯到特定的航向。标准转弯率定义为  $3^\circ$  每秒的转弯，将在 2 分钟内产生一个完整的  $360^\circ$  转弯。 $3^\circ$  每秒转弯使得航向很快地改变，也使飞行员有充足的时间交叉检查飞行仪表并避免了飞机上的航空动力的急剧变化。机动飞机决不能快过飞行员可舒适地交叉检查飞行仪表的程度。大多数自动驾驶仪设计程序是以标准转弯率进行转弯。

#### 1.4.1.1 建立标准转弯率转弯

要进入标准转弯率转弯，接近标准转弯率转弯的坡度，然后在地平仪上建立该坡度。经验来说要确定大约的坡度，使用真空速的  $15\%$ 。一个简单的方法确定这个量是空速除以 10，然后加上结果的一般。例如，在 100 节时，需要大约  $15^\circ$  的坡度（ $100/10=10+5=15$ ）；120 节时，需要大约  $18^\circ$  的坡度来进行标准转弯率转弯。

交叉检查位于 HIS 上的转弯速率指示器来确定该坡度是否足够进行标准转弯率转弯。可能需要进行稍微的修正坡度来获得所需的性能。这种情况中的主要坡度仪表是转弯率指示器，因为目标是未了获得一个标准转弯率转弯。转弯率

指示器是能清楚地指示标准转弯率转弯的唯一仪表。通过交叉检查坡度来确定坡度是否大于或小于计算的角度，姿态指示器只用来建立坡度（操纵仪表），但不能用作辅助仪表。

随着飞机横滚进入坡度，升力的垂直分力将开始减小。『图 7-21』随着升力的垂直分力减小，必须产生额外的升力来保持水平飞行。拉杆以止住任何的高度损失趋势。随着需要产生的升力增加，也将产生额外的诱导阻力。额外的阻力将引起飞机开始减速。要阻止减速，通过增大功率手柄的功率来施加额外的推力。一旦高度和空速正在保持住，利用配平轮来消除需要保持在操纵杆上的任何操纵力。

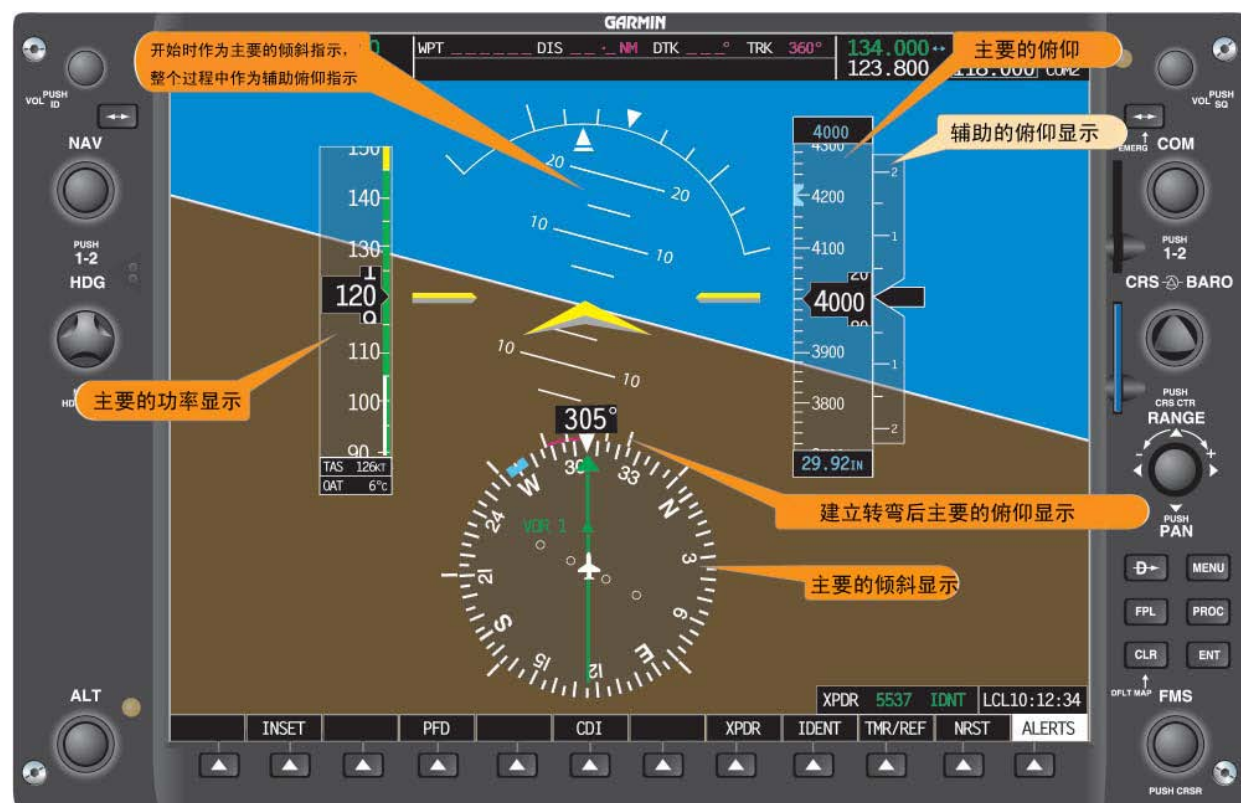


图 7-19 标准转弯率转弯—恒定空速。

当从标准转弯率转弯改出坡度时，飞行员必须协调使用副翼和方向舵，并使用柔和的操纵力改出横滚至机翼水平的姿态。改出坡度的速度应该和进入坡度的速度一样，为了估计到达所需的航向（不是飞过或没飞到）必要的提前量。

在回到直线飞行的过渡期间，地平仪成为坡度的主要仪表。一旦机翼水平，航向指示器就成为坡度的主要仪表。随着坡度减小，如果俯仰姿态未充分减小来保持水平飞行，升力的垂直分力将增加。如果向操纵杆施加了向前的操纵力，快速交叉检查可以保持高度表固定不变。随着坡度减小，当飞机到零坡度时，俯仰姿态应该相应地降低来达到水平的俯仰姿态。记住使用配平轮来消除需要保持的任何过大的操纵力。

#### 1.4.1.2 常见错误

1.4.1.3 一个与标准转弯率转弯相关联的常见错误是飞行员无法保持与标准转弯率对应的合适的坡度。在转弯期间，主要的坡度仪表是转弯率指示器；然而坡度会轻微地变化。如果

快速地进行交叉检查，飞行员应该能够最小化地减小飞过或没飞到发生的错误。

1.4.1.4 在标准转弯率转弯中的另一个通常会遇到的错误是交叉检查不熟练或不足够。在机动飞行期间，飞行员需要快速地交叉检查以发觉并消除高度、空速和坡度的所有偏差。

1.4.1.5 一般来说，过于入神是与姿态仪表飞行相关联的一个主要错误。培训仪表等级的飞行员易于把重点放在他们感觉手边最重要的任务上，把所有的注意力放在转弯率指示器上忘记了交叉检查。在机动飞行期间，改进的辐射式扫视能很好的使飞行员充分地扫视所有仪表。

## 1.4.2 转至预定的航向

在初期飞行培训期间，转弯是飞行员要学会的最基本的机动飞行之一。要熟练地进行姿态仪表飞行，关键是要学会操纵飞机、保持协调并在所需的航向上柔和地改出坡度。

通过把所有传统的仪表合并到 PFD 上，在所有的姿态仪表飞行阶段，EFD 使得飞行员能更好地利用所有的仪表。

变大了的地平仪占多功能显示（MFD）的整个宽度，使得飞行员能更好地保持俯仰姿态控制，同时引入转弯率指示器直接位于罗盘上帮助飞行员来确定合适开始改出坡度到所需的航向。

要确定多大的坡度来改变航向时，一般的对于小的航向改变，不要使用一个大于需要改变的总航向度数的坡度。例如，如果需要改变航向  $20^\circ$ ，坡度不要超过  $20^\circ$ 。另一个更好地定义了坡度的经验是使用总航向改变值的一半，但是决不能超过标准转弯率。由于真空速，对应标转转弯率转弯的确切坡度会改变。

记住计算的坡度，下一步要确定何时开始改出横滚。例如：

飞机开始从航向  $030^\circ$  转弯至航向  $120^\circ$ 。在特定的空速，标转转弯率转弯需要一个  $15^\circ$  的坡度。当航向指示器显示大约  $112^\circ$  时，飞行员开始柔和、协调地改出坡度至所需的航向。必要的计算为：

$$15^\circ \text{坡度（标准转弯率）} \div 2 = 7.5^\circ$$

$$120^\circ - 7.5^\circ = 112.5^\circ$$

一旦飞过或未飞到的量已经确定了，通过利用这个技术，飞行员可以更好地判断是否需要提前量进行修正。

## 1.4.3 计时转弯

EFD 飞机上计时转弯至目标航向和装配指针仪表的飞机的转弯方式是一样的。用于进行机动的仪表是转弯率指示器还有钟表。机动的目的是使得飞行员增进对扫视的熟练程度以及进一步的完善在没有标准仪表的情况下操纵飞机的能力。

当航向指示器失效的情况下操纵飞机时，计时转弯变得重要起来。在 AHRS 组件或磁力计失效的情况下，有必要进行计时。无论如何，磁罗盘仍可用于导航。计时转弯取代磁罗盘转弯的原因是使得机动变得简单。磁罗盘转弯需要飞行员考虑各种与罗盘有关的误差；而计时转弯不需要。

在开始转弯之前，确定转弯率指示器上的标准转弯率指示是否给出了  $3^\circ$  每秒的转弯。要确定它，必须进行校准。在任一方向上以指示的标准转弯率建立转弯。当罗盘滚过一个校准航向时，使数字计时器开始计时。一旦罗盘卡滚到另一个校准航向，停止计时器计时。使机翼水平并计算转弯率。如果已经校准了转弯率指示器且指示正确， $90^\circ$  航向的转弯应该花费 30 秒。如果改变航向  $90^\circ$  所花的时间多于或小于 30 秒，需要偏转使高于或低于标转转弯率线来补偿差异。只要

在一个方向上已经完成了校准，进行相反方向的计时转弯。当两个方向上都校准了，对所有的计时转弯应用校准的计算。

要完成计时转弯，需要确定航向的改变量。对于一个从航向  $120^{\circ}$  到航向  $360$  的变化，飞行员计算差值，然后除以  $3$ 。在这个情况下， $120^{\circ}$  除以  $3^{\circ}$  每秒等于  $40$  秒。这意味着如果飞机完全保持标准转弯率转弯，将花费  $40$  秒使飞机改变航向  $120^{\circ}$ 。当飞机开始坡度进入标准转弯率转弯时开始计时。在转弯期间监控所有的飞行仪表。主要的俯仰姿态仪表是高度表。主要的功率仪表是空速表，主要的坡度仪表是转弯率指示器。

一旦计算的时间到了，开始柔和、协调地改出坡度。只要飞行员使用相同的进入坡度和改出坡度速度，两者花费的时间将不需要包括在计算的时间内。训练时，飞行员应该在所需的航向上使机翼水平。如果出现和任何偏差，进行小的修正来建立正确的航向。

#### 1.4.4 罗盘转弯

只有磁罗盘是一个不需要其它动力源来工作的仪表。在 **AHRS** 或磁力计失效的情况下，磁罗盘使飞行员用来确定飞机航向的仪表。磁罗盘使用的详细解释，参见 **5-21** 页。

#### 1.4.5 大坡度转弯

以仪表飞行培训为目的，大坡度转弯定义为任何超过标准转弯率的转弯。标准转弯率转弯定义为 **3°每秒**。根据空速不同，和 **3°每秒** 的转弯率对应的坡度有所不同。随着空速增加，坡度必须增大。对应标准转弯率转弯的确切坡度不重要。正常标准转弯率转弯的坡度范围是从 **10°到 20°**。训练进行大坡度转弯机动飞行的目的是为了使飞行员使用过大的坡度熟练地操纵飞机。

训练大坡度转弯将考验飞行员的交叉检查技术,在整个飞行姿态的大范围内提高高度控制能力。虽然目前仪表驾驶舱训练测试标准(PTS)不要求在验证检查飞行时演示大坡度转弯,但是训练仪表飞行的飞行员有这个需要给教员演示他们的熟练程度。

训练大坡度转弯教会飞行员认识和适应快速地改变航空动力，并且有必要加快交叉检查所有的飞行仪表的速度。进入、保持和退出大坡度转弯的程序和小坡度转弯一样。由于航空动力更大和力改变的速度增大，需要增加对仪表交叉检查和判读的熟练程度。

#### 1.4.5.1 进行机动飞行

要进入一个向左的大坡度转弯，横滚进入一个协调的 **45°** 坡度左转弯。玻璃面板显示相比指针仪表的一个优势在于横滚刻度上有一个 **45°** 的坡度指示。这个在横滚刻度上另加的指针使得飞行员准确地横滚进入所需的坡度而不是指针仪表上接近 **45°**。『图 7-22』

坡度只要从平飞增加，升力的垂直分力就开始减小。如果升力的垂直分力



图 7-20 大坡度左转弯。

使得继续减小，高度表上指示出现显著的高度损失，还有升降速度表带及高度趋势指示器。另外，空速会由于俯仰姿态降低而开始增加。在训练大坡度转弯之前，重要的是要有综合扫视仪表的技能。使用所有的趋势指示器，还有升降速度表、高度表和空速表在只单独参考仪表来学习飞大坡度转弯中是重要的。

未了避免高度损失，飞行员应开始缓缓地增加拉杆力来增加俯仰姿态。需要的俯仰姿态变化通常不超过  $3^{\circ}$  至  $5^{\circ}$ ，取决于机型。随着飞行员增加拉杆力，迎角增加，这样升力的垂直分力也增加。当指示出高度偏差时，需要进行合适的操纵力修正。在大坡度转弯的初期培训阶段，飞行员易于过度倾斜。当坡度超过  $50^{\circ}$  时，就会倾斜过量。随着外侧机翼开始速度越来越快，外侧机翼比内侧机翼的升力差异将越来越大。

随着坡度越来越陡超过  $45^{\circ}$ ，升力的 2 个分量（垂直和水平）将成反比。

一旦坡度超过  $45^{\circ}$ ，升力的水平分力成为一个更大的力。如果高度继续下降，飞行员只是施加拉杆力，由于水平分力增加，飞机的转弯半径开始变小。如果拉杆力继续增加，将会达到一个点，这个点上升力的垂直分力损失和空气动力机翼载荷阻止机头抬起。俯仰姿态增加只会缩小转弯半径。

单独地参考仪表来成功地进行大坡度转弯的关键是要理解所涉及到的空气动力，还要进行快速、可靠的快速检查。任何时候，飞行员应该使用配平来避免保持操纵力。有时间训练时，飞行教员可以演示如何使用配平或不使用配平进行大坡度转弯。一旦配平飞机来机动飞行，事实上可以撒手来完成这个机动飞行。这要有额外的时间来交叉检查和判读仪表。

当修正高度的偏差时，有必要的是飞行员要修正坡度在  $\pm 5^{\circ}$  之内来改变升力的垂直分力，不只是调整拉杆力。这两个动作应该同时完成。

在从大坡度转弯到直线水平飞行改出期间，拉杆力必须随功率操纵变化来回到进入高度、航向和空速。

步骤：

1. 左转  $90^{\circ}$ ，然后右转  $90^{\circ}$ ，反过来也可以，或者转  $180^{\circ}$ ，转弯中要保持高度不变。
2. 进行一个  $45^{\circ}$  的左转弯并立即开始增加俯仰姿态大约  $3^{\circ}$  至  $5^{\circ}$ 。
3. 随着坡度超过  $30^{\circ}$ ，增加功率以保持进入的空速。
4. 进行配平以减缓任何的拉杆力。
5. 在所需航向之前大约  $20^{\circ}$  开始改出大坡度转弯。
6. 向前顶杆，使俯仰姿态到水平巡航的俯仰姿态。
7. 减小功率至进入转弯的功率调定以保持所需的空速。
8. 尽可能的重新配平飞机或继续进入大坡度右转弯并从步骤 3 继续。

#### 1.4.5.2 异常姿态改出保护

异常姿态是一些飞行员经历的最危险的情况。如果没有对仪表判读和飞机操纵合适的改出培训，飞行员会快速地加剧异常的飞行姿态导致一个潜在致命的事故。

指针式仪表要求飞行员在仪表之间扫视来推断飞机姿态。个别地，这些仪表缺少成功改出所需的必要信息。

EFD 的附加特点帮助了飞行员识别和从异常飞行姿态改出。PFD 在一个

屏幕上显示了所有的飞行仪表。每个仪表叠加到一个全屏幕的地平仪显示上。这样的布局，使得飞行员不再需要从一个仪表转移到另一个。

新的异常姿态改出保护使得飞行员能够快速确定飞机的姿态并进行安全、正确和迅速地改出。在 **PFD** 上引入了大的全宽人造地平仪增强了飞行员的处境意识。这可以使得在扫视的所有部分都可以看见地平仪。

通过 **EFD**，地平仪设计始终保留了天空和土地的显示部分。这个改进使得飞行员始终知道回到天地线的最快的路线。处境意识大大地增强了。

注：在大约  $47^\circ$  上仰的姿态，天地线开始朝下移动。从这点以后，棕色的部分将保持可见以显示飞行员回到水平俯仰姿态的最快路线。『图 7-23』



图 7-21 异常姿态改出保护。注意棕色的天地线在底部可见。

注：在大约  $27^\circ$  下俯的姿态，天地线开始朝上移动。从这点以后，蓝色的部分将保持可见以显示飞行员回到水平俯仰姿态的最快路线。『图 7-24』

有必要的是要理解地平仪上的白色线条是天地线。蓝色和棕色的分离线只是一个参考，不应该认为是人工天地线。

另一个重要的进步是异常姿态改出保护的发展，该保护装入了 **PFD** 软件，它是利用 **AHRS** 使得能够提供改出的保护。在高机头的异常姿态情况下，异常姿态改出保护显示红色的“八”字符号，它指向回到天地线。



图 7-22 在 27°，天地线开始向上移动。注意蓝天在 17°机头下俯时保持可见。

这些“八”字符号位于地平仪的上部 50°处。当飞机接近高机头姿态 30°时“八”字符号出现。该软件自动地使 PFD 消除混乱，只留下空速、航向、姿态、高度表、升降速度表带和趋势矢量。当俯仰姿态降低低于 25°时，被去掉的信息重现显示。

对于低机头异常姿态，当俯仰姿态超过机头下俯 15°时，“八”字符号显示。如果俯仰姿态继续降低，异常姿态改出保护在机头下俯 20°使屏幕消除混乱。当俯仰姿态升高高于 15°时，被去掉的信息重现显示。

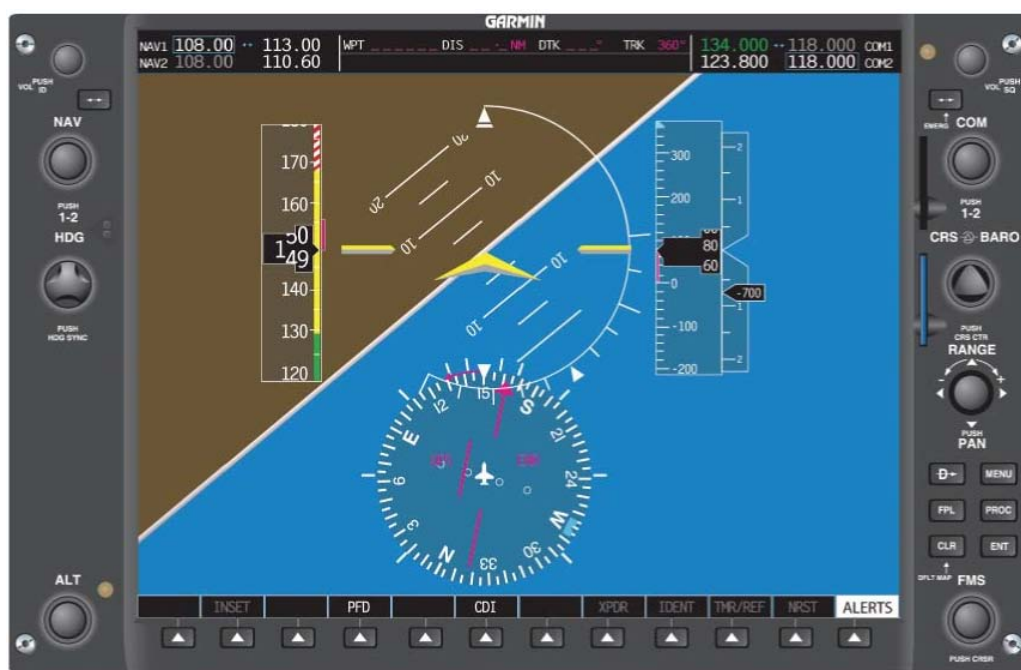


图 7-23 飞机横滚超过 60°。

另外地，坡度极限会激活异常姿态保护。如果飞机的坡度增加超过 60°，延长横滚指针以指示使机翼回到水平的最短方向。在 65°，PFD 消除混乱。当坡度下降低于 60°时，所有的信息重新显示。

在『图 7-25』中飞机已经转过 60°。观察从坡度刻度尾部出现延长的白色线条。显示该线条来指示出回到机翼水平最短的距离。

当 AHRS 组件失效时，丧失了所有的异常姿态保护。AHRS 的失效引起 PFD 上所有的航向和姿态指示丧失。另外地，横滚和高度保持除外，所有模式的自动驾驶仪都失效。

下面的系列图表示出了这项技术对于增加处境意识及对于改善飞行安全有多么重要。

『图 7-26』显示了 AHRS 及大气数据计算机（ADC）输入有效的异常姿态保护。鲜红色的“八”字符号向下指到天地线，指示出一个高机头的异常姿态，使得能容易地辨认及修正。

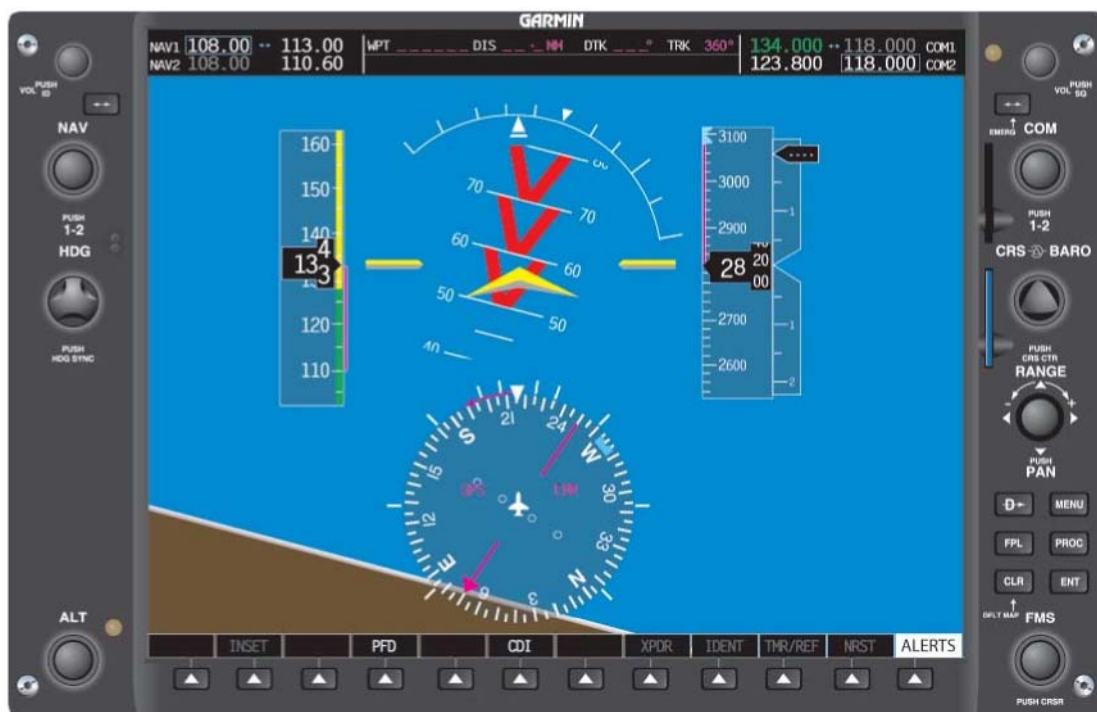


图 7-24 AHRS 有效的异常姿态保护。

注：红色的“八”字符号指向回到水平俯仰姿态的方向。趋势指示器显示了 6 秒内空速和高度的趋势。航向指示器上的趋势指示显示了飞机正在转弯的方向。侧滑指示器清楚地显示了飞机是否在协调的状态。这个信息帮助飞行员确定飞机处于哪个类型的异常姿态。

现在看『图 7-27』。显示器显示了与上图一样的空速；然而，AHRS 组件已经失效了。只有高度表和升降速度表带的清楚地指示出飞机处于高机头姿态。侧滑指示器作为关键的一个仪表将不再显示出来。飞机上没有安装备用转弯协调仪供飞行员参考。

磁罗盘指示出正在保持一个航向；然而它不像转弯协调仪或侧滑指示器那样有用。

『图 7-28』表示了 AHRS 和 ADC 失效。当出现失效时，不显示飞机的姿态。厂家推荐接通自动驾驶仪，它可以使机翼水平。

当 PFD 上主要的仪表失效后，可用的参考只有备用仪表了。备用仪表包括一个指针式空速表、姿态指示器、高度表和磁罗盘。没有安装备用的转弯协调仪。

在极度的高机头或地机头姿态及大的坡度时，指针式的地平仪有可能翻倒，造成地平仪不可用。

#### 1.4.5.3 自动驾驶仪的使用

从 MFD 屏幕后安装的转弯协调仪输入供给自动驾驶仪。为使自动驾驶仪的横滚模式变得容易而单独地安装了转弯协调仪。横滚模式，就是为了使机翼水平。除非转弯协调仪失效，这个保护始终可用（如果飞机处于异常姿态，该保护可帮助飞行员）。

注：飞行员不能碰到转弯协调仪。这个仪表安装在 MFD 板的后面。『图 7-29』



图 7-25 AHRS 组件失效



图 7-26 AHRS ADC 失效。

大多数装有 EFD 的飞机都装有自动驾驶仪。然而，飞机购买者可以指定是否要安装自动驾驶仪。当在 IMC 条件下飞一个装有 EFD 的飞机且 AHRS 和 ADC 失效时，要非常小心。

要使用自动驾驶仪来减小工作量，这样飞行员会有更多的时间去监控飞行。使用自动驾驶仪也会降低进入异常姿态的可能性。

飞一个装有 EFD 的飞机而不使用自动驾驶仪会增加工作量并且在飞行员首次学习飞这个新系统的时候，会降低处境意识。

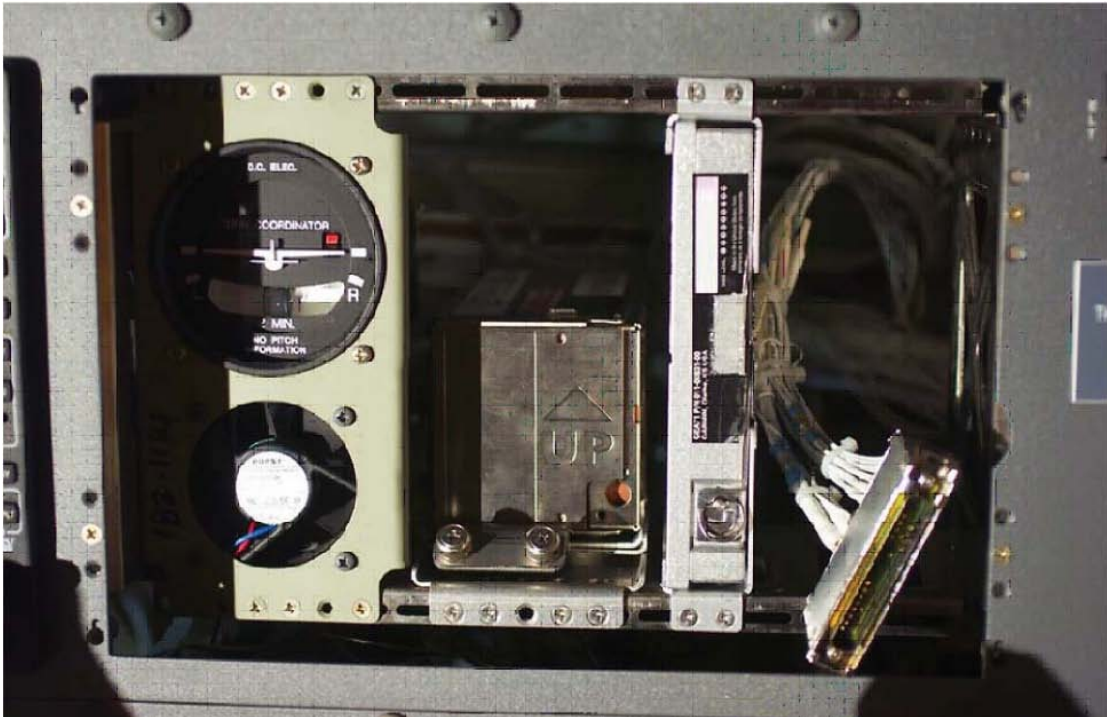


图 7-27 自动驾驶仪需要来自转弯协调仪的横滚信息。

#### 1.4.5.4 造成异常姿态的常见错误

下面的错误有可能会干扰飞行员的处境意识并且会引起异常姿态。

1. 配平技术不正确。如果飞行员停止交叉检查，未能始终保持飞机进行配平的水平飞行会造成瞬间扰乱而进入紧急情况中。

2. 驾驶舱资源管理 (CRM) 技术不好。无法有效地执行所有的单人机组资源管理职责。造成与 CRM 有关的事故的主要原因是因为飞行员无法保持有序的驾驶舱工作。飞行中使用的物品应该排列有序，能够容易地得到。无组织的驾驶舱会引起分心，这样飞行员会长时间停止交叉检查仪表使得飞机进入异常姿态中。

3. 当飞行员过于专注在一个仪表上时，因为他或她发觉到哪里错了或出现了偏差，飞行员会出现分神。重要的是仪表飞行员要记住交叉检查数个仪表来确定飞行状态比交叉检查单个仪表更有价值。

4. 通过感官感觉来尝试改出，而不是视觉。通过身体本能来改出常常会由于仪表飞行期间常有的幻觉而造成修正错误。

5. 基本的姿态仪表飞行训练不好。当飞行员长期不飞仪表进近程序或甚至于基本的姿态仪表飞行机动时，技术水平会降低。如果飞行员不熟练的话，飞行员不应在 IMC 条件下飞行。在进入 IMC 之前，他们应该让有资格的教员进行指导。

## 1.5 仪表起飞

学习单独参考仪表飞行的原因是提高飞行员在能见度小于 **VFR** 时操纵飞机的能力。另外一个要学习的有用的机动是仪表起飞。仪表起飞要求飞行员在起飞滑跑期间单独地参考飞行仪表而不参考外界来操纵飞机。训练时，仪表起飞与标准转弯率转弯一样在经常使用。

训练仪表起飞的原因是减小眼睛快速地从外界移动到驾驶舱内飞行仪表过渡期间会出现的失定向现象。

目前一种 **EFD** 系统提供了以合成视景作为商标的显示方式。合成视景是一种由计算机产生的飞机前地形三维显示。该显示器显示了跑道及基于 **GPS** 地形数据库的地形特征。该显示与视频游戏相似，它产生了一个跑道，飞行员可以向跑道方向操纵飞机来保持方向控制。只要飞行员沿着计算机产生的跑道前进，飞机将保持对准真实的跑道。

不是所有的 **EFD** 系统有这种先进的视景系统。

对于其它所有的系统，飞行员需要回到仪表起飞的标准程序。每架飞机的仪表起飞可能需要进行变更；因此，当使用任何新的设备时要经常训练。

为完成仪表起飞，需要操纵飞机的前轮或尾轮直对离场方向的跑道中心线。如果飞行员滑行时戴着一个限制视线的装置，可能需要教员的协助。如果有尾轮，锁定并用力保持刹车防止飞机缓慢移动。使用磁罗盘交叉检查 **PFD** 上的航向指示器并修正罗盘卡上发觉的任何偏差。调节航向至最接近跑道航向的 **5°** 刻度。这可使得飞行员能快速地发觉到从所需航向的任何偏差并能够在起飞滑跑期间迅速地采取修正措施。使用 **GPS** 的全方位选择 (**OBS**) 方式，旋转 **OBS** 选择器直到指针指向跑道航向。这会增强起飞滑跑期间的处境意识。柔和地施加动力以产生足够的方向舵方向控制力。松开刹车并继续增加功率至起飞调速。

只要松开了刹车，需要立即修正航向的任何偏差。避免使用刹车来控制方向，因为这将增加起飞滑跑的距离，也增加了飞机操纵过量的可能性。

随着飞机加速，连续地交叉检查空速表和航向指示器。随着飞机接近 **15-25** 节低于抬头速度的速度，柔和地拉杆以增大俯仰姿态到所需的起飞姿态（对于大多数飞机是 **7°**）。保持俯仰姿态恒定不变，继续交叉检查飞行仪表并使飞机飞离跑道。不要急于拉飞机脱离跑道。猛拉飞机脱离跑道会由于 **P-Factor** 的影响而朝左转弯，这会使飞机偏向左，使起飞不稳定。

通过参考地平仪保持所需的俯仰及坡度并交叉检查升降速度表带使指示正爬升率。注意洋红色的 **6** 秒高度趋势指示器。趋势应该显示为正。颠簸除外，所有的趋势指示应该是稳定的。如果空速正在保持常值时，应该看不到空速趋势指示。出现空速趋势指示显示俯仰姿态未保持在所需值，因此空速正在改变。所需性能是要以恒定的空速及升降速度变化率爬升。使用空速表作为俯仰指示的主要仪表。

一旦飞机达到了一个安全高度（大约 **100** 英尺，如果出现一台发动机失效，跑道距离不足以用来着陆），在参考空速表与地平仪来保持所需的俯仰姿态的同时，收回起落架和襟翼。随着飞机形态的改变，需要增加顶杆力来保持所需的俯仰姿态。柔和地增加顶杆力来抵消形态的改变。预料变化并增加交叉检查的速度。升降速度表带保持恒定的同时，空速带和高度带增加。使飞机加速到所需的爬升速度。一旦达到了所需的爬升速度，减小功率至 **POH/AFM** 上印的爬升功

率调定。配平飞机来消除任何的操纵力。

### 1.5.1 仪表起飞的常见错误

与仪表起飞有关的常见错误包括，但不限于以下：

1. 起飞前驾驶舱检查不够。由于匆忙活粗心，飞行员仪表起飞时空速表（皮托管堵塞）不工作、操纵面板上锁及许多其它疏忽的事情。尽可能的交叉检查空速表。对于某些系统产生 20 节的真空速之前，将不会指示出空速。
2. 未正确地对准跑道。这可能是由于刹车使用不正确造成的，使得飞机在对准跑道后缓慢移动，或者由于对准时前轮或尾轮锁定造成。无论如何，随着起飞开始，结果会造成固有的方向控制问题。
3. 未正确使用功率。突然地施加功率使得方向控制变得困难。大约在 3 秒内，柔和连续地增加功率至起飞功率调定。
4. 刹车使用不正确。座位或脚踏板调整不正确，脚所在的位置不舒服，常常会引起无意间使用刹车及过大的航向变化。
5. 方向舵脚蹬操纵过量。这个过失可能是由以下造成的：识别航线变化缓慢、操纵杆力过大、航向指示器判读失误（及向错误方向进行修正）、飞机加速时未意识到方向舵的有效性正在改变及其它的因素。如果观察到航向出现变化并即刻小量地移动方向舵脚蹬进行修正，可以减小突然转向的趋势。
6. 升空后无法保持姿态。当飞机离地时如果飞行员对身体感觉做出反应，就会凭着猜测控制俯仰姿态。取决于对配平变化的反应，飞行员可能使俯仰姿态过大或施加过大的顶杆力。
7. 仪表交叉检查不充分。改变配平、姿态、收回起落架和襟翼及改变功率时可能会分神。一旦改变仪表指示或施加了操纵力，继续交叉检查并在下个交叉检查顺序中注意受影响的控制。
8. 仪表判读不充分。未能立即理解仪表的指示，所以有必要进一步地学习仪表起飞。

## 1.6 基本仪表飞行航线

---

在熟练掌握了一定的基本机动程度后，可以应用这些技术到单一机动的各种组合中来。5-30 页上开始的练习使用飞行起落航线可直接应用于仪表飞行操纵中。

# 第 1 章 直升机姿态仪表飞行

## 1.1 介绍

---

从本质上讲,直升机的姿态仪表飞行其实是用飞行仪表取代直升机和天地线上的各个参考位置的目视飞行。参考仪表达达到某个姿态所需的操纵变化与直升机在目视飞行规则(VFR)下完全相同,飞行员在操纵中的思路也是相同的。基本的仪表训练是达到仪表等级的基础。

## 1.2 飞行仪表

---

在参考飞行仪表驾驶直升机时,仪表的正确判读是飞行操纵的根本。这一技术在一定程度上取决于你对特定仪表或系统运行方式的理解,包括其指示和限制(请见第 3 章,飞行仪表)。只要掌握这些知识,飞行员就可以快速地判读仪表的指示,并将该信息立即转化为操纵反应。

## 1.3 仪表飞行

---

在仪表飞行过程中,想要既柔和又有效地驾驶直升机,就必须培养 3 种基本技能。它们分别是:仪表交叉检查、仪表判读以及飞机操纵。

### 1.3.1 仪表交叉检查

交叉检查,有时也叫做“扫视”,即对提供姿态和性能信息的仪表进行连续的逻辑性监视。在姿态仪表飞行中,为了达到所需的性能,姿态是依靠参考仪表来保持的。由于人为错误、仪表错误以及在不同大气和载荷条件下直升机的性能差异,很难在建立一个姿态后使其性能在长时间内维持不变。这些变量使得我们有必要不断检查仪表并且对直升机的姿态做出适当的改变。实际的技巧很大程度上取决于安装的是何种仪表、这些仪表安装在何处、还有飞行员的经历以及熟练水平等因素。对这一问题的讨论集中在 6 块基本飞行仪表上。『图 8-1』

首先,为了快速进行交叉检查,通常会出现只看仪表而不知道具体需要何种信息的情况。然而,通过熟悉和练习,能够使特定飞行条件下的仪表交叉检查具有明确的倾向性。在从一个飞行状态向另一个转换时,这些倾向能够为飞行员操纵直升机提供帮助。



图 8-1 在大多数情况下，交叉检查多个仪表时都要检查地平仪。一次典型的交叉检查有可能会按如下顺序进行：地平仪、高度表、地平仪、升降速度表、地平仪、航向指示器、地平仪等。

当集中所有精力专注于一块仪表时，会出现称为“视觉固着”的情况。这是人们常犯的错误，想要专心精确地观察一块仪表而通常忽略了其它仪表。视觉固着在一块仪表上通常会导致飞行员对飞机的操纵能力变差。例如，在转弯过程中，交叉检查时有只看转弯侧滑仪而不看其它仪表的倾向。这样只专注转弯侧滑仪通常会因对俯仰-坡度操纵差而导致掉高度。只用足够的时间了解一块仪表所提供的信息，然后继续看下一块仪表。同样，也可能对一块仪表过度重视，而忽略了其它为获得直升机性能信息所需的多块仪表。这与视觉固着在交叉检查中的其它仪表上不同，而是对一块特定的仪表过于注意。

在进行机动飞行时，有时不能预见到姿态改变后出现的重要仪表指示。例如：从爬升或下降状态改平时，飞行员可能因为太集中精力进行俯仰操纵而忘记了航向或横滚信息。这种错误称为疏忽，会导致航向和坡度操纵不稳定。

虽然有这些常犯的错误，但是经过指导和练习后，大多数的飞行员还是能够很好地适应在飞行中参考仪表。

### 1.3.2 仪表判读

各种飞行仪表给出了一副图画来表示正在发生的情况。没有哪块仪表比其它的仪表更重要，但是，在特定的机动飞行或条件下，提供最适当和最有用的信息的仪表称为主用仪表。那些为主用仪表提供备份和补充的仪表称为辅助仪表。例如，由于地平仪是唯一一块直接提供飞机当前姿态信息的仪表，在任何俯仰或坡度改变时都应被认为是主用仪表。新的姿态建立之后，其它的仪表称为主用仪表，而姿态指示器通常就变为辅助仪表。

### 1.3.3 飞机操纵

直升机操纵是对飞行仪表的准确判读并将所读内容转换为正确的操纵反应。为了获得所需的飞行轨迹，飞机操纵包括对俯仰、坡度、功率以及配平的调整。

俯仰姿态操纵是控制直升机沿横轴的运动。通过参考俯仰仪表（地平仪、高度表、空速

表以及升降速度表（VSI）判读了直升机的俯仰姿态后，不断进行调整以获得所需的姿态。本章中所描述的是大致的俯仰姿态，具体姿态因直升机机型不同而异。

坡度操纵控制的是横向倾斜的旋翼与水平面之间的角度或直升机沿纵轴的运动。判读直升机上与坡度有关的仪表（地平仪、航向指示器以及转弯侧滑仪）后，通过调节驾驶杆获得所需的坡度。

功率控制是按照相应的油门操纵总距杆。直线平飞时，如果高度偏差大于 100 英尺，或空速偏差大于 10 节，用总距杆进行修正。如果误差小于这些数值，则飞行员应使用驾驶杆稍作爬升或下降。

为了能够参考仪表操纵直升机，掌握特定直升机在不同载荷构形和飞行条件下所需的大致功率设定值非常重要。

直升机的配平是指使用驾驶杆回中按钮（如果直升机上有此按钮）释放所用可能的杆力。配平还指通过调整脚踏使转弯侧滑仪的小球回到中间位置。功率有任何改变时都需要脚踏配平。

适当调整总距杆和驾驶杆的摩擦力有助于减轻飞行员在仪表飞行时的负担。摩擦力应该调整到既要最大限度地避免操纵过量和驾驶杆滑动，又不能过度调整到使操纵受限的程度。另外，许多可进行仪表飞行的直升机都安装了增稳系统或一部自动驾驶仪以减轻飞行员的工作量。

## 1.4 直线平飞

直线恒速平飞包括保持所需的高度、航向、空速以及脚踏配平量。

### 1.4.1 俯仰操纵

直升机的俯仰姿态是其纵轴与水平面的夹角。使用地平仪（如可用）达到所需的俯仰姿态。平飞时，俯仰姿态随空速和重心（CG）的变化而变化。在高度不变并且空速稳定的条件下，俯仰姿态大约是零度。『图 8-2』



图 8-2 俯仰操纵中使用的仪表有：空速表、地平仪、高度表以及升降速度表。

#### 1.4.1.1 地平仪

地平仪为直升机提供直接的俯仰姿态指示。目视飞行时，使用驾驶杆操纵直升机抬头或低头以获得所需姿态。仪表飞行时，使用完全相同的程序向上或向下调整飞机符号与仪表天

地线的相对位置。

实施操纵与仪表最终发生改变之间会有一些滞后，这是操纵直升机时正常的操纵滞后，不应将其与仪表滞后混淆。在进行增速、减速或转弯等机动飞行过程中，地平仪显示的俯仰姿态可能略有误差。通过交叉检查其它俯仰仪表就可以快速判明此类进动误差。

如果在地面上已将飞机符号调整好，在空中可能不再需要重新调整。以正常巡航速度改平之后，如果飞机符号不在仪表天地线上，在使用其它俯仰仪表保持平飞的同时按需调整飞机符号的位置。在以正常巡航速度平飞条件下，将飞机符号调整好之后，只要保持其位置不变，就可以一直保持精确的俯仰姿态指示。

为了保持高度进行首次俯仰姿态修正时，姿态改变不宜过大，而且变化要柔和。首次向上或向下调整的幅度不得大于仪表天地线的宽度『图 8-3』。如果需要进一步调整，通常再移动半个天地线的宽度就足以修正任何偏离所需高度的误差。这种“一个到一个半”天地线宽度的修正通常是平飞姿态的最大俯仰姿态修正量。

修正完成后，交叉检查其它俯仰仪表，以便确定俯仰姿态调整是否充分。如果需要进一步修正才能回到高度，或者空速变化超过 10 节，则需调整功率。



图 8-3 正常巡航时的初始俯仰修正量为小于等于地平线的宽度。

#### 1.4.1.2 高度表

高度表在直线平飞时为直升机提供间接的俯仰姿态指示。由于在平飞时高度应保持不变，如偏离所需高度则表示需要改变俯仰姿态并在必要时改变功率。高度减小时，增大俯仰姿态并按需调整功率。高度增大时，减小俯仰姿态并按需调整功率。功率变化的指示将在下一段讲解。

高度表变化的速率有助于确定俯仰姿态。高度表变化缓慢表示与所需俯仰姿态之间的偏差很小，而高度表移动迅速则表示与所需俯仰姿态之间的偏差很大。修正要及时，使用的修正量要少。另外，应牢记高度表变化总是要通过两次调整来修正。首先调整姿态使高度表停止变化，然后再调整姿态使直升机柔和地回到所需的高度。如果高度减小超过 100 英尺并且空速减小 10 节以上，增加功率使俯仰姿态增加。如果高度超出 100 英尺以上并且空速增大 10 节以上，减小功率并减小俯仰姿态。

高度表指针的移动稍有滞后，但是，为了切合实际，我们认为高度表给出的是实时的变化指示，也就是说俯仰姿态立即需要改变。由于高度表在平飞时提供最恰当的俯仰信息，因此被视为俯仰的主用仪表。

#### 1.4.1.3 升降速度表（VSI）

升降速度表为直升机提供间接的俯仰姿态指示，应将其与其它俯仰仪表一同使用以获得

更高的精准度。平飞时仪表指示为零。指针任何偏离零位的移动都表示需要立即改变俯仰姿态使指针回零。在平飞时，始终将升降速度表和高度表一同使用。如果看到升降速度表指针移动，立即采取恰当的修正措施使指针回零。如果修正及时，通常高度改变会很小甚至没有改变。如果升降速度表指针不在零位，则高度表会指示高度增加或减小。

升降速度指针刚开始是瞬时移动，它指示的是直升机升降运动的趋势。进行修正后，升降速度表指针需要在一定的时间延迟后才能达到最终的指示位置。这种时间因素通常称为仪表滞后。这种滞后与俯仰变化的速度和幅度成正比例关系。如果采用柔和的操纵技巧并且俯仰姿态调整不大，就能尽可能避免仪表滞后现象，而升降速度表也就更容易判读。

可以先将操纵杆回中立，等俯仰姿态稳定后，再根据其它俯仰仪表的指示重新调整俯仰姿态。这种方法可以最大限度地避免操纵量过大。

升降速度表偶尔会未完全校准。这就可能出现即便直升机在平飞而仪表却指示轻微的爬升或下降的情况。如果不能将仪表完全校准，在使用升降速度表进行俯仰操纵时应考虑到此误差。例如，如果在直升机平飞时，升降速度指示为 100 英尺/分钟（FPM）的下降率，则以此指示作为平飞的基准。与此读数有任何偏差都表示姿态发生了变化。

#### 1.4.1.4 空速表

空速表为直升机提供间接的俯仰姿态指示。在一定的功率和俯仰姿态下，空速保持不变。如果空速增加，则表示机头太低，需要增大姿态。如果空速减小，则表示机头过高，需要减小姿态。空速迅速改变表示俯仰姿态变化很大，空速变化慢则表示俯仰姿态变化不大。空速表的指示滞后微乎其微。如果在改变姿态时，在实施操纵与空速改变之间出现一些滞后，很可能是驾驶杆的操纵滞后引起的。通常来讲，无意识的俯仰姿态变化造成的速度偏差也会导致高度变化。例如：由于姿态过小造成的速度增加会导致高度减小。修正俯仰姿态能使空速和高度都恢复。

#### 1.4.2 坡度操纵

直升机的坡度是其横轴与水平面的夹角。在目视飞行中要保持直线航迹，须将直升机的横轴与天地线保持一致。假定直升机处于协调飞行状态，任何从横向水平姿态的偏离都会使直升机转弯。『图 8-4』



图 8-4 用于坡度操纵的飞行仪表有：地平仪、航向指示器以及转弯指示器。

### 1.4.2.1 地平仪

地平仪为直升机提供直接的坡度指示。仪表飞行时，飞机符号和仪表天地线分别代表了实际的飞机和天地线。任何坡度的变化都立即由飞机符号表示。为了正确地判读地平仪，假设自己处于飞机符号的位置。如果配平恰当且旋翼倾斜，直升机就开始转弯。将飞机符号调整到与仪表天地线水平使转弯停止。转弯-侧滑仪上的小球应通过恰当的脚步配平量始终保持在中间位置。

坡度由仪表最上方坡度刻度上的指针指示。『图 8-5』无法从飞机符号上观察到的细微坡度变化可以很容易地通过参考坡度刻度指针确定。

俯仰和坡度可同时在姿态指示器上确定。即使飞机符号不与仪表天地线水平，俯仰姿态仍可通过观察飞机符号与仪表天地线的相对位置获得。

在进行涉及到转弯的机动飞行时，地平仪显示的坡度可能略有误差。在进行此类机动飞行时，认真交叉检查其它与转弯有关的仪表就能够立即判断出这种进动误差。通常在改平坡度时能注意到进动现象。转弯完成时，如果飞机符号在水平位而直升机仍在转弯，对坡度稍作调整使转弯指针回中并使航向指示器停止移动。



图 8-5 地平仪上方的坡度刻度指示坡度的度数变化。本范例中，直升机向右带有大约 15°的坡度。

### 1.4.2.2 航向指示器

在协调飞行中，航向指示器为直升机提供间接的坡度指示。直升机带坡度时就开始转弯。其横轴在水平位时，直升机保持直线飞行。因此，在协调飞行中，航向指示保持不变时，直升机的坡度为零。偏离所需航向表示直升机带有正在转弯方向的坡度。航向变化慢表示坡度不大，航向变化迅速表示坡度很大。如果发现直升机在转弯，向相反方向操纵驾驶杆直到航向指示器指示所需航向，同时还要确保侧滑小球在中间位置。在向所需航向修正时，不要使用大于以标准速率转弯时所需的坡度。另外，如果航向修正的度数不大，将坡度限制到要转的度数之内。如果坡度超过此标准，就需要更高超的技巧和精确度才能达到所需的航向。在

直线平飞时，航向指示器是坡度操纵的主要参考。

### 1.4.2.3 转弯指示器

协调飞行时，转弯-侧滑仪指针为直升机提供间接的坡度指示。指针偏离垂直位置表示直升机正在朝着指针偏离的方向转弯。也就是说，如果指针偏左，飞机就向左转。操纵驾驶杆使指针回到垂直位置，就可使直升机沿直线飞行。要精确判读位置的细微偏差就必须严密观察转弯指针。

交叉检查转弯-侧滑仪上的小球来判断直升机是否处于协调飞行状态。『图 8-6』如果旋翼在水平位并且脚蹬力恰当地补偿了扭矩，小球应保持在中间位置。先通过参考其它与坡度有关的仪表使直升机处于平飞状态，然后再用脚蹬配平使小球回中。功率改变后扭矩修正量也会变化。因此，发生此类变化之后总是要检查小球的位置。

### 1.4.3 直线平飞时常犯的错误

1. 未保持好高度
2. 未保持好航向
3. 进行修正时俯仰和坡度修正量过大
4. 未保持适当的脚蹬配平量
5. 未交叉检查所有可用的仪表



图 8-6 协调飞行状态由位于中间位置的小球指示。

### 1.4.4 直线平飞时的功率控制

功率设定是通过调整总距并按需控制油门实现的。对于以活塞为动力的直升机，在总管压力表上观察功率指示。而对于以涡轮为动力的直升机，在扭矩表上观察功率。（尽管大部分经过仪表飞行规则（IFR）认证的直升机都是以涡轮为动力的，本章所述内容仍使用以活塞为动力的直升机，因为大部分训练都是在此类直升机上进行的。）

在任何给定空速下，一定的功率设定值决定直升机的平飞、爬升或下降。例如，在巡航

速度下保持巡航功率，直升机就会平飞。如果飞行员增加功率设定值并保持空速不变，直升机就会爬升。反之，如果飞行员减小功率设定值并保持空速不变，直升机就会下降。

如果高度保持不变，则功率决定空速。例如，在一定高度上，巡航功率使直升机保持巡航速度。与巡航功率设定值之间存在任何偏差都会使空速改变。为使空速增加而增加功率时，直升机会抬头并且主旋翼叶片逆时针旋转的直升机会向右偏航。『图 8-7』为使空速减小而减小功率时，直升机会低头并且向左偏航。『图 8-8』单旋翼直升机上的偏航效应最为明显，旋翼顺时针旋转的直升机则不存在这种效应。为了抵消直升机的这种偏航趋势，需在功率改变时使用脚蹬配平。



图 8-7 直线平飞过程中功率增加时的飞行仪表指示。



图 8-8 直线平飞过程中功率减小时的飞行仪表指示。

为了在平飞时保持高度和空速不变，必须使俯仰姿态和功率控制协调。高度与空速之间的关系决定是否需要改变功率和/或俯仰姿态。如果高度不变而空速过大或过小，调整功率以达到所需速度。改变功率时，先精确地判读高度表，然后再通过适当的俯仰变化消除高度偏差。如果高度过低而空速过大，或反之，则仅改变俯仰姿态就有可能使直升机恢复所需的

高度和空速。如果空速小且高度低，或反之，则有必要同时改变功率和俯仰姿态。

为了在空速改变时更易控制功率，必须了解所飞的直升机机型在各个速度下的大致功率设定值。需改变空速时，将功率调整到保持新的空速所需的大致功率设定值。功率将要达到所需设定值时，在交叉检查过程中额外观察总管压力表以判断功率调整完成的时机。根据空速的变化调整俯仰姿态使高度不变。在俯仰姿态变化过程中，航向应保持不变。达到所需空速后，将功率调整到新的巡航功率设定值并进一步通过调整俯仰姿态保持高度。正常空速巡航以及从正常空速巡航过渡到慢速巡航的仪表指示如『图 8-9』图 8-10』所示。空速稳定在慢速巡航之后，地平仪所示的俯仰姿态大约是零度。

无论空速变化与否，高度表都是平飞时的主用俯仰仪表。空速改变时高度不应有变化，航向指示器仍为主要的坡度仪表。只要空速改变，总管压力表就暂时成为功率控制的主用仪表。空速达到所需读数后，空速表又重新成为功率控制的主用仪表。

为了保持直线平飞，交叉检查时应将俯仰-坡度仪表与功率控制仪表相结合。功率不变时，正常的交叉检查应该足以满足需要。功率变化时，必须加快交叉检查的速度以便有时间检查俯仰-坡度仪表。这样可以对出现的任何偏差立即进行修正。

#### 1.4.5 空速改变时常犯的错误:

1. 功率使用不当
2. 俯仰姿态操纵过量
3. 未保持好航向
4. 未保持好高度
5. 脚踏配平量使用不当



图 8-9 以正常巡航速度直线平飞时的飞行仪表指示。

## 1.5 直线爬升（恒速和恒定爬升率）

在任何功率设定值和载荷条件下，只有一个速度能够提供最有效的爬升率。要确定此速度，需要参考所飞直升机机型的爬升数据。根据不同的初始爬升空速以及需保持恒速还是恒定爬升率等不同情况，使用不同的技巧。



图 8-10 直线平飞过程中空速减小时的飞行仪表指示。



图 8-11 进入恒速爬升时的飞行仪表指示。

### 1.5.1 进入

当爬升空速小于巡航速度时，要进入恒速爬升，将功率增加到爬升功率设定值，同时将俯仰姿态调整到大致的爬升姿态。功率增加使直升机开始爬升，因此只需要轻微的向后杆力就能完成由平飞到爬升的姿态转变。应参考地平仪完成俯仰姿态改变。如果从平飞到爬升过渡平稳，升降速度表上的指示会出现迅速的向上趋势然后停止在使空速和姿态稳定的适当速率上。进入爬升的主用和辅助仪表如『图 8-11』所示。

当直升机稳定在一定的速度和高度时，空速表成为主用的俯仰仪表。应严密监控仍然作为功率主用仪表的总管压力表，以便确定当前保持的爬升功率设定值是否合适。以恒速稳定爬升时的主用和辅助仪表如『图 8-12』所示。

以恒定爬升率爬升的技巧和程序与上述的恒速爬升非常相似。出于训练目的，由爬升空速进入恒定爬升率爬升。使用适合所飞机型的爬升率。一般情况下，爬升率较小的直升机使用 500 英尺/分钟的爬升率较为合适。而对于能够以大速率爬升的直升机，使用 1000 英尺/分钟的爬升率。

要以恒定的速率爬升，将功率增加到所需速率对应的大致功率设定值。从开始增加功率直到升降速度达到所需爬升率，空速表是俯仰的主用仪表。达到所需爬升率之后，升降速度表即成为俯仰的主用仪表。参考地平仪调整俯仰姿态以保持所需的升降速度。升降速度表成为俯仰的主用仪表时，空速表则成为功率的主用仪表。以恒定速率稳定爬升时的主用和辅助仪表如『图 8-13』所示。调整功率以保持所需空速。应将俯仰姿态和功率的修正配合进行。例如，如果升降速度好而空速小，则需要增加功率。随着功率的增加，可能需要稍稍减小俯仰姿态以避免升降速度增加。小心调整俯仰姿态以免出现调整过量。通常很小的功率修正就足以使空速恢复到所需的指示。



图 8-12 以恒速稳定爬升时的飞行仪表指示。

## 1.5.2 改平

达到所需高度之前就必须开始从恒速爬升中改平。虽然改平的提前量因所飞机型和飞行员技巧而异，但决定提前量最主要的因素是升降速度。根据经验，一般使用升降速度的10%作为提前量。例如，如果爬升率是500英尺/分钟，大概在距离所需高度50英尺时开始改平。达到提前改平高度时，高度表成为俯仰的主用仪表。将俯仰姿态调整为该速度下的平飞俯仰姿态。交叉检查高度表和升降速度表以便确定在所需高度改平的时机。如果巡航速度大于爬升空速，先保持功率不变，空速达到巡航速度后，再将功率减小到巡航功率设定值。由恒定速率爬升到改平的方法与恒速爬升改平相同。

## 1.6 直线下降（恒速和恒定下降率）

在所能达到的任何正常空速下直升机都可以下降，但是必须在开始下降前确定空速。下降类型（恒速或恒定下降率）决定下降时所用的技巧。



图 8-13 以恒定速率稳定爬升时的飞行仪表指示。

### 1.6.1 进入

如果当前空速大于下降空速，并且需要以恒速下降，将功率减小到下降功率设定值并使用驾驶杆保持高度。这样会使直升机减速。直升机达到下降空速时，空速表成为俯仰的主用仪表，总管压力表成为功率的主用仪表。保持空速不变使直升机下降。以恒定下降率下降时，将功率减小到所需下降率对应的大致功率设定值。如果以下降空速开始下降，在升降速度表达到所需下降率之前，空速表是俯仰的主用仪表。达到所需下降率之后，升降速度表就成为

俯仰的主用仪表，空速表则成为功率的主用仪表。如 8-16 页以恒定速率爬升中所述，将功率和俯仰姿态的修正配合进行。

### 1.6.2 改平

如果巡航速度大于下降空速，则可以以下降空速或巡航速度从恒速下降中改平。与从爬升中改平相同，下降改平的提前量取决于下降率和操纵技巧。以下降空速改平时，提前量大致为升降速度的 10%。在提前改平的高度，同时将功率增加到能以下降速度保持平飞的设定值。这时，高度表就成为俯仰的主用仪表，空速表则成为功率的主用仪表。

要以大于下降空速的速度改平，在达到所需高度之前大约 100 到 150 英尺增加功率。功率设定值应能在平飞时保持所需速度。在距离所需高度大约 50 英尺之前保持升降速度不变。此时，高度表为俯仰的主用仪表，空速表为功率的主用仪表。以恒定速率下降到改平的方法与恒速下降改平的方法相同。

### 1.6.3 直线爬升和下降时常犯的错误

1. 未保持好航向
2. 功率使用不当
3. 未控制好俯仰姿态
4. 未保持恰当的脚步配平量
5. 未在所需高度改平

## 1.7 转弯

---

参考仪表进行转弯时应保持精确的转弯率。本章所描述的转弯是指在转弯侧滑仪上的指示不超过 3°/秒标准速率的转弯。真空速决定保持标准速率所需的坡度。根据经验，一般使用空速的 15%作为标准速率转弯所需的大致坡度。简单的计算方法是将空速除以 10 再加上所得结果的 1/2。例如，要以标准速率转弯，60 节的空速所需坡度大致为 9°（ $60 \div 10 = 6$ ， $6 + 3 = 9$ ）；80 节的空速所需坡度大致为 12°。



图 8-14 以标准速率左转时的飞行仪表指示。

要进入转弯，向需要转的方向横向操纵驾驶杆。应柔和进入并使用地平仪达到大致的坡度。达到标准转弯率时，转弯侧滑仪成为坡度的主用仪表。此时，地平仪成为辅助仪表。平飞转弯时，高度表是俯仰的主用仪表，空速表是功率的主用仪表。以标准的速率进行稳定转弯时的主用和辅助仪表如『图 8-14』所示。如果为了保持空速需要增加功率，可能需要少量的向前杆力，因为总距增加时直升机有抬头趋势。按需使用脚蹬配平，将小球保持在中间位置。

要恢复直线平飞，向与转弯相反的方向操纵驾驶杆。改出的速率应与进入转弯时的速率相同。开始改出时，地平仪是坡度的主用仪表。与直线平飞时相同，直升机将要改平时航向指示器变为坡度的主用仪表。交叉检查空速表和侧滑小球以保持所需的空速和脚蹬配平量。

### 1.7.1 转向指定航向

只要横轴倾斜，直升机就一直转弯。因此，在达到指定航向之前必须提前改出。提前量因转弯速率和飞行员的技巧而异。

以  $3^\circ/\text{秒}$  的速率转弯时，提前量为坡度角的一半。例如，如果以  $12^\circ$  的坡度转弯，使用坡度的一半，也就是  $6^\circ$  作为所需航向的提前改出点。在未按照特定的技巧确定出具体所需的提前量之前，使用此方法计算。坡度在任何时候都不能大于要转的度数。以标准速率转弯时，改出时的速率应与进入时相同。在转弯过程中，严密地对俯仰、坡度和功率的主用及辅助仪表进行交叉检查。

### 1.7.2 计时转弯

计时转弯指使用时钟和转弯侧滑仪在给定的时间内使航向改变一定的度数。例如，使用标准转弯率，直升机在 15 秒转  $45^\circ$ 。而使用二分之一的标准转弯率，直升机则在 30 秒才能转  $45^\circ$ 。计时转弯可在航向指示器不工作时采用。

开始计时转弯之前，应校准转弯协调仪以便确定其指示的精度。要进行校准，先参照转弯-侧滑仪以标准速率进行转弯，然后当长秒针通过时钟上的重要位置（12、3、6 或 9）时，检查航向指示器上所指示的航向。在以指示的速率转弯过程中，每隔 10 秒记录航向的变化。如果直升机在每个间隔的转弯度数大于或小于 30°，则分别需要减小或增大指针的偏转达到标准转弯率。在两个方向转弯对转弯侧滑仪的都进行校准之后，如有修正的偏转量，将其记录并在整个计时转弯过程中使用。

除了用时钟代替航向指示器外，计时转弯与指定航向转弯使用相同的仪表交叉检查方法和操纵技巧。转弯侧滑仪上的指针是坡度控制的主要参考，而高度表和空速表分别是俯仰操纵和功率控制的主用仪表。当时钟的长秒针通过一个重要位置时开始进入转弯，将转弯保持在校准的标准速率指示，或为了减少航向变化采用二分之一的标准速率；到所计算的时间开始改平坡度。如果进入与改出时的速率相同，则在时间计算时不必考虑进入和改出所用的时间。

如果使用整个仪表板进行定时转弯练习，使用航向指示器检查转弯精度。如果在没有航向指示器的情况下实施转弯，则在转弯完成后使用磁罗盘检查转弯精度，这时需将罗盘偏差考虑在内。

### 1.7.3 转弯中改变空速

在转弯中改变空速是一种能够提高所有三种基本仪表飞行技巧的有效机动练习。由于此机动需要同时对操纵的所有方面进行改变，因此，圆满完成不但需要快速的仪表交叉检查和判读，而且还需要柔和有效的操纵技巧。

转弯中改变空速与直线平飞改变空速所用的俯仰和功率控制技巧相同。如前所述，一定的转弯率所需的坡度与转弯速度成正比。要以标准速率完成转弯，为了保持转弯率不变，坡度必须与空速的变化成正比。空速减小时，减小坡度并增加俯仰姿态以保持高度和标准转弯率。

高度表和转弯侧滑仪的读数应在整个转弯过程中保持不变。高度表是俯仰操纵的主用仪表，转弯指针是坡度控制的主用仪表。空速变化时总管压力表是功率控制的主用仪表。空速达到新的指示值时，空速表成为功率控制的主用仪表。

可以使用两种方法在转弯中改变空速。第一种方法：转弯后改变空速。第二种方法：进入转弯的同时开始改变空速。第一种方法更为简单。但是无论使用哪种方法，随着功率的减小交叉检查仪表的频率都要增加。直升机减速时，检查高度表和升降速度表判断是否需要改变俯仰姿态，并检查坡度仪表判断是否需要改变坡度。如果转弯侧滑仪的指针偏离所需位置，则需要改变坡度。高度是通过调整俯仰姿态保持的。空速达到所需值时，空速表成为功率控制的主用仪表。通过调整功率保持所需空速。使用脚踏配平确保机动时飞机处于协调状态。

达到十分娴熟的操纵技巧之前，经常交叉检查地平仪能够避免操纵过量并能根据空速变化获得大致合适的坡度。

### 1.7.4 罗盘转弯

使用陀螺航向指示器控制航向非常简单。但是，如果航向指示器失效或直升机上未安装，则需使用磁罗盘作为航向基准。仅使用罗盘进行转弯时，飞行员需要针对增速和减速误差进行提前或滞后调整，这样才能确保直升机在所需航向改平坡度。航向转向正北时，改平坡度的提前量必须包括纬度数加上正常转弯改出使用的提前量。航向转向正南时，保持转弯直到罗盘超过 180°加纬度数，再减去正常的改出提前量。例如：在纬度 30°从东向北转弯时，罗盘读数为 37°时开始改出（30°加 15°坡度的二分之一，或适合改出速率的量）。航向由东向南转时，磁罗盘读数为 203°时开始改出（180°加 30°再减去坡度的二分之一）。由西开始

进行类似转弯时，适当的改出点应分别为向北 323°，向南 157°。

#### 1.7.4.1 以 30°的坡度转弯

在仪表气象条件（IMC）下，直升机很少需要也不建议以 30°的坡度转弯，并且被认为是直升机的异常姿态。但是，它却是一个非常好的提高姿态快速改变时迅速反应能力的机动练习。虽然进入和改出的技巧与其它任何转弯都相同，但是以 30°的坡度转弯时的俯仰却更难控制。这是因为坡度增加时垂直升力会减小。另外，由于垂直升力的减小，飞机就会有高度和/或速度减小的趋势。因此，为了保持高度和速度不变，需要额外增加功率。但是，在仪表指示需要修正之前，不要开始修正。进行此机动时，在高度表和升降速度表上观察是否需要修正，检查地平仪，然后进行必要的调整。修正完成后，再次检查高度表和升降速度表以确定修正量是否合适。



图 8-15 以恒速稳定爬升左转时的飞行仪表指示。

### 1.7.5 爬升和下降时转弯

在爬升和下降中转弯时，将上述的直线爬升、下降和标准速率转弯的技巧相结合。出于练习目的，在转弯的同时开始爬升或下降。以恒速稳定左转爬升时的主用和辅助仪表如《图 8-15》所示。爬升或下降时转弯改平与直线爬升或下降改平相同。要恢复直线平飞，可以先停止转弯再改平，或先改平再停止转弯，也可以将两者同时进行。爬升或下降中转弯时，用脚蹬配平将转弯侧滑仪的小球保持在中间位置。

### 1.7.6 转弯时常犯的错误

1. 未保持所需的转弯速率
2. 在平飞转弯时未保持好高度
3. 未保持所需空速
4. 进入和改出的速率不一致
5. 向指定航向转弯时未使用适当的提前量
6. 在计时转弯过程中没有准确地计算时间
7. 在罗盘转弯时未使用适当的提前量和滞后量
8. 功率使用不当
9. 脚蹬配平使用不当

## 1.8 异常姿态

---

任何正常直升机仪表飞行中不需要的机动都是异常姿态。这可能是一个或多个因素导致的，如：紊流、方向迷失、仪表失效、困惑、过分专注驾驶舱职责、交叉检查不认真、仪表判读错误或飞机操纵不熟练。由于直升机的不稳定性，异常姿态可能非常危险。一旦发现姿态异常，在尽量保持高度的前提下尽快改为直线平飞。

要从异常姿态改出，飞行员应修正坡度和俯仰姿态并按需调整功率。所有调整几乎是同时进行。无论有无地平仪，飞行员都必须能够完成改出。如果直升机正在爬升或下降中转弯，调整坡度、俯仰和功率。坡度应参考转弯侧滑仪和地平仪修正。俯仰姿态应参考高度表、空速表、升降速度表以及地平仪修正。功率调整应参考空速表和总管压力表。

由于异常姿态改出时使用的操纵量可能比正常飞行时大，因此，在恢复直线平飞过程中需小心操纵。对其它仪表进行严密地交叉检查能够最大限度地避免操纵过量。

### 1.8.1 异常姿态改出时常犯的错误

1. 未进行适当的俯仰修正
2. 未进行适当的坡度修正
3. 未进行恰当的功率修正
4. 俯仰和/或坡度操纵过量
5. 功率控制过量
6. 高度丧失过多

## 1.9 紧急情况

---

仪表飞行中出现紧急情况时的处置与在 VFR 飞行中类似。对直升机整体以及各个系统的了解、良好的航空知识和判断力是对为应对紧急情况所作的最好准备。航前计划和完整的航前检查是安全运行的前提。将紧急着陆的适当着陆地点包括在航路计划中。确保出现紧急情况时要使用的所有资源（如地图、手册、手电筒以及灭火瓶等）都可用。

出现紧急情况时，首先是操纵飞机。也就是说先将直升机状态控制好，然后确定紧急着陆的地点。再执行应急检查单的记忆项目，随后执行《旋翼飞机手册》（RFM）中的书面项目。以上项目全部完成后，通知空中交通管制（ATC）。在最后一个 ATC 指定频率报告紧急情况。如果不能在此频率发送，使用 121.5 应急频率。将应答机调到应急代码 7700。此代码会在雷达设备上触发警铃或特殊的指示。

在空中出现诸如低油量或电气系统完全失效等非常紧急的情况时，尽快着陆。如果出现电气火警，则关断所有不重要的设备立即着陆。完成安全着陆可能会需要一些主要的电子仪表，如地平仪。导航无线电失效时，如能继续安全飞行，可以不必立即着陆。这种情况下，应根据实际情况尽快着陆。ATC 可能会为飞机提供到安全着陆区的引导。有关在紧急情况下如何处置的详细内容，请参考直升机的 RFM（《旋翼飞机手册》）。

### 1.9.1 自转

向前直飞自转和转弯自转都应参考仪表进行练习。这种训练能够确保在一发失效时通过及时的修正措施保持对飞机的有效操纵。

要进入自转，柔和减小总距以保持安全的旋翼转速，并使用脚蹬配平将转弯-侧滑仪的小球保持在中间位置。在地平仪上显示的直升机的俯仰姿态应大致为零度。空速表是俯仰主用仪表并应将其调整到推荐的自转速度。航向指示器在向前直飞自转时是坡度主用仪表。转弯自转时，应参考转弯-侧滑仪上的指针保持标准的转弯率。

#### 1.9.1.1 自转时常犯的错误

1. 由于脚蹬配平不当造成进入时不协调
2. 由于俯仰姿态不合适造成空速控制差
3. 向前直飞自转时航向控制差
4. 未保持恰当的旋翼转速
5. 转弯自转时未保持标准的转弯率

### 1.9.2 伺服失效

大多数经单人 IFR 飞行认证的直升机都要求安装自动驾驶仪，这极大地减轻了飞行员的工作量。但是，如果一部自动驾驶仪伺服装置失效，则必须恢复对直升机的人工操纵。工作量增加的多少取决于哪部伺服装置失效。如果驾驶杆伺服器失效，飞行员可能希望立即着陆，因为工作量增加非常大。而如果是抗扭矩或总距伺服器失效，则有可能继续飞行到下一个合适的着陆地点。

## 1.10 仪表起飞

---

为了与具体所飞的直升机机型操作说明中的内容保持一致，应按需对在此所述的程序和

技巧进行修改。在训练过程中，如果没有合格的熟练飞行教员指导，不应尝试仪表起飞。

将所操纵飞机地平仪上的飞机符号调整到恰当位置。直升机与跑道或起降点对正时，为了防止装有轮式起落架的直升机向前移动，将停留刹车刹上或使用脚蹬刹车。如果使用停留刹车，起飞后必须将其松开。总距杆上的摩擦力应既能最大限度地避免操纵过量又能防止操纵杆滑动。由于摩擦力过大会限制总距杆移动，所以应避免。

检查所有仪表指示正常后，开始使用总距杆和已确定好的功率起飞。柔和地逐渐增加功率以便同时获得空速和高度，并避免直升机不离地。随着功率增加，直升机开始离地，首先使用防扭矩脚蹬保持所需航向。同时前推驾驶杆开始增速到爬升速度。起始爬升时，直升机的俯仰姿态在地平仪上的指示应为向下一个到两个仪表天地线的宽度。离地后的主用和辅助仪表如《图 8-16》所示。增速到爬升速度过程中，逐渐将俯仰调整为爬升姿态。达到爬升速度时，将功率减小到爬升功率设定值并过渡到完全稳定的直线爬升。



图 8-16 一次仪表起飞时的飞行仪表指示。

起始爬升中，在达到一定的空速进入稳定飞行阶段之前，应只使用脚蹬进行少量的航向修正。在整个仪表起飞过程中，仪表的交叉检查和判读必须迅速而精确，对飞机的操纵应有效而柔和。

### 1.10.1 仪表起飞时常犯的错误

1. 未保持好航向
2. 脚蹬使用过量
3. 未使用所需的功率
4. 达到爬升空速时未调整好俯仰姿态

## 1.11 不断进步的科技

科技的进步使包括直升机在内的所有飞机的仪表不断改进。被称为“玻璃驾驶舱”的电子显示已经日益普遍。无论是主飞行显示（PFD）和多功能飞行显示（MFD）上为飞行员所提供的信息还是其显示的方式都在不断更新。

以下是对仪表科技进步的举例。『图 8-17』是飞机在 3000 英尺以 100 节的速度直线平飞时典型 PFD 显示。『图 8-18』所示为右转时俯仰姿态为机头向下时的情况。可使用 MFD 显示诸如『图 8-19』中的动态地图等导航信息或『图 8-20』中的飞机系统信息。



图 8-17 直线平飞时的 PFD 指示。



图 8-18 右转过程中俯仰姿态为机头向下时的 PFD 指示。



# 第 1 章 导航系统

## 1.1 介绍

本章介绍了将无线电应用于导航设备的基本原理。同时介绍了在仪表飞行中如何使用这些导航系统来进行操作。该内容为所有的仪表程序提供了框架结构，包括标准仪表离场程序（SIDS）、离场程序（DP）、等待航线以及进近程序。如何使用导航设备进行精确姿态仪表飞行以及精确跟踪，与这些机动操作中的每一项都密切相关。

## 1.2 无线电基本原理

无线电波是一种带有频率特性的非常重要的电磁（EM）波。无线电波可以远距离地穿越空间传播（大气层内或外），而且基本没有强度损失。天线用来把电流转为无线电波，这样电波可以穿越空间传播到接收天线，再由接收器再把电波转为电流使用。

### 1.2.1 无线电波如何传播

所有物质对无线电波都有不同程度的传导性和阻抗性。地球本身是无线电波最大的电阻。电波在接近地表的位置传播时不断消耗能量并在地表产生一定的电压，离天线越远电波的强度越弱。树木，建筑物以及矿床的存在都会对电波的变化程度产生影响。同辐射源的能量一样，辐射能量在高层大气时同样会受到大气分子，水以及灰尘的影响，根据信号频率，设计，使用以及设备局限性的不同，无线电波的传播特性也不尽相同。

#### 1.2.1.1 地波

地波沿着地球表面传播。可以这样想象，地波的传播路径好像是一条由地面和电离层包围的隧道或者小巷，而电离层则阻止地波进入外太空。一般说来，频率越低，信号传播越远。

地波主要用于导航，由于日复一日地沿着相同的路径传播，因此地波的传播比较可靠并且是可预见的，并且不会受到太多外界因素的影响。

地波频率范围一般从无线电范围中的最低的频率（约为 100Hz）最大到将近 1000kHz（1MHz）。虽然地波的组成部分中，有一种波超过了上述频率，达到了 30MHz，但是地波



图 9-1 地表，空间以及天波传播

在较短距离但较高频率传播时强度会大大减弱。

### 1.2.1.2 天波

天波的传播频率范围从 1 到 30MHz，最适合用于远程传播。由于遇到电离层时会发生发射或“弯曲”，这样信号就会从高空返回到地球，所以实际上我们接收到的信号是从很远的距离返回的。『图 9-1』飞机使用高频无线电，传送越洋信息时只需要 50 到 100 瓦特的电量。传送天波的频率不会用于导航，因为发射机发送信号到接收机的路径相当不固定。此类电波遇到电离层时会“反弹”回来，而这个路径经常会发生改变。

这主要是由于太阳辐射到电离层的能量总是不同（夜晚/白天，季节不同，太阳黑子活动等）。因此天波是相当不稳定的不适用于导航。

如果用在航空通讯上，天波（HF）的可靠程度一般约为 80%到 90%。目前高频正在逐渐被更为可靠的卫星通讯所替代。

### 1.2.1.3 空间波

可以穿越电离层，传播频率为 15MHz 以及大于 15MHz 的无线电波（最大可达到若干 GHz）可以认为是空间波。大部分导航设备传播信号时使用的都是空间波。频率高于 100MHz 时，地波或者天波都已经无法继续传播了。但是在到达电离层之前，导航设备（除了全球定位系统（GPS））的信号使用空间波来进行传播，这样电离层对波产生的影响（即造成信号传播错误）就会降低至最小程度。GPS 信号穿越电离层时，造成的传播错误是非常致命的，可以通过 GPS 接收机系统对传播中的错误进行修正。

对于使用者来说，空间波还有另外一个特点。如果发射机与接收机之间有障碍物，那么空间波在传播过程中遇到障碍物时可能会被阻挡。位置以及地形信息错误，以及全向信标台（VOR）中螺旋桨/转子组件调制器的错误都是由这种阻挡反射造成的。仪表着陆系统过程中的折射也是有这种现象造成的，因此建立了 ILS 临界区域。

一般说来，空间波的接收限于视线范围内，但是较低频率传播时在天地线上也会被“弯曲”。VOR 信号一般在 108 到 118MHz，相对于电子测距仪（DME）的 962 到 1213MHz 来说，是一个较低的频率，因此，当飞机从一个 VOR/DME 导航台时，“飞过天地线”时，一般情况下 DME 将会首先停止工作。

## 1.2.2 无线电波接收的干扰

静电使无线电波发生折射，从而影响通讯以及导航信号的接收。较低频率的机载设备，例如，自动定向仪（ADF）以及远程导航（LORAN）尤其容易受到静电干扰。使用甚高频（VHF）以及特高频（UHF）可以在很大程度上避免放电噪声效应。如果当导航或者通讯无线电频率可以听到静电噪声时，飞行员需要警惕导航仪表显示可能会受到影响。下面这些问题都是由沉积静电（P-静电）引起的：

- ❖ 完全失去 VHF 通讯。
- ❖ 磁罗盘读数发生错误。
- ❖ 使用自动驾驶时飞机一侧机翼较低。
- ❖ 语音通讯时发出尖锐的声音。
- ❖ 语音通讯时听到类似摩托艇的声音。
- ❖ 所有电子设备不工作。
- ❖ 甚低频（VLF）导航系统不工作。
- ❖ 仪表读数不稳定。

- ❖ 发射信号较弱以及无线电接收信号较弱。
- ❖ 圣爱尔莫火球。

## 1.3 传统导航设备

### 1.3.1 无方向无线电信标台（NDB）

无方向无线电信标台（NDB）是地面无线电发射机，可以向任何方向发射无线电能量。当 ADF 与一台 NDB 配合使用时，可以确定飞机到发射台的方位。指示器可以装配在飞机面板的一个独立仪表上。『图 9-2』ADF 的指针指向 NDB 地面导航台时，可以确定到发射台的相对方位（RB）。相对方位为顺时针测量的飞机航向与测量方位时所取方向之间的度数。飞机的磁航向（MH）为飞机以磁北为基准的指向。磁方位（MB）是指，以磁北为基准来进行测量，从一个无线电发射台的方向出发或者到一个无线电发射台的方向。

#### 1.3.1.1 NDB 的构成

NDB 的地面设备在 190 到 535kHz 的频率范围进行发射。大部分 ADF 也可以调谐到高于 NDB 波段的 AM 广播波段频率（550 到 1650kHz）。但是，导航不会允许使用这些频率，因为导航台不可以持续对其进行识别，而且特别容易受到天波传播的影响，尤其是从黄昏到黎明的时候。NDB 导航台可以进行语音发射，经常用于发射自动天气观测系统（AWOS）。飞机必须要保持保持在 NDB 的操作范围内。其覆盖区域取决于发射台能力的大小。在使用 ADF 指示之前，要先通过收听莫尔斯密码来识别该导航台。NDB 导航台经常使用两个字母或者一个字母-数字组合来表示。



#### 1.3.1.2 ADF 的构成

机载设备包括两个天线，一个接收机以及仪表指示器。“辨向”天线（无方向性）接收来自于所有方向的强度基本相同的信号。“环形”天线接收



收信号的能力要好于垂直方向的天线（双向）接收能力。

ADF 的无线电接收装置对环形辨向天线的输入信号进行处理，其结果是接收全向无线电信号要好过接收单一方向的

信号，这样就解决了全向信号不清晰的问题。仪表指示器有四种：固定刻度盘 ADF，旋转式罗盘卡 ADF，或者无线电磁指示器（RMI），该指示器带有一个或者两个指针。固定刻度 ADF（通常也称作相对方位指示器（RBI）），在该仪表顶端总是显示 0 位置，指针指向台的相对方位（RB）。『图 9-3』中，指示的是 RB135°；如果 MH 是 045°，则飞机到的台 MB 为 180°。（MH+RB=到导航台的磁方位（MB）。）

移动式刻度盘自动定向仪（ADF）允许飞行员转动飞机当前航向到仪表的顶端位置，这样指针针尖指示的方向就是飞机到导航台的磁方位，针尾指示的是从导航台出发的方向上飞机的磁方位。『图 9-4』中航向为 045°，MB 相对于导航台为 180°，从导航台出发 MB 为 360°。

图 9-2 ADF 仪表指示器以及接



图 9-4 固定刻度指示器上指示的相对方位 (RB) 注意，刻度盘上总是指示 360 度或向北方向。在这种情况下，相对于导航台的方位为向右 135 度。如果飞机的磁航向为 360 度，那么磁方位 (MB) 也为 135 度。



图 9-3 移动式刻度指示器上指示的相对方位 (RB) 通过将飞机的磁航向 (MH) 调定在顶部指标下方 045 度，磁方位 (无风的情况下) 就是相对方位 (RB) 向右 135 度，这样会指引飞行员

RMI 与移动式刻度盘 ADF 不同，它可以自动旋转刻度盘（通过旋转罗盘来远程控制）



图 9-5 无线电磁指示器 (RMI)。由于飞机的磁航向是自动改变的，相对方位 (RB)，以 095 度为例，将指示相对于导航台的磁方位 (095) 度 (无风情况下)，磁航向将指引你飞向那里。

来表示飞机的航向。RMI 有两个指针，其中一个用来指示来自于 ADF 或者 VOR 接收机的导航信息。当 ADF 控制指针旋转时，针尖指示的是 ADF 接收机上调谐的到导航台的磁方向。针尾指示的是从导航台出发方向上飞机的磁方向。当 VOR 接收机控制 RMI 的指针旋转时，指针指示的相对于 VOR 台飞机在径向线上的位置。指针指向相对于导航台的方位，即在刻度盘上读出的位置。针尾指示飞机当前位于或者正在穿越的 VOR 的径向线。『图 9-5』中航向为 005°，MB 相对于导航台为 015°，飞机的磁方位为 195°。

### 1.3.1.3 ADF 的作用

ADF 可以用来计划飞机位置，向台航迹以及背台航迹以及切入航向。这些程序主要用于等待航线以及非精密仪表进近。

### 1.3.1.4 定位

不考虑飞机的航向或者位置，ADF 指针指向到导航台

的位置。因此所指示的 **RB** 为飞机航向与导航台之间的相对方位角，从飞机的机头开始顺时针测量。考虑到机头/机尾以及左右指针的指示，用飞机的纵轴来肉眼观察 **ADF** 刻度盘。当指针指向  $0^\circ$ ，机头直接指向导航台，指针在  $210^\circ$ ，导航台为机尾偏左  $30^\circ$  的方向，当指针指向  $090^\circ$ ，导航台在飞机的右翼尖位置。单独的 **RB** 不指示飞机位置。**RB** 必须相对于飞机机头来说，这样才可以确定到导航台的相对位置或者从导航台出发的相对位置。

#### 1.3.1.5 过台

当飞机接近导航台时，稍微偏离预定航迹都会引起指针大幅度的偏转。因此，需要立即建立正确的偏流修正角。稍微做出一点航向修正（不超过  $5^\circ$ ），指针立即会从当前航迹有一个很大的偏移，直到向翼尖位置稳定转动，或者指针不稳定地左/右摆动。如果正在正切一个导航台，指针指向偏离当前航迹  $90^\circ$ ，当指针显示翼尖位置或者指向或接近  $180^\circ$  位置时，保持最后一次修正的航向不变，通过导航台通道时开始计时，从第一次接近导航台的指示到正台通道随高度发生变化之间的时间间隔，在低空时只有几秒钟，高空时可以达到 3 分钟。

#### 1.3.1.6 自导

到达导航台时，可以使用 **ADF** 来进行自动引导。自导是指使飞机保持在可以使指针直接指向  $0^\circ$  **RB** 位置的航向上。在导航台进行自导时，调谐导航台，识别莫尔斯代码，然后转弯，将 **ADF** 方位角指针指向  $0^\circ$  **RB** 位置。使用航向指示器进行转弯。当完成转弯后，检查 **ADF** 指针，根据当时情况做小范围的修正。

『图 9-6』中，从起始 **MH050°** 以及一个 **RB300°** 开始自导，需要指示一个  $60^\circ$  的左转弯从而使 **RB** 达到 0。向左转弯， $50^\circ$  减去  $60^\circ$  等于  $350^\circ$  时改出。之后进行小范围的航向修正，使 **ADF** 指 0。

如果没有风，飞机将沿着地表上的直飞航迹自导至导航台。如果有侧风，飞机将沿着迂回的航迹到达导航台，迂回航迹位于到达导航台的直飞航迹的下风侧。

#### 1.3.1.7 跟踪

在不考虑侧风状况的条件下，使用航向来进行跟踪可以保持到达导航台的预计航线，或者从导航台出发的预计航线。根据之前对航向指示器以及指针进行的表述，其目的是为了保持飞至台或者从台出发的恒定的 **MB**。

跟踪向台航迹，与航向方向一致时，这时的 **RB** 为 0。保持该航向直到指针发生移动，表明航迹出现了偏离，一般有侧风存在时会发生偏航。（指针向左移动=风从左边来；指针向右移动=风从右边来）。如果方位指针的变化速度非常快，但是航向不变，表明侧风很强或者马上接近导航台或者两者兼有。如果指针读数发生明显的改变（ $2^\circ$  到  $5^\circ$ ），按指针偏转的方向来转弯以切入起始的 **MB**。切入角的度数必须大于偏流角，否则因为风的作用力，飞机将缓慢地偏离。如果重复进行上述操作，到导航台的航迹将为弧形，并且与直线航迹作比较的话，距离也会有很大程度的增加。切入角取决于偏转率，飞机速度以及距离导航台的距离。开始时，当转向航迹时，按标准将 **RB** 加倍。

例如，如果当前航向等于航迹方向，指针指向  $10^\circ$  向左，则向左转弯  $20^\circ$ ，两倍于起始 **RB**。『图 9-7』该图为截获 **RB** 时的切入角。保持航向，直到指针向相反方向偏转  $20^\circ$ 。即指针偏转值等于切入角的大小（在本例中为  $20^\circ$ ）。航迹已经切入，飞机将保持在航迹上直到 **RB** 的读数与风修正角（**WCA**），预定航迹与飞机航向之间的角度保持相同的大小，这样保证飞机在预定航迹上飞行。根据引导进行切入，以避免偏离预计航迹。向向台航迹方向转弯

10°。现在，飞行员在向台航迹上并带有 10°向左的修正角。

注：『图 9-7』中，飞机接近导航台时，WCA 为 10°向左，RB 为 10°向右。如果这些值不发生改变，飞机将在此航迹上直接飞向导航台。如果飞行员观察到出现偏航，再次进行转弯回到原始的切入航向上来。如果已经切入预定航路，向向台航路方向转 5°，以 15°的修正角继续向台飞行。如果开始时，10°的偏流修正过大的话，飞行员需转弯与预定航线相平行，借用风的力量使飞机回到预定航道上。当指针再次指 0，用一个减小的偏航修正角迎风修正偏流。

跟踪背台航迹时，使用相同的原则：指针向左移动=风从左边来；指针向右移动=风从右边来。按指针偏转的方向对风进行修正。唯一一个例外就是，当正要转弯建立风修正角时，方位指针向相反地地方向偏转。跟踪向台航迹时，当转弯来建立风修正角时，指针的偏转读数会减少，而跟踪背台航迹，指针偏转读数会增加。注意，切入航迹与跟踪背台航迹参见『图 9-8』。

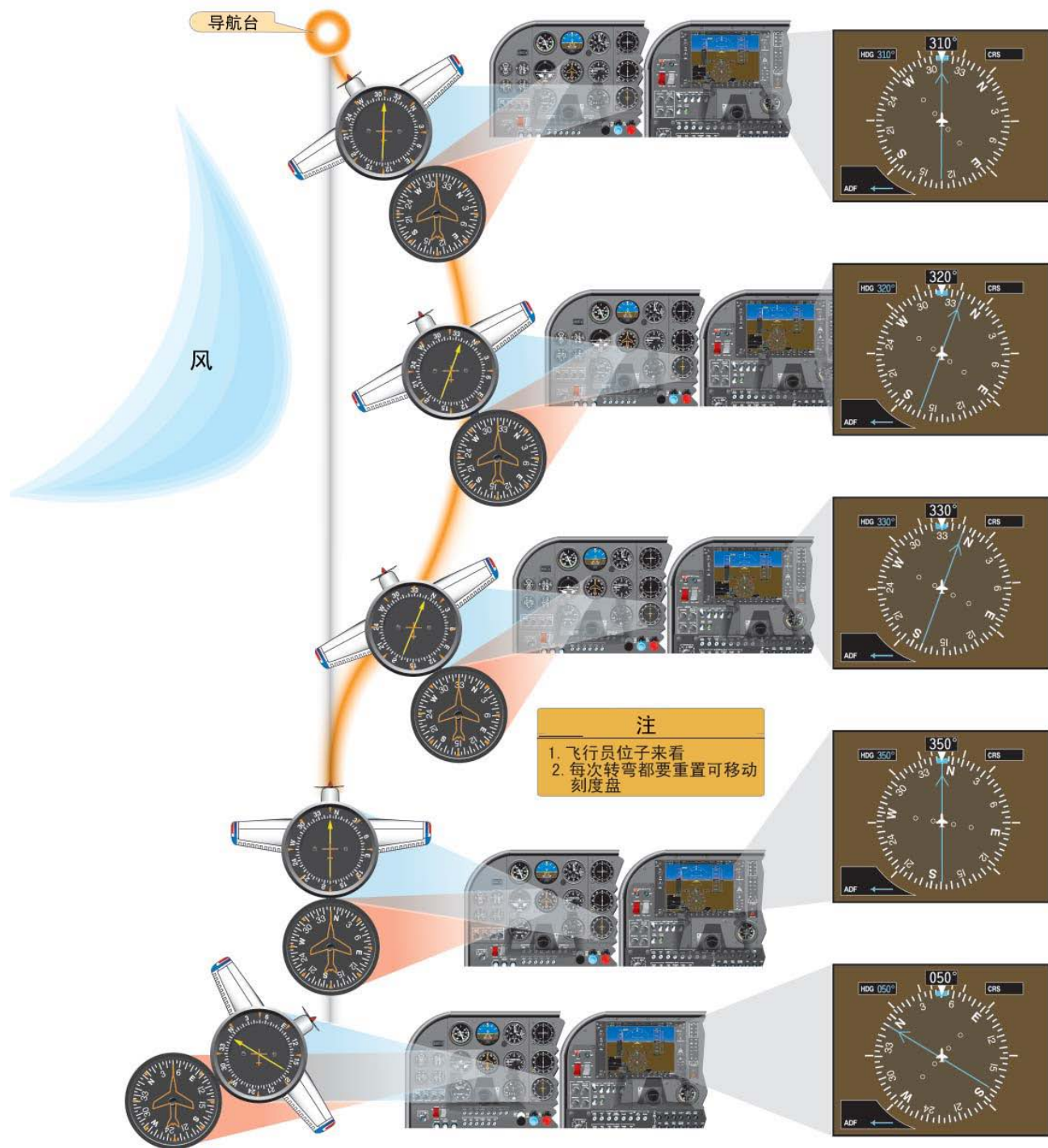


图 9-6 ADF 在侧风情况下自导

#### 1.3.1.8 截获方位线

ADF 定位以及跟踪程序也适用于切入一个特定的向台或背台磁方位。切入向台方位 355°时，可以使用以下步骤。『图 9-9』

1. 与预计向台方向相平行，从而确定相对于导航台飞机的位置。在本例中，将飞机调至航向 355°。注意台位于飞机的右前方。  
确定指针从机头位置偏转的读数。在本例中，指针的相对方位为偏离飞机的机头位置向

右 40°。从切入飞行的经验来说，将这个相对位置的角度增加一倍就是切入角的度数（80°）。

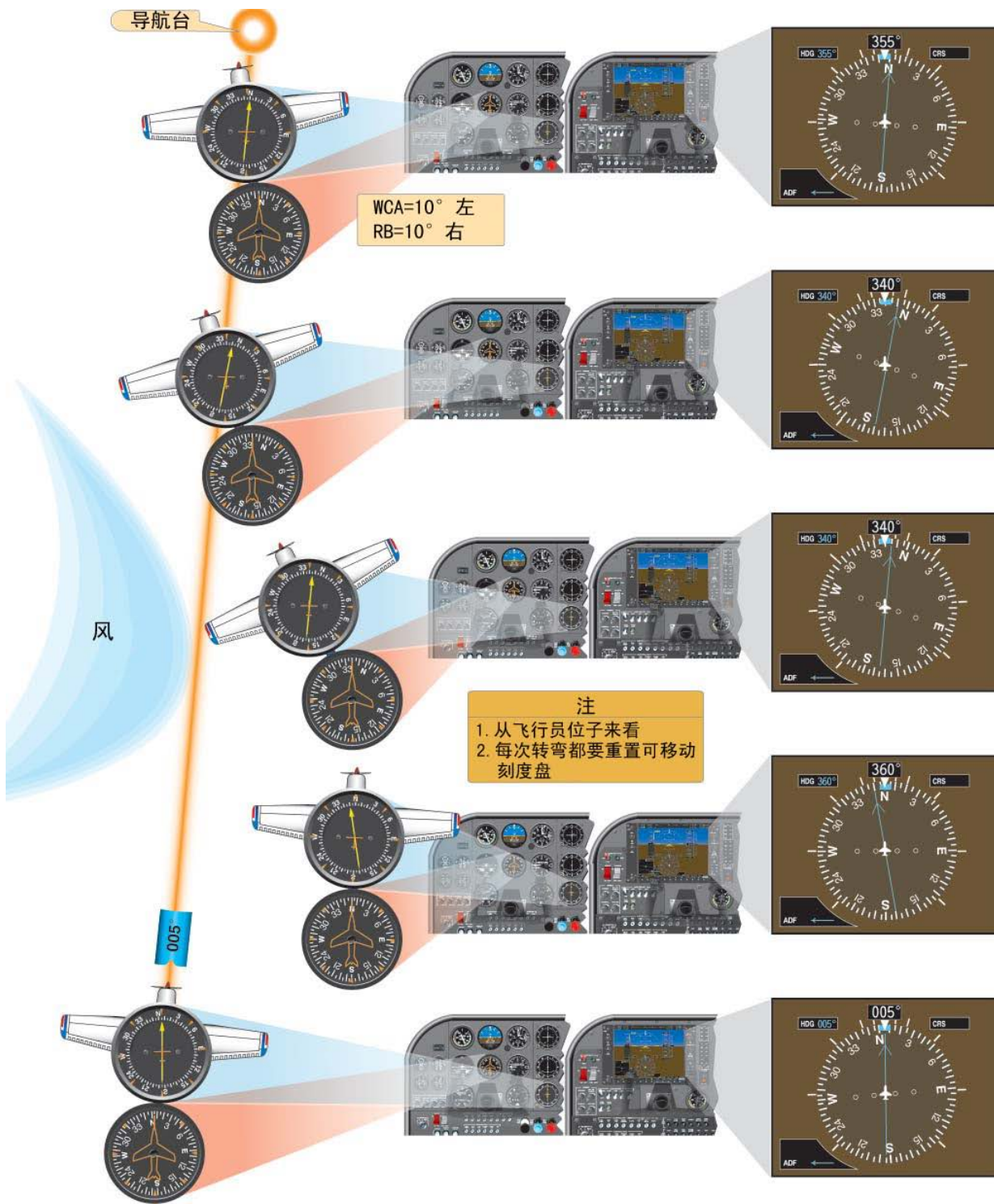


图 9-7 ADF 向台跟踪方式。

2. 飞机向着预计磁方位转弯，切入角的度数（如上述两例中所示）为两倍的起始相对方位的度数（40°），或者本例中的 80°。因此，从起始磁方位 355°向右转弯 80°，或者转弯 075°磁方位（355°+80°+075°）。
3. 保持切入航向 75°，直到指针从 0 位置向左偏转相同的读数，切入角为 80°，（减去方位正在改变时的速率的提前量）。

4. 向左转 80°, 相对方位应为 0 (在无风条件下且对 ADF 指针移动速率做适当补偿), 或者离开机头方向。另外, 磁方位应为 355°, 显示合适的切入角以切入预计航线。

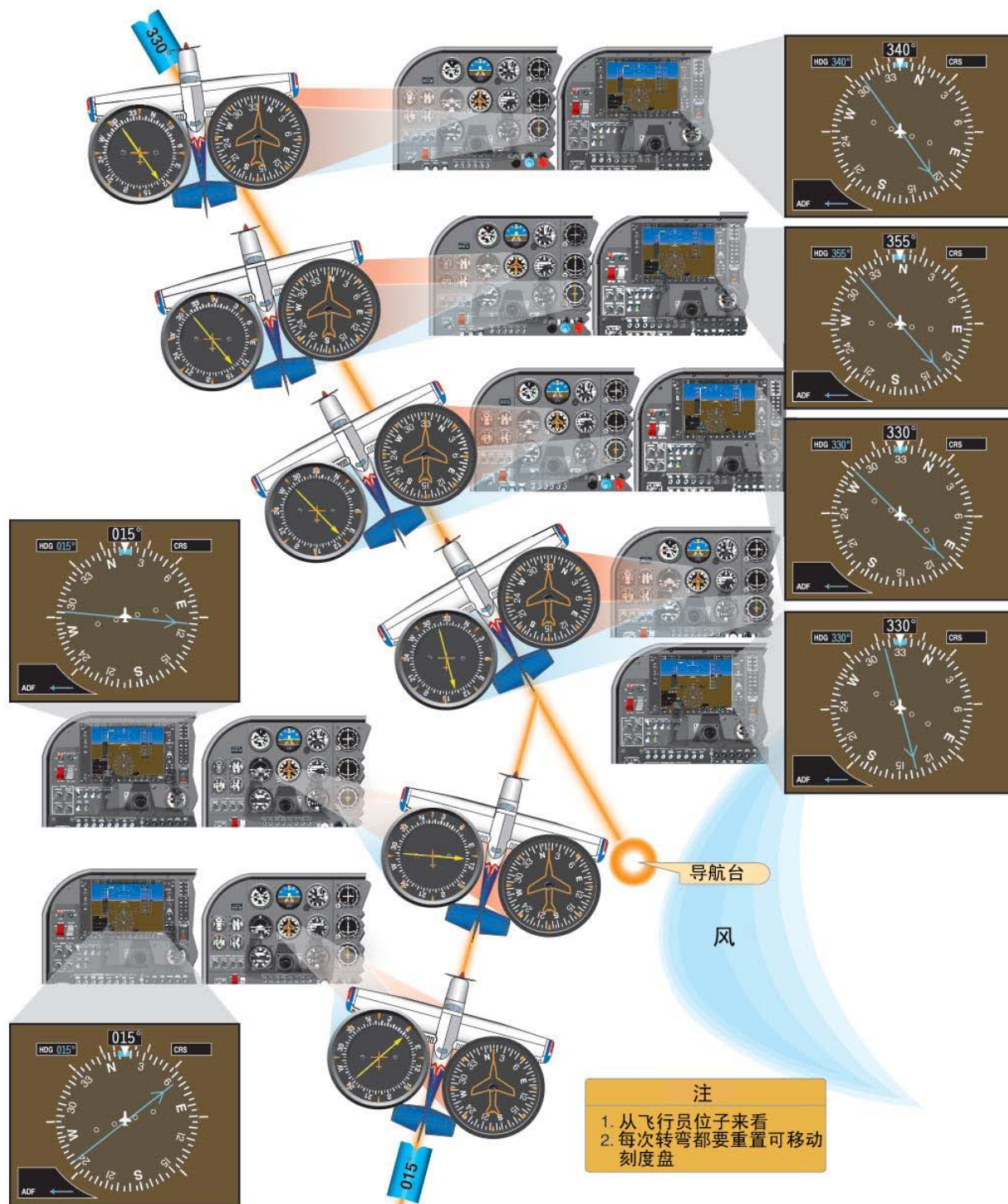


图 9-8 ADF 截获以及跟踪背台

注: 该例中, 当飞机位置距离导航台或者航路点越近, ADF 指针移动速率或者任何一个方位指针的移动都会加快。

切入一个背台磁方位与向台切入方法相同，除了需要将指针的 180°位置替换为 0 位置。

### 1.3.1.9 ADF 的工作误差

下面列出一些大部分飞行员在进行 ADF 导航时可能会发生的差错，以帮助飞行员避免出现相同的错误。这些错误包括：

1. 调谐不正确，导航台识别错误。许多飞行员都会自导或跟踪到错的导航台。
2. 只注意 RMI 从属系统出现的故障或者忽视警告旗。
3. 完全依靠自导而忽视了进行适当的航迹跟踪。单纯依靠 ADF 指示器，而不配合航向指示器一起使用。
4. 无法按照适当的步骤来定位以及跟踪航迹，定位能力差。
5. 如果匆忙开始定位程序，经常会发生切入角计算错误。由于忘记所使用的航线切入角，飞出或者飞不到预计的磁方位。
6. 不能保持所选航向。任何航向改变都会伴随着 ADF 指针的改变。在做任何切入之前，必须对仪表进行读数。
7. 不清楚 ADF 的限制以及会影响 ADF 使用的相关的因素。
8. 由于飞行员不懂或者无法辨认导航台进近，飞机在接近导航台时，航迹修正过大（单纯追随 ADF 指针的移动）。
9. 不能调定航线指示器，无法使其与磁方位保持一致。

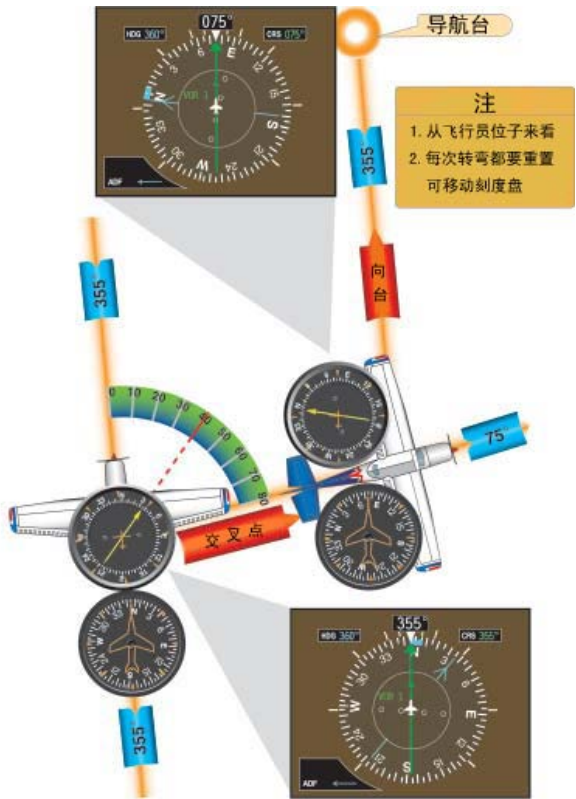


图 9-9 方位线截获

### 1.3.2 甚高频全向信标台（VOR）

作为主要的导航设备（NAVAID），VOR 主要为民航飞行提供导航服务。VOR 地面导航台以磁北方向为基准，向飞机发射方位信息，提供 360 条向 VOR 台或者从 VOR 台出发的航线。对于安装了 DME 的 VOR，我们把它称为 VOR/DME，提供方位与距离的相关信息。

从导航台出发的航线叫做径向线。飞机接收到的 VOR 信息不会受到飞机姿态或者航向的影响。『图 9-11』径向线可以想象成车轮的轮辐，任何时候飞机都可以在一条特定的线上飞行。例如，飞机在位置 A（航向 180°）向台，在 360°的径向线上，在穿越导航台之后，飞机为背台，在 180°径向线上时，为位置 A1。飞机 B 正在穿越 225°径向线。同样地，只要在导航台周围任一点，飞机都可以位于一条特定的 VOR 径向线上。另外，VOR 在 RMI 上总是指示一条航迹，引导飞机飞向 VOR 导航台，而 ADF 却相反，它的指针指向导航台，指示的是从飞机到导航台的相对位置。在上面的例子中，ADF 指针在位置 A，将径直指向前方，在 A1 时，指向飞机 180°位置（机尾），在 B 位置时，指向飞机的右侧。

VOR 接收机测量并表示相关的信息，来指示到达导航台或者从导航台出发的方位。除了 VOR 传播的导航信号之外，摩尔斯密码的信号也同时进行传播以识别该导航设备，同时通讯时的语音信息，气象信息还有其他相关信息也会同时传播。

根据设备的使用情况对 VOR 进行分类。标准 VOR 设备输出功率约为 200 瓦特，根据飞机高度，设备分类，设备的位置，设备使用区域内的地形状况以及其他相关因素来确定最大使用范围。在特殊高度之上或者超过距离限制时，会受到其他 VOR 设备信号的干涉，信号变弱从而变得不可靠。一般情况下在正常仪表飞行规则（IFR）下的最低高度，该信号的覆盖能力至少为 40 海里。VOR 的精确度问题可以参见航行通告（NOTAM）中的 VOR 服务一卷，在机场/设备指南（A/FD）中 NAVAID 一章下也有介绍。



图 9-10 VOR 发射机（地面导航台）

### 1.3.2.1 VOR 组成

地面设备包括 VOR 地面导航台，该设备为一个较小较矮的建筑物，装配了一个白色的平台，平台上面安装了 VOR 天线以及玻璃纤维的锥形塔。『图 9-10』该导航台包括一套自动监控系统。监控器自动关闭故障设备并打开备用发射机。一般说来，来自于地面导航台信号的误差在  $1^\circ$  范围内。

VOR 设备可以通过收听摩尔斯电码来进行识别或者声音，或者同时依靠两种方法。VOR 可以用来做陆空通话而不受导航信号的干扰。VOR 设备在 108.0 到 117.95MHz 频率波段内进行操作，使用 108.0 到 112.0MHz 之间十分位为偶数的频率，以避免与 ILS 航向道使用的频率发生冲突，ILS 航向道使用十分位为奇数的频率。

机载设备包括两个天线，一个接收机还有一台仪表指示器。接收机有一个频率钮来选择从 108.0 到 117.95MHz 之间的任何一个频率。开/关/音量控制可以打开导航接收机并控制语音音量。音量对接收机的操作没有影响。飞行员在使用导航仪表之前，可以收听导航台识别码。

VOR 仪表指示器所包含的基本组件参见『图 9-12』。



图 9-11 VOR 径向线

### 1.3.2.2 全方位选择器（OBS）

通过调谐 OBS 旋钮来选择预计航线，直到航线与航线指标刻度保持一致或者与航向框显示保持一致。

1.3.2.3 航线偏离指示器（CDI）

偏离指示器由仪表面盘以及铰链式指针组成，指针可以水平扫过仪表面盘。当飞机在所选择的径向线或者反方向时，指针指向中间位时。在指针灵敏度正常的情况下，当整个指针偏离中间位置指向刻度盘的另一侧时，表明飞机偏离航迹 12°或者多于 12°。中圈的外侧范围为偏离航迹 2°；每一个点代表额外的 2°。

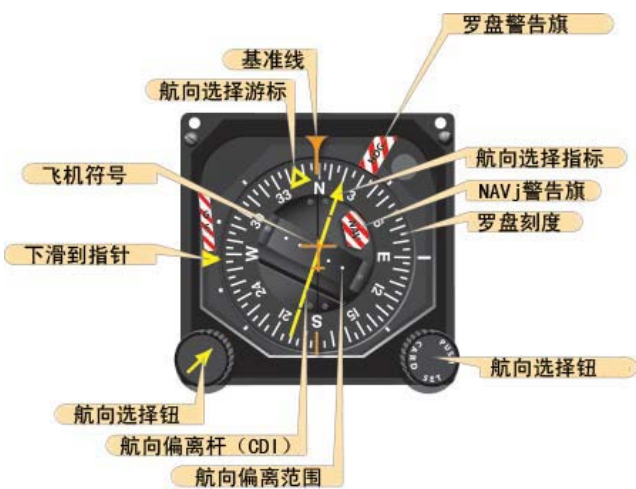
1.3.2.4 向/背台指示

不管所选择的航迹如何，向台/背台指示器都会指引飞机向着或者背着台进行飞行。该指示器无法指示飞机是向着导航台飞行还是从导航台位置出发的。



9-13 典型的水平状态指示器（HSI）

图 9-12 VOR 仪表指示器图



1.3.2.5 故障旗或者其他信号强度指示器

该设备可以是一个“OFF”旗，用来指示一个可用的或者一个不可靠的信号。如果信号强度足够强可以获得可靠的仪表指示，这时不需要再观察它。反过来说，如果信号强度不够强，可能在 TO/FROM 框中显示空白或者 OFF。

仪表指示器也可以是一个水平状态指示器（HSI），需要配合航向指示器以及 CDI 进行工作。『图 9-13』将来自于 VOR/航向道（LOC）或者 LORAN 或者 GPS 的导航信息联合使用时，再加上飞机的航向信息，可以就飞机的位置以及方向提供一个目视图。这样会减少飞行员的工作量，尤其在切入航向，背台航道进近，或者进入等待航线的时候。（参见第三章仪表飞行中的操作特征）。

1.3.2.6 VOR 的作用

1.3.2.7

1.3.2.8 定位

VOR 不能计算飞机的航向。只能确定相对于导航台来说飞机的方向，并且不管机头指向哪一方，指示都是相同的。调谐 VOR 接收机到所选 VOR 地面导航台的相应的频率，提高音频音量，识别可以听到的导航台的信号。然后，旋转 OBS 到定中 CDI 指针，读取指标

下方或者上方的航线。『图 9-12』，显示航线 360°TO，但在『图 9-15』中，航线为 180°TO。后面显示飞机（航向不确定）此刻在 360°径向线上的任意一点（从导航台发出的径向线），直接飞过导航台或者非常接近导航台的情况除外，如『图 9-15』中显示在 I 点与 S 点之间。由于导航台天线的辐射方式以及『图 9-14』反向基准，可变信号强度弱并且不断发生变化，因此导航台上空信号的强度弱，接受不到充足的信号从而造成该区域的信息混乱。

『图 9-15』中 CDI 指示 180°，意味着飞机在导航台 180°或者 360°的径向线上。TO/FROM 指示器可以解决信号混乱的问题。如果 TO 指示器指示，则飞机在 180°向着导航台。FROM 指示则表示飞机在导航台的径向线上。CDI 从中间位置开始移动，如果以一个相对恒定的速率来移动，则表明飞机正在移动或者正在偏离 180°/360°的径向线。如果指针快速移动或者摆动，则指示快速接近导航台通道（飞机正在接近导航台）。为了确定飞机相对于导航台的位置，转动 OBS 直到方框显示 FROM，随后定中 CDI 指针。指标指示飞机所在的 VOR 径向线。向台（朝向导航台）航线与径向线方向相反。



图 9-14 电子飞行仪表中飞行员主飞行显示（PFD）上的 HSI 显示。注意只对与 HSI 有关的进行标注。

如果调定 VOR 为预计航线的反方向，CDI 将指示相反的感应方向。为了修正指针的偏移，向指针的相反方向转弯。为了避免出现这种反方向辨向，可以将 VOR 调定使其与预计航线保持一致。

一台 NAVAID 帮助飞行员确定飞机的径向线位置。另一台 NAVAID 来锁定更为精确的目标，即飞行员在这条径向线上的具体位置。

### 1.3.2.9 跟踪向台背台

为了跟踪导航台，转动 OBS 直到出现 TO，然后将 CDI 定中。指标指示要飞的航线。如

果 **CDI** 离开中间位置向左移动，跟着指针的移动来向左修正航线，开始进行  $20^\circ$  的修正。

当在指标指示的航线上飞行时，指针向左偏移表明有来自于左边的侧风分量。如果修正的量使指针回到中间位置，将向左的航线修正量减少一半。如果 **CDI** 向左或右移动，则应缓慢操作，下次重复该操作时使用更小的航向修正量。

保持 **CDI** 在中间位置，这样可以使飞机向台飞行。当跟踪向台时，指标上的 **OBS** 值是不会发生变化的。如果自导到导航台，**CDI** 指针会周期性地回到中间位置，使用指标下方的新的航线来确定飞机航向。到达导航台时，自导航线的形状为弧形，跟 **ADF** 自导一样。

在 **VOR** 径向线上跟踪背台航线，首先应该定中 **CDI** 指针，然后根据出现的 **FROM** 指示来确定飞机相对于导航台以及预计航线的位置。飞过导航台或者建立切入航向时，跟踪可能会被拦截。使用 **OBS** 进入指标下方的预计径向线的磁航线，保持切入航向直到 **CDI** 位置定中。之后，使用导航台跟踪程序，在特定的径向线上背台飞行。

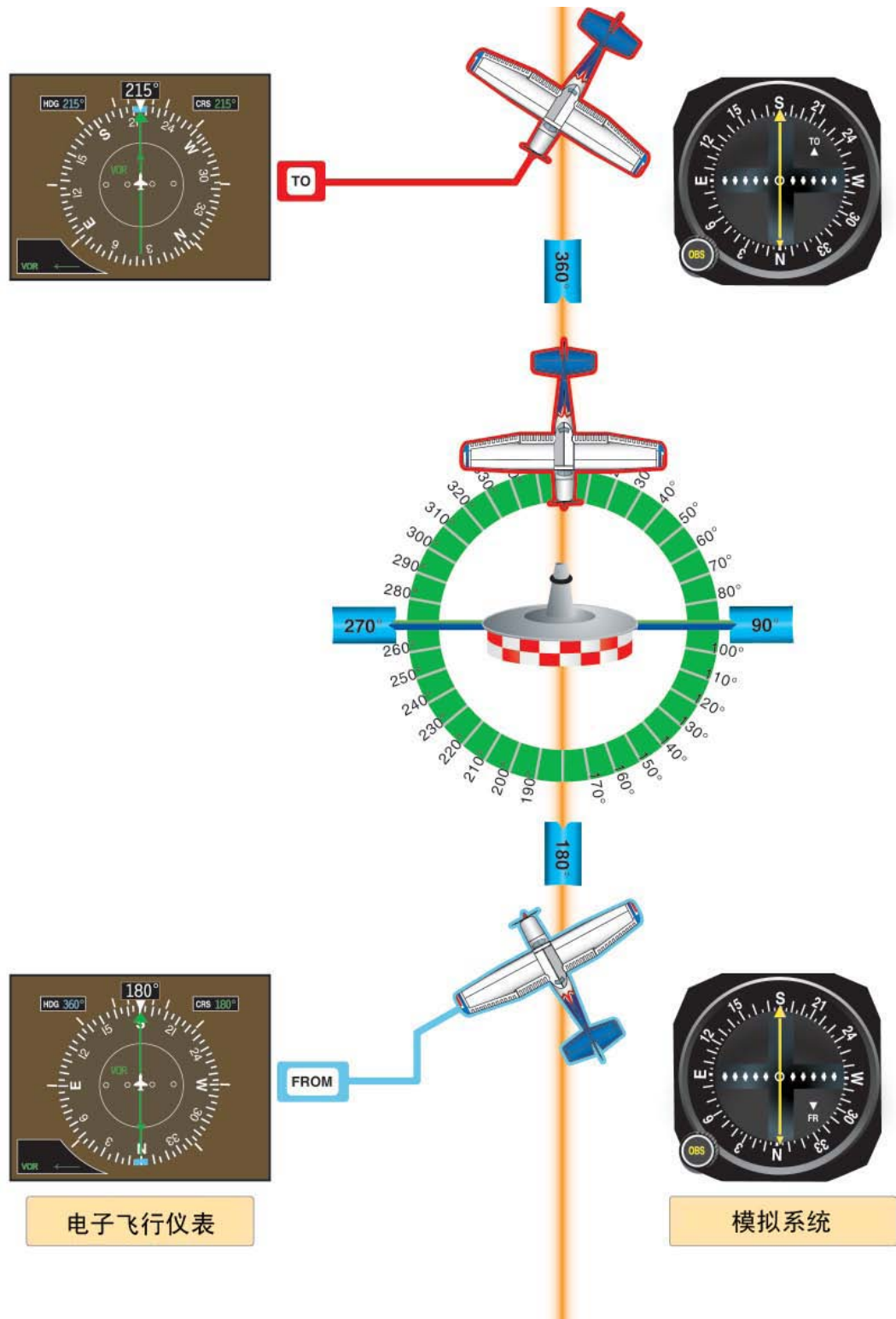


图 9-15 对 CDI 的解释说明。CDI 一般安装在模拟系统（右）也可安装在电子飞行仪表（左）。

#### 1.3.2.10 航道截获

如果不在预计航线上飞行，首先确定飞机相对于 VOR 导航台以及要飞航线的位置，之后建立切入航向。使用以下步骤来切入预定的航线，或者向台或者背台。如果没有首先调谐

到平行于预计航线的航向而是直接调谐到切入航向，步骤 1-3 可以忽略。

1. 调至平行于预计航线的航向，与将要飞的航线保持相同的方向。
  2. 确定将要切入的径向线与飞机当前所在的径向线之间的偏差（ $205^{\circ}-160^{\circ}=045^{\circ}$ ）。
  3. 切入角为两倍的偏差值，这个值不会小于  $20^{\circ}$  也会大于  $90^{\circ}$ （ $45^{\circ}\times 2=090^{\circ}$ ）。切入时  $205^{\circ}+090^{\circ}=295^{\circ}$ ）
  4. 旋转 OBS 到预计航线或者向台航线。
  5. 将飞机调至切入航向。
  6. 保持该航向直到 CDI 定中，显示飞机在航线上。（接近航线中心线时，不能以恒定速率来靠近，通过不断练习飞行员可以学习如何控制转弯来防止飞过航线）。
  7. 调整飞机到相应的所选航线的 MH，然后按照航线程序向台或背台飞行。
- 航线切入参见『图 9-16』。

#### 1.3.2.11 VOR 工作误差

典型的由飞行员造成的误差包括：

1. 调谐时或者识别导航台时不认真。
2. 没有检查接收机的准确度/灵敏度。
3. 定位时转向错误的方向。飞行员通过目视观察位置而不是航向时很容易发生这种错误。
4. 没有检查指示器的指示（TO/FROM），尤其在反向航道程序时，这样导致出现反方向辨向，向错误的方向进行修正。
5. 在航迹切入时没有与预计航线平行。没有进行该步骤，定位到预计径向线时可能会发生混淆。按照飞行员认为的航线的左边或者右边来校准，而校准飞机位置时应该参考径向线/航线来确定飞机的相对位置。
6. 切入时，飞过或者无法到达径向线。
7. 跟踪过程中尤其在接近导航台时，修正过大。
8. 无法切入导航台通道。VOR 接收机没有装配 ON/OFF 旗，进行通讯以及导航无线电（NAV/COM）使用语音发射时，可能会造成仪表上 TO/FROM 摆动，跟经过导航台通道时发生的状态相似。在做出决策之前，读取接收机上所有信息---TO/FROM，CDI 以及 OBS。发射信息过程中，不要只读取一台 VOR 的信息。
9. 追踪 CDI，从而导致自导而不是跟踪。航向控制时心不在焉，没有考虑风修正，容易导致错误的发生。

#### 1.3.2.12 VOR 的精确度

VOR 的有效性取决于飞行员对地面设备以及机载设备的适当的使用方法以及飞行员的正确判断。

VOR 在对航线进行校准时，误差一般在加减  $1^{\circ}$  范围内。有些 VOR 可以观察到轻度的航路不平整，该现象通过航线指针或者出现短暂的故障旗警告来表示。在一些导航台，通常在多山地区，飞行员可以偶尔观察到航道指针发生短暂的摆动，与“接近导航台”时的指示类似。飞行员飞过不熟悉的航线时，要对这些异常现象保持警惕，尤其在使用 TO/FROM 指示器确定正台通道时。

某些螺旋桨每分钟转数（RPM）的调定值或者直升机的转子速度都会造成 VOR CDI 的摆动，最大时可达到加减  $6^{\circ}$ 。通常对 RPM 值作轻微的改变可以消除这种航道的不平整。飞行

员在报告一个 VOR 导航台或者飞机设备的异常工作状态之前首先要对这种摆动现象进行识别检查。

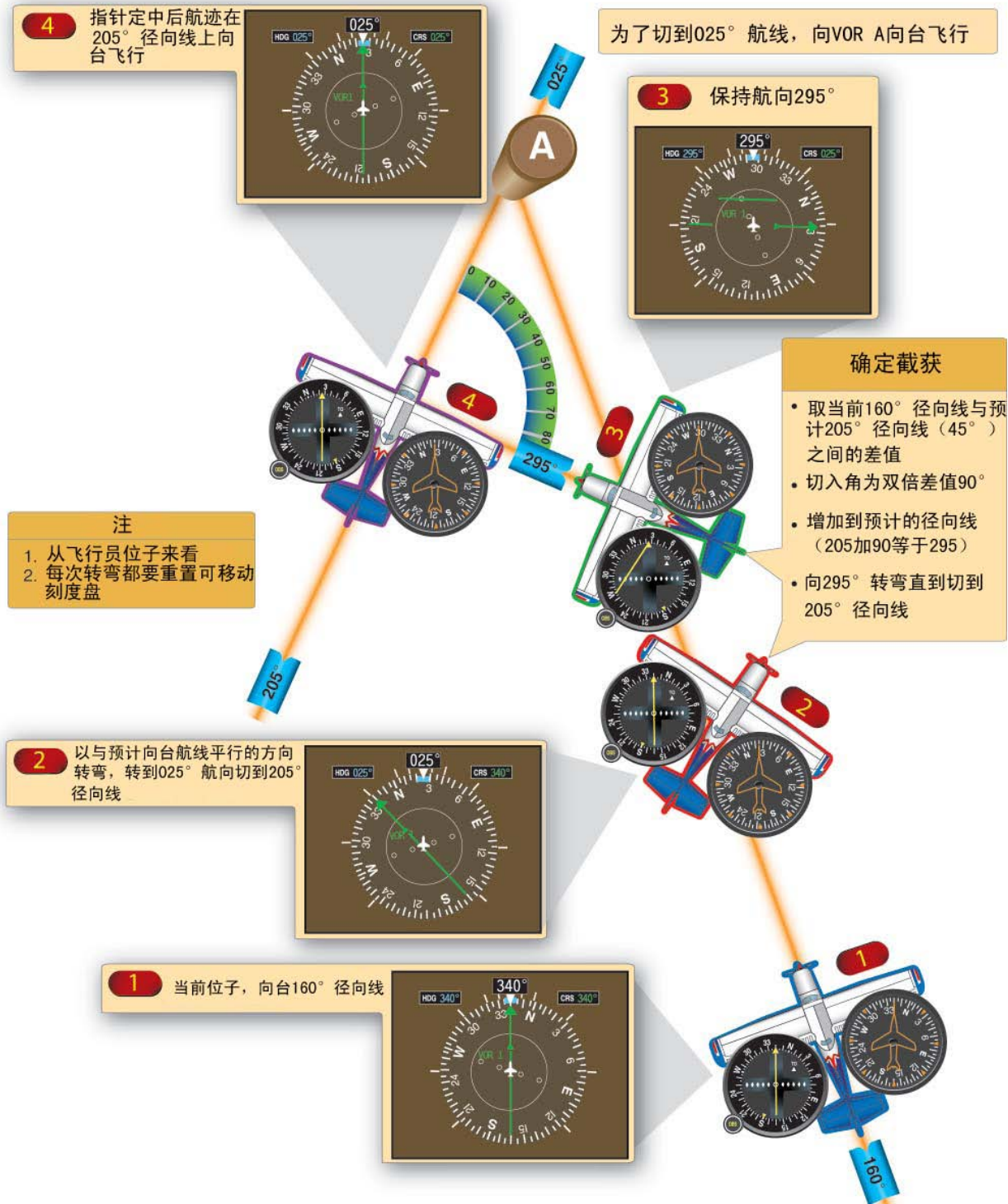


图 9-16 航道截获 (VOR)

1.3.2.13 VOR 接收机的精确度检查

随着 OBS 的旋转，CDI 指针从中间位移到任何一侧的最后一个点，通过对度数的变化进行观察，可以确定 VOR 系统对航线的灵敏度。所选择的航线应该不超过任何一侧的 10° 或

者 12°。另外，在 IFR 飞行之前 30 天内需要对一些 VOR 设备的精确度进行检查以及其它一些相关的文件。为了遵守这个规定保证机载设备的顺利操作，飞行员可以使用以下方法来检查 VOR 接收机的精确度：

1. VOR 测试设备（VOT）或者对额定无线电维修站发射的信号进行辐射测试
2. 经批准的机场表面的检查点。
3. 经批准的空中检查点。

#### 1.3.2.14 VOR 测试设备（VOT）

在地面时，用户在 VOT 的附近通过使用局方的 VOT 发射一个测试信号来确定所使用的数据的准确性以及 VOR 接收机的精确度，这是一种较为简便的方法。VOT 的位置已经在 A/FD 进行了公布。其识别方法有两种。一种为连续的点，另一种为连续的音调。可以从当地的飞行服务台（FSS）获得有关单独测试信号的信息。可以使用机载 VOR；但是严格来说该设备的使用范围只限于这些由 A/FD 或者相关附件中特别批准的高度/区域。

使用 VOT 服务时，在 VOR 接收机上将 VOT 频率调谐到 108.0MHz。当 CDI 定中时，OBS 读数应该为 0，TO/FROM 指针指示 FROM，或者 TO/FROM 指示显示 TO，OBS 读数为 180°。当使用 VOR 接收机来操纵 RMI 时，在任一 OBS 调定值上指示 180°。

相关额定无线电维修站的辐射式 VOT 提供的服务与局方 VOT 信号一样，检查方式也大体与 VOT 相同，但是还是存在一点差别。

该频率一般批准使用 108.0MHz；但是维修站不允许连续发射 VOR 测试信号。飞机的所属人或者操纵者必须在与维修站进行协商后，才能发射测试信号。维修站负责人必须在飞机的飞行日志或者其他永久性记录本上书面记录发射信号的精确度以及信号发射日期。

#### 1.3.2.15 批准的检查点

机载以及地面检查点包括批准的发射信号，可以在机场表面的特定点进行接收或者当机载设备在机场附近时，发射信号在某些特定地标的上空。这些检查点的位置已经在 A/FD 进行了公布。

地面检查点的误差应在 $\pm 4^\circ$ ，机载检查点应为 $\pm 6^\circ$ ，没有对误差原因进行修正，不可以进行 IFR 飞行。在对 VOR 接收机进行检查时，需要使用厂商提供的维修卡片的数据但不要进行相关的校准。

如果飞机安装了双系统 VOR（除天线外每个组件都独立于其他），可以使用一个系统来检查另一个。将两个系统调至相同的 VOR 地面设备并注意显示的到该导航台的方位。两个系统指示之间最大允许的差异在 4°。

#### 1.3.3 测距仪（DME）

当与 VOR 系统联合使用时，DME 可以帮助飞行员确定飞机的准确的地理位置，包括向台或背台方位以及距离。飞机 DME 发射询问性质的无线电频率（RF）脉冲，随后被地面设备的 DME 天线接收。信号触发了地面接收机设备来回答提问的飞机。

机载 DME 设备测量从飞机发出询问信号到飞机接到地面回复脉冲所使用的时间。这个测量的时间转换成从导航台开始距离以海里进行表示。

一些 DME 接收机通过监控飞机相对于地面导航台的位置改变的速率来提供以节为单位的地速。只有在向台跟踪或背台跟踪时地速值才会精确。

### 1.3.3.1 DME 的组成

局方在频率配对计划中通过配置的设备收集程序以及距离信息并以此为基础建立了 VOR/DME, ILS/DME, 以及 LOC/DME 这些导航设备。DME 使用超高频波段的频率, 范围在 962MHz 到 1213MHz 之间。当选择了指定的 VOR/DME、ILS/DME 以及 LOC/DME 时, 飞机的接收设备可以自动对 DME 进行选择, 从而保证飞行员可以接收到来自公共源提供的方位以及距离信息。某些飞机 VOR 与 DME 接收机是独立的, 每一个都必须调谐连接到相应的导航设备。这些机载设备包括一个天线还有一个接收机。

DME 接收机上飞行员操作的部分包括:

### 1.3.3.2 频道（频率）选择器

大部分 DME 有一个相关的 VHF 无线电通道, 也可能会配备一个选择器电门, 飞行员可以选择接通 DME 的 VHF 无线电。DME 以及它的频率选择器使用相关的 VOR/DME 导航站的频率。

### 1.3.3.3 开/关/音量电门

DME 识别码为可以听到的莫尔斯密码, 有时候音调会高过相关的 VOR 或者 LOC 的音调。每听到 3 次或者 4 次 VOR 或者 LOC 识别码, 可以听到一次 DME 识别码。如果每 30 秒只能听到一个识别码, DME 工作正常, 但是相关的 VOR 或者 LOC 可能有问题。

### 1.3.3.4 方式电门

方式电门在距离 (DIST) 或者以海 NM 为单位的距离, 地速以及到达导航台的时间之间进行选择。可能有一个或者更多的 HOLD 功能, 在电门放在保持位置之前, 可以允许 DME 保持与所选导航台之间的通道。对于进行 ILS 进近时没有配备 DME 的机场但是附近有 VOR/DME 的, 这点很重要。

### 1.3.3.5 高度

一些 DME 可以对倾距误差进行校正。

### 1.3.3.6 DME 的作用

DME 用来确定从地面 DME 发射机出发的距离。与其他甚高频/超高频导航设备 (VHF/UHF NAVAID) 相比, DME 是非常精确的。可以使用距离信息来确定飞机位置或者要飞的航线 (因为与导航台的距离是恒定的)。我们把它称为 DME 弧。

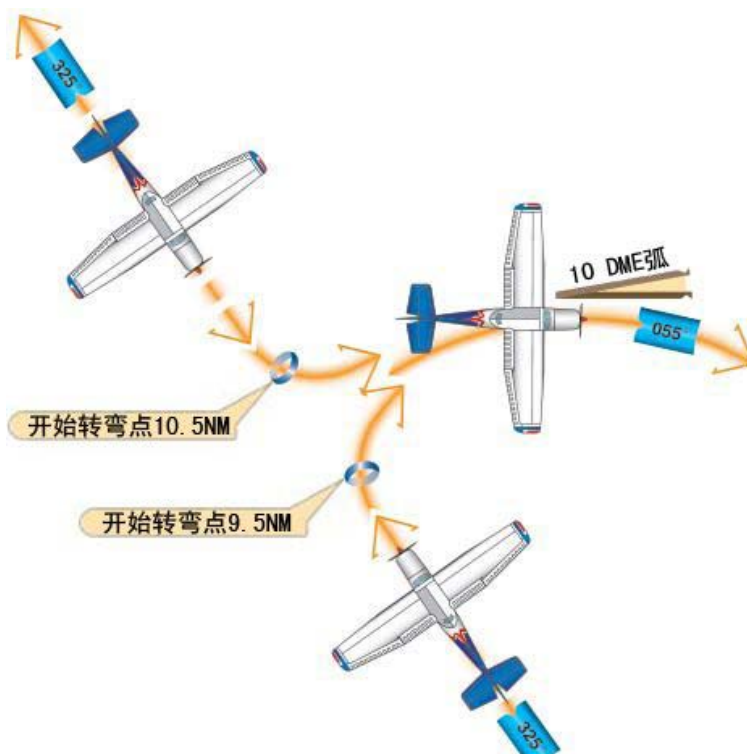


图 9-17 DME 弧截获

### 1.3.3.7 DME 弧

很多仪表进近程序 (IAP) 都使用 DME 弧。这里提供的这些用来截获并保持这些弧的飞行程序以及飞行技巧适用于任何一个提供 DME 信息的机场。这样的机场可以配备或者不配备提供最后进近指引的设备。

飞行中使用 DME 弧时, 参考『图 9-17』以及以下这些步骤:

1. 在 OKT325°径向线上向台跟踪, 频繁检查 DME 英里读数。
2. 地速 150 节或者更小时, 一个 0.5NM 的提前量就可以满足; 在 10.5 英里时开始转向弧。地速较高时, 适当使用更大的提前量。
3. 继续转弯约 90°。无风状况下横滚改出航向为 055°。
4. 在切入转弯的最后部分, 密切监控 DME。如果正在飞过这条弧 (大于 1.0 海里), 继续穿过原始计划的横滚航向。如果没有飞到这条弧, 及早改出转弯横滚。

背台切入 10DME 的程序基本相同, 引导点为 10NM 减去 0.5NM 或 9.5NM。

在有风情况下, 按 DME 弧飞行时, 对于飞机相对于机场的位置要保持清醒地认识。由于风-偏移修正角总是在变化, 因此对风的定位很重要。

在一些情况下, 可以利用风来返回到预计航线上。由于改航率以及修正率较高, 高空速时要求飞行员花费更多的注意力。

可以通过稍微在弧线内来保持弧, 当这条弧向着飞机方向转时, 通过保持直线航线来完成切入。当在弧的外侧时, 弧会逐渐远离, 这是需要一个更大的修正。

使用 VOR CDI 来按弧飞行时, 在完成 90°转弯来切到弧之后将 CDI 定中。这时会发现飞机航向非常接近仪表的左侧或右侧 (270°或 90°基准点)。在弧上时, 仪表上那一侧的读数可以提供主要的航向信息。调整飞机的航向对风进行补偿并对距离进行修正以保持正确的弧距离。当 CDI 从中间位置偏移 2°到 4°时, 飞行员需要注意仪表指示的新的主航向。

使用 RMI, 在无风条件下, 理论上飞行员可以通过保持 90°或者 270°的相对方位绕机场飞一个圆。在实际操作中, 则是飞一系列的短航段。『图 9-18』中, 为了保持弧可以这样做:

1. 以翼尖为基准 (90°或 270°位置) 使用 RMI 方位指针, 飞机在预计 DME 范围内, 保持恒定的航向允许方位指针在翼尖后方移动 5°到 10°。这样可以稍微增加范围。
2. 向机场方向转弯, 将方位指针置于翼尖基准前 5-10°, 之后保持航向直到方位指针再次到达翼尖后面。继续该程序, 总使飞机保持接近弧的状态。
3. 如果侧风造成飞机从机场偏离, 转弯直到方位指针在翼尖基准前方。如果侧风造成飞机向着机场偏移, 转弯直到方位指针在翼尖后面。
4. 进行范围修正时, 每从预计弧偏离半英里, 改变相对方位 10 到 20°。例如, 在无风条件下, 如果飞机弧的外侧 1/2 海里, 方位指针在翼尖基准点, 向着机场方向转弯 20°返回弧的位置。

没有 RMI 的情况下, 由于没有直接的方位基准, 定位会更加困难。但是可以使用 OBS 以及 CDI 来执行该程序以获得方位信息并使用 DME 获得弧距。

### 1.3.3.8 切入引导径向线

引导径向线是指切到这条径向线时, 开始从这个弧转到向台航线。当从 DME 弧切到径向线时, 根据弧的半径以及地速的不同引导也会发生变化。对于普通的通用飞机, 大部分进近图上在速度为 150 节或小于 150 节时, 对飞行弧都已经进行了标注, 引导将在 5°以下。从一条弧切到航向线以及从一个直线航线切到航向线, 两者之间没有什么区别。

使用 RMI，在飞到弧上时应该密切监控方位移动速率。尽快调定将要切到的径向线的航线，确定接近时的引导。到达这一点时，开始切入转弯。没有 RMI 的情况下，除方位信息（仅在 OBS 以及 CDI 提供时可用）之外径向线切入技巧大致相同，

从 DME 弧切入到航向道的技巧与切入径向线技巧大致相同。在标注的引导径向线上（『图 9-19』『图 9-20』『图 9-21』中 LR070°或 LR084°），如果飞行员使用的是一个单独的 VOR/LOC 接收机时，调定到航向道频率。如果飞行员配备了套双 VOR/LOC 接收机，一个可以用来提供方位信息，另一个调定到航向道频率。由于这些引导径向线提供 7°引导，可以使用一半的标准速率来转弯直到 LOC 指针开始向中间移动。

#### 1.3.3.9 DME 误差

相对于 VOR/DME 定位点，DME/DME 定位点（根据两个 DME 台提供的位置的两条线取定飞机的所在）提供更多的精确的飞机位置。

DME 信号为视距传播；里程读数为从飞机到 DME 地面设备的直线距离，通常称为倾距。倾距是指从飞机的天线到地面台的距离（一条到地面发射机的带有角度的线）。GOS 系统提供水平测量从 WP 到飞机的距离。因此在 3000 英尺以及 0.5 海里，DME（倾距）的读数为 0.6 海里，而 GPS 的距离将显示实际的水平距离。5DME。在低高度以及/或远距离时误差非常小。当飞机接近机场时，这是 DME 接收机将显示机场上空的高度（以 NM 为单位），这时误差非常大。当飞机每高于机场标高 1000 英尺，距离地面设备 1 英里或者远大于 1 英里，倾距误差可以忽略。

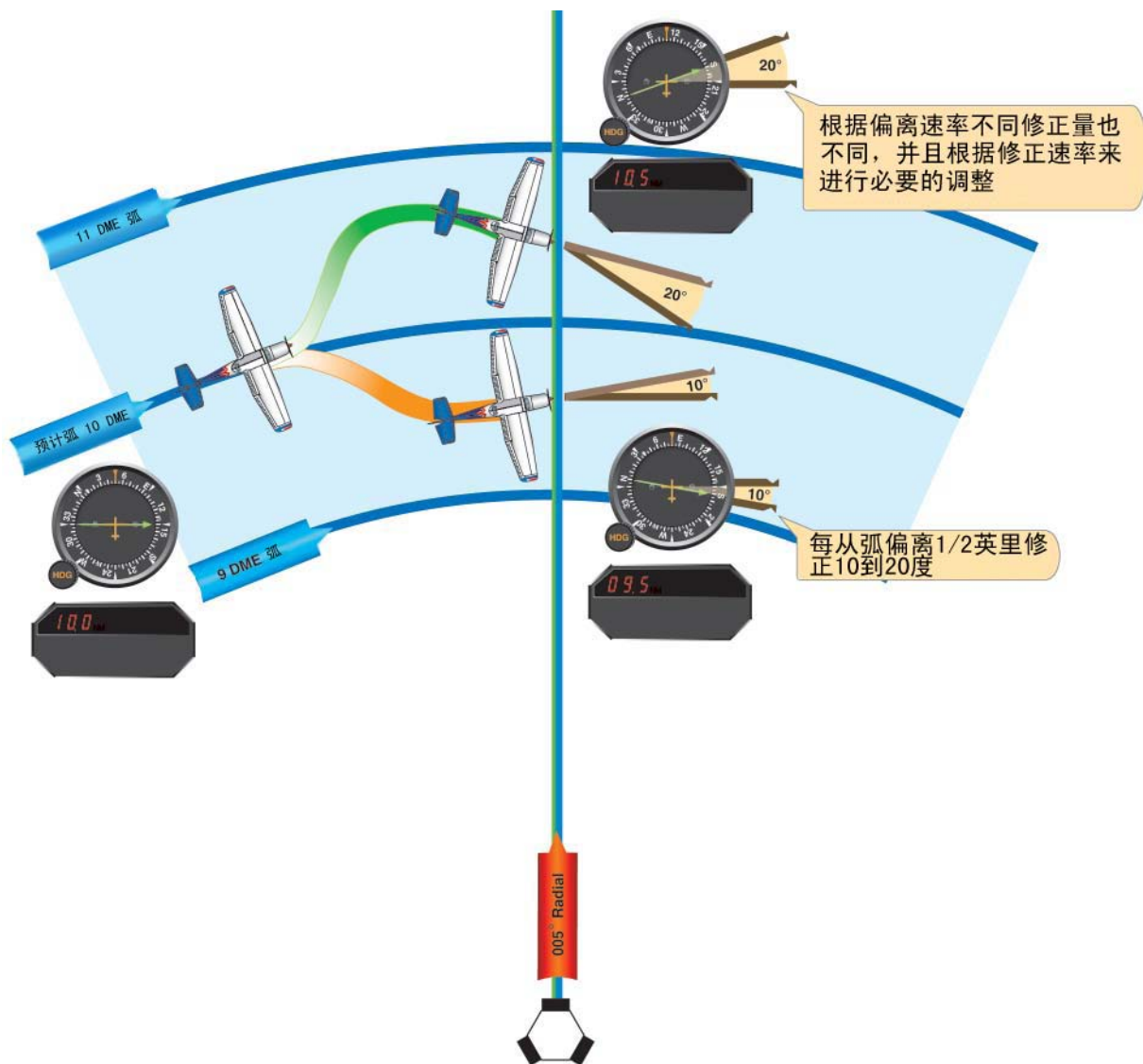


图 9-18 使用 DME 和 RMI 保持弧

#### 1.3.4 区域导航 (RNAV)

区域导航 (RNAV) 设备包括 VOR/DME, LORAN, GPS 以及惯性导航系统 (INS)。RNAV 设备可以计算飞机的位置, 实际航迹, 地速并向飞行员提供当前所需要的重要信息。这个信息可以使用距离, 交叉航迹误差以及到达所选航迹或航路点 (WP) 的预计时间这些形式来表现。另外, RNAV 设备安装必须经过批准可以在 IFR 条件下使用。应该经常查阅飞行员操作手册/飞机飞行手册 (POH/AFM (飞行员操作手册/飞机飞行手册)) 以确定安装了什么设备, 经过批准的可以进行的操作以及设备的使用细节。一些飞机配备的设备可能允许输入不止一个的 RNAV 源, 因此提供一个更为精确可靠的导航源。

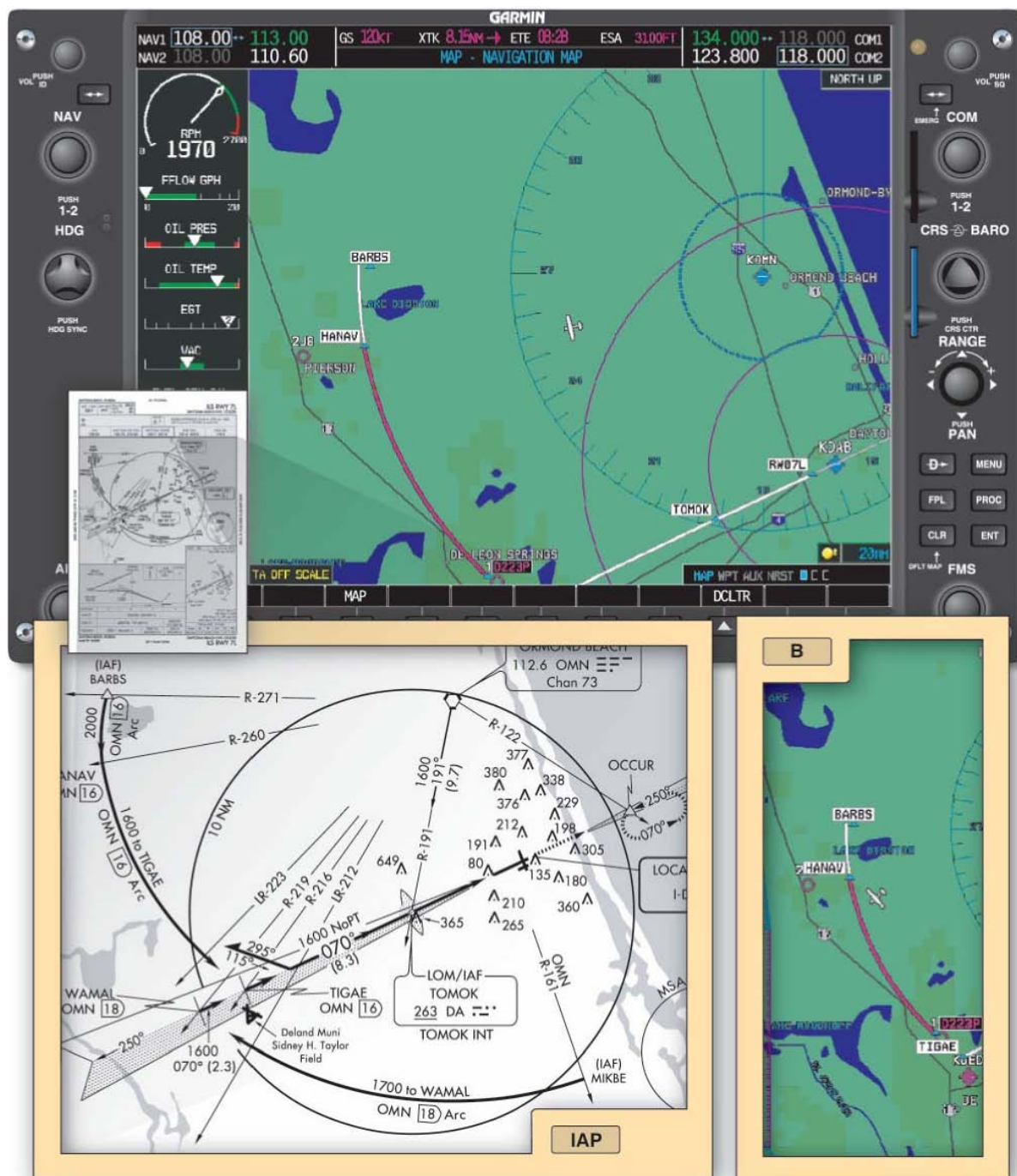


图 9-19 显示飞机的航向为西南，使用 16NM DME 弧偏离 ORM 切入到航向道进近。

#### 1.3.4.1 VOR/DME 区域导航

VOR RNAV 使用机载计算机根据当前 VOR/DME 系统产生的信息生成一个航路点。正如『图 9-22』中所示，A 旁边的数值就是所测量的到达 VOR/DME 的 DME 距离。B 旁边，从 VOR/DME 到航路点的距离，角度 1（VOR 径向线到航路点的方位）为驾驶舱控制上调定的值。从 VOR/DME 到飞机的方位，角度 2，由 VOR 接收机测量。机载计算机持续比较角度 1 与角度 2，并且确定出 C 旁边的角度 3，它以 NM 为单位，为从飞机到航路点的磁航向。这些都为在驾驶舱显示上的引导信息。

#### 1.3.4.2 VOR/DME RNAV 的组成

虽然由于生产商不同，RNAV 驾驶舱仪表显示也不一样，但是大部分的 RNAV 都与飞机 CDI 相连，带有一个电门或者旋钮来选择 VOR 或者 RNAV 指引。通常配备一个灯或者指示器来通知驾驶员选择了 VOR 或者 RNAV。『图 9-23』该显示包括航路点（WP），频率，使用方式，航路点径向线以及距离，DME 距离，地速，到达台的时间。



图 9-20 中显示相同的飞机在 ORM 径向线接近 TIGAE 交叉点转向向台航道。



图 9-22 飞机在向台

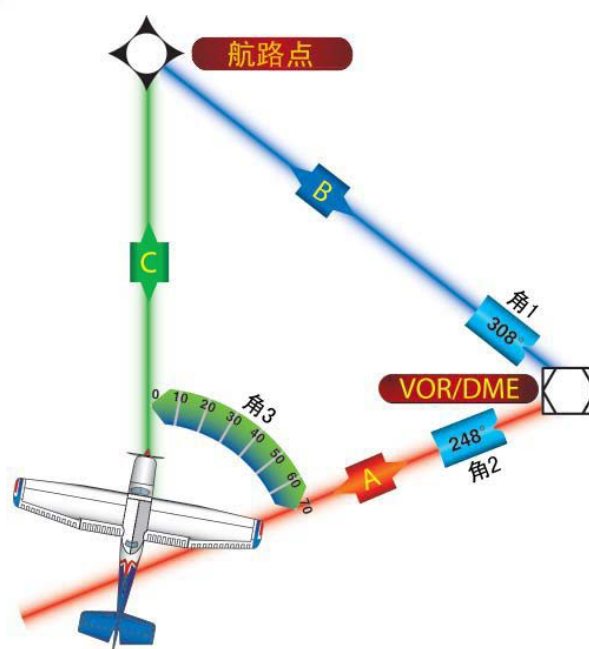


图 9-21 VOR/DME RNAV 跑道 25 进近(摘录)。

大部分 VOR/DME 区域导航系统 (RNAV) 具有以下机载控制器:

1.3.4.3 关/开/音量控制以选择所使用的 VOR/DME 台的频率。

1.3.4.4 方式选择电门用来选择 VOR/DME 方式, 配合:

1.3.4.5 带角度的航线宽度偏离 (标准 VOR 操作) 或者

1.3.4.6 线性交叉航迹偏离作为标准 ( $\pm 5$  NM 全刻度 CDI)

1.3.4.7 RNAV 方式, 直飞到航路点使用  $\pm 5$  NM 线性交叉航迹偏离。

1.3.4.8 RNAV/APPR (进近方式) 使用  $\pm 1.25$  线性偏离并伴有 CDI 全刻度偏转。

1.3.4.9 航路点选择控制。一些组件允许储存不止一个的航路点; 这样的控制允许飞行员从储存的数据 中选择任何一个航路点。

1.3.4.10 数据输入控制。这些控制允许使用者输入航路点的数字或者识别码, VOR 或者 LOC 频率, 航路点径向线以及距离。

只有在 VOR/DME 方式直接向台跟踪或背台跟踪时 DME 地速才会精确, 但是 RNAV 方式下 DME 地速读数在任何航线上都是精确的。

1.3.4.11 VOR/DME RNAV 的作用



图 9-23 机载 RNAV 接收机发生了明显的改变。一般开始时, RNAV 接收机使用 VOR, 以及/或 DME 的数据进行计算。一般不会像本例中出现的情况。目前 GPS 例如 GNC300 以及 Bendix King 公司的 KLS 88 LORAN 接收机根据配备的数据库以及飞机的位置信息来计算航路点。

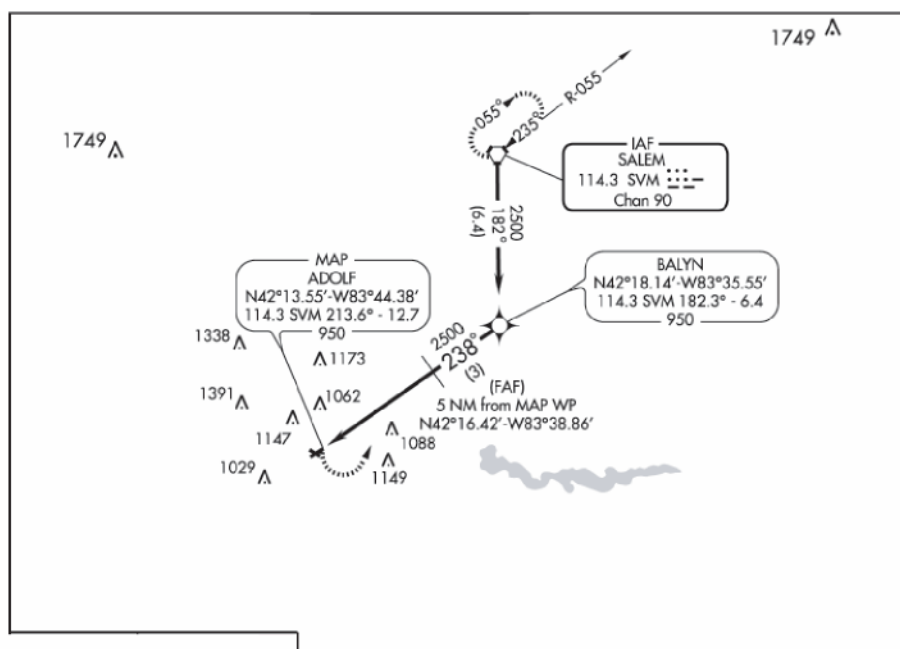


图 9-24 RNAV 计算

## VOR/DME

RNAV 系统的先进

性在于机载计算机可以在任何时候定位航路点, 只要飞机在 VOR 以及 DME 设备的接收范围内。一系列的航路点组成了 RNAV 航路。除了已经公布的航路, 只要经过 ATC 许可在 IFR 条件下可以在任何一个 RNAV 航路飞行。RNAV 改航点以及标准终端进场航路 (STAR) 都记录在 DP 与 STAR 的手册里。

飞行员还可以使用 VOR/DME RNAV 进近程序图。注意在 VOR/DME RNAV 图中, 参见在『图 9-24』中的显示, 航路点的识别框包含以下信息: 航路点名称, 坐标, 频率, 识别码, 径向线距离 (机场到航路点) 以及基准机场标高。起始进近定位点 (IAF), 最后进近定

位点（FAF）以及失去进近点（MAP）都有标注。

在航路上飞行或者在 IFR 下执行进近，飞机上安装的 RNAV 设备必须经过批准可以在 IFR 下进行操作。

垂直导航（VNAV）方式提供垂直方向指引，某些安装的设备还可以提供水平指引。在开始下降的那一点选择为航路点，将下降结束时的一点选为另一个航路点。RNAV 设备计算相对于地速的下降率；在一些安装的设备中，在 GS 指引器上显示垂直指引信息。在仪表进近过程中使用这种类型的设备时，飞行员必须记住所提供的垂直指引信息不是非精密进近的一部分。必须遵守并执行公布的非精密进近高度，除非 ATC 有其他指令。

使用 RNAV 飞到一个航路点时，使用以下程序『图 9-25』：

1. 选择 VOR/DME 频率。
2. 选择 RNAV 方式。
3. 选择通过航路点的 VOR 径向线（225°）。
4. 选择从 DME 到航路点的距离（12NM）。

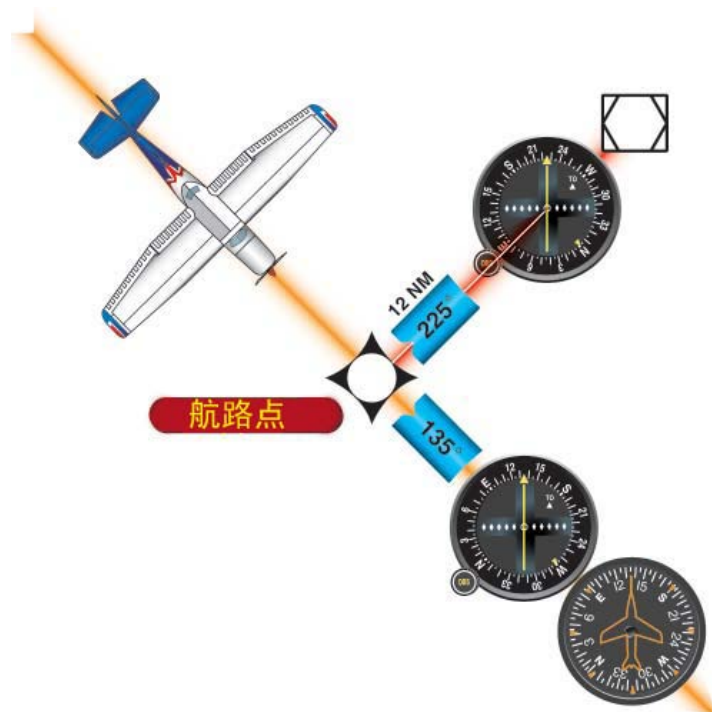


图 9-25 飞机/DME/航路点的关系

5. 检查并确认所有输入，定中 CDI 指针显示 TO 指示。
6. 机动操作，对风进行修正并保持 CDI 指针指向中间位，飞向指示的航向。
7. CDI 指针将指示偏离航线的距离，每一点代表 1NM；DME 读数指示从航路点开始的距离（以 NM 为单位）；地速为到达航路点的接近速度读数（节）；到达台的时间（TTS）为到达航路点的时间读数。

#### 1.3.4.12 VOR/DME RNAV 误差

该系统的局限性在于可接收的信息容量。公布的进近已经经过测试保证不会发生问题。下降/进近到机场时可能不会距离 VOR/DME 机场特别远，因为距离过远的话，在进近过程中飞机下降时的高度可能会低于设备的可接收高度。

### 1.3.5 远程导航（LORAN）

LORAN 使用基于地面发射机的网络结构来提供一个精确的远程导航系统。从该站发出的信号按照无线电频率脉冲（以 100kHz 为中心）进行周密的顺序安排。在这个频率上，信号作为地波可以传播相当远的距离，可以提供精确的导航信息。机载接收机监控所选范围内的所有台，然后测量信号之间的到达时间差（TD）。从每组地面台发出的时间差（TD）相同的所有点指示每个位置并连成一条线（LOP）。两个或者多个 LOP 的交叉点的确定为飞机位置。然后计算机将已知位置转换成经度纬度坐标。『图 9-26』



图 9-26 LORAN 第一次投入使用后军用飞机上的控制面板。接收机另外安装，重量超过 25 磅。大小为 6 倍的 LORAN 全集成接收机。在连续计算经度/纬度定位点的同时，计算机可以确定并显示：

1. 从最后一次计算开始跟踪地面；
2. 最后一次计算得出的所要飞的距离除以地速得出最后一次计算要飞的时间（几个值的平均值）；
3. 到目的地机场的距离；
4. 目的地的进场时间；以及
5. 交叉航迹误差。

如果接受的信号足够良好，LORAN 为非常精确的导航系统。在讨论 LORAN 的精确度时，必须提到这两种精确度。

可接受的精确度，当使用者注意到 LORAN 的位置，从该站离开然后使用 LORAN 返回到起始 LORAN 位置所测量的精确度。到起始位置的距离是有误差的。选取第一个位置时，信号传播以及地形误差本质上是相同的，因此通过使用起始位置计算出这些误差。如果是在白天在很短的时间内（几天）确定第二个位置，LORAN 的可接受精确度可达到 0.01NM。

绝对精确度是指独立确定飞机当前空间位置的能力，也是飞行员经常使用的方法。打开 LORAN 接收机，确定位置，使用绝对精确度。根据从电台开始的距离，TD LOP 几何交叉角，地形以及环境状况，信号噪音比（信号强度），以及接收机生产商的一些设计选择，LORAN 的绝对精确度从大约 0.1NM 开始变化最大可达 2.5NM。

虽然随着全球导航卫星系统的引进以及推广，例如，美国的 GPS，LORAN 的使用有所减少，但是也正因为如此，LORAN 的使用又开始得到重视。这种现象主要基于下面三个因素：

- 在 1996，一个名为 Gore Commission 的委员会对长期单独使用 GPS 作为导航设备进行了评估。虽然开始时，人们普遍看好 GPS 并认为到 2020 年时 GPS 将替代

大部分现用导航设备最终作为唯一的导航设备来使用,但是委员会对潜在的单链路故障以及对 **NAS** 的影响提出了质疑。基于这个原因,人们改变了之前预计的 **VOR** 即将退役的看法,因此 **VOR** 以及其它导航设备的生命周期也得以延长。另外,对 **LORAN** 在帮助 **GPS** 加载正确的时间信号方面也进行了评估。

● **GPS** 受美国国防部 **DOD** 的控制,而 **DOD** 却具有一种由于商业用途而带来的不可靠性,这种不可靠性是无法预见的而且可能会经常出现。

由于以上因素以及其它关键因素的影响,决定了 **LORAN** 的使用会继续发展。在认识到 **GPS** 作为 **GNSS** 的弱点后,人们又提出了一些方案来保持其他系统例如, **LORAN** 来提供航路以及终端精确度。因此 **LORAN** 会进一步向现代化发展,有可能用来推广 **GPS**, 在一旦放弃使用 **GPS** 时(虽然可能性不大)作为 **GPS** 的后备力量。或者与 **GPS** 以及其他系统例如,新型小型化低成本惯性导航系统(**INS**)联合使用,这种无缝结合将持续提供更为出众的准确性。

#### 1.3.5.1 **LORAN** 的构成

**LORAN** 接收机包括一个无线电接收机,信号处理器,导航计算机,控制器/显示器以及天线。打开时,接收机需要一个起动或者预热时间,然后通知使用者已经准备好开始工作。根据设备外表,使用者使用方法以及显示的导航信息不同, **LORAN** 接收机也大不相同。因此,需要对组件非常熟悉,包括工作程序以及输出信号说明。飞机上应该一直配备 **LORAN** 工作手册,保证飞行员随时可以使用。**IFR** 批准的 **LORAN** 组件要求配备机载手册,并且在飞行前飞行员应熟悉组件功能。

#### 1.3.5.2 **LORAN** 的作用

开始使用后,选择当前位置航路点(机场)并且选择 **GO TO** 以确定 **LORAN** 是否工作正常。短距离读数指示操作正常(0 到 0.5NM)。最简单的导航方式为 **GO TO**: 从一个数据库选择一个航路点并选择 **GO TO** 模式。飞行中,使用前应通过参照另一个批准的信息源,核实所选航路点的经纬度正确。在 **IFR** 条件下飞行时,需要更新的 **LORAN** 数据库支持相应的操作(例如,航路,终端以及仪表进近)。

除了显示方位,距离,到达航路点的时间,航迹以及地面上的速度, **LORAN** 接收机还有其他功能例如,飞行计划(航路点顺序储存),几个最近机场的紧急定位,垂直导航能力以及其他。

#### 1.3.5.3 **LORAN** 的误差

#### 1.3.5.4 系统误差

**LORAN** 可能会受到许多外部干扰,从而导致传播发生折射或者 **LORAN** 信号受到干扰。**LORAN** 接收机生产商安装了“陷频滤波器”来减少或消除干扰。到达 **LORAN** 接收机性能降低点时,接近 60Hz 交流电源线,静电放电, P-静电,发电机的电子噪音,交流发电机,闸门以及其他机载电子设备可能会减少这一点的信号噪音比。

安装天线,良好的电搭连以及有效的静电放电系统,这是 **LORAN** 接收机操作的最低要求。大部分接收机都有内部测试,以核实接收机钟表与 **LORAN** 脉冲的时间一致性,并测量显示信号噪音比。如果已经批准可以进行 **IFR** 操作的 **LORAN** 设备超过了可靠的导航性能参数,会起动一个信号来给飞行员告警。

当白天信号在海面上传播时 **LORAN** 精确度最高,信号在夜间陆地以及大面积淡水湖或

者冰上传播时精确度最差。而且，随着距离地面台越远，精确度越差。但是总体来说 LORAN 的精确度要好于 VOR。

#### 1.3.5.5 工作差错

飞行员在进行 LORAN 操作时发生的一些典型的差错包括：

1. IFR 操作中使用未经批准的 LORAN 接收机。飞行员应该检查飞机的 POH/AFM（飞行员操作手册/飞机飞行手册）LORAN，补充了解并确定组件的工作情况（对于已经批准的 IFR 操作必须要这种补充操作）。飞机记录中应有一份表格来记录主要的维修以及变更记录，表明该飞机已经批准可以在 IFR 操作中使用该模式的 LORAN。

2. 没有对将要使用的航路点的经纬度数值进行交叉检查。不管航路点是从机场，NDB，VOR 或者从交叉点数据库中获得，经纬度的数值都应该按照 A/FD 或者其他批准的信息源再次进行检查。如果在使用者数据库中输入航路点数据，使用前必须对精确度进行检查。

3. 信号降低时尝试使用 LORAN 信息。

## 1.4 先进技术

### 1.4.1 全球导航卫星系统（GNSS）

全球导航卫星系统是使用卫星组提供带有时间以及距离信息的高频信号之后由接收机接收。『图 9-27』接收机从不同的卫星接收多种信号，之后使用三角测量确定位置。

当前 GNSS 有三种：GPS，该系统主要用于美国；俄罗斯的 GNSS（GLONASS）；以及 Galileo，适用于欧洲系统。

1. GLONASS 是由 24 个卫星组成的网络结构，可以由任何一个 GLONASS 接收机来获取信息，允许使用者来精确位置。

2. Galileo 由 30 个卫星组成的网络，可以持续发射带有时间以及距离的高频无线电信号，可以由 Galileo 接收机来获取信息。

3. GPS 于 1992 年开始使用，有 24 颗卫星，目前发展到 30 颗。



图 9-27 一种典型的单机 GPS 接收机和显示举例（GNS480）

### 1.4.2 全球定位系统（GPS）

GPS 为一种基于卫星的无线电导航系统，通过发射一个信号由接收机进行接收，随后确定在地球任何一个角落的精确位置。接收机跟踪多个卫星并确定相应的测量方法，随后计算出使用者的位置。『图 9-28』

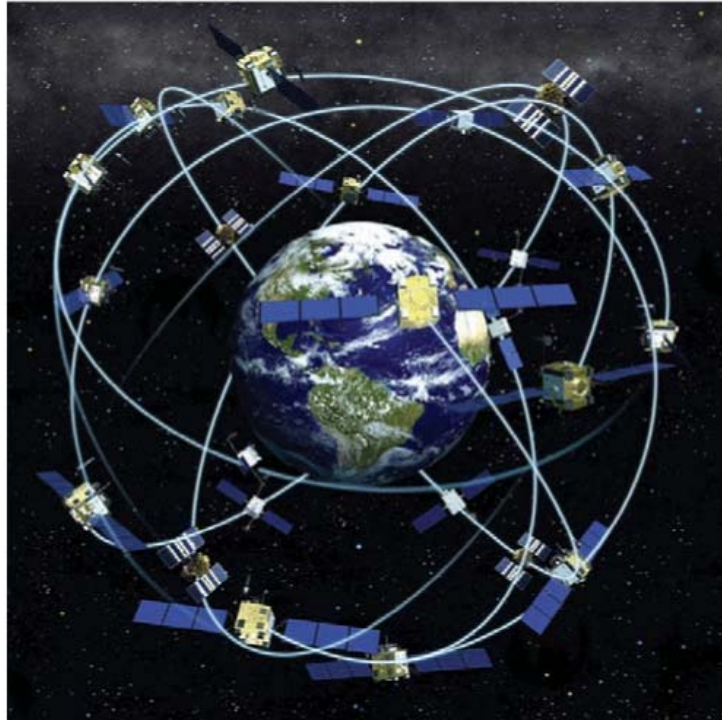


图 9-28 典型的 GPS 卫星阵。

美国国防部（DOD）负责发展 GPS 导航技术并在空间定位，速度以及时间系统方面推广 GPS 的使用。DOD 负责 GPS 卫星阵的运行并且持续监控卫星以保证正常运行。GPS 系统允许使用地心坐标并参考 1984 年的 DOD 世界大地测量系统（WGS-84）来确定飞机的位置。卫星导航系统不受天气影响并可以提供全球导航覆盖完全满足民航的特殊要求，成为海洋空域以及某些远程区域主要的导航方式。国内航路，终端操作以及某些 IAP 的 IFR 导航中，可以使用相应的并经过批准的 GPS 设备做为辅助导航方法。导航值，例如到一个航路点的距离，方位以及地速可以根据飞机当前的位置（经纬度）以及下一个航路点的位置来进行计算。如果从一个大圆航路的预计航线发生了线性偏航，GPS 在两个航路点之间提供了航线导航。

美国之外的其他国家可能没有批准在 IFR 中使用 GPS。美国之外的在其他国家使用 GPS 之前，飞行员要保证 GPS 已经经过该国批准。

#### 1.4.2.1 GPS 的构成

GPS 包括 3 个不同的工作元素：空间，系统控制以及使用者。

空间元素包括超过 30 颗的 Navstar 卫星。该卫星阵被称为“星座”。卫星位于 6 个不同的轨道平面上（每个平面上有 4 个），在地球之上约 11000 英里。至少一直可以看到 5 个卫星。GPS 的“星座”发射伪随机码时间信号以及数据信息，飞机设备经过处理来获得卫星位置以及数据信息。通过对每个卫星的精密位置进行了解并使用卫星上的自动时钟来精密的匹配时

间，飞机的接收机/处理器可以准确地计算接收机获得每个信号的到达时间，因此可以确定飞机的位置。

控制因素包括地面 GPS 监控以及控制站的网络，从而保证卫星位置以及时钟的准确性。GPS 当前的有 5 个监控站，3 个地面天线以及一个主控制站。

使用者元素包括机载天线，接收机/处理器，可以为使用者提供定位，速度以及精确定时。在 IFR 条件下 GPS 所使用的设备必须符合技术标准（或其他等效效应的文件）；达到适航设备安装要求；获得 IFR 条件下操作许可；遵守相应的 POH/AFM（飞行员操作手册/飞机飞行手册）或者飞行手册附件来进行操作。

在 IFR 条件下飞行时，需要不断更新 GPS 数据库来支持相应的操作（例如，航路，终端以及仪表进近）。飞机 GPS 导航数据库包含许多航路点，这些航路点所在的地理区域都应已经获得批准，可以将 GPS 导航用于 IFR 操作。飞行员从数据库选择预计航路点，并且实际飞行中可能会增加用户指定的航路点。

在进行 GPS/WAAS IFR 操作之前，飞行员必须回顾相应的 NOTAM 以及航空信息。

#### 1.4.2.2 GPS 的功能

GPS 操作使用一个空间卫星群，将这些卫星作为基准点进行广泛搜索以及三角测量。接收机使用的数据至少由四个高于模糊角（可以使用卫星的高于天地线的最低角）的卫星来提供。

飞机 GPS 接收机使用无线电信号传播时间来计算到卫星的距离。每个卫星发射一个特定的编码被称为一个航线/捕获（CA）编码，带有的信息包括卫星位置，GPS 系统时间，发射数据的准确性以及完好性。了解了信号传播的速度（约每秒钟 186000 英里）以及准确的传播时间，信号从发出时间开始所传播的距离就可以计算出来。该方法计算出来的距离被称为虚拟距离，由于它并不是直接来测量距离，而是对时间直接进行测量间接得到距离值。除了了解到卫星的距离，接收机需要了解卫星在空间中的精确位置以及相关的星历表。每个卫星发射关于精确轨道位置的信息。GPS 接收机使用该信息来建立卫星的精确位置。

使用计算的虚拟距离以及卫星提供的位置信息，GPS 接收机/处理器使用几个卫星的三角测量经过数学计算来确定具体位置。GPS 接收机需要至少四个卫星来生成三维位置（经度，纬度以及高度）并得出相应的时间信息。GPS 接收机通过使用已知的飞机的经纬度并且将这些信息与接收机配备的数据库中的信息来比较，最后计算出导航相关的数值（到一个航路点的距离以及方位，地速等）。

GPS 接收机通过接收机自动完整性监控（RAIM）设备来核实 GPS 卫星阵发射的信号完整性（可用性），从而确定卫星是否提供了模糊信息。RAIM 至少需要 5 个卫星或者四个卫星以及一个气压式高度表通过压力来辅助探测完整性异常。接收机可以这样使用，RAIM 需要 6 个卫星（或者 5 个卫星和一个气压辅助探测）来隔离一个模糊的卫星信号并将它从导航计算中移除。

一般来说，RAIM 信息有两种。一种显示为没有足够的卫星可以使用来提供给 RAIM 信息，另一种类型显示为 RAIM 已经探测到了潜在的错误但是不在当前飞行阶段范围内。RAIM 不工作时，飞行员就不能保证 GPS 位置的准确性。

飞机在仪表飞行规则（IFR）下使用 GPS 导航设备来飞行航路，中断操作以及某些 IAP 时，必须根据飞行情况配备已经经过批准的可操作的备用导航方法。从航路到目的地机场以及任何一个所要求的备用机场，飞行过程中必须安装必要的电子设备来接收所有来自地面设备的信息并保证这些设备的可操作性。还要保证用于航路的必要的地面设备的可操作性。如果 GPS 接收机使用 RAIM 来监控信息的完整性时，当前不需要对备用导航设备进行监控。当 GPS 设备失去了 RAIM 能力时，需要对备用导航进行现时监控。当预计将要失去 RAIM

能力时，必须依靠其他批准使用的设备来进行飞行，推迟离场或者取消飞行。

#### 1.4.2.3 GPS 备用系统

IFR 航路以及终端运行对于已经获得 IFR 航路以及终端运行许可的 GPS 系统，可以用做 ADF 以及 DME 接收机的备用系统。

1. 在 DME 定位点上方确定飞机位置。包括使用 GPS 进行导航时，在 24000 或者高于 24000 英尺 MSL (FL240) 高度时的航路操作。
2. DME 弧的飞行。
3. 导航向着/背着一个 NDB/罗盘定向器。
4. 确定飞机在 NDB/罗盘定向器上方时的位置。
5. 确定飞机在定位点上方的位置，该定位点由一个 NDB/罗盘定向器指定，其方位与一个 VOR/LOC 航线交叉。
6. 保持在 NDB/罗盘定位器上方。

#### 1.4.2.4 GPS 作为 ADF 或者 DME 的备用

使用 GPS 作为 ADF 或者 DME 的备用设备，须遵守以下限制要求：

1. 设备的安装必须根据相关的适航安装要求来进行，同时必须按照 POH/AFM（飞行员操作手册/飞机飞行手册）的相关条例或附件进行操作。
2. 必须提供至少一条航路的 RAIM 或者其他同等性能来保证这些操作的完整性已经达到要求。
3. 操作中使用的航路点，定位点，交叉点以及机场所在地必须从 GPS 机载设备库中获得。数据库必须保持最新状态。不能从数据库中获取所要求的位置时，ADF 以及/或者 DME 不允许将 GPS 作为备用设备。
4. 当 RAIM 将要发生故障或已经发生，必须建立相应的使用程序。这种情况下会要求飞行依靠其他支持设备或者要求飞机配备可操作的 NDB 以及/或者 DME 接收机。否则飞行必须改航，延迟，取消或者在 VFR 条件下飞行。
5. 当在终端区域跟踪 GPS 航道指引时，CDI 必须调到终端灵敏度（1NM）。
6. 当备用机场要求时，必须配备非 GPS 进近程序。如果非 GPS 进近时，要求飞行员必须依靠 DME 或者 ADF，飞机必须按需配备 DME 或者 ADF 电子设备。
7. 使用 GPS 系统时，必须达到 ADF 以及/或者 DME 的航图要求，除非作为主仪表进近导航源来使用。

注：以下提供的说明并不针对任何一个特殊飞机的 GPS 系统。对于特定系统的说明，参见 POH/AFM（飞行员操作手册/飞机飞行手册），或者附件，或者与系统生产商进行联系。

#### 1.4.2.5 确定飞机在 NDB 定位点上方时的位置：

1. 核实飞机 GPS 系统完好性，监控设备的工作情况正常并且显示良好的完整性。
2. 如果在机载数据库中通过 5 字代码识别到一个定位点，选择这个定位点作为现有航路点或者建立了 DME 定位点的机场作为现用 GPS 航路点。当使用机场作为现用航路点时，唯一可以接受的机场为 DME 机场（用来作为 DME 定位点进行标注）。如果机场不在机载数据库中，不允许这样操作。
3. 如果通过 5 字代码进行识别的定位点不在 GPS 机载数据库中，或者如果没有

指定该定位点，选择建立了 DME 定位点的机场或者另一个指定的 DME 定位点作为现用 GPS 航路点。

4. 在选择指定的定位点作为 GPS 航路点的情况下，当 GPS 系统指示现用航路点时飞行员在这个定位点上方。

5. 如果选择提供 DME 的机场作为现用 GPS 航路点，当从现用航路点的 GPS 距离等于标注的 DME 值并且飞机已经在建立的相应的方位或航道时，飞行员在定位点的上方。

#### 1.4.2.6 DME 弧的飞行：

1. 核实飞机 GPS 系统完好性，监控设备的工作情况正常并且显示良好的完整性。
2. 从机载数据库选择提供 DME 弧的机场作为现用 GPS 航路点。唯一可接受的机场为 DME 所在机场。如果这个机场不在机载数据库里，则不允许执行这个操作。
3. 通过参考 GPS 距离而不是 DME 的读数来保持在弧上的位置。

#### 1.4.2.7 对向台/背台 NDB/罗盘定位器进行导航：

1. 核实飞机 GPS 系统完好性，监控设备的工作情况正常并且显示良好的完整性。
2. 从机载数据库选择 NDB/罗盘定位器所在机场作为现用航路点。如果航图上标注了罗盘定位器，并一个定位点的名字相同，使用定位点而不是罗盘定位器的机场作为现用航路点。
3. 选择并在适当的航路上进行引导到现用航路点或者离开现用航路点。

#### 1.4.2.8 确定飞机在 NDB/罗盘定向器上方时的位置：

1. 核实飞机 GPS 系统完好性监控系统工作正常并且完好性的显示令人满意。
2. 从机载数据库中选择 NDB/罗盘定向仪设备。当使用 NDB/罗盘定向仪时，必须对设备进行标注并且该信息必须已经储存在机载数据库中。如果设备没有储存在机载数据库中，飞行员不允许使用设备提供的航路点来进行操作。
3. 当 GPS 系统显示在现用航路点进场时飞行员结束使用 NDB/罗盘定向仪。

#### 1.4.2.9 确定飞机在 NDB/罗盘定位器制定的定位点上的位置，方位穿过一个 VOR/LOC 航线：

1. 核实飞机 GPS 系统完好性监控系统工作正常并且显示良好的完好性。
2. NDB/罗盘定位器确定的定位点方位由 5 字代码显示。飞行员必须选择已经命名的定位点或者提供交叉方位的 NDB/罗盘定位器设备来建立定位点作为现用 GPS 航路点。当使用 NDB/罗盘定向仪时，必须对设备进行标注并且相关信息必须已经存储在机载数据库中。如果设备没有存储在机载数据库中，飞行员不允许使用设备提供的航路点来进行操作。
3. 当选择指定的定位点作为现用的 GPS 航路点，GPS 系统指示飞行员在航路点时飞行员在这个固定点上方。
4. 当选择 NDB/罗盘定位仪设备作为现用 GPS 航路点时，若飞机在非 GPS 导航

源所提供的航迹上飞行，GPS 到现用航路点的方位与标注的 NDB/罗盘定向仪方位相同时飞行员在定位点之上。

#### 1.4.2.10 保持在 NDB/罗盘定向仪之上：

- 1.核实飞机 GPS 系统完好性，监控设备的工作情况正常并且显示良好的完整性。
- 2.从机载数据库选择 NDB/罗盘定位器位置作为现用航路点。使用设备位置作为现用航路点时，唯一可使用的设备为标注的 NDB/罗盘定位仪。如果设备位置不在机载数据库中，不允许这样操作。
- 3.选择非顺序方式（例如，“HOLD”或者“OBS”）并且根据 POH/AFM（飞行员操作手册/飞机飞行手册）或者附件来选择相应的航线。
- 4.根据 POH/AFM（飞行员操作手册/飞机飞行手册）或者附件保持使用 GPS 系统。

#### 1.4.2.11 使用 GPS 进行 IFR 飞行

进行飞行前准备时，必须保证 GPS 工作正常并且已经批准使用当前数据库用于此次飞行操作。必须根据局方批准的 POH/AFM（飞行员操作手册/飞机飞行手册）或者飞行手册附件来进行 GPS 操作。机组成员必须全面熟悉飞机上安装的特殊的 GPS 设备，接收机操作手册，POH/AFM（飞行员操作手册/飞机飞行手册）或者飞行手册附件。不同于 ILS 或者 VOR 的基本操作，接受机呈现给飞行员的信息以及这些设备的功能有很大的不同。由于这些差异，不同的品牌设备的操作或者同一牌子的 IFR 条件下使用的 GPS 接收机的不同的样式，飞行员都要彻底了解这些特殊接收机以及安装设备的操作程序。在 VFR 条件下飞行中使用的设备，在尝试 IFR 操作之前，允许进一步熟悉。

当使用 GPS 作为导航的辅助方法时，所要求的飞行前准备应该包括检查与 IFR 飞行相关的 NOTAM。对于特别要求 GPS 航空信息的机场，飞行员可能在起飞前简令过程中会从自动飞行服务台（AFSS）获得 GPS RAIM 可用信息。获得 GPS RAIM 航空信息分为 3 个小时不同阶段：预计进场时间（ETA），预计进场时间前一小时到预计进场时间后一个小时，对于特殊机场需要 24 小时特殊期限。在预计进场时间前一小时到预计进场时间后一个小时时提供 RAIM 信息，除非飞行员有特殊时间要求。如果执行一个公布的 GPS 离场，飞行员应该要求提供离场机场的 RAIM 预测。一些 GPS 接收机可以预测 RAIM 的可用性。飞行员应该保证飞行航路，终端操作，目的地机场的仪表进近以及备用机场/直升机场所要求的地面导航设备以及相关的飞机设备在 ETA 的可操作性。如果所要求的地面设备以及装置不可用，需要更改航路或重新进行计划，取消或者在 VFR 下飞行。

除了需要从 GPS 接收机处理或者获取信息之外，以与传统 NAVAID 相同的方式来完成飞行计划。根据产品说明将离场航路点，DP，航路，STAR，预计进近，IAF 以及目的地机场输入到 GPS 接收机。起飞前，还需要输入其他额外的信息例如 ETA，燃油计划以及风信息等。

当 GPS 接收机打开时，机器进行内部测试并开始工作。当接收机开始工作时，使用者通过选择一个航路点或者一系列的航路点来生成航路，核实数据并选择现用飞行计划。生产商不同，接收机的使用程序也有很大不同。GPS 是一个复杂的系统，两种不同样式的接收机之间相同点很少。熟悉如何操作飞机上的设备是飞行员的责任。

GPS 接收机提供相关的导航信息，例如航迹，方位，地速以及距离。使用以上信息计算从飞机当前的经纬度到下一个航路点的位置。提供两个航路点之间的航线指引。飞行员可

以了解飞机在地面上的实际航迹。只要飞机的航线与到航路点的方位相匹配（通过选择正确的飞机航向），飞机会直飞到航路点。

#### 1.4.2.12 GPS 仪表讲近

在美国境内有 GPS 重叠进近（标题上带有“或者 GPS”）以及 GPS 单机进近的混合型设备。

注：在美国境外使用 GPS 仪表操作必须获得该国相应机构的批准。

当执行这些仪表进近程序时，不要求地面设备 **NAVAID** 的可操作性，相关飞机的电子设备不需要安装，不要求可操作性，打开或者监控；但是推荐持续监控备用导航设备（如果可用）。

在尝试进行仪表气象条件（IMC）下飞行时，飞行员应该对 GPS 进近程序有一个基本的了解，在目视气象条件下（VMC）练习 GPS 仪表进近程序直到彻底熟悉设备（接收机以及其它安装设备）所有方面。『图 9-29』

必须从相关的 **GPS** 数据库获取所有 **IAP**, 该库由生产商或者获得批准的其他机构提供。进近时点对点飞行不能保证与公布的进近程序的一致性。适当的 **RAIM** 灵敏度不可用并且 **CDI** 灵敏度不能自动更改到 **0.3NM**。在一些接收机上, 人工调定 **CDI** 灵敏度时, **RAIM** 灵敏度不能自动更改。使用 **GPS** 时, 不能一些已经存在的非精密进近程序进行编码从而这些程序在重叠进近时不能使用。

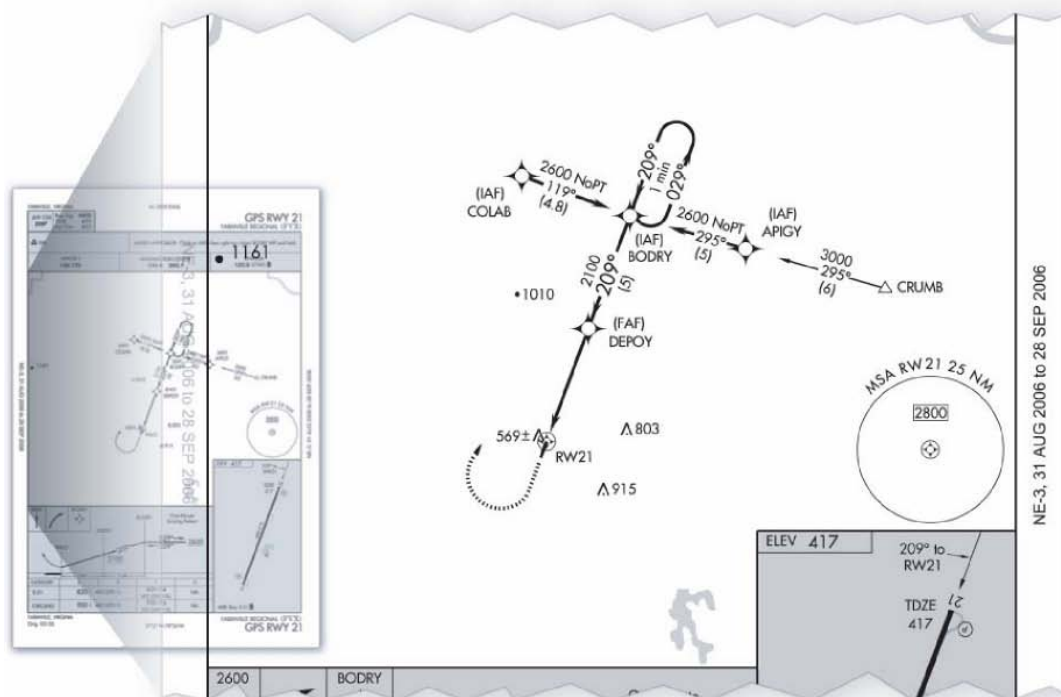


图 9-29 一种 GPS 单机进近

当要求使用 GPS 进近时，如果 ATC 已经批准则使用 GPS 标题例如，“GPS RWY  $\pm 24$ ”或者“RNAV RWY  $\pm 35$ ”。使用生产商推荐的程序时，从 GPS 接收机数据库中选择预计的进近程序以及相关的起始进近定位点。飞行员从一个起始进近航路点（IAWP）或者支线定位点（除非已经明确清除否则可以使用该点）开始完全进近过程。未做计划在中间进近定位点加入进近，不能保证安全的越障高度。

如果在飞行计划中已经做出了进近计划，GPS 接收机将提供一个“预位”的显示牌，显示到机场 / 直升机场基准点还有 30NM 的直线距离。飞机位于 30NM 范围内，进近方式应该“预位”，因此接收机将从航路 CDI ( $\pm 5\text{NM}$ ) 以及 RAIM ( $\pm 2\text{NM}$ ) 的灵敏度更改到  $\pm 1\text{NM}$  终端灵敏度。当 IAWP 在 30NM 内，一旦进近方式预位并且飞机在 30NM 范围时，CDI 灵敏度将发生更改。IAWP 不到 30NM 那一点时，CDI 灵敏度将不能更改，即使进近提早预位也要等到飞机在 30NM 内才可以更改。在终端 CDI 灵敏度在机场 / 直升机场基准点 30NM 范围内根据接收机 CDI 以及 RAIM 不能确定支线航路越障高度；因此，接收机应该总处于“预位”状态不能迟于 30NM 显示。

执行等待航线时，并且一旦实行重叠进近例如程序转弯等操作时，飞行员应该特别注意 GPS 接收机的准确操作。这些程序可能要求人工干涉，飞行员通过接收机停止航路点顺序并且假设一旦完成机动 GPS 导航自动排序。可能会在飞行航路中不止一次出现相同航路点并且连续出现（例如，起始进近航路点（IAWP），最终进近航路点（FAWP），程序转弯时的失去进近航路点（MAWP））。飞行员必须要谨慎操作以保证接收机已经给相应程序上的航路点进行了排序，尤其当跳过一个或者多个飞越航路点时（例如，如果没有执行程序转弯，则选择 FAWP 而不是 IAWP）。为了在适当的位置按航路点顺序开始 GPS 自动排序，飞行员需要给航路点排序一次或多次飞越相同航路点。

当接收引导到最终阶段时，大部分接收机操作手册建议在 FAWP 时将接收机置于非顺序模式并人工调定航线。一旦飞机被引导至最终进近航线，超过已与跑道校准的任一航段时，这样操作会提供一个延伸的最终进近航线必须保持指定的高度直到已经建立在公布的进近航段上。必须考虑 FAWP 之外的航路点上所要求高度或者之后的定位点。

为了可以在适当的位置下降可能需要计算到 FAWP 的距离。当进近方式预位距离 FAWP 2NM 范围内时，进近方式将转换到现用模式，这样 RAIM 以及 CDI 灵敏度也会更改到进近方式。在 FAWP 之前 2NM 时，全刻度 CDI 灵敏度将从  $\pm 1\text{NM}$  柔和更改，到 FAWP 时为  $\pm 0.3\text{NM}$ 。随着从  $\pm 1\text{NM}$  更改到  $\pm 0.3\text{NM}$  接近 FAWP 时，CDI 不能进行输入，CDI 偏移量开始相应得增加，飞行员可能觉得飞机离预计航线越来越远，即使飞机已经在可接受的预计航向上。在进近方式时，如果数字航迹偏移信息（交叉航迹误差）可用，将帮助飞行员保持这个位置。坡度下降过程中，在 2NM 灵敏度开始更改之前建立最终进近航线，将帮助飞行员理解 CDI 显示的意思。飞行员要求提供或者接受指引时，飞机将在 FAWP 2NM 范围内切入到最终进近航线，但是并不推荐这种做法。

在进近过程中，对 GPS 接收机进行不正确的输入会造成很严重的后果。在一些案例中，一个不正确的输入可能会导致接收机离开进近方式。进近过程中对自动选择的灵敏度进行超控将取消进近方式显示牌。FAWP 之前 2 海里时，如果进近方式没有预位，在 FAWP 之前 2 海里时进近方式将不能变为现用方式，设备将出现故障旗。在这种情况下，RAIM 以及 CDI 灵敏度不会下降，飞行员不应该下降到最低下降高度（MDA），但是会飞向 MAWP 并执行复飞。应该检查进近现用显示牌以及/或者接收机来保证在到达 FAWP 之前进近方式为现用方式。

GPS 复飞时要求飞行员实施操作来给接收机进行顺序排除 MAWP 到该程序的复飞部分。如果飞机上安装的 GPS 接收机比较特殊，飞行员必须对起动程序非常熟悉，在 MAWP 之后开始采取相应的动作。MAWP 之前开始复飞程序会导致 CDI 的灵敏度马上产生变化，调至终端灵敏度 ( $\pm 1\text{NM}$ )，并且接收机将继续导航至 MAWP 点。通过 MAWP 之后接收机将不能再进行排序。到达 MAWP 之前不要开始转弯。如果不能开始复飞，GPS 接收机将显示向台最终进近航线的延长线，沿着航线距离 (ATD) 将从 MAWP 开始增加直到穿越 MAWP 之后人工开始排序。

复飞过程中的第一个航迹是通过一条航线而不是直飞到下一个航路点，需要飞行员额外

采取动作来设定航线。在飞行中的这个阶段，熟悉所有要求的输入这点非常关键。

#### 1.4.2.13 离场和仪表离场程序（DP）

为了执行公布的 IFR 离场以及 DP，GPS 接收机必须调至 CDI 终端灵敏度（ $\pm 1\text{NM}$ ）并使用数据库中储存的导航航路。接收机应该自动提供终端 RAIM。（终端离场 RAIM 可能不可用，除非航路点为现飞航路的一部分而不是直飞到第一目的地。）DP 的某些航段可能需要飞行员的一些人工干预，尤其当雷达引导一个航线或者需要切入一条特定的航线到一个航路点。数据库可能不包括从跑道开始的所有的过渡或者离场并且一些 GPS 接收机没有在数据库中储存 DP。在 70 节或者少于 70 节执行直升机程序这点很重要。因为直升机离场程序以及复飞进近使用一个 20:1 的障碍许可面（OCS），这个数值是固定翼 OCS 的两倍。转弯区域也基于这时的速度。复飞过程中的第一个航迹是通过一条航线而不是直飞到下一个航路点，需要飞行员额外采取动作来设定航线。在飞行中的这个阶段，熟悉所有要求的输入这点非常关键。

#### 1.4.2.14 GPS 误差

通常 GPS 操作过程中需要 30 颗卫星，GPS 的卫星阵可以在全世界范围内连续使用。如果使用的卫星数量少于 24 颗，在某些地理区域，GPS 导航能力可能不可用。被高地形包围的山谷区域可能会失去信号，并且飞机的 GPS 天线随时会被飞机结构所“屏蔽”（例如，当飞机在压坡度时）。

某些接收机，收发机，移动无线电以及部分接收机可能会造成信号冲突。一些 VHF 的发射可能会造成“谐波冲突”。当监控接收机信号质量数据页面时，飞行员可以通过重新部署周围部分接收机来隔离冲突，改变频率或者关掉造成冲突的可疑的仪器。

GPS 位置数据可能会受到设备性质以及多种地理因素的影响，通常可能会造成误差，通常少于 100 英尺。卫星原子钟，接收机/处理器，信号被障碍物反射（多航路），电离层以及对流层延迟以及卫星数据发射误差都会造成小的位置差错或者瞬间失去 GPS 信号。

#### 1.4.2.15 系统状态

发布 GPS 卫星的状态作为部分数据信息由 GPS 卫星来发射。美国海岸护卫队导航信息服务可以提供 GPS 状态信息：（703）313-5907，或者登陆网站 <http://www.navcen.uscg.gov/>。另外，通过 NOTAM 系统也可以了解卫星状态。

GPS 接收机通过接收机自动完整性监控（RAIM）设备来核实 GPS 卫星阵发射的信号完整性（可用性），从而确定卫星是否提供了模糊信息。至少一颗卫星，除了导航要求的那些，必须要在接收机的范围内来执行 RAIM 功能；因此，RAIM 需要至少 5 颗卫星在范围内或者四颗卫星以及一个气压式高度表（气压辅助）来探测完整性是否有异常。接收机可以这样使用，RAIM 需要 6 个卫星（或者 5 个卫星和一个气压辅助探测）来隔离一个模糊的卫星信号并将它从导航计算中移除。

在接收机之间 RAIM 信息会稍微发生变化；但是有两种最常用的类型。一种显示为没有足够的卫星可以使用来提供 RAIM 完整性监控，另一种类型显示为 RAIM 已经探测到了潜在的错误但是不在当前飞行阶段范围内。RAIM 不工作时，飞行员就不能保证 GPS 位置的准确性。

选择可用性。选择可用性（SA）是人为降低 GPS 精确性一种措施。这种办法用来防止非特许用户使用精密 GPS 定位数据。SA 在 2000 年 5 月 1 号停止使用，但是许多 GPS 接

收机仍然设计假设可以使用 SA。基于 ICAO 附件 10 中的性能数据的新的接收机可以利用 SA 的停止使用，而不需要在性能范围外来进行操作。

#### 1.4.2.16 GPS 精通

尝试在仪表气象条件（IMC）下进行 IFR 飞行之前，飞行员在目视气象条件下（VMC）应该使用 GPS 进近，直到彻底精通设备（接收机以及安装的设备）的所有方面的信息。飞行员必须对以下项目进行练习：

- 1.练习使用接收机自动完整性检测（RAIM）预测功能；
- 2.插入一个改航点（DP）到飞行计划中，包括按需调定终端 CDI 灵敏度，以及离场时终端 RAIM 的可用状况（一些接收机没有 DP 或者 STAR）；
- 3.对目的机场进行分析；
- 4.分析并执行重叠进近（尤其是程序转弯以及弧）；
- 5.选择一个进近之后更改到另一个进近；
- 6.分析并执行“直接”复飞；
- 7.分析并执行“航路”复飞；
- 8.进入，飞行以及退出等待航线，尤其在等待航线第二个航路点重叠进近时；
- 9.分析并从一个等待航线执行一条“航路”飞行；
10. 分析并在雷达指引到一个中间航段时执行进近；
11. RAIM 故障所要求的动作指示，在 FAWP 之前以及之后都有显示；并且
12. 分析 VOR 的径向线以及到 VOR 的距离（经常在离场指示中使用）。

#### 1.4.3 差全球定位系统（DGPS）

差全球定位系统（DGPS）通过测量变数的更改来提供卫星定位修正，从而改进全球导航卫星系统（GNSS）的精确性。

因为多样接收机接收卫星的相同设置会产生相似的误差，在已知位置安装基准接收机可以准确计算出它在理论上的位置之后与导航卫星信号提供的计算值进行比较。两个信号之间的测量差异为误差，通过提供基准信号修正来对误差进行修正。

由于卫星系统输入的准确度不同也会增加这个误差。广域差分系统（WAAS）以及局域差分系统（LAAS）就是差全球定位系统的两个例子。

#### 1.4.4 广域差分系统（WAAS）

WAAS 用来改进 GPS 信号的精确度，完整性以及可用性。WAAS 允许 GPS 作为航空导航系统从起飞到 I 类精密进近过程中使用。国际民航组织（ICAO）已经确定了卫星增强系统（SBAS），日本以及欧洲都在建立相似的系统来配合 WAAS 的使用。EGNOS，欧洲同步卫星导航系统以及 MSAS，日本多功能运输卫星（MTSAT）卫星增强系统。其结果类似于 GPS，会产生一个全球无缝连接的导航能力，会带有非常高的精确度，可用性以及完整性。

与传统的地面导航设备不同，WAAS 将覆盖一个更为密集的服务区，在这里可以纵览连接到 WAAS 网络的广域地面基准台。通过这些台来监控 GPS 卫星信号从而决定卫星时间以及星历表修正。在网络中的每个台都传播相关的数据到广域主台，在这里对修正信息进行计算。准备好的修正信息通过一个地面上联被上联到一个同步卫星（GEO），之后在广播覆

盖区域在 GPS 以及 WAAS 接收机的相同频率上的进行发送。『图 9-30』

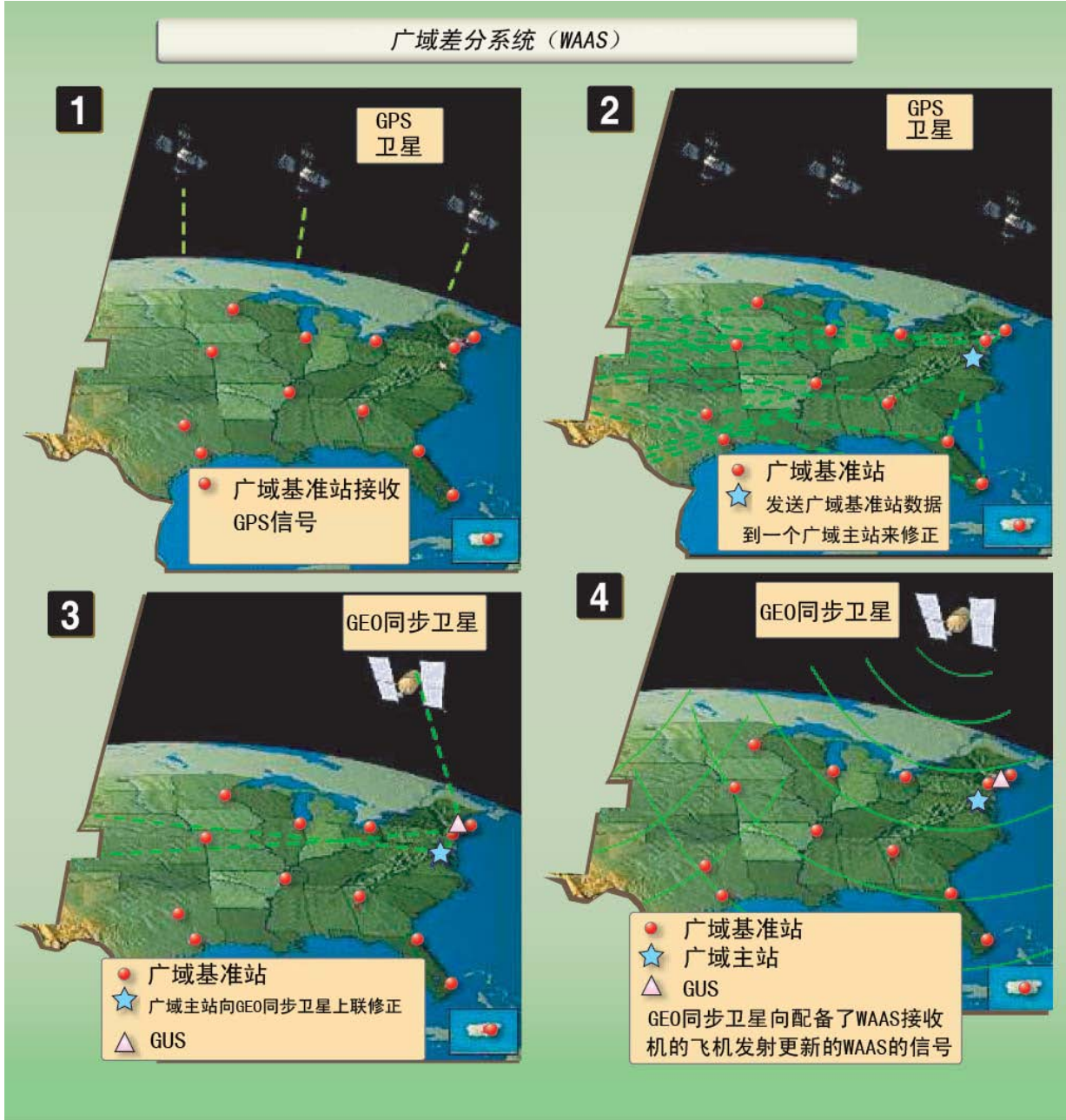


图 9-30 WAAS 卫星

除了提供修正信号，WAAS 给飞机的接收机提供额外的计算方法，通过范围内一个额外的 GPS 卫星有效地改进 GPS 信号的可用性。通过实时监控来改进 GPS 信号的完整性，并且通过提供不同的修正来减少误差进而改善准确性。『图 9-31』因此，性能经过改进之后可以在进近程序上充分使用 GPS/WAAS 下滑道。

1.4.4.1 仪表进近能力

WAAS 接收机支持所有基本的 GPS 进近功能并且提供额外的功能，其中最关键的是不依赖于地面设备或者气压设备而生成一个电子下滑道。这样就避免了几个问题的发生，例如低温效应，不正确的高度表调定或者缺乏当地高度表源，并且允许建立进近程序，而不需要



一个基准的接收机，可以测量 GPS 卫星虚拟距离，还可以计时或者重新发送信号。配备了相应设备的飞机在安装了 LAAS 的机场进行着陆时可以执行 I 类或者更高级别的进近。『图 9-32』图 9-33』

图 9-31 WAAS 卫星

在每个机场安装地面站。可以为精密进近提供垂直引导的新级别的进近程序已经得到了发展，来支持卫星导航在航空中的使用。这三种新的程序被称为垂直引导进近（APV）包括进近例如目前执行的使用气压垂直导航的 LNAV/VNAV 程序。

#### 1.4.5 局域差分系统（LAAS）

LAAS 为使用 GPS 基准设备的地面增强系统，该设备位于 GPS 正在提供服务的机场的范围内。该设备具有

#### 1.4.6 惯性导航系统（INS）

惯性导航系统（INS）可以精确导航不需要从飞机外进行任何输入。完全是自备式的。INS 由飞行员起始开始工作，并向系统输入飞机起飞前在地面的准确位置。INS 也会对沿着飞行中预计航路上的航路点进行分析。

##### 1.4.6.1 INS 的构成

INS 可以看作是一种单机导航系统，尤其当多于一台独立装置在飞机上时。机载设备包括一个加速计来测量加速度—再加上时间，可以计算出速度---并配有陀螺仪来测量方向。

INS 最新的版本被称为惯性基准系统（IRS），它使用激光陀螺仪以及计算机；因此加速计不再需要与真北进行校准。由于修正重力以及方向误差而作的计算，计算机系统可以处理由此所增加的工作量。随着加速计以及陀螺仪被捷联到机身，而不是像传统方式那样相对于水平方向以及真北方向将其安装在一个装置上保持固定，这些更新的系统有时被称为捷联系统。

##### 1.4.6.2 INS 误差

INS 相关的主要误差为位置以及时间准确性的降低。INS 通过准确的位置输入来计算位置，该位置随着加速计以及陀螺仪提供的速度以及方向输入持续发生变化。加速计以及陀螺仪的误差非常小，但是随着时间的增长，这些误差可能会发生累计。

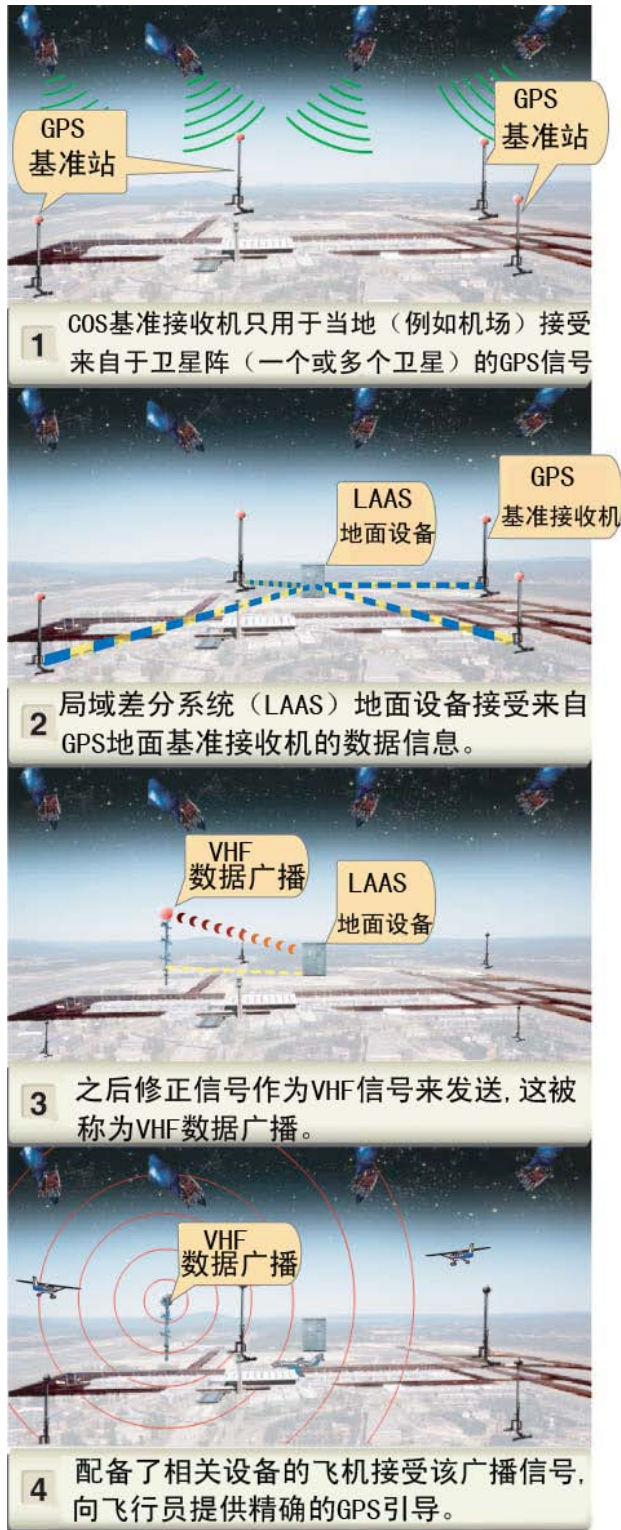


图 9-32 LAAS 图示

在飞越北大西洋 4 到 6 小时之后，INS/IRS 显示的最小误差在 0.1 到 0.4NM。体积较小价格较低的设备的误差可能在 1 海里/小时到 2 海里/小时。对于导航设备来说这个精确度已经足够了，可以与 GPS 联合使用并更新。带有一个 INS/IRS 组件的导航设备与 GPS 配合使用可以解决误差问题并且可以弥补两个系统的缺点。GPS 工作时会一直保持精确性，但是可能会出现短期或者定期性的损耗。由于惯性导航系统（INS）可以不断进行更新，保持很好的精确度，并且在 GPS 失去信号的那段时间可以持续以良好的精确度来工作。

## 1.5 仪表进近系统

大部分用于仪表飞行规则（IFR）下航路以及终端操作的导航设备，例如 VOR，NDB 以及 GPS 可能也会被批准来执行 IAP。在美国境内使用的大部分普通设备为惯性导航系统（INS），简单方向设备（SDF），航向道定位设备（LDA）以及微波着陆系统（MLS）。这些系统可以独立于其它导航系统单独进行操作。并且在这方面发展了许多新系统，例如 WAAS 以及 LAAS。而且还发展了另外一些系统用于特殊操作。

### 1.5.1 仪表着陆系统（ILS）

ILS 系统为特殊跑道提供航道以及高度指引。ILS 系统用来执行精密仪表进近程序或者精密进近。『图 9-34』该系统由以下部分构成：

1. 航向道，沿着跑道的中心线延长线提供水平（左/右）指引。
2. 下滑道（GS），向着跑道接地点通常为 3°坡度，提供垂直（上/下）指引。
3. 信标台，沿着进近航路提供范围信息。
4. 进近灯，用于从仪表到目视飞行的过渡阶段。

以下辅助设备，虽然不是该系统的指定组件，但是可以用来增加安全性以及可用性：

1. 罗盘定向仪提供从航路导航设备到 ILS 系统的过渡，帮助保持程序，跟踪航向

道航线，识别信标台位置并提供 FAF 用于 ADF 进近。

2. DME 位于 GS 发射机旁边，提供正接地点的距离信息或者与 DME 联合附近另一设备使用（VOR 或者单机），如果在进近程序中有规定。

ILS 进近根据机场设备以及飞行员的经历水平被分为不同类型的进近。I 类进近，进近高度高于接地点不少于 200 英尺。II 类进近，高度高于接地点不少于 100 英尺的进近。没有决断高度限制时，III 类进近提供最低高度值。飞行员仅需要仪表读数，飞机配备相应的机载设备来执行 I 类进近，II 类以及 III 类进近同时要求飞行员的资格证明，地面设备以及机载设备。

#### 1.5.1.1 ILS 的构成

##### 1.5.1.2 地面构成

ILS 需要使用很多地面设备。这些设备作为 ILS 设备的一部分，同时也作为另一个进近的一部分。例如，罗盘定向仪可能会用作 NDB 进近。

##### 1.5.1.3 航向道

航向道（LOC）地面天线位于机场仪表跑道中心线的延长线上，离场跑道的末端，这样可以防止碰撞冲突。这些装置发射一个沿着从航线到跑道的中心线向着中指点标（MM）以及外指点标（OM）机场航线，以及一个沿着跑道中心线但是方向相反的类似的航线。它们被分别称之为正航道和反航道。航向道在 108.1 到 111.95MHz（十分位为奇数）发射信号提供航道指引，包括下降航路到跑道入口处，从距离天线 18 海里的地方，到天线位置标高之上 4500 英尺的高度。『图 9-35』

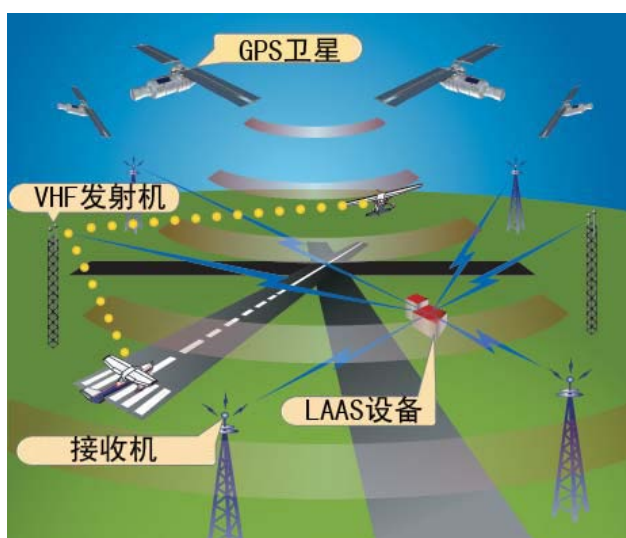


图 9-33 LAAS 说明图

航向道航线宽度，在航道上任一点开始带有角度的一个偏移，在“全-左”（CDI 指针完全偏向左边）以及“全-右”（CDI 指针完全偏向右边）这个范围之间。可以通过收听三字代码来识别每个航向道设备，并且频繁地以固定时间间隔发射。ILS 的识别码由“I”来表示（两个点）。例如，在 Springfield, Missouri 发射 ILS 航向道识别码 ISGF。航向道在频率上包括一个语音识别与 ATC 设备配合使用发布进近以及着陆指示。

航向道航线非常窄，通常为 5°。这就需要指针高度敏感。因此当飞机到中心线任何一侧为 2.5°时，指针发生全偏转。高灵敏度允许对着陆跑道进行准确定位。保持偏移不超过 1/4 刻度，则将飞机与跑道保持对齐。

##### 1.5.1.4 下滑道（GS）

下滑道是指那些生成信号，接收并显示地面设备发射方式的系统。下滑道为一条带坡度的直线，当在接近 FAF 的高度与下滑道相交时，飞机可以开始沿着下滑道下降一直到跑道接地区。下滑道设备放置在一个约 750 比 1250 英尺的建筑物内，从跑道着陆进近端一直沿跑道向下，并且到中心线一侧 400 到 600 英尺范围之间。

GS 设备生成的航线本质上与它旁边工作的航向道生成的航线一样。下滑道的发射角通

常为天地线上  $2.5^{\circ}$  到  $3.5^{\circ}$ ，因此在大约 200 英尺的地方于 MM 交叉，跑道标高之上约 1400 英尺与 OM 交叉。正常最大下滑道角，但不能获得标准最低越障高度时，如果跑道宽度允许，将下滑道设备远离跑道着陆进近端；或者下滑道角度可能增加到  $4^{\circ}$ 。

与航向道不同，下滑道发射机发射的信号仅在正航道最后进近的方向上。系统在反航道不提供进近垂直引导。下滑道航迹约为  $1.4^{\circ}$  的厚度。距离下降点 10NM 的位置，其垂直距离约为 1500 英尺，一直到接地点宽度逐渐变窄。

#### 1.5.1.5 信标台

两个 VHF 信标台，外指点标以及中指点标通常在 ILS 系统中使用。『图 9-36』第三个信标台，内指点标，用于 II 类进近。信标台也可以用来指示在 ILS 反航道上的 FAF。

外指点标位于航向道的前航道距离机场 4 到 7 英里的位置用来指示飞机的位置，到达此位置时飞机已经在航向道的相应的高度上马上就要切到下滑道。中指点标距离着陆入口约 3500 英尺，在前航道的中心线上，在此处下滑道中心线高于接地区标高约 200 英尺。内指点标（IM）位于前航道，在中指点标与着陆入口之间。II 类 ILS 进近过程中，内指点标指示一个点，在此处时飞机已经在下滑道的决断高度上。如果安装了反航道指点标，则它指示反航道 FAF。

#### 1.5.1.6 罗盘定位仪

罗盘定位仪为低功率的 NDB，通过 ADF 接收机来接收并显示。与 ILS 前航道配合使用时，罗盘定向仪设备在外指点标以及/或者中指点标设备附近。外指点标的识别码包括相关的 LOC 三字识别码中的两个字母。例如，外指点标在 Dallas/Love 机场（DAL），识别码则为“DA”。DAL 的中指点标通过最后两个字母“AL”来识别。

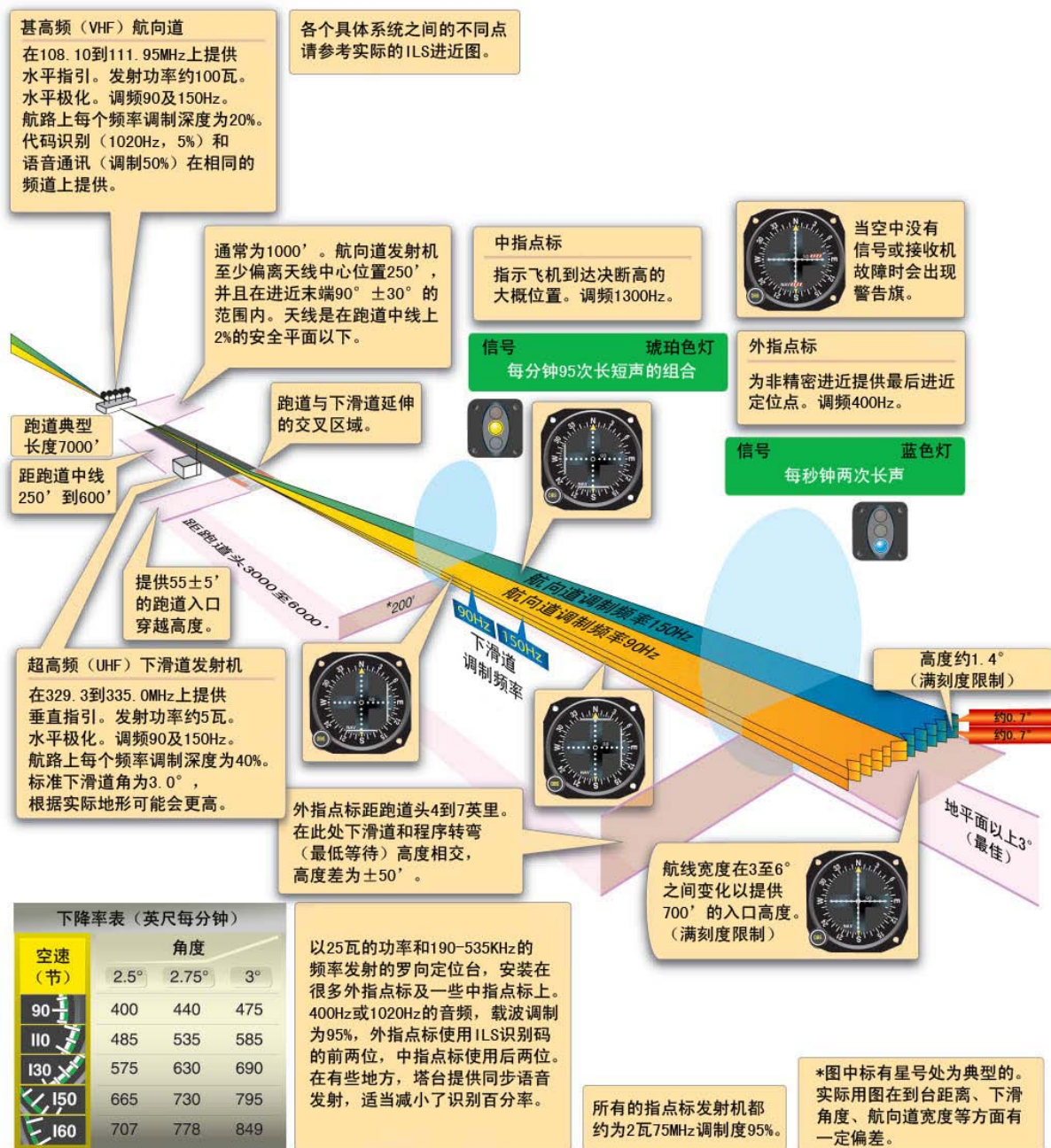


图 9-34 仪表着陆系统

### 1.5.2 进近灯光系统 (ALS)

ILS 过程中正常的进近以及下降被分为两个界线明显的阶段：仅使用无线电指引的仪表进近阶段，以及目视阶段。飞行员目视观察到地面跑道环境对于保持精确度以及安全性很重要。在仪表进近中尤其当云幕较低/能见度较差时，最重要的阶段应当是飞行员到达某一位置点时必须做出决定是否着陆或者执行复飞。随着跑道入口的逐渐接近，目视下滑道将分成不同的灯光。在这一点上，通过参照跑道接地区域标志来继续进近。ALS 在接地点提供的灯光可以穿越大气，光线可以传播足够远以保证目视过渡的安全性并且提供方向性信息，距离信息以及下滑道信息。

飞行员必须迅速目视识别 **ALS**。进近开始之前就要知道 **ALS** 的类型这点很重要。任何仪表飞行之前,飞行员必须检查仪表进近图以及 **A/FD** 尤其是目的地机场的灯光设备的类型。能见度下降时,快速定位到

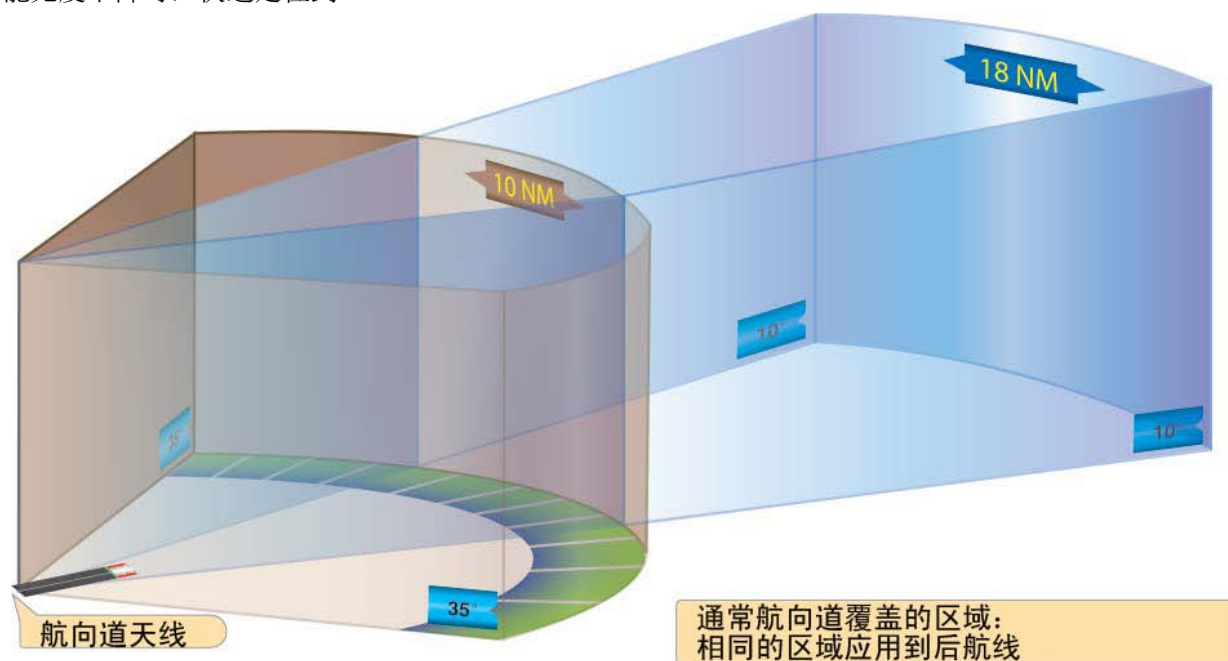


图 9-35 航向道覆盖区极限

一个陌生的跑道可能会比较困难,尤其在盘旋进近到一个最低标准灯光设备的机场时,或者到一个较大的终端机场但是周围的城市灯光以及地面设备灯光可能会影响机场灯光的识别。最常用的 **ALS** 系统见『图 9-37』。

高密度的闪光灯系统,经常被称为“兔子”,许多大型机场都有安装。闪光灯包括一系列的闪耀的蓝-白脉冲灯,按顺序沿着进近灯闪耀,看上去好像在向机场移动的光球。通常“兔子”每秒钟沿着跑道方向闪烁两次。

安装的跑道末端识别灯 (**REIL**) 可以帮助飞行员快速并且积极识别仪表跑道的进近末端。系统包括一对同步闪光灯,水平安装在跑道入口的每一侧面向进近区域。

目视进近坡度指示器为飞机从进近到跑道过程中提供目视下滑指引信息。标准的 **VASI** 包括一系列的排灯来提供目视下滑道航迹,为飞机在进近区域内提供安全的越障高度。正常的 **GS** 角为  $3^\circ$ ; 但是,为了越障这个角度最高可以达到  $4.5^\circ$ 。配有 **ILS** 的跑道上, **VASI** 角一般包括电子 **GS** 角。通过校对跑道灯来获得目视左/右航线指引。标准的 **VASI** 安装设备包括任一种 2-, 3-, 4-, 6-, 12-, 或者 16-个灯组件, 分别为下风方向以及上风方向的排灯。一些机场为长体飞机提供三排灯 **VASI**, 对于同一条跑道这种灯可以提供两个目视下滑道。

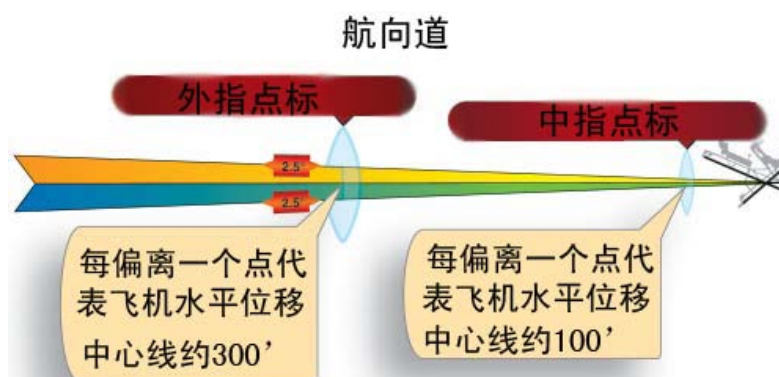


图 9-36 航向道接收机指示以及飞机偏移。

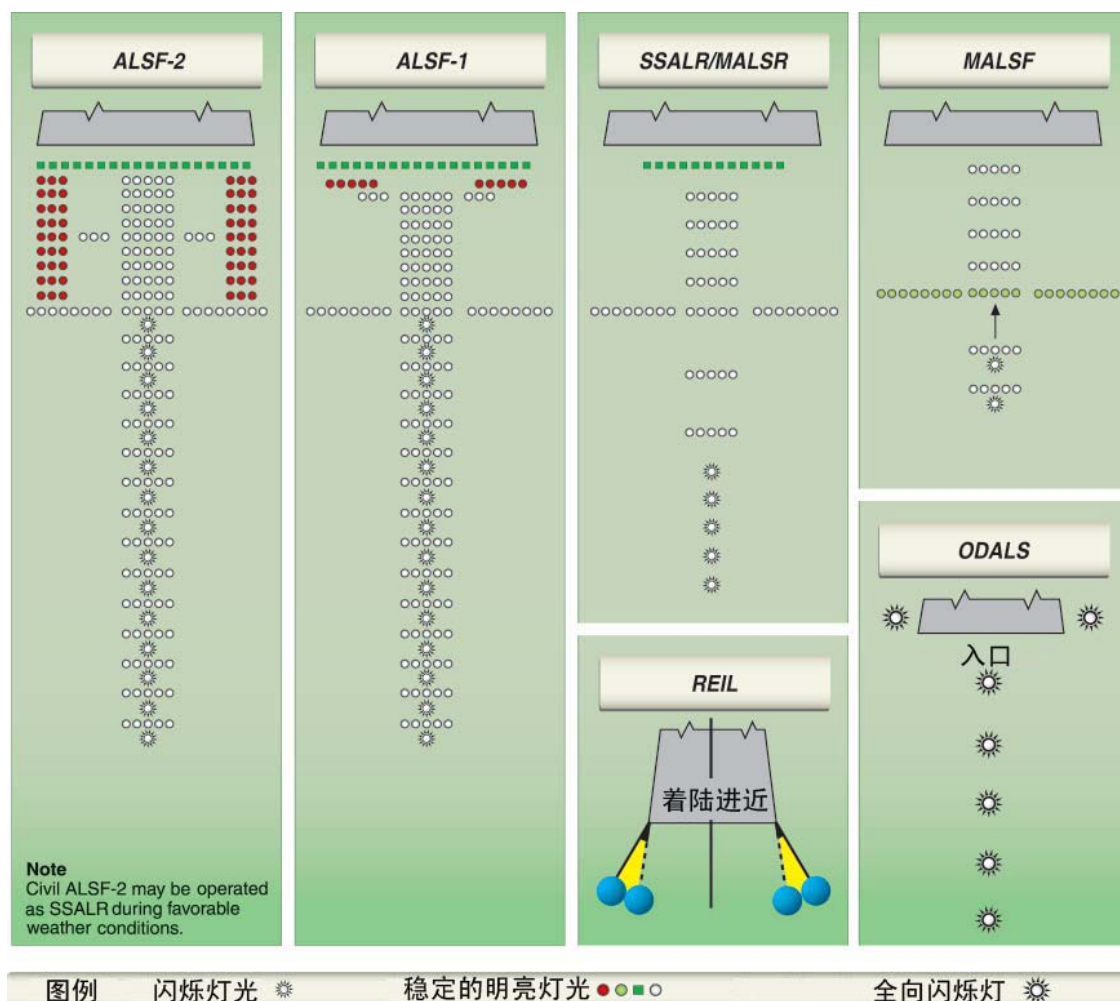
截获第一个下滑道与标准 VASI 提供的是一样的。第二个下滑道比第一个高出 25%，适用于长体飞机。

VASI 的基本原理主要基于红色与白色的颜色区别。每个灯发射一个光柱，在上方是白色的部分，光柱下方为红色。高于下滑道的位置飞行员可以看到两个白色灯。根据下滑道位置降低飞机高度，上风方向的灯会从白色变成粉色最后变成红色。当在下滑道准确位置时，着陆的飞机将会冲出下风方向排灯但不能到达上风方向排灯。因此可以看到下风方向（接近）排灯为白色，上风方向牌灯为红色。对于下滑道时，两个排灯都为红色。飞机移动到下滑道，下风风向排灯从红色变为粉色最后变为白色。飞机低于下滑道时，所有灯显示醒目的红色信号安全越障高度可能不存在。标准两排 VASI 灯见『图 9-38』。

#### 1.5.2.1 ILS 机载组件

ILS 系统的机载设备包括航向道接收机，GS，信标台，ADF，DME 以及相应的仪表显示器。

典型的 VOR 接收机也可以是一个航向道接收机，带有普通的调谐以及显示设备。一些接收机有单独的功能选择电门，如果选择 108 到 111.95MHz 之间，十分位为基数的频率，大部分接收机会通过感应自动在 VOR 与 LOC 之间进行转换。否则，使用相同的旋钮和电门来调谐 VOR 以及航向道频率，当飞机在 VOR 径向线上时，CDI 指示“在航道上”。



- ALSF— 装有顺序闪光灯的进近灯光系统
- SSALR— 装有跑道对准指示灯的简氏短距进近灯光系统
- MALSR— 装有跑道对准指示灯的中强度进近灯光系统
- REIL— 跑道头识别灯
- MALSF— 装有顺序闪光灯（以及跑道校准灯）的中强度进近灯光系统
- ODALS— 全向进近灯光系统

图 9-37 精密以及非精密 ALS 状态

虽然一些 GS 接收机单独进行调谐，但是当调谐航向道时，通常 GS 可以自动调谐到适当的频率。108.10 到 111.95MHz 波段之间有 40 个航向道频道，每一个都和一个相应的 GS 频率配成一对。

当航向道指示器也包括 GS 指针时，仪表经常可以被称为交叉指针显示器。交叉水平方向（航向道）以及垂直方向（GS）指针可以自由移动，标准 5 个点的偏移来指示飞机在航向道以及下滑道上的位置。

当飞机在下滑道上时，指针为水平，飞过参照点。由于下滑道比航向道要窄的多（最大幅度为 1.4°），因此航路校准时指针对飞机的偏移非常敏感。GS 截获时建立适当的下降率，非常小的修正就可以保证飞机位置的准确性。

当有足够的电源来驱动指针时，指示器上的航向道以及 GS 警告旗会从视线中消失。当不稳定的信号以及接收机出现故障时会出现故障旗。

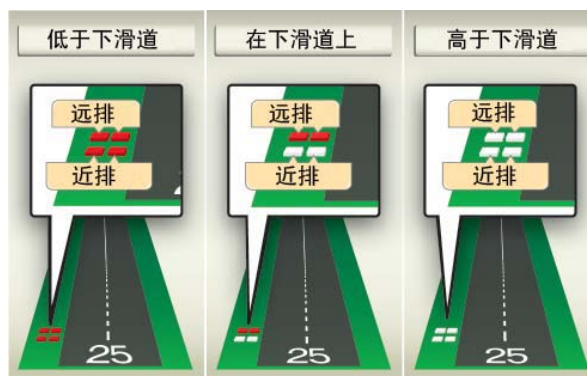


图 9-38 标准两排 VASI 灯。

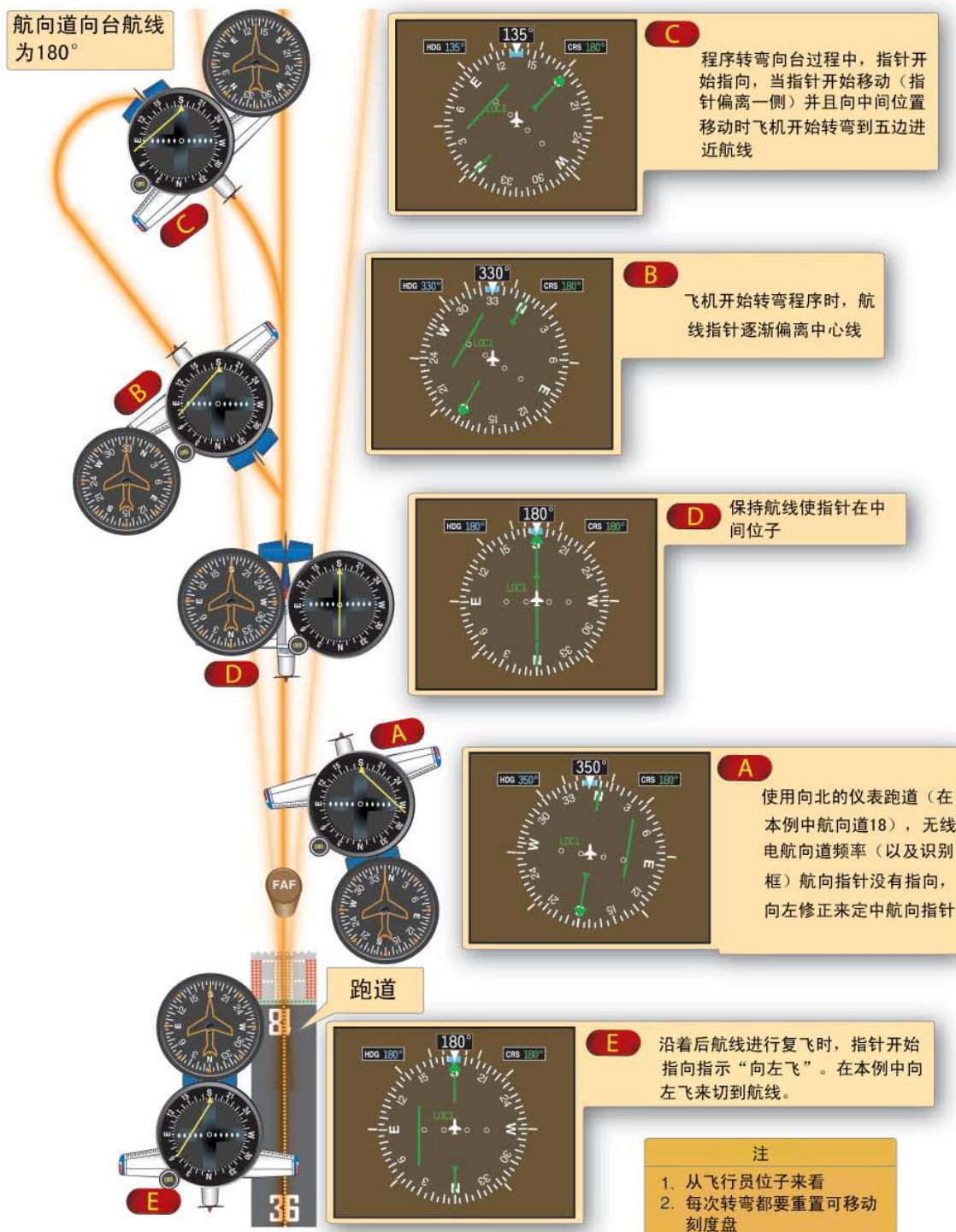


图 9-39 航向道指示。跟随飞机上的显示，开始从 A 开始逐步飞向并通过 E。

飞行员通过一个较低声调的声音来识别已经达到 OM，连续的虚线以每秒 2 次的速率出现，并且出现一个紫色/蓝色信标台灯。飞行员可以通过一声短谐音来识别 MM，并且依次出现点与虚线，每分钟 95 次，并出现一个琥珀色信标台灯。通过一个较高声调的声音来识别已经达到 IM（如果安装），连续的点以每秒 6 次的速率出现，并且出现一个白色的信标台灯。

反航道信标（**BCM**）（如果安装）可以通过一个高声调的谐音来识别，两个点以每分钟 72 到 75 次的速率出现，并且指示白色的信标灯。在大部分组件上，信标台接收机灵敏度可以在高于低之间选择。较低灵敏度位置提供很明显的位置指示，飞行员可以在进近过程中使用。较高灵敏度位置会提前提供一个警告，提醒飞行员飞机已经接近信标台位置。

### 1.5.3 ILS 的作用

不管飞机的位置或者航向如何，定位器指针通过偏转来指示飞机在定位器中心线的左侧还是右侧。虽然旋转 **OBS** 对于将 **LOC** 向台航道置于航道指标下方很重要，但旋转 **OBS** 对定位器指针没有影响。当在前向台航道或者后背台航道，航道指示保持方向性。（参见『图 9-39』，飞机 **C**，**D**，以及 **E**。）

在反航道向台飞行或者前航道背台飞行时，除非飞机具备反辨向能力并且正在使用，对航向进行修正使其对准航道时要与指针的偏移方向相反。通常把它称为“飞离指针”。（参见『图 9-39』，飞机 **A** 以及 **B**。）进近时不能使用反航道信号除非对于特定跑道已经公布了反航道进近程序，该进近已经经 **ATC** 批准。

一旦飞行员已经到达航道中心线，保持向台航向直到 **CDI** 离开中间位置。偏移修正幅度不要太大并且应该随着航道的变窄相应的减小。当飞机到达 **OM** 时，在进近状态非常好的情况下，应该正确建立偏移修正从而很好的完成进近，航向修正不要超过  $12^\circ$ 。

从 **OM** 到 **MM** 的这段下降过程对飞行员技巧的要求最为严格，当飞行员保持在航向道时，需要适当的俯仰姿态来保持适当的下降率并调整推力保持适当的空速。同时必须检查高度表并准备从进近过渡到目视下降或者准备复飞。当飞行员在观察 **CDI** 以及下滑道指针指示以及飞机偏移航向道和下滑道中心线三者之间的关系时，在 **ILS** 过程中可以全程使用精确的仪表切入并使用仪表控制飞机。

**GS** 指针的偏移指示飞机相对于下滑道的位置。当飞机高于下滑道时，指针向下偏移。当飞机低于下滑道时，指针向上偏移。『图 9-40』

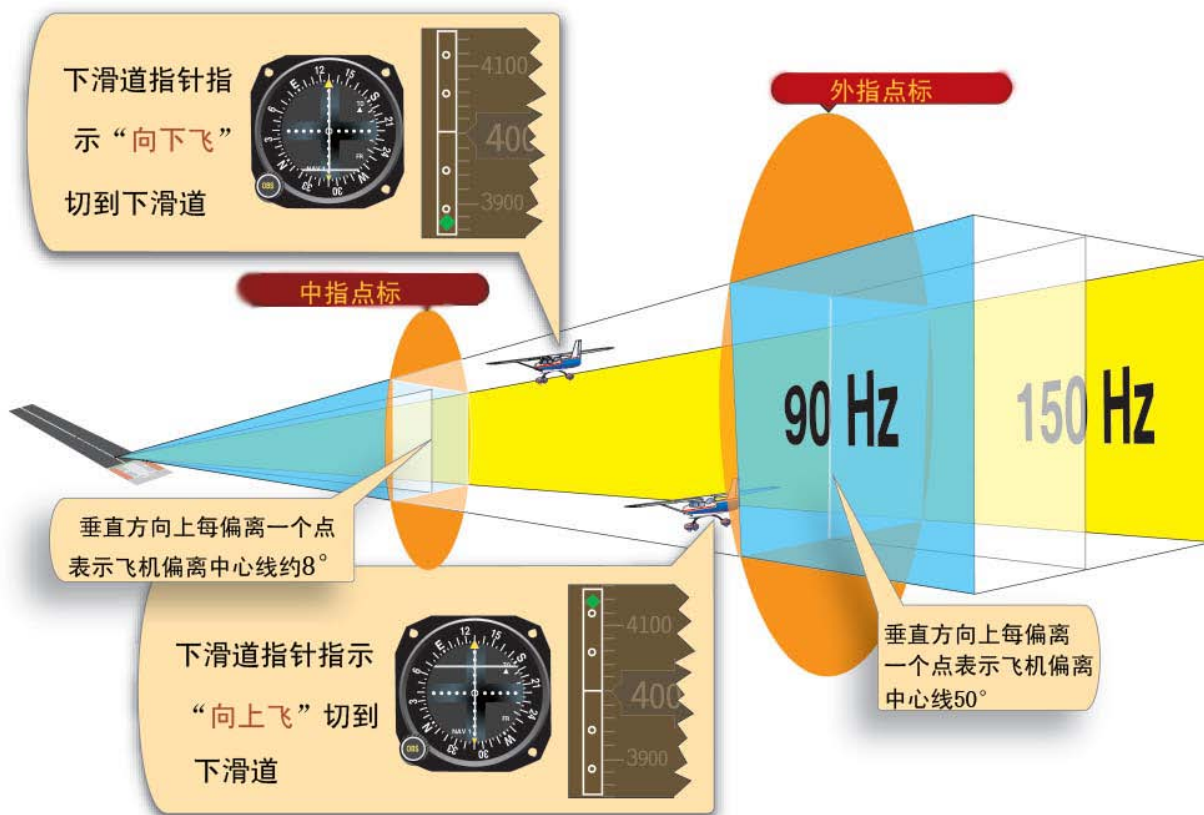


图 9-38 GS 接收机指示以及飞机的偏移。左侧的模拟系统以及右侧的 Garmin PFD 的相同指示。

#### 1.5.4 ILS 误差

下面列举了 ILS 以及相关的组成设备可能会产生的一些误差。定位器信号以及 GS 信号作为空间波进行传播时会产生相同类型的反弹。

1. 反射。对于处于进近过程中的飞机，地面车辆或者其他飞机在低于 5000 英尺 AGL 活动时都可能影响信号的传播。

2. 错误航道。除了预计航线，GS 设备无法避免的会在较高的垂直角上产生额外的

航道。这些错误航道中最低的一个其角度约为  $9^{\circ}$  到  $12^{\circ}$ 。在一个恒定高度上对于正在执行 LOC/GS 航道的飞机，如果通过不同的错误航道时，可以看到 GS 指针的旋转并出现 GS 警告旗。在这些错误航道上建立飞机会导致混乱（反 GS 指针指示）或者需要非常高的下降率。但是，如果执行相应的进近图上规定的高度，飞行员就不会遇到这些错误的航道。

##### 1.5.4.1 信标台

指点标发射机的极低的功率以及方向天线保证了信号离发射机位置有一定的距离时不被接受。一般信号接受的问题可能是因为机载接收机没有打开或者接收机的灵敏度不正确。

为了降低重量减少成本，一些信标台接收机本身并不提供电源。这些组件使用航空电子设备中另一个无线电设备提供的电源，通常是自动定向仪。在一些飞机中，为了信标台接收机的工作要求打开 ADF，但是不需要警告牌。另一个问题可能是由“高/低/关”三个位置电门引起的，这个电门用来起动接收机还可以选择接受机的灵敏度。通常，“测试”功能只能用来测试信标台灯光中的灯泡工作情况。因此对于设备安装的不同，有时没有功能性的办法来帮

助飞行员确定信标台接收机已经打开除非飞过—个信标台发射机，观察信号是否已经接受并显示（例如，可以通过听觉并且还可以目视观察信标台灯）。

#### 1.5.4.2 工作误差

1. 飞行员对 ILS 地面设备的基本原理没有清楚的认识，尤其是航线各范围之间的差异。由于航向道使用的是 VOR 接收机，因此在跟踪航向道或者 VOR 径向线时，飞行员有时会假设切入以及跟踪技术为最理想的状态。记住在航向道航线上 CDI 的感应非常灵敏快速。

2. 过渡到 ILS 时由于没有做好计划而且单纯依靠接收机而不是所有可用的机载设备从而发生定向障碍。使用所有的可提供帮助的资源，单独使用接收机可能会发生故障。

3. 由于之前提到的错误，飞行员在航线道上时可能会发生定向障碍。

4. 不正确的航向道切入角。较大的航向道切入角通常会导致飞机冲出跑道，并且飞行员可能会发生定向障碍。切入过程中第一次显示指针移动时，如果可能的话立即将航向调转至航向道。ILS 进近过程中，如果在向台航道上有一个定位点或者 NDB，ADF 接收机为最佳的定位设备。

5. 追踪 CDI 以及下滑道指针，尤其当飞行员飞行前没有充分准备进近时。

#### 1.5.5 简易定向设备（SDF）

SDF 提供最终进近航线，与 ILS 航向道类似。SDF 航线可能已经或者可能没有与跑道进行校对，航线可能比标准 ILS 航向道要宽，从而导致精确度下降。重要的偏航指示限制在航道中心线任何一侧的 35°。该区域的仪表指示，从中心线任何一侧 35°到 90°之间不受限制可以忽略。

SDF 必须在扇区内提供足够的信号使飞机（典型配置）达到最佳的操作水平，该扇区从 SDF 天线系统得中心线开始延伸到 18 海里，覆盖区域从中心线开始两侧 10°范围内，垂直方向上为天地线上 7°角。最后进近航线的会聚线和延伸的跑道中心线之间夹角必须不能超过 30°。当进近航线定位在天线位置时，飞行员应该开始注意这个角。继续进近，超过跑道入口时引导飞机到 SDF 偏移位置而不是沿着跑道的中心线。

发射机发射的 SDF 信号确定的航线宽度固定在 6°或者 12°，必要时提供最大飞行能力以及最佳进近航线质量。在 SDF 频率上使用编码发射三字代码，在地面站识别码前没有字母“I”（两个点），LOC 前面有。例如，Lebanon, Missouri, SDF 的识别码为 LBO。

#### 1.5.6 航向信标式定向设备（LDA）

LDA 在使用以及精确度方面相当于一台定位器，但是并不是一套完整的 ILS 的一部分。LDA 航线宽度在 3°到 6°之间，因此相对于 SDF 的设备来说可以提供更为精确的进近航线。某些 LDA 配备了 GS。LDA 航线不对跑道进行校准，但是公布了直线进近的最低标准，到达该位置时跑道中心线以及 LDA 航线之间的夹角不能超过 30°。当这个角超过 30°时，只公布了盘旋进近的最低标准。识别码为 3 字代码，在 LDA 频率上以编码的形式发送，第一个字母为“I”。例如，Van Nuys, California, LDA 识别码为 I-BUR。

#### 1.5.7 微波着陆系统（MLS）

MLS 在精确校准以及飞机进近下降过程中为飞行员提供精密导航指引。该系统提供方位，标高以及距离。

在横向以及垂直方向指引可能显示在传统航线偏移显示器上或者在多用途驾驶舱显示器

上。范围信息也可能在传统航线偏移显示器上显示或者在多功能驾驶舱显示上显示。『图 9-41』

系统功能可以分为 5 方面，进近方位，坡度方向，进近标高，范围已经数据通讯。MLS 地面设备的标准形态包括方位台执行以上所描述的功能。除了提供方位导航指引，地面台发射基本数据，与着陆系统的操作直接相关的信息，以及地面设备性能的咨询数据。

#### 1.5.7.1 进近方位引导

方位台使用 200 个通道中的一个，在 5031 到 5091MHz 频率范围内发射 MLS 角以及数据。通常设备位于距离跑道头 1000 英尺的地方，但是在位置的选择上又有一定的灵活性。例如，对于直升飞机场的方位发射机可以设置在标发射机旁边。标准状态下，方位的覆盖范围在跑道中心线两侧沿水平方向至少可以延伸 40°，15°仰角，标高方向至少延伸 20000 英尺，水平延伸范围至少为 20NM。

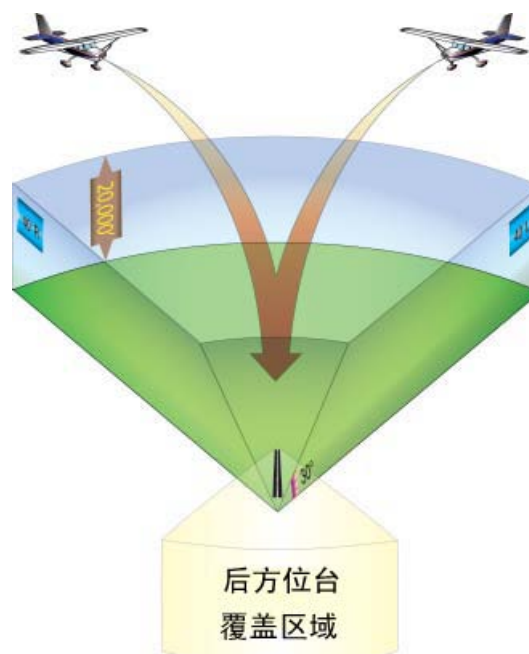


图 9-39 MLS 覆盖范围的 三维显示图。

MLS 要求独立的机载设备来接受并处理信号，目前民航飞机上都配备了这种设备。MLS 具有数据通讯能力，而且飞行员可以通过该设备收听关于发射系统状况的信息以及其他相关数据，例如，天气，跑道数据等。MLS 发射一个可以收听的 4 字识别码以字母 M 开头，使用莫尔斯密码以每分钟至少 6 个的速率来发射。MLS 系统可以自我监控并发射关于系统操作状态的地空数据信息。在日常工作或者紧急维修时，发射时就无法接收到的编码的识别码。这时只有少数几个系统可用。

## 1.6 要求导航性能

当 RNP 指示飞机在指定空域进行操作时，导航系统 RNP 可以为飞机提供导航来满足横向区域所指定的精确度水平。不断增长的交通流量提高了对空域能力的要求并强调对空域的最佳利用。考虑到这些因素再加上当前航空业对导航系统精确度要求不断提高以及增加直飞航线操作效率，提高航迹保持准确度等方面的要求从而出现了要求导航性能的，---是指特定空域操作时导航性能准确性的

要求。RNP 可以包括性能以及功能需要，这些通过 RNP 的类型来决定。这些标准适用于设计者以及生产商，航空电子设备的安装者，以及服务提供商，设备使用者。最低航空系统性能规定（MASPS）提供了有关空域发展的信息以及改进导航性能所需要的操作程序。『图 9-42』

RNP 的类型决定了在特定的某个区域内横向以及纵向上总的系统误差（TSE）。考虑到导航系统误差（NSE），计算误差，显示误差以及飞行技术误差（FTE），在任何单独飞行的任何阶段，在 95% 的飞行时间内 TSE 不能超过指定的 RNP 值的。RNP 综合了 ICAO 手册（Doc 9613）中特定精确度要求的精确度标准，操作标准以及性能标准，从而使 RNAV 系统达到未来交通管制的要求。RNP 关键的功能在于为飞行的飞机提供飞行路径，可以达到所要求的精确度的水平，这些航路都是可以预计的或者可以重复的。关于 RNP 的大部分信

息在接下来的章节有介绍。

RNP 也可以用来作为空域，航路以及程序（包括离场，进场以及 IAP）的描述符。这些描述符适用于一个特殊的进近程序或者较大范围的空域。RNP 用于指定空域内的导航性能，包括可用的基础设备（导航设备）以及飞机的实际性能。

RNP 的类型用来说明空域对导航的相关要求。以下为 ICAO RNP 的类型：RNP-1.0，RNP-4.0，RNP-5.0，以及 RNP-10.0。通过飞机的实际性能以及相关的导航基础设施所能提供的服务水平来获得所要求的性能。从广义上来说：

飞机的能力+服务水平=飞行框架

在这个公式里，飞机的实际能力是指适航证明，操作许可（包括电子设备，维修，数据库，人的因素，飞行员程序，训练以及其他相关因素）。服务水平是指 NAS 基础设施包括公布的航路，空间信号的性能以及可用性，以及空中交通管理。对上述内容综合考虑，这些因素会提供一个飞行框架。这个飞行框架包括所需要的飞行信息（空域，程序，航路等）。RNP 的级别是指到航路中心线的实际距离，必须包括飞机与障碍物之间的间隔。虽然其他局方指定的 RNP 级别会用于特殊操作，目前支持 3 种 RNP 级别标准：

- RNP 0.3—进近
- RNP 1.0—离场、航站
- RNP 2.0—航路

RNP 0.3 代表指定航路中心线任何一侧 0.3NM 的距离。仪表进近的最终进近航段要求特殊的性能，以 RNP 级别为例。目前，0.3RNP 级别为正常 RNAV 操作中的最低级别。有些使用特殊程序的航空公司经过批准可以使用级别低于 RNP 0.3 的 RNP，但是这些级别必须要遵守批准的操作规定（OpsSpecs）。对于有能力使用特殊类型 RNP 的飞机设备，必须在 95% 的总飞行时间内保持其导航性能。

## 1.7 飞行管理系统（FMS）

---

飞行管理系统（FMS）本身不是一个导航设备。它是一个自动操作的系统，用来管理机载导航设备。FMS 可能执行其他机载系统管理任务，但是这里只讨论它的导航功能。

FMS 是连接机组以及驾驶舱系统的一个界面。FMS 可以认为是一个计算机，配有一个大规模的数据库，其中包含机场以及导航设备位置以及相关数据，机场性能数据，航路，交叉点，DP，以及 STAR。FMS 也可以用来接受并储存大量的用户指定航路点，飞行航路包括离场，航路点，进场，进近，备用机场等。FMS

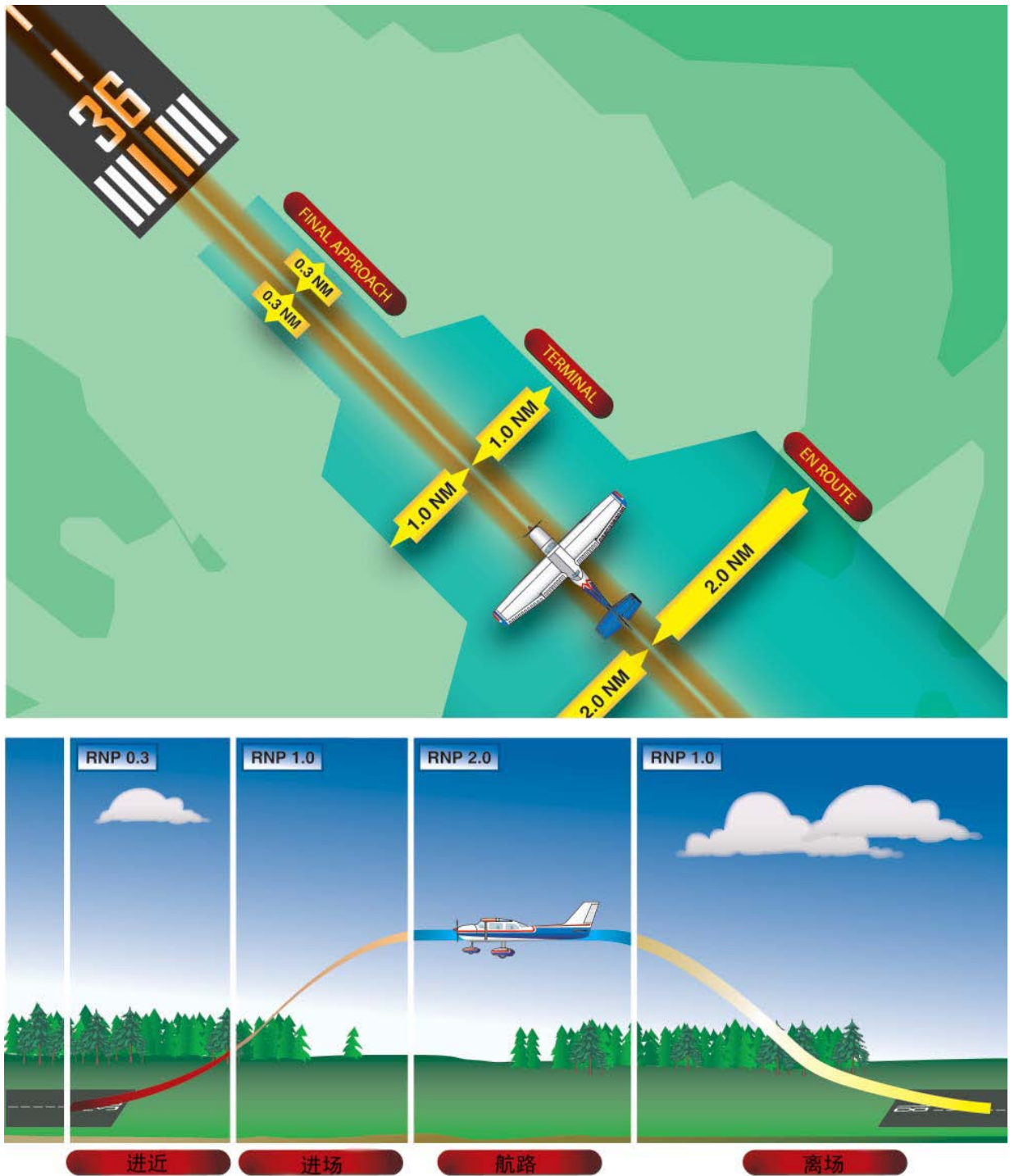


图 9-40 要求的导航性能

可以快速定位指定航路，从飞机当前位置到世界上的任何一点，执行飞行计划的计算结果，并向机组显示所有的航路图像。

FMS 也可以用来控制（可选）VOR，DME 以及 LOC NAVAID，然后从这些系统接受导航数据。FMS 计算机可以用来接受惯性导航系统（INS），远程导航（LORAN），以及 GPS 导航数据。FMS 可以用作机载导航系统的输入/输出设备，因此 FMS 系统在机组与导航系统之间起桥梁作用。

### 1.7.1 FMS 的作用

开始时，机组定位飞机位置，离场跑道，DP（如果可用），航路点（定义航路），进近程序，使用的进近以及到备用机场的航路。这些可以人工输入，以储存飞行计划的方式，或者在另一台计算机上生成的飞行计划，通过磁盘或者电子传输到 FMS 计算机。机组在控制/显示组件（CDU）中输入这些基本信息。『图 9-43』



图 9-41 民航中典型的显示控制组件。Universal UNS-1（左）控制以及综合了其他所有系统。Avidyne（中间）以及 Garmin 系统（右）完整的综合了所有其他系统。虽然仍在小型通用飞机上可以发现 Universal CDU，但是 CDU 与单机系统性能上的差异每年都在逐渐缩小。

一旦开始飞行，FMS 计算机接通相应的导航设备，读取径向线/距离信息，或者接通两个 NAVAID，获取更多准确的距离信息。FMS 之后显示飞机的位置，航迹，所需要的航向，地速以及相对于预计航线的位置。FMS 提供的位置信息会更新惯性导航系统（INS）。对于飞行时间较长的飞机来说，FMS 可以为 HIS，无线电磁指示器（RMI），液晶驾驶舱导航显示，平视显示器（HUD），自动驾驶以及自动油门系统输入信息。

## 1.8 平视显示器（HUD）

HUD 是一种显示系统，通过投射将导航信息以及大气数据（相对于进近基准速度的空速，高度，左/右以及上/下 GS）显示在一个位于飞行员与风挡之间的透明屏幕上。同时也可以显示其他信息，包括相对于机头的跑道目标。HUD 帮助飞行员在进行进近时看到必要的信息，同时也可以看到风挡外面，这样视线不会在面板以及外界之间转换。目视看到的任何所需要的信息都会显示下视显示超过正常的前视视线来显示信息。

在 HUD 上，只要 HUD 在飞机的飞行计算机上可用，并且相关的显示可以根据用户需要来控制。『图 9-44』

## 1.9 雷达导航（陆基）

雷达的工作原理通过在一个特定的方向发射一个 **RF** 能量脉冲。回波遇到目标时返回或者脉冲弹回的这个过程所经历的时间被精确记录。从而可以确定脉冲传播距离以及目标回波，并在雷达屏幕上以“到这个目标的距离以及方位”这样一种方式进行显示。在监控条件下，雷达发射机必须具备向空域发射极高电磁能量的水平，而相应的雷达接收机必须可以探测到非常小的回波信号。

雷达显示系统给管制员提供地图形雷达显示，上面显示雷达探测范围内的所有飞机的雷达回波。通过电子生成的范围标志以及方位显示设备，管制员可以根据雷达设备给每个雷达目标进行定位，或者根据一个雷达目标来定位另一个。

平视显示器按照飞行员正常的视线在飞行员前方显示信息，另一个设备，视频-绘图组件会生成一个实际的航路或者机场地图并在雷达显示设备上上进行显示。使用视频绘图功能时，管制员不仅仅要注意目标飞机，还要注意这些目标相对于跑道，导航设备以及该区域内的危险的地面障碍物的位置。因此这时的雷达成为一个 **NAVAID** 同时也是保障空中间隔最为重要的方法。

在显示屏上可能会显示十二个或者更多的目标，初级监控雷达系统不能识别一个特定的雷达目标，并且如果距离很远时在“看”较小的目标上有很大困难---尤其在雷达与飞机之间下雨或者雷雨的情况下更为困难。这个问题可以通过空中交通管制雷达信标系统（**ATCRBS**），有时被称为次级监控雷达（**SSR**）来解决并且需要使用飞机上的应答机。地面设备作为一个询问装置时安装了信标天线，因此可以随着监控天线进行转动。询问装置发送一个编码的脉冲顺序随后飞机上的应答机开始工作。应答机通过发送一个预先选择的编码序列将其返回到地面设备从而对编码序列进行回答，提供一个较强的返回信号以及正飞机识别码，同时还有其他数据例如飞机高度等。

### 1.9.1 雷达导航的作用

**ATC** 使用的雷达系统为航路监控雷达（**ARSR**），机场监控雷达（**ASR**）以及精密进近雷达（**PAR**）还有机场表面探测设备（**ASDE**）。位于塔台或者机场中心的监控雷达，在雷达显示系统上，对方位以及当前目标信息进行 **360°**扫描。该信息单独使用或者与其他导航设备联合使用来控制空中交通。



图 9-42 HUD 显示（上）以及 HDD 显示（下）。

**ARSR** 为远程雷达系统,该雷达主要设计用来覆盖大面积区域并且当航路在两个终端区域之间时,提供飞机的相关显示。当飞机在 **ARSR** 覆盖范围内时,**ARSR** 可以向空中交通管制中心 (**ARTCC**) 的管制员提供雷达服务。在一些例子中,**ARSR** 可以向 **ARTCC** 提供终端雷达服务类似于但是相对于提供雷达进近管制的其他雷达来说更受限制。

**ASR** 用来提供相对来说比较小范围的覆盖区域,主要在机场周围区域内。通过观察在雷达示波器上的飞机精确定位,**ASR** 可以迅速对终端区域交通做出处理。机场配备了已经经过批准的监控雷达进近程序时可以使用非精密仪表进近。**ASR** 提供到最后进近航路的雷达指引,进近过程中向飞行员提供方位信息。除了到跑道范围 (距离),开始下降时以及当飞机在 **MDA** 上时,飞行员可以参考最低下降高度 (**MDA**)。最后进近时,如果飞行员需要,每一海里都会提供推荐高度。

精密进近雷达 (**PAR**) 用来做为着陆设备来显示范围,方位以及标高信息而不负责给飞机排序或者间隔飞机。**PAR** 设备最为主要的着陆设备或者可以用来监控任一种类型的进近。两个天线用在精密进近雷达 (**PAR**) 的卫星阵中,一个用来扫描垂直方向的飞机,另一个用来扫描水平方向。范围限制到 10 英里,方位为 20°,标高为 7°,只覆盖了最后进近区域。管制员的工作可以分为两个部分。前半部分为高度以及距离信息,后半部分为方位以及距离。

管制员使用精密进近雷达系统向飞行员提供与方位以及标高有关的高精确度导航指引。飞行员获得要飞的航向来指引他们到达机场,并且保证飞机与跑道中心线延长线保持一致。飞机开始下降后在切入下滑道之前约 10 到 30 秒,飞行员将被告知将要开始下滑道航线切入。仅当飞行员要求时才提供公布的决断高 (**DH**)。如果观察到飞机高于或者低于下滑道,会通过“稍微”,或者“很大”这类词来向飞行员提供一个相对合适的偏移程度,并且可以通过调整飞机的下降率或者上升来回到下滑道。根据机场标高也会发布趋势信息,通过使用“快速”以及“缓慢”等词进行修改 (例如,“明显高于下滑道,快速下降”)。每一英里至少提供一次到达接地点的距离。如果管制员观察到飞机的方位开始超过指定的安全区域限制以及/或者标高,并且继续操作超过上述限制,飞行员将得到指令开始执行失去进近或者飞一个特定的航线除非飞行员可以看到跑道环境 (跑道,进近灯等)。向飞行员提供方位以及标高的导航指引直到飞机到达公布的决断高度 (**DA**)/决断高 (**DH**)。管制员来提供咨询航线以及下滑道信息直到飞机通过着陆跑道入口,在这一点时只要飞机偏离了跑道中心线,飞行员就会得到通知。完成进近后雷达服务自动终止。

#### 1.9.1.1 机场表面探测设备

雷达设备的特别设计是用来探测机场表面所有主要的活动,包括飞机以及地面交通,并且在塔台的雷达指示器控制台上显示完整的图像。使用该设备来扩大塔台人员的目视观察范围,包括跑道上或者滑行道上飞机以及/或者地面车辆的活动情况。

#### 1.9.2 雷达限制

1. 对于民航相关工作人员来说需要认识到雷达服务的限制,而且对于不在 **ATC** 控制下或者雷达上无法看到的飞机,**ATC** 的管制员不可能一直发布关于这类飞机的交通咨询信息。

2. 无线电波的特点是可以以一条连续的直线进行传播,除非遇到不正常的大气现象 (例如,逆温现象) 会发生“弯曲”;遇到密度较大的物体 (例如厚云,降水,地面障碍物,山体等) 时会折射或者削弱;或者被较高的地形等屏蔽。

3. 初级雷达辐射量在遇到密度较大的物体时会被返回并且在操作者屏幕上的这个区域会有所显示,因此飞机不要在同样范围内飞行,而且需要在更大的范围内更大程度地消弱或者完全消除控制飞机不进入该区域。

4. 如果被高山屏蔽或者由于地球表面的凹陷而使飞机低于雷达波束，屏幕上可能不会看到相对高度较低的飞机。

5. 飞机的反射面的数量将决定雷达回波的大小。因此相对于体积较大的商业喷气机或者军事轰炸机，在初级雷达上较小的轻型飞机或者表面平滑采用流线设计的喷气战斗机更难识别。

6. ARTCC 雷达以及许多 ASR 都可以使用方式 C 提问，并且如果飞机配备了相应的设备，该雷达可以向管制人员显示飞机的高度信息。但是，相当一部分 ASR 没有方式 C 显示功能；因此，高度信息必须由飞行员来提供。

第 1 章 空中交通管制系统

1.1 导言

本章内容包括在仪表飞行规则（IFR）下的通讯设备，通信程序和空中交通管制设施和服务。

1.2 通讯设备

1.2.1 导航/通讯（NAV/COM）设备

民用航空飞行员使用频率区间在 118.000 至 136.975 的甚高频（VHF）与 ATC 之间进行通讯。为充分利用 ATC 系统，飞机上安装的无线电设备以 25kHz 为频率间隔(如 134.500、134.575、134.600)。如果飞行员无法选择 ATC 分配的通讯频率，应要求分配其他频率。



图 10-1 典型的导航/通讯（NAV/COM）设备布局.

『图 10-1』为一典型的无线电面板布局，左边是一部通讯收发机，右边是一部导航接收机。大多数无线电设备都允许飞行员使用一个工作频率来发送和接收信号，并同时可以储存一个或多个频率，这称为单一工作方式。也可以在 122.1MHz（在通讯无线电上选择）发送信号，而在 VHF 全向信标（VOR）频率上接收信号（在导航无线电上选择）以与某些自动飞行服务基站（AFSS）进行通讯联系。这被称为双工工作方式。



图 10-2 音频面板。

飞行员利用音频面板调节所选择的接收机的音量，或设置需要的发射机。『图 10-2』音频面板上的接收机可以选择“客舱喇叭”和“耳机”两个位置（有些设备可能还有一个“关”位）。在使用手持话筒和客舱喇叭时，因要取放话筒会分散注意力。建议使用耳机和吊杆话筒以获得更好的通讯。应将话筒靠近嘴唇以减少驾驶舱内的环境噪音对与管制员之间的通讯的影响。耳机将接收到的信号直接传送到耳内，这样，环境噪音就不会干扰飞行员的听力理解。『图 10-3』

转换发射器选择电门 COM1 和 COM2 将改变发射机和接收器的频率。飞行员只有在一个频率守听而在另外一个频率发送时才使用。例如，在一部接收器上收听自动终端信息服务（ATIS），而在另一部与 ATC 进行通讯联系。使用该面板的另外一种情况是：监控导航接收器以检查正确的识别码。

大多数的音频电门面板还包括一个信标接收器。所有的信标台都使用 75MHz，所以没有频率选择电门。

『图 10-4』为越来越普遍使用的 NAV/COM 无线电设备；它包括一部全球定位系统（GPS）接收器和一部通讯收发机。在使用导航功能时，该设备可以确定飞机穿越空域边界或某一位置点的时间，并可以在通讯无线电设备上自动选择飞越该位置时的合适频率。



图 10-3 吊杆式话筒，头戴式耳机和按压-通话（PTT）电门。



图 10-4 GPS-通讯（GPS-COM）组合式设备。

1.2.2 雷达和应答机

飞机的金属结构能反射能量，这被称为主回波。ATC 雷达显示主回波的能力有局限性，但它显示二次回波的功能（应答机对地面咨询信号的反馈）则被应用于许多自动功能上。

应答机是一部雷达信标发射/接收器，安装在仪表板上。雷达天线旋转时，ATC 信标发射器连续发送咨询信号。应答机接收到咨询信号后，向地面基站发送应答编码并显示在管制员雷达屏幕上。每次应答机接收和应答雷达咨询时，在应答机面板上一个应答灯光会闪亮。应答机编码由 ATC 指定。

当管制员要求飞行员“识别”并且按压了识别按钮后，管制员的屏幕上雷达回波信号被增强以便于准确识别飞机。在收到管制员要求后，飞行员短时按压识别按钮可以启动该功能。飞行员最好能口头证实已更改了编码或按压识别按钮。

1.2.2.1 C 模式（高度报告）

一次雷达回波仅能显示雷达天线到目标之间的距离和方位；如果飞机安装了编码高度表或盲发编码器，利用二次雷达回波，就可以在管制员雷达屏幕上显示高度和 C 模式。无论何种情况，当应答机的功能电门在 ALT 位置时，都会向管制员发送飞机的压力高度。调节高度表的气压设置不会影响管制员对飞机的高度读数。

在管制空域飞行时，都必须将应答机设置在ON位。

1.3 通讯程序

清晰的通讯对仪表飞行安全至关重要。这就要求飞行员和管制员使用双方都能理解的术语。ATC许可和指令中包含大量的字母和数字，在『图10-5』上列出了相关的语音读法。

与飞行员通讯时，ATC管制员应遵守《空中交通管制手册》。该手册向管制员提供了不同情形下应使用的标准术语。这对飞行员有利，因为处在某一种通讯情形和方式下，飞行员能预期管制员在这种情形下的下一步通讯用语。而管制员则要应对多种通话风格，因为飞行员的经验，熟练程度和专业能力各不相同。

飞行员应学习例句，细听其他飞行

Character	Morse Code	Telephony	Phonic (Pronunciation)
A	•—	Alfa	(AL-FAH)
B	—•••	Bravo	(BRAH-VOH)
C	—•—•	Charlie	(CHAR-LEE) or (SHAR-LEE)
D	—••	Delta	(DELL-TAH)
E	•	Echo	(ECK-OH)
F	••—•	Foxtrot	(FOKS-TROT)
G	—•—•	Golf	(GOLF)
H	••••	Hotel	(HOH-TEL)
I	••	India	(IN-DEE-AH)
J	•—•—•	Juliett	(JEW-LEE-ETT)
K	—•—	Kilo	(KEY-LOH)
L	•—••	Lima	(LEE-MAH)
M	—•—	Mike	(MIKE)
N	—•	November	(NO-VEM-BER)
O	—•—•	Oscar	(OSS-CAH)
P	—•—•	Papa	(PAH-PAH)
Q	—•—•—	Quebec	(KEH-BECK)
R	•—•	Romeo	(ROW-ME-OH)
S	•••	Sierra	(SEE-AIR-RAH)
T	—	Tango	(TANG-GO)
U	••—	Uniform	(YOU-NEE-FORM) or (OO-NEE-FORM)
V	•••—	Victor	(VIK-TAH)
W	•—•—	Whiskey	(WISS-KEY)
X	—••—	Xray	(ECKS-RAY)
Y	—•—•—	Yankee	(YANG-KEY)
Z	—•—••	Zulu	(ZOO-LOO)
1	•—•—•—	One	(WUN)
2	••—•—	Two	(TOO)
3	•••—•—	Three	(TREE)
4	••••—	Four	(FOW-ER)
5	•••••	Five	(FIFE)
6	—••••	Six	(SIX)
7	—•—••	Seven	(SEV-EN)
8	—•—••	Eight	(AIT)

图 10-5 字母发音表

员的通讯，并在与ATC通讯时学以致用。飞行员应要求清晰的ATC许可和指令。必要时，使用明语以确保理解，并让管制员以同样的语言回答。管制员和飞行员之间密切配合才能确保仪表飞行安全。

## 1.4 通讯设施与部门

---

管制员的主要职责是保证在仪表飞行规则（IFR）下飞机的安全间隔。ATC 部门包括机场交通管制塔台（ATCT），终端雷达进近管制（TRACON）和航路交通管理中心（ARTCC）。

### 1.4.1 ATC 塔台

在塔台管制室有几名管制员负责处理一次仪表飞行。他们有专门的 ATC 许可发布席位，在 A/FD 上和起飞机场的仪表进近图上可以找到相关的频率。如果没有 ATC 许可发布席位，由地面管制负责这项任务。在最繁忙的机场，需要滑行前许可，在 A/FD 上可以找到滑行前许可频率。应在预计滑行时间前 10 分钟之内申请滑行许可。

建议飞行员向 ATC 许可管制员复述 IFR 许可。要逐字记录仪表飞行许可极其困难，但管制员让飞行员在回答“准备抄收”后才开始接收，并按照某种格式发布。ATC 许可的格式是：许可限制（通常是目的地机场）；航路，包括所有的离场程序；初始高度；频率（离场管制）和应答机编码。除应答机编码外，飞行员在启动发动机前就知道大多数的项目。抄收 ATC 许可的一个小窍门是按 C-R-A-F-T 顺序记录。

假设一份从华盛顿州的西雅图至加州的萨克拉曼多的 IFR 飞行计划，经由 V-23 航路，飞行高度 7000 英尺。飞机从西雅图-塔科马（SEA-TAC）机场向北起飞，通过监听 ATC 许可频率，飞行员可以知道发布给向南飞行航班的离场程序。许可限制是目的地机场，所以字母 C 后写下“SAC”，字母 R 代表航路，写下“SEATTLE TWO-V23”，因为离场管制向其他的航班发布了该离场程序。A 后面写“7”，F 后面写 SEA-TAC 机场进近图的离场管制频率，在 T 后面留下空格：应答机编码由计算机生成，很少提前确定。然后，呼叫 ATC 许可频率并报告“Ready to copy（准备抄收）”。

当管制员发布许可时，检查与已经写下的内容之间的区别，如果有变化，将该项划去并写上更改的内容。一般变化很小，而且大部分许可已在按话筒前已记录下来。当然，速记 ATC 许可可以避免要记录冗长语句。

飞行员应有离场程序（DP）的详细文本内容或程序图（如果可用），并在接收许可前作过分析，所以要提前知道使用哪个离场程序。如果某个离场程序中已包括一个高度或一个离场管制频率，ATC 许可就不会再有这些内容。

最后接收的 ATC 许可代替所有之前的许可。例如，如果 DP（离场程序）是“爬升并保持 2000 英尺，预计在 6 海里时在上升。”但在联系离场管制员时收到一个新的许可：“爬升并保持 8000 英尺，”取消了其中 2000 英尺的限制。这种规则适用于终端和航路管制中心的空域。

在从管制中心的计算机收到进程单之前，如果飞行员报告准备抄收 IFR 许可，会被告知“clearance on request（许可在申请中）”管制员在收到进程单后会开始联系。可以利用这段时间来滑行和作起飞前检查。

呼号-西北航196		起飞地-圣地亚哥			
NWA196	BRUIT	31	370	SAN./LBF321033 ONL	1335
T/EA32/G	110	01		J114 FSD RWF RWF1	
T459 04B8	046			MSP	
40 29	0120			CNRP	
507 01		ONL			
			高度-37000ft	目的地-明尼阿波利斯	

图 10-6 飞行进程单

本场管制员负责从地面延伸到机场标高之上的 2500 英尺平均海平面高度的周围地区和使用跑道内的飞行。在某些指定的 IFR 塔台，本场管制员还有引导的职责。在目视飞行规则（VFR）塔台，从终端雷达部门接收进场的 IFR 航班后，本场管制员则不能提供引导。本场管制员也与雷达管制员协调本区域的航班。尽管一般延伸到机场标高 2500 英尺以下，塔台经常将最顶端的 500 英尺范围交给雷达管制员用以调配飞越航班。因此，当飞机被引导低高度飞越一个机场塔台管制空域时，飞行员不需要联系塔台管制员---这由 ATC 负责协调。

离场雷达管制员可能与管制塔台位于同一地点工作，但更可能另在他处。塔台管制员只有在离场管制员发布放行后才会发布起飞指令。

#### 1.4.2 终端雷达进近管制（TRACON）

TRACON 是起飞机场和 NAS 航路结构的连接纽带，所以也被当作是终端部门。终端空域一般从设施水平延伸 30 海里，垂直延伸 10000 英尺。但是它的范围变化很大。终端雷达设施的空域被划为数个扇区，每个扇区有一个或几个管制员，并且分配了单独的无线电频率。所有的终端管制部门都是进近管制，除非另外说明（如“Contact departure on 120.4（在 120.4 上联系离场管制）”，都可以呼叫成“Approach（进近）”。

终端雷达天线位于或靠近机场。『图 10-7』是一典型的雷达设备。终端管制员分配的高度可以低于公布的程序高度，即所谓的最低引导高度（MVA）。这些高度未予公布，飞行员不能使用，但显示在管制员的席位上，如『图 10-8』所示。但是当飞行员被分配到一个好像过于低的高度时，他应在下降前询问管制员。

飞行员接受 ATC 许可后并报告准备起飞时，塔台管制员联系 TRACON 以获得放行许可。离场管制员在能让飞机加入离场序列后才允许飞机起飞。飞行员有时必须等待放行指令。收到起飞许可后，管制员密切观测该次航班并在等待飞机呼叫。所有管制员需要的信息都在离场进程单上或显示在电脑屏幕上，飞行员无需向管制员重复 ATC 许可中的内容。收到塔台管制员指示后，与管制单位简短建立联系。终端管制部门的计算机在探测到分配的编码后捕获应答机并开始跟踪。正因为如此，在收到起飞指令前应答机应保持在“待命”位置。在管制员雷达屏幕上显示的飞机是一个带有数据块的光标，模拟飞机在空域中移动。数据块包括飞机识别信息，机型，高度和空速。

TRACON 管制员使用机场监视雷达（ASR）来探测主目标，使用自动雷达终端系统（ARTS）来接收应答机信号；但在管制员的屏幕上这两者是组合在一起的。『图 10-9』

使用 ASR-3 型设备的管制单位，降水的雷达回波显示并不随强度不同而变化，管制员必须根据飞行员报告和飞行员的天气经历来向其他飞机提供信息以避免恶劣天气。使用 ASR-9 型设备时，管制员可以选择多至 6 级强度的屏幕显示。轻度的降水不需要采取避让措施，但中度，重度或极重度都要求飞行员采取相应避让预案。除降水外，飞行员还应考虑温度。即使是轻度降水，温度在 -20°至 +5°C 之间时也容易产生飞机结冰。高空层的雷达回波会

妨碍飞机数据块的读取，在飞行员要求下管制员会选择高空层来观察天气。对前方天气状况有疑虑时，飞行员可以询问管制员，小型飞机的飞行员应避免强度 3 级以上的天气。



图 10-7 雷达和信标组合式天线

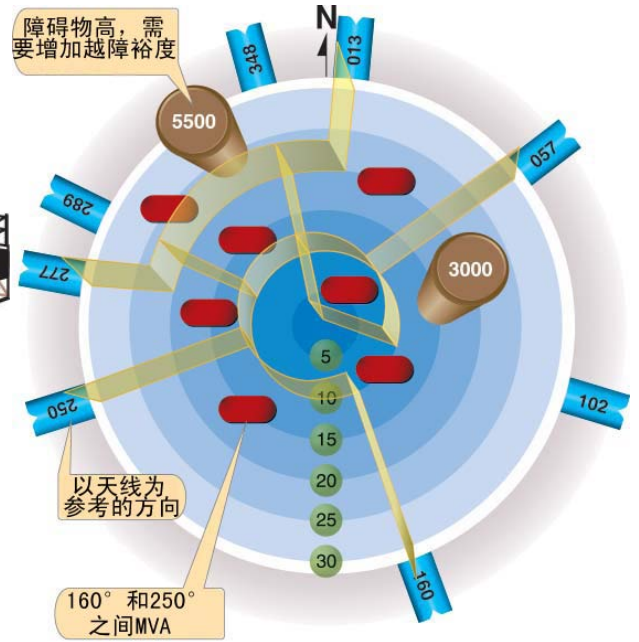


图 10-8 最低引导高度

#### 塔台航路管制（TEC）

在许多地方，完全可以在终端空域中实施仪表飞行。在 A/FD 中可以找到这些 TEC 航路，低于 10000 英尺高度的飞机都能运行。预计使用 TEC 的飞行员在飞行计划的备注栏中应填写这些特定内容。

飞行员不限于在 A/FD 中列出的城市组的主要机场之间运行。例如，塔台航路飞行可以从纽约（NYC）空域内的一个机场开始，在布拉德利（BDL）国际空域中近 30 海里范围内的任何一个机场结束，比如哈特福德（HFD）机场『图 10-10』

终端雷达管制单位的自动雷达设备提供另一个颇有价值的服务是最低安全高度警告（MSAW）。该设备根据当前的飞行轨迹预测飞机在两分钟以后的位置，如果预计的飞行航迹上有地形或障碍物时，管制员将发布安全警示。在非精密进近时，过大的下降率也会触发这类警告。

#### 1.4.3 航路交通管制中心（ARTCC）

ARTCC 管制单位负责保持航路结构上 IFR 飞行器之间的安全间隔。管制中心雷达（航路监视雷达（ARSR））使用与终端雷达相同的基本技术，获取和跟踪应答机回波『图 10-11』

早期的中心雷达将天气显示成斜线（轻度降水）和 H 字母（中度降水），如『图 10-12』。由于管制员不能探测到高层的降水，飞行员应警惕显示成中度降水的区域。新型的雷达将天气按浓度分成 3 级蓝色的显示。管制员可以选择要显示的天气级别。高浓度级别的天气显示会使管制员读取飞机数据块困难，所以飞行员不要期望 ATC 会一直观察天气。与终端空域相同，航路管制中心管制空域也被划分成扇区，大多数航路管制中心的空域按高度分为高空和 低空扇区。每个扇区有专门的管制员负

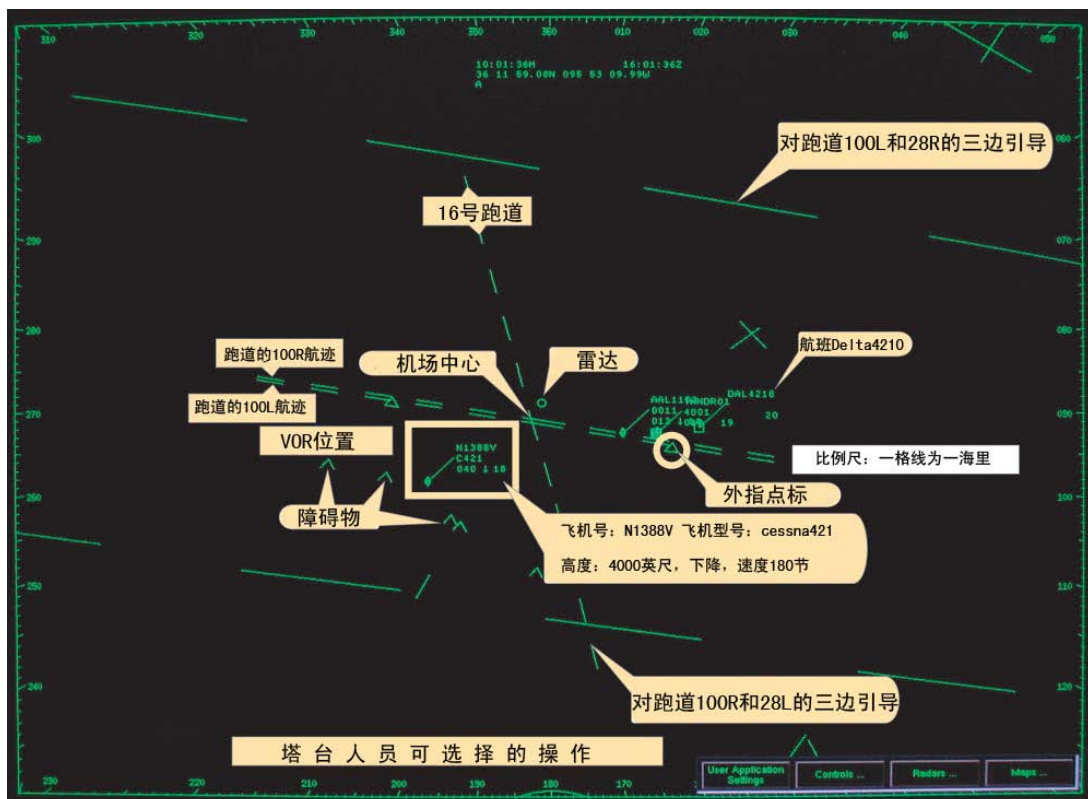
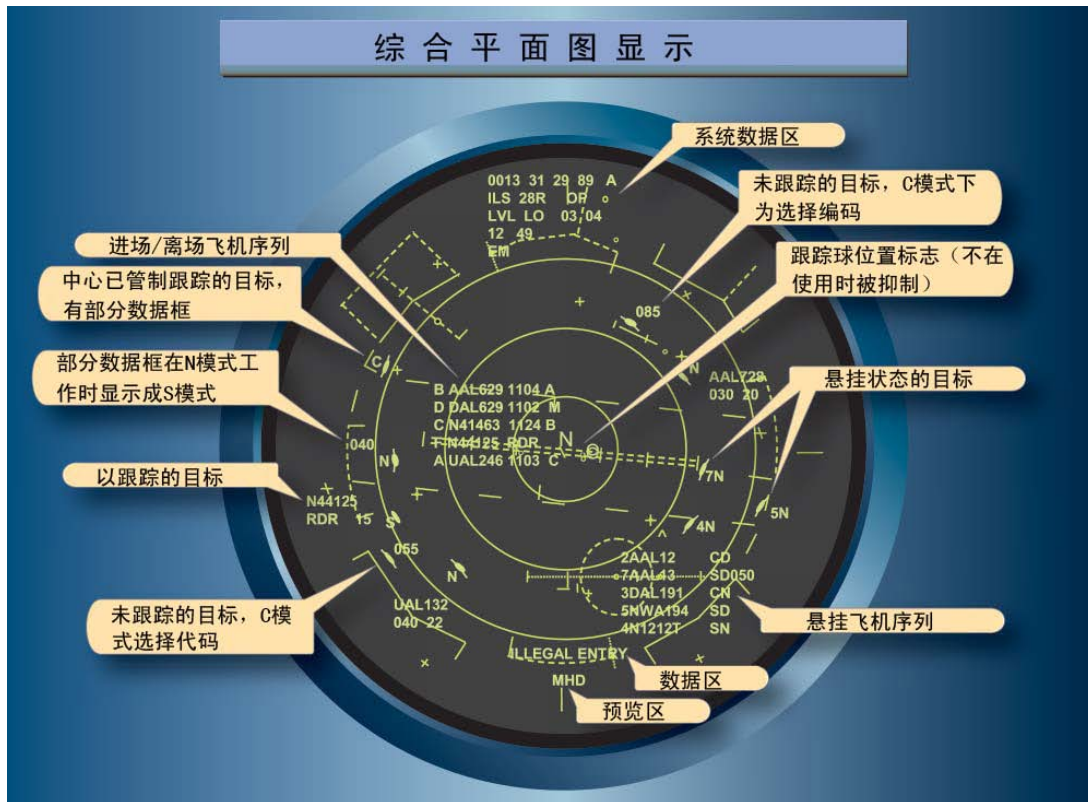


图 10-9 上图是空中交通管制单位管制员的雷达显示。该显示为 ARTS III 型设备（自动雷达终端系统）。显示符号旁有注释。下图是塔台人员的显示设备：一部数字式雷达指示仪塔台设备（DBRITE）。它向塔台管制员提供了机场监视雷达的信标台信号，以及从 ARTS III 接收的数据等视觉信息。显示的符号旁有注释。

责和特定的无线电频率，因为每个管制中心都有遥控发射/接收器网络。在 A/FD 的反

面能找到所有的中心管制频率，如『图 10-13』。在航路图上也可以找到该频率。

每个 ARTCC 的管制空域跨越几个区域，当从一个偏远通信点附近飞向另外一个时，能在不同的频率听到相同的管制员。

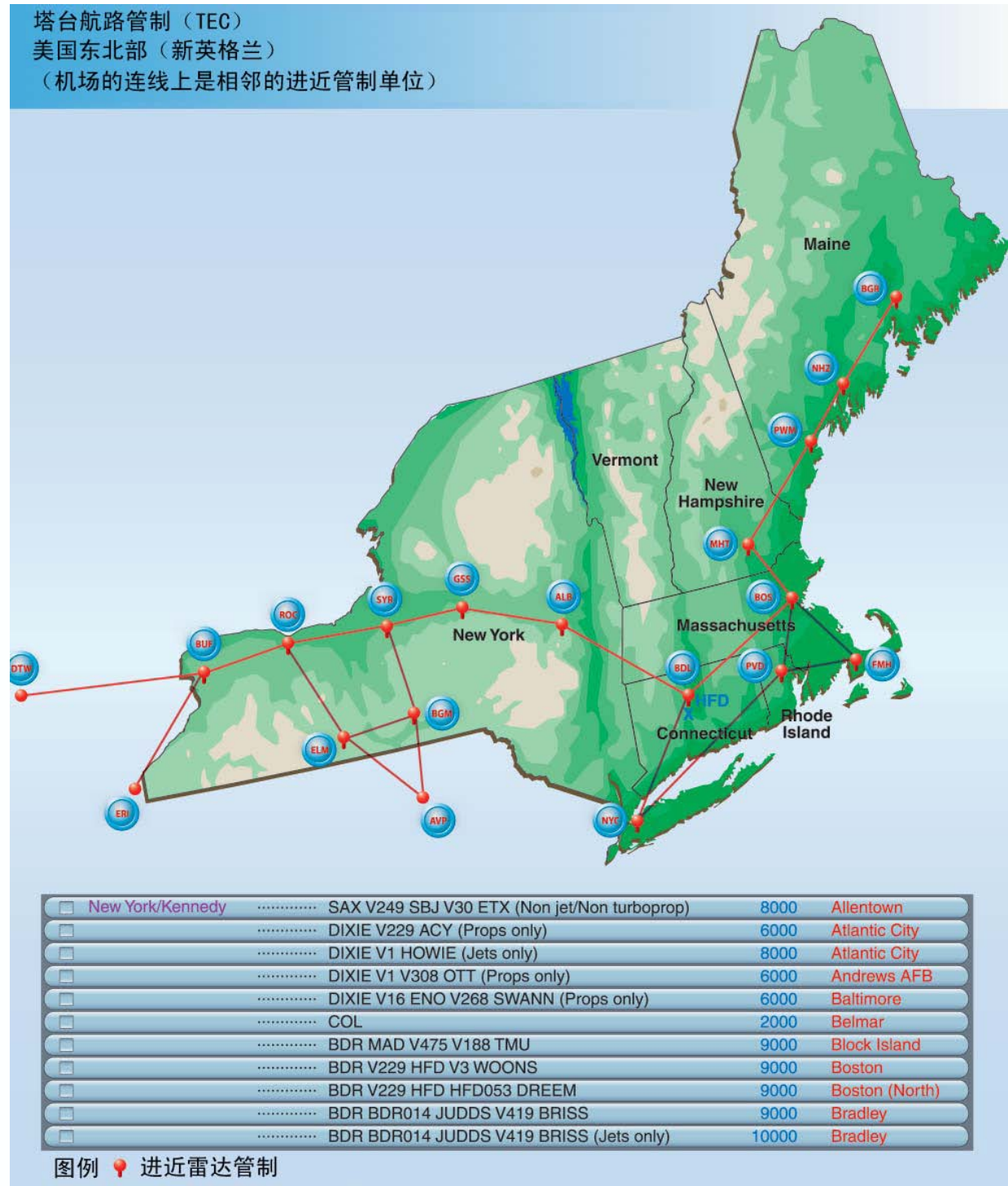


图 10-10 纽约区域塔台航路列表摘录（摘自 A/FD）



图 10-11 航路管制中心雷达显示

空扇区

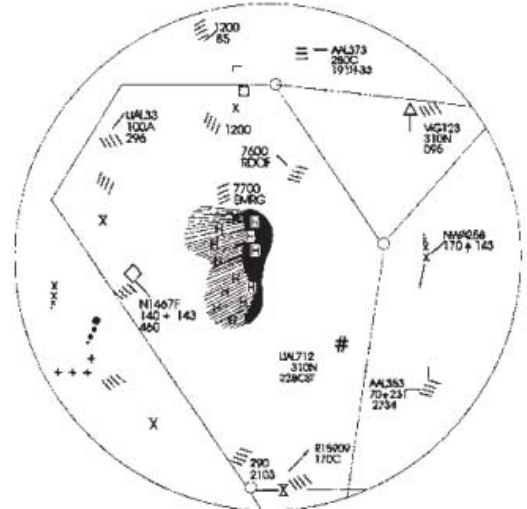


图 10-12 管制中心管制员屏幕图高

#### 1.4.4 中心进近/离场管制

大多数有仪表进近的机场并不位于终端雷达空域内，当飞向或飞离这些机场时，飞行员可直接联系中心管制员。从一个有塔台管制的机场起飞，塔台管制员会发布指令联系合适的中心管制员。在从一个没有管制塔台的机场起飞时，ATC 许可应包括诸如“进入管制空域前，在 126.5 上联系休斯顿中心。”之类的指令。在进入管制员的 MVA 前，飞行员对地形间隔负责。仅听到“雷达识别”并不代表解除了飞行员的这种责任。

如果离场航迹的障碍物要求高于标准爬升梯度（200 英尺每海里）爬升，管制员会通知飞行员。但是越障仍然是飞行员的职责，飞行员应检查 A/FD 上列出的起飞机场以确定离场航迹上是否有树木或线缆。如有疑问，应向管制员询问所需的爬升梯度。

在这些情形下，一个常用的许可指令是“**When able, proceed direct to the Astoria VOR...**（可行时，允许直飞到 Astoria VOR 台...）”“**when able**”的意思是指飞行员利用机载设备提供的引导，可用的信号等信息，能够直接导航飞至该航路点。如果以这种方式引导 VFR 飞行，飞行员仍然对地形和越障负责。使用标准爬升梯度爬升时，飞机在离起飞跑道末端 2 海里以后才能安全转弯（高于地面高（AGL）400 英尺）。当航路管制中心管制员发布航向，一条直飞航路，或者说“**direct when able**（可行时直飞...）”时，管制员对地形和飞机越障负责。

管制中心的另一个常用指令是“**Leaving (altitude) fly (heading) or proceed direct when able**（在可行时离开（高度），航向 XXX 或直飞...）”这种情况下，在飞机到达最低 IFR 高度前，飞行员仍然对地形/越障负责。除非飞机能以 VFR 条件爬升，在飞机到达最低 IFR 高度前，管制员不能发布 IFR 指令。

在管制中心管制员的屏幕上，1 海里相当于 1/28 英寸。管制员在离雷达天线数英里外的机场提供进近/离场管制服务时，难以准确估计航向和距离。

管制员引导飞机进入五边时，必须将距离范围设置在小于 125NM 以内，从而向飞机提供更精确的航向引导切入五边。因此，在离管制中心雷达天线距离太远时，管制员对飞行的引导较少。

## 1.5 飞行中避让恶劣天气的 ATC 协助

### 1.5.1 ATC 雷达天气显示

ATC 雷达系统发射无线电波束，在遇到物体或雨滴，冰雹或雪粒的表面后反射回雷达天线。反射物体体积越大，或它的表面密度越大，回波就越强。雷达气象处理器根据反射物分贝量与雷达反射因数的比例，算出雷达回波强度（dBZ）。

ATC 系统无法探测云层。它可以确定降雨区域的厚度，但无法确定这些区域（降雪，降雨，冰雹，VIRGR 等等）的具体特征。因此，ATC 只能将所有这些显示在 ATC 雷达屏上的天气区域当作“降水”。

ATC 管制部门的雷达气象处理器向飞行员这样描述降水浓度：

1. “LIGHT（轻度）”（< 30 dBZ）
2. “MODERATE（中度）”（30 to 40 dBZ）
3. “HEAVY（重度）”（>40 to 50 dBZ）
4. “EXTREME（极重度）”（>50 dBZ）

因为系统不显示“LIGHT（轻度）”降水，ARTCC 管制员也不使用词汇“LIGHT（轻度）”。由于设备的限制，某些 ATC 管制部门无法描述降水区域的地理方位，或降水相对于飞机的方位。由于未知降水的强度级别，管制员的表述是“INTENSITY UNKNOWN（未知强度）”。

ARTCC 管制中心使用气象和雷达处理器（WARP）显示从多个 NEXRAD 地址获得的数据链。只有 ARTCC 管制中心使用 WARP 处理器。

实际的天气状况与显示给管制员的状况有时间延迟。例如，在 ARTCC 管制员的降水数据显示会有多至 6 分钟的延迟。当不能使用 WARP 时，可以使用一个备份的系统：窄波带的 ARSR 系统。ARSR 系统能显示两个不同的降水程度级别，向飞行员描述成：“MODERATE（中度）（30 至 40dBZ）”和“HEAVY to EXTREME（重度至极重度）”（>40dBZ）。

ATC 雷达系统不能探测乱流。通常，当降雨或降水的强度增加时会产生乱流。带有大

® FORT WORTH CENTER 福特观测中心			
H-2-3-4, L-4-6-13-14-15-17 (KZFW)			
			134.4
Abilene	-134.25	127.45	
Ardmore	-132.975	128.1	
Big Spring	-133.7		
Blue Ridge	-127.6	124.87	
Brownwood	-127.45		
Clinton-Sherman	-132.45	128.4	126.3
Cumby	-132.85	132.02	126.57
Dublin	-135.375	128.32	127.15
El Dorado	-133.875	128.2	
Frankston	-135.25	134.025	
Gainsville	-134.15	126.77	
Hobbs	-133.1		
Keller	-135.275	134.15	133.25
Lubbock	-133.35	127.7	126.45
Marshall	-135.1	128.125	
McAlester	-135.45	132.2	
Midland (Site A)	-133.1	132.075	
Mineral Wells	-135.6	127.0	
Monroe	-135.1		
Oklahoma City	-133.9	132.45	
Paducah	-134.55	133.5	133.35 126.45
Paris	-127.6		
Plainview	-126.45		
San Angelo	-132.075	126.15	
Scurry	-135.75	126.725	
Shreveport	-135.1	132.275	
Texarkana	-134.475	133.95	126.57
Tyler	-135.25	134.025	
Waco	-133.3		
Wichita Falls	-(Site Nr1)	-134.55	132.925
Wichita Falls	-(Site Nr2)	-133.5	127.95

图 10-13 管制中心列表

降雨量/降水率的乱流比小降雨量/降水率的乱流情况要更严重。即便是晴空天气，在接近对流性天气活动也会有乱流。雷暴天气是一种对流性天气活动，伴有强烈或严重的乱流。在离雷暴 20 海里范围内，因为乱流的严重度可能远远超过它的降水程度的表现，飞行时应更加小心谨慎。

### 1.5.2 协助避让恶劣天气

ATC 的首要职责是保证飞机间隔和发布安全警示。根据任务的优先性，雷达限制条件，空中交通密度，频率的拥挤程度和工作量的不同，ATC 还提供其他的服务。受上述因素的限制，管制员适当发布气象或箔条云带区域等信息，并在飞行员要求下，协助避让降水区域。飞行员应对气象咨询信息有反应，确认收到咨询，必要时，向 ATC 要求改变航路：

- 1.要求偏离航路，声明偏出原航路的方向，偏离度数和偏航距离；

- 2.要求改变高度；或

- 3.要求航路协助以避让受影响的区域。由于 ATC 雷达系统不能探测云层和乱流的，这种协助并不能保证飞行员不会遭遇到对流性天气活动带来的危险。如果要绕过降水区域，飞行员应向管制员表明要绕飞的距离。在飞机能恢复正常导航时通知 ATC。

IFR 飞行员只有在得到 ATC 许可后才能偏离指定的航路和高度。由于危险的对流性气象条件发展迅速，飞行员应提前计划偏离航道。要考虑到 ARTCC 雷达显示的降水数据有多至 6 分钟的延迟，而雷暴发展速度可超过每分钟 6000 英尺。在遭遇到危及飞行安全的气象条件时，如果必须立即偏离 ATC 指令而来不及从 ATC 获得允许，飞行员可以采取紧急措施。

通常，当天气影响到空中交通流量时，它也给管制员带来更大的工作量。应尽早申请偏离航路以及要求其他的服务，这样，也能及早获得管制员的许可。在绕飞天气活动时，向管制部门申请的内容应包括：

1. 从哪一个点开始偏航；

2. 偏离的航路和偏航范围（方向和距离）；

3. 准备恢复到原航路的点；

4. 飞行条件（IMC 或 VMC）；

5. 飞机是否安装工作的机载雷达；

- 6.必需的进一步偏航。

总之，ATC 能提供的协助取决于管制员可利用的气象信息。但由于危险天气瞬息万变，管制员能得到的降水信息的利用价值很有限。

由于航路区域的交通没有终端区拥挤，面对危险天气时，飞行员总能更快得到 IFR 指令或绕航许可，也有更大的自由度。在终端区域，由于交通密度，ATC 的协调因素，复杂的进离场航路和密集的机场等等，使得问题更加显得紧迫。因此，在终端区域，管制员很难都满足所有因天气而绕飞的要求。尽管如此，飞行员应及时将观察到的危险天气通知管制员，并报告是否需要避让。

在某些特定区域，飞行员报告（PIPER）的飞行状况有助于判断气象条件的性质和范围。这些报告通过无线电和电子方式向其他飞行员发布。向 ATC 提供适当的飞行状况 PIPER 信息应包括：

- 1.乱流；

- 2.能见度；

- 3.云顶云底高；以及

4.危险天气的状况如结冰，冰雹和闪电等。

## 1.6 进近管制中心

进近管制部门是终端 ATC 部门，它向终端区飞机提供进近管制服务。包括进离场的 VFR 和 IFR 飞机，以及某些情况下航路上的飞行。另外，在有 ILS 或 LDA 进近方式的平行跑道机场，进近管制部门还要监视进近飞行。



图 10-14 用于 PRM 的高分辨率 ATC 显示设备。

## 1.7 进近管制设备

### 1.7.1 精密跑道监视仪（PRM）

过去数年，随着机场应用新技术，允许缩小平行跑道的距离间隔。这种技术设备叫精密跑道监视仪（PRM），包括最新的雷达，高分辨率的 ATC 显示设备和具备 PRM 认证的管制员。见『图 10-14』

#### 1.7.1.1 精密跑道监视（PRM）雷达

PRM 使用单脉冲二次监视雷达（MSSR），带有电子扫描天线。由于 PRM 没有扫描率的限制，它比传统的系统有更高的更新率（快 0.5 秒），在目标的准确性，分辨率和航迹预测等方面都有所提高。在超过 30 英里范围和海拔 15000 英尺以下的空域内，使用该系统可提供对安装 SSR 设备的飞机的查询，跟踪，处理以及显示。并生成视频和音频警告以提示管制员采取修正措施。

#### 1.7.1.2 PRM 的优点

一般而言，PRM 是用于中心线间隔小于 4300 大于 3000 英尺（大多数情况）时的双边同时进近方式，『图 10-15』。一块“非进入区域（NTZ）”隔离平行跑道两边的最后进近航迹，由两名管制员监控每次进近。该系统的跟踪软件不仅能向 PRM 监控管制员提供视觉和听觉警告，还能提供飞机识别，位置，速度，投影位置等信息。

## 1.8 管制顺序

如果飞行员准备充分，有尽量多的频率可用，在不能按原计划飞行时有备份的计划时，

IFR 系统应是灵活可靠的。飞行员应熟悉所有在飞行计划航路上的管制单位和服务『图 10-16』，总能清楚知道最近的 VFR 条件飞行区域，并随时准备好在飞行条件变坏时飞向该区域。

管制塔台的机场起降，一次典型的 IFR 飞行应按以下顺序充分利用 ATC 管制部门：

1. ATIS: 完成飞行前准备，听取当前状况和正在使用的进近方式。
2. 许可发送部门：在滑行前获得离场 ATC 许可。
3. 地面管制：注意当前飞行是 IFR 规则，接收滑行指令。

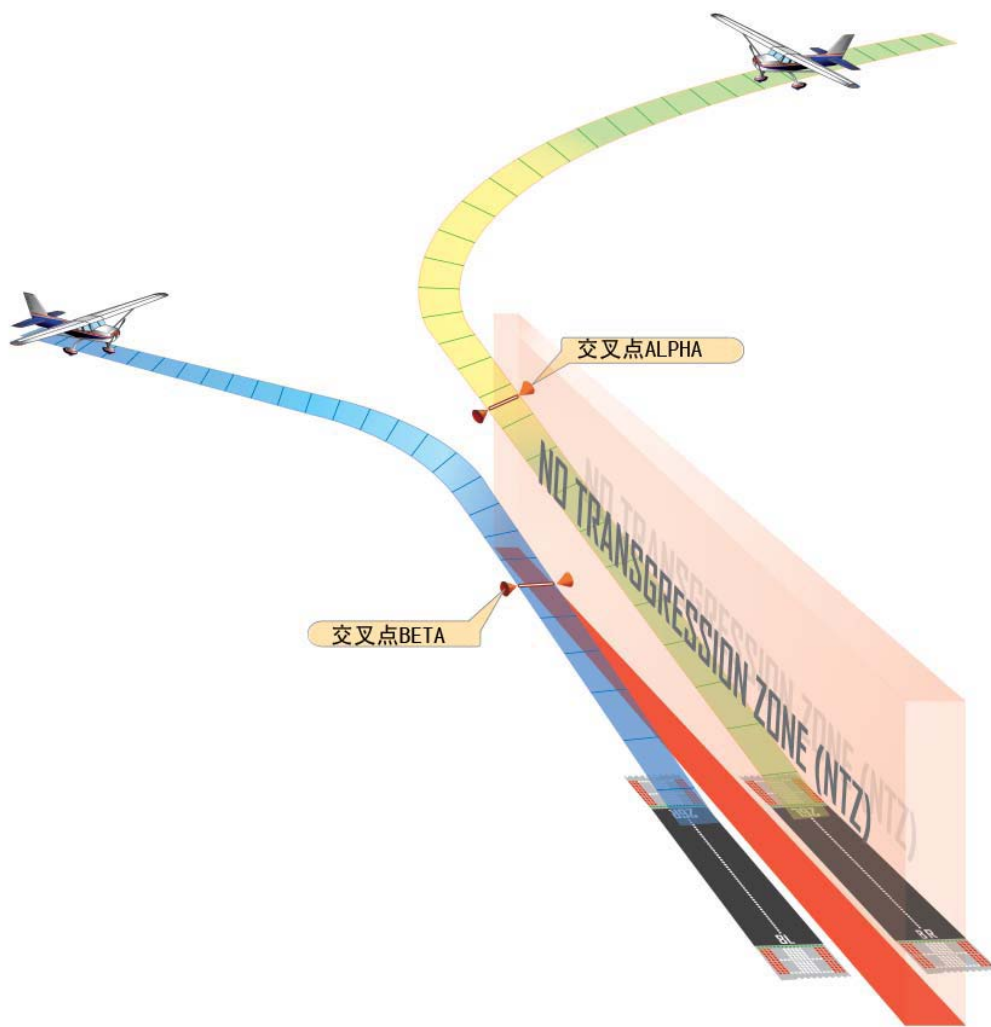


图 10-15 使用 PRM 系统的飞机管理（注意非进入区（NTZ）和如何保持飞机间隔）。

4. 塔台：完成起飞前检查，接收起飞指令。
5. 离场管制：应答机移交到 ARTS 后，塔台管制员指令飞行员联系离场建立雷达识别。
6. ARTCC: 离开离场管制区后，飞机被移交到航路管制中心，它负责协调飞机进入航线。飞行员可能要与几个 ARTCC 部门联系，他们之间协调管制移交。
7. EFAS/HIWAS: 在离开 ATC 频率前，与管制员协调，获得航路气象信息。
8. ATIS: 在离开 ATC 频率前，管制员协助飞机获得 ATIS 信息。
9. 进近管制：区域管制中心将飞机移交到进近管制，飞行员获得进一步指令和信息。

10.塔台：允许进近后，飞行员可以联系塔台管制；飞机着陆后，塔台管制员将取消该次飞行计划。

### 1.8.1 协议函（LOA）

ATC 系统是一个真正的系统，很少出现意外。一次航班飞行时，相邻扇区的管制员或与相邻的区域管制中心通过电话或计算机协调管制移交。由不同的管制部门负责的空域之间如果有管制边界时，管制移交的边界和高度由双方管制部门管理层协商，并以协议函（LOA）形式确定。飞行员无法在所有航空管理局的文件中获得此信息。因此，很有必要注意航路图中的移交点。每次移交一个航班到另一个管制部门时，管制员都知道飞机的高度和位置，因为这是移交程序的一部分。

通讯部门	描述	频率
机场咨询区 “[AFSS名称]RADIO”	AFSS人员向在机场10英里范围内的飞行员提供交通咨询信息。	123.6MHz
UNICOM “[机场名]UNICOM”	在无管制塔台或AFSS部门时，提供机场咨询信息。	在A/FD的城市名下面，在扇区图的机场数据部分也有。
航路交通管制中心（ARTCC） “CENTER”	航路雷达部门保持IFR飞行之间，以及IFR飞行和已知VFR飞行之间的间隔。管制中心根据管制工作量，向VFR飞行提供交通咨询。	在A/FD和仪表航路图都有标注。
进近/离场管制 “[机场名]APPROACH” （或者另外说明）	在终端雷达管制部门的席位负责主要机场（B级空域内）的IFR飞行的进离场管制。	A/FD中列出。在扇区图的通讯表和终端区域图也有标注。
自动终端信息服务 （ATIS）	连续播放ATC管制员制作的录音带，包括风向风速，温度，高度表修正，使用中的跑道和进近方式，以及其他对飞行员有用的信息。	在A/FD中的城市名下标注，在扇区图的机场数据块下和通讯表中，以及终端区域图中也有标注。
放行许可发送部门 “[机场名]CLEARANCE”	管制塔台席位负责向IFR飞行发送离场许可。	在仪表进近程序图中列出。
共用交通咨询频率 （CTAF）	CTAF向区域内的飞行员提供的单一频率，用以联系管制部门和/或向其他飞行员播报飞机位置和意图。	在A/FD中列出。在扇区图的机场数据块（后接蓝色或洋红色背景，白色C字母）中也有列出。在没有塔台管制的机场，CTAF频率是122.9，也叫做“MULTICOM”频率。

自动飞行服务站（AFSS） “[管制部门名称]RADIO”	使用远距离通信端口（RCO）和地面通信端口（GCO）向飞行员提供信息和服务。	在A/FD和扇区图的城市名下面有标注，单独列出了AFSS频率。在扇区图中，标出在VOR上，如果是远距离，则标注在单独的方块内。
地面管制 “[机场名]GROUND”	在有塔台管制的机场，有一个席位负责管制飞机滑进和滑出跑道。	在A/FD的城市名下标注。
飞行中危险天气咨询服务（HIWAS）	在选择的助航台上（NAVAID）连续播放危险天气预报。无通讯功能	VOR频率上用黑圈白色H字母。在A/FD机场列表中的“Radio Aids to Navigation（无线电助航）”中用符号标注。
MULTICOM “[机场名]TRAFFIC”	供飞行员在不具备无线电设备的机场使用。飞行员可以按AIM中规定的自主通告程序操作。	122.9MHz. A/FD中122.9即为CTAF频率。在扇区图中122.9后接C字母，深色背景，表示CTAF。
塔台 “[机场名]TOWER”	“本场”管制员负责跑道，机场周围的B级，C级或D级空域的飞行管制。	在A/FD中的城市名下标注，在扇区图和终端区域图中的机场数据块下和通信表中都有标注。
航路飞行咨询服务（EFAS） “FLIGHT WATCH”	提供飞行中气象信息。	122.0MHz （当地时间0600-2200）

『图10-16』 ATC部门，服务和无线电呼叫名称。

# 第 1 章 IFR 飞行

## 1.1 介绍

---

本章讨论在仪表飞行规则（IFR）下的飞行。本章也讲解了飞行计划的原始资料、与仪表飞行有关的条件和 IFR 飞行每一阶段所使用的程序：离场、航路中和进近。本章的结尾有一个 IFR 飞行的举例，在这个例子中，用到了许多本章讨论的程序。

## 1.2 飞行计划情报原始资料

---

以下原始资料提供给飞行员用于在仪表飞行规则（IFR）下进行飞行计划。

航图汇编：

- IFR 航路图
- 区域图
- 机场图

局方发布：

- AIM
- 机场/设备指南（A/FD）
- 飞行计划的航行通告汇编

飞行员也应该查阅飞行员操作手册/飞机飞行手册（POH/AFM）得到与所飞飞机有关的飞行计划信息。

回顾所有列出的飞行资料内容将有助于飞行员确定每次飞行参考哪些资料。随着飞行员对这些飞行资料越来越熟悉，做飞行计划也会越来越快，越来越简单。

### 1.2.1 机场/设备指南（A/FD）

A/FD 包含有与 IFR 飞行有关的机场、通讯和助航设备信息。它也包含有甚高频全向信标（VOR）接收机检查点和航路交通管制中心（ARTCC）频率。也包含有各种对飞行重要的特殊通告，例如着陆并保持脱离另条跑道操作（LAHSO）数据、民用航空使用军用空域、持续供电设备和特殊飞行程序。

在大型机场和航路飞行环境中已经建立了首选航路来指导飞行员计划飞行航路，减少航路更改，对联合航路上的空中交通有秩序地进行管理。A/FD 列出了高空和低空的首选航路。

### 1.2.2 航行通告汇编（NTAP）

NTAP 是一种包含对飞行安全至关重要的当前航行通告（NOTAM）的飞行资料，它还包含影响其它已列出运行资料的补充数据。它也包含最近的飞行数据中心（FDC）NOTAM，实际上它是一种规章，用来建立飞行限制或修正航图或公布的仪表进近程序（IAP）。

### 1.2.3 飞行员操作手册/飞机飞行手册（POH/AFM）

POH/AFM 包含操纵极限、性能、正常和应急程序、和各飞机的其它各种操纵信息。飞机的

制造商已做了相当多的试飞实验，收集并证实了飞机手册中的信息。飞行员应该参考它来获得与计划飞行相关的信息。

### 1.3 仪表飞行规则（IFR）飞行计划

如 **CCAR-91** 部规定的，除非已经申请了一个 **IFR** 飞行计划，否则不能在 **IFR** 条件下的控制空域内飞行。飞行员应该在预计离场时间前至少 **30 分钟** 申请 **IFR** 飞行计划以防止从 **ATC** 接收离场许可指令而可能出现的延误。

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION  
FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION

Form Approved OMB No. 2120-0026

FLIGHT PLAN

(FAA USE ONLY) ☐ PILOT BRIEFING ☐ VNR  
☐ STOPOVER

1. TYPE	2. AIRCRAFT IDENTIFICATION	3. AIRCRAFT TYPE/ SPECIAL EQUIPMENT	4. TRUE AIRSPEED	5. DEPARTURE POINT	6. DEPARTURE TIME	7. CRUISING ALTITUDE
VFR					PROPOSED (Z)	ACTUAL (Z)
IFR			KTS			
DVFR						
8. ROUTE OF FLIGHT						
9. DESTINATION (Name of airport and city)		10. EST. TIME ENROUTE		11. REMARKS		
		HOURS MINUTES				
12. FUEL ON BOARD		13. ALTERNATE AIRPORT(S)		14. PILOT'S NAME, ADDRESS & TELEPHONE NUMBER & AIRCRAFT HOME BASE		15. NUMBER ABOARD
HOURS MINUTES				17. DESTINATION CONTACT/TELEPHONE (OPTIONAL)		
16. COLOR OF AIRCRAFT		CIVIL AIRCRAFT PILOTS. 14 CFR Part 91 requires you file an IFR flight plan to operate under instrument flight rules in controlled airspace. Failure to file could result in a civil penalty not to exceed \$1,000 for each violation (Section 901 of the Federal Aviation Act of 1958, as amended). Filing of a VFR flight plan is recommended as a good operating practice. See also Part 99 for requirements concerning DVFR flight plans.				

FAA Form 7233-1 (8-82) CLOSE VFR FLIGHT PLAN WITH \_\_\_\_\_ FSS ON ARRIVAL

图 11-1 飞行计划表格举例。

#### 1.3.1 飞行中申请

**IFR** 飞行计划可以在空中的各种条件下申请，包括：

1. 在进入控制空域 **IFR** 条件飞行前的控制空域外的飞行。
2. 在控制空域内的航路上预期要进入 **IFR** 气象条件的 **VFR** 飞行。

任一情况中，可以直接向 **ARTCC** 申请飞行计划。

直接向 **ARTCC** 申请的飞行员报告当前的位置和高度，并且一般只提交给 **ARTCC** 的飞行计划信息。要注意由于交通饱和常常会阻止 **ARTCC** 人员通过无线电接受飞行计划。

#### 1.3.2 取消 IFR 飞行计划

任何时候，飞行员在 **VFR** 条件下的飞行时可以通过向管制员或空对地导航台宣布“取消我的 **IFR** 飞行计划”来取消 **IFR** 飞行计划。在取消 **IFR** 飞行计划后，飞行员应该改变到相应的空地频率、指令的应答机编码和 **VFR** 高度/飞行高度层。

当 IFR 飞行计划取消后，ATC 间隔和信息服务（包括雷达服务，如适用）就中止了。如果需要 VFR 雷达咨询服务，飞行员必须特别请求。

当按照 IFR 飞行计划飞到一个有正在运营的塔台的机场时，着陆后，飞行计划会自动地取消。

## 1.4 许可

---

ATC 许可指令使得飞机在控制空域内指定的空中交通条件下飞行，目的是为了提供已知飞机之间的间隔。

### 1.4.1 例如：

申请一个短距离、相对低空和在空中交通密度小的区域的飞行可能接收到如下的指令：  
“赛斯那 1230 Alpha，允许直飞 Doeville 机场，巡航 5000。”

许可指令中的“巡航”意思是允许飞行员在从最小 IFR 高度直到 5000 英尺(包含 5000 英尺)间的任何高度飞行，并且在这个空域区间的任一高度改平。按照飞行员的判断，在这个高度区间内可以进行爬升或下降。然而，一旦飞行员报告离开了高度区间内的某一高度，飞行员在没有得到 ATC 许可指令的情况下不能回到那个高度。

当 ATC 结合一个未公布的航路一起发布了一个巡航指令时，将会指定一个合适的穿越高度来确保离地高度直到飞机到达一个有可用高度信息的定位点、航路点或航路。穿越高度确保了到航路点的 IFR 越障高度，在这一点上，飞机进入了公布的航路或 IAP 航段。

一旦申请了飞行计划，ATC 将宣布相应的许可指令，例如下面的：

“赛斯那 1230 Alpha 允许经 Crossville 径向线 055，Victor 18 至 Skyline 机场，保持 5000。在 1330 前没有起飞，指令无效。”

或者更复杂的指令，例如：

“赛斯那 1230 Alpha 允许经 Victor 77 到 Wichita Mid-continent 机场，起飞后左转，直飞 Oklahoma 市 VOR。在 Oklahoma City 径向线 277 西边等待，回到航线上之前，在等待航线内爬升到 5000。保持 5000 到 CASHION 交叉点。爬升并保持 7000。离场管制频率将是 121.05，应答机 0412。”

许可传送机构可能发布下面的“缩写指令”，其中包含一个离场程序（DP）：

“赛斯那 1230 Alpha，允许按照申请飞至 La Guardia，RINGOES 8 离场 Phillipsburg 过渡，保持 8000。离场管制频率将是 120.4，应答机 0700。”

这个指令可以容易地速记如下：

“CAF RINGO8 PSB M80 DPC 120.4 SQ 0700.”

这个 DP 指令中包含的信息利用指令速记简缩（参见附录 1）。飞行员在接受指令之前应该知道指定的导航设施的位置，还有航路和点到点时间。

DP 使得飞行员能够在申请 IFR 飞行计划之前学习并理解离场的详细信息。它提供了建立通讯和导航设备及在请求 IFR 许可之前准备好离场的必要信息。

一旦接受了许可，飞行员要求遵照 ATC 指令执行。如果飞行员认为另一个指令更行得通，或者如果飞机设备限制或其它的考虑使得接受指令时不可取得，可以请求一个与宣布不同的指令。

如合适，只要不能完全理解许可指令或对于飞行安全，许可指令时无法接受的，飞行员

也应请求说明或修改。如果 ATC 发布了一个可能会造成飞行员违背规则或规定或可能使飞机处于危险中的许可指令，飞行员负责请求纠正的指令。

#### 1.4.2 许可间隔

ATC 会提供飞行员一个有关离其它 IFR 飞机间隔的 IFR 许可。间隔提供有：

1. 垂直——通过指定不同的高度。
2. 纵向——通过通知相同航道上飞机的时间间隔。
3. 横向——通过指定不同的飞机路径。
4. 通过雷达——包括上述所有。

ATC 不为以下飞机提供间隔：

1. 控制空域之外。
2. 有 IFR 许可指令：
  - a) 授权“VFR-On-Top”指定的高度。
  - b) 在“VFR 条件”下指定爬升或下降。
  - c) VFR 条件下任何时候，鉴于可能在相同的空域内有不受管制的 VFR 飞行。

除指定航向和高度外，ATC 有时候会宣布调整速度来保持必需的间隔。例如：

“赛斯那 30 Alpha，减速到 100 节。”

接收到速度调节的飞行员应该保持该速度加或减 10 节。如果由于某种原因飞行员不能接受速度限制，飞行员应该告知 ATC。

有时，ATC 也可能使用目视间隔技术来保持飞机间隔安全。看到另架飞机的飞行员可能要求来保持目视间隔或跟随飞机。例如：

“赛斯那 30 Alpha，和那架飞机保持目视间隔，爬升并保持 7000。”

飞行员对保持目视间隔或跟随另架飞机的指令接受是一种确认，那就是飞行员将按照需要机动飞机以保持安全间隔。也承认了飞行员接受避开尾流的责任。

如果没有雷达的时候，ATC 将依赖位置报告来协助飞行员保持合适的间隔。使用飞行员发话的数据，管制员监视着每架飞机的进展。ATC 必须结合飞行员的报告来提供飞行间隔；因此，每个飞行员报告的准确性影响了飞行的进程和在该区域内 IFR 飞行计划上所有其它飞机的安全。

## 1.5 离场程序（DP）

---

仪表离场程序是预先计划好的仪表飞行规则（IFR）程序，它提供了从航站区域到相应的航路设备的越障高度，并为飞行员提供了安全地从机场离场并过渡到航路网络的路线。当 DP 可用时，鼓励按照 CCAR-91 部飞行的飞行员申请飞 DP。『图 11-1』

有两种 DP，以文本印刷或图标印刷的越障离场程序（ODP）和一直以图表方式印刷的标准仪表离场（SID）。所有的 DP，文本的或图表的，可能以传统方式或 RNAV 标准来设计。RNAV 程序在标题处印刷有 RNAV，例如 SHEAD TWO DEPARTURE（RNAV）。

#### 1.5.1 越障离场程序（ODP）

ODP 提供了从航站区域经过交通密集的航路到相应航路网络的越障高度。ODP 推荐用于查看越障高度，可以在没有 ATC 指令的情况下飞行除非 ATC 已明确地指定了备用离场程序（SID 或雷达引导）。图表的 ODP 的程序标题上印有（OBSTACLE），例如 GEYSR THREE DEPARTURE

(OBSTACLE), CROWN ONE DEPARTURE (RNAV) (OBSTACLE)。

### 1.5.2 标准仪表离场

标准仪表离场 (SID) 是为飞行员/管制员使用而以图表方式印刷的空中交通管制 (ATC) 程序, 它提供越障高度和航站区域到相应的航路网络的过渡路线。SID 设计主要用来增强系统并减少飞行员/管制员的工作量。在飞 SID 之前, 必须接收到 ATC 许可指令。

要重点记住下面几点。

1. 在 DP 程序有效的区域的 IFR 飞行员可能会得到一个含有 DP 的 ATC 许可指令。使用 DP 要求飞行员至少有已批准的 DP 的文字说明。
2. 如果飞行员没有预先印好的 DP 或由于某种原因不想使用 DP, 他或她应该通知 ATC。可以通过在飞行计划的备注栏申请“NO DP”来通知, 或通知 ATC。
3. 如果指令中 DP 是可接受的, 飞行员遵照执行。

### 1.5.3 雷达控制离场

从交通拥挤区域中的机场 IFR 离场时, 飞行员一般会接收到离场管制的雷达导航引导。当起飞后立即引导离场时, 在起飞前飞行员会被告知所飞的初始航向。这在离场期间在双向无线电通讯失效的情况下是至关重要的。

雷达离场通常是简单的。紧接起飞, 当塔台告知飞行员要在指定的频率上联系离场管制时, 飞行员要照做。这时, 离场管制核实雷达显示并给出航向、高度和爬升指令使得飞机快速、安全地飞出航站区域。飞行员应按照指定的航向和高度飞行直到管制员指令通知关于航路的飞机位置, 让联系下个频率并“恢复自主导航。”

离场管制会提供引导至导航设施或者离场指令中相应的航路中位置或转到另一个有较远雷达监视能力的管制员。『图 11-2』

雷达控制离场并不减轻作为责任机长的飞行员的责任。依照 ATC 指令, 在起飞前准备好进行导航, 检查并正确地调谐导航接收机。在雷达控制的同时, 监控仪表以确保持续定位至指令中指定的航路并记录到达指定检查点上空的时间。

## 1.6 航路中程序

---

根据计划的航路、空中交通环境和 ATC 机构控制飞行, 航路中程序会有所变化。一些 IFR 飞行受雷达监视并从离场到进场都被控制, 其它的飞行完全依赖飞行员自己导航。

在 ATC 没有权限控制的地方, ATC 不会发布 IFR 许可指令。ATC 不会控制飞行, 飞行也不能保证与其它空中交通的间隔。

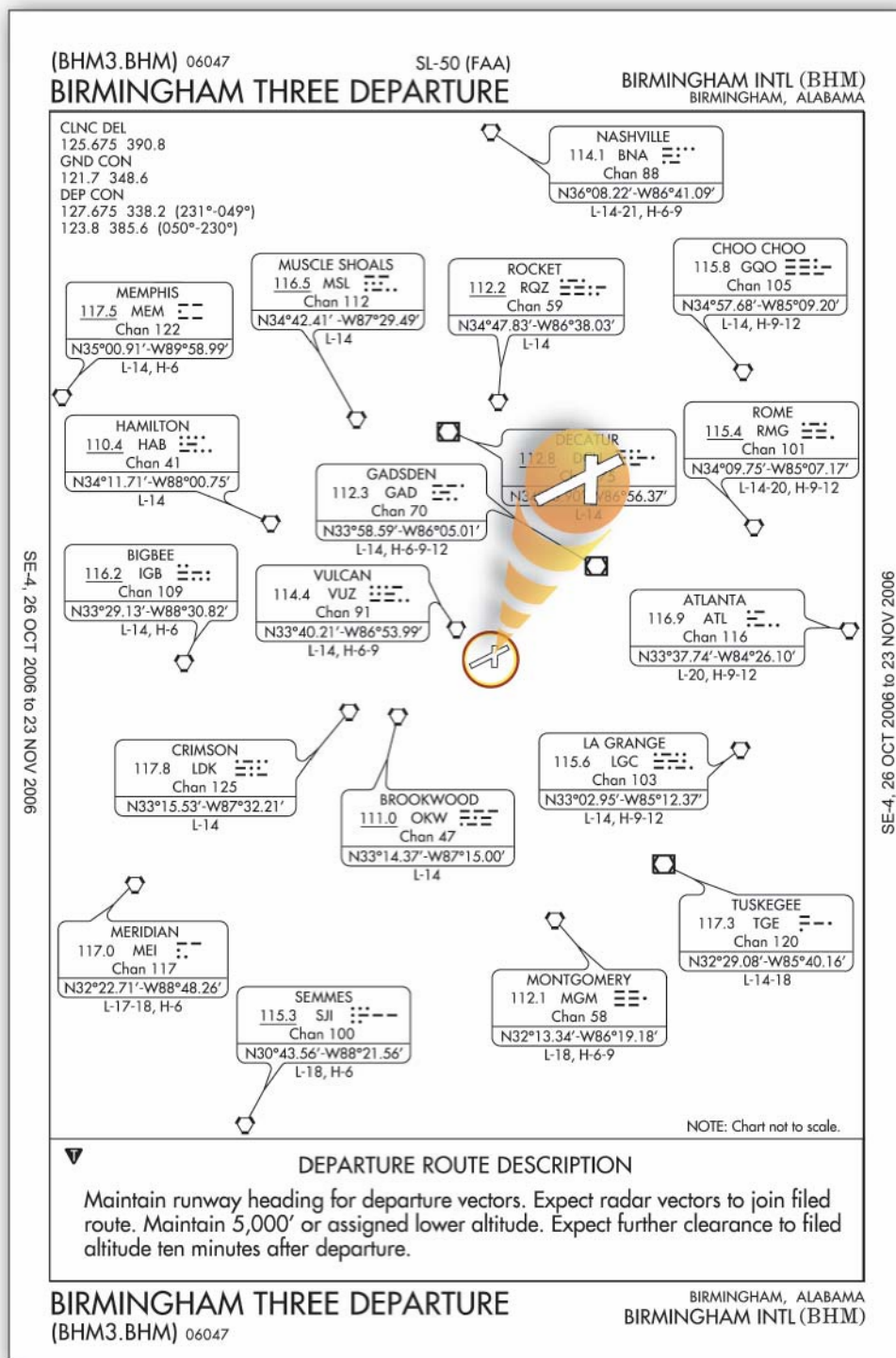


图 11-2 离场程序 (DP)。

### 1.6.1 ATC 报告

所有飞行员需要报告未预报的天气情况或其它与飞行安全有关的信息给 ATC。在控制空域内的 IFR 飞行的每架飞机责任机长应该尽可能地把飞行中的任何导航、进近或通讯设备故障报告给 ATC:

1. VOR 失效或自动定向仪 (ADF) 接收机失效。

2. 仪表着陆系统（ILS）接收机完全或部分失效。
3. 空地通讯故障。

责任机长报告中将包含以下：（1）飞机识别号，（2）受影响的设备，（3）ATC 系统内飞行员在 IFR 条件下飞行的损害程度，和（4）特征及所需 ATC 援助的程度。

### 1.6.2 位置报告

在沿着所飞航路上不管高度的每个强制报告点（在航图上以实心三角形表示）上空要求位置报告，包括已有 VFR-On-Top 许可的情况。沿着直飞航路，要求所有的 IFR 飞行在每个用来确定飞行航线的点上空报告。在报告点（以空心三角形显示）只有当 ATC 要求时才报告。在指定的报告点当被 ATC 告知飞机正在“雷达监视”中时，飞行员应该中断位置报告。当 ATC 通知“雷达监视丢失”或“雷达服务终止”时，应该恢复位置报告。

位置报告应该包括下面的项目：

1. 识别号
2. 位置
3. 时间
4. 高度或飞行高度层（当指令说明 VFR-On-Top 时，包含真实高度或飞行高度层）
5. 飞行计划的类型（IFR 位置报告中不要求直接报告给 ARTCC 或进近管制）
6. ETA 和下一个报告点的名称
7. 沿着飞行航路的下个报告点的名称
8. 相关的备注

通过使用航路中航路的相应 ARTCC 频率，航路中位置报告一般地经过管制员至飞行员通讯频道提交给 ARTCC 管制员。

无论何时位置报告后初次联系管制员，报告点的名称应该在包含在呼叫中。这警示了管制员这种信息要出现。例如：

“亚特兰大中心，赛斯那 1230 阿尔法在 JAILS 交叉点。”

“赛斯那 1230 Alpha 亚特兰大中心。”

“亚特兰大中心，赛斯那 1230 阿尔法在 JAILS 交叉点，5000，预计 1730 到达门罗维尔。”

### 1.6.3 其它报告

除过所需的位置报告，在没有明确地请求时，向 ATC 做下面的报告。

1. 无论什么时候：

- a) 当退出先前指定的高度或飞行高度层到一个新指定的高度或飞行高度层时
- b) 如果指令中指定 VFR-On-Top 而改变高度时
- c) 当不能以至少 500 英尺每分钟（FPM）爬升/下降时
- d) 当复飞时（请求明确的措施（至备降机场、另外的进近，等等）许可。）
- e) 改变平均真空速（在巡航高度），当与飞行计划上申请的平均真空速以 5 %或 10 节（以较大为准）变化时
- f) 到达等待定位点或许可的航路点的时间和高度
- g) 当离开任何指定的等待定位点或航路点

注—当在军用航站区域有雷达服务且飞行员在进行仪表训练时，（f）（g）中的报告可以省略。

h) 只要在控制空域内的任一 VOR、ADF、低频导航接收机失效、使用装备了批准的 IFR GPS/GNSS 接收机时 GPS 异常、ILS 接收机完全或部分失效、或空/地通讯故障。报告应该包括飞机识别号、受影响的设备、在 ATC 系统中 IFR 条件下飞行能力的损害程度和特征及所需 ATC 援助的程度。

i) 任何与飞行有关的信息。

2. 当没有雷达监视时:

a) 当在五边进近(非精密进近)上离开五边进近向台定位点时,或当离开外指点标或用于代替五边进近(精密进近)的外指点标的定位点。

b) 任何时候当预计时间比先前提交的时间误差超过 3 分钟时,报告更正预计时间。

遇到未预报的天气情况或预报的危险情况的飞行员应该报告这些天气情况给 ATC。

#### 1.6.4 计划下降和进近

ATC 进场程序和驾驶舱工作量受天气情况、空中交通密集程度、飞机设备和雷达使用影响。

当在有进近管制服务的机场且公布了两个或多个 IAP 的机场着陆时,在进场之前,将会提供这些与预计进近有关的信息,或者对于目视进近,将提供引导。这些信息将会在自动航站信息服务(ATIS)上广播或者由管制员广播通知。如果当能见度是 3 海里或云底高在或高于机场任何低空 IAP 规定的最高初始进近高度时,这些信息不会提供。

这些信息的目的是为了帮助飞行员计划进程飞行;然而,这些信息不是 ATC 指令或承诺,并且它们是可以改变的。由于天气、风的变化,关闭跑道等情况,可能引起先前接收到的进近信息改变。重要的是,如果飞行员不能进行进近或宁愿选择另一类进近,他或她要立即告知 ATC。

如果目的地机场没有工作的塔台而有自动气象数据广播,飞行员应该监控自动地面观察系统/自动气象观察系统(ASOS/AWOS)频率来确定当前机场的气象。应该通知 ATC 气象信息已经接收到和飞行员的意图。

当确定要进行进近时,飞行员应该在初始进近定位点(IAF)或 IAP 上的过渡航路之前,计划或请求下降到相应的高度。当飞过渡航路的时候,飞行员应该保持最后指定的高度直到 ATC 给出指令“允许进近。”在初始定位点,可以请求降低高度使过渡航路高度接近所需的高度。ATC 使用在指令的高度信息中使用了“由飞行员自己决定”的惯用语时,飞行员可以开始以任意的下降率下降,并且可以在任意中间高度暂时改平。然而,一旦退出了一个高度,在没有指令的情况下再回到那个高度是不允许的。当 ATC 没有使用“由飞行员自己决定”的术语或者没有任何的下降限制,迅速地下降来确认该指令。

以最佳的下降率(与飞机的操纵特性一致)下降到 1000 英尺高于指定高度。然后尝试以 500 和 1500FPM 之间的下降率下降直到达到指定的高度。

如果任何时候只要飞行员不能保持最少 500FPM 的下降率,通知 ATC。如果有必要在下降期间的中间高度改平,也要告知 ATC。一个例外是当下降中在 10000 英尺平均海平面(MSL)改平时,或者 2500 英尺高于机场标高需要减速时。

#### 1.6.5 标准机场进场航路(STARS)

对于在交通拥挤的区域进场的飞机,已建立的标准机场进场航路(简化了指令发布程序。STAR 起的作用和离场飞机的 DP 类似。『图 11-3』重要的是要记住有关 STAR 的以下几点:

1. 所有 STAR 与目的地机场的 IAP 航路一起都包含在 TPP 中。AIM 里也有 STAR 程序。

2. 如果目的地机场已公布 STAR,无论什么时候只要 ATC 觉得合适,飞行员可

4. 如果接受了指令中的 STAR，必须遵照执行。

图 11-3 标准机场进场航路 (STARS)。

## 1.6.6 代替不工作或不可用的组成部分

基本的 ILS 地面组成部分是航向道、下滑道、外指点标、中指点标和内指点标（当安装时）。可以使用罗盘定位或精密雷达来代替外指点标或中指点标。在标准 IAP 中批准的测距仪（DME）、VOR 或无方向信标台（NDB）定位点或监视雷达可以代替外指点标。

另外地，依照咨询通告和在 IFR 航路中和航站使用全球定位系统设备及非精密仪表进近指南来操作，批准的 IFR 全球定位系统（GPS）设备可以替代 ADF 和 DME 设备，飞 NDB IAP 时除外。特别地，在以下情况时，GPS 可以代替 ADF 和 DME：

1. 飞一个 DME 弧；
2. 导航到/从一个 NDB；
3. 在 NDB 上确定飞机的位置；
4. 在由交叉 NDB 方位线组成的定位点上空确定飞机位置；
5. 在 NDB 上空等待；
6. 在 DME 定位点上空确定飞机的位置。

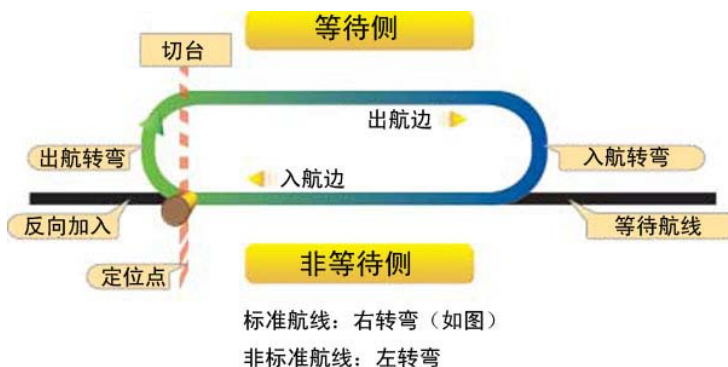


图 11-4 标准等待航线——无风。

## 1.7 等待程序

取决于空中交通和气象条件，可能需要等待。等待是一个预定的机动，它使得飞机保持在一个规定的空域内，同时等待 ATC 的进一步指令。标准等待航线使用右转弯，非标准的等待航线使用左转弯。当要飞非标准航线时，ATC 总是规定左转弯。

### 1.7.1 标准等待航线（无风）

在没有风的标准等待航线上，『图 11-4』飞机延着规定的航线向台飞至等待定位点，右转 180°，背台平行直飞 1 分钟，右转 180°，然后向台飞至定位点。

### 1.7.2 标准等待航线（有风）

当有风时，不能飞出一个标准的对称等待航线。这些情况下，飞行员应该：

1. 除了转弯，修正已知风的影响。
2. 调节背台计时达到一分钟（高于 14000 英尺，1—1/2 分钟）向台航段距离

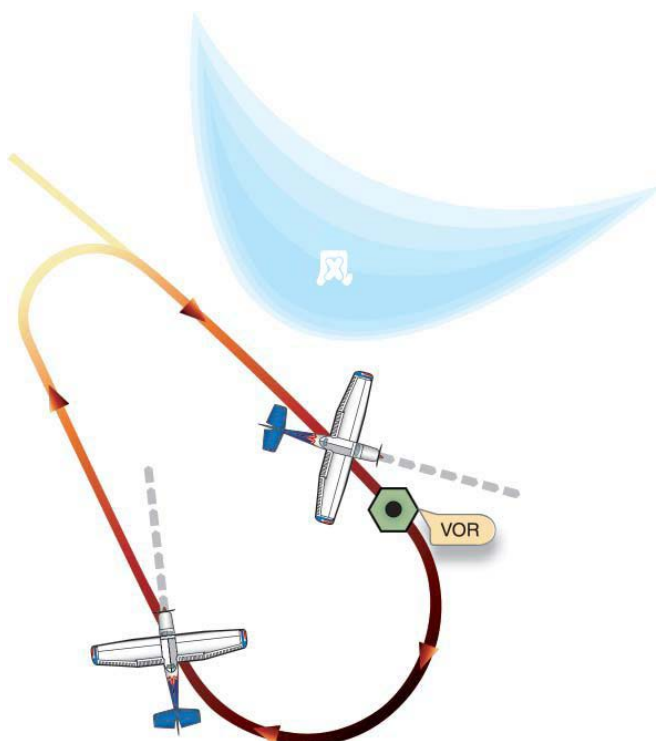


图 11-5 等待航线的偏航修正。

的时间。

『图 11-5』举例了有左侧风的等待航迹。通过对向台和背台航段施加偏航修正并修正背台航段的时间来抵消风的影响。

### 1.7.3 等待指令

如果过定位点在接收许可之前飞机达到了许可限制, ATC 要求飞行员保持最后指定的高度并依照标出的等待航线开始等待。如果没有标出等待航线并且没有发布等待程序, 在飞机接近定位点的航线上进入一个标准的等待航线并可能请求进一步的许可指令。一般地, 当没有延误的话, ATC 会在预计到达定位点时间前至少 5 分钟发布等待程序。

如果等待航线没有标出, ATC 指令将说明以下:

1. 以 8 个罗盘基本方位 (N、NE、E、SE 等等) 表示的从定位点等待的方向
2. 等待定位点 (如果在通话的开始包含有作为指令限制的等待定位点, 该定位点可能被省略掉)
3. 飞机在上面等待的径向线、航道、方位线、航路或航线。
4. 如果要使用 DME 或区域导航 (RNAV), 以海里为单位的航段长度 (飞行员请求或如果管制员认为必要时, 航段长度将以分钟来说明)。
5. 如果要左转弯, 转弯方向, 因为飞行员请求或管制员认为必要。
6. 预计进一步许可 (EFC) 的时间和任何的其它相关的延误信息。

只要出现以下情况时, 也要发布 ATC 指令:

1. 确定延误超过 1 小时。
2. 必要的修订 EFC。
3. 在有许多导航设置和进近程序的机场区域, 指令限制可能未指示清楚将要使用哪个进近程序。在初始联系或其后尽快联系时, 进近管制将告知飞行员预计进近的类型。
4. 在或低于有关机场已制定的最高“盘旋最小”时要报告云底高和/或能见度。如需要, ATC 将报告当前的气象情况和随后的变化。
5. 飞机正在等待, 同时等进近指令, 飞行员告之 ATC 报告的气象情况低于适合飞行的最低标准。在这种情况下, 如果飞机要求继续等待同时等待气象改善或者转至另一机场, ATC 将发布适当的指令。

### 1.7.4 标准进入程序

AIM 中所给出的进入程序是在大范围的操纵条件下许多的实验中发展来的。应该遵循标准化的程序来确保飞机保持在规定的等待空域。

当需要减速时, 离等待定位点小于等于 3 分钟时开始减速。在或低于最大等待空速 (MHA) 开始穿越等待定位点。减速的目的是为了阻止飞过等待空域限制, 特别地在靠近临近等待航线的区域。

所有飞机可以在下例高度和最大等待空速上等待:

高度平均海平面 (MSL)	空速 (KIAS)
6000 英尺以下	200
6001–14000 英尺	230
14001 及以上	265

对于最大等待空速, 以下是例外:

1. 可能限制等待航线从 6001 到 14000 英尺最大空速为 210 节指示空速 (KIAS)。这种非标准的航线由图标表示。

2.可能限制等待航线至最大空速 175KIAS。这种非标准的航线由图标表示。空速限制到 175KIAS 的等待航线一般出现在 IAP 上，只适用于 A 类或 B 类飞机。

3.在空军机场的等待航线只有最大 310KIAS，除非另外标出。

4.在海军机场的等待航线只有最大 230KIAS，除非另外标出。

5.如果不能遵照最大空速限制，飞行员应该告之 ATC。

尽管其它进入程序也许能够使得飞机进入等待航线并保持在保护空域内，平行、修正角和直接进入等待程序。

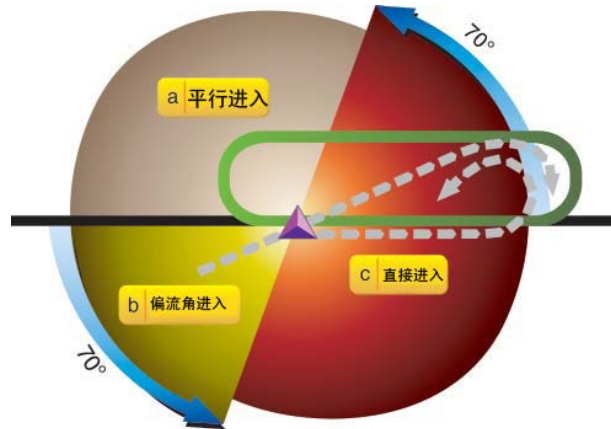


图 11-6 等待航线进入程序。

『图 11-6』

1.平行程序。当从扇区（a）的任何位置接近等待定位点时，平行进入程序使得飞机转向在非等待侧的平行于背台等待航线的航向并保持 1 分钟，转弯大于 180°至等待航线的方向，并回到等待定位点或切入向台航道。

2.修正角程序。当从扇区（b）的任何位置接近等待定位点时，使用修正角进入程序飞至定位点，然后在等待航线（在等待一侧）内以 30°修正角进入的航向转入背台 1 分钟，然后转向等待航线切入向台等待航道。

3.直接进入程序。当从扇区（c）的任何位置接近等待定位点时，使用直接进入程序直飞定位点并转入等待航线。

飞行员应该在进入和等待期间的所有转弯中：

1. 3°每秒，或
2. 30°坡度，或
3. 由飞行指引仪系统给出的坡度。

### 1.7.5 时间因素

报告给 ATC 的等待航线进入时间是在定位点上空的初始到达时间。进入等待航线后，在或低于 14000 英尺 MSL，初始背台航段飞行 1 分钟，在 14000 英尺 MSL 以上，飞行 1—1/2 分钟。按需调整随后的背台航段计时，获得正确的向台航段计时。在定位点上空或正切定位点，以较后出现的为准，飞行员应该开始背台计时。如果不能确定正切位置，当转弯至背台完成后开始计时。『图 11-7』

随后的飞机被允许进入推出的空域之前，飞机离开等待定位点的时间必须告之 ATC。离开等待定位点：

1. 当 ATC 宣布或者进一步的航路中许可指令或者进近许可指令时；
2. 如 91 部所述（对于 IFR 飞行；双向无线电通讯失效和责任机长的责任和权限）；或
3. IFR 飞行计划取消后，如果在 VFR 条件下等待。

### 1.7.6 DME 等待

DME 等待可施用相同的进入和等待程序，但使用距离（海里）代替了时间值。管制员会指定背台航段的长度，由 DME 读数来确定该航段的结尾。



图 11-7 等待——背台计时。

## 1.8 进近

### 1.8.1 遵照公布的标准仪表进近程序

遵照进近图上给出的进近程序给出必要的导航指引信息来对准五边进近航道，还有越障高度。

在某些条件下，可能需要反向机动或程序转弯。然而，当在下列情况时，不允许使用该

程序:

1. 在进近图的平面图的进近航道上出现符号“**NoPT**”。
2. 对五边进近航道提供雷达引导。
3. 公布了等待航向来代替程序转弯。
4. 从等待定位点进行一个计时进近。由 **ATC** 另外指令。

### 1.8.2 仪表进近至民用机场

除非另外批准,当有必要仪表下降至机场时,飞行员应该使用那个机场规定的标准 **IAP**。**IAP** 绘在 **IAP** 图里,在 **TPP** 里可以找得到。

**ATC** 进近程序取决于航站区域可用的设备、进行的仪表进近的类型和当前的气象条件。在进近图上给出了 **ATC** 设施、助航设施 (**NAVAID**) 和相关的适于每个标准仪表进近的频率。对于与下列设施有关的标准进近程序,公布了单独的图:

1. 无方向无线电信标台 (**NDB**)
2. 甚高频全向信标台 (**VOR**)
3. 带有测距仪的甚高频全向信标台 (**VOR/DME**)
4. 航向道 (**LOC**)
5. 仪表着陆系统 (**ILS**)
6. 航向信标式定向设备 (**LDA**)
7. 简易定向设备 (**SDF**)
8. 区域导航 (**RNAV**)
9. 全球定位系统 (**GPS**)

可以以两种方法中的一种来飞 **IAP**: 完全进近或有雷达引导协助。当以完全进近来飞 **IAP** 时,飞行员使用仪表进近图上所绘的航路和高度来自主导航。完全进近使得飞行员航路阶段过渡到仪表进近,最小使用 **ATC** 协助直至着陆。飞行员可以请求这种程序类型但大多数经常使用在没有雷达覆盖的区域。完全进近也提供给飞行员一种当在通讯失效的情况下完成仪表进近的方法。

当在雷达引导协助下进近时, **ATC** 提供飞机切入五边进近的位置的航向和高度引导。从这点开始,飞行员恢复导航,切入五边进近航道并使用 **IAP** 图完成进近。这常常是一种更方便的进近方法,与完全进近相对,使得 **ATC** 能排序进场的飞机。在雷达监视下飞行的飞行员一般期待雷达引导协助飞至五边进近航道。

#### 1.8.2.1 进近至从没有塔台工作的机场

『图 11-8』显示了一个没有塔台工作的机场的进近程序。当进近至这种机场时,飞行员应该监控 **AWOS/ASOS** (如可用),得到最近的气象条件。当不再需要飞行员和管制员间的直接通讯时, **ARTCC** 或进近管制员将发布一个仪表进近的指令并告之“转换到批准的咨询频率。”当飞机在“巡航”的指令下到达, **ATC** 不会发布进一步的进近和着陆指令。

如果需要进近指令, **ATC** 通过使用惯用语“允许进近”及需要改变通讯频率 (如有) 来批准飞行员进行他或她自己选择的标准仪表进近 (如果该机场公布的不止一个)。这点以后,将不练习 **ATC**。飞行员负责在着陆之前结束 **IFR** 飞行计划,如果在 **VFR** 条件下,或着陆后通过电话。

除非 **ATC** 另外批准,飞行员应该执行图上显示的完整 **IAP**。

#### 1.8.2.2 进近至有塔台工作的机场，但没有进近管制

当飞机进近至有塔台工作的机场，但没有进近管制时，**ATC** 将发布一个至进近/外定位点的指令，含有如下相应的信息和说明：

1. 定位点名称
2. 要保持的高度
3. 等待信息和预期的进近许可时间，如适用
4. 有关进一步通讯的说明，包括
  - a) 要联系的机构
  - b) 联系的时间和位置
  - c) 要使用的频率

如果 **ATIS** 可用，在和塔台初始联系之前，应该监控频率上的信息，例如云底高、能见度、风向和风速、高度表调定值、仪表进近和使用的跑道。如果 **ATIS** 不可用，**ATC** 将提供最近报告的气象信息。

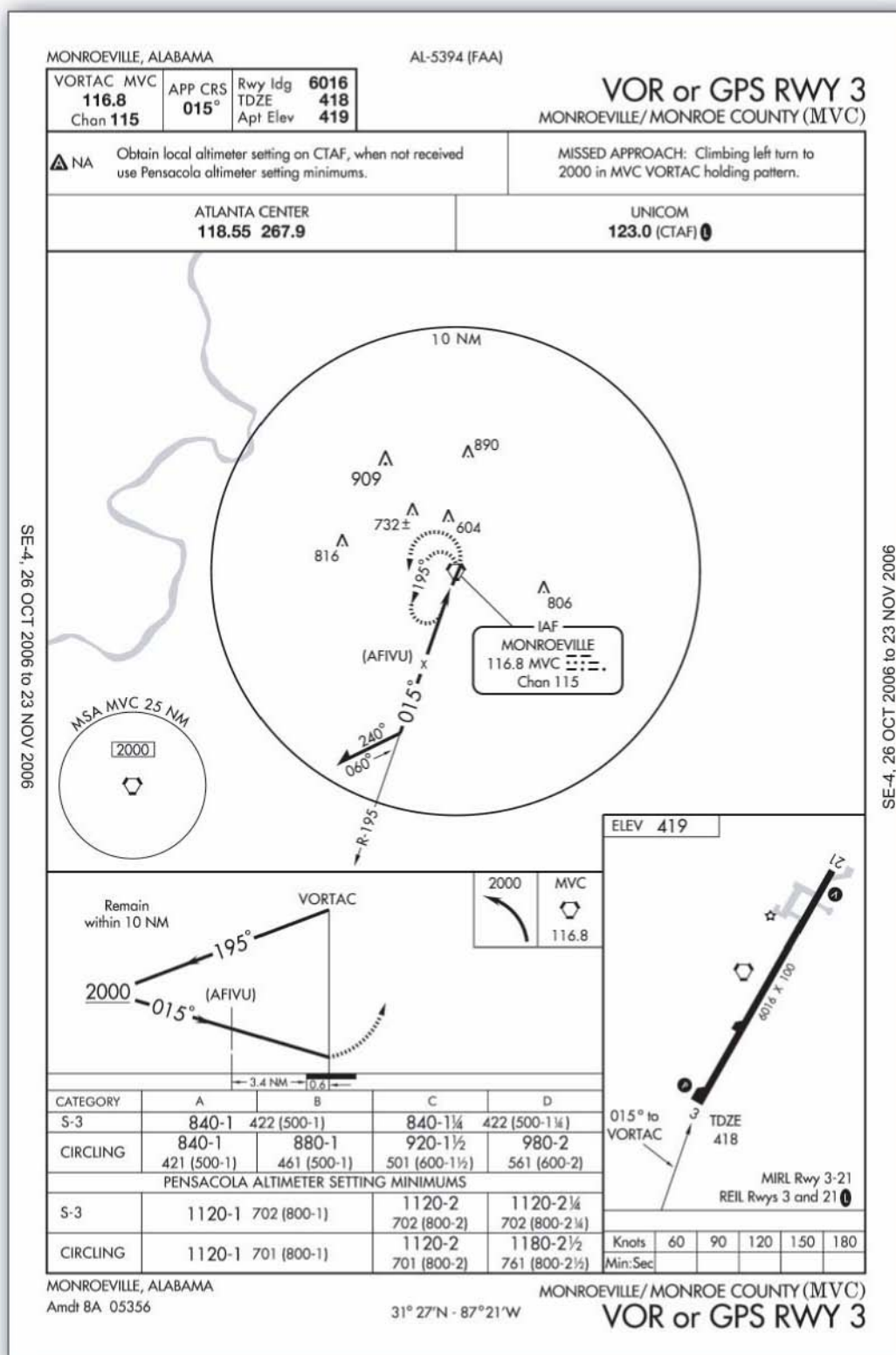


图 11-8 门罗维尔, AL (MVC) VOR or GPS Rwy 3 进近:在没有塔台工作的机场的进近程序。

AL-576 (FAA)

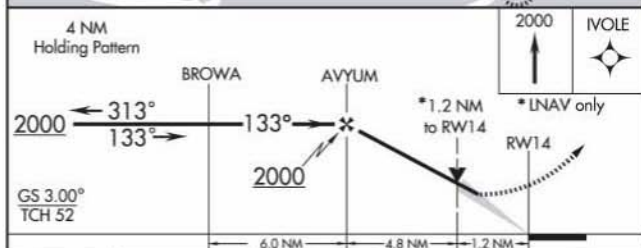
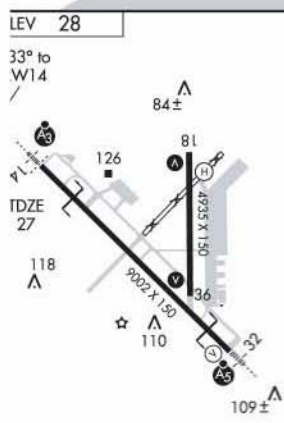
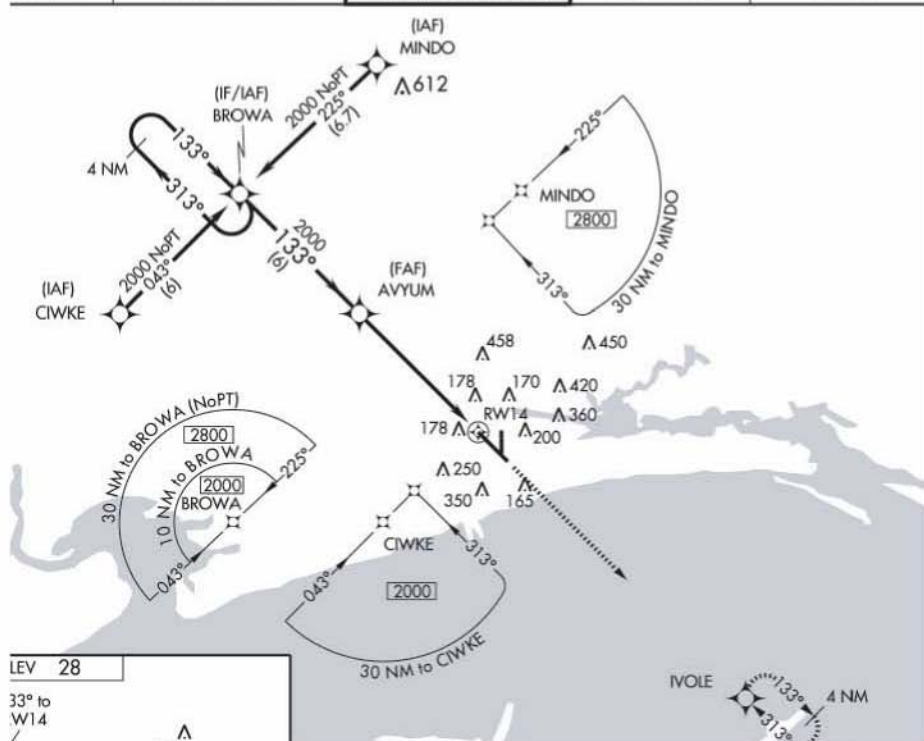
WAAS ID 97301 W14A	APP CRS 133°	Rwy Idg 9002 TDZE 27 Apt Elev 28
--------------------------	-----------------	--

RNAV (GPS) RWY 14  
GULFPORT-BILOXI INTL (GPT)

5R DME/DME RNP-0.3 NA. BARO-VNAV NA below -15°C (5°F). For inoperative SSALR increase LNAV CAT D visibility to RVR 6000.

**MISSED APPROACH:** Climb to 2000 direct IVLE and hold.

ATIS 119.45	GULFPORT APP CON * 124.6 254.25	GULFPORT TOWER* 123.7 (CTAF) 0 339.8	GND CON 120.4 348.6	UNICOM 122.95
----------------	------------------------------------	---	------------------------	------------------



CATEGORY	A	B	C	D
LPV DA		300/24	273 (300-½)	
LNAV/ VNAV DA		480/50	453 (500-1)	
LNAV MDA	440/24	413 (500-½)	440/40 413 (500-¾)	440/50 413 (500-1)
CIRCLING	500-1½ 472 (500-1½)	660-1½ 632 (700-1½)	660-1¾ 632 (700-1¾)	660-2 632 (700-2)

IRL Rwy 18-36  
IRL Rwy 14-32

JLFPORT, MISSISSIPPI  
ig 06215

30°24'N-89°04'W

GULFPORT-BILOXI INTL (GPT)  
RNAV (GPS) RWY 14

SC-4, 26 OCT 2006 to 23 NOV 2006

SC-4, 26 OCT 2006 to 23 NOV 2006

图 11-9 格尔夫波特, MS (GPT) ILS or LOC 跑道 14 进近:提供最多可用的 ATC 单位的仪表程序图。

### 1.8.2.3 进近至有塔台工作的机场且有进近管制

如果雷达批准用于进近管制服务，它可结合公布的 IAP 一起来提供引导。雷达引导可以提供航道引导和加快飞机飞至任一规定的 IAP 上的五边进近航道。『图 11-9』显示了一个 IAP 图，有最多可用的 ATC 单位。

提供这种雷达服务的进近管制以下列方式工作：

1. 允许进场的飞机飞至与有垂直间隔的所飞航路最适合的外定位点，如果需要，提供等待信息；或
2. 当 ARTCC 和进近管制或两个进近管制机构之间的雷达交接受到影响时，允许飞机飞至机场或定位点，定位点的位置使得在飞机到达定位点的时间之前完成交接。
  - a) 当雷达交接使用时，使用雷达间隔代替垂直间隔交接给进近管制连续的进场飞机。
  - b) 交接给进近管制后，引导飞机飞至相应的五边进近航道。
3. 如需要，宣布雷达引导和高度/飞行高度层来间隔飞机；不要偏离进近管制宣布的航线。
4. 当有必要引导飞机穿越五边进近航道以间隔飞机或其它原因时，通常会告知飞行员。如果飞机即将穿越进近航道且没有通知飞行员将要引导飞机穿越五边进近航道，飞行员应该询问管制员。飞行员不应该在五边进近航道上转至向台，除非已经发布了进近许可指令。该指令通常和切入五边进近航道的最后雷达引导一起宣布，雷达引导使得飞行员在五边进近定位点之前建立飞机在五边进近航道上。
5. 一旦飞机在五边进近航道上建立向台，维持与其它飞机的雷达间隔，飞行员应该使用指令（ILS、VOR、NDB、GPS 等等）中指定的 NAVAID 作为主要的导航方式来完成进近。
6. 过了五边进近向台定位点之后，飞行员应该直飞机场并完成进近，或执行公布的复飞程序。
7. 当完成着陆或当飞行员被告之转换到非控制机场的咨询频率上（以先出现的为准）时，雷达服务就自动结束了。

### 1.8.3 雷达进近

在雷达进近中，飞行员从管制员那里接收到航道和高度的引导，而管制员使用雷达监控着飞行的过程。在紧急或遇险情况中，雷达进近只是一个选择。

雷达进近要求的唯一机上无线电设备是一个可用的无线电发射机和接收机。雷达管制员引导飞机对准跑到中心线。管制员继续引导并保持飞机在航道上直到飞行员通过目视参考地面完成进近并着陆。有两类雷达进近：精密（PAR）和监视（ASR）。

雷达进近可能提供给任何请求的飞机和遇险飞机或要加速飞行的飞行员；然而 ASR 可能未被批准，除非 ATC 工作需要或处于异常或紧急情况中。飞行员接受 PAR 或 ASR 不是放弃该机场或个别有关飞机运营商规定的最低气象标准。当报告的气象低于制定的最低标准时，由负责做雷达进近的决定。

在局方的航站程序汇编（TPP）的抽印页上公布有 PAR 和 ASR 最低标准。『图 11-10』精密进近（PAR）需要管制员提供高度精确的方位和标高导航引导给飞行员。

管制员给飞行员提供要飞的航向引导飞机至着陆跑道的延长线并对准它。在预计切入下滑道大约 10 到 30 秒前，飞行员被告之切入下滑道及何时开始下降。只有在飞行员请求时，才提供公布的决断高（DH）。如果观察到飞机上或下偏离下滑道，管制员通过使用术语“轻微地”或“相当地”来给飞行员提供相关的偏离量，飞行员应该调节飞机的下降/爬升率使飞机回到下滑道上。也发布有关飞机标高的趋势信息，可以使用术语“快速地”和“缓慢地”来修正，

例如，“远远高于下滑道，快速回到下滑道。”

每海里至少提供一次到接地点的距离。如果管制员观察到飞机的方位和/或标高要超出规定的安全区界限并继续超出这些规定的限制飞行，管制员将指引飞行员执行复飞或飞向规定的航道，除非飞行员能见跑道环境（跑道、进近灯等等）。

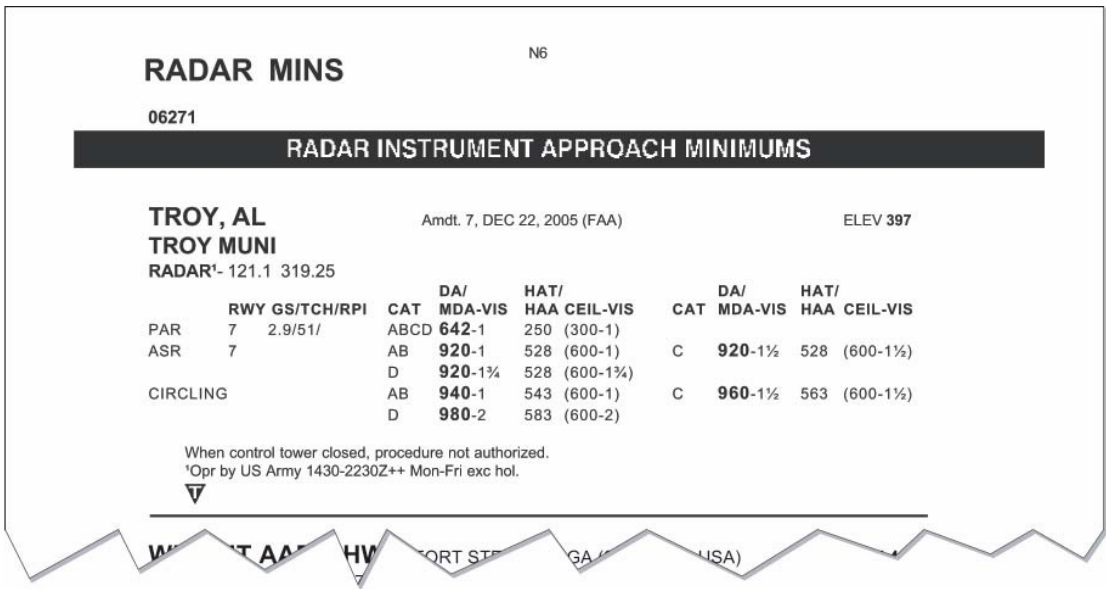


图 11-10 Troy, AL 的最低雷达仪表进近。

给飞行员提供方位和高度的引导直到飞机到达公布的 DH。管制员提供有航道和下滑道信息直到飞机过了着陆跑道入口。在这点上，管制员告之飞行员任何从跑道中心线的偏离。进近结束后，雷达服务自动地终止。

监视进近（ASR）就是进近中管制员只提供方位的导航引导。

管制员给飞行员提供要飞的航向以对准着陆跑道的中心线延长线。因为用于监视进近的雷达信息的精确度远远小于精密进近的精确度，所以进近的准确度不高并且将使用较高的最低标准。不可能提供高度引导，但是飞行员将被告之何时开始下降至最低下降高度（MDA）或，如适用，至中间的梯度下降定位点的最小穿越高度且随后到达规定的 MDA。另外地，管制员将告之飞行员程序中规定的复飞点（MAP）的位置和五边上每海里的飞机位置，如需要，机场或直升飞机场或 MAP。

如果飞行员请求，管制员会基于程序规定的下降梯度每一英里公布推荐的高度，直到在 MDA 或高于 MDA 的最后一海里。一般地，在飞机达到 MAP 之前，会给飞行员提供导航引导。

雷达进近结束后，雷达服务自动地终止。

如果飞行员遇到陀螺半罗盘或其它稳定罗盘不工作或指示不准确的情况时，在雷达管制下，可给飞行员提供非陀螺进近。当出现该情况时，飞行员应通知 ATC 并请求一个非陀螺引导或进近。没有装配陀螺半罗盘或其它稳定罗盘的飞机飞行员如果想进行雷达引导，也可以请求一个非陀螺引导或进近。飞行员应该以标准转弯率转弯并且在接收到指令后应该立即进行转弯。例如，“右转，”“停止转弯。”当进行监视或精密进近时，在飞机已经转向五边进近后，飞行员将被告之以二分之一标准转弯率转弯。

#### 1.8.4 仪表进近的雷达监控

当气象条件低于 VFR 最低标准（1000 和 3）、夜航或当飞行员请求时，PAR 设施和某些多

用途机场（民用和军用）及军用设施的军用服务监控仪表进近的飞机并给飞行员发布雷达咨询。只有当 **PAR** 五边进近航道与助航设施的五边进近一致及在 **PAR** 工作时才提供该服务。因为飞行员已选择导航设备作为进近的主要设备，所以雷达咨询只可作为辅助使用。

在开始五边进近之前，飞行员将被告之雷达咨询通话的频率。如果由于某种原因，不能提供雷达咨询，将会告之飞行员。

来自于雷达监视的咨询信息包括下面的信息：

1. 过五边进近向台定位点（非精密进近）或过外指点标或代替向台外指点标（精密进近）的外定位点。
2. 将提供有关于高度和/或方位雷达位置和运动的趋势咨询。
3. 如果在复述了咨询后，飞机出了 **PAR** 安全限制或如果观察到方位偏离，飞行员将被告之执行复飞，除非在地面上建立了规定的目视参考。

进近结束后，雷达服务自动地终止。『图 11-11』

TROY, ALABAMA

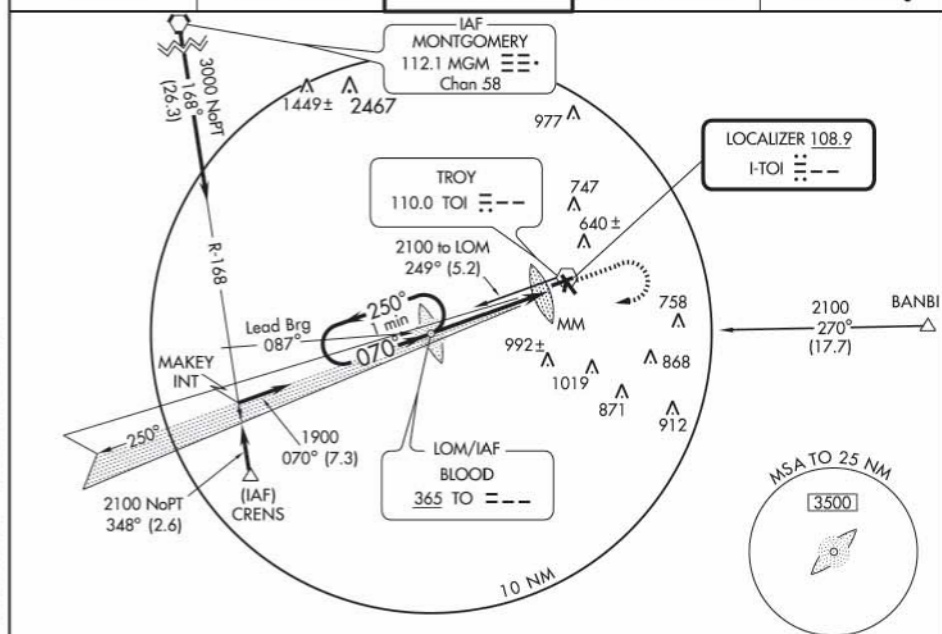
AL-5720 (FAA)

LOC I-TOI <b>108.9</b>	APP CRS <b>070°</b>	Rwy Idg <b>5009</b>
		TDZE <b>392</b>
		Apt Elev <b>397</b>

# ILS RWY 7 TROY MUNI (TOI)

When local altimeter setting not received use Montgomery altimeter setting. ASR/PAR ADF REQUIRED	MISSED APPROACH: Climb to 1200 then climbing right turn to 2100 direct BLOOD LOM and hold.
---	--

ATIS <b>120.925</b>	CAIRNS APP CON* <b>121.1 319.25</b>	TROY TOWER <b>124.3 306.9</b>	GND CON <b>121.9 263.125</b>	UNICOM <b>122.8 (CTAF) 0</b>
------------------------	--	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------



One Minute Holding Pattern 2100 ← 250° 070° → GS 2.90° TCH 51 1900 LOM 1882 4.1 NM 0.5 NM MM TO 365 ELEV 397 486 ± 408 ± 471 443 ± 0.6% Up 5009 X 100 5022 X 100 070° 4.6 NM from FAF MIRL Rwy 14-32 and 7-25 0 FAF to MAP 4.6 NM Knots 60 90 120 150 180 Min:Sec 4:36 3:04 2:18 1:50 1:32			
CATEGORY	A	B	C
S-ILS 7	642-3/4	250 (300-3/4)	
S-LOC 7	880-1 488 (500-1)	880-1 1/4 488 (500-1 1/4)	880-1 1/2 488 (500-1 1/2)
CIRCLING	940-1 543 (600-1)	960-1 1/2 563 (600-1 1/2)	980-2 583 (600-2)
MONTGOMERY ALTIMETER SETTING MINIMUMS			
S-ILS 7	781-1 1/2	389 (400-1 1/2)	
S-LOC 7	1020-1 628 (700-1)	1020-1 3/4 628 (700-1 3/4)	1020-2 628 (700-2)
CIRCLING	1080-1 683 (700-1)	1100-2 703 (800-2)	1120-2 1/4 723 (800-2 1/4)

TROY, ALABAMA  
Amdt 7B 06159

31° 52'N-86° 01'W

TROY MUNI (TOI)  
ILS RWY 7

SE-4, 23 NOV 2006 to 21 DEC 2006

SE-4, 23 NOV 2006 to 21 DEC 2006

图 11-11 ILS RWY 7 Troy, AL.

### 1.8.5 从等待定位点的计时进近

当许多飞机正在等进近许可指令时，要进行一个从等待定位点的计时进近。虽然管制员没有特别地说明“计时进近正在进行中，”，但是计时离开向台 **FAF**（非精密进近），或外指点标或代替向台外指点标的定位点（精密进近）指示着正在使用计时进近程序。

由于代替了等待，管制员可能使用雷达引导飞机至五边进近航道以建立飞机之间的间隔，确保了 **FAF** 和外指点标或用于代替外指点标和机场之间适当的时间次序。将提供给每个在进近排序中的飞行员应该离开进近等待点飞至机场的时间。当收到离开等待点的时间时，飞行员应该调整飞行路径尽可能接近指定时间来离开定位点。

当遇到下来情况时，可能要执行计时进近。

1. 机场有塔台工作，并且有多个进近正在执行。
2. 保持飞行员和中心或进近管制之间的直接通讯直到通知飞行员联系塔台。
3. 如果有不止一个的复飞程序可用，没有一个要求反航道程序。
4. 如果只有一个复飞程序可用，遇到下列情况：
  - a) 未要求反航道程序；和
  - b) 报告的云底高和能见度等于或大于 **IAP** 规定的最高盘旋最低标准。
5. 当允许进近时，飞行员不应该执行程序转弯。

### 1.8.6 进近向平行跑道

程序允许 **ILS** 仪表进近至两条或三条平行跑道。平行进近是一个 **ATC** 程序，可允许平行 **ILS** 进近至有两条中心线至少间隔 **2500** 英尺跑道的机场。当正在进行平行进近时，飞行员将被告之可以进近至两条跑道。

对于下面的跑道可允许同时进近：

1. 跑道中心线之间间隔从 **4300** 到 **9000** 英尺之间；
2. 配有五边监控管制员；
3. 要求雷达监控以确保飞机和临近平行进近航道之间的间隔。

进近程序图包括注释“允许跑道 **14L** 和 **14R** 同时进近”来辨认相应跑道。当被告之同步平行进近正在进行中时，飞行员必须立即通知进近管制故障或不工作的组件。

平行进近操作要求飞行员提高处境意识。与临近正在执行同时平行进近的飞机的接近程度要求严格遵守所有的 **ATC** 指令和进近程序。飞行员应该特别注意下面的进近图信息：进近的名称和编号、航向道频率、向台航道、下滑道截获高度、**DA/DH**、复飞说明、特别注释/程序和指定的跑道位置与与临近跑道的接近程度。飞行员也需要进行严格的无线电训练，包括持续监控通讯和避免长时间、不必要地无线电通话。

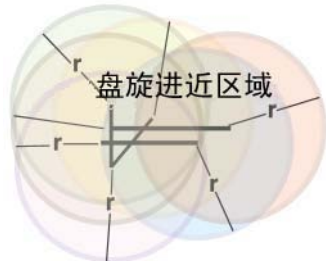
### 1.8.7 平行进近机动

**ATC** 可能允许平行进近机动至两条间隔小于等于 **1200** 英尺的平行跑道中的任一跑道并在随后的临近跑道上进行直接进近着陆。允许正在进行平行进近机动的飞机进行规定的非精密进近并在临近平行跑道上着陆。例如，“允许 **ILS** 左 **7** 跑道进近，机动至右 **7** 跑道。”只要跑道或跑道环境可见时，飞行员可以开始平行进近机动。临近跑道的着陆最低标准将基于非精密标准，因此高于原来跑道的精密最低标准，但一般地低于公布的盘旋最低标准。

### 1.8.8 盘旋进近

当有必要在机场上空盘旋、机动着陆时，或当进近图上规定没

进近类别	半径（英里）
Class A	1.3
Class B	1.5
Class C	1.7
Class D	2.3
Class E	4.5



在制定进近区域大小时，半径随着进近类别不同而变化

图 11-12 盘旋进近区域

有直接进近最低标准时，应用列于进近图“盘旋”下的着陆最低标准。『图 11-12』

公布在仪表进近图上的盘旋最低标准规定在盘旋区域上最小越障高度为 300 英尺。『图 10-28』在盘旋进近期间，飞行员应该保持目视所要着陆的跑道并且不要低于盘旋最低标准飞行直到到达进行五边下降着陆的位置。重要的是要记住盘旋最低标准是唯一的最低标准。如果云底高允许，接近 VFR 起落航线高度飞行。这使得机动更安全并使得着陆跑道视景更标准。

『图 11-13』显示了可用于盘旋进近的着陆航线。当五边进近航道以小于 90°的角度相交跑道中心线并且能够很早期地见跑道建立了四边航段时，可以飞着陆航线“A”。

如果见跑道太晚而不能飞着陆航线“A”，如图“B”所示盘旋。如果向相反方向着陆并且转向三边时可见跑道，飞着陆航段“C”。

如果转向三边见跑道太迟，飞着陆航线“D”。不管飞哪个着陆航线，飞行员必须操纵飞机保持在指定的盘旋区域内。参见每个 TPP 前 A 节（“术语及着

陆最小数据”）盘旋进近类型说明。

要确定飞哪个着陆航线的准则基于个人飞行的能力和对飞机性能特点的了解。每种情况下，飞行员必须考虑所有的因素：机场的设计、云底高和能见度、风向和风速、对准五边进近航道、五边进近定位点到跑道的距离和 ATC 指令。

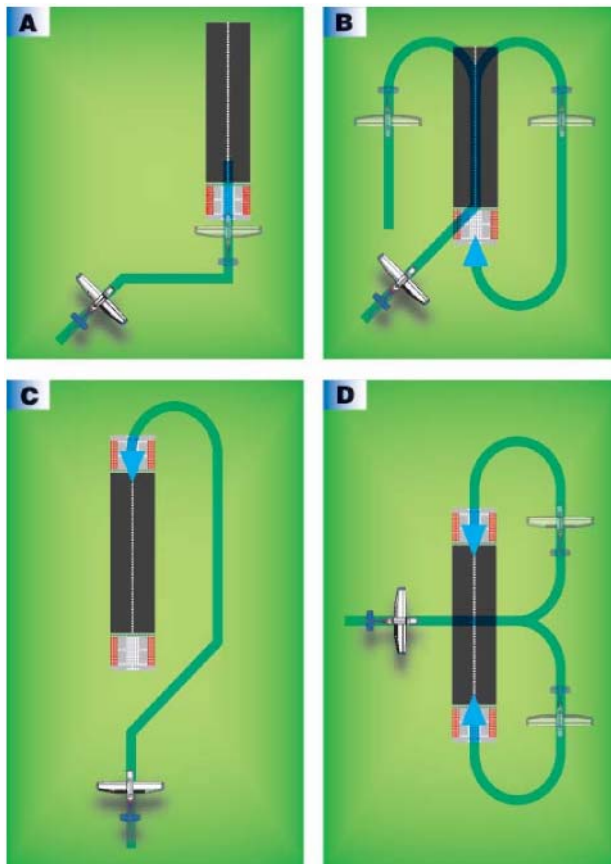


图 11-13 盘旋进近。

### 1.8.9 IAP 最小

飞行员不能在任何机场操纵飞机低于批准的 MDA 或继续进近低于批准的 DA/DH，除非：

1. 飞机连续的位置使得运用正常机动以正常的下降率下降着陆至预计跑道。
2. 飞行能见度不低于使用的进近程序规定的能见度；和
3. 飞行员至少可见下面的预计跑道目视参考的一个：
  - a) 进近灯光系统
  - b) 跑道入口
  - c) 跑道入口标志
  - d) 跑道入口灯
  - e) 跑道头标志灯（REIL）
  - f) 目视进近坡度指示器（VASI）
  - g) 接地区或接地区标志
  - h) 接地区域灯

- i) 跑道或跑道标志
- j) 跑道灯

### 1.8.10 复飞

每个公布的仪表进近都有明确的复飞程序,使得飞行员飞过障碍物的同时回到航路程序上。程序以文本和图标的方式显示在进近图上。因为当驾驶舱工作量极大时执行复飞,所以在开始进近之前应该学会并掌握复飞。

当开始复飞程序时,在调定爬升功率的同时应该建立爬升俯仰姿态。调整飞机爬升、转向相应的航向、通知 **ATC** 正在执行复飞和请求进一步的许可指令。

如果在到达复飞点 (**MAP**) 之前开始复飞,除非 **ATC** 另外许可,继续按照进近图上规定的 **IAP** 飞行。在开始转弯之前,飞到在或高于 **MDA/DA/DH** 的 **MAP**。

如果在仪表进近中盘旋着陆的时候丢失目视参考,执行相应的复飞程序。向着陆跑道进行初始爬升转弯,然后切入复飞航道并延着复飞航道飞行。

飞行员应该立即执行复飞程序:

1. 当飞机低于 **MDA** 或到达 **MAP** 并之后直到接地的任何时间,无论何时低于 **DA/DH** 或 **MDA** 飞行不符合要求。
2. 在或高于 **MDA** 盘旋机动期间,无论何时飞行员不可见跑道及跑道环境;或
3. 当 **ATC** 指令时。

### 1.8.11 着陆

根据 91 部,当飞行能见度小于使用的标准 **IAP** 规定的能见度时,飞行员不能着陆。**ATC** 将提供给飞行员相应于正使用跑道的当前能见度报告。能见度可能是以主导能见度、跑道目视值 (**RVV**) 或跑道视程 (**RVR**) 的形式来表示的。然而,只有飞行员能确定飞行能见度是否符合进近图上指示的着陆要求。如果飞行能见度符合进近规定的最低标准,可能继续进近着陆。如果飞行能见度小于进近规定的能见度,飞行员不管报告的能见度,必须执行复飞。

公布在 **IAP** 图上的着陆最低标准基于所有与正在使用的仪表进近图相关的部件或目视助航设施完全工作。较高的最低标准对应部件或目视助航设施不工作。例如,如果 **ALSF-1** 进近灯光系统不工作,**ILS** 的能见度最低标准可能会增加四分之一英里。

如果不止一个部件不工作,每个最低标准升到任何单组件不工作需要的最高的最低标准。和航向道最低标准一样,**ILS** 下滑道不工作的最低标准公布在仪表进近图上。查阅“不工作部件或目视助航设施表”(印在每个 **TPP** 的内封面上)上不工作部件对进近最低标准影响的全部说明。

## 1.9 仪表气象飞行

---

### 1.9.1 飞行经验

飞行员越经历 **VFR** 和 **IFR** 飞行,就越熟练。通过在高密度飞机活动的航站区域飞行来增长 **VFR** 经验。这类飞行使得飞行员提供在飞机操纵、导航、通讯和其它驾驶舱职责之间分配注意力的技能。通过夜航可以增长 **IFR** 的经验,也可以有助于提高对仪表的熟练度和增强自信心。在从夜晚无云、月光照耀的晴空下飞行到夜晚无月光、自然天地线或熟悉的地标晴空下飞行的进展教会了飞行员相信飞机仪表,而最小程度地依赖飞机外部的目视参考。由飞行员自己决定执行 **IFR** 飞行或等待更加能接受的气象条件。

### 1.9.1.1 近期经历

仪表飞行员的近期经历是一件同等重要的事情。只有他或她符合了 91 部，他们才可以在 IFR 或小于 VFR 最低标准的气象条件下作为责任机长。记住，这些是最低的要求。

### 1.9.1.2 机上设备和地面设施

规章规定了申请 IFR 飞行计划的最低设备要求。由飞行员来负责确定计划的 IFR 飞行的飞机和导航/通讯 (NAV/COM) 设备适合性。性能极限、附件和设备的大体情况与天气、航路、高度和飞行及驾驶舱工作量有关的地面设施有直接关系。

## 1.9.2 气象条件

除了气象条件可能影响 VFR 飞行之外，IFR 飞行员必须考虑其它的天气现象的影响（例如，雷暴、颠簸、结冰和能见度）。

### 1.9.2.1 颠簸

飞行中颠簸可从偶然的轻度颠簸到引起空速和高度极度偏离而使得飞机操纵困难的重度颠簸。要减小与颠簸有关的危险因素，飞行员必须学习避开颠簸的方法，还有处理无意间遇到颠簸的操纵技术。

避开颠簸从飞行前全面的气象情况介绍开始。有许多的报告和天气预报可用来帮助飞行员确定有潜在颠簸的区域。这些包括严重气象警告 (WW)、SIGMET (WS)、传送性的 SIGMET (WST)、AIRMET (WA)、严重气象预报 (AC)、中心气象咨询 (CWA)、区域气象预报 (FA) 和飞行员报告 (UA 或 PIREPs)。因为雷暴常常预示着颠簸，所以飞行员要经常注意已知区域和气象预报的雷暴活动。另外地，与急流有关的晴空颠簸 (CAT)、陡峭地区上的强风和快速移动的冷锋是颠簸很好的指示方式。

飞行员应该警惕飞行中的颠簸迹象。例如，垂直发展的云，例如积云、塔状积云和积雨云预示着大气不稳定及可能存在的颠簸。不动的荚状云缺少垂直运动但预示着强烈的山波颠簸。航路中，飞行员可以监控飞行中危险气象咨询服务 (HIWAS) 广播得到最新的气象咨询，或联系最近的 AFSS 或航路中飞行咨询服务 (EFAS) 得到最近有关颠簸的 PIREP。

要避免与强雷暴有关的颠簸，以至少 20 英里的间隔绕开雷暴单体。颠簸也可能出现在雷暴上方的晴空。要避免颠簸，雷暴顶部的风每增加 10 节，就要高于雷暴顶部至少 1000 英尺，或绕开雷暴。最后，不要低估雷暴下面的颠簸。不要尝试在雷暴下面飞行。雷暴下面的颠簸和风切变引起的结果可能是灾难性的。

当遇到重度至严重颠簸时，难于操纵飞机，要求集中精神保持仪表扫视。『图 11-14』飞行员应该立即减小功率及减缓飞机的速度至 POH/AFM 上推荐的颠簸穿越速度。要使飞机上的载荷最小化，应该保持机翼水平并且应该保持飞机的俯仰姿态恒定不变。允许飞机上下波动，因为机动飞机保持恒定的高度只会增加飞机受力。如必要，飞行员应该将波动告诉 ATC 并请求一个高度范围许可。例外地，应该保持功率在一个调定上不变，该调定上将保持推荐的颠簸穿越空速。



图 11-14 在严重颠簸中进行仪表扫视较困难。

有关颠簸的位置和强度最好的信息源是 **PIREP**。因此，鼓励飞行员熟悉 **AIM** 上的颠簸报告标准，**AIM** 也记述了有关颠簸的义务 **PIREP** 程序。

#### 1.9.2.2 结构结冰

在仪表气象条件下飞行真正的自然状况意味着在可见水汽例如云中飞行。在合适的温度上，这些水汽会冻在飞机上，造成飞机重量增加、性能降低及无法预测的空气动力特性。理解、避开并及早识别紧接着迅速地动作是避开潜在危险情况的关键。

结构积冰指在飞机的外部积冰，划分为三类：雾凇、明冰和毛冰。对于冰的形成，必须是空气中有水汽并且空气必须冷却到 0 摄氏度（32 华氏度）及以下的温度。空气动力冷却可使机翼表面的温度降低并在机体上形成冰，甚至在周围温度稍微高于冰点也会结冰。

当小水滴并且当接触飞机表面时立即冻住，形成雾凇。这类的冰通常在机翼或吊架的前缘区域形成。外表有些粗糙并且为奶白色。

明冰通常由可在飞机表面上铺开的大些的水滴或冻雨形成。这是最危险的一种冰，因为它是透明的，很难发现，并且它会改变机翼的形状。

毛冰是明冰和雾凇的混合物。它有两类冰的危害共同特性，并能迅速形成。冰粒裹在明冰里面，形成非常粗糙的积冰。『图 11-15』中的表格列出了各种冰形成的温度。

外界大气温度范围	结冰类型
0°C至-10°C	明冰
-10°C至-15°C	明冰和雾凇
-15°C至-20°C	雾凇

图 11-15 冰形成的温度范围。

结构结冰的情况只能越来越严重。因此，无意间遇到结冰，重要的是飞行员要采取措施阻止结冰。不管飞机的防冰或除冰保护程度，首先的措施应该是离开可见水汽区域。

这可能意味着下降至一个低于云底的高度、爬升至一个高于云顶的高度或转弯至一个不同的航线。如果这不可能的话，飞行员必须飞到一个高于冰点温度的高度。飞行员应该报告结冰情况给 ATC，如果结冰构成危害的话，请求一个新航路或高度。参阅 AIM 上有关报告结冰强度的信息。

1.9.2.3 雾

仪表飞行员必须认识到预期雾形成前的条件并在飞行过程中及早采取相应的措施。飞行前，密切查看当前和预报的气象天气应该能提醒飞行员雾形成的可能性。当必须考虑雾时，飞行员应该计划足够的储备燃油和备降机场。航路中，通过 EFAS、ATIS、和 ASOS/AWOS 站的更新气象信息，飞行员必须对雾的形成保持警惕。

两种条件将导致雾的形成。或者空气冷却至饱和或充足的水汽加入到空气中直到饱和出现。在任一情况中，当气温/露点差等于或小于 5°时雾会形成。计划到达一个有薄雾并且气温正在下降的目的地机场的飞行员应该特别地注意雾形成的可能性。

1.9.2.4 火山灰

火山爆发形成含有磨屑的火山灰云，严重威胁飞行操作安全。当离火山爆发有段距离遇到火山灰云时，这些火山灰云比起一般的云不容易辨认。当飞机进入火山灰云时，客舱中的尘粒和烟可能比较明显，经常伴有电气着火的气味。在火山灰云内部，飞机的风挡玻璃上也可能遇到闪电和 St.Elmo 火。火山灰的研磨特性会擦伤风挡玻璃，从而降低或消除前面的能见度。全静压系统可能堵塞，引起仪表失效。活塞及喷气动力的飞机都可能遇到严重的发动机损坏。

为避开火山灰，必须采取所有的努力措施。因为火山灰云随风运动，所以飞行员应该计划飞在产生灰的火山的上风面。目视探测及机载雷达不是避开火山灰云的可靠办法。飞行员目击到火山爆发或遇到火山灰云应该立即以飞行员报告的方式发布该信息。国家气象服务监控火山爆发并预测火山灰的传播路线。这些信息以 SIGMET 的方式再传给飞行员。

至于对飞行造成的许多其它危害，有关火山的最好信息源来自 PIREP。

目击到火山播发或飞行中遇到火山灰的飞行员应该立即通知最近的电台。火山灰移动和扩散预报图也可用；这些图描绘了火山爆发后大气中火山灰云的位置，也以 6 小时和 12 小时为间隔预报了火山灰集中区的扩散情况。。

1.9.2.5 雷暴

雷暴集所有已知的对航空造成危害的气象活动于一体。颠簸、冰雹、雨、雪、闪电、持

续的上升气流及下降气流和积冰条件都会出现在雷暴中。不要对着接近的雷暴起飞或对于没有装备雷暴探测装置的飞机，不要在云中或在有可疑雷暴活动的区域飞夜航。『图 11-16』

雷暴的外观与它内部的颠簸或冰雹的严重性或量没有有效的相互关系。所有的雷暴都被认为是有危害性的，对于顶部高于 35000 英尺的雷暴，应该认为是有极度危害性的。

机载或陆地的气象雷达通常会反映出区域中到大的降水（雷达不能探测颠簸）。颠簸的频率和严重性通常随着雷达反射率增大而增加，而雷达的反射率与区域中暴雨液态水的含量紧密相关。穿越以 20 至 30 英里或更小分开的强或特强雷达回波区域的飞行路径上可能认为有严重颠簸。

当在温度为-5 摄氏度和+5 摄氏度之间的高度飞行时，飞机遭受电击的可能性最大。另外地，飞机在雷暴附近的晴空飞行也易受电击影响。始终要避开雷暴。



图 11-16 雷暴集所有已知的对航空造成危害的气象活动于一体。

#### 1.9.2.6 风切变

风切变可以定义为在短距离，风速和/或风向改变。在水平或垂直方向上都可以存在风切变，偶尔地两个方向上也有风切变。在大气的所有高度上都会出现风切变，但起飞和着陆期间影响最大。风切变一般与雷暴和低空温度倒置有关；然而，急流和气象锋也会产生风切变。

如『图 11-17』所示，飞机在进行仪表进近时，风切变使得尾风变为顶风造成空速增加，机头上仰并且相应地高度迅速增加高于下滑道。从顶风变为尾风的风切变有相反的结果，使得飞机下沉低于下滑道。

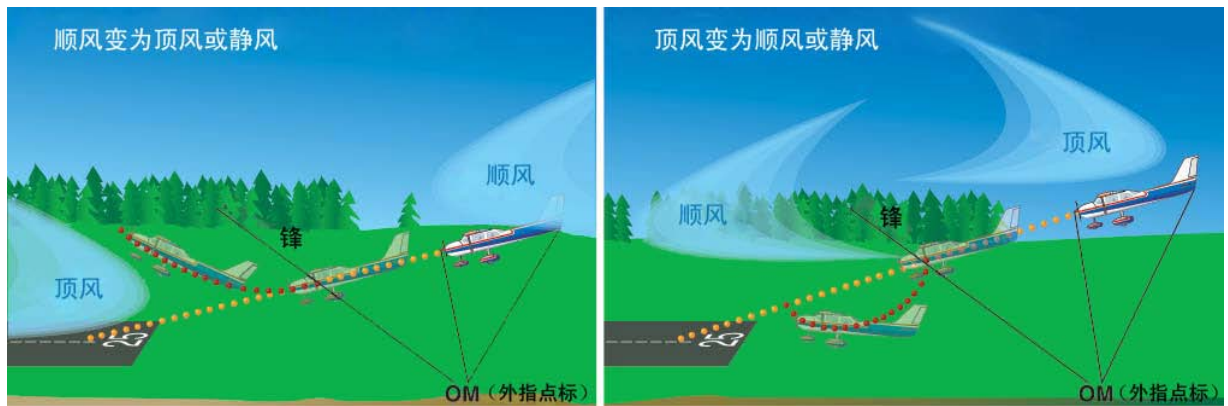


图 11-17 由于遭遇风切变而偏离下滑道。

顶风后紧接着尾风/下降气流的风切变是特别危险的，因为对于顶风风切变飞行员已经减小了功率并压低了机头。当尾风风切变出现时，这使得飞机处于一个低机头、低功率的形态中，使得改出难度加大，特别接近地面时。这类风切变情形很可能在对着即将来临的雷暴进近时发生。飞行员应该在进近早期警惕风切变的迹象并在第一次出现风切变指示时准备好复飞。在低空遇到风切变改出是不可能的。

通知飞行员危害性的风切变活动，一些机场已安装了低空风切变警报系统（LLWAS），它由机场中心风指示器及许多周围边界风指示器组成。

该系统警示管制员有关风的差异（指示可能的风切变），管制员将这些信息提供给飞行员。典型的一个发布的风切变警报：

“27 跑道进场，风切变警报，3 英里五边减小 20 节，跑道入口风 200/±15”

简单的来说，管制员正在通知向 27 跑道进近的飞机在大约 3 英里处，他们预计会遇到风切变，使得空速减小 20 节并可能遇到颠簸。另外地，报告的 27 跑道机场地面风为 200°、15 节。

鼓励遇到风切变的飞行员发布飞行员报告。参见 AIM 上有关风切变 PIREP 的其它信息。

### 1.9.3 VFR-On-Top

按照 IFR 飞行计划在 VFR 气象条件下飞行的飞行员可以请求 VFR-On-Top 来代替指定的高度。这允许飞行员自己来选择（服从任何的 ATC 限制）一个高度或飞行高度层。

想要爬升穿越云、薄雾、烟或其它气象构成的飞行员要么取消 IFR 飞行计划，要么请求爬升进行 VFR-On-Top。ATC 的许可指令会包含一个云顶报告（或说明没有可用的云顶报告）及要求到达 VFR-On-Top 高度时报告。另外地，如果没有达到规定的 VFR-On-Top 高度，ATC 指令可能包含一个许可限制、航路和选择性的指令。

按照 IFR 飞行计划飞行的飞行员，如果在 VFR 条件下飞行，可能请求在 VFR 条件的爬升/下降。当在 VFR 条件下飞行，并且 ATC 让“保持云上目视/保持 VFR 条件”时，飞 IFR 飞行计划的飞行员必须：

1. 在规定的合适的 VFR 高度上飞行。
2. 遵守 CCAR-91 部上规定的 VFR 能见度及离云距离标准。
3. 遵守适合于飞行的仪表飞行规则（最小 IFR 高度、位置报告、无线电通讯、所飞航线、遵守 ATC 许可指令等等）。

遵照云上目视指令飞行的飞行员应该在高度改变之前通知 ATC 以确保交换准确的交通

信息。

ATC 让飞行员“保持 VFR-On-Top”不是要限制飞行员只在模糊的气象构成(层)上方飞行。而是允许在层的上方、下方、层的中间或在没有气象妨碍的区域飞行。飞行员必须明白，让在“让在云上目视/VFR 条件”的飞行员不是意味着取消 IFR 飞行计划。

云上目视/VFR 条件下飞行的飞行员可能从 ATC 那里接收到其它的有关 IFR 或 VFR 飞机的交通信息。然而，当在 VFR 气象条件下飞行时，飞行员要负责警惕观察并避开其它飞机。

这个指令必须由执行 IFR 飞行计划的飞行员请求。在某些区域，比如 A 类空域不允许 VFR-On-Top。因此，在 VFR-On-Top 的 IFR 飞行必须避开这些空域。

#### 1.9.4 VFR Over-The-Top

不能混淆 VFR Over-The-Top 与 VFR-On-Top。VFR-On-Top 是一个 IFR 指令允许飞行员飞 VFR 高度。VFR Over-The-Top 是一个严格的 VFR 飞行，VFR Over-The-Top 时，飞行员保持 VFR 离云距离要求，同时在阴天云层的顶部飞行。当离场机场与目的地机场报告晴天，但是在两机场之间出现阴天云层时，这种情况可能会出现。飞行员可能执行一个 VFR 离场，在 VFR 条件下在阴天云层上飞行，然后进行 VFR 下降并在目的地机场着陆。始终要保持 VFR 离云距离要求，飞行中的任何阶段，可能不需要 IFR 许可指令。

### 1.10 IFR 飞行

---

为了举例说明了本章介绍的一些概念，『图 11-18』给出了一个典型的 IFR 飞行：从阿拉巴马的伯明翰国际机场（BHM）到密西西比的格尔夫波特-比洛克西国际机场（GPT）。这次飞行，所飞塞斯纳 182 的呼叫号是 N1230A。该飞机装备有两部导航与通讯无线电、一个应答机和一个批准用于 IFR 航路中、航站与进近飞行的 GPS 系统。

#### 1.10.1 飞行前

飞行的成功很大方面取决于完美的飞行前计划。飞行前的晚上，密切关注气象预报并开始飞行计划。

气象信息指示出在中西部地区有大范围的低压系统，从墨西哥湾带来水汽，引起云及低能见度，以后几天几乎不会改善。开始飞行计划，要收集所有必要的航图和材料，并核实资料都是最新的。包括航图、进近图、DP、STAR 图、GPS 数据库、还有 A/FD、一些导航记录 and 飞机的 POH/AFM。如果飞行不能完全按照计划执行的话，离场、目的地机场及任何可能需要的机场的航图都要准备好。飞行前飞行员也要考虑执行这次飞行的近期飞行经历、飞行熟练程度、健康程度和个人的气象最低标准。

检查 A/FD，熟悉离场及目的地机场并检查 BHM 与 GPT 之间任何首选航路。接下来，重温适合于该次飞行的进近图及任何的 DP 或 STAR。最终，重温航路上可能的航路，密切关注航路最低高度及越障高度。

重温后，选择最好的飞行途径。对于该次飞行，伯明翰 3 离场『图 10-18』至布鲁克伍德 VOR、V209 至基威诺 VOR、使用 GPS 直飞格尔夫波特将是一个合理的航路。4000 英尺的高度符合所有的规章要求并完全在飞机的性能能力之内。

接下来，获得计划飞行的简要气象预报。这提供了离场及目的地机场的气象条件，还有飞行航路中高空的预报风。飞行前也是个检查可用 NOTAM 的好时机。

气象简报员确认在 BHM 和 GPT, 计划离场时间时, 气象信息渠道给出的气象预报条件在或接近最低着陆标准。简报员提供 GPT 的 NOTAM 信息, 指示出进一步通知前, 32 跑道的航向道计划停止服务并且 18/36 跑道封闭。也检查沿着计划航路的临时飞行限制 (TFR)。

当接收到气象简报之后, 继续做飞行计划并开始将一些初步的信息转入到导航记录上, 列出沿着航路的每个定位点及距离、频率和高度。把这些信息合并到一个有序的导航记录里面, 使得飞行中的工作量保持最小。

接下来, 联机获得计划航路的标准气象简报。检查当前的条件指示出离场机场和目的地机场的 IFR 条件差并且能见度为四分之一英里:

地面气象观察

METAR KBHM 111 155Z VRB04KT 1/4 SM FG -RA VV004 06/05 A2994 RMK A02 SLP140

METAR KGPT 111 156Z 24003KT 1/4 SM FG OVC001 08/07 A2962 RMK A02 SLP033

温度/露点差较小造成了低能见度及低云底高。随着气温增加, 当天以后条件会改善。检查航站气象预报证实了该推测:

航站气象预报

TAF KBHM 111156Z 111212 VRB04KT 1/4 SM FG VV004 TEMPO1316 3/4 SM OVC004

FM1600 VRB05KT 2SM BR OVC007 TEMPO 1720 3SM DZ BKN009

FM0800 23013KT P6SM BKN030 PROB40 1012 2SM BR OVC030

TAF KGPT 111153Z 111212 24004KT 1/4 SM FG OVC001 BECMG 1317 3SM BR OVC004

FM 1700 240 10KT 4SM -RA OVC006 FM0400 24010 5SM SCT080 TEMPO 0612 P6SM SKC

除航站气象预报外, 区域气象预报也指示出沿着航路的天气会逐渐改善。因为航站气象预报只提供航站周围 5 英里半径的气象信息, 所以检查区域气象预报可以更好地理解沿着航路的整个气象情况, 还有潜在的危险:

LA MS CSTL WTRS

CIG OVC001 - OVC006. TOPS TO FL240. VIS 1/4-3/4 SM FG. SWLY WND. 16Z CIG OVC010 VIS 2 SM BR. OCNL VIS 3-5SM -RN BR OVC009. OTLK... MVFR CIG VIS.

FL

CIG BKN020 TOPS TO FL180. VIS 1-3 SM BR. SWLY WND. 18Z BRK030. OTLK... MVFR CIG.

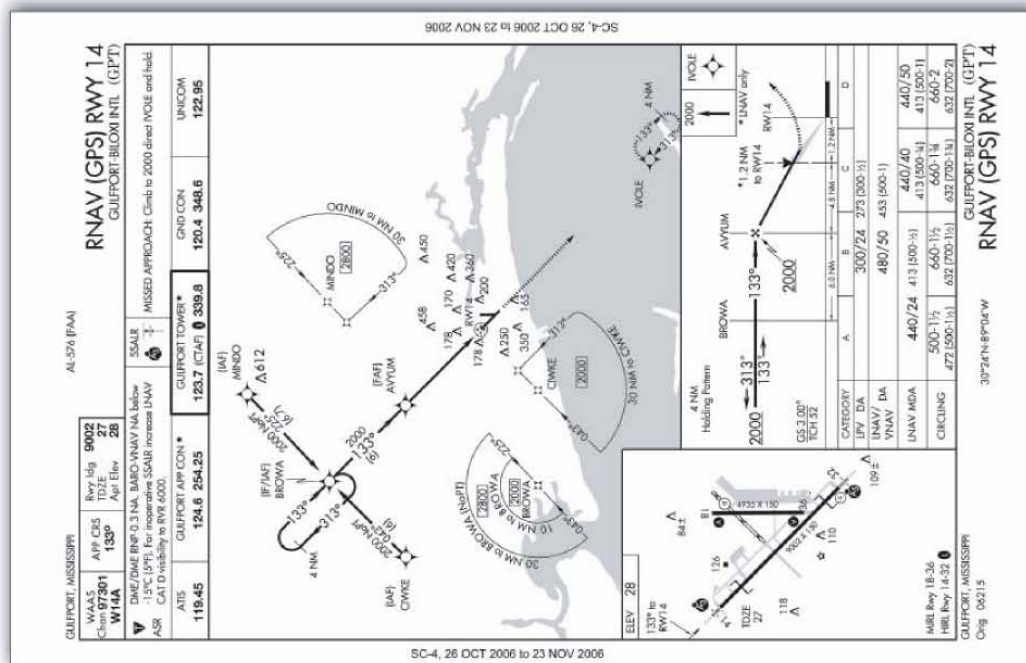
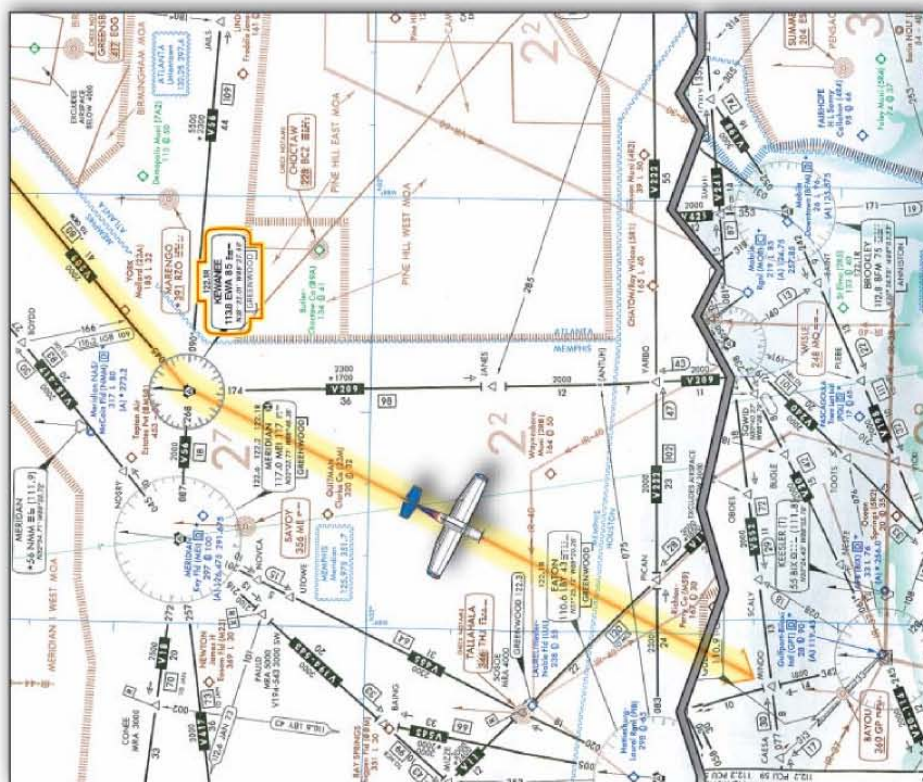


图 11-18 航线计划

这时，没有报告的 SIGMET 或 PIREP。。然而，会有若干的 AIRMET，一个是有关 IFR 条件的，一个有关于整个航路上颠簸的，另一个是有关航路北部区域有结冰区的：

Figure 10-18. Route Planning.

WAUS44 KPCI 111150

DFWS WA 0111150

AIRMET SIERRA FOR IFR VALID UNTIL 111800 AIRMET IFR...OK TX LA AR MS  
AL FL

NON MSL HGHTS DENOTED BY AGL OR CIG.

重新检查格尔夫波特的 NOTAM 证实 32 跑道在进一步通知之前停止服务并且 18/36 跑道是封闭的。如果计划 6 跑道离场，证实符合离场的爬升限制。

GPT 12/006 GPT LOC OS UFN

GPT 12/008 GPT MIRL RWY 18/36 OS UFN

因为东部的天气很好，就当前条件和临界 VFR 气象预报来说，Pensacola 地方机场是一个不错的备降场。

METAR KPNS 111150Z 21010Z 3SM BKN014 OVC025 09/03 A2973

TAF KPNS 111152Z 111212 22010KT 3 SM BR OVC020 BECMG 1317 4 SM BR  
OVC025

FM1700 23010KT 4SM -RA OVC030

FM 0400 25014KT 5SM OVC050 TEMPO1612 P6SM OVC080

如果最低气象标准低于飞行员的个人最低标准，推迟离场等待天气条件改善是个不错的决定。这个时间可以用来完成导航记录，而这是计划 IFR 飞行的下个步骤。『图 11-19』

使用 POH/AFM 基于预报的高处温度和巡航压力高度计算真空速、巡航功率调定和油耗。也要计算重量与平衡信息并确定起飞和着陆距离。如果气象条件要求在 GPT 的 14 跑道上进行直接进近着陆，将会有侧风。因此，假设 10 节的侧风来计算着陆距离并确定跑道长度是否足够着陆。通过使用高空风预报及考虑 Pensacola 地方机场作为备降机场确定预计飞行时间和油耗。邮箱满的话，可以中途不停止而有足够的燃油及飞到目的地机场、备降机场和满足备用燃油的要求。

接下来，检查地面分析图，它显示了哪里能找到压力系统。气象描绘图显示了 IFR 条件的区域并且可以用来找出条件正在改善的区域。

这些图提供了当飞行员需要转到 VFR 条件飞行时需要的信息。对于该次飞行，雷达显示出了沿着航路的降水并且最新的卫星图像证实气象描绘图所显示的。

FLIGHT LOG							
TIME			DISTANCE	FUEL			
TAKE OFF	LANDING		TOTAL	REQUIRED		AVAILABLE	
1600 E			228	51 Gal		87 Gal	
ROUTE (Check Point)	IDENT FREQ	MAG CRSE	LEG REMAINING	ETE ATE	ETE ATE	ALTITUDE GND SPD	REMARKS
Brookwood	OKW	230	31	+16	16:16	4000	3 Gal
	111.0		197			120	
Kewanee	ENW	225	80	+40	16:56	4000	8 Gal
	113.8		117			120	
Mindo		195	110	+54	17:50	4000	12 Gal
			17			125	
Appr			17	+08	17:58		2 Gal
			0				
				118 1+58			
Rascagoula Regional	PNS	085	91	+35		3000	18 Gal
			0			158	

ATIS			
DEPARTURE		ARRIVAL	
INFORMATION		INFORMATION	
CEILING		CEILING	
VISIBILITY		VISIBILITY	
TEMP / DEWPOINT	/	TEMP / DEWPOINT	/
WINDS		WINDS	
ALTIMETER		ALTIMETER	
RWY IN USE		RWY IN USE	
REMARKS		REMARKS	

图 11-19 导航记录。

当完成导航记录时，完成飞行计划以准备向飞行服务机构申请。『图 11-20』

呼叫 AFSS 得到最新的气象简报，伯明翰国际机场目前的云底高为 700，总云量在 8/10 及以上，能见度为 3 英里，格尔夫波特-比洛克西目前云底高为 400，总云量在 8/10 及以上，能见度为 2 英里。Pensacola 地方机场作为备降场，继续报告有适合的气象条件，云底高为 2000，总云量在 8/10 及以上，小雨，能见度为 3 英里。

一些飞行员提交的报告表明有轻度结冰区；然而，所有的报告都在飞行航路的北部，这与早先发布的 AIRMET 一致。飞行员报告没有包含云顶高，但是区域天气预报预报的云顶高达到飞行高度层 240。因为气象条件表现出正在改善的趋势，所以通过使用已完成的表格申请飞行计划。

分析最新的最低气象以确定它们是否超过个人的最低气象标准。如果沿着航路没有报告

结冰的情况并且温度正在稳定上升，应该不会出现结构结冰。在飞行前要注意皮托加温的工作检查，使得在飞行中遇到轻度结冰区的话能立即采取防冰措施。这可能需要回到 **BHM** 或在到达 **GPT** 之前时在一个中间的机场着陆。在飞行期间，决定去/还是不去要立即进行重新评估。

Form Approved OMB No. 2120-0026

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION			(FAA USE ONLY) <input type="checkbox"/> PILOT BRIEFING <input type="checkbox"/> VNR		TIME STARTED		SPECIALIST INITIALS		
FLIGHT PLAN			<input type="checkbox"/> STOPOVER						
1. TYPE	2. AIRCRAFT IDENTIFICATION	3. AIRCRAFT TYPE/SPECIAL EQUIPMENT	4. TRUE AIRSPEED	5. DEPARTURE POINT	6. DEPARTURE TIME		7. CRUISING ALTITUDE		
<input checked="" type="checkbox"/> VFR <input type="checkbox"/> IFR <input type="checkbox"/> DVFR	<i>n/230a</i>	<i>C182/g</i>	<i>140</i> KTS	<i>BHM</i>	PROPOSED (Z)	ACTUAL (Z)	<i>4000</i>		
8. ROUTE OF FLIGHT									
<i>OKW V 209 EWA MINDO</i>									
9. DESTINATION (Name of airport and city)			10. EST. TIME ENROUTE		11. REMARKS				
<i>Gulfport, Biloxi</i>			HOURS	MINUTES					
			<i>1</i>	<i>58</i>					
12. FUEL ON BOARD		13. ALTERNATE AIRPORT(S)		14. PILOT'S NAME, ADDRESS & TELEPHONE NUMBER & AIRCRAFT HOME BASE			15. NUMBER ABOARD		
HOURS	MINUTES								
<i>04</i>	<i>20</i>	<i>PNS</i>		<i>James Jones, 841 Oak St. Gardendale, AL 205-555-6028</i>			<i>2</i>		
16. COLOR OF AIRCRAFT		17. DESTINATION CONTACT/TELEPHONE (OPTIONAL)							
<i>blue/white</i>									
CIVIL AIRCRAFT PILOTS: FAR Part 91 requires you file an IFR flight plan to operate under instrument flight rules in controlled airspace. Failure to file could result in a civil penalty not to exceed \$1,000 for each violation (Section 901 of the Federal Aviation Act of 1958, as amended). Filing of a VFR flight plan is recommended as a good operating practice. See also Part 99 for requirements concerning DVFR flight plans.									

FAA Form 7233-1 (8-82) CLOSE VFR FLIGHT PLAN WITH \_\_\_\_\_ FSS ON ARRIVAL

图 11-20 飞行计划表格。

一旦到达机场，进行彻底的飞行前检查。快速检查记录本使得飞 **IFR** 符合所有的适航要求，包括在前 **24** 个日历月内的高度表、静压和应答机测试。另外的，笔记本上的记录指示出在前 **30** 天内已经检查了 **VOR** 系统。

接通主电门及皮托加温，并且在加热元件过热之前，快速检查加热元件。然后，完成剩下的绕机检查程序。因为这将是个在实际 **IFR** 条件下的飞行，在绕机检查期间要特别注意 **IFR** 设备，包括交流发电机皮带及天线。在完成飞行前准备后，整理驾驶舱里的航图、铅笔、纸张和导航记录，使得能快速容易地够到。这时候也要把计划的飞行输入到 **GPS** 中。

### 1.10.2 离场

起动发动机后，调谐 **ATIS** 并将情报拷贝到导航记录上。气象条件仍然和最新的气象简报一样，云底高为 **700**，总云量在 **8/10** 及以上并且能见度为 **3** 英里。呼叫管制机构接收一个许可指令：

“许可发布机构，赛斯那 **1230A IFR** 至格尔夫波特比洛克西，情报 **K**，准备好记录。”

“赛斯那 **1230A** 允许至格尔夫波特-比洛克西，经过伯明翰 **3** 离场、布鲁克伍德、**Victor209** 基瓦尼，然后直飞 **Mindo**、格尔夫波特。爬升并保持 **4000**。应答机 **0321**。”

复述该指令并重温 **DP**。虽然指令中没有给出离场频率，但是注意 **DP** 上的频率，列出的南部离场管制频率是 **123.8**。因为计划要 **24** 跑道离场，所以要注意在转弯之前要爬升至 **2100** 的说明。在协调相应的频率及为离场路线设定了导航设备滞后，联系地面管制（注意这是 **IFR** 飞行）并接收以下指令：

“塞斯纳 1230A，经滑行道 M，滑行至跑道 24。”

复述该指令及飞机的呼叫号。在机场图上查看滑行说明之后，开始滑行并检查飞行仪表指示正确。

保持离开 24 跑道并完成起飞前检查单及发动机热机。当准备好起飞时，通知塔台。塔台会给出下面的指令：

“赛斯那 30A 允许起飞，24 跑道。注意离场飞向西北的 737 飞机的尾流。”

滑行至起飞位置。注意导航记录上的通话中止时间，核实航向指示器和磁罗盘一致，应答机在 ALT 位，打开所有必要的灯、设备和皮托加温装置。开始起飞滑跑。为了避开 737 的尾流，注意 737 的离地点使得在那点之前起飞。

### 1.10.3 航路中

离场后，直线爬升至伯明翰 3 离场规定的 2100。在继续爬升至指定的 4000 英尺高度的同时，从塔台接收到下面的指令：

“塞斯纳 30A，联系离场。”

回应该指令并按照 DP 指定的频率联系离场管制。说明当前的高度，所以离场管制员可以对着指示的高度检查编码高度：

“伯明翰离场，塞斯纳 1230A 爬升过 2700，航向 240。”

离场回复：

“赛斯那 30A 直飞至布鲁克伍德并恢复自主导航。在 134.05 联系亚特兰大中心。”

回应该指令，联系亚特兰大中心，使用 IFR 批准的 GPS 设备直飞布鲁克伍德 VOR。航路中至基瓦尼，VOR 亚特兰大中心发布下面的指令：

“赛斯那 1230A，在频率 125.975 上联系孟斐斯中心。”

回应该指令并使用飞机 ID 和当前高度联系孟斐斯中心。孟斐斯中心回应飞行员：

“赛斯那 1230A，高度表为 29.87。在你 2 点钟方向离你 6 英里有架 King Air 飞机正在从 5000 爬升至 12000。”

甚至于在执行 IFR 飞行计划时，观察并避开其它的飞机仍然是飞行员的责任。回应孟斐斯中心的呼叫并通知它们由于 IMC 原因未看到那架飞机。

“收到，高度表调定 29.87。赛斯那 1230A，IMC，未看到那架飞机。”

继续飞行，在每个定位点注意导航记录上的到达时间以监控飞行进展。

在目的地机场更新气象信息并发布飞行员报告，联系服务该区域的 FSS。找到最近的 AFSS，定位最近的 VOR 并检查 VOR 资料框上的频率。在这种情况下，最近的 VOR 是基瓦尼 VOR，它列出了一个格林伍德 FSS 的只接收频率 122.1。向孟斐斯请求改变频率，然后尝试在 122.1 上联系格林伍德，同时在频率 113.8 上听基瓦尼 VOR：

“格林伍德无线电，赛斯那 1230A 正在频率 113.8 上接收，请回复。”

“塞斯纳 30A，这是格林伍德，请讲。”

“格林伍德无线电，赛斯那 30A 目前在基瓦尼 VOR 南 30 英里，4000 英尺，在去格尔夫波特的途中。在 GPT 及 PNS 请求更新航路中条件及当前气象。”

“赛斯那 30A，格林伍德无线电，格尔夫波特的当前气象为：云底高 400，总云量在 8/10 及以上，能见度为 3 英里，小雨。风是 140/7，高度表为 29.86。航路上的天气大体上是小雨，云底高从 300 至 1000，总云量在 8/10 及以上，能见度在 1 英里及 3 英里之间。Pensacola 的天气要好很多，目前云底高为 2500，能见度为 6 英里。检查 GPT 当前的 NOTAM，得出航向道不在使用并且 18/36 跑道已封闭。

“收到，赛斯那 30A 抄下了气象信息。我有一个 PIREP，准备好抄写。”

“赛斯那 30A 请讲你的 PIREP。”

“赛斯那 30A，有一架赛斯那 182 位于基瓦尼 195°径向线的 30 英里处，平飞在 4000 英尺。我现在在 IMC 条件下飞行，感觉舒适。外界温度是零上 1 摄氏度。没有结冰情况。”

“赛斯那 30A，谢谢你的 PIREP。”

气象检查和 PIREP 完成后，回到孟斐斯中心：

“孟斐斯中心，赛斯那 1230A 回到了你的频率。”

“赛斯那 1230A，孟斐斯中心，收到，现在在频率 126.8 上联系休斯顿中心。”

“收到，联系休斯敦中心，频率 126.8，塞斯纳 1230A。”

“休斯顿中心，塞斯纳 1230A，4000 英尺平飞。”

“塞斯纳 30A，休斯敦中心，区域高度表 29.88。”

#### 1.10.4 进场

在格尔夫波特北部 40 英里处，在第二套通讯无线电上调谐 ATIS。报告指出气象未发生变化，并且 ATIS 广播生效的进近是 ILS14 跑道。

休斯顿中心完成转接交给格尔夫波特进近管制，指令让联系进近：

“格尔夫波特进近，塞斯纳 1230A，4000 英尺平飞，情报 T。请求 GPS14 跑道进近。”

“塞斯纳 30A，格尔夫波特进近，下降并保持 3000 英尺。”

“下降至 3000，塞斯纳 30A。”

开始下降至 3000 并设定你的导航无线电以开始进近。GPS 讲自动地从航路中模式转到航站模式。这个转变将影响 CDI 的灵敏度。

在第一套导航无线电上调谐 VOR 的频率 109.0，在 OBS 上设定五边进近航道为 133°。如果 GPS 没有信号时，这个设定可以增强飞行员的处境意识。

“赛斯那 30A，你离 MINDO 还有 7 英里，在 MINDO 之前保持 3000 英尺，允许 GPS14 跑道进近。”

复述该指令并集中精神驾驶飞机。在 MINDO，下降至进近图上绘出的 2000 英尺。在 BROWA，转向五边进近航道 133°。就在五边进近航路点（FAWP）AVYUM 外，GPS 将转到进近模式并且 CDI 将变得更加灵敏。格尔夫波特进近管制发布指令让联系格尔夫波特塔台：

“塞斯纳 30A，联系塔台 123.7。”“123.7，塞斯纳 30A。”

“塔台，赛斯那 1230A 在 AVYUM 外，GPS14 跑道。”

“赛斯那 30A 格尔夫波特塔台，现在云底高为 600，总云量在 8/10 及以上，能见度为 4 英里。”

“允许着陆，跑到 14，塞斯纳 30A。”

继续进近，完成相应的检查单，飞越 AVYUM 并开始五边下降。在 700 英尺 MSL，可能会目视见跑道。使飞机减速并调整飞机使得正常地下降进行着陆。当接地后，格尔夫波特塔台会进一步给出指令：

“塞斯纳 30A 在滑行道 B 左转弯，联系地面在 120.4。”

“收到，塞斯纳 30A。”

滑行脱离跑道并完成相应的检查单。塔台将自动地取消 IFR 飞行计划。