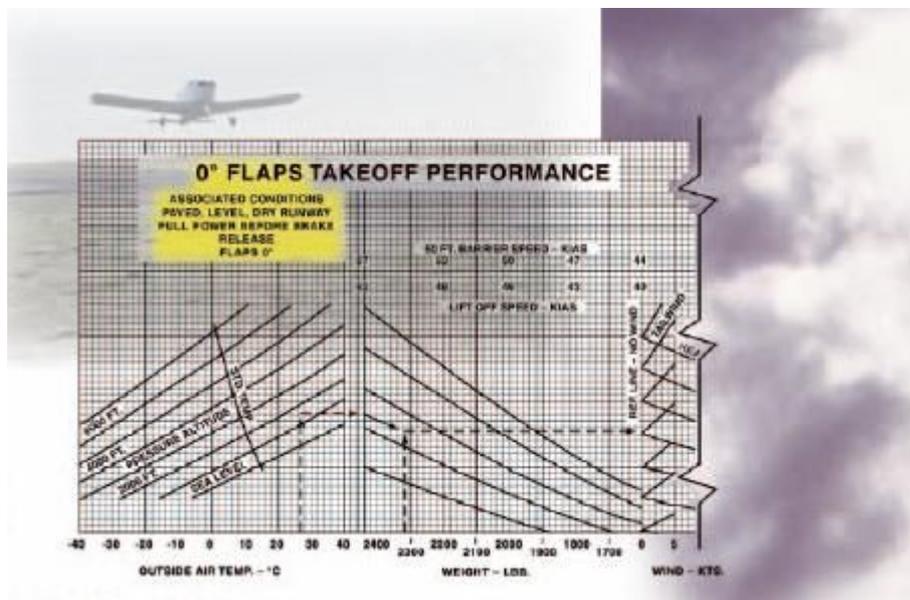


第九章 - 飞机性能



本章讨论那些影响飞机性能的因素，它包括飞机重量，大气状况，跑道环境，以及支配作用于飞机上力的基本物理定律。

性能数据的重要性

飞机飞行手册/飞行员操作手册 (AFM/POH) 的性能和运行信息一章包含了飞机的运行数据；即那些和起飞，爬升，航程，续航时间，下降和着陆有关的数据。为安全而有效的运行，在飞行运行中对这些数据的使用是必需的。通过学习这些材料可以获得飞机的深入了解和把握。

必须要强调的是在飞机飞行手册和飞行员操作手册中制造商提供的信息和数据是未标准化的。一些数据以表格形式提供，而另一些以图表的形式提供。另外，性能数据可以基于标准大气条件，压力高度或者密度高度来表示。如果用户不能理解在飞机飞行手册/飞行员操作手册中的性能信息并且做出必要的调整，那么这些数据就没多大价值或者就无用。

为了能够实际的使用飞机的性能和限制，理解运行数据的重要性是一个基础。飞行员必须能够对性能数据，以及在表示性能和限制时使用的很多术语的含义有基本的认知。

由于大气特性对性能有突出的影响，所以有必要回顾其中的一些主要因素-压力和温度。

大气组成

大气是包围着地球的空气层，并且依附在地球的表面。它和海洋或者陆地同样是地球的一个重大组成部分。然而，大气不同于陆地和水，因为它是气体的混合物。它有质量，重量和不确定的形状。

空气和其他任何流体一样，它可以流动，当受到瞬间的压力而由于缺少强的分子凝聚力，它就会改变它的形状。例如，气体可以完全充满它所处的任何容器，膨胀或者收缩来改变它的形状为容器的界限。

大气由 78% 的氮气，21% 的氧气和 1% 的其他气体如氩气或者氦气组成。大部分氧气包含在 35000 英尺高度以下。

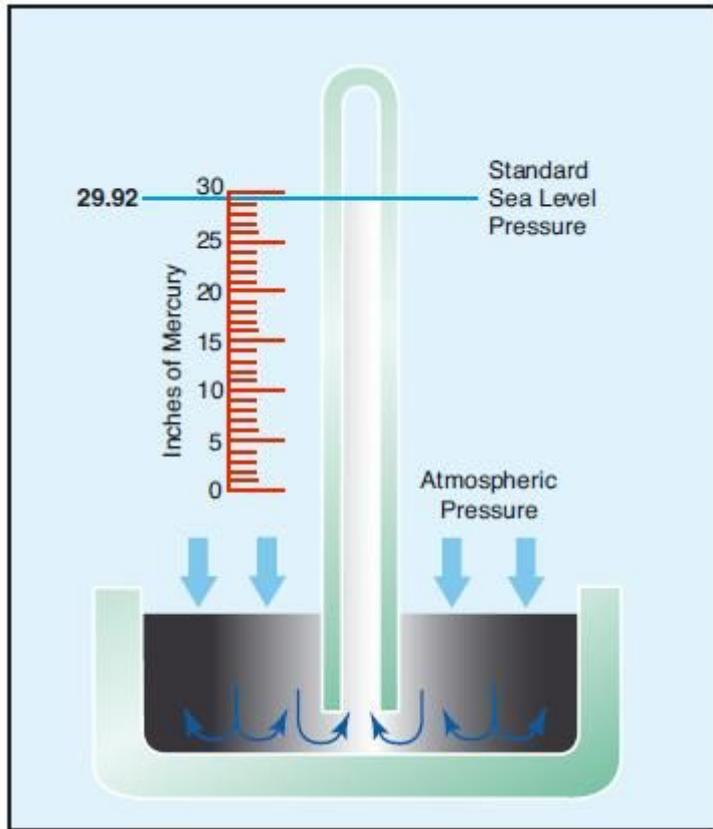
大气压力

尽管有很多种压力，但是飞行员主要考虑大气压力。它是天气变化的基本因素之一，它帮助抬升飞机，还驱动飞机上一些重要的飞行仪表。这些仪表是高度计，空速指示器，爬升率指示器和进气压力表(或歧管压力表)。

虽然空气很轻，但是它有质量而且受重力吸引的影响。因此，和其他任何物质一样，它有重量，而且由于它的重量，它就有了力。因为它是流体物质，这个力在所有方向上是相等的，它对空气中物体的作用称为压力。【这个不是定义，不够严格，这里讨论的压力主要是重量引起的。】在海平面标准条件下，大气重量所施加的平均压力大约为 14.7 磅/英寸。空气密度对飞机的性能有重要的影响。当空气密度变小，它降低了：

- 功率，因为发动机吸入的空气变少
- 推力，因为螺旋桨在稀薄空气中效率更小
- 升力，因为稀薄空气对机翼施加的力更少

大气压力随时间和地点而变化。由于大气压力总是变化的，就发展了一个标准的参考压力。在海平面的标准大气被定义为表面温度为 59 华氏度或者 15 摄氏度，且表面压力为 29.92 英寸汞柱或者 1013.2 毫巴。如图 9-1



标准温度下降率是温度大约以每 1000 英尺 3.5 华氏度或者 2 摄氏度的速率下降，上限高度达到 36000 英尺。在这点之上，温度被认为是恒定的，直到 80000 英尺。标准压力下降率是压力大约每 1000 英尺高度下降 1 英寸汞柱的速率，直到 10000 英尺高度。如图 9-2

| Standard Atmosphere | | | |
|---------------------|-------------------|------------|------------|
| Altitude (ft) | Pressure (in. Hg) | Temp. (°C) | Temp. (°F) |
| 0 | 29.92 | 15.0 | 59.0 |
| 1,000 | 28.86 | 13.0 | 55.4 |
| 2,000 | 27.82 | 11.0 | 51.9 |
| 3,000 | 26.82 | 9.1 | 48.3 |
| 4,000 | 25.84 | 7.1 | 44.7 |
| 5,000 | 24.89 | 5.1 | 41.2 |
| 6,000 | 23.98 | 3.1 | 37.6 |
| 7,000 | 23.09 | 1.1 | 34.0 |
| 8,000 | 22.22 | -0.9 | 30.5 |
| 9,000 | 21.38 | -2.8 | 26.9 |
| 10,000 | 20.57 | -4.8 | 23.3 |
| 11,000 | 19.79 | -6.8 | 19.8 |
| 12,000 | 19.02 | -8.8 | 16.2 |
| 13,000 | 18.29 | -10.8 | 12.6 |
| 14,000 | 17.57 | -12.7 | 9.1 |
| 15,000 | 16.88 | -14.7 | 5.5 |
| 16,000 | 16.21 | -16.7 | 1.9 |
| 17,000 | 15.56 | -18.7 | -1.6 |
| 18,000 | 14.94 | -20.7 | -5.2 |
| 19,000 | 14.33 | -22.6 | -8.8 |
| 20,000 | 13.74 | -24.6 | -12.3 |

国际民用航空组织 (ICAO) 已经把这个确立为世界标准，通常称为国际标准大气 (ISA) 或者 ICAO 标准大气。任何不同于标准下降率的温度或者压力被认为是非标准温度或非标准压力。非标准温度和压力的调整在制造商的性能图表上提供。

因为所有飞机性能是相对于标准大气来比较和计算的，所以所有飞机仪表都校准为标准大气条件的。因此，如果实际运行条件不符合标准大气，必须对仪表的使用和飞机的性能做出某种修正。为了正确的说明标准大气，就必须定义一些相关的术语。

【国际标准大气 (ISA) 也称为标准白天。是不同高度上大气空气压力，温度和密度的代表性参考模型。在海平面，国际标准大气的温度为 59 华氏度或 15 摄氏度，压力为 29.92 英寸汞柱或者 1013.2 毫巴。】

压力高度

压力高度是位于标准参考平面之上的高度。飞机高度计是一个主要的灵敏的气压计，被校准以指示标准大气条件下的高度。如果高度计被设定为 29.92 英寸汞柱的标准参考平面 (SDP)，高度计指示的即是压力高度-对应于所检测压力在标准大气条件下的高度。

标准参考平面 (SDP) 是一个理论的水平面，在这个平面上大气的重量为气压计所测得的 29.92 英寸汞柱。当大气压力改变时，标准参考平面会变化，可能低于、等于或者高于海平面。作为计算飞机性能的一个基准和用于指定 18000 英尺高度以上飞机运行的高度层，压力高度很重要。

压力高度可以用下列两个方法的任意一个来计算：

1. 通过设定高度计的气压计读数到 29.92，然后读出指示高度
2. 对应于报告的”高度设定”，对指示高度应用修正因子。

密度高度

和非标准大气条件下的空气动力学性能有关的更合适的术语是密度高度-对应于特定空气密度时的标准大气条件下的高度。

密度高度是经非标准温度修正后的压力高度。当空气的密度增加 (较低的密度高度) 时，飞机性能增加，相反地，随着空气密度降低 (较高的密度高度) 时，空气性能降低。空气密度的下降意味着高密度高度；空气密度增加意味着较低的密度高度。密度高度用于计算性能。在标准大气条件下，大气中每个高度上的空气都有特定的密度，且在标准条件下，压力高度和密度高度表示的高度相同。因而，密度高度是标准大气条件下给定密度位置在海平面上的垂直距离。

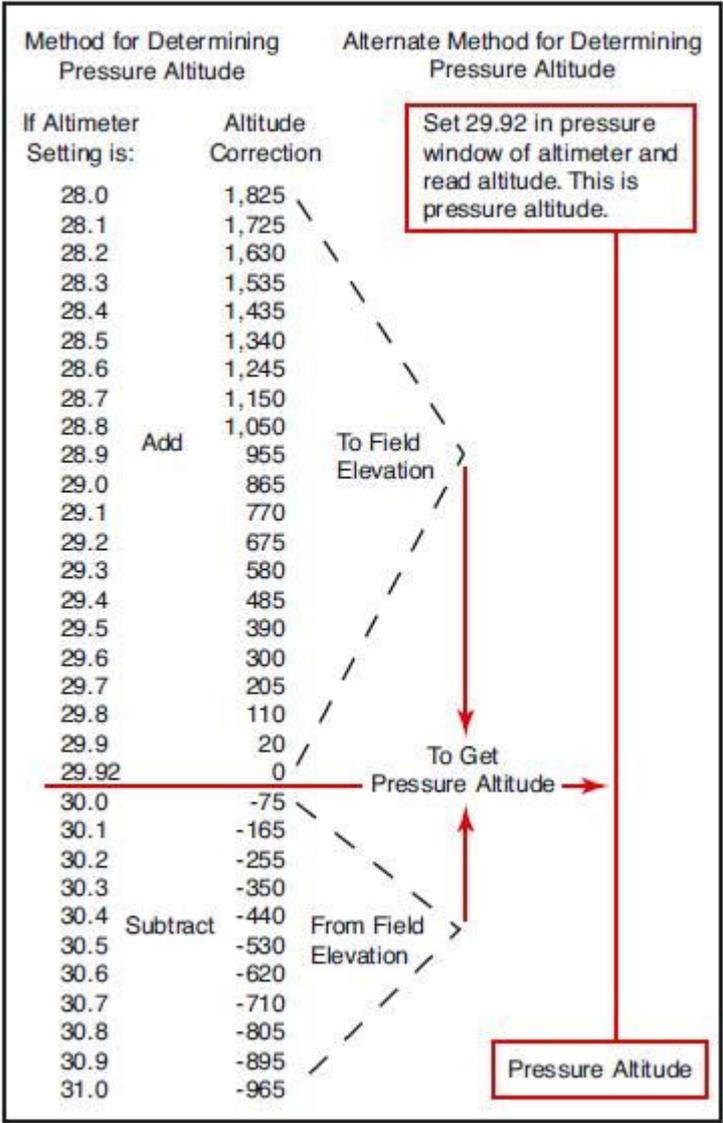
密度高度的计算必须要考虑压力(压力高度)和温度。因为任何高度上飞机性能是基于标准白天条件下的空气密度,应用到空气密度高度的这个性能数据可能和高度计指示不一致。在高于或者低于标准的条件下,这些高度不能直接从高度计来计算。

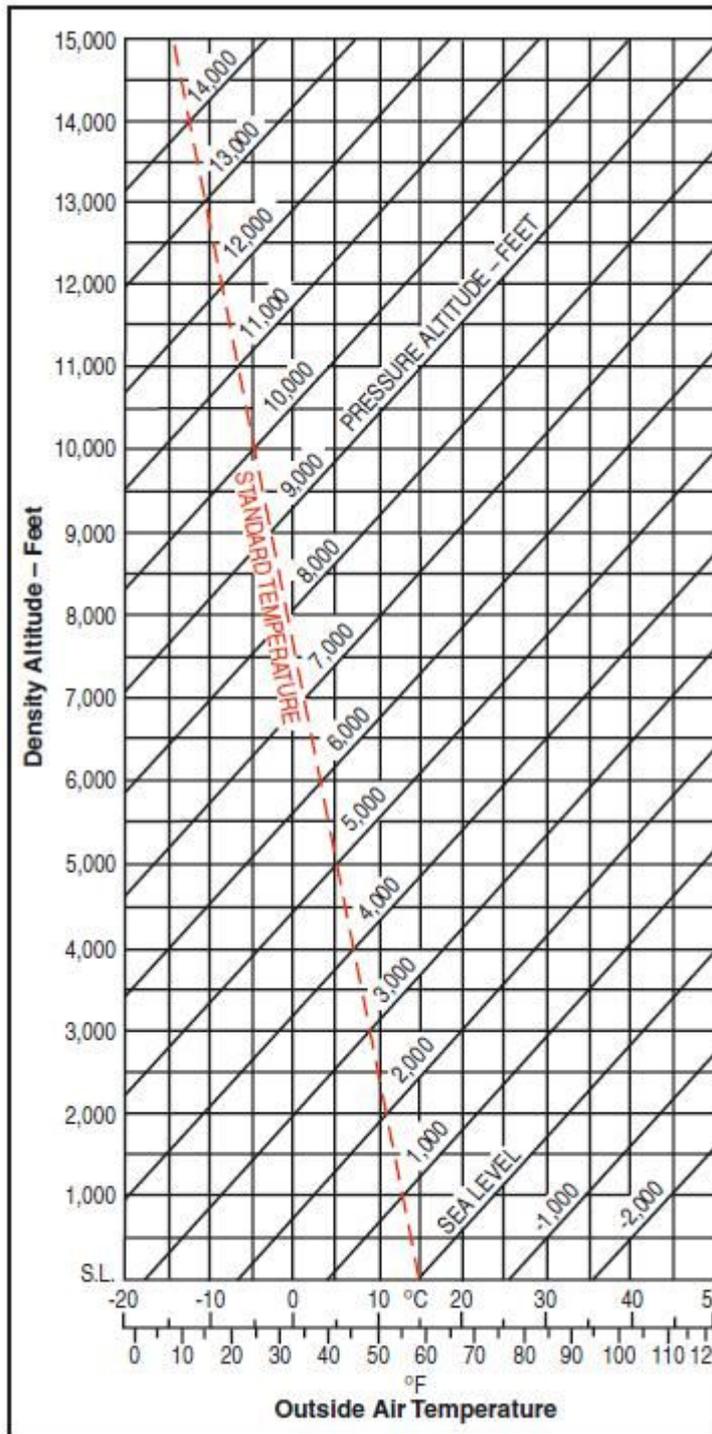
密度高度先通过首次测得的压力高度来计算,然后为非标准温度的变化而修正这个高度。由于密度直接随压力而变化,随温度相反地变化,允许密度变化的时候一个给定的压力高度可能存在于很大范围的温度内。然而,一个已知的密度会在任何一个温度和压力高度下发生。当然,空气的密度对飞机和发动机性能有明显的影响。不管飞机运行的实际高度是多少,它会表现出好像它运行在一个等于当前密度高度的高度上。

例如,当设定为 29.92 时,高度计可能指示压力高度为 5000 英尺。根据飞机飞行手册/飞行员操作手册,在标准温度条件下起飞时的地面滑跑可能要求距离为 790 英尺。然而,如果温度是标准之上的 20 摄氏度,空气的膨胀提高了密度高度。使用表格或者图表中的温度修正数据或者用计算机得出密度高度,可能发现密度高度是 7000 英尺,需要的地面滑跑距离可能会接近 1000 英尺。

空气密度受高度,温度和湿度变化的影响。高密度高度指的是稀薄空气而低密度高度指的是稠密的空气。导致高密度高度的条件是高海拔高度,低大气压力,高温,高湿度或者这些因素的某些组合。低海拔高度,高大气压力,低温和低湿度是低密度高度的更明显预兆。

使用飞行计算器,密度高度可以通过输入压力高度和飞行高度上的外部空气温度来计算。密度高度也可以通过参考如图 9-3 和 9-4 的表格和图表来计算。





压力对密度的影响

因为空气是气体，它可以被压缩或膨胀。当空气被压缩时，一定的体积就可以包含更多质量的空气。相反地，当作用于一定体积的空气的压力降低时，空气就会膨胀，占据更大的空间。即，原来的空气柱在低压力时包含的空气质量更少。换句话说，密度降低了。实际上，密度直接和压力成比例。如果压力加倍，密度也加倍，且如果压力下降了，密度也就降低。这个结论只在恒温时才成立。

温度对密度的影响

物质的温度增加会降低它的密度。相反地，降低温度会增加密度。因此，空气密度和温度相反变化。这个结论只在恒温时成立。

在大气中，温度和压力都随高度而降低，对密度有相反的影响。然而，高度增加时压力的明显快速下降通常是主要的影响。因此，飞行员可以预期密度随高度而降低。

湿度(潮湿)对密度的影响

前面的几段文字假设空气是完全干燥的。实际上，它从来不是完全干燥的。在大气中悬浮的少量水蒸气在某些情况下几乎可以忽略不计，但是在其他情况下，湿度可能变成飞机性能中的一个重要因素。水蒸气比空气轻；进而，潮湿的空气比干燥的空气轻。因此，空气中的水份增加时，空气密度会降低，密度高度增加，降低了性能。当在一组设定条件下，空气可以变得最轻，它含有最多的水蒸气。

湿度，也称为“相对湿度”，是指大气中的水蒸汽含量，用空气可以包含的最多水蒸气的百分比来表示。这个含量随着温度而变化，暖空气可以含有更多的水蒸气，而冷空气包含的更少。完全干燥的空气不包含水蒸气，其相对湿度为 0%，而饱和的空气则不能再吸收更多的水蒸汽，其相对湿度为 100%。在计算密度高度和飞机性能时，单独的湿度不被看作一个重要因素；然而，它确实有影响。

温度越高，空气就可以含有更多的水蒸气。当比较两个独立的空气团时，第一个是温暖且潮湿的(这两个属性都使空气趋向变轻)，第二个气团冷且干燥(两个属性让它变的更重)，第一个气团必定没有第二个稠密。压力，温度和湿度对飞机性能有很大的影响，因为它们对密度有影响。没有简单规则或者图表来计算湿度对密度高度的影响，因此可以这样考虑，在高湿度条件下总体性能会预期下降。

性能

“性能”是一个用于描述飞机完成对特定目的有用的某些事情的能力。例如，飞机在很短距离内着陆或者起飞的能力对于在短且没有坚实表面的飞机场活动的飞行员是一个重要的因素。承载重载荷，快速的在高海拔高度飞行或者长途飞行的能力，对定期航线和行政类飞机的运营人来说是关键的性能。

性能的主要要素是起飞和着陆距离，爬升率，升限，载荷，航程，速度，机动能力，稳定性和燃油经济性。这些因素中的某些经常是直接相对的：例如，高速和着陆距离的不足；长航程对大的载荷；以及高爬升率对燃油经济性。这些因素的一个或者多个在飞机之间的不同表现很明显，它也说明了现代飞机的高度专门化。

飞机性能的很多方面是飞机和动力装置特性组合的结果。飞机的空气动力学特性总体上定义了各种飞行条件下的功率和推力要求，而动力装置总体上定义了各种飞行条件下可用的功率和推力。空气动力学配置和动力装置的匹配是由制造商完成的，这样可以在特定设计条件下提供最大性能，例如航程，续航能力和爬升。

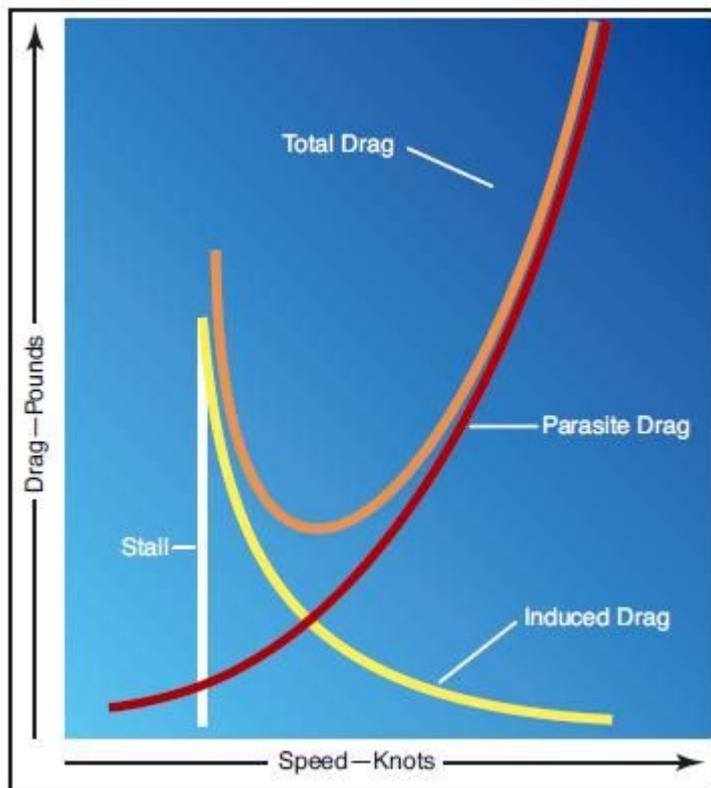
平直飞行

飞行性能的所有主要方面都和飞机的稳定态飞行条件及平衡有关。飞机为了保持稳定，水平飞行，就必须通过升力等于飞机重力和发动机推力等于飞机阻力而获得平衡。因此，飞机的阻力确定了维持稳定的水平飞行需要的推力。

暴露于空气中的飞机的所有部分都会引起阻力，尽管只有机翼才提供重要作用的升力。由于这个原因和某些其他相关原因，总阻力可以分为两部分：机翼阻力(诱导的)和除机翼之外的各部分的阻力(寄生阻力)。

飞行需要的总功率就可以认为是克服诱导阻力和寄生阻力的总和；即飞机的总阻力。寄生阻力是压力和摩擦阻力的总和，它是源于飞机的基本设定，根据定义它独立于升力。诱导阻力是不合需要的，但又是获得升力不可避免的结果。

然而，寄生阻力在高速飞行时占主导地位，诱导阻力在低速飞行时为主导。如图 9-5



例如，如果一架稳定状态飞行的飞机从 100 节加速到 200 节，寄生阻力增大到四倍，但是要求克服阻力的功率要求是原来的八倍。相反地，当飞机以两倍大的速

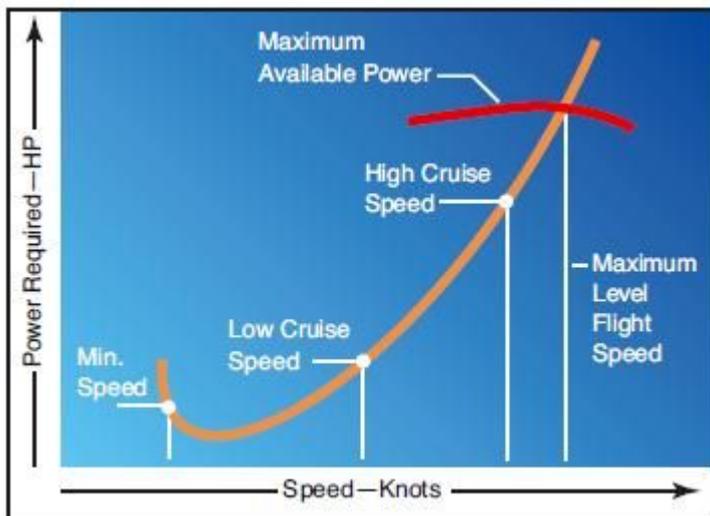
度稳定水平飞行时，诱导阻力就变成原来的四分之一，克服这个阻力所需要的功率就是原来的一半。

由于迎角的变化，机翼或者诱导阻力随速度变化的方式是非常不同的。在靠近失速速度时，机翼以几乎失速角度向相对风倾斜，且它的阻力非常大。但是在巡航飞行速度时，迎角接近为零，诱导阻力最小。达到巡航速度之后，速度的任何进一步增加的同时迎角变化很小，机翼的阻力增加直接和速度的增加成正比例。这里没有考虑速度超过 260 节时有关的压缩阻力因素。

总结一下这些变化，当速度从失速速度增加到永不超过速度 (VNE) 时，诱导阻力降低，寄生阻力增加。

当飞机稳定而水平的飞行时，必须建立平衡条件。通过配平飞机升力等于重量，发动机设定的推力等于飞机阻力而获得不加速状态的飞行。

当需要的功率或者推力等于发动机的最大可用功率或者推力时，就可以获得飞机的最大水平飞行速度。如图 9-6



最小水平飞行速度通常不是由推力或者功率要求定义的，因为失速条件或稳定性和控制问题一般占主导地位。

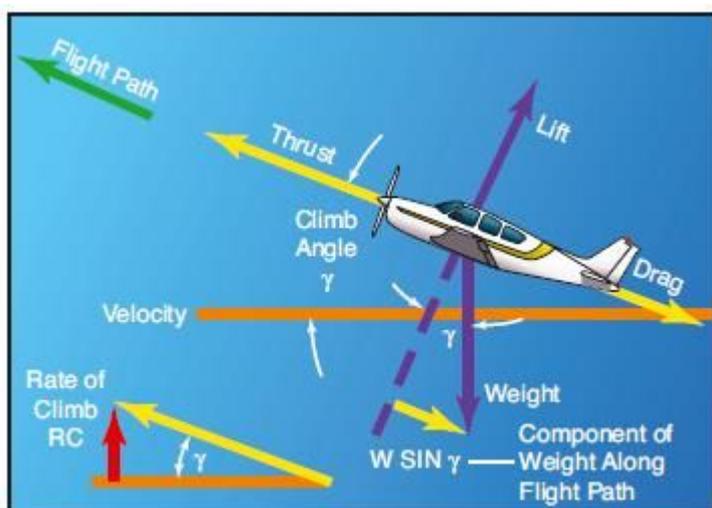
爬升性能

爬升依赖于储备功率或者推力。储备功率是在超过一定速度下维持水平飞行所需要的功率后的可用功率。因此，如果一架飞机装配的发动机能够产生 200 总可用马力，在某一水平飞行速度上只要 130 马力，那么爬升可用的功率就是 70 (200-130=70) 马力。

尽管术语“功率”和“推力”有时可以互换使用，错误的暗含了它们是同义语，在讨论爬升性能的时候区别这两个非常重要。功 (Work) 是力和移动通过的一段距离之乘积，通常独立于时间。功可以用几个标准来度量：最常用的单位称为“英

尺磅”【国际标准单位是焦耳】。如果 1 磅质量升高 1 英尺，那么就完成了 1 英尺磅单位的功。机械功率的常用单位是马力；1 马力是等效于在 1 分钟内把 33000 磅质量抬升 1 英尺的功率。术语“功率”暗含着产生功的速度或者每单位时间内的功单位，如此就是力的速度函数。“推力”也是功的一个函数，意思是促使一个物体速度的变化。这个力用磅来度量，没有时间和效率的因素。那么就可以这样说，在稳定爬升期间，爬升率是额外推力的函数。

当飞机处于稳定而水平的飞行或者以小爬升角飞行时，升力的垂直分量非常近似等于实际的总升力。升力非常接近等于重力的时候才能出现这样的爬升飞行。发动机的净推力可能向飞行航迹倾斜，但是为简明起见这里忽略这个影响。虽然飞机的重力是垂直的，重量的一个分量还是会沿航迹向后作用。如图 9-7

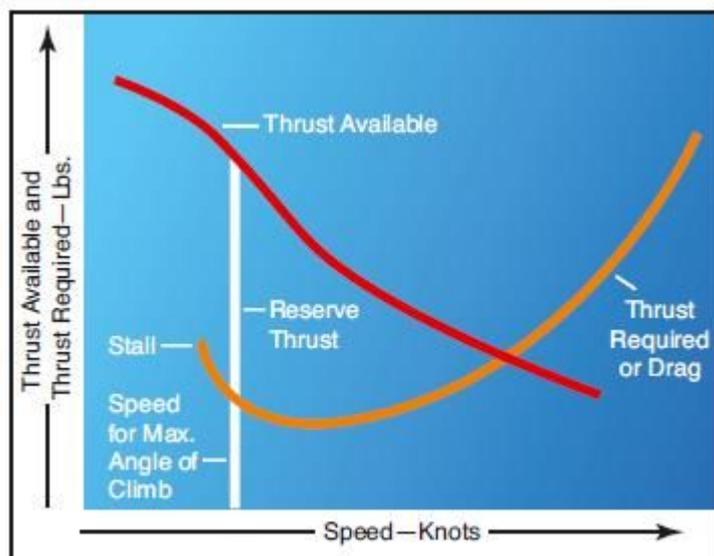


如果假设飞机以小角度倾斜于航迹，处于稳定爬升，航迹方向上力的总和满足下列关系：

$$\text{前向力} = \text{后向力}$$

这个基本关系忽略了一些对于很高爬升性能的飞机重要的因素。（例如，更详细的考虑要计算推力相对于航迹的偏离，升力将不等于重量，进而诱导阻力发生变化）但是，这个基本关系将确定影响爬升性能的主要因素。

对于给定重量的飞机，这个关系意味着爬升角取决于推力和阻力之间的差异，或者额外推力。如图 9-8。



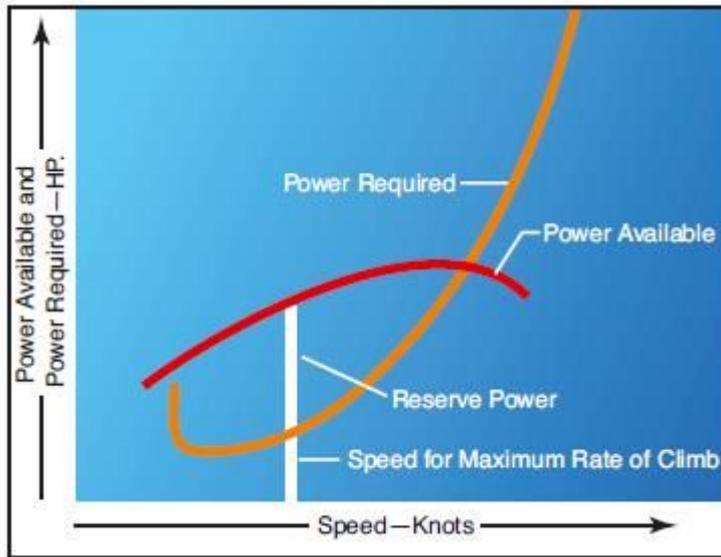
当然，额外推力为零时，航迹的倾斜度也是零，飞机将处于稳定而水平的飞行。当推力大于阻力时，额外的推力将使得飞机爬升，爬升角取决于额外推力的大小。也就是说，当推力小于阻力时，推力的不足将得到下降角。

爬升性能的最直接影响是障碍物间隙。它的最明显目的是可以用于从短的或者受限机场爬升越过障碍物。

当可用推力和要求推力之间存在最大差值的时候就会出现最大爬升角；例如，对于螺旋桨驱动飞机，最大额外推力和爬升角将会发生在某一正好超过失速的速度上。因此，如果必须在起飞后越过一个障碍物，那么螺旋桨驱动飞机在空速接近于(如果不是等于的话)起飞速度时将获得一个最大爬升角。

爬升性能中更为重要的是那些影响爬升率的因素。一架飞机的垂直速度取决于飞行速度和以及航迹的倾斜角。事实上，爬升率是航迹速度的垂直分量。

对于爬升率而言，当可用功率和要求功率之间有最大差值的时候就会出现最大爬升率。如图 9-9



上述关系意味着，对于一个给定重量的飞机，爬升率取决于可用功率和要求功率的差值，或额外功率。当然，当额外功率为零时，爬升率也是零，飞机处于稳定而水平的飞行中。当可用功率大于要求功率时，额外功率将会让飞机爬升，爬升率的大小取决于额外功率的大小。

在稳定爬升期间，爬升率将取决于额外功率，而爬升角是额外推力的函数。

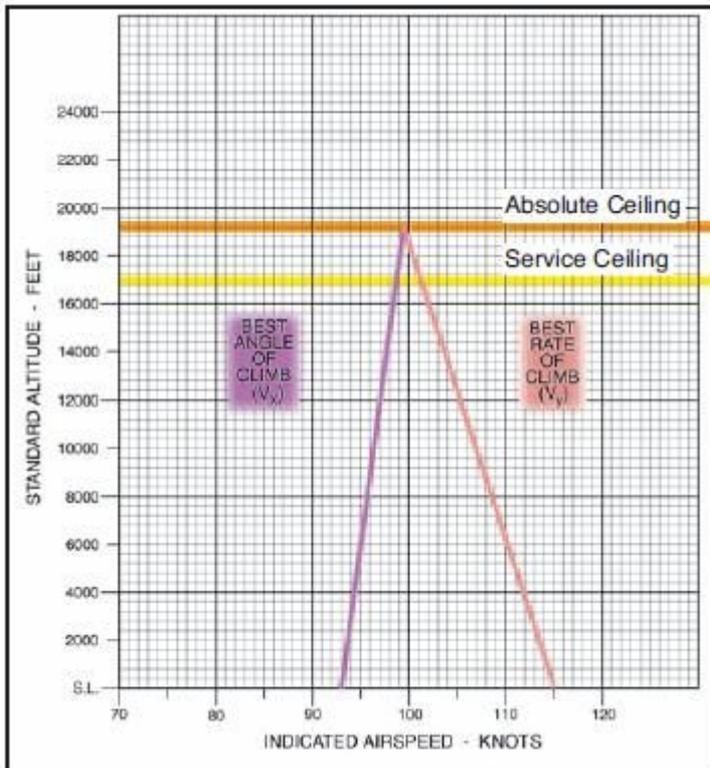
一架飞机的爬升性能受某些变量的影响。飞机的最大爬升角或最大爬升率条件出现在具体的速度上，且不同的速度会产生不同的爬升性能。大多数飞机都有足够的范围，和最优速度的少量偏差不会导致爬升性能产生很大的变化，而且某些运行考虑可能要求速度稍微不同于最优值。当然，爬升性能在下列情况下成为最关键因素，如大的总重量，在高海拔机场，在有障碍物的起飞区域，或者在发动机发生故障时。那么，最优爬升速度就是必须的。

重量对飞机的性能有非常显著的影响。如果向飞机增加重量，就必须以更大的迎角飞行来维持一个给定的高度和速度。这增加了机翼的诱导阻力和飞机的寄生阻力。增加的阻力意味着需要额外推力来克服它，进而就意味着爬升可用的保留功率就更少。因为重量对性能相关的因素有如此重大的影响，飞机的设计者尽极大的努力使重量最小。

飞机的重量变化对爬升性能有双重的影响。首先，重量的变化将会改变阻力和要求的功率。这就改变了可用的保留功率，进而影响了爬升率和爬升角。其次，重量的增加会降低最大爬升率，但是飞机必须以一个较大的爬升速度以获得较小的峰值爬升爬升速度。

海拔高度的增加也会增加要求功率和降低可用功率。因此，一架飞机的爬升性能随着海拔的增加而降低。在最大爬升率，最大爬升角，最大和最小水平飞行时的空速随高度而变化。当高度增加时，这些不同的速度最终汇聚到飞机的绝对升限。

在绝对升限高度，没有额外功率，且只有一个维持稳定水平飞行的速度。从而，飞机的绝对升限导致零爬升率。适用升限是飞机不能再以大于 100 英尺每分钟的速度爬升的高度。通常，飞机在一个特定的设计配置条件下提供了这些具体的性能参考点。如图 9-10



在讨论性能时，经常方便的使用术语“功率载荷”和“机翼载荷”。功率载荷用磅每马力表示，通过用飞机的总重量除以发动机的额定马力得到。它是飞机的起飞和爬升能力的一个重要因素。机翼载荷用磅每平方英尺表示，通过飞机总重量的磅数除以机翼面积的平方英尺(包括副翼)而得到。是飞机的机翼载荷确定了着陆速度。这些因素在本章的后续部分进行讨论。

航程性能

一架飞机把燃油能量转换成飞行距离的能力是飞机性能的最重要方面之一。在飞行运行中，一架飞机的有效航程运行问题以两种通常的形式出现：

1. 从一个给定的燃油载荷计算最大飞行距离，或者
2. 以最少的燃油消耗来飞行一个指定的距离。

这些运行问题的每一个的公分母是“具体航程”，即每磅燃油的具体飞行海里数。为获得最大航程的巡航飞行操作应该被管理，这样飞机在整个飞行中可以获得最大的具体航程。

具体航程可以用下列关系来定义：

具体航程=海里数/燃油的磅数

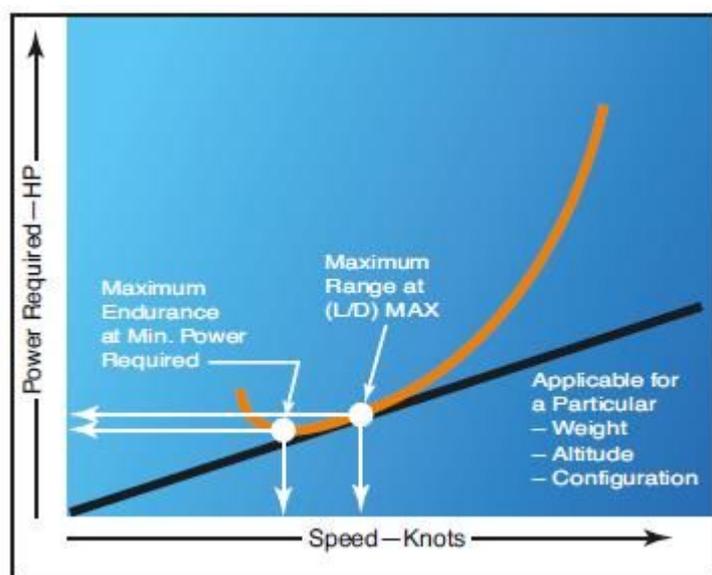
或者

具体航程=(海里每小时)/(磅每小时)

或者

具体航程= 节/燃油流量

如果想得到最大具体航程，飞行条件必须提供一个每燃油流量的最大速度。航程必须和续航时间清晰的区分开来。如图 9-11



航程的含义涉及对飞行距离的考虑，而续航时间涉及对飞行时间的考虑。因此，定义一个独立的术语“具体续航时间”是合适的。

具体续航时间=飞行小时/燃油磅数

或者

具体续航时间=每小时飞行时间/每小时燃油磅数

或者

具体续航时间=1/燃油流量

如果要计算最大续航时间，飞行条件必须提供一个最小燃油流量。虽然具体航程的峰值将提供最大航程运行，长途巡航运行通常建议以稍微高的速度飞行。大多数长途巡航运行被控制在能够提供 99%的绝对最大具体航程。这样运行的优点是 1%的航程是以高出 3-5%的巡航速度为代价的。【建议是稍高的速度巡航将会降

低最大航程，但是到达目的地的时间会有所提前，即巡航速度高出 3-5%，毕竟对于长途飞行，谁都想争分夺秒尽量快点到达目的地。】由于较高的巡航速度有很多优点，在航程的少量损失还是划算的。具体航程的数值对速度受三个主要的变量影响：

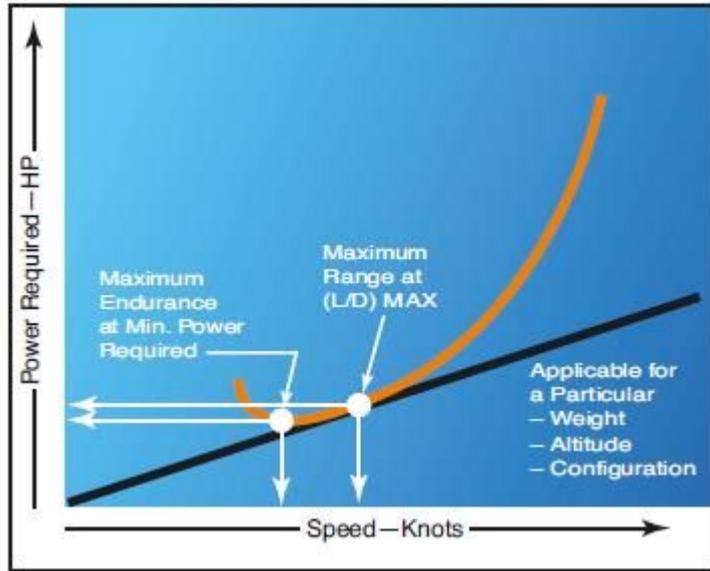
1. 飞机总重量
2. 海拔高度
3. 飞机的外部空气动力配置。这些是航程的来源和包含在 AFM/POH 的性能部分续航运行数据。

一架飞机的“巡航控制”意指在整个飞行中飞机运行在维持推荐的长途巡航条件。由于在巡航时燃油被消耗，飞机的总重将会变化，最优的空速，高度和功率设定也会变化。“巡航控制”意味着对最优空速，高度和功率设定的控制，目的是为了维持 99% 的最大具体航程条件。在巡航飞行的开始阶段，相对较高的飞机初始重量将需要空速，高度和功率设定的具体数值来产生推荐的巡航条件。随着燃油被消耗，飞机总重量下降，最优的空速和功率设定也会下降，或者最优的高度可能增加。另外，最优的具体航程将增加。因此，飞行员必须提供正确的巡航控制程序来确保维持在最优条件。

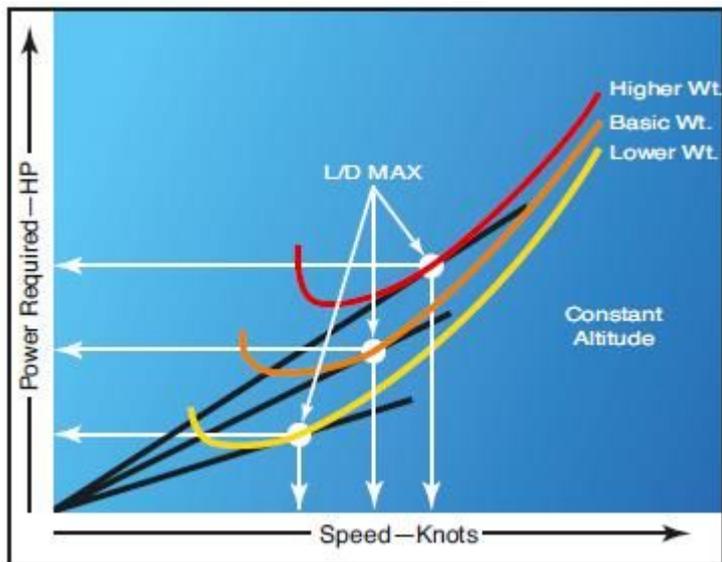
总航程取决于可用燃油和具体航程。当航程和运行的经济性是主要目标时，飞行员必须确保飞机将运行在推荐的长途巡航条件。根据这个程序，飞机将能够达到它的最大设计运作半径，或者可以获得小于最大的飞行距离，到达目的地时还有最大的燃油储备。

螺旋桨驱动飞机把螺旋桨和发动机结合起来提供推进功率。在往复式发动机的情况下，燃油流量主要是根据进入螺旋桨的轴功率而不是推力来计算的。因此，燃油流量可以直接的和维持飞机稳定水平飞行需要的功率发生关系。这个事实允许通过分析要求功率对于速度的关系来计算航程。

最大续航时间条件将在最小要求功率点获得，因为这需要最低的燃油流量而保持飞机稳定水平飞行。最大航程条件将出现在速度和要求功率比值最大时。如图 9-11

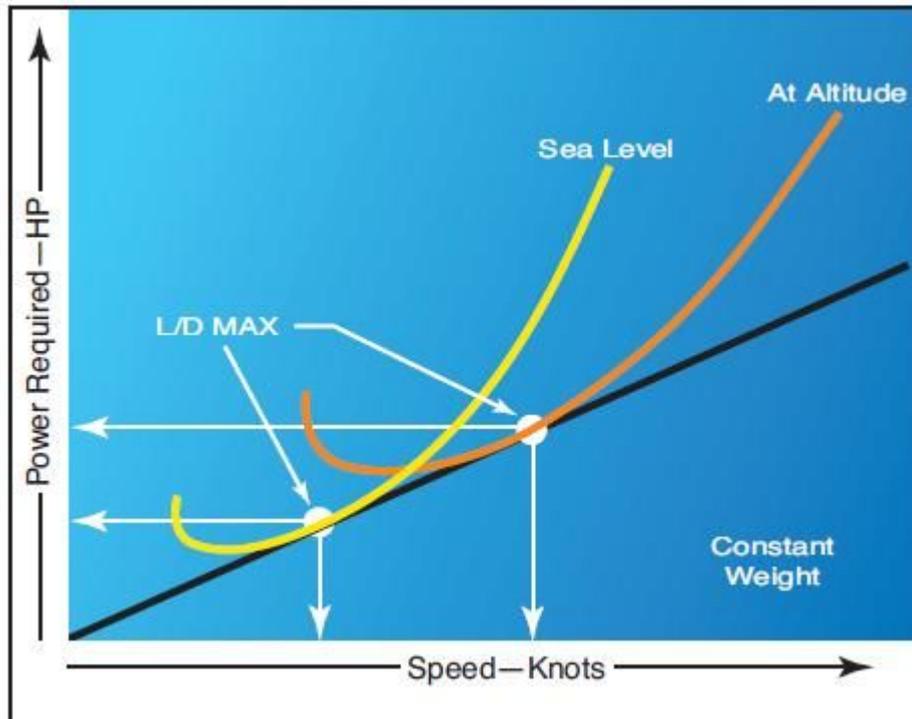


最大航程条件在最大升阻比处获得，要重点说明的是对于一个给定的飞机配置，最大升阻比发生在特定的迎角和升力系数条件下，且通常不受重量和高度的影响。重量的变化将改变空速的数值和获得最大升阻比需要的功率。如图 9-12



作为巡航控制程序的一部分，飞行员必须监控速度和要求功率的变化，来维持最大升阻比。当飞机的燃油重量是总重的一小部分且飞机的航程也小，巡航控制程序可以简化为本质上在巡航飞行时间内维持恒定的速度和功率设定。长航程的飞机燃油重量是总重的相当一部分，巡航控制程序必须使用预定的空速和功率变化来维持最优的航程条件。

在螺旋桨驱动飞机上，高度对航程的影响可以通过检查图 9-13 来理解。在高海拔高度操控的飞行将有较大的真空速，所需要的功率也相应的比在海平面时大。飞机的阻力在高海拔高度和海平面时的阻力一样，但是较高的真空速导致相应的要求功率也更大。请注意直线既和海平面功率曲线相切，也和海拔高度功率曲线相切。



高度对具体航程的影响也可以从前面的关系中认识到。如果高度的一个变化导致速度和要求功率的同样变化，速度对要求功率的比例就不会改变。这个事实意味着螺旋桨驱动的具体航程不会受高度影响。实际上，这对于程度来说是对的，具体燃油消耗和螺旋桨效率是能够导致具体航程随高度变化的主要因素。如果可压缩性影响可以忽略，具体航程随高度的任何变化是发动机/螺旋桨性能的一个严格的函数。

装配了往复式发动机的飞机的具体航程向上到它的绝对高度会经历非常小的变化。对于制动马力低于发动机的最大巡航功率额定(发动机运行的贫油范围)，制动具体燃油消耗可以忽略。因此，只当增加的功率要求超出发动机的最大巡航功率额定时，高度的增加会引起具体航程的降低。增压的一个优点是在高海拔高度可以维持巡航功率，伴随着真空速的相应增加，飞机可以在高海拔高度达到航程。

【译者注：增压的发动机燃烧效率通常更高，也就能够在高海拔维持较好的输出功率，而同时真空速随着高度增加而增加了，所以航程方面有优势。】

高海拔高度巡航和低海拔高度巡航的主要差别是真空速和爬升燃油要求。

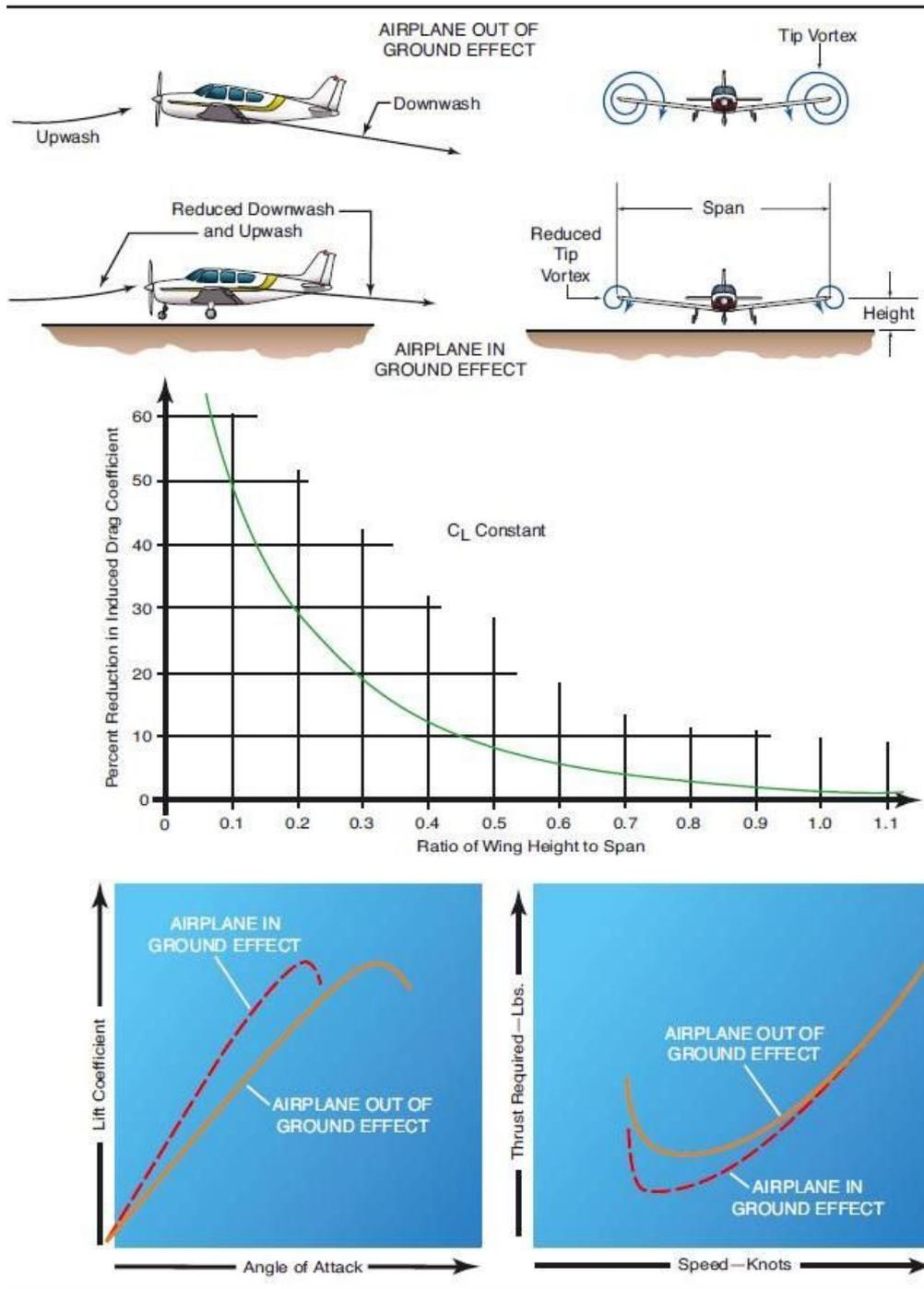
【制动具体燃油消耗-往复式发动机输出 1 马力的功率，每小时燃烧的燃油磅数。制动马力- 飞机发动机在螺旋桨轴(主输出或者主驱动)上输送的功率。】

地面效应

地面效应是由于飞行时飞机的气流模式对翼面的干扰。地面效应可以在翼面之上的一个翼展高度内检测和测量到。然而，地面效应在飞机以低速维持在一个恒定

高度或者低高度飞行时极其重要(例如，在接地前的着陆拉平期间，和飞机离地加速到爬升速度的起飞期间)。

当机翼收到地面效应的影响时，上洗流和下洗流以及翼尖涡流都会减弱。由于翼尖涡流的减弱，诱导阻力也降低。当机翼位于四分之一翼展高度时，诱导阻力大约降低 25%，当机翼高度等于十分之一翼展时，诱导阻力大约降低 50%。在寄生阻力为主导的高速飞行时，诱导阻力只是总阻力的一小部分。因而，在起飞和降落期间，地面效应的影响是更大的考虑。如图 9-14



假设飞机维持恒定迎角和空速下降到地面效应里，将会发生如下影响：

由于阻力的降低，将需要更小的机翼迎角来产生相同的升力系数，或者，如果维持恒定的机翼迎角，机翼的升力系数将会增加。

作为阻力降低的结果，在低速时需要的推力也会降低。

水平尾翼下洗流的减弱会降低升降舵的有效性。它可能引起机头下沉的趋势，这样就要求方向舵更加的向上来平衡飞机。

在大多数情况下，地面效应会导致静压源压力的增加，引起空速和高度的较低指示。

在飞机以恒定迎角进入地面效应的拉平期间，飞机将会经历升力系数的增加。因此，会经历到“漂浮”的感觉。由于地面效应中的阻力降低，拉平期间的任何超速都可能导致一个相当长的“漂浮”距离。如果正在执行有功率进近，当飞机下降进入到地面效应时，应该降低功率设定以避免飞过了预期的接地点。

起飞期间，飞机离开地面效应会遇到和进入地面效应相反的情况。例如，飞机离开地面效应时会：

要求增加迎角，以维持相同的升力系数

发生诱导阻力的增加，进而要求推力增加，

发生飞机有机头上仰的趋势，这要求升降舵行程降低来配平飞机，因为在水平尾翼的下洗流增强。【译者注：压力差增加，尾翼向下的力增加，进而导致机头有上仰的趋势，但是要控制不能过分上仰。】

一般还会遇到静压源压力降低和指示空速增加。

由于地面效应中阻力降低，飞机好像能够以低于推荐的空速起飞。然而，当飞机以不足的空速飞出地面效应高度时，最初的爬升性能由于阻力增加而被证明是临界的。在例如高密度高度，高温和最大总重的极端情况下，飞机可能以不足的空速升空，但是却不能飞出地面效应。进而，飞机可能飞越不了障碍物，或者可能又跌落(settle back)到跑道。在边际条件下，飞机以推荐的空速起飞能够提供足够的初始爬升性能，这点很重要。如果跑道足够长，或者没有障碍物存在，地面效应可以通过利用降低的阻力来改进最初的加速而作为它的优点。地面效应对于正常飞行运行在柔软而粗糙的场地起飞和着陆的性能非常重要。从这些表面起飞的程序要转换成地面运行期间机翼上尽可能多的重量，和获得真实飞行速度前借助于地面效应的起飞。那么就必须逐渐的降低迎角，直到在努力爬升离开地面效应前获得正常的空速。

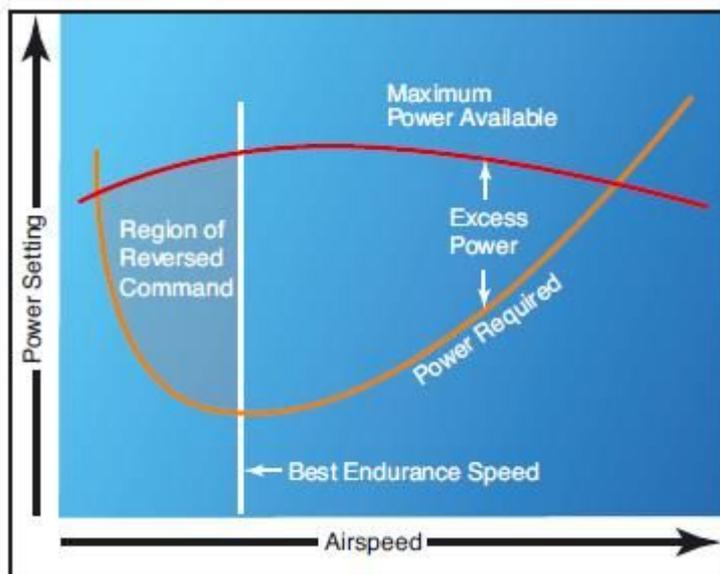
反向控制区

飞机的空气动力学特性从总体上确定了不同飞行条件下的功率需求，而发动机的实际能力总体上确定了不同飞行条件下的可用功率。当飞机处于稳定的水平飞行时，必定获得了平衡条件。当升力等于重力，动力所设定的推力等于飞机阻力的时候就能获得不加速状态的飞行。以不同的速度飞行在恒定的高度上为获得平衡所需要的功率用功率需求曲线表示。功率需求曲线说明了这样的一个事实，即在接近失速的低速或者最小可控空速时，稳定水平飞行所需要的功率设定是非常高的。

正常控制区(region of normal command)的飞行含义是当保持在恒定高度时，空速越高要求的功率设定也就越高，空速越低要求的功率设定也就越低。大多数飞机的飞行(爬升，巡航和机动)是控制在正常控制区。

反向控制区(region of reversed command)的飞行含义是较高的空速需要较低的功率设定，而较低的空速需要较高的功率设定来保持恒定的高度。它的意思不是说功率的降低将会导致空速降低。在飞行的低速阶段会遇到反向控制区。低于最大续航时间速度(功率曲线的最低点)的飞行速度随空速降低需要较高的功率设定。由于随着空速降低而要增加需求功率设定和正常控制的飞行相反，位于最小需求功率设定的速度和失速速度(或最小可控速度)之间的飞行速度机制用术语反向控制区表示。在反向控制区，为了保持稳定的飞行，随着空速的降低，必须要同时增加功率设定。

图 9-15 中最大可用功率显示为一条曲线。较低的功率设定，例如巡航功率，也会显示出类似的曲线。需求功率曲线的最低点表示在这个速度上最低制动马力可以维持水平飞行。这用术语最好续航时间空速(best endurance airspeed)表示。



一架以低空速，高俯仰姿态有功率进近的飞机着陆于短场跑道，这是运行在反向控制区的例子。如果将要发生无法接受的高速下降，飞行员有可能通过增加功率来降低或停止下降。但是如果不使用额外的功率，那么飞机将可能失速或者着陆

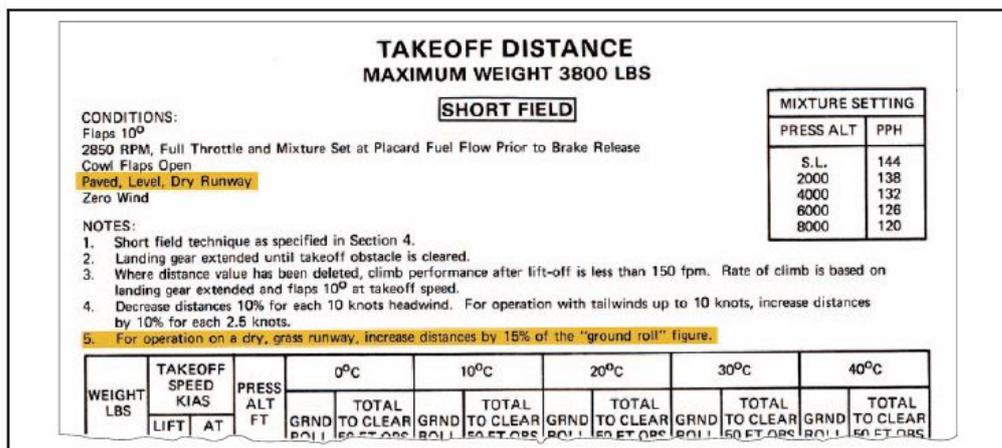
时不能拉平。在这种情况下只通过降低飞机机头来重新获得飞行速度而不使用功率，那么将会导致快速的下降速度，相应的高度也就不能维持。

如果在软场地起飞或者爬升中，例如，飞行员在没有获得正常的爬升俯仰姿态和空速的条件下就视图飞出地面效应，那么飞机可能以危险的低高度不经意的进入了反向控制区。即使是使用了满功率，飞机或许也不能爬升或者甚至不能维持高度。这种情况下飞行员唯一可以依靠的就是为了增加速度而放低飞机的俯仰姿态，这将不可避免的导致高度的损失。

当以低飞行速度运行在反向控制区时，飞机驾驶员必须对空速的准确控制予以特别注意。

跑道表面和坡度

跑道条件影响起飞和着陆性能。典型的，性能图表信息是假设跑道表明是铺设的，水平，光滑且干燥。因为没有两条跑道是一样的，一条跑道的表明不同于另一条，例如跑道的梯度或者斜度。如图 9-16



跑道表面随机场不同而差别很大。碰到的跑道表明可能是混凝土的，沥青的，沙砾的，泥土的或者草地的。具体机场的跑道表明在机场/设施手册中说明。任何不坚硬和光滑的跑道表面都会增加起飞时的地面滑跑距离。这是因为轮胎不能在这样的跑道上顺利的滚动。轮胎会陷入松软的，草地的或者泥泞的跑道上。道面上的坑洼不平或者车辙会称为跑道上轮胎运动不畅的原因。

诸如泥浆，积雪，或者积水这些障碍都会降低飞机沿跑道的加速性能。尽管多泥的和潮湿地面条件可以降低轮胎和跑道之间的摩擦力，它们也会称为障碍，降低了着陆距离。如图 9-17



当面对不同的跑道类型时，制动效果是另一个考虑因素。跑道表面条件影响飞机的制动能力。应用于刹车且轮胎不打滑时的功率大小被称作制动有效性。确保跑道的长度足够起加速，且当得知跑道低于理想跑道表面条件时确保跑道长度足够着陆减速。

跑道的倾斜度或坡度是跑道高度随跑道长度的变化量。坡度用百分比表示，例如3%坡度。这个意思是每100英尺跑道，跑道高度变化3英尺。一个正的坡度表示跑道高度增加，而负的坡度表示跑道高度的降低。上坡的跑道会阻碍加速，导致起飞时地面滑跑距离较长。然而，着陆在上坡跑道通常会减少着陆滑跑距离。下坡跑道有助于起飞时的加速，导致起飞距离缩短。着陆时则反之，当着陆在下坡

跑道时会增加着陆距离。跑道坡度信息包含在机场/设施手册中。如图 9-18

| TAKEOFF DISTANCE MAXIMUM WEIGHT 3800 LBS | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|----|--------------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| SHORT FIELD | | | | | | | | | | | | | |
| <p>CONDITIONS: Flaps 10° 2850 RPM, Full Throttle and Mixture Set at Placard Fuel Flow Prior to Brake Release Cowl Flaps Open Paved, Level, Dry Runway Zero Wind</p> | | | | | | | | | | | | | |
| <p>NOTES: 1. Short field technique as specified in Section 4. 2. Landing gear extended until takeoff obstacle is cleared. 3. Where distance value has been deleted, climb performance after lift-off is less than 150 fpm. Rate of climb is based on landing gear extended and flaps 10° at takeoff speed. 4. Decrease distances 10% for each 10 knots headwind. For operation with tailwinds up to 10 knots, increase distances by 10% for each 2.5 knots. 5. For operation on a dry, grass runway, increase distances by 15% of the "ground roll" figure.</p> | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 0°C | | 10°C | | 20°C | | 30°C | | 40°C | |
| WEIGHT LBS | TAKEOFF SPEED KIAS | | PRESS ALT FT | GRND TO CLEAR | |
| | LIFT | AT | | ROLL | TOTAL |

跑道上的水和动态打滑

跑道上的水会降低轮胎和地面之间的摩擦力，也会降低制动效率。当轮胎打滑时，制动能力就完全失去，因为一层水隔开了轮胎和跑道表面。当跑道被冰覆盖时，也会失去制动效率。

当跑道是湿的，飞行员会面临动态打滑。动态打滑是一种状态，这时飞机的轮胎在一层水上滚动而不是在跑道面上。因为打滑的轮子没有接触跑道，基本不能实现制动和方向控制。

为了帮助使动态打滑降到最低，一些跑道开了凹槽以助于排出积水；但是大多数跑道没有。

轮胎压力(译者注：这里是指轮胎对跑道表面的压强，而不是内部的气压。)是动态打滑中的一个因素。



根据图 9-19 的简单公式，飞行员可以计算节为单位的最小速度，在这个速度将发生打滑。简单来说，最小打滑速度是通过主轮轮胎压力的平方根乘以 9 得到的，胎压单位是磅每平方英寸。例如，如果主轮轮胎压力是 36 磅每平方英寸，那么飞机将在 54 节 (36 的平方根为 6，6 乘以 9 等于 54) 速度的时候开始打滑。

以高于推荐的接地速度着陆将使得飞机的打滑可能性更大。而且一旦开始打滑，在低于最低的初始打滑速度以下还会打滑。(译者注：通常会发现，最大静摩擦力会大于滑动摩擦力，这也是一旦打滑后，即使速度低于最小初始打滑速度时还能继续打滑的主要原因。)

在潮湿的跑道上，方向控制可以通过迎风降落来优化。应该避免生硬的控制。当跑道是潮湿的，着陆前做好制动问题的准备，准备好应付打滑。选择一个最和风向对齐的跑道来降落。此时机械的制动可能是低效的，因此空气动力学制动应该能发挥它的全部优势。(译者注：潮湿的地面不利于使用主轮刹车制动，因为容易打滑，所以要充分利用迎风的阻力来制动。)

起飞和着陆性能

飞行员导致的飞机事故大多数发生在飞行的起飞和着陆阶段。由于这个事实，飞行员就必须熟悉所有影响飞机起飞和着陆性能的变化因素，在这些飞行阶段必须努力做到准确而专业的操作程序。

起飞和着陆性能是加速和减速运动的一种状态。例如，在起飞期间，飞机从零速度起飞加速至起飞速度而升空。在降落期间，飞机以着陆速度接地，减速至零速度。

起飞或者着陆性能的重要因素如下列：

1. 起飞或着陆速度一般的是失速速度或者最小飞行速度的函数。
2. 起飞或着陆滑跑期间的加速或减速的快慢。任何物体的加速和减速直接的和力的不平衡而正比例变化，而随物体的质量反比变化。
3. 起飞或这着陆滑跑的距离是加速/减速和速度这两者的函数。

起飞性能

最小起飞距离是任何飞机运行的主要影响，因为它确定了跑道要求。最小起飞距离是通过以某一最小安全速度起飞来得到的，这个最小安全速度允许失速速度之上的足够富余，提供符合要求的控制和初始爬升率。一般的，升空速度是飞机起飞设定条件下的失速速度或者最小可控速度的某一固定百分比。同样地，升空将发生在某一特定的升力系数和迎角数值。根据飞机的特性，升空速度约是失速速度或者最小可控速度的 1.05 到 1.25 倍。

为计算特定升空速度时的最小起飞距离，在起飞滑跑期间作用于飞机的力必须提供最大加速度。作用于飞机的各种力可能受到或者不受到飞行员的控制，特定的飞机可能需要不同的程序来维持起飞加速在最大值。

发动机推力是提供加速的主要力量，对于最小起飞距离，输出推力应该是最大值。只要飞机有速度就会产生升力和阻力，升力和阻力的值依赖于迎角和动态压力。

除了正确的程序的重要因素之外，还有很多其他变量影响飞机的起飞性能。在起飞滑跑期间改变起飞速度或加速度的任何细节都会影响起飞距离。

例如，总重量对起飞距离的影响是重大的，在预测飞机的起飞距离时必须彻底的考虑这个因素。可以认为增加的总重量对起飞性能有三方面的影响：

1. 较高的升空速度
2. 要加速更大的质量
3. 增加的减速力量(阻力和地面摩擦力)如果总重量增加，就需要更大的速度来产生更大的使飞机以起飞升力系数升空的升力。作为总重量变化的影响的例子，起飞重量增加 21%将需要升空速度增加 10%来支持更大的重量。

总重量的变化将改变有效加速力，也改变了被加速的总质量。如果飞机有相对较高的推重比，有效加速力的变化就会很小，而且对加速的主要影响是由于质量的变化。

起飞距离随总重量的平方而缓慢变化。例如，起飞总重量的 10%增加将导致：

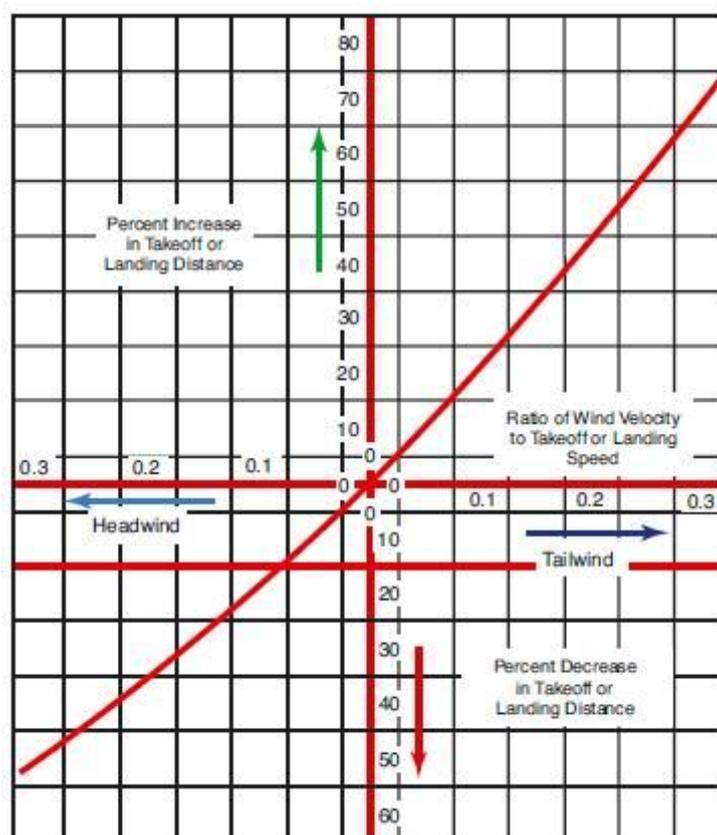
- 需要起飞速度增加 5%
- 加速度至少降低 9%
- 起飞距离至少增加 21%

对于高推重比的飞机，起飞距离的增加可能大约为 21%到 22%，但是对于推重比相对较低的飞机，起飞距离的增加将大约为 25%-30%。如此强烈的影响要求预测起飞距离时充分考虑总重量这个因素。

风对起飞距离的影响是很大的，在预测起飞距离时也必须充分的考虑。迎风的影响是使飞机能够以较低的地面速度达到升空速度，而顺风的影响是要求飞机获得更大的地面速度才能达到升空速度。

为起飞空速 10%的迎风风速会减少起飞距离大约为 19%。然而，起飞空速 10%的顺风风速将会增加起飞距离大约 21%。当迎风速度是起飞速度的 50%时，起飞距离将大约是无风时起飞距离的 25%(降低了 75%)。

风对着陆距离的影响和对起飞距离的影响是一样的。图 9-20 用起飞或着陆距离的百分比变化和风速对起飞或着陆速度比率的函数，说明了风的综合影响。



【横轴为风速对起飞或着陆速度的比率，纵轴是起飞或着陆距离的百分比变化量】

当跑道长度和起飞距离处于临界时，合适的起飞速度的影响是特别重要的。在飞机飞行手册/飞行员操作手册中指定的起飞速度是一般的最小安全速度，飞机可以以这个速度升空。任何以低于推荐速度起飞的努力将意味着飞机可能失速，变得难以控制，或者初始爬升率非常低。在某些情况下，过大的迎角可能使飞机不能飞出地面效应。另一方面，起飞时过大的空速可能提高初始爬升率和飞机的操

纵感，但是会引起起飞距离的不必要增加。假设加速度实质上不受影响，那么起飞距离将随着起飞速度的平方变化。

因此，空速超出 10%将会增加起飞距离 21%。在大多数临界起飞条件下，起飞距离如此的增加是禁止的，飞行员必须坚持使用推荐的起飞速度。

压力高度和环境温度的影响主要的确定了密度高度和它对起飞性能的影响。而温度对发动机性能的某些指标的影响同时被适当修正的话，那么就确定了密度高度对起飞性能的具体影响。密度高度的增加将对起飞性能产生两方面的影响：

1. 更大的起飞速度
2. 降低推力，而且减少了有效加速力。

如果一架给定重量和配置的飞机运行在海平面之上更高的高度，飞机将仍然要求动态压力以起飞升力系数升空。因此，飞机在这个高度上将以和在海平面高度上相同的指示空速起飞，但是由于空气密度降低了，真实空速将会更大。【空气密度降低之后，只有运动的更快才能产生更大的冲压力，指示空速读数才会更大。】

密度高度对发动机推力的影响很大程度上依赖于发动机类型。标准海平面之上的高度增加将使非增压的往复式发动机的功率输出立即降低。但是，标准海平面之上的高度增加将不会使增压的往复式发动机输出功率降低，直到高度超过了临界运行高度。对于这些随高度增加而推力降低的发动机，有效加速力和加速度的影响可以近似的假设直接随空气密度变化。实际上，这个假定的变化也接近近似对高推重比飞机的影响。

为了准确的计算起飞滑跑距离，必需正确的计算压力高度(外业高程[field elevation]是一个不合格的代替数值)和温度。

大多数起飞性能的临界条件是高总重量，高海拔高度，高温度，和不利风向这些因素的一种组合的结果。在所有情况下，飞行员必须利用飞机飞行手册/飞行员操作手册中的性能数据准确的计算起飞距离，不管可用的跑道是什么情况，都要努力做到完美而专业的起飞程序。

在使用飞机飞行手册/飞行员操作手册中的数据计算起飞距离时，必须给出下列主要的考虑因素：

- 压力高度和温度 - 为了计算密度高度对起飞距离的影响
- 总重量 - 对起飞距离有很大的影响
- 风 - 由于风或沿跑道的风分量，有很大的影响
- 跑道坡度和状况 - 斜坡的影响以及诸如冰或雪之类的减速效果的因素。

着陆性能

在大多数情况下，一架飞机的着陆距离将确定飞行运行的跑道要求。最小着陆距离是通过以某一最小安全速度着陆而得到的，这个速度在失速之上留有足够的余度，能够提供满意的控制和复飞能力。总的来说，着陆速度是飞机以着陆设定条件下的失速速度或者最小可控速度的某一固定百分比。如此，着陆是在某一特定的升力系数值和迎角时实现的。具体的数值将依赖于飞机的特性，但是，一旦确定之后，数值就独立于重量，高度和风。

为得到特定着陆速度下的最小着陆距离，作用于飞机的力在着陆滑跑期间必须提供最大减速能力。着陆滑跑时作用于飞机的力可能需要不同的程序来维持着陆减速在最大值。

必须区分最小着陆距离的程序和在相当长的跑道上常规着陆的差别。最小着陆距离是通过飞机产生持续的峰值着陆减速而得到的；即，广泛使用刹车来获得最大减速性能。另一方面，在相当长的跑道上进行常规着陆的滑跑允许广泛的使用气动阻力来使得轮胎和制动器的磨损降到最低。如果气动阻力足够让飞机减速，那么它可以用于着陆的早期阶段而不同于使用刹车；例如，持续的猛烈使用刹车和轮胎会导致受损，但是气动阻力却是免费的，使用的时候也不会有磨损。气动阻力只可以应用于减速到接地速度的 60%到 70%。当速度小于接地速度的 60%到 70%时，气动阻力就非常的小，基本没什么用，就必须使用刹车来让飞机产生持续的减速。因为在着陆滑跑期间的目标是减速，那么发动机推力就应该是最小可能的正值（在反推力的情况就应该是最大可能的负值）。

除了正确的程序这个重要因素之外，很多其他变数也影响着陆性能。在着陆滑跑期间任何改变着陆速度或者减速率的因素都会影响着陆距离。总重量对着陆距离的影响是确定着陆距离的主要因素之一。变重的总重量的一个影响是需要更大的速度来维持飞机处于着陆迎角和升力系数。

作为总重量变化的影响的一个例子，着陆重量增加 21%就需要着陆速度增加 10%来支持更大重量。

当考虑最小着陆距离时，制动器摩擦力在着陆滑跑时占主导地位，对于大多数飞机的设定，制动器的摩擦力是减速的主要来源。

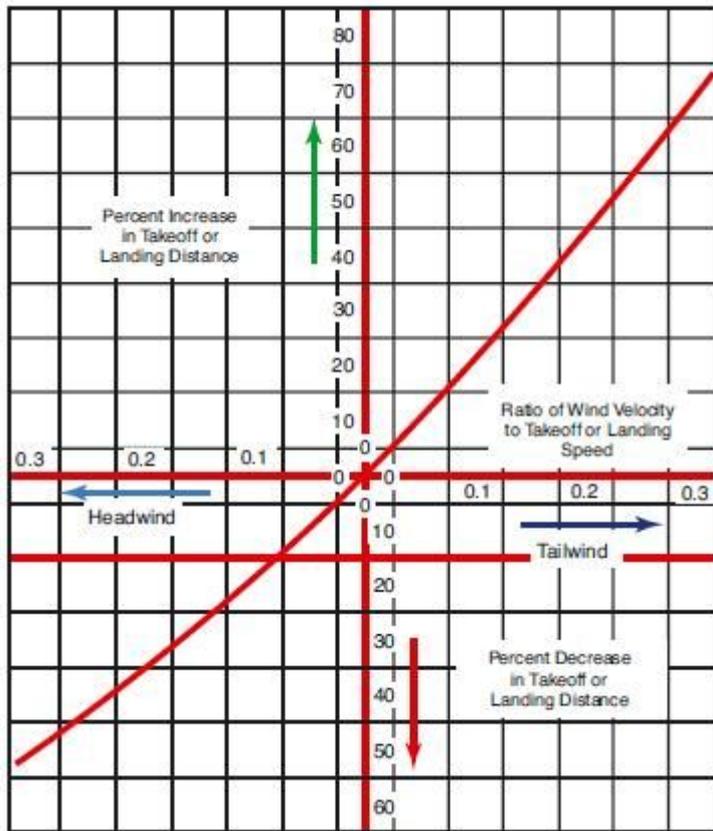
最小着陆距离将随总重量直接正比变化。例如，着陆总重量增加 10%将会导致

1. 着陆速度增加 5%
2. 着陆距离增加 10%

与此相关的意外情况是重量和制动器摩擦力之间的关系。

风对着陆距离的影响很大，在预测着陆距离时要充分考虑。由于飞机将以独立于风的特定空速着陆，风对着陆距离的主要影响就归于飞机接地时的地速变化。风对着陆时减速的影响和对起飞时加速的影响是一样的。

为着陆速度 10%的迎风将会降低着陆距离大约 19%，但是着陆速度 10%的顺风将会增加着陆距离大约 21%。图 9-20 说明了这个大体的影响。



压力高度和周围温度的影响是计算密度高度和他们对着陆性能的影响。密度高度的增加将会增加着陆速度但是不会改变净阻力。因此，这个高度的飞机将以和在平面相同的指示空速着陆，但是由于密度高度降低，真空速将会更大。由于飞机在这个高度以相同的重量和气动压力着陆，着陆滑跑的整个过程中阻力和制动器摩擦力和在海平面时有相同的值。只要条件处于制动器的能力之内，净阻力就是不改变的，减速就和在海平面着陆时相同。既然高度的增加不会改变减速，密度高度对着陆距离的影响实际上归于更大的真空速 (TAS)。

在 5000 英尺海拔高度时的最小着陆距离将会比在海平面时的最小着陆距离大 16%。着陆距离随高度每增加 1000 英尺大约增加 3.5%。为准确的计算着陆距离就必须正确的计算密度高度。

当跑道长度和着陆距离处于临界时，合适的着陆速度的影响是重大的。飞机飞行手册/飞行员操作手册中指定的着陆速度一般是飞机可以着陆的最小安全速度。任何低于指定速度的着陆尝试可能意味着飞机将会失速，难以控制，或者导致较高的下降率。另一方面，以过大的速度着陆可能稍微增加了可控性(特别是在侧风时)，但是会导致不期望的着陆距离增加。

着陆速度超出 10%将会导致着陆距离至少增加 21%。过大的速度也让制动器承受过大的工作负载，因为必须消耗额外的动能。而且，额外的速度导致正常的地面

姿态下的阻力和升力增加，增加的升力将会降低制动器表面的正常力。【译者注：升力增加，导致制动器和跑道之间的压力减小，导致摩擦力降低，进而制动效果降低。】这个速度范围内接地后的立即减速会收到损失，很可能轮胎在这点制动时发生爆裂。

着陆性能的大多数临界条件是一些因素组合的结果，如高的总重量，高密度高度，和不顺利的风。这些条件导致了最大的着陆距离，为制动所需要的能量消耗提供了临界水准。在所有情况下，准确的预测最小着陆距离来和可用的跑道长度比较是非常必要的。一个完美而职业化的着陆程序是必须的，因为飞行的着陆阶段飞行员导致的飞行事故比飞行的其他任何单一阶段都要多。

根据飞机飞行手册/飞行员操作手册中的数据计算最小着陆距离时，必须给出下列的考虑事项：

- 压力高度和温度 - 为了计算密度高度的影响。
- 总重量 - 它确定了着陆的校定空速 (CAS)。
- 风 - 由于风或者沿跑道的风分量而成为一个大的影响。
- 跑道坡度和状况 - 为跑道坡度的常规值而做的小的修正，但是雪，冰和柔软地面有重要影响。

性能速度

真空速 (TAS) - 飞机相对于它所在的空气团的飞行速度。

指示空速 (IAS) - 空速指示器上观察到的飞机速度。这是一个指示器误差，安装误差和压缩性误差未经修正的空速。

标定空速 (CAS) - 安装误差和仪表误差经过修正后的空速指示器读数。在海平面标准大气条件下标定空速等于真空速。空速指示器上不同设计的速度标记可能是 IAS 或者 CAS。

等效空速 (EAS) - 安装误差和仪表误差以及特定高度上绝热的可压缩流修正后的空速指示器读数。在海平面标准大气条件下 EAS 等于 CAS。

V_{s0} - 经校定的停车失速速度或者飞机在着陆设定时维持可控性的最小稳定飞行速度。

V_{s1} - 经校定的停车失速速度或者飞机在指定的设定时维持可控性的最小稳定飞行速度。

V_Y - 在这个标定空速飞机在每单位时间内可以获得最大的高度增加。这个最佳爬升率速度通常会随着高度的增加而缓慢降低。

V_X - 在这个标定空速飞机在一个给定的水平距离内可以获得最高的高度。这个最佳爬升角速度通常会随着高度的增加而缓慢增加。

V_{LE} - 起落架放下时飞机可以安全飞行的最大标定空速。这是一个涉及到稳定性和可控性的问题。

V_{LO} - 起落架可以安全的放下和收起的最大标定空速。这是一个涉及到在放下和收起起落架时作用于工作机械结构上的气动载荷的问题。

V_{FE} - 机翼襟翼位于一个规定的伸出位置时允许的最高标定空速。这是因为要考虑作用于襟翼结构上的气动载荷。

V_A - 标定的设计机动速度。这是作用限定的载荷(阵风或者是控制面的完全偏转)而不会导致结构损坏的最大速度。

V_{NO} - 正常运行或者最大结构巡航速度时的最大标定空速。以这个速度飞行时,超出限制的载荷因子可能导致飞机结构的永久变形。

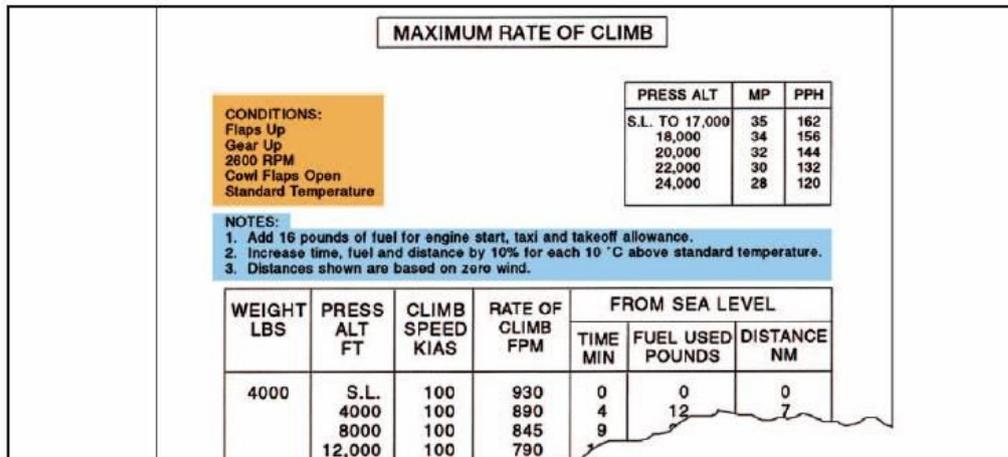
V_{NE} - 永远也不应该超过的标定空速。如果试图以超过这个速度的空速飞行,可能导致结构性损坏或者结构性故障。

性能图表

性能图表给飞行员计算飞机的起飞,爬升,巡航,和着陆性能。制造商提供的这些图表包含在飞机飞行手册或者飞行员操作手册中。制造商在这些图表上提供的信息从一架飞机的测试飞行中收集的,测试飞行是在常规飞行条件下且驾驶技能为平均水平,飞机和发动机处于良好工作状态。工程师记录下飞行数据,然后根据飞机在测试飞行中的表现制作性能图表。通过使用这些性能图表,飞行员可以计算起飞和着陆需要的跑道长度,飞行中将要使用的总燃油量,以及到达目的地需要的时长。记住这点很重要,如果飞机不具备良好工作状态或者运行在不利条件下,图表上的数据将是不准确的。因此,如果飞机未处于良好运行状态或者驾驶技能低于平均水平,那么必须要考虑补偿性能数据。每一架飞机的行为都是不同的,因此有不同的性能数据。在每次飞行前要计算飞机的性能,这是因为每次的飞行也是不同的。

每一个图表都是基于某种条件的,且包含如何把这些信息应用于飞行条件的说明。阅读每一种图表并且理解如何用它这个技能是很重要的。还要阅读制造商提供的随附指南。要获得如何使用这些图表的解释,请参考制造商为特定图表提供

的例子。如图 9-21



制造商提供的信息是非标准化的。信息可能包含在表格格式中，而其他信息可能包含在曲线图中。有时候，组合的曲线图把两个或者多个曲线图组合到一张曲线图里来校正飞行的多种条件。复合的曲线图让飞行员用一张图就可以计算密度高度，重量和风变化时的飞机性能。由于可以从这种图表中分析出大量的信息，非常准确的阅读这种图表就很重要。一开始的一个小误差会导致最后的一个大差错。

本章的后续部分包含总体上的飞机性能信息，还要讨论图表包含了什么信息，以及用直接阅读和插值法如何分析图表中的信息。每一个图表都包含了制定飞行计划时应该使用的非常有价值的信息。用于飞行所有方面的表格，曲线图和复合曲线图格式的例子也会被讨论。

插值法

并非图表上的所有信息都是容易分析的。一些图表要求用插值法来发现特定飞行条件下的信息。插值法信息意思是通过使用已知的信息，飞行员可以计算中间信息。然而，飞行员有时把从图表得到的数字四舍五入成一个更加保守侧数字。

使用稍微更加不利的条件的数字能够提供性能信息的合理估计，还提供了少许安全余量。下面的说明是一个从起飞距离图获得插值法信息的例子。如图 9-22

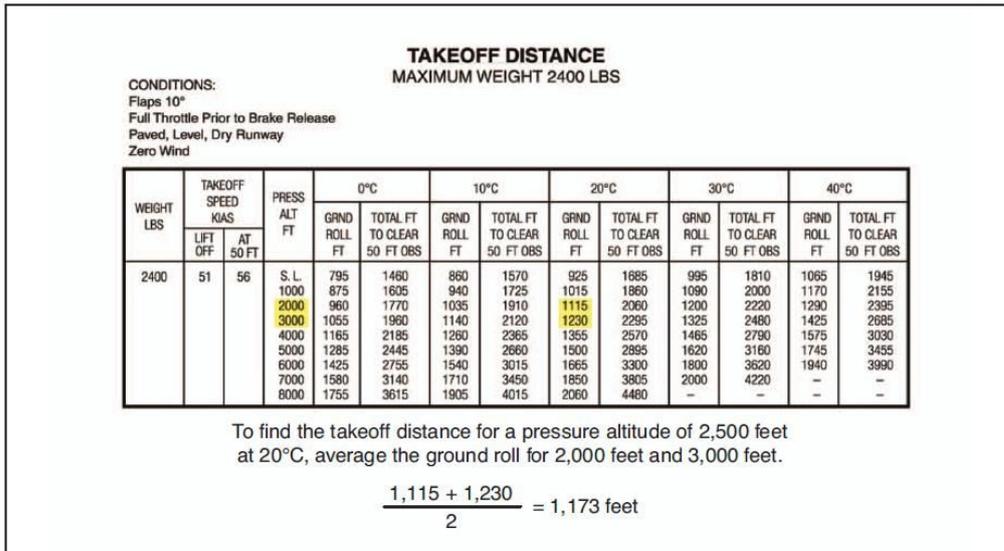


Figure 9-22. Interpolating charts.

密度高度图

使用密度高度图计算起飞机场的密度高度。使用图 9-23 来计算基于给定信息的密度高度。

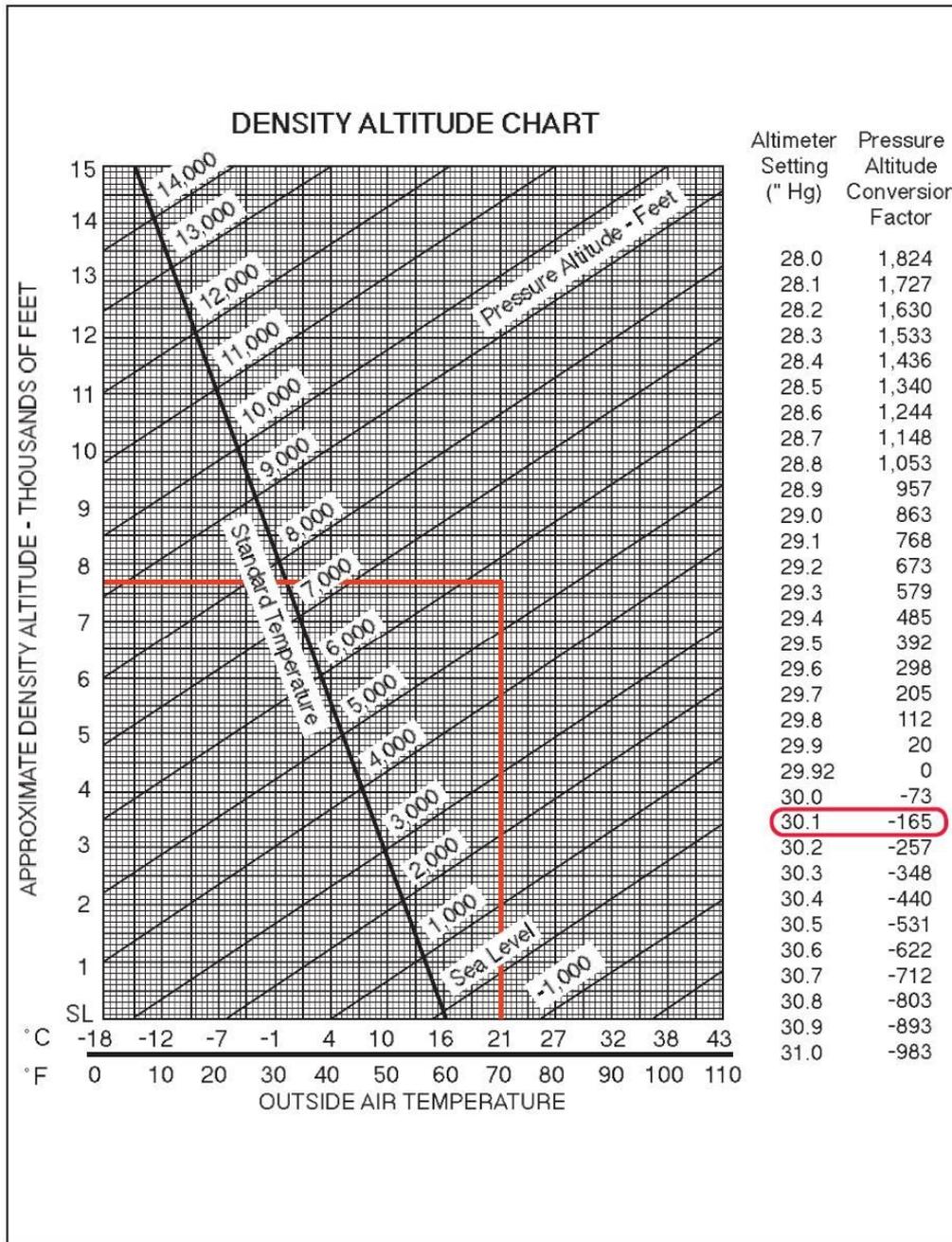


Figure 9-23. Density altitude chart.

示例问题 1

机场海拔高度..... 5883 英尺
 外部大气温度 (OAT)..... 70 华氏度
 高度计读数..... 30.10 英寸汞柱

首先，计算压力高度转换。在高度计标题下查找 30.10。查看对应的第二列的读数。其值为“-165”。因此，必须从机场海拔高度减去 165 英尺，则压力高度为 5718 (5883-165=5718) 英尺。下一步，沿图标的底线刻度查找外部空气温度。从 70 华氏度位置划一条直到 5718 英尺压力高度线，其位置大约是 5000 英尺到 6000

英尺这两根线之间上部的三分之二位置。再从这个点向图表的左侧划一条线，就可以读出近似的密度高度。近似的密度高度为 7700 英尺。

起飞图表

起飞图标典型的有好几种格式。飞行员通过使用它们来计算飞机在不使用襟翼或者特定襟翼设定下的起飞距离。飞行员也可以计算无襟翼起飞飞越 50 英尺高障碍物地点的距离，以及有襟翼时飞越 50 英尺障碍物的距离。起飞距离图表的信息是按照不同的飞机重量，海拔高度，温度，风，以及障碍物高度而提供的。

示例问题 2

压力高度..... 2000 英尺
 外部大气温度 (OAT)..... 22 摄氏度
 起飞重量..... 2600 磅
 迎风速度..... 6 节
 障碍物高度..... 50 英尺障碍物

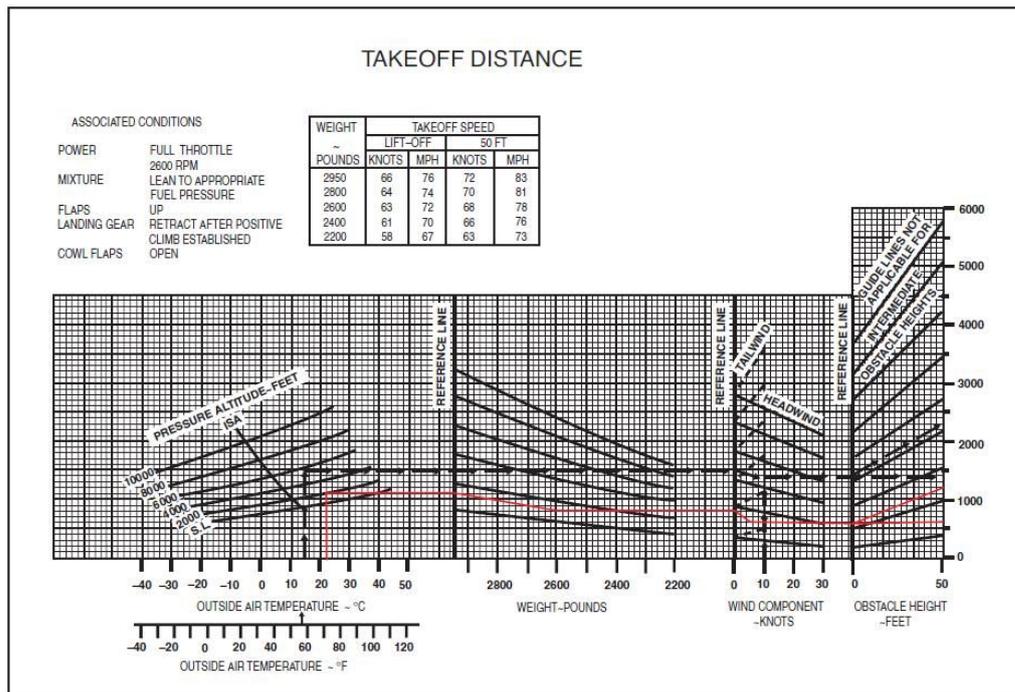


Figure 9-24. Combined takeoff distance graph.

参考图 9-24。这个图标是一个复合的起飞距离图表。它在一张图中考虑了压力高度，温度，重量，风和障碍物。首先，沿着 22 摄氏度向上的直线直到和 2000 英尺高度线相交。从这个交点，划一条直跨到第一条黑色参考线的直线。继续从参考点以斜线方向顺着周围的线条划，一直到和对应的重量线相交。从 2600 磅的交点，划一条直线直到它到达第二条参考线。再次，顺着斜线的方向直到到达 6 节迎风的标记处。沿直线到达第三个参考线，从这个位置向两个方向划一条线。第一，划一条直线来计算地面滑跑距离。下一步，再次沿着斜线直到它到达对应

的障碍物高度。在这个例子中，它是 50 英尺障碍物。因此，划一条斜线到图标的远边。其结果是 600 英尺滑跑距离和飞越 50 英尺障碍物的总距离为 1200 英尺。要查找升空和飞越 50 英尺障碍物对应的起飞速度，要参考图标顶部的表格。在这个例子中，2600 磅时的升空速度将是 63 节，飞过 50 英尺障碍物的速度将是 68 节。

示例问题 3

压力高度..... 3000 英尺
 外部大气温度..... 30 摄氏度
 起飞重量..... 2400 磅
 迎风..... 18 节

| WEIGHT LB | | TAKEOFF SPEED KIAS | | PRESS ALT FT | 0 °C | | 10 °C | | 20 °C | | 30 °C | | 40 °C | | |
|--------------|------|-----------------------|------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----|
| | | | | | GRND ROLL FT | TOTAL FT TO CLEAR 50 FT OBS | |
| | | | | | LIFT OFF | AT 50 FT | | | | | | | | | |
| 2400 | 51 | 56 | S.L. | 795 | 1460 | 860 | 1570 | 925 | 1685 | 995 | 1810 | 1065 | 1945 | | |
| | | | 1000 | 875 | 1605 | 940 | 1725 | 1015 | 1860 | 1090 | 2000 | 1170 | 2155 | | |
| | | | 2000 | 960 | 1770 | 1035 | 1910 | 1115 | 2060 | 1200 | 2220 | 1290 | 2395 | | |
| | | | 3000 | 1055 | 1960 | 1140 | 2120 | 1230 | 2235 | 1325 | 2480 | 1425 | 2685 | | |
| | | | 4000 | 1165 | 2185 | 1260 | 2365 | 1355 | 2570 | 1465 | 2790 | 1575 | 3030 | | |
| | | | 5000 | 1285 | 2445 | 1390 | 2660 | 1500 | 2895 | 1620 | 3160 | 1745 | 3455 | | |
| | | | 6000 | 1425 | 2755 | 1540 | 3015 | 1665 | 3300 | 1800 | 3620 | 1940 | 3990 | | |
| | | | 7000 | 1580 | 3140 | 1710 | 3450 | 1850 | 3805 | 2000 | 4220 | --- | --- | | |
| | | | 8000 | 1755 | 3615 | 1905 | 4015 | 2060 | 4480 | --- | --- | --- | --- | | |
| | | | 2200 | 49 | 54 | S.L. | 650 | 1195 | 700 | 1280 | 750 | 1375 | 805 | 1470 | 865 |
| 1000 | 710 | 1310 | | | | 765 | 1405 | 825 | 1510 | 885 | 1615 | 950 | 1735 | | |
| 2000 | 780 | 1440 | | | | 840 | 1545 | 905 | 1660 | 975 | 1785 | 1045 | 1915 | | |
| 3000 | 855 | 1585 | | | | 925 | 1705 | 995 | 1835 | 1070 | 1975 | 1150 | 2130 | | |
| 4000 | 945 | 1750 | | | | 1020 | 1890 | 1100 | 2040 | 1190 | 2200 | 1270 | 2375 | | |
| 5000 | 1040 | 1945 | | | | 1125 | 2105 | 1210 | 2275 | 1305 | 2465 | 1405 | 2665 | | |
| 6000 | 1150 | 2170 | | | | 1240 | 2355 | 1340 | 2555 | 1445 | 2775 | 1555 | 3020 | | |
| 7000 | 1270 | 2440 | | | | 1375 | 2655 | 1485 | 2890 | 1605 | 3155 | 1730 | 3450 | | |
| 8000 | 1410 | 2760 | | | | 1525 | 3015 | 1650 | 3305 | 1785 | 3630 | 1925 | 4005 | | |
| 2000 | 46 | 51 | | | | S.L. | 525 | 970 | 565 | 1035 | 605 | 1110 | 650 | 1185 | 695 |
| | | | 1000 | 570 | 1060 | 615 | 1135 | 665 | 1215 | 710 | 1295 | 765 | 1385 | | |
| | | | 2000 | 625 | 1160 | 675 | 1240 | 725 | 1330 | 780 | 1425 | 840 | 1525 | | |
| | | | 3000 | 690 | 1270 | 740 | 1365 | 800 | 1465 | 860 | 1570 | 920 | 1685 | | |
| | | | 4000 | 755 | 1400 | 815 | 1500 | 880 | 1615 | 945 | 1735 | 1015 | 1865 | | |
| | | | 5000 | 830 | 1545 | 900 | 1660 | 970 | 1790 | 1045 | 1925 | 1120 | 2070 | | |
| | | | 6000 | 920 | 1710 | 990 | 1845 | 1070 | 1990 | 1145 | 2145 | 1235 | 2315 | | |
| | | | 7000 | 1015 | 1900 | 1095 | 2055 | 1180 | 2225 | 1275 | 2405 | 1370 | 2605 | | |
| | | | 8000 | 1125 | 2125 | 1215 | 2305 | 1310 | 2500 | 1410 | 2715 | 1520 | 2950 | | |

Figure 9-25. Takeoff distance table, short-field.

参考图 9-25。这是一个用于短场地起飞的起飞距离图例子。对于这个图，首先查找起飞重量。找到 2400 磅后，从图表的左侧开始读到右侧。起飞速度在第二列，在第三列的压力高度下，查找 3000 英尺的压力高度。仔细的顺着这行向右侧找，直到找到温度一栏下的 30 摄氏度。地面滑跑总距离读数为 1325 英尺，飞过 50 英尺障碍物要求的总距离是 2480 英尺。在这一点，有 18 节迎风风速。阅读说明部分的第二点，它说对每 9 节迎风要降低距离 10%。对于 18 节的迎风，必须降低距离 20%。1325 英尺乘以 20% 等于 265 英尺，然后从总距离中减去，得到 1060 英尺。重复这个步骤来计算飞越 50 英尺障碍物需要的总距离。地面滑跑距离是 1060 英尺，飞越 50 英尺障碍物所需要的总距离是 1984 英尺。

爬升和巡航图表

爬升和巡航图信息是基于同样类型的一架飞机进行的实际飞行测试。当计划一次越野飞行而计算性能和飞机的燃油消耗时，这个信息是相当有用的。制造商为爬升和巡航性能制作了几个不同的图表。这些图表会包含从燃油，时间和距离到爬升，巡航时的最好功率设定到巡航航程性能的一切。

检查爬升性能的第一个图表就是一张燃油，时间，和距离-爬升图。这个图会给出爬升期间使用的燃油量，完成爬升所需要的时间，爬升过程所要经过的地面距离。要使用这个图表，获得出发机场和巡航高度的信息。使用图 9-26，基于它来计算燃油，时间和爬升的距离。

示例问题 4

- 出发机场压力高度..... 6000 英尺
- 出发机场外部大气温度 (OAT)..... 25 摄氏度
- 巡航压力高度..... 10000 英尺
- 巡航外部大气温度 (OAT)..... 10 摄氏度

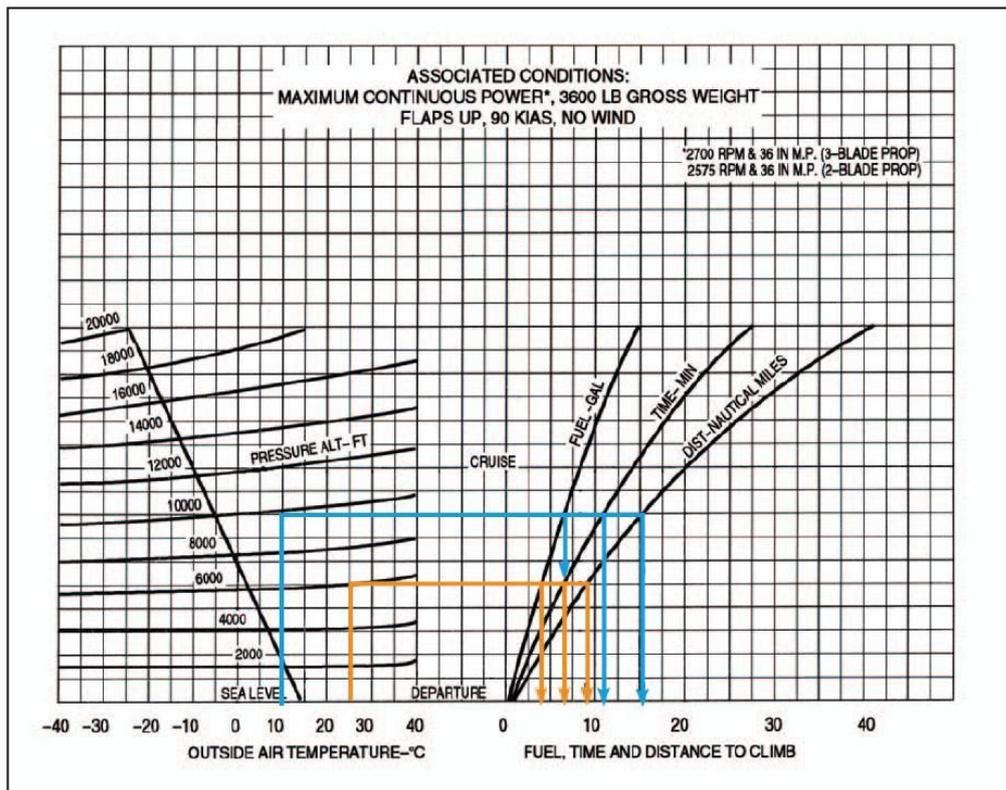


Figure 9-26. Fuel, time, and distance-to-climb chart.

首先，查找出发机场的信息。沿图表的底部左手边查找出发机场的 OAT。顺着 25 摄氏度的线一直向上，直到和对应的压力高度 6000 英尺线相交。继续这条线向右侧和全部三条燃油，时间，距离线相交。从高度和燃油，高度和时间线的交点划一条向下的直线，第三条线在高度和距离的交点。读数应该是 3.5 加仑燃油，6.5 分钟的时间和 9 海里距离。下一步，重复这个步骤来查找巡航高度信息。读数应该是 6.5 加仑燃油，11.5 分钟时间和 15 海里距离。使用每组燃油，时间和

距离的数字和另一个相减(6.5-3.5=3 加仑燃油)。即要消耗 3 加仑燃油, 5 分钟时间来爬升到 10000 英尺。在这个爬升中, 前进的距离是 6 海里。记住, 根据图表顶部的说明, 这些数字没有考虑风的影响, 而且假设使用最大的持续功率。

下一个例子是燃油, 时间和距离-爬升表。对于这个表格, 使用和前一个图表一样的基本标准。然而, 必须用不同的方式来查找信息。参考图 9-27 来解决下面的示例问题。

示例问题 5

出发机场压力高度..... 海平面
 出发机场 OAT.....22 摄氏度
 巡航压力高度.....8000 英尺
 起飞重量.....3400 磅

| NORMAL CLIMB - 110 KIAS | | | | | |
|--|--------------------|-------------------------|----------------|---------------------|----------------|
| CONDITIONS: Flaps Up Gear Up 2500 RPM 30 Inches Hg 120 PPH Fuel Flow Cowl Flaps Open Standard Temperature | | | | | |
| NOTES: 1. Add 16 pounds of fuel for engine start, taxi and takeoff allowance. 2. Increase time, fuel and distance by 10% for each 7 °C above standard temperature. 3. Distances shown are based on zero wind. | | | | | |
| WEIGHT LBS | PRESS ALT FT | RATE OF CLIMB FPM | FROM SEA LEVEL | | |
| | | | TIME MIN | FUEL USED POUNDS | DISTANCE NM |
| 4000 | S.L. | 605 | 0 | 0 | 0 |
| | 4000 | 570 | 7 | 14 | 13 |
| | 8000 | 530 | 14 | 28 | 27 |
| | 12,000 | 485 | 22 | 44 | 43 |
| | 16,000 | 430 | 31 | 62 | 63 |
| | 20,000 | 365 | 41 | 82 | 87 |
| 3700 | S.L. | 700 | 0 | 0 | 0 |
| | 4000 | 665 | 6 | 12 | 11 |
| | 8000 | 625 | 12 | 24 | 23 |
| | 12,000 | 580 | 19 | 37 | 37 |
| | 16,000 | 525 | 26 | 52 | 53 |
| | 20,000 | 460 | 34 | 68 | 72 |
| 3400 | S.L. | 810 | 0 | 0 | 0 |
| | 4000 | 775 | 5 | 10 | 9 |
| | 8000 | 735 | 10 | 21 | 20 |
| | 12,000 | 690 | 16 | 32 | 31 |
| | 16,000 | 635 | 22 | 44 | 45 |
| | 20,000 | 565 | 29 | 57 | 61 |

Figure 9-27. Fuel, time, and distance-to-climb table.

首先, 查找图表第一栏中给定的重量 3400。移到压力高度栏来查找海平面高度数字。在海平面, 其数字为 0。下一步, 看一下和巡航高度 8000 英尺对应的行。通常的, 飞行员会从另一组数据减去这两组数字, 但是假设的事实海平面读数为 0, 可以知道从海平面爬升到 8000 英尺需要的时间为 10 分钟。也可以知道会使用 21 磅燃油且爬升期间前进 20 海里。然而, 温度是 22 摄氏度, 它比标准温度

15 度高出 7 摄氏度。这个图表的说明部分提示我们的结果必须对标准温度之上每 7 度增加 10%。结果乘以 10% (10X10%=1) 等于 1。1+10=11。在考虑额外的 10% 之后，结果应该是 11 分钟，23.1 磅燃油，距离为 22 海里。请注意报告的燃油是以磅为单位的，而不是加仑。航空燃油为每加仑 6 磅，因此 23.1 磅的燃油等于 3.85 加仑的燃油。(23.1/6=3.85)

下一个例子是巡航和航程性能图表。这种图表是设计用于计算特定巡航设定下的真空速，燃油消耗，续航小时数，和航程英里数。使用图 9-28 来计算给定条件下的巡航和航程性能。

示例问题 6

压力高度..... 5000 英尺
 RPM..... 2400rpm
 燃油装载量..... 38 加仑，没有储备燃油

| Gross Weight- 2300 Lbs. Standard Conditions Zero Wind Lean Mixture | | | | | | | | |
|--|------|-------|---------|-----------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|
| NOTE: Maximum cruise is normally limited to 75% power. | | | | | | | | |
| ALT. | RPM | % BHP | TAS MPH | GAL/ HOUR | 38 GAL (NO RESERVE) | | 48 GAL (NO RESERVE) | |
| | | | | | ENDR. HOURS | RANGE MILES | ENDR. HOURS | RANGE MILES |
| 2500 | 2700 | 86 | 134 | 9.7 | 3.9 | 525 | 4.9 | 660 |
| | 2600 | 79 | 129 | 8.6 | 4.4 | 570 | 5.6 | 720 |
| | 2500 | 72 | 123 | 7.8 | 4.9 | 600 | 6.2 | 760 |
| | 2400 | 65 | 117 | 7.2 | 5.3 | 620 | 6.7 | 780 |
| | 2300 | 58 | 111 | 6.7 | 5.7 | 630 | 7.2 | 795 |
| | 2200 | 52 | 103 | 6.3 | 6.1 | 625 | 7.7 | 790 |
| 5000 | 2700 | 82 | 134 | 9.0 | 4.2 | 565 | 5.3 | 710 |
| | 2600 | 75 | 128 | 8.1 | 4.7 | 600 | 5.9 | 760 |
| | 2500 | 68 | 122 | 7.4 | 5.1 | 625 | 6.4 | 790 |
| | 2400 | 61 | 116 | 6.9 | 5.5 | 635 | 6.9 | 805 |
| | 2300 | 55 | 108 | 6.5 | 5.9 | 635 | 7.4 | 805 |
| | 2200 | 49 | 100 | 6.0 | 6.3 | 630 | 7.9 | 795 |
| 7500 | 2700 | 78 | 133 | 8.4 | 4.5 | 600 | 5.7 | 755 |
| | 2600 | 71 | 127 | 7.7 | 4.9 | 625 | 6.2 | 790 |
| | 2500 | 64 | 121 | 7.1 | 5.3 | 645 | 6.7 | 810 |
| | 2400 | 58 | 113 | 6.7 | 5.7 | 645 | 7.2 | 820 |
| | 2300 | 52 | 105 | 6.2 | 6.1 | 640 | 7.7 | 810 |
| 10,000 | 2650 | 70 | 129 | 7.6 | 5.0 | 640 | 6.3 | 810 |
| | 2600 | 67 | 125 | 7.3 | 5.2 | 650 | 6.5 | 820 |
| | 2500 | 61 | 118 | 6.9 | 5.5 | 655 | 7.0 | 830 |
| | 2400 | 55 | 110 | 6.4 | 5.9 | 650 | 7.5 | 825 |
| | 2300 | 49 | 100 | 6.0 | 6.3 | 635 | 8.0 | 800 |

Figure 9-28. Cruise and range performance.

查找图表左边第一栏的压力高度 5000 英尺。接着在第二栏找转速 2400 的设置。顺着这行可以读出真空速 TAS 为 116mph，燃油消耗量是 6.9 加仑每小时。按照这个例子，飞机装载了 38 加仑的燃油，在这栏下可以看到续航小时为 5.5 小时，航程英里数为 635 英里。

计划越野飞行时巡航功率设定表是很有用的。这个表格会给出正确的巡航功率设定和燃油流量以及在那个高度和空速下的空速性能数值。

示例问题 7

巡航时的压力高度.....6000 英尺
OAT.....36 华氏度

| CRUISE POWER SETTINGS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|---------------------|------|-------|-----|------|-----|-----|--------------------|-----|------|-------|-----|------|-----|---------------------|----|----|------|-------|-----|------|-----|-----|
| 65% MAXIMUM CONTINUOUS POWER (OR FULL THROTTLE) 2800 POUNDS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PRESS ALT. | | ISA -20 °C (-36 °F) | | | | | | | STANDARD DAY (ISA) | | | | | | | ISA +20 °C (+36 °F) | | | | | | | | |
| FEET | °F | °C | RPM | IN HG | PSI | GPH | KTS | MPH | °F | °C | RPM | IN HG | PSI | GPH | KTS | MPH | °F | °C | RPM | IN HG | PSI | GPH | KTS | MPH |
| SL | 27 | -3 | 2450 | 20.7 | 6.6 | 11.5 | 147 | 169 | 63 | 17 | 2450 | 21.2 | 6.6 | 11.5 | 150 | 173 | 99 | 37 | 2450 | 21.8 | 6.6 | 11.5 | 153 | 176 |
| 2000 | 19 | -7 | 2450 | 20.4 | 6.6 | 11.5 | 149 | 171 | 55 | 13 | 2450 | 21.0 | 6.6 | 11.5 | 153 | 176 | 91 | 33 | 2450 | 21.5 | 6.6 | 11.5 | 156 | 180 |
| 4000 | 12 | -11 | 2450 | 20.1 | 6.6 | 11.5 | 152 | 175 | 48 | 9 | 2450 | 20.7 | 6.6 | 11.5 | 156 | 180 | 84 | 29 | 2450 | 21.3 | 6.6 | 11.5 | 159 | 183 |
| 6000 | 5 | -15 | 2450 | 19.8 | 6.6 | 11.5 | 155 | 178 | 41 | 5 | 2450 | 20.4 | 6.6 | 11.5 | 158 | 182 | 79 | 26 | 2450 | 21.0 | 6.6 | 11.5 | 161 | 185 |
| 8000 | -2 | -19 | 2450 | 19.5 | 6.6 | 11.5 | 157 | 181 | 36 | 2 | 2450 | 20.2 | 6.6 | 11.5 | 161 | 185 | 72 | 22 | 2450 | 20.8 | 6.6 | 11.5 | 164 | 189 |
| 10000 | -8 | -22 | 2450 | 19.2 | 6.6 | 11.5 | 160 | 184 | 28 | -2 | 2450 | 19.9 | 6.6 | 11.5 | 163 | 188 | 64 | 18 | 2450 | 20.3 | 6.5 | 11.4 | 166 | 191 |
| 12000 | -15 | -26 | 2450 | 18.8 | 6.4 | 11.3 | 162 | 186 | 21 | -6 | 2450 | 18.8 | 6.1 | 10.9 | 163 | 188 | 57 | 14 | 2450 | 18.8 | 5.9 | 10.6 | 163 | 188 |
| 14000 | -22 | -30 | 2450 | 17.4 | 5.8 | 10.5 | 159 | 183 | 14 | -10 | 2450 | 17.4 | 5.6 | 10.1 | 160 | 184 | 50 | 10 | 2450 | 17.4 | 5.4 | 9.8 | 160 | 184 |
| 16000 | -29 | -34 | 2450 | 16.1 | 5.3 | 9.7 | 156 | 180 | 7 | -14 | 2450 | 16.1 | 5.1 | 9.4 | 156 | 180 | 43 | 6 | 2450 | 16.1 | 4.9 | 9.1 | 155 | 178 |

NOTES: 1. Full throttle manifold pressure settings are approximate.
2. Shaded area represents operation with full throttle.

Figure 9-29. Cruise power setting table.

这个问题要参考图 9-29。首先，在表格的左侧找出压力高度 6000 英尺。顺着这行到表格的右侧的 20 摄氏度(或 36 华氏度)栏。在 6000 英尺，转速设定为 2450 将维持 65%的连续功率，进气压力比读数为 21.0 英寸汞柱，燃油流量为 11.5 加仑每小时，空速为 161 节。

另一种巡航图是最佳功率混合航程图。这个图表基于功率设定和高度给出最佳航程。使用图 9-30，根据提供的条件查找 65%功率且没有储备燃油时的航程。

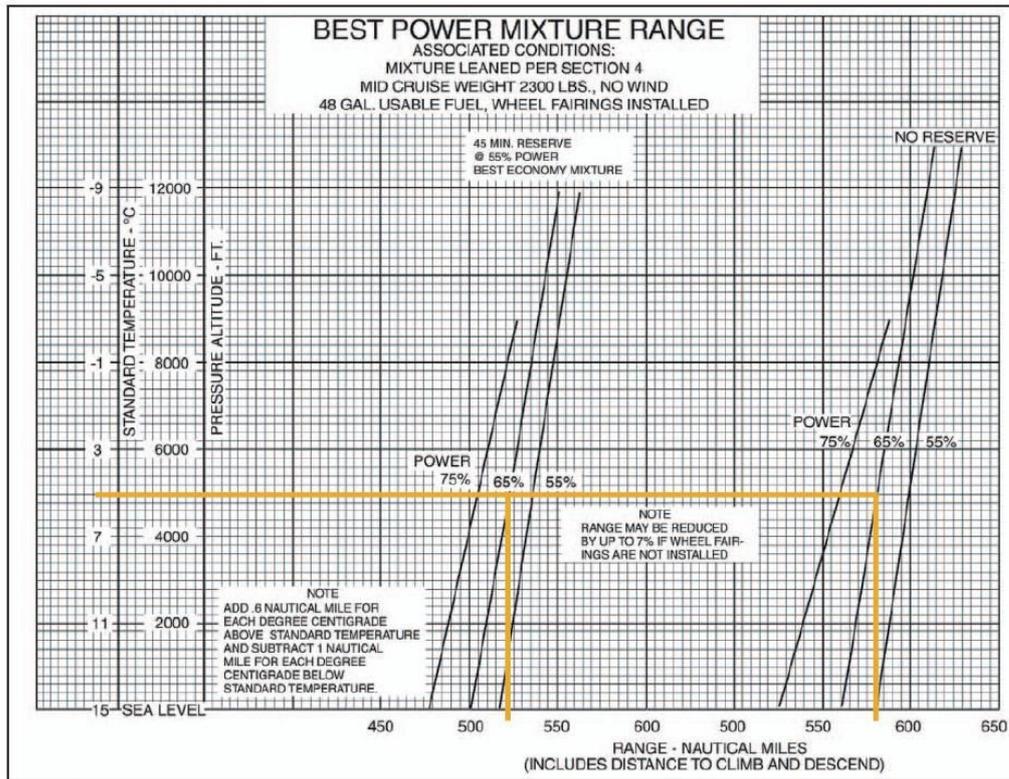


Figure 9-30. Best power mixture range graph.

示例问题 8

OAT..... 标准温度
 压力高度..... 5000 英尺

首先，到图表的左侧 5000 英尺和标准温度线位置。顺着这个位置划线到右侧和有储备及无储备条件下的 65%功率设定线相交。从两个交点划垂直线到图表的底部。在有储备燃油是的 65%功率的航程大约是 522 英里。无储备燃油是 65%功率的航程应该是 581 英里。

侧风和迎风分量图

每一架飞机在认证前都是根据 FAA 法规测试过的。飞机是由一般驾驶技能的飞行员在 90 度侧风风速达到 0.2V_{so} 或者停车，襟翼和起落架都放下时的十分之二飞机失速速度条件下测试的。这就意味着如果飞机的失速速度是 45 节，那么它必须能够在 9 节 90 度侧风速时着陆。最大的示范的侧风分量出版在飞机飞行手册/飞行员操作手册中。侧风和迎风分量图用来计算任何给定风向和风速时的迎风和侧风分量。

示例问题 10

跑道.....17
 风..... 140 度 25 节

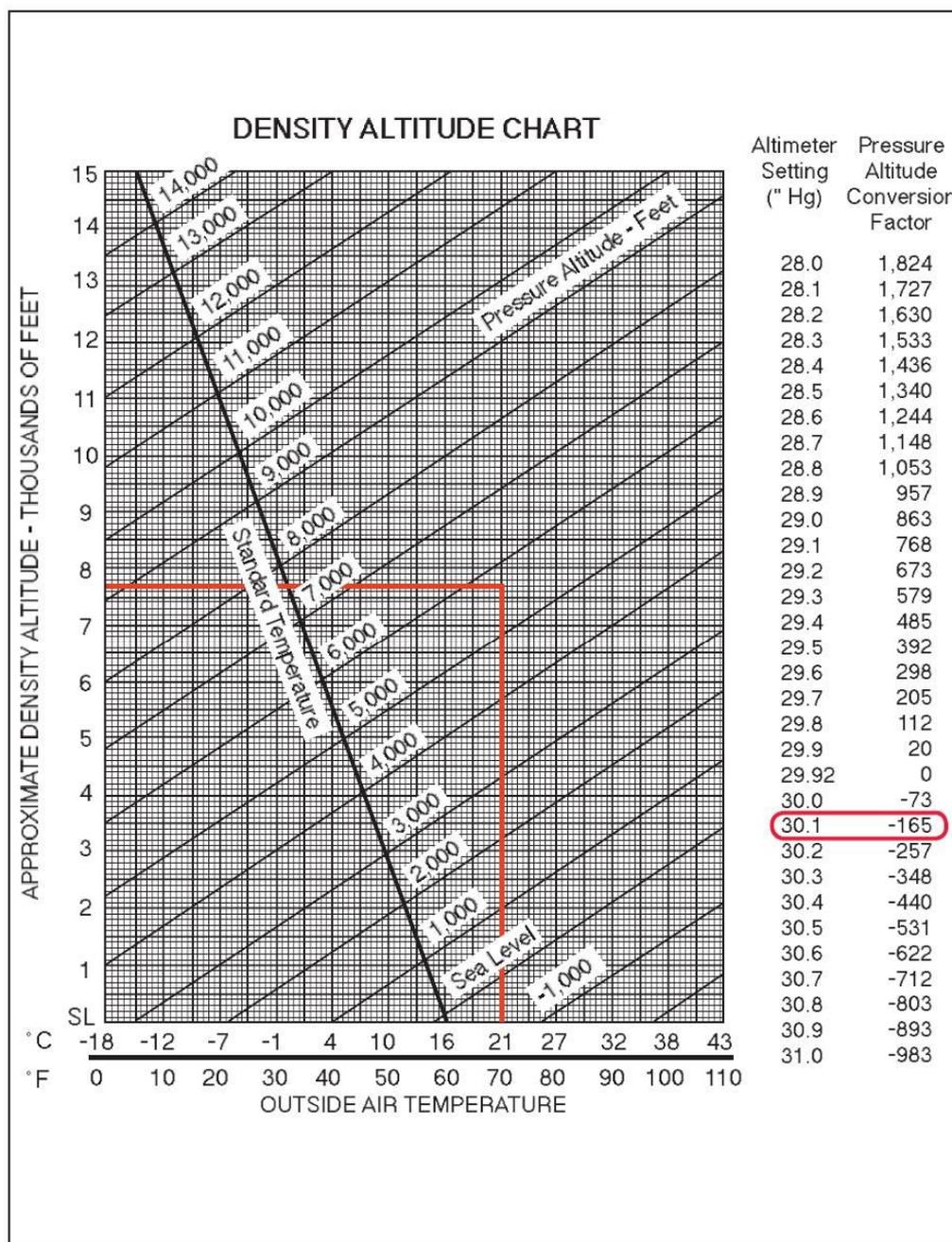


Figure 9-23. Density altitude chart.

参考图 9-32 来解决这个问题。首先，确定跑道和风向之间有多少角度偏差。已知跑道 17 是表示 170 度方向，减去风向 140 度，结果是 30 度偏差。这就是风的角度。下一步，找到 30 度标记从那里划一条线直到和正确的风速 25 节相交。从交点划一条垂直线和横线。迎风分量是 22 节，侧风分量为 13 节。这个信息在起飞和着陆是非常有用，首要的是，如果特定的机场有多个跑道可以选择的话，要选择合适的跑道而不至于使飞机超出它的测试限制。

着陆图表

着陆性能受到和影响起飞性能类似的变量影响。补偿密度高度，飞机重量和迎风是有必要的。就像起飞性能图，着陆距离信息包含正常着陆信息和飞越 50 英尺障碍物的着陆距离。照例，阅读相关的条件和说明来确定图表信息的基础。记住，当计算着陆距离时着陆重量会不同于起飞重量。重量必须重新计算来补偿飞行期间使用的燃油量。

示例问题 11

压力高度..... 1250 英尺
 温度..... 标准温度 (15 摄氏度)

| LANDING DISTANCE | | | | | | | FLAPS LOW HARD SURF |
|--------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|
| GROSS WEIGHT LB | APPROACH SPEED IAS, MPH | AT SEA LEVEL & 59 °F | | AT 2500 FT & 50 °F | | AT 5000 FT & 50 °F | |
| | | GROUND ROLL | TOTAL TO CLEAR 50 FT OBS | GROUND ROLL | TOTAL TO CLEAR 50 FT OBS | | |
| 1600 | 60 | 445 | 1075 | 470 | 1135 | 495 | |

NOTES: 1. Decrease the distances shown by 10% for each 4 knots of headwind.
 2. Increase the distance by 10% for each 60 °F temperature increase above standard.
 3. For operation on a dry, grass runway, increase distances (both "ground roll" and "total to clear 50 ft obstacle") by 10%.

Figure 9-33. Landing distance table.

参考图 9-33。这个例子使用了着陆距离表格。注意到 1250 英尺的高度不在这个表格上。因此必须使用插值法来找到正确的着陆距离。压力高度 1250 英尺是海平面和 2500 英尺高度之间的一半。首先，找到海平面列和 2500 英尺列。把海平面的总距离 1075 英尺和 2500 英尺时的总距离 1135 英尺相加。结果除以 2 得到 1250 英尺时的距离。飞越 50 英尺障碍物的总距离是 1105 $((1135+1075)/2=1105)$ 英尺。重复这个步骤来得到压力高度下的地面滑跑距离。地面滑跑距离应该是 457.5 英尺。

示例问题 12

OAT.....57 华氏度
 压力高度.....4000 英尺
 着陆重量.....2400 磅
 迎风.....6 节
 障碍物高度.....50 英尺

LANDING DISTANCE

ASSOCIATED CONDITIONS:

POWER RETARDED TO MAINTAIN
900 FT/on FINAL APPROACH

FLAPS DOWN

LANDING GEAR DOWN

RUNWAY PAVED, LEVEL, DRY SURFACE

APPROACH SPEED IAS AS TABULATED

BRAKING MAXIMUM

| WEIGHT ~ POUNDS | SPEED AT 50 FT | |
|-----------------------|-------------------|-----|
| | KNOTS | MPH |
| 2950 | 70 | 80 |
| 2800 | 68 | 78 |
| 2600 | 65 | 75 |
| 2400 | 63 | 72 |
| 2200 | 60 | 69 |

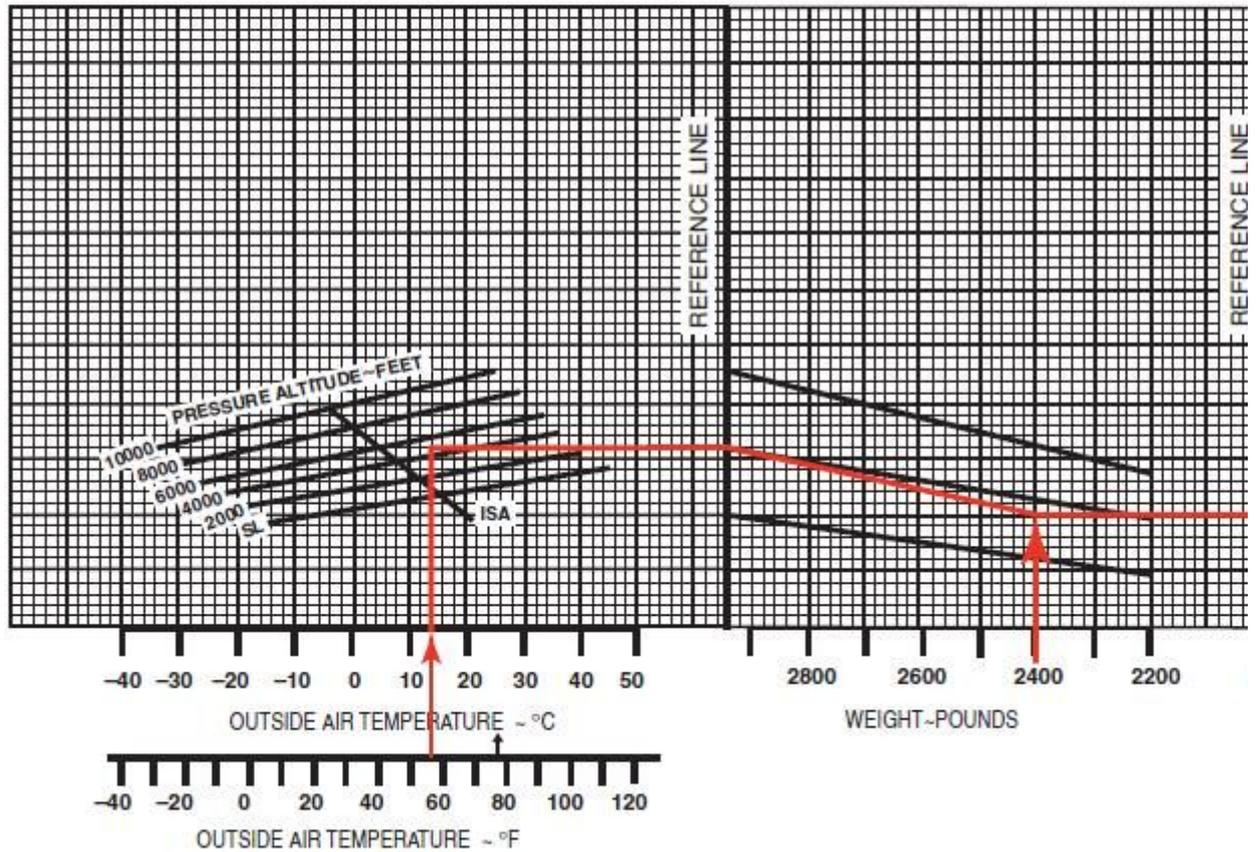


Figure 9-34. Landing distance graph.

使用给定的条件和图 9-34 来计算飞机的着陆距离。这个图表是一个复合着陆距离图的例子，允许补偿温度，重量和迎风，顺风以及变化的障碍物高度。从查找图表左侧的华氏度刻度上正确的 OAT 开始。直线向上到 4000 英尺压力高度线。从这个交点横向移动到第一个黑色参考线。顺着线条的相同斜向知道正确的着陆重量。在 2400 磅，继续横向直线到第二个黑色参考线。再次的，以斜向划一条线到正确的风分量，然后划横线到第三根黑色参考线。从这点，向两个方向划直线：一根横向确定地面滑跑距离，另一根斜线到正确的障碍物高度。这应该是 900 英尺总滑跑距离，飞越 50 英尺障碍物的总距离是 1300 英尺。

失速速度性能图表

失速性能图是设计用于把握飞机在给定配置下要发生失速的速度。这种图表典型的会考虑倾斜角，起落架和襟翼的位置，和油门位置。使用图 9-35 和随附的条件来查找飞机将要失速的速度。

示例问题 13

功率..... 停车
 襟翼..... 放下
 起落架..... 放下
 倾斜角..... 45 度

| GROSS WEIGHT 2750 LBS | | ANGLE OF BANK | | | |
|--------------------------|-----|---------------------|-----|-----|-----|
| | | LEVEL | 30° | 45° | 60° |
| POWER | | GEAR AND FLAPS UP | | | |
| ON | MPH | 62 | 67 | 74 | 88 |
| | KTS | 54 | 58 | 64 | 76 |
| OFF | MPH | 75 | 81 | 89 | 106 |
| | KTS | 65 | 70 | 77 | 92 |
| | | GEAR AND FLAPS DOWN | | | |
| ON | MPH | 54 | 58 | 64 | 76 |
| | KTS | 47 | 50 | 56 | 66 |
| OFF | MPH | 66 | 71 | 78 | 93 |
| | KTS | 57 | 62 | 68 | 81 |

Figure 9-35. Stall speed table.

首先找出正确的襟翼和起落架设定。由于起落架和襟翼是放下的，所以要使用图表的下半部分。下一步，选择对应于停车状态的行。现在可以发现正确的倾斜角栏，即 45 度倾斜角。失速速度是 78 英里每小时，或者 68 节。

性能图为飞行员提供了有价值的信息。要好好利用这些图表。飞行员可以计算飞机在大多数飞行条件下的性能，这使得可以更好的计划每次的飞行。联邦法规全书(CFR)要求飞行员在任何飞行前要熟悉所有可用的信息。飞行员应该使用对飞行安全有帮助的信息。

运输类飞机性能

运输类飞机根据联邦法规全书 14 章 (14 CFR) 的第 25 部得到认证。第 25 部的适航证书标准要求这些飞机有已被证实的性能水平和担保的安全余量，而不管它们所遵守的特定运行规章。

运输类对非运输类性能要求的主要差别

- 完全的温度可说明性

运输类飞机的所有性能图表要求起飞和爬升性能在考虑的全部温度影响下计算的。

- 爬升性能以爬升的百分比斜率表示

运输类飞机的爬升性能表示为爬升的百分比斜率而不是以英尺每分钟爬升的数字计算。这个爬升的百分比斜率是性能的更加实用的表达方式，因为飞机的爬升角在障碍物间隔条件下是关键。

- 升空技术的改变

运输类飞机的升空技术允许在飞机升空后到达 V2（起飞安全速度）。这之所以可能是因为这些飞机上的发动机有优良的加速能力和可靠性特性，也因为有更大的剩余功率。

- 性能要求适用于所有飞行阶段

FAA 认证的所有运输类飞机，不管其他大小，必须按照一致的性能标准运行。这适用于商业运行和非商业运行。

性能要求

运输类飞机必须满足的性能要求如下：

起飞

- 起飞速度

- 要求的起飞跑道
- 要求的起飞爬升
- 障碍物间隔要求

着陆

- 着陆速度
- 要求的着陆跑道
- 要求的着陆爬升

起飞计划

下面是影响运输类飞机起飞性能的速度。飞行机组人员必须彻底的熟悉这些速度的每一个，以及它们在起飞计划中是如何使用的。

- V_S - 失速速度，或者飞机可控条件下的最小稳定飞行速度。
- V_{MCG} - 地面上的最小控制速度，一个发动机不工作，（双方飞机上的关键发动机），起飞功率在另一个发动机上，只使用空气动力学控制来作为方向控制。（必须小于 V_1 ）
- V_{MCA} - 在空中的最小可控速度，一台发动机不工作，工作的发动机处于起飞功率，向好引擎最大倾斜 5 度
- V_1 - 临界发动机故障速度或者决断速度。小于这个速度时引擎故障应该导致中断起飞；超过这个速度应该继续起飞滑跑。
- V_R - 这是飞机的抬前轮速度，开始进入起飞姿态。这个速度不能小于 V_1 或者小于 1.05 倍 V_{MC} 。当一个引擎故障时，它也必须让飞机在跑道尽头 35 英尺高度上加速到 V_2 。
- V_{LO} - 升空速度。在这个速度时飞机开始升空。
- V_2 - 起飞安全速度，在要求的跑道距离尽头 35 英尺高度必须达到这个速度。这本质上是飞机的最佳单发动机不工作时爬升角速度，应该保持到起飞后飞越障碍物，或者保持到至少离地 400 英尺高度。
- V_{FS} - 结束段的爬升速度，它是给予单发动机不工作的爬升，没有设定（含义是起落架和襟翼都没有放下），和最佳连续功率设定。

每次起飞时都应该考虑到上面的所有 V 速度。 V_1 , V_R , V_2 和 V_{FS} 速度应该贴在驾驶舱可以看到，以便起飞时参考。

起飞速度随飞机重量变化。起飞前的速度可以计算，飞行员必须首先确定最大允许起飞重量。可以限制起飞重量的三个因素是跑道要求，起飞爬升要求和障碍物间隔要求。

跑道要求

起飞的跑道要求会受下列因素影响：

- 压力高度
- 温度
- 迎风分量
- 跑道倾斜度或斜坡
- 飞机重量

起飞要求的跑道必须基于在大多数临界点一台发动机失效的可能，即在 V1 (决断速度)。按照规章，飞机的起飞重量必须适应三个距离中最长的一个：

1. 加速跑 (Accelerate-Go) 距离

所有发动机设定在起飞功率时加速到 V1 需要的距离，但是在 V1 时遇到一台发动机故障且继续用剩余的发动机起飞。要求的跑道包括爬升到 35 英尺高度要求的距离，在到达 35 英尺时刻必须达到 V2 速度。

2. 加速停距离

所有发动机设定在起飞功率时加速到 V1 需要的距离，在 V1 是遇到一台发动机故障，且中断起飞，且只用刹车动作来停下飞机 (不考虑使用反推力)。

3. 起飞距离

所有发动机工作时完成起飞到 35 英尺高度要求的距离。必须比一台发动机不工作时起飞要求的距离至少少 15%。这个距离通常不是一个限制因素，因为它通常少于单个发动机不工作时的起飞距离。

这三个要求的起飞跑道考虑在图 9-36 中表示。

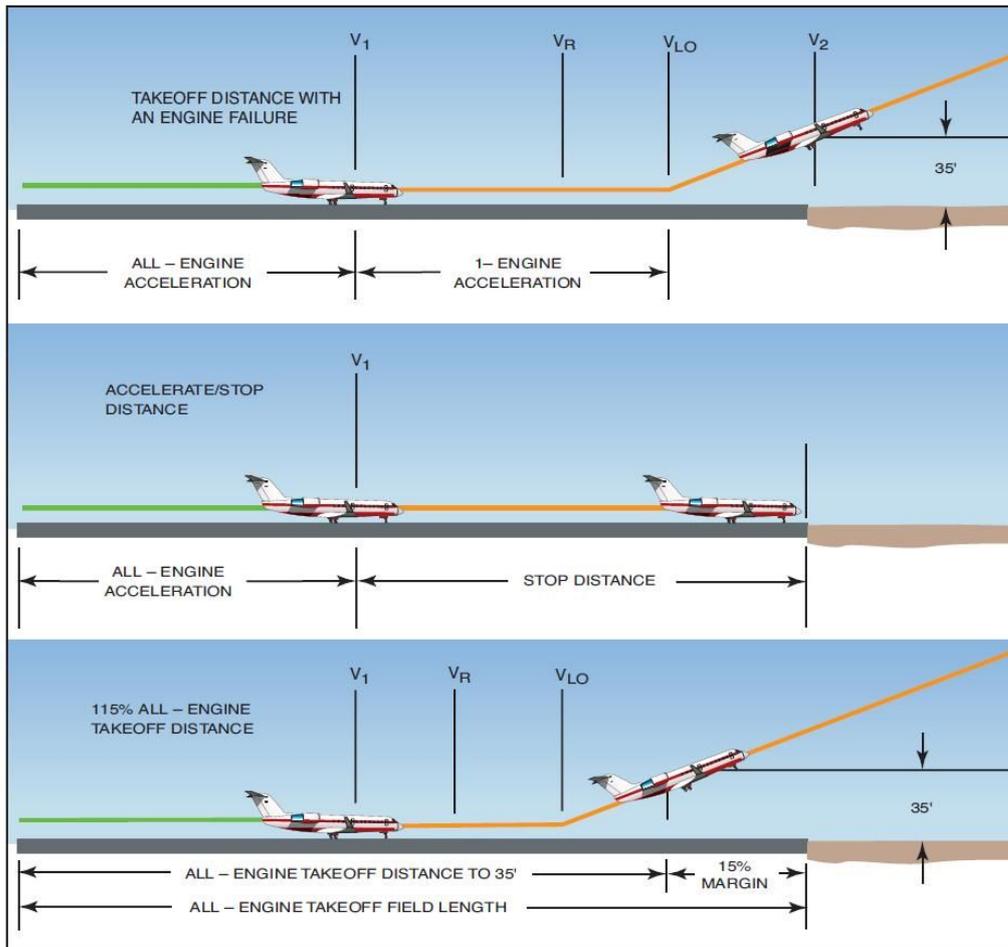


Figure 9-36. Minimum required takeoff runway lengths.

平衡场地长度

大多数情况下，飞行员将使用要求的起飞跑道的性能图，它会给出“平衡场地长度”信息。这个意思是图上显示的起飞距离包含加速跑和加速停距离。表示常规起飞数据的一个有效方法表示在图 9-37 的表格图里。

TAKE-OFF RUNWAY REQUIREMENTS
 Standard ISA Conditions
 Cabin Pressurization ON
 Zero slope runway
 No Flaps – Anti-ice RAM air inlets OFF
 Anti-skid ON
 Distances – 100 feet (V₁ – KIAS)

| TAKE-OFF GROSS WT. AT BRAKE RELEASE | TEMP | | PRESSURE ALTITUDE – FEET | | | | | | | Head- wind (Knots) |
|--|------|------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| | °F | °C | SEA LEVEL (V ₁) | 1000 (V ₁) | 2000 (V ₁) | 3000 (V ₁) | 4000 (V ₁) | 5000 (V ₁) | 6000 (V ₁) | |
| | | | | | | | | | | |
| 19,612 V _R = 126 V ₁ = 134 | 30 | -1.1 | 47 (121) | 48 (121) | 50 (120) | 53 (121) | 57 (122) | 62 (123) | 70 (123) | 0 |
| | 50 | 10 | 48 (121) | 51 (121) | 55 (121) | 60 (122) | 63 (123) | 69 (124) | 77 (125) | |
| | 70 | 21 | 53 (122) | 56 (122) | 60 (123) | 65 (124) | 70 (125) | 77 (125) | 85 (126) | |
| | 90 | 32 | 58 (123) | 62 (124) | 68 (124) | 73 (125) | 78 (126) | 85 (127) | 95 (129) | |
| | 30 | -1.1 | 43 (121) | 43 (121) | 45 (120) | 48 (121) | 52 (122) | 56 (123) | 64 (123) | 20 |
| | 50 | 10 | 43 (121) | 46 (121) | 50 (121) | 55 (122) | 57 (123) | 63 (124) | 70 (125) | |
| | 70 | 21 | 48 (122) | 51 (122) | 55 (123) | 59 (124) | 63 (125) | 70 (125) | 77 (126) | |
| | 90 | 32 | 53 (123) | 57 (124) | 62 (124) | 66 (125) | 71 (126) | 77 (127) | 85 (129) | |
| 19,000 V _R = 124 V ₁ = 131 | 30 | -1.1 | 45 (118) | 45 (118) | 47 (117) | 50 (118) | 54 (119) | 59 (120) | 66 (120) | 0 |
| | 50 | 10 | 46 (118) | 48 (118) | 51 (118) | 56 (119) | 59 (120) | 65 (121) | 73 (121) | |
| | 70 | 21 | 50 (118) | 53 (119) | 57 (120) | 66 (121) | 66 (121) | 72 (122) | 80 (123) | |
| | 90 | 32 | 55 (120) | 59 (121) | 64 (121) | 73 (122) | 73 (123) | 80 (124) | 90 (124) | |
| | 30 | -1.1 | 40 (118) | 41 (118) | 43 (117) | 45 (118) | 49 (119) | 54 (120) | 60 (120) | 20 |
| | 50 | 10 | 42 (118) | 44 (118) | 46 (118) | 51 (119) | 54 (120) | 59 (121) | 66 (121) | |
| | 70 | 21 | 45 (118) | 48 (119) | 52 (120) | 56 (121) | 60 (121) | 65 (122) | 72 (123) | |
| | 90 | 32 | 50 (120) | 54 (121) | 58 (121) | 63 (122) | 66 (123) | 73 (124) | 81 (124) | |
| 18,000 V _R = 119 V ₁ = 127 | 30 | -1.1 | 40 (114) | 41 (114) | 42 (113) | 45 (113) | 49 (114) | 53 (115) | 60 (115) | 0 |
| | 50 | 10 | 41 (115) | 43 (114) | 46 (114) | 50 (115) | 53 (115) | 59 (116) | 66 (117) | |
| | 70 | 21 | 45 (114) | 48 (115) | 51 (115) | 56 (116) | 59 (116) | 65 (116) | 72 (117) | |
| | 90 | 32 | 50 (115) | 53 (116) | 58 (116) | 62 (117) | 66 (118) | 73 (118) | 80 (119) | |
| | 30 | -1.1 | 36 (114) | 37 (114) | 38 (113) | 41 (113) | 45 (114) | 48 (115) | 54 (115) | 20 |
| | 50 | 10 | 37 (115) | 39 (114) | 42 (114) | 46 (115) | 48 (115) | 54 (116) | 60 (117) | |
| | 70 | 21 | 41 (114) | 44 (115) | 46 (115) | 51 (116) | 56 (116) | 59 (116) | 65 (117) | |
| | 90 | 32 | 46 (115) | 48 (116) | 53 (116) | 56 (117) | 60 (118) | 66 (118) | 73 (119) | |
| 17,000 V _R = 115 V ₁ = 124 | 30 | -1.1 | 36 (108) | 37 (108) | 38 (107) | 40 (108) | 44 (109) | 48 (110) | 53 (111) | 0 |
| | 50 | 10 | 37 (110) | 39 (108) | 41 (109) | 45 (110) | 48 (110) | 53 (111) | 59 (112) | |
| | 70 | 21 | 40 (108) | 43 (110) | 46 (111) | 50 (111) | 53 (112) | 58 (111) | 65 (113) | |
| | 90 | 32 | 45 (111) | 46 (112) | 52 (112) | 56 (113) | 59 (114) | 65 (114) | 72 (114) | |
| | 30 | -1.1 | 32 (108) | 33 (108) | 34 (107) | 36 (108) | 40 (109) | 44 (110) | 48 (111) | 20 |
| | 50 | 10 | 34 (110) | 35 (108) | 37 (109) | 41 (110) | 44 (110) | 48 (111) | 54 (112) | |
| | 70 | 21 | 36 (108) | 39 (110) | 42 (111) | 45 (111) | 48 (112) | 53 (111) | 59 (113) | |
| | 90 | 32 | 41 (111) | 44 (112) | 47 (112) | 51 (113) | 54 (114) | 59 (114) | 65 (114) | |
| 16,000 V _R = 111 V ₁ = 120 | 30 | -1.1 | 32 (104) | 33 (103) | 34 (103) | 36 (103) | 39 (105) | 43 (106) | 48 (106) | 0 |
| | 50 | 10 | 34 (105) | 35 (103) | 37 (104) | 41 (105) | 43 (106) | 47 (107) | 53 (107) | |
| | 70 | 21 | 36 (104) | 38 (105) | 41 (105) | 45 (106) | 48 (107) | 52 (107) | 58 (108) | |
| | 90 | 32 | 41 (106) | 43 (107) | 46 (107) | 50 (108) | 53 (108) | 58 (109) | 64 (110) | |
| | 30 | -1.1 | 29 (104) | 30 (103) | 31 (103) | 32 (103) | 35 (105) | 39 (106) | 44 (106) | 20 |
| | 50 | 10 | 31 (105) | 32 (103) | 33 (104) | 37 (105) | 39 (106) | 43 (107) | 48 (107) | |
| | 70 | 21 | 32 (104) | 34 (105) | 37 (105) | 41 (106) | 44 (107) | 47 (107) | 53 (108) | |
| | 90 | 32 | 37 (106) | 39 (107) | 42 (107) | 45 (108) | 48 (108) | 53 (109) | 58 (110) | |
| 15,000 V _R = 106 V ₁ = 116 | 30 | -1.1 | 28 (98) | 30 (98) | 30 (98) | 32 (98) | 35 (99) | 38 (101) | 42 (101) | 0 |
| | 50 | 10 | 30 (100) | 31 (98) | 33 (99) | 36 (100) | 38 (101) | 42 (102) | 46 (102) | |
| | 70 | 21 | 32 (99) | 34 (100) | 37 (101) | 40 (102) | 42 (102) | 46 (102) | 51 (103) | |
| | 90 | 32 | 36 (101) | 38 (102) | 41 (102) | 44 (103) | 47 (104) | 51 (104) | 56 (105) | |
| | 30 | -1.1 | 25 (98) | 27 (98) | 27 (98) | 29 (98) | 32 (99) | 34 (101) | 38 (101) | 20 |
| | 50 | 10 | 27 (100) | 29 (98) | 30 (99) | 32 (100) | 34 (101) | 38 (102) | 42 (102) | |
| | 70 | 21 | 29 (99) | 31 (100) | 33 (101) | 36 (102) | 38 (102) | 42 (102) | 46 (103) | |
| | 90 | 32 | 32 (101) | 34 (102) | 37 (102) | 40 (103) | 43 (104) | 46 (104) | 51 (105) | |

Note: Shaded area indicates conditions that do not meet second segment climb requirements.
Refer to F.M. for takeoff limitations.

Figure 9-37. Normal takeoff runway required.

图 9-37 中的图表显示了正常条件下要求的跑道距离，且作为标准起飞的快速参考也很有用。不同重量和条件下的 V 速度也显示了。

对于非常规起飞条件，例如发动机防冰，刹车防滑不工作了，或者极端温度或者跑道有斜坡，飞行员应该参考飞机飞行手册中性能部分合适的起飞性能图。

有其他的时候如非常高的重量和温度，那里的跑道要求可能由影响飞机停止能力的最大刹车动能限制而规定。在这些条件下，加速停止距离可能大于加速跑距离。使性能恢复到平衡场地起飞条件的程序是限制 V_1 速度使它不超过最大刹车动能速度(有时称为 V_{BE})。这个程序也会导致允许起飞重量的降低。

爬升要求

在一个发动机不工作的条件下飞机到达 35 英尺高度后，有一个要求即飞机能够以指定的爬升斜率爬升。这称为起飞航迹要求。必须基于一个发动机不工作爬升到离地 1500 英尺高度来考虑飞机的性能。

以要求的爬升斜率起飞的航迹侧面图的不同阶段和设定在图 9-38 中图示。

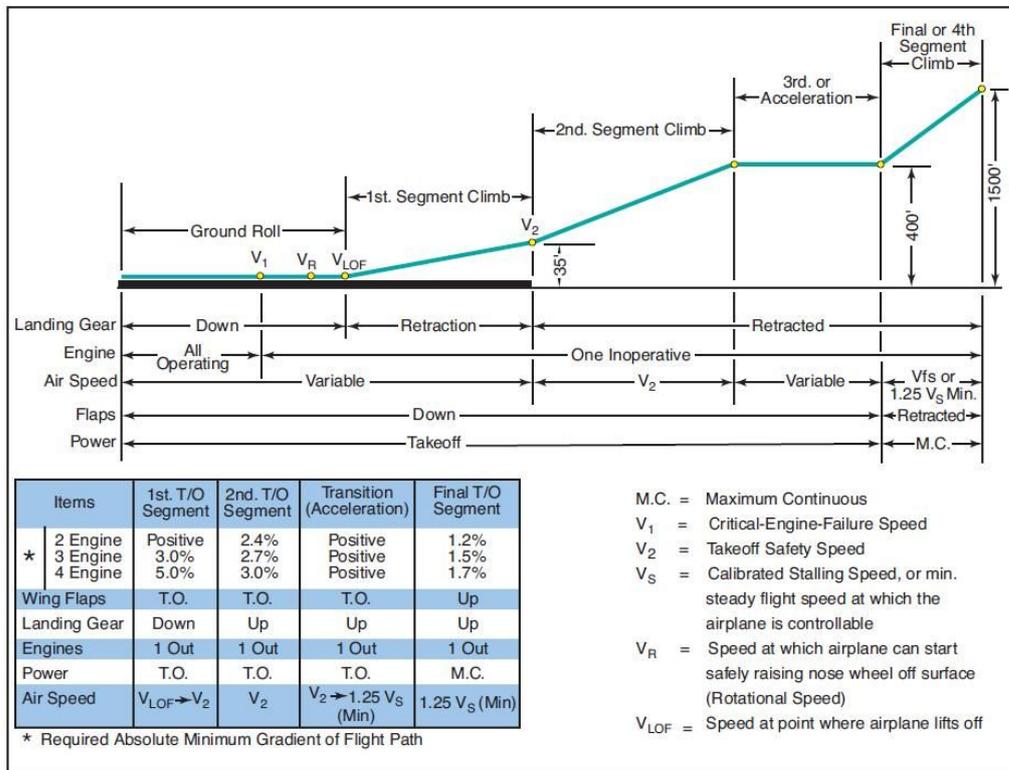


Figure 9-38. One-engine inoperative takeoff flightpath.

说明：爬升斜率最好表示为给定水平距离的垂直高度增加量。例如，2.4%的斜率意思是地面水平距离每前进 1000 英尺则高度增加 24 英尺。

下面的对单发动机不工作时的爬升侧面图的简要解释对于理解图 9-38 的图表会有所帮助。

第一节

这一阶段包含在要求的起飞跑道图中，从飞机升空点测量到跑道端点 35 英尺高度时的距离。最初的速度是 V_{L0} ，在 35 英尺高度的时候必须达到 V_2 。

第二节

这是侧面图最关键的一段。第二段是从 35 英尺高度爬升到离地 400 英尺高度。工作的发动机以全部起飞功率爬升，爬升速度为 V_2 ，且襟翼设定在起飞设定位置。这段要求的爬升斜率对双发飞机是 2.4%，三发飞机是 2.7%，四发飞机是 3.0%。

第三节或者加速节

在这一段，飞机要维持离地 400 英尺以上，在继续爬升概貌之前从 V_2 加速到 V_{FS} 速度。襟翼在加速节的开始收起，功率尽可能长的维持在起飞设定(最大 5 分钟)。

第四节或者最后节

这阶段从 400 英尺到地面上 1500 英尺高度，功率设定在最大连续功率。这阶段要求的爬升对双发飞机是 1.2% 的爬升斜率，对三发飞机是 1.55%，对四发飞机是 1.7%。

第二节爬升限制

从 35 英尺到 400 英尺的第二节爬升要求是爬升阶段中最严格的(或者最难以满足的)。飞行员必须确保每次起飞都能满足第二节爬升。为了在较高的密度高度条件下获得这个性能，可能必须限制飞机的起飞重量。

必须要理解的是，无论起飞跑道的实际可用长度是多少，必须调整起飞重量得以满足第二节爬升要求。一个发动机不工作时飞机可能能够升空，但是它还必须能够爬升和飞越障碍物。尽管在较低的海拔高度时第二节爬升可能不会表现出很大的问题，在更高海拔的机场和较高的温度时，计算要求的起飞跑道距离之前，应该参考第二节爬升图来计算对最大起飞重量的影响。

航空运输障碍物间隔要求

法规要求 1958 年 9 月 30 日以后认证的大型运输类涡轮机动力类飞机以一个重量起飞，能够使净起飞航迹(一个发动机不工作)飞越垂直高度至少 35 英尺的障碍物，或者机场边界内至少 200 英尺水平距离，通过边界后至少 300 英尺水平距离。起飞航迹被认为是从起飞距离端点的起飞地面之上 35 英尺处开始，延伸到起飞中飞机距离起飞地面 1500 英尺高的一点，或者在从起飞想航路配置的过渡已经

完成的那一点。净起飞航迹是实际起飞航迹的每一点高度减去一定百分比，对于双发飞机为 0.8%，三发飞机为 0.9%，四发飞机为 1.0%。

因此航空运输飞行员不仅要负责确保跑道足够在一个发动机不工作起飞(平衡场地长度)使用，以及满足要求的爬升斜率的能力；他们还必须也确保飞机能够安全的飞越任何可能在起飞航迹上的障碍物。

净起飞航迹和要求的障碍物间隔如图 9-39 所示。

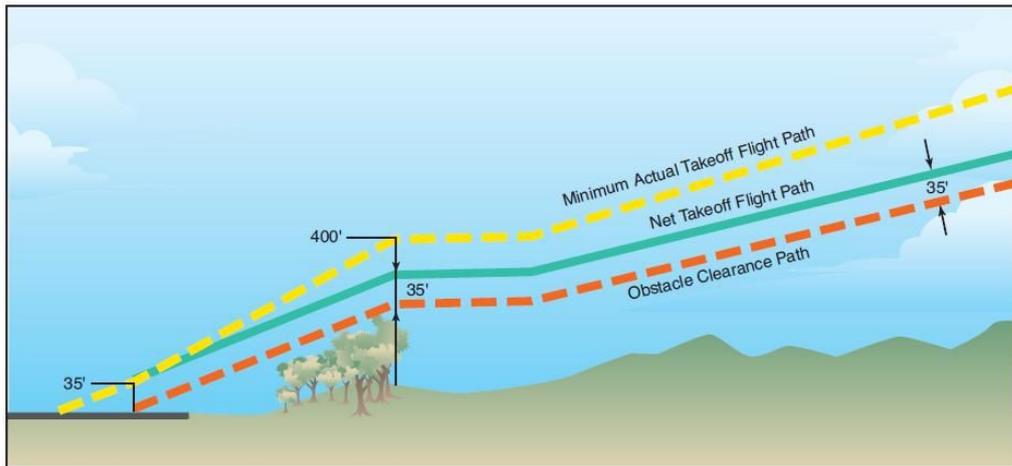


Figure 9-39. Takeoff obstacle clearance requirements.

计算净起飞航迹性能的常规方法是合计每一个爬升阶段要求的总地面距离和/或使用飞机飞行手册中的障碍物间隔性能图。尽管在正常使用的机场障碍物间隔要求很少是一个限制，但在临界条件时也经常是一个相当重要的考虑，例如较高的起飞重量和/或高密度高度。考虑以 2.4% 的爬升斜率，增加 1500 英尺高度那么水平距离要前进 10.4 海里。

起飞要求小结

为了确定一架运输类飞机的允许起飞重量，在任何飞机场，必须考虑下列因素：

- 机场压力高度
- 温度
- 迎风分量
- 跑道长度
- 跑道坡度和倾斜度
- 航迹的障碍物

一旦知道上述的详细信息且应用于适当的性能图表，就有可能计算出最大允许起飞重量。这个重量就是下列条件允许的最大重量中的较低的一个：

- 要求的平衡场地长度

- 发动机不工作爬升能力(受限制的第二节)
- 障碍物间隔要求

在实践中，在低海拔机场起飞重量的限制通常是归于跑道长度限制；发动机不工作爬升限制高海拔机场的最常见限制。必须观察所有对重量的限制。由于飞机的燃油和载荷复合重量可能接近最大起飞重量的一半，降低燃油重量来满足起飞限制通常是可能的。然而，完成了这步，必须重新计算燃油和航程减少后的飞行计划。

着陆性能

和在起飞计划中一样，必须考虑着陆时的特定速度。这些速度如下所示：

水平条件下

- V_{SO} - 着陆设定下的失速速度或者最小稳定飞行速度。
- V_{REF} - 着陆设定时失速速度的 1.3 倍。在跑道尽头 50 英尺高度要求这个速度。
- 进近爬升速度 - 进近爬升速度是在进近设定下能够得到最好爬升性能的速度，条件是一个发动机不工作，而运行的发动机设定在最大起飞功率。这个配置下要求的爬升斜率是对于双发飞机为 2.1%，三发飞机为 2.4%，四发飞机为 2.7%。
- 着陆爬升 - 这个速度在完全着陆设定下将得到最好的性能，且所有发动机设定为最大起飞功率。在这个配置要求的爬升斜率为 3.2%。

计划着陆

正如起飞一样，上面列出的起飞速度在着陆前应该先计算好，且两个飞行员都可以看到。 V_{REF} 速度或者门限速度是用作整个起落航线的参考速度或者在下面例子中的仪表进近：

| | |
|-----------------------|----------------------|
| V_{REF} 加 30 节..... | 三边或者程序转弯 |
| V_{REF} 加 20 节..... | 一边或者最终归航 |
| V_{REF} 加 10 节..... | 五边或者从最终定向归航 (ILS 五边) |
| V_{REF} | 跑道尽头 50 英尺高度的速度 |

着陆要求

飞机的最大着陆重量会被进近爬升要求或者可用的着陆跑道限制。

进近爬升要求

进近爬升通常比着陆爬升更是限制的(或者说更难以满足),主要因为它基于一个发动机不工作时的执行复飞(missed approach)的能力。要求的爬升斜率会受到压力高度和温度的影响,以及正如起飞的第二节爬升中,飞机重量必须按需要进行限制以符合这个爬升要求。

要求的着陆跑道

着陆需要的跑道距离会受到下列因素的影响:

- 压力高度
- 温度
- 迎风分量
- 跑道斜率或坡度
- 飞机重量

在计算要求的着陆距离时,一些制造商没有把上面的所有数据包含在他们的图表中,因为规章声明说只有压力高度,风和飞机重量必须考虑。图表按照防滑和不防滑条件提供,但是计算要求的着陆距离时不使用反推力。

规章要求的着陆距离是从跑道尽头 50 英尺高度着陆和完全停止所需要的距离。它包括从 50 英尺高度到接地点(可以假设跑道距离 1000 英尺)的空中行进距离,加上停下来距离,且没有剩余的预留距离。这是 14CFR 第 91 部运营者(非航空运输公司)要求的全部,且全部显示在某个要求的着陆距离图上。

对于航空运输和其他商业运营者,他们受限于 14CFR 第 121 部,适用的一组不同的规则说明:从 50 英尺高度要求的着陆距离不能超过实际跑道可用长度的 60%。在所有情况下,50 英尺高度允许的最小空速必须不小于飞机在着陆设定下的失速速度的 1.3 倍。这个速度通常称为飞机的 V_{REF} 速度,它随着陆重量而变化。图 9-40 是这些着陆跑道要求的图示。

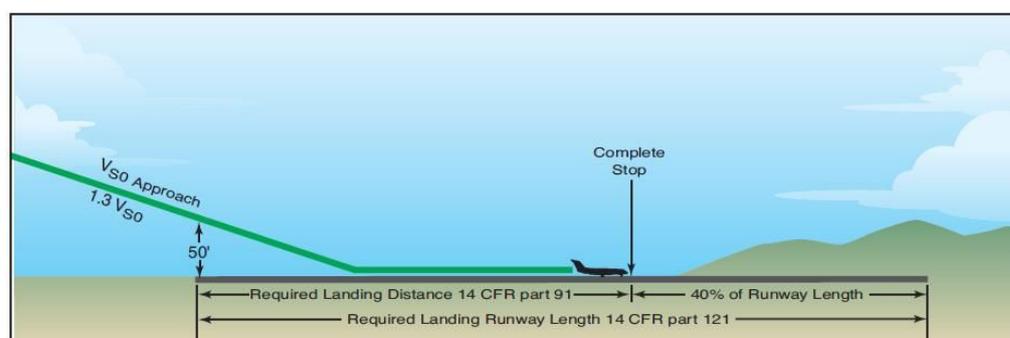


Figure 9-40. Landing runway requirements.

着陆要求小结

为了确定一架运输类飞机的允许着陆重量，必须考虑下列详细数据：

- 机场压力高度
- 温度
- 迎风分量
- 跑道长度
- 跑道斜率或者坡度
- 跑道表明状况

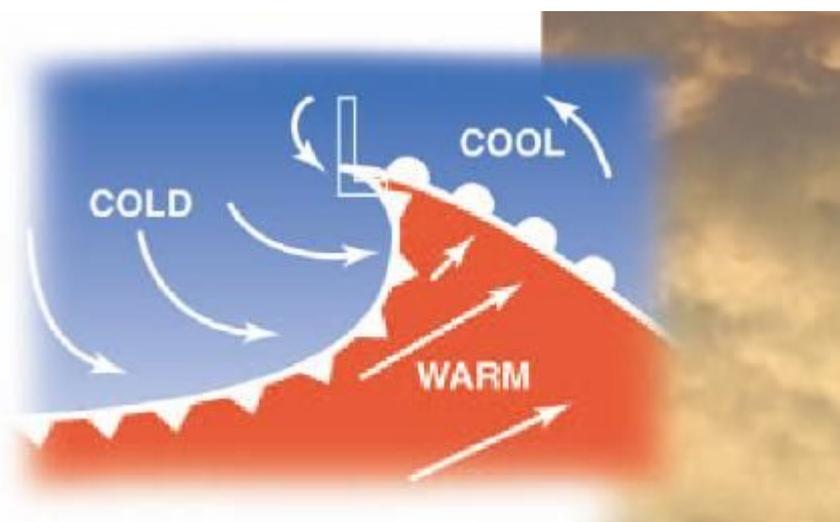
有了这些详细数据，就可能确定最大允许着陆重量，它即下列限制的重量中较轻的一个：

- 着陆跑道要求
- 进近爬升要求

在实践中，进近爬升限制(进近设定时且一台发动机不工作的爬升能力)是很少遇到的，因为到达目的地机场时的着陆重量通常是变轻了。然而，正如起飞的第二阶段爬升的要求，这个进近爬升斜率必须满足，如果有必要的话必须限制着陆重量。最可能使进近爬升处于临界的条件是以大的重量和高压力高度和温度时的着陆，如果刚起飞不久就要求着陆那么会遇到这样的条件。

着陆场地要求比进近爬升限制更加频繁的限制一架飞机的允许着陆重量。然而除非跑道特别的短，这基本不成问题，因为在目的地的平均着陆重量由于燃油的消耗而很少达到最大设计着陆重量。

第十章 - 天气理论



不管是准备本地飞行还是长途越野飞行，基于天气的飞行计划决定会明显的影响飞行安全。对天气理论扎实的理解为理解从飞行服务站气象专家和其他航空气象服务机构获得的报告和预报提供了必要的工具。

本章的目的是帮助飞行员学习天气理论背景知识，它是培养和天气有关的有效决断技能必须的。然而，需要着重说明的是经验是不可替代的。

大气特性

大气是包围地球的一层气体混合物。这层大气的覆盖为我们提供免受紫外线的保护，还用于维持这个星球上人类，动物和植物的生命。氮气占大气组成的 78%，而氧气则占据了 21%，氩气和二氧化碳，和微量的其他气体组成了余下的 1%。如图 10-1。

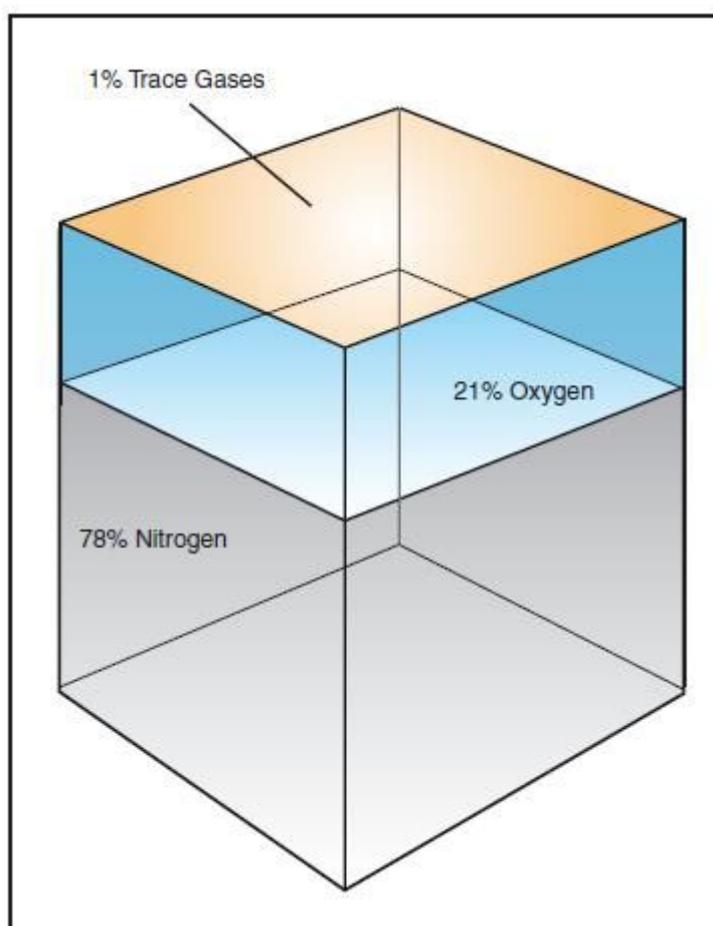


Figure 10-1. Composition of the atmosphere.

在这些大气的包围中，有几个可以识别的大气层，不仅是因为高度而定义的，也是由于各层的具体特性。如图 10-2

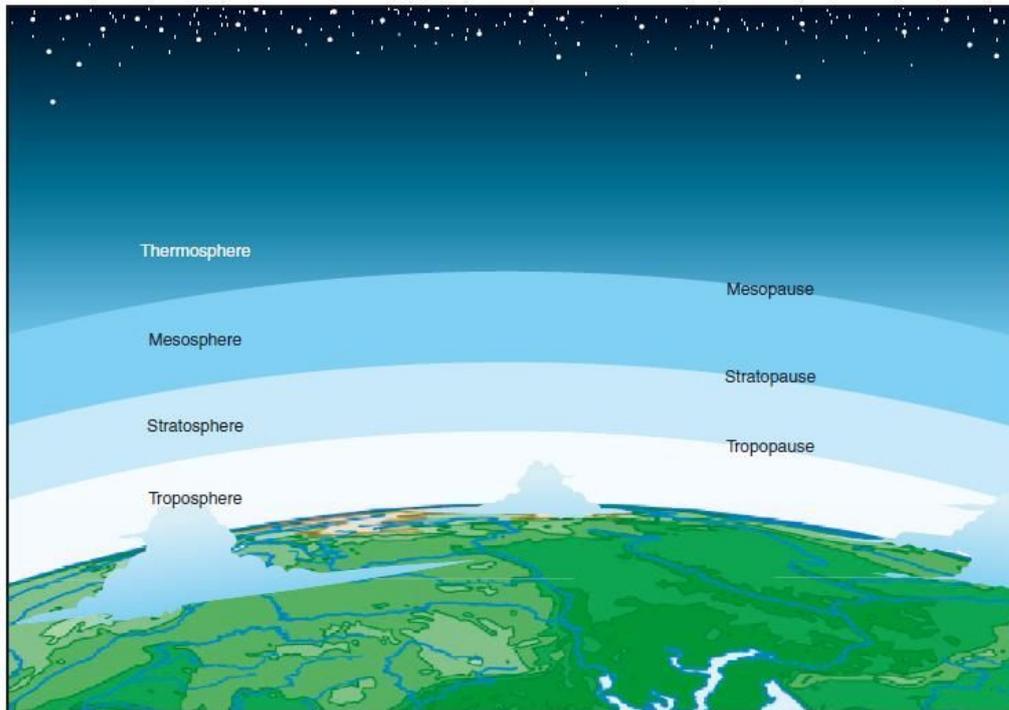


Figure 10-2. Layers of the atmosphere.

第一层称为对流层【根据纬度不同从地表延伸到 20000 英尺至 60000 英尺的大气层】，在北极和南极地区从海平面延伸到 20000 英尺(8 公里)，在赤道附近地区延伸到 48000 英尺(14.5 公里)。绝大多数的天气，云，暴风雨，和温度变化都发生在大气的这第一层。在对流层内，温度以高度每升高 1000 英尺 2 摄氏度的比率下降，而压力以每升高 1000 英尺 1 英寸的比率下降。在对流层的顶部是被称为对流层顶的边界，它阻止了对流层中的湿气和相关的天气。对流层顶的海拔高度随着纬度和一年中的季节而变化；因此它是呈椭圆形的，而不是圆形的。对流层顶的位置是重要的，因为它通常和射流(jetstream)以及可能的晴空乱流(clear air turbulence)的位置有关。

对流层顶之上的大气层是同温层【或叫平流层】，它从对流层顶延伸到大约 160000 英尺(50 公里)的高度。在这一层很少有天气现象，而且空气保持稳定。在平流层的顶部是另一个称为平流层顶的边界，它处于大约 160000 英尺的高度。就在这之上是中间层，它延伸到中间层顶边界大约 280000 英尺(85 公里)的高度。中间层的温度随着高度的增加而快速降低，可能冷到零下 90 摄氏度。大气的最后一层叫热层。它从中间层之上开始向外太空逐渐变得稀薄。

氧气和人体

如前面讨论过的，氮气和少量气体占大气的 78%，而剩余的 21%是支持生命的，即大气的氧气。在海平面高度，大气压力大的足够支持正常的生长，行动和生活。然而，在 18000 英尺，氧气的分压严重的降低到了对正常活动和人体功能不利影响的地步。事实上，在 10000 英尺以上一般人的反应开始变差，而对一些人则是低到 5000 英尺。对缺氧的生理反应是危险的，且以不同的方式影响人们。

这些现象从轻度的定位障碍到完全不能定位，这依赖于身体的忍受能力和所在的高度。

通过使用辅助的氧气和机舱增压系统，飞行员可以飞行在更高的高度，克服缺氧的不利影响。

大气压力的重要性

在海平面，大气对地球施加的压力为每平方英寸 14.7 磅的力。这意思是从地球表面延伸到外部极限高度的一平方英寸空气柱，其重量大约为 14.7 磅。如图 10-3

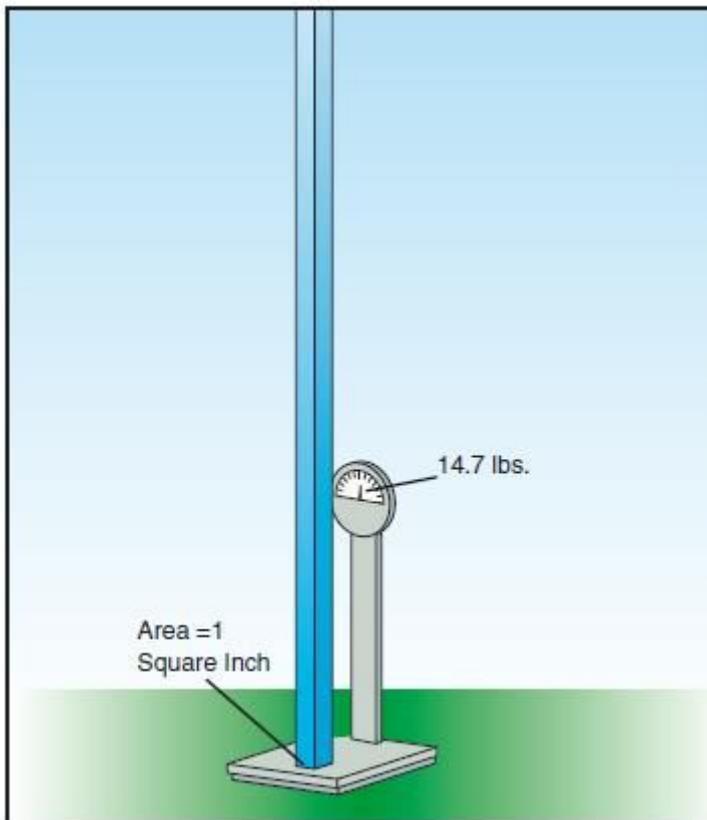


Figure 10-3. One square inch of atmosphere weighs approximately 14.7 pounds.

一个站在海平面上的人也会受到大气的压力；然而，这个压力不是一个向下的力，而是作用于整个皮肤表面的压力。

在一个给定地点和时间的实际压力会随着高度，温度，和空气密度而变化。这些条件也影响飞机的性能，特别和起飞，爬升率以及着陆有关。

大气压力的度量

大气的压力通常以水银气压计的英寸汞柱 (in. Hg) 来度量。如图 10-4

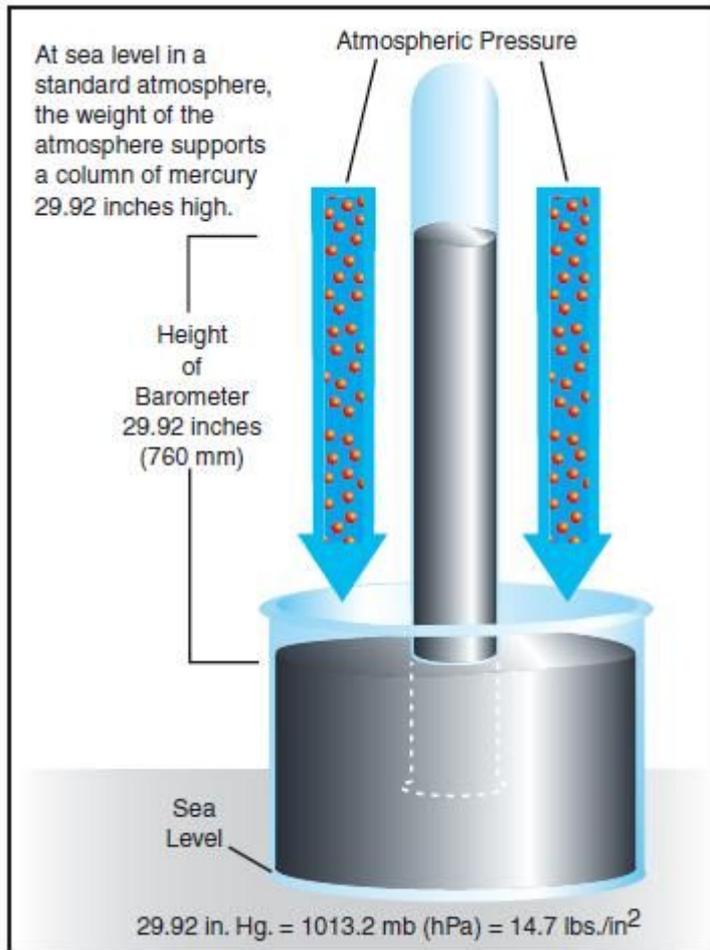


Figure 10-4. Mercurial barometer.

气压计测量一个玻璃管内水银柱的高度。一部分水银暴露在大气压力之下，大气对水银施加一个力。压力增加迫使管子里的水银上升；而压力下降时，水银从管子里流出来，水银柱的高度降低。这种类型的气压计通常在实验室或者天气观测站使用，它不易运输，也有点难以读数。

一种无液气压计是水银气压计的替代品；它易于读数也方便运输。如图 10-5

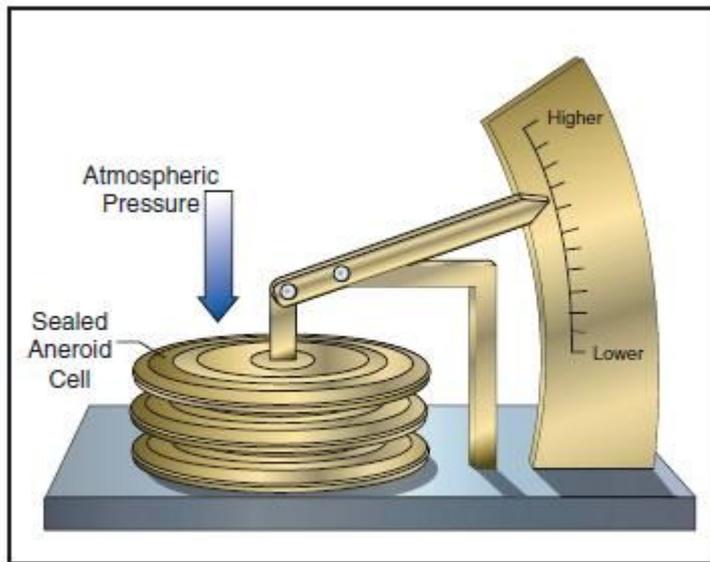


Figure 10-5. Aneroid barometer.

无液气压计有一个密封的容器，它称为真空膜盒，它随着气压变化而缩短或者伸长。真空膜盒用机械式铰链连接到压力指示器来提供压力读数。一架飞机其高度计的压力传感部分本质上就是一个无液气压计。需要注意的重点是由于无液气压计使用了机械式铰链，所以它不像水银气压计那么准确。

为了提供一个公共的温度和压力参考而确立了国际标准大气 (ISA)。这些标准的条件是某些飞行仪表和大多数飞机的性能数据的基础。标准海平面压力定义为 29.92 英寸汞柱，温度为 59 华氏度 (15 摄氏度)。大气压力也会以毫巴报告，即 1 英寸水银柱高度近似等于 34 毫巴，标准海平面等于 1013.2 毫巴。典型的毫巴压力读数范围从 950-1040 毫巴。恒定压力图表和飓风压力报告是使用毫巴来表示的。

由于气象站分布于全球，为了提供一个记录和报告的标准，所有当地的大气压力读数都被转换成一个海平面压力。为了达到这个目的，每一个气象站按照海拔高度每增加 1000 英尺就近似增加 1 英寸水银柱的规则来转换他们的大气压力。例如，一个位于海拔 5000 英尺的气象站，其水银柱读数为 24.92 英寸，那么报告

的海平面压力读数就是 29.92 英寸。如图 10-6

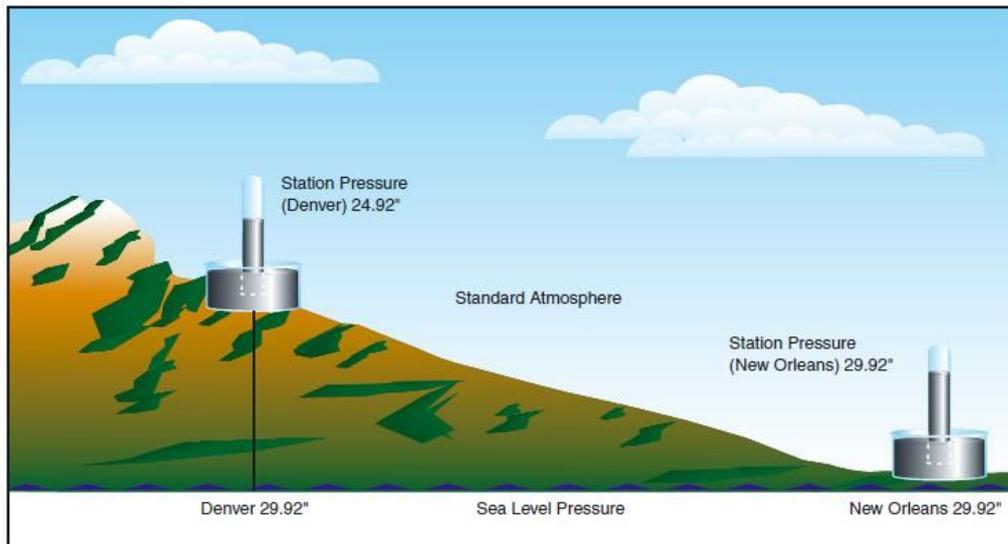


Figure 10-6. Station pressure is converted to, and reported in, sea level pressure.

使用公共的海平面压力读数帮助确保基于当前压力读数的飞机高度计的设定是正确的。

通过跟踪一个很大区域的大气压力的趋势，天气预报员可以更准确的预测压力系统和相关天气的运动。例如，在一个气象站跟踪一个上升压力的模式，通常意味着晴朗天气的到来。相反地，下降的或者快速降低的压力通常意味着坏天气正在来临，或者可能是严重的暴风雨。

海拔高度对大气压力的影响

当高度增加，压力减小，原因是空气柱的重量降低了。平均来说，高度每增加 1000 英尺，大气压力就会降低 1 英寸水银柱高度。这个压力的降低(密度高度的增加)对飞机性能有显著的影响。

高度对飞行的影响

高度影响飞行的每一个方面，从飞机性能到人的表现。在较高的高度，伴随着降低的大气压力，起飞和着陆距离增加了，爬升率也增加。

当一架飞机起飞时，升力必须通过机翼周围的空气流动才能产生。如果空气稀薄，就需要更大的速度来获得足够的起飞升力；因此，地面滑跑距离就会更长。一架飞机在海平面需要 1000 英尺的滑跑距离，在海平面 5000 英尺以上高度的机场将需要差不多两倍的滑跑距离。如图 10-7. 而且同时，在更高的海拔高度时，由于空气密度的降低，飞机发动机和螺旋桨的效率也会更低。这就导致爬升率的降低，需要更大的地面滑跑来应付障碍物的间隔。

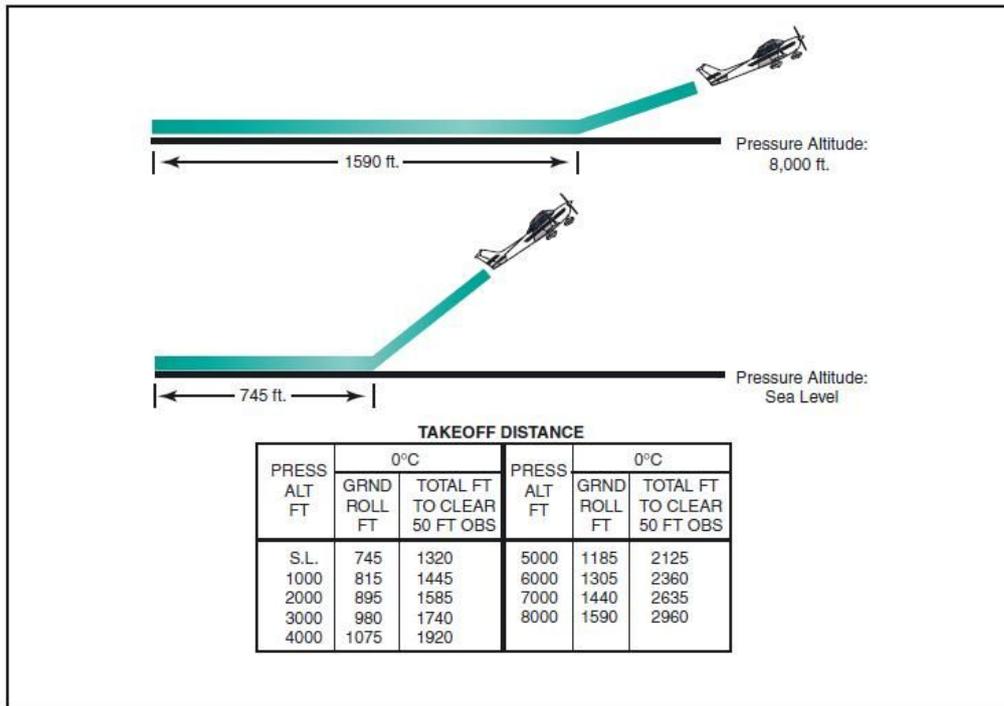


Figure 10-7. Takeoff distance increases with increased altitude.

空气密度差异的影响

温度变化引起的空气密度差异导致压力的变化。这就进而使大气产生以气流和风的形式进行的垂直和水平运动。大气中的运动结合湿度就产生了云和降水，否则就称为天气。

风

压力和温度变化在大气中产生了两种运动-上升或下降气流的垂直运动，以及风形式的水平运动。大气中这两种类型的运动都重要，因为它们影响起飞，着陆和巡航飞行操作。然而，更为重要的是大气中的这些运动，否则称为大气循环，导致了天气的变化。

大气循环的原因

大气循环是空气围绕地球表面的运动。它是由于地球表面的不均匀受热，扰乱了大气的平衡，导致了空气运动和大气压力的改变而引起的。由于地球有弯曲的表面，它绕倾斜的轴旋转，同时也绕太阳进行轨道运动，地球的靠近赤道区域比极地区域从太阳接收到更大量的热量。太阳向地球传热的总量依赖于一天的时刻，一年的季节和特定地区所在的纬度。所有这些因素都会影响太阳照射地球某一地面的时间长度和角度。

在一般的循环理论中，低压区域存在于近赤道地区，高压区域存在于近极地地区，原因是温度的差异。阳光的加热导致空气的密度降低，从而在近赤道地区上升。作为结果的低压使得极地的高压空气沿地球表面向赤道区域流动。当温暖的空气流向极地时，它会变冷，变得更加稠密，进而下沉回到地面。如图 10-8

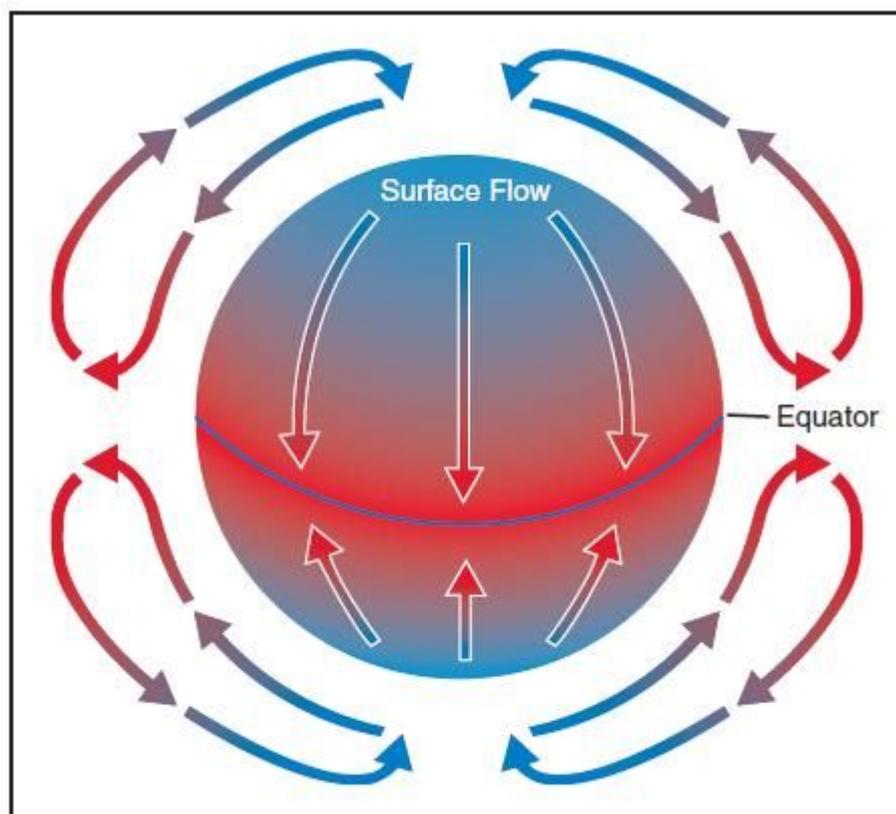


Figure 10-8. Circulation pattern in a static environment.

这个空气循环模式在理论上是正确的；然而，空气循环被几个力改变了，最为重要的是地球的自转。

地球自转产生的力称为科里奥利力(Coriolis Force)【简称为地球自转偏向力】。这个力在我们走动时是无法感觉得到的，因为相对于地球自转的尺度和速度我们行进的速度很慢，行进的距离也相当的短。然而，它会明显的影响移动很大距离的物体，例如一个气团或者水体。地球自转偏向力在北半球使得空气向右偏转，导致它沿着弯曲的路线前进而不是直线。偏转的程度根据纬度的不同而变化。在极地是最大的，而在赤道降低为零。地球自转偏向力的大小也随运动物体的速度而不同，速度越快，偏转的越大。在北半球，地球的自转使运动的空气向右偏转，而且改变了空气的总体循环模式。

地球的自转速度导致每个半球上整体的气流分开成三个明显的气流单元。如图 10-9

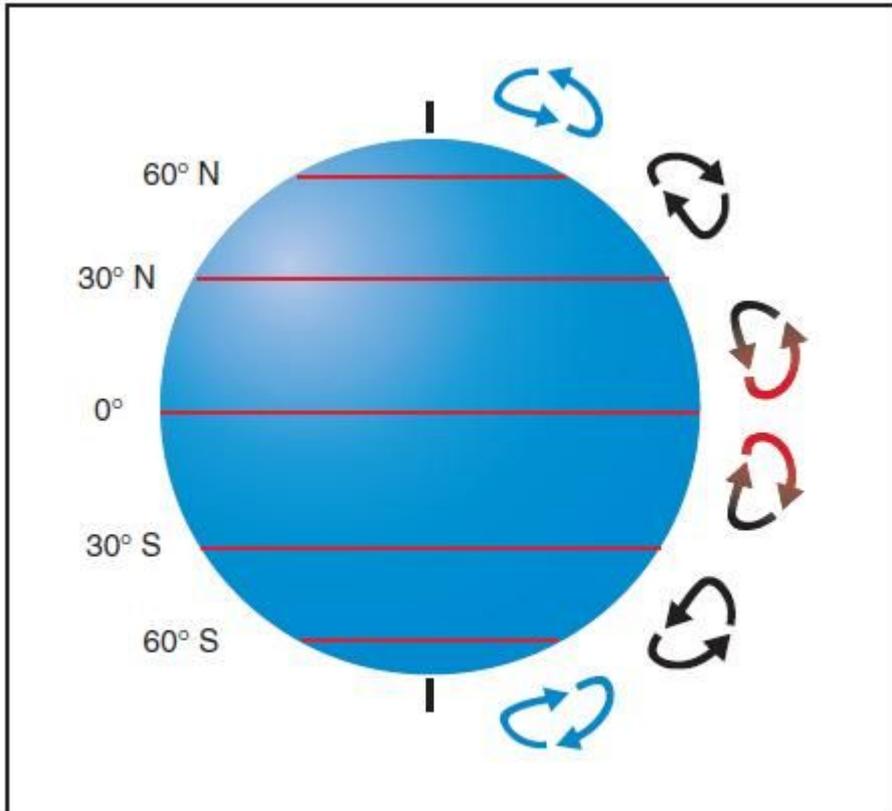


Figure 10-9. Three-cell circulation pattern due to the rotation of the Earth.

在北半球，赤道地区的暖空气从地表向上升起，向北流动，同时因地球的自转而向东转向。当它前进到从赤道到北极距离的三分之一时，它不再向北流动，而是向东流动。这时空气会在大约北纬 30 度的带状区域变冷下降，导致它向地表下降的区域成为一个高压区域。然后它沿着地表向南回流向赤道。地球自转偏向力使得气流向右偏转，因此在北纬 30 度到赤道之间产生了东北方向的信风。类似的力产生了 30 度到 60 度范围内以及 60 度到极地地区的围绕地球的循环单元。这个循环模式导致了在美国本土边界内的西风盛行。【美国本土和墨西哥以及加拿大的边界都是东西方向的，所在纬度区域流行西风。】

循环模式由于季节变化，大陆和海洋的表面差异以及其他因素而变得更加复杂。

地球表面的地形产生的摩擦力改变了大气中空气的运动。从距离地表的 2000 英尺内，地表和大气之间的摩擦力使流动的空气变慢。因为摩擦力减小了地球自转偏向力使得风从它的路径转向。这就是为什么在地表的风向稍微不同于地表之上几千英尺高度的风向的原因。

风的模式

因为空气总是寻找低压区域，所以气流会从高压区域向低压的区域流动。在北半球，从高压向低压区域流动的空气向右偏转；产生一个绕高压区域的顺时针循环。这也称为反气旋循环。低压区域反之也对；向低压区域流动的空气被偏转而产生一个逆时针或气旋循环。如图 10-10

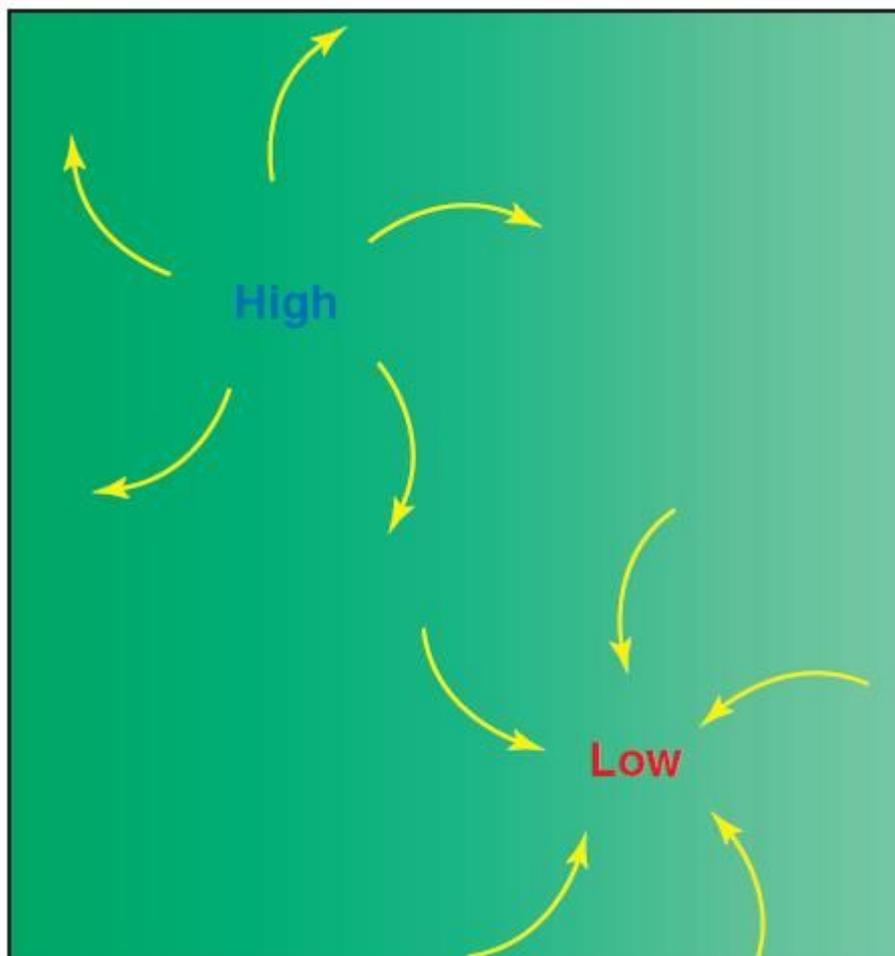


Figure 10-10. Circulation pattern about areas of high and low pressure.

高压系统一般是干燥稳定的下降空气的区域。由于这个原因，好天气通常和高压系统有关。相反地，空气流进低压区域会取代上升的空气。这时空气会趋于不稳定，通常会带来云量和降水量的增加。因此，坏天气通常和低压区域有关。

对高低压风模式的良好理解在制定飞行计划时有很大的帮助，因为飞行员可以利用有利的顺风。如图 10-11

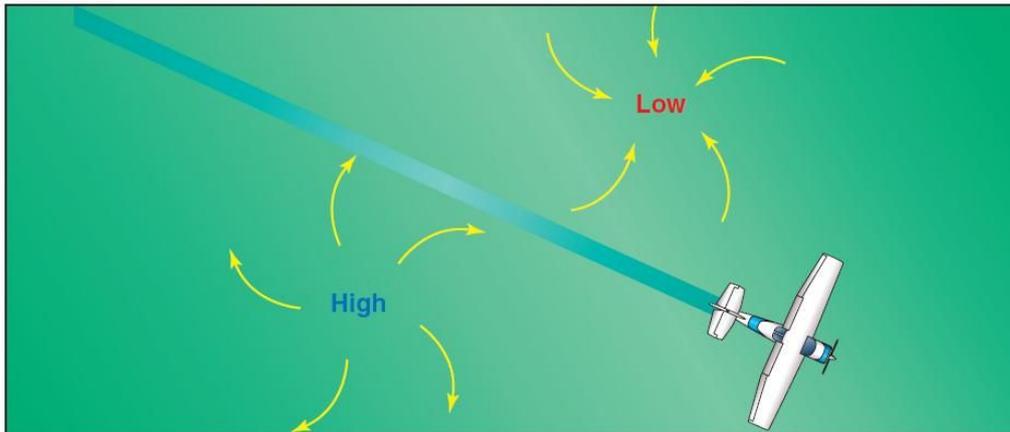


Figure 10-11. Favorable winds near a high-pressure system.

当计划一次从西向东的飞行时，沿高压系统的北边和低压系统的南边将会遇到有利的风向。在返程飞行中，最有利的风向将是同一高压系统的南边或者低压系统的北边。一个额外的好处是能够更好的把握在一个给定区域沿着基于高低压占主导的飞行路线上可以预期什么样的天气。

循环理论和风模式对于大范围大气循环是正确的；然而，它没有考虑到循环在局部范围内的变化。局部环境，地质特征和其他异常可以改变接近地表的风向和速度。

对流型气流

不同的地表辐射热量的程度是不同的。耕地，岩石，沙地，荒地会发出大量的热量；水体，树木和其他植被区域趋于吸收和保留热量。结果是空气的不均匀受热产生称为对流气流的小范围内局部循环。

对流气流导致颠簸，在温暖的天气飞行在较低高度有时会遇上湍流空气。低高度飞越不同的地表时，上升气流很可能发生在路面和荒地上空，下降气流经常发生在水体或者类似成片树林的广阔植被区域之上。一般的，这些湍流环境可以通过飞在更高的高度来避免，甚至是飞在积云层之上。如图 10-12

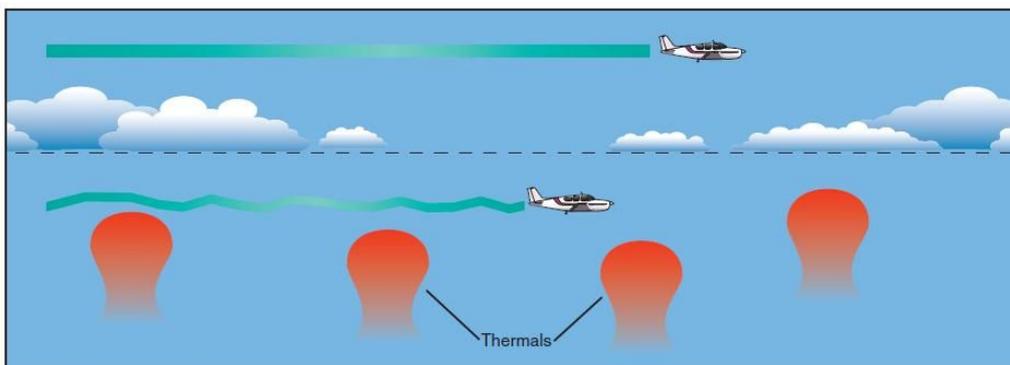


Figure 10-12. Convective turbulence avoidance.

对流气流在大路直接和一大片水体相邻的区域特别明显，例如海洋，大的湖泊，或者其他相当的水区。在白天，陆地比水受热更快，所以陆地之上的空气变得更热，密度更低。它上升且被更冷的来自水面上的稠密空气取代。这导致了一种朝

向海岸的风，称为海风(sea breeze)。相反地，在夜晚陆地比水冷的更快，相应的空气也是这样。这时，水面上温暖的空气上升被更冷的来自陆地的空气取代，产生一种称为陆风(land breeze)的离岸风。这就颠倒了局部反而风循环模式。对流气流可以发生在地表不均匀受热的任何地区。如图 10-13

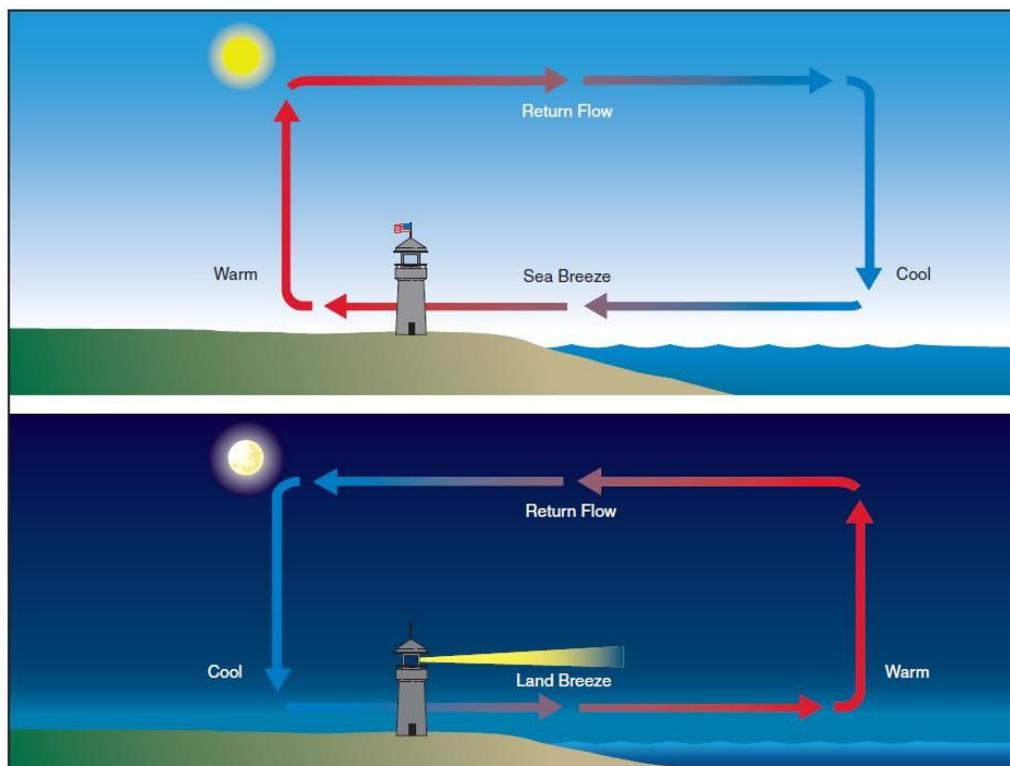


Figure 10-13. Sea breeze and land breeze wind circulation patterns.

接近地面的对流气流会影响飞行员控制飞机的能力。例如，在最后进近时，来自全无植被的地形的上升气流有时会产生漂浮效应，导致飞行员飞过预期的着陆点。另一方面，在一大片水体或者稠密植被的区域之上进近会趋于产生一个下沉效应，导致不警惕的飞行员着陆在不到预期的着陆点。如图 10-14

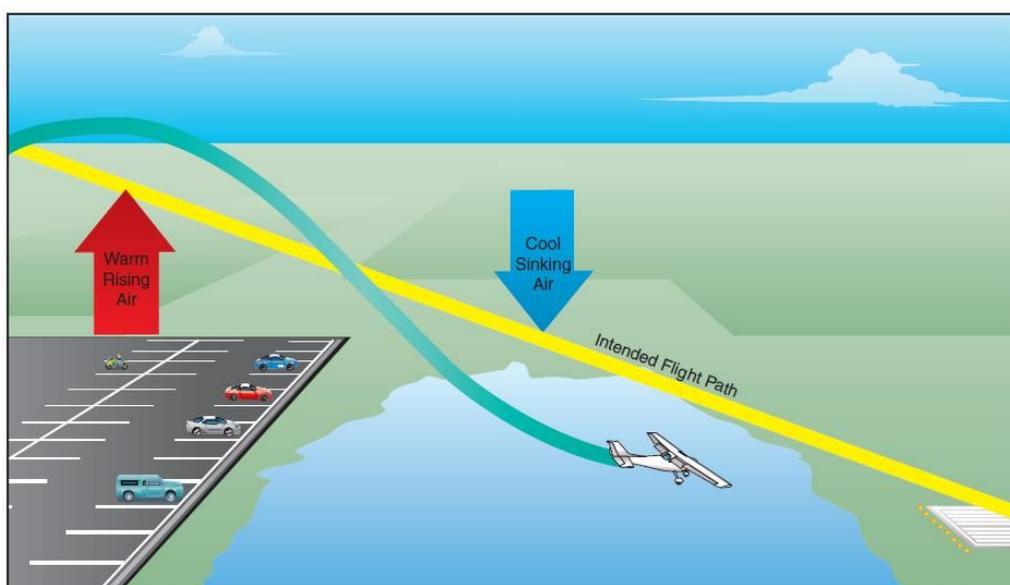


Figure 10-14. Currents generated by varying surface conditions.

障碍物对风的影响

有另一个会给飞行员带来麻烦的大气的危险。地面上障碍物影响风的流向，可能是一个看不见的危险。地面的地形和大的建筑物会分散风的流向，产生会快速改变方向和速度的阵风。这些障碍物包括从人造建筑物如飞机棚到大的自然障碍物如山脉，峭壁或者峡谷。当飞进或者飞离有大型建筑物或者自然障碍物靠近跑道的飞机场时，保持警惕特别的重要。如图 10-15

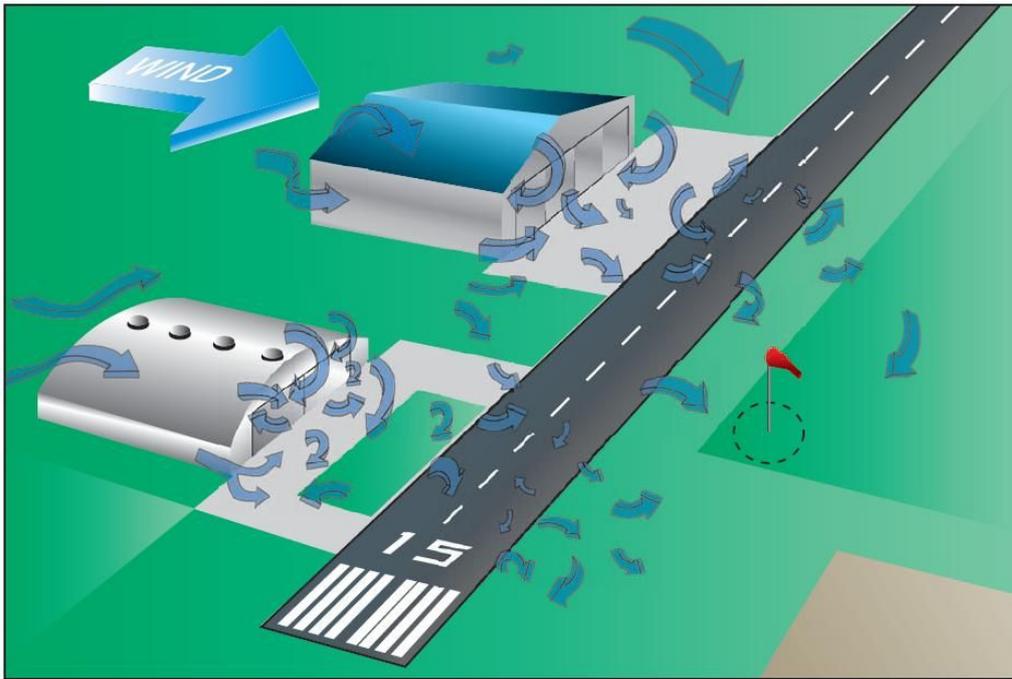


Figure 10-15. Turbulence caused by manmade obstructions.

和地面建筑物有关的湍流强度依赖于障碍物的大小和风的基本速度。这会影响到任何飞机的起飞和着陆性能，也会引发非常严重的危险。在飞行的着陆阶段，飞机可能由于湍流空气而下降(drop in)，因此飞的太低而不能飞越进近时的障碍物。

当飞行在山地区域是这种情况甚至更加明显。如图 10-16



Figure 10-16. Turbulence encountered over and around mountainous regions.

当风沿着迎风侧平稳的向上流动，上升的气流会帮助飞机飞越山脉的顶峰，而背风侧的效果则不一样。当空气流在山的背风侧向下时，空气顺着地形的轮廓流动，湍流逐渐增加。这就趋向于把飞机推向山的一侧。风越强烈，向下的压力和湍流就变得越强烈。

由于在山谷或者峡谷中地形对风的影响，强烈的向下气流可能相当严重。因此，郑重的建议谨慎的驾驶员寻找一位合格的山地飞行指导员，准备在多山的地形或者靠近多山地区飞行前要获得山地的调查。

低空风切变

风切变是指在一个非常小的区域内风速和/或方向的突然的，激烈的变化。风切变会使飞机受突然的上升气流和下降气流影响，以及飞机水平运动的突然改变。虽然风切变可以发生在任何高度，由于飞机接近地面，低空的风切变是特别的危险。风的方向 180 度变化和速度的 50 节变化或者更多都和低空风切变有关。低空风切变通常会伴随偶然的锋面系统，雷暴，强烈的高空风(大于 25 节)温度翻转而出现。

风切变对飞机的危险有多个原因。风向和速度的快速变化改变了飞机的相对风，破坏了飞机的正常飞行高度和性能。在风切变状态下，影响可能很小，也可能很明显，这都看风速和风向的变化。例如，顺风很快的变为逆风将很快的导致空速和性能的增加。相反地，当迎风变为顺风时，空速会快速降低，性能也会相应的降低。任一情况下，飞行员必须准备好对维持飞机控制的变化做出立即反应。

一般而言，最严重类型的低空风切变和对流性降水或来自雷暴的降雨有关。和对流性降水有关的一种严重的风切变叫微爆(microburst)。典型的微爆发生在小于水平 1 英里和垂直 1000 英尺空间内。微爆的维持时间大约 15 分钟，在这期间它会产生速度高达 6000 英尺每分钟的向下气流。它也会在几秒钟内产生严重 45 节风向变化或者更多。当接近地面时，这些过快的气流和风向的快速变化会产生飞机难以控制的条件。如图 10-17。

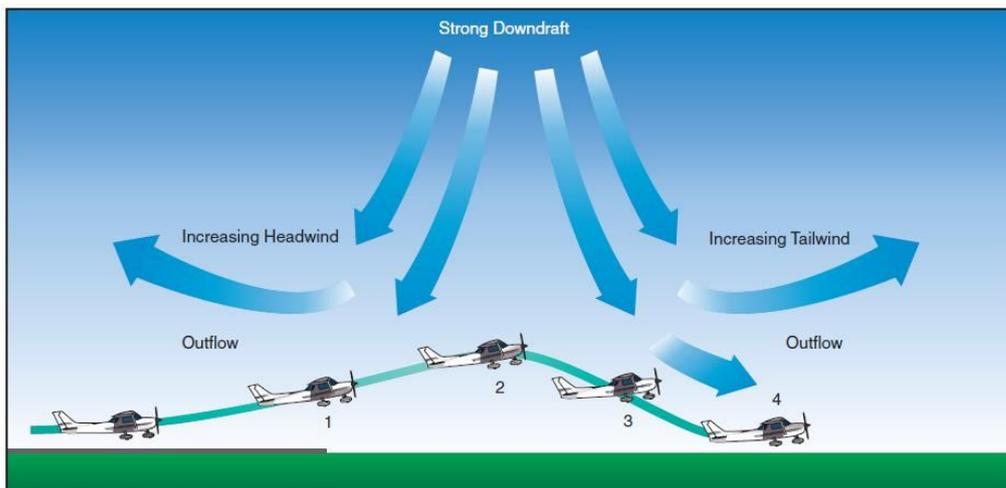


Figure 10-17. Effect of a microburst wind.

在不经意起飞进入一个微爆时，飞机首先遇增加性能的迎风，接着是降低性能的顺风。当风快速的切变到顺风时，会导致地形的影响或者危险的近地飞行。

微爆通常是难于检测的，因为它们发生在相对狭窄的范围内。在警告飞行员注意低空风切变的努力中，在全国的几个机场已经安装了警报系统。一组风速计被放

在机场周围，组成了一个检测风向变化的网络。当风速变化超过 15 节时，就会向飞行员报告一个风切变警告。这个系统名叫低空风切变警报系统，简称 LLWAS。

重要的是要记住风切变可以影响任何飞行，以及任何高度的飞行员。虽然可能报告了风切变，它通常仍然是没检测到的，对飞行来说是无声的危险。永远要警惕风切变的可能性，特别是在雷暴和锋面系统内或附近飞行时。

地面天气图上的风和压力表示

地面天气图提供了锋面，高低压区域，和每一地面气象站的风和压力的相关信息。这种天气图能让飞行员看到锋面和压力系统的位置，但是更重要的是，它描述了在每个地点的地面风和压力。地面分析和天气表示图的更多信息请参考第十一章。

风状况用链接在气象站位置圆圈的箭头表示。如图 10-18，

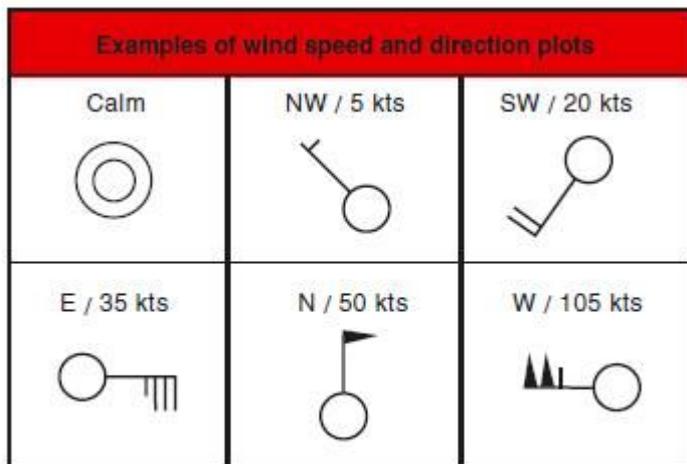


Figure 10-18. Depiction of winds on a surface weather chart.

气象站圆圈表示箭的头部，而箭头指向风刮的方向。风用吹来的方向描述，因此西北风的意思就是风是从西北方向吹向东南方向的。风速用位于风向线上的垂直短线或三角形表示。每一个短线表示风速为 10 节，而短线的一半表示 5 节风速，三角形表示风速为 50 节。

每一个气象站的压力都记录在天气图上，以毫巴为单位。等压线是画在图上用于表示相同压力区域的线条。这些线条产生一个模式，这个模式显示了压力梯度或

者压力随距离的变化情况。如图 10-19。

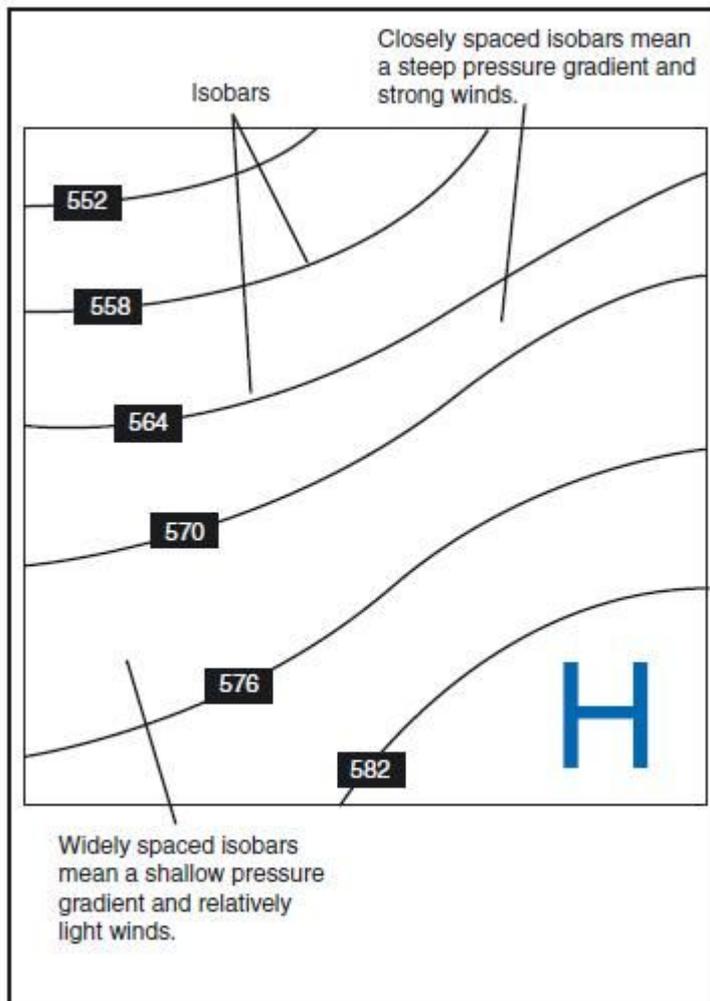


Figure 10-19. Isobars reveal the pressure gradient of an area of high- or low-pressure areas.

等压线类似于地形图上表示地形海拔高度和坡度陡峭程度的等高线。例如，间隔很近的等压线表示急剧升降的风梯度和强风的盛行。另一方面，梯度缓和的等压线表示成间隔较远，意味着微风。等压线有助于识别低压和高压系统，以及高压脊，低压槽和气压谷的位置。高压系统是低压包围的高压区域；低压是高压包围的低压区域。高压脊是拉长的高压区域，低压槽是拉长的低压区域。气压谷是高压脊和低压槽的交汇点，或者是两高或两低之间的中性区域。

等压线提供了地面之上几千英尺内风的有用信息。接近地面时，风向被地表改变，风速由于和地面间的摩擦力而降低。然而，在地面之上 2000 到 3000 英尺高度内，风速较大，风向开始变得更加和等压线平行。因此，地面风表示在天气图上，稍微高一点高度上的风也表示在天气图上。

一般地，地面 2000 英尺以上的风相对地面风为 20-40 度偏右，风速也会更大。在崎岖不平的地形上风向的变化是最大的，而在平坦地表上是最小的，例如开阔的水域。在缺少高空风信息的条件下，这个建议规则用于粗略的估计地表几千英尺之上风的状况。

大气稳定性

大气的稳定性依赖于它抵抗垂直运动的能力。稳定的大气使垂直运动困难，轻微的垂直运动受到抑制后消失。在不稳定的大气中，轻微的垂直空气运动趋向于变的更强，这样就导致了紊乱的气流和对流活动。不稳定性会导致严重的紊流，广阔的垂直云量，以及剧烈的天气。

上升的气流膨胀且变冷，是由于高度增加时气压的降低。下沉气流则反之；随着大气压力的增加，下沉空气的温度随着它被压缩而增加。绝热加热和绝热冷却就是用来描述这种变化的术语。【绝热的意思在这里是指大气温度变化是在没有热量传导的过程中因压力的变化而产生的温度变化。】

绝热过程发生在所有的向上或向下运动的空气中。当空气上升到一个低压区域时，它会膨胀到一个更大的体积。当空气分子膨胀时【即空气分子的平均间隔增大，而不是分子本身变大】，空气的温度会更低。结果是，当气块【一定体积的空气】上升时，压力降低，体积增加，温度降低。当空气下沉时，则反之也对。温度随着高度增加而下降的速度称为温度垂直梯度(lapse rate)。当空气在大气中上升时，平均温度变化速率是 2 摄氏度(3.5 华氏度)每 1000 英尺。

由于水蒸气比空气还轻，潮湿降低了空气的密度，导致它上升。相反地，当湿度降低时，空气变得更加密集而趋于下沉。由于潮湿的空气变冷的速度更慢【潮湿空气的热容量更大】，一般它比干空气更加不稳定，原因是潮湿的空气在冷却到周围的空气温度前必须上升的更高。干空气绝热温度梯度(不饱和空气)是 3 摄氏度每 1000 英尺。湿空气绝热温度梯度范围从 1.1 摄氏度到 2.8 摄氏度(2 华氏度到 5 华氏度)每 1000 英尺。

湿度和温度的结合确定了空气的稳定性和作为结果的天气。冷的干空气非常稳定，能够抵抗垂直运动，它会导致好的通常是晴朗的天气。最大的不稳定发生在空气是潮湿而温暖的时候，就像热带区域的夏天一样。典型的，雷暴基本上天天出现在这些区域，就是因为周围空气的不稳定性。

逆增

随着空气在大气中上升膨胀，温度会降低。然而也会发生一种大气异常情况，改变了这个典型的大气行为模式。当上升空气的温度随高度增加而增加时，就发生了温度逆增。逆增层通常是接近地面的很薄的一层平稳空气。空气的温度随高度增加到某一点，即逆增层的顶部。逆增层顶部的空气担当盖子的作用，保持天气和污染物截留在下面。如果空气的相对湿度高，它会促进云，雾，薄雾，烟的形成，导致逆增层内的能见度降低。

基于地表的温度逆增发生在晴朗凉爽的夜晚，这时接近地面的空气被地表的降温而冷却。地表几百英尺内的空气变得比它上面的空气更冷。当暖空气在一层较冷

的空气上扩展开来或者当冷空气被迫位于一层暖空气的下方时，就会发生锋面逆增。

湿气和温度

大气天然的就含有水蒸气形式的水分。大气中水分的多少依赖于空气温度。温度每增加 20 华氏度，空气中能容纳的水分就增加为 1 倍。相反的，温度降低 20 华氏度，水分容量会变为原来的一半。

大气中的水有三种状态：液态，固态和气态的。所有这三种形式都可以容易的变化为另一种，都出现在大气的温度变化范围内。当水从一种状态变为另一种状态时，就发生一次热交换。这些变化是通过蒸发，升华，冷凝，沉积，熔解或者凝固过程实现的。然而，水蒸气仅仅是通过蒸发和升华过程进入大气的。

蒸发是液态水变为水蒸气的变化。当水蒸气形成时，它从最近的可用热源吸收热量。这个热交换就是蒸发的隐形加热。这种现象的一个很好的例子是身体的排汗蒸发。主要的印象是热量从身体带走后的变冷感觉。类似地，升华是冰直接变为水蒸气的变化，完全跳过了液态状态。虽然干冰不是水而是二氧化碳制成的，它能说明固态直接变为气态的升华原理。

相对湿度

湿度是指在一个给定的时刻大气中所含水蒸气的多少。相对湿度是空气中的实际水分量相对于那个温度时空气可以容纳的总水分量。例如，如果当前相对湿度为 65%，即空气在这个温度和压力时含有能够容纳的总水分量的 65%。虽然美国西部的大部分地区很少看到高湿度的天气，但是在美国南方温暖的月份，相对湿度

从 75%到 90%并不罕见。如图 10-20

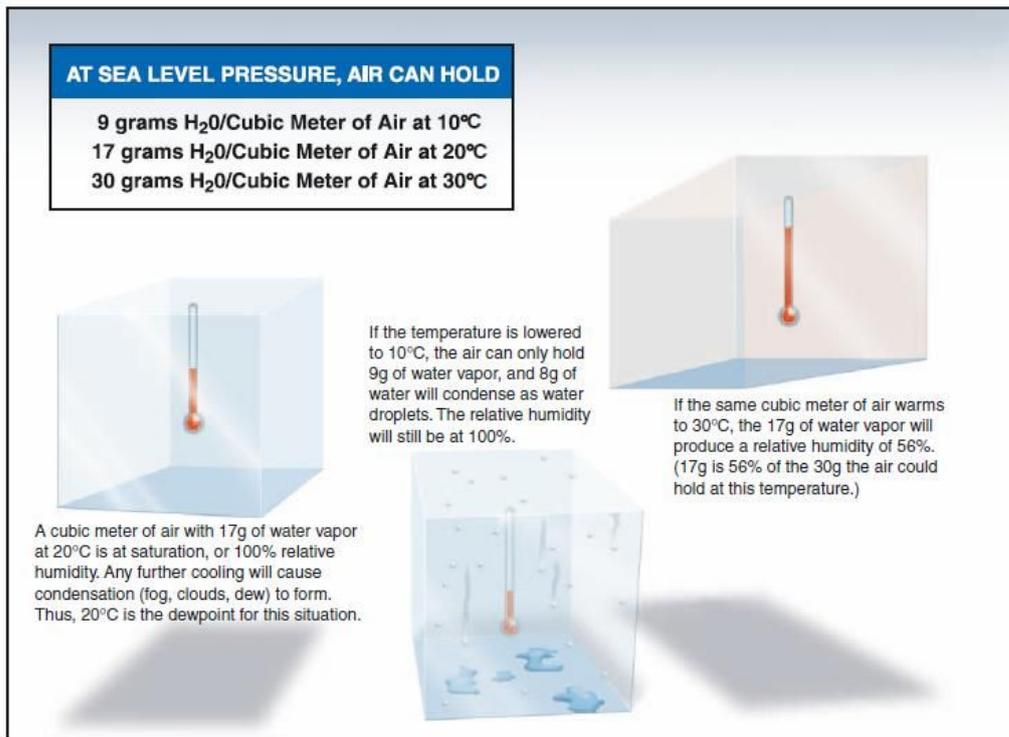


Figure 10-20. The relationship between relative humidity, temperature, and dewpoint.

温度/露点关系

露点和温度之间的关系定义了相对湿度的概念。以度表示的露点是空气不能再容纳更多水分时的温度。当空气温度降低到露点时，空气就完全饱和，水汽开始在空气中凝结，以雾，露水，霜，云，雨，冰雹或者雪的形式出现。

当潮湿的不稳定空气上升时，云经常在温度和露点一致的高度形成。当升高时，不饱和空气冷却速度为 5.4 华氏度每 1000 英尺，而露点温度降低速度为 1 华氏度每 1000 英尺。这就导致了温度的收敛，即露点变化速度为 4.4 华氏度每 1000 英尺。在报告的温度和露点数据上应用收敛速度来确定云底的高度。

假设：

温度(T)= 85 华氏度

露点(DP)=71 华氏度

收敛速度(CR)=4.4 度

T-DP=温度露点差(TDS)

TDS/CR=X

Xx1000=云底高度 AGL

示例：

85-71=14

14/4.4=3.18

3. $18 \times 1000 = 3180$ 英尺
云底高度为地面之上 3180 英尺。

解释：

地面环境温度为 85 华氏度，而地表露点温度为 71 华氏度，差值为 14 度。温度露点差除以收敛速度 4.4 度，然后再乘以 1000 得出近似的云底高度。

确定空气到达饱和点的方法

如果空气到达饱和点而温度和露点非常接近，雾，低云或降雨就很可能形成。空气可以有四种方式到达完全的饱和点。第一，当暖空气在寒冷地面上移动时，空气的温度会下降而达到饱和点。其二，当冷空气和暖空气交汇时可能到达饱和点。第三，当空气在夜晚通过和较冷的地面接触而冷却时，空气会达到它的饱和点。第四个方法是空气升高或者被迫在大气中上升时到达饱和点。

当空气上升时，它使用热能来膨胀。结果是，上升的空气快速的失去热量。不饱和空气散热的速度是高度每增加 1000 英尺下降 3 摄氏度。不管是什么原因导致空气到达它的饱和点，饱和空气都会带来云，雨，和其他危险的天气状况。

露和霜

在凉爽平静的夜晚，地面温度和地表上的物体会导致周围空气的温度降低到露点以下。当发生这种情况时，空气中的水分会凝结且凝聚在地面，建筑物和其他物体如汽车和飞机上。这个水分就是众所周知的露水，有时可以在早晨的草上看到。如果温度低于冰点，水分将会以霜的形式沉积下来。而露水对飞机没有危险，霜对飞行安全有确定无疑的危险。霜会破坏机翼上的气流，能够彻底的减少升力的产生。它也会增加阻力，当同时产生的升力降低时，就会破坏起飞能力。开始飞行前，飞机必须彻底清除霜冻免受其影响。

雾

根据定义，雾是从地表开始 50 英尺内的云。它通常发生在接近地面的空气温度冷却到空气的露点时。

这是，空气中的水蒸气凝结，变成雾这种可见的形式。雾是按照它形成的方式来分类的，且依赖于当前温度和空气中水蒸气的多少。

在晴朗的夜晚，风相当小或者无风时，可能产生辐射雾。如图 10-21。通常的，它形成在低洼的地区如山谷。这种类型的雾发生在地面由于陆地的辐射而快速冷却的时候，而且周围空气温度到达它的露点。随着太阳升起温度上升，辐射雾升

高，最终消散。风的任何增强都会加快辐射雾的消散。如果辐射雾小于 20 英尺厚，它就称为地面雾。



Figure 10-21. Radiation fog.

当一层温暖潮湿的空气在寒冷地面上移动时，很可能产生平流雾。不像辐射雾，形成平流雾需要有风。15 节以下的风速让雾形成和加强；超过 15 节风速时，雾通常会升高，形成低层云。平流雾在沿海地区很常见，在那里海风会把空气吹向较寒冷的大陆。

在这些同样的沿海地区，也可能发生滑升雾。当潮湿稳定的空气被迫沿倾斜的陆地特征如山区上升时，就会发生滑升雾。这种类型的雾也需要风才能产生和持续存在。滑升雾和平流雾不象辐射雾，可能不会随着早晨的太阳而消散，相反可能持续多天。他们也可能延伸到比辐射雾更高的高度。

蒸汽雾或者海雾形成在干冷空气沿温暖的水面移动时。随着水的蒸发，它上升且类似烟雾。这种类型的雾于一年中最冷的时间在水体上很常见。低空紊流和结冰通常和蒸汽雾有关系。

冰雾发生在寒冷的天气，那时温度比冰点低的多，水蒸气直接变成了冰晶。有利于它的形成条件类似于辐射雾，除了寒冷的温度，通常是零下 25 华氏度或者更冷。它主要发生在北极地区，但是不知道在中纬度地区寒冷季节是否会发生。

云

云是可见的指示物，而且通常也是将来天气的预示。对于云的形成，必须有足够的水蒸气和凝结核，以及空气可以冷却的一个方法。当空气冷却，到达它的饱和点，不可见的水蒸气变为可见的状态。经过沉积(也可以指升华)和凝结过程，水蒸气凝结或升华成类似尘埃，盐晶或者烟的称为凝结核的微粒物。凝结核是非常重要的，因为它为水汽提供了一个从一种状态变为另一种状态的方法。

云的类型是根据它的高度，形状，和行为来确定的。它们根据其云底高度分类为低云，中云，高云，和垂直扩展的云。如图 10-22

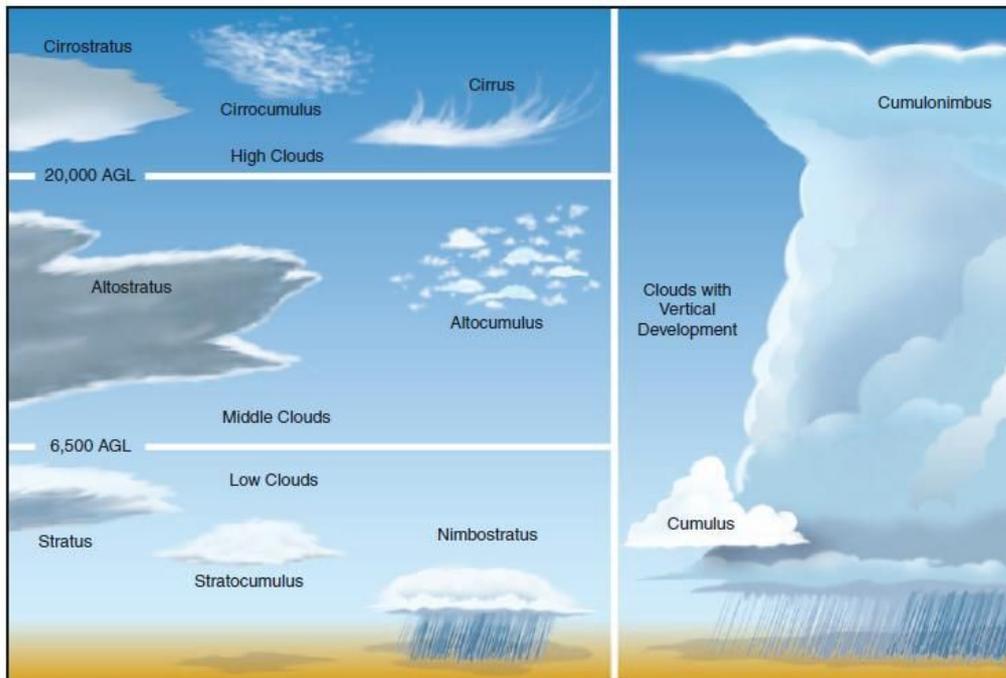


Figure 10-22. Basic cloud types.

低云是那些在靠近地球表面形成，且延伸到 6500 地面高度的云。它们主要是有小水滴组成的，但是也可以包含会引发危险的飞机结冰的过度冷却水滴。典型的低云是层云，层积云和乱层云。雾也被分类为一种类型的低云形式。这一组云产生的最高限度低，妨碍能见度，而且会快速的变化。因为这个原因，它们影响飞行计划，会导致不能进行 VFR 飞行。

中云形成在大约距离地面高度 6500 英尺延伸到距离地面 20000 英尺高度。它们是由水，冰晶和过度冷却的水滴组成。典型的中高度云包括高层云和高积云。在较高海拔高度越野飞行的时候可能会遇到这些类型的云。高层云会产生紊流，可能发生中度结冰情况。高积云通常形成在高层云散开时，也可能发生轻度紊流和结冰情况。

高云形成在距地面 20000 英尺以上高度，通常只在稳定空气中形成。它们由冰晶组成，产生没有实质危险的紊流或者结冰情况。典型的高空云是卷云，卷层云，和卷积云。

大范围垂直扩展的云是积云，它们垂直的形成了高耸的积云或者积雨云。这些云的底部形成在低高度到中高度云底区域，但是可以扩展到高高度云层。高耸的积云表示大气中不稳定的区域，它们周围和内部的空气是紊乱的。这些类型的云经常发展成积雨云或者雷暴。积雨云包含大量水汽和不稳定空气，经常会产生危险的天气现象如闪电，冰雹，龙卷风，强阵风，和风切变。这些大范围的垂直云可能由于其他云的形成而变的模糊，不总是可以在地面上或者飞行中看到。发生这种情况时，这些云按照术语被称为内涵式雷暴。

云的分类可以根据外观和云的组成进一步细分为特定的云类型。知道这些术语可以帮助你认识看到的云。

下面是一个云分类的列表：

- 积云 - 堆积的起绒状的云
- 层云 - 以层的形式形成
- 卷云 - 卷曲的纤维状云，也是 20000 英尺以上的高云
- 堡状云 - 常规云底单独垂直发展，很像城堡
- 镜云 - 镜片形状，强风时在山上形成
- 雨云 - 雨量丰富的云
- 碎积云 - 粗糙或破碎的云
- 高云(alto)- 即高空云，也包含存在于 5000-20000 英尺的中高度云

对于飞行员来说，积雨云可能是最危险的云类型。它单独或者成片出现，其名字要么是一个气团或者地形雷暴。靠近地表的空气变热产生一个气团雷暴；在山脉地区的空气上坡运动导致地形雷暴。以连续线形式形成的积雨云是雷暴或者飚线的非锋面带。

由于上升的空气流导致了积雨云，它们的气流是非常紊乱的，对飞行安全是一个重要的危险。例如，如果一架飞机进入雷暴，飞机将会遇到每分钟超过 3000 英尺的上升或者下降气流。另外，雷暴还会产生大冰雹，破坏性闪电，龙卷风和大量的水，所有这些对飞机都是潜在的危险。

在消散前，一个雷暴的发展会经历三个明显的阶段。它从积云状态开始，其中空气开始产生升力作用。如果有了足够的水汽和不稳定性，云量会继续在垂直高度上增加。持续的上升气流阻止了水汽的降落。上升气流区域变得比推送雷暴的单独的上升热气流还要大。在大约 15 分钟内，雷暴达到了它的成熟阶段，这是雷暴生命周期中最猛烈的阶段。这时，水分的下降，不管是水还是冰对于云层来说都太重而不能支撑，开始以雨或者冰雹的形式下落。这产生了空气的向下运动。温暖的上升空气；冰冷的含有降雨的下降空气；以及猛烈的紊乱气流都存在于云内或附近。在云的下方，向下急流的空气增加了地面风，且降低了温度。一旦接近云顶部的垂直运动慢下来，云的顶部就会散开来呈现砧骨的形状。这时，暴风雨进入了消散阶段。这时下降的气流分散开来取代了维持暴风雨所需的上升气流。如图 10-23

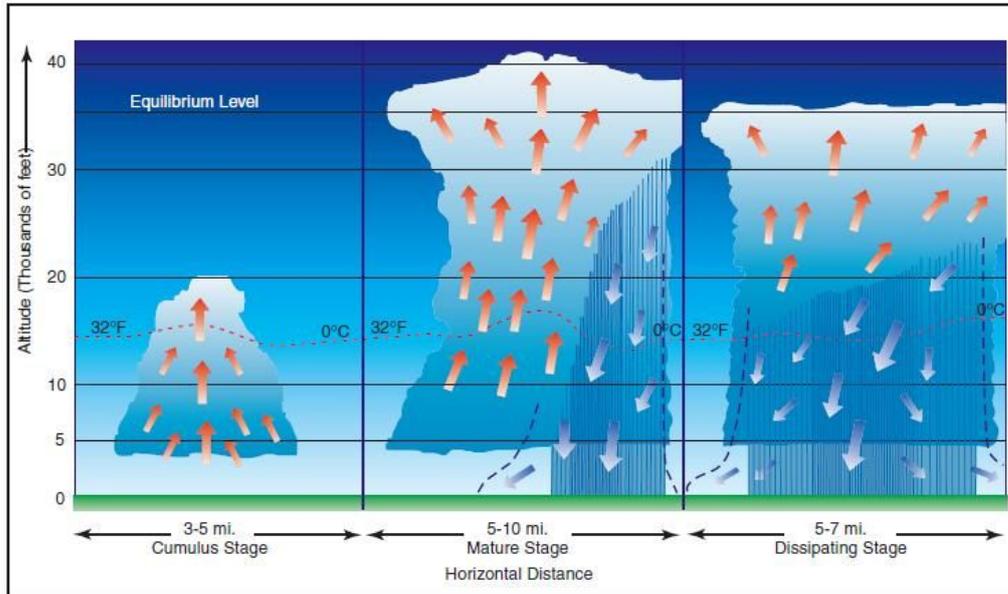


Figure 10-23. Life cycle of a thunderstorm.

轻型飞机是不可能飞越雷暴的。严重的雷暴可能冲到对流层顶，根据纬度不同可能达到令人惊异的 50000 到 60000 英尺高度。在雷暴雨下飞行使飞机受到雨，冰雹，破坏性闪电和猛烈的紊乱气流的影响。一个好的经验规则是以至少 5 海里绕飞雷暴，因为冰雹可能落在云层外几英里内。如果不能选择绕飞雷暴的话，那么就留在地上等待雷暴过去。

云幕高度

在航空的用途上，云幕高度是被通报为多云的或者阴天的，或者垂直能见度开始昏暗而类似雾或者阴霾的云的最低高度。当八分之五至八分之七的天空被云覆盖时，则报告为云是破碎的。阴天的含义是整个天空被云覆盖了。当前云幕高度信息是由航空日常天气报告 (METAR) 或者各种自动天气站通报的。

能见度

和云量以及通报的云幕高度密切相关的是能见度信息。能见度是指裸眼能够看到明显物体的最大水平距离。当前能见度也在 METAR 和其他航空天气报告中通报，还有自动天气站。由气象专家预测的能见度信息在飞行前天气简报中也可以获得。

降水

降水是指在大气中形成且降落到地面的任何形式的水的微粒物。它对飞行安全有深刻的影响。根据降水的不同形式，它会降低能见度，产生结冰条件，以及影响飞机的着陆和起飞性能。

降水发生是因为云中的水或者冰粒逐渐增大，直到大气不能再支持它们。它落向地面时会以好几种形式出现，包含细雨，下雨，冰粒，冰雹，和冰冻。

细雨被分类为非常小的小水滴，直径小于 0.02 英寸。细雨通常伴随着雾或者低层云出现。较大的小水滴就是指雨。在大气中降落但是在滴到地面之前蒸发掉的雨称作雨幡。当地面温度低于冰点时，就会发生结冰雨或者冰毛毛雨；雨在接触到更冷的地面时结冰。

如果雨降落通过温度逆增层，它可能会在经过下面的冷空气时结冰，且以小冰粒的形式降落到地面。冰粒是温度逆增的迹象，结冰的雨存在于更高的高度上。在冰雹的情况下，结冰的小水滴被云里的气流携带的忽上忽下，它们和更多的水分接触后逐渐变大。一旦上升的气流不能维持结冰的水滴，它就会以冰雹的形式降落到地面。冰雹可能是豌豆大小的，也可能逐渐变到直径 5 英寸大，比一个垒球还大。

雪是一种冰晶形式的降水，它以稳定的速度降落，或者已开始下鹅毛大雪，强度逐渐变化，最后很快结束。降落的雪花的大小也会变化，呈非常小的雪粒【米雪】或者大雪花形式。米雪在大小上和毛毛雨相当。

任何形式的降雨对飞行安全都是一个威胁。通常，降雨伴随着低云幕高度和降低的能见度。有冰，雪或者霜在其表面的飞机在开始一次飞行前必须被仔细的清除，因为气流可能被破坏而失去升力。雨也会促使油箱进水。降雨还会使跑道表面产生危险，由于雪，冰，积水和打滑的表面使得起飞和降落困难。

气团

气团是呈现出环绕区域或者气源地特性的很大体积的空气。通常的源地是一个空气在其中保持相对停滞几天或者更长时间的区域。在这个停滞时间内，气团获得了源地的温度和湿度特性。可以发现停滞区域在极地地区，热带海洋，以及干燥的沙漠。气团按照它们的发源地分类：

- 极地的或者热带的
- 海洋的或者大陆的

大陆型极地气团在极地区域的上空形成，它携带有寒冷干燥的空气。海洋型热带气团在温暖的海洋水面上形成，如加勒比海，它携带有温暖潮湿的空气。当气团从它的发源地移动经过陆地或者水体时，气团会受到不同的陆地或者水体条件的影响，这些条件会改变气团的特性。如图 10-24

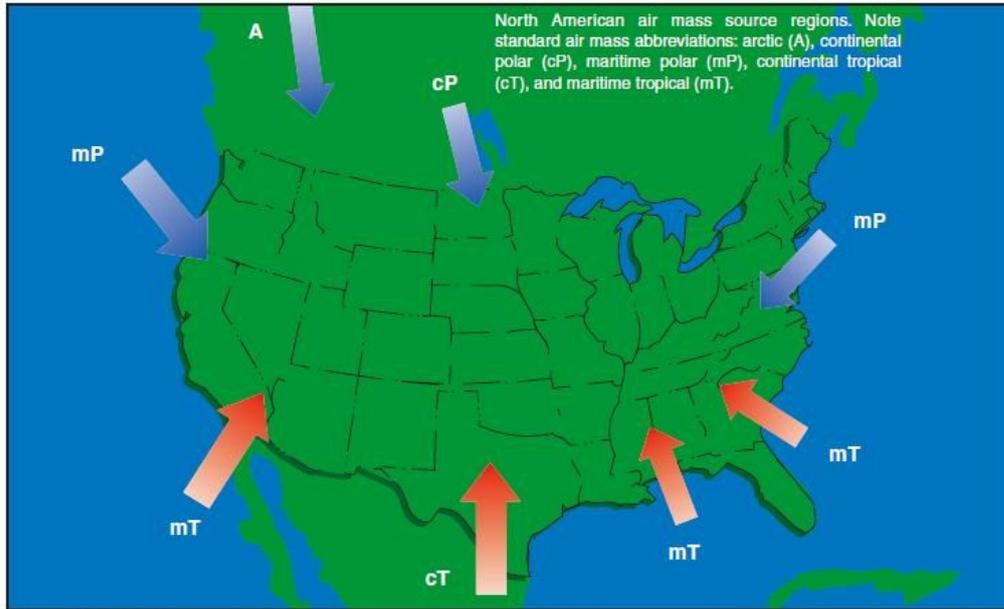


Figure 10-24. Air mass source regions.

空气团经过温暖的地表时，它的下方会变暖，形成对流性气流，导致空气上升。这就产生了一个不稳定的空气团，有良好的地面能见度。潮湿，不稳定空气导致积云，阵雨，和紊流的形成。相反地，气团经过更冷地表就不会形成对流性气流，而是产生了一个稳定的空气团，其地面能见度很差。很差的地面能见度是因为这样一个事实，烟雾，灰尘和其他微粒不能上升到空气团内，反而被截留在接近地表。稳定空气团会产生低层云和雾。

锋面

当空气团沿水体或大陆运动时，它们最终会和另一个不同特性的空气团相遇。两种类型空气团之间的边界层称为锋面。靠近中的任何类型锋面总是意味着天气即将变化。

有四种类型的锋面，它们是根据前进的空气温度相对于被取代的空气温度来命名的。如图 10-25

- 暖锋
- 冷锋
- 静止锋
- 锢囚锋

| Table A | |
|---|-------------------------------------|
| Symbols for Surface Fronts and Other Significant Lines Shown on the Surface Analysis Chart | |
|  | Warm Front (red)* |
|  | Cold Front (blue)* |
|  | Stationary Front (red/blue)* |
|  | Occluded Front (purple)* |
| * Note : Fronts may be black and white or color, depending on their source. Also, fronts shown in color code will not necessarily show frontal symbols. | |

Figure 10-25. Common chart symbology to depict weather front location.

任何对锋面系统的讨论必须承认没有两个锋面是相同的。然而，普遍的天气条件都和帮助识别锋面的具体锋面类型有关。

暖锋

当一个暖气团前进要取代一个较冷的气团时会出现暖锋。暖锋移动缓慢，通常是每小时 10 到 25 英里。前进锋面的斜坡略过较冷空气的顶部，逐渐的把它推出区域。暖锋包含了通常有很大湿度的暖空气。随着暖空气升高，温度就会降低，发生凝结。

一般地，暖锋通过之前，沿着锋面边界预期会形成卷状云或层状云，还伴随着雾。在夏季的月份，可能会发生积雨云或者雷暴。轻度至中等降水是可能的，通常以雨，雨夹雪，雪或者毛毛雨的形式形成，重点是能见度变差。风从南方或者东南吹来，周围温度变的寒冷，且露点增加。最终，随着暖锋的接近，大气压力持续下降直到暖锋完全通过。

在暖锋通过期间，可以看见层状云，可能还会下细雨。能见度通常是很差的，但是会随风的变化而改善。随着相对温暖的空气持续流入，温度会稳定上升。大部分地区的露点保持稳定而压力降低。

暖锋过后，层积云变成主导地位，可能发生阵雨。能见度最终会变好，但是烟雾朦胧的状况可能会在通过后维持一段较短的时间。风会从南方或者西南吹来。随着变暖的温度，露点上升，压力下降。在大气压力降低之后通常会有轻微的升高。

飞向接近的暖锋

通过研究一个典型的暖锋，可以学到很多和通用模式以及大气状况有关的方面，这些会在飞行中遇到暖锋时出现。如图 10-26 图示了一个从密苏里州的圣路易向东朝宾夕法尼亚州匹兹堡前进的暖锋。

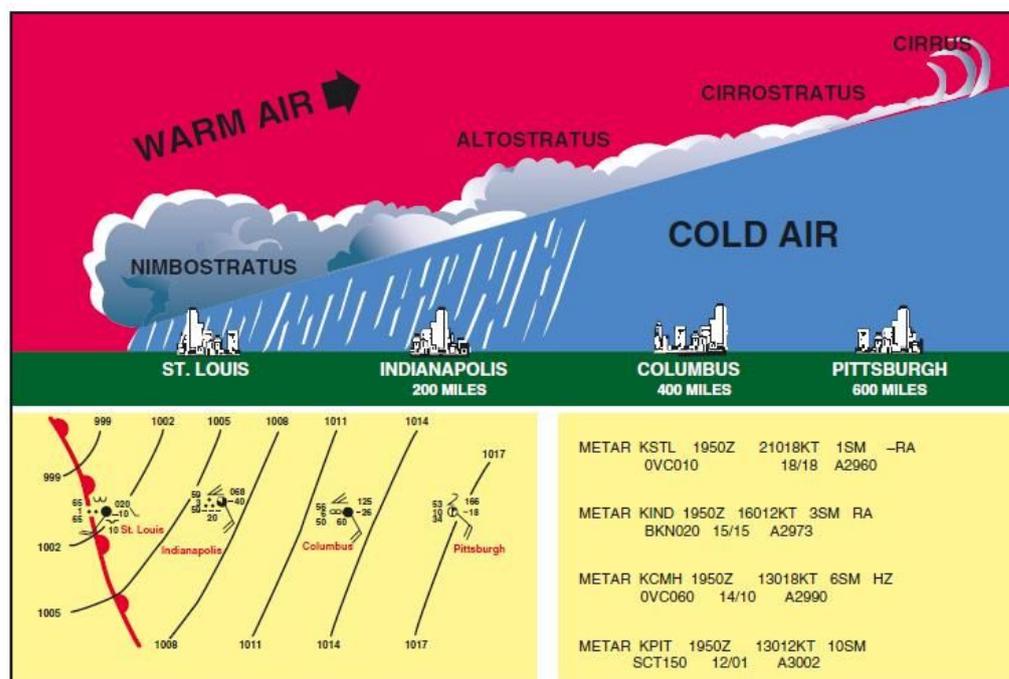


Figure 10-26. Warm front cross-section with surface weather chart depiction and associated METAR.

在从匹兹堡离开时，天气对目视飞行规则 (VFR) 很有利，在 15000 英尺有一层分散的卷云。当飞行向西前进到哥伦布【俄亥俄州首府】接近来临的暖锋时，云层变厚，层状云的外观逐渐增加到云幕高度 6000 英尺。薄雾中的能见度降低到 6 英里，且大气压力持续降低。接近印第安纳波利斯【印第安纳州首府】的时候，天气恶化到在 2000 英尺有散开的云层，天空下雨，能见度为 3 英里。随着温度和露点变的一致，很可能产生雾。在圣路易斯，天空被低云覆盖，下着细雨，能见度降低到 1 英里。超过印第安纳波利斯之后，云幕高度和能见度太低而不能继续进行 VFR 飞行。因此，停留在印第安纳波利斯等待暖锋已经通过是明智的选择，时间可能需要一到两天。

冷锋

当寒冷稠密的稳定空气团前进取代较温暖的空气团时产生冷锋。冷锋比暖锋移动的更快，以 25 到 30 英里每小时的速度前进。然而，极端的冷锋有记录的移动速度达到 60 英里每小时。典型的冷锋以和暖锋相反的方式移动；因为它非常稠密，它接近地面，就好像扫雪机，在较暖的空气下方滑动，迫使不稠密的空气上升。快速上升的空气致使温度突然降低，迫使云的产生。产生的云类型依赖于较暖气团的稳定性。北半球的冷锋通常是东北到西南的方向，可以绵延几百英里长，包含一大片陆地区域。

典型冷锋通过之前，会出现卷云或高耸的积云，也可能出现积雨云。由于云的快速发展，阵雨和阴霾也是可能的。来自南方或者西南方向的风促进了相对较冷的空气取代了温暖的空气。高露点和大气压力的降低表明了冷锋即将要通过这里。

随着冷锋经过，高耸的积云或积雨云依然占据天空的主导地位。根据冷锋的强度，形成大雨可能还伴随闪电，雷鸣，和/或冰雹。更严重的冷锋也会产生龙卷风。在冷锋通过时，能见度将很差，风向多变且多阵风，同时温度和露点快速下降。冷锋通过时快速下降的大气压力会降至最低点，然后开始逐渐增加。

冷锋过后，高耸的积云和积雨云开始消散成积云，相应的降水量也降低。最终能见度变的很好，西风或西北风盛行。温度仍然更冷，但是大气压力持续升高。

快速移动的冷锋

快速移动的冷锋受实际锋面后远处的强烈压力系统推动。地面和冷锋之间的摩擦力阻碍冷锋的运动，因此产生了一个陡峭的锋面。这结果就产生了一个非常狭窄的天气带，集中在锋面的前沿。如果被冷锋压倒的暖空气是相对稳定的，那么在锋面前方的一段距离内可能出现乌云密布的天空和下雨。如果暖空气不稳定，可能形成分散的雷暴和阵雨。沿锋面或锋面之前可能形成连续的雷暴雨带或者一条飚线。由于狂暴的雷暴是强烈且快速移动的，飚线对飞行员来说是严重的危险。在快速移动的冷锋之后，天空通常很快放晴，冷锋留下了狂暴的阵风和更冷的温度。

飞向逼近的冷锋

和暖锋一样，不是所有的冷锋都相同。检查一次向逼近的冷锋的飞行，飞行员可以对飞行中会遇到的不同状况类型有更好的理解。图 10-27 显示了一次从宾夕法尼亚州，匹兹堡向密苏里州圣路易斯的飞行。

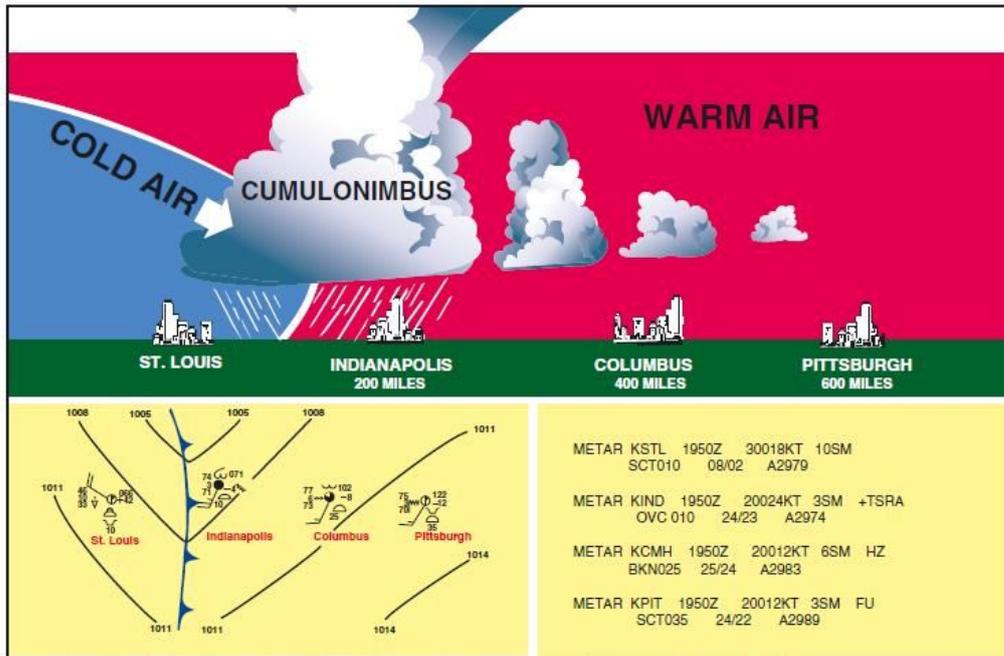


Figure 10-27. Cold front cross-section with surface weather chart depiction and associated METAR.

在飞离匹兹堡的时候，VFR 天气是能见度为烟雾中 3 英里，在 3500 英尺高度是分散的云层。当飞行向西前进到哥伦布接近毕竟的冷锋时，云层就显示出以 2500 英尺断层垂直发展的迹象。阴霾中的能见度为 6 英里，且大气压力不断下降。不断接近印第安纳波利斯的时候，天气恶化到 1000 英尺高度被云层覆盖，能见度为 3 英里，有雷暴和大阵雨。在圣路易斯，天气变好，1000 英尺高度上云层散开，能见度为 10 英里。

飞行员使用基于锋面状况知识的合理判断，他很可能要停留在印第安纳波利斯，直到锋面通过。试图在雷暴带或者飚线下飞行是危险而愚蠢的，也不要想飞越它的顶部或者绕飞暴风雨。雷暴可能向上延伸到彻底超过小飞机的能力范围，还会以带状绵延 300 至 500 英里。

冷锋和暖锋对比

暖锋和冷锋在特性上是非常不同的，相同的是每一锋面都有危险。他们在速度，结构，天气现象和预报方面都是变化多端的。冷锋，它以 20 至 35 英里每小时速度移动，相对暖锋移动的很快，暖锋只以 10-25 英里每小时移动。冷锋也促使形成陡峭的锋面坡度。激烈的天气活动和冷锋有关，天气通常沿锋面边界出现，而不是在前方。然而，飚线可以在夏季月份形成，在严重冷锋的前面远到 200 英里。反之，暖锋产生低云幕高度，差的能见度和下雨，冷锋产生突发的暴风雨，阵风，紊流，有时还有冰雹或者龙卷风。

冷锋是快速来临而很少或甚至没有警告的，它们可以就在几个小时内引起天气完全变化。在通过后，天气很快放晴，无限能见度的干燥空气取代了原先的暖空气。另一方面，暖锋对它们的来临提供了提前的警告，可能要好几天才能经过一个地区。

风的转向

高压系统周围的风绕顺时针方向旋转，而低压系统的风逆时针方式旋转。当两个高压系统相邻时，在邻接点的风向是几乎直接相反的。锋面就是两个压力区域之间的边界，因此，会持续的在一个锋面内发生风偏转。偏转风的方向非常明显的和冷锋结合。

静止锋

当两个气团的力量相对均等时，分开它们的边界或者锋面保持静止，影响几天内的局部天气。这个锋面就称为静止锋。和静止锋有关的天气通常是混合的，在冷锋和暖锋时都可以发现。

锢囚锋

当快速移动的冷锋追上一个慢速移动的暖锋时会出现锢囚锋。当锢囚锋接近时，暖锋天气占主导，但是很快接着就是冷锋天气。可以出现两种类型的锢囚锋，互相碰撞的锋面系统的温度很大程度上定义了锋面的类型和因而发生的天气。当快速移动的冷锋比慢速移动的暖锋之前的空气更冷时，就会出现冷锋锢囚现象。当发生这个现象时，寒冷的空气取代了凉的空气，迫使暖锋上升到大气中。典型的，冷锋锢囚产生了可以在暖锋和冷锋都可以看到的混合天气，使得空气保持相对稳定。当暖锋前的空气比冷锋的空气还冷就会出现暖锋锢囚。发生这种情况时，冷锋向上升到暖锋之上。如果被暖锋迫使上升的空气不稳定，天气将会比冷锋锢囚中看到的更加严重。很可能出现内涵式雷暴，雨，雾。

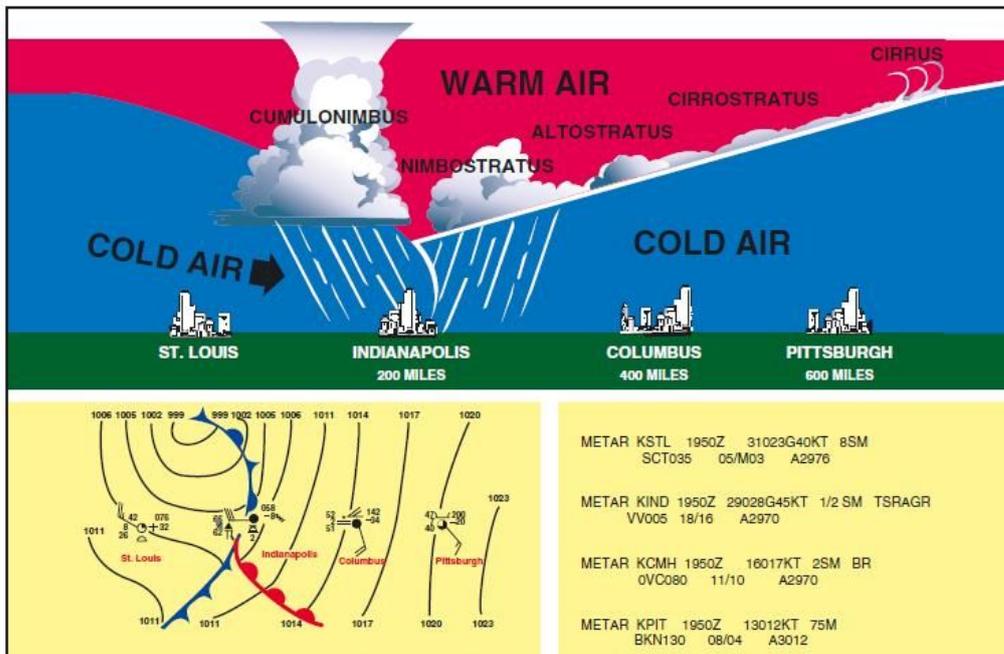


Figure 10-28. Occluded front cross-section with a weather chart depiction and associated METAR.

图 10-28 描绘了一个典型冷锋锢囚的截面图。暖锋在占主导地位的较冷空气上形成斜坡，产生暖锋类型的天气。典型锢囚锋通过之前，卷云和层云盛行，降水量从小到大，能见度差，露点稳定，大气压力持续下降。在锋面通过期间，乱层云和积雨云占主导，也可能是高耸的积云。降水量从小到大，能见度差，风是多变的，大气压力下降。锋面通过之后，可以看见乱层云和高层云，降雨量持续降低，逐渐放晴，能见度持续变好。

第十一章 - 天气报告，预报和图表



在航空业，天气服务是全国天气服务(National Weather Service, NWS)，联邦航空管理局(FAA)，国防部(Department of Defense, DOD)和其他航空团体以及众多个人的综合努力成果。由于全球天气服务需求的增加，国外天气组织也提供了重要的信息。

尽管天气预报不是 100%准确的，气象学者通过仔细的科学研究和计算建模，有能力不断准确的预报天气模式，趋势和特性。通过一个复杂的天气服务系统，政府代理人，和独立的天气观测者，飞行员和其他航空专业人士都能从这个巨大的以持续更新的天气报告和预报形式出现的知识库受益。

观测资料

从地面和较高高度观测所收集的数据形成了所有天气预报，咨询和简报的基础。有三种类型的天气观测资料：地面的，高空的，以及雷达。

地面航空天气观测

地面航空天气观测资料是全美国的地面站当前天气的天气要素之汇编。这个网络是由政府运行的设施和秘密契定的设施组成的，它们提供及时更新的天气信息。

自动化的天气来源如自动天气观测系统和自动地面观测系统，以及其他自动化设施，在收集地面观测资料时也担当重要的任务。

地面观测资料提供了当地天气状况以及其他相关信息。这些信息包括报告的类型，气象站 ID，日期和时间，修改者(如有要求时)，风，能见度，跑道可视范围，天气现象，天空条件，温度/露点，高度计读数，以及适用的备注。地面观测资料收集的信息可能来自于一个人，一个自动化气象站，或者一个被天气观测器更新或增强的自动化观测站。不管任何形式，地面观测资料提供了全美关于机场的有价值信息。

高空观测

高空天气的观测被证明是比地面观测更具挑战性。只有两种可以观测高空天气现象的方法：无线电探空仪观测和飞行员天气报告(PIREPs)。无线电探空仪使用无线电遥测技术，它是由探空气球做成的，每天从它那里接受两次天气数据。这些高空观测资料提供了高度达到或超过 100000 英尺范围内的温度，湿度，压力和风数据。除此之外，飞行员提供了高空天气观测至关重要的数据。飞行员只保留关于紊流，结冰，云高度有关的实时信息来源，这些数据是从飞行员飞行中收集的，从头至尾地归档飞行员天气报告或 PIREPs。综合起来，飞行员报告和无线电探空仪观测提供了对飞行计划重要的高空条件的信息。很多美国的和国际航空公司已经在它们的飞机上装备了探测器，它们可以通过数据链接(DataLink)系统自动的把飞行中天气观测资料传输到航空公司的派签处(dispatcher, 调度处)，他们再把数据传播到天气预报权威机构。

雷达观测

天气观测器使用三种雷达来提供降水量，风和天气系统的信息。WSR-88D NEXRAD 雷达，常称为多普勒(Doppler)雷达，它能提供全面的观测资料，向附近的社区通知来临的天气。FAA 终端多普勒天气雷达(TDWR)安装在全国的一些主要机场，也帮助向机场交通管制员提供严重天气警告和预告。终端雷达能够保证飞行员知道风切变，阵风带，和强降雨，所有这些对进场和离场的飞机都非常危险。通常用在降雨量探测中的第三种雷达是 FAA 机场监控雷达。这个雷达主要用于侦察飞机；然而，它也侦察降雨的位置和强度，它用来疏导(route)严重天气附近的飞机流量【即空中交通量】。

服务设施

服务设施(outlet)是提供航空天气服务的政府或者私人设施。有几个不同的政府机构，包括联邦航空管理局(FAA)，国家海洋和大气管理局(NOAA)，以及国家气象服务(NWS)一起联合私人的航空企业来提供获取天气信息的不同途径。

FAA 飞行服务站

FAA 飞行服务站 (FSS) 是起飞前天气信息的主要来源。几乎在美国的任何地方拨打 1-800-WXBRIEF, 可以全天 24 小时获得来自一个自动化飞行服务站的飞行前天气简报。在不是自动化飞行服务站服务的地区, 全国天气服务设施可能为飞行员提供天气简报。NWS 设施的电话号码和 FSS/AFSS 的额外电话号码可以在机场/设施指南 (Airport/Facility Directory, A/FD) 中找到, 或者在电话号码簿的美国政府部分找到。

飞行服务站也提供飞行中天气简报服务, 以及预定和非预定的天气广播。飞行服务站也可能在它的授权区域内为飞行提供天气咨询。

转录信息简报服务 (TIBS)

转录信息简报服务 (TIBS) 是由选择的自动式飞行服务站处理和发布的服务。它提供持续的气象和航空信息的电话记录。特别的, TIBS 提供区域和航线简报, 空域程序, 和特别通告。设计它是为了作为一个初步的简报工具, 不是为了代替来自 FSS 专家的标准简报。

TIBS 服务全天 24 小时可用, 情况变化时会更新, 但是它只能用 TOUCH-PHONE 电话访问。TIBS 服务的电话号码列在机场/设施指南 (A/FD)。

直接用户接入终端服务 (DUATS)

直接用户接入终端服务, 是由 FAA 投资的, 允许任何当前持有体检证书的飞行员访问天气信息和通过计算机备案一个飞行计划。有两种方法可以接入 DUATS。第一个是在互联网上通过 DynCorp 访问网址 <http://www.duats.com> 或者通过数据转录公司访问 <http://www.duat.com>。第二个方法是需要一个由 DUATS 供应商提供的调制解调器和通信程序。要用这个方法访问天气信息和备案一个飞行计划, 飞行员使用一个来电免费电话号码直接把用户的计算机链接到 DUATS 计算机。当前 DUATS 服务和相关电话号码的当前销售商列出在航空信息手册 (AIM) 的第七章。

航路飞行咨询服务 (EFAS)

专门用于飞行员请求时提供及时的航路天气信息服务是航路飞行咨询服务, 或者飞行观察 (Fly Watch)。EFAS 为飞行员提供适应于飞行, 航路和巡航高度类型的天气咨询。EFAS 是沿飞行航线的当前天气信息的最好来源之一。

通常飞行员可以在美国本土和波多黎各的任何地方于上午 6 点到晚上 10 点之间联系一位 EFAS 专家。常规 EFAS 频率 122.0MHz 是为飞行在地面之上 5000 英尺和平均海平面 17500 英尺之间飞机的飞行员建立的。

飞行中危险天气咨询 (HIWAS)

HIWAS 是为了在选择的导航设施上持续的广播危险天气信息的全国计划。广播包含了诸如 AIRMETS, SIGMETS, 传送性的 SIGMETS 和紧急 PIREPs 这些咨询。这些广播进近是信息的摘要, 飞行员应该联系 FSS 或者 EFAS 来获取详细信息。有 HIWAS 功能的导航设施被标记在扇区航图上, 在识别框里的右上角用字母 H 表示。如图 11-1。

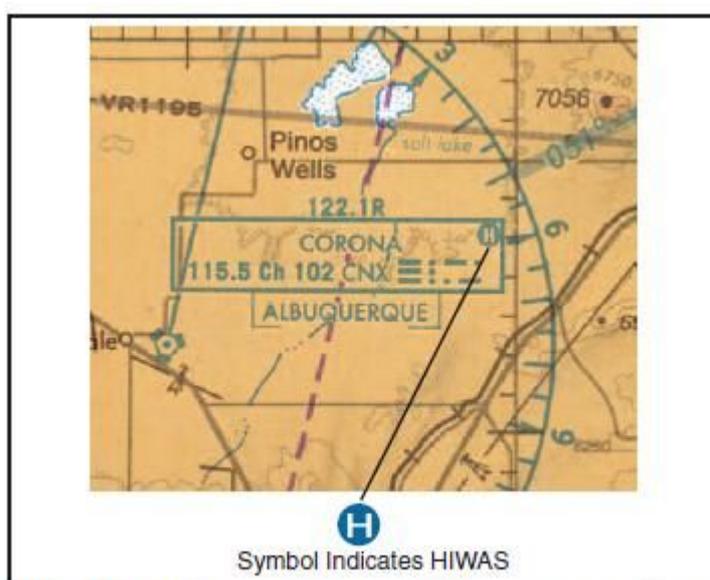


Figure 11-1. HIWAS availability is shown on sectional chart.

转录天气广播 (TWEB)

转录天气广播是在选择的导航设施上连续转录的天气报告。在一张扇区航图上, 导航设施方框内右上角的字母 T 表示 TWEB 服务可以使用。TWEB 天气通常由针对航路的数据组成, 包括航线预报, 预报展望, 高空风, 以及 FSS 50 海里范围内一个区域或沿特定航线的 50 英里宽走廊里的其他所选天气报告。TWEB 预报有效时间为 12 小时, 每天更新 4 次。

天气简报

在每次飞行前, 飞行员应该收集对飞行至关重要的所有信息。这包括从 FSS, AFSS 或者 NWS 专家获得的合适的天气简报。

为了让天气专家提供一份合适的天气简报，他们需要知道三种简报中的哪一种是需要，有标准简报，缩写的简报或者展望简报。其他有用的信息是飞行是目视飞行规则(VFR)还是仪表飞行规则(IFR)，飞机的身份号码(ID)和类型，出发地点，估计出发时间(ETD)，飞行高度，飞行路线，目的地，以及估计的航路时间(ETE)。

这个信息记录在飞行计划系统中，针对提供的天气简报类型还提供了一份注释。如果有必要的话，可以参考它在稍后备案或者修订一个飞行计划。在飞机迟到或者通报失踪的时候也会用到它。

标准简报

标准简报是最全面的报告，提供了详细的天气描述。这种类型的简报应该在每次飞行出发前获得，应该在制定飞行计划时使用它。一份标准天气简报如适用于飞行路线的话，则按顺序提供了下列信息。

1. 不利条件 - 这包括那些可能影响取消或者更改飞行路线决定的不利条件的信息。不利条件包括重要天气，例如雷暴或者飞机结冰，或者诸如机场关闭的其他重要事项。
2. 不推荐目视飞行(VFR) - 如果飞行航线的天气低于VFR最低要求，或者根据预报的天气执行VFR飞行很不确定，那么简报将会声明VFR是不推荐的。由飞行员来决定是否继续进行VFR飞行，但是这份咨询忠告应该认真对待。
3. 大纲 - 大纲是对更大的天气图像的概述。大纲提供了影响总体区域的锋面和主要天气系统。
4. 当前条件 - 简报的这部分包含当前云幕高度，能见度，风和温度。如果出发时间在大于2小时后，当前条件就不会包含在简报中。
5. 航路预报 - 航路预报是对被提交飞行路线的天气预报的摘要。
6. 目的地预报 - 目的地预报是估计到达时间时目的地机场预期天气的摘要。
7. 高空风和温度 - 高空风和温度是飞行航线的特定高度上风的报告。
8. 航行通告(Notice to Airmen)- 这部分提供了和飞行航线有关的航行通告信息，它没有在航行通告出版物中发布。出版的航行通告信息只在请求时提供在简报中。
9. ATC 延误 - 这是任何可能影响飞行的ATC延误的简讯。
10. 其他信息 - 在标准简报的结尾，FSS专家将提供打开一个飞行计划所需的无线电频率，来联系航路飞行咨询服务(EFAS)。任何请求的额外信息也会在这个时候提供。

简化的简报

简化的简报是标准简报的简化版本。当出发被延误，或者需要特定的天气信息来更新以前的简报时，应该要求简化的简报。当出现这种情况时，天气专家需要知道以前简报的时间和来源，这样必要的天气信息才不会被无意的忽略掉。

展望简报

当计划在 6 小时或者更长时间之后出发时，应该要求展望简报。它提供计划飞行时间期限内范围受限的初步预报信息。这种简报是飞行计划信息的很好来源，它可以影响有关飞行航线和高度的决定，以及最终走还是不走的决定。出发前的发布的后续展望简报也是很有用的，因为展望简报总体上只包含基于天气趋势的信息，和出发机场附近地理区域的当前天气信息。

航空天气报告

航空天气报告是为了对当前天气状况给出准确的描述而设计的。每一个报告提供以不同分期更新的当前信息。一些典型的报告是航空例行天气报告 (METAR)，飞行员天气报告 (PIREPs)，以及雷达天气报告 (SDs)。

航空例行天气报告 (METAR)

航空例行天气报告或者 METAR 是以标准的国际格式报告的当前地表天气观测资料。虽然 METAR 代码被全球广泛采纳，但是也允许每个国家对代码做出修改。通常地，这些差别是很小的，但是必须适应本地的规程或特殊度量单位。这里对 METAR 的讨论将包含美国使用的原理。

例子：

```
METAR KGGG 161753Z AUTO 14021G26 3/4SM  
+TSRA BR BKN008 OVC012CB 18/17 A2970 RMK  
PRESFR
```

一份典型的 METAR 报告按顺序包含了下列信息：

- 报告类型** - 有两种 METAR 报告类型。第一种是例行 METAR 报告，每小时传送一次。第二种是航空选择的特殊天气报告 (SPECI)。它是一份特殊报告，由于快速变化的天气状况，飞机灾难，或者其他关键信息而随时用它来更新 METAR。
- 站台识别码** - 每一个站台使用四字母代码来识别的，代码由国际民航组织 (ICAO) 确定。在本土的 48 个州中，唯一的三字母代码之前有字母 K。例如德克萨斯州朗维尤的 Gregg Country 机场代码是 KGGG。K 是目的地所属国家标志，GGG 是机场代码。在世界其他地区，包括阿拉斯加和夏威夷，ICAO 四字母代码的前两位表示地区，国家或者州。阿拉斯加的代码总以字母 "PA" 开头，夏威夷的代码总以字母 "PH" 开头。站台代码表可以在 FSS 或者 NWS 办公室找到。
- 报告日期和时间** - 日期和时间 (161753Z) 以一组 6 位数字表示。6 位数字的前两位数字表示日期。后 4 位数字是 METAR 的时间，它总是以世界协调时 (UTC)

给出。附加在时间末尾的字母“Z”表示时间是以“祖鲁”时间(UTC)给出的,而不是本地时间。【祖鲁是航空英文 Z 的读音(Zulu),在航空和军事上 Z 时区和民用的 UTC 对应。】

4. **修改者** - 修改者表示 METAR 来自一个自动化的来源或者报告被改正了。如果在报告中列出了“ AUTO”符号,报告就来自于一个自动化的来源。它也会在备注部分列出“ A01”或者“ A02”表示自动化站台使用的降水量传感器类型。

当使用了修改者“ COR”时,它表示发送出去的纠正的报告代替先前包含一处错误的报告。

例子:

METAR KGGG 161753Z COR

5. **风** - 在风速不超过 99 节时,风用 5 位数字报告,超过 99 节时,以 6 位数字报告。前 3 位数字表示风吹的方向,如果风向是变化的,则以 VRB 报告。后两位数字表示风速的节数,如果风速超过 99 节,则以 3 位数字表示。如果是阵风,那么在风速之后跟字母 G。在字母 G 之后提供了记录的最大阵风速度。如果风向变化超过 60 度,且风速大于 6 节,那么用 V 隔开的单独一组数字将表示风向的极值。

6. **能见度** - 主要能见度以法定英里【statute mile,法定英里等于 5280 英尺,约 1.6 公里】报告,以字母 SM 表示。它用英里数和英里的分数表示。有时, RVR 或者跑道视程(visual range)也在主要能见之后给出。RVR 是飞行员在运动的飞机里顺跑道看的能见距离。当报告 RVR 的时候,用 R 标记,接着是跑道号码,后面跟着斜线,最后是英尺为单位的视程。例如, RVR 报告为 R17L/1400FT,翻译为跑道 17L 的视程为 1400 英尺。

7. **天气** - 天气可以细分为两个不同的范畴:限定词和天气现象(+TSRA BR)。首先,会给出天气的强度,接近和描述符的限定词。强度可能是轻(-),中(无限定符),重(+)。接近只表示天气现象在机场附近。符号“ VC”表示特定的天气现象在机场的 5 到 10 英里附近。描述符用于描述某些类型的降雨和昏暗。天气现象可能报告为降水,昏暗和其他如猛烈的暴风雪和漏斗云。天气现象开始和结束的描述以及冰雹大小也在报告的注释部分列出。如图 11-2。

| Qualifier | | Weather Phenomena | | |
|-----------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| Intensity or Proximity 1 | Descriptor 2 | Precipitation 3 | Obscuration 4 | Other 5 |
| - Light | MI Shallow | DZ Drizzle | BR Mist | PO Dust/sand whirls |
| Moderate (no qualifier) | BC Patches | RA Rain | FG Fog | SQ Squalls |
| + Heavy | DR Low Drifting | SN Snow | FU Smoke | FC Funnel cloud |
| VC in the vicinity | BL Blowing | SG Snow grains | DU Dust | +FC Tornado or Waterspout |
| | SH Showers | IC Ice Crystals (diamond dust) | SA Sand | SS Sandstorm |
| | TS Thunderstorms | PL Ice Pellets | HZ Haze | DS Dust storm |
| | FZ Freezing | GR Hail | PY Spray | |
| | PR Partial | GS Small hail or snow pellets | VA Volcanic ash | |
| | | UP *Unknown Precipitation | | |

The weather groups are constructed by considering columns 1-5 in this table, in sequence; i.e., intensity, followed by descriptor, followed by weather phenomena; i.e., heavy rain showers(s) is coded as +SHRA.
* Automated stations only

Figure 11-2. Descriptors and weather phenomena used in a typical METAR.

8. **天空状况** - 天气状况总是按照数量，高度，和类型或者不确定的云幕高度（垂直能见度）的顺序来报告。云底高度以地面之上百英尺高度为单位用 3 位数字表示。自动化展台不探测和报告 12000 英尺以上的云。云的类型，特别是高耸的积云或者积雨云在报告时会给出它们的高度。缩写式用于描述云层覆盖和朦胧现象的程度。天空覆盖的程度用从等高线到等高线的 8 的分数表示。如图 11-3

| Sky Cover | Less than 1/8 (Clear) | 1/8 - 2/8 (Few) | 3/8 - 4/8 (Scattered) | 5/8 - 7/8 (Broken) | 8/8 or Overcast (Overcast) |
|-------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|
| Contraction | SKC CLR FEW | FEW | SCT | BKN | OVC |

Figure 11-3. Reportable contractions for sky condition.

9. **温度和露点** - 空气温度和露点总是以摄氏度 (18/17) 报告。温度低于 0 度时，在数字之前会加上字母 M 来表示负数。

10. **高度计设定** - 高度计设定以一组 4 位数来表示水银柱英寸数 (A2970)。它总是以字母 A 开始。升高或下降的压力可能也会在备注部分分别以 PRESRR 或者 PRESFR 表示。

11. **备注** - 在 METAR 的这部分可以出现也可以不出现注释文字。这部分的信息可能包括风的数据，变化的能见度，特殊天气现象的开始和结束，压力信息，和认为必要的很多其他信息。不适用其他任何分类的天气现象的相关注释的一个例子是：OCNL LTGICCG。这翻译为云中和从云到地面之间偶尔有闪电。自动化站台也使用备注部分来表示设备需要维护。备注部分总是以字母 RMK 开头。

例子:

METAR BTR 161753Z 14021G26 3/4SM -RA BR
BKN008 OVC012 18/17 A2970 RMK PRESFR

解释:

报告类型..... 例行 METAR
地点..... 路易斯安那州 Baton Rouge
日期..... 当月的 16 日
时间..... 17 点 53 分(UTC)时间
修改者..... 未报告
风信息..... 风向 140 度, 21 节, 阵风可达 26 节
能见度..... 3/4 法定英里
天气..... 小雨和薄雾
天空状况..... 800 英尺云量为 BKN, 1200 英尺云量为 OVC
温度..... 温度 18 摄氏度, 露点 17 摄氏度
高度计..... 29.70 英寸水银柱
备注..... 大气压力在下降

飞行员天气报告 (PIREPs)

飞行员天气报告提供了飞行时有关状况的重要信息, 这些信息无法从其他来源收集到。飞行员可以确认云底和云顶高度, 风切变和乱流的地点, 以及飞行中结冰的地点。如果云幕高度低于 5000 英尺, 或者能见度不大于 5 英里, 那么就会要求 ATC 设施向所在区域的飞行员索要飞行员天气报告。当遇到意外的天气状况时, 建议飞行员向 FSS 或者 ATC 发送一个报告。当飞行员天气报告被备案后, ATC 设施或者 FSS 将会把它增加到发布系统, 给其他飞行员发布简讯, 提供飞行中的咨询。

飞行员天气报告易于备案, 有一个标准报告格式描述了它们被备案的方式。图 11-4 显示了飞行员天气报告表格的要素。从第一项到第五项是制作报告时要求的信息, 以及遇到的至少一个天气现象。飞行员天气报告通常以单份报告传送, 但是也可能附加在一份地面天气报告之后。飞行员天气报告易于解码, 报告中使用的大所属缩写是自解释的。

| ENCODING PILOT WEATHER REPORTS (PIREPS) | | |
|---|----------------------------------|---|
| 1. UA | Routine PIREP, UUA-Urgent PIREP. | |
| 2. /OV | Location: | Use 3-letter NAVAID idents only. a. Fix: /OV ABC, /OV ABC 090025. b. Fix: /OV ABC 045020-DEF, /OV ABC-DEF-GHI. |
| 3. /TM | Time: | 4 digits in UTC: /TM 0915. |
| 4. /FL | Altitude/Flight Level: | 3 digits for hundreds of feet. If not known use UNKN: /FL095, /FL310, /FLUNKN. |
| 5. /TP | Type Aircraft: | 4 digits maximum, if not known use UNKN: /TP L329, /TP B727, /TP UNKN. |
| 6. /SK | Cloud Layers: | Describe as follows: a. Height of cloud base in hundreds of feet. If unknown, use UNKN. b. Cloud cover symbol. c. Height of cloud tops in hundreds of feet. |
| 7. /WX | Weather: | Flight visibility reported first: Use standard weather symbols, Intensity is not reported: /WX FV02 R H, /WX FV01 TRW. |
| 8. /TA | Air Temperature in Celsius: | If below zero, prefix with a hyphen: /TA 15, /TA -06. |
| 9. /WV | Wind: | Direction and speed in six digits: /WV 270045, /WV 280110. |
| 10. /TB | Turbulence: | Use standard contractions for intensity and type (use CAT or CHOP when appropriate). Include altitude only if different from /FL, /TB EXTREME, /TB LGT-MDT BLO 090. |
| 11. /IC | Icing: | Describe using standard intensity and type contractions. Include altitude only if different than /FL: /IC LGT-MDT RIME, /IC SVR CLR 028-045. |
| 12. /RM | Remarks: | Use free form to clarify the report and type hazardous elements first: /RM LLWS -15 KT SFC-030 DURC RNWY 22 JFK. |

Figure 11-4. PIREP encoding and decoding.

例子:

UA/OV GGG 090025/ M 1450/ FL 060/ TP C182/ SK
080 OVC/ WX FV 04R/ TA 05/ WV 270030/ TB LGT/
RM HVY RAIN

解释:

类型 例行飞行员天气报告
地点.....Gregg County VOR 的 90 度方向 25 海里处
时间.....1450 祖鲁时间
高度或者飞行高度..... 6000 英尺
飞机类型..... Cessna 182
天空云量..... 8000 英尺高度, 乌云覆盖
能见度/天气..... 雨中 4 英里
温度..... 5 摄氏度
风..... 270 度 30 节
乱流强度..... 轻
结冰情况..... 未报告
备注..... 雨很大

雷达天气报告 (SD)

降雨和雷暴区域是由雷达例行观测的。雷达天气报告由雷达站在每小时过 35 分钟后发布，有必要时会发布特殊报告。

雷达天气报告提供降雨量回波顶的类型，强度和位置信息。如图 11-5

| SYMBOL | MEANING |
|-------------|---|
| R | Rain |
| RW | Rain Shower |
| S | Snow |
| SW | Snow Shower |
| T | Thunderstorm |
| SYMBOL | INTENSITY |
| - | Light |
| (none) | Moderate |
| + | Heavy |
| ++ | Very Heavy |
| X | Intense |
| XX | Extreme |
| CONTRACTION | OPERATIONAL STATUS |
| PPINE | Radar is operating normally but there are no echoes being detected. |
| PPINA | Radar observation is not available. |
| PPIOM | Radar is inoperative or out of service. |
| AUTO | Automated radar report from WSR-88D. |

Figure 11-5. Radar weather report codes.

这些报告也可能包括降雨区域的方向和速度，以及百英尺为单位 (MSL) 的降雨区高度和底部。RAREPs 对于飞行前计划是特别有价值的，可以帮助避免严重的天气区域。然而，雷达只观测大气中大到足够被认为是降雨的目标。雷达不观测云底，云顶，云幕，以及能见度。

一份典型的 RAREP 会包含：

- 位置标志符和雷达观测时间

- 回波模式
 1. 线(LN) - 线状降雨回波至少 30 英里长，至少是它的宽度的 4 倍，在线状区域内至少 25%的覆盖度。
 2. 区域(AREA) - 一组类似类型的回波，但不是线状的。
 3. 单元型(CELL) - 一个单独的对流性回波，例如阵雨。
- 以十分之几确定的区域覆盖
- 天气的类型和强度
- 很多点的真北向方位角和距雷达站的距离海里数定义了回波模式。对于线和区域模式，将有两个定义模式的方位角和距离组合。对于单元，只有一组方位角和距离。
- 回波模式的尺寸- 当方位角和距离只定义了模式的中心线时就会给出回波模式的尺寸。
- 单元运动 - 只有单元才会对运动编码，不会对线和区域的运动编码。
- 降雨的最大顶部和位置 。最大顶部可能用符号 MT 或者 MTS 编码。如果是用 MTS 编码的，它的含义是卫星数据和雷达信息被用于测量降雨的顶部。
- 如果在报告中出现 AUTO，它的含义是报告自动的来自于 WSR-88D 天气雷达数据。
- 最后一部分主要是用于准备雷达天气摘要图，但是可以在飞行前使用，来计算一个特定格状方框内的最大降雨强度。数字越高，强度越大。出现在方格框基准后面的两个或多个数字，例如 PM34 表示连续方格框内的降雨。

例子:

```
TLX 1935 LN 8 TRW++ 86/40 199/115
20W C2425 MTS 570 AT 159/65 AUTO
^M01 N02 ON3 PM34 QM3 RL2=
```

解释:

雷达天气报告给出了下列信息：这份报告是自动的来自于奥克拉河马市，生成时间是 19:35UTC。这份雷达报告的回波模式表明一条回波线覆盖了十分之八的区域。也标明了有雷暴和非常强的阵雨。下一组数字表示定义回波的方位角(86 度方向 40 海里，199 度距离 115 海里)。下一个是给出的回波尺寸是 20 海里宽(方位角和距离定义的线的每一边距离都是 10 海里)。线中的单元以 25 节速度从 240 度移动。根据卫星和雷达确定的降雨的最大顶部是 57000 英尺，位于 159 度方位，65 海里远。最后一行表示降雨的强度，例如在方格中 QM 其强度是 3 或者大雨。(1 表示轻，6 表示最强)

航空预报

观测的天气状况报告经常用在同一区域的预报制作中。在飞行前计划阶段使用了很多种不同的预报产品。飞行员需要熟悉的印刷的预报是终端机场预报(TAF)，

航空区域预报 (FA)，飞行中天气咨询 (SIGMET, AIRMET)，以及风和温度高空预报 (FD)。

终端机场预报 (TAF)

终端机场预报是为一个机场周围 5 法定英里半径确立的报告。TAF 报告通常是较大的机场才有。每一份 TAF 报告有效期只有 24 小时，每天更新 4 次，时间分别为 00:00Z, 06:00Z, 12:00Z, 18:00Z。TAF 报告使用和 METAR 报告中相同的描述符号和缩写。

终端预报顺序的包含了下列信息：

1. **报告类型** - TAF 可以是例行预报 (TAF) 或者是修正的预报 (TAF AMD)。
2. **IACO 站台代码** - 站台代码和 METAR 中使用的代码一样。
3. **最初发出日期和时间** - TAF 发出的日期和时间用 6 位数字代码给出，前两个是日期，后四位数字是时间。时间总是以 UTC 方式提供，在时间后加 Z 表示。
4. **有效期日期和时间** - 有效的预报时间周期用一组 6 位数字给出。前两个数字表示日期，随后的两位数字表示有效期的开始时间，最后的两位数字表示有效期的结束时间。
5. **预报的风** - 风向和速度预报以一组 5 位数字表示。前三位表示相对于真北方向的风方向。后两位数字表示以节 (用字母 KT 表示) 为单位的风速。和 METAR 报告一样，大于 99 节的风速用三位数字表示。
6. **预报的能见度** - 预报的能见度用法定英里给出，可能是整数或者分数。如果预报值大于 6 英里，将编码为 P6SM。
7. **预报的重要天气** - 在 TAF 报告中编码的天气现象和 METAR 中的格式一样。如果在预报时间周期内预期没有重要天气，符号 NSW 将会包含在“生成的”或“短暂的”天气组。
8. **预报的天气状况** - 预报的天气状况以和 METAR 相同的方式给出。只有积雨云在 TAF 报告的这部分预报，而不是 METAR 报告中预报积雨云和高耸的积云。
9. **预报的变化组** - 对于 TAF 时间周期内的任何重要天气变化，预期的状况和时间周期会包含在这组内。这个信息可能显示为来源 (FM)，生成的 (BECMG)，和短暂的 (TEMPO)。通常，当预期在一个小时内有快速和重要变化时使用 From。当预期在不超过两个小时内的时间周期天气逐渐变化，就使用 Becoming。Temporary 用于天气的短暂波动，预期持续不超过一小时。
10. **预报的可能性** - 可能性预报是给出一个百分比，它说明将来的几小时内发生雷暴和降雨的可能性。这个预报不用于 24 小时预报的前 6 小时。

例子:

```
TAF
KPIR 111130Z 111212 15012KT P6SM BKN090
TEMPO 1214 5SM BR
FM1500 16015G25KT P6SM SCT040 BKN250
FM0000 14012KT P6SM BKN080 OVC150 PROB40
0004 3SM TSRA BKN030CB
FM0400 1408KT P6SM SCT040 OVC080 TEMPO
0408 3SM TSRA OVC030CB
BECMG 0810 32007KT=
```

解释:

这是南达科塔州，皮埃尔的例行 TAF 报告，于本月 11 日，UTC 时间 11 点 30 分，有效期为 24 小时，从 11 日的 12:00UTC 到 12 日的 12:00UTC。风向 150 度，风速 12 节，能见度大于 6 法定英里，9000 英尺高度有短暂的碎云，在 12 点至 14 点之间，薄雾中能见度为 5 法定英里，从 15:00UTC，风向 160 度，风速 15 节，阵风达 25 节，能见度大于 6 法定英里，云在 4000 英尺高度散开，25000 英尺有碎云。从 00:00UTC 开始，风向 140 度，风速 12 节，能见度大于 6 法定英里，在 8000 英尺形成碎云，云在 15000 英尺覆盖，在 00:00UTC 到 04:00UTC，能见度 3 法定英里有 40% 的可能性，有中度下雨的雷暴，积雨云在 3000 英尺破碎，从 04:00UTC，风向 140 度，风速 8 节，能见度大于 6 英里，云在 4000 英尺处分散，在 8000 英尺覆盖，在 04:00 到 08:00 之间短暂的，能见度 3 英里，中度下雨的雷暴，积雨云覆盖在 3000 英尺，在 08:00 到 10:00 之间生成，风向 320 度，风速 7 节。=为报告结束。

区域预报

航空区域预报给出了一个包含几个州的较大区域预期的云量，总体天气状况和目视天气条件 (VMC) 的概貌。在本土的 48 个州有 6 个区域发布区域预报。区域预报每天发布 3 次，有效时长 18 小时。这种预报为航线运行提供了至关重要的信息，也为那些没有终端预报的较小的机场提供预报信息。

区域预报通常以 4 部分传播，包含下列信息：

1. 报头

- 这部分给出了区域预报来源的地点代码，发布的日期和时间，有效的预报时间，和覆盖的区域。

例子:

DFWC FA 120945
SYNOPSIS AND VFR CLDS/WX
SYNOPSIS VALID UNTIL 130400
CLDS/WX VALID UNTIL 122200...OTLK VALID
122200-130400
OK TX AR LA MS AL AND CSTL WTRS

解释:

航空预报给出了由达拉斯 佛特 沃思 提供的信息，覆盖区域为俄克拉荷马，德克萨斯，阿肯色，路易斯安那，密西西比，和阿拉巴马，以及一部分海湾沿海水域。发布时间是本月 12 日的 9:45。这份摘要有效期为从发布之时开始到 13 日的 04:00。这份区域预报上的 VFR 云量和天气信息在 12 日 22:00 之前有效，展望部分有效期为 13 日凌晨 04:00 之前。

2. 预防信息综述

- IFR 状况，山区的昏暗天气，以及雷暴危险在这部分描述。综述中和高度有关的用 MSL 表示，如果是别的，将会用 AGL 或者 CRG(ceiling)注明。

例子:

SEE AIRMET SIERRA FOR IFR CONDS AND
MTN OBSCN.
TS IMPLY SEV OR GTR TURB SEV ICE LLWS
AND IFR CONDS.
NON MSL HGTS DENOTED BYAGL OR CIG.

解释:

区域预报包括 VFR 云量和天气，因此预防信息综述发出警告 IFR 状况和山区的朦胧天气以飞行员天气信息(AIRMET)的 S 作为参考。代码 TS 表示雷暴的可能性，意味着可能出现严重的或者更强的紊流，严重的结冰，低空风切变，以及 IFR 状况。预防综述信息的最后一行提醒用户大部分高度是平均海平面高度(MSL)。不是平均海平面高度的那些数字将是离地高度(AGL)或者云幕高度(CIG)。

3. 纲要

- 纲要部分给出了一个用于识别压力系统，锋面和循环模式位置和运动的简略概要。

例子:

SYNOPSIS...LOW PRES TROF 10Z OK/TX PNHDL
AREA FCST MOV EWD INTO CNTRL-SWRN OK

BY 04Z. WRMFNT 10Z CNTRL OK-SRN AR-NRN
MS FCST LIFT NWD INTO NERN OK-NRN AR
EXTRM NRN MS BY 04Z.

解释:

从 10:00UTC 时间开始, 有一个低压经过俄克拉荷马和德克萨斯的狭长地区, 预计它将向东移动, 04:00UTC 之前进入俄克拉荷马中西南地区。10:00UTC 时, 一个暖锋位于俄克拉荷马中部地区, 阿肯色南部和密西西比州北部, 预计向西北地区升高而进入俄克拉荷马西北和阿肯色北部, 最后 04:00UTC 之前到密西西比州北部。

4. VFR 云量和天气

- 这部分列出了在随后 12 小时预期的天空条件, 能见度和天气, 以及后续 6 小时的天气展望。

例子:

S CNTRL AND SERN TX
AGL SCT-BKN010. TOPS 030. VIS 3-5SM BR.
14-16Z BECMG AGL SCT030. 19Z AGL SCT050.
OTLK...VFR
OK
PNDLAND NW...AGL SCT030 SCT-BKN100.
TOPS FL200.
15Z AGL SCT040 SCT100. AFT 20Z SCT TSRA
DVLPG..FEW POSS SEV. CB TOPS FL450.
OTLK...VFR

解释:

在德克萨斯中南和东南部, 有散云到碎云层, 从离地高度 1000 英尺到云顶 3000 英尺, 雾中的能见度为 3 到 5 法定英里。在 14:00UTC 到 16:00UTC 之间, 云底高度预计会增加到 3000 英尺离地高度 (AGL)。19:00UTC 之后, 云底预计继续增加到 5000 英尺离地高度, 预计符合 VFR 条件。

在俄克拉荷马西北和狭长地带, 3000 英尺云量稀疏, 在 10000 英尺离地高度有稀疏到破碎的云层, 其云顶在 20000 英尺。在 15:00UTC, 最低云底高度预计增加到 4000 英尺离地高度, 且在 10000 英尺有稀疏云层。20:00UTC 之后, 预报认为 (call for) 随着雨量增加会有分散的雷暴, 少量会变得严重; 积雨云顶将高达飞行高度层 450 或者 45000 英尺平均海平面高度。

应该说明的是，在区域预报中提供信息时，地点可能是用州，地区，或者特定的如山区这样的地理特征来给出的。如图 11-6 给出了一张有 6 个预报区的区域预报图，有州，地区性区域和共同的地理特征。

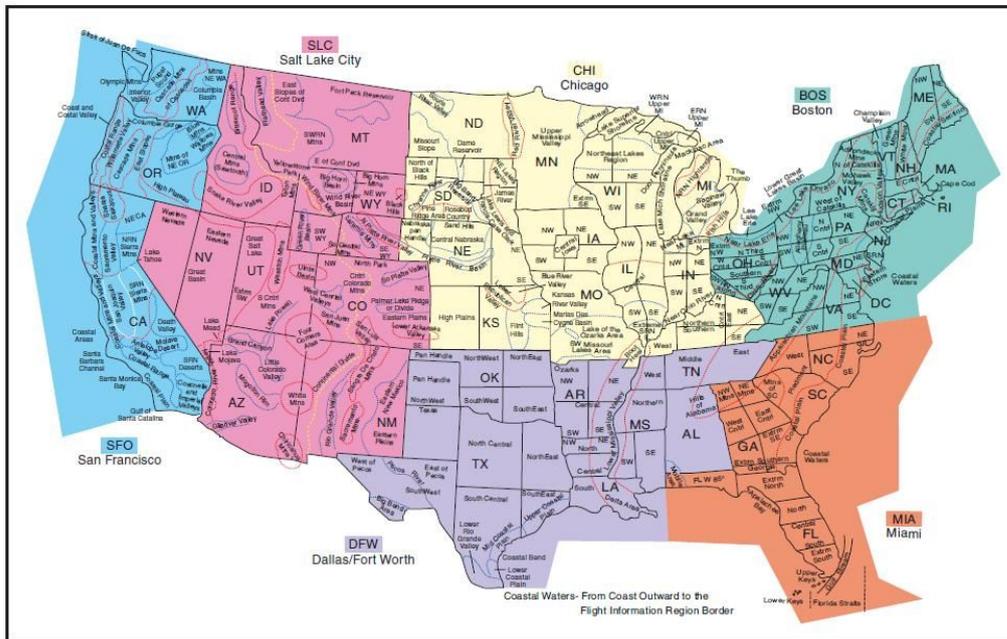


Figure 11-6. Area forecast region map.

【区域预报分区把美国本土的 48 个州分成 6 个不同的地区，分别为 SFO, DFW, SLC, MIA, BOS, 以及 CHI，即旧金山，达拉斯 福特 沃思，盐湖城，迈阿密，波士顿，芝加哥】

飞行中天气报告

飞行中天气报告是提供给在飞行途中的飞机的预报，详细的说明了潜在的危險天气。飞行员在出发前为了制定飞行计划也可以获得这些报告。飞行中天气报告是以 AIRMET, SIGMET 或者对流性 SIGMET 的形式发布的。

飞行员气象信息 (AIRMET)

AIRMETs (WAs) 是飞行中天气报告的实例，它每 6 小时发布一次，如有必要，会为特定的区域预报区发布中间的更新。AIRMET 中包含的信息是关系所有飞机的运行利害的，但是天气部分涉及到被认为对轻型飞机和那些运行能力有限的飞机有潜在危险的天气现象。

AIRMET 包含下列预报：中度结冰，中度紊流，30 节或者更大的持续地面风，云幕高度小于 1000 英尺和/或能见度小于 3 英里的广袤地区，以及大范围的山区朦胧天气。

每一个 AIRMET 报告都有一个固定的数字字母标志符，以第一次发行日开头，顺序编号易于查找。SIERRA 是用来表示仪表飞行规则和山区朦胧的 AIRMET 代码；TANGO 用于表示紊流，强地面风，以及低空风切变；ZULU 用于表示结冰和冰点高度。

【SIERRA, TANGO, ZULU 分别表示通信中的英文字母 S, T, Z】

例子：

```
DFWTTWA 241650
AIRMET TANGO UPDT 3 FOR TURBC... STG
SFC WINDS AND LLWS VALID UNTIL 242000
AIRMET TURBC... OK TX...UPDT
FROM OKC TO DFW TO SAT TO MAF TO CDS
TO OKC OCNL MDT TURBC BLO 60 DUE TO
STG AND GUSTY LOW LVL WINDS. CONDS
CONTG BYD 2000Z
```

解释：

这份 AIRMET 由达拉斯福特沃思于本月 24 日 16:50UTC 发布的。在这第三次的更新时，由于紊流，强地面风，和低空风切变而发布了 AIRMET Tango，截至时间为同一天的 20:00UTC。AIRMET 的紊流部分是为俄克拉荷马和德克萨斯更新的。它定义了一个区域，范围是从俄克拉荷马市到德克萨斯的达拉斯，到圣安东尼，到德克萨斯的米德兰德，到德克萨斯的乔德瑞斯，到俄克拉荷马市，这一范围由于强烈的低空阵风将遇到 6000 英尺以下的偶然性中度紊流。也要注意这些条件按预报会持续到 20:00UTC 之后。

重要气象信息 (SIGMET)

SIGMETs (WSs) 是和非对流性天气有关的飞行中天气报告，这种天气对所有飞机都有潜在危险。它们报告的天气预报包含和雷暴无关的严重结冰，和雷暴无关的严重或极强紊流或晴空乱流 (CAT)，较低地面的尘暴和沙暴，或者飞行中能见度低于 3 英里，以及火山灰。

SIGMET 是不定期预报，有效时间为 4 小时，但是如果 SIGMET 和飓风【一种猛烈的热带风暴，形成于大西洋或加勒比海赤道地区，从形成地向北、西北或东北移动，通常携有大量雨水，风速高达 120 公里/小时以上】有关，那么有效时间为 6 小时。

SIGMET 是按照从 N 到 Y 的字母代码顺序发布的，不包括 S 和 T。SIGMET 的第一次发布被指定为一个 UWS，或紧急天气的 SIGMET (Urgent Weather SIGMET)。相同天气现象再一次发布 SIGMET 就按顺序编号，直到天气现象结束。

例子:

```
SFOR WS 100130
SIGMET ROME02 VALID UNTIL 100530
OR WA
FROM SEA TO PDT TO EUG TO SEA
OCNL MOGR CAT BTN 280 AND 350 EXPCD
DUE TO JTSTR.
CONDS BGNG AFT 0200Z CONTG BYD 0530Z .
```

解释:

这是 SIGMET R 第二次, 即这一天气现象的第二次发布。有效截止时间为本月 10 日的 05:30UTC。这个 SIGMET 是为俄勒冈和华盛顿地区的, 一个定义去区域从从西雅图到波特兰, 到尤金到西雅图。它认为由于急流【一种高速的、弯曲的风流, 通常以超过每小时 400 公里(250 英里)的速度从西刮来, 高度达 15 至 25 公里(10 至 15 英里)】的地点而在 28000 英尺到 35000 英尺偶尔出现中度或较强晴空乱流。这些状况将从 02:00UTC 之后开始, 在这个 SIGMET 的预报范围 05:30UTC 之后会继续。

重要的对流性气象信息(WST)

对流性 SIGMET(WST)是针对影响每次飞行安全的危险对流性天气而发布的飞行中天气报告。对流性 SIGMET 是为地面风超过 50 节的严重雷暴, 在地面直径大于或者等于 3/4 英寸的冰雹, 或者龙卷风而发布的。【美国是一个龙卷风盛行的国家。】发布它们也可以是为了向飞行员提醒内涵式雷暴, 雷暴带, 或者强降雨雷暴, 这种雷暴影响 3000 平方英尺或更大范围的 40%以上。

对流性 SIGMET 针对本土 48 个州的每个地区都发布, 但是不包括阿拉斯加和夏威夷。对流性 SIGMET 的发布有美国东部(E), 西部(W)和中部(C)。每一个报告在每小时的 55 分钟发布, 但是特殊报告可能因任何原因而临时发布。每一份预报的有效时间为 2 小时。它们每天按 1-99 顺序编号, 从 00:00UTC 开始。如果没有危险天气, 对流性 SIGMET 也会被发布; 但是, 它会声明” 对流性 SIGMET ……无”(“CONVECTIVE SIGMET… NONE.”)

例子:

```
MKCC WST 221855
CONVECTIVE SIGMET 21C
VALID UNTIL 2055
KS OK TX
VCNTY GLD-CDS LINE
NO SGFNT TSTMS RPRTD
LINE TSTMS DVLPG BY 1955Z WILL MOV EWD
```

30-35 KT THRU 2055Z
HAIL TO 2 IN PSBL

解释:

这份对流性 SIGMET 预报提供了下列信息:WST 表示这是一份对流性的 SIGMET 报告。当前日期是本月的 22 日,发布时间为 18:55UTC。它的编号是 21C,表示是顺序报告中的第 21 个,C 表示为美国中部地区发布的。这份报告的有效时间为 20:55UTC 时间之前的两个小时。这个对流性 SIGMET 的预报区域是从堪萨斯,俄克拉荷马到德克萨斯,在从堪萨斯的古德兰德到德克萨斯的乔德瑞斯一线附近。报告中无重要的雷暴气象,但是一个雷暴带将在 19:55UTC 之前产生到 20:55UC,以 30-35 节速度向东移动。伴随生成的雷暴,冰雹大小可能达 2 英寸。

风和温度高空预报(FD)

风和温度高空预报提供了美国本土特定地点的风和温度高空预报,包括阿拉斯加和夏威夷的联网地点。这个预报根据无线电探空仪在 00:00UTC 到 12:00UTC 之间的高空观测,每天生成 2 份报告。

从 12000 英尺开始使用真实高度,18000 英尺以上使用压力高度。风向总是真北向为基准方向,风速的单位为节。温度用摄氏度表示。当一个给定高度在站台海拔高度的 1500 英尺之内时,不会对风进行预报。【因为不属于高空数据,高度太低】类似的,任何在站台海拔高度 2500 英尺之内的测量站,都会不对温度进行预报。

如果预报风速会大于 100 节而小于 199 节,计算机会为风向增加 50 而风速减 100。要解码这组数据,就要使用反向推演。例如,数据如 731960,那么 73 减去 50,19 加上 100,那么风将是 230 度方向,119 节速度,温度为零下 60 度。如果预报风速为 200 节或者更大,风的这组数据会编码成 99 节。例如,当数据为 7799 时,77 减去 50,99 加上 100,那么风就是 270 度方向,风速为 199 节或者更大。当预报风速为平静的或风速低于 5 节时,数据组会编码为 9900,它的意思是微弱的变化的风。如图 11-7

| FD | 3000 | 6000 | 9000 | 12000 | 18000 | 24000 | 30000 |
|-----|------|------|---------|---------|---------|---------|--------|
| AMA | | 2714 | 2725+00 | 2625-04 | 2531-15 | 2542-27 | 265842 |
| DEN | | | 2321-04 | 2532-08 | 2434-19 | 2441-31 | 235347 |

Figure 11-7. Winds and temperatures aloft forecast.

对图 11-7 的解释

报头表示这份风和温度高空预报(FD)是根据 12:00UTC 无线电探空仪于本月 15 日 16:40UTC 时传送的。生效时间为当日的 18:00UTC,应该用于时间段 17:00UTC 到 21:00UTC。报头也表明平均海平面 24000 英尺之上的温度为零下。由于 24000 英尺之上的温度为零下,就省略了负号。

4 个数字一组的数据表示以真北向为基准的风向,以及以节为单位的风速。在德克萨斯的阿玛里诺(AMA)高度为 3605 英尺,因此预报风的最低可报告高度为 6000 英尺。对这种情况,2714 的意思是预报风向为 270 度,风速为 14 节。

6 个数字一组的数据包含了预报的高空温度。丹佛(DEN)的海拔高度为 5431 英尺,因此对于风和温度预告的最低可报告高度为 9000 英尺。这时,2321-04 表示预报风向为 230 度,风速 21 节,温度零下 4 度。

天气图

天气图是一种描述当前的或预报的天气的图形化图表。它们提供了美国的总体气象图形,应该在飞行计划的开始阶段使用它们。通常的,天气图显示了主要天气系统和锋面的运动。地面分析图,天气描述图,和雷达概要图是当前天气信息的来源。重要的天气预兆图为天气前景提供了总体预报。

地面分析图

地面分析图描述了对当前地表天气的分析。如图 11-8. 这个图是计算机处理过的报告,每 3 小时传送一次,覆盖范围是本土 48 个州和邻近地区。地面分析图显示了高低压区域,锋面,温度,露点,风向和风速,局部天气,以及可见的障碍物。

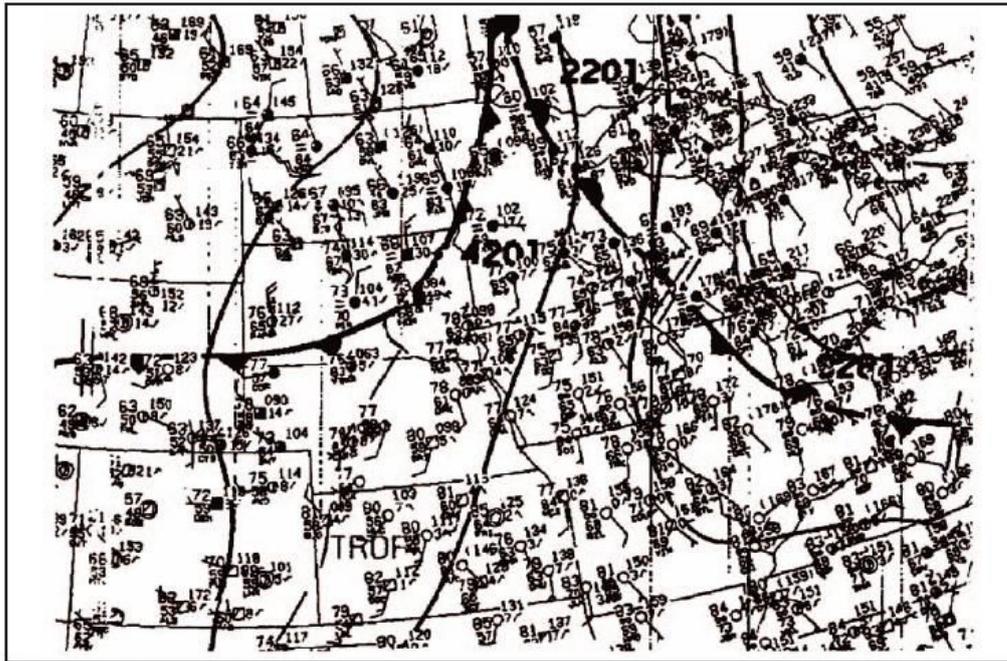


Figure 11-8. Surface analysis chart.

美国境内报告点的地面天气观测也在这张图上标注。每一个报告点都用填图格式表示。如图 11-9。

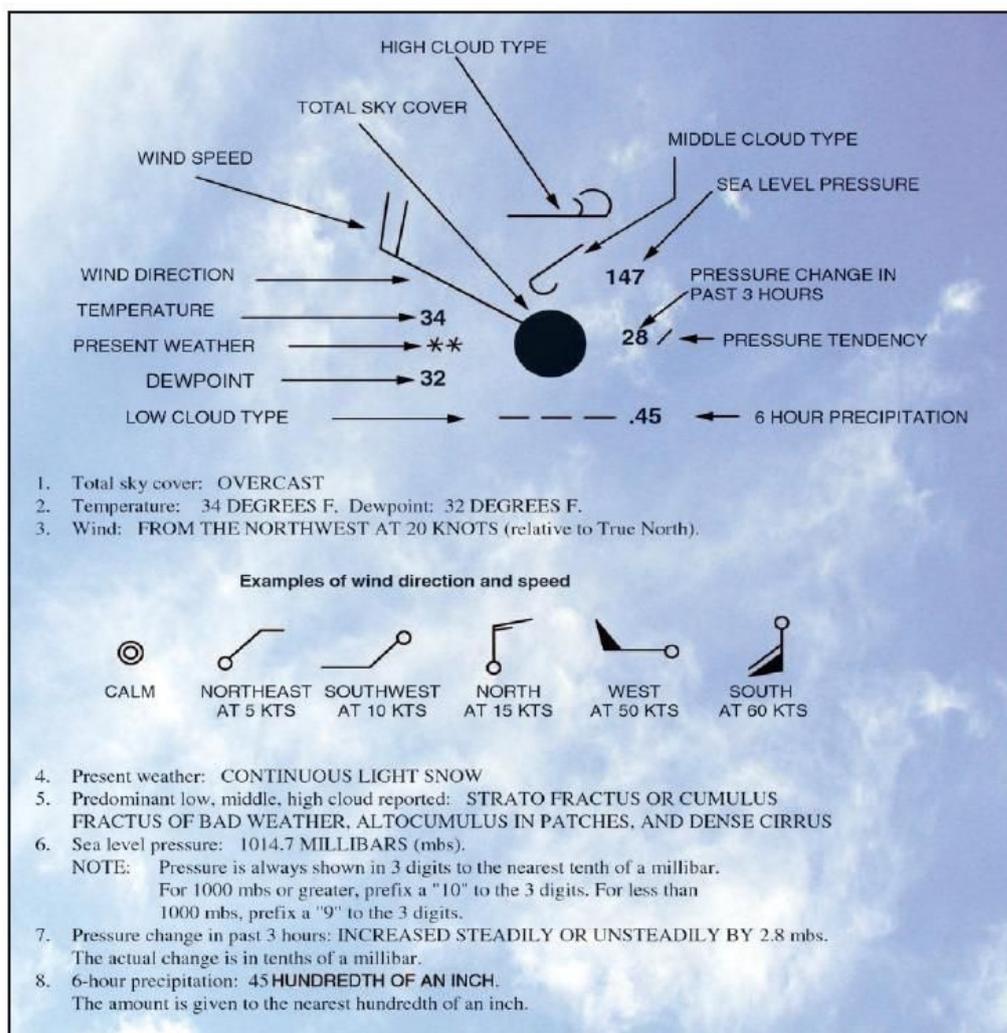


Figure 11-9. Sample station model and weather chart symbols.

一份填图格式包含：

1. **观测类型** - 圆形表示是一个正式的天气观测器生成的观测。而方形表示观测是来自自动化观测站。观测站可以是远离海岸的船只，水中的浮标，或者远离海岸的平台。
2. **天空覆盖 (sky cover)** - 填图格式表示出总体的天空覆盖，分别表示为晴空的 (clear), 稀疏的 (scattered), 碎云的 (broken), 多云的 (overcast), 昏暗的 (obscured) 或部分昏暗的。
3. **云** - 云的类型是用特定的符号表示的。低云符号位于填图格式的下方，而中高云符号位于填图格式的直上方。通常，填图格式只用一种云类型表示。
4. **海平面压力** - 海平面压力用最近的 10 份毫巴的 3 位数字表示。对于 1000 毫巴或者更大，在 3 位数字前加 10。对于 1000 毫巴以下，在 3 位数字之前加 9。
5. **压力变化/趋势** - 压力变化用过去 3 小时内十分之一毫巴值表示。符号位于海平面压力的正下方。【气压变化量精确到 0.1 毫巴】

6. **降水量** - 过去 6 小时已经降落的降水记录到最近的百分之一英寸。【即精确到 0.01 英寸】
7. **露点** - 露点用华氏度表示。
8. **当前天气** - 有超过 100 个天气符号来描述当前的天气。
9. **温度** - 温度用华氏度表示。
10. **风** - 风的真实方向用风指向线表示，表示风来自于这个方向。短线等于 5 节风速，长线等于 10 节风速，细长三角旗等于 50 节风速。

天气描述图

天气描述图详细的描述了来自 METAR 和其他地面观测资料的地面条件。

天气描述图是每 3 小时由计算机处理和传送一次，开始时间为 01:00UTC，在绘图数据时有效。它是通过给出美国的天气全景来用于飞机计划制定的。如图 11-10

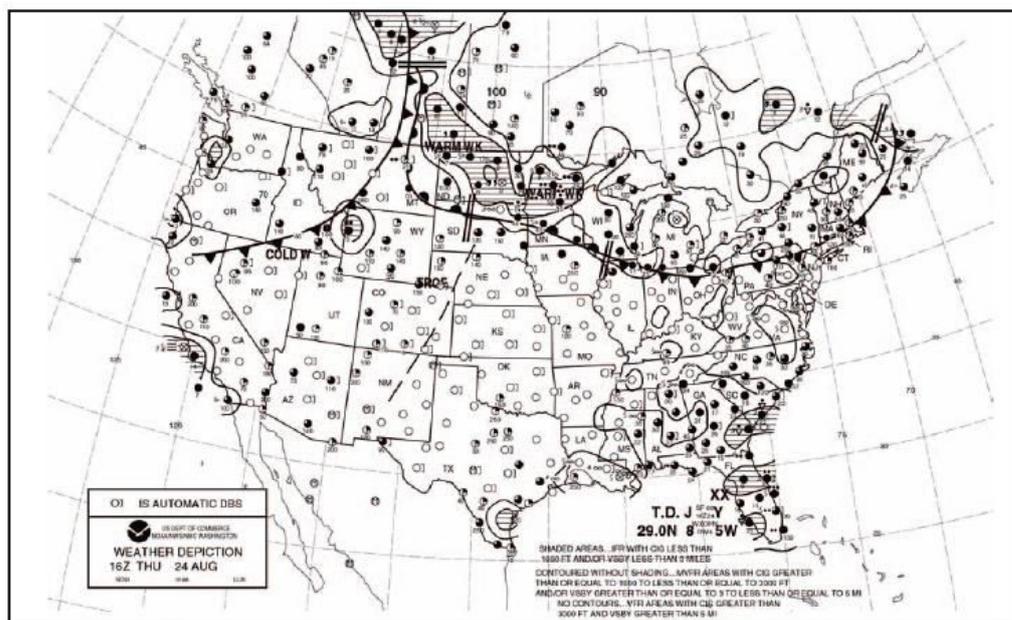


Figure 11-10. Weather depiction chart.

这种类型的图表通常显示了主要的锋面和高低压区域。天气描述图也提供 IFR, VFR 和 MVFR (边际 VFR) 天气的图形化显示。IFR 条件 (云幕高度小于 1000 英尺, 能见度小于 3 英里) 的地区用实线轮廓的阴影区域表示。MVFR (云幕高度 1000 英尺到 3000 英尺, 能见度 3 英里到 5 英里) 地区用实线轮廓的非阴影区域表示。VFR (无云幕或者云幕高度大于 3000 英尺, 能见度大于 5 英里) 区域是没有轮廓的。

天气描述图显示了一个修改的填图格式，它用总体天空覆盖，云高度和云幕高度，天气和能见度障碍的格式来提供天空条件，但是不包括如地面分析图上的风和压力读数。填图格式右侧的右方括号 (]) 表示观测是由自动化观测站完成的。填图格式的详细解释在前面的地面分析图中已经讨论过。

雷达摘要图

雷达摘要图是图形化表示的雷达天气报告 (SDs) 汇编。如图 11-11. 这个图在每小时的 35 分钟发布一次。它显示了降水区域以及和降水特性有关的信息。如图 11-12.

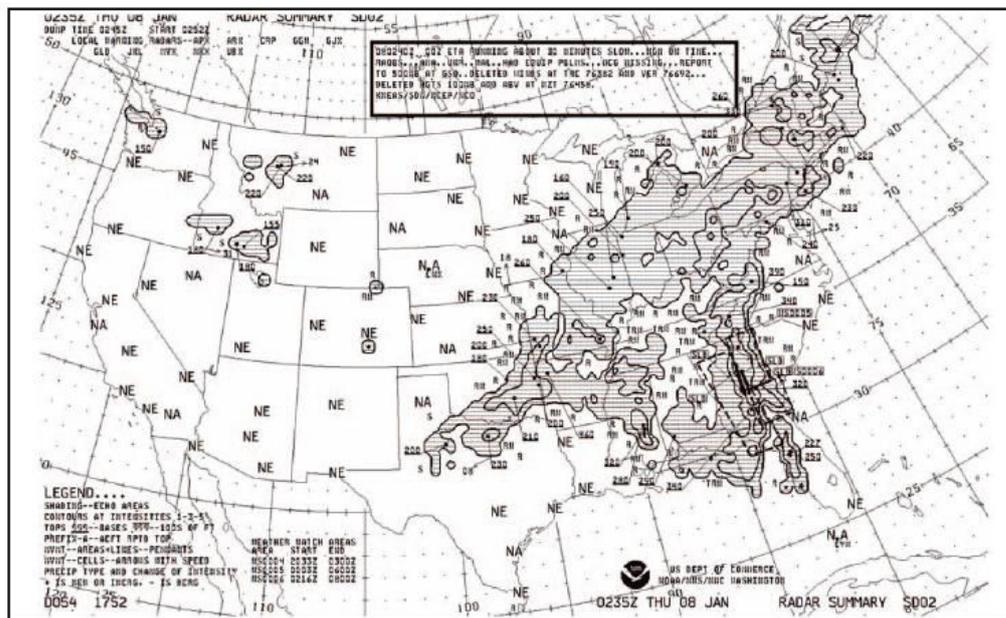


Figure 11-11. Radar summary chart.

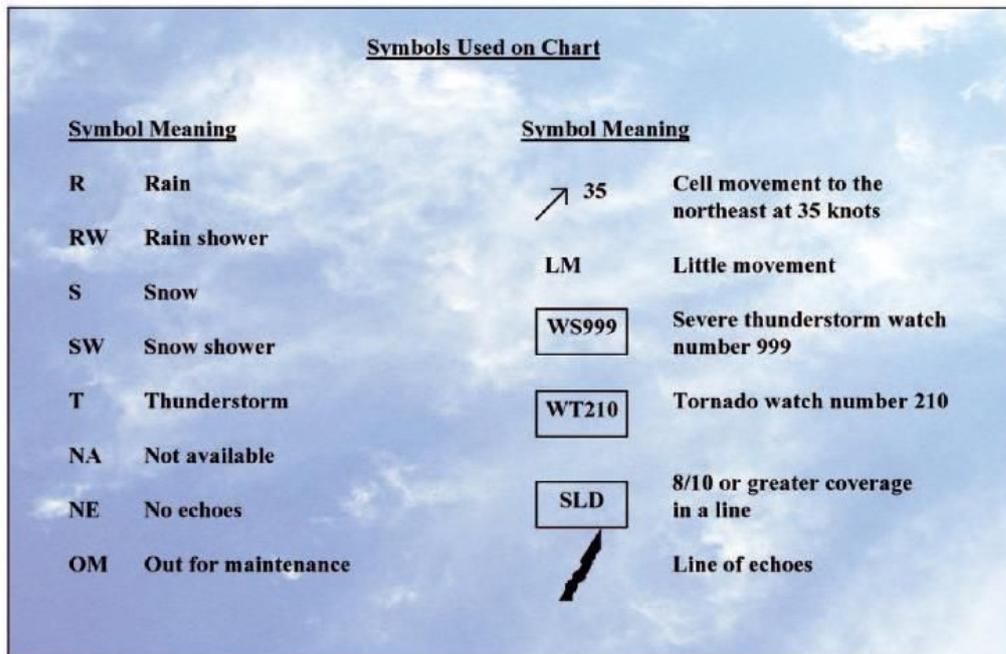


Figure 11-12. Intensity levels and contours, and precipitation type symbols.

【上图中美国本土的右下角有重要天气警戒，用粗的虚线框表示。】

一份雷达摘要图包括：

1. **无信息** - 如果没报告信息，图表会标注“NA”。如果没有检测到回波，那么会用“NE”表示。
2. **降水强度等值线** - 降水强度可以用 6 个级别中的一级表示，在图表上用 3 个等值间隔线表示。
3. **回波顶高度** - 回波顶的高度用平均海平面的百英尺表示。
4. **单元的运动** - 独立单元的运动用指向运动方向的箭头表示。运动的速度是箭头顶部的数字，单位是节。LM 表示很小的运动。
5. **降水类型** - 降水类型在图上用特殊符号标注。这些符号和在 METAR 图中的符号不一样。
6. **回波外形** - 回波显示成区域，单元和线形。
7. **天气警戒** - 龙卷风或严重雷暴的严重天气警戒区用粗虚线框标注。

雷达摘要图是飞行前计划的非常有用的工具。然而，它确实有几个使用方面的限制。这个图只描述了降雨的地区。它不会显示那些没有可测量的降水量或云底云顶高度的云雾地区。雷达摘要图是对当前降水情况的描述，应该和当前的 METAR 及天气预报结合使用。

重要天气预测图

重要天气预测图是针对从地面到到 FL240 (24000 英尺) 的低空重要天气, 也指 400 毫巴高度, 和从 FL250 到 FL600 (25000-60000 英尺) 的高空重要天气。这里的讨论主要涉及低空重要天气预测图。

低空图有两种形式: 12-和 24-小时预报图, 和 36-、48-小时地面预报图。第一种图是 4 版合一图, 包含重要天气和地面天气的 12-、24-小时预报。图表每天发布 4 次, 时间分别是 00:00UTC, 06:00UTC, 12:00UTC, 18:00UTC。图的有效时间印在每版的左下角。

上面的两幅图显示了预报的重要天气, 它可能包含非对流性紊流, 冰点高度, 和 IFR 或 MVFR 天气。中等后者更强的紊流区域用虚线框包围起来。在这些地区的数字表示了紊流的高度, 单位是平均海平面以上百英尺。横线下的数字表示紊流区的底部高度, 而上面的数字表示紊流区的顶部高度。这幅图上还显示的有 IFR, VFR, MVFR 等区域。IFR 区域用实线包围, MVFR 区域用圆齿线包围, 剩余的未包围区域就是指定的 VFR 区域。锯齿线和字母 "SFC" 表示那个区域的冰点高度是在地表。最高冰点高度层的冰点高度的等高线用虚线画出, 间隔为 4000 英尺。

下面的两幅图显示了预报的地面天气, 描述了预报地点, 和压力系统, 锋面及降水的特性。锋面和压力中心是用标准符号表示的。压力中心的运动方向用箭头表示。速度单位是节, 显示在箭头的后面。另外, 预报有降水和雷暴的区域也用轮廓线包围起来。阴影的降水区表示这个区域至少一半受降水的影响。有独特的符号来表示降水的类型和它出现的方式。

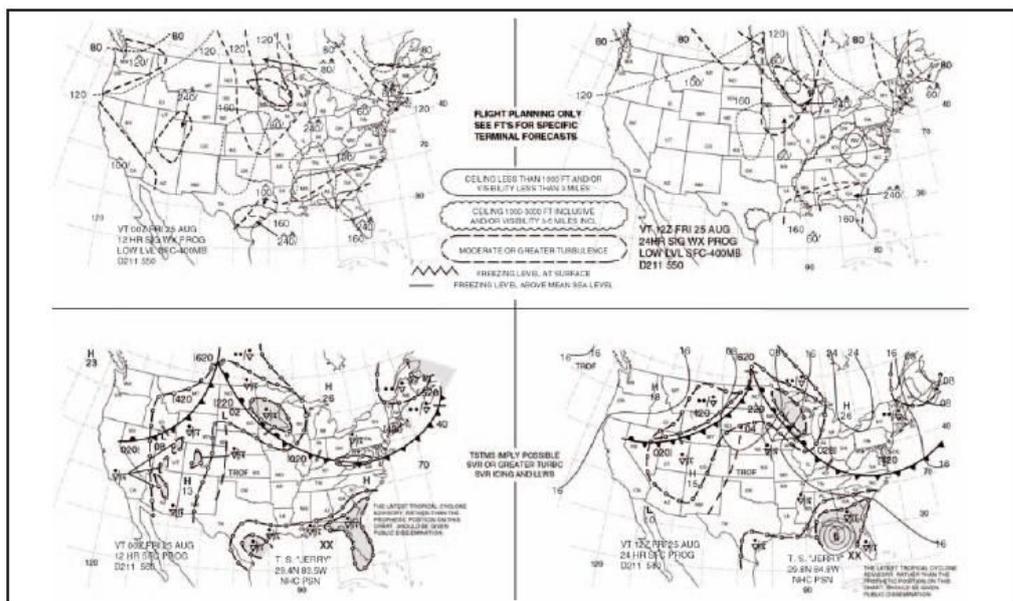


图 11-13 显示了一个典型的重要天气预测图和用来描述降水的典型符号。预测图是用于飞行计划的一个很好的信息来源；然而，这个图应该根据当前条件和具体的当地区域预报来理解。

36-、48-小时重要天气预测图是对 12-、24-小时预报的延伸。它提供了只和地面天气预报有关的信息，还包含对预报的讨论。这种图每天只发布两次。它通常包括预报位置，和压力系统，锋面及降水的特性。36-、48-小时地面预测图的例子请参考图 11-14。



Figure 11-14. 36- and 48-hour surface prognostic chart.

第十二章 - 机场的运行



飞行员每次驾驶飞机的时候，飞行通常是在机场开始，也是在机场结束的。机场可能是一个小的草地机场，也可能是航空公司使用的大的复杂机场。本章讨论机场的运行和识别复杂机场的一切特征，还提供在机场和附近地区活动时的信息。

机场类型

有两种类型的机场：

1. 受管制机场
2. 非管制机场

受管制机场

受管制机场有一个工作的控制塔。空中交通管制(ATC)负责为机场提供安全，有序，快捷的空中交通服务，在这样的机场其运行类型和交通量就需要这样的服务。从受管制机场运行的话，要求飞行员和空中交通管制员保持双向无线电通信，确认和遵守他们的指令。

如果飞行员不能遵守 ATC 发出的指令而请求修改的指令时，他们必须告知 ATC。飞行员在发生紧急情况时可能违背一个空中交通指令，但是必须把你的违背情况尽快地告知 ATC。

非管制机场

非管制机场没有工作的控制塔。飞行员把他们的意图在特定的频率上传送出去，有利于区域内的其他空中交通，虽然这是一个良好的运行实践，但是也不需要双向无线电通信。图 12-1 列出了推荐的通信程序。有关无线电通信的更多信息将在本章的后面部分讨论。

| FACILITY AT AIRPORT | FREQUENCY USE | COMMUNICATION/BROADCAST PROCEDURES | | |
|---------------------------------|--|--|---|---|
| | | OUTBOUND | INBOUND | PRACTICE INSTRUMENT APPROACH |
| UNICOM (No Tower or FSS) | Communicate with UNICOM station on published CTAF frequency (122.7, 122.8, 122.725, 122.975, or 123.0). If unable to contact UNICOM station, use self-announce procedures on CTAF. | Before taxiing and before taxiing on the runway for departure. | 10 miles out. Entering downwind, base, and final. Leaving the runway. | |
| No Tower, FSS, or UNICOM | Self-announce on MULTICOM frequency 122.9 | Before taxiing and before taxiing on the runway for departure. | 10 miles out. Entering downwind, base, and final. Leaving the runway. | Departing final approach fix (name) or on final approach segment inbound. |
| No Tower in operation, FSS open | Communicate with FSS on CTAF frequency. | Before taxiing and before taxiing on the runway for departure. | 10 miles out. Entering downwind, base, and final. Leaving the runway. | Approach completed/terminated. |
| FSS closed (No Tower) | Self-announce on CTAF. | Before taxiing and before taxiing on the runway for departure. | 10 miles out. Entering downwind, base, and final. Leaving the runway. | |
| Tower or FSS not in operation | Self-announce on CTAF. | Before taxiing and before taxiing on the runway for departure. | 10 miles out. Entering downwind, base, and final. Leaving the runway. | |

Figure 12-1. Recommended communication procedures.

机场数据的来源

当飞行员飞入一个不同的机场，检查这个机场的当前数据是非常重要的。这些数据为飞行员提供了信息，例如通信频率，可用的服务，关闭的跑道，或机场建筑物。三个常见的信息来源是：

1. 航空图表
2. 机场/设施目录 (A/FD)
3. 航行通告 (NOTAMs)

航图

航图提供了机场的详细信息。第 14 章有一个航图和航图图例的引用，它为解释航图上的信息提供指导。

机场设施目录

机场/设施目录提供了最全面的机场信息。它包含那些对公众开放的机场，直升机场，水上飞机基地的信息。A/FDs 有 7 本书，它们是按照区域来整编的。这些 A/FDs

每 8 周修订一次。图 12-2 是一个目录的引用。要获得 A/FDs 中提供的完整信息列表以及信息如何解码的，请参考每个 A/FD 前面的“目录图例示例”。

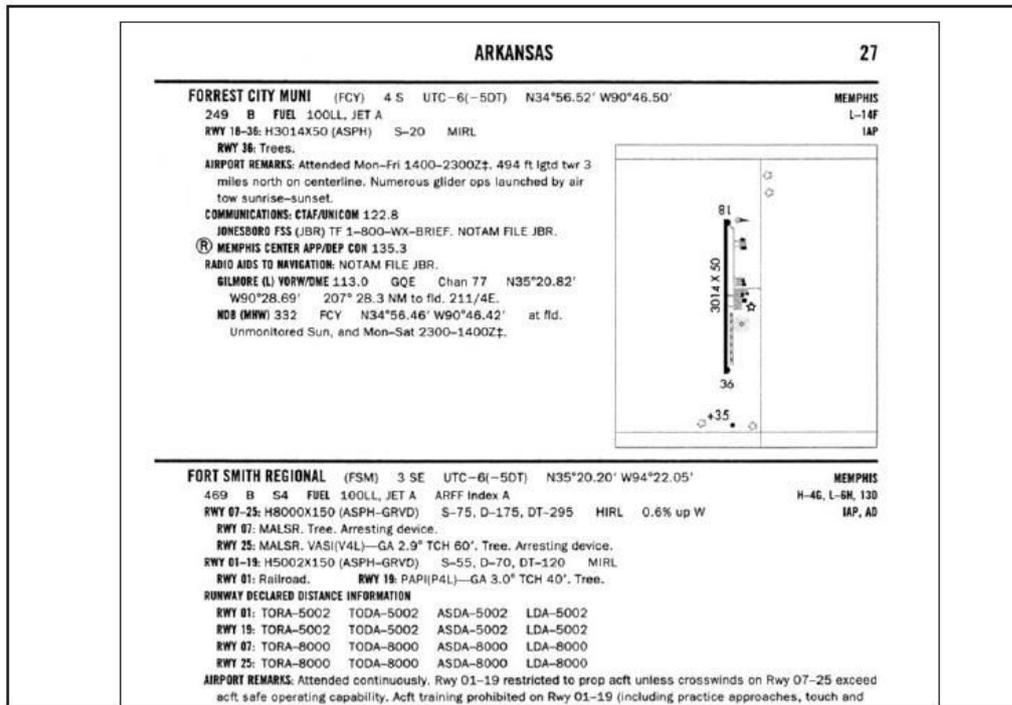


Figure 12-2. Airport/Facility Directory excerpt.

在每个 A/FD 的后面，有诸如特殊通告，跳伞区域，和设施的电话号码等信息。查阅一下 A/FD，熟悉它所包含的信息将很有帮助。

航行通告

航行通告 (NOTAM, Notices to Airmen) 当前的最新信息。它提供了机场的时间紧急信息，影响国家空域系统 (national airspace system) 的变化，以及关系到仪表飞行规则 (IFR) 运行的事项。【NOTAM 类似于紧急通知，通告了最新的变化信息，而且非常重要。】

NOTAM 信息分成三类。它们是 NOTAM-D 或遥远的，NOTAM-L 或本地的，和飞行数据中心 (FDC) NOTAM。NOTAM-D 附加在每小时的天气报告上，可以在飞行服务站 (AFSS/FSS) 得到。NOTAM-L 包含本地性质的事项，例如跑道关闭或者跑道附近的建筑物。这些 NOTAM 保存在影响机场最近的飞行服务站。NOTAM-L 必须是从飞行服务站 (FSS) 请求，而不是 NOTAM 为之发布的最近的当地机场。飞行数据中心 NOTAM 由全国飞行数据中心发布，包含规章信息，例如临时飞行限制或对一个仪表进近程序的修正。NOTAM-D 和飞行数据中心 NOTAM 包含在航行通告出版物中，它们每 28 天发行一次。在任何飞行之前，飞行员都应该检查所有影响他们计划飞行的航行通告。

机场标志和符号

机场使用的有标志和符号，它们提供导向功能，帮助飞行员在机场的运行。这里将会讨论一些最常见的标志和符号。额外的信息可以在航空信息手册(AIM)中找到。

跑道标志

跑道标志根据所在机场实施的运行类型而变化。图 12-3 显示了一个被核准为精密仪表进近的跑道，也显示了一些其他常见的跑道标志。基本的 VFR 跑道可能只有中心线标志和跑道编号。

由于飞机在起飞和着陆期间受风的影响，跑道是根据当地的盛行风来设计的。跑道编号以磁北向为基准。某些机场有两条甚至三条同向设计的跑道。这些被称为平行跑道，通过在跑道编号后加上字母来区别。例子有跑道 36L(左边)，36C(中间)，和 36R(右边)。

一些跑道的另一个特征是移位的跑道尽头(displaced threshold)。跑道尽头可能由于靠近跑道尽头的障碍物而移位。尽管这部分跑道不用于着陆，但是它可以用于滑行，起飞，或着陆滑跑。

一些机场可能有一个喷气防护区或停止道(blast pad/stopway)区域。喷气防护区是螺旋桨或者喷气机的喷射气流可以消散而不会产生危险的区域。铺设停止道是在发生中断起飞(aborted takeoff)时为飞机减速或者停止提供一个空间。这些区域不能用于起飞和着陆。

滑行道标志

飞机利用滑行道从停机区域转移到跑道上。连续的黄色中心线来识别滑行道。滑行道可能有用于确定滑行道边界的边界标记。这通常在滑行道边界和铺面边界不一致时才这样做。如果边界标记是连续线，那么飞机不能使用铺设的跑道路肩。如果边界是虚线标记，那么飞机就可以使用那部分铺设的路肩。在滑行道接近跑道的地方，可能有一个等待位置(holding position)标记。它由四条黄色线组成，两条实线，两条虚线。实线就是飞机等待的位置。在一些受管制机场，等待位置标记可能出现在跑道上。它们是由于跑道相交时使用的，空中交通管制会发出例如“允许着陆- 30 跑道短暂等待”(cleared to land - hold short of runway 30)。

其他标志

机场还有一些其他标记，包括行车道标记，VOR 接收机检查点标记，及非运动 (non-movement) 区边界标记。

当必须为穿越飞机可以活动的区域的车辆确定一条通道时，会使用车辆行车道标记。这些标记通常使用实心的白线来表示行车道的每个边界，而虚线用来分隔行车道边界内的通道。

VOR 接收机检查点标记由一个画出的圆圈组成，在中间有一个箭头。箭头对准了检查点方位角的方向。这可以让飞行员用导航设施 (navigational aid) 信号来检查飞机的仪表。

非运动区边界标记画出了一个 ATC 管制的运动区。这些标记是黄色的，位于运动区和非运动区的边界。它们通常由两个黄色线组成。(一条实线，一条虚线。)

【实线表示非运动区，虚线表示运动区，在非运动区内运行的飞机或车辆不必联系 ATC。非运动区一般也是停机区。】

机场符号

可能在机场发现有 6 种类型的符号。机场结构越复杂，这些符号对飞行员就越重要。图 12-4 显示了这些符号的例子，它们的含义，以及对应的飞行员动作。这六种符号分别是：

- **强制性指令符号** - 有红色背景的白色题字。这些符号表示要进入一个跑道，临界区域 (critical area)，或者是禁止的区域。
- **位置符号** - 黑色背景，黄色题字，有黄色边框，但是没有箭头。它们用于识别滑行道或者跑道的位置，用来识别跑道的边界，或者识别仪表着陆系统的临界区域。
- **方向符号** - 黄色背景的黑色题字。题字用于识别直通交叉点的交叉滑行道名字。
- **目的地符号** - 黄色背景的黑色题字，也包括箭头。这些符号提供了定位一些东西的信息，例如跑道，终端，装卸货物区域，以及民航区域。
- **信息符号** - 黄色背景的黑色题字。这些符号用于为飞行员提供诸如控制塔台不可见区域，适用的无线电频率，以及噪音控制程序等的信息。机场的运营人确定这些符号的需要，大小和位置。
- **剩余的跑道长度信号** - 黑色背景的白色数字。白色的数字表示剩余跑道的距离，单位是 1000 英尺。

| AIRPORT SIGN SYSTEMS | |
|--|---|
| TYPE OF SIGN AND ACTION OR PURPOSE | TYPE OF SIGN AND ACTION OR PURPOSE |
| 4-22 Taxiway/Runway Hold Position: Hold short of runway on taxiway |  Runway Safety Area/Obstacle Free Zone Boundary: Exit boundary of runway protected areas |
| 26-8 Runway/Runway Hold Position: Hold short of intersecting runway |  ILS Critical Area Boundary: Exit boundary of ILS critical area |
| 8-APCH Runway Approach Hold Position: Hold short of aircraft on approach |  Taxiway Direction: Defines direction & designation of intersecting taxiway(s) |
| ILS ILS Critical Area Hold Position: Hold short of ILS approach critical area |  Runway Exit: Defines direction & designation of exit taxiway from runway |
|  No Entry: Identifies paved areas where aircraft entry is prohibited | 22 ↑ Outbound Destination: Defines directions to takeoff runways |
|  Taxiway Location: Identifies taxiway on which aircraft is located |  Inbound Destination: Defines directions for arriving aircraft |
| 22 Runway Location: Identifies runway on which aircraft is located |  Taxiway Ending Marker Indicates taxiway does not continue |
| 4 Runway Distance Remaining Provides remaining runway length in 1,000 feet increments |  Direction Sign Array: Identifies location in conjunction with multiple intersecting taxiways |

Figure 12-4. Airport signs.

机场灯光

大多数机场都有用于机场夜晚运行的某种灯光类型。灯光系统的类型和多样性取决于所在机场的容量和运行的复杂度。机场灯光是标准化的，因此机场为跑道和滑行道使用了相同的灯光颜色。

机场灯塔

机场灯塔帮助飞行员在夜晚识别机场。灯塔从黄昏一直运行到黎明，如果云幕高度小于 1000 英尺和/或地面能见度小于 3 法定英里 (目视飞行规则最低条件)，有时它们也会被打开。然而，对此并没有要求，因此飞行员要负责确定天气是否满足 VFR 条件。

灯塔的光纤分布是垂直的，使得它在水平面之上 0-10 度范围内最有效，尽管也可以在这个角度之上或之下很好的看到。灯塔可能是一个全向的电容放电设备，或者它可能以恒速旋转，这样就能产生恒定间隔时间的闪烁视觉效果。机场灯塔

的灯光颜色组合表明了机场类型。如图 12-5

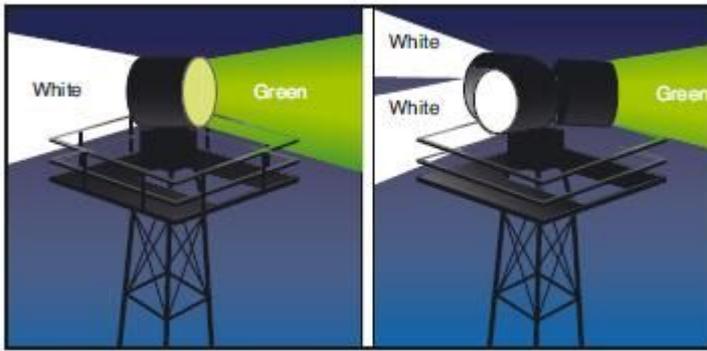


Figure 12-5. Airport rotating beacons.

其中一些最常见的灯塔如：

- 闪烁的白色和绿色灯光表示陆地民用机场
- 闪烁的白色和黄色灯光表示水上机场
- 闪烁的白色，黄色和绿色灯光表示直升飞机场
- 两个快速的白色闪烁，接着一个绿色闪烁说明这是一个军用机场

进近灯光系统

进近灯光系统主要是为从仪表飞行到着陆的目视飞行过渡提供一个手段。系统的结构取决于跑道是精密仪表跑道还是非精密仪表跑道。一些系统包含顺序的闪烁灯光，呈现给飞行员的就像是一个灯光球沿着跑道高速移动。进近灯光也可以协助飞行员在夜晚时的 VFR 飞行。

目视下滑道指示灯

目视下滑道指示灯为飞行员提供了下滑道的信息，它用于白天或者夜晚的进近。通过保持系统提供的恰当下滑通道，飞行员应该有足够的障碍物间隔，还应该在跑道的指定部分着地。

目视进近坡度指示灯

目视进近坡度指示灯 (VASI) 装置是最常用的目视下滑道指示灯系统。VASI 提供的障碍间隔为延伸的跑道中心线 10 度以内，从跑道尽头到 4 海里距离。

VASI 有按排布置的灯光单元组成。它们是两排和三排 VASI。两排 VASI 有近、远灯排，而三排 VASI 有近、中、远灯排。两排 VASI 装置提供的目视下滑道斜度通常设定为 3 度。三排系统提供了两个下滑通道，下面的下滑通道通常设定为 3 度，上面的下滑通道较下面的下滑道高 1/4 度。

VASI 的基本原理就是红，白之间的颜色差别。每一个灯光单元发射一束光纤，其中光束的上部分为白色光束，光束的下部分为红色光束。灯光经过设定，飞行员将会看到如图 12-6 显示的灯光组合，分别表示低于，位于，高于下滑通道。

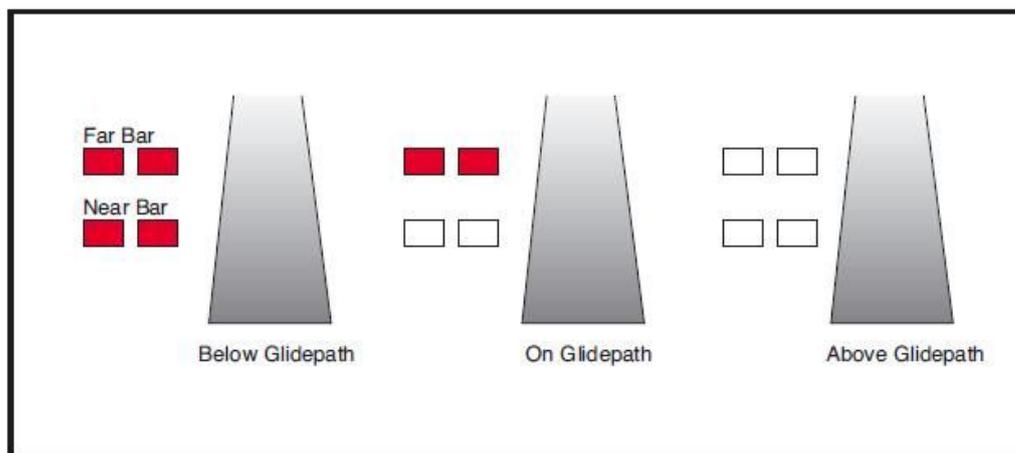


Figure 12-6. 2-Bar VASI system.

其他下滑道系统

紧密进近下滑道指示灯 (PAPI) 使用类似于 VASI 的灯光，但是它们以单排安装，通常在跑道的左侧。图 12-7

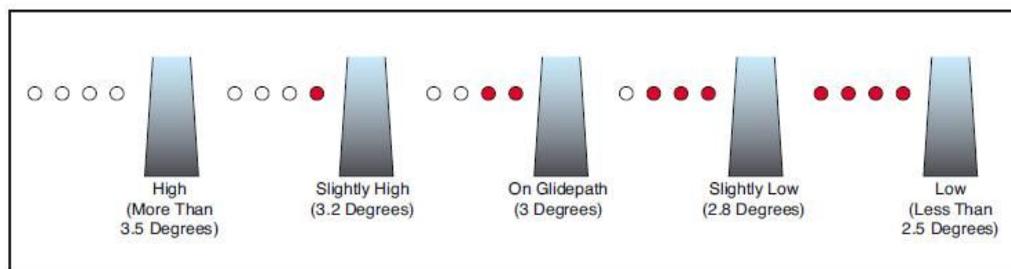


Figure 12-7. Precision approach path indicator.

三色系统由一个单独的反射三色目视进近通道的灯光单元组成。下滑道下方的指示是红色的，下滑道上的颜色是绿色，下滑道上方是琥珀色。当在下滑道下方下降时，可以看到一小束琥珀色区域。飞行员不应该把这个区域误认为是下滑道上方的琥珀色。图 12-8

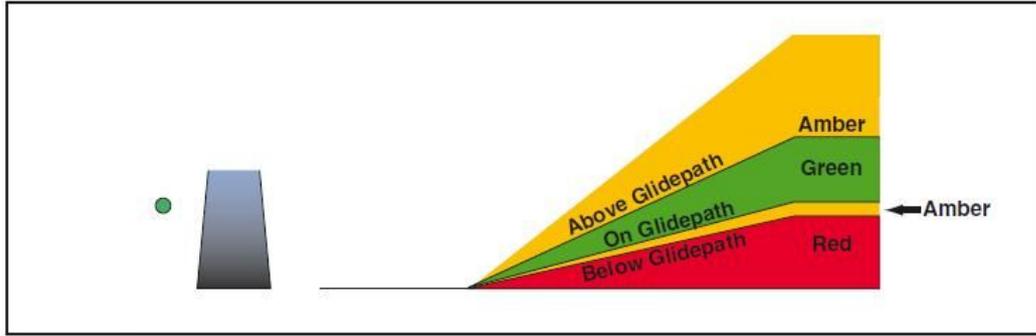


Figure 12-8. Tri-color visual approach slope indicator.

还有脉冲系统，它由一个单独的发射两色目视进近下滑道的灯光单元组成。下方的下滑道指示是稳定的红色光，稍微下方的是脉冲红光，在下滑道上稳定的白光，下滑道上方是脉冲白光。如图 12-9

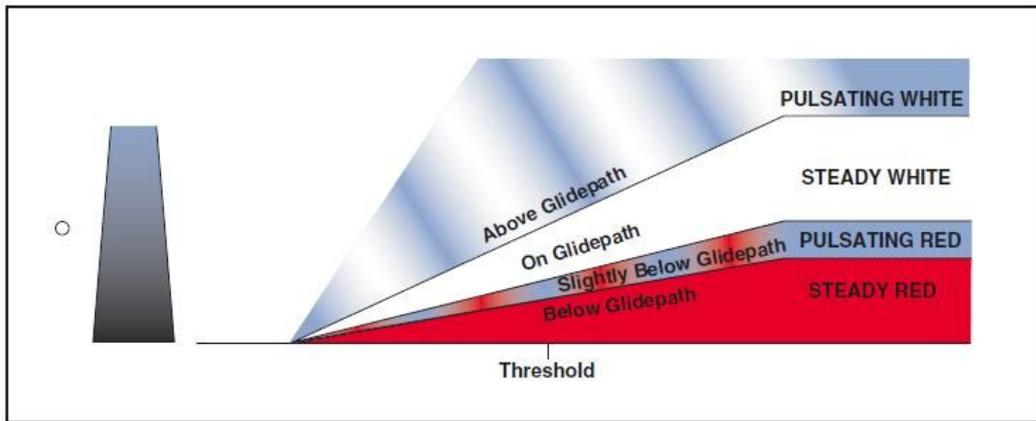


Figure 12-9. Pulsating visual approach slope indicator.

跑道灯光

有多种灯光用来识别跑道结构的不同部分。这些灯光能够帮助飞行员在夜晚飞行完整安全的起飞和降落。

跑道端点识别灯光

很多机场都安装了跑道端点识别灯光 (REIL)，为特定跑道的进近端点提供快速而明确的识别。这个系统有一对同步闪烁的灯光组成，它们和跑道成横向，位于跑道尽头的每端。REIL 可以是全向的或者单向地面向进近区。

跑道边界灯光

跑道边界灯光用于在夜晚或者低能见度条件下标志出跑道的边界。这些灯光按照它们所能产生的光线强度分类。它们被分类为高强度跑道灯(HIRL), 中强度跑道灯(MIRL), 或者低强度跑道灯(LIRL)。高强度跑道灯和中强度跑道灯有不同的强度设定。这些灯光都是白色的, 除了在仪表跑道上, 那里琥珀色灯光用在跑道的最后 2000 英尺或跑道的一半长度上, 而不管哪一个是小的。标记跑道端点的灯光是红色的。

跑道内灯光

触地区灯光(TDZL), 跑道中心线灯光(RCLS), 和跑道岔道(turnoff)灯光安装在一些精密跑道上, 使得在不利能见度条件下易于着陆。触地区灯光是在跑道触地区内以跑道中心线对称布置的两行横向灯排。跑道中心线灯光由大量的(flush)中心线灯光组成, 它们从距离着陆起点(landing treshold)的 75 英尺开始, 以 50 英尺间隔分开。跑道岔道灯光是很多发射稳定绿光的灯组成的。

机场灯光的控制

在受管制机场, 机场灯光是由空中交通管制员控制的。在非管制机场, 灯光可能依赖于定时器, 或者在机场有一个飞行服务站(FSS), 飞行服务站的人员可以控制机场的灯光。如果允许的话, 飞行员可以向 ATC 或者飞行服务站人员请求不同的灯光打开或者关闭, 也可以请求指定的强度。在特定的非管制机场, 飞行员可能通过使用无线电来控制灯光。方法是选择一个指定的频率, 让无线电麦克风发出滴答声。不同的机场有关飞行员控制灯光的信息, 请参考机场/设施目录, 如图 12-10

| KEY MIKE | FUNCTION |
|--------------------------|---|
| 7 times within 5 seconds | Highest intensity available |
| 5 times within 5 seconds | Medium or lower intensity (Lower REIL or REIL off) |
| 3 times within 5 seconds | Lowest intensity available (Lower REIL or REIL off) |

Figure 12-10. Radio control runway lighting.

滑行道灯光

全向的滑行道灯光标记出了跑道的边界, 颜色是蓝色的。在很多机场, 这些边界灯光会有不同的强度设定, 当认为有必要或者飞行员请求时, 空中交通管制员就会调整它们。一些机场也有滑行道中心线灯光, 颜色是绿色的。

障碍物灯光

障碍物被标记或者用灯光向飞行员提醒在白天或者夜晚条件下它们的存在。可以在机场或者远离机场发现障碍物照明灯光，它们用来识别障碍物。它们可能在下列任何条件下被标记或者发光：

- **红色障碍物灯光** - 晚上运行时闪烁发光或者发出稳定的红光，白天运行时障碍物被涂成橙色和白色。
- **高强度白色障碍物灯光** - 在白天闪烁发射高强度白光，夜晚时强度降低。
- **双重发光** - 夜晚运行时它是闪烁的红色信号灯和稳定的红色(信号灯)组合，而白天运行时为高强度白光。

风向指示器

飞行员了解风的方向是非常重要的。在有工作的控制塔的设施上，这个信息是由ATC提供的。这个信息也可能是由特定机场的FSS人员提供的，或者通过在有能力接收和在通用交通咨询频率(CTAF)上广播这个信息的频率上请求信息。

当这些服务中一个都不可用时，通过可见的风向指示器来确定风向和使用的跑道是可能的。即使在所在机场的CTAF频率上提供了风向信息，飞行员也应该检查这些风向指示器，因为没有什么东西能保证提供的信息就是准确的。【主要是因为地面风是变化无常的，受复杂因素的影响，所以飞行员在降落或者起飞时还要尽量多看风向指示器，以获得最新的地面风向情况。】

风向指示器包括一个风向袋，丁字风向标，或者一个四面体。这些通常位于跑道的中央位置，可能被放置在一个虚线的圆圈(segmented circle)的中间，如果不是标准的左手起落航线的话，它可以识别起落航线的方向。如图 12-11 和 12-12

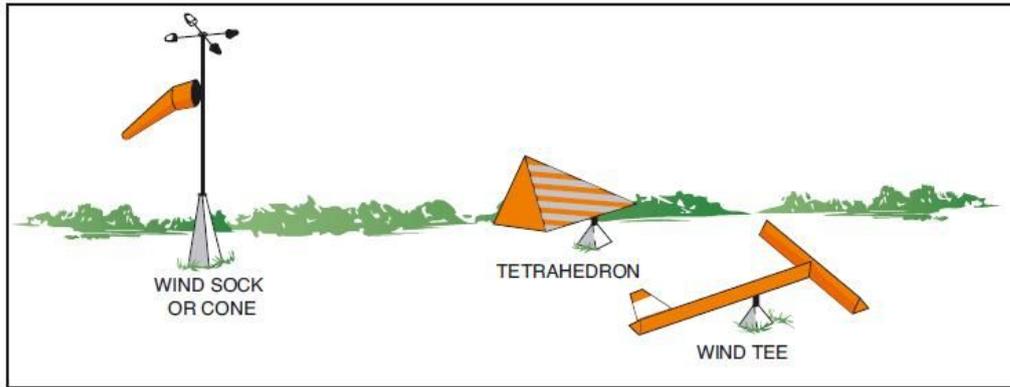


Figure 12-11. Wind direction indicators.

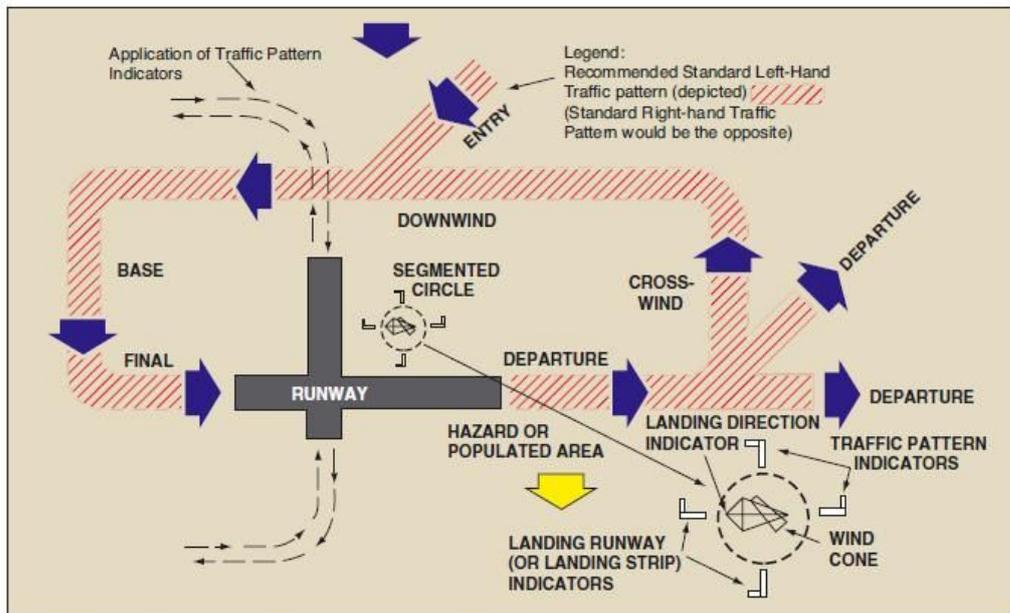


Figure 12-12. Segmented circle and airport traffic pattern.

风向袋是一个很好的信息来源，因为它不仅指明了风向，还可以让飞行员估计风速，和阵风或强度(factor)。风向袋在强风中会被拉直，而在阵风中时会趋于来回运动。丁字风向标和四面体可以自由旋转，它们本身会和风向对齐。丁字风向标和四面体也可以被手工地设定成和使用的跑道对齐；因此，如果有风向袋的话，飞行员也应该看一下风向袋。

无线电通信

在受管制机场内或之外运行，以及在空域系统的一个良好部分运行时，要求飞机有双向无线电通信能力。因为这个原因，飞行员应该熟悉无线电台许可证要求以及无线电通信设备和程序。

无线电许可证

对于美国境内工作的飞行员无许可证要求；然而，要求国际间工作的飞行员持有一张[联邦通信委员会\(FCC\)](#)颁发的受限的无线通话许可证。对美国境内运行的大多数通用航空飞机也未作无线电台许可证要求。如果一架飞机是跨国运行的，那么就要求有无限电台许可证，它使用的并不是甚高频(VHF, Very High Frequency)无线电波，还要满足其他标准。

无线电设备

在通用航空上，最常见的无线电类型是 VHF。VHF 无线电设备工作在 118.000MHz 到 136.975MHz 的频率范围，根据可容纳的通道数量被分类为 720 或 760。720 和 760 使用 0.025MHz 为频率间隔(如 118.025, 118.050)，720 的频率范围可达 135.975MHz，而 760 的可达 136.975MHz。VHF 无线电受限于视线传输(line of sight transmission)【接收和发送的天线，互相之间都可以看到的传输方式】；因此在更高高度的飞机能够接收和传输的距离更远。

正确地使用无线电用语和程序能够帮助飞行员提高在空域系统内安全而高效运行的能力。在航空信息手册(AIM)中的飞行员/管制员术语表的评论文章将有助于飞行员对标准术语的使用和理解。AIM 还包含了很多无线电通信的实例，也是很有帮助的。

国际民用航空组织(ICAO)已经采用了一个用在无线电通信中的音标字母表。在和 ATC 通信时，飞行员应该使用这个子目标来确认他们的飞机。如图 12-13

| 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 | •--- | Juliet | (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) |
| 9 | ----• | Nine | (NIN-ER) |
| 0 | ----- | Zero | (ZEE-RO) |

Figure 12-13. Phonetic alphabet.

失去通信时的程序

飞行员遇到无线电故障是很可能的。这可能导致发送机，接收机或者两者都不起作用。如果是接收机无效且飞行员要在受管制机场着陆，明智的选择是保持在 D 类空域之外或者之上，直到空中交通方向和流量得到确定。然后飞行员应该告知塔台飞机类型，位置，高度以及着陆计划。进而，飞行员应该进入降落航线，随

时报告位置，观察塔台的灯光信号。灯光信号颜色和它们的含义在图 12-14 中。

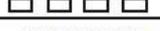
| LIGHT GUN SIGNALS | | | |
|---|---|-------------------------------------|--|
| COLOR AND TYPE OF SIGNAL | MOVEMENT OF VEHICLES, EQUIPMENT AND PERSONNEL | AIRCRAFT ON THE GROUND | AIRCRAFT IN FLIGHT |
| STEADY GREEN  | Cleared to cross, proceed or go | Cleared for takeoff | Cleared to land |
| FLASHING GREEN  | Not applicable | Cleared for taxi | Return for landing (to be followed by steady green at the proper time) |
| STEADY RED  | STOP | STOP | Give way to other aircraft and continue circling |
| FLASHING RED  | Clear the taxiway/runway | Taxi clear of the runway in use | Airport unsafe, do not land |
| FLASHING WHITE  | Return to starting point on airport | Return to starting point on airport | Not applicable |
| ALTERNATING RED AND GREEN  | Exercise Extreme Caution!!!! | Exercise Extreme Caution!!!! | Exercise Extreme Caution!!!! |

Figure 12-14. Light gun signals.

如果是发送机无效，飞行员应该遵守前面说明的程序，也要监听合适的 ATC 频率。在白天时间，ATC 传输可以通过摇摆机翼来确认，在夜晚使用着陆灯闪光来确认。

当接收机和发送机都无效时，飞行员应该保持在 D 类空域之外，知道确定了交通流量，然后在进入降落航线，注意灯光信号。

如果在出发前发生无线电故障，如果可能的话，修好它才是明智的。如果不行的话，应该呼叫 ATC，飞行员应该请求授权可以在不具备双向无线电通信的条件下出发。如果授权可以出发，飞行员将被告知留意适当的频率和/或留意适当的灯光信号。

空中交通管制服务

在除了第 11 章讨论的飞行服务站提供的服务之外，还有很多其他由 ATC 提供的服务。在很多情况下，要求飞行员和 ATC 之间保持联络，但是即使在不要求时，飞行员也会发现请求它们提供的服务会很有帮助。

一次雷达

雷达是一种测量方法，无线电波被发射到空气中，当被传播路线上物体反射后就能够被接收到。距离是通过测量无线电波传到物体然后返回到接收天线所花的时间来计算的。被检测物体相对雷达站的方位是通过接收到反射无线电波时旋转天线的位置来计算的。

现代雷达非常可靠，很少会停止运行。这要归于可靠的维护和改进的设备。然而，也有一些会影响空中交通管制服务的限制，妨碍管制员发布有关那些不在他们管制下的或者雷达不可见的飞机的通告。

无线电波的特性导致它们以连续的直线传播，除非被大气现象折弯，被例如温度反转，象浓云和降水的稠密物体反射或衰耗，或者被高地形地貌所遮挡。

空中交通管制雷达信标系统(ATCRBS)

空中交通管制雷达信标系统(ATCRBS)通常是指二次监视雷达(Secondary surveillance radar)。这个系统由三部分组成，帮助降低和一次雷达有关的一些限制。三个组成部分是：询问器，应答器，和雷达示波器。空管雷达信标系统的优点是雷达目标的增强，快速的目标识别，以及选定代码有一个单独显示。

无线电应答器

应答器是二次雷达系统的空中部分，飞行员应该对它很熟悉。ATCRBS 不能显示二次信息，除非飞机配备了应答器。应答器也按要求在特定的管制空域运行。空域在第十三章讨论。

应答器代码由从 0 到 7 的四个数字组成(有 4096 个可能的代码)。有一些标准的代码，或者 ATC 可能向飞机发送一个 4 字代码。当管制员在应答器上请求一个代码或者功能时，可能会使用单词“squawk”。图 12-15 列出了一些标准的应答器用语。

| RADAR BEACON PHRASEOLOGY | |
|---------------------------|--|
| SQUAWK (number) | Operate radar beacon transponder on designated code in MODE A/3 |
| IDENT | Engage the "IDENT" feature (military I/P) of the transponder. |
| SQUAWK (number) and IDENT | Operate transponder on specified code in MODE A/3 and engage the "IDENT" (military I/P) feature. |
| SQUAWK STANDBY | Switch transponder to standby position. |
| SQUAWK LOW/NORMAL | Operate transponder on low or normal sensitivity as specified. Transponder is operated in "NORMAL" position unless ATC specifies "LOW" ("ON" is used instead of "NORMAL" as a master control label on some types of transponders). |
| SQUAWK ALTITUDE | Activate MODE C with automatic altitude reporting. |
| STOP ALTITUDE SQUAWK | Turn off altitude reporting switch and continue transmitting MODE C framing pulses. If your equipment does not have this capability, turn off MODE C. |
| STOP SQUAWK (mode in use) | Switch off specified mode. (Used for military aircraft when the controller is unaware of military service requirements for the aircraft to continue operation on another MODE.) |
| STOP SQUAWK | Switch off transponder. |
| SQUAWK MAYDAY | Operate transponder in the emergency position (MODE A Code 7700 for civil transponder. MODE 3 Code 7700 and emergency feature for military transponder.) |
| SQUAWK VFR | Operate radar beacon transponder on Code 1200 in the MODE A/3, or other appropriate VFR code. |

Figure 12-15. Transponder phraseology.

雷达交通信息服务

装备了雷达的空中交通管制设施向 VFR 飞机提供雷达帮助，让飞机可以和 ATC 设施通信，且位于雷达的覆盖范围。这个基本服务包含安全提醒，交通通告，请求的受限定航向 (limited vectoring)，这个程序建立地点的排序 (sequencing) 功能。基本雷达服务之外，在某些终端区域已经实现了终端雷达服务区 (TRSA)。这个服务的目的是为终端雷达服务区内的运行的所有 VFR 飞机和所有 IFR 飞机提供间隔服务。C 类服务为 IFR 和 VFR 飞机之间提供安全的间隔，以及对去主要机场【(primary airport)FAA 的一个定义，每年乘客超过 1 万人次的商用机场。】的 VFR 飞机进行排序。B 类服务对基于 IFR，VFR 和/或重量的飞机提供安全的间隔，以及对到达主要机场的 VFR 飞机进行排序。

ATC 根据观测的雷达目标发布交通量信息。交通量用来自飞机的 12 小时时钟方位角为参考。如果知道的话，以海里为单位的目标距离，目标运动方向，飞机的类型和高度都会提供。举个例子：“交通量在 10 点钟方向，距离 5 海里，向东飞行，Cessna 152，高度 3000 英尺。”飞行员应该注意到交通量的位置是基于飞机的航迹的，风修正会影响飞行员定位交通量的时钟方位。【ATC 通告的交通量

方向以飞机的航迹为基准，而驾驶员看到的交通量方位是和机身的中心向方位有关，机身的中心线和航迹夹角大小受风的影响。所以飞行员眼睛看到的方位和 ATC 通告的交通量方位在有风修正时是不一致的。】如图 12-16

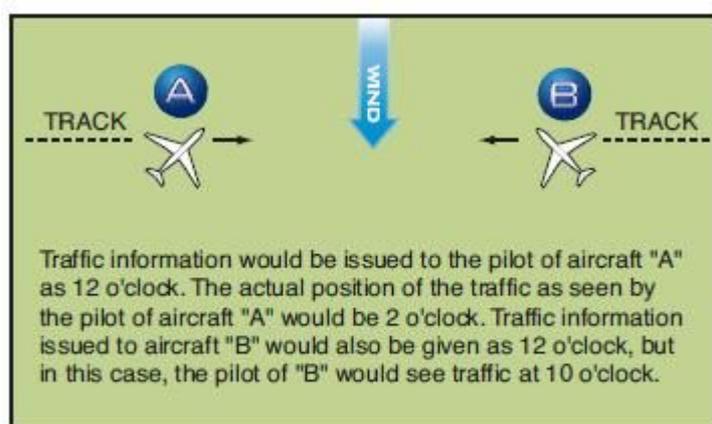


Figure 12-16. Traffic advisories.

伴流

所有飞机在飞行时都会生成伴流。这种扰动是由一对来自翼尖拖尾的反向旋转涡流导致的。来自更大飞机的涡流会给相遇的飞机造成问题。这些飞机的伴流能影响侧滚运动超出相遇的飞机的侧滚控制能力。同样，如果相遇在很近的距离时，旋涡中生成的湍流会损坏飞机组件和设备。因为这个原因，飞行员必须在脑海中对涡流位置有个想象，相应地调整航迹。

在地面运行和起飞期间，喷气式发动机喷射的一股气流能引起近距离内的破坏和翻滚。因此，小飞机的飞行员应该考虑喷气发动机喷射气流的影响，保持足够的间隔。同样，较大飞机的飞行员应该考虑他们飞机的喷气式发动机喷射气流对其他飞机和地面设备的影响。

涡流生成

升力是由机翼表面形成的压力差生成的。压力最低点位于机翼上表面，压力最高处位于机翼下表面。这个压力差引起机翼后面的气流向上卷起，导致尾随翼尖蔓延的旋涡空气团。在完成向上卷起之后，伴流就由两个反向旋转的圆筒形涡流所组成。大多数能量位于距离涡旋中心几英尺内，但是飞行员应该避免进入距离旋中心大约 100 英尺的区域。如图 12-17

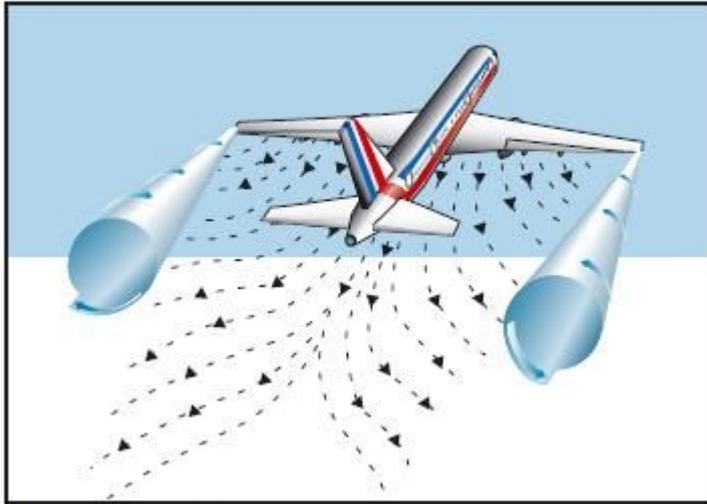


Figure 12-17. Vortex generation.

涡流强度

涡流的强度取决于生成涡流的飞机的重量，速度和机翼的外形。任何给定飞机的涡流特性同样可以通过伸出襟翼或者其他机翼构造装置而改变，也可以是通过改变速度来改变涡流特性。最大的涡流强度出现在生成的飞机是重的，流线型的，慢速的。

涡流行为

拖尾的涡流有特定的行为特性，它可以帮助飞行员想象伴流位置，采取规避防范措施。

由于拖尾的涡流是机翼升力的副产品，所以涡流从飞机离开地面的运动才开始生成。从飞机前面或者后面看的话，涡流的环流是向外向上的绕翼尖旋转。测试表明涡流间隔稍微小于一个翼展的间距，会随风漂移，距地面大于一个翼展的高度上。测试还表明涡流在飞机后面以每分钟几百英尺的速度下沉，随着时间推移下沉速度也放慢，且强度逐渐减弱。如图 12-18

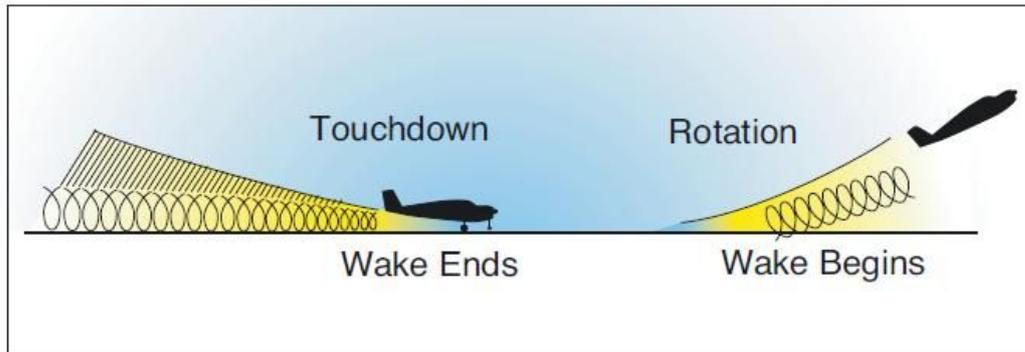


Figure 12-18. Vortex behavior.

当较大飞机的涡流下沉接近地面时(在 100 到 200 英尺内)，它们趋向于以 2-3 节的速度在地面上横向运动。侧风将会降低向上涡流的横向运动，增加向下运动的涡流。顺风条件下会把前进的飞机的涡流向前推进到着陆区。

涡流规避程序

- 在同一跑道上较大飞机之后着陆时 - 保持在更大飞机的进近通道之内或者之上，降落在它的着陆点之前。
- 在并排跑道接近 2500 英尺内的较大飞机之后着落时 - 要考虑涡流漂移的可能性，保持在较大飞机的最后进近通道之内或者之上，还要注意它的着陆区。
- 在交叉跑道上的较大飞机之后着陆时 - 要从较大飞机的飞行通道之上飞越。
- 在同一跑道上出发的飞机后着陆时 - 降落在出发飞机的离地点之前
- 在交叉跑道上的较大飞机之后着陆时 - 注意飞机的离地位置，如果经过了交叉点，继续着陆在交叉点之前。如果较大的飞机在交叉点之前离地，避免在它的航迹下方飞行。除非在到达交叉点之前能够确保很好的着陆，否则要放弃进近。
- 在较大的飞机之后离场时 - 要在较大飞机的离地点之前离地，在它的爬升通道上方爬升，除非伴流消除了。
- 对于同一跑道上的交汇起飞，要警惕附近的较大飞机的运行，特别要注意所用跑道的逆风情况。如果收到交叉起飞的许可，避免在较大飞机的航迹下方发生交叉。
- 如果是在大飞机进行了低空进近，复飞(missed approach)，或者触地复飞(touch and go landing)之后出发或者着陆，那么明智的是在出发和着陆前等 2 分钟。
- 在航路中的时候，要避免在航路在大飞机的下面和后面，如果观察到有大飞机在相同航迹的上方，改变飞机的横向位置，宁可逆风。

避免空中相撞

14CFR 第 91 部已经确立了通行权(right-of-way)规则, 最小安全高度, 以及 VFR 巡航高度来提高飞行安全。飞行员可以通过被其他飞机提醒和扫描其他飞机来帮助避免相撞。这在机场附近特别重要。

有效的扫描是通过一系列短暂而间隔规则的视线移动完成的, 它能够让天空的足够区域进入中央视场。每次移动不要超过 10 度, 而确保发现, 每次观察至少 1 秒。尽管似乎大多数飞行员倾向于视线来回移动, 每个飞行员应该养成自己的最适合的扫描模式, 然后坚持它来确保最有效的扫描。

即使名字叫通行权, 如果觉得另外一架飞机太近, 飞行员应该让路。

避让程序

下列程序和考虑应该能够帮助飞行员在不同条件下避免相撞。

- **起飞前** - 在准备起飞阶段, 滑行道跑道或着陆区之前, 飞行员应该扫描进近区是否有可能的着陆交通量, 执行相应的机动, 为进近区提供清晰的视野。
- **爬升和下降** - 在爬升或下降阶段允许目视检查其他交通量的飞行状态下, 飞行员应该以一定的频率进行轻微的左右倾斜来对空域进行连续的目视扫描。
- **平直飞行** - 在平直飞行的稳定阶段, 飞行员应该以定期执行避让程序。
- **起落航线** - 进入起落航线的时候避免下降。
- **VOR 位置的交通量** - 由于交通量的汇聚, 在 VOR 和交叉点附近要保持持续的警惕。
- **训练运行** - 在实践一个机动之前, 应该保持警惕, 还要进行避让转弯 (clearing turn)。在授课期间, 应该提问飞行员描述避让程序 (大声说出 避让左边, 右边, 上面, 下面)

上翼和下翼飞机有它们各自的盲区。上翼飞机应该很快的升高它们想要转弯的方向的机翼, 在开始转弯前注意交通量。下翼飞机应该很快的降低的它们的机翼。

跑道入侵的避免

对地面操作给予和飞行其他阶段同样的注意力是很重要的。恰当的计划可以预防跑道入侵和地面碰撞的可能性。飞行员应该随时知道飞机在地面上的位置, 也要了解机场运行的其他飞机和车辆。有时, 管制机场可能非常繁忙, 滑行指令复杂。在这种情况下, 写下滑行指令可能是明智的。下面是一些帮助避免跑道入侵的实践:

- 重复所有跑道交叉口和/或等待指令。
- 作为飞前计划的一部分, 和下降要着陆前, 以及需要滑行时, 请检查一下机场布局图。

- 知道机场标志。
- 检查航行通告 (NOTAM) 中跑道/滑行道关闭以及建筑物区域的信息。
- 当不确定滑行路线时, 要从 ATC 请求前进的滑行指令。
- 横穿任何跑道等待线和进入任何滑行道之前, 要检查交通量。
- 在滑行时打开飞机灯光, 旋转信标, 或者闪光灯。
- 着陆时, 要尽快的让出使用的跑道, 然后在进一步移动之前等待滑行指令。
- 为了理解和回应地面管制指令, 要学习和使用正确的用语。
- 在不熟悉的机场要写下复杂的滑行指令。

要得到更为详细的信息, 请参考咨询通告 (AC) 91-73, 第 91 部滑行运行期间飞行员和机组程序, 以及 135 部的单独飞行员运行。

第十三章 - 空域



本章介绍空域的不同分类, 提供了关于这些空域中运行要求方面的信息。更为深入的信息, 请参考航空信息手册 (AIM) 和 14 CFR 71, 73, 和 91 部。

空域的两个大类是: 管制类和非管制类。在这两个分类中有 4 种类型的空域: 受控空域和非受控空域, 专用空域和其他空域。

图 13-1 表示了不同种类空域大小的概貌。图 13-2 给出了在不同类型空域下运行的基本最低天气条件。图 13-3 列出了运行的和装备的要求。参考这些图表对研究本章会很有帮助。还有引用了” 第 14 章-导航” 中的扇区航图, 它显示了空域是如何在图上表示的。

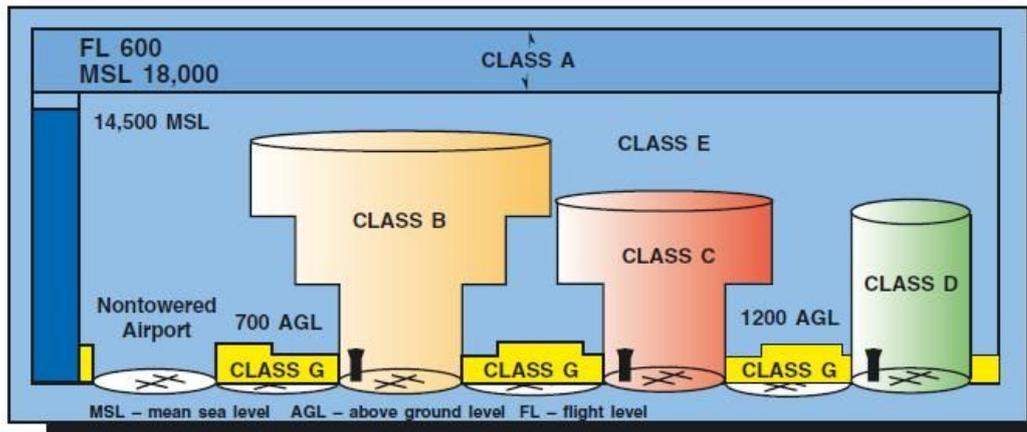


Figure 13-1. Airspace profile.

受控空域

受控空域是一个通用术语，包含空域的不同分类，以及根据空域分类在其中提供 ATC 服务的定义空间大小。受控空域包括：

- A 类空域
- B 类空域
- C 类空域
- D 类空域
- E 类空域

| BASIC VFR WEATHER MINIMUMS | | |
|---|-------------------|---|
| Airspace | Flight Visibility | Distance from Clouds |
| Class A | Not Applicable | Not Applicable |
| Class B | 3 statute miles | Clear of Clouds |
| Class C | 3 statute miles | 500 feet below 1,000 feet above 2,000 feet horizontal |
| Class D | 3 statute miles | 500 feet below 1,000 feet above 2,000 feet horizontal |
| Class E Less than 10,000 feet MSL | 3 statute miles | 500 feet below 1,000 feet above 2,000 feet horizontal |
| At or above 10,000 feet MSL | 5 statute miles | 1,000 feet below 1,000 feet above 1 statute mile horizontal |
| Class G 1,200 feet or less above the surface (regardless of MSL altitude). Day, except as provided in section 91.155(b). | 1 statute mile | Clear of Clouds |
| Night, except as provided in section 91.155(b). | 3 statute miles | 500 feet below 1,000 feet above 2,000 feet horizontal |
| More than 1,200 feet above the surface but less than 10,000 feet MSL. Day | 1 statute mile | 500 feet below 1,000 feet above 2,000 feet horizontal |
| Night | 3 statute miles | 500 feet below 1,000 feet above 2,000 feet horizontal |
| More than 1,200 feet above the surface and at or above 10,000 feet MSL. | 5 statute miles | 1,000 feet below 1,000 feet above 1 statute mile horizontal |

Figure 13-2. Visual flight rule weather minimums.

A 类空域

A 类空域一般是从 18000 英尺平均海平面高度到包括 6 万英尺高度层在内的高度范围，包括 48 个本土州和阿拉斯加的海岸线 12 海里内水面上的空域。除非另有授权，A 类空域内的一切运行都按照 IFR 规则实施。

B 类空域

B 类空域通常是全国最繁忙的机场周围从地面到 10000 英尺平均海平面高度的空域。B 类空域的结构根据特定地区的需要而被单独定制，由地面区域和两层或多层组成。B 类空域象一个上下颠倒的婚宴蛋糕。在 B 类空域运行要求至少是私人飞行员证书；然而，这个要求也有一个例外。准备考取私人飞行员执照的飞行学员或者休闲类飞行员可以在这个空域中运行，如果他们接受了培训且飞行日志由认证的飞行教官根据 14 CFR 第 61 部背签的话，就可以降落在空域内除指定的主要机场之外的机场。

C 类空域

C 类空域一般是从地面延伸到那些机场周围之上 4000 英尺高度，这些机场有运行的控制塔台，它由一个雷达进近控制提供服务，有一定数量的 IFR 运行和乘客量。这个空域在制图上以平均海平面之 英尺为单位，一般是从地面到延伸到机场高度之上 4000 英尺的 5 海里半径地面区域，从机场高度之上 1200 英尺到 4000 英尺为 10 海里半径区域。还有一个 20 海里半径的外部区域，它从地面延伸到主要机场高度之上的 4000 英尺，这个区域可能包含一个或多个卫星机场。【大机场周围可能有一个或多个小机场】

D 类空域

D 类空域一般是从地面延伸到机场高度之上的 2500 英尺的周围地区，机场有一个运行的控制塔台。D 类空域的结构将被定制以满足地区的运行需要。

E 类空域

E 类空域一般是未指定为 A, B, C, D 类空域的受控空域。除了 18000 英尺平均海平面以外，E 类空域没有确定的垂直限制，但是它反而会从地表或者一个指定的高度向上延伸到上面的或者邻近的受控空域。

非管制空域 / G 类空域

受控空域或者 G 类空域是那些未指定为 A, B, C, D, E 类空域的空域部分。因此它被指定为未受控空域。G 类空域从地面延伸到上面的 E 类空域底部。尽管 ATC 没有权力和责任来管理空中交通，但是飞行员应该记住有适用于 G 类空域的 VFR 最低条件。

| Class Airspace | Entry Requirements | Equipment | Minimum Pilot Certificate |
|----------------|---|---|---|
| A | ATC Clearance | IFR Equipped | Instrument Rating |
| B | ATC Clearance | Two-Way Radio, Transponder with Altitude Reporting Capability | Private—Except a student or recreational pilot may operate at other than the primary airport if seeking private pilot certification and if regulatory requirements are met. |
| C | Two-Way Radio Communications Prior to Entry | Two-Way Radio, Transponder with Altitude Reporting Capability | No Specific Requirement |
| D | Two-Way Radio Communications Prior to Entry | Two-Way Radio | No Specific Requirement |
| E | None for VFR | No Specific Requirement | No Specific Requirement |
| G | None | No Specific Requirement | No Specific Requirement |

Figure 13-3. Requirements for airspace operations.

专用空域

专用空域存在于那些由于专用空域的特性而活动必须被限制的地区。在专用空域内,可能对那些不属于活动的一部分的飞机进行限制。专用空域一般有下列组成:

- 禁止区域
- 限制区域
- 警告区域
- 军事活动区域
- 警戒区域
- 受控的开火区域

禁止区域

禁止区域是因为安全或其他和国家安全有关的原因而建设的。禁止区域出版在联邦公报(Federal Register)且在航图上标出。

限制区域

限制区域表示有不平常的东西存在,对飞机通常是不可见的危险,例如炮火,高射炮或者制导导弹。飞机不可以进入限制区域,除非已经从管制机构得到了许可。限制区域在航图上标识且在联邦公报中出版。

警告区域

警告区域由可能对国际空域中未飞入的飞机有危险的空域组成。其活动很像限制区域中的那些。警告区的划设会超出 3 英里限制。警告区在航图上表示出来。

军事活动区域

军事活动区域(MOA)有确定的垂直和水平限制,它是为了把特定的军事训练活动和 IFR 交通量分开而建立的。没有阻止飞行员以 VFR 方式在此区域运行的限制;但是,飞行员应该保持警惕,因为训练活动可能有特技和突然机动。军事活动区也在航图表示出来。

警戒区域

警戒区域在航图上表示,提醒飞行员有大量的飞行训练或者发生非常规航空活动。

受控的开火区域

受控的开火区域包含的活动如果不在管制环境下管理的话，可能会对未飞入其中的飞机产生危险。受控的开火区域和其他专用空域的区别是当侦察机，雷达或者地面瞭望站表示一架飞机可能要接近区域时，空域中的活动必须暂停。

其它空域区域

其他空域区域是对其他大多数剩余空域的一般术语。它们包括：

- 机场咨询区
- 军事训练路线 (MTR)
- 临时飞行限制
- 跳伞区
- 出版的 VFR 路线
- 终端雷达服务区
- 国家安全区

机场咨询区

机场咨询区是位于机场 10 法定英里内的一个区域，那里控制塔台是不工作的，但是那里有一个飞行服务站 (FSS)。在这些地方，FSS 向到达和离开的飞机提供咨询服务。

军事训练航线

军事训练航线 (MTR) 是为了军队进行低空或高空训练用的。距离地面 1500 英尺以上高度的航线主要用于 IFR 飞行，1500 英尺及以下为 VFR 飞行。在扇区航图上，这种航线用“IR”或“VR”来识别。

临时飞行限制区域

为了分配临时限制区，将会发布一份 FDC NOTAM (飞行数据中心航行通告)。航行通告会以短语“FLIGHT RESTRICTIONS”开头，接着是临时限制区的地点，有效时间周期，法定英里定义的面积，以及影响的高度。NOTAM 还会包含 FAA 协调机构和电话号码，限制的原因，以及任何其他被认为适用的信息。飞行员应该把 NOTAM 作为飞行计划的一部分来检查。

建立临时限制区的一些目的如下：

- 1) 保护空中或者地面的人员和财产安全，免受已有的和即将发生的危险之侵害
- 2) 为救灾飞机提供一个安全的运行环境
- 3) 阻止意外事件上空观光飞机的不安全拥塞，这会引来公众的高度注意
- 4) 在夏威夷州因人道主义原因保护公告的国家灾难
- 5) 保护总统，副总统或者其他公众人物
- 6) 为太空机构的运行提供安全的环境

跳伞区域

跳伞区域出版在机场设施目录中。那些经常使用的地点被标注在扇区航图上。

出版的 VFR 航线

出版的 VFR 航线是为了一些复杂空域的附近，下方以及内部的转换。诸如 VFR 航路(flyway)，VFR 走廊，B 类空域，VFR 过渡航线，以及终端区域 VFR 航线这些术语已经被应用到这些航路中【即出版的 VFR 航线】。这些航路一般可以在 VFR 终端区域规划图上看到。

终端雷达服务区

终端雷达服务区 (TRSA) 是加入的飞行员可以获得额外的雷达服务的区域。服务的目的是要为所有 IFR 运行和加入其中的 VFR 飞机之间提供间隔。

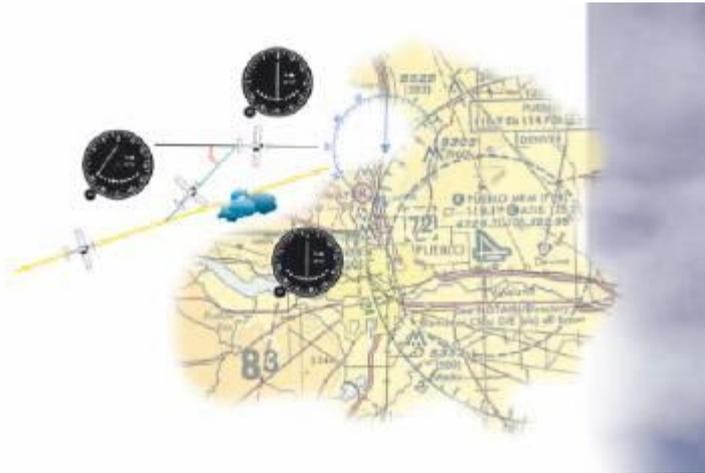
TRSA 内的主要机场变成 D 类空域。叠加在其他管制空域之上的 TRSA 的剩余部分，其通常是从 700 英尺或 1200 英尺开始的 E 类空域，是为向/从航路终端环境过渡而建立的。TRSA 在 VFR 扇区航图和终端区域图上用实心黑线和每一部分的高度表示出来。D 类空域部分是用蓝色虚线(segmented line)绘制的。

加入 TRSA 服务是自愿的；但是，鼓励在 VFR 规则下运行的飞行员联系雷达进近控制，利用 TRSA 服务。

国家安全区域

国家安全区域是那些定义了垂直和水平尺寸的空域，在那些地点地面设施的安全和保安有增加要求。要求飞行员主动避免飞经描述的这些地区。必要时，飞行可能被临时禁止。

第十四章 - 导航



本章介绍目视飞行规则(VFR)下的越野飞行。它包含新飞行员计划和执行越野飞行的实践信息。

空中导航是驾驶一架飞机从一个地理位置到另一个地理位置的过程,在这个过程中随着飞行的前进还要监视自己的位置。它就提出了计划的要求,这包括在航图上测绘航线,选择检查点,测量距离,获得有关的天气信息,以及计算飞行时间,航向和燃油要求。本章使用的方法包括地标领航-通过参考目视地标来导航,航位推测法(dead reckoning) - 从一个已知位置对方位和距离的计算,以及无线电导航 - 借助使用无线电设施导航。【航位推测法最初源自航海,现在是通指推测飞机或船的位置方法,不借助天文观察仪器,而通过从航行的方向和距离的精确位置来推算】

航图

航图【本章主要讨论的是 VFR 航图】是 VFR 规则下飞行员使用的路线图。航图提供了跟踪他们位置的信息,还提供了能够提高安全性的信息。VFR 飞行员使用的三种航图有:

- 1) 扇区航图(sectional chart)
- 2) VFR 终端区域图
- 3) 世界航图(World Aeronautical Charts)

在美国全国航图办公室网站(<http://www.naco.faa.gov>)上有一个免费的目录,它列出了航图和相关出版物,还包含了价格和购买说明。

扇区航图

扇区航图是现在的飞行员最常使用的航图。航图的比例尺为 1:500000(1 英寸=6.86 海里,或者约等于 8 法定英里),能够在航图上包含更详细的信息。

目视飞行规则终端区域图

在 B 类空域内或者附近飞行时，目视飞行规则 (VFR) 终端区域图是很有用的。它们的比例尺是 1:250000 (1 英寸=3.43 海里或者 4 法定英里)。这些航图提供了更为详细的地形信息，且半年修订一次，有几个阿拉斯加和加勒比航图除外。

世界航图

世界航图是为了提供标准系列的航图，覆盖了世界上的陆地区域，其大小和比例尺便于中等速度的飞行器导航。它们的比例尺为 1:1000000 (1 英寸=13.7 海里，大约 16 法定英里)。这些航图和扇区航图类似，符号也是一样的，但是由于比例尺变小所以细节上就差一些。这些航图一年修订一次，而几个阿拉斯加和墨西哥/加勒比航图是两年修订一次。

纬度和经度

赤道是一个到地球两极距离相等的假象的圆。平行于赤道的圆 (东西方向延伸的线) 就是纬度平行圈。它们是用于度量距离赤道的南纬或北纬读数。【所以纬度的测量基准线就是赤道线，那里的纬度为从 0 度开始】从赤道到极地的角度距离为四分之一圆，即 90 度。美国 48 个本土州位于北纬 25 度到 49 度范围。图 14-2 中用 Latitude 标记的箭头指向纬度线。

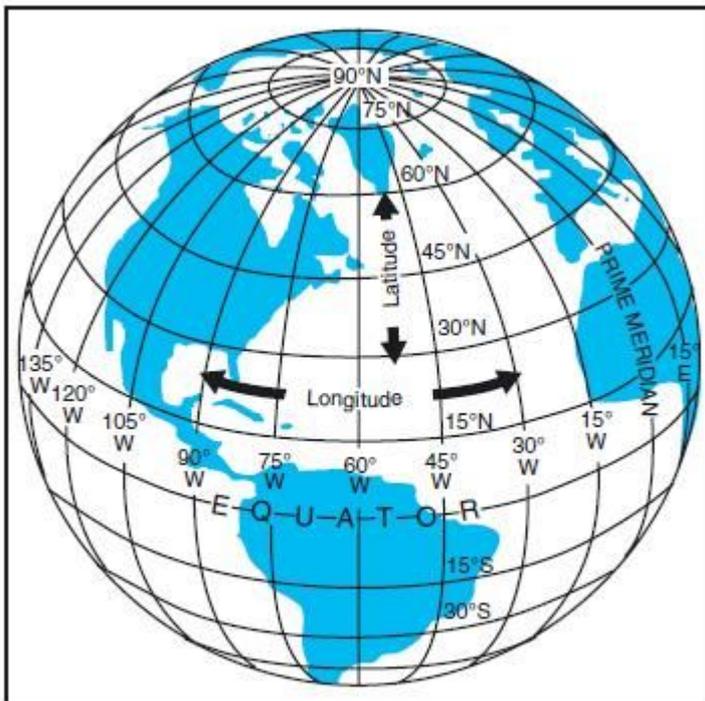


Figure 14-2. Meridians and parallels—the basis of measuring time, distance, and direction.

经度子午线是从北极划到南极，且和赤道成垂直角度。“本初子午线”穿过英国的格林威治(Greenwich),它作为 0 度线，从它开始分别向东和向西度量 180 度。美国 48 个本土州位于西经 67 度到 125 度之间。图 14-2 中 Longitude 标记的箭头就是指向经度线。【我国位于东半球，即从格林威治本初子午线向东方测量。】

因此任何一个具体的地理地点都可以根据它的经度和纬度来定位。例如，华盛顿特区大约为北纬 39 度，西经 77 度。芝加哥大约为北纬 42 度，西经 88 度。【北京为东经 116 度，北纬 39.5 度，上海为东经 121 度，北纬 31 度。】

时区

子午线也用于指明时区。一天被定义成地球完成一个完整的 360 度旋转所需要的时间。由于一天被分成 24 小时，即地球每小时旋转 15 度。正午就是太阳正照子午线的时候；对于子午线的西边来说就是早晨，而对东方则是下午。

标准的惯例是为每 15 经度建立一个时区。这就使得每个时区之间恰好相差 1 小时。在美国有四个时区。时区分别是东部(75 度)时区，中央(90 度)时区，山区(105 度)时区，太平洋(120 度)时区。有时候分界线是不规则的，这是因为靠近边界的居民经常发现使用邻近居民区或者贸易中心指定的时区更加方便。

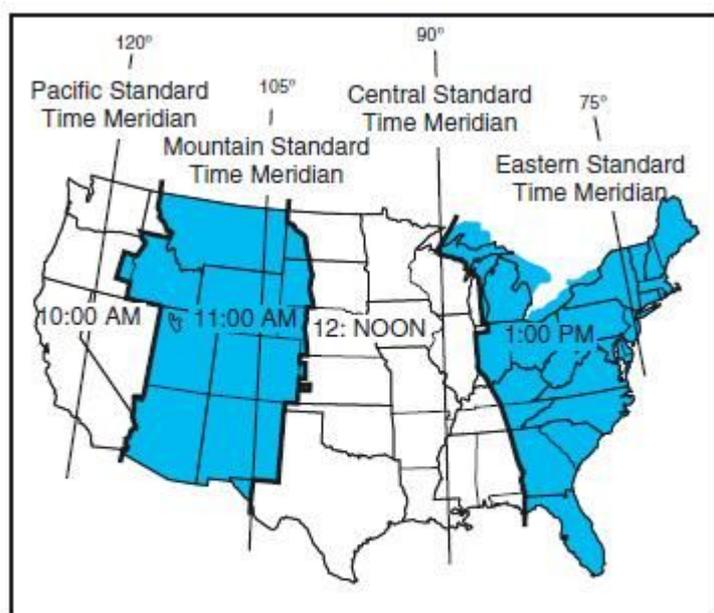


Figure 14-3. Time zones.

图 14-3 显示了美国的时区。当太阳位于 90 度子午线的正上方时，这时中央标准时就是正午。同时，东部标准时就是下午 1 点，山区标准时就是上午 11 点，而太平洋标准时为上午 10 点。当“日光节约”时【即夏令时】生效时，一般在 4 月的最后一个星期日到 10 月的最后一个星期日之间，正午时太阳位于 75 度子午线正上方，中央夏令时。

在向东长途飞行时必须考虑这些时区差别，特别是飞行必须在天黑前结束时。记住，当从一个时区向东飞入另一个时区时就会失去一小时，或者甚至可能是从一个时区内的西边飞到东边。通过咨询飞行服务站(FSS)或者全国气象服务(NWS)来确定目的地的日落时间，当计划向东飞行时要考虑这个因素。

在大多数航空运行中，时间用 24 小时时钟表示。空中交通管制指令，天气报告和广播，以及到达目的地的估计时间都是基于这个系统的。例如，上午 9 点表示成 0900，下午 1 点表示成 1300，下午 10 点即 2200。

因为在一次飞行中，飞行员可能飞越几个时区，所以采用一个标准时间系统。它称为世界协调时间(UTC)，经常引用为祖鲁时间(Zulu Time)。UTC 时间是穿过英国格林威治的 0 度经度线所在地的时间。全世界的所有时区都是基于这个基准。要转换这个时间，飞行员应按如下方法：

东部标准时间……………增加 5 小时
中央标准时间……………增加 6 小时
山区标准时间……………增加 7 小时
太平洋标准时间……………增加 8 小时。

对于夏令时，应该在计算出来的时间减去 1 小时。【由于北半球夏天的白昼时间长，为了要按照实际的阳光情况迟点天黑，所以才要减去 1 小时。】

方向的测量

通过使用子午线，从一点到另一点的方向可以用度从真北按顺时针方向来测量。为了表示飞行中沿着的航线方向，在航图上从出发地到目的地画一条直线，测量这条直线和子午线形成的角度即可。方向的单位为度，如图 14-4 的罗盘罗经卡所示。

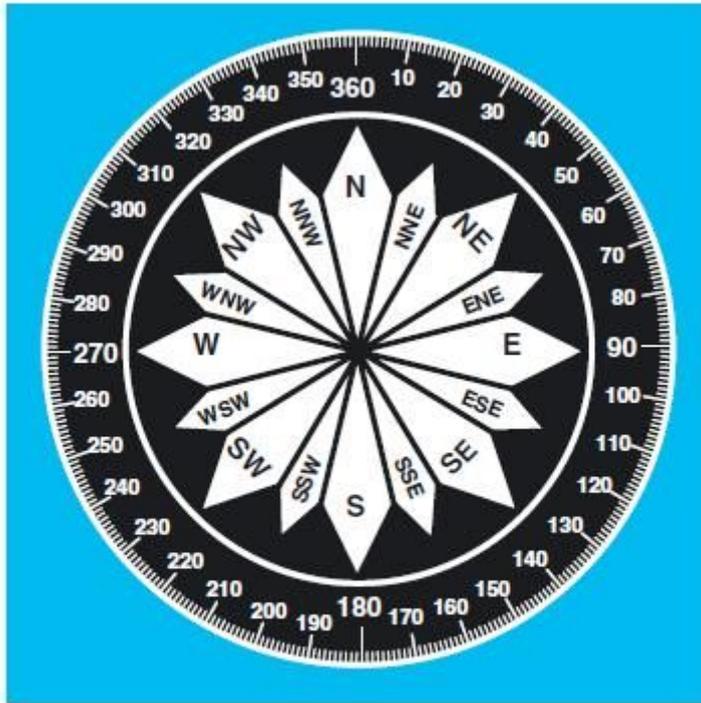


Figure 14-4. Compass rose.

因为子午线向两极汇聚，航向的度量应该是在航线的中点，而不是在出发点。在航图上度量的航向称为真航线方向。这是一个根据子午线或者真北向为基准测量的方向。它是一个用度测量的从真北向顺时针的预期飞行方向。

如图 14-5 所示，从 A 到 B 的方向就是 65 度的真航向，但是其回程(互补的角)将是真航线方向 245 度。【这里的航向是飞机的真实飞行轨迹的方向，有风时，飞机头的指向会不同于航迹方向。】

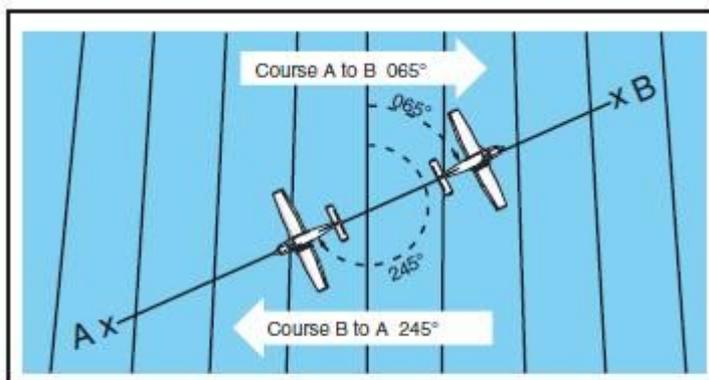


Figure 14-5. Courses are determined by reference to meridians on aeronautical charts.

真航向(true heading)是飞行中飞机头所指向的方向，它从真北向顺时针用度数度量。通常，飞机头的指向在有风的时候要稍微偏离真航线方向以补偿风的影响。进而，数字表示的真航向可能不对应于真航线方向。这将在本章的后面段落更加

完整的讨论。就这里讨论的目的，在假设无风的条件下，艏向和航迹方向将一致。因此，对于一个 065 度的真航线方向，其真艏向为 065 度。然而，为了精确的使用罗盘，由于磁偏角和罗盘偏差必须进行修正。

磁偏角

磁偏角是真北向和磁北向之间的夹角。它表示为东磁偏角或西磁偏角，这取决于磁北向 (MN) 相对真北向 (TN) 是偏东还是偏西。

磁北极位于北纬 71 度，西经 96 度附近，距离地理的真北极约 1300 英里，如图 14-6 所示。如果地球是均匀磁化的，罗盘指针将指向磁北极，在这种情况下，真北向【用地理子午线表示】和磁北向【用磁力子午线表示】之间的磁偏角可以在任何子午线交点测量。

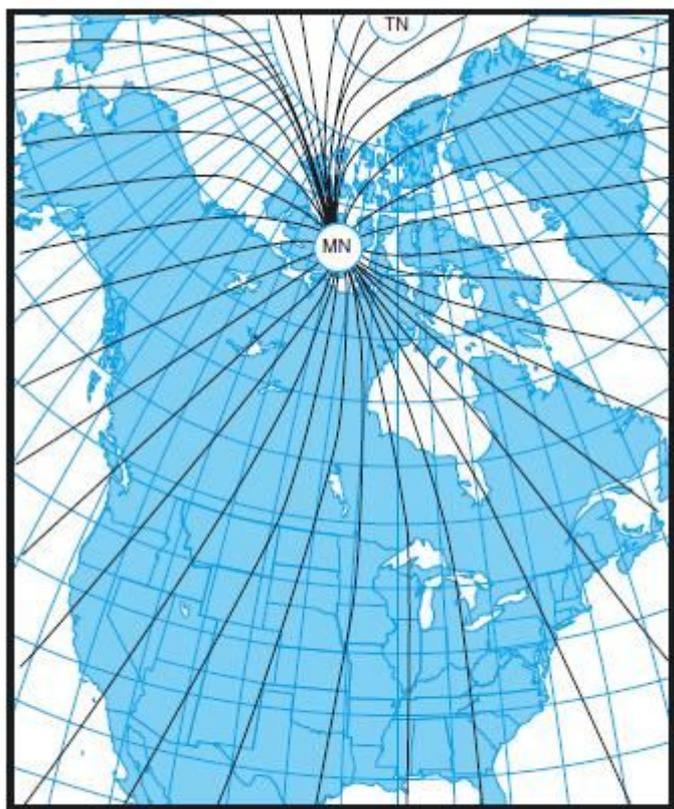


Figure 14-6. Isogonic chart. Magnetic meridians are in black; geographic meridians and parallels are in blue. Variation is the angle between a magnetic and geographic meridian.

实际上，地球不是均匀磁化的。在美国，指针通常指向总体上的磁极方向，但是可能在特定的地理位置上变化很多度数。从而，美国的成千上万个被选定的位置其准确的磁偏角大小已经被仔细的确定出来。磁偏角的大小和方向会随着时间缓慢的变化，在大多数航图上用不连续的品红色线条表示，称为等磁偏线，它链接了很多等磁偏角的点。（链接无磁偏角的点形成的线称为零磁偏线）图 14-6 显示

的是一幅等磁偏线图表。在等磁偏线和零磁偏线上的微小弯曲和拐弯是由那些地区影响磁力的不寻常地址条件引起的。

在美国的西海岸，罗盘指针指向真北向的东边；在东海岸，罗盘指针指向真北向的西边。零磁偏角存在于零磁偏线上，在那里磁北向和真北向一致。这条线概略的穿过大湖的西部，向南穿过威斯康星，伊利诺斯，西田纳西，然后沿着密西西比和阿拉巴马的边界。(对比图 14-7 和 14-8)

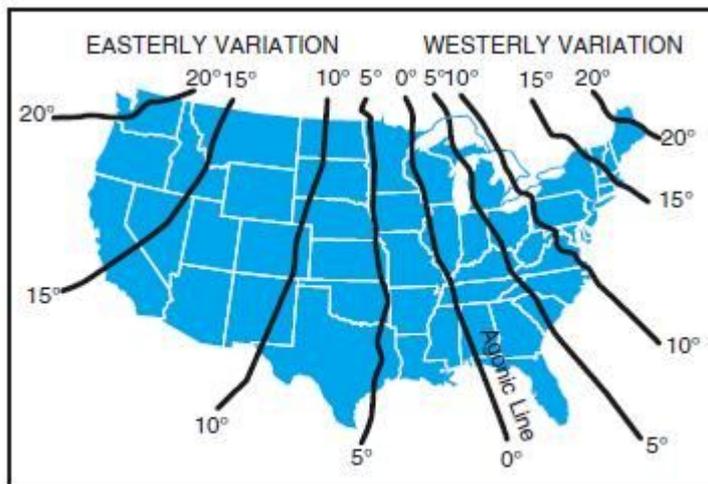


Figure 14-7. A typical isogonic chart. The black lines are isogonic lines which connect geographic points with identical magnetic variation.

由于航迹是以指向真北向的地理子午线为参考来测量的，而这些航迹是以罗盘为参考来维持的，它是顺磁子午线指向磁北极的。因此为了飞行，真方向必须转换为磁方向。这个转换是通过加减磁偏角来实现的，磁偏角由航图上最靠近的一条等磁偏线标明。真方向经磁偏角修正后即称为磁方向。【航迹的方向用地理子午线为基准，而加上或减去当地的磁偏角之后即称为飞机的磁航向。】

如果磁偏角显示为东 9 度，这意思是磁北向偏离真北向以东 9 度。如果飞行的真航向(heading)为 360 度的话，必须从 360 度减去 9 度，结果磁航向为 351。如果向东飞的话，磁航向就是 81 度。向南飞，则磁航向为 171 度。向西飞，磁航向就是 261 度。如所飞真航向为 60 度，所飞的磁航向就是 51 度。【按照这个假定，也就是说磁航向 351 度才和真航向 360 线方向平行。简而言之，磁北极和地理北极是两套坐标系统。】

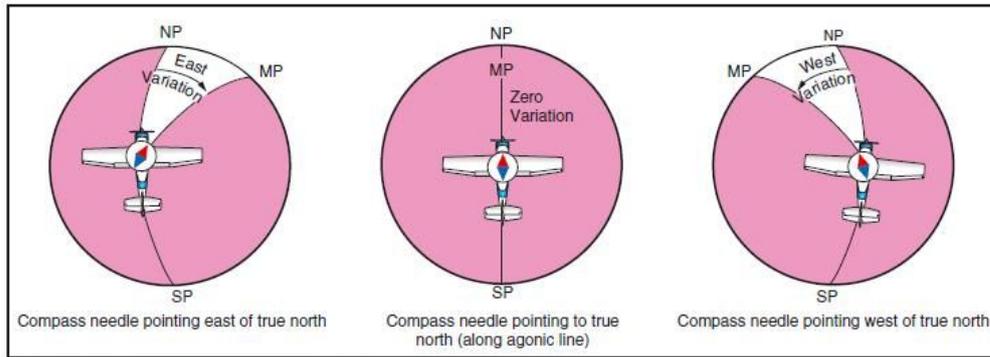


Figure 14-8. Effect of variation on the compass.

记住，真航迹或航向转换为磁航迹或航向时，要注意最近的等磁偏线的磁偏角。如果磁偏角是向西的，就用加法；如果是向东的，就用减法。一个记住是加还是减磁偏角的方法是一句口诀：向东变差，向西最好。【“east is least (subtract) and west is best (add).”按照字面意思就是取词的后部分相同，但是含义上又能衔接的上。Least 是最小的，最少的，用减法才会变小啊，而向西用 best 一词衔接，用加法才会增多，这不是好事吗。出于自私的考虑，谁不喜欢获得呢，所以减法变差，而加法是最好的。】

偏差

为了得到正确的飞行罗盘航向，计算磁航向是一个必要的中间步骤。为了计算罗盘航向，还要对偏差进行修正。由于飞机内部诸如电流，无线电，灯光，工具，发动机，和磁化的金属部件的磁力影响，罗盘指针通常相对于其正常读数有所偏离。这个偏离就形成了偏差。【在测量上称为外部干扰引起的仪表误差，这种误差是可以改进的。】每一架飞机的偏差是不同的，在同一架飞机内也可能因航向不同而偏差值也不同。【这和仪表的非线性误差有关，就类似于—杆秤测量 1 克质量的误差和测量 1000 千克时的误差是不同的。】例如，如果发动机里的磁力吸引罗盘的北极，当飞机在磁北向航向飞行时就不会有什么影响。然而，在向西或者向东航向时，罗盘读数就会有误差，如图 14-9 所示。磁吸引力可以来自于飞机的很多其他部分；假设吸引力来自发动机只是为了说明问题的目的。

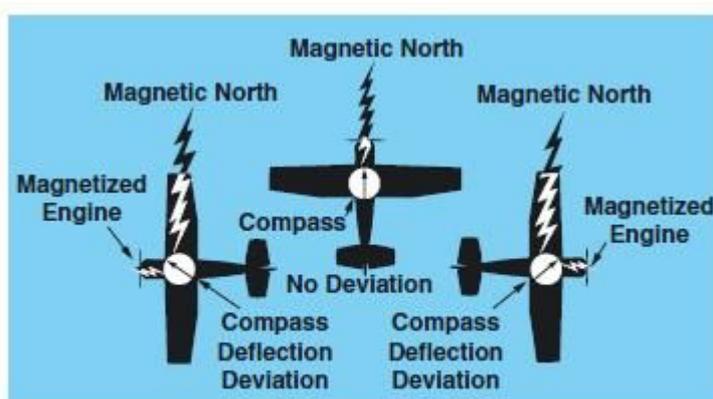


Figure 14-9. Magnetized portions of the airplane cause the compass to deviate from its normal indications.

可以对罗盘进行部分调整，这称为补偿，可以减少这个误差，但是剩余的修正就必须由飞行员来完成。

对罗盘进行的适当补偿最好由胜任的机械工程师完成。因为飞机内部的磁力变化，由于着陆冲击，摆动，机械运作，或设备的更换，有时候飞行员也应该检查罗盘的误差。检查偏差所用的程序(称为“回转罗盘”)被简要概述。

飞机被放在磁罗经台上，发动机启动，打开正常使用的电力设备(例如无线电)。后三点式飞机应该被顶起，呈飞行姿态。飞机和罗经台上的磁北向对齐，罗盘上显示的读数记录在一个偏差卡上。飞机然后按找 30 度间隔顺序对齐，每次读数都被记录。如果飞机要在夜晚飞行，要打开灯光，读数的任何明显变化都会被注意到。如果这样的话，要制定额外的用于夜晚的项目。

罗盘的精度也可以通过对比罗盘读数和一条已知方向的跑道来检查。

偏差卡，类似于图 14-10，放在罗盘的附近，显示了修正不同航行的偏差所要求的加减度数，通常以 30 度为间隔。对于中间读数，飞行员应该能够用插值法心算得到足够的精度。例如，如果飞行员需要 195 度方向的修正值，已知 180 度的修正为 0 度，而 210 度的修正为 2 度，可以假设 195 的修正为 1 度。磁航向经偏差修正后即称为罗盘航行(compass heading)。

| | | | | | | |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| FOR (MAGNETIC)..... | N | 30 | 60 | E | 120 | 150 |
| STEER (COMPASS)..... | 0 | 28 | 57 | 86 | 117 | 148 |
| FOR (MAGNETIC)..... | S | 210 | 240 | W | 300 | 330 |
| STEER (COMPASS)..... | 180 | 212 | 243 | 274 | 303 | 332 |

Figure 14-10. Compass deviation card.

下面的这个方法被很多飞行员用来计算罗盘航向：在测得真航迹方向(TC)之后，经风修正之后得到的结果是真航向(TH)， $TH \pm \text{磁偏角}(V) = MH \pm \text{偏差}(D) = \text{罗盘航向}$

(CH)这个顺序就使用来得到罗盘航向的。如图 14-11。

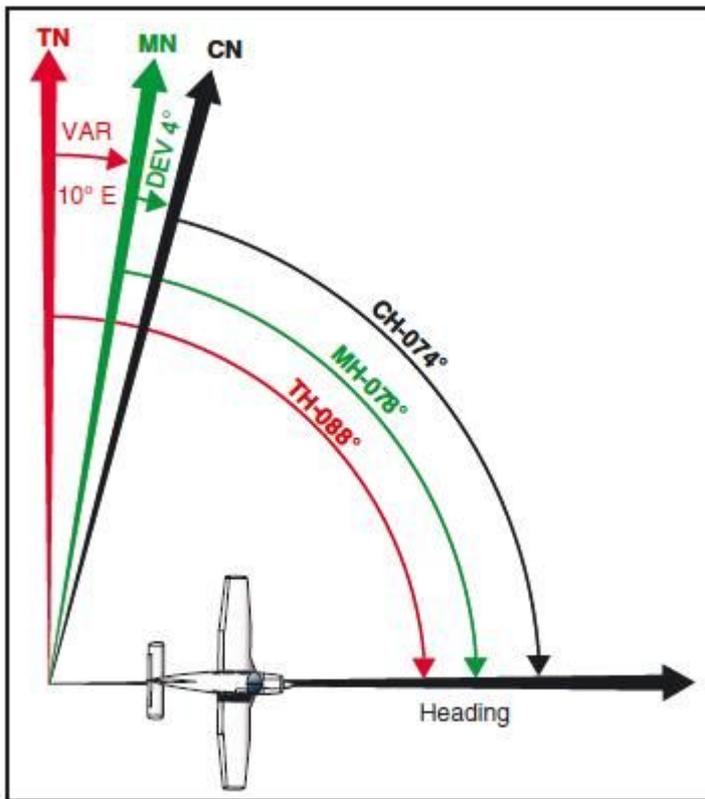


Figure 14-11. Relationship between true, magnetic, and compass headings for a particular instance.

风的影响

前面的讨论解释了如何在航图上测量真航迹方向，以及如何对磁偏角和偏差进行修正，但是一个重要因素还没有考虑—风。正如在对[大气的研究](#)中讨论的，风是空气团在地球表面一定方向上的运动。当风从北方以 25 节速度吹来时，简单说就是空气正以每小时 25 海里的速度在地球表面上向南移动。

在这些条件下，任何不和地球接触的中性物体将被风向南以 25 海里每小时的速度携带。当观察云，尘埃，和玩具气球被风顺着吹的时候，这种影响就变得更明显。明显地，在移动的空气团中飞行的飞机会受到类似的影响。即使飞机不会随风自由漂浮，它在空气中移动，而同时空气在地面上运动，因此受到了风的影响。从而，在 1 小时飞行的结束，飞机将会在由这个运动的合成导致结果的位置：

- 空气团相对于地面的运动
- 飞机在空气团中的前进运动

实际上这两个运动是独立的。只要考虑飞机在空气中的飞行，飞机在其中飞行的空气团是运动还是静止就没什么差别。飞行员在 70 节大风中飞行可能完全不知道有任何风(除了可能的湍流)，除非观测了地面。然而，以地面为参考，飞机在顺风时看起来飞的更快，逆风时飞的更慢，在侧风时会左右漂移。

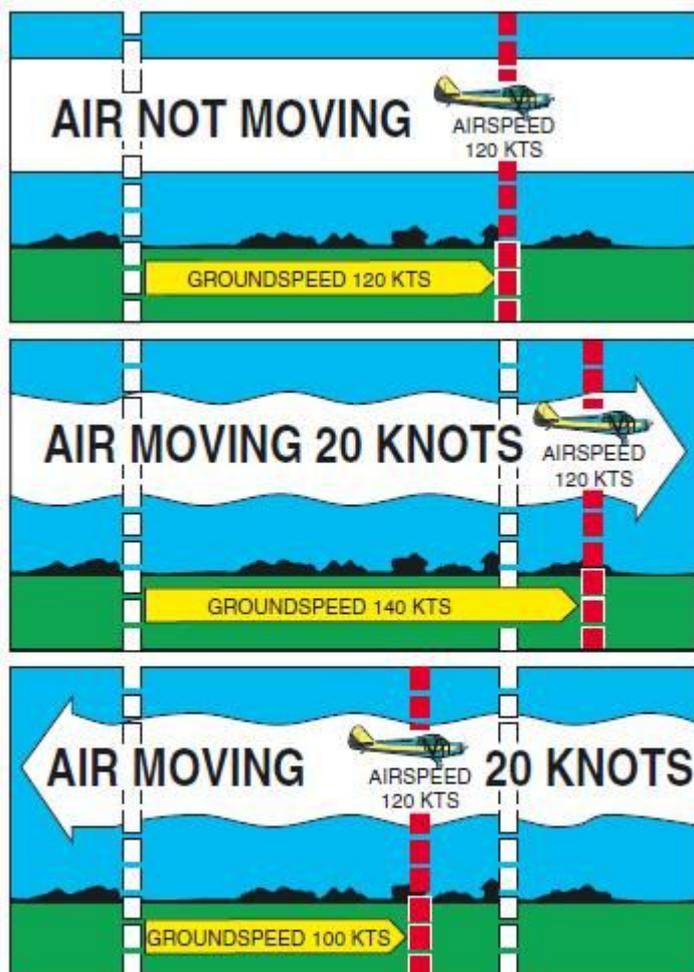


Figure 14-12. Motion of the air affects the speed with which airplanes move over the Earth's surface. Airspeed, the rate at which an airplane moves through the air, is not affected by air motion.

如图 14-12 所示，以 120 节空速在静止空气中向东飞行的飞机，其地面速度恰好等同于 120 节。如果空气团是以 20 节速度向东运动，飞机的空速将不会受影响，但是飞机相对于地面的前进速度就是 120 加上 20，或地面速度为 140 节。另一方面，如果空气团以 20 节速度向西运动，飞机的空速仍然保持不变，但是地面速度就会变为 120 减去 20，即 100 节。

假设没有对风的影响进行修正，如果飞机以 120 节速度向东飞行，空气团向南以 20 节速度运动，那么在 1 小时后飞机将会由于它在空气中的运动差不多位于它的出发点以东 120 英里。

由于空气的运动，它也会位于向南 20 英里位置。在这些情况下，空速仍然是 120 节，但是地面速度是通过飞机的运动和空气的运动结合起来计算的。地面速度可以测量为飞机从出发点到 1 小时后飞机位置的距离。地面速度可以通过已知距离的两点间飞行需要的时间来计算。也可以在飞行前，通过作一个风三角形来计算，这会在本章的后面解释。图 14-13

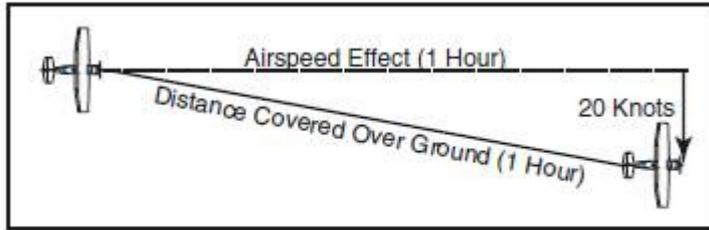


Figure 14-13. Airplane flightpath resulting from its airspeed and direction, and the windspeed and direction.

飞机在飞行时所指向的方向为船向 (heading)。它相对地面的实际路径是飞机运动和空气运动的合成，称为航迹。【飞机相对于空气的运动和空气相对地面的运动，合成得出飞机相对于地面的运动。】船向和航迹之间的夹角称为偏航角。如果飞机的船向和真航向 (true course) 一致且风是从左边吹来的，那么航迹就不会和真航线一致。风会使飞机向右漂移 (drift)，因此飞机的航迹将会偏移到预期航线或真航线的右边。如图 14-14

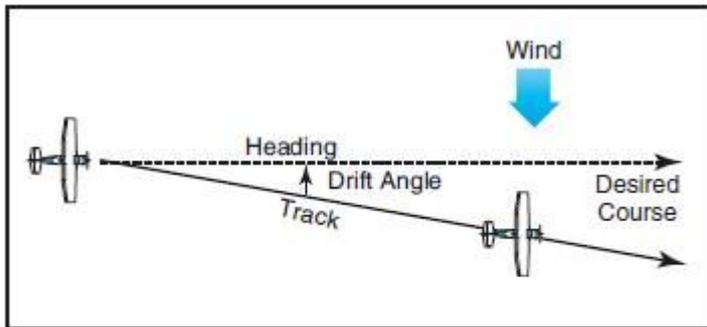


Figure 14-14. Effects of wind drift on maintaining desired course.

通过计算漂移量，飞行员可以抵消风的影响，使得飞机的航迹和预期航线一致。如果空气团是从航线左侧运动过来，飞机将会向右漂移，必须把船向向左足够的偏转来修正航向，以抵消这个漂移。换句话说，如果风是从左边来的，必须把飞机头向做偏一定的度数来修正，因而修正风的漂移。这就是风修正角，它用真航向左右的度数来表示。如图 14-15

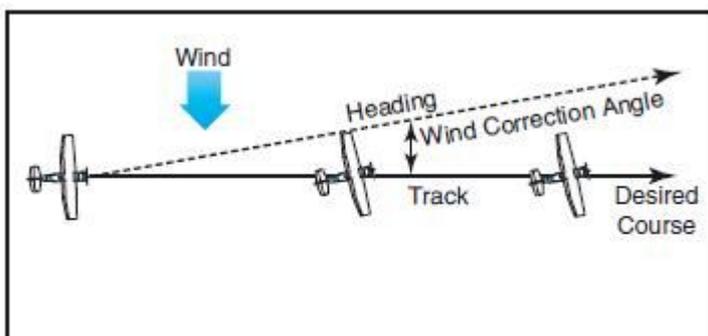


Figure 14-15. Establishing a wind correction angle that will counteract wind drift and maintain the desired course.

小结：

航线 (COURSE) - 是飞机相对于地面的预期路径; 或者是航图上一条表示飞机预期路径的直线的方向, 表示为从一特定的基准参考线顺时针从 0 到 360 度到那条线的测量角度。

航向 (HEADING) - 这是飞行中飞机头所指的方向。

航迹 (TRACK) - 是飞行中飞机相对于地面的实际路径。(如果对风进行了正确的修正, 那么航线和航迹将会一致。)

偏航角 (DRIFT ANGLE) - 航向和航迹之间的夹角。

风修正角 (WIND CORRECTION ANGLE) - 为得到一个航向而对航线进行的修正, 以至于能使航线和航迹一致。

空速 (AIRSPEED) - 飞机在空气中前进的速度。【主要是指飞机相对于空气的速度, 空速还有多个类型, 请参考[飞机性能](#)一章】

地面速度 (GROUNDSPEED) - 飞机在飞行中相对于地面的前进速度。

基本计算

开始越野飞行之前, 飞行员应该按常规计算时间, 速度, 和距离, 以及需要的燃油量。

分钟换算为等效的小时

解决速度, 时间, 和距离问题的时候, 经常要把分钟换算成等效的小时。为把分钟换为小时, 要把分钟除以 60 (60 分钟等于 1 小时)。因此, 30 分钟即 $30/60=0.5$ 小时。要把小时换算成分钟, 就要乘以 60。因此, 0.75 小时等于 $0.75 \times 60=45$ 分钟。

时间 $T=D / GS$

要得到飞行时间 T, 用距离 D 除以地面速度 GS。以 140 节地面速度飞行 210 海里的时间就是 $210/140=1.5$ 小时。(0.5 小时乘以 60 分钟即等于 30 分钟。) 答案是 1 小时 30 分钟。

距离 $D=GS \times T$

为计算给定时间内的飞行距离, 那么要用地面速度乘以时间。1 小时 45 分钟内以 120 节地面速度飞行的距离就是 $120 \times 1.75=210$ 海里。

地面速度 $GS=D / T$

为了计算地面速度，要用距离除以要求的时间。如果一架飞机在 3 小时内飞行了 270 海里，地面速度就是 $270/3=90$ 海里每小时。【这个速度是飞机的平均速度，巡航飞行时的速度基本是恒速的。】

节换算为英里每小时

另一个换算是把节换算成英里每小时。航空业更为频繁地使用节而不是英里每小时，【节的单位源于航海，早期的飞机速度表单位也有不少是英里每小时，现代设计的飞机基本都是节为单位。】但是遇到和速度有关的问题确实使用英里每小时的时候，讨论一下这个换算也是有用的。全国天气服务(NWS)报告地面风和高空风的单位都是节。但是，一些飞机上的空速指示仪是按照英里每小时来校准的(尽管现在很多飞机是按照英里每小时和节这两个来校准的)。因此，飞行员应该学习把风速的节换算为英里每小时。

1 节是 1 海里每小时。因为 1 海里有 6076.1 英尺，而 1 法定英里有 5280 英尺，换算因子就是 1.15。【即 1 海里距离是英里的 1.15 倍。】节换算为英里每小时的时候就要乘以 1.15。例如，20 节的风速等效于 23 英里每小时。

大多数飞行计算机或者电子计算器提供了这个换算方法。另一个快速的换算方法是使用航图底部海里和法定英里的比例尺。

【由于我国使用公制作为常用单位，所以米和千米在距离计算的时候是最常用单位。1 节约等于 1.85 公里每小时，即节换算为公里每小时的时候换算因子为 1.85。】

燃油消耗

飞机的燃油消耗用加仑【加仑是英美国家常用的英制液体容积单位，英国 1 加仑等于 4.546 升，美国 1 加仑等于 3.785 升。1 升等于 1000 毫升。】每小时计算。因而，要计算一次特定飞行需要的燃油，必须知道飞行所需的时间。飞行时间乘以燃油消耗速度就得到了需要的燃油量。例如，以地面速度 100 节的 400 海里飞行需要 4 小时。如果飞机每小时消耗 5 加仑，那么总消耗量就是 4×5 即 20 加仑。

燃油消耗的速度取决于很多因素：发动机状况，螺旋桨节距，螺旋桨转速，油气混合气的富油程度，特别是巡航速度飞行时使用的马力百分比。飞行员应该从巡航性能图或者根据经验了解大概的消耗速度。除了飞行所需要的燃油量外，还要有足够的储备油量。【单发螺旋桨飞机一般至少要有 30 分钟的储备油量，以备绕飞或者降落至备降机场，以及等待航线等意外之需，而波音 747-400 客机可能在到达目的地降落后还有大约 10 吨可用燃油。】

飞行计算器

到这里为止，只使用了数学公式来计算诸如时间，距离，速度和燃油消耗等数据。实际上，大多数飞行员会使用一个机械的或者电子的飞行计算器。这些设备可以计算很多和飞行计划以及导航有关的问题。机械式或电子式计算器会有一本说明书和很多合适的示例问题，因此飞行员容易熟悉它的功能和操作。如图 14-16

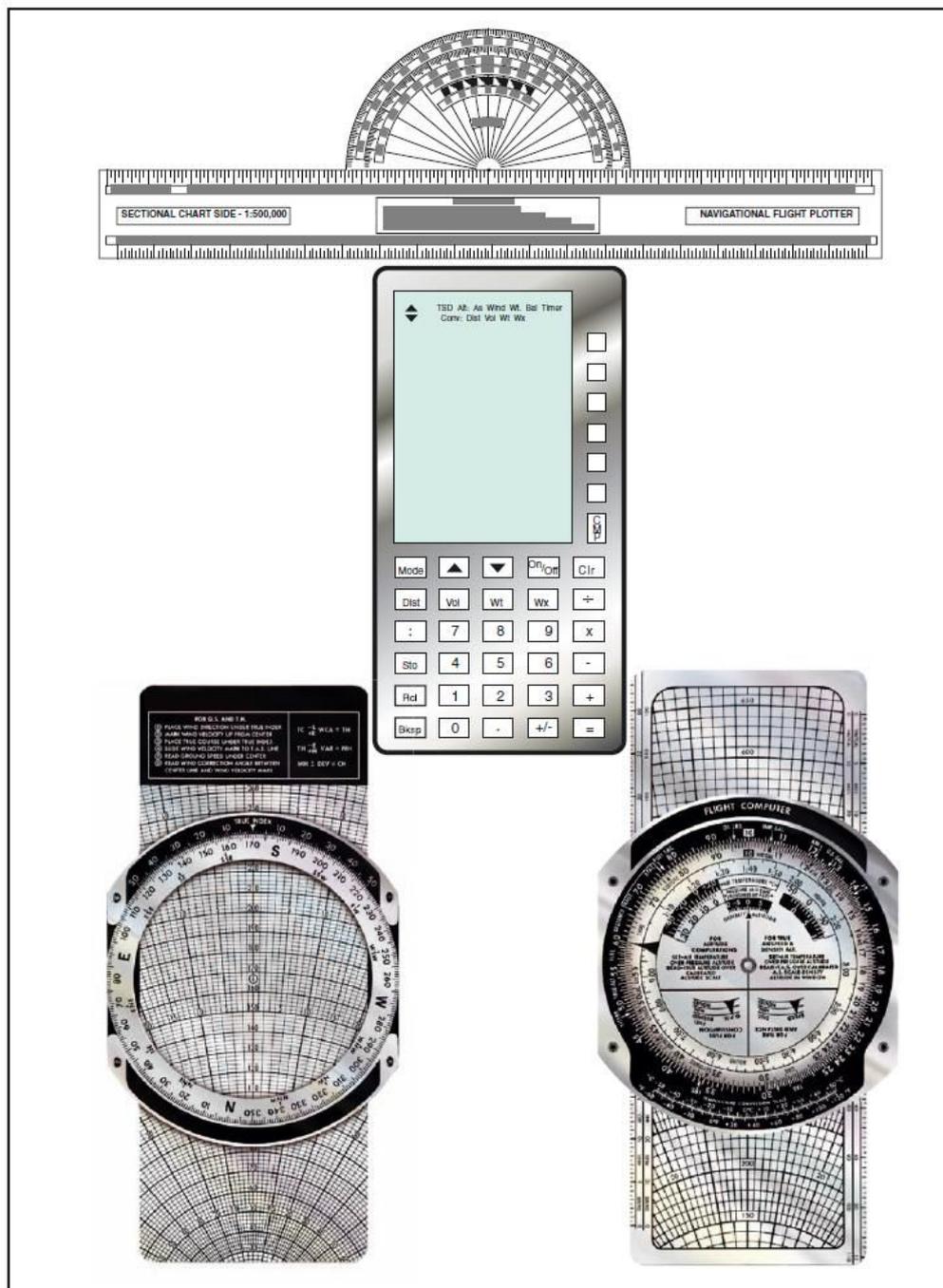


Figure 14-16. A picture of the computational and wind side of a common mechanical computer, an electronic computer, and plotter.

【飞行计算器不同于一般计算器的地方可能有增加了飞行中常用的换算公式。】

绘图仪

飞行计划时另一个有用的辅助工具是绘图仪，它有量角器和直尺组成。在确定真航迹方向和测量距离的时候，飞行员可以使用这个工具。大多数绘图仪有一个直尺，它可以测量海里和法定英里，一面还有一个用于扇区航图的比例尺，另一面是世界航图比例尺。如图 14-16。



Figure 14-16. A picture of the computational and wind side of a common mechanical computer, an electronic computer, and plotter.

地标领航

地标领航(pilotage)是以地标(landmark)或者检查点为参照的导航方法。它是一个可用于任何有足够检查点的航线的导航方法,但它更为普遍地是和航位推测法和 VFR 无线电导航结合使用。

选择的检查点相对于飞行的区域应该有显著的特征。选择根据其他特征可以容易地识别的检查点,例如公路,江河,铁路轨道,湖泊,以及输电线。【一般是高压输电线】如果可能的话,选择航线每边的那些能形成有用边界或范围的特征,例如高速公路,江河,铁路,以及山脉。飞行员可以通过参照而不飞越这些选定的范围来避免偏离航线太远。永远不要完全信任任何单一的检查点。要选择足够多的检查点。如果错过了一个,保持航向的同时寻找下一个。当根据检查点确定位置时,要记住扇区航图的比例尺是 1 英寸等于 8 法定英里或 6.86 海里。例如,如果一个选择的检查点在航图上距离航线半英寸,那么在地面上它距离航线是 4 法定英里或者 3.43 海里。在更为拥挤的地区,一些更小的特征就不会包含在航图上。如果你暂时无法识别,就要保持航向。如果从当前的航向做了转弯,就很容易迷航。

航图上显示的道路主要是经仔细游历(well-travelled)的或者是那些从天空看最明显的道路。新的道路和建筑物不断地被建造出来,在下一期航图出版前它们可能没有显示在航图上。一些建筑物,例如天线可能很难看到。有时电视台的天线可能成组的聚在一个靠近城区的地方。它们可能是由几乎看不见的钢缆线支撑的。永不要接近天线区域中距最高的一个 500 英尺以下范围。【保持距最高的天线顶部 500 英尺以上】大多数更高的建筑物用闪光灯做标志,以使它们更容易被飞行员看见。然而,一些天气条件或者背景灯光可能使它们难以被看到。航图显示了印刷出版时可以得到的最佳信息,但是飞行员应该小心新的建筑物或者航图印刷出版后所发生的变化。【每种航图都有有效期,永远不要使用过期的航图,美国本土 48 个州的扇区航图半年修订一次,其他地区 1 年修订一次。间隔时间还是比较长的。】

航位推测法

航位推测法是只通过根据时间,速度,距离和方向的计算手段的导航。得自这些变量的结果在经过风速和速度调整后就是航向和地面速度。预测的航向将会引导飞机沿预期的路线飞行,地面速度将确定到达每个检查点和目的地的时间。除了在水域上空飞行之外,航位推测法通常和地表领航一起用于越野飞行。【即在水上飞行时一般不使用航位推测法。】计算出来的航向和地面速度不断地根据地表领航观测的检查点来监控和修正。

风三角形或向量分析

如果没有风,那么飞机的地面轨迹将会和航向一样,地面速度将和真空速一样。这种条件是很少出现的。风三角形即飞行员版本的向量分析,它是航位推测法的基础。

风三角形是风对飞行影响的图形化解释。任何飞行的地面速度，航向，和时间都可以使用风三角形来计算。它可以被用于最简单类型的越野飞行和最复杂的仪表飞行。有经验的飞行员对基本原理已经熟悉到他的估算值足够目视飞行，而用不着真的去画图。然而，初学飞行的学员需要培养绘制这些图的技能，以此帮助完全理解风的影响。不管是有意识的还是无意识的，每个好的飞行员都会按照风三角形来思考飞行。

如果飞行是沿航线向东的，且风是从东北方向吹来的，飞机头必须朝东向北偏一点以抵消漂移。这可以用如图 14-17 总的简图表示。每一条线都表示方向和速度。长的虚线表示飞机头的指向，其长度表示 1 小时的空速大小。右边的短虚线表示风向，其长度表示 1 小时的风速。实线表示轨迹的方向，或在地面上测量的飞机路线，其长度表示 1 小时内前进的距离，或者地面速度。

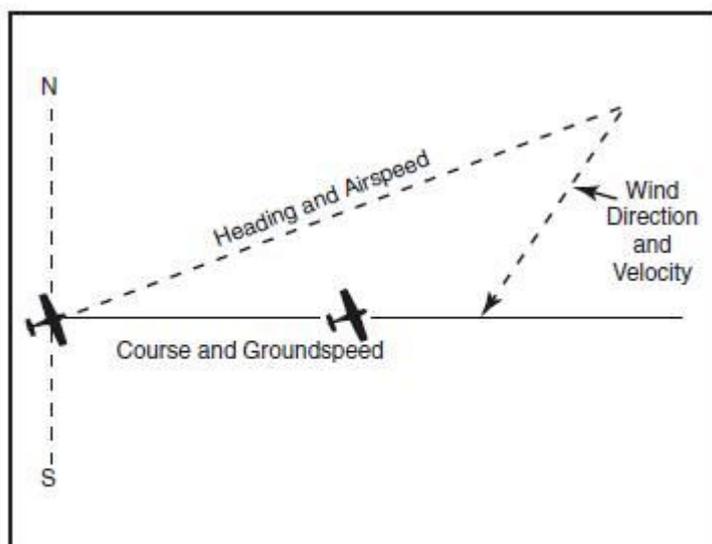


Figure 14-17. Principle of the wind triangle.

在实际的实践中，图 14-17 示例的三角形是不画的；相反，而是绘一个如图 14-18 中的黑线所示的类似三角形，它在下面的例子中解释。

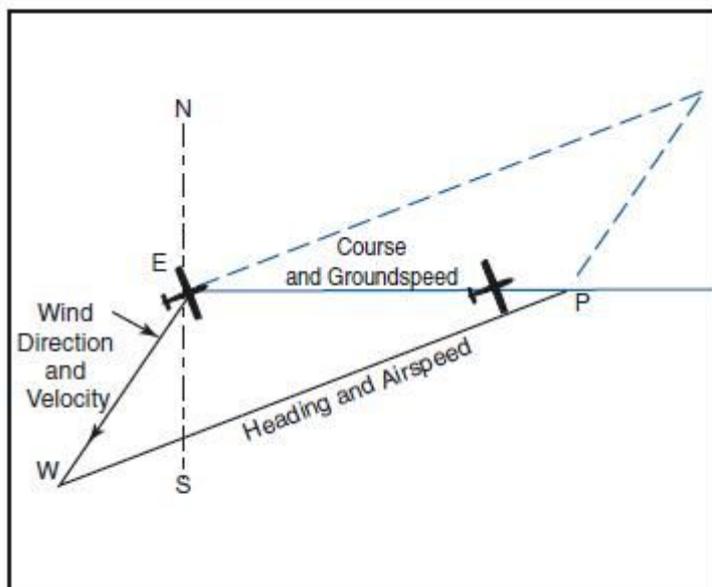


Figure 14-18. The wind triangle as is drawn in navigation practice. Dashed lines show the triangle as drawn in figure 14-17.

假设要进行一次从 E 点到 P 点的飞行。在航图上画一条连接这两点的直线；用量角器或者绘图仪测量它相对于子午线的方向。【即相对真北向。】这是真航迹方向，在这个例子中被假定为 90 度(向东)。从全国天气服务(NWS)得知在预期飞行的高度上风速为 40 节，风向为东北 45 度。由于全国天气服务用节来报告风速，如果飞机的真空速为 120 节，就不必把速度节换算为英里每小时了，反之亦然。

现在在一张空白的纸上画一条表示南和北的垂直线。(其他步骤如图 14-19 所示。)

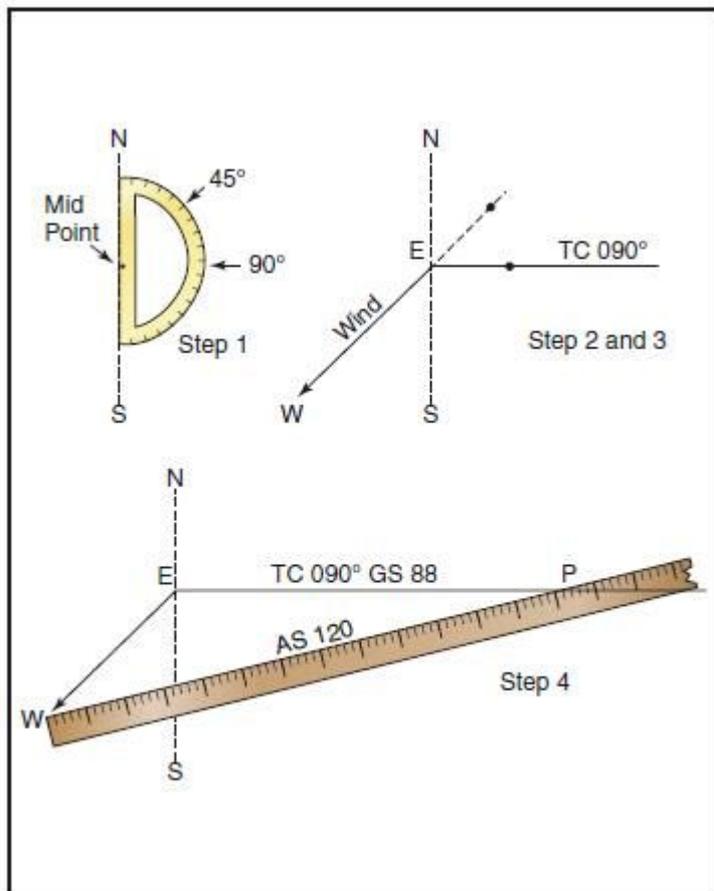


Figure 14-19. Steps in drawing the wind triangle.

把量角器的基线静放在垂直线上，而弯曲的一边向东。在基线的中点，标一个点为“E”（出发地），在弯曲的仪表 90 度位置（表示真航迹方向）和 45 度位置（表示风向）各标一个点。

用直尺，从 E 点向 90 度标志的点画真航迹方向线，稍微画出头一点，把这条线表示为“TC 090”。

下一步，把直尺和 E 点及 45 度位置的点对齐，从 E 点画风向箭头，不是向 45 度方向，而是顺着风吹的方向，让它的长度为 40 单位，以和 40 节的风速对应。在表示风向的箭头末尾加上字母“W”表示这条线是风向线。最后，在直尺上测量出 120 单位来表示空速，在直尺上这点标记一个点。使用的单位可以是任何方便的比例尺或者数值（例如 0.25 英寸等于 10 节），但是一旦选定，每个相关的线性运动必须使用相同的比例尺。然后放置直尺，端点在箭头位置(W)，120 节的点和真航迹方向线相交。画一条线，标记为“AS120”。交点位置的 P 点表示 1 小时飞机的位置。绘图这样就完成了。

1 小时内飞行的距离（地面速度）就是真航迹方向线上测量出来的单位数量（88 海里每小时或 88 节）。

用于抵消漂移的真航向用空速线的方向表示,它可以用下列两个方法的其中之一来计算:

- 把量角器的直边沿南北线放置,其中心点位于空速线和南北线的交点,就可以直接读出真航向的度数(076度)。如图14-20

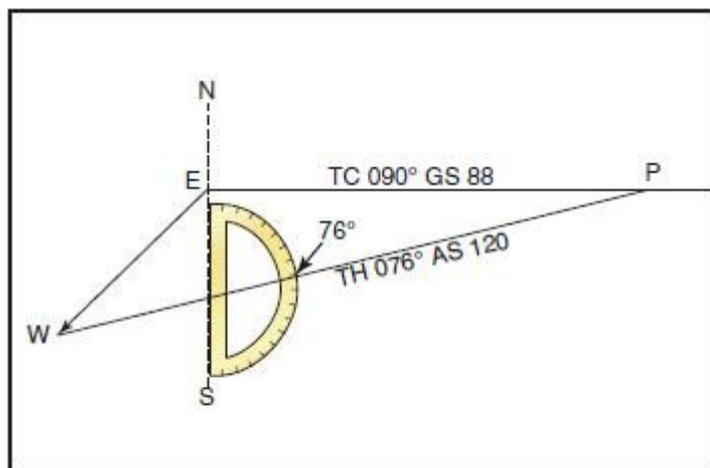


Figure 14-20. Finding true heading by direct measurement.

- 把量角器的直边沿真航迹方向线放置,其中心点放在P点处,可以读出真航迹方向线和空速线的夹角。这是必须应用于真航迹方向以获得真航向的风修正角(WCA)。如果风从真航迹的右侧吹来,就要加上这个修正角;如果是从左边吹来的,就要减去风修正角。在这个例子中,风修正角是14度,风是从左边吹来的;因此,从真航迹方向90度减去14度等于真航向76度。如图14-21所示。

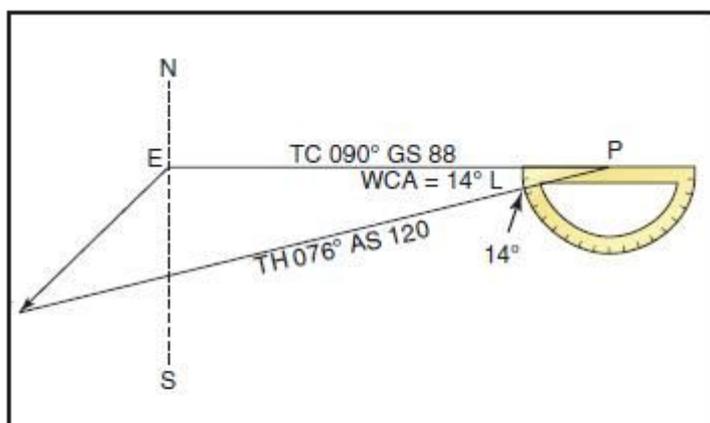


Figure 14-21. Finding true heading by the wind correction angle.

得到真航向之后,对磁偏角进行修正后得到磁航向,修正罗盘偏差后得到罗盘航向。根据航位推测法,罗盘航向就可以用于飞向目的地。

要计算飞行需要的时间和燃油,首先要通过测量画在航图上的航迹线长度(要使用航图底部的适当的比例尺)得到到目的地的距离。如果测量的距离为220海里,

除以 88 节的地面速度，得到 2.5 小时即 2 小时 30 分钟，这就是需要的时间。如果燃油消耗速度是 8 加仑每小时，8 乘以 2.5 或大约使用 20 加仑燃油。简单小结一下，获得飞行信息的步骤如下：

- **真航迹方向 (TRUE COURSE)** - 连接亮点的直线方向，它画在航图上，在中间子午线上顺时针方向测得的真北向度数。
- **风修正角 (WIND CORRECTION ANGLE)** - 从风三角形中计算得到。如果风是从真航迹右边吹来的，则风修正角增加到真航迹方向；从左边吹来时，则减去风修正角。
- **真航向 (TRUE HEADING)** - 从真北向顺时针测量的度数，飞机头应该指向这个方向，以获得良好的预期航迹。
- **磁偏角 (VARIATION)** - 从图上的等磁偏线获得。如果磁偏角相对真北向偏西，则磁偏角增加到真航向；如果偏东，则减去。
- **磁航向 (MAGNETIC HEADING)** - 换算的一个中间步骤。磁偏角应用到真航向就可以得到磁航向。
- **偏差 (DEVIATION)** - 从飞机上的偏差卡得到。按卡上指明的数值，加到磁航向或者从磁航向减去。
- **罗盘航向 (COMPASS HEADING)** - 罗盘上的读数 (偏差应用到磁航向上即可得到罗盘航向)，按照罗盘指示来保持预期的航向。
- **总距离 (TOTAL DISTANCE)** - 通过测量航图上的真航迹线长度而得到 (使用航图底部的比例尺)。
- **地面速度 (GROUNDSPEED)** - 通过测量风三角形上的真航迹方向线长度而得到 (使用绘图使选定的比例尺)。
- **估计飞行时间 (ESTIMATED TIME EN ROUTE, ETE)** - 总距离除以地面速度。
- **燃油消耗速度 (FUEL RATE)** - 预先计算的巡航速度下耗油速度 (加仑每小时)。

说明： 作为安全手段，足够储备量的额外燃油也应该加上去。

飞行计划

联邦法规全书 14 篇第 91 部部分表述说，在开始一次飞行之前，飞机的驾驶员 (pilot in command) 应该熟悉所有和那次飞行有关的可用信息。对于不在机场附近的飞行，这必须包括当前天气报告和预报，燃油要求，如果计划的飞行不能完成时可用的备降机场，以及 ATC 告知驾驶员的任何已知交通延误等这些可用信息。

收集必要的材料

在飞行前，飞行员应该收集好必要的材料。一张适当的当前扇区航图和航路附近区域的航图 (如果飞行航路靠近航图边界) 应该包含在这些材料中。

额外的装备应该包括一个飞行计算器或者电子计算机，绘图仪，以及其他任何适用于特定飞行的东西—例如，如果要进行一次夜间飞行，要带一个手电筒；如果飞行要越过沙漠地区，要带水的补给和其他必要物品。

天气检查

继续飞行计划的其他方面之前检查一下天气将是明智的，首先，如果飞行是切实可行的，检查航路是否是最好的。第 11 章对天气的讨论中提到了获得天气简报。

机场/设施目录的使用

研究预计要降落的每一个机场的可用信息。这应该包括对航行通告 (NOTAM) 和机场/设施目录 (A/FD) 的研究。如图 14-22

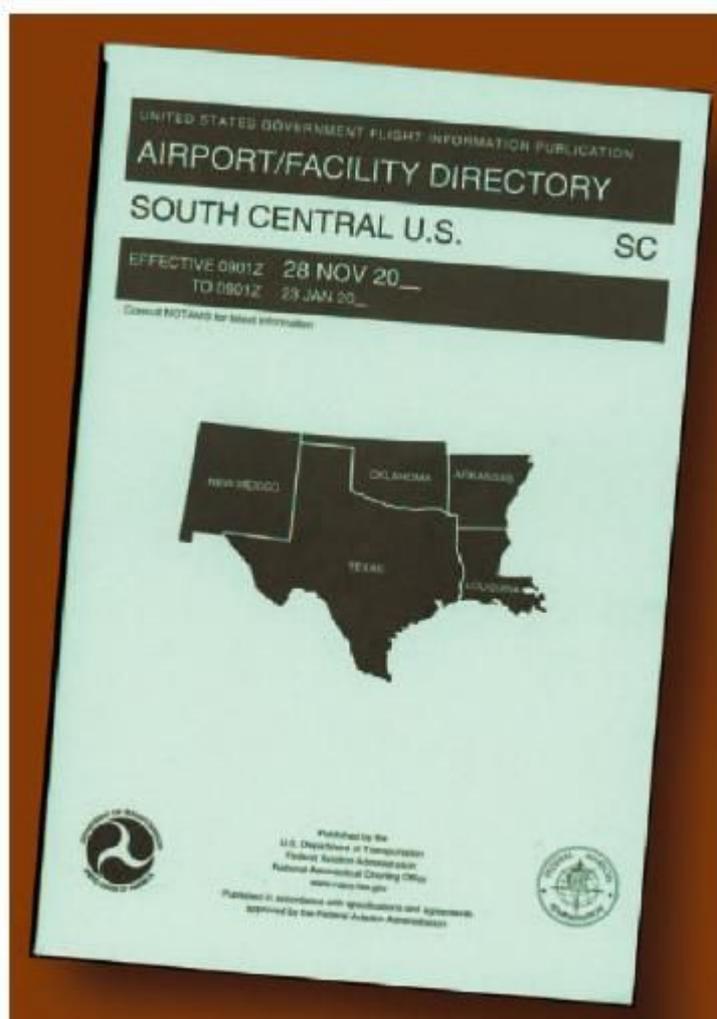


Figure 14-22. Airport Facility Directory.

这包括地理位置，海拔高度，跑道和灯光设施，可用的服务，航空咨询台频率可用性(UNICOM)，可用燃油的类型(用于决定加油站)，位于机场的 AFSS/FSS，控制塔台和地面控制频率，交通信息，备注以及其他相关信息。对于每 28 天发布一次的航行通告(NOTAM)，应该检查有关危险状况的额外信息或从机场/设施目录(A/FD)发行以来已经发生的变化。

应该检查扇区航图公告部分自每个扇区航图上次发行日期以来已经发生的主要变化。记住，航图可能已经有 6 个月之久了。航图的生效日期位于航图前面的上部。【参考美国扇区航图格式，在航图左边的图例下方有生效日期。】

机场设施目录一般会有这些事件的最新消息，在和航图背面的信息有差异时，应该优先使用这些最新消息。

飞机飞行手册或飞行员操作手册

应该检查飞机飞行手册或者飞行员操作手册中来确定飞机的正确载荷(重量和平衡)。必须知道飞机上的可用燃油和可排泄润滑油重量。同样，检查乘客重量，所有要运载的行李重量，和飞机的空重以确保总重不超过允许的最大总重。必须知道载荷的分布以断定其重心是否位于限制范围内。务必使用 FAA 核准的飞机飞行手册中最新的重量和平衡信息或其他不变的飞机记录，按照正确的方法得到空重和空重的重心信息。

选用正确的航图，根据计算的载荷，机场的海拔高度，和温度来计算起飞和着陆距离；然后把这些距离和可用的跑道长度对比。记住，飞机载荷越重，机场的海拔，温度和湿度越高，那么起飞滑跑和着陆滑跑就会越长，爬升速度也就越低。

检查燃油消耗图来计算在估计的飞行高度和功率设定下的燃油消耗速度。计算燃油消耗速度，然后和估计的飞行时间对比，这样航路中的加油点就可以包括在飞机计划中了。

航线制图

一旦检查完了天气和完成一些初步的飞行计划，就到航线制图的时候了，计算完成飞行所需要的数据。下面部分将提供一个航线制图中应该遵守的逻辑顺序，填写一份飞行日志，和备案一个飞行计划。在下面的例子中，计划的一次短途飞行基于下列数据和图 14-23 引用的扇区航图。

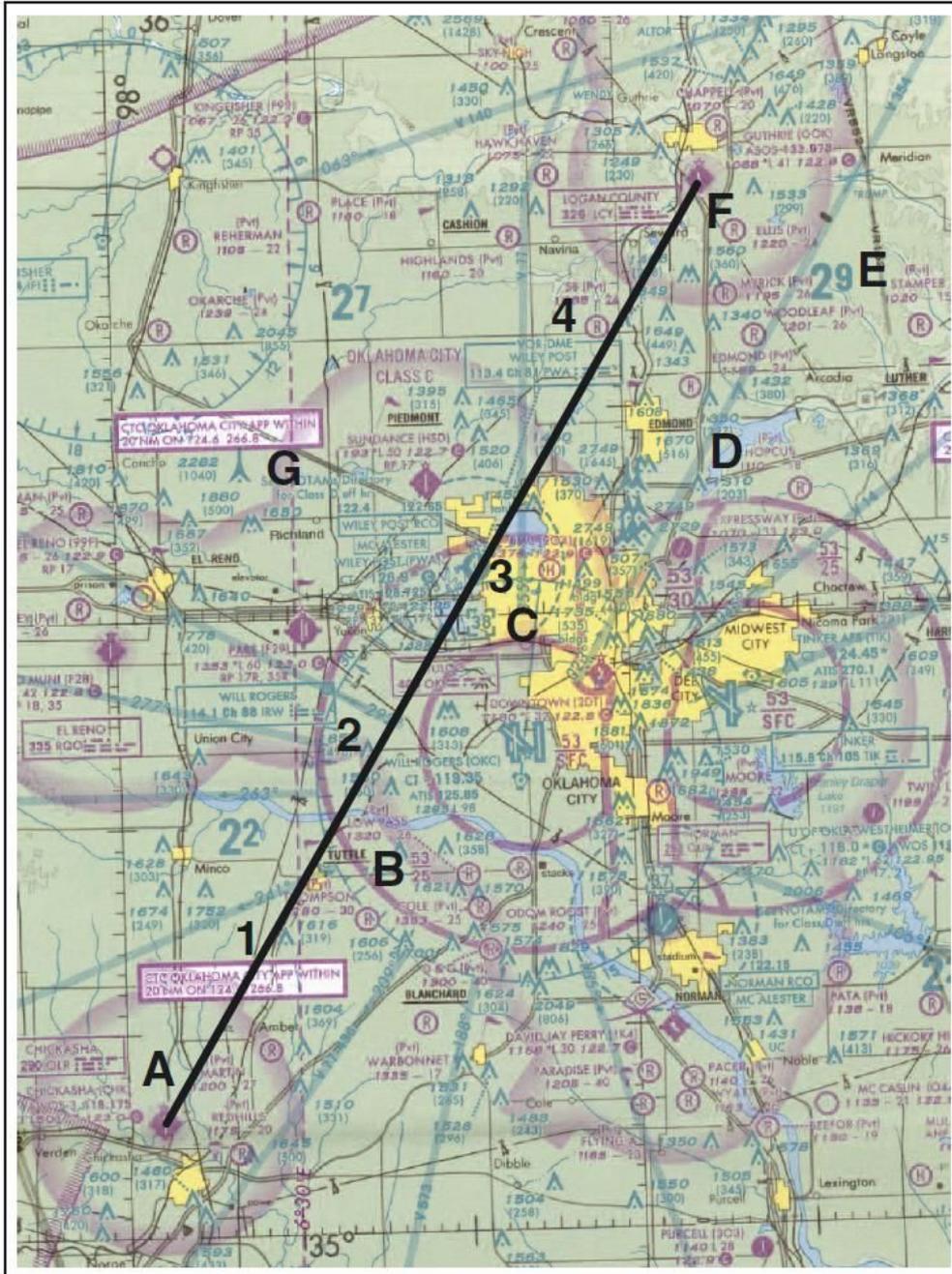


Figure 14-23. Sectional chart excerpt.

飞行航线：奇克谢【Chickasha，美国俄克拉何马州中部城市，位于俄克拉何马城西南。是贸易及加工业中心。】机场直接飞到格斯理(Guthrie)机场。

真空速(TAS)：115 节

高空风：风向 360 度，风速 10 节

可用燃油：38 加仑

燃油消耗速度：8 加仑每小时

偏差：2 度

航线制图步骤

下面是获得本次旅行有关信息的建议顺序。当信息确定后，会被注释在图 14-24 所示的飞行记录示例中。需要计算时，飞行员可以使用数学公式或手册或电气飞行计算机。如果没有足够熟悉如何使用手册或电子计算器，现在阅读一下操作手册和解决几个实际的问题会很有帮助。

首先，画一条从奇克谢机场(A点)到格里斯机场(F点)的直线。航迹线应该冲出发地机场的中央开始到目的地机场的中央结束。如果航路是径直的，那么航迹线应该由一条直线组成。如果航路不是径直的，那么航迹线将由两个或多个直线段组成—例如，一个 VOR 台不在航路上，但是它能让导航更容易，可能选择了它(无线电导航在本章的后面讨论)。

应该选好沿航路的适当检查点并以某种方式注明。这些应该是容易定位的点，比如大的城镇，大的湖泊和河流，或者是可识别点的组合，例如有飞机场的城镇，有高速公路网的城镇，以及铁路的进入和离开。通常地，只选择航图上用黄色弹着点(splashes)表示的城镇。不要选择用一个小圆圈表示的城镇—这些可能被发现是只有几十间房子的小镇。(然而，在一些偏远的地区，用小圆圈表示的城镇可以是很好的检查点。)对于这次旅行，选择了四个检查点。检查点 1 包括航线东边的一座塔，可以根据高速公路和铁路线来进一步识别，它们在这点基本上和航线平行。检查点 2 是就在航线西边的障碍物，可以根据 Will Rogers 机场来进一步识别，这个机场就在正东方向。检查点 3 是 Wiley Post 机场，飞机将会直接飞过这个机场。检查点 4 是航线西边的一个私人的未刨平的机场【一般是指草地机场，跑道面未经铺设】，可以根据航线东边的铁路线和高速公路进一步识别。

应该检查航线和计划航路每边的区域，来确定是否有飞行员应该关心的任何类型空域或者其有特殊运行要求。对于这次旅行，应该注意到航线将会穿过 Will Rogers 机场周围 C 类空域的一段，在那里空域的下限(floor)高度是 2500 英尺平均海平面高度，上限(ceiling)是 5300 英尺平均海平面高度(B点)。同样，在控制塔台运行时间内，Wiley Post 机场(C点)周围的 D 类空域从地面到 3800 英尺海平面高度。

研究沿航路的地形和障碍物。确定最高和最低海拔高度以及会遇到的最高障碍物是必须的，这样就可以选择遵守第 91 篇法规【指 14 CFR 91 部】的一个合适高度。如果要飞在地形之上超过 3000 英尺的高度，要求和适合于飞行方向的巡航高度一致。【不同的飞行方向要求的巡航高度层要求不同，要按方向报纸这个高度。】检查航路上特别崎岖的地形，这样就可以避开它。应该仔细检查进行起飞和着陆地区的高的障碍物。电视发射塔可能高出周围的地形高达 1500 英尺。飞行员要知道它们的存在和位置，这点是必须的。对于本次旅行，可以注意到最高的障碍物是部分高达 2749 英尺平均海平面高度的一组天线(D点)。最高的海拔高度应该位于东北方向【quadrant，意为四分之一圆，象限，这里意译为方向。】，高度为 2900 英尺平均海平面高度(E点)。

由于风不再是一个因素，在 C 类和 D 类空域之上飞行是预期的，而且飞机的能力能够实现，就选择了 5500 英尺平均海平面高度。这个高度也给出了所有障碍物的足够净空，而且符合第 91 部的要求：即当磁航线方向为 0 度到 179 度之间时，要飞行在奇数千英尺加 500 英尺的高度上。【从这个例子的扇区航图可以看出磁航线方向明显是位于 0 度到 179 度之间。】

下一步，飞行员应该测量航线的总距离和检查点之间的距离。总距离为 53 海里，检查点之间的距离注释在图 14-24 的飞行记录上。

计算完距离之后，应该测量真航迹方向(true course)。如果使用绘图仪，就沿着绘图仪上的方向。真航迹方向为 31 度。一旦确定了真航向，飞行员就可以计算罗盘航向。这是按照本章前面的讨论给出的公式来完成的。公式是：

$$TC \pm WCA = TH \pm VAR = MH \pm DEV = CH$$

风修正角可以根据手册或电子飞行计算器来计算。使用 360 度 10 节的风，计算得出风修正角为 3 度偏左。从真航迹方向 TC 减去得到真航向 TH 为 28 度。下一步，飞行员应该找出离飞行航路最近的等磁偏线来计算偏差。图 14-23 中的 G 点显示偏差为向东 6 度 30 分(四舍五入为向东 7 度)，这就意味着要从真航向减去偏差，得到磁航向为 21 度。下一步，进行偏差修正增加 2 度到磁航向 MH。这样飞行员就得到罗盘航向为 23 度。

再下一步，应该就可以计算地面速度。这可以通过使用手册或者电子计算器完成。经计算地面速度为 106 节。根据这个信息，总飞行时间和检查点之间的时间以及燃烧的燃油就可以计算出来。这些计算可以通过算术计算或者使用手册或电子计算器。

对于本次旅行，地面速度为 106 节，总飞行时间为 35 分钟(30 分钟加 5 分钟爬升)，燃油燃烧为 4.7 加仑。检查点之间的时间请参考图 14-24 中的飞行记录。

随着旅途的前进，飞行员可以注意航向和时间，并对航向，地面速度和时间做出调整。

| PILOT'S PLANNING SHEET | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|-------|------|-------|----|-------|-----|-----|----|-------------|--------|------------|-----------|------------|
| PLANE IDENTIFICATION N123DB | | | | | | | | | | DATE | | | | |
| COURSE | TC | WIND | | WCA | TH | VAR | MH | DEV | CH | TOTAL MILES | GS | TOTAL TIME | FUEL RATE | TOTAL FUEL |
| | | KNOTS | FROM | R+ L- | | W+ E- | | | | | | | | |
| From: Chickasha | 031° | 10 | 360° | 3° L | 28 | 7° E | 21° | +2° | 23 | 53 | 106kts | 35 min | 8 GPH | 38 gal |
| To: Guthrie | | | | | | | | | | | | | | |
| From: | | | | | | | | | | | | | | |
| To: | | | | | | | | | | | | | | |

| VISUAL FLIGHT LOG | | | | | | | |
|---|------------------------|------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| TIME OF DEPARTURE | NAVIGATION AIDS | COURSE | DISTANCE | ELAPSED TIME | GS | CH | REMARKS |
| POINT OF DEPARTURE Chickasha Airport | NAVAID IDENT. FREQ. | TO FROM | POINT TO POINT TO CUMULATIVE | ESTIMATED ACTUAL | ESTIMATED ACTUAL | ESTIMATED ACTUAL | WEATHER AIRSPACE ETC. |
| CHECKPOINTS #1 | | | 11 NM | 6 MIN +5 | 106 kts | 023' | |
| #2 | | | 10NM 21 NM | 6 MIN | 106 kts | 023' | |
| #3 | | | 10.5 NM 31.5 NM | 6 MIN | 106 kts | 023' | |
| #4 | | | 13 NM 44.5 NM | 7 MIN | 106 kts | 023' | |
| DESTINATION Guthrie Airport | | | 8.5 NM 53 NM | 5 MIN | | | |

Figure 14-24. Pilot's planning sheet and visual flight log.

备案 VFR 飞行计划

备案飞行几乎并不是法规要求的；但是，这是一个很好的工作实践，因为包含在飞行计划中的信息可以用于突发情况时的搜索和营救。

飞行几乎可以在空中通过无线电备案，但是备案一个飞行计划的最好方法是通过飞行服务站的人或者就在出发前通过电话备案。起飞后，用无线电联系飞行服务站把起飞时间告诉他们，这样飞行计划就被激活了。

当 VFR 飞行计划备案后，在申请的出发时间之前 1 小时一直被飞行服务站的人员监控，然后被取消，除非：收到了实际的出发时间；或者收到了修改的申请出发时间；或者在备案时，飞行服务站被告知将按申请出发时间出发，但是由于缺乏通信而导致实际出发时间不能告知飞行服务站。但是，接受这个飞行计划的飞行服务站专职人员不会通知走这个程序的飞行员。

图 14-25 显示了飞行员备案给飞行服务站的飞行计划表格。当使用电话或者无线电备案一个飞行计划时，要按照空格中的编号顺序来给出信息。这能够让飞行服务站的专职人员更有效的接收信息。大多数空格要么是自解释 (self-explanatory) 的要么就是不适用于 VFR 飞行计划的 (例如第 13 项)。但是，其中一些空格项可能需要解释。

1. 第三项要求填写飞机类型和特殊装备。一个例子如 C-150/X，其含义是飞机没有应答机。特殊装备的代码清单列在 [航空信息手册 \(AIM\)](#) 中。
2. 第六项要求填写申请的出发时间 UTC，用 Z 表示。

3. 第七项要求填写巡航高度。一般地，可以在这里填上“VFR”，因为飞行员将会选择一个符合 FAA 法规的巡航高度。
4. 第八项要求填写飞行航路。如果飞行是径直的，则输入词“direct”【表示径直航路】；如果不是的，就输入所沿着的实际航路，例如途径特定的城镇或者导航设施。
5. 第十项要求填写估计的飞行时间。在样例飞行计划中，在总飞行时间上增加了用于爬升的 5 分钟时间。
6. 第十二项要求填写飞机上的燃油可燃烧几小时多少分钟。这是用飞机上的总燃油加仑数量除以估计的燃油消耗速度加仑数计算的。记住，备案一个飞行计划有很多好处；但是，到达目的地之后不要忘记关闭飞行计划。如果可能的话，打电话告诉最近的飞行服务站来完成这个事情，可以避免无线电通信拥挤。

无线电导航

安装在飞机里的导航无线电接收机的进步，显示了地面发射台准确位置和它们频率的航图的发展，连同驾驶舱中精确的仪表使飞行员能够精确导航到几乎任何想去的地方成为可能。尽管导航的精确度是通过正确的使用这些设备而得到的，初级的飞行员应该使用这些设备作为目视参考地面导航(即地标领航)的补充。这个方法为飞行员提供了一个有效的防止在无线电故障时迷失方向的措施。

有四个无线电导航系统可以用于 VFR 导航。它们是：

- 甚高频全向信标 (VOR)
- 无方向无线电信标 (NDB)
- 长程导航 (LORAN-C)
- 全球定位系统 (GPS)

甚高频 (VHF) 全向信标 (VOR)

VOR 系统表现为三种稍微不同的导航设施 (NAVAIDS)：VOR，VOR/DME，和 VORTAC。根据其本身它称为 VOR，它提供向台或者背台的磁方位信息。当 VOR 也安装了 DME 时，导航设施上就称为 VOR/DME。当 VOR 安装了军用战术空中导航 (TACAN) 装备时，导航设施就称为 VORTAC。DME 总是 VORTAC 组成结构中的一部分。无论使用的是哪种类型的导航设施 (VOR，VOR/DME，或 VORTAC)，VOR 指示器的运行都是一样的。除非有其他说明，在本节，后面的 VOR，VOR/DME，和 VORTAC 导航设施都称为 VOR。

单词“omni”意思是全部的，而一个全向范围是可以从地面台向所有方向发射直线(放射式直线)的甚高频 (VHF) 无线电发射地面台。从上面观察，可以形象化的类似于轮毂周围的轮辐。VOR 射线的投射距离取决于发射机的输出功率。

从地面台发射的射线是以磁北向为参考的。因此，射线就定义为从 VOR 台向外延伸的磁方位线。射线是用从 001 开始的数字识别的，它表示磁北向偏东 1 度，沿圆周按顺序增加所有度数直到 360 度。为了帮助定向，以磁北向为基准的方位圈被叠加在航图上地面台的位置。

VOR 地面台是在 VHF 频段 108.0-117.95MHz 内发射的。因为设备是 VHF 的，所以传输的信号受视距(line-of-sight)传输限制的约束。从而，它的射程【即接收距离】直接随接收设备的高度而相应变化。一般地，在地面之上 (AGL) 1000 英尺高度信号的接收范围大约为 40-45 英里。这个距离随着高度而增加。如图 14-26

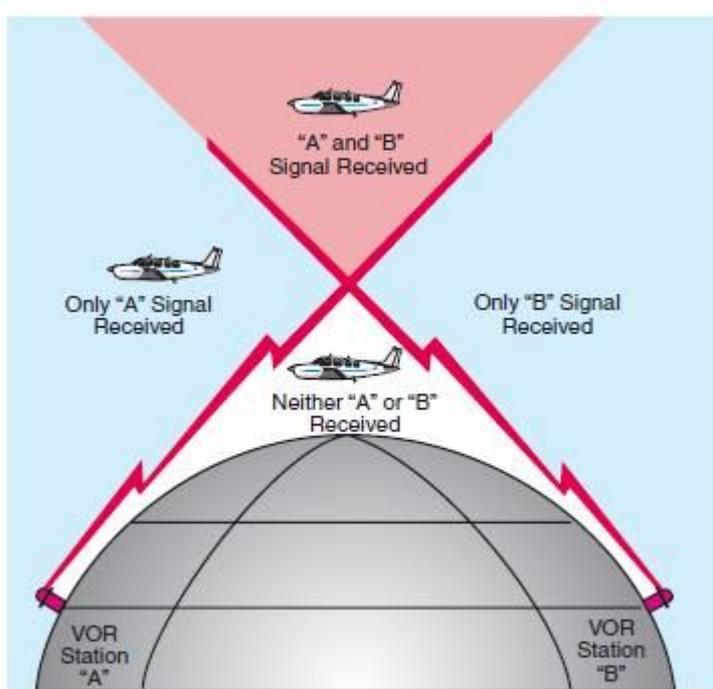


Figure 14-26. VHF transmissions follow a line-of-sight course.

VOR 和 VORTAC 是按照其运行的用途来分类的。有三类：

1. T(终端的)
2. L(低空的)
3. H(高空的)

不同分类的正常使用范围如下表所示：

VOR/VORTAC 导航设施
正常适用高度和射线距离

| 分类 | 高度 | 距离(英里) |
|----|-------------|--------|
| T | 12000 英尺及以下 | 25 |

| | | |
|---|--------------------------------|-----|
| L | 18000 英尺以下 | 40 |
| H | 14500 英尺以下 | 40 |
| H | 仅在本土 48 州内，14500 英尺-17999 英尺之间 | 100 |
| H | 18000 英尺-FL450 | 130 |
| H | FL450-60000 英尺 | 100 |

特定设施的可用范围可能小于 50 英里。有关这些限制的更深入信息可以参考机场/设施目录(A/FD)中的通信/导航设施(Comm/NAVAID)注释部分。

VOR 射线的航线对齐精确度被认为是优秀的。一般在加减 1 度以内。但是，VOR 接收机设备的特定部分恶化时，这就影响它的精度。【电子设备运行有老化等，会影响精度】在距离 VOR 台距离很远时这就特别明显。维护一个精确的 VOR 接收机的最保险方法就是定期检查和校准。VOR 精度检查不是 VFR 飞行的一个规章要求。但是，为了确保设备的精度，要相当频繁的完成这些检查，同时还要每年进行一次全面的校准。飞行员可以使用下面提供的方法来检查 VOR 的精度：

- FAA 的 VOR 测试工具(VOT)
- 被认证的空中检查点
- 被认证的机场场面的地面检查点

如果在飞机上安装了一对 VOR 设备，且被调谐到同一 VOR 地面设施，那么两个指示方位角之间的最大允许偏差为 4 度。

这些检查点的清单出版在机场/设施目录中。

基本上，这些检查包括验证飞机上设备接收的 VOR 射线和 VOR 台发射的射线是对齐的。对于 VFR 飞行，VOR 检查中没有具体的容许偏差(tolerance)要求。但是作为确保可接受的精度的指导，可以使用要求的 IFR 容许偏差，其在地面检查为加减 4 度，空中检查为加减 6 度。这些检查可由飞行员完成。

VOR 发射台可以果断地根据其摩尔斯(Morse)代码符号来识别，或者根据单词 VOR 之后的一个声明台名字的录音来鉴别。很多飞行服务站在 VOR 工作的相同频率上发送声音信息。不应该依赖发送的声音来识别 VOR 台，因为很多飞行服务站发送的很遥远，越过了好几个全向无线电信标，它们有不同于正在发送的飞行服务站的名字。如果 VOR 由于维修而暂停使用，那么编码的符号将会被取消且不发送。这就向飞行员提醒这个台不应用于导航。VOR 接收机被设计成在信号强度不足以对导航设备起作用时就会指示一个警告标记。这会发生飞机离 VOR 台太远或者飞机太低时，因而飞机就处于传送信号的视距之外了。

使用 VOR

回顾一下，VOR 无线电导航需要有两个组成部分：地面发射台和飞机上的接收装置。地面发射台位于地面上一个特定的位置，它在指定的频率上发射无线电波。机载装置包括一个带调谐设备的接收机和一个 VOR 或者全向导航仪 (omnirange instrument)。这个导航仪包括 (1) 一个全向方位选择器 (OBS, Omni-Bearing Selector)，有时称为航向选择器 (course selector)，以及 (2) 一个航向偏差指示器指针 (left-right needle) 和 (3) 向背 (TO-FROM) 指示器。

航向选择器是一个可以旋转的方位角刻度盘，用来选择想得到的径向线 (radial) 或用于确定飞机所飞越的径向线。另外，可以确定磁航向 “向” 或 “背” 台。

当旋转航向选择器时，它会移动航向偏差指示器 (CDI) 或者指针来指示相对于飞机的径向线位置。如果航向选择器旋转到偏差指针居中，径向线 (磁航向 “背” 台) 或其反向的径向线 (磁航向 “向” 台) 就被确定了。如果飞机飞离或者飘离航向选择器设定的径向线时，航向偏差指针也会向左或向右移动。

通过使指针居中，航向选择器将会指示 “背” 台航向或者 “向” 台航向。如果标记显示为 “TO”，显示在航向选择器上的航向肯定是飞向台的。如图 14-27。如果显示的是 “FROM” 且沿显示的航向飞行，飞机必定是飞离 VOR 台的。



Figure 14-27. VOR indicator.

跟踪 VOR

下面描述了“向”和“背”跟踪一个 VOR 台时按部就班的步骤。图 14-28 图示了这个讨论：

首先，把 VOR 接收机调谐到选定的 VOR 台的频率。例如：用 115.0 来接收 Bravo VOR 台。接着，检查标识符来验证接收到了想要的 VOR。一旦 VOR 台被正确的调谐到，航向偏差指针就会向左或向右偏；然后把方位刻度盘旋转到航向选择器直到航向偏差指针居中，且“TO-FROM”显示为“TO”。如果指针居中时显示“FROM”，那么方位角应该旋转 180 度，因为，这时是想“向”台飞行。现在，飞机转弯到 VOR 方位刻度盘或航线选择器上指示的航向。在例子中是 350 度。

如图，如果风从右边吹来且保持航向 350，飞机将会漂移到预期飞行轨迹的左边。在飞机飘离航向时，VOR 航向偏差指针就会逐渐地移动到中央的右边，或者指示预期方向或轨迹的方向。

为了返回到预期的方向上，飞机的航向必须向右改变。当飞机返回到预期的轨迹上时，偏差指针会慢慢回到中央。居中后，飞机就在预期的方向上了，且必须进行左转弯，而不是原来的航向 350，因为必须进行风漂移修正。修正的度数取决于风的强度。如果风速是未知的，可以用一个实验的或者试错的方法来发现正确的航向。对于这个例子，假设保持 10 度修正或航向 360。

在保持航向 360 时，假设航线偏差开始向左移动。这就意味着 10 度风修正太大了，飞机飞到了航向的右边。应该让飞机稍微向左转弯让飞机回到预期的方向上。

当偏差指针居中时，小的风漂移 5 度修正或以修正航向 355 度飞行。如果这个修正足够了，那么飞机将会保持在方向上。如果不是的话，那么航向应该有小的变化以保持指针居中，进而就保持飞机在方向上了。

在飞过 VOR 台后，航向偏差指针会波动，然后稳定下来，“TO”（向）台指示会变为“FROM”（背）台指示。如果飞机飞越到台的另一边，在指示变为“FROM”的时候指针将会朝台的方向偏转。

通常地，当背台跟踪时也是使用和向台跟踪相同的方法。如果目的是飞过台且背台跟踪在向台的反向上，那么就不应该改变航向选择器了。用相同的方法进行修正以保持指针居中。唯一的不同是向背台指示将显示“FROM”（背台）。

如果背台跟踪的方向是不同于向台跟踪的反方向，这个新的航向或者方向必须被设定在航向选择器上，要进行转弯来截获这个航向。达到这个航向后，跟踪步骤和前面讨论的相同。

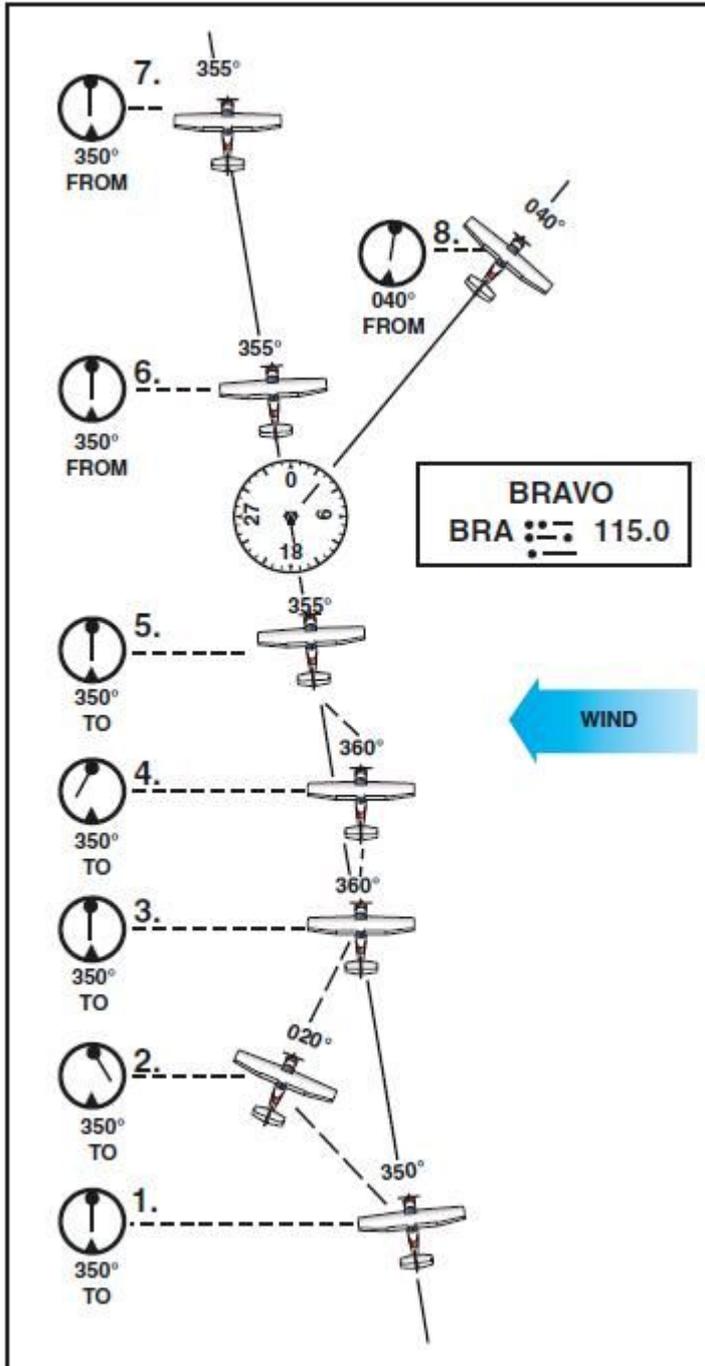


Figure 14-28. Tracking a radial in a crosswind.

使用 VOR 的提示

- 1) 根据其代码或者声音标志来肯定地识别 VOR 台。
- 2) 紧记 VOR 信号是“视距”传送的。如果飞机飞得太低或者离台太远，那么会收到弱的信号或者根本收不到信号。

3) 当航向一个 VOR 台时，计算向台方向，且使用这个方向。如果飞机漂移，不要重置航向选择器，而是要修正漂移，飞行在一个可以补偿风漂移的航向 (heading) 上。

4) 如果出现了微小的指针波动，避免立即改变航向。等一会看看是否指针会回到中心位置；如果没有，那就纠正它。

5) 在飞“向”(TO)一个 VOR 台时，总是飞在选择航向上，且显示为“TO”。当背台飞行时，总是飞在选择航向上，且显示为“FROM”。如果不是这样做的，航向偏差指针的动作就被反转了。为了更进一步解释这个反转动作，如果飞机飞向一个 VOR 台且指示为“FROM”或者飞离一个 VOR 台且指示为“TO”，航向偏差指针将会指示在它应该的方向的反方向上。例如，如果飞机向所飞行方向的右侧漂移，指针将会向移动到右侧或指离 (point away) 那个方向线。如果飞机向所飞行方向的左侧漂移，指针将会向左移动或在方向线的反方向。

距离测量装置 (DME)

距离测量装置 (DME) 是一个和 VOR/DME 及 VORTAC 一起的超高频 (UHF) 导航设施。它以海里为单位测量飞机距离 VOR/DME 或 VORTAC (在后面这两个都称为 VORTAC) 的倾斜距离。尽管 DME 设备很流行，但是不是所有的飞机都配备了 DME 设备。

要使用 DME，飞行员应该如前面描述的那样选择，调谐和确定一个 VORTAC。DME 接收机使用一个称为“配对频率”的概念自动地选择和调谐与飞行员选择的 VHF VORTAC 频率相关联的 UHF DME 频率。这个过程对飞行员而言是完全透明的。在一个短暂的停顿后，DME 显示屏将显示到或距 VORTAC 的倾斜距离。倾斜距离是飞机和 VORTAC 之间的直线距离，所以也受飞机的高度影响。(从 6076 英尺地面高度在一个 VORTAC 上直接过台，那么 DME 显示屏将显示约 1 海里。) DME 是对 VOR 导航的非常有用的辅助。单独的 VOR 方向只给出了方向线的位置信息。有了 DME，飞行员就可以精确的定位飞机在那条线上的位置。【有了测距仪之后，就可以知道飞机距离 VOR 台的准确距离。】

大多数 DME 接收机也提供地面速度和到台时间的运行模式。地面速度显示为节 (海里每小时)。到台时间模式显示了根据当前地面速度预测的通过 VORTAC 的剩余时间。地面速度和到台时间信息只在径直的向背 VORTAC 台跟踪时才是准确的。在 DME 接收机显示准确的地面速度和到台时间信息之前，一般需要一两分钟径直的向背 VORTAC 台稳定飞行的时间。

一些 DME 装置有一个保持功能，它允许在航向指示器显示来自一个 ILS 或者另一个 VORTAC 的航向偏差信息时保持一个 VORTAC 的信号。

VOR/DME 区域导航 (RNAV)

区域导航(RNAV)允许在飞行员确立的点之间的任何直接航路上进行电子的航向引导。尽管RNAV是一个适用于很多导航设施的一般术语,如LORAN-C, GPS 或其他的,本节将涉及基于VOR/DME的RNAV。VOR/DME RNAV不是一套单独的地基(ground-based)导航设施,而是一个使用VOR/DME和VORTAC信号的导航方法,这些信号经过了飞机的RNAV计算机特别处理。

按其最简单的形式,VOR/DME RNAV允许飞行员电子地VORTAC到更为方便的位置上。一旦电子地重新布置后,它们就被称为航路点(waypoint)。这些航路点被描述为所用的VORTAC服务范围内选定的方向和距离的组合。【以VOR为中心,用距离和方位就可以确定其服务范围内的任意一个唯一的点的位置,这个点就可以定义为航路点。】这些航路点允许几乎任何出发点和目的地之间以径直航线飞行,而不用考虑VORTAC的方位或航路的存在。

尽管VOR/DME RNAV单元的实际能力和运行方法不同,但是基本的运行原理都是一样的。强烈建议飞行员在使用VOR/DME RNAV或任何不熟悉的导航系统之前研究制造商的操作指南和接收指令。也应该从标牌或者飞机飞行手册/飞行员操作手册(AFM/POH)的附录部分查找运行信息和限制。

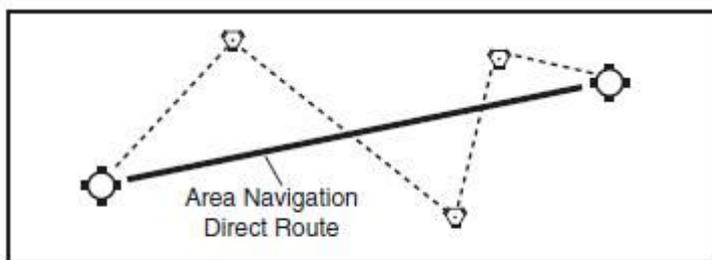


FIGURE 14-29. Flying an RNAV course.

基于VOR/DME的RNAV单元至少以三种模式运行:VOR,航路(En Route),和进近。也可能在某些型号上发现第四种模式:VOR平行(parallel)。区域导航单元需要VOR和DME信号才能运行在任一RNAV模式。如果选择的导航设施是一个没有DME的VOR,那么RNAV模式是不起作用的。

在VOR(或非RNAV)模式中,RNAV单元的功能只是一个有DME能力的VOR接收机。如图14-30。VOR指示器上单元的显示在各方面都是按惯例的。对于在确立的航路或任何其他常规VOR导航上的运行,就使用了VOR模式。



FIGURE 14-30. RNAV controls.

要使用单元的 RNAV 功能，飞行员要选择一个航路点或者一系列航路点以确定一条航线。要运行在任一 RNAV 模式，这个单元需要方向和距离信号；因而，需要选择一个 VORTAC 作为导航设施。为确立一个航路点，位于一个 VORTAC 服务范围内的某个点根据方向和距离而被定义。一旦航路点被输入到单元，就选择了 RNAV 的航路(En Route)模式，航向偏差指示器就会显示到航路点的航向指引，而不是原有的 VORTAC。【在航路模式中，航向偏差指示器指示到航路的方向指示，不是航路所属的范围的 VORTAC。】DME 也会显示到航路点的距离。很多单元都有存储几个航路点的能力，允许在飞行前对它们进行计划，如果想要的话，就可以在飞行中调出。

RNAV 航路点以精确到十分之一的磁方位度数(例如 275.5 度)和距离海里数(例如 25.2 海里)输入到单元中。在航图上绘制 RNAV 航路点的时候，飞行员会发现测量到那种水平的精确度是很困难的，而在实践应用中，大多数时候是不需要的。很多飞行规划出版物以这样的精度发布机场坐标和航路点，RNAV 单元可以接受这些数字。在 CDI 运行和在 RNAV 模式中的显示有一个难于理解的但是很重要的差别。

在 RNAV 模式中，航向偏差是根据直线的偏差来显示的。在 RNAV 航路模式中，CDI 的最大偏转典型地表示选择的航线每边 5 海里，不考虑距离航路点的距离。在 RNAV 进近模式中，CDI 的最大偏转典型的表示选择的航线每边 1.25 海里。在飞机以 RNAV 模式接近一个航路点时，CDI 的灵敏度并没有增加。

RNAV 进近模式用于仪表进近。它的精密的刻度宽度(四分之一航路模式)可以非常精确的向背跟踪一个选择的航路点。在目视飞行规则越野导航中，以进近模式跟踪一个航向是不值得的，因为它需要很多注意力，很快就变得让人厌烦。

第四种在一些单元上很少使用的模式是 VOR 平行模式。在飞机向背 VORTAC 时，这允许 CDI 显示直线(不是角度的)偏差。它是由于飞行员在所选的一个固定距离处(如果想要的话)偏移一个选择的航向或航线而得名的。VOR 平行模式和直接把一个航路点放在 VORTAC 上有相同的效果。一些飞行员为了附近的 VORTAC 之后的航线更加平滑，在利用他们的自动驾驶导航跟踪功能时选择 VOR 平行模式。

在使用基于 VOR/DME 的 RNAV 导航一架飞机时，混淆是可能的，飞行员熟悉安装的装置是必须的。已经知道有的飞行员由于漏看开关位置或信号器而导致非预期

的操作，从而没注意以一种 RNAV 模式运行。相反的也反生过，由于飞行员漏看开关位置或信号器而疏忽把单元设定在一种运行模式。自始至终，谨慎的飞行员不仅熟悉所用的设备，而且在可以使用其他方法交叉检查时不能就完全相信一种导航方法。

自动定向仪 (ADF)

很多通用航空类飞机装配了自动定向仪 (ADF) 无线电接收装置。为使用 ADF 导航，飞行员要把接收装置调谐到称为无方向无线电信标 (NDB, NONDIRECTIONAL RADIOBEACON) 的一个地面台。NDB 台通常运行在 200 到 415KHz 这个低中频段。这个频率容易从航图上得到或这在机场/设施目录上。

除了罗盘定位器 (compass locator) 外，所有无线电导航台在非语音传输期间都以编码方式发送一个连续的三字母代码。罗盘定位器发送一个两字母代码，它和仪表着陆系统 (ILS) 有关。

标准的广播电台也可以和 ADF 联合使用。所有无线电台的明确的代码是极其重要的，在标准的广播电台用于导航时这就尤其正确。

无方向无线电导航台相比 VOR 有一个优点。这个优点是低中频不受视距传输影响。信号沿着地球的弯曲传播；因此，如果飞机位于导航台的服务范围内，无论高度是多少都可以收到信号。

下表给出了 NDB 台的分类，它们的功率，以及可用距离：

无方向无线电导航台 (NDB)
(所有高度的可用半径距离)

| 分类 | 功率 (瓦特) | 距离 (英里) |
|-------|----------|---------|
| 罗盘定位器 | 小于 25 | 15 |
| MH | 小于 50 | 25 |
| H | 50-1999 | *50 |
| HH | 2000 或以上 | 75 |

*个别设施的服务范围可能小于 50 英里。

当使用低频导航时，应该考虑到一个缺点，即低频信号非常容易受到电干扰的影响，例如闪电。这些干扰引起过多的静电，指针偏差，和信号衰弱。还可能来自远台的干涉。飞行员应该知道这些干涉可以发生的条件，这样他们在使用 ADF 时就可以更加留心可能的干涉。

基本上，机载 ADF 装置由一个调谐器和导航指示组成，调谐器是用于需要的台的频率。

导航指示由一个印刷了方位角的刻度盘和一个绕刻度盘旋转且指向接收机所调谐台的指针组成。

一些 ADF 的刻度盘可以旋转，这样就可以把方位角和飞机的航向对齐；其他的是固定的，以 0 度表示机头，180 度表示机尾。本手册只讨论固定式方位角刻度盘。如图 14-31。

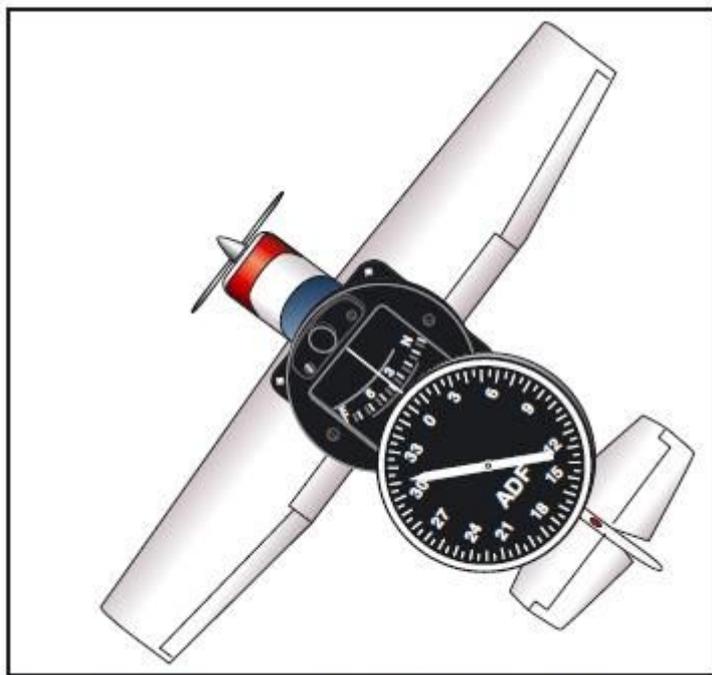


Figure 14-31. ADF with fixed azimuth and magnetic compass.

图 14-32 图解了 ADF 用到的且飞行员需要理解的下列术语：

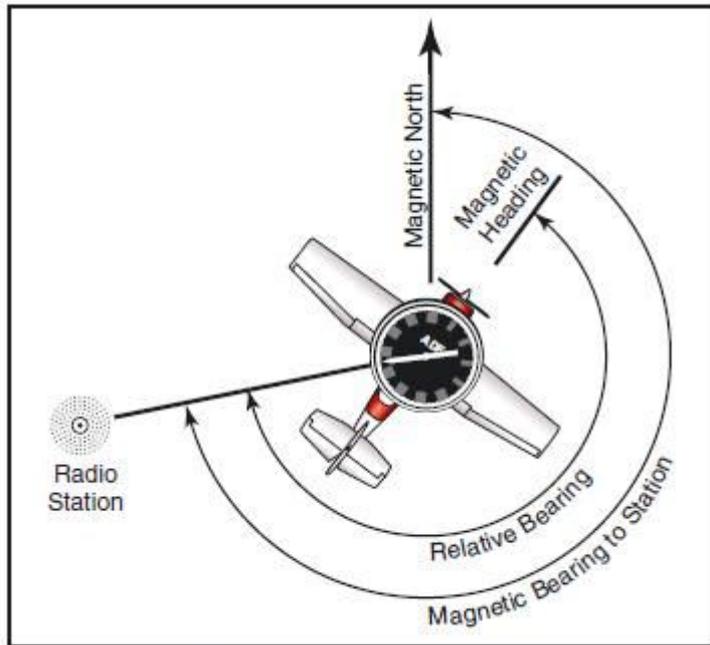


Figure 14-32. ADF terms.

相对方位角 - 指针在刻度盘上指向的角度值。当使用固定式刻度盘时，这个数字是相对于飞机头的，它是从飞机头开始顺时针测量到从飞机到台所画直线的角度。

磁方位角 - “向”台磁方位角是由从飞机到台所画直线和从飞机到磁北向所画直线的顺时针夹角。向台磁方位角可以通过把相对方位角和飞机的磁航向相加而计算得到。例如，如果相对方位角是 60 度，磁航向为 130 度，向台磁方位角即为 60 度加 130 度等于 190 度。这就是说在静止空气中，大约 190 度磁航向就是向台飞行。如果总和大于 360 度，从总和减去 360 度以得到向台磁方位角。例如，如果相对方位角为 270 度，磁航向为 300 度，那么从总和减去 360 度得到 $570-360=210$ 度，这就是向台磁方位角。

要计算“背”台磁方位角，那么就从向台磁方位角加上或者减去 180 度。这是相反的方位角且用在绘制位置固定时。

紧记固定式方位角指针指向相对于飞机头的导航台。如果指针向左偏转 30 度或者相对方位角为 330 度，这意思是台位于左边 30 度。如果飞机左转弯 30 度，指针就会向右移动 30 度，指示相对方位角 0 度，或飞机指向导航台。如果飞行员继续保持指针 0 度向台飞行，这个步骤称为向台归航。如果有侧风，ADF 指针将会继续偏离 0 度。为了保持指针位于 0 度，飞机必须转弯，导致曲线的向台飞行路径。向台归航是一个普通的程序，但是当顺风漂移时，这就会延长了向台的距离。

向台跟踪要求对风漂移进行修正，结果要保持沿直线轨迹或方位向台飞行。当完成风漂移修正后，ADF 指针将会指示向左或向右的修正量。例如，向台磁方位角为 340 度，一个左侧风修正会导致磁航向 330 度，即 ADF 指针将指示向右 10 度或相对磁航向 10 度。如图 14-33

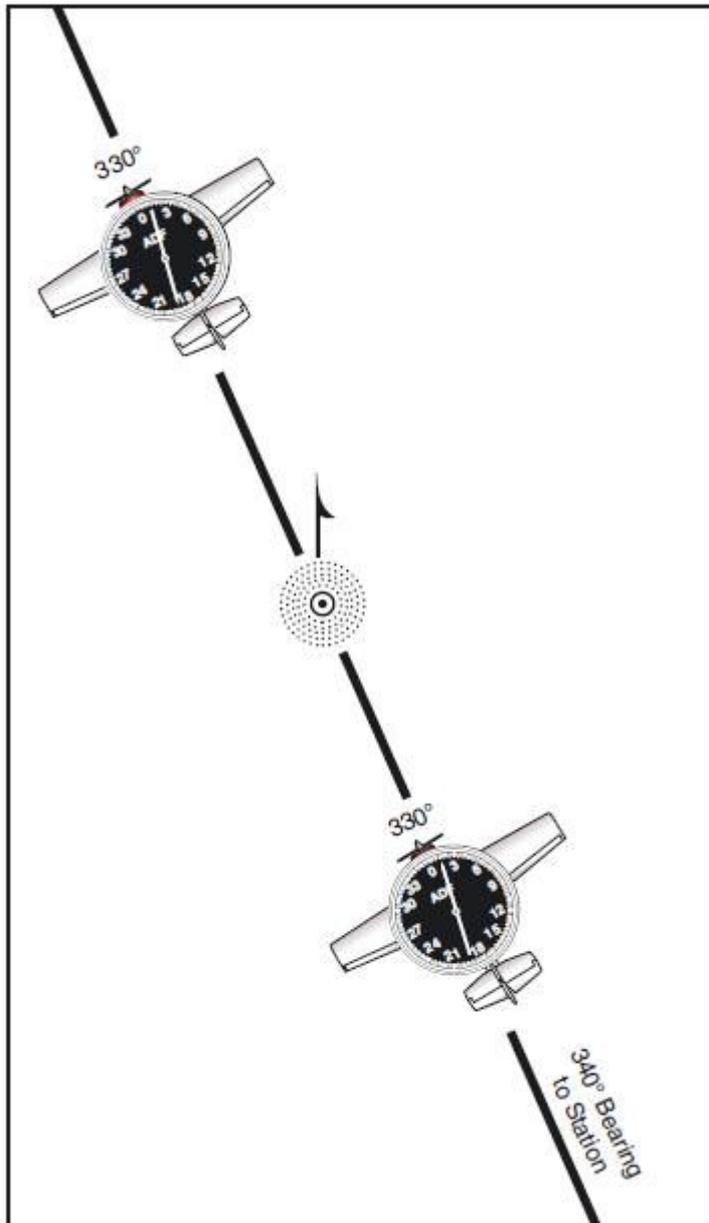


Figure 14-33. ADF tracking.

在背台跟踪时，风修正和向台跟踪时类似，但是 ADF 指针指向飞机的尾部或方位刻度盘上 180 度的位置。有风时努力保持 ADF 指针位于 180 度位置会导致飞机曲线飞行，逐渐的飞离预期的轨迹。要在背台跟踪时进行风修正，应该朝指针指向的反向进行修正。

尽管 ADF 不象 VOR 那样普遍的用于无线电导航，在适当的小心和灵活的运用下，ADF 可以成为导航的有力帮助。

罗兰-C (LORAN-C) 导航

长程导航版本 C (LORAN-C) 是另一种 RNAV 形式，但它是运行在广播低频 (LF) 谱信号的发射机链上的。世界航图，扇区航图和 VFR 终端区域图不会显示 LORAN-C 的发射机。发射机链的选择要么是由单元【即机载导航接收机单元】自动完成的，要么是飞行员使用制造商提供的指导信息手工完成的。LORAN-C 是一种高精度的导航补充形式，通常安装作为 VOR 和 ADF 装置的附加物。机场、导航设施、和 ATC 设施数据库是 LORAN-C 接收机的常见功能。

LORAN-C 是从原来二战期间为导航开发的 LORAN-A 派生而来的。LORAN-C 系统广泛地使用在海事应用上。随着小的、面板安装的 LORAN-C 接收机的出现，它们可以用相对低成本获得，它在飞行员间的流行经历了显著的增长。这些单元通常是非常精确而功能强大的，有很多丰富的导航功能。

由于 LORAN-C 的高度复杂和性能，就必不可少的产生了一定的操作复杂性。建议飞行员在使用 LORAN-C 导航之前阅读操作手册，参考 AFM/POH 的附录部分。很多单元提供了非常丰富的功能以至于制造商经常出版两套不通的说明书：(1) 简要操作指南和 (2) 详细的操作手册。

虽然不是全球覆盖的，LORAN-C 的信号还是适用于所有美国本土范围以及加拿大和阿拉斯加部分地区。有几个其他国家也运行他们自己的 LORAN-C 系统。在美国，由美国海岸警卫队运行 LORAN-C 系统。LORAN-C 系统的状态可以从下列地址获得：

美国海岸警卫队 (USCG) 导航中心
亚历山大，弗吉尼亚州 (703) 313-5900

【亚历山大是美国弗吉尼亚州北部的独立市，隔波托马克河与华盛顿特区相望。基本上是首都的一个郊外居住区，市内有許多具有历史意义的建筑，包括建于 1752 年的加兹比旅馆。1749 年乔治·华盛顿曾帮助设计该市的街道布局。】

LORAN-C 的绝对精度是非常优秀的-定位误差通常小于 0.25 海里。可重复的精度或者回到先前到达过的航路点的能力甚至更好。虽然 LORAN-C 是 RNAV 的一种形式，但是它明显不同于基于 VOR/DME 的 RNAV。它运行在 90-110KHz 频率范围，它是基于对射频 (RF) 能量脉冲的到达时间差的测量，这些脉冲是由相隔几百英里的发射机链发出的。

在任一给定的发射机链中，从三到五个副台有一个主台。LORAN-C 单元必须能够接收至少一个主台和两个副台才能提供导航信息。不像基于 VOR/DME 的 RNAV，飞行员必须选择正确的 VOR/DME 或 VORTAC 频率，在 LORAN-C 中不用选择频率。最先进的单元会自动地选择最合适的链用于导航。而别的单元要依赖于飞行员手工登录选择适当的链。

LORAN-C 接收机打开后，在可以用于导航之前必须被初始化。虽然这可以在飞行中完成，但是在地面上完成这个任务更为可取，它可能需要几分钟时间。初始化的方法就跟接收机不同型号的数量一样多。一些型号在初始化过程中要求飞行员输入，例如对显示的信息进行验证或确认。

大多数单元包含导航信息的数据库。通常，这样的数据库不仅包含机场和导航设施位置，还包括大量的机场、空域和 ATC 信息。尽管数据库过期后单元也可以运行，但是在使用前应该保持信息是最新的或被确认是正确的。飞行员可以更新一些数据库，而其他的则要求从飞机删除且需要航空电子技术员的服务。

用 LORAN-C 进行 VFR 导航就像告诉导航单元飞行员想去哪里那么简单。提供的航向引导将是到目的地的一个大的圆形航路(最短距离)。比较旧的单元可能需要一个根据经纬度输入的一个目的地，但是最新的设计只需要机场或者导航设施的标识符。单元也允许数据库存储和恢复飞行员定义的航路点。LORAN-C 信号沿着地球的弯曲表面传播，通常可用距离为距离它们的发射机几百英里。

LORAN-C 信号受很多大气干扰的劣化影响。它也容易受到聚集在机身上的静电和电子化“噪音”机身设备的干涉。在降水甚至尘云中飞行会导致对 LORAN-C 信号导航指引的临时干扰。为使这个影响最小，应该安装静电放电绳和焊接的母线，并正确维护。

LORAN-C 导航信息以多种方式呈现给飞行员。所有单元其自己包含一个显示屏，而一些精致的单元实现了内置的移动地图显示。一些装置也可以驱动一个外部移动地图显示，一个常规 VOR 指示器，或一个水平位置指示器(HSI)。航向偏差信息表现为航线的直线偏差- 在飞机接近航路点或者目的地时跟踪灵敏度并没有增加。飞行员在使用 LORAN-C 的时候必须仔细观察标牌，选择器开关位置，和信号器指示，因为飞机的装置可能变化很大。飞行员根据 AFM/POH 附录和操作指南对单元运行的熟悉不能被过分强调。

在依靠 LORAN-C 导航之前，应该检查 LORAN-C 的航行通告(NOTAM)。LORAN-C 的航行通告会发出通知特定的链或发射机的暂停运行。只有在飞行员请求时才可以从飞行服务站(FSS)的摘要获得 LORAN-C 航行通告。

谨慎的飞行员在可以使用其他方法作为备用和交叉检查时，永远不会只依靠一种导航方法。飞行员永远不应该变得如此过分的依赖 LORAN-C 的大量的功能而以至于忽略了其他的导航方法。【经常强调飞行员在飞行中不能在心理对一种被认为是很好的导航方法产生依赖，应该灵活运用多种导航方法互相应证，以防迷航。】

全球定位系统(GPS)

全球定位系统是基于卫星的无线电导航系统。它的 RNAV 指引是全球范围的。在航图上没有 GPS 的符号，因为它是全球覆盖的空基系统。这个系统的发展还在进行中，以至于 GPS 能够提供电子导航的主要手段。在飞机上永久安装的单元之外，轻便的和操纵杆安装的单元是非常流行的。大量的导航数据库是飞机中的 GPS 接收机的共同特征。

GPS 是一个由美国国防部(DOD)发展和运行的卫星无线电导航和时间传播系统。民用的接口和 GPS 系统状态可以从美国海岸警卫队获得。

在 VFR/IFR 导航中使用 GPS 不必要理解 GPS 运行的技术方面。它确实明显不同于常规的地基电子导航，知道这些差别是很重要的。对设备的批准和限制的知晓对飞行的安全很关键。GPS 系统由三个主要的组成部分组成：

1. 太空部分由一群 26 个绕距离地球大约为 10900 海里的轨道运行的卫星组成。运行的卫星经常称为 GPS 星群。卫星是不同步的，相反是绕地球轨道大约 12 小时的周期运行。每一个卫星装配了高稳定度的原子钟，且发送一个唯一的代码和导航信息。以超高频 (UHF) 传播就意味着其信号尽管它们受视距限制的影响，但是实质上不受天气影响。卫星必须位于水平面之上(被接收机天线“看”到)才可以用于导航。
2. 控制部分由一个在科罗拉多州 Springs 的 Falcon 空军基地主控站，五个监控站，和三个地面天线组成。监控站和地面天线分布在地面上，允许连续的监控和与卫星的通信。每个卫星的导航信息广播的更新和修正在它们通过地面天线时上行传送到卫星上。
3. 用户部分由所有和 GPS 接收机有关的部件组成，范围从轻便的手持接收机到永久安装在飞机上的接收机。接收机通过在一个匹配过程中移位它自己的同一代码来匹配卫星的编码信号，精确的测量到达的时间。知道了信号传播的速度和准确的传播时间，信号传播的距离可以从它的到达时间来推断。

为解析它自己的位置，GPS 接收机要利用至少 4 个良好定位的卫星的信号来得出一个三维方位(纬度，经度和高度)。二维方位(只有纬度和经度)只要三个卫星就可以确定。GPS 接收机有大量的数据库。数据库最初是由接收机制造商提供的，而更新由制造商或者指定的数据代理机构完成。

有很多种导航功能丰富的 GPS 接收机可以选用。永久安装在飞机中的面板式安装单元可以用于 VFR 飞行，也会有某些 IFR 核定。便携的手持式和操纵杆上安装的 GPS 接收机也是流行的，尽管这些受限于 VFR 用途。并不是市场上的所有 GPS 接收机都适合于航空导航。例如，航海，娱乐和勘测用的 GPS 单元是不适合于飞机使用的。对于有 LORAN-C 的接收机，GPS 单元的功能和操作程序的差别就更大了。飞行员必须制造商的操作手册。应该仔细观察标牌，开关位置和信号器。

GPS 单元的初始化会需要几分钟时间，且应该在飞行前完成。如果单元还没有运行几个月时间或者它在关机状态被转移到一个明显不同的地点(几百英里)，初始化可能需要额外的几分钟时间。在初始化期间，单元会进行内部的完整性检查，探测卫星信号，显示数据库修订日期。在单元运行使用的数据库要过期时，在依靠它导航之前，数据库应该是现在的或者验证它是正确的。

使用 GPS 的 VFR 导航就像选择一个目的地(一个机场，VOR，NDB，交点，或者飞行员定义的航路点)然后设定单元为导航模式这样简单。提供的航向引导就是一个直接到目的地 大圆航路(最短距离)。很多 GPS 单元提供了和专用空域及最低安全高度有关的参考信息，还有大量的机场数据，和 ATC 服务及频率。有预先的 LORAN-C 接收机经验的用户会注意到大量可用导航信息的类似性，尽管运行的技术原理是相当不同的。

所有 GPS 接收机有完整的（构造在单元中）导航显示，一些还有整体移动地图功能。一些面板式安装的单元会驱动一个 VOR 指示器，HIS 或者甚至是一个外部的移动地图显示器。GPS 航向偏差是直线的，在飞机接近航路点时跟踪灵敏度没有增加。飞行员在使用 GPS 时必须仔细观察标牌，选择器开关位置，以及信号器指示，因为装置和核定会有很大的不同。

完整的 GPS 导航显示(象大多数 LORAN-C 单元)使用一些额外的不同于在 VOR 和 NDB 导航中用到的导航术语。这些术语的某些其缩写在不同的制造商中是不同的，它们如下所示。飞行员应该参考制造商的操作指南来了解详细的定义。

在依靠 GPS 导航之前应该检查有关的航行通告 (NOTAM)。为了利用伪随机噪音码 (PRN) 和卫星飞行器号码 (SVN) 宣告特定 GPS 卫星的暂停服务，将会发布一份 GPS 航行通告。飞行员只有在请求时才可以从 FSS 简报员得到 GPS 航行通告。

在使用任一成熟的高性能导航系统时，例如 LORAN-C 或 GPS，对人有一个强烈的诱惑几乎排外的完全依赖于那个单元，以至于对使用其他保持方位的技巧产生了不利影响。谨慎的飞行员在可以使用其他方法作为交叉检查和备用时，永远不要只依靠一种导航方法。

迷航程序

在飞机上迷航的时候是一个潜在的危险状况，特别是在低油量的时候。如果飞行员迷航了，要遵守一些很好的常规判断程序 (sense procedure)。如果不能看到一个城镇或城市，第一件要做的事情就是爬升，要留心空中的交通量和天气状况。高度的增加会增加无线电和导航的接收范围，也会增加雷达覆盖范围。如果在城镇或城市附近飞行，有可能在水塔上读到城市的名字。

如果飞机有一个导航的无线电装置，如一个 VOR 或 ADF 接收机，从两个或多个导航设施测绘方位角来确定位置也是可能的。如果安装了 GPS，或者在飞机上飞行员有便携式航空 GPS，可以用它来确定最近的机场方位和地点。

使用航图上显示的频率和任何可用的设施进行通讯。如果和管制员联系上了，可能提供了雷达方向。其他设施也可能提供识别方向 (DF) 的帮助。要使用这个程序，管制员会要求飞行员按下发送键并保持几秒钟，然后再释放。管制员可能要求飞行员改变几次方向然后重复发送步骤。这为管制员提供了足够的信息来测定飞机的位置然后给出一个合适的着陆点的方向。如果情况变的危险，就在紧急频率 121.5MHz 上发送情况，设定应答机号码为 7700。大多数设施甚至客机都会监控紧急频率。

飞行改向

飞行员可能有时不能到达计划的目的地。这可能是意外的天气状况，一次系统故障或者不充分的飞行前计划引起的。任何情况下，飞行员需要能够安全有效地转

向到一个备降目的地。任何越野飞行之前，都要检查航图上飞行航线沿线或附近的机场或适合的着陆区域。同样，要检查改向期间可以使用的导航设施。

飞行中对航向，时间，速度和距离信息的计算要求和在飞行前计划用到的计算相同。然而，由于有限的驾驶舱空间，和由于必须在驾驶飞机，进行计算，和扫视其他飞机之间分配注意力，所以要利用所有可能的捷径和经验计算。

在飞行中，在扇区航图上实际绘制航线标记检查点和距离是几乎不切实际的。此外，由于备降机场通常不会离你的原来航线太远，实际的绘图基本都不必要。

到备降目的地的航线可以用量角器和绘图仪精确的测量，但是也可以用经度合理的直尺和绕 VOR 台的罗经卡来测量。这个近似值可以根据附近的一个 VOR 的一个方向线和几乎平行于到你的备降目的地航向的空中航线来确定。但是，记住和 VOR 方向线关联的磁航向或印刷的空中航线是背台的。为找到“向”台的航向，可能必须要计算航向的反向。导航到一个在领域中有 VOR 或 NDB 设施的备降机场通常是更加容易的。

在选择了最合适的备降目的地之后，使用罗经卡或者扇区航图上的航线来接近飞向备降目的地的磁航向。如果时间允许，尽力在显著的地面特征上开始改向。然而，在紧急情况下，马上改向到你的备降机场。在改向到备降目的地之前，为了完成所有涉及的测绘，测量和计算，这可能只会恶化实际的紧急情况。

一旦确立了航线方向，注意时间，然后使用你的改向地点最近的高空风来计算航向和地面速度。计算得到了地面速度之后，要确定一个新的到达时间和燃油消耗量。在为导航和计划分配注意力的时候，要优先注意驾驶飞机。在为改向确定所使用的高度时，要考虑云的高度，风，地形，和无线电接收。