第十三章　高空天气

很多通用航空、航空公司以及军方的飞机常年飞在对流层之上或平流层的较低区域中。这一高空区域的天气现象包括对流层顶（tropopause）、急流（jet stream）、卷云（cirrus clouds）、清空颠簸（clear air turbulence）、冷凝的尾迹（condensation trails）、高空“霾”（high altitude "haze" layers）、座舱罩静电（canopy static 不知道翻译是否正确）。在本章中，我们将以上这些现象，连同常见的积冰和雷暴一起，逐个做出解释。

对流层顶

为什么在高空飞行的飞行员关心对流层顶的位置呢？因为对流层顶周围的温度和风向变化很大，会严重影响飞行的经济性、舒适性和安全性。最大风速常常出现在靠近对流层顶的飞行高度层上。这些强风制造出了一个狭长的风切变区域，这一区域中常常有危险的颠簸。制作飞行计划前了解风温图、风切变区域是很重要的。

在第一章中，我们已经学过对流层顶是介于对流层和平流层之间的一个层面。对流层顶的高度从赤道附近的

65000 英尺到极地附近的 20000 英尺之间变化。对流层顶的高度不是线性下降的，但是通常从赤道至极地呈阶梯状延伸。这些阶梯就像“断层”。图 123 画的是对流层和平流层下部的剖面图，可以从图中看到对流层顶和伴随的特征。注意热带对流层顶和极地对流层顶之间的断层。

对流层顶的一个特性是温度值减率的突然变化。注意观察图 123 中热带对流层顶上下的温度如何变化。而且你可以发现极地对流层顶上各个高度的温度几乎是固定值。

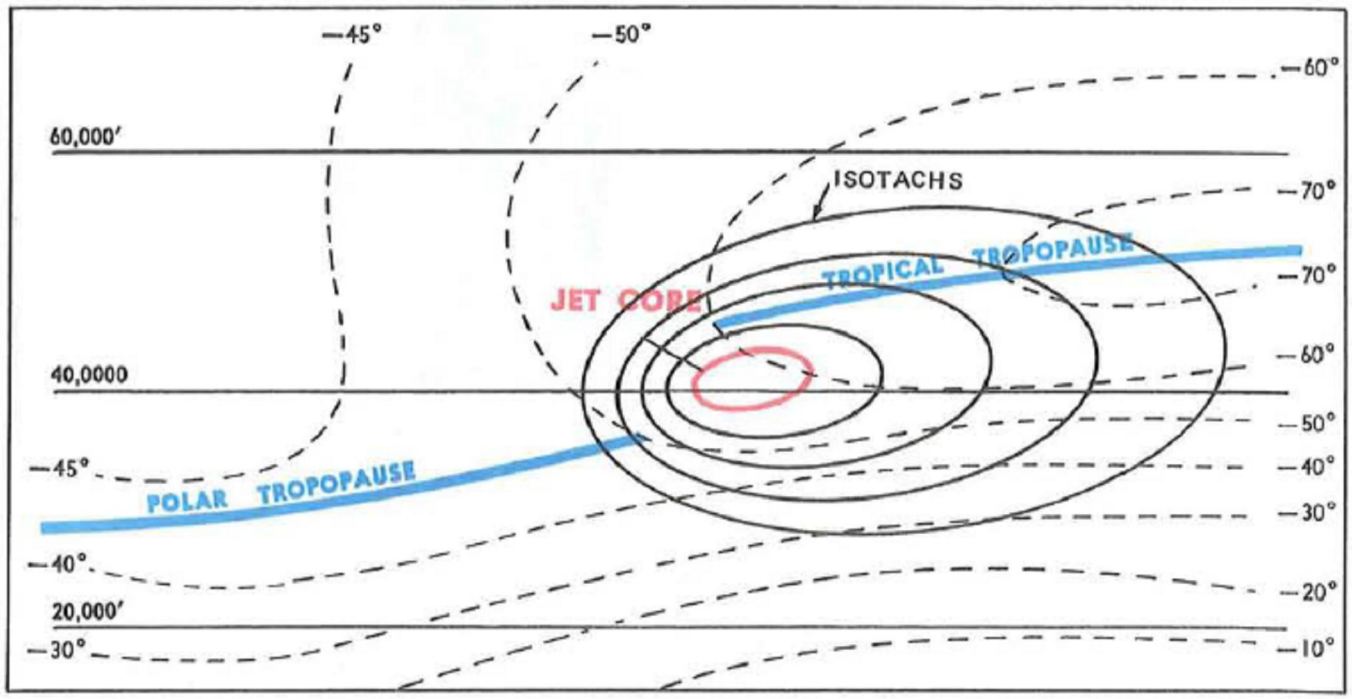

图 123

急流

如图 124 所示，急流是一条贯穿全球的强风带。这个强风带就像一条由最大风速构成的又窄又浅的河流，如同波浪一样运动。同时出现两个急流不算罕见，同时出现三个急流也有记载。急流最南可以发展到北部热带地区。中纬度的急流通常比靠近热带的急流更强。急流常常发生在对流层顶断裂的地方（图 123）。因此，急流出现在断层中温度梯度变化强烈的区域。

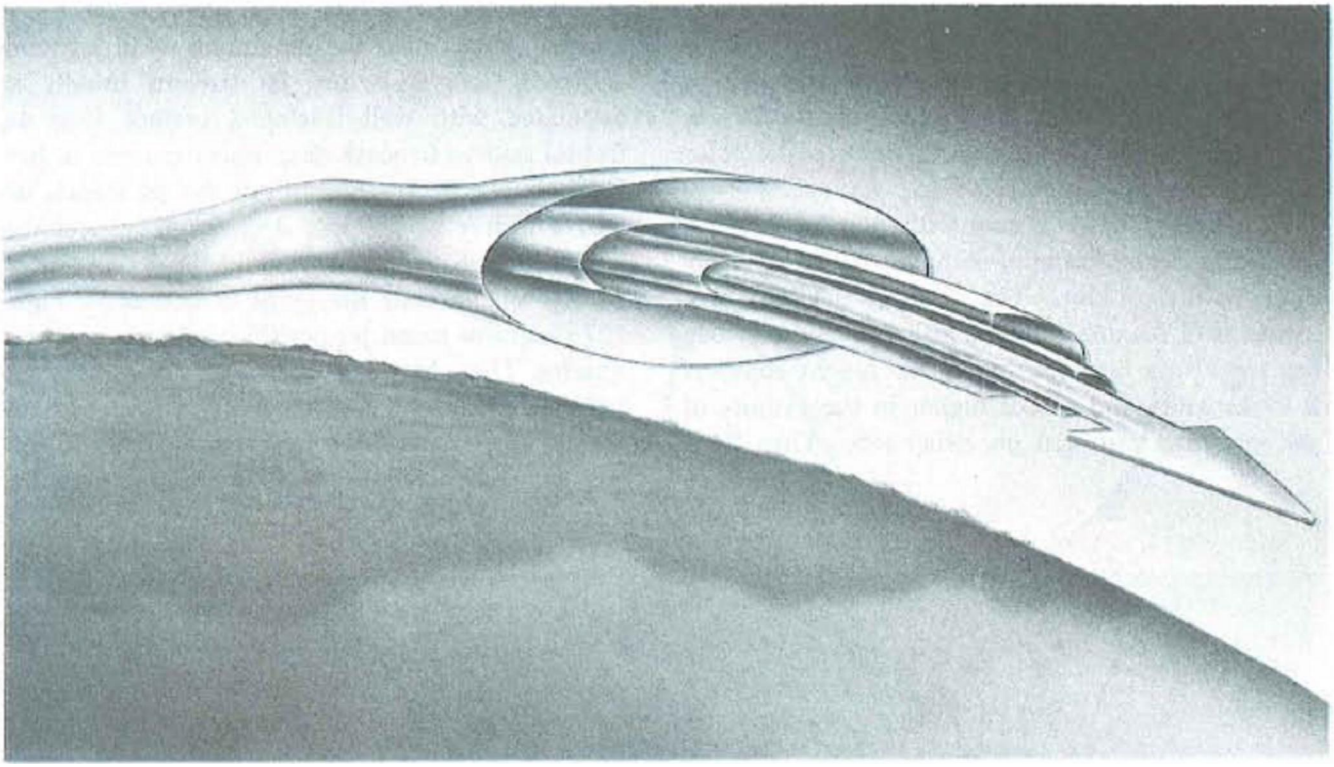

图 124

当风聚集在一起，不管如何定义，当风速超过 50 节时，就被称为急流。急流的最大速度不是固定的，而是断成几个区间，样子像一个回旋镖（图 125）。

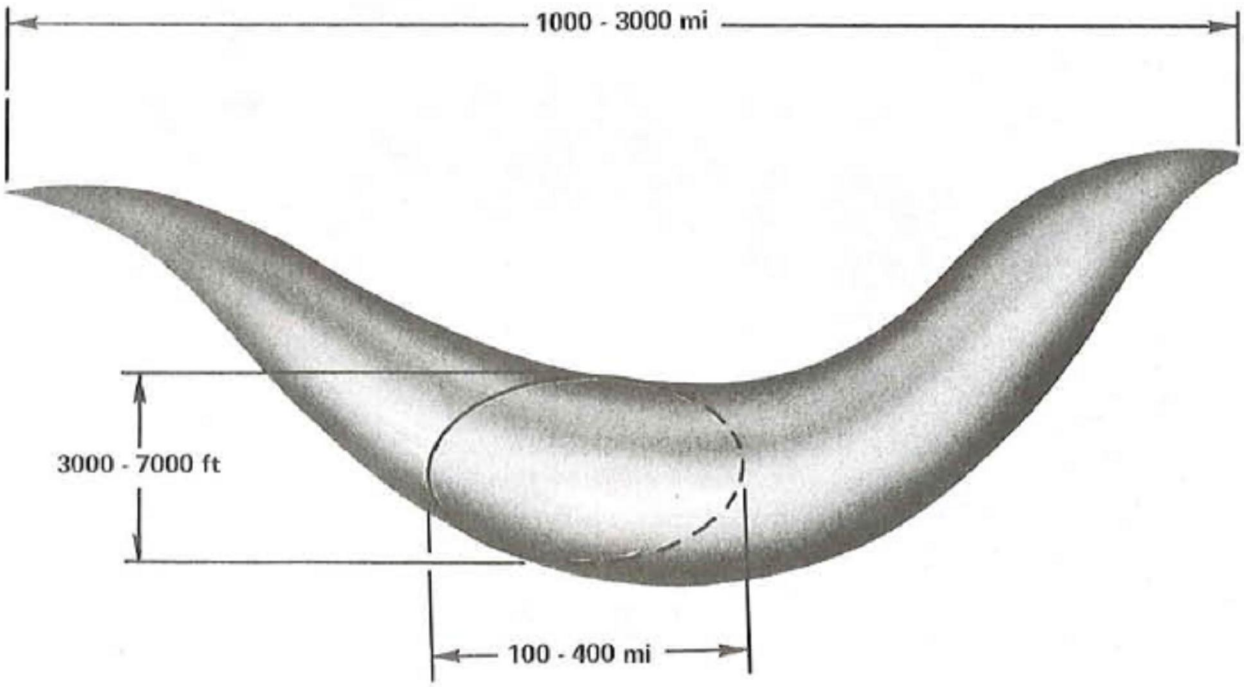

图 125

急流的各个区间随着高空气压脊或槽运动。通常它们比气压系统运动得快。同时，当急流经过这个气压系统时，最大风速会发生变化。在中纬度地区，冬天的急流速度比夏天的急流速度大不少。而且，急流在冬天时，向南延伸得比夏天时更远。

注意图 123 中风速是如何从急流核心向外递减的。而且你会发现，风速在极地一侧的递减速率要比赤道一侧的递减速率快，因此，极地一侧的风切变强度要比赤道一侧的强。

图 126 是一张有两个急流的图。这两条急流的位置基本上和等高线的位置相符合。北侧的那个急流有三个最大

风速的区间，南面的那个有两个区间。注意在急流附近等高线密集区域的风速要比急流两边的风速快。因此，水平方向的风切变在急流脸变都很明显，而且靠近最大风速的区间时，风切变最大。

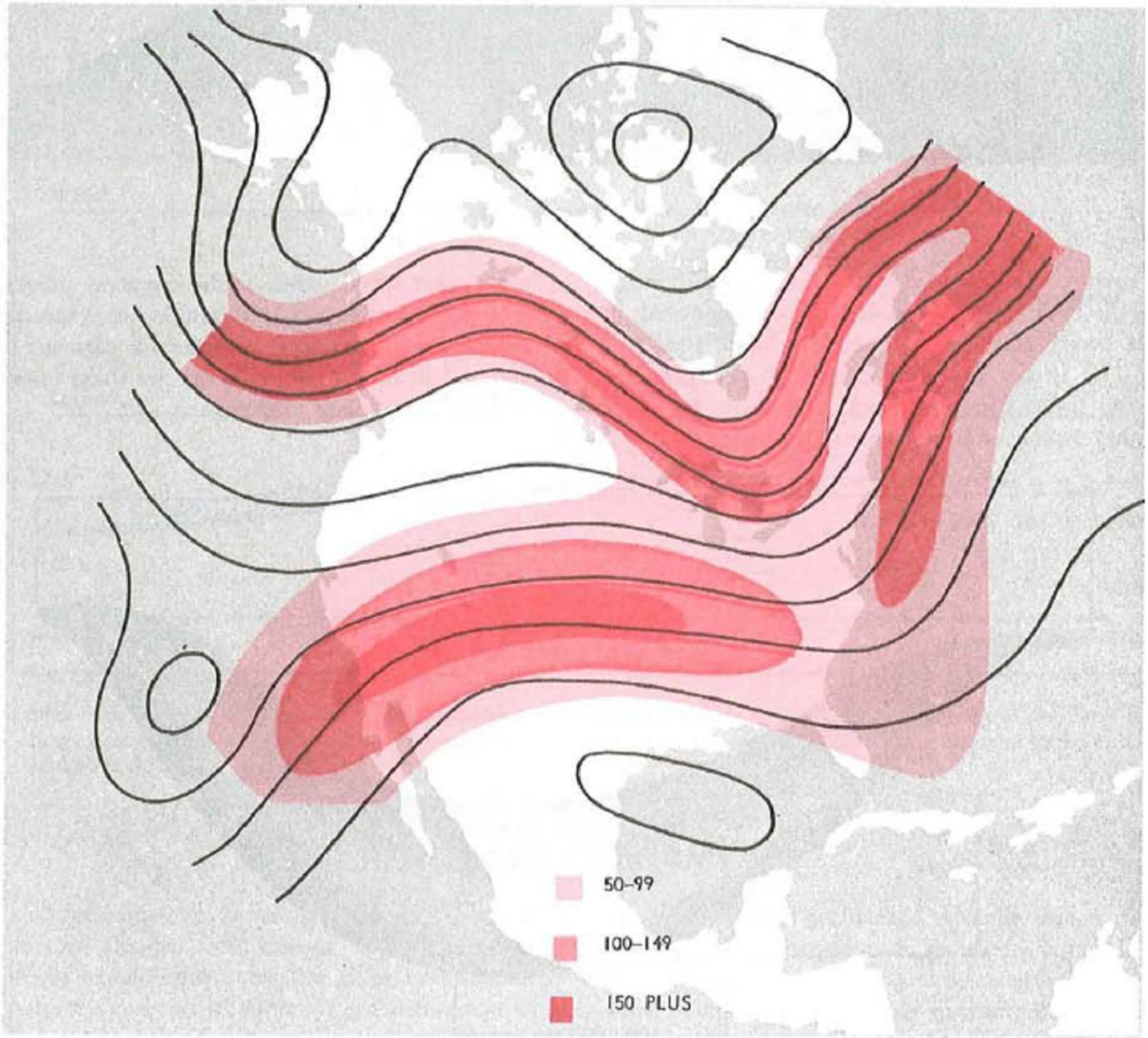

图 126

强烈的、长距离的急流通常伴随着发展剧烈的地面低压和深深藏在低压或槽之下的锋面系统（Strong, long-trajectory jet streams usually are associated with well-developed surface lows and frontal systems beneath deep upper troughs or lows.）。气旋常常形成与急流的南面，而且随着低压的加强而靠近急流（Cyclogenesis is usually south of the jet stream and moves nearer as the low deepens.）。被锢囚的低压（occluding low）向急流的北部移动，急流穿过靠近锢囚锋的位置（以上描述太复杂，还是看图 127 比较直观）。图 127 画的是急流和地面系统的关系。这些长长的急流标志着高空冷空气和暖空气的边界，也是卷状云最常出现的区域。

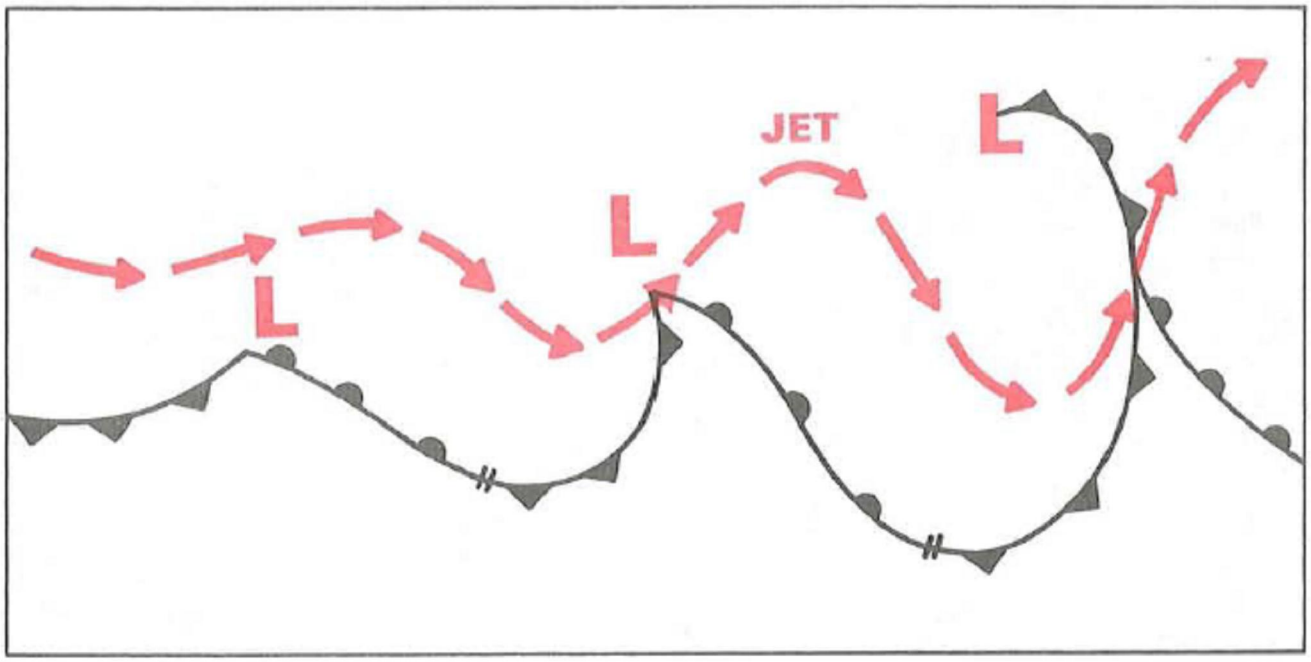

图 127

卷状云

在急流核心周围的空气会螺旋状地运动，在赤道一侧还会上升。因此，如果高空存在水汽，卷状云就会在急流的赤道一侧形成。急流所产生的云可以独立于成型的气压系统（well-defined pressure systems）。这种云的范围可以从疏云（scattered）到碎云（broken），覆盖成浅浅的一层或条纹（streaks）。这些云有时像鱼钩（fish hook）、有时像流线型（streamlined）。云被风吹散（wind-swept）的现象表明非常强烈的上升气流，这种气流通常离发展中的或剧烈的天气现象很远。

最稠密的卷状云出现于明确的天气系统（The most dense cirriform clouds occur with well-defined systems.）。他们成带状分布。遇上高空槽是云层会更稠密，下游变得更厚，在下风处的气压脊顶部达到最厚（Cloudiness is rather dense in an upper trough, thickens downstream, and becomes most dense at the crest of the downwind ridge.）。这些云在经过气压脊然后下降，云量慢慢减少。极地一侧的卷云边界通常消失的很突然，常常在下方的云层上形成投影，特别是遇上锢囚锋时。图 128a 是一张卫星照片，照片中可以看到卷状云的边界投影在下方云层上的阴影。图 128b 是相应的红外图。图中浅色的是卷状云，表示温度较低；深色的是下方温度更高的云。

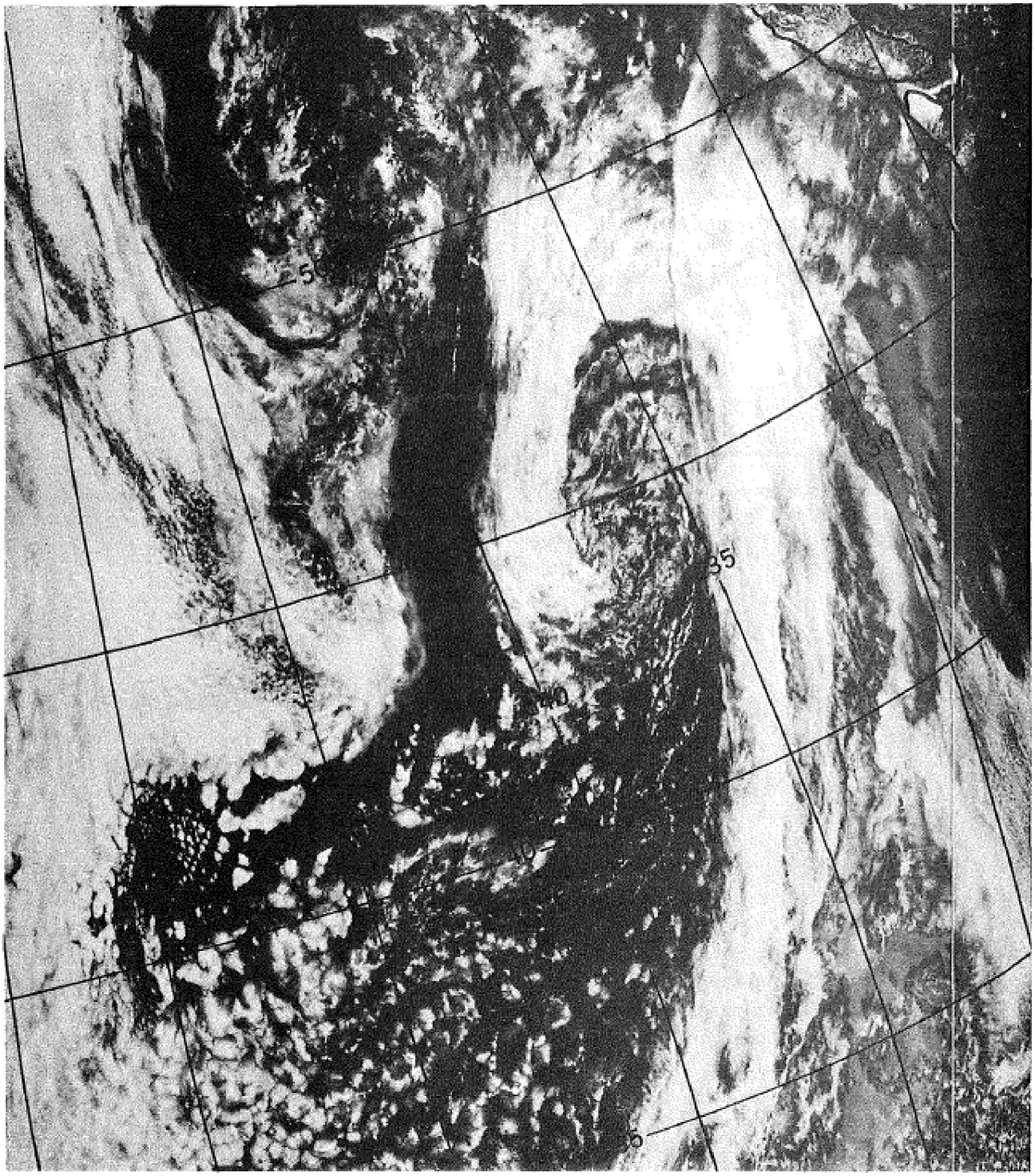

图 128a

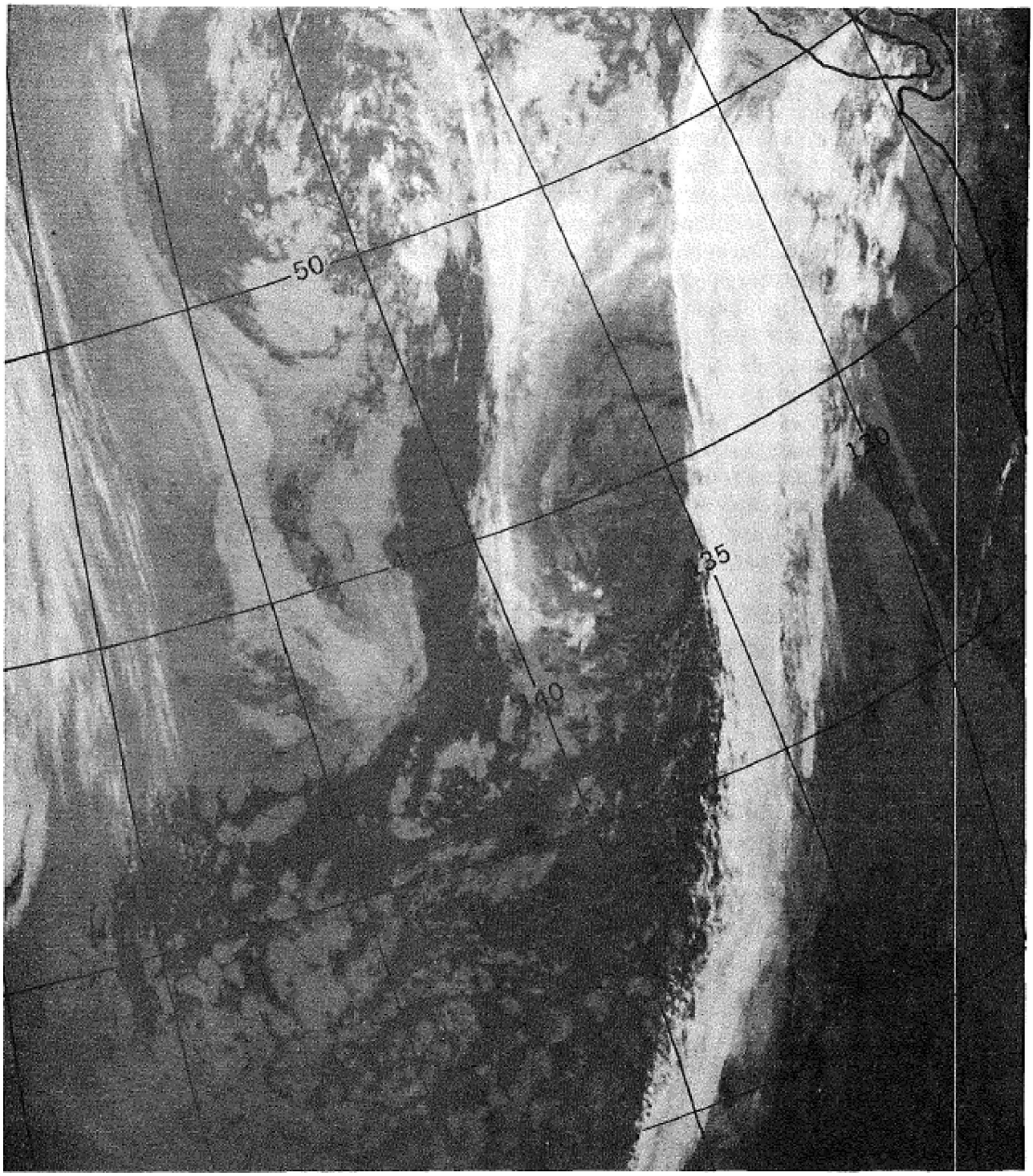

图 128b

厚实的卷状云带的上限接近对流层顶。每个卷状云带可能是单一层，也可能是多个 10000 英尺至 12000 英尺厚的层组成。稠密的急流卷状云最常见于中纬度地区和极地急流。但是，在冬季，当高空槽插入南方的热带地区时，卷状云带通常沿着亚热带急流发展形成（However, a cirrus band usually forms along the subtropical jet in winter when a deep upper trough plunges southward into the Tropics.）。

卷状云本身对飞机没什么影响。但是，稠密的、连续的、大范围的卷状云要求飞行员持续参考仪表设备。大多数飞行员觉得，即使在仪表飞行规则下，这样飞要比目视参考地平线来的更累。

急流更需要警惕的是与它伴随的颠簸。大范围的卷状云带常常和加深的地面天气以及高空低压（deepening surface and upper lows）一起出现。这些加深的地面系统产生了最强的颠簸（Extensive cirrus cloudiness often occurs with deepening surface and upper lows; and these deepening systems produce the greatest turbulence.）。

晴空颠簸

晴空颠簸（CAT：Clear Air Turbulence）表示一种和云层没有关系的颠簸。但是，我们通常把这个词理解为晴空或卷状云中的高空风切变颠簸。

在急流轴附近的冷暖空气边界上，冷空气突然和南部增强的暖空气碰撞在一起。随着两个温度不同的气团混乱的能量交换，晴空颠簸就形成了。冷暖空气在急流附近水平运动，并伴随着风切变。颠簸的位置常出现于高空槽附近，急流的弯曲度急剧增加的地方。晴空颠簸最常见于冬天，那时冷暖空气的温差最大。

晴空颠簸最容易发生的地方在高空槽出现于急流较冷的一边（极地一侧）。另一种常见位置在急流北部和快速加强的地面低压的最北部（along the jet stream north and northeast of a rapidly deepening surface low）（图 129）。

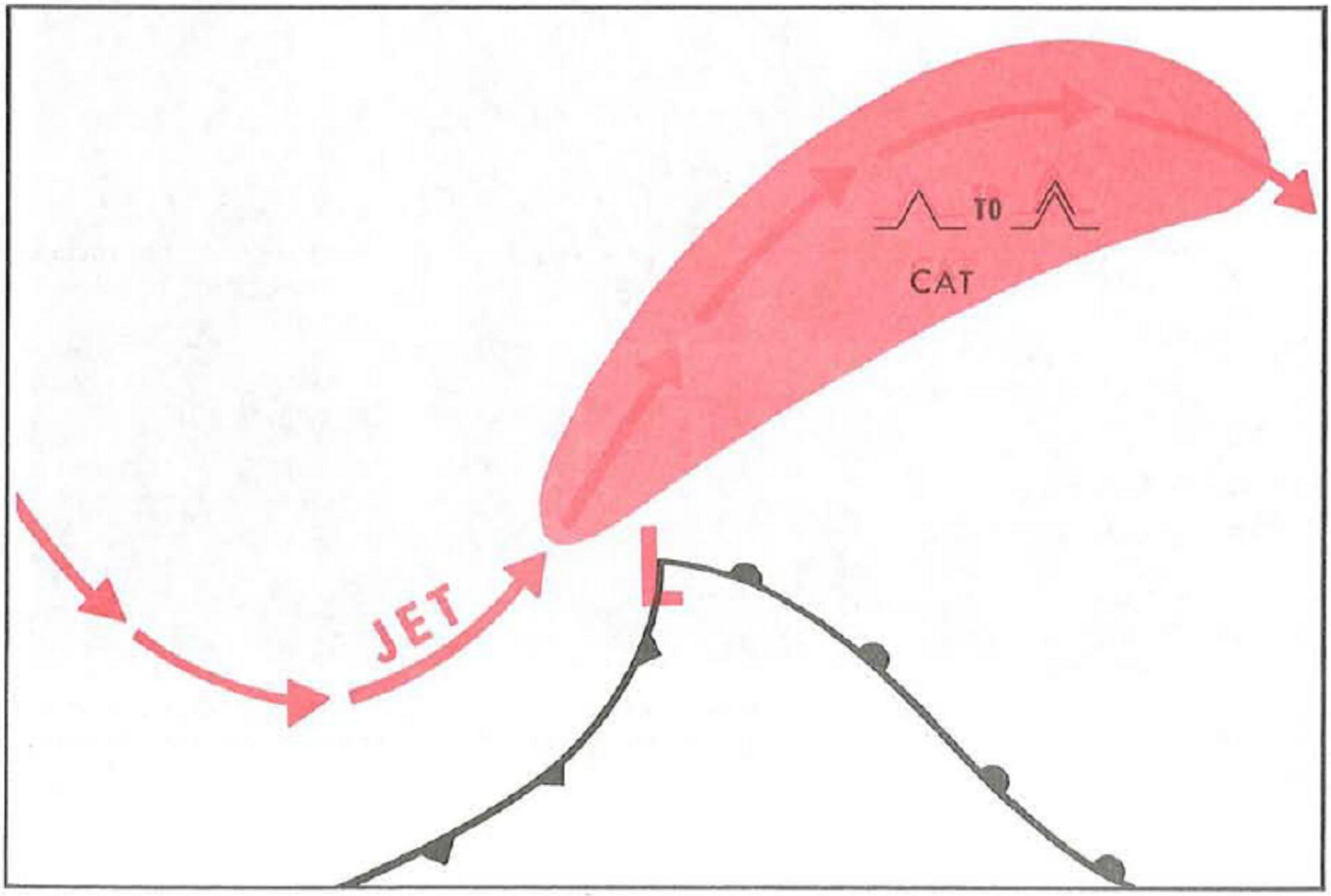

图 129

即使没有急流，风切变中的晴空颠簸也可能在以下情况中发生：强低压、高空脊、高空槽的等高线严重弯曲的区域；冷暖空气交汇的区域。山地波也可能产生晴空颠簸。山地波造成的晴空颠簸可能延伸至山顶高以上 5000 英尺，高于对流层顶。还可能延伸至下风处 100 英里远的区域。

有时，晴空颠簸可能毫无原因地发生。强风可以把颠簸的空气带离它的发源地。颠簸会减小下风向下风方向的流动，但是有些颠簸可能出现在你意想不到的地方。晴空颠簸的预报区域有时会向下风方向延伸，用来表示颠簸可能发生的区域被风吹离了发源地。

在民航飞行中，预报出现颠簸的区域相对于总的空域来说显得很小。但是，相对于发生危险的特定区域来说，却显得很大。由于在预报区域内的颠簸是零散的、不均匀的，所以你可能只是间歇性地遇到颠簸，甚至完全没有颠簸的感觉。当一个航班飞过预报的颠簸区域时，平均遇到轻微和烦人的颠簸的概率为百分之 10 至 15；大约只有百分之 2 至 3 的颠簸，需要你把飞机上的所有东西都固定好；飞行员感受到操纵困难的颠簸概率只有百分之 0.2，换言之，产生事实危害的颠簸大约为 500 分之 1。

再看一下图 126，晴空颠簸最容易出现在什么区域？颠簸最可能发生在风速最大的区域。这些区域通常是在极地一边，伴有强烈的风切变、急流发生弯曲和冷空气水平移动。这些区域会在温哥华岛（加拿大西南部岛屿）西北

面，从五大湖以北至詹姆士湾（加拿大海湾）以东，以及纽芬兰以东的大西洋。同时，颠簸可能以山地波的形式出现。可能出现在南加州的落基山脉附近的急流周围，延伸到中部平原。

在制定飞行计划时，使用高空天气图和预报确定急流、风切变和可能的颠簸位置。《民航气象服务》（AC 00-45）详细解释了如何获得这些参数。如果实在无法避免预报的颠簸区域，那只能小心了。如果你能避开 1000 英尺内垂直风切变超过 6 节、150 英里内水平分切变超过 40 节的区域，你就能感觉到这么做的宜处。

如果你已经飞入了一个你无法对付的晴空颠簸怎么办？如果你靠近急流轴核心，你可以爬升或下降几千英尺，或者飞离急流轴核心。如果你遇到的晴空颠簸不是由于急流造成的，你最好试着改变飞行高度，因为你没有准确的办法知道最强的风切变在哪个方向上。如果能从其他飞机上的飞行员那里得到的报告，那就帮助很大了。

和颠簸一样，机动飞行会增加飞机所承受的负荷。当你在颠簸时机动飞行时，负荷就叠加了。在颠簸区域内的机动飞行要轻柔，从而把负荷降到最低。晴空颠簸分布不均的特点使飞行员的最新报告显得至关重要。不但对观测者、签派员、预报员、管制员很重要，对所飞航线之后的其他飞行员更重要。如果可能，每次遇到晴空颠簸或其他颠簸时都要向地面报告。同时，如果某一区域预报出现颠簸，却没有颠簸，你也需要报告（negative report）。

凝结的尾流痕迹

凝结的尾流（condensation trail）通常缩写为“contrail”。它是由于飞机飞过晴朗的，寒冷的，潮湿的空气中所形成的如同云一般的带状物（图 130）。它包括两种独特的类型：排气尾迹（exhaust trails）和气动力尾迹（aerodynamic trails）。消散尾迹（dissipation trails，缩写为 distrail）产生的原因不同于排气尾迹和气动力尾迹。

排气尾迹

排气尾迹的形成的原因是飞机排出的气体向大气中加入了足够多的水气，造成饱和或过饱和（super-saturation）。由于飞机排出水蒸气的过程中也排出了热量，所以排除的水气必须足够多，多到大气受热后水气依然能达到饱和或过饱和。也有证据可以证明，飞机排放出的微小颗粒对凝结或升华是必须的要素，无形中帮助了排气尾迹的形成。这些颗粒相对较大。最新的试验表明，如果向排气中加入非常非常微小的颗粒物（如灰尘），反而可以阻碍排气尾迹的形成。这种更小的颗粒物发生凝结和升华后，形成的尾流颗粒很小，以至于很难被看见。

气动力尾迹

当飞机在接近饱和的空气中飞行时，气动力减小了机翼、引擎罩和螺旋桨周围的气压，把空气冷却至凝结，在这些部件周围形成了气动力尾迹。这种尾迹即没有排气尾迹浓密，也没有排气尾迹持久。但是在某些极端的大气环境下，气动力尾迹可能会激发出卷状云，并扩散成一大片卷状云。

对于军方，尾迹会暴露一些绝密飞行器的位置。对于民航，更常见的问题是尾迹会诱使卷状云层的产生。这层卷状云迫使同一高度的后续航班必须一丝不苟地依照仪表飞行（The induced layer may make necessary the strict use of instruments by a subsequent flight at that altitude.）。

消散尾迹

当飞机飞过一块薄薄的云层，排出的热气在云层中划出一条裂缝，这就是消散尾迹。飞机排出的热气有时加热了飞过的大气，使大气不再饱和，受影响的血云层被蒸发掉了。能产生消散尾迹的云层必须很薄而且相对较温暖，因此，消散尾迹比较罕见。

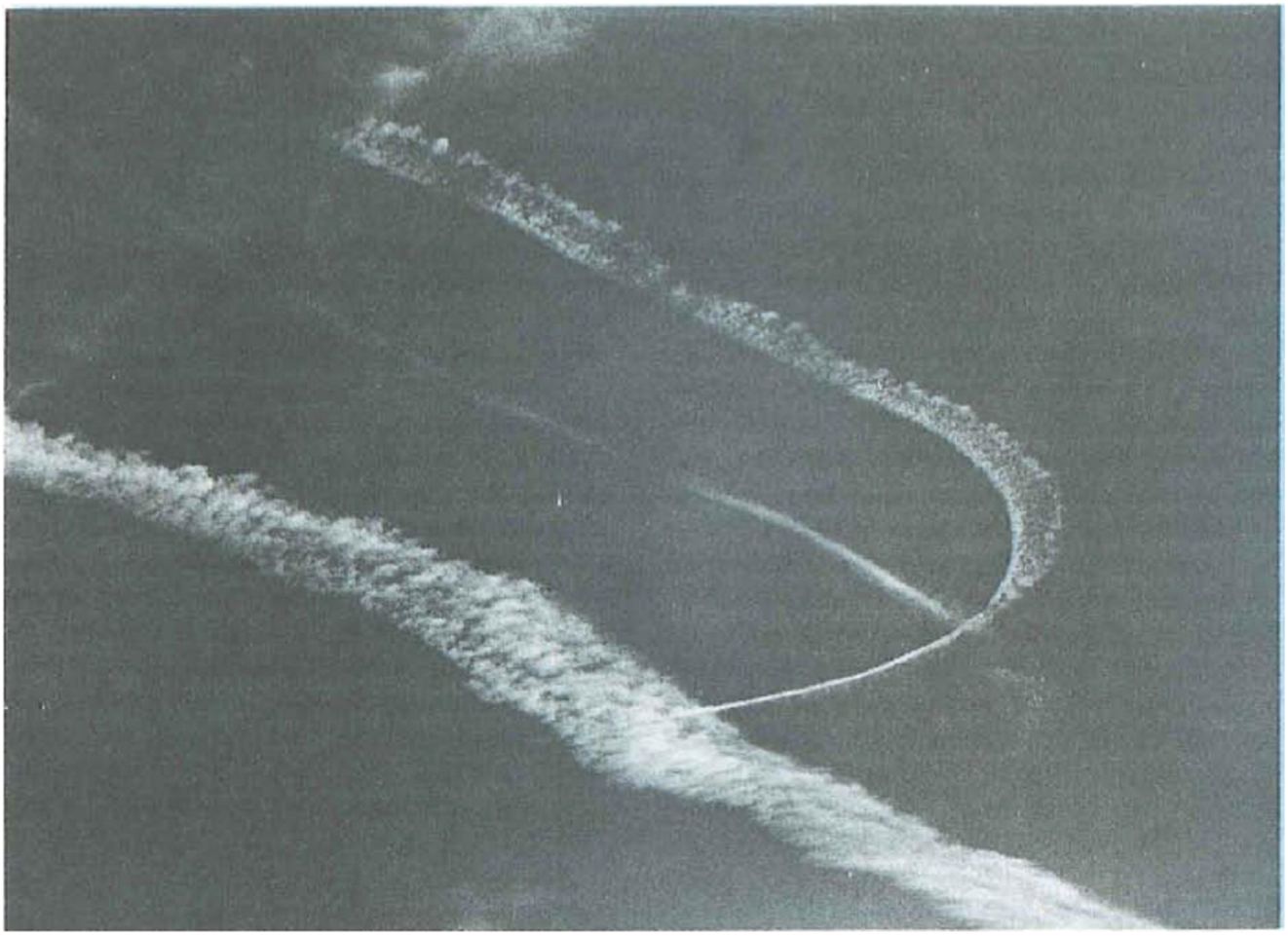

图 130

霾层

霾层（haze layers）有时在地面看不到，却在高高度看到。这些霾层其实是卷状云混合着非常低密度的冰晶。霾层的顶部通常很明确，位于对流层顶部。高层霾发生于停滞的空气中；在突极地寒潮爆发的晴朗空气中很少见。卷云霾（cirrus haze）在冬季的北极圈内很常见。甚至，有时冰晶会影响从地面到对流层顶范围内所有高度上的能见度。

在霾内部的能见度有时接近于零，特别是当你面对太阳光时。为了摆脱低能见度，你可以爬升到平流层的下部，或者下降到低于霾层的高度。这通常可能需要改变数千英尺的高度。

座舱罩静电

座舱罩静电（canopy static）就和低高度上降水引起的静电现象相同。由于小颗粒物与飞机上的塑料材料摩擦产生静电。静电的放电现象会干扰无线电通讯的接收，产生噪音。放电过程以非常快的速度连续发生，使得干扰变得持续不断。卷状云中的灰尘和冰晶是座舱罩静电发生的主要源头。通常你可以改变飞行高度来摆脱他们。

积冰

虽然高空积冰不如低高度积冰那样常见和严重，但是在高空的确会发生积冰。积冰能快速覆盖机翼和发动机的外露部分。高空上的结构积冰通常是毛冰（rime），但是明冰（clear ice）也可能出现。

高空积冰通常形成于高大积云的顶部、砧顶、甚至独立的卷云。山区上方的云层比地势平坦的云层包含更多的液态水，因为山对空气有额外的抬升力。因此，积冰在山区更常见，也更危险。

因为高空积冰通常累积得比较缓慢，所以大多数情况下，防冰设备可以避免任何严重问题。但是，目前使用的防冰设备不一定始终满足要求。如果你遇到这种情况，可以改变高度或航向，和云层保持距离。第十章详细介绍了积冰的问题。

雷暴

一个发展旺盛的雷暴可以向上超过云流层顶，刺入平流层底部。有时，雷暴内的上升气流可以把冰雹从雷暴的顶部或上层部分抛出去。即使飞机飞行的航线离雷暴还有一段距离，飞机也可能在晴朗的空中遇到冰雹。当飞机飞行在砧状的云层之下时特别可能发生冰雹。在发展中的雷暴云周围或之上飞行时，即使保持可观距离外，依然可能遇到颠簸。

在第十一章所说到的避免雷暴的规则对于高空的雷暴一样适用。当你飞行在晴朗的环境中时，可以目视避开所有的雷暴云顶。在严重的雷暴环境下，与雷暴云顶保持至少 20 英里的距离。当你仪表飞行时，气象雷达可以帮助你避开雷暴危险。当你呆在严重雷暴区域内时，与最强烈的回波区域保持至少 20 英里。目前，大多数的承运人使用这个距离作为避开雷暴的最小距离。