

И. В. 克拉夫欽果 著



飛行員氣象手冊

國防工業出版社

飛行員气象手冊

И. В. 克拉夫欽果 著

張 吝 譯



國防工業出版社

書中敘述了飛行員最需要的航空氣象問題，並着重地討論了云、霧、降水、積冰、雷暴現象、扰动及其中的飛行條件和判定氣象條件的問題。

本書供航空飛行人員之用，也可供航空氣象員給飛行員上課之用。

書中第四章“大氣中的雷暴現象”由李敏芝譯出。

И. В. Кравченко
ЛЕТЧИКУ О
МЕТЕОРОЛОГИИ

Военное издательство
министерства обороны Союза ССР
Москва 1955

本書系根據蘇聯軍事出版社
一九五五年俄文版譯出

飛行員氣象手冊

〔蘇〕克拉夫欽果 著

張杏珍 譯

*

國防·重工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第074號
北京新中印刷廠印刷 新華書店發行

*

850×1168 1/32·37/8 印張·100,000字

一九五七年十二月第一版

一九五七年十二月北京第一次印刷

印數：1-1,100冊 定價：(10) 0.67元

序 言

在共产党领导下正在实现我国建成共产主义的伟大计划的苏联人民，向人民的武装力量提出了光荣而且重要的任务——警惕地保卫着苏维埃国家的利益。

不断得到祖国共产党和苏维埃政府关怀的苏联飞行员，正用自己全部的力量，在人民面前光荣地执行着自己的职责。我们的军队配备有头等的武器，每一个苏联飞行员的职责，就是不断提高自己的战斗技巧，经常作好战斗准备，善于在白天、夜间和复杂气象条件下在任何高度上进行飞行。

我国对气象事业的发展给予了极大的重视，以便使它满足国民经济和国防日益增长的要求；有现代设备的气象台站网和高空气象台站网正在扩大，这些台站定期作大气状态的观测（观测高度达20~25公里），以保证航空在气象方面的需要。

气象条件是计划和执行任一飞行任务所必需考虑的一个要素。

因此，空军气象勤务最重要的一个任务，就是在气象方面保证飞行的安全。气象勤务有责任详细提供在即将飞行期间沿航线的未来天气条件的特征。这一特征所包括的内容，应使发布起飞命令的指挥员能根据它来正确作出是否可能完成飞行任务的结论，应使飞行员能清楚地了解在即将飞行中的气象条件。

气象勤务应作航空天气预报，不断向指挥部和飞行人员报告沿航线和飞行区域内的气象条件。

航空气象保证工作是否成功，要看天气预报是否正确，危险天气勤务工作是否准确，气象员向指挥员所报告的气象条件是否恰当，以及这些气象条件是否能被飞行员正确地理解。在这方面气象咨询具有重大的意义，在气象咨询中尤其应注意最复杂的天气区域。

在气象諮詢中，为了使飛行員能更好地理解气象条件，气象員要給他們看天气图和大气垂直剖面图。

飛行員只有系統地充實自己的气象知識，在气象台上仔細研究天气图和其他的天气資料，才能在飛行前和飛行中正確了解和判定气象条件。

正確理解天气状态，对正在掌握复杂气象条件下飛行技术的飛行員來說，尤其显得重要。“复杂气象条件”这个概念本身，在相当大的程度上是假定性的，因为飛行成功与否，是决定于飞机上仪表飛行的装备如何，机場上地面保證飛行的設備如何，以及飛行員在复杂气象条件下飛行的准备程度如何。

如果飞机上和机場上有这些設備，而飛行員也完全掌握了仪表飛行的技术，那末复杂气象条件下的飛行，对他來說不会有多大困难。如果飞机上和机場上没有进行仪表飛行所需要的設備，而飛行員在这方面也沒有受过应有的訓練，那末，那怕气象条件不十分复杂，对他來說也是不可克服的，甚至是危險的。

目 录

序 言	I
第一章 飞行气象条件	1
大气简述	3
第二章 云、降水和雾	18
云	18
降水	27
雾	31
第三章 飞机积冰	37
积冰对飞机飞行的影响	37
飞机积冰的原因	38
积冰强度	41
积冰的气象条件	43
对飞行员的劝告	47
第四章 大气中的雷暴现象	50
雷暴形成的条件	50
闪电和雷	57
雷暴的种类和雷暴区中的飞行条件	60
第五章 大气扰动	
在扰动空气中的飞行条件	69
大气扰动的原因	72
第六章 气象条件的判定	85
气团	85
大气锋	92
气压系统	100
飞行前气象条件的判定	105
飞行中气象条件的判定	113

第一章 飞行气象条件

气象学是研究圍繞地球的空气圈（大气）中各种物理性質和現象的科学。

飞行气象条件就是影响执行飞行任务的許多气象要素的总称。

下面我們来研究組成气象条件的最重要的要素及它們对飞行的影响。

有較大視角的某一物体（目标）的能見距离，即能看到該物体的最大距离。

有在地面确定的水平能見距离，即地面物体（树木、高地和村庄等等）的水平能見度、有在飞行高度上的水平能見度，也有傾斜或垂直方向上的能見度（例如从地面看飞机的能見度或从飞机看地标的能見度）。

飞机上的在傾斜或垂直方向上的能見距离，称为飞行能見度。能見度的好坏主要决定于大气的透明度。象霧、降水、全暴、吹雪这些天气現象，会使大气透明度显著减小，因而能見度也变坏。

云量和云高、云层的垂直分布以及云中的能見度，对能見距离有着重大的影响。

飞行能見度是飞行气象条件极重要的一个要素。比如，能見度不好时飞机起飞和着陆就有困难，或者根本不能进行；用目力判断方向的情况急剧地变坏；編队飞行、低空飞行和快速飞行发生困难。采取目視飞行还是仪表飞行，是根据航綫上能見度的好坏来决定的。

飞机积冰是气象条件极重要的一个要素。在由过冷却水滴組成的云中、在过冷却雨中和湿雪中，积冰有着实际的意义。积冰会使飞机空气动力性能变坏，上升力减小，破坏发动机、航行仪

表和无綫电通訊的工作，并且使視野变坏。强烈积冰会使飞机失去操縱，并使其机械损坏。

飞行高度上的风能使地速减小或者增大，并使飞机偏离航向，而地面附近的风速和风向对起飞和着陆具有重要的意义。

飞机颠簸是由于大气处于扰动状态而引起的。颠簸会使飞机操縱困难，飞行速度减小，使有些航行仪表的示度不准。强烈颠簸可能使飞机失去操縱，受到损坏。颠簸还能使空勤組疲乏，生“航空病”。

雷暴时的大气放电，会严重地影响飞行。电击飞机时，可能使无綫电和电器設備以及飞机其他部分损坏。当紧靠飞机附近有雷暴放电时，会破坏飞机与地面之間的无綫电联系，对空勤組的心理状态有不好的影响。

大气中的固体質点（雪粒、雹、沙粒），能阻塞航行仪表的接收管，并能落到发动机的各个机件里面去。下太快雹时，飞机可能受到损坏，特别是快速飞行时。

水平飞行时气压的变化是由于大气压力分布不均匀而引起的。这就需要対气压高度表的示度进行訂正。

气温对飞行条件也有影响。比如說，在低温情况下飞行时，发动机和飞机座仓需要加温；地面附近气温不同，起飞时发动机功率就要改变。

机场表面状态（土壤是干的还是湿的，是否有雪或冰），对飞机起飞和着陆也有很大的影响。

研究气象条件时，应估計到同样一个气象要素与其他要素配合时，对飞行有不同的影响。例如，雾和雨是不同的气象要素，当温度在零上时，它們仅仅使能見度变坏；而在零下时，除了使能見度变坏以外，它們还成为飞机积冰的原因。又比如，引起飞机积冰的云和对飞行沒有危险的云，尽管它們的外貌相似，但对航空却有着完全不同的意义。

对飞行有直接影响的气象条件的要素，可分为下列三組：

1. 影响飞行到达时间的要素：

- 1) 飞行高度上的风向和风速;
- 2) 航綫上天气条件不好, 需要繞过它;
- 3) 在主要机場上天气条件不好, 需在預备机場上着陆。

2. 造成执行飞行任务相当困难的要素:

- 1) 航綫上云高很低, 垂直厚度很大, 不可能繞过坏天气,

需进行仪表飞行;

- 2) 中等程度的扰动;
 - 3) 中等程度的积冰。
- ## 3. 会使飞机损坏的要素:

- 1) 雷暴;
- 2) 强烈的扰动;
- 3) 强烈的积冰;
- 4) 大块雹。

在最后四种天气現象中, 只有强烈扰动和强烈积冰才能使飞机失去操纵。但是在飞行技术上受过高級訓練的飞行人員, 是能够順利地克服这些最危險的天气現象的。

这些天气現象之所以会造成困难, 通常是因为飞行員不善于及时和正确地判定它們, 或者是因为他还没有掌握复杂气象条件下的飞行技术。应该注意, 积冰、扰动和其他危險天气現象, 能够在各种形式和相互配合下出現, 甚至会突然地出現。因此重要的是飞行員应很好了解各种危險天气現象产生的条件, 它們出現的征兆和对飞行影响的性質, 而且要善于在每一具体場合下采取正确的决定。

大 气 簡 述

飞行器是在大气中飞行的。每一飞行員和領航員应该知道大气的組成和結構、大气中主要的物理过程和这些过程所引起的天气現象以及它們对飞行的各种影响。

下面我們简单地談談大气究竟是什么东西。

大 气 的 組 成

近地面单位体积內干淨空气（沒有水汽和尘埃）的含量是：氮78.08%，氧20.95%，氫0.93%，碳酸气0.03%及其他的气体（氫、氦、氖、氬、氙、氡、过氧化氫、碘和鐳射气）0.01%。

在100公里高度以下，由于强烈的混合作用，干空气的成分在水平和垂直方向上几乎是不变的。观测的結果証明，在20~30公里高度以上，氧气的含量与氮气比較起来开始有些减少，重气体象氫和碳酸气减少得很明显。

水汽是大气非常重要的組成部分。大气中的水汽含量随着气温和地表面蒸发条件的不同，有着很大的变化。例如，在热带海洋上，单位体积內水汽的含量能达到4%，在高緯度則小于1%。大气中含有水汽是由于从洋面、海面、河面、湖面和潮湿地表面上水蒸发的結果。水汽含量随高度的增加面减小：在1.5~2公里高度上减到 $\frac{1}{2}$ ，在5公里高度上减到 $\frac{1}{10}$ 。在平流层中水汽含量已微不足道了。

水汽非常重要的一个性質，就是它能变成液态或直接变成固态。第一种过程称为凝結，第二种过程称为升华。大气中常見的是水汽的凝結过程。升华过程通常温度在零下很低的时候才出現。含有水汽的空氣的冷却作用，是水汽变为液相（水）或固相（冰）的直接原因。由于大气中水汽的凝結，就形成云，云能产生液体降水或固体降水，也能出現光的現象，如虹①，暈②，华③。大气中的放电現象与云有关。霧、雨淞、霜、露也都是由于水汽凝結而产生的。此外，水汽吸收从地表面放出来的热量，保护土

① 虹——彩色的弧，通常出現在云的衬托面上，与太阳遥遥相对。这一現象的产生是因为阳光在水滴上反射和折射的緣故。

② 暈——白色光环或光柱，产生在太阳和月亮周圍。它的形成是由于阳光通过冰晶薄云折射和反射的結果。暈多見于卷云中。

③ 华——太阳和月亮周圍的彩色光环，是由于太阳光和月亮光通过由冰晶和小水滴組成的薄云而产生的。华多見于高积云中。

壤在晚間免受強烈的冷卻。如果大氣中全部水汽都凝結起來的話，那末它在整個地球表面上形成的水層厚度可達2.6公分。

大氣中還含有處於浮懸狀態的數量變化不定的各種雜質。例如：塵埃，冰晶微粒，鹽和煙粒。塵埃主要是聚在近地面的氣層中，它們在陸面（沙漠、草原）上比較多，在水面上比較少。在大工業中心的上空，塵埃和煙粒的含量特別多。

在太陽光對大氣照度不同的情況下，天空的顏色是隨著水汽和塵埃的數量而變的。比如說，蔚藍色的天空是因為空氣中氣體分子能散射陽光的緣故。而且散射比較多的是太陽光譜中短波和紫外波部分，也即是藍色的光。當空氣中含有微粒較大的塵埃時，主要是散射光譜中的長波部分，即黃的和紅的光，因而天空變成淡白色。隨著高度增高和水汽及塵埃的數量減少，天空藍色加深，在10~15公里高度以上，天空的顏色變成深褐色。

對飛機飛行有特別重大意義的水平能見距離，是隨著空氣的含塵度和處於各種狀態的水量面變的。

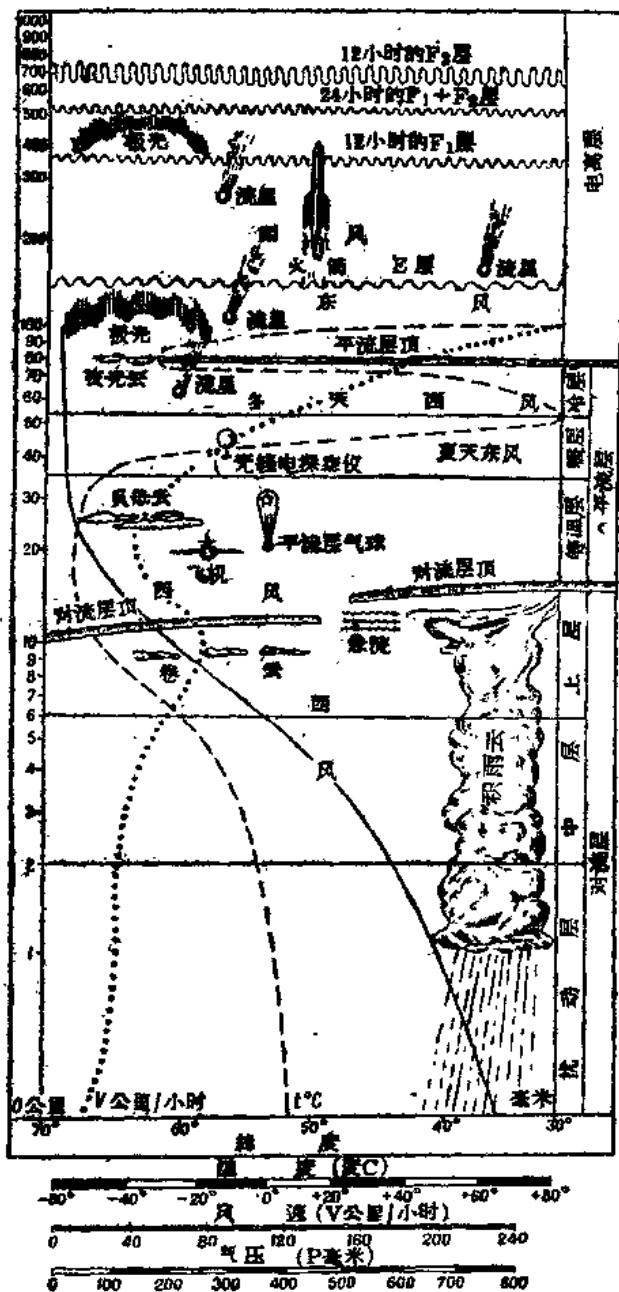
大 氣 構 造

大氣只有明顯的下限——地面。要指出大氣的上限是不可能的，因為空氣密度隨高度不斷地減小，在很高高度上（離地幾百公里）氣體分子和原子間的距离達幾百公尺。

對極光觀測的結果使我們有根據作這樣的推斷，即大氣介質甚至在1000公里以上的各個高度還能發現。在這個高度上大氣的質點逐漸向星際空間散洩。

根據用儀器（無線電探空儀，火箭）直接升入大氣的最新的考查結果，根據對從行星空間落入大氣中的飛行速度很大的（20~100公里/秒）流星和在80~1300公里高度上出現的極光的研​​究以及對聲音和電波的傳播的研究，使我們能得出這樣的結論：大氣是呈層狀結構的。

根據物理性質（溫度的分布，各高度上空氣的成分以及電的特性），通常大氣可分為下面三層：第一層是直接靠近地面的對



流层，第二层是平流层，第三层是电离层（图1）。

这三层并不总是有明确的界限，它们的高度随时间和地理纬度有着相当大的变化。

对流层对航空有着非常重大的实际意义，因为飞行大都是在这一层内进行。

在中纬度，对流层的厚度平均为10~12公里，在热带为16~18公里，在高纬度为8~10公里。大气中约有79%的质量是集中在对流层。对流层最重要的一个特点，就是温度随高度的增加而降低，平均每1000公尺降低 6° 。温度降低一方面是由于太阳热量的流入，另一方面是由于地球通过辐射作用把热量传给宇宙空间所造成的。对流层的空气主要是从地表面获得热量（太阳先使地表面增热），而对流层本身通过辐射作用失去的热量要比太阳光^①通过它时获得的热量来得多。因此，对流层低层就要比上层暖得多。温度这样分布使得对流层成为较不稳定的。对流层内空气在垂直方向上不断地运动着：较暖的空气上升，进入压力较低的气层，体积增大，冷却；较冷的空气下沉，进入压力较高的气层，体积压缩，增热。这一过程称为热力扰动或对流。

干（未饱和）空气每上升100公尺冷却 1° 。饱和空气上升时冷却较少，因为饱和空气上升时伴有水汽凝结，放出凝结潜热^②。上升空气冷却的数值决定于它本身的温度和压力。例如，温度为 20° 压力为750毫米时，饱和空气每上升100公尺冷却 0.44° ，而当温度为 0° 压力为750毫米时，则冷却 0.66° 。

不论是干空气还是饱和空气，每下降100公尺温度升高 1° 。

对流层中除对流作用以外，还有所谓动力扰动，使空气混合。

① 太阳放射出来的光能称为太阳辐射。地球约把43%的太阳光辐射重又反射给宇宙空间，地球表面吸收40%，大气只吸收17%。整个地球一年内获得 1.3×10^{24} 卡热量。这一数值足够融解整个地球表面上温度为 0° 时的35公尺厚的冰层。

② 1克水汽凝结成水，释放596小卡热量（当温度为 0° 时），而1克水冻结时释放80小卡热量。

动力扰动是由于空气与地表面摩擦以及冷暖气团之间的界面（大气锋）上强烈的垂直运动所引起的。

空气混合的强度与大气的稳定度有关。大气处于不稳定状态对垂直运动造成了有利的条件，反过来，大气处于稳定状态，使垂直运动的发展发生困难。

不管上升的是干空气还是饱和空气，在大气中它们只能处于力学中共知的三种平衡条件的一种。某单量空气在外力作用下上升或者下降某高度以后即留在该地不动，在这种情况下下的平衡状态，称为随遇平衡。当上升或者下降空气的温度在任一高度上等于周围空气的温度时，就能出现这种情况。上升着的或者下降着的单量空气要回到原来的位置，在这种情况下下的平衡，称为稳定平衡。当上升着的空气比周围空气冷或者下降着的空气比周围空气暖的时候，就可能出现这种情况。如果单量空气离开原来的位置继续运动，这种平衡称为不稳定平衡。当上升着的空气比周围空气暖时，就可能出现不稳定平衡。

飞行员在执行任务中所遇到的最重要的天气现象，都出现在对流层中，而主要是出现在对流层的下半部。这里有水汽的凝结，云的形成和降水。

对流层通常分为三层。

1) 低层或叫扰动层，能伸展到1~2公里高度。下垫面的热力作用和机械作用对这一层的影响最大，有低云和雾形成。在中纬度，夏天这一层温度是正的，冬天这一层常是负的。

2) 中层位在扰动层上面，伸展到6公里高度。这一层受地表面的影响比较小。在中纬度，当暖季的时候， 0° 等温线^①常位在这一层内，因此这里能出现液体状的、冰晶状的或者是混合状的云。冬天这一层的温度是负的。

3) 上层在中纬度位在中层上面，伸展到对流层顶。下垫面上的扰动作用对这一层的影响更小。温度全年都是负的，是对流层

① 等温线就是温度数值相等各点连成的线。

中温度最低的一层。高云和强厚的积雨云的顶部就是出现在这一层内。

在对流层内各个高度上，经常出现温度随高度的增加而升高（逆温）或者不变（等温）的气层。逆温或等温都是阻挡层，它们的特点就是空气的稳定度很大，阻碍垂直运动和云的发展。

对流层和平流层之间的过渡层——对流层顶，也是一个强厚的阻挡层。这一层的厚度能达几百公尺到几千公尺。对流层顶内温度随高度的增加而缓慢地降低、保持不变或者缓慢地升高。

对流层顶通常不是一个连续的围绕整个地球的气层。它的高度和温度是随着地理纬度、季节和正在发展的大气过程而变化。在付热带附近（南北纬 $30\sim 50^\circ$ ），对流层顶常没有明显的界限，而是断开了似的，或者有着复杂的结构（图2）。

在赤道，对流层顶平均位在 $16\sim 18$ 公里高度上，在中纬度位在 $10\sim 12$ 公里高度上，在极地位在 $8\sim 10$ 公里高度上。

对流层顶内和对流层顶附近的温度，是决定于它本身的高度。例如，赤道附近对流层顶的平均温度最低，它达到负 $70\sim 80^\circ$ ，在中纬度和高纬度达到负 $50\sim 60^\circ$ 。

在中纬度，气旋上空的对流层顶的高度一般比较低，能降到 $5\sim 6$ 公里高度，因此比较暖；在反气旋上空比较高，能升到 $15\sim 17$ 公里高度，因此比较冷。

夏末秋初（8月~9月）对流层顶位置最高，冬末春初（3月~4月）位置最低。高度差平均为 $1\sim 2$ 公里。

平流层位在对流层顶上面，伸展到80公里高度。大气中约20%的质量集中在这一层内。平流层中水汽含量很少，没有能降水的云。只有在 $20\sim 25$ 公里高度上，有时能出现所谓贝母云，它是由冰晶微粒或过冷水点组成的。夏天晴朗的夜晚，约在80公里高度

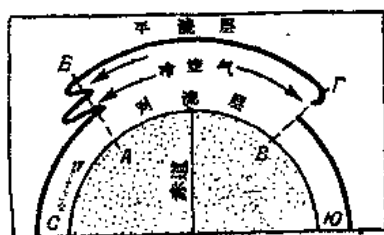


图2 对流层上部赤道的冷空气向两极或北极移动过程中所形成的复杂的(AB)或断开的(BT)对流层顶

上，有时出现极薄的所谓夜光云，它的性质可能与贝母云一样。

根据平流层主要是从太阳和地表面获得的热量以及通过辐射作用放出的热量所造成的温度的分布，通常把它分为三层。

1. 低层或叫等温层，从对流层顶伸展到35公里的高度。在这层内随着高度的增加，温度常是缓慢地升高，或者保持不变。这是决定于季节、纬度和气压的分布的。一般来说，它与对流层顶的温度没有什么区别。

最近十年来，由于喷气式航空器迅速发展，在平流层下部飞行已成为常见的现象。

2. 中层或叫暖层，位在从35~55公里气层中。在这层内温度随高度的增加而升高，在50~55公里高度上达到正50~100°。温度这样升高是因为臭氧^①强烈吸收太阳短波辐射的缘故。

3. 上层或叫混合层，位在平流层上部（55~80公里高度）。在这层内温度随高度的增加迅速降低，在平流层的上限达到负50~100°。

平流层上层温度迅速地下降，造成空气有相当强烈的上升和下沉运动，它们与对流层中的扰动相似。

电离层位在80~1000公里气层内，含大气质量不到0.5%。这一层的主要特点就是空气有很强的电离作用^②，使空气的导电率和反射电波的能力增加了许多倍。

在电离层中，分为几个反射电波的气层。其中主要的有E层和F层。E层下限位在110~120公里高度，F层位在200公里高度。白天或夏天，F层分为二层：F₁下层和F₂上层（参看图1）。

这些层和其他许多层对无线电的发展具有很大的意义，因为可利用能被这些层所反射的短波作远距离的无线电传播。

^① 臭氧——是一种气体，它的分子由三个氧原子（O₃）组成。臭氧在20~25公里高度上最多。

^② 离子形成的过程称为空气电离作用。离子是带正负电荷的非常小的质点。空气中各种气体的分子和原子就是这种质点。大气电离作用主要是在从宇宙空间射来的宇宙射线作用下产生的。宇宙射线产生的原因，还没有完全弄清楚。离子的存在使大气具有导电的性能。

在电离层内出现有不同类型的极光，即电离层内各种极稀薄气体的辉光。辉光是由于具有电磁性质的各类阳光所引起的。这些光被地球磁场偏引在两磁极上。因此，极光主要是出现在高纬度。

散逸层是大气的最上层，位在电离层上面。这里气体分子和原子非常稀少，速度很大，以至于有一部分分子和原子克服了地球的引力跑到星际空间去了。

大气中最重要的气象要素的分布

气 温

对流层中温度之所以有水平的分布，主要是因为热量从太阳流入的缘故。地表面性质不同（大陆，海洋）以及空气的水平垂直输送，是影响大气下层温度分布最重要的因素。海洋的影响使温度的周期变化减小：夏天，它积聚热量，冬天，它把热量放给大气。大陆的影响却相反，使温度周期变化增大；夏天，它比海洋暖，冬天，它比海洋冷。因此，地面附近温度的纬向分布常被破坏。例如，在北半球冬季有二个冷中心：一个在亚库梯苏维埃社会主义自治共和国上空，另一个在格陵兰上空；夏天只有一个冷中心，位在北极附近。

图3是25公里高度以下从北极到南极温度在径向上的平均分布。从这张垂直剖面图上可以看出，在对流层中大部分的气层内，温度都是从赤道向两极减低。只有在10~12公里高度以上对流层的上部和平流层的下部，最冷的空气位在赤道附近，较暖的空气位在中高纬度。因此，在对流层上部、对流层顶和平流层下部，赤道上空较冷，二极上空较暖。

除了太阳能流入量在四季和昼夜的变化使温度有周期变化以外，各个源地具有不同温度的气团经常交换所造成的温度非周期变化，对温度的分布也有着很大的影响。

图4是中纬度地区温度在各高度上最可能的平均分布及其可能的偏离。