



世界科学技术新成就

# 地球物理学中的几个科学问题

赵九章

科学普及出版社



THE UNIVERSITY OF CHINA PRESS

# 中国文字学

第一卷



中国文字学

## 本書提要

这本小册子扼要地介绍了什么是地球物理学和它的研究范围与内容，重点地说明了和生活、生产、国防关系密切的天气预报和地震问题，以及先进的物理探矿方法。

总号：425

### 地球物理学中的几个科学问题

---

著者：赵九章

出版者：科学普及出版社

(北京市西直门外郝家湾)

北京市书刊出版业营业许可证出字第091号

发行者：新华书店

印刷者：北京市印刷

(北京市西便门南大街7)

---

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张：2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>

1956年12月第1版 字数：19,

1956年12月第1次印刷 印数：14,

统一书号：13051·8

定价：(9)2角8分

地球的表面，主要是由三个部分構成的：大地、海洋和大气。运用物理学的原則和方法，研究这三个部分的性質、形态及其中的物理过程的一門科学，叫做地球物理学。它包括的範圍很广。白居易的詩句“上穷碧落下黄泉”，正可以用来形容地球物理学所研究的範圍。就目前直接用仪器探測的範圍來說，火箭探測，已进入了400公里的高空大气層；海洋調查，探測到10,800公尺深海；在大陆上的石油井鑽探，最深的已經达到5,432公尺。所以总的說来，人类直接用仪器取得觀測資料的地帶，从上到下，已超过了400公里。另一方面，利用無綫电波、声波、光波及地震波等間接方法，研究高層大气的状态、海水情况以及地球內部構造等，所达到的範圍就更广闊深远了。

对于發生在地球上自然現象的物理过程的总体研究，是广义的地球物理学的內容。但是，按照研究对象的不同，地球物理学又可以分为下列三个主要部分：

1. **大地物理学** 是研究地球固体部分的性質、形狀及其中發生的物理过程的科学。它的主要內容有：地震学、地磁学、重力学和地球內部構造等，其中地球物理探矿学是在应用方面的一个重要問題。

2. **海洋学** 是研究海洋的性質、結構和它的物理变化过程的科学。其中包括海洋潮汐、波浪、洋流、海水溫度和鹽度分布。根据海水运动的規律，进行海洋水文气象預报，是海洋学上的一个关键問題。它和国防、交通、海运、水产有密切关

系，也是海洋学中最急待解决的一个科学問題。

3. 气象学或大气物理学 是研究地球外圍的空气，也就是研究地球大气的性質、結構和它的变化規律的科学。其中天气預报是和人类生活、生产活动关系最密切的科学問題。

地球物理学各部門的研究，虽然很早就开始了，但是成長为一門学科还不到一百年；而大規模的开展，可說是近二三十年間的事。三十年代以前，地球物理学各部門都处于所謂“冷門”状态。有些部門的观测研究工作，例如地震、地磁、重力及一部分气候工作等，是教堂內修道士为了消磨漫長岁月而附帶进行的；有許多重要研究工作，完全限于学术机关，很少引起生产企業机关的注意。三十年代以后，情况大不相同了。由于地球物理学各个部門都和国防、經濟建設的很多方面相关，因此，随着生产技术不断的革新和国防方面的需要，地球物理学各个部門在近三十年內都有了很大的进展。例如：由于航空和农田水利事業的發展，正确的天气預告，成为保証海陆空各兵种活动和各种企業按計劃完成任务所必須具备的条件。在各方面对于气象預告的要求日益严格下就促使气象学科向前發展。又如：工業發展和技术革新扩大了自然資源利用的範圍，为了保証矿产数量和品种的不断增長的需要，必須大規模地进行地下資源的勘测。为此，除了运用地質学方法外，还必須广泛地用地球物理学的新成就，發展各种新的探矿方法，以使用最少的人力物力，最快地获得可靠的矿产埋藏量。近代地球物理探矿学就是在这种客观需要之下成長起来的。

以上是我們举出来的两个最明显的例子。其他如海洋学，关系着国防及生物資源的開發；地震学关系着地震地帶工業基

地的建設，它們也都是在客觀需要之下迅速發展起來的。

这本小冊子里，不可能把全部地球物理學科都詳細介紹，只能扼要地談談下列三方面問題：

(1) 大氣物理學 一些問題； (2) 地震的災害和抗禦；  
(3) 地球物理探礦。

## 氣象學——大氣物理學的一些科學問題

### 一、什麼是大氣

上面我們已經談到過天氣預報是氣象科學中的重要問題之一，而天氣變化就是大規模大氣狀態變化的總和，是產生於大氣中最重要物理過程。因此要了解天氣變化的規律，做好預報工作，就必須先認識一下什麼是大氣。

地球表面可以說是空氣海洋的底部。我們把包圍地球厚厚的一層空氣叫做地球大氣。很久以前，人類就渴望着飛到高空中去，揭露大氣的秘密了。中國有一句詩說：“欲窮千里目，更上一層樓”，但步行而上，所達到的高度究竟有限。因此直到十八世紀末氣球、飛機製造成功以後，人們才能向更高的高空飛行，探索高空的秘密。在這些飛行中，俄羅斯科學院院士沙哈洛夫在 1804 年的飛行最為重要。因為他是第一次成功地攜帶儀器飛到 2.5 公里高空，不但取得了空氣樣品，觀測了羅盤針的動向（高空地磁場），並研究了聲波的傳播。此後，各國科學家和探險家，作了許多次的飛行，並且曾經達到更高的高空。但是由於設備不好，探空人員在高空因氧氣不足窒息而死的慘事不斷發生。1887 年俄羅斯科學家 Д. И. 門捷列夫乘氣球上升到 3 公里以上去觀測日食，他了解到高空氣溫低、風大

和空气稀薄的条件下，在气球上操作是很困难的。他曾經建議：“为了改善在高空中操作的條件，避免因空气稀薄而丧失生命，进一步向更高的高空探測，觀測人員必須坐在严密封閉的艙內。”門捷列夫院士的建議，虽然为当时科学家所贊同，但是因为技术条件的限制，直到1932年他的建議才由比利时物理学家比加教授所实现。他为了探測宇宙綫，曾飞达16公里高空，为各国科学家所重視。到了1934年，苏联和美国都用气球飞升到22公里的高空，进行了一系列的探測工作。但是不幸得很，苏联探空英雄巴儿尔、費德罗維奇等人都英勇地牺牲了，他們所达到的22公里的高度，到現在还是人类用气球探空所能达到的最高紀錄。

人們携帶仪器直接来探測高空，曾經付出了鉅大的代价。为了避免生命牺牲，也为了能够經常地探測高空大气的秘密，1900年左右，科学家創造了各种自动探空仪，并用風箏、自由气球、飞机將它們帶到高空，去探測溫度、气压、風、湿度等。1900年法国气象学家T.德保脫，就是从大量探空記錄中，發現了平流層。但是这些方法，还是不很方便的。因为，首先必須等到仪器收回之后，才能推算出高空的情况，这就要浪費不少時間；其次探測高空的气球，常常落于荒山大海，仪器就收不回来，記錄也因而完全遺失。为了克服这些缺点，苏联科学家牟尔坦諾夫斯基于1930年1月，在列宁格勒附近，施放了世界第一架無綫电探空仪。气球携帶这种探空仪，在飞行中把它所記錄的气溫、气压、湿度自动用無綫电信号傳达到地面来。这样便可以把探測到的高空大气情况，及时为天气預报員所掌握，既节省了時間，又不会遺失記錄。从此以后，各国紛

紛采用牟尔坦諾夫斯基的原理，制造不同类型的無綫电探空仪，它們可达到的高度，一般已在20公里左右。最高記錄曾达到40公里。

再向上飞行，由于空气已極度稀薄，气球已不能靠空气浮力繼續上升，必須采用其他的办法。人类最新的創造——火箭，又把大气探測的高度大大地增高了。現在，装备着仪器的火箭可以上升到400公里的高空；由于火箭的探測，人們对于高層大气層的性質、組成和它的物理化学状态，又有了进一步的認識。

十九世紀末期，根据前一时期在低空中的探測和一般經驗，人們認為气温是向高处遞減的，这种溫度分布情况应当一直延伸到大气上界。从前苏东坡有句詞說“我欲乘風归去，惟恐琼楼玉宇，高处不胜寒”，表示我們祖先也有同样的看法。1898年法国气象学家T.德保脫利用自由气球探測高处，曾經不止一次达到14公里高度，当他發現空气溫度自11公里处开始不再向上遞減，而是保持不变，或略为增高时，他还以为他所得的記錄不可靠，他还解釋这种誤差，可能是由于溫度表受到太陽照射而产生的。以后經過兩年多的觀測，从581次探空記錄的統計結果，才完全証實了，这种溫度分布表示着大气中的真正情况，不是仪器測量的誤差。从那时起，人們开始發現了平流層。从此將大气分为对流層及平流層。在对流層內，每升高1公里，溫度降減 $5-6^{\circ}\text{C}$ ；在平流層內溫度保持不变或向上略微升高。平流層和对流層之間有个过渡層，它的高度随緯度和季节而变动，冬季低而夏季高，南北兩極低，而在赤道高，情况見圖1。



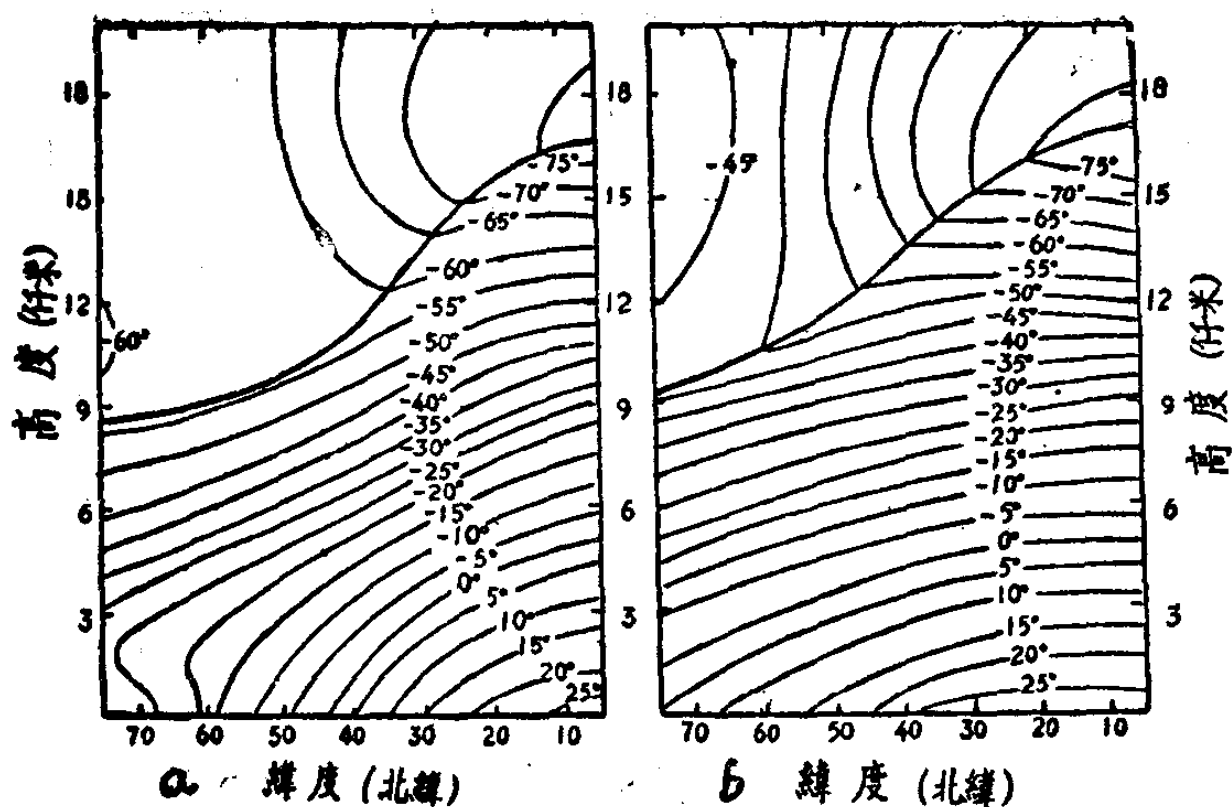


圖 1 沿子午綫垂直剖面上北半球平均溫度分布圖：細綫代表等溫綫，粗綫代表過渡層，(a) 正月情況，(b) 七月情況。溫度單位是 $^{\circ}\text{C}$ 。

三十年代以後，無線電探空已成為各國主要氣象台的經常工作，它們所達到的高度，在第二次世界大戰以前，一般是在 20 公里左右，最近已可達到 30 公里高空。在 30 公里以上，除了可用火箭直接測量氣溫外，一般還可用聲波的傳播、光綫的散射、無線電的反射以及觀察流星等間接方法，來推測上空溫度的分布。根據這些觀測和計算結果，大氣中溫度的分布，可用圖 2 來表示。

按照溫度的分布不同，大氣可以按高度分以下各層：

1. 對流層：它是大氣的最下層，它的厚度在溫帶比較小，約有 10—12 公里，在赤道較大，可以達到 16—17 公里。這一層所占的厚度雖然不大，但是它包含的空氣的質量却很

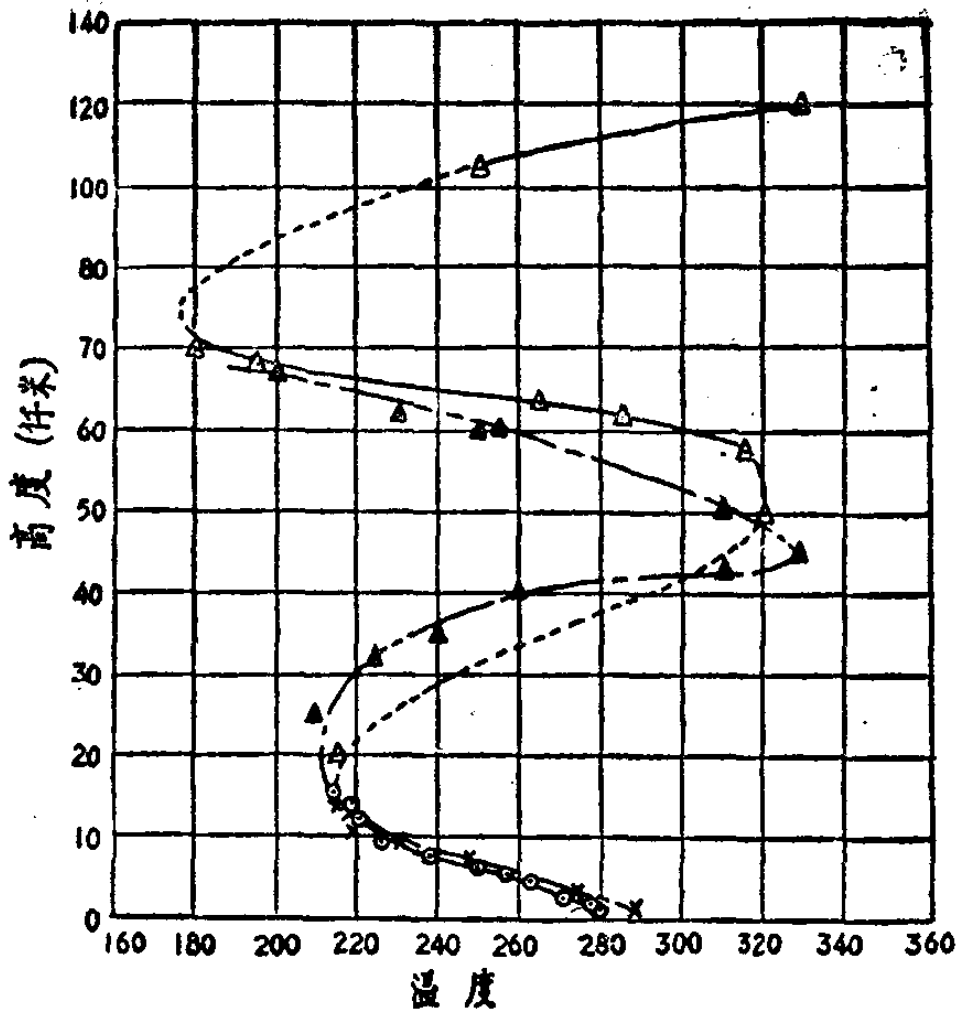


圖 2 大气中温度的垂直分布：△▲是火箭探空的记录；  
○及×是气球探空的记录。温度单位是绝对温度。

大，約等于大气总質量的十分之八。

在对流層中，热空气上升冷空气下沉的对流作用，和空气的乱流及渦旋都很剧烈，同时水蒸气和塵粒也最多，主要的天气现象如云、雨、雪、雹都發生在这一層空气中。

2. 过渡層：是由对流層进入平流層交界層，由于天气变化，对流層頂的升降范围有1—2公里。这兒的溫度分布的变化很突然，風力在这兒不但是最大，而且变化也是很显著的。

3. 平流層：它由过渡層以上开始，到达80公里为止。

在开始發現时，一般人称它为同溫層，但在德保脫發現同溫層不久以后，就覺得这个名詞有了問題。因为过渡層以上，气温并不是保持不变的，他建議用平流層来代替同溫層。当时他認為平流層的主要特征是它的温度稳定，还得出气流应当是沿着水平方向的推論。但是这种假設，根据現在的观测，对于整个平流層并不如此。按照溫度的分布，平流層又可以分为上中下三个部分：

(1) 平流層下部：包括由过渡層到30—35公里高的一層大气，它的溫度是不变的。原因是在这个区域内从太陽輻射的热量得到等于流出的热量。

(2) 平流層中部或暖層：是由30公里到60公里高的一層，在这層大气中，溫度一直向上增加到 $75^{\circ}\text{C}$ 。在第一次世界大战期間，人們曾注意到有时能在很远的距离听到很强的大炮轟击，而在比較近的距离反而听不到。当时，科学家已从理論推断出，在平流層中部可能有溫度向上增加的逆溫層存在，才会产生这种声波傳播的反常現象。此后人們又發現，从10公里到50公里的一層空气內有臭氧，它的最大含量是在22—25公里高度的地方。由于臭氧的存在，它对于太陽輻射中的紫外光綫（波長短于3,000埃\*）的吸收能力很强，使这部分輻射，在臭氧層的上部，就被完全吸收而轉化为热能，因而这一層空气內的溫度向上增長，在60公里处为最高。

(3) 平流層上層或冷層：由55公里到80公里的一層空气內，溫度又向上降得很快。在80公里高空，溫度已減到 $-50^{\circ}\text{C}$ 。

---

\* 埃是長度單位，1埃是一亿分之一厘米。——編者



这种温度分布是  
有利于对流及  
垂直混合的，  
因此，有时又称  
这一層为上層对  
流層。

4. 电离層：  
从80公里以上一  
直上升到1,000  
公里左右的一層  
大气，这層空气  
非常稀薄，并由  
于太陽輻射和宇  
宙綫的作用存在  
大量帶电的离

子，所以叫做电离層。这一層大气能够反射無綫电波，特别是短波，因此人們才能用短波無綫电經過反射傳送信号到較远的地区。这一層大气的性質是在波波夫發明無綫电以后，由赫維賽德等人所發現的。

## 二、怎样預告天气

陰晴寒暑，風云雨雪等天气变化，多方面关連着人类的生活和生产活动。許多灾害性的天气，往往在很短時間內，造成極大的損害。因此，我們的祖先在注意天文現象的同时，很自然地也注意到气象問題。但是，一直到現在，气象科学还是一門很年輕的科学，24小时的天气預报，一般只能达到70—80%

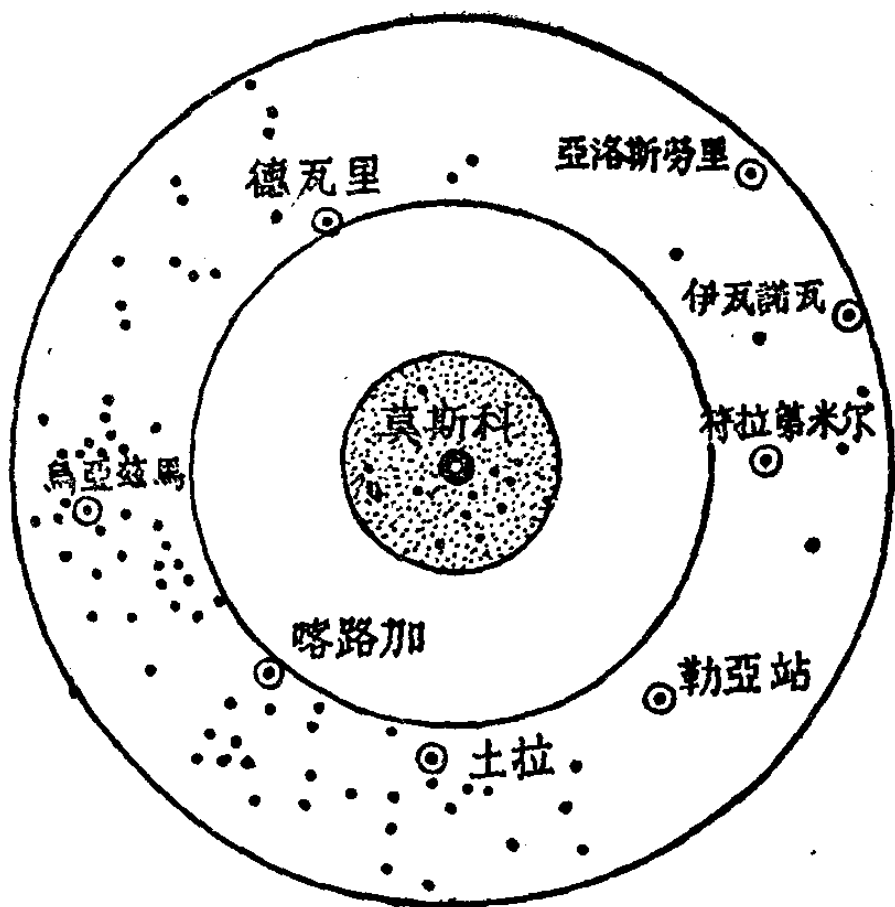


圖 3 声波的異常傳播（爆炸中心在莫斯科，圖上記的点是听到爆炸的地方）。

的准确率，2—3天以上的中、長期天气預报，到現在还没有可靠的办法。这和天文学上人們可以正确地預告日食月食和其他天象来比較就相差得太远了。

劳动人民，在長期生活实践中，也能在各种天气現象之間确定了許多定性的經驗关系。各国农民漁民流傳着历代傳下来的“天气諺語”，这些純經驗性的天气預报規則，应用起来虽然常有很好的效果，但是往往只能在某一地区或某一季节适用，而且时效很短，在其他時間或地区就不合用。例如：盛行于我国的“云行东，車馬通；云行西，馬沾泥；云行南，水滿潭；云行北，可收割”天气諺語，虽然在中国大部分地区是适用的，但到印度或其他地方就不能用了。

自从十六世紀末年加里利發明溫度表，十七世紀中托里拆利發明了气压表以来，各地都逐漸地建立了經常的气象觀測，从觀測資料的积累，找出了一些气压、溫度和天气变化的关系，例如气压低就天陰，气压高就天晴等。这些規則虽然在某些地区是有用的，而且有科学的根据，但是仍然沒有脫离經驗的范疇，可应用的地区很有限，也沒有說明气压与天气所以有这样关系的原因。

1854年克里米亞战争中，英法海軍联合艦队，在黑海上遭遇了風暴，几乎全軍复沒。事后法国国防部要求科学院拉費尔教授进行研究，看看是否可把各地气象台的觀測綜合起来，寻找風暴的成長和移动的規律，作为天气預报的根据。拉費尔教授收集了各地气象記錄，繪制出一幅天气圖。根据研究，他認為如果事先有了這張天气圖，那次風暴是完全可以預报的。因此他就建議政府广設測候所，并經常繪制天气圖。此后由于

电报技术的发展，保证很快地传达各地的气象观测结果，使天气图可以及时绘制出来，创造了研究天气的条件，从而推动了天气学的发展。十九世纪末到二十世纪初，由于航空事业的发展，为了保证飞行安全，促使了高空气象观测的进步，气象学者得到了大量高空探测资料，发现了许多天气变化的事实，引起了许多天气理论问题，使我们从三度空间的(立体的)观点，来进行天气变化的物理过程的研究。在二十年代以后，这些理论的研究，已有广泛的发展，并在实际应用上，起了很大的作用。

天气图有两类：根据地面观测材料所绘制的地面天气图及根据高空观测所制成的高空天气图。近代天气图的内容比较复杂，各地观测的气象要素如温度、气压、风向、风速等，都以各种不同的符号记在空白地图上；然后，再根据这些记录，绘制各种等值线，例如把气压或气温相等的地点用线联接起来就叫等压线或等温线。通过这些等值线，我们就很容易了解地面上的气压或温度的分布。在高空天气图上，我们通常作的是某一个等压面高度分布，及在此等压面上的气温分布。通过高空图，我们可以了解高空的温度、气压以及气流的分布。

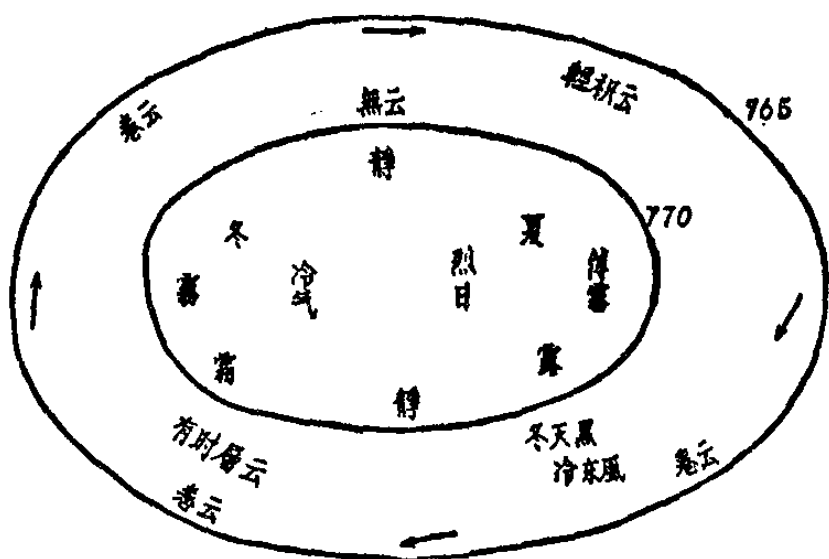


图 4 高气压(反气旋)系统的天气情况图：椭圆线是等压线(单位是毫米水银柱高)。



过去天气预报的主要依据，是天气图中的气压分布。因此，气压高低和天气的关系也最使人注意。高压系统和低压系统是最早发现的系统。我们在图4和图5中，分别介绍了两种气压系统的天气概况。在图4的高压系统中，一般的天气都比较好，它的中心气压最高，周围的气压较低。它的气流的情况在北半球是：各地风向围绕高压中心作顺时针方向的旋转，同时略偏向外。高压系统内温度分布比较均匀，气流下沉，风速迟缓或静止。因此，高压系统内的空气有较长时间可适应下垫面(陆地、河流、冰面)特征，逐渐在大区内形成均匀的气团，并随着高压系统的气流向四周辐散出去。低压系统一般是坏天气形势(图5)，中心的气压最低，气流的分布在北半球是：各地风向围绕低压中心作反时针方向的旋转，同时向低压中心流入。对于整个系统来讲，气温、湿度的分布是不均匀的。南部是温暖潮湿的气团，在这种空气团中，云形一般多是层状，雨势和缓而持久；在北部的空气团，比较冷而干燥，云

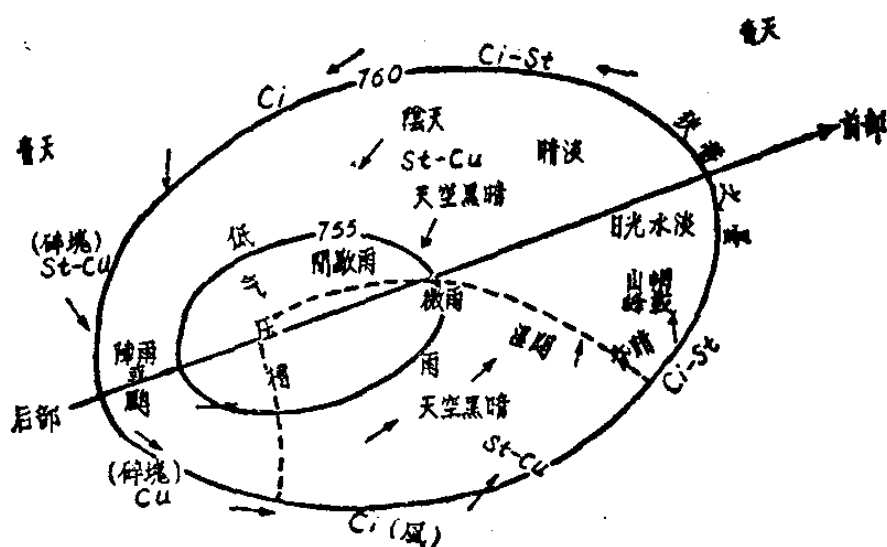


图5 低气压(气旋)系统的天气情况图：椭圆线是等压线(单位是毫米水银柱高)，虚线表示锋面。

形多是塊狀，雨勢猛但時間不久，就是通常所說的陣雨或雷雨。在南北兩種不同氣團之間，有一顯著的不連續面存在。在這個不連續面上，不但溫度、濕度、風向有急驟的變化，同時

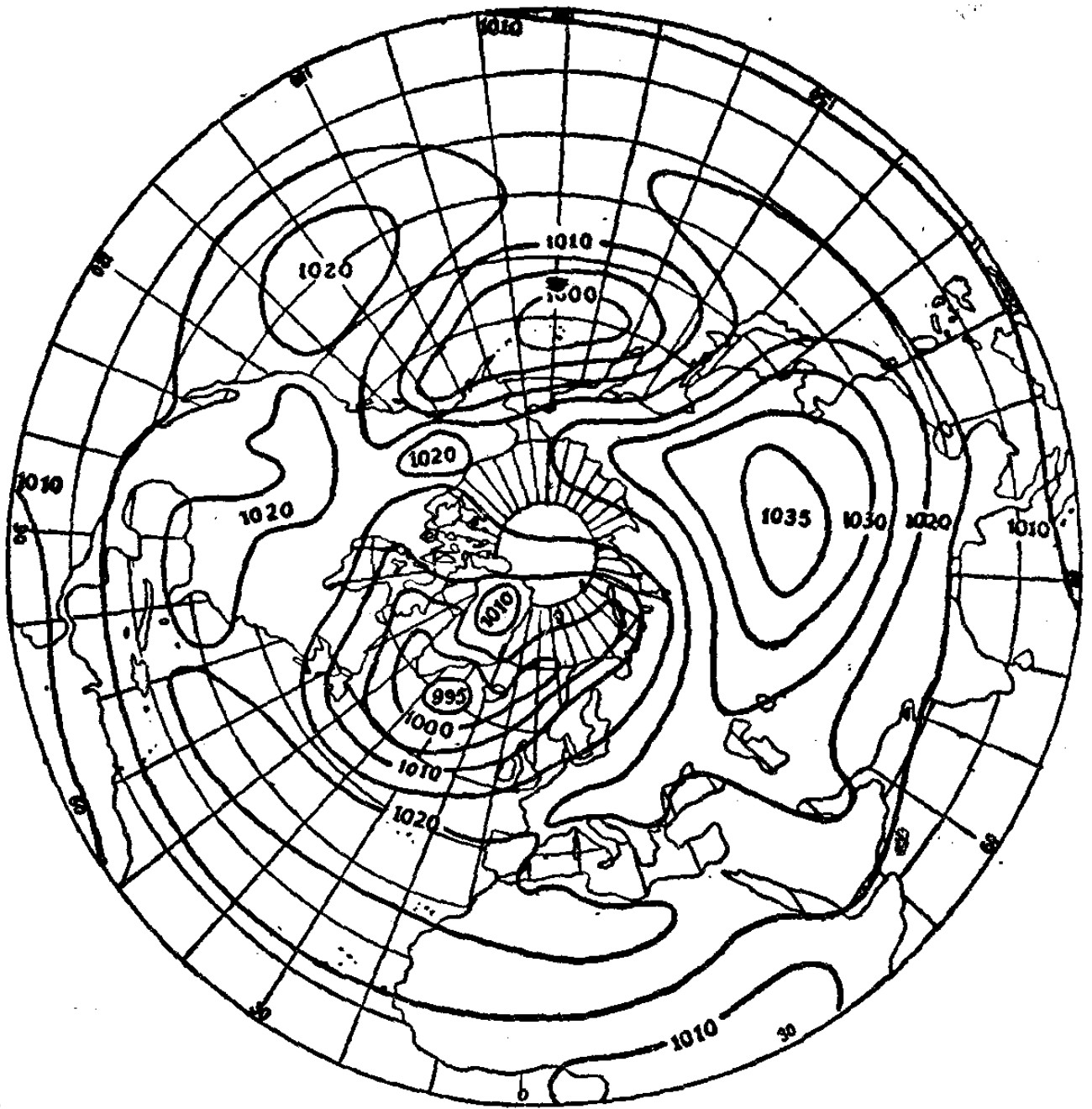


圖 6 冬季海平面上氣壓平均分布圖：等壓綫的單位是毫巴  
 (1000  $\frac{\text{達因}}{\text{平方厘米}}$ ，等於  $\frac{3}{4}$  毫米水銀柱高)。

低气压系統的坏天气，都在这个不連續面上产生。

以上所举的兩個天气系統的例子，代表着一般的情形。但是，随着一年四季的变化，大气的气流运行也有显著的变化，天气的發展、結構以及产生过程也有所不同。为了了解大气环

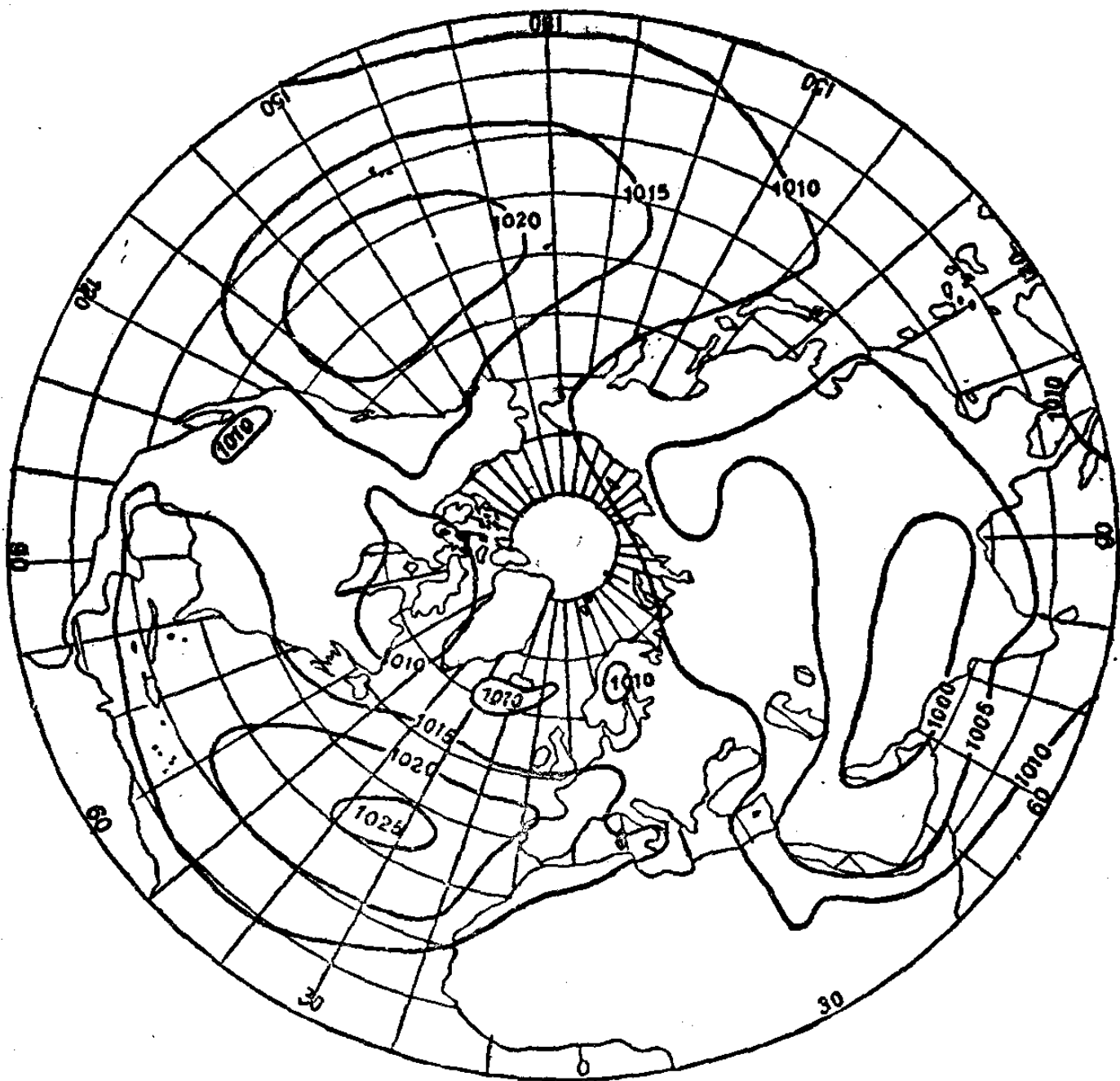


圖7 夏季海平面上气压平均分布圖（單位同圖6）。