

地理丛书

日地关系

楊鑑初



日 地 关 系

楊 鑑 初

《知識丛书》編輯委员会編

一九六三年·北京

知識就是力量。一个革命干部需要有古今中外的丰富知識作为从事工作和学习理論的基础。《知識丛书》就是为了滿足这个需要而編印的；内容包括哲学、社会科学、自然科学、历史、地理、国际問題、文学、艺术和日常生活等知識。为了使这一套丛书編写得更好，我們期望讀者們和作者們予以支持和合作，提供意見和批評。

《知識丛书》編輯委员会

日 地 关 系

楊 鑑 初

科学普及出版社出版

(北京市西直門外郝家灣)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 112 号

北京市印刷一厂印刷 新华書店發行

开本 787×960 1/32 印張 3 12/32 字數 49,000

1963 年 8 月第 1 版

1963 年 8 月北京第 1 次印刷

印數 14,250 定价 0.35 元

总号 025 統一書号 13051·014

目 次

| | |
|---------------------------|----|
| 前言..... | 5 |
| 一 太阳和太阳活动 | 7 |
| 1. 太阳对地球的伟大意义 | 7 |
| 2. 太阳离地球有多远? 太阳有多大? | 9 |
| 3. 太阳的辐射 | 12 |
| 4. 太阳的温度 | 15 |
| 5. 太阳的光谱 | 17 |
| 6. 太阳的构造 | 20 |
| 7. 太阳活动 | 25 |
| 8. 太阳射电 | 35 |
| 二 太阳活动和地球磁场 | 39 |
| 1. 地球 | 39 |
| 2. 磁的基本知识和地球磁场 | 40 |
| 3. 地磁要素 | 44 |
| 4. 地磁的变化 | 46 |
| 5. 干扰磁场和磁暴 | 51 |
| 6. 太阳活动和地磁扰动 | 56 |
| 三 太阳活动和地球高层大气 | 61 |
| ——电离层和极光 | |
| 1. 电离层是怎样发现的? 共有几层? | 61 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 2. 电离层是怎样产生的? | 65 |
| 3. 电离层对无线电波的作用 | 67 |
| 4. 电离层变化和太阳活动 | 72 |
| 5. 电离层特性的预报 | 77 |
| 6. 哪些地方可以看到极光? | 79 |
| 7. 极光的形态和分类 | 82 |
| 8. 极光的高度和光谱 | 86 |
| 9. 极光生成和太阳活动 | 89 |
| 10. 新发现的一些高层大气情况和太阳 活动 | 92 |
| 四 太阳活动和地球低层大气 | 97 |
| ——大气环流和天气 | |
| 1. 天气和天气图 | 97 |
| 2. 太阳活动对天气的影响 | 101 |
| 3. 太阳活动对大气环流的影响 | 106 |
| 4. 太阳活动和大气环流的多年变化 | 108 |
| 5. 太阳活动和我国历史时代的气候 变迁 | 111 |
| 6. 太阳活动影响大气环流和天气的 物理机制 | 115 |

日 地 关 系

楊 鑑 初

《知識丛书》編輯委员会編

一九六三年·北京

知識就是力量。一个革命干部需要有古今中外的丰富知識作为从事工作和学习理論的基础。《知識丛书》就是为了滿足这个需要而編印的；內容包括哲学、社会科学、自然科学、历史、地理、国际問題、文学、艺术和日常生活等知識。为了使这一套丛书編写得更好，我們期望讀者們和作者們予以支持和合作，提供意見和批評。

《知識丛书》編輯委员会

日 地 关 系

楊 鑑 初

*

科学普及出版社出版

(北京市西直門外都家灣)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 112 号

北京市印刷一厂印刷 新华書店發行

*

开本 787×960 1/32 印张 3 12/32 字数 49,000

1963 年 8 月第 1 版

1963 年 8 月北京第一次印刷

印数 14,250 定价 0.35 元

总号 026 統一書号 13051·014

目 次

| | |
|---------------------------|----|
| 前言..... | 5 |
| 一 太阳和太阳活动 | 7 |
| 1. 太阳对地球的伟大意义 | 7 |
| 2. 太阳离地球有多远? 太阳有多大? | 9 |
| 3. 太阳的幅射 | 12 |
| 4. 太阳的温度 | 15 |
| 5. 太阳的光谱 | 17 |
| 6. 太阳的构造 | 20 |
| 7. 太阳活动 | 25 |
| 8. 太阳射电 | 35 |
| 二 太阳活动和地球磁场 | 39 |
| 1. 地球 | 39 |
| 2. 磁的基本知识和地球磁场 | 40 |
| 3. 地磁要素 | 44 |
| 4. 地磁的变化 | 46 |
| 5. 干扰磁场和磁暴 | 51 |
| 6. 太阳活动和地磁扰动 | 56 |
| 三 太阳活动和地球高层大气 | 61 |
| ——电离层和极光 | |
| 1. 电离层是怎样发现的? 共有几层? | 61 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 2. 电离层是怎样产生的? | 65 |
| 3. 电离层对无线电波的作用 | 67 |
| 4. 电离层变化和太阳活动 | 72 |
| 5. 电离层特性的预报 | 77 |
| 6. 哪些地方可以看到极光? | 79 |
| 7. 极光的形态和分类 | 82 |
| 8. 极光的高度和光谱 | 86 |
| 9. 极光生成和太阳活动 | 89 |
| 10. 新发现的一些高层大气情况和太阳 活动 | 92 |
| 四 太阳活动和地球低层大气 | 97 |
| —大气环流和天气 | |
| 1. 天气和天气图 | 97 |
| 2. 太阳活动对天气的影响 | 101 |
| 3. 太阳活动对大气环流的影响 | 106 |
| 4. 太阳活动和大气环流的多年变化 | 108 |
| 5. 太阳活动和我国历史时代的气候 变迁 | 111 |
| 6. 太阳活动影响大气环流和天气的 物理机制 | 115 |

前 言

近十余年来，太阳物理和地球物理都有很快的进展，因此，在这两門学問之間产生了一門新的“边缘科学”，就是日地物理学，通常也叫做日地关系。这門学問研究由于太阳活动而引起的太阳辐射的变动，研究太阳辐射的变动部分来到地球区域之后如何引起一系列的地球物理现象，研究这些地球物理现象的演变规律，以及如何应用于生产实践。因此，这門学問不論对物质世界提高认识方面，还是对生产实践的变革方面，都有重要的意义，尤其是在无线电通讯和天气预报方面更具有实用的价值。

日地关系牵涉到的物理学门类比较广泛也比较深刻，要在一本小册子中把其中許多道理說清楚，是一件不容易的事。加上作者的学識浅薄，文字表达能力也差，所以，这本小册子的缺点一定不少，敬請讀者同志們随时批評指教，以求改正。

这本小册子在写作过程中，得到竺可楨、高

士其、王綬瑄、張家誠、林元章等先生提出許多寶貴意見，作者願意在這裡表示對他們的衷心感謝！

1963年3月7日於北京

一 太阳和太阳活动

1. 太阳对地球的伟大意义

地球上的一切运动，包括生命的活动在內，所以能够继续不断地进行下去，其能量的来源可以说完全是得自太阳。太阳供给地球的光和热，是取之不尽，用之不竭的。

地球被一层厚达几千公里的大气圈所包围，太阳光能射到地球大气层时，一部分被大气层所反射，一部分透过大气层直到地球表面，还有一部分就被大气所吸收。太阳光使地球大气加热，于是就引起了大气层内部各种各样的运动。我们在日常生活中直接感觉到的空气运动就是风。风使风车发生转动，并吹起船帆，使船在海洋、湖泊中航行。

太阳的光热照射到海洋表面，使海水蒸发，把水蒸汽送上天空。水蒸汽在冷却之后又凝结成为云雨，雨水降落到地面，再汇注海洋。这样，在太阳光热的作用之下，地球上的水分循环也

就建立起来了。降落在陆地表面的雨雪，一部分通过蒸发再变成水蒸汽进入大气，大部分雨水汇集到河流、湖泊之内。在通向海洋的河流中，流水带着大量从太阳得来的机械能量，这本来就是太阳光蒸发海水把水蒸汽送上天空时所化费的那些能量。

地球上植物的生存也是靠太阳光来维持的。每株植物的绿叶中含有所谓叶绿体，每一个叶绿体其实就是一个小工厂，在这无法计数的工厂中都在努力进行着收集太阳光的工作。叶绿体里的叶绿素，利用太阳光的能量，把从根部吸收来的水，分解为氢和氧，使氢与从空气中吸收来的碳酸气(二氧化碳)结合成有机物，储蓄在自己的身体里，把氧排出体外。当人们把晒干的植物当做燃料，放在炉灶内烧的时候，植物体内的碳在燃烧过程中再和氧化合，放出许多能量——这些能量本来就是叶绿素从太阳光那里取来的。所以，每一株植物都是太阳能量的储藏库。还在远古时代，人类的祖先就知道燃烧植物会放出光热来为他们服务，从那时起，人类就找到了这个仓库的钥匙。这一伟大发现，开辟了人类光辉的前途，使人类成为天地间的宠儿。

再说，现在我们大量使用的一种燃料，叫做

煤炭，其实，它們就是古代地球表面上植物的遺跡。所以，煤矿也可以說是太陽能量的大儲藏庫，早在远古时代大自然就把它們建造起来了。此外，象从地底下取出来的石油，也都是古代有机体所产生的。总之，現代工业的动力，其根源主要都来自太阳。

再看，地球上一切动物，都是靠食物来維持生活的。所有的食物如果不是植物本身，便是那些以植物为食料的动物。十分明显，一切动物的生存不也是依靠太阳光在植物体内所儲藏的能量来維持的么？

总而言之，不論植物和动物的生存，还是大气和海洋的运动，能量的来源都在太阳。地球上只有少数的运动如火山爆发、地壳震动、月亮引起的潮汐，和太阳无关。

由此看来，地球和太阳有着千絲万縷的牽連，当我们希望了解发生在地球上的一系列地球物理現象时，先研究一番太阳是很有必要的。

2. 太阳离地球有多远？太阳有多大？

太阳是无边无际大宇宙中的一顆恒星，属于銀河系。太阳和圍繞着它不停地运轉的九大行星及其卫星，以及数以千計的小行星、流星和彗星等組成了太阳系。太阳是太阳系的核 心，

地球就是太阳系中九大行星之一。对地球来说，太阳是宇宙中最接近我们的一颗恒星了。

天文学家早就用三角测量和分光测量等方法测定过日地距离，最近又应用雷达方法做过更精确的测定。地球公转的轨道(黄道)是椭圆形的，太阳处在椭圆的一个焦点上。所以，在一年中，有些时候太阳和地球的距离比较近，有些时候太阳和地球的距离比较远。最近的时候叫做地球的近日点，在每年一月三日前后通过。太阳和地球距离最远的时候叫做地球的远日点，在每年七月四日前后通过。通常把日地距离最近和最远两者之和除二，作为平均日地距离。这个距离等于149,675,000公里，误差约达20万公里。这个距离在天文学中作为测量距离的单位，叫做天文单位。这样远的日地距离在人们日常生活中是很难想象的。打个比喻，每小时速度为800公里的飞机，如果从地球飞向太阳，要飞行21年方能到达。每秒钟速度达到十几公里的宇宙火箭，直接飞过这段距离也得好几个月。

从地球上测量太阳圆面的大小，一般以太阳圆面直径占天球上的角度来表示，叫做角直径(观测者眼睛对于天体的直径所张的角)。表示角直径大小的单位是度、分、秒($^{\circ}$ ' ").太阳的角直径最大时为 $32'35''$ (一月)，最小时为

31'31''(七月),最大时比最小时大百分之三,平均为31'59''。根据太阳的平均角直径,和太阳、地球间的平均距离,就可以算出太阳的实际直径等于1,393,000公里。比我们地球的平均直径约大109倍。知道了太阳的直径,也就可以算出太阳的表面面积和它的体积。计算的结果,太阳表面面积要比地球表面面积大12,000倍,太阳体积就比地球体积大130万倍光景。对我们地球来说,太阳真是一个庞大的天体。

太阳的质量,可以从地球的质量并根据万有引力定律来推算。根据计算的结果,太阳质量要比地球质量大333,420倍(地球的质量是 6×10^{27} 克),即等于 1.992×10^{33} 克。而太阳的体积等于 1.4153×10^{33} 立方厘米,把太阳的体积去除太阳的质量,便可以知道太阳的平均密度为1.41克/厘米³。因为太阳是一个温度很高的气体大球,由于外层的压力巨大,所以在太阳中心密度特大。从太阳中心向外,密度慢慢减小,到了太阳外层,密度远比太阳中心为小。地球的平均密度是5.52克/厘米³,比太阳的平均密度大4倍。太阳表面的重力加速度则比地面上的重力加速度约大28倍,等于273.6米/秒²。所以,地球上一斤重的东西,到太阳面上就变成几乎28斤重了。

3. 太阳的輻射

太阳放射出来的一切能量，包括人眼可以看得見的和看不見的光波以及微粒子在內，总称为太阳的輻射。由于地球大气的反射和吸收，到达地球表面来的太阳輻射，已經打了折扣；当太阳在天頂，天气又很好，灰尘云雾都很少的时候，也只有百分之七十左右的太阳輻射到达地面。

我們可以应用物理仪器，来測定每单位面积上，在单位時間內所得到的太阳輻射能的数值。这种仪器叫做露光計。在地面上用露光計測出的太阳輻射能，是經常在变动的，这主要是，由于大气的状况时常在变化，对太阳輻射的吸收作用，也就随时发生改变的緣故。所以，要知道确实的太阳輻射数值，必需把大气吸收掉的一部分，加到露光計測出的数值上去。通常在消除地球大气的影晌之后，以在地球和太阳的平均距离上、与太阳光垂直的每平方厘米的面积上、每分钟所得到的太阳能量，叫做太阳常数。太阳常数一般以热量的单位来表示，等于 1.94 卡/厘米²·分。如果以功率的单位来表示，就等于 1.35×10^6 尔格/厘米²·秒。

根据几十年来觀測的結果，太阳輻射的能

量相当稳定,变化很小,所以,就称它为太阳常数。但是,太阳上有剧烈的物理过程在进行着,这些物理过程有时强有时弱,因而使太阳辐射发生一定的变化。日地关系这门学问,正是研究太阳辐射的变动部分对地球磁场和大气的的作用,这在本书以后各章中要比较详细的来谈。现在我們还是来讲太阳辐射总的情况。

当我们已经测定太阳射到地球上每平方厘米面积上的能量数值之后,就很容易推算出,整个地球所得到的太阳总能量。这只要把太阳常数去乘以地球半径为半径的一个圆的面积,就可以了。这个数值等于每分钟内地球得到 2.473×10^{18} 卡的能量。把这个数值化成功率率的单位,以每秒馬力数来表示,它就等于 2.35×10^{14} 馬力/秒。可是,实际上地球所得到的太阳能,只占太阳辐射到宇宙空间中去的总能量的极小一部分,二十二亿分之一而已。这个比值是很容易计算出来的,因为太阳辐射到宇宙空间去的能量,对于地球所得到的太阳能之比,等于以太阳和地球的平均距离 R 作为半径的大圆球面积,对于以地球半径 r 所作成的圆面积之比。即是 $4\pi R^2/\pi r^2 = 4(R/r)^2 = 2.2 \times 10^9$, 这就是 22 亿倍。那么要知道太阳在每秒钟内所放射出去的总能量,只要把地球在每秒钟

內所得到的太陽能量乘 2.2×10^9 ，就可以得出來了。結果便等於 5.17×10^{23} 馬力/秒。這就是太陽整個表面的總輻射。太陽表面每單位面積上輻射出來的能量，也很容易計算，只要把表面總輻射除以太陽的球面積就可以得到。太陽的半徑 $S = 6.95 \times 10^8$ 米，太陽的球面積等於 $4\pi S^2$ ，由此可以算出太陽表面每平方米的輻射能平均等於 8.5×10^8 馬力/秒，相當於熱量單位的 1.5×10^8 千克·卡/厘米²·秒。

根據天文學家的估計，太陽的壽命至少超過三十億年，長時期以來太陽一直放射出這樣巨大的能量，究竟是怎樣產生出來的呢？這是一個十分重要的問題。二三百年的來，許多天文學家一直研究不出合理的解答。不論是燃燒現象，或者由於隕星落到太陽里面得到的能量，或者由於太陽體積收縮而放出的能量，或者是放射性元素放出的能量等等，都不能圓滿解釋太陽在長時期內能夠放出如此巨大的能量來。直到二十世紀物理學有了飛速的發展，愛因斯坦提出了相對論之後，天文學家才知道，太陽能量的來源應該到原子裏面去找。

科學家注意到最輕的兩種化學元素氫和氦的原子量關係，氫的原子量是 1.008，氦是 4.003，如果能使四個氫原子合成一個氦原子的

話,那就可以多余0.029单位的质量。这多余的质量,按照爱因斯坦的质量和能量的关系公式:能量等于质量乘光速的平方,即 $E = m C^2$,岂不就可以轉变成大量的能量了嗎?从理論上讲,这应该是可能的。根据近代原子物理学知識,在适当的条件下,某种原子核是可以分解或者合成別种原子核的。而太阳上最丰富的元素就是氢,第二正是氦,氢和氦合計占太阳质量的百分之九十七。在太阳內部,溫度和压力都非常高,那里的原子全成电离状态,即原子核外面的电子已經分离,原子核与原子核之間可以发生合成和分解的作用,引起所謂原子核反应。因此科学家认为,太阳和天空无数与太阳相象的恒星,它們輻射出来的巨大能量,大致都是通过原子核反应产生出来的。由于原子核反应放出的能量,不但使过去几十亿年内太阳輻射出巨大能量得到合理的解释,而且从此可以預測,今后太阳还要存在几十亿年,并且不会发生輻射能量枯竭的問題。

4. 太阳的溫度

太阳的溫度从表面向內部逐漸增高,到太阳中心溫度最高,达到几千万度。現在我們來談談太阳发光表面的溫度。我們日常看到的太

阳发光圓面叫做光球，光球的溫度到底有多高呢？其实从上节談到的太阳表面的輻射数值，就很容易推算出光球的溫度，只要应用一条物理学中的輻射定律就成了。輻射定律是对绝对黑体来說的，绝对黑体也叫做理想的輻射体。这是指那些能够把一切投射到它表面上来的輻射完全吸收掉，既不反射也不使輻射透过的物体。绝对黑体，既具有最大的吸收能力，也具有最大的輻射能力。例如，一块玻璃通常是沒有顏色而且透明的，习惯上叫它是白的。而一块煤炭，看上去是黑顏色的，因为煤炭几乎吸收了所有照射到它上面去的輻射。如果把一块玻璃和一块煤炭同时加热到同样高的溫度，那么煤炭发出的光要比玻璃强烈得多。这就說明高温物体的輻射具有的一条規律，就是凡物体的吸收能力愈大，則在加热时它的輻射能力也愈大。

根据輻射定律測定的溫度，叫做物体的有效溫度。我們可以把太阳当做理想的輻射体，应用說明物体輻射和溫度关系的輻射定律，就可以求出太阳的有效溫度。这条定律也称斯梯方-波尔次曼定律。就是說，物体单位面积上的輻射数量是和它的绝对溫度的四次方成正比。这条定律在實驗室中，可以通过許多次实验，来証明它是正确的。我們已經知道太阳表面单位

面积的輻射量是 1.5×10^8 千卡/厘米²·秒，所以，根据这条定律，就可以算出太阳光球的有效溫度，等于 5800°K (K 指绝对溫度单位)。此外，还可以用别的方法推算光球表面的溫度，計算結果也都在 6000°K 左右，所以通常都把太阳光球的有效溫度定为 6000°K 。

5. 太阳的光譜

太阳表面的溫度既然高达 6000°K ，太阳物质显然不可能是固体或者液体，而是高温气体，高温气体发射出連續光譜。連續光譜就是由各种不同波长的光譜組織成的一条連續的光带。我們只要用一个玻璃稜鏡，让太阳光射过它，就能得到一条明亮的彩色光带，这是一組按紅、橙、黃、綠、青、藍、紫各色連續排列起来的光譜，也就是連續光譜。这样，我們就可以亲眼看到，太阳的白色光，实际上是許許多多单色光組合起来的。单色光是原子振动时产生出来的輻射波，每种波都有一定的波长，每一种波长的輻射在光譜中对应于一个固定的位置。人的眼睛可以看得見的光譜，叫做可見光譜。可見光的波长范围包括 $0.38-0.78$ 微米(微米为厘米的万分之一)。可見光中，波长較长的部分，即从 0.7 微米起，相当于光譜中的紅色区；波长較短的部

分,即在0.4微米以下,相当于光谱中的紫色区。但是,人眼看得见的太阳光,只占太阳光谱中极小的一个波段。波长比红色光更长的叫做红外辐射,波长比紫色光更短的叫做紫外辐射,太阳光谱的波长范围是十分宽广的。波长最短的一端,只有几个埃(埃为微米的万分之一,亦即厘米的亿分之一,常用符号 \AA 表示),波长最长的一端,可达几十米。然而,太阳光谱中辐射能量最大的区域,则在可见光部分,以波长0.47微米处的辐射能为最大。辐射能从最大值处向长波一方的减弱,比向短波一方的减弱为慢。在地面上观测太阳光谱时,由于地球大气的吸收作用,在短波部分,即波长在0.3微米(3000\AA)以下的光谱,几乎全部被高层大气所吸收,已经测不出来(图1)。我们要测量太阳光谱中紫外辐射部分的辐射能,只有用气球或者火箭带着仪器升到几十公里以上去测量。现今已经可以用人造地球卫星到更高的高空中去测量了。

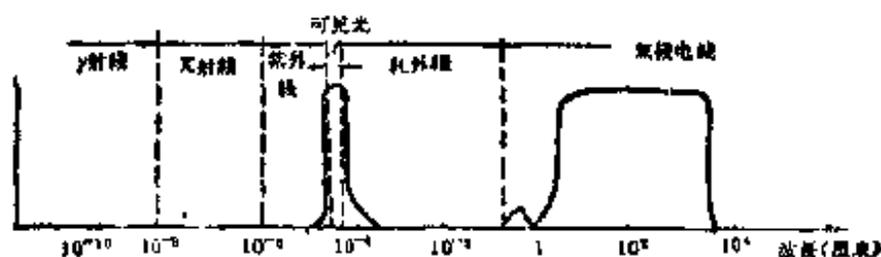


图1 地球大气对各种波长的电磁波的透明度

太阳的总辐射能，也就是前面说的太阳常数，百分之九十九是可见光、近红外线 and 近紫外线所构成的。实际上，从0.2微米到10微米这一波段的能量，几乎代表了太阳辐射能的全部。而且太阳可见光辐射比较恒定，随时间很少变动，所以测出的太阳常数也很少变动。太阳常数的变动，一般不到0.5%，而用来测定太阳常数的仪器，它的误差范围也几乎有这么大，所以，有些人对于太阳常数变动周期等等研究结果表示怀疑，不是完全没有理由的。

现在我们再来谈谈太阳光谱中长波一端（即无线电波段）和短波一端（即紫外线到X射线段）的情况。无线电波段的波长包括600微米—30米的范围，它主要是太阳的外层大气所辐射出来的。这个波段的辐射能量非常之小，对太阳总辐射能来说，几乎可以完全忽略。但是，当太阳上有强烈的活动时，厘米波段和米波段辐射就有剧烈的扰动，所以，倒是一种很好的表示太阳活动的标志。紫外辐射到X射线段的波长包括1—3000Å的范围。它的辐射能量，比起可见光来还是小的，但比无线电波段的能量要大得多，约占太阳常数的百分之一左右。而且紫外辐射也有剧烈的变动，有时可以突然增强几十倍甚至几百倍。太阳紫外辐射，几乎全被

地球高层大气所吸收，使得高层大气发生电离而形成几个电离层，并使离地 15—35 公里大气中产生较多臭氧。正由于太阳的短波辐射变动很大，所以，引起了一系列地球物理现象和天气的变化。这是“日地关系”中的一个主题，以后还要细谈。

太阳除了辐射连续光谱之外，还放射出几十种微粒子，叫做微粒辐射。其中主要为质子（氢原子核）和电子、中子以及某些化学元素的原子核。太阳微粒辐射的速度远比光波辐射为慢，一般从太阳放射出来的较强微粒流到达地球需要1—2天，而太阳光波辐射，只要8分多钟的时间就到达地球。太阳微粒辐射是在太阳面上，某一局部区域突然放射出来的，有一定的放射方向，并非都能到达地球区域，因此，地球感受到的太阳微粒流时强时弱，变动很大。微粒流也引起了一系列的地球物理现象，成为“日地关系”中的另一个主题，我们以后还要谈到。

6. 太阳的构造

如果我们把望远镜对准太阳（注意，不能直接用眼睛看），将太阳在望远镜中的象用黑色玻璃减弱它的光亮，就可以把太阳的发光圆面

看得很清楚，這就是光球。可以發現，光球的光度是在圓面中心最強，并向四周減弱，到光球邊緣，光度已是很弱了。它的原因很簡單，因為我們看到的太陽圓面中央部分發出來的光，是從太陽較深處發射到我們眼前來的，而太陽圓面邊緣發射來的光則是從太陽較淺的大氣層中發出的。這種太陽光亮向邊緣減弱的現象有一個名稱，叫做“臨邊昏暗”。

根據望遠鏡中太陽象的照片來看，光球表面是很不均勻的，很象有許多許多米粒擁擠在一起的样子。這些發光的小斑點既然很象米粒，天文學家干脆就把它稱做米粒，并把光球面上這種斑斑點點的結構，叫做“米粒組織”（圖2，見插頁）。光球面上的米粒，壽命都是很短的，大都只能存在幾分鐘。但是，老的米粒消失後，新的米粒又立即產生了，此起彼伏，弄得光球面上很不平靜。我們想想看，在幾千度高溫的太陽面上，氣體的對流作用會是多麼猛烈，其實米粒組織的形成就是強烈對流作用的表現而已。測量的結果知道，小的米粒其長度不過四五百公里，大的米粒則可以超出1000公里。

在光球之上包圍着太陽的稀薄氣體，稱為太陽的大氣。太陽大氣可分三層，最靠近光球

面的一层叫做反变层^①，是太阳大气的下层。反变层以上，是太阳的中层大气，叫做色球层。色球层以上，是太阳的外层大气，叫做日冕。也有人把发射連續光譜的光球，当做太阳大气的底层。

紧靠光球之上的太阳大气为什么叫它反变层呢？这是因为在太阳的連續光譜中，已經发现有 2 万多条的暗黑譜綫，这些譜綫是一位光学家佛郎和夫最早发现的，所以称做佛郎和夫譜綫，所有这些譜綫几乎都是由于这一层太阳大气对光球发射出来的光譜起着吸收作用而产生的，因此就称它反变层。分析太阳光譜中各条佛郎和夫綫的位置和波长，就可以认出太阳反变层中含有哪些化学元素。因为在实验室中，化学和物理工作者，早已做过各种化学元素的光譜分析，发现每种元素都能发射它自己的特定譜綫，即具有固定波长的譜綫，同时每种元素对它自己所能发射譜綫的吸收能力也最强。直到最近为止，天文光学家已經在 92 种化学元素中，发现有 60 多种存在于太阳面上。虽然还有二十几种元素尚未在太阳面上发现，但还不

^① 根据現代光球的理論，可以把反变层当做色球层的下部，不另分一层，現在为了說明佛郎和夫譜綫簡便起見，仍把此层分出。

能說它們一定就在太陽面上不存在，以後也許會繼續被証實。

反變層的厚度約為 600 公里。對整個太陽大氣來說，反變層的厚度是比較薄的。

色球層在反變層之上。在日全食時可以看到，在月球掩蓋着的太陽光球的周圍，出現一個顏色鮮紅的狹細環圈，這就是色球層。構成色球層的主要元素是氦、氫、鈣和鎂。在色球層的上部，氣體的運動十分猛烈，比我們地球上海洋表面的滾滾波濤要洶湧得多。色球層的厚度比反變層要大二三十倍，大約達到 15,000—20,000 公里。

色球層中時常有火焰狀的雲霧噴出物向上

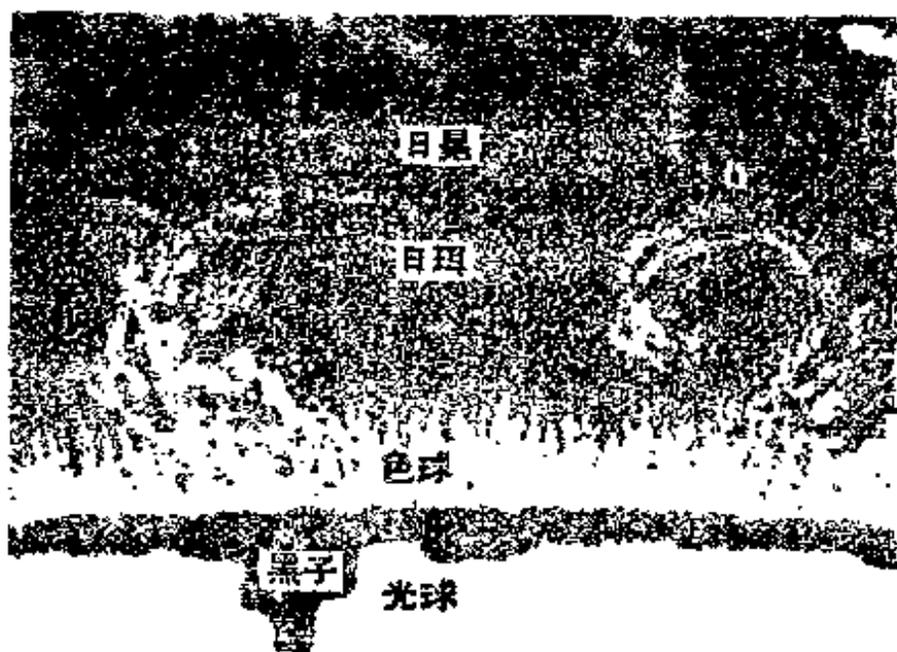


圖 3 太陽的光球和色球

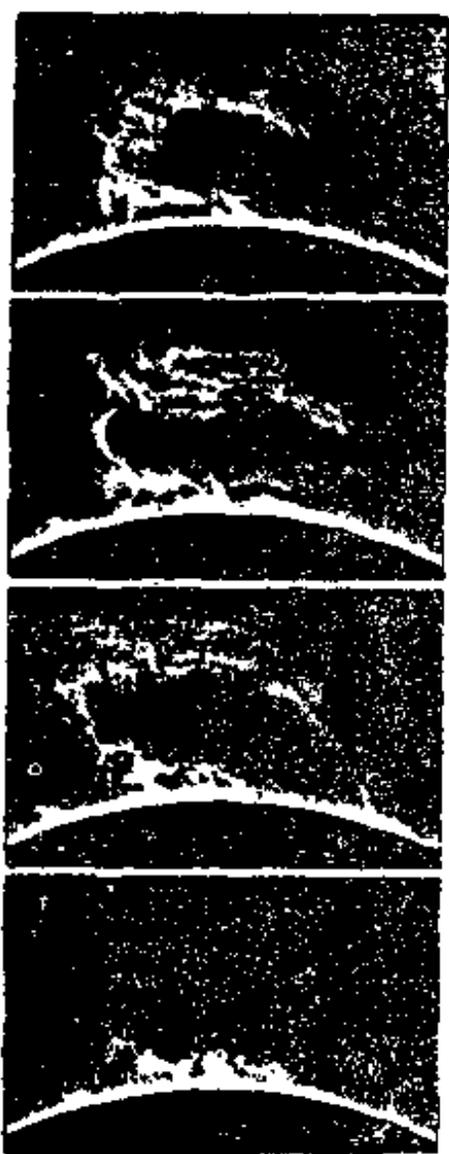


图 4 日珥的发展

冲出,叫做日珥。日珥好比是一种大规模的气体喷泉,上升速度达到每秒200—400公里,有时可达600—700公里,可以喷出太阳面二三十万公里之上,有时甚至超出百万公里。按照日珥的运动状态,常把日珥分为两类,一类叫做爆发日珥,即喷射状日珥;另一类叫做宁静日珥,即云雾状日珥。日珥的运动方向受到太阳磁场的控制,产生日珥的原因现在尚未研究清楚。

色球层之上便是日冕。日冕又可以分为两部分,邻接色球层的一部分叫做内冕,厚度约达50万公里,是由多重离子化的气体^①和自由电

① 多重离子化气体 指气体经过多次电离作用,每个气体分子及气体原子失去好几个电子,而不单单是失去一个电子。

子所組成；內冕以上的一部分叫做外冕，外冕占據空間的厚度更大，達到 200 萬公里。外冕厚度的變化也大，有時外冕伸展的空間可以超過太陽直徑（1,393,000 公里）幾倍的遠處。外冕是由密度很小的固體微塵構成。在日全食的時候，月影外圍可以看到一種銀白色的柔和光輝，便是日冕。多方面的測量可以証實，日冕溫度奇高，約達到 100 萬度以上，但產生如此高溫的原因，尚沒有弄清。日冕的形狀，隨着太陽活動的強弱而發生改變。

7. 太陽活動

所謂太陽活動，就是指太陽面上的一系列物理過程，這些過程能夠使太陽輻射的某些部分發生變化，主要是在光波輻射的短波部分（紫外輻射）和長波部分（無線電波），以及微粒輻射部分發生顯著的變動。

太陽黑子 人們注意太陽活動，已經有長久的歷史。最初，發現太陽面上有黑子存在，而且太陽黑子的數量和位置歷年不同。因此，太陽活動的經典觀念，就是指太陽黑子的變化而言。在我國史書上，二千年以前，就開始有了關於太陽黑子的記載，第一次記載見於公元前 43 年，即東漢元帝永光元年。古時候的天文觀測者，大

致是在日出或日沒太陽光比較弱的时候，直接用眼睛觀察太陽的，所以，只有在太陽面上存在比較大的黑子时，才能够看到它。十七世紀初發明了望遠鏡，意大利大科學家伽利略，在1611年首先用望遠鏡看見了太陽黑子，並且發現黑子在太陽面上是移動的。到了十八世紀中期以後，開始有連續的用儀器觀測的黑子記錄，到現在已經積累了200年以上的資料了。

太陽黑子通常成群出現，稱為黑子群。黑子群常由幾十個大小不同的黑子集合在一起而組成。小的黑子直徑幾千公里，大的可達20萬公里以上，比地球的直徑還大幾十倍。黑子的生存期從幾天到幾個月不等，黑子群則往往隨太陽自轉繞行好幾圈而不消失。通常用兩種方法來計算黑子觀測的結果。一種方法計算黑子的相對數，可用符號 W 來表示， W 的計算公式即是：

$$W = K(10g + f)$$

公式中的 g 為黑子群的數目， f 為太陽面上大大小小的黑子總數， K 是一個訂正係數，世界各國公認以瑞士蘇里虛天文台的 $K=1$ 。其他各國天文台的觀測，由於所用望遠鏡的倍率等等條件各不相同，因此它們的觀測結果，要同蘇里虛天文台的觀測結果加以比較，求出各自的 K

值。这样做的目的，是为了把全世界各天文台的观测结果统一起来，以便互相比较。黑子相对数也称华尔夫数。华尔夫是十九世纪苏里虚天文台的一位台长，是他首创用这种方法来计算太阳黑子数目的。另一种方法就是测量和计算太阳黑子的总面积，以太阳圆盘面积的百万分之一作为计量的面积单位。个别较大的黑子，面积可以超过 5000 个单位。此外，还观测黑子在太阳面上位置的变动和它的磁场强度等等。

早在 1843 年，德国的一位业余天文学家许伐勃，通过他自己对太阳黑子二十余年辛勤的观测，首先发现太阳黑子数逐年多少不等，有几年较多，以后又逐渐减少，周期长度约为 10 年。到了 1852 年，华尔夫根据大量的观测资料，得出平均周期长度为 11.1 年(图 5)，并把观测资料整理出来，向前推到 1749 年，而黑子周期的最高和最低年份他甚至一直向前推断到 1610 年。附表(见 29 页)给出 1749—1960 年时期内逐年平均相对黑子数的值。太阳黑子周期，也叫做太阳活动周期，一般以黑子最少的年份，作为周期的开始年份。1755 年是黑子最少年，从那年开始的周期，通常定为太阳活动第一周，直到现在二百余年来，已经经历了 19 个太阳活动的周期，第 19 周便是在 1954 年开始的。

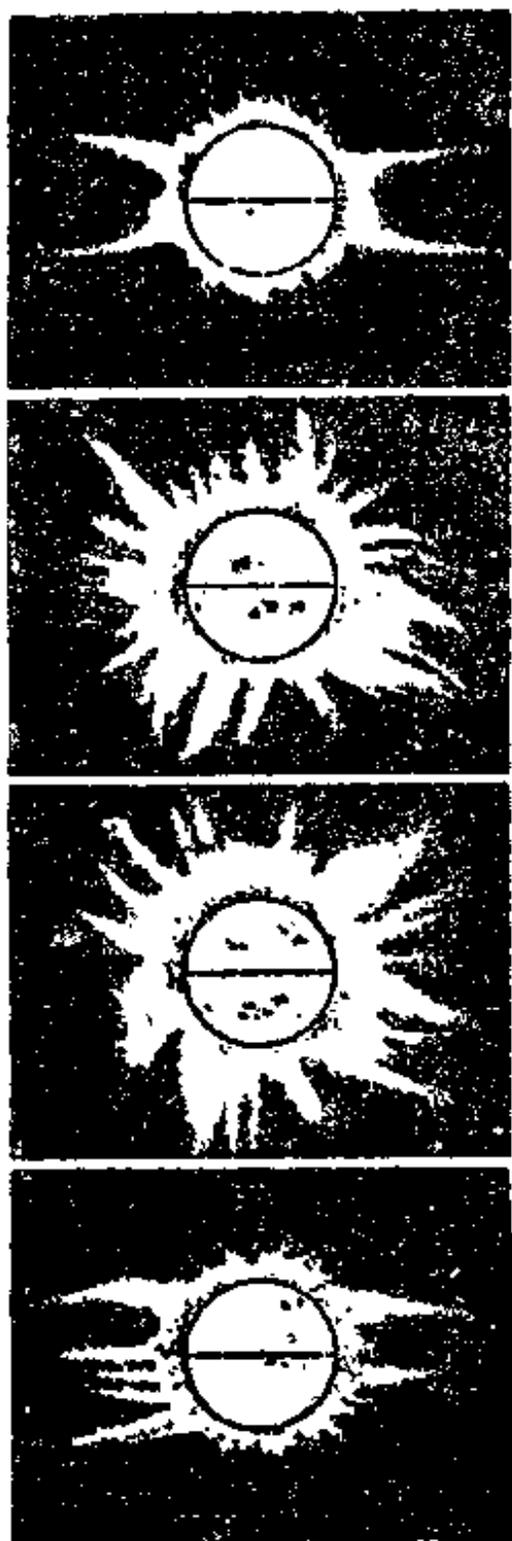


图 5 太阳黑子每隔 11 年的循环性出现

每当新的黑子周期开始时，黑子开始出现在日面南北纬度 40° 附近，以后逐渐向太阳赤道移动，到周期终了时黑子就出现在太阳南北纬度 5° 附近，同时下一周期的新黑子群又在南北纬度 40° 处出现了。

每个太阳黑子都有明显的磁场，具有一定的磁极（南极或北极）。每个黑子周期开始时，处在黑子群前面的一个比较大的黑子（先驱黑子）的磁极，在太阳南北两半球常相反，而且，与前一周期开始时，相同半球上

附表 1749—1960 年逐年平均相对黑子数

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1740 | | | | | | | | | | 81 |
| 1750 | 83 | 48 | 48 | 31 | 12 | 10* | 10 | 32 | 48 | 54 |
| 1760 | 63 | 86 | 61 | 45 | 36 | 21 | 11* | 38 | 70 | 108 |
| 1770 | 101 | 82 | 67 | 35 | 31 | 7* | 20 | 93 | 154 | 126 |
| 1780 | 85 | 68 | 39 | 23 | 10* | 24 | 83 | 132 | 131 | 118 |
| 1790 | 90 | 67 | 60 | 47 | 41 | 21 | 16 | 6 | 4* | 7 |
| 1800 | 15 | 34 | 45 | 43 | 48 | 42 | 28 | 10 | 8 | 3 |
| 1810 | 0* | 1 | 5 | 12 | 14 | 35 | 46 | 41 | 30 | 24 |
| 1820 | 16 | 7 | 4 | 2* | 9 | 17 | 36 | 50 | 63 | 67 |
| 1830 | 71 | 48 | 28 | 9* | 13 | 57 | 122 | 138 | 103 | 86 |
| 1840 | 63 | 37 | 24 | 11* | 15 | 40 | 62 | 99 | 124 | 96 |
| 1850 | 67 | 65 | 54 | 39 | 21 | 7 | 4* | 23 | 55 | 94 |
| 1860 | 96 | 77 | 59 | 44 | 47 | 31 | 16 | 7* | 37 | 74 |
| 1870 | 139 | 111 | 102 | 66 | 45 | 17 | 11 | 12 | 3* | 6 |
| 1880 | 32 | 54 | 60 | 64 | 64 | 52 | 26 | 13 | 7 | 6* |
| 1890 | 7 | 36 | 73 | 85 | 78 | 64 | 42 | 26 | 27 | 12 |
| 1900 | 10 | 3* | 5 | 24 | 42 | 64 | 54 | 62 | 49 | 44 |
| 1910 | 19 | 6 | 4 | 1* | 10 | 47 | 57 | 104 | 81 | 64 |
| 1920 | 38 | 26 | 14 | 6* | 17 | 44 | 64 | 69 | 78 | 65 |
| 1930 | 36 | 21 | 11 | 6* | 9 | 36 | 80 | 114 | 110 | 89 |
| 1940 | 68 | 48 | 31 | 16 | 11* | 33 | 93 | 152 | 136 | 135 |
| 1950 | 84 | 69 | 32 | 14 | 4* | 38 | 142 | 190 | 182 | 154 |
| 1960 | 112 | | | | | | | | | |

带*的碼字表示每个周期开始的一年；
黑碼字表示每个周期中黑子特多的一年。

的前驅黑子的磁极也相反。所以从磁极变化来讲，黑子的磁性周期平均长度为黑子周期的2倍，即22年。这是太阳物理学家海尔在1913年

发现的，也称海尔周期。此外，根据 200 年来太阳黑子的资料，还有人分析出 80—90 年的周期，叫做世纪周期。

太阳黑子的温度，通常比光球表面的温度约低 1000°C ，所以，在光亮的背景上，它相对地变成暗黑色。如果对光球表面每隔几分钟拍一张照片，或者用电影摄影机拍摄光球面的电影片，就可以看出黑子形成的演化过程。起初，光球面上某些地方的米粒组织分离了，在中间出现一个一个的小黑区域，叫做“洞孔”，几个洞孔便能结合成一个黑子。在发展早期，一些洞孔趋向于集合成两个活动中心，即“前驱”黑子和“后随”黑子。由于太阳绕轴自东向西自转，所以前驱黑子常居于黑子群或一对黑子的西端。在开始几天，这两个主要的黑子很快分开，好象彼此排斥的样子，同时它们的面积都在增大。大约 10 天之后达到最大，便不再继续分开了。此时两个主要黑子约相距 10—15 个太阳经度（太阳赤道附近的经度， 1° 约等于 12,000 公里）。后随黑子的形状比较不规则，它发展到最大以后即很快崩溃。但是，前驱黑子的外形比较规则，消灭也慢，平均寿命要比它的后随黑子大 4 倍光景。

每一个发展完整的黑子包括两个区域，内

部比較黑的区域叫做本影，外圍比較亮的區域叫做半影。本影和半影之間以及半影和光球面之間的分界都是很清楚的。關於太陽黑子的產生原因，天文學家已經提出過幾種學說，但都不是很完備的。至於太陽黑子的周期性以及在日面上的有規則的位移，它們的原因直到現在也都沒有弄清楚，這裡就不再細談了。

太陽面上強烈物理過程的表現，除了黑子以外，還有光斑、譜斑、耀斑、日珥和日冕的擾動以及其他有關現象。現在我們再簡單介紹一下光斑、譜斑和耀斑的情況。

光斑 用望遠鏡觀測太陽的時候，往往在太陽面上發現一些比光球背景更亮、形態各不相同的纖維狀斑點，這就是光斑。光斑的溫度一般比光球面只高出 $100-300^{\circ}\text{C}$ 。

因為太陽圓面的邊緣部分比中心部分要暗一些，所以，在太陽圓面的邊緣部分就更容易看到光斑。光斑常和太陽黑子結伴出現，光斑出現的地區，也常常就在黑子的附近。然而，光斑存在的時間，平均而論，則要比黑子更長久一些。有的時候，在太陽表面，會出現範圍比較大的所謂光斑區。光斑和黑子出現的區域，就是太陽活動的區域。

另有一類光斑，則在太陽高緯 $60-80^{\circ}$ 處

出現，叫做極地光斑。它的面積較小，經歷時間也較短。直徑約在5,000—10,000公里，並不與黑子有什麼關聯。在太陽活動衰弱的年分，極地光斑反而出現較多。

譜斑 譜斑也稱做“色球層光斑”，這是在單色光照相儀攝出的太陽照片上發現的。用不同的單色光拍攝太陽的照片，發現譜斑的形狀是不一樣的。用氫的 H_{α} 綫單色光拍攝的太陽照片上，譜斑的形狀象卷曲的羊毛，並在太陽黑子的周圍呈現出旋渦的形狀。這叫做氫譜斑。用鈣的 K_2 、 K_3 綫拍攝的太陽照片上，又可以看到，在太陽黑子近旁出現的白斑，這種白斑就叫做鈣譜斑。此外，在單色光照片上還可以看到長暗條，這是日珥在太陽面上的投影。有時暗條的長度竟比太陽圓面的半徑還要長。在普通太陽照片光斑出現的位置上，在單色光太陽照片上就一定可以看到譜斑。鈣譜斑的結構和光斑的結構很相近，氫譜斑的結構則和光斑的結構有很大的差別。鈣譜斑常常要比氫譜斑廣大一些，也比較濃密。氫譜斑則大多具有纖維狀結構。譜斑有大有小，小的長度不過1,000公里，大的可達幾十萬公里。大而明亮的譜斑大多和黑子也有聯繫。小的鈣譜斑幾乎蓋滿了整個太陽表面，它們的總面積占到太陽圓面面積的百

分之十到百分之三十。凡是和黑子有联系的譜斑纖維狀結構特別明顯，並且表現出旋渦結構。譜斑的結構變化很大，其實譜斑就是光球面上的光斑在太陽色球層大氣中的延續。

氫譜斑和鈣譜斑的面積和強度，都隨着太陽活動的 11 年週期有變化。在太陽活動的極盛期，譜斑的面積和強度都達到最大。譜斑離開太陽赤道的平均距離，也和黑子一樣，有規律地變動，在太陽活動週期開始時譜斑所處緯度較高，以後逐漸向赤道移近。

耀斑 耀斑也稱太陽爆發或色球爆發，這種爆發現象，主要是發生在色球層中。其實耀斑就是變化快速的光亮的譜斑，它也是在太陽黑子附近出現的。耀斑通常在氫的 H_{α} 綫單色光照片中看到，有時也在其他單色光照片中看到。巨大的耀斑甚至在可見光照片中也可以看到。耀斑的面積變化很大，小的耀斑只占太陽視面積的十萬分之幾，大的耀斑就可以達到太陽視面積的千分之幾。就是說，耀斑的大小可以相差百倍。耀斑的生存時間變化也很大，但平均只不過幾分鐘，特別短命的甚至不到一分鐘，長命的可達一兩小時。

耀斑早在 100 年前（1859 年）就被人們發現，但用單色光 H_{α} 綫照相，仔細研究耀斑的演

化过程,还只是近 30 年的事。耀斑的演化过程大致是这样的:在黑子群中某一个黑子附近,忽然出现了一个亮斑,开始时只是一个形状不定的小斑点,这种亮斑,有时便是原来的一个谱斑突然增亮而已。亮斑实际上是一团发光的云气,亮度继续增大,具有爆发性,即成耀斑。耀斑亮度达到最大时,它周围的太阳表面反而显得暗淡起来,这时耀斑的亮度要比它附近太阳表面的亮度大二、三倍。之后,耀斑亮度减弱,比较缓慢地逐渐熄灭。耀斑消灭后,一般不留什么痕迹。但是,有些时候,在耀斑爆发的地方,会留下一个明亮的谱斑。而且,当耀斑熄灭时,常在耀斑附近出现暗条,在它上面发生爆发日珥。耀斑出现的地区常在黑子群区域之内,很少见到黑子群区域以外会发生耀斑。在一个黑子群存在的时期内,平均每隔 7 小时就会出现一个耀斑。耀斑虽然大多出现在色球层中,但在日冕层中以及光球底层也曾观测到过耀斑。在太阳黑子 11 年周期的旺盛期,由于黑子增多、黑子群面积也增大,耀斑出现的频率与面积也增大。

按照耀斑生存时间的长短和面积大小,通常把耀斑分为三级。I 级耀斑最小,III 级最大。如果发现特别大特别强烈的耀斑时,则定为 III⁺

級。大小和强度处在每兩級之間的，分別定為 I⁺和 II⁺級。各級耀斑的規定標準如下：

| 耀斑 級別 | 平均生存 期(分) | 面積(以太陽圓面百 萬分之一為單位) |
|------------------|--------------|-----------------------|
| I | 17 | 100—300 |
| II | 29 | 300—750 |
| III | 62 | 750—1200 |
| III ⁺ | 180 | >1200 |

根據各國天文工作者對耀斑光譜的精細研究，可以推知耀斑的溫度達到 10,000—15,000°C，而其原子的電離程度，大約比色球層中還要大 10 倍左右。在耀斑光譜中，除可見光區氫的強發射綫之外，還可以從間接證據得知，它在紫外光區有更強的氫發射綫，即所謂利曼譜系。由於耀斑有強烈的紫外輻射，所以，能夠突然加強地球高層大氣（50 公里以上）的電離程度。而且在耀斑爆發時，還拋出帶電粒子的輻射流以及宇宙射綫，並引起射電擾動。因此，在研究日地關係中，耀斑的作用就顯得比太陽黑子的作用更加直接而重要了。

8. 太陽射電

太陽射電，是指太陽電磁波輻射中的無線電波部分，波長從一厘米到十幾米。地球大氣對這部分輻射是完全透明的，所以，也象電磁波

中可見光波段一样,能够直接到达地球表面。但是,人們发现和認識到太阳有这部分的輻射,还不过是最近 20 年的事。虽然早在十九世紀末年就有人預言,太阳可能有无綫电波发射出来,人們值得去寻找它們。可是一直到 1931 年才有人发现从外层空間传来的无綫电波,后来在第二次世界大战后期,在英国的雷达防空网中进一步发现太阳的射电,1943 年已經具体記錄到太阳的厘米波段的射电、1944 年記錄到米波段的射电了。自从发现了太阳射电,天文学家对太阳物理的研究又掌握了一件有力的工具。20 年来对太阳射电的观测和研究,已經获得了許多事实,进一步揭露了太阳活动的复杂性。

根据观测資料,可以把太阳射电分为三种情况。第一种叫做“宁静”太阳射电;第二种叫做“緩变”太阳射电;第三种叫做“速变”或者“爆发”太阳射电。当太阳面上沒有活动区的时候,也就是說不出現太阳黑子、光斑、耀斑等等的时候,称为宁静太阳。此时观测到的太阳射电属于“热輻射”的性质,从射电的不同波长可以推測出射电源的溫度。波长与溫度的关系如图 6 所示。从图中可以看出,太阳上发射厘米波段的射电源,它的溫度相当于一万度,而发射出米波段的射电源溫度就要高达百万度。因此,宁静

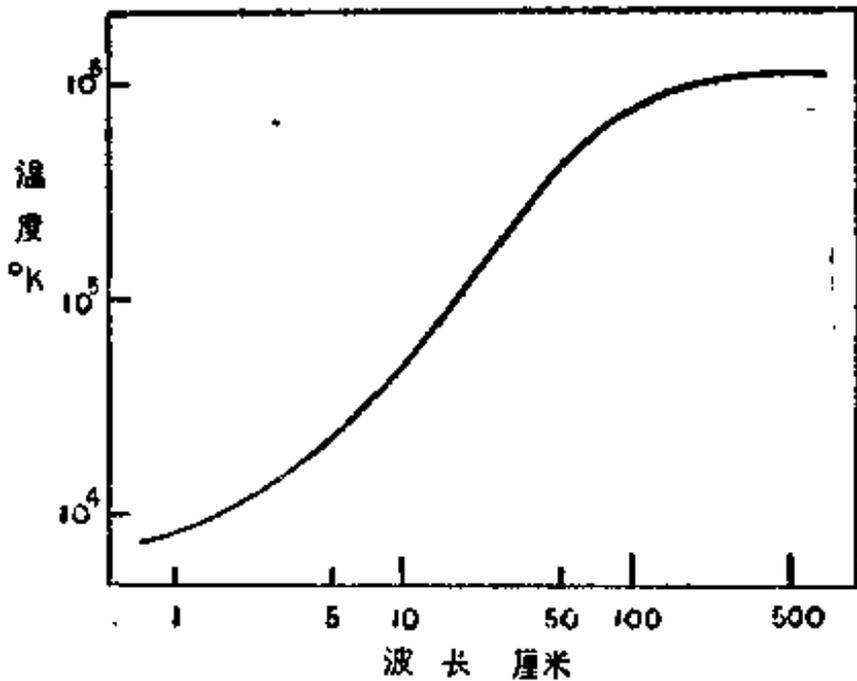


图 6 宁静太阳的射电波长与温度的关系

太阳发射出来的从厘米波段到米波段的射电，其射电源应该处在太阳大气的不同层次中。显然，厘米波段应该从接近光球的太阳较低层大气中发射出来，而米波段则是从日冕层中的高温区发射出来。

太阳缓变射电，主要出现在分米波段和米波段，这种射电强度具有慢周期的变动，主要周期长度约为 27 天，与太阳中低纬度的自转周期相当。缓变射电和太阳黑子有关，可以认为黑子本身就是一种射电源。当太阳面上出现大黑子群或者有巨大黑子通过日面中央线时，往往在米波段射电中发生强烈的“射电扰动”。这种射电从黑子上空发出，集中在和黑子面积大小

相当的区域之内。

另外，往往在几分钟之内，甚至在几秒钟之内，太阳射电米波段的强度突然增强千百倍，有时竟至增强百万倍以上，这就是太阳爆发射电。爆发射电经历时间很短，不过几分钟又突然消失了。这种爆发射电常与大耀斑及大黑子有关。有时在连续几天之内，可以产生多次爆发，这个时期叫做爆发期。太阳爆发射电可以分为三种类型：I型爆发在整个过程中爆发的主要频率不变；II型爆发中强度最大的频率表现出瞬时漂移，大约以每秒四分之一兆周的速度向低频率方向漂移；III型爆发也有频率的漂移，但是速度更高，每秒可达20兆周。根据爆发的影响和它的相关现象还可以把太阳爆发射电分为三类，即噪暴、单独爆发和大爆发。噪暴是指米波波段的突然增强，主要和大黑子群有联系，有时也叫做风暴爆发。单独爆发是指在沒有噪暴时，在米波段和长分米波段出现的个别爆发，它和任何日面现象没有什么关联。大爆发则在厘米波段到米波段的所有波长处都有影响，有时和太阳耀斑有关联。研究太阳射电不但对认识太阳活动大有帮助，而且射电爆发的资料可以作为太阳活动的一种指数，用来研究日地关系。

二 太阳活动和地球磁坊

1. 地 球

地球围绕太阳公转的历史不少于几十亿年，真是漫长的岁月。同时，地球还日以继夜永不停息地围绕着自己的轴在旋转，叫做自转。地球自转产生白昼和黑夜，公转则产生春夏秋冬四季。人类在地球上已经生存了几十万年，人类的一切活动都和地球这两种运动密切相关。古人日出而作，日入而息；春耕秋收，夏牧冬藏；察日月五星，定岁时历法；这是用不着多举例子的。可是，地球为什么会绕太阳公转呢？这是被一条自然规律所决定的。这条规律便是300年前被牛顿所发现的“万有引力”定律。太阳和太阳系中一切星体，彼此之间是通过引力场互相联系着的，九大行星按照距离太阳的远近，都以巨大的速度，在各自的轨道上，绕太阳而运转，不然的话，就都要落到太阳里面去了。

地球在太阳系九大行星中个儿并不算大，

只比火星、金星、水星要大一些。九大行星都呈球形,更确切一些說它們都是橢球形。地球并不例外,所以也是一个橢球体。經過大地測量工作者多次測量的結果,知道地球橢球体的赤道半徑長6,378公里,極地半徑長6,357公里,兩者相差不過21公里。地球的平均半徑即為兩者相加除2,等於6,368公里。再把地球半徑的立方乘上 $\frac{4}{3}\pi$ (π 為圓周率 $=3.1416$),地球的體積也就可以算出來了。這就等於 10.85×10^{13} 公里³($=1.085 \times 10^{27}$ 厘米³)。另用重力等方法可以測出地球的總質量為 6×10^{27} 克。以地球的體積去除地球的質量,便得知地球的平均密度為5.53克/厘米³。

地球表面各種岩石的密度,大都不到3克/厘米³,比地球的平均密度小得多,由此可以推斷地球內部物質的密度,一定比地殼岩石的密度大得多。另外,根據天上落下來隕石多為鐵質和石質,以及地球本身又有強大的磁場等事實來看,也可以推斷出地球內部必由鐵質構成。

2. 磁的基本知識和地球磁場

發生在地球上的一切物理現象,都可以叫做地球物理現象。在地球物理現象之中,被人

們发现得最早，而且一直到今天，还是非常吸引人的突出現象之一，便是地球的磁性。整个地球是一个巨大的磁性物体。地球磁場所占有的空間范围，远比地球大气所弥漫的空間范围为广闊。尽管直到現在科学家还没有能把地球磁場产生的根本原因全都弄清楚，但是从古以来，人們早已知道，在生活中利用地球的磁性了。几千年以来，我們的祖先就已知道磁石的特性，并用磁石制做出指南針在航行与行軍中应用。我們祖先这一伟大发明，逐渐传到世界各地，被各国人民接受和采用。

現在，为了便于說明地球的磁性和地磁的变化，以及太阳活动对地磁变化的作用，我們先来談談关于磁性的基本知識。磁性可以說是物质的一种基本特性。人們最初发现某些矿石的碎块，具有相互吸引和相互排斥的特性。这些矿石是一种含鉄质的矿石，叫做磁鉄矿，在地球上分布很广，各个大陆許多地方都有。我們的祖先就是用这些天然矿石来磨制指南針的。后来，人們又学会了用含碳质的鉄或磁化鋼来制造人工磁鉄。只要把鋼的薄片或針条，將其兩端制成尖头形，用天然磁石来磨它，便可把鋼針磁化，帶有磁性。磁化后的鋼針，比天然磁石的磁性还要稳定而且更为均匀。人們还发现，任

何永久磁体中有一軸，軸的两端具有最强吸引力和排斥力的两点，叫做磁极。有些純鉄制成的物体，如果靠近磁体，也能磁化，但它們一离开磁体，就会很快失去磁性。

磁体可以随意折成許多小段，每一段仍具有磁性，也就是說，它們仍然有自己的磁軸和磁极。磁体的磁性是物质运动的特殊方式，不但磁体內部有磁性，而且磁性会传播到物体外面的周围空間中去。两个磁体的交互作用，就是通过这种分布在磁体两端周围空間中的磁性而引起的，这个带磁性的空間就叫做“外磁場”。在磁場中任何一点的特征，就是以其作用的方向和强度来决定的。磁場作用的方向，通常可用磁力綫來說明。图7即表示球状磁体外围磁力綫的分布形态，我們地球磁場的磁力綫的分布就和此图頗为类似。通过实验可以知道，两磁极間的吸力或斥力是同它們之間距离的平方成反比。

在十九世紀初，丹麦科学家奥斯脫发现了一个重要的現象，即当一根导綫有电流通过时，在它周围便形成磁場。如果把絕緣导綫繞在一个圓筒上，导綫通上电流，那么在圓筒之內和它的外部都产生磁場。圓筒外部的磁場分布，就和圓筒形状及大小相等的永久磁体的磁場十分

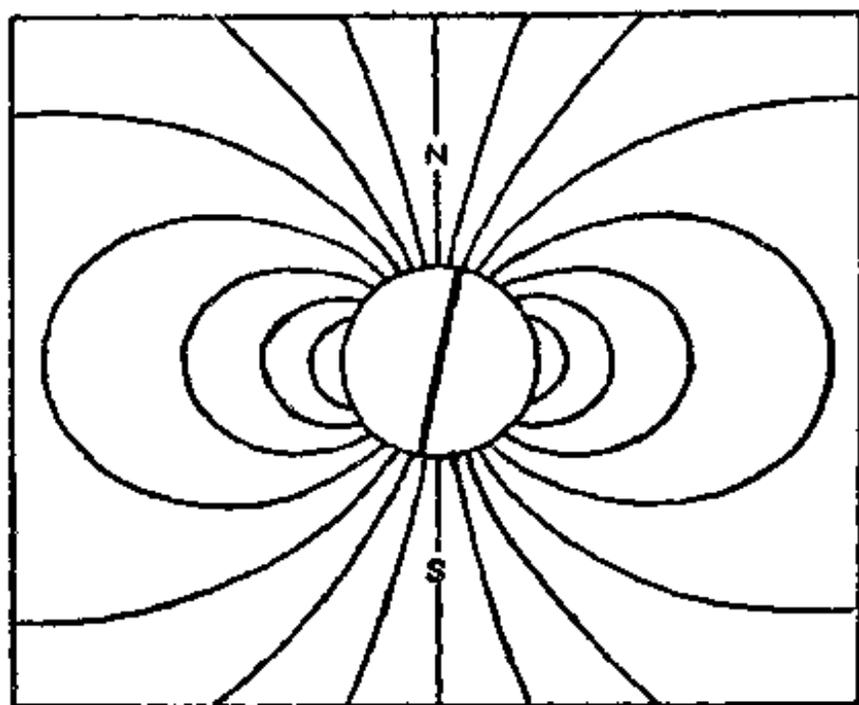


图 7 球状磁体的磁力线分布
 N 表示地磁北极， S 表示地磁南极，中间
 和线为地理子午线

相似。而且这样的圆筒，可以用来磁化各种物体，只要把那些物体放在圆筒里面，导线中通上电流就可以使物体磁化。十九世纪三十年代，英国的一位物理学家法拉第，更发明了电磁感应的重要现象。即把一个闭合的导线放在磁场中转动的时候，在导线内便产生出电流来了。因此，利用电磁感应就可以用一个旋转的线圈来测定有无磁场和磁场的强度，只要看线圈内有无电流产生和产生电流的强度就成了。

3. 地磁要素

地球磁场的特性，已被各国科学工作者研究了几百年了。通常用来表示地磁状况的几个参量，叫做地磁要素。磁针的一头指向北面的，叫做指北极或正极，从罗盘中心到这一头的方向叫做磁北，通过这个方向的垂直平面便是当地的磁子午面。一个地方磁针指的南北方向，一般与地理的正南正北方向并不完全一致，多少有些偏差，这个方向之差可用角度来表示，叫做磁偏角，以符号 D 来代表。以正北方向为标准， D 偏东作为正，偏西作为负。我国首都北京的磁偏角目前约为 -5° 。以细丝串住磁针的中心，使磁针可以自由地在磁子午面内摆动，即可发现各地磁针对水平方向的倾斜角度也是不同的，这个倾斜角度叫做当地的磁倾角，以符号 I 来代表。在北半球，绝大部分地方磁针的指北极一头是朝下的，此时 I 定为正，反之 I 定为负。至于任何一地磁力的强度，则用符号 F 来表示，叫做当地磁力的总强度。可以把 F 分为水平方向和垂直方向的两个分力，即 H 和 V 。水平分力 H 又可以分解为正北和正东方向的两个分力，即 X 和 Y 。这些 D 、 I 、 F 、 H 、 V 、 X 、 Y 等等都称为地磁要素（图 8）。它们之间的关系

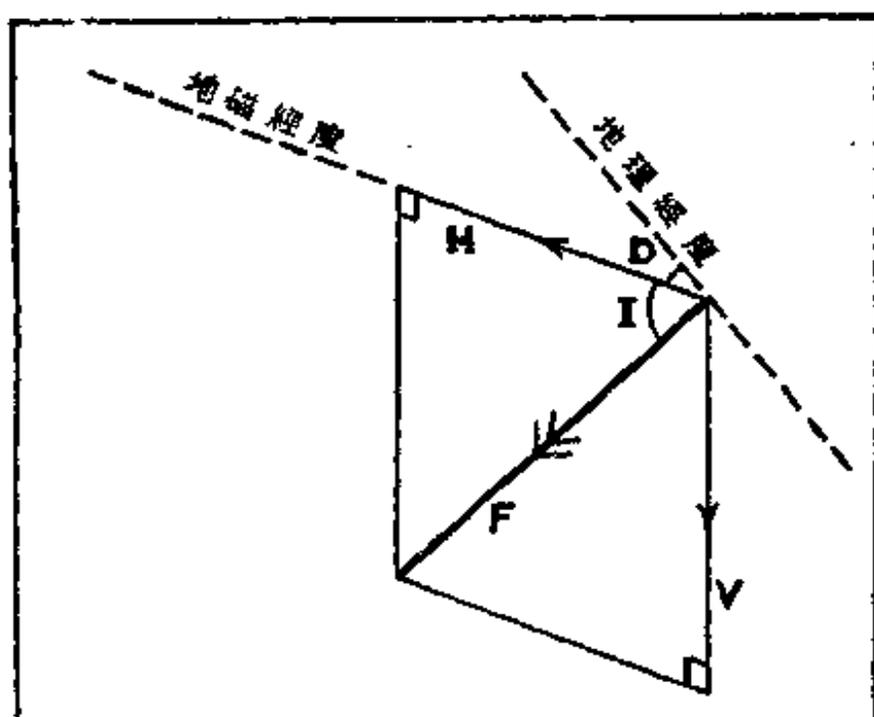


图 8 地磁要素示意图

可用三角函数来互相换算。通常只需要三个要素便可确定一个地点的地磁场，常用 H 、 D 、 I 或者 H 、 D 、 V 。图 8 中的地理经度就是通过当地天顶的指真正南北方向的子午线，地磁经度就是通过当地天顶指向磁极的子午线，两者的交角便是磁偏角。

根据世界各地对地磁各要素的测量结果，便可以绘制等磁图。从等磁图上，可以看出地球表面磁场的分布情况。例如，把世界各地测得的磁偏角填在同一张地图上，把偏角相等的地方，用一条曲线连结起来，这样便可绘出一张磁偏角分布图来。早在十八世纪之初(1701年)

英国科学家哈雷，就曾經发表过这样的一张世界磁偏角分布图。我們用同样方法还可以作出磁倾角分布图、总强度分布图等等。这类等磁图在一般地磁学书籍中都可以找到。

表示磁力各要素 F 、 H 、 V 、 X 、 Y 的单位，采用厘米·克·秒制中的电磁单位，以便表示磁力的大小，这个单位磁力叫做高斯，用符号 G 来表示。高斯是一位十九世紀的大科学家，这个单位的名称便是用来紀念他的。通常在实际地磁测量中用一个小得多的磁力单位，叫做伽瑪(γ)，它等于高斯的十万分之一，即 $1G=10^5\gamma$ 。

地球表面磁力的总强度 F ，各地有些差别，它的变动范围在 $0.25G$ — $0.70G$ 之間。現在地磁北极和南极的地理位置則分別在北緯 78.5° 、西經 69° 和南緯 78.5° 、东經 111° 。

4. 地磁的变化

根据世界各地长时期以来对地磁各要素的測量結果，早已发现地磁場是随時間有明显变化的，而且頗为复杂。有长期变化，也有短期变化，还有突然变化。变化的原因迄今还没有完全研究清楚，但已經知道有一部分变化是由于地球内部的原因引起的，另一部分是由于地球高层电离大气的运动所引起的，还有一部分就

是由于太阳活动发射出异常辐射所引起的。現在我們簡單介紹一下地磁場的几种主要变化的情况。

早在十七世紀中叶，科学工作者就已經知道各地的磁偏角是在緩慢地逐年变化着的。至于磁偏角，早在十一世紀我国北宋时代的大学者沈括就已經在他的著作中談到过了。磁偏角变化的周期很长，达到五百年左右，而且各地的周期并不相等。至于磁偏角长期变动的范围竟可以达到 20° 。因此，1701 年哈雷发表的磁偏角分布图，过了几十年之后，与实际情况的差别，就愈来愈大，显得不准确了。后来繪制的新图，每过几十年，都要遭到同样的問題。所以，每隔二三十年就得根据新观测資料，重新繪制一次，方能滿足当前的需要。因为在航海、航空以及其他需要定向的业务操作中，都要应用最新的地磁图。

磁偏角之外，其他地磁要素，如磁傾角及总强度等，也都有这种长期变化。地磁长期变化的原因尚未研究清楚，一般认为是地球内部流体运动产生的区域性电流体系所引起的，或者是导体分布不均匀改变了电流体系所引起的。

地磁場在长期变化之外，还有明显的短期变化。每一个地磁台的观测記錄中，几項地磁

要素都表现出有时变化平稳而有规则，有时又受到干扰而发生程度不同的突然变化。前一类情况出现的日期叫做磁静日，后一类叫做磁扰日。通过国际合作，共同规定每一个地磁台每天的磁况分为三等记录下来，以0代表平静，一般扰动记为1，剧烈扰动记为2。由于各地磁扰程度不同，各地分三等的标准并不相等。国际所有合作台的观测资料彙总后，再定出逐日国际磁况，并在0与2之间加一位小数来记数，这就叫做 G_i (国际磁况) 指数。事实上地球磁况的变化，在广大区域中过程相同，许多地磁台往往同时出现记数为0或2。根据国际磁况记数，最后定出历年逐月内5天最扰动的日期和5天最平静的日期，称为国际磁扰日和国际磁静日。有了以上这些规定，对研究地磁场的短期变化就很方便了。

地球磁场的状况是每天不同的，常常受到程度不同的干扰。磁场的干扰，可以看做是重叠在正常日变化上面的一个组成部分。磁场正常日变化一般叫做太阳日变化，随当地太阳时而作规则变化。另外还有一种随月亮每天在天空位置而发生的正常变化，叫做太阴日变化。太阴日变化远比太阳日变化为小，我们这里就不再去讨论它。通常用符号 S 代表磁场的太阳日

变化, L 代表太阳日变化, 日常发生的磁场干扰亦用符号 D 表示。 S 、 L 、 D 在地磁场中, 并不产生持久和巨大的变化, 所以, 一般称为磁场的短期变化。 S 和 D 很容易在地磁照相记录纸 (也叫做磁照图) 上看出来, 而且每一种地磁要素都反映出有这种短期变化。

根据观测记录, 可以算出各月的平均日变化 S , 单从磁静日算出的平均日变化, 叫做 S_q , 单从磁扰日算出的平均日变化, 叫做 S_d 。 S 和 S_q , S_d 和 S_q 之间都有一定的差数, 这可以从它们的平均逐时差数的序列表达出来。它们之间的差别就是由于干扰而产生, 尤其 S_d 和 S_q 的差比较大, 这叫做干扰日变化, 另以 S_D 代表。 S_q 和 S_D 在地球上视纬度不同而发生变化, 但与经度无关, 并随当地地方时而发生改变。这就是说, 在同一纬度圈上, 各台站地方时相同的时候, 它们的 S_q 和 S_D 是相同的。在高纬度受到磁轴倾斜的影响, 但在磁纬度相同时, S_q 和 S_D 大致仍相同。

图 9 表示在磁纬度 60° 、 40° 和 20° 处, 24 小时内水平强度 H 的 S_q 变化。图中横坐标为地方时间, 纵坐标为水平强度的 S_q 偏差 (对日平均值的偏差)。可见中纬度地带的 S_q , 在正午前后 H 是负偏差, 子夜前后为正偏差。低纬度

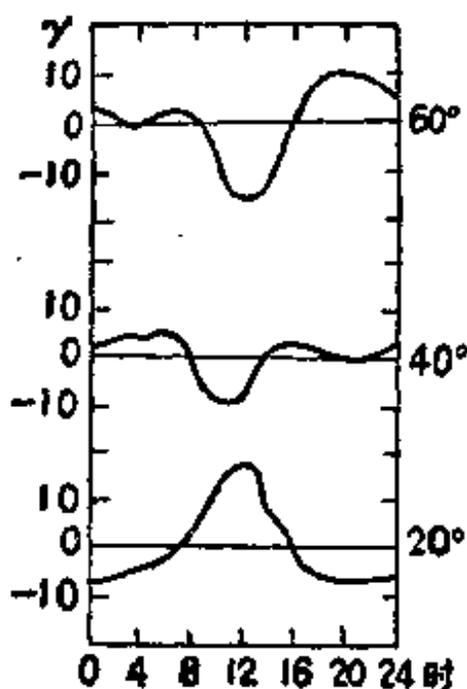


图 9 水平强度 H 的 S_q 平均日变化

的情况相反。根据地球上许多地磁台观测资料的分析，可知 S_q 的变化强度在太阳照射着的半个地球面上要比不照射的半个地球面上来得大，而且夏季半球比冬季半球上也来得大些。更值得注意的是： S_q 的强度与太阳

黑子周期有正相关，在黑子多的年份 S_q 也大，在黑子少的年份 S_q 也小。黑子最多年的 S_q 可以比黑子最少年大百分之五十到一百。由此可见，太阳引起的 S_q 并不是由于太阳光和热辐射的作用，因为太阳光和热辐射在黑子周期中并没有什么变化，主要当是太阳紫外辐射及微粒辐射的作用所引起的。

在十九世纪后半期，已有人提出种种说法来解释 S_q 的根源，其中以1882年斯蒂华脱提出的理论比较可取，一直到现在还被许多人所称道。斯蒂华脱特别注意 S_q 和黑子周期的关系，因此，他首先排除 S_q 的根源可能在地底下，或

者在海洋中的說法。他认为 S_q 应当是地球高空大气中的电流系統所产生出来的。因为几十公里以上的地球高空大气是能够传电的，那里的气体密度，虽比低层大气的密度要小得多，但是，那里的大气是电离气体，正象放电管中的稀薄气体那样。高层大气中的电流，就是空气在基本地磁場中作日周运动时感应而产生的。这种說法和发电机产生电流的作用很相象，所以，斯蒂华脫的理論一向称为发电机理論。近几十年来在高层大气的研究中，又提出了許多新事实，这些新事实都同斯蒂华脫的設想比較符合。例如，当太阳上出現巨大色球爆发时， S_q 的电流系統有时會突然增强。在色球爆发期間，地面无綫电通訊中使用的30米波长的电波常会消失。由于这个波长的电波，是由离地面約100公里的大气导电层反射而传播的，在色球爆发时該处大气的电离作用突然增强，并向下层扩张使空气电离度加强，以至于会吸收掉30米波长的电波。这就是說， S_q 的电流系統增强了，有时甚至可以增强两倍以上。

5. 干扰磁場和磁暴

現在我們再來談談干扰磁場，即 D 場。可以认为，干扰磁場是加在平靜期正常磁場上面

的一种磁場。我們着重談兩方面的問題，即干扰磁場的地理分布問題和它出現時間上的問題。分析許多台站的觀測結果可以知道，干扰磁場的強度從低緯度向高緯度是增加的，直到磁緯度約 67° 的地帶，干扰強度開始停止加強，然後向磁極逐漸下降。南北磁緯 67° 的地帶正是極光出現最頻繁的地帶，所以，也叫做極光帶（我們在第三章還要詳細談到極光）。小區域的局部地區干扰一般強度很小，巨大的干扰常常是全球性的，這種巨大地磁干扰就叫做磁暴。大多數磁暴的出現常是突然而迅速的，這一類稱為急始磁暴。急始磁暴的開始時刻，幾乎是全球同時發生的，很少相差 1 分鐘以上。強度比較小的磁暴，開始就不那樣突然了，通常在 1 小時以內便可以把它辨認出來。此外，地磁干扰的強度，也隨時間發生很大變動。

根據磁緯度相近的台站，把許多次磁暴的開始時間疊加起來，然後求磁暴開始後 48 小時內逐時各要素的平均值，便可得出如圖 10 中所表示的變化狀況。這是根據徐家匯、聖菲南多和赤特哈姆三個磁緯度相近的台站把很多磁暴疊加求平均的結果。從圖 10 可知，水平分力的變化程度比垂直分力要大得多。磁暴開始後水平分力立刻加大，高於未干扰數值之上的時間約

达 2—4 小时, 这个时期叫做磁暴的初始位相。当水平分力很快到达最大值之后就回落下去, 几小时之后又到达最小值。最小值与正常值的差数比最大值与正常值的差数为大。最小值以后, 开始缓慢地向正常值恢复, 从图 10 可

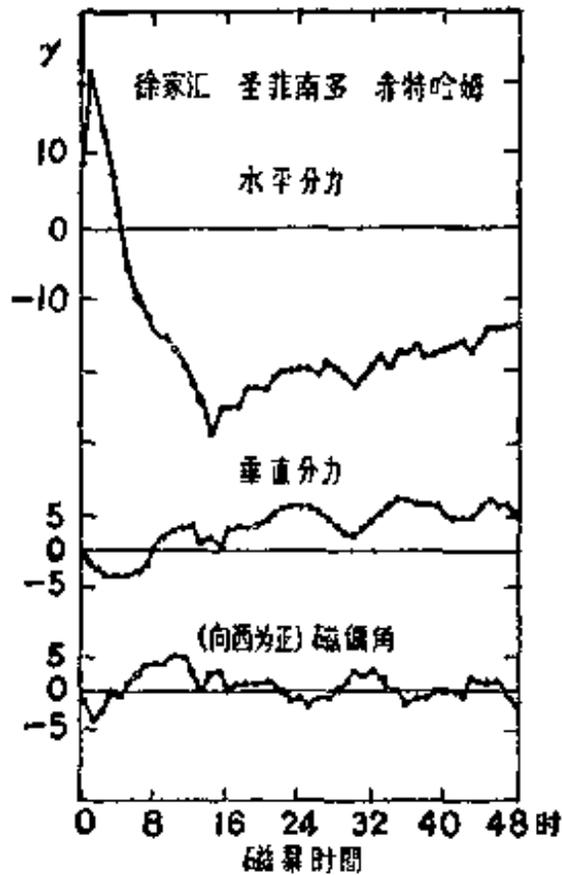


图 10 磁暴时地磁要素变化

见 48 小时后尚未完全恢复到正常值, 一般要好几天之后方能完全恢复。从水平分力低于正常值起, 到最小值出现为止, 叫做磁暴的主要位相, 以后则称为结尾位相。结尾位相也叫恢复期。初始位相也称第一位相, 主要位相又称第二位相。

图 10 中表示出来的磁暴强度变化, 是指多次磁暴平均的状况, 个别磁暴的强度, 有时可以比平均状况大 2 倍, 甚至大 4 倍。大 2 倍的叫做大磁暴, 大 4 倍的就叫做特大磁暴。至于个

別磁暴强度变化的曲綫形态，当然也比图10要复杂一些。但在南北磁緯 55° 范围之内，所有磁暴的水平分力和垂直分力的变化状况，都有类似于图10中的过程，只是水平分力的变化幅度随緯度升高而减小。所以，水平分力的变化幅度在赤道上最大，然而赤道上垂直分力的变化則等于零。在干扰期間，水平分力总的变化結果是使日平均值减小，而这种减小的数值也是在赤道上最大，随緯度升高而下降，到 50° — 55° 緯度带已下降为赤道上数值的一半左右。磁暴期間垂直分力的变化范围，也視緯度不同而有改变，只是数值远比水平分力的变化范围为小，而且改变的趋向也相反，即在赤道上最小，中緯度最大。磁暴期間偏角的变化在中低緯度很不明显，至于日平均偏角，几乎可以不受干扰的影响。

以上只談到地球南北磁緯 60° 范围内的干扰情况，再向高緯度去，磁場的干扰就更复杂了，而且是很强烈的。由于高緯地区气候寒冷，冰雪遍野，永久性的地磁台比較少，在那里要建立一个台，实在不是一件容易的事。因此，极地区的观测記錄往往是从探险队的短期考察中得来的。过去通过国际科学界的合作，曾經在1882—1883年和1932—1933年組織了两次“国

际极年”，进行极地考察等工作。許多国家都派出了考察队，进行了多方面的科学探测工作，包括地磁观测的大规模工作在內。最近 1957—1958 年又組織了一次规模比以前更大的国际科学界的合作，叫做“国际地球物理年”，特別在南北两极地区进行了許許多多的探测工作。因此，使得我們对高緯地区的磁場干扰的知識，也就逐渐丰富起来了。

极区磁場干扰的状态，发现和极光出現的地带有密切的联系。按照各地极光出現的次数多少，可以画出一张极光頻次分布图（图18）。在这种图上可以看出，北半球极光出現次数最多的一条等頻次綫是一条卵形曲綫，它的半径約相当于 23° ，中心几乎就在磁北极之上。这一条极光次数最多的等值綫所通过的地带，也就是前面已經提到过的极光带。在南半球也有同样的极光带存在。在极光带內磁場的干扰頻繁而且复杂，有时还很强烈。干扰时水平分力也是被减小的，而且这里减小的作用比低緯度还要大得多，极光带內水平分力在干扰时减小的程度，甚至可以比赤道上大几倍。从极光带再向北去，这种减小的作用又見削弱。在极区內即使在磁場比較平靜的日期，如在每月內选出的最平靜 5 天中，仍存在着一定数量的干扰。

在中低緯度,磁干扰的平均日变化,一般比磁静时的太阳日变化为小,可是在极区内,情况就相反,甚至会把 S_q 的正常面貌都掩盖掉了。此外,还有一个现象值得提出,就是当地磁场发生强烈的干扰时期,极光带似乎会向较低緯度移动和扩张,由此可见,极光和磁扰之间的关系是多么密切了。

6. 太阳活动和地磁扰动

一百多年以前人們就发现,历年磁扰的强度和頻次与太阳黑子的11年周期密切相关。近百年来許多科学工作者对大量資料的对比和分析,进一步肯定了那个相关的真实性。在太阳黑子多的年份,磁扰也多,强度又大。在黑子少的年份,磁扰就少,强度也比较小。所以地磁扰动也有11年周期。图11表示1835—1930年

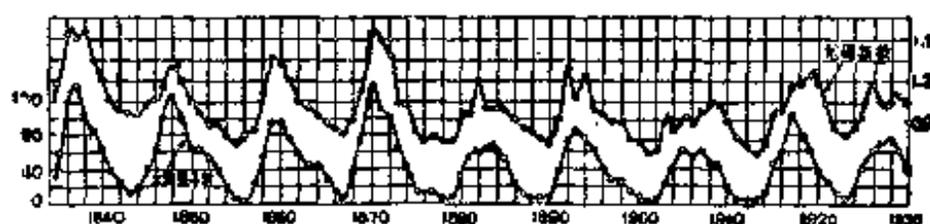


图 11 地磁和太阳黑子的长年变化

时期内,黑子相对数的年平均値(图中下面的一条曲线)和地磁干扰指数年平均値(图中上面的一条曲线)的历年变化。这两条曲线的升降趋

勢，以及极大值和极小值出現的年份，几乎全是一一对应的。显然，地磁干扰的根源和太阳活动是分不开的。

天文学家根据許多观测事实，証明太阳也是圍繞着自己的軸而旋轉的。但太阳自轉的速度，在太阳面上不同緯度是有差别的。因为太阳不象地球，它不是固体而是高溫流体，所以，在不同緯度上的自轉速度不同。太阳自轉的速度在赤道最大，向太阳两极方向逐漸减小。在太阳黑子經常出現的区域，即太阳南北緯度 10° — 30° 的范围内，自轉一周所需時間約为 27 天（地球自轉27周的時間）。另外，由于个别黑子的寿命常常超过27天，所以，它們有时可以随太阳旋轉一周甚至几周，一次又一次的在太阳面上重新出現，一直到它們消灭以后为止。既然地球磁場的干扰状况和太阳黑子的多少有紧密关系，那么磁扰也應該有27天重現的特点。根据磁扰資料的分析，結果証明 27 天周期是确实存在的。但是，又有人发现，磁靜的日期有时并不和黑子很少的日期在同一天，而磁扰的日期有时反而又和完全没有黑子的日期在同一天。由此得出結論，磁扰的原因虽然是在太阳上，但太阳黑子本身并不象是引起磁扰的直接原因。德国地球物理学家巴脫尔斯从磁扰有 27 天周期这

个事实出发,提出另外一种学说,他认为,在太阳面上似乎有某些特定区域存在,这些区域对产生磁扰特别有效,而且这些区域的位置比较固定,随着太阳的自转而转动,因此,它们引起磁扰的效应往往可以维持几个太阳自转周。但是,从太阳的光学观测方法中,从来还没有查出这些区域有任何特征表现出来。地磁学家把太阳面上的这种区域称做M区,即磁性效应区。

事实上,只有微弱的磁暴和一般磁扰有27天重现的特性,巨大的磁暴或者具有急始特点的磁暴并没有发现它们有27天的周期性。另外倒发现,大磁暴常和太阳面上出现大耀斑有联系,同时又和电离层扰动,以及无线电通讯发生严重中断的现象有关。有的时候,在大磁暴发生时,发现太阳射电的米波段部分同时也有扰动,产生太阳的射电爆发。尤其当大耀斑出现在日面中央部分的时候,往后一、二天内出现大磁暴的机会就更大。根据这些相关现象来看,情况就愈来愈清楚了,产生地磁干扰和磁暴的原因,当与太阳上发射出来的某种辐射有关,而这种辐射显然不同于光波辐射,因为它的传播速度远比光速为小,从太阳来到地球竟要一、二天的时间,不象光波那样只要8分钟就可以从太阳来到地球。现在逐渐明白,这种辐射主要是由

氢原子核(质子)和自由电子所組成，叫做太阳的微粒辐射。强烈的微粒辐射是从太阳上某些特定区域发射出来的，大致在耀斑区域微粒辐射的强度就特别大。我們知道，大耀斑往往出现在大黑子群的附近，所以，当有巨大黑子经过日面中央区域时，那里发生耀斑的机会就大，地磁场也就比较容易产生巨大干扰。但是，这并不等于說有了大黑子就一定出现大磁暴。而且，太阳上某些特定区域发射出来的强烈粒子流是有一定方向性的，这股微粒辐射如果正向地球区域射来，便能引起磁扰、电离层干扰、极光等等一系列地球物理现象；如果粒子流的方向并不正对地球，而是射向行星际空间中其他方向去的，自然就不会引起磁扰等等现象了。因此，我們不能认为太阳面上每一个大黑子或者每一个大耀斑出现后，都要跟着产生一次大磁暴。然而总起来說，当黑子和耀斑出现多的时期，表示太阳上活动性加强，微粒辐射的频次和强度也就增加，地球上出现磁扰的频次和强度当然也要加大，这正就是图11中所表示出来的结果。

現在我們再来談一談太阳粒子流辐射引起磁暴过程的学說。太阳的粒子流辐射应该由电荷符号不同的粒子組成，总的来說它們应该是

中性的，从太阳到地球来的途径中它们需要一直保持着中性状态，否则它们在中途就要弥散掉了。当粒子流接近地球区域时，地球的磁场方才将它们的电荷分离，使正电荷趋向一个磁极，负电荷趋向另一个磁极，而且在粒子流的前锋上形成一股电流，这股电流产生附加磁场，加在地球磁场上，这就出现了磁暴的初始位相；粒子流前锋上由于电荷的分离，最后形成一个环绕地球的环流，这个环流可以存在几天，也产生磁场。这一磁场反而可以对消地磁场初始的扰动，并使它低于正常值，这便是磁暴中主要位相产生的原因。此外，环流中的粒子一部分能够飞溢出来，冲击地球高纬度上空几百公里高处的大气，使它发光，这就是极光。近代解释磁暴和极光的理论，以这一种比较合理，这是賈普曼和費拉罗等人创立的，所以，常称为賈普曼和費拉罗的理论。

三 太阳活动和地球高层大气 ——电离层和极光

我們这里所說的高层大气，是指离地面 50 公里以上到 500 公里为止。500 公里以上的大气层，由于它的密度已經十分稀薄，对于它的物理状况目前了解还不多，这里不想去談它。至于离地面 50 公里以上的大气，如和近地面层空气相比，虽然构成大气的主要成分并没有什么大变化，都是以氮、氧两种气体为主，但是，它們的物理状况就不一样了。高层大气中最主要的特点便是那里的气体分子和原子都已处在电离状态，随着高度的增加，氧分子、氧原子和氮分子、氮原子都先后离解，因此，在高层大气中存在着許許多多的自由电子和离子。所以，高层大气就被称做电离层。

1. 电离层是怎样发现的？共有几层？

发现电离层是二十世紀初年的事，到現在不过60年历史。其实，早在十九世紀八十年代，

为了解释地磁场的日变化,就曾經有人設想,距离地面 100 公里上空,可能有一层导电的空气层存在。到了十九世紀末年,无綫电发报和收报的試驗已經成功,1901年 12 月 12 日,馬可尼初次完成橫渡大西洋的无綫电发报和收报的試驗。1902 年立即有人提出解释,认为发射出去的无綫电波所以不向空間消散,竟然能够反回到地面上来的原因,便是由于高层大气中存在导电层的緣故。无綫电波遇到导电层的时候,发生反射作用,就好比光綫遇到鏡子表面所发生的反射那样。上空的导电层也就是电离层。

1925 年之后,又有人想出办法来直接探测电离层的状况。起初,探测的办法是在一个地方发出无綫电信号,再在另一个地方接收这种信号,之后又設法在同一个地点发出并接收无綫电信号。30 多年来,探测的方法是愈来愈改进,已經发展到可以用照相方法自动记录电离层探测的結果。1945 年第二次世界大战结束后,德国人制造的 V₂ 火箭,便开始用来探测高层大气,十余年来火箭探测技术日新月异,对高层大气取得了十分宝贵的資料。目前地球物理火箭已經可以升高到几百公里以上,再加上卫星式宇宙飞船还能够在电离层中直接进行探测,因此,現在我們对电离层的知識,远比本世紀初年

的單純推測要豐富得多了。

根據世界各地大量的探測結果，知道电离层的变化是比較复杂的，不論是电离层的高度还是电子浓度，隨時隨地都有不斷的变化，而且發現上空有好几层电离层。有的在白天出現，晚上消失；有的突然出現，一会儿又消失了。現在我們就来談談电离层的层次和变化。

一般而論，經常出現的电离层在夜間比較單純，只有一层，叫做 F 层，它离开地面的平均高度約在 300 公里，那里每立方厘米体积內包含的自由电子数目約在 10^5 — 10^6 个。一到白天，太阳东升，电离层立即开始有了变化，也复杂起来了。通常在 100 公里高处又出現了一层，叫做 E 层。 E 层有时在晚上也出現，但 E 层的电子浓度白天比晚上要大一个量級，白天每立方厘米包含电子数約为 10^5 个，晚上就只有 10^4 个。在 E 层下面，距离地面 60—80 公里处，有时白天又出現一层叫做 D 层， D 层的电子浓度更小，一般只有 10^2 — 10^4 个。而且，在高处的 F 层白天分开成为二层，分別叫做 F_1 层和 F_2 层。 F_1 层在下， F_2 层在上。 F_1 层的平均高度为 200—220 公里， F_2 层的平均高度为 300—350 公里。这样，白天通常就有 4 层电离层了。除此之外，还有一些并非經常出現，但有时突然

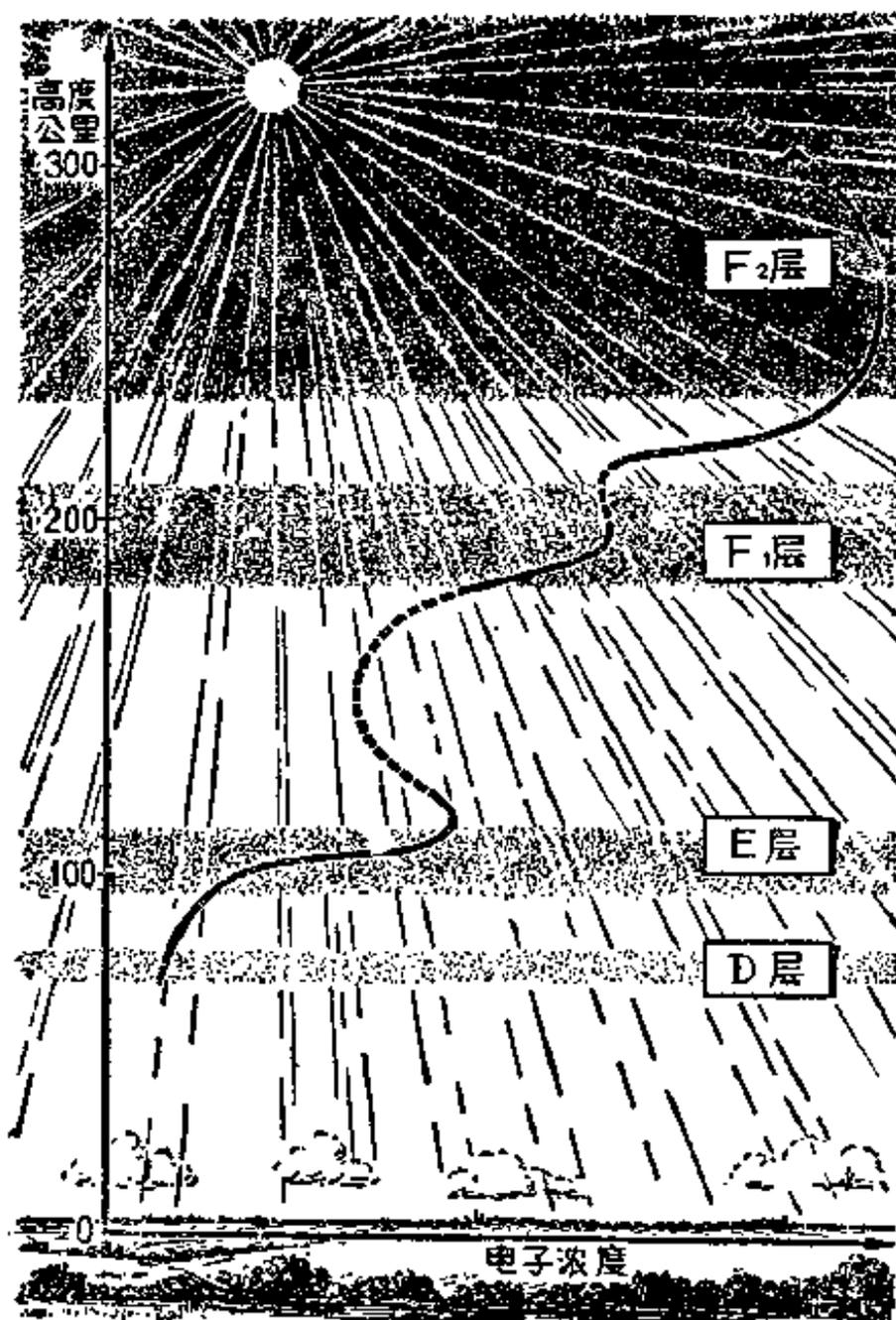


图 12 电离层的构造
 曲线大致地表示单位体积的空气中含有电子数
 是怎样随高度而变化的

又被探测出来的电离层。例如在 E 层的高度上有时突然出现与 E 层性质不同的所谓“离散” E 层,即 E_s 层。

各层电离层的位置,就是它们离开地面的高度,是用什么标准来确定的呢?电离层的高度,就是指在那个高度上,电子浓度达到最大的意思。所以,电离层的高度是以电子浓度的大小来确定的。从这些高度向上和向下,电子浓度都是减小的。因此,在二层电离层之间,都有一个电子浓度最小的层出现。

2. 电离层是怎样产生的?

我们知道,大气的主要成分是氮和氧的分子和原子组成的,这些分子和原子是中性的。一个原子是由带正电荷的原子核和环绕原子核带负电荷的电子所组成的。由于原子核带的正电荷和电子带的负电荷数量相等,所以原子是中性的。当太阳光中的紫外线照射到高层大气的时候,紫外线就对气体的分子和原子起光化作用。这种作用可以用图 13 表示出来。图 13 左方上面的一个箭头表示紫外线中一个单位能量的物质,叫做光量子,它的能量便以 $h\nu_1$ 来代表,这个光量子打击到一个氧分子上,便把氧分子分散为两个氧原子,这种作用就叫做分解。

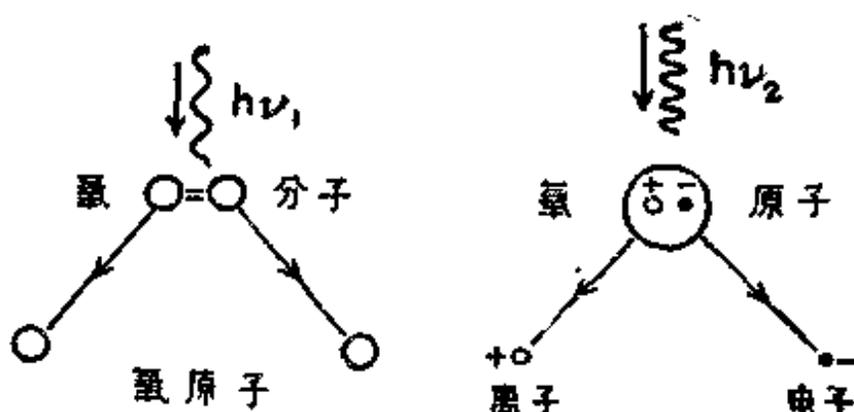


图 13 太阳紫外辐射对高层大气的作用
左，分解作用；右，电离作用

h 是一个常数，叫做普郎克常数， ν_1 是光量子的振动频率。

当具有更大能量的光量子打击到一个原子上的时候，就发生如图 13 右方所表示的作用，能把原子外围的一个电子打出，产生两个带电荷粒子。光量子能量的大小就在图上弯曲线条曲折的多少表示出来，右方的曲折比左方的要多些，这就是说 ν_2 的振动频率要比 ν_1 大。被打出来的电子，不再受原子核的束缚，所以，叫做自由电子。自由电子带有负电荷，失去一个电子的原子，此时带有正电荷，叫做正离子。这个作用叫做离解。分子的分解和原子的离解，都是在紫外线作用之下方才产生，这时我们认为分子和原子吸收了紫外线。各层电离层中电子的产生，就是依靠太阳紫外线的这些作用而来。

当自由电子和离子相碰撞时，又能产生与离解相反的作用，叫做复合作用。此时正离子捉住一个负电子，又成为中性的原子。由于此时原子核所带的正电和外围电子所带的负电已经相等。

高层大气中的分解、离解和复合作用是在不断地进行中的。白天在太阳照射之下，离解作用占了优势，因此，电离层中的电子浓度随太阳升高而有增加。到了夜晚，太阳紫外线的来源没有了，便以复合作用占优势，因此，电离层中的电子浓度减小，有的电离层在晚上也就消失了。另外，在发生日食的时候，也可以测出电离层电子浓度的迅速下降。这就进一步证明了太阳紫外线对电离层生成的重大意义。至于各电离层中的电子，则是来源于不同的气体成分，象 D 层和 E 层中的电子主要由氧分子电离所产生， F_1 和 F_2 层主要由氮分子和氧原子电离所产生的。

3. 电离层对无线电波的作用

一个发报电台要发出无线电波，是靠它的天线来发射的，电波从天线向四面八方传播出去。发射的电波可分两个部分，一部分沿着地球表面向前传播出去，叫做地波；另一部分从天

空传播出去，叫做天波。天波遇到电离层的时候，马上被它反射，又折回到远处的地面上来了（图14）。实验证明：不同波长的无线电波受到电离层反射的情况也是不同的。因为电离层的反射作用，被电离层的电子浓度和无线电波的波长这两个因素来决定的。波长短的无线电波，通过地波传播所能到达的距离，远比天波所能到达的距离为短。所以，远距离无线电通讯常要依靠较短的电波通过天波来进行。但是，采用的短波有一个限度，波长短于某一极限反而就不成了。这正是因为电离层反射无线电波的作用决定于电子浓度和波长的缘故。波长过短的电波，不再被电离层反射，而是透过电离层通到外

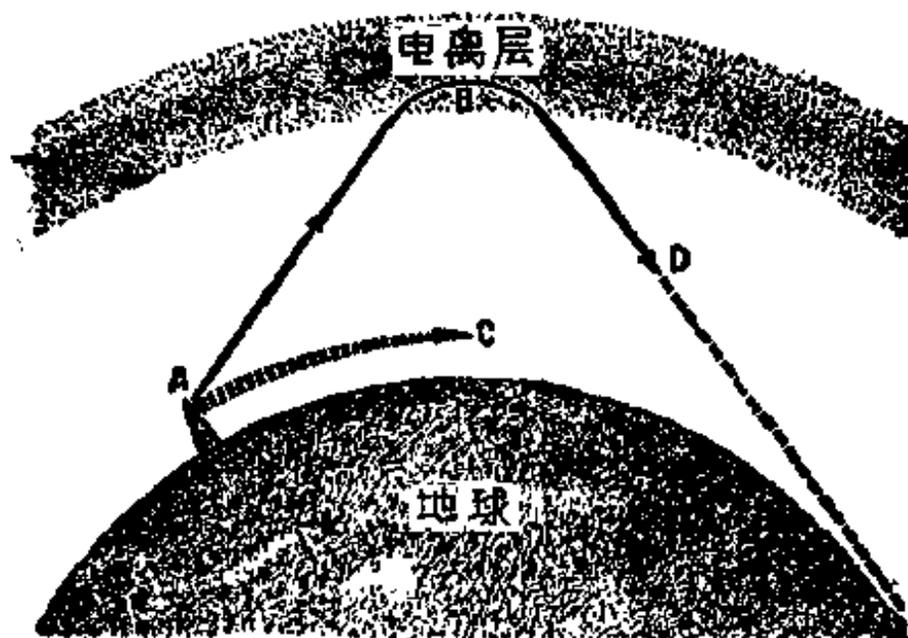


图 14 无线电波传播的两条路径
AC, 地波的路径; ABD, 天波的路径

空去了。

做一个实验，就可以明白这种关系。我们建立一个发报电台，先用较长的电波向天空发射，然后逐渐把发射电波的波长减短，来观察电离层的反射作用起什么变化。结果可以发现，波长比较长的時候，是从比较低的电离层，*D*层和*E*层反射回来的。当波长愈来愈短它就能穿过*D*层和*E*层，再由比较高的电离层*F*层反射回来。当电波继续减短，到了一定限度，那就连*F*层也能穿过去，再也不见它被反射回来了。因此，无线电通讯中所采用的短波波长，要看电离层中电子浓度的大小来决定。通常电子浓度愈大，能穿透过去的电波波长就愈短。

在实际工作中，常用频率来代替波长。频率就是指电波在每秒钟时间内振动的次数。有两种常用单位，便是千周和兆周。千周即指每秒钟内电波振动1,000次，兆周即每秒钟内振动100万次。我们知道，无线电波的传播速度与光速相等，即每秒钟30万公里。而电波的频率和波长之间有一个简单的关系，便是：

传播速度 ÷ 频率 = 波长。

例如，频率为3兆周的电波，其波长便为 $3 \times 10^8 \text{米} / 3 \times 10^6 = 100 \text{米}$ ；频率为30兆周时，波长便为10米。可见频率愈大，波长就愈短。因

此，对电离层来说就有一个临界频率。临界频率的意义是：电离层反射的无线电波，其频率要是大于某一临界值的时候，电波便要穿透电离层不再反射回来，这个临界值就叫做电离层的临界频率。

在电离层探测工作中，临界频率是一个十分重要的参量，因为只要测出某一层电离层的临界频率，那么，该电离层的最大电子浓度也就可以推算出来了。只要用一套特殊设计的无线电收发报装置，就可以探测各层电离层的临界频率、最大电子浓度以及它的高度。测量电离层的高度，只要计算发射电波在电离层与地面之间来回的时间就可以得出。因为电波的传播速度是一个常数，速度和时间相乘便得到距离。

应用电离层对无线电波的作用，一方面我们可以测知电离层的种种特性，包括高度、临界频率和最大电子浓度等；另一方面，知道了电离层的特性和它的变化，又可以对无线电通讯工作加以改进。世界各国对电离层探测和研究的工作日益发展起来的原因正在于此。

现代探测电离层的无线电技术已经自动化了，可以用自动照相技术直接作出电离层的特性曲线。这种特性曲线就是以频率为横坐标，视高度为纵坐标，把探测的记录描绘出来的曲

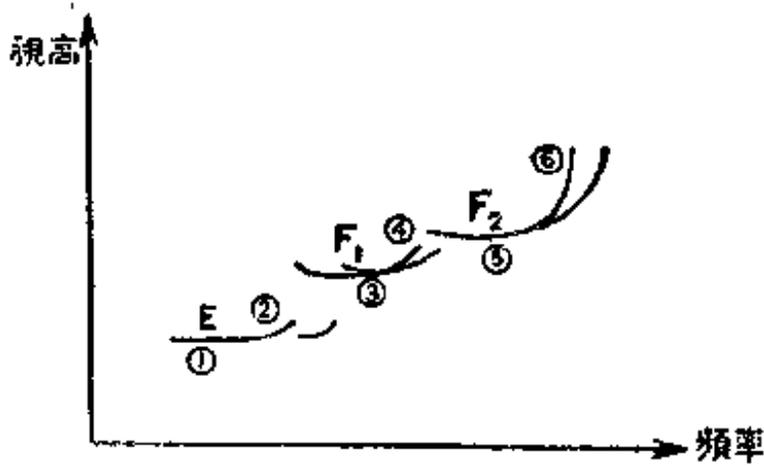


图 15 电离层特性曲线示意图

线(图15)。所谓电离层的视高度就是从无线电波来回的时间探测出来的电离层高度，计算这种高度并不考虑电波在电离层中传播时速度减慢的现象，因此，这个高度实际上比电离层的真正高度要高一些，为了区别于真高度，所以，叫做视高度。在探测记录中一般直接用视高度。

在图 15 的特性曲线上，注明①③⑤的地方指出各层电离层的最低视高度，常用符号 $h'E$ ， $h'F_1$ ， $h'F_2$ 来表示， h' 就代表视高度。图中注明②④⑥的地方，即各层曲线弯曲向上的地方，即指出各层的临界频率，常用 f_oE ， f_oF_1 ， f_oF_2 来表示， f_o 即临界频率。电离层的视高度和临界频率就是两项直接从观测得到的基本资料。从此便可以推算出电离层的其他参量，象真高度和最大电子浓度等等。我们再注意一

下图 15 中②④⑥处曲线的分枝现象,这是地球磁场对探测电波起了作用的结果。各分枝处的频率宽度便与各层所在高度上地磁场的强度有关。因此,根据电离层的特性曲线,我们还可以从这种分枝的宽度来推算该高度上地磁场的强度和它的变化。

4. 电离层变化和太阳活动

既然电离层的产生是太阳紫外辐射作用的结果,那么,电离层的状况显然要受到太阳紫外辐射改变的影响。可以这样说,电离层的种种变化主要是由于太阳辐射的改变而发生的。电离层的变化可以分为两大类:一类是随时间不同而表现出来的变化;另一类则是随地区不同而表现出来的变化。我们先谈随时间不同所表现的变化。这主要可分三种情况:第一种是周日变化,也叫做昼夜变化,即以一天 24 小时为周期的那种变化;第二种是周年变化,也叫做季节变化,即以一年 12 个月为周期的那种变化;第三种变化就同太阳活动的周期有关了,最明显的即随同太阳活动 11 年周期所发生的变化。

图 16 表示我国武汉地区夏季七月份一个月內平均的周日变化曲线。图中横坐标是 24 小

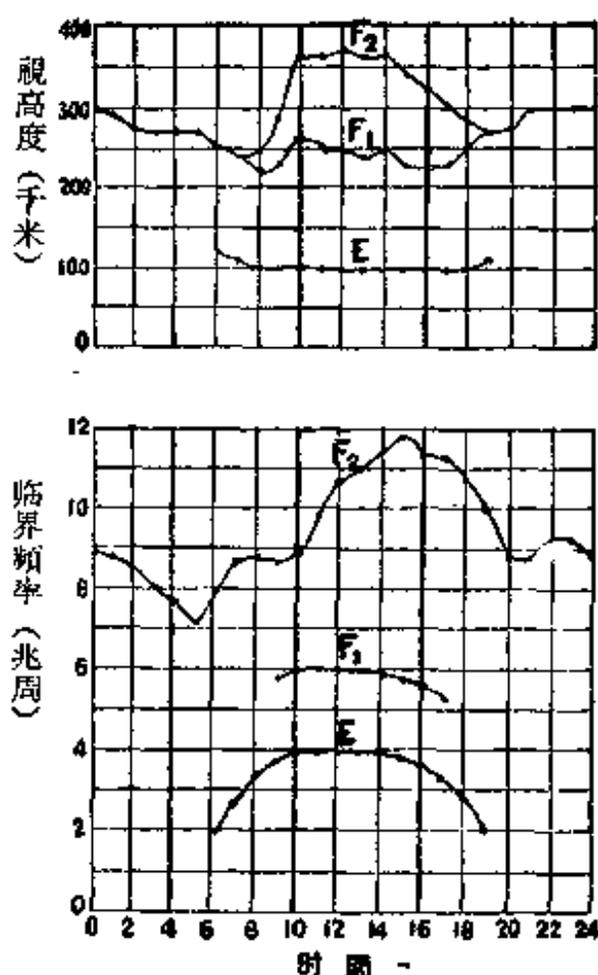


图 16 电离层的周日变化
(1948年7月武汉上空的探测结果)

时的时间 (东经 120° 标准时间), 上图纵座标为以公里计算的视高度, 下图纵座标为以兆周计算的临界频率。从图中可见, 电离层 E 层临界频率的周日变化十分清楚, 在日出日没的时候比较小, 中午太阳高度最大时临界频率也最大, 夜里 E 层便消失了。至于 E 层的视高度在白天几乎保持在 100 公里不变, 只是在日出日没的时间有一些变化。 F_1 层的日变化情况和 E 层相似, 但在视高度方面有些不规则振动。 F_2 层的 24 小时变化就要复杂一些, 视高度不但在中午最高, 在夜半也有一个高值, 而在日出后和日没前附近时刻各出现一个低值。 F_2 层临界频率的最高值则比视高度出

时的时间 (东经 120° 标准时间), 上图纵座标为以公里计算的视高度, 下图纵座标为以兆周计算的临界频率。从图中可见, 电离层 E 层临界频率的周日变化十分清楚, 在日出日没的时候比较小, 中午太阳高度最大时临

現在中午的時刻還稍見落后，最低值則出現在日出之前。

電離層的周年變化在中緯度地帶十分清楚。一般針對逐日同一時刻電離層的特徵，在各月之間的变化來顯示它的周年變化。例如，針對中午 F_2 層的臨界頻率來說，一年中在春秋月份各出現一次較大的值，在冬夏月份各出現一次較小的值，就是說大致每半年有一次起伏。至於 E 層中午的臨界頻率，每年只在夏季月份出現一次極大值，而且 E 層變動的幅度比 F 層要小得多了。

電離層的多年變化幾乎完全和太陽活動周期平行，11年周期在電離層的特性參數中是十分明顯的。圖 17 即表示 1934—1945 年太陽活動第 17 周中 F_2 層和 E 層臨界頻率的逐年變化和太陽黑子數逐年變化的平行關係。

由此可見，電離層隨時間的幾種變化，都同太陽對地球的相對位置以及太陽本身的活動狀況密切相關。因此，我們要探索電離層的時間變化規律，就不可能拋開太陽這一個決定性因素，這已經是十分明白的了。

電離層隨地區不同也是有變化的，這主要表現在 F_2 層的变化方面。即使在同一緯度上，地方時間也相當，兩個經度不同的地點 F_2 層的

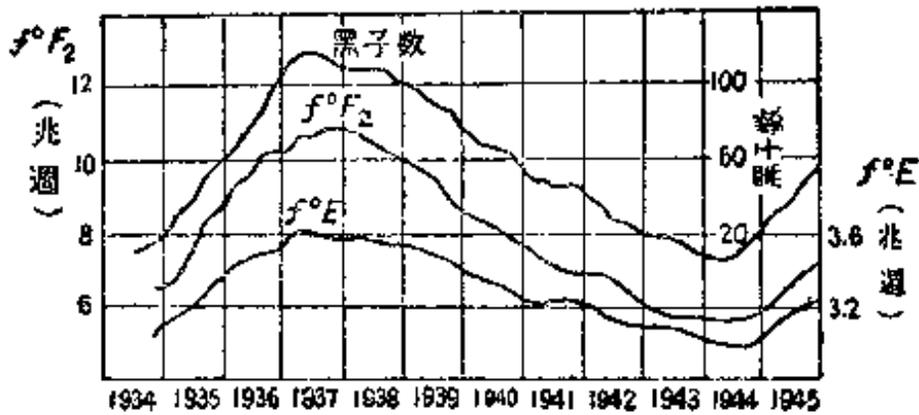


图 17 电离层和太阳黑子的周期变化

临界频率也有差别，这种差别叫做“经度效应”。此外，对分布在南北两个半球两个测站来说，即使它们的纬度和经度相同，它们电离层特性的周年变化仍有不对称现象出现，这叫做“纬度效应”。这两种效应都是地球磁场作用的结果。至于 E 层和 F_1 层并没有出现显著的经纬度效应。

除了上述几种比较有规律的电离层变化之外，在探测过程中还发现一些临时性的变化，可以称做电离层的特殊变化。出现较多经过时间较长的一种特殊变化，就是在 E 层高度附近产生的所谓“离散 E 层”，即 E_s 层。常在夜间 E 层消失以后，或者在白天即使 E 层仍然存在的时候，有时会测到比 E 层的临界频率更高一些的反射电波，这就是离散 E 层。根据对离散 E 层的许多观测和研究，知道它是从具有较高电

子浓度的云块组成的，这些云块的生成和流星雨碰击高层大气有联系。大量流星碰击高层大气可以促使大气发生电离，产生临时性的电离层。另外，有些人认为大气下层出现雷雨云时，由于云中有强烈电流存在，也可能引起在它上空产生离散 E 层。

除此以外，电离层还有一种特殊变化，叫做突发性干扰。干扰经历的时间比较短，不过几分钟到几十分钟，但出现的次数则比较多，对无线电通讯的影响也比较大。产生这种突发性干扰的原因便在太阳上。在太阳活动增强的时候，这种干扰出现的次数也随之增加。每当太阳面上靠近中央地区出现色球爆发之后，几分钟内即在太阳照射到的半个地球上，引起电离层干扰。这是因为太阳爆发时放射出强烈的紫外线辐射，使电离层的低层迅速加强电离的结果。由于太阳色球爆发的时间很短促，所以，这种电离层干扰也往往不过出现几分钟就消失了。

还有一种与磁暴同时发生的所谓电离层暴，这对电离层高层的影响比较大。那时电离层高层的电子浓度突然减小，视高度则增加，也对无线电通讯起不良作用。电离层暴经历的时间有时可以长达几天，短的时候也不过几分钟

之久。由于磁暴的发生与太阳的粒子流辐射有关，所以，电离层暴也是太阳活动的一种结果。

近来，电离层探测的技术不断改进，更发现了电离层中的精细结构。例如，电离层中存在着电离程度不均匀的各种大大小小的云块，这些云块在水平方向还有运动，叫做电离层风。电离层气体在垂直方向也有运动，叫做电离层的潮汐作用。由此可见，电离层的变化是多种多样的，非常复杂的，产生这些变化的根源都在太阳，主要是太阳辐射本身有变动所致。

5. 电离层特性的预报

大家都知道，气象台常常在报纸上和广播里发布各种天气预报，天文台也发表日食和月食的预报。日食和月食的预报可说分秒不差，气象预报就不是经常准确的了。但气象预报对经济建设部门和广大人民的日常活动具有参考价值。同样，电离层的特性也是可以预报的。由于电离层对无线电通讯关系很大，为了保证通讯效率的提高，所以，电离层特性的预报是有实用价值的。世界上已经有许多国家，包括我国在内，都已开始了电离层的预报工作。

近二三十年来，规模巨大的全世界无线电通讯台站网建立起来了。通讯网所采用的无线

电短波波长,都在 15—60 米的范围之内。这些短波都是依靠 F_2 层的反射来传播的。因此,对 F_2 层电子浓度的詳細了解,可以促进无线电通讯效率的提高。如果进一步对 F_2 层的未来变化也能够作出预报的话,那么,对考虑无线电通讯应该采用的措施就更加有利了。从上面几节的介绍中我们知道,电离层的特性决定于四种因素:

第一,太阳高度的日变化;

第二,太阳对地球相对位置的季节变化,这和太阳照射的时间长短以及照射的角度有关系;

第三,太阳活动的周期变化,这可以黑子的多少来代表;

第四,太阳上突然爆发的强烈辐射过程,这可以耀斑为代表。

对于一个经纬度已知的地点来说,前两种因素完全可以事前算出,它对电离层的影响也可以从长期探测的结果中分析出来。再根据历年逐月太阳黑子数的变化和当地电离层的相关研究,先做出太阳黑子数的预报,便可以估计未来几个月到一两年内电离层变化的大致趋势。这叫做电离层的长期预报工作。但是,由于逐月间黑子多少的预报并没有很大的把握,所以,

电离层长期预报的正确性受到限制。至于太阳耀斑出现的时间和强度更难确切预知，一般只能在耀斑或者磁暴已经发生之后，酌量进行几天或一两天内电离层变化的短期预报工作。按一般经验， E 层的预报把握较大， F_2 层的预报准确性较差，大致因为控制 F_2 层的因素更加复杂的缘故。可是 F_2 层对短波的远距离通讯又特别重要，所以，电离层的预报问题尚需继续开展研究工作。

6. 哪些地方可以看到极光？

无论在南半球还是在北半球的高纬度和极地区域，每当晴夜少云的时候，极光出现的机会很多。在中纬度地带夜间能看到极光的机会就比较少，到了低纬度看到极光的机会就更少了。北半球看到的极光叫做北极光，南半球的就叫南极光。南半球高纬度居民很少，所以，南极光的记载和研究在过去也很少。北半球的极光则在古时候早就被人们所注意了。古时候的人常把极光和天空少见的扫帚星(彗星)并列，当做恐怖和灾难的象征。

北极光出现最多的地带，叫做极光带，见图 18 中的粗黑线圈。这个极光带是围绕着重磁北极的，在磁纬度 67° 上，即图 18 中的黑点所在

位置,图中另有一个“+”号的地方,表示地理北极的位置。从极光带向北去或者向南来,极光出现的频次都逐渐减小。图 18 中许多同心线圈经过的地方,表示一年中在那里平均出现极光的日数相等,这些线叫做极光等频次线。由于地磁北极的位置在西经 69° 和北纬 78.5° ,而这些极光等频次线又都围绕着磁北极,因此,在我国大部分地区看到极光的机会就很少。在新疆、内蒙、东北一带,平均每年也只能看到一次

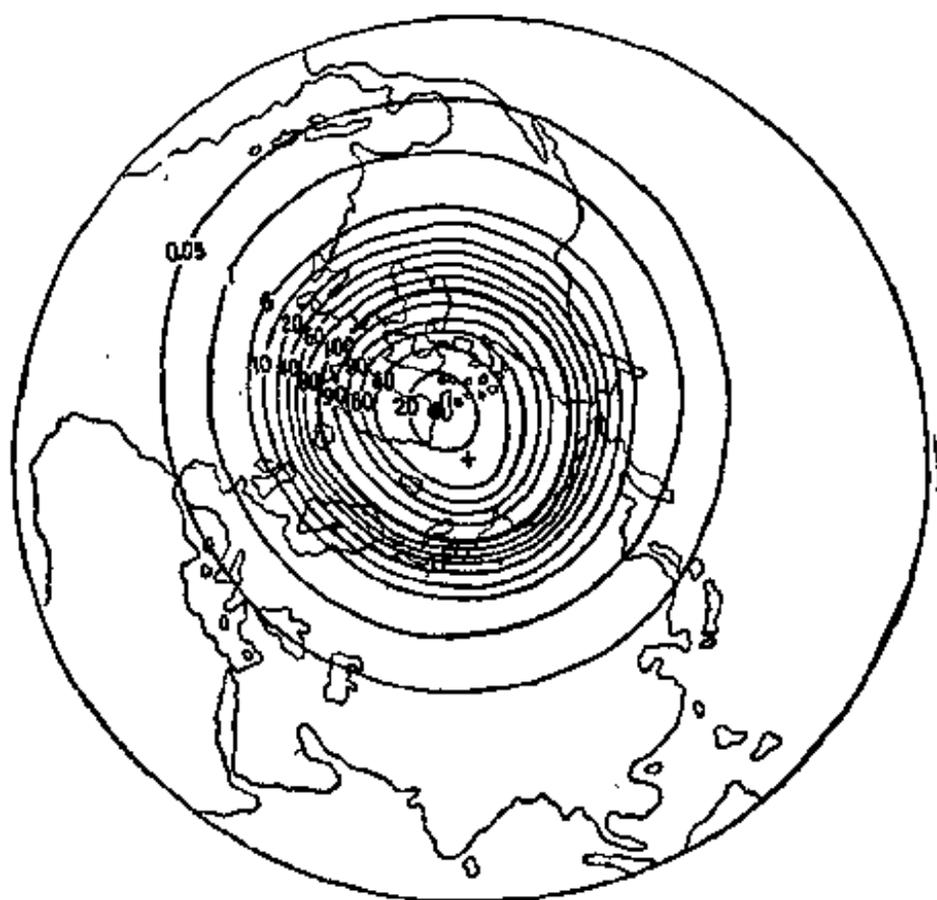


图 18 极光等频次线分布
黑圆点为磁北极, +号处为地球北极

或几年方能看到一次极光。在欧洲北部，象挪威、瑞典等国，一年中平均有几十个夜晚可以看到极光。

可是，极光出现的次数和强度，以及能够看到它的地区，都和太阳活动的周期发生密切关系。图 19 表示 1840—1895 年时期内苏联欧洲地区每年出现极光的日数和太阳黑子数的对应关系。可见在太阳活动强黑子多的年份，极光出现次数也多。在太阳活动极强的年份，甚至在低纬度地区也增加了看到极光的机会。例如，在 1957 年 3 月 2 日我国黑龙江漠河地区看到强烈的极光，经历时间 45 分钟；在 1859 年 9 月 1 日太平洋上的夏威夷群岛看到极光，这个群岛的纬度位置比较低，只在北纬 22° ；再如 1872 年 2 月 4 日在北纬 19° 的印度孟买地方也看到

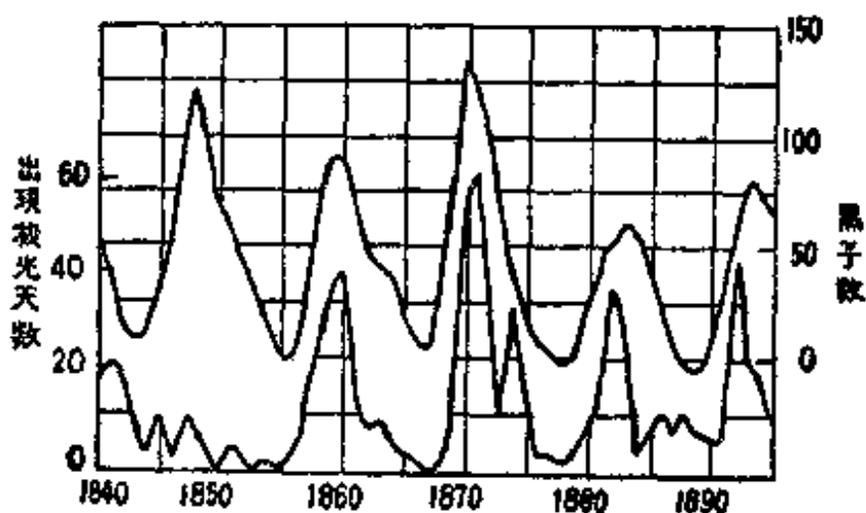


图 19 极光和太阳黑子的周期变化

了极光。而这几年正好都是太阳活动较强的年份。

7. 极光的形态和分类

北半球的极光往往出现在观测者的北方，当北极光出现时，在黑夜的天空可以看到不同形式的发光面，有的是灰白色，有的是红、蓝、紫等彩色，如幃如幕，闪闪发光，变化多端，景色非常美丽，十分动人喜爱。这些发光面有时是静止的，有时波浪起伏，飘移晃动，而且形态和色彩时时改变。按照发光面的形态，通常把极光分为以下几类：

第一类，指没有射线构造的极光，包括以下六种：

(1) 均匀平静光弧(符号 H. A.) 常在地平面附近发现，光弧与地平面之间有一暗区，它的下部边缘很清楚，但上部边缘比较模糊。有时几个平行光弧同时出现，形成横跨天空的大弧；有时也以双弧形态出现。平静光弧的颜色，灰白和淡蓝的为最多(图 20, 见插页)。

(2) 均匀光带(符号 H. B.) 光带的下边缘也很清楚，但形状不规则，光带中常显有几重曲折，如幃如幕，飘忽移行，单色最多。

(3) 脉动光弧(符号 P. A.) 此种光弧往



图 20 均匀平静光弧



图 21 具有射线构造的光弧

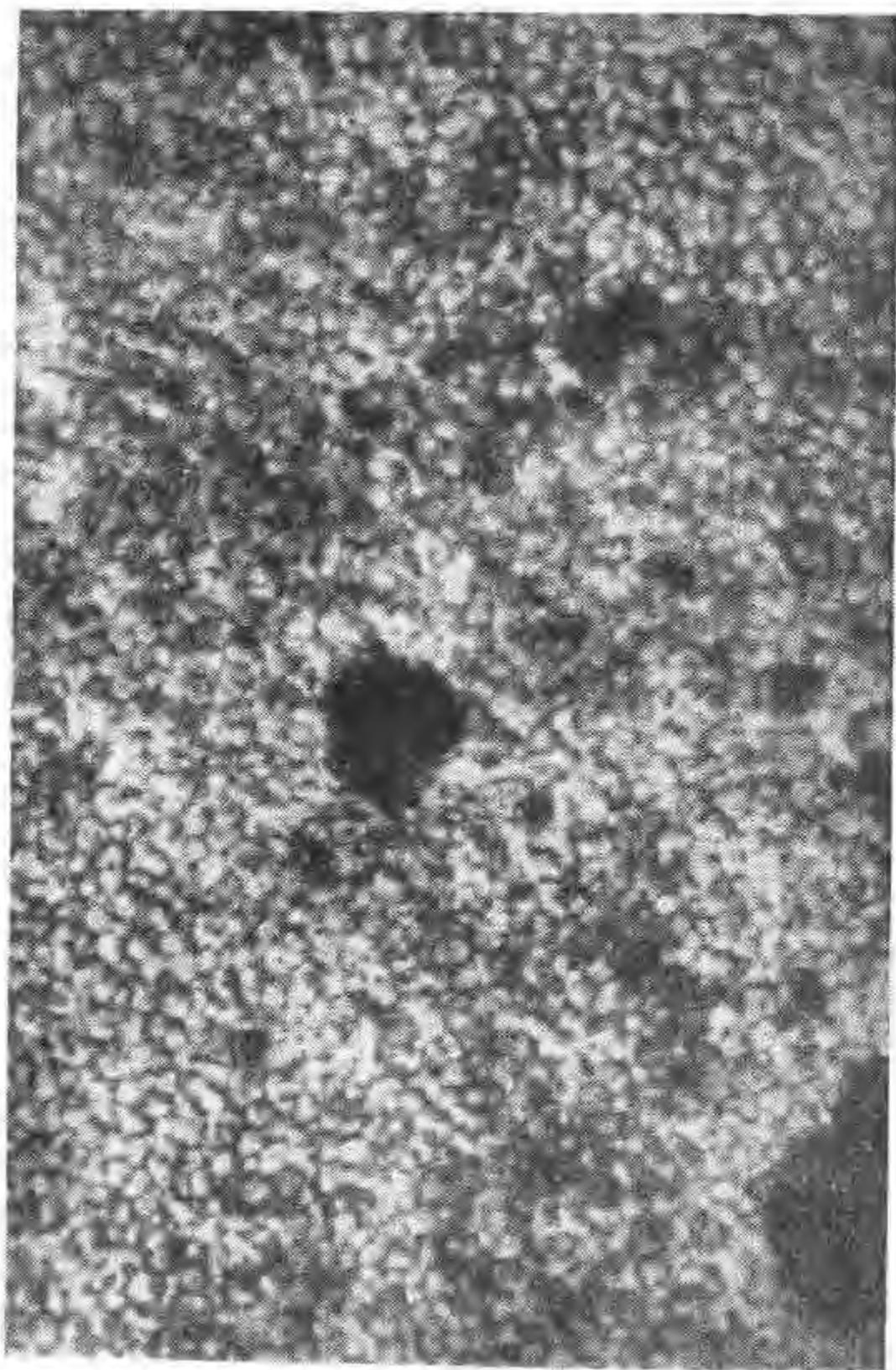


图 2 瓦球面上的米粒組織，
洞孔及小蟲子
(1883 年 7 月 5 日強生攝)

往在天空不見其他种类极光时出現，在光弧的部分区域忽明忽暗，有脉动状态表現，脉动的時間常在几秒钟之內。

(4) 弥散发光面 (符号 D. S.) 大部分天空出現弥散的紫光和紅光，好象天空罩上了一层彩色的面紗。

(5) 脉动发光面 (符号 P. S.) 弥散发光面具有脉动形态时称做脉动发光面，脉动的周期不过几秒钟。

(6) 地平微弱光輝 (符号 G.) 出現在地平綫附近，光輝微弱，常为白色或稍帶紅色；其实这是光弧的上部，由于此时光弧的下部还在地平綫以下，所以，看不到它的全部了。

第二类，具有射綫构造的极光，包括以下五种：

(1) 具有射綫构造的光弧 (符号 R. A.)，包括均匀平靜光弧和脉动光弧 (图 21，見插頁)

(2) 具有射綫构造的光带 (符号 R. B.)

(3) 幃帳 (符号 D.)

(4) 射綫 (符号 R.)

(5) 光冕 (符号 C.)

此类极光形态的共同特点便是都有射綫，射綫束的长短則变化不定。当射綫汇集于当地磁天頂的时候 (磁針在地磁場中自由运动时，它

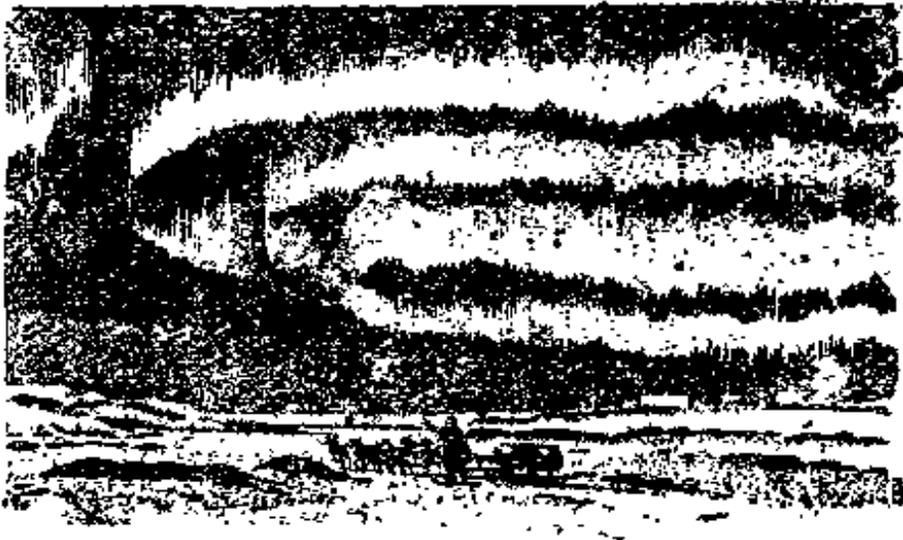


图 22 极光光带

針端所指天空的一端便是当地的磁天頂),可在該处形成一个光冕。光冕有时很完整,即在磁天頂周围都出現光带,景色十分美观(图 22)。

第三类,叫做火焰状极光(符号 F),这是由移动很快的强光波組成。发光面有时具有光弧的形态,而光波即以垂直于光弧的方向向上快速移动,直奔磁天頂而去。此种光波的运动犹如火焰上升,所以叫做火焰状极光。此种极光出現以后常跟着出現光冕。

对极光有兴趣的业余观测者,当見到极光之后可以把它的类别和出現時間詳細記載下来,寄給当地气象台站,对进一步的研究很有用处。在国内已有几十个气象台站担任极光的观测工作,这些台站大多是在我国的北方。

8. 极光的高度和光譜

有电话联系的两个地点，同时用照相机对准极光的同一点拍照，并预先测定两地之间的距离，再量出极光点的仰角，便可用三角法算出该点的离地高度。另外，借助于照片上看到的，当时天空背景上位置已知的一些恒星，便可确定极光点的方位。用这种方法测定极光高度的工作，在挪威几个极光站中已经做得很多，欧美其他国家也有同类的工作。根据实测的资料，已知极光下部边缘的高度一般在100公里附近；上部边缘的高度，由于边界不清、变化飘忽、测量上有困难，所以不易肯定。

另外，在黎明或黄昏的时候，当地面天黑但高空大气在太阳光照射之下，此时如出现极光，叫做“日照极光”。日照极光高度很大，下部边缘在200公里以上，上部边缘甚至可达1,000公里以上。一般情况下，极光高度和它的亮度有关系，下部边缘附近最亮，高度增加亮度减小，到极光的上部边缘就没有界限可寻，亮度也减到不可辨认。但是，具有射线的极光，亮度变化很小，甚至没有变化。

至于极光的光谱分析，可以帮助我们了解高层大气的成分，所以，也是一件十分重要的工作。大家知道，我们在实验室中只要用一架光

譜儀，就可以對各種發光物體進行光譜分析。實驗證明，固體發的光常是一條連續光譜；氣體發的光常為不連續光譜，是由一條條帶有顏色的光譜綫或一條比較寬的光帶所形成。光譜綫對應於原子所發的光，光帶則對應於分子所發的光。光譜學家已經在實驗室中對各種氣體的發光做了徹底的研究，他們只要取到某種氣體的光譜，立即便能辨認它是哪一種氣體，甚至發光當時的物理狀態也能知道。因此，通過極光光譜的分析，也就知道了發出極光的是哪些氣體以及它們的物理狀態。

我們再來談一談光譜分析中的一條重要的原理。這條原理是光學家杜浦爾發明的，所以叫做杜浦爾原理。這條原理是：當有一個發光物體正對着觀測者的方向移來時，它的光譜綫便向短波一端偏移；如果發光物體遠離觀測者而去時，它的光譜綫便向長波一端偏移；偏移的程度與發光物體的運動速度成正比關係。這條原理在天文學中起了很大的作用，根據天空中許許多多恆星的光譜分析，就知道了它們的運動方向和運動速度，使人們對宇宙的認識大大的進了一步。這條原理應用到極光光譜的分析工作中，同樣也獲得了重要的結果。

分析極光光譜，仔細觀察光譜綫和光帶的

位置,已經得到这样一些結果:

(1) 极光主要是氧原子、氧分子、氮原子、氮分子以及它們的离子所組成,有时还有鈉和氢以及氦。按极光出現的不同高度,得知在离地 90—130 公里处,仍有氧分子和氮分子,但氧分子随高度增加逐漸分解为氧原子。200 公里以上已不見氧分子,只有氧原子,但氮分子仍然存在。

(2) 极光光譜中發現有氢原子的紅色譜綫,这条紅色譜綫并向短波一端偏移。按照杜浦尔原理,說明这种氢原子或氢原子核(质子)是从地球外空飞进大气层来的。再从紅色譜綫偏移的程度,算出氢原子核飞来的速度达到每秒 3,000 公里以上。另外,从极光和磁暴相伴出現的事实以及极光和太阳活动的相关研究,可以証明这种氢原子核乃是太阳面上抛射出来的。这一点对太阳的粒子流輻射也是一个重要的观测証据。

9. 极光生成和太阳活动

我們已經知道,极光出現次数和太阳活动的周期有并行的关系(图19),所以极光也有 11 年周期,正象磁扰也有 11 年周期一样(图 11)。另外,我們又知道,由于太阳的自轉,太阳黑子

还有 27 天的周期。那么，是不是极光和磁扰等等也有 27 天周期呢？回答是肯定的，因为经过大量资料的分析，都证明了它们同样有 27 天周期。人们又发现，每当巨大太阳黑子经过日面中央线时，或者强烈太阳耀斑出现在日面中央区域时，立即就引起电离层的干扰，使短波无线电通讯暂时中断；然后在 24—36 小时之后，引起磁暴和极光。显然极光的产生是太阳微粒辐射作用于高层大气的结果。

至于太阳微粒辐射的成分，现在虽然还没有完全弄清楚，但它主要是质子和自由电子所构成。微粒辐射的速度大致为每秒 1,000—3,000 公里，最大时可以超过每秒 3,000 公里。微粒辐射的速度可以这样计算，先求太阳耀斑开始和磁暴开始的时间差，以这一时间去除日地距离，即得粒子流从太阳到地球来的平均速度。这样计算的结果与上述从极光光谱中红线偏移算出的质子速度是符合的。

粒子流侵入高层大气，促使气体加强电离作用。当处在离解状态中的大气成分，如氧原子、氮原子、氧分子、氮分子的离子重新恢复原来状态时，便要发光，放出能量。大量离子的发光就构成极光。极光不一定要在夜间才能发生，白天也是有的，不过白天天空太亮，微弱的

极光便不容易被人们看见了。过去，偶而也有人看到过白天出现的极光。

此外，从极光出现的地区来看，它们所以集中出现在地磁两极的附近，也进一步证实产生极光的原因确是太阳的微粒辐射。因为总的来说，太阳的微粒辐射虽然是中性的，但它们主要是由带正电荷的质子和带负电荷的自由电子所组成，这些带电粒子来到地球磁场磁力线范围之内，势必要受到磁场的作用。根据电磁学中一条定律可知，当一个带电粒子沿着磁力线进行时，可以保持它原有的运动方向；如果粒子沿着垂直于磁力线的方向进行，它的运动方向就要发生偏移；偏移的方向视粒子所带电荷的正负号而定。由此可见，当太阳微粒射向地球低纬度上空时，其射入方向几乎与当地磁力线方向垂直，所以，早在离地面几千公里以外，就由于地磁的作用发生了方向的偏移，很难进入低纬地区的高层大气；除非粒子能量特大时，方才有可能侵入稍深一些。这便是低纬度很少出现极光的原因。只有在太阳活动特强年份发生大耀斑之后，低纬度才偶面有出现极光的可能。至于沿着地球磁场磁力线前进的太阳微粒，它们顺利地直奔地球南北磁极而去，直接侵入极区的高层大气，所以，极区的极光产生的机会就多了。

为什么极光下部边缘的高度大都在 100 公里, 没有发现过低于 60 公里的呢? 这显然是和高层大气在垂直方向上的密度分布有关。因为太阳微粒一旦侵入大气之后, 它的运动能量便消耗在使高层大气产生电离和激发的作用上, 因此, 它没有力量能够继续冲入密度逐渐增大的大气层中来了。

10. 新发现的一些高层大气情况 和太阳活动

1957 年以来, 人造地球卫星、宇宙火箭和卫星式宇宙飞船在高层大气中以及在行星际空间中探测的结果, 发现了许多新情况, 这些新情况大都和太阳活动有直接的联系。现在只能举几个例子来谈一谈。

首先, 过去一直认为地球大气层的厚度当在 1,000 公里以内, 1,000 公里高处的大气含量已经非常之小, 小到和行星际空间每单位体积内所含有的粒子数相接近了。现在根据新的探测资料, 证明大气层的厚度远不止 1,000 公里, 至少在 3,000 公里以上。同时得知几百公里以上的高层大气, 几乎完全直接受着太阳辐射的控制。高层大气的物理状态, 包括温度、密度、电离程度等等, 不但在白天和晚上差别很大, 而且

当太阳上发生什么突然变化的时候，如有耀斑出现等等，高层大气的物理状态也立即发生改变。例如，当人造卫星在上空绕着地球运转时，有时正遇到太阳上出现较大耀斑，在耀斑爆发后 24—36 小时，人造卫星所受到的高层大气阻力突然增加，说明那里大气的密度已经增加了。此外，更发现几百公里以上的大气密度，还随着太阳活动的 11 年周期而变化。二三百公里高处的大气密度，1957 年以来逐年在减小。1957 年正是太阳活动空前强烈的一年，该年以后太阳活动也是逐年减弱的。

第二，在地球大气层以外，大约离地 5 万公里以内，最近发现了 3 条辐射带。靠近地球的一条叫做内辐射带，远离的一条叫做外辐射带，外辐射带最近发现又分为两条，最远的可以叫做最外辐射带。辐射带是由带电荷微粒组成的云层，本身具有辐射的能力，所以，叫它为地球的辐射带。辐射带内微粒的浓度和辐射强度时有变化。

图 23 是辐射带示意图，图中间的圆球表示地球，向上指北方，向下指南方，地球上下的箭头表示磁力线的方向，左右两边两块黑色区域，表示内辐射带的位置，可见内辐射带距离地球表面在一个地球半径的距离之内，即约在五六

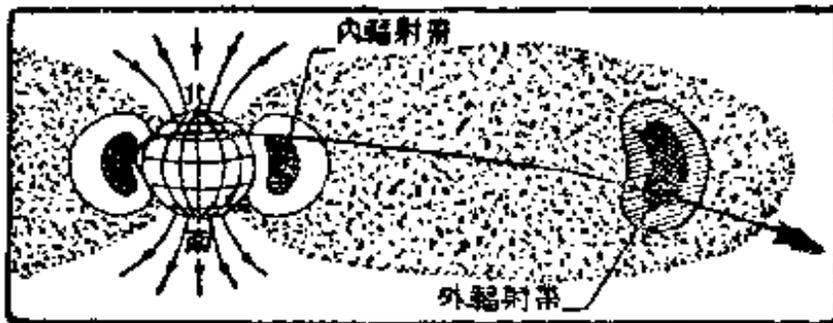


图 28 地球周围的辐射带

千公里之内。右边的斜线区域表示外辐射带的位置（左边的没有画出），小黑点的整个区域表示辐射带的范围。图中还有一条黑线表示射向月亮去的宇宙火箭通过辐射带的路径。几条辐射带都是环绕着地球一整圈的，图中只表示南北方向上的一个截面上的情况。

辐射带中的带电荷微粒由于地球磁场的引力被拉向地球，不能冲入宇宙空间，正好象这些微粒被拘留在地磁场的“陷阱”之中，它们只能在磁“陷阱”中来回快速飞奔。在内辐射带内运动的微粒能量很高，大部分是质子（氢原子核）。在外辐射带内运动的是能量小得多的电子。辐射带内的质子和电子经常是在地球磁场的南极和北极中间来回飞奔，以地球磁场的磁力线作为它们的运动“轨道”。从一个磁极到另一个磁极的旅行，质子所需要的时间大多数少于一秒钟，而它们的平均寿命可达几个月之久。质子和电子不会推进到地球的表面，它们大部分在

几百公里高空处发生反射而折回去。显然，不断来回运动的微粒偶然会碰在一起，碰撞的结果，形成一种电磁波辐射，就会使得质子和电子的能量慢慢地消耗。这种碰撞在两极附近比在赤道上发生的要多，因而使两极上空的最高层大气发生加热现象。

地球的辐射带是怎样产生的呢？许多科学家认为，这样大量的粒子主要来自太阳。太阳放射出来的粒子注入地球的磁场之后，便在地球磁场中转动。我们可以做一个比喻，辐射带就好象一个漏水的桶，把来自太阳的粒子有时漏进了高层大气之中。当遇到太阳面上有强烈的活动，有大量的粒子流进来的时候，这个漏桶便溢了出来，这主要发生在地球的高纬度地区，因而就在那里产生奇妙而美丽的极光，

另外一种理论则认为，辐射带的来源是由于宇宙射线冲击地球高层大气，产生了大量的中子，这些中子是不带电荷的，可以通过磁场而不致偏斜。在相当的时候，有些中子在大气高层中便分裂为质子和电子。这两种理论都没有说明为什么地球有3个辐射带而不是一个。有一种倾向是把这两种理论结合起来，假定内辐射带是中子分裂的产物，而外辐射带则是地球磁场拘留太阳微粒的结果。因此，辐射带的变

化也就同太阳活动分不开了。这方面的研究工作正在开始,将来一定会有重大的发现,日地关系的物理机制也许要在辐射带研究的基础上进一步确立起来。

第三,除极光之外,高层大气还有一种发光现象,叫做气辉。气辉不象极光那样只在天空部分地方发光,而是在地球上任何地方的上空发光。但是,气辉的光度很微弱,即使在晦朔的深夜也只有视力极好的人才能勉强看到。气辉的成因是由于高层大气在白天吸收了太阳的光能,到了夜晚又逐渐把这些光能放出来的缘故。所以,气辉也叫做夜间天空发光,简称“夜天光”。气辉的光度变化虽不及极光那样利害,但根据许多地方的观测,证实它们是有变化的。而且已经发现气辉光度的短期变化也和太阳耀斑爆发有关,长期变化也和太阳活动11年周期有关。至于气辉的光谱与极光光谱也很相似。因此,气辉的观测和研究也成为日地关系中的一个新课题。

四 太阳活动和地球低层大气 ——大气环流和天气

1. 天气和天气图

世界各地的天气是多种多样的。住在低纬度的人，感觉到那里终年天气暖热、潮湿、云雾多，但从未见过冰雪；住在中纬度的人，感觉到那里天气复杂多变，一会儿风雨如晦，一会儿又晴空万里，四季冷暖、旱涝的差别也很大；住在高纬度的人，则几乎一年到头在和冰雪打交道了。我们知道，世界各地的一切天气变化，包括云、雾、雨、露、霜、雪、沙、霾、台风、寒潮等等，都是发生在火气的底层，即是在最贴近地球表面的这一层大气中。这层大气叫做对流层，它的厚度在赤道附近最高，平均达到 18 公里，在中纬度约 10—12 公里，在高纬度就只有 8 公里左右了。

几十万年以来，人们的活动基本上都是在火气的对流层中进行的，因此，人们对天气变化的印象特别深刻。只是到了最近，科学家和工程师们发明了宇宙飞船，使得人开始可以在二

三百公里的高空中生活一两天以上了。現在我們要談的問題，就是对流层中的天气变化和表示天气变化的一些基本方法。

正因为我們每个人的日常生活离不了天气，所以大家經常在关心天气。报纸和广播电台天天在发布天气預报，北京人民广播电台，每天有好几次天气广播，預报未来 12 小时、24 小时以至于 72 小时內的天气情况，包括温度高低、风力大小、晴雨大势等等。这些天气預报，都是气象台的工作同志經過辛勤的劳动做出来的。

气象台的同志們究竟是怎样做出天气預报来的呢？他們首先要依靠无綫电通訊，要把每天国内国外許多地方同一时刻的气象情报搜集起来，用符号和数字把它們填写在同一张地图上。然后把各地海平面气压相等的地方画一根綫連起来，这些綫就是等压綫。有了等压綫，天气图上就可以把气压高的地区和气压低的地区清楚地表示出来了。同时，在图上看到温度差别很大的地带，那里的天气，如风云晴雨等等，也有明显对比的时候，就在那里用顏色鉛笔画上一条分界綫，叫做鋒面。鋒面便是两种性质不同的空气团的交界面。經驗証明，在这种鋒面上常常会产生气压波动，逐渐发展成有闭合

等压线的低气压。锋面或者低气压经过一个地方的时候，常常就产生剧烈的天气变化。这种表示同一时刻广大地区内天气情况的图，就叫做天气图。一般气象台每天要做两张（早上8点和下午8点）或者4张（每隔6小时一张）天气图。根据地面气象观测记录画的天气图叫做地面天气图（图24见环衬页），此外，还有根据探空气象仪和气球观测记录画的所谓高空天气图。气象台主要就是依靠这些天气图来做天气预报的。

从天气图上分析出来的高气压（亦称反气旋）、低气压（亦称气旋）、锋面和降雨区域、大风区域、雷暴区域、沙尘区域等等，统称为天气系统和天气区域。它们都有自己的发展过程，从生成、扩展一直到消失往往要经过几天的时间。它们受到大规模气流运动的控制，常从一个地区移往另一个地区，移动的速度每次都有一些差别。每当一个天气系统经过一个地方的时候，当地就会产生一次天气变动。总的说来，天气系统和天气，都是冷暖干湿等性质不同的两种或三种空气团交互作用的结果。在同一种空气团控制下的地区，那里的天气变化比较缓慢和单调；当先后有两种性质不同的空气团交替出现于一个地区的时候，即有锋面在该地区

經過，那里的天气变化就往往比較劇烈了。

例如在北京，連續几天天气晴暖，此时正是在一种暖空气团控制之下，天气一直没有什么大的变化。一旦从北方来了一条冷鋒（冷空气向暖空气推进时的交界面叫做冷鋒，反之暖空气向冷空气推进时的交界面便叫做暖鋒），經過北京向南而去，北京往往就要刮大风，溫度随之下降。有的时候，在冷鋒經過时，云层加多加厚，甚至产生降雨或落雪，北京便經歷了一次劇烈的天气变化。一般在中緯度地带，正是势力相当的暖冷气团不断交替的地方，所以，天气变化比較多也比較劇烈，在低緯度常在比較稳定的暖气团笼罩之下，天气的变化就显得比較單調了。

至于对流层下部冷暖气团的形成，其决定因素主要是太阳輻射强度在高低緯度分布不均以及地球表面有海洋和大陆的差別。因此，即使在太阳輻射本身并无变化的条件下，对流层大气由于下垫面热量交换的差异，仍然要发生大規模的运动，并引起各地的天气变化。研究气团的形成、气流的运动以及天气的演变等等問題的便是气象学。我們在日地关系中要研究的問題則是，太阳輻射由于太阳活动而引起了改变，这种太阳輻射改变的部分究竟对天气和

气候有什么样的影响。

2. 太阳活动对天气的影响

有人应用全世界几百个气象台站的长年观测材料，分析在太阳活动高值年份和低值年份温度、气压、降水量等等的差异，结果发现这些气象要素场的分布的确是有所差别的。图25即表示在太阳活动高值年份中温度、气压、降水量的全世界分布特点。图25(上)内印“低”字的区域，表示那里的温度比多年平均值偏低，印“高”字的区域表示温度偏高。同样，图25(中)和图25(下)内印“低”字的区域表示气压比多年平均值偏低，“高”字区域偏高，印“多”字和“少”字的区域分别表示降水量偏多和偏少。看图25我们可以明白，太阳活动的增强对世界各地气象要素场的作用并不是一致的。这就同在第二章和第三章中介绍的地球磁场、电离层、极光等等的变化与太阳活动的周期起伏一一对应的情况有所不同了。那里谈的对应关系几乎全世界是一致的，现在太阳活动和气象要素场的关系显然复杂起来，视地区不同而有明显差别了。

从图25(上)我们可以看到，在太阳活动高值年份，亚洲东南部和澳洲的温度是偏低的，可是在欧洲西北部和中美洲温度反而偏高；至于

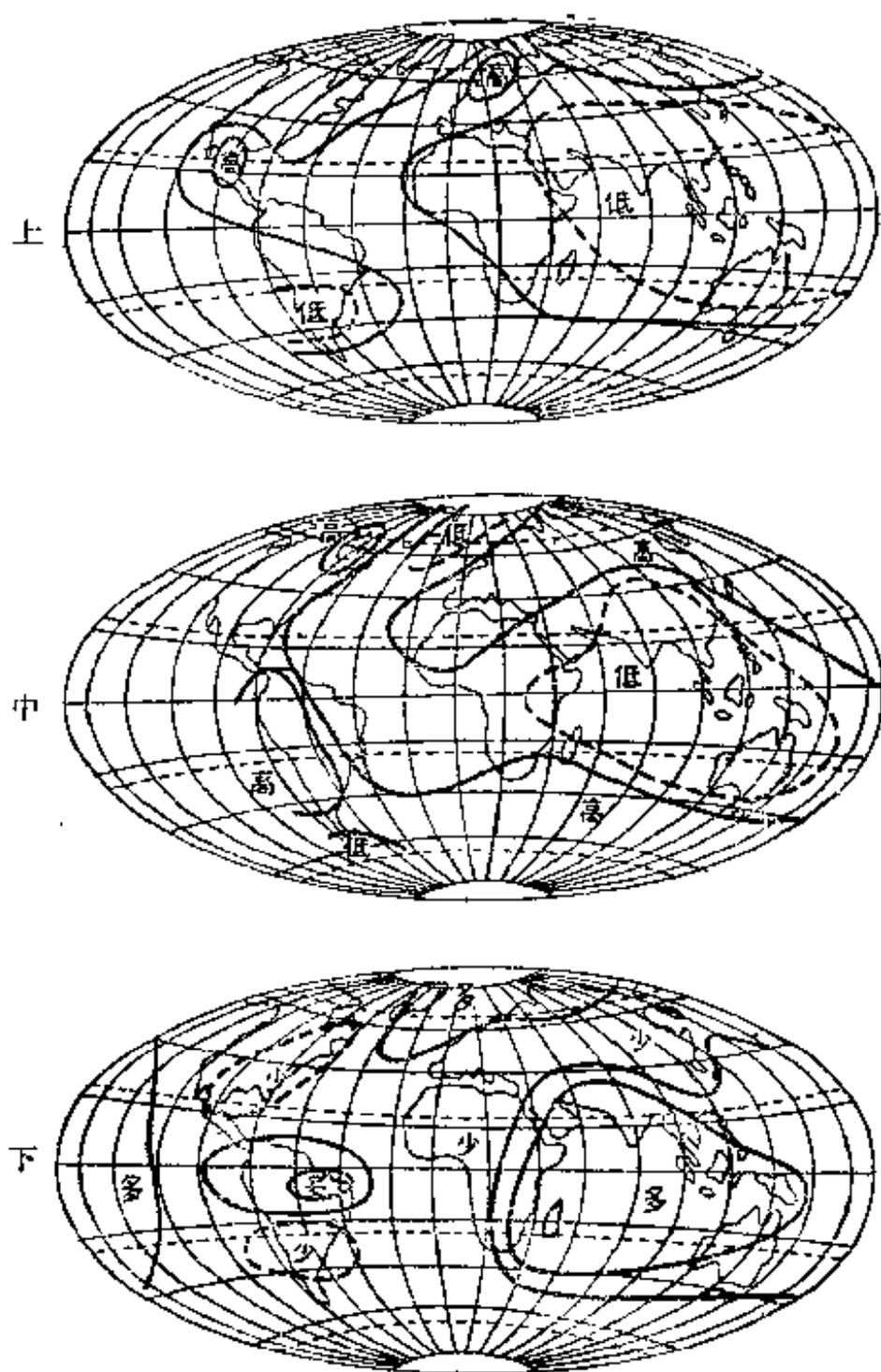


图 25 太阳活动高值年份世界气候的偏距

上，温度偏距分布；

中，气压偏距分布；

下，降水量偏距分布

图中粗线条通过的地方，则表示那里的温度与正常情况相同，并没有发生什么变化。同样，在图25(中)和图25(下)内，也可以看到气压和降水量的分布也有类似情况。这种地区差别究竟是什么原因造成的呢？要回答这个问题，还得从天气变化的原因谈起。上节谈到天气变化的原因，是冷暖干湿不同的各种空气团的交互作用。那么，当太阳活动加强，有额外的太阳辐射侵入地球的时候，如果它的效果是使暖气团的对比和运动也加强的话，显然暖气团活动的地区就更加增暖，冷气团活动的地区就更加寒冷，在它们交锋的地带天气的变动也就更加剧烈了；如果它的效果是使暖气团的对比和运动削弱的话，那就在暖气团活动的地区反而不如原来那样暖，冷气团活动的地区反而不如原来那样冷，在它们交锋的地带天气的变化也就不会很剧烈了。总之，由于大气底层原来有暖气团的地区差别，各气团之间又有多种的交互作用，所以，额外辐射的影响不可能使物理状态不同的气团起相等的效果；何况额外辐射中的粒子流限于在高纬度侵入地球，紫外辐射则又在低纬度太阳直接照射时间长的地区影响最大，凡此种种，都使得太阳活动影响气象要素场的地区分布特点表现出来。

研究証明，太阳活动影响对流层天气，首先是影响对流层中大規模的气流运动，即影响大气环流的强度和形态，通过大气环流的改变再影响到世界各地的天气。关于太阳活动影响大气环流的具体事实我們放在以后几节中来讲，現在再来談談太阳上的短期突变和地面气象要素及天气的关系。

举个例子來說，国内有人做过这样的研究，即根据几十年来发生特大磁暴的日期，作为太阳上有强烈粒子流辐射侵入地球的标志，然后分析磁暴日期之后我国溫度的逐日变化。結果发现，在大磁暴之后一个月內，我国的溫度平均要偏高半度到一度，而且在大磁暴之后的第10天、第16天、第24天、第44天附近，我国出現几次显著的增暖期。此外，在大磁暴前后我国溫度还表现出27天的周期振动。我国这种与大磁暴相关联的溫度变化，乃是通过亚欧地区大气环流的特定演变而发生的。因此，这项研究工作，說明了在較短时期內太阳活动和亚欧地区大气环流和天气的具体联系。

再举一个例子，捷克斯洛伐克的天文工作者研究过太阳色球爆发与欧洲天气变化的关系，他們发现色球爆发对其后7天內欧洲的天气有一定影响。色球爆发后欧洲的鋒带有明显

的向低緯度移动的傾向，并且欧洲地区大規模的气流运动也有一次明显的轉变。在色球爆发前后，往往东西方向的气流輸送逐渐轉变为南北方向的气流輸送，即有一次从緯向环流轉变为經向环流的过程；同时欧洲的温度和降雨等天气也相应地发生了一次变动，一般在爆发后几天之內欧洲的降雨机会增大。

又如，美国有人应用日冕发射出来的两条譜綫强度的比值，作为太阳活动的指数。这两条譜綫，一条是蓝色綫，波长 5303 埃，另一条是紅色綫，波长 6374 埃。这两条譜綫的比值因此也叫做藍紅比。他們便研究藍紅比的变化与美国天气的关系，发现了許多明显的結果。当日冕輻射区通过日面中央，而藍綫輻射强度增加的时候，美国中部和西部的温度同时升高，之后就有冷鋒經過，使以后 5 天的温度再降低。这样，在美国中西部就有一次先暖后冷的天气变化。而且，当藍紅比加大时，春夏两季美国中西部的降水增多；反之，当藍紅比减小时，則降水也减少。根据此类研究結果，他們还試做了天气預报，并且取得了一定的效果。

另外，在第二次世界大战末期，美国有人研究过逐日之間太阳黑子数的变化和美國某些地点逐日温度变化的关系。发现逐日黑子数一旦

达到高峰以后,美国北部就有冷空气爆发,并向东南方移动。至于温度降低的程度还和逐日之间黑子数变化的大小有关,但和当时黑子数的多少反而关系不大。总之,这方面的研究结果很多,这里不能一一介绍。

3. 太阳活动对大气环流的影响

对流层中大规模的空气运动叫做大气环流。中纬度对流层空气的大规模运动,主要的方向是自西向东,即沿纬圈方向运动,叫做纬向环流。当大规模空气的运动方向为自北向南或者自南向北的时候,便叫做经向环流。纬向环流和经向环流可以说是大气环流的两种最基本的方式。当然,空气在垂直方向也有上下运动,但空气垂直运动的规模和速度远比水平运动为小。所以,通常讲的大气环流,都是指对流层空气在水平方向的大规模运动。中纬度地区的天气,在盛行纬向环流的时候和在盛行经向环流的时候是很不相同的。特别是,当大气环流从一种方式转变到另一种方式时,许多地方的天气跟着要发生一次巨大的变动。因此,我们如要了解天气变化和做好天气预报,就必需研究大气环流和它的演变规律。气象工作者把大气环流的研究,当做一件中心任务决不是偶然的。

大气运动的能量，是从太阳辐射来的，那么，太阳活动引起太阳辐射发生改变时，按理应当直接或者间接地影响到大气环流的状况。几十年来国内外已经有很多研究工作者注意这个问题，并且做出了不少的研究成绩。我们在这里也没法详细介绍，只能提出几项最近的研究成果来谈一谈。

国内有人应用 1957—1958 年太阳活动十分旺盛的时期内磁扰和磁静的日期，对比分析在这些日期之后亚欧中纬度地区大气环流的演变。结果发现在磁扰后半个月内，纬向和经向环流的演变显然和磁静后的演变相反。就是说，在磁扰后如果纬向环流加强，则在磁静后便减弱；如果磁扰后减弱，则在磁静后便加强；经向环流的演变也是如此。磁扰和磁静后大气环流的这种相反演变，近来在国内外许多研究工作中都提出了这一点，可以互相印证。

另外，国内又做了这样的工作，即根据高空天气图，先把亚欧地区的环流分为若干类型，以区别环流的特点。先分为两大类型，即经向型和纬向型，然后按照高空气压系统的位置分布，再把两大类分为若干副型。整理十几年来环流型的资料，可以求出每一种环流型平均维持的天数，然后对比分析有磁扰和没有磁扰时它们维

持時間長短的差別。例如，冬半年內亞歐地區的緯向環流型，平均每次可以維持 13 天之久，經向環流型平均每次維持 11 天之久。可是，在遇到磁擾的經向環流型其維持時間大都要加長，平均達到 16—17 天之久。但緯向環流型的維持時間沒有發現它受到磁擾的影響。也就是說，當有強烈太陽粒子流輻射侵入地球大氣後，一般會使亞歐地區冬半年的經向環流過程延長。

再如，美國卡羅拉多高山觀象台設立了一個日地關係研究所，1956 年以來那里發表了一系列的研究報告，他們研究冬半年強烈磁擾和極光出現之後，阿拉斯加地區八九公里上空（對流層的上部）低壓槽的生成和發展情況。結果發現，在強烈磁擾後 2—4 天內那里出現的小低壓槽，大都容易發展成為強大的低壓槽，並在磁擾後 7—9 天發展到最大，影響未來 2 星期內美國的天氣變化。

4. 太陽活動和大氣環流的多年變化

上節是講幾天到幾十天內大氣環流演變和太陽活動的關係，現在要談的是幾年到幾十年內大氣環流變化和太陽活動的聯繫。自從十九世紀六十年代發明了天氣圖分析以來，逐日北

半球海平面天气图的資料已經有 60 年以上；区域性天气图資料，如大西洋到欧洲地区，時間还要长一些，可达八九十年。至于对流层中层天气图，則从二十世紀三十年代发明了气象探空仪之后方才开始繪制，迄今也已积累了二十余年的資料。应用这些天气图档案資料，就可以来研究大气环流的多年变化了。例如，我們从天气图档案中可以考查，在哪些年份哪些地区的低气压活动特別多特別强，又在哪些年份哪些地区的低气压活动比較少；哪些年份緯向环流比經向环流强，哪些年份經向环流又比緯向环流强。根据此类研究已經发现許多有关环流多年变化的具体事实，这些事实都可以拿来和同时期太阳黑子数的变化做对比，看它們彼此之間有沒有周期性的联系。这方面的研究工作在苏联做得比較多，現在我們便举两个苏联的例子来談談。

苏联地球物理現象总台和中央天气預报研究所的一些研究工作者，研究了几十年来北半球某些地区气旋性环流和反气旋性环流与太阳活动的关系。发现在太阳活动世紀周期（80—90年的周期）的上升阶段，大西洋到欧洲地区强烈气旋的頻率增加，同时强烈反气旋頻率則减少。针对全北半球中緯度而論，不論在太阳活

动世紀周期或 11 年周期的上升阶段,气旋性环流一般要加強,反气旋性环流則減弱。

苏联南北两极研究所的学者們,对大气环流和长期天气預报很有研究,他們創立了一个大型环流学派。根据几十年来的天气图档案,他們把大西洋到欧洲的环流过程归納出三大类型,即緯向型 W 、經向型 C 和东方型 E 。 E 型的基本特点是高压脊在东欧,低压槽在西欧沿岸; C 型的特点相反,即高压脊在欧洲沿岸,低压槽在东欧。 W 型則以平直西风为主流。以后他們又把太平洋到美洲地区的环流加以分类,亦得出三大类型,即緯向型 3 、經向型 M_1 和 M_2 。 3 型和 W 型相当, M_1 型和 C 型相当, M_2 型和 E 型相当。几十年来三类环流型出現的頻率有明显的变化,他們得出下列几个为某类环流型盛行的时段:

把这几个时段和太阳黑子周期对照起来,他們就得到这样的結論:在太阳活动世紀周期的下降时段,緯向型环流盛行;在世紀周期的上升时段,則

| 时段年份 | 盛行环流 |
|-----------|-------|
| 1891—1899 | $C+W$ |
| 1900—1928 | W |
| 1929—1939 | E |
| 1940—1948 | C |
| 1948—1958 | $E+C$ |

經向型环流盛行。同时，在 *E*型和 *C*型盛行期中的北半球温度和气压的分布，与太阳活动加强年份的温度和气压分布相类似；在 *W*型盛行期中的温度和气压的分布，又与太阳活动减弱年份的分布相类似。

关于大气环流的分类工作，国内外还有许许多多别的方法，但不论用哪一家的环流分类资料，都得出了和太阳活动周期性变动的明显联系。这里就不必细说了。

5. 太阳活动和我国历史时代的气候变迁

大气环流在长时期内既然有变化，世界各地的气候也就跟着要发生改变。长时期气候的改变就叫做气候变迁。气候变迁对各地的农、林、渔、牧、交通、经济等方面有长远的影响，所以，单从实用上看，这也是一个需要研究的问题。从学术上看，气候变迁又是大气环流长期变动的有力证据。我们知道，大气环流的仪器观测数据还不到 100 年，可是气候变迁的史料倒是非常长久和广博的。因此，收集和世界各地气候变迁的材料，就可以间接地了解大气环流在更长时期中的变动。何况大气环流长期变动和气候变迁的知识，对于做好长期和

超长期气候预报是十分必需的。

地质工作者和古生物工作者，从地下岩层和海底泥沙沉积中找到了许多地质时代气候变迁的证据；历史工作者和考古工作者在几千年的史书和古代文物中，又找到了许多历史时代气候变迁的证据；地理工作者和气候工作者又在古老的树木年轮和高山冰川进退的痕迹中，找到许多气候变迁的证据。总之，关于世界各地气候变迁的材料是非常丰富的。最近，中国科学院副院长竺可桢先生发表了《历史时代世界气候波动》的重要著作（见1961年4月27、28日《光明日报》），指出了世界上许多地方气候变迁的确切事实及其形成的可能原因。现在我们介绍其中有关我国历史时代气候变迁的一些材料和太阳活动的关系。

40年以前竺可桢先生就开始研究我国历史上的气候变迁问题，在他1926年发表的研究论文中，曾把我国历史上关内18省水灾、旱灾的记载做了统计。结果认为从三国到唐初（第四世纪到第七世纪）比较干旱，南宋和元朝（十二世纪和十四世纪）比较潮湿，到明代（十五世纪）又变干旱。竺先生另从南宋时代（1131—1260年）首都杭州春天的下雪日期和二十世纪二十年代相比又得出结论，认为南宋杭州春天

最后一次下雪的日期，要比二十世紀二十年代迟 20 天左右，因而南宋杭州春天的溫度可能要比二十世紀初約低 1°C 。而且，认为宋元时代我国冬季的特別寒冷，也可从历史上所記載的那时冰雪灾荒次数的特別多而得到印証。根据日本和欧洲的文獻，可知同时期那里也都是比較冷的。竺先生把中国和欧洲各世紀內出現的严寒冬季次数，統計得出下表：

另外，根据我国史书，太阳黑子在东汉元帝永光元年（公元前 43 年）起就有了記載，从公元以后一直到明末崇禎，共記 109 次。关于极光的記載历代亦繼續不絕，史书上最早見于汉成帝建始元年（公元前 32 年）。根据中国科学院自然科学史研究室的統計，从汉成帝到清

| 世 紀 | 严冬次数 | |
|-----|------|----|
| | 中国 | 欧洲 |
| 六 | 19 | — |
| 七 | 11 | — |
| 八 | 9 | — |
| 九 | 19 | 11 |
| 十 | 11 | 11 |
| 十一 | 16 | 16 |
| 十二 | 24 | 25 |
| 十三 | 25 | 26 |
| 十四 | 35 | 24 |
| 十五 | 10 | 20 |
| 十六 | 14 | 24 |

咸丰三年（1853 年）共記 134 次。因此，竺先生又把各世紀中国史书上記載的太阳黑子和极光的次数，統計得出下表：

| 世紀 | 黑子 次數 | 极光 次數 |
|----|----------|----------|
| 二 | 2 | 1 |
| 三 | 1 | 1 |
| 四 | 21 | 3 |
| 五 | 2 | 4 |
| 六 | 12 | 6 |
| 七 | 0 | 1 |
| 八 | 0 | 9 |
| 九 | 9 | 6 |
| 十 | 2 | 4 |
| 十一 | 5 | 22 |
| 十二 | 28 | 30 |
| 十三 | 7 | 9 |
| 十四 | 19 | 15 |
| 十五 | 0 | 0 |
| 十六 | 1 | 7 |
| 十七 | | 7 |
| 十八 | | 4 |
| 十九 | | 1 |

从表中可以看出，第四、六、九、十二、十四世紀黑子記錄次數都比較多，若与上表所列各世紀严寒冬季次數相比較，則除第四世紀严冬缺材料以外，凡是黑子記錄多的世紀也就是我国历来严冬多的世紀。根据上节的材料，我們知道在太阳活动加强时經向环流盛行，也就是南北冷暖空气的交換增加；再从近代天气图分析的經驗来看，在大陆的东部常常正是冬季冷空气南下的活动区；由

此可見，在太阳黑子多的世紀我国严冬也多的統計結果是合理的。这就說明，历史时代我国气候的变迁的确和太阳活动有明显的关联存在。

6. 太阳活动影响大气环流 和天气的物理机制

上面几节介绍的有关太阳活动影响大气环流和天气气候的情况，都是用统计相关的办法得到的。由于太阳活动引起的异常辐射，包括紫外线辐射和粒子流辐射，并不能直接深入到对流层大气中来，那么，这种影响是通过怎样的物理机制产生的呢？这就成为一个重要的理论问题。这个问题现在并未解决，但已经有了一些研究，提出了几种看法。现在归纳为三个方面来简单谈谈。

第一种学说可以叫做高低空相互影响的机制，认为当强烈的太阳粒子流辐射和紫外线辐射侵入地球 100 公里以上的高层大气后，首先在高层大气中引起了一系列物理过程，象第三章中已经讲到过的电离层扰动和极光等等，并使得高层大气中的温度和气压场发生改变。此种高层大气温度和气压场上所发生的扰动，逐渐向大气下层传播，最后一直影响到对流层的大气环流和天气。在这方面国内外都有人做过一些理论计算，大都认为大气下层的扰动向上传播其影响比较容易；上层大气的扰动向下传播时，一般要阻滞和削弱，只有在特定条件下才

有可能传播到底层来。

第二种学說可以叫做臭氧机制，认为太阳活动所引起的大量紫外辐射，通过大气臭氧层的吸收作用，首先改变了臭氧层的温度和气压場以及环流状况，然后臭氧层中的扰动向下传播到对流层来。大气中臭氧的含量主要集中在距离地面15—35公里处，即在平流层的下部。由于臭氧对紫外辐射的吸收能力特别强，太阳常定辐射中的紫外綫部分，几乎全部被臭氧吸收掉了，所以，在地面上測量不到2,900埃以下的太阳光譜。当太阳活动引起紫外辐射突然加强的时候，額外的紫外辐射也都被臭氧层所吸收，就引起那里的温度升高。同时在紫外綫的作用下又可以增加大气臭氧的含量。国外曾有人做过一些理論計算，假定臭氧层的这种增温作用在地球赤道附近最强，向高緯度减弱，加强了臭氧层中南北向的温度差别，由此产生南北向的气压差，引起了空气的經向交换。这种作用向下传播，最后使对流层中的經向交换也加强。

第三种学說叫做凝結机制，认为太阳活动加强时，紫外辐射加多，通过光化作用就可以在平流层及对流层上部产生更多的吸水性凝結核。此类凝結核主要由五氧化二氮(N_2O_5)和氧化二氮(N_2O)构成。凝結核既然增加，一方面

会改变大气辐射的条件和大气的稳定性，从而影响大气各层的物理过程；另一方面在天气条件合适时，这些凝结核可以降落到对流层的上部，促使那里产生云层，因而放出凝结核，使对流层上层的环流受到一定影响。另外，又有人认为当太阳上发生射电爆发时，直接射入对流层中来的无线电辐射，其厘米波段对大气中的胶体化学过程有影响，可以促发水蒸汽的凝结核作用。

总之，目前太阳活动影响对流层环流和天气的各种学说，都还没有达到令人满意的阶段，尚待进一步研究。今后，当我们对太阳辐射变化的数据有了更多的了解，大气对太阳辐射的作用，包括吸收、反射、透射、光化、电离等等作用，也有了更加深入的認識之后，太阳活动影响大气环流和天气的物理机制问题便会逐步得到解决。

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 日地关系

作者 =

页数 = 1 1 7

S S 号 = 0

出版日期 =

V s s 号 = 8 7 7 0 3 4 4 2

封面
书名
版权
目录
正文