# 气象学

原著 = Rene Chaboud
译者 = 雷淑芬

PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE
PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE
PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE
PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE

云、太阳、骤雨及晴时多云的画面相继出现在电视屏幕上，
并伴随着天气预报员的手势及解说。
然而，他们是从何处获得这些资料的呢?
何种依据使他们预报得更准确，
更恰当地说：是下雨，还是不下雨?

从风神到安德鲁气旋，
从射向云的箭至数值预报、气象卫星及混沌理论，
勒内·夏布德邀请我们同赴变化万千的天气剧场。
他纵横历史，
叙述人类寻找理解及主导四序的奋斗过程，
也就是气象学及大气科学是如何产生与进行研究的。

ISBN 7-5320-7805-*

9 787532 078059 >

定价: 36.00元

发现之旅 11

# 气象学

原著:René Chaboud

译者:雷淑芬

出版者:上海世纪出版集团

上海教育出版社

(上海永福路 123 号　邮编 200031)

责任编辑:郑石平

印刷:中华商务联合印刷(广东)有限公司

版次:2002 年 6 月初版

印次:2002 年 6 月第 1 次印刷

印数:1 - 8,100 册

书号:ISBN 7-5320-7805-1/K·1

定价:36.00 元

Copyright © 1994 by Gallimard

Chinese language publishing rights arranged with Gallimard through

Bardon-Chinese Media Agency. (版权代理 - 博达著作权代理有限公司)

Chinese translation copyright in simplified characters version

© 2002 by Shanghai Education Publishing House

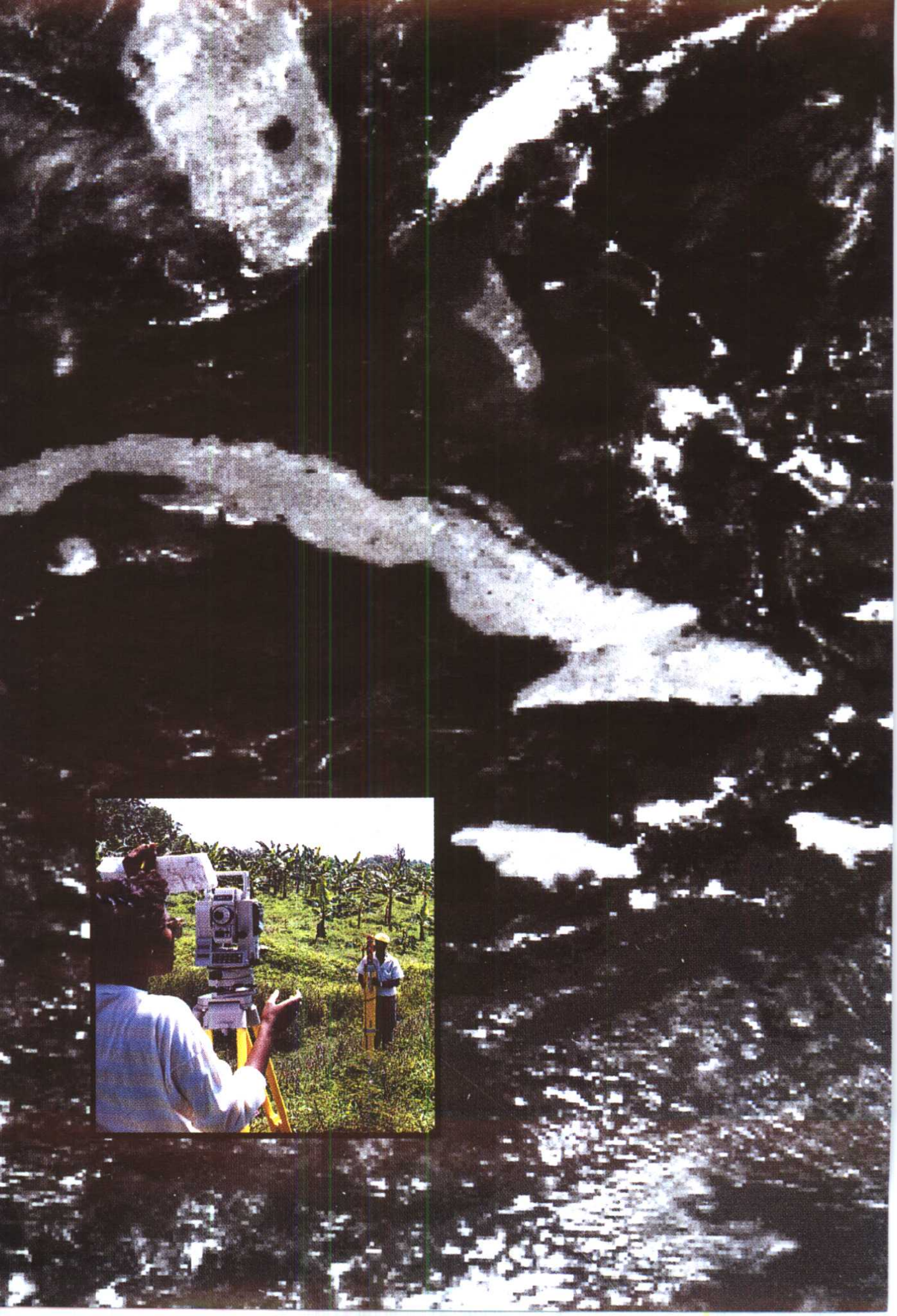
**图书在版编目（CIP）数据**

气象学 /（法）夏布德（Chaboud, R.）著；雷淑芬译. 上海：上海教育出版社，2002.5
（发现之旅）
ISBN 7-5320-7805-1

Ⅰ.气... Ⅱ.①夏...②雷... Ⅲ.气象学—普及读物 Ⅳ.P4-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2002）第034881号

由于不断地描述着地球表面众多的大气现象，
气象学家了解到大气是一个完全不可分离的整体。
既然云及雨傲慢地无视于疆界的存在，
气象学家们于是决定不分洲界，
联合起来。
为了能交换他们所观测到的全部资料，
他们约定以格林尼治时间为基准，
同时进行工作，
并制定五大洲通用的气象密码作为国际语言。
在法国、阿根廷、摩洛哥、德国、加拿大、英国
或香港、中非共和国及牙买加.
10000 位观察者同时进行相同的观测方法，
相互交换并利用所得的结果。
在此同时，
5 颗同步气象卫星正毫不松懈地进行辐射的测量工作，
并将所得的影象传回地球。



# 目录

13　第一章：由天空开始

35　第二章：大气、大气……

53　第三章：云及雨的角色

77　第四章：谁散布风……

95　第五章：天气的指挥者

129　见证与文献

152　图片目录与出处

157　索引

René　Chaboud

法国气象局工程师，自1977年起在法国电台负责气象节目。
1987年，他与雅克·凯斯莱尔(Jacques Kessler)共同制作法国新闻广播电台《气象之声》节目。
并于1980年起，他加入里昂地区气象中心的工作。
他在气象方面的文章及著作很多，于1993年出版的有：《气象》、《天气的问题》等，都由Nathan出版。

# 气象学

原著 = René　Chaboud

译者 = 雷淑芬

上海教育出版社

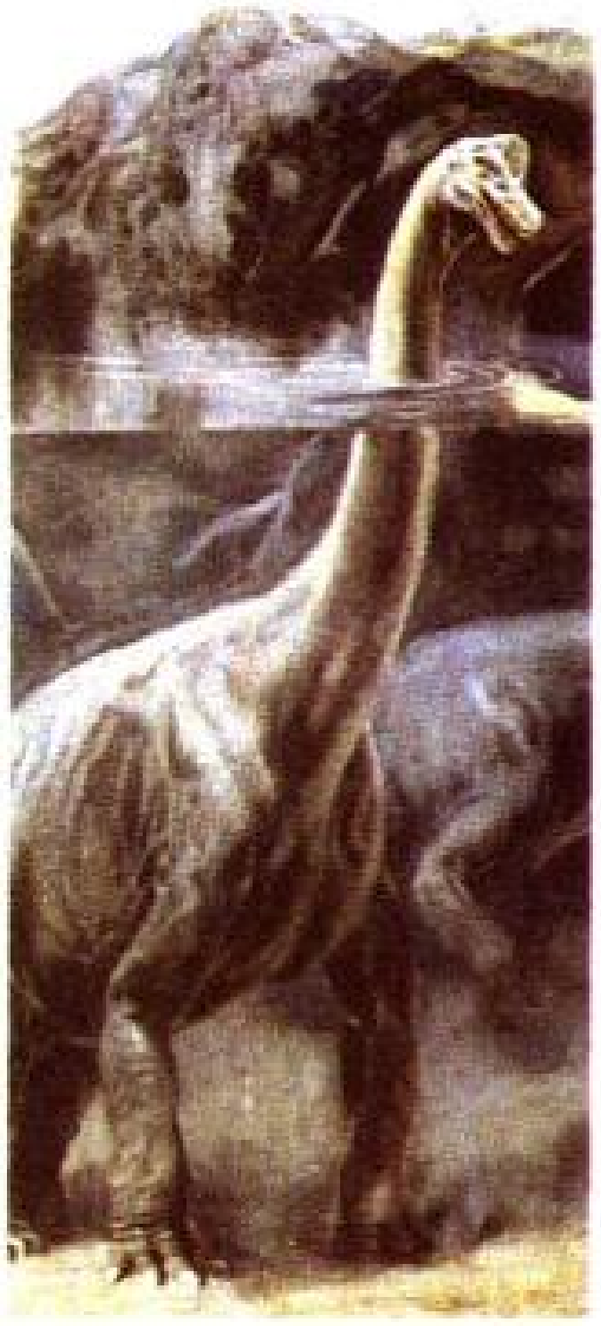
人们探索天空和星体，
观察动物的行为；
赞扬上帝，诅咒魔鬼。
意识到我们的生活受气候限制，
于是试着利用各种方式来预报天气；
虽然科学进步，
但我们只要一个很简单的答案：
明天天气将如何？

# 第一章
# 由天空开始

长久以来，不管是古希腊罗马神话、圣经创世纪(Genèse)，或民间信仰，古人都将天体及天空的各种现象拟人化了，给予太阳、月亮或神一些人的行为(右图，19世纪法国的漫画)。左图为15世纪大奥古斯丁(Grands-Augustins)圣经中把光和黑暗分开。

M. le *Soleil* et Mme la *Lune* ayant appris un matin que leur cousine la *Terre* est bien mal, projettent ensemble de

1.8万年前，在最后一次大冰期，海平面低于目前的120米，那时英国和法国是相连接的。相反，12万年前，当地球正处于“高温期”(péiode chaude)时，海平面却比目前还高6米，当时地球表面大部分都是水。幸好人类具有很强的适应能力，因此能够承受这些气候的演变，并继续繁衍下去，同时还想“未雨绸缪”。但是，假使我们的生活环境被污染了、不稳定了，突然造成无法让人生存的气候，会怎样呢？在在都令我们不得不关心大气科学或气象学。



有人认为由于大洪水及大旱灾的交替出现，以及海水水位的下降，而引起白垩纪末期的恐龙大灭绝。

## 石器时代对天气的了解和预测

远古人类从事狩猎，风向、天色、天气湿度和雪上的简单痕迹……这些都是确定猎物行踪的珍贵线索。到了农耕时期，人们更清楚地了解到，人类的生存与他们对气象现象的了解有关。

距离现今

1.2万年到6000年间，在苏格兰(Ecosse)发现一些表示太阳(soleil)和雨(pluie)或太阳和月亮(lune)被晕包围的绘画。公元前12世纪，巴比伦人(Babyloniens)已经将有关气候现象的解释及分类，刻在泥板上。其中之一提到："当日晕出现，就快下雨。当云遮暗了天空，就要起风了。"这是首次的文献，说明天气预报——"揣测神的旨意"——的重要性。

此外，《旧约·创世纪》就提到了"洪水"。圣经上记载着："当洪水泛滥大地的时候，诺亚(Noé)600岁。"事实上，在某些情况下，雨能激起我们的热情，但大雨及暴风雨却使我们敬天畏神。

中国人从公元前13世纪起，就有连续10天记载气象特征的记录。下图甲骨文(公元前1339～前1281年)的记载为："第一天酷旱；第三天整夜下雨；第五日晨雨；第六日午后风雨交加；第十日北风凛冽。"

## 古代(Antiquité)智者及天气

直到相反的证明出现。中国人(Chinois)最早开始有规律地记载对气象的观察。远在公元前1300年，大约在殷商时期，就有了连续10天描述天空的特征、雪的厚度以及风的特征等记录。但在几百年后的周朝(公元前1066年)，对气候的描述才开始正式列入历史的记载。

在古希腊(Grecs)，公元前约600年，泰勒斯(Thalès)利用潮汐编订出第一套气象历法。史籍上记载有一段小插曲：他利用气象知识，在干旱期前不久，买了大批橄榄，并因此赚了一笔钱。

在众多的例子中，巴比伦的祭司以星球移动、太阳光或其他天体的现象为依据，并在宇宙主宰神马尔杜克(Marduk)的召应下，为最早建立天气预报或气候学原理者。

亚里士多德(Aristote)(公元前384～前322年)写了一本著作《气象学》(Météorologiques)。在书中，他提到很多气象学的特征，如：云、雨、露、雪、雹、

暴风雨；但不包括某些光学上的现象，如：彩虹、晕。仅管有某些谬误，亚里士多德解释了水的凝结作用，特别是让我们了解到，所谓的雨、雾、雪或霜的形成，最主要的原因之一是由于冷却程度的不同而造成的。亚里士多德论著的权威性维持了近2000年，其后由提奥弗拉斯特(Théophraste)补充，写成了《风志》(Traité des vents)。

巴比伦人或迦勒底人(Chaldéens)认为，气象现象只与星球移动有关。而持相反想法的古希腊哲学家阿那克萨哥拉·德·米列(Anaxagore de Milet，公元前6～前5世纪)试着阐述大气科学原理，尤其是云的形成及上升空气的温度变化。

## 青蛙和古罗马人

大约在公元前278年，青蛙首次出现在气象学上。阿拉托斯(Aratus)(公元前315～前245年)写道："如果青蛙(grenouille)在沼泽里一直单调地叫着，将会有滂沱大雨。"

古罗马许多学者也试着作出气象预言。这些预言都是通过对天文现象及星体位置的观察、解释而来的。古罗马人维吉尔(Virgile)(公元前70～前19年)试着同时利用对太阳、月亮及动物的观察，并将结果记载在《农事诗》(Georgiques)中的第一卷："如果看到鹤从河谷地往上飞的景象，下雷雨则是农夫意料中的事。"古罗

与巴比伦人或迦勒底人一样，泰勒斯认为月亮扮演极重要的角色。他说："日食的确在公元前585年时发生过。"

"我们称太阳在云层内的反射为彩虹，这是雷雨的现象。事实上，云浸满了水，便会引起风或雨。"

阿那克萨哥拉·德·米列

马学者老普林尼(Pline,公元23～79年)说:“红月亮预示刮风,黑月亮就要下雨了。”而在距离现今2000多年左右,在阿尔卑斯山脉地区的人们因害怕天降大灾祸,哥特人(Goths)及高卢人(Gaulois)会把箭射向他们认为对他们造成威胁的云。

克雷斯于公元前1世纪,曾试着解释唯物主义的宇宙观。上图这幅13世纪的模式图说明对闪电及倾盆大雨的看法,收录在《大自然的事情》中。

## 神、魔鬼与四季

在古希腊和古罗马学者的大力推动下，气象科学有明显进步，这似乎意味着气象科学将会有更美好的未来。可惜！不久它却被遗忘，逐渐失去光彩。由于战祸连年，人类为了寻求对问题的快速解答，因此把他们的苦恼和问题都转而求助于所谓的“魔法”。在中世纪(moyen age)，对气候和四季的研究，由于掺杂了占星术(astrologie)及神秘学，使得气象学经历了一段很长的晦暗期，而且局限在纯思考的范围中。

在法国，他们只描述一些现象，而从未有解释的企图。记载指出，在1302年12月异常的冷：“一些对冷不适应的人，被发现死于他们的被窝中。”在拉潘(Rapin de Thoyras)所写的《英国史》(L' Histoire d' Angleterre)中也提到1315至1316年的严冬：“如果我们不想让孩子被别人抓去当食物吃掉，

1557年，完成此木版画(上图)时，人们认为雨是神的旨意。如果真是如此，当时何不想象神的力量无限大，会让十字架降下而非降下雨滴！

圣多纳(Saint Donat，附图)为雷电下的生还者，被塑造成令人羡慕的保护者。他身穿罗马式的盔甲，配带利刃剑的装备及手持代表殉难者的棕榈叶，能赶走天火。

就必须把孩子藏在保护周密的地方。”

下面是一些充满着启示的轶事手稿：“在阿尔萨斯(Alsace)1282年夏天，贫穷人吃了圣－让－巴蒂斯特节(Saint Jean-Baptiste)(6月24日)前两星期的新麦，并在圣玛格丽特节(Sainte-Marguerite，7月20日)时吃笋瓜。在圣克鲁瓦节(Sainte－Croix)(9月14日)前采收葡萄。”我们只能大声赞叹他们的推演精神：“东风所引起的冰冻，会持续很久。”像这样把西伯利亚来的冷气团和持续的严寒两件事联系起来，并不是件简单的事。

但是，对大多数人而言，相信只有上帝有能力随意控制气象现象。在旱季，人们向上帝祈雨；洪水时，人们祈求上帝将雨停止。当所有的祈求祷告都无效

上帝有力的手支配着星体。如果是这样，那么天空中所有现象都是一种解释神的目的的信号。长久以来，人们一直认为流星的出现，能够预测长期的天气：冬天将比平时更严寒。看见彗星也代表凶兆：它预示干旱及强风将同时到达……

“伟大的圣多纳请为我祈祷：雷雨不要落在我身上、我父母身上，也不要落在我朋友身上。请落在没有船只的海上。”

圣多纳的祈祷文

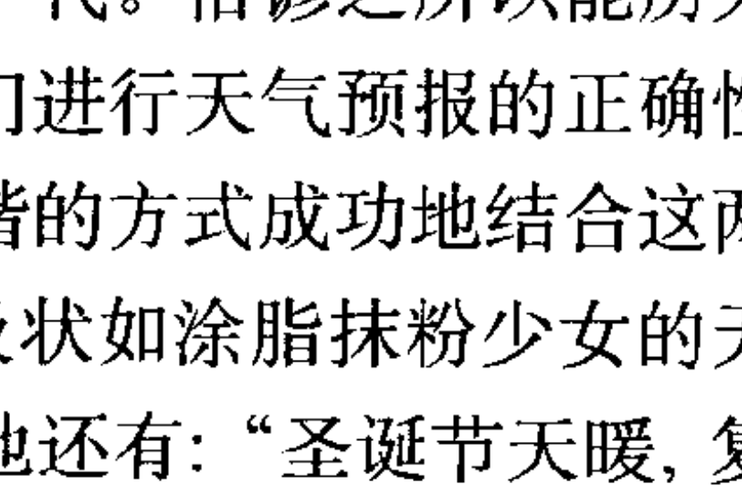
时，我们把罪过归咎于魔鬼及它所做的坏事。

## 俗谚的价值：简洁易懂

在16世纪，俗谚接替了所谓的“祷告气象学”。这些俗谚是老农们对天气演变及所造成结果的长期观察总结得来的经验，经口相传，一代传一代。俗谚之所以能历久弥新，主要是由于运用它们进行天气预报的正确性及趣味性。有些俗谚以诙谐的方式成功地结合这两者，如：“布满悬球状云及状如涂脂抹粉少女的天空，都不能令人信任。”其他还有：“圣诞节天暖，复活节天就冷。”或“圣腊节，冬天停止或更冷”……

只有以观察为依据的谚语，才具有实际的气象价值。其中一些并能传达出真实的奥妙及符合真实的结果，如：“能见度变佳，将会下雨”，或“月晕而雨”。

当这些俗谚在法国风行之际，英国人却已失去了他们一贯的冷静。1677年，在英国英吉利海峡(Manche)附近颁布了一项法令，将把“造雨者及天



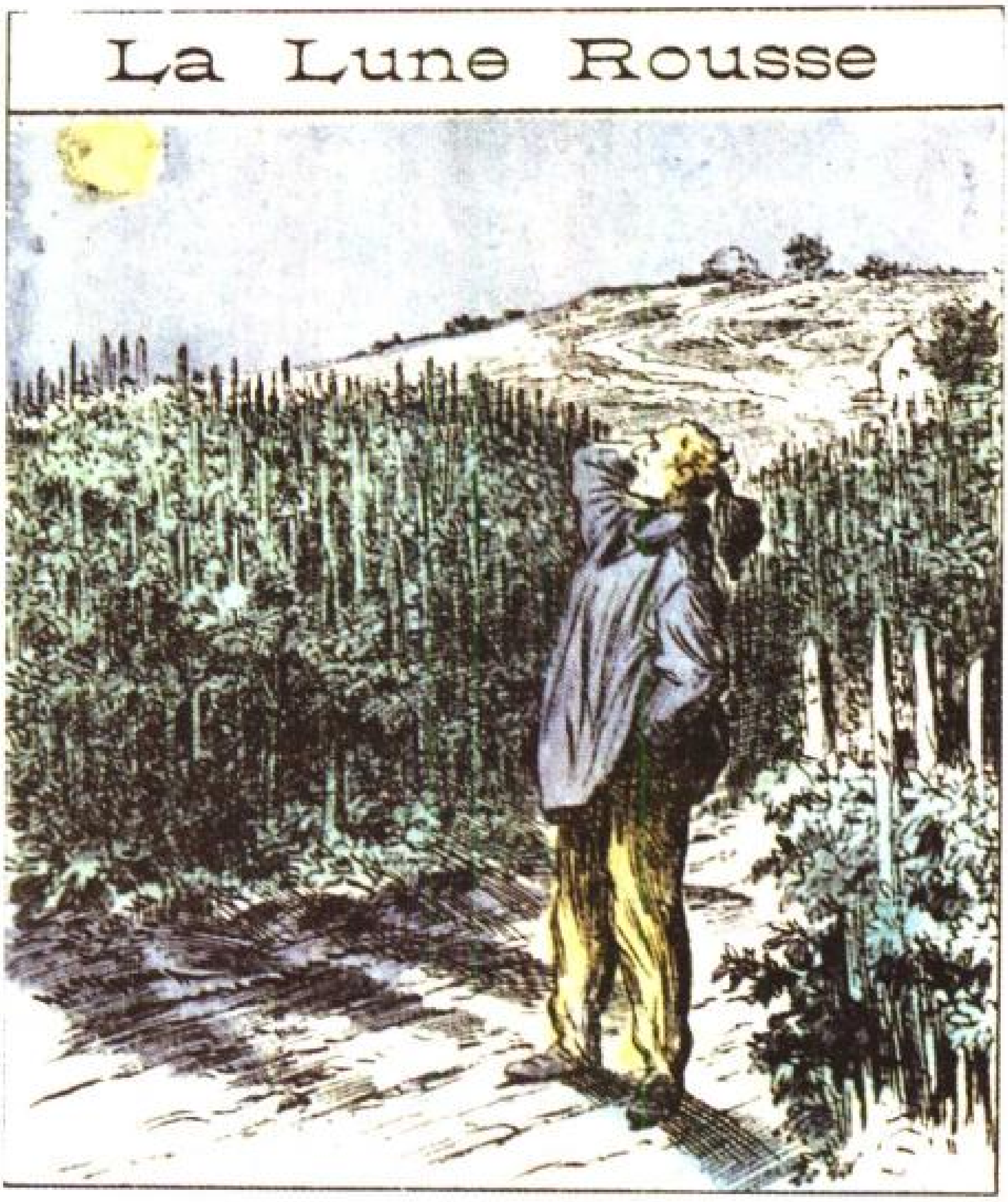
Grâce aux tendres soins de M. *Soleil* et de Mme la *Lune* ses parents, Mme la *Terre* est bientôt rétablie, et donne le

天真的宇宙起源论及充满良好道德的箴言(左图与下图)，底下跨页的版画，活泼地结合了太阳先生、月亮太太及雨小姐，雷声爸爸、雹、风及雪于同一家庭。揭示“他们”之间相互关系的目的并非要说明大气的各种基本现象，而是表现出另一个教育企图，摘录末幅版画下的句子如下：“孩子们，太阳是造物者的眼睛，使得人类、动物及花草生机勃勃”，可作为佐证。

En se laissant rouler du sommet de montagnes, Mme la *Neige* anéantit sou elle l'habitant du vallon.

De son côté papa *Tonnerre*, vieux et rusé coquin, tuait et incendiait ce qu'il trouvait en route.

Mlle la *Grêle* et compère *Ouragan* détruisent toutes les moissons des enfants de Mme la *Terre*.




昔日4、5月间的橙黄色月亮(la lune rousse)令园丁非常惧怕，因为人们会在次日清早发现春天的嫩芽变枯黄，完全无法挽救。而月亮每次都似乎在高空上冷眼旁观，让人联想到这灾难可能与月光有关。法国物理学家阿喇戈(Arago)对此现象很感兴趣，他证明了早春的严寒才是罪魁祸首。由于夜间的酷冷现象，使得月亮在明亮的夜空中显得更清晰。更由于月亮的出现常常伴随春天的冻害，难怪它会被误认为是元凶。

气的先知们”烧死。这项法律并不广为人知。在1959年废除了这项法令，才令我们想起它的存在。

“4、5月间的冰冻寒风，使嫩芽枯黄。”
维瓦(Vivrais)的俗谚



M. le *Vent* était partout ! Ici frappant les flancs de la mer, il la met en furie et fait sombrer le nautonnier.

Là, de concert avec Mlle la *Pluie* sa sœur, ils ouvrent les réservoirs des cieux, et les enfants de Mme la *Terre* meurent tous par le déluge.

**MORALITÉ.**

Le Soleil, mes enfants, c'est l'œil du Créateur Vivifiant lui seul, homme, animal ou fleur.

## 科学仪器

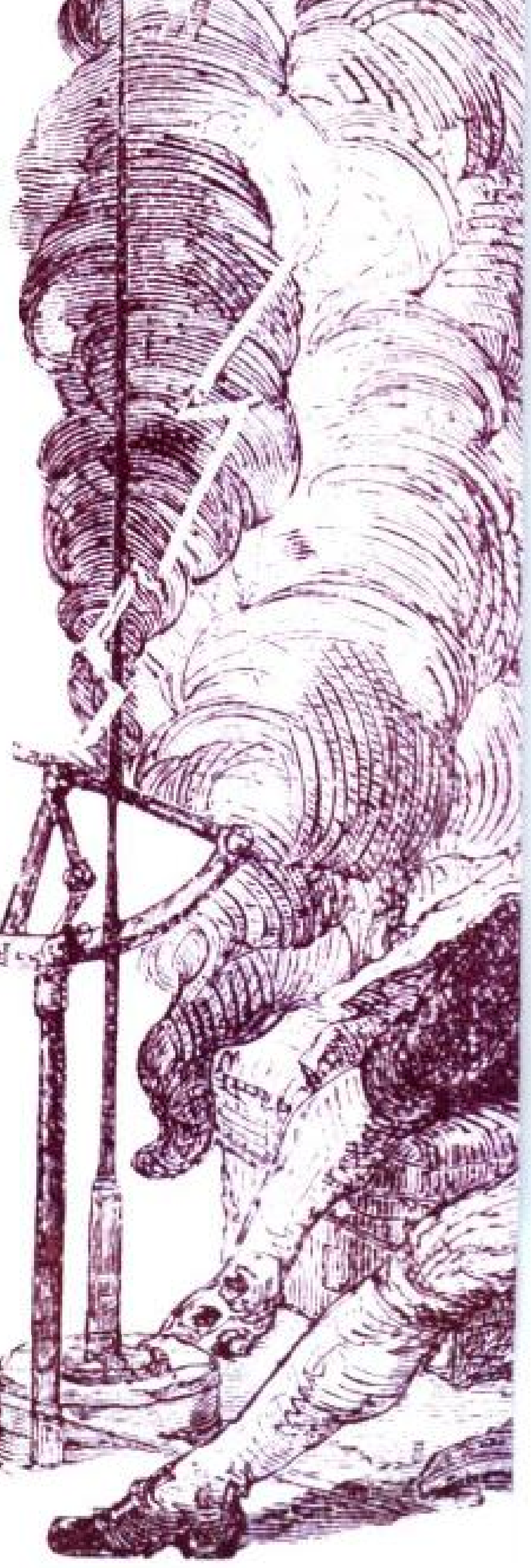
及至经验主义与其演绎方式日趋成型时，科学也渐渐地建立起其理论及架构，并改进其仪器。

在17世纪末至18世纪初，有很多新的科学发现。1643年，托里拆利(Torricelli)证明大气压力的存在，而且发明了测量它的仪器——气压表(baromètre)。另自1639年起，欧洲开始使用雨量器(pluviomètre)。

1664年湿度计(hygromètre)问世，1667年风速表(anémomètre)第一次出现，经过不断的改良之后，温度表(thermomètre)终于在1730年成型。

在1765年前后，拉瓦锡(Lavoisier)首先提出天气预报的准则："天气预报是一项艺术，它有自己的原理和准则，并须经过有经验的科学家的实验和观察记录。经常的、而且每日的观察气压表内水银柱的高度变化、在不同高度的风力和风向、空气的相对湿度等，对这近乎艺术的气象工作是必要的。〔……〕利用这些资料，可预报一两天后的天气，而且可能性很高，我认为它对社会大众将很有助益。"

天气学的实验有时也会发生危险。



理想气体定律在19世纪初确立，它包括：1783年的拉普拉斯(Laplace)定律，1801年的道耳顿(Dalton)定律，1802年盖－吕萨克(Gay－Lussac)定律，1811年的阿伏伽德罗(Avogadro)定律。这些知识的积累，让我们更清楚地了解大气的性质。政府也开始对这些定律的实际应用，感到兴趣及关心。

## 天气——战场决胜因素

古代部落之间的战争，天气状况往往扮演了决定性的角色。凯撒(César)在他与不列颠人打仗期间(公元前55～前54年)，由于在英吉利海峡和布列塔尼(Bretagne)外海遇到大风暴，他的船只被摧毁了很多，使他的处境一度变得非常困难。

许多年后，于1274年，忽必烈(Kubilay khan，成吉思汗的孙子)率领了由3.5万人及700艘船

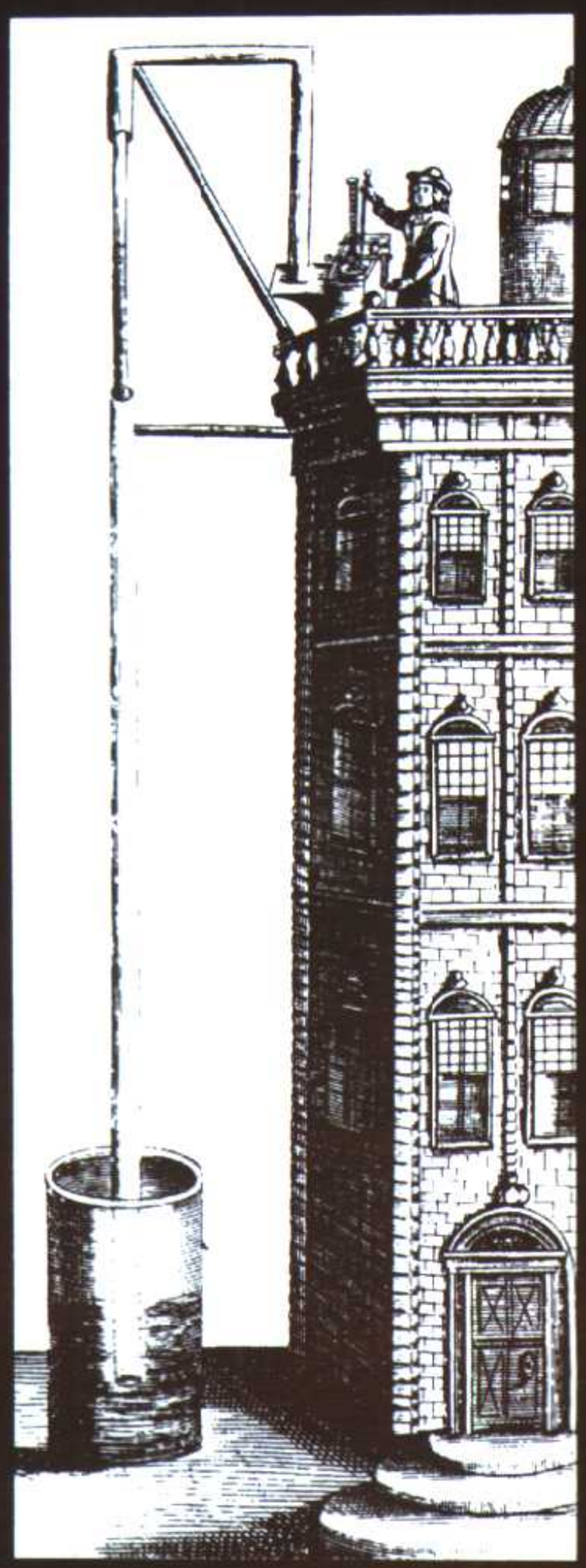
1804年，盖-吕萨克和毕奥(如图)乘氢气球升空，是基于大气动力学的一项原理："热空气比周围的冷空气更轻，便往上升了。"氢气球和热气球都是根据这定理来飞行的。

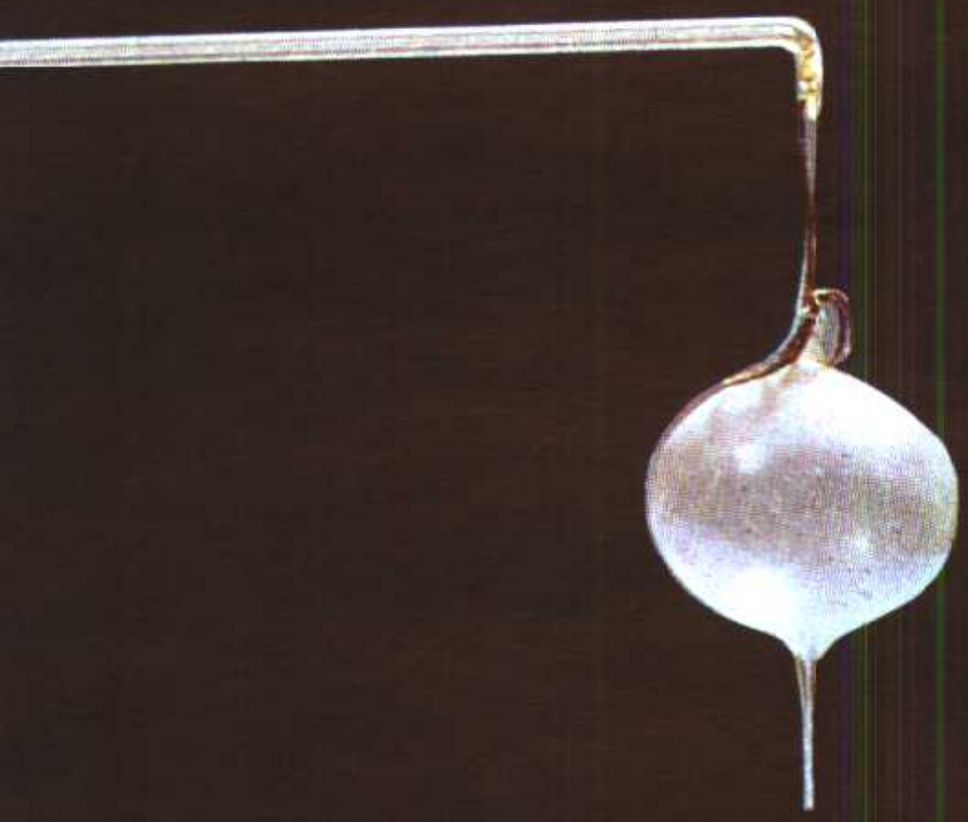
1777年，拉瓦锡(1743～1794年，左页)用实验证明空气的组成为氧及后来命名为氮的"有毒的气体"。并得到一个接近实际的结果，他估计空气中的氧占27%，实际上是21%。

实验室内的气象学并非微不足道的科学。同样现象的模拟如闪电，由巨大能量所造成，有时极危险。俄国人(Russe)里赫曼(Richmann)1753年8月6日在圣彼得堡进行的一次实验中意外身亡。

EVANGELISTA TORRICELLI

A
C
B



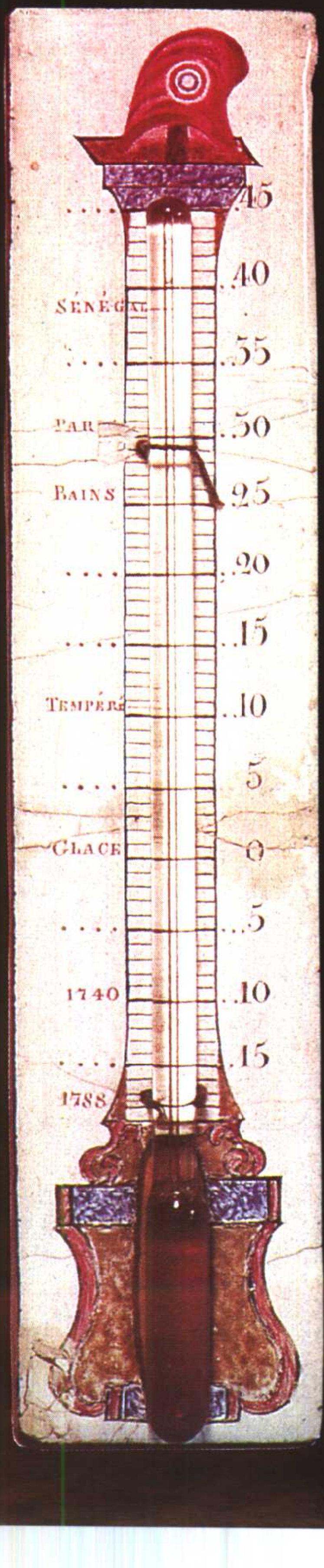


湿度计

在18、19世纪，人们便能测量湿度，即空气中水蒸气的含量。左页，两个测湿度的天平式湿度计，一端用棉花，另一端用玻璃，在意大利佛罗伦萨制作。第一个真正的湿度计是1780年左右由瑞士物理学家暨地质学家索絮尔(Horace Benédict de – Saussure)制成的(左页左上图)。他的原理建立在一个很单纯的概念上：把干的毛发放在湿的空气中，即成毛发湿度计。

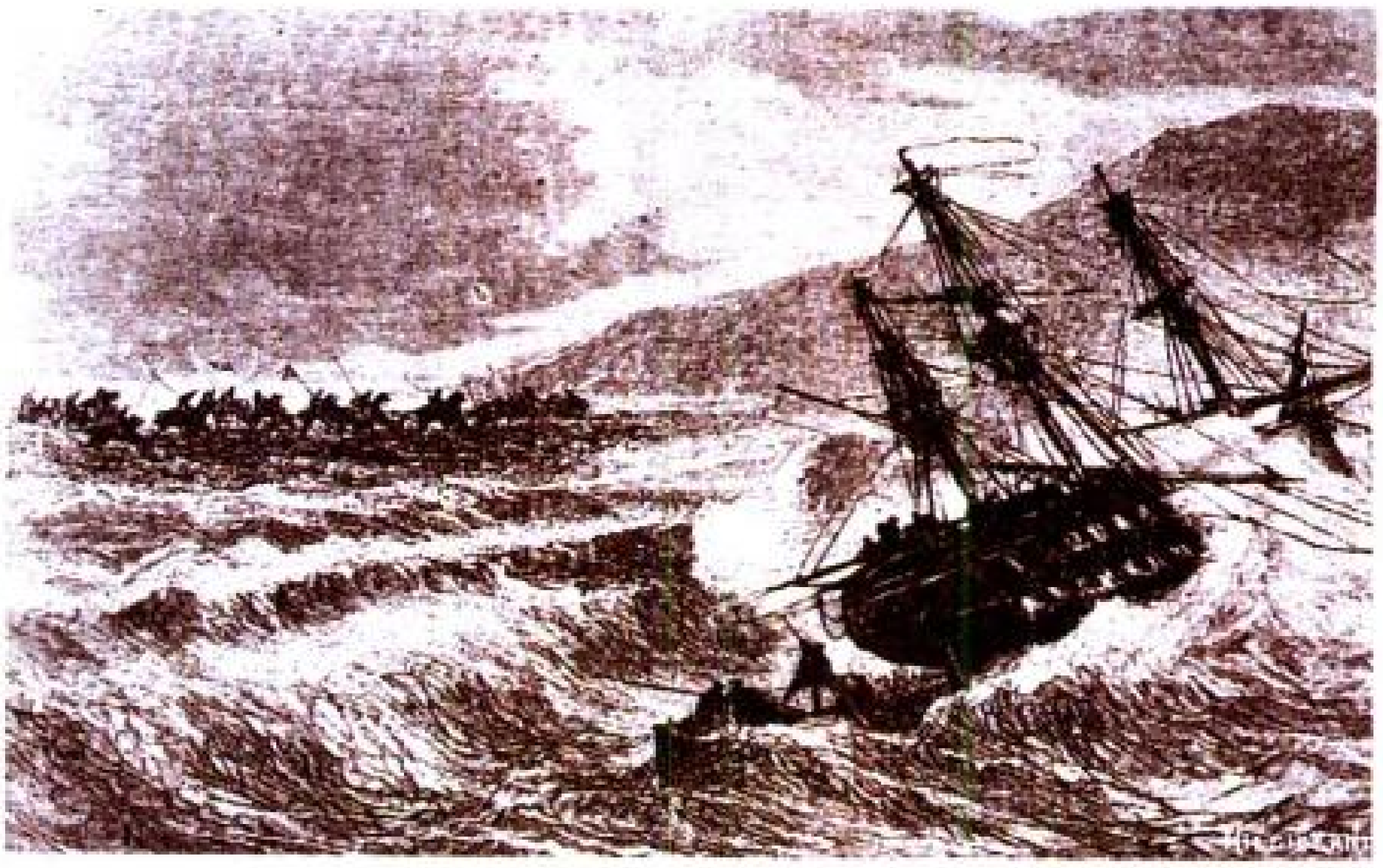
气压表

托里拆利(左页右图)1643年证明了大气压力，也就是说：地球表面空气的重量等于76厘米高的水银柱的重量。气压表(如图)于是诞生。随后博列斯·帕斯卡在1648年，及罗贝尔·布瓦勒(左图)于1661年也做了同样的实验。




## 温度表

以伽利略在1597年建立的理论为基础，首支液体温度表于1641年在费迪南二世(Ferdinand II, 左页)公爵庭前问世。由刻度读取温度，立即引起很多的论战。事实上，如果忽略了水的沸腾和结冰时的温度是一定的，人们就不会把此两温度订为基准点。于是，在1694年意大利帕多瓦(Padoue)一位物理学家选择了水的沸点及凝固点为基准固定刻度。在1730年，雷奥米尔(Réaumur)将此两刻度再分成80度。摄尔西乌斯(Celsius)并于1742年建议摄氏刻度，此为现今常用的。由左至右图为：伽利略在1597年客居帕多瓦时发明的验温器，此是19世纪时的仿制品。接下来两个玻璃温度表是1657年在意大利佛罗伦萨发明的，它们同时也代表玻璃彩绘艺术。接着是拉瓦锡所使用的水银温度表。最后，上端有弗里吉亚帽(bonnet phrygien，一种红色锥形高帽，流行于法国资产阶级革命时期)的温度表，是革命性的模式，很接近我们今天常用的温度表。



所组成的舰队准备攻打日本，却被一场可怕的台风打败了。这次台风造成他三分之一以上人员及装备的损失。1281 年，忽必烈重新集合了 14 万的蒙古人(Mongols)、朝鲜人(Coréens)及中国人，准备再度发动攻击。然而，另一次台风又击溃了他的军队。

在英法战争(Crécy)期间，英国人知道利用套子来保护他们的弓及箭，而法军腓力六世(Philippe VI)却没有准备这项“军需品”，结果他们的弓弦及箭受潮，箭变得无法瞄准，而弓弦变得无法完全张开，于是军力大大的受创，造成1346年8月26日的大败仗。1415年10月24日在阿让库尔(Azincourt)，雨又给法军造成致命的一击。重装的军队完全陷在泥沼中，对英军轻骑队的攻击，连一点反击的机会都没有。

值得一提的是，拿破仑一世(Napoléon I)认为拉马克(Lamarck)或特拉法尔加(Trafalgar)的气象学是荒谬的，所以在滑铁卢(Waterloo)及自俄国撤军时，都未考虑到天气的因素。再如在1788年夏天的暴雨及大冰雹之后，紧接着是一个异常寒冷的冬天，从1788年延续到1789年，不但造成粮食的歉收引起饥荒及民怨四起，这怪异气候也是造成法国大革命的原因。

人人 法国都兰地区(Touraine)到比利时，1788年7月的雷雨毁坏了小麦收成，到处充斥着饥饿与苦难。

## “省长先生们”

在1821年的“异常气候”之后，法国内政部长告示所有的省长道：“各位先生，几年来，我们都目睹了气温明显下降、季节突然变化、飓风(ouragan)、异常洪水等现象，这使得法国变得愈来愈弱。”他要求省长们探究这些“异常”的原因。

而他们也找出了原因！罪魁祸首为：法国及美洲(Amérique)的森林砍伐、地震、火山爆发或地磁异常。夏朗德(Charente)省长认为：“要是政府没有进行经常性的气象观察，我们便无法确定造成这些异常现象的真正原因。”

## 现代气象学诞生于风暴之中

1854年11月14日，在克里米亚(Crimée)战争期间，一场强烈的风暴使法军的亨利四世(Henri-IV)号军舰及38艘商船毁坏殆尽，造成400人死亡。灾难发生后，当时的国防部长瓦扬(Vaillant)请天文学家勒威耶(Urbain le Verrier,1811～1877年)负责找出原委。勒威耶证明这场暴风雨在11月12日即已存在，而且在两天之内，便以

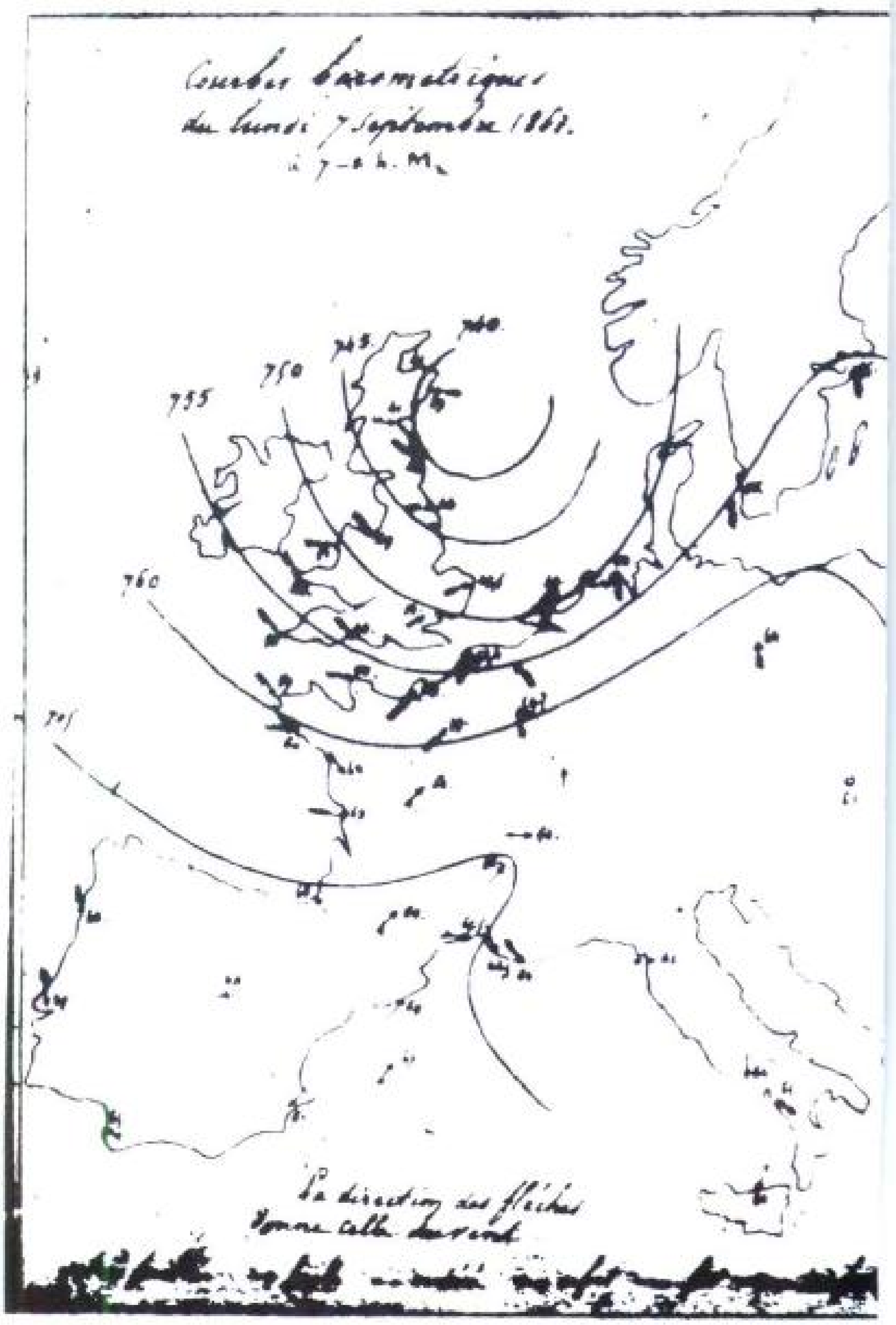
勒威耶(上图)是天文学家，也是巴黎观测站(Observatoire de Paris)主任，被视为现代气象学之父。在1854年11月13日克里米亚战争期间，法国的亨利四世号军舰发生海难事件(左页上图)，使他认为有必要发展气象学。他促使气象学在1855年获得正式的地位——指出这是一门“杰出的实用科学，其进步与航海、农业、公共建设、卫生等都十分相关”。

这是1879年4月在罗马第二届气象学国际会议期间(左图)，组成一个九人委员会，其中荷兰的白贝罗(右页人像相片)负责发行刊物及汇总整理报告。

自西北往东南的方向席卷整个欧洲。因此他指出，影响天气的因子中，大部分因子都具有迁移性。现代气象学于是踏出了它的第一步。

法国决定设立监测网，负责预警恶劣的天气。这个监测网最初由24个监测站组成，其中13个站以电报互相联系。之后各国也开始组建气象部门，并互订条约。情报及资料交换愈来愈频繁。至1865年，整个欧洲气象网就有59个站了。

所有的气象观察都强调了大气压力的重要性：天气的变化，似乎与气压表读出的大气压力关系密切。



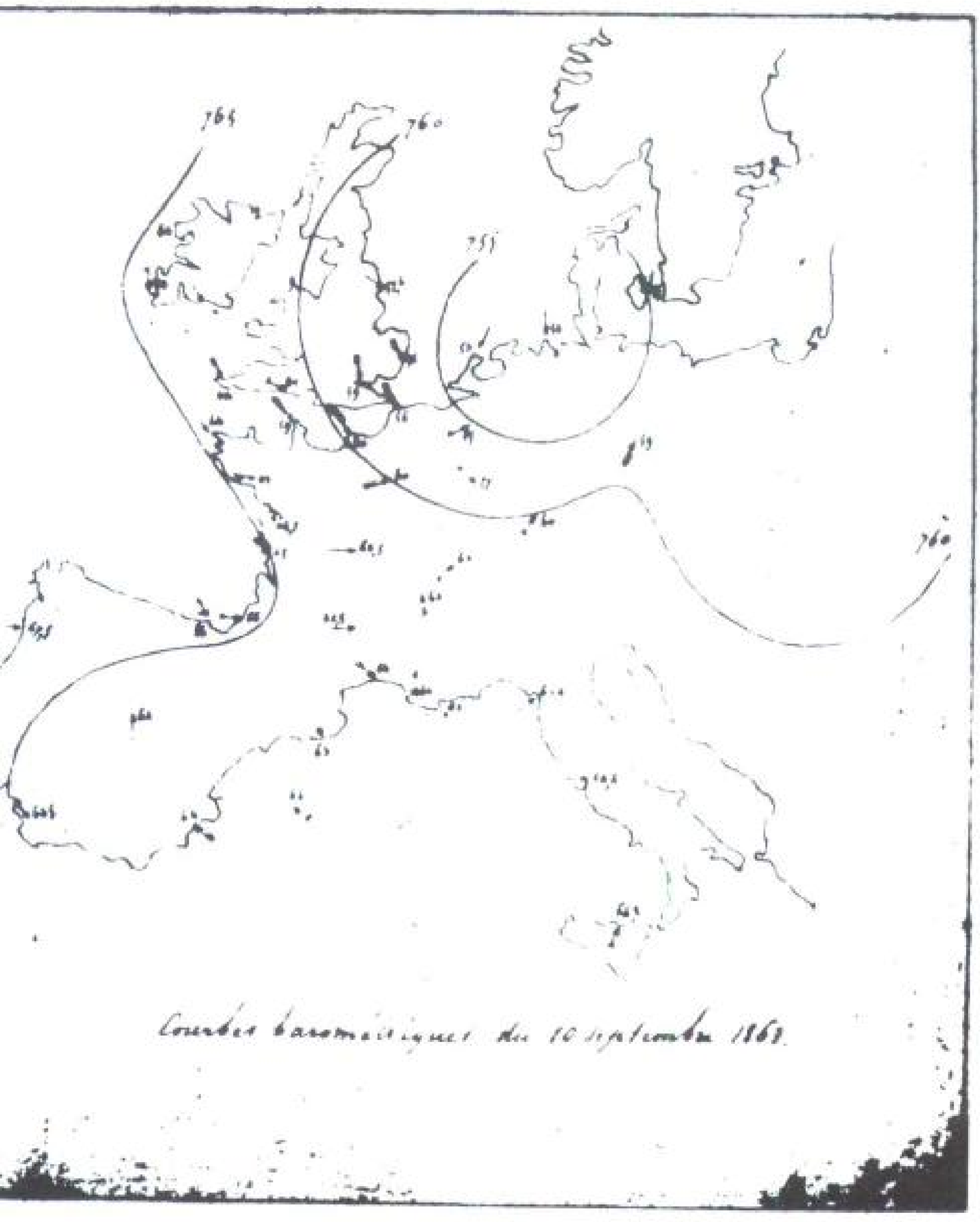

## “地面等压线外推法”

1860年，荷兰的一位气象学家白贝罗(Buys－Ballot，1817～1890年)，更精确地解释了风的产生机制。他证明：风总是吹向等压线(ligne

isobare)，即压力相同的地区所连成的线。第一张等压线图(carte isobare)原稿，便是依据这些气压表的记录而来。

最初预报的方法很简单。首先，要找出大气现象中云系、雨系的位置。这个工作主要借助气象观察和各地气象资料的相互交换而完成。接着第二步，由等压线图得知风向及风速，我们因此可以看到所有现象的迁移，未来大气现象的变化就呼之欲出了。

这个方法被天气预报员们称为“地面等压线外推法”，但这还不是很理想，例如，地形的影响就没有




最初的天气图(下图，1863年欧洲西部，9月7日及10日)显示出等压线。由于白贝罗的努力，使预报风向、风速及推断云的移动变得可能。

“发现的规则是：在我们国家内的大气压差都与强风有关，而且风通常与等压线斜交，因此，如果气压差由北往南降，则吹东风：如果气压差由南往北降，则吹西风。”

白贝罗

考虑在内。而且我们也只在地上进行观察，然而我们却不能忽略尚有第三度空间——海拔(altitude)——的存在。

## 风筝及探空气球的时代

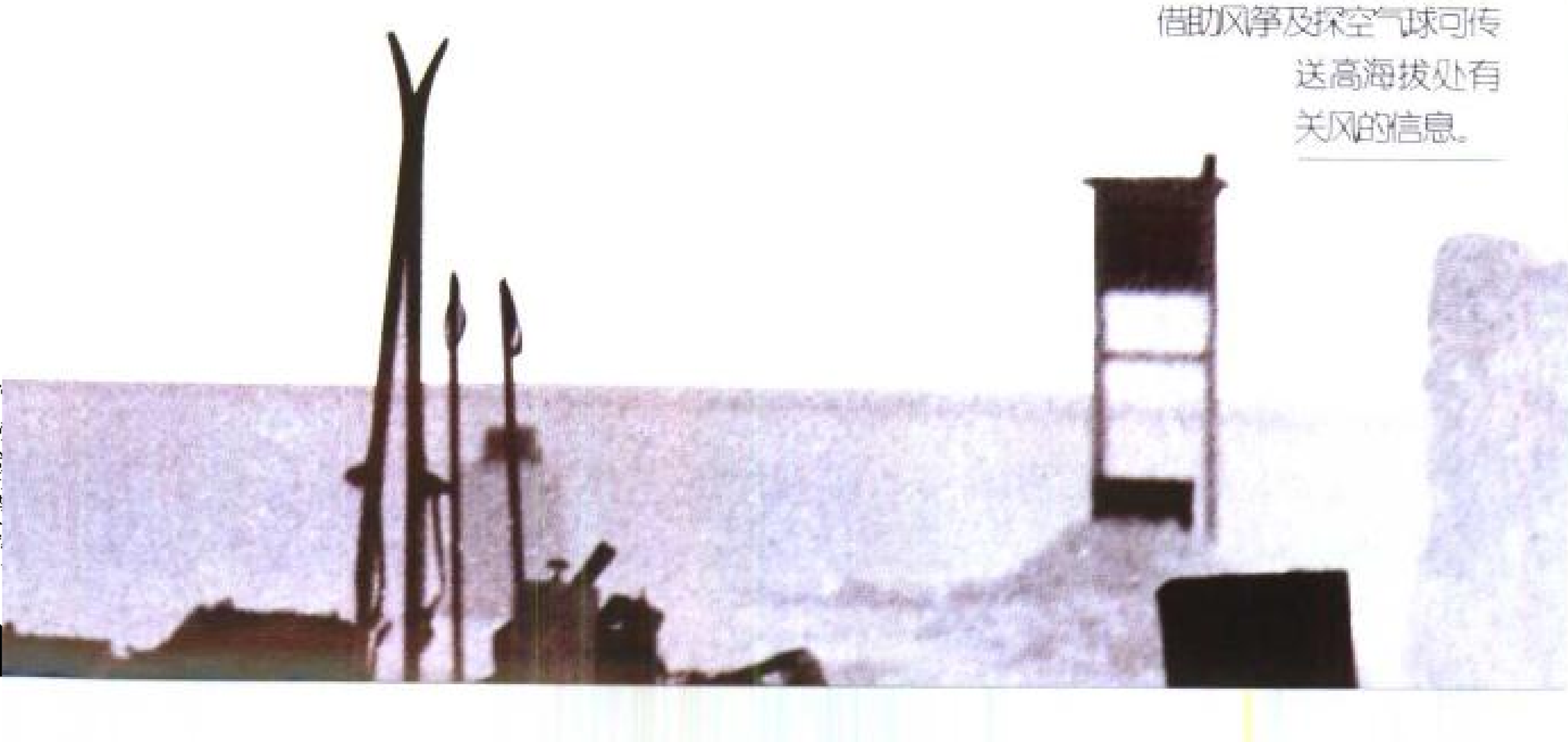
只有在高海拔处的风可以让云移动。在大部分的情况下，高海拔的风速、风向与地平面上的风速、风向并不一致。因此预测云的迁移，就必须先考虑大气在三度空间的情况。

接着几年，气象学家都竭力地修正这个漏失考虑海拔因子的严重偏差。最初，借助风筝、系留气球或风飘气球来测量高海拔处的大气状况。泰斯朗·德·博尔(Teisserenc de Bort，1855～1913年)是德拉普(Trappes)气象台的创建者，同时也是这些方法的第一位使用人。然而，美中不足的是仪器很难回

收。在1930年左右，法国人罗贝尔·毕活(Robert Bureau)及俄国人马鲁柴诺夫(Moltchanov)确立了无线电探测(radio - sondage)的技术，使得在气球上升期间所测得的数据，可借助无线电传回。

为了传送高海拔处的湿度、风及温度等信息，释放探空气球变成日常性的工作。同时，观测站的数目也在不断增加。地面等压线外推法有了明显的改进，令气象学家能很准确地预报天气……最有名的例子，无疑是在1944年盟军登陆诺曼底(Normandie)时成功地预报了天气。

风速表和风向标(左页左图)使我们能自地面观测风。而由于泰斯朗·德·博尔的功劳，借助风筝及探空气球可传送高海拔处有关风的信息。



假想地球是直径 1 米的球，
那么大气层就是厚约 2 毫米，
围绕其外的薄膜。
大气质量的 99%位于 30 公里以下的地方，
愈往上则愈稀少，
到 1500 公里以上，
就几乎难以察觉了。

## 第二章

# 大气、大气……

不可能！就像这幅 15 世纪末的版画所表现的那样，即使是智者也冲不出“宇宙”。太阳只是浩瀚星海中的一颗星球，地球也只是宇宙中的一粒小石子。然而围绕在其四周的气体薄膜——大气层，又是什么呢？

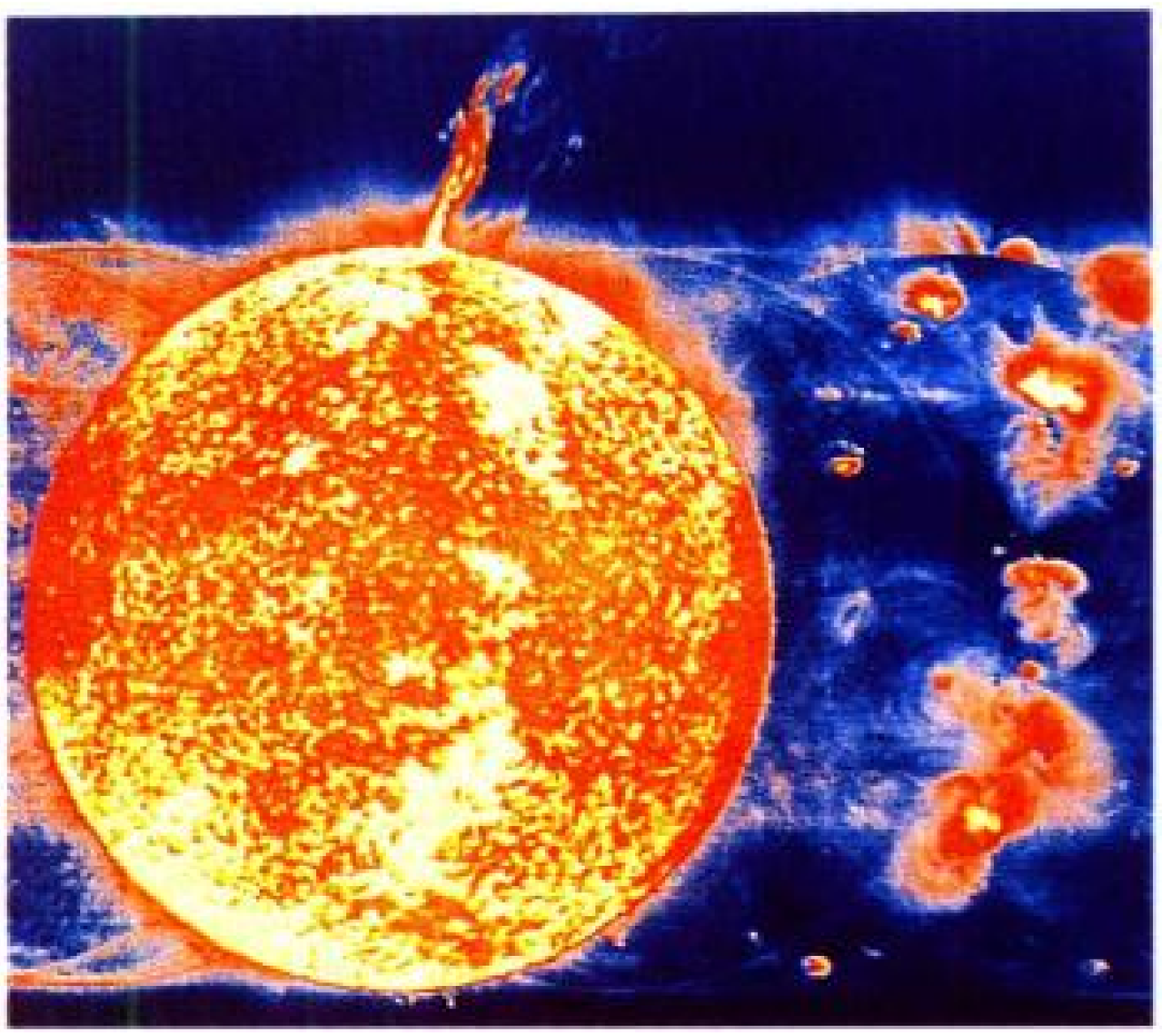
古人的宗教信仰非常了解太阳的重要性，因此常常创造所谓的太阳神，如：埃及的拉神(Râ)及阿吞神(Aton)；巴比伦人的沙玛什神(Shamash)；希腊的阿波罗神(Apollon)及赫利俄斯神(Hélios)；或者玛雅人的康加欧神(Kinch Ahau)。

太阳活动强烈时(下图)会产生无数的带电粒子。其中只有极少数被地球磁场吸引住。在地球上所观察到的极光(aurore polaire)，即是带电粒子流与大气相碰撞产生的结果。

## 太阳的力量

以现在的观点而言，太阳只是银河系无数恒星中的一颗。但是这颗看似普通的恒星，却是地球不可缺少的能量来源。虽然地球只接收到太阳辐射出来能量的20亿分之一，但是，若缺少了这20亿分之一的能源，生命便不可能生存，而且地球表面的温度将不会高于－250℃。

·SOL·



太阳是被火焰覆盖的运动气体球，距离地球约1.5亿公里。其中心温度高达1500万℃，而其表面温度则不一，介于4000℃至6000℃之间，它的压力大过大气压力1000亿倍以上。太阳是具有令人惊异的能量的超级核能发电厂：每秒钟产生的热能量，相当于5亿吨石油燃烧所得的能量。

中世纪无神论者时期，一幅15世纪意大利的手绘太阳图(右页)显示：太阳的炽热、狮子的力量及人类的智慧，挤压着云所组合成的神奇三部曲，成为圆形发光体的中心，使地上战斗、工作及娱乐的人们得到光亮及温暖。

渺小的人类唯一能做的，只有观望展现在眼前这叹为观止的一系列太阳的动作。以地球的大气层为边界，太阳给予地球平均每平方米1367瓦的热能：这就是太阳常数。这个热量平均分布，也是所有大气活动的基础。

据专家估计，太阳仍保有继续运转数十亿年的

储备能源！ 只是它必须维持在“最佳状况”。就因为我们的大气演变，是如此紧密地依赖太阳，因此，它的储备能源状况一如传送热能般重要，即使其功能仅发生一点点的变化，也都能引起我们的气候出现巨大

“归功于日冕仪，我看到了日冕的涌出、太阳的表层及太阳活动的大爆发。”

克劳德·华

法国孚日(Vosges)山上的山毛榉在强风吹袭下，呈现出春、夏、秋、冬四季的景色。

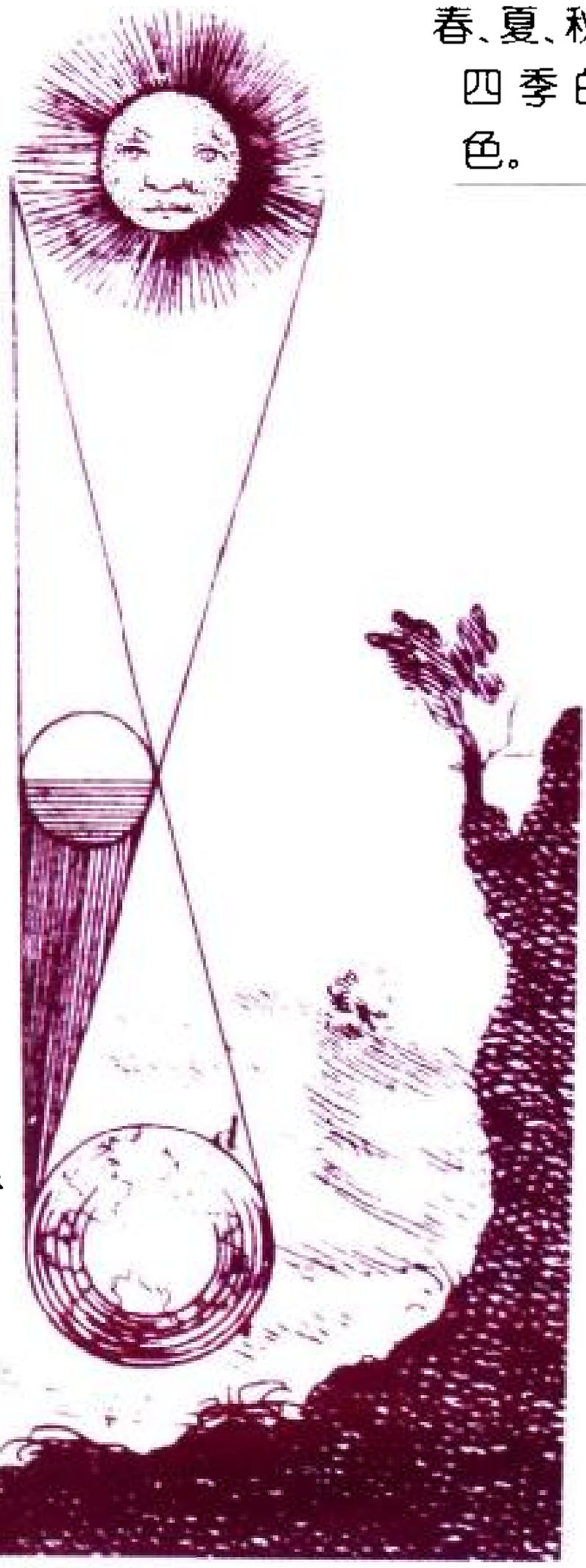
反应，影响层自然也包括地球上所有的生命在内。

## “特别是，地球会转动!”

地球的公转及自转同时会影响地球的位移。地球绕太阳运行一周要一年(约365天)，而地球自转一周则需一日(24小时)。

从伽利略(Galilée 1564～1642年)据理力争，向询问者们坚持其理论的一些言谈开始，如今人们早视以“太阳为中心的地球运行”理论为当然，运行的轨迹为椭圆形，而太阳便位于椭圆中的一个焦点上。

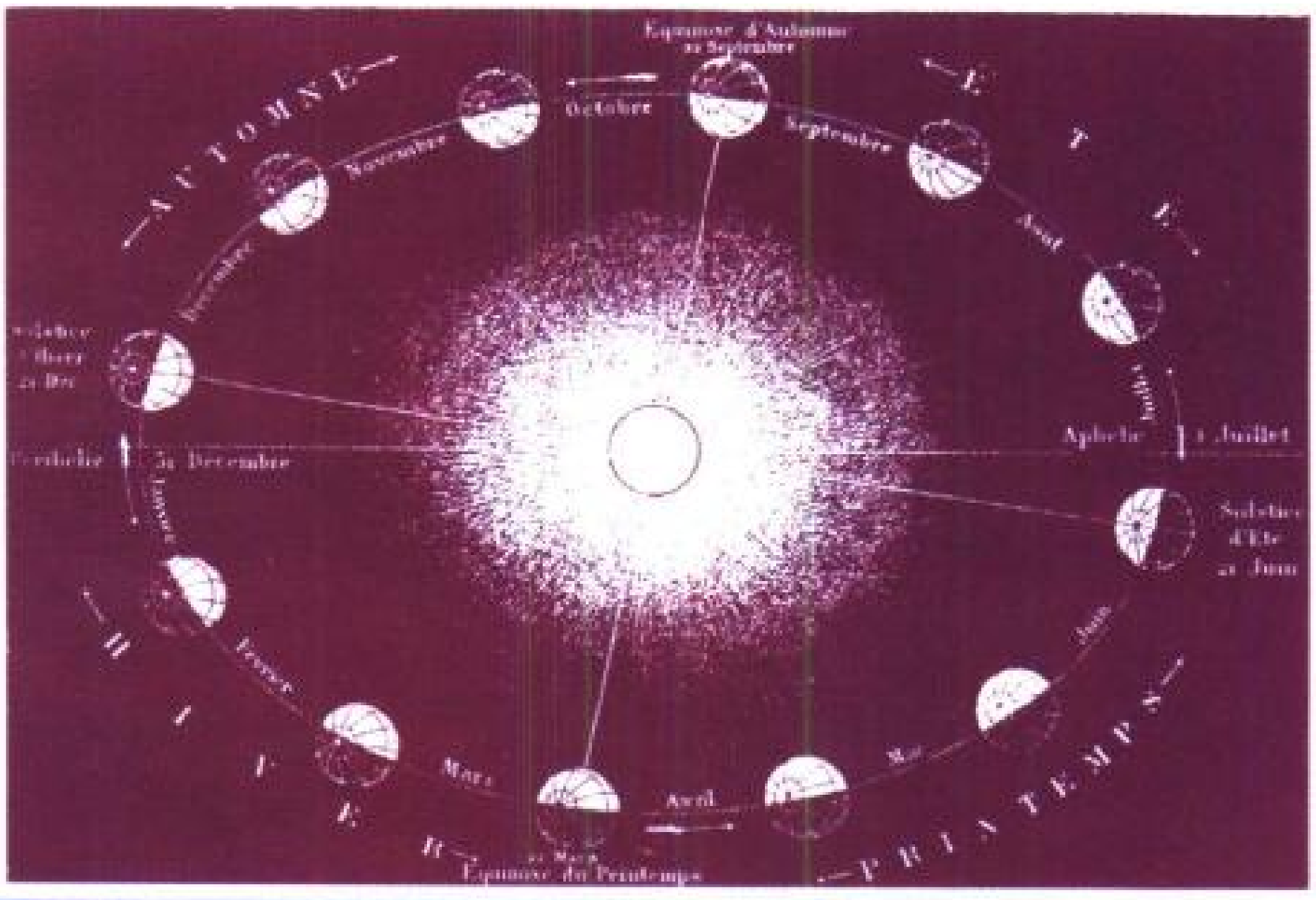
在北半球的冬季，地球最接近太阳。而1月2日的位置又最近，称之为近日点(périhélie)。这一天，它距太阳“只”有1.47亿公里，全球可接收到最多的太阳辐射。但是北半球在冬天(hiver boréal)接收的日照及能量，比在夏天少得多；因为，此时照到北半球的太阳光并非直射，而是倾斜的，由于照射面广，光线较难集中，因此“效率”不高。7月5日时地球距日最远，远至1.52亿公里，被称为远日点(aphélie)。



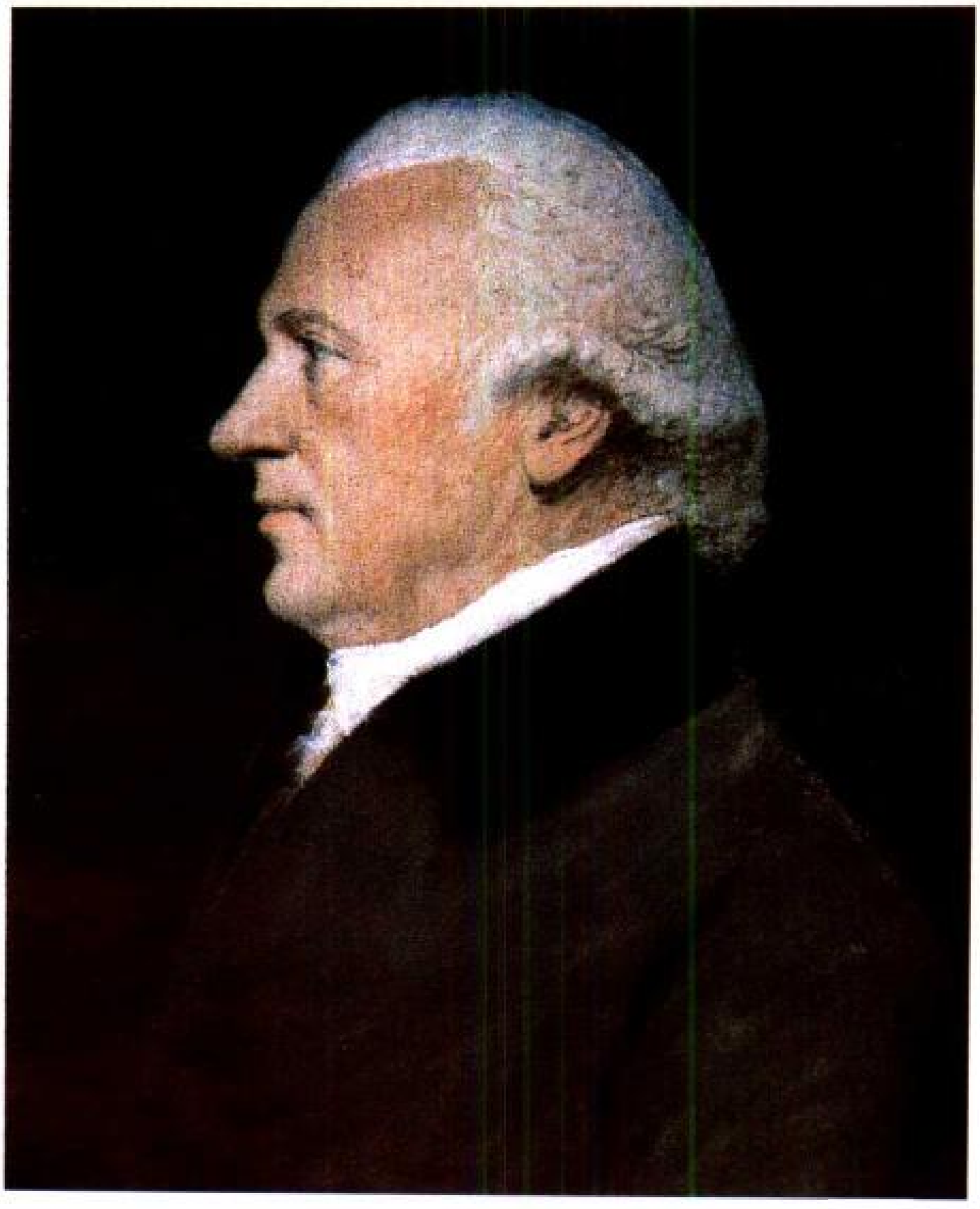
以地球绕太阳所形成的平面，即黄道面为基准，地球是倾斜 66度34分自转的。这个倾斜度终年不变，致使地球接收太阳的辐射每个月都不同……季节间、白天或晚上也有差异。

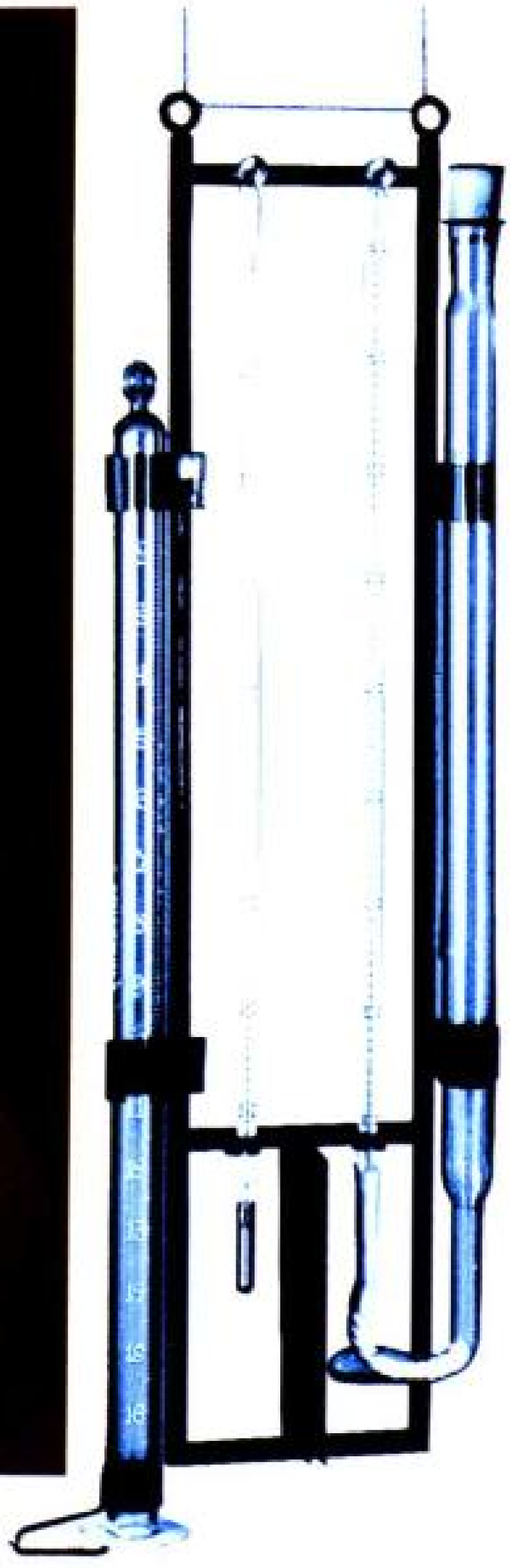
当南极点在朝向太阳的方向时，南半球便接收到最多的能量：此时是南半球的夏天(été austral)；而在北半球为冬天。于是在北极发生持续半年是长夜的现象；半年后，这个长夜现象就换到南半球的南极。天文历法中的二至点(夏、冬至)(solstice)及二分点(春、秋分)(équinoxe)，是欧美地区四季的开始，也就是说其四季是以地球绕太阳运转轨迹上某些特别的点来区分的。

耶稣会教士基歇尔(kircher)在其《Arsmagna lucis et umbrae in mundi》(1645年)的著作中，有一幅关于天文学的插图(左页下图)说明了日食的现象。除了太阳的“脸”外，我们可以看到在月亮下方全黑色的锥影，而地球也只有部分被照亮。在地球的任何地方，我们都只能看到太阳的一部分。




地球自转一周，需24小时，因而有了日夜。地球绕太阳一周需一年，产生了四季。左图取自法国天文学家卡米耶·弗拉马里翁(Camille Flammarion)的作品《大气》，描述地球绕太阳的位移。





测量蒸发量的蒸发计及两个温度表：一个可以直接读取干空气的温度；另一个(一端与充满水的管子相接)可以测得湿空气的温度；比较两者即可得知空气的湿度。左上图是威廉·赫歇耳(William Herschel,1738～1822年)，以发现红外线闻名。

## 稀薄的大气层

空气约占有大气98%的重量，其他部分为水汽与固体杂质。空气和水是地球上所有生物不可或缺的两个要素。

干洁空气由多种不同的气体组成，各气体的比例大致一定：氮(azote)占78.09%，氧(oxygène)占20.95%，氩(argon)占0.93%，二氧化碳(gaz carbonique)及其他气体约占0.03%，其他气体包括氖(néon)、氦(hélium)、氪(krypton)、氢(hydrogène)、氙(xénon)、臭氧(ozone)及氡(radon)。

其中二氧化碳及臭氧含量，随着人类的活动有显著的差异。大多数的研究人员及气象学家认为，这样的波动对气候会造成很大的影响。

大气中的水主要以三种形态存在。水蒸气是一种无色无臭的气体，一直存在于大气中，构成最重要的含水量。液态的水，以大小不一的小水滴状态存在，为云的主要组成部分。固态的水——冰的小结晶，量非常少，通常与小水滴混合着，只占很少的水量。

然而，大气的水只占整个地球上的水的一小部分(0.001%)，地球上的水包括海洋、冰川、湖泊、池塘等的水，估计约有14亿立方公里。

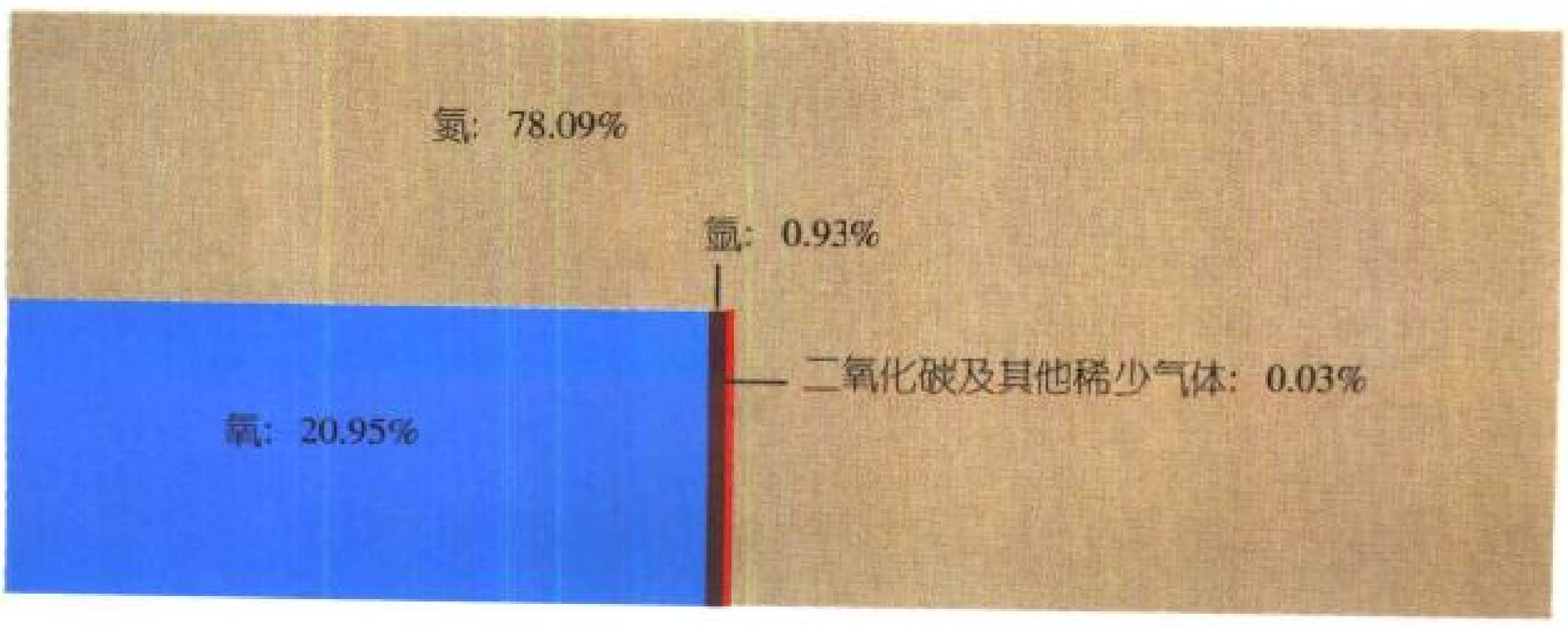
除此之外，大气层还包括相当数量的尘粒或固体微细粒子，如：火山灰、花粉或尘埃，这些物质在大气机制上也都扮演着重要角色。

泰斯朗·德·博尔是最早释放气球来探测大气的科学家。他发现自某个高度开始，约10公里左右，温度不仅停止下降，相反地会略为上升。不断地验证之后，他归纳出事实：确实存在着一层差不多同温甚至逆温的大气层，于是发现了平流层。而介于对流层与平流层之间的过渡层面，叫做对流层顶。

空气的三种主要组成气体——氮、氧及氩，直到80公里左右高度都呈稳定的比例。相反地，其他气体的百分比变化就相当大。同时，如果发生森林大火，大气中二氧化碳的含量就会明显地升高。

## 变温、同温、升温

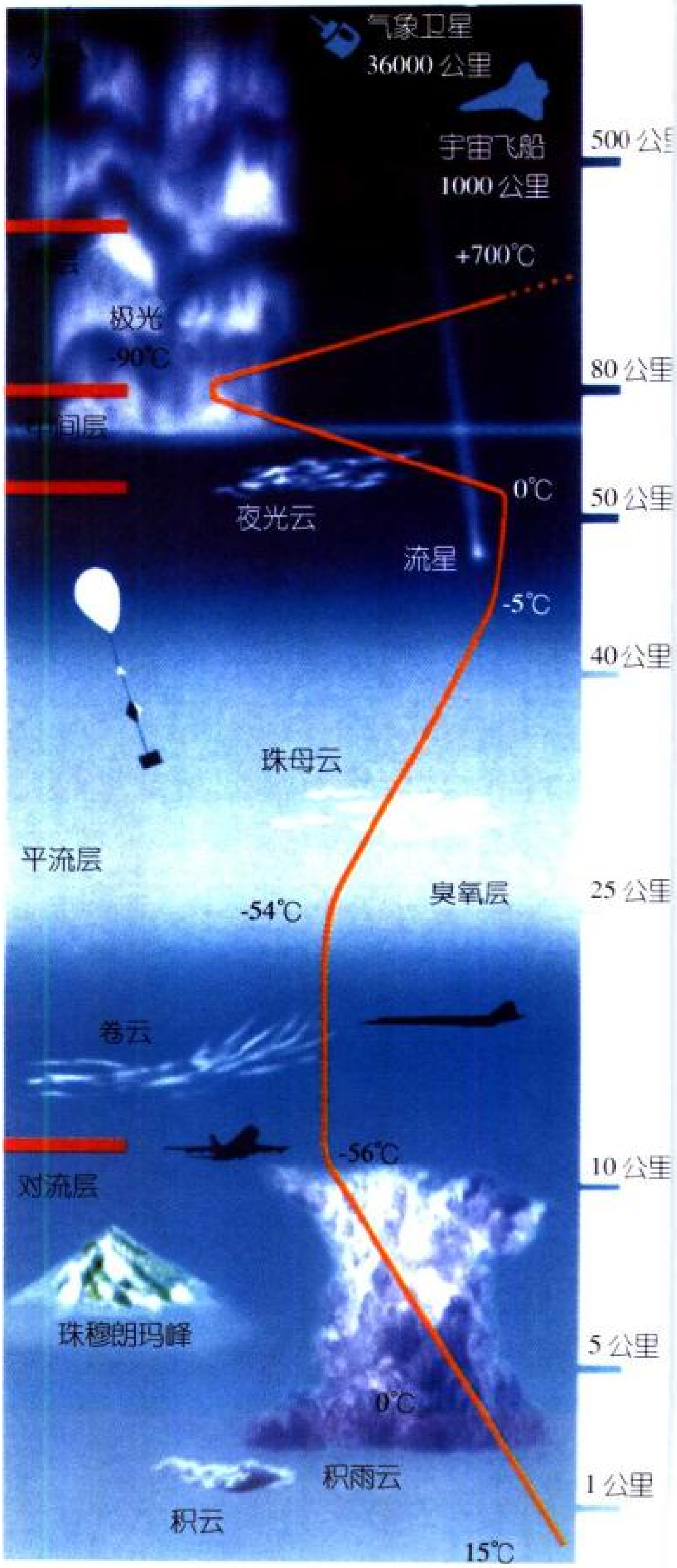
由大气的温度剖面图可看出它是由好几层重叠在一起的，且由于海拔高度不同，温度的变化也不一致。



对流层（troposphère）最接近地球。它的厚度由极地的7公里至赤道的二十多公里不一。这是形成云层的主要空间。一般而言，在这一层的内部，平均每上升1000米则温度降低6.5℃。在温带地区，我们称对流层的最高点为对流层顶(tropopause)，其高度介于9至12公里之间，温度为-55℃至-60℃之间。

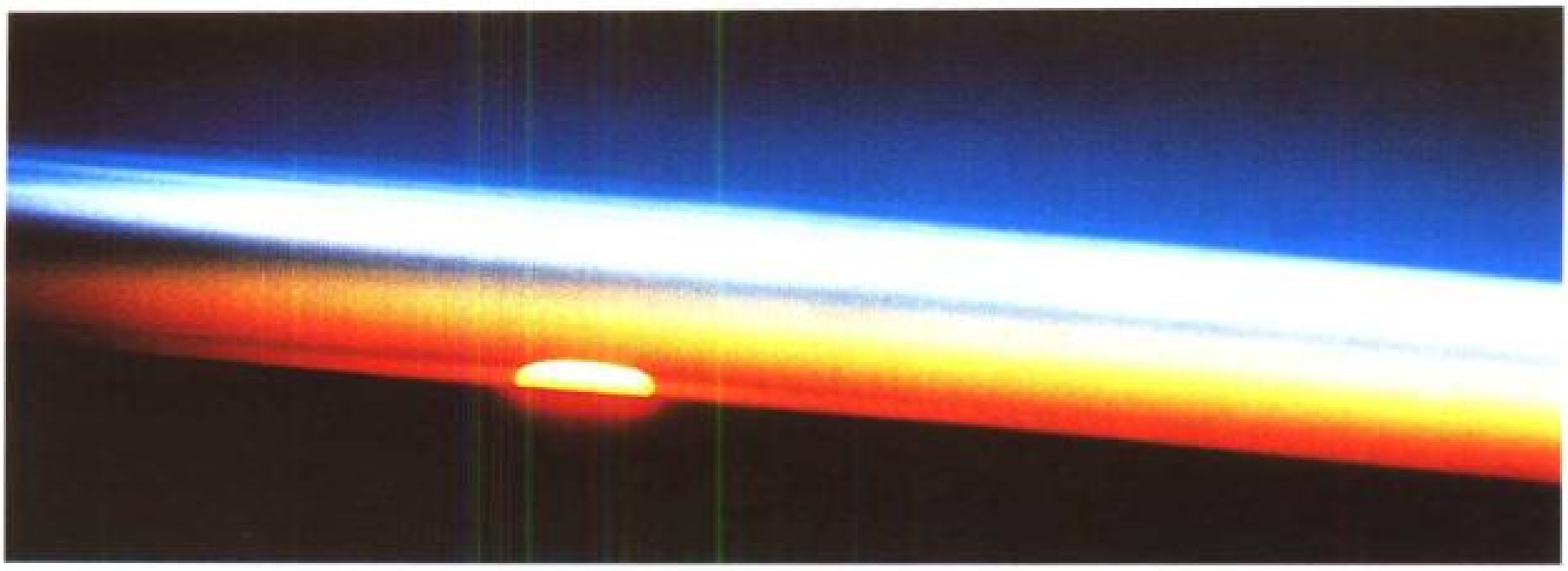
稍上，约有30多公里的厚度，称平流层(stratophère)。该层与对流层相反，随着海拔的增加，下层温度变化很小，上层温度上升很快，可达0℃左右。这个回暖现象，主要是介于15至40公里处的臭氧层起的作用。

继续往上便达中间层(mésosphère)，温度又慢慢降低，在海拔80公里处温度约为-80℃。再往上是热层(thermosphère)，此层温度又上升，可达700℃。外层是大气层最外面的一层，约自海拔500公里开始，向上延伸至大气层边缘，此处空气愈来愈稀薄，最后与大气真空结合。




## 气象学描述的大气

气象学家利用很多参数来



描述大气状态，其中较重要的有：湿度、压力、温度。

地球不停地运转，使得其周围的气体接受太阳的热便很不均匀。其重量及所造成的压力，也就因地因时而异。如果此压力在海平面处很匀称，则约为1015百帕(hectopascal)，也就是每平方厘米面积的空气重一公斤。(译注：百帕为常用压力单位)

如果某地区的大气压力，比同样高度的周围地区的大气压力高，我们称之为“高压”，或叫反气旋。相反地，“低压”即是与邻近同海拔地区相比，大气压力较低，也叫气旋。温度则为大气团之间热交换的可靠指标。

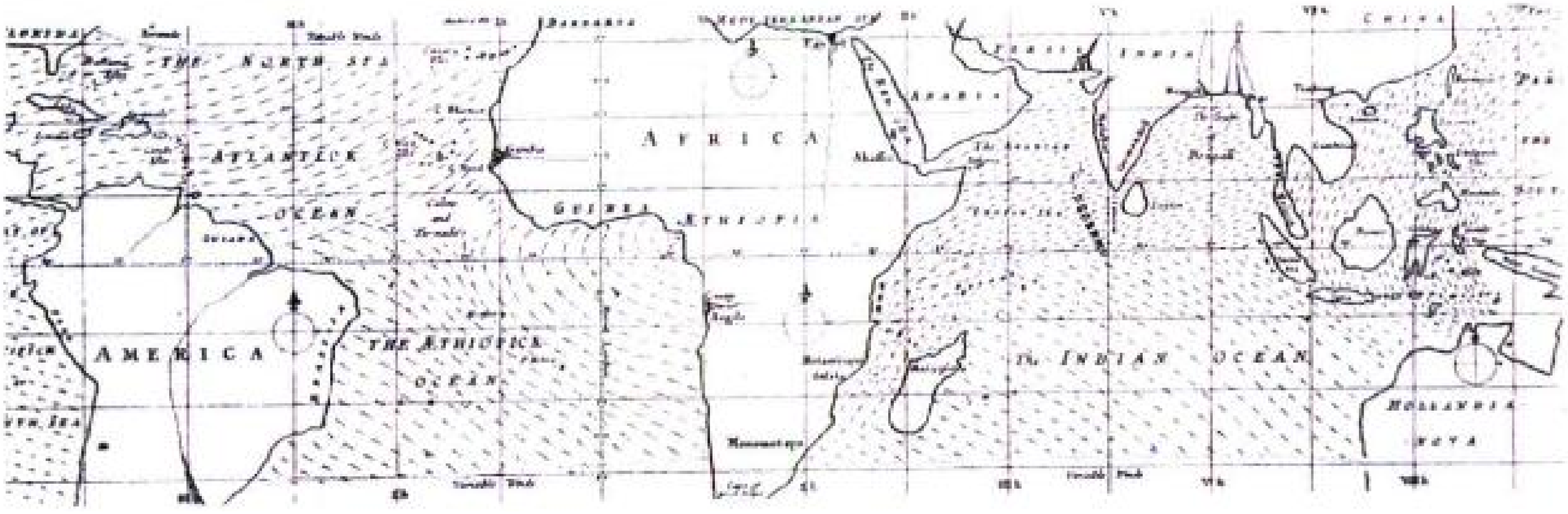
如果大气层非常的稳定，那么它将平稳温和地伴随着地球转动；如此一来，地球与大气就像个完美无瑕的静止世界——那么，风将不存在；然而，恰恰相反，我们的大气层却无时无刻不在运动。导致地球表面的这种扰动主要有两个原因：太阳能的分布非常不均匀，以及地球的转动。

## 气温调节的重要因子

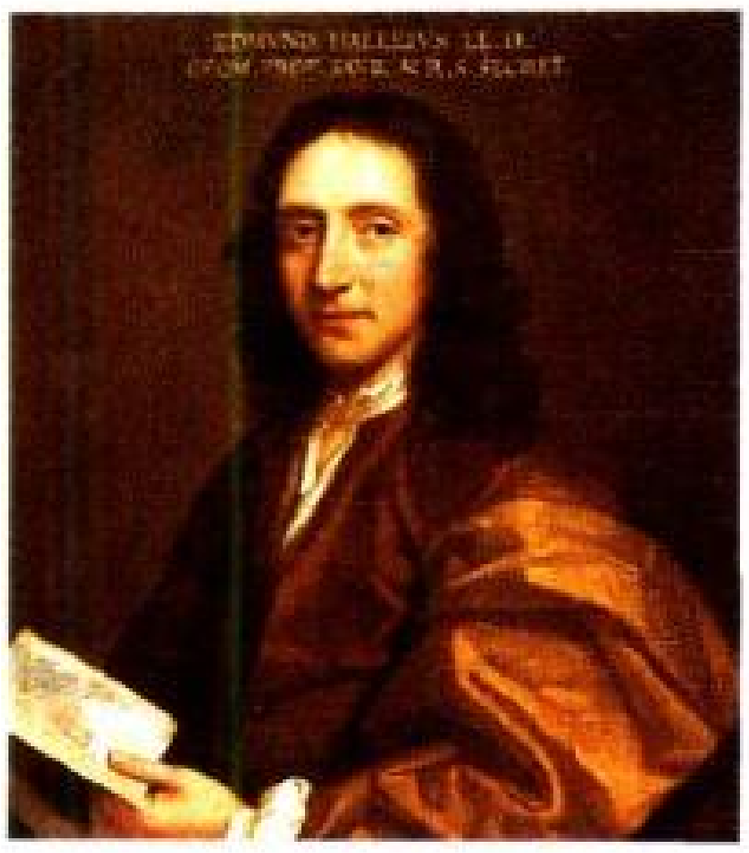
地球对太阳能的接收和散失，其总和随着不同地区而有显著的差异。像赤道地区接收的太阳能，大于散失的太阳能；而极地地区却是散失大于接收。在此

在南非拍摄的日出(上图)。介于两个颜色间的阴暗带，主要是由1991年菲律宾皮纳图博火山爆发的硫酸晶体所造成的。这层气溶胶不但分散太阳光，并分裂成两部分：一部分到达地球表面形成炫丽的日出景象；另一部分反射到天空出现第二次的色散而呈现白色。

大气压力随着海拔升高而有规律地递减，温度的变化由于受地球或太阳辐射的影响，显得较复杂。它会随着海拔高低及白天或晚上而有所不同。大气层质量的50%都集中在海拔5公里以下的地方。



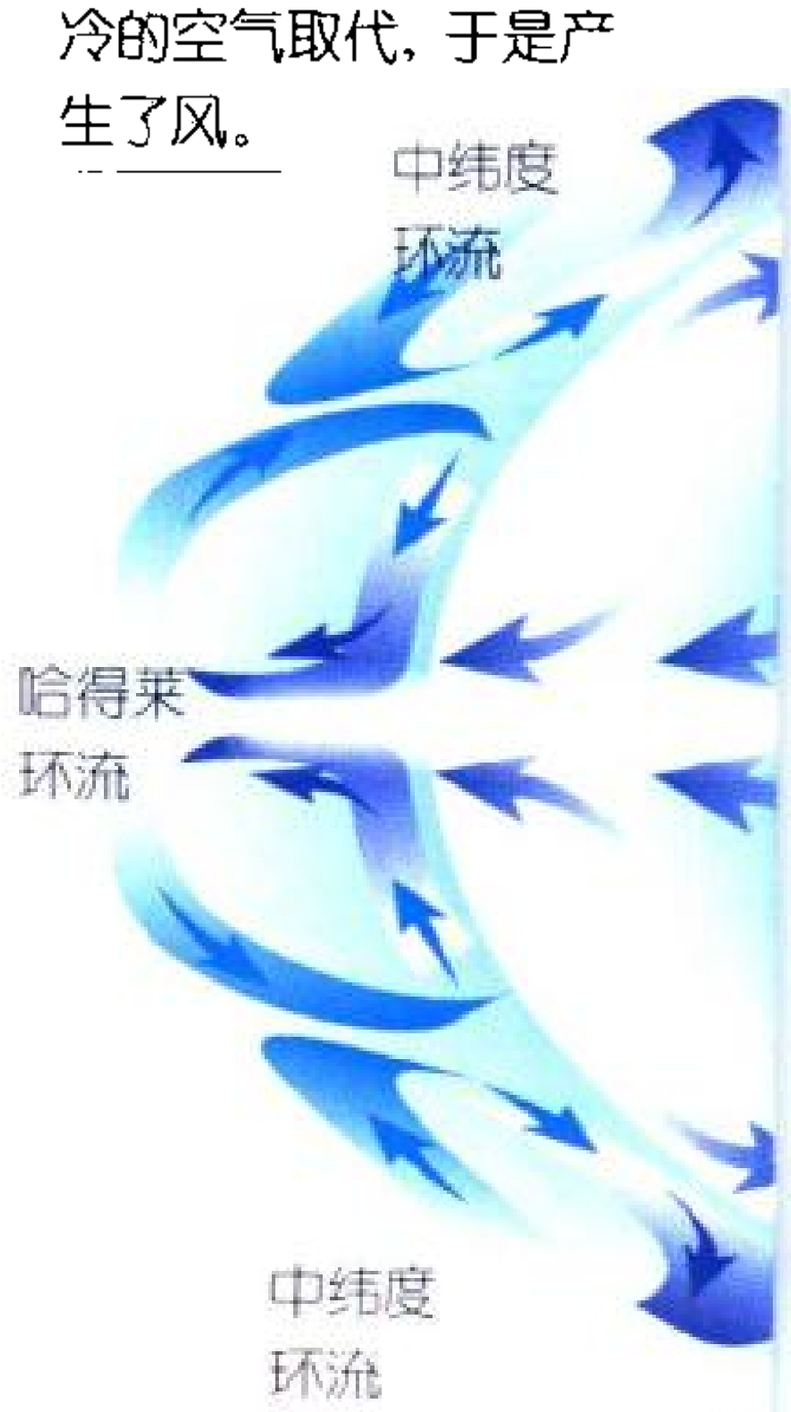

情况下，极地的温度便会一直下降、再下降……在此种持续不断地出现人不敷出的情况下，生命是无法生存下去的。同样地，很难想象赤道地区的热量会一直被地球吸收、累积起来。



英国天文学家爱德蒙·哈雷(左图)1686年发表了首张全球低纬度风分布图，用来解释风的有规律的运动(上图)。他已注意到风的变异，与气压表读出的变异值具有直接的关系。他当时提出了一个大胆的理论，即上升到高海拔的热空气被较冷的空气取代，于是产生了风。

事实上，大气存在一个平衡状态，它借助流动将赤道地区部分的热让给两极地区。其中除了海流的影响外，大气的对流运动也扮演着主要角色，而且是最有动力的角色。

假使地球不动，我们可想象会出现一个对流运动，简单的来回运动。空气在赤道处变热，往高处上升，然后向两极地区移去。而在极地，空气变冷、变重，于是往下降。然后它又再次被推向往赤道的方向去补偿失去的质量。在这种情况下，北风必须自北极不停地吹向赤道，而温带地区才会有潮湿的、沁人心脾的凉爽气候。



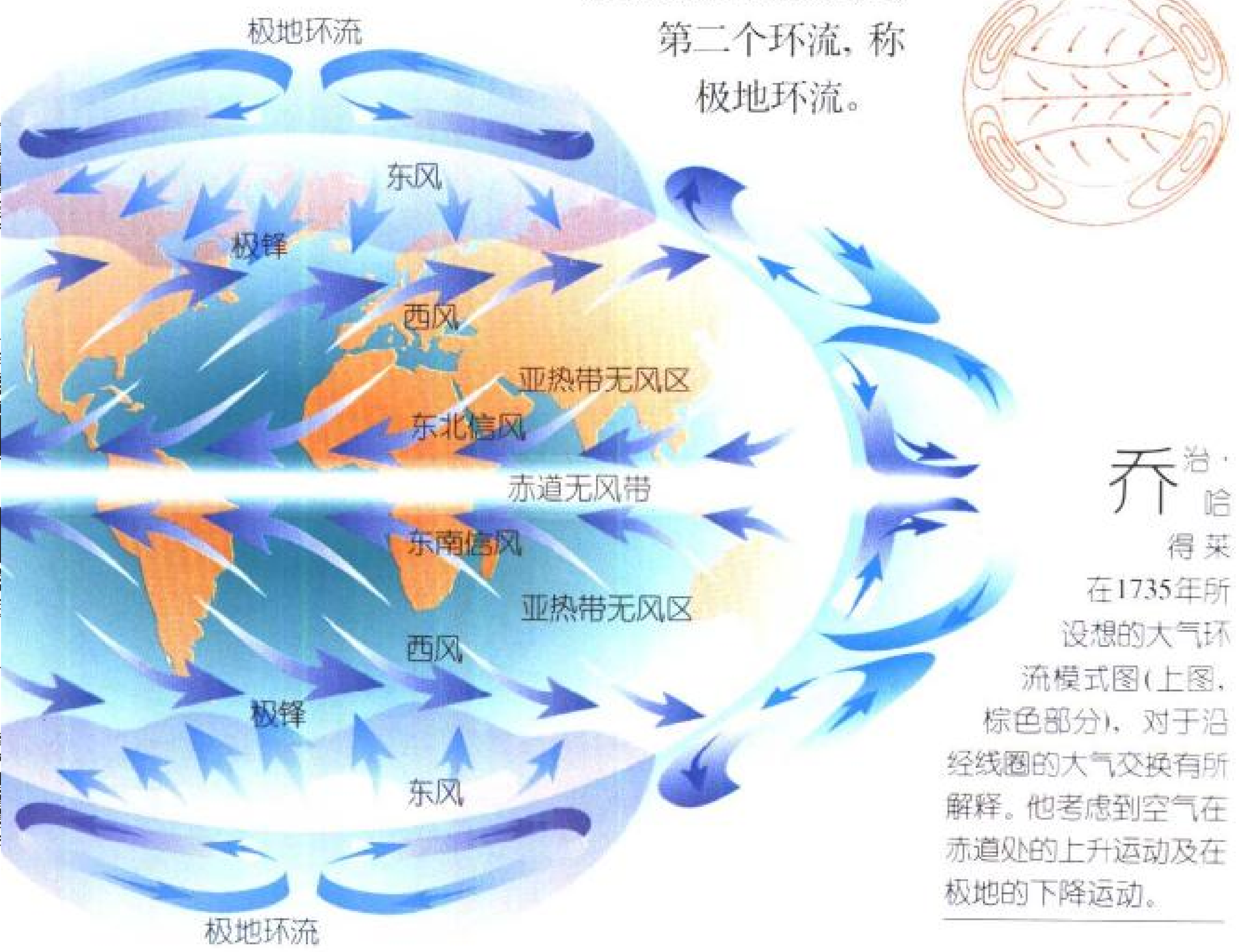

## 空气在两极及赤道所形成的环流

1735年，英国天文学家乔治·哈得莱(George Hadley)即这样假想空气形成一个单圈环流。他考虑到了地球自转的因素，并解释了形成信风(alizés)的

原因。但实际上赤道(Equateur) 的热空气无法单独一路直达极地，尚需两种局部性的环流来帮助。第一种为：赤道的热空气往高处上升，向两极方向流去。然而它冷却得非常快。当它变得比周围的空气还要冷，同时也变重时，于是往地球表面下降，还没到达两极地区，便又往赤道的方向回去重新加热。这个环流也称“哈得莱环流”(cellule de Hadley)。

而在极地附近也有相似的机制作用。因此，冷、重的空气只能在数度的纬度范围内进行对流。它借助与海洋表面的接触一点一点地加热，如果加热太多，则无法继续行程。空气加热上升后，接着又往极地方向去重新冷却，极地的空气一直到达不了目的地。这是我们所观察到的第二个环流，称极地环流。

英国气象学家那皮耶·肖(Napier Shaw)认为，根据哈得莱的说法，地球上风的运动可以一个简单的图表示，这真像是“童话故事”。然而，为更清楚地解释高海拔处的大气环流，气象学家们经过不断的努力，画出的下图与真实情况更接近，也更复杂，于是结束了颇似童话故事的说法。




乔治·哈得莱在1735年所设想的大气环流模式图(上图，棕色部分)，对于沿经线圈的大气交换有所解释。他考虑到空气在赤道处的上升运动及在极地的下降运动。

在尼罗河(Nil)及红海上方拍摄的副热带西风急流云系，形成一条长的白色带子。这条云带标示出赤道热空气能到达的北方极限。高海拔的风在此气流内部非常强烈，飞行员都尽可能地利用此特性来节省燃料。

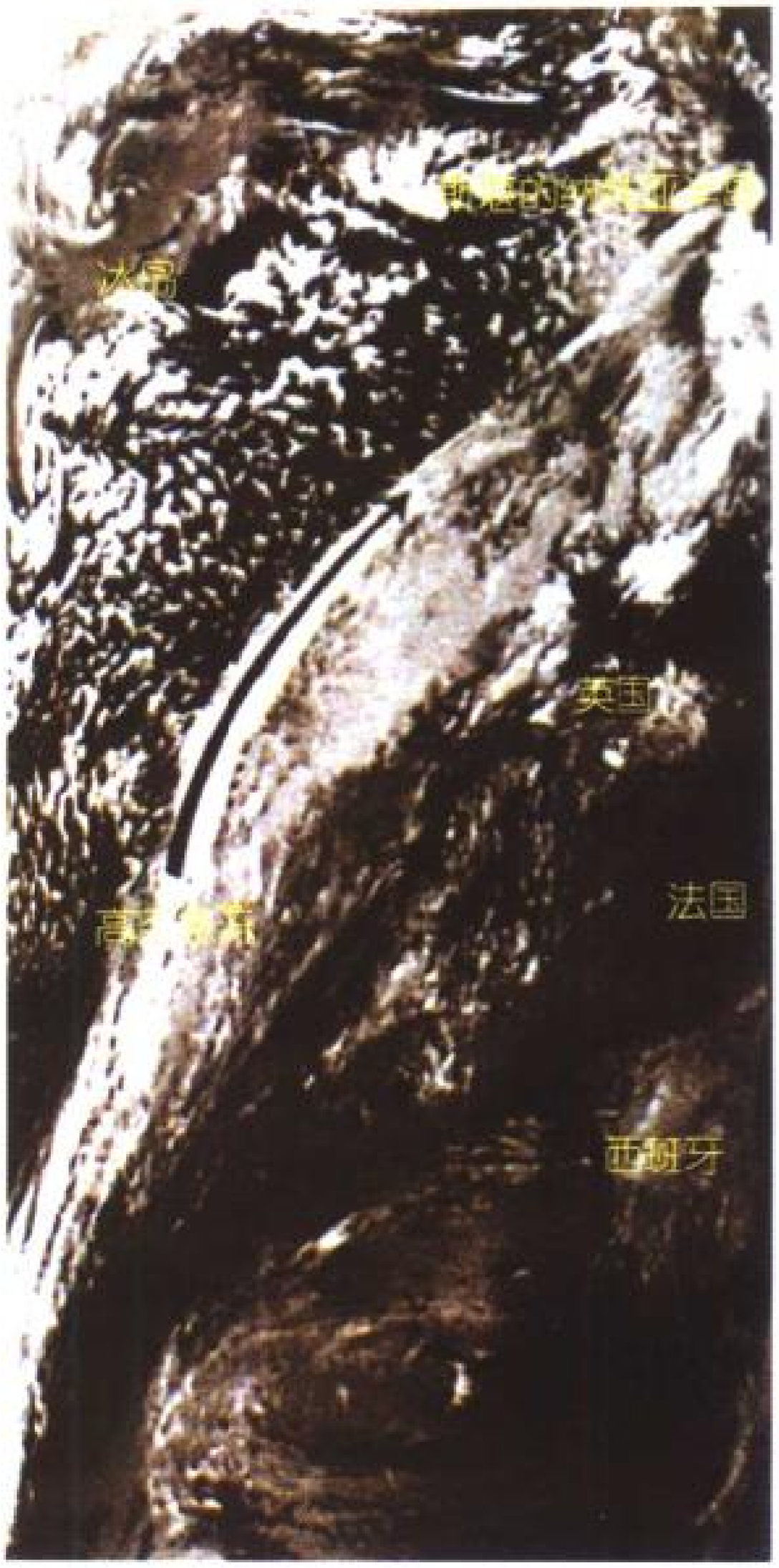
为了将这两个环流连接起来，美国研究员威廉·费雷尔(William Ferrel)提出了第三个环流，称之为“逆环流”(à circulation inversée)，又称“费雷尔环流”。数年之后，德国科学家亥姆霍兹(Hermann von Helmholtz)在1888年很清楚地描述了沿经线方向的热交换现象。

## 地球自转造成复杂化

在哈得莱及费雷尔所提出的路径图尚未被推翻之际，地球自转却已作出了令人惊奇的修正。

在横跨赤道附近的狭窄地带，一切都如预期的发生：空气因高温而变得温暖，热空气往高海拔上升，造成巨大的暴风雨云系，围绕在地球周围。今天，我们可以从卫星所拍摄出来的图片上，明显地看出

这条云带，这就是有名的“赤道无风带”(pot-au-noir)。但是，当热空气开始往极地流去时，便复杂化了。它无法以直线朝北方流去，这是因为地球一直在自转(在赤道处以约每小时1670公里的速度自转)而使得它偏离了原来的路径。哈得莱的热带环流(即位于赤道附近的环流)于是变形了，由于地球自转，阻碍了它往北的路，空气便由西往东即向右偏移动。



## 高空急流的形成

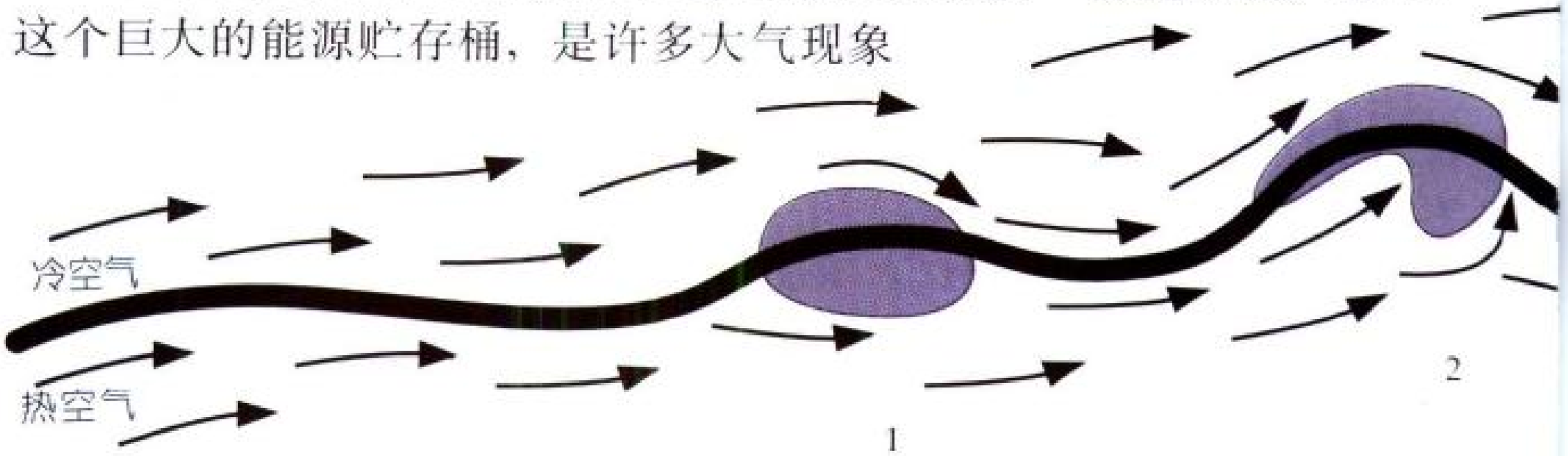
当这股空气渐渐地靠近极区时，极轴附近空气的转速会愈来愈快。为了解这项加速的原理，我们以溜冰者的转动为例说明：如果溜冰者将其双臂大大地张开，便能优美而缓缓地旋转；但是当他把双臂往身体(即我们所说转轴的方向)靠近时，那么他就会变成快速旋转的陀螺了。

而且，在纬度30度附近，高空处的风速可达每小时450公里，有时甚至更高。这个速度会妨碍热空气往两极地方移动。这高空的气流速度，快得足以构成了一道难以跨越的障碍，我们称之为“高空急流”(courant-jet)。如果无法克服这层强烈气流，赤道的热空气将永远无法穿透障碍而移动。

随着热空气沿着地球弧形曲线往极区散去，它也渐渐地接近极轴，此时速度会变快，就像溜冰者在做旋转动作时发生的情况一样。美国战斗机飞行员发现，高空急流对低压系统的形成，扮演着很重要的角色，其移动方向能局部地导引南北方向。

## 高海拔的湍流产生低压

太阳持续不断地给予热带地区充足的热能。这个巨大的能源贮存桶，是许多大气现象




的动力来源，热带地区的温暖空气无论如何要试着到达北方。于是高空气流愈来愈强烈，强烈到形成湍流，就像河流流得太急便会造成湍流一样。逐渐地，再发展成大、小不同体积的涡流，最后造成低压，而低压由此达到恒定状态。在某些情况下，气流流经地球上的一些高峰如落基山脉或喜马拉雅山脉(Himalaya)，也都会引起涡流。

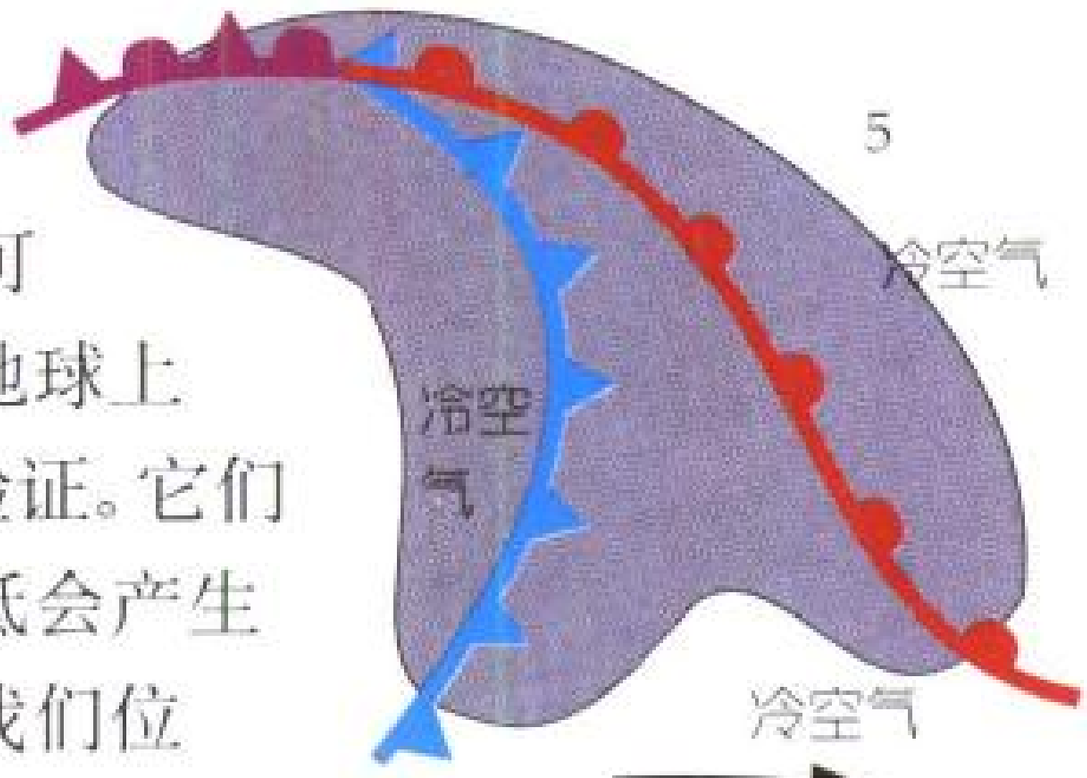
其实，这些低压即赤道空气和极地空气互相接近的交换区。来自南方的热空气被“吸”往北方，来自北方的冷空气朝热带地区的方向流动。低压使它们能够穿透高空急流所组成的障碍。换句话说，低

高空急流长数千公里，厚度却只有数公里，形成一扁平的管状。其高度在温带地区上方7000至10000米之间，热带地区(tropiques)附近为10000至13000米之间。剧烈的温差所引起的强风在此管状内吹刮。云集中在湍流区，而形成特有的云团。慢慢地，这些湍流扩大，“低压”出现，于是形成云的扰动。

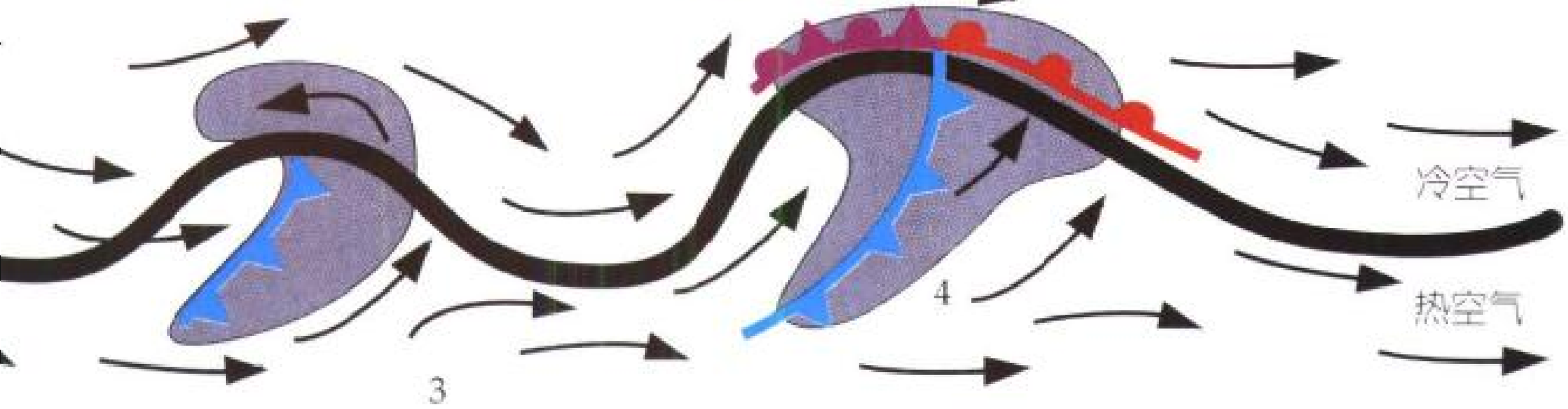
压使得赤道地区和极地地区能够进行热交换，这些都是地球为保持能量平衡所具备的必要因子。

## 气候区的交替

哈得莱的环流理论，大部分可由高压和低压在地球上分布的位置得到验证。它们的分布依纬度高低会产生独特的区。如果我们位于北半球，可以由南而北界定出：

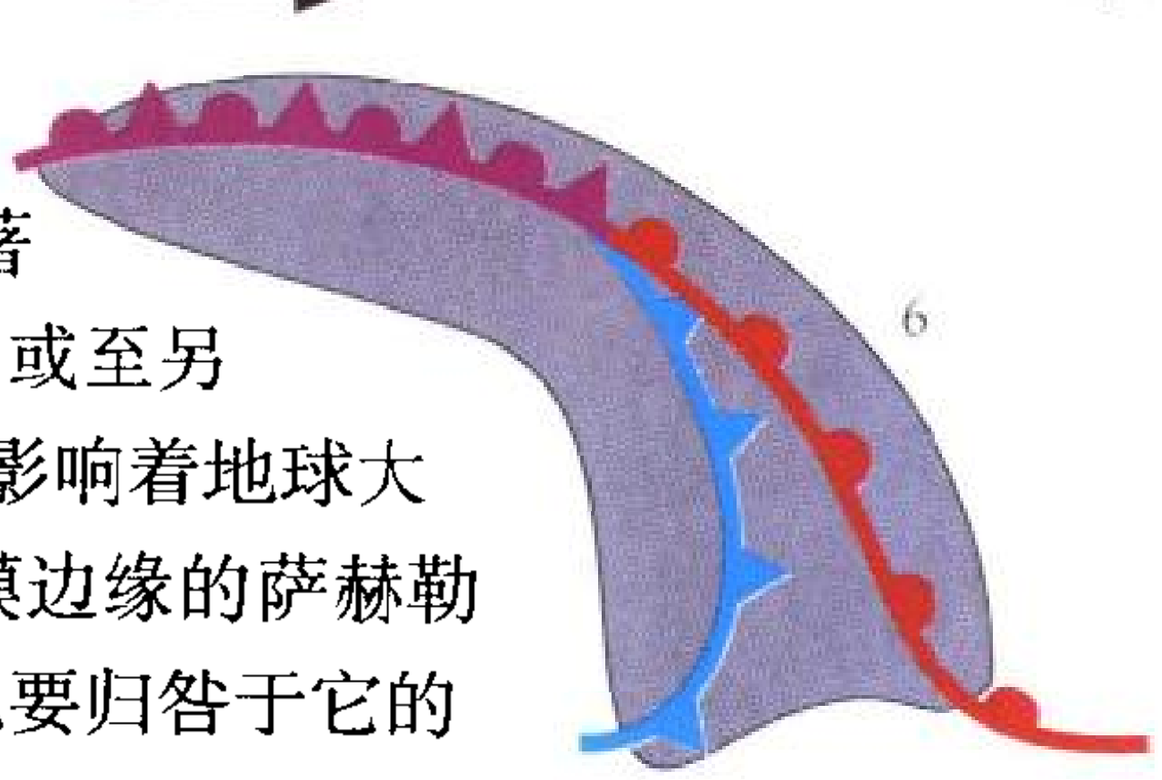



5




3

4



6



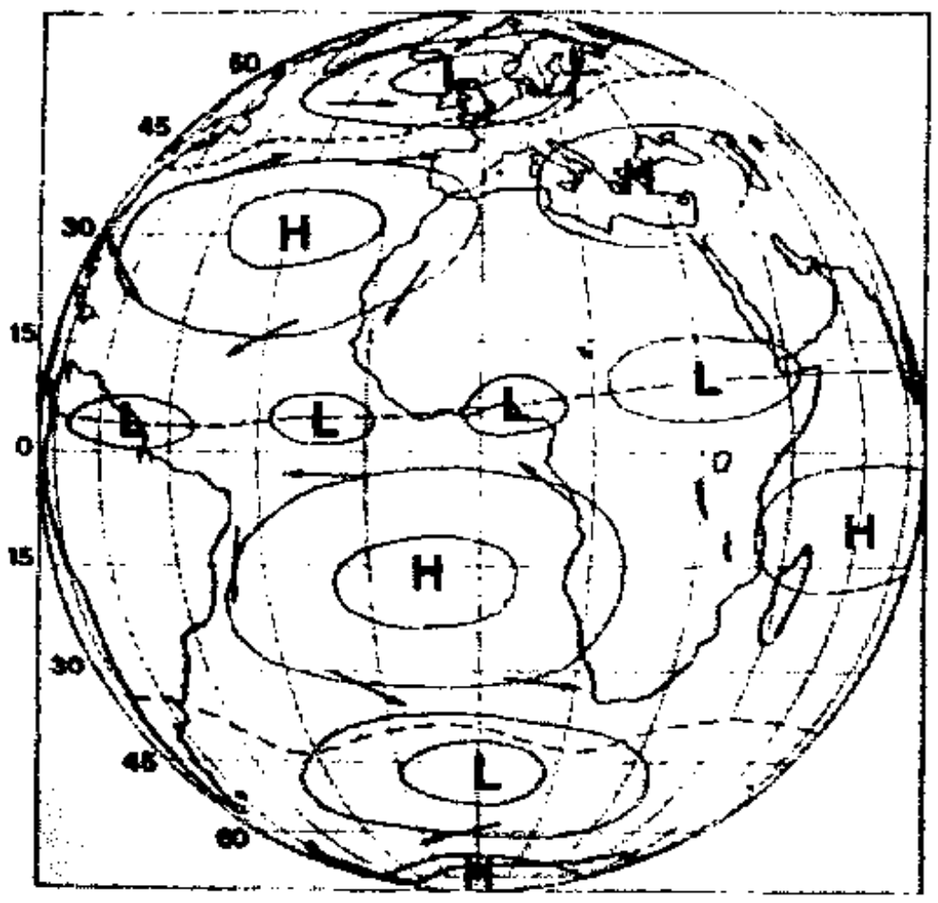
7

赤道低压带，以丰沛的雨量著称。它的迁移范围可在同一半球，或至另一半球，达到1000至2000公里，影响着地球大幅面积的气候。在非洲撒哈拉沙漠边缘的萨赫勒地带(Sahel)发生的周期性干旱，也要归咎于它的迁移。

介于纬度25度至35度的副热带反气旋(anticyclone)区，相当于哈得莱环流的下降部分。“下降”的空气阻碍了云的形成，这也就是该区缺雨、湿度低的原因。本区有大沙漠地区，如撒哈拉大沙漠(Sahara)及卡拉哈里沙漠(Kalahari)。

介于纬度35度至50度之间的温带地区，此区

冷空气快速地移动并涌进低压带，冷锋和暖锋互相混合。由于强烈的温差，造锋面能量变弱，锋面也变得稳定。其活动力减弱并互相抵消，称之为“锋消作用”。然后大气压力又升高，低压互相填补并消失。




高气压和低气压的位置并非十分明确。两者的形成，随着纬度及两者之间大小的消长而变化，与高空急流的位置有着极为密切的关系。

随着季节而有变动的副极地低压带介于纬度 50 度至 60 度之间。极地的反气旋一直存在，只是会随着季节的不同而增强或减弱。至于南半球，事实上我们也可以发现同样的分布情况。

## 反气旋的天气及低压的天气

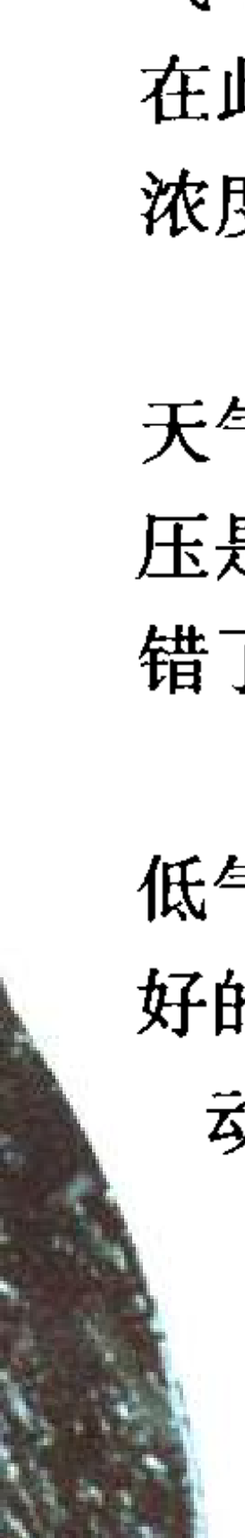
一般而言，反气旋让人感觉天气较平静及稳定。在夏季，它呈现出充满阳光的日子。但是，在其他季节里，也有可能带来阴沉的天气，而且持续数星期甚至数月。如果在冬天，天空若是过于平静，没有什么风，那么，雾便很难消散。

此外，温度不再遵行一般的常规，即随着海拔的升高，温度不降反而也升高。这个现象被称为“逆温”(inversion des températures)。随着季节和温度的不同，逆温层的厚度也有很大的差异：从数米到 1000 米之多，甚至还可能厚至

2000米。它的功能就好像温度的盖子，可阻碍热空气和烟上升。逆温层不但可以使阴霾的天空维持得长些，而且使靠近地表空气中所有的污染物质集中在此。于是，污染物质的浓度便会升高。

反气旋通常会带来好天气，但是如果认为低气压是坏天气的象征，那就错了。

在某些情况下，一些低气压也会意外地形成很好的天气。当锋面带的移动缓慢，锋面间的间隔足够大，在寒流之后，通常就能够送来较长的阳光期。且雨过天晴，雨水洗清了天空中所有的杂质，轻雾及雾(brouillard)也都一扫而光了，视线自然变得更清楚，太阳光也更炽热。雨水所带来的这些“益处”，是我们大家生活中都曾经历过，且值得感念的日常经验。



赤道地区热空气的上升运动，形成低压带(左页左图)。愈往北，在副热带地区，空气却相反地往下降，同时，我们可以看到在副热带地区形成反气旋区，地球上的大沙漠通常即位于此地区（图中L代表低压，H代表高压）。

卡拉哈里沙漠中(如图)，每年有4000小时以上充满阳光。空气湿度很低，大约只有10%。由于空气干燥，晚上气温便容易降低，造成日夜温差很大，使得岩石很容易爆裂，渐渐地变成砂粒和尘土。

极地气候冬天时的温度低至-50℃，即使在夏天也很少超过0℃。空气湿度很低，使雪花无法形成大团的雪。这是一种几乎下个不停的细小结晶的冰所组成的雪。动物种类非常稀少，只有像企鹅这样的动物，才能生活在如此寒冷的环境中。

云里面的小水滴，体积十分的微小，
因此，至少需要100万个水汽微粒，
才能制造一滴雨。
随着大气的扰动，
它们是如何聚集成雨、毛毛雨、
雪、雹，或者霰的呢?

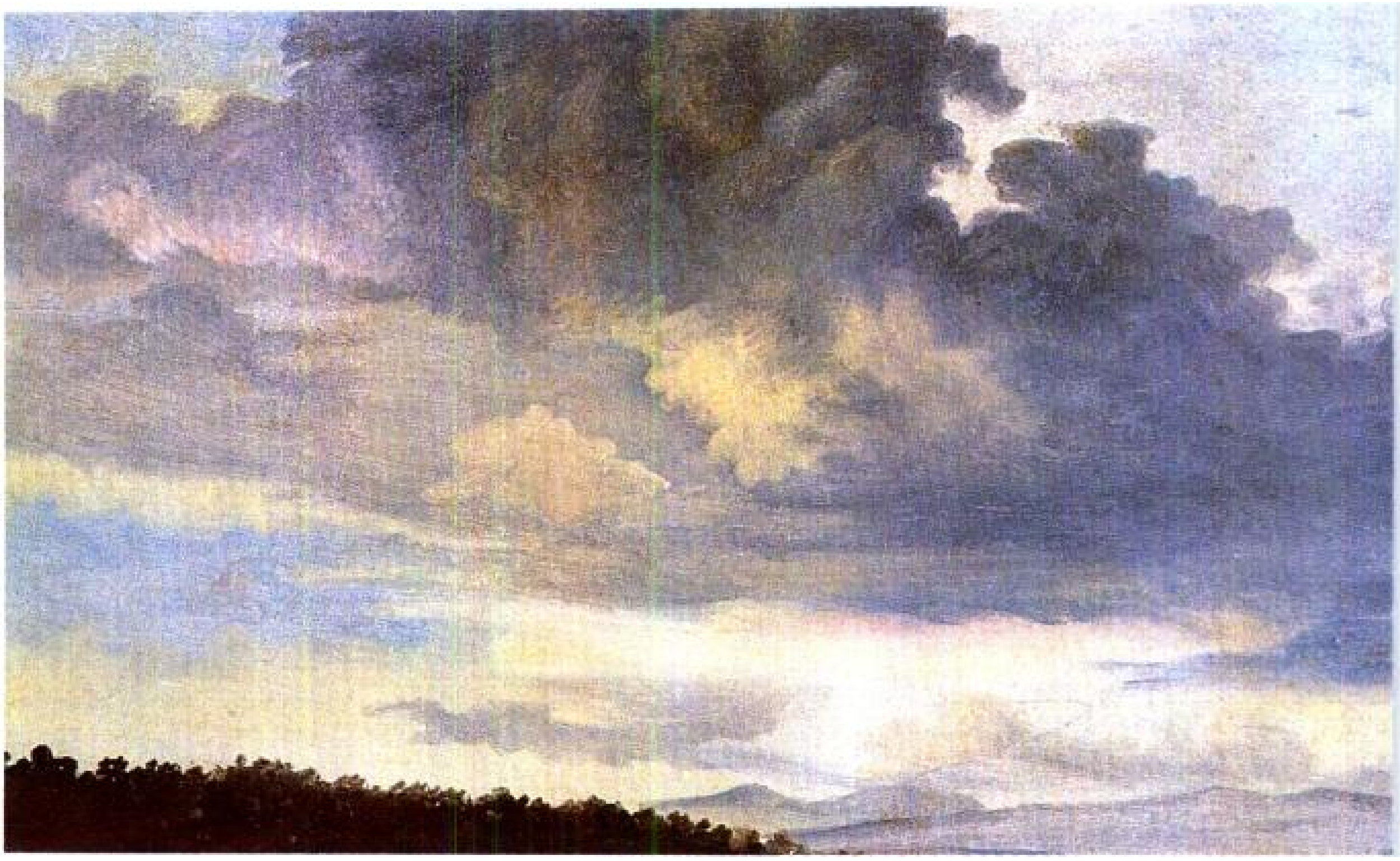
第三章

# 云及雨的角色

"啊!那么你喜欢什么样的奇特现象?——我喜欢云，喜欢飘在那边……那边……完美的云!"

查理·波德莱尔
(Charles Baudelaire)
摘自《陌生人》
(L'Etranger)

这位英国的业余气象学家(右图)与其他成千上万的人一样，日复一日地收集雨滴以测量降雨量。这项工作需要极大的耐心，现在已渐渐被自动观测站取而代之。



空气不断地将水蒸气带离地球表面，携带的容量有限，而且与温度的高低有很大的关系。如果温度愈高，能容纳水蒸气的量也就愈大。但是，若超过一定的负荷量时，它便饱和了。然后水蒸气便释放使它可以上升的热，凝结成小水滴。此外，由于空气一直在移动，且与时间及地点有关，它会出现回暖或变冷。当冷却到一定温度时，也会产生凝结(condensation)现象。

## 将云学名化

事实上，这些因凝结而产生的小水滴，只有在拥有“凝结核”时才能形成。一般而言，凝结核是大量存在于地球表面的尘埃微粒、盐的小结晶或砂子等，然而有时它在大气的高处会较缺乏。当小水滴不含任何的物理杂质时，大气中便能容纳比平时更多的水蒸气，处在过饱和状态。

天空不论是动荡的或是宁静的，云使得天空有了生命与色彩。皮埃尔(Pierre)画了一幅很美的有关积云及层积云的图画《天空的探讨》(Etude de ciel)(上图)。悬浮在大气层的大部分水滴，都是源自于海水。水循环就像一间巨大的天然工厂，能够将 50 万立方米的海水转换成水蒸气，然后再转换成淡水。此一循环自鳌古开天时即存在了。

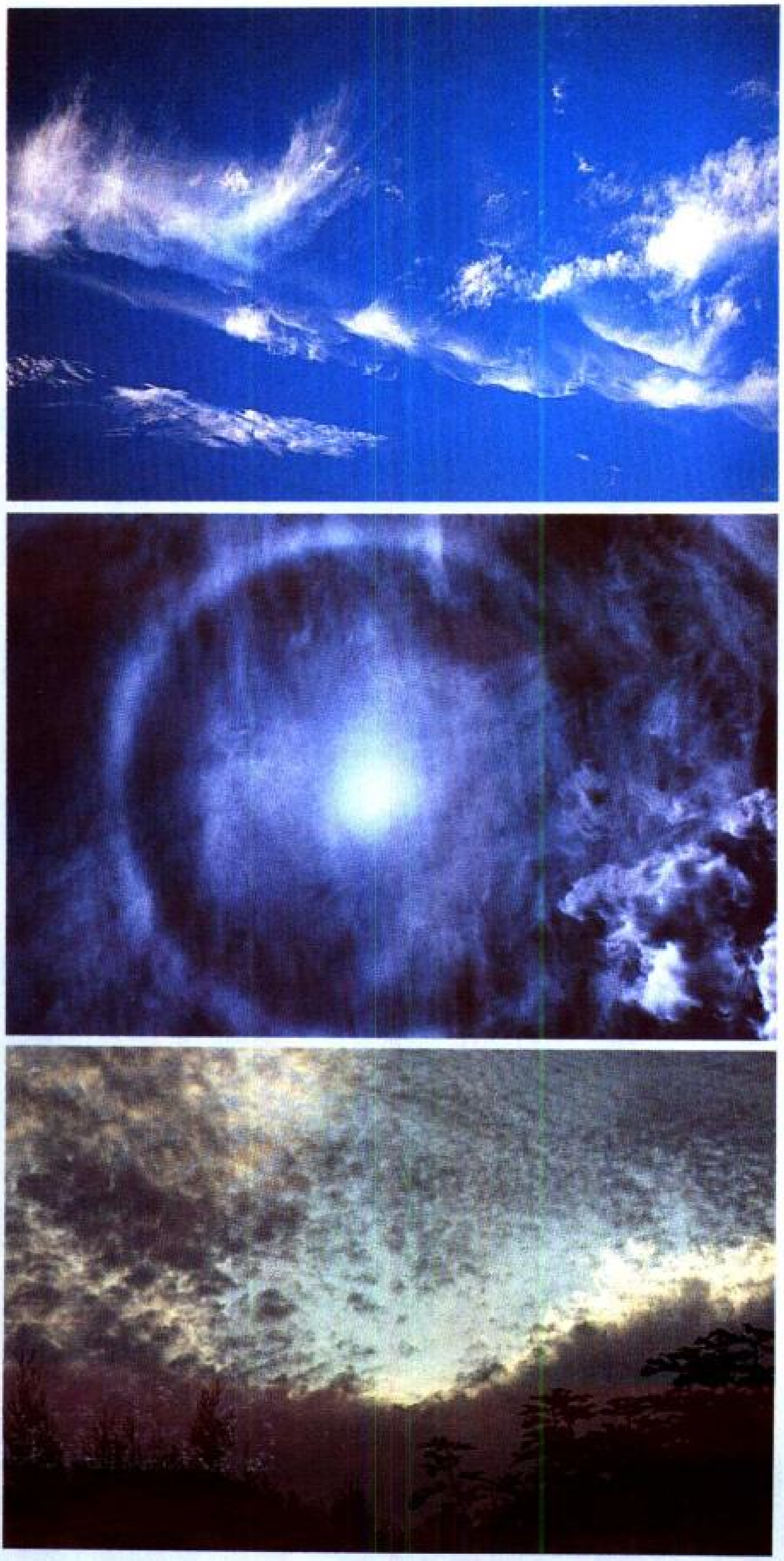
凝结的水蒸气团悬浮在大气中，即形成所谓的云(nuage)。我们从地球上任何地方观看各式各样的云，每种形状都预示不久后的天气。洛克·霍华德

(Luke Howard)为药剂师、气象学家及水彩画家，在1803年生动地建立云分类的基础。他将它们以拉丁文命名为：卷云“cirrus”(头发卷曲的)，指云底高度最高的云，具有纤维状特征；积云“cumulus”(成堆的意思)，指云底高度最低的云；层云“stratus”(成层的意思)，指地平线上方层状的云。再由此三大类，细分成十种传统云形：卷云(cirrus)，卷层云(cirrostratus)，卷积云(cirrocumulus)，高积云(altocumulus)，高层云(altostratus)，雨层云(nimbostratus)，层云(stratus)，层积云(stratocumulus)，积云(cumulus)及积雨云(cumulonimbus)。

## 降雨的机制

几乎所有的降雨都发生在0℃以下的云团，其温度是负的，而且同时存在冰晶及过冷却小水滴。我们

云以各式各样的形状出现，而且极美丽。某些浮萍状的云(如图)就像是巨笔扫过天空般。在1802年，法国有名的自然主义者拉马克骑士，首先试着将云分类。他将云分为五大类：面纱的、聚集的、悬球状云朵的、扫成堆的、集中的。可惜他的杰作被人们淡忘了。英国人吕克·霍华德更成功地将云以拉丁文命名。1887年气象学家艾伯克龙比(Abercromby)环游世界来确定“云在任何地方都是一样的”。霍华德系统在1891年慕尼黑国际论文发表会(conférence internationale de Munich)上备受推崇。

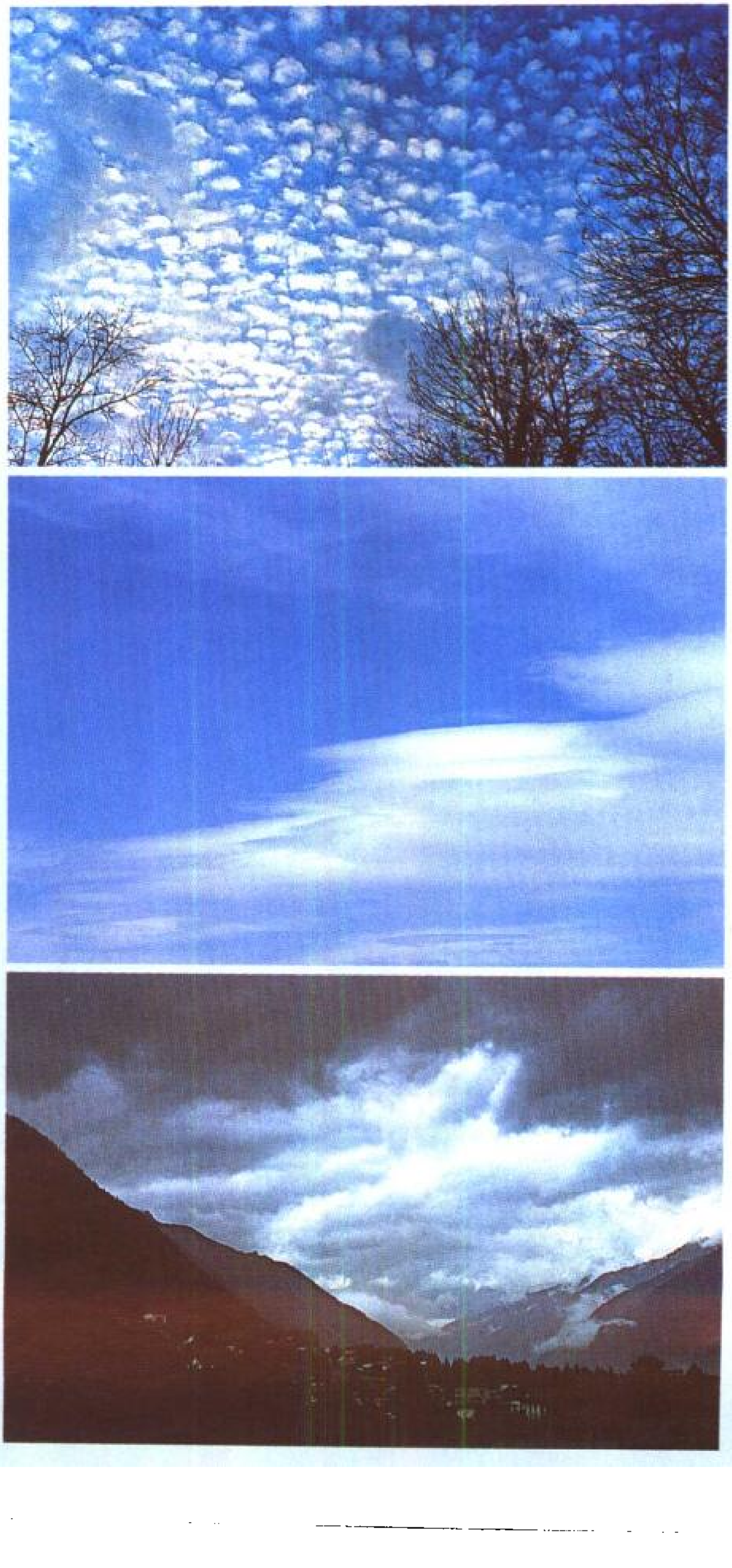


## 高云族

卷云呈白色毛丝状，在海拔6000米至8000米的高度移动，有点像飞机尾部拖曳的白烟状凝结物。它由冰晶组成，然而却一点也不具降雨的威胁。

卷层云是呈微白纱状的云。穿过它，我们可以瞥见略为昏暗的阳光。

卷积云是由微小冰晶所组成的。小小的云片云块或多或少地相连在一起。当它布满了天空，就表示将有锋面来临了。



## 中云族

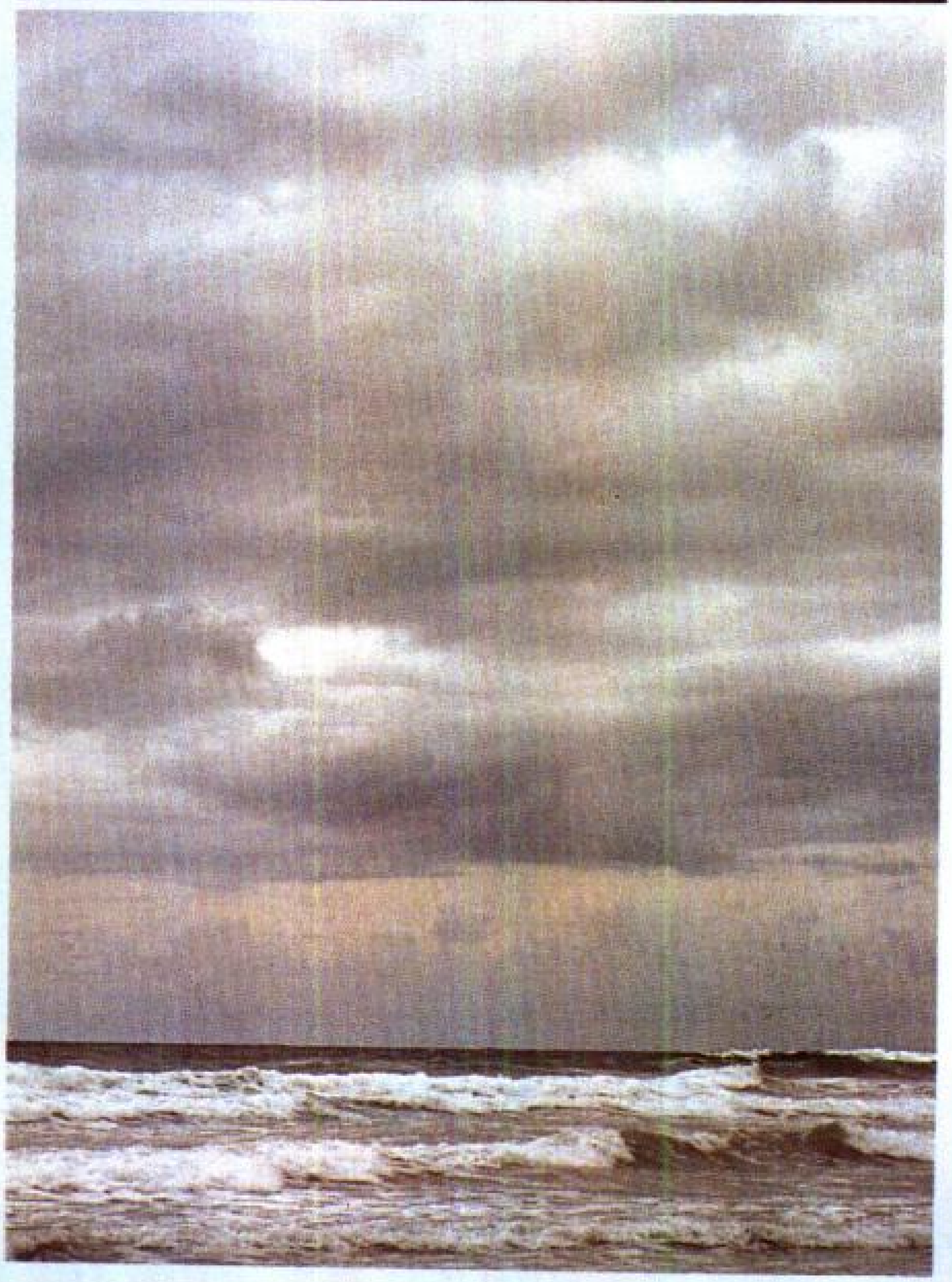
高积云在2000至5000米的高度以卵石状、丝状棍棒的形状出现。它们含有小水滴，通常在雷雨前出现，它使天空看起来有点混乱的样子。

高层云通常是厚厚的云层，会带来一致的现象：天空密布乌云，要下雨了。

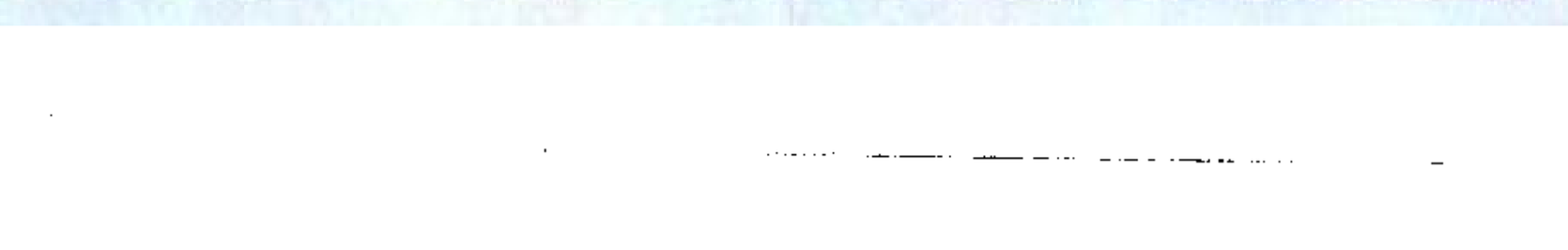
## 低云族

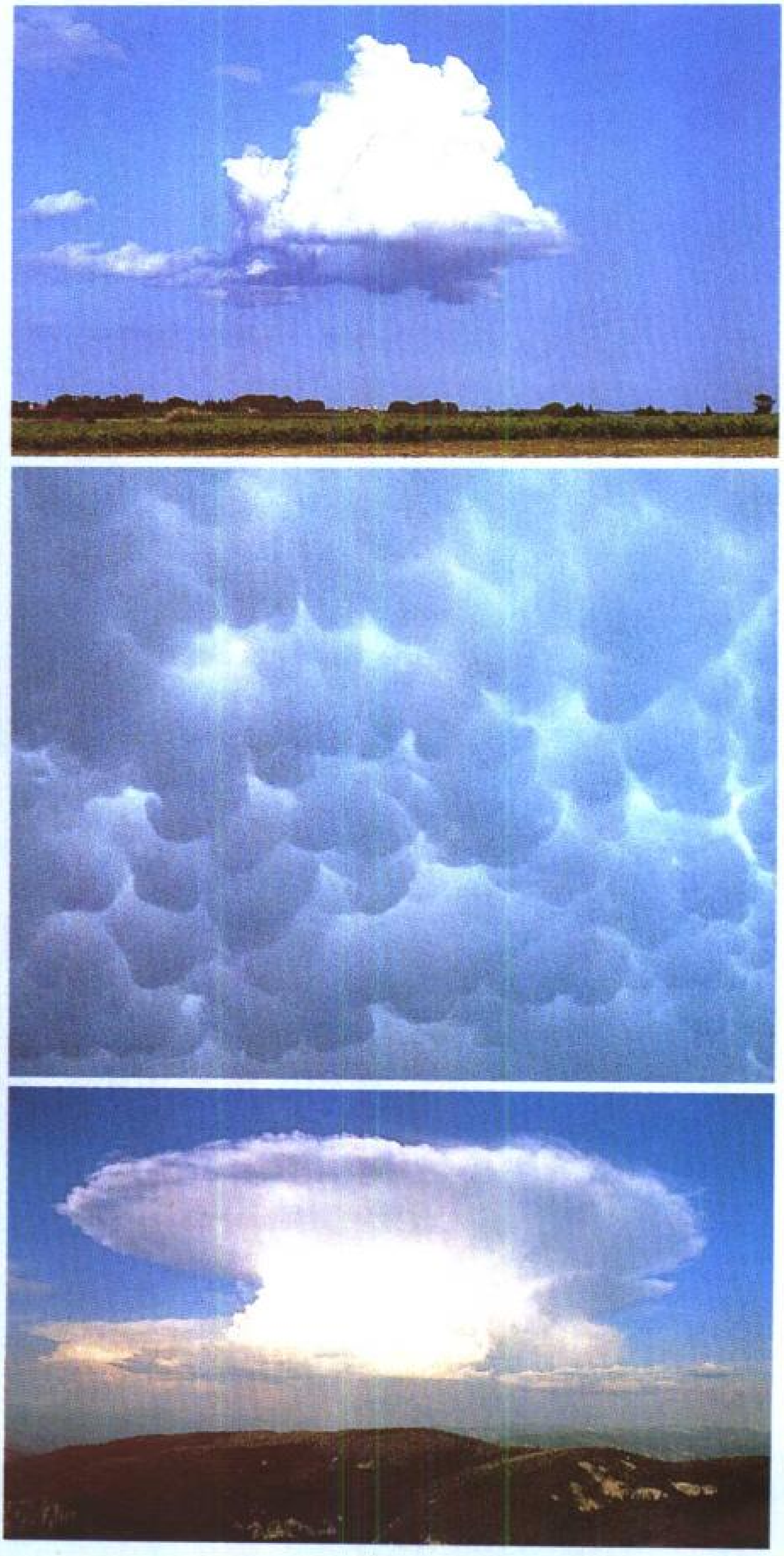
雨层云通常使太阳光不见了，天空铺满阴暗的厚厚一层云。能见度很差；接着就下雨了。

层云是低灰、单一的云层。它使天空阴暗，湿度高并下蒙蒙细雨。层云不太受欢迎。



层积云不完全是积云，比较像层云，是介于此两种之间的云。它以粗棍状并排在一起。太阳有时可穿透过它；冬天它可能会带来一些雨或雪花。

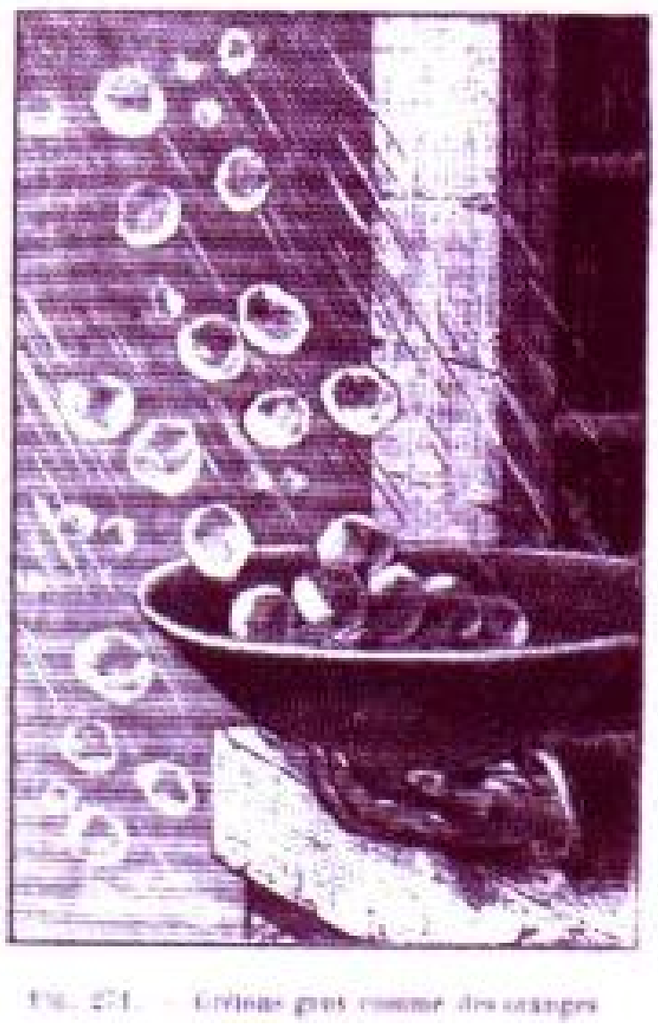




**垂直发展的直展云族**

积云的底部位于地球上数百米的高度，但它们的顶部却可达到 5000 至 6000 米的高海拔，呈现大白棉花团状，上部很像花椰菜，在蓝蓝的天空下发展。当它们的体积变小时，则表示以水滴组成为主。相反地，当体积变大时，位于较冷区上端的云便由冰晶所组成，这样的积云会带来骤雨。

积雨云的底部一般而言非常的阴暗，它可能是松松散散的，或者是带有悬球状结构的(如中图)，很浓的灰色，几乎是黑色的。它们的上部似乎像撞到隐形的天花板一般，然后以铁砧的形状展开(如图)。积雨云可能会带来雷雨。



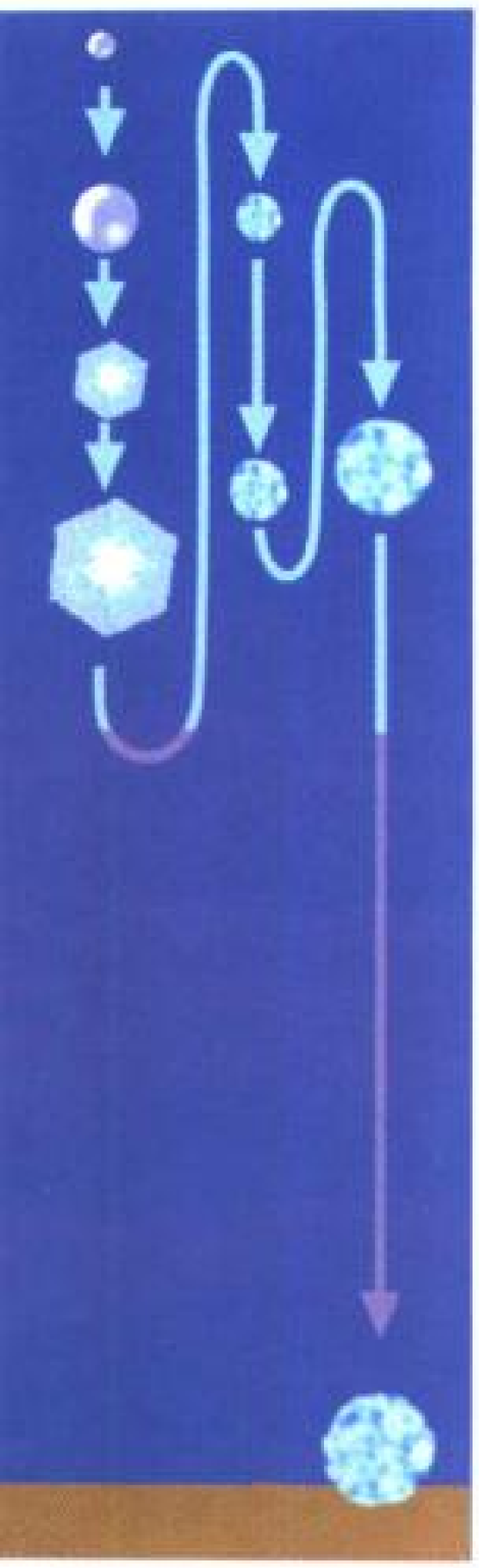
通常认为0℃以下的水都是固态的。但是，大自然实在奥妙，0℃以下“过冷却”液态水，却能真实地存在于大气中。不过，它十分不稳定，只要有一点点的碰撞，就会立即凝结成细小的冰晶状。有三个基本的物理阶段促成它最后的发展：

第一个阶段称之为转移，由小水滴直接变成小冰晶，并且加大体积，其体积甚至能放大10倍，而小水滴的蒸发动作是持续不断的。这些冰苗一旦变得很重，便开始下降。

在下降其间，这些冰晶便依赖碰并进而增大体积。由于吸引大量的过冷小水滴，它们变得愈来愈大、愈来愈重，下降的速度也愈来愈快。于是开始形成真正的晶体集结——雪花。

不过，这些雪花在往地球下降的过程中，并非都一直处在一致的温度状况下。因此，形成自然界中不同的降水形态——雨、雪(neige)或雹(grêle)等。

雹粒的大小差异很大，小如珠子，大似橘子。1959年在前苏联哈萨克收集到一颗雹粒，重量竟重达1.9公斤。



## 雪及雹

当雪花以0℃以下的冰点温度穿越大气层，或者当穿越的速度太快，以致于它们到达地面时仍保持原状，还来不及解冻，于是就造成了雪。

雪花是一种冰晶的几何组成。雪花积存了相当多的空气，以致于新雪的密度几乎还不及水的十分之一。一般而言，直径一厘米的新雪的含水量大概相当于直径一毫米的雨。

在某些情况下，水滴被冰晶掳获的过程非常快，以致于来不及产生结晶，形成的就不是雪花而是小冰球。这些冰球落到地上，依据它们的大小，有不同的名称：如果直径介于5至50毫米之间或更大，称为“雹”或“雹粒”(grêlon)；当它非常的细小，像冰粒子，透明的或半透明的，而且直径常常小于5毫米的球形，称之为“霰”(grêsil)。

大气中的水分，随着气温及气团的行经路线状况而异，可能呈现气态，也可能呈现固态或液态。而地表温度在降水的过程中，只扮演次要角色。

雪晶形状一致，都是六角形的星状，在降落时会聚在一起而形成雪花。

为预报雪崩，西伯利亚 Tyuya-Ashu 站的气象学家研究雪层的组成及结构，以了解其承受强度。

## 雨和毛毛雨

最常发生的情况是雪花在下降的时候，便很快地融化，变成了雨滴。这些雨滴在下降时合并，当合并的直径超过6毫米时，便爆裂产生新的碎片，称之为“雨苗”，这些新的雨苗又开始重新聚合，产生新的雨滴。

雨的一般直径通常大于0.5毫米，每滴雨之间离得很远。毛毛雨(bruine)则由非常细微的水滴组成，直径小于 0.5 毫米，间距较密。

## 露及霜独立于云之外

当接近地面的温度变得够冷，此时空气中看不见的水蒸气在接触到地表时，便凝结成细小可见的水滴。这现象通常发生在凉夜而无风的次日清晨，这便是露(rosée)。

当地表的温度低于0℃，空气中的水蒸气在接触地面时，马上冻结成霜(givre)。在这两种情况下，都不会形成降雨，但却会直接变成微粒(particules)

储存起来。

停留在蜘蛛网上的露，在晴朗的天空、平静的天气下呈现得尤其清楚。通常夜晚的气温降低会形成此种情况。在反气旋区更明显。

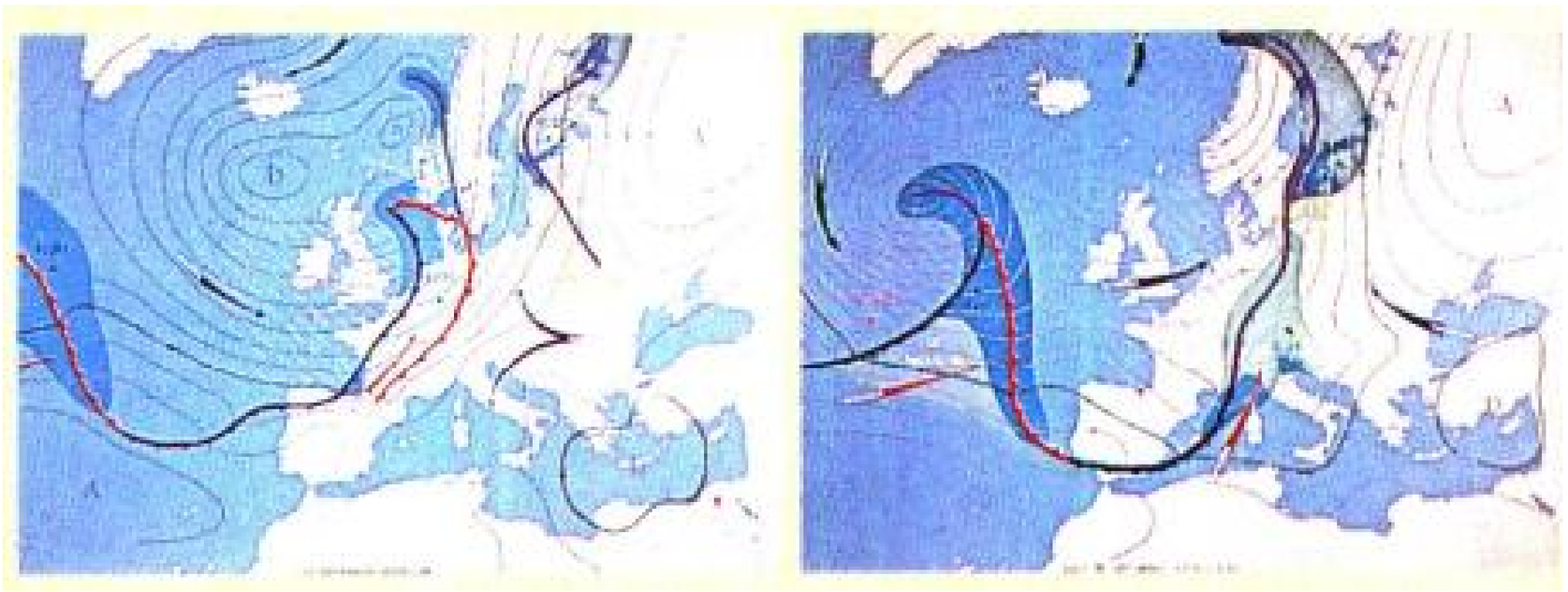
## 暖锋、冷锋、锢囚锋

在由低压(dépression)构成的自由交换区中，极地来的冷空气和赤道来的暖空气面对面发生冲突。暖空气试着挤出一条往北的路，它很努力地在冷气团中前进，并由于较轻而被往上挤成一凹状。暖空气上升到低压区便变冷了，所含的水蒸气凝结成水滴，并且在所有冷空气和暖空气接触的地方产生云。在这个云带形成暖锋(front chaud)。

同时，稍为偏西处的冷空气开始往南下降。在它移动期间冲撞暖气团，并将暖气团往上挤高。被挤高的暖气团冷却下来，导致水蒸气的凝结，会沿着接触区促使云的形成：这便是冷锋(front friod)。

有时候，冷空气往南下降的速度，比暖空气往北移得还快，此时，冷锋冲插到暖锋下层，将暖锋抬高，于是形成锢囚锋(front occlus)。这就发展成广大面积的云系：绵延数千公里长，数百公里宽。

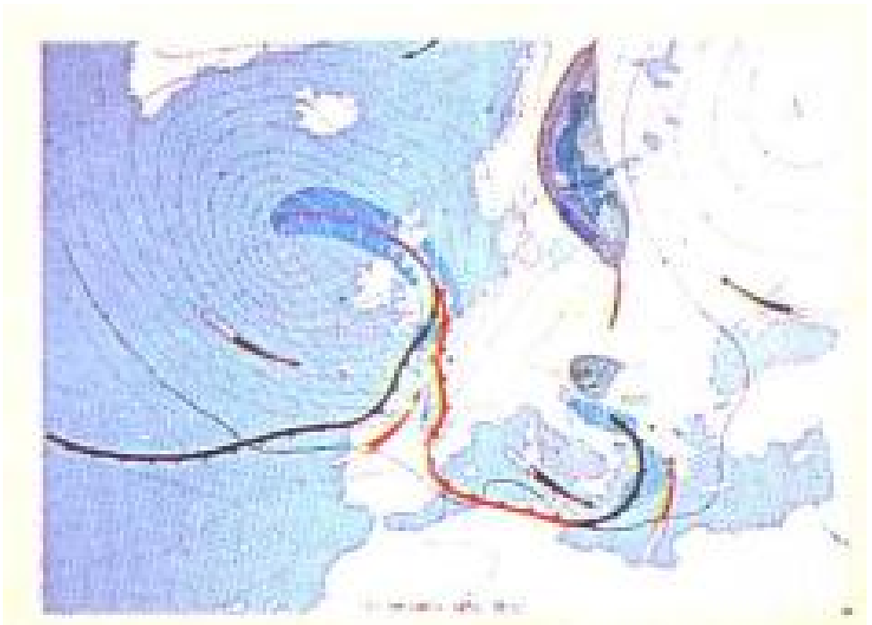
赤道地区的年降雨量可达三四千毫米，而其他地区却可能极为缺雨。沙漠地区常常十多年都没有落过一滴雨。温带地区的气候变化很大，可能在水灾之后接着出现旱灾。莱茵河(Rhin)床1952年的干旱及龟裂即为佐证(左页下图)。



两张等压线图说明了连续三天的情况。来自西边的气流在高海拔处形成，一个“锋面家族”徘徊在西欧。第一天(左图)，其中一个锋面横越法国。第二天雨远离了。在此同时，大西洋上一个新的雨带逐渐接近。第三天早上(右页)海滨南风增强，气压表读数降低，云遮蔽了天空，不久就要下雨了。图中，反气旋以A表示。D代表低压，等压线以5百帕为单位。

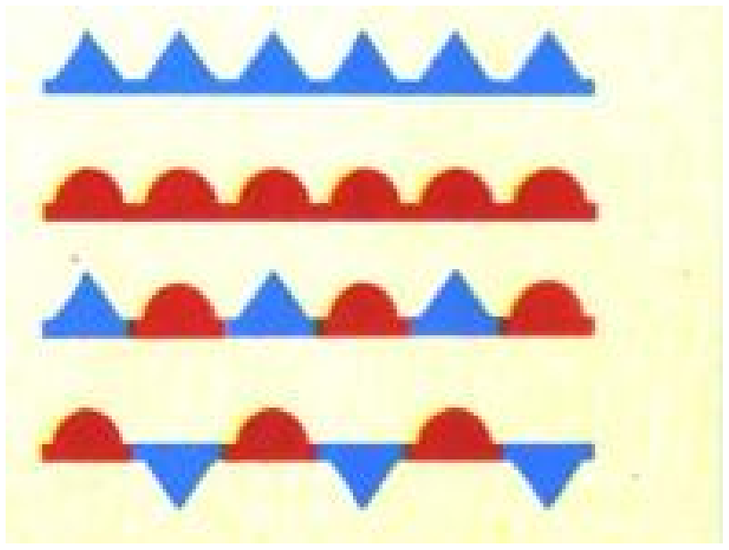
## 锋面的经过

冷锋、暖锋及锢囚锋形成锋面。气象科学对锋面(perturbation)的描述，以“挪威理论”(théorie norévgienne)为准。它是由挪威的气象学家皮耶克尼斯(Bjerknes)及索尔贝格(Solberg)，1917年远在卫星云图发明前即被整理出来，而卫星云图的出现，



证实了它的正确性。

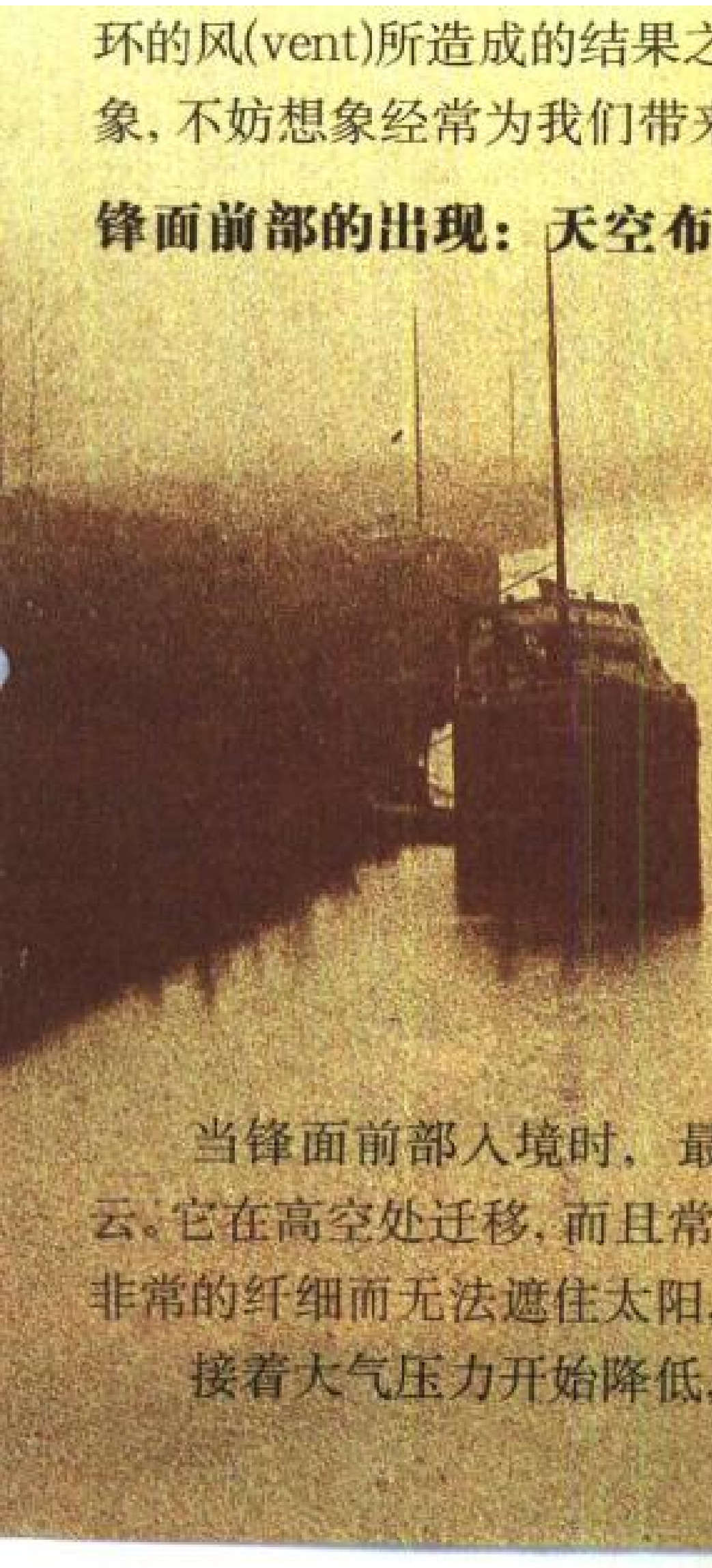
每个锋面都由前部(tête)、主体(corps)及后部(traîne)或称连接区(zone de liaison)所组成。这些名称都是依据它们的特性，并经由各区的气象状况，如：天空的状况、大气压力(pression atmosphérique)、风向、温度……等的不同加以定义。



图的四种标记：尖顶的、半圆形的、蓝色的、红色的……由上而下依次代表冷锋、暖锋、锢囚锋及静止锋。

法国所处的纬度，75%的低压来自西方，很少来自北方或南方，来自东方则更少。这就是一般高空循环的风(vent)所造成的结果之一。若想搞清楚这些现象，不妨想象经常为我们带来暴风雨的海洋锋面吧！

## 锋面前部的出现：天空布满了云彩



当锋面前部入境时，最先出现的云通常是卷云。它在高空处迁移，而且常常呈现钩状或爪状，因非常的纤细而无法遮住太阳，通常不被察觉。

接着大气压力开始降低，只有专注的观察者才

岚及雾都是由悬浮在空气中的小水滴组成的，会降低能见度。当能见度在5公里以下时称为薄雾，1公里以下则称为雾，山中的雾也称岚。当小水滴在0℃以下(过冷水)时在物体表面会结冰，称为雾凇，对行车很危险。

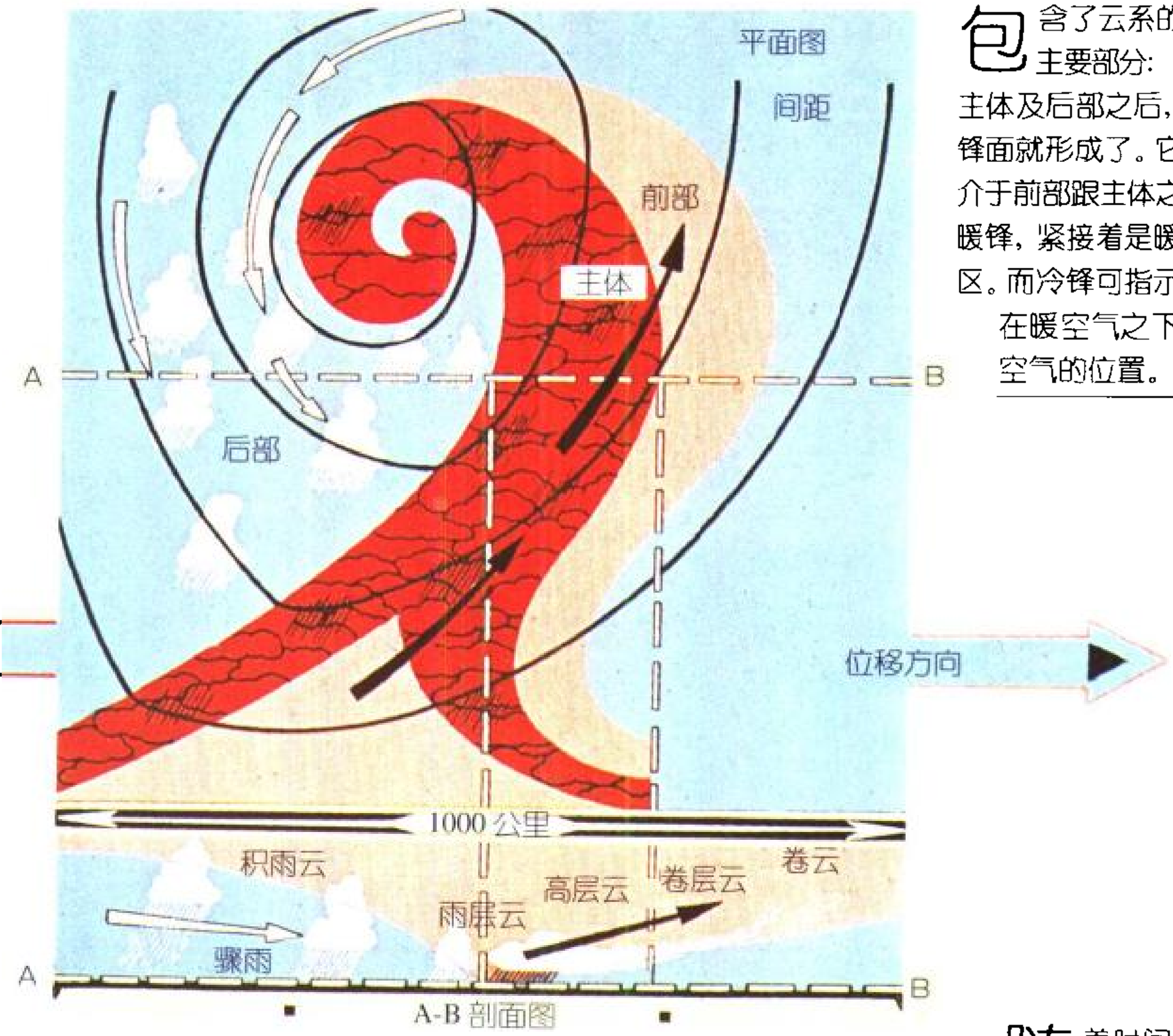
会发现气压表的变化趋势。风来自南方或东南方，随着地区不同而异，这股新产生的风会伴随着以下数个特征：雾消散，邻近工厂的气味蔓延开来，远处教堂的钟声比平时更清晰……等。

气温变化受很多因素的影响，而这些因素通常是相互作用的。例如夏天，吹南风，气温就有上升的倾向，然而由于渐渐形成的云，会阻碍气温的继续上升。在冬季，云层虽会阻碍阳光穿透，但是云层也会使气温不易下降，在此情况下，云层的出现便有助于气温的升高。

渐渐地，云慢慢连接在一起。由卷层云夹杂着少许的卷积云，呈现稀疏透明状。在此期间，气压表读数急速下降，空气变得较清净，能见度也改善了。远山似乎变得更近，难怪有一句俗谚："看得愈

卷云通常是下雨的前兆。它先以绒毛状分开，再在大气层高处密集。渐渐地，变成有规律的、可能长达十多公里的带状。这些云带〔左图，在法国尼姆(Nîmes)的一个钟楼上方〕常被称为"猫尾巴"(queues-de-chat)、"马尾巴"(queues-de-cheval)或"马可贝云"(macchabées，原意为尸体)。接着，这些云尾便连在一起形成卷层云。

在英国温布尔登(Wimbledon，下图)举办的网球赛中，观众为了遮雨，都把雨伞撑开了。




包含了云系的三个主要部分：前部、主体及后部之后，一个锋面就形成了。它包括介于前部跟主体之间的暖锋，紧接着是暖空气区。而冷锋可指示出现在暖空气之下的冷空气的位置。

远，雨就愈近。”

## 主体的出现：下雨了

随着锋面主体的出现，云变得更厚、更低垂了，渐渐地它终于发展成浓密而灰色的高层云，此时，第一滴雨滴便落下来了。云层变得愈来愈黑暗，即将带来豪雨的雨层云遮盖了整个天空。气压表读数持续下降，直到某个不再下降的低水平才趋于平稳。风变得狂暴，西风或西南风一阵阵地吹着。在带着雨水

随着时间的消逝，冷锋向暖锋靠近，暖空气区缩小直至消失，我们称锋面停滞了。而锋面的主体通常伴随有雨。从云出来的最初雨滴，经常在未到达地面时便已蒸发。这些在云下面的雨滴形成斜斜的幡状，通常肉眼可见，称为“雨幡”(virga)。接着云层变厚，大气变得愈来愈湿，水滴于是降到地上来了。

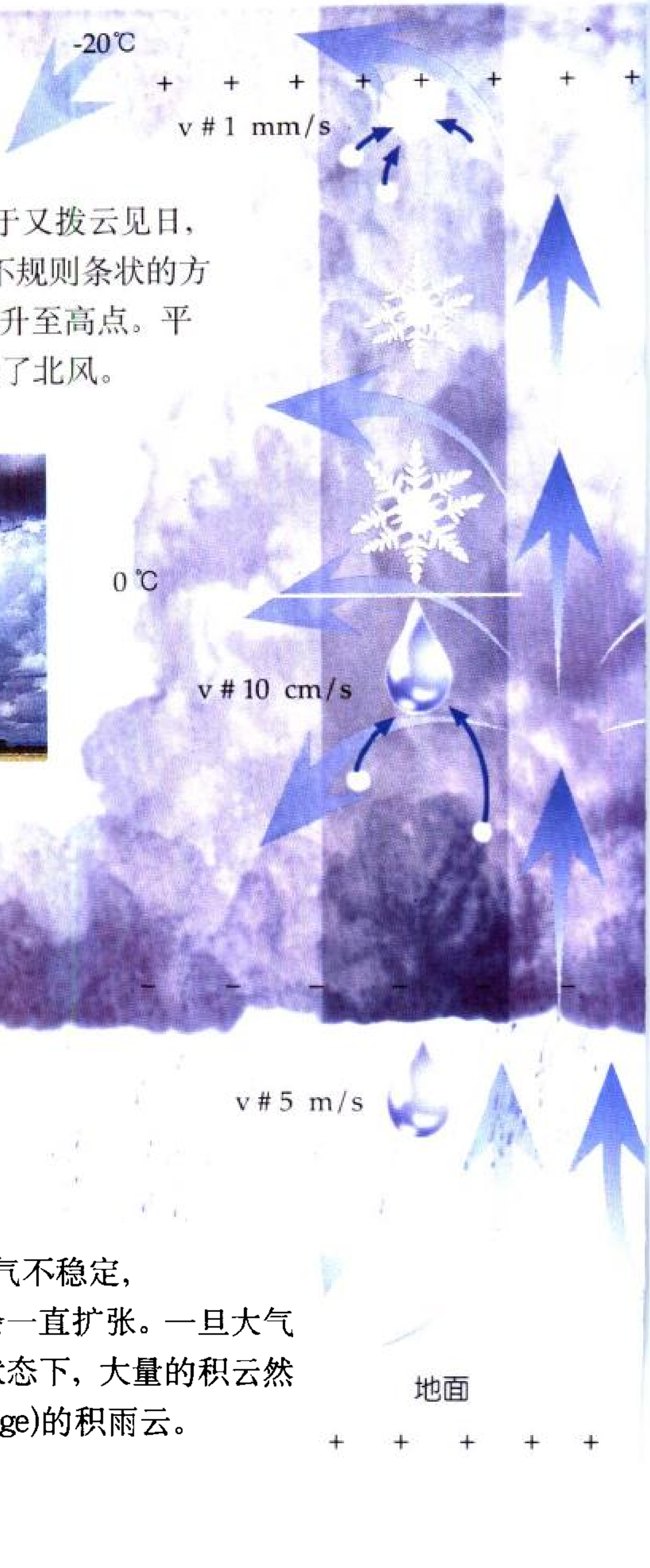
的南风后，还会再刮起西风。

## 锋面后部带来晴好天气

锋面过境后，雨愈来愈小，愈来愈疏，雨层云往上升，终于又拨云见日，雨过天晴了，云层也以片状或不规则条状的方式散开。气压表读数又重新上升至高点。平静了一下子之后，转而又吹起了北风。

如果气压表读数稳定地爬升，而且速度很快，天空就会出现雨过天晴的样子，充满阳光的天气因此就持续着。

然而，在大部分的情况下，很难出现持续好转的情况。如果大气不稳定，能够产生相反作用的积云就会一直扩张。一旦大气继续处在这种极端不稳定的状态下，大量的积云然后会转换成能够产生雷雨(orage)的积雨云。

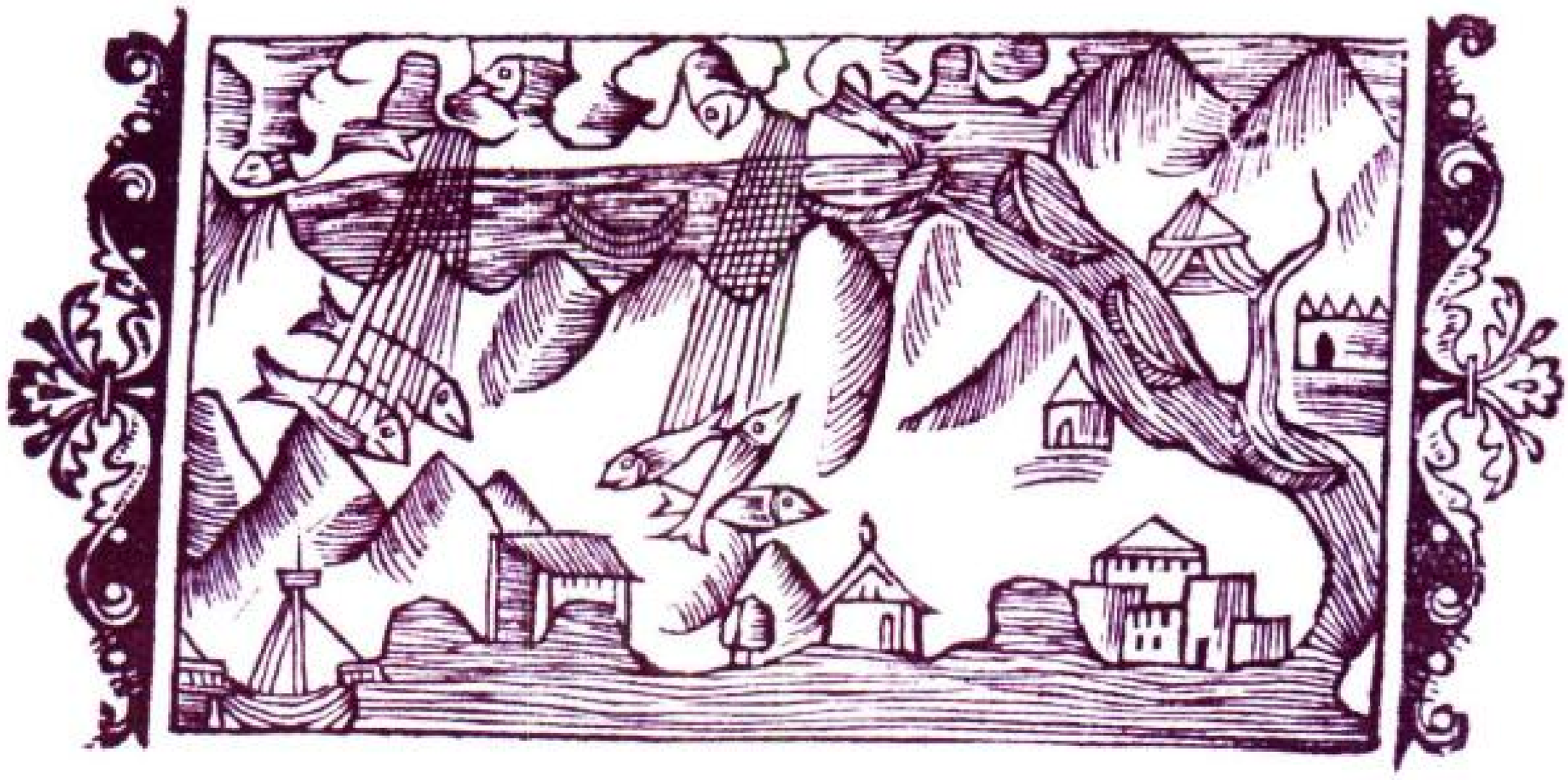


## 积雨云深处

积雨云就像是云中之巨人，常常是结构完整且具有威胁性。它呈现出巨山状，而且会造成强烈的暴风雨，有时夹杂着冰雹。它的下缘通常位于1000米的高度；顶部在温带介于8000至10000米，在热带地区甚至可达1.6万米。一朵云的厚度便可达15多公里，当它发展到极限时，其顶端便散成丝缕状。

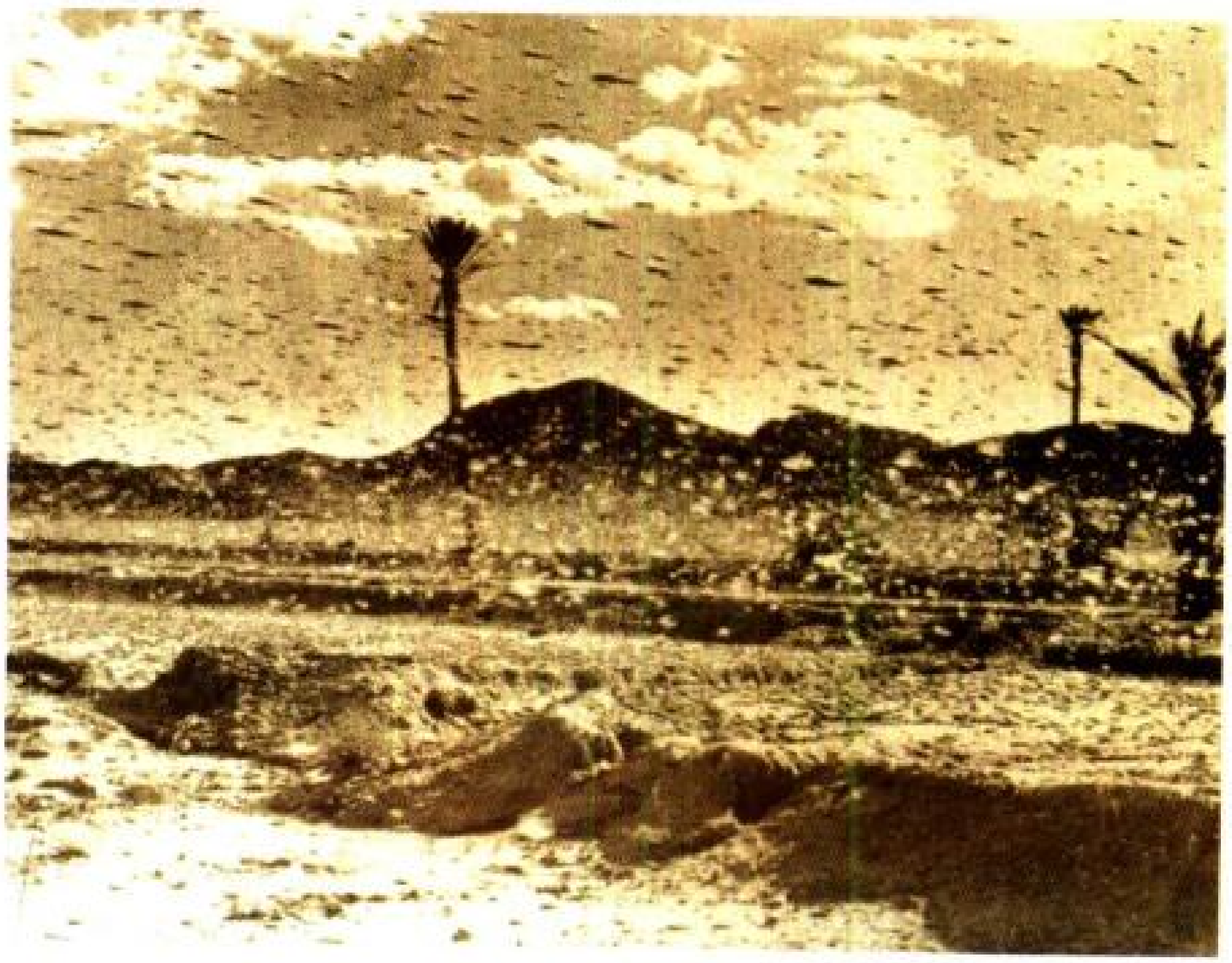
积雨云就像是热

在水滴降落的过程中，积雨云(左图)内部的冰晶又捕捉到新的水滴。很快地，水滴周围形成薄薄的冰层。然而，云内部强而有力的上升运动，会把它们反复地推往高处好几次。通常解剖冰雹可见其有不同的冰层，说明了雹的来回作用。强烈的雷雨雹(下图)，在美国中部经常发生。



**De lapſu Piſcium, Ranarum, Murium, Vermium, & Lapidum.**

力学工厂，湿而热的空气是首要材料。云为了要往高处发展，于是吸入了数千立方公里的湿热空气。在获得了可以形成雨滴的水蒸气后，同时也增加了本身的体积。为了要满足积雨云的大胃口，它不仅“吞”下了位于它下方的空气，同时它的影响力更达数十公里之外。这个神奇的“嗜水蒸气”机器，它

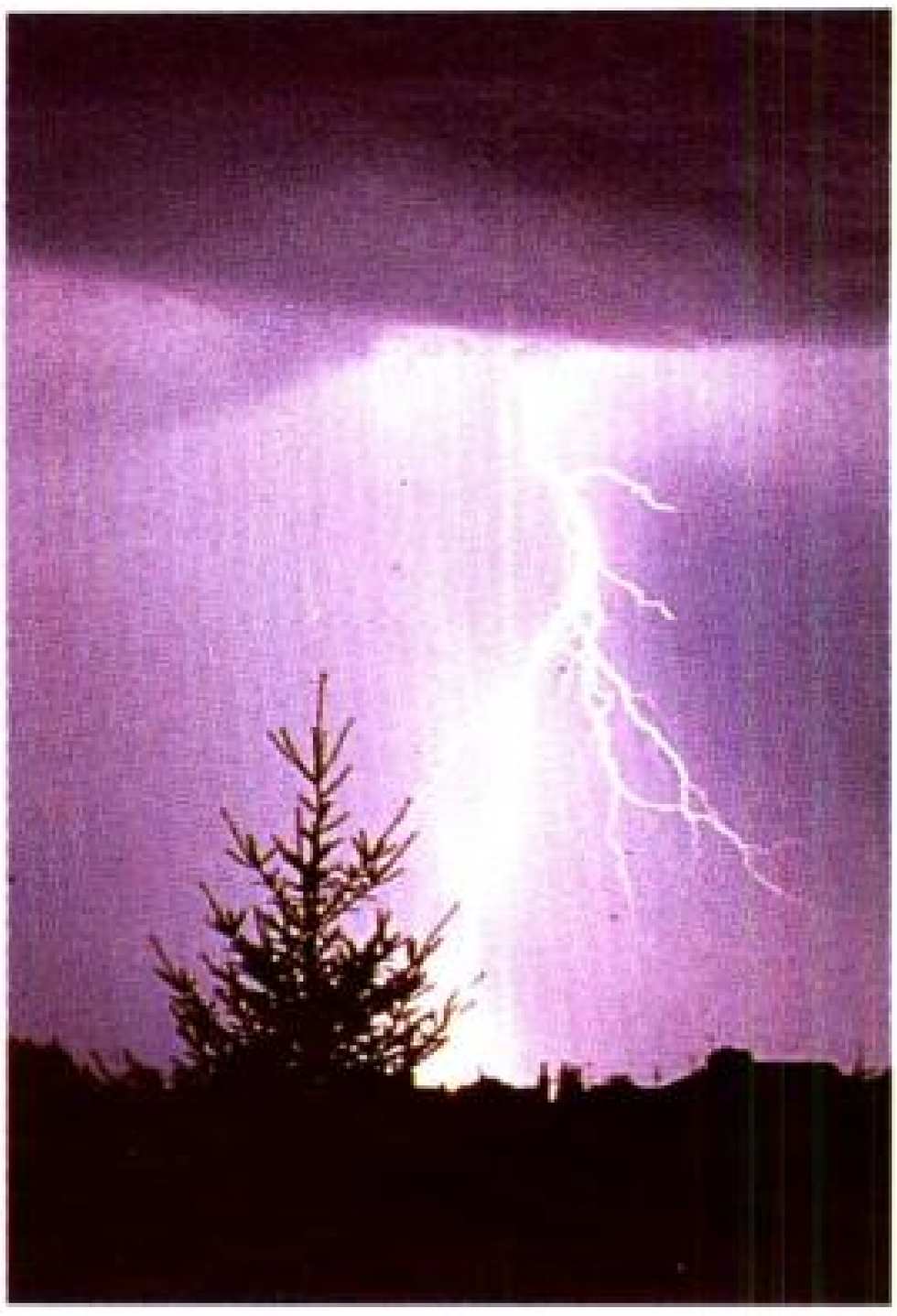


1555年，在斯堪的纳维亚半岛(Scandinavie)以“鱼群雨”为主题的版画(上图)并非虚构。虽然很难看到此景，但是该现象却确实存在。这是由于强烈的积雨云在雨开始落下之前，将小物质或其他动物吸到远处而造成的。至于破坏南摩洛哥(Sud Maroc)的“蝗虫云”(附图)，则是利用风来迁移的。通过卫星探测，能够及时地避免蝗虫群大量的增加。

当龙卷风在大片的水面上形成时(右图)，旋涡便借助水柱从云出发，并回到水表面。

具有的巨大吸力，往往会造成龙卷风(trombe)或陆龙卷(tornade)。这种极为猛烈的旋风，范围非常小，但却可以破坏其整个行动路径上的所有东西。

在此情况下，小东西或小动物(如核果、青蛙、鱼等)可以被吸到云团中，至数公里远后再落下来，产生令人震惊的“核果雨”、“青蛙雨”(pluie de



grenouilles)或“鱼群雨”(pluie de poissons)。

## 雷电的真面目

积雨云内部由于有电的现象，因此与其他云团不同。事实上，自某个高处开始，水滴会凝固。当靠近积雨云顶部区域的水滴都完全凝固，而液状的水滴占据底部地区，这种差异于是产生电位差，正电荷往云的高处集中，负电荷却相反地往下聚集。当电荷差异很大时，便出现放电及雷电(foudre)现象。

雷电借由两种效应表现出来：一种是视觉效应，另一种是听觉效应。闪电( éclair)是一种放电作用，它可能发生在带电的云跟地球之间，也可能发生在带电的不同的两团或两团以上的云间，或者在同一云团内但因带有不同的电荷而产生的闪电。

雷电具有非常大的力量，会造成巨大灾难。根据世界气象组织(OMM)在 1967 至 1987 年间有关雷电的统计，平均每年造成91人死亡。雷电特别偏好尖顶、山脊、悬挂高压电缆的铁塔、单独的树木、粗糙的表面及金属物质，常击中它们而放电，不管价值贵重与否，如上图之手镯。

闪电的时间长短差异很大，从千分之一秒到一秒不等。肉眼可见的闪电，常常可能是由数个连续放电组合而成的。

雷声(tonnerre)的产生，则是由于闪电通过路径的空气被加热膨胀的结果。在数千分之一秒之内，这些气体的温度已达数万摄氏度之高，对空气造成非常强烈的膨胀现象，接着又剧烈压缩。人们听到的隆隆雷声，即是这些空气体积突然因急遽变化而产生的声响。

当雷电出现时，通过闪电将云中的电荷传到地球表面上来。这时气温会急遽上升，而水在瞬间也蒸发成水蒸气。这急遽的加热作用造成了爆炸性的力量。当极大功率的力量作用在非常有限的空间时也会有此现象，例如，当闪电打在一棵树上，我们也可听到轰隆隆的声响。

一般而言，赤道地区由于空气较热、湿且不稳定，使得雷雨(上图，在爪哇上方的“云间”闪电)较温带地区(左页)更为普遍和壮观，造成赤道附近地区几乎天天雷声隆隆。在印尼(Indonésie)，一年中至少有300天下雷雨。由于雷电的速度快、猛烈及危险性，古代无法作出科学解释而将其神化，如罗马人(Romains)认为朱庇特神(Jupiter)将它握在手中；希腊人认为是生气的宙斯神(Zeus)自奥林匹斯山丢掷闪电。

这是瑞士的山峰倒映在云中吗？令人很难想象，却可以解释。这是光学现象，山峰的阴影投射在天空中(上图)，是1934年在欧克斯(Œx)城堡所看到的景象。

## 光的奇特现象

彩虹(arc-en-ciel)既美丽又神秘，无疑是令我们老祖宗最为惊异的气象现象之一。笛卡儿(Descartes)在1637年了解了它所有的秘密，并极为赞赏地对它进行了剖析。彩虹的颜色是由于太阳光照在水滴上而引起的散射、反射及折射所致。彩虹的色彩排列顺序，与白光经由三棱镜的分解结果相似，即为：紫、靛、蓝、绿、黄、橙、红色。若要自地面上看到彩虹，必须要在雨（雾）滴及阳光同时存在的多变天空(ciel)，另外，太阳的高度不可超过地平线52度。

当极光出现时，同时由太阳发送出的带电粒子流能使地球磁场受到扰动，使航海罗盘变得一无用处。极光颜色令人想起电子在稀有气体中放电产生的光。

“月晕出现，即将下雨”是很有名的俗谚。出现在月亮或太阳周围的内红外紫的光环叫晕，是由于卷层云或卷云中的六角形冰晶对日光或月光的折射或反射而产生的。晕经常是坏天气的征兆。

最神奇的大气光象莫过于“峨眉宝光”的产生。它是在前面有云或雾、背后有阳光射来的情况下，由观察者发现围绕在云幕上人影四周的一系列光环(在

高山特别容易发生)。而这现象的特色之一，是只有观察者自己可以看得到，他既是演出者又是观察者，他能看到自己本人的身影和光环，却看不到旁边人的身影和光环。这些彩色光环的排列均一致：红色在外层，紫色在内层，有时可达5层之多；它是由于太阳光照在云雾的水滴上，经由折射、反射及衍射作用所造成的。

极光在高纬度100公里以上的高空才会发生，一般以缤纷色彩的褶状、弧状、带状或窗帘状出现。它形成的原因是由于太阳抛射出的高能带电粒子流行经地球时，受到地球磁场的南、北磁极所吸引，纷纷向那里涌入，并与高空稀薄大气层中的原子进行激烈的碰撞而激发出来的，所以在南北两极地最为常见。

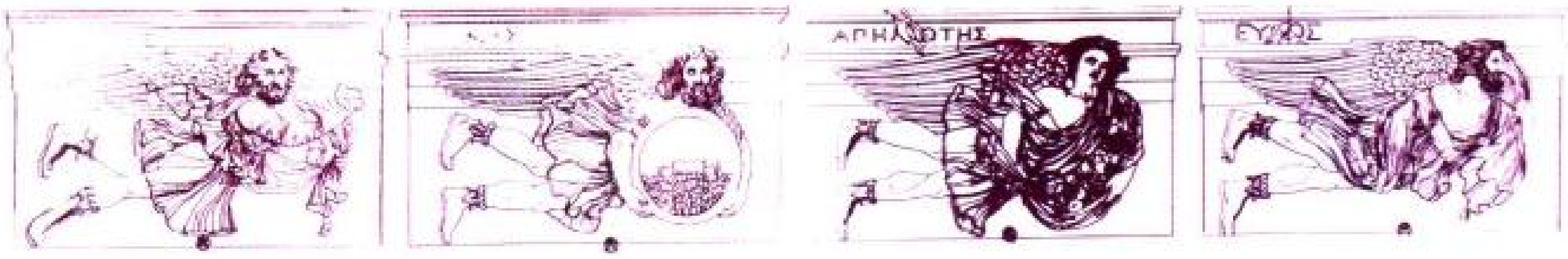
13世纪时人们还相信，只要穿过彩虹下方即可改变性别。自1304年起，彩虹被一位德国修士泰奥多里克(Theodoric)以合理的假说描述后，并未因神秘性消失而减少吸引力。在笛卡儿的研究及牛顿(Newton)的实验之后，美丽的彩虹被证实只是光的化身，是当我们背对太阳时，太阳光经由雨滴的折射及反射所造成的平常的影象。

在古人的眼里，
风是神秘的，
有时具有巨大的破坏力，
他们认为，是上天以风暴或暴风雨来惩罚人类。
而今，我们已清楚地了解它的机制秘密，
当它变得猛烈且具威胁性时，
也能事先发出预告或警报。

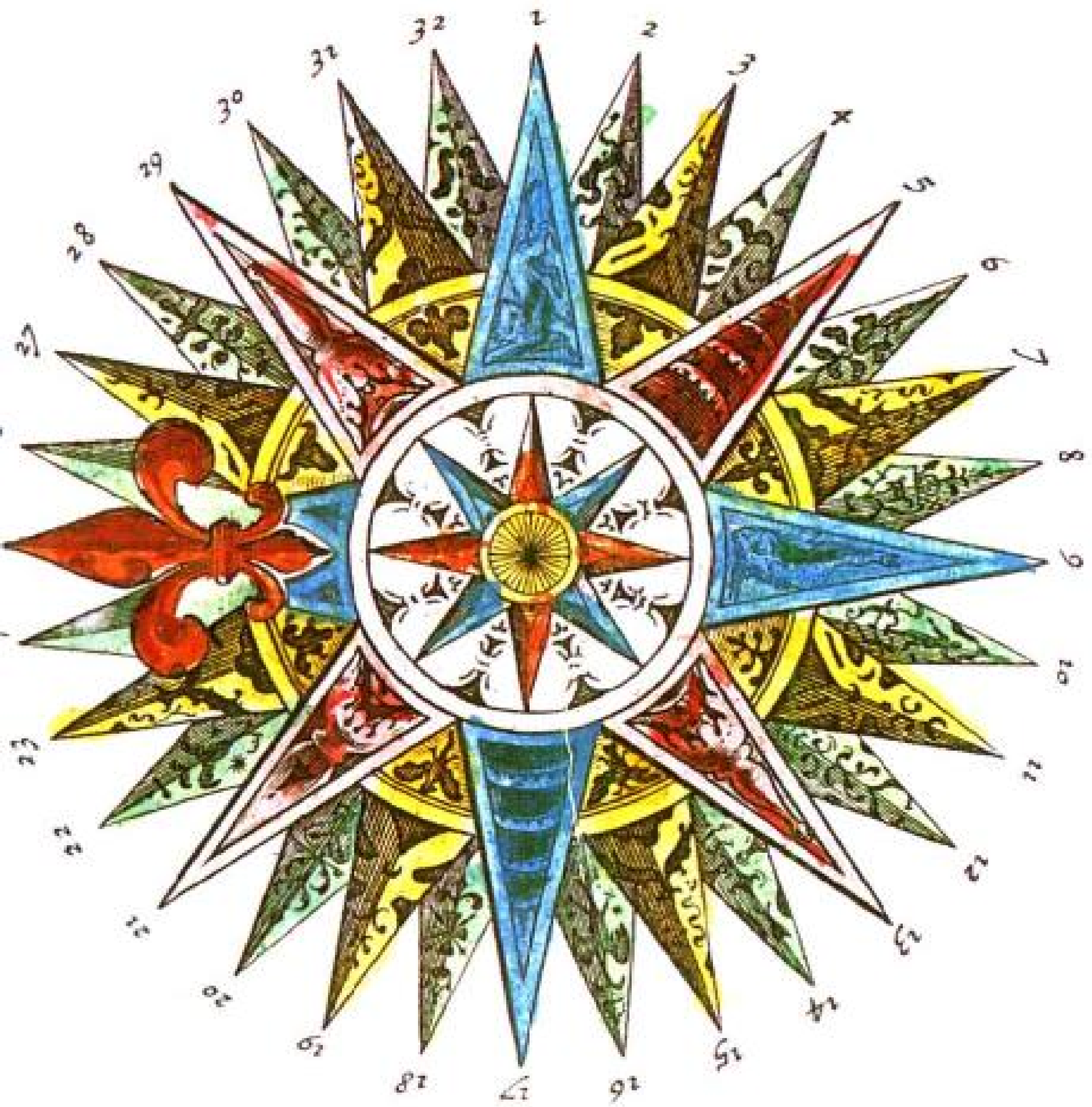
## 第四章

# 谁散布风……

海面汹涌，风暴来了，乌云密布的天空似乎在预告：即将有大灾祸降临了。地球上，人们颤抖着，森林摇晃着，风发出可怕的呼啸声。这时候，似乎只有圣母玛丽亚的手能拯救受惊的人们，也只有她能平静使船颠簸的风暴。教堂内有很多的还愿画，都代表某些曾发生的海上悲剧。



希腊人利用风向区别风。根据主要的风向及神性，首先定义四个主要的风：北风(borée)、东风(euros)、南风(notos)、西风(zéphyros)。亚里士多德再在每两个方向之间增加一个，细分为八个风。这与公元前1世纪在雅典(Athènes)建立、顶上具有风向标(girouette)的八角形建筑物——风塔(tour des vents)是一致的。

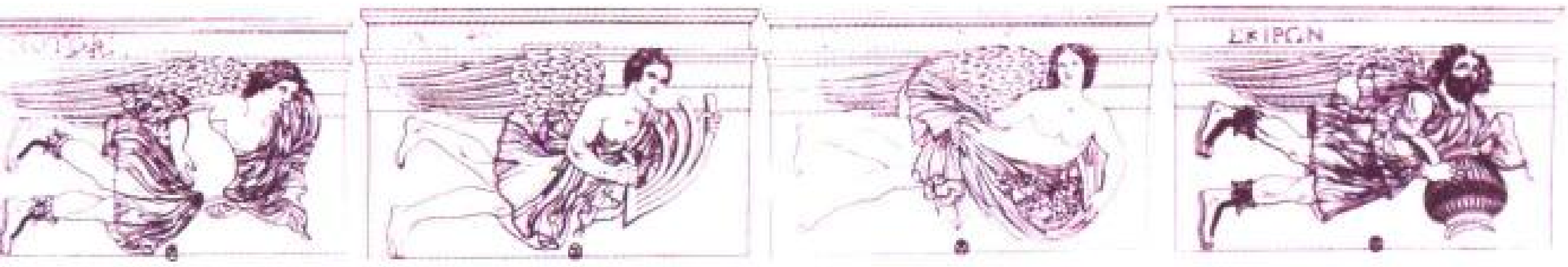


在罗马(Rome)，罗盘方位标(rose des vents)又被多划分出16个方向，使我们可以区分24个不同的风向。

古时候，人们将风予以神化，风代表敬畏，就如

4、8、16、32个方位，形成东西南北主要基点，及东南、西北等侧位，常画在指南针、地图或航海图上，能使我们辨别方位。左下图是标于地图上的方位标，这些地图是1547年在阿姆斯特丹(Amsterdam)最早印制的一批。事实上，它们的装饰性比在科学上的正确性还大。最常用的风的图示法是风玫瑰图，能显示某地方最常吹的风向及风速。

风有时很调皮，会出其不意地出现。右页下图是以游客众多著称的雅典古卫城(Acropole)，因风引起的春光外泄图。



我们常听到的一些风的俗称。谁不认识密史脱拉风(mistral，法国南部及地中海干寒而强烈的西北风或北风）、西罗科风(sirocco, 欧洲南部的焚风)或有名的西蒙风(simoun, 非洲和阿拉伯等沙漠的干热风)、柔柔的信风，以及南半球南纬40至50度(大西洋、太平洋、印度洋)西风带内狂怒的暴风雨?

## 单纯的补偿气流

人们必须要数年、数世纪，才习惯以风向来称呼风(vent)。不论是南风或北风，东风或西风，这些现代风已失去了诗意及高贵的名称……只须认得其风向，便可以区分风。

了解风不是件容易的事。一直到17世纪，人们还不了解形成风的原因。为何叶子会动?是因为有风吗?

为什么不说是叶子动

安德罗尼科斯(Andronicos de Cyrrhestes, 是出生于叙利亚的希腊建筑师)于公元前1世纪在雅典建立的风塔(左图)，中央是一座水钟，顶上还有风向标。它的顶部的八边刻有八个年轻人像的浮雕，被认为与风的特性有关，它们分别代表着：北风、东北风、东风、东南风、南风、西南风、西风、西北风等。

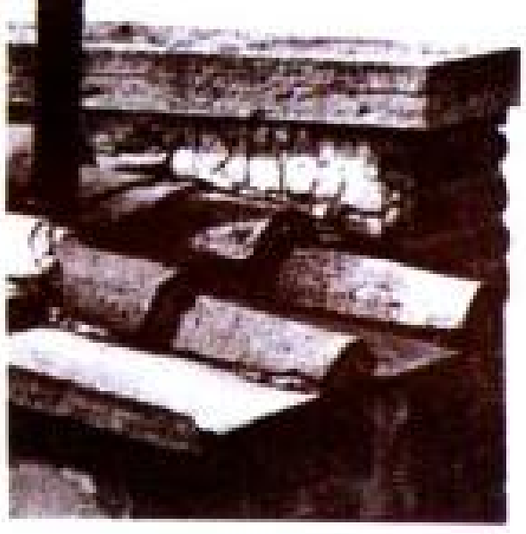
而产生风?1640年，伽利略证明风是有重量的，他踏出了第一步。而后托里拆利和帕斯卡(Pascal)证明风其实只是移动的气团，一个简单的气流而已。举个例子说明：当轮胎爆裂，被压缩的空气便会往外流。同样的方式，在天空中，空气自高压处往低压处流去，这样的空气移动便形成风。

它的存在只有一个功用：平衡及减缓压力差，恢复地区的平衡。压力差愈大，“补偿气流”愈大。

气象学的进步使我们了解到，风向和风速其实是由气旋及反气旋所造成的。

## 风受地球自转的影响

可想象某一物体自北极(pôle Nord)沿水平方向掷出，它似乎应该沿着直线的路径移动。但由于它在位移时，地球也在转动，因此它移动的轨迹实际上是以地球表面为基础形成的曲线。同样地，气团在地表移动时，也受到地球转动的影响。



在北半球(hémisphère nord)，风总是偏向其前进方向的右边。对于地球上不动的观察者而言，风似乎呈螺旋形在移动，而非呈直线移动。它们以逆时针的方向往低压中

古代的风向标是根据某些象征的侧影而剪制成的，其形状往往是动物图案或代表住家的主人所从事或专精的行业。在中世纪的欧洲十分盛行，多安装在建筑物顶上，此传统一直延续到19世纪。

心移动，形成气旋；而以顺时针的方向离开高压中心，形成反气旋。造成风偏向的动力被称为“科氏力”(force de Coriolis)，在大气现象中扮演了一个很重要的角色。在南半球(hémisphère sud)，风偏向其前进方向的左边，气旋和反气旋的旋转方向也是相反的。因此反气旋和气旋支配着风的循环运动。从白贝罗证明“风是很少在与等压线平行的方向产生”后，我们就更清楚压力与风的关系了。因此，单单靠着等压线图，便能完全地看出风向。

## 山谷或海陆间的微风

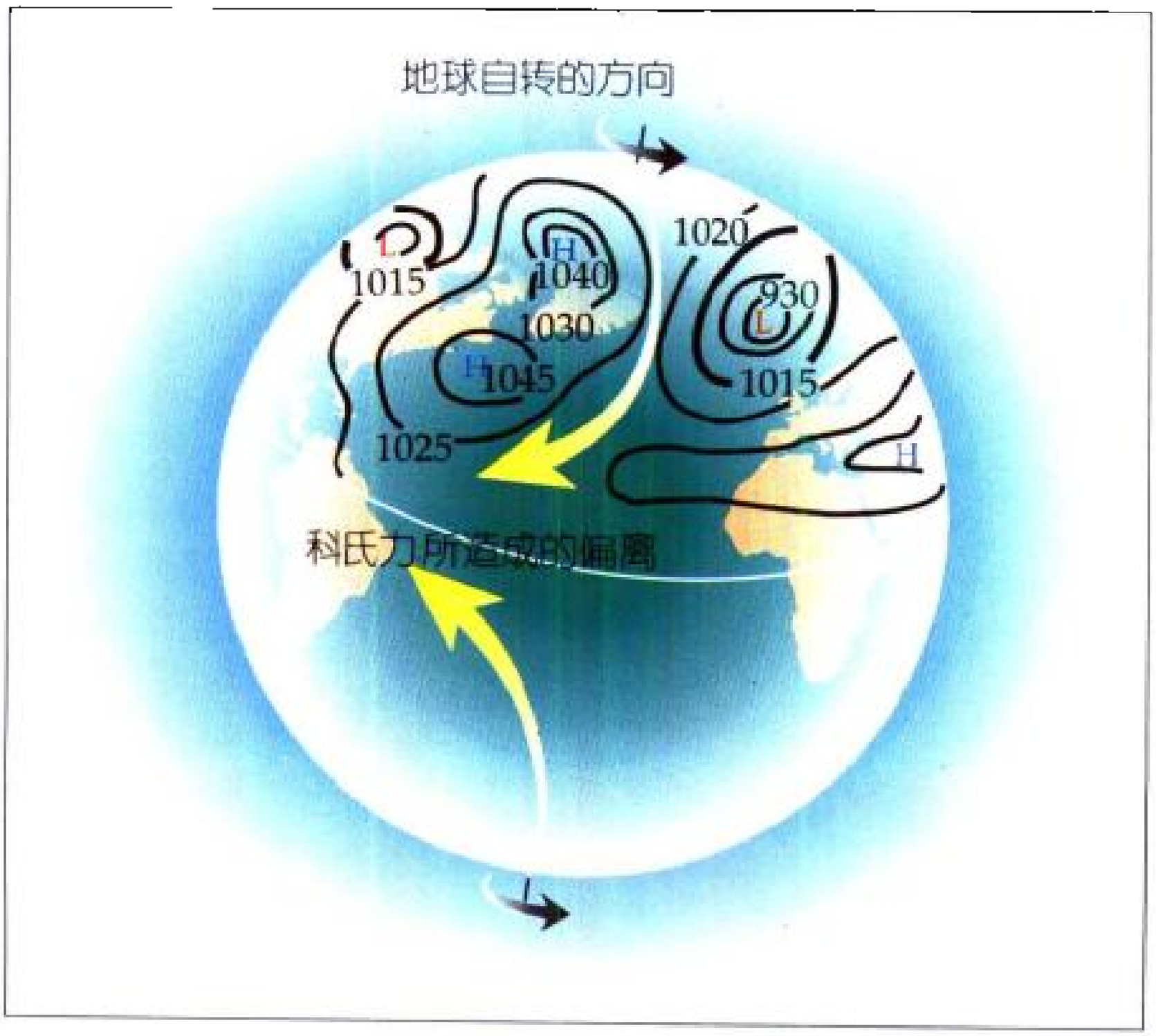
微风(brise)总是在两个温度不同的相邻地区间产生。因此白天在河

古老的手握式风速表(anémomètre)，1450年发源于意大利，使用简单，可以测出风的瞬间速度。人类知道使用风向标来测定风向已经持续数个世纪，但当时尚无法测知风的速度。

图牙利气象研究所的两位工程师，利用气球在一定时间内的位移来计算高海拔的风向及风速。

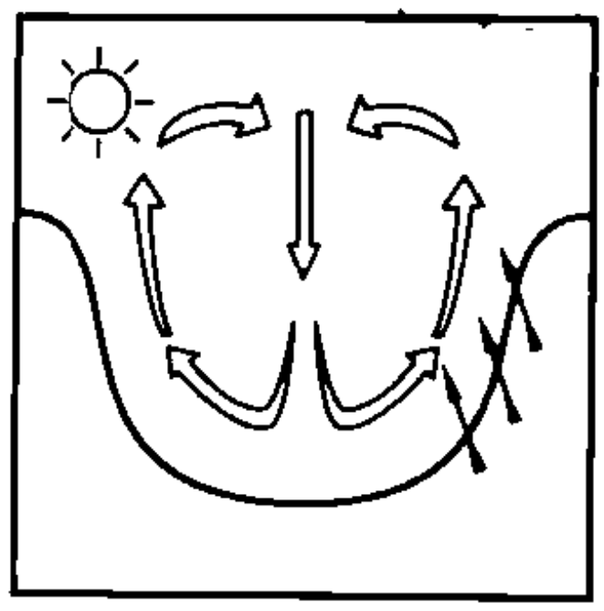
谷，山坡先被太阳晒热，接着轮到附近的空气，当它变得更热、更轻……于是往高处上升。很快地，它便被来自河上的凉空气取代，于是产生往上吹的微风。夜晚，机制便相反了：由于缺少了阳光，空气冷了，即变得更重、密度也更大，冷空气往下降，于是形成了向下的微风。滑翔翼专家特别了解这些机制。上行的微风开始出现在日出后数小时，而在午后最热时的风速最大;在日落后数小时，上行的微风便消失了。同样，水与陆地的密度不同，传热速度也不同，陆地升温和降温比较快。这样的温差产生陆风(晚上从陆地吹向海洋的风)及海风(白天从海洋吹向陆地的风)。湖滨也有它们自己的风系，这是帆船和帆板运动员所熟知的。

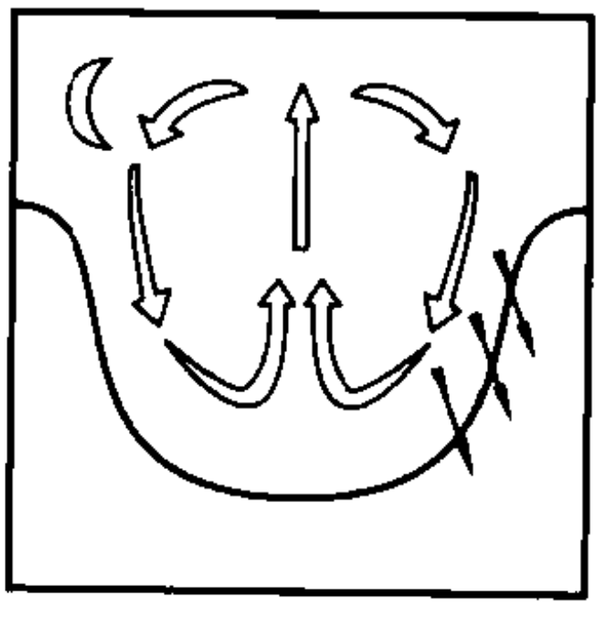
这些局部现象在平静的反气旋天气下特别明显。当有暴风雨或者风势很强时，区域性微风则完全被取代而不会被察觉到。




“在北半球，风以逆时针的方式吹向低压中心。”这个定律反映了科氏力的存在，然而最初却令人无法接受。风真的不会沿直线吹吗？确实，自北极向伦敦发射一枚炮弹，由于两者相距甚远，必经数小时才会到达目标。而在此同时，地球以时速 1670 公里的速度在转动(以赤道为例)。结果是炮弹永远到达不了伦敦。因为当炮弹开始下降高度时，伦敦已位于稍稍偏东的地方；而当炮弹到达时，便落在大西洋了。风的产生也有相似的现象。当风吹拂时，地球也在转动，这也就是它以螺旋状位移的原因。

在山上，在晴朗而稳定的天气条件下，山坡通常被太阳照射而变暖；相反地，河谷底常是长期的阴暗。因此导致山顶与河谷的温差很大。白天，微风往上吹拂在充满阳光的坡地上。此上升的风，最适合业余滑翔翼爱好者利用。





爱好飞行的运动员都知道他们不能在某些时间飞行。夜晚，山顶的空气变得较冷、较重，它会往山谷流去，也使得微风反向往下吹去。

## 当风与山相逢时

当气流与山面对面时，它只有两种可能：

它会绕过山头而吹向较低的山谷，由山头和山头所夹的山谷会使风向改变，并经过气流缩小的作

用使风速增加，其结果是：风朝障碍较小的方向吹。当地居民很熟悉这样的风时，便会以地方或区域的名称替这阵风命名，命名的原则根据它影响的地区范围而异。

但是，在大部分的情况下，风并不喜欢绕过山头，它会往上爬而越过山头，在下山的过程中形成“焚风效应”(effet de foehn)。而这效应的形成，主要与天气状况及地形有关，例如：山、丘陵、山脉等。焚风效应有时是形成地区性小气候(micro-climat)的重要原因。

由于山的存在，它能将湿冷的空气变干燥，这就是焚风形成的机制。此一惊人的作用，其实用简单的物理原理就可解释。

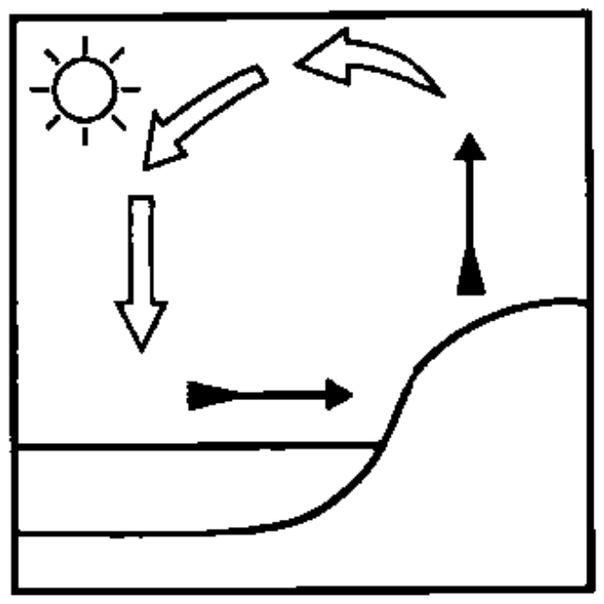
## 空气演示的魔法：焚风效应

当风带着湿空气往山头上攀升时，每上升100米温度便降低0.6℃。这个冷却作用(refroidisse-ment)使其所含的水蒸气产生凝结现象，由此导致在山坡上方形成云，有时是雨或雪。此时，空气也因而散失了一大部分原先所含的水蒸气。

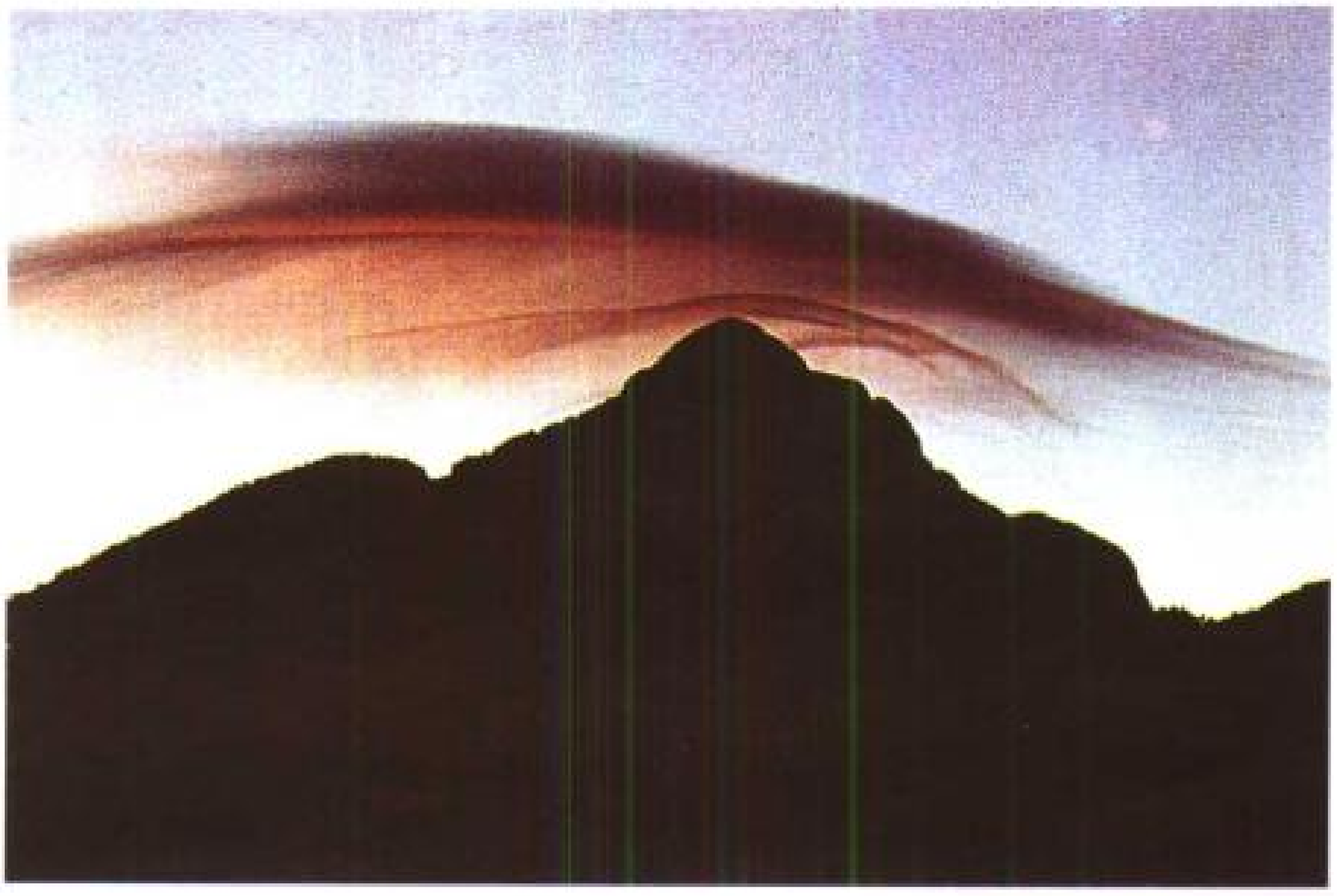
一旦越过山顶，冷且较干的空气开始滚下山坡。在下山的过程中，空气一边被压缩，一边被加热，愈干则被加热的速度愈快，大约每下降100米气温上升1℃。因此下山时空气被加热的速度，比上山时空气被冷却的速度更快。

空气在翻过山的过程中，同时也完全地改变了自己的特性：出发时湿冷，到达时却变成干、热。焚风效应在山的前后，造成两种完全不同的气象情况。吹拂在美国加州(Californie)海岸的钦诺克风

在海边，微风的机制是由于陆地及海洋不同的加热速度所引起的。白天，被陆地加热的空气往上升，于是渐渐地被来自海洋较凉的空气所取代：此即海风。

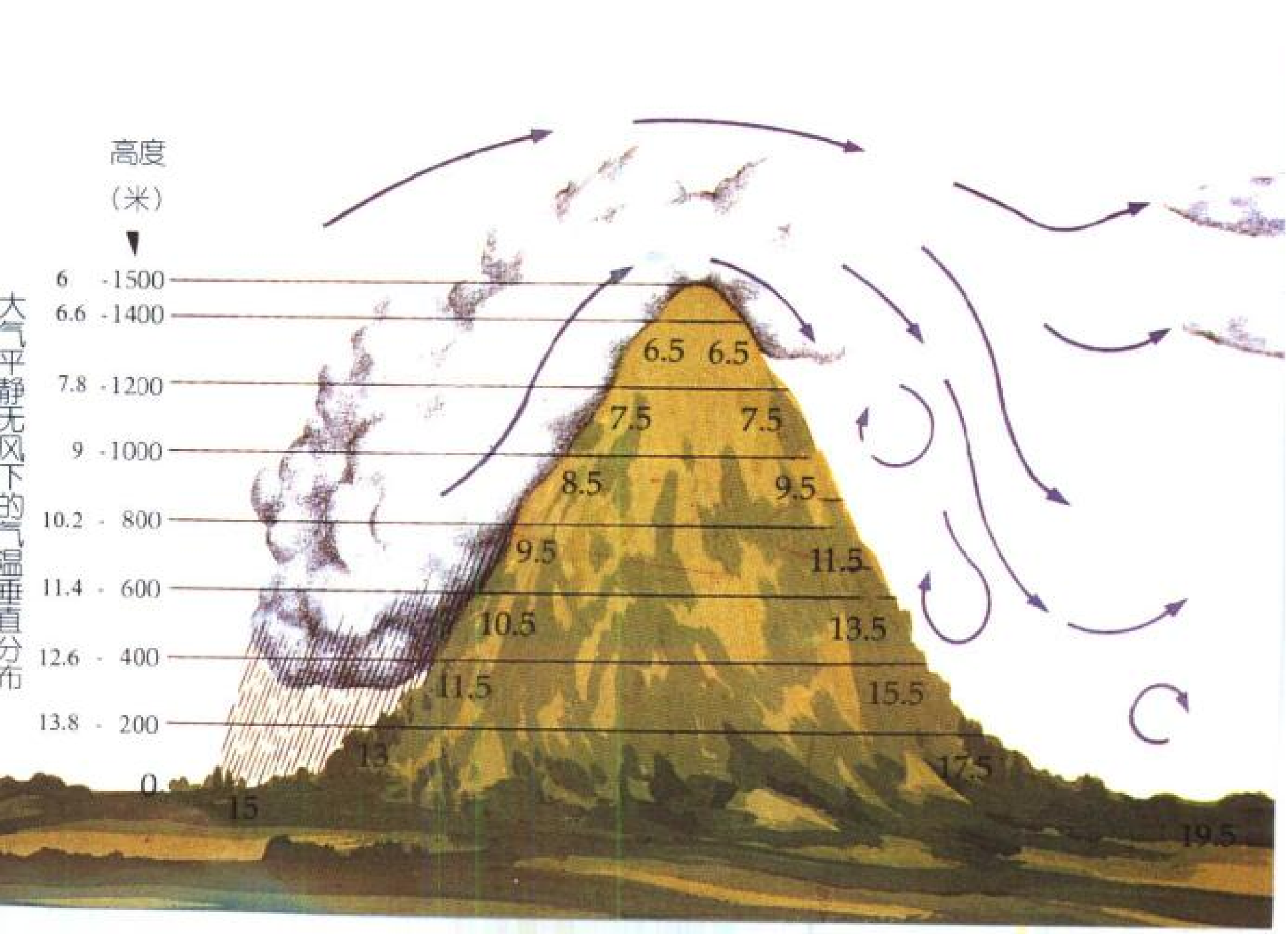


夜间，被海水加热的空气往高处流去，于是它渐渐地被来自陆地较凉的空气所取代：这就是陆风。



空气的流动与地势有关。出现在山峰上方的波状云——即山的产物——通常都具有特殊的波浪起伏的形状。它涉及透镜状的高积云，有点像数叠碟子和数叠鸡蛋薄饼(crêpe)，也像卓越的书法。即使有风，有些云从陆地看来似乎是静止不动的。焚风效应(下图)会修正吹往山上的空气特性：山坡上的“迎风坡”既湿又冷，在背面山坡下方的“背风坡”就很干燥，在空气下降期间，由于压力的关系它会被加热。

(chinook)便是一个著名的例子。它是一种大规模的“陆风”，起因是被压缩的空气自落基山脉(les montagnes Rocheuses)下降时，由于被显著地加热，而形成一种燥热的西南风。




大气平静无风下的气温垂直分布

这个加州农场善用自落基山脉下降的气流，自1960年起便备置电力生产。每架风车(eolienne)都与发电机连接。为了要增加可利用资源，于是设立了很大的风车场。

## 地方性风

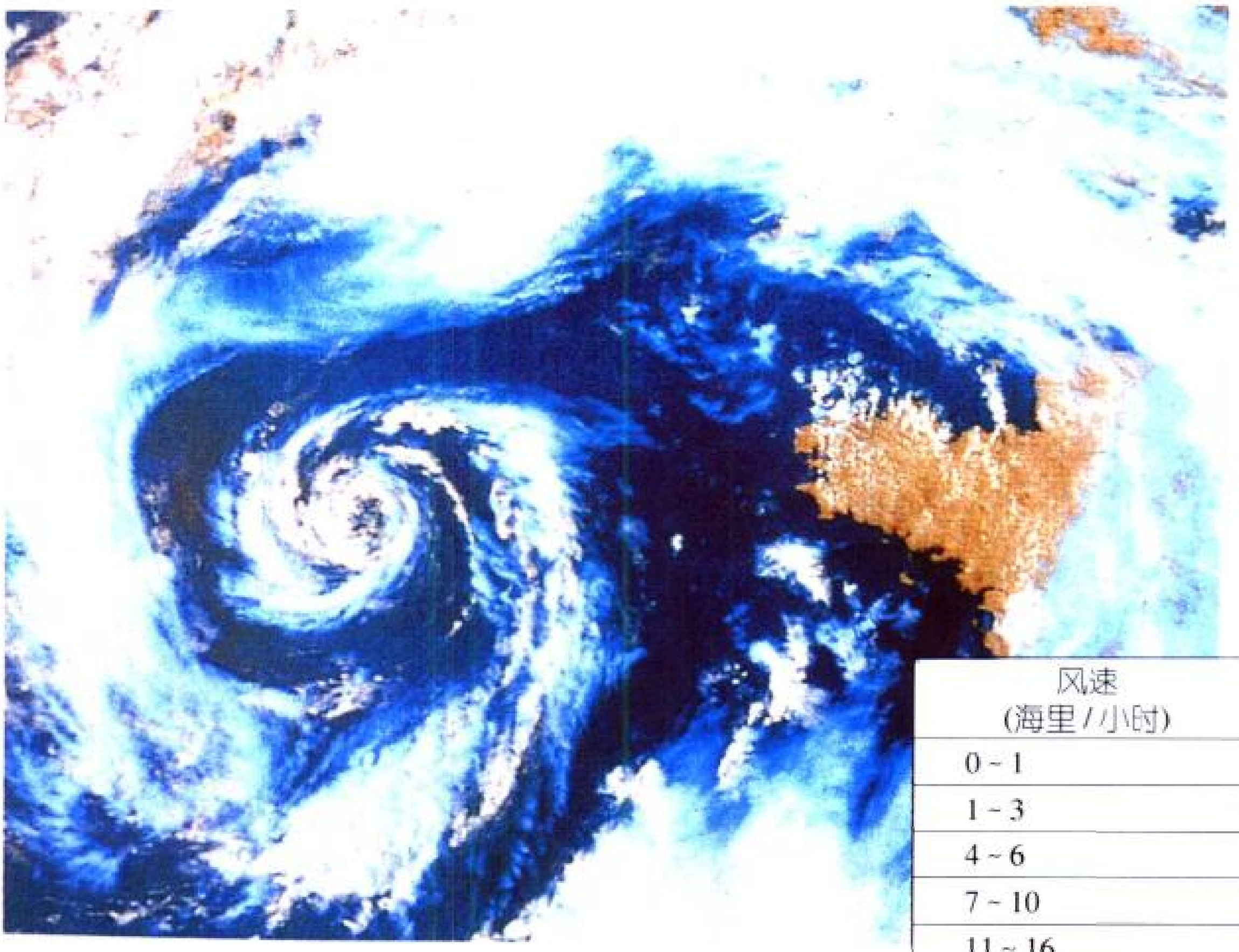
在区域性的大风中，通常当低压在地中海(Méditerranée)阿尔卑斯山(Alpes)南部，更精确地说在热那亚湾形成时，便会出现密史脱拉风。然而在大西洋或西班牙却出现反气旋。来自北方的冷空气进入了罗讷河(Rhône)谷地。根据文丘里流速计效应(effet de Venturi)的流体力学原理，它必须大大地增加速度才能流出。于是造成了一股很强的气流，通常风速高达时速75至100公里，有时甚至更快。在法国南部鲁西荣(Roussillon)及朗格多克(Languedoc)所发生的强劲狂风，是地中海沿岸的北风(tramontane)与密史脱拉风一起作用的结果。它们同时出现，或者隔数小时同时消失。

南风也有它们自己的风系：欧同风(autan)就是盛行在法国加龙河谷地的剧烈南风，且因而著称。非常干热的西罗科风吹在非洲(Afrique)北部，有时

冰冷的暴风雪(blizzard)由北极直直地吹刮下来。夹带着雪，使视野变得很差。1908年3月，天气持续冰冷，美国纽约百老汇建筑物发生火灾，消防队员欲去灭火却被冰限制住了。

甚至会由地中海吹到欧洲海岸。猛烈的伦巴第风(lombarde)则吹在阿尔卑斯山脉邻近的意大利边界。其他有名的东风：沙漠之风——西蒙风在阿拉伯的沙漠地区形成，一直往西吹到非洲埃及和利比亚的海岸。勒万特风(levant)柔和且潮湿，吹在阿尔卑斯山南部及地中海地区。在黑海及亚得里亚海有一种

风的主宰、lipo frango、magistrou、mangefrange、marin、rameaux等，都是密史脱拉风的俗称。西蒙风或称“毒风”(vent poison)，经常会形成很



强冷的北风或东北风，被称为布拉风(bora)；冬天，它带来高加索山脉的冰冷空气，向温热的海上吹去。

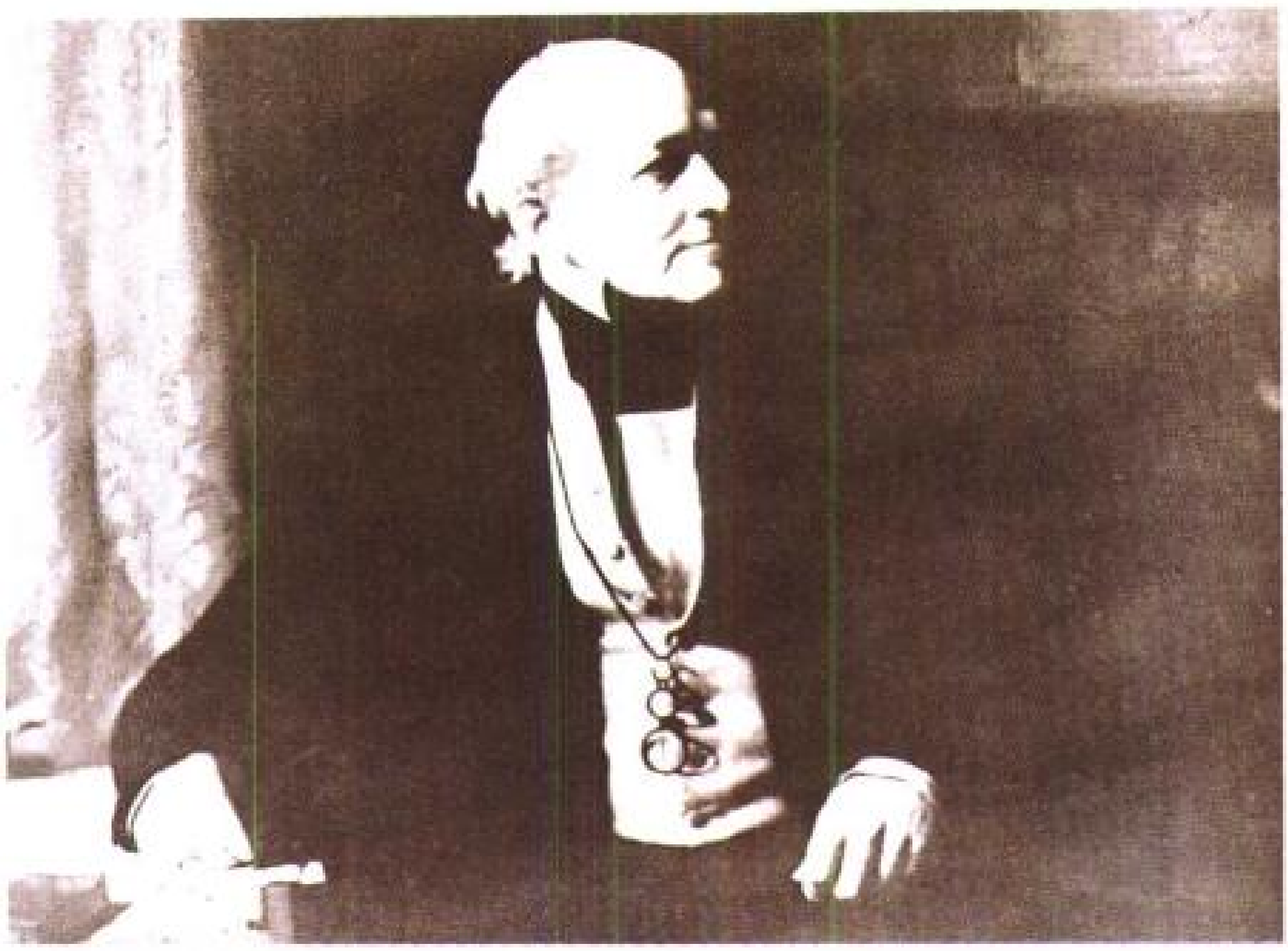
## 暴风雨的强风

当气压表读数降得很低，即表示气压差增加，等压线间隔变窄，促使重新平衡的“补偿气流”变得更强。这有点像河流，当河床坡度增加，流速便变快，同样地，空气自高压往低压流得更快。其速度甚至可达到每小时100公里，这时就形成了暴风雨(tempête)。

根据国际公约，当风力在10～11蒲福风级(Beaufort)，即时速90～117公里时，气象部门就必须提出暴风雨的警告。此时，海变得非常地险恶，浪异常的高，并会危及船舶。

春、秋分时令人害怕的风暴，只不过是两种独

| 风速<br>(海里/小时) | |
|---|---|
| 0～1 | |
| 1～3 | |
| 4～6 | |
| 7～10 | |
| 11～16 | |
| 17～21 | |
| 22～27 | |
| 28～33 | |
| 34～40 | |
| 41～47 | |
| 48～55 | |
| 56～63 | |
| 64以上 | |



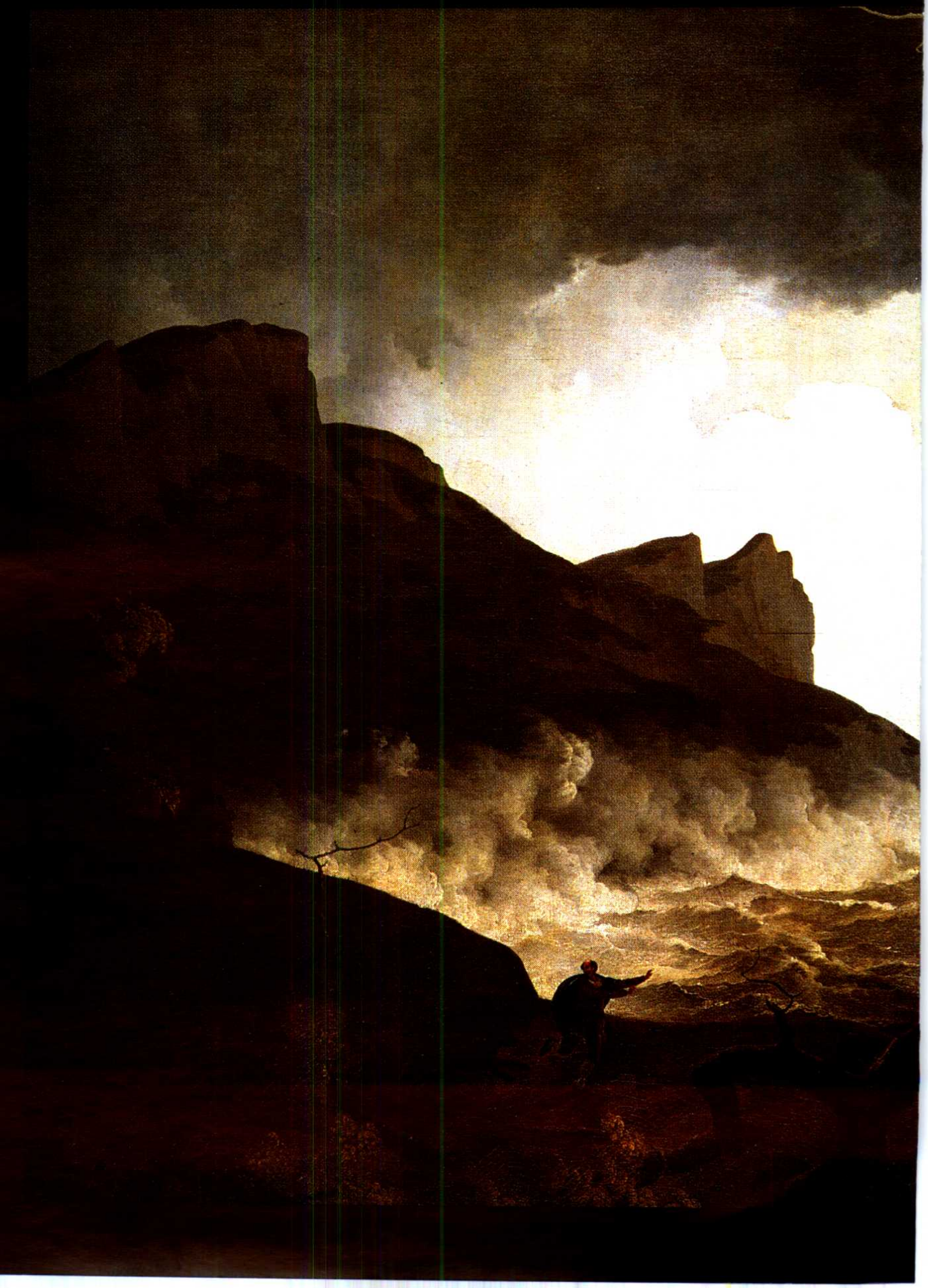
左页的卫星云图显示1987年10月15、16日暴风雨侵袭法国布列塔尼及不列颠群岛的情形。在低压中心有非常明显的卷云，与在气旋期间所看到的卷云非常类似。

| 的等级 | 海面所观察到的景象 | 名称 |
|---|---|---|
| 0 | 如镜子般 | 无风 |
| 1 | 些许波纹 | 软风 |
| 2 | 不汹涌的小波浪 | 轻风 |
| 3 | 浪花出现 | 微风 |
| 4 | 小波浪、些许浪花 | 和风 |
| 5 | 中浪、浪花、水沫 | 清劲风 |
| 6 | 浪潮、白色泡沫的浪峰、水沫 | 强风 |
| 7 | 浪潮汹涌、泡沫的长痕迹 | 疾风 |
| 8 | 浪峰旋涡滚滚、泡沫的长痕迹 | 大风 |
| 9 | 波涛汹涌，由于海雾使能见度降低 | 烈风 |
| 10 | | 狂风 |
| 11 | | 暴风 |
| 12 | | 飓风 |

立现象的一种巧合作用。大洋的潮差依季节而异，与月亮或太阳相对于地球的位置有关。当月球引力与太阳引力在同一方向时，便有合成作用。引力最强的时间是接近春、秋分时，此时潮水涨到最高。

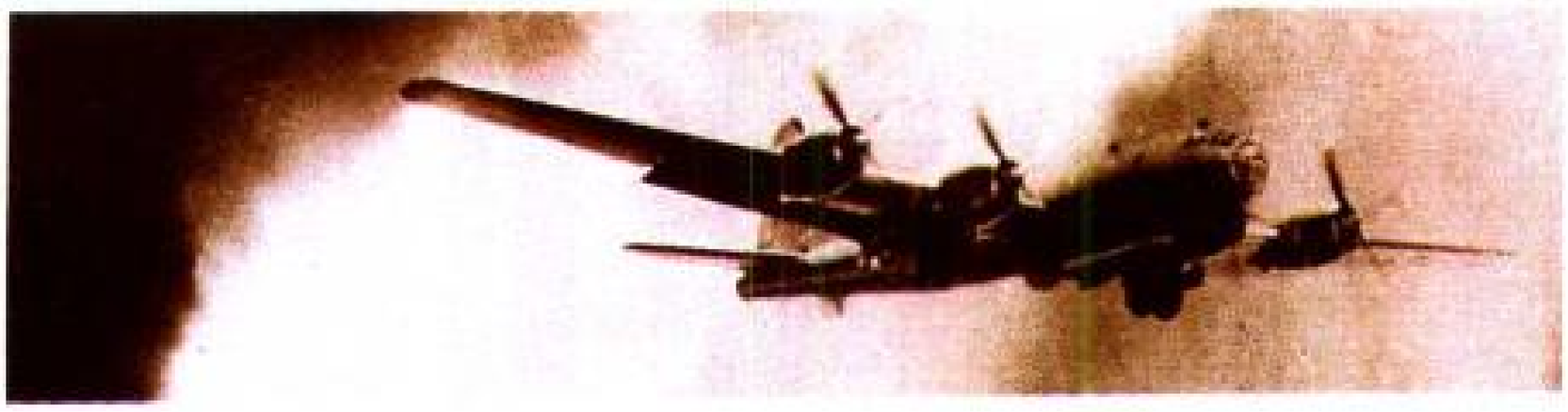
若低压在此时突然出现，由于风的作用，便会使海面波涛汹涌。当海岸地区被满潮波及时，这个

英国海军上将蒲福(Beaufort，1774～1857年，上图)，发明了一种风力等级，自0～12共分13级，海上人员用来测量风力，称蒲福风级。



浪的高度是决定海面状况的重要因素。航海者及气象学家所使用的波级表将波浪划分为10级：有风平浪静的海、异乎寻常的海、波涛汹涌的海及非常波涛汹涌的海等，与蒲福风级稍微不同。当海不是很波涛汹涌时，我们便能观察浪的系统，并将其分为两种主要形状：第一种是在风直接作用下产生的水面波动，这叫风浪；第二种是风浪离开风吹的区域后所形成的波浪，这是涌浪。涌浪的蔓延方向，可能与局部观察的海风的风向不同。

“安提格那斯冷眼旁观地看着怒海将一艘船冲撞至海岸边。”此为英国人莱特以画笔描绘出他对莎士比亚作品《暴风雨》的印象。



作用将使灾害愈益严重。〔译注：在台湾西部，若在满潮前后发生台风，往往造成海水倒灌，引起重大的损失〕

## 台风警报!

热带气旋是一种中心有“洞”的小规模低压，直径通常介于200至500公里之间。气压的剧烈变化形成时速150至250公里的强风，从一处移到另一处。因为中心(俗称“眼”)的气压最低，故有大量的积雨云以螺旋状围绕着。这些云会产生暴雨。风及气压下降的合成结果，形成了狂风、倾盆大雨，再加上暴风浪，于是海平面快速上升，可高达数米。按其风力大小，分为热带风暴、强热带风暴、台风等级别。

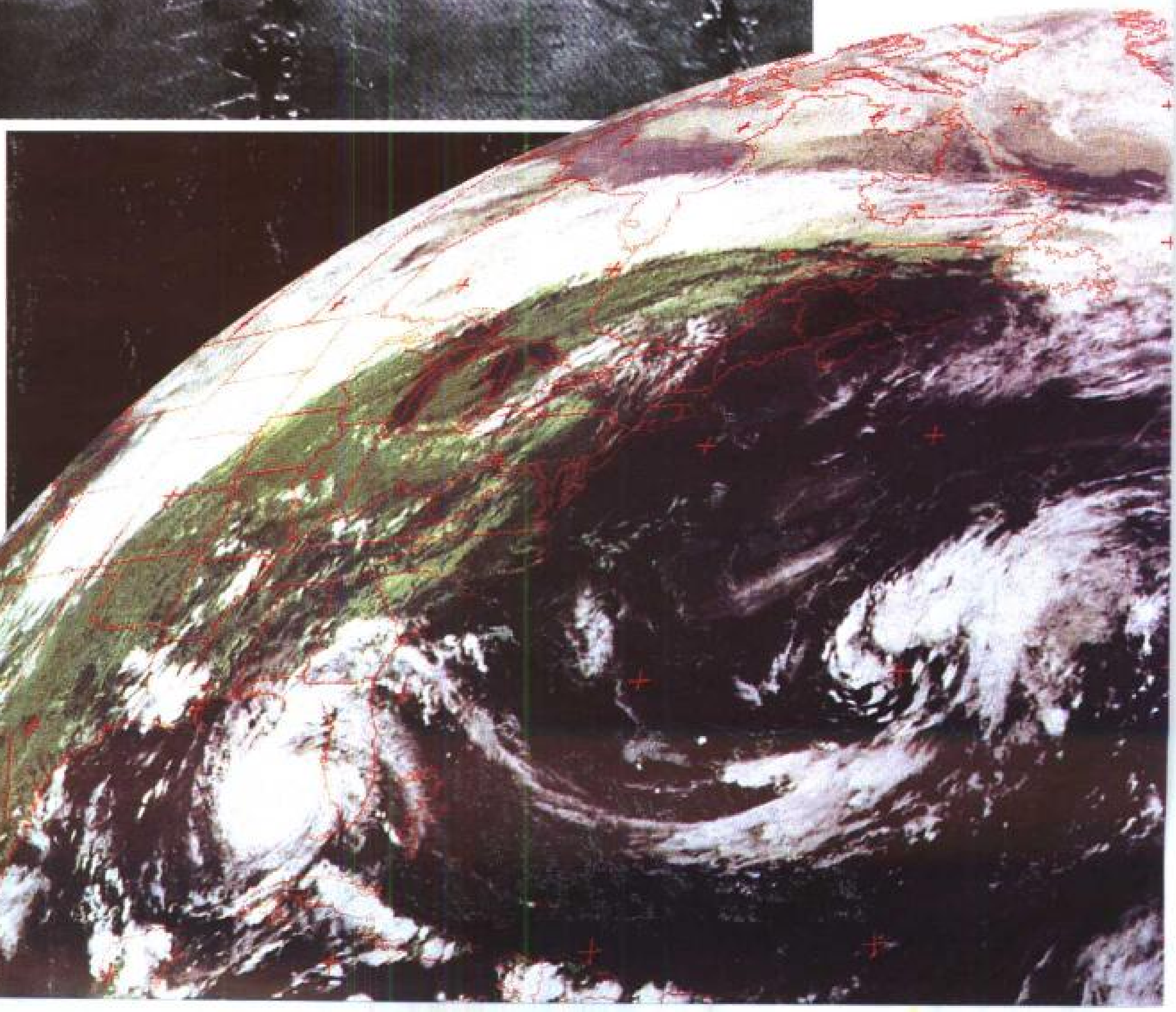
气旋形成的机制，与海面上的温度有极大的关系。26℃以上的水温即可使其周围空气的温度大大升高。这些变热、变轻的潮湿空气，上升到高空中，便形成大量的云。

另一方面，水蒸气的凝结作用会释放出热能，这个热能又可使气温升高，气温升高再加热海水，所以水蒸气的凝结作用可以说是造成气旋的动力。

当它到达海岸时，会释放它在海上取之不竭的能量(即温暖而潮湿的空气)，所以它的强度减弱了。因此沿岸受的灾害比内陆大。在某些状况下，大海中的气旋在移动途中，因碰上岛屿而失去了一大部分的能量，但越过岛屿再与大洋会合后，就又活跃起来。

——次大战之后，美——国气象部门建立了一套监测天空的系统。大胆的飞行员飞行在气旋中，这是业余飞行员不宜仿效的高危险行动。热带气旋通常伴有时速达150至250公里的飓风及暴雨。1980年在非洲留尼汪岛(île de la Réunion)曾经七天内降雨量达6000毫米。

巨大的云带以螺旋状环绕气旋眼。此处的天气平静，气压也异常的低，其附近的气压有时可能降至990百帕。由天空看到的这些合成影象中，值得注意的是气旋眼可以很快地被侦测出来。下图为侵袭拉丁美洲安的列斯群岛(Antilles)及美国佛罗里达半岛(Floride)的安德鲁(Ardrew)气旋。



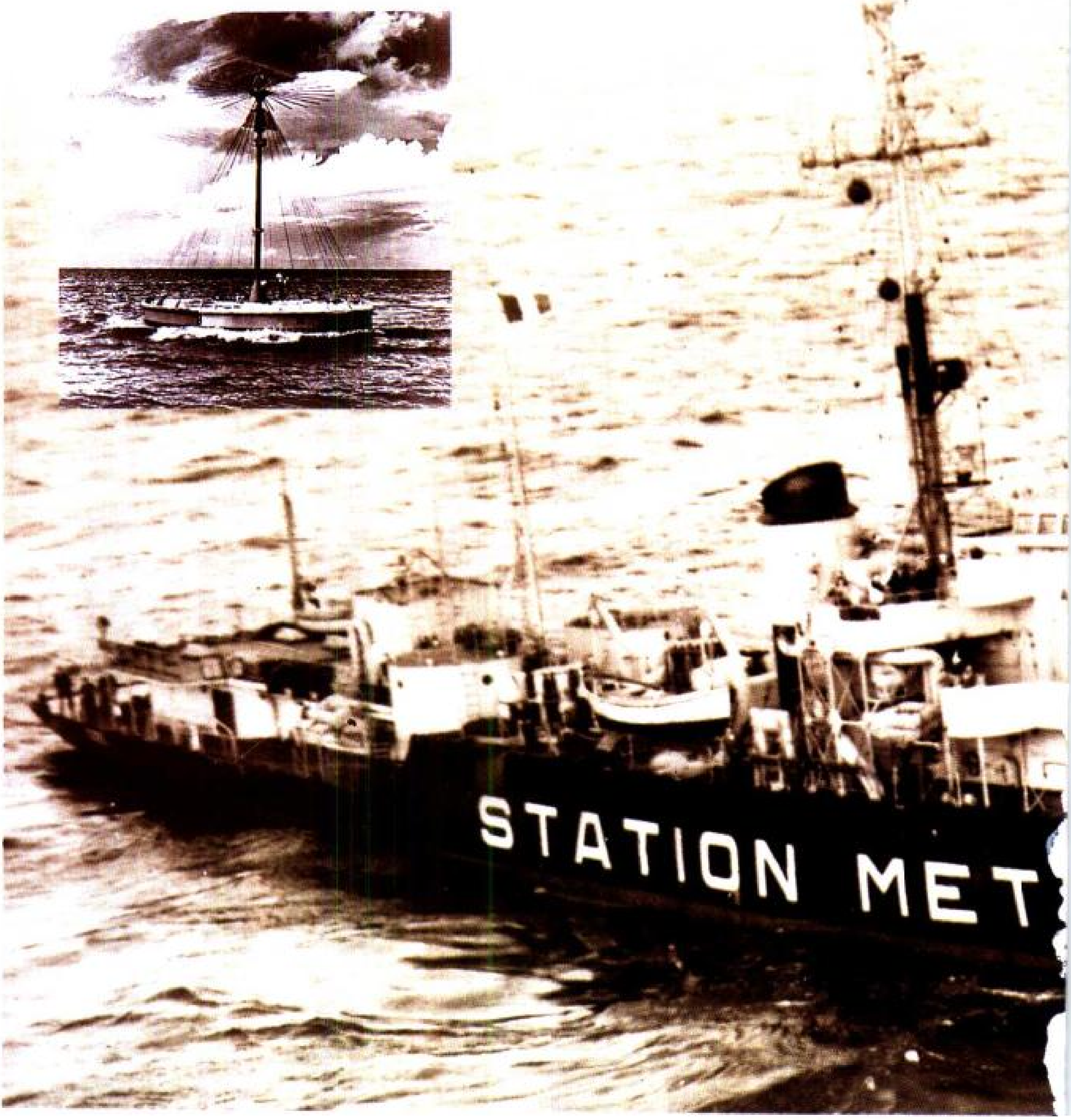
12 H 700 Hpa en m/s dep en 100
12
16
20
24

了解、预报并影响天气，
在太阳、地球、大气……及人类之间，
寻找一个平衡而稳定的关系。
从古代天真的预测，
到近代雄心万丈的科学，
我们都不曾停止过一个梦想，
即是——“老天”将如我们所愿。

第五章

# 天气的指挥者

人从玻璃球构成的日光仪(héliographe)到由电脑所绘出的风图(左图)，英国的气象工作者都保持一贯且必要的冷静。气象学是一门融合现代科技及传统，可由我们日常生活中得到线索，近似艺术的学问。




漂流浮标(左上图)能够纪录气温、海水温度、大气压力、湿度及其他可测量的参数。

20世纪初期，挪威气象学家皮耶克尼斯提出一个新构想：根据热力学定律及流体力学定律来探讨大气，以预报在特定状况下，未来大气可能发生的变化状态。

在理论上，此一想法听起来似乎颇为简单，但当我们想把构想付诸实施时，才知道这是一项非常复杂的工作。由支配大气状态的变化及移动的物理定律，所推导出的方程组，根本无法得到简单的解答。绝大多数的数学家为了解析这些方程组，唯一能做的，也只是以逐次逼近法来求其近似值。由于以极尽简化的方法求得结果，就出现了一个问题：如果我们现在已掌握足够的全球天气状况支配资讯，是不是就可预报最近数日内天气中所有的可能变化？

“为了计算大自然中三小时的天气演变，以人类目前的能力且在最好的状况下，至少要耗费三个月的时间来完成。如果是这样，那么耗费一年的时间在计算工作上，而只为了预报明天的天气，值不值得呢？”

皮耶克尼斯

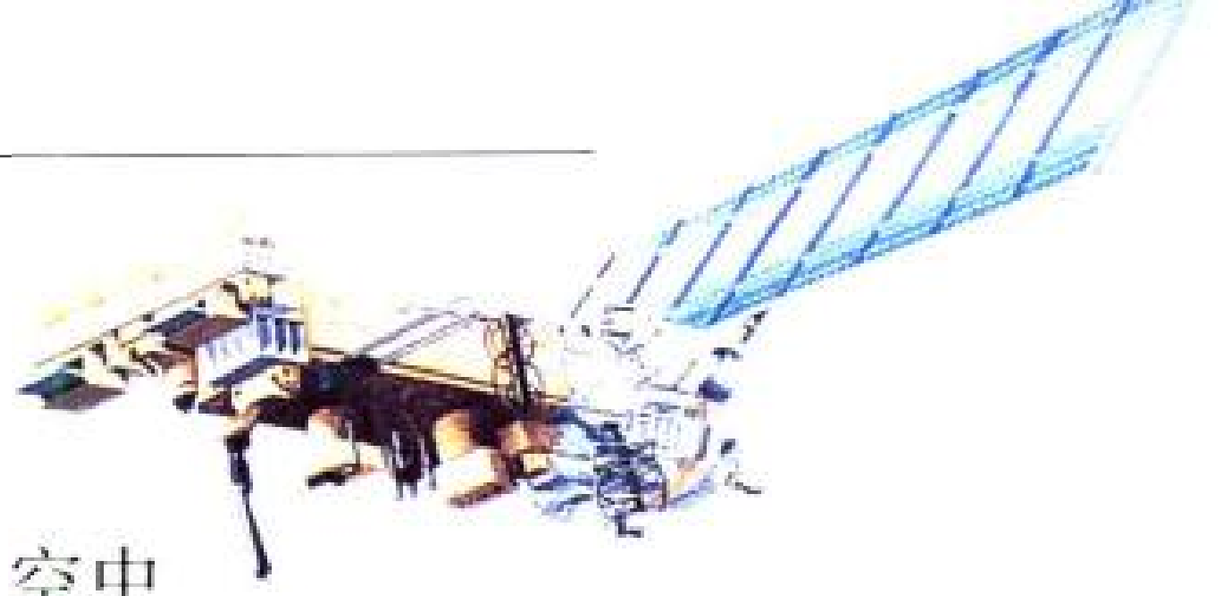
皮耶克尼斯(左上图)是首位根据物理学中的力学定律来研究大气运动的学者，但当时的计算技术无法实现其构想。

## 更多更好的观测网络

为了要得到这个问题的最佳答案，须尽可能地全盘了解天气状况，全球的气象学家组建了一个非常优秀的世界天气监视网，这个技术机构即是用以监测气象现象，并且尽可能达到全面、精确的程度。当一万个观测站24小时全天候地探索天空之际，另外更

所有的气象学家都惋惜大西洋附近的气象观测点“K”(Point < K >)，它位于法兰西二号(France II)这艘船上(左图)，由于成本太高，这个系统在气象卫星发展后，便被放弃了。

有5000艘载有观测人员的巡逻船只，来回在全世界大小海域之中辛勤工作。同时也有飞行员在例行飞行期间，持续地将他们在天空中搜集到的气象状况资料传送过来。



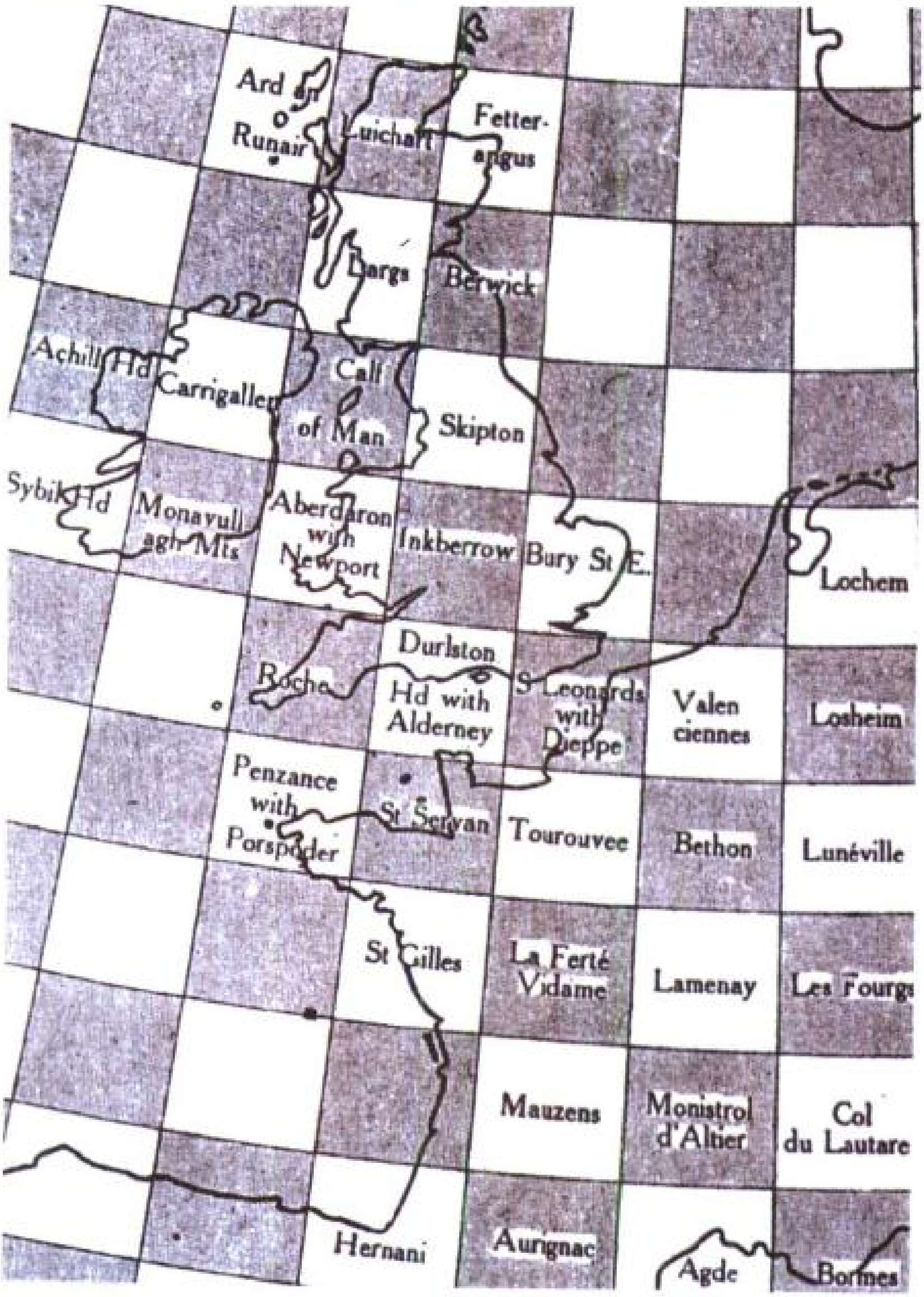
上图是美国的诺阿（NOAA）号极轨气象卫星。它所具备的仪器能够利用各种不同的波长进行观测，同时也能够重建大气温度及湿度数据。它具有与探空气球所得结果进行比较的功能。这项系统的优点在于：卫星可探测很多资料，包括用普通方法到达不了的区域，而且成本很便宜。

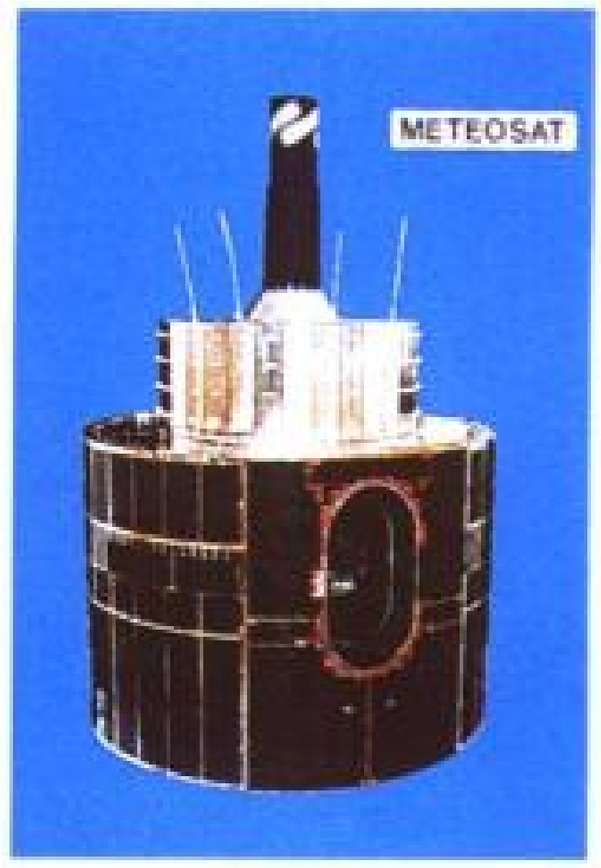
除传统的观测站及观测技巧外，还增加了无人操纵的装置，如自动观测站及漂流(bouée）性观测器具——海洋浮标，来传递所在位置当地的温度、大气压力、湿度、降水量等数据。

为了要知道高海拔的气象状况，每天几乎都有1500个左右的探空气球(ballons-sondes)被释放到大气层中。装置在很多国家的气象雷达(radars-météorologiques)，也可显示云雨带的移动情形、降雨地点及降雨的强度。

法国气象局(Météo-France)的气象观测飞机梅尔朗4号(Merlin Ⅳ，上图)，从事各种各样的气象研究及测量工作。

气象卫星(satellites météorologiques)及同步卫星在过去20多年中占有很重要的地位。它们不仅提供了气象云图，而且持续不断地传送云的位移、高

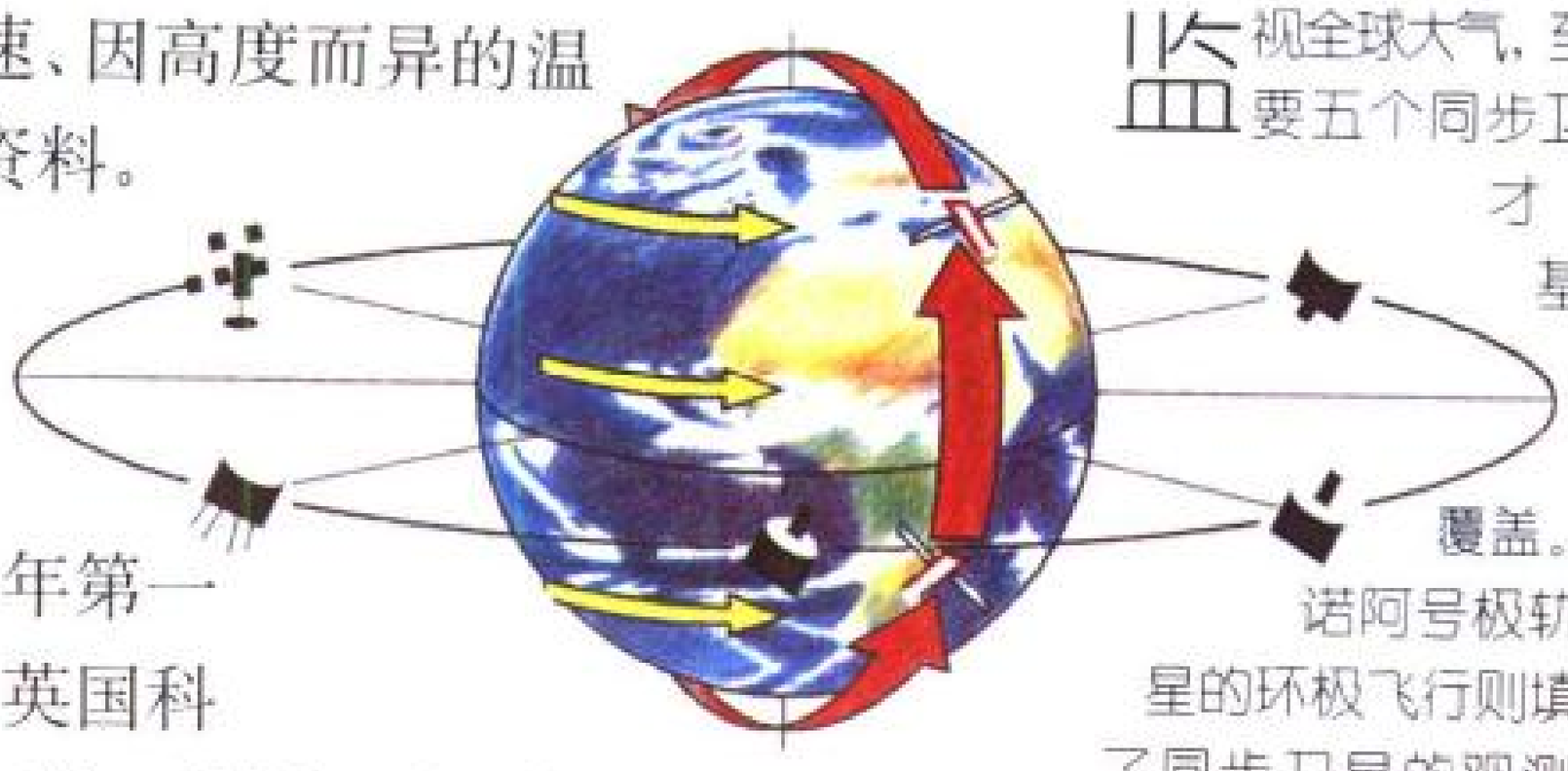



欧洲航天局的气象卫星号卫星(Météosat)(上图)是一种地球同步气象卫星，置于几内亚湾(Guinée)上方3.6万公里处。它沿赤道环绕地球一周的时间，与地球自转一周的时间相同。

理查孙发明了一种格子来进行数值天气预报，这是一种非常适合计算机处理的方法。然而在1921年，计算机还没有问世。

海拔的风向及风速、因高度而异的温度等的珍贵气象资料。

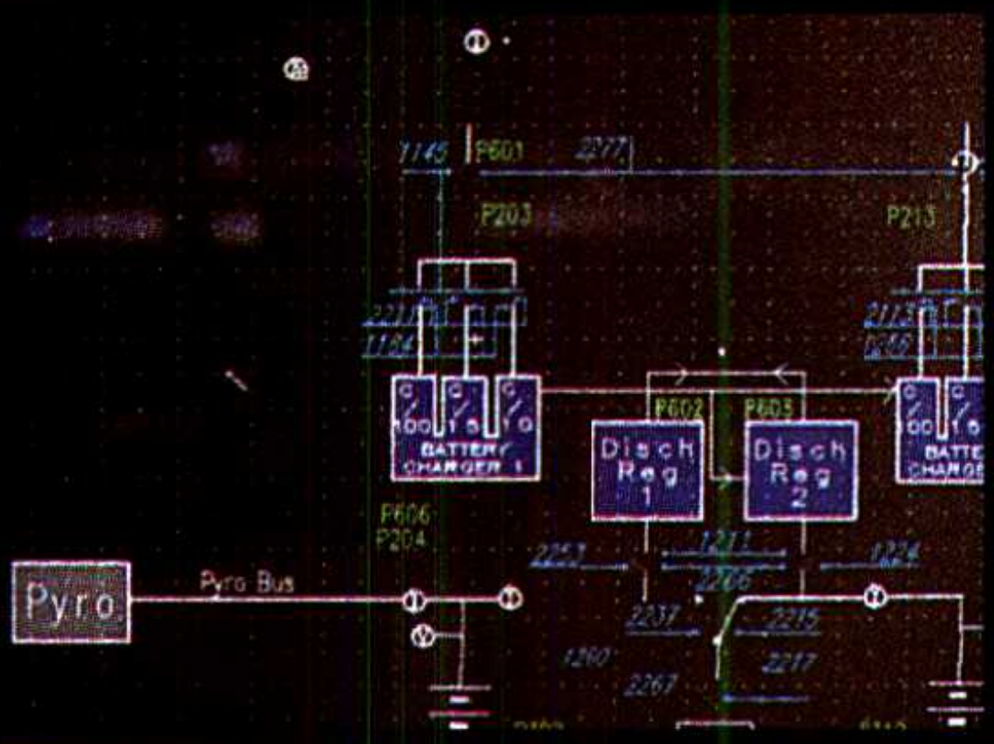


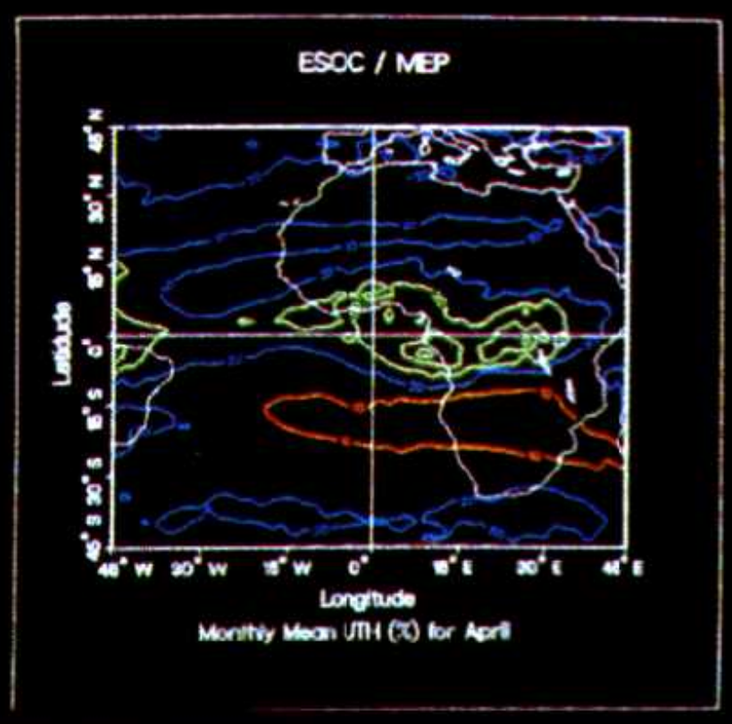
监视全球大气，至少要五个同步卫星才能基本覆盖。而诺阿号极轨卫星的环极飞行则填补了同步卫星的观测死角。

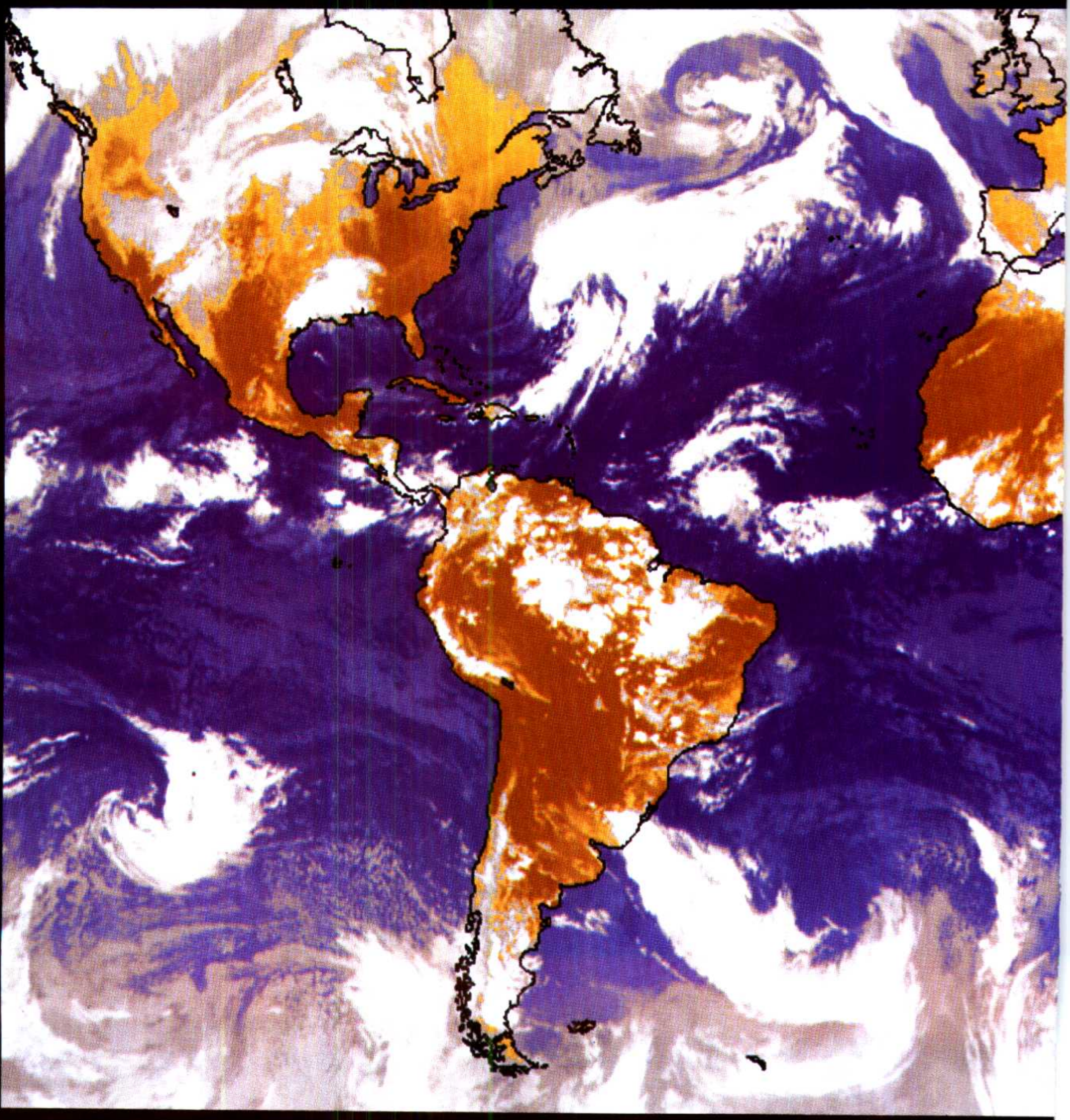
## 孤独的数值天气预报天才

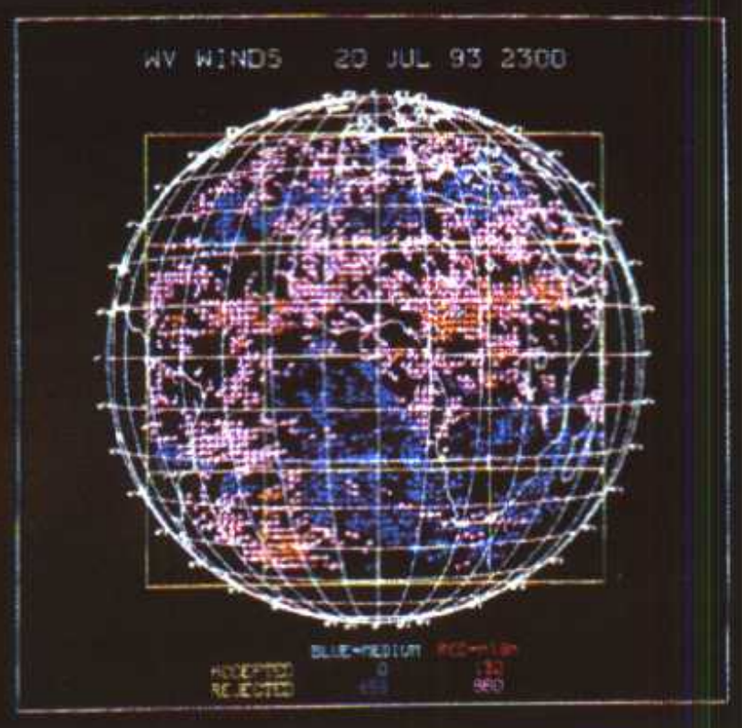
1914至1918年第一次世界大战期间，英国科学家理查孙(Lewis Fry Richardson)开展一项崭新的天气预报尝试。他

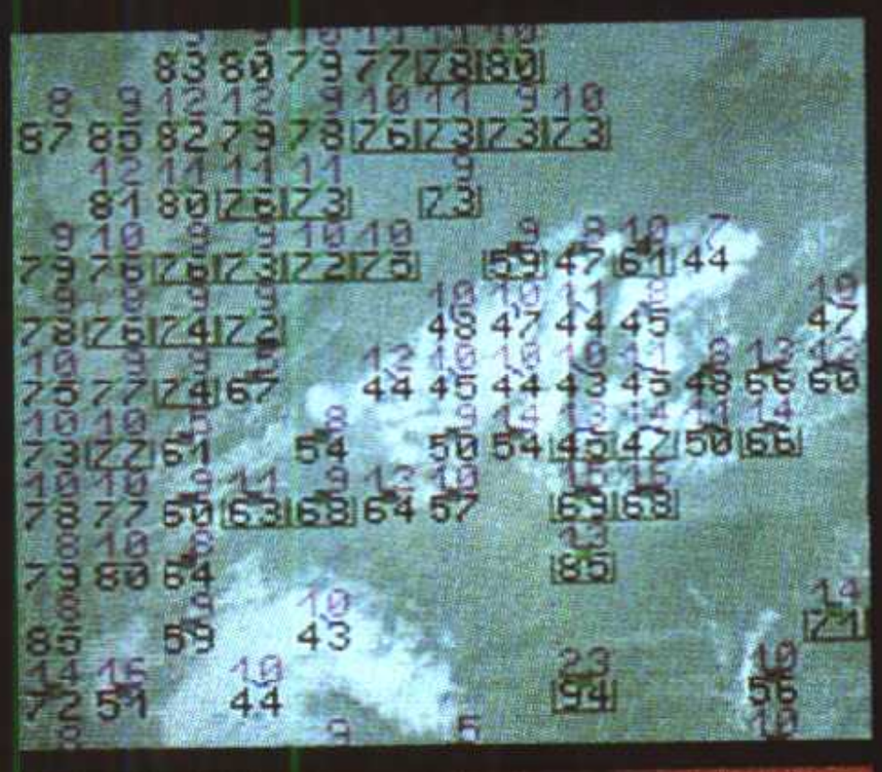
Run
Data
View
Line
Rect
Polygon
Arc
Circle
Ellipse
Text
Vectext
Drawing
Graph
Input
Undo
Zoom
Group
Delete
Copy
Cp Delta
Reorder
Rotate
Scale
Mirror
Dynamic
Rules

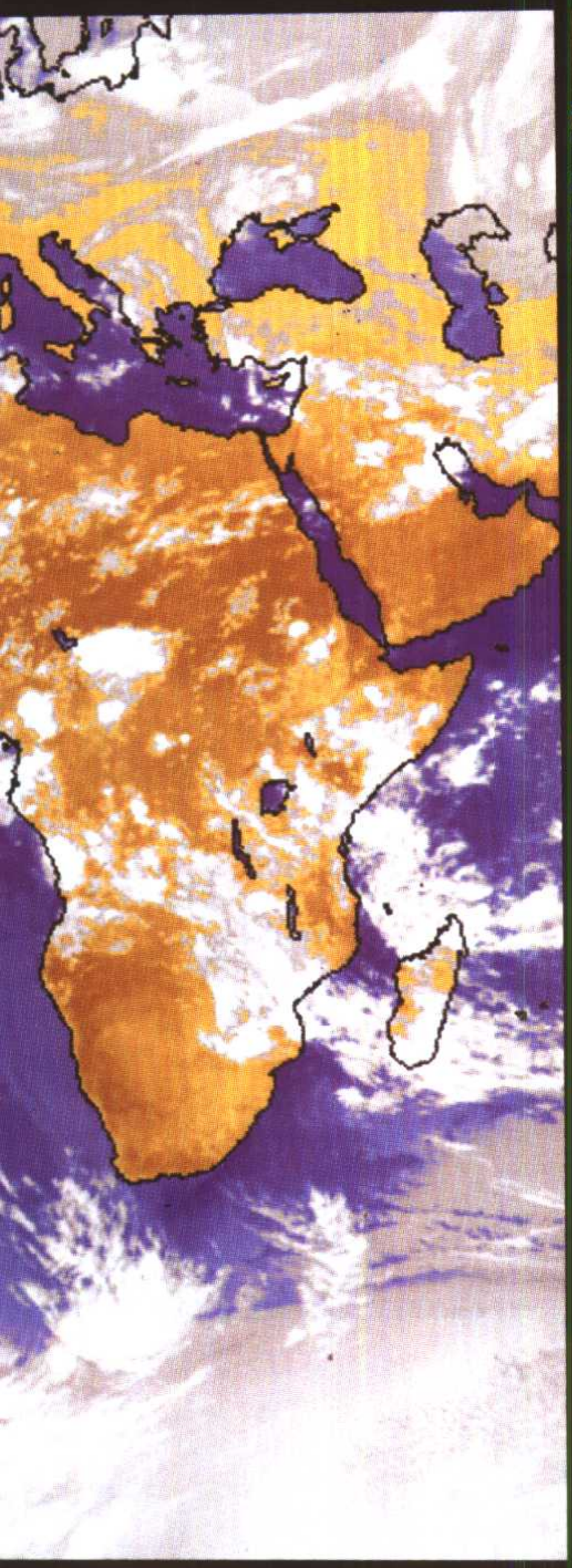

P601
P203
P213
P602
P603
Disch Reg 1
Disch Reg 2
P606
P204
Pyro
Pyro Bus


ESOC / MEP
Latitude
Longitude
Monthly Mean UTH (%) for April

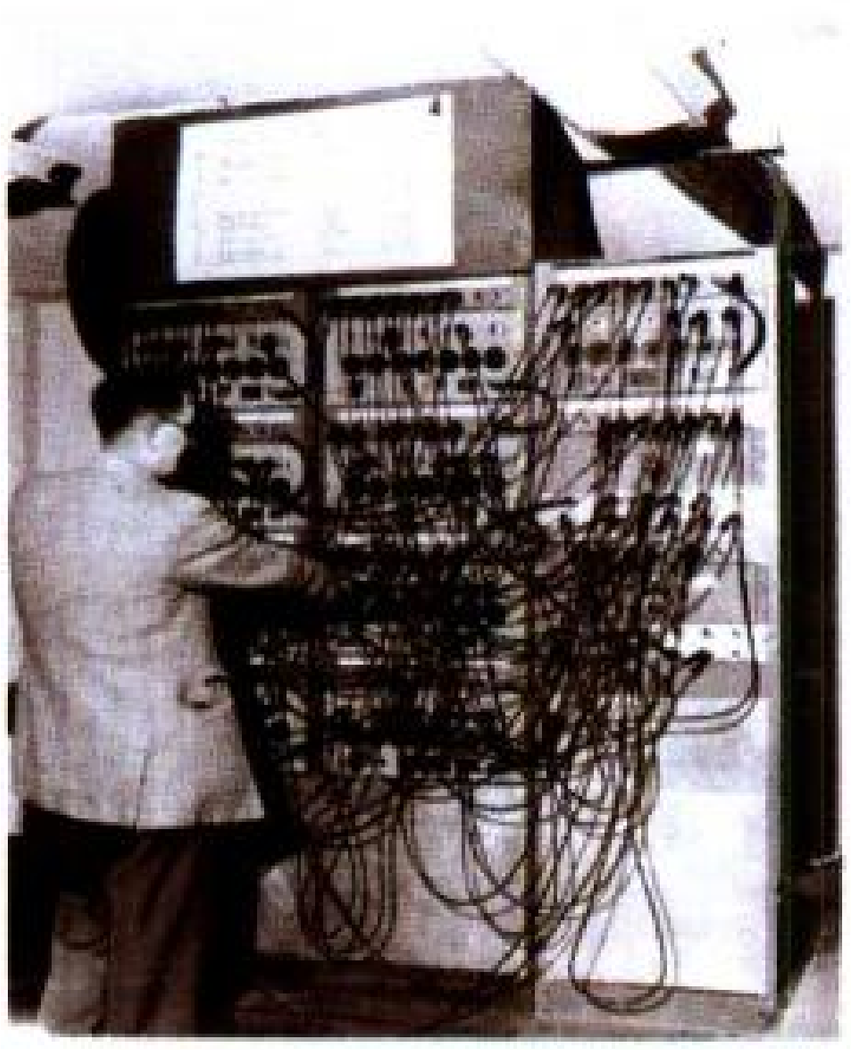






赤道无风带对航海者来说，在赤道热带集中区时的感觉更明显。这令人惊异的影象，似乎是由两个卫星拍摄到的图像所组成的，图中蓝色代表海洋，橘色代表陆地，白色代表云层，这些颜色是后来被工作人员着色上去的。气象卫星长久以来已不再仅仅提供云层覆盖的单调图片。在德国，一个直径15米的卫星天线，固定地朝向Météosat卫星（右页下图），使欧洲宇航局(ESA)的接收站能接收及处理来自太空的情报。这些情报经由达姆施塔特(Darmstadt)控制中心，透过令人惊讶的巨量终端显示器进行校正（右页中图）。上图由左至右，首先是控制卫星的设备，接着三张图是用来验证计算结果及质量的(大气高层处的湿度、由水蒸气分布图或红外线强度图而得到的风的向量图)。



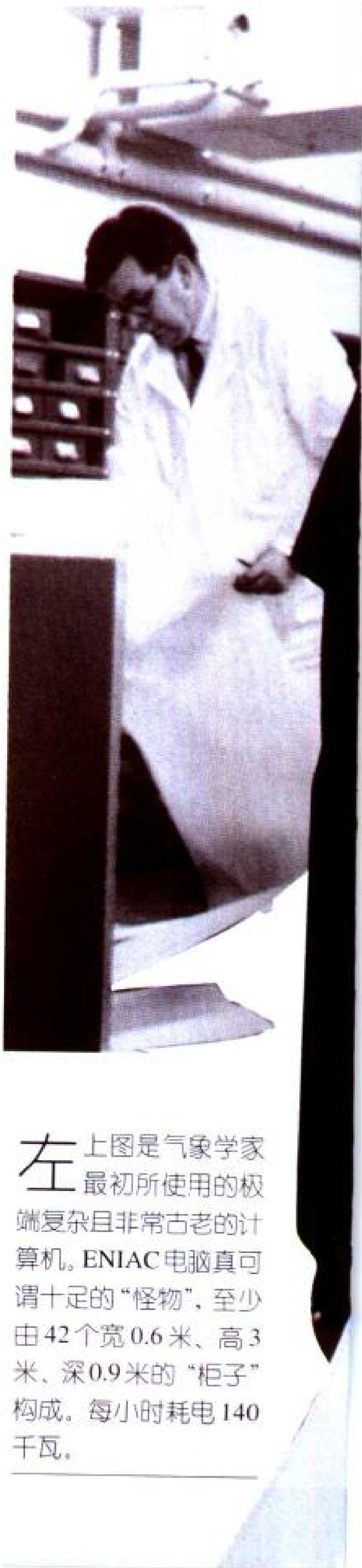
利用当时已有的观测网来进行巨量的计算工作，为的是达到通过数值计算来预报未来天气的目的。然而十分不幸，此项繁重又费时多年的工作，最后却以惨重失败的命运了结。后来，人们究其个中原委，发现理查孙的理论需要极高精密的计算技术，但在那个时代，有些运算技术尚未出现，因此导致运算困难重重。

而理查孙的最大错误，在于他是以6个小时为时间步长来推算天气变化的。如今我们明白，如果想进行成功的天气预报，计算时间步长最多不能超过半小时。

理查孙在1922年发表他的研究报告，理论上，他认为如欲补救推算方法之不足，必须创设一座很大的“工厂”来进行天气预报，动员6.4万名的员工日以继夜不停地进行运算。这可真是一台“人面电脑”!不过，因其追踪纪录令人失望，数值天气预报(prévision numérique)最终还是被放弃了。

## 棘手瓶颈亟待突破：天气预报开始使用电脑

1939年，瑞典气象学家罗斯比(Carl-Gustav Rossby)也埋首于这些天气预报的数学计算方程组中，他经过重复精简步骤，并将方程组图解化，使运算起来更为得心应手，也更适合于数值计算。另一方面，计算机的进步也使某些新的想法变得可行。第二次世界大战末期，人们又再次尝试理查孙伟大



上图是气象学家最初所使用的极端复杂且非常古老的计算机。ENIAC电脑真可谓十足的“怪物”，至少由42个宽0.6米、高3米、深0.9米的“柜子”构成。每小时耗电140千瓦。

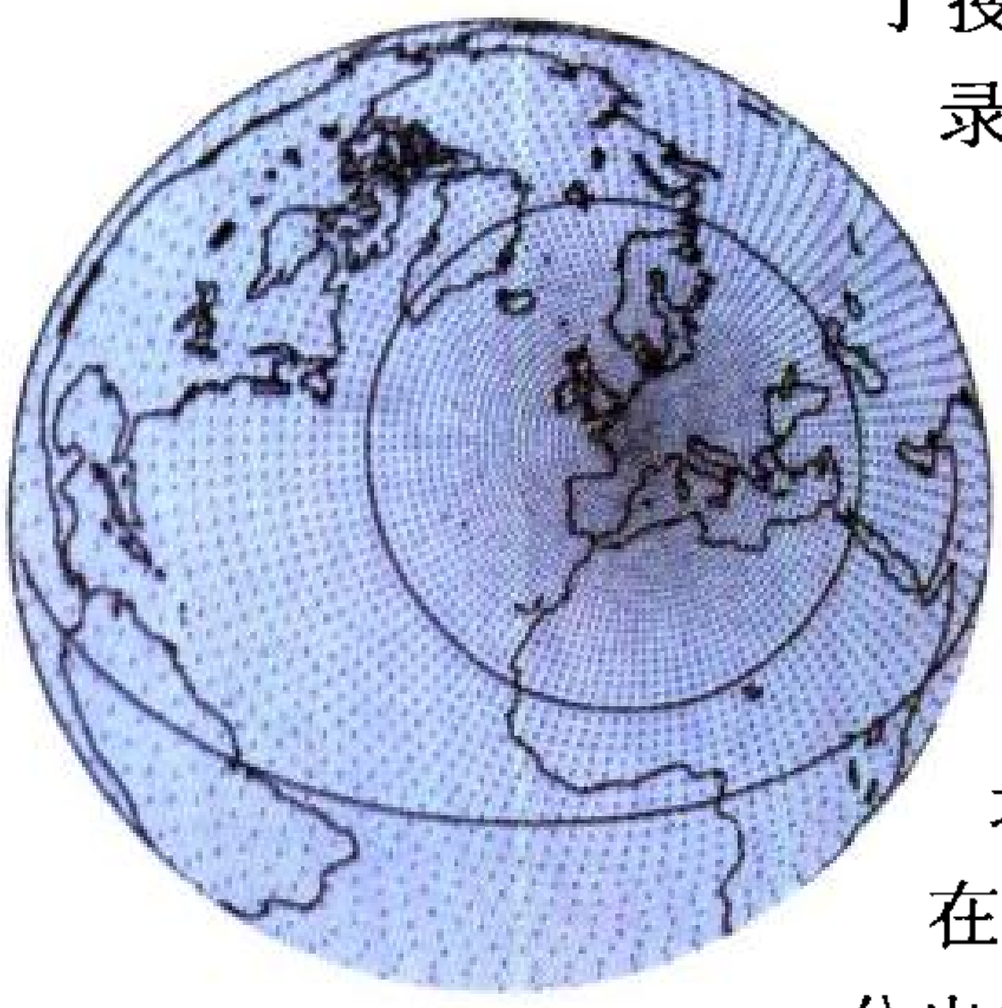
的想法。无疑地，在电脑面对的众多问题中，天气预报是首要的“重要”问题，更被证实是最艰难的问题之一。

1950年，位于美国新泽西州普林斯顿高等研究所(Institute for Advanced Study)的数学家诺伊曼(John von Neumann)，公布他成功地应用数值计算于某些大气科学定律的研究成果，为数值天气预报立下了一个新的里程碑。他利用一部巨大的计算机，该计算机重量超过30吨，且耗电量在150千瓦以上，依体积、复杂性、能源消耗等整体条件而言，它的能力却远不如现在的任何一台

英国布拉克内尔气象中心(Centre météorologique anglais de Bracknell)负责人(如图)解释由彗星电脑(Computer Comet)执行的计算结果。在1960年左右，所有的气象中心都体会到置备强大计算器的重要性。1975年，欧洲18个国家联合其资源，在伦敦的雷丁(Reading)建立了中期预报中心(CEPMMT)。然而，研究者遇到的大难题是电脑科技的神速进步。因为大约需要用五年的时间来装置及测试一个包含30万个方程式的气象模式。但当完成这项艰巨的工作后，研究人员发现所建立的方程式及模式不是需要更新就是已经过时了。在此情况下，是否要叫研究人员不断地重写这些长久以来他们熟知缺点及品质的方程式呢?

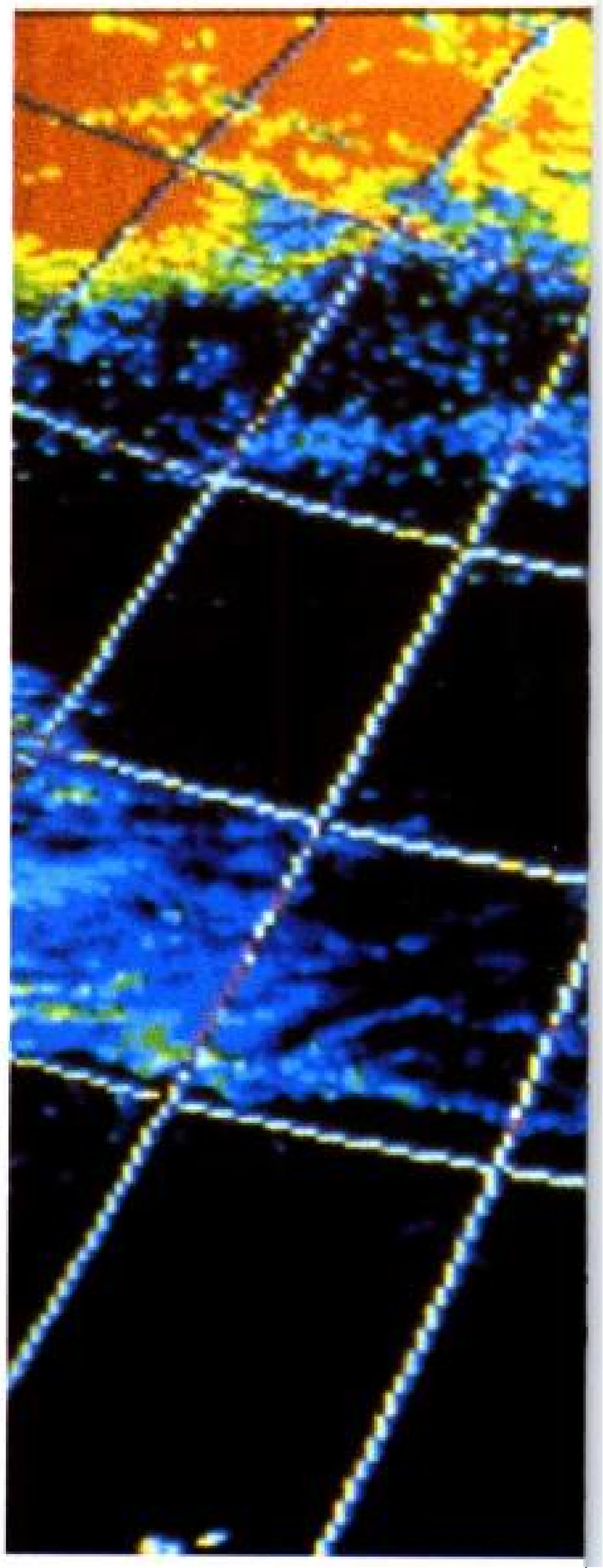
个人电脑。然而诺伊曼最重要的成功之处为：这部“简单却奇妙的机器”的计算结果，相当于运用传统、有名的地面等压线外推法得到的结果。电脑新科技所面对的首一难题，终获迎刃而解。

在1960年代，由于电脑进步迅速，数值天气预报也跟随着信息理论的进步再露出新的曙光。数值预报不仅突飞猛进，同时也发展成全球天气预报的基础。这是当时唯一获得成功的方法，首要任务在于搜集与分析大量的纪录、资料及测量数据。

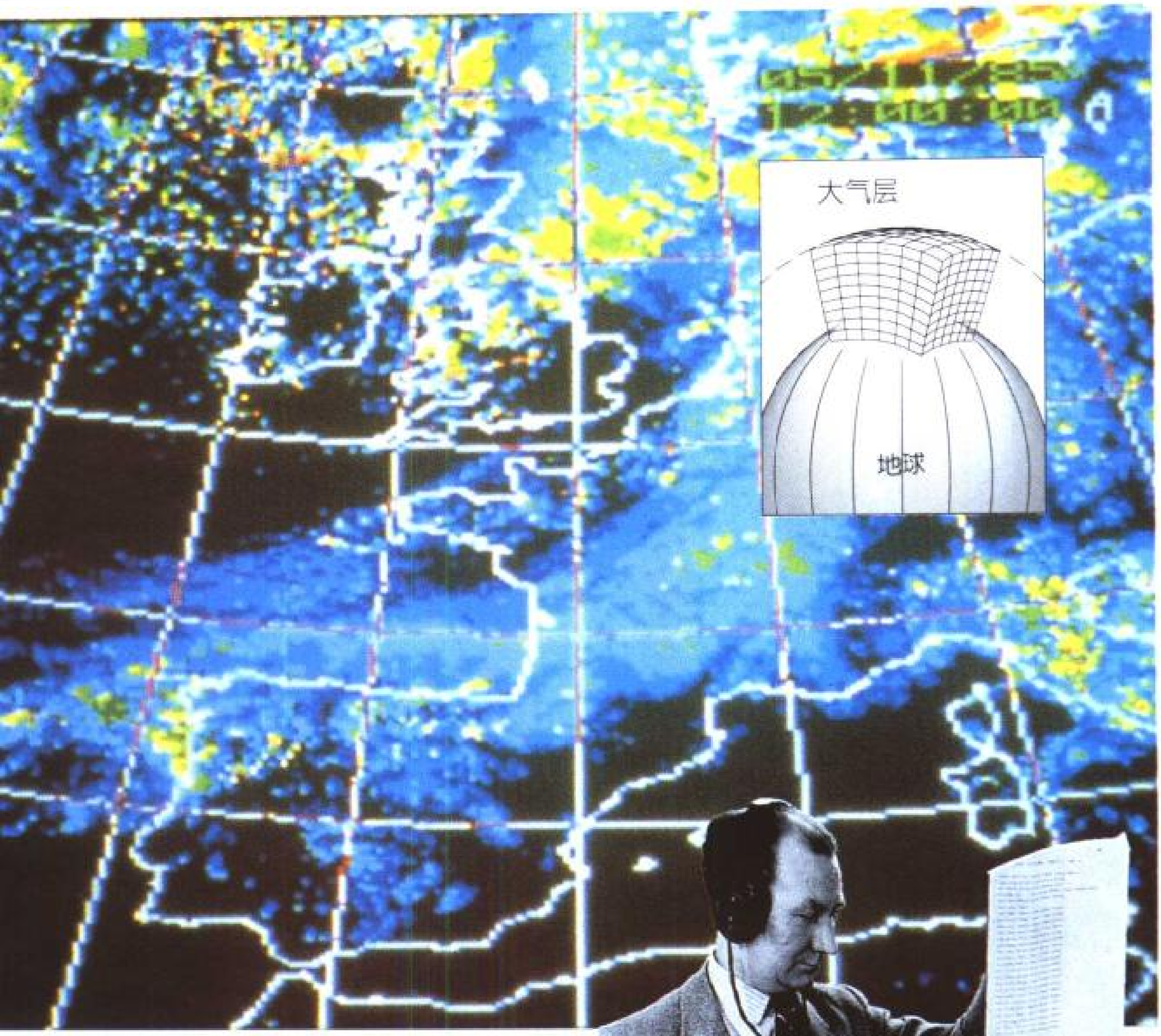


## 被网住的大气

为了找出最合理且有系统的可能计算方法，人们把地球的表面网状化，在网的网眼之间都划分出等距的间隔。为求更精确，我们以好几个重叠的网环绕地球，此项技术相当于将大气“分割”成好多个盒子。当这些三度空间的“盒子”被定位后，电脑运算的首要工作，是取得每个网眼点尽可能接近事实的气象值，从地表至高空的气象网络，从大气风速、压力、温度、湿度，无一不包括在内。这项前期工作非常的精细，对于将来进行数值预报的质量及精确性有绝对的影响。电脑的工作就是执行一系列繁琐复杂的数学运算过程，最后得出一个结果——把天气图形化——以简化的图形来显示在一个特定时间内地球上的天气情况，这项工作必须整合全球的即时气象资料。分割地球

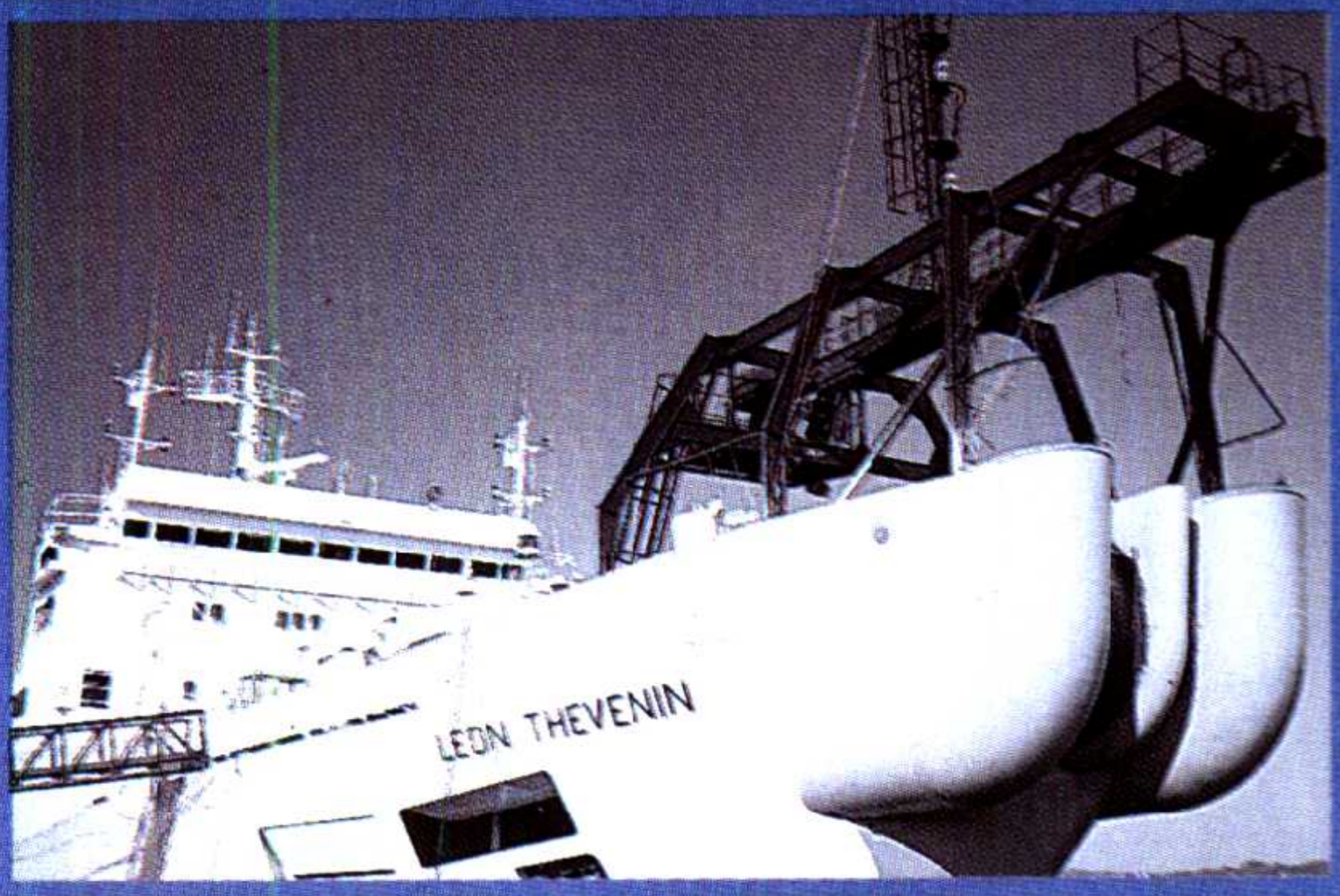


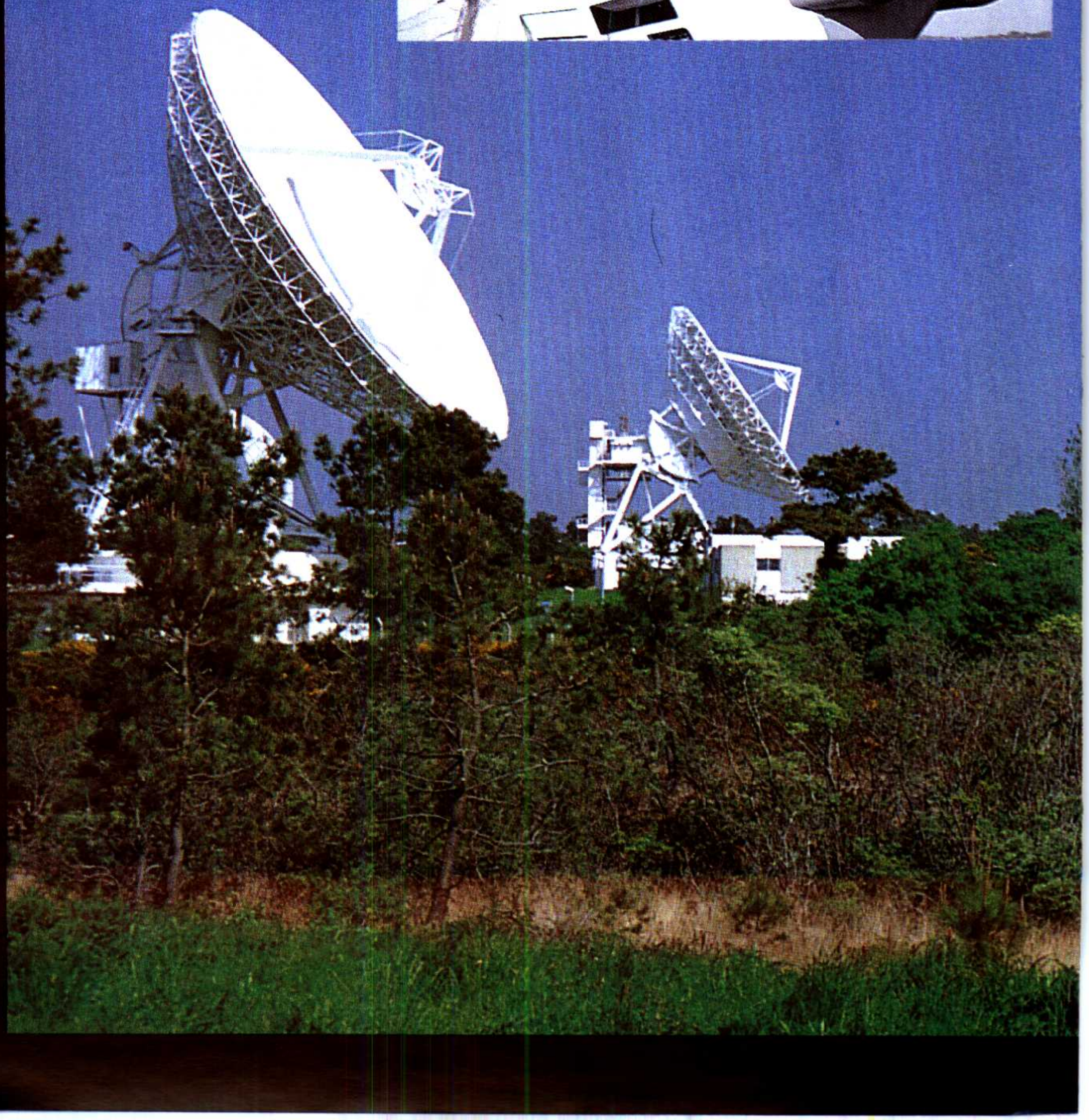
想象大气层被网围住(上图)，或更恰当地说被网在鱼笼内，再以三度空间来分成许多个小方盒。为了要得到更精确的气象现象，我们缩减了网距数值模式的规模。对以法国为中心的阿贝居(Arpège)而言，其网距并非固定的，大部分的网点集中在西欧。

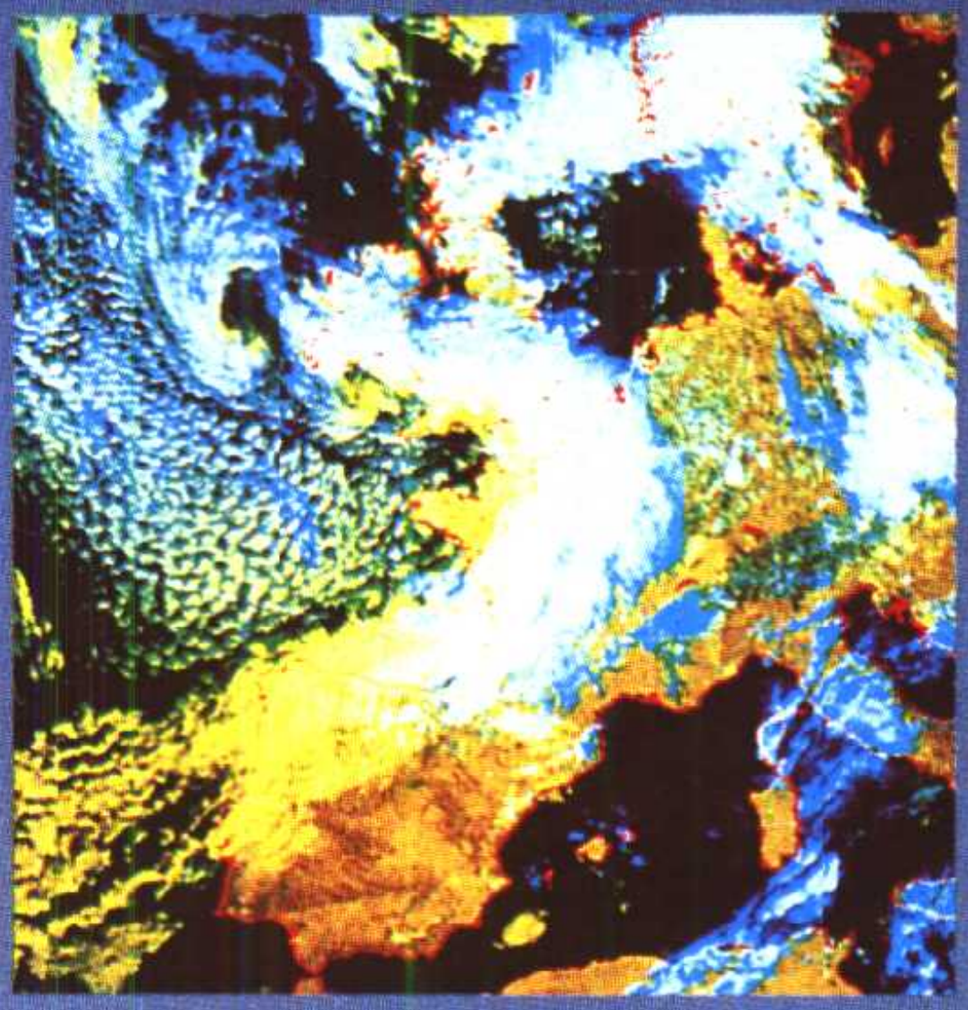



的网眼之间的间距，目前一律设定为99公里，但有时对于某些小区域的气象现象分析而言，这个距离就显得大了些。然而如果我们以整个地球为出发点来考虑，必须在全球遍布如此的网点，那么这个尺寸的间距又似乎不是那么大了。

所有方程式的计算结果都以影象或天气图的形式传布，全球绝大部分的气象中心可立即取得它们。


LEON THEVENIN

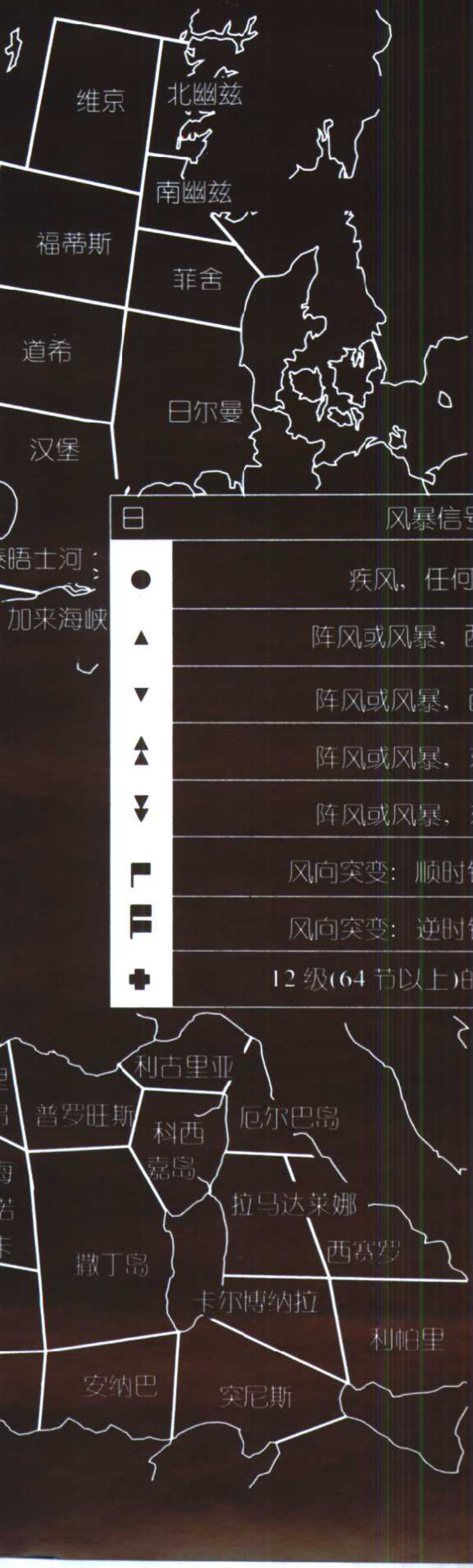




## 先观测、再观测

地球表面71%为大洋所覆盖，形成一个令人奇异的能源库，必须将此纳入数值计算模式，才可能进行准确的天气预报。各国气象局已组成了一支技术舰队来探测海上所发生的一切事情，筛选了5000艘船〔如左图莱昂·塞夫宁号船(Léon-Thévenin)〕走遍各大洋来传递各种观测资料，并将其数码化，这些数码化都是根据世界气象组织(OMM)的定义命名而来。这些资料再由各种漂浮浮标(中图)所提供的信息补全。而漂浮浮标也是经由卫星与各气象中心联系的。卫星本身由于所处位置优越，具有重要地位，而且它也提供了良好的云层影象(右图)，包括探测船很少经过的路线附近的气象资料。最后，所有的气象资料不论来源如何，都被再整编，经由通讯卫星传输给全球。本图系由法国电信局安置在普勒默·博杜(Pleumeur-Bodou)的卫星接收天线。

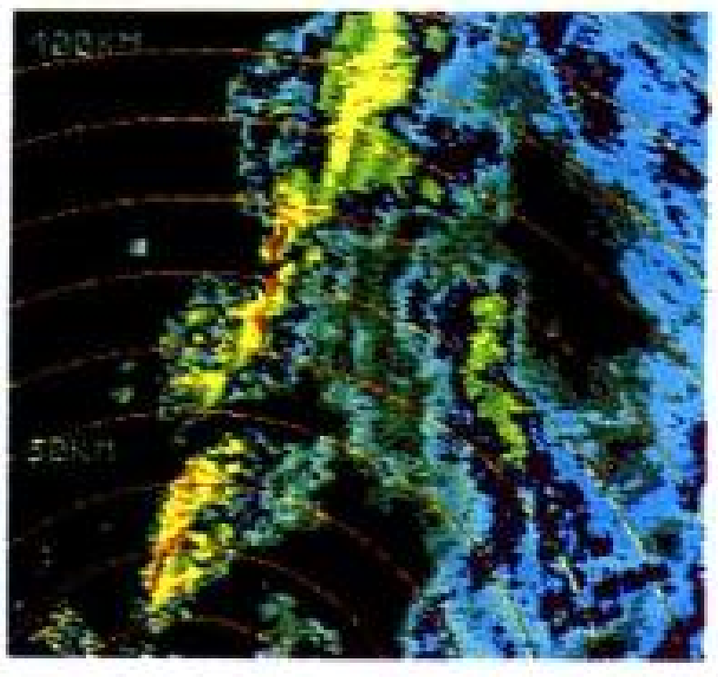
西苏格兰
克罗默蒂
北爱尔兰
弗斯
西爱尔兰
提恩河
爱尔兰海
南爱尔兰
西英吉利
海峡
东英吉
利海峡
梭勒
西布列塔尼
北比斯开湾
菲尼斯特雷角
南比斯开湾
西苏格兰
巴利阿里
群岛
加布拉
阿尔沃兰
帕洛斯
阿尔及尔



| 日 | 风暴信号 | 夜 |
|---|---|---|
| ● | 疾风，任何方向 | ● ● |
| ▲ | 阵风或风暴，西北象限 | ● ● |
| ▼ | 阵风或风暴，西南象限 | ● ● |
| ▲▲ | 阵风或风暴，东北象限 | ● ● |
| ▼▼ | 阵风或风暴，东南象限 | ● ● |
| ▼▲ | 风向突变：顺时针方向风向改变 | |
| ▲▼ | 风向突变：逆时针方向风向改变 | |
| ✚ | 12 级(64 节以上)的飓风，任何风向 | ● ● ● |

## 海上的安全号志

发布海上气象的预测及观测结果，对航海人员有很大的帮助，可以确保其生命财产的安全。因此，将观测到的结果转变成某种信号的步骤极为重要〔左下图为位于拉兹角(Raz)的信号台〕。白天，暴风雨警报以国际通用的信号旗方式挂在信号台上；晚上，信号旗则被标示清晰且严格的信号灯所取代。国际或地方的广播电台〔左上图为孔凯(conquet)广播电台〕定时向外传播气象简报。人们把地中海、北海、爱尔兰海、英吉利海峡及大西洋沿海分割成数个区域，并以水手们熟知的名字命名，以便能精确地定位气象状况。渔船及游艇驾驶者都用心收听，规划最佳航程或者行经水温最适合鱼群聚集的区域。

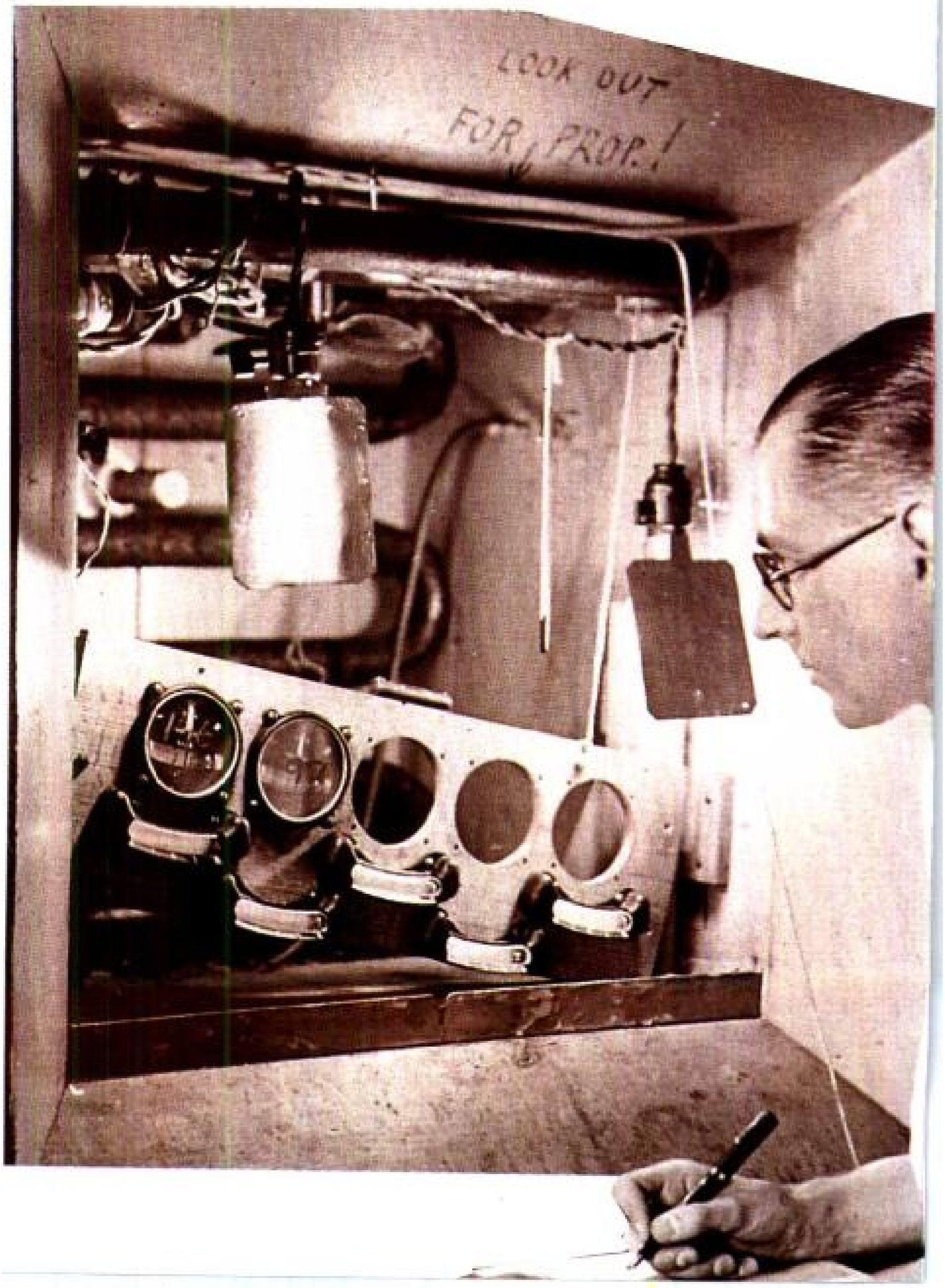


气象雷达的屏幕(左图)能够同时侦测降雨的位置及密度。雨势的大小以不同色带表示：红色代表雨势大，蓝色代表雨势中等……等。气象雷达所及的范围约250公里左右。

一些预报风、预报雨、甚至预报气温等模式的天气图，就是这样产生的。这些影象可以类似低速摄影的方式被“活化”在电脑终端机上，天气预报人员能很快地以此来预估未来天气的趋势。

## 观测是一回事，预报却又是另一回事

对非专业的气象工作人员来说，数值天气预报无疑地给予他们一种优势，一旦熟悉这种先进技术，对使用它的人将有极大帮助。它与所谓的地面等压线外推法最大的不同，在于该方法只能预测地表的气象现象及风速、风向，而数值预报则可以让大气“活生生地”(vivre)显示在观测者眼前，例如低压和反气旋的生成、发展及滞留。气象单位每天都进行如此的气象模拟程序，并预测未来10天内天气可能的发展趋势。




数值预报除提供全球未来可能的天气状况

图之外，同时还提供了其他多样性的信息，适用于许多方面。例如：风向、风速资料对航海者来说不可或缺；而高空的风向与风速资料则对航空意义重大；降雨量多寡的资料，是负责洪水警报的机构必须密切注意的；发电厂依气温变化的评估模式，来调节发电功率大小；而农民则通过预期天气的变化来安排农事及收获期。

下图简直就像卫星云图一般。事实上，它是一个合成的影象，由大气高处观测得到的红外线强度，配合地图转换而来。如果数字模拟是正确的，此张影象便与云带的位移重合在一起。

**如果资料稍有偏差，即使是世上最好的数学家也无法获得成功的答案**

即使目前我们所掌握的气象观察与资料搜集方法已经达到先进的高科技水平，几乎称得上无懈可击，但我们对于天气将如何变化，还不尽全然了解，无法取得百分之百精确的预报结果。除非是特别巧合，观测站恰好位于网点上，否则在推算温度、气压或湿度时，没有一个数学方程式能涵盖距离的变数在内，因此就算取得伦敦或柏林(Berlin)的气压资料，仍无法提供任何有关巴黎的气压情报。

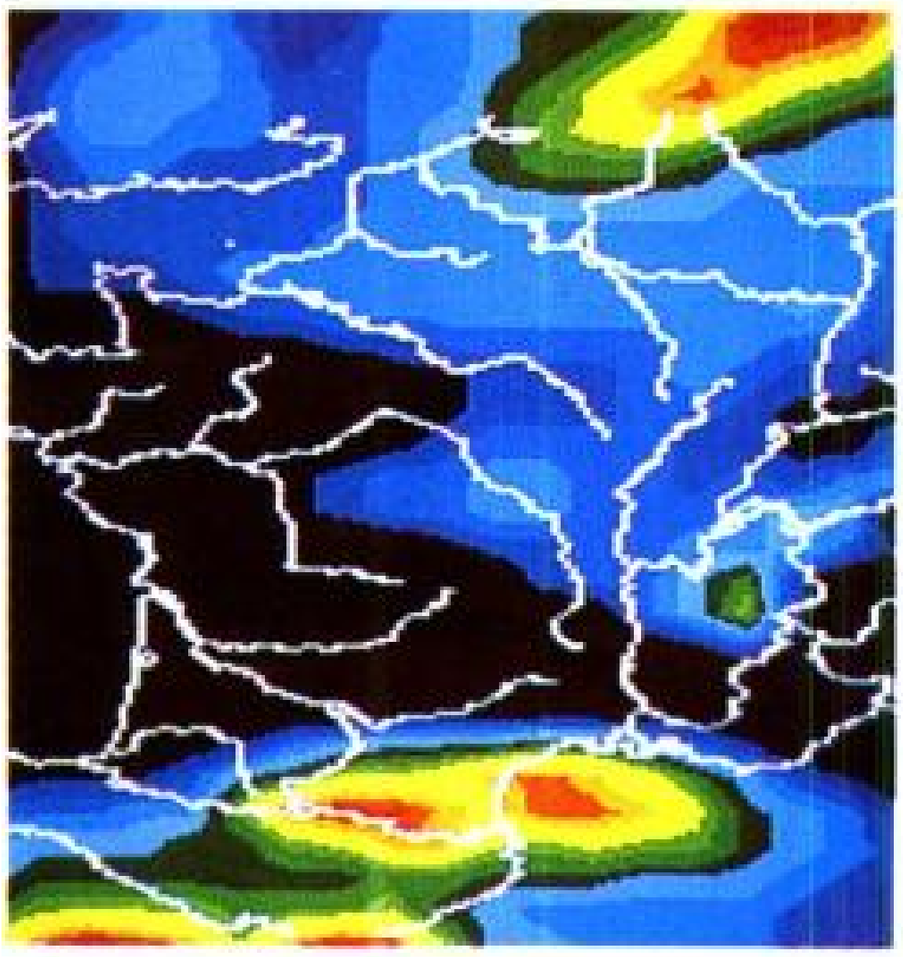
电脑只能依近似法来处理气象资料。它利用网点附近的观察值来归纳出最“像真的”气象值。另外，观察站的分布并不平均，在陆地和北半球很多，而在南半球及大洋上却太少了。

了解大气并不是一件简单的事情。气象学家总是使用最完善的技术进行工作，就像左图，一位技术员正在详细记录自高海拔到卫星及合成影象的温度变异。

由于我们是利用“近似值”来推算天气的可能变化，假设这些数学计算不含任何缺失，也只能提供未来天气状况的粗略概念。这样，我们了解到所得结果与实际的天气状况，会随着时间增加而愈差愈远。以现在使用的方法，一般很难准确地预报6天或7天以上的天气变化。

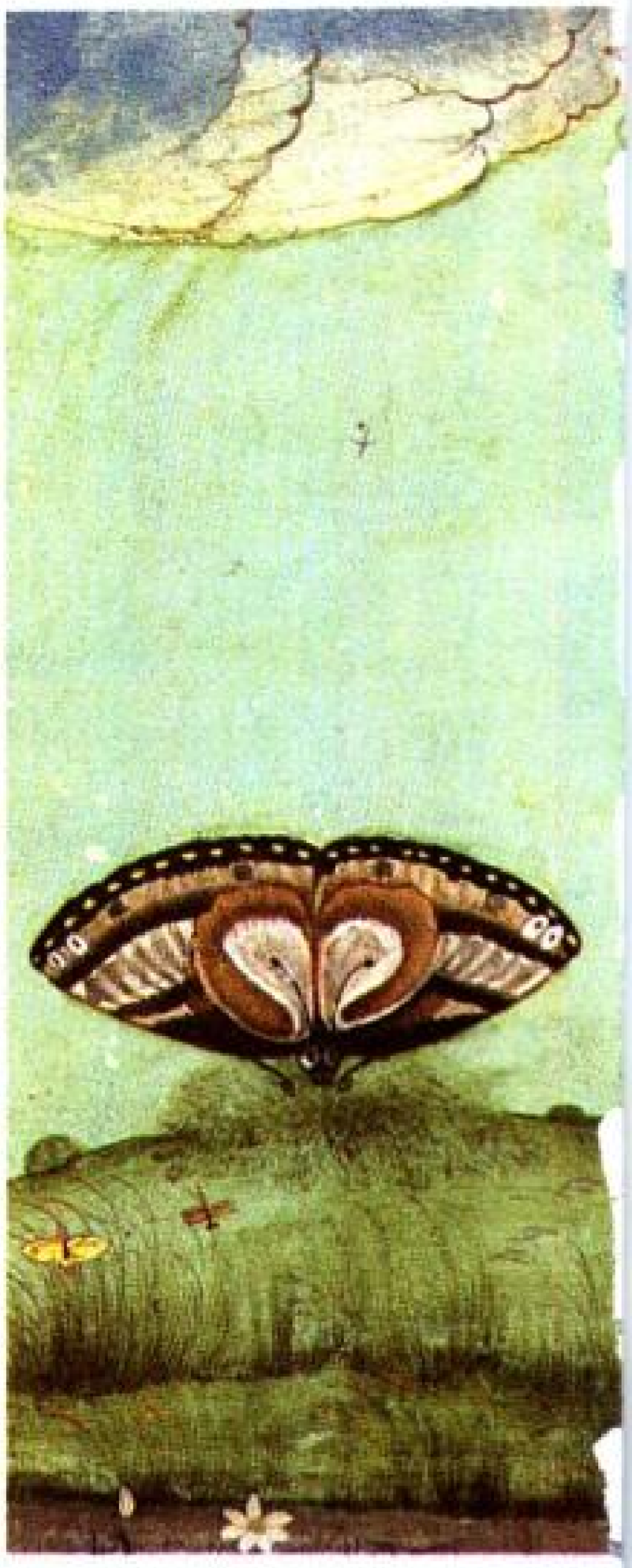
## 大气中仍隐藏着许多悬而未解的秘密

然而，数值预报是“盲目的”(aveugle)且无法解释什么的。原因与结果互相混淆，以致于它无法了解造成地球表面气象现象的原因。天气预报专家就像“有学养的观众”一般，担任着见证的角色。他们注意到低压互相填补或互相抵消，反气旋变强或减弱……只有经验才能估计成功的可能性，或类似可能演变的结果。



二十多年来，计算功率的改进，使预报的技巧获得显著改善。不少气象学家估计，大约每过五年可多预报一天的天气状况。

然而我们监测及考虑的现象愈来愈多，观测的尺度却无法愈来愈小，倘若我们还希望达到更长的天气预报期限，需要借助其他方法及步骤，数值预报似乎已达到最大极限了。因此，有一个围绕此极限的争议现象出现了，即：大气是不是决定者?也就是说，预知数个月后的天气，在未来是否真将变成一件可能的事情?



在不断地计算之后，电脑模式提供了未来几天所有的气象参数。左图表示高海拔的潮湿区，颜色代表湿度。当其达100%(红色)即可确定将出现云，以及推测雨的强度。若再有其他补充资料，便可验证原先的预报是否正确。

## 一只蝴蝶的拍翼

长久以来我们便相信，气象学家在开始进行天气顶报时，如果只发生极微小的误差，实际上对结果差异的影响并不大。然而这个“铁的定律”(quasi-certitude)愈来愈引起争议。1963年，美国麻省理工学院的气象学家洛伦茨(Edward N.Lorenz)提出：大气变化的因子其实与最初状况有很大的关系。他发觉即使是一个小小的操作误差，例如以小数点后三位或小数点后六位来计

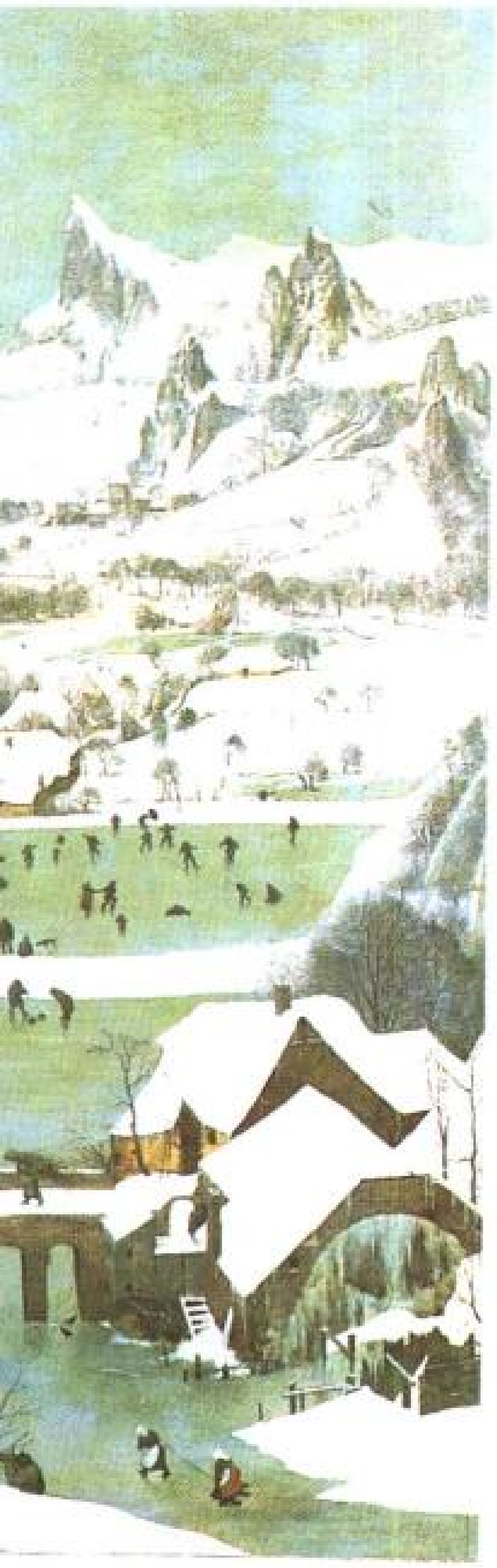
大气的未来演化与香烟的烟同样难以预测：如果计算方程式能够推测出某些最初的旋涡，那么很快地这些旋涡会变得太复杂而难以解析。只要稍微有风，就能使烟有完全不同的形状。至于大气，为了要推测未来的天气变化，在了解最初起始的各种条件之后——这也是最必要的——洛伦茨证明在他的预测范围之外者，结果将是没有规则可循的。他把结论在研讨会中以“巴西(Brésil)的一只蝴蝶扇动翅膀，能在德州(Texas)形成龙卷风吗?”此种醒目的题目发表。

1960年发射第一枚气象卫星泰罗斯号，开启了大气科学的新纪元。气象卫星发回来的卫星云图给天气预报人员莫大的帮助。左图为美国一名技术员正在整理由雨云号卫星传送回来的天气图。卫星的角色从此明显地变得重要了。借着接收到的辐射，它能重组大气的热剖面图。

小冰期发生在15至19世纪间。勃鲁盖尔(Bruegel)所画的图(上图)使人感受到当时气候的恶劣。此种现象重演了好几次。天文学家解释它是由于太阳活动周期的动荡所引起的，每314年一个周期。

算，都会因此导致计算结果出现很大的差异。换句话说，他证明了：即使在大气中加入一个极小的现象，也能够使推算的结果完全地改变。洛伦茨在其一篇论文中强烈地表达了这个想法，论文的题目可解释为："亚马孙河雨林里一只蝴蝶扇动翅膀，很可能在数个月后引起世界另一个角落的暴风雨。"

洛伦茨的突破性研究结论被称为"混沌"理论或"蝴蝶效应"。在洛伦茨的理论支持下，许多气象



学家得出一个结论：以现在所使用的方法，对于两周以上的长期天气预报是不可能准确的。这个不可能性来自于非线性系统的结构，并非是复杂度所造成的。不可预测性是非线性系统的特性，而大部分的数学家、物理学家、气象学家也都认为，此一障碍永远无法被克服。即使是所谓的“决定性模式”，有时也需完整地了解大自然定律，及透彻地掌握起始状况的条件。

## 太阳的情绪

对于阻碍可信赖的长期天气预报的真正因素，或许只能靠时间来证明了，而影响大气的决定性模式，常要花上数十年或数千年，有时甚至数百万年才能掌握。

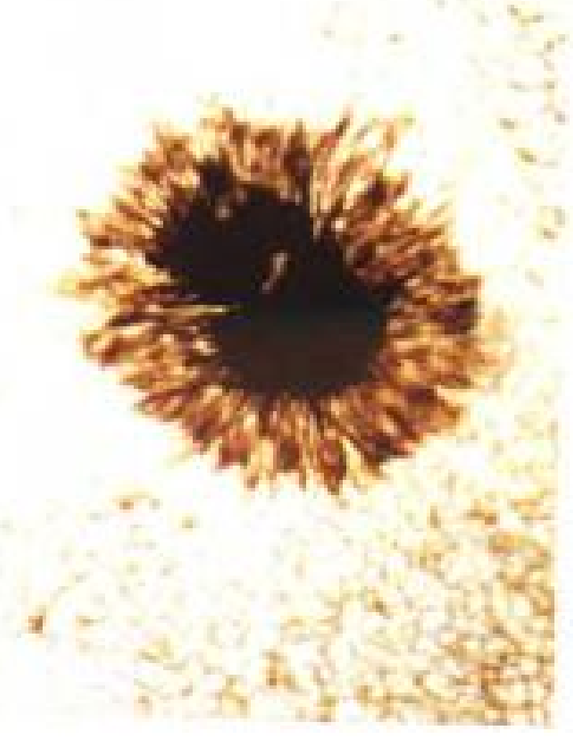
关于影响大气的决定性模式，近年来的观念倾向于：天气预报的最主要困难，在于已经发生的天气因子会对未来的天气造成很大的影响。最明显的例子就是太阳和地球本身对气候的影响，而它们对气候的影响，是以数十年到数百万年的时间尺度进行的。然而，天气预报人员寻求的却是一个“短期”的未来，面对这样的尺度，以及评估长期循环性的气象模式对短时间、最接近的未来架构，气象学家必须整合所得的气象资料和其他的科

人人望远镜问世起，便发现太阳黑子的出现与太阳活动的周期有关。然而它们对气候的影响，一直都没有收集到直接有关连的证据。

“因戈尔施塔特(Ingolstadt)耶稣会的神父施奈德(Schneider)首先注意到太阳黑子。经反复观察后，他跑去告诉了神长。神长回答：‘一定是你的镜片有瑕疵，或是你眼睛有问题，使你错误地认为太阳上有黑点。’”

卡米耶·弗拉马里翁

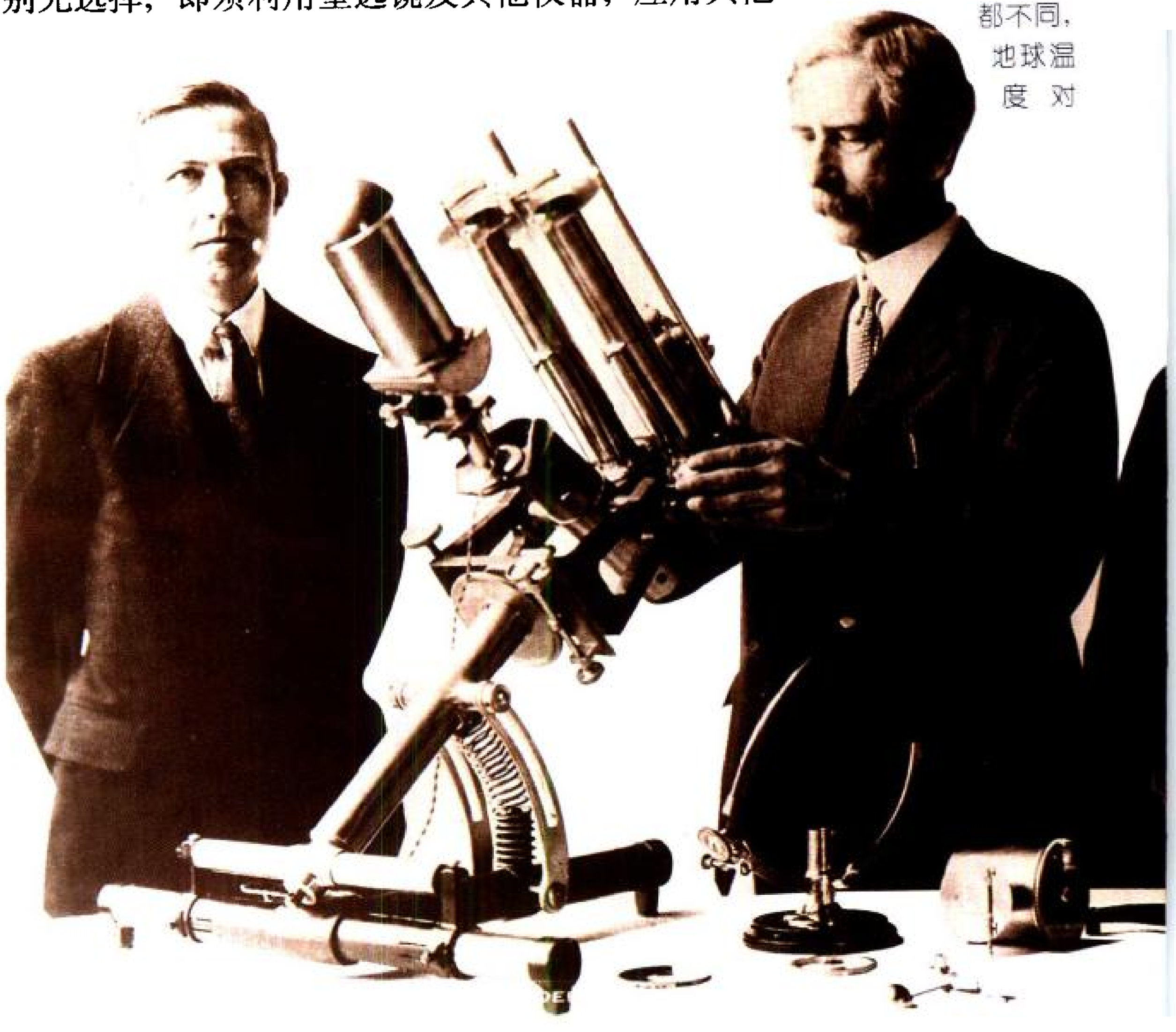
《大众天文学》



学理论，例如，天文学、地理学、火山学、物理学、气候学……等。因天气如此的多变与非线性，计算得到的结果往往是无法理解的乱码，致使气象学家别无选择，即须利用望远镜及其他仪器，应用其他科学原理或法则来了解及预报天气的可能变化。

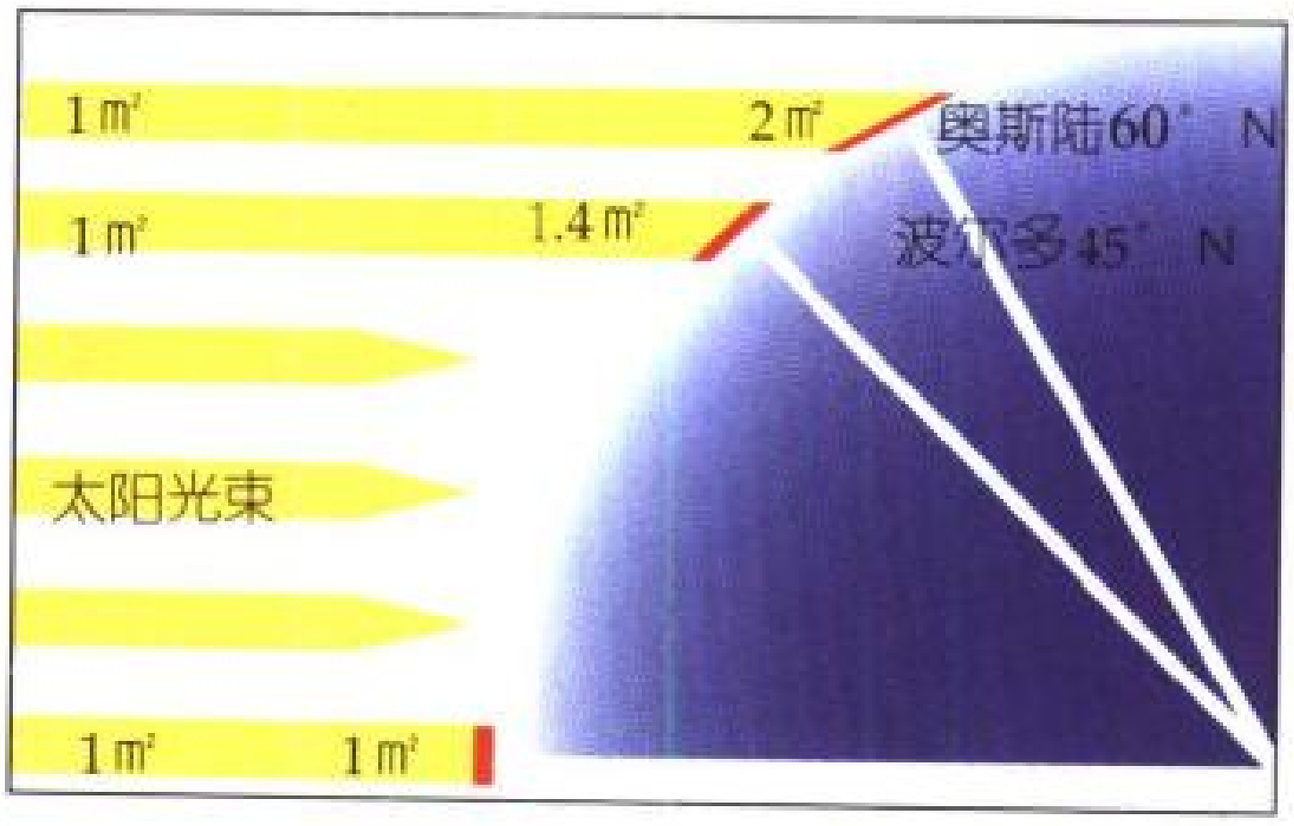
从古代起，东方的天文学家已发现太阳表面有时会有斑点，伽利略在17世纪也有相同的观察结果：斑点或多或少都与太阳的活动有关，其面积约数千平方公里，温度比周围平均低2000℃。它们对太阳光线的影响非常小，只会使太阳光线稍微减弱，

查理·艾博特博士(下图中央)为史密森学会秘书，他在1930年证实，太阳产生的热每天都不同，地球温度对此也有反应。图示的是一台奇异的机器——包含双重银镜的直接日照强度表及高温风速计，直到现在还都被用来测量全球所接收的太阳辐射能。



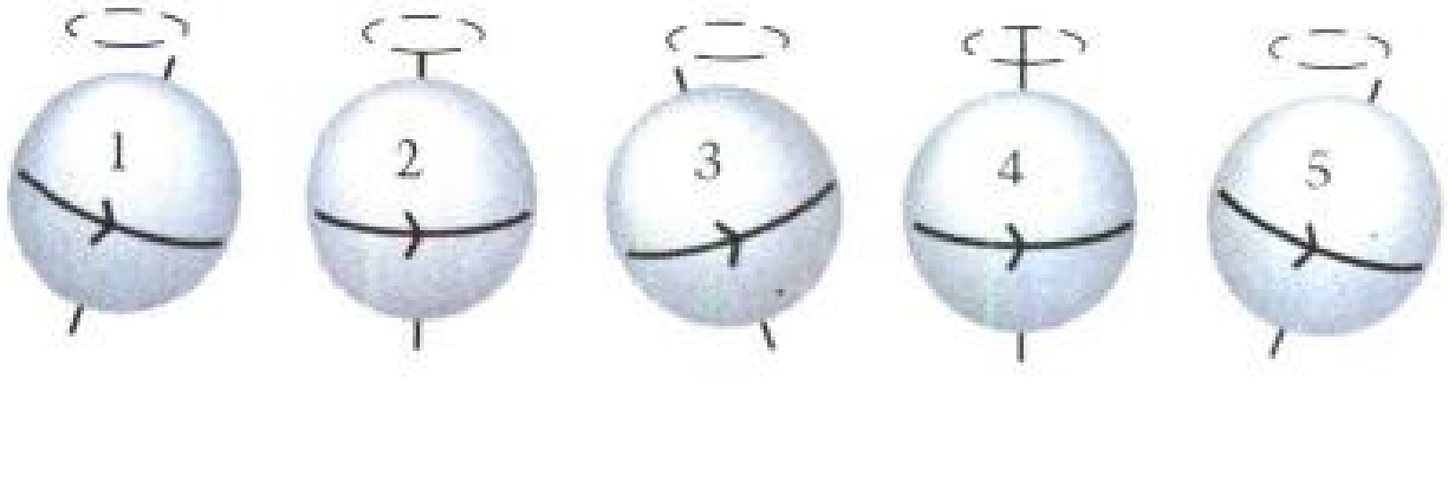
即每平方米约减少一瓦特的强度。19世纪业余天文学家施瓦贝(H.Schwabe)发现，这些斑点约每11年大量地出现一次；但根据气象学档案，并未显示天气变化有11年的周期现象。

天文学家已证实，这样的太阳活动情形并无一定的周期，若硬要说有，约每300年会显示出来，那时太阳的直径约会增加2000公里，自转转速变慢，光度亦降低。此刻地球便接收到较少的能量，而太阳常数(la constante solaire)会减少1%。此种




情形约持续70年。事实上，年复一年，这累积下来的能量缺损，绝不容忽视。

## 不如我们想象的圆




地球在赤道的直径约12750公里，然而两极的距离却只有12710公里，形状有点扁，呈椭球体形

随着观察者所在地的纬度高低，地球表面接收到的太阳辐射均不同，因此形成温度差异。在赤道处，每1平方米所接收的能量相当于位于挪威奥斯陆(Oslo)2平方米所接收的能量(如图中央)。

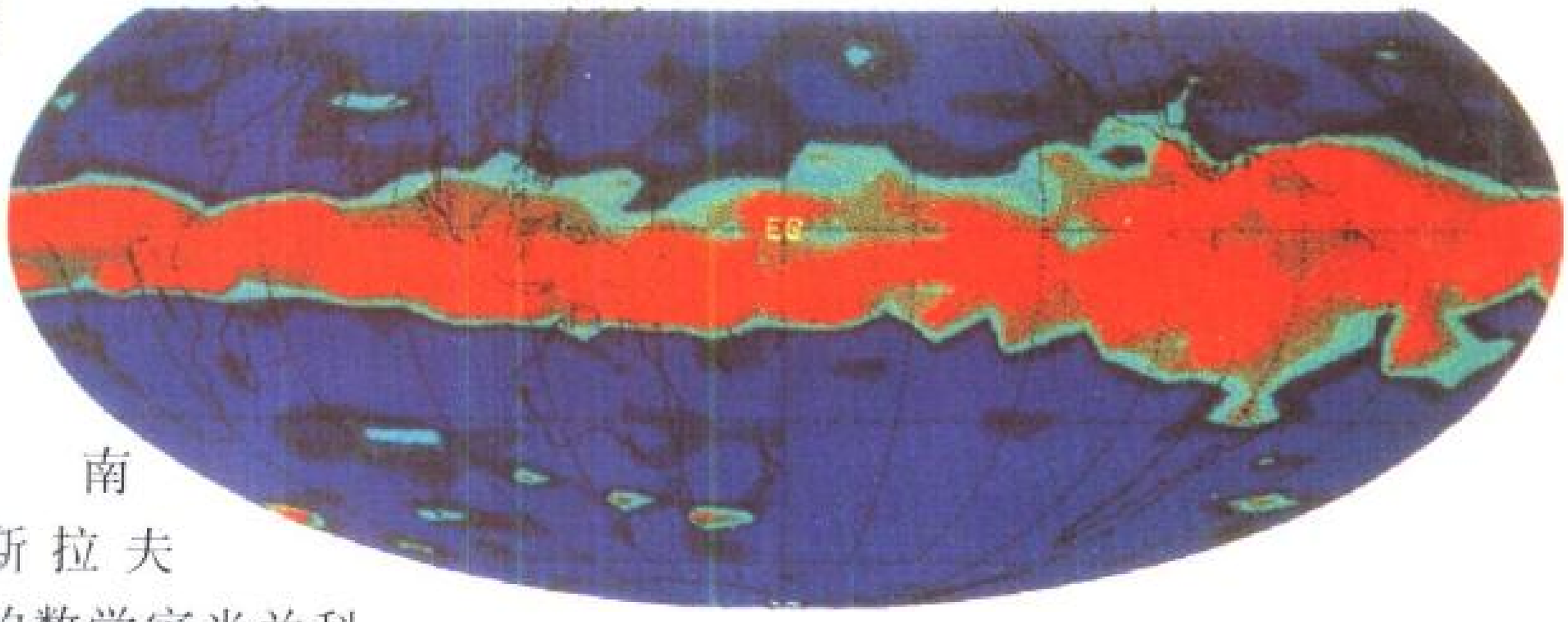
地球以椭圆形轨道绕太阳——我们太阳系的中心——公转一周需一年，而地球与太阳的距离也随着季节而异。事实上，北半球夏季时，地球距太阳最远，然而，1.3万年前此现象却出现在冬季。地轴以每2.6万年一次的周期进行圆锥般的扰动(左下图)。因此，地球接收到的太阳能并非完全不变。无疑地，导致气候的重大变迁可能与冰期有关。

状。这使得太阳及月亮对地球所造成的引力并非那么平均，结果也使地球自转不均衡。其自转方式与陀螺一样，它会震动，且自转轴也会跟着移动。附近其他的星球也会影响地球自转，须经26000年自转轴才会回到相似位置。此一现象称为“岁差”（précession des equinoxes），这使春秋二分点及冬夏二至点的位置并非固定在椭圆轨迹上。同时，在椭圆轨迹上，太阳与地球的距离也随着季节不同而不同。地轴又是倾斜的，这可由季节的不同，而造成各地日照长短不同得到验证。可想而知，这种现象在极地地区更明显。

此外，这极轴的周期运动方式并不会完全一致。此轴与椭圆形的黄道面之间的倾斜度并不是一定的。

由于受附近星球引力的影响，它会有一周期性的变异，每4.1万年它在65至68度之间摆动。不过，地轴的倾斜度是造成各地日照长短不同的最主要原因。

1991年菲律宾的皮纳图博火山爆发，火山灰喷达40公里高的平流层。在此情况下，大量的二氧化硫被带到大气层中。由美国宇航局所拍到的照片(下图)，可以很清楚地看到环绕地球的浓烟。这些浓烟不仅改变了自然状况，也改变了太阳辐射的强度。

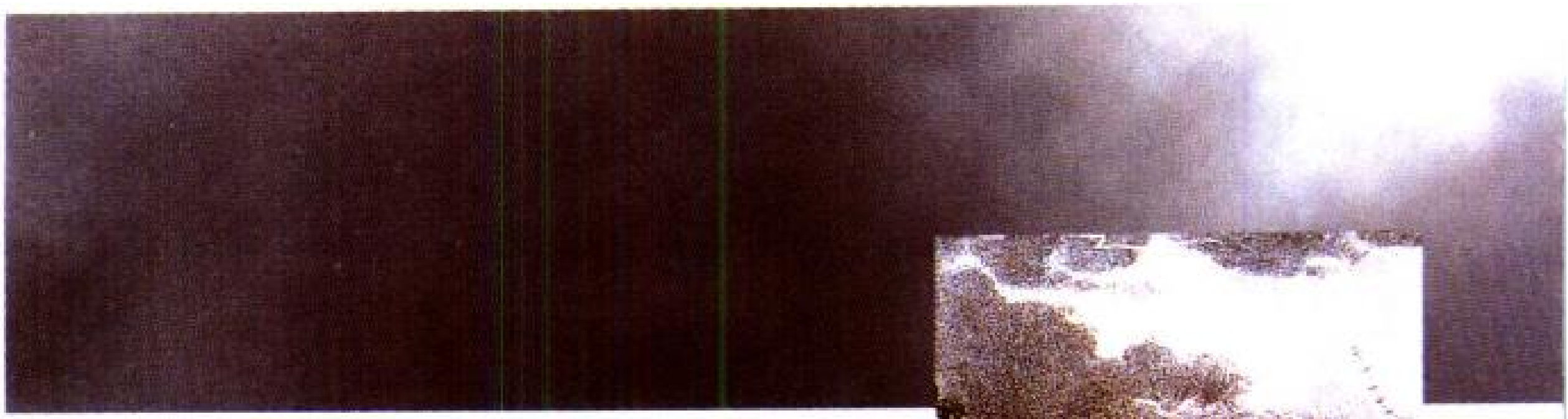


南斯拉夫的数学家米兰科维奇(Milutin Milankovitch)，利用太阳光的斜度来解释地球表面不同地带的年温差变化，由此推演出气候变迁的天文理论。而这个理论多已被证实。

## 地球的暴动

火山(volcan)的爆发威力惊人。印尼1815年在坦博拉(Tambora)及1883年在喀拉喀托(Krakatoa)

1883年发生在印尼的喀拉喀托火山爆发(左图)，将1000万至1亿吨的尘埃带到大气层中。由于大气成分的改变，使得地球持续好几年都处在降温状态，并且出现各种光学现象。



发生严重的火山爆发，几乎地球上任何地方都能感觉到。火山爆发时喷出的岩浆、蒸气、火山灰或岩石，可高达2万米。它会喷出1000万至1亿吨的灰尘，形成遮蔽阳光的帷幕，对天气造成影响。据估计，1815年印尼坦博拉火山爆发，使地表气温降低了0.5℃。翌年，地球上某些地区变得多云、多雨而且凉爽，形成无夏的一年。1991年6月菲律宾的皮纳图博(Pinatubo)火山爆发，使离地表1.6万多米高的平流层形成广大的灰尘云，造成一条明显的尘带环绕地球，并干扰人造卫星观测地球的工作，令其摄得的影象变得难以判读。

值得注意的是，火山爆发产生的扰乱现象(光或气温)并不会持续太久。换句话说，经过火山爆发的

富兰克林发明的避雷针，是人类对抗天气少数有效的成功例子之一。

灾难后，气候在气温恢复平衡状态之前会暂时变冷两三年。这种现象虽不太严重，但火山爆发证明了地球气候“反应”既非不太敏感，亦非一成不变，而是或多或少地被一些无法控制的自然现象所干扰。

## 人造云，抗结冰

自始至终，我们的祖先一直希望天空变化能如他们所愿。即使是科学时代来临，也未改变这种期望。

彻底了解某些大气现象，能帮助我们模拟自然界在某些特殊状况下的反应。因此，人们就可利用很多方法(燃烧器或放野火)来加热大气层低层的空气，以达到造云的目的。然而，这种人造雨的实验并非十分成功。而当发现某些冷云完全由过冷水滴组成，但并无足

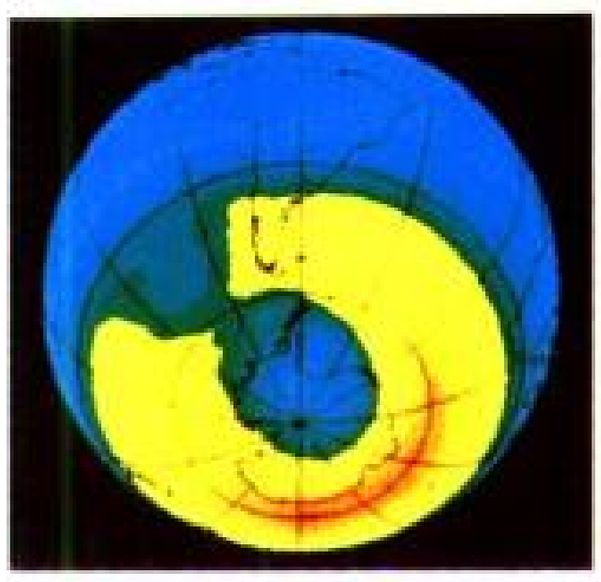
1960年左右在兰尼蒙桑(Lannemezan)平原所做的以地面燃烧方法来造云的实验(本页上、下图)，证明气象实验室卫星(Météotron)的探测应用在云形成的理论上是很正确的。同时它也提示，在制造大量积云所需的能量上，我们是无能为力的。

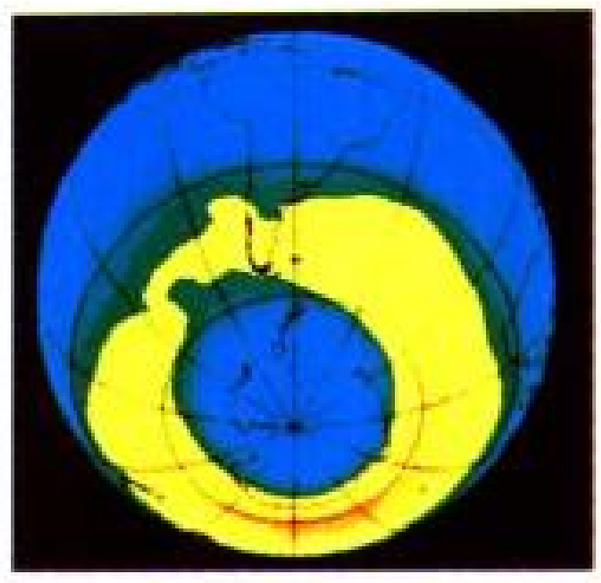
防雹措施包括用高射炮、火箭或土炮等向积雨云的中部和下部大量集中轰击，以破坏其发展(右下图)。意大利的葡萄种植者使用火箭进行对抗雹的战争(122～123页图)，他们的奋斗成功地消除了积雨云。

够的冰晶来促成降雨，此时科学家加入促成冰晶的物质或是冰晶的类似物，结果令人兴奋：终逢甘霖。

一些影响气象状况的意图，多少都能奏效；但利用了各种方法来抗结冰，结果都不是十分有效。下述方法可降低冷害程度：避免在低洼地种植作物；将作物包起来减少热量的散失；制造人造雾；烧石油或其他易燃品来加热空气；搅动空气……点子很多，有些却不易实行。多年来，只有富兰克林发明的避雷针(paratonnerre)真正获得成功。

臭氧层以阻隔紫外线著称，是我们生存不可或缺的。它分散在大气中，可达相当高的高度。在正常的气压下，其厚约3毫米。然而极地的臭氧浓度似乎一年比一年稀薄。

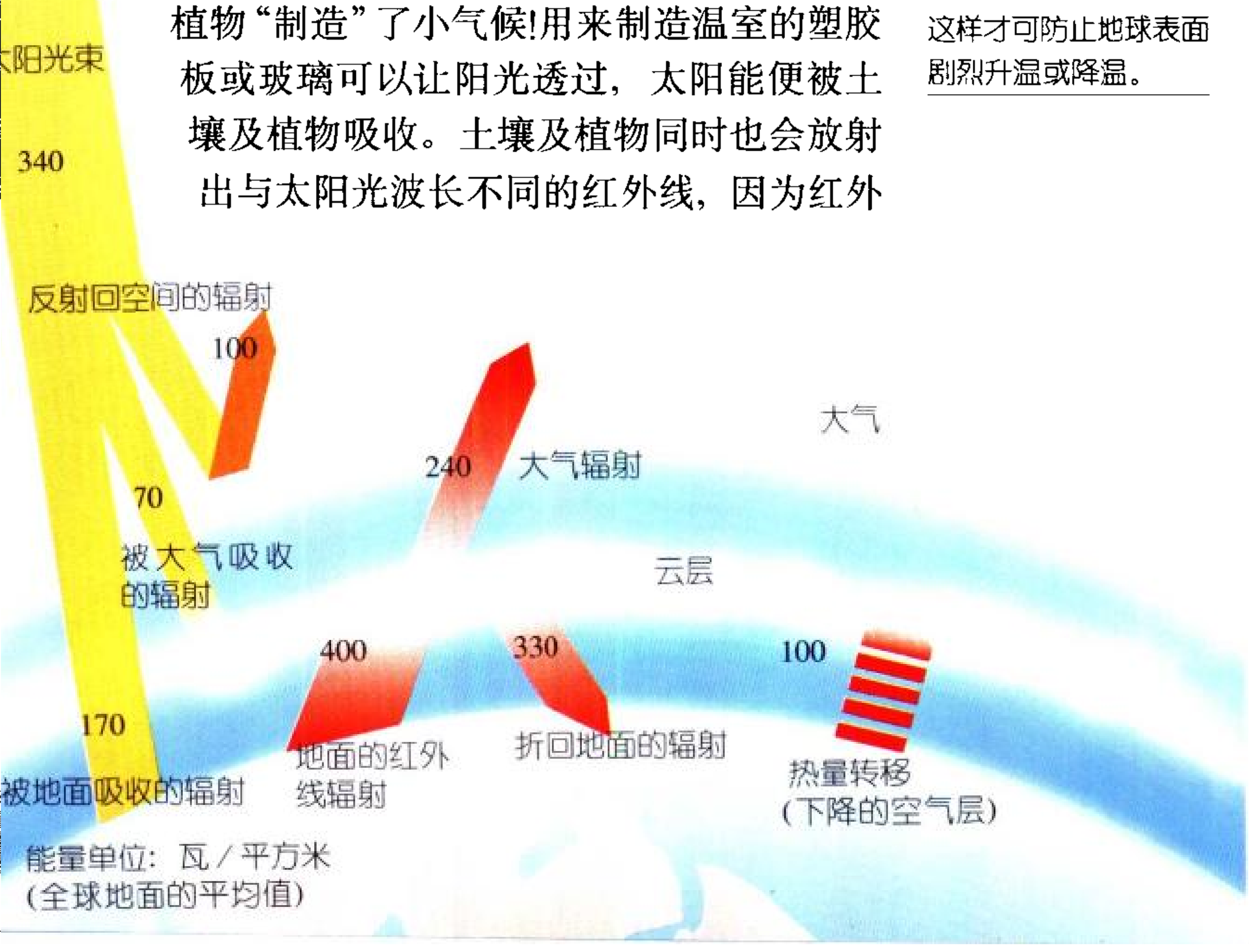




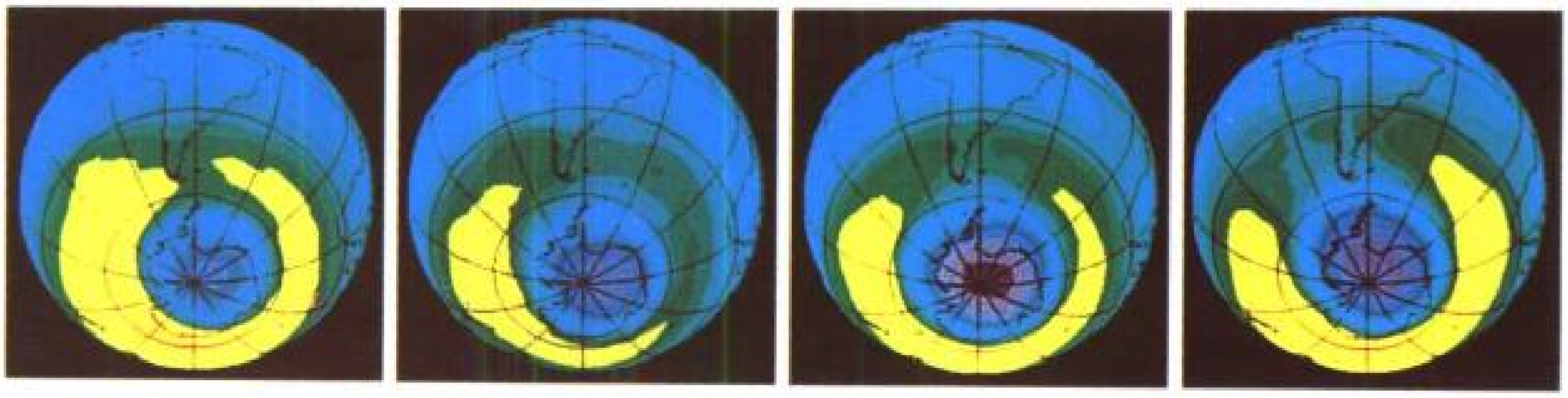
## 温室效应

很久很久以前，园艺师为了加速植物的发育，就将植物置于温室(serre)中。他们替植物“制造”了小气候!用来制造温室的塑胶板或玻璃可以让阳光透过，太阳能便被土壤及植物吸收。土壤及植物同时也会放射出与太阳光波长不同的红外线，因为红外

地球被大气层环绕开始，温室效应便已存在了，在适当的程度上它必须存在，这样才可防止地球表面剧烈升温或降温。



线无法穿透塑胶板或玻璃，热量无处可走，就被“困”在温室内，使温室内的温度高于温室外。而温度较高、湿度较大的气候，比较适合植物的生长及发育。事实上，所有的物体都会“放射”热辐射，即一种叫红外线的光，其强度与放射体的温度有关。此种关系若反过来讲便更明白：借助测量辐射的强度，可以得知物体的温度。

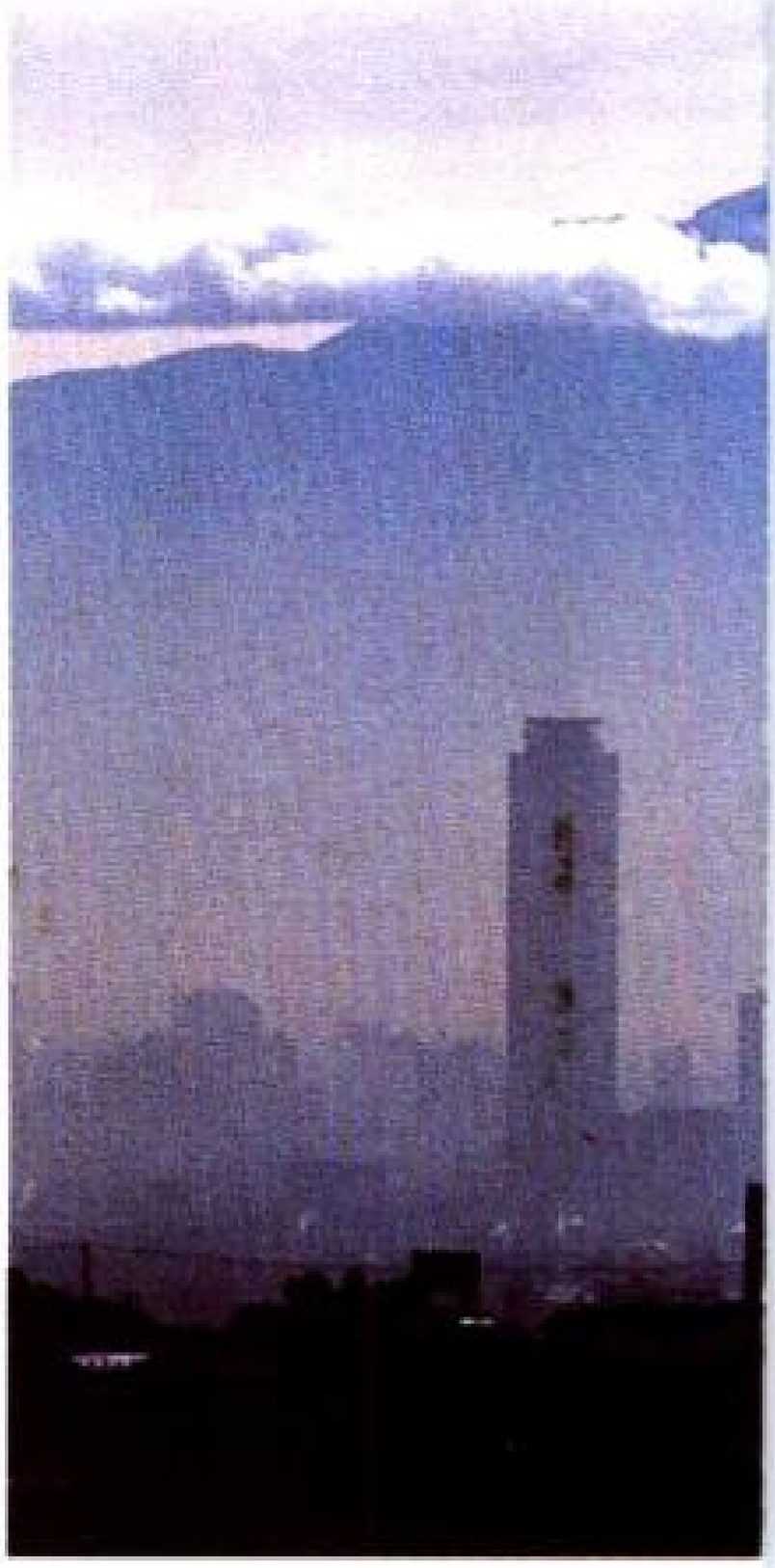


美国人造卫星于1979、1981、1983、1985、1987、1989年10月所拍得的影象，显示了南极上空臭氧层空洞的变化情形(以紫色标示)。每年在9月及10月时臭氧层被破坏的速度最快，显示出其季节性特征，而在其他月份则臭氧层渐渐恢复。但令人担忧的是，每一年在同一时间出现的空洞范围，一年比一年更大。

## 我们的大气——我们的盾牌

在太阳、地球和大气间，形成一个类似园艺师的温室。阳光毫无困难地穿透大气层，一部分的太阳能被地面吸收。同时地面亦会借助放射红外线的

园艺师们利用温室，设置了类似于大气温室效应的种种机制。塑胶片或玻璃扮演着相当于大气层的功能。



方式来散失能量，根据人造卫星探测，强度约是每平方米240瓦特。如这能量无限制地散失，地球表面温度将会低于−18℃。但是，极其幸运地，这能量的90%被大气层内的云、水蒸气、二氧化碳所吸收。

这就是温室效应所扮演的角色，使地球的气候温和，全球的平均气温约在15℃左右。显然，如果地球无法散失一部分所获得的能量，地球的气温在短时间内就会上升至一个令人无法忍受的高度。所以，金星表面的大气层百分之百由二氧化碳组成，表面温度也就维持在450℃左右的高温，生物根本无法生存!

我们能在地球上生存，要归功于“有限度”的温室效应。然而，这种平衡要借助大气中“适量”的二氧化碳来调节；如果不幸地，二氧化碳的浓度变得太高，便会形成太强烈的温室效应，酿成很大的损失，很可能造成所有生物灭亡和世界末日的来临。

1965年在德国鲁尔区(Ruhr)设立的研究中心(上左图)是专门研究烟雾(smog)的先驱机构。从此引起人们对污染问题的重视、注意对大城市的空气质量加以监控。英国的烟雾加上不良的气候，在1952年使得伦敦(上中图)大约有4000人死亡。从此，伦敦便致力改善空气质量，禁止使用燃煤的暖气设备。

墨西哥(上图)由于地处高海拔及人口高速增长，使它成为世界上污染最严重的城市之一。

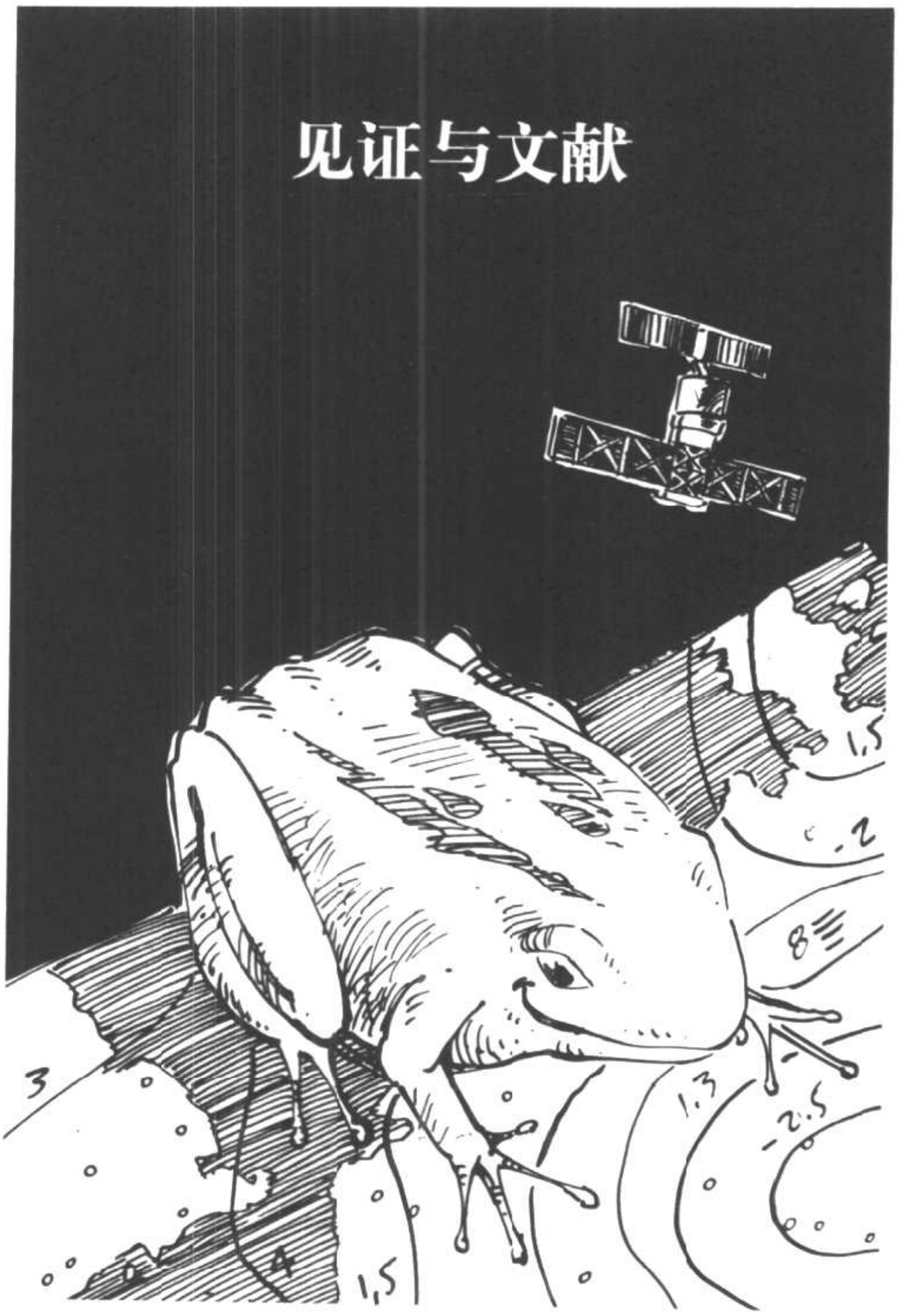
标示在喷雾罐上的图案(下图)，呼吁大家一起重视并保护我们的臭氧层。

## 历史上人类首次明显地改变全球的气候

工厂、家庭炉灶、汽车，再加上滥伐森林，每年制造大约200亿吨的二氧化碳及其他气体，如氮的氧化物、甲烷、臭氧等。世界气象组织专家说，这些气体对气候的影响，与二氧化碳同样严重。一旦在大气中持续累积，将改变太阳光，并影响地球气候。

据最近数十年来的纪录，若这种现象持续下去，二氧化碳等气体的浓度在2050年时会加倍。美、英及法国的电脑模拟均指出此一趋势，其后果是可能导致全球平均气温上升 1.5℃至 4.5℃。当然，此种估计并非十分精确，气温上升的程度会随“气候程式”不同而异。但假使地球温度真的升高，后果实难预测、衡量，对此我们绝不可掉以轻心。

# 见证与文献



# 古希腊的气象学

公元前6世纪，
泰勒斯 (Thalès de Milet)说，
月亮是由太阳照亮的。
一世纪后，爱奥尼亚的哲学家
阿那克西曼德(Anaximandre)
把风定义成“空气流动”，
也臆测雷是云互相摩擦产生的。
希腊哲学家阿那克西哥拉
(Anaxagore)并推断
闪电是由一部分的天空
掉下来的……有些时候，
喜欢幻想的人认为，古代的
气象学是从神话衍生而来的。

历史学家希罗多德 (Hérodote)让希腊人认识气候的种类、神秘尼罗河的泛滥及黑海北方的中亚大草原的酷寒。医生希波克拉底(Hippocrate,《空气、水、土地及风》的作者)，提倡研究大气及其变化，他认为这些对人的健康有相当大的影响。人们声称风神(Empedocle)利用驴皮做屏障，在两座山之间的通道设下陷阱，成功地保护意大利阿格里琴托(Agrigente)的居民免受地中海季风的吹袭，及抵御严重疾病……同时，德谟克利特(Démocrite)将原子理论应用在大气变动上，来解释暴风的移动。

直至希腊时代，才以科学方法

建立气象学。而

气象对于讽喻诗来说，

是个重要的主题，曾引起许多喜剧诗人的灵感。

**阿里斯托芬(Aristophane)：宙斯(Zeus)及云神们(Les Nuées)**

阿里斯托芬的喜剧创造了一个叫苏格拉底(Socrate)的好奇人物。此人与历史上的苏格拉底并无联系；剧中的苏格拉底是位精通气象推考的辩论家，喜欢云神，否定天神殿内的诸神。这种气象学既可笑(从其言行)又危险(宗教及道德观)。

斯塔扎克(Jean-François Staszak)

摘自《当希腊人嘲讽气象学家》

《气象学刊》第七期

1994年9月

**苏格拉底**：来吧，如此被敬拜的云神们，向你们介绍这个人，也许你们坐在被雪覆盖的奥林匹斯山顶峰，也许在海洋公园你们的父亲为了仙女而给你们一个唱诗班，也许你们自尼罗河口舀取河水到金水壶中，也或许你们居住在Meotis湖或者Mimas的雪岩上。(v.269～273)

**云神(对苏格拉底)**：嗨，最饶舌的权威人士，告诉我们你所想表达的吧！因为除你之外，我们是不会听从现今其他出类拔萃的辩论家的。(v.358～260)

**苏格拉底**：什么宙斯，你说什么？宙斯根本不存在。

**斯特列披希阿德(Strepsiade)**：

什么?那么是谁下令下雨的呢?请先解释给我听。

**苏格拉底(指着云)**：无疑地是它们；此外我还要给你们看一些明确的证明。看吧!你曾看过宙斯无云尚可造雨，它能使晴朗没有云的天空下雨吗?(v.375 ~ 377)

阿里斯托芬
《云神》

**柏拉图(Platon)：我不了解的主题**

尽管柏拉图对流星不感兴趣，却热衷于气象学及气象学家。有时候他攻击，有时候他又替那些被忌妒者或无知者攻击的气象学家辩护(他似乎替苏格拉底抗议阿里斯托芬)。这两种情况似乎同样地相容，它们并存在柏拉图学派的对话中。

亚里士多德，16世纪时的版画。

因此，我们必须要宣读一项控诉："苏格拉底是有罪的，因他漫不经心地探察存在于地表及天空上所有的事，把最弱的原因说成最重要的原因，而且教导给其门徒。"这就是控诉的大纲。事实上，这也是你们在阿里斯托芬剧中所看到的：你们看到苏格拉底在舞台上来回踱步，一边说他升到天空，又说着一些听不懂的无聊话!并非我如此说，是有意诽谤此科学并假设有某位具这方面专长的学者：我很遗憾曼列图斯(Mélètos) 这样地抱怨我!雅典人，我对科学、气象学这些事情完全外行，而且这在你们当中大部分都是个人见证，我希望你们彼此教导，并宣告你们之间有谁曾经听过我谈论这些事情。然而这些人在你们当中为数不少!因此谈论吧，在你们之间互相谈论吧!在你们之间，或多或少有人未曾听过，你们就谈论这些问题吧!如此将使你们更了解关于我的一切都是一致的。

柏拉图
《苏格拉底的辩护》
19b-d

**亚里士多德及其《气象学》终于出现了!**

亚里士多德继续四大元素(空气、土

泰勒斯，17世纪的版画。

地、水及火)的理论，同时他又是柏拉图的门徒，他也非常喜爱米利都(Milet)学派的“物质及原子理论”，亚里士多德于334年左右写了一本气象方面的书：《气象学》。

我们现在来谈土地，从它所在的位置而言它是第二的，但是对地球而言，它却是第一的。这就是水、空气及在其上层伴随水与空气产生的某些现象与共有的场所等。务必找出所有现象的原则及原因。

第一个原则就像动力及主宰，即太阳所运行的圆圈，这个圆圈会分离或聚集。万物的生成及毁灭都与它有关。地球是不动的，围绕它的液体被太阳光以及其他来自上方的热所蒸发，并且带往高处。当使它上升的热不够时，便有两种可能，不是往上升至更高层而散发掉，即是被带到地球上方而消失，由于热消失了及重新冷却，将蒸气变成水(这水以前是空气)；再形成的水于是被带往地球。

水蒸气是水的蒸发，变成水的空气所蒸散出来的是云。雾则是云变成水所剩下来的东西；这就是当有雾时，通常会是好天气而不下雨的原因；因为雾就像未成形的云一般。这些现象模仿太阳的圆圈；因为在太阳随着其斜行的循环及变动的同时，这个模仿的圆圈也同时往上往下地循环着：就像一个完全由水及空气所组成的河流往高往低循环不停地流动。因此当太阳接近时，蒸气往高处流动；当太阳远离时，蒸气往低处流动；如此往上往下的流动似乎一直不断地、有规律地循环不止。以致古人曾说过的这个洋(Océan)，会被误认为是环绕地球的这条河。

液态的水永远被热能所抬高，而被冷却作用带往地球，人们根据这些现象的种类来命名：当掉落下来的部分很细时，称为骤雨；当掉落下来的部分很粗时，便称之为雨。

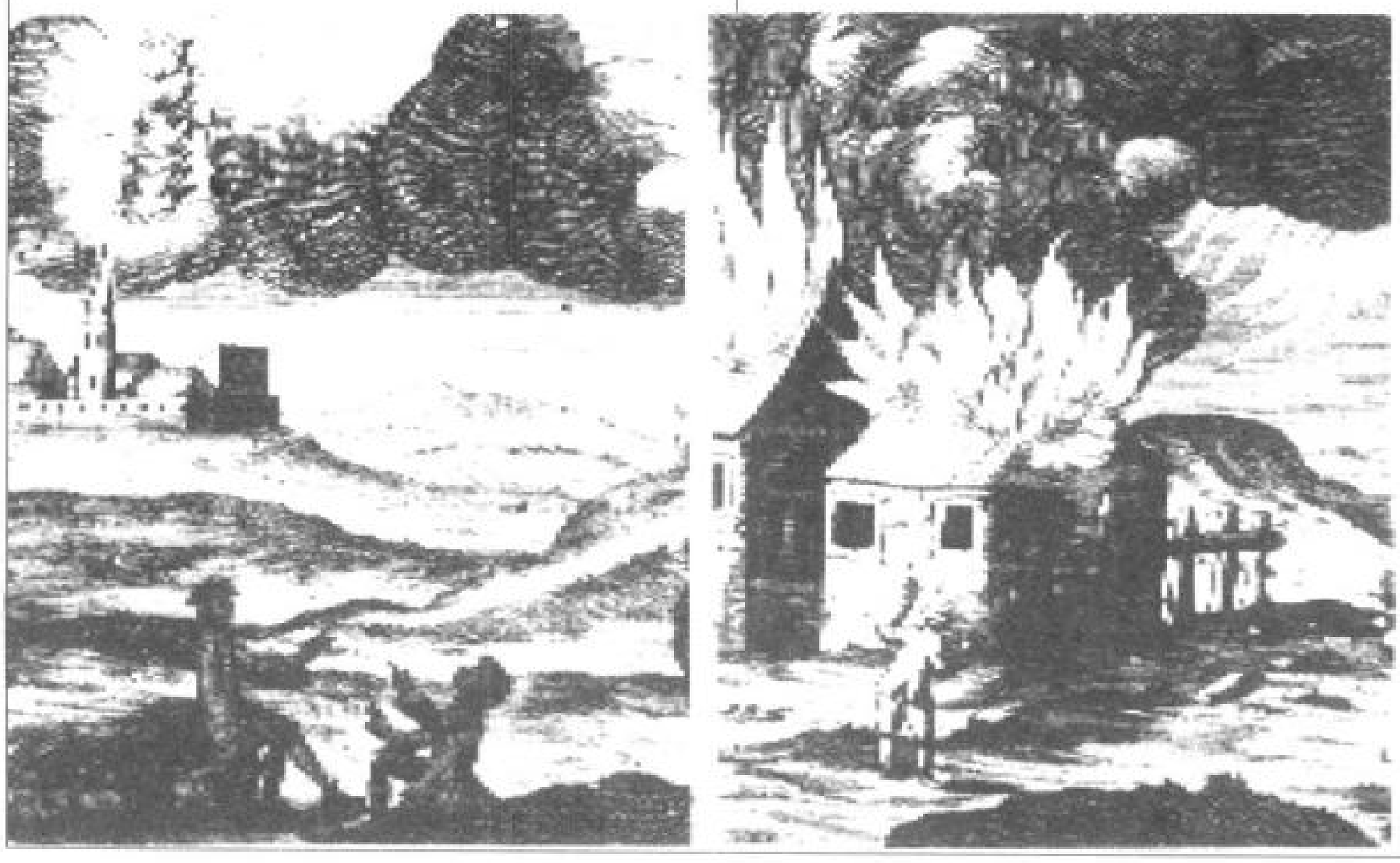
《气象学》
第一卷第九章

# 天空布满悬球状云，如擦粉的妇人……

气象的俗谚在农夫及水手之间
广为流传，
通常以短句形式出现，
有时候可以很清楚地
预报天气。
它兼具传统、信仰及迷信。

17世纪描绘流行的气象俗谚的插画。

**鹰**(Aigle)：当鹰出现／不再怕严寒。
**蒜**(Ail)：大蒜皮薄／冬短且晴朗。
**安布罗斯**(Ambroise)：12月7日圣安布罗斯瞻礼日／再冷8天。
**安德烈**(Andre)：11月30日圣安德烈瞻礼日下雪／会下100天。
**昂热利**(Angele)：5月24日圣昂热利瞻礼日之后／园丁不再担心下霜。
**安娜**(Anne)：11月30日圣安娜瞻礼日下雨／会下一个月又一星期。
**安东尼**(Antoine)：1月17日圣安东尼瞻礼日干晴／装满酒窖和酒桶。
**蜘蛛**(Araignée)：蜘蛛结网／坏天气。
**彩虹**(Arc-en-ciel)：朝霞不出门，晚霞行千里。
**燕子**(Aronde)：燕子低飞／将下雨了。



**秋天**(Automne)：秋雾／好天气。
**蜂**(Bee)：蜜蜂留在蜂窝内／即将下雨；蜜蜂飞出蜂窝／天气晴朗。
**惨白的**(Blanc)：天空惨蓝／将要下雨。
**蓝的**(Bleu)：蓝蓝的天／将有强风。
**雾**(Brouillard)：山谷有雾／渔夫工作一整天；山顶有雾／不宜外出。
**薄雾**(Brume)：低低的薄雾／将有好天气。
**猫**(Cat)：猫将脸舔得很干净／天气将很晴朗。
**卡特琳**(Catherine)：11月25日圣卡特琳节／树生根。
**圣蜡节**(Chandeleur)：圣蜡节／严寒刺骨。
**天空**(Ciel)：天空布满悬球状云，如擦粉的妇人／天气多变。
**布谷鸟**(Coucou)：布谷鸟唱歌／天暖。
**德尔菲那**(Delphine)：11月26日圣德尔菲那瞻礼日／外套再加披肩。
**星星**(Etoile)：布满星星的苍穹／天空快要变化了。
**严寒**(Gelée)：新月下霜／好天气；月亏下霜／三天内下雨。
**草地**(Grass)：晨曦时的草地若干燥／黄昏会下雨。
**青蛙**(Grenouille)：青蛙唱歌／明日天气不稳。
**燕子**(Hirondelle)：燕子高飞／万里晴空。
**大斋节**(Lent)：大斋节(复活节前夕)天气干燥，即为丰收年。
**月亮**(Lune)：月亮呈锈色／不是下雨就是刮风。
**梅达尔**(Médard)：6月8日圣梅达尔瞻礼日下雨／40天后会再下雨。
**圣诞节**(Noël)：圣诞节天暖／复活节天就冷。
**云**(Nuage)：当云像猫的胡须／风会很强。
**雷雨**(Orage)：如果全年有雷雨／第一个来自附近。
**绿啄木鸟**(Pic-vert)：当绿啄木鸟叫／就要下雨了。
**彼得**(Pierre)：6月29日圣彼得瞻礼日下雨／30天的天气都不确定。
**雨**(Pluie)：晨雨／不影响做披肩的商人。
**雨蛙**(Rainette)：雨蛙出来／找雨去。
**雷蒙**(Raymond)：1月16日圣雷蒙瞻礼日结冰／冬天还很长。
**雪**(Snow)：下雪年／农作物茂盛。
**太阳**(Soleil)：日出呈大太阳／刮小风；日落呈小太阳／刮大风。
**海上西南风**(Suroît)：一般而言此风很柔／若此风转强则要有暴风。
**天气**(Temps)：天气、风、女人和财富／像月亮一样有阴晴圆缺。
**风**(Vent)：跟我说风／我就告诉你所有的天气；如果海上有涟漪／可能有强风要来。

# 帕斯卡的实验

在托里拆利(Torricelli)
证明大气压力三年之后，
帕斯卡(Pascal)提出了
一个概念：如果气压计内的
水银柱高度刚好符合当时的
空气重，那么，当海拔升高，
水银柱的高度便会降低。
回到巴黎，他把在多姆山
(Puy-de-Dôme)做的实验
告诉舅子佛洛朗·佩里埃。
他自己证实了在圣杰克塔
(tour Saint-Jacques)
塔顶及塔角做的
实验结果。

## 液体平衡的伟大实验

把时间拉回到1647年。托里拆利的“水银实验”令知识分子们印象深刻。〔……〕然而造成此现象的原因何在?为什么玻璃管内的水银柱维持在76厘米的高度?大家的看法不一。〔……〕

帕斯卡及其他几个人从大气中寻求答案。他与梅尔森(Mersnne)神父或者笛卡儿，他们想如果空气的重力是造成此现象的主要原因，则空气压力——即现今我们所谓的大气压力——应该会随着海拔升高而降低。由于佩里埃(Florin Périer)的帮助，使得帕斯卡得以将其概念具体化：这就是“伟大的液体平衡实验”，有名的科学故事之一。

## 帕斯卡证实奥弗涅(Auvergne)的重要性

我写了一篇文章以“有关真空的新实验”为标题，此处，我使用了令人敬畏的真空准则，因为它们被广为接受，而且我尚未有任何有力的反驳证据，尚有一些困难使我无法对这个准则提出大的挑战。为了阐明它们，从那时起，我便筹划了一些实验。我将告诉你们这些实验的来龙去脉，结果使我确认我所相信的，我将其命名为“液体平衡的伟大实验”，它们在所有真空实验中是最具论证的，其中显示了自然界中最轻的空气及最重的水

银两者之间的平衡关系。但是此项实验无法在巴黎进行，在法国并无太多适合的地方，只有在奥弗涅地区的克莱蒙(Clermont)城最合适。因此我请求佩里埃在那儿进行实验。你们将会看到我的难处，以及我写给他有关请他做实验的一封信。

**帕斯卡于1647年11月15日致佩里埃一封信的复本**

〔……〕我知道的并不会比您清楚，因为您目击了整个实验过程及结果。希望您能把它们重新整理一同记录在实验报告中。其中也有我们以前所得的结果，使用两个管子，一个管子在另一个管子之中，形成“真空中的真空”。您看到内层管子中的水银会维持在某个高度。当它被整个大气的重量抵消和挤压时，这个高度和一般实验结果差不多。相反地，如果没有大气存在，水银高度便会整个下降。由此方法所造成的真空，使大气所产生的重量和压力完全不存在。接下来看到水银高度随着测到的大气压力增加而增高，减少而降低；最后并发现水银高度总是与大气压力呈定比的关系。

实验之后，于是产生了一个说法，即并非我们所预计的真空准则造成了一般实验结果中的水银高度，而是大气的重量和大气的压力抵消了水银的重量。然而也因为上次双管实验的结果，可以用很单纯的大气压力及重量来解释；但是所谓的“真空准则”在某种程度上也能够解释此现象。我支持前者；但我也继续研究真相，而我所遇到的困难，可以用一个关键实验来解决。我已想到一个实验，如果这个实验能精确地进行，它将会是我们所要寻找的光辉。那就是如果能以一般的水银实验为基础，用同一个管子、同样的水银，在同一天之内重复做好几次，时而在山脚，时而在山顶，但高度至少相差500至600单位(每单位约1.949米)，用来求证在此两种条件下，管中的水银高度是否会相似或不同。无疑地，您已看出此实验对解决该问题的关键性，如果水银高度在山脚比在山顶还高(虽然我有很多理由来相信它，但是要接受它尚须仔细的查证)，那么就可确定造成水银高度的升降，是由于大气压力和重量，而不是真空准则所造成的。因为可以确定的是，山脚下的空气比山顶上还多，而不是大自然对山脚的厌恶比山顶还大。

**佩里埃于1648年9月22日致帕斯卡一封信的复本**

先生，我终于做了那个你一直很希望做的实验。〔……〕在此，我把结果完整地告诉你，你也可以由此看出我对此实验所持的细心和精确态度。我同时也找了一些智者当证人，借助

他们的见证，实验结果的真实性毋庸置疑。接下来是整个实验内容：

本月19日，上星期六，天气很不稳定；但是早上的天气还好，还看得到多姆山的山峰，我决定上山做实验。〔……〕

首先，我将经过三天校正的16法斤水银倒入一个盒子，又取两支大小相仿且具有4只脚的玻璃管，一端密封，另一端打开，我在此盆内各做两支玻璃管的真空实验。再将此两支玻璃管靠在一起，但底部不离盆子，这两支玻璃管的水银高度，以盆子的水银面为基准往上量是相同的，为26法尺又3.5法分的高度。在同样的条件下，以同一地点、同一盆子、同样的两根玻璃管、同样的水银，我又重复做了两次实验，结果管内的水银高度均与第一次相同。

我将其中一支玻璃管留在盆内继续做实验：我在管上标记水银高度，并将它留在相同的位置，我请一位精明的宗教人士夏斯旦(Chastin)神父全天观察水银高度是否有改变。〔……〕

之后在下山途中我又重复此实验，同样的管子、同样的水银、同样的盆子在拉丰第阿布尔(Lafon-de-l'Arbre)地方，其海拔比米尼姆还高很多，但却比山顶低很多。在拉丰第阿布尔，我发现其水银高度为25法尺。我在此地重复做第二次实验，而一位贵族莫斯尼耶(Mosnier)先生因好奇，也在此地做了相同的实验，他发现：水银高度总是25法尺，这个高度比在米尼姆记录到的高度还低1法尺又3.5法分，但却比在多姆山顶所得的值还高出1法尺又10法分，于是发现水银高度随着实验地点的海拔递减。〔……〕

尽管如此，我还是必须承认，即使我们很详细地记录水银高度，然而实验地点的海拔高度却没有详细地记载下来。

如果我有充裕的时间，我将准确地记录所有的资料，一法尺一法尺地测量实验地点的海拔高度，并记录每一个观测站的水银高度差别，以便往后给你水银高度与海拔高度间的关系：最初是100法尺，并以100法尺为单位往上增加，如此一来，海拔高度与水银高度的关系就可以制成一个表。借助这个表，我们或许可以得知整个大气层的高度。〔……〕

**自多姆山至圣杰克塔**

帕斯卡又再次回信：

这个叙述解释了我所有的疑问，我很满意，而且发现海拔高度每差20法尺，水银的高度就差2法分，海拔高度差6至7法尺，则水银高度差为0.5法分。我在圣杰克塔的塔底及塔顶做了一般真空实验，结果发现水银柱差超过2法分；接着我在一间高90

阶梯的私人房子做同样的实验，发现了0.5法分的差；这与佩里埃先生的叙述相同。

所有的好奇者只要愿意，他们都可以自己来证明。

由本实验可以得到很多结果，例如：

知道两地是否位于同一海拔的方法，也就是说或者与地心等距，或者两者之一海拔较高，离地心较远。对于位在地球直径两端的对蹠点只能以此方法测得。

若以温度计上的水银高度来测量海拔高度，则准确度并不高。因为即使是在同一地点，当温度上升，水银高度便增高；当温度下降，水银高度便下降。

如果温度固定而气压不平均，则海拔高度愈低，其压力愈大。

所有的结果及其他相关事物都将记载在《真空志》中。

罗贝尔·马桑 (Robert Massain)

摘录自《物理学及物理学家》

1970

# 丰收祈祷曲

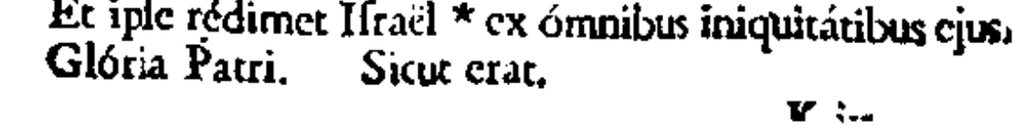
一直到19世纪前，
在耶稣升天节(Ascension)
前三天，我们都可以
看到朝圣的队伍穿越田野。
神父走在最前面，接着
紧密排列的基督徒以虔诚的
祷告，力求上天降福给大地，
并远离自然灾害及疾病。

## LE MÉCREDI DES ROGATIONS.

*Avant la Proceſſion on chante l'Ant.* Exurge, p. 126. *avec l'Oraiſon*, Mentem ſumilix, *comme ci-deſſus*, p. 127.

*En ſortant de l'Egliſe, l'Ant.* Venite, *comme ci-deſſus*, pag. 127.

*Un Clerc entonne l'Ant. ſuivante.*

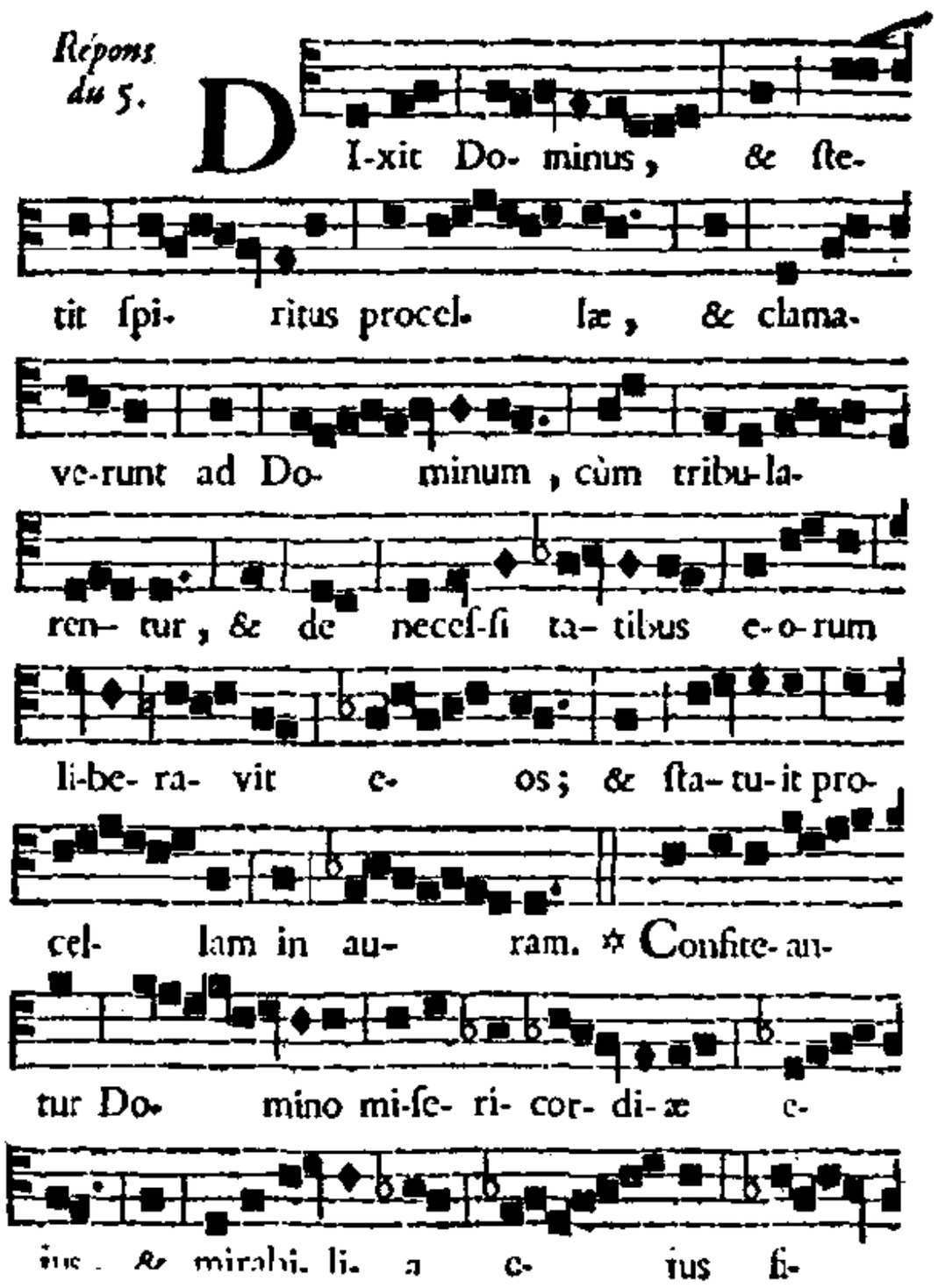


De- us. 3. à.

*Le Choriſte du côté droit entonne le Pſ. ſuivant.*

PSEAUME 129. DE profúndis clamávi ad te, Dómine: * Dómine, exáudi vocem meam.
Fiant aures tuæ intendéntes * in vocem deprecatiónis meæ.
Si iniquitátes obſerváveris, Dómine; * Dómine, quis ſuſtinébit?
Quia apud te propitiátio eſt; * & propter legem tuam ſuſtínui te, Dómine.
Suſtínuit ánima mea in verbo ejus: * ſperávit ánima mea in Dómino.
A cuſtódia matútina uſque ad noctem, * ſperet Iſraël in Dómino;
Quia apud Dóminum miſericórdia, * & copióſa apud eum redémptio.
Et ipſe rédimet Iſraël * ex ómnibus iniquitátibus ejus.
Glória Patri. Sicut erat.

*Contre les Orages.*

*Répons du 5.*

自远古以来，人类都求助于巫术或祷告，希望能改变天气。在5世纪时，一次发生于法国维埃纳河(Vienne)多菲内地区(Dauphiné)的灾难之后，圣马梅尔(saint Mamert)创立了在耶稣升天节前三天的庄严悔罪仪式。奥尔良(Orléans)的主教会议于511年在法国各地推行这个习俗。[查理大帝(Charlemagne)下令在此期间，禁止所有的体力劳动]

圣连祷文、圣诗及祷告都是祈求丰收的大祈祷，都是希望远离气象灾害，并祈求上帝赐福恩于大地。在这期间，代表悔罪的神父穿着紫色司铎衣服，但并不点亮复活节的蜡烛。

这些连祷文都是一种简短、对话式的赞美祷告文，每个祷告都重复。

神父接着祈祷:“全能的上帝,我们向你祈求恩赐,求祈赐予我们地上的果树在风调雨顺的情况下,得到你充满祝福的露水且蓬勃生长;求你所赐的土地肥沃,给饥渴的人大大的、丰盛的收获;使贫穷困苦的人都荣耀你。”

民众在5月的清晨结队往田野走去,而在十字路口停步。神父在东西南北四个点上洒圣水并唱着“Asperges me”。第一天清晨,纪念草料收割节;第二天纪念收获季节;第三天给饥渴的人纪念葡萄收获季节。

然而,这个祈祷节自梵蒂冈二世(Vatican II)以来就几乎不再实施了,它被拉丁人的古祭仪所取代。事实上,教会希望异教习俗消失,于是努力地改变这些习俗,而

Le Ch. Propi-ti- us eſto, Parce nobis, Domine.
Propítius eſto, Exáudi nos, Dómine.
Ab omni malo, Líbera nos, Dómine.
Ab omni peccáto, líbera nos, Dómine.
Ab ira tuâ, líbera nos, Dómine.
Ab insídiis diáboli, líbera nos, Dómine.
A subitánea & improvíſa morte, líbera nos, Dómine.
A morte perpétua, líbera nos, Dómine.
Per Myſtérium ſanctæ Incarnatiónis tuæ, líbera.
Per Nativitátem tuam, líbera nos, Dómine.
Per Baptíſmum & ſanctum Jejúnium tuum, líbera.
Per Crucem & Paſſiónem tuam, líbera nos, Dómine.
Per Mortem & Sepultúram tuam, líbera nos, Dómine.
Per ſanctam Reſurrectiónem tuam, líbera.
Per admirábilem Aſcenſiónem tuam, líbera.
Per advéntum Spíritûs ſancti Paracléti, líbera.
In die Judícii, líbera nos, Dómine.

Le Chœur. Peccatores, Te rogámus, audi nos.
Ut ad veram pœniténtiam nos perdúcere digneris, Te rogámus, audi nos.
Ut remiſſiónem peccatórum noſtrórum nobis dones, Te.
Ut Fidem, Spem, & Charitátem nobis dones, Te rog.
Ut Eccléſiam tuam ſanctam régere & conſerváre digneris, Te rogámus, audi nos.
Ut Domnum Apoſtólicum, & omnes gradus Eccléſiæ in ſancta religióne conſerváre digneris, Te rogámus.

*Pour demander de la Pluie.*

非要消除整个过去。这个由罗马人组织的祈祷节包括三个仪式(Les Ambarvales),在4月中至5月中举行,在此期间容易出现冻寒的天气。Robigalia 是为了麦子举行的,Floralia 为果树,Vinalia 是为葡萄藤,它们都是向居住在葡萄园、采收期及田野农作物的保护者——农神(Saturne)祈祷。

夏托布里昂(Chateaubriand)生动地描述了孔布格(Combourg)的乡村居民:“放下工作,向管理太阳、看管风及温和阵雨的上帝祈求。”

皮埃尔·韦尔尼 (Pierre Vergnes)

《祈求降雨……或好天气》

《西法年鉴》

1994

# 理查孙——数值天气预报的幻想者

在第一次世界大战期间，
一位被征召担任英军野战
救护员的英国气象学家，
曾想到挪威人皮耶克尼斯
以数值计算来预报天气
的点子。近乎科幻想象地，
他想象一部半工厂半剧院的
巨大人类电脑……

生于1881年的理查孙，曾是一位有名的公谊会教徒(quaker)。他花了三年的时间致力于将数值计算应用在气象学之中。他于1916年被征召担任野战救护员，直到大战结束。他基本上是一位和平主义者，因此他完全投入于气象学的研究。1920年，他由于未能完成任务而牵累其他同僚、被裁并到航空部。他的一部分研究成果于1922年出版。服役期间，他一直担心自己的才华被别人发现而假借各种理由推托。理查孙最后找到他的出路——即战争学(polémologie)、应用数学分析及心理学来研究战争的起因。

## 大棋盘的房间

我必须要整理六星期以来完成的计算公式，以及数位表中的两列数值。我的办公室像干草房，位于广大军营中的一个小角落。一般的计算员在经过训练之后，可加快10倍的计算速度。因此需有32个计算员，速度刚好来得及算出3小时后的天气变化结果。如果细分工作，每个人只专门负责这复杂计算工作中特定的一部分，而且须在天气变化不太快的条件下，假设方格的边长是200公里，那么整个地球就有3200个方格。

因为热带地区的天气最多变，我们可以想象有2000个方柱。由此算来，共需 $32 \times 2000 = 64000$ 个计算员才能涵盖全球即时天气的计算。这

个数目非同小可。毫无疑问，可能在若干年后，就会有新的计算方法来改善、简化目前的方式。然而建立此机构最主要的目的，在于设立全球的预报中心，或者为了一些天气变化很少的地方，配合专业化的计算人员及不同的方程式，希望他们能因此常常被分配到新的工作。

**梦想：预报天气的剧院**

虽然不是一件容易的事，但我们仍可让自己怀有一些理想。想象有一个像半圆型剧院的大厅，包厢及回廊全被座位填满，舞台也被座位所取代，舞台正面则绘上全球的地图。天花板为北极，英国在左包厢，热带地区在中层包厢，澳洲在下层包厢，南极则在乐团所处的地方。

各层的计算人员负责计算各层的资料，并由一个人协调及负责得出各层的结果。所得的结果立即被标示在一个表上，沿南北两半的方向传递，让各层之间可以互相交换及参考。在乐团的中央有一个与半个剧院一般高的椅子，总负责坐在上面，负责接收信息及助理人员的反应，他的工作之一是要维持及确保各层计算工作的一致。所以他有点像交响乐团的指挥，而指挥的乐器却是计算尺和计算器，他不利用指挥棒而是利用不同的光束，例如用粉红色的光束来指向工作进度超前的区域，蓝光则指向工作落后的地方。

四位高级人员蒐集逐渐累积的结果，并经由气动运输系统将结果快速地传送到一个安静的地方。在那里，资料被转移成数码，经由电信传到无线电台。

**计算人员的福利**

研究部门设在邻近的一幢建筑物中，负责改进方法。当他们要推广到“大计算剧场”的实际应用之前，先小规模地模拟可能性及正确性。在地下室有一名人员整天观察在旋转水槽中液体扰动的情形，并以数值的方式载示观察结果。总务部门设在另一幢建筑物中，负责出纳、通讯、宿舍等事宜。同时，室外有娱乐场地、宿舍、山丘及湖泊，因为对天气预报计算员而言，拥有广大的空间来透透气是很重要的。

理查孙

《天气预报问题的数值解决法》

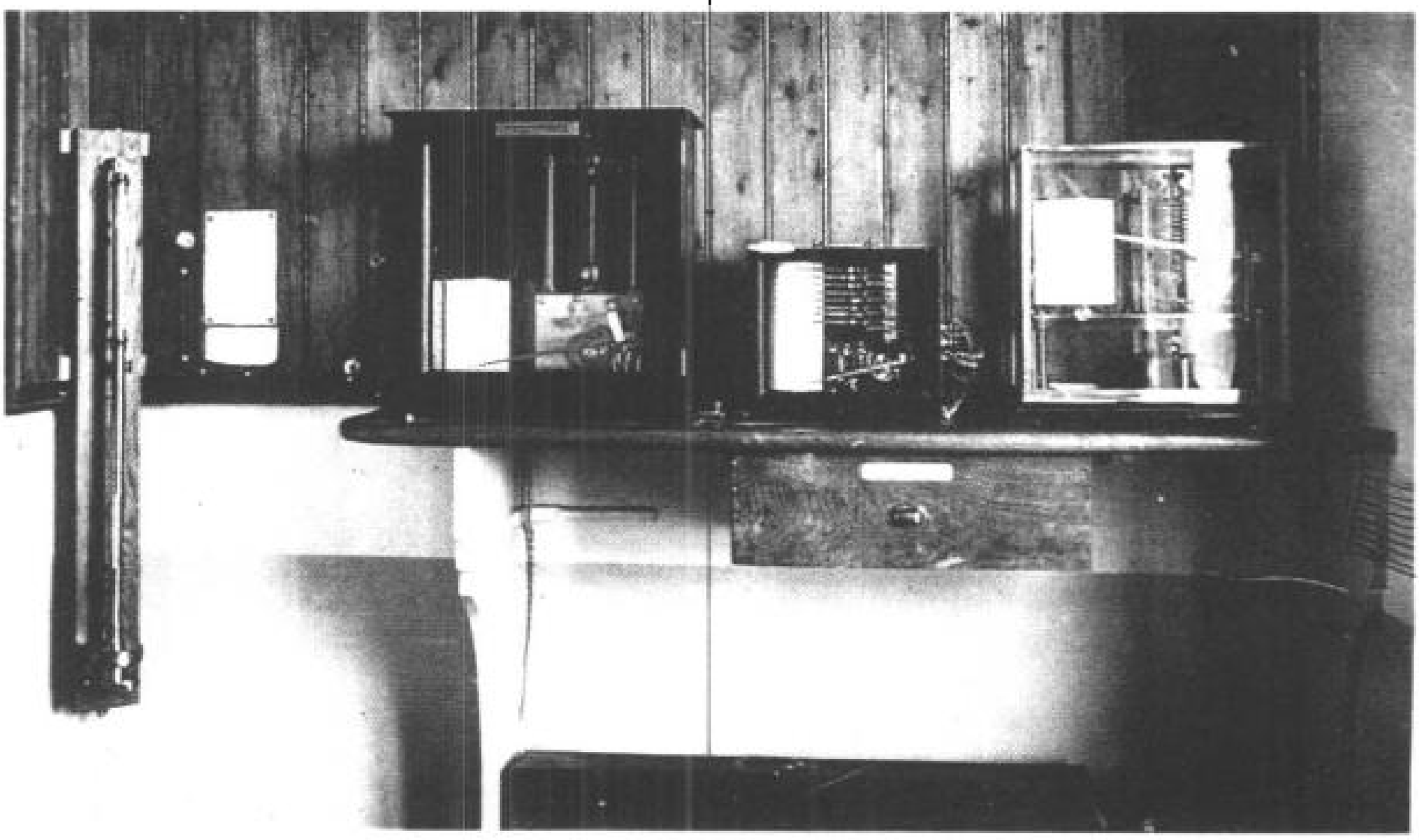
# 古老的气象学

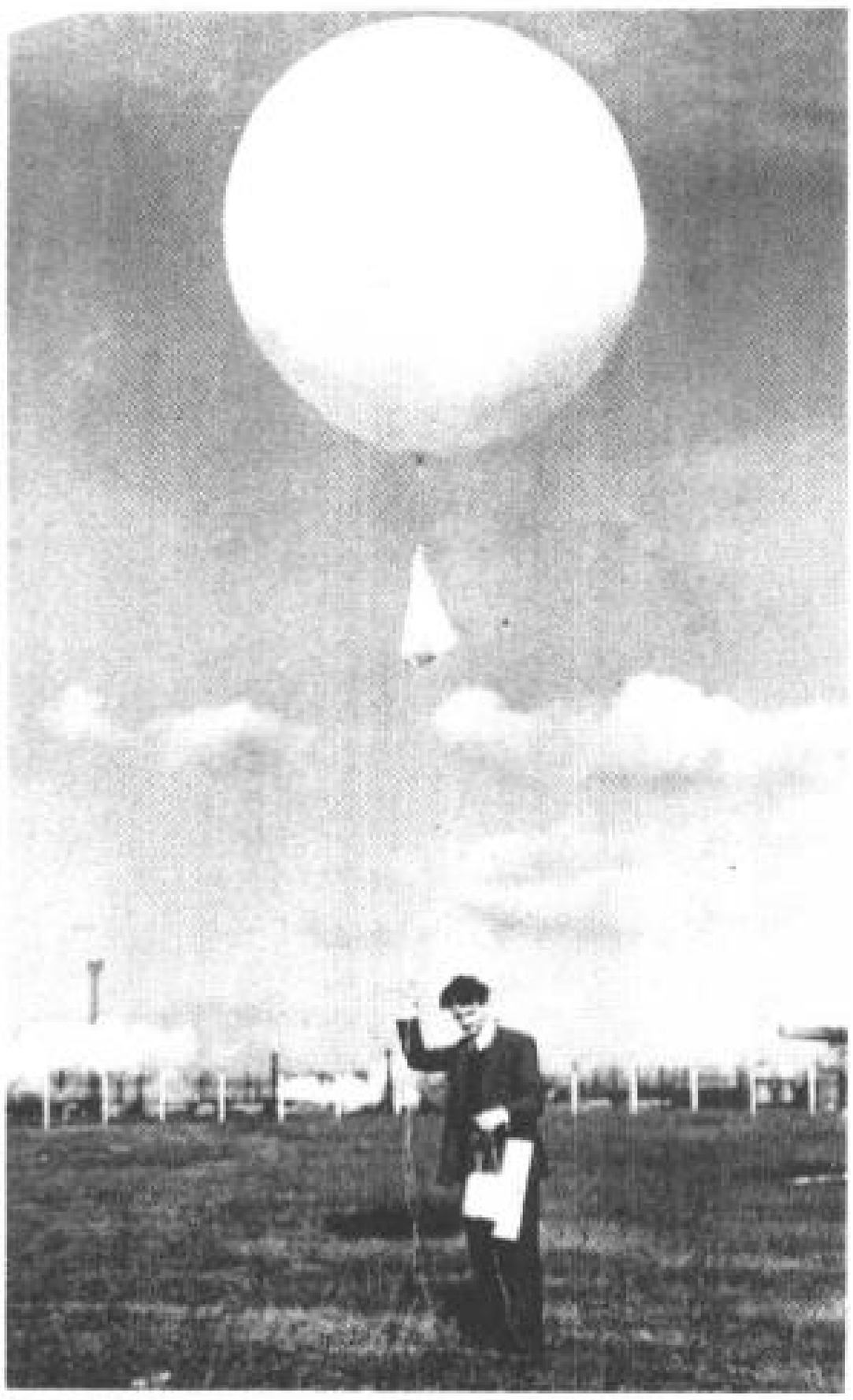
平地及高海拔处的温度、
湿度、大气压力、风速、风向
及降水量等资料的获得，
都有赖于很多传统的方法。
如果它们能以更现代的方法来
取代的话，
便可一次获得更多
且更可靠的资料。

本章节展示的图片，均节录自1954年赠予法国勒内·科蒂(René Coty)总统的相簿，为了使他能了解气象部门的情况。

事实上至今气象测量的种类几乎没变：大气压力、温度、湿度、降水量或风速等，这些都是必要的基本资料。大部分的仪器都一直在使用。有什么比看一眼温度表就能得知温度还简单的方法呢？由于资讯的发展，可以加强某些测量的工作，不须因为精确度的问题而重复测量某些值，而这重复测量的工作正是20世纪50年代气象学家最主要的工作。

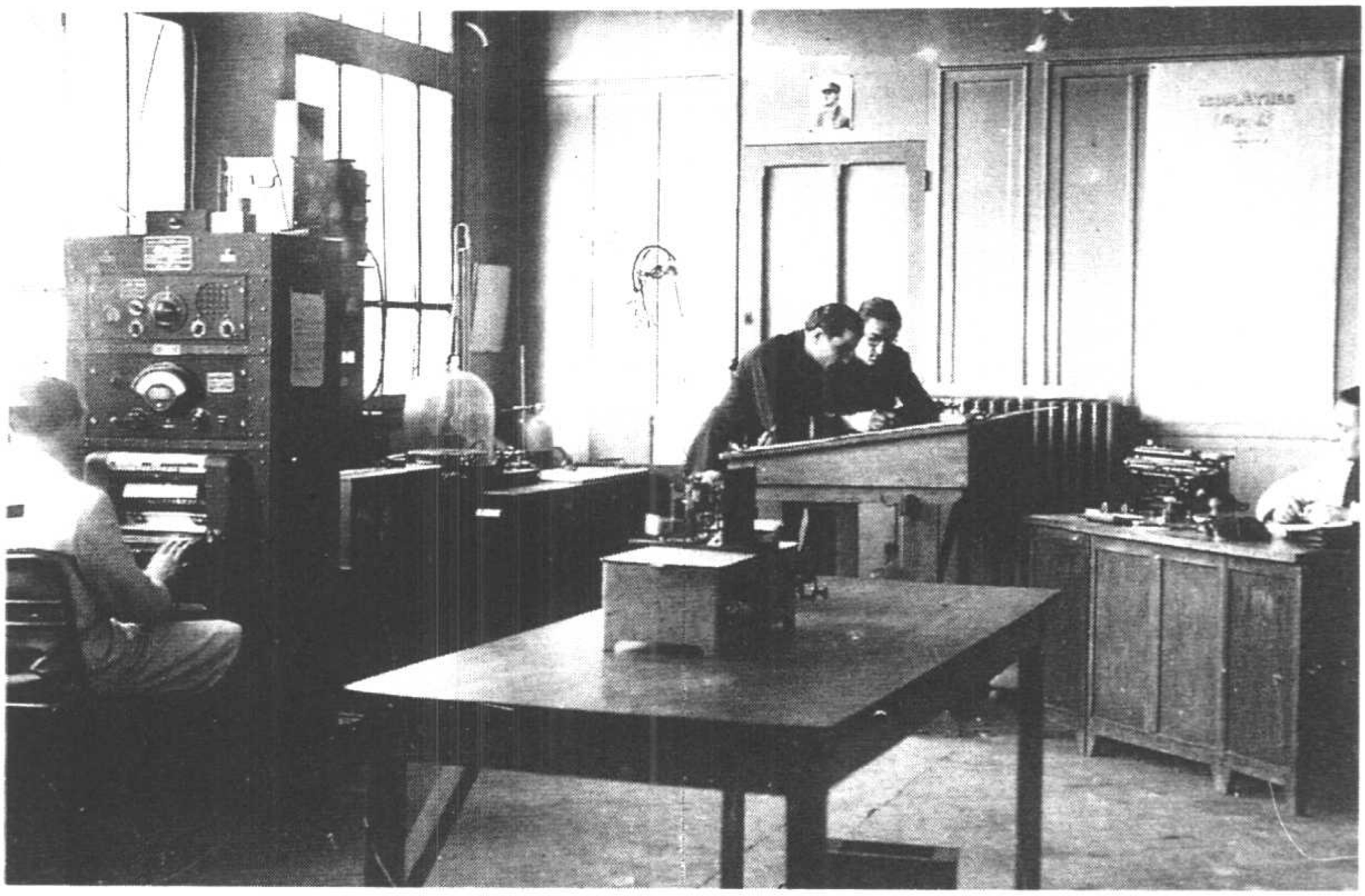
下图是一套“室内”的仪器；右页上图是气压表的解读及在阴凉处的温度记录计；右页下图为雨量器及在平地用来估计风速的手持风速表。释放探空气球是一种很精巧的工作，须

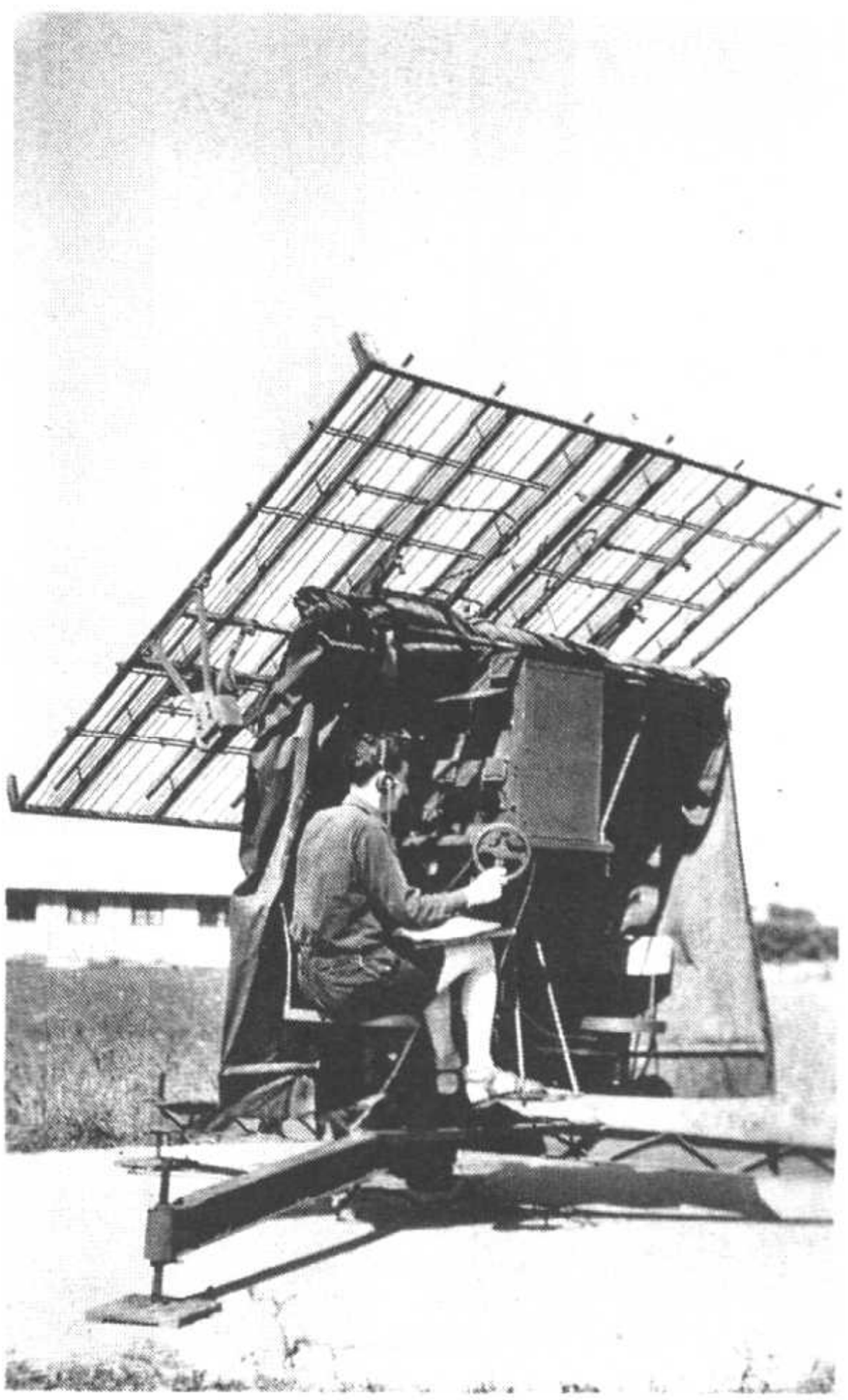




靠专家来做。为了得到温度、湿度及气压的正确数值，首先必须先校正探测器，压力的校准(下图)是在一个空车厢中进行的。无线电探测(右页上图)接收到的资料需要一个很大的解码器，将所接收的信号转译成温度、压力、湿度等，接着再将这些数值转化成图表供气象学家加以说明。现今，这些工作都已机械化及平常化，因此，有些测量器都没有被校正到正确值。

无线电经纬仪(右页下图)是一种无线电测角器，它能够借助两个角度便确定气球携带的小小发射台的位置。





# 温室效应与未来的天气

“由于经济发展对环境
带来的冲击，特别是
对大气形成的改变，
在21世纪前半期达到高峰，
极易造成地表温度的上升。”

……

鲁瓦耶 (Juan-Francois Royer)
摘自《探索》(La Recherche)

**冰川明天会融解吗?**

“……它将会影响地球大面积的气候情况，气候带南北偏移，雨环绕在赤道及南北纬50度的地带，漫长的夏季时干旱出现在温带地区，热带气旋增加，北极的大浮冰消失，海平面上升。”

鲁瓦耶
摘自《探索》

这启示录般的景象，是一个卓越的气象学家描述下来的，而并非夸张的臆想。接下来，不论提及的科学性文摘是冷静、抑或客观的，其内容就“生态灾变说”(écolo-catastrophisme)而言，每件事都否定了没有忧虑的客观主义。

**人类的影响**

可以确定的是在文明进化过程中，社会工业化往往会引起自然环境的改变，包括植物、水文和大气，甚至天气。家用空调机、工业、农业、汽车及飞行器都会产生污染物，影响我们的健康并破坏天气。我们已经确认了工业活动与大气污染的关系，以巴黎北方工业区圣但尼(Saint-Denis)为例，在一般的上班日子，能见度由于污染物而减低50%；而在放假日却只降低30%。〔……〕研究也指出，在市郊地带，平日的平均降雨量升高而周末时却降低，这现象归因于周初开始使用喷雾剂的累积效应。

气象学家致力于了解及解释这些气候变化的原因，进而研究自由改变气候的可能性。世界气象组织指出："现在，除了人工消除过冷雾之外，我们必须想到人工改造天气也是气象研究的领域之一。但增加降雨量或抑制寒潮的可靠方法，仍很遥远。"

**是真的危险，或是科幻小说？**

我们仍然能平静地利用气象学其他方面。迪威勒(Jacques Dettwiller)所著的《气象战争：明日的神秘或现实》(La guerre météorologique : mythe ou réalité de demain)〔……〕指出，对于气象战争这个议题有两种看法：一派说他们的想法是确实的、脚踏实地的，而其想法是确实可行的，在某些特定的气候条件下，利用现在的军事技术确实可以造雨。〔……〕

另外一派则指出，科技的快速进步会对人类造成一些严重的影响，可能会导致很可怕的后果。因此，我们要努力阻止这"潘多拉(Pandore)盒子"的开启，并且监视它不再被打开。

〔……〕目前最主要且最实际的问题，是由二氧化碳增加所引起的气温上升。整个大西洋海面气温上升1.1摄氏度，其结果不可忽视，即是此地区的热带气旋数目将增加一倍。南北极浮冰的融解，则使海平面上升，威胁到沿海低地居民的生命。受到冷冻剂破坏的臭氧层也是一个大问题，但是我们尚不知道它的威胁范围。

如果我们能避免毁灭性的核战争或细菌战，如果我们能逃过气候战争，如果我们能成功地控制工业化的过快发展及其带来的可怕后果，人类是否就因此而能生存下来？

菲亚罗(Alfred Fierro)

《气象史》

(Histoire de la météorologie)

巴黎，1991年

**"盖亚"(Gaia)的调节机制**

很多证据告诉我们，从史前时期开始，人类只要有机会，便"不会忘记"在环境上留下痕迹。北美洲大草原(la Grande Prairie américaine)

最初是一片大森林，是新石器时代以狩猎为生的居民的重要地区，他们利用森林火灾把野生动物赶向他们所设置的陷阱或他们居住的地区。美索不达米亚(Mésopotamie)地区的荒漠化，也是由于两河流域古代居民苏美尔人(Sumériens)密集灌溉所引起的土地盐碱化的结果。

很明显，人类的利益经常与地球上需要合理经营管理有限资源的宗旨相冲突。〔……〕我们希望能在拓荒者的愚昧无知与生态学者时而不合理的态度行动之间，找出一个合理的看法。在英国教授洛夫洛克(James Lovelock)著作《大地之母盖亚——面对地球的生命的新方法》(Gaia ou une nouvelle façon d'envisager la vie sur la Terre)中，可找到不以人类作为判断中心的新看法及观念。

洛夫洛克是一位正统的化学家，无法理解甚至于震惊地球环境中所存在的极度不协调的现象，如大气的组成；而且他不相信这不协调的发生是一个简单而死板的物理或化学反应的结果。〔……〕我们可用一个现象来解释地球的独特性：生物的生物化学作用。半有机、半物理化学的地球系，就像活物一般是个“具有发展性的物体”(objet doué d'un projet)。

从盖亚的观点看，局部性或全球性污染，依洛夫洛克的说法：排除废物至环境中，是生命过程不可或缺之恶。因为我们可从“当温度升高时，如果生物不将其产生的排泄物排出体外，则生物将无法存活”的事实中得到支持。人类也是盖亚的一部分，虽然人类社会的工业化所制造的废物几乎阻塞了自然界正常的运转，但尚未偏离上述原则而引起严重的扭曲。

我们的子孙在下个世纪，首先将面对的问题是自然环境的改变。〔……〕一些扎实可靠的科学理由，即使不完全精确，也都向我们预先警告：全球气候在很短时间内会引起大规模且快速的变化，以致于形成我们所谓未来的“气候危机”(crise climatique)。这个现象所衍生的问题并非难以克服，事实上，这种难题在人类历史上曾经发生过，只是当时他们的科技和经济水平是在很原始的阶段。原始人并未幸免于冰期！此外，支配地球热力平衡的物理机制与盖亚理论相比，实在过于简略，所以预测的未来天气并非一成不变。我们的后代子孙从淘汰二氧化碳及其他多余气体的来源开始，便有机会看到大自然的调节系统，将地球的气候缓缓地带向接近实际状态。

杜普莱西(Jean-Claude Duplessy)
及莫雷尔(Pierre Morel)著
《地球波澜》
(Gros temps sur la planète)
雅各布(Odile Jacob)编
巴黎，1990年

**温室效应?怎么样?**

接下来的这段文章，可能会引起论战。勒努瓦(Yves Lenoir)要揭发一个已经发生却常常被忽略的危险：某些生态政治集团对地球未来的操纵控制。这些集团以利用某些可能发生或即将发生的危机为理由，将毫无困难地从中得到一些重大利益。

世界气象组织(OMM)等机构在1988年时结合生态学家，创立一个大规模且兼具科学性和政治性的组织以面对气候变迁问题，叫“政府间气候变化专业委员会”(IPCC)。该组织企图制订一个地球发展及调控的模式，并希望由各国政府共同合作。最重要的目的是：除了科学研究的计划(如：造价高昂的人造卫星、密集的海上巡航、资助建立气候模式研究小组及他们所使用的巨型电脑等)之外，其他还有：对各国的生态学家、国内及国际组织的行政官僚系统面对科学界所提供的情报后，在危机处理上以政治利益为优先考虑而提出质疑。

要记住，气候始终是多变的。有时变化得很快，有时就像停留在上一个冰期的末期，这些情形循环不断，古人都有记载。〔……〕现在的气候改变，有一大部分和这一连串不可逆转的因果无法分开。如果想要以“警报原则”为名制止气候变化的构想，就与梦想着要中断地球在轨道上的运行一般荒诞不经。

OCDE最近的一个“避开气候的变化”(Parer au changement climatique)研究指出，如依照某些学者的假说，并将这些假说实际应用到改变天气上，策略不同消耗的经费也不同。举个极端的例子：在下个世纪末之前，如要把海平面升高1米，需花费1985年全球国民生产总值的千分之几；反之，由政治政策所评估的耗费非常昂贵，主要是针对减少二氧化碳的释放，却要用掉全球国民生产总值的百分之几，而且是长期的。

同时，出现立即而确实的社会或生态问题时，必须优先处理，但不要以阻碍经济发展为理由而反对对抗温室效应的工作。

勒努瓦

《重论温室效应问题》

(L'Effet de serre remise en question)

《科学及未来月刊》

1992年12月号

# 图片目录与出处

## 封面

诺阿9号卫星于1987年8月6日拍摄，并经由人工加色，显示有一锋面正在接近不列颠群岛。

## 书脊

水银温度表。

## 封底

积雨云。

## 扉页

**1** 欧洲航天局发射的气象卫星号卫星所拍摄的法国。法国气象局，Lannion 图片。

**1C** 一位技术员正在记录背阴处的温度。

**2** 气象卫星号卫星拍摄的阿根廷。法国气象局，Lannion 图片。

**2C** 阿根廷布宜诺斯艾利斯气象观测中心的蒸发量观测。

**3** 气象卫星号卫星拍摄的摩洛哥。法国气象局，Lannion 图片。

**3C** 摩洛哥气象学家。

**4** 气象卫星号卫星拍摄的巴林(Bahrein)。法国气象局，Lannion 图片。

**4C** 巴林国际机场降水量的测定。

**5** 加拿大图。气象卫星号卫星摄。法国气象局，Lannion 图片。

**5C** 在加拿大做无线电探测的准备工作。

**6** 不列颠群岛。气象卫星号卫星摄。法国气象局，Lannion 图片。

**6C** 在英国不列克涅气象观测站中进行天气图的绘制。英国 Royaume 大学。

**7** 香港。气象卫星号卫星摄。法国气象局，Lannion 图片。

**7C** 在香港，用雨量器测量降雨量。

**8** 中非。气象卫星号卫星摄。法国气象局，Lannion 图片。

**8C** 中非圣安娜园艺中心的义务气象学家。

**9** 牙买加。气象卫星号卫星摄。法国气象局，Lannion 图片。

**9C** 在牙买加安装气象观测仪器。

**11** 阿尔马(Alma)桥上的朱阿夫雕像，由它被水淹及的情形来判断塞纳河(Seine)的涨水情况。

## 第一章

**12** 《第一日：上帝把光暗分开了》。大奥古斯丁圣经中的缩小画。1494年。巴黎 Mazarine 图书馆。

**13** 《风先生、雨小姐》的细图。19世纪法国 Pellerin 公司印制。私人收藏。

**14上** 雷龙图，为 Joseph Augusta 的著作《史前动物》(Les Animaux préhistoriques)的插画。Zdenek Burian画。巴黎。1941年，Farandole 出版社。

**14下** Kuduru de Melishipole II。巴比伦浮雕。公元前1100年左右。巴黎罗浮宫博物馆。

**15** 刻有连续10天气象的甲骨文。介于公元前1339至前1281年间。

**16左** 公元前6世纪希腊哲学家阿那克萨哥拉·德·米列(Anaxagore de Milet)画像。雅典大学。

**16右** 泰勒斯(Thalès)画像。法国国家图书馆。巴黎。

**17** 闪电及落在海上的雨。特为吕克雷斯

(Lucrèce)著作《大自然的事情》所绘作品之细图。13世纪。Albert le Grand的译本。圣阿芒(Saint-Amand)修道院图书馆。

**18** 闪电之神圣多纳(Saint Donat),约1840年出现在法国埃皮纳尔(Epinal)的想象画。巴黎Carnavalet美术馆。

**18-19** 十字架雨的木版画,特为瑞士巴塞尔(Bâles)的孔哈·利戈斯坦 (Conrad Lycosthènes)的著作《非凡历史》所制。1557年。法国国家图书馆。巴黎。

**19** 神操控星体。法国国家图书馆。巴黎。

**20**上、下左、下中、下右及21下左、下中、下右 《风先生、雨小姐》插图。法国埃皮纳尔地区的画。

**21**上 4、5月间的月亮。根据19世纪中对天气的一般成见而绘。法国埃皮纳尔地区图片。

**22** 拉瓦锡分析大气的组成,卡米耶·弗拉马里翁著作《大气》(Atmosphère)中的版画。

**22-23** 里赫曼(Richmann)教授在1753年8月6日于俄国圣彼得堡进行一实验中意外死亡。约1880年的木版画。

**23** 盖-吕萨克(Gay-Lussac)及毕奥(Biot)于1804年乘探空气球升空。德尚(Deschamps)的版画。

**24**上左 瑞士物理学家暨地质学家索絮尔(Horace Bénédict de Saussure)的画像。为塔尔迪尔(Tardieu)根据圣乌尔斯(Saint-Ours)所绘。法国国家图书馆。巴黎。

**24**上右 托里拆利画像。意大利佛罗伦萨。

**24**下左 载有棉花的天平式湿度计。17世纪版画。

**24**下右 西蒙特学院(Academia del Cimento)所制的玻璃制比重计。佛罗伦萨科学博物馆。

**25**左 罗贝尔·布瓦勒在做大气压力实验。17世纪版画。

**25**右 18世纪末的气压表。巴黎Canavalet博物馆。

**26**左 伽利略发明的验温器。佛罗伦萨科学博物馆。

**26** 中、下右 由佛罗伦萨的西蒙特学院(Academia del Cimento)学者于1657年所研制的玻璃温度表。佛罗伦萨S.Maria Novella研究院。

**26**上右 身穿土耳其服饰的费迪南二世画像。Sustermans Justus绘。佛罗伦萨。

**27**左 拉瓦锡所使用的水银温度表。法国国立技术博物馆,巴黎。

**27**右 附有弗里吉亚帽的温度表,18世纪末。巴黎Carnavalet博物馆。

**28** 1854年11月13日亨利四世号军舰遭风暴袭击而沉没。版画。

**28-29** 1788年7月13日的暴风雨图。法国国家档案。巴黎。

**29** 勒威耶画像,吉亚柯梅蒂(Giacometti)所绘。法国凡尔赛宫博物馆。

**30** 1879年国际气象会议照片。

**30-31** 1863年9月7日及10日的气压曲线图。

**31** 白贝罗。

**32** 在第一次世界大战期间,泰斯朗·德·博尔的风速台及观测站。

**32-33** 1930至1931年期间在格陵兰释放探空气球。

**33** 1914至1918年第一次世界大战期间,泰斯朗·德·博尔进行风筝观测的准备工作。

## 第二章

**34** 由人造卫星所观测到的地球。

**35** 智者欲逃出宇宙。15世纪末的木版画。

**36** 由“天空实验室”空间探测器摄下的太阳爆发照片。

**37** 15世纪意大利手绘太阳图。De Sphaera绘。意大利摩德纳的Estense图书馆。

**38**上左、上右 法国孚日山上山毛榉的春天及夏天景色。

**38**下 天文图画。可能是摘自基歇尔(Kircher)的作品。法国国家图书馆。巴黎。

**39**上 地球绕太阳转动。卡米耶·弗拉马里翁著作《大气》中的版画。

**39** 下左、下右　法国孚日山上山毛榉的秋天及冬天景色。
**40** 左　英国天文学家威廉·赫歇耳(1738～1822年)的画像。James Sharples画。英国布里斯托尔市立美术馆。
**40** 右　蒸发计，用以测量大气含水值。
**41** 上　泰斯朗·德·博尔。
**41** 下　大气的气体百分比组成。文森特·利弗(Vincent Lever)绘制。
**42**　大气的垂直剖面图。
**43**　南非日出。美国得克萨斯州休斯敦约翰逊(Johnson)宇航中心提供。
**44** 上　英国天文学家爱德蒙·哈雷于1686年绘画的全球低纬度风分布图。伦敦皇家学会(The Royal Society)。英国伦敦。
**44** 下　天文学家哈雷画像。伦敦皇家学会。
**45**　哈得莱环流、赤道及其他地区的风向。Calliscope公司图片。
**46**　尼罗河河谷及红海上空的副热带西风急流云系。
**47** 左　1994年挪威利勒哈梅尔溜冰锦标赛上的选手。
**47** 右　大西洋上空的急流所形成的云带。
**48** 上左、上右　由气象卫星号卫星于1978年5月22日、23日在大西洋北边拍摄到的一个锋面。
**48–49**　从高空急流开始产生的低压。文森特·利弗(Vincent Lever)画。
**49**　低压的形成。文森特·利弗(Vincent Lever)画。
**50** 左　海平面的高、低气压分布图。
**50** 右　极地地区的企鹅。
**51**　卡拉哈里沙漠景色。大羚羊(Gembsok)国家公园。

## 第三章

**52**　中国黄山的云海。
**53**　英国业余气象学家在测量采集到的雨水。
**54**　《天空的探讨》。皮埃尔·瓦朗谢讷(Pierre Valenciennes)画。巴黎罗浮宫。
**55** 上　透镜状的云。相片。
**55** 下　云的分类发明者吕克·霍华德。英国皇家气象学会。
**56** 上　卷云，相片。
**56** 中　有日晕的卷层云。相片。
**56** 下　卷积云。相片。
**57** 上　高积云。相片。
**57** 中　高层云。相片。
**57** 下　雨层云。相片。
**58** 上　层云。相片。
**58** 下　层积云。相片。
**59** 上　积云。相片。
**59** 中　积雨云。相片。
**59** 下　铁砧状积雨云。相片。
**60**　像橘子般的大雹粒。卡米耶·弗拉马里翁著作《大气》中的版画。
**60–61** 上　雨的各种相。Calliscpoe公司图片。
**60–61** 下　1965年元月研究雪崩的前苏联Tyuya-Ashu工作站研究者。
**61**　雪晶。相片。
**62** 左　莱茵河床在长期干旱后所呈现的龟裂现象。1952年8月。
**62** 右　圭亚那(Guyanne)的热带雨。相片。
**63**　蜘蛛网上的露滴。
**64** 左、右、**65** 左　来自大西洋袭击欧洲的锋面，1959年12月20至22日的气压情况。
**64–65**　1905年3月法国瓦兹省(Oise)的雾。Fernand Arnal摄。奥塞美术馆。巴黎。
**65** 右　自上而下代表：冷锋、暖锋、锢囚锋及静止锋。
**66** 上　法国尼姆(Nîmes)上空的卷云。相片。
**66–67**　大雨中的英国温布尔登网球赛，观众站在伞下观赛。
**67**　关于低压系统的图。
**68**　在法国弗朗什－孔泰(Franche-Comté)地区，天空中的积云正在发展成积雨云。
**68–69**　积雨云图。Calliscope公司图片。
**69**　雷雨雹。美国画家托马斯·本顿(Thomas Benton)1940年画。美国奥马哈的Joslyn美

术馆。

**70上** 斯堪的纳维亚半岛(Scandinavie)的鱼群雨。1555年。瑞典天主教大主教马格努斯(Olaus Magnus)的《Historia de gentibus septentrionalibus》。法国自然历史博物馆，巴黎。

**70下** 1954年摧毁南摩洛哥的蝗虫群。

**71** 美国加州坦帕(Tampa)湾的龙卷风正越过池塘上方。

**72左** 闪电。

**72右** 被雷电击毁的手镯。Fonville在《闪电及打雷》(Eclaires et tonnerre)中的版画。1887年。法国国立图书馆。巴黎。

**72-73** 印尼爪哇(Java)上空的闪电。

**73** 朱庇特(Jupiter)抓住闪电。18世纪版画。作者不详。法国国立图书馆。巴黎。

**74上** 山的影子投射到云层。摄于1934年11月20日的瑞士欧克斯城堡(Chateaux d'Œx)。摘自《L'Illustration》，1935年5月4日。

**74下** 南极洲的南极光。

**75** 彩虹图。1974年。英国Derby博物馆及画廊。

## 第四章

**76** 还愿画。Martigue的博物馆。

**77** 《被风暴吓到的年轻妇女》。Fereol Bonnemaison绘。19世纪初。美国纽约布鲁克林(Brooklyn)博物馆。

**78** 摘自Atlas Blauel的罗盘方位标。荷兰阿姆斯特丹。1647年。装饰艺术图书馆。

**78-79** 雅典风塔上代表八个风的图。Philibert Boutrois版画。

**79中** 雅典的风塔。彩色照相。Albert Kahn博物馆。

**79下** 雅典古卫城上的两位游客。

**80** 佛罗伦萨屋顶上的风向标。相片。1930年。

**80-81** 位于布达佩斯的匈牙利气象研究所两位工程师，借观测释放气球的位移来计算风速。

**81** 手握式风速表。

**82** 代表科氏力的图解。Calliscope公司图片。

**82-83** 1993年9月于法国迪涅(Dignes)举行的世界杯大赛上的滑翔翼参赛者。

**83右** 山谷风。文森特·利弗(Vincent Lever)绘。

**84** 海陆风。文森特·利弗(Vincent Lever)绘。

**85上** 在美国特斯康(Tuscon)南方64公里的Wrightson山上日出时所拍摄到的云景相片。

**85下** 焚风效应图。

**86上** 自1960年起设置风力发电厂的加州农场。

**86下** 1908年3月纽约百老汇的一幢建筑物遭火警时，纽约消防队员却被冰困顿住。这场暴风雪持续了数周。

**86-87** 非洲北部的西蒙风。木版画。1880年左右。

**88上** 布列塔尼上的风暴。卫星云图。

**88下** 绿色雨蛙。

**88-89** 蒲福风级。文森特·利弗(Vincent Lever)绘。

**89** 蒲福先生(1774～1857)。相片，摘自美国《天气通(Weatherwise)》期刊，1975年12月28卷第6号。

**90-91** 《莎士比亚、冬天的故事、暴风雨》。英国人Wright of Derby绘。英国伦敦Christies画廊。

**92** 1951年负责气旋探测的美国空军气象服务部监测飞机。

**92-93** 1949年10月袭击美国佛罗里达州的飓风。

**93** 安德鲁气旋的卫星云图。

## 第五章

**94** 显示在电脑屏幕上主要的风向。

**95** 奥克兰气象观测站的工作人员正在读取日光仪所记录的资料。

**96** 佛罗里达外海的漂流浮标。

**96–97** K点气象观测船。
**97** 皮耶克尼斯。
**98上** 极轨气象卫星诺阿7号。
**98下** 气象观测飞机梅尔朗4号。
**99上左** 理查孙的气象“棋盘”。
**99上右** 气象卫星号卫星上的仪器。
**99下** 两种环球卫星的位移方式。文森特·利弗(Vincent Lever)绘。
**100上左** 气象卫星号卫星“驾驶仪”所使用屏幕控制的细部。
**100上右** 欧洲航天局(ESA)太空行动欧洲中心的气象资讯取读中心验证气象产物(大气高层处的湿度)品质的屏幕。
**100–101** 由气象卫星3号及气象卫星4号于1993年5月16日拍摄的影片组成，经由电脑化处理所得的影象。
**101上左** 欧洲航天局(ESA)太空行动欧洲中心的气象资讯取读中心验证气象产物(水蒸气而得之风的向量)品质的屏幕。
**101上右** 欧洲航天局(ESA)太空行动欧洲中心的气象资讯取读中心验证气象产物(红外线而得之风的向量)品质的屏幕。
**101中** 位于德国达姆施塔特(Darmstadt)的欧洲航天局（ESA）太空行动欧洲中心的气象卫星号卫星控制室。
**101下** 德国一个直径15米的卫星天线，固定朝向气象卫星号卫星。
**102** 英国邓斯特布尔中心的操作员在做连续装置的工作，以汇集某一特别地区的气象资料。
**102–103** 英国不列克涅气象中心的负责人解释彗星电脑的功能。
**104** 1993年年末使用的计算网为阿贝居(Arpège)模式。
**104–105** 红外线气象照片。
**105上** 将大气划分成不同的层。文森特·利弗(Vincent Lever)绘。
**105下** 在英国邓斯特布尔(Dunstable)气象预报站接收到来自非洲达喀尔(Dakar)处的解码资料。
**106** 莱昂·塞夫宁号(Léon Thévenin)海底电缆铺设船。
**106–107** 法国电信局安置在普勒默－博杜(Pleumeur-Bodou)的卫星天线。
**107左** 气象浮标。
**107右** 由气象卫星号卫星所拍到的高解析度海图。
**108上** 法国电信局孔凯(Le Conquet)无线电台的天线。
**108下** 拉兹角的信号台。
**108–109** 地中海、北海、爱尔兰海、英吉利海峡及大西洋沿岸的气象区域图。文森特·利弗(Vincent Lever)根据法国气象局档案资料绘。
**109上** 由旧式捕虾船改装的游船。
**109中** 风暴的信号。文森特·利弗(Vincent Lever)绘制。
**109下** 渔船。
**110上** 气象雷达的影象详图，显示由暖锋所引起的混乱。
**110–111** 温度的变异及对航空飞行的影响评估。1930年8月。
**111** “预测”卫星影象。根据阿贝居的模式，由大气高处所得红外线辐射配合地图所合成。灰色代表红外线强度。
**112–113** 蝴蝶图。19世纪的波斯作品。法国国立图书馆。巴黎。
**113** 美国一位气象学家整理由雨云号(Nimbus)卫星传送回来的影象图片。
**114** 太阳黑子。
**114–115** 《雪中的猎者》。勃鲁盖尔(Bruegel l’Ancien)绘。1565年。维也纳历史暨美术博物馆。
**115上、下** 太阳黑子。
**116–117** 两旁为Aldrich du Smithsonian及Andrew Kramer，中央为仪器发明者艾博特(Charles Abbot)，他发明了利用双重银镜的直接日照强度表及高温风速计。1930年8月。
**117上** 太阳辐射在地球表面的变异。文森特·利弗(Vincent Lever)绘制。
**117下** 岁差。文森特·利弗(Vincent

Lever)绘制。

**118–119** 1883年印尼的喀拉喀托火山爆发。

**119上** 1991年6月皮纳图博火山爆发，烟灰下的菲律宾。

**119下** 皮纳图博火山爆发时喷出的二氧化硫散布在全球四周。经由美国宇航局Vars卫星观测。

**120** 富兰克林是政府官员及避雷针发明者。1752年6月在美国费城进行风筝实验。1876年 Currier & Ives 的彩色印画。美国纽约 Currier & Ives 基金会。

**120–121上、下** 归功于气象实验室(Météotron)卫星，在兰尼蒙桑平原(Lannemezan)制造人工积雨云。

**121右** 似大炮的活动“抗雹器”。根据 Kanitz 的系统所建。约在1960年。

**122–123** 发布雹警报后，意大利葡萄种植者准备射向云的火箭装置。

**124** 形成温室效应现象的详细图。Calliscope 公司图片。

**124–125** 1979、1981、1983、1985、1987、1989年10月份的南极臭氧层空洞图。

**125** 突尼斯(Tunisie)的园艺温室。

**126左** 1965年在德国鲁尔区(Ruhr)设立专门研究烟雾的研究中心。

**126右** 英国伦敦的浓雾。

**126–127** 墨西哥受污染的天空。

**127** 标示在喷雾罐上的图示：“我保护臭氧层。”

**128** 法国奥利(Orly)附近指示风力及风速的风向袋。

## 见证与文献

**129** Jean-Philippe Chabot 的插图。

**130–131** 德国17世纪表现空气的版画。装饰艺术图书馆。

**132** 亚里士多德的版画。法国国立图书馆，巴黎。

**133** 泰勒斯的版画。法国国立图书馆。巴黎。

**136** 帕斯卡在圣杰克塔做实验。卡米耶·弗拉马里翁著作《大气》中的版画。

**139** 帕斯卡实验的进行地——多姆山。

**140–141** 四个祈祷文，摘自《Processional à l'usage du diocèse de Chaalons》。1745年。

**142** 理查孙的画像。

**144–147** 图片。摘自《Album Coty》。由作者收藏。

**148** 巴黎地区的空气污染。相片。

**151** 瑞士山区木屋的报纸广告。

## 索引

### A


阿贝居(Arpège) 104
阿尔卑斯山(Alpes) 86, 87
阿尔萨斯(Alsace) 19
阿伏伽德罗(Avogadro) 23
阿拉托斯(Aratus) 16
阿喇戈(Arago) 21
阿姆斯特丹(Amsterdam) 8
阿那克萨哥拉·德·米列(Anaxagore de Milet) 16
阿让库尔(Azincourt) 28
艾伯克龙比(Abercromby) 55
艾博特(Abbot) 116
安的列斯群岛(Antilles) 93
安德鲁(Andrew)气旋 93
安德罗尼科斯(Andronicos de Cyrrhestes) 79


### B


巴比伦人(Babyloniens) 15,16
巴黎观测站(Observatoire de Paris) 29

白贝罗(Buys-Ballot) 30,81
百帕(hectopascal) 43,93
雹(雹粒, 霰)(grêle)(grêlon,grésil) 53,60,61,69,121
暴风雪(blizzard) 86
暴风雨(roaring forties) 79
暴风雨(tempête) 77,88
北半球(hémisphère nord) 38,39,49,80,82,111
北半球冬季(hiver boréal) 38
北风〔borée (aquilon)〕 78,79
北极(pôle Nord) 44,75,80,82,116
比利时(Belgique) 28
毕奥(Biot) 23
毕活(Bureau) 33
避雷针(paratonnerre) 120,124
布拉克内尔气象中心(Centre météorologique de Bracknell) 103
布列塔尼(法国)(Bretagne) 23,89

## C

彩虹(arc-en-ciel) 74,75
层积云(stratocumulus) 55,58
层云(stratus) 55,58
朝鲜人(Coréens) 28
赤道(Equateur) 44,45,46,47,48,49,51,63,73,117
赤道无风带(pot-au-noir) 47
臭氧(层)(ozone) 40,42,124,125,127
创世纪(Genése) 13,15
春、秋二分点(equinoxe) 39,89

## D

大气(atmosphère) 32,39,43,96,97,103,104,110,111,112,114,115,125
《大气》(卡米耶·弗拉马里翁)(*Atmosphére*, L',C.Flammarion著) 39
大气压力(atmosphérique) 22,30,36,43,49,65,96,98
大西洋(Atlantique) 82,97
《大众天文学》(卡米耶·弗拉马里翁)(*Astronomie populaire'* C.Flammarion著) 115
《大自然的事情》(吕克雷斯)(*De natura rerum'* Lucrèce著) 17
氮(azote) 40,41,127
道耳顿(Dalton) 23
德拉普气象台(Observatoire de Trappes) 32
等压线(ligne isobare) 30,81,88
等压线图(carte isobare) 31,44
低压(dépression) 43,48,49,50,51,63,82,89,92,110
笛卡儿(Descartes) 74,75
狄奥多里克(Theodoric) 75
地面等压线外推法(petit chemin de fer) 30,31,33,104
地中海(Méditerranée) 86,87
地中海沿岸的北风(tramontane) 86
东风(euros) 78,79
氡(radon) 40
都兰(Touraine) 28

E

俄国人(俄军)〔Russie(russe)〕 23,28,33
二氧化碳(gaz carbonique) 40,41

F

法国气象局(Météo-France) 98
反气旋(anticyclone) 49,50,51,63,80,81,84,86,111
菲律宾(Philippines) 119
非洲(Afrique) 43,87
腓力六世(Philippe VI) 28
费雷尔(William Ferrel) 46
焚风效应(effet de foehn) 84,85
风(vent) 66,67,78,104,110
风车(eolienne) 86
风神(Eole) 78
风速表(anémomètre) 22,33,81
风塔(tour des vents) 78,79
风向标(girouette) 33,78,79,80
风筝(cerf-volant) 32,33
《风志》(提奥弗拉斯特)(*Traité des vents*' Théophraste 著) 16
锋面(perturbation) 64,65,67
佛罗里达半岛(Floride) 93
富兰克林(Franklin) 120,124

G

高层云(altostratus) 55,57,67
高积云(altocumulus) 55,57,85
高空急流(courant-jet) 47,48,50
高卢人(Gaulois) 17
高温风速计(pyranomètre) 116
盖-吕萨克(Gay-Lussac) 23
哥特人(Goths) 17
古代(Antiquité) 15,23,116
古罗马人(Latins) 16,17
锢囚锋(front occlus) 63,64,67

H

哈得莱(Hadley) 44,45
氦(hélium) 40
亥姆霍兹(Helmholtz) 46
亨利四世(Henri-IV,vaisseau) 29
后部(锋面)〔traîne(de la perturbation)〕 65,67,68
忽必烈(Kubilay khan) 23
滑铁卢(Waterloo) 28
彗星电脑(Computer Comet) 103
火山(volcan) 41,119,120
霍华德(Howard) 55

J

积雨云(cumulonimbus) 55,59,69,70,72,92,121
积云(cumulus) 55,58,59,68,70,121
极光(aurore polaire) 36,74,75
几内亚湾(Guinée, golfe de) 99
加州(Californie) 84,86
迦勒底人(Chaldéens) 16
伽利略(Galilée) 38,80,116
结冰(gel) 121,124
近日点(périhélie) 38
飓风(ouragan) 29

卷层云(cirrostratus) 55,56,66,74
卷积云(cirrocumulus) 55,56,66
卷云(cirrus) 55,56,65,66,74

K

喀拉喀托(Krakatoa) 118,119
卡拉哈里沙漠(Kalahari) 49,51
凯撒(César) 23
科氏力(force de Coriolis) 81
氪(krypton) 40
克里米亚战争(Crimée, guerre de) 29

L

拉马克(Lamarck) 28,55
拉普拉斯(Laplace) 23
拉瓦锡(Lavoisier) 23
莱茵河(Rhin) 63
朗格多克(Languedoc) 86
老普林尼(Pline) 17
勒威耶(Urbain Le Verrier) 29
勒万特(Levant) 87
雷电(foudre) 18,72,73
雷声(tonnerre) 73
雷雨(orage) 59,68,73
冷锋(front froid) 49,63,64,67
理查孙(Richardson) 99,102
里赫曼(Richmann) 23
连接区〔zone de liaison(de la perturbation)〕 65
留尼汪岛(非洲)(Réunion,île de la) 92
龙卷风(trombe) 70,71
鲁西荣(Roussillon) 87
露(rosée) 62,63
陆龙卷(tornade) 71
伦巴第风(lombarde) 87
伦敦(Londres) 82,111,126
罗马(Rome) 30,78
罗马人(Romains) 73
罗讷河(Rhône) 86
罗盘方位标(rose des vents) 78
罗斯比(Rossby) 102
落基山(Rocheuses, montagnes) 48,85,86
洛伦茨(Lorenz) 113,114

M

马尔杜克(Marduk) 15
马可贝云(macchabées) 66
马鲁柴诺夫(Moltchanov) 33
马尾巴(queues-de-cheval) 66
猫尾巴(queues-de-chat) 66
毛毛雨(bruine) 62
梅尔朗4号(Merlin IV,avion) 98
美洲(Amérique) 29,127
蒙古人(Mongols) 28
米兰科维奇(Milankovitch) 119
密史脱拉风〔mistral(vent magistral)〕 79,86,87
摩洛哥(Maroc) 70
墨西哥(Mexico) 127
慕尼黑国际论文发表会(conférence internationale de Munich) 55

N

拿破仑一世(Napoléon I) 28
那皮耶·肖(Napier Shaw) 45
氖(néon) 40
南半球(hémisphére sud) 39,79,81,111
南半球夏天(été austral) 39
南风(notos) 78,79
南极(pôle Sud) 39,125
逆温(层)(inversion des températures) 50,51
凝结(condensation) 54,55,63,84,92
牛顿(Newton) 75
纽约(New York) 86
《农事诗》(维吉尔)(*Géorgiques*' Virgile 著) 16
暖锋(front chaud) 49,63,64,65,67
挪威理论(théorie norvégienne) 64
诺曼底(Normandie) 33
诺亚(Noé) 15
诺伊曼(Neumann) 103

O

欧同风(Autan) 86

P

帕斯卡(Pascal) 80
皮纳图博(Pinatubo) 43,119,120
皮耶克尼斯(Bjerknes) 64,96,97
漂流(浮标)(bouée) 96,98
蒲福(Beaufort,Francis) 88,89
蒲福风级(échelle de Beaufort) 89,91

Q

气候学(climatologie) 117
气象观测站〈K〉(Point 〈K〉) 97
气象雷达(radars météorologiques) 98,110
气象卫星(satellites météorologiques) 97,98,99,126
《气象学》(亚里士多德)(*Météorologiques,Les*,Aristote 著) 16
气旋(cyclone) 89,92,93
气压表(barométre) 22,30,44,66,68,88
前部(锋面)〔tête(de la perturbation)〕 65,67
钦诺克风(chinook) 84-85
青蛙(grenouilles) 16
青蛙雨(pluie de grenouilles) 72
氢(hydrogéne) 40

R

热层(thermosphére) 42
热气球(montgolfiére) 23
日本(Japon) 28
日光仪(héliographe) 95

S

撒哈拉大沙漠(Sahara) 49
萨赫勒(Sahel)
非洲热带草原向撒哈拉沙漠过渡的

干旱、半干旱地带 49
闪电(éclair) 72,73
圣彼得堡(Saint-Pétersbourg) 23
圣多纳(Saint Donat) 18,19
湿度计(hygrometre) 22
施瓦贝(Schwabe) 117
食(éclipse) 39
史密森学会(Smithsonian Institute) 116
世界气象组织(OMM) 72
世界气象组织(Organisation Météorologique Mondiale) 127
数值预报(prévision numérique) 104,110
霜(givre) 62
松散或悬球状的云(mama) 59
苏格兰(Ecosse) 15
索尔贝革(Solberg) 64

## T

太阳(soleil) 15,16,20,35,36,37,39,43,48,51,58,74,75,83,89,95,114,115,116,117,119,124,125,127
泰勒斯(Thalès) 15
泰斯朗·德·博尔(Teisserenc de Bort) 32,33,41
坦博拉(Tambora) 119
探空气球(ballons-sondes) 32,33,81,98
特拉法尔加(Trafalgar) 28
天文学(astronomie) 114,115,117
托里拆利(Torricelli) 22,80

## W

瓦扬(Vaillant,maréchal) 29
微风(brise) 81,82,83,84
温度表(thermométre) 22,27
温室(serre) 124,125,126
文丘里流速计效应(effet de Venturi) 86
无线电探测(radiosondage) 33
雾(brouillard) 51,65,74

## X

西风(zéphyros) 78,79
西罗科风(sirocco) 79,86
西蒙风(毒风)(simoun)(vent poison) 79,87
西南风(lips) 79
希腊人(Grecs) 16,73,78
喜马拉雅山脉(Himalaya) 48
夏、冬二至点(solstice) 39,118
小气候(microclimat) 84,124
氙(xénon) 40
信风(alizés) 44,79
匈牙利气象研究所(Institut hongrois de météorologie) 81
雪(花)(neige) 15,51,58,60,61,86

## Y

雅典(Athénes) 78,79
亚里士多德(Aristote) 16,78
氩(argon) 40,41
烟雾(smog) 126
氧(oxygéne) 23,40,41

印尼(Indonésie) 73
英法战争(Grécy,bataille de) 28
英国(英国人)〔Angleterre(anglais)〕 14,20,55,89,95,127
《英国史》(拉潘)(*Histoire d' Angleterre,L'* ,Rapin de Thoyras 著) 18
英吉利海峡(Manche) 20,23
鱼群雨(pluie de poissons) 70,72
雨(pluie) 15,18,19,60,62,63,67,92,110,111,112
雨层云(nimbostratas) 55,57,67
雨量器(pluviométre) 22
远日点(aphélie) 38
月亮(lune) 15,17,20,21,39,74,89,118
云(nuages) 15,53,59,63,66,67,85,120,121

## Z

占星术(astrologie) 18
直接日照强度表(pyrhéliométre) 116
中国人(Chinois) 15,28
中间层(mésosphère) 42
中期预报中心(Centre de prévisions à moyen terme ' CEPMMT) 103
中世纪(moyen âge) 18,36,80
主体(锋面)(corps)(de la perturbation) 65,67

## 志　谢

法国巴黎国立自然历史博物馆研究员 Dr. Sylvie DUFOUR 与 Dr. Christian SALMON 在本书翻译期间惠予协助，特此表示谢意。

封面页
版权页
前言
正文