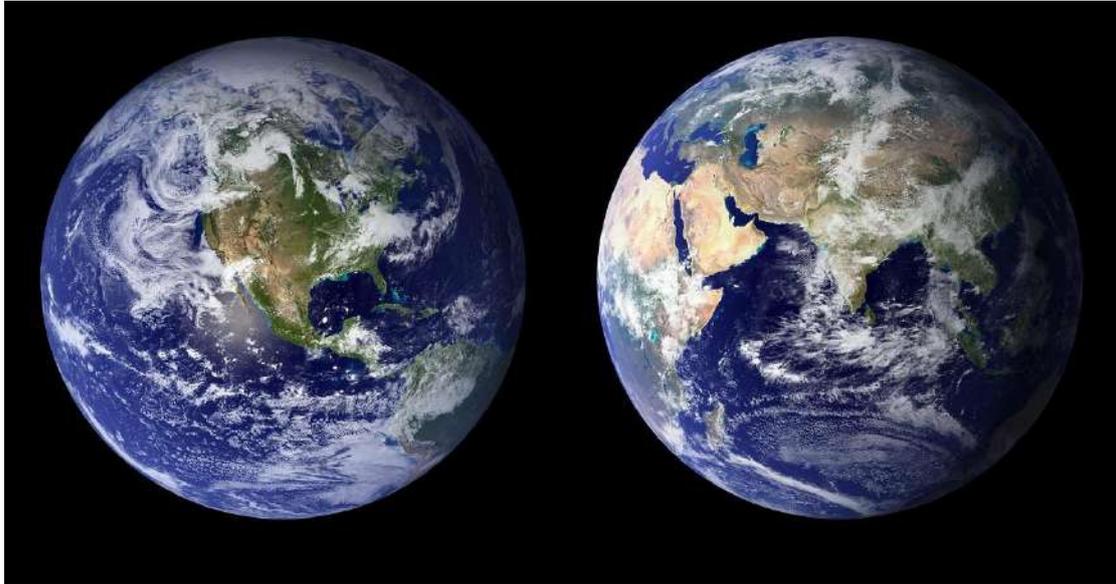


大气环流及其构成

作者: 雷内·莫罗 (René Moreau), 格勒诺布尔国立理工学院 (Grenoble-INP) 名誉教授, SIMAP 实验室 (材料和工艺科学与工程), 法国科学院及国家技术科学院成员。



大气环流的唯一驱动力是阳光。由于地球自转, 在重力、阿基米德推力和科里奥利力的约束下, 赤道和两极之间的温差导致大气在地球周围运动。这种由热带地区信风驱动的全球尺度的环流在每个半球都有一个明确的结构: 三个经圈环流与五个纬向风带相联系, 包括赤道附近的弱的低层东风带, 以及在每个半球的两个西风带, 一支是南北纬 60° 附近的高层极锋急流, 另一支是南北纬 30° 附近的高层副热带急流 (其速度慢于极锋急流)。在这些大气运动过程中, 这些气团输送并重新分配陆地上的热量和海洋蒸发产生的水汽。

1. 第一圈: 哈德莱环流

在太阳直射的过热的赤道地区, 空气较轻。就如同烟囱里的烟一样, 它从对流层上升 (见[地球的大气层和气体层](#)) 并吸入周围的空气, 产生向赤道汇聚的风。由于地球自转, 它们受到科里奥利力的影响。来自北方的空气转向右侧, 来自南方的空气转向左侧。这些信风在地面或海洋附近汇聚产生赤道东风气流, 这是一种稳定的风, 速度相对较慢, 因为其速度约为 20 km/h , 但足以将克里斯托弗·哥

伦布的纵帆船从西班牙推向西印度群岛和委内瑞拉。有关这一**热带辐合区**的更多详情，请参阅《[信风的关键作用](#)》一文。

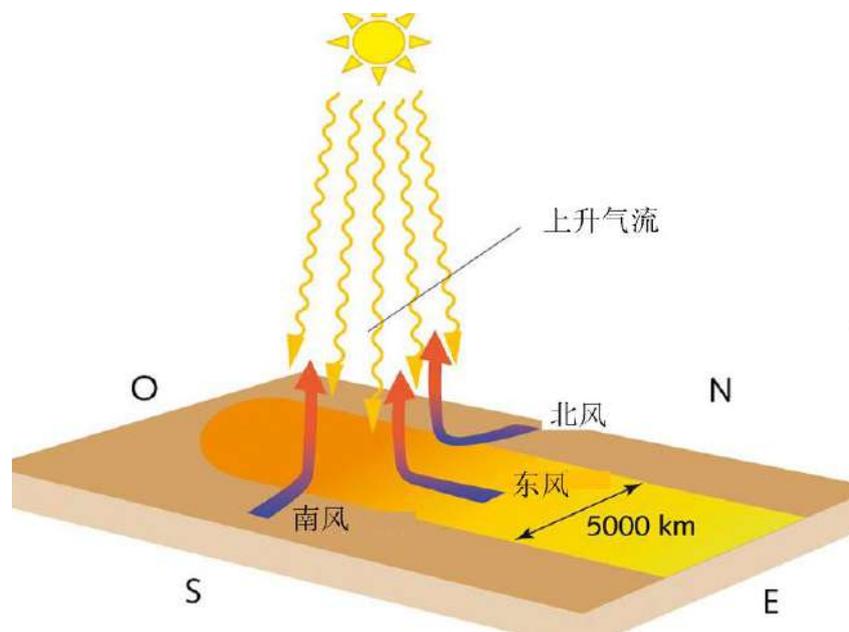


图 1. 信风的动力机制说明，它们在春秋分期间向赤道汇聚，以及由于过热空气变轻而导致的上升运动（来自 L'air et l'eau, 2013）。[来源：©EDP 科学公司]

信风的上升气流在经过海洋时混入水汽。当它穿过对流层时，在高层由于凝结而冷却，同时变干，在与重力的斗争中逐渐失去动力。它不会超过对流层顶的高度，对流层顶就像一种覆盖物一样位于对流层顶部，非常稳定。但是，在大约 15 km 的高度上，必须保持其质量流速。这只有**在其运动轨迹**以水平风的形式**弯曲**时才有可能，**要么是向北，要么是向南**，取决于位于两个半球。乔治·哈德莱（George Hadley）[1]（1685-1768），17 世纪 30 年代的一位英国律师和业余气象学家，早在古斯塔夫·加斯帕德·科里奥利（Gustave Gaspard Coriolis）的著作[2]（1792-1843）之前，他就相信这些高层气流沿着子午线流向极地地区，在那里，冷却而变重的气流可以流向地面。事实并非如此，因为在这些气流到达两极之前，科里奥利力就已经在南北半球系统地向东扭曲了它们的轨迹。因此，这种“伪力”（见[信风的关键作用](#)）阻止气流停留在子午线平面上，并在图 2 所示的哈德莱环流内形成螺旋大气环流。因此，**地球自转的影响将哈德莱环流的范围限制在南北纬 30° 附近。**

2. 再往北：极地环流与费雷尔环流

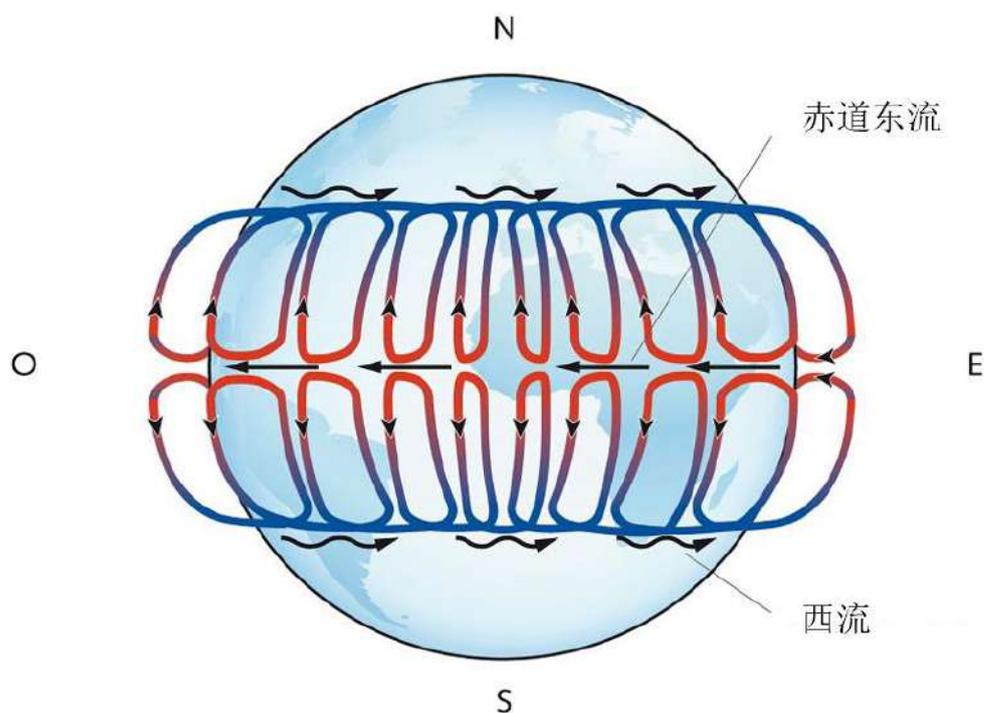


图 2. 哈德莱环流在春秋分的位置和速度。赤道东风缓慢而稳定，用直箭头表示。更快、更不稳定的西风带或急流用波浪箭头表示（来自 L'air et l'eau, 2013）。 [来源：©EDP 科学公司]

在极地地区，与哈德莱环流相似的对流环流是由来自对流层顶部的寒冷、干燥和重空气的下沉造成的，这个纬度的对流层高度（约 7 到 8 公里）比热带对流层高度（约 15 公里）更低。然而，科里奥力在两极附近最大，因为那里与地球自转的轴是垂直的；因此，它的影响远远大于位于赤道附近的哈德莱环流，相反，那里与自转轴几乎是水平的。这就是为什么两极附近的对流环流仍被限制在两极和南北纬 60° 之间。因此，在哈德莱环流（南北纬 30° ）和**极地环流**（南北纬 60° ）的两个纬度之间，出现了由美国气象学家**威廉·费雷尔**[3]（1817-1891）发现的现在以他的名字命名的环流（图 2）。

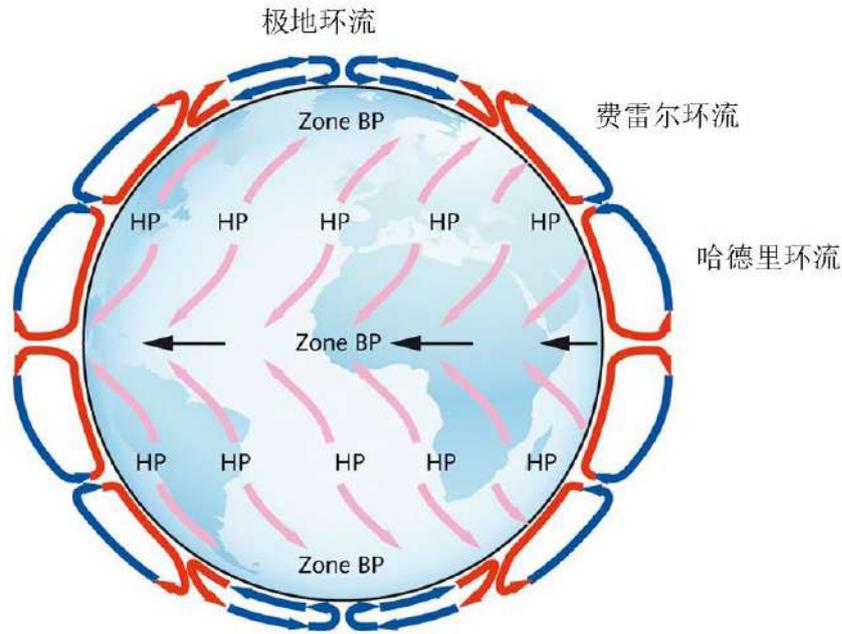


图 3. 全球大气环流的整体展示。BP: 相对低气压区, HP: 副热带急流所在的高压区。弯曲的粉红色箭头表示由科里奥利力引起的风向偏转, 北半球向右, 南半球向左。对流层没有在全球范围内表现出来, 以显示其厚度, 在对流的影响下, 赤道 (12 至 15 公里) 附近的对流层几乎是两极 (7 至 8 公里) 附近对流层厚度的两倍。来自 L'air et al'eau, 2013。[来源: ©EDP 科学公司]

在每一个半球, 都可以注意到**两个区域**, 在那里空气在高度冷却和干燥后下沉至地面。在两极附近, 这种干燥的空气大量产生导致了**北极和南极沙漠**的形成。在哈德里环流和费雷尔环流之间, 它创造了**热带和温带之间的沙漠带**: 美国南部的沙漠, 北半球的撒哈拉和戈壁沙漠, 南半球的澳大利亚沙漠和安第斯高地。相反, 位于**赤道附近**以及**极地环流和费雷尔环流之间的上升带**都会受到强降雨的影响。事实上, 在海平面的潮湿空气中, 随着海拔升高, 温度和气压急剧下降, 空气会冷却和凝结形成足够大的水滴, 从而带来雨水。这些降水频繁而丰富, 这就解释了赤道周围茂盛植被和温带地区肥沃土壤的成因。

3. 急流

在每个半球, 在对流层顶以下 (平均海平面以上约 8 至 10 公里的高度)、费雷尔环流两侧的高海拔处, 都会出现西风, 它围绕地球流动, 并围绕中纬度振荡。作为大气环流的主要部分, 这些风通常被称为**急流** (图 4)。它们是日本气象学家大石和三郎 (Oishi Wasaburo) 在 1920 年发现的, 并在一份用世界语编写的报告[4]中加以描述, 以便大量读者能够阅读。

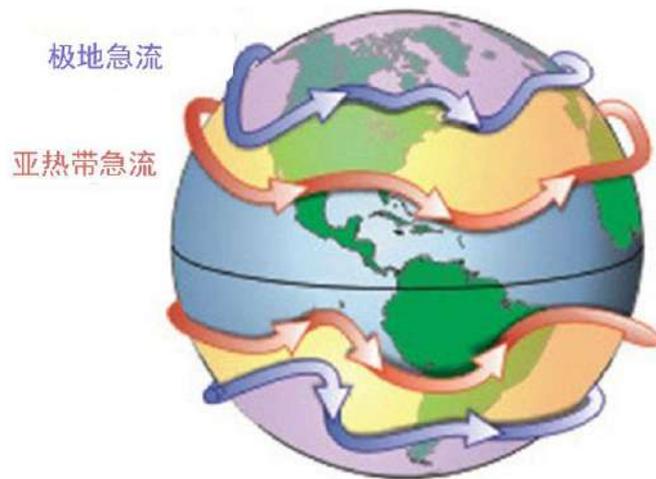


图 4. 环绕地球从西向东移动的典型的急流模式，位于费雷尔环流的两侧（黄色）。极锋急流（蓝色）是最快的（速度可达 300 km/h），也是两者中最不稳定的。跨大西洋飞往西方的航班会避开它，但飞往东方的航班可以借助它。副热带急流的速度从未超过 100 公里/小时。[来源：©美国国家海洋和大气管理局]

这些自西向东的风是由科里奥利力在狭窄区域产生的，这些狭窄区域的特征是南方的暖空气和北方的冷空气之间有很大的温差，以及很大的气压差。它们的形成机制将在更详细的[急流](#)文章中进行解释。与缓慢的赤道气流不同，极锋急流**非常快**（速度在 100 到 300 公里/小时之间），**扰动很强**，相较之下，副热带急流仍然很慢(50 到 100 公里/小时)，并且更为稳定。

它们之间的速度差异以及与缓慢的赤道东风有关的速度差异来自一种微妙的机制，与科里奥利力有关，直到 19 世纪末威廉·费雷尔（William Ferrel）才理解了这种机制。极锋急流的高速和热带急流的中速是由于旋转介质特有的机械量守恒，即**角动量（动力学定律）**守恒。该机械量是绝对风速、地球速度和相对地球风速之和与地轴距离的乘积。简言之，在这个高度，地面摩擦可以忽略不计，在最高纬度需要高风速来补偿到地球自转轴的最短距离。

本文只介绍了大气环流的平均状态，强调了其显著的组织性。由于天顶的季节性运动，作为强烈蒸发源的海洋和干燥大陆之间的交替，以及其本身的不稳定性，这种大气环流也受到**强烈波动**的影响，这是补充文章的主题：[信风的关键作用和急流](#)。

4. 需记忆的信息

- 热带地区的空气受到太阳辐射的加热而变轻，上升到对流层的顶部。在这一过程中，它卷入自南北向赤道汇聚的信风，产生**赤道东风气流**和**上升气流**，从而在子午线平面上形成哈德莱环流。
- 由科里奥利力表征的地球自转影响将**哈德莱环流**的范围限制在南北纬 30° 左右。在对流层顶，空气转向东，在每个半球产生相对缓慢的副热带急流（小于 100 km/h ）。
- 在两极和南北纬 60° 之间，温差产生了一种类似于哈德莱环流的环流，这种环流导致了**极地环流**的形成，在这种环流中，靠近地面的风从两极吹向温带地区。
- 在同一半球的哈德莱环流和极地环流之间，**费雷尔环流**以连续性的方式出现，其中地面上的主导风朝向最近的极点。
- 在对流层顶部，科里奥利力对费雷尔环流和极地环流之间的转换的影响远大于哈德莱环流和费雷尔环流之间的转换。这就产生了同样向东的**极锋急流**。这些急流速度很快（ 100 至 300 km/h ），并且其轨迹相当不稳定。

参考资料及说明

[1] George Hadley, Concerning the cause of the general trade winds, Philosophical Transactions of the Royal Society, 1735, vol.39, p. 58-62

[2] Gaspard Gustave Coriolis, Mathematical Theory of the Effects of Billiards, Carilian-Goeury, 1835

[3] William Ferrel, An essay on the winds and the currents of the oceans, Nashville Journal of Medicine and Surgery, No. 4, 1856

[4] Oishi Wasaburo, Raporto de la Aerologia Observatorio de Tateno, Aerological Observatory Report 1, Central Meteorological Observatory, Japan, 1926 (in Esperanto)

译者：付石林

审校：张文霞

责任编辑：胡玉娇