

# 卡尔—古斯塔夫·罗斯贝

(北京大学物理学院大气与海洋科学系 杨军、胡永云 编译自 James R. Fleming, *Physics Today*, 2017, (1): 51)

卡尔—古斯塔夫·罗斯贝 (Carl-Gustaf Rossby), 瑞典人, 以发现行星波(后来被称为“罗斯贝波”)而闻名, 他是20世纪最有影响、最具创新能力的气象学家。罗斯贝是一个十分活跃、精力充沛的气象学家。在近40年的职业生涯里, 无论走到哪里, 他一直处于大气与物理海洋研究前沿的中心位置。他培养了众多学术界精英, 并极大地推动了大气与海洋科学的发展<sup>1)</sup>。

现代气象学起源于挪威, 正是在挪威学派的推动下, 现代气象学进入了一个新的纪元。罗斯贝是在气象学家皮耶克尼斯<sup>2)</sup>的引导下进入了气象学领域。罗斯贝很快形成了属于他自己的学术风格。他为现代气象学和物理海洋研究开创了一系列全新的观测技术, 并为高空风场和海洋流动的分析建立了非常美妙的动力理论。罗斯贝的研究得益于当时的飞机观测、无线电探空、转盘实验和数值模拟等技术。与此同时, 他也成功地推动了这些方面的发展。凡是罗斯贝工作过的地方, 气象学的研究都被显著地推进。1956年, 罗斯贝作为封面人物登上美国《时代》周刊, 报道中写到“现代气象学的发展毫无疑问是与罗斯贝紧密相连的……现代气象学的大部分引领者都是罗斯贝博士的朋友或学生”。

## 教育经历

罗斯贝于1898年出生于瑞典的斯德哥尔摩。他从小接受过良好的文化教育, 聪明, 好问。他对很多事物都很感兴趣, 如音乐、地质、植物(尤其是兰花)。罗斯贝在斯德哥尔摩大学念书时, 学习非常优秀, 也非常勤奋。他于1918年获得学士学位, 主修的课程是数学、力学和天文学。

1919年, 罗斯贝在聆听了一场皮耶克尼斯的报告“大气中的运动不连续性”之后, 便决定申请做他的研究助理。之后, 罗斯贝进入挪威卑尔根学院开始学习气象学, 他在很短的时间内就掌握了动力气象和天气预报的核心内容。在天气预报讨论中, 他总能提出一些非常有建设性的意见。于是, 他的个人魅力也开始凸显出来, 包括能够快速抓住问题的本质, 总能给出新的理论想法, 并激发周围人的兴趣。他善于组织管理, 具有极强的说服力。他是很好的天气预报员, 也是天生的演讲家和领导者。罗斯贝常常思考的问题是如何将物理理论和大气观测联系起来。1922年秋, 罗

斯贝回到斯德哥尔摩大学继续攻读数学和物理学位, 并于1925年获得数学硕士学位。

## 转盘实验和无线电探空

1926年, 在美国—斯堪的纳维亚基金会的资助下, 罗斯贝来到位于华盛顿特区的美国国家气象局。他的任务之一就是将其极锋理论应用于美国的天气预报, 但是罗斯贝并不局限于遵从挪威学派的方法。像皮耶克尼斯一样, 罗斯贝



图1 正要放飞的无线探空气球(1940年): 探测仪器系在一个气球上, 测量数据通过无线电传回地面

1) 如果把大气动力学和物理学比较, 罗斯贝在大气动力学的位置相当于物理学的牛顿, 是罗斯贝首次把气象学建立在流体力学的坚实基础之上。——译者注

2) Vilhelm Bjerknes, 挪威卑尔根学派创始人, 以建立和发展极锋理论(the polar-front theory)而闻名。当今公认的气象学派有两个: 挪威卑尔根学派和芝加哥学派。——译者注

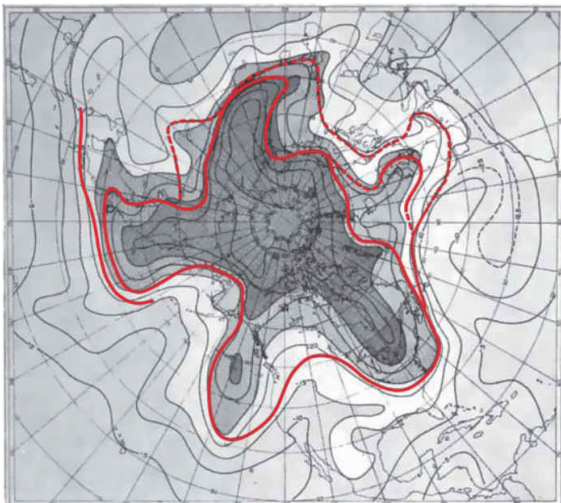


图2 行星波动(1959年): 极地俯视图, 黑色线条是高空温度等值线, 间隔为5°C, 红色线条是高空强风速中心

有自己的风格。罗斯贝是一位拥有独特想法的流体动力理论家, 也是一位拥有极好物理直觉和创新思维的思考者。

罗斯贝在美国的第一项工作是在美国气象局的地下室搭建一个模拟大气运动的转盘(rotating tank)。实验想法源自亥姆霍兹的涡旋运动理论和埃克斯纳1925年所做的旋转洗碟盘实验。转盘的直径是2 m, 里面注入融化的石蜡, 转盘绕竖直轴旋转。与地球大气层类似, 转盘的垂直尺度比水平尺度小, 因此流体的运动趋于二维。待石蜡冷却后, 便可以记录下流体的运行形态<sup>3)</sup>。

将复杂的大气运动简化, 只关注最关键的特征, 是罗斯贝的研究风格。虽然当时罗斯贝并没有在转

盘实验中取得很好的成果, 但是他一直坚持这一实验的发展。20多年后, 这一实验在揭示地球流体运动方面取得了丰硕的成果<sup>4)</sup>。

1928年, 罗斯贝来到了麻省理工学院, 建立了美国第一个气象系。长期以来, 天气预报都是根据复杂的地面气象要素来制作的。罗斯贝试图摆脱这种现状, 他开创性地尝试根据

5.5 km 高度气象场来进行天气预报。1936年, 一项新的技术——气球携带的无线电探空仪(图1)开始使用。他便利用这种仪器测量从地面到12 km 高度的大气温度、气压和湿度。正是基于这一较高时空分辨率的数据, 罗斯贝才敏锐地意识到高空气流中大尺度行星波(planetary waves)的存在。行星波的发现可能是罗斯贝最重要的科学贡献, 这种大气波动现在也称为罗斯贝波(Rossby waves)。

#### 行星波

大气中存在各种不同频率和振幅的波动, 其中波长最长的波动就是行星波。这种波对中纬度地区地面天气过程具有非常重要的影响。1940年, 通过对无线电探空仪的数据分析, 罗斯贝指出存在一个自由

大气层, 在该大气层内, 大气运动主要是由气压梯度力和科里奥利力之间的平衡来决定。行星波就是自由大气层内大气的波动, 该波动的形成伴随着向赤道方向运动的极地冷气团和向极地方向运动的低纬度暖气团。罗斯贝使用二维半球模型来描述这种波动, 并且忽略大气内部摩擦、非绝热加热、水汽和垂直运动。罗斯贝的标志性方程是行星波的相速度( $c$ )与平均气流速度( $U$ )之间的关系:

$$c = U - \frac{\beta L^2}{4\pi^2},$$

其中 $\beta$ 代表科里奥利力随纬度的变化<sup>5)</sup>,  $L$ 是波长。波长较短的波, 相速度向东, 与平均流方向相同。波长较长的波, 相速度向西。在特定波长下, 相速度可以等于零(即: 驻波)。行星波的波长通常在5000 km左右, 沿纬圈以4到5个脊和槽的形式存在(图2)。

#### 后记

1957年夏天, 罗斯贝因心脏病突发而逝世。他的突然去世是整个气象学界的重大损失。他曾预言, 当人造卫星可以从太空观测地球时, 气象学将进入一个伟大的时代。很不幸, 他没能看到这个时代的到来。他曾说到: “现在的我们就像是在海底爬行的螃蟹, 只能仰望地球, 急需站在卫星的高度来俯视地球。只有通过卫星, 我们才能亲眼看到行星波动<sup>6)</sup>。” 他的想法是完全正确的。

3) 现在的转盘实验都是用水来做实验, 而且使用颜料和快速照相机来记录流体运动特征。根据流体相似性原理, 转盘实验中流体的运动可以反映地球大气或海洋的运动特征。——译者注

4) 许多高校和研究所在依然使用该实验进行教学演示或前沿科学研究。译者之一胡永云教授的课题组就在北京大学大气与海洋科学系进行这一实验。——译者注

5) 基于物理直觉、数学天赋和对有限观测数据的准确解读, 罗斯贝将三维球坐标系下的运动近似为二维直角坐标系下的运动, 并保留了关键的 $\beta$ 项, 这就是罗斯贝的研究风格。——译者注

6) 如今, 罗斯贝波动理论已被广泛应用到地球大气与海洋、行星大气、太阳大气、磁流体、甚至是太阳系外行星大气与海洋研究中。该理论是研究旋转流体动力学的永不熄灭的明灯。——译者注