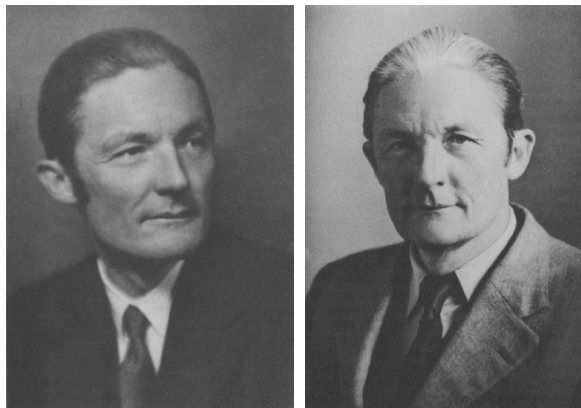


伯杰龙及其在天气学分析和高空气象学的贡献

■ 叶鑫欣 焦艳 傅刚

瑞典气象学家伯杰龙 (Tor Harold Percival Bergeron, 1891.8.15—1977.6.13) 是挪威学派的重要成员之一, 在大气科学诸多分支领域均有开创性贡献。他的研究工作同时涉及气团分类、锋面理论和降水物理学等方面, 他总结的气团分析方法是天气预报的重要分析手段之一。



T. 伯杰龙 (左: 摄于卑尔根工作时期, 右: 摄于20世纪30年代初)

一、伯杰龙与天气学分析

伯杰龙出生在英国萨里城郊的戈德斯通, 成长在一个富有艺术气息的家庭中, 父亲经营邮票生意, 母亲是歌手及声乐教师。少年时代的伯杰龙对天气现象和云观测有浓厚的兴趣, 并养成记“天气日志”的习惯, 几乎每个夏天都会到位于挪威边境的Ånn (63°20'N, 12°30'E, 海拔560m) 进行观测, 在那里他观测到了当时的云图中从未提及的山脉背风波云系 (lee-wave clouds)。

1910—1916年, 伯杰龙在斯德哥尔摩大学学习数学和物理。遵照Ekholm的建议^①他非常努力地学习物理。尽管如此, 他仍然保持着对气象学的热爱, 经常到气象学会学习分析天气图。根据大量的观测数据, 伯杰龙发现两个气团之间往往存在明显的边界, 并认为气团之间的性质差异是源地不同导致的, 一定存在某种更为保守的性质, 可以表征气团的“纯净程度”, 认为大气能见度可用来跟踪气团移动、混合等过程。

1918年秋, 伯杰龙在瑞典见到了J.皮叶克尼斯和索尔伯格, 次年被Sandström推荐到卑尔根气象学院学习, 与那里的气象学家们成为挚友。他在1919年11月18日的



伯杰龙发现两个气团之间往往存在明显的边界, 一定存在某种更为保守的性质, 可以表征气团的“纯净程度”。

天气图上首次发现了“锢囚”现象和“锢囚锋”, 而后从理论方面完善了极锋、锋面气旋等理论, 并从观测事实角度验证了有关理想模型的合理性, 而且构思出了天气图上沿用至今的冷暖锋的标记方法。1919年末, 他前往斯德哥尔摩的瑞典气象水文学会任初级气象学家一职, 直到1922年5月回到卑尔根, 并在挪威气象学会天气预报部门工作至1929年。1923年春季, 他在卑尔根专门开设天气图分析课程, 这也是之后系统化的气象教学的开端。1926年, 他与德国气象学家G. Schinze^②的堂妹Elfriede Schinze结为夫妇。这期间, 他还先后到德国莱比锡大学 (1923—1925年) 和奥斯陆大学 (1925—1928年) 深造, 并于1928年获得奥斯陆大学博士学位。伯杰龙曾游历多国并撰写著作, 致力于传播挪威学派的天气学分析方法; 期间提出了冷云降水机制, 即后来为人们熟知的魏格纳—伯杰龙—芬代森降水过程 (the Wegener-Bergeron-Findeisen process)。

伯杰龙具有过人的语言天赋, 掌握七种语言, 因而成为挪威学派科学家中传道授业的主要贡献者, 曾到马耳他、前苏联等地讲学。1930年9—12月和1931年12月—1932年10月, 他两次前往莫斯科指导天气分析, 讲座内容由他和两名俄国天气学家S. P. Chromow 及B. L. Dzerdzyevsky共同整理成俄语版。

1936年, 伯杰龙回到斯德哥尔摩, 在瑞典气象水文研究所 (SMHI) 工作 (1936—1947年), 并于1942年起担任首席气象科学家。尽管当时瑞典气象学界对挪威学派的理念抱有排斥, 通过讲座和天气图分析课程, 伯杰龙仍推动了天气学分析方法在瑞典的普及。不仅如此, 他非常关注斯德哥尔摩广播发布的气象预报, 常常直接向预报部门阐述他的意见。在此期间他还担任世界气象组织 (WMO) 天气学委员会委员职务, 在云和降水分类工作中做出了贡献。

1945年第二次世界大战结束时, 瑞典军事和航空领域面临巨大的气象人才需求, SMHI随即开设了天气学分析培训课程。不久后, 瑞典政府开始重视气象学教学, 诸多高校开设了气象学专业, 伯杰龙也于1947年被

^① N. Ekholm (1848—1923年), 瑞典气象学家、极地探险家, 1914—1918年主要负责瑞典气象学会, 他是伯杰龙母亲的一位朋友。

^② G. Schinze当时在挪威气象服务部门工作, 以天气图分析认真著称, 曾提出一套天气图工作流程。



晚年致力于Pluvius降水研究计划的伯杰龙（摄于1969年）

聘为乌普萨拉大学天气学系教授及系主任，进行了热带气象学和极地气象的研究。1953年，他主持了Pluvius降水研究计划，负责项目实施直到晚年，保持着清晰、敏锐的思维和良好的记忆力。同年9—10月，他参与了国际教科文组织技术援助计划（The UNESCO Technical Aid Program），到摩洛哥和南斯拉夫进行天气学分析教学。1961年从乌普萨拉大学退休后，年近七旬的伯杰龙仍在气象学院继续着研究工作。1976年秋，伯杰龙在85岁生日后不久便罹患胰腺癌，1977年6月13日逝世于瑞典乌普萨拉，是最后一位辞世的挪威气象学派的核心人物。

二、伯杰龙与高空气象学

除了天气学分析，伯杰龙在高空气象学方面的工作也极大地推动了近代天气预报的发展。1923—1925年在莱比锡学习期间，伯杰龙首先针对1923年9—14日北欧地区气旋进行了详细分析，用他所说的“间接高空气象学”方法（indirect aerology）揭示出气旋发展过程中大气的结构变化和降水云系的形成，并指出气流辐合不仅可以存在于风场，也能以风速切变为特征，成为首篇应用挪威学派理论和方法分析天气过程个例的文章。由于全文以德语撰写，这项工作未能引起关注。遵照作者要求，这篇文章没有出版英文译本，主要内容以及文中经典天气图被收录在《动力气象学和天气预报》（*Dynamic Meteorology and Weather Forecasting*）一书的第17卷。

1915年，飞机最先在荷兰城市乌得勒支地区被应用于气象观测。伯杰龙随即利用这类高空观测数据研究了锋面和相关云系，然而当时他对高空气象学的兴趣并没有得到挪威学派其他科学家的认同。1935年，随着一系列飞行计划在瑞典菲利普斯塔德（Filipstad）和挪威内斯

比恩（Nesbyen）相继实施，大量观测分析使“间接高空气象学”方法趋于成熟，该方法即通过分析地面观测数据、云的状态和移动判断高空气流情况，弥补高空观测稀少问题。在那时无线电探空技术尚未广泛应用于业务预报，“间接高空气象学”恰恰指导人们将云观测与地面天气图相结合，推断出三维空间内的物理过程。在挪威空军的帮助下，高空直接气象观测设备逐渐增多，垂直大气观测得以实现。

三、论文专著

伯杰龙在天气学分析方面的重要成果集中呈现在他的博士学位论文中，包括锋生机制、气团分类等多个问题，文中的许多概念都被后来的气象学教科书采用，重要理念收录在*Ground Plan of a Dynamic Climatology*一书中。伯杰龙在文中强调了高空气象分析的重要性，而高空观测与地面系统的配置恰恰在这之后的十多年中成为气象学研究和天气预报的重点之一。他认为，天气变化是与不同性质的气团活动，尤其是锋面气旋活动相联系的。考虑到冷暖空气变化的热力学过程，他将气团系统地划分了类别，按源地分为赤道、热带、近极地、极地气团，按最终的热力层结和湿度特点分为海洋性、大陆性气团。为确定气团类别，他给出一些观测指标，包括大气能见度、天空颜色等，希望通过分析中、小尺度的观测数据反映大尺度的天气变化。伯杰龙还分析了锋生锋消的运动学、动力学机制，根据降水类型、云系分布和大气能见度，利用“间接高空气象学”分析方法确定出气团的热力结构，并指出了变形场中的锋生锋消过程，认为当两个垂直尺度足够大的气团发生相对运动、交界区域变窄时锋生，当辐散运动占主导时锋消。该过程与湍流、辐射导致的能量交换也有关系，中性点是确定锋生位置、时间的关键要素。他认为这种流型多出现在半永久性高低压系统之间，并解释了锋生区的平均季节变化。

伯杰龙对论文写作要求苛刻，许多文章未曾发表。尽管如此，他的讲稿仍被作为天气学教科书的基础资料，经同事整理后以俄、英、德等语言出版。在数值预报产品广泛应用的今天，人们仍然可以通过他的著述认识天气学分析和预报的基本方法。这些著作无疑在传播挪威学派理念的过程中发挥了重要作用。

（作者单位：叶鑫欣，北京大学；
焦艳，国家海洋局北海预报中心；傅刚，中国海洋大学）