

国外暴雨专题参考資料

国内外暴雨的分析预报与研究

附 集 二



中央气象局气象科学技术情报研究所

天气专集

•内部印发•

国内外暴雨的分析预报与研究

附 集 二

国外暴雨专题参考资料

中央气象局气象科技情报研究所

1977年9月

说 明

暴雨是我国主要灾害性天气之一。近年来，我国广大气象台站、专业院校与科研单位围绕暴雨的分析与预报问题进行了多方面的、深入的、也很有成效的探讨。但由于对其研究成果没能及时全面汇编出版；同时对国外有关暴雨分析研究的进展较系统地编译介绍不够，参阅很是不便。根据专业工作人员的要求，气象科技情报研究所“暴雨”专题组拟对国内外有关暴雨分析研究与预报的情况进行一些可能的、综合的了解与评述，现将已粗略了解的国外有关资料（国内已有介绍的不再编入），译编作为附集印发，以备查阅。

编译过程中得到多方面的指导与协助，特此致谢。由于力量与水平所限，不免有错误，尚请指正。

气象科学技术情报研究所“暴雨”专题组

1977年9月

目次

综合分析

降水研究的问题与方法.....	(1)
降水系统结构的评述.....	(21)
梅雨锋暴雨.....	(29)

大尺度分析

梅雨锋的大尺度特征.....	(37)
伴有暴雨的梅雨锋特征.....	(51)
梅雨期低空急流北侧频繁发生的暴雨.....	(59)
用运动学法和准地转 ω 方程法计算大尺度垂直运动的比较.....	(62)
关于暴雨尺度与水汽收支的分析.....	(69)
梅雨季节偏南气流向大暴雨区的横向水汽通量.....	(76)
英格兰南部一次罕见的降水.....	(84)
美国科罗拉多州大汤普森的一次大暴雨.....	(93)
美国黑山暴雨的气象分析.....	(96)
日本的台风暴雨(1974年7月6—8日).....	(100)

中小尺度分析

气象雷达在预报锋面降水中的应用.....	(115)
锢囚气旋降水的中尺度结构.....	(125)
美国科罗拉多州东北部一次暴雨中的三维气流运动.....	(131)
论梅雨锋的结构及在低层大气中与其相关联的中间尺度的扰动.....	(138)
与低空急流相联系的中尺度回波团的带状结构.....	(148)
带状回波生成与维持的天气学条件.....	(157)
梅雨锋暴雨与中间尺度及中尺度扰动.....	(167)
从每小时雨量图看一次罕见降水过程的中尺度和小尺度运动.....	(168)

地形影响

从云物理学看地形对暴雨的作用.....	(175)
大尺度地形与暴雨的关系.....	(183)
日本四国南部的暴雨.....	(187)
东海地方的强降雨与地形.....	(193)

雨量预报及其它

关于梅雨锋暴雨的监视与预报.....	(198)
对流三条件和KY指数的大雨预报方法.....	(200)
细网格初始方程模式和大雨预报.....	(202)
关于台风雨量预报的计算方案.....	(210)
“艾格尼丝”(Agnes) 台风雨量的中尺度预报.....	(214)
预报连续性降水和阵性降水的天气动力学方案.....	(219)
利用中尺度稳定度四维演变设计的一种短期雷暴预报系统.....	(223)
局地强对流降水的短期预报.....	(227)

降水研究的问题和方法^{*}

[瑞典] T·贝吉龙 (Bergeron)

1875年,伟大的物理学家和生理学家 H.VON 赫姆霍尔兹 (Helmholtz) 曾作过关于“气旋与雷暴”的演讲。他感到不能预报降水的开始与结束,在物理学家的心灵上烙上了沉痛的创伤。他说:“在天空中星星沿着各自的轨道运行,这表示着自然界永恒的规律。在这同一天空中,我们又看到云塔高耸、雨水倾泻以及风在变化——这些现象却表示极端相反情况,它们是自然界所有过程中最变幻无常的,不可能将它们归入自然规律的行列之内。”

100年前,在赫姆霍尔兹的时代,人们只能概略地了解这些现象对人类的巨大作用。而现在,我们则是不含糊地知道云及其降水如何决定着地球上生物所在的地圈即所谓生物圈中大部份生命的条件。举例来说,我们知道光合作用是由光辐射控制的,在陆地上则为雨云所供给的淡水所控制,可以说是我们地球上最大的工业生产。它比我们地球上人工生产的任何种类的能量要大好几个量级。正如在美国熟知的,我们所畏惧的土壤剥蚀之灾是由大雨和干旱造成的。我们非常需要水,但是现在我们又担心地下水位的下降,其他与水、旱相联的种种作用就不消一都说了

然而今天,我们的物理学家,总的说来,已非常有效地克服了他们良知上的创伤,几乎唯独把我们气象学家弃留在至今我们显然尚未掌握的大量错综复杂且重大的问题中。(我只要指出,在这里,或在波士顿,我们都经历到的前24小时的降雨,虽也可以预报到某种程度,或者说象某种阵雨,但作为一场24小时的大雨,在它的性质和量上确实是没有预报出来。)强或持续的降水一般确是重大的并具有灾害性。因而我们对这种降水产生的机理加以探讨看来是有理由的,甚至对弱的或间歇性的降水也要给予一定的注意。我们希望在强烈天气现象的背后找到最确切和最典型的机理、最显著的因子。这将有助于科学地处理和解答这些气象问题,否则往往过于复杂。这种典型的例子同样适用于,比如对冰雹进行人工试验,给出人工降水或制止某种降水的最好方法。

大量降水只能由“补给机制”生成。所谓“补给机制”,这是指在这种机制中,能造成对流层低空某一有限空间内出现系统性的上升气流,能不断地输送进来新的水汽和新的凝结核粒子。这些有限空间或者在固定的某一地区,或对上升气流来说保持静止,如锋面雨或对流性雨。不论是锋面降水或对流性降水,就降水量而言,关键是对流层低空的活动。此外,对其他类型的降水也值得研究,尤其是那些在预料之外的小量降雨,例如在一般是预期会有大雨的条件下,雨量比人们所预期的要小。

人们区分了云的微观物理学、宏观物理学与天气学。然而,我想用微、中和宏观物理学的提法也许比较好些(大体对应于云滴、单块云和云系)。因为云的天气学这个名称就引进了非对称性,并且人们习惯于想到“微观”和“宏观”是对我们而言,而云的天气学是为预报员而言,因此,我们可以不必为此纠缠。事实上,这些现象是如此紧密地联系在一起,不能单独解决,我们必须将这些问题结合起来。

另一点我认为是重要的,降落在大雨或雪的每块云或云系可以分为一个释放部份和一个消耗部份。我把它称为云或云系的降水释放者和消耗者,或者叫做降水的“播种者”和“供给者”,它们不一定在同一块云内形成;它们可以是两块不同的云,一块居于另一块之上,以某一方式或其他方式协同作用;它们必需真正地确保有效的降水而协同作用。一块云若没有供给者就只能降落很少量的雨或无雨。即使凝结作用相当强烈,一块云若没有播种者一般不会降雨,或仅有毛毛雨。并且这又再一次说明为什么我们的问题不能各自由云的微、中与宏观物理学工作得到解决。

* 本文系作者以降水物理学会荣誉主席的名义在美国召开的降水会议上的发言。

下面讨论降水的一些重要类型及其机理。图1是云和降水主要机理的垂直剖面示意图（不包括由雾和层云中降落的毛毛雨）；同时，各幅大小不同的小图大致对应于它们在地球上降水的相对重要性，其中第二行的小图表示对流系统，它和第一行小图中正常的对流云一起形成了夏季热带地区，甚至中纬地区陆地上的大部份降水。相应地，在中纬度的海洋上，对流云提供了冬季降水的大部份。（在美国中西部对流系统或“飚线”带来春季与秋季的降水的大部份，而暖锋只带来相对少量的降水）。第三行小图表示热带飓风的降水机理，它在晚夏与秋季海洋和邻近的海岸上带来大量的降水。这些图中，对流系统和热带飓风之间，外观上是相似的，但同时它们又是相反的。这里只想指出它们都具有两个雨“环流圈”，一个大的环流圈 C_0 和一个由降雨冷却所形成的较小的环流圈 C_1 。在热带飓风中，这两个环流圈协同作用，就形成了一种非常有效的机制，产生一个气旋性的涡旋，并常常在涡旋中心造成极低的气压。在对流性天气系统中则是另一种情况，这个环流圈相互对抗， C_1 在对流系统的内部造成一个小高压，由此阻止任何气旋的形成。代之以一个低压槽正好在这小环流圈的外边形成，这正如后面藤田哲也的详细研究所给出的。图1中最下一行小图表示了两种地形云和降水系统，一种伸展到高层，另一种只出现在低层，第三是锋面降水的机制。然而，就全球的总和来看，后面这三种机理所形成的降水远少于上面三行图中各机理所形成的降水。本文下面所给各图是对图1的各种机理给出实例。

美国东部的天气图（图2）上显示出沿着东部边缘有一条称为“飚线”的对流系统。事实上，这是一条伪冷锋，冷空气是由气旋暖区热带空气内所形成的对流系统造成的强烈降水冷却而产生的。这个气旋的主要降水是由这个飚线引起的。1947年，当我第一次分析图1第2行小图的剖面时，我预报了最大的降水强度将发生在沿这对流系统（飚线）的前部边缘上，在飚线后部因为云将由降水的冷却而消散，雨量最小；然后在暖区后部边缘（即冷锋上）降水强度将再次增强。

几年以后，如图3所示，证实了这个假定或“预报”，图3给出了这个极度对流的系统中一小时的降雨分布。在它的前沿，降水强度达每小时2英寸（51毫米），在这对流系统内部相当大的面积上，降水强度减弱到零，再往西，它的数量达到了至少是每小时1/10英寸，证明了所预期的在这系统后部的增量。这条飚线移过了美国东部，在几小时之内降了1—8英寸的雨。这种机制似乎是美国中西部夏半年主要的降水形式。因而对流系统是一种重要的机制，值得象藤田哲也以及许多研究者所做的那些非常细致和精巧的研究。

从泰帕尔（M. Tepper）那里我得到另一个类似的例子，即1951年6月1—2日“气压跳跃”的例子。图4给出了这一气压跳跃通过内布拉斯加、衣阿华、堪萨斯和俄克拉何马的等时线，可见它跨越了相当广阔的地区。考察了这个例子的大量气压图之后，我并不怀疑这个气压跳跃线的真实性，虽然，自然地不需要接受已给出的各种解释。在美国有着大量自记雨量计的站网，而且它们的记录已整理出并出版了每小时的降水资料，这是世界上唯有这种资料的国家。由于这些资料，在1953年，我能够进行一系列天气图的分析，图5给出了其中的一个例子。如你们所看到的，这个结果和1955年藤田哲也所得到的结果相似。因此，我们的工作很好地互相印证。在此例中有一条长的准静止极锋，冷锋区向堪萨斯西南伸去，位于内布拉斯加和衣阿华州的暖锋区仅降落了少量的雨。在内布拉斯加的东南部，在热带空气内暖区的顶部有一个圆形的对流系统，沿着它的外缘有强烈降水，而

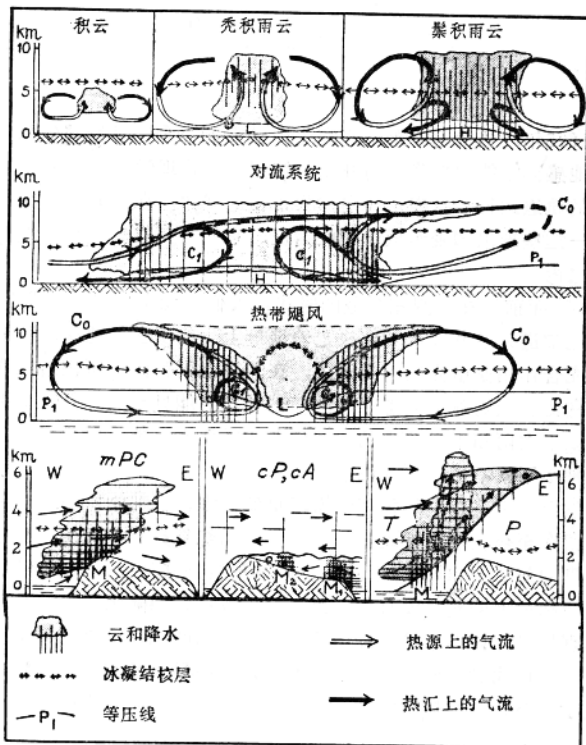


图1 主要的降水机理：垂直剖面图

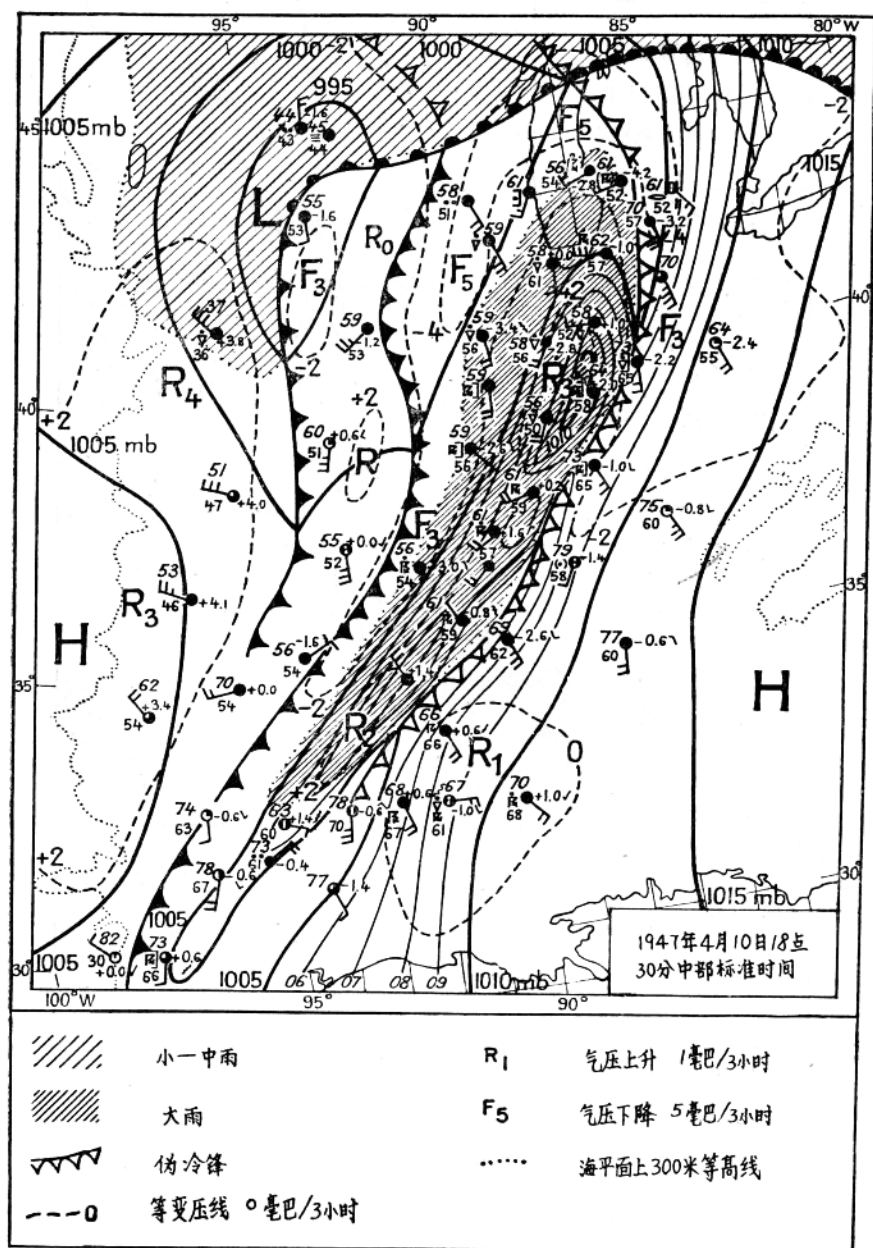


图2 1947年4月10日18时30分（中部标准时间）美国东部对流系统的天气图

在其内部则没有或很少降水，在正中心的地方有一个小高压。所有这些都可以在上面提到的每小时雨量图上追踪出来。从所引用的泰帕尔的图（图4）中也表明了气压跳跃的位置。

对于对流系统的起源，我们并不很清楚。但是它通常是形成在暖区内，并常在暖区顶部。有时“飚线”与冷锋平行，但是在这个例子中，带有一个圆形的伪锋面。我不大能接受关于“飚线”或对流系统的老的解释，说是由于较高层冷空气的侵入而造成的。如果是这样的话，那么，在这个例子中为什么强对流区不扩张到得克萨斯

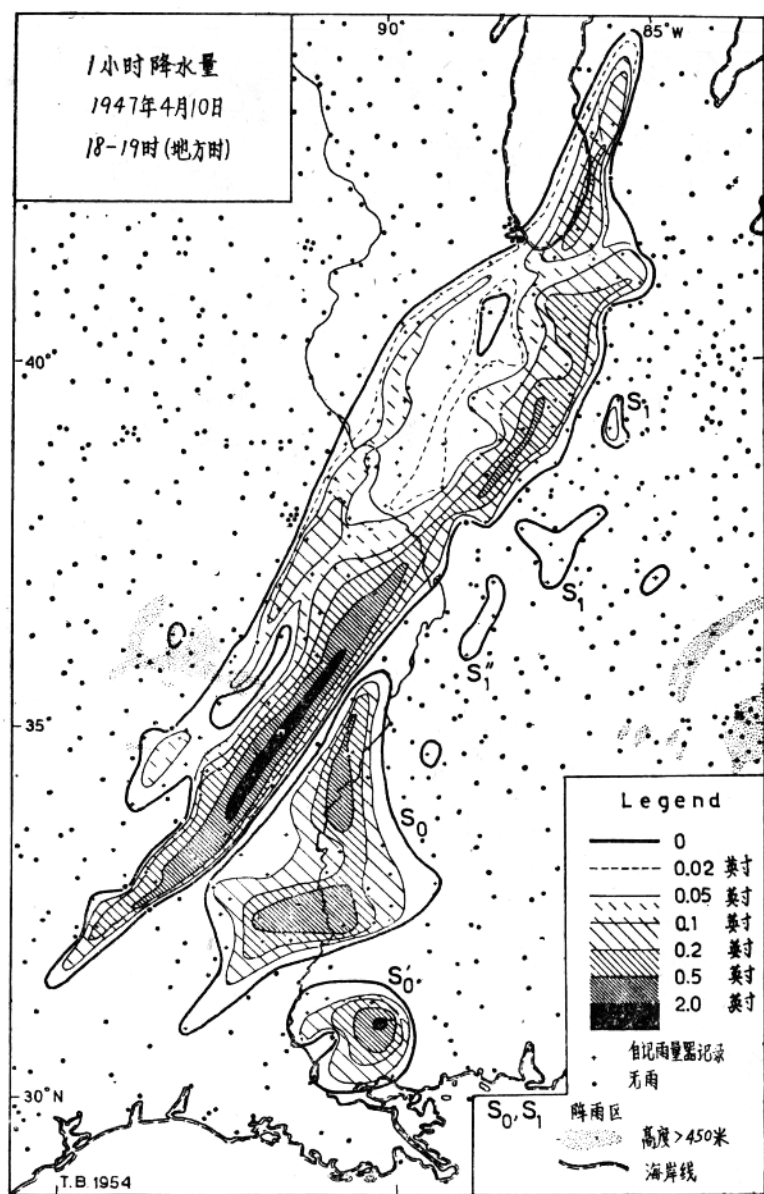


图3 1947年4月10日18时30分(中部标准时间)的降水强度图

斯呢?事实上,在此例中关于对流系统的解释很可能是另一种情况。假如我们从观测它出发,然后消化和仔细地分析它,并在后一阶段给出我们的解释,我们看法就比较稳妥些。这里我想强调的是在0点30分(世界时)图(图5a)的时段内气压跳跃远远落后于这条“飑线”,同时也在冷锋之后。但是,9小时之后(图5b)气压跳跃线大部份越过了原来的冷锋以及那条伪锋面。这时对流系统造成了一个近于环状的雨区,在其中中心部份基本无雨。在其后的图上,气压跳跃甚至更向前推移进到热带空气之内,并将原来的冷锋和伪锋面皆甩在它的后面。由此,我们可以得出结论在这个例子中气压跳跃的产生既不是由于“飑线”,也不是由于冷锋。在此例中它们多少是三种独立的原因。肯定地,这些现象将来值得做更多的研究。

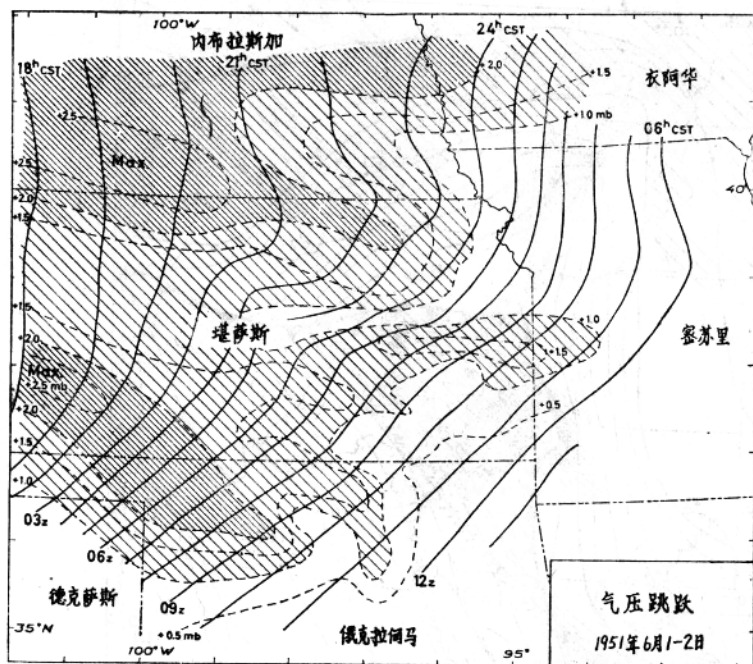


图4 1951年6月1—2日
气压跳跃等时线图
(据 M. 泰帕尔)
03z——气压跳跃
等时线
+1.0——气压跳跃
等幅度线
(毫巴)

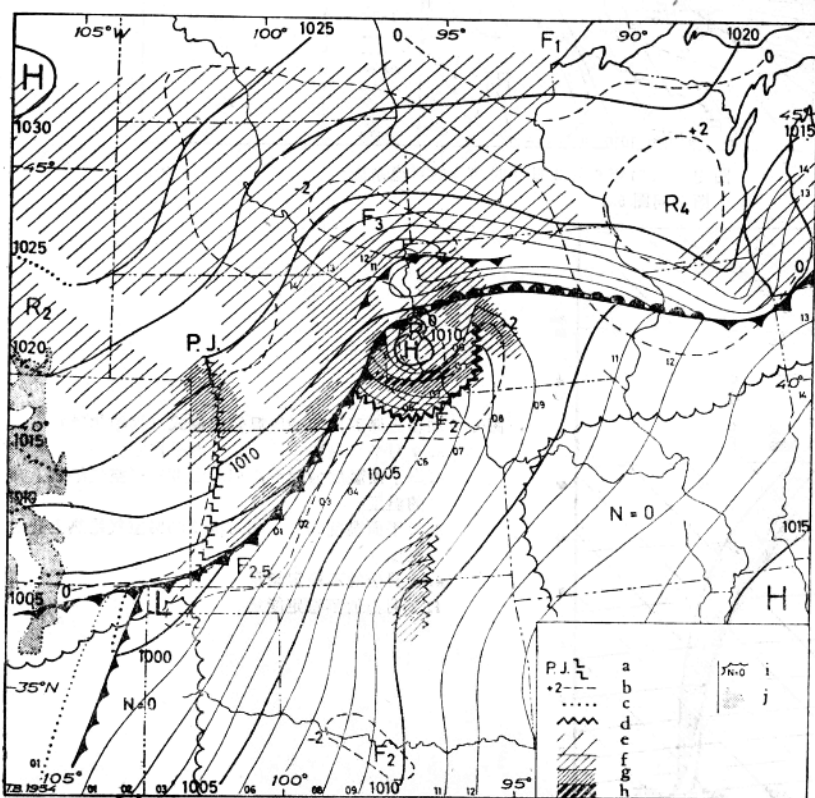


图5a. 1951年6月2日0时30
分的对流系统
图例: a. 气压跳跃线
b. 3小时等变压线
c. 虚等压线
d. 伪冷锋
e. 天气时间的雨区
f. 每小时0.0毫米
等雨量线
g. 每小时2.5毫米
等雨量线
h. 每小时12.5毫米
等雨量线
i. 无云
j. 地面高度 > 2.4
公里

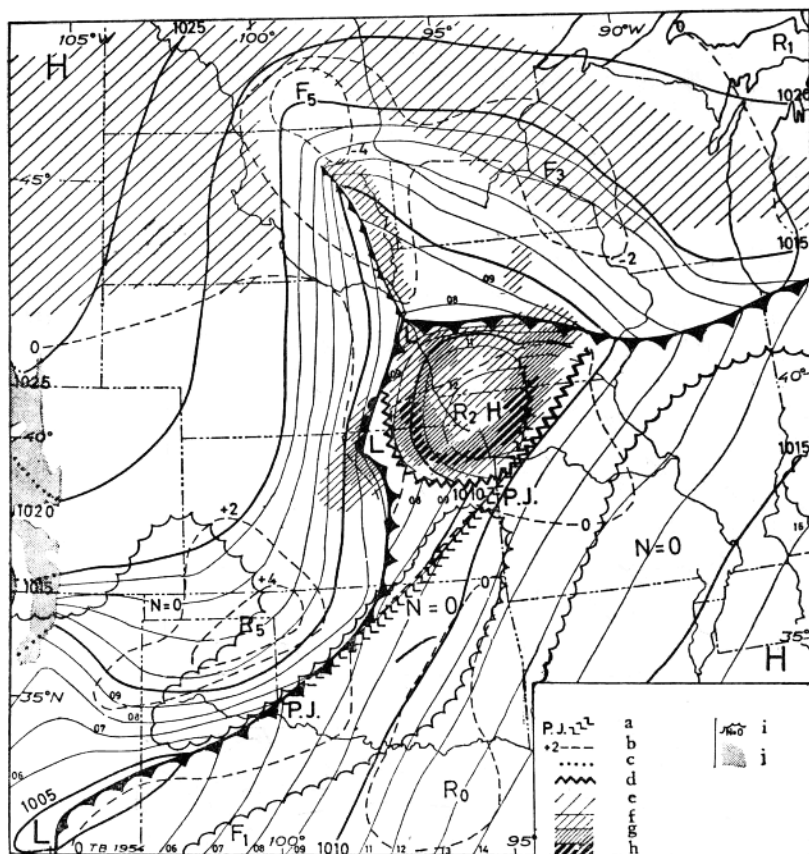


图 5b 1951年 6 月 2 日 9 时 30 分的对流系统
图例同图 5a.

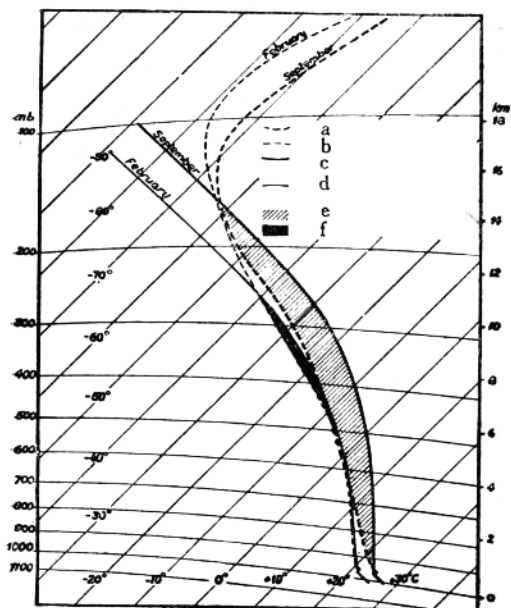


图 6 加勒比海飓风的一般温熵图模式 (据帕尔敏)

- a. 9 月平均温度 b. 2 月平均温度
- c. 海平面温度为 28°C, 相对湿度 85% 空气绝热上升的温度
- d. 海平面温度为 25°C, 相对湿度 85% 空气绝热上升的温度
- e. 9 月份的不稳定能量
- f. 2 月份的不稳定能量

帕尔敏(Palmen)曾指出, 热带飓风是根据对流理论生成并维持的, 图6是对流上升曲线, 当2月份尚无飓风的时候, 它主要位于层结曲线的左侧, 在飓风季节中期, 9月份的相应曲线表明, 在上升曲线和空气的层结曲线之间有一大片正区。我特别想强调的是上升曲线随高度而辐散。因此, 对应于地面上的某一温度差在对流层顶, 或300毫巴层就有一个二到三倍大的温度差。这说明, 云底上升空气中的温度若高 2°C , 则在飓风云顶部的温度将高 $4-6^{\circ}\text{C}$ 。因此大大地增加了不稳定能量。假如相反, 在地面上温度降低一点, 就会失去大量的能量。

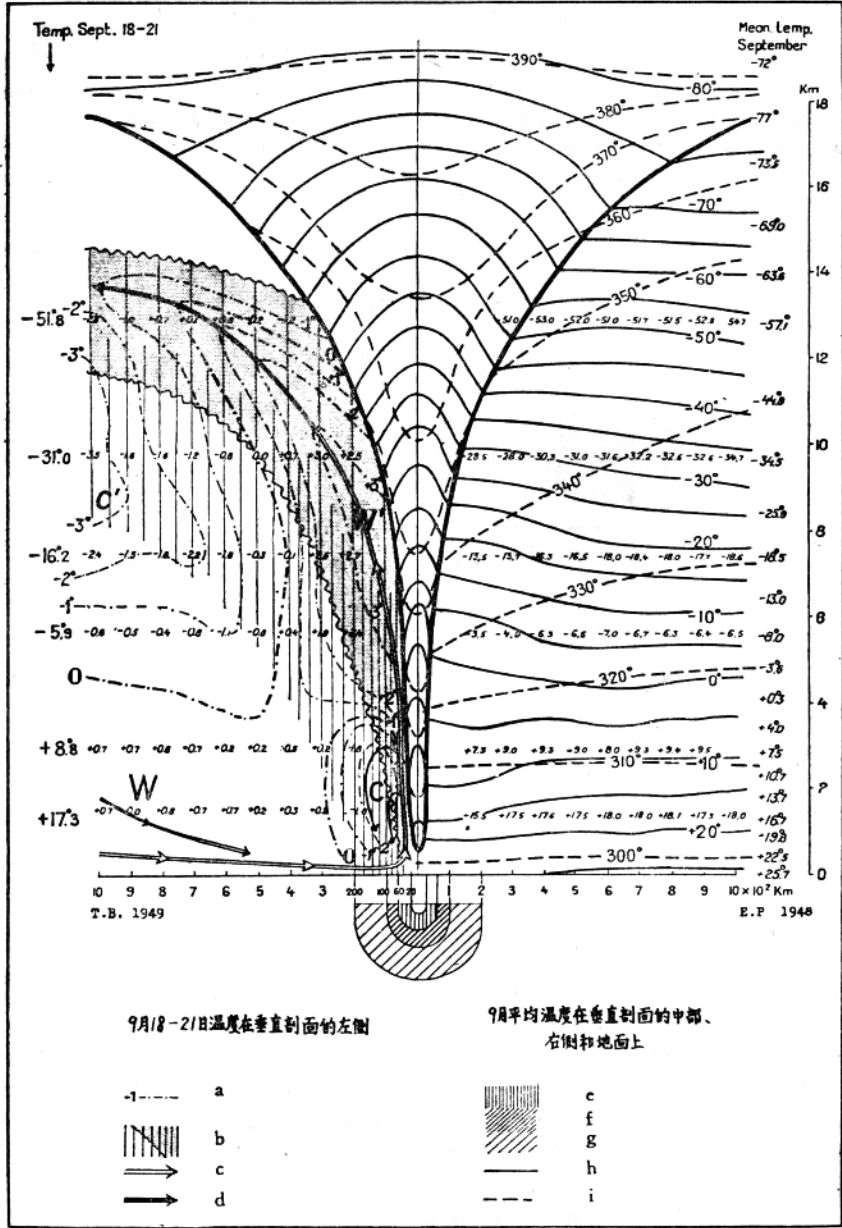


图7 1947年9月17—20日经过美国东南部的强热带飓风的平均垂直剖面图 据E. 帕尔敏和T. 贝吉龙

图例: a. 气温较该层平均低 1°C b. 降水云 c. 热源上的气流 d. 热汇上的气流
e. 主要上升气流区 f. 大雨 g. 小到中雨 h. 等温线 $^{\circ}\text{C}$ i. 等熵线 $^{\circ}\text{C}$

现在，我们面对这样的事实，在成熟的热带飓风中心通常气压是非常低的。这一点是重要的，然而至今并未引起足够的重视。因此，假如中心气压降低了，除非凝结层不升高或温度下降，上升曲线将移至该图的右方，不稳定能量将增加。实际上，在暖海面上摩擦层内空气向低压流入时，可以不受膨胀的影响而保持其高温。它的温度可以保持和海表温度接近，这要感谢热量从海面迅速地输送到空气中，而且无论在何种情况下，海面不会在一个短时间内有明显的降温。因此，空气的湿球位温就升高了。根据成因，可以这样说，若中心气压非常低，飓风可以积蓄起大量的不稳定能量。

图7表示1947年9月穿过迈阿密和新奥尔良一个较大飓风的垂直剖面图，帕尔敏和我都曾对它进行过分析。据我所见，这个飓风机制的决定因素是发生在最强降水区内，流入空气的上升气流，如图7底部示意小图和图1第3行小图所示。飓风中心的云块常是漏斗状，因此，直到离开飓风眼一定距离，即到达最强上升气流圈之外时，它不能（通过冰一核或其他）伸展到足够的高度并产生高效率的降水释放，这是一个在微、中和宏观云物理因素间协同作用的一个良好的例子。在相反情况下，降水冷却促使C₁环与C₀环的机制相对抗，这样飓风将转化为一个或多个对流系统。这或者就是图8所示的情况。

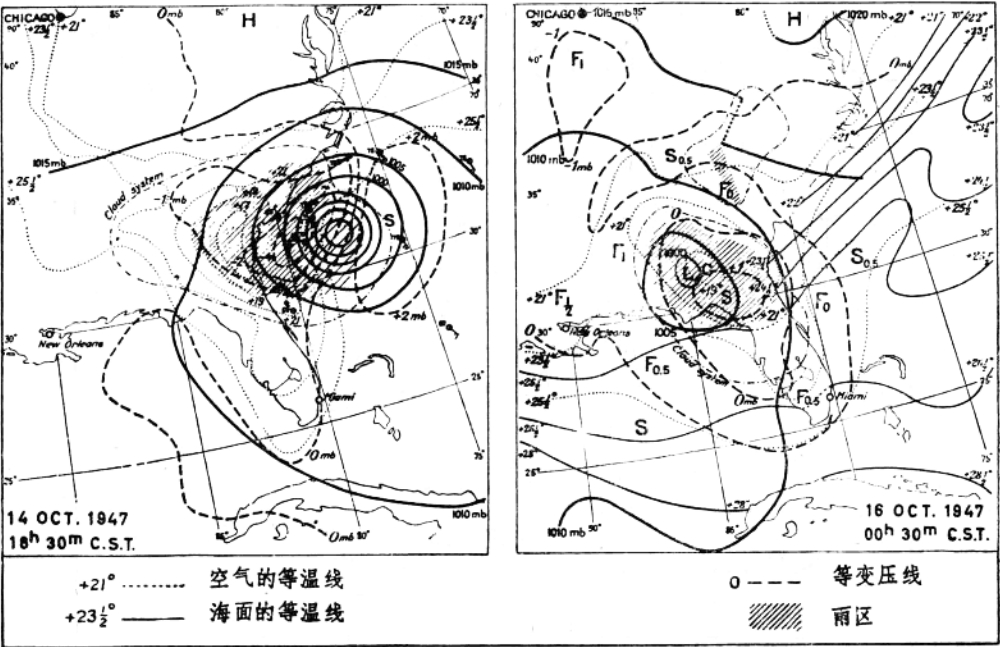


图8 1947年10月14—16日热带飓风在佐治亚和亚拉巴马削弱图。
S表示气压上升区

不幸，我未能从这一观点对1947年9月的这一强飓风进行分析。图8所示是同一年的另一个飓风，当它尚位于佐治亚海岸外时，它还是相当强的，在其中心海温约为+26°C，从海面上升的空气其温度也可能非常接近这数值，对应着一个巨大的不稳定能量。24小时后飓风中心移入陆地上并开始迅速填塞。这种效应通常是归因于摩擦的作用。然而据我看，填塞的主要原因是由于陆地上摩擦层内空气的降水冷却作用，而这是唯一可以流入飓风内并形成上升气流的空气。在此例中，这空气在飓风中心附近由于其本身的降雨冷却温度降低到19°C，这意味着不稳定能量已转变为负值。这好象在整个机器中放入了一个非常强有力的制动机，恰似用机器来驱动一个汽车似的。

我所以提到飓风，主要是由于它们代表了一种很重要降水问题。事实上，有许多飓风就是由于降水而消亡的。图9展示了1947年9月强飓风经过佛罗里达州时降水强度的分布情况。当然，沿用已知的观点分析，飓风应有一个没有降水的“眼”，强降水区应形成一个圈；显然就是如此。从这几张小图上可以看出雨区是怎样移过佛罗里达，而且在它移动的过程中是如何扩大的。逐渐地，它变为具有两个甚至多个飓风眼，同时环状雨带内

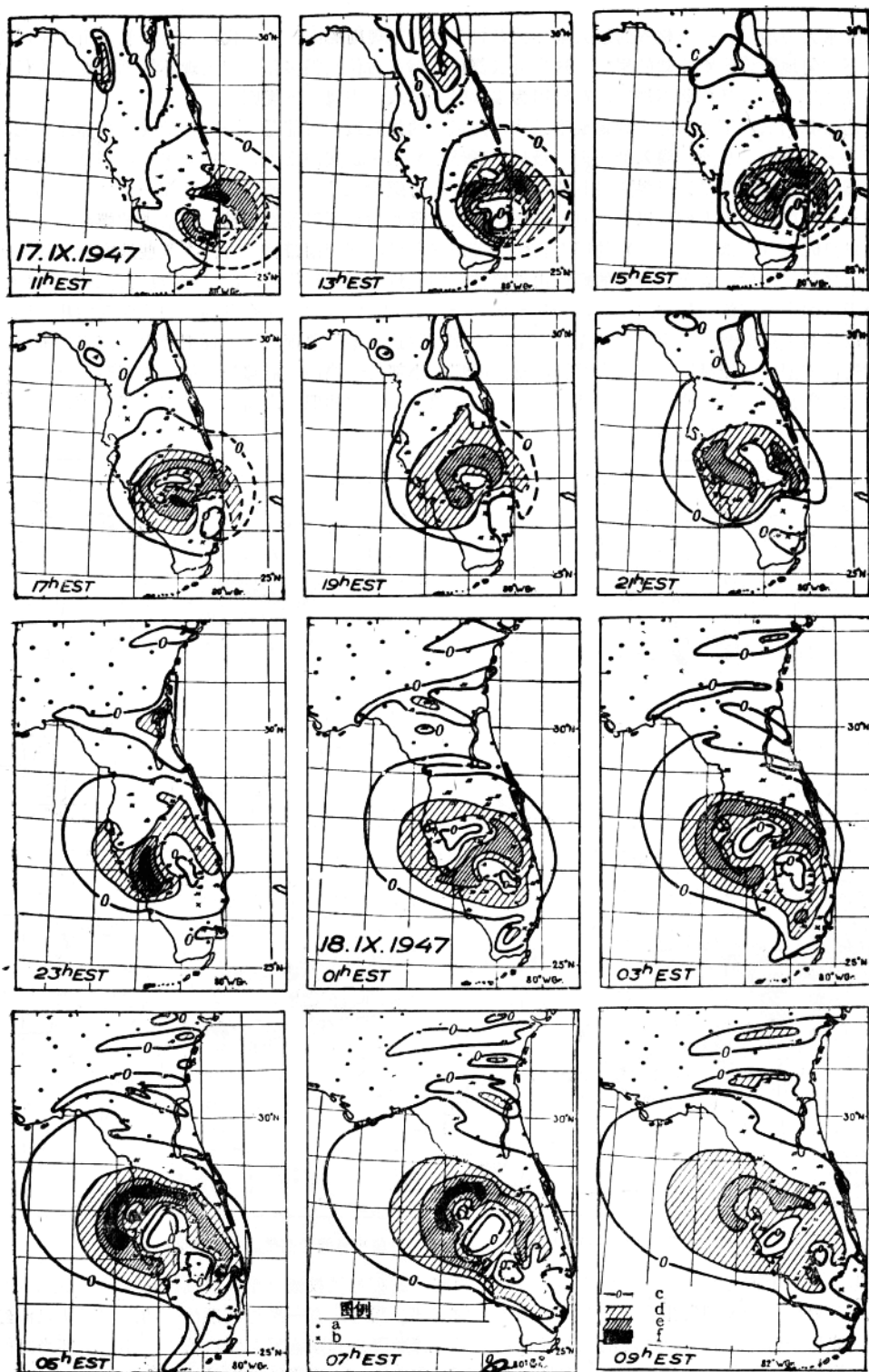


图9 1947年9月强飓风穿越佛罗里达州时的每小时降水量图

图例：a. 无雨 b. 有雨但量不知道 c. 等雨量线 0 英寸/小时 d. 等雨量线 0.2 英寸/小时
e. 等雨量线 0.5 英寸/小时 f. 等雨量线 1.0 英寸/小时

的部份降水大为增强。一个整齐的最大雨环被各式各样或不规则的雨区所替代，这可能就是由于雨区产生在陆地上并不均匀地受到降水冷却的影响。这也可以部份地解释为什么很多作者曾发现不规则的飓风路径。实际上，飓风路径似不一定就是如此不规则，可能因为多重眼的缘故看来似乎不规则。

雷达给我们揭示了飓风降水的螺旋形结构，飓风云的螺旋最初可能是由分隔开的对流单体组成的，它们排列成行并逐渐被螺旋状地拖卷入低压内，最后，联结起来成为密实的雨带。图10给出了继图9之后一系列连续的降水图。表示根据雨量计资料所得到的降水型式也具有螺旋状结构。诚然，它是在一个较稀疏的站网上发现的，因此在某些情况下人们可以综合具有各种不同形式降水的地区以致看不清一个清晰的螺旋式雨型。然而，在9月19日02时（东部标准时间）的图上仍绘有等压线和风，螺旋雨带臂的方向在某些地方处于地面风和梯度风的方向之间。然后，来源于阵雨的螺旋雨带臂按总的气流方向平行排列，且逐渐过渡为螺旋形的密实雨带，当它们处于总的上升气流的影响之下时，最后形成一个环状雨区这似乎是合理的。我想深入的热带飓风降水的研究可以成为雷达探测的一个有用补充。因为，终究，雷达总不能象雨量计那样把降水强度真实地反映出来。况且雷达回波型式仅能显示与降水有效释放有关的那一小部份云块而不能把云的所有延展都反映出来，因此，它不适宜做潜热释放量的估计。换句话说，潜热的释放并不象雷达照片上所显示的那么不连续。

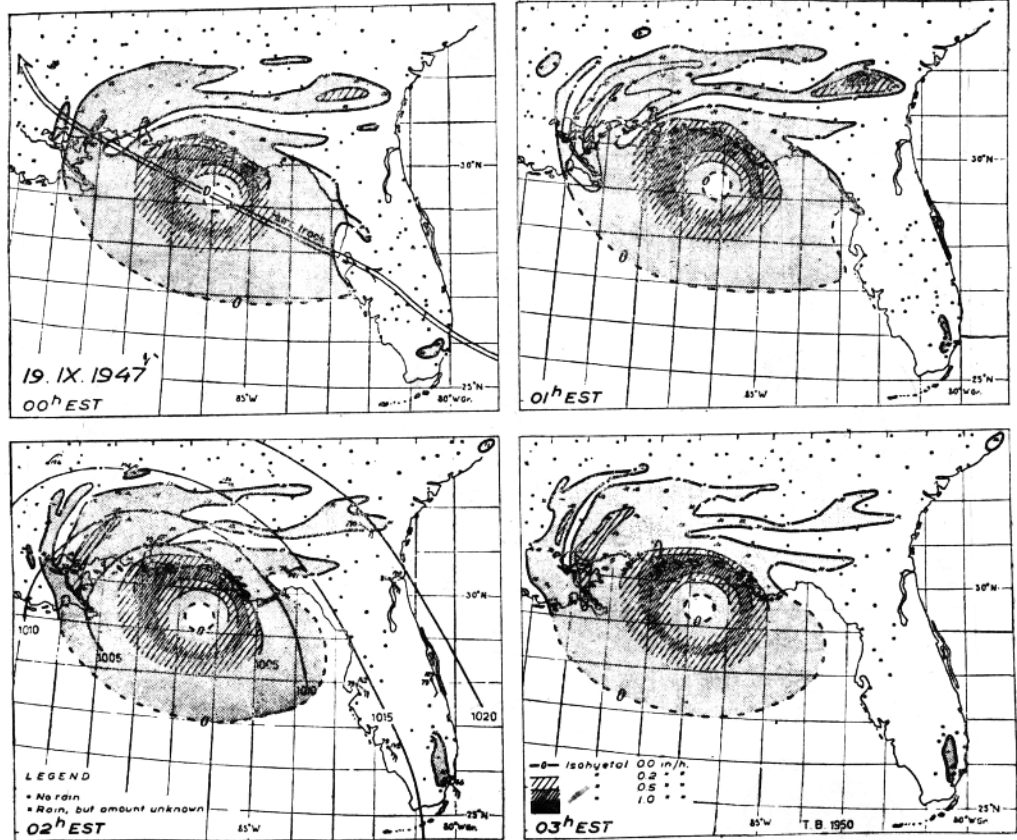


图10 图9中同一飓风的每小时雨量图，发展出螺旋状雨带。 图例同图9

地形雨是一个古老的问题，并已有不少分析，因此，我在这里仅谈一个最著名的特大地形雨的例子，于1927年3月最后一个星期发生在斯堪的纳维亚半岛的南部。当时，有一条锋面准静止的迴摆于从黑海经过波兰和丹麦到冰岛一带，同时整个斯堪的纳维亚南部普遍有锋面降水和东南风。图11给出了挪威南部当时的天气型式以及在海岸上下了整三天的特大降雨量图（最大雨量中心达200毫米）。这不是一般的地形雨。在这个例子中，是东南基本气流的静力稳定度使它的一部份气流湾到山区之外成为东北气流并与直接吹来的一支东南气流相汇

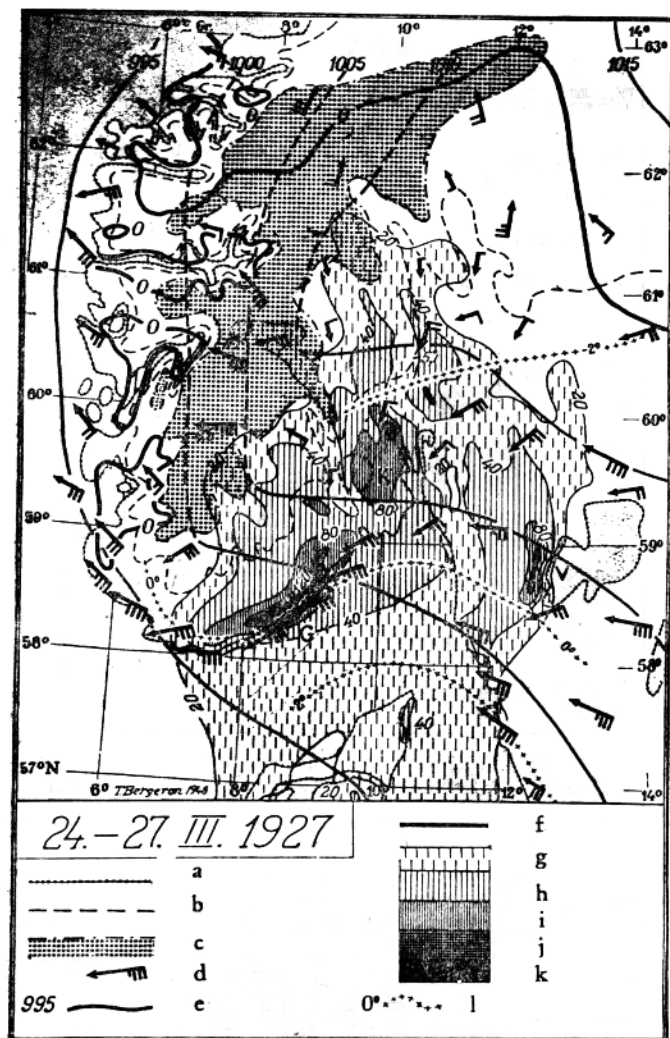


图11 1927年3月24—27日斯堪的那维亚西南部降水(72小时)、风、气压和温度分布图。
 由于地形作用的辐合表示出具有明显的海岸最大降水带。

a: 海岸线 b: 海平面上500米 c: 海平面上1000米 d: 东东北风14米/秒 e: 995毫巴等压线
 f: 0毫米 g: 20毫米 h: 40毫米 i: 80毫米 j: 120毫米 k: 160毫米 l: 海面层0°C等温线

合。由此，在挪威的东南海岸便形成了地形作用的辐合，刚好在海岸附近伴有强大的上升气流，因而在地形云系统内部产生了非常强大的凝结作用。

图12给出了根据弗克斯(Fulks)公式计算得到的从上滑云系可得的水量，假定在极接近地面处的云底温度是+10°C。这个图给出了由图中w曲线所代表的垂直运动假定下的最大凝结强度I。此例中，云机构内单位层次(100米厚)的最大凝结量可以从I_w曲线中读取到。对这曲线和0线所包围的面积积分可得假定无夹卷作用，且100%的降水释放，即总释放和瞬时释放的最大降水量。当然，实际上，人们看到的远少于于此，一般仅为这一理论极大值的50%或60%左右，而在此例中降水仅为每小时0.9毫米。由于本例中云底的温度不是+10°C而约为0°C，且距地面锋面有100—200公里。于此三日内，人们可以预料在挪威海岸由于滑上锋的降水最多是极大值的30%或不超过20毫米。因此，我们对其余180毫米降水必须以上面提到的地形调节机理来作解释。从通过斯卡格拉克海峡和挪威南部山地所作的一张东南—西北向的剖面图(图13)上可以看出在锋的

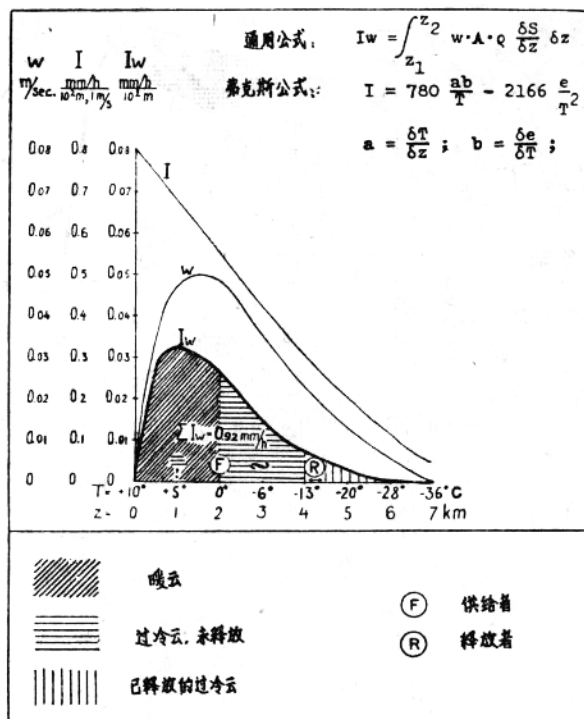


图 12 上滑云系中最大凝结强度 I_w 的垂直分布
 A = 水平面积, S = 最大比湿 ρ = 空气密度 e = 水汽压 W = 上升速率

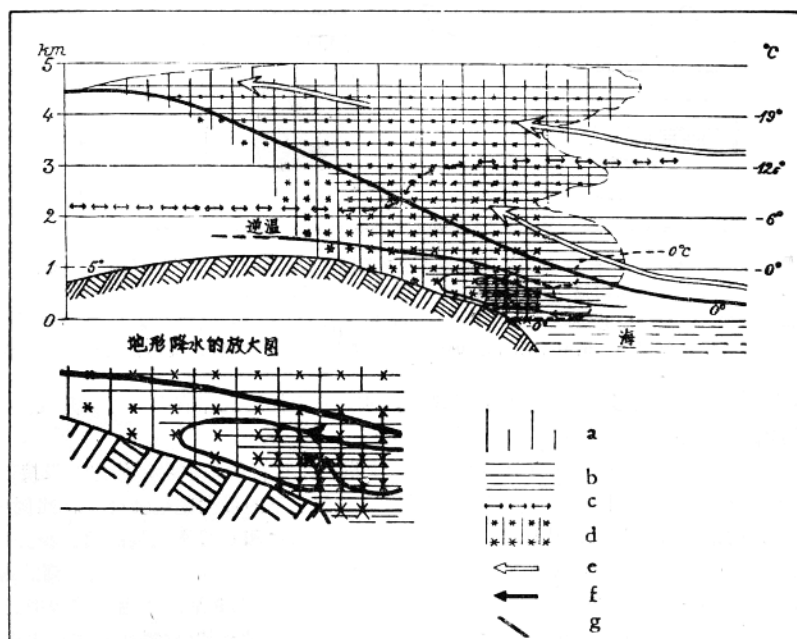


图 13 1927 年 3 月 24—27 日挪威南部锋面和地形降水机理垂直剖面的示意图
 图例: a. 冰针飘浮, 雨水降落 b. 云滴飘浮 c. 冰凝结核层 d. 降雪 e. 暖空气流动 f. 冷空气流动 g. 锋面

上滑面上有上滑云系并有降雪。在冷空气中存在着地形调节的局地机制，造成了非常强大的上升气流和非常强烈的凝结作用，即补给云。当雪从上覆的释放云中通过这个云块时，水汽凝结并倾泻下来。

图 14 给出了此例中由云底两个不同温度 $+10^{\circ}$ 和 0°C 作出的 I_w 图， 0°C 曲线可应用于我们这例。曲线 I 代表凝结的比强度， w 为垂直运动，假定在地面和海平面上之 1.4 公里的锋面上为 0 ，在这两者之间一半的地方为 1 米/秒。由此我们得到相当于降水量是 5 毫米/时或所需加倍量的 I_w 曲线，因为假如其他假设是正确的，这里需要解释三天降水 180 毫米。因此上升气流的量级应为 0.5 米/秒而不是 1 米/秒(如图 14 所假定)，这一数值与观测到的地面辐合一致。

图 15 表示 1937 年 1 月 20—25 日俄亥俄河和密西西比河流域的降水量。这个期间的降水量是占该地区 1937 年 1 月总降水量的 50% ，造成这两条河有名的大水灾，这次水灾开始出现在俄亥俄河。沿河流达到 $10-14$ 英寸的降水量。这个月的月总降水量最大值约为 24 英寸。这是有纪录以来最大的一次洪涝。《每月天气评论》增刊 37 号是关于这次灾害的一份总结报告。但是，就我所知，其中缺乏真正的解释，在整个报告中，非常突出的事实是最大降水中心沿着俄亥俄河谷出现，而位于

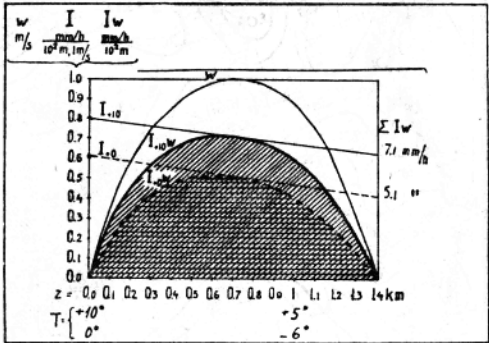


图 14 地形调节降水的 I_w 图
在 0.7 公里高度伴有 $w_{\text{最大}} = 1$ 米/秒的地形
调节辐合的最大降水强度分布图

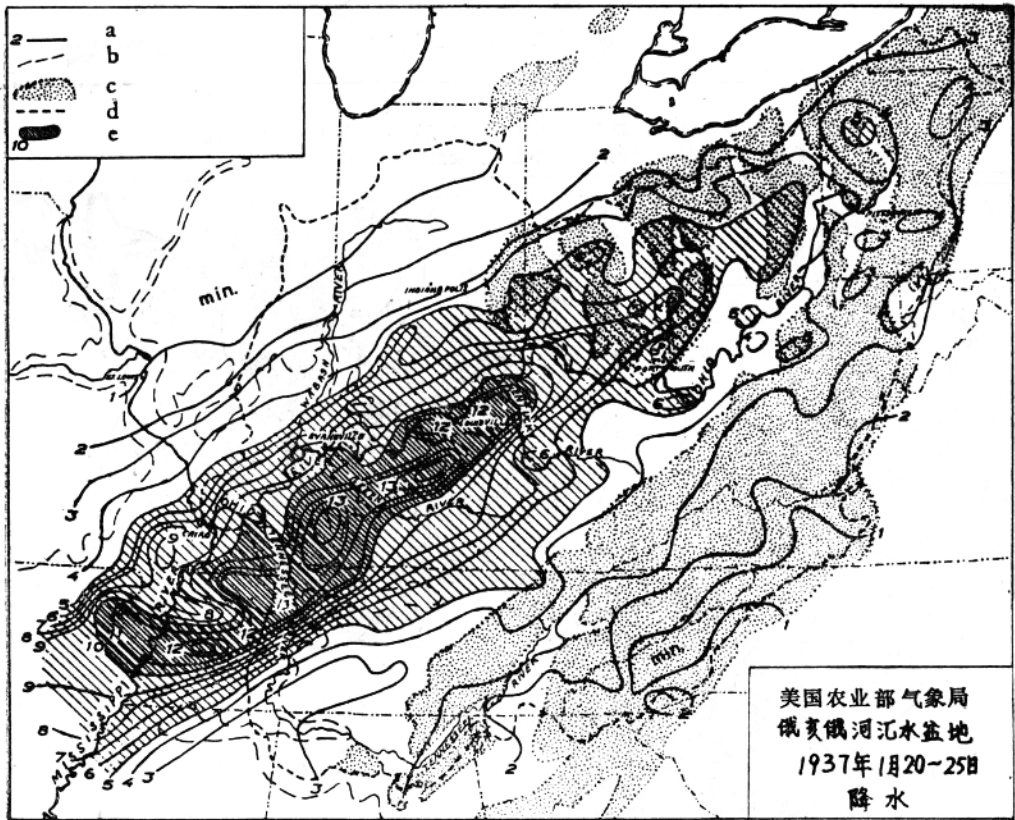


图 15 1937 年 1 月 20—25 日俄亥俄—密西西比盆地降雨图。
图例：a. 等雨量线 2 英寸 b. 等高线海面以上 150 米 c. 等高线海面以上 300 米 d. 分水岭 e. 最大雨区