

图 2 Bjerkness 和 Solberg
(1922)提出的中纬度气旋的生命史

回顾一下挪威气旋模式在过去 70 年来已变得很明显的问题。

3. 修改挪威概念模式的必要性

过去几十年来完成的观测和数值研究表明,中纬度气旋的结构和演变常常与卑尔根学派提出的理想图像有很大不同。例如,现在已经清楚,他们关于气旋是从事先存在的、围绕全球的极锋上的小扰动上发展起来的描述是不正确的。与此相反,观测、理论(如 Eady, 1949; Charney, 1947)和数值模拟研究(Phillips, 1956; Hoskins 和 West, 1979; Schar, 1989)表明,气旋的发展仅仅需要一个斜压带,而气旋本身的演变过程能够使弱的温度梯度加强成为强锋区。因此,总的说来,气旋生成和锋生必须看作是一个不可分离的过程。而挪威气旋模式中这两个过程的绝对分离是有损于天气学的,因为它使气象学家的注意力离开锋是与斜压扰动相联系的运动场的结果这一事实,而过多地强调锋及其相应的天气。

这一经典模式的另外一个明显缺陷就是它的一个主要成员——暖锋往往很弱、且范围很有限,成熟和衰亡的系统尤其如此(如 Wallace 和 Hobbs, 1977; Hoskins 和 West, 1979)。此外,从卫星云图上确定明显的暖锋,往往是不可能的(Anderson 等, 1974)。

对于锢囚锋的演变,挪威气旋模式认为锢囚锋形成于气旋发展过程中冷锋追上暖锋时,并且根据系统东西两侧空气的相对温度,锢囚锋分为冷式和暖式两种。然而,有些研究者已经注意到,由冷、暖锋相遇进而合并形成的锢囚锋大多没有得到资料证实;锢囚锋也可以通过其它方式形成。例如,Wallace 和 Hobbs(1977)提出锢囚锋是从冷、暖锋结合部位向北增长的一类新锋。Penner(1955)曾经指出,“在北美及其邻近地区极少见到像经典模式那样的锢囚锋…被高空资料所证实的锢囚锋是少有的气象现象。”Palmen(1951)也指出,许多地面图上所分析的锢囚气旋从来就没有经历过实际的锢囚过程。经典的挪威气旋演变也不包括所谓的“瞬时锢囚”过程,即逗点云系与未闭合波动相结合在很短的时间里发展成为成熟的锢囚系统。

不仅典型的锢囚过程很难得到证实,而且许多观测研究表明,理想的锢囚锋结构也很少被完整地观测到。卑尔根学派锢囚锋模式中的一个或多个锋面成员常常观测不到,而有时却观测到一些“非经典的”锋面结构和中尺度特征。例如, Kreitzberg(1968)指出,老的和新的锢囚具有不同的结构,较年轻的锢囚可在对流层低层锋和相应的高空副冷锋之间破裂。在一系列的观测研究中(参见 Houze 等, 1976; Hobbs, 1978),发现了许多锢囚的非经典结构。

在过去几十年里,一些研究者(如 Reed, 1979)发现在主锋带的冷空气一侧有气旋发生,而这一现象并未包括在挪威气旋生成模式之中。这些扰动常常开始于相对较小(约 500—1000 km)的逗点状强对流区,并且有时发展成为与通常的天气尺度气旋无多大差别的扰动。经常可观测到,当一个逗点云系及其高空相应的短波接近事先存在的斜压带时,气旋就开始生成了。这种过程,如 Petterssen 的 B 型气旋生成(Petterssen 和 Smebye, 1971),绝不是最初挪威气旋模式的一部

分。

卑尔根学派模式缺乏对流层高层结构的描述和高空扰动与低层系统发展之间的相互作用。挪威经典模式未涉及到高空锋以及高空短波与个别气旋之间的关系。即使现在,也还未到熟知高空锋的基本结构的时代,也不存在对高空锋演变与气旋发展的关系的清晰认识(参见 Keyser 和 Shapiro, 1986 的评述)。

4. 改进概念模式和分析技术的尝试

在过去的 70 年里,气象学家主要用两种途径尝试改进卑尔根学派的模式。一种是锋面观点,即保留其最主要的锋面“风味”;另一种是动力学的观点(例如准地转和半地转诊断,等熵位涡,急流)。这一部分我们将简要回顾用以上两种方法去建立中纬度气旋演变的综合概念模式的研究结果。

a. 锋面途径

Eliassen 和 Kleinschmidt(1957)、Browning 和 Harrold(1969)、Carlson(1980)、Browning(1985)以及其他,都尝试过分析等熵面上的相对气流来确定通过气旋的三维气流。他们的研究提出,气流可设想为一系列的“输送带”。暖输送带开始于冷锋前暖区的低层,并在暖锋上反气旋式地爬升,而冷输送带从暖锋北侧向西下沉。虽然这一方法也许是一个有用的概念工具,却存在一些缺陷。例如,它假定系统平移时没有速度和形状的变化,或者说在相对于系统的坐标系中流线与轨迹是相同的;另外它还假设运动是湿绝热的;况且,还不清楚用几个等熵面(典型的是 3 个)上的流场来描述天气系统中的复杂三维运动是合适的。

在过去的几个年代里,上滑锋、下滑锋、高空暖舌和分裂冷锋这四个模式,在气旋系统的不同部位及其生命史中不同时刻似乎都可以分别应用,这就使锋的结构和演变变得更为复杂和混乱。Bergeron(1937)第一个描

述了上滑锋(冷气流下沉、暖气流上升)与下滑锋(锋两侧均下沉,且暖空气一侧下沉更强)的差异。他指出年轻气旋中上滑锋较普遍,而在较老的锢囚系统中则出现下滑锋的可能性更大。Miles(1962)、Browning 和 Monk(1982)提出另一种锋的结构,通常称之为分裂冷锋模式。在这一模式中,把高空因下沉产生的低 θ_v 空气与暖区中高 θ_v 空气的边界称为高空冷锋,而低层有另一条落后的冷锋。几个加拿大气象学家(如 Penner, 1955; Galloway, 1960)提出了分析锢囚的另一个规定。他们的分析方法是把高空暖空气的底部投影到地面,并分析成“高空暖舌”。他们还指出,高空暖舌比低层残留的弱锢囚锋更重要。最近, Hobbs 等人(1990)结合暖式锢囚和分裂冷锋模式提出了一个高空冷锋的概念模式。在这一模式中,中层冷锋锋面之后 θ_v 骤降,地面槽则落后于高空系统,而一个高 θ_v 的位势不稳定区将两者连接起来。

最近用飞机、下投式探空仪以及其它新的观测技术对西大西洋的气旋所进行的观测研究(如 Neiman 等, 1990; Shapiro 和 Keyser, 1990)揭示出来的结构和演变与经典挪威概念模式有很大不同。例如,图 3 表示 1988 年 1 月 27 日 1200 UTC 920 hPa 的温度、位势高度和一个位于东大西洋的气旋的锋面分析。这一分析既用了常规观测资料也用到了飞机及下投式探空资料。注意冷锋向北凸出且与暖锋的交角近于垂直,这种锋线配置形状称为“T型”。根据此图的分析,冷锋接近于暖锋时减弱或断裂。偏离于经典结构的主要特征是缺乏任何锢囚锋;相反,暖锋穿过低压中心,而不像“后曲”锢囚(Bergeron, 1937; Petterssen, 1956)。冷锋似乎沿暖锋的法线方向移动,但永远不能像卑尔根学派模式中所描述的那样追上暖锋。

这种冷锋减弱断裂的 T 型模式并不一定具有普遍性。这种结构仅仅在海洋上被资料所证实,而陆地上的冷锋一般并不断裂。在陆地上不仅可观测到锢囚锋,而且穿过并延伸

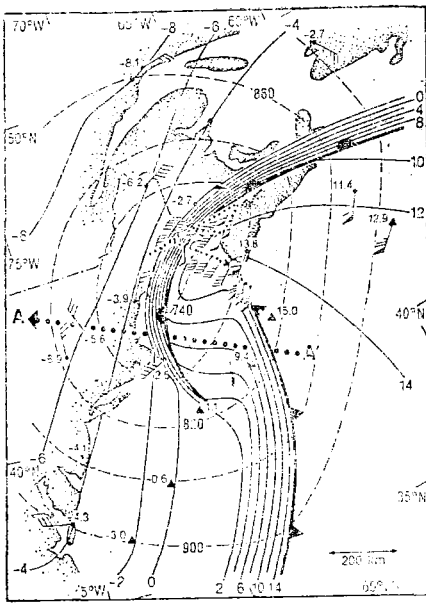


图 3 1988 年 1 月 27 日 1200 UTC 920 hPa 温度(°C, 实线)和位势高度(m, 虚线)分析。实的小三角表示下投式探空的位置(Shapiro 和 Keyser, 1990)

到低压中心之外的低层强斜压性(在图 3 中分析成暖锋)通常也不明显。很可能水面上较小的表面摩擦和较大的热通量对气旋结构的演变起主要作用,至少在对流层低层是如此。所以,在西大西洋所观测到的结构(如图 3)也许不具有普遍性,因为这一特殊地区存在一个独一无二的现象,即有强冷陆地空气平流到墨西哥湾流的暖水面上。

还应该注意,用理想的基本状态的半地转模式和实际的原始方程可模拟出上述一些非经典的结构和演变。例如, Kuo 等人(1990)用 NCAR/Penn.state(MM 4)中尺度原始方程模式模拟出西大西洋的 QE II 爆发性气旋的演变。模拟出的海平面温度和气压表明具有上述的“后曲”暖锋和“T 型”结构。Schar(1989)的非线性半地转(绝热无摩擦)模式,从高度理想化的初始状态开始,也模拟出相似的结构及其演变。

b. 动力学途径

过去 40 年来发展的另一个观点,是着眼于促使天气系统发展演变的各物理量场之间

的动力学关系,而不去关心某一特定结构成分(如锋)的确定和移动。在这一观点下,锋的发展及其产生的垂直运动仅仅被看作斜压系统演变的一部分。过去 40 年来的主要动力学方法就是准地转分析,它把垂直运动场、涡度场、温度场和水平风场科学地、协调一致地联系起来(参见 Holton, 1979)。例如,在准地转方法里,上升运动与涡度平流等的量值有关而不是和锋区的几何形状和流型有关。近来,应用更精确的半地转理论来理解锋的结构、演变(如 Hoskins 和 Bretherton, 1972)和气旋系统的演变(如 Hoskins 和 West, 1979)。

另外一个动力学方法就是使用伴随强风(即急流)出现的有限范围的垂直环流(参见 Uccellini 等, 1987)。尽管这种方法直观上令人满意,但它仅限于具有相对简单的几何形状时的情形;并且对于直线流,它与准地转方法基本上是相同的。另外一个诊断技术就是使用等熵位涡(参见 Hoskins 等 1985 的综合评述)。若注意对流层高、低层位涡中心的演变和相互作用,就可得到有关气旋系统发展的见解。

尽管这些动力学方法,对于斜压扰动结构及其相应的天气特征(如强上升运动和强降水)可以提供“解释”,但不易被外行所理解,并且其应用只限于动力上恰当、且能够得到合适资料的尺度范围。所有这些动力学方法还受到所要求的分析场的分辨率的限制。但对于锋面方法,这一限制并不是如此严重,因为一些重要的特征(如狭窄的冷锋)即使不能在水平面的分析场上合适地表示出来,有时却可以客观地确定(如利用卫星云图或考察单站的时间演变)。

总而言之,对于气旋系统及其相应的锋面结构和演变,天气学家面临的是一系列不同而且常常互相矛盾的概念模式和方法。

5. 当今地面分析技术的缺陷

考察业务或过去的地面分析就会发现许多混乱的缺陷。值得注意的是,在资料稀少

的海洋上，气旋几乎总是根据经典挪威模式的结构和演变进行分析的；而在观测资料相对丰富的陆地上，分析人员往往被迫分析出复杂、非经典的结构(尽管他们一有可能就抵制这种倾向)。

考察美国国家气象中心(NMC)大量的业务地面分析，会发现大家熟知的锋的符号被用在下列几个方面：

a. 与气旋相联系的、穿过对流层低层相当大部分的锋区(基本上与挪威气旋模式相一致)。

b. 地形诱导的相对浅薄系统，如冷空气堆的边界、海岸锋、背风槽和高山(如落基山脉)阻挡所产生的温度不连续。

c. 因地表特性或云的不连续所产生的浅薄温度对比区。例如，有时把通过天气尺度的积雪边界的较大温度对比以挪威锋的符号(常常是静止锋)来表示。

还可以提供另外几个例子。这样滥用锋的符号的结果，使得看图者在看地面天气图时往往不能确定所分析的边界的真实含义，从而失去提供对流层低层结构图像的意义。现在考虑下面的示例。

美国国家气象中心(NMC)1989年11月13日0000 UTC的地面图(图4)表示一个位于美国西部的锋和槽的复杂形态。一条位于

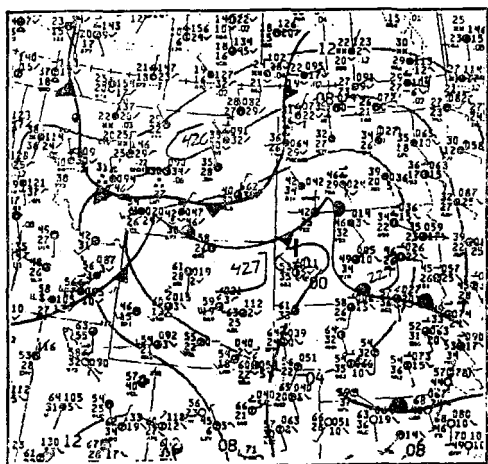


图4 1989年11月13日0000 UTC
NMC地面分析

美国与加拿大边境附近的冷锋将要截断一个双波动的锋面系统，而在其南侧不远处有一个槽和一条静止锋。用地面资料是很难解释这几条锋的。此外，850 hPa(图5)的形势显得相对简单，在美国北部只有一个单一的斜压带和一个低中心。

图6(1989年12月6日1200 UTC地面

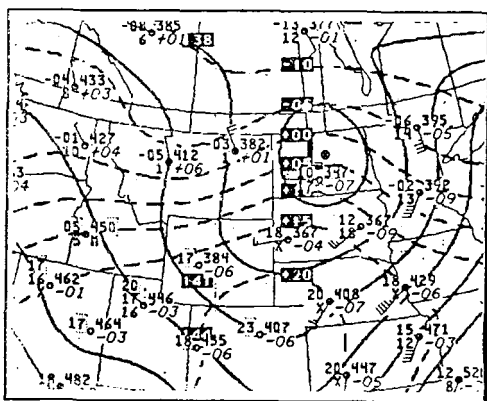


图5 1989年11月13日0000 UTC
NMC 850 hPa分析

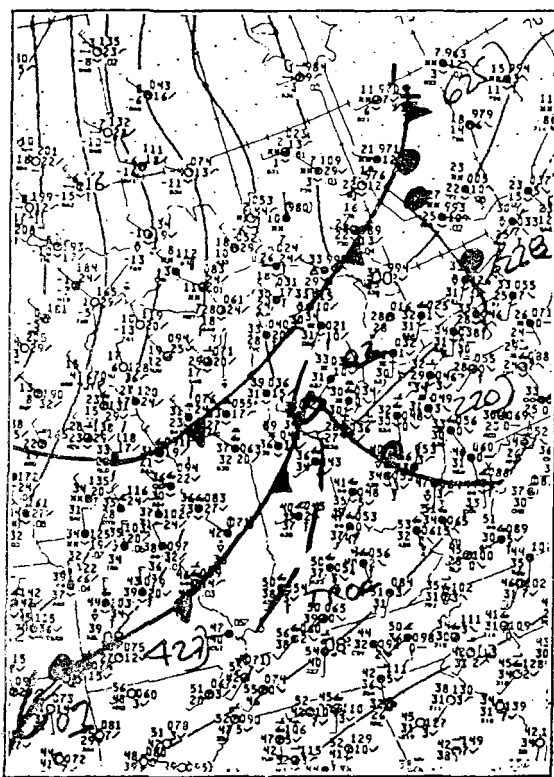


图6 1989年12月6日1200 UTC
NMC地面分析

图)显示在美国中西部存在的“双层”气旋型。两个低压都具有形式上的短暖锋,且北边的气旋被分析成一个小锢囚。虽然在大平原上分析了两条锋,但北边的一条在风场上并不明显、且无相应的气压槽。北边的锋,看起来正好把南侧的弱温度梯度区与北侧的温度减小更快的区域区分开。该锋两侧的部分温度对比,毫无疑问是锋两侧云量梯度造成的,因为南侧多云、北侧晴到多云会使地面辐射冷却产生很大的差别。然而,同一时刻的

850 hPa(图7)清楚地表明北边的系统是相当浅薄的,而南边的锋才代表着真正天气学意义上的锋。

图8反映的是位于美国西南部一个特别奇怪的天气过程。1990年3月5日0600 UTC的NMC地面图(图8a)表明,在穿过位于犹他州与内华达州边界处的低压的冷锋—静止锋—暖锋复合体的西侧,存在一个部分锢囚的锋区。6小时后(图8b),这个锋的复合体变成一条冷锋,且与一个冷锋—锢囚锋相交;西边的冷锋在逐渐衰亡。在这一个例子里,时间连续性和任何可信的概念模式都未遵循。

缺乏时间上的连续性,更加明显的是锢囚锋。作者曾在一些偶然情况下注意到,分析的冷锋转变成锢囚锋后又返回成为冷锋。分析的锢囚锋,按照经典的卑尔根学派“追上”机制所发展的情况是极少的。下面给出的一个异乎寻常的例子,可以进一步解释其中一些问题。

1990年1月11日0000UTC,一个具有冷锋和暖锋的非锢囚低压中心位于明尼苏达州与加拿大边境附近(另外有条冷锋和槽接近但未相交于该低压中心)(图9a)。六小时后,

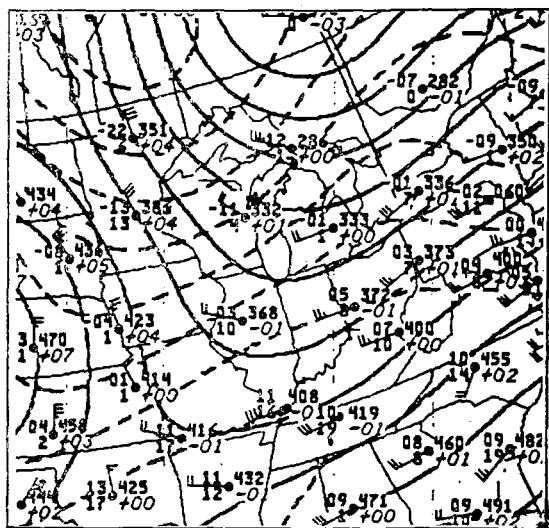


图7 1989年12月6日1200 UTC
NMC 850 hPa 分析

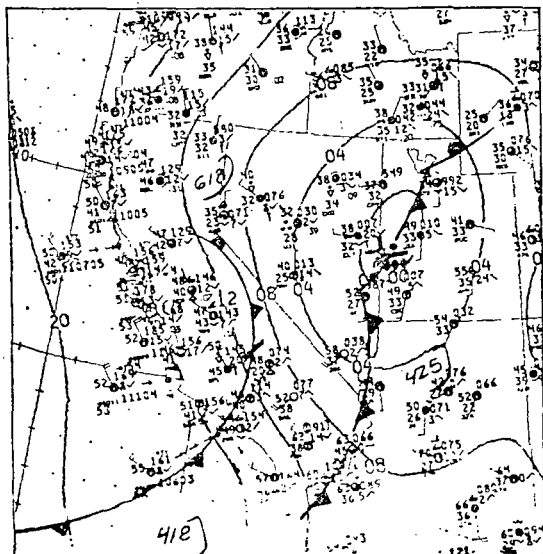


图8a 1990年3月5日0600 UTC NMC地面分析

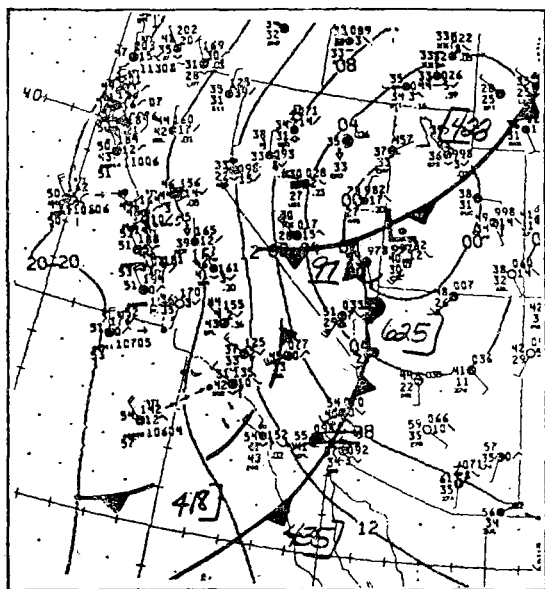


图8b 1990年3月5日1200 UTC NMC地面分析

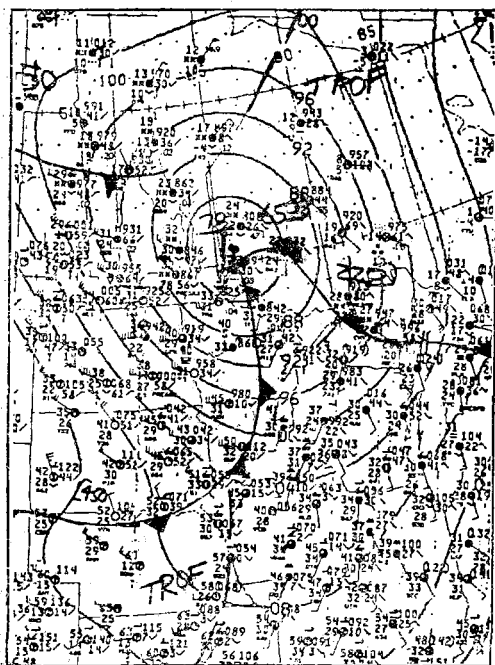


图 9a 1990年1月11日0000UTC NMC地面分析

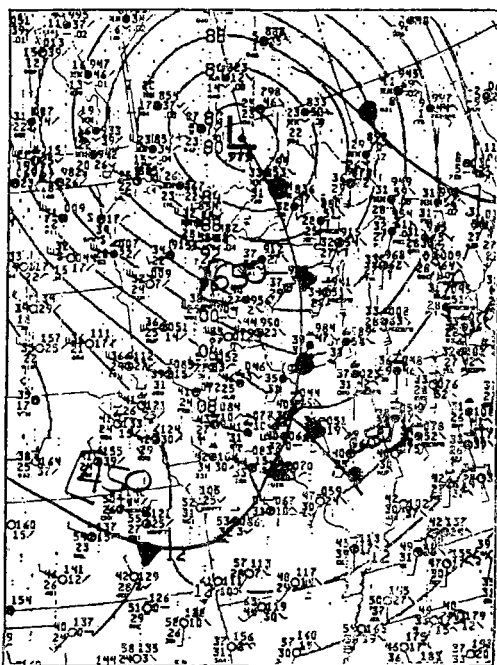


图 9b 1990年1月11日0600UTC NMC地面分析

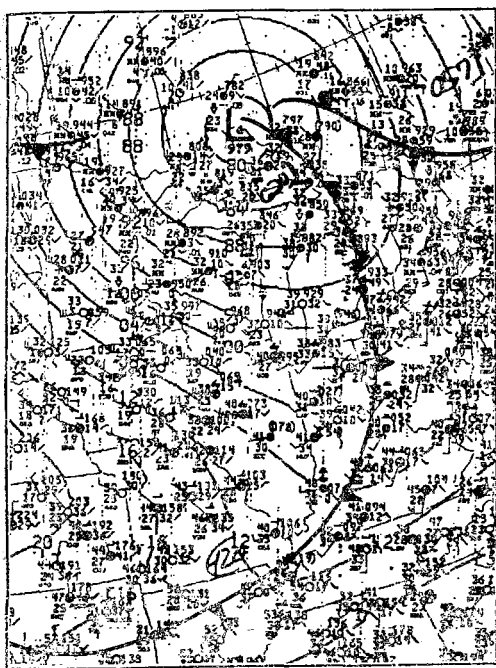


图 9c 1990年1月11日1200UTC NMC地面分析

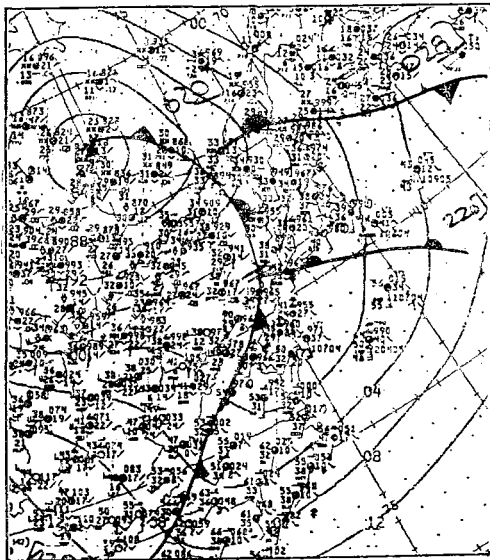


图 9d 1990年1月12日0000UTC NMC地面分析

该系统被分析成正在锢囚，但其残存的暖锋却位于低压中心南侧几百公里处(图 9 b)。1月11日 1200 UTC(图 9 c)，其锢囚锋部分有

很大退缩，短的暖锋已经消失，一条静止锋从东边进入低压中心。在1月12日0000UTC(图 9 d)，一条暖锋又重新出现，其北侧几

个纬度有一短的静止锋。显然，这个结果与经典的卑尔根学派演变模式大相径庭，锋(如短的暖锋)时隐时现，也没有多少逻辑性可言。

应该说明的是，上述评论并不是对日常工作工作者的奚落；相反，上述例子是对气

象界提出的一个挑战，目的是设计出一个优良的、更协调一致的天气分析体系。上述问题也并不仅仅限于 NMC，在国外业务中心的产品及事后研究分析里也可以找到相似的问题。例如，图 10 是从欧洲气象通报中摘录的、西德气象局制作的地面分析。在大西

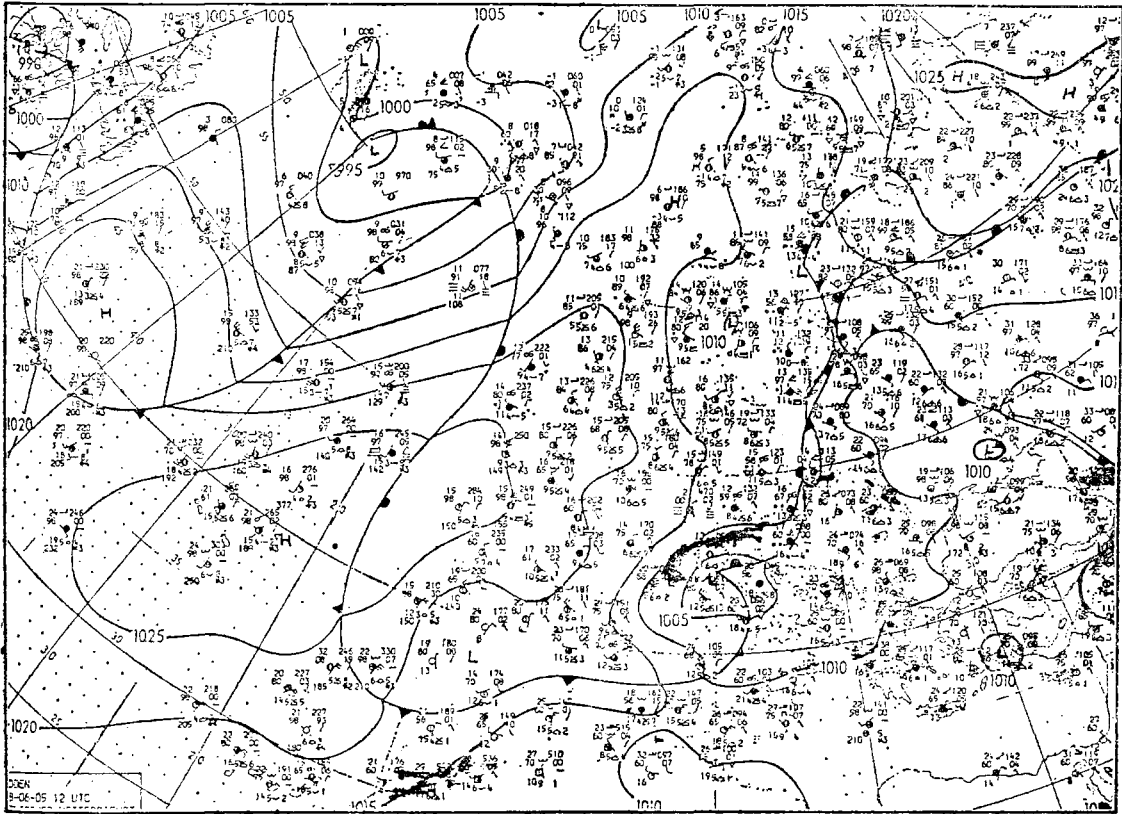


图 10 1988年6月5日1200UTC 西德气象局的地面分析

洋上，锋分析得简单、典型；而在陆地上，情况则大不一样。例如，在苏联东部有四条性质不同的锋几乎相交于一点。

6. 解决问题的一些方法

尽管作者没有宣称能够解决上述问题，但下列的步骤也许是可以进行的、符合逻辑的方法：

a. 确定中纬度气旋结构的详细演变，建立一个改进的、更具有普遍性的气旋发展概念模式

应该清醒地认识到，卑尔根学派创造性

的工作之后的 70 年来，我们仍未充分理解空气运动和中纬度气旋演变的细节。我们不知道这种演变随地区和大尺度条件的不同而怎样变化。我们也没有用资料清楚地揭示锢囚锋的演变，甚至怀疑其存在。

数值模式现在能够非常逼真地模拟气旋的发展，并为诊断气旋结构的详细演变提供了有力的工具（参见 Keyser 和 Uccellini, 1987）。新的观测平台（如廓线仪和下一代天气雷达），为连续监测气旋的发展、以时间和空间上非常充分的细节来恰当地描述中纬度气旋系统的演变和结构，提供了可能性。

区域现场试验（如即将进行的冬季 STORM 计划和最近的 ERICA 现场计划）将应用许多新技术，以便极大地加强描述气旋和锋的发展的能力。

简言之，应该用新的观测资料和更加精确的数值模拟来建立一个更加真实的气旋演变概念模式，确定气旋的发展随环境条件（如地形、地面条件、大尺度气流等）的变化是怎样改变的。

b. 建立一个合乎逻辑、协调一致的天气图分析体系

一旦对中纬度气旋的演变取得深入理解并建立相应的概念模式，就应该发展合乎逻辑、协调一致的分析

和表示天气图的技术。现在我们就考虑分析天气图的几种可能的新方法。

方法 1) 分析场不用锋或其它类型的符号表示

也许有些人认为，现实世界远比任何简单的概念模式复杂得多，所以观测中使用简化的模式是上当受骗的。他们可能建议重视观测、分析场（如等温线、等压线、等熵线）和一些推导的动力学量（如位涡）本身的作用。他们也许说气象学家似乎已满足于缺乏任何锋符号的数值模式产品，那么对于观测资料为什么不一视同仁？当缺乏高空资料

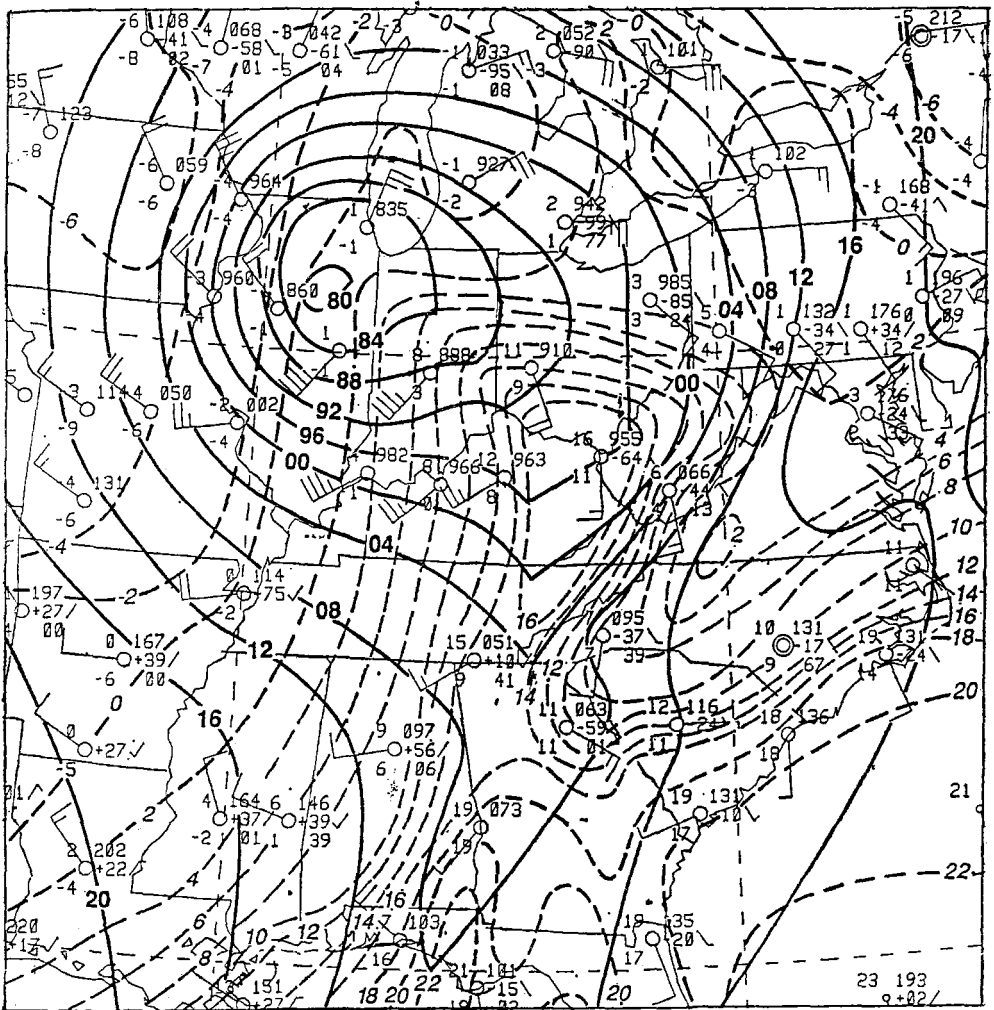


图 11 1987年 12月 15日 1200 UTC 根据方法 1 (参见正文)所分析的地面图。实线是等压线(间隔 4 hPa), 虚线表示等温线(间隔 2°C)

时,简单的概念模式对于了解高空的流场也许是有用的工具。可是现在,三维资料越来越容易得到。取消锋符号的另外一个优点,就是锋至今还是没有很好定义的系统。大气中的斜压性在很大一个范围内变化,那么,在

哪里才应该准确地称之为锋?

没有锋的地面图,可以是由台站记录以及海平面等压线、等温线组成。图 11 就是这样一种图的示范。同一时刻、传统的 NMC 地面分析如图 12 所示。在只有分析的图(图

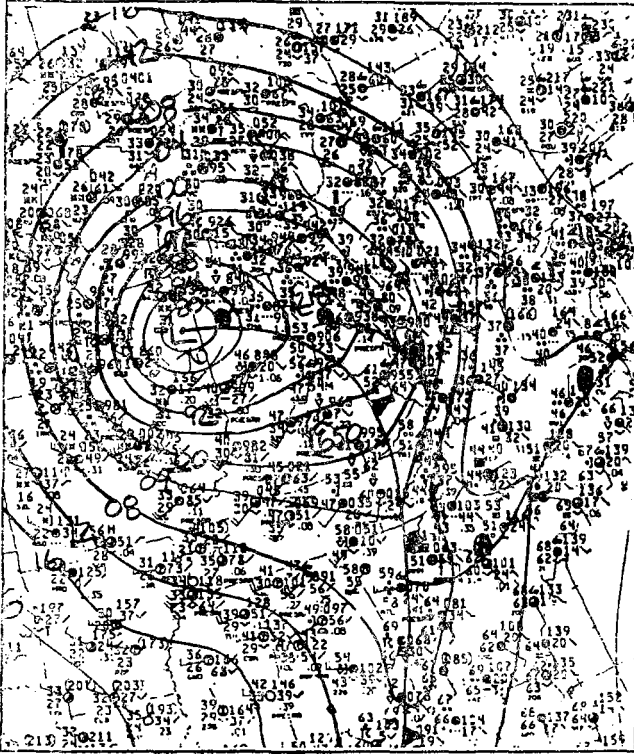


图 12 1987年12月15日1200 UTC NMC 地面图

11)里,冷锋和冷空气堆的边界相当清楚。位于阿巴拉契亚山脉西侧被隔离的暖空气区也很明显。在 NMC 的分析里,这一特征未很好地分析出来,而在那里分析了一个即将导致锢囚的小暖锋。

方法 2) 修改现今分析技术以适用于改进的模式

另外一个极端是保留今天所用的锋面分析(即地面图上有台站记录、等压线和锋及其它符号)的方法,但要大大改善采用符号的明确性和连贯性。以下是所作的一些修改。

(1) 经典挪威锋符号的应用,应该只限于达到地面且延伸到对流层低层相当厚度的

锋。因为把经典的锋符号用于高空锋、辐射产生的浅薄强温度梯度区以及极地低压的风向突变线,是产生不连贯、混乱使用的主要例子。

(2) 锋的符号应该只用于有关水平密度梯度(实际上就是温度梯度)的系统。锋的符号不应用于只有湿度对比的区域。

(3) 可以把这些符号作些修改(或新的符号)用于浅薄系统,如阵风锋、海风、地形阻挡、边界层过程。Young 和 Fritsch(1989)已经提出了一套用于中尺度分析的符号。

(4) 分析必须在时间上是连贯的,即应该维持其时间的连续性。

图 13 是根据这些规定而试作的地面图。

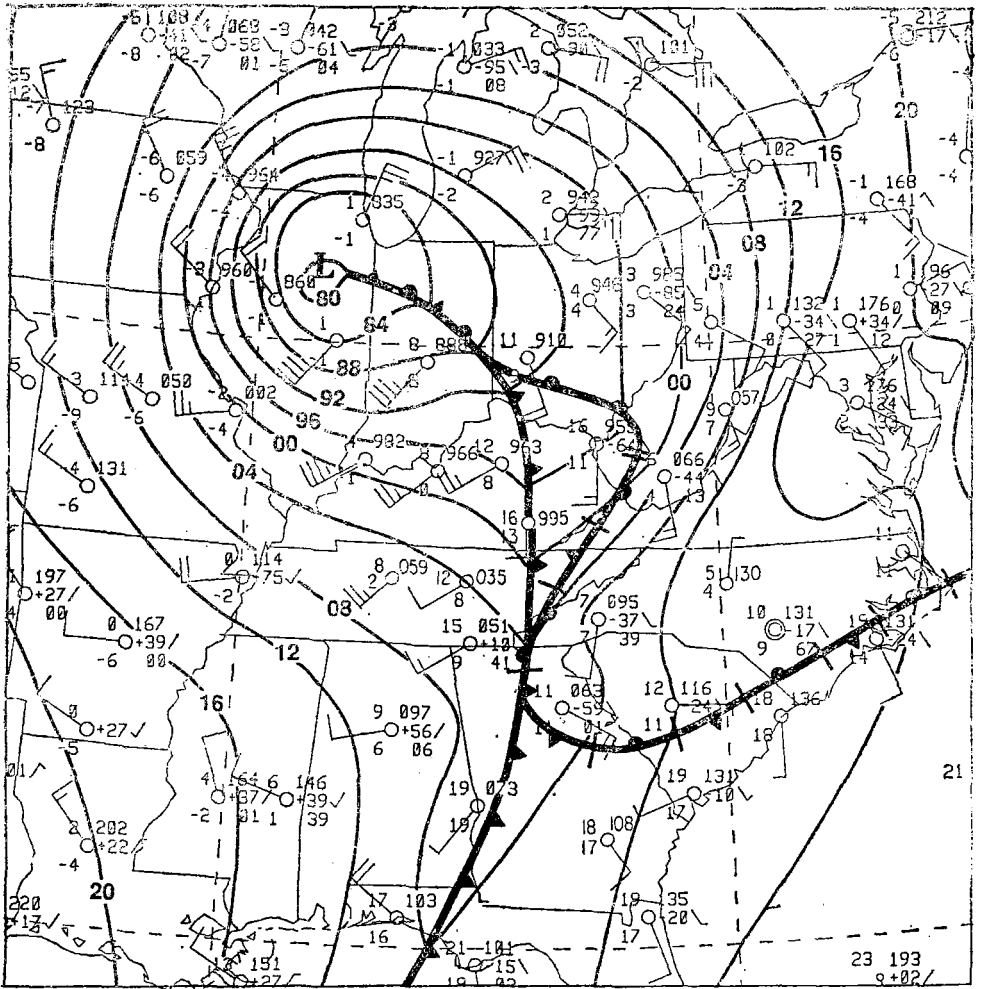


图 13 1987年12月15日1200 UTC 根据方法2(参见正文)所分析的地面图

可注意到被隔离的暖空气区比日常 NMC 分析显示得更清楚, 浅冷空气堆的前沿也用符号标明了, 即用 Young 和 Fritsch(1989)提出的以垂直短线表示浅薄的地形强迫部分来标明。

对于上述方法, 还可以产生一些创造性的变化。例如, 可以创造一系列替代经典的锋符号(及其所有那些无用的东西)的符号, 来表示地面或高空的一般类型的过渡带(如风向突变线、气压槽、梯度变化线)。不管采用什么样的一套符号, 连贯、合乎逻辑地使用是成功的关键。

方法3) 提供分析场并仅对那些在分析

中不能表示的系统特征使用锋或其它符号

第一种方法(没有符号)存在最严重的问题之一, 就是自动分析的场不可避免的会丢失或不能适当的表示一些小尺度系统, 而它们对于手工分析人员来说是相当明显的。此外, 即使手工分析也许不能清楚地表示有些小尺度系统。解决这一问题的一个妥协方案, 就是用锋(或其它)符号表示那些用分析场不能解决或不适当确定的系统特征。这一方法的一个可能问题, 在于随着其强度和水平范围的变化, 显示的边界(或符号)可能会时有时无。此外, 还得确定一个可被普遍接受的标准来决定系统的显示与否。

一个还未提及的主要问题，就是是否应该把高空系统（如对流层中、高层锋）在天气图上表示出来。另外，常常发现一些重要的天气系统（如暖锋），因地面最低层有一薄层冷空气而可能被掩盖。那么，是否应该用某种方式把那些在地面场（如温度场）上不明显的重要高空系统表示出来？这个方法的一个例子就是加拿大高空暖舌模型（Penner, 1955），即把高空冷锋及相应的锢囚的底部在地面图上表示出来。

不管采用哪种方法，都很难低估在修改挪威分析方法道路上存在的障碍。由于该方法简单、便于应用、占支配地位的时间太长，任何新的方法或一套符号，必须足够简单明确、容易学习和应用，并且其应用限于一定范围。

c. 潜在的分析 and 显示气象资料的现代化技术

气旋发展的综合概念模式进展缓慢、分析技术无重大进展的一个主要原因，在于不能全面认识天气系统的三维演变。把大量的水平图、剖面图和探空资料在头脑里合成气旋三维结构演变的图像，是一个很少有人能够掌握的、使人气馁的挑战。对于这一问题，气象学家显然还未充分利用现代化的通信、分析和显示技术的潜在优势。一般而言，天气图是低质量的单色产品，只是在过去的三十年里才勉强有所改善。气象学家需要综合理解高度复杂系统的三维演变。即使是现在，二维的、单色的（无论是电子的还是图纸的）显示，显然也不能表达充分的信息，当然更不适合于观测资料不断增加的未来时代。常规的表达模式不能发挥出人类洞察那种以三维图像表示的复杂结构之精妙的非凡能力。

有可能产生大量信息的技术，幸好同时也具有解决资料处理、分析和显示问题的潜力。只是通过增加色彩这一技术，气象学家就可以在天气图上轻松地增加几个场（如地面图上的等温线）。三维图像允许以不同观点

来认识天气系统的结构，并且能够提供一些用常规显示所不能得到的见解（参见 Wilhelmson, 等 1989; Schiavone 和 Papatmas, 1990）。已经制造了许多软件和硬件工具，可以用来解决今天存在的显示或形象化问题，其应用也取得了一些进展（如 McIDAS 和 Profs 交互系统）。可惜的是，它们在研究和业务部门的推广进行得缓慢而又不够协调。

7. 小结和结论

半个多世纪以来，卑尔根学派的气旋结构和发展的概念模式一直统治着天气学的实践，特别是地面天气图的分析方法。虽然挪威模式抓住了气旋演变的一些基本特征，70多年来的研究和业务经验却揭示出它的重大缺陷。

过去70年里，气象学家主要用两种途径来试图改进卑尔根学派的模式。一种途径就是试图修改和完善挪威气旋模式，并保留其锋的主要“风味”，也就是把大多数天气归因于锋面强迫产生的垂直运动。另一种途径基本上是动力学的观点。尽管根据这两种途径得到了一些引人注目的收获，但仍然没有积聚了过去70年深入见解的中纬度气旋三维结构和演变的综合图像。对于气旋的结构和发展，气象学家所面对的是大量混乱、互不相关的思想，因此陈旧而尚可依赖的挪威气旋模式仍然占统治地位。

为了解决上述问题，气象学界应该采用两种途径。第一，应该把过去半个世纪在研究和业务工作中所得见解与近来的数值模拟和观测研究（应用新的技术，如多普勒雷达、下投式探空仪、飞机探测和廓线仪）结合起来，去建立一个改进的、更具普遍性的气旋演变概念模式。重要工具是先进的分析和显示技术，它将提供气旋演变的三维图像。已充分证明，气旋的发展是高度可变的，这取决于地面条件、地形及其它因素。第二，应该设计出一套清晰、协调一致的天气图分析方法。在第6部分已讨论过几种可能的方

法。

Soc., Vol.72, Mar. 1991

胡伯威校

易兵摘译自 Bull. Amer. Meteor.