

美国中部的非常规气旋锋面结构和雨带

王鹏云

(中国气象科学研究院,北京,100081)

1 引言

本世纪初,挪威气象学家 Bjerknes 等^[1-3]从对西北欧登陆的海洋性气旋观测的分析,总结出代表气旋锋面系统结构的物理模式,即包含地面冷锋、地面暖锋和暖区的气旋系统(图 1),这个模式通常称为“挪威模式”。挪威模式已被广泛地应用于解释和预报气旋锋面系统天气。

然而,在 1986 年 GALE(美国东海岸气旋计划)和 1992 年美国大规模中尺度观测试验 STORM-FEST(锋面试验和探测系统检验)中,由于采用了卫星、雷达、飞机、加密的探空站网、自动站、地面遥感等多种现代化观测设备,在时间和空间尺度上都大大加密了

探测,获得了大量可靠的中尺度的气象资料。对这些资料的详细分析发现,在美国中部的陆地气旋系统的结构,比在西部沿海地区和西欧观测的海洋性气旋系统的结构要复杂得多,以原来的挪威模式为基础做出的判断和预报往往导致错误的结论。本文将扼要介绍这方面近年来主要的研究结果。我国地处欧亚大陆东部,从地理位置上说与美国中部有许多相似之处,因而在美国中部对非常规气旋锋面系统的研究结果对我国,特别是华北地区,气旋锋面系统的研究和预报是有参考价值的。

2 美国中部的地理特征和主要影响天气系统

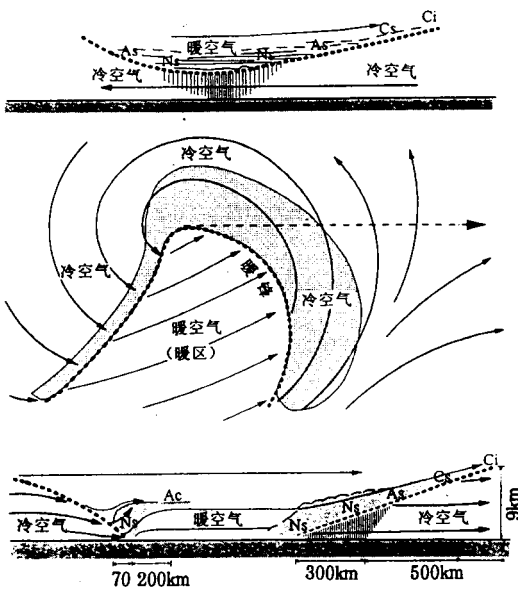


图 1 挪威气旋模式示意图

美国中部为大平原区,西邻纵贯北美大陆南北、海拔 3000 多米的落矶山脉,南面是温暖的墨西哥海湾,西南面是干旱的墨西哥高原,北面为加拿大的高寒地区。影响美国中部的天气系统有:自西向东越过落矶山脉的太平洋气旋系统、自北南下的北极干冷气团和自墨西哥湾向北的暖湿气流。

3 非常规气旋锋面结构和雨带

美国中部在上述特殊的地理条件和天气系统影响下形成的气旋系统和越过落矶山东移的北太平洋气旋系统,具有比经典的挪威气旋模式更为复杂的结构。

3.1 北极锋

冬季在加拿大中部和北部极地的积雪覆盖区上维持数日后的北极干冷气团,在地面以上 3—4 公里范围内可形成等温层结。当此极地气团南下进入美国中部大平原时,由于地面加热作用,其层结变得较不稳定。干冷的极地气团和南边的暖空气气团之间的边界经常是很陡峭的,其靠近暖区一侧的边界称为“北极锋”(arcticfront)。当北极锋移入美国中部大平原时,沿锋面经常有新的锋生及相应的雨带,在具有地形抬升的地区,如科罗拉多

北部和东部,可产生暴雨或暴雪。

当天气尺度的短波槽自西向东移过落矶山脉时,在移至美国中部的北极锋上可生成新的气旋中心。这时在气旋中心以西的北极锋西段因受落矶山的阻挡,沿落矶山东侧向南移动,锋前后温度梯度明显,锋后风速加大,但没有明显的风向切变。在气旋中心以东的北极锋东段则呈静止锋或暖锋的特征。

与一般冷锋的区别还在于,北极锋后是顶部只达到 800—700hPa 的浅薄的极地冷气团。

Wang 等^[4]用 STORM—FEST 计划观测的资料和中尺度数值模式模拟分析了这样一次北极锋移过美国中部的热力动力学特征,及其伴随的雨带发生、发展的动力机制。

3.2 干槽和干槽前雨带

在落矶山以东的美国中部天气图上,干线和背风槽是最经常见到的天气特征。

干线是地面上方 1—3 公里高度范围内湿度在水平方向的不连续界面。它是由北上的墨西哥湾湿空气流,和来自西南部干旱的墨西哥和美国西南部的干燥的下沉气流相汇合而形成的。干线东侧的湿气团上方经常有一明显的逆温层,逆温层以上为性质与干线西侧的干空气团热力动力学性质相似的气团。该逆温层使得对流不稳定限制在低层发展而不能发展成深厚对流,干线附近则有利于深对流的发展。在没有其它天气系统影响的晴好天气,干线有白天向东移、夜晚向西移的日变化特征。

气流自西向东翻越落矶山脉在落矶山以东形成的背风坡槽经常与干线重合,从而加强了干线的发展及其伴随的强对流天气。

Martin 等^[4]把和干线重合在一起的背风坡槽叫做“干槽”(drytrough),并发现一类与常规温带气旋雨带不同的另一类雨带:“干槽前雨带”(pre-drytrough rainband)。这类雨带发生在干槽之前、对流层中层(700hPa 左右)、沿暖平流的前沿。与干槽相应的垂直环流形成一个对流不稳定的斜面,该对流不稳

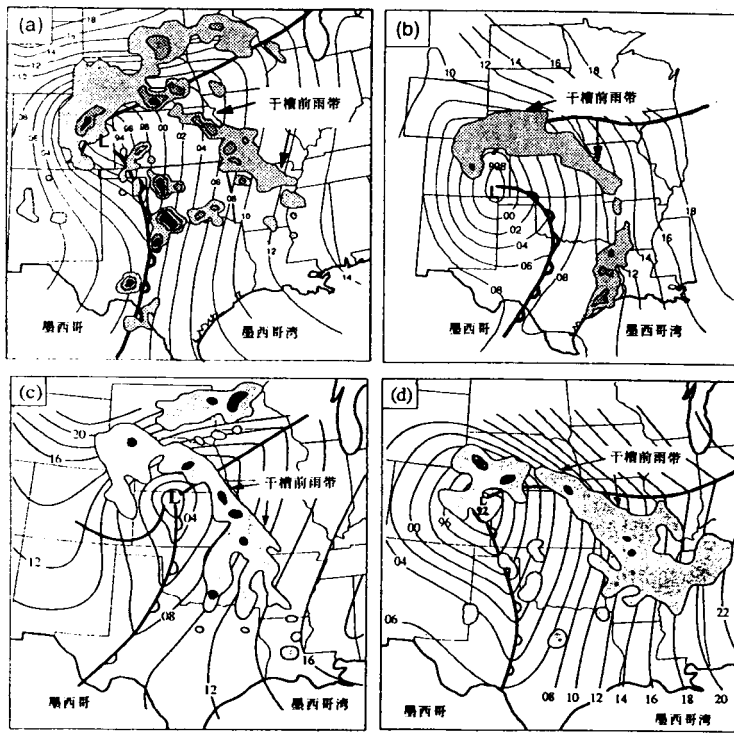


图2 干槽前雨带的雷达回波和地面形势图的四次个例。a)1992.3.9.00Z,b)1992.3.4.18Z,c)1993.10.8.12Z,d)1993.11.12.12Z。图中细实线为海平面气压等压线,单位为hPa,带半圆符号的粗黑线为地面干槽;不带半圆符号的粗黑线为北极锋

定由从美国西南部和墨西哥高原平流来的高位温气团在对流层中层形成的暖平流释放,因而形成沿西北—东南走向的雨带。图2为四次这种干槽前雨带的雷达回波图及相应的地面形势图^[6]。

当北极锋上有新生气旋中心生成,其西段沿落矶山东坡南移而逼近自气旋中心向南延伸的干槽时,由于北极锋前后没有明显的风向切变,常规分析常常误将具有明显风向切变的干槽分析成地面冷锋,忽略了北极锋西段的存在,并将气旋中心以东具有暖锋性质的北极锋东段分析为地面暖锋,构成挪威气旋模式。Hobbs等^[7]、Wang等^[4]都指出了这种误分析的实例。这种情况下,干槽前雨带就会被误认为暖区雨带。

3.3 高空冷平流和高空冷锋雨带

在落矶山以东的美国中部大平原,经常在对流层中层(约700hPa)有冷平流带。冷平

流带的前沿在地面槽前200—300公里,带中水平温度梯度明显高于环境水平温度梯度。在卫星云图和雷达回波图上均在冷平流带的前沿位置上有降水云雨带。数值模式计算的垂直上升速度和锋生函数亦在此处呈现与雨带相应的大值带。故高空冷平流带具有冷锋带的性质,但没有地面冷锋。Hobbs等^[7]曾给出几个典型的高空冷平流边缘锋生带及与之相应的“高空冷锋雨带”(cold front aloft rainband,或CFA rainband)的观测分析实例。

高空冷锋雨带具有强对流性质,有时成为飑线。图3为1992年3月8—9日出现的一次飑线过程,飑线开始时在地面槽和干线附近,但很快就离开了地面槽,而沿着对流层中层的冷平流带前沿。详细的热力动力学分析表明,这条飑线系由高空冷锋锋生带产生^[8]。如按经典的挪威模式,地面槽被分析为地面冷锋,飑线被视为具有强对流的暖区雨

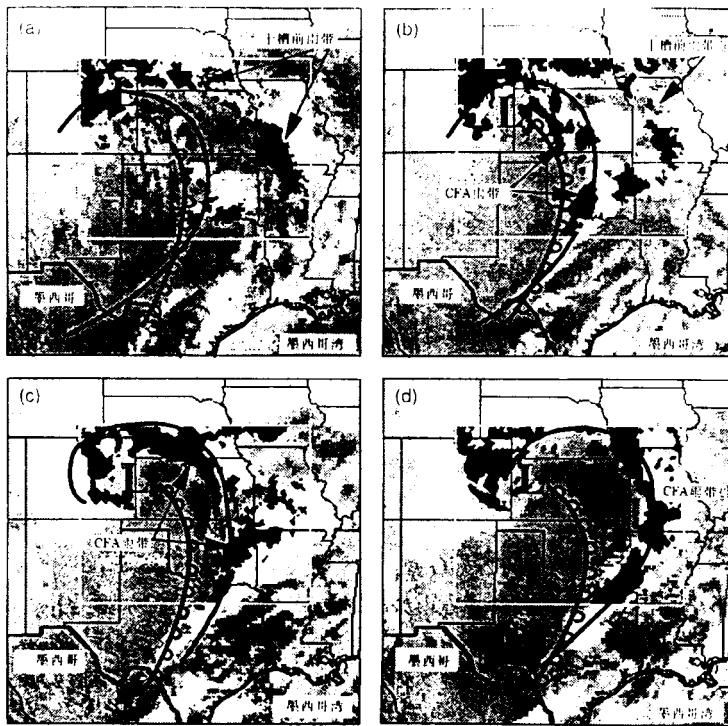


图3 1992.3.9 卫星红外云图和雷达回波演变图。a)00Z,b)03Z,c)06Z,d)09Z。图中带半圆的粗黑线表示干槽,不带半圆的粗黑线代表500hPa冷平流前沿。白色表示温度最低的云顶,深黑色为高空冷锋雨带回波,灰色为干槽前雨带回波(图中箭头所示)

带。

4 结语

由于特殊的地理和气候条件,美国中部的气旋锋面结构和雨带比之西欧和北美西海岸的海洋性气旋系统更为复杂,用经典的挪威模式分析和预报常会导致错误的结果。Hobbs 等人从近年的研究总结出一个新的物理概念模型^[9],用来说明这个地区的气旋结构。这对进一步了解和正确预报美国中部经常出现的飑线、龙卷、暴雨、暴风雪等强对流天气的形成和发展是很有意义的。

我国华北地区,西邻太行山脉,东邻太平洋,由欧亚大陆东移而来的大陆性气旋系统到达华北平原时由于地形影响和从东南方太平洋吹来的暖湿气流交汇的影响,也使得气旋结构和相伴随的雨带变得复杂多样。许祥秀等^[10]在对华北地区暖区雨带的研究中已

发现有三类不同性质的暖区雨带,其中一类即平行于地面冷锋的平行类雨带,与 Hobbs 等^[11]总的暖区雨带性质相似。另外两类即交角类和垂直类,则是 Hobbs 的雨带模型分类中没有的。

因此,美国中部非常规气旋结构和雨带的研究对我们研究华北地区气旋锋面的结构及相联系的雨带是可借鉴的,特别是对流层中层的冷暖平流的作用值得引起足够的重视。他们不拘泥于传统的经典模式框架,而从实际资料出发,研究和发现新的天气规律,对我们的研究工作也是一个启示和鼓舞。

参考文献

- 1 Bjerknes F. On the structure of moving cyclones. Geofysiske Publikationer, 1919, 1(2)
- 2 Bjerknes F, and Solberg H. Meteorological conditions for the formation of rain. Geofysiske Publikationer, 1921, 2(3)

- 3 Bjerknes F and Solberg H. Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation. *Geofysiske Publikationer*, 1922, 3(1)
- 4 Wang P Y, Martin J E, Locatelli J D, and Hobbs P V. Structure and evolution of winter cyclones in the Central United States and their effects on the distribution of precipitation. Part II: Arctic fronts. (1994 Accepted by *Mon Wea Rev*)
- 5 Martin J E, Locatelli J D, Hobbs P V, Wang P Y, and Castle J A. Structure and evolution of winter cyclones in the Central United States and their effects on the distribution of precipitation. Part I: A synoptic-scale rainband associated with a dryline and lee trough. (1994 Accepted by *Mon Wea Rev*)
- 6 Wang P Y, Martin J E, Locatelli J D, and Hobbs P V. Recurrent precipitation bands with in winter cyclones in the Central United States. In: *Proceedings of sixth conference on mesoscale processes*, 17-22 JULY 1994, Portland, Oregon, USA. 215-217
- 7 Hobbs P V, Locatelli J D, and Martin J E. Cold fronts aloft and the forecasting of precipitation and severe weather east of the Rocky Mountains. *Wea and Forecasting*, 1990, 5, 613-626
- 8 Locatelli J D, Martin J E, and Hobbs P V. Structure and evolution of winter cyclones in the Central United States and their effects on the distribution of precipitation. Part III: The development of a rainband associated with cold-frontogenesis aloft. (Submitted to *Mon Wea Rev*)
- 9 Hobbs P V, Locatelli J D, and Martin J E. A new conceptual model for topographically altered cyclones in the Central United States. In: *Proceedings of sixth conference on mesoscale processes*, 17-22 July 1994, Portland, Oregon, USA
- 10 许梓秀, 王鹏云. 冷锋前部中尺度雨带特征及其机制分析. *气象学报*, 1989, 47: 199-206