

区域地面天气图上华北飑线的特征 及其临近预报

李 鸿 洲

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

应用1970—1980年常规资料及逐时区域加密的观测资料,分析了百余次飑线过程,并对发展完整的十个飑线过程做了逐时诊断分析。分析了华北飑线的中尺度气候特征和不同天气类型的环境条件;给出了飑线各发展阶段的地面中尺度概念模型;还讨论了应用逐时地面加密资料制做飑线临近预报的基本思路。

一、前 言

飑线的研究不仅是中尺度气象学中的重要课题,也是夏季灾害性天气临近预报(0—6小时,含警报)业务中的重要研究课题。近年来在一些技术先进的国家,临近预报已取得了迅速的进展并逐步投入业务^[1-3],这些进展是与卫星、雷达探测技术的发展分不开的。连续的卫星观测(时间间隔1—半小时或更短)资料,对分析和预报飑线活动都是非常重要的。本文在已有工作的基础上^[4-10],根据华北地区航空气象业务中每小时一次的地面加密区域天气图及相应范围的航空危险天气报告和常规资料,分析了飑线生成的环境条件、中尺度特征以及触发条件。还讨论了飑线分析特点,并给出了华北地区飑线的地面中尺度概念模型。最后提出如何应用航空地面加密资料来制做飑线临近预报。

二、华北飑线的环流背景和物理条件

作者在文献[6]中曾将华北飑线过程的500百帕环境流场分为西北风流型和偏南风流型。其中西北流型是华北平原飑线的主要天气型,约占60%以上,飑线出现在高空槽后。偏南风流型飑线主要是槽前飑线,约占36%。选取影响北京地区的32个强飑线(指伴有 ≥ 20 米/秒的强风)分别按上述两环流型计算在飑线发生前的有关物理量,如表1所示。两型飑线的主要差别在于不稳定层结的建立过程不同。西北流型以中、高层明显冷、干为主要特征,其低层接近平均值或稍暖。偏南流型以低层暖、湿为主要特征,中高层接近平均值或稍冷。

1985年12月20日收到,1986年3月29日收到修改稿。

表 1 飑线发生前(取当日 08:00 时)环境物理条件

项目 型别	850 百帕			500 百帕			300 百帕		ΔT 850—500	沙氏指数
	T	T_d	θ_{se}	T	T_d	θ_{se}	T	T_d		
多年值(6—8月)	16.8	8.8	59	-8.2	-18.6	57	-33.0	-41.6	25.0	2.4
西北流型	17.9	6.6	56	-12.7	-22.7	50	-38.5	-48.0	30.6	-2.6
偏南流型	19.7	12.3	66	-8.4	-20.0	57	-33.7	-41.3	28.1	-2.0

图 1 是多飑线的 1978 年 6 月(有 10 个飑线日)有飑日与无飑日的北京各层(当日 01—13 时)温度变化廓线,它反映出飑线发生前至临近飑线发生时层结变化趋势。在无飑日与平均情况相差不大,层结有向稳定转化的趋势;飑线日则显著不同,700 百帕以下显著增温,700—250 百帕为明显降温,最大降温值出现在 400 百帕层,12 小时降温值达 3.3°C ,它表明,飑线是中、高层的强烈降温和低层的增温过程是联系在一起的。

三、逐时地面天气图上 飑线的特征

1. 我们分析了飑线的空间尺度、移动速度、生成发展及生命期以及飑线附近的部份物理特征,表 2—4 概括分析的结果,主要结论如下:

(1) 飑线从生成到发展所经历的时间比较短促,75% 的飑线生成后历经一小时内即可发展成为较强的飑线系统;

(2) 飑线的生命期多在 3—10 小时之间(占 85% 以上);

(3) 飑线的长度,多在 100—400 公里区间内,75% 的飑线长度在 100—300 公里区间,200—300 公里的最多,占近 50%;

(4) 飑线的移动速度基本在 20—75 公里/小时范围内,多数(约占半数)飑线其移速在 50 公里/小时以上;

(5) 飑线附近气象要素差异显著,尤以气温更为剧烈。多数(约占 80%)飑线在其后部有一个成带状分布(与飑线走向一致)的一小时降温区。在此降温区内,降温中心值超过 5°C 的占 90% 以上。与此同时飑线附近(飑线前后)有很强的水平温度梯度,水平温度梯度 $>4^{\circ}\text{C}/50$ 公里的占 90%, $\geq 6^{\circ}\text{C}/50$ 公里的达 80% 以上, $7-10^{\circ}\text{C}/50$ 公里的占 50%。这表明飑线与低层大气中的强斜压现象有紧密联系,就某种意义而言,飑线的整个生命期,也就是这一强斜压场的生命史。有些研究工作结果表明,边界层水平温度梯度的

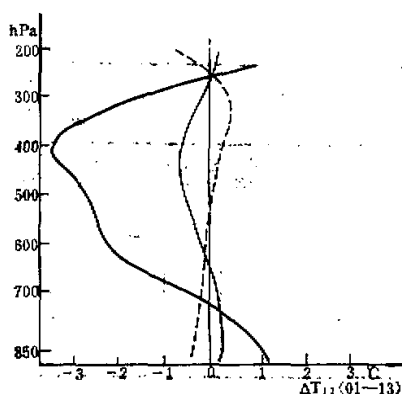


图 1 有飑日与无飑日层结变化比较
(取 01—13 时)

粗实线: 飑日, 实线: 多年平均, 断线: 无飑日。

表 2 飊线系统特征之一

项目	飊线生成—发展过程时间 (t)			生 命 期 (t')			
时间(小时)	$t \leq 1$	$1 < t \leq 3$	$3 < t$	$2 \leq t' < 3$	$3 \leq t' < 6$	$6 \leq t' \leq 10$	$10 < t'$
频数(%)	75	22	3	9	52	35	4

表 3 飊线系统特征之二

项目	移动速度*(V , 公里/小时)					飊线长度** (L , 公里)				
范围	$20 < V \leq 30$	$30 < V \leq 40$	$40 < V \leq 50$	$50 < V \leq 70$	$70 < V$	$80 < L \leq 100$	$100 < L \leq 200$	$200 < L \leq 300$	$300 < L \leq 400$	$400 < L \leq 420$
频数(%)	23	15	15	39	7	4	27	48	18	3

* 取成熟阶段的平均速度; ** 取最大长度, < 80 及 > 420 公里资料不足

表 4 飊线系统特征之三

项目	飊线过境前后 (飊后 100 公里内) 1 小时降温 ΔT_1 ($^{\circ}\text{C}/\text{小时}$)						飊线附近最大温度梯度 ΔT_N ($^{\circ}\text{C}/50$ 公里)						
类别	明显降温区				弱降温区		$\Delta T_N \leq 4$	$4 < \Delta T_N \leq 6$	$6 < \Delta T_N \leq 7$	$7 < \Delta T_N \leq 9$	$9 < \Delta T_N \leq 10$	$10 < \Delta T_N \leq 12$	$\Delta T_N > 12$
范围	≤ 4	5—7	8—9	≥ 10	≤ 4	> 5							
频数(%)	4	41	23	12	17	3	6	12	12	28	23	15	6

存在对触发对流发展是非常重要的^[10], 像飊线所具有的如此大的温度梯度对对流活动的强烈发展则更有其特殊的意义。

2. 有关飊线的天气尺度环境特征和飊线特征及其发生条件等, 人们已作过一些讨论^[5,6], 我们对飊线的中尺度特征作了研究, 发现如下一些事实:

(1) 在有利的飊线发展大尺度背景场下(无论那种型), 如果在一片雷暴天气区内出现一个呈带状分布的降温(一小时负变温)区时, 在其下游区迅速形成一条飊线(或已生成的飊线将得到加强)。飊线的强度往往随此负变温区的增强而增强, 图 2(上)给出了一次飊线发展过程中温度变化的时间剖面, 图 2(下)给出单站的时间曲线。

(2) 飊线的发生、发展有四个阶段, 即初生、发展增强、成熟稳定和消亡阶段。生成—增强和成熟—消亡阶段的过程, 时间都比较短促, 飊线增强到一定强度即趋于成熟稳定, 此阶段维持时间最长, 飊线的主要生命期, 许多剧烈的天气现象多发生在这个阶段中, 它往往内含着频繁而复杂的飊线新陈代谢过程。^[11]

(3) 在飊线两侧各种气象要素有明显的 discontinuity, 尤以一小时变温场 (ΔT_1) 更为明显(图 2_上)。飊线过境前后, 各种气象要素的变化极其剧烈(图 2_下)。

(4) 飊线系统散度场及涡度场配置

作者分析了十次中等以上强度的飊线地面散度场和涡度场, 在飊线的初生阶段, 散度

场比涡度场更明显些,在飊线的前部一飊线附近,一般是辐合区和正涡度区,飊线在增强阶段其辐合最强(图3),飊线后部是辐散区和负涡度区。在飊线的不同发展阶段,其配置也有某些差别。飊线多发生在弱辐合区内(中心一般在 $1.0 \times 10^{-4}/\text{秒}$ 以内)。飊线生成后其前部往往有一个辐合区,中心一般在 $1.0 \times 10^{-4}/\text{秒}$ 以上,有些飊线个例还有一个弱正涡度区与之相配合(中心在 $1.0 \times 10^{-4}/\text{秒}$)。随着飊线前部的辐合和正涡度明显增加,飊线迅速加强发展,在飊线后部常出现雷暴高压,这里是相当强的辐散区和负涡度区。当飊线移近一个辐合区时,会进一步增强。飊线进入稳定阶段的后期,其前部的辐合减弱,飊线即开始减弱,而当飊线的后部出现辐合区时,即进入衰亡阶段。在飊线的生命期中,其后部始终维持着一个较强的一小时降温区。只在进入衰亡阶段时,一小时降温区才迅速减弱,随着它的减弱消失,飊线也渐消亡。

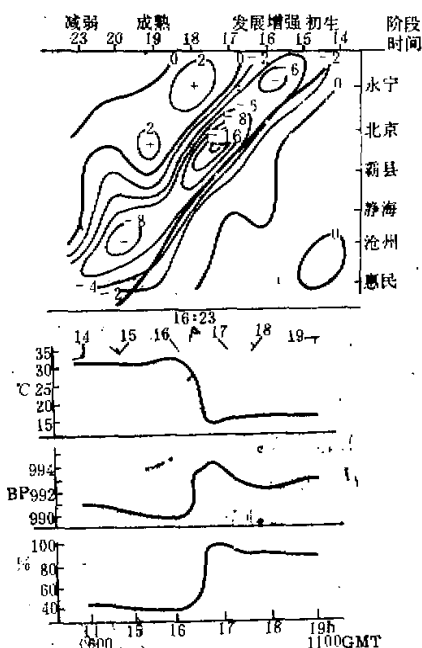


图2上: 1983年5月27日飊线过程垂直于飊线方向的温度变(一小时变温)时间剖面图

粗实线: 飊线。下: 1983年6月27日北京八里庄观测台温(上)、压(中)、湿(下)自记曲线及地面风报告

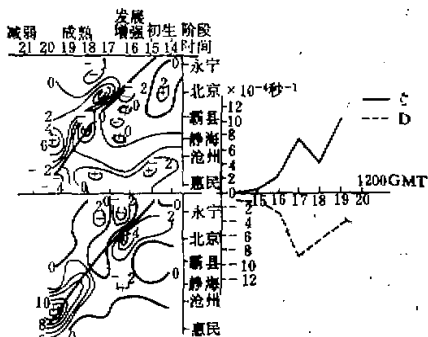


图3 1983年6月27日垂直于飊线的D(左上)、ζ(左下)时间剖面与飊线前(30公里以内)散度、涡度变化时间曲线(右)

四、华北飊线的地面概念模型及其临近预报

1. 华北飊线的分析

表2—4所给出的飊线系统特征,可作飊线分析时的参考。在飊线的初生阶段分析比较困难,此时应分析对流天气的发展变化,尤其是分析雷达回波的变化和可能取得的卫星探测报告。当对流天气(云)向有组织的对流发展,从分散对流单体向有组织的对流群体或超级单体发展,天气现象也表现剧烈,地面开始出现有规律的风突变(需使用非定时的

航空危险天气报告),并在风突变的后面,出现一个带状的一小时降温区($-\Delta T_1$),降温中心值一般在 $3^\circ\text{C}/\text{小时}$ 以上,此时可分析飊线生成。飊线生成后,迅速增强,一般多在1—

2 小时即可发展成熟,并处于稳定阶段。此阶段对飑线的分析,应注意飑线型回波^[9]及其两侧气象要素明显的不连续。在华北地区,多数飑线前方为偏南风 2—3 级或风力较弱,飑线后部风力很强,且有明显的阵性,一般达 7—8 级以上,但强风时间不长,往往在测站比较稀疏的区域内,间隔一小时的观测资料,风场的不连续不够明显,会给分析带来某种困难,此时,应结合其他资料和非定时的观测资料(如航空危险天气报告等)综合分析;飑线两侧有很强的水平温度梯度,多数飑线可达 $6^{\circ}\text{C}/50$ 公里以上。在飑线的衰亡阶段,飑线中的不连续现象最先消失,然后飑线云系趋于消散。

2. 华北飑线的地面概念模型

华北区的飑线,无论偏北流型还是偏南流型,大多与中高空冷空气活动有紧密联系。图 4 给出反映飑线发生、发展变化各阶段地面系统的概念模型。在有利的环流背景下,飑线的可能发生区出现在地面中尺度辐合区附近,在飑线发生前,一般先有对流天气(如雷暴、阵雨)的发展,天气区多在辐合区中心靠上游¹⁾的一侧,天气区内常有降温区相继出现。当降温强度增强到 $4^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 或以上时,在降温区的下游¹⁾一侧可产生飑线(图 4a)。

飑线生成后,飑线前侧的辐合区明显增强,达 $1.0 \times 10^{-4}/\text{秒}$ 以上,飑线后的降温亦增

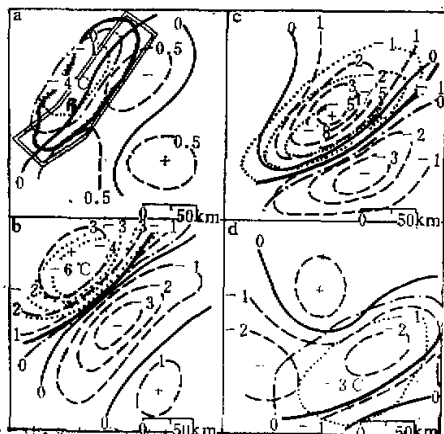


图 4 飑线发生、发展变化各阶段概念模型示意

a: 飑线生成前 b: 飑线生成阶段—发展增强前 c: 飑线加强、成熟稳定阶段 d: 飑线减弱消亡阶段
实线: 散度零线, 断线: 散度线, 点画线: 一小时变温零线, 粗实线: 飑线, 双线区: 飑线可能发生区, 点线: 一小时变温线。

强,降温值可达 $5-7^{\circ}\text{C}$ 或更大(图 4b-c),与此同时,相伴出现了辐散区和反气旋涡度区,飑线进入增强阶段。此后,飑线前部的辐合及后部的降温区形势比较稳定,涡度场明显增

1) 均指对高空主导气流而言。

强,正涡度区沿飑线分布,比辐合区更靠近飑线。这些特征量均有所增加,是为成熟阶段(图略),在整个成熟稳定阶段中,各特征量中心强度有一些浮动变化。当飑线进入衰亡阶段时,辐合区已在飑线上(或飑线后),飑线后部的降温区显著减弱(范围减小,强度也弱,一般小于 $3^{\circ}\text{C}/\text{小时}$),飑线很快消亡(图 4d)。

3. 飑线的临近预报

在目前的条件下,如果预报员能在飑线发生前定性地报出部分飑线的发生地段和时段,并在飑线发生后,能有效地预报出飑线的发展趋势和影响的区域,我们做飑线的临近预报还是可能的。本文提出以下飑线临近预报的一些着眼点:

(1) 预报飑线的发生

首先确定是那类飑线环流型^[6],并判定出飑线可能发生的范围,再根据地面中尺度辐合区的具体配置,确定出飑线可能发生的区域。监测此区内强对流天气的发展,当雷达回波的单体加强或向带状群体发展且有增强趋势,并在地面的强天气区内有达一定强度的带状分布的一小时降温区出现时,就可预报飑线在 1—2 小时内生成(或将要发生),其位置即在负变温区的前缘;如在地面有一个弱中尺度辐合区相配合,则对飑线生成更为有利(图 5a)。扈忠慈等人在文献[7]中指出,当一小时降温强度不足 3°C 时,飑线不易生成,而当降温超过 $3^{\circ}\text{C}/\text{小时}$,才很可能有飑线生成。

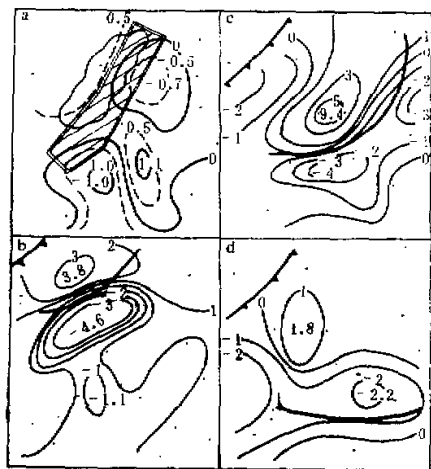


图 5 1978 年 6 月 30 日飑线地面散度场
($\times 10^{-4}/\text{秒}$)过程图

a: 13 时, b: 15 时, c: 17 时, d: 19 时, 其他说明同图 4。

(2) 飑线强度变化的预报

飑线增强时,不仅在雷达回波上反映清楚,而且地面气象要素变化也十分明显。但单就雷达回波来预报飑线的增强还有不少具体困难。综合分析应用加密观测资料,这是一个可行的途径。下列分析结果,具有预报价值:

飑线在增强时,在飑线附近有很强的水平温度梯度,温度梯度的增强与飑线的增强趋势一致。这对飑线的增强有指示意义。飑线前后一小时变温的变化趋势(主要是飑线后的一小时降温)也与飑线强度变化有类似关系;

当飑线移近中尺度辐合区时,对流增强^[10]飑线将获得发展加强(参见图 3 左);

伴有中高压的飑线,其发展变化与雷暴高的演变有一定联系,飑线向雷暴高压的长轴方向扩展(增强过程),其长度与中高压的长轴相当;

当两条移动路径不同的飑线相交或相遇时,在两飑线的汇合段将急剧发展增强^[1];

1) 蔡则怡、李鸿洲、李焕安 华北飑线系统的结构与演变特征

当飊线后一小时降温区缩小,强度减弱,或飊线前出现降温,飊线附近的温度梯度减小,飊线随即减弱并趋于消亡;

飊线两侧的辐合区和辐散区,保持相当强度和一定的分布形势时,飊线维持稳定(图 5b,c)。当两侧的辐合、辐散均减弱或飊线前的辐合区已在飊线后部或飊线上时,飊线将迅速趋于减弱消亡(图 5d);

当飊线处于成熟稳定阶段,飊线在边界层不稳定区内(850 百帕以下, $\gamma \geq 0.8^{\circ}\text{C}/100$ 米),可向下游继续传播。当飊线移近边界层稳定区时(850 百帕以下, $\gamma \leq 0.6^{\circ}\text{C}/100$ 米),飊线明显趋于减弱。

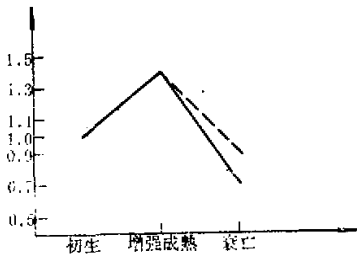


图 6 飊线各发展阶段移速比图

断线: 与初生阶段移速比曲线,
实线: 与前阶段移速比曲线

(3) 飊线移动的预报

飊线的移向与 500 百帕层的气流关系密切。华北飊线的平均移速多在 50 公里/小时以上,偏北流型的移速比偏南流型的为快^[6]。在飊线各个不同发展阶段,其移动速度也不同。一般初生时移速较慢,随着飊线的迅猛发展增强,其移动速度亦急剧加快,而后渐趋稳定,至衰亡阶段移速明显减慢,接近或稍小于其初生时的速度,图 6 给出了中等以上强度飊线各阶段移速的变化趋势。初生阶段飊线移动速度比较难以报准,对于发展较强并且生命期长的飊线移

速预报,可参照图 6 作适当的修订再作出预报。

在目前的条件下,综合分析各种资料(包括卫星资料,雷达资料,以及一小时航空地面图),可以分析出飊线的活动,包括飊线各发展阶段的变化及其移动,并作出外推预报,还可及时作出灾害性天气的警报。

致谢: 本文蒙陶诗言、周晓平先生指正,并得到扈忠慈同志的大力支持,特致衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] Browning, K. A. 1982, Nowcasting ACADEMIC PRESS, p. 47—61.
- [2] Cotton, W. R. Mcanelly, R. L. 1984: The Meso-3-secal Evolution of Mid-Latitude Mero-2-secal convective complexes, Nowcasting II.
- [3] Ogura, Y. Haun-Ming Juang, Ke-su Zhang et al., 1982. Possible Triggering Mechanisms for sever storm in SESAME-AUEIV Builetin of the American Meterological Society, Vol. 63, No. 5.
- [4] 丁一汇、李鸿洲等, 1982, 我国飊线发生条件的研究, 大气科学, 6 卷, 1 期 p. 18—27.
- [5] 李鸿洲, 1987 暴雨同强对流天气的大尺度环流背景的某些问题, 北方天气文集<6>.
- [6] 李鸿洲、扈忠慈, 1984, 华北的飊线, 强对流天气文集, 气象出版社.
- [7] 扈忠慈、李鸿洲, 1984 华北飊线分析预报中某些问题的初步探讨, 北方天气文集<5>.
- [8] Sun W.V. and Y. Ogura, 1979, Boundary-Layer Forcing as a Possible Trigger to a squall-line Formation Journal of the Atmospheric Sciences, Vol 36, No. 2.
- [9] 杨培才、郭裕福等 1981, 飊线型降雹回波系统的初步分析, 大气科学, 5 卷 1 期, p. 85—91.
- [10] 许梓秀, 1984, 低槽冷锋暴雨中尺度系统及其触发条件, 强对流天气文集, 气象出版社.