

华北平原中尺度低气压的若干事实

刘瑞晨 扈忠慈 李人和*

提 要

本文对产生在太行山东侧华北平原行星边界层内的中尺度低压系统进行了普查分析,同时还使用了专门的探测资料,基本弄清了有关中低压的若干事实;探讨了有利于产生中低压的天气条件和华北地形对形成中低压的重要作用;分析了中低压的某些生消规律。

一、前 言

多年来,人们对雷暴、冰雹、暴雨等灾害性天气进行了较多的中尺度分析研究,而对产生在行星边界层内的另一些中尺度天气系统研究得并不多。就华北地区而言,雷暴高压、飑线等中尺度系统(在夏半年)虽然常有出现,但是,更多见的却是形成在太行山东侧、华北平原近地面层的中尺度低气压(下称华北中低压)。它具有较完整的气旋型风场,间隔1毫巴可分析出闭合等压线,水平尺度多在100—200公里。

华北中低压多出现在上空盛行偏西风、华北平原出现地形槽的形势下。一般子夜前后开始生成,早晨达到一定强度,中午前后减弱或消失,日变化明显。它经常造成华北平原大范围恶劣能见度和低碎云天气,亦即经常出现大范围空气污染,而且对航空活动有严重影响。可见,华北中低压是华北平原的天气预报中极为重要的中尺度天气系统之一。因此,对它进行较深入的探讨是必要的。

本文对1966—1977年每小时一次的三百万分之一的华北区域天气图(范围:110—119°E, 35—42°N,测站平均距离:山区70—90公里,平原30—60公里)和其它资料进行了普查分析,并按25米、100米、200米的不同间隔组织专门的高空风探测,分析了华北中低压存在的若干事实及其生成原因,对结构及变化特点等进行了初步探讨,为进一步解决中低压及与其有关的特殊天气预报等问题,提供了背景条件。

二、华北中低压的统计事实

1. 平均气压场和流场所反映的中低压

图1(左、中)是华北部分地区累年平均海平面气压场及常见流场。从气压场看,华北平原为一低压中心;从流场看,华北平原有明显的气旋型流场。这说明,华北中低压的存

1981年6月24日收到初稿,11月24日收到修改稿。

* 李焕安、盖福德、李福林参加了部分工作。

在是一个客观事实。

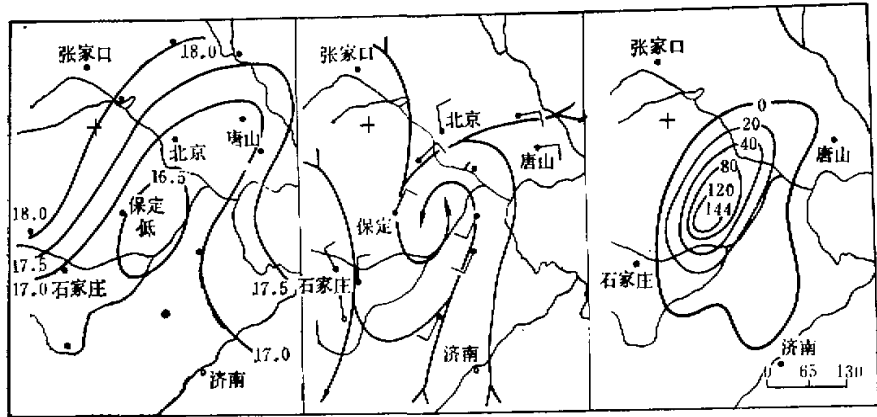


图1 华北平原累年(1961—1970)平均海平面气压场(左)(数值: 平均气压, +1000 毫巴)、常见(1965—1969)流场(中)(记录: 08 时最多风向)、及中低压位置散布(右)(数值: 中低压出现频数)。

2. 华北中低压的出现频率

普查 1966、1968—1971、1976—1977 七年共 2121 天的华北区域天气图(除 7、8 月外),以每日 6—8 时的形势为准,共有 646 天出现了中低压,平均每月 9.2 天,约占总日数的三分之一,出现次数最多的是 1971 年 10、11 月,每月竟达 16 天(见表 1),说明中低压的出现频率相当高,在华北地面天气系统中占有重要的地位。

表 1 华北中低压出现次数统计表

年 \ 次 数 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
1966	8	11	10	5	7	7	—	—	11	8	15	10	92
1968	9	8	8	8	9	7	—	—	10	12	13	10	94
1969	8	7	9	8	8	8	—	—	8	11	8	11	86
1970	12	8	7	8	6	8	—	—	11	11	13	12	96
1971	8	10	9	9	11	7	—	—	11	16	16	11	108
1976	5	7	11	6	7	7	—	—	10	11	8	8	80
1977	7	8	14	9	6	7	—	—	10	12	9	8	90
合计	57	59	68	53	54	51	—	—	71	81	82	70	646
出现频率(%)	8.8	9.1	10.5	8.2	8.4	7.9	—	—	11.0	12.5	12.7	10.8	100.0

注: 七、八月份因雷雨对弱气压场的干扰,给分析带来很多困难,代表性较差,故暂未统计

3. 华北中低压的地理分布

将 646 次中低压的出现位置按经纬度网格(以 0.5 度为间隔)进行综合,绘制出低压位置散布图(图 1 右),可以看出,中低压集中分布在太行山以东、燕山以南、 37°N 以北、 117°E 以西的一块狭长地带内,出现最频繁的地区在保定、饶阳、坝县一带。值得指出的是,中低压位置的地理分布与平均气压场和流场所反映的事实是一致的。

4. 华北中低压控制下的特殊天气

在中低压控制之下,华北平原受烟雾影响使能见度恶劣的机率较高,尤以冬半年更甚,根据冬半年 390 次中低压的统计,华北平原出现区域性能能见度小于 4 公里的占 75% 以上,最高年份(1976 年)达 85—90%,出现区域性雾及碎云的约为 20% 左右。

以上统计事实说明,华北中低压是华北平原常见的、对天气有明显影响的中尺度天气系统,它的存在与华北地形有密切联系。

三、华北地形与华北中低压

华北平原东临渤海,北侧为近似东西走向的燕山山脉,西侧的太行山在 38°N 以北为东北-西南走向, 38°N 以南近似南北走向,太行山以西为山西高原,这就构成了西、北高,东、南低,而且东面临海的特殊地形。资料表明,在一定的大尺度天气形势下,由华北特殊地形所引起的较大范围的动力和热力效应,对形成华北中低压有重要作用。

1. 有利于中低压形成的温度场和流场

普查表明,低层大气回暖,2 千米以下流场西风分量大是有利于形成中低压的重要条件。图 2 是 1977 年 3 月 850 毫巴张家口、北京、邢台高空风、气温时间剖面图,从此图可以看出,中低压的生消与低层温度场、流场变化有对应关系,具体特点是:(1)中低压产生在气温回暖阶段,冷空气的入侵会导致中低压天气过程的结束;(2)中低压出现在空中西

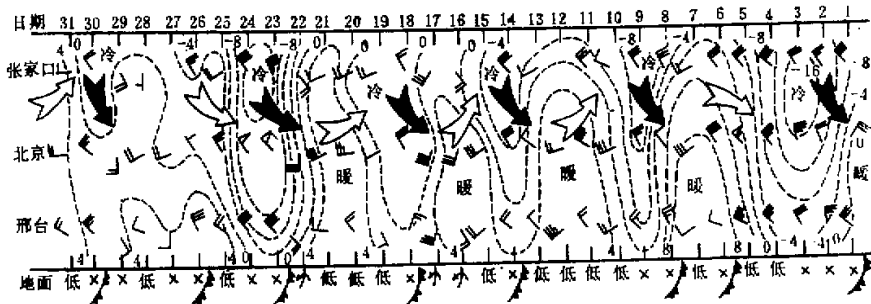


图 2 1977 年 3 月 850 毫巴张家口、北京、邢台高空风、气温时间剖面图。
虚线为等温线,实心和空心箭头分别表示冷、暖平流,“低”表示有中低压。

风分量较大的情况下, 16 至 17 日、22 日西风分量甚小, 虽然是强暖脊控制, 也没有低压出现。其它月份也有类似特点。

2. 地形的动力效应

历史资料表明, 华北上空流场除夏季外, 多为西-西北气流, 与太行山形成较大交角。从加密观测的高空风资料看, 当 2 千米以下的西-西北气流过山后有以下表现:

(1) 流场呈气旋性弯曲, 华北地形槽明显。

华北地形槽是过山槽的一种类型, 此现象可用涡度方程

$$\frac{d\zeta}{dt} = -\beta V - f \operatorname{div}_2 V$$

作较好的解释。应当指出的是, 太行山两侧是不对称的, 西侧山西高原平均海拔 700—1000 米, 东侧华北平原海拔在 50 米以下。因此, 气流上坡对于 $\frac{d\zeta}{dt} < 0$ 的贡献比下坡对于

$\frac{d\zeta}{dt} > 0$ 的贡献要小, 气流过山后将获得较大的正涡度, 原来的西或西北气流偏转为西南气流, 形成地形槽。从实测资料还可看出, 偏西气流过太行山后, 不但流场呈气旋性弯曲, 而且辐散也很明显。

(2) 气流过山后, 1500 米以上的风向变化不大 (仍为西或西北气流), 而 1000—1500 米以下则偏转为西南气流 (见图 3), 说明动力效应引起流场改变主要是在 1000—1500 米以下, 此高度与太行山脉的平均高度基本相符。

(3) 地面最大减压区在保定、饶阳一带。

我们对华北平原低层散度场进行了计算, 从散度水平分布 (图 4) 可以看出, 保定、饶阳地区上空散度值最大, 呈现出 $+8.6 \times 10^{-5}$ /秒的中心 (采用 100 公里的网格), 也是地面最大减压区。这是华北特殊地形条件及上空盛行气流两种因素共同作用的结果。因为此地区正处太行山东北-西南走向和南-北走向山脉转折处的东侧, 是西或西北气流与山脉交角较大的区域, 动力减压作用较为显著。这就从地形动力减压的角度解释了华北中低压集中分布在这一特定地区的事实。

(4) 中低压垂直方向上的散度分布有明显差别

利用石家庄、易县、故城三站高空风资料, 采用三点法对 1980 年 11 月出现的中低压上空的散度分布进行的计算结果表明, 从地面到低层 400—600 米之间为辐合, 在此高度以上为辐散, 并伸展到相当高度 (见表 2)。如 1980 年 11 月 4 日中低压上空散度的垂直分布, 600 米以下为负值, 600 米以上为正值 (见图 4 左上)。我们认为, 背风坡出现辐散流场必然引起地面减压, 有利于中低压的产生, 当中低压生成后, 近地面层必然要形成辐合流场, 因而造成了上述散度场的垂直分布, 它是中低压结构的一个重要物理特征, 它

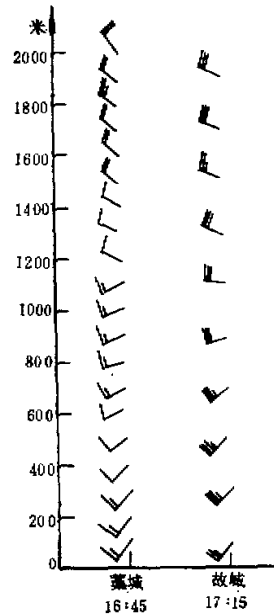


图 3 1980 年 11 月 4 日高空风图。

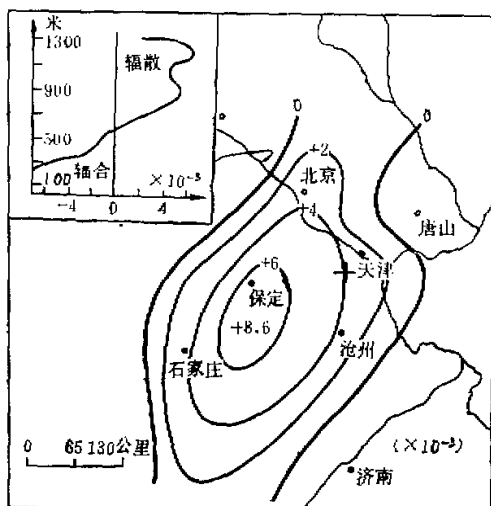


图4 1980年11月4日09时800米散度水平分布及中低压上空散度垂直分布(左上)。

表2 1980年11月四次中低压上空散度垂直分布

散度 高度 时间	200(米)	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
4日09时	-6.61 ($\times 10^{-5}$)	-5.38	-1.76	-1.21	+0.52	+2.79	+4.81	+5.82	+4.52	+4.65	+6.35	+2.49
10日09时		-5.87	-7.47		-1.72		+0.04	+2.33	+1.63		-0.02	
11日09时	-5.03	-2.73	-9.78	-3.22	-6.13	+0.04	+0.49	+1.02	+1.73	+1.10	+1.91	+2.19
14日09时	-3.29		+0.01		-3.04		+1.62		+3.11		+0.17	

与中低压的厚度有一定的联系。

上述偏西或西北气流过太行山后的实际资料分析证实了华北地形的动力效应促使偏西或西北气流向南偏转,使华北平原出现西南风,形成华北地形槽;同时,背风坡动力减压使某些特定地区比周围减压要大,从而促使了中低压的产生。

3. 地形的热力效应

华北平原近地层的地形槽形成后,如果在燕山南麓(唐山、北京)和太行山东麓(保定、石家庄)地区出现较大范围的偏东、偏北风,与地形槽前的偏南风就构成了低压环流。经验证明,上述地区的偏东、偏北风往往与日变化降温相伴出现,随日变化增温而趋于消失,因而华北中低压的生消也表现出明显的日变化特点,这是地形热力效应的反映,是一种边界层现象。

根据绝对环流原理,山坡上的空气与相邻平原上空同高度空气之间的温度差异,可以产生热力环流加速度,因而形成下山风或向山风,我们以北京南苑及其北部山区永宁(两地相距约 70 公里)的资料进行多次分析、对比,证实了它的存在。表 3 是 1980 年 12 月 30 日永宁与南苑上空同高度处温度变化对比: 07 时 $\Delta T_{\text{永宁}-\text{南苑}} = -8^{\circ}\text{C}$,假定两地之间温

表 3 1980 年 12 月 30 日永宁、南苑温度对比

数 值 项 目 时 间	永宁 T (海拔 507 米)	南苑上空 同高度 T	$\Delta T_{\text{永宁}-\text{南苑}}$	南苑地面 T	北京(沙河)高空风
07 时	-19°C	-11°C	-8°C	-13°C	500 米以上西南风 500 米以下北-东北风
13 时	-5°C	-10°C	$+5^{\circ}\text{C}$	-4°C	500 米以上西南风 500 米以下偏南风

度基本呈线性变化,山坡与平原交界地区上空应形成如图 5 左所示的力管场,产生逆时针方向的环流加速度,出现下山风;13 时 $\Delta T_{\text{永宁}-\text{南苑}} = 5^{\circ}\text{C}$,形成如图 5 右所示的力管场,产生顺时针方向的环流加速度,最终导致向山风的出现。

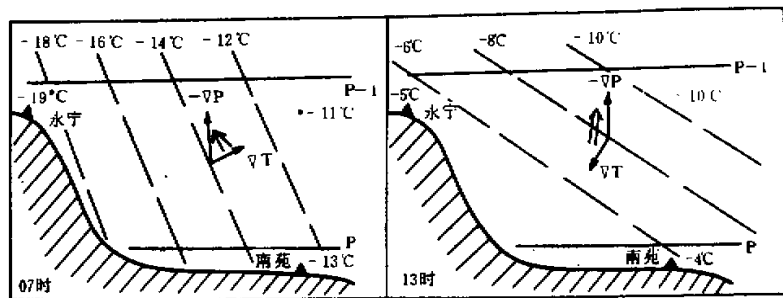


图 5 热力环流加速度示意图。

北京沙河(在永宁、南苑之间)相应的高空风资料: 09 时 500 米以下为北-东北风, 11 时 500 米以下为偏南风, 低层风的变化与山地、平原之间热力性质不同造成的局地热力环流加速度的改变是一致的。

应该指出,华北平原北部、西部是整齐排列的燕山、太行山脉,因此山风出现的范围较大,而且沿山各地区山风的风向随山脉走向不同而有差别,唐山地区为偏东风,北京、保定地区为东北风,石家庄地区为偏北风。上述各地之风向与山脉走向大致是平行的(或交角很小),它说明地转偏向力对较大范围山风风系的作用是不可忽视的,而这大范围的山风风系与地形槽前偏南风就决定了中低压的概略位置;它正与背风坡最大动力减压区基本一致,这也就从热力条件解释了中低压集中在这一地区的事实。

近地层大气受地表性质差异的影响很大,上述分析说明,华北中低压就是在有利的大

尺度背景条件下,由于华北特殊地形而引起的动力、热力的综合效应在行星边界层内产生的中尺度天气系统。

四、华北中低压的结构及其变化特点

在特定的大尺度背景条件下,地形的动力减压作用总是存在的,中低压南侧的偏南气流通常都能得到维持,因此,它的结构、变化在一定程度上主要取决于山风风系的生、消,所以,可以山风风系的变化为依据来研究中低压结构、变化的有关问题。

1. 山风形成过程中的某些特征

低层测风资料表明,较大范围的下山风的垂直分布有一个明显的特征,距山近的测站,山风的厚度厚,距山远的测站,山风的厚度薄,燕山南麓和太行山东麓均有此现象。图6左是沙河一通县及石家庄—藁城高空风垂直剖面图,沙河距山约15公里,通县距山约60公里,两地山风厚度分别为475米和225米,山风的空间廓线坡度大致为1/180;石家庄、藁城两地山风的空间廓线坡度大致为1/150。

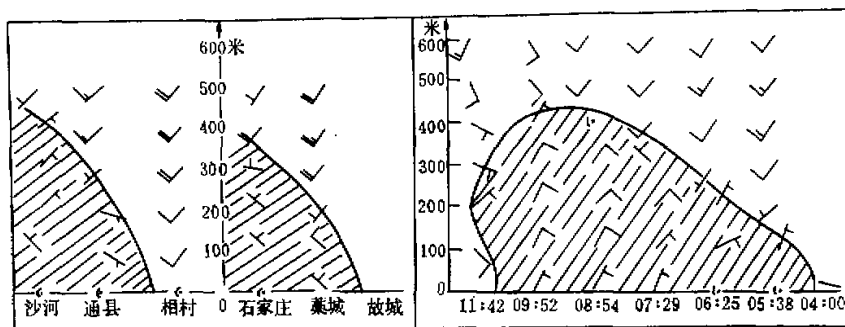


图6 1980年12月30日09时高空风垂直剖面图(左)及1966年4月5日南苑高空风时间剖面图(右),斜线表示山风区。

从单站高空风连续变化上看,山风在形成过程中厚度也有明显变化。图6右是1966年4月5日南苑高空风时间剖面图,05时38分山风厚度只有100米,到09时52分达400米,说明山风确有明显的厚度变化。此种变化反映了山风在向平原渗入过程中地转偏向力对其界面的作用。

2. 山风崩溃、消失的主要表现形式

随着日变化增温,山区、平原之间的热力分布发生变化,导致山风的崩溃、消失,中低压也随之消失。在华北区域天气图上,它表现为随着气温的升高,山边先转东南、偏南风,把山风(偏北风)割裂在某一地域内,如1970年2月10日09时山风区相当完整,到14时山风被割裂在北京东郊和饶阳等局地范围内(图7)。

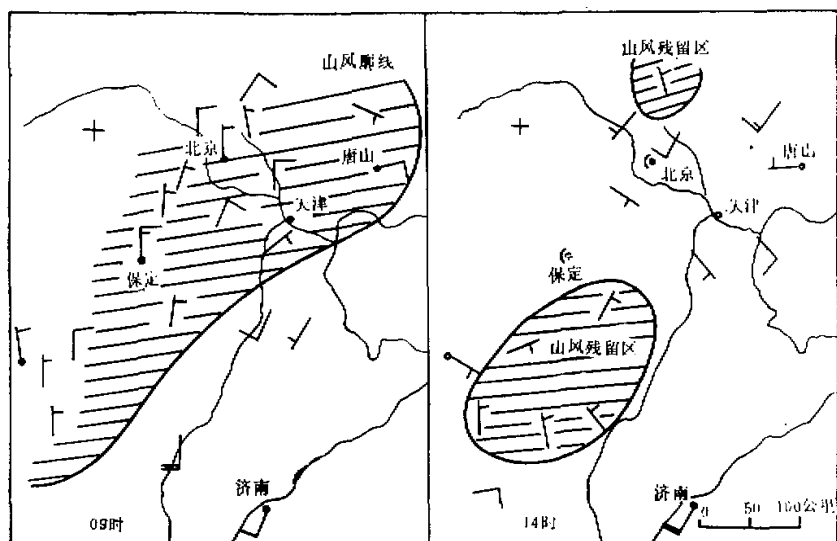


图7 1970年2月10日09时(山风完整)、14时(山风被割裂在局部地区)华北区域天气图。

为了弄清山风崩溃的特点,我们组织了以25米为间隔的低层风探测。结果表明,山风崩溃是以山风“破碎”的形式表现出来的。图8是沙河、通县高空风垂直剖面图:09时山风占据的空间较大,其廓线清楚,11时山风开始崩溃,其廓线已不完整,风向较乱,山风呈现出“破碎”现象。

山风“破碎”现象受到多种因素的作用(复杂地形、天空状况等),在由降温向升温转变的过程中,行星边界层内的温度变化不可能完全是线性的,山区、平原之间的局地热力环流加速度会出现一段紊乱过程,然后才能完整地改变环流的方向(有时甚至改变不了),在这段时间内就出现了山风“破碎”现象。

3. 中低压的水平尺度及垂直伸展高度

中低压的水平尺度一般为100—200公里,条件合适时可得到相当发展,达300—400公里。其垂直伸展高度与山风厚度有关,在山风强盛阶段,其伸展高度一般为300—500米。从1966年2、3月十一个中低压的高空风探测资料看,从地面到300米大多有较完整的闭合流场,到600米以上闭合流场消失,这进一步说明它是发生在行星边界层内的中系统。

4. 华北中低压的变化特点

中低压一般子夜前后开始形成,中午前后消失,表现出明显的日变化特点。这种特点与山风风系的日变化基本上是一致的,通常随山风风系的加强而有规律地向东扩展,07—08时可到坝县、饶阳一带,距山约100—150公里,09时后随着平原地区低层高空风的出

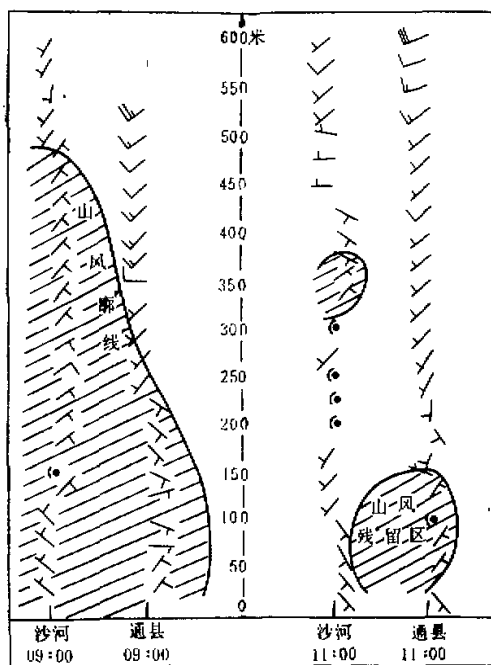


图 8 1980 年 12 月 30 日高空风垂直剖面图(间隔 25 米)。

现,低压东南侧的西南气流加强,中低压开始西退,在西退过程中,由于山地日变化增温,山风崩溃,这时,虽然有时仍可分析出闭合等压线,但风场已很不明显,中低压环流渐趋破坏、消失。由于从山风产生到形成大范围山风风系有一个过程,所以,中低压的生命史比山风显得短些,一般为 7—9 个小时。

在有利于产生中低压的形势背景条件比较稳定的情况下,中低压可连续数日重复出现,甚至终日不消,我们把这种连续出现的过程作为一个中低压天气过程。据统计,646 次中低压分布在 340 个天气过程中,一个天气过程,短则仅仅一天,冬半年最长曾达 7 天,以

表 4 导致中低压天气过程结束的天气形势(次)

月份	1	2	3	4	5	6	9	10	11	12	总过程	%
中低压过程	23	35	40	36	37	29	36	35	35	34	340	100
冷空气入侵	22	29	34	22	27	20	29	28	34	31	276	81.2
西南风加强	—	—	3	9	8	4	3	3	—	—	30	8.8
形势调整	1	6	3	5	2	5	4	4	1	3	34	10.0

维持 2—3 天的居多。中低压天气过程结束一般有三种情况,即冷空气入侵、高后西南风加强以及其它形势调整等,使有利于产生中低压的温度场、风场条件发生变化,而导致天气过程结束。表 4 是导致中低压天气过程结束的天气形势统计表,可以看出,因冷空气入侵而导致天气过程结束的最多,占 81.2%。可见,冷空气入侵是中低压天气过程结束最常见的形势。

五、小 结

1. 华北中低压的出现机率很高,是华北平原最常见的、形成并活动于行星边界层内的中尺度天气系统,它与很多重要的特殊天气现象都有紧密的联系。

2. 特殊地形在一定大尺度背景条件下可导致中尺度系统的产生。华北中低压就是在冷空气变性回暖,上空盛行偏西气流的条件下,由华北地形所引起的动力、热力综合效应的结果。

3. 华北中低压在大尺度背景条件中并不是随机发生的,而是受地形条件的影响,形成和活动在一定的时间和地区的。

4. 相对于特定地形条件,大尺度背景条件在经常改变,所以,从某种意义上讲,大尺度背景条件对中尺度系统的发生、发展起着极为重要的作用。

5. 本文仅是对华北中低压的初步普查、分析,重点在于揭露其基本事实。我们认为,对山风风系的建立和崩溃,华北中低压的结构、生消变化规律及预报方法,大、中尺度系统的相互作用等问题,均有待进一步深入探讨。

本工作得到叶笃正等同志的关心和支持,特此表示感谢。

CERTAIN FACTS ABOUT THE MESO-SCALE LOW OVER THE NORTH CHINA PLAINS

Liu Ruichen Hu Zhongci Li Renhe

Abstract

A general investigation and analysis for the meso-scale lows occurred in PBL on the eastern side of the Taihang Mountains over the North China Plains was carried out. Special survey materials were used in the analysis. The facts about the mesolow have been clarified. This paper investigates the favourable weather conditions for producing the mesolow. It also mentions the important effect of the North China's topography on the formation of the mesolow. In addition, some laws of the emergence and vanishing of the mesolow have been analysed.