

低空急流与内蒙古的大(暴)雪<sup>①</sup>

宫德吉 李彰俊

(内蒙古气象台, 呼和浩特 010051)

## 提 要

分析了冬季产生东亚低空急流的大型环流特征及低空急流与内蒙古大(暴)雪的关系。结果表明,在东亚中纬度高空维持纬向强急流锋区的情况下,若有中亚冷槽分成南北两段东移,则极易有造成内蒙古大(暴)雪的东亚低空急流产生。指出可将产生这种环流特征的西风带大型环流的调整过程,作为内蒙古大(暴)雪天气的中期预警信号。而高低空急流的位置及强度又可作为降雪量及暴雪落区的短期预报指标。

**关键词:** 低空急流 大暴雪 环流 预报

## 引 言

早在 20 世纪 50 年代,我国的气象工作者就注意到低空偏南急流在暴雨形成中对暖湿空气的输送作用。70 年代以后,各地的研究进一步表明,无论在华南、长江流域还是华北地区,多数暴雨过程都伴有低空急流。地处祖国最北部的干旱和半干旱的内蒙古,夏季的暴雨过程也无例外的有低空偏南急流在起作用。然而在冬季的暴雪过程中却没有见到人们对低空急流的分析。事实上,低空偏南急流在内蒙古的暴雪过程中也扮演着重要的角色。

## 1 基本事实

在 1961~1998 年的 38 年中,内蒙古地区冬半年里(10 月~3 月)出现的大(暴)雪过程共有 68 次,其中有暴雪 25 次(表 1)。分析表明,在 25 次暴雪过程降雪当日(24 小时内),在 700hPa 上全都有从川、陕或河南、河北指向本区的大于  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的低空偏南急流存在。其中 21 次在降雪前 24~48h 便出现低空偏南急流,有 11 次在降雪前的 48~72h 就有低空偏南急流存在。在 43 次大雪过程中,有 30 次降雪当日(24 小时内)有  $\geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的低空偏南急流,有 25 次在降雪前 24~48h 已出现低空偏南急流(表 2)。在暴雪降雪前 1~3 天,有 18 次过程急流轴上的

表 1 内蒙古地区大雪、暴雪各月出现次数  
(1961~1998 年)

月份	10	11	12	1	2	3	合计
暴雪	10	5	1	1	2	6	25
大雪	11	10	3	1	3	15	43
合计	21	15	4	2	5	21	68

表 2 内蒙古地区大雪前低空偏南急流的出现频次  
(1961~1998 年)

风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\geq 20$	18	16	14	12	合计
暴雪前 24h 内	11	4	7		3	25
暴雪前 24~48h 内	5	2	5	3	6	21
暴雪前 48~72h 内	4	2	3		2	11
大雪前 24h 内	15	3	6	3	3	30
大雪前 24~48h 内	10	2	7		6	25
大雪前 48~72h 内	10		3	1	4	18

风速达  $18\sim 30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 另外 7 次风速为  $12\sim 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在大雪降雪前 1~3 天,43 次中有 41 次出现明显的低空偏南急流,其中轴线上风速  $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  有 32 次,轴线上风速  $\geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的有 9 次。只有两次发生在内蒙古大兴安岭北部的大雪过程,天气图上显示的偏南风没有达到低空急流的标准。在大雪之前出现的低空偏南急流,通常都是一些天气尺度的急流。虽不像盛夏大暴雨之前出现在副热带高压西侧的低空急流那样,空间尺度可达数千公里。但在冬季风盛行的季节里,在通常为西北风控制之下的地区,出现强劲的偏

① 本工作受中国气象局暴雪预报基础项目资助

南风,这本身就是一个不寻常的事件。

## 2 冬季东亚低空急流的形成过程

对于与夏季暴雨有关的低空急流的成因,许多人都进行过研究。张玉玲指出,积云对流释放的凝结潜热有利于加大低层风速<sup>[1]</sup>。王继志等指出源于澳洲的或东非地区的跨赤道气流,对夏季东亚地区低空急流的维持和建立是十分重要的<sup>[2]</sup>。然而入冬后,强烈的积云对流已很难发生,而且西风带位置南移,势力增强,东亚 30°N 以北地区通常为上一一致的西北气流所控制,天气尺度的偏南气流已很少出现,更见不到来自南半球的跨赤道气流。显然,潜热释放和跨赤道气流不是产生冬季东亚低空急流的主要原因。

### 2.1 前期环流特点

内蒙古大、暴雪过程的天气类型大体上有槽涡型、切变型、北槽南涡型及斜压槽型四种<sup>[3]</sup>。降雪的主要影响系统是槽、涡或切变线。依据主要影响系统的位置和来向,可将造成降雪的槽(涡)分为西来槽(涡)、蒙古低槽(涡)和贝加尔湖低槽(涡)三类<sup>[4]</sup>。西来槽是指从新疆东移的低槽。它可自西向东造成内蒙古大部地区降雪。蒙古低槽(涡)是指从蒙古山地东移的槽和涡。它主要造成内蒙古中东部地区降雪。贝加尔湖低槽(涡)是指从贝加尔湖及蒙古东北部地区东移的槽和涡。它只能造成内蒙古东部及东北地区降雪。在1961~1998年内蒙古出现的68次大、暴雪过程中,计有西来槽(涡)类35次,蒙古低槽(涡)类28次,贝加尔湖低槽(涡)类5次。西来槽类和蒙古低槽类全是在700hPa形成低空急流之后,在急流的下游出现大、暴雪的。在贝加尔湖低槽类中,也有3次是在渤海脊后偏南急流形成以后,才发生大、暴雪的。由于低空急流出现在700hPa华北沿海脊后及西来槽前的偏南气流上,槽和脊共同形成了“东高西低”的环流特点,因此可以说造成冬季华北地区大暴雪的低空急流,都是在“东高西低”的环流形势下形成的。一般在低空急流产生之前7~10天,500hPa高空西风带大型环流已经出现调整。其北支波动形成“西高东低”,即乌拉尔山以西地区出现经向度较大的阻塞性高压脊,西伯利亚为一低压区。

而西风带的南支波动却出现东亚沿海高度场升高,而中亚到高原以西高度场降低的变化。这种环流形势的明显特点是形成了乌拉尔山脊、中亚槽和亚洲中纬度较强的高空纬向急流。此后中亚低槽不断分裂东移,东亚中纬度高空急流不断增强。在高空急流南侧的华北沿海高脊,在同一时间内增强而少动。结果随着西来槽的东移,西来槽与华北沿海脊之间所形成的“东高西低”的环流特点也越来越明显。

### 2.2 形成低空急流的演变过程

我们以近50年来在内蒙古和华北地区出现的两次最大的暴雪过程为例来探讨冬雪前低空急流的形成过程。

①“77.10”内蒙古特大暴雪过程。1977年10月26~30日内蒙古出现一次特大暴雪,锡林浩特的过程雪量达到57.4mm,是近50年来最大的降雪过程。在过程发生之前,10月17日,500hPa东亚大槽猛然填塞,140°E相应的24小时变高由-180gpm变为+90gpm。与此同时,乌拉尔山以西的高压脊也猛然增强。西风带北支出现了乌拉尔山以西高脊—西伯利亚低压的“西高东低”形势,而亚洲中纬度以南地区上空却出现东亚高度场升高—中亚低槽加深的“东高西低”形势,蒙古上空为一宽平的弱脊(图1)。19~20日、22~23日、24~25日分别有三个波动沿蒙古脊北侧东移,其强度依次增强。随着一次次波动的东移,700hPa华北高脊也出现北伸(图2)。26日,中亚分裂槽的南段已移近

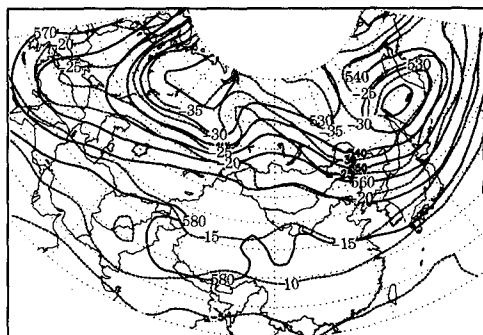


图1 1977年10月17日20时500hPa形势  
河套地区,槽前西南气流增强,低层从云贵经

川陕至内蒙古南部 25 日起就出现  $\geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的偏南急流。随着该槽的继续东移,槽前西南气流与华北脊后偏南气流辐合增强,低空偏南急流的强度也不断增强,28 日急流轴上的最大风速达到  $26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。暴雪天气从低空急流形成之后不久即开始出现。

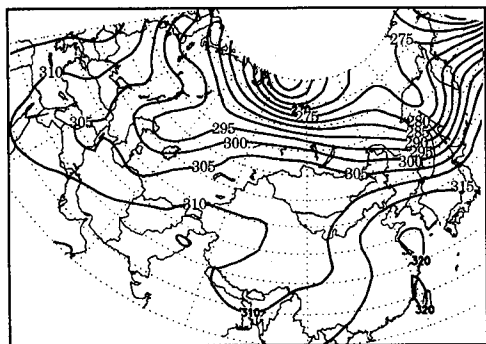


图 2 1977 年 10 月 26 日 20 时 700hPa 形势

随着东西两股冷空气迎头相遇及低空急流的出现,华北地区爆发了数十年少见的大范围的锢囚降水。一般降雪量为 15~25mm,内蒙古凉城县的过程雪量达到 37.2mm。

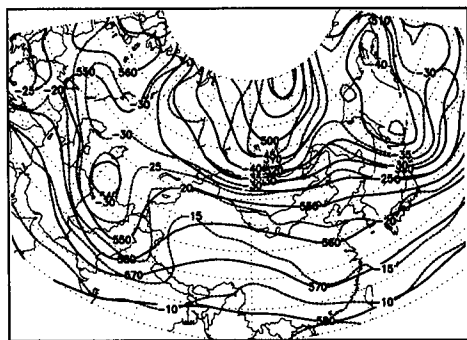


图 3 1979 年 2 月 19 日 20 时 500hPa 形势

对上述过程的分析表明,当高空西风带环流形成了乌拉尔山脊、中亚槽和亚洲中纬度较强的高空纬向急流之后,从极地南下的空气,在乌拉尔山脊前偏北气流的引导下,通常先南下到咸、里海地区,在高原西侧堆积、加强后,再转向东移。在中亚槽主体东移之前,常从大槽中分裂出部分的冷空气沿中纬度的偏西气流东移,分裂的小槽在东移中不发展,仅起着使高空偏西急流得到不断增强的作用。同时这也造成了东亚中纬度高空急流区南侧负涡度的不断增强,由此又促成了处于急流南侧的华北及沿海高脊的发展。随后中亚冷槽主体东移,该槽在天山附近又常分裂成南北两段,北段冷槽继续沿中纬度的偏西高空急流东移,速度稍快。它先期与华北一带发展起来的高压脊形成反相叠置,气流的辐合使北槽不能向南发展,只能加速东移,待越过华北脊并进入东北地区之后,才有所发展南压。而中亚槽的南段却在越过天山以后,在青藏高原东侧与南支槽同相叠加。于是南支槽前的西南气流与西来槽前的西南气流互相贯通,并引导秦岭以南的低层暖湿气流直接输向北方。随着西来槽的继续东移,北上的低层西南气流与华北脊后的偏南气流产生辐合,造成偏南气流进一步增强,并在高空急流的耦合作用下形成了川、陕直至内蒙古南部的较强的低空偏南急流。这就是冬季东亚低空急流的一般形成过程。

②“79.02”华北大暴雪过程。1979 年 2 月 14~16 日,北半球环流形势发生了剧烈变化,大西洋阻高和欧洲极涡相继由比较稳定的状态转为向东移动,最后形成了乌拉尔山阻高和亚洲北部极涡。东亚沿海的波脊也随中亚脊的东退而得到发展。在这次过程中,高空南北波系反位相同步东移。且青藏高原西侧的低槽也在乌拉尔山阻高形成的同时建立起来(图 3)。这时在  $100^{\circ}\text{E}$  以东的东亚地区,北有极涡中心,南有沿海高脊,中间形成一支很强的纬向气流。沿极涡外围极锋锋区上快速移动的短波冷槽,当其移至贝加尔湖地区时,与南支长波脊反相叠置,使这一带的高空纬向锋区增强,气流的辐合又使北槽只能加速东移,而不能向南发展。但由于脊区的暖空气和冷槽带来的冷空气所形成的热力运动及其斜压力管效应,在北槽移过华北脊进入东北地区后,槽后的冷空气出现了下沉,并从低层向南扩散,表现为黄渤海到黄河下游地区出现了较强的偏东风<sup>[5]</sup>。在极涡外围短波槽东移的同时,高原西侧的冷槽也分裂东移。其中,一部分冷空气越过天山后与青海低涡结合,2 月 20 日已移到陕北地区。于是 700hPa 槽前的西南气流与来自黄渤海的东南气流在华北西部形成辐合,产生了较强的低空偏南急流,风速达到  $22\sim 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

一般在冬季东亚低空急流出现之后的1~2天内,本区就会有降雪发生。而从西风带大型环流调整成易产生东亚中纬度锋区加强及易产生西路冷空气活动的形势,到华北地区出现大雪,通常都有一周左右的酝酿时间。

### 3 低空急流对内蒙古大(暴)雪的贡献

较大的降雪过程几乎都有低空偏南急流的事实,说明低空偏南急流与内蒙古大暴雪的关系非常密切。分析表明,低空急流不但为形成内蒙古大暴雪提供了水汽,而且还造成了上升运动和不稳定条件,所以冬季东亚地区出现的低空偏南急流对内蒙古的大(暴)雪天气有很好的指示意义。

#### 3.1 提供水汽输送

冬季,在地面蒙古冷高压的控制下,内蒙古地区天气寒冷而干燥,只有在某些特定的环流背景下,即东亚形成了较强的偏南(SE~SW)风时,南方和沿海较丰沛的水汽才能输送到内蒙古地区,形成降雪。而内蒙古空中水汽60%以上集中在850~600hPa的低层<sup>[6]</sup>。即使在隆冬季节,只要东亚地区存在低空偏南急流,就会有大量的水汽向北输送。我们看到,在“77.10”大暴雪过程中,当低空急流形成以后,华北地区700hPa上的比湿立刻增加了1~2倍,由 $1\sim 2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 上升到 $4\sim 6\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,充分显示出低空偏南急流在水汽输送方面的重要作用(图4)。

#### 3.2 造成上升运动

低空偏南急流可从动力和热力两个方面造成急流前方的上升运动。众所周知,低空偏南急流不仅向北方输送水汽也输送热量。暖湿气流在北进中,会因热力作用而出现爬升,产生热力上升运动。另一方面,冬季华北地区的低空偏南急流一般产生在中纬度高空纬向锋区入口区右侧和华北沿海高压脊后部。动力分析已表明,在急流入口区左侧会产生辐合,而急流入口区右侧产生辐散,结果适应过程将造成下层大气在急流入口区左侧下沉而右侧上升的垂直环流<sup>[7]</sup>。在高空急流出口区的下层还存在着一个与入口区相反的次级环流。同理,在低空急流轴的前方,因右侧辐合,左侧辐散,适应过程将造成上层大气

出现右前方上升,而左前方下沉的次级环流。由于高空偏西急流和低空偏南急流相互偶合,再叠加上升低空南来暖湿气流的热力爬升运动,就使在高空急流入口区右侧和低空急流右前方产生较强的动力抬升运动。

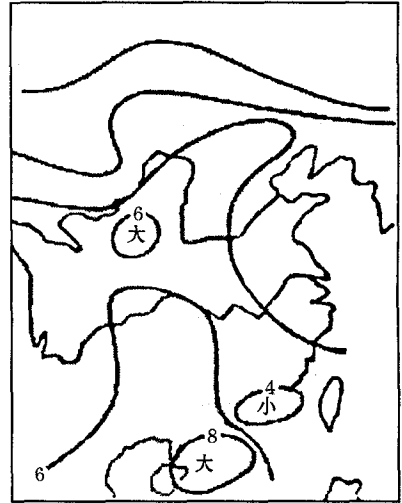


图4 1977年10月26日08时700hPa比湿分布

#### 3.3 产生不稳定

南来的暖湿空气进入高低空急流耦合而产生的动力抬升区以后,抬升冷却作用将使上升的湿空气接近于饱和,会出现陈秋士指出的重力惯性波不稳定发展的条件<sup>[8]</sup>。因为接近于饱和的湿空气进入上升气流区之后,其温度的变化将按湿绝热线进行,它比干空气在垂直运动中的温度变化要小得多,这会引起上升区南北温差的减小。结果是,上升区上下层的风速变化较大,而温度梯度却不大,以致流场上的热成风大于了温度场上的热成风,因而产生了非热成风。这样形成的非热成风,通过调整机制将使原上升区之南出现较强的反环流(图略)。该反环流的上升支与原上升气流一致,再加上凝结潜热释放的反馈作用,使原上升气流得到进一步增强,它反过来又会进一步增强非热成风。于是两者不断互相作用,使得非热成风和垂直环流都得到不断增大和发展,使热成风平衡无法实现。这就是造成重力惯性波不稳定的物理机理。

当重力波惯性振荡造成垂直环流圈发展

时,调整过程又必然要引起平行于急流方向的流场的变化。反环流在对流层下层与低空偏南急流的方向一致,对该处的低空急流将起加强作用,而其它地区风速的变化显然不如该处大。这将造成低空急流轴上风速度变化的不均匀,这种与重力波振荡有联系的低空急流的脉动对降水有明显的触发作用。

### 3.4 对大(暴)雪的指示作用

源源不断的水汽供应,持续的上升运动及存在冷空气(或不稳定)触发机制是形成大(暴)雪的必要条件。由上面的分析可知,低空偏南急流既可将南方的暖湿气流输送到北方,又提供了形成持续的上升气流和产生不稳定条件的机制,所以它为大(暴)雪的形成提供了必要的条件。

预报实践表明,降雪量的大小往往跟低空急流强度和维持时间,以及高空环流特点及系统的移速有关。当低空急流维持时间较长时往往有连续性降雪天气。在亚洲中纬度高空有纬向急流存在,而低空偏南急流又较强,且低空急流持续时间较长的情况下,通常都有较大的降雪发生。大暴雪中心一般出现在低空急流右前部 200km 以内,及高空急流入口区南侧 200~400km 的区域。可见高低空急流的强度位置及相互配合状况,对大(暴)雪的落区有决定性的影响。

## 4 结论

低空偏南急流在华北地区大雪和暴雪的形成中,起着传输暖湿水汽、制造上升运动和

产生不稳定发展条件等作用。资料表明,冬半年川、陕(或中原)到内蒙古南部地区出现低空偏南急流后,一般两天之内本区都有中雨(雪)以上的天气发生。其中 70% 的过程为大雪和暴雪。因此冬季东亚地区的低空偏南急流对华北大(暴)雪短期预报有很好的指示意义。

冬半年东亚地区的低空偏南急流是西风带大型环流调整的产物。通常在亚洲西风带大型环流发生调整,出现了易产生东亚低空偏南急流的环流形势之后一周左右,华北地区便会出现与低空偏南急流有关的降雪天气。

### 参考文献

- 1 张玉玲.暴雨与次天气尺度扰动和低空急流的生成.气象学报,1981,39(3):257~266.
- 2 王继志,李麦村.源于澳洲过赤道气流与中国季风环流和降水.大气科学,1982,6(1):82~105.
- 3 王娴等.内蒙古地区大雪天气分析与预报,内蒙古自治区天气预报手册(上).北京:气象出版社,1987:82~105.
- 4 康玲,李影俊,祁伏裕等.内蒙古大暴雪环流类型及物理量场特征.内蒙古气象,2000,24(3):13~18.
- 5 范永祥,张芬复,赵同进.华北春季大雪和黄渤海强东风.气象,1979,15(9):9~10.
- 6 宫德吉,沈建国,祁伏裕.内蒙古空中水资源状况.内蒙古气象,2000,24(3):7~12.
- 7 丁一汇.高等天气学.北京:气象出版社.1991:171~188.
- 8 陈秋士.重力惯性波的不稳定和低空急流、暴雨的关系.天气学的新进展,北京:气象出版社,1986:60~86.

## Low-level Jet and Heavy Snow or Snowstorms in Inner Mongolia

Gong Deji Li Zhangjun

(Inner Mongolia Observatory, Huhhot 010051)

### Abstract

The features of the large scale circulation which creates East Asia low-level jet in winter and the relationships of the low-level jet and heavy snow or snowstorms in Inner Mongolia are analyzed. The results show that when there is westerly upper jet in middle latitudes and if the cold low pressure trough in central Asia moves eastward and split in two ones, the East Asia low-level jet which causes heavy snow or snowstorms in Inner Mongolia will be created easily. It is pointed out that the process of adjustment of the westerly belt-large scale circulation could be a sign of the middle-range prediction of heavy snow or snow storms in Inner Mongolia.

**Key Words:** low-level jet heavy snow circulation prediction