

一次雪面降温引起的异常寒冷天气分析

周鸣盛 张 廷

(天津气象科学研究所, 天津, 300074) (天津气象台, 天津, 300074)

摘 要

本文通过两次同日期而不同年份的异常寒冷天气的对比分析, 揭示了内蒙东部雪面空气降温形成的强冷高压。计算了雪面辐射引起的近地面气层降温, 其结果与实况很接近。参照气团垂直减温率算得雪面空气的净降温值。强冷高压在北高南低地形上气流顺坡南下, 在京津冀近地面气层形成了超低空急流, 促使当地气温剧烈下降, 且其降温强度与内蒙的雪面降温值非常吻合。最后, 按地形上空温压分布的力管场结构给出了发生下坡风的物理图像。

关键词: 雪面降温, 冷高压, 下坡气流, 超低空急流。

1 引 言

1993年11月18日华北地区遭受了极严重的冻害。在当日08时(北京时)地面天气图上北京-6、天津-7、石家庄-4、太原-6、呼和浩特-17;而且内蒙东部的大片地区都在-25以下,其中以多伦的气温最低,竟达到-30。仅以天津为例,当天的最低气温-6.5(08时发报为-7)。普查这一天天津历史上气温的极端最低纪录,只有1979年曾出现过-6.5。本次低温恰巧与历史极值相平,表明这是一次极为异常的初冬寒冷天气。

这次降温过程的出现,表明天津在11月18日有两次相同的极端最低气温记录。这样,在对比分析本次强烈降温的天气学原因时,可消除天文气候的影响。1979年11月18日的强降温(简称1979年强降温)是强寒潮造成的。本文将分析导致1993年11月18日的强降温(简称1993年强降温)之原因。

2 1993年与1979年两次强降温天气环流形势的比较

图1是1993年11月18日08时500hPa图,中国华北上空处在近乎纬向气流的浅低槽后部。-42冷低中心远在贝加尔湖西北侧。-36等温线在49°N以北。经验和研究都表明只有当-36—-40的冷中心南下到华北(即40°N附近),京津地区才有可能出现-4以下的冰冻天气。为了对比分析,现给出如图2。可见-36的闭合等温线(中心-40)正位于华北和东北上空。这是典型的初冬强寒潮南下,剧烈降温的温压场结构。它与图1形成

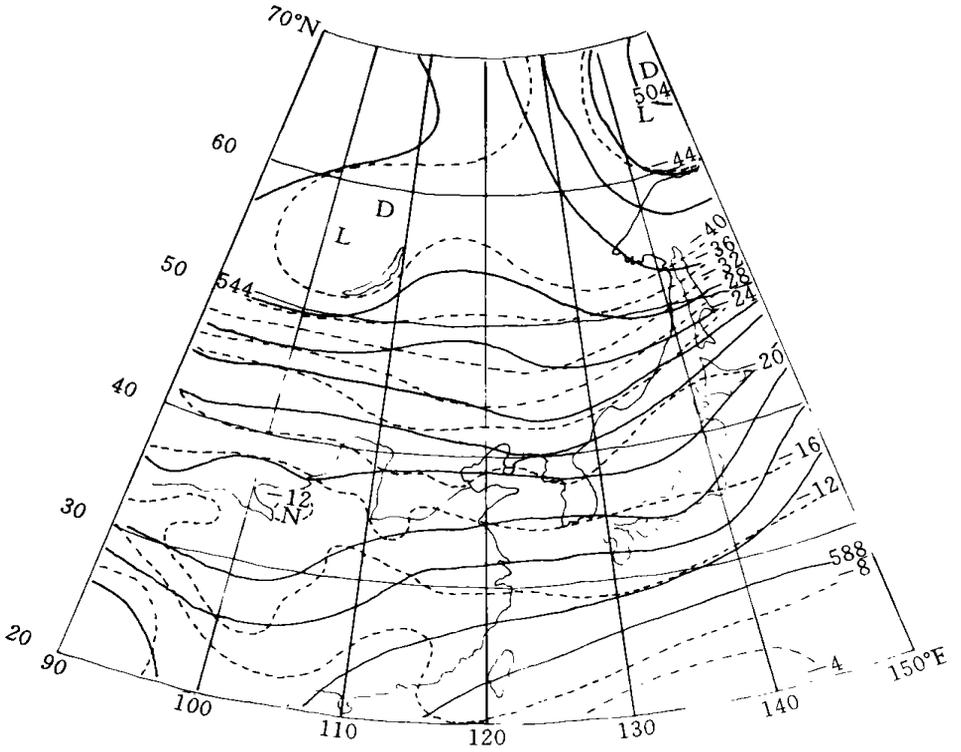


图1 1993年11月18日08时500hPa 温压场形势

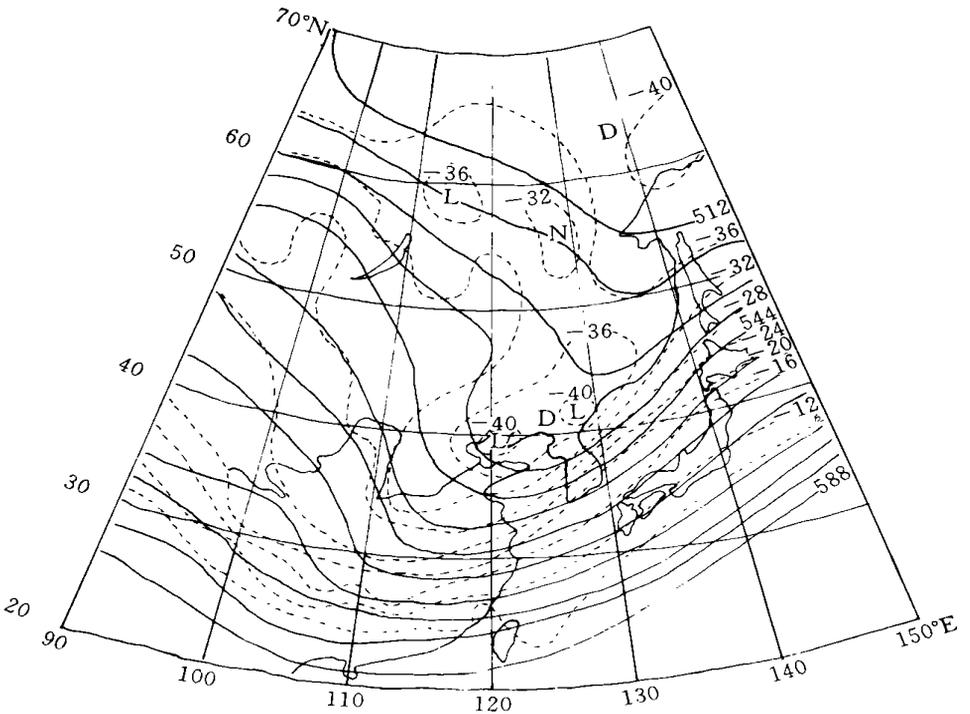


图2 1979年11月18日08时500hPa 温压场形势

为了明显对比。同一时间的700hPa(图略)华北处在高压脊和浅冷槽的控制之下。呈现出冷性高压结构的特点,也与1979年当时华北受-24冷低槽控制的形势截然不同。因此,用常规的500hPa和700hPa温压场特征难于解释1993年强降温发生的原因。

图3上,在锡林浩特与北京之间有一个1590gpm, -20的冷高压(其中心在多伦多附近,以下称多伦冷高压)。对照图4,在锡林浩特也有一个-20的冷中心,但没有对应的高压。看来在这气层上出现-20冷气堆才是这两次强降温的共同之处。不过,1979年强降温850hPa的冷中心与700,500hPa都是一致的,显示出强寒潮深厚的冷气团结构。而1993年强降温850hPa的冷中心气温比700hPa还低。在对流层中层没有对应的冷性特征,显示其只是浅层强冷空气的堆积。因此,多伦冷高压的形成很值得深究。

3 多伦强冷高压

丁一汇、赵强等^[1,2]曾对西伯利亚冷高压的形成作过研究,给出(45—55°N, 80—115°E)区域内冬半年冷高压发展时期对流层降温廓线,在800—300hPa之间为深厚的冷却层,平均达到-3—4/d;而地面空气的冷却率较小,平均不到-1/d。多伦(42°11'N, 116°28'E)已在上述区域之外,这里并不是冬季经常形成冷高压的地区。然而,在1993年强降温发生时,在多伦冷高压发展最盛时期,24h 升压7.9hPa,由图5所示,其最邻近的锡林浩特地面至500hPa温度变化表明,只有地面气温下降7,而850,700和500hPa都分别升温3,6和4。这显然与一般西伯利亚冷高压发展的降温模式不同^[1,2]。

表1给出多伦冷高压最强时即1993年11月18日08时南北向的气温垂直分布:锡林浩特自地面至700hPa越向上越暖。地面气温竟比700hPa低7,存在极强的逆温层结。多伦位于冷高中心,地面气温达到-30。北京处在冷高的南缘,铅直逆温只反映在850—700hPa之间。多伦海拔1247m、北京32m、锡林浩特991m。由此可见,多伦冷高压的形成主要是由于高原近地面空气剧烈冷却所致。

表1 1993年11月18日08时3地地面及850,700,500hPa的气温

层次	地面	850hPa	700hPa	500hPa
锡林浩特	-26	-20	-19	-30
多伦	-30	—	—	—
北京	-6	-13	-12	-22

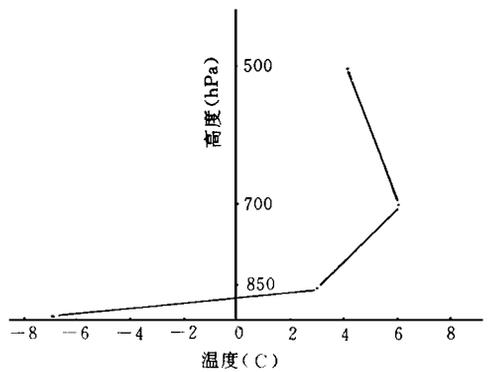


图5 锡林浩特地面至500hPa主要层次气温,1993年11月16日—17日20时24h的变化廓线

由图6可见内蒙东部以多伦为中心出现了在这个季节少有的大片低温区。而且低温与高压的分布极为一致,如-25的覆盖区与1050hPa的高压区非常吻合。多伦既是-30

的冷中心,也是1056.9hPa的高中心。

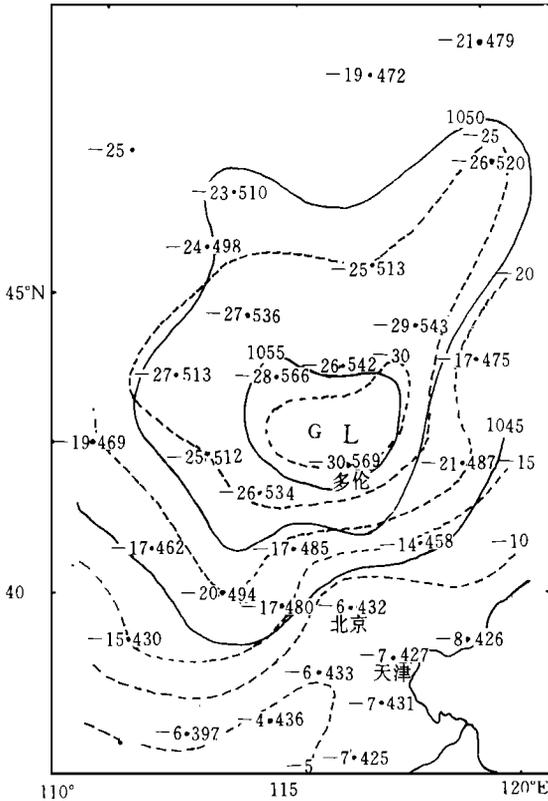


图6 1993年11月18日08时华北北部地面气温和气压实况

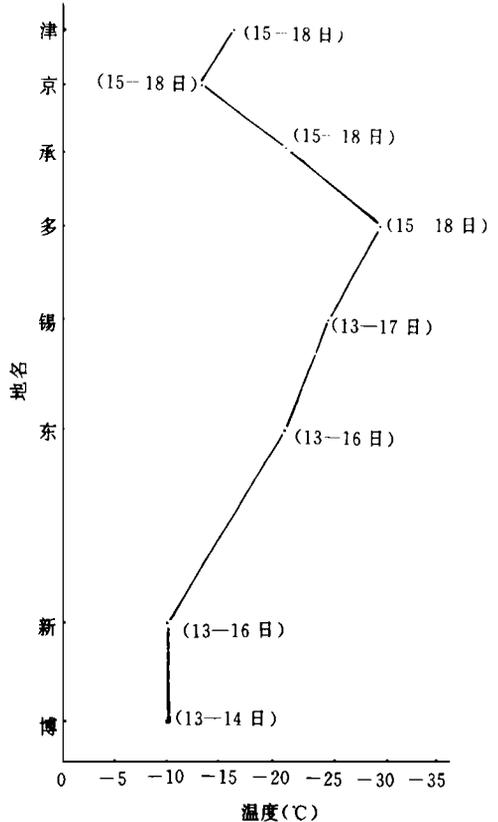


图7 1993年11月13—18日08时沿南北方向逐日连续降温的累积值,图中()为具体降温日期

为了探究多伦强低温区的形成,分析了多伦南北向和西北东南向各沿线代表站的降温状况。图7给出1993年11月13—18日08时沿南北方向各站逐日连续降温的累积值。可以看出13—14日冷空气自北方袭来,最北端俄罗斯的博尔集亚(30965) T_{24} 达 -10 ;以后两日气温略有回升,表明无后续冷空气侵入。接着中国内蒙的新巴尔虎右旗(50603)自13日至16日3d持续降温的累积总数也只有10,这反映降温强度有所减弱。其南部内蒙的东乌珠穆沁旗(50915)13—16日持续3d,计降温21;锡林浩特(54102)13—17日持续4d降温25;多伦(54208)15—18日3d降温30;承德(54423)15—18日降温21;

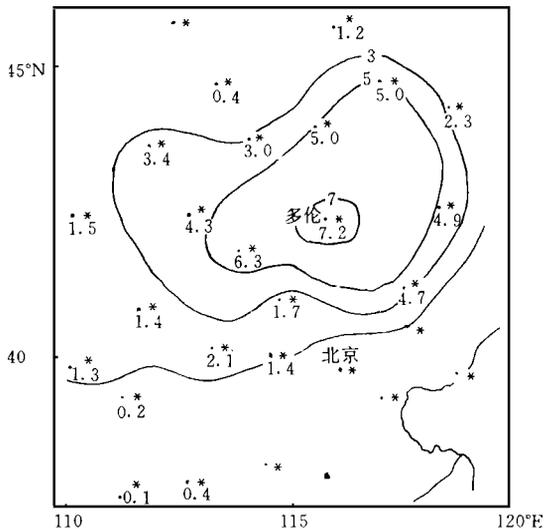


图8 1993年11月15—17日下雪的降水量分布

北京(54511) 15—18日降温13；天津(54527) 15—18日降温16。由此可知冷空气自西伯利亚向南侵入中国内蒙北部边缘地区后,强度就有所减弱。而继续向南到东乌珠穆沁旗降温强度却又陡然增大,与其北面的新巴尔虎右旗相距仅350km,在同一期间的降温由10增至21。再向南降温更大,至多伦达到最大,接连3d持续降温,由15日08时的0,降至18日08时的-30。继续向南降温强度又趋于减少,但也比俄罗斯的博尔集亚和内蒙北部边缘的新巴尔虎右旗一带的降温强。这一系列事实充分说明,在以多伦为中心四周300—400km范围内,除了有北来的减弱冷空气入侵外,其近地面气层确实发生了非平流的特殊的空气强烈致冷现象。

天气分析表明15—17日内蒙东部乌珠穆沁旗以南的大片地区普遍下雪,图8中多伦降雪量最大(7.2mm)。以多伦为中心5mm降水量的雪区有 $8 \times 10^4 \text{ km}^2$,而18日08时的强烈降温正出现在这大片雪地的上空。

降雪形成了新的冷源。强烈的辐射降温加剧了近地面层冷空气的堆积,迅速建立起强冷高压。图9将15—17日降雪区与18日08时地面温压场叠置,阴影区是降雪3mm的区域,它与低温、高压区的分布非常吻合。-25的低温区与1050hPa高压区极为一致。多伦既是-30的冷中心,又是1056.9hPa的高中心,也正是降雪量达7.2mm的大雪中心。多伦海拔1247m接近850hPa;锡林浩特接近900hPa。那里形成了完整的强冷高压,即使700hPa也还反映出冷槽高脊的结构。这是一个典型的雪面冷却形成的冷高压。

4 雪面空气辐射降温的计算

4.1 按地面有效辐射计算降温

应用布伦特(Brunt)^[3]提出的晴天有效辐射公式,在考虑地面为黑体时以 T^4 表示温度 T 的地面向上的辐射通量,向下辐射量则以 $T^4(a + b \overline{e})$ 表示,于是有

$$F_0 = T^4(a + b \overline{e}) \quad (1)$$

式(1)中 F_0 为地面有效辐射, e 为地面上的水汽压, a 和 b 为常数, $a = 0.52, b = 0.06$ 。气温

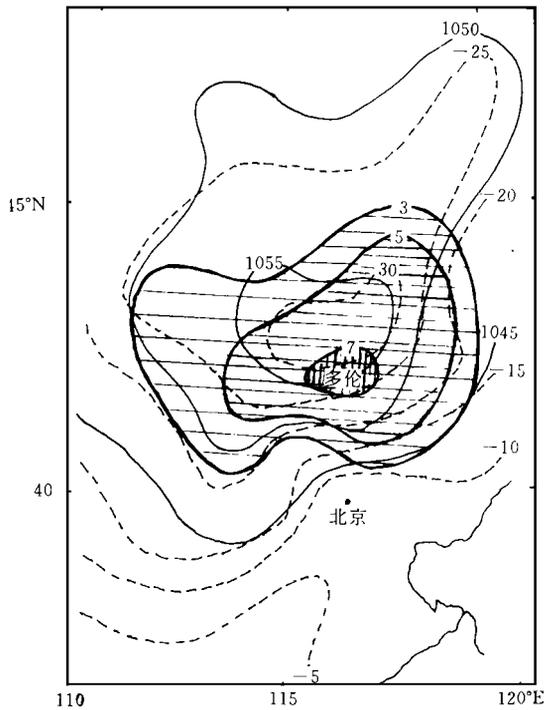


图9 1993年11月18日08时气温、气压与15—17日降雪分布

(虚线:气温;细线:气压;粗线:3mm降雪的降水量区。阴影区的浅、深、更深分别表示:3mm,5mm和7mm以上的降水量区)

T 和水汽压 e 可近似采用百叶箱记录。为斯蒂芬-波尔兹曼常数, $= 0.816 \times 10^{-10} \times 4.1855 \text{ J cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 。

由静力学公式和热力学定律可以得到, 气层冷却率公式:

$$-\frac{T}{t} = \frac{g}{c_p} \frac{E}{P} \quad (2)$$

式(2)中 c_p 为干空气定压比热, g 为重力加速度, E 为气层在单位时间内所损失的能量, P 为气层上下的气压差。

实况是1993年11月16日20时后锡林浩特雪停转晴, 地面有5mm降水量的积雪。可视雪面为黑体, 符合 Brunt 公式的条件。根据式(1)、(2) 计算得到锡林浩特16日20时至17日08时在有积雪时的辐射降温。由实测得到该地16日20时地面气温-16, 17日08时降至-26; 而850hPa上16日20时为-20、17日08时为-23, 仅下降3。700hPa已转为升温1。可见雪面辐射降温影响的层次主要在850hPa以下。当时锡林浩特的本站气压902.6hPa, 因此地面辐射降温所影响的气层近似为50hPa。再根据露点查出地面上水汽压为0.75hPa。代入式(1)、(2), 按1min步长计算12h降温即至17日08时, 850hPa以下气层平均降温6.4。实况降温为6.5。两者非常接近。这说明新雪面辐射确实接近黑体。由于雪面辐射作用, 导致近地面气层发生了强烈的非平流降温。

4.2 按锡林浩特冷空气温度直减率对比推算雪面降温

表2 锡林浩特1993年11月17日08时和1979年11月17日08时各层次的气温

层次	地面	850hPa	700hPa	500hPa
1993. 11. 17. 08	- 26	- 23	- 24	- 34
1979. 11. 17. 08	- 19	- 17	- 28	- 41

由图3、图4可知1993年和1979年11月中的这两次强降温, 当时850hPa锡林浩特附近都有-20的冷中心。针对1993年11月16日20时锡林浩特的雪后降温, 表2给出这两年11月17日08时地面至500hPa各主要层上的气温值。1979年的当时强寒潮入侵并无降雪, 锡林浩特地面气温为-19, 浅层有逆温, 850hPa为-17, 700hPa-28, 500hPa为-41, 都受到强冷中心控制, 呈现寒潮冷气团对流层中下层正常的气温特征。850—500hPa平均气温直减率约-0.64 $\text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$, 与对流的平均气温直减率-0.65 $\text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$ ^[4]是很接近的, 属正常分布。而对照1993年的强降温(见表2), 地面气温为-26, 比850hPa和700hPa层都低。呈上暖下冷, 突出反映了雪面辐射促使近地面空气强烈冷却。以此对比1979年同时的气温直减率, 如图10所给出1993年和1979年同一时间的气温垂直分布。因

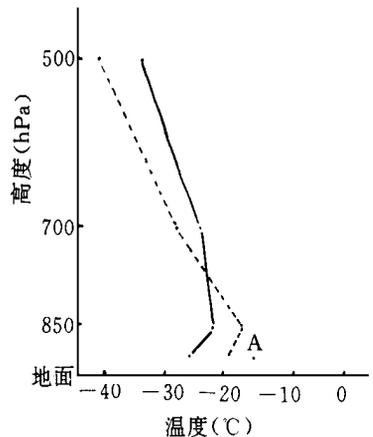


图10 锡林浩特1993年和1979年11月17日08时地面, 850, 700, 500hPa气温(实线: 1993年; 虚线: 1979年)

1993年强降温只发生在700hPa以下,故以1979年降温过程的700hPa至地面气温分布为准。假设1993年降温过程具有1979年当时相同的气温直减率,则由700hPa的-24推算到地面应为-15,如图10A点所示。而实况为-26,偏低11。经过客观对比,这11可以认为是由于新雪面而造成的地面空气净降温值。雪面辐射接近黑体,相对辐射系数达0.99^[3]。夜间晴空极强的辐射冷却,促使雪面上空气剧烈降温。

用以上两种方法算得的雪面空气降温,前者与实况一致,后者也有据可循。

5 强劲的中尺度下坡风与京津冀地区的降温

表3 北京1993年11月18日08时和
1979年11月18日08时地面,850,700,500hPa气温

层次	地面	850hPa	700hPa	500hPa
1993.11.18.08	-6	-13	-12	-22
1979.11.18.08	-5	-15	-22	-36

由图6可以看出1993年11月18日京津冀大片地区出现了极为严重的冰冻天气,如天津当日最低气温竟达到历史纪录的极端值。由表3对照1979年11月18日的强降温给出了北京各层的气温分布,发现除了地面气温1993年比1979年低1以外,850—500hPa都明显偏暖。如850hPa层为2,700hPa层为10,500hPa层为14,越向上偏暖越显著。而且,850—700hPa之间还出现了逆温。由图8可知这之前京津一带只下过微雪,时间短而且下了即化。因此无法以雪面冷却来解释当地的异常低温。由图11可见:

(1) 自15日20时起至18日08时925hPa的风速明显大于850hPa的风。

(2) 自15日20时925hPa上出现北北西风10m/s,16日08时东北风12m/s。16日入夜锡林浩特雪后转晴。17日08—20时北京925hPa层上北北西风陡然增大到16—18m/s。而且在这期间1000hPa北北西风由16日20时的8m/s,至17日08时增至14m/s,这样的强风一直维持到20时。显示强风区向下扩展。

(3) 18日08时700hPa以下最大风速出现在1000hPa,北北东风10m/s。

(4) 相应地面风速仅15日20时东北风8m/s,其余各个时刻都在4m/s或以下。

很显然17日08时—20时北京浅层的925—1000hPa之间存在着一支很强的超低空北风急流,而且其最大风速轴自17日20时至18日08时由925hPa向下移到1000hPa。这与其北面内蒙高原大雪后转晴,发生强烈的辐射降温,形成了冷高压所产生的下坡气流是非常对应的。

由表4可以看出925hPa层上降温最

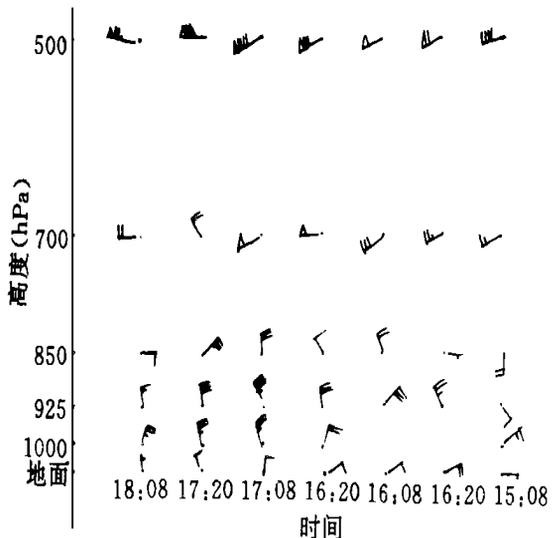


图11 北京1993年11月15—18日08时
地面至500hPa风的演变

强, 达到 $12 \text{ }^\circ\text{C}$ 。自此层向上降温趋于减小, 在 500hPa 层仅降 $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。这与 925hPa 上的北风急流很吻合, 充分反映了近地面层空气剧烈降温的事实。

表4 北京1993年11月16日08时—18日08时地面— 500hPa 各层48h 温差

层 次	地 面	925hPa	850hPa	700hPa	500hPa
48h 温差()	- 7.6	- 12	- 10	- 8	- 2

对比1979年强降温过程的对应日期, 北京各层风的分布(图略), 与上述情况相反, 850hPa 上的风一直大于下层, 只是到18日08时风速减弱至 8m/s , 这时其下层 500m 和 1000m 的风速也是 8m/s 。可见在那次强降温发生时根本没有出现超低空北风急流。北京1979年同时间各层的48h 降温(如表5)幅度很接近。表现出对流层中下层冷空气整体入侵的特点。而且 1000hPa 上的降温相对最小, 这与1993年同期的 925hPa 层上空气降温最多形成了显明的差异。

表5 北京1979年11月16日08时—18日08时地面— 500hPa 各层48h 温差

层 次	地 面	1000hPa	850hPa	700hPa	500hPa
48h 温差()	- 6.5	- 3.5	- 6.9	- 6.1	- 5.3

6 华北东部中尺度下坡气流的物理图象

为了揭示北京 $1000\text{—}925\text{hPa}$ 北风急流的形成, 图12给出了北起内蒙的新巴尔虎右旗经东乌珠穆沁旗、锡林浩特、多伦、承德至北京、天津的南北向地形上18日08时地面的气温和气压分布。多伦海拔 1247m 气温 $-30 \text{ }^\circ\text{C}$, 经气温和高度订正海平面气压 1057hPa (图中用虚线表示)。多伦与北京之间自高原到平原相距约 370km , 气温差 $24 \text{ }^\circ\text{C}$, 形成了极强的力管环流。再加上地形坡面的重力作用。顺着山坡出现了强劲的北风气流。如图12箭头所示, 这就是北京上空 $925\text{—}1000\text{hPa}$ 间观测到的超低空急流, 造成当地气温剧烈下降。

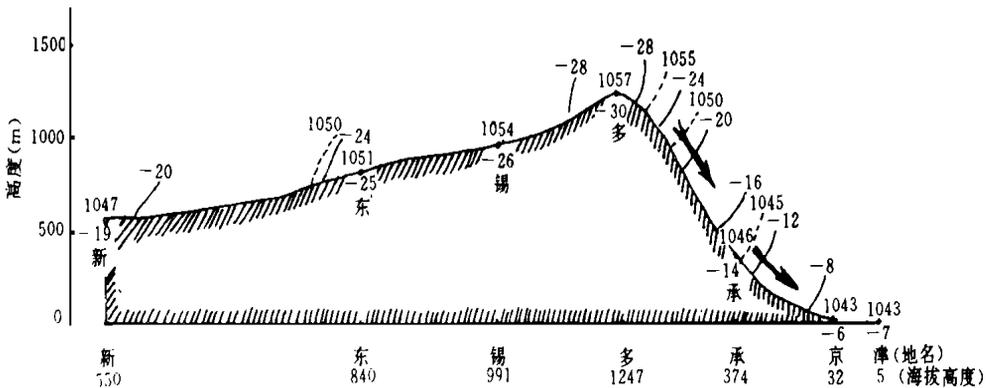


图12 新巴尔虎右旗(50603)—天津(54527)的地形高度剖面 and 1993年11月18日08时地面气温、海平面气压(箭头示意下坡风)

图13给出北京1993年11月18日08时与对应1979年同时间的500hPa以下各主要层次的气温分布。可以看出1979年当时因近地面层空气稳定,出现了明显的辐射逆温层结;而1993年的降温由于超低空强劲的北风急流,就见不到气层稳定的浅层辐射逆温了。考虑到1993年强降温过程北京各层次的降温主要发生在700hPa以下,因此,以1979年降温过程北京的700hPa气温为 -22°C 、地面气温为 -5°C 的垂直增温率为准,则按1993年(图13)当时700hPa气温 -12°C 推算,地面气温应约为 5°C 即图中黑点B所示。而实况是 -6°C 。这样可以估算出,由于北风急流造成北京地面气温下降达 11°C ,十分巧合。这与上述锡林浩特雪面净降温估算值非常对应。由此更加证实京津冀的冰冻天气正是北来的气流将高原雪面降温的强冷空气顺坡南下所致的事实。

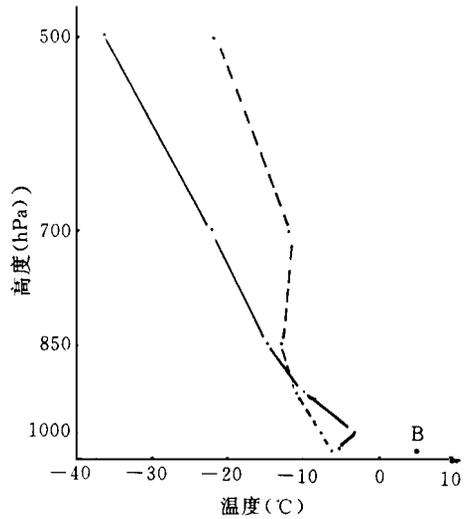


图13 北京1993年11月18日08时和1979年11月18日08时地面—500hPa气温(虚线1993年;实线1979年)

7 结 论

通过以上分析,可以得到下列5点结论:

- (1) 这是一次罕见的雪面上空气强烈降温,在 40°N — 45°N 这样偏南的纬度形成的完整冷高压天气过程。它的最大降温发生在近地面气层,与一般西伯利亚冷高压发展的模式明显不同。
- (2) 视雪面为黑体按 Brunt 公式计算晴天有效辐射,得到1993年11月17日08时以前12h 锡林浩特地面至850hPa 气层的平均降温值与实况非常吻合。
- (3) 参照对流层中下层相似的气温直减率,对比锡林浩特1993与1979年同日期同时的有、无雪面的两次强降温天气过程,直接得到了当地新雪面空气致冷的净降温客观估计值。
- (4) 给出了在强冷高压控制下,华北东部特殊地形上的中尺度下坡风的物理图象。
- (5) 内蒙东部高原雪面强冷高压的偏北气流顺坡南下,在京津冀平原形成了超低空急流,促使当地气温剧烈下降,出现异常寒冷天气。经对比证实,降温的强度与其北面高原雪面空气的净降温值非常对应,从而揭示了两地降温过程的物理联系。

参考文献

- [1] Ding Y H and Krishnamurti T N. Heat budget of the Siberian high and the winter monsoon. *Mon Wea Rev.* 1987, 115: 2428—2449.
- [2] 赵强,丁一汇. 东亚冷空气爆发后陆地变性的物理过程研究. *气象学报*, 1991, 49(2): 170—180.
- [3] 陈世洲,陈创实. *气象学*. 北京: 农业出版社, 1981. 139—145.
- [4] 陈创实,郭英琼. *气象常用参数和物理量查算表*. 北京: 气象出版社, 1980. 58.

THE DIAGNOSIS ANALYSIS FOR THE UNUSUAL COLD WEATHER DUE TO THE DETEM- PERATURE OVER SNOW COVER

Zhou Mingsheng

(*Tianjin Research Institute of Meteorological Science, Tianjin, 300074*)

Zhang Ting

(*Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin, 300074*)

Abstract

In this paper, the formation process of cold high pressure due to the radiation cooling over the snow surface at the east of Nei Menggu was revealed by contrast analysis for two heavy cold weather cases. The near surface layer air detemperature due to snow cover radiation cooling was calculated according to the Brunt's effective radiation formulation, and the detemperature was estimated yet according to the normal lapse rate of temperature. The values from two methods all were very near the observational fact. In the south of cold high pressure the cold air from the plateau down along the slope southward, and the extra low level jet occurred over Beijing Tianjin and Hebei. So the surface temperature dropped sharply in this region, and the detemperature value was near the value in the east of Nei Menggu. The physical mechanism for the occurrence of orographic downward wind was shown in the solenoid field.

Key words: Air detemperature above snow surface, Cold high pressure, Orographic downward wind, Extra low level jet.