

一次豫北春季持续性大风天气的分析

段中夏

(新乡市气象局, 新乡 453000)

摘要: 利用常规观测资料和NCEP再分析资料, 分析了2015年3月31日到4月1日豫北大风过程持续的原因。结果表明, 中高纬度冷空气的持续补充减缓了冷高压变性速度, 中低纬度的西南气流使暖低压不断发展, 形成对峙, 使豫北长时间处于变压梯度和气压梯度大值区中, 有利于豫北大风发展和维持。热力强迫的维持, 有利于高低纬的气压中心和变压中心的维持, 即有利于大风的维持。散度分布作用下产生的次级环流也有利于此次豫北大风的形成和维持。

关键词: 春季, 大风, 气压梯度, 散度

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.03.008

An Analysis of Persistent Spring Gale in the Northern Henan Province

Duan Zhongxia

(Xinxiang Meteorological Office, Xinxiang 453000)

Abstract: Based on the conventional observation data and NCEP reanalysis data, this article analyzes the reasons of a persistent gale happened in the northern Henan Province on 31 March and 1 April 2015. Results show that the cold high pressure was persisting in the cold airflow from high latitudes, while warm low pressure was developing quickly the southwest airflow from low latitudes, it keeps a strong pressure gradient in the northern Henan for a long time, and benefits of the development and persistence of a gale. The persistence of thermal force is conducive to the persistence of the pressure gradient and then to the persistence of high winds. The secondary circulation generated by the distribution of divergence is also conducive to the formation and persistence of the gale.

Keywords: spring, gale, pressure gradient, divergence

0 引言

由强冷空气造成的春季大风是河南的主要灾害性天气之一, 不仅对电力、通信设施及高层建筑施工等方面造成威胁, 还给农业生产等带来严重影响。长期以来, 由于大风的强危害性和频发性, 对春季大风成因的研究一直成为热点问题。Streten^[1]认为大风常常与较强的气压梯度有关; 吴海英等^[2]认为温度平流可以导致地面变压场和变压梯度增强, 进而成为促进地面大风出现的重要原因; 陈淑琴等^[3]、尹尽勇等^[4]、黄彬等^[5]发现动量下传在许多强风天气过程中起重要作用; 姚正毅等^[6]发现大风天气不仅受大尺度天气系统影响, 还受局地地形和下垫面性质影响; 杨忠恩等^[7]认为冷空气大风是高空急流、强冷平流、动量下传等共同作用的结果; 张华等^[8]对呼和浩特市一次春季大风进行分析发现对流层下层的暖平流输送是热力强迫因子, 高层辐散下沉、低层辐合上升是动力强迫因子; 田林生^[9]对东北大风成因分析认为冷锋和江淮气

旋配合在大风过程中起重要作用。

1 天气实况

2015年3月31日到4月1日, 豫北中部多站点出现了罕见的强度大、持续时间长的大风天气。此次过程, 豫北地区共有14个国家站出现了极大风速超过8级的长时间大风, 其中, 武陟和原阳站的极大风速最大值超过10级(图1), 维持极大风速8级以上的时间达20个小时以上(图2), 致使多地出现了较严重的灾情。



图1 豫北14个国家站的极大风速最大值

Fig. 1 The records of the maximum instantaneous wind speed at national stations in the northern Henan Province

收稿日期: 2017年2月16日; 修回日期: 2017年4月30日
作者: 段中夏(1989-), Email: 791043440@qq.com

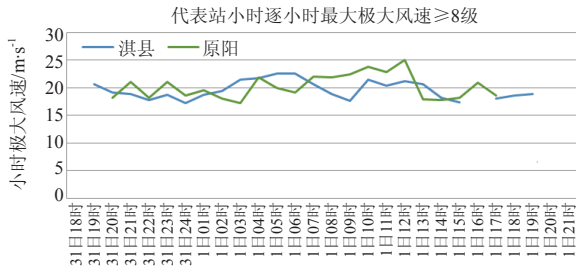


图2 代表站小时逐小时极大风速最大值
Fig. 2 Hourly maximum instantaneous wind speed at a representative station

2 环流背景分析

2.1 高纬冷槽和中低纬西南气流

过程前期, 500 hPa高原槽东移引起四川附近低层产生低涡, 其前部西南气流造成低层增温明显; 高纬有阶梯冷槽伸向东北地区, 冷空气不断向南输送。3月30日20时, 500和700 hPa高纬出现-44和-28 °C的冷中心, 南接冷槽(图3a)。3月31日08时, 两冷槽向东南方向移动发展, 引发东北北部形成低涡, 并有一-33和-21 °C的冷中心配合(图3a)。中低层河套北至东北南出现明显锋区, 赤峰和张家口两站850 hPa

的温度差达12 °C, 较大的偏北风带来强冷平流, 并导致地面加压明显, 出现+4.9的变压中心(图3b)。700 hPa重庆南有一暖中心, 东北西南向暖脊一直伸向豫北地区, 并伴有较强的暖平流输送到豫北(图3b), 造成中低层增温明显。3月31日20时, 冷槽继续向东南发展, 伴随高纬冷空气补充, 冷平流显著加强, 冷空气开始自北向南影响河南, 郑州站850 hPa以下由西南风转偏北风, 925 hPa东北风达16 m·s⁻¹, 且位于低层温度及变温梯度大值区(表1)。4月1日08时, 河北南部转受冷空气影响, 郑州站925 hPa的24 h负变温达到13 °C, 925 hPa东北风达24 m·s⁻¹(表1), 增加了近地面湍流交换和动量下传作用。中高纬冷槽东南移的同时, 中低纬度涡前西南气流发展, 黄淮南部进一步减压, 造成黄淮区域较长时间处于温度梯度大值区中。4月1日20时, 西南气流由南向北、由低空向高空发展, 925 hPa冷中心到达豫北, 豫北冷平流显著减弱, 大风逐渐减弱。

中高层高纬地区冷槽东南发展带来冷空气使中低层高压发展与中低纬度高层西南气流下形成的暖低压形成对峙, 导致系统移动缓慢, 使豫北较长时间处于

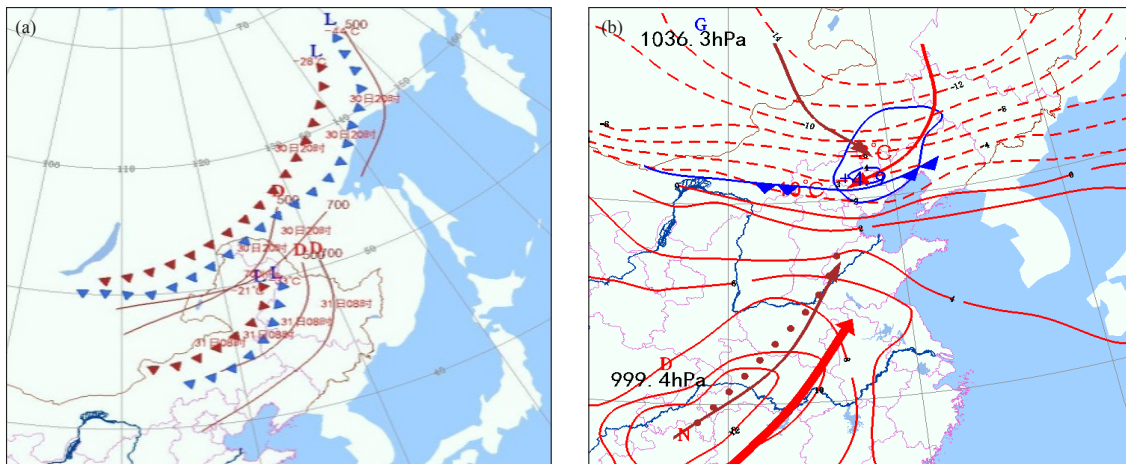


图3 500和700 hPa高度槽、温度槽演变 (a) 以及3月31日08时700、850 hPa和地面系统配置 (b)
 ····850 hPa温度脊 ····700 hPa温度脊 L冷中心 D气旋中心 ▲地面冷锋 ——700 hPa等温度线
 ——槽线 →850hPa显著气流 →850hPa急流 →700hPa显著气流

Fig. 3 (a) Variation of troughs in height and temperature at 500 and 700 hPa; (b) Cllocations of the synoptic systems at 700, 850 hPa and surface at 08 BT on 31 March 2015

表1 探空代表站850和925 hPa 24 h变温及风速演变

Table 1 The 24 h-variations of temperature and wind-speed at 850 and 925 hPa at the representative sounding station

站点	3月31日20时				4月1日08时				4月1日20时			
	24 h/°C		风速/m·s ⁻¹		24 h变温/°C		风速/m·s ⁻¹		24 h变温/°C		风速/m·s ⁻¹	
	850 hPa	925 hPa	850 hPa	925 hPa	850 hPa	925 hPa	850 hPa	925 hPa	850 hPa	925 hPa	850 hPa	925 hPa
邢台	-8	-12	16	16	-15	-13	18	14	-7	-3	14	10
郑州	-3	-6	8	14	-2	-13	16	24	-8	-10	20	18
南阳	4	3	8	10	0	-10	16	18	-6	-14	16	20

温度梯度大值区，促使地面大风形成和维持。

2.2 地面高低压对峙的影响

前期暖低压位于四川盆地，中心气压达999.4 hPa，豫北地区受其东伸的倒槽控制；贝加尔湖南侧存在强冷高压，中心气压达1036.3 hPa；冷高压南侧华北地区存在一个东西向冷锋，锋后的正变压中心值达+4.9 hPa（图3b）。3月31日20时，随着冷高压向东南移动，豫北转受东路冷空气和冷锋影响，产生较大的正变压，正变压中心达+5.4 hPa。贝加尔湖冷高压的补充使其维持，并与四川盆地由于高空槽前减压作用和凝结潜热释放作用而形成的暖低压形成对峙，豫北地区处于较大的气压梯度区，华北及黄淮地区形成较强的变压和气压梯度，产生较强梯度风和变压风。贝加尔湖冷高压的补充，以及西南低压、倒槽向东北发展，造成黄淮流域气压和变压梯度进一步加强并维持。但随着冷高压向东南移动和暖低压北伸，北伸的倒槽逐渐隔断了冷高压与补充南下的冷空气的联系。20时，冷高压与高纬冷空气的联系近乎完全被隔断，由于无新冷空气补充，地面非绝热加热和降水的凝结潜热释放的作用导致冷高压迅速减弱，豫北转为负变压区，豫北地区的气压梯度迅速减小，变压风和梯度风大大减弱，地面风速迅速减小。

这次大风过程是一次伴随冷高压东移南下，冷锋移过豫北而造成的大风天气。高纬冷空气的扩散补充造成豫北地区维持较大的正变压，南支槽前西南气

流使四川低压倒槽不断发展，与北部高压形成对峙，导致豫北地区持续位于气压梯度大值区中。后期由于暖低压的北伸，切断了华北冷高压与高纬冷空气的联系，加之非绝热加热和降水引发的凝结潜热作用，导致变压风减小，而锋面南下导致豫北气压梯度减小，梯度风减弱，最终导致大风消失。

3 物理量诊断分析

3.1 热力强迫

冷暖平流的本质是密度平流，是准地转动力学中的热力强迫项，与地面变压密切相关。从NCEP再分析资料沿114°E的30°—50°N剖面可看出，前期豫北受暖平流影响，升温降压明显（图4a）。3月31日20时，随北部低层冷平流大值区南移，中心高度下降，强度增大到 $20 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 以上，影响区域也明显增大，并和低层风速大值区相对应，而33°N上空900 hPa附近出现了中心强度超过 $20 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 的暖平流区，低层的冷暖平流导致地面的变压和变压梯度增大，气压梯度也相应增大，有利于大风出现（图4b）。4月1日02时，冷平流大值区进一步南移至35°N，中心增大到 $40 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 以上，低纬暖平流维持并迅速增大，中心值超过 $70 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ，温度平流梯度进一步增加导致地面的变压、变压梯度、气压梯度进一步增加，大风继续维持并增强（图4c）。4月1日08时之后，虽然低层冷平流不再增加，但倒槽发展，南部暖平流显著加

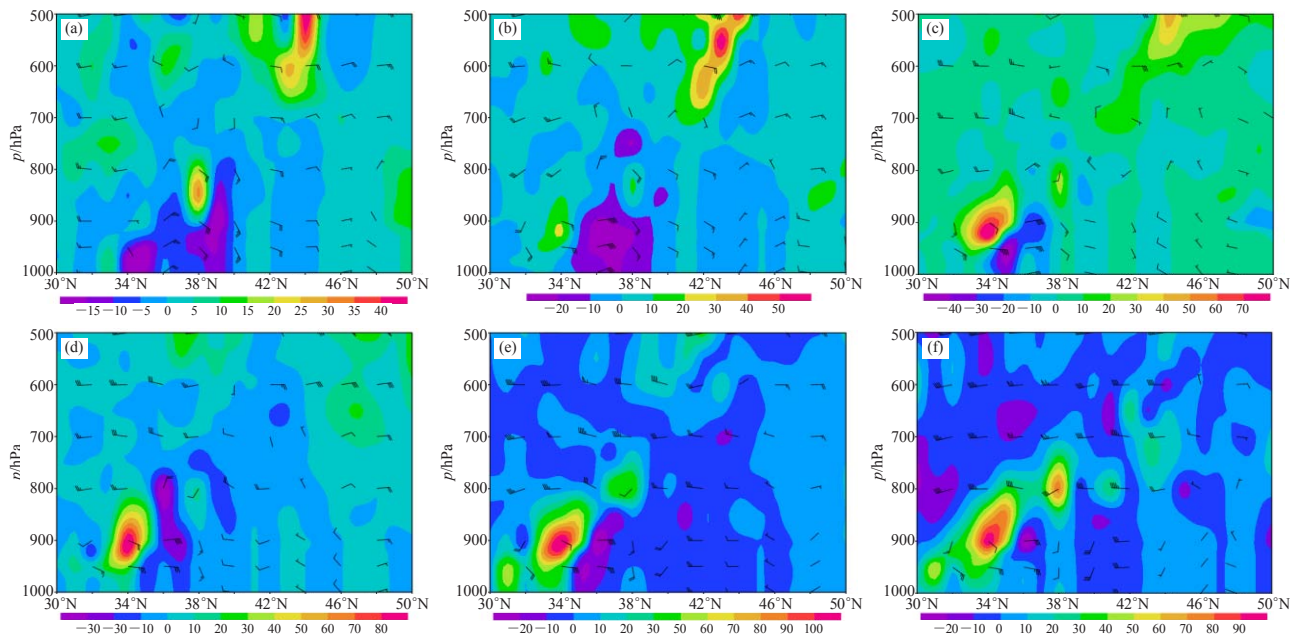


图4 2015年3月31日14时(a)、3月31日20时(b)、4月1日02时(c)、4月1日08时(d)、4月1日14时(e)、4月1日20时(f)温度平流(单位: $10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/s}$)和风的经向分量(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)与垂直速度(单位: $10^{-1} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)的合成矢量沿114°E的剖面

Fig. 4 The section profile of the temperature advection (unit: $10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/s}$) (shaded), of the compounded vectors of meridional wind (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and of the vertical velocity ($10^{-1} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) along 114°E: (a) at 14 BT on 31 March, (b) at 20 BT on 31 March, (c) at 02 BT on 1 April, (d) at 08 BT on 1 April, (e) at 14 BT on 1 April, (f) at 20 BT on 1 April 2015

强, 维持了较大的温度平流和变压梯度, 大风继续维持(图4d)。4月1日14时, 北部冷平流继续减小且在低层冷平流大值区上空出现了暖平流大值区, 但底层冷平流仍大于 $10 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/s}$, 南部暖平流中心继续增大到 $100 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/s}$, 仍存在较大的温度平流梯度, 导致地面气压和变压梯度维持, 大风维持(图4e)。随后, 暖平流进一步发展, 地面上方的密度平流减弱, 根据气压倾向方程, 增压和减压变慢, 变压梯度减小, 大风强度减弱。4月1日20时, 豫北近地层由冷平流转为暖平流(图4f), 低纬低层低涡倒槽导致暖平流由南向北、由低空向高空发展, 豫北上空的整层密度平流也减弱, 因此地面的气压差大大减弱, 大风迅速减弱。

3.2 次级环流

散度分布可以较好地反映空气辐合辐散与垂直运动作用。豫北大风出现前期, 河南地区受暖气团控

制, 并在散度场上表现为较强的低层辐合区, 而豫北上空附近800 hPa高度附近有强辐合辐散中心(图5a)。到3月31日20时, 边界层出现辐散中心, 且中心强度超过 $80 \times 10^{-5} \text{ /s}$ (图5b), 促进豫北在近地面产生较大的偏北辐散风。此辐散中心上空还有一弱辐合中心(图5b), 有利于垂直下沉运动的发展, 有利于将高空具有较大动量的风带到地面引起大风。4月1日08时, 近地面层的辐合中心也显著发展并北移, 正负散度中心的数值均超过 $80 \times 10^{-5} \text{ /s}$, 近地面散度风显著增加, 800 hPa的一对散度中心也显著增加, 致使中低层冷平流及高低空动量的垂直交换增强, 正好对应于地面风速最大时间。冷平流、散度梯度及垂直交换作用在14时之后开始减弱, 大风也是从14时之后减弱。

底层的辐散梯度大值区与大风的出现和维持有良好的正相关关系, 垂直运动有利于动量向下输送, 从

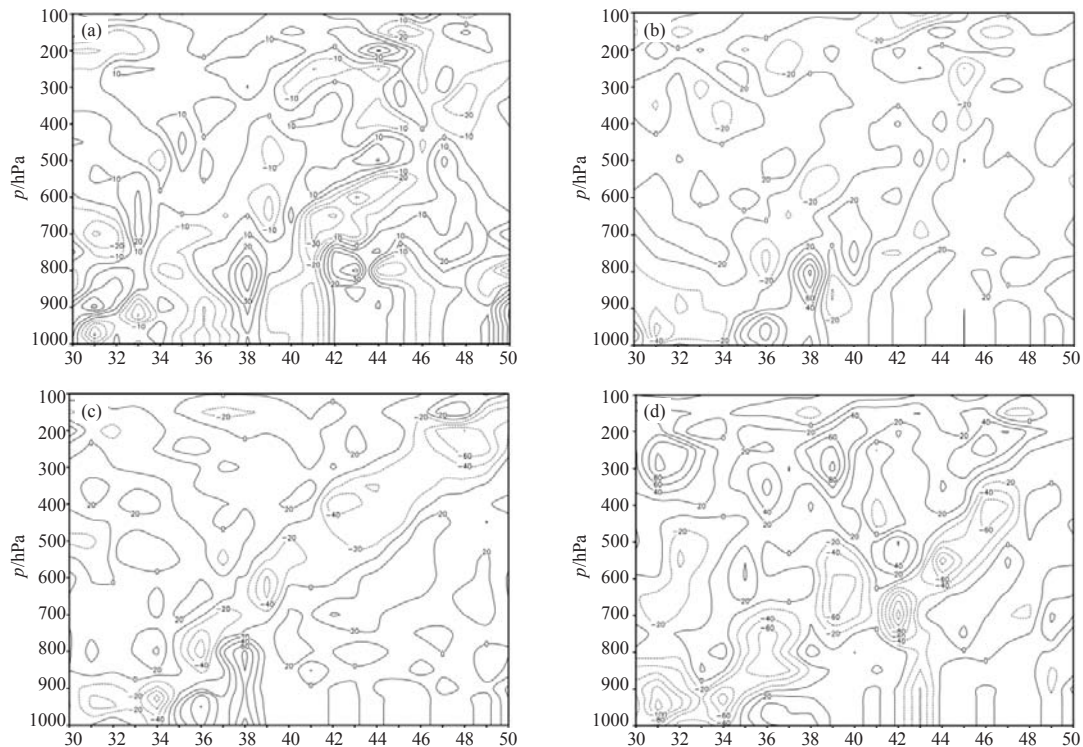


图5 2015年3月31日08时(a)、3月31日20时(b)、4月1日08时(c)、4月1日20时(d)沿 114°E 的散度剖面(单位: 10^{-5} /s)
Fig. 5 The section profile of the divergence (unit: 10^{-5} /s) along 114°E : (a) at 08 BT on 31 March, (b) at 20 BT on 31 March, (c) at 08 BT on 1 April, (d) at 20 BT on 1 April 2015

而有利于大风的发展维持。前期散度分布不仅造成了 36°N 附近的下沉运动造成散度风, 还导致 38°N 附近产生上升运动, 上升运动有利于绝热冷却, 从而减慢了高纬冷空气的变性速度, 而4月1日08时之后, 上升支开始减弱, 冷空气变性加快, 间接影响了温度对比, 从而影响了大风的发展和维持。

4 结论和讨论

此次大风具有强度强, 影响时间长, 影响区域主要集中于豫北等显著特点。以往大风过程的明显不同主要表现在大风区冷空气厚度较薄、斜压性较强。

1) 中高纬冷槽与中低纬西南气流导致中低空产生强烈的锋生作用, 并引起地面冷高压与暖低压的相

(下转96页)

《《涓流细雨》》 编辑 贾朋群

“This is the first time that we've used observations from multiple satellites in a thorough assessment of how freshwater availability is changing everywhere on Earth. A key goal was to distinguish shifts in terrestrial water storage caused by natural variability - wet periods and dry periods associated with El Niño and La Niña, for example - from trends related to climate change or human impacts, like pumping groundwater out of an aquifer faster than it is replenished. What we are witnessing is major hydrologic change. We see a distinctive pattern of the wet land areas of the world getting wetter - those are the high latitudes and the tropics - and the dry areas in between getting dryer.”

“这是我们第一次利用多个卫星的观测对地球上各地区淡水可用性如何变化进行的透彻估计，一个关键目标是从与气候变化或人类影响相关的，如从蓄水层抽取地下水速度高于补充的速度的趋势背景中辨别陆地水储存因自然变率——例如，厄尔尼诺和拉尼娜相关的干季和湿季——发生的改变。我们见证的是重要的水文变化。我们看到的特别态势是世界上位于高纬和热带的湿润土地区域变得更加湿润，这些区域之间的干旱地区则更加干”

——美国NASA科学家利用GRACE卫星2002—2016年的数据，跟踪全球34个地区的淡水变化趋势，形成的研究成果在Nature杂志上发表。项目组的首席研究者Matt Rodell及其研究团队成员表达了他们研究取得的结果。据悉，GRACE卫星的继任卫星GRACE Follow-On已于2018年5月升空。

“It's doing this and currently we aren't using that information to make predictions. We predicted, from the sound, the size of the tornado and the damaged path width matched almost spot on.”

“[龙卷]发出这样的声音，但目前我们还没有利用这一信息做预报。我们根据声音预报龙卷的范围和成灾路径宽度，和实况几乎完全一致。”

——2018年5月初，美国俄克拉荷马州立大学学者宣布，

他们成功地在龙卷形成前探测和预报了其路径。学者们指出，在龙卷真正开始旋转前数小时，会发射人类无法听到的次声波。研究团队将敏感的次声波扩音器置于封闭容器内并在四个方向上附加大型探测回路装置，这样的装置可以滤掉风噪音，只对龙卷次声波敏感而回避了更大的风暴系统。利用这一次声波开展监测和预测，研究团队在龙卷形成10分钟前确定了12英里以外的龙卷，研究负责人Brian Elbing如是说。

“As technology changes and people are getting their information in different ways, it's now time for the hurricane center to really look and see how effective our products are and look toward the future.”

“技术的改变让人们获得信息的途径发生变化，目前是飓风中心考虑如何让我们的产品更有效和展望未来的时候了。”

——在美国新飓风季（6月1日开始）来临之际，美国飓风中心通过采用飞机和更多的卫星数据及模式改进，缩小了飓风预报的不确定性范围，将预报时效提高到72 h，使得民众的预警时间增加1 d。该中心预报专家Dan Brown表达了这一常规服务改进的意义和目标。

“This is a serious problem. This is the premier Earth-pointing instrument on the GOES platform. If they are not functioning fully it is a loss, a performance issue we have to address. The heat pipes that transport heat from the cryocooler to the external radiator do not seem to be working as intended right now.”

“这是一个严重问题。这是在GOES平台上指向地球的最重要仪器，如果无法完全发挥作用，这是一个损失，我们不得不面对这样一个性能问题。连接制冷设备和外部辐射计的导热管，目前看来并没有如设计的那样传输热量。”

——2018年3月1日升空的GOES-S（业务化后为GOES-17）卫星，升空还没有到3个月，星上关键仪器ABI就出现了制冷问题，无法保证其在60 K温度下开展工作，影响到该仪器16个频道中的13个红外和近红外频道，而3个可见光频道没有受到影响。NOAA卫星和信息局负责人Stephen Volz提到这个问题时，做了如上表述。

（上接87页）

向移动发展。随冷高压南下，高压前冷锋引起豫北地区出现东北大风。持续补充的冷空气减缓了冷高的变性速度，西南气流使暖低压不断发展，两系统对峙使豫北长时间处于变压梯度和气压梯度大值区中，有利于豫北大风发展和维持。

2) 温度平流可通过热力强迫作用影响地面变压场从而影响地面风速的大小；南北的冷暖平流加强时期与地面大风加强时期有良好对应关系，且低层冷平流增大，有利于地面气压的升高，同时产生较大的地面变压风。散度场可通过水平散度风和垂直动量交换，影响地面风速的大小。另外通过散度产生的次级环流还可以通过高纬度的上升支间接影响冷空气的维持，从而通过间接影响温度分布而影响风速。

参考文献

- [1] Streten N A. Some characteristics of strong wind periods in coastal east Antarctica. *Journal of Applied Meteorology* 1968, 7: 46-52.
- [2] 吴海英, 孙燕, 曾明剑, 等. 冷空气引发江苏近海强风形成和发展的物理过程探讨. *热带气象学报*, 2007, 23(4): 388-394.
- [3] 陈淑琴, 黄辉. 舟山群岛一次低压大风过程的诊断分析. *气象*, 2006, 32(1): 68-73.
- [4] 尹尽勇, 曹越男, 赵伟. 2010年4月27日莱州湾大风过程诊断分析. *气象*, 2011, 37(7): 897-905.
- [5] 黄彬, 钱传海, 聂高臻, 等. 干侵入在黄河气旋爆发性发展中的作用. *气象*, 2011, 37(12): 1534-1543.
- [6] 姚正毅, 王涛, 陈广庭, 等. 近40 a甘肃河西地区大风日数时空分布特征. *中国沙漠*, 2006, 26(1): 65-70.
- [7] 杨忠恩, 陈淑琴, 黄辉. 舟山群岛冬半年灾害性大风的成因与预报. *应用气象学报*, 2007, 18(1): 80-85.
- [8] 张华, 杨彩云. 一次大风型强寒潮天气过程分析. *内蒙古气象*, 2007, (2): 17-18.
- [9] 田林生. 胜利油田近海东北大风及风暴潮分析预报. *海洋气象*, 2002, (1): 73-80.