

# 黄渤海北强风物理量因子场诊断分析\*

王世兰

(大连市海洋气象科学研究所)

**关键词** 低槽绕涡旋转型, 物理量因子场, 物理机制

**提要** 本文通过对低槽绕涡旋转型各物理量因子场的诊断分析, 揭示了各物理量因子场造成黄渤海北强风( $\geq 8$ 级)的物理机制及其特征, 获得了一批与北强风关系密切的物理量因子场。

为了揭示各物理量因子场造成黄渤海北强风( $\geq 8$ 级)的物理机制及其特征, 本文对预报难度较大的低槽绕涡旋转型各物理量因子场进行了诊断分析。所谓低槽绕涡旋转型(简称旋转型)系指极地径向垂直南落的极地涡旋或新地岛东南下的冷性低涡移入西伯利亚后, 涡旋西侧有槽旋转东南下, 并在高原槽接应下, 促使冷空气向南爆发, 造成黄渤海地区冬半年强风

的最常见最重要的灾害性天气类型。

## 一、气候概况及形势场特征

文献[1]表明, 由旋转型影响造成黄渤海强风的天气过程共 21 例<sup>[1]</sup>, 占黄渤海强风出现次数 33.9%。由它所造成的黄渤海强风过程风力多在 9 级以上, 8 级风仅出现 2 次, 过程最大平均风速达 26m/s (10 级), 最大阵风达 36m/s

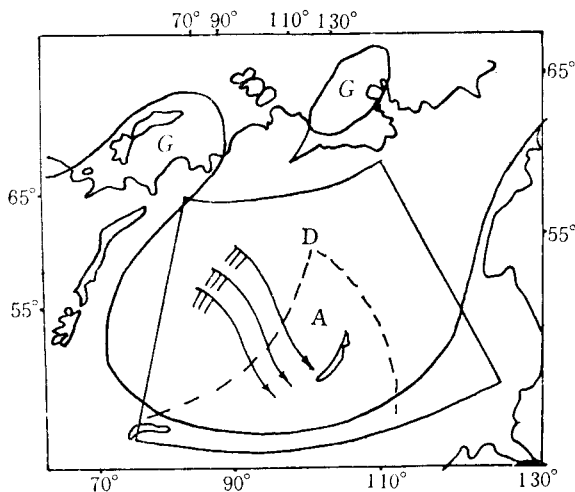


图1 36—48h 700hpa 高度场特征  
Fig. 1 36—48h 700 hpa height field

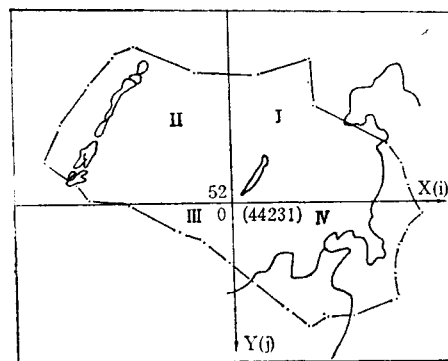


图2 物理量场计算范围及坐标选取  
Fig. 2 Computation range of physical factor fields and coordinate system

\* 参加本文工作的还有张其芳、吴厚德、龙淑仙等。本课题为辽宁省科委下达的 1983—1986 年度《黄渤海强风预报》内容之一。



$\nabla(H_5 - H_8)$ ; (3)  $A, K_0$ 。

计算方法采用有限元,计算范围为  $28^\circ\text{N}-70^\circ\text{N}$ ,  $50^\circ\text{E}-143^\circ\text{E}$ 。在计算范围内选取 99 个探空站为有限元节点,组成 180 个计算单元。为了提高计算精度,在 23 区的贝加尔湖附近、53 区和我国沿海以东的部分海区加密有限元计算

单元 13 个。图 2 为物理量场计算范围及坐标选取示意图。为在预报强风的关键区内得到精度较高的计算值,尽量减小由于地球放大系数 (m) 对选取节点坐标所造成的误差,采用 RT 坐标系,坐标原点选在第 52 节点 (44231 站)、i 轴过第 47 节点 (35796 站)、j 轴取同  $100^\circ\text{E}$

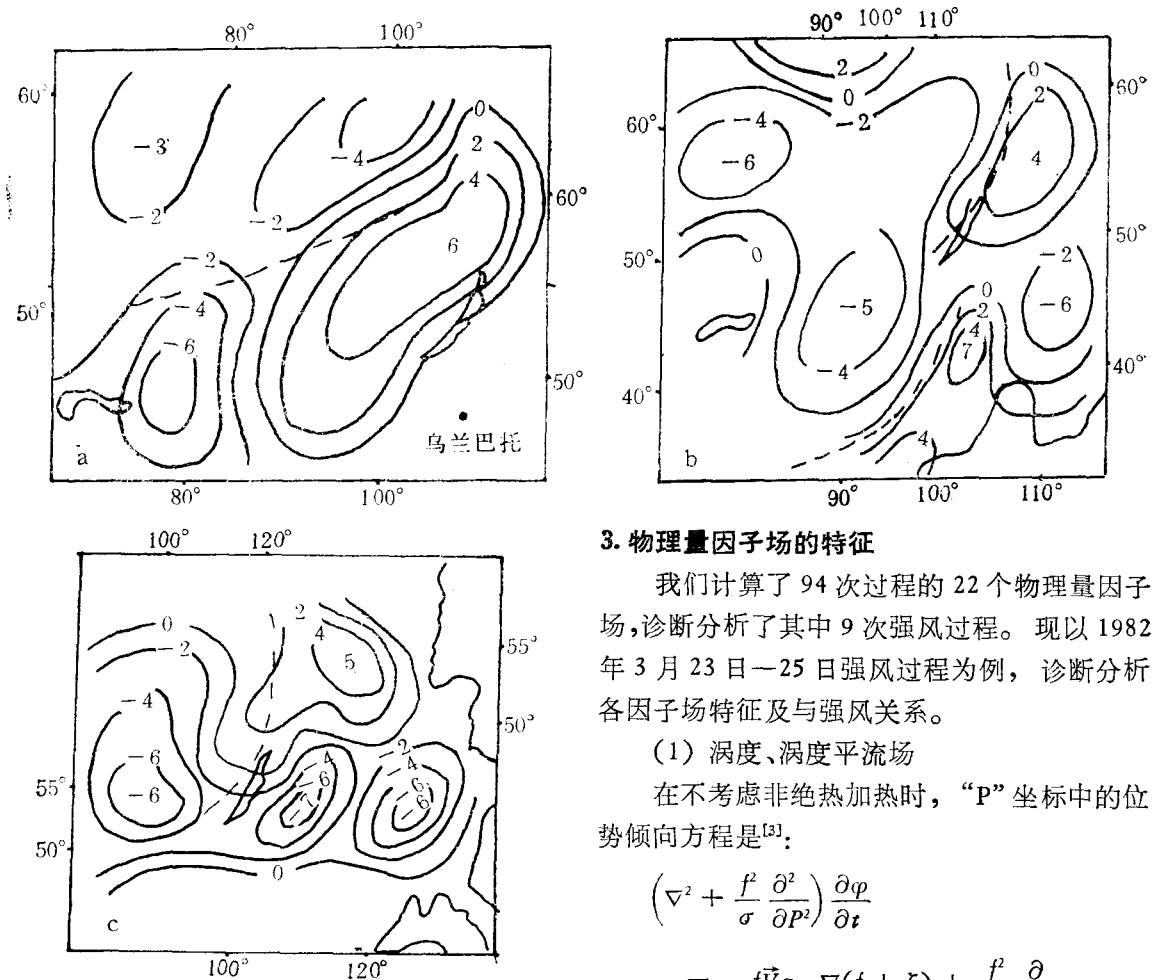


图 3 21 日 08 时—23 日 08 时  $\zeta_{500}$  分布图 ( $10^{-5}/\text{s}$ )

Fig. 3.  $\zeta_{500}$  distribution ( $10^{-5}/\text{s}$ ) from 08:00, 21st to 08:00, 23rd

—  $\zeta$  等值线; ---- 槽线

a. 21 日 08 时  $\zeta_{500}$  图; b. 22 日 08 时  $\zeta_{500}$  图;

c. 23 日 08 时  $\zeta_{500}$  图

经线重合,各节点坐标距离采用相对坐标法量取。采用 r 系数订正法来消除由于计算单元面积大小不均而造成的计算误差。r 系数求法略。

### 3. 物理量因子场的特征

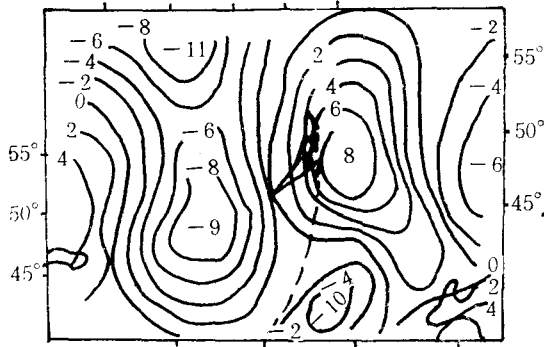
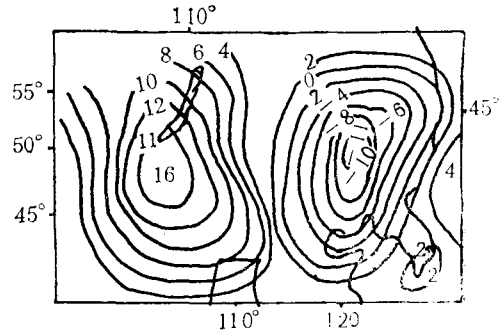
我们计算了 94 次过程的 22 个物理量因子场,诊断分析了其中 9 次强风过程。现以 1982 年 3 月 23 日—25 日强风过程为例,诊断分析各因子场特征及与强风关系。

#### (1) 涡度、涡度平流场

在不考虑非绝热加热时,“P”坐标中的位势倾向方程是<sup>[3]</sup>:

$$\begin{aligned} & \left( \nabla^2 + \frac{f}{\sigma} \frac{\partial^2}{\partial P^2} \right) \frac{\partial \varphi}{\partial t} \\ &= -f \vec{v}_g \cdot \nabla(f + \zeta) + \frac{f}{\sigma} \frac{\partial}{\partial P} \\ & \cdot \left( -\vec{v}_g \cdot \nabla \frac{\partial \varphi}{\partial P} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

上式右端第一项与地转风绝对涡度平流  $- \vec{v}_g \cdot \nabla(f + \zeta g)$  成正比,其强弱主要取决于地转风相对涡度平流。槽区  $\zeta g > 0$ , 而脊区  $\zeta g < 0$ 。因此,槽前脊后的流场为正涡度平流,即  $- \vec{v}_g \cdot \nabla \zeta g > 0$ , 高度场随时间降低  $\left( \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right)$

图4 22日08时500hpa 涡度平流图 ( $10^{-5}/s$ )Fig. 4 500 hpa vortex advection ( $10^{-5}/s$ ) at 08:00, 22nd—  $-\vec{v} \cdot \nabla \zeta$  等值线; ---- 槽线图5 500 hpa  $\Delta H_{23-22}$ Fig. 5 500 hpa  $\Delta H_{23-22}$ 

$< 0$ ); 槽后脊前的流场为负涡度平流, 即  $-\vec{v} \cdot \nabla \zeta < 0$ , 高度场随时间上升 ( $\frac{\partial \varphi}{\partial t} > 0$ ); 在槽脊线上  $\nabla \zeta = 0$ , 高度场随时间变化为 0; 槽脊向前移动。

从负“ $\zeta$ ”场分析得知, 20日08时(图略)在乌拉尔山的东北方有  $-6 \times 10^{-5}/s$  负“ $\zeta$ ”中心, 24h后, 新西伯利亚被大片的负“ $\zeta$ ”区所控制, 乌拉尔山高压脊明显向东北方向发展, 此时24h500hpa位势高度最大增加了170gpm, 出现与泰米尔半岛东部的高压打通的趋势, 在低涡的北部形成了强的桥式高压坝。桥式高压的形成, 促使了低槽绕涡旋转和南摆。21日08时(见图3a), 巴尔喀什湖北部出现了  $-6 \times 10^{-5}/s$  负“ $\zeta$ ”中心, 24h后(见图3b), 中心移到了贝加尔湖的西南侧, 中心值为  $-5 \times 10^{-5}/s$  并和新西伯利亚的负“ $\zeta$ ”区连成一体, 形成了强的负“ $\zeta$ ”区。

从负涡度平流场(见图4)分析中得出, 在  $85^{\circ}E-105^{\circ}E$  间形成了中心值分别为  $-11 \times 10^{-5}/s$ 、 $-9 \times 10^{-5}/s$  的负涡度平流区, 这使原东北西南向的乌拉尔山脊线从  $75^{\circ}N$  移到了  $70^{\circ}N$ , 24h南压了5个纬距, 位势高度24h又增加了160gpm。21日08时巴尔喀什湖北部还是槽区, 此时高压脊已形成, 位势高度增加了170gpm。低槽明显地断裂成两段, 这预示

着强低涡将派生出一冷低中心。果然在23日08时500hpa图上看到了一冷低中心南掉至海拉尔与嫩江间, 而低涡母体仍在高纬地区。

从正“ $\zeta$ ”场中分析得知, 21日08时(见图3a)在贝加尔湖北侧有一强的正“ $\zeta$ ”中心, 值为  $+6 \times 10^{-5}/s$ , 24h后(见图3b)中心分成两个, 其一在贝加尔湖东北侧, 值为  $+4 \times 10^{-5}/s$ ; 其二在中蒙边境地区, 值为  $+7 \times 10^{-5}/s$ 。在正涡度平流作用下, 24h槽加深了40gpm。南伸8纬距、东移20经距。正负24h变高梯度和两中心值的差值均增大(见图5)。槽的轴向由准东西向转成南北向, 冷槽低部也伸至  $45^{\circ}N$ , 到23日08时冷槽已构成“标准”的正立口袋形, 南伸至  $40^{\circ}N$ 。

综合上述分析得出: ①它与“P”坐标下的位势倾向方程中地转风绝对涡度平流理论讨论相吻合。②它与位势高度场配置十分密切, 在槽前均为强的正“ $\zeta$ ”区, 槽后均为负“ $\zeta$ ”区, 涡度平流强弱预示着槽脊的发展。是低槽绕涡旋转的重要动力因子之一。

## (2) 厚度、温度平流场

在(1)式中, 右边第二项是厚度平流随高度变化项。

将静力方程:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial P} = -\frac{RT}{P}$$

代入(1)式得:

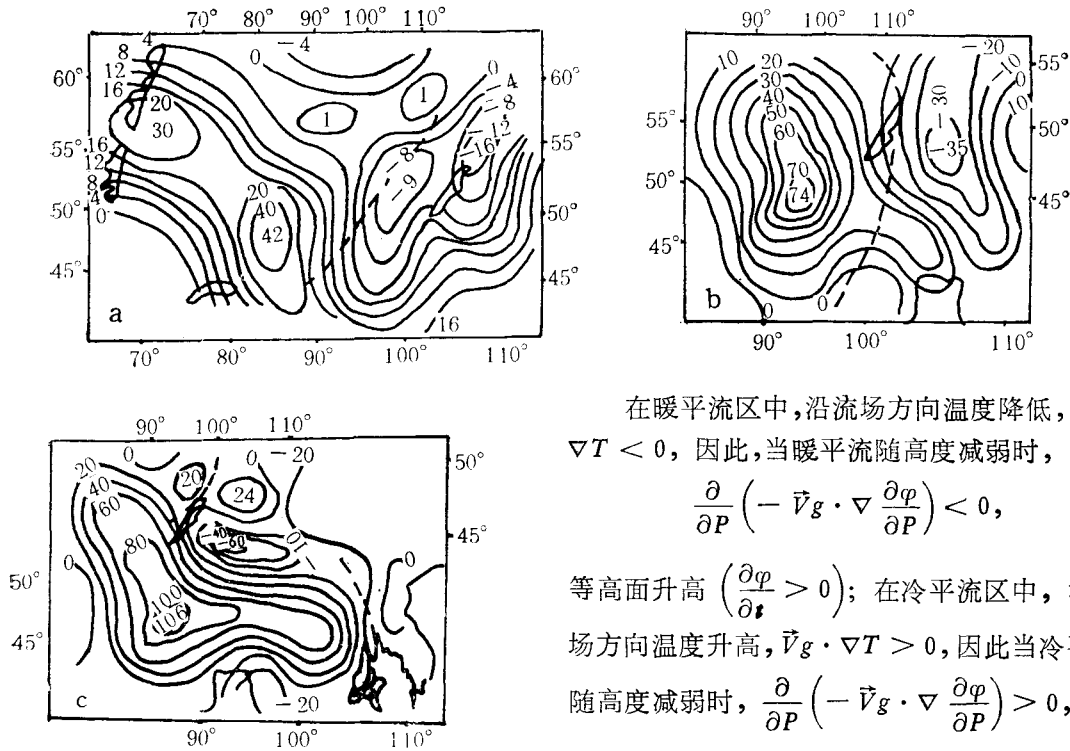


图6 21日08时—23日08时厚度平流图  
Fig. 6 Thickness advection from 08:00, 21st to 08:00, 23rd

— 等厚度线 ( $10^{-3} \text{gpm/s}$ ); ---- 500hpa 槽线  
a. 21日08时厚度平流图; b. 22日08时厚度平流图; c. 23日08时厚度平流图

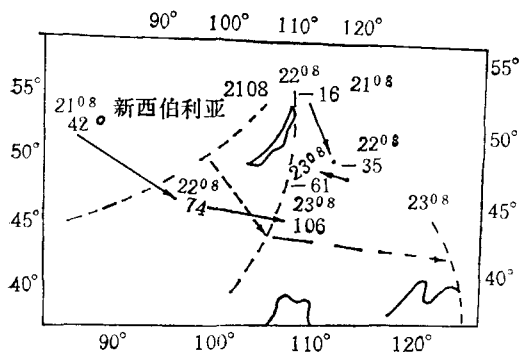


图7 厚度平流中心动态图

Fig. 7 Thickness advection center movement

— 等厚度线 ( $10^{-3} \text{gpm/s}$ ); ---- 500hpa 槽线

$$-\vec{v}_g \cdot \nabla \frac{\partial \varphi}{\partial P} = \frac{R}{P} \vec{v}_g \cdot \nabla T \propto \vec{v}_g \cdot \nabla T \quad (2)$$

在暖平流区中,沿流场方向温度降低,  $\vec{v}_g \cdot \nabla T < 0$ , 因此,当暖平流随高度减弱时,

$$\frac{\partial}{\partial P} \left( -\vec{v}_g \cdot \nabla \frac{\partial \varphi}{\partial P} \right) < 0,$$

等高面升高 ( $\frac{\partial \varphi}{\partial t} > 0$ ); 在冷平流区中,沿流场方向温度升高,  $\vec{v}_g \cdot \nabla T > 0$ , 因此当冷平流随高度减弱时,  $\frac{\partial}{\partial P} \left( -\vec{v}_g \cdot \nabla \frac{\partial \varphi}{\partial P} \right) > 0$ , 等

高面降低 ( $\frac{\partial \varphi}{\partial t} < 0$ )。一般说来,温度平流总是

随高度减弱。所以,在对流层中上层,暖平流将使等高面上升,冷平流将使等高面下降。图6、7是850—500hpa厚度平流分布图和平流中心动态图。

从负厚度平流区演变上分析得出,20日08时(图略)泰米尔半岛东部即低涡的东侧和乌拉尔山以东地区为负厚度平流区,中心值为  $-17 \times 10^{-3} \text{gpm/s}$ , 在它的作用下,其一使泰米尔半岛地区产生了暖平流加压区并向西移动,造成暖平流从低涡后部侵入;其二使乌拉尔山高压脊向东北发展。另外,在低涡的西侧有一  $160 \text{gpm}$  变高中心向东移动。在这种平流场和变高场分布下,促使低槽绕涡旋转、南摆。

从正厚度平流区演变上分析得出,21日08时(见图6a)从乌拉尔山南部的东侧、鄂木斯克到巴尔喀什湖的东北部有两个中心的正厚度平流区,分别为  $+30 \times 10^{-3} \text{gpm/s}$  和  $+42 \times 10^{-3} \text{gpm/s}$ , 24h后(见图6b)其中心移到了贝加尔湖的西南方,与负厚度平流区构成了以

500hpa 槽线为轴线的准对称分布,其中心强度由原来的  $+42 \times 10^{-3} \text{gpm/s}$  增加到  $+74 \times 10^{-3} \text{gpm/s}$ ; 48h 后(见图 6c)上述的准对称分布被破坏,而形成了以蒙古乌兰巴托为中心从贝加尔湖西南部直到黄渤海地区、轴线为西北东南向的强正厚度平流区,中心合并为一个,其强度又增加了  $32 \times 10^{-3} \text{gpm/s}$ ,其强度达到了极盛阶段,为  $+106 \times 10^{-3} \text{gpm/s}$ 。在这厚度平流作用下,冷槽向东南方向旋转并南压了 10 纬距/24h, 500hpa 和 700hpa 冷低槽 24h 最大降温率分别达  $10^\circ\text{C}$  和  $15^\circ\text{C}$ ; 24h 地面冷高压中心加强了 17hpa, 中心强度达到 1051hpa。

综合上述诊断分析得出:(1) 泰米尔半岛和乌拉尔山地区的负厚度平流使暖平流从低涡

后部侵入,是促使低槽绕涡旋转、南摆的重要动力来源;(2) 正厚度平流的增大和中心东南移,引导了冷空气向南爆发,特别是 23 日 08 时的正厚度平流场分布,更加利于冷空气从高纬泄向低纬地区。

(3) 动能场、急流和锋区

图 8 是根据  $E = \frac{1}{2} \vec{v} \cdot \vec{v}$  公式计算获得的各

动能场分布图。

从 500hpa 动能场演变分析得知, 20 日 08 时(见图 8a)原乌拉尔山东南部到巴尔喀什湖以西地区是一个低能值区, 24h 后(见图 8b)低能值区被两中心的大值区所取代,这说明脊前槽后高空急流在加强,急流轴线两支连成一体,且

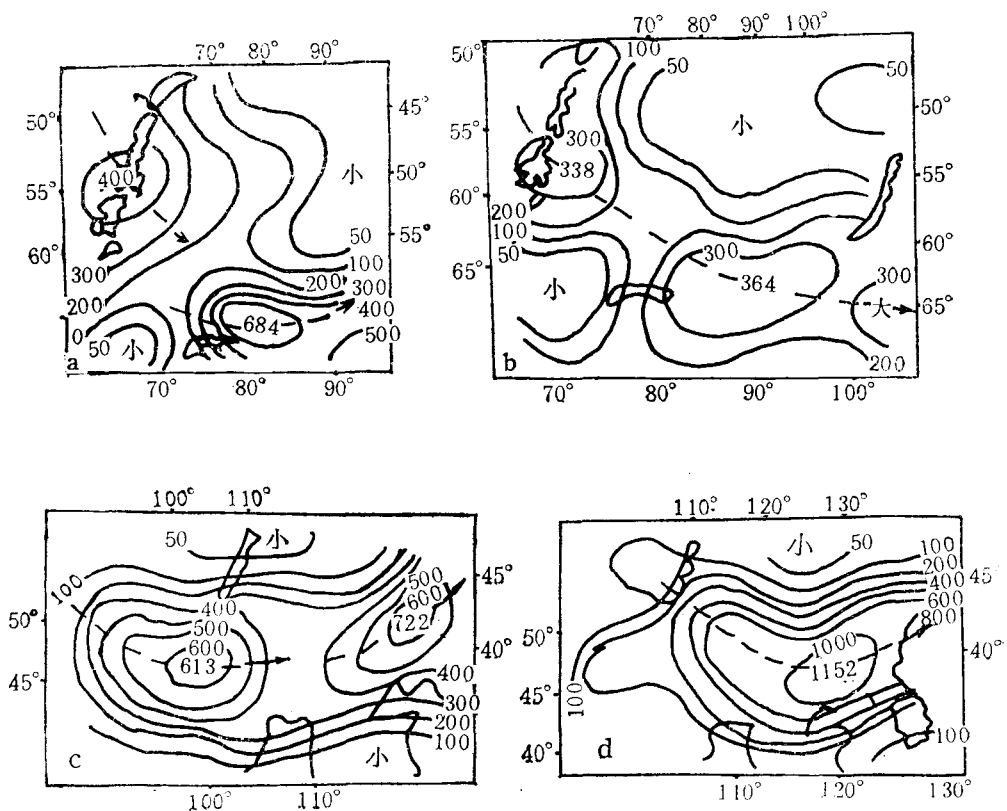


图 8 20 日 08 时—23 日 08 时 500 hpa 动能分布图

Fig. 8 Distribution of 500 hpa kinetic energy from 08:00, 20th to 08:00, 23rd

—等动能线 ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ ); ---- 500hpa 高空急流轴线

- a. 20 日 08 500hpa 动能图; b. 21 日 08 时 500hpa 动能图;
- c. 22 日 08 500hpa 动能图; d. 23 日 08 时 500hpa 动能图

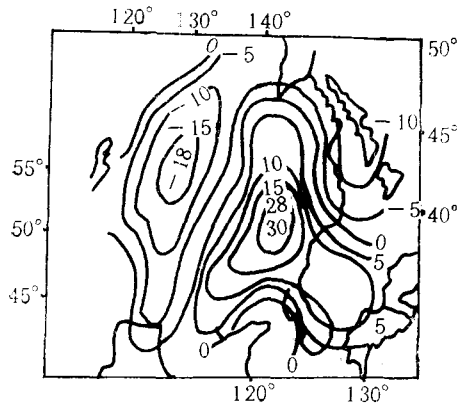


图9 22日08时500hpa温度平流  
Fig. 9 500hpa temperature advection at  
08:00, 22nd

范围增大。到22日08时(见图8c、d),动能场的大值区分布已成东西向,中心值由过程初期的 $400\text{m}^2/\text{s}^2$ 增加到 $1152\text{m}^2/\text{s}^2$ ,均增大三倍,巴尔喀什湖以东地区迅速成为动能大值区,说明高空急流在不断加强。冷低槽在强偏北急流作用下加深旋转,并将冷空气由高纬输送到低纬地区。22日08时温度平流梯度达到了10根/8纬距(见图9),厚度平流值达 $+106 \times 10^{-3}\text{gpm/s}$ ,使高空锋区相应加强。锋区强度22日08时为7根/10纬距,24h后达到6根/5纬

距,几乎增强了一倍,并从东西向转成东北西南向,力管作用大大加强。地面 $+\Delta P_3$ 由 $+2.6\text{hpa}$ 24h增加到 $+6.2\text{hpa}$ 。冷锋24h向东南方向旋转并南移13个纬距。

从上述诊断分析可知,动能的强弱与高空急流紧密相关。动能增大说明高空急流增强,利于高空锋区加强和冷空气由高纬向低纬地区输送。

### 三、结 语

通过对物理量因子场的诊断分析,我们对低槽绕涡旋转型的黄渤海北强风过程各物理量因子场的特征、演变规律和对低槽绕涡旋转所起的作用有了进一步认识。这对于建立黄渤海北强风客观定量预报和选择各物理量因子场提供了依据。但由于计算和诊断分析工作量太大,所以我们诊断分析强风过程次数还较少,作为预报指标性的某些物理量因子场,还有待继续工作。

### 参考文献

- [1] 王世兰、张其芳、吴厚德、龙淑仙,1988。黄渤海北强风天动力统计预报方法。海洋通报7(2):5-8。
- [2] 朱乾根等,1983。天气原理和方法。气象出版社,第87-91页。

## ANALYSES OF PHYSICAL FACTOR FIELDS OF STRONG NORTH WIND OVER THE BOHAI AND HUANGHAI SEAS

Wang Shilan

(Dalian Institute of Ocean Meteorology)

**Key Words:** Revolving vortex, Physical variable, Factor field

### Abstract

Through diagnostic analyses of physical factor fields of trough revolving vortex, the physical mechanism and the characteristics of strong north wind ( $\geq 8$ ) over Bohai and Huanghai sea are described, and some physical factor fields closely related to the strong north wind are delineated.