

# 日本海极地低压的个例研究

任海波, 张 林

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

**摘 要:** 本文分析了日本海发生的一次极地低压的水平结构和垂直结构, 极地低压的“眼”处几乎无云, 由螺旋状云系环绕, 并伴有较强的下沉气流, 具有暖核结构。热力学收支表明, 该暖核主要是由伴随下沉气流的绝热增暖造成的。

**关键词:** 极地低压; 暖核; 螺旋状云系

**中图分类号:** P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 0239 (2007)3 - 0031 - 09

## 1 引言

极地低压 (Polar Low) 是冬季在中、高纬度海洋上强烈发展的中尺度气旋, 其水平尺度约为数百公里, 生命周期为数小时到几天。在卫星云图上, 极地低压常常伴随有螺旋状特征。由于极地低压常常会引起大风、巨浪、强降水等恶劣天气, 其水平尺度小, 生命周期短, 难以预报, 因此极地低压是最危险的天气系统之一。

极地低压有如下观测特征: 通常在冬季的高纬度海洋上发展, 它多发生在海面上并伴有强对流; 从卫星云图上观测, 极地低压常常伴随有螺旋状或逗点状云特征, 并且具有暖心结构, 在厚厚的积云中央有一个“眼”结构, 并具有强劲的表面风速; 极地低压完整的生命周期为数小时到几天, 它的水平尺度约为数百公里。

冬季, 发生在日本海的极地低压主要是受形成于欧亚大陆极地冷气团的爆发影响较大, 主要集中在以下三个区域里: (1) JPCZ (Japan sea Polar airmass Convergence Zone 日本海极地气团集中带), (Kuroda, 1992); (2) 北海道西海岸 (Tsuboki & Wakahama, 1992); (3) 处于一个大尺度低压 (a parent large-scale low) 影响下 (Ninomiya, 1991)。

## 2 日本海极地低压的个例研究

日本海冬季也是极地低压频繁发生的海域之一, 它不仅沿日本海岸带来强降雪天气, 甚至会引起一些沉船等灾难性事故。日本海位于  $35^{\circ} \sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $130^{\circ} \sim 140^{\circ}\text{E}$ , 南北长 2 000 km, 东西宽 700 km, 冬季日本海的海气相互作用十分活泼, 与世界上其他发生极地低压的海域相比, 日本海纬度最低 (其他海域纬度都在  $50^{\circ}$  以上), 受对马暖流影响, 日本海海温 (SST) 较同纬度大洋高出  $5 \sim 9$ , 其极地低压发展的动力学机制也十分复杂。

2.1 观测事实

1997 年 1 月 21 日日本海发生了一个极地低压典型个例：随着亚洲大陆极地气团的爆发，扰动的最初发生地点是北海道的西海岸。卫星和雷达资料显示该扰动的最初呈现为一个南北宽为几十公里，东西长为数百公里的长条状云带，该云带在沿日本列岛西海岸向南移动的过程中，其西部发生了气旋性旋转，成为一个气旋涡，该气旋涡在日本海上发展成熟。如图 1 所示，该个例在它的成熟期形成了非常漂亮的螺旋云团，云团的中心有“眼”形成，从 GMS-5 卫星资料和云顶温度图中可明显看出逗点状云系和涡旋中心“眼”的结构。

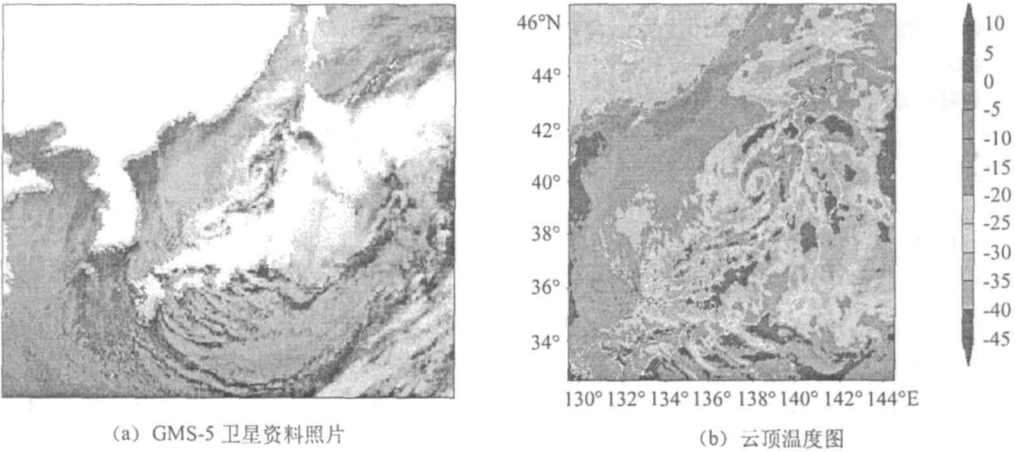


图 1 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) 发生于日本海极地低压的卫星资料照片和云顶温度

2.2 数值模拟资料

本文所用到的数据来源于一个三维的细网格 (5km) 非静力学模式 :MRI-NHM ( Meteorological Research Institute Non-Hydrostatic Model)。图 2 显示了东亚和西北太平洋的地理位置图，部分地理区域已经在图中标出，图中的方框表示了本次数值模式 (MRI-NHM) 用到的地理区域。

2.3 低压结构

2.3.1 低压的天气形式

从图 3 中可以看出 ,在 1997 年 1 月 21 日 00UTC 的 500hPa 天气图上明显有一条东西向的横槽，该槽从欧亚大陆的东岸一直延伸到西北

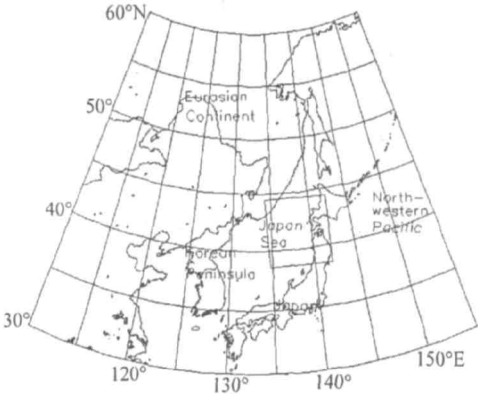


图 2 东亚和西北太平洋地理位置图

太平洋,在槽的中心有一个明显的冷中心,环绕它的等温线是零下 42 。在对应的地面图上,有一条东北-西南向的槽对应位于高空槽的东南向,在地面图上明显可见到两个低压中心,其中一个在本州岛上,另一个位于太平洋上。

在 1997 年 1 月 21 日 12UTC 的 500hPa 天气图上可见：随着时间的推移,高空横槽逐渐转竖,高空冷涡也相应地向东南方向移动,并且冷涡覆盖的区域也在逐渐的减少。在地面图上,00UTC 时的两个低压在本州岛以东的海域上合并发展成一个天气尺度的低压;另一个小尺度低压(最低值为 998hPa)在北海道海岸以西形成,这就是本文中要详细研究的极地低压,从图中可看出该低压位于天气尺度低压的西北部。从图 3 中可知高空形式中的冷涡是该极地低压形成的一个典型的环境因素。

2.3.2 日本海极地低压个例的水平结构

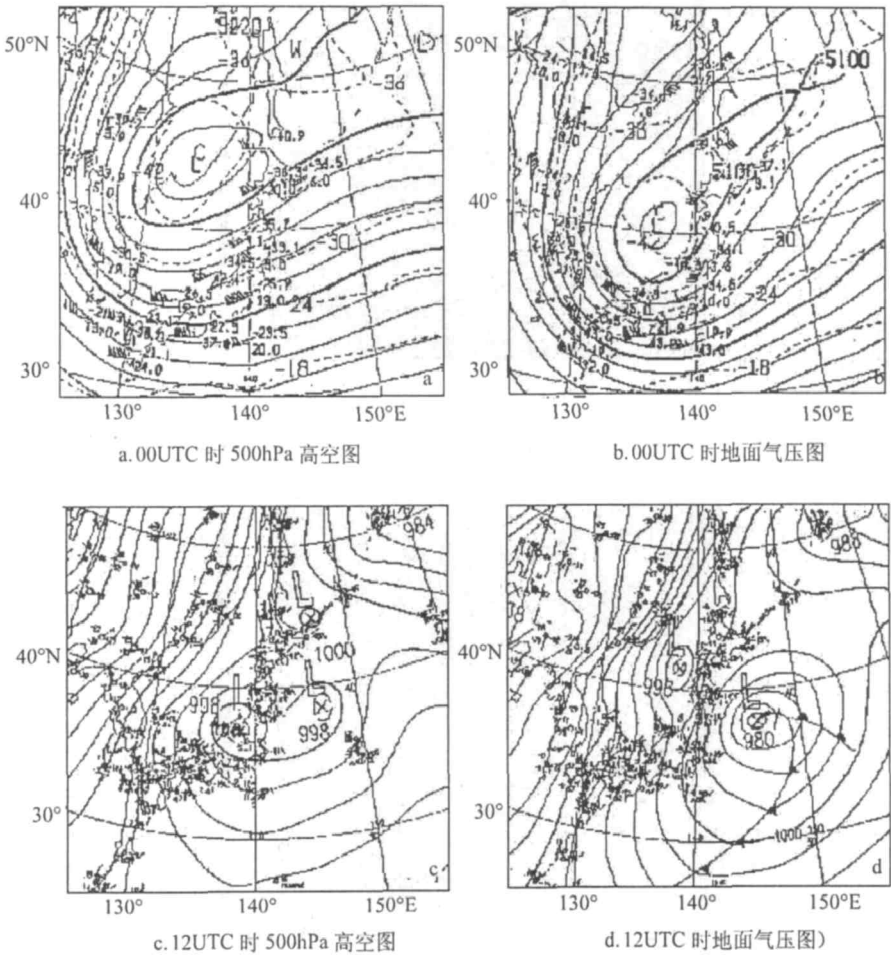


图 4 是 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) 极地低压发展成熟时期沿垂直方向迭加的液体和固体水汽总和。从图中可看到极地低压的一些明显观测特征, 例如逗点云系、眼区等, 眼区直径约 50km; 此外, 环绕极地低压的云街也被很好的重现出来了; 低压中心在  $137.5^{\circ}\text{E}$ ,  $39.8^{\circ}\text{N}$ 。在眼区的北面液体和固体水汽总和达到了最大的  $9\text{kg/m}^2$ , 在眼区的南面也达到了  $7\text{kg/m}^2$ 。

图 5 表示的是 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) 高度 20m 处的表面热通量, 一般说来, 感热是潜热的 1.5 倍, 在图上表面热通量有一个明显的东西向不对称, 低压中心西侧达到了  $800\text{W/m}^2$ , 而在低压中心东侧却只有  $500\text{W/m}^2$ , 这个不对称主要是由风速不对称引起的; 图中的黑色矢量线表示水平风矢量, 从图中可以看出, 较强的北向风盛行在低压中心的西北面, 其最大风速达到了  $30\text{m/s}$ , 然而在低压中心的东面, 风的大小要明显小

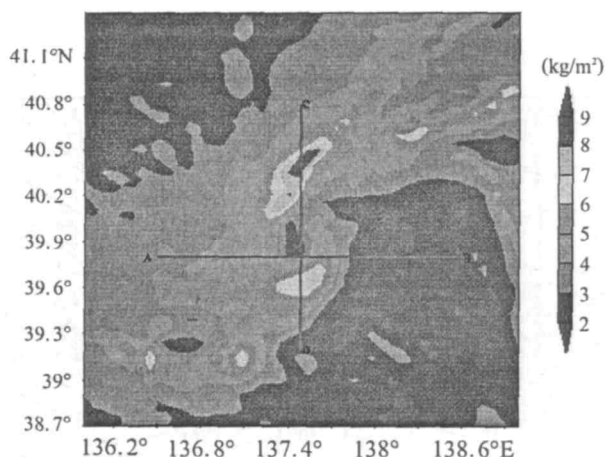


图 4 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) 沿垂直方向迭加的液体和固体水汽总和

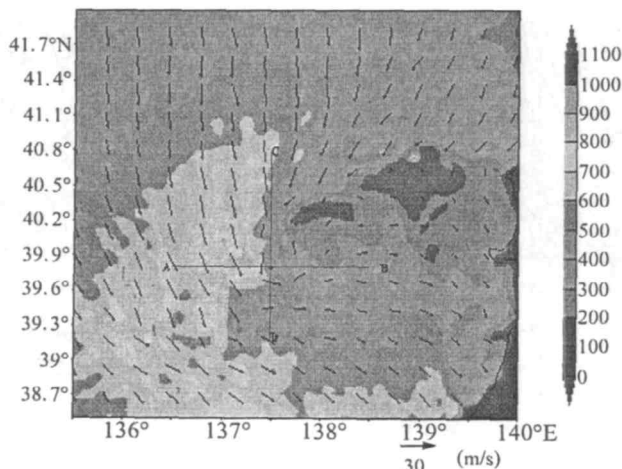


图 5 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) 的表面热通量 (单位  $\text{W/m}^2$ ) 和 20m 处水平风矢量 (单位  $\text{m/s}$ )

于西面,从而可以在低压中心附近形成一个强烈的收敛中心。

2.3.3 日本海极地低压个例的垂直结构

图 6 是 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) 极地低压发展成熟时期沿 AB 方向纵切的垂直向的雪的混合比,极地低压在表层的中心已被箭头标出。从图中可明显看出在眼区的值为 0,在眼区西侧的值为 0.6g/kg,但在东侧却达到了 1.4 g/kg,两侧最大值均出现在表面到 900m 之间;图 7 是沿 CD 方向纵切的垂直向的雪的混合比,在眼区其值亦为 0,在眼区南侧的值为 1g/kg,在北侧却在 2 500m 左右达到了 1.4 g/kg。两图说明了低压中心眼区是由水蒸气和雪等要素围绕而成,其中心无云、雪等要素。

图 8 是 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) (沿 AB 纵切) 垂直方向位温图和 x 与 z 方向

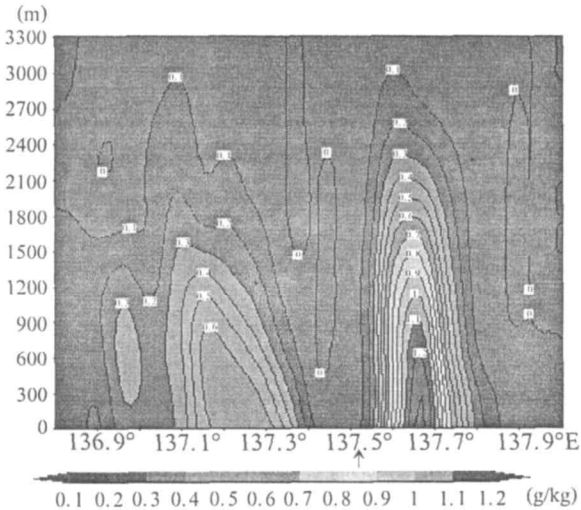


图 6 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) (沿 AB 纵切) 垂直方向上雪的混合比

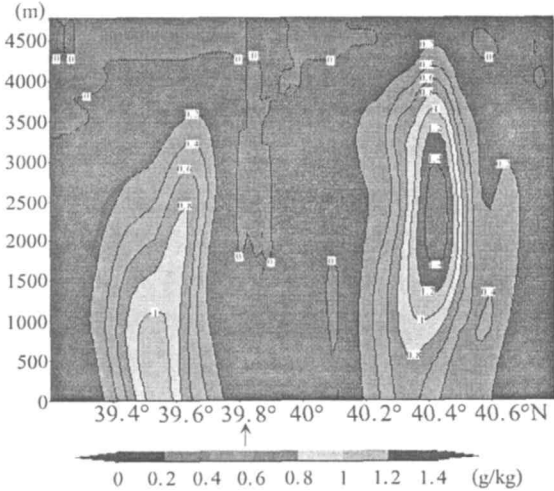


图 7 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) (沿 CD 纵切) 垂直方向上雪的混合比

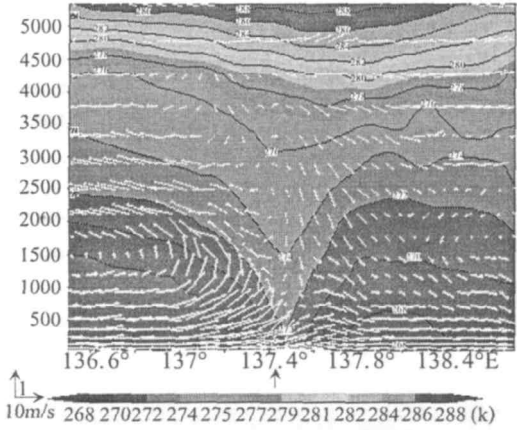


图 8 沿 AB 纵切的垂直方向位温图和 x 与 z 方向风矢量

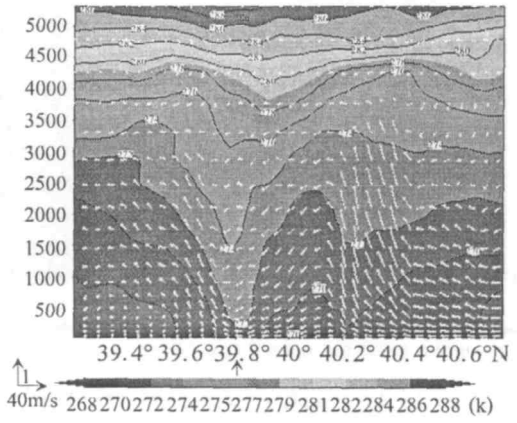


图 9 沿 CD 纵切的垂直方向位温图和 y 与 z 方向风矢量

的风矢量 (z 方向上风速放大了 10 倍), 极地低压在表层的中心已被箭头标出。在眼区, 我们可以看到一个明显的位温低值廓线, 在 500m 高度处眼区温度比它周围环境温度高出 3 ~ 4 度, 它表明这里有一个暖核结构, 在眼区中心有明显的下沉气流, 在其西侧则有明显的上升气流。图 9 是(沿 CD 纵切)垂直方向位温图和 y 与 z 方向风矢量(z 方向上风速放大了 40 倍), 从图中亦可看出暖核结构和明显的下沉气流, 中心周围则为上升气流, 最大的上升气流在低压中心北面(40.2° ~ 40.4°N)。

图 10 是 1997 年 1 月 21 日 18 时(UTC)(沿 AB 纵切)垂直方向涡度图(单位 $\times 10^{-4} s^{-1}$ ), 从图中可以看出, 在极地低压的成熟期, 其垂直涡度集中在 2 000 m 以下, 在 200 m 处的中心地区涡度值达到最大为  $4.5 \times 10^{-3} s^{-1}$ ; 图 11 是 1997 年 1 月 21 日 18 时(UTC)(沿 CD 纵切)垂直方向涡度(单位 $\times 10^{-4} s^{-1}$ )。从图中可以看出, 在极地低压的成熟期, 其垂直涡度也集中在 2 000 m 以下, 最大涡度值也出现在 200m 处的中心地区, 达到了  $4.5 \times 10^{-3} s^{-1}$ 。综合图 10 和图 11 可知, 由于涡度值都集中在 2 000 m 以下, 且最大涡度值都在 200 m 左

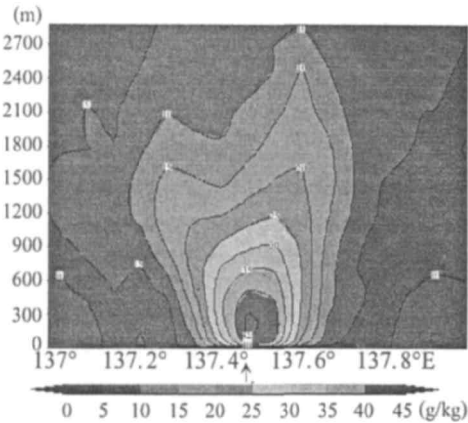


图 10 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) (沿 AB 纵切) 垂直方向涡度图 (单位 $\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ )

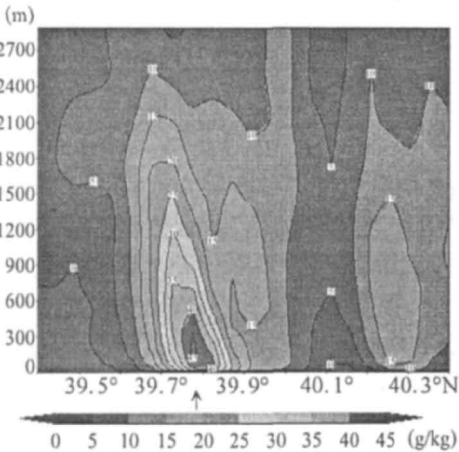


图 11 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) (沿 CD 纵切) 垂直方向涡度图 (单位 $\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ )

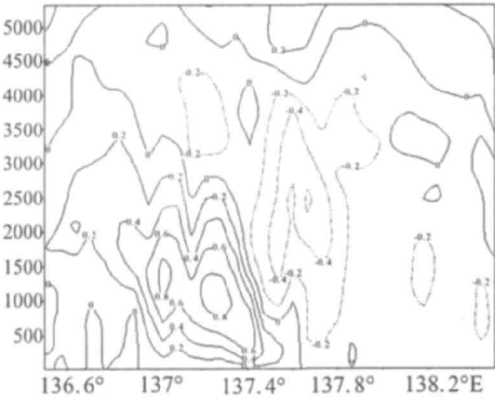


图 12 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) (沿 AB 纵切) 垂直运动速度图

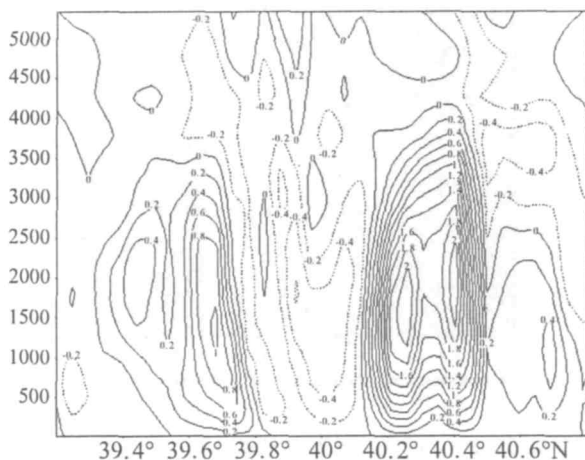


图 13 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) (沿 CD 纵切) 垂直运动速度图

右, 可知该日本海极地低压典型个例是一个低值系统。

图 12 是 1997 年 1 月 21 日 18 时 (UTC) (沿 AB 纵切) 垂直运动速度图, 从图中可以看到在“眼”的中心有明显的下沉气流, 最大值达到了  $-0.6\text{ m/s}$ , 但是在它西侧的云区中却有最大值为  $0.8\text{ m/s}$  的上升气流; 图 13 是沿 CD 纵切的垂直运动速度图, 从图中可以看出最大的上升气流在低压中心北面 ( $40.2^{\circ} \sim 40.4^{\circ}\text{N}$ ), 达到了  $2\text{ m/s}$ 。正是因为眼区周围气流的上升, 从而形成了低压中心周围的云区; 而低压中心暖核的形成则是由于眼区中心明显的下沉气流绝热增暖所致。且下沉气流并不是对称的, 它从低压中心东北方向向中心辐合。Yamasaka (1982) 指出台风中心的暖核是由下沉气流引起的, Fu (1999) 和本文的研究也表明极地低压中心暖核结构的形成机制与热带气旋十分相似。图 13 中最大的上升气流 (低压中心北面  $40.2^{\circ} \sim 40.4^{\circ}\text{N}$ ) 与图 10 中最大的上升气流相对应。

### 3 结论

通过对 1997 年 1 月 21 日一日本海的极地低压典型个例的研究发现, 扰动的最初发生地点是北海道的西海岸。在沿日本列岛西海岸向南移动的过程中, 其西部发生了气旋性旋转, 成为一个气旋涡, 该气旋涡在日本海上发展成熟。NHM 资料 (水平格距  $5\text{ km}$ ) 很好地再现了其成熟期形成的一些非常完整的结构。该低压的移动路径, 逗点状云系, 低压中心的云眼区和伴随冷气团爆发的云街都被很好的观测到了。模拟结果显示: 低压中心西部的水平风速明显大于东部, 并且是向低压中心收敛的; 低压中心西部的表面热通量也明显大于东部; 该极地低压的“眼”处几乎无云, 直径约为  $50\text{ km}$ , 它是由水蒸气和雪等要素围绕而成的; 有一个暖核结构, 并伴有较强的下沉气流, 热力学收支表明, 该暖核是由伴随下沉气流的绝热增暖造成的。接近低压中心的最大垂直涡度出现在约  $200\text{ m}$  高度处。



## 参考文献:

- [1] Fu Gang. Polar Lows , Intense Cyclones in Winter (in English) 2001 , 4 ~ 13 , 84 ~ 87 , 115 ~ 127.
- [2] Douglas , Michael W , L S Fedor, M A Shapiro. Polar Low Structure over the Northern Gulf of Alaska Based on Research Aircraft Observations. Monthly Weather Review. 1991, 119 (1) :
- [3] Montgomery , Michael T , Brian F , Farrell. Polar Low Dynamics. Journal of the Atmospheric Sciences : 1992 ,49 ( 24 ) :
- [4] Bresch James, F , Richard J Reed , Mark D. Albright. A Polar-Low Development over the Bering Sea : Analysis, Numerical Simulation, and Sensitivity Experiments. Monthly Weather Review. 1992,125 ( 12 ) :

# A case study of polar low over the Japan sea

REN Hai-bo , ZHANG Lin

( National marine Environmental Forecasting Center , Beijing 100081 China )

**Abstract :** This article analyses the structures both in the vertical and in the horizontal dimensions of a polar low event that occurred over the Japan Sea. The “eye” is occupied by a dry air, surrounded by spiral cloud patterns and associated with a strong downdraft, has a warm core, and is almost free of cloud. The thermodynamic budget analysis indicate that this “warm core” is mainly caused by the adiabatic warming associated with the downdraft.

**Key words :** polar lows , warm core , spiral cloud bands