

2016年10月11—19日东南太平洋一次温带气旋过程分析

李秀镇¹, 宋盛凯¹, 郭文明², 钟剑¹, 李博³

(1. 中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431; 2. 91876部队气象台, 河北 秦皇岛 066203; 3. 青岛市城阳区气象局, 山东 青岛 266100)

摘 要: 利用美国国家环境预报中心发布的FNL资料、红外卫星云图资料和船测资料, 对2016年10月17—19日某船舶在东南太平洋遭遇的一次温带气旋过程进行研究, 以此为大洋航线上温带气旋预报保障能力提高积累经验。结果表明: (1) 温带气旋A由绕极槽北伸切断发展而来, 自西向东移动过程中在南太平洋大洋中部与另一气旋B合并加强对船舶航行造成影响; (2) 气旋A初生阶段, 大气低层旋转程度较强; 成熟发展阶段在近地面、大气上层旋转程度较强; 当气旋B初生发展时, 气旋A中心附近自500 hPa以下为绝对涡度小值区, 其上为绝对涡度大值区, 绝对涡度垂直轴线向近B一侧倾斜; (3) 槽后及气旋中心附近正涡度平流与槽前随高度增强的暖平流共同促使气旋发展。

关键词: 东南太平洋; 温带气旋; 涡度平流; 温度平流

中图分类号: P443 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2020)02-0019-10

1 引言

温带气旋是南太平洋影响船舶安全的主要天气系统之一, 其影响海域内往往伴随狂风巨浪, 给船舶航行安全构成严重威胁^[1]。澳大利亚、新西兰以东的远洋航线是南太平洋温带气旋出现频次较多的海域, 由于远离陆地, 温带气旋更易受高纬度西风带波动的影响而发展加强。研究该海域温带气旋的生成、移动和发展机制对于保障远洋船舶航行安全具有十分重要的意义。

温带气旋研究历史由来已久^[2], 从早期的气旋模式到温带气旋与高空波动间的关系^[3], 从人工天气系统分析进行温带气旋判定和追踪到利用客观数值算法判定和追踪温带气旋^[4-6], 国内外学者对温带气旋特征规律、发展演变机制等进行了全面研究, 其中也不乏对南太平洋地区的理论研究^[7-10]和个例分析^[11-12]。前人对南太平洋温带气旋活动规律的气候统计或个例分析, 更多关注澳大利亚东西两岸或其

南部大洋, 但针对澳大利亚、新西兰以东远洋航线附近海区的分析还较少。

2016年10月17—19日某船舶在东南太平洋航行过程中遭遇一温带气旋, 船舶航行计划一度被迫调整。分析发现, 该气旋生成于塔斯曼海, 沿大洋航线向东远距离移动, 在南太平洋大洋中部与另一气旋合并后加强。由于其移动路径与新西兰以东大洋航线相近, 移动距离远, 影响范围广, 本文拟使用分析数据、红外云图资料以及船测资料对其演变过程进行分析及动力学诊断, 以期增进对大洋航线上温带气旋预报保障能力的认识。

2 过程介绍

2016年10月17日00时(世界时, 下同)某船舶在(140°W, 30°S)附近向南航行过程中遭遇一东移温带气旋A(见图1a, 数据介绍见3.1), 期间船载自动气象站观测到的气温、相对湿度、气压及风速变化

收稿日期: 2018-12-26; 修回日期: 2019-04-20。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(41605075)。

作者简介: 李秀镇(1985-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事航海气象研究。E-mail: zqlxiuzhen@163.com

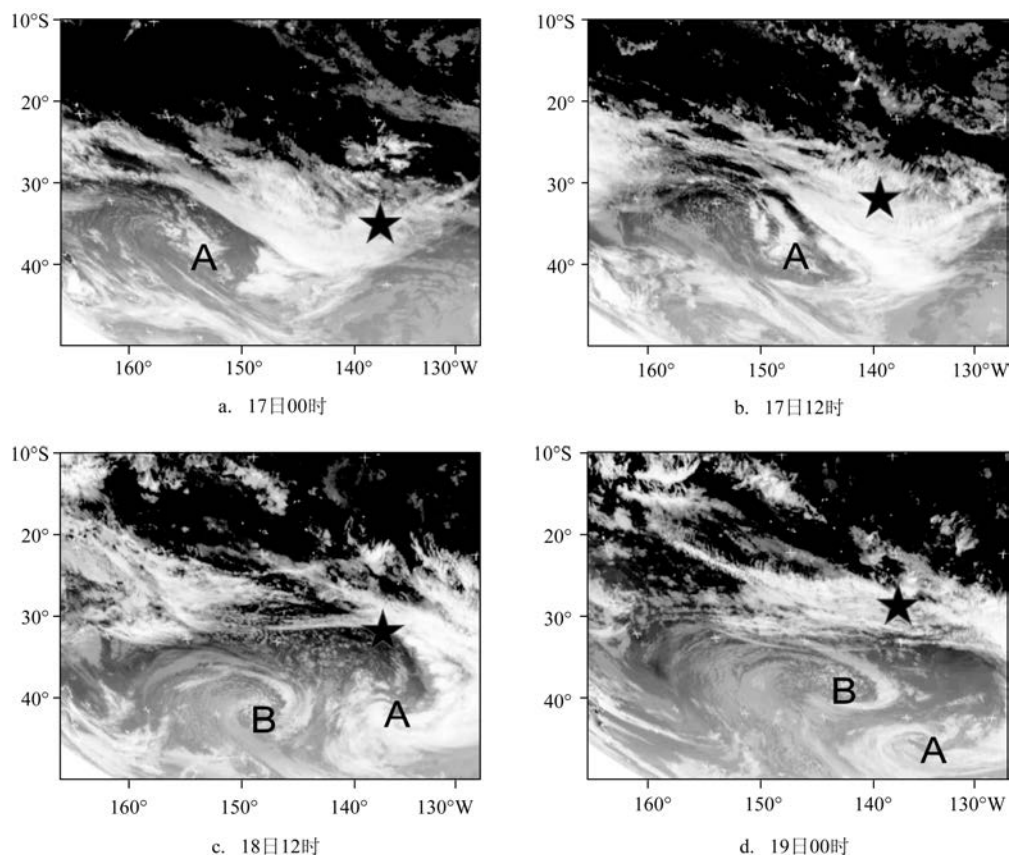


图1 2016年10月不同时刻红外卫星云图(五角星为船舶位置)

如图2所示(数据介绍见3.3)。随着气旋锋面移近,气压下降(见图2c),风力增大(17日5~6级)。根据GFS(Global Forecast System,全球预报系统)风场预报、美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)全球海浪预报,若船舶继续向南航行,将进入10级风区、4 m以上浪区,形势预报表明气旋A将与西南部移来的另一气旋B合并加强,在航线上造成5 m以上浪区。为确保安全,船舶决定调转航向向北机动。17日12时(见图1b),船舶上空为气旋外围云系覆盖,湿度超过90%(见图2b),气压降至1 000 hPa(见图2c),风速10~12 m/s(见图2d)。18日,尽管船舶已向北机动(见图1b),气压仍在下降,风速逐渐增至20 m/s。此时,30°S附近已出现9级大风、3 m涌浪,气旋A西侧另一气旋B的涡旋云系已经形成(见图1c)。20日00时,气旋A、B由东西分布转为西北东南向分布(见图1d),30°S以南涌浪超过4 m。

3 资料和方法

3.1 卫星资料

卫星资料主要使用日本静止气象卫星“葵花8”(Himawari-8)和美国GOES-15卫星红外云图资料。“葵花8”卫星于2014年10月7日发射升空并在2015年业务化,具有从0.46~13.3 μm 的16个通道:3个可见光通道,3个近红外通道,10个红外通道,空间分辨率为0.5~2 km,10 min可完成1幅地球全圆盘图^[13-14]。GOES-15卫星发射于2013年3月4日,星下点135°W,成像仪拥有1个可见光通道和4个红外通道^[15]。

3.2 FNL再分析资料

NCEP开发的FNL全球分析资料(Final Operational Global Analysis data, <http://rda.ucar.edu/>)

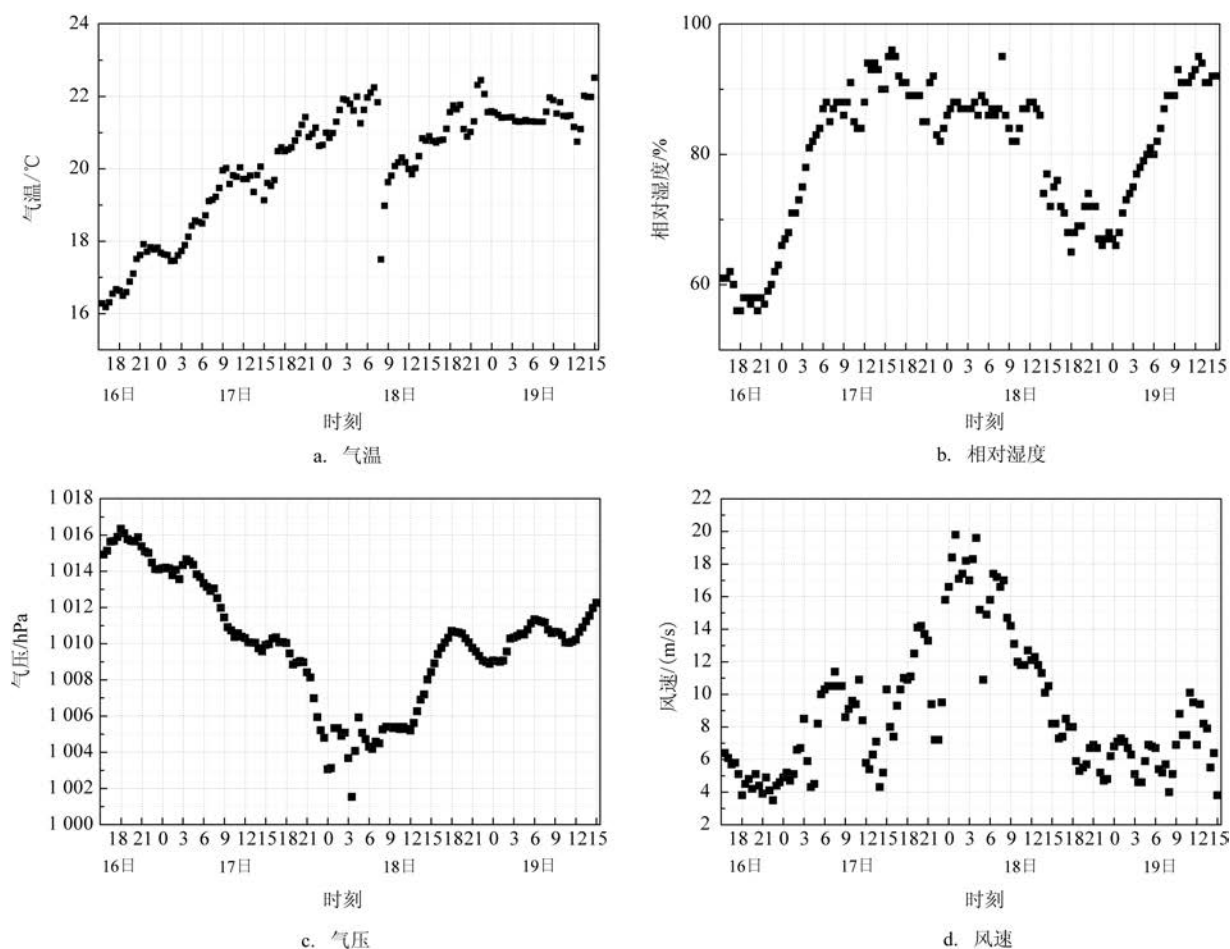


图2 2016年10月16—19日船舶观测海平面气象要素变化

datasets/ds083.2/), 时间分辨率 6 h(00 时、06 时、12 时、20 时), 水平分辨率 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 垂直方向 31 层; 其数据格式为 Grib2 格式, 每个时次一个文件。本文使用数据中的海平面气压、位势高度、温度、 u 分量、 v 分量和绝对涡度等物理量。

3.3 船载自动气象站资料

船载自动气象站温湿度传感器、气压传感器观测位置高于海平面 10 m 左右, 超声风传感器位置高于海平面 20 m 左右。诸要素观测时距为 1 min, 绘图时采用 30 min 平均值。

4 结果分析

4.1 环流形势分析

10 月 11 日 12 时澳大利亚南部(140°E 以东, $45^{\circ}\sim$

55°S) 附近有一槽, 后部有冷舌(见图 3a)。该槽向东北方向移动过程中呈后倾形势, 南部与绕极槽相接。13 日 00 时高空冷槽在塔斯曼海切断为闭合冷涡(163°E , 45°S , 见图 3b), 中心强度 5 360 gpm。13 日 12 时过境新西兰(滞后于地面低压), 中心强度减弱至 5 440 gpm。15 日起沿 40°S 纬线向东缓慢移动, 17 日 00 时中心移至 156°W , 强度减弱至 5 480 gpm(见图 3c), 温度槽与高度槽近乎重合, 其西南部(45°S 以南), 绕极槽加强北伸, 冷平流向北输送。17 日 18 时绕极槽在(165°W , 50°S) 附近切断为高空冷涡(图略), 之后向东北方向移动。18 日 18 时, 在($30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{S}$, $140^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{W}$) 范围内形成西北东南向的两个低压中心(见图 3d)。

10 月 11 日 12 时海平面气压场上(见图 4a), 塔斯马尼亚岛以东有一槽, 位于高空槽前。槽东移过程中于 12 日 00 时在塔斯曼海形成闭合低压(命名

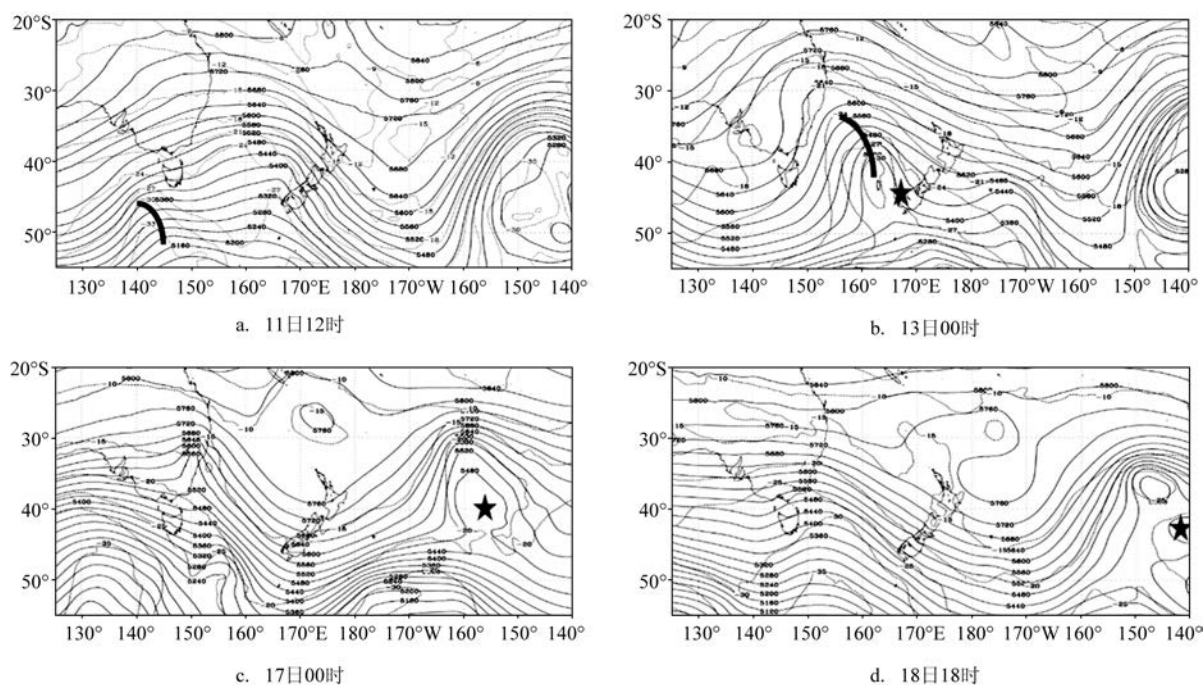


图3 2016年10月不同时刻500 hPa形势图(黑实线为位势高度,虚线为温度,五角星对应地面气旋中心位置)

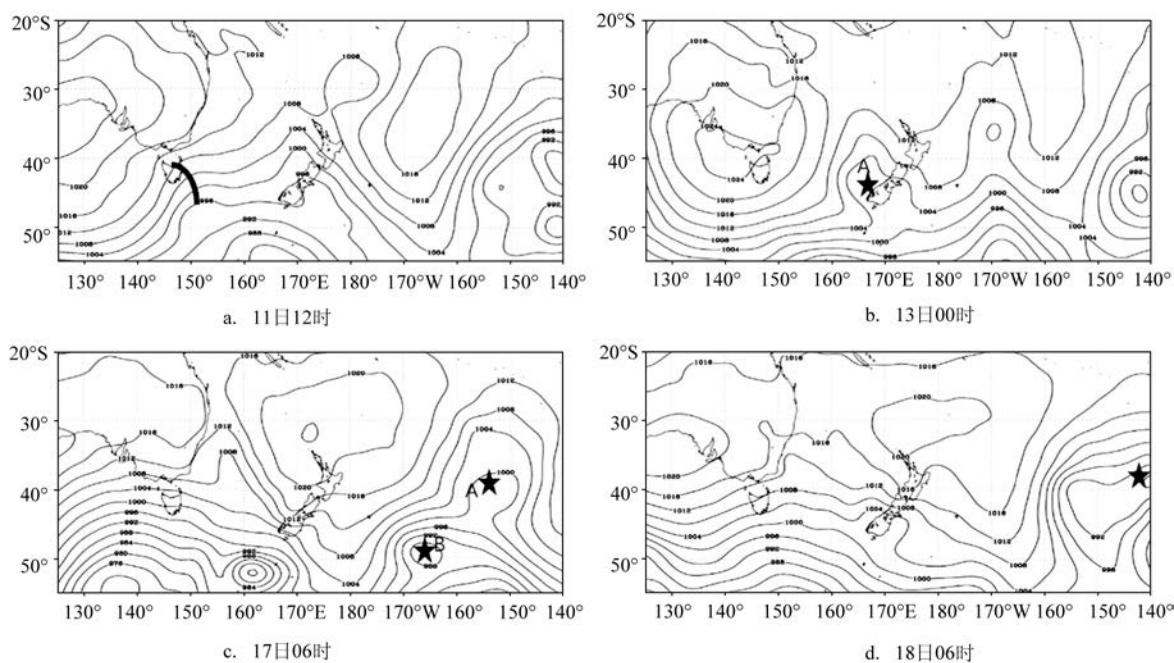


图4 2016年10月不同时刻海平面气压场(五角星为气旋中心位置)

为气旋A,图略),中心气压值996 hPa。13日00时气旋A移至新西兰西南部,受地形阻挡强度有所减弱(1 004 hPa,见图4b)。15日12时气旋A移动到新西兰以东洋面,中心气压再次加强(996 hPa,图

略),而后向东北方向缓慢移动,中心值减弱至1 000 hPa。此时,气旋A西南部绕极槽有北伸趋势,于17日06时在(165°W,50°S)附近形成一低压中心(气旋B,见图4c),中心气压值988 hPa。气旋

A转向东南移动,气旋B逐渐脱离南部绕极槽影响向东北移动。18日06时,A与B两个气旋合二为一(见图4d),中心值988 hPa,之后在140°W以东附近缓慢移动。21日,在西部高压挤压下气旋加速向东南移动,于22日12时移至50°S以南。

高低空形势分析发现,气旋A是绕极槽东移过程中在塔斯曼海北伸切断形成。气旋生成后,自西向东移动,期间受新西兰地形阻挡强度一度减弱,在大洋中部与另一气旋B合并后再次加强。气旋生成前温度槽落后于高空槽,地面槽位于高空槽前。减弱过程中,温度槽与高空槽、地面气旋中心与高空冷涡中心近乎重合。

4.2 卫星云图分析

在12日06时“葵花8”红外云图上(见图5a),澳

大利亚至塔斯曼海有一顺时针旋转的松散螺旋云系,其南北尺度约20个纬距,该云系与海平面气压场高压外围锋区相对应。同时在(50°S,160°W)附近有一与低压中心相对应的椭圆形涡旋云团。13日06时螺旋云系增亮变宽与南部涡旋云团连成一体(见图5b),近似呈逗点状,云系前部抵新西兰南部上空。15日18时逗点云系移至新西兰以东(见图5c),云带进一步变宽、变亮。16日低压在向东移动过程中开始减弱,云带发散、稀疏(见图5d),在35°S附近云带呈现南北断开的迹象。18日(40°S,155°W)另一涡旋云系B出现(见图5e),其南部与极地冷涡云系相接,东北部与螺旋云系A相连,云系A亮度增强。19日A、B中心分别南移、北抬至40°S两侧(见图5f),两个系统外围云系开始混合,海平面气压场上两个低压合并为一个中心,中心值984 hPa,整个

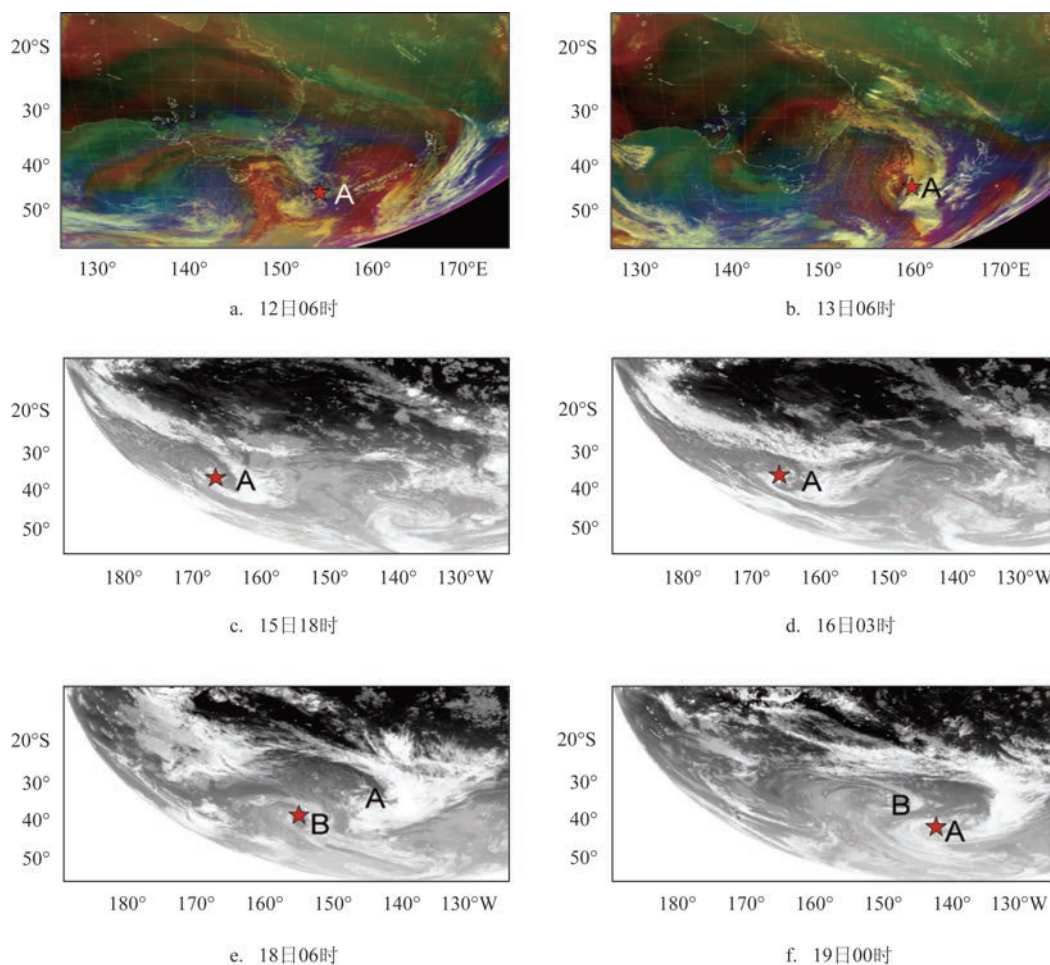


图5 2016年10月不同时刻红外卫星云图(图a—b为“葵花8号”卫星云图,c—f为GOES卫星云图,五角星对应地面气旋中心)

云系东西尺度超过40个经度。

4.3 动力学诊断

4.3.1 绝对涡度

选取气旋移动过程中的4个典型时刻(12日00时,15日12时,17日06时,19日00时),沿图6中实线位置分别做绝对涡度的垂直剖面(见图7)。

气旋A初生阶段(见图7a),槽线附近绝对涡度小于两侧,其上部700 hPa附近存在绝对涡度极小值区;绝对涡度大值区集中在槽线两侧(153.5°E、157.5°E)700~1 000 hPa范围内,最大值分别为 $-30 \times 10^{-5}/s$ 、 $-24 \times 10^{-5}/s$ (900~950 hPa),初生阶段槽线两侧大气低层旋转程度较强。气旋发展成熟时(见图7b),近气旋中心173°W附近800~1 000 hPa之间是

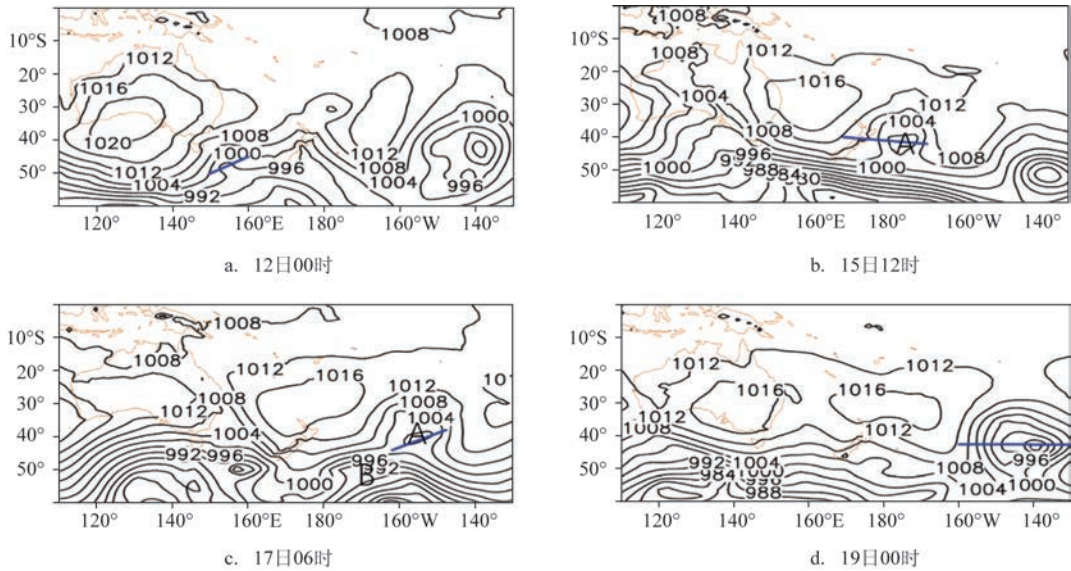


图6 2016年10月不同时刻海平面气压场

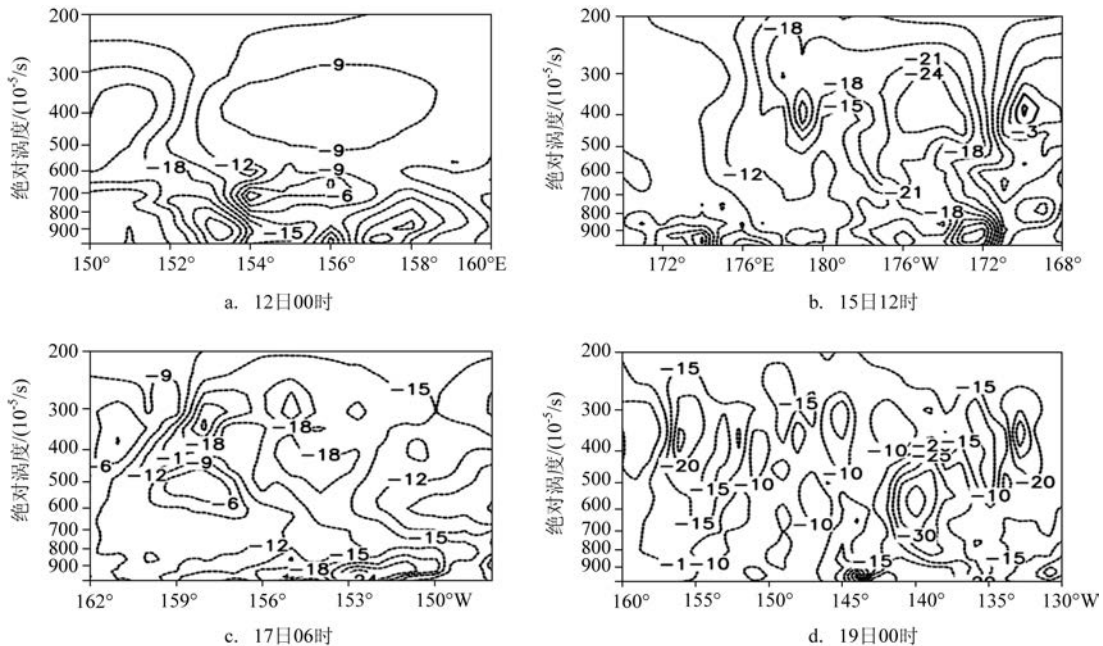


图7 2016年10月不同时刻绝对涡度垂直剖面

绝对涡度大值区,最大值 $-35 \times 10^{-5}/s$;500~700 hPa之间存在绝对涡度小值区域;178°E~169°W上空300~500 hPa之间存在3个大值中心,气旋成熟阶段近地面、高空两端旋转程度比较强。气旋B初生时(见图7c),气旋A中心附近自500 hPa以下出现绝对涡度小值区,其上出现绝对涡度大值区域,垂直轴线向近B一侧倾斜,气旋A东侧900 hPa以下存在绝对涡度大值区域。A、B两个气旋合并后(见图7d),中心附近(140°W)400~900 hPa、中心西侧900~1000 hPa、中心东侧300~500 hPa为绝对涡度大值区。

4.3.2 涡度平流和温度平流

根据Petterssen^[16]气旋发展公式,地面气旋的发展可用1 000 hPa涡度局地变化来表示:

$$\frac{\partial \zeta_{1000}}{\partial t} = -V \cdot \nabla (f + \zeta)_{500} - \frac{R}{f} \ln \frac{1\,000}{500} \times \nabla^2 \left[-V \cdot \nabla T + (\Gamma_a - \Gamma) \omega + \frac{\bar{Q}}{c_p} \right] \quad (1)$$

式中:右端分别为绝对涡度平流(500 hPa)、500~1 000 hPa热力项拉普拉斯,热力项包含了温度平流项、绝热项和非绝热加热项。熊秋芬等^[17]的研究指出,对未饱和的空气($\Gamma_a = \Gamma_d$),通常 $\Gamma < \Gamma_d$,当 $\omega < 0$ 时,在上升运动最强处, $-\nabla^2 [(\Gamma_d - \Gamma) \omega] < 0$, $\frac{\partial \zeta_{1000}}{\partial t} < 0$,该结论与准地转垂直运动方程中伴随暖平流的上升运动有利于气旋的发展相矛盾,因而绝热项的存在是该公式的先天缺陷。本文参考该研究的做法,仅考虑500 hPa绝对涡度平流及500~1 000 hPa温度平流的拉普拉斯对气旋发生发展的影响。

气旋初生时刻,槽后为正涡度平流(见图8a),局地涡度增加,槽前负涡度平流随时间逐渐减弱,地面气旋发展。13日00时高空槽过境新西兰,槽后正涡度平流略有减弱(图略)。15日12时,高空槽移至新西兰以东形成闭合低压,低压中心以北的槽两侧为正涡度平流,槽前为负涡度平流(见图8b)。17日06时,气旋A及气旋B初生槽后部均有正涡度平

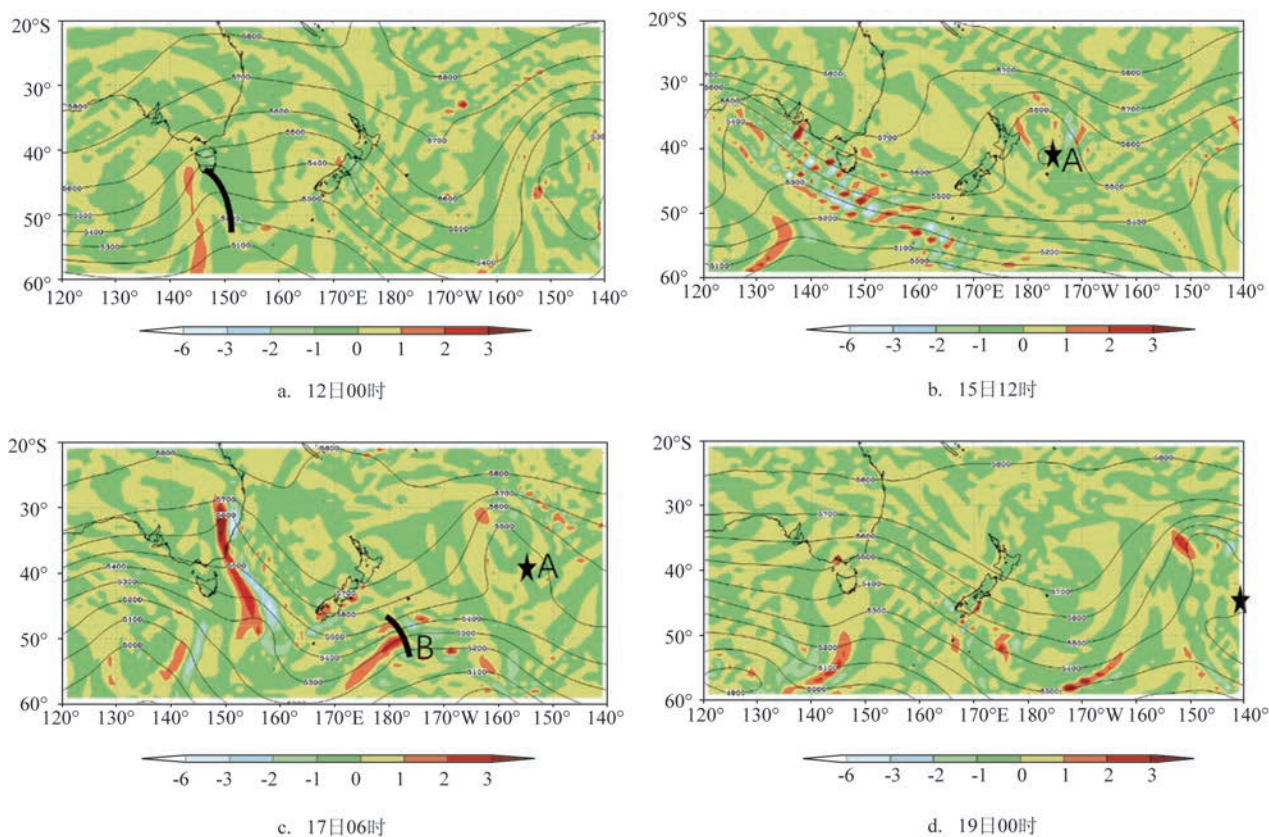


图8 2016年10月不同时刻500 hPa位势高度与绝对涡度平流(五角星代表地面气旋中心,实线代表位势高度,填色代表绝对涡度平流 $10^{-8}/s^2$)

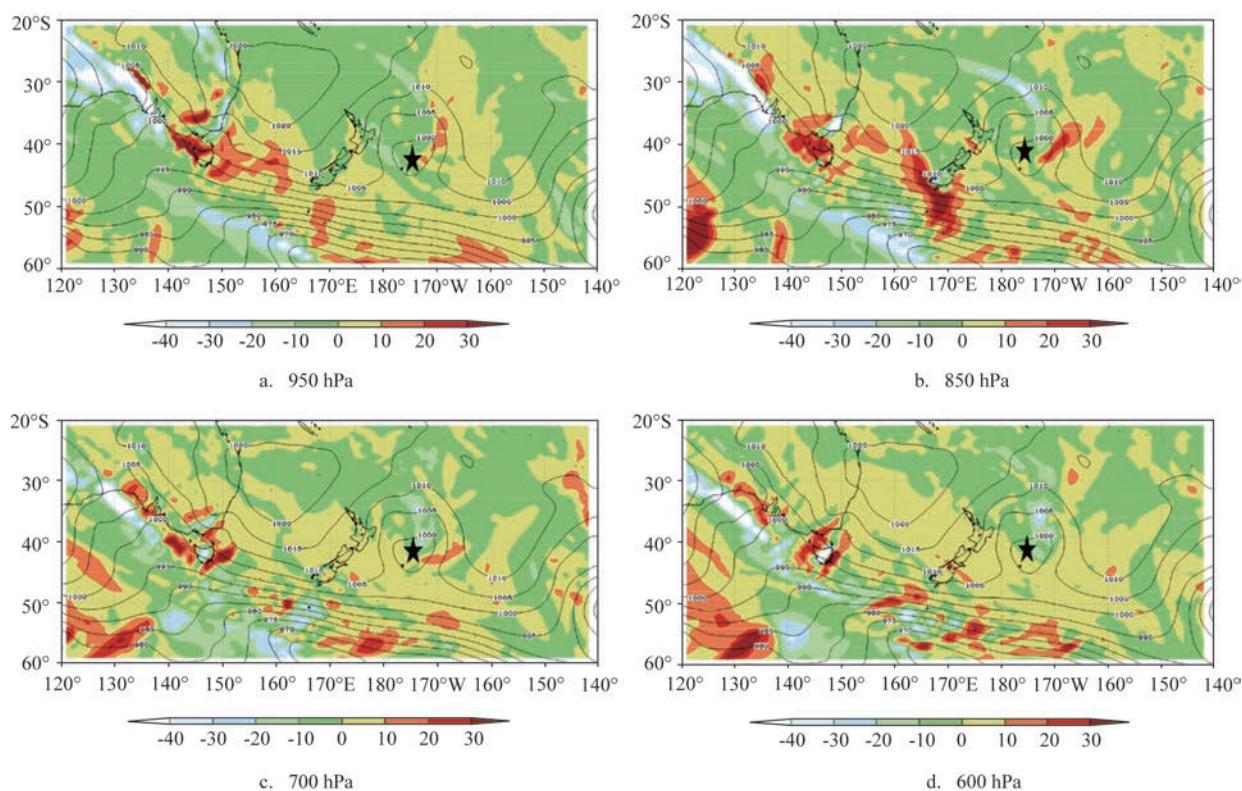


图9 2016年10月15日12时温度平流(实线代表海平面气压,填色代表温度平流)

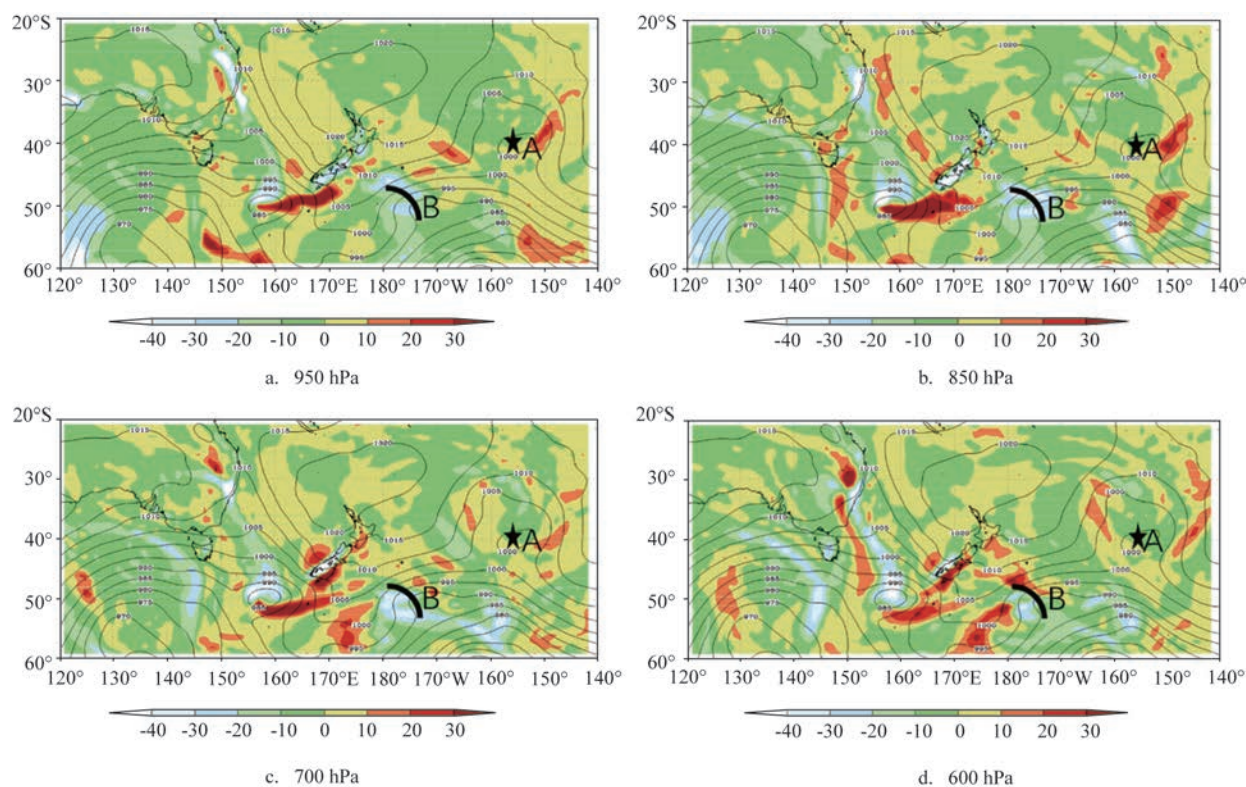


图10 2016年10月17日06时温度平流(实线代表海平面气压,填色代表温度平流)

流出现(见图8c)。在A、B移动过程中,气旋B中心附近一直有正涡度平流且强于气旋A,北侧发展强于南侧。19日00时,气旋A、B合并,气旋中心附近正涡度平流较弱,正涡度平流大值区集中在高空槽后。

分析15日12时温度平流发现,950 hPa气旋A东侧为大范围暖平流(见图9a),气旋A西侧和北侧为冷平流。850 hPa北部冷平流加强(见图9b),呈带状分布,最大绝对值介于 $20\sim 30(10^{-5} \text{ K/s})$,东部暖平流强度也有所增加,最大绝对值 $20\sim 30(10^{-5} \text{ K/s})$,由于暖平流随高度增强,等压面高度降低,气旋A发展。700 hPa气旋A北部冷平流区域变宽(见图9c),东部暖平流减弱,气旋A后部出现大范围暖平流。至600 hPa,气旋A前部暖平流极值区消失(见图9d)。

17日06时,950 hPa气旋A东侧、气旋B初生槽前部与A相接处均有大范围暖平流(见图10a),数值介于 $20\sim 30(10^{-5} \text{ K/s})$,槽附近有冷平流。与950 hPa相比,850 hPa气旋A前部暖平流增强、范围扩大(见图10b)。700 hPa气旋A前部暖平流有所减弱,槽附近冷平流加强,槽前出现较强的暖平流(见图10c)。600 hPa以上气旋A两侧、气旋B初生槽前均有较强的暖平流(见图10d)。东移过程中,气旋东部暖平流不断加强,至18日18时暖平流高度上升到500 hPa(图略),气旋发展加强。

5 结论

通过对2016年10月17—19日东南太平洋一例影响船舶航行的东南太平洋温带气旋的环流形势、云图特征的分析以及动力学诊断,得出以下结论:

(1)气旋A是绕极槽东移过程中在塔斯曼海北伸切断形成,东移过程中先后经历了塔斯曼海加强、过新西兰减弱、再次加强、东偏北稳定移动、与气旋B合并加强5个过程。气旋加强期间锋面云系变亮变宽,呈典型的逗点状,气旋减弱时云带发散断裂、纹理稀疏;

(2)气旋A初生阶段绝对涡度大值区域集中在槽线两侧700~1000 hPa范围内,大气低层旋转程度较强。成熟阶段近地面、大气上层旋转程度较强,500~700 hPa之间则存在绝对涡度小值区域。

气旋B初生发展时,气旋A中心附近自500 hPa以下为绝对涡度小值区,其上出现绝对涡度大值区域,垂直轴线向近B一侧倾斜;

(3)气旋A东移过程中在中心附近有正涡度平流(500 hPa),自700 hPa以下气旋前部有暖平流,二者共同促使气旋发展。850 hPa以上在气旋北部有冷平流切入,对气旋发展又有抑制作用。气旋B初生时槽前随高度增强的暖平流及500 hPa槽后正涡度平流促使气旋发展。

参考文献:

- [1] 朱帅, 马卫民. 西南太平洋温带气旋统计分析[J]. 海洋预报, 2001, 18(3): 45-52.
- [2] 张颖娴. 北半球温带气旋的气候学及其变率研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012: 1-12.
- [3] 丁一汇. 高等天气学[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2005: 150-193.
- [4] Zishka K M, Smith P J. The climatology of cyclones and anticyclones over North America and surrounding ocean environs for January and July, 1950-77[J]. Monthly Weather Review, 1980, 108(4): 387-401.
- [5] Reitan C H. Frequencies of cyclones and cyclogenesis for North America, 1950-1970[J]. Monthly Weather Review, 1974, 102(12): 861-868.
- [6] Wernli H, Schwierz C. Surface cyclones in the ERA-40 dataset (1958-2001). Part I: Novel identification method and global climatology[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2006, 63(10): 2486-2507.
- [7] 杨祖芳, 王文东. 南半球冬半年澳洲附近洋面上温带气旋的研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(1): 43-49.
- [8] 陈锦年, 乐肯堂, 贾传明, 等. 南半球气旋发生频数的变化及其与赤道东太平洋水温和南方涛动的关系[J]. 海洋学报, 2000, 22(3): 86-93.
- [9] Simmonds I, Murray R J. Southern extratropical cyclone behavior in ECMWF analyses during the FROST special observing periods [J]. Weather and Forecasting, 1999, 14(6): 878-891.
- [10] Lim E P, Simmonds I. Explosive cyclone development in the Southern Hemisphere and a comparison with Northern Hemisphere events[J]. Monthly Weather Review, 2002, 130(9): 2188-2209.
- [11] Orlanski I, Katzfey J, Menendez C, et al. Simulation of an extratropical cyclone in the Southern Hemisphere: Model sensitivity[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1991, 48(21): 2293-2312.
- [12] 傅刚, 郝燕, 刘娜, 等. 2004年11月南大洋上一对气旋的结构分析[J]. 海洋学报, 2007, 29(6): 15-22.
- [13] 张鹏, 郭强, 陈博洋, 等. 我国风云四号气象卫星与日本

- Himawari-8/9 卫星比较分析[J]. 气象科技进展, 2016, 6(1): 72-75.
- [14] 王萌, 郑伟, 李峰. Himawari-8 气象卫星黄海浒苔动态监测[J]. 应用气象学报, 2017, 28(6): 714-723.
- [15] 达成, 邹晓蕾. GOES 成像仪资料简介[J]. 气象科技进展, 2014, 4(4): 52-61.
- [16] Petterssen S. A general survey of factors influencing development at sea level[J]. *Journal of Meteorology*, 1955, 12(1): 36-42.
- [17] 熊秋芬, 张昕, 陶祖钰. 一次温带气旋涡度场演变特征及气旋发生发展机制分析[J]. 气象, 2016, 42(3): 294-304.

Analysis of an extratropical cyclone over the Southeast Pacific in 11—19 Oct 2016

LI Xiu-zhen¹, SONG Sheng-kai¹, GUO Wen-ming², ZHONG Jian¹, LI Bo³

(1. China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin 214431 China; 2. No.91876 Army of PLA, Qinhuangdao 066203 China; 3. Chengyang Meteorological Bureau, Qingdao 266100 China)

Abstract: The characteristic of an extratropical cyclone named A over the Southeast Pacific in 11—19 Oct 2016 is investigated using NCEP FNL data, HIMAWARI and GOES infrared satellite imagery. It is found that cyclone A developed from the polar trough and moved eastward. It merged with another cyclone named B in the middle of the south Pacific and affected the navigation of ships. A relatively high degree of rotation had been found in the lower atmosphere during the initial phase of cyclone A, while the rotation was stronger both at the lower and upper atmosphere in its mature phase. When cyclone B was developed, the absolute vorticity of cyclone A was small below 500 hPa and large above 500 hPa, and the vertical axis of absolute vorticity was inclined to cyclone B. The factors, which dominated the cyclonic development including the warm advection increased with altitude, and the positive vorticity advection after the trough and near the center of the cyclone.

Key words: southeast Pacific; extratropical cyclone; thermal advection term; vorticity advection term