

高辉,刘长征. 南半球冬季双西风急流及数值模拟 [J]. 大气科学学报, 2009, 32(3): 405-411.

南半球冬季双西风急流及数值模拟

高辉,刘长征

(中国气象局 国家气候中心,北京 100081)

摘要:基于 NCEP/NCAR 再分析资料研究了南半球冬季双西风急流现象,指出它发生在 600 ~ 100 hPa 的南太平洋上空,其中副热带急流中心位于 27.5°S,且在 200 hPa 层风速达到极大值;高纬度急流中心位于 60°S,风速随高度增加而增加。在此基础上,利用 IAP 9L AGCM (大气物理研究所 9 层大气环流模式)对双西风急流现象进行了数值模拟。结果表明,该模式很好地再现了双西风急流现象,并成功地模拟出副热带急流的位置、强度以及最大风速的垂直中心层次。对极区急流强度的模拟也比较接近实况,但位置偏南。但模式对 40~50°S 之间南太平洋风速极小值中心强度的模拟略低于再分析资料。此外,模式对平流层上层单急流位置的模拟与观测结果有较大差异。

关键词:南半球;双西风急流;IAP 9L AGCM

中图分类号: P448 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097(2009)03-0405-07

Double-Westerly Jet in the Austral Winter and Its Numerical Simulation

GAO Hui, LIU Chang-zheng

(National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: The double westerly jet (DWJ) in the austral winter is studied by using the NCEP/NCAR reanalysis data. Results show that the DWJ splits into two branches over the South Pacific from 600 hPa to 100 hPa, with the subtropical branch at 27.5°S and the polar counterpart at 60°S. The maximal speed value level of the former is at 200 hPa while the speed of the latter tends to increase with height with the maximum speed at above 100 hPa. Based on the observation, a nine-level atmospheric general circulation model developed in Institute of Atmospheric Physics (IAP 9L AGCM) is employed to simulate the DWJ. In general, the model is successful in simulating the position, strength and vertical structure of the subtropical westerly jet and the simulated polar westerly jet below 200 hPa is also realistic. On the other hand, the model fails to simulate the single westerly jet in the lower stratosphere.

Key words: Southern Hemisphere; double westerly jet; IAP 9L AGCM

0 引言

在南半球冬季(北半球夏季),热带外大气环流具有两个独特的特征。其一是普遍存在的准半年振荡现象,这一现象最早在 20 世纪 30 年代由 Reuter 揭示^[1],并由 Wahl^[2]加以验证。Schwerdtfeger^[3]将研究范围扩展到整个半球,发现南半球中、高纬度地区气压的准半年振荡是反位相的。其后的一些研究结果表明,南半球热带外半年波还存在于其他一些

变量之中,如温度场和降水场等^[4-5]。基于 1979 年之后的 NCEP/NCAR 再分析资料及谐波分析等方法,高辉等^[6]指出,绕极低压带和副热带高压带中心是南半球海平面气压场上准半年振荡最显著的区域,半年周期的方差贡献均在 70% 以上。热带外大气环流的另一特征为对流层中高层的双西风急流现象,也称为西风急流分裂^[7],具体表现为由夏至冬(相对于南半球)的季节转换过程中,南半球高纬度地区的西风急流分裂为两支,其中一支北跳至中纬

收稿日期: 2008-04-28; 改回日期: 2008-11-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40805027); 中科院知识创新项目(KZCX-SW-211)

作者简介: 高辉(1976—),男,江苏句容人,博士,副研究员,研究方向为东亚季风与短期气候预测, gaohui@cma.gov.cn

度地区(约 30°S 附近),强度不断增强,同时原先高纬度处的急流也开始向南移动。早期的研究^[8]结果表明,在南半球冬季 200 hPa 层,副热带西风急流位于 30°S,极地急流位于 50°S。但由于资料所限,上述研究主要限于 200 hPa,对双急流现象的认识尚不全面,尤其是其垂直结构。由于双西风急流强度和位置的异常将会直接影响到南半球风暴轴的纬向非对称性^[7],而双急流的分裂主要发生在北半球夏季,这就使双急流强度的异常直接影响到北半球大气环流的异常,因而有必要首先研究其分布特征和垂直结构。

在此基础上,利用大气物理研究所 9 层大气环流模式(IP 9L AGCM)对双急流现象进行模拟研究,以期对该现象的机理有更深入的认识。已有的研究^[6]表明,IP 9L AGCM 模式成功模拟了 65°S 处海平面气压场的准半年振荡现象,其振幅略低于观测结果;而模式对 40°S 纬度气压场准半年振荡的模拟效果较差。相比准半年振荡现象,南半球双西风急流更是目前大气环流模式模拟的难点之一。Xu 等^[9]比较了 4 个大气环流模式对南半球大气环流季节变化的模拟结果,发现没有一个模式能够模拟出双西风急流现象。目前日本气象研究所(MRI)的大气环流模式^[10]对该现象的模拟较好。因此,双西风急流的模拟水平是衡量模式模拟南半球大气环流能力的一个重要参考指标,对模式的改进也有重要意义。限于篇幅,本文仅从气候态角度考虑 IP 9L AGCM 对这一现象的模拟。

1 模式和资料简介

IP 9L AGCM 模式是一个包括对流层和平流层低层的全球格点模式,该模式水平方向采用均匀经纬度网格,格距为 $5^\circ \times 4^\circ$,垂直分辨率为 9 层^[11-13]。模拟结果表明,该模式对北半球冬、夏季海平面气压场各主要系统的模拟相当成功,模拟的 500 hPa 高度场与实测结果相当一致。另外,模式成功模拟出与实测结果相符的地表面气温水平分布、纬向平均的大气温度垂直分布,对水汽场和云量的大尺度特征也有很好的模拟能力。本文采用观测的海温和海冰分布作为模式的边界条件,积分时段为 1971 年 1 月—1980 年 12 月,并选取 10 a 气候平均的 6—8 月平均场进行分析。

取同期 NCEP/NCAR 逐月再分析资料集中的水平风场分析双西风急流的季节变化,资料水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。由于南极地区观测资料自 1968

年开始引入到资料同化系统中,1971 年之后月资料的可信度较高^[14]。

2 南半球双西风急流现象

图 1 分别为 1971—1980 年多年平均的 6—8 月 1 000、700、500、200、100 和 50 hPa 纬向风水平分布。在 1 000 hPa(图 1a),南半球冬季最大西风急流轴线在南太平洋地区明显向南伸展,具体表现为在 $0^\circ \sim 120^\circ \text{E}$ 之间,急流轴位于 $40^\circ \sim 50^\circ \text{S}$;在 $120^\circ \text{E} \sim 120^\circ \text{W}$ 之间,急流轴南退至 60°S 附近; 120°W 以东急流轴再次北跳到 50°S 附近,最大风速中心位于南印度洋。需要注意的是,在澳大利亚东南侧 4 m/s 的等风速线出现向南的弯曲,结合其他月份纬向风分布(图略)发现,这一弯曲首先出现在 6 月,并维持到 9 月,其后等风速线又与纬圈近似平行。在 1 000 hPa,无论冬、夏季, 30°S 以北纬向风均为东风。在 925 hPa 和 850 hPa 层(图略),高纬度西风风速强度有所加大,东西风交界纬度也北移,但急流仍位于南半球高纬度。在 700 hPa(图 1b),东西风交界继续北移至 20°S ,澳大利亚东南侧的等风速线继续向南伸展,形成了一个以新西兰为中心的低风速区,尽管这一低风速区东北侧的风速极大值达到 12 m/s ,但范围很小,就 700 hPa 层而言,这一强度仍难达到急流的标准。换言之,在 700 hPa 层以下无双西风急流。

在 600 hPa(图略),新西兰东北侧出现了 15 m/s 的风速极大值,且范围已西伸至 170°E 附近,可以认为在该层已经出现了双西风急流现象,但副热带急流的强度要弱于高纬度急流。在对流层中上层其他层次(500 hPa,图 1c),中纬度的风速高值区继续西伸并和 $0^\circ \sim 120^\circ \text{E}$ 间的主急流汇合,副热带急流的强度明显超过高纬度急流强度,并在 200 hPa(图 1d)达到最大值。但在 100 hPa(图 1e),这一形势又发生了变化,副热带急流的强度开始减弱,高纬度急流强度再次增强,预示着双急流现象开始消退。在 70 hPa(图略),副热带急流中心强度只有 15 m/s ,不及高纬度的一半。在 50 hPa(图 1f),中纬度等值线趋于平直,双急流现象彻底消失。因此,可以认为南半球的双西风急流现象主要出现在 $600 \sim 100 \text{ hPa}$,且集中在南太平洋上空,即在 $120^\circ \text{E} \sim 120^\circ \text{W}$ 之间。

图 2 为多年平均的逐层 6—8 月 $120^\circ \text{E} \sim 120^\circ \text{W}$ 平均纬向风。由图 2 可见,副热带西风急流主要位于 27.5°S ,中心位于 200 hPa;高纬度急流(极区急

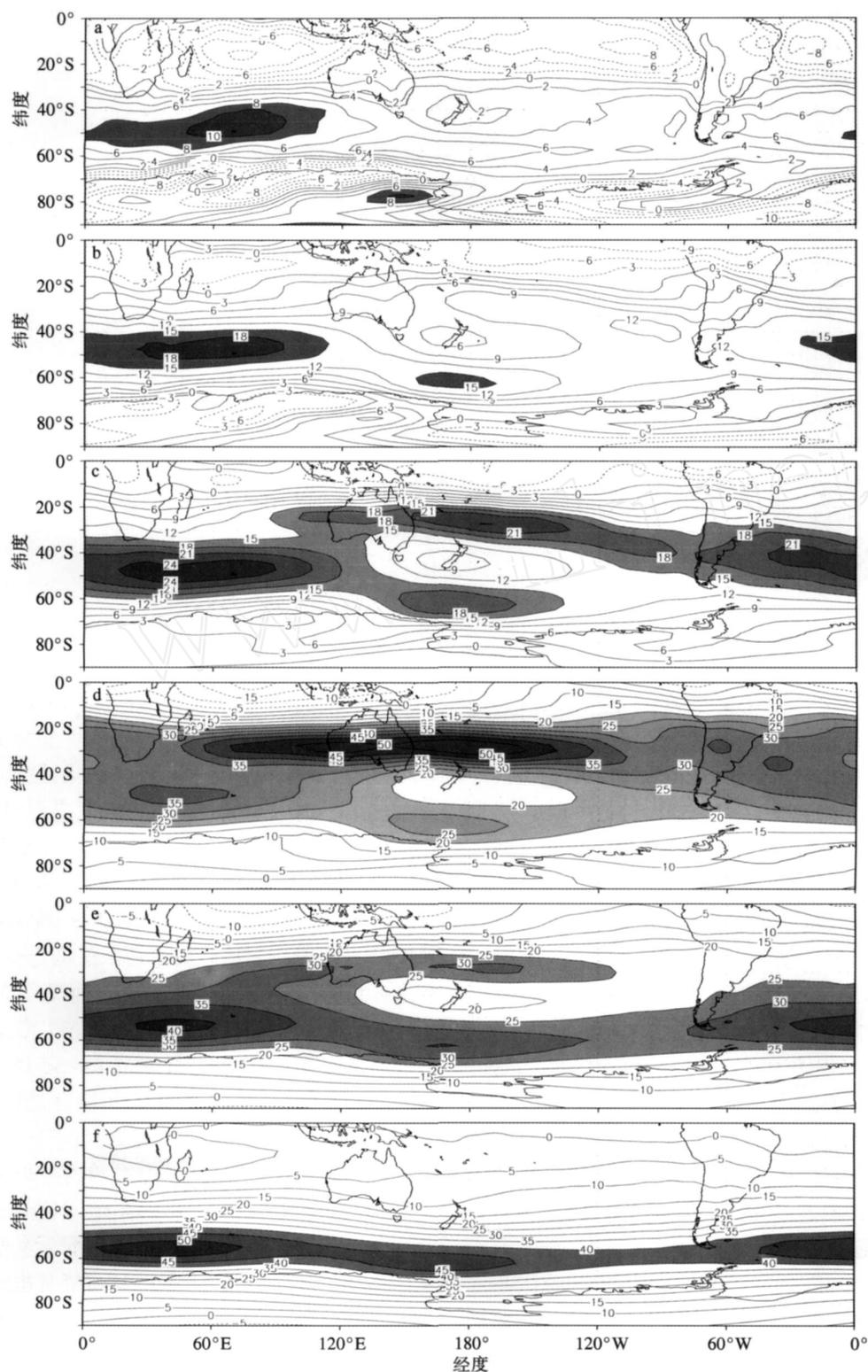


图 1 1971—1980年平均的 6—8月纬向风空间分布 (单位: m/s; 阴影区风速分别大于 8、15、15、20、25、40 m/s)

a 1 000 hPa; b 700 hPa; c 500 hPa; d 200 hPa; e 100 hPa; f 50 hPa

Fig 1 Spatial distributions of the zonal wind in austral winter in 1971—1980 in the NCEP/NCAR reanalysis data (units: m/s; speeds over 8, 15, 15, 20, 25 and 40 m/s in a-f are shaded, respectively)

a 1000 hPa; b 700 hPa; c 500 hPa; d 200 hPa; e 100 hPa; f 50 hPa

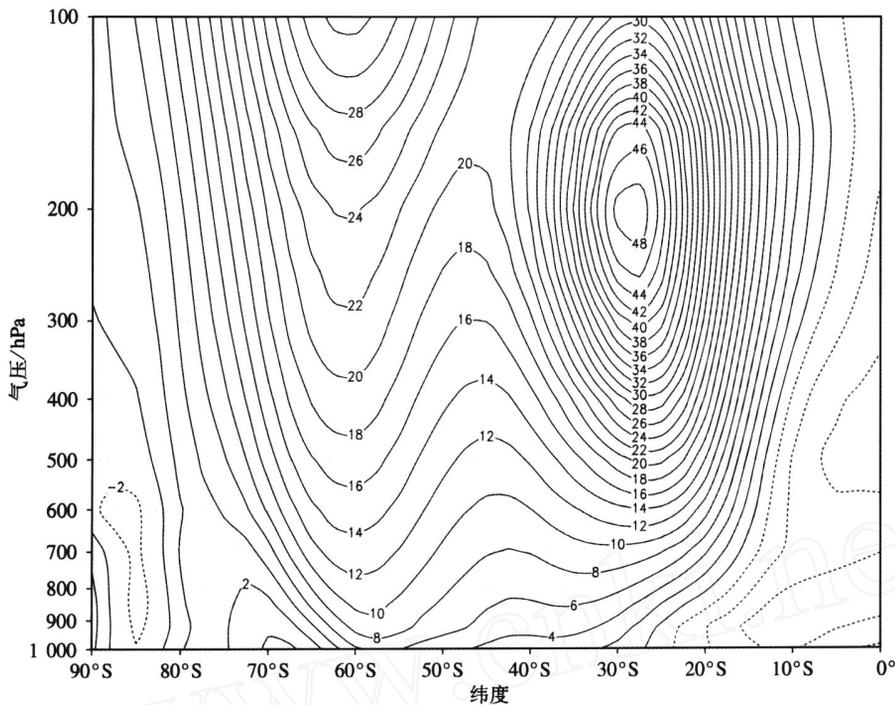


图 2 1971—1980年多年平均的 6—8月 120°E~120°W 平均的纬向风纬度—高度剖面 (单位: m/s)

Fig 2 Latitude-height cross section of the climatological zonal wind (m/s) averaged over 120°E—120°W in austral winter in 1971—1980 in the NCEP/NCAR reanalysis data

流)主要位于 60°S,其强度随高度增高而增强,40~50°S之间是风速极小值区。

3 模式模拟的南半球冬季双西风急流

图 3为模式模拟的多年平均的南半球冬季各层纬向风。由于模式垂直层数与 NCEP/NCAR再分析资料不一致,这里主要给出出现双西风急流的对流层中上层(分别为 725、575、425、285、165 和 75 hPa)的情况。由图 3可知,模式成功地模拟出了南太平洋上空的双西风急流现象。在 725 hPa(图 3a)的模式结果中,65°S附近的南太平洋上空出现超过 12 m/s 的西风极大值中心,和 NCEP/NCAR 资料的 700 hPa(图 1b)相比,经向位置很吻合,但强度略偏弱且位置略偏南,这可能和模式层次偏低有关。另外,模式很好地再现了该层 50°S附近南太平洋的风速极小值中心和 30°S的另一个西风极大值中心,但在 0°~120°E 范围内,西风风速的模拟结果要明显偏弱。

在 575 hPa(图 3b),南太平洋上空的副热带和极区都出现了风速超过 15 m/s 的急流中心,两个中心风速大小基本一致,与图 2中 600 hPa 的形势比较,结果基本可信,不足之处仍在于 50°S附近南印度洋上空风速模拟值偏低。在 425 hPa(图 3c),模

拟的副热带西风急流强度明显增强,中心值超过 27 m/s,这和图 2的结果非常相似。此外,该支急流的范围有明显的经向扩展,模拟的极区西风急流强度弱于副热带急流,中心值为 21 m/s,略高于 NCEP/NCAR再分析资料中 400 hPa 的对应值。在 285 hPa(图 3d),副热带急流的强度进一步加强,中心值达到 40 m/s,和图 2中 300 hPa 的结果相当接近。极区急流的强度也进一步增强,中心值达到了 25 m/s,略高于再分析资料的结果。在 165 hPa(图 3e),无论是副热带急流还是极区急流,模拟的强度与实况均非常吻合。

在 75 hPa(图 3f),模拟结果和再分析资料有相当大的差别,尽管在该层(NCEP/NCAR 资料取 70 hPa,图略)都为单西风急流,但前者表现为副热带急流,而后者急流位于极区,这可能与模式中平流层西风系统性偏大有关^[15]。另外该模式在平流层垂直分辨率较低(仅有 2层)可能也是一个重要原因。对于副热带急流与极区急流之间的缝隙处(40~50°S附近)的西风极小值,模式模拟的结果偏小。

图 4为多年平均的逐层南半球冬季 120°E~120°W 平均纬向风。对比图 2,图 4同样清晰地再现了对流层中上层南太平洋上空的双西风急流,其中副热带西风急流也位于 25°S,最大风速中心也位

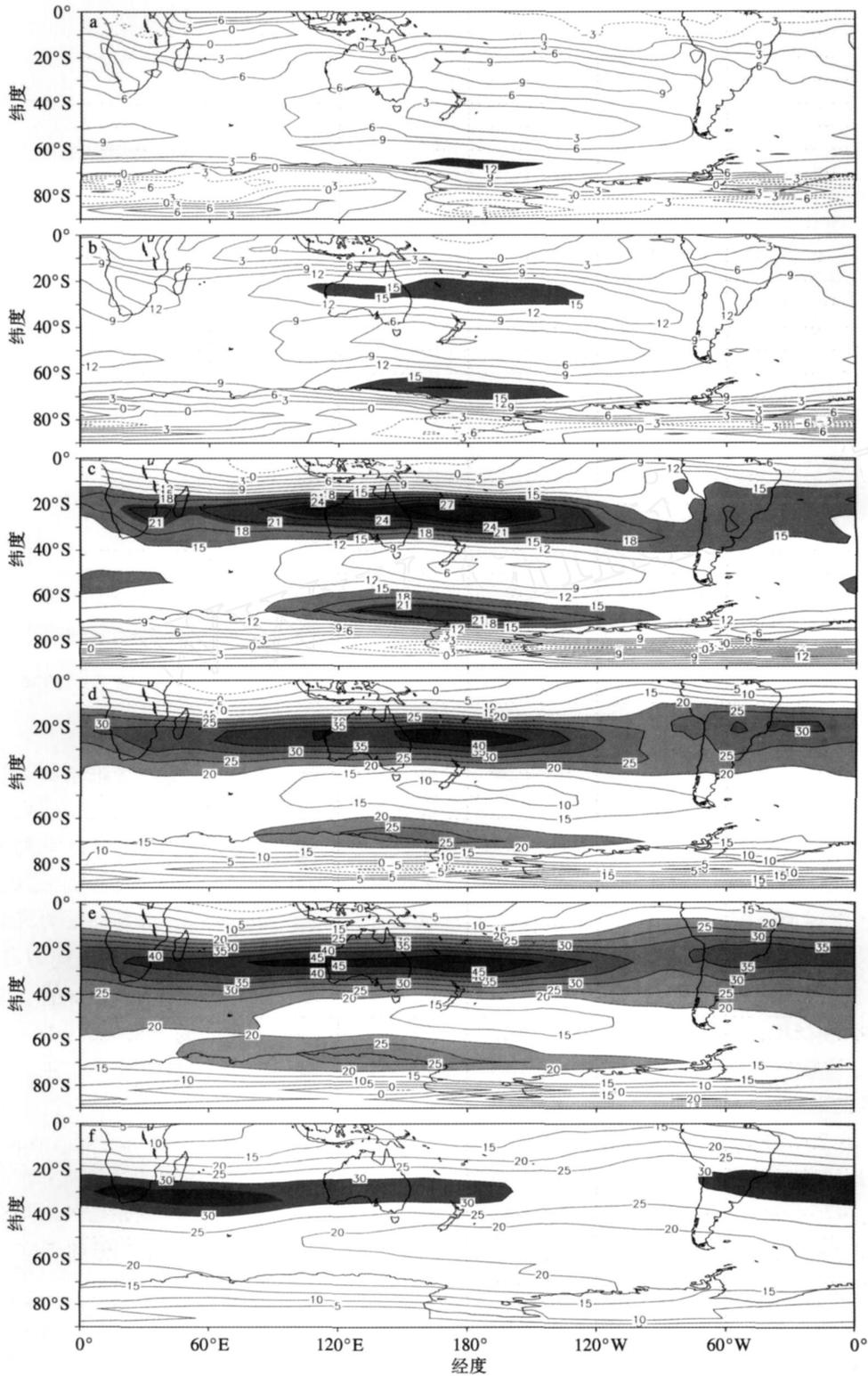


图 3 模拟的 1971—1980 年平均的 6—8 月纬向风空间分布 (单位: m/s; 阴影区风速分别大于 12、15、15、20、20、30 m/s)

a 725 hPa; b 575 hPa; c 425 hPa; d 285 hPa; e 165 hPa; f 75 hPa

Fig 3 Spatial distributions of the zonal wind in austral winter in 1971—1980 in the AP-9L-AGCM (units: m/s; speeds over 12, 15, 15, 20, 20 and 30 m/s in a-f are shaded, respectively)

a 725 hPa; b 575 hPa; c 425 hPa; d 285 hPa; e 165 hPa; f 75 hPa

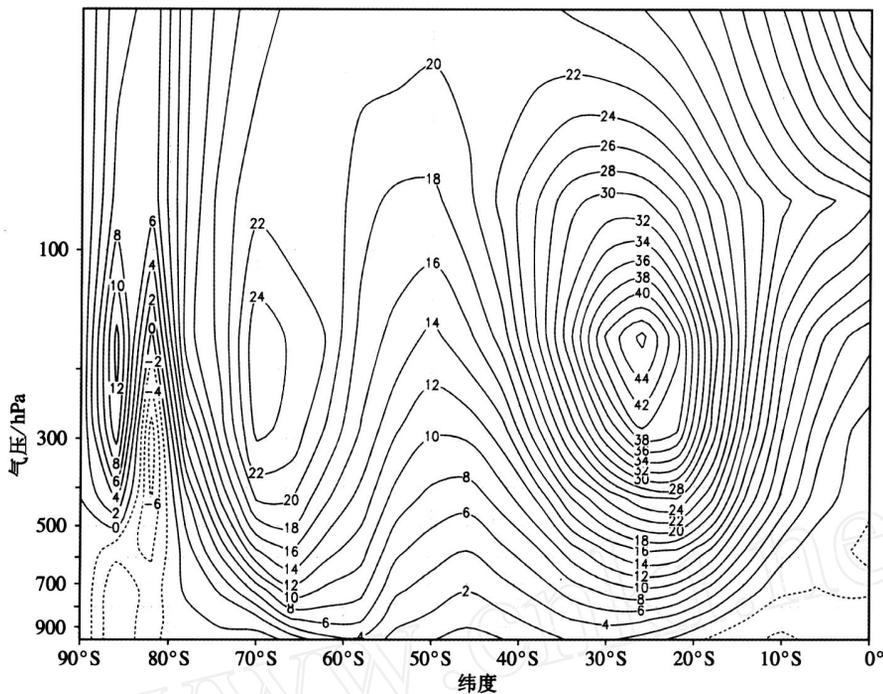


图 4 模拟 1971—1980 年平均的 6—8 月 120°E ~ 120°W 平均的纬向风纬度—高度剖面 (单位: m/s)

Fig 4 Latitude-height cross section of the climatological zonal wind (m/s) averaged over 120°E—120°W in austral winter in 1971—1980 in the AP-9L-AGCM

于 200 hPa 附近 (165 hPa)。模式模拟的极区急流主要位于 70°S, 比 NCEP/NCAR 再分析资料偏南, 未能模拟出其强度随高度增高而增强的特性, 风速垂直中心仍位于 200 hPa。模式模拟的 40~50°S 之间的风速极小值区风速强度也比再分析资料偏小。

4 结语

利用 NCEP/NCAR 再分析资料研究了南半球冬季的双西风急流现象, 这一现象主要发生在 600~100 hPa 的南太平洋上空, 其中副热带急流中心位于 27.5°S, 且在 200 hPa 层风速达到极大值; 高纬度急流中心位于 60°S, 风速随高度增加而增加。根据上述结果, 比较了 AP-9L-AGCM 模式对双西风急流位置和强度的模拟。结果表明, 模式很好地再现了这一双西风急流, 且成功地模拟出副热带急流的位置、强度以及最大风速的垂直中心层次。对极区急流强度的模拟结果比较接近实况, 但位置偏南。模式对 40~50°S 南太平洋风速极小值中心强度的模拟略低于再分析资料。另外, 模式对平流层上层单急流位置的模拟与再分析资料有很大出入。

早期的研究^[16]认为, 双西风急流的季节性发生及其位置与强度在很大程度上受澳大利亚大陆地表冷却效应以及源自南亚高压流入澳大利亚上空的越

赤道气流的影响。同时, 南半球阻塞活动也对其有重要作用^[17-21]。近年来, 大气环流模式有了长足的发展, 但目前国内利用模式对南半球双西风急流现象机理进行分析的研究并不多。前已指出, AP-9L-AGCM 模式无论对南半球准半年振荡现象或是双西风急流分裂现象均有较好的模拟能力, 这也为今后使用该模式对这一问题作进一步的研究提供了一定的可能。

参考文献:

- [1] Reuter E. Die synoptische Darstellung der halbjährigen Druckwelle [J]. Veröff Geophys, 1936, 7: 257-295.
- [2] Wahl E. Untersuchungen über den jährlichen Luftdruckgang [J]. Veröff Meteor, 1942, 4: 3-71.
- [3] Schwerdtfeger W. Die halbjährige Periode des meridionalen temperature gradienten in der troposphäre und des luftdrucks am boden in Südpolargebiet, ihre Erscheinungsform und Kausalen Zusammenhänge [J]. Beitr Phys Atmos, 1962, 35: 234-244.
- [4] Hsu C P F, Wallace J M. The global distribution of the annual and semiannual cycles in precipitation [J]. Mon Wea Rev, 1976, 104 (9): 1093-1101.
- [5] White G H, Wallace J M. The global distribution of the annual and semiannual cycles in surface temperature [J]. Mon Wea Rev, 1978, 106 (6): 901-905.
- [6] 高辉, 薛峰. 南半球热带外准半年振荡及 AP-9L-AGCM 模拟检

- 验 [J]. 应用气象学报, 2006, 17 (3): 266-272
- [7] Bals-Elsholz T M, Atallah E H, Bosart L F, et al The wintertime Southern Hemisphere split jet: Structure, variability, and evolution [J]. J Climate, 2001, 14 (21): 4191-4215.
- [8] Heastie H, Stephenson P M. Upper winds over the world, Parts and [J]. GeophysMem, 1960, 103 (13): 1-217.
- [9] Xu J S, von Storch H, van Loon H. The performance of four spectral GCMs in the Southern Hemisphere: The January and July climatology and the semiannual wave [J]. J Climate, 1990, 3 (1): 53-71.
- [10] Kitoh A, Yamazaki K, Tokioka T. The double-jet and semi-annual oscillations in the Southern Hemisphere simulated by the Meteorological Research Institute General Circulation Model [J]. J Meteor Soc Japan, 1990, 68 (1): 251-264.
- [11] Zhang XueHong Dynamical framework of IAP nine-level atmospheric model [J]. Adv Atmos Sci, 1990, 7 (1): 67-77.
- [12] 毕训强. IAP 9L AGCM 及气候模拟 [D]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 1993: 210.
- [13] Liang Xinzhong Description of a nine-level grid atmospheric general circulation model [J]. Adv Atmos Sci, 1996, 13 (3): 269-298.
- [14] Hines K M, Bromwich D H, Marshall G J. Artificial surface pressure trends in the NCEP-NCAR reanalysis over the southern ocean and Antarctica [J]. J Climate, 2000, 13 (22): 3940-3952.
- [15] Xue Feng, Bi Xunqiang, L in Yihua Modelling the global monsoon system by IAP 9L-AGCM [J]. Adv Atmos Sci, 2001, 18 (3): 404-412.
- [16] Taljaard J J. Synoptic meteorology of the Southern Hemisphere [M] // Newton C W. Meteorology of the Southern Hemisphere: Meteorological Monograph Boston: Amer Meteor Soc, 1972, 13 (35): 139-211.
- [17] Hurrell J W, van Loon H, Shea D J. The mean state of the troposphere [M] // David J K, Dayton G V. Meteorology of the Southern Hemisphere: Meteorological Monograph Boston: Amer Meteor Soc, 1999, 27 (49): 1-46.
- [18] Trenberth K E, Mo K C. Blocking in the Southern Hemisphere [J]. Mon Wea Rev, 1985, 113 (1): 3-21.
- [19] Mo K C, Pfaendner J, Kalnay E. A GCM study on the maintenance of the June 1982 blocking in the Southern Hemisphere [J]. J Atmos Sci, 1987, 44 (8): 1123-1142.
- [20] Trenberth K E. The signature of a blocking episode on the general circulation in the Southern Hemisphere [J]. J Atmos Sci, 1986, 43 (19): 2061-2069.
- [21] Trenberth K E. Storm tracks in the Southern Hemisphere [J]. J Atmos Sci, 1991, 48 (19): 2159-2178.

(责任编辑:马奋华)