

新一代格点大气环流模式与陆面生态模式 AVIM 的耦合研究

毛嘉富¹ 王 斌¹ 丹 利² 李银鹏²

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室, 北京 100029

摘 要 将陆面生态模式 AVIM(Atmosphere - Vegetation Interaction Model)的物理模块(PHY-AVIM)耦合到中国科学院大气物理研究所新一代格点大气环流模式 GAMIL(Grid - point Atmospheric Model)中, 替换 GAMIL 中的陆面模式 BATS。对两种方案 GAMIL+BATS(旧版本)和 GAMIL+(PHY-AVIM)(新版本), 分别独立进行 11 年积分, 取后 10 年的积分结果进行分析。结果发现: 新版本明显改进冬、夏季陆地表面的感热、潜热场通量, 尤其在夏季, 非洲大陆的中北部、欧亚大陆、北美中部以及南美北部等地区, 新版本的感热场模拟值均比旧版本低, 更接近 NCEP 再分析资料的结果; 同样, 对于地表面温度场, 新版本在夏季明显地减弱了旧版本在大陆上的暖偏差, 模拟的结果更合理; 新版本对冬、夏季的海平面气压场、降水场也有一定的改进, 但改进不是很明显。以上的所有改进主要是由于 AVIM 引入了更细致的陆面物理过程参数化方案, 以及使用了分辨率($0.5^\circ \times 0.5^\circ$)更高的陆地植被分类资料。

关键词 陆面过程模式 生态模式 气候模拟 耦合

文章编号 1006 - 9895(2005)06 - 0897 - 14

中图分类号 P461

文献标识码 A

Coupling of an Atmosphere - Vegetation Interaction Model (AVIM) to a New Generation Grid Point Atmospheric General Circulation Model

MAO Jia-Fu¹, WANG Bin¹, DAN Li², and LI Yin-Peng²

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Key Laboratory of Regional Climate - Environment Research for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

Abstract The physical module of an atmosphere - vegetation interaction model (PHY-AVIM) has been coupled with GAMIL, a new generation grid-point atmospheric model of Institute of Atmospheric Physics/State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (IAP/LASG), to simulate global climatic mean states. The old version named GAMIL + BATS and the new version named GAMIL + (PHY-AVIM) have been integrated for eleven years independently. Comparing the two last-ten year means of outputs with NCEP reanalysis and the Xie-Arkin precipitation data, the new version improves the sensible heat fluxes, the latent heat fluxes and the surface temperature on the land significantly. In July, it greatly reduces the high simulation val-

收稿日期 2004 - 04 - 06, 2005 - 03 - 23 收修定稿

基金项目 国家自然科学基金创新群体项目 40221503, 中国科学院百人计划项目“新一代高分辨率大气环流模式的设计及其伴随同化系统的建立”, 国家重点基础研究发展规划项目 G1999032801

作者简介 毛嘉富, 男, 1979 年出生, 博士研究生, 主要从事陆地生态系统和气候系统相互作用的模拟研究以及动态全球植被模型的发展、应用。E-mail: maojiafu@mail. iap. ac. cn

ues of sensible heat fluxes in the old version in the middle and the north of Africa, in Eurasia, in the middle of North America and in the north of South America, and the simulation of the new version is nearer to the NCEP reanalysis than the old one. With the improved albedo on the land surface, the new version reduces the summer warm bias of land surface air temperature in the old version, which results in the improvement of the sea surface pressure in some regions. But the simulations of the land surface air temperature in these two versions are both higher around the poles in January, and around the South Pole in July, than the result of the NCEP reanalysis. The simulated low albedo on the snow cover and the treatment of the dynamic core of the grid-point atmospheric model around the poles may contribute to these differences. In the high latitudes of Asia, the sea surface pressure of the new version is about 5 hPa higher than the NCEP reanalysis in June. The simulated ice and snow cover, which can reduce the simulation of temperature in this region, may account for the difference. In summer, the simulations of the rainfall in these two versions are higher than the Xie-Arkin precipitation in the Bay of Bengal. Although the new version improves the simulation of precipitation in the eastern Pacific near the equator, these two versions have the similar distributions of the global precipitation. These improvements in the new version are primarily caused by improved parameterizations in AVIM and the new high resolution vegetation data ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) from Dorman & Sellers, which are also contributed to the improvement in surface air temperature simulation over some regions. Compared with other work, the AVIM ecosystem model is firstly incorporated into a grid-point atmospheric model. The stability and the ability of the simulation of such model have been validated. Based on these work, the vegetation dynamic module in the AVIM (PLT-AVIM) will be coupled at a later time to get the distribution of the global biome related output. The vegetation dynamics and the interaction between the ecosystem and the atmosphere will be showed globally. To improve the simulation of the coupled model greatly, some improvements on the design of the grid-point dynamic core of the atmosphere around the poles, the process of the snow cover and the classification of the global vegetation and soil texture will have to be made.

Key words land surface model, ecosystem model, climate simulation, coupling

1 引言

20 世纪 50 年代, Budyko^[1]率先用简单的陆面参数化过程描述陆地和大气之间的相互作用, 考虑了陆地表面的蒸发和径流过程, 但没有加入植被的影响。随后, Manabe^[2]和 Deardorff^[3]结合 Budyko 的工作^[1], 首次在 GCM (Global Climate Model) 中引入了陆面的水动力过程, 提出了“BUCKET”模型。20 世纪 80 年代以来, 以 Dickinson 等^[4]的 BATS (Biosphere - Atmosphere Transfer Scheme) 模型和 Sellers 等^[5]的 SIB (Simple Biosphere Model) 模型为代表的 SVATS (Soil - Vegetation - Atmosphere Transfer Schemes) 方案, 考虑了植被层, 能够研究生物物理过程对感热、潜热交换和蒸腾、蒸发的作用, 使土壤-植被-大气间的能量和水分平衡的计算更合理。与此同时, 季劲钧等^[6]发展了一个用于气候研究的简单陆面物理模型 LPM (Land Process Model)。随后, 由于人们对全球变化的普遍关注, 为了解释温室气体的排放和 CO₂ 源汇问题, 又出现了一系列生物地球化学循环模式, 如 CENTURY (Century Ecosystem Model) 模型^[7]、

LPJ (Lund-Potsdam-Jena) 模型^[8]等。季劲钧^[9]改进 LPM 并加入了较细致的植被生理模块, 发展成陆面生态模式 AVIM (Atmosphere - Vegetation Interaction Model)。丹利等^[10, 11]将此模式引入到中国科学院大气物理研究所新一代谱模式^[12]中, 实现了大气环流谱模式与 AVIM 的双向耦合并取得了较好的模拟效果。本文关闭 AVIM 的生物生理模块, 即固定叶面积指数 (LAI) 和植被覆盖度 (CIF) 等生物变量, 用 AVIM 的物理模块替换掉原先 GAMIL (Grid-point Atmospheric Model) 中参数化过程相对简单的 BATS 模式, 为完全开放 AVIM 的生理生态部分 (PLT-AVIM) 与格点大气环流模式的完全双向耦合打下基础。本文首次实现了 AVIM 陆面过程的物理部分与格点大气环流模式的耦合, 并且在程序上实现了水平、垂直方向分辨率的灵活可调功能, 方便了各种数值试验的开展。

2 模式以及耦合过程简介

2.1 AVIM 陆面生态模式简介

AVIM 是能够模拟土壤-植被-大气间的物理和生态过程的中等复杂程度的陆面模型^[9], 它包括物

理交换子模块 (PHY)、植被生理生长子模块 (PLT)以及植被动力学过程(DYN)和一个雪盖模块^[13],模式在垂直方向有一层植被层、三层土壤层。该模式在不同的地区、不同的植被类型中^[14, 15]均能很好地模拟出局地、区域尺度上的陆面物理和植被生态过程,也能较好地模拟全球陆地生态系统的净初级生产力的纬向分布和区域分布的差异,以及中国净初级生产力的分布^[16]。丹利等^[10, 11]利用 AVIM 与中国科学院大气物理研究所新一代谱模式的耦合模式,对全球气象要素场、全球陆地生态系统的碳通量等给出了较好的模拟结果。

AVIM 采用的是物候-生理结构的分类方法,将陆地生态系统分为 13 类,这种分类方法主要考虑了植被地理和气候因素,特别是生物群区的水平,各种植被类型见表 1。

表 1 全球植被分类

Table 1 The classification of global vegetation

标号 Number	类型 Type
1	热带雨林 Tropical forest
2	落叶阔叶林 Deciduous broadleaf forest
3	混交林 Mixed forest
4	常绿针叶林 Evergreen needleleaf
5	落叶针叶林 Deciduous needleleaf
6	有地被层的阔叶林 Broad-leaf forest with grass
7	地表植被(草地) Grass
8	有地被层的阔叶灌丛 Broad-leaf shrub with grass
9	有裸土的灌丛 Shrub with bare soil
10	有地被层的矮林(冻原) Tundra
11	裸土 Bare soil
12	作物 Crop
13	冰 Ice
0	水 Water

表 2 全球土壤质地分类

Table 2 The classification of global soil texture

标号 Number	土壤质地 Soil texture
1	沙土 Sand
2	沙壤土 Sandy loam
3	壤土 Loam
4	粘壤土 Clay loam
5	粘土 Clay
6	有机土 Organic soil
0	冰和海洋 Ice and sea

本文使用的植被资料是 Dorman 等^[17]采用的 $0.5^{\circ}\times0.5^{\circ}$ 经纬度网格资料,土壤质地采用 NASA 的分类方法,按土壤中粘土、壤土和沙土所占的比例划分为 6 类(表 2)。土壤颜色分类仍采用原模式中 BATS 的方案。

2.2 全球格点大气环流模式 GAMIL 简介

GAMIL 是基于中国科学院大气物理研究所 LASG (State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics)新的格点动力框架与引进国外模式的物理过程建立起来的新一代格点大气环流模式。该模式共有两个版本:GAMIL-A 与 GAMIL-B。A 版采用的是美国大气科学研究中心(NCAR)CAM (Community Atmosphere Model)的物理过程,而 B 版本主要采用美国夏威夷大学国际太平洋研究中心(IPRC)区域气候模式的物理过程和部分 NCAR CAM 的物理过程。本文采用的是 GAMIL-B(简称 GAMIL)。模式的垂直方向分 26 层,水平方向为 $4^{\circ}\times4.5^{\circ}$ 经纬度网格。新框架采用显示完全平方守恒格式^[18]和等面积网格剖分^[19],具有忽略强迫与耗散项,在标准层结近似下能够严格保持能量守恒等一系列优良性能^[20]。模式的物理部分主要采用 IPRC (International Pacific Research Center)区域气候模式的大部分物理过程,包括显式云方案、干对流、改进的辐射方案以及 NCAR CAM 的部分物理过程(如重力波拖曳等)。陆面过程采用的是改进的 BATS (Bi-sphere – Atmosphere Transfer Scheme)方案^[21]。

2.3 耦合过程简介

本文是实现 AVIM 完全耦合到格点大气环流模式中的第一步,即在耦合过程中仅放开 AVIM 的生物物理模块 PHY-AVIM,对叶面积指数(LAI)和植被覆盖度(CIF)等生物变量暂取固定值。称本文替换之前的模式 GAMIL + BATS 为旧版本,替换之后的模式 GAMIL + (PHY-AVIM)为新版本。新、旧版本除陆面部分不同外,其他部分均采用相同的过程。模式中采用 1979 年至今的月平均海平面温度(SST)强迫场,积分时间步长为 1 小时。新、旧版本都能够在水平、垂直方向灵活调节分辨率,为方便比较,本文的水平分辨率都采用 $4^{\circ}\times4.5^{\circ}$ 经纬度网格,垂直方向都取为 26 层。新、旧版本分别积分 11 年,取后 10 年的结果与 NCEP 再分析资料(1979~2002 年)以及 Xie 和 Arkin^[22]

(1990~1999 年)10 年月平均降水资料进行比较。与文献[23]相似,本文仅重点分析部分地面场的模拟结果,如陆地表面的感热、潜热场、地面气温场及海平面气压场和降水场等。

3 模式结果比较

3.1 陆地上的感热、潜热场

1 月份(图 1 a、c、e),在非洲大陆、澳洲、南美洲大部,模式旧版本感热均偏高,最高值在南美西南部,高达 $140 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,而模式新版本减弱了这种偏差,更接近 NCEP 再分析资料值。同样,在 7 月份(图 1 b、d、f),模式旧版本在整个非洲、欧亚大陆,以及北美中部、南美北部,感热值整体偏高,而模式新版本则更接近 NCEP 再分析资料结果。模式旧版本在 1、7 月的大部分地区模拟的感热值偏高,这可能是由于此版本的 BATS 模式对冠层以上的空气阻抗(R_a)处理偏低造成的。1 月份的陆地潜热场(图 2 a、c、e),旧版本在赤道非洲大陆、南美洲西北部的大部分地区,比新版本和 NCEP 再分析资料值都偏低,新版本则模拟得更合理,然而,两模式在北半球中高纬陆地上的潜热模拟值都较 NCEP 再分析资料值偏低,这可能与模式中雪盖的处理有关。7 月份(图 2 b、d、f),新版本在南美大陆的北部以及南半球的澳洲潜热场都模拟得更理想,而旧版本在东亚地区较新版本更接近 NCEP 再分析资料。

3.2 表面温度场

除两极外,新、旧版本对地面气温场都能较好地进行模拟。1 月份(图 3 a、c、e),非洲中部撒哈拉地区、南美洲大部,新版本地表温度比旧版本偏低,更接近 NCEP 再分析资料值,而旧版本在上述地区由于地表温度偏高,与之伴随的是较高的感热值和相对较低的潜热值(图 1 a、c、e,图 2 a、c、e)。同样,新版本的温度模拟值在北美北部大部分地区比旧版本的模拟值偏低,减弱了此处的暖偏差,较旧版本与 NCEP 资料更接近。1 月份,两模式在欧亚大陆北部的表面温度比 NCEP 资料均偏低,新版本则更低一些;在整个北极附近新版本的地表面温度模拟值虽然比旧版本的模拟值偏低,但两版本的地表温度都比 NCEP 资料偏高,这可能是由于模式

中对雪盖的反照率处理偏低造成的。从 1 月份[图 5a(见文后彩图)]地表温度场的纬向平均来看,新、旧版本除两极附近偏高以外,其他纬度带与 NCEP 资料分布非常接近,旧版本在 Antarctic 地区偏差相对更小一些。7 月份(图 3 b、d、f),旧版本在非洲大部分地区、欧亚大陆中北部、北美西北部、南美大陆北部等大部分地区温度偏高,伴随的是旧版本在这些地区具有较高的感热和相对低的潜热值(图 1 b、d、f,图 2 b、d、f),而新版本则在这些地区减小了旧版本的暖偏差,更接近 NCEP 再分析资料值。此外,新版本在东亚地区减小了旧版本在此处的冷偏差,与 NCEP 再分析资料比较接近。在 Antarctic 大陆,新、旧版本的地表温度都比 NCEP 资料偏高,这可能与模式中冰盖的反照率模拟偏低有关。从 7 月份[图 5b(见文后彩图)]地表温度场的纬向平均来看,除了 Antarctic 地区,新、旧版本在全球其他地区的纬向分布与 NCEP 再分析资料比较接近。总之,新版本在强度和范围上对全球地面气温场的改进,是由于 AVIM 引入了较细致的陆面过程,包括使用分辨率更高的陆地植被分类资料($0.5^\circ \times 0.5^\circ$),使得反照率的处理较为合理。但是,新、旧版本在两极的模拟都不是很理想,这正如罗勇等^①所指出的:大多数陆面模式对湿润区、植被分布均匀的地区模拟较好,而对雪盖、冻土、沙漠、稀疏植被及分布不均匀的下垫面的模拟仍有很大缺陷,还需在这方面加强研究。

3.3 海平面气压场

与 NCEP 再分析资料相比,模式新、旧版本对冬、夏季海平面气压场的环流形式模拟得比较好。1 月份(图 6 a、c、e)新版本能够模拟出亚洲大陆上的蒙古冷高压,但中心值高达 1040 hPa,比 NCEP 再分析资料 1030 hPa 高出 10 hPa,而且模拟的范围偏北,这与在亚洲大陆上新版本所模拟的地表温度偏低相对应(图 4)。对阿留申低压的位置模拟得比较好,位于北太平洋北部,但中心值偏高,比 NCEP 再分析资料偏高 5 hPa。北美高压、冰岛低压也都被模拟出来了,同样,此两处的模拟值均偏高 5 hPa。南半球的太平洋、大西洋和印度洋的三个高压中心位置与 NCEP 再分析资料对应得较好,但中心值都偏低,新版本气压场的模拟值还在 Antarctic

① 罗勇,王绍武,党鸿雁,等. 近 20 年来气候模式的发展与模式比较计划. 中国气象局气候研究开放实验室论文汇编,第 5 卷,2003

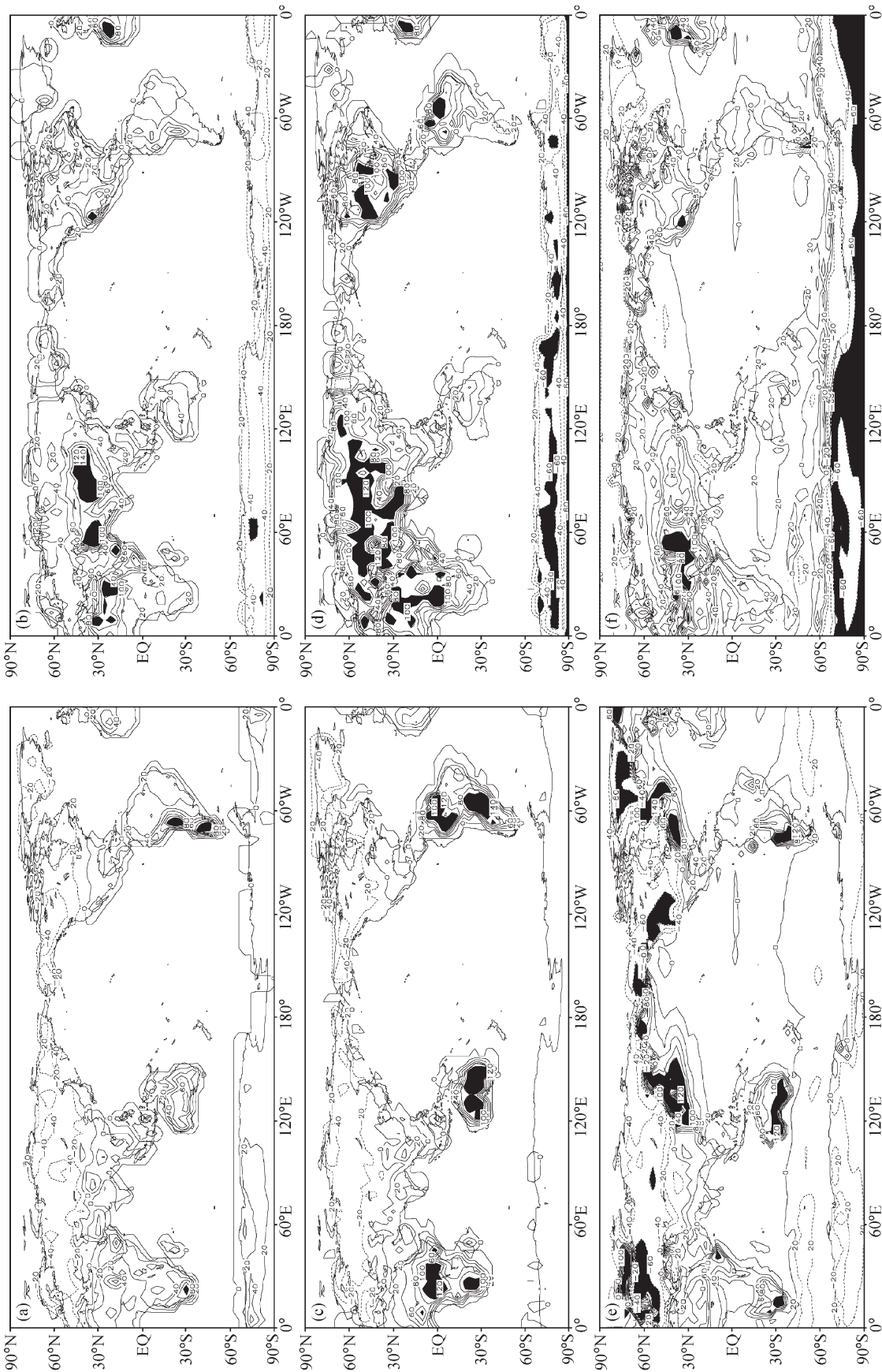


图1 1月(a, c, e)和7月(b, d, f)陆地表面感热通量(单位: $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$): (a, b) 新版模式; (c, d) 旧版模式; (e, f) NCEP 再分析。阴影: 小于 $-60\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 或大于 $100\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

Fig. 1 The surface sensible heat fluxes (units: $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) in Jan (a, c, e) and Jul (b, d, f): (a, b) New model; (c, d) old model; (e, f) NCEP reanalyze. Shadings: $<-60\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ or $>100\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

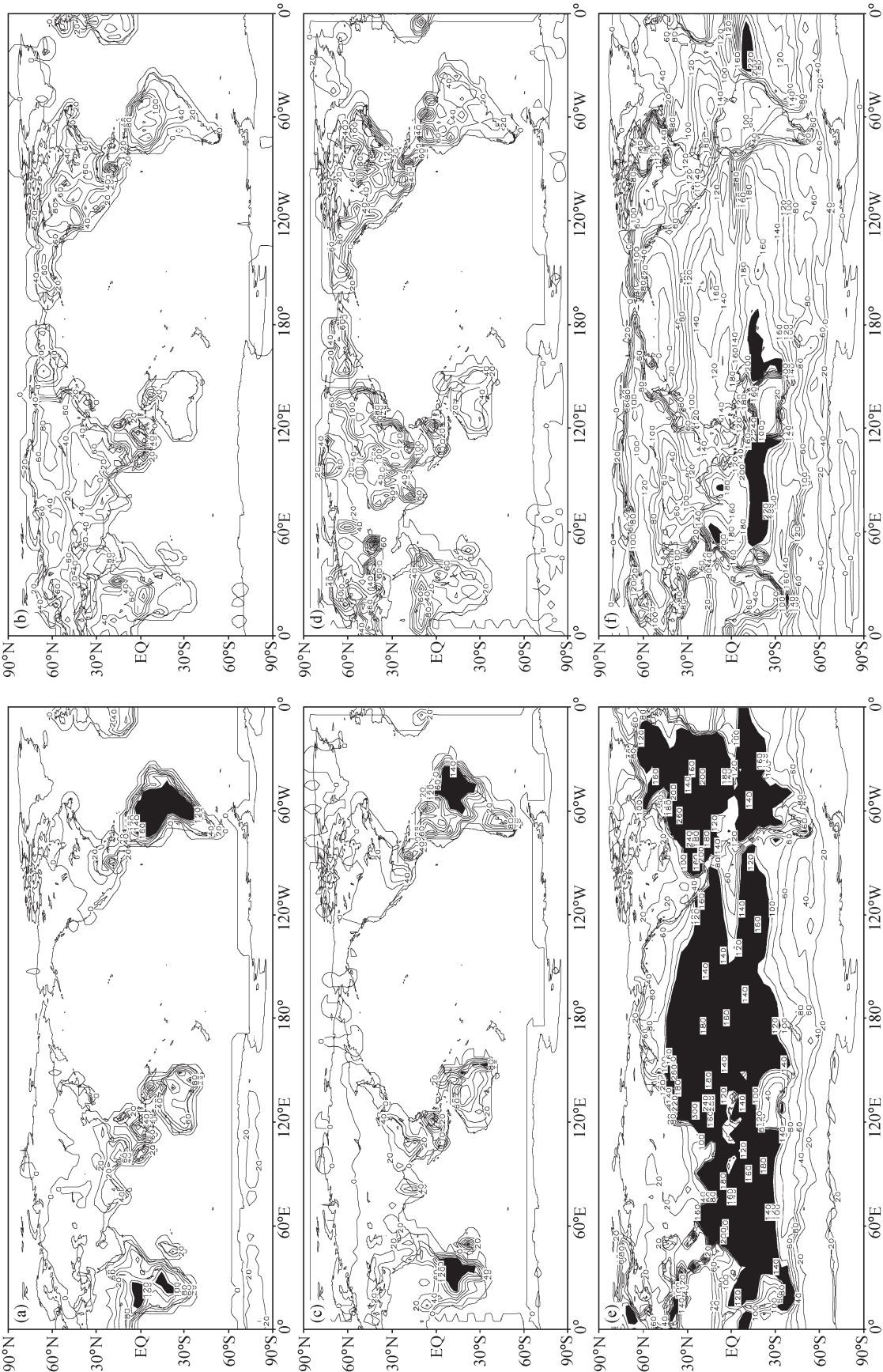


图 2 同图 1, 但为 1 月 (a, c, e) 和 7 月 (b, d, f) 陆地表面潜热通量。阴影: 大于 110 W·m⁻²
Fig. 2 Same as Fig. 1, but for the surface latent heat fluxes in Jan (a, c, e) and Jul (b, d, f). Shadings: >110 W·m⁻²

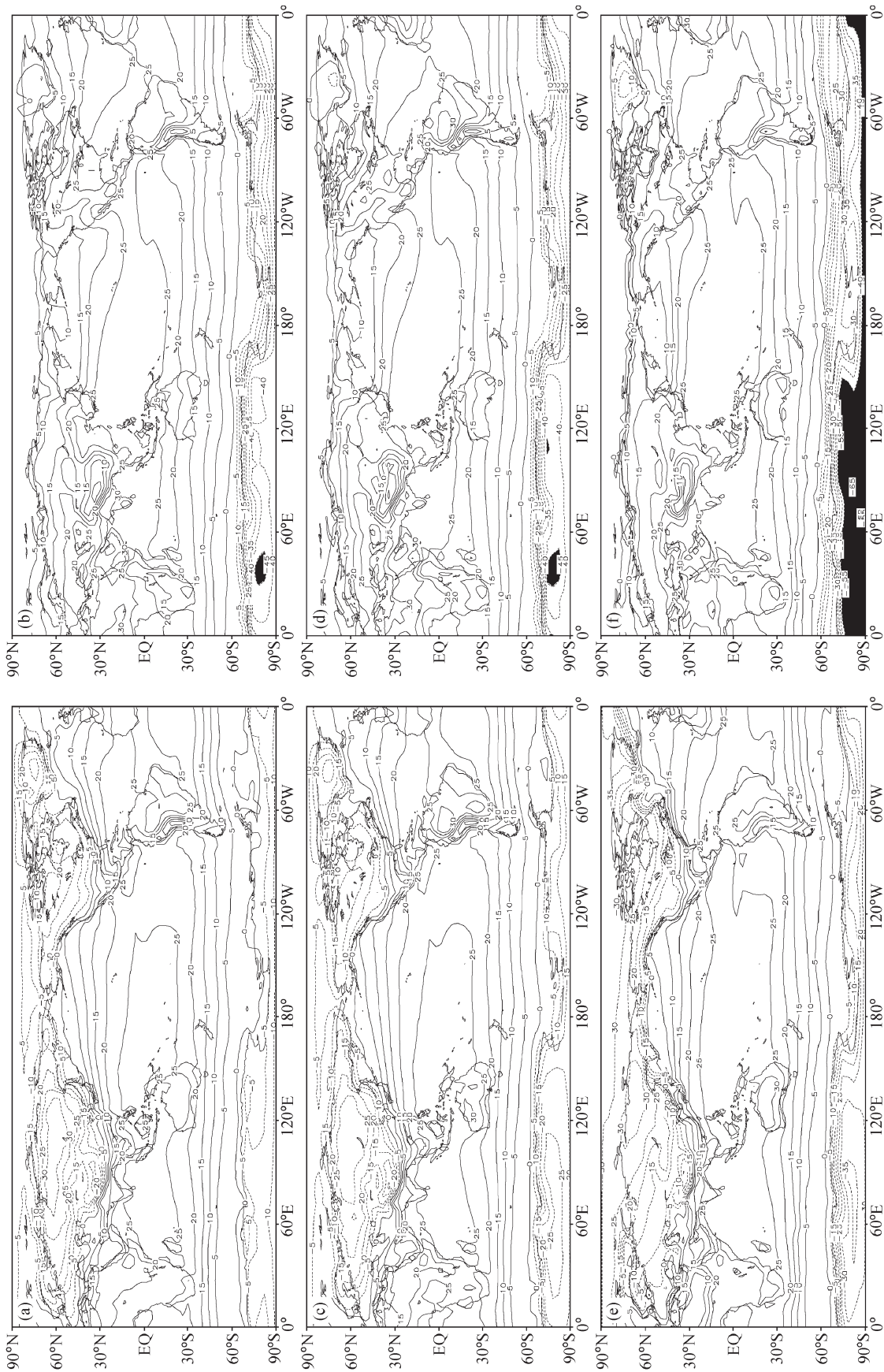


图3 同图1, 但为1月(a、c、e)和7月(b、d、f)的地面温度场(单位: $^{\circ}\text{C}$)。阴影: 小于 -45°C
Fig. 3 Same as Fig. 1, but for the surface temperature (units: $^{\circ}\text{C}$) in Jan (a, c, e) and Jul (b, d, f). Shadings: $<-45^{\circ}\text{C}$

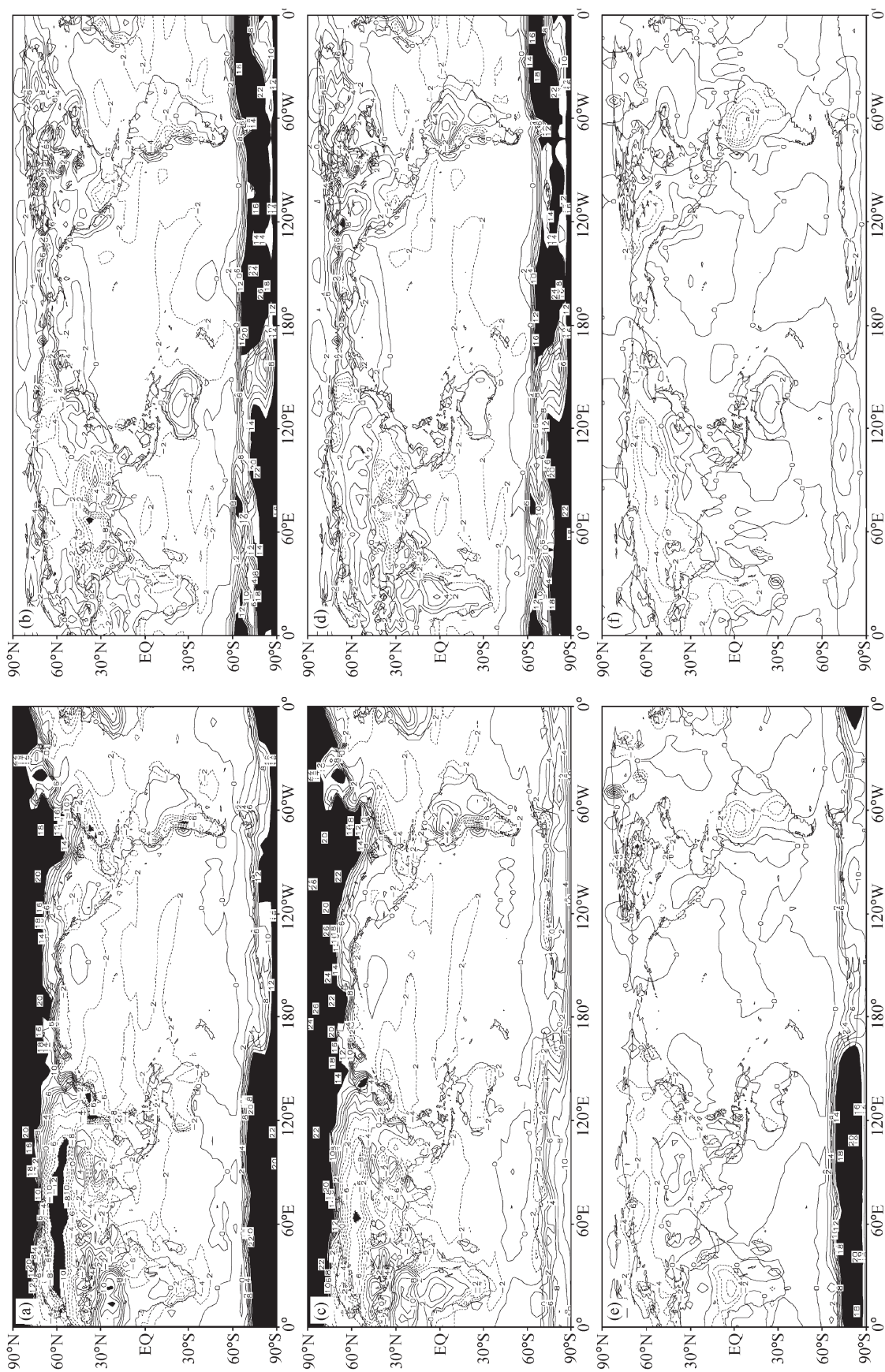


图 4 1 月 (a, c, e) 和 7 月 (b, d, f) 地面温度差值场 (单位: °C): (a, b) 新版模式-NCEP 再分析; (c, d) 旧版模式-NCEP 再分析; (e, f) 新版模式-旧版模式。阴影: 大于 12°C

Fig. 4 The difference of the surface temperature (units: °C) in Jan (a, c, e) and Jul (b, d, f): (a, b) New model-NCEP reanalysis; (c, d) old model-NCEP reanalysis; (e, f) new model-old model.

Shadings: >12°C



图 6 同图 1, 但为 1 月 (a, c, e) 和 7 月 (b, d, f) 海平面气压场(单位: hPa)。阴影: 小于 985 hPa 或大于 1050 hPa
Fig. 6 Same as Fig. 1, but for the sea surface pressure (units: hPa) in Jan (a, c, e) and Jul (b, d, f). Shadings: <985 hPa or >1050 hPa

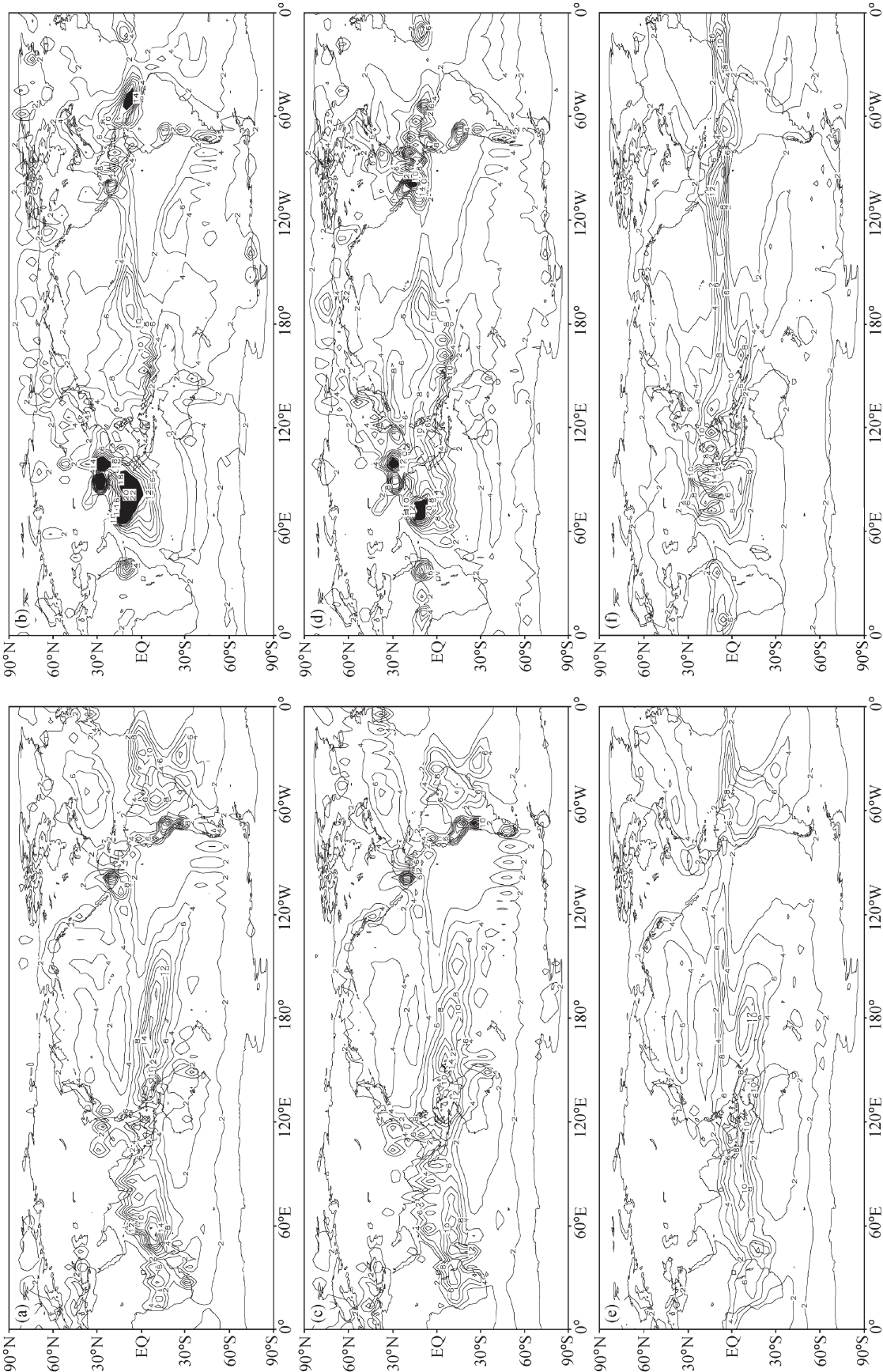


图 7 1 月 (a, c, e) 和 7 月 (b, d, f) 全球降水场(单位: $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$): (a, b) 新版模式; (c, d) 旧版模式; (e, f) XIE-ARKN 资料。阴影: 大于 $20\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$

Fig. 7 The global precipitation(units: $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) in Jan (a, c, e) and Jul (b, d, f): (a, b) New model; (c, d) old model; (e, f) XIE-ARKN data. Shadings: $>20\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$

附近比 NCEP 再分析资料普遍偏高。相对于旧版本而言, 对地表面气温模拟的改进, 伴随着新版本在南极大陆、南美的大部地区气压场值也有所改进。7 月份(图 6 b、d、f), 对于亚洲大陆上的热低压, 新版本模拟的中心强度为 980 hPa, 比 NCEP 再分析资料的 1000 hPa 偏低达 20 hPa, 亚洲高纬的气压模拟值则高了 5 hPa, 可能是因为亚洲高纬少量冰雪覆盖的影响, 使气温偏低^[24]。在北美, 由于模拟场地面气温的高温范围比 NCEP 再分析资料的高温范围更广, 所以, 新版本模拟出一个较低的热低压中心。海上北太平洋副高、北大西洋副高模拟的范围和强度与 NCEP 再分析资料的分布比较接近, 但新、旧版本对北大西洋副高都模拟偏高 5 hPa, 南半球的非洲大陆上气压场的南北分布与 NCEP 再分析资料的分布也比较接近。但是, 新版本中印度洋和大西洋的高压并没有打通连成一体, 而旧版本则模拟得更好一些。同 1 月份, 由于新版本改进了地表面的温度模拟, 所以, 新版本 7 月份的海平面气压场相对于旧版本在南极大陆、南美等大部分地区均有所改进, 如在南美北部, 由于旧版本在此处地表面温度比新版本偏高近 8 °C(图 4), 伴随着海平面气压场比新版本偏低达 6 hPa(偏差图略), 而新版本同 NCEP 再分析资料更接近。

3.4 全球降水场

1、7 月份模拟的降水场与文献[22]资料相比, 新、旧版本都能抓住主要的降水中心, 而且对雨区范围的模拟也比较理想。1 月份(图 7 a、c、e), 在赤道西太平洋暖池、南美巴西的强降水中心都被新、旧版本模拟出来, 其中新版本模拟的巴西降水中心值为 $8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 与文献[22]资料值相同; 同样, 非洲南部的热带雨林降水以及马达加斯加岛屿附近的强降水中心也被模拟出来了。7 月份(图 7 b、d、f), 新、旧版本都模拟出赤道中西太平洋的大范围雨区, 而且也模拟出了孟加拉湾地区的强降水中心, 但新、旧版本模拟的强度都偏强。由于南半球此时为冬季, 正逢旱季的澳大利亚降水很少, 这在两版本中都有所表现。在非洲热带雨林地区, 新、旧版本所模拟的降水强度和范围都比文献[22]资料弱。同样, 在中东太平洋所模拟的降水也均偏少, 但与旧版本相比, 新版本在此处的降水强度加强, 有一定的改进。从全球降水场的纬向分布来看, 1 月份[图 8a(见文后彩图)], 在 $30^{\circ}\text{S} \sim 80^{\circ}\text{S}$ 、

赤道附近、 $10^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$ 以及北极附近, 新版本模拟值均比文献[22]的资料偏高, 其他纬度带则对应的比较好; 7 月份[图 8b(见文后彩图)], 新版本除在 $10^{\circ}\text{S} \sim 50^{\circ}\text{S}$ 这一带纬向平均值模拟稍微偏高外, 整体上模拟得比较好, 尤其在赤道附近, 更接近文献[22]的资料值。但是, 新、旧版本对降水的模拟在大部分地区偏差不是很大(偏差图略), 这很可能是因为两个版本在模拟的过程中都使用相同的海表面温度强迫造成的^[25]。很明显: 海-陆对比、地形、大气过程^[26, 27]对 GAMIL 降水分布的影响大于陆面过程从 BATS 替换成 PHY-AVIM 的影响。

4 结论及讨论

本文用 AVIM 的物理模块(PHY-AVIM), 替换新一代格点大气环流模式 GAMIL 中的陆面模式 BATS, 首次实现了 AVIM 陆面过程与格点大气环流模式的耦合, 对新、旧耦合版本各自 10 年积分的结果与 NCEP 多年再分析资料以及文献[22]的降水资料进行比较后, 得出如下结论:

(1) 对冬、夏季陆地感热场、潜热场的模拟, 在大部分地区新版本模拟得更好, 尤其在 7 月份, 新版本在非洲大陆中北部、欧亚大陆、北美中部以及南美北部地区减小了旧版本的感热模拟值, 更接近 NCEP 再分析资料值。

(2) 由于新版本引入了较细致的陆面参数化过程, 包括使用分辨率更高的陆地植被分类资料($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$), 使陆地表面反照率的处理较为合理, 因此, 对地表面温度模拟得更成功。但两版本共同的不足之处是: 1 月份在两极模拟的温度均偏高。7 月份在南极的温度模拟值也比 NCEP 资料偏高, 这很可能与两个陆面模式对雪盖的反照率处理偏低, 以及大气模式中的动力框架在极点附近有关。

(3) 7 月份, 新版本在亚洲高纬的气压模拟值比 NCEP 再分析资料值高了近 5 hPa, 可能是因为亚洲高纬少量冰雪覆盖的影响, 使气温偏低。

(4) 在夏季, 新、旧版本对孟加拉湾地区降水量的模拟均偏高。相比旧版本的模拟, 新版本对赤道东太平洋地区降水量的模拟值有所增加, 但是, 新、旧版本对全球降水量的模拟差异不明显。

下一步的工作是要完全开放 AVIM 的生理部分 PLT-AVIM, 实现 AVIM 的物理和生理部分与格点

大气环流模式的完全双向反馈耦合, 计算出地气相互作用下全球生物量要素的分布, 以及植被动力过程对全球气候的可能影响, 并且, 还要对陆地表面的植被、土壤分布进行更细致、合理的划分; 其次, 对 GAMIL 中的动力框架及其他的物理过程作进一步的改进, 并对模式进行更全面、深入的评估。

参考文献 (References)

- [1] Budyko M I. Heat Balance of the Earth's Surface. Gidrometeoizdat, Leningrad, 1956. 255 pp
- [2] Manabe S. Climate and the ocean circulation. 1. The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface. *Mon. Wea. Rev.*, 1969, **97**(11): 739~774
- [3] Deardorff J W. Efficient prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation. *J. Geophys. Res.*, 1978, **83**: 1889~1903
- [4] Dickinson R A, Sellers H, Kennedy P, et al. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) for the NCAR Community Climate Model. NCAR Technical Note, NCAR, TN275+STR, 1986, 69pp
- [5] Sellers P J, Mintz Y, Sud Y C, et al. A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models. *J. Atmos. Sci.*, 1986, **43**: 505~531
- [6] 季劲钧, 胡玉春. 用于气候研究的一个简单的陆面过程. *应用气象学报*, 1989, **3**: 342~351
Ji Jinjun, Hu Yuchun. A simple land surface process for climate research. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1989, **3**: 342~351
- [7] Parton W J, Lauenroth W K, Urban D L, et al. Modeling vegetation structure ecosystem process interactions across sites and ecosystems. *Ecological Modeling*, 1993, **67**(1): 49~80
- [8] Sitch S, Smith B, Prentice I C, et al. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ Dynamic global Vegetation Model. *Global Change Biology*, 2003, **9**: 161~185
- [9] Ji Jinjun. A climate-vegetation interaction model: simulating physical and biological processes at the surface. *Journal of Biogeography*, 1995, **22**: 445~451
- [10] Dan Li, Ji Jinjun, Li Yinpeng. Climate simulations based on a different-grid nested and coupled model. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2002, **19**(3): 487~499
- [11] 丹利. 大气和生物圈双向耦合模式中的多尺度变化模拟研究. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文. 2003
Dan Li. Simulation of multi-scale variation in the two-way interaction model between biosphere and atmosphere. Ph. D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. 2003
- [12] Wu Tongwen, Liu Ping, Wang Zaizhi, et al. The performance of atmospheric component model R42L9 of GOALS/LASG. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20**(5): 726~742
- [13] 严中伟, 季劲钧. 一个加入简单雪盖参数化过程的陆面模式的初步试验. *高原气象*, 1995, **14**: 415~424
Yan Zhongwei, Ji Jinjun. An initial test on the land surface model with a simple parameterization of snow cover. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1995, **14**: 415~424
- [14] 余莉. 草原生态系统植被与大气、土壤相互作用的数值模拟. 中国科学院大气物理研究所硕士学位论文. 1996
Yu Li. The simulation of interaction between vegetation, atmosphere and soil in the grass ecosystem. Master Thesis (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. 1996
- [15] 吕建华. 区域性和年际尺度大气植被相互作用的模拟研究. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文. 1999
Lu Jianhua. The simulation of interaction between atmosphere and vegetation on regional and annual scale. Ph. D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. 1999
- [16] 李银鹏, 季劲钧. 全球陆地生态系统与大气之间碳交换的模拟研究. *地理学报*, 2001, **56**(4): 379~380
Li Yinpeng, Ji Jinjun. The simulation of carbon exchange between the global terrestrial ecosystem and atmosphere. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2001, **56**(4): 379~380
- [17] Dorman J L, Sellers P J. A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the simple biosphere models (SIB). *Journal of Applied Meteorology*, 1989, **28**: 833~855
- [18] 王斌. 论平方守恒差分格式. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文. 1992
Wang Bin. The square conservative difference scheme. Ph. D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. 1992
- [19] Wang Bin, Wan Hui, Ji Zhongzhen, et al. Design of a new dynamical core for global atmospheric models based on some efficient numerical methods. *Science in China (Ser. A)*, 2004, **47**: 4~21
- [20] 刘洪涛. 高分辨率大气环流模式框架的设计及其应用. 中国科学院大气物理研究所硕士学位论文. 2001
Liu Hongtao. The design and application of high-resolution atmospheric dynamic core model. Master Thesis (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. 2001
- [21] Dickinson R A, Sellers H, Kennedy P. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to the NCAR Community Climate Model. NCAR Technical Note, August 1993, No. 387
- [22] Xie P, Arkin P A. Analyses of global monthly precipitation

using gauge observations, satellite estimates, and numerical model predictions. *J. Climate*, 1996, **9**: 840~858

[23] Bonan G B. The land surface climatology of the NCAR land surface model coupled to the NCAR community climate model. *J. Climate*, 1998, **11**: 1307~1326

[24] 丹利. 植被大气相互作用模式与大气环流模式耦合的气候模拟研究. 中国科学院大气物理研究所硕士学位论文. 2001

Dan Li. The simulation of the coupling between vegetation-atmosphere interaction model and the atmosphere general circulation model. Master Thesis (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. 2001

[25] Zeng Xubin, Shaikh M, Dai Yongjiu, et al. Coupling of the common land model to the NCAR community climate model. *J. Climate*, 2002, **15**: 1832~1854

[26] Boyle J S. Evaluation of annual cycle of precipitation over the United States in GCMs: AMIP simulations. *J. Climate*, 1998, **11**(5): 1041~1055

[27] Delire C, Levis S, Bonan G, et al. Comparison of the climate simulated by the CCM3 coupled to two different land-surface models. *Climate Dynamics*, 2002, **19**: 657~669

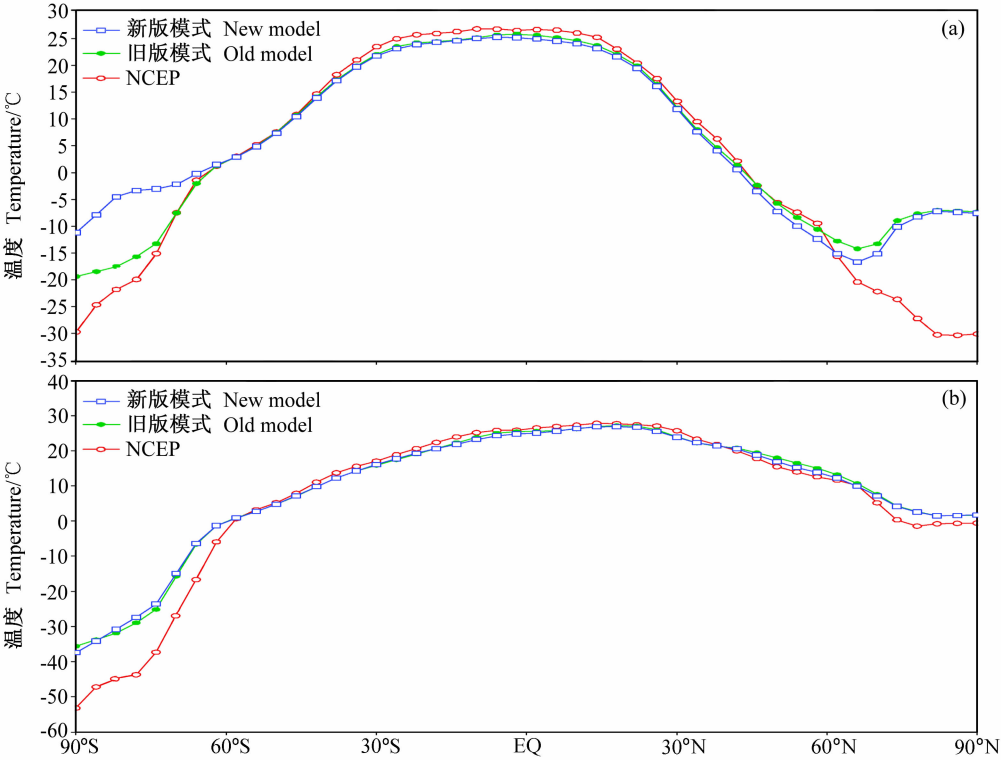


图 5 1 月(a)和 7 月(b)纬向平均的地表面温度场分布
Fig. 5 Zonal mean surface temperature in Jan (a) and Jul (b)

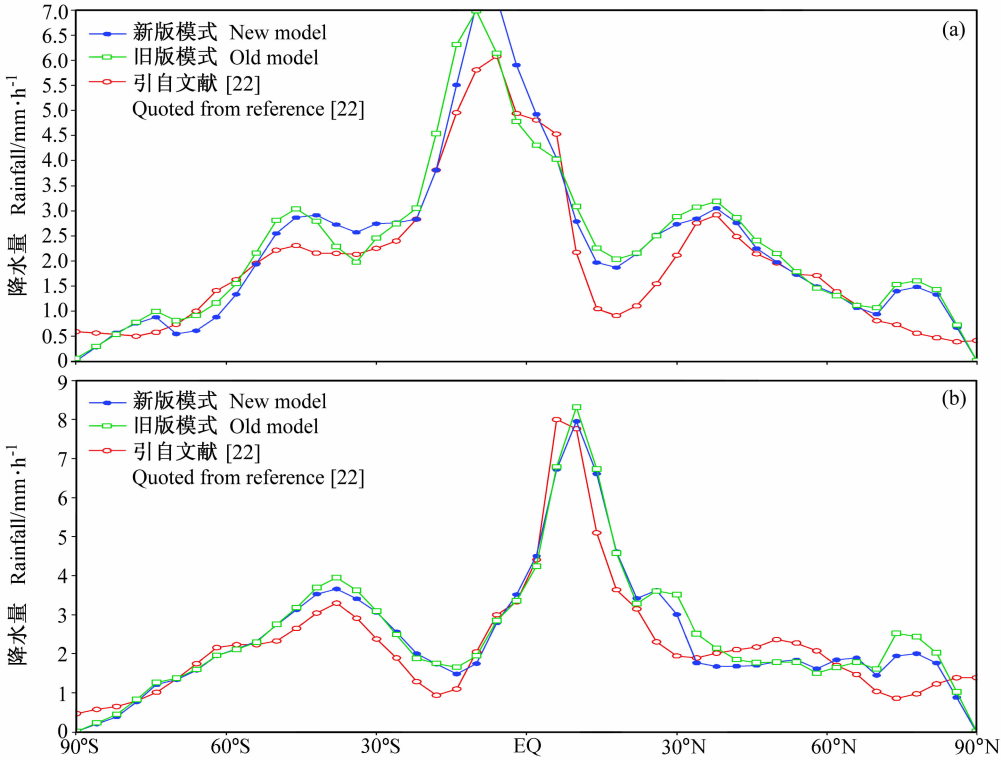


图 8 1 月(a)和 7 月(b)纬向平均的全球降水场
Fig. 8 Zonal mean precipitation in Jan (a) and Jul (b)