

辐射参数化方案对一个海气耦合模式 云和辐射模拟的影响^{* 1}

汪 方 丁一汇 徐 影

(国家气候中心 中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081)

摘 要

比较 Morcrette 辐射方案和 Fu_Liou 辐射方案对 NCC/IAP T63 海气耦合模式云和辐射模拟的影响,结果表明:两种方案模拟的大气顶入射辐射存在明显的差异;晴空大气 Fu_Liou 方案的短波吸收能力在全球普遍较 Morcrette 方案低;在 60°S~60°N 之间,Fu_Liou 方案模拟的行星反照率更接近于 ERBE 卫星观测;在对大气顶净辐射的模拟上,除了冬季的太平洋和大西洋东岸云量明显减少的部分地区外,Fu_Liou 方案对大气顶净辐射的模拟总体上较 Morcrette 方案有了较为明显的改善;Fu_Liou 方案模拟的海洋低层云显著减少,而热带地区高云的模拟明显增加;由于采用了“二元云量”算法,尽管云量有所减少,Fu_Liou 方案模拟的云短波吸收作用仍有所增强,一定程度上改进了 Morcrette 方案云的短波吸收作用偏弱的现象。

关键词: 辐射参数化;海气耦合模式;云和辐射;模拟

引 言

辐射传输是大气中一个十分重要的物理过程,主要通过太阳短波辐射和地气系统的长波辐射造成地表和大气不同的加热/冷却率,并以此驱动大气运动。目前辐射传输理论相对比较成熟,尤其是晴空条件下的辐射传输,如果能给出正确的大气条件和影响辐射物质的分布,可以达到相当高的精度^[1-2]。但考虑到计算成本,用于气候模式的主要是一些简化算法,并且不同的辐射算法应用于气候变化预估时表现出很大的不确定性^[3-5]。这种不确定性表现在两个方面:一是同一种方案应用于不同的模式中,二是在同一种模式中使用不同的方案。

讨论不同辐射方案对模式模拟的影响,对于理解辐射过程和其他过程的反馈,进而更好地进行气候预估具有重要意义。目前有不少研究讨论了辐射参数化方案的变化对模式模拟的影响,但多局限于大尺度气候特征的响应^[6-7]。所以从更细的角度分析其对云和辐射过程模拟的差异,可以更深入地了解云-辐射过程在模拟中所起的作用。此外,在比较辐

射方案对模拟的影响时,一般采用单独的大气模式,并给定一致的外部边界条件,但是,辐射传输过程并不是一个独立或单向的过程,它与其他过程存在重要的相互反馈,只有把它置于一个相互作用的系统中才能看出其对耦合过程模拟的影响,同时,在进行气候预估时,气候模式(主要是海气耦合模式)几乎是唯一的选择,因此,用海气耦合模式进行云和辐射的模拟研究,对更好理解海气耦合模式中的云辐射过程以及气候预估都具有重要的意义。

本文在 NCC/IAP T63 海气耦合模式中引入一种新的辐射方案——Fu 辐射方案(以下简称 Fu 方案),通过和原辐射方案——Morcrette 方案(以下简称 Mor 方案)进行比较,分析二者在云-辐射模拟上的主要差异,及其对模式模拟的可能影响,为模式的进一步发展积累经验。

1 模式介绍及试验设计

1.1 模式介绍

本文采用国家气候中心和中国科学院大气物理研究所共同研制的 NCC/IAP T63 全球海气耦合模

* 2006 年度中国气象局气候变化专项“中国地区气候变化数值模拟结果的分析与应用”(CCSF-2006-7)资助。
2006-01-09 收到,2006-10-18 收到再改稿。

式。其中大气模式为63波三角形截断谱模式,水平分辨率为 $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$,垂直方向采用 $p-\sigma$ 混合坐标,划分为16层;海洋模式具有与大气模式相同的分辨率,垂直方向分为30层。根据NCAR CAM2云量参数化方案对云量方案进行了改进^[8];深积云对流采用修改的Kuo方案;浅积云对流采用Tiedtke垂直扩散方案;采用一个简单的三层模式来描述地面土壤过程;地形重力波拖曳参数化采用Palmer等人方案的修改型;海冰采用一个热力学海冰模式来进行预报。海气耦合采用逐日耦合方式,即大气模式每天调用一次海洋模式,并与海洋模式交换海气通量;为抑制耦合模式的气候漂移,采用了日通量距平耦合(DFA)的方法。有关大气和海洋模式的技术细节,可参考文献[9-12]。

1.2 两种辐射参数化方案的主要差别

有关Morcrette辐射方案和Fu-Liou辐射参数化方案的具体细节可参阅有关文献[11,13-14],下面简要给出两种方案的主要差别。

首先,在波段的划分上,Fu方案更为细致,共划分了18个子波段:其中短波波段6个,分别为0.2~0.69,0.69~1.3,1.3~1.9,1.9~2.5,2.5~3.5 μm 以及3.5~5 μm ,它们考虑了 H_2O (2500~14500 cm^{-1}), O_3 (50000~14500 cm^{-1}), CO_2 (2850~5200 cm^{-1})和 O_2 (A,B和 γ 吸收带)的吸收;长波波段12个,分别为2200~1900,1900~1700,1700~1400,1400~1250,1250~1100,1100~980,980~800,800~670,670~540,540~400,400~280 cm^{-1} 及280~10 cm^{-1} ,考虑了 H_2O (0~2200 cm^{-1}), CO_2 (540~800 cm^{-1}), O_3 (980~1100 cm^{-1}), CH_4 (1100~1400 cm^{-1})和 N_2O (1100~1400 cm^{-1})的吸收。而Mor方案只划分了两个短波波段和6个长波波段,有关细节可参考文献[11]。

其次,在辐射算法上,Fu方案中同时提供了 δ -二流近似和 δ -四流近似方法供计算时选择。有研究发现^[15],尽管 δ -二流近似具有最高的计算效率,但在有云条件下辐射通量和加热率的计算上会产生显著的误差;而 δ -四流近似具有很高的计算精度,但在红外辐射传输的计算上需要大量的计算时间。本文在计算时采用了计算需求较高的 δ -四流近似。而在Mor方案中,短波计算使用的是二流近似和光学路径分布方法,而长波计算采用的是宽带通量发射率

的方法^[16]。

此外,两种方案在云垂直结构的处理上有明显的不同。Fu方案采用了“二元云量”(binary cloud)算法,即根据一定的重叠假设(本文采用最大随机重叠)将格点分为许多子区域,在每个子区域内根据相应的云结构计算辐射通量,最后通过云量加权平均来得到格点平均的值^[17]。Mor方案虽然也采用了最大-随机云重叠假设,但其算法是先计算晴空大气的辐射通量,再根据云量的叠加假定线性组合得到^[13]。

最后,Mor方案没有考虑云的长波散射作用,有研究发现^[18],不考虑云长波散射的模式在计算大气顶长波射出辐射(OLR)时会产生约 $-8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的全球平均偏差(即不考虑云长波散射的模式要比考虑的模式多计算 $8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的OLR),而在局地这种偏差甚至可以达到 $20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。这种全球平均的长波散射偏差在量级上相当于甚至要大于模式和逐线积分之间的差距,足见这种偏差的重要性。

1.3 试验设计及资料

分别将Mor和Fu辐射方案并入NCC/IAP T63海气耦合模式各进行20年积分,将前10年作为耦合调整积分,后10年用于分析模拟的平均气候特征。分析中采用常用的季节划分方法,即夏季为6—8月,冬季为12月至次年2月。

分析中部分用到了ECMWF(欧洲中期预报中心)40年再分析(ERA-40)月平均资料^①和地球辐射平衡试验(ERBE)月平均资料^[19]。其中ERA-40仅选用近20年(1982—2001年)资料,选取要素有云量、大气顶和地表辐射通量等;ERBE资料时段为1984年11月—1990年2月,主要选用行星反照率资料。二者空间分辨率均为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

2 结果分析

2.1 大气顶入射短波辐射

对海陆气耦合系统而言,大气顶入射的太阳辐射是唯一的外部强迫,对海陆气耦合系统的能量平衡有着重要影响。在本文的模拟中,两种辐射方案采用了相同的太阳常数($1365 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$),但算法的不同使得入射太阳辐射在全球和季节分布上产生了明显的差异。比较二者的模式顶入射太阳辐射,发

① 资料详细说明及下载网址 <http://data.ecmwf.int/data/d/era10-moda>。

现5—9月Fu方案模拟的大气顶入射辐射较Mor方案低,10月到次年4月偏高,且偏差最大值均出现在夏半球(图1)。从季节分布上看,夏半球偏差可达 $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上。这可能是由于四流近似和二流近似在离散纵标时,对纵标离散不同的缘故(一般说来,纵标分段越多,计算的精度越高,但所需的计算量也越大)。

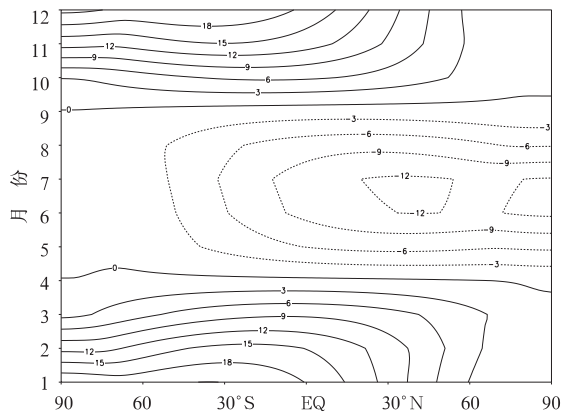
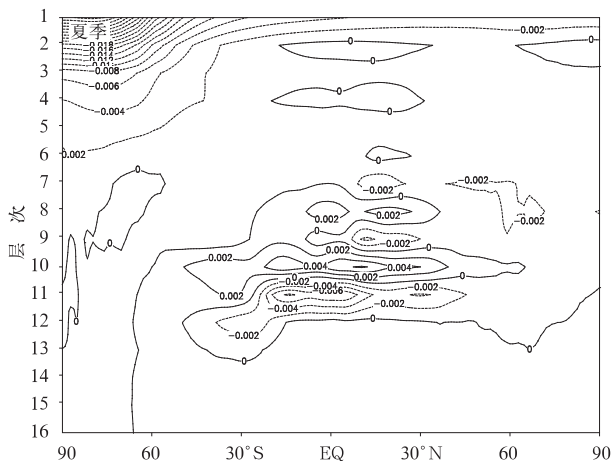


图1 大气顶入射短波辐射变化的经向-时间剖面
(单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) (Fu 方案 - Mor 方案)

Fig.1 Meridion-height section of incident solar radiation at the top of atmosphere (unit: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) (Fu scheme - Mor scheme)

从能量平衡的角度来看,大气顶入射辐射的这种偏差会对温度产生重要影响。研究表明,温室气体加倍后在大气顶产生的辐射强迫也仅有 $4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,但却可能导致地球温度上升 $1.5 \sim 4.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[3-5]。本文模拟结果表明,夏季几乎在所有的陆地地区Fu方案模拟得都较Mor方案偏冷,北半球中纬度地区偏冷普遍



达到 $2 \sim 3 \text{ }^\circ\text{C}$,而冬季这种偏冷现象明显减弱。从全球地面气温的季节变化上也可以看出(图2),夏半年的偏冷要明显大于冬半年。值得注意的是,冬季气温并没有因为Fu方案大气顶入射辐射多偏高,这也说明Fu方案有低估地表气温的倾向。

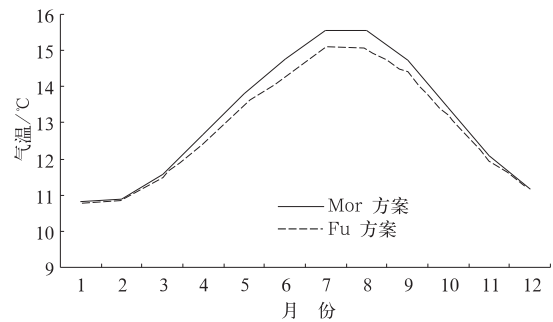


图2 全球平均地面气温的季节变化

Fig.2 Seasonal variation of global-averaged surface air temperature

2.2 对辐射的模拟

2.2.1 两种方案短波吸收能力的比较

为消除大气顶入射短波辐射差异的影响,定义大气短波辐射吸收率(R_{abs}),来表征晴空大气对短波辐射的相对吸收能力:

$$R_{\text{abs}} = R_{\text{AS}}/R_{\text{S}} = R_{\text{AS}}/(R_{\text{SD}} + R_{\text{SU}}) \quad (1)$$

式(1)中, R_{AS} 表示某一气层吸收的短波辐射, R_{S} 表示进入该气层的短波辐射,它等于气层上界面向下的短波辐射(R_{SD})与气层下界面向上的短波辐射(R_{SU})之和。图3给出了两种方案模拟的晴空大气短波吸收率的垂直分布差值,从中可以看出,在对流层下层,Fu方案模拟的吸收率较Mor方案偏低,而

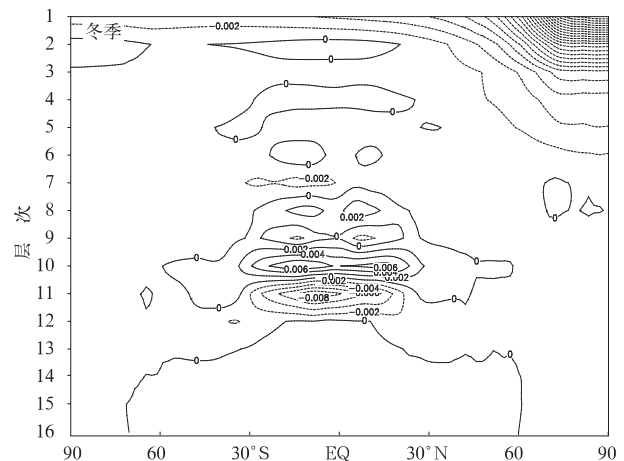


图3 两种辐射方案晴空大气短波吸收率差值的经向-高度剖面(Fu方案 - Mor方案)

Fig.3 Meridion-height section of differences in shortwave absorption rate between two radiative schemes in clear sky(Fu scheme - Mor scheme)

在对流层中上部以增加为主,这与水汽的变化十分一致,说明水汽在对流层短波吸收中的重要作用。在平流层,Fu 方案模拟的短波吸收率明显偏低,尤其在冬半球的中高纬地区,偏低可达 1% 以上,这可能主要是 Fu 方案对 O_3 吸收处理的偏弱引起的。反映到整层大气短波吸收率的全球分布上,Fu 方案在全球范围内均模拟偏低,尤其是在冬半球的中高纬地区更为明显,可达 4% 以上。

吸收能力的偏弱,会对行星反照率产生直接影响,主要表现为散射能力的增强,从而增强大气的反射能力(向后散射)。通过和 ERBE 比较发现(图 4),Mor 方案模拟的行星反照率在 $60^{\circ}S \sim 60^{\circ}N$ 之间明显偏小,尤其在赤道辐合带和纬度 30° 以外的海洋上偏低更为明显,大部分地区偏小 10% 以上。Fu 方案模拟的反照率较 Mor 方案有不同程度的增加,尤其是在冬半球的中高纬地区,增幅普遍可达 6%

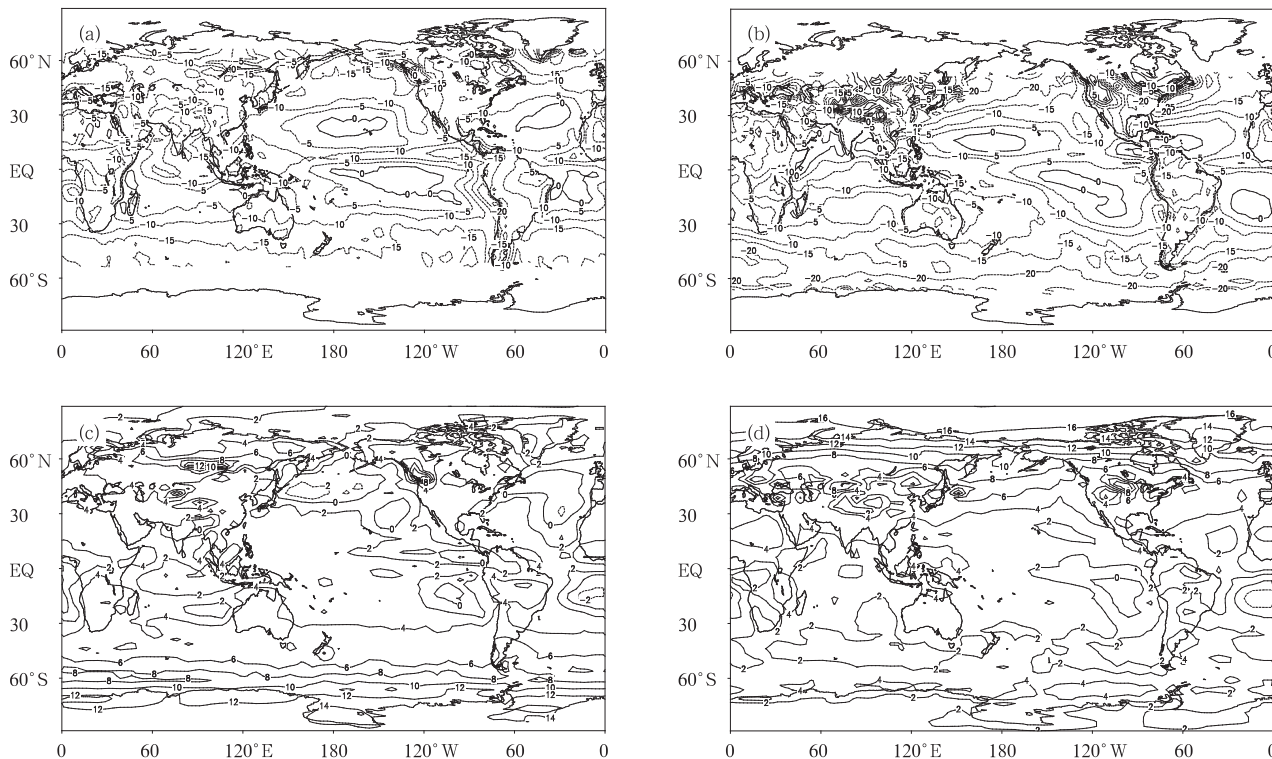


图 4 行星反照率差值(单位:%)(a,b:Mor 方案 - ERBE;c,d:Fu 方案 - Mor 方案;a,c:夏季;b,d:冬季)

Fig. 4 Differences in the planetary albedo (unit: %)

(a, b: Mor scheme - ERBE, c, d: Fu scheme - Mor scheme; a, c: summer; b, d: winter)

以上。总体上说来,在 $60^{\circ}S \sim 60^{\circ}N$ 之间,Fu 方案模拟的行星反照率更接近于 ERBE 卫星观测资料,这主要得益于晴空大气反照率的增加。

2.2.2 大气顶辐射收支

大气顶的辐射收支在气候变化中起着重要作用,这里重点分析两种方案对大气顶辐射的模拟情况。首先给出大气顶短波辐射差值图(图 5),由于夏季 Fu 方案模拟的大气顶入射短波辐射较 Mor 方案偏低,这进一步增强了吸收弱对短波辐射的降低作用,因此 Fu 方案夏季大气顶短波辐射明显偏小,有效抑制了 Mor 方案模拟的短波辐射偏高现象;而在冬季,由于 Fu 方案大气顶的入射短波辐射偏高,这在一定程度上削弱了吸收弱对短波辐射的降低作

用,使得在 $60^{\circ}S \sim 30^{\circ}N$ 之间云辐射强迫的减小(主要由低云量的减小所引起)对短波辐射的增强作用占了上风,导致 Fu 方案模拟的短波辐射在云量减小的地区明显偏高。而对于长波辐射,在大气顶高云的作用明显增强,高云的增加使大气顶长波辐射明显减小,部分地区甚至出现了正偏差(图略)。

综合长波和短波分量,分析大气顶净辐射发现(图 6):夏季,Fu 方案大气顶净辐射明显减小,有效改善了 Mor 方案大气顶净辐射的偏高现象(相对于 ERA 资料),这在很大程度上得益于 Fu 方案模拟的大气顶入射短波辐射的减小;冬季,Fu 方案模拟的净辐射在低云量明显减少的太平洋和大西洋东岸副热带地区,由于云反射作用的减弱,加上大气顶入射

短波辐射增加,大气顶短波辐射有所增加,并在数值上超过了长波辐射的增加,使得这些地区净辐射的模拟偏差进一步加大;而在其他的大部分地区,短波

辐射的模拟减小。总的看来,除了冬季的部分地区外,Fu 方案对大气顶净辐射的模拟有了较为明显的改善。

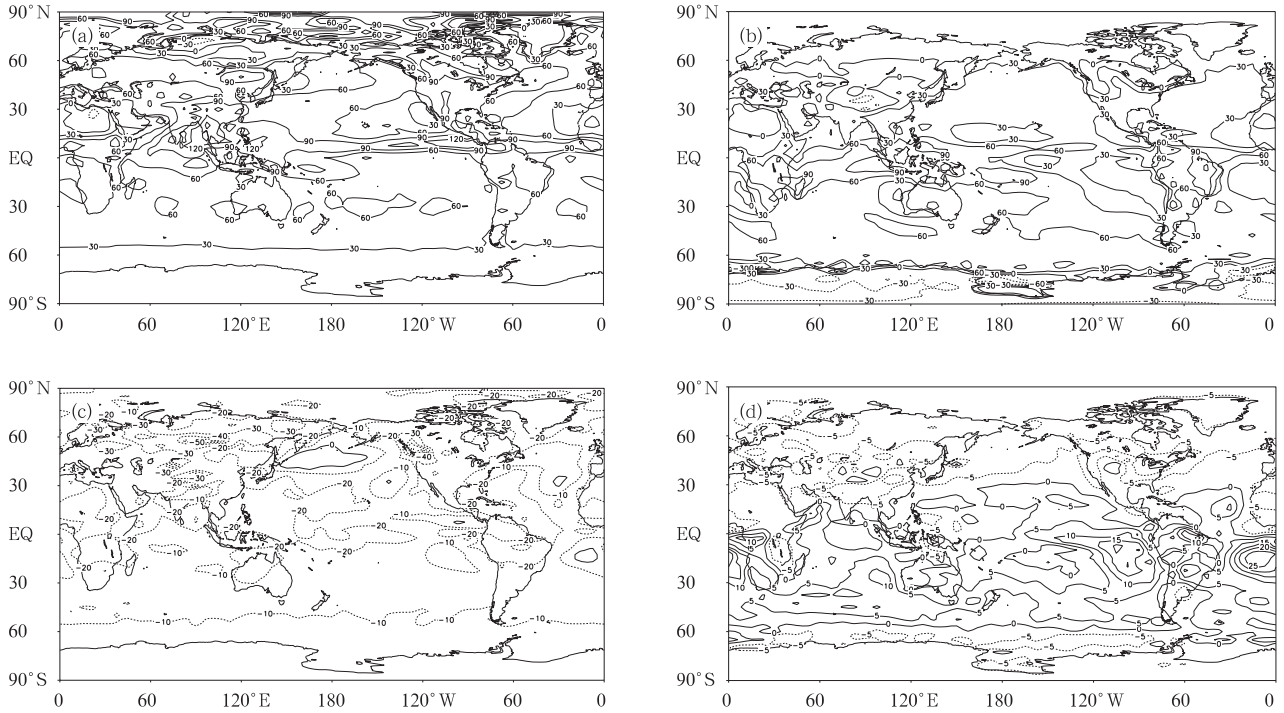


图 5 大气顶短波辐射差值(单位: $W \cdot m^{-2}$) (a,b:Mor 方案 - ERA;c,d:Fu 方案 - Mor 方案;a,c:夏季;b,d:冬季)

Fig. 5 Differences in the shortwave radiation at the top of atmosphere (unit: $W \cdot m^{-2}$) (a,b: Mor scheme - ERA; c,d: Fu scheme - Mor scheme; a,c: summer; b,d: winter)

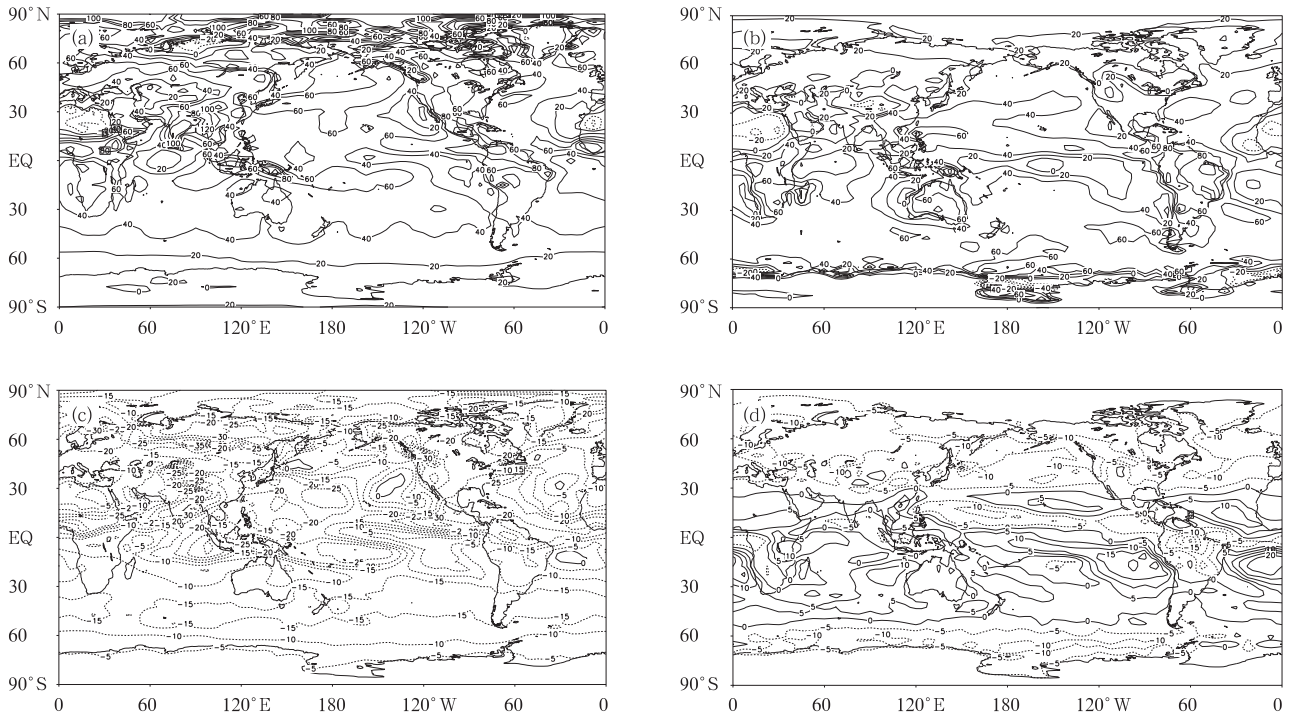


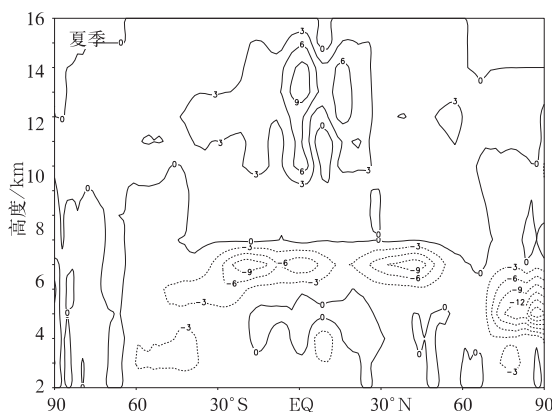
图 6 大气顶净辐射差值(单位: $W \cdot m^{-2}$) (a,b:Mor 方案 - ERA;c,d:Fu 方案 - Mor 方案;a,c:夏季;b,d:冬季)

Fig. 6 Differences in the net radiation at the top of atmosphere (unit: $W \cdot m^{-2}$) (a,b: Mor scheme - ERA; c,d: Fu scheme - Mor scheme; a,c: summer; b,d: winter)

2.3 云及其吸收效应

比较总云量全球分布可以看出,辐射参数化的变化对云量的模拟产生了显著的影响,同 Mor 方案相比,Fu 方案模拟的总云量在纬度 30°附近的太平洋和大西洋东部、赤道东太平洋以及北极地区明显减少,而在赤道非洲附近及其以东洋面一侧、苏门答腊岛至赤道新几内亚岛一带增多,此外在夏季南美洲赤道附近总云量也增多。进一步比较云量的垂直分布发现(图 7),总云量的减少主要是由于低云(云顶气压高于 680 hPa)减少引起的(尤其是海洋层积云),而总云量的增加来源于高云(云顶气压低于 440 hPa)的增加。

进一步分析表明,海洋上低云量的减少主要与



温度的变化相联系,海洋低层云的变化主要取决于低层的静力稳定度^[8],大洋东部洋面上静力稳定度的减弱是低云减少的主要原因。高云的生成一方面取决于对流层高层的相对湿度,同时与深对流紧密联系。热带地区(20°S~20°N)垂直速度模拟也表明,高云增加的地区垂直上升运动有了明显加强,尤其是对流层中上层对流活动的增强对高云的增加有重要贡献。

研究表明,一些模式经常低估有云大气对太阳辐射的吸收,大多数模式中云对太阳辐射过于透明^[20]。而 Fu 方案采用的“二元云量”算法能有效增加云对短波辐射的吸收能力。图 8 给出了两种方案模拟的云短波辐射吸收作用(定义为有云大气和

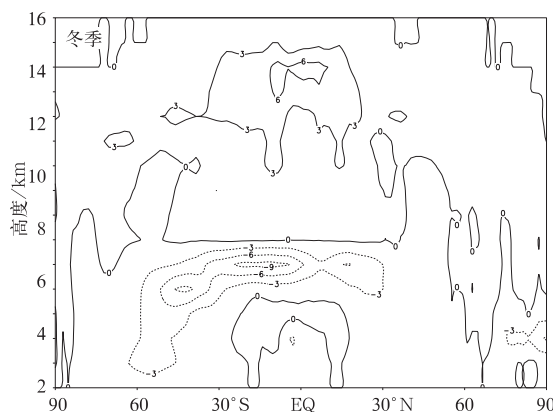


图 7 纬向平均总云量变化的经向-高度剖面(单位:%)(Fu 方案 - Mor 方案)

Fig.7 Meridion-height section of the total cloud cover change (unit: %) (Fu scheme - Mor scheme)

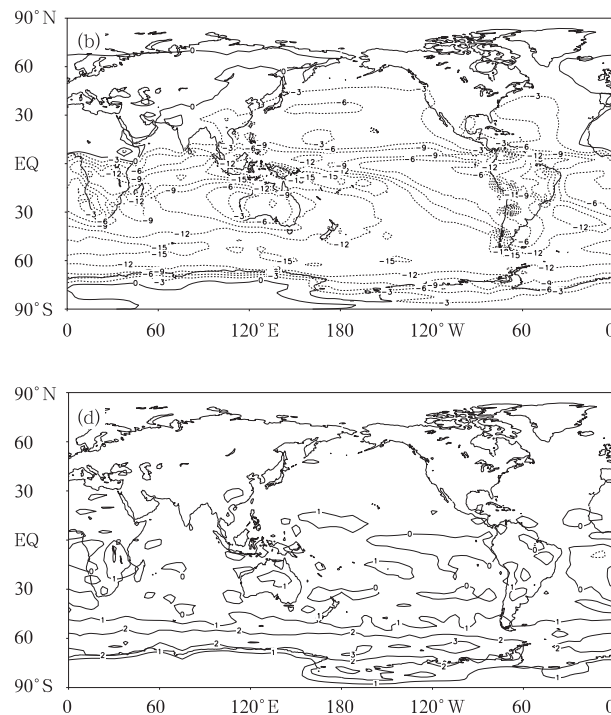
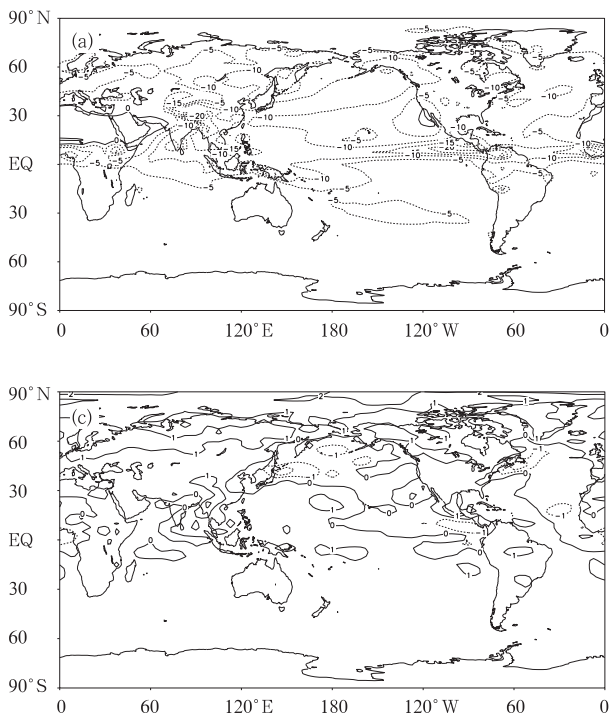


图 8 云短波吸收作用差值(单位:W·m⁻²)(a,b: Mor 方案 - ERA;c,d:Fu 方案 - Mor 方案;a,c:夏季;b,d:冬季)

Fig.8 Differences in the cloud shortwave absoption (unit: W·m⁻²)

(a,b: Mor scheme - ERA; c,d: Fu scheme - Mor scheme; a,c: summer; b,d: winter)

晴空大气云吸收短波辐射的差值)的比较,从中可以看出,同 ERA 再分析资料相比, Mor 方案模拟的云短波吸收作用明显偏弱,部分地区可达 $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上;而采用 Fu 方案后,尽管模拟的低云量有明显减少,但云的短波吸收作用并未减弱,相反在夏半球的中高纬地区有较明显的增加,增幅可达 $1 \sim 3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。说明 Fu 方案在云短波吸收作用的模拟上更加合理,这也在一定程度上改进了 Mor 方案云的短波吸收作用偏弱的现象。

3 结论和讨论

本文比较了 Morcrette 辐射方案和 Fu_{Liou} 辐射方案对 NCC/IAP T63 海气耦合模式云-辐射模拟的影响,得出以下主要结论:

1) 两种方案模拟的大气顶入射短波辐射存在明显的差异。主要是二者在辐射算法上的差异,造成两种方案大气顶入射短波辐射随季节的不一致变化,具体为 5—9 月 Fu 方案模拟的大气顶入射辐射较 Mor 方案低,10 月到次年 4 月偏高,且偏差最大值均出现在夏半球。

2) 两种方案在大气短波吸收能力的模拟上存在明显的差异。晴空大气 Fu 方案的吸收能力在全球普遍较 Mor 方案低,尤其在冬半球的中高纬度更为明显。在行星反照率的模拟上,在 $60^\circ\text{S} \sim 60^\circ\text{N}$ 之间, Fu 方案的模拟更接近于 ERBE 卫星观测,这主要得益于晴空大气反照率模拟的改善。

3) 大气顶短波辐射,除冬季云量明显减少的部分地区外, Fu 方案的模拟有了较为明显的改进;而大气顶长波辐射主要受高云的影响,高云的增加使大气顶长波辐射明显减小,部分地区甚至出现了正偏差;综合看来,除了冬季的太平洋和大西洋东岸云量明显减少的部分地区外, Fu 方案对大气顶净辐射的模拟较 Mor 方案有了较为明显的改善。

4) 模拟的云量发生了明显的变化。主要表现为 Fu 方案模拟的海洋低层云的显著减少,这主要是由于海洋上空静力稳定度减弱造成的;同时,热带地区对流活动的增强,使得 Fu 方案模拟的热带地区的高云有明显增加。此外,由于采用了“二元云量”算法,尽管云量有所减少, Fu 方案模拟的云短波吸收作用仍有所增强,这在一定程度上改进了 Mor 方案云的短波吸收作用偏弱的现象。

总的说来,虽然 Fu 方案在模拟中还存在诸多不

足,但它在波段划分、辐射计算中云量的考虑等方面的处理更为合理,同时, Fu 方案在高云、行星反照率、云对短波辐射的吸收以及大气顶净辐射等的模拟上表现出一定的优越性。此外,云和辐射模拟的差异必然对大尺度气候特征的模拟带来重要影响,例如 Fu 方案模拟的对流层温度明显低于 Mor 方案,这可能与二者在大气顶入射辐射模拟的差异上有紧密联系,有关这方面的工作将在以后进一步分析。最后需要指出的是,由于 Fu 方案在波段的划分上更加细致,尤其是采用了对计算要求更高的四流近似和“二元云量”算法,使得 Fu 方案需要更多的计算时间(以 7 月和 12 月为例,二者所需 CPU 时间之比分别为 4.34 和 4.35),因此,在辐射方案的选择上,一方面要看模拟效果,另一方面要考虑计算成本,尤其在长时间的气候积分时更应如此。

参考文献

- [1] Liou K N. 大气辐射导论(第二版). 北京:气象出版社,2004.
- [2] 尹宏. 大气辐射学基础. 北京:气象出版社,1993.
- [3] Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J J, et al. IPCC, Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Contribution of Working Group I to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1990:1-365.
- [4] Houghton J T, Meira Filho L G, Callander B A, et al. IPCC, Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1996:1-572.
- [5] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001.
- [6] 沈元芳, 伊兰, 陈宜, 等. 辐射参数化的变化对模式中期和月预报的影响. 应用气象学报, 2002, 13(3):299-311.
- [7] 李清泉, 王兰宁, 徐影. 辐射参数化方案对气候模拟和回报的影响. 应用气象学报, 2005, 16(增刊):12-21.
- [8] 汪方, 丁一汇, 徐影. 一个海气耦合模式模拟的云辐射过程. 气象学报, 2005, 63(5):716-727.
- [9] 国家气象中心编译. 资料同化和中期数值预报. 北京:气象出版社, 1991.
- [10] 董敏, 耿全震, 梁益国, 等. 气候模式的基本原理和技术方法. 北京:气象出版社, 1997:1-177.
- [11] 董敏. 国家气候中心大气环流模式——基本原理和使用说明. 北京:气象出版社, 2001:1-152.

- [12] Jin X Z, Zhang X H, Zhou T J. Fundamental framework and experiments of the third generation of IAP/LASG world ocean general circulation model. *Adv Atmos Sci*, 1999, 16(2):197-215.
- [13] Fu Q, Liou K N. On the correlated k -distribution method for radiative transfer in nonhomogeneous atmospheres. *J Atmos Sci*, 1992, 49:2139-2156.
- [14] Fu Q, Liou K N. Parameterizations of the radiative properties of cirrus clouds. *J Atmos Sci*, 1993, 50: 2008-2025.
- [15] Fu Q, Liou K N, Cribb M C, et al. Grossman multiple scattering parameterization in thermal infrared radiative transfer. *J Atmos Sci*, 1997, 54:2799-2812.
- [16] Morcrette J J. Radiation and cloud radiative properties in the EC-MWF operational weather forecast model. *J Geophys Res*, 1991, 96: 9121-9132.
- [17] Gu Y, Farrara J, Liou K N, et al. Parameterization of cloud/radiation processes in the UCLA general circulation model. *J Climate*, 2003, 16:3357-3370.
- [18] Stephens G L, Gabriel P M, Partain P T. Parameterization of atmospheric radiative transfer. Part I: Validity of simple models. *J Atmos Sci*, 2001, 58: 3391-3409.
- [19] Barkstrom B R. The Earth Radiation Budget Experiment (ERBE). *Bull Amer Meteor Soc*, 1984, 65(11): 1170-1185.
- [20] 汪方, 丁一汇. 气候模式中云辐射反馈过程机理的评述. *地球科学进展*, 2005, 20(2): 207-215.

The Effects of Radiative Parameterization Scheme on Simulation of Cloud and Radiation in an AOGCM

Wang Fang Ding Yihui Xu Ying

(Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, CMA, Beijing 100081)

Abstract

Radiation is an important process in atmosphere. Currently the radiative parameterization schemes used in climate models are mainly simplified arithmetic, which show great uncertainty in climate change projection. To better understand the effects of radiative parameterizations on cloud and radiation simulation, a new parameterization scheme, Fu_Liou scheme, is introduced into NCC/IAP T63 AOGCM to replace the old scheme, Morcrette scheme.

NCC/IAP T63 AOGCM is a spectral model with triangular truncation at wave number 63. The horizontal resolution is $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ for both atmosphere and ocean component, and there are 16 and 30 vertical layers for atmosphere and ocean respectively. The main differences between two radiative schemes are in such aspects as division of waveband, approximation for radiative transfer, and treatment of cloud layer overlap in radiation calculation. In Fu_Liou scheme, the waveband is divided into 18 sub-wavebands, 6 for shortwave and 12 for long wave, while there are only 8 sub-wavebands (2 for shortwave and 6 for long wave) in Morcrette scheme. Fu_Liou scheme adopts δ -four-stream approximation which has high calculating accuracy, and uses the binary cloud when calculating the cloud effects on radiation. Two 20-year integrations are processed by use of the two schemes respectively. The first 10 years are used for coupling adjustment, and the last 10 years for analysis. Two types of monthly mean data, 40-year reanalysis data of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (ERA-40) and data from Earth Radiation Budget Experiment (ERBE), are used to verify the results.

The effects of the two schemes on the simulation of cloud and radiation are analysed in detail. The main results are as follows: Firstly, the incident radiation at TOA simulated by two schemes differs obviously, which is mainly caused by the difference in radiative arithmetic. Secondly, in clear sky the shortwave absorption of Fu_Liou scheme is generally lower than Morcrette scheme, especially in middle and high latitudes of winter hemisphere. The planetary albedo simulated by Fu_Liou scheme is closer to ERBE data than Morcrette scheme between 60°S and 60°N , mainly due to the improvement of simulation on clear-sky albedo. Thirdly, the simulated net radiation at

TOA in Fu_Liou scheme is improved obviously as compared with Morcrette scheme except for part of the east Pacific and east Atlantic where the cloud cover decreases remarkably in winter. Finally, the low stratocumulus simulated by Fu_Liou scheme decreases remarkably, which is caused by the weakening of static stability over ocean. The high cloud increases obviously, mainly due to the intensifying of convection in tropical region, as compared with Morcrette scheme. Although the cloud cover decreases, the use of binary cloud increases the cloud shortwave absorption in Fu_Liou scheme which improves the weak absorption in Morcrette scheme in some degree.

Key words: radiative parameterization; AOGCM; cloud and radiation; simulation

欢迎订阅《应用气象学报》

《应用气象学报》是由中国气象科学研究院、国家气象中心、国家卫星气象中心、国家气候中心、国家气象信息中心和中国气象局大气探测技术中心联合主办的大气科学技术与应用研究的综合性学术期刊。《应用气象学报》将向您提供有关我国大气科学领域内研究和应用成果的最新论文、资料、方法等大量信息,内容包括气象预报、卫星气象、农业气象、海洋气象、航空气象、环境气象、人工影响天气、应用气象、大气探测、遥感技术以及计算机应用技术等学科;还向您介绍国内外现代科技的最新理论与新技术在大气科学中应用的研究论文及信息。主要栏目有论著、短论、综合评述、业务系统、学术论坛、研究简报、书刊评介等。本刊被《中文核心要目总览》确认为大气科学(气象学)类核心期刊,并已首批入选“中国科学引文数据库”(CSCD),中国科学技术期刊文摘(CSTA)国家数据库(英文版)收录的刊源名单,并被美国气象学会“气象与地球天体物理学文摘”(MGA)和美国国际科学应用协会(SAIC)以及中国科学文摘(英文版)等多种文摘摘录。本刊还首批入选“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。《应用气象学报》面向广大的气象科研、业务技术人员、在校有关专业的研究生、大专院校师生等专业人员。

《应用气象学报》为双月刊,逢双月出版,可以随时汇款订阅或购买(户名:中国气象科学研究院,账号:6510005052610086013,开户行:北京建设银行白石桥支行)。2007年6期(每期定价30.00元),总订价180.00元(含邮资)。

订阅地址:北京市中关村南大街46号,中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部;邮政编码:100081。

联系电话:(010) 68407086,68408638。E-mail地址:yyqxb@cams.cma.gov.cn,yyqxb@163.com。