

臭氧和海温对夏季大气的影响机制*

王 谦 谦

钱 永 甫

葛 朝 霞

(南京气象学院, 南京, 210044) (南京大学大气科学系, 南京, 210008) (南京气象学院)

用球圈范围的 $P-\sigma$ 坐标模式对 O_3 和海温的影响进行了数值试验, 第一种方案不包含 O_3 , 第二种包含了 O_3 , 第三种既包含了 O_3 又引入了海洋混合层。结果表明, O_3 对大气的直接作用表现为高层大气的加热率增大, 改变了 100hPa 的气象场。间接作用则表现为 O_3 引入促发了积云对流加热率的变化, 从而影响中、低层大气的加热率。海洋混合层的影响是直接的, 主要通过海面感热和蒸发量的变化影响低层大气。

1 臭氧和海温作用的参数化方法

在原模式^[1]中, 没有考虑 O_3 对长短波辐射的影响。本文则引进 O_3 的辐射效应, 参数化方法, 可参见文献[2—4]。模式中的 O_3 含量随高度与纬度变化, 其变化规律是根据实测资料^[5]拟合。由图 1 可见, O_3 含量随纬度的增高而变大, 且随高度的降低急剧减小(图略), 这些均与实况相符^[5]。

在原模式^[1]中, 将海温日变化深度取为 1m 并设海温具有垂直梯度, 因此计算出的海温偏高。本文假定海洋上层 50m 厚的海水充分混合, 海温呈均匀分布, 称之为海洋混合层。不难设想, 用该方案计算得的海温, 其变化幅度较原方案小, 更符合深海的观测事实。

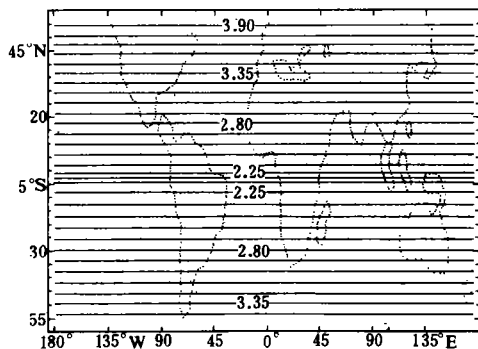


图 1 大气顶—200hPa 层中 O_3 含量的水平分布(单位: mm)

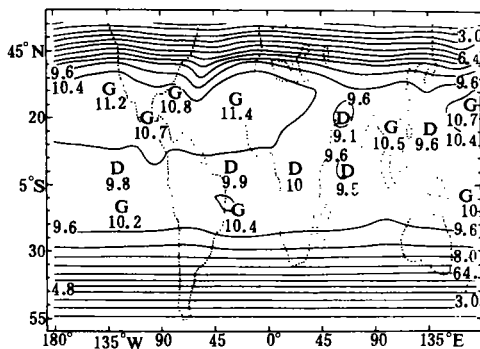


图 2 O_3 和 CNT 试验 100hPa 温度差值($^{\circ}C$)

2 模式与试验方案

本文所用模式^[6]的初始场取 7 月纬向平均的 100, 300, 500, 700, 1000hPa 的高度场以

* 1992 年 4 月 18 日收到原稿, 1992 年 11 月 9 日收到修改稿。

及 500, 700, 850, 1000hPa 的比湿场, 资料取自文献[7], 海温初始场也为 7 月的纬向平均值。

文中设计了三种数值试验, 完全采用原模式的方案, 称为 CNT 试验; 包含 O_3 影响的称为 O_3 试验, 既包含 O_3 又引进海洋混合层的称为 O_3 -MST 试验。三个试验积分 5d 后的形势已接近气候平均场, 积分 30d 后所得的平均场与 10d 的结果相差无几, 为节省机时, 三个试验均积分 10d, 取后 5d 中每小时结果累加后的平均值分析。

3 模拟结果和影响机制的讨论

三种方案的结果都表明, 模式能较好地模拟出夏季平均的气候特征。以下从三者之间的差别, 来分析 O_3 和海温对大气的作用。

3.1 O_3 对夏季大气的作用

图 2 指出模式中引入 O_3 作用后, 100hPa 温度普遍升高, 最大值可达 11.4°C , 高度也增加, 最大可升高 210gpm(图略)。升温和增高最明显的地区都在 20°N 附近的低纬热带地区上空, 自中纬开始变化幅度向极地急剧地减小。与图 1 相比, 可发现增温的最大值区和 O_3 含量的大值区不重合。分析 100hPa 纬向风分量的差值(图略)表明, 在 5°S — 20°N 之间, 东风增大, 最大可达 1.7m/s , 其余地区西风增大, 最大增值发生在 40° — 45°N 之间, 其极值可达 6 — 8m/s 。

综上所述, O_3 的作用可使 100hPa 升温和增高, 北半球的两大陆高压两侧的风速增强。因此明显改善了高空温压场和流场的模拟效果。另外, 从两种方案的海平面差值图上还可以看出, O_3 的作用可使海平面气压场普遍降低

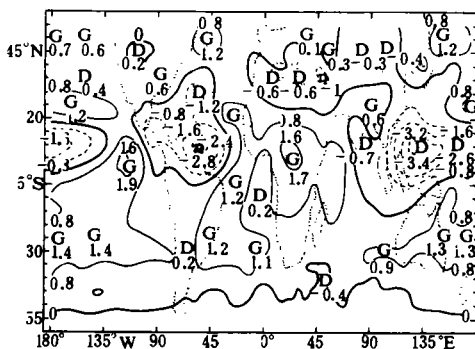
3.2 海温对夏季大气的作用

将 O_3 -MST 与 O_3 试验相比较可发现, 高层大气两者的差异很小, 以下着重分析低层大气。在 O_3 方案中, 两大洋的副高偏弱, 东北信风不明显。在 O_3 -MST 试验中, 副高加强使其南侧的东风气流也随之加强, 从图 3 可见, 在 5° — 20°N 之间, 海洋上东风分量明显增强, 西南季风区的西风分量增加, 明显改善了边界层风场的模拟结果。

3.3 O_3 对夏季大气场的影响机制

加热场是使气象场发生变化的直接原因, 而温压场与流场之间的相互作用及其对加热场的反作用, 是导致大气平均特征形成的根本因素。因此, 在研究影响机制时, 从加热场入手。

由图 4a 可见, 由于 O_3 的引入, 整层总加热率均增大, 变化最明显的是北半球的中低纬地区。与图 1 相比可见, 它与 O_3 含量的大值区不重合, 由此可以推论, 该加热大值不会是 O_3 的直接加热所引起, 那么它是由什么加热分量的贡献为主呢? 为此分别沿 10°N 和 30°N 作出总加热率及各加热分量的差值水平分布, 在低纬地区(图 4b), 对总加热率贡献



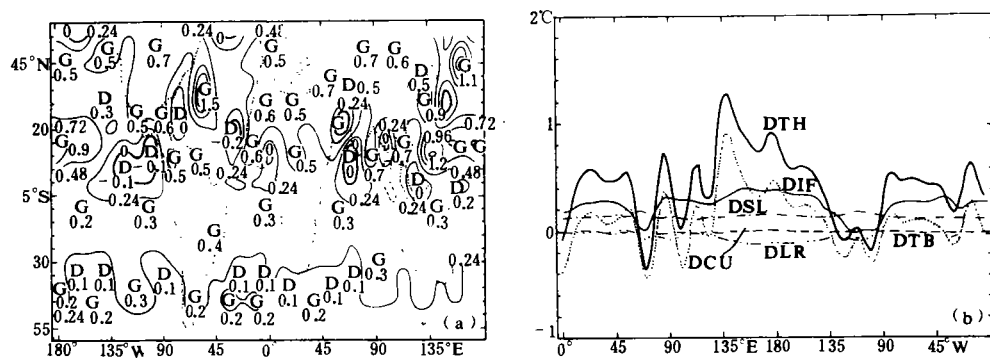


图 4 (a) O_3 和 CNT 试验整层总加热率的差值(虚线为负,粗实线为 0,实线为正,等值线间隔 $0.24\text{ }^{\circ}\text{C/d}$);(b) 沿 10°N 的整层总加热率及各加热分量的差值分布

(图中 DTH: 总加热率; DIF: 长波加热分量; DCU: 积云对流加热分量; DTB: 湍流分量; DSL: 太阳短波分量; DLR: 大尺度凝结加热分量)

最大的是积云对流加热分量(DCU),其次是长波加热分量(DIF),太阳短波加热分量在各经度上虽均为正值,但数值很小。在中纬地区,情况却有所不同,对总加热率贡献最大的是长波分量,不过在两大洋上,仍是以积云对流分量为主。为了进一步说明,分析沿 10°N 和 30°N (图略)的总加热率差值垂直剖面,可发现在 15 km 的高空出现极值,它显然来自 O_3 的直接加热。但同样可注意到,在 O_3 含量很小的对流层中低层,还存在着另一极值区,其数值比高空的还要大,对照图 4b 可知,这些极值区显然是由于积云对流加热分量的变化所引起。同样还可发现,虽然 O_3 含量沿纬度是均匀分布的,但加热率的变化却具有明显的纬向不对称性,这显然是由于下垫面纬向分布的不均匀所造成。至于 O_3 的引入如何引起积云对流的变化将有待更进一步研究。

3.4 海温对夏季大气场的影响机制

分析 O_3 -MST 和 O_3 试验的整层总加热率差值(图略)可见,引入海洋混合层后,沿 15°N 的低纬地区变化最明显,开阔的洋面主要是负值区,大陆及海岸附近为正值区。分析沿 15°N 整层总加热率及各分量的差值分布(图略)可见,积云对流加热的变化是引起总加热率变化的主要因素。为了说明积云对流加热分量变化的原因,首先分析两种方案的地面温度差值分布(图略),在 O_3 -MST 试验中,海温普遍下降,在 15°N 附近的洋面上,可下降 $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$,导致海洋大气边界层感热加热率减小,由此引起海洋大气边界层的温度必然降低。另一方面,从两种试验地表蒸发量的差值分布图上也可见,在中低纬洋面上,日蒸发量可减少 $2\text{--}3\text{ mm}$,从而使海洋大气边界层中的比湿减少。由此可见,海洋地区大气的稳定度增加将抑制积云对流活动。此外,北半球中、低纬的陆地上地表温度变化很小,使得海陆热力差异增加,因此,低层风场向陆地的辐合增强,这会引引起陆地上对流活动的增强。从沿 15°N 总加热率的垂直剖面图(图略)上确实可以看出,加热率变化的正负中心都出现在 5 km 左右的对流层中层,且大陆加热增加,海洋加热减少。

4 结论

(1) O_3 可直接加热高层大气,使 100 hPa 升温 and 增高,从而改善了 100 hPa 南亚高压南

北两侧东、西风气流的模拟结果, O_3 的作用可使海平面气压降低。 O_3 对辐射的影响可视为直接作用,由于 O_3 的引入所激发的积云对流加热分量的变化是其间接作用,从量值看,间接作用更大。

(2)海洋混合层的引入对高层大气影响较小,对低层大气的气压和流场有明显影响。海温变化可直接导致海面感热和蒸发通量的变化,从而改变海洋大气边界层的温度、湿度及垂直稳定度,使积云对流活动改变。陆地上的变化则是通过动力作用的间接影响而造成的。

参考文献

- [1] 王谦谦,葛朝霞. 七月中低纬地区定常波动和加热场模拟特征. 热带气象, 1992, 8(2): 151—159.
- [2] Lacis A A, Hansen J E. A parameterization for the absorption of solar radiation in the earth's atmosphere. J A S, 1974, 31: 118—113.
- [3] Kuo H L. Analytic infrared transmissivities of the atmosphere. Contri to Atmo Phys, 1977, 50: 331—349.
- [4] Kuo H L. Infrared cooling rate in a standard atmosphere. Contri to Atmo Phys, 1979, 52: 85—94.
- [5] 刘健,邹进上. 大气臭氧的时空分布及其气候特征. 天地生综合研究进展, 433—439, 中国科学技术出版社 1989. 12.
- [6] 钱永甫. A Five-layer primitive equation model with topography, 高原气象, 1985, 4(2)(增刊): 1—28.
- [7] 吴国雄,刘还珠. 全球大气环流时间平均图集, 气象出版社, 1987, 15, 19.

ON THE MECHANISM OF THE EFFECTS OF OZONE AND SEA SURFACE TEMPERATURE ON THE SUMMER ATMOSPHERIC FIELDS

Wang Qianqian

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing, 210044)

Qian Yongfu

(Nanjing University, Nanjing, 210008)

Ge Zhaoxia

(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract

By the use of a numerical model with global domain, three numerical experiments are conducted. Results show that the inclusion of O_3 increases the heating rates at the upper levels. It also influences the heating component of cumulus condensation, as well as the heating rates at the lower levels. The inclusion of the ocean mixing layer has direct effects on SST, mainly through the changes of the sensible heat flux and the evaporation amount.