

# 气溶胶间接气候效应的模拟研究

## 1 引言

气溶胶—云—辐射之间的相互作用既是气候系统最不确定的因素之一,也是当前气候研究中的难点问题。气溶胶颗粒可以作为云凝结核或冰核改变云的微物理和辐射性质以及云的寿命,称为气溶胶的间接气候效应(石广玉等,2008)<sup>[1]</sup>。气溶胶的间接气候效应通常分为两类:第一类是指当云中的液态水含量不变时,气溶胶粒子的增加会增加云滴数目,减小云滴的有效半径,导致云的反照率增加,称为云的反照率影响;第二类是指气溶胶粒子增加所造成的云滴有效半径的减小将减弱云的降水效率,增加云的寿命或云中的凝结水,使时间平均或区域平均的云反照率增加,称为云的生命期影响。

气溶胶与云的微物理特性之间的联系很早就被科学家们所发现。早期的观测研究已经表明,深林火灾产生的浓烟导致云滴数浓度增加和云滴尺寸减小(Warner, et al., 1967; Eagan, et al., 1974)<sup>[2,3]</sup>。近年来以观测研究为基础,气溶胶间接气候效应的研究已经取得了明显的进步,特别是对低层层云的研究,已经建立了一套相对更简单的云观测系统。Nakajima等(2001)<sup>[4]</sup>利用AVHRR卫星观测资料分析了海洋上气溶胶柱含量和柱云滴数浓度之间的关系,结果表明二者之间存在正相关关系,且随着云光学厚度的增加,低层暖云的反射比增加。Twohy等(2005)<sup>[5]</sup>的研究指出在一些高污染区,云的液态水含量会减少,云的反射比也相应减小。赵春生等(2005)<sup>[6]</sup>利用大气气溶胶和云分档模式研究了海盐气溶胶和硫酸盐气溶胶在云微物理过程中的作用,结果表明硫酸盐和海盐都对云滴数浓度有影响。此外,气溶胶也能影响混合相云中冰核的数浓度和大小(Lohmann, 2004; Seifert, et al., 2006)<sup>[7,8]</sup>。但目前,气溶胶颗粒对高云的影响究竟有多大还没有定论。由于观测条件的限制,近年来利用全球气候模式研究气溶胶间接气候效应成为了非常重要的工具。IPCC(2007)<sup>[9]</sup>总结不同模式得出的人为气溶胶的云反照率影响的辐射强迫的范围为-0.22到-1.85 W/m<sup>2</sup>;云生命周期影响造成的辐射通量的变化范围为-0.3到-1.4 W/m<sup>2</sup>。目前,气溶胶的间接气候效应还存在很大的不确定性,有必要给予进一步的研究。

本文利用中国气象局国家气候中心的大气环流模式 BCC\_AGCM2.0.1 研究了气溶胶的间接效应对气候的影响。文章第二部分介绍了模式的基本情况和气溶胶—云相互作用的参数化方案以及实验设计;第三部分讨论了气溶胶各种间接效应对气候的影响;第四部分给出了文章的结论。

## 2 模式描述和方法

### 2.1 模式基本情况

中国气象局国家气候中心的大气环流模式BCC\_AGCM2.0.1 以NCAR的集合大气模式CAM3 为基础发展,对气候态具有非常好的模拟性能(BCC\_AGCM2.0.1 的介绍、改进及模拟效果请参考文献Wu, et al., 2008a, 2008b)<sup>[10, 11]</sup>。该模式采用 42 波三角截断的水平方案(T42, 近似于  $2.8^\circ \times 2.8^\circ$ ), 垂直方向采用混合 $\sigma$ -压力坐标系, 共 26 层, 最顶层为 2.9 hPa。辐射参数化方案为 19 光谱波段的二流 $\delta$ -Eddington近似(Briegleb, 1992)<sup>[12]</sup>。水云的辐射计算采用了Slingo (1989)<sup>[13]</sup>的参数化方案。模式使用 1971-2000 年NCEP再分析的月平均气候态资料作为初始场, 各种气溶胶的质量浓度由大气化学传输模式MATCH和气溶胶光学厚度的卫星反演组成的气溶胶同化系统产生(Collins, et al., 2001)<sup>[14]</sup>。