



中国地区气溶胶气候效应研究进展

董俊玲^{1,2}, 张仁健¹, 符淙斌¹

(1.中国科学院 大气物理研究所, 北京 100029; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:为了概述中国地区气溶胶气候效应的研究进展,通过阅读近 5 年(2004—2008)发表的关于中国地区不同种类气溶胶气候效应的论文,并选取其中有代表性的文献进行分析,得出结论:近 5 年来,中国地区气溶胶气候效应的研究主要集中在硫酸盐气溶胶、沙尘气溶胶和黑碳气溶胶,研究方法主要是用中尺度模式或区域气候模式模拟气溶胶对气候变化的影响。

关键词:气溶胶;气候效应;研究进展

中图分类号:X513 **文献标志码:**A

文章编号:1008-5548(2010)01-0001-04

Research Advance of Aerosol Climate Effect in China

Dong Junling^{1,2}, Zhang Renjian¹, Fu Congbin¹

(1. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: In order to provide a brief introduction of aerosol, their climate effect and the present situation of research advance in China, the related papers published in the last five years (2004—2008) were read and some typical papers were studied carefully. The results showed that, in the last five years, the researches about climate effect of aerosol in China focused on sulfate, black carbon and dust aerosol, and the research method was simulating the impact of aerosols on climate change with mesoscale model or regional climate model.

Key words: aerosol; climate effect; research advance

气溶胶是空气中悬浮的固态或液态颗粒的总称,典型大小为 0.01~10 μm ,能在空气中滞留至少几个小时,主要有沙尘气溶胶、碳气溶胶、硫酸盐气溶胶、硝酸盐气溶胶、铵盐气溶胶和海盐气溶胶。气溶胶一旦进入大气,就随着大气而运动。大的气溶胶粒子在重力作用下在空中滞留时间很短,小粒径的气溶胶粒子在静止大气中由对流层上部落回到地面需要几天至数十天。若有热对流运动,靠重力沉降到地面几乎是不可能。气溶胶粒子间的碰并和粒子与云滴、雨滴的

并合是对流层中气溶胶清除的主要过程。另外气溶胶作为凝结核,在过饱和的大气中凝结水汽形成云滴、雨滴,也是对流层中气溶胶清除的重要过程。有些研究认为,对流层内的尘埃气溶胶对地球的冷却作用不是十分重要的,因为它们在降水和核化过程中很快被清除,由火山喷发的硫化物在大气中产生硫酸盐气溶胶能达到对流层以上的平流层,因而对全球气候的冷却效应有较大的影响^[1]。

1 气溶胶气候效应的研究

当今社会的发展已进入到严重影响人类生存环境的时代,气候变化是这一影响的重要特征。自工业革命以来,人类加速了向大气排放燃烧废弃物 CH_4 、 NO_x 等温室气体。全球温度升高,温室效应是一个重要焦点。气候学家在针对不断增加的温室气体,运用气候模式对气候变化状态进行预测,但是预测的准确性仍是十分有限的。某些年代虽然温室气体的排放量虽有增加,但是全球气温却又出现了普遍下降。人们开始相信温室气体不是气候变化的唯一因子,另一重要的因子就是大气气溶胶,它在大气中具有冷却效应。人们开始注意气溶胶的气候效应是在上世纪 70 年代。1971 年 Rasool 和 Schneider 提出:若全球的气溶胶本底浓度增加 4 倍,将会使地面平均温度降低 3.5 $^{\circ}\text{C}$,但是事过不久,全球性增暖现象使气溶胶气候效应被淡化。直到 1991 年菲律宾的皮那图博 (Pinatubo) 火山喷发,大量的尘埃和硫酸盐气溶胶进入大气,全球平均温度下降了 0.5 $^{\circ}\text{C}$,气溶胶对气候的影响才又引起关注。

1.1 直接效应和间接效应

大气气溶胶的气候效应主要通过两个方面来实现:直接辐射强迫和间接气候效应。其直接气候效应是指通过散射辐射和吸收辐射直接影响气候。气溶胶粒子可以散射和吸收太阳辐射,从而直接造成大气吸收的太阳辐射能、到达地面的太阳辐射能以及大气顶反射回外空的太阳辐射能的变化。其中不涉及与任何其他过程的相互作用,所以被称为气溶胶的直接强迫。气溶胶粒子对长波红外辐射的散射和吸收可以忽

收稿日期:2009-11-06

第一作者简介:董俊玲(1983-),女,硕博研究生,主要从事气溶胶和区域气候模式方面的研究。E-mail: dongjl@mail.tea.ac.cn。

略。其间接气候效应是指作为云凝结核或冰核而改变云的微物理和光学特性以及降水效率,从而间接地影响气候。气溶胶粒子的存在可以改变云的物理和微物理特征,并进而改变云的辐射特征,影响太阳能在天气系统中的分配。由于这种效应涉及到气溶胶与大气其他辐射活性成分的相互作用,因此称为间接效应。间接效应又可以分为云反射率效应和冰核化效应和热力学效应。云反照率效应是指在云内液态水含量不变的情况下,气溶胶粒子的增多会增加云滴数浓度,但使云滴粒子变小,从而导致云反照率变大。冰核化效应是指由于冰面与水面上的水气压不同,冰核的增多将导致过冷液态水云的迅速冰核化。热力学效应指的是由于云滴变小,凝结滞后,致使过冷云扩展到更低的温度。此外,大气气溶胶的气候效应除了直接辐射强迫和间接效应,还有一种半直接效应,即烟尘等对太阳辐射具有较强吸收作用的气溶胶,会将其吸收的太阳辐射能作为热辐射重新向外释放,从而加热气团、增加相对于地表的静力稳定性,也可能会导致云滴的蒸发,造成云量和云反照率的减小,从而影响气候^[1]。

1.2 中国地区的研究

尽管气溶胶在大气中的含量相对较少,但它在全球气候的变化中起着重要的作用。中国在此方面的研究起步比较晚,但近年来发展比较迅速。2006 年我国专家围绕中国气溶胶物理、化学特性及区域灰霾的观测,中国气溶胶光学特性的观测,气溶胶生成、输送与清除过程及区域灰霾形成机制气溶胶直接辐射效应,气溶胶间接辐射效应、气溶胶气候效应及未来的情景预估等内容展开深入研究。该研究在我国大气气溶胶的气候效应研究方面具有重要意义,其成功实施将加深我们对中国地区气溶胶时空分布及其辐射强迫和气候效应及变化规律的认识,从而减少国内目前研究存在的许多不确定性,提高预测未来气候变化的可信度,同时提高认识和准确描述、预报区域大气气溶胶污染的能力,在全球气候变化这一重大科学问题上做出巨大的贡献^[2]。

2 各类气溶胶气候效应的研究进展

气溶胶是空气中悬浮的固态或液态颗粒的总称。很多过程可以产生气溶胶,主要分为自然源气溶胶和人为活动产生的气溶胶。工业化革命以来,人类活动不仅直接向大气排放大量粒子,更重要的是向大气排放大量的 SO_2 , SO_2 在大气中通过非均相化学反应逐渐转化成硫酸盐粒子,形成二次气溶胶。不同来源和种类的气溶胶由于其物理化学性质不同,在大气中的直接或间接气候效应也各不相同,因而不能一概而

论。现阶段中国研究者大多着重分析某一种气溶胶的气候效应,其中研究比较多的是黑碳气溶胶、硫酸盐气溶胶、沙尘气溶胶及生物气溶胶。

2.1 黑碳气溶胶气候效应

黑碳气溶胶在大气中浓度较低,在大气气溶胶成分中所占比例也比较小,一般占百分之几或十几,在全球的浓度分布也具有明显的差别。黑碳气溶胶在大气中滞留时间约 7 d,比温室气体短得多,但是由于其在气溶胶气候强迫直接和间接作用中占有重要的地位,它的重要性也逐渐被人们所认识,成为气溶胶研究中的重点^[3]。大气中的黑碳气溶胶能吸收太阳短波辐射,从而影响太阳辐射传输,加热大气,降低地表温度。同时,黑碳气溶胶能吸收放射红外辐射,影响地球长波辐射。不同于其他多数气溶胶能反射太阳辐射,黑碳气溶胶的吸收加热作用,不仅能改变区域大气的稳定性和垂直作用,而且能影响大尺度环流和水循环。早年,张瑛等^[4]从理论上研究了黑碳与硫酸盐气溶胶在不同体积混合比和不同浓度下的辐射强迫,指出黑碳气溶胶的辐射强迫值依赖于浓度和混合方式。之后,张立盛等^[5]利用辐射传输模式对全球范围内烟尘黑碳气溶胶单独存在以及同硫酸盐气溶胶外部混合时的辐射强迫进行了模拟估算,得到烟尘气溶胶的辐射强迫为 0.22 W/m^2 。张靖等^[6]利用区域气候模式 RegCM3 模拟研究了黑碳气溶胶对我国区域气候的影响,模拟结果显示:黑碳气溶胶在大气层顶产生正的辐射强迫,在地表产生负的辐射强迫;黑碳气溶胶的加入使中国大陆地区地面温度发生明显变化,并呈现显著的季节特征。另外,黑碳气溶胶的排放使我国长江中下游等南方地区夏季降水增加,而北方部分地区降水减少。吴润等^[7]的区域气候模拟结果也指出:黑碳气溶胶对太阳辐射存在较强的吸收,有明显的直接辐射效应。

2.2 硫酸盐气溶胶气候效应

硫酸盐气溶胶是由大气中的 SO_2 转化而来的。近几十年来,由于矿物燃料使用量的增加引起大气中 SO_2 浓度上升,硫酸盐气溶胶的含量大大增加。据统计,对流层中 2/3 以上的 SO_2 是人为排放的,其中 90% 来源于北半球^[8]。作为一种主要的人为气溶胶,硫酸盐气溶胶不仅有明显的环境效应,而且有强烈的气候效应。高丽洁等^[9]根据 2000 年污染源排放资料,利用中尺度气象模式和欧拉输送模式模拟了中国地区硫酸盐气溶胶的分布,估计了硫酸盐气溶胶对地面-对流层大气系统造成的直接辐射强迫和间接辐射强迫。结果表明:硫酸盐的分布集中在华中、华东和西南地区;硫酸盐的柱含量、辐射强迫都具有明显的季节变化特征,直接辐射强迫表现为冬、春季强,夏、秋季较弱,间

接辐射强迫表现为夏、秋季强,冬、春季弱。吴润等^[10]利用区域气候模式 RegCM2 与大气化学模式连接的模拟系统,研究了中国地区人为排放生成的硫酸盐气溶胶分布及其辐射气候效应,并与全球模式的结果进行了比较得出,区域气候和大气化学耦合模式系统能在比大气环流模式更精细的尺度上获得硫酸盐分布规律和辐射气候效应;并且区域气候模式与大气化学模式的在线与离线连接方法得到的硫酸盐柱含量、有反馈和无反馈大气顶直接辐射强迫和地表温度响应在较小区域平均的尺度上存在较显著的差异。孙家仁等^[11]利用 NCAR 的新一代 GCM CAM3.0 模式离线耦合一个气溶胶同化系统,模拟研究了中国区域硫酸盐气溶胶的直接气候效应对东亚夏季风及其降水的影响。结果显示:中国区域硫酸盐气溶胶引起全球平均的直接辐射强迫为 -0.25 W/m^2 ,硫酸盐气溶胶对中国地区的对流活动起抑制作用。

2.3 沙尘气溶胶气候效应

世界范围内有中亚、北美、中非和澳大利亚 4 大沙尘暴多发区,我国西北地区属于中亚沙尘暴区的一部分,是全球沙尘气溶胶主要排放源地之一,源于该地区的沙尘也是全球大气气溶胶的重要组成部分。我国对沙尘气溶胶的研究虽然从 20 世纪 70 年代就已经开始,但直到 90 年代由于沙尘暴频繁暴发对我国社会经济和人民生活财产造成巨大损失后,才引起我国政府和科技工作者的高度重视,使沙尘暴和沙尘气溶胶的研究成为热点。同时,沙尘气溶胶的气候效应也是气溶胶气候效应的难点之一,气候变化、土地利用和土地覆盖的变化、城市化和沙漠化的加剧等自然或人为因子引起的地表特征和大气状况的变化都可能改变沙尘暴的频率及强度。而且,沙尘气溶胶既能吸收又能反射太阳和红外辐射,因而在不同条件下对气候产生加热或冷却作用,所以沙尘气溶胶与地球辐射系统的相互作用比其它气溶胶更复杂^[12]。沙尘气溶胶通过多种方式影响气候,如宿兴涛^[13]提到沙尘气溶胶的“阳伞效应”,通过散射和吸收太阳辐射直接影响;“冰核效应”是以云凝结核形式改变云光学特性和寿命而产生间接影响;“铁肥料效应”是通过铁元素控制着海洋表层浮游生物的固氮过程,固氮过程又控制着海洋表层的浮游生物生产量,浮游生物生产量又会影响大气中的二氧化碳量。赵伟等^[14]在区域气候模式 RIEMS2.0 中引入沙尘气溶胶的起沙机制,同时建立了与气候模式连接的沙尘气溶胶输送模式,并在辐射模块中加入沙尘气溶胶的影响,模拟沙尘气溶胶的输送、扩散、沉降等过程以及对辐射的影响。

2.4 生物气溶胶气候效应

大气生物气溶胶作为一门新兴的、交叉的、涉及

空气污染环境质量评估及人类健康的学科走入大众和气象学家的视线。具有生命的气溶胶粒子(包括细菌、真菌、病毒等微生物粒子)和活性粒子(花粉、孢子等)以及由有生命活性的机体所释放到空气中的各种质粒被统称为生物气溶胶。由于空气微生物是大气生物气溶胶的主要组成部分,所以生物气溶胶有时又被称为微生物气溶胶,依其种类可划分为细菌气溶胶、真菌气溶胶、病毒气溶胶等。具有较大意义的生物气溶胶的粒径范围是 $0.1\sim 20.0\text{ }\mu\text{m}$ ^[15]。生物气溶胶种类繁多,分布广泛,是大气气溶胶的一个重要组成部分,间接影响全球气候变化,并对大气化学和物理过程有着潜在的重要影响。但是,当前国际上生物气溶胶的研究更多的侧重于即生物气溶胶的健康效应,即其毒性、致病性对人类健康的影响,而相对缺乏从空气污染和环境评价及生态环境角度来研究大气生物气溶胶的健康效应,大气生物气溶胶的气候效应方面的研究更乏人问津。事实上,生物气溶胶中的几类生物体(如真菌、细菌和藻类)都被鉴别出是有效的云凝结核,并在以活性云凝结核的形式存在。当生物气溶胶与有机物碰撞接触时可以改变大气中有机物的化学组成并改变其云凝结核特性,从而影响云生成并间接影响全球气候变化^[16]。

3 结论

根据国际政府间气候变化专门委员会(IPCC)的第四次报告,过去 100 年,全球平均气温上升了 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$,并因此引发了一系列问题,如海平面上升、干旱化、极端事件增多等等,因而全球变暖等气候问题引起广泛关注,大气气溶胶的气候效应问题也因此引起各方面的重视。对于它在气候变化中究竟起了何种作用以及如何量化和评价它的这些作用,研究者在不同方面、用不同方法进行了许多研究。近 5 年来,中国地区气溶胶气候效应的研究主要集中在硫酸盐气溶胶、沙尘气溶胶和黑碳气溶胶,研究方法主要是用中尺度模式或区域气候模式模拟气溶胶对气候变化的影响,取得了一定的进展。但是,大气气溶胶的气候效应是一个十分复杂的问题,有许多课题仍待研究。特别是,气溶胶的环境和气候效应可能是一把双刃剑,减少人为气溶胶的释放无疑将改善颗粒物污染,有利于环境和人类健康,但是,随着硫酸盐等气溶胶释放的减少,其冷却效应的减弱,可能会加速全球气候变暖的进程^[1]。

参考文献(References):

- [1] 石广玉,王标,张华,等.大气气溶胶的辐射与气候效应[J].大气科学,2008,32(4):826-840
- [2] 张小曳.中国大气气溶胶及其气候效应的研究[J].地球科学进展,

- 2007,22(1):12-16
- [3] 徐黎,王亚强,罗勇,等.黑碳气溶胶的气候效应和拓展的研究领域[J].气候变化研究进展,2007,3(6):328-333
- [4] 张瑛,高庆先.硫酸盐和碳黑气溶胶辐射效应的研究[J].应用气象学报,1997,8(增刊):87-91
- [5] 张立盛,石广玉.硫酸盐和烟尘气溶胶辐射特性及辐射强迫的模拟估算[J].大气科学,2001,25(2):231-24
- [6] 张靖,银燕.黑碳气溶胶对我国区域气候影响的数值模拟[J].南京气象学院学报,2008,31(6):852-859
- [7] 吴洞,符淙斌.近5年来东亚春季黑碳气溶胶分布输送和辐射效应的模拟研究[J].大气科学,2005,29(1):111-119
- [8] 钱云,符淙斌.SO₂排放、硫酸盐气溶胶和气候变化[J].地球科学进展,1996,12(5):440-446
- [9] 高丽洁,王体健,徐永福,等.中国硫酸盐气溶胶及其辐射强迫的模拟[J].高原气象,2004,23(5):612-619
- [10] 吴洞,罗燕,王卫国.东亚地区人为硫酸盐气溶胶辐射气候效应不同模拟方法的对比[J].云南大学学报,2005,27(4):323-331
- [11] 孙家仁,刘煜.中国区域气溶胶对东亚夏季风的可能影响(Ⅰ):硫酸盐气溶胶的影响[J].气候变化研究进展,2008,4(2):111-116
- [12] 王明星,张仁健.大气气溶胶研究的前沿问题[J].气候与环境研究,2001,6(1):119-124
- [13] 宿兴涛.中国沙尘气溶胶研究新进展[J].气象与环境科学,2008,31(3):72-77
- [14] 赵伟,刘红年,吴洞.中国春季沙尘气溶胶的辐射效应及对气候影响的研究[J].南京大学学报:自然科学版,2008,44(6):598-607
- [15] 杜睿.大气生物气溶胶的研究进展[J].气候与环境研究,2006,11(4):546-552
- [16] 祁建华,高会旺.生物气溶胶研究进展:环境与气候效应[J].生态环境,2006,15(4):854-861