

文章编号 1001-8166(2007)01-0012-05

中国大气气溶胶及其气候效应的研究^{*}

张小曳

(中国气象科学研究院,中国气象局大气成分观测与服务中心,北京 100081)

摘要:介绍了 2006 年新立项的国家重点基础研究发展计划项目“中国大气气溶胶及其气候效应的研究”的目的、意义、关键科学问题等。该项目预期在中国大气气溶胶理化和光学特性的时空分布特征、气溶胶数值模拟及大气灰霾数值预报方法、气溶胶直接—间接辐射特性、气候效应等方面开展系统的研究,从而降低气溶胶气候效应研究中的不确定性,提高气候预估的可信度。同时提高描述和预报区域大气污染的能力。不仅在全球气候变化这一重大科学问题上做出相应的贡献,也为国家环境外交、区域大气灰霾污染控制提供科学支持。

关键词:气溶胶;区域大气灰霾;辐射气候效应

中图分类号: X513 **文献标识码:** A

1 引言

大气气溶胶是指悬浮在大气中的固态和液态颗粒物的总称,主要是指六大类 7 种气溶胶粒子:沙尘气溶胶、碳气溶胶(黑碳和有机碳气溶胶)、硫酸盐气溶胶、硝酸盐气溶胶、铵盐气溶胶和海盐气溶胶。已有的研究表明,气溶胶不仅在全球气候的变化中起着重要的作用,而且还会对区域大气灰霾污染的形成发挥主导作用。

IPCC 第三次评估报告^[1]指出,在众多的气候变化影响因子中,最不确定和亟待深入认识的是气溶胶的辐射强迫作用。该报告认为,在工业革命(1750 年)以来的 250 多年来,太阳常数(气候变化自然因素的主要代表)变化的贡献估计为 $+0.3 \pm 0.2 \text{ W/m}^2$, CO_2 等温室气体增加引起的全球年均辐射强迫为 2.4 W/m^2 ,误差大约只有 10%。但是,对各种气溶胶所产生的直接辐射强迫的估计却存在着极大的不确定性,如硫酸盐为 $-0.4 (-0.2 \sim -0.8) \text{ W/m}^2$;生物质燃烧产生的气溶胶为 $-0.2 (-0.07 \sim -0.6) \text{ W/m}^2$,不确定性因子高达 4~9,其它类型气溶胶辐射强迫的不确定性就更大。

除了直接辐射强迫外,大气气溶胶粒子还可以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,这被称为气溶胶的间接气候效应。然而,由于气溶胶的时空多变性、化学成分的复杂性以及气溶胶—云凝结核—云—辐射之间复杂的非线性关系,气溶胶对气候的间接强迫作用仍是全球气候变化数值模拟和预测中最不确定的因子^[1]。

国际上先后开展了一些观测实验和数值模拟的工作来认识大气气溶胶的物理、化学、光学特性及其时空分布^[2-5]。世界气象组织(WMO)的全球大气观测(GAW)计划与一些区域观测网络如美国的 IMPROVE、欧洲的 EMEP 和加拿大的 CAPMoN 一起,提供了一个覆盖全球的各种气溶胶时空分布的网络化观测结果,为气溶胶变化趋势提供了重要信息,也为评估气溶胶的模式输出提供了验证。国际大型观测计划还包括在南澳大利亚海域进行的气溶胶特征试验 ACE-1、在东北大西洋海域进行的 ACE-2、在印度洋海域进行的 INDOEX 和在西北太平洋海域进行的 ACE-Asia 等^[6-10]。这些计划的目标包括:确定主要气溶胶的物理、化学和光学特性,气溶

* 收稿日期:2006-10-24;修回日期:2006-12-30。

* 基金项目:国家重点基础研究发展计划项目“中国大气气溶胶及其气候效应的研究”(编号:2006CB403700)资助。

作者简介:张小曳(1963-)男,北京人,研究员,博士生导师,主要从事大气成分与全球变化研究。E-mail: xiaoye@cams.cma.gov.cn

胶—云—辐射的相互影响等。特别值得一提的是, 1995—1999 年间进行的 INDOEX 观测计划发现在印度洋上空有一约 3 km 厚、相当于美国陆地面积大小的棕色污染云团称之为亚洲棕色云团 (Asia Brown Clouds), 后改为大气棕色云团 (Atmospheric Brown Clouds, 简称 ABC), 其中含有大量的含碳气溶胶粒子、硫酸盐、硝酸盐和铵盐气溶胶粒子等。初步发现云团将对包括我国在内的广大地区乃至全球的气候产生很大的影响。尽管 ACE-Asia 和 INDOEX 项目取得了重大进展, 但是由于对亚洲气溶胶的物理化学特性和区域尺度的棕色云团的变化规律研究尚处于起步阶段, 认识还不够深入, 目前尚有许多重大科学问题亟待解决^[1, 11~15]。

在大气气溶胶光学和辐射特性方面, 国际上近年来一直大力发展卫星遥感与地基光学遥感相结合的观测技术与反演方法。中高分辨率的成像光谱仪 (MODIS、HIRDLS、GLI)、多角度的成像光谱仪 (MISR) 等星载探测器的一个重要应用方向正是探测全球 (包括陆地) 的气溶胶光学特性^[16]。在地基遥感方面, 近年来较重要的研究进展之一是建立了 AERONET 太阳光度计全球探测网络^[17] 由此提取气溶胶的光学特性, 并用于对卫星遥感气溶胶的检验。

气溶胶直接辐射强迫评估的研究自 IPCC 第三次评估报告^[1] 以来已有了很多新的进展。最近的野外观测实验, 包括 INDOEX^[18] 和 ACE-Asia^[10] 等, 已经可以通过地面和大气顶的辐射收支观测直接获得气溶胶的辐射强迫。多种基于观测的气溶胶直接辐射强迫评估方法也已开始得到更多的研究和运用^[16, 19~24]。其他观测和资料分析系统如气溶胶光学特性观测网络 (AERONET)^[17, 25] 和基本地面辐射网络 (BSRN)^[26] 等也将继续提供有关气溶胶光学性质及其辐射强迫特性的连续观测资料。气溶胶直接辐射强迫评估的不确定性很大程度上是由于对气溶胶空间分布、化学组成和混合状态缺乏了解。空间分布的不均匀性主要是由于气溶胶在大气中存在周期较短造成的, 还取决于气溶胶的产生机制和干、湿沉降过程。此外, 混合状态不仅影响到气溶胶粒子的理化结构, 还影响到几何形态, 对于气溶胶的光学性质也具有重要作用, 特别是影响到气溶胶粒子的吸湿特性和辐射吸收特性^[10, 27]。湿度和温度的小尺度变化也对气溶胶光学性质及其在模式中的参数化表达的精度有显著影响^[28]。这些作用目前都没能在气溶胶数值模拟中得到很好的处理。

气溶胶间接效应 (AIE) 是指任何由气溶胶引起

的对云微物理和光学特性, 以及降水形成与发展等所产生的变化。气溶胶间接效应类型多是根据气溶胶造成的云滴尺度变化来确定^[11, 29~31] 的。要全面理解和估计人为气溶胶对气候变化的间接效应, 我们必须首先了解气溶胶的时空分布特征、数浓度和化学成分等, 需要确立气溶胶—云凝结核—云滴 (冰晶) 浓度之间的相互关系。

目前研究气溶胶及其它人类活动对气候变化影响的主要工具是耦合气候系统模式。过去 30 多年来国内外已经研制了数十个气候模式, 但模式在模拟气候变化方面仍存在很大不确定性, 除了模式本身的模拟性能需要极大地提高以外, 主要是没有将气溶胶模块耦合进去, 这其中包括对气溶胶物理化学、光学特性及其时空分布了解不够, 特别是对气溶胶和云有关的物理化学过程认识不清, 这是国际研究的现状。气溶胶对气候影响引起科学界的关注除了在温度方面, 还在它对全球及区域水循环的影响方面。Rotstayn 等^[32] 以及 Feichter 等^[33] 提出了人为气溶胶可能影响撒哈拉地区降水的一种机制。

对气溶胶在全球和不同区域, 尤其是在亚洲、中国的辐射强迫的综合评估还没有定论, 不仅对大气层顶, 对地面的影响也有很大的不确定性。有关中国的排放源清单陈旧, 带来的不确定性很大。在气溶胶的研究中只考虑具有吸收特性的气溶胶, 忽略和没有充分考虑具有散射特性的气溶胶组分, 特别是有机碳气溶胶的影响, 没有把多种关键气溶胶的辐射效应同时考虑, 以评估其综合的气候效应等都是亟待改进和进一步研究的内容。现有一些研究已表明, 沙尘气溶胶可以导致海陆热力差异快速改变, 进而影响亚洲冬季风气候系统快速变化^[34, 35]。也有研究表明海温和陆面过程是影响中国夏季降水的 2 个主要因子, 东亚地区大尺度季风气流和水汽输送带的东移可能对南涝北旱的分布产生影响^[36], 而在全球变暖的背景下, 中国的气溶胶在其中扮演什么角色? 扮演多重重要的角色? 对中国降水的异常变化趋势, 是自然因子的强迫还是人为气溶胶的影响? 是二者的同相叠加还是二者的反相抵消? 这些都是急需回答的科学问题, 也是关系到社会民生的热点问题。

大气气溶胶及其气候影响研究中的重大科学问题, 是当今大气科学和国际全球变化研究的前沿与焦点。我国在此领域的研究虽然有许多工作, 但比较零散, 缺乏系统与深入的研究是最明显的不足, 难以应对日益激烈的国家环境外交的需求, 对严重的

区域大气灰霾污染现象也缺乏科学理解。近几年我国气溶胶研究已有了快速发展,具备了相当的研究基础,还具备了以中国气象局为主体的长期观测站网。中国作为各种人为和自然气溶胶排放的大国而备受瞩目,同时也提供了丰富的气溶胶研究资源。在这样的科学及国家需求背景下,通过项目组成员的积极努力,国家重点基础研究发展计划“中国大气气溶胶及其气候效应的研究”项目在 2006 年被科技部批准立项。

2 项目拟实现三方面的科学目标

(1) 取得对中国大气气溶胶特性、分布和变化的准确与系统的科学认识。

(2) 认识中国区域大气灰霾的形成机理,提出数值预报方法。

(3) 了解中国的大气气溶胶在气候变化中的作用。

本项目将我国大气气溶胶及其气候影响方面的研究队伍与实际应用、预报服务方面的队伍有机地结为整体,不仅希望中国科学家在气溶胶—气候变化这一国际研究的热点领域不断作出具有国际水平的系统性研究成果,还将在形成预报方法和后续控制区域灰霾污染,以及为国家环境外交提供支持这些重要国家需求方面,不断发挥作用。本项目将培养和锻炼一批优秀的青年科学家,扩大我国在此全球变化热点领域的骨干研究队伍规模,提高我国的整体研究水平。

3 开展此项目研究的意义

人类活动导致的气候变化是目前全球最重大的环境问题之一,它不但严重影响着一个国家的经济发展和国民生活,也是国际环境外交的重要议题。而在众多气候变化的影响因子中,最不确定的是气溶胶的气候效应问题。作为全球气溶胶排放大国,中国不仅面临着应对气候变化和环境外交的巨大压力,还要面对气溶胶增加导致的区域大气灰霾污染日益严重的问题。获得气溶胶与气候变化及区域大气污染本质联系的准确和系统的科学认识,不仅是当今国际全球变化研究的前沿和焦点命题,也是我国在满足气候变化应对和区域灰霾控制等重要国家需求时需要解决的关键科学问题。

我们迫切需要知道:中国气溶胶的分布情况与中长期变化特征究竟如何?中国气溶胶排放对亚洲和全球气溶胶有多大贡献?区域大气灰霾是怎样形

成的?中国排放的气溶胶(特别是人为排放的气溶胶)对全球和中国过去与未来的气候影响程度有多大?要回答上述这些科学界和政府决策部门关注的重要问题,就必须对中国地区大气气溶胶的源汇、输送和转化、时空分布、物理、化学和光学特性、辐射强迫与气候效应等问题进行深入、系统的科学研究。

大气气溶胶的直接和间接气候效应问题不解决,将直接影响到我们对过去 100 至 200 年来气候变化原因的正确认识,也必然影响到我们对未来气候变化的预测。从减缓气候变化的对策研究上来说,也特别需要知道人为活动产生的气溶胶在多大程度上影响了气候系统,在未来几十年到 100 至 200 年可能发生的气溶胶变化会导致怎样的气候变化。当今的国际大气科学界已经充分认识到仅从大气动力学的角度,将不能准确地理解现今的气候与气候变化,因为异常的气候变化以及相应的灾害性天气频发与大气气溶胶有着密切的联系。由于气溶胶粒子排放源分布的区域差异,以及它们在大气中的滞留时间相对温室气体较短,其对区域气候和降水分布和变化的影响可能更大。获得气溶胶与气候变化及区域大气污染本质联系的准确和系统的科学认识,是国际科学界对工业革命以来全球气候变化的原因辨识和未来百年预估(包括变幅与变率)的一大难题,是当今国际全球变化研究瞄准的焦点命题。

本项目的成功实施将显著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,从而减少上述不确定性,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中国科学家应有的贡献。

4 拟解决的关键科学问题

(1) 建立更高时空分辨率的中国气溶胶及其主要前体物排放源清单。

(2) 中国典型地区气溶胶形成机制、混合状态及吸湿特征的长期观测与特征量提取。

(3) 建立气溶胶光学特征关键参数的卫星与地基遥感新反演方法。

(4) 建立具有中国特点的气溶胶化学数值模拟系统。

(5) 改进和发展具有我国特色的新一代气溶胶辐射传输模式。

(6) 建立合理表达我国气溶胶—云相互关系的参数化方案。

(7) 中国全球海气耦合模式与关键气溶胶辐射参数化方案以及气溶胶化学数值模式的耦合。

参考文献(References):

- [1] IPCC. Third Assessment Report, Climate Change 2001: The Scientific Basis[R]. New York: Cambridge University Press 2001.
- [2] Arimoto R, Balsam W, Schloesslin C. Visible spectroscopy of aerosol particles collected on filters: Iron-oxide minerals[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36: 89-96.
- [3] Duce R A. Sources, distributions and fluxes of mineral aerosols and their relationship to climate[C]. Charlson R J, Heintzenberg J, eds. Aerosol Forcing of Climate. John Wiley & Sons Limited Company 1995: 43-72.
- [4] Prospero J M. Long-range transport of mineral dust in the global atmosphere: Impact of African dust on the environment of the southeastern United States[J]. The National Academy of Sciences, 1999, 96: 3396-3403.
- [5] Uematsu M, Yoshikawa A, Muraki H, et al. Transport of mineral and anthropogenic aerosols during a Kosa event over East Asia[J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107(D7 & D8): AA31-AA37.
- [6] Lohmann U, Feichter J, Chuang C C, et al. Indirect effect of sulphate and carbonaceous aerosols: A mechanistic treatment[J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105: 12193-12206.
- [7] Fahey K M, Pandis S N. Size-resolved aqueous-phase atmospheric chemistry in a three-dimensional chemical transport model[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D22): 4690, 10.1029/2003JD003564.
- [8] Kinne S, Lohmann U, Ginoux P, et al. Monthly averages of aerosol properties: A global comparison among models, satellite data, and AERONET ground data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D20): 4634, doi:10.1029/2001JD001253.
- [9] Jacob D J, Crawford J H, Kleb M M, et al. Transport and chemical evolution over the Pacific (TRACE-P) aircraft mission: Design, execution, and first results[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D20): 8781, doi:10.1029/2002JD003276.
- [10] Huebert B J, Bates T, Russell T, et al. An overview of ACE-Asia: Strategies for quantifying the relationships between Asian aerosols and their climatic impacts[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D23): 8633, doi:10.1029/2003JD003550.
- [11] Ramanathan V, Crutzen P J, Kiehl J T, et al. Aerosols, climate, and the hydrological cycle[J]. Science, 2001, 294: 2119-2124.
- [12] Rates F, Vandingenen R, Vignati E, et al. Formation and cycling of aerosols in the global troposphere[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34: 215-240.
- [13] Barth M C, Rasch P J, Kiehl J T, et al. Sulfur chemistry in the national center for atmospheric research community climate model: Description, evaluation, features, and sensitivity to aqueous chemistry[J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105: 1387-1415.
- [14] Jacobson M Z. GATOR-GCMM: A global-through urban-scale air pollution and weather forecast model 1. Model design and treatment of subgrid soil, vegetation, roads, rooftops, water, sea ice, and snow[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106: 5385-5401.
- [15] Rasch P J, Barth M C, Kiehl J T, et al. A description of the global sulfur cycle and its controlling processes in the national center for atmospheric research community climate model, version 3[J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105: 1367-1385.
- [16] Kaufman Y J, Tanre D, Boucher O. A satellite view of aerosols in the climate system[J]. Nature, 2002, 419: 215-223.
- [17] Holben B N, Eck T F, Slutsker I, et al. A federated instrument network and data archive for aerosol characterization[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 66: 1-16.
- [18] Ramanathan V, Crutzen P J, Lelieveld J, et al. Indian Ocean Experiment: An integrated analysis of the climate forcing and effects of the great Indo-Asian haze[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106: 28371-28398.
- [19] Bellouin N, Boucher O, Harwood J, et al. Global estimate of aerosol direct radiative forcing from satellite measurement[J]. Nature, 2005, 438: 1138-1141.
- [20] Haywood J M, Ramaswamy V, Soden B J. Tropospheric aerosol climate forcing in clear-sky satellite observations over the oceans[J]. Science, 1999, 283: 1299-1303.
- [21] Loeb N G, Manalo-Smith N. Top-of-atmosphere direct radiative effect of aerosols over global oceans from merged CERES and MODIS observations[J]. Journal of Climate, 2005, 18: 3506-3526.
- [22] Li Z, Yuan T. Increase of cloud effective radius with aerosol optical depth in humid environments[C]. Sohn B, Nakajima T, eds. Advances in Atmospheric Radiation, 2005.
- [23] Zhang J, Christopher S. Longwave radiative forcing of Saharan dust aerosols estimated from MODIS, MISR and CERES observations on Terra[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 23: p. doi:10.1029/2003GL018479.
- [24] Zhang J, Christopher S A, Remer L A, et al. Shortwave aerosol radiative forcing over cloud-free oceans from Terra: 2. Seasonal and global distributions[J]. Journal of Geophysical Research, 2005, 110: D10S24, doi:10.1029/2004JD005009.
- [25] Barksom B R, Smith G L. The earth radiation budget experiment: Science and implementation[J]. Reviews of Geophysics, 1986, 24: 379-390.
- [26] Ohmura A, Deluisi J, Dehne K, et al. Baseline Surface Radiation Network (BSRN/WCRP), a new precision radiometry for climate research[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79: 2115-2136.
- [27] Randles C A, Russell L M, Ramaswamy V. Hygroscopic and optical properties of organic sea-salt aerosol and consequences for climate forcing[J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31: L16108, DOI:10.1029/2004GL020628.
- [28] Junker C, Sheahan J N, Jennings S G, et al. Measurement and analysis of aerosol and black carbon in the southwestern United

- States and Panama and their dependence on air mass origin [J] .
Journal of Geophysical Research , 2004 , 109 : D13201 , doi : 10.1029 / 2003JD004066 .
- [29] Ackerman A S , Toon O B , Stevens D E , et al . Reduction of tropical cloudiness by soot [J] . Science , 2000 , 288 (5 468) : 1 042-1 047 .
- [30] Albrecht B , Aerosols . Cloud Microphysics , and fractional cloudiness [J] . Science , 1989 , 245 : 227-1 230 .
- [31] Rosenfeld D . Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution [J] . Science , 2000 , 287 : 1 793-1 796 .
- [32] Rotstayn L D , Lohmann U . Tropical rainfall trends and the indirect aerosol effect [J] . Journal of Climate , 2002 , 15 : 2 103-2 116 .
- [33] Feichter J , Lohmann U , Roeckner E , et al . Did anthropogenic aerosols contribute to the 1970-1990 Sahelian drought? [J] . Nature , 2002 .
- [34] Wang H , Shi Guangyu , Teruo A , et al . Radiative forcing due to dust aerosol over east Asia and North Pacific in spring 2001 [J] . Chinese Science Bulletin , 2004 , 49 (20) : 2 212-2 219 .
- [35] Zhang X Y , Lu H Y , Arimoto R , et al . Atmospheric dust loadings and their relationship to rapid oscillations of the Asian winter monsoon climate : Two 250-kyr loess records [J] . Earth and Planetary Science Letters , 2002 , 202 (3 / 4) : 637-643 .
- [36] Ding Y H , Sun Y . A study on anomalous activities of East Asian summer monsoon during 1999 [J] . Journal of Meteorological Society of Japan , 2001 , 79 : 1 119-1 137 .

Aerosol over China and Their Climate Effect

ZHANG Xiao-ye

(Centre for Atmosphere Watch and Service , CMA , Chinese Academy of Meteorological Sciences , Beijing 100081 , China)

Abstract : This article provides a brief introduction of a new 973 project , entitled “ Aerosol over China and their climate effect ” .

Key words : Aerosol ; Regional cloud brownish haze ; Radiation-climate effect.

檣

《地球科学进展》杂志广告参考价目表

黑白(文字、照片)		彩色(文字、照片)	
封二、封三	价格(元)	封二、封三	价格(元)
纯文字	1500 ~2000	纯文字	3000 ~3500
文字加照片	2500 ~3000	文字加照片	4000 ~4500
封四(含文字、照片)	2000 ~2500	封四(含文字、照片)	5000 ~6000
1/2 版面	价格减半	1/2 版面	2500 ~3000
1/3 版面	价格的 1/3	1/3 版面	1500 ~2000
1/4 版面	价格的 1/4	1/4 版面	1000 ~1500
插页(正反两版)	3000 ~4000	插页(正反两版)	6000 ~8000

注 : (1) 客户如果长期合作 , 可以给予 15% ~20% 的优惠 (需签定合作意向) 。

(2) 本刊与客户之间可根据广告的难易程度协商确定价格。

(3) 其他相关事项可协商确定。

(4) 1/2、1/3、1/4 版面的纯文字宣传 , 只做插页广告。