

文章编号:1006 - 7639(2003) - 04 - 0066 - 05

# 大气化学研究进展 ——臭氧、气溶胶研究综述

马鹏里<sup>1</sup>, 张 强<sup>1,2</sup>, 杨兴国<sup>1</sup>, 王润元<sup>1</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:**大气化学是大气科学的一门新兴分支学科,早在 100 多年以前就已开始研究,但是真正发展则以 1929 年对大气臭氧的观测和对平流层臭氧光化学的理论研究为契机。现阶段大气化学的研究许多事实和现象还不清楚,尤其是关于一些大气微量成分的源、汇和时空分布,它们的迁移、输送和全球循环等问题,都需要进行更加深入广泛的观测和研究。

**关键词:**大气化学;研究;进展

**中图分类号:** P402

**文献标识码:** A

## 引 言

大气化学是大气科学的一门新兴分支学科,尽管大气化学的研究早在 100 多年以前就已开始,但是真正发展则以 1929 年对大气臭氧的观测和对平流层臭氧光化学的理论研究为契机。随着人类对自然界认识的加深以及工业革命带来的环境问题的日益显露,大气化学的研究受到人们空前的关注。许多气候事件都与大气化学成分的变化密切相关,如全球气候变暖与大气中 CO<sub>2</sub>、甲烷、黑碳气溶胶等温室气体的增多有关,重庆等城市的酸雨与大气中 SO<sub>2</sub> 等工业废气的排放有关,1930 年比利时马期河谷烟雾事件、1940 年美国洛杉矶发生的光化学烟事件、1955 年日本四日市的二氧化碳污染事件以及著名的 1952 年英国伦敦大雾、南极 O<sub>3</sub> 空洞和“南极烟雾”等的出现无不与大气化学成分的变化有关。人们逐渐认识到大气是个非常复杂的体系,不仅发生着各种各样的物理变化,还存在着复杂的化学反应过程,是个多相化学体系。在 20 世纪 40 年代以前,大气化学着重研究大气中化学成分发生的宏观动力和物理现象与过程,多数研究偏重于大气中天然微量成分的全球性平衡源、汇、循环和气溶胶的物理性质等,这些研究都把大气看成一个化学稳定的物理体系。二次世界大战以后,随着工业生产的发展以

及人类活动的加剧,大气中 CO<sub>2</sub> 浓度不断增加,平流层 O<sub>3</sub> 不断耗损,以及大气边界层 SO<sub>2</sub> 等气溶胶污染物质的浓度加剧,引起了全球科学家的高度注意,使得大气科学中逐渐形成了大气化学这一新的学科分支。

大气化学研究的主要对象不仅包括大气中的微观化学过程,还包括全球尺度的大气运动,大气与地表生物圈和海洋的相互作用,以及地球与其它星体和空间的相互作用过程中的化学问题。大气化学的研究内容十分广泛,有大气的化学组成及地球大气的形成和演变、大气微量成分的浓度及其分布、大气微量成分的自然循环过程及人类活动对这些过程的影响、大气微量成分浓度的变化及其引起的地球气候变化和全球尺度环境变化、平流层化学、气溶胶化学、降水化学、痕量成分的观测分析技术等。目前开展研究较多的主要有臭氧问题,大气气溶胶的辐射作用及其气候效应,酸雨问题,城市光化学烟雾问题,碳、硫、氮循环问题,污染物降解和大气自净能力等。现阶段大气化学的研究仍方兴未艾,许多事实和现象还不清楚,尤其是关于一些大气微量成分的源、汇和时空分布,它们的迁移、输送和全球循环等问题,都需要进行更加深入广泛的观测和研究<sup>[1~5]</sup>。

收稿日期:2003 - 08 - 08;改回日期:2003 - 10 - 09

基金项目:国家自然科学基金项目(40205005)资助

作者简介:马鹏里(1966 →),男,甘肃平凉人,副研究员,主要从事干旱气象监测与试验研究。E-mail: qyqxjyyb@sohu.com

## 1 观测试验

从 80 年代以后在全球开展了一系列大型试验,国际上就开始酝酿制订全球大气化学研究计划,并进行广泛的国际合作。1989 年世界气象组织开始实施全球大气监测(GAW)计划,于 1991 年编写出版了《全球大气监测指南》,2000 年进行了全面补充、修订,重新编写了《全球大气监测观测指南》。目前全球已建成 GAW 全球基准监测站 22 个、GAW 区域监测站近 400 个,其中在中国有全球、区域观测站 4 个(青海瓦里关山基准站和北京上甸子、浙江临安、黑龙江龙凤山等 3 个区域站)。1986 年国际气象学和大气物理学协会(IAMAP)大气化学和全球污染委员会提出国际全球大气化学研究计划(I-GAC),同年年底美国提出“全球对流层化学-美国研究计划”。我国学者结合国内的大气污染、城市化、沙尘暴等主要问题,在大气气溶胶研究方面,亦开展了一些卓有成效的试验工作。

近几十年全球开展了对流层试验(GTE)、平流层气溶胶试验(SAGE)和为期 15a 的对流层化学计划(GTCP)等,这些大型观测试验为揭示大气化学的事实和规律开辟了新篇章。1991 年 8 月 22 日至 11 月 7 日,中美大气化学联合考察在西太平洋进行了  $O_3$  及其前体物考察(PEM - WEST - A)的试验,1994 年 2 ~ 3 月又进行了该试验的后续试验(PEM - WEST - B);1994 年和 1995 年同一观测期间(2 月 7 日至 3 月 19 日,共 41d)我国和佐治亚理工学院在中国东部的浙江临安区域本底站进行了将近两个月的加强观测,观测项目包括  $O_3$ 、 $NO_x$ 、NMHC、 $SO_2$ 、 $CO_2$ 、CO、辐射、降水化学和气溶胶等以及相关的一些气象要素;2000 年 10 月 16 日,中日双方正式签署了中华人民共和国中国科学院和日本科学技术厅关于风送沙尘的形成、输送机制及其气候与环境影响的研究项目的实施协议,标志着为期 5a 的中日沙尘合作研究正式拉开了序幕;2001 年 1 月 9 ~ 16 日、2 月 20 日 ~ 3 月 2 日,在北京市北三环和北四环之间的古元大都土城附近地区,利用中国科学院大气物理研究所 325m 气象塔、系留气艇、探空雷达、激光雷达等多种手段,进行了北京城市大气边界层和大气化学的综合试验;2000 年 7 月在北京召开的全国第三次大气科学前沿学科研讨会上,对 20 世纪大气化学的发展作了简单回顾,并对 21 世纪初大气化学的发展趋势与前沿问题作了展望;2003 年 3 月在北京召开的气候变化国际科学讨论会上,

WMO 提出将继续尽最大努力通过各会员及其国家气象水文部门(NMHS)来加强大气化学成分尤其是温室气体的全球大气监测网和水文观测网<sup>[6~8]</sup>。

## 2 研究

由于大气化学的研究内容十分广泛,研究的整个空间范围涉及对流层和平流层,即约 50km 高度以下的整个大气层,研究的地区范围包括全球、大区域和局部地区。就目前取得的研究成果而言凡涉及到的大气化学问题都有一定的研究,只是研究的深度不同而已。这里仅对人类健康及地表生态系统、气候系统和大气环流形势影响较大,研究相对比较广泛的臭氧、气溶胶的一些研究进展做一简要综述。

### 2.1 臭氧

臭氧是地球大气层中的一种稀有气体,在标准状态下,全球  $O_3$  总量(臭氧层的平均厚度)为 300DU(Dobson Unit),其中仅 10%的臭氧分布在大气的对流层中,而 90%的臭氧分布在平流层中<sup>[9]</sup>。北半球  $O_3$  的浓度平均值约为  $26 \times 10^{-9}$ ,与 1930 ~ 1950 年相比,目前大气  $O_3$  浓度增加了近两倍,近地面臭氧是控制低层大气化学反应与循环的重要因子<sup>[10~12]</sup>,对人类健康及地表生态系统有直接的影响<sup>[13~15]</sup>,同时也是影响近地层气温的温室气体<sup>[16~17]</sup>。近 20a 的观测和研究结果表明<sup>[18]</sup>,就全球总体而言,臭氧总量在减少,在 1968 ~ 1987 年的 20a 间就减少了 3%。但垂直空间上的变化是极为不一致的,甚至相反的比较明显,迹象表明对流层臭氧(主要在北半球)在增加,而平流层臭氧却在减少。Bojkov 等<sup>[19]</sup>分析认为,过去 15a,对流层的  $O_3$  浓度以每年 1.12%的速度增加,增加的幅度有季节差别,夏季增长最快。平流层  $O_3$  每年减少 0.5% ~ 1.5%,SAGE(平流层气溶胶和气体试验)第一次观测结果表明,平流层低层的  $O_3$  减少率(最大每年减少 1.7%)比上层要强得多,减少率最强的地区大约出现在南、北半球 25°N 处,中层变化不大,35km 以上其变化趋势是减少的,减少最剧烈的是在南半球 20°S 的 42km 高度上,每年减少 0.8%。人类活动导致的  $NO_x$ 、NMHC、CO、 $CH_4$  等对流层臭氧前体物的增加和  $NO_x$ 、 $H_2O$ 、 $N_2O$ 、 $CFC_s$  等平流层臭氧损耗物质的增加,是造成这种臭氧垂直空间上变化不一致的主要原因。

$O_3$  不仅存在前述明显的垂直时间空间上的变化差异,而且还存在相当显著的水平时间空间上浓

度变化的差异。北半球对流层大气的  $O_3$  浓度正以每年 1.0 % 的速度增长<sup>[20]</sup>, 在一些工业区增长幅度更大<sup>[21]</sup>。北半球随着纬度的增加,  $O_3$  总量减少的幅度在增加, 在 40°N 附近, 冬春季减少 0.8 %/a, 60°N 附近减少 1.0 %/a。赤道地区的  $O_3$  总量几乎没有变化。南半球  $O_3$  变化趋势比北半球还要强, 随纬度增加  $O_3$  总量减少的趋势越来越显著, 在南极地区  $O_3$  总量年平均减少达到 3 %/a, 并在冬末春初形成所谓的南极臭氧洞<sup>[22]</sup>。地面  $O_3$  浓度日变化的一般规律是: 日出前达最低值, 随着太阳辐射的增加,  $O_3$  浓度逐渐增大, 午后达到最大值, 而后随着太阳辐射的减少而减少; 地面  $O_3$  浓度主要是受局地大气光化学过程支配, 远距离传输过程对地面  $O_3$  浓度的影响则相对较小<sup>[6]</sup>。中国地区大气臭氧层也呈现异常变化, 魏鼎文<sup>[23]</sup>和周秀骥等<sup>[24]</sup> 研究结果表明, 近年来我国大气臭氧总量逐年减少, 其幅度随纬度增高而增大。在青藏高原夏季南亚高压的影响下, 6月青藏高原上空出现了明显的臭氧总量低值中心, 这个中心一直维持到9月, 同时在我国东北方向出现了明显的高值中心; 10月以后, 臭氧低值中心逐渐消失。

综合以上工作可以看出, 全球臭氧总量呈下降趋势, 主要表现在南极上空平流层中的臭氧洞在不断扩大, 而北极上空也出现了臭氧洞; 平流层臭氧减少的同时, 由于人为排放的一些前体物的作用对流层  $O_3$  浓度增长。臭氧变化引起的气候效应表现在对流层臭氧的增加将带来地表和低层大气的升温, 平流层臭氧的减少则可能导致地表和低层大气的降温, 更多的太阳紫外线照射到地球表面上, 引发某些疾病, 破坏地球生态系统平衡。对流层中的臭氧对许多物质有严重的破坏作用, 平流层中的臭氧可以大量吸收太阳光的紫外线, 对人类和生物起到保护作用<sup>[9]</sup>。因此, 大气臭氧变化规律与机制研究已成为大气化学中具有重要理论和实用价值的前沿课题。

## 2.2 大气气溶胶

气溶胶是大气科学最早研究的大气化学对象之一, 其主要研究内容有: 气溶胶的化学组成、气溶胶的形成和转化机制、非均相化学反应过程、气溶胶的辐射特性及其在地球气候系统中的作用、气溶胶在云雾降水过程中的作用及其对酸雨形成的影响等。气溶胶通过散射和吸收太阳辐射影响着地气系统的能量收支平衡, 是气候变化研究中的重要因子, 此外

气溶胶还参与大气的许多物理过程, 如云雾形成和臭氧平衡等。客观准确地给出气溶胶的光学厚度、化学成分、粒子尺度谱分布及其时空分布等特征是准确计算气溶胶气候效应的必要条件。不同类型不同高度的气溶胶其形成与清除的过程差别很大, 在大气中的生命期也不同, 一般认为在对流层内的气溶胶生命期为几天至数十天, 平流层的硫酸盐气溶胶的生命期可以达到 1a 以上<sup>[25~27]</sup>。

气溶胶对辐射的影响取决于其时间和空间的分布、自身的物理化学性质以及下垫面的光学性质。一种是直接影响, 包括散射和吸收太阳辐射、吸收和发射红外辐射; 另一种是间接影响, 气溶胶与水态云相互作用改变其散射特性, 对云量和生存周期产生影响。另外, 气溶胶作为凝结核, 在大气中改变云滴的浓度和云滴在大气中存在的时间, 改变云形成的微观结构。气溶胶的辐射特性对云微物理性质与云中化学过程具有依赖性, 云的辐射特性对气溶胶物理化学性质也具有依赖性<sup>[28]</sup>。

生物物质燃烧以及化石燃料不完全燃烧产生大量的黑碳气溶胶<sup>[29]</sup>, 根据 IPCC TAR(2001) 报道, 目前的黑碳气溶胶年排放约 1 300 万 t 碳, 其中 600 万 t 碳来自生物体燃烧, 700 万 t 来自化石燃料燃烧(1/4 的化石燃料燃烧来自汽车排放, 柴油汽车是主要的来源)。它们对大气的物理化学性质和区域及全球气候有较大的影响, IPCC 第二次评估报告(SAR)指出, 化石燃料燃烧产生的黑碳气溶胶, 其全球年平均辐射强迫为  $+0.1 \text{ Wm}^{-2}$ , 不确定性范围是  $+0.03 \sim +0.3 \text{ Wm}^{-2}$ ; 第三次评估报告(TAR)根据最新的研究成果, 认为其辐射强迫为  $+0.2 \text{ Wm}^{-2}$ , 不确定性范围是  $+0.1 \sim +0.4 \text{ Wm}^{-2}$ 。黑碳气溶胶的作用已越来越受到人们的关注, 它对气候变暖的贡献甚至可能超过目前比较公认的二氧化碳等。

付培健, 陈长和等研究结果表明<sup>[30~31]</sup>, 地形对气溶胶分布的影响十分明显, 山区易于使人为气溶胶堆积; 气溶胶的浓度在  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以上时, 地面太阳辐射就明显减少; 当气溶胶浓度达  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  时, 400~600m 烟雾层可使地面太阳辐射减少 30%; 空中气溶胶吸收了太阳辐射而增温, 使大气不稳定性减弱, 并使大气扩散能力差, 进而使山区上空气溶胶堆积加重。另外还有一些研究表明<sup>[32]</sup>, 在人为气溶胶浓度较高的地区, 气溶胶辐射强迫作用的大小, 可能与所有温室气体的综合效果相当, 但符号相反。

对气溶胶的观测也是气溶胶研究中重要的基础

性工作,目前对气溶胶的探测方法在不断发展和完善,主要有利用窄波段太阳光度计进行太阳辐射资料的探测,然后用 Angstrom 公式计算<sup>[33]</sup>;用 GMW-2310 型采样器进行气溶胶样品的采集<sup>[34]</sup>;用 PM-730 光学粒子计数器测定气溶胶粒子总浓度<sup>[35]</sup>;用华盖辐射计测定大气气溶胶光学厚度<sup>[36]</sup>等等。还可利用全波段的太阳辐射资料确定大气气溶胶特性,如:用日本山本义一的计算方法从地面实测太阳直接辐射资料和大气含水量计算大气浑浊度系数<sup>[37~38]</sup>;Guegnard 利用宽带辐照度资料计算大气浑浊度系数<sup>[39]</sup>;北京大气科学研究所邱金恒从全波段太阳辐射资料确定大气气溶胶光学厚度<sup>[40]</sup>;台湾大学柳中明等采用晴空天气条件下的太阳直接辐射资料与地面气象资料反演了台湾地区的大气气溶胶光学厚度<sup>[41~42]</sup>等等。另外,利用雷达和卫星遥感资料反演大气气溶胶光学厚度也是目前较常见的一种观测方法。地基探测方法可以准确提供当地的气溶胶信息,但在广大的海洋、沙漠等无人区域难以进行,也不能获得大范围内的气溶胶时空分布特征;卫星遥感克服了地基探测方法的这些先天不足,为人们全天候、实时了解大范围内的气溶胶变化提供了可能<sup>[43~45]</sup>。

### 3 大气化学研究方面存在的问题

大气成分、浓度的变化被认为是气候变化的重要原因,近年来在全世界被广泛关注,科学家们通过各种方法从不同角度进行研究。但是都因没有大气成分、浓度及其变化的第一手观测资料而使研究的进展比较缓慢,许多研究都是针对研究内容的需要通过短期的观测而开展的,取得资料序列比较短,观测时间不一致,观测点的变动大;所以在进行大气化学综合研究方面资料的综合利用性较差。另外也有利用卫星遥感、雷达等现代化手段进行监测大气成分、浓度变化情况的研究,但由于缺少实际的第一手观测资料,使得遥感监测到的资料无法得到准确验证,从而使现代化的观测手段没有得到充分利用。

由于观测大气化学成分需要十分精密的仪器,目前国际上用于观测大气化学成分的仪器还比较少,而且价格相当昂贵,观测站点的分布还缺乏足够的代表性,这就使得研究进展更加缓慢。

数值模拟是大气化学研究的有力手段之一,建立将大气化学模式和气候模式完全耦合的化学-辐射-动力模式,用以研究全球或区域的大气化学成

分变化和气候效应是今后的发展趋势。目前,完全耦合的二维全球模式已日益成熟和被广泛应用,而完全耦合的三维全球和区域模式尚处于发展阶段,对这种耦合模式的发展和完善的任务仍很艰巨,并且目前数值模式中对大气化学过程的描述还远未完善,需要改进的方面还很多,国内这方面的工作才刚刚起步<sup>[32,46]</sup>。

随着人们对大气化学过程的深入了解和计算机技术的日新月异,相信这方面的研究成果会不断涌现。

#### 参考文献:

- [1] 莫天麟. 大气化学基础[M]. 北京:气象出版社,1988.
- [2] 霍顿 J. T. 中国科学院大气物理研究所译. 大气物理学[M]. 北京:科学出版社,1981. 15 - 30
- [3] 王明星. 大气化学[M]. 北京:气象出版社,1999. 30 - 50
- [4] 黄荣辉. 大气科学发展的回顾与展望[J]. 地球科学进展, 2001, 16(5):643 - 657.
- [5] 吕达仁. 我国大气物理研究进展[J]. 物理, 1999, 28(11):654 - 661.
- [6] 罗超,丁国安,李兴生,等. 中美大气化学联合考察实验结果的初步分析与比较[J]. 气象学报,1998,56(4):467 - 475.
- [7] 罗勇. 美国全球变化研究现状[J]. 气象,1999,25(1):3 - 8.
- [8] 陆龙骅,卞林根,程彦杰,等. 冬季北京城市近地层的气象特征[J]. 应用气象学报,2002,13(特刊):34 - 42.
- [9] 王振亚,李海洋,周士康. 平流层中臭氧耗减化学研究进展[J]. 科学通报,2001,46(8):619 - 625.
- [10] Levy H II. Normal atmosphere:large radical and form aldehyde concentrations predicted[J]. Science,1971,141 - 143.
- [11] Weinstock B. The carbon - monoxide balance in nature[J]. Science,1972,(176):290 - 292.
- [12] Wofsy S C. Atmospheric CH<sub>4</sub>, CO and CO<sub>2</sub> [J]. J Geophys Res, 1972,(77):4477 - 4499.
- [13] National Academy of Sciences Ozone and other photochemical oxidants report[R]. Washington D C:1977.
- [14] Heck W W. Assessment of crop loss from ozone[J]. J Air Pollut Control Assoc,1982,(32):353 - 356.
- [15] Reich P B. Ambient levels of ozone reduce net photosynthesis in tree and crop species[J]. Science,1985,(230):566 - 570.
- [16] Fishman J. Observations and theoretical evidence in support of a significant in-situ photochemical source of tropospheric ozone [J]. Tellus,1979,(13):432 - 446.
- [17] Wang W C. Coupled effects of atmospheric N<sub>2</sub>O and O<sub>3</sub> on the earth's climate[J]. Nature,1979,(268):589 - 590.
- [18] 王体健,孙照渤. 臭氧变化及其气候效应的研究进展[J]. 地球科学进展. 1999,14(1):37 - 43.
- [19] Rumen D,bojkov. Trends in tropospheric ozone concentration Atmospheric ozone[A]. In:proceedings of the quadrennial ozone symposium held in Halkidiki [C]. Greece [S. N], 1984,775 - 781.

- [20] WMO Scientific assessment of ozone depletion[M]. Chapter 21. 1991.
- [21] Logan J A . Tropospheric ozone seasonal behaviour , trends and anthropogenic influence[J]. J. Geophys Res ,1985 ,(90) :10463 - 10482.
- [22] Stolarski R S , Bloomfield P , Mcpeters R D ,et al . Total ozone trends deduced from Nimbus 7 TO MS data[J]. geophys Res Let ,1991 ,(18) :1015 - 1018.
- [23] 魏鼎文,赵延亮,秦芳,等. 中国北京和昆明地区大气臭氧层的异常变化[J]. 科学通报,1994,39(16) :1509 - 1511.
- [24] 周秀骥. 中国地区臭氧总量变化与青藏高原低值中心[J]. 科学通报,1995,40(15) :1396 - 1398.
- [25] 刘强,王明星,李晶,等. 大气气溶胶研究现状和发展趋势[J]. 中国粉体技术,1999,5(3) :17 - 23.
- [26] Hamill P. Eric J. Jensen. et al. The life cycle of stratospheric aerosol particles[J]. Bulletin of the American Meteorology society,1997 ,78(7) :1395 - 1410.
- [27] 胡丽琴,刘长盛. 云层与气溶胶对大气吸收太阳辐射的影响[J]. 高原气象,2001,20(3) :264 - 270.
- [28] 付培健,王世红,陈长和. 探讨气候变化的新热点:大气气溶胶的气候效应[J]. 地球科学进展,1998,13(4) :387 - 392.
- [29] 罗勇. 关于黑碳气溶胶气候效应的科学争论及其政策意义[J]. 气候变化通讯,2003,2(2) :11 - 12.
- [30] 付培健,张镭,张文煜,等. 河谷城市低空风温场观测研究[A]. 复杂地形上的大气边界层和大气扩散[C]. 北京:气象出版社,1993.12 - 17.
- [31] 陈长和,黄建国,王海啸,等. 兰州烟雾层的辐射效应及其混合层发展的影响[A]. 复杂地形上的大气边界层和大气扩散[C]. 北京:气象出版社,1993.1 - 11.
- [32] 段建军,陈受钧. 对大气气溶胶的辐射效应的数值试验[J]. 北京大学学报(自然科学版),2000,36(1) :95 - 101.
- [33] 王尧奇,沈志宝,季国良,等. 兰州冬季的大气浑浊度[J]. 高原气象,1982,1(4) :84 - 90.
- [34] 柳海蒸,张小曳,沈志宝,等. 五道梁大气气溶胶的化学组成和浓度及季节变化[J]. 高原气象,1997,16(2) :122 - 129.
- [35] 雷文芳,任丽新,等. 黑河地区沙漠气溶胶浓度和谱分布特征[J]. 高原气象,1993,12(2) :170 - 179.
- [36] Shi guangyu , FanXiabiao , Guo jiangong ,etal. Measurevunte of the atmospheric aerosols optical properties in HEIFE area[A]. proceedings of Intesnational symposium on HEIFE[C]. 1993,9: 642 - 647.
- [37] 文军,季国良,张万程. 青藏高原地区的大气浑浊度[J]. 地理研究,1993,2(4) :15 - 21.
- [38] 方先金. 我国大气浑浊度系数的分布状况[J]. 南京气象学院学报,1986,(4) :392 - 399.
- [39] Gueymard C A. Turbidity determination from broadband invadivance measurements: A detailed multicaefficient approach [J]. J APPI Meteor. 1998,(37) :414 - 475.
- [40] 邱金恒. 从全波段太阳辐射确定大气气溶胶光学厚度 理论[J]. 大气科学,1995,19(4) :385 - 394.
- [41] 柳中明. 近地面直达太阳辐射通量及大气悬浮微粒衰减分析[J]. 大气科学(台湾),1989,17(2) :169 - 186.
- [42] 柳中明,沈秀苍. 近地面全天空太阳辐射通量及云影响分析与参数化的研究[J]. 大气科学(台湾),1990,18(1) :35 - 55.
- [43] 李正强,赵凤生. 利用静止气象卫星数据确定大气气溶胶光学厚度[J]. 量子电子学报,2001,18(4) :381 - 384.
- [44] 刘广员,孙毅义. 大气气溶胶光学厚度的卫星双通道遥感方法[J]. 南京气象学院学报,1998,21(3) :321 - 327.
- [45] 汤洁,温玉璞,王炳忠,等译. 全球大气监测观测指南[M]. 北京:气象出版社,2003.110 - 122.
- [46] 仁健,王明星,曾庆存. 全球二维大气化学模式和大气化学成分的数值模拟[J]. 气候与环境研究,2002,7(1) :30 - 41.

## Some Advances in Atmospheric Chemistry

MA Pen - li<sup>1</sup>, ZHANG Qiang<sup>1,2</sup>, YANG Xing - guo<sup>1</sup>, WANG Run - yuan<sup>1</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China;

2. Cold of Arid Regions Environmental and Engineering Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Atmospheric chemistry is an booming discipline in atmospheric sciences. Its researches started one hundred years ago, but the observation of atmospheric ozone and theoretical researches in ozone actinic chemistry are milestone. Many facts and phenomena in atmospheric chemistry field are not understood at present, especially some problems on sinks, sources and spatial and temporal distribution of some atmospheric trace elements and their migration, transfer and global cycle is necessary to more deeply and widely observe and research.

**Key words:** atmospheric chemistry; research; advance