

华北地区上空污染烟羽: IPAC-NC 外场实验 飞机航测结果

马建中^{①*}, 王玮^②, 刘红杰^②, 陈跃^①, 徐晓斌^①, LELIEVELD Jos^{③④}

① 中国气象科学研究院, 北京 100081;

② 中国环境科学研究院, 北京 100012;

③ Max Planck Institute for Chemistry, Mainz 55128, Germany;

④ The Cyprus Institute, Nicosia 1645, Cyprus

* 联系人, E-mail: mjz@cma.gov.cn

国家自然科学基金重点项目(40433008)、国家重点基础研究发展计划(2011CB706903)、中国气象局公益性行业专项(GYHY201206015)和欧洲研究委员会欧盟第七框架研究计划(FP7/2007-2013-ERC226144)资助

污染物在大气中通常要经历一系列的输送和化学转化过程. 了解污染烟羽中各种复杂的物理、化学和动力学过程, 对于认识超大城市污染如何对区域和全球空气质量和气候产生影响十分必要. 华北地区地处中国东部 32°~42°N 之间, 包含有北京和天津两个超大城市, 还有唐山、石家庄和太原等大工业中心, 是中国一个污染热点区域. 近年来的地面观测表明, 这些城市和工业中心的污染排放会对区域空气质量有很大影响. 然而, 至今尚无有关针对华北地区上空污染烟羽观测的报道.

本文报道了 2006 年春季“华北地区大气污染对气溶胶和云微物理特征的影响”(Influence of Pollution on Aerosols and Cloud Microphysics in North China, IPAC-NC)外场实验期间污染烟羽的飞机观测结果. IPAC-NC 外场实验包括痕量气体、气溶胶和云的飞机同步观测, 该外场实验已有的两个重要发现是: (1) 观测到“大气霾云”现象,

即华北地区上空具有高浓度的气态污染物和霾粒子, 其中部分与低云混合, 这些大气霾云会产生较强的区域气候冷却辐射强迫^[1]; (2) 分析得出在这种重污染情形下, 低空大气中具有较高浓度的 OH 和 HO₂ 自由基, 表明华北地区上空存在“大气污染氧化池”^[2]. 本文研究了 IPAC-NC 外场实验期间污染烟羽中反应性气体 SO₂, NO, NO_x(氮氧化物, 即 NO 与 NO₂ 之和), O₃, CO 和非甲烷碳氢化合物(non-methane hydrocarbons, NMHCs) 的浓度水平和变化特征, 并探讨了这些污染烟羽可能的来源.

实验期间飞机观测到了几次污染烟羽, 其特征表现为 SO₂ 和 NO_x 浓度骤然大幅度增加以及 O₃ 浓度的显著变化(有的升高, 有的降低), 烟羽的厚度一般不超过 500 m, 宽度在 30~60 km 之间. 烟羽中 SO₂ 最高浓度可达 50 ppbv (1 ppbv=10⁻⁹ L L⁻¹), 比烟羽外的环境浓度增加约 20 ppbv; 烟羽中 NO_x 的峰值浓度可达 30 ppbv, 比烟羽外的环境浓度增加约 10 ppbv. 其中 2006 年 4 月 9 日飞机

在天津以北黄庄(39.48°N, 117.52°E)上空的几个高度做 15 km 半径转圈飞行时发现, 对于 0.4 km 高度处的烟羽, 在 NO_x 浓度大于 15 ppbv 时烟羽中的臭氧浓度是降低的; 而对于 1.7 km 高度处的烟羽, NO_x 的浓度水平为 6~7 ppbv, 此时烟羽中的臭氧浓度是升高的.

烟羽中 O₃ 减少的原因, 至少部分是由于 NO 对 O₃ 的滴定效应造成的; 而烟羽中 O₃ 增加则表明, 化学反应已造成 O₃ 的净生成. 对于 IPAC-NC 外场试验, 烟羽中 O₃ 浓度最高可达 60~80 ppbv. 观测的 SO₂/NO_x 浓度比值与各类排放源的 SO₂/NO_x 摩尔比值的对比分析显示, 污染烟羽中较高的 SO₂ 和 NO_x 主要来自电厂或其他工业源的排放. 本文研究表明, 来自不同污染源的烟羽, 包括城市烟羽, 可以相互混合, 从而造成大范围的污染输送, 使区域空气质量恶化. 需要开展更深入的外场实验观测和模式模拟研究, 以进一步揭示中国地区上空污染烟羽的来源和化学特征.

1 Ma J Z, Chen Y, Wang W, et al. Strong air pollution causes widespread haze-clouds over China. *J Geophys Res*, 2010, 115: D18204

2 Ma J Z, Wang W, Chen Y, et al. The IPAC-NC field campaign: A pollution and oxidization pool in the lower atmosphere over Huabei, China. *Atmos Chem Phys*, 2012, 12: 3883–3908