

学术论文

# 北京大气环境的区域特征与沙尘影响

任阵海，高庆先，苏福庆，王耀庭，张志刚，杨新兴

(国家环保总局气候变化影响研究中心，北京 100012)

**[摘要]** 讨论了北京大气环境的区域性特征。利用网络点集确定出大气输送通道，提出了汇聚带概念，同时分析了北京地区大气污染特征，使用激光技术探测了大气气溶胶的垂直分布。研究表明北京大气环境质量与周边地区的污染源有密切的关系，认为只有进行同步治理才能有效地改善首都大气环境的质量。通过卫星监测技术和对气象流场进行分析，对我国沙尘暴现象进行了研究。指出境外沙尘源和境内沙尘源，并以2002年3月20日北京一次特强沙尘暴为例，对原始沙尘源的分布进行了解析，分析指出原始沙尘源包括春季长江以北广大的裸露土地，显示出沙尘暴起始过程是以点源群出现，然后合并为沙尘带，最后出现大面积沙尘污染。并简述了我国现代环境理念。

**[关键词]** 沙尘暴；输送通道；环境污染；中国

**[中图分类号]** P425.5<sup>+5</sup>; X513; X51 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)02-0049-08

## 前言

近年来我国环境的区域性特征已逐渐被认识。由于对重大污染源采取了广泛的治理措施，局地性的重污染形势有所减缓，但区域性的污染形势突现出来，无论是水流域环境、大气环境乃至固废环境、生态环境等。

北京作为首都又将举办奥运会，其大气环境质量同周边地区大气环境的相互影响是需要着重关注的问题。

## 1 大气环境的区域特征

取2000年6月5日以来近一年的全国主要城市大气污染指数(API)做日均分析(图1)。

由图1可见，首要污染物PM<sub>10</sub>(大气中直径≤10 μm的粒子)的大气污染指数分布，高值区位于东北、西北及整个华北地区，PM<sub>10</sub>呈现出两个重污染区，一个位于河北、山东、山西、内蒙古包括京津地区。另一个在西安、兰州等地。而首要污染物SO<sub>2</sub>也有两个中心，但并未形成大范围污染。

此外，在长江以南出现一个较小污染区，四川盆地也有一小污染区。对多年我国大气污染状况的分析，目前我国主要的大气污染物已由SO<sub>2</sub>和总悬浮颗粒物TSP的污染转为PM<sub>10</sub>污染。其中可吸入颗粒物的污染对人体健康危害极大。区域大气环境经常以连续多天的较严重的污染过程表现出来，利用过程的概念分析环境问题较为方便，各类环境过程中也包含环境质量好的过程情况。环境过程是由天气形势、区域大气边界层特征、地区间大气输送相互影响以及大气污染物排放量等因素形成。如2001年2月18—23日是一个大气环境过程，全国同时出现三个较强的大污染区域，分别位于华北地区、西北地区和长江中下游地区(图2)。

为了研究大气环境的多年特征，我们提出网络点集时间序列方法，使用气象数据和大气污染资料建立了多个高度层上的输送场<sup>[1]</sup>。

图3显示出华北地区不同月份和高度上的大气污染汇聚带和输送通道(图中未标出高度的是指在地面)。该地区大气边界层汇聚带具有常驻的特征，是太行山、燕山大地形与大气条件相互作用形成

[收稿日期] 2002-07-03；修回日期 2002-08-19

[作者简介] 任阵海(1932-)，男，河南新乡市人，中国工程院院士，中国环境科学研究院研究员

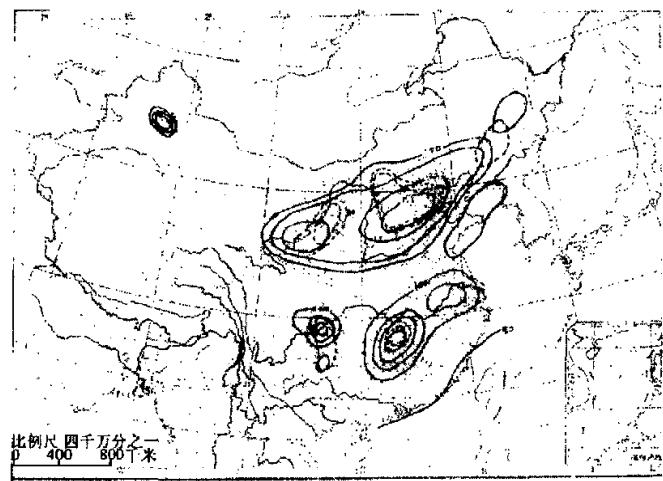


图 1 全国主要城市大气污染指数日均分布图

实线为首要污染物 PM<sub>10</sub>, 虚线为首要污染物 SO<sub>2</sub>

Fig. 1 The distribution of daily mean API of the major cities (the solid line PM<sub>10</sub>, the dashed SO<sub>2</sub>)

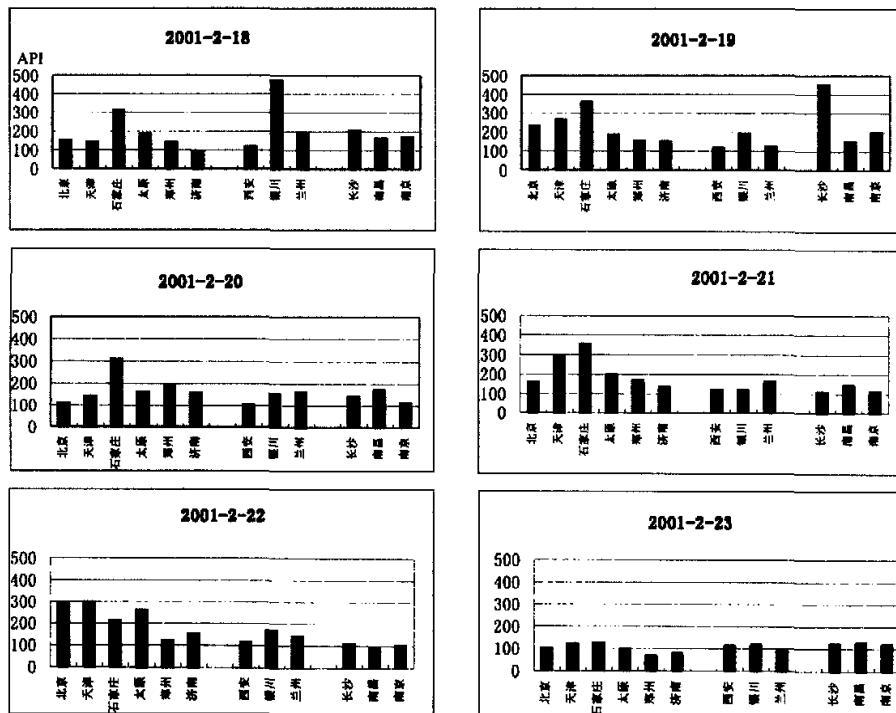


图 2 三个较强的大气污染区域

(API 0~50 为一级污染, 51~100 为二级污染, 101~200 为三级污染, 201~300 为四级污染,  $\geq 301$  为五级污染)

Fig. 2 The three heavy polluted areas

(Notation: API 0~50 is the first level polluted, 51~100 is the second level, 101~200 is the third level, 201~300 is the fourth level,  $\geq 301$  is the fifth level)

的，此外，输送通道的结构还显示着北京地区大气环境受到华北地区排放污染物源强的影响。1989年，在进行“八五”科技攻关项目“我国酸性物质的大气输送研究”时使用飞机对华北地区低空大气环境进行了监测，河北省低空航测污染物空间分布特征证实了上述汇聚带的存在<sup>[2,3]</sup>。

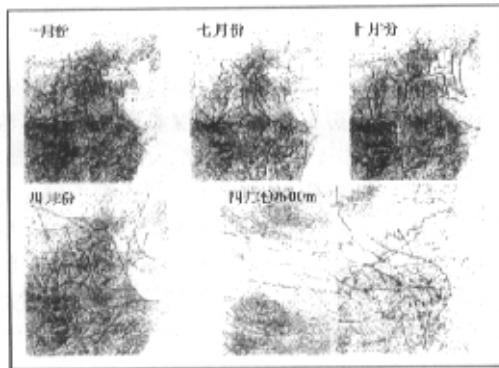


图3 不同季节和高度大气污染汇聚带

Fig. 3 The converging zone of atmospheric pollution in different altitude and seasons

北京的地形背景是处于太行山、燕山山坳的半盆地之中，大气自然环境同时受着山系地形、山坳半盆地及西风带天气的影响，由此可以初步确定北京地区特有的大气环境特点。文献[2]中给出的一项研究成果表明了沉降到北京地区地表面的大气酸性物质大部分来自本地的排放源，56.9%的硫沉降来自北京。21.4%来自河北省，15%来自天津，此外还来自山西、山东、河南、江苏、内蒙古等地少量的排放物。而北京地区排放的大气酸性物质输送沉降到河北省占该省沉降量的9%，沉降到天津6%，内蒙古2%，吉林1%等。结论表明周边省市大气酸性物质沉降在北京地面上的大于北京沉降到外省市的量。这种北京与外省市大气污染的相互交换显示着北京的大气环境质量具有明显的区域性特征和与周边城市的大气环境质量有密切的关系。

但是，北京地区的大气污染除了具有区域性特征外又具有自身局地性特征。通过大量的分析，发现可以通过能见度的有效可视距离及分布范围作为判断大气污染程度的一种指标（图4）。

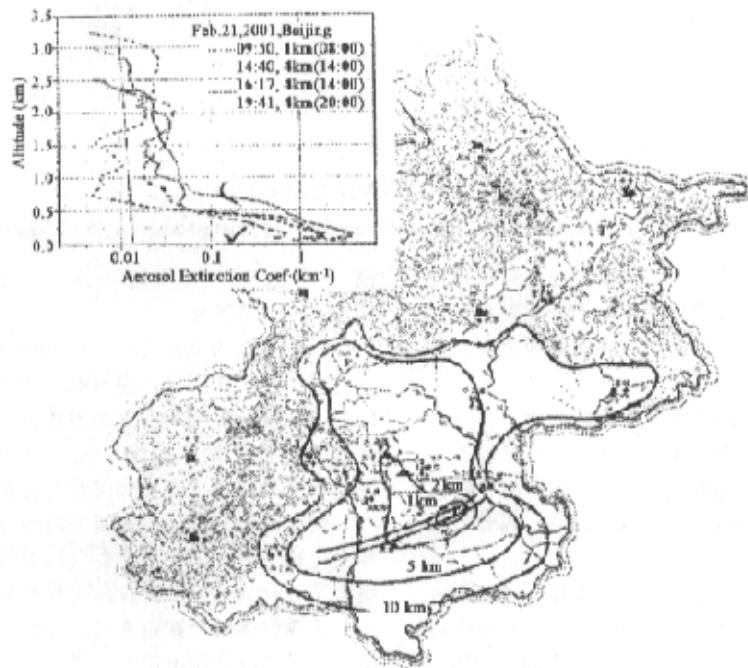


图4 用能见度判断大气污染

Fig. 4 The judgement of the atmospheric pollution by visibility

图 4 中显示污染较重的地区都分布在靠山的山坳底部。由于城市热岛效应和西部、北部山坡的联合影响，在城市南部形成小的汇聚带，此汇聚带是大气环境污染最重的地区。通过同步激光大气垂直探测消光系数可以判断污染物浓度垂直分布主要集中在 500~600 m 高度以下，全天皆如是。浓度最大值出现在 120 m 左右，同北京气象与环境专用铁塔监测结果相符。此外可分析看到 120 m 以下为北京地区近地层输送通道，而 120 m 以上与高空较远距离的大气污染输送有关<sup>[4]</sup>。

## 2 北京地区的沙尘影响

通过对近年发生的 38 例沙尘过程的卫星图像配合天气流场分析，研究了沙尘过程对我国大气环境质量及其对气候变化的影响<sup>[5~7]</sup>。

首先分析出沙尘的初始源地，可分为境外源和

境内源。

境外源主要位于哈萨克斯坦国、俄罗斯国和蒙古国中南部与东部荒漠化严重的地区。图 5 给出了蒙古国沙尘暴多年平均发生频次的空间分布，可以看出蒙古国的沙尘暴高发区集中在中南部和东部地区。

境内初始源地位于我国内蒙古中、西部地区及河西走廊和农牧交错带大面积的开垦地及荒漠化地区等。

影响我国的沙尘天气可分为北路、西路和西北路。

北路的境内初始源地位于内蒙古中部二连浩特、锡林浩特、那仁宝力格和东、西乌珠穆沁旗、满都拉、朱日和、四子王旗等地；西北路的境内初始源地位于内蒙古西部的额济纳旗、乌拉特中、后旗、鄂托克旗、盐池、民勤、拐子湖等地；西路的初始源区位于新疆塔里木盆地的塔克拉玛干沙漠边缘和北疆的哈密地区。



图 5 蒙古国沙尘暴频次空间分布图

Fig.5 The geographical distribution of the frequency of dust storms in the Mongolia

西路出现的沙尘天气由于其所处的特殊地理位置和环境，对北京大气颗粒物浓度的影响较小，但是，当遇到强大的天气系统时有可能远距离输送影响北京。

影响北京地区的沙尘天气输送路径如下：

1) 北路：源区（蒙古国东南部）→ 内蒙古乌兰察布盟 → 锡林郭勒盟西部的二连浩特市、阿巴嘎旗 → 浑善达克沙地西部 → 朱日和 → 四子王旗 → 张家口 → 北京。

2) 西北路：源区（蒙古国中、南部）→ 内蒙古阿拉善盟的中蒙边境 → 乌拉特中、后旗 → 河西走廊 → 从贺兰山南、北两侧分别经毛乌素沙地和乌兰布和沙漠 → 呼和浩特市 → 张家口 → 北京。

3) 西路：源区（新疆塔里木盆地塔克拉玛干沙漠边缘）→ 敦煌 → 酒泉 → 张掖 → 民勤 → 盐

池 → 鄂托克旗 → 大同 → 北京。如图 3 中“4 月份 600 m”那张图。

2002 年 3 月 19、20、21 日的沙尘暴为多年罕见的特强沙尘暴天气。强风形成的特强沙尘暴使我国绝大部分地区受到沙尘暴的袭击，首都也遭受到严重的危害。图 6 给出了北京（a）和韩国汉城（b）沙尘天气与正常天气时的对比照片。

根据卫星云图动态资料和流场分析，看出此次沙尘过程是由多次极强冷空气陆续侵袭形成。图 7 给出了 2002 年 3 月 20 日沙尘暴的部分卫星云图。

让我们换一个视角来讨论沙尘危害的问题，考虑到当前还没有能力用人工手段影响大气自然运动特性，又不能预见长远时期沙尘危害的动态，因而弄清沙尘的起尘过程和仔细探查原始起尘点是首要问题，是重要的研究任务。



图6 沙尘天气与正常天气的比较

Fig.6 The comparison between the sand-dust weather and the normal weather  
a. Beijing (18, April 2002; 20 March 2002)    b. Seoul (23, march 2002; 21 March 2002)

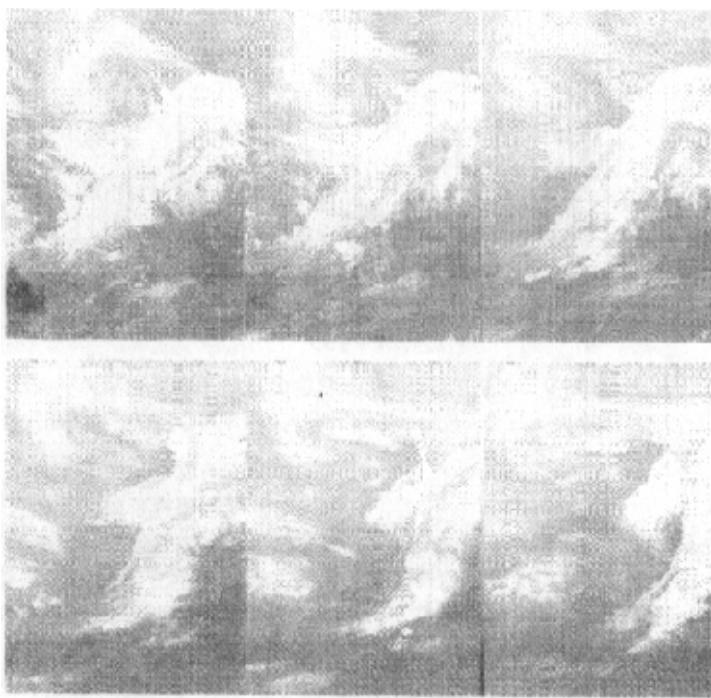


图7 2002年3月20日沙尘暴过程卫星图片

(从左到右，从上到下分别为20日15时、17时、20时及21日00时、03时、07时)

Fig.7 The satellitic images of the dust storm occurring 20 Mar 2002

(From the left to the right, from the top down, the corresponding date is  
15 17 20 o'clock at the 20 th, and 00 03 07 o'clock at the 21st)

根据监测显示，沙尘过程首先是从很多点源起来，然后汇成带状传输形式，最后扩散合成大面积的浮尘污染。如果由点源群起尘的说法与实际情况相一致，就需要更详细探查原始的起尘点源，在点上因地制宜，着力改善其地面生态状况，减少地表沙尘释放，这种措施较易于减缓沙尘危害，至于已形成空中带状传输和大面积浮尘情景已不易控制。

图8表示3月19—21日强沙尘暴的原始起尘点。等值线为主要城市21日的PM10污染状况。图中显示了沙尘暴的宏观起尘过程，从蒙古国的原始起尘源，随着冷锋向南、向东旋转移动，被冷锋扫过的上游沙漠及周边地区都出现沙尘暴和强沙尘暴。由于锋区很强且范围大，几乎在长江以北包括黄河流域全部及内蒙古等春季裸露土壤地区都出现起尘。可以看出，在冷锋扫过之后，由于沙尘暴的影响，我国华北、东北及长江以北等地区出现大面积的沙尘天气污染。

北京多年遭受沙尘影响，通过对长期观测沙尘次数的统计分析，可以看出呈现波状起伏状态，有

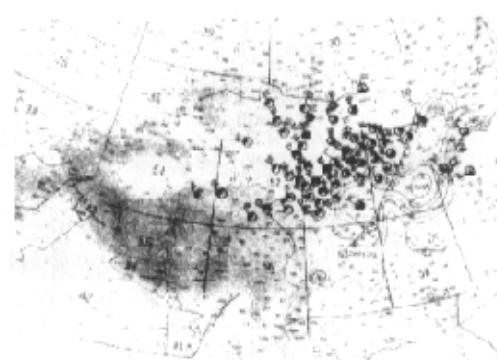


图8 2002年3月份强沙尘暴初始起尘点

Fig.8 The initial sources of dust-storm on March 2002

一定的年际变化规律。总体趋势是下降的，但近几年有上升的趋势（见图9）。

值得注意的是1999年和2000年曾有5次沙尘是在北京近周边形成而不是通过远距离输送而来。

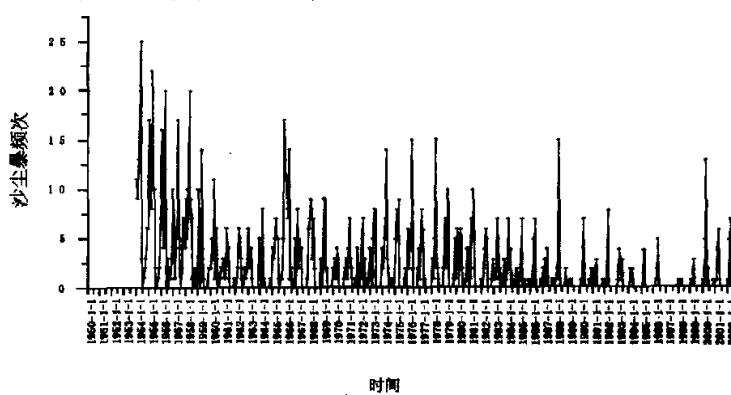


图9 北京1954~2002年沙尘日数序列图

Fig.9 The long-term trend of dust-storm from 1954~2002 in Beijing

### 3 大气汇聚带

大气中存在各类不同性质的气团，气团之间形成汇聚带。以华北区域为例，移动速度各异的气团侵入华北区域后，更大范围的天气形势可使某些气团甚至全部气团滞留数日<sup>[8]</sup>，大气边界层结构亦发生变化，使地区大气排放的污染物滞留其中。由于气团与太行山地形相互作用经常在河北省出现常驻性的小低压区，其具有汇聚地区大气污染物特性，这些气团之间可形成汇聚带，由地面风场分析

得到河北省与北京地区于1月9—12日形成的汇聚带，它汇聚气团携带的区域性大气污染物，伴同汇聚带侵入北京半盆地形，再受着不利于垂直扩散的大气边界层的垂直方向阻滞，首都出现重污染日（见图10）。因此首都大气环境质量的改善应同步关注周边范围的大气环境的改善与控制。

为大气环境所重视的大气汇聚带是造成地区较重污染的一类环境过程，它主要限于在大气边界层内的大气污染物的汇聚过程。此外，我国大气科学家于20世纪70年代以来就研究北京地区的大气辐

合线与露点峰，它在深厚的不稳定大气条件下可能诱发强雷暴，也证实北京地形性的辐合汇聚过程有



图 10 气团和地形作用所形成的汇聚带

Fig. 10 The impact of air mass and terrain on converging zone

常驻特点。

影响沙尘天气的冷锋也是一种深厚的汇聚带。在其侵入北京时往往出现先污染后沙尘现象。

统计分析给出了先污染后沙尘的形势，例如，2001年11月3—5日、2002年4月6—8日，也有在一天内出现先污染后沙尘的形式，如2001年1月1日、2001年3月2日、2001年12月29日—2002年1月1日、2002年1月6日、2002年3月13日、2002年4月14日等等。图11给出了2001年1月1日沙尘天气发生之前北京地区水平能见度随时间的演变，图12为激光雷达探测的污染气团、扬沙及沙尘云结构，显示出典型的先污染后沙尘过程。

图12给出一个激光垂直探测的先污染后沙尘的事例，2002年1月19日北京垂直污染，20日沙尘暴袭来。图12a为大兴探测的较重污染的边界层日变化，图12b消光系数显示高空浮尘侵入，低空为地面扬沙。

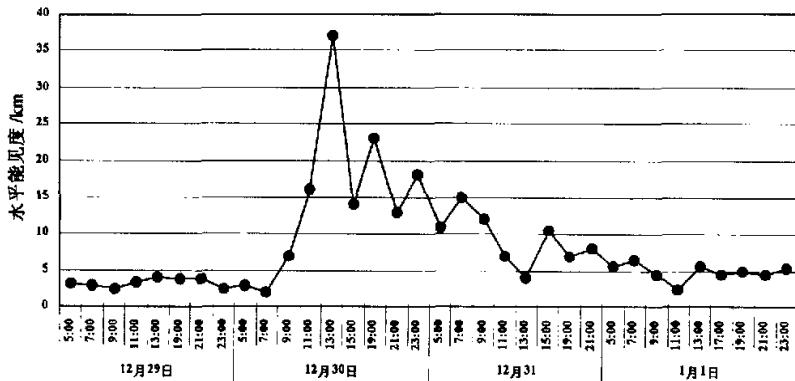


图 11 激光雷达探测的水平能见度 (km)

Fig. 11 The horizontal visibility from lidar  
(由邱金桓、王庚辰为此图提供资料)

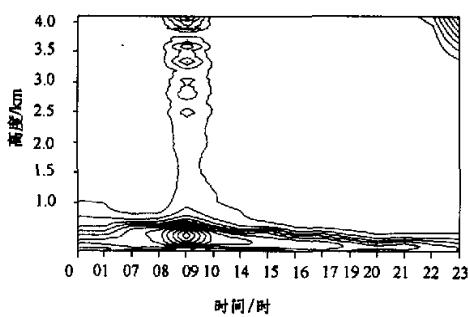


图 12a 2002 年 1 月 19 日大兴污染边界层日变化图

Fig. 12a The daily variation of pollution boundary layer on 19 Jan 2002

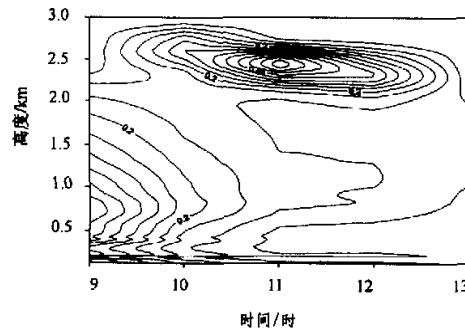


图 12b 2002 年 1 月 20 日昌平沙尘天气消光系数等值线日变化图

Fig. 12b The daily variation of aerosol extinction coefficient in changping on 20 Jan 2002  
(由胡欢陵、吴永华提供激光雷达探测数据)

## 结束语

我国现代环境理念是以人为本，社会可持续发展，不断提高生活质量。环境问题在发展中产生，也能够在发展中解决，北京申奥成功是彻底整治华北区域性大气污染难题的极好机遇。当前的环境问题已突现为区域范围的特征。

## 参考文献

- [1] 任阵海, 苏福庆. 大气输送的环境背景场 [J]. 大气科学, 1998, 22 (9): 454~458
- [2] 任阵海, 黄美元, 董保群, 等. 我国酸性物质的大气输送研究 [R]. 北京: 国家环保总局研究报告, 1995. 240~263
- [3] 汤大纲, 王 珮, 曲金枝, 等. 华北地区大气污染物的航测研究 [R]. 北京: 国家环保总局研究报告, 1995. 207~239
- [4] 胡欢陵, 吴永华. 外来污染物对北京大气环境质量影响 [R]. 北京: 国家环保总局研究报告, 2001. 182~197
- [5] 高庆先, 任阵海. 宁夏的沙尘暴天气及防沙治沙的对策建议 [J]. 中国工程科学, 2002, 4 (2): 16~21
- [6] 李令军, 高庆先. 2000 年北京沙尘暴源地解析 [J]. 中国环境科学, 2001, 14 (2): 1~6
- [7] 高庆先, 李令军, 张运刚. 我国春季沙尘暴研究 [J]. 中国环境科学 2000, 20 (6): 495~500
- [8] 1998 年 9 月 29 日至 10 月 7 日北京地区严重污染过程分析 [R]. 北京: 国家环保总局研究报告, 1999. 243~267
- [9] 高庆先, 苏福庆. 侵入北京地区的沙尘天气形成先污染后沙尘的过程分析 [R]. 北京: 国家环保总局研究报告, 2001. 128~143

## The Regional Characteristics of the Atmospheric Environment and the Impact of Dust-storm in Beijing

Ren Zhenhai, Gao Qingxian, Su Fuqing , Wang Yaoting, Zhang Zhigang, Yang Xinxing

(Center for Climate Impact Research, SEPA, Beijing 100012, China)

**[Abstract]** The regional characteristics of the atmospheric environment and the impact in Beijing were discussed in details. Applying point set for the network, the transport passageways of the atmosphere were determined, and the concept of converging zone was put forward, and the characteristics of atmospheric pollution were analyzed. Applying the laser techniques, the vertical distribution of the aerosol was detected. It was shown that the environmental quality of the atmosphere in Beijing was relative to the pollution sources in the neighborhood around Beijing area. And it was confirmed that only by the simultaneous treatment of the pollution source in both Beijing and its neighborhood areas, can the environmental quality of the atmosphere in Beijing be improved.

By both the satellite detection techniques and the analysis of the wind stream fields of the atmosphere, the phenomena of dust-storm in China were researched, and the inner source and outersource of the dust-storm in China were determined. The especially strong dust-storm on March 22, 2002, was taken as an example, by which the distribution of the original sources of the dust-storm was resolved, and the lots of the bare lands in Spring in the north of the Yangzei River were involved. The initial process of the dust-storm appeared as a group of point sources, which were then combined into a sand-dust band. Finally, the dust-storm pollution of the large areas would appear. The modern theory and concept for the environment in China were described chiefly.

**[Key words]** dust-storm; transport passageway; environment pollution; China