

# 中国商品能源消耗导致的氮氧化物排放量

田贺忠,郝吉明\*,陆永琪(清华大学环境科学与工程系,北京 100084, E-mail: hjm@den@tsinghua.edu.cn)

**摘要:**能源消耗导致的  $\text{NO}_x$  排放是影响环境空气质量及区域酸沉降的重要因素. 根据全国及各省区商品能源消耗与不同经济部门、不同燃料类型  $\text{NO}_x$  排放因子,估算了 90 年代中国  $\text{NO}_x$  排放量,详细给出了 1997 年分省、分地区、分行业及分燃料排放清单,并绘出了  $\text{NO}_x$  平均排放强度分布图. 结果表明,中国  $\text{NO}_x$  排放量由 1990 年 8.4 Mt 快速增长到 1996 年的 12.0 Mt. 但与 1996 年  $\text{NO}_x$  排放峰值相比,1997 和 1998 年中国  $\text{NO}_x$  排放量分别下降了约 0.34 Mt 和 0.82 Mt. 中国  $\text{NO}_x$  排放的燃料、行业及地区分布极不平衡:大约 3/4 的  $\text{NO}_x$  排放源自煤的燃烧;行业分布上, $\text{NO}_x$  则主要来自于工业(39.56%)、电力(36.74%)和交通运输(11.22%);各省区  $\text{NO}_x$  排放差别很大,河北、江苏、辽宁、山东、广东、山西、黑龙江、湖北和河南 9 省超过 0.5 Mt,而青海、宁夏和海南 3 省区小于 0.1 Mt.  $\text{NO}_x$  平均排放强度最大的地区( $>10\text{t}\cdot(\text{km}^2\cdot\text{a})^{-1}$ )包括上海、天津和北京市. 总体来说,中国  $\text{NO}_x$  排放和污染主要集中在人口密集、经济相对发达的东中部和东南部地区,尤其是北京、上海、天津等大城市.

**关键词:**氮氧化物;排放清单;能源消费;排放强度

中图分类号:X511 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2001)06-05-0024

## Nitrogen Oxides Emissions Arising from Commercial Energy Consumption in China

Hezhong Tian, Jiming Hao, Yongqi Lu (Department of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China E-mail: hjm@den@tsinghua.edu.cn)

**Abstract:** According to national and provincial energy consumption and specific  $\text{NO}_x$  emission factors for different sectors and fuel types,  $\text{NO}_x$  emissions resulted from commercial energy consumption in China in 1990's were presented. Specially,  $\text{NO}_x$  emission inventories by provinces, sectors and fuel types in 1997 were developed and discussed. Total  $\text{NO}_x$  emissions increased from 8.4 Mt in 1990 to 12.0 Mt in 1996. However, compared with the peak value in 1996,  $\text{NO}_x$  emissions in 1997 and 1998 decreased by an amount of 0.34 and 0.82 Mt respectively. It can be seen remarkable imbalance of  $\text{NO}_x$  emissions by fuel types, economic sectors and provinces: 3/4 of the totals came from coal burning; sectoral emissions were dominated by industry (39.56%), power (36.74%) and transportation (11.22%);  $\text{NO}_x$  emissions in Hebei, Jiangsu, Liaoning, Shandong, Shanxi, Guangdong, Henan, Heilongjiang and Hubei province exceeded 0.5 Mt, while those in Qinghai, Ningxia and Hainan were lower than 0.1 Mt. Regions with highest  $\text{NO}_x$  emission intensities ( $>10\text{t}\cdot(\text{km}^2\cdot\text{a})^{-1}$ ) were Shanghai, Tianjin and Beijing municipality. In sum,  $\text{NO}_x$  emissions and pollution mainly concentrated in the populated and industrialized areas of China: the Eastern Central and Southeastern provinces.

**Key words:** nitrogen oxides; emission inventory; energy consumption; emission intensity

中国  $\text{NO}_x$  排放状况已经引起国内外研究者的广泛关注,并相继做了一些关于中国  $\text{NO}_x$  排放的研究<sup>[1-6]</sup>.但是,已经发表的研究结果或者仅仅针对过去某一年<sup>[1-4]</sup>;或者得出的一些结果与近年来中国能源利用的实际状况不甚相符<sup>[5-6]</sup>,且大多没有给出详细的排放清单.

为进一步了解我国  $\text{NO}_x$  排放的历史及现状,有效控制与  $\text{NO}_x$  排放密切相关的酸沉降和空气污染,又考

基金项目:国家环境保护总局科技发展计划项目(98-1-01)  
作者简介:田贺忠(1970~),男,清华大学在读博士研究生,讲师,主要研究方向为大气污染控制工程.

收稿日期:2001-02-22

\* 通讯联系人

虑到中国能源消费自 1997 年开始出现持续下降的趋势,且能源消费结构也产生了较大变化.因此,本文根据全国和分省区、分行业的商品能源消耗与活动水平,以及不同行业、不同燃料类型的 NO<sub>x</sub> 排放因子,估算了 90 年代中国 NO<sub>x</sub> 排放量,并详细给出了 1997 年分省、分地区、分行业及分燃料的 NO<sub>x</sub> 排放清单.此外,还绘出了 NO<sub>x</sub> 平均排放强度分布图.

1 方法学

1.1 研究范围与估算方法

研究区域包括中国大陆 31 个省、直辖市和自治区,香港、澳门和台湾省暂时没有考虑在内;能源消费的经济部门划分为电力、工业、建筑、交通运输、商业、居民生活以及其它等 7 大类;而燃料划分为煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气(LPG)、炼厂干气、天然气及煤气等 11 类.估算 NO<sub>x</sub> 排放量的计算公式如下<sup>[1]</sup>:

$$Q_i^N(t) = \sum_i Q_i^N(t) \tag{1}$$

$$Q_i^N(t) = \sum_j Q_{i,j}^N(t) \tag{2}$$

$$Q_{i,j}^N(t) = \sum_f \sum_k Q_{i,j(k),f}^N(t) \tag{3}$$

$$Q_{i,j(k),f}^N(t) = (1 - P_{i,j(k),f}^N) K_{i,j(k),f}^N E_{i,j(k),f}(t) \tag{4}$$

其中, Q<sup>N</sup> 为 NO<sub>x</sub> 排放量(以 NO<sub>2</sub> 计); K<sup>N</sup> 为以 NO<sub>2</sub> 计的 NO<sub>x</sub> 排放因子; F 为燃料消耗量; P<sup>N</sup> 为 NO<sub>x</sub> 脱除率; T 为全国; i 为省(直辖市、自治区); j 为经济行业; f 为燃料类型; j(k) 为经济部门 j 中的排放源种类.

1.2 NO<sub>x</sub> 排放因子

本研究采用分行业 and 分燃料的 NO<sub>x</sub> 排放因子与相应的能源消耗来估算 NO<sub>x</sub> 排放量.显然,适当的排放因子对获得可靠的估算结果是至关重要的.尽管有研究者曾对国内某些燃烧设备 NO<sub>x</sub> 排放状况进行过测试<sup>[10~11]</sup>,但目前国内还没有形成一套系统、完整的燃烧设备 NO<sub>x</sub> 排放因子集.

通过分析国内外一些相关研究报告<sup>[1,2,5,6]</sup>,本文决定引用文献[1]中的排放因子集,它们是根据国外 70 年代中期未采取 NO<sub>x</sub> 排放控制措施的燃烧设备和汽车的排放状况而确定的.采用该排放因子集的另一个考虑是它们容易与可获得的分行业分燃料能源消耗状况相匹配.另外,目前我国除部分大中型火电机组(≥ 200 MW)锅炉配套安装了诸如低氮氧化物燃烧系统(LNBs)等 NO<sub>x</sub> 排放控制设施外,大部分燃料消耗设备未采取相应的 NO<sub>x</sub> 排放控制措施,因此计算时暂时将公式(4)中的 NO<sub>x</sub> 去除率 P<sup>N</sup> 设置为 0.本研究采用的 NO<sub>x</sub> 排放因子如表 1 所示.

表 1 各经济部门和燃料类型的 NO<sub>x</sub> 排放因子 / kg·t<sup>-1</sup>

Table 1 NO<sub>x</sub> emission factors by different economic sectors and fuel types

| 排放源   | 煤    | 焦炭   | 原油   | 汽油   | 煤油   | 柴油    | 燃料油   | LPG   | 炼厂干气 | 天然气 × 10 <sup>-4</sup> | 煤气 × 10 <sup>-4</sup> |
|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------------------------|-----------------------|
|       |      |      |      |      |      |       |       |       |      | / kg·m <sup>-3</sup>   | / kg·m <sup>-3</sup>  |
| 炼焦或炼油 | 0.37 |      | 0.24 |      |      |       |       |       |      |                        |                       |
| 电力    | 9.95 |      | 7.24 | 16.7 | 21.2 | 7.4   | 10.06 | 3.74  | 0.75 | 40.96                  | 13.53                 |
| 工业    | 7.5  | 9    | 5.09 | 16.7 | 7.46 | 9.62  | 5.84  | 2.63  | 0.53 | 20.85                  | 9.5                   |
| 建筑业   | 7.5  | 9    |      | 16.7 | 7.46 | 9.62  | 5.84  | 2.63  | 0.53 | 20.85                  |                       |
| 公路交通  |      |      |      | 21.2 | 27.4 | 27.4  | 27.4  | 18.1  |      |                        |                       |
| 铁路交通  | 7.5  | 9    |      |      |      | 54.1  | 54.1  |       |      |                        |                       |
| 其它交通  | 7.5  | 9    | 5.09 | 16.7 | 27.4 | 36.25 | 36.25 |       |      | 20.85                  |                       |
| 城市居民  | 1.88 | 2.25 | 1.7  | 16.7 | 2.49 | 3.21  | 1.95  | 0.88  | 0.18 | 14.62                  | 7.36                  |
| 乡村居民  | 1.88 | 2.25 | 1.7  | 16.7 | 2.49 | 3.21  | 1.95  | 0.88  | 0.18 | 14.62                  | 7.36                  |
| 商业    | 3.75 | 4.5  | 3.05 | 16.7 | 4.48 | 5.77  | 3.5   | 1.58  | 0.32 | 14.62                  | 7.36                  |
| 制气    | 0.75 | 0.9  | 2.19 |      |      | 9.62  | 5.84  | 0.263 | 0.53 |                        | 0.95                  |
| 其它    | 3.75 | 4.5  | 3.05 | 16.7 | 4.48 | 5.77  | 3.5   | 1.58  | 0.32 | 14.62                  | 7.36                  |

2 结果与讨论

2.1 全国 NO<sub>x</sub> 排放总量

根据 90 年代能源消费统计资料<sup>[7~9]</sup>和表 1 所列 NO<sub>x</sub> 排放因子,利用公式(1)~(4)可估算中国能源消费导致的 NO<sub>x</sub> 排放总量.图 1 给出了 1990~1998 年我

国 NO<sub>x</sub> 排放估算结果和相应年份的一次能源消费总量.可见,90 年代前期,随着经济的快速发展和以煤为主的能源消费持续增长,中国 NO<sub>x</sub> 排放呈稳定增长势头,从 1990 年 8.4 Mt 快速增长到 1996 年的峰值约 12.0 Mt,平均增长率为 6.1%.然而,自 1997 年开始,NO<sub>x</sub> 排放总量非但没有像一些学者预测的那样持续快

速增加<sup>[5-6]</sup>,反而开始出现了一定幅度的下降.1997 年和 1998 年全国 NO<sub>x</sub> 排放总量下降为 11.66 Mt 和 11.18 Mt,与 1996 年排放峰值相比分别下降了 0.34 Mt 和 0.82 Mt.造成近几年我国 NO<sub>x</sub> 排放量下降的原因主要是由于 1997 年爆发的亚洲金融危机.国内经济结构和能源消费结构的优化调整以及各种节能措施的实施,使能源消费总量减少,尤其是高污染煤的消耗减少.据 1999 中国统计年鉴<sup>[9]</sup>,我国一次能源消费总量由 1996 的 1389 Mtce 下降为 1997 年和 1998 年的 1382 Mtce 和 1322 Mtce,煤炭消费总量也由 1996 年的 1447 Mt 减少为 1997 年和 1998 年的 1392 Mt 和 1295 Mt,煤炭在一次能源消费总量中的比重分别由 1996 年的 74.7 % 下降到 71.5 % 和 69.6 %.90 年代我国一次能源消费构成变化情况如图 2 所示.

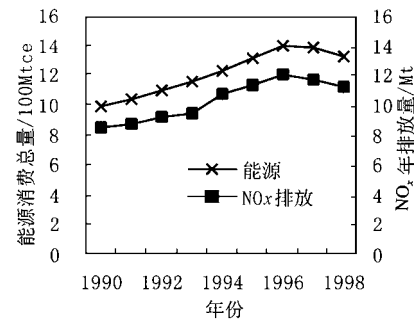


图 1 中国能源消费总量和 NO<sub>x</sub> 排放总量变化  
Fig.1 Total energy consumption and NO<sub>x</sub> emissions in China

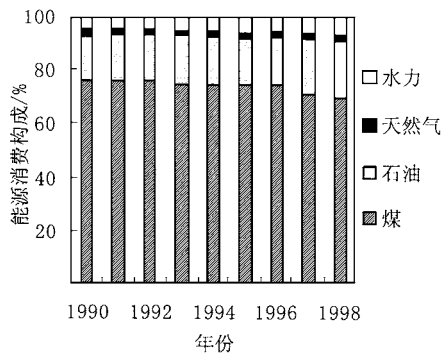


图 2 中国一次能源消费构成变化情况  
Fig.2 Composition of primary energy consumption in China

2.2 分省区 NO<sub>x</sub> 排放清单

根据各省区能源消耗和分行业、分燃料的 NO<sub>x</sub> 排放因子,采用式(1)~(4)就可估算中国 NO<sub>x</sub> 的分省区排放情况.表 2 给出了 1997 年的分省 NO<sub>x</sub> 的排放清

单.可见,中国 NO<sub>x</sub> 排放的地域分布极不平衡,各省区间存在很大差异.其中 9 省区 NO<sub>x</sub> 排放量超过了 0.5 Mt,分别是河北、江苏、辽宁、山东、广东、山西、河南、黑龙江和湖北省;浙江、上海等 5 省区 NO<sub>x</sub> 排放量介于 0.4~0.5 Mt 之间;湖南、陕西等 10 省区 NO<sub>x</sub> 排放为 0.2~0.4 Mt;福建、甘肃省 NO<sub>x</sub> 排放为 0.1~0.2 Mt;而海南、宁夏自治区和青海省 3 个省区的 NO<sub>x</sub> 排放还不及 0.1 Mt.这主要是由于我国不同省区间的产业结构、经济发展水平、人口密集程度以及能源消费结构的不均衡造成的,NO<sub>x</sub> 排放大省或者是传统的工业基地,或者是经济水平相对较高的东部沿海省份.

表 2 1997 年中国分省区的 NO<sub>x</sub> 排放清单/万 t

| Table 2 NO <sub>x</sub> emission inventories by provinces in 1997 |       |    |       |    |         |
|-------------------------------------------------------------------|-------|----|-------|----|---------|
| 省区                                                                | 排放量   | 省区 | 排放量   | 省区 | 排放量     |
| 北京                                                                | 24.75 | 安徽 | 44.75 | 四川 | 46.5    |
| 天津                                                                | 23.02 | 福建 | 19.98 | 贵州 | 25.43   |
| 河北                                                                | 80.86 | 江西 | 20.22 | 云南 | 21.67   |
| 山西                                                                | 60.95 | 山东 | 74.26 | 西藏 |         |
| 内蒙古                                                               | 40.77 | 河南 | 59.66 | 陕西 | 26.94   |
| 辽宁                                                                | 76.28 | 湖北 | 52.23 | 甘肃 | 18.61   |
| 吉林                                                                | 40.43 | 湖南 | 37.30 | 青海 | 4.35    |
| 黑龙江                                                               | 53.94 | 广东 | 65.96 | 宁夏 | 7.42    |
| 上海                                                                | 47.53 | 广西 | 20.85 | 新疆 | 22.76   |
| 江苏                                                                | 76.89 | 海南 | 3.37  |    |         |
| 浙江                                                                | 47.78 | 重庆 | 21.09 | 全国 | 1166.56 |

2.3 分行业 NO<sub>x</sub> 排放清单

表 3 给出了 1997 年全国分行业 NO<sub>x</sub> 排放清单.可见,NO<sub>x</sub> 排放主要来源于工业、电力和交通运输业,约占排放总量的 9/10.其中,工业行业 NO<sub>x</sub> 排放最多;电力位居其次;交通运输排行第 3.因此,控制我国 NO<sub>x</sub> 排放增长应优先从电力、工业及交通运输部门着手.我国工业燃烧设施(工业锅炉、窑炉等)数量大、分布广、容量小、种类繁多、自动化程度低且大多以煤为燃料,直接控制 NO<sub>x</sub> 排放比较困难,因此应逐步淘汰或减少其数量和燃料消耗量,强制或鼓励改用电力、天然气等清洁能源;发达国家一般采用 LNBs 或选择性催化还原 (SCR) 技术控制电站锅炉 NO<sub>x</sub>.目前,国内单机容量为 300 MW 及以上的火电机组基本上都配备了 LNBs 来控制 NO<sub>x</sub> 排放.部分 200 MW 机组锅炉也进行了 LNBs 的改造,今后应逐步开展电站锅炉 SCR 技术的研究与

应用;对于交通运输排放,应通过改善和提高道路通行能力,颁布实施新的机动车排放标准,强制安装三元催化转化器,鼓励使用替代燃料(LPG、CNG)汽车等综合措施控制 NO<sub>x</sub> 排放。

表 3 1997 年中国 NO<sub>x</sub> 排放分行业和分燃料清单/万 t

| Table 3 NO <sub>x</sub> emission inventories by sectors and fuels in 1997 |         |        |     |         |        |
|---------------------------------------------------------------------------|---------|--------|-----|---------|--------|
| 行业                                                                        | 排放量     | 百分比/ % | 行业  | 排放量     | 百分比/ % |
| 电力                                                                        | 428.54  | 36.74  | 煤炭  | 871.69  | 74.72  |
| 工业                                                                        | 461.52  | 39.56  | 焦炭  | 81.28   | 6.97   |
| 建筑                                                                        | 7.23    | 0.62   | 汽油  | 62.89   | 5.39   |
| 交通                                                                        | 130.86  | 11.22  | 煤油  | 10.15   | 0.87   |
| 商业                                                                        | 8.12    | 0.70   | 柴油  | 87.52   | 7.50   |
| 居民                                                                        | 27.83   | 2.39   | 燃料油 | 32.81   | 2.81   |
| 其它                                                                        | 102.46  | 8.78   | 其它  | 20.23   | 1.73   |
| 合计                                                                        | 1166.56 | 100.00 | 合计  | 1166.56 | 100.00 |

2.4 分燃料 NO<sub>x</sub> 排放清单

表 3 还给出了 1997 年的分燃料 NO<sub>x</sub> 排放清单。可见,燃煤是 NO<sub>x</sub> 排放的最主要来源,这与我国以煤为主的能源消费结构是一致的;其次是柴油、焦炭和汽油消费排放的 NO<sub>x</sub>。因此,积极开发利用低污染的替代燃料(LPG、天然气等),促进水力、核能、风能、太阳能、地热能及生物质能等清洁可再生能源的利用,逐步改善我国以煤为主的能源消费结构是控制 NO<sub>x</sub> 排放的有效途径。实际上,1997 年和 1998 年 NO<sub>x</sub> 排放量的回落一方面是由于能源消费总量的减少,另一方面正是由于各种综合污染控制措施的实施促使煤的消费比重有一定幅度的降低(见图 2)。

2.5 6 大行政区 NO<sub>x</sub> 排放清单

1997 年全国 NO<sub>x</sub> 排放的 6 大行政区分布如图 3 所示。可见,华东地区 NO<sub>x</sub> 排放量最大,约 3.31 Mt,占排放总量的 28.41%;其次是中南地区,NO<sub>x</sub> 排放为 2.39 Mt,占 NO<sub>x</sub> 排放总量的 20.52%。这 2 个地区也是中国经济发展最快、人口最密集的地区,其国内生产总值和人口分别占全国的 63.64%和 56.13%。其它地区 NO<sub>x</sub> 排放分别为:华北(2.30 Mt, 19.75%),东北(1.71 Mt, 14.63%),西南(1.15 Mt, 9.83%)以及西北(0.80 Mt, 6.87%)。可见,NO<sub>x</sub> 主要集中在包括华东、中南、华北和东北地区的东中部和东南部地区,尽管只占国土面积的 45%,但 NO<sub>x</sub> 排放量却占全国总量的 83.3%。而占国土面积近 55%的西南和西北地区,由于经济欠发达、人口分布稀疏、商品能源利用率低等原

因,NO<sub>x</sub> 排放量比中东部地区小得多,仅占总量的 16.7%。不过,随着西部大开发战略的实施,我国经济发展的重点将逐步由东部向西部扩展,西部省区的经济水平和能源消费将会逐步增长,可以预期 NO<sub>x</sub> 排放的份额也将会增加。由于西部生态系统非常脆弱,因此西部大开发一定要环保生态先行,综合规划,优先发展低能耗、环保型的清洁生产工艺和技术,力争在发展经济的同时对生态环境的破坏减到最低程度。

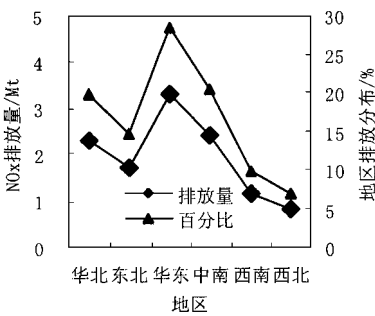


图 3 1997 年中国 NO<sub>x</sub> 排放的地区分布

Fig. 3 Regional distribution of NO<sub>x</sub> emissions in 1997

2.6 NO<sub>x</sub> 排放强度分布

1997 年全国分省区的 NO<sub>x</sub> 平均排放强度分布如图 4 所示。NO<sub>x</sub> 排放强度最大的 3 个省区为上海、天津和北京市,平均排放强度大于 10 t·(km<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>。这主要是由于这些地区工业集中、人口密集、机动车保有量大,尤其是上海市,在 6287 km<sup>2</sup> 的区域内排放 NO<sub>x</sub> 约 0.48 Mt, NO<sub>x</sub> 平均排放强度高达 75.6 t·(km<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>,远高于天津和北京的 19.8 t·(km<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup> 和 15.2 t·(km<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>。排放强度较大(介于 4~10 t·(km<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup> 之间)的其它地区依次为:江苏、辽宁、山东、浙江和河北省,这

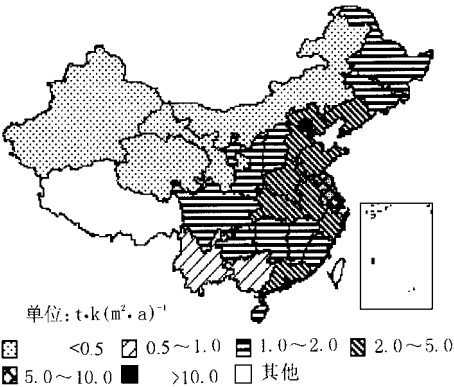


图 4 1997 年中国 NO<sub>x</sub> 平均排放强度分布

Fig. 4 Distribution of NO<sub>x</sub> emission intensity in 1997

主要是由于这些经济水平相对较高的东部省区消耗了大量化石能源的缘故.由于地域大,经济欠发达,工业分布较少,能源消费水平低等原因,边远省区  $\text{NO}_x$  平均排放强度要低得多,甘肃、内蒙、新疆、青海等省区  $\text{NO}_x$  平均排放强度小于  $0.5 \text{ t} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ ,还不及上海的  $1/150$ .可见,我国  $\text{NO}_x$  排放强度的分布也极为不平衡, $\text{NO}_x$  排放及污染主要集中在东中部地区的一些大中城市.但是,平均  $\text{NO}_x$  排放强度很低的西部省区并非没有  $\text{NO}_x$  污染,相反,兰州、乌鲁木齐等一些大中城市的局部地区  $\text{NO}_x$  污染还相当严重.

3 结论

(1) 90 年代前期,中国  $\text{NO}_x$  排放随着以煤为主的能源消费量增加而快速增长,1996 年达到约 12.0 Mt 的排放峰值;之后,受亚洲金融危机、国内经济结构调整及推行节能措施等的影响,能源消费总量和煤炭消费比重开始出现一定幅度的降低, $\text{NO}_x$  排放总量非但没有继续快速增加,反而有所回落,1997 年和 1998 年  $\text{NO}_x$  排放总量分别比 1996 年的峰值下降了 0.34 Mt 和 0.82 Mt.

(2) 中国  $\text{NO}_x$  排放在行业、燃料、地区分布上都极不平衡:排放  $\text{NO}_x$  较多的行业包括工业、电力和交通运输部门,约占  $\text{NO}_x$  排放总量的  $9/10$ ;近  $3/4$  的  $\text{NO}_x$  排放源自燃煤;83.3 % 的  $\text{NO}_x$  排放来自占国土面积 45 % 的华东、中南、华北及东北地区,而占国土面积近 55 % 的西南和西北地区  $\text{NO}_x$  排放不及全国排放总量的  $1/4$ .其中,东中部的河北、江苏、辽宁、山东、广东、山西、河南、黑龙江和湖北等 9 省  $\text{NO}_x$  排放超过 0.5 Mt,而海南、宁夏和青海 3 省区  $\text{NO}_x$  排放不足 0.1 Mt.

(3)  $\text{NO}_x$  平均排放强度最大的地区包括上海、天津和北京市,大于  $10 \text{ t} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ ,尤其是上海市, $\text{NO}_x$  平均排放强度高达  $75.6 \text{ t} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ .甘肃、内蒙、新

疆、青海等一些边远省区平均  $\text{NO}_x$  排放强度小于  $0.5 \text{ t} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ ,不及上海的  $1/150$ .

参考文献:

1 Kato N, Akimoto H. Anthropogenic emissions of  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$  in Asia: emission inventories, Atmospheric Environment, 1992, **26A**(16): 2997 ~ 3017.

2 Akimoto H, Natrita H. Distribution of  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  and  $\text{CO}_2$  emissions from fuel combustion and industrial activities in Asia with  $1^\circ \times 1^\circ$  resolution. J. of Atmos. Sci., 1994, **28**(2): 213 ~ 225.

3 王文兴,王玮,张婉华等.我国  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  排放强度地理分布和历史趋势.中国环境科学,1996, **16**(3): 161 ~ 167.

4 Xue ZG et al. Distribution of  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$  emissions in China, 1995. In: Chen Fu et al. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Atmospheric Science and Its Applications to Air Quality, Beijing: China Ocean Press, 1998. 132 ~ 140.

5 Aardenne J A et al. Anthropogenic  $\text{NO}_x$  emissions in Asian in the period 1990 ~ 2020. Atmospheric Environment, 1999, **33**(4): 633 ~ 646.

6 Streets D G, Waldhoff S T. Present and future emissions of air pollutants in China:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  and CO. Atmospheric Environment, 2000, **34**(3): 363 ~ 374.

7 中国国家统计局.中国能源统计年鉴 1991.北京:中国统计出版社,1991.

8 中国国家统计局.中国能源统计年鉴(1991 ~ 1996).北京:中国统计出版社,1998.

9 中国国家统计局.中国统计年鉴.北京:中国统计出版社,1991 ~ 1999.

10 童家威.工业锅炉排放因子情况.大气环境,1987, **2**(3): 10 ~ 12.

11 沈迪新.固定燃烧的排放因子研究.大气环境,1987, **11**(2): 33 ~ 35.