

# 珠江三角洲非道路移动源排放清单开发

张礼俊<sup>1</sup>, 郑君瑜<sup>1\*</sup>, 尹沙沙<sup>1</sup>, 彭康<sup>1</sup>, 钟流举<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学环境科学与工程学院, 广州 510006; 2. 广东省环境保护监测中心站, 广州 510045)

**摘要** 根据收集到的珠江三角洲非道路移动源活动水平数据, 采用适合各类非道路移动源污染物排放量的估算方法和排放因子, 建立了珠江三角洲地区 2006 年非道路移动源排放清单. 结果表明, 珠江三角洲地区 2006 年非道路移动源排放  $\text{SO}_2$  为  $6.52 \times 10^4 \text{ t}$ ,  $\text{NO}_x$  为  $1.24 \times 10^5 \text{ t}$ ,  $\text{VOC}$  为  $4.54 \times 10^3 \text{ t}$ ,  $\text{CO}$  为  $2.67 \times 10^4 \text{ t}$ ,  $\text{PM}_{10}$  为  $4.51 \times 10^3 \text{ t}$ . 其中船舶为最大的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}$  和  $\text{PM}_{10}$  排放贡献源, 分别占非道路移动源排放总量的 96.4%、73.8%、39.4% 和 50.5%. 在船舶排放源中,  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{VOC}$ 、 $\text{CO}$  和  $\text{PM}_{10}$  排放量的 89.8%、81.8%、77.3%、79.5% 和 81.7% 来自货轮和散装干货船. 非道路移动源已成为该地区第三大  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  排放贡献源, 分别占珠江三角洲大气污染源  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  排放总量的 8.6% 和 13.5%.

**关键词** 排放清单; 非道路移动源; 珠江三角洲; 排放因子

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)04-0886-06

## Development of Non-road Mobile Source Emission Inventory for the Pearl River Delta Region

ZHANG Li-jun<sup>1</sup>, ZHENG Jun-yu<sup>1</sup>, YIN Sha-sha<sup>1</sup>, PENG Kang<sup>1</sup>, ZHONG Liu-jun<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. Guangdong Environmental Monitoring Center, Guangzhou 510045, China)

**Abstract** Based on the collected activity data and emission factors, the Pearl River Delta (PRD) regional non-road mobile source emission inventory was developed by categories with the use of appropriate estimation methods for different non-road mobile sources. The results show that the total emissions of  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{VOC}$ ,  $\text{CO}$  and  $\text{PM}_{10}$  from non-road mobile sources in the PRD region were about  $6.52 \times 10^4 \text{ t}$ ,  $1.24 \times 10^5 \text{ t}$ ,  $4.54 \times 10^3 \text{ t}$ ,  $2.67 \times 10^4 \text{ t}$  and  $4.51 \times 10^3 \text{ t}$ , respectively. The marine source is the largest non-road mobile source contributor to  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  and  $\text{PM}_{10}$  emissions, accounting for 96.4%, 73.8%, 39.4% and 50.5%, respectively; Freightier and dry bulk carrier are important marine emission contributors, sharing 89.8%, 81.8%, 77.3%, 79.5% and 81.7% of the total marine  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{VOC}$ ,  $\text{CO}$  and  $\text{PM}_{10}$  emissions. The non-road mobile source has become the third largest  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$  contributor in the PRD region, accounting for about 8.6% and 13.5% of the regional total  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$  emissions.

**Key words** emission inventory; non-road mobile sources; Pearl River Delta (PRD); emission factor

非道路移动源(non-road mobile sources)主要分为农业机械、农用运输车、工业机械、工程机械、船舶、火车和飞机等 7 类<sup>[1,2]</sup>. 与道路移动源相比, 非道路移动源机械以柴油和重油为主要燃料, 具有技术水平低、使用年限长、耗油量高、维护率底和污染物单机排放量较大等特点<sup>[3]</sup>. 其尾气排放中,  $\text{NO}_x$  和  $\text{PM}$  的排放量较高, 对区域空气质量和人体健康影响较大. 美国和相关欧洲的研究表明<sup>[4,5]</sup>, 随着道路机动车排放控制成效的日益显著, 非道路污染源正逐渐成为重要的大气污染排放源, 对空气中氮氧化物和细颗粒物的贡献较大. 我国学者张强等<sup>[6]</sup>估算的中国人为源 2001 年颗粒物排放清单中, 道路移动源颗粒物排放为 12.3 万 t, 而非道路移动源为 17.8 万 t, 可见非道路移动源已逐渐成为影响我国空气质量的重要贡献源.

排放源清单是环境空气质量管理的条件和前提. 目前, 由于非道路移动源相关活动水平统计数

据不足, 本地化排放因子匮乏, 我国非道路移动源排放清单开发研究尚处于起步阶段, 对其排放清单的估算还未引起足够的关注<sup>[1]</sup>. 珠江三角洲地区有关非道路移动源排放清单的研究也鲜有案例, 现有的粤港联合开发的珠江三角洲 2003 年排放源清单<sup>[7]</sup>中仅初步估算了海事活动、飞机和铁路机车的排放清单, 但尚未考虑非道路移动源中农业机械、农用运输车和工程机械等重要排放源, 此外, 其使用的估算方法、活动水平数据的收集, 以及排放因子的选取等还存在着诸多不足.

本研究根据收集到的珠江三角洲地区 2006 年

收稿日期: 2009-06-02; 修订日期: 2009-07-23

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA06A305); 2008 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-08-0208)

作者简介: 张礼俊(1984~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气排放源清单及空气质量模型, E-mail: mydreamzlj@gmail.com

\* 通讯联系人, E-mail: zheng.junyu@gmail.com

非道路移动源活动数据,采用适当的估算方法和排放因子,建立了2006年珠江三角洲非道路移动源排放清单,以补充和完善该地区排放源清单开发工作,以为决策者制订合理的大气污染控制措施以及研究者利用空气质量模型评价空气污染控制策略提供了依据和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域与研究对象

研究区域包括广州、深圳、珠海、佛山、江门、东莞、中山、惠州(惠城区,惠阳县,惠东县和博罗县)和肇庆(端州区,鼎湖区,高要区和四会市)9个珠江三角洲地区城市。估算的非道路移动源为飞机、农业机械、农业运输车、船舶、铁路机车和工程机械,研究包括的污染物为 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{VOC}$ 、 $\text{CO}$ 和 $\text{PM}_{10}$ 。

### 1.2 估算方法

#### 1.2.1 飞机

参考粤港排放清单手册<sup>[8]</sup>中飞机污染物的估算方法,本研究主要估算不同机型的飞机在一个完整的降落与起飞(landing and take-off, LTO)周期内污染物的排放量,其中起飞与降落周期(LTO)是指飞机从起飞滑行、起飞、降落和降落滑行的整个过程。由于飞机的一个LTO可等效认为是在同一个机场上的到站和离站过程,而飞机到站和离站的次数基本相等,故本研究采用各机型飞机的到站架次作为飞机的LTO周期数。

飞机大气污染物排放的估算方法如公式(1)所示:

$$E_p = \sum (LTO \times EF_p) \quad (1)$$

式中 $p$ 为污染物类型; $E$ 为某地区内所有飞机种类在估算期间排放的污染物总量,kg/a; $LTO$ 为某机场不同机型的飞机在估算期间的降落与起飞周期次数, $LTO/a$ ; $EF$ 为某地区内不同机型的飞机的污染物排放因子,按飞机机型指定,kg/LTO。

珠江三角洲地区3个机场(广州白云国际机场,深圳宝安国际机场和珠海机场)2006年每种机型的航班到站次数由本研究通过调研各机场航班信息获取。

#### 1.2.2 船舶

船舶在行驶过程以及停泊港口和码头期间都会排放大气污染物。根据船舶的用途和航行特征,可将船舶分为内河渡轮、内河运输船、货柜船、散装干货船、货轮、拖船和拖轮等。其中内河渡轮和内河运输

船属于内河船舶,主要往来于珠三角水域之间,其 $\text{NO}_x$ 、 $\text{VOC}$ 、 $\text{CO}$ 和 $\text{PM}_{10}$ 排放量的估算,可采用基于燃油消耗量的排放因子法,估算方法如公式(2)所示:

$$E_p = W_p \times EF_p \quad (2)$$

式中 $p$ 为污染物类型; $E$ 为污染物的排放量,kg; $W$ 为总燃油消耗量,kg; $EF$ 为污染物的排放因子,g/kg。

内河渡轮和内河运输船 $\text{SO}_2$ 排放的估算采用物料衡算法,估算方法如公式(3)所示:

$$E = 2W \times S \quad (3)$$

式中 $E$ 为污染物的排放量,kg; $W$ 为总燃油消耗量,kg; $S$ 为燃油的含硫率,%。根据文献[9,10],船舶燃油的平均含硫率取为1.5%。

由于珠江三角洲地区尚未有内河渡轮和内河运输船燃油消耗量的相关统计数据,参考文献[1],采用如下公式(4)来计算船舶的燃油消耗量:

$$R_i = N_i \times r_i \quad (4)$$

式中 $R$ 为机动船舶总燃油消耗量,kg; $i$ 为1或2,分别代表货运或客运; $N_i$ 为货运或客运周转量(假设每位旅客的平均体重按65 kg计<sup>[11]</sup>), $10^4 \text{ t} \cdot \text{km}$ ; $r$ 为平均每万吨公里燃油消耗量,取为60 kg/( $10^4 \text{ t} \cdot \text{km}$ )<sup>[11]</sup>。

货柜船、散装干货船、货轮为主要的货运船舶,主要来往于国内和国际港口和海域间,停泊时间较长,拖船与拖轮为码头的调度船舶。这些船舶污染物排放量的估算需考虑到船舶类型、载重吨位、停靠港口的数量、停泊时间、行驶速度和引擎模式等,比较复杂,鉴于篇幅限制,详细的估算方法可参考文献[9]。此外,在估算中还参考了文献[11]中对珠江三角洲船舶活动的一些调查结果。

#### 1.2.3 农业机械和农用运输车

农业机械主要包括农业耕作机械、排灌机械和收获机械。农业机械和农用运输车大多以柴油为燃料, $\text{NO}_x$ 、 $\text{VOC}$ 、 $\text{CO}$ 和 $\text{PM}_{10}$ 排放量的估算方法如公式(5)所示:

$$E_p = D_i \times EF_{i,p} \quad (5)$$

式中 $p$ 为污染物类型; $E$ 为污染物的排放量,kg; $D$ 为柴油使用量,kg; $i$ 为1或2,分别代表农业机械或农用运输车; $EF$ 为排放因子,g/kg。

农业机械和农用运输车 $\text{SO}_2$ 排放的估算采用同公式(3)的物料衡算法,其中柴油含硫率取0.2%<sup>[12]</sup>。

现有的统计数据中尚没有珠江三角洲农业机械和农用运输车柴油使用量数据,仅有广东省农用柴油使用总量<sup>[13]</sup>,而农用柴油是农业机械、农用运输

车和渔业机械柴油消耗量总和. 根据珠江三角洲各市农业柴油机总动力<sup>[14]</sup>占广东省的比例,可得到珠三角农用柴油使用量;然后根据珠三角各市农业机械、农用运输车的总动力占农业柴油机总动力的比例,进而得到农业机械和农用运输车柴油使用量.

1.2.4 铁路机车

铁路机车 NO<sub>x</sub>、VOC、CO 和 PM<sub>10</sub>排放量的估算采用如公式(2)所示的排放因子法,SO<sub>2</sub> 排放的估算采用同公式(3)的物料衡算法,其中燃油的含硫率取 0.5%<sup>[15]</sup>.

根据收集到的珠江三角洲铁路货运周转量和客运周转量数据(来源于珠江三角洲各市统计年鉴),铁路机车所占比例和我国铁路机车平均燃油消耗量 25.9 kg/(10<sup>4</sup> t·km)<sup>[1]</sup>,采用与船舶燃油消耗相同的计算方法,可以得到珠江三角洲 2006 年铁路机车燃油消耗量.

1.2.5 工程机械

工程机械主要包括铲土运输机械、挖掘机械、压

实机械及路面机械. 本研究针对的是以内燃机为动力的建筑与工程机械,其 NO<sub>x</sub>、VOC、CO 和 PM<sub>10</sub> 排放的估算采用如公式(2)所示的基于燃油消耗量的排放因子法,SO<sub>2</sub> 排放的估算采用同公式(3)的物料衡算法,其中燃油的含硫率取 0.2%<sup>[12]</sup>.

现有的统计数据中仅有广东省建筑业柴油消耗总量数据<sup>[16]</sup>,而建筑业柴油消耗主要来自工程机械的使用. 本研究利用珠三角各市施工建筑面积占广东省的比例,推算出珠三角建筑业柴油消耗量,即为工程机械柴油消耗量.

1.3 排放因子

关于非道路移动源内燃机排放因子的测试数据,我国尚比较缺乏,相关研究工作也较少见,尤其是关于船舶、飞机、农业机械和工程机械等的排放因子测试数据更为鲜见. 本研究在广泛的国内外文献调研基础上,综合考虑我国非道路移动源的排放现状,总结出了文献中的各类非道路移动源 NO<sub>x</sub>、VOC、CO 和 PM<sub>10</sub>的排放因子,分别见表 1 和表 2.

表 1 各机型飞机污染物的排放因子<sup>[7]</sup>/kg·LTO<sup>-1</sup>

Table 1 Emission factors of aircraft by different types /kg·LTO<sup>-1</sup>

| 机型   | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | VOC   | CO    | PM <sub>10</sub> | 机型    | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | VOC   | CO     | PM <sub>10</sub> |
|------|-----------------|-----------------|-------|-------|------------------|-------|-----------------|-----------------|-------|--------|------------------|
| A300 | 1.63            | 25.52           | 1.14  | 12.21 | 0.15             | B777  | 2.3             | 47.26           | 1.11  | 13.72  | 0.12             |
| A310 | 1.51            | 22.15           | 1.11  | 11.1  | 0.09             | CL60  | 0.16            | 2.3             | 0.93  | 6.01   | 0.03             |
| A319 | 0.69            | 8.42            | 1.69  | 7.76  | 0.03             | DC10  | 2.48            | 37.01           | 10.44 | 43.58  | 0.25             |
| A320 | 0.8             | 10.95           | 0.7   | 5.96  | 0.08             | DC8   | 1.82            | 11.56           | 92.22 | 102.45 | 2.3              |
| A321 | 0.97            | 17.02           | 0.07  | 3.96  | 0.12             | DC9   | 0.81            | 6.91            | 1.35  | 5.59   | 0.12             |
| A330 | 2.08            | 34.71           | 1.19  | 13.63 | 0.03             | DF3   | 0.14            | 2.5             | 1.11  | 5.87   | —                |
| A340 | 2.14            | 40.04           | 2.99  | 20.02 | 0.13             | F100  | 0.7             | 5.12            | 0.5   | 7.44   | 0.1              |
| B707 | 1.75            | 10.81           | 90.85 | 79.69 | 5.6              | GRJ   | 0.64            | 5.59            | 1.3   | 7.61   | 0.38             |
| B727 | 1.36            | 12.3            | 1.24  | 7.71  | 0.46             | LI011 | 2.41            | 40.46           | 65.93 | 95.1   | 0.88             |
| B737 | 0.87            | 12.83           | 1.01  | 8.6   | 0.13             | LRJ   | 0.18            | 0.64            | 3.35  | 34.62  | —                |
| B747 | 3.21            | 49.85           | 4.81  | 29.74 | 0.24             | MD11  | 2.52            | 39.46           | 1.43  | 16.4   | 0.2              |
| B757 | 1.29            | 23.63           | 0.21  | 6.94  | 0.01             | MD80  | 0.95            | 11.93           | 1.81  | 5.66   | 0.24             |
| B767 | 1.64            | 25.09           | 1.1   | 11.05 | 0.11             | MD90  | 0.82            | 10.64           | 0.06  | 4.77   | 0.1              |

表 2 其他非道路移动源排放因子/g·kg<sup>-1</sup>

Table 2 Emission factors of other non-road mobile sources/g·kg<sup>-1</sup>

| 类别    | NO <sub>x</sub>       | VOC                  | CO                    | PM <sub>10</sub>    |
|-------|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| 农用机械  | 68.16 <sup>[1]</sup>  | 9.19 <sup>[1]</sup>  | 28.90 <sup>[1]</sup>  | 4.2 <sup>[17]</sup> |
| 农用运输车 | 42.85 <sup>[18]</sup> | 5.71 <sup>[18]</sup> | 23.33 <sup>[18]</sup> | 5.8 <sup>[17]</sup> |
| 铁路机车  | 54.1 <sup>[19]</sup>  | 2.13 <sup>[1]</sup>  | 4.11 <sup>[1]</sup>   | 2.8 <sup>[17]</sup> |
| 内河船舶  | 55 <sup>[20]</sup>    | 4.76 <sup>[1]</sup>  | 8.94 <sup>[1]</sup>   | 1.1 <sup>[17]</sup> |
| 工程机械  | 66.10 <sup>[1]</sup>  | 7.76 <sup>[1]</sup>  | 41.56 <sup>[1]</sup>  | 6.3 <sup>[17]</sup> |

2 结果与讨论

2.1 珠江三角洲非道路移动源排放清单

由表 3 可见,珠江三角洲非道路移动源 2006 年 SO<sub>2</sub> 排放量为 6.52 × 10<sup>4</sup> t, NO<sub>x</sub> 排放量为 1.24 ×

10<sup>5</sup> t, VOC 排放量为 4.54 × 10<sup>3</sup> t, CO 排放量为 2.67 × 10<sup>4</sup>, PM<sub>10</sub>排放量为 4.51 × 10<sup>3</sup> t. 分析各类非道路移动源大气污染物排放的分担率(见图 1)可知,船舶为非道路移动源中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO 和 PM<sub>10</sub> 排放最大的贡献源,分别占非道路移动源排放总量的 96.4%、73.8%、39.4% 和 50.5%. 这主要是因为珠江三角洲地区航道密集,港口货运繁忙,深圳港和广州港集装箱吞吐量分别位居全球第四和第六位;大型的货运船舶来往频繁,由于装卸货物在港口和码头停泊时间长,故会在港口排放出大量的污染物. 除船舶外,农业机械和工程机械也是珠江三角洲非道路移动源中重要的贡献源,其中农业机械排放

表 3 2006 年珠江三角洲各类非道路移动源排放清单/t

Table 3 Non-road mobile source emission inventory of PRD region by categories for the year 2006/t

| 类别    | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | VOC     | CO       | PM <sub>10</sub> |
|-------|-----------------|-----------------|---------|----------|------------------|
| 飞机    | 310.1           | 4 689.8         | 320.5   | 2 581.9  | 30.5             |
| 船舶    | 62 888.6        | 91 578.7        | 949.7   | 10 509.5 | 2 281.5          |
| 农业机械  | 663.6           | 11 307.1        | 1 524.0 | 4 793.8  | 696.8            |
| 农用运输车 | 115.3           | 1 235.1         | 164.7   | 672.5    | 167.2            |
| 铁路机车  | 759.4           | 2 760.9         | 108.7   | 209.7    | 142.9            |
| 工程机械  | 510.3           | 12 549.2        | 1 473.2 | 7 890.2  | 1 196.1          |
| 总量    | 65 247.4        | 124 121.0       | 4 540.8 | 26 657.6 | 4 515.0          |

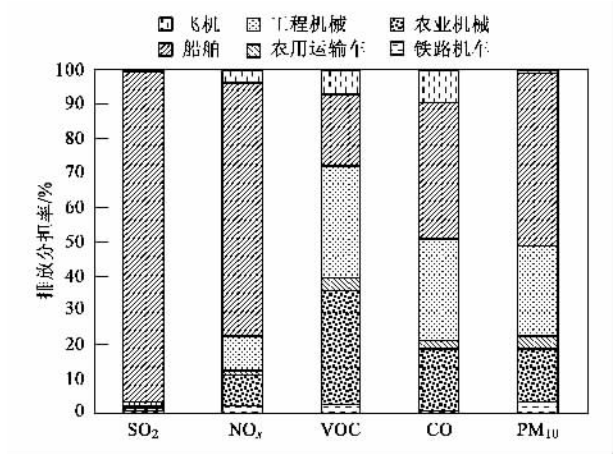


图 1 2006 年珠江三角洲各类非道路移动源污染物排放分担率

Fig. 1 Emission contribution of non-road mobile source by categories in the PRD region for the year 2006

的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、VOC、CO 和 PM<sub>10</sub> 分别占总量的 1.0%、9.1%、33.6%、18.0% 和 15.4%，工程机械为 1.2%、10.1%、32.4%、29.6% 和 26.5%。

为进一步分析珠江三角洲非道路移动源中船舶排放情况，在表 4 中列出了各类船舶 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、VOC、CO 和 PM<sub>10</sub> 排放量。由表 4 可知，船舶排放源中，货轮和散装干货船为较大的船舶排放贡献类型，二者排放的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、VOC、CO 和 PM<sub>10</sub> 共占船舶源排放总量的 89.8%、81.8%、77.3%、79.5% 和 81.7%。这一方面是因为货轮和散装干货船为主要的水上运输船舶，在港口和码头来往频繁；另一方面，由于货物装卸量大，它们在港口和码头停靠时间要比其它船舶长，在停泊期间采用辅助模式下的燃油发动机，会产生大量的污染物排放。而对于内河船

表 4 2006 年珠江三角洲各类船舶排放清单/t

Table 4 Marine emission inventory of PRD region by categories for the year 2006/t

| 类别    | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | VOC   | CO       | PM <sub>10</sub> |
|-------|-----------------|-----------------|-------|----------|------------------|
| 内河渡轮  | 1 847.9         | 7 374.3         | 71.4  | 803.5    | 183.5            |
| 内河商船  | 719.7           | 2 870.9         | 28.2  | 315.5    | 71.4             |
| 货柜船   | 3 356.0         | 4 354.9         | 84.6  | 717.4    | 110.4            |
| 散装干货船 | 21 759.9        | 28 833.0        | 302.2 | 3 339.7  | 718.5            |
| 货轮    | 34 682.2        | 46 110.0        | 432.3 | 5 019.6  | 1 146.5          |
| 拖船与拖轮 | 522.9           | 2 035.6         | 31.0  | 313.8    | 51.2             |
| 总量    | 62 888.6        | 91 578.7        | 949.7 | 10 509.5 | 2 281.5          |

舶（内河渡轮和内河商船），由于船舶载重量小，停泊时间较短，在船舶源大气污染物排放总量中所占比例较小，仅占船舶源 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、VOC、CO 和 PM<sub>10</sub> 排放总量 4.1%、11.2%、10.5%、10.6% 和 11.2%。

### 2.2 非道路移动源的排放贡献

由文献[21]中估算的珠江三角洲 2006 年大气污染源排放清单和本研究估算的非道路移动源清单，可得到 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、VOC、CO 和 PM<sub>10</sub> 各类排放源贡献率图（见图 2）。由图 2 可知，珠江三角洲非道

路移动源 2006 年 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、VOC、CO 和 PM<sub>10</sub> 排放量分别占珠三角大气污染源排放总量的 8.6%、13.5%、0.8%、0.7% 和 0.4%。其中较为突出的是，非道路移动源已成为珠江三角洲地区第三大 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 排放贡献源。非道路移动源 SO<sub>2</sub> 排放量高主要是因为非道路移动源使用的燃油含硫率较高，尤其是船舶排放源，使用燃油的油品较差，含硫率很高；NO<sub>x</sub> 排放量高是因为非道路移动源大多采用柴油内燃机，而柴油内燃机燃烧室内始终存在富余的空气，由于燃烧室内的持续高温，氮气与氧气发

生反应从而不断的生成  $\text{NO}_x^{[22]}$ .  $\text{NO}_x$  作为光化学烟雾形成的重要前体物,对区域空气质量影响较大,本研究估算的结果表明,作为第三大  $\text{NO}_x$  排放贡献源的非道路移动源已成为珠江三角洲地区不可忽视的大气污染排放源.

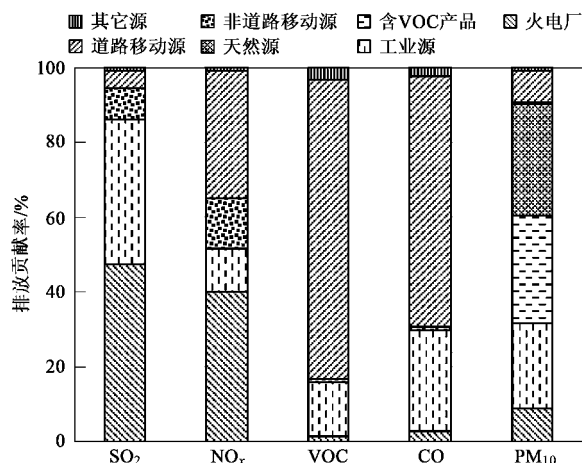


图2 珠江三角洲2006年各类大气污染源排放贡献率

Fig. 2 Emission contributions by categories  
in the PRD region for the year 2006

### 2.3 不确定性分析

排放清单的不确定性主要来源于关键数据的缺乏(如排放因子和活动数据),以及数据的代表性不足等.不确定性的范围可以通过定性分析,以及基于专家判断和蒙特卡罗模拟的定量或半定量分析的手段来评价<sup>[23]</sup>.由于我国关于非道路移动源的活动数据和本地化排放因子匮乏,本研究对珠江三角洲2006年非道路移动源排放清单主要进行定性的不确定性分析,仅对飞机采用定量的不确定性分析.

飞机的活动数据是通过调研各机场航班信息获得,采用的各机型排放因子与国外差异较小,根据蒙特卡罗模拟得到的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、VOC、CO 和  $\text{PM}_{10}$  不确定性范围分别为  $-28\% \sim 31\%$ 、 $-27\% \sim 31\%$ 、 $-35\% \sim 33\%$ 、 $-45\% \sim 47\%$  和  $-30\% \sim 35\%$ .农业机械、农用运输车和工程机械的活动数据是从广东省分配到珠三角,存在着一定的误差,且采用的  $\text{NO}_x$ 、VOC、CO 和  $\text{PM}_{10}$  排放因子大多来自国外,为平均排放因子,代表性不够,故其污染物排放量存在较大的不确定性.铁路机车和内河船舶的燃油消耗是基于货运周转量和客运周转量估算得到的,存在着误差,此外,排放因子也是我国学者从国外文献中选出的,因而不确定性较高.船舶中的货柜船、散装干货船、货轮等在估算过程中,由于涉及的参数较

多,需要做一些假设,如船舶的停泊时间和航行速度等,另外采用污染物的排放系数也是从国外文献中获取,故存在较大的不确定性.另外,非道路移动源  $\text{SO}_2$  排放量的估算,由于主要采用基于燃油消耗的物料衡算法,除了在估算燃油消耗量过程中的不确定性外,主要的不确定性来自使用的燃油的平均含硫率.

### 3 结论

(1) 珠江三角洲非道路移动源2006年排放  $\text{SO}_2$  为  $6.52 \times 10^4 \text{ t}$ ,  $\text{NO}_x$  为  $1.24 \times 10^5 \text{ t}$ , VOC 为  $4.54 \times 10^3 \text{ t}$ , CO 为  $2.67 \times 10^4 \text{ t}$ ,  $\text{PM}_{10}$  为  $4.51 \times 10^3 \text{ t}$ .

(2) 船舶为珠江三角洲非道路移动源大气污染物  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、CO 和  $\text{PM}_{10}$  排放的最大贡献源,分别占非道路移动源排放总量的 96.4%、73.8%、39.4% 和 50.5%.

(3) 货轮和散装干货船为重要的船舶排放贡献类型,二者排放的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、VOC、CO 和  $\text{PM}_{10}$  共占船舶源排放总量的 89.8%、81.8%、77.3%、79.5% 和 81.7%.

(4) 非道路移动源已成为珠江三角洲地区第三大  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  排放贡献源,分别占该地区大气污染源  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  排放总量的 8.6% 和 13.5%.

参考文献:

- [1] 傅立新,程玲琳,粘桂莲,等.移动污染源大气环境影响研究报告[R].北京:清华大学环境工程系,2005.57-93.
- [2] 张楚莹,王书肖,邢佳,等.中国能源相关的氮氧化物排放现状与发展趋势分析[J].环境科学学报,2008,28(12):2470-2479.
- [3] Kean A J, Sawyer R F, Harley R A. A fuel-based assessment of off-road Diesel Engine emissions[J]. Journal of the Air & Waste Manage Association, 2000, 50:1929-1939.
- [4] Chi T R. Uncertainty analysis of the NONROAD emissions model for the state of Georgia [D]. US: Department of Civil & Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, 2004.
- [5] Amann M. Recent and future development of emission of nitrogen oxides in Europe [J]. Atmospheric Environment, 1990, 24A(11):2759-2766.
- [6] 张强, Klimont Z, Street D G, 等. 中国人为源颗粒物排放模型及2001年排放清单估算[J]. 自然科学进展, 2006, 16(2):223-231.
- [7] 珠江三角洲空气质量管理及监察负责小组. 珠江三角洲空气质量管理计划中期回顾研究报告[R]. 广州:广东省环境保护监测中心站, 2007. 39-40.
- [8] 广东省环境保护监测中心站和香港特别行政区政府环境保

护署联合编制. 珠江三角洲地区空气污染物排放清单编制手册[ M ]. 广州 :广东省环境保护局 ,2005.

[ 9 ] Yang D Q , Kwan S H , Lu Y , *et al.* An emission inventory of marine vessels in Shanghai in 2003[ J ]. *Environmental Science & Technology* ,2007 ,**41**( 15 ) :5183-5190.

[ 10 ] Entec. Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European community [ R ]. Entec UK , July 2002 , available at [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter2\\_ship\\_emissions.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter2_ship_emissions.pdf).

[ 11 ] 于群 ,曾武涛 ,等. 2003 年珠江三角洲经济区大气排放清单编制报告[ R ]. 广州 :广东省环境保护监测中心站 ,2006. 11-12.

[ 12 ] 张永光. 中国车用燃料的现状与发展趋势[ J ]. *中国石化* , 2004 ,**9** :42-45.

[ 13 ] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴[ M ]. 北京 :中国农业出版社 ,2007. 166.

[ 14 ] 广东农村统计年鉴编撰委员会. 广东农村统计年鉴[ M ]. 北京 :中国统计出版社 ,2007. 100-102.

[ 15 ] 梁永辉 ,焦伟. 铁路机车柴油的研制[ J ]. *当代化工* ,2007 ,**36**( 5 ) :462-469.

[ 16 ] 国家统计局工业交通统计司和国家发展改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴[ M ]. 北京 :中国统计出版社 ,2007. 200-201.

[ 17 ] 张强. 中国区域细颗粒物排放及模拟研究[ D ]. 北京 :清华大学环境科学与工程系 ,2005.

[ 18 ] 国家机械工业局. JB8891-1999 中小型功率柴油机排所污染物排放限值[ M ]. 北京 :国家机械工业局 ,1999.

[ 19 ] 田贺忠 ,郝吉明 ,陆永琪. 中国商品能源消耗导致的氮氧化物排放量[ J ]. *环境科学* ,2001 ,**22**( 6 ) :23-28.

[ 20 ] Zhang Q , Streets D G , He K B , *et al.* NO<sub>x</sub> emission trend for China ,1995-2004 :The view from the ground and the view from space [ J ]. *Journal of Geophysical Research* , 2007 , **112** , D22306 , doi :10.1029/2007JD008684.

[ 21 ] Zheng J Y , Zhang L J , Che W W , *et al.* A highly resolved temporal and spatial air pollutant emission inventory for the pearl river delta region , China and its uncertainty assessment[ J ]. *Atmospheric Environment* ,2009 ,**43**( 32 ) :5112-5122.

[ 22 ] 李建新. 柴油机 NO<sub>x</sub> 排放降低的机外措施[ J ]. *农机使用与维修* ,2009 ,**2** :33-35.

[ 23 ] 钟流举 ,郑君瑜 ,雷国强 ,等. 大气污染物排放清单不确定性定量分析方法与案例研究[ J ]. *环境科学研究* ,2007 ,**20**( 4 ) :15-19.