

文章编号:1672-9250(2007)01-0069-05

# 广东火电厂排放的大气污染物分布特征

王翠萍<sup>1,2</sup>, 匡耀求<sup>1</sup>, 黄宁生<sup>1</sup>, 刘宇<sup>1,2</sup>, 许连忠<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所可持续发展研究中心, 广东 广州 510640;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**随着电力需求的急剧增长,火电厂排放的气态污染物成为大气污染的一个重要来源。本文估算了广东省2003年火电厂二氧化碳、多环芳烃和二恶英类的排放量,并引入经济、人口和区域面积进行空间分析。结果表明,广东省2003年火电厂共排放二氧化碳31 14.17万t,多环芳烃8 035.61 kg,二恶英11.46 g毒性当量;火电厂单位面积、人均、单位GDP二氧化碳排放量变化范围分别是0~2 102 t/km<sup>2</sup>、0~3 417 kg/人和0~98 g/元;珠三角地区火电厂这三类大气污染物排放量占广东省排放总量的70%以上;珠三角火电厂单位GDP二氧化碳排放量低于全省平均水平。

**关键词:**火电厂;广东;大气污染物;二氧化碳;多环芳烃;二恶英

**中图分类号:**X511

**文献标识码:**A

改革开放以来,广东经济高速发展,2003年省内生产总值13 625.87亿元,居中国大陆各省市首位<sup>[1]</sup>。经济增长伴随着巨大的能源消耗,2003年广东能源消费总量13 099.29万吨标准煤,其中原煤消费量7 824.11万吨,电力消费量2 031亿千瓦时<sup>[2]</sup>。随着社会经济的发展和水平的提高,人们对生活环境的要求也越来越高,尤其对大气环境质量的要求更高,因而火电厂大气污染物的排放问题受到格外关注。火电厂产生的烟尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等污染物排放到大气中将产生悬浮颗粒使空气浑浊,出现灰霾、酸雨、光化学烟雾等气象灾害,危害环境和人体健康;火力发电燃煤燃油过程中还会产生多环芳烃、二恶英等持久性有机污染物以及排放大量温室气体——二氧化碳;此外,燃煤电厂飞灰中也已检出吸附有非多环芳烃类有机污染物<sup>[3]</sup>。

我国《火电厂大气污染物排放标准》1991年制定颁布实施以后,又经1996年、2003年两次修订<sup>[4]</sup>,然而该标准仍然只涉及氮氧化物和二氧化硫两类气态污染物,而对火电厂排放二氧化碳和持久性有机污染物问题还没有给予足够的重视。无论从装机容量还是从发电量看,火电在广东省电力结构中的比重均在70%以上,因而研究火电厂对大气环境造成的污染具有重要意义。研究表明2003年广州市碳净固定量257万吨,而其总释碳量为2 279万吨,其中约70%的释碳量源于化石燃料的燃烧<sup>[5]</sup>。目前对于珠三角地区多环芳烃等持久性有机物已进行了大量研究,发现珠三角流域及河口沉积物中有高浓度的多环芳烃,引起了广泛关注<sup>[6-7]</sup>。有报道指出广州市大气中二恶英平均浓度高于世界上其他城市浓度范围<sup>[8]</sup>。广东省火电厂作为能源消耗大户,其排放持久性有机污染物现状亟待研究。本文估算了2003年广东火电厂二氧化碳、多环芳烃和二恶英类大气污染物的排放量和空间分布情况,有关结果不仅能为制定相应的能源与环境政策提供重要依据,也是在大尺度上开展大气污染物归趋模拟和暴露分析的必要前提。

**收稿日期:**2006-10-23; **修回日期:**2007-01-16

**基金项目:**广东省社会发展科技攻关项目(2004A30401001);广东省自然科学基金项目(021446);中国科学院广州地球化学研究所创新项目(GIGCX-04-01)

**第一作者简介:**王翠萍(1981—),女,满族,硕士研究生,研究方向为区域经济与可持续发展研究。

**通讯作者:**匡耀求(1963—),男,研究员,博士生导师,博士,从事资源、环境与可持续发展研究。

## 1 广东火电厂概况

广东省火电厂烟气脱硫、脱硝处理进展缓慢,2000年全省电力行业的二氧化硫排放总量达66万吨左右<sup>[9]</sup>。2003年二氧化硫排放量563 423.5吨,二氧化硫去除量39 552吨,烟尘去除量6 337 408吨,排放量95 070.77吨<sup>[10]</sup>。由此可见广东火电厂的除硫除尘问题还有待改善。

2003年广东省火力发电年耗能总量4 470.07万吨标准煤,生产电量1 257.09亿千瓦时,单位电力综合能耗(标准煤)约355.58 g/(kw·h)<sup>[10-11]</sup>。能源消耗中煤炭消耗量为3 715.35万吨标准煤,占总量的83.12%。从表1可见广东省21个地市中火电厂化石能源消耗最大的3个城市分别为东莞市、广州市和珠海市,而潮州市、河源市、揭阳市、汕尾市、肇庆市和阳江市因当时无火电厂故表中未列出。至2003年广东省火电厂共建成70余座,主要分布在珠江三角洲地区,2003年珠江三角洲地区用于火力发电的化石能源为3 188.84万吨标准煤,占整个广东省火力发电能源消耗量的70%以上。

## 2 研究方法和数据来源

### 2.1 研究方法

收集广东省21个地市火电厂能源消耗数据和二氧化碳、多环芳烃和二恶英类大气污染物在火力发电过程中的排放系数。将能源消耗数据与相应的排放系数相乘之后线性相加,估算大气污染物的排放量和不同能源贡献比例。此外,引入经济、人口和区域面积等因素进行空间分析和综合分析。

### 2.2 数据来源可靠性分析

能源消耗数据主要来源于广东省政府公布的数据,为了保证数据完整全面,本文综合参考了《广东省资源节约专项检查数据汇总》<sup>[11]</sup>和《广东省环境统计资料汇编2003》<sup>[10]</sup>的数据。文献<sup>[11]</sup>中的数据详细,具体到每个单位(公司),然而缺少深圳市、中山市数据,惠州市、茂名市、梅州市以及清远市的燃煤、燃油数据也有部分疏漏,因此这部分数据参考文献<sup>[10]</sup>中的相应数据。最终全省能源消耗总量与《广东统计年鉴2004》<sup>[2]</sup>的数据非常一致,从而确保了本文能源消耗数据的准确性。

火力发电大气污染物排放系数的数据和参考资料见表2,所有数据都取自公开发表的刊物和书籍。

其中多环芳烃是指美国国家环保局 USEPA 推荐的优先污染物清单中的16种亲体 PAHs,其排放系数是这16种多环芳烃排放系数之和。

表1 广东省火力发电厂能源消耗与产电量

Table 1. Energy combustion and electricity production of thermal power plants in Guangdong Province

区域	煤消耗量 (万吨标煤)	油消耗量 (万吨标煤)	产电量 (万千瓦时)
广州市	642.25	102.24	3 184 897.13
江门市	56.00	7.52	111 468.00
云浮市	287.52	6.20	356 703.00
珠海市	589.52	8.83	1 837 325.00
汕头市	151.63	9.56	528 700.00
佛山市	323.00	167.68	1 816 008.00
湛江市	217.74	6.10	695 855.00
惠州市	7.15*	17.37	98 079.00
梅州市	239.14	0.27*	517 898.00
清远市	110.07	3.26*	231 573.00
东莞市	659.22	129.12	2 463 999.00
茂名市	3.97*	52.94	205 211.00
韶关市	192.83	0.00	523 149.00
深圳市	227.15*	184.69*	—
中山市	8.16*	58.94*	—
珠三角	2512.45	676.39	9 511 776.13
广东省	3715.35	754.72	12 570 865.13

注:表中标有“\*”的数据来源于参考文献<sup>[10]</sup>;其他数据来源于参考文献<sup>[11]</sup>，“—”表示没有数据。

表2 火力发电能源燃烧气体污染物排放系数

Table 2. Gas pollutant emission factors in different energy combustion in thermal power processes

污染物	能源类型	排放系数	单位	参考文献
CO <sub>2</sub>	煤炭	0.982×0.732 57	—	[12]
	油	0.982×0.732 57×0.813	—	[12]
∑PAHs	煤炭	91.002	μg/kg	[13]
	油	625.078	μg/kg	[13]
PCDD/Fs (以 TEQ 计)	煤炭	0.20	μg·t <sup>-1</sup>	[14]
	油	0.20	μg·t <sup>-1</sup>	[14]

注:表中0.982为有效氧化百分率,0.732 57为每吨标准煤含碳率,0.813为在获得相同热能的情况下,石油释放CO<sub>2</sub>是煤释放的倍数;表中∑PAHs是指美国国家环保局 USEPA 推荐的优先污染物清单中16种亲体 PAHs。

## 3 结果与讨论

### 3.1 广东火电厂大气污染物排放量估算结果

2003年广东省火电厂共排放二氧化碳3 114.17万吨,其中珠江三角洲地区共排放二氧化碳2 203.01万吨,占总量的70.74%。燃煤、燃油的贡献率分别为85.83%和14.17%。全省火电厂共排放多环芳烃8 035.61 kg,其中珠江三角洲地区共排放多环芳烃6 160.38 kg,占总量的76.66%。燃

煤、燃油的贡献率分别为 58.9% 和 41.1%。2003 年广东火电厂共排放二恶英类 11.46 g TEQ, 其中珠江三角洲地区排放 7.98 g TEQ, 占总量的

69.63%。燃煤、燃油的贡献率分别为 90.78% 和 9.22%。

表 3 广东火电厂大气污染物排放量估算结果

Table 3. Estimates of air pollutant emission from thermal power plants in Guangdong Province

地市	CO <sub>2</sub>			PAHs			PCDD/Fs		
	合计(10 <sup>4</sup> t)	燃煤(%)	燃油(%)	合计(kg)	燃煤(%)	燃油(%)	合计(g TEQ)	燃煤(%)	燃油(%)
广州市	521.82	88.54	11.46	1 265.57	64.65	35.35	1.94	92.63	7.37
江门市	44.68	90.16	9.84	104.25	68.44	31.56	0.17	93.71	6.29
云浮市	210.46	98.28	1.72	393.43	93.10	6.90	0.81	98.93	1.07
珠海市	429.26	98.80	1.20	789.69	95.11	4.89	1.66	99.26	0.74
汕头市	114.67	95.12	4.88	235.01	82.20	17.80	0.44	96.94	3.06
佛山市	330.43	70.32	29.68	1145.18	35.93	64.07	1.14	79.39	20.61
湛江市	160.21	97.77	2.23	304.09	91.22	8.78	0.62	98.62	1.38
惠州市	15.30	33.61	66.39	85.11	10.70	89.30	0.04	45.15	54.85
梅州市	172.19	99.91	0.09	305.85	99.61	0.39	0.67	99.94	0.06
清远市	81.09	97.65	2.35	154.48	90.77	9.23	0.31	98.54	1.46
东莞市	549.75	86.26	13.74	1 404.81	59.78	40.22	2.03	91.08	8.92
茂名市	33.82	8.44	91.56	236.70	2.14	97.86	0.09	13.05	86.95
韶关市	138.72	100.00	0.00	245.67	100.00	0.00	0.54	100.00	0.00
深圳市	271.43	60.20	39.80	1097.49	26.37	73.63	0.89	71.10	28.90
中山市	40.34	14.55	85.45	268.31	3.88	96.12	0.11	21.69	78.31
珠三角	2 203.01	82.04	17.96	6 160.38	51.96	48.04	7.98	88.14	11.86
广东省	3 114.17	85.83	14.17	8 035.61	58.90	41.10	11.46	90.78	9.22

### 3.2 广东火电厂大气污染物排放情况的空 间分析

珠江三角洲地区经济繁荣,人口密度大,区域面积相对较小;东西两翼区域面积大,经济发展相对落后,人口密度相对较小。考虑到省内各地发展不平衡的实际情况,引入 21 个地市区域面积、人口数量和经济发展数据(GDP)对排放量进行空间分析。由于大气污染物排放量与能源消耗数据有紧密的相关性,多环芳烃、二恶英类的排放量空间分布与二氧化碳具有相似特征,这里仅展示二氧化碳排放量空间分析结果。

图 1 共包含 3 张空间分布图,图 1a 为单位面积火电厂二氧化碳排放量空间分布图,区域面积既包括陆地面积,也包括海域面积。单位面积火电厂二氧化碳排放量变化范围是 0~2 102 t/km<sup>2</sup>。珠江三角洲地区单位面积火电厂二氧化碳排放量普遍较高,东莞市、深圳市和佛山市名列前三,其次是广州市和珠海市。若不计海域面积珠海市单位面积火电厂二氧化碳排放量最高。江门市和惠州市也因海域面积大使得单位面积火电厂二氧化碳排放量大大降低。另外珠三角以外的汕头市、云浮市和湛江市单

位面积火电厂二氧化碳排放量也较高。珠三角单位面积火电厂二氧化碳排放量高于全省平均水平。除无排放量的 6 个地市外,单位面积排放量较低的三个地市为惠州市、江门市和茂名市。

图 1b 为人均火电厂二氧化碳排放量空间分布图,变化范围是 0~3 417 kg/人。各地市的人口数据来源于广东省统计年鉴 2003<sup>[15]</sup>和广东省统计年鉴 2004<sup>[2]</sup>以及 2000 年广东省第五次人口普查数据<sup>[16]</sup>。统计的人口数据中,深圳市、珠海市、东莞市和中山市包括了办理暂住证的外来人口,佛山市也包括了暂住的外来人口,但是缺乏统计数据,我们根据人口普查数据对其外来人口进行估计,其余各城市为户籍人口。由图 1b 可见珠江三角洲地区与其他地区的人均火电厂二氧化碳排放量的差距有所缩小。其中珠海市、东莞市排名第一和第二,云浮市上升到第三位,整个珠三角地区人均火电厂二氧化碳排放量仍然高于全省平均水平;深圳市因外来人口较多排名有所下降。韶关市、梅州市和汕头市的人均火电厂二氧化碳排放量也较高,除无排放量的六个地市外,人均火电厂二氧化碳排放量较低的三个地市为茂名市、惠州市和江门市。

图 1c 为单位 GDP 火电厂二氧化碳排放量,变

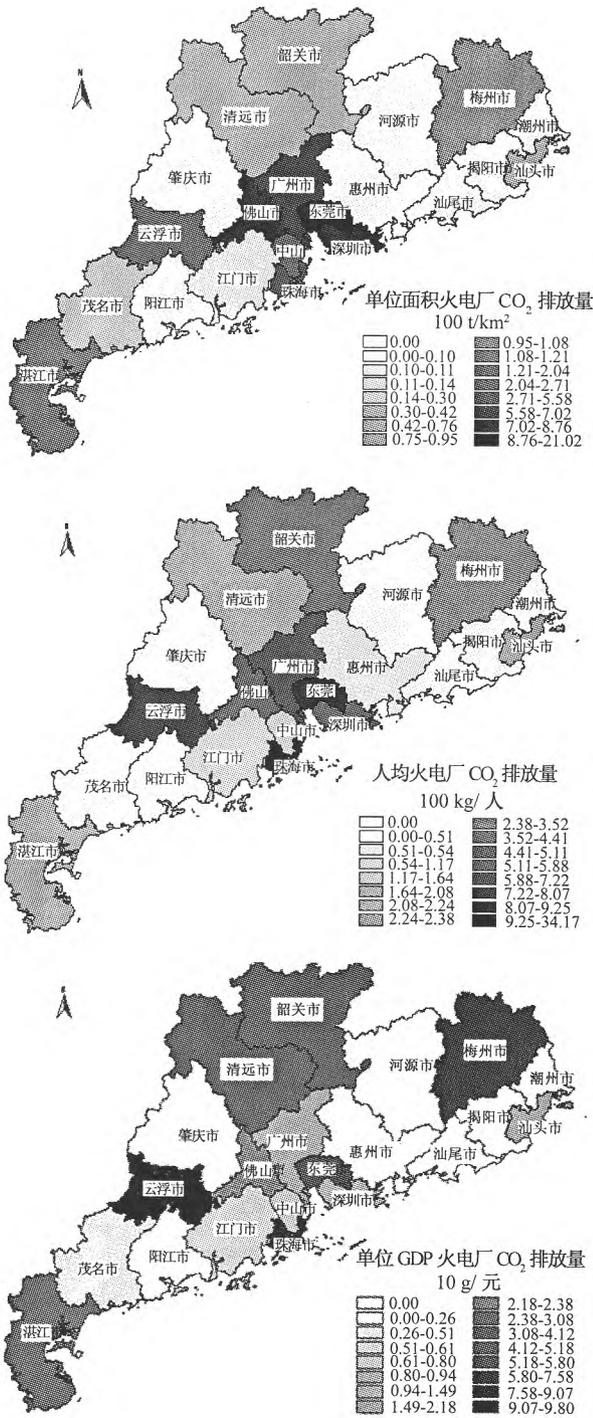


图1 广东省火电厂二氧化碳排放量空间分布图  
 Fig. 1. Geographical distribution of CO<sub>2</sub> emission in Guangdong province

化范围是 0~98 g/元(以人民币计,下同)。如图所示,珠江三角洲地区单位 GDP 火电厂二氧化碳排放量低于全省平均水平,最高的 3 个地市为云浮市、珠海市和梅州市。东莞市、深圳市、佛山市和广州市分别下降到第四、第十四、第九和第十三位。韶关市、清远市、湛江市单位 GDP 火电厂二氧化碳排放量也较高。除无排放量的 6 个地市外,单位 GDP 火电厂二氧化碳排放量较低的 3 个地市为惠州市、茂名市和江门市。

#### 4 结论和建议

采用气体污染物排放量估算模型,根据广东省火电厂能源消耗数据以及污染物排放系数,估算了广东省火电厂 2003 年二氧化碳、多环芳烃和二恶英类气体污染物排放量,并引入经济、人口、区域面积进行空间分析。主要得出以下结论和建议:

(1) 2003 年,广东省火电厂共排放二氧化碳 3 114.17 万吨,多环芳烃 8 035.61 kg,二恶英 11.46 g(毒性当量);

(2) 二氧化碳和二恶英排放总量中,燃煤的贡献率在 80% 以上,多环芳烃排放总量中燃煤的贡献率略大于 50%;

(3) 珠三角地区火电厂大气污染物排放量占广东省排放总量的 70% 以上;

(4) 广东省火电厂单位面积、人均、单位 GDP 二氧化碳排放量变化范围分别是 0~2 102 t/km<sup>2</sup>、0~3 417 kg/人和 0~98 g/元;

(5) 珠三角火电厂单位面积二氧化碳排放量和人均排放量都高于全省平均水平,而单位 GDP 二氧化碳排放量低于全省平均水平。

(6) 建议我国《火电厂大气污染物排放标准》中增加对持久性有机污染物和二氧化碳的排放限制;广东省珠江三角洲地区经济实力较强,环保问题突出,已有系统的天然气管网规划,所以建议在珠三角地区建设和发展液化天然气电厂,减少污染物排放;大力开发水电、风电、核电等清洁能源。

(7) 建议广东省大力开发 CDM(清洁发展机制)项目,引进外资和先进技术、设备,满足当地电力需求,并实现经济、社会和环境的可持续发展。

## 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2004[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2004
- [2] 广东省年鉴编委会. 广东统计年鉴 2004[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2004
- [3] 刘惠永, 张爱云. 燃煤电厂飞灰吸附非多环芳烃类有机污染物的检出及意义[J]. 环境工程, 2004, 18(2): 56-57
- [4] 段宁, 柴发合, 陈义珍, 等. 《火电厂大气污染物排放标准》与火电厂大气污染控制[J]. 中国能源, 2004(26): 20-24
- [5] 肖惠娟, 匡耀求, 黄宁生, 等. 工业化高速发展时期广州市的碳收支变化初步研究[J]. 生态环境, 2007, 1, 待刊.
- [6] Mai B X, Fu J. M, Sheng G Y, et al. Chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine and estuarine sediments from Pearl River Delta, China[J]. *Encion. Pollut.*, 2002, 117: 457-474
- [7] Luo X J, Mai B X, Yang Q S, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon(PAHs) and organochlorine pesticides in water columns from the Pearl River and the Macao harbor in the Pearl River Delta in south Chian[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 48: 1102-1115
- [8] Liping Yu, Bixian Mai, Xiangzhou Meng, et al. Particle-bound polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in the atmosphere of Guangzhou, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, 40: 96-108
- [9] 洪晖虹. 关于广东发展液化天然气电厂必要性的分析[J]. 广东电力, 2004, 17(4): 18-21
- [10] 广东省环境保护局. 广东省环境统计资料汇编 2003[Z]. 广州: 广东省环境信息中心, 2003
- [11] 广东省经济贸易委员会, 等. 广东省资源节约专项检查数据汇总[Z]. 2004
- [12] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄, 等. 中国陆地生态系统的碳循环及其全球意义[A]. 王如松, 等. 现代生态学的热点问题研究(上册)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996: 240-250
- [13] 许珊珊, 刘文新, 陶澍. 全国多环芳烃年排放量估算[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(3): 476-479
- [14] Kakareka S., Kukharchyk T. Expert estimates of PCDD/F and PCB emissions for some European countries[OL]. MSC -E Technical Note, 2002
- [15] 广东省年鉴编委会. 广东统计年鉴 2003[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2003
- [16] 广东省人口普查办公室. 广东省 2000 年人口普查资料[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2002

## DISTRIBUTION OF AIR POLLUTION EMISSION FROM THERMAL POWER PLANTS IN GUANGDONG PROVINCE

WANG Cui-ping<sup>1,2</sup>, KUANG Yao-qiu<sup>1</sup>, HUANG Ning-sheng<sup>1</sup>

(1. Sustainable Development Research Center, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangdong, Guangzhou 510640, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

### Abstract

With the increasing demands for electric power, air pollutant emission from thermal power plant became an important source of atmosphere pollution. As starting point of any policy to decrease the environmental burden by air pollution, estimation of pollutant emission from thermal power plants is essential. Based on statistics of energy combustion and corresponding emission factors and from literatures, annual CO<sub>2</sub>, PAHs and PCDD/Fs emissions in Guangdong thermal power plants in 2003 were estimated. Geographical distribution change of The CO<sub>2</sub> emission was discussed. It was estimated that the total CO<sub>2</sub>, PAHs and PCDD/Fs emission in Guangdong thermal power plants were 31.1417 Mt, 8035.61kg and 11.46 g TEQ respectively in 2003. The CO<sub>2</sub> emission in Pearl River Delta account for above 70% of the total emission. However, CO<sub>2</sub> emission per GDP in Pearl River Delta is lower than the average level of Guangdong Province.

**Key words:** thermal power plant; Guangdong; air pollution; CO<sub>2</sub>; PAHs; PCDD/Fs