

中国二氧化碳排放源现状分析*

张仁健 王明星 郑循华 李 晶 王跃思

(中国科学院大气物理所大气边界层和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

刘学义 黎 云 王邦中 陈振林

(国家计委能源所, 北京 102206)

(中国气象局, 北京 100081)

摘 要 通过对 20 世纪 90 年代中国几个主要温室气体研究项目中关于二氧化碳 (CO_2) 排放源研究结果的综合分析, 结合最新资料, 对 1990 年的中国 CO_2 排放源进行了收集和完善, 对 1994 年中国 CO_2 排放源重新做了计算。其中, 工业生产过程的 CO_2 排放, 在以前的研究中仅仅计算了水泥一项, 本研究中我们增加了石灰、钢铁、电解铝三项, 力求使结果更接近实际情况。结果表明, 1990 年和 1994 年中国 CO_2 矿物燃料燃烧和工业过程总排放分别为 $2218.9 \times 10^6 \text{ t}$ (合 $605.1 \times 10^6 \text{ t 碳}$) 和 $2787.8 \times 10^6 \text{ t}$ (合 $760.3 \times 10^6 \text{ t 碳}$), 分别占当年全球 CO_2 总排放的 10.2% 和 12.7%。能源和工业生产活动的 CO_2 排放均有不同程度的增长。矿物燃料燃烧是中国 CO_2 的最大排放源, 占总排放的 90% 以上。对 CO_2 排放源的不确定性分析表明, 中国 CO_2 排放存在大于 10% 的减排潜力。

关键词: 二氧化碳; 排放源

1 引言

大量的观测事实已经证明, 由于人类活动 (主要是大量化石燃料的燃烧), 大气中的温室气体的浓度发生了全球尺度的变化^[1~3]。其中最重要的温室气体 CO_2 的体积分数已从工业革命以前的 280×10^{-6} 上升到 1999 年的 367×10^{-6} , 增加了 25% 以上^[4,5]。中国目前的能源工业主要以煤炭为主, 大量燃烧煤炭排放的 CO_2 会导致区域及全球的温室效应增强。而目前, 中国处于经济快速增长阶段, 能源消耗必然会继续以较大幅度增长, 因此, 确定当前中国 CO_2 排放源具有重要的意义。

为了正确评估人类活动对全球气候变化的影响, 一个最重要的基本工作就是弄清人类活动的温室气体排放量并提供准确的温室气体源汇排放和吸收清单。中国是《联合国气候框架公约》的签约国之一。自 20 世纪 90 年代起, 中国政府有关部门组织开展了多项有关中国温室气体方面的研究。如, 由国家科委和亚洲开发银行共同完成的《中国的全球气候变化国家对策研究》¹⁾, 由国家环保局和世界银行共同完成的《中国温室气体控制的问题与对策》、GEF 项目分报告《1990 年中国温室气体控制源与汇估算》²⁾、国

1999-03-15 收到, 2000-02-15 收到修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目“我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究”G1999043400 资助

1) 国家科委社会发展科技司, 亚行项目, 《中国的全球气候变化国家研究对策研究》最终报告(中文版), 1999 年 4 月。

2) 郝吉明、徐德利等, GEF 项目, 《1990 年中国温室气体源与汇估算》(英文版), 1995 年。

家科委组织的《气候变化国家研究》¹⁾、《亚洲减少温室气体最小成本对策研究》²⁾以及国家气候变化协调小组办公室组织的《中国温室气体源排放和汇吸收研究结果的综合分析》³⁾和《我国温室气体(CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs和SF₆)的排放现状及未来构想》⁴⁾等。国家计委能源所、清华大学、中国科学院大气物理研究所、中国农业科学院和北京市环境监测中心等单位的有关专家参加了这些研究工作^[6]。

以上这些项目中关于温室气体排放清单都是基于1990年水平。本文在是以上这些工作基础上,对1990年的CO₂排放源进行了收集和完善。考虑到目前国际上温室气体排放清单是以1994年为基准年,因此,对1994年中国CO₂排放源重新做了计算。其中,工业生产过程的CO₂排放,在以前的研究中仅仅计算了水泥一项,本研究中我们增加了石灰、钢铁、电解铝三项,力求使结果更接近实际情况,并对我国目前CO₂排放的不确定性进行了分析。

2 CO₂排放源研究结果的综合分析

2.1 能源和工业排放

能源活动的温室气体排放源类型对排放量的贡献与用能方式和技术有关,只有充分考虑到这些特点,才能清楚地了解到不同用能部门、不同用能方式的温室气体排放量在能源系统排放总量中所占的份额。基于这种考虑,在确定能源活动温室气体排放源类型时,既要尽量与IPCC要求的排放源类型一致,又要充分考虑到中国能源活动温室气体的排放特点及其活动数据和排放系数数据的可获得性。

由于中国是世界上煤炭消费大国,能源活动排放源设备体系极其庞大和分散,要详细地对排放源进行分类是相当困难的。在实际工作中,即使能定量地细化出一些排放源设备,相应的活动水平数据也将很难获得。因此,排放源类型的划分只能达到一定程度。

中国能源活动的温室气体排放源类型包括静止源、移动源和能源开采、加工与输送过程中的排放源三大类。中国能源活动的温室气体排放源有其自身的特点:

- (1) 从燃料品种看,煤炭是中国矿物燃料的主要CO₂排放源。
- (2) 从三大排放源类型看,静止源是中国CO₂的主要排放源。
- (3) 从静止源内部结构看,工业部门是最大的CO₂排放源。
- (4) 从能源开采加工、输送过程看,煤炭开采是中国甲烷的重要排放源。
- (5) 从排放设备看,发电锅炉、工业锅炉是中国温室气体的两大主要排放设备。
- (6) 从燃煤质量看,中国燃煤的平均灰分比较高(27.5%左右),平均含碳量及发热量不高,分四大煤种计算出的潜在排放系数,低于文献[7]的推荐值。

1) 气候变化国家研究专家组,《气候变化国家研究》最终报告,1996年11月。

2) 亚洲减少温室气体最低费用对策(ALGAS项目),中国国家计划委员会,1997年3月。

3) 王明星、张仁健等,《中国温室气体源排放和汇吸收研究结果的综合分析》,中国科学院大气物理研究所,1997年11月。

4) 王明星、张仁健等,《我国温室气体(CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs和SF₆)的排放现状》,中国科学院大气物理研究所,1998年8月。

(7) 从煤炭设备的碳化率分析看, 中国碳化率值低于文献[7]的推荐值, 其中煤炭燃烧碳化率尤为明显。

(8) 从移动源内部构成看, 公路运输是最大的移动源, 货车作为主要的移动源工具, 而汽油则是移动源温室气体排放的主要燃料品种。

在《气候变化国家研究》项目中, 能源活动产生的 CO_2 等温室气体排放量的计算方法是在跟踪 OECD/ IPCC^[7] 国家温室气体清单编制方法, 分析和评价这些方法的科学性与适用性的基础上, 结合中国能源活动温室气体排放的特征和数据的可获得性提出的。因此, 本方法既具有与文献[7]提出的编制方法的一致性, 又反映了中国的实际情况。为了使排放量的估算具有国际可比性, 《气候变化国家研究》项目参照了 IPCC 提出的国家温室气体排放清单编制方法, 提出了两套计算方法来估算中国能源活动引起的温室气体的排放量, 第一种方法是以详细的燃料分类为基础的参考方法, 第二种方法是以详细技术分类为基础的方法。这两种方法 CO_2 排放量的计算公式基本上是相同的。但从两者的计算精确性来看, 后者反映了不同部门的实际情况 (如氧化率等), 比第一种方法更精确。

工业排放源是指工业生产过程中排放的温室气体, 不包括生产过程中使用燃料而产生的温室气体。根据文献[7]的报道, 这部分排放源应包括以下几方面的生产过程: 钢铁、有色冶金、无机化学品、有机化学品、非金属矿产品等。从中国的实际情况看, 由于水泥、石灰、钢铁、铝、肥料等的生产已有相当大的规模。因此, 工业过程中的 CO_2 的排放量是比较大的。由于排放系数等数据的严重缺乏, 在以上几个项目中, 在计算 1990 年工业生产过程的 CO_2 排放时仅计算了水泥一项, 这里增加了石灰、钢铁、电解铝三项, 力求使结果更接近实际情况。同时, 采用最新的《IPCC 指南》(1996 修正版)^[8] 对 1990 年能源和工业过程排放 CO_2 重新作了计算。

表 1 是用参考方法计算得到的中国矿物燃料燃烧与工业过程源 CO_2 排放清单。从表 1 可以看出, 1990 年中国矿物燃料燃烧和工业过程的 CO_2 排放总量为 $2218.88 \times 10^6 \text{ t}$ (合 $605.15 \times 10^6 \text{ t}$ 碳), 其中矿物燃料燃烧 $2051.74 \times 10^6 \text{ t}$ (合 $559.56 \times 10^6 \text{ t}$ 碳), 占 92.5%, 工业过程排放 CO_2 为 $167.13 \times 10^6 \text{ t}$ (合 $45.58 \times 10^6 \text{ t}$ 碳), 占 7.5%; 1994 年中国矿物燃料燃烧和工业过程的 CO_2 排放总量为 $2787.78 \times 10^6 \text{ t}$ (合 $760.3 \times 10^6 \text{ t}$ 碳), 其中矿物燃料燃烧 $2531.62 \times 10^6 \text{ t}$ (合 $690.44 \times 10^6 \text{ t}$ 碳), 占 90.8%, 工业过程排放 CO_2 为 $256.16 \times 10^6 \text{ t}$ (合 $69.86 \times 10^6 \text{ t}$ 碳), 占 9.2% (图 1)。

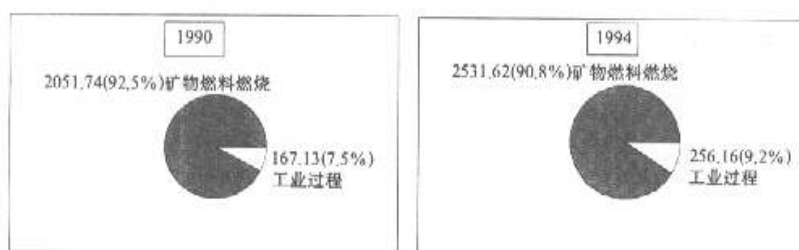


图 1 按参考方法计算的中国能源及工业源 CO_2 排放 (单位: $\times 10^6 \text{ t}$)

表 1 中国矿物燃料燃烧与工业源 CO₂ 排放量(按参考方法计算)

排放源		1990 年		1994 年		百分比 1994 / 1990
		排放量 / × 10 ⁶ t	百分比	排放量 / × 10 ⁶ t	百分比	
矿物燃料燃烧	液体燃料	284.15	13.8 *	373.34	14.7 *	131.4
	固体燃料	1735.00	84.6 *	212.05	83.8 *	122.2
	气体燃料	32.60	1.6 *	37.94	1.5 *	116.4
	合计	2051.74	92.5	2531.62	90.8	123.4
工业过程	水泥	78.90	47.2 **	152.22	59.4 **	192.9
	石灰	71.47	42.8 **	82.50	32.2 **	115.4
	钢铁	15.4	9.2 **	19.12	7.5 **	124.2
	电解铝	1.37	0.8 **	2.31	0.9 **	169.3
	合计	167.13	7.5	256.16	9.2	153.3
总计 (能源+工业过程)		2218.88	100	2787.8	100	125.6

* 占总矿物燃料的百分比, ** 占总工业过程的百分比

1994 年能源活动排放的 CO₂ 比 1990 年增长了 23.4%, 但能源活动排放的 CO₂ 比重有所减少; 而工业生产过程排放的 CO₂ 比重则有较大增长, 1994 年比 1990 年增大了 53.3%。近几年, 一方面由于中国能源消费持续增长, 另一方面能源效率有所提高, 所以, CO₂ 排放量增长速度较快。中国为了摆脱贫困落后的面貌, 必须加快经济发展, CO₂ 排放量增长较快是不可避免的。

从矿物燃料品种看, 液体燃料有所增大, 固体和气体燃料相对有所减少。从增长速度看, 三种燃料均有所增长, 但液体燃料增长最快。

中国工业生产过程排放的 CO₂ 中, 水泥生产排放比例占一半以上, 增长速度也较快; 生产石灰比例也较大, 增长速度稍慢; 电解铝比例逐步增大, 增长速度也很快。中国工业生产过程排放源的特点是: (1) CO₂ 排放量大。中国水泥、石灰产量居世界第一位, 钢铁产量也居世界前列, 工业生产过程 CO₂ 排放量是相当可观的。(2) 排放源分散且数量庞大, 81% 的水泥产量是由遍布全国的小型水泥窑生产的, 石灰生产也同样如此。

表 2 是以详细的技术分类为基础计算得到的中国矿物燃料燃烧分部门 CO₂ 排放清

表 2 中国矿物燃料燃烧分部门 CO₂ 排放量(按详细技术分类法计算)

矿物燃料燃烧	1990 年		1994 年		百分比 1994 / 1990
	排放量 / × 10 ⁶ t	百分比	排放量 / × 10 ⁶ t	百分比	
能源转换与能源工业	637.71	31.82	962.46	37.13	150.92
工业	834.05	41.62	1088.34	41.98	130.49
交通运输	113.45	5.66	136.10	5.25	119.97
小用户	369.70	18.45	321.01	12.38	86.83
其他部门	49.20	2.45	84.45	3.26	171.64
合计	2004.11	100.0	2592.36	100	129.35

单。可以看出, 1990 年中国矿物燃料燃烧和工业过程的 CO_2 排放总量为 $2004.11 \times 10^6 \text{ t}$ (合 $546.58 \times 10^6 \text{ t}$ 碳)。以详细的技术分类为基础计算的 1994 年中国矿物燃料燃烧和工业过程的 CO_2 排放总量为 $2592.36 \times 10^6 \text{ t}$ (合 $707.00 \times 10^6 \text{ t}$ 碳) (图 2)。



图 2 按详细技术分类法计算的中国矿物燃料燃烧的 CO_2 排放(单位: $\times 10^6 \text{ t}$)

2.2 计算 CO_2 排放源存在的不确定性

中国能源活动和工业生产活动过程排放量计算的不确定性主要来自以下因子:

(1) 煤炭运输损失。IPCC 中参考方法未考虑矿物燃料的运输与分配损失, 如煤在运输过程中可损失 3%~5%。对照表 1 和表 2, 按“参考方法”计算的 1990 年中国能源活动中矿物燃料燃烧排放了 $2051.72 \times 10^6 \text{ t CO}_2$, 按详细技术分类法计算, 1990 年中国分部门矿物燃烧的 CO_2 排放量为 $2004.11 \times 10^6 \text{ t}$, 与前者相比少了 $47.61 \times 10^6 \text{ t}$, 即少了 2.3 个百分点。产生这一差别的主要原因是“参考方法”没有考虑能源生产和输运等过程中的损耗。

(2) 较低碳氧化率。中国燃烧设备落后, 中小设备比例大, 造成燃烧不完全, 碳氧化率达不到 IPCC 的缺省数据水平, 油、气稍有降低, 只有 90%~92%, 比 IPCC 推荐的 98% 低 2%~8%。

(3) 低入洗率。固体燃料排放 CO_2 占矿物燃料排放的 80% 以上。中国是以原煤计算的, 而且入洗率很低, 从 1994 年看, 入洗率只有 16%, 其洗煤损失已达 2034 t。如果入洗率达到发达国家的 90% 水平, 洗煤损失将达到 1.1 亿 t, 占总产量 13.6 亿 t 的 8%。

考虑以上三个因素, 如果加大中国煤炭入洗率, 煤炭产量按商品煤统计, 则矿物燃料燃烧排放的 CO_2 将有大于 10% 的减排潜力。

3 结论及分析

通过以上分析研究, 得到以下结论:

(1) 对 1990 年工业生产过程的 CO_2 排放重新进行了计算。在以前的研究中仅仅计算了水泥一项, 本研究中我们增加了石灰、钢铁、电解铝三项, 力求使结果更接近实际情况。石灰、钢铁、电解铝三项工业过程排放的 CO_2 分别占 1990 年和 1994 年的 4.0% 和 4.4%, 这表明全面考虑工业过程排放源是很有必要的。

(2) 根据美国能源部橡树岭国家实验室二氧化碳中心的数据, 1990 年和 1994 年全球 CO_2 化石燃料燃烧排放分别为 217.8 亿 t 和 220.4 亿 t。本研究根据参考方法计算得到, 1990 年和 1994 年中国 CO_2 矿物燃料燃烧和工业过程总排放分别为 2218.9 Tg (合 605.1×10^6 t 碳) 和 2787.8 Tg (合 760.3×10^6 t 碳), 分别占当年全球 CO_2 总排放的 10.2% 和 12.7%。

(3) 从燃料品种看, 煤炭是中国矿物燃料的主要 CO_2 排放源, 占总排放的 90% 以上。从增长幅度看, CO_2 的矿物燃料燃烧活动排放增加量要远大于工业过程排放。从增长速度看, CO_2 工业过程排放的增长速度大大高于矿物燃料燃烧排放的增长速度。从所占比例看, CO_2 工业过程排放所占比例在增大, 而 CO_2 的矿物燃料燃烧活动排放比例在减少。从矿物燃料品种比例看, 液体燃料逐年加大, 固体和气体燃料相对有所减少。三种燃料均有所增长, 但液体燃料增长速度最快。

(4) 按详细技术分类法计算的 1990 年和 1994 年的 CO_2 矿物燃料燃烧分部门排放总量分别为 2004.11 Tg 和 2592.36 Tg。其中, 工业部门排放占 40% 多, 居首位; 能源转换与能源工业占 30% 多; 小用户和交通运输依次位居其后。

(5) 水泥和石灰生产过程是工业过程 CO_2 两大主要排放源。水泥生产过程排放的 CO_2 增长速度最快, 增长幅度最大; 石灰和钢铁生产过程排放的 CO_2 增长速度较慢; 电解铝生产过程排放的 CO_2 虽然增长速度较大, 但排放量很小, 比例略有增加。

(6) 考虑到煤炭运输损失、较低碳氧化率、低入洗率三个因素, 中国矿物燃料燃烧排放的 CO_2 将有大于 10% 的减排潜力。

随着中国人口的增多、经济的高速发展以及人民生活水平的提高, 尽管能源利用效率不断提高, 但一次性能源的需求总量将会有合理的增长, 相应的 CO_2 排放量也会增大。无论是现在还是将来, 中国的能源供应均将依靠本国的能源资源。因此, 根据中国能源资源的特点, 制定正确的能源开发与供应战略, 促进能源替代以及能源开发与转化效率的提高, 对于减少 CO_2 的排放有着重要意义。

参 考 文 献

- 1 叶笃正、曾庆存、郭裕福主编, 当代气候研究, 北京: 气象出版社, 1991, 262~194.
- 2 王明星, 关于温室气体浓度变化及其引起的气候变化的几个问题, 气候与环境研究, 2000, 5(3), 329~332.
- 3 王明星, 大气化学 (第二版), 北京: 气象出版社, 1999, p467.
- 4 王明星, 张仁健、郑循华, 温室气体的源和汇, 气候与环境研究, 2000, 5(1), 75~79.
- 5 Houghton, J. T. et al. (eds), Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1994, 16~25.
- 6 林而达、李玉娥编, 全球气候变化和温室气体清单编制方法, 北京: 气象出版社, 1998, p164.
- 7 UNEP, OECD, IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, Bracknell, 3 Volumes, 1995.
- 8 Houghton J. T. (eds.), Greenhouse gas inventory reference manual, Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, IPCC, 3 Volumes, 1997.

Analysis on Present Emission Status of Carbon Dioxide in China

Zhang Renjian, Wang Mingxing, Zheng Xunhua, Li Jing and Wang Yuesi

(State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry,

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Liu Xueyi and Li Yun

(Energy Research Institute, State Planning Commission, Beijing 102206)

Wang Bangzhong and Chen Zhenglin

(China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract Through summarizing the results of CO₂ emission in several projects researching on green house gases emissions in China, emission of CO₂ in 1990 in China is collected and improved. We calculate the emission from industrial producing process of lime, steel, and electroanalysis aluminum besides producing process of cement in previous research projects. Then the emission of CO₂ in 1994 in China is calculated with updated data. The results show that in China the emissions of CO₂ in 1990 and 1994 are 2218.9 Tg and 2787.8 Tg respectively which account for 10.2% and 12.7% of the world total CO₂ emissions in the corresponding years. Emissions of CO₂ from energy using and industrial activities increase by various extents. The main emission of CO₂, which account for 90% of total emission, is from mineral fuel combustion in energy using. Analyses on the uncertainty of CO₂ emissions shows that the potential mitigation of CO₂ emission in China exceeds 10%.

Key words: carbon dioxide; emission.