

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.001

广东能源消费碳排放趋势与前景展望

匡耀求

(中国科学院广州地球化学研究所 地球系统科学与可持续发展研究学科组, 广州 510640)

摘要: 能源消费是人类活动排放 CO₂ 等温室气体的主要来源, 碳减排已成为我国能源发展的一个重要约束因素。2012 年全世界能源消费排放 3.173 4 × 10¹⁰ t CO₂, 中国能源消费排放的 CO₂ 已占世界总排放量的 26.0%。2012 年全世界人均 CO₂ 排放量 4 510 kg, 而中国人均 CO₂ 排放量达到了 6 093 kg。同年广东省人均 CO₂ 排放量为 5 224 kg, 高于世界平均水平, 低于全国平均水平。随着节能减排和应对气候变化工作的推进, 广东的单位产值能耗水平逐年降低, 能源结构不断改善, 使得全省化石能源消费带来的 CO₂ 排放量的增长势头得到抑制, 2012 年的排放量比 2011 年略有减少。按目前的发展趋势预测, 到 2020 年, 广东 CO₂ 排放总量将达到 1.606 2 × 10⁸ t 碳当量, 比 2012 年增加 9.69 × 10⁶ t 碳当量, 人均 CO₂ 排放量将达到 5 287 kg, 略高于 2012 年的 5 224 kg。如果在“十三五”期间加快第三产业发展, 则到 2020 年广东省化石能源消费总量将比 2012 年下降 2.7%, CO₂ 排放总量将比 2012 年下降 3.5%, 人均 CO₂ 排放量将由 2012 年的 5 224 kg 下降到 2020 年的 4 795 kg, 接近世界平均水平。

关键词: 碳排放; 能源消费; 化石能源; 应对气候变化

中图分类号: F416.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)01-0001-10

Trend and Outlook of Carbon Emission from Energy Consumption in Guangdong Province, China

KUANG Yaoqiu

(Scientific Development and Sustainable Group of Earth System, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Energy consumption is the main source of carbon dioxide from human activity, and carbon mitigation has become an important constraint on the energy development in China. The total CO₂ emission of the World in 2012 from energy consumption is up to 3.173 4 × 10¹⁰ t of CO₂. The total CO₂ emission from energy consumption in China occupies 26.0% of the World total. The per capita emission for the World in 2012 is 4 510 kg CO₂, and it is 6 093 kg CO₂ for China. The per capita emission for Guangdong province in 2012 is 5 224 kg CO₂, which is higher than that for the world but lower than that for China. With the progress of the effort for energy conservation and emissions reduction as well as combating climate change, the per unit production energy consumption level in Guangdong Province is becoming lower year by year, and the energy mix is also improving, which suppressed the growth tendency of the CO₂ emission from fossil fuel consumption in the province. The total emission in 2012 is a little less than that in 2011. It is predicted according to the present trend situation, the total carbon emission from energy consumption in Guangdong province will reach 1.606 2 × 10⁸ t carbon equivalent in 2020, about 9.69 × 10⁶ t of carbon equivalent more than that in 2012. And the per capita emission will reach 5 287 kg, a little higher than the 5 224 kg in 2012. If the development of the third industry is accelerated during the thirteenth five-year period, the total consumption of fossil fuel in 2020 will be 2.7% less than that in 2012, and the total CO₂ emission will be 3.5% less than that in 2012. The per capita CO₂ emission will be lowered from 5 224 kg in 2012 to 4 795 kg in 2020, which will be approaching the average level of the world then.

Key words: carbon emission; energy consumption; fossil fuel; combating climate change

收稿日期: 2014-12-15

基金项目: 广东省科技计划资助项目(392010B09030005801)

作者简介: 匡耀求(1963), 男, 湖南娄底人, 研究员, 博士, 主要从事地球系统科学与可持续发展研究(e-mail) yaoqiuk@gig.ac.cn。

化石能源的燃烧产生了大量的 CO₂, 这些 CO₂ 排放到大气中造成了地表温室气体浓度的急剧升高, 增强了地球的温室效应, 温室效应的增强导致地球气候系统变得很不稳定, 近年来, 极端气候事

件出现的频率显著增大。为全面控制 CO₂ 等温室气体排放,以应对全球气候变暖给人类经济和社会带来的不利影响,1992年6月4日在巴西里约热内卢举行的联合国环境与发展大会(地球首脑会议)上通过了1992年5月22日联合国政府间谈判委员会就气候变化问题达成的《联合国气候变化框架公约》。该《公约》于1994年3月生效,奠定了应对气候变化国际合作的法律基础。1997年达成的《京都议定书》确认气候变化的全球性,要求所有国家根据其共同但有区别的责任和各自的能力及其社会和经济条件,尽可能开展最广泛的合作,并参与有效和适当的国际应对行动。2009年底在哥本哈根召开的联合国气候变化大会上,中国政府向世界作出了到2020年单位国内生产总值 CO₂ 排放比2005年下降40%~45%的郑重承诺,并将碳排放强度作为约束性指标纳入了国民经济和社会发展中长期规划。从此碳减排成为我国能源发展的一个重要约束因素。

1 世界能源消费增长与碳排放

随着世界人口与经济的高速增长,能源消费需求旺盛,全世界一次能源生产量逐年增加(图1)。

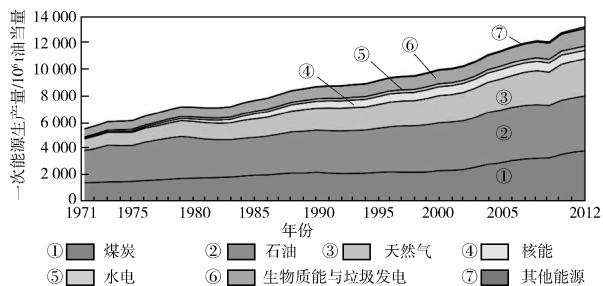


图1 1971—2012年世界一次能源供求量及其构成的变化^[1]

Fig. 1 World Total Primary Energy Supply and Energy Mix from 1971 to 2012

2012年全世界能源供求总量达到 1.3371×10^{10} t油当量(1 t油当量=1.4286 t标准煤),其中石油占31.4%,煤炭(包括泥炭和油页岩)占29.0%,天然气占21.3%,生物质能与垃圾发电占10.0%,核能占4.8%,水电占2.4%,其他能源(地热能、太阳能和风能等)占1.1%。2012年的能源市场供求量比1973年(6.106×10^9 t油当量)增加了1倍多。与1973年相比,石油所占的比重大幅下降,而煤炭、天然气、核能所占的比重明显上升

(图2)。

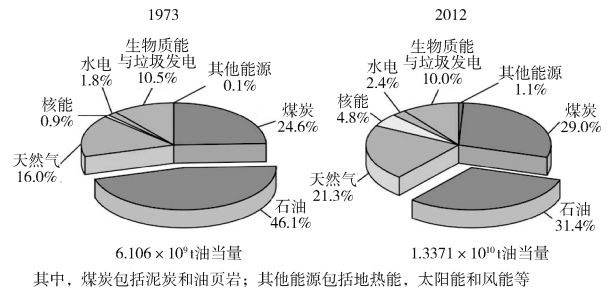


图2 1973年和2012年世界一次能源供求的构成^[1]

Fig. 2 Fuel Shares of World Total Primary Energy Supply in 1973 and 2012

从1973年到2012年,世界人口规模从39.19亿人增加到70.37亿人,世界经济产出从 5.30×10^{12} 美元增加到 5.46×10^{13} 美元。人口规模的显著扩大和经济的高速发展推动了能源消费的快速增长。

按照2012年世界70.37亿人口分摊,人均能源供求量为1.90 t油当量(合2.71 t标准煤),而1973年(39.19亿人口)只有1.56 t油当量。2012年人均能源供求量比1973年增加了18%。

从一次能源供求的地区分布看,2012年有39.2%来自经济合作与发展组织成员国,21.8%来自中国。这二者合计占了61%。除中国以外的亚洲其他国家占12.3%,非经济合作与发展组织的欧洲其他国家与俄罗斯占8.9%,非洲占5.5%,中东地区占5.1%,非经济合作与发展组织的美洲其他国家占4.6%(图3)。与1973年相比,经济合作与发展组织成员国和欧洲其他国家所占的比例大幅减少,中国和中东地区所占比例大幅增加,非洲和非经济合作与发展组织的美洲其他国家所占比例也有所增加。

能源消费是人类活动排放温室气体的主要来源,随着能源消费的急剧增加,CO₂等温室气体的排放总量也急剧增加(图4)。2012年全世界能源消费排放CO₂ 3.1734×10^{10} t,其中经济合作与发展组织占38.3%,中国占26.0%,除中国以外的亚洲其他国家占11.6%,非经济合作与发展组织的欧洲其他国家与俄罗斯占8.6%,中东地区占5.2%(图5)。

在世界能源消费与温室气体排放的发展变化格局中,中国的地位和影响举世瞩目。中国的能源供

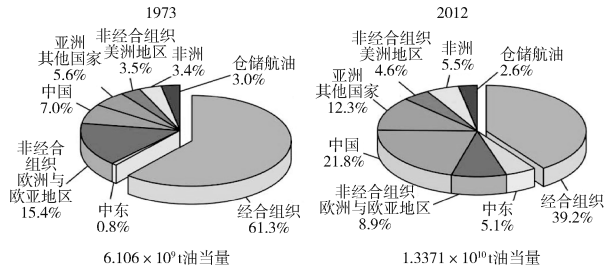


图 3 1973 年和 2012 年世界一次能源供求的地区分布^[1]
Fig. 3 Regional Shares of World Total Primary Energy Supply in 1973 and 2012

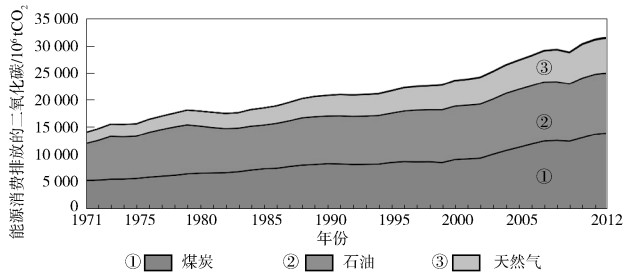


图 4 1971—2012 年世界能源消费排放的 CO₂ 总量^[1]
Fig. 4 World Total CO₂ Emission of Energy Consumption from 1971 to 2012

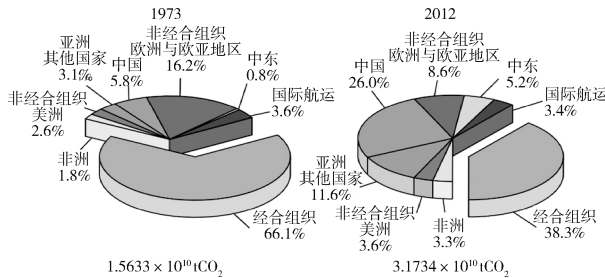


图 5 1973 和 2012 年能源消费排放 CO₂ 的地区分布^[1]
Fig. 5 Regional Shares of CO₂ Emission of Energy Consumption in 1973 and 2012

求量在 1973 年只占世界的 7.0%，2012 年达到了 21.8%。中国能源消费排放的 CO₂ 在 1973 年只占世界总排放量的 5.8%，2012 年占比上升到了 26.0%。1973 年，全世界人均排放 CO₂ 3 989 kg，而中国人均排放只有 1 016 kg；到了 2012 年，世界人均排放 CO₂ 4 510 kg，而中国人均排放量达到了 6 093 kg。国际能源署的数据显示，到 2007 年，中国已经成为世界头号温室气体排放大国，化石能源燃烧排放的温室气体占全球比例达到 20.8%，2007 年温室气体排放净增量已占全球的 46.1%，在国际社会面对的碳减排压力与日俱增^[2]。

2 广东能源发展现状与趋势

作为中国经济发展的龙头和人口规模最大的省份，广东的能源消费和 CO₂ 排放也备受关注。随着广东经济的快速发展和人口的高度集聚，能源消费需求迅猛增长。全省终端能源消费总量从 1990 年的 $3.936 44 \times 10^7$ t 标准煤增加到 2013 年的 $2.934 923 \times 10^8$ t 标准煤^[3-18]，23 年增加了 6.46 倍。人均能源消费量从 1990 年的 0.61 t 标准煤增加到 2013 年的 2.76 t 标准煤，提高了 3.45 倍，超过了世界平均水平。其中用于生活的能源消费量(标准煤)从 1990 年的 71 kg/人增加到 2013 年的 378 kg/人，提高了 4.3 倍；用于生产的能源消费量(标准煤)从 1990 年的 0.55 t/人增加到 2013 年的 2.38 t/人，提高了 3.3 倍。2013 年单位 GDP 能耗(标准煤)为 0.508 t/万元。从终端能源消费量变化趋势(图 6)看，1990—2001 年，终端能源消费的增长幅度较小，年均增加 8.62%；2002 年以后终端能源消费的增长明显加快，2002—2013 年的年均增长率达到 9.59%。

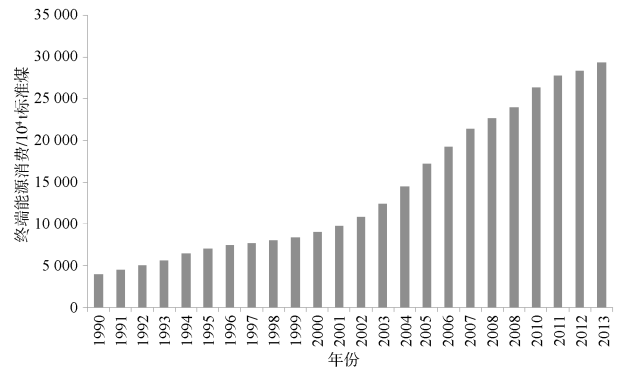


图 6 1990—2013 年广东省终端能源消费量变化^[3-18]
Fig. 6 End-use Energy Consumption in Guangdong Province from 1990 to 2013

从终端能源消费的构成看，煤炭和油品消费所占的比例逐年减少，而电力和其他能源消费所占的比例逐年增大(表 1)。其中煤炭消费所占的比例从 1990 年的 33.6% 下降到 2013 年的 11.6%；油品所占的比例从 1990 年的 22.4% 下降到 2013 年的 17.4%；电力消费所占的比例则从 1990 年的 33.0% 上升到 2013 年的 49.1%；其他能源(天然气等)消费所占的比例从 1990 年的 11.0% 上升到 2013 年的 21.9%。在此期间，能源结构的改善十分明显。但是，由于能源消费总量增长幅度巨大，

煤炭和石油等传统能源的消费量仍然有显著的增加,其中原煤消费量从1990年的 1.3226×10^7 t标准煤上升到2013年的 3.4045×10^7 t标准煤,增加了1.57倍;油品消费量从1990年的 8.818×10^6 t标准煤上升到2013年的 5.1068×10^7 t标准煤,增加了4.79倍,如表1所示。

终端能源消费增长最快的是其他能源(主要是天然气),从1990年的 4.33×10^6 t标准煤增长到2013年的 6.4275×10^7 t标准煤,增长了13.8倍。

目前,终端能源消费需求最大的是电力。广东电力消费量从1990年的 1.299×10^7 t标准煤增加到了2013年的 1.44105×10^8 t标准煤,增加了10倍多。电力消费占终端能源消费的比例达到49.1%。

由于电力消费需求的急剧增长,推动广东电力建设迅猛发展。截至2013年底,广东省内并网电力装机总量达到84.53 GW,占全国电力装机总量(2013年,全国总装机124.7 GW)的6.85%,其中火电63.2 GW,占全省装机容量的74.77%;水电13.06 GW,占15.45%;核电6.122 GW,占7.24%;风电1.691 GW,占2.00%;生物质发电439 MW,占0.52%。2013年发电量达到379.625 TW·h(相当于 4.6656×10^7 t标准煤)。此外,西电东送能力也已达34.0 GW,2013年,南方电网接纳西电东送电量达131.4 TW·h^①。2014年7月2日,广东接受西电最大电力达30.1 GW。

虽然终端能源消费中,煤和石油等传统化石能

表1 1990—2013年广东省终端能源消费及构成

Table 1 End-use Energy Consumption and Fuel Shares in Guangdong Province from 1990 to 2013

年份	广东省终端能源消费/ 10^4 t(标准煤)					合计	广东省终端能源构成/%			
	总量	原煤	油品	电力	其他		原煤	油品	电力	其他
1990	3 936.44	1 322.64	881.76	1 299.03	433.01	100.0	33.6	22.4	33.0	11.0
1991	4 520.14	1 473.57	1 044.15	1 514.25	488.18	100.0	32.6	23.1	33.5	10.8
1992	5 019.36	1 535.92	1 149.43	1 817.01	516.99	100.0	30.6	22.9	36.2	10.3
1993	5 589.99	1 693.77	1 173.90	2 174.51	547.82	100.0	30.3	21.0	38.9	9.8
1994	6 479.77	1 781.94	1 328.35	2 630.79	738.69	100.0	27.5	20.5	40.6	11.4
1995	7 062.28	1 906.82	1 476.02	2 803.73	875.72	100.0	27.0	20.9	39.7	12.4
1996	7 456.35	1 804.44	1 506.18	3 072.02	1 073.71	100.0	24.2	20.2	41.2	14.4
1997	7 669.53	1 756.32	1 472.55	3 090.82	1 349.84	100.0	22.9	19.2	40.3	17.6
1998	8 083.38	1 681.34	1 737.93	3 273.77	1 390.34	100.0	20.8	21.5	40.5	17.2
1999	8 425.07	1 541.79	1 912.49	3 454.28	1 516.51	100.0	18.3	22.7	41.0	18.0
2000	9 080.20	1 552.71	2 052.13	4 122.41	1 352.95	100.0	17.1	22.6	45.4	14.9
2001	9 775.15	1 554.25	2 209.18	4 506.34	1 505.37	100.0	15.9	22.6	46.1	15.4
2002	10 861.68	1 574.94	2 346.12	5 343.95	1 596.67	100.0	14.5	21.6	49.2	14.7
2003	12 414.48	2 209.78	2 805.67	5 524.44	1 874.59	100.0	17.8	22.6	44.5	15.1
2004	14 487.74	1 695.07	2 998.96	7 620.55	2 173.16	100.0	11.7	20.7	52.6	15.0
2005	17 255.84	1 880.89	4 072.38	8 748.71	2 553.86	100.0	10.9	23.6	50.7	14.8
2006	19 254.03	2 406.75	4 563.21	9 376.71	2 907.36	100.0	12.5	23.7	48.7	15.1
2007	21 427.33	2 571.28	4 756.87	10 563.67	3 535.51	100.0	12.0	22.2	49.3	16.5
2008	22 671.76	3 128.70	4 806.41	10 995.80	3 740.84	100.0	13.8	21.2	48.5	16.5
2009	23 943.39	2 921.09	5 004.17	11 085.79	4 932.34	100.0	12.2	20.9	46.3	20.6
2010	26 344.85	3 003.31	4 979.18	12 382.08	5 980.28	100.0	11.4	18.9	47.0	22.7
2011	27 780.05	3 416.95	4 805.95	13 501.10	6 056.05	100.0	12.3	17.3	48.6	21.8
2012	28 377.06	3 291.74	4 880.85	13 961.51	6 242.95	100.0	11.6	17.2	49.2	22.0
2013	29 349.23	3 404.51	5 106.77	14 410.47	6 427.48	100.0	11.6	17.4	49.1	21.9

注:本表数据引自历年广东统计年鉴^[3-16]和中国能源统计年鉴^[17-18]。

① 南方电网2006—2013年西电东送电量统计表,见中国南方电网公司网站:http://www.csg.cn/gynw/gsjj/201310/t20131021_70288.html。

源所占的比例有明显的下降，而电力和其他能源所占的比例明显上升，但是目前电力的生产主要还是依靠化石能源。化石能源的燃烧已成为地球大气中CO₂的主要来源。

3 广东省能源消费 CO₂ 排放现状

1995—2012年广东省分品种的化石能源消费量(标准煤当量)归纳如表2，根据各种能源燃烧的排放系数计算了各个年度的CO₂排放总量(按碳当量计)。从1995年到2012年，全省化石能源消费带来的CO₂排放量从4.454×10⁷t碳当量增加到了1.5093×10⁸t碳当量，期间排放量最高的2011年排放了1.5378×10⁸t碳当量。2012年的排放量比2011年略有减少。CO₂排放量的增长与化石能源消费量的增长紧密相关，二者相关系数达0.99974。2001年以前排放量的增长比较缓慢，2002年以后增速明显加快，但是2010年以后出现了较大幅度的波动，总体增速明显放缓(图7)。人均CO₂排放量从1995年的2211kg/(人·年)增加到了2012年的5224kg/(人·年)。就化石能源消费的排放而

言，广东省2012年的人均CO₂排放量高于世界平均水平(4510kg/(人·年))，低于全国平均水平(6093kg/(人·年))。

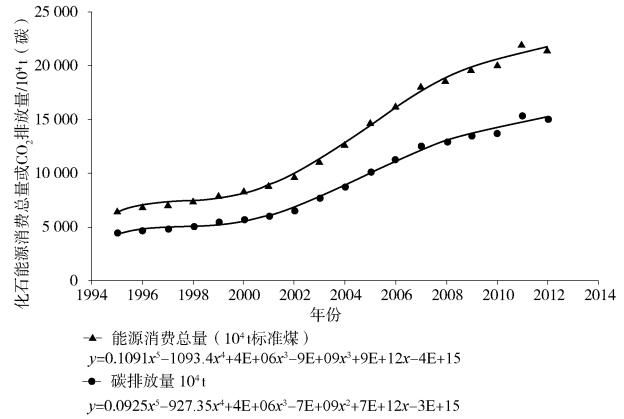


图7 1995—2012年广东省化石能源消费量与CO₂排放量
 Fig. 7 Fossil Fuel Consumption and CO₂ Emission in Guangdong Province from 1995 to 2012

广东能源消费的增长与人口发展和经济增长有密切的关系，其中能源消费与人口数量的相关系数为0.8925，与经济规模(地区生产总值)的相关系数

表2 1995—2012年广东省化石能源消费量与CO₂排放量

Table 2 Fossil Fuel Consumption and CO₂ Emission in Guangdong Province from 1995 to 2012

年份	煤炭及衍生品/10 ⁴ t(标准煤当量)								石油及其衍生品/10 ⁴ t(标准煤当量)								天然气 /10 ⁴ t (标准煤 当量)	能源消 费总量 /10 ⁴ t (标准煤)	碳排 放量 /10 ⁴ t
	原煤	洗精煤	其他洗煤	型煤	焦炭	焦炉煤气	其他煤气	其他焦化产品	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	液化石油气	炼厂干气	其他石油制品			
1995	3 453	3	0	0	128	13	19	0	28	414	82	870	912	320	56	204	14	6 516	4 454
1996	3 543	1	0	22	135	9	19	3	40	387	83	873	1 032	498	70	224	12	6 951	4 721
1997	3 540	1	0	26	154	13	19	1	29	386	95	796	1 023	502	79	431	26	7 121	4 820
1998	3 542	9	1	22	154	9	17	1	47	415	97	941	1 183	521	76	435	27	7 497	5 044
1999	3 683	6	0	21	159	10	87	1	51	424	99	1 111	1 244	536	83	467	23	8 005	5 471
2000	4 137	5	0	17	141	10	63	2	49	442	131	1 115	1 335	546	104	297	19	8 413	5 745
2001	4 256	6	0	18	168	10	70	2	30	477	141	1 187	1 473	615	111	346	0	8 910	6 075
2002	4 652	10	0	19	172	10	73	1	24	506	151	1 234	1 641	667	115	393	0	9 668	6 593
2003	5 552	24	0	19	221	10	85	1	37	550	175	1 361	1 765	768	113	488	17	11 186	7 663
2004	6 093	14	6	22	268	34	199	3	32	657	192	1 489	2 177	866	105	528	22	12 707	8 827
2005	6 865	18	4	25	290	27	228	3	25	1 039	226	1 904	2 275	1 044	106	639	31	14 749	10 186
2006	7 683	15	4	144	287	25	306	3	141	1 135	232	1 993	2 243	923	131	830	174	16 269	11 338
2007	8 602	18	4	289	431	20	312	2	30	1 233	252	2 096	1 881	1 038	135	1 161	588	18 092	12 559
2008	9 028	18	5	323	425	24	328	6	28	1 305	269	2 213	1 539	1 092	128	1 184	680	18 595	12 927
2009	8 913	378	5	338	441	24	329	10	29	1 408	283	2 285	1 279	1 119	127	1 223	1 474	19 665	13 493
2010	10 310	815	5	246	472	38	117	11	25	1 595	297	2 420	924	1 089	129	397	1 251	20 141	13 785
2011	12 196	668	5	236	536	41	246	10	24	1 772	318	2 175	719	1 196	132	419	1 386	22 079	15 378
2012	11 600	737	1	233	530	38	318	66	23	1 846	358	2 244	621	1 090	118	313	1 404	21 540	15 093
碳排 放系 数	0.756	0.786	0.768	0.779	0.855	0.355	2.078	0.779	0.586	0.560	0.575	0.592	0.619	0.504	0.460	0.586	0.448		

注：分品种能源消费数据根据1996—2013年《中国能源统计年鉴》中的“广东省能源平衡表(实物量)”^[17-30]与各种能源的标准煤转换系数换算而来，能源统计种类限于燃烧产生CO₂排放的化石能源，且有个别品种的能源消费量较少，也被忽略。这里统计的是化石能源消费总量，不包括核电、水电、风电、太阳能、地热能等清洁能源的消费，因此与官方统计的能源消费总量不同。

为0.981 4。2000年以前,能源消费的增长与人口数量的增加关系较明显;而2001年以后,能源消费的增长受经济发展的影响较大。但是经济增长曲线与能源消费增长曲线的剪刀差也越来越大(图8)。

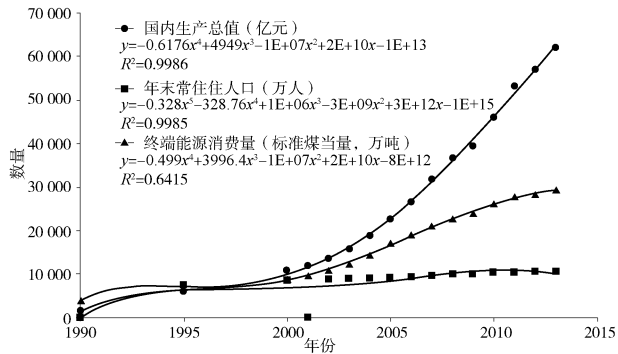


图8 广东省终端能源消费随人口和经济发展的变化
Fig. 8 End-use Energy Consumption Versus Population and Economic Output in Guangdong Province

这说明,随着经济结构的改善和能效的提高,经济发展对能源消耗的依赖也在逐步减弱。单位GDP的能耗(标准煤)已从2005年的0.79 t/万元下降到2013年的0.508 t/万元^[16],下降了35.7%。按照最近9年来的下降趋势(图9),单位GDP能耗(标准煤)水平有可能在2016年降到最低值(约0.43 t/万元),此后可能还有反弹。

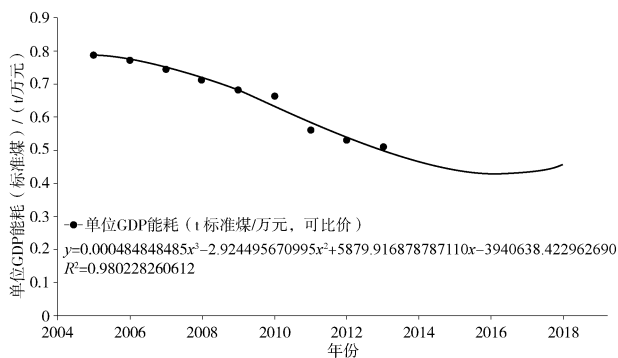


图9 广东省单位GDP能耗的变化趋势
Fig. 9 Unit GDP Energy Consumption in Guangdong Province

标准煤当量的碳排放系数是本文根据IPCC 2006年推荐的不同燃料类型C排放系数推算的结果。

随着人口年龄结构的逐步老化,生育率下降,死亡率上升,人口自然增长率必然呈下降趋势,未来人口增长给能源消费带来的压力会逐渐减少。但是,目前广东的经济发展水平(2013年为9 452美

元/人)与世界发达地区相比还有较大差距,加快经济发展的愿望仍然十分强烈,经济发展给能源消费增长带来的压力仍然较大。

可喜的是,随着新能源开发利用和能源生产技术的进步,能源结构不断改善,发电煤耗水平逐步下降,清洁能源所占的比例逐步增大,广东化石能源消费在终端能源消费中所占的比例已从2000年的92.65%下降到2012年的75.91%(图10)。虽然终端能源消费也保持较快的增长态势,但是能源消费排放的CO₂总量在2012年已经出现了小幅下降。

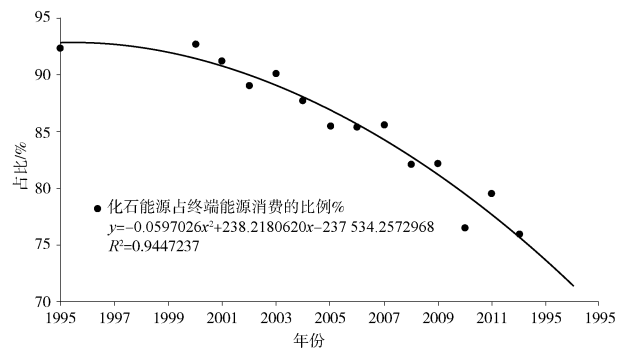


图10 广东省化石能源占终端能源消费的比例变化趋势
Fig. 10 Variation Trend of Fossil Fuel Shares of End-Use Energy Consumption in Guangdong Province

单位GDP CO₂排放量已经从1995年的2.753 t/万元下降到2012年的0.97 t/万元(表3)。与2005年的排放强度(1.656 t/万元)相比,2012年已下降了41.43%,广东省已提前8年实现了到2020年单位GDP CO₂排放要比2005年下降40%到45%的中国政府承诺目标。

4 广东能源消费与CO₂排放前景展望

随着计划生育观念的普及和人口受教育年限的提高以及人口年龄结构的老化,广东人口在2000—2010年期间的年均自然增长率已经下降到8.29‰,人口发展对能源消费和碳排放增长的压力已经越来越少。如今驱动广东能源消费和碳排放增长的主要动力来自对经济增长的追求。GDP增长曲线(图8)表明,广东的经济发展正处在快速增长阶段,2001—2013年的年均增速达11.9%,2013年的增长率为8.5%,2014年前3季的增长速度为7.6%,全年达到7.5%应该是很有可能的。今后一个时期的增速无疑会有所放缓,但是十三五时期保持6%以上的年均增速还是非常可能的。

表3 1995—2012年广东能源消耗与碳排放综合指标

Table 3 Synthetic Indicator for Energy Consumption and CO₂ Emission in Guangdong Province from 1995 to 2012

年份	国内生产总值/亿元	年末常住人口/万人	人均GDP/(美元/人)	终端能源消费量/10 ⁴ t (标准煤当量)	化石能源消费量/10 ⁴ t (标准煤当量)				化石能源占终端能源消费的比例/%	碳排放总量/10 ⁴ t	人均CO ₂ 排放量/(kg/人)	单位GDP CO ₂ 排放量/(t/万元)	单位GDP终端能耗(标准煤)/(t/万元)	单位GDP能耗(标准煤)/(t/万元, 可比价)	单位GDP能耗(标准煤)/(t/万元, 当年价)
					煤炭及衍生品	石油及其衍生品	天然气	合计							
1995	5 933.05	7 387.49	961.74	7 062.28	3 616	2 886	14	6 516	92.26	4 454.45	2 210.90	2.75	1.19		1.24
2000	10 741.25	8 650.03	1 500.00	9 080.20	4 375	4 019	19	8 413	92.65	5 745.27	2 435.37	1.96	0.85		0.88
2001	12 039.25	8 733.18	1 673.48	9 775.15	4 530	4 380	0	8 910	91.15	6 074.89	2 550.57	1.85	0.81		0.85
2002	13 502.42	8 842.08	1 856.38	10 861.67	4 937	4 731	0	9 668	89.01	6 592.94	2 733.99	1.79	0.80		0.84
2003	15 844.64	8 962.69	2 150.32	12 414.48	5 912	5 257	17	11 186	90.10	7 662.55	3 134.78	1.77	0.78		0.83
2004	18 864.62	9 110.66	2 522.12	14 490.46	6 639	6 046	22	12 707	87.69	8 826.73	3 552.40	1.72	0.77		0.81
2005	22 557.37	9 194.00	3 008.73	17 255.84	7 460	7 258	31	14 749	85.47	10 185.90	4 062.25	1.66	0.76	0.79	0.79
2006	26 587.76	9 442.07	3 579.32	19 058.60	8 467	7 628	174	16 269	85.36	11 338.14	4 402.97	1.56	0.72	0.77	0.74
2007	31 777.01	9 659.51	4 375.54	21 143.07	9 678	7 826	588	18 092	85.57	12 559.16	4 767.35	1.45	0.67	0.75	0.69
2008	36 796.71	9 893.48	5 419.35	22 671.76	10 157	7 758	680	18 595	82.02	12 926.51	4 790.75	1.29	0.62	0.72	0.64
2009	39 482.56	10 130.19	5 773.05	23 943.39	10 438	7 753	1 474	19 665	82.13	13 493.06	4 883.87	1.25	0.61	0.68	0.62
2010	46 013.06	10 440.94	6 608.40	26 344.84	12 014	6 876	1 251	20 141	76.45	13 785.16	4 841.10	1.10	0.57	0.66	0.59
2011	53 210.28	10 505.00	7 866.36	27 780.05	13 938	6 755	1 386	22 079	79.48	15 378.07	5 367.57	1.06	0.52	0.56	0.54
2012	57 067.92	10 594.00	8 569.58	28 377.06	13 522	6 614	1 404	21 540	75.91	15 093.13	5 223.85	0.97	0.50	0.53	0.51

注：能耗与社会经济统计数据引自2001—2013年《广东统计年鉴》^[3-16]，其中可比价的单位GDP能耗指标从2005年才开始统计。化石能源消费量根据表2计算。

2000—2010年期间，虽然广东人口的年均自然增长率只有8.29‰，但大量外来人口的涌入使得在此期间广东常住人口总量保持了较快的增长。2010年以来，随着我国流动人口往长江三角洲和京津地区的分流，广东常住人口数量的增长明显放缓，平均每年净增加的人口只有约70万人(图11)，少于自然增加的人口数，部分城市已出现外来人口回流的迹象。

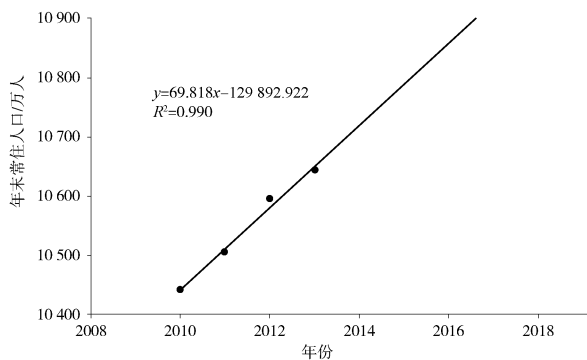


图11 2010年以来广东常住人口的 growth 趋势

Fig. 11 Permanent Resident Population Growth Trend in Guangdong Province Since 2010

基于对广东省人口和经济发展趋势的上述判断，按照目前经济活动的能耗水平和能源结构变动

趋势，估计到2016年单位GDP能耗(标准煤)水平下降到0.43 t/万元后将保持稳定或出现反弹，化石能源消费占终端能源消费的比例在2012年以后每年下降2.5个百分点左右，对“十三五”期间广东能源消费与CO₂排放情况进行情景分析(表4)。虽然“十三五”期间终端能源消费量仍将保持逐年增长态势，由2012年的 2.8377×10^8 t标准煤增加到2020年的 4.134×10^8 t标准煤，增加45.7%，但是，化石能源消费量在2015年以前会保持基本稳定，CO₂排放总量在2014年会出现一个低谷，但2015年以后仍将继续增长；人均CO₂排放量的低谷将出现在2016年。到2020年，广东CO₂排放总量将达到 1.6062×10^8 t碳当量，比2012年增加 9.69×10^6 t碳当量，广东人均CO₂排放量将达到5 287 kg/人，略高于2012年的5 224 kg/人。

根据对广东能源消费碳排放影响因素分解的研究^[31]，通过产业结构调整来降低单位GDP的CO₂排放强度还有一定潜力。如果在“十三五”期间加快第三产业发展，使单位GDP能耗水平在2016年以后继续保持下降趋势(表5)，则在同样的人口和经济发展规模条件下，“十三五”期间终端能源消费总量的增速会减慢，2020年只比2012年增加

732.1%,化石能源消费量将呈现逐年下降趋势,到2020年,化石能源消费总量(标准煤)将下降到 2.0962×10^8 t/年,比2012年下降2.7%;CO₂排放总量将由2012年的 1.5093×10^8 t/年下降到2020年的 1.4568×10^8 t/年,比2012年下降3.5%;人均CO₂排放量将由2012年的5 224 kg/人下降到2020年的4 795 kg/人,接近世界平均水平。

5 讨论和结论

对于广东能源消费碳排放量的估算,截止目前,可以查到4篇公开发表的文献^[31-34]。宋佩珊等^[32]、苟少梅等^[33]和秦翊等^[34]分别估算了1997—2007年、1990—2010年和1995—2010年等时段的广东能源消费碳排放量,但是这3篇文章只用插图的形式示意性展示了计算结果,没有发表具体数据。Wenxiu WANG等^[31]估算了1995—2009年的广东能源消费碳排放量,并发表了具体计算结果。对于可比年份的广东能源消费碳排放量,本文估算的结果比Wenxiu WANG等、苟少梅等和宋佩珊等的结果略高,低于秦翊等的估算结果。

2012年中国能源消费排放的CO₂已占世界总排放量的26.0%。世界人均排放CO₂ 4 510 kg,而中国人均排放量达到了6 093 kg。广东省2012年的人均CO₂排放量为5 224 kg/人,高于世界平均水平,低于全国平均水平。

从1995年到2012年,全省化石能源消费的CO₂排放量(碳当量)从 4.454×10^7 t增加到了 1.5093×10^8 t,期间排放量最高的2011年排放了 1.5378×10^8 t碳当量。随着国家节能减排工作的逐步推进,广东加快了淘汰落后产能和产业转型升级的步伐,单位GDP的能耗(标准煤)已从2005年的0.79 t/万元下降到2013年的0.508 t/万元,下降了35.7%。随着新能源的不断开发利用和低碳试点工作的推进,化石能源消费量占终端能源消费总量的比例已从2000年的92.65%下降到2012年的75.91%。能耗水平的降低和能源结构的改善,使得全省化石能源消费带来的CO₂排放量的增长势头得到抑制,2012年的排放量比2011年略有减少。

减少碳排放的途径主要有三个方面:一靠提高效率,降低能耗水平;二靠改善能源结构,降低化

表4 现行趋势情景下广东能源消费与CO₂排放趋势预测

Table 4 Outlook for Energy Consumption and CO₂ Emission in Guangdong Province Under the Current Trend Situation

年份	国内生产总值/亿元	年末常住人口/万人	终端能源消费量/10 ⁴ t(标准煤当量)	化石能源消费量/10 ⁴ t(标准煤当量)	碳排放总量/10 ⁴ t	人均CO ₂ 排放量/(kg/人)	单位GDP能耗(标准煤)/(t/万元)	化石能源占终端能源消费的比例/%
2012	57 067.92	10 594.00	28 377.06	21 539.76	15 093.13	5 223.85	0.53	75.91
2013	62 163.97	10 644.00	29 349.23	21 543.96	14 973.05	5 157.95	0.51	73.41
2014	66 826.27	10 720.53	30 339.13	21 512.12	14 950.92	5 113.56	0.45	70.91
2015	71 504.11	10 790.35	31 461.81	21 521.62	14 957.52	5 082.71	0.44	68.41
2016	76 151.87	10 860.17	32 745.31	21 580.97	14 998.77	5 063.96	0.43	65.91
2017	80 720.99	10 929.98	34 710.02	22 008.08	15 295.61	5 131.20	0.43	63.41
2018	85 564.24	10 999.80	36 792.63	22 408.75	15 574.08	5 191.45	0.43	60.91
2019	90 698.10	11 069.62	39 000.18	22 778.27	15 830.90	5 243.78	0.43	58.41
2020	96 139.99	11 139.44	41 340.19	23 111.46	16 062.46	5 287.13	0.43	55.91

表5 加快第三产业发展情景下广东能源消费与CO₂排放趋势预测

Table 5 Outlook for Energy Consumption and CO₂ Emission in Guangdong Province Under Situation Accelerating Tertiary Industry

年份	国内生产总值/亿元	年末常住人口/万人	终端能源消费量/10 ⁴ t(标准煤当量)	化石能源消费量/10 ⁴ t(标准煤当量)	碳排放总量/10 ⁴ t	人均CO ₂ 排放量/(kg/人)	单位GDP能耗(标准煤)/(t/万元)	化石能源占终端能源消费的比例/%
2012	57 067.92	10 594.00	28 377.06	21 539.76	15 093.13	5 223.85	0.53	75.91
2013	62 163.97	10 644.00	29 349.23	21 543.96	14 973.05	5 157.95	0.51	73.41
2014	66 826.27	10 720.53	30 339.13	21 512.12	14 950.92	5 113.56	0.45	70.91
2015	71 504.11	10 790.35	31 461.81	21 521.62	14 957.52	5 082.71	0.44	68.41
2016	76 151.87	10 860.17	32 745.31	21 580.97	14 998.77	5 063.96	0.43	65.91
2017	80 720.99	10 929.98	33 902.81	21 496.26	14 939.90	5 011.87	0.42	63.41
2018	85 564.24	10 999.80	35 081.34	21 366.48	14 849.70	4 949.99	0.41	60.91
2019	90 698.10	11 069.62	36 279.24	21 189.09	14 726.41	4 877.93	0.40	58.41
2020	96 139.99	11 139.44	37 494.59	20 961.55	14 568.28	4 795.31	0.39	55.91

石能源消费占终端能源消费的比重; 三靠调整产业结构, 提高第三产业在国民经济中所占的比重。从提高能效降低能耗水平看, 广东在淘汰落后产能、推进产业升级换代方面已作出了巨大的努力, “十二五”前三年累计关停 125 MW 以下的小火电机组 2.289 GW, 2013 年全省火电机组发电标煤耗已下降至 290 g/(kW·h)^②, 进一步挖潜的空间已经非常有限, 根据目前的发展趋势预测 2016 年单位 GDP 能耗(标准煤)下降到 0.43 t/万元以后很难继续下降。从改善能源结构, 降低化石能源消费占终端能源消费的比例看, 目前广东清洁能源项目建设步伐较快, 核电、风电、水电和太阳能、生物质能的开发利用都有可喜的发展, 尤其是核电建设的规模和运营的水平都有了巨大的进步, 使得化石能源消费占终端能源消费的比重出现了逐年下降。今后进一步减排的潜力在于经济结构的调整, 只有加快第三产业的发展, 降低加工制造业在国民经济中的比重才有可能继续降低单位 GDP 能耗水平并逐步降低 CO₂ 排放总量。

按目前发展趋势情景预测, 到 2020 年, 广东 CO₂ 排放总量(碳当量)将达到 1.606 2 × 10⁸ t, 比 2012 年增加 9.609 × 10⁶ t, 广东人均 CO₂ 排放量将达到 5 287 kg/人, 略高于 2012 年的 5 224 kg/人。

如果在“十三五”期间加快第三产业发展, 使单位 GDP 能耗水平在 2016 年以后继续保持下降趋势, 则到 2020 年, 全省化石能源消费总量(标准煤)将下降到 2.096 2 × 10⁸ t/年, 比 2012 年下降 2.7%; CO₂ 排放总量将由 2012 年的 1.509 3 × 10⁸ t/年下降到 2020 年的 1.456 8 × 10⁸ t/年, 比 2012 年下降 3.5%; 人均 CO₂ 排放量将由 2012 年的 5 224 kg/人下降到 2020 年的 4 795 kg/人, 接近世界平均水平。

参考文献:

- [1] International Energy Agency. 2014 Key World Energy Statistics [M]. Paris: Chirat, 2014.
- [2] 匡耀求, 欧阳婷萍, 邹毅, 等. 广东省碳源碳汇现状评估及增加碳汇潜力分析 [J]. 中国人口资源与环境, 2010, 20(12): 56-61.
KUANG Yaoqiu, OUYANG Tingping, ZOU yi, et al. Present Situation of Carbon Source and Sink and Potential for Increase of

Carbon Sink in Guangdong Province [J]. China Population Resources and Environment, 2010, 20(12): 56-61.

- [3] 广东省统计局. 广东统计年鉴 2001 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
Statistical Bureau of Guangdong Province. Guangdong Statistical Yearbook 2001 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001.
- [4] 广东省统计局. 广东统计年鉴 2002 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2002.
Statistical Bureau of Guangdong Province. Guangdong Statistical Yearbook 2002 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2002.
- [5] 广东省统计局. 广东统计年鉴 2003 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2003.
Statistical Bureau of Guangdong Province. Guangdong Statistical Yearbook 2003 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2003.
- [6] 广东省统计局. 广东统计年鉴 2004 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2004.
Statistical Bureau of Guangdong Province. Guangdong Statistical Yearbook 2004 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2004.
- [7] 广东省统计局. 广东统计年鉴 2005 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2005.
Statistical Bureau of Guangdong Province. Guangdong Statistical Yearbook 2005 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2005.
- [8] 广东省统计局. 广东统计年鉴 2006 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
Statistical Bureau of Guangdong Province. Guangdong Statistical Yearbook 2006 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2006.
- [9] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴 2007 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.
Statistical Bureau of Guangdong Province, Guangdong Survey Office of National Bureau of Statistics. Guangdong Statistical Yearbook 2007 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2007.
- [10] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队编. 广东统计年鉴 2008 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
Statistical Bureau of Guangdong Province, Guangdong Survey Office of National Bureau of Statistics. Guangdong Statistical Yearbook 2008 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [11] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队编. 广东统计年鉴 2009 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
Statistical Bureau of Guangdong Province, Guangdong Survey Office of National Bureau of Statistics. Guangdong Statistical Yearbook 2009 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2009.
- [12] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴 2010 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
Statistical Bureau of Guangdong Province, Guangdong Survey Office of National Bureau of Statistics. Guangdong Statistical Yearbook 2010 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2010.
- [13] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴 2011 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
Statistical Bureau of Guangdong Province, Guangdong Survey Office of National Bureau of Statistics. Guangdong Statistical Yearbook 2011 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2011.
- [14] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴 2012 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
Statistical Bureau of Guangdong Province, Guangdong Survey Office of National Bureau of Statistics. Guangdong Statistical Yearbook 2012 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2012.

② 雷辉. 《2013 年广东关停小火电机组 76.3 万千瓦》. 南方日报网络版, 2014-4-29. http://energy.southcn.com/e/2014-04/29/content_98629682.htm

- [15] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴 2013 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
Statistical Bureau of Guangdong Province, Guangdong Survey Office of National Bureau of Statistics. Guangdong Statistical Yearbook 2013 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.
- [16] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴 2014 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
Statistical Bureau of Guangdong Province, Guangdong Survey Office of National Bureau of Statistics. Guangdong Statistical Yearbook 2014 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2014.
- [17] 国家统计局工业交通统计司. 中国能源统计年鉴(1991—1996) [M]. 北京: 中国统计出版社, 1997.
Department of Industry and Transport Statistics of National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook (1991 - 1996) [M]. Beijing: China Statistics Press, 1997.
- [18] 国家统计局工业交通统计司. 中国能源统计年鉴(1997—1999) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
Department of Industry and Transport Statistics of National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook (1997—1999) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001.
- [19] 国家统计局工业交通统计司, 国家发展与改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴(2000—2002) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2004.
Department of Industry and Transport Statistics of National Bureau of Statistics, Energy Bureau of National Development and Reform Commission. China Energy Statistical Yearbook 2000—2002 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2004.
- [20] 国家统计局工业交通统计司, 国家发展与改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴 2003 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2004.
Department of Industry and Transport Statistics of National Bureau of Statistics, Energy Bureau of National Development and Reform Commission. China Energy Statistical Yearbook 2003 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2004.
- [21] 国家统计局工业交通统计司, 国家发展与改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴 2004 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2005.
Department of Industry and Transport Statistics of National Bureau of Statistics, Energy Bureau of National Development and Reform Commission. China Energy Statistical Yearbook 2004 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2005.
- [22] 国家统计局工业交通统计司, 国家发展与改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴 2005 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
Department of Industry and Transport Statistics of National Bureau of Statistics, Energy Bureau of National Development and Reform Commission, People's Republic of China. China Energy Statistical Yearbook 2005 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2006.
- [23] 国家统计局工业交通统计司, 国家发展与改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴 2006 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.
Department of Industry and Transport Statistics of National Bureau of Statistics, Energy Bureau of National Development and Reform Commission. China Energy Statistical Yearbook 2006 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2007.
- [24] 国家统计局工业交通统计司, 国家发展与改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴 2007 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
Department of Industry and Transport Statistics of National Bureau of Statistics, Energy Bureau of National Development and Reform Commission. China Energy Statistical Yearbook 2007 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [25] 国家统计局能源统计司, 国家能源局综合司. 中国能源统计年鉴 2008 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
Department of Industry and Transport Statistics of National Bureau of Statistics, Energy Bureau of National Development and Reform Commission. China Energy Statistical Yearbook 2008 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [26] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2009 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook 2009 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2010.
- [27] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2010 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook 2010 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2011.
- [28] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2011 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook 2011 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2011.
- [29] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2012 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook 2012 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2012.
- [30] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2013 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook 2013 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.
- [31] WANG Wenxiu, KUANG Yaoqiu, HUANG Ningsheng. Study on the Decomposition of Factors Affecting Energy-related Carbon Emissions in Guangdong Province, China [J]. Energies, 2011, 4(12): 2249 - 2272.
- [32] 宋佩珊, 计军平, 马晓明. 广东省能源消费碳排放增长的结构分解分析 [J]. 资源科学, 2012, 34(3): 551 - 558.
SONG Peishan, JI Junping, MA Xiaoming. Structural Decomposition Analysis on the Growth of Carbon Emission From Energy Consumption in Guangdong [J]. Resource Science, 2012, 34(3): 551 - 558.
- [33] 苟少梅, 王长建, 张利, 等. 1990—2010年广东省能源消费的碳排放驱动因素分析 [J]. 热带地理, 2012, 32(4): 389 - 394.
GOU Shaomei, WANG Changjian, ZHANG Li, et al. Variations and Influence factors of Carbon Emission of Primary Energy Consumption from 1990 to 2010 in Guangdong Province [J]. Tropical Geography, 2012, 32(4): 389 - 394.
- [34] 秦翊, 侯莉. 广东能源消费碳排放影响因素分解分析—基于LMDI方法 [J]. 科技管理研究, 2013(12): 224 - 227.
QIN Yi, HOU Li. Decomposition Analysis on CO₂ Emission from Energy Consumption in Guangdong Province Based on LMDI Method [J]. Science and Technology Management Research, 2013(12): 224 - 227.

(责任编辑 郑文棠)