

广西碳减排潜力及低碳发展策略

陈和平^{1,2}, 包存宽³

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 中国石油化工股份有限公司
上海石油化工研究院, 上海 201208; 3. 复旦大学 环境科学与工程系, 上海 200433)

摘要: 以广西 2005—2014 年的碳排放数据为基础, 采用对数平均 Divisia 分解法对经济发展、能源结构和能源效率等碳排放因素进行分解, 并分析了广西碳减排潜力。结果表明: 广西人均碳排放不断增长, 经济发展是主要驱动力, 但能源结构和能源效率对人均碳排放具有抑制作用; 广西碳减排潜力最大的是工业部门, 重点是高耗能行业。最后针对广西经济发展的特点和目标提出了优先排序和分阶段实施碳减排的低碳发展策略, 并从技术、管理、经济和能源结构以及制度等方面提出了减排措施。

关键词: 碳排放; 碳减排; 能源结构; 能源效率; 低碳发展
中图分类号: F206 **文献标志码:** A

Carbon-Reduction Potentiality and Development Strategy on Low-Carbon of Guangxi

CHEN Heping^{1,2}, BAO Cunquan³

(1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology, SINOPEC, Shanghai 201208, China; 3. Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Based on the carbon emission data during 2005—2014 of Guangxi, the logarithmic mean Divisia index method was adopted to decompose the carbon emission factors such as economic development, energy structure and efficiency, and the carbon reduction potentialities of Guangxi were analyzed. The results show that the per capita carbon emission of Guangxi increases, and the economic development is the main pulling force, while the energy structure and energy efficiency are the inhibitory forces. The great potentiality for carbon emission reduction is in the industry, especially in the energy-intensive industries. Finally, some suggestions on how to prioritize the carbon reduction targets in Guangxi and implement them stage by stage were proposed, and some measures for carbon emission reduction, such as technology,

management, economic structure and energy structure, low-carbon development construction system, and so on, were put forward.

Key words: carbon emission; carbon reduction; energy structure; energy efficiency; low-carbon development

气候变化给人类带来的灾难性影响已成为人类共同面对的一个非常重要的问题^[1-3], 而造成气候变化的一个重要原因就是碳排放和其他一些人为因素^[4]。目前国际上采取了一系列行动应对气候变化^[5-8], 中国也相继推出了适应气候变化和减缓气候变化的系列措施^[9-11]。2009 年中国提出了碳强度减排的目标, 2015 年中国又提出了总量减排的目标, 并在“十三五”规划中提出了总量减排和强度减排的“双控”要求。

中国要实现减排目标, 减缓气候变化, 就需要转变发展模式, 实现低碳发展^[12], 因此有必要研究碳排放的特点和影响因素。关于中国碳排放的研究较多^[13-14], 有的集中在碳排放对经济的影响^[15], 如区域碳排放与国民经济发展的关系^[16]、产业碳排放与经济发展的关系^[17]、工业整体碳排放与区域经济发展的关系或工业细分行业碳排放与工业经济发展的关系^[18], 还有的集中研究碳排放影响因素, 如城市化的影响^[19-20]、人口发展的影响^[21]、工程建设的影响^[22]、能源碳排放的影响^[23]以及能源结构的影响^[24]等。

中国要实现减排目标, 就要最终落实到具体区域的操作层面, 向地方和部门分解, 尤其是相对于经济发达地区而言的后发展地区及其工业领域, 如广西等西部欠发达地区以及高能耗行业等, 要通过省、市级等逐层分解实施。因此, 最终能不能完成减排目

收稿日期: 2016-07-26

基金项目: 国家自然科学基金(41271508)

第一作者: 陈和平(1975—), 女, 高级工程师, 博士生, 主要研究方向为环境管理与可持续发展。E-mail: chpwah@163.com

通讯作者: 包存宽(1971—), 男, 教授, 博士生导师, 理学博士, 主要研究方向为战略环境评价与生态规划。E-mail: baoock@fudan.edu.cn

标,能否实行低碳发展,要根据当地的实际情况分析其碳减排潜力,制定相应的减排目标和策略.广西作为中国的西部大省,属于后发展地区,在国家西部大开发的战略中具有重要地位.自从 2003 年中国与东盟建立战略伙伴关系后,广西作为中国对东盟开放合作的前沿和窗口,成为连接多区域的合作平台,从而提升了广西在中国区域经済中的战略地位和影响力,带动了以东盟为重点,包括泛北部湾经济合作等多区域合作的对外开放,其经济与社会加速发展,现在已处于工业化和城镇化快速发展的阶段.与其他省份相比,广西的经济比较落后,且以重化工业为主导产业,能源消耗和碳排放总量快速增加,而人均 GDP 和人均碳排放远低于全国平均水平.广西在发展过程中如何吸取发达地区的经验和教训,避免粗放型发展模式所导致的高能耗高排放以及对生态环境的破坏,实行低碳发展,对中国和广西自身的发展以及全球性气候变化的减缓都具有重要的意义.因此,以广西为例,对广西快速工业化发展时期的能源碳排放特点和影响因素进行研究,以期为广西制定强度减排和总量减排策略提供依据,并为与广西相似地区的低碳发展提供参考.

1 研究方法

1.1 碳排放的计算方法

估算能源消费碳排放的方法有美国橡树岭国家实验室(ORNL)方法、联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)方法等^[25].本文主要研究区域能源消费碳排放,属于宏观层面的研究,因此根据研究需要和实用性,采用 IPCC 方法,具体计算公式如下:

$$C = \sum_i E \frac{E_i}{E} \frac{C_i}{E_i} = \sum_i E S_i F_i \quad (1)$$

式中: C 为碳排放量; E 为一次能源消费总量; E_i 为能源 i 的消耗量; C_i 为能源 i 的碳排放量; S_i 为能源 i 占总能源消费的分数; F_i 为能源 i 的碳排放系数; i 为一次能源消费种类,包括煤炭、石油、天然气、水电和核能等.式(1)中碳排放系数采用国家发改委能源研究项目的一次能源碳排放系数,其中煤炭为 0.747 6,石油为 0.582 5,天然气为 0.443 5,水电、核电为 0^[26].

1.2 碳排放因素分解模型的选择

广西低碳发展与其能源结构、产业结构和能源效率息息相关.分析碳排放因素对探索当地的低碳发展路径具有非常重要的作用.常用的分解方法有结构因素分解(SDA)法和指数因素分解(IDA)法.指数因素分解法又分为 Laspeyres 指数分解法、

Paasche 指数分解法和对数平均 Divisia 分解(LMDI)法^[27].国内外关于 LMDI 方法的研究和应用较多,Ang^[28]对 LMDI 方法进行了归纳总结,根据方法、分解程序和综合指标 3 个维度的变化,形成了 8 个不同的 LMDI 模型.本文采用的 LMDI 模型如下所示^[29]:

$$C = \sum_i C_i = \sum_i \frac{C_i}{E_i} \frac{E_i}{E} \frac{E}{Y} \frac{Y}{P} = \sum_i F_i S_i I R P \quad (2)$$

式中: Y 为地区生产总值; P 为人口; I 为能源效率因素,表示单位 GDP 的能耗; R 为经济发展因素,即人均 GDP.人均碳排放

$$A = \frac{C}{P} = \sum_i F_i S_i I R \quad (3)$$

设 t 年相对于基础年的人均碳排放变化

$$\Delta A = A_t - A_0 = \sum_i S_{t,i} F_{t,i} I_t R_t - \sum_i S_{0,i} F_{0,i} I_0 R_0 = \Delta A_S + \Delta A_F + \Delta A_I + \Delta A_R + \Delta A_{rsd} \quad (4)$$

$$D = \frac{A_t}{A_0} = D_S D_F D_I D_R D_{rsd} \quad (5)$$

式中: ΔA_F 和 D_F 为能源碳排放强度因素; ΔA_S 和 D_S 为能源结构因素; ΔA_I 和 D_I 为能源效率因素; ΔA_R 和 D_R 为经济发展因素; ΔA_{rsd} 和 D_{rsd} 为分解余量.

按照 LMDI 方法进行分解,得到各个因素分解结果,具体计算过程参考文献^[27]. ΔA_{rsd} 和 D_{rsd} 计算结果为 0.由于能源的排放强度近似不变,所以 ΔA_F 为 0, D_F 为 1.

2 数据来源

选取广西 2005—2014 年的能源消费及结构等基础数据,具体见表 1(数据源于《广西统计年鉴》,文

表 1 广西 2005—2014 年的基础数据
Tab.1 Basic data of Guangxi during 2005—2014

年份	能源消耗 总量/ 万 t	各能源消耗占总能耗的 百分比/%				常住 人口/ 万	地区生产 总值/ 亿元
		煤炭	石油	天然气	水电及 其他		
2005	4 536.74	56.0	17.6	8.8	17.6	4 660	3 984.10
2006	5 022.95	53.7	17.2	9.3	19.8	4 719	4 746.16
2007	5 588.61	59.0	16.6	5.1	19.3	4 768	5 823.41
2008	6 054.22	56.1	16.1	1.2	26.6	4 816	7 021.00
2009	6 592.74	58.8	16.2	3.0	22.0	4 856	7 759.16
2010	7 379.23	53.9	16.6	10.3	19.2	4 610	9 569.85
2011	8 005.79	53.9	17.2	13.4	15.5	4 645	11 720.87
2012	8 530.55	53.4	16.5	11.7	18.4	4 682	13 035.10
2013	9 100.37	57.5	15.9	3.7	22.9	4 719	14 449.90
2014	9 515.34	52.8	16.7	4.8	25.7	4 754	15 672.89

中所涉及到的能源生产量和能耗等数据均是按照标准煤折算得到的)。

3 数据计算与结果分析

以 2005 年为基础年,计算广西的碳排放、人均碳排放和人均 GDP,然后采用 LMDI 方法分解碳排放影响因素,得到能源结构、能源效率和经济发展对人均碳排放的贡献值(ΔA_S 、 ΔA_I 和 ΔA_R)和贡献率(D_S 、 D_I 和 D_R),结果见图 1 和 2。从能源结构、能源效率和经济发展对人均碳排放的贡献值与贡献率的影响可以看出,经济发展是影响碳排放的重要因素,对人均碳排放具有非常强的拉动效应,而能源结构和能源效率对人均碳排放具有抑制作用,其中能源结构对人均碳排放的作用较小,能源效率对人均碳排放的抑制作用较强,且 3 种因素对人均碳排放的影响均呈增加趋势。

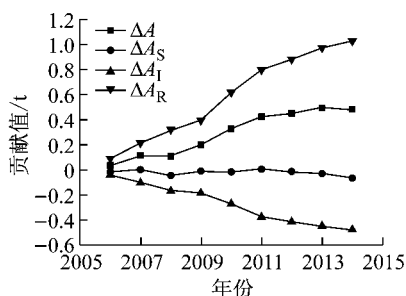


图 1 不同因素对人均碳排放的贡献值

Fig.1 Contribution of different factors to capita carbon emissions

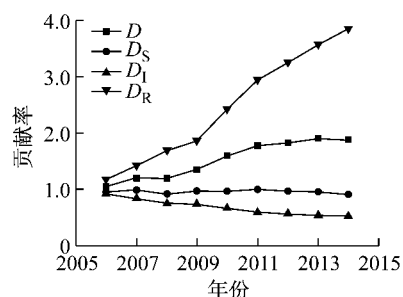


图 2 不同因素对人均碳排放的贡献率

Fig.2 Contribution rate of different factors to capita carbon emissions

3.1 经济发展对碳排放的影响

广西在 2005—2014 年间是经济快速发展的时期,经济发展对人均碳排放量的贡献值不断增加,且增长幅度较大。这是由于 2005—2014 年广西处于快速工业化阶段,其固定资产投资大,对钢铁、建材、石油化工等支柱性产业需求非常大。此外,广西这一时期的城镇化进程也在不断加速,城市化率不断提高,

城市人口不断增加,城市固定资产投资占到社会固定资产投资的 90% 左右,城市基础建设和发展对重化工产品需求旺盛,极大地促进了广西的经济发展。重化工领域大多数为高耗能行业,对能源的需求不断上升,其碳排放也不断增加,因此对人均碳排放具有强有力的拉动作用。要实行强度碳减排和总量碳减排,既要控制经济发展的规模,又要进行经济结构优化。

3.2 能源结构对碳排放的影响

一个地区的能源消费结构与其能源禀赋存在一定的关联,特别是与当地清洁能源生产力密切相关。能源禀赋是指当地所具有的能源种类和能源量,可用一次能源生产量和地区生产总值的比值(能源禀赋指数)来表征。广西的能源禀赋指数见表 3。从能源禀赋指数来看,有逐渐下降的趋势,这说明广西自产能源的速度跟不上经济发展对能源需求增长的速度。

表 2 广西的能源禀赋

Tab.2 Energy endowment in Guangxi

年份	能源生产 总量/ 万 t	各能源生产量/万 t			能源禀 赋指数/ (t· 万元 ⁻¹)	自产 能源 比/%	外调 能源 比/%
		原煤	原油	水电及 其他			
2006	1 359.27	288.54	4.84	1 065.88	0.29	27.06	72.94
2007	1 467.60	305.91	4.11	1 157.58	0.25	26.26	73.74
2008	1 926.42	191.30	4.09	1 730.91	0.27	31.82	68.18
2009	1 820.23	259.86	4.13	1 556.24	0.23	27.61	72.39
2010	1 951.85	428.48	3.84	1 519.53	0.20	26.45	73.55
2011	1 777.24	445.37	3.24	1 328.63	0.15	22.20	77.80
2012	2 129.80	440.96	3.27	1 685.57	0.16	24.97	75.03
2013	2 517.35	369.26	62.50	2 084.26	0.17	27.66	72.34
2014	2 869.84	341.29	83.86	2 444.69	0.18	30.16	69.84

从表 1 和 2 来看,在能源生产方面,原煤和原油生产量比较少,但比较平稳。水电与原煤和原油相比,量比较大,但波动也比较大,这主要是因为广西的水电受气候和季节等变化的影响,具有一定的波动性。就能源消耗方面来看,广西自给能源占总能源消耗的最高比例只有 32% 左右,远远不能满足省内经济发展的需要。对于能源缺口,主要是通过外购煤炭和石油以及少量的天然气进行弥补,而且煤炭的外购量远远多于石油的进口量,煤炭消耗占总能源消耗的 68% 以上,属于典型的高碳型能源结构。随着广西电力等清洁能源的不断发展,广西高碳型能源结构有所改善。结合广西的能源禀赋和能源消耗来看,由于广西自身能源严重不足,而外购能源又以煤为主,要改变其能源结构,就要大力发展自己的清洁能源,如水电、核电等,才可能从能源结构方面降低

碳排放强度。

3.3 能源效率对碳排放的影响

能源效率是指单位能源所带来的经济效益,是反映产业技术水平的一个方面。广西及其工业的能源利用效率见表 3。可以看出,广西的能源利用效率和工业部门的能源效率逐年提高,说明广西的生产技术水平在不断提高。这与“十一五”和“十二五”期间广西采取节能减排技术以及在旧锅炉改造等方面加大投入有关。能源效率提高,无论是对于降低碳排放总量还是碳排放强度都具有明显的作用,因此技术升级将是今后广西减排的一个重要措施。

表 3 广西 2006—2014 年能源效率

Tab.3 Energy efficiency of Guangxi during 2006—2014

年份	地区生产总值/ 亿元	工业增加值/ 亿元	能耗总量/ 万 t	工业能耗/ 万 t	能源效率/(元· t ⁻¹)	工业能源效率/ (元·t ⁻¹)
2006	4 746.16	1 592.33	5 022.95	3 967.74	9 449	4 013
2007	5 823.41	2 090.60	5 588.61	4 478.32	10 420	4 668
2008	7 021.00	2 625.85	6 054.22	4 801.50	11 597	5 469
2009	7 759.16	2 863.13	6 592.74	5 182.15	11 769	5 525
2010	9 569.85	3 856.65	7 379.23	5 760.80	12 969	6 695
2011	11 720.87	4 852.44	8 005.79	5 802.60	14 640	8 363
2012	13 035.10	5 279.26	8 530.55	6 131.77	15 280	8 610
2013	14 449.90	5 606.56	9 100.37	6 759.21	15 878	8 295
2014	15 672.89	6 065.41	9 515.34	6 848.42	16 471	8 857

4 广西碳减排潜力及低碳发展策略

根据广西能源消费碳排放因素分解及其分析可以看出,广西人均碳排放上升的主要驱动力是经济发展,广西作为后发展地区,要实现国家制定的强度减排和总量减排的目标,不能通过采用直接控制经济发展规模和速度来达到减排目标,而是需要根据广西经济发展水平和结构来制定相应的减排策略。

表 5 广西各产业产值比及其能耗比

Tab.5 The ratios of output and energy consumption of different industries

产业及其能耗比	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
第一产业	22.90	21.75	21.32	20.71	18.80	17.50	17.47	16.67	15.85	15.40
三产比例/%	37.92	39.58	41.65	43.27	43.58	47.14	48.42	47.93	46.58	46.74
第二产业	39.18	38.67	37.04	36.03	37.62	35.35	34.11	35.41	37.56	37.86
第三产业	31.75	33.55	35.90	37.40	36.90	40.30	41.40	40.50	38.80	38.70
工业增加值占比/%	73.66	71.95	72.98	73.90	73.23	72.75	72.48	71.88	74.27	71.97
工业能耗占比/%	2.12	2.01	2.00	1.55	1.53	2.02	1.62	1.58	2.10	2.30
第一产业能耗占比/%	0.73	0.89	0.72	0.48	0.51	0.47	0.51	0.50	0.51	0.53
建筑业能耗占比/%	23.49	25.15	24.30	24.06	24.73	24.76	25.38	26.04	23.11	25.20
第三产业能耗占比/%	4 536.74	5 514.68	6 136.68	6 497.05	7 076.64	7 918.97	8 591.36	9 154.52	9 100.37	9 515.35
总能耗/万 t	96.18	111.01	122.59	100.72	108.61	160.23	139.43	144.58	191.27	218.38
第一产业能耗/万 t	3 341.76	3 967.74	4 478.32	4 801.50	5 182.15	5 760.80	6 227.22	6 580.70	6 759.21	6 848.42
工业能耗/万 t	33.12	49.13	44.46	31.46	35.90	37.14	44.17	45.50	46.47	50.54
建筑业能耗/万 t	1 065.68	1 386.80	1 491.31	1 563.37	1 749.98	1 960.80	2 180.54	2 383.74	2 103.42	2 398.01
第三产业能耗/万 t										

4.1 广西与全国经济发展的对比分析

对比分析广西和全国的碳排放强度、人均 GDP 和人均碳排放,结果见表 4。从表 4 可以看出,广西碳排放强度比全国碳排放强度低。其中一个重要的原因是广西的非化石能源在一次能源消耗中的百分比远高于全国平均水平;另外一个原因是广西属于后发展地区,在发展过程中会吸取发达地区的经验和教训,采用先进的生产技术和管理办法,其能源效率高于全国平均水平。从广西的人均 GDP 和人均碳排放水平来看,与全国平均水平相比,差距还很大,作为后发展地区的广西,在地区经济还不够发达和人们生活水平相对较低的情况下,既要发展经济,又要面对减排,压力很大,因此选择合适的经济发展模式尤为重要。

表 4 广西和全国碳排放和人均 GDP 的比较

Tab.4 Comparison of carbon emissions and capita GDP of Guangxi and China

年份	碳排放强度/ (t·万元 ⁻¹)		人均 GDP/ 元		人均碳排放/ (t·人 ⁻¹)	
	全国	广西	全国	广西	全国	广西
2005	0.922	0.638	14 217	8 550	1.310	0.545
2006	0.862	0.575	16 558	10 058	1.428	0.578
2007	0.760	0.538	20 285	12 214	1.542	0.657
2008	0.655	0.447	23 851	14 578	1.562	0.652
2009	0.629	0.465	25 900	15 979	1.628	0.743
2010	0.561	0.421	30 494	20 759	1.712	0.873
2011	0.514	0.384	35 932	25 233	1.847	0.970
2012	0.476	0.358	39 447	27 841	1.878	0.997
2013	0.445	0.339	43 214	30 621	1.921	1.039
2014	0.414	0.312	46 507	32 968	1.926	1.027

4.2 广西产业结构分析

广西三产的产值比及能耗比见表 5。从表 5 可以看出:广西经济发展处于工业化中期,第二产业的百分比不断上升;在各产业中,工业能耗逐年增加,而

且增加趋势明显,第三产业和第二产业能耗较少,且增长幅度小;广西工业增加值占地区生产总值的31%~42%,而工业能耗占总能耗的70%~80%,表明广西工业碳排放强度远高于广西总碳排放强度。总的来说,广西的工业能耗高,且高能耗和高碳排放行业主要集中在工业部门,广西要实现减排,工业部门是重点。

4.3 广西工业产值与能耗分析

广西工业分为三类:采矿业,制造业,电力、燃气与水的生产和供应业。工业及其各行业的产值和能耗强度比较见图3和4。从图3可看出,制造业是工业的主要行业,其变化决定了工业总产值的变化。制造业产值在2009年之后呈线性增长,主要是进入工业化中期后,制造业成为支柱性产业,发展极为迅速。从图4可看出,工业总能耗强度呈逐年下降趋势,其中采矿业和制造业的能耗强度也逐年下降,而电力、燃气与水的生产和供应业的能耗强度略微增加。此外,制造业能耗强度高于工业总能耗强度,采矿业能耗强度远低于工业总能耗强度,电力、燃气与水的生产和供应业的能耗强度起初远低于制造业和采矿业,后来逐渐增加,这与广西大力发展了火力发电有关。总的来说,制造业是能源消耗的主体,碳减排要从制造业着手。

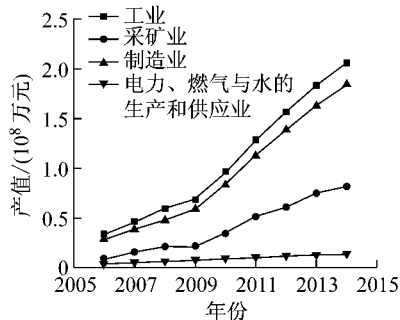


图3 工业及其各行业的产值

Fig.3 Output of different industries

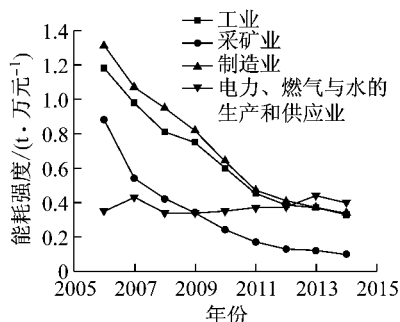


图4 工业及其各行业的能耗强度

Fig.4 Energy intensity of different industries

4.4 广西高耗能行业耗能分析

虽然高耗能行业的概念应用很广泛,但国内对高耗能行业的划分标准和分类没有明确的说法。李洁等^[30]借鉴其他国家对高耗能行业的划分方法,对中国工业行业按照能源强度的高低进行分类,认为高耗能行业包括煤炭开采和洗选业,黑色金属矿采选业,非金属矿采选业,造纸及纸制品业,化学纤维制造业,有色金属冶炼及压延加工业,工艺品及其他制造业,电力、热力的生产和供应业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,化学原料及化学制品制造业,非金属矿物制品业及黑色金属冶炼和压延加工业,共12个行业。其中,石油加工、炼焦及核燃料加工业,化学原料及化学制品制造业,非金属矿物制品业,黑色金属冶炼及压延加工业又是高耗能行业中影响最大的4个行业。

借鉴上述分类方法对广西的行业进行分类,其高耗能行业的耗能量和耗能比分别见图5和6。

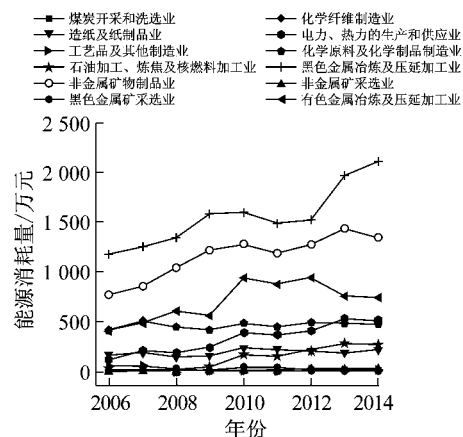


图5 广西高耗能行业的耗能量

Fig.5 Energy consumption of high energy-consuming industries in Guangxi

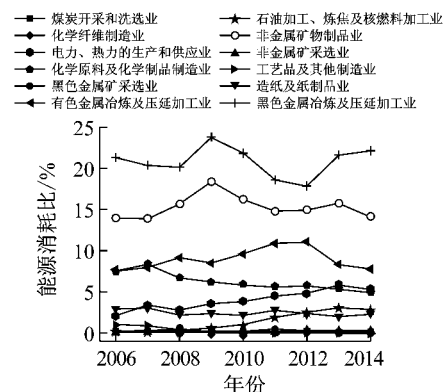


图6 广西高耗能行业的耗能比

Fig.6 Energy consumption ratio of high energy-consuming industries in Guangxi

从图5和6可以看出:广西高耗能行业的耗能

量逐渐增加,在最近两年有增长减缓或逐渐下降的趋势,有的高能耗行业所占的百分比很高(占到总能耗的20%以上),有的却很低(只有0.13%左右)。这说明部分行业虽然是高能耗行业,但并不是广西的主营行业。从2006年到2014年的能耗来看,12种高耗能行业的能耗比占了总能耗的55%以上,其中石油加工、炼焦及核燃料加工业,化学原料及化学制品制造业,非金属矿物制品业,黑色金属冶炼及压延加工业四大高耗能行业的能耗就占到了总能耗的40%以上。从变化趋势来看,工业及其高耗能行业的能耗比呈轻微下降趋势,这也说明工业重点行业能耗增长速度有所减缓。

4.5 碳减排建议

由于广西是后发展地区,总体经济发展比较落后,人均GDP和人均碳排放量都远远低于全国平均水平,而国家目前对强度减排和总量减排没有制定出和污染物一样的浓度指标和总量指标,因此不能采取一刀切的做法限定广西的强度减排指标和总量减排指标,否则会影响广西经济正常发展和人们生活水平的提高,造成区域间不公平和矛盾。广西处于工业化和城镇化快速发展的阶段,是广西发展难以逾越的阶段,重化工业是能源消耗和碳排放的主体,尽管广西碳排放强度低于全国平均水平,也不能因此而不采取碳减排措施,其碳排放强度和总量排放强度可以参考先进地区和发达国家的水平,因地制宜地实施碳减排及其低碳发展策略。根据广西目前发展阶段的特点,结合广西碳排放因素、产业结构、工业及其各行业的能耗特点和碳减排潜力,建议按照优先排序的方法,分阶段实施减排目标,具体如下:

首先,广西要以工业中高耗能行业为主,强度减排为重点,采用技术减排和管理减排的措施,淘汰落后技术和产值低的行业,控制碳排放强度,同时限制高耗能行业的发展规模,控制碳排放总量,从而达到强度减排和总量减排的“双控”。

由于广西处于工业化中期,重化工是发展重点,有些高能耗产业是支柱性产业,也是碳减排潜力最大的产业。目前通过产业转移和工业结构调整来实现碳减排不现实,所以重点是在高耗能行业通过技术升级和技术改造,降低其能耗强度和碳排放强度,同时根据其产能和市场的实际需求,适当控制发展规模或减少发展规模,从而实现总量减排。

对于石油化工和冶金等高能耗高产值的行业,首先从技术减排着手,重点引进、开发和利用节能技

术与新工艺以及能源综合利用技术,提高生产效率和能源利用率,降低能耗强度,同时调整产业规模,降低碳排放总量;对于低能耗高产值行业,技术工程减排空间非常小,要降低碳排放强度,主要是从管理入手,实行监管减排;对于高能耗低产值行业,由于广西这类行业大多数和人们的衣食住行相关,企业门槛低,产值不高,企业数量较多,规模较小,这类行业主要通过强度减排实现低碳发展,降低碳排放总量,如采用先进的生产技术和工艺,提高生产效率和能源利用率,实行工程技术减排和管理减排;对于低能耗低产值行业,可以考虑适当合并某些有发展潜力的小企业,增加规模效应,促进当地经济发展,也可以关停那些资源浪费严重,技术落后,质量低劣,污染严重的小煤矿、小炼油、小水泥、小玻璃、小火电等企业,优化工业发展规模。广西低产值低能耗行业很多,所以这一部分将是调控的重点。

其次,在广西工业经济发展到一定程度后,特别是进入工业化后期,转为以经济结构减排为主。广西第一产业和第三产业产值占比低,平均碳排放强度也低,因此根据发展需要,重点通过提高第三产业的比重,降低第二产业的比重,优化三产结构,同时以第二产为重点,优化各产业内部结构,在实现经济总目标的同时控制碳排放总量。

由于产业的本质特征决定了其最终的能耗和碳排放强度,所以技术减排和管理减排的空间毕竟有限。广西未来经过快速的工业化发展后,势必会进入后工业化时代。从目前的发展形势来看,工业迅猛发展的势头有所减缓,所以调整产业结构,提高第三产的比例,既是强度减排的最佳途径,也是总量减排目标实现的关键。然而,广西目前还处在工业化中期,工业是广西的主要经济支柱,在短期内大力发展第三产业,降低第二产业比重,提高第三产业比重,是不现实的。因此,可以从优化工业结构入手,特别是制造业,其低产值高能耗行业和高产值高能耗行业均有较大的调整空间。

再次,要发展清洁能源和提高能源利用效率,优化能源结构。要进一步发展水电和核能等清洁能源,提高非化石能源在一次能源消耗中的比例,促进能源低碳化,同时加强管理,促进碳强度减排和总量减排。

由于能源消耗是碳排放之源,提高清洁能源的比例无疑是降低碳排放强度和总量的最佳途径。广西“缺油少气”,能源对外依存度很高,而外购能源主要是以煤为主,属于高碳型能源,所以要实行能源升

级,还是要依靠广西自己开发.广西水电等清洁能源消耗已经占总能源的20%左右,未来的开发潜力不是很大,同时也要避免水电过度开发导致生态环境恶化,因此要发展其他清洁能源.太阳能、核能、风能和生物质能等的开发和利用具有很多不确定性,所以要实现碳减排的双重目标,依靠能源减排会有一些的作用,但作用不会太大,所以节能减排是关键.

最后,要加强制度建设,引导和促进清洁生产、循环经济、碳汇及碳利用等.主要是通过制度来引导低碳生产和生活方式,减少能源需求,同时通过制度促进碳汇建设,鼓励固碳行为或开发碳利用和封存技术等.

加强制度建设,形成各部门和各企业协同减排机制:一方面要加大工业园区建设,通过提高工业集中度来促进各企业集中供热和废物处理等,节约能源,降低碳排放,促进工业低碳发展;另一方面要开展清洁生产和社会、园区和企业等不同层面的循环经济,并充分利用信息化管理,通过信息化和工各行业融合,促进管理节能减碳和各行业协同减排.

此外,在工业发展过程中,有些碳排放是不可避免的,因此需要通过制定相关制度来引导低碳生产和生活方式,并引导和鼓励碳汇建设,尤其要阻止蚕食和破坏湿地与森林的行为,保护好沼泽湿地,增大森林覆盖率.

5 结论与展望

(1)广西经济发展是其人均碳排放的主要驱动力,而能源结构和能源效率对人均碳排放具有抑制作用.

(2)广西属于后发展地区,其人均GDP和人均碳排放远低于全国平均水平,尽管其能源效率和非化石能源消耗占比高于全国平均水平,但煤炭和石油消耗不断增加,因而碳排放总量减排任重道远.由于广西工业仍然是广西经济发展的主体,而高耗能行业主要集中在其工业部门,因此工业部门是碳减排的重点,高耗能行业是重中之重.

(3)鉴于广西目前处于工业化中期,经济比较落后,在具体实施过程中,根据经济发展不同阶段的特点和目标,建议采取优先排序和分阶段实施的低碳发展策略以及多种措施灵活组合的减排方法.首先,以工业中高耗能行业为主,强度减排为重点,采用技术减排和管理减排的措施控制碳排放强度,同时限制高耗能行业的发展规模,控制碳排放总量,从而达

到强度减排和总量减排的“双控”;其次,在广西工业经济发展到一定程度后,优化产业结构,以经济结构减排为主,同时优化能源结构,在保护生态环境和控制环境风险的前提下进一步开发水电资源和核能等清洁能源;最后通过制度约束和引导,加强碳汇建设,保护沼泽地,加强林地建设等.

广西作为东盟对外合作的前沿阵地和西部大开发的重点地区,其发展对于国家和地区都具有重要的意义,但在经济快速发展的同时要如何实施环境大保护,如何采取积极的行动应对气候变化,也责无旁贷.根据广西的实际特点,研究如何“因地制宜、因时制宜”制定和实施减排目标,一方面能为广西实现碳强度减排和总量减排“双控”提供具体的决策建议,另一方面能为那些类似广西经济发展比较落后,而碳排放强度和碳排放总量而又远低于国家平均水平的地区实施低碳发展提供参考.

参考文献:

- [1] KOURGIALAS N N, KARATZAS P G. A flood risk decision making approach for Mediterranean tree crops using GIS: climate change effects and flood-tolerant species [J]. *Environmental Science & Policy*, 2016, 63: 132.
- [2] TAMBO A J. Adaptation and resilience to climate change and variability in north-east Ghana [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2016, 17: 85.
- [3] MASSAD J T, CASTIGO T. Investigating possible effects of climate change on tree recruitment: responses of abundant species to water stress in Gorongosa National Park [J]. *South African Journal of Botany*, 2016, 106: 96.
- [4] Working Groups I, II and III of the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 2014: synthesis report* [R]. Geneva: IPCC, 2014.
- [5] PAQUIN D, DE ELÍA R, BLEAU S, *et al.* A multiple timescales approach to assess urgency in adaptation to climate change with an application to the tourism industry [J]. *Environmental Science & Policy*, 2016, 63: 143.
- [6] ELRICK-BARR E C, SMITH F T, PRESTON L B, *et al.* How are coastal households responding to climate change? [J]. *Environmental Science & Policy*, 2016, 63: 177.
- [7] LUO Qunying, BANGE M, BRAUNACK M, *et al.* Effectiveness of agronomic practices in dealing with climate change impacts in the Australian cotton industry: simulation study [J]. *Agricultural Systems*, 2016, 147: 1.
- [8] OGIER M, E, DAVIDSON J, FIDELAMN P, *et al.* Fisheries management approaches as platforms for climate change adaptation: comparing theory and practice in Australian fisheries [J]. *Marine Policy*, 2016, 71: 82.
- [9] 赖睿. 中国积极应对气候变化 [N]. 人民日报海外版, 2008-10-30.
- LAI Rui. China actively responded to climate change [N].

- People's Daily(Overseas Edition), 2008-10-30.
- [10] 王钰. 林业十大行动增汇减排应对气候变化[N]. 中国绿色时报, 2015-09-04.
WANG Yu. Ten actions for carbon sink and carbon reduction in forestry to address climate change[N]. China Green Times, 2015-09-04.
- [11] 杜祥琬. 应对气候变化的两个基本问题: 应对气候变化战略的科学性及对中国发展的意义[J]. 地球科学进展, 2014, 29(4): 438.
DU Xiangwan. Two basic issues on tackling climate change: the scientificity of strategy addressing climate change and its significance for China's development[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(4): 438.
- [12] 刘蔚如. 低碳发展是全球应对气候变化重要举措[N]. 中国社会科学报, 2011-04-07.
LIU Weiru. Low-carbon development is an important measurement to address global climate change[N]. Social Sciences in China, 2011-04-07.
- [13] 陈诗一. 中国碳排放强度的波动下降模式及经济解释[J]. 世界经济, 2011(4): 124.
CHEN Shiyi. The mode of fluctuation of carbon emission intensity and its economic explanation in China[J]. World Economy, 2011(4): 124.
- [14] 鲁万波, 仇婷婷, 杜磊. 中国不同经济增长阶段碳排放影响因素研究[J]. 经济研究, 2013(4): 106.
LU Wanbo, QIU Tingting, DU Lei. A study on influence factors of carbon emissions under different economic growth stages in China[J]. Economica Research Journal, 2013(4): 106.
- [15] 王锋, 吴丽华, 杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J]. 经济研究, 2010(2): 123.
WANG Feng, WU Lihua, YANG Chao. Driving factors for growth of carbon dioxide emissions during economic development in China[J]. Economica Research Journal, 2010(2): 123.
- [16] 叶懿安, 朱继业, 李升峰, 等. 长三角城市工业碳排放及其经济增长关联性分析[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(3): 257.
YE Yian, ZHU Jiye, LI Shengfeng, *et al.* Correlation analysis of industrial carbon emissions and ecologic growth in the Yangtze River Delta[J]. Resource and Environment in Yangtze Basin, 2013, 22(3): 257.
- [17] 李健, 周慧. 中国碳排放强度与产业结构的关联分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(1): 7.
LI Jian, ZHOU Hui. Correlation analysis of carbon emission intensity and industrial structure in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(1): 7.
- [18] 朱俏俏, 孙慧, 王士轩. 中国资源型产业及制造业碳排放与工业经济发展的关系[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(11): 112.
ZHU Qiaoqiao, SUN Hui, WANG Shixuan. Research on the relationship between carbon emission of Chinese resource-based industry & manufacturing industry and development of Chinese industrial economy[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(11): 112.
- [19] XU Hengzhou, ZHANG Wenjing. The causal relationship between carbon emissions and land urbanization quality: a panel data analysis for Chinese provinces[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 137(20): 241.
- [20] WU Yuzhe, SHEN Jiahui, ZHANG Xiaoling, *et al.* The impact of urbanization on carbon emissions in developing countries: a Chinese study based on the U-Kaya method[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 135(1): 589.
- [21] ZHANG Chuanguo, TAN Zheng. The relationships between population factors and China's carbon emissions: does population aging matter? [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 65(12): 1018.
- [22] LI Lijuan, CHEN Kanghai. Quantitative assessment of carbon dioxide emissions in construction projects: a case study in Shenzhen[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 141(10): 394.
- [23] WANG Changjian, WANG Fei, ZHANG Xinlin, *et al.* Examining the driving factors of energy related carbon emission using the extended STIRPAT model based on IPAT identity in Xinjiang[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 67(1): 51.
- [24] ZHENG Wang, ZHU Yanshuo, ZHU Yongbin, *et al.* Energy structure change and carbon emission trends in China[J]. Energy, 2016, 115(15): 369.
- [25] 徐鹤, 白宏涛, 吴婧. 气候变化新视角下的中国战略环境评价[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
XU He, BAI Hongtao, WU Jing. Integrating the climate change issue into strategic environmental assessment in China[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [26] 中国可持续发展能源暨碳排放情景分析课题组. 中国可持续发展能源暨碳排放情景分析[R]. 北京: 国家发改委能源研究所, 2003.
The Research Group for Scenario Analysis of Sustainable Energy and Carbon Emission in China. Scenario analysis of sustainable energy and carbon emission in China[R]. Beijing: Energy Research Institute of National Development and Reform Commission, 2003.
- [27] 邓晓. 基于LMDI方法的碳排放的因素分解模型及实证研究: 以湖北省为例[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
DENG Xiao. Decomposition model and empirical study of carbon emission based on LMDI technique: take Hubei Province as an example[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2009.
- [28] ANG B W. LMDI decomposition approach: a guide for implementation[J]. Energy Policy, 2015, 86: 233.
- [29] ANG B W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide[J]. Energy Policy, 2005, 33(7): 867.
- [30] 李洁, 王波, 彭定洪. 中国能源强度与经济结构关系的数量研究[M]. 成都: 西南财经大学出版社, 2014.
LI Jie, WANG Bo, PENG Dinghong. Quantity study on relationship of energy intensity and economic structure of China[M]. Chengdu: Southwestern University of Finance and Economics Press, 2014.