

武汉市碳排放的测算及影响因素分解研究

田云^{1a,b}, 李波², 张俊飏^{1a,b}

(1. 华中农业大学 a. 湖北农村发展研究中心; b. 经济管理学院, 武汉 430070; 2. 中南民族大学 经济学院, 武汉 430074)

摘要: 研究基于 14 个主要方面碳源, 测算了武汉市 1996—2009 年碳排放量。发现自 1996 年以来武汉市碳排放呈现“平稳—上升—平稳”的三阶段特征。进一步基于 LMDI 模型分解碳排放的影响因素, 结果表明, 能源结构、能源效率因素对碳排放量具有一定抑制作用, 但效果不够显著且波动性较强, 1997—2009 年与基期相比, 能源结构、能源效率因素分别累计实现了 0.95%, 11.30% 的碳减排; 而经济因素与人口规模因素则对碳排放具有较强推动作用, 分别累计产生了 64.65%, 19.65% 的碳增量。最后, 据此提出推进武汉市碳减排的对策建议。

关键词: 碳排放; 因素分解; LMDI 模型; 武汉市
中图分类号: F127.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-2363(2011)05-0088-05

0 引言

进入工业革命尤其是 20 世纪以后, 全球气候呈现较为明显的变暖趋势, 其中, 仅 20 世纪全球平均气温就上升了 0.72℃^[1]。碳排放量不断增加是引起全球气候变暖的最重要因素^[2], 人类活动, 尤其是对煤、石油、天然气等化石燃料的无节制使用, 使得大气中 CO₂ 浓度持续升高, 对全球气候变暖产生了显著影响^[3]。鉴于当前全球碳减排压力巨大, 运用经济学方法, 探寻碳排放特征及影响因素, 进而有针对性地提出碳减排对策, 已成为众多国内外学者研究的重点。其主流方法是运用各种因素分解法对年度时间序列碳排放数据进行分析。目前, 比较有代表性的成果包括: 徐国泉等采用 Divisia 指数分解法分析了 1995—2004 年中国人均碳排放的影响因素^[4]。宋德勇、卢忠宝运用“两阶段”迪氏因素分解法对我国 1990—2005 年与能源消费相关的 CO₂ 排放的相关因素进行了较为完整的分解, 结果表明我国能源产生的 CO₂ 主要受产出规模和能源强度影响^[5]。孙志威、廖红英、宋雨燕运用对数迪氏指数 (LMDI) 法对天津市能源消费碳排放量进行了分解, 研究表明当前天津市能源消费碳排放量变化仍主要取决于经济因素和能源强度之间的相互制约关系^[6]。

我国已确定 2020 年单位国内生产总值二氧化碳碳排放较 2005 年降低 40% ~ 45% 的减排目标。对此, 全国各地区、各产业应积极予以落实, 切实加大减排力度。而作为华中地区中心城市、湖北经济发展龙头城市以及国家“两型社会”综合配套改革试验区, 武汉市理应加快

实施碳减排的步伐, 力争成为地区低碳经济发展的引领者。鉴于此, 基于时间、产业角度, 科学定量测算武汉市碳排放, 准确把握其历史演变规律、结构特征以及驱动因素, 对武汉市环境工作开展以及有效制定碳减排政策无疑具有重要的理论与实践意义。

1 研究方法及数据来源

1.1 碳排放量估算方法

目前, 关于碳排放测算的方法主要分为两类: 一类以煤、石油、天然气等能源为切入点, 选取所对应碳排放系数, 测算一个国家或地区的碳排放总量, 二、三产业碳排放量或者能源碳排放量; 另一类则以化肥、农药、农膜等农资投入为切入点^[7], 测算一个国家或地区农地利用活动或者农业活动所导致的碳排放量。上述方法简单易行, 且具备较强说服力, 因而得以广泛运用。但是, 二者也都具有一定局限性, 即不能全面反映一个地区总体碳排放情况。鉴于此, 本研究将综合考虑能源消耗与农资投入情况, 力求全面对武汉市碳排放情况进行测算。结合实际, 认为武汉市碳排放主要源于两方面: 一是二、三产业能源消耗所导致的碳排放, 主要源自化石燃料, 包括原煤、洗精煤、焦炭、原油、燃料油、汽油、柴油、煤油、炼厂干气、液化石油气、焦炉煤气等; 二是农业活动所导致的碳排放。由于武汉市以种植业、渔业为主, 农业碳排放主要源自化肥、农药、农膜、农用柴油等农用物质。据此, 构建武汉市碳排放公式如下

$$E = \sum E_i = \sum T_i \cdot \delta_i$$

式中: E 为碳排放总量; E_i 为各种碳源的碳排放量; T_i 为各碳排放源的量; δ_i 为各碳排放源的碳排放系数。各种碳源碳排放系数如表 1 所示。

1.2 碳排放影响因素分解方法

采用 Ang 等 (1998) 提出的对数平均 D 式指数分解法 (logarithmic mean divisia index) 对武汉市碳排放进行

收稿日期: 2011-03-10; 修回日期: 2011-06-16
基金项目: 国家社会科学基金项目 (07BJY043); 华中农业大学自主创新基金项目 (2010SC18); 湖北省软科学项目 (2010DEA005-2)
作者简介: 田云 (1986-), 男, 湖北宜昌人, 博士研究生, 主要从事资源与环境经济研究, (E-mail) tianyun1986@163.com。

表 1 各种碳源碳排放系数

Tab.1 The emission coefficient of carbon sources					
碳源	碳排放系数	碳源	碳排放系数	碳源	碳排放系数
化肥	0.895 6	洗精煤	0.755 9	煤油	0.571 4
农药	4.934 1	焦炭	0.855 0	炼厂干气	0.460 2
农膜	5.180 0	原油	0.585 7	液化石油气	0.504 2
柴油	0.592 7	燃料油	0.618 5	焦炉煤气	0.354 8
煤炭	0.755 9	汽油	0.553 8	—	—

说明:化肥、农药碳排放系数出自美国橡树岭国家实验室,农膜碳排放系数出自 IREEA①,其他碳源碳排放系数均出自 IPCC②。

因素分解。LMDI 方法满足因素可逆,能消除残差项,克服了用其他方法分解后存在残差项或对残差项分解不当的缺点,使模型更具说服力^[8]。同时,在 LMDI 方法中,分部门效应加总与总效应保持一致,即不同的分部门效应总和与各个部门作用于总体水平上获得的总效应相一致,这一点在多层次分析中十分有用。

遵循 LMDI 分析框架,根据已有文献成果,并结合碳排放实际情况,碳排放总量可采用以下基本公式表示

$$C = \frac{C}{E} \times \frac{E}{GDP} \times \frac{GDP}{P} \times P;$$
$$EI = \frac{C}{E}; CI = \frac{E}{GDP}; SI = \frac{GDP}{P}。$$

式中: C, E, GDP, P 分别表示武汉市碳排放量、能源消耗总量、国内生产总值和人口总量。 EI, CI, SI 分别为能源结构因素、能源效率因素和经济水平因素。LMDI 方法采用“乘积分解”和“加和分解”两种方法进行分解,两种方法最终分解结果是一致的。对上述公式所示模型,设基期碳排放总量为 C^0 , T 期总量为 C^t , 用下标 tot 表示总的变化。采用加和分解,将差分分解为

表 2 1996—2009 年武汉市碳排放量情况

Tab.2 The amount of carbon emission in Wuhan from 1996 to 2009

年份	农业碳排放			二、三产业碳排放			总体碳排放	
	总量/万 t	增速/%	比重/%	总量/万 t	增速/%	比重/%	总量/万 t	增速/%
1996	20.78	—	1.30	1 578.13	—	98.70	1 598.91	—
1997	21.92	5.51	1.32	1 644.84	4.23	98.68	1 666.76	4.24
1998	21.65	-1.25	1.34	1 593.77	-3.10	98.66	1 615.42	-3.08
1999	22.74	5.04	1.44	1 559.38	-2.16	98.56	1 582.12	-2.06
2000	23.09	1.54	1.41	1 610.61	3.29	98.59	1 633.70	3.26
2001	23.53	1.92	1.54	1 508.01	-6.37	98.46	1 531.54	-6.25
2002	24.13	2.52	1.46	1 627.56	7.93	98.54	1 651.69	7.85
2003	23.61	-2.15	1.28	1 819.17	11.77	98.72	1 842.78	11.57
2004	23.99	1.60	1.10	2 156.73	18.56	98.90	2 180.72	18.34
2005	24.80	3.40	0.96	2 556.75	18.55	99.04	2 581.55	18.38
2006	25.62	3.32	0.93	2 716.77	6.26	99.07	2 742.39	6.23
2007	25.08	-2.11	0.90	2 753.03	1.33	99.10	2 778.11	1.30
2008	25.73	2.59	0.93	2 744.85	-0.30	99.07	2 770.58	-0.27
2009	24.38	-5.25	0.89	2 726.60	-0.66	99.11	2 751.08	-0.70
年均递增/%	1.24	—	—	4.30	—	—	4.26	—

① IREEA 即为南京农业大学农业资源与生态环境研究所。
② IPCC 即为联合国气候变化政府间专家委员会。

$$\Delta C_{\text{tot}} = C^t - C^0。$$

各分解因素贡献值的表达式分别为

$$\Delta EI = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{EI^t}{EI^0};$$
$$\Delta CI = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{CI^t}{CI^0};$$
$$\Delta SI = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{SI^t}{SI^0};$$
$$\Delta P = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{P^t}{P^0}。$$

总效应为: $\Delta C_{\text{tot}} = C^t - C^0 = \Delta EI + \Delta CI + \Delta SI + \Delta P。$

1.3 数据来源

文中数据均出自历年的《武汉统计年鉴》。考虑到经济发展中价格不断变化的因素,以实价计算的产值不能进行纵向对比,故采用 GDP 可比价,以 1995 年作为价格基准年。

2 结果分析

2.1 武汉市碳排放变化及特征分析

依据已给出的碳排放测算公式,测算 1996—2009 年武汉市碳排放量(表 2)。结果表明,近年来,武汉市碳排放总量总体处于上升趋势,由 1996 年的 1 598.91 万 t 增至 2009 年的 2 751.08 万 t,13 年间增长了 72.06%,年均递增 4.26%。其中,作为武汉市碳排放的主要来源,二、三产业所引起的碳排放量由 1996 年的 1 578.13 万 t 增至 2009 年的 2 726.60 万 t,年均递增 4.30%。农业导致的碳排放则由 1996 年的 20.78 万 t 增至 2009 年的 24.38 万 t,年均递增 1.24%。

1996—2009 年武汉市碳排放量总体虽处于上升趋势,但年际之间存在较大差异,呈现较为明显的“平稳—上升—平稳”三阶段特征。1996—2001 年第一阶段,为平稳波动期,年际增速均低于 5%,介于 -6.25% ~ 4.24% 之间。该阶段武汉市碳排放总量一直维持在 1 600 万 t 左右;2002—2006 年第二阶段为快速上升期,年际增速均高于 5%,介于 6.23% ~ 18.38% 之间,由于增速较快,碳排放量大幅增加,由 2001 年的 1 500 多万 t 迅速升至 2006 年的 2 700 多万 t;2007—2009 年第三阶段为增速回落期,年际增速均低于 5%,碳排放总量维持在 2 700 万 t 左右(图 1)。

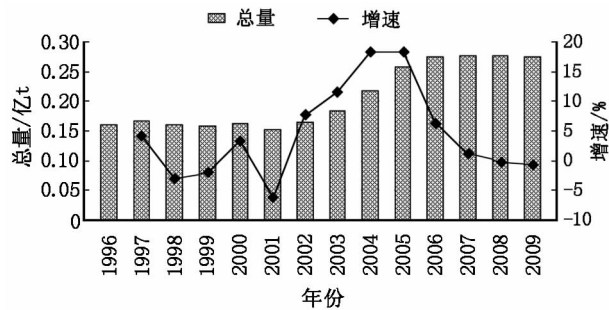


图 1 1996—2009 年武汉市历年碳排放量、增速

Fig.1 The amount and growth rate of carbon emission in Wuhan from 1996 to 2009

武汉市碳排放主要源自二、三产业,农业生产所导致的碳排放量相对较少。结合表 2 可知,农业碳排放仅占武汉市碳排放总量的 1% 左右,2005 年以来甚至不足 1%,远低于我国 17%^[9] 左右的水平。究其原因,可归结为 3 个方面:一是武汉市经济以二、三产业为主,农业所占比重较低;二是武汉市农业构成以种植业、渔业为主,易导致大量碳排放的畜牧业规模较小;三是作为市郊农业,武汉市农业生产集约化水平较高,农资得到充分利用。

2.2 武汉市碳排放成因分析

基于 LMDI 模型以及所搜集的数据,并结合前文测算的武汉市历年碳排放量,借助相关分析工具,得出武汉市碳排放因素分解结果(表 3、图 2)。

2.2.1 能源结构的逐步优化在一定程度上抑制了武汉市碳排放。相比 1996 年,1997—2009 年能源结构因素累积实现了 0.95% (15.10 万 t) 的碳减排,表明若其他因素保持不变,能源结构的变化会导致武汉市碳排放年均递减 1.16 万 t。综合来看,所发挥的减排效用相对有限且年际波动性较强。究其原因,煤炭、洗精煤、焦炭等高排放能源使用比重的降低在一定程度上减少了碳排放总量;但同时,受石油价格波动以及其他一些外部因素影响,能源结构内部优化缺乏足够连贯性,从而导致年际间波动性较强。

2.2.2 能源效率因素是促使武汉市碳排放降低的主要因素。与 1996 年相比,1997—2009 年间能源效率因素

表 3 基于 LMDI 模型的
武汉市碳排放量影响因素分解结果 万 t
Tab.3 The analysis result on effecting factors
decomposition of carbon emissions based on LMDI model

年份	能源结构因素	能源效率因素	经济因素	人口因素	综合效应
1997	-4.25	2.77	51.29	18.05	67.86
1998	10.57	-60.37	-19.32	17.79	-51.33
1999	-1.50	-212.94	162.88	18.27	-33.29
2000	-2.55	47.69	-12.98	19.42	51.58
2001	13.09	-349.05	214.84	18.96	-102.16
2002	-8.51	143.96	-35.88	20.58	120.15
2003	0.03	107.25	54.31	29.50	191.09
2004	-2.84	189.94	138.75	12.08	337.93
2005	-4.26	271.82	87.01	46.28	400.85
2006	-3.34	12.03	94.72	57.43	160.84
2007	6.40	-110.78	108.69	31.41	35.72
2008	9.84	-81.04	46.89	16.79	-7.53
2009	-27.78	-141.92	142.56	7.63	-19.51
合计	-15.10	-180.64	1 033.76	314.19	1 152.21

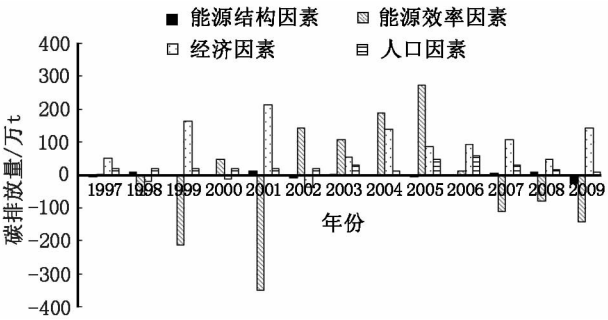


图 2 基于 LMDI 模型
武汉市碳排放量影响因素分解结果

Fig.2 The analysis result on effecting factors
decomposition of carbon emissions based on LMDI model

累积实现了 11.30% (180.64 万 t) 的碳减排,表明若其他因素保持不变,则由于效率因素变化会导致武汉市碳排放年均递减 13.90 万 t。虽然能源效率因素的碳减排效应年际波动性也较强,但与能源结构因素不同,其阶段性特征更为明显:2001 年之前(含 2001 年)能源利用效率的大幅提高较好地抑制了碳排放;2002—2006 年由于不惜以牺牲能源为代价片面追求经济增长,使得能源利用效率降低,客观导致了碳排放的增加;2006 年之后由于积极倡导并构建资源节约型、环境友好型社会,能源利用效率大幅提高,效率因素也由此成为抑制武汉市碳排放增长的最主要因素。

2.2.3 经济水平的大幅提升是促进武汉市碳排放总量增长的最主要因素。与 1996 年相比,1997—2009 年间经济水平因素累积引发了 64.65% (1 033.76 万 t) 的碳

增量,表明若其他因素保持不变,则由于经济水平提升会导致武汉市碳排放年均增长 79.52 万 t。但很显然,基于发展中国家的现实,在今后很长一段时间内,我国仍将以经济建设为中心,致力于国民经济的快速发展与人民生活水平的稳步提高。由此不难预测,短期内经济因素仍将为武汉市碳排放增加的主导因素,要想实现碳减排,转变经济增长方式已刻不容缓。

2.2.4 人口规模对武汉市碳排放总量贡献的变化值也为正,说明人口规模的快速扩张也是导致武汉市碳排放增加的重要因素。作为华中地区政治、经济、文化中心,武汉市因其得天独厚的区位优势,每年吸引大量外地人口涌入,由此引发人口数量不断膨胀。1996—2009 年,武汉市人口净增 119.61 万人^[10],年均递增 1.20%,快于我国同期增速 0.53 个百分点。人口规模的扩张导致了碳排放总量的增加,相比 1996 年,1997—2009 年间武汉市人口因素累积贡献了 19.65% (314.19 万 t) 的碳增量,表明若其他因素保持不变,则由于人口规模扩张会导致武汉市碳排放年均增长 24.17 万 t。

3 对策与建议

3.1 树立低碳与“两型”社会发展理念

意识是行动的先导,树立低碳与“两型”社会发展理念,对推进碳减排、引领武汉市经济低碳转型无疑具有重要意义。一方面,作为低碳技术与创新资源的集聚高地,武汉市应积极促进相关技术和创新成果的广泛输出,借以带动周边企业形成低碳产业群,以此凸显聚集效应;另一方面,加大对科技人才的培育或引进力度,推动“产-学-研”有机结合,打造出更多具有自主创新能力的低碳科技企业,以推动武汉市低碳经济更好更快发展。

3.2 积极培育替代性技术与新兴产业

首先,大力发展清洁能源及节能减排技术,实现能源利用低碳化、高效化。具体而言,清洁能源包括太阳能、风能、生物质能等可再生能源以及核能、清洁煤等;高效节能则涉及工业节能、智能建筑、智能电网、新能源汽车等;环保技术则包括水处理与资源化、大气污染防治、固体废弃物处理等。其次,依托东湖高新开发区与武汉经济开发区的智力集群优势,全力打造以新能源、环保产业为核心的低碳产业群,借以带动整个武汉市产业升级换代。

3.3 全力构建资源节约与循环经济模式

首先,积极倡导“节能、节水、节材”,以低能耗、无污染、高科技为原则,限制高能耗产业入驻,同时,对现有高能耗企业进行技术改造;其次,大力发展循环经济,坚持“减量化、再利用、资源化”的 3R 原则,建立循环经济

示范工业园;再次,加快新能源产品的示范应用,充分利用本地企业的光伏发电技术优势与产业基础,在学校、社区、公园等公共场所推广太阳能照明、风光互补、绿色照明等示范项目,提高清洁能源使用率。

3.4 加大低碳政策与科技扶持力度

积极构建符合低碳经济发展要求的产业结构是推进武汉市低碳经济发展的重中之重。鉴于当前低碳经济仍属新兴事物,其前期投入成本较高,因此,相关政策激励与科技扶持必不可少。一方面,国家、省、市各级政府应划拨专项资金,积极支持武汉市新型低碳产业与技术研发;另一方面,加强与在汉高校和科研院所间的有效合作,进行低碳科技研发和产业孵化合作,通过市、校间的科技与人才交流,全力打造武汉低碳示范城。

参考文献:

[1] Jeff Schahczenski, Holly Hill. Agriculture, Climate Change and Carbon Sequestration [ED/OL]. (2010 - 05 - 06) [2011 - 04 - 01]. <https://attra.ncat.org/attra-pub/carbonsequestration.html>.

[2] Eric Sundquist, Robert Burruss, Stephen Faulkner. Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change[J]. U. S. Geological Survey, 2008(12): 1 - 4.

[3] Edward A G Schuur, James Bockheim, Josep G Canadell. Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the Global Carbon Cycle [J]. BioScience, 2008, 58(8): 701 - 714.

[4] 徐国泉, 刘则羨, 姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析: 1995—2005 [J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6): 158 - 161.

[5] 宋德勇, 卢忠宝. 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(3): 18 - 24.

[6] 孙志威, 廖红英, 宋雨燕. 基于对数平均迪氏指数法的天津市能源消费碳排放分解分析 [J]. 环境污染与防治, 2011, 33(1): 83 - 86.

[7] 田云, 李波, 张俊飏. 我国农地利用碳排放的阶段特征及影响因素分解研究 [J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2011, 11(1): 59 - 63.

[8] 朱勤, 彭希哲, 陆志明, 等. 中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析 [J]. 资源科学, 2009, 31(12): 2072 - 2079.

[9] 赵文晋, 李都峰, 王宪恩. 低碳农业的发展思路 [J]. 环境保护, 2010, 24(12): 38 - 39.

[10] 武汉市统计局. 武汉统计年鉴 2009 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.

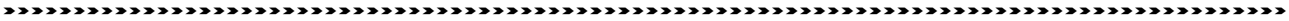
Research on Measurement and Effecting
Factors Decomposition of Carbon Emission in Wuhan

Tian Yun^{1a,b}, Li Bo², Zhang Junbiao^{1a,b}

(1a. Hubei Rural Development Research Center; 1b. College of Economics
& Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. College of Economics, Southcentral University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

Abstract: The research bases on fourteen kinds of mainly carbon source. After calculating Wuhan’s carbon emission from 1996 to 2009, we find that carbon emission in Wuhan presents three-stage-characteristic, namely “steady-rise-steady”. After all the factors which could affect the carbon emission are decomposed by reasonable conversion of LMDI model. The result shows the factor of energy structure and energy efficiency can restrain carbon emission, but the affect is not obvious and fluctuates drastically. Compared with 1996, the factor of structure cut 0.95% carbon emission, while efficiency cut 26.62%. In contrast, economy factor and population scale factor play an active role in carbon emission, which increased 64.65% and 19.65% carbon emission. Finally according to all of these, we put forward some advices.

Key words: carbon emission; factor decomposition; LMDI model ;Wuhan City



(上接第 87 页)

[11] Peter Grimes, Jeffrey Kentor. Exporting the Greenhouse: Foreign Capital Penetration and CO₂ Emissions 1980—1996[J]. Journal of World-systems Research, 2003(3):261–275.

[12] Michale Hubler, Andreas Keller. Energy Saving via FDI? Empirical Evidence from Developing Countries [J]. Environment and Development Economics, 2009, 15:59–80.

[13] 张雷,黄园渐. 中国产业结构节能潜力分析[J]. 中国

软科学,2008(5):27–34.

[14] Jie He. Pollution Haven Hypothesis and Environmental Impacts of Foreign Direct Investment: The Case of Industrial Emission of Sulfur Dioxide in Chinese Provinces [J]. Ecological Economics, 2006,60:228–245.

[15] 于峰,齐建国. 我国外商直接投资环境效应的经验研究[J]. 国际贸易问题,2007(8):104–112.

[16] 徐现祥,周吉梅,舒元. 中国省区三次产业资本存量估计[J]. 统计研究,2007(5):6–13.

Industrial Structure and CO₂
Emissions in China: Evidence from Province Level Data

Xiao Huimin

(School of Economy and Trade ,Hunan University,Changsha 410079, China)

Abstract: Under the framework of carbon emissions model and based on the estimated carbon dioxide emissions data from 2000 to 2009 on province-level, this paper explores the impact of various factors on carbon dioxide emissions, especially, the factor of industrial structure. The robust results show that industrial structure, an important contributor, has a direct impact on carbon dioxide emissions. the effects of industrial structure evolution on energy intensity also was first acceleration and then deceleration. The structure evolution of industry will play an important role in developing low carbon economy in the next twenty years or more.

Key words: industrial structure;carbon emissions;province-level data