

中国各省区(市)城市化进程中碳排放变化特征及影响因素分析

赵冬琳 李天宏[†]

水沙科学教育部重点实验室, 北京大学环境工程系, 北京 100871; [†] 通信作者, E-mail: lth@pku.edu.cn

摘要 以工业能源消耗和居民生活能源消耗产生的碳排放作为研究对象, 用建成区占总面积的比例、非农工业人口和城镇人口分别占总人口的比例等 3 个指标来衡量城市化率, 分析 1995—2012 年间城市化过程中碳排放的地区差异及影响因素, 得到以下结论。1) 全国的碳排量以及人均碳排放量在 1995—2012 年间整体上呈上涨趋势, 可分为缓慢增长、快速增长和增速下降 3 个阶段。单位产值的碳排放呈整体递减趋势, 递减速度变缓。2) 各省份碳排放随城市化率增加的区域差异明显, 北京、上海、天津均是碳排放相对较低和城市化率相对较高的地区。3) 从 3 种单位城市化率的碳排放来看, 绝大多数省市出现 2000 年下降之后再上升的趋势。内蒙古自治区单位土地城市化率的碳排放最高, 单位人口城市化率(非农业人口比重和城镇人口比重)碳排放最高的是河北、河南和山东。4) 城市化过程中碳排放的影响因素也存在一定的地域差异, 对各省份而言, 能源结构对碳排放影响有限, 能源强度对各省区碳排放的贡献为负, 产业结构对碳排放的贡献有正有负, 而经济水平和人口规模对碳排放的贡献几乎均为正。研究结果可为我国区域碳排放削减的策略制定提供科学依据。

关键词 城市化; 碳排放; 影响因子

中图分类号 F291

Analysis of Carbon Emissions and the Influence Factors in the Process of Urbanization among Chinese Provinces

ZHAO Donglin, LI Tianhong[†]

The Key Laboratory of Water and Sediment Sciences (MOE), Department of Environmental Engineering, Peking University, Beijing 100871; [†] Corresponding author, E-mail: lth@pku.edu.cn

Abstract The article analyzes carbon emissions from industrial and living departments from 1995 to 2012, and urbanization rate is measured by three indicators, namely ratio of build-up area, ratio of non-agriculture population, and ratio of urban population. The results show that 1) the total amount of carbon emissions as well as the per capita carbon emissions is rising in 1995–2012, accordingly carbon emissions per unit of output present a decreasing trend. 2) In process of urbanization, Beijing, Shanghai and Tianjin have relatively lower carbon emissions and higher urbanization rates in urbanization stages. 3) The carbon emission of unit urbanization rate measured by three indicators show that most provinces present reduction trend till 2000 and then increase. Inner magnolia ranks the top in the carbon emission per urbanization rate 1. Hebei, Henan and Shandong rank the top in carbon emission per urbanization rate 2 and 3. 4) In the view of provinces, energy structure has limited impacts on carbon emissions, energy intensity has negative effect, and industrial structure has both positive and negative effect while economic level and population size have positive effect for all provinces. The results can provide scientific reference for the regional carbon emission reduction strategy.

Key words urbanization; carbon emission; influence factors

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 第五次评估报告指出, CO_2 浓度已升至至少过去 80 万年以来前所未有的水平, 而温室气体排放以及其他人为驱动因子已成为自 20 世纪中期以来气候变暖的主要原因^[1]。作为最大的发展中国家和碳排放大国, 中国的碳排放问题备受关注。随着我国城市化与工业化进程的快速推进, 工业、交通和居民生活能源消耗作为主体而引起的碳排放与经济、人口等因素相互作用和联系。国内外已有研究表明城市化与碳排放之间的相关性^[2-10]。如 Ala-Mantila 等^[3]分析了芬兰的家庭类型与以其消费为基础的碳排放之间的关系。郑云鹤^[6]利用 1978—2003 年中国国家层面数据的研究表明, 中国城市化与能源消耗之间呈显著的正相关关系。林伯强等^[7]选取全国层面 1978—2008 年的数据, 对中国城市化发展不同阶段的碳排放影响因素和减排策略进行研究, 结果表明城市化进程的加速导致中国碳排放量的增加。刘梦琴等^[8]通过构建多形式的碳排放模型, 测算全国省际 CO_2 排放, 表明城市化进程直接加剧了 CO_2 的排放, 产业结构变化是中国碳排放增长的重要驱动因素之一。关海玲等^[9]研究表明, 碳排放量与城市化水平之间存在长期稳定的均衡关系, 城市化水平每增长 1%, 碳排放量相应增加 1.643%。Perkins 等^[10]利用 43 个发展中国家的面板数据, 对城市化、能源消耗和温室气体排放的关系进行研究, 结果表明发展中国家城市化进程的确导致能源消耗量和温室气体排放量的增加。

已有工作都是基于国家层面开展, 而中国幅员广阔, 区域差异性较为显著, 不同地区的碳排放问

题与其对应的措施也不同, 所以研究中国的碳排放问题不仅要全国层面进行分析, 也要重视区域间的差异化特征^[11-12]。本文以工业能源消耗和居民生活能源消耗产生的碳排放为研究对象, 利用 1995—2012 年省级能源、社会和经济数据, 分析城市化过程中碳排放的区域差异及影响因素, 以期区域碳排放削减决策提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

利用中国内地 30 个省级行政单位(因无法获得西藏的数据, 所以不包括西藏) 1995, 2000, 2008 和 2012 年 4 个年份的能源、经济和人口数据。数据主要来自《中国能源统计年鉴》(1996—2013)^[13-15]中的地区能源平衡表(实物量)和《中国城市统计年鉴》(1996—2013)^[16-17]中的土地资源和人口统计。各类能源折算为标准煤的系数来自《综合能耗计算通则》(GB/T2589—2008)。各种能源的碳排放系数主要来自 2006 年的 IPCC 国家温室气体排放清单指南的缺省值, 其他系数参考王海鲲等^[18]研究中 CO_2 排放系数换算得到(表 1)。

1.2 研究方法

碳排放影响因素分析方法主要有结构分解方法(SDA)和指数分解方法(IDA)。本文使用 IDA 类中的对数平均指标分解方法(log mean division index, LMDI), 该方法由于是多因素完全分解且不产生残差, 目前被广泛使用。

1.2.1 基于能源消耗的碳排放量估算

目前, 中国各省区的碳排放量尚无权威部门的

表 1 各能源碳排放系数
Table 1 Carbon emission factors of different fuel types

t/tce

能源	碳排放系数	能源	碳排放系数
原煤	0.7559	柴油	0.5921
洗精煤	0.7559	燃料油	0.6185
其他洗煤	0.2155 ^[19]	液化石油气	0.5042
型煤	0.4691 ^[19]	炼厂干气	0.4602
焦炭	0.8550	其他石油制品	0.5857
焦炉煤气	0.3548	其他焦化产品	0.6449
高炉煤气	0.3548	其他煤气	0.3548
原油	0.5857	天然气	0.4483
汽油	0.5538	热力	0.26 ^[18]
煤油	0.5714	电力	2.5255 ^[18]

说明: t/tce 表示吨碳每吨标准煤。

公布数据,故基于 IPCC 的研究结果,利用能源消费量来计算^[9]:

$$C = \sum_{i=1}^n E_i f_i, \quad (1)$$

式(1)中, C 为碳排放量; E_i 为能源消费量,按标准煤计; f_i 为能源碳排放系数; i 为能源种类。能源消费量采用《中国能源统计年鉴》中能源平衡表中的终端消费量(去除能源加工、转换与输送过程中的损失量)。

1.2.2 城市化水平的估算

目前用于衡量城市化的指标主要有城市人口比重法、非农业人口比重法和城市用地比重法。城市人口比重法和非农业人口比重法衡量中国整体城市化的趋势大致相同,城市用地比重法相对于 2000 年以后的变化较为敏感^[8]。

1.2.3 基于 KAYA 恒等式和 LMDI 模型对碳排放影响因素的分解

Kaya^[20]提出的 KAYA 恒等式能够将碳排放与能源、经济和人口 3 个因素联系在一起。随着研究的深入, KAYA 恒等式也相应地进行了扩展^[21-22]:

$$C = \sum_i \sum_j \frac{C_{ij}}{E_{ij}} \times \frac{E_{ij}}{E_i} \times \frac{E_i}{GDP_i} \times \frac{GDP_i}{GDP} \times \frac{GDP}{P} \times P, \quad (2)$$

式中, C 为碳排放量, C_{ij} 为第 i 产业的第 j 种能源的碳排放量, E_{ij} 为第 i 产业的第 j 种能源的消耗量, E_i 为第 i 产业能源消耗总量, GDP_i 为第 i 产业的生产总值, GDP 为国内生产总值, P 为常住人口数量。本文主要分析工业产业结构和一次能源(原煤、原油、天然气)对我国碳排放的影响。 C_{ij}/E_{ij} , E_{ij}/E_i , E_i/GDP_i , GDP_i/GDP , GDP/P 和 P 代表能源碳排放因子、能源结构、能源强度、产业结构、经济水平和人口规模,分别记为 C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 和 C_6 。分解过程中,利用 Ang^[23]提出的 LMDI 方法,用 C_t 和 C_0 分别表示 t 期和基期的碳排放量,各因子贡献值由式(3)~(9)定义。

$$\begin{aligned} \Delta C &= C_t - C_0 \\ &= \Delta C_1 + \Delta C_2 + \Delta C_3 + \Delta C_4 + \Delta C_5 + \Delta C_6, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Delta C_1 = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{C_1^t}{C_1^0}, \quad (4)$$

$$\Delta C_2 = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{C_2^t}{C_2^0}, \quad (5)$$

$$\Delta C_3 = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{C_3^t}{C_3^0}, \quad (6)$$

$$\Delta C_4 = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{C_4^t}{C_4^0}, \quad (7)$$

$$\Delta C_5 = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{C_5^t}{C_5^0}, \quad (8)$$

$$\Delta C_6 = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{C_6^t}{C_6^0}. \quad (9)$$

由于碳排放因子为常数,因此 $\Delta C_1 = 0$ 。

定义影响因素贡献率来比较不同地区各因素对碳排放的影响:

$$r_n = \frac{\Delta C_n}{\Delta C} \times 100\%, \quad (10)$$

式中, r_n 为某影响因素的贡献率; ΔC_n 表示基于 LMDI 分解的某影响因素对碳排放变化的贡献。

2 结果与分析

2.1 全国碳排放变化

本文利用单位建成区碳排放量和人均碳排放量来衡量全国的总体情况。单位建成区碳排放量=碳排放量/建成区面积(10^4 t/km²),人均碳排放量=碳排放量/总人口(t/人),非农人口人均碳排放量=碳排放量/非农人口(t/人),城镇人口人均碳排放量=碳排放量/城镇人口(t/人)。

1995—2012 年,全国的碳排放量整体上呈逐渐上升趋势,但是具有阶段性。由图 1 可见,工业能源消耗产生的碳排放变化趋势与总体变化几乎一

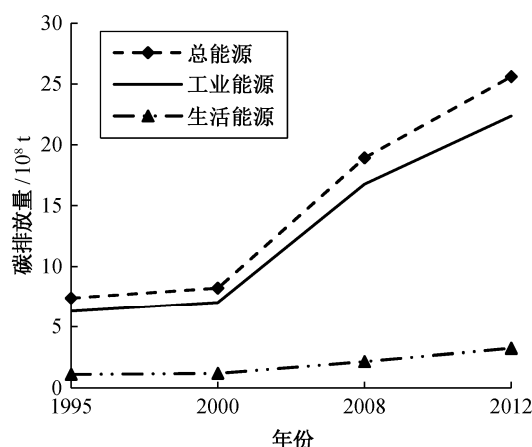


图 1 全国 1995—2012 年碳排放变化

Fig. 1 Carbon emissions in China from 1995 to 2012

致,生活能源消耗产生的碳排放逐年的变化相对平缓。从碳排放增长随时间变化的趋势来看,我国总体的碳排放量可分为缓慢增长、快速增长和增速下降 3 个阶段。在 1995—2000 年的缓慢增长阶段,碳排放量从 1995 年的 7.44×10^4 万吨增加到 2000 年的 8.27×10^4 万吨,增长率为 11.1%。由于亚洲金融危机的影响,使得经济增长速度变慢,并且中国大部分省市都处于城市化初期,发展速度相对缓慢,从而在一定程度上抑制了碳排放。在 2000—2008 年的快速增长阶段,2008 年的碳排放总量达 1.90×10^5 万吨,与 2000 年相比增幅达 130%,随着中国城市化和工业化的加速推进,资源投入仍是粗放型模式,第一产业向二、三产业的转变加速,以高能耗、高污染的制造业为主,使得这个阶段的碳排放量迅速增长。2008—2012 年,碳排放增速放缓至 35.2%,为增速下降阶段,此阶段因节能减排被纳入“十一五”规划的积极作用,能源节约取得明显成效。

单位 GDP 碳排放量反映经济发展对碳排放的影响,从理论上来说,单位 GDP 碳排放量越小,即相同 GDP 的增加带来的碳排放的增加越少,说明经济结构越合理,科技水平越高。从图 2 可以看出,在总体上,单位工业产值碳排放量比单位 GDP 碳排放量要大,但两者的变化趋势相同。

从单位建成区碳排放量和人均碳排放量来看,1995—2012 年整体上呈现与总能源的碳排放量相同的趋势,所不同的是,与人均碳排放量相比,地均碳排放量下降幅度稍大,如图 3 所示。

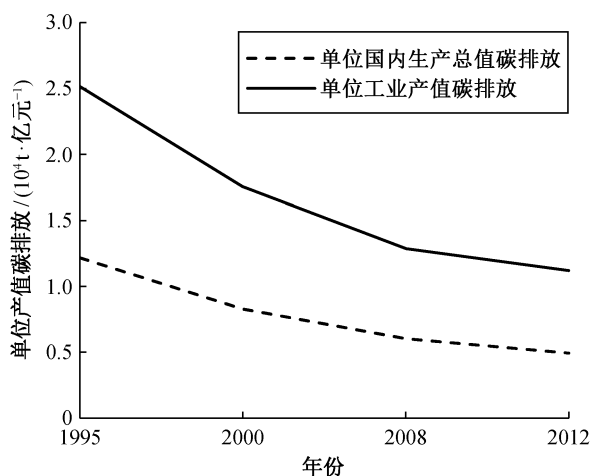


图 2 1995—2012 年全国单位产值碳排放
Fig. 2 Carbon emission per output value in China from 1995 to 2012

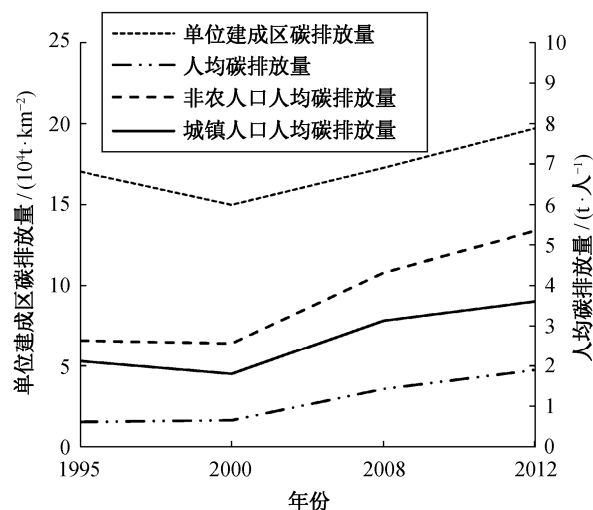


图 3 1995—2012 年全国单位建成区和人均碳排放
Fig. 3 Carbon emission per capita and per built-up area in China from 1995 to 2012

2.2 各省区(市)碳排放变化及其差异

碳排放量与城市化程度相互影响。城市化率增长快,同时碳排放量小,可以认为是可持续的城市化过程。如果某地区城市化率较高,而没有相应较低的碳排放量,则说明该地区城市化过程不利于可持续发展。

2.2.1 碳排放量与土地城市化率(城市用地比重法衡量城市化率)的变化特征

城市用地比重法是以某地区的城市建成区面积占区域总面积的比重来反映城市化率。由于建成区是人类活动的主要用地,并会使基础设施建设活动增加,从而影响碳排放。

如图 4 所示,1995—2012 年,碳排放与城市化率的关系呈现两个特点:1) 各省市碳排放总体上呈现上涨态势,与全国的趋势基本相同,并且在快速增长的 2000—2008 年,内蒙古、山东、海南的增长均超过 200%;2) 整体上城市化处于快速发展中,其中上海、北京、天津的城市化水平始终位于峰值,且远大于其他地区,其他碳排放相对较大的地区城市化率也较高。

从各省份碳排放变化情况来看,几乎所有省份都有不同幅度的增长。山东、河南、辽宁、河北、江苏等省的碳排放量一直位于前列,属于碳排放大省。从排放量上看,1995 年仅河北、辽宁、四川 3 个省份的碳排放量超过 0.5×10^8 t, 2000 年也仅有 4 个省份碳排放量超过 0.5×10^8 t, 其中四川省在重庆市直辖后,相对来说碳排放量减少;2008 年就有 15

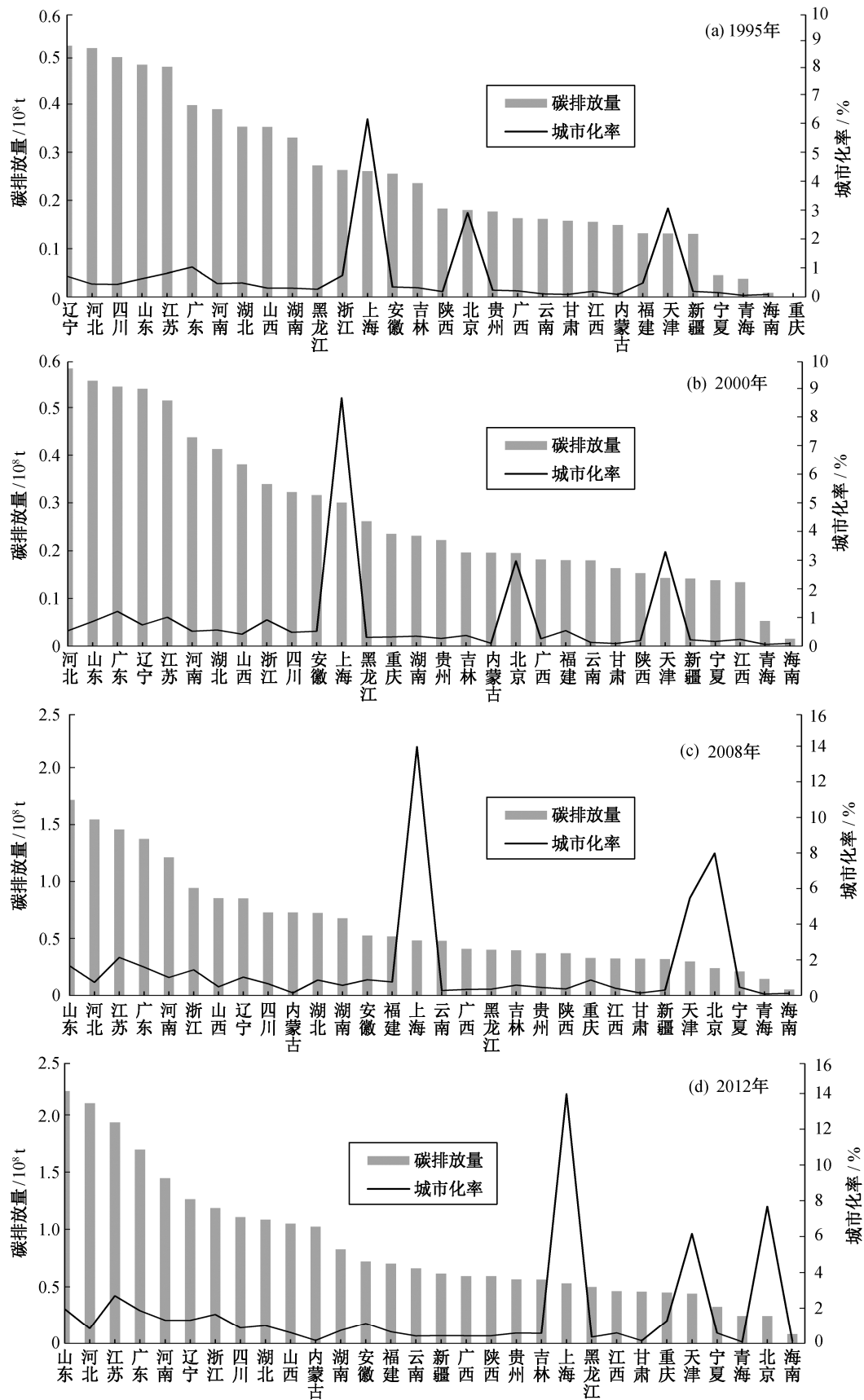


图4 各省市(地区)1995—2012年碳排放量与土地城市化率的变化

Fig. 4 Variation between carbon emissions and land urbanization rate in provinces from 1995 to 2012

个省份的碳排放量超过 $0.5 \times 10^8 \text{ t}$, 其中 5 个省份的碳排放量还超过 $1 \times 10^8 \text{ t}$, 山东以 $1.71 \times 10^8 \text{ t}$ 远超其他各省区。从增长率上, 各省份增长率最大值相对集中出现在 2001—2008 年, 宁夏、海南、山东、内蒙古和浙江等省份增长率都高于最低增长率的北京好几倍。北京、上海和天津在城市化水平不断增加的同时, 碳排量相对减少, 所以图 4 中城市化水平折线的高点不断向右移动。

2.2.2 碳排放量与人口城市化率(非农业人口比重法衡量城市化率)的变化特征

非农业人口比重法以某地区的非农业人口占总人口的比重来反映城市化水平。《中国城市统计年鉴》中非农业人口的界定是根据人口的就业方式来区分。城市化进程中, 大量农业人口转为非农人口在城市就业, 体现了人口分布在经济活动上的变化。在 4 个年份, 全国非农业人口比重分别为 23.84%, 26.08%, 33.28% 和 35.33%, 呈上升趋势。图 5 显示各省区城市化水平相差明显, 比如 1995 年, 北京、天津和上海的城市化率就都超过 50%, 上海市更是达到 70% 以上, 其余省区的城市化率在 20% 左右。总体上, 1995—2012 年间, 上海市一直是碳排放量较少、城市化率最高的地区, 其次是北京市和天津市, 一直保持相对高的城市化水平和相对较低的碳排放量水平; 其他大部分省区是由碳排放量高、城市化率低的状态向碳排放量高、城市化率也高的状态发展。

2.2.3 碳排放量与人口城市化率(城镇人口比重法衡量城市化率)的变化特征

城市人口比重法是以城市人口占总人口的比重来反映其城市化水平。这一度量方法是目前普遍采用的一种计算城市化的方法。根据城市人口比重的变化, 城市化过程可分 3 个阶段^[24]。城市化初期: 城市化水平低于 30%, 城市化速度比较慢; 城市化中期: 城市化水平为 30%~70%, 城市化速度非常快; 城市化后期: 城市化水平高于 70%, 城市化速度比较慢。

图 6 显示各省区城市化水平差异显著, 北京、天津和上海从 2000 年开始都进入城市化后期。1995 年, 23 个省份处于城市化初期, 北京、上海、天津、广东和东北三省位于城市化中期。2000 年, 只有 10 个地区处于城市化初期, 16 个地区进入城市化中期, 北京、上海和天津已迈入城市化后期。2008 年, 除贵州处于城市化初期外, 其余均进入城

市化中期。2012 年, 全部地区均进入城市化中期, 北京、上海和天津仍然处于城市化后期, 并保持相对较低的碳排放量。

在城市化的初期阶段, 即 1995—2000 年, 城市化对碳排放的影响并不是很明显, 因为这个阶段城市化和工业化进程相对缓慢, 产生的碳排放比较有限。在城市化发展的中期, 即 2000—2012 年, 城市化和工业化都加速发展, 工业能耗增加, 同时随着大量的农村人口涌入城市, 生活能耗也不断增加, 碳排放量迅速增大。

2.3 3 个不同城市化水平指标的单位碳排放

图 7 中 3 个城市化率指标随年份的变化曲线均显示中国城市化正处于向前发展的趋势, 中国的城镇人口占总人口的比重增长迅速, 由 29.04% 增长到 52.57%; 非农人口变化相对平稳, 由 23.84% 增至 35.33%; 建成区占区域面积从 0.33% 增至 0.74%。采用城镇人口和非农业人口比重来衡量城市化率, 1995—2000 年, 2000—2008 年和 2008—2012 年 3 个阶段的整体趋势相差不多, 只在拐点处的变化有差别, 而采用建成区占比来衡量城市化率, 在 2000 年以后几乎都以相同的速率增长。

从图 8 中 4 个年份 3 个不同城市化率指标来看, 绝大多数省市都呈现在 2000 年下降之后再上升的趋势, 从数值来看, 城镇人口城市化率和非农业人口城市化率的变化趋势大致相同, 与土地城市化率的差别较大。不考虑北京、天津和上海 3 个直辖市, 各省市单位土地城市化率的碳排放最高的是华北和西北地区, 说明华北和西北地区由于建成区面积的增加带来的碳排放增加最多; 单位城镇人口城市化率和非农业人口城市化率的碳排放最高的集中在人口多的省市, 比如河北、山东和河南等, 即非农人口或者城镇人口的增加带来碳排放的增加。从各省市 4 个年份的变化来看, 除个别省市外, 单位土地城市化率的碳排放变化不大, 单位城镇人口城市化率和非农业人口城市化率的碳排放变化相对明显, 并且与全国单位建成区和人均碳排放趋势相同。

2.4 城市化进程中碳排放的影响因素分析

Chunbo 等^[19]采用 LMDI 的方法对中国 1980—2003 年的能源强度变化进行分析。张俊峰等^[21]利用 LMDI 模型对影响武汉城市圈土地利用碳排放的因素进行分解。朱勤等^[25]利用扩展的 KAYA 模型和 LMDI 分解方法, 将我国碳排放的影响因子分解

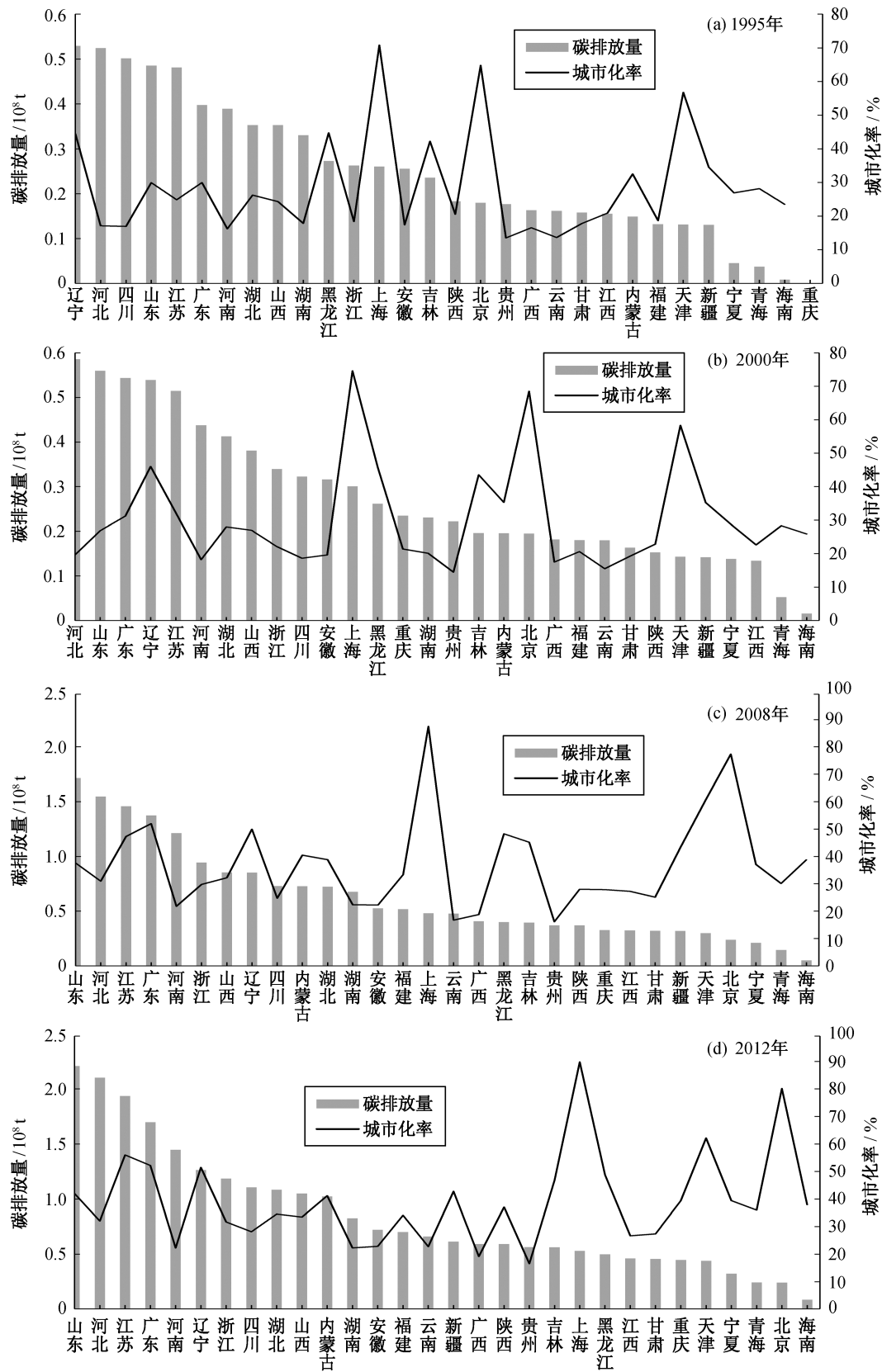


图5 各省市(地区)1995—2012年碳排放量与人口城市化率(非农业人口比重)的变化

Fig. 5 Variation between carbon emissions and land urbanization rate in provinces from 1995 to 2012

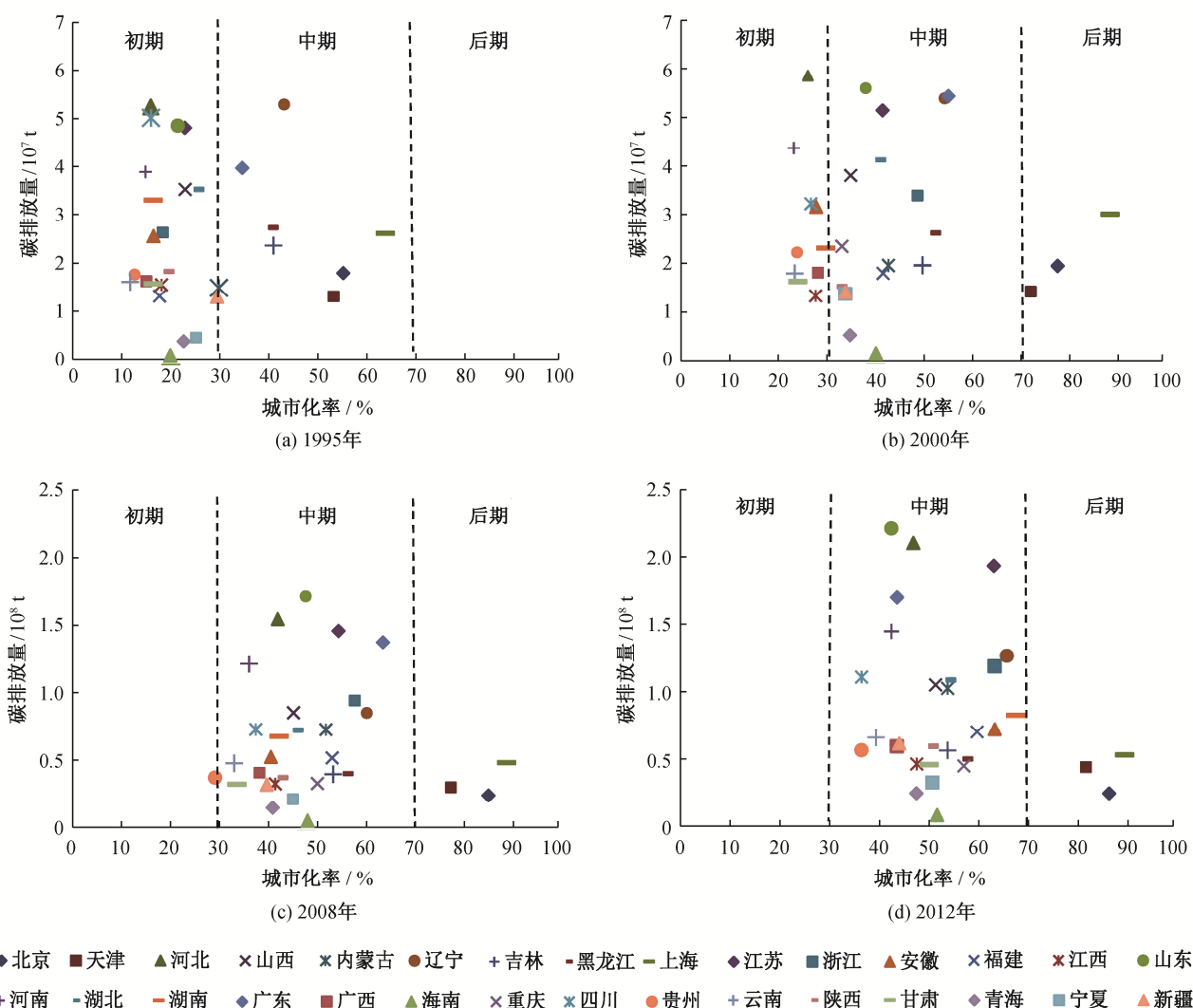


图 6 各省市区 1995—2012 年碳排放量与人口城市化率(城镇人口比重)的变化

Fig. 6 Variation between carbon emissions and land urbanization rate in provinces from 1995 to 2012

为人口、人均 GDP、产业结构、能源强度和能源消费结构。林伯强等^[7]利用 LMDI，分别从人均收入、能源强度和能源消费结构调整方面分析中国人均 CO₂ 排放主要影响因素。本文选取以下 5 个因素加以分析。1) 能源结构(E_{ij}/E_i): 单位工业能耗中一次能源消耗; 2) 能源强度(E_i/GDP_i): 单位工业产值的能源消耗; 3) 产业结构(GDP_i/GDP): 单位国内生产总值的工业产值; 4) 经济水平(GDP/P): 人均国内生产总值; 5) 人口规模(P): 年末常住人口数。

图 9 给出 1995—2000 年、2000—2008 年和 2008—2012 年 3 个时间段各省区 5 种因素碳排放的贡献率。总体来看，各省区能源结构对碳排放影响占比不高，能源强度效应整体上对各省区碳排放的贡献几乎为负，产业结构效应对碳排放的贡献有

正有负，经济水平和人口规模效应对碳排放的贡献几乎均为正。基于上述城镇人口比重，并结合中国整体城市化率，本文定义 1995—2000 年为城市化初期阶段，2000—2008 年为城市化中期阶段，2008—2012 年为城市化中期快速发展阶段。下面结合城市化的进程分析碳排放的影响因素。

1) 能源结构。从图 9 看出，能源结构对 3 个阶段的碳排放影响都比较微弱，在各省市区不同阶段起到的作用也不同。1995—2000 年，宁夏有 15% 的正效应，而江苏、浙江、山东和广西等省则有接近 16% 的负效应；2000—2008 年，除西南地区大多数省市为正效应外，大部分省市区都为负效应，且贡献率都不超过 10%；2008—2012 年，对碳排放有正效应的省区增加到 11 个。随着城市化的推进，由

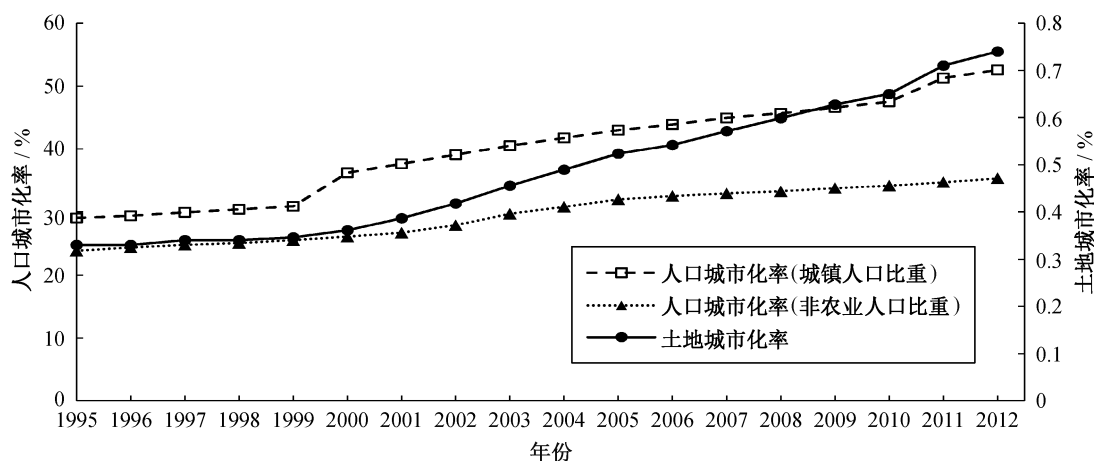


图7 1995—2012年全国城市化率的变化

Fig. 7 Change of land urbanization rate in China from 1995 to 2012

于对碳排放有正贡献率的省区数目不断增加,尤其是在城市化中期加速发展阶段增加较明显,说明能源结构调整在整体上促进了碳排放的增加,但是区域差异明显。能源结构的调整优化在超过一半的省区抑制了碳排放的增长,同时也存在趋势不稳定的现象。本文衡量能源结构是把工业消耗中的一次能源原煤、原油和天然气考虑进来,这3种能源消耗的碳排放因子大小依次为原煤>原油>天然气(表1)。因此,在控制能源总耗的前提下,可以通过调节3种能源的比例(减少原煤消耗的比重,适当增加天然气的比重)来减少碳排放量,并继续提高能源利用技术,鼓励节能技术的研发和推广。

2) 能源强度。我国工业碳排放量与总碳排放量的走势几乎完全一致^[26],所以本文能源强度指标是以工业单位GDP的能源消耗量来衡量。从图8可以看出,能源强度提高对碳排放量增长的贡献率是负值,平均为30%~40%,而安徽、海南、宁夏和新疆在个别阶段出现正值,说明能源强度在绝大部分地区是降低的,并相应地抑制了能源消费碳排放的增长。个别省区的能源强度较弱,能源效率不高。从城市化进程的3个阶段来看,能源强度对碳排放的影响总体上呈先下降再上升的趋势。1995—2000年城市化初期,城市化率低水平缓慢增长,经济作用强度相对不高,能源强度的提高所带来的负效应则非常明显,足以抵消大部分由经济增长带来的碳排放增加,所以各省区的碳排放量变化平稳。2000—2008年城市化中期,由于我国经济发展的粗放式增长,经济增长的作用强度明显,而能

源强度对碳排放减少的作用减弱,能源强度的负效应已不能抵消经济快速增长带来的正效应,整体上表现为碳排放量的快速增长。2008—2012年,工业成为我国城市经济的主要支柱,城市化与工业化同时推进,工业的能耗强度下降逐渐缓慢,对抑制碳排放的影响相对缓慢。

3) 产业结构。我国工业的能源消耗量最大,所以工业产值占国内生产总值比重的变化可以直接影响能源消耗碳排放的变化,但影响程度在城市化不同阶段存在明显差异。1995—2000年,各省区产业结构对碳排放的差异很明显,正负效应各占一半,但从各因素占比上看,这个阶段对碳排放的影响最大。这是因为在城市化的初级阶段,工业已经有所发展,但能源利用技术比较落后,能源利用效率比较低。2000—2008年,除北京、上海、黑龙江和湖北外,其余地区都是正效应,说明工业对于碳排放的驱动作用在增强,工业化并没有向低碳趋势发展。2008—2012年,超过2/3的地区对碳排放呈负效应,主要集中在东部地区,因为城市化中期发展较快阶段,工业发展也趋于成熟,能源利用效率有所提高,特别是发展较快的东部地区。

4) 经济水平。从经济水平的占比和贡献值来看,经济增长无疑是促进碳排放增长的最重要因素,表明我国经济增长直接导致碳排放的增加。2000—2008年,我国人均GDP以年均8%以上的速度增长,而这种经济高速增长是以消耗大量能源为特征,产生大量温室气体,直接导致碳排放的逐年增加。

5) 人口规模。各省区人口规模效应对碳排放

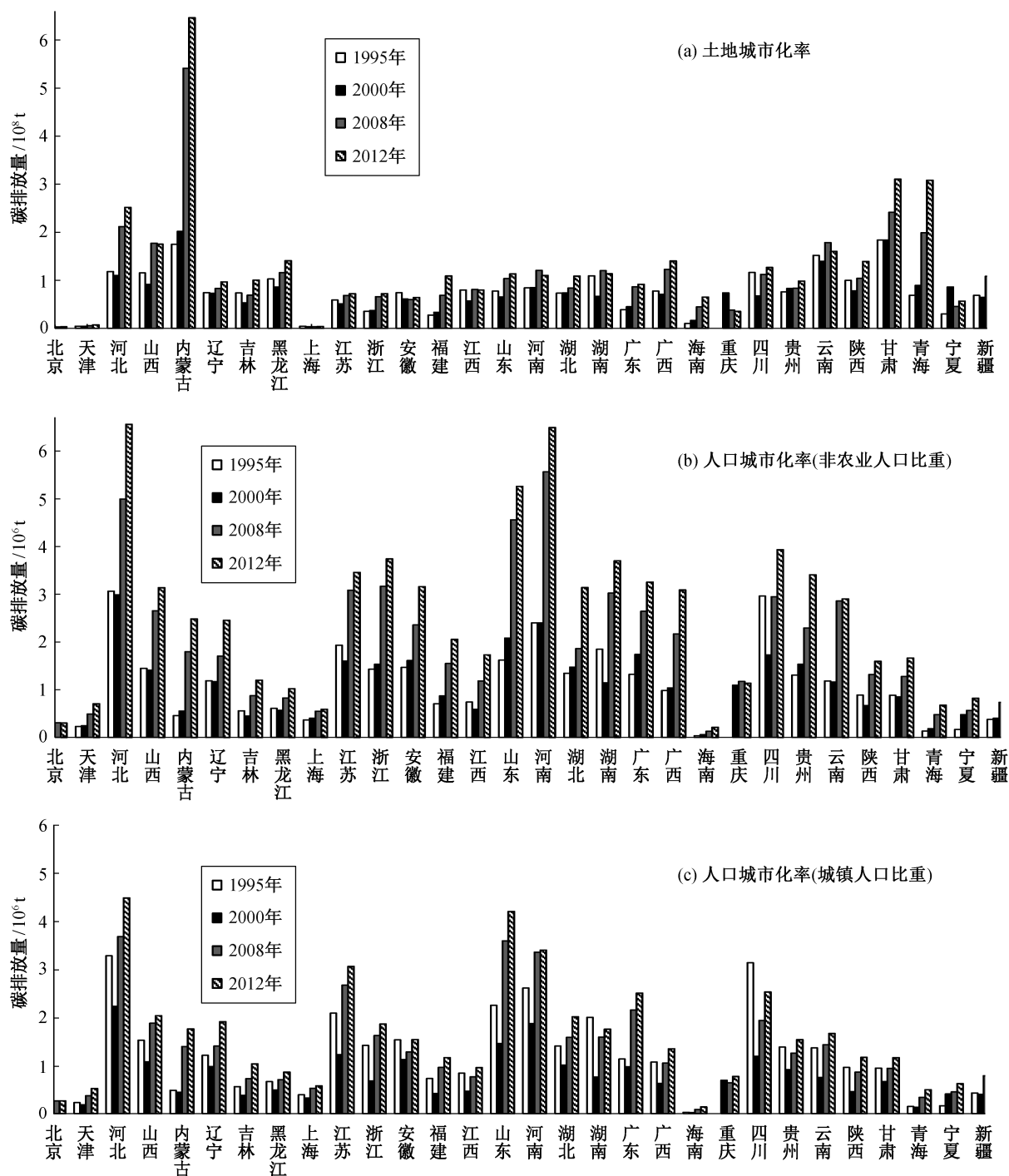


图 8 各省市(地区) 1995—2012 年单位城市化率的碳排放

Fig. 8 Carbon emissions per unit of land urbanization rate in provinces from 1995 to 2012

的贡献几乎都是正值(除少数人口减少的地区,并且所占比重很小),说明人口规模的增加会在一定程度上增加碳排放。随着城市化的加速,一方面,随着总体人口数量的增加,城市建设用地的需求也会增加,城市面积的不断增大会破坏森林,并改变

土地利用方式,引起碳排放的增加;另一方面,城市人口数量呈现逐年增长的态势,人口向城市聚集过程中,生活方式发生城市化的改变^[27],城市家庭采暖、制冷和交通出行等主要的耗能活动导致碳排放增加。

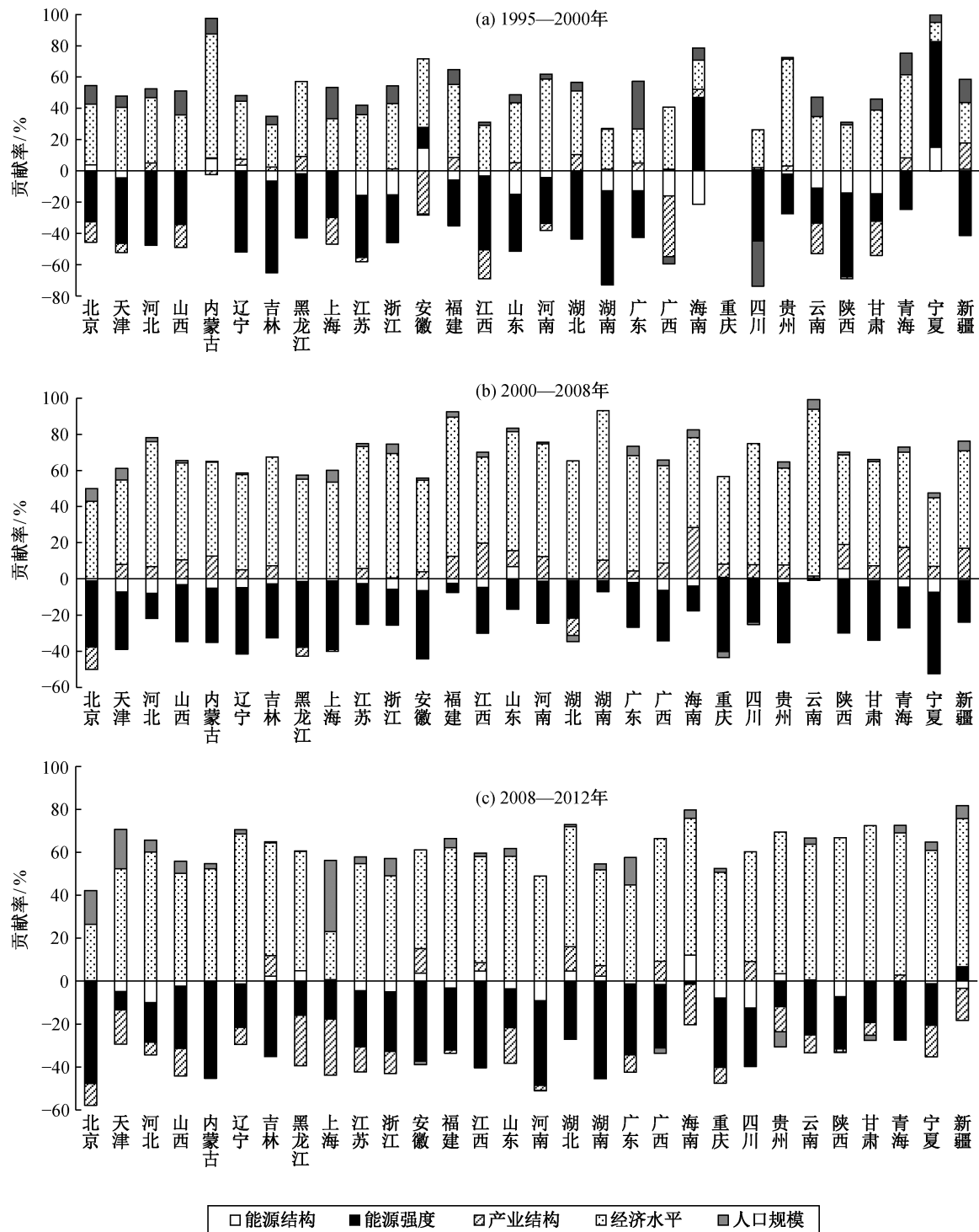


图9 各省市(地区)1995—2000年、2000—2008年和2008—2012年碳排放量影响因素的贡献率

Fig. 9 Contribution rate of carbon emissions influence factors in provinces during 1995–2000, 2000–2008 and 2008–2012

3 结论

本文利用4个时段全国30个省级行政单位的能源、社会和经济数据,分析各省区城市化过程中

碳排放特征及其影响因素,得到以下主要结论。1) 全国碳排放量以及人均碳排放量在1995—2012年间整体上升,可细分为缓慢增长、快速增长和增速下降3个阶段。单位产值的碳排放呈现整体递减趋

势,递减速度变缓。2) 从 3 个衡量城市化水平指标的变化情况来看,各省份碳排放存在很大的区域差异,其中北京、上海和天津是碳排放相对较低、城市化率相对较高的地区。3) 从 3 种单位城市化率的碳排放来看,绝大多数省市出现在 2000 年下降之后再上升的趋势。内蒙古自治区单位土地城市化率的碳排放最高,单位人口城市化率(城镇人口比重和非农业人口比重)碳排放高的是河北、山东和河南。4) 城市化进程中碳排放的影响因素也存在一定的地域差异。总体上,能源结构对碳排放影响有限,能源强度效应对各省区碳排放的贡献为负,产业结构效应对碳排放的贡献有正有负,经济水平和人口规模效应对碳排放的贡献几乎均为正。

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2013 — synthesis report. Stockholm, 2013
- [2] Parshall L, Gurney K, Hammer S, et al. Modeling energy consumption and CO₂ emissions at the urban scale: methodological challenges and insights from the United States. *Energy Policy*, 2010, 38(9): 4765–4782
- [3] Ala-Mantila S, Heinonen J, Junnila S. Relationship between urbanization, direct and indirect greenhouse gas emissions, and expenditures: a multivariate analysis. *Ecological Economics*, 2014, 104(3): 129–139
- [4] Sadorsky P. The effect of urbanization on CO₂ emissions in emerging economies. *Energy Economics*, 2014, 41(1): 147–153
- [5] Al-mulalia U, Fereidounia H G, Leea J Y M, et al. Exploring the relationship between urbanization, energy consumption, and CO₂ emission in MENA countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 23(4): 107–112
- [6] 郑云鹤. 工业化、城市化、市场化与中国的能源消费研究. *北方经济*, 2006(5): 11–12
- [7] 林伯强, 刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放: 影响因素和减排策略. *经济研究*, 2010(8): 66–77
- [8] 刘梦琴, 刘轶俊. 中国城市化发展与碳排放关系: 基于 30 个省区数据的实证研究. *城市发展研究*, 2011, 18(11): 27–32
- [9] 关海玲, 陈建成, 曹文. 碳排放与城市化关系的实证. *中国人口资源与环境*, 2013, 23(4): 111–116
- [10] Perkins R, Neumayer E. Fostering environment-efficiency through transnational linkages trajectories of CO₂ and SO₂, 1980—2000. *Environment and Planning*, 2008, 40(12): 2970–2989
- [11] 刘占成, 王安建, 于汶加, 等. 中国区域碳排放研究. *地球学报*, 2010, 31(5): 727–732
- [12] 顾朝林, 谭纵波, 刘宛, 等. 气候变化、碳排放与低碳城市规划研究进展. *城市规划学刊*, 2009(3): 38–45
- [13] 国家统计局工业交通统计司. 中国能源统计年鉴 1991—1996. 北京: 中国统计出版社, 1998
- [14] 国家统计局工业交通统计司, 国家发展和改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴 2000—2002. 北京: 中国统计出版社, 2004
- [15] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2009—2013. 北京: 中国统计出版社, 2010–2014
- [16] 国家统计局城市社会经济调查总队. 中国城市统计年鉴 1996—2001. 北京: 中国统计出版社, 1997—2002
- [17] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴 2009—2013. 北京: 中国统计出版社, 2010—2014
- [18] 王海鲲, 张荣荣, 毕军. 中国城市碳排放核算研究: 以无锡市为例. *中国环境科学*, 2011, 31(6): 1029–1038
- [19] Chunbo M, David I. China's changing energy intensity trend: a decomposition analysis. *Energy Economics*, 2008, 30(3): 1037–1053
- [20] Kaya Y. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios [R]. Paris: IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, 1989
- [21] 张俊峰, 张安录, 董捷. 武汉城市圈土地利用碳排放效应分析及因素分解研究. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(5): 595–601
- [22] 许士春, 习蓉, 何正霞. 中国能源消耗碳排放的影响因素分析及政策启示. *资源科学*, 2012, 34(1): 2–12
- [23] Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy*, 2005, 33(7): 867–881
- [24] 谢文惠, 邓卫. 城市经济学. 北京: 清华大学出版社, 1996
- [25] 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. *资源科学*, 2009, 31(12): 2072–2079
- [26] 梁进社, 洪丽璇, 蔡建明. 中国城市化进程中的能源消费增长: 基于分解的 1985—2006 年间时序比较. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 20–29
- [27] 吴婵丹, 陈昆仑. 国外关于城市化与碳排放关系研究进展. *城市问题*, 2014(6): 22–26