

包头市“十二五”能源现状及碳排放影响因素分析 ——基于灰色关联度分析法

刘志宏, 刘娟
(天津理工大学, 环境科学与安全工程学院, 天津 300384)

摘要: 基于能源消费规模、产业结构和能源结构, 对“十二五”期间能源消费现状和包头市经济和环境之间的矛盾进行了分析。依据 IPCC 推荐的碳排放核算方法, 对包头市“十二五”期间的碳排放量进行估算, 并利用灰色关联度分析法对影响碳排放的各因素重要程度进行识别。结果表明, 能源消费结构、产业结构和单位 GDP 能耗是包头市能源消费碳排放量的主要影响因素。由于经济结构及历史原因等的制约, 包头市以煤炭为主的能源形式短期内较难改变。从优化能源结构、产业结构调整和提高能源利用率、协调经济与环境发展关系等角度探索包头市“十三五”节能减排目标的实现路径。

关键词: 能源消费; 碳排放; 能源结构; 产业结构; 灰色关联度分析; 减排; 包头

中图分类号: TU 文献标志码: B 文章编号: 1674-6732(2017)06-0014-05

Energy Status and Analysis on Carbon Emission Factors in Baotou City During the 12th Five-Year

——Based on Grey Correlation Degree Analysis

LIU Zhi-hong, LIU Juan
(School of Environmental Science and Safety Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: Based on energy consumption scale, industrial structure and energy structure, the paper analyzes the current situation of energy consumption and the contradiction between economy and environment in Baotou City during the 12th Five-Year Plan period. According to the carbon accounting method recommended by IPCC, the carbon emission in Baotou City during the “12th Five-Year Plan” period is estimated, and the importance degree of carbon emission factors is identified by gray relational analysis. The results show that the energy consumption structure, industrial structure and unit GDP energy consumption are the main influencing factors of energy consumption in Baotou City. Due to the economic structure and historical reasons, Baotou City’s coal-dominated energy form is difficult to be changed in short term. This paper aims to realize the 13th Five-Year energy - saving emission reduction targets of Baotou, based on the optimizing energy structure, industrial structure adjustment, improving the using efficiency of energy and harmonizing the relations between environment and economy.

Key words: Energy consumption; Carbon emission; Energy structure; Industrial structure; Grey correlation degree analysis; Emission reduction; Baotou

随着环境与经济矛盾的日益突出, 国内外对低碳经济、可持续发展等话题热议不断。而温室气体含量的增加被认为是当下全球气候变暖、雾霾天气的一个主要原因。其中以煤、石油、天然气为主的化石燃料的燃烧而产生的能源消费碳排放是人类活动产生温室气体排放的最主要形式^[1]。因此研究以能源消费为基础的碳排放很有必要。

目前国内外针对碳排放驱动因子的研究方法, 大部分学者都采用了模型法, 以及多模型综合的分

析方法。模型主要有 KAYA 公式模型、迪式对数指标 (LMDI) 因素分解模型、IPAT 模型、STIRPAT 模型、Laspeyres 指数模型等。其中, KAYA 公式模型是由日本学者 Kaya 最先提出, 通过一种简单的数学公式将经济、政策和人口等因素与人类生活产生的 CO₂ 联系起来^[2], 后来被广泛应用。Ang 等^[3]

收稿日期: 2017-06-21; 修订日期: 2017-07-17

作者简介: 刘志宏 (1993—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为低碳经济、循环经济、可持续发展。

用对数平均公式替换了之前的简单算术平均权重计算方法,提出了对数平均权重分解法 LMDI。英国学者 Cranston 和 Hammond^[4]、Shi^[5] 利用 IPAT 模型进行实证研究。彭希哲^[6]、朱远程等^[7]、张丽峰^[8] 则利用 STIRPAT 模型进行研究分析。从影响因素角度看,国内外学者的研究分为单一因素研究和多因素研究。Liu 等^[9] 利用 KAYA 模型,以 1990—2009 年数据为基础,分析影响碳排放的 4 个驱动因子:能源结构、能源强度、国内生产总值和人口,并对各因素的贡献值进行量化。Fan 等^[10] 通过研究不同发展水平国家在人口、经济、技术水平上对碳排放的影响,得出各因素对碳排放的影响程度与国家所处的发展阶段有关。Shi^[5] 运用 IPAT 模型研究了 1975—1996 年间全球 93 个国家人口规模对碳排放的影响,发现碳排放对人口规模的弹性系数为 1.42。

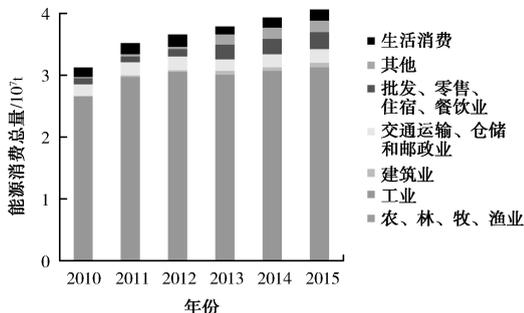
包头市作为内蒙古制造业、工业中心,以及最大的中心城市,产业重型化是其主要特征。同时也是中国重要的基础工业基地和全球轻稀土产业中心。为了响应全球低污染、低能耗、低碳排放的低碳经济发展之路,缓解经济和环境之间的矛盾,完成全国省、市下达的“十三五”规划目标,制定适合于包头市现阶段发展特征的碳排放政策迫在眉睫。考虑到国内将灰色关联分析带入包头市能源经济发展的研究少之又少,本文在现有研究的基础之上,结合包头市“十二五”期间能源消费现状,综合考虑包头市碳排放影响因素,利用灰色关联度分析方法对各影响因素的重要程度进行识别,并有针对性地提出“十三五”减排建议。

1 “十二五”期间包头市能源消费现状分析

1.1 能源消费增速放缓,单位 GDP 能耗下降

在包头市能源消费总量中,能源消费总量上升,而增长速度放缓。工业消费占了绝大多数比重,约占全市能源消费总量的 80%。工业领域的能源消费总量虽然处于缓慢上升趋势,但在全市能源消费总量的占比持续下降,而用于交通运输、批发、零售和住宿餐饮业及其他服务业的能源消费在全市能源消费总量中的占比有明显上升(图 1)。说明在为包头市经济发展做出越来越大贡献的同时,第三产业的能源消费量也在不断升高。

包头市“十二五”期间,单位 GDP 能耗不断下降,能源利用率不断提高(图 2)。图 2 中,2012 年下



(注:2010年及2010年以后数据均按2010年价格计算,后同)

图1 “十二五”期间包头市能源消费总量构成

降趋势最为明显,下降率为 7.60%,“十二五”前 4 年单位 GDP 能耗累计降低 18.45%,提前 1 年超额完成自治区下达的“十二五”节能降耗总目标。2015 年全年单位 GDP 能耗较上年下降 4.60%，“十二五”累计降低 22.20%，超额完成“十二五”规划节能目标任务以及“节能减排示范城市”考核指标。

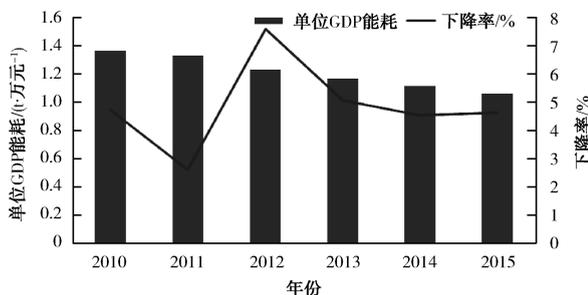


图2 包头市“十二五”期间能源消费强度情况

1.2 以“煤”为主的能源结构形式单一

包头市能源消费过程中使用的燃料类型主要有:煤炭、焦炭、天然气、原油、煤油、柴油、汽油、燃料油和电力等。从能源结构来看,包头市能源消费总量中的原煤和天然气占比较大,其中原煤占 80% 以上,且占比呈逐年上升的趋势;而天然气占比呈逐年下降的趋势(表 1)。以上结果表明,包头市能源发展仍以燃烧原煤为其主要能源消费形式,能源替代率很低。

1.3 产业结构优化调整

随着经济的飞速发展,包头市的产业结构也有了很大的优化调整,具体表现为:创新技术不断升级,资源配置更加合理、公平,各产业保证产值平稳增长,规模以上工业企业能耗占比不断降低。

“十二五”期间,包头市产业结构不断优化,第一产业占比 3% 左右,发展趋势保持稳定,第二产业

表1 能源消费总量构成

年份	能源消费总量/10 ⁴ t	占能源消费总量的比重/%	
		原煤	天然气
2010	3 135.24	80.00	4.05
2011	3 525.31	83.90	4.56
2012	3 664.40	84.01	2.67
2013	3 800.14	84.46	2.26
2014	3 937.05	87.56	2.21

占比逐步下降,第三产业占比逐年上升,到2015年,第三产业占比超过了第二产业。同时,规模以上工业能源消费量在全市能源消耗总量的占比也呈现逐年缓慢下降的趋势(图3)。

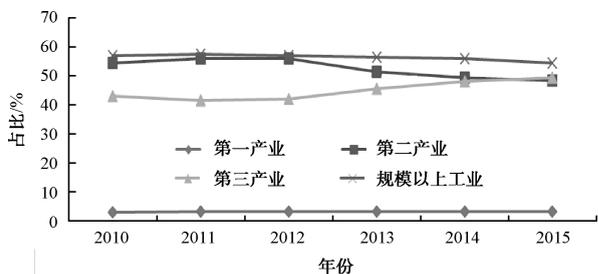


图3 包头市产业结构及规模以上工业能耗占比变化情况

1.4 钢铁、电力、热力仍为主要能耗行业

钢铁、电力、热力、有色冶金、煤化工行业是包头市的主要耗能行业,综合能源消费量占规模以上工业企业综合能源消费量的85.7%。此外,硅铁、电石等高耗能行业以及稀土、装备制造业等占14.3%。以2015年统计数据为例,各行业能耗占比情况见图4所示。

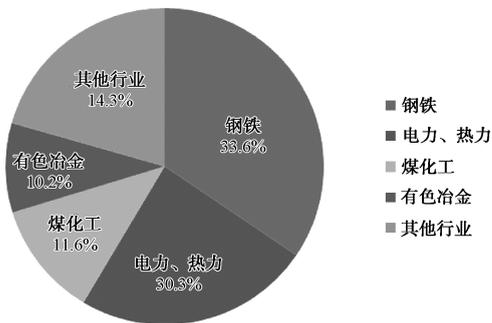


图4 2015年包头市主要能耗行业能耗占比

2 方法计算

2.1 碳排放核算方法

基于IPCC提出的《国家温室气体清单指南》,

并借鉴徐国泉等^[11]在碳排放影响因素分解模型中有关能源消费碳排放的计算方法,对包头市“十二五”期间能源消费碳排放量进行计算验证。由于温室气体主要是由化石燃料燃烧、水泥生产、森林砍伐以及土地变化利用等产生,而化石能源消费所导致的碳排放量占总碳排放量的比例接近95%,因此本文只计算用于燃料用途释放的CO₂能源消费量。

根据中国能源统计年鉴能源平衡表,以及包头市能源消费结构特点,现将包头市能源种类划分为4种:煤炭、焦炭、石油、天然气。碳排放计算具体公式如下:

$$C = \sum_{i=1}^n (E_i \times N_i \times e_i) \quad (1)$$

式中:C——碳排放总量;E_i——第i类能源的终端能源消费量;N_i——第i类能源的能源转换系数;e_i——第i类能源的碳排放系数。表2和表3分别给出了4种能源燃料的能源转换系数和2010—2014年碳排放量。

表2 各类能源的能源转换系数和碳排放因子^①

燃料类型	能源转换系数	碳排放系数
煤炭	0.714 3kg 标煤/kg	0.747 6 t 碳/t 标煤
焦炭	0.971 4kg 标煤/kg	0.112 8 t 碳/t 标煤
石油	1.428 6kg 标煤/kg	0.573 0 t 碳/t 标煤
天然气	13.300 t 标煤/万 m ³	0.447 9 t 碳/t 标煤

① 资料来源于国家发展和改革委员会能源研究所和《国家温室气体排放清单指南》。

表3 包头市2010—2014年碳排放量

年份	2010	2011	2012	2013	2014
碳排放量/10 ⁴ t	1 931.98	2 283.21	2 345.28	2 437.96	1 951.66

2.2 包头市碳排放影响因素分析方法

灰色系统理论是1982年邓聚龙^[12]创立的一门边缘性学科,而灰色关联度分析法是灰色系统分析方法的一种。灰色关联度分析法的基本思想是根据数列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密,曲线越接近,相应数列的关联度就越大;反之越小。以此来判断各因素对系统发展的影响程度及重要程度。

2.2.1 变量选取

选取与能源消费碳排放有关的5个因素为主要指标来分析包头市的碳排放情况:GDP增速、能

源消费结构、单位 GDP 能耗、产业结构和单位工业增加值能耗。其中, GDP 增速均按当年的价格计算, 能源结构以同时期煤炭消费量占总能源消费量的比值来计算, 产业结构以第二产业产值占地区 GDP 的比重来计算。所有数据均由《中国能源统计年鉴》《内蒙古统计年鉴》《包头市统计局》与包头市经济和信息委员会提供的数据整理所得。

2.2.2 灰色关联度计算

2.2.2.1 确定参考数列和比较数列

建立原始数列的因变量 - 参考数列(x_0)和自变量 - 比较数列(x_i)。

$$X_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(k)\} \quad (2)$$

$$X_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k)\} \quad (3)$$

式中: $x_0(k)$ ——参考数列的各变量; k ——时间(指 2010—2014 年); $x_i(k)$ ——比较数列中的各

变量; i ——比较数列的个数。文中 $k=5, i=5$ 。

2.2.2.2 数列无量纲化处理

采用初值化算法进行无量纲化处理, 即将每一列第一个数据作为 1, 再用第一个数据去除数列中其他数据得到处理后的数据。

$$x'_0(1) = 1, x'_i(1) = 1$$

$$x'_0(k) = x_0(k)/x_0(1) \quad (4)$$

$$x'_i(k) = x_i(k)/x_i(1) \quad (5)$$

$$X'_0 = \{x'_0(1), x'_0(2), \dots, x'_0(k)\} \quad (6)$$

$$X'_i = \{x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(k)\} \quad (7)$$

式中: $x'_0(k), x'_i(k)$ ——无量纲化处理后的参考数列和比较数列的各变量; $X'_0(k)$ —— X_0 无量纲化处理后的参考数列; $X'_i(k)$ —— X_i 无量纲化处理后的比较数列。包头市 2010—2014 年原始数据及标准化后数据见表 4。

表 4 包头市 2010—2014 年原始数据及标准化后数据^①

变量	2010 年		2011 年		2012 年		2013 年		2014 年	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
碳排放量/ 10^4 t	1 931.98	1	2 283.21	1.181 8	2 345.28	1.213 9	2 437.96	1.261 9	1 951.66	1.010 2
GDP 增速/%	16.0	1	15.4	0.962 5	12.5	0.781 3	9.3	0.581 3	8.5	0.531 3
能源消费结构/%	80.0	1	83.9	1.048 8	84.01	1.050 1	84.46	1.055 8	87.56	1.094 5
产业结构/%	51.6	1	51.9	1.005 8	51.7	1.001 9	50.8	0.984 5	49.8	0.965 1
单位 GDP 能耗 ^②	1.367 3	1	1.331 8	0.974 0	1.206 0	0.900 0	1.168 1	0.854 3	1.115 0	0.815 5
单位工业增加值能耗 ^②	2.631	1	2.511	0.954 4	2.125	0.807 7	1.916	0.728 2	1.749	0.664 8

① A 为原始数据, 来源于包头市统计年鉴; B 为标准化后数据, 无量纲; ② 单位为: ν /万元。

2.2.2.3 计算各时刻点上比较数列和参考数列的绝对差($\Delta_i(k)$)

$$\Delta_i(k) = \{ \Delta_i(1), \Delta_i(2), \dots, \Delta_i(k) \} \quad (8)$$

$$\Delta_i = \{ \Delta_i(1), \Delta_i(2), \dots, \Delta_i(k) \} \quad (9)$$

计算绝对差的最大值 Δ_{\max} 和绝对差的最小值 Δ_{\min} , 计算关联度系数(r_i)以及关联度(ρ_i), 公式如下:

$$r_i = (\Delta_{\min} + \theta\Delta_{\max}) / (\Delta_i(k) + \theta\Delta_{\max}) \quad (10)$$

$$\rho_i = \frac{1}{k} \times \sum_{i=1}^k r_i(k) \quad k=5 \quad (11)$$

式中: θ ——分辨系数, 其值越小分辨率越大, $\theta \in [0, 1]$, 具体可视情况而定, 通常取 $\theta=0.5$ 。当 $\theta=0.5$ 时, 比较数列与参考数列的关联度 >0.6 便认为其关联性显著。其计算结果见表 5 所示。

表 5 关联度系数和关联度计算结果

影响因素	灰色关联度系数					关联度
	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	
能源结构	1	0.718 9	0.675 1	0.622 7	0.801 5	0.763 6
产业结构	1	0.659 1	0.616 2	0.511 0	0.833 0	0.741 9
单位 GDP 能耗	1	0.620 9	0.520 2	0.455 0	0.636 1	0.646 4
单位工业增加值能耗	1	0.599 5	0.455 9	0.389 4	0.496 3	0.588 2
GDP 增速	1	0.608 1	0.440 3	0.333 3	0.415 4	0.559 4

2.2.2.4 灰色关联度结果分析

对包头市能源消费碳排放量影响因素的灰色关联度进行排序,可知:能源结构 > 产业结构 > 单位 GDP 能耗 > 单位工业增加值能耗 > GDP 增速,其关联度数值分别是 0.763 6、0.741 9、0.646 4、0.588 2、0.559 4;其中关联度最大的为能源结构(0.763 6),关联度最小的是 GDP 增速。

以上结果表明,包头市在“十二五”期间,产业结构、能源结构和单位 GDP 能耗对碳排放量的增长都有着显著的带动作用,单位工业增加值能耗和 GDP 增速的带动作用则较轻微。

3 建议

作为能源消费大市,包头市要顺利完成“十三五”下达的减排目标,必须从以下几个方面着手:

(1) 优化能源结构。包头市处于工业化中期^[13],以“煤炭”为主的能源结构在较短时期内仍无法改变。环境与经济的关系仍处于环境库兹涅茨曲线的左侧,而且经济的快速增长仍将以资源消费为代价。此外包头市属于传统的资源型工业化城市,故降低煤炭消费的可能性较低。因此,为了弥补以“煤炭”为主的能源消费结构带来的环境损失,包头市未来能源消费必须以能源“清洁化”为主线,提高新能源等清洁能源的比重。

(2) 加快产业结构调整。包头市产业结构中,第二产业占了 50%,其中钢铁、电力、有色冶金、煤化工行业是包头市的主要耗能行业。在包头市低碳经济过程中,要加快使包头市工业增长方式从依靠资源消耗为主向提高能源利用率转变,工业产业结构从低层次产业为主向高附加值产业为主转变,工业企业经营从粗放经营为主向创新驱动和绿色制造为主转变^[14]。提高第三产业比例,利用服务业低碳排放等特点发展第三产业。

(3) 提高能源利用率。提倡集约经济增长方式,发展循环经济。提高能源利用率^[15],降低单位 GDP 能耗。加大投资力度,对于包头市六大高耗能行业进行实时能源污染监控。提高全市装备技术现代化水平、能源利用技术水平以及能源管理水平。提高人们对资源的节约观念。

(4) 放缓 GDP 增速,促进经济与环境协调发展。“十二五”期间,包头市经济快速发展,给“十三五”环境减排带来一定的压力。为了实现“十三五”减排目标以及实现“低碳经济”,包头市在未来

应适当放缓 GDP 增速,不能把经济增长速度放在首位,需要与环境保持良性发展的态势。由于环境破坏的可恢复性差,一旦环境破坏超出阈值,先污染后治理的代价将相当大。

[参考文献]

- [1] 刘竹,耿涌,薛冰,等.城市能源消费碳排放核算方法[J].资源科学,2011,33(7):1325-1330.
- [2] KAYA Y. Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios[R]. Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, Paris, 1989.
- [3] ANG B W, ZHANG F Q, CHOI K H. Factorizing changes in energy and Environment indicators through decomposition [J]. Energy, 1998,23(6):489-495.
- [4] CRANSTON G R, HAMMOND G P. Egalite, Fraternite, Sustainable; evaluating the significance of regional affluence and population growth on carbon emissions [J]. International Journal of Global Warming, 2010(3):189-207.
- [5] SHI A Q. The impact of population pressure on global carbon dioxide emission, 1975-1996: Evidence pooled cross-country [J]. Ecological Economics, 2003(44):29-42.
- [6] 彭希哲,朱勤.我国人口态势与消费模式对碳排放的影响分析[J].人口研究,2010(1):48-58.
- [7] 朱远程,张士杰.基于 STIRPAT 模型的北京地区经济碳排放驱动因素分析[J].特区经济,2012(1):77-79.
- [8] 张丽峰.北京碳排放与经济增长间关系的实证研究-基于 EKC 和 STIRPAT 模型[J].技术经济,2013(1):90-95.
- [9] LIU X Z, HOU P F, QIAO Y. Analysis of China's carbon emission driving factors based on Kaya model[J]. Manufacture Engineering and Environment Engineering, 2014, 84(2):933-939.
- [10] FAN Y, LIU L C, WU G, et al. Analysis impact factors of CO₂ emission using the STIRPAT model[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2006,26(4):377-395.
- [11] 徐国泉,刘则渊,姜照华.中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995~2004 [J]. 中国人口·资源与环境,2006(6):158-161.
- [12] 邓聚龙.社会经济灰色系统的理论与方法[J].中国社会科学,1984(6):47-60.
- [13] 张维阳,段学军,于露,等.现代工业型与传统资源型城市能源消耗碳排放的对比分析——以无锡市与包头市为例[J].经济地理,2012(1):119-125.
- [14] 钱进.2013年包头市能源消费构成与利用效率分析[J].内蒙古统计,2015(4):57-59.
- [15] 孙艳,吴昕贤,徐恒省,等.苏州市不同土地利用方式对碳排放影响的初步分析[J].环境监控与预警,2014,6(6):54-57.