

中国产业结构调整 的 碳排放效应研究

ZHONGGUO CHANYE JIEGOU TIAOZHENG DE
TANPAIFANG XIAOYING YANJIU

◎ 牛鸿蕾 著



经济科学出版社
Economic Science Press

江苏省“青蓝工程”资助

住房和城乡建设部科学技术项目 (2014 - R4 - 015)

江苏省建设系统科技项目 (2014ZD45)

徐州工程学院学术著作出版基金资助出版

中国产业结构调整的 碳排放效应研究

牛鸿蕾 著

经济科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国产业结构调整碳排放效应研究 / 牛鸿蕾著.
—北京: 经济科学出版社, 2014. 12
ISBN 978 - 7 - 5141 - 5256 - 2

I. ①中… II. ①牛… III. ①产业结构调整 - 研究 - 中国②二氧化碳 - 排气 - 研究 - 中国 IV. ①F121.3
②X511



中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 281902 号

责任编辑: 凌敏 程幸宇

责任校对: 王苗苗

责任印制: 李鹏

中国产业结构调整碳排放效应研究

牛鸿蕾 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

教材分社电话: 010 - 88191343 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [lingmin@ esp. com. cn](mailto:lingmin@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http: //jjkxcs. tmall. com](http://jjkxcs.tmall.com)

北京季蜂印刷有限公司印装

880 × 1230 32 开 5.5 印张 160000 字

2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 5256 - 2 定价: 21.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191502)

(版权所有 侵权必究 举报电话: 010 - 88191586)

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn)

前 言

面临高速发展与环境保护的深层矛盾，产业结构优化升级被广泛认为是我国低碳发展的有效途径之一。本书对中国产业结构调整碳排放效应问题给予了充分的关注。首先，对产业结构演进与碳排放概况进行详细描述；其次，根据 1997~2010 年我国省际面板数据，基于 STIRPAT 的扩展形式，运用空间面板模型实证考察产业结构调整碳排放效应；再次，基于一种灰色关联度模型，测算并分析我国工业结构调整对碳排放的关联效应；最后，构建投入产出的多目标优化模型，借助多目标遗传算法 NSGA-Ⅱ 模拟测算并分析：假若产业结构达到设想的优化状态时可能发挥的碳排放效应。主要结论包括：

(1) 我国及境内各省产业结构的演进趋势总体遵循“三、二、一”的良性发展方向，各地区或省域产业结构的演进速度与所处阶段不尽相同，东部省域产业结构高级化的整体水平要高于其他省域；同时，我国的碳排放总量仍维持在较高水平上，但增速有所回落，碳排放强度正在下降；碳排放的区域差异性依然明显，碳排放增速较快的省份大多集中在产业结构差异显著的东部和西部地区，可见，资源禀赋、要素投入、技术水平等因素会制约产业结构调整对碳排放影响作用的充分发挥。

(2) 中国各区域碳排放量存在空间维度的依赖性和异质性，不能脱离整体环境孤立的考虑自身节能减排战略，各个区域要力

求与周边地区协调、互助，共建以低碳排放为特征的产业体系。目前，产业结构高级化的低碳效应已有所显现，但减排效果的充分发挥会受经济规律与发展实际的制约；伴随着机械化步伐加快的农业发展为节能减排带来压力，工业发展的高能耗高污染特征凸显，因而二者比重与碳排放均显著正相关，而其余各类行业比重调整的碳排放效应不甚明显，减碳潜力有待于更充分的激发；鉴于农业的基础性地位，大幅缩减行业规模并不现实，应推进农业机械化与产业结构战略性调整相结合，积极构建行业的低碳发展模式；工业居于国民经济的主导地位，但其增长速度应得到合理控制，同时，要加快提升批发零售住宿餐饮及其他行业比例，而节能技术的创新开发和应用，技术进步与结构调整的协调一致，也是关键所在。

(3) 降低碳排放量与促进经济增长、扩大就业之间相互关联而又存在矛盾。即使在保证稳定增长与就业的前提下，中国的产业结构调整作为减少碳排放的手段仍在一定范围内有效；而既定的技术水平、所处的工业化阶段会在一定程度上影响到产业结构调整碳排放效应的充分发挥；为此，应推动低能耗、低排放、高附加值的高技术产业快速发展，并着力发展包括现代服务业在内的低碳型第三产业；另外，交通运输仓储邮政业与建筑业尽管属于高碳行业，鉴于其对于经济增长的重要保障作用，仍有在一定范围内扩张的需要。

(4) 中国工业结构调整对碳排放总体呈现较强的关联效应，但各行业与碳排放的关联程度存在一定的差异，主要取决于不同行业特性、生产和节能技术水平等因素；对碳排放关联效应及单位产值碳排放量都很大的行业，应成为结构调整的重点行业，如金属冶炼及压延加工业、采矿业、电力、燃气及水的生产和供应业和化学

工业等应适度缩减生产规模，加快淘汰落后产能，提高生产效率与能源利用率；有一类行业既包括以纺织业、食品制造及烟草加工业等传统轻工业，也包括通信设备、计算机及其他电子设备制造业和仪器仪表及文化、办公用机械制造业等先进制造业。这类行业的产值比重与碳排放的关联程度不是很高且相差不大，但也不可一味地任意扩张，为了低碳与增长兼顾，应分清调整主次与先后顺序，做到有所侧重，合理的确定扩张速度与发展模式。

牛鸿蕾

2014年10月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 问题的提出	(1)
1.2 研究现状与述评	(3)
1.3 研究意义	(18)
1.4 主要研究内容	(19)
1.5 研究方法与技术路线	(20)
1.6 主要创新之处	(22)
第 2 章 理论基础与相关概念	(24)
2.1 关于低碳经济	(24)
2.2 关于产业结构	(33)
2.3 关于产业结构调整的碳排放效应	(38)
2.4 本章小结	(44)
第 3 章 中国产业结构演进与碳排放概况	(46)
3.1 产业结构演进概况	(46)
3.2 碳排放的估算与比较分析	(58)

3.3	中国产业结构演进与碳排放量变化的 总体比较	(80)
3.4	本章小结	(81)

第4章 中国产业结构调整碳排放效应的空间面板

	数据分析	(82)
4.1	问题的提出	(82)
4.2	模型构建	(83)
4.3	变量说明与数据来源	(92)
4.4	实证结果分析	(94)
4.5	本章小结	(105)

第5章 基于灰色关联模型中国产业结构调整碳排放

	效应的实证分析	(108)
5.1	问题的提出	(108)
5.2	工业部门的碳排放概况	(109)
5.3	灰色关联模型的构建	(116)
5.4	实证结果分析	(121)
5.5	本章小结	(124)

第6章 中国产业结构调整碳排放效应的模拟测度

6.1	问题的提出	(127)
6.2	研究方法	(128)
6.3	多目标优化模型建立与求解	(132)
6.4	模拟结果分析	(138)
6.5	本章小结	(143)

第7章 结论与展望	(146)
7.1 主要结论	(146)
7.2 研究展望	(149)
参考文献	(151)

第 1 章

绪 论

1.1 问题的提出

大气中温室气体尤其是二氧化碳 (CO_2) 的增加是造成全球气候环境变化的一个重要因素, 对人类的生存和社会经济的可持续发展产生严重威胁。根据 2007 年 IPCC 第四次评估报告, 2005 年大气中二氧化碳 (379ppm) 和甲烷 (1774ppb) 的浓度远远超过了过去 650000 年的自然变化的范围; 全球二氧化碳浓度的增加主要是由于化石燃料的使用, 若到 2030 年以后, 在全球混合能源结构配置中化石燃料仍保持其主导地位, 全球温室气体排放量 (二氧化碳当量) 在 2000 ~ 2030 年期间则会增加 25% ~ 90% (IPCC, 2007)。随着经济一体化和产业转移的趋势不断加强, 我国工业经济开始加速发展, 对能源需求呈现跳跃式增长, 近些年来, 在国际上我国被认为碳排放总量已跃居世界第二位, 仅次于美国, 据国际能源机构的预测, 中国 2020 年二氧化碳排放将达到 15.43 亿 ~ 21.74 亿吨。可见, 面临严峻的碳排放形势、日益严重的能源威胁与环境恶化局面, 低碳化发展成为中国乃至全世界发展进程中一项必要和迫切的重要任务。

当碳排放的增温效应形成广泛共识, 低碳发展成为学术界关注的焦点问题, 自然引起人们对碳排放增长的驱动因素与控制方式的

探究；关于低碳经济的发展方式，鲍健强（2008）提出五种途径，其中有两项涉及产业结构调整问题：一是调整产业结构，发展具有低碳特征的产业，限制高碳产业的市场准入；二是发展低碳工业，优化能源结构，提高能源效率。杨万东等（2010）指出，作为一种新型的经济发展模式，低碳要求人们生活、生产内在质量的提升和消费方式的转变，产业结构的调整，通过这种方式中国就可能在未来的发展中找到一种产业发展方向。庄贵阳（2005）提出，同等规模或总量的经济，处于同样的技术水平，如果产业结构不同，碳排放量可能相去甚远，服务业单位产值消耗的能源非常有限，真正需要大量消耗能源的是工业制造业、建筑业和交通运输业。总之，国内学界对产业结构影响低碳经济的发展持肯定态度：不同行业的能源依赖与碳排放差异性仍不容忽略，产业结构（包括投入或产出结构）变化对碳排放的影响作用可能比较明显，会受到某种潜在机制的制约，且有别于其他因素的影响机制。

目前，我国政府已制定和实施了一系列产业政策和专项规划，将降低资源和能源消耗作为产业政策的重要组成部分，推动产业结构的优化升级，进而促进低碳经济的发展。2008年10月国务院发布《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书，白皮书把调整经济结构、促进产业结构优化升级作为减缓气候变化的重要政策之一，包括促进服务业加快发展，做大做强高技术产业，加快淘汰落后产能，遏制高耗能、高排放行业过快增长。2010年，国务院发表的《中国应对气候变化的政策与行动——2010年度报告》，该报告总结了加快调整产业结构能有效节约能源和提高能效，针对工业耗能占能源消耗总量比重偏高的状况，中国仍要通过调整工业内部结构、加快发展服务业等措施，进一步加大结构节能工作力度。

在上述背景下，低碳经济被作为产业结构升级转型的重要依据，也是助推我国产业结构升级转型的新途径，用来弥补产业结构升级转型方式的不足。另外，对于产业结构的研究，不能只关注财富的增长，还应考虑产业结构对包括碳排放在内的环境状况和自然

资源利用的影响。那么,解答以下问题显得尤为重要:第一,目前我国产业结构演进与碳排放变化的具体情况如何;第二,我国产业结构调整已经对碳排放量产生什么样的影响;第三,产业结构调整碳排放效应的发挥会受到哪些潜在因素的制约,其中,被长期忽略的空间相关性因素究竟能起到怎样的作用;第四,假若产业结构达到理论上的最优状态,可能产生多大的降碳效果,应如何来测度。前三个问题在一些研究中已有所涉及,但要么对产业结构的刻画过于简单,要么忽视空间效应的影响,研究的深度和广度仍有拓展空间,第四个问题是突破现有研究局限而提出的新问题。因此,本书以回答上述问题为主要目的,聚焦于中国产业结构调整碳排放效应问题。

1.2 研究现状与述评

1.2.1 基于方法角度的碳排放影响因素研究现状

不可否认,对碳排放影响因素的研究已成为气候变化领域关注的重点,下面将按照方法的划分,具体介绍该领域的主要研究进展。

1.2.1.1 指数分解分析法

在国际上,指数分解分析法(Index Decomposition Analysis, IDA)被广泛使用于能源与环境问题政策的制定领域,其基本原理是:将碳排放量的计算公式转化为各个因素指标的乘积形式,并根据不同的权重确定方法进行分解,以求得各个指标的增量份额。指数分解法最初主要有拉氏指数(Laspeyres Index)和帕氏指数(Pasche Index)分解法,分别以解释变量的基期和报告期为权数来对各解释变量进行微分展开,但两者均有分解残差。为实现完全分解,Sun(1998)提出将残差分摊给各因子,精练拉氏指数分解

法,但只适于加法分解,超过3个因子的分解形式极为繁琐。而 Divisia 指数分解是对时间进行微分,根据积分近似运算中权重构造方式不同,分为算术平均 Divisia 指数分解法 (AMDI) 和对数平均 Divisia 指数分解法 (LMDI)。目前,这一方法大致可分为三种:拉氏指数分解法 (Laspeyres Index)、简单平均分解法 (SAD)、自适应权重分解法 (AWD)。其中,拉氏指数分解法由于残差较大,近些年来较少被运用;简单平均分解法又包括:Boyd G. A. 等 (1987) 提出的算术平均 Divisia 指数分解法 (AMDI)、Ang B. W. 等 (1997, 2001) 提出的对数平均 Divisia 指数分解法 (LMDI, 包括 LMDI I 和 LMDI II)、Hyun - Sik Chung 等 (2001) 提出的平均增长率指数法 (MRCI) 等多种方法,而自适应权重分解法是由新加坡学者 Liu 和 Ang 等最先提出的。通过各种指数分解法的比较研究,Ang (2004) 认为,因为不像其他方法那么模式和技术化,对数平均迪氏最适合于碳排放影响因素的分解分析。

此外,为了进行碳排放研究,Albercht 等 (2002) 引入碳排放的 Shapley 分解模型,Ang 等 (2004) 将传统的两因素费雪指数法扩展到多因素,提出了广义费雪指数分解模型 (GFI),还有很多其他指数分解模型,例如,Paasche 指数分解模型、Marshall - Edgeworth 指数分解模型等,由于这类模型在碳排放的实际研究中运用较少,故不再详述。

早在 1991 年, Grossman 和 Krueger (1991) 就曾指出,规模效应、结构效应和技术效应是经济增长影响环境的三种可能渠道,可以表示为: $C_t = Y_t \sum_i S_{it} I_{it}$, 其中, C_t 表示第 t 年的碳排放总量, Y_t 表示第 t 年的 GDP, $t=0, 1, 2, \dots, k$ 表示不同年份,当 $t=0$ 时表示为基年, $i=1, 2, \dots, n$ 代表不同的行业, Y_{it} 为第 t 年第 i 类行业的增加值, I_{it} 表示第 t 年第 i 类行业的碳排放强度,即 $I_{it} = C_{it} / Y_{it}$, S_{it} 表示第 t 年第 i 类行业的增加值占 GDP 的比重,即 Y_{it} / Y_t ; 根据上述因素分解方法的不同思想,几种主要的表达式如表 1-1

所示。

表 1-1 碳排放增量不同分解方法的主要表达形式

方法		规模效应 (ΔY)	结构效应 (ΔS)	技术效应 (ΔI)
拉氏指数分解法		$\sum_i Y_i S_{i0} I_{i0} - C_0$	$\sum_i Y_0 S_{i1} I_{i0} - C_0$	$\sum_i Y_0 S_{i0} I_{i1} - C_0$
SAD 法	AMDI 法	$0.5 \sum_i (C_{i1} + C_{i0}) \ln(Y_1/Y_0)$	$0.5 \sum_i (C_{i1} + C_{i0}) \ln(S_{i1}/S_{i0})$	$0.5 \sum_i (C_{i1} + C_{i0}) \ln(I_{i1}/I_{i0})$
	LMDI 法	$\sum_i L(C_{i1}, C_{i0}) \ln(Y_1/Y_0)$	$\sum_i L(C_{i1}, C_{i0}) \ln(S_{i1}/S_{i0})$	$\sum_i L(C_{i1}, C_{i0}) \ln(I_{i1}/I_{i0})$
	MRCI 法	$\sum_i \frac{C_{i1} - C_{i0}}{A_i(*)} \cdot \frac{Y_{i1} - Y_{i0}}{\bar{Y}_i}$	$\sum_i \frac{C_{i1} - C_{i0}}{A_i(*)} \cdot \frac{S_{i1} - S_{i0}}{\bar{S}_i}$	$\sum_i \frac{C_{i1} - C_{i0}}{A_i(*)} \cdot \frac{I_{i1} - I_{i0}}{\bar{I}_i}$
AWD 法	PDM I 法	$\sum_i [C_{i0} + \alpha_i(C_{i1} - C_{i0})] \ln\left(\frac{Y_{i1}}{Y_{i0}}\right)$	$\sum_i [C_{i0} + \alpha_i(C_{i1} - C_{i0})] \ln\left(\frac{S_{i1}}{S_{i0}}\right)$	$\sum_i [C_{i0} + \alpha_i(C_{i1} - C_{i0})] \ln\left(\frac{I_{i1}}{I_{i0}}\right)$
	PDM II 法	与 PDM I 法在数学上是等价的,不同的是:由于碳排放与各因素之间的函数关系可能有差异且会变化,各因素的分解公式不能完全确定。		

注:表中所示均为表达式的加法形式,当 $C_{i1} \neq C_{i0}$ 时, $L(C_{i1}, C_{i0}) = (C_{i1} - C_{i0}) / \ln C_{i1} / C_{i0}$, 当 $C_{i1} = C_{i0}$, $L(C_{i1}, C_{i0}) = C_{i1}; A_i(*) = \frac{Y_{i1} - Y_{i0}}{\bar{Y}_i} + \frac{S_{i1} - S_{i0}}{\bar{S}_i} + \frac{I_{i1} - I_{i0}}{\bar{I}_i}$, $\bar{Y}_i = \frac{Y_{i1} + Y_{i0}}{2}$, $\bar{S}_i = \frac{S_{i1} + S_{i0}}{2}$, $\bar{I}_i = \frac{I_{i1} + I_{i0}}{2}$; α_i 为可变参数,随着时间推移及变量数据的变化而变化,体现了 AWD 的适应性特征。

当前的主流研究思路是借助于各种指数分解方法(以 Divisia 指数分解法为代表)将 Grossman 的观点广泛用于分解碳排放的影响因素。与 SAD 法相比,IDA 法只需使用部门加总数据,特别适合分解含有较少因素的、包含时间序列数据的模型,且操作简单,便于时间序列分析及跨区域比较,因此在环境经济领域得以更广泛

的采用。在国外, Shrestha 和 Timilsina (1996) 较早将 Divisia 指数分解法运用到该领域, 发现影响中国在内的亚洲 12 国电力行业二氧化碳强度的主导因素是燃料强度。Ang B. W. 等 (1998) 运用新提出的对数平均 Divisia 指数分解法, 研究中国工业部门因消费能源而排放的二氧化碳, 结果表明, 工业部门总产出的变化对 1985 ~ 1990 年该部门二氧化碳排放产生了比较大的正向效应, 而工业部门能源强度的变化则对二氧化碳排放起到了较大的抑制作用; Lee 和 Oh (2006) 通过 LMDI 法对 APEC 国家二氧化碳排放量分解发现, 人均 GDP 和人口数量才是导致碳排放量增长的最主要因素; Claudia S 等 (2010) 则分析了 1970 ~ 2006 年墨西哥钢铁行业能源和二氧化碳排放量的发展趋势; 此外, 基于自适应权重分解法 Lee Schipper 等 (2001) 分析了 IEA 成员国制造行业的碳排放, 发现 1994 年的碳排放量相对于 1973 年还是有所下降的, 出口贸易量增加的正向效应被能源利用率提高完全抵消。

在国内, 王灿等 (2005)、魏一鸣研究小组 (2007) 先后在国际期刊上发表文章, 同样是基于 LMDI 法和中国的统计数据, 前者分析能源消耗相关的碳排放影响因素, 后者分析工业终端能耗碳排放的影响因素, 把研究对象扩大到 36 个行业, 证明工业结构变化、终端能源强度是会大幅度影响二氧化碳排放; 徐国泉等 (2006) 基于中国人均碳排放的因素分解模型分析能源结构、能源效率和经济发展等因素对人均碳排放的影响, 结果显示能源效率对抑制中国碳排放的作用在减弱, 以煤为主的能源结构未发生根本性变化, 两者的抑制作用难以抵消由经济发展拉动的碳排放量增长; 运用该方法, 吴立波 (2006) 分析我国 1980 ~ 2002 年能源消费导致碳排放的驱动因素, 主春杰等 (2006) 将中国部分省份、区域能源消费导致的二氧化碳排放量变化分解为五个主要影响因素: 化石燃料的排放系数、能源消费结构、能源强度、人均 GDP 和人口总数五个主要影响因素; 王铮和朱永彬 (2008) 核算中国各省 1995 ~ 2006 年能源消费导致的碳排放量, 进行比较分析, 发现能源消费

结构中煤的比重、第二产业比重、科技发展水平都会一定程度上影响某些区域的碳排放；采用“两阶段”LMDI法，宋德勇和卢忠宝（2009）分析我国碳排放周期性波动的特征，结果表明，不同阶段的经济增长方式差异引起碳排放波动；朱勤等（2009）综合考量宏观经济多项因素对能源消费碳排放进行分解，发现经济产出效应对降碳的贡献最大，应以调整产业结构、优化能源结构及提高能源效率为工作重点；刘畅等（2008）研究了技术进步及能源价格对工业行业能源消耗强度的影响，表明科技经费支出增加，能源相对价格的提高有助于高能耗行业节能降耗；为突出地区间的差异性，体现区域特征，这一方法也可被用于研究某些省域或地区的碳排放影响因素。以江苏省为例，温景光（2010）采用对数平均权重 Divisia 分解法从能耗结构、能源效率与经济增长三个方面分解分析江苏省人均碳排放的增长因素；在系统分析江苏省碳排放情况的基础上，赵欣等（2010）利用 LMDI 法就此进行定量分析；采用 AWD 方法，魏一鸣等（2007）实证分析了我国 1980~2003 年能耗碳排放强度和原材料部门的最终能源消费碳排放强度，结果显示实际能源强度下降与能耗结构改变都能对碳排放强度产生很大的影响，第二产业应作为国家或地区政策关注的重点领域。

1.2.1.2 基于投入产出表的结构分解分析法

结构分解分析法（Structure Decomposition Analysis, SDA）是以投入产出模型为基础的一种比较静态分析法，有着很好的理论背景，利用投入产出表中的数据，可对各影响因素进行较为细致的分析，清晰的显示碳排放与经济变量之间的关系。国外学者中，最早是 Leontief 和 Ford（1972）利用这种方法解析美国空气污染排放的变动，Caster 和 Rose（1998）对 1972~1982 年美国碳排放变动进行结构分解，Peters 等（2007）、Zhang（2009）基于 SDA 的结构化解析方法研究中国碳排放和碳排放强度变化；Yabe（2004）对日本，Tolmasquim 和 Machado（2003）对巴西，Lenzen（1998）

对澳大利亚, Mongelli, Tassielli 和 Notarnicola (2006) 对意大利, Mukhopadhyay (2004) 对印度利用投入产出分析方法做了碳排放的研究; 国内学者中, 陈红敏 (2009) 扩展投入产出方法计算隐含碳排放的框架, 同时计算各部门由能源消耗导致的隐含碳排放和由某些工业生产过程导致的隐含碳排放, 证实建筑业是隐含碳排最高的行业, 但产生增加值较低; 魏本勇等 (2009) 以 2002 年为例, 从最终需求角度估算出口贸易引起的直接和间接碳排放, 提出应缩减高能耗行业出口、促进技术转让的吸收; 齐晔 (2008) 对 1997 ~ 2006 年进出口贸易的隐含碳进行评估, 发现同为碳排放的受益者, 中国为外国转移大量碳排放; 刘红光等 (2010) 通过建立非竞争型投入产出分析框架下的碳排放结构分析模型及其敏感性分析方法, 分析经济结构调整的排放敏感性; 余慧超和王礼茂 (2009) 测算了 1997 年和 2002 年中美商品贸易中各相应部门的碳排放转移量, 结果表明中国为美国碳减排做出很大的潜在贡献, 而美国等发达国家应有效提供环境友好型技术援助; 李小平等 (2010) 采用环境投入产出模型和净出口消费指数等方法, 根据中国 20 个工业行业与 G7 和 OECD 等发达国家的贸易数据, 实证分析国际贸易等因素如何影响工业行业碳排放, 发现发达国家向中国转移的不只是“污染”产业, 还有“干净”产业。尚红云 (2009) 采用投入产出分析方法, 构建结构分解模型, 将三种大气污染物排放量变动分解为技术进步效应、最终需求结构变动效应和最终需求总量变动效应, 发现促进技术进步是节能减排的最佳选择。

1.2.1.3 基于 IPAT 方程及其变形式的方法

1971 年, Ehrlich 和 Holden (1971) 首次提出建立“IPAT”等式来反映人口对环境压力的影响, 认为人口规模、经济发展水平和科技进步等因素会对碳排放产生综合的驱动作用, 即恒等式:

$$\text{环境影响 (I)} = \text{人口 (P)} \times \text{人均财富 (A)} \times \text{技术水平 (T)}$$