

北京现代产业新区发展研究基地资助

城市居民 能源消费的经济—环境评价 ——方法与应用



王振全 著

中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

北京现代产业新区发展研究基地资助

城市居民能源消费的 经济 - 环境评价 ——方法与应用

王振全 著

中国石化出版社

F426.2

122

图书在版编目 (CIP) 数据

城市居民能源消费的经济-环境评价: 方法与应用/王振全著. —北京: 中国石化出版社, 2014.12

ISBN 978-7-5114-3121-9

I. ①城… II. ①王… III. ①城市-居民-能源消费-经济评价-中国②城市-居民-能源消费-环境生态评价-中国 IV. ①F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 287206 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

889×1194 毫米 32 开本 5.125 印张 112 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定价: 28.00 元

前 言

人类社会的发展可以归结为能源利用技术的进步,其终极目的是提高人类的生活质量。在近现代社会,这种“生活质量”是以获得产品和服务的数量和质量来衡量,从而导致对经济增长的追求。产品的生产需要相应的能源消耗来支撑,而到目前为止,人类成熟的能源利用技术可以归结为“碳化石燃料技术”,即经济上可行的能源利用方案是燃烧碳化石。

在“工业革命”以来的两百多年历史中,随着人类征服自然能力(即所谓“生产力”)的提高以及对经济增长的追求,人类大量地燃烧碳化石,不仅导致化石能源紧缺,而且造成了地球大气环境失衡,即“温室效应”。遭到破坏的自然环境反过来使人类的生活环境质量下降,甚至可能影响人类的生存,所以近年来我们不得不启动“应对全球气候变化机制”。因此,发展到今天的生产力水平的人类需要解决一个基本的理论问题——“经济增长与保护环境”的权衡,在方法论上这是一个“目标冲突规划问题”。

西方发达国家的经验表明,“重化工业”是工业化过程十分重要的阶段,以能源消耗支撑基础工业发展和经济增长是其典型特征。正处于“重化工业”阶段的中国社会经济发展面临的两个基本要素,分别是“有煤、少油、缺气”的能源资源禀赋和不断飙升的国际油价,这决定了中国需要依靠煤炭度过关键的“重化工业”阶段。然而,煤炭是 CO_2 和其他对地球大气环境有害的气体排放量最大的能源资源,近年来中国经济

的繁荣一定程度上是以资源消耗和环境污染为代价换取的,而且造成了“在西方发达国家利用减碳进行经济转型的大背景下,我国 CO₂ 排放总量却在逐年上升”的局面,并一定程度地使我国在“应对全球气候变化机制”谈判中处于被动地位。因此,我国的经济持续稳定增长面临着“增长速度和能源消费”的抉择问题。另一方面,保持一定的经济增长速度是我国过去和未来相当长一段时期内不可动摇的生存基础,所以我们能做的就是能源资源或品种及其利用技术的选择问题。也就是说,由于低排放的能源资源或技术(例如煤炭的清洁利用)具有较高的成本,而低成本的能源资源及其利用技术往往具有较高的排放,所以我们面临的是“在保持一定经济增长速度的前提下使得能源消费的成本和排放综合水平最低的能源资源和技术组合”的选择问题。然而,科学的决策(选择)必须以客观的评价结果为依据,但是到目前为止对这个问题在理论上还没有科学的评价方法,在实践中仅限于依靠专家的经验探索性解决。因此,需要探索“能源消费的成本和排放综合水平最低”的评价方法,在方法论上称之为“能源消费的环境—经济评价”。

本书的内容主要来源于作者承担的北京市哲学社会科学规划项目的研究工作。该研究结合能源消费与环境污染和成本这两个相冲突要素密切相关的特点,将其作为“冲突目标决策”研究领域的特例,首先提出了“能源消费的环境—经济评价”的概念。在评价方法的探索性研究过程中结合可依据的能源消费相关数据探索了能源消费及其环境影响分布的评估方法。

积累实践材料是发展科学方法的基础,“能源消费的环境—经济评价”也不例外,其中能源消费排放的经济评价更具个别性和具体性。就北京市而言,其主要能源消费可归结为城市交通、城市建筑和冬季采暖三个方面,其对环境的影响主要是 CO_2 和其他有害气体排放。本研究通过对北京市在冬季采暖和机动车限行等节能减排措施的分析,以及城市建筑节能和太阳能利用的调查分析,为创建“能源消费的环境—经济评价”方法提供研究经验,并作为能源经济研究的素材积累。

本书分为两部分共八章,总结和归纳本研究研究的主要结论和成果。

第一部分介绍相关的理论研究内容,分为三章。第一章提出和解释了“能源消费的环境—经济评价”的基本概念或思路;第二章介绍了“内涵能源消费强度”和“内涵 CO_2 排放强度”的评估方法;第三章作为应用实例估算了我国内涵能源消费和内涵 CO_2 排放强度。第二部分介绍本研究相关应用研究的结论。第四章介绍北京市能源消费的特征,并以此作为后续几章的依据。第五章和第六章分别讨论北京市城区采暖能源消费和机动车限行的环境—经济评价;第七章介绍北京市建筑能耗与节能的调查分析结果;第八章介绍北京市太阳能利用及其发展状况。

能源消费产生的环境污染与经济增长是一对相生相伴的矛盾,本研究基于这一矛盾提出“能源消费的环境—经济评价”的理念。这一评价方法的创建需要现实数据作为研究和分析的依据,并经过经验积累而逐步完善。然而,由于关于

能源消费对环境影响的相关历史数据十分缺乏,甚至在只关注经济数据的我国统计系统中还没有标准的统计口径和科学的统计方法。这既是本研究研究的魅力所在,也成为本研究的深入研究工作的瓶颈,从而导致第四、五章介绍的“环境—经济评价”相关分析缺乏深度,即缺乏有数据支撑的科学性;其次,第二、三章介绍的内容试图通过国民经济数据探索能源消费对经济和环境的影响,但对环境—经济评价评价方法研究的贡献并不明显。

、 本研究的探索研究过程中遇到了许多(甚至目前还不可逾越的)困难及问题,在我们团队许多专家和学者的帮助和支持下才使得本研究工作得以完成,并在解决和讨论这些问题的过程中展开了能源经济的多个领域的研究工作。这些研究工作相辅相成,对本研究的完成起到了不可替代的作用。

陈彦玲教授主持的国家哲学社会科学基金资助项目“我国石油经济安全研究”提出的“与能源消费匹配的适度经济增长”问题为本研究提供了立项思路和依据;陈首丽教授主持的北京市“十一五”规划项目“北京市能源消费统计调查与分析”为本研究的部分研究工作提供了相关数据。特别是李欣教授主持的关于能效管理研究的北京市“十一五”规划项目拓宽了本研究的思路。

构成本书的研究内容参考或借鉴的国内外学者公开发表的研究成果在参考文献中列出,在本研究成果汇集成书之际,对他(她)们一并表示感谢。当然,作者承担书中的错误、不当或不精确结论的文责。

本书系北京现代产业新区发展研究基地标志性成果。

目 录

第一章 引言	(1)
1.1 问题的提出	(1)
1.2 能源消费的基本规律与环境损失	(4)
1.3 能源消费环境损失的进一步讨论之大气污染损失 ...	(7)
1.4 本章小结	(9)
第二章 商品和服务内涵能源及其 CO ₂	
排放强度估算方法	(13)
2.1 引言	(13)
2.2 内涵能源强度的生产过程能源均衡分析方法	(16)
2.2.1 产品生产过程的能源流	(16)
2.2.2 产品能源承载均衡方程	(19)
2.3 能源强度的投入-产出分析方法	(22)
2.3.1 基本方程——封闭经济的情形	(23)
2.3.2 转移进口的处理	(24)
2.4 内涵二氧化碳(CO ₂)排放强度的估算方法	(27)
2.4.1 二氧化碳排放的估算方法	(28)
2.4.2 商品与服务的内涵 CO ₂ 排放强度	(31)
第三章 我国商品与服务内涵能源及其 CO ₂	
排放强度的估算	(35)
3.1 相关统计数据资源	(35)

3.1.1 我国投入-产出表及其部门划分	(35)
3.1.2 初始能源数据来源与处理	(38)
3.2 初始能源投入的分配与处理	(40)
3.2.1 国内初始能源投入的分配	(40)
3.2.2 进口能源产品的分配	(41)
3.2.3 内涵 CO ₂ 排放的能源投入处理与分配	(43)
3.3 初始能源投入的数据处理	(44)
3.3.1 内涵能源强度的初始投入	(44)
3.3.2 内涵 CO ₂ 排放强度的初始投入	(45)
3.4 估算结果	(47)
3.4.1 部门产品的内涵能源和 CO ₂ 排放强度的 计算结果	(47)
3.4.2 估算结果的比较分析	(50)
3.4.3 关于内涵 CO ₂ 排放强度估算结果的 进一步分析	(53)
3.5 本章小结——应用前景与问题	(56)
第四章 北京市居民能源消费与 CO ₂ 排放	(61)
4.1 北京市能源消费的特征	(61)
4.2 北京市能源生产的特点和内涵能源与 CO ₂ 排放强度的估算	(68)
4.2.1 北京市能源生产的特点	(68)
4.2.2 北京市内涵能源与 CO ₂ 排放强度及其分布 ...	(72)
第五章 北京城区采暖能源消费的环境-经济评价	(75)
5.1 北京城镇居民采暖方式现状	(76)

目 录

5.1.1 北京城镇居民采暖方式	(76)
5.1.2 煤炭采暖	(78)
5.1.3 天然气采暖	(79)
5.1.4 电采暖现状分析	(80)
5.2 采暖资源价格和污染分析	(81)
5.2.1 采暖资源价格分析	(81)
5.2.2 采暖资源污染分析	(83)
5.3 综合评价	(84)
5.3.1 采暖用能经济分析及效率评价	(84)
5.3.2 采暖方式经济分析及效率评价	(86)
5.4 结论	(90)
第六章 北京城区机动车限行环境-经济评价	(93)
6.1 北京市交通与空气环境现状	(93)
6.2 机动车限行的影响	(96)
6.2.1 机动车限行规定对公共交通影响	(98)
6.2.2 机动车限行对相关经济影响	(100)
6.3 机动车限行制度评价及利弊分析	(105)
6.3.1 限行制度经济环境评价	(106)
6.3.2 限行制度利弊分析	(108)
6.4 机动车限行政策建议及展望	(110)
第七章 北京市建筑能耗与节能的调查与分析	(113)
7.1 北京市建筑能耗状况	(113)
7.1.1 北京市建筑节能存在的潜力	(113)
7.1.2 北京市建筑节能的指导思想、工作原则	(115)

7.1.3 北京市建筑能耗基本状况	(116)
7.1.4 北京市建筑采暖技术、空调节能、 照明节能情况	(116)
7.2 北京市建筑节能状况	(118)
7.3 建筑节能误区与问题	(120)
7.3.1 北京市建筑节能误区分析	(120)
7.3.2 北京市建筑节能的主要问题	(123)
第八章 北京市太阳能利用现状分析	(127)
8.1 我国太阳能产业现状	(128)
8.2 我国太阳能市场状况	(130)
8.3 北京市太阳能利用的市场现状调查	(132)
8.3.1 调查的主要内容	(132)
8.3.2 数据处理	(132)
8.3.3 调查结果	(132)
8.4 发展太阳能产业的障碍	(134)
8.5 发展太阳能产业的政策建议	(135)
参考文献	(139)
附录 A	(147)
A1 基本问题和结论	(147)
A2 大气排放环境污染问题的讨论	(151)
附录 B	(154)

第一章 引言

——能源消费的环境—经济评价方法引论

能源消费产生的环境污染与经济增长是一对相生相伴的矛盾,对碳能源的过度消费造成全球温室效应已经造成影响人类生存的危机,其解决方案之一是在节约能源的前提下尽量减少能源消费的碳排放。但是“减碳”需要成本,所以我们面临能源消费方案的经济性和清洁性的抉择问题。本章介绍“能源消费的经济性和清洁性”评价问题的一种新的探索性解决方案,我们称之为“能源消费的环境-经济评价”。

1.1 问题的提出

对于支撑我国经济增长速度基本需求的能源消费水平,我们面临着能源消费的经济性(低成本)和清洁性(低污染)的选择问题。显然,我们不可能完全放弃大气污染排放最大的煤炭能源,因为根据能源消费与经济发 展的“倒 U”理论,中国正处于能源消费强度最大的“重化工业”阶段,而且我国社会经济发展面临的两个基本要素(有煤、少油、缺气的资源禀赋和不断飙升的国际油价)决定了中国需要依靠煤炭度过关键的“重化工业”阶段。我们也不能完全放弃经济成本较高的清洁能源的开发使用,否则超量的大气污染排放不仅会造成我们的生活环境恶

化,也不符合应对全球变暖的国际公约,放弃清洁能源的同时也会使我们失去清洁能源开发和利用技术的机遇。

这是一个目标冲突的规划问题,我们需要构造一个既能反映不同能源品种(及其利用方式)组合的消费成本,又能反映其排放对大气污染状况的综合指标,前者称为能源消费的经济性,后者称为其清洁性。

例如,在既定的技术条件下,为支撑一定的经济总量我们需要消费一定的能源总量,假设我们只有原煤和天然气两个能源品种可供选择。为明确起见,记能源消费总量为 E_T (能源单位),原煤消费量分别为 E_c ,则天然气额消费量为 $E_g = E_T - E_c$ 。可以得到这个能源消费组合方案的成本为

$$C_p = P_c E_c + P_g E_g = P_g E_T + (P_c - P_g) E_c \quad (1.1)$$

通常天然气的价格大于煤炭价格(能量单位),在上式中 $P_c - P_g < 0$,所以如图 1.1 所示,这个能源消费组合方案的成本是煤炭消费量的减函数。如果我们已经构造了煤炭和天然气的“污染指数” $I_c(x)$ 和 $I_g(x)$,则相应能源消费组合方案的污染指数可以表示为^①:

$$I_p = I_c(E_c) + I_g(E_g) = I_c(E_c) + I_g(E_T - E_c) \quad (1.2)$$

注意到 $I_c(x)$ 和 $I_g(x)$ 都是 x 的增函数,所以当给定能源消费总量 E_T 时,这个能源消费组合方案的污染指数(I_p)是煤炭消费量的增函数(如图 1.1 所示)。于是我们可以构造这个能源消费组合方案的综合评价指标 $Z_p(x) = C_p(x) + I_p(x)$,其中 x 是这个能源消费组合中煤炭的消费量。

如图 1.1 所示,在得到相关能源消费“清洁性指标” $I_c(x)$ 和 I_g

① 排放的大气影响与排放的尺度和历史积累有关,为便于叙述这里假设不同排放源对大气污染具有可加性。

(x)的条件下,这个能源消费的最优组合问题就变成简单的优化问题:

$$\min_{E_T \geq x \geq 0} Z_p(x) = C_p(x) + I_p(x) \quad (1.3)$$

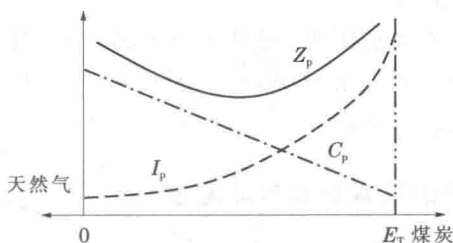


图 1.1 组合能源消费的经济性与清洁性综合指标

首先,如果(1.2)式中的 $I_c(x)$ 和 $I_g(x)$ 是连续的,则根据一般连续函数的性质(1.3)的解存在。其次,如果 $I_c(x)$ 和 $I_g(x)$ 的二阶导数存在(即“充分光滑”),且 $I_c''(x) \geq 0$, $I_g''(x) \geq 0$,则 $Z_p''(x) = I_c''(x) + I_g''(E_T - x) > 0$ (其中“'”表示对 x 的导数),则(1.3)的解唯一,且满足 $Z_p'(x) = C_p'(x) + I_p'(x) > 0$ 。

进一步,如果 $I_c(x)$ 的增速大于 $I_g(x)$ 的增速,即 $I_c''(x) > I_g''(x) > 0$,且当消费量 x 小于一定的规模时, $I_c(x)$ 和 $I_g(x)$ 的增速接近于零,于是(1.3)的解在 $(0, E_T)$ 中存在且唯一。

事实上,由 $C_p(x) = P_g E_T + (P_c - P_g)x$, $I_p(x) = I_c(x) + I_g(E_T - x)$ 有 $Z_p'(x) = (P_c - P_g) + I_c'(x) - I_g'(E_T - x)$ 。

于是,当 $x(>0)$ 充分小的时候 $I_c'(x) \leq I_g'(E_T - x)$,且 $Z_p'(x) < P_c - P_g < 0$;而当 x 接近于 E_T (即 $E_T - x \approx 0$)时, $I_g'(E_T - x) \approx 0$,且煤炭的消费量足够大,使得 $I_c'(x) > (P_g - P_c)$,从而 $Z_p'(x) > 0$ 。又因为 $Z_p''(x) = I_c''(x) + I_g''(E_T - x) > 0$,所以如图 1.1 所示,存在唯一的点 $x^* \in (0, E_T)$ 满足 $Z_p'(x^*) = 0$ 。

这一原理可以推广到由多种能源资源组成的能源消费组合

优化问题,并且以上分析说明,“能源消费的环境-经济评价”最终归结为衡量能源消费“清洁性”指标的构造问题(详见附录A)。然而,到目前为止还没有关于能源消费的温室气体排放经济评价的一般标准,更没有可与经济指标比较的定量指标。这构成了本研究的主要困难,也是本研究的动力。针对上述分析,需要讨论能源消费及其排放的一般规律,以确立上述分析过程中使用的相关假设条件。

1.2 能源消费的基本规律与环境损失

为了支持上一节讨论中给出的假设条件,我们需要较详细地讨论能源消费的基本规律。总体上说,任何能源消费都与环境污染和成本这两个相冲突的基本因素相关联,图1.2示意了这种一般规律。

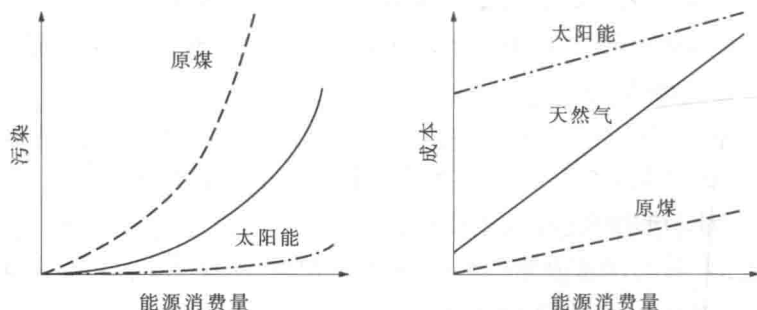


图 1.2 能源消费的矛盾冲突因素

首先,就能源资源的直接利用而言,容易获取、价格低廉的能源资源其消费对环境造成的污染要大一些;而对环境污染较轻的能源资源,其消费成本相对要高一些。例如,原煤是目前单位能量成本最低的能源,但其自然燃烧释放能量造成的污染(CO_2 和其他有害气体的排放)最大;而利用太阳能(不计蓄电池)

的污染最小,但其建造成本很高,因而一定规模之内的单位能量成本最高。

其次,为减轻高污染能源的消费对环境造成的损害可以对其进行处理,但需要付出相应的成本,对其进行处理的经济可行性以最终产品的竞争价格为依据。例如煤炭发电中的除硫工艺减轻了硫化物对大气的污染,但需要付出相应的成本(目前的技术条件下其成本是可以接受的);再如,使用3年以上的太阳能热水的成本(按热量计)已经低于其他任何方式的热水成本,但是目前电能还是占绝对比重的能源消费方式,低温热水仅占能源消费总量极低的比重,而目前太阳能发电的成本还是比煤电高很多。即使对于同一个能源品种、不同的能源利用方式也存在“经济性和清洁性相冲突”的一般规律。所以任何能源消费都与环境污染和成本这两个相冲突的基本因素相关系。

根据上述能源消费的一般规律,可以对我们所关心的与能源消费密切相关的两个基本要素(即经济性和清洁性)作细致的分析。

在经济性方面,任何能源消费的成本与消费量呈简单的线性正增长关系,即 $C_a(x) = P_a x$, 其中 P_a 和 x 分别是能源资源 a (能量单位)的价格和消费量。

在清洁性方面,问题的描述就复杂得多。

显然,环境治理专项工程或项目也需要消费能源,但绝对多数的能源消费的目的是社会经济活动。为明确起见,以下讨论的是“非环境治理的能源消费”。

由于能源消费的“污染”既包含 CO_2 和其他有害气体的排放,也包括对环境的其他损害,所以其计量所涉及的因素比较多。我们参照生态经济学关于工程项目的“生态成本”和环境经济学关于工程项目的“环境成本”计量方法,将消费 x 单位能量

的能源资源 a 所造成的环境损失记为 $I_a(x)$, 称之为能源消费的环境损失。这是一个与能源消费成本具有可比性的计量指标, 根据能源消费对环境造成损害的特征, 能源消费的环境损失函数 $I_a(x)$ 有一些具普遍意义的性质。

首先, 我们讨论的是能源消费, 而不讨论能源供给, 所以 $I_a(x) \geq 0$ 仅对 $x \geq 0$ 有意义, 且 $I_a(0)=0$ 。其次, 同一种工艺, 同一能源资源的消费, 其对环境造成的损害与能源消费量呈正比例关系, 而环境受到损害造成的损失随着能源消费排放的增加而增加, 从而其能源消费对环境造成的污染损失与能源消费量具有连续的正向关系。所以当且仅当 $x=0$ 时, $I_a(0)=0$ 。

第三, 温室气体对大气的环境影响有积累效应, 每单位能源消费的增量引致的环境损失影响会随着能源消费排放的积累而增加, 所以 $I_a(x)$ 的单位增量随着能源消费量 x 的增加而提高, 即 $I_a(x)$ 通常是边际递增的。为保守起见, 这一性质可以放宽为“边际非减性”。

另一方面, 容易获取、价格低廉的能源资源其单位能量的碳排放(和其他有害气体排放)相对要高一些, 因而其消费的排放对环境造成的污染损失也要大一些; 相反, 单位能量排放小, 从而对环境污染较轻的能源资源其消费成本相对要高一些。也就是说, 对于不同能源品种 (包括相同能源资源的不同消费工艺) 的消费, 单位成本与单位排放成反方向关系。所以如图 1.2 所示, 不同能源品种(或相同能源资源的不同消费工艺)的消费成本与环境损失呈反方向关系。即经济成本较低的能源消费其对环境的损害更大。其基本原理表述如下。

设有 a 和 b 两种能源产品, 其消费的单价分别为 P_a 和 P_b , 消费 x 单位的环境损失分别记为 $I_a(x)$ 和 $I_b(x)$ 。如果 $P_a < P_b$, 则必然有 $I_a(x) > I_b(x)$ 。实际上, 对于相同目的或用途的能源消费, 如