

基于3E分析方法的洁净煤 技术评价选择与案例研究



JIYU 3E FENXI FANGFA DE JIEJINGMEI
JISHU PINGJIA XUANZE YU ANLI YANJIU

邓玉勇 著



经济科学出版社
Economic Science Press

2009 年度教育部人文社会科学研究青年基金项目（项目批准号：09YJCZH065）

基于 3E 分析方法的洁净煤技术 评价选择与案例研究

邓玉勇 著

经济科学出版社

责任编辑：柳 敏 于海汛

责任校对：王肖楠

版式设计：代小卫

技术编辑：邱 天

图书在版编目 (CIP) 数据

基于 3E 分析方法的洁净煤技术评价选择与案例研究/
邓玉勇著. —北京：经济科学出版社，2011. 6

ISBN 978 - 7 - 5141 - 0767 - 8

I. ①基… II. ①邓… III. ①清洁煤 - 脱硫与固硫 -
研究 IV. ①X701.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 112719 号

基于 3E 分析方法的洁净煤技术 评价选择与案例研究

邓玉勇 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

总编部电话：88191217 发行部电话：88191540

网址：www. esp. com. cn

电子邮件：esp@ esp. com. cn

北京京鲁创业科贸有限公司印装

880 × 1230 32 开 7.75 印张 210000 字

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 0767 - 8 定价：15.00 元

(图书出现印装问题，本社负责调换)

(版权所有 翻印必究)

前 言

发展以低能耗、低污染和低排放为基础的低碳经济正在成为全球各国政府的共识，但是各国发展低碳经济的技术和途径受本国能源资源禀赋和生产消费结构特点的影响。煤炭是我国最重要的化石能源，在常规能源资源中储量最为丰富。我国以煤为主的能源结构和以重化工业为主的产业结构，决定了洁净煤技术及其产业是我国转变高碳经济增长模式，发展低碳经济的一个重点领域。

洁净煤技术及其产业的发展离不开科学的规划，而规划的前提则需要对不同洁净煤技术进行准确的评价和合理的选择。目前洁净煤技术评价研究成果很多，但多数是从企业应用、技术研究等微观角度评价，从宏观管理、国家政策制定角度评价的较少。很多研究仅仅从经济的或技术的角度出发，很少考虑洁净煤技术对社会、经济、环境、能源等方面综合的影响。评价结果往往只体现出某方面的效益，而无法体现出经济、社会、环境的综合效益。洁净煤技术体系涵盖领域广泛，技术种类众多，不同技术之间技术原理差别很大，某一技术不同工艺间有时也存在很大的差异，这是造成洁净煤技术综合评价困难的重要原因。所以，要建立一套为政策服务的洁净煤技术综合评价体系，必须站在推广应用的角度，寻找不同技术、不同工艺之间的可比性。在此基础上，构建模型，进行洁净煤技术评价。

洁净煤技术评价实质上是洁净煤技术预见的一部分。洁净煤技术预见可以帮助研究者了解我国经济社会、科技发展对洁净煤技术

的需求和影响,把握洁净煤技术发展趋势。但是技术预见理论尚不完善,技术预见过程中对技术评价环节重视不够。目前,洁净煤技术评价研究多数从微观角度评价,具体的洁净煤技术评价较多,而从宏观角度的评价和综合评价较少。此外,洁净煤技术评价较少考虑地区之间的差异性,还没有很好地融入到洁净煤技术预见中来。

3E 指的是能源 (Energy)、经济 (Economy)、环境 (Environment)。3E 分析方法就是从能源、经济和环境三个角度分析问题。目前 3E 分析方法的研究主要围绕着 3E 模型建立展开。利用 3E 分析方法可以实现对洁净煤技术多角度、综合的评价。将 3E 分析方法引入技术预见,并与洁净煤技术评价相结合不仅可以丰富技术预见方法体系,更好地完善洁净煤技术评价方法,而且有助于推动能源领域技术经济评价理论研究的发展。这将是未来洁净煤技术评价的一个趋势。

本书在分析能源、经济、环境三者相互关系的基础上,探讨了能源—经济—环境系统形成,指出 3E 系统内的物质能量流动、经济活动的外部不经济性、传统的经济发展模式、能源和环境资源的稀缺性、市场失灵、能源技术等是制约能源—经济—环境系统运行的主要因素。

洁净煤技术是实现煤炭可靠、廉价和洁净利用的重要技术。制定洁净煤技术发展规划是我国政府能源工作的一项重要内容,而洁净煤技术发展规划的基础是对不同洁净煤技术进行准确的评价和合理的选择。因此,洁净煤技术评价方法的研究具有重要的理论意义和应用价值。

在研究能源—经济—环境相互影响机制的基础上,分析了洁净煤技术对能源—经济—环境系统的影响。洁净煤技术对能源—经济—环境系统影响的分析表明:洁净煤技术对能源系统的影响主要体现在提高煤炭利用效率,提升能源技术水平,促进能源利用方式的转变,优化能源结构,增加能源的供给,保障国家能源安全上;洁净煤技术对经济系统的影响主要体现在有利于产业结构调整 and 促

进经济可持续发展上；洁净煤技术对环境系统的影响主要体现在减少污染物排放，削减环境污染和充分利用资源上。

利用 3E 分析方法，按照“作用—反应—描述”的基本思路，本书构建了洁净煤技术宏观选择评价指标体系。宏观选择评价指标体系由四层指标构成：其中一级指标有 3 个，分别是能源指标、经济指标和环境指标；二级指标有 6 个，其中能源指标包含了能源生产影响指标和能源消费影响指标，经济指标包括了国民经济指标和企业指标，环境指标包括环境收益指标和环境改善程度指标；三级指标有 9 个；四级指标共计 21 个。宏观选择评价指标体系可应用于宏观层面优先推广应用的洁净煤技术选择。

利用 3E 分析方法，按照“作用—状态—描述”的基本思路，本书构建了洁净煤技术地区选择评价指标体系框架。地区选择评价指标体系中一级指标有 3 个：包括能源指标、经济指标、环境指标；二级指标有 6 个，每个一级指标下又包含 2 个二级指标，即需求指标和压力指标，需求指标是由内生变量构成的指标，压力指标是由外生变量构成的指标；三级指标需结合洁净煤技术的种类来设置。地区选择评价指标体系可应用于某一洁净煤技术在不同地区推广应用的优先选择。

洁净煤技术评价属于多指标的决策问题。本书采用投影法建立评价模型。投影法本质上是一种加权法。其基本原理是在对指标值进行无量纲化和适当加权处理的基础上，计算被评价对象决策指标向量在该理想决策指标向量方向上的投影值，以此作为综合评价的基础。

为验证模型的实用性，本书以电厂烟气脱硫技术为例进行实证研究。对我国电力工业发展的分析表明，火电是我国的主力电源，火力发电行业向大气中排放的污染物呈逐年上升趋势。解决电厂排放的二氧化硫污染是一个非常急迫的问题。电厂烟气脱硫技术是减少电厂二氧化硫污染的最有效途径之一，国外的电厂烟气脱硫技术已经广泛应用于电力行业，国内的应用也已经进入到商业化运行阶

段。本书选择了我国比较常见的 6 种电厂烟气脱硫技术——石灰石（石灰）—石膏湿法、海水法、喷雾干燥法、烟气循环流化床、炉内喷钙加后部增湿活化和电子束法，运用已建立的评价指标体系和评价模型进行了宏观选择评价。根据评价结果，6 种脱硫技术选择的优先顺序为：石灰石（石灰）—石膏湿法、烟气循环流化床、海水法、炉内喷钙加后部增湿活化、喷雾干燥法、电子束法。结果分析显示，应将石灰石（石灰）—石膏湿法脱硫工艺作为在全国范围内优先推广的重点，并有选择地推广应用烟气循环流化床和海水法。炉内喷钙加后部增湿活化和喷雾干燥法推广时应定位于燃用低硫煤中小型机组。电子束法应逐步积累起商业化经验后再作推广。

由于各地区的实际情况不同，同一种洁净煤技术在不同地区推广的紧迫性也不同。电厂烟气脱硫技术在不同地区推广应用时，需要考虑能源方面的因素有当地的煤炭消费、火电行业发展等情况，经济方面的因素有地区的经济发展程度、政府的财力、企业的负担等情况，环境方面的因素有地区环保的压力、脱硫的收益等情况。在已建立的洁净煤技术地区选择评价指标体系框架下，本书将电厂烟气脱硫技术在各地区推广应用时所考虑的各种客观因素进行了细化，设计了 18 项可以量化的三级指标。在此基础上，运用评价模型从能源角度、经济角度、环境角度和能源—经济—环境角度分别对石灰石（石灰）—石膏湿法脱硫技术在全国各地区推广应用的优先程度进行排序。根据评价结果将除西藏、台湾地区以外的各省市自治区分为三组。

从各类分组的分析来看，综合评价结果包含了更全面的信息，比较好地反映了能源、经济、环境三方面的实际情况。最终评价结果分组如下：

第 1 组 ($D_i \geq 0.45$)：依次是内蒙古自治区、山东省、江苏省、上海市、山西省、河南省、宁夏自治区、浙江省和河北省。

第 2 组 ($0.45 > D_i \geq 0.3$)：依次是广东省、辽宁省、天津市、贵州省、北京市、重庆市、安徽省、福建省、黑龙江省、吉林省、

陕西省、江西省和湖南省。

第3组 ($D_i < 0.3$): 依次是广西壮族自治区、甘肃省、湖北省、新疆维吾尔自治区、四川省、海南省、云南省和青海省。

目前, 电厂烟气脱硫技术推广应用过程中存在着电厂烟气脱硫技术设备国产化 and 产业化水平较低、相关标准和项目建设规范体系不完善、市场有效需求不足和无序竞争、资金扶持政策没有落实到位、环保法律法规建设和执行工作相对滞后、政策法规不协调等问题。

针对存在的问题, 本书设计了“政府主导, 部门协调, 政策互补, 市场化运作”的电厂烟气脱硫技术推广应用宏观战略模式, 并初步提出了加快产业化进程、提高设备国产化水平、加大环保执法力度、引导企业、规范市场、建立政府部门间协调机制等方面的建议。

根据地区选择评价的分组结果, 本书设计了“分类规划, 重点扶持, 有序推进, 加强协调”的电厂烟气脱硫技术推广应用区域战略模式, 并初步提出了区别对待不同地区需求、重点扶持区域性供应商、建设区域性示范项目、建立地区间协调机制等方面的建议。

在现有研究的基础上, 今后还要对洁净煤技术评价指标体系重新确定的方法进行深入研究, 进一步验证和完善论文所建立的评价指标和模型。建立适合其他类型洁净煤技术的地区选择评价指标体系, 从而使此模型方法更加完备和实用。

本书为2009年度教育部人文社会科学研究青年基金项目(项目批准号: 09YJCZH065)的研究成果。在课题研究过程中, 得到诸多帮助:

煤炭科学研究总院北京煤化工分院的领导和老师们提供了大量有关洁净煤技术方面的资料, 并让我对洁净煤技术有了更多感性的认识。

我的恩师神华集团煤制油化工研究院副院长杜铭华研究员、青岛科技大学经济与管理学院雷仲敏教授对本书的结构与写作提出了许多宝贵的意见。

课题组成员董华、孙福平、王小兵在课题申报及研究过程中也

做了许多有意义的工作。

在调研和写作过程中还得到国家统计局、国家能源局、煤炭工业洁净煤工程技术研究中心、中国煤炭工业协会、国家发改委能源研究所、国家电网北京经济技术研究院、中石化石油化工科学研究院、清华大学、中国矿业大学、青岛市节能监察中心等单位大力协助。

在此一并表示我深深的谢意。

感谢青岛科技大学经济与管理学院为本书的出版所给予的支持！

以上感谢并无推脱责任之意，鉴于个人水平，不足之处难免，书中错误当由作者负责！

2011 年 2 月 28 日

目 录

第一章 研究的背景和意义	1
第一节 我国能源资源现状	1
一、煤炭资源	2
二、石油天然气资源	5
三、水能资源	8
四、风能	10
五、太阳能	12
六、海洋能	13
七、地热能	14
第二节 我国能源生产与消费	15
一、我国的能源生产	15
二、我国的能源消费	23
第三节 低碳经济发展下的机遇与挑战	26
一、低碳经济发展的背景	26
二、低碳经济发展下的挑战	28
三、低碳经济发展下的机遇	32
第四节 问题的提出与研究意义	34
第五节 研究对象、方法与技术路线	38
一、研究对象	38
二、研究方法	38
三、技术路线	40

第二章 理论基础与研究现状	43
第一节 技术预见的研究现状	43
一、技术预见概述	43
二、技术预见的发展现状	44
三、我国技术预见的发展评述	46
第二节 洁净煤技术评价研究综述	48
一、洁净煤技术的发展状况	48
二、洁净煤技术评价研究现状	53
三、洁净煤技术评价研究现状的评述	57
第三节 3E 分析方法研究的概述	59
一、3E 分析方法的理论基础	59
二、3E 分析方法的系统模型	63
三、能源—经济—环境系统运行的影响因素	66
四、3E 分析的内容	69
第四节 3E 模型方法研究现状	70
一、3E 模型方法研究综述	70
二、3E 模型方法研究评述	79
第三章 洁净煤技术评价方法研究	83
第一节 洁净煤技术对我国能源—经济—环境系统 协调发展的影响	83
一、我国的能源、经济和环境现状	83
二、洁净煤技术对我国能源—经济—环境 系统的影响	85
三、洁净煤技术评价选择对我国能源—经济—环境 系统协调发展的影响	88
第二节 洁净煤技术评价指标体系	89
一、洁净煤技术评价指标体系构建的基本要求	89
二、洁净煤技术评价指标体系构建的原则	89

三、洁净煤技术评价指标体系的构建	90
四、基于 3E 分析方法的洁净煤技术评价指标 体系总体框架及解释	93
第三节 洁净煤技术评价模型建立	98

第四章 洁净煤技术宏观选择评价

——以电厂烟气脱硫技术为例	105
第一节 研究的意义	105
第二节 我国电力工业发展与二氧化硫污染	106
一、我国电力工业发展现状	106
二、我国电力工业与经济发展	113
三、我国火电工业发展带来的二氧化硫污染	115
第三节 电厂烟气脱硫技术概述	121
一、烟气脱硫技术的分类	121
二、国外电厂烟气脱硫技术发展状况	123
三、我国电厂烟气脱硫技术发展状况	126
第四节 电厂烟气脱硫技术的宏观选择评价	131
一、电厂烟气脱硫技术宏观选择评价指标体系	131
二、电厂烟气脱硫技术宏观选择评价指标赋值	132
三、电厂烟气脱硫技术宏观选择评价计算	137
四、电厂烟气脱硫技术宏观选择综合评价 结果的分析	139
五、电厂烟气脱硫技术宏观选择评价结果的 实证解释	141

第五章 洁净煤技术地区选择评价

——以电厂烟气脱硫技术为例	143
第一节 我国各地区的电力工业、经济发展与 环境概况	143

一、我国各地区的电力工业发展现状	143
二、我国各地区电力工业与经济发展	148
三、我国各地区火力发电与二氧化硫污染	150
第二节 电厂烟气脱硫技术地区选择评价指标体系	151
第三节 电厂烟气脱硫技术的地区选择评价	156
一、电厂烟气脱硫技术地区选择评价指标体系 赋值及无量纲化	156
二、电厂烟气脱硫技术地区选择评价	157
三、电厂烟气脱硫技术地区选择评价结果的分析	161
第六章 电厂烟气脱硫技术推广应用的初步建议	168
第一节 电厂烟气脱硫技术推广应用中存在的问题	168
一、电厂烟气脱硫技术设备国产化和产业化水平 仍然较低	168
二、有关烟气脱硫技术标准和项目建设规范体系 不完善	169
三、电厂烟气脱硫技术存在市场有效需求不足和无序 竞争现象	169
四、有关资金扶持政策没有落实到位	170
五、环保法律法规建设和执行工作相对滞后	170
六、政策法规不协调	171
第二节 电厂烟气脱硫技术推广应用的宏观战略模式与 政策建议	172
一、电厂烟气脱硫技术推广应用的宏观战略模式	172
二、电厂烟气脱硫技术推广应用的宏观政策建议	173
第三节 电厂烟气脱硫技术推广应用的区域战略模式与 政策建议	176
一、电厂烟气脱硫技术推广应用的区域战略模式	176
二、电厂烟气脱硫技术推广应用的地区政策建议	177

第七章 结论与建议	181
第一节 主要研究结论	181
一、分析探讨能源—经济—环境系统的形成	181
二、建立洁净煤技术评价指标体系和评价模型	181
三、以电厂烟气脱硫技术为例进行实证研究	182
四、提出电厂烟气脱硫技术推广的初步建议	183
第二节 研究建议	183
一、对洁净煤技术评价指标体系权重确定的方法 进行深入研究	183
二、建立其他类型洁净煤技术地区选择评价 指标体系	183
三、进一步验证和完善本书所建立的评价 指标和模型	184
 附录 A	185
附录 B	187
附录 C	218
参考文献	221

第一章 研究的背景和意义

第一节 我国能源资源现状

能源是经济发展和社会生活的重要物质基础，能源问题是涉及国计民生的大事，甚至可以影响到国家安全。总体而言，我国的能源资源比较丰富。在常规能源中，拥有较为丰富的化石能源资源，其中，煤炭占主导地位。据国土资源部统计测算，截至 2009 年，煤炭基础储量为 3 189.6 亿吨，石油剩余可采储量为 29.49 亿吨，天然气剩余可采储量为 3.71 万亿立方米（见表 1-1）。

表 1-1 我国主要能源矿产基础储量（2002~2009 年）

年份 \ 能源	煤炭（亿吨）	石油（亿吨）	天然气（亿立方米）
2002	3 317.60	24.25	20 169.00
2003	3 342.00	24.32	22 288.70
2004	3 373.40	24.91	25 292.60
2005	3 326.35	24.90	28 185.39
2006	3 334.80	27.59	30 009.24
2007	3 261.26	28.33	32 123.63
2008	3 261.44	28.90	34 049.62
2009	3 189.60	29.49	37 074.20

注：石油和天然气的数据为剩余技术可采储量。

资料来源：《中国统计年鉴》（2003~2010）。

一、煤炭资源

我国的煤炭储量丰富,分布广泛,含煤总面积达 60 多万平方公里,占国土面积的 6%。据 1997 年完成的全国第三次煤炭资源预测与评估,除台湾地区外,我国埋深小于 2 000 米的煤炭资源总量为 55 697.49 亿吨,其中探明保有资源量 10 176.45 亿吨,预测资源量 45 521.04 亿吨。在探明保有资源量中,生产、在建井占用资源量 1 916.04 亿吨,尚未利用资源量 8 260.41 亿吨^①。

我国煤炭资源品种齐全,从低变质程度的褐煤到高变质程度的无烟煤均有赋存,但煤质中等,优质焦煤、肥煤、瘦煤资源不足,属于我国的稀缺煤种。我国的褐煤主要赋存在 600 米以浅的部分,埋深 1 000 米以浅的预测煤炭资源中,低变质烟煤最多,而约有 2/3 的中变质烟煤在埋深 1 000 米以下,贫煤和无烟煤则以埋深 1 000 米以浅为主(见表 1-2)。

表 1-2

中国不同深度预测煤炭资源比例

单位: %

预测垂深	褐煤	低变质烟煤	中变质烟煤	贫煤、无烟煤
600 米以浅	12.5	55.2	23.3	9.0
1 000 米以浅	8.4	55.2	23.7	12.6
2 000 米以浅	4.2	53.2	29.0	13.6

资料来源:毛节华、许惠龙:《中国煤炭资源分布现状和远景预测》,载于《煤田地质与勘探》1999 年第 3 期,第 1~4 页。

我国煤炭资源分布呈现北多南少,西多东少的地理特征,煤炭资源主要分布于昆仑—秦岭—大别山以北地区和大兴安岭—太行山—雪峰山以西地区。昆仑—秦岭—大别山一线以北的中国北方省区煤炭资源量之和为 51 842.82 亿吨,占全国煤炭资源总量的 93.08%;

^① 毛节华、许惠龙:《中国煤炭资源分布现状和远景预测》,载于《煤田地质与勘探》1999 年第 3 期,第 1~4 页。

其余各省煤炭资源量之和为3 854.67亿吨,仅占全国煤炭资源总量的6.98%。大兴安岭—太行山—雪峰山以西的内蒙古、山西、四川、贵州等11个省区,煤炭资源量为51 145.71亿吨,占全国煤炭资源总量的91.83%。这一线以西地区,探明保有资源量占全国探明保有资源量的89%;而这一线以东地区,探明保有资源量仅占全国探明保有资源量的11%(见表1-3)。

表1-3

我国各省市煤炭储量分布

单位:亿吨

省(区、市)	预测资源量	褐煤	低变质烟煤	气煤	肥煤	焦煤	瘦煤	贫煤	无烟煤
全国	45 521.0	1 903.06	24 215.1	9 392.38	1 032.11	1 957.29	803.75	1 468.88	4 742.43
北京	86.72	—	—	—	—	—	—	—	86.72
天津	44.52	—	—	44.52	—	—	—	—	—
河北	601.39	9.98	7.24	508.44	30.19	—	—	—	45.54
山西	3 899.18	12.68	53.85	70.42	343.90	508.02	301.89	589.79	2 018.63
内蒙古	12 250.4	1 753.40	9 004.00	1 079.45	11.02	364.18	0.23	23.96	8.15
辽宁	59.27	6.04	25.35	7.52	1.05	1.63	—	2.15	15.53
吉林	30.03	7.46	11.06	3.68	0.48	0.71	1.88	1.96	2.80
黑龙江	176.13	44.49	8.53	83.33	—	37.65	0.55	1.58	—
上海	—	—	—	—	—	—	—	—	—
江苏	50.49	—	—	34.71	1.57	6.90	2.022	3.45	1.84
浙江	0.44	—	—	—	0.44	—	—	—	—
安徽	611.59	—	0.66	370.42	35.00	154.37	33.69	3.56	13.89
福建	25.57	—	—	—	—	—	0.09	—	25.48
江西	40.84	—	0.38	1.60	0.83	6.09	2.35	5.52	24.07
山东	405.13	24.67	3.23	220.68	76.50	5.64	—	27.66	46.75
台湾	—	—	—	—	—	—	—	—	—
河南	919.71	8.82	3.75	86.11	19.20	163.77	87.94	109.29	440.83
湖北	2.04	—	—	—	—	—	—	0.49	1.55
湖南	45.35	—	0.15	1.27	2.28	2.06	1.31	1.65	36.63
广东	9.11	0.41	—	—	0.06	0.07	—	0.74	7.83
广西	17.64	1.69	1.44	—	—	—	0.44	5.46	8.61