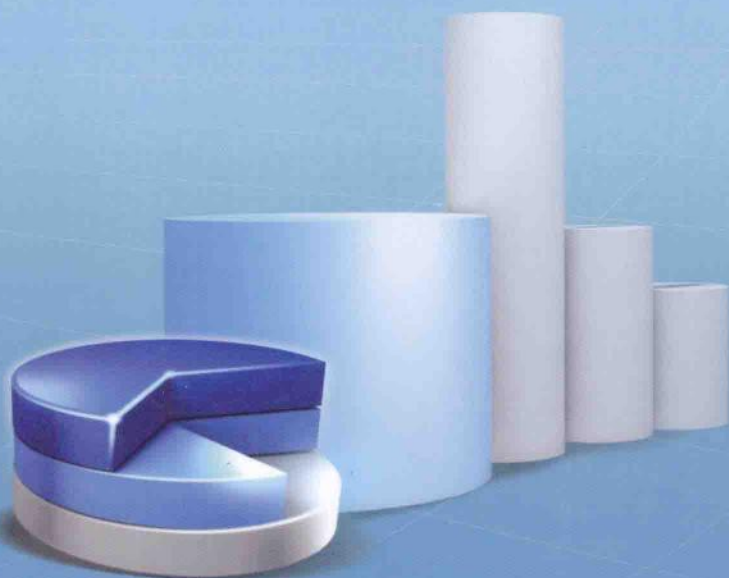


# 可持续发展 能源需求系统建模研究

宋宇辰 孟海东 张璞 著



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

# 可持续发展 能源需求系统建模研究

宋宇辰 孟海东 张 璞 著

本书的研究内容是在“教育部社科学研究基金可持续发展能源需求系统建模研究项目”（批准号：11YJAZH077）的支持下完成的。本项研究主要依托“自治区产业信息化与产业创新研究中心”、“内蒙古科技大学矿业系统工程创新团队”、“矿业信息系统研究室”、“数据工程实验室”完成。

北 京  
冶 金 工 业 出 版 社  
2013

## 内 容 提 要

本书对中国能源消费及制造业能源消费进行了较深入的研究,重点介绍了各种能源消费建模理论,探索了组合建模理论,分析、对比了不同建模方法的合理性和适用性,并以中国能源和制造业能源为研究对象做了翔实的能源可持续发展研究。全书内容分为四篇,分别围绕中国总体区域、内蒙古地区、新疆地区以及晋陕蒙大区域展开能源可持续发展建模研究,有针对性地给出了相关结论和建议。

本书可供从事能源、环境、可持续发展、信息分析的学者和研究生阅读,也可供相关企业和政府部门的管理人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

可持续发展能源需求系统建模研究/宋宇辰,孟海东,  
张璞著. —北京:冶金工业出版社,2013.10

ISBN 978-7-5024-6438-7

I. ①可… II. ①宋… ②孟… ③张… III. ①能源  
需求—可持续性发展—系统建模—研究—中国 IV. ①  
F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 223886 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 杨 帆 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6438-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京慧美印刷有限公司印刷

2013 年 10 月第 1 版,2013 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm;20 印张;392 千字;303 页

53.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 前 言

可持续发展战略的出台对中国能源供需、能源产业结构、能源消费组成提出了全新的、更高的要求。能源生产与消费的效益不再仅仅局限于直接的利润，环境效益、社会效益和资源效益已成为其重要指标。中国长期以来形成的粗放型增长方式已经成为社会进步、环境友好、经济发展的瓶颈。在未来的能源结构的调整中，如何加快新能源与可再生能源开发，充分利用天然气、水电、核电等清洁能源，广泛使用洁净煤技术，有效降低居民煤炭消费的比重，保证社会、经济的全面、可持续发展，将是未来相当长一段时间能源开发、利用所面临的重要挑战。

本书介绍了针对中国和内蒙古等能源大省所做的能源可持续发展的研究，内容分为四篇：

第Ⅰ篇以中国能源消费总量预测建模为研究对象，探索了能源消费预测建模的理论和方法。首先以时间序列理论、趋势外推理论和灰色预测理论为基础，分别构建了三种单一模型。其次介绍了组合模型的定义、基本思想、优点及组合的方法，以三种单一模型为基础，运用组合方法中的等权组合和标准差法组合对三种单一模型进行不同的组合建模。通过对各种预测模型得出的预测值与国家公布的数据进行对比，发现运用组合模型的预测结果比单一模型的预测结果好，而且运用标准差法组合模型预测的结果又比等权组合模型预测的结果好。

第Ⅱ篇以内蒙古制造业能源消费为研究对象，结合国家能源消费现状，在深入分析能源消费理论的基础上，对制造业的能源消费结构进行实证分析，找出制造业能源消费的特点，从制造业能源消费对环

境污染和经济增长的关联度入手,对制造业能源消费趋势进行预测,最后建立了内蒙古制造业能源消费的预测模型。

第Ⅲ篇基于新疆能源资源和发展现状,选择制造业能源消费为研究对象。综合分析了新疆的资源禀赋和优越的地理条件,将制造业能源消费置于新疆整个经济社会发展系统中考虑。以能源消费理论为基础,结合新疆制造业发展实际,分析了新疆制造业各行业的能源利用效率问题,并对新疆制造业能源消费总量进行预测,分析新疆制造业能源消费对工业“三废”排放的影响,并研究其间的协整关系。

第Ⅳ篇以晋陕蒙三省(区)高耗能行业——制造业为视角,以数据挖掘中的预测理论、碳足迹的基础理论为基础,对晋陕蒙制造业能源消费及碳足迹进行了研究。从制造业能源消费与经济、环境的关系入手,建立了晋陕蒙制造业能源消费的预测模型,并计算出三省制造业能源消费的碳足迹。

与其他同类文献相比,本书以能源消费需求为主要研究目标,以中国能源消费为重点研究对象,以能源大省内蒙古、新疆、陕西、山西为代表,以主要能源消费行业——制造业为切入点,分层次研究中国的能源消费问题。在研究构架上分为国家、省份和行业三个层次,较之以往单一研究国家或省份或行业的能源消费问题,多层次构架使得本书的研究内容丰富、层次分明。在建模理论上,运用时间序列理论、趋势外推理论、数据挖掘和灰色预测理论等,多途径探索了能源消费的各种单一建模方法和不同的组合建模方法。在研究视角上,从对中国的能源消费研究,延伸到对能源大省的制造业能源消费与环境污染、能源消费与经济增长关系的研究,为能源可持续发展提供多视角研究参考。另外,各篇中部分章节内容有所重复,其目的是便于读者相对独立地阅读各篇内容。

本书的研究内容是在“教育部社科研究基金可持续发展能源需求

系统建模研究项目”（批准号：11YJAZH077）的支持下完成的；所做研究主要依托“自治区产业信息化与产业创新研究中心”、“内蒙古科技大学矿业系统工程创新团队”、“矿业信息系统研究室”、“数据工程实验室”完成。

中国地质大学安海忠教授和清华大学张玉杰教授在能源环境可持续发展与信息分析方面给出许多具体的建议和指导，福州大学陈福集教授审阅了本书初稿；国内许多同仁和同事对本书提出了建议并给予许多实际帮助，在此表示诚挚的谢意。

研究生们在这个项目的研究中起了积极作用，做了大量贡献。其中第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ篇主要由研究生张志启、郭丽、高坤、张静完成。研究生刘进科、贾晓亮和高明对研究内容中的数据收集与整理、数据分析与结果分析、决策建议等做了大量工作；研究生任敬存、刘占宁和张鹏飞做了部分数据汇总和分析工作；研究生甄莎、周世凯、尤天龙、王倩、何玮、李庆、李玉岩、许伟红和李肖冰也参与了本项目的部分工作。

作 者  
2013 年 8 月

# 目 录

## 第 I 篇 中国能源可持续发展建模研究

|                        |    |
|------------------------|----|
| 1 国内外能源研究背景            | 3  |
| 1.1 国内外研究现状            | 3  |
| 1.1.1 能源需求理论研究现状       | 3  |
| 1.1.2 能源需求分析方法研究现状     | 4  |
| 1.2 中国能源消费现状           | 7  |
| 1.2.1 中国能源的消费特点        | 7  |
| 1.2.2 中国能源消费总量及其结构     | 8  |
| 1.3 研究意义               | 10 |
| 1.4 主要内容               | 10 |
| 2 中国能源消费总量的 ARIMA 模型建模 | 12 |
| 2.1 ARIMA 模型概述         | 12 |
| 2.1.1 时间序列模型           | 12 |
| 2.1.2 ARIMA 模型及其基本思想   | 12 |
| 2.1.3 ARIMA 模型预测的基本步骤  | 12 |
| 2.1.4 ARIMA 模型分析软件     | 13 |
| 2.2 ARIMA 模型建模分析       | 13 |
| 2.2.1 数据选取             | 13 |
| 2.2.2 数据分析             | 14 |
| 2.2.3 模型识别             | 16 |
| 2.2.4 模型定阶             | 17 |
| 2.2.5 参数估计             | 18 |
| 2.3 ARIMA 模型预测分析       | 19 |
| 2.3.1 模型的适应性检验         | 19 |
| 2.3.2 模型的拟合            | 19 |
| 2.3.3 模型的预测            | 20 |

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 2.4 小结                            | 21        |
| <b>3 中国能源消费总量的趋势外推模型建模</b>        | <b>23</b> |
| 3.1 趋势外推法概述                       | 23        |
| 3.1.1 趋势外推法的基本理论                  | 23        |
| 3.1.2 趋势外推法的原理                    | 23        |
| 3.1.3 趋势曲线模型的识别与选择                | 23        |
| 3.1.4 曲线估计及其步骤                    | 24        |
| 3.2 趋势外推模型建模分析                    | 24        |
| 3.2.1 二次曲线模型建模分析                  | 25        |
| 3.2.2 对数曲线模型建模分析                  | 26        |
| 3.2.3 三次曲线模型建模分析                  | 28        |
| 3.2.4 指数曲线模型建模分析                  | 30        |
| 3.3 趋势外推模型预测分析                    | 32        |
| 3.3.1 趋势外推模型的检验与选择                | 32        |
| 3.3.2 三次曲线模型拟合                    | 33        |
| 3.3.3 三次曲线模型预测                    | 34        |
| 3.4 小结                            | 34        |
| <b>4 中国能源消费总量的 GM (1, 1) 模型建模</b> | <b>36</b> |
| 4.1 GM (1, 1) 模型概述                | 36        |
| 4.1.1 GM (1, 1) 模型原理              | 36        |
| 4.1.2 GM (1, 1) 模型的发展             | 36        |
| 4.1.3 GM (1, 1) 模型的预测步骤           | 37        |
| 4.1.4 GM (1, 1) 模型的检验方法           | 38        |
| 4.2 GM (1, 1) 建模分析                | 39        |
| 4.2.1 数据选取                        | 39        |
| 4.2.2 新数据列和参数创建                   | 40        |
| 4.2.3 模型参数计算                      | 41        |
| 4.2.4 模型方程解的计算                    | 42        |
| 4.2.5 预测值计算                       | 43        |
| 4.3 GM (1, 1) 模型预测分析              | 43        |
| 4.3.1 模型的检验                       | 43        |
| 4.3.2 模型的拟合                       | 44        |
| 4.3.3 模型的预测                       | 45        |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 4.4 小结                         | 45 |
| <b>5 中国能源消费总量的组合预测模型建模</b>     | 47 |
| 5.1 组合预测模型概述                   | 47 |
| 5.1.1 组合预测模型定义                 | 47 |
| 5.1.2 组合预测的基本思想                | 47 |
| 5.1.3 组合预测的优点                  | 47 |
| 5.1.4 组合预测的方法                  | 48 |
| 5.2 等权组合预测建模分析                 | 50 |
| 5.2.1 三种单一模型组合                 | 50 |
| 5.2.2 ARIMA 模型与三次曲线模型组合        | 51 |
| 5.2.3 ARIMA 模型与 GM (1, 1) 模型组合 | 53 |
| 5.2.4 三次曲线模型与 GM (1, 1) 模型组合   | 54 |
| 5.3 标准差法组合预测建模分析               | 56 |
| 5.3.1 三种单一模型组合                 | 56 |
| 5.3.2 ARIMA 模型与三次曲线模型组合        | 57 |
| 5.3.3 ARIMA 模型与 GM (1, 1) 模型组合 | 58 |
| 5.3.4 三次曲线模型与 GM (1, 1) 模型组合   | 60 |
| 5.4 小结                         | 61 |
| <b>6 中国能源可持续发展建模研究结论与建议</b>    | 63 |
| 参考文献                           | 65 |

## 第 II 篇 内蒙古制造业能源可持续发展建模研究

|                         |    |
|-------------------------|----|
| <b>1 内蒙古制造业能源消费研究背景</b> | 71 |
| 1.1 国内外研究概况             | 71 |
| 1.1.1 国外能源消费研究现状        | 71 |
| 1.1.2 国内能源消费研究现状        | 72 |
| 1.1.3 能源消费预测方法          | 74 |
| 1.1.4 小结                | 77 |
| 1.2 研究意义                | 78 |
| 1.2.1 中国制造业能源消费现状       | 78 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 1.2.2 内蒙古制造业能源消费现状 .....         | 79         |
| 1.2.3 制造业能源消费研究意义 .....          | 80         |
| 1.3 主要内容 .....                   | 82         |
| <b>2 内蒙古能源消费现状 .....</b>         | <b>84</b>  |
| 2.1 内蒙古经济发展状况 .....              | 84         |
| 2.2 内蒙古能源消费总量分析 .....            | 85         |
| 2.3 内蒙古能源消费效率 .....              | 86         |
| <b>3 制造业行业能源消费结构分析 .....</b>     | <b>90</b>  |
| 3.1 制造业行业能源消费因子分析 .....          | 90         |
| 3.1.1 因子分析基本概念 .....             | 90         |
| 3.1.2 因子分析数学模型 .....             | 90         |
| 3.1.3 因子分析实证研究 .....             | 91         |
| 3.2 制造业行业能源消费聚类分析 .....          | 95         |
| 3.2.1 聚类分析概述 .....               | 95         |
| 3.2.2 聚类分析实证研究 .....             | 96         |
| 3.3 小结 .....                     | 97         |
| <b>4 内蒙古制造业能源消费的灰色关联分析 .....</b> | <b>98</b>  |
| 4.1 灰色关联理论 .....                 | 98         |
| 4.1.1 不确定性系统研究方法 .....           | 98         |
| 4.1.2 灰色关联度计算原理 .....            | 99         |
| 4.1.3 灰色关联建模基本步骤 .....           | 99         |
| 4.2 内蒙古制造业能源消费与环境污染的关联分析 .....   | 100        |
| 4.2.1 数据收集 .....                 | 100        |
| 4.2.2 数据分析 .....                 | 101        |
| 4.2.3 研究结论 .....                 | 101        |
| 4.3 内蒙古制造业能源消费与经济增长的关联分析 .....   | 102        |
| 4.3.1 数据收集 .....                 | 102        |
| 4.3.2 数据分析 .....                 | 102        |
| 4.3.3 研究结论 .....                 | 104        |
| 4.4 小结 .....                     | 104        |
| <b>5 内蒙古制造业能源消费预测 .....</b>      | <b>106</b> |
| 5.1 内蒙古制造业能源消费的时间序列预测 .....      | 106        |

|       |                               |     |
|-------|-------------------------------|-----|
| 5.1.1 | 时间序列分析理论介绍 .....              | 106 |
| 5.1.2 | 时间序列平稳性判断 .....               | 107 |
| 5.1.3 | 模型识别与定阶 .....                 | 108 |
| 5.1.4 | 模型参数估计和检验 .....               | 109 |
| 5.1.5 | ARIMA 模型拟合结果 .....            | 111 |
| 5.2   | 内蒙古制造业能源消费的回归分析预测 .....       | 111 |
| 5.2.1 | 回归分析原理概述 .....                | 111 |
| 5.2.2 | 回归方程的检验 .....                 | 113 |
| 5.2.3 | 内蒙古制造业能源消费回归模型的建立 .....       | 115 |
| 5.2.4 | 模型修正 .....                    | 116 |
| 5.2.5 | 模型残差分析 .....                  | 119 |
| 5.3   | 内蒙古制造业能源消费的灰色系统预测 .....       | 120 |
| 5.3.1 | GM(1,1)模型理论介绍 .....           | 120 |
| 5.3.2 | GM(1,1)模型预测 .....             | 121 |
| 5.3.3 | 灰色系统检验 .....                  | 123 |
| 5.3.4 | 灰色系统预测小结 .....                | 123 |
| 5.4   | 内蒙古制造业能源消费的组合预测 .....         | 124 |
| 5.4.1 | 组合预测理论 .....                  | 124 |
| 5.4.2 | 时间序列模型、对数回归模型和灰色预测模型的组合 ..... | 124 |
| 5.4.3 | 时间序列模型与对数回归模型的组合 .....        | 126 |
| 5.4.4 | 时间序列模型与灰色预测模型的组合 .....        | 127 |
| 5.4.5 | 对数回归模型与灰色预测模型的组合 .....        | 128 |
| 5.5   | 小结 .....                      | 129 |
| 6     | 内蒙古制造业能源可持续发展研究结论与建议 .....    | 132 |
|       | 参考文献 .....                    | 135 |

### 第Ⅲ篇 新疆制造业能源可持续发展建模研究

|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 1     | 新疆制造业能源可持续发展研究背景 ..... | 141 |
| 1.1   | 国内外的研究现状 .....         | 141 |
| 1.1.1 | 制造业能源问题研究 .....        | 142 |
| 1.1.2 | 能源消费对经济、环境的影响研究 .....  | 143 |

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 1.1.3 能源消费效率研究 .....                               | 145 |
| 1.1.4 能源需求预测研究 .....                               | 146 |
| 1.1.5 新疆地区能源问题研究 .....                             | 150 |
| 1.1.6 小结 .....                                     | 150 |
| 1.2 研究意义 .....                                     | 151 |
| 1.2.1 宏观方面 .....                                   | 151 |
| 1.2.2 微观方面 .....                                   | 152 |
| 1.2.3 研究意义 .....                                   | 153 |
| 1.3 主要内容 .....                                     | 155 |
| 2 新疆能源优势及生产消费分析 .....                              | 156 |
| 2.1 新疆能源优势 .....                                   | 156 |
| 2.2 新疆周边国家能源优势 .....                               | 156 |
| 2.3 新疆能源生产和消费分析 .....                              | 157 |
| 2.3.1 新疆能源生产分析 .....                               | 157 |
| 2.3.2 新疆能源消费分析 .....                               | 158 |
| 2.3.3 新疆能源消费总量占能源生产总量的比重分析 .....                   | 159 |
| 2.4 新疆制造业能源消费及总产值分析 .....                          | 161 |
| 2.4.1 新疆制造业能源消费量与能源消费总量的关系 .....                   | 161 |
| 2.4.2 新疆制造业总产值与新疆 GDP 的关系 .....                    | 162 |
| 2.4.3 新疆制造业能源消费和产值变化与新疆整体能源消费和<br>GDP 变化对比分析 ..... | 164 |
| 2.5 小结 .....                                       | 166 |
| 3 新疆制造业能源消费效率研究 .....                              | 168 |
| 3.1 数据包络的基本原理 .....                                | 168 |
| 3.2 数据包络的核心概念 .....                                | 169 |
| 3.3 $C^2R$ 模型和 $BC^2$ 模型简介 .....                   | 170 |
| 3.4 实证研究 .....                                     | 172 |
| 3.4.1 数据准备 .....                                   | 172 |
| 3.4.2 全要素新疆制造业能源利用效率数据包络分析 .....                   | 174 |
| 3.4.3 单要素新疆制造业能源利用效率对比分析 .....                     | 180 |
| 3.5 小结 .....                                       | 184 |
| 4 新疆制造业能源消费预测研究 .....                              | 187 |
| 4.1 灰色预测 .....                                     | 187 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 4.1.1 灰色系统理论 .....                 | 187        |
| 4.1.2 新疆制造业能源消费的灰色预测 .....         | 190        |
| 4.2 时间序列预测 .....                   | 193        |
| 4.2.1 时间序列理论 .....                 | 193        |
| 4.2.2 新疆制造业能源消费的时间序列预测 .....       | 194        |
| 4.3 小结 .....                       | 198        |
| <b>5 新疆制造业能源消费对环境的影响研究 .....</b>   | <b>200</b> |
| 5.1 新疆制造业能源消费与环境污染的灰色关联分析 .....    | 200        |
| 5.1.1 灰色关联理论 .....                 | 200        |
| 5.1.2 数据准备 .....                   | 202        |
| 5.1.3 新疆制造业能源消费与“三废”排放的关联度分析 ..... | 203        |
| 5.2 协整-误差修正模型理论基础 .....            | 205        |
| 5.2.1 协整 .....                     | 206        |
| 5.2.2 误差修正模型 (ECM) .....           | 206        |
| 5.3 新疆制造业能源消费对环境影响的协整研究 .....      | 207        |
| 5.3.1 数据的选择与处理 .....               | 208        |
| 5.3.2 单位根检验 .....                  | 209        |
| 5.3.3 协整检验 .....                   | 211        |
| 5.3.4 误差修正模型 (ECM) .....           | 212        |
| 5.4 小结 .....                       | 213        |
| <b>6 新疆制造业能源可持续发展研究结论与建议 .....</b> | <b>215</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                  | <b>229</b> |

## 第IV篇 晋陕蒙制造业能源可持续发展建模及碳足迹研究

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| <b>1 晋陕蒙制造业能源消费及碳足迹研究背景 .....</b> | <b>235</b> |
| 1.1 国内外的研究概况 .....                | 235        |
| 1.1.1 能源消费理论研究 .....              | 235        |
| 1.1.2 能源预测方法研究 .....              | 237        |
| 1.1.3 制造业能源的专项研究 .....            | 241        |
| 1.1.4 晋陕蒙能源的相关研究 .....            | 242        |



|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| 1.1.5 碳足迹的相关研究 .....                   | 243        |
| 1.1.6 小结 .....                         | 245        |
| 1.2 研究意义 .....                         | 246        |
| 1.2.1 研究背景 .....                       | 246        |
| 1.2.2 研究意义 .....                       | 248        |
| 1.3 主要内容 .....                         | 249        |
| <b>2 制造业能源消费与环境污染分析 .....</b>          | <b>250</b> |
| 2.1 制造业能源消费分析 .....                    | 250        |
| 2.1.1 制造业能源消费总量分析 .....                | 250        |
| 2.1.2 制造业能源消费结构分析 .....                | 252        |
| 2.1.3 制造业能源消费行业结构分析 .....              | 255        |
| 2.2 环境污染分析 .....                       | 257        |
| 2.2.1 三废排放分析 .....                     | 257        |
| 2.2.2 三废综合利用产值分析 .....                 | 258        |
| 2.3 小结 .....                           | 259        |
| <b>3 制造业能源消费与环境、经济实证研究 .....</b>       | <b>260</b> |
| 3.1 制造业能源消费与环境、经济的灰色关联研究 .....         | 260        |
| 3.1.1 灰色关联度计算原理 .....                  | 260        |
| 3.1.2 制造业能源消费与环境的灰色关联研究 .....          | 262        |
| 3.1.3 制造业能源消费与经济增长的灰色关联研究 .....        | 264        |
| 3.2 制造业能源消费弹性系数研究 .....                | 266        |
| 3.2.1 能源消费弹性系数数学推导 .....               | 266        |
| 3.2.2 制造业能源消费弹性系数实证研究 .....            | 266        |
| 3.3 小结 .....                           | 268        |
| <b>4 晋陕蒙制造业能源消费预测 .....</b>            | <b>270</b> |
| 4.1 晋陕蒙制造业能源消费的回归预测 .....              | 270        |
| 4.1.1 回归模型原理概述 .....                   | 270        |
| 4.1.2 回归模型修正 .....                     | 273        |
| 4.1.3 晋陕蒙制造业能源消费的回归模型建立 .....          | 275        |
| 4.2 晋陕蒙制造业能源消费的 GM (1, 1) 预测 .....     | 279        |
| 4.2.1 GM (1, 1) 原理概述 .....             | 280        |
| 4.2.2 晋陕蒙制造业能源消费的 GM (1, 1) 模型建立 ..... | 281        |



|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| 4.2.3 GM (1, 1) 模型检验 .....              | 283        |
| 4.3 小结 .....                            | 283        |
| <b>5 晋陕蒙制造业能源消费碳足迹研究 .....</b>          | <b>285</b> |
| 5.1 相关原理概述 .....                        | 285        |
| 5.1.1 碳足迹的相关原理概述 .....                  | 285        |
| 5.1.2 STIRPAT 模型原理概述 .....              | 287        |
| 5.2 晋陕蒙制造业能源消费碳足迹分析 .....               | 288        |
| 5.2.1 晋陕蒙制造业能源消费碳排放分析 .....             | 288        |
| 5.2.2 晋陕蒙制造业能源消费碳足迹产值分析 .....           | 290        |
| 5.2.3 晋陕蒙制造业能源消费碳足迹生态压力分析 .....         | 292        |
| 5.2.4 晋陕蒙制造业能源消费碳足迹的 STIRPAT 模型分析 ..... | 293        |
| 5.3 小结 .....                            | 296        |
| <b>6 晋陕蒙制造业能源可持续发展及碳足迹研究结论与建议 .....</b> | <b>297</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                       | <b>300</b> |

# 第 I 篇

## 中国能源可持续发展建模研究

---

