



区域资源—经济—环境可持续发展  
与能源互联网研究  
——以京津冀为例

申晓留 等 著



科学出版社

# 区域资源-经济-环境可持续发展 与能源互联网研究

——以京津冀为例

申晓留 等 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书从区域可持续发展的角度分析京津冀区域资源-经济-环境系统, 在该领域的现状进行深入分析基础上, 从资源供应和消费能力、人口和经济发展结构, 以及典型的环境问题等方面, 构建区域可持续发展系统指标体系, 分析京津冀区域资源-经济-环境系统的现状及发展趋势。重点建立区域资源-经济-环境系统模型群, 对京津冀区域的诸多焦点和热点问题——产业结构演变、区域能源安全、区域承载力、节能减排、三元协调度和大气环境进行分析、预测及优化研究, 并围绕可持续发展和能源互联网的关系, 对区域能源互联网、储能、微电网进行了深入研究和实证分析。最后从科研平台和决策支持两个角度, 介绍了京津冀区域资源-经济-环境可持续发展大数据决策支持共享平台, 以及基于该平台的相关专题研究系统。

本书适合从事资源、经济、环境, 以及能源互联网等相关领域的科研人员、企业管理人员、政府工作人员及相关的工作者阅读, 也可供高等院校师生阅读。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

区域资源-经济-环境可持续发展与能源互联网研究——以京津冀为例/申晓留等著. —北京: 科学出版社, 2018.6  
ISBN 978-7-03-057411-4

I. ①区… II. ①申… III. ①能源经济-可持续性发展-研究-华北地区 ②互联网络-应用-能源发展-研究-华北地区 IV. ①F426.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 095820 号

责任编辑: 朱海燕 丁传标 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 图阅社

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 6 月第一次印刷 印张: 26 1/2

字数: 605 000

定价: 199.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 序

可持续发展是关于自然、科学技术、经济、社会协调发展的理论和战略，自 20 世纪 80 年代在国际社会上被提出以来，逐步成为科学家们的研究热点和重点。可持续发展的思想是人类社会发展的产物，它体现着人类对自身进步与自然环境的关系的反思。中国政府在治理国家的进程中，把可持续发展确定为“现代化建设中必须实施”的战略，2002 年更是把“可持续发展能力不断增强”作为全面建设小康社会的目标之一，近年来国家的“创新、协调、绿色、开放、共享”的五大发展理念更是将绿色发展提升到国家全局发展的高度，这表明我国无论在宏观发展战略及规划上，还是在经济增长方式、生产与消费等领域可持续发展理念的不断深入。

资源、经济和环境是可持续发展系统中的关键要素，资源是基础，经济是核心，环境是保障，三者之间相互交织，相互影响，共同制约着不同尺度下的可持续发展进程。随着我国经济体量的不断增加，能源消耗越来越大，环境承载力受到了严峻挑战。京津冀区域作为包围首都的环渤海经济圈核心，是国家可持续发展战略的重点覆盖区域，其在国家“十三五”规划实施进程中战略意义重大，因此从理论和实践意义上来说，研究京津冀区域资源-经济-环境的可持续发展，是十分重要且迫切的。

该书是一部系统讨论区域资源-经济-环境可持续发展内容的著作。近十多年来，在北京市政府的支持下，华北电力大学能源环境、经济管理、控制计算机等学科的研究团队对可持续发展领域进行了深入的研究，申晓留教授及其团队针对区域资源-经济-环境可持续发展过程中面临的热点问题，以京津冀区域为例，通过构建指标体系，剖析内在的变化发展规律，结合可持续发展和相关数学理论，构建了系统分析模型群、预测模型群和优化模型群。同时在据有翔实数据的基础上，对京津冀区域的资源、经济和环境发展现状和趋势进行了分析，得到一系列决策支持性的结论，为政府相关部门提供了很好的发展建议。该书作者提出了解决资源-经济-环境协调发展的概念模型、几何模型和物理模型，为区域 3E (Energy-Economy-Environment) 系统可持续发展提供了新的思路。通过研究能源互联网、微网和区域可持续发展的联动机制，探讨了清洁能源并网时的更好解决办法。最后，介绍了该团队研究的京津冀区域资源-经济-环境可持续发展决策支持平台以及相关研究专题，并对可持续发展进行了前沿性思考和展望。

基于以上几点，以及几十年来对能源环境可持续发展的认识，我认为申晓留教授及其团队的研究结论是可靠可信的，其成果对 3E 可持续发展及能源互联网的研究具有深远意义，希望读者能从该书中受益，希望更多的从事资源-经济-环境与能源互联网等相关领域工作的管理人员，以及高等院校相关专业的师生对该书给予更多的关注。



中国工程院院士

2018年1月

## 前 言

当今世界，人类社会正面临着人口、资源、环境与经济、社会发展失调的严峻挑战，资源、经济和环境的可持续发展已成为全球共同关心的焦点问题之一。人口爆炸、粮食短缺、能源危机、资源破坏、环境污染、生态失衡等对全球可持续发展的影响，世界各国都已经取得了广泛的共识。随着“十三五”期间中国区域协调发展进程的推进，未来资源、经济和环境的可持续发展问题将成为区域间协调发展进程中亟须应对的重大挑战。

资源是人类赖以生存和发展的战略性基础，是国家战略性公共产品，是国民经济发展的命脉。经济是人类社会的物质基础，是构建人类社会并维系其运行的必要条件。环境是各种生物存在和发展的空间，是资源的载体。资源-经济-环境可持续发展是对可持续发展概念的承续，强调资源效率的提升，并以此为途径提高整体经济效益，并降低与资源相关的环境成本，使经济发展不致危害环境。资源可持续是基础，环境可持续是条件，经济可持续是最终目的。由于经济发展与资源、环境之间的矛盾日益突出，可持续发展越来越受到社会各界的关注，解决资源、经济、环境的可持续发展问题具有重要战略意义。

区域可持续发展系统中各要素关系错综复杂，当前中国区域可持续发展进程中面临的挑战提示我们，中国难以重复发达国家曾经经历过的从不可持续到逐步持续的区域发展模式，中国必须探索适合我国国情的区域资源-经济-环境可持续发展的特色道路。由于资源子系统中能源要素对经济发展和环境承载力具有直接传导影响性，许多研究人员一般将能源-经济-环境（Energy-Economy-Environment, 3E）可持续发展作为一个整体，剖析三者之间的内在影响和联系。

为了实现能源的可持续利用，我国加大了对清洁能源的开发，相较于传统化石能源，清洁能源优势明显，有助于降低我国对传统化石能源的过度依赖，调整现有能源产业结构，有助于实现经济的可持续发展，保护生态环境。然而，随着我国可再生能源的快速发展，局部地区出现了严重弃风、弃水、弃光现象，风电、水电、光伏发电等可再生能源面临的并网消纳问题日益严重，成为了可再生清洁能源发展的瓶颈。能源互联网、微电网和泛能网等新理念的提出为多能源系统交互和区域可持续发展途径提供了更多选择，不断革新着人类社会的生产生活方式，“互联网+”概念在资源-经济-环境可持续发展领域的快速应用也在不断刷新着人们对传统领域的认知。

京津冀区域作为环渤海经济圈的核心，区域一体化发展理念早已提出，与长江三角洲、珠江三角洲一起称为中国区域化发展进程中的“新三极”。北京作为我国的首都和政治文化中心，对能源供应需求和安全保障要求较高，但京津冀区域能源资源要素有限，对外高度依赖，因此，如何结合北京在新时期的功能定位、能源供应需求、环境质量和

经济发展要求,以首都为核心,打造世界级城市群,促进京津冀区域资源-经济-环境协调发展,是我们面临的一个重大战略问题。

京津冀区域资源-经济-环境可持续发展的研究主要是指,为实现京津冀区域资源、经济、环境三个子系统之间综合平衡与协调发展,对各子系统之间的交互作用程度、测算方法和模型研究。资源、经济、环境三者之间的协调发展因其中任何一个因素的变化而受到影响,只研究其中一元或二元体系都很难做到全面、深入、系统的研究,必须全面考虑。从构建指标体系到综合考虑能源、经济和环境之间的约束条件,再到构建系统耦合模型,京津冀区域资源-经济-环境可持续发展的研究对实现京津冀区域协同发展乃至实现我国全面可持续发展具有显著的指导意义。

本书立足于区域尺度,以资源-经济-环境系统分析为基础,以三元协调研究为目标,对京津冀区域资源-经济-环境体系间矛盾关系及其发展变化的内在规律,做出定性与定量结合的科学分析,重点关注资源、经济与环境之间的协调发展,建立系统模型群研究资源、经济、环境系统内的若干焦点和热点问题,对区域能源互联网、储能、微电网进行了深入的探讨和实证分析。从政策环境和决策支持两个角度,搭建了京津冀区域资源-经济-环境可持续发展大数据决策支持共享平台。

本书的主要研究内容包括:

第一篇资源-经济-环境可持续发展研究,分析全球、全国以及京津冀区域资源-经济-环境可持续发展研究现状,构建可持续发展指标体系,并基于粗糙集和信息论中熵的概念等理论,构建指标体系优化决策模型。

第二篇现状及趋势分析,从可持续发展的角度分析区域资源-经济-环境系统,对京津冀区域资源供应能力与消费水平、人口与经济发展趋势、产业结构演变规律和区域承载力等进行现状分析及情景预测。

第三篇理论与模型研究,提出模型群的概念,从认识论和方法论两个角度构建资源-经济-环境系统分析、预测、优化模型群,以京津冀区域为例展开了全面细致的实证分析。区域3E系统分析模型群包括解决资源-经济-环境三元协调问题的“ $\delta$ ”模型、“ $\theta$ ”模型、“ $\beta$ ”模型,模型结合几何学、可视化等技术方法,使得三元问题由抽象变为直观。其中,“ $\delta$ ”模型和“ $\theta$ ”模型构建了协调度模型研究的几何图形;“ $\beta$ ”模型是在“ $\theta$ ”模型基础上利用层析成像研究3E系统协调度的物理模型,提高了“ $\theta$ ”模型精确度,进而更清晰的反映3E协调度关系。3E系统预测模型群研究在3E系统分析模型群的基础上开展,除传统预测模型外,还应用大数据和机器学习相关技术对京津冀区域一元、二元、三元问题进行预测。在对3E问题优化的过程中逐步建立了3E系统优化模型群。模型群的建立可以为决策者提供科学的决策依据,并为实现区域可持续发展战略目标提出相应的发展方案。

第四篇区域能源互联网。研究了资源-经济-环境可持续发展与区域能源互联网的关系,指出区域能源互联网是资源-经济-环境可持续发展的重要组成部分。构建了京津冀区域能源互联网架构图,并在国家电网公司提出的“两个替代”的基础上,重点研究了储能技术和微电网技术。

第五篇“3E+”平台,从科研平台和决策支持两个角度出发,构建京津冀区域能源-

经济-环境可持续发展决策支持系统软件平台（Energy-Economy-Environment Decision Support System, 3E-DSS 平台）和 3E-DSS 平台的专题应用。该平台以基础指标体系为支撑，将资源、经济、环境研究领域的相关数据资料、政策法规、科研成果等作为研究基础，集成对比分析、OLAP 分析、GIS 技术、场景分析法等常用计算分析工具，同时应用可视化技术多方位展示研究分析结果，为科研人员提供一个开放的研究平台，并具体应用于基于大数据的京津冀大气环境决策支持系统、能源行业全面风险决策支持系统、节能减排决策支持系统、京津冀资源-经济-环境可持续发展系统、北京市能源强度演变机理及规划模拟系统。

本书是作者及其研究团队近年来在资源-经济-环境可持续发展决策支持研究领域的成果汇总，同时也反映了该领域的最新研究方向，是一本关于区域资源-经济-环境可持续发展研究、区域能源互联网研究及决策支持共享平台研究的专著，对于资源、经济、环境，以及能源互联网的研究具有一定的参考价值。希望本书的出版在能为决策者提供思路和建议的同时，也能与从事资源、经济、环境及能源互联网等研究的同行们相互交流。

本书主要由申晓留撰写和统稿，各篇主要执笔如下。

第一篇：申晓留、马新科、王默玉、张秋艳、闫丽娜、周雅爽。

第二篇：申晓留、马新科、王默玉、郭军红、吴学辉、乔鑫、迟俊琳、闫丽娜、白盛楠、翟清云。

第三篇：申晓留、马新科、王默玉、由丽李、白静洁、吕美敬、莫莉娟、白冰洁、王艳艳、刘婧、党天刚、乔鑫、张秋艳、闫丽娜、曹柳青、孙华琛、武书舟、赵明乾。

第四篇：申晓留、王默玉、马新科、刘瑞雪、曹柳青、迟俊琳、翟清云、庆亚敏、孙华琛。

第五篇：申晓留、马新科、王默玉、王秀全、周长进、张秋艳、闫丽娜、曹柳青、熊智林、胡梓民、孙华琛。

数据搜集与整理：张秋艳、闫丽娜、周雅爽、白盛楠、翟清云、庆亚敏、孙华琛、武书舟、陈莎、陈颖璇、梁如霞。

图表制作：胡梓民、熊智林、吴领航。

承蒙各专家对全书进行了认真审阅，并提出宝贵的意见，在此深表感谢。

· 作 者

2017年8月



# 目 录

序  
前言

## 第一篇 资源-经济-环境可持续发展研究

第 1 章 导论	3
1.1 研究背景及意义	3
1.2 研究对象	4
1.3 研究路线	5
1.3.1 3E 系统协调发展演变历程	5
1.3.2 研究流程	7
1.4 可持续发展的共识、发展与创新	9
1.4.1 可持续发展的共识	9
1.4.2 发展与创新	10
1.5 本章小结	11
参考文献	11
第 2 章 3E 可持续发展研究	12
2.1 全球 3E 可持续发展研究	12
2.1.1 全球 3E 可持续发展研究	12
2.1.2 全球 3E 可持续发展的研究进展	19
2.2 中国 3E 可持续发展研究	24
2.2.1 中国 3E 可持续发展研究历程	24
2.2.2 中国 3E 可持续发展面临挑战	28
2.3 区域 3E 可持续发展研究	31
2.3.1 区域 3E 可持续发展研究现状	31
2.3.2 区域 3E 可持续发展研究进展	32
2.3.3 京津冀区域 3E 可持续发展现状	34
2.4 本章小结	37
参考文献	37
第 3 章 区域资源-经济-环境可持续发展指标体系研究	40
3.1 国内外可持续发展指标体系研究	40
3.1.1 国外可持续发展指标体系研究	40

3.1.2	国内可持续发展指标体系研究	42
3.2	区域可持续发展系统组成	43
3.2.1	资源子系统——可持续发展的物质基础	44
3.2.2	经济子系统——可持续发展的核心	44
3.2.3	社会子系统——可持续发展的保障	44
3.2.4	环境子系统——可持续发展的空间支持	45
3.3	区域可持续发展指标体系构建方法	45
3.3.1	区域可持续发展指标体系的构建思路	45
3.3.2	区域可持续发展指标体系的功能描述	46
3.3.3	区域可持续发展指标体系的构建原则	46
3.3.4	区域可持续发展指标的筛选方法	47
3.4	区域可持续发展指标体系	48
3.4.1	一元指标体系	49
3.4.2	二元指标体系	83
3.4.3	三元指标体系	86
3.4.4	区域各子系统间因果关系分析	88
3.5	本章小结	90
	参考文献	90

## 第二篇 现状及趋势分析

第4章	区域资源供应能力与消费现状分析	95
4.1	资源与能源	95
4.1.1	常规能源	96
4.1.2	新能源	101
4.2	水资源	104
4.2.1	水资源概况	105
4.2.2	供水分析	108
4.2.3	用水分析	110
4.3	资源利用分析	114
4.3.1	能源利用效率	115
4.3.2	水资源利用效率	118
4.4	本章小结	119
	参考文献	119
第5章	区域人口与经济发展现状分析	120
5.1	人口规模与结构	120
5.1.1	区域总体情况	120
5.1.2	分地区情况	122

5.2 经济规模与结构.....	129
5.2.1 经济规模.....	129
5.2.2 经济结构.....	134
5.3 本章小结 .....	144
参考文献 .....	144
<b>第6章 区域环境现状分析.....</b>	<b>145</b>
6.1 大气环境 .....	145
6.1.1 大气污染物排放浓度.....	146
6.1.2 大气污染物排放总量.....	151
6.2 水环境 .....	156
6.2.1 地下水环境.....	157
6.2.2 地表水环境.....	160
6.3 土壤环境 .....	162
6.3.1 重金属及工业三废.....	162
6.3.2 化肥农药的过量使用.....	163
6.4 碳排放分析 .....	164
6.4.1 CO <sub>2</sub> 排放量分析.....	164
6.4.2 碳足迹分析.....	166
6.5 本章小结 .....	170
参考文献 .....	170
<b>第7章 区域承载力分析.....</b>	<b>171</b>
7.1 承载力的提出与发展.....	171
7.2 区域承载力的基本现状.....	173
7.2.1 人口承载力.....	173
7.2.2 水资源承载力.....	174
7.2.3 土地资源承载力.....	176
7.2.4 环境承载力.....	178
7.2.5 交通承载力.....	179
7.3 提高区域承载力的路径与对策.....	180
7.3.1 增强承载力.....	180
7.3.2 疏解承载力.....	181
7.4 本章小结 .....	182
参考文献 .....	182

### 第三篇 理论与模型研究

<b>第8章 区域资源-经济-环境系统与可持续发展.....</b>	<b>185</b>
8.1 区域可持续发展理论.....	185

8.1.1	区域可持续发展概念	185
8.1.2	区域可持续发展特征	186
8.1.3	区域可持续发展原则	188
8.1.4	区域可持续发展影响因素	189
8.2	区域资源-经济-环境系统概述	191
8.2.1	资源系统定义及构成	191
8.2.2	经济系统定义及构成	192
8.2.3	环境系统定义及构成	193
8.3	区域资源-经济-环境系统与可持续发展的关系	193
8.3.1	区域资源-经济-环境系统对可持续发展的影响	193
8.3.2	区域可持续发展中的资源、经济、环境要素制约	195
8.4	区域 3E 系统模型群	196
8.4.1	基于认识论的 3E 系统模型群	196
8.4.2	基于方法论的 3E 系统模型群	199
8.5	本章小结	202
	参考文献	202
<b>第 9 章</b>	<b>区域 3E 系统分析模型群</b>	<b>203</b>
9.1	能源系统分析模型	203
9.1.1	基于模糊聚类的光伏发电规划模型	203
9.1.2	基于层次分析法的能源安全评价模型	206
9.1.3	基于脱钩指数的经济发展与能源消耗关系模型	211
9.2	经济系统分析模型	214
9.2.1	基于实物期权法的风力发电投资规划模型	214
9.2.2	基于柯布-道格拉斯型的经济发展与能源生产关系模型	218
9.2.3	基于灰色关联分析的产业结构与 3E 系统关系模型	220
9.3	环境系统分析模型	225
9.3.1	节能减排分析模型	225
9.3.2	空气质量短期分析模型	228
9.4	3E 系统耦合模型	231
9.4.1	基于主成分分析法的 3E 系统综合发展水平模型	232
9.4.2	基于回归分析法的 3E 系统耦合模型	235
9.4.3	3E 系统协调度概念模型——“ $\delta$ ”模型	237
9.4.4	3E 系统协调度几何模型——“ $\theta$ ”模型	239
9.4.5	3E 系统协调度物理模型——“ $\beta$ ”模型	244
9.4.6	基于 OLAP 技术和数学统计方法的能源与经济指标定量影响关系模型	249

9.5 本章小结 .....	254
参考文献 .....	255
<b>第 10 章 区域 3E 系统预测模型群 .....</b>	<b>256</b>
10.1 基于系统动力学的 3E 系统预测研究 .....	256
10.1.1 模型概述 .....	256
10.1.2 模型原理 .....	256
10.1.3 算例研究 .....	260
10.2 京津冀区域能源安全预测研究 .....	261
10.2.1 模型概述 .....	261
10.2.2 模型原理 .....	261
10.2.3 算例研究 .....	262
10.3 基于 ARMR 模型的经济增长与能源消耗的脱钩预测研究 .....	264
10.3.1 模型概述 .....	264
10.3.2 模型原理 .....	265
10.3.3 算例研究 .....	265
10.4 基于回归分析和最小二乘法的碳排放演化研究 .....	269
10.4.1 模型概述 .....	269
10.4.2 模型原理 .....	269
10.4.3 算例研究 .....	271
10.5 基于灰色预测法的大气环境长短期预测研究 .....	273
10.5.1 模型概述 .....	273
10.5.2 模型原理 .....	273
10.5.3 算例研究 .....	273
10.6 基于大数据的机器学习在 3E 领域的研究 .....	276
10.6.1 大数据环境下的机器学习理论 .....	276
10.6.2 基于大数据的机器学习算法在 3E 领域的应用 .....	278
10.7 本章小结 .....	292
参考文献 .....	293
<b>第 11 章 区域 3E 系统优化模型群 .....</b>	<b>294</b>
11.1 基于粗糙集和信息熵的指标体系优化模型 .....	294
11.1.1 模型概述 .....	294
11.1.2 模型原理 .....	294
11.1.3 算例研究 .....	295
11.2 基于灰色动态规划的产业结构优化模型 .....	296
11.2.1 模型概述 .....	296
11.2.2 模型原理 .....	297

11.2.3 算例研究	298
11.3 基于多目标规划模型的 3E 系统规划研究	299
11.3.1 模型概述	300
11.3.2 模型原理	300
11.3.3 算例研究	301
11.4 基于不确定性区间优化的 3E 系统规划研究	303
11.4.1 模型概述	303
11.4.2 模型原理	306
11.4.3 算例研究	307
11.5 本章小结	310
参考文献	310

## 第四篇 区域能源互联网

第 12 章 可持续发展与能源互联网	315
12.1 能源互联网概述	315
12.2 能源互联网研究	317
12.3 可持续发展与能源互联网的联系	319
12.4 本章小结	323
参考文献	323
第 13 章 区域能源互联网	324
13.1 区域能源互联网概述	324
13.2 京津冀区域能源互联网	325
13.2.1 清洁能源分布及利用	327
13.2.2 区域能源互联网构成	333
13.3 本章小结	335
参考文献	336
第 14 章 储能	337
14.1 储能概述	337
14.1.1 储能基础理论	337
14.1.2 抽水储能	339
14.1.3 压缩空气	350
14.1.4 电池储能	351
14.1.5 石墨烯	355
14.2 电池储能应用	356
14.2.1 电动汽车	357
14.2.2 风光储输	359

14.3 本章小结 .....	361
参考文献 .....	361
<b>第 15 章 微电网 .....</b>	<b>363</b>
15.1 微电网概述 .....	363
15.2 微电网研究 .....	365
15.3 微电网政策 .....	368
15.4 微电网案例 .....	369
15.4.1 光伏发电 .....	369
15.4.2 案例研究 .....	370
15.5 本章小结 .....	376
参考文献 .....	376

## 第五篇 “3E+” 平台

<b>第 16 章 3E-DSS 平台 .....</b>	<b>381</b>
16.1 3E-DSS 平台设计 .....	381
16.2 3E-DSS 平台架构 .....	382
16.3 3E-DSS 平台功能 .....	383
16.3.1 3E 大数据和指标体系 .....	383
16.3.2 模型研究 .....	385
16.3.3 GIS 应用 .....	387
16.3.4 科研成果 .....	387
16.4 本章小结 .....	387
参考文献 .....	388
<b>第 17 章 3E-DSS 平台的专题研究 .....</b>	<b>389</b>
17.1 基于大数据的京津冀大气环境决策支持系统 .....	389
17.1.1 AE-DSS 系统功能 .....	389
17.1.2 AE-DSS 系统实现 .....	391
17.2 能源行业全面风险决策支持系统 .....	393
17.2.1 ER-DSS 系统功能 .....	393
17.2.2 ER-DSS 系统实现 .....	394
17.3 节能减排决策支持系统 .....	395
17.3.1 ESER-DSS 系统功能 .....	395
17.3.2 ESER-DSS 系统实现 .....	395
17.4 京津冀资源-经济-环境可持续发展决策支持系统 .....	396
17.4.1 系统功能 .....	397
17.4.2 系统实现 .....	397

17.5 北京市能源强度演变机理及规划模拟系统.....	398
17.5.1 系统功能.....	399
17.5.2 系统实现.....	399
17.6 本章小结 .....	400
参考文献 .....	400
<b>第 18 章 启示、思考与展望.....</b>	<b>401</b>
18.1 可持续发展研究的启示.....	401
18.2 可持续发展研究的思考.....	403
18.3 可持续发展研究的展望.....	404
附录一 单位对照表 .....	406
附录二 英文缩略词对照表.....	407



# 第一篇 资源-经济-环境 可持续发展研究

本篇是全书的导引篇。首先从整体上介绍了本书的研究背景、意义以及研究框架，并凝练出主要观点和创新点；其次剖析了目前世界范围内对资源-经济-环境可持续发展问题的研究现状，并结合京津冀区域实际，探讨了可持续发展研究在促进京津冀区域一体化发展进程中作用；最后依据专业的指标构建原则和方法，建立了符合可持续发展研究实际的一元、二元和三元指标体系，为后续篇章提供了研究基础。

由于资源、经济、环境系统三者之间错综交互，资源子系统中能源要素与经济和环境系统关联度较大，许多研究人员一般将能源-经济-环境（Energy-Economy-Environment, 3E）系统可持续发展作为一个整体，挖掘三者之间的内在传导机制和发展关系。