



中国天然气产业 可持续发展系统标度 及优化研究

Study on Scaling and Optimizing
the Sustainable Development System of
China's Natural Gas Industry

孙仁金 曹 峰 / 著

卷外信



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE



中国天然气产业 可持续发展系统标度 及优化研究

Study on Scaling and Optimizing
the Sustainable Development System of
China's Natural Gas Industry

孙仁金 曹 峰 / 著



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

中国天然气产业可持续发展系统标度及优化研究 / 孙仁金, 曹峰著.

—北京: 中国经济出版社, 2018.9

ISBN 978-7-5136-5311-4

I. ①中… II. ①孙…②曹… III. ①天然气工业—可持续性发展—研究—中国
IV. ①F426.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 187055 号

责任编辑 李玄璇

责任印制 马小宾

封面设计 北京华子图文设计公司

出版发行 中国经济出版社

印刷者 北京九州迅驰传媒文化有限公司

经销者 各地新华书店

开本 710mm×1000mm 1/16

印张 17.75

字数 260 千字

版次 2018 年 9 月第 1 版

印次 2018 年 9 月第 1 次

定价 68.00 元

广告经营许可证 京西工商广字第 8179 号

中国经济出版社 网址 www.economyph.com 社址 北京市西城区百万庄北街 3 号 邮编 100037

本版图书如存在印装质量问题, 请与本社发行中心联系调换 (联系电话: 010-68330607)

版权所有 盗版必究 (举报电话: 010-68355416 010-68319282)

国家版权局反盗版举报中心 (举报电话: 12390)

服务热线: 010-88386794

前 言

党的十九大报告提出，中国必须坚定不移贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念。构建市场导向的绿色技术创新体系，发展绿色金融，壮大节能环保产业、清洁生产产业、清洁能源产业，推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系是未来发展的必然趋势。目前，中国经济发展进入新常态，随着气候环境变化越来越受到重视、碳约束时代的到来，优化中国的一次能源结构，必须走降煤、增加天然气，提高可再生能源比重的路径，所以天然气的需求在比较长的一段时期内将保持持续增长。

本书研究中国天然气产业可持续发展的系统标度，即提供一套可以确定我国天然气产业可持续发展程度的系统标度体系，并评价了中国天然气可持续发展状态，具有一定理论与实践意义。

首先，本书界定了中国天然气产业可持续发展系统标度的概念，构建了中国天然气产业可持续发展的理论范式，提出了中国天然气产业可持续发展系统标度构建和优化的原则与方法，完成了对中国天然气产业可持续发展的系统标度的构建。本书构建的中国天然气产业可持续发展系统标度包括基于产业保障的天然气产业系统形态维度、基于产业协调性的天然气产业系统结构维度、基于产业发展潜力的天然气产业系统行为维度、基于产业发展效益的天然气产业系统功能维度四个维度。

其次，本书完成了对以上四个维度系统标度的分别优化。并通过敏感性分析发现了 2013—2015 年间基于产业保障的天然气产业系统形态为 0.44，处于良的标度级别。建立区域不同天然气产业协调性标度的参数库，发现了 2014 年我国天然气产业协调性水平的标度值差异与指标的敏

感性。

最后，本书通过系统动态模拟对四个维度下的 17 个指标进行了组合优化。采用动态规划方法，确定整个中国天然气产业系统可持续发展的最优标度刻度组合。对中国天然气产业从 2000 年至 2030 年 30 年跨度间的可持续发展状态和趋势进行了系统标度动态评估，结果显示：中国天然气产业可持续发展水平在三种不同的情境下都将逐步提升，在利用国外资源和国际贸易的形式条件下，实现可持续发展，是动态的，认为 2000 年中国天然气产业可持续发展状态为弱不可持续发展状态；2017 年中国天然气产业可持续发展状态为较弱可持续发展状态；2020 年中国天然气产业可持续发展状态为较弱可持续发展状态；2030 年中国天然气产业可持续发展状态为较弱可持续发展状态。

本书的出版得到中国石油大学（北京）工商管理学院张宝生教授、对外经济贸易大学国际经贸学院董秀成教授等专家的帮助，特此表示感谢！

在最终统撰工作与校对阶段，博士生李喆、秦曼曼，硕士生崔亚蕾、徐诗等参与了书稿的查重、修改等工作。

特别感谢中国经济出版社李祥柱、李玄璇编辑对本书的鼎力支持。本书撰写过程还得到了众多专家及机构的指导和帮助，在此一并致谢。

由于时间仓促、水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正！

孙仁金 曹峰

2018 年 7 月 5 日

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 主要内容	3
1.1.1 理论基础和文献综述	4
1.1.2 中国天然气产业可持续发展理论构建与系统标度方法	4
1.1.3 基于产业保障的天然气产业系统形态标度及优化	5
1.1.4 基于产业协调性的天然气产业系统结构标度及优化	5
1.1.5 基于产业发展潜力的天然气产业系统行为标度及优化	5
1.1.6 基于产业发展效益的天然气产业系统功能标度及优化	5
1.1.7 中国天然气产业可持续发展的系统标度组合分析及优化	5
1.1.8 结论	6
1.2 写作思路	6
第2章 理论基础与文献综述	9
2.1 系统理论	11
2.2 可持续发展理论	12
2.2.1 西方可持续发展理论	12
2.2.2 中国传统可持续发展理论	17
2.3 标度理论	18
2.3.1 测量的层次及意涵	18
2.3.2 量表的结构	18
2.3.3 层次分析法 (AHP) 中的标度	19
2.3.4 心理物理学定律	20

2.4	国内外研究现状	21
2.4.1	系统科学与系统工程理论方面的研究进展	21
2.4.2	能源系统理论方面的研究进展	22
2.4.3	可持续性与可持续发展理论方面的研究进展	22
2.4.4	能源安全方面的研究进展	25
2.4.5	天然气产业链方面的研究进展	26
2.4.6	天然气资源方面的研究进展	28
2.4.7	天然气国际合作及进口安全方面的研究进展	29
2.4.8	天然气储备方面的研究进展	30
2.4.9	天然气利用方面的研究进展	31
2.4.10	创新驱动方面的研究进展	31
2.5	中国天然气产业系统现状	34
2.5.1	中国天然气产业现状	34
2.5.2	中国天然气产业系统构成	35
2.6	文献述评	37
第3章	中国天然气产业可持续发展理论构建与系统标度方法	41
3.1	中国天然气产业系统分析	43
3.1.1	系统形态分析	43
3.1.2	系统结构分析	47
3.1.3	系统行为分析	47
3.1.4	系统功能分析	47
3.1.5	系统环境分析	47
3.1.6	系统分析小结	50
3.2	中国天然气产业可持续发展理论构建	51
3.2.1	理论推演	51
3.2.2	中国天然气产业可持续发展理论	55
3.3	中国天然气产业可持续发展的系统标度方法	57
3.3.1	中国天然气产业可持续发展系统标度的界定	58
3.3.2	中国天然气产业可持续发展系统标度构建原则	60

3.3.3 中国天然气产业可持续发展程度的划分标准	62
3.3.4 天然气产业系统可持续发展标度的指标体系构建	63
3.4 中国天然气产业可持续发展系统标度的优化	70
3.4.1 中国天然气产业可持续发展的系统标度优化的原则	70
3.4.2 中国天然气产业可持续发展的系统标度优化的目标	72
3.4.3 中国天然气产业可持续发展的系统标度优化的路径	72
3.5 本章小结	82
第4章 基于产业保障的天然气产业系统形态标度及优化	83
4.1 天然气产业系统形态的测度指标	85
4.1.1 中国天然气来源构成	86
4.1.2 基于产业保障的天然气产业系统形态的测度指标	88
4.2 多维天然气供给国家实力的标度	88
4.2.1 多维天然气供给国家实力模型	89
4.2.2 多维天然气供给国家实力的标度	90
4.3 基于天然气供给的全球合作程度的标度	100
4.3.1 基于天然气供给的全球合作程度的评价标准	100
4.3.2 基于天然气供给的全球合作程度的标度	101
4.4 天然气产业系统形态标度	105
4.5 天然气产业系统形态标度优化	107
4.5.1 天然气产业系统形态标度优化及合理性检验	107
4.5.2 天然气产业系统形态标度优化的敏感性检验	108
4.5.3 天然气产业系统形态标度的预测	109
4.6 本章小结	110
第5章 基于产业协调性的天然气产业系统结构标度及优化 ...	113
5.1 天然气产业系统结构的测度指标	115
5.1.1 中国各地区之间天然气产销不平衡关系	116
5.1.2 中国天然气月消费与月天然气生产、月天然气进口之间的 相互关系	117

5.1.3 中国城市燃气管道、储存设施与城市天然气供应之间的相互关系	119
5.1.4 中国县城燃气管道、储存设施与县城天然气供应之间的相互关系	120
5.2 天然气产业的系统结构测度指标的标度区间	122
5.2.1 天然气变异系数标度	122
5.2.2 天然气月不均匀系数标度	125
5.2.3 城市天然气应急系数标度	127
5.2.4 县城天然气应急系数标度	129
5.3 天然气产业系统结构标度	132
5.4 天然气产业系统结构标度优化	134
5.4.1 天然气产业系统结构标度优化及合理性检验	134
5.4.2 天然气产业系统结构标度优化的敏感性检验	136
5.5 本章小结	137

第6章 基于产业发展潜力的天然气产业系统行为标度及优化 ... 139

6.1 天然气产业系统行为标度的测度指标	141
6.1.1 常规和非常规天然气资源潜力	142
6.1.2 常规、非常规天然气勘探资源潜力	143
6.1.3 天然气储量、产量趋势	143
6.1.4 中国天然气开发和利用潜力分析	144
6.1.5 中国天然气管道储备及运行	146
6.1.6 中国各地区天然气消费与配套基础设施配套状况	147
6.2 天然气产业的系统行为测度指标的标度区间	149
6.2.1 世界天然气产销比标度	150
6.2.2 世界探明储量累计可开采时间标度	152
6.2.3 中国天然气产销比标度	154
6.2.4 中国探明储量累计可开采时间标度	157
6.2.5 中国天然气资源的探明率标度	159
6.2.6 天然气管道密度标度	161

6.2.7 天然气异地利用系数标度	164
6.3 天然气产业系统行为标度	167
6.4 天然气产业系统行为标度的优化	169
6.4.1 天然气产业系统形态标度优化及合理性检验	169
6.4.2 天然气产业系统行为标度优化的敏感性检验	171
6.5 本章小结	172
第7章 基于产业发展效益的天然气产业系统功能标度及优化 ...	175
7.1 天然气产业系统功能标度的测度指标	177
7.1.1 中国天然气产业与外部环境关系的描述	178
7.1.2 中国天然气利用与其他产业之间的关系描述	181
7.1.3 中国天然气产业与城市经济、社会、人口、环境之间的 关系	181
7.1.4 中国天然气产业与县城经济、社会、人口、环境之间的 关系的描述	182
7.2 天然气产业的系统功能测度指标的标度区间	183
7.2.1 中国城市天然气覆盖率标度	183
7.2.2 中国县城天然气覆盖率标度	186
7.2.3 中国能源消费结构标度	188
7.2.4 中国天然气消费结构标度	190
7.3 天然气产业系统功能标度	193
7.4 天然气产业系统功能标度的优化	195
7.4.1 天然气产业系统功能标度优化及合理性检验	195
7.4.2 天然气产业系统功能标度优化的敏感性检验	197
7.5 本章小结	198
第8章 中国天然气产业可持续发展的系统标度组合分析及 优化	199
8.1 中国天然气产业可持续发展系统演化模拟	201
8.1.1 系统动力学模型基础条件的确定	202

8.1.2	系统动力学模型的建立和数据收集	203
8.1.3	系统动力学模型的运行	207
8.2	中国天然气产业可持续发展系统测度指标的组合优化	207
8.2.1	模拟不同政治、经济、市场环境下 17 个指标的变异区间	207
8.2.2	中国天然气产业可持续发展系统测度指标变异区间的优化及检验	212
8.3	中国天然气产业可持续发展状态和趋势的评价和预测	213
8.3.1	中国天然气产业可持续发展状态和趋势的评价	214
8.3.2	不同情景下的中国天然气产业可持续发展状态和趋势的评价	235
8.4	中国天然气产业可持续发展系统标度的总体优化	236
8.4.1	中国天然气产业可持续发展系统标度刻度的最优组合	237
8.4.2	系统标度刻度的最优组合的验证	240
8.5	中国天然气产业可持续发展系统标度的验证及补充	241
8.5.1	中国天然气产业可持续发展理论的验证及补充	241
8.5.2	中国天然气产业可持续发展的系统标度的验证及补充	244
8.6	本章小结	245
第 9 章	结论	247
9.1	中国天然气产业可持续发展的系统标度及优化研究结论	249
9.2	中国天然气产业可持续发展系统标度及优化研究未来的方向	251
9.3	政策建议	252
参考文献		254
附录 Gi 调查法		266

中国经济由高速增长转向高质量发展，倡导绿色发展、低碳发展，要求天然气在一次能源结构中的比重不断增大，2017 年天然气消费对外依存度已达到 39%，预计未来会进一步增大。如何解决既能满足当代中国社会对天然气的需求，又不损害下一代或几代人的天然气需求的问题，是关于中国天然气产业可持续发展的问题，也是关于国家和社会发展方式的问题。建立一套衡量中国天然气产业可持续发展的系统标度，是确定天然气产业可持续发展程度的关键，评价天然气可持续发展状态，是实现中国天然气产业可持续发展目标的首要课题。

中国天然气产业可持续发展的系统标度及优化研究为量化评价天然气产业系统的可持续发展建立标准，提供指导理论和方法，致力于提供实现天然气产业系统可持续发展的目标的解决方案。这有助于细化和解决我国天然气产业在可持续发展过程中遇到各种问题，是可持续发展理论与其他理论配合运用的一种指导实践性很强的研究，也是对天然气产业系统发展模式 and 其对社会、经济、环境方面影响的评价，建立的整套理论和方法体系为可持续发展理论的广泛运用提供借鉴。

1.1 主要内容

本书选题研究中国天然气产业可持续发展的系统标度及优化是以构建中国天然气产业系统可持续发展评价的合理、可量化的方法论和评价体系为目标，力求对中国天然气产业可持续发展做出科学评价，达到研究设想的效果。

由于中国天然气产业系统除了具有天然气产业的共有特征外，还具有中国产业发展的特殊性，即中国特殊的自然禀赋、自然属性和大国所面临

的特殊、复杂的国际政治、经济、资源生态环境。所以,建立中国天然气产业系统的可持续发展的标度及优化方案需要以中国天然气产业可持续发展理论为指导;中国天然气产业系统可持续发展的标度及优化能够合理、准确地评价中国天然气产业可持续发展实现理想的效果。实现这一目标需要以下几个步骤:首先,建立中国天然气产业可持续发展理论;其次,在中国天然气产业可持续发展理论基础之上界定中国天然气产业可持续发展的系统标度;第三,确定如何建立中国天然气产业可持续发展的系统标度,以及如何优化;第四,确定方法对中国天然气产业可持续发展的系统标度及优化做出评价,验证效果。

1.1.1 理论基础和文献综述

主要包括研究的理论基础和对已有研究成果的总结。理论基础部分包括系统理论、系统动力学理论、能源系统理论和可持续发展理论、标度理论。文献综述包括对理论研究成果、可持续发展研究成果和中国天然气产业的研究成果等方面的总结和分析。通过文献研究发现,已有文献中较少有对中国天然气产业发展的可持续性进行系统标度的相关文献,以此确定了本书的研究方向。

1.1.2 中国天然气产业可持续发展理论构建与系统标度方法

在对中国天然气产业系统和可持续发展理论以及标度理论的多角度分析基础上,建立中国天然气产业可持续发展理论范式,完成中国天然气产业可持续发展系统标度方法的构建。

根据系统的特征,结合标度构建的一般原则,提出中国天然气产业系统可持续发展标度的构建原则。依据 Gi 调查法和层次分析法确定指标的权重,通过权重图形的分析对比,判断矩阵的一致性大小的比较,结合群决策特征根法或参考其他学者的研究结论确定优化选择。随后,根据中国天然气产业可持续发展系统标度的概念提出指标变异范围的准则,确定采用非线性规划方法对指标的变异范围及两极进行优化。最后,确定采用动态规划的方法对标度等级之间距离进行整体优化等,提出了对中国天然气产

业系统可持续发展的标度完整构建方法。

1.1.3 基于产业保障的天然气产业系统形态标度及优化

对多维天然气供给国家实力进行分析。根据本书对中国天然气产业可持续发展的界定,分析影响多维天然气供给国家实力的关键因素,并依据标度对多维天然气供给国家实力做出评价。

1.1.4 基于产业协调性的天然气产业系统结构标度及优化

确定天然气变异系数、月不均匀系数、城市应急水平、县城应急水平指标的变异范围以及变异的两极即标度区间,并进行优化;对标度进行可信性和可靠性验证,评价了现阶段的中国天然气产业的系统结构状态。

1.1.5 基于产业发展潜力的天然气产业系统行为标度及优化

确定城市应急水平、县城应急水平、世界天然气产销比、世界探明储量累计可开采时间、中国天然气产销比、中国探明储量累计可开采时间、中国天然气资源的探明率、天然气管道密度、天然气异地利用系数指标的变异范围以及变异的两极即标度区间,并进行优化;对标度进行可信性和可靠性验证,评价了现阶段的中国天然气产业的系统行为状态。

1.1.6 基于产业发展效益的天然气产业系统功能标度及优化

确定中国城市天然气覆盖率、中国县城天然气覆盖率、中国能源消费结构演进、中国天然气消费结构指标的变异范围以及变异的两极即标度区间,并进行优化;对标度进行可信性和可靠性验证,评价了现阶段的中国天然气产业的系统功能标度状态。

1.1.7 中国天然气产业可持续发展的系统标度组合分析及优化

建立系统动力学模型模拟中国天然气产业可持续发展系统演化过程,对已经优化的多维天然气供给国家实力、天然气供给的全球合作程度、天然气变异系数、月不均匀系数、城市应急水平、中国城市天然气覆盖率、

中国能源消费结构演进等 17 个指标进行历时的组合优化及系统优化；对标度的合理性和敏感性进行检验；并利用动态规划模型确定了等级之间的距离。同时，通过使用优化后的标度对中国天然气产业可持续发展状态和趋势做出评价和预测，对中国天然气产业可持续发展理论以及中国天然气产业可持续发展的系统标度概念进行验证，并做补充。

1.1.8 结论

在总结全文研究的基础上，针对中国天然气产业可持续发展系统标度及优化的研究，提出了六条结论。包括：中国天然气产业可持续发展理论，中国天然气产业可持续发展的系统标度概念，中国天然气产业可持续发展的标度方法，中国天然气产业可持续发展的系统标度的优化的原则、目标、路径，评价标度及优化的方法的合理性及准确性，并为中国天然气可持续发展提出建议。

1.2 写作思路

本研究首先立足于系统理论、系统动力学、能源系统理论、可持续发展理论、标度理论，结合中国的具体国情、中国天然气产业系统的现状，构建了中国天然气产业可持续发展理论，并且在此基础上界定中国天然气产业可持续发展系统标度。

中国天然气产业系统可持续发展的标度应该以中国天然气产业可持续发展理论为基础，根据系统的特征和量表的逻辑来建构。首先，据此提出标度的构建原则，根据原则进行指标的选择、指标的筛选，以及指标与标度之间的转换等。其中，中国天然气产业可持续发展的系统标度的方法体系是通过确定指标体系的权重并进行优化；确定评价的等级，是利用动态规划模型确定了等级之间的距离来实现的。在此基础上，使用标度对中国天然气产业可持续发展的程度及趋势做出评价。同时，测量系统标度的精确程度和准确程度，并且通过实证验证对标度进行优化。通过以上步骤，