

北京工业大学211学科建设成果



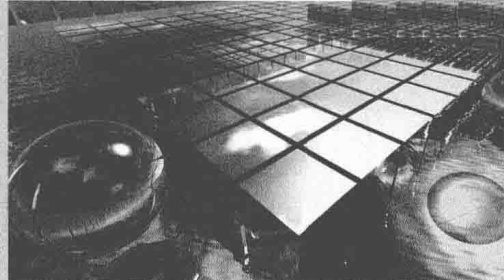
物理经济学视角下全球价值链若干问题研究

基于国家和地区间投入产出网络模型

邢李志 关峻 著



科学出版社



北京工业大学211学科建设成果

物理经济学视角下全球价值链若干问题研究
基于国家和地区间投入产出网络模型

邢李志 关峻 著

科学出版社
北京

内 容 简 介

社会经济系统内部结构大尺度、多维度、多层次的特性构成了其宏观层面的复杂性,通过对系统内部结构信息的挖掘可以反映整个系统的功能特征或运行机理。作为测度复杂系统结构的理论与方法,复杂网络理论可以通过测度社会经济系统的结构性指标,进而刻画研究对象内部的结构特征,揭示系统内在层次结构与外在经济功能之间的复杂关系。本书采用国家间投入产出数据,基于复杂网络理论提取了全球经济系统的拓扑结构,进而从物理经济学的角度对各国家(地区)的经济发展指标与系统结构测度指标进行相关性分析、层次性分析以及鲁棒性分析,从全球经济系统的宏观层面揭示了各国家(地区)及其产业部门在全球价值链中的功能和地位,并根据反映全球经济系统结构性特征的全球产业影响力系数对不同情景下的经济体之间相互影响进行仿真模拟,从而对相关政策制定提供建设性意见。

本书适合经济学、管理科学等领域的高等院校学生、教师和科研人员阅读,对从事全球价值链研究的工作人员具有一定的参考和借鉴价值。

图书在版编目(CIP)数据

物理经济学视角下全球价值链若干问题研究:基于国家和地区间投入产出网络模型 / 邢李志, 关峻著. —北京: 科学出版社, 2017. 1

北京工业大学 211 学科建设成果

ISBN 978-7-03-051354-0

I. ①物… II. ①邢… ②关… III. ①产业结构—研究—世界 IV. ①F113.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 319285 号

责任编辑: 林 剑 / 责任校对: 彭 涛

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 耕者工作室

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017 年 1 月第一次印刷 印张: 12 1/8

字数: 250 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

该书为北京现代制造业发展研究基地成果，受北京市社会科学基金研究基地项目《北京现代制造业结构升级路径与资源约束研究》（项目编号：14JDJGB039）和北京市博士后工作经费资助项目《基于复杂网络链路预测的产业转移机理研究》（项目编号：2015ZZ-42）资助。

在北京市哲学社会科学规划办公室、北京市教育委员会的统一规划部署和北京工业大学的全力支持下，北京现代制造业发展研究基地（简称“基地”）于2004年正式成立，历经四个时期的建设与发展，取得了辉煌的成绩。

基地建设目标：以北京现代制造业发展为中心，结合相关的热点问题、难点问题以及急需解决的重大问题，展开一系列的研究，为北京市领导决策提供强有力的支持，为首都经济可持续发展提供科学、合理的建设性方案。建设目标是将“基地”建设成综合研究北京现代制造业发展战略、建设规划、产业结构优化及与高新技术协调发展的、国内一流的研究机构；成为拥有大量基础数据和核心资料的情报信息中心；成为吸引、聚集国内外优秀专家学者的研究基地；成为培养北京现代制造业高层次复合型研究人才的教育园地；成为政府和企事业单位的高级智囊。

基地研究方向：随着时代、环境的变化，围绕建设目标，基地研究方向进行着动态的调整。一期建设研究方向（2005-2007年）：北京现代制造业的定位、发展战略和可持续发展研究；北京现代制造业的产业结构、产业链优化及制度与政策研究；北京现代制造业的信息化及其与高新技术产业协调发展研究。二期建设研究方向（2008-2010年）：资源环境约束下北京现代制造业的发展及战略；技术创新和成果转化对制造业发展以及产业转型的作用；商务智能及信息化与北京现代制造业融合发展。三期建设主要研究方向（2011-2013年）：探讨北京现代制造业的发展战略；研究战略性新兴产业、高端装备业、产业集群和产业链优化问题；研究企业内部或企业所在的供应链内部信息化、智能化、数字化以及与服务业融合发展等问题。四期建设主要研究方向（2014-2016年）：京津冀制造业协同发展十三五战略规划；京津冀制造业产业对接路径与实施；京津冀区域一体化产业聚集与产业链优化。

基地研究内容：宏观层面：从低碳经济，循环经济，区域经济和产业经济视角，结合结构调整、产业升级，探讨北京制造业的发展战略；中观层面：在四大产业的基础上，结合高新技术，研究战略性新兴产业、高端装备业、产业集群、产业链优化以及生产性服务业深度融合问题；微观层面：在企业内部或企业所在的供应链内部，研究数字化、信息化、智能化发展等问题。

基地批准以来的重大成果：围绕基地建设目标、研究方向、研究内容，基地团队进行了不懈的努力，在过去 12 年的历程中，在科学研究、服务北京、培养人才、学科建设、学术交流方面，取得了非常可喜的成绩。

科学研究：基地团队在过去 12 年的时间里，获得了 1 项国家社会科学基金重大项目，1 项国家自然科学基金重点项目，12 项国家级基金项目 and 一大批北京市基金、委办局课题等科研项目，经费超过 1 千万元。完成了多部学术著作和研究报告，其中比较有代表性的如下：《北京现代制造业发展研究报告》（2005 年出版）、《全球化背景下的中国制造业发展战略研究》（2006 年出版）、《北京制造业发展史》（2007 年出版）、《北京现代制造业产业结构和产业链优化研究》（2012 年出版）、《多 Agent 制造业供应链管理》（2014 年出版）。2006 年《北京现代制造业发展研究报告 2005》获北京市科技进步二等奖；2007 年基地验收为优；2010 年，基地 2 项成果获北京市第十一届哲学社会科学优秀成果二等奖。

服务北京：除了基地的研究报告为北京市政府提供决策支持、为企业提供咨询服务外。基地团队成员为北京市科委、经信委、城管、统计局等委办局解决实际问题、进行业务咨询和调查研究，做了大量的工作，提交的各类报告 50 多份。代表性的报告如：2007 年《北京工业“十一五”时期科技需求调研》，获北京市工促局优秀调研成果奖；2011 年《首都开发区集约用地情况及对策建议》被中共北京市委研究室主办的《决策参考》采用。

培养人才：依托基地的研究，不仅培养了一大批本科生、硕士研究生，还培养了不少博士生和年轻老师。基地一贯将每年的科研项目分成若干子课题，动员全院师生参与，每年有十几位教师作为子课题组长，每个子课题有博士、硕士或本科生多位成员。课题通过立项、开题、中期和结题四环节的锻炼过程，不仅很好地完成研究任务，还促使师生的研究能力和研究水平快速提升。每年至少 10 余名具有制造业研究背景的高层次人才输送到北京市相关部门。

学科建设：2004 年到现在，经管学院高水平项目、高水平论文大部分来自研究基地团队，研究基地有力地支持了学院的学科建设和发展。基地的成果支持了经管学院在全校科研贡献排名，使得经管学院 2007 年在全校科研贡献排名达第六位，是全校实力较强的学院；2008 年经管学院 IPMP 国际认证和物流国际认

证也是基地团队完成的；2010年应用经济博士点申请成功，其中支撑材料的主要部分来自基地；循环经济硕士点，工程管理、国际商务专业学位硕士点也是基地团队做的贡献。

学术交流：基地团队开创了管理科学与工程论坛，并于2009年6月成立了管理科学与工程学会；2009年以基地团队为主组织了“第十一届组织符号学国际会议”，会议收录的70余篇论文全部被ISTP、EI检索。2013、2014年已经成功组织了两届“京津冀制造业发展学术论坛”，来自北京、天津、河北等省市的相关单位的100余名领导、专家、学者出席。

北京现代制造业发展研究基地
2016年11月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 文献综述	2
1.3 研究内容	8
1.4 研究特色	8
1.5 创新之处	9
第 2 章 复杂网络与投入产出的理论基础	11
2.1 图论的起源	11
2.2 网络的基本概念	12
2.3 重要的特征度量	17
2.4 介数中心性理论	26
2.5 经典的复杂网络模型	30
2.6 投入产出理论	36
第 3 章 全球价值链研究的数据来源与网络模型	39
3.1 国家间投入产出数据库	39
3.2 产业信息传递网络	48
3.3 全球产业价值链网络	50
3.4 全球产业最强关联网络模型	53
3.5 京津冀地区协同发展网络	56
第 4 章 全球价值链上产业波及效应的动力学机制	64
4.1 产业关联理论	64
4.2 结构洞理论在经济系统中的拓展	65
4.3 不同时间维度下的两类网络指标	67
4.4 ISTN-CHN 模型中产业波及效应的实证研究	70
4.5 本章小结	76
第 5 章 全球产业影响力指数及其在贸易纠纷背景下的变化	78
5.1 国家间投入产出研究	78

5.2	全球价值链上产业影响力的界定	79
5.3	静态条件下 GIIC 指数的实证研究	81
5.4	动态条件下 GIIC 指数的实证研究	88
5.5	本章小结	95
第 6 章	全球价值链上产业部门的贸易中介属性	96
6.1	垂直专业化分工	96
6.2	全球价值链上的贸易类型	97
6.3	产业部门的贸易中介属性	99
6.4	部门和国家层面的贸易中介属性实证研究	105
6.5	本章小结	122
第 7 章	全球价值链上产业部门对生产资源的竞争现象	123
7.1	引文网络的基本概念与应用拓展	123
7.2	全球产业资源竞争网络模型	128
7.3	产业部门竞争状态的实证研究	130
7.4	产业生态位在全球价值链研究中的应用	138
7.5	本章小结	146
第 8 章	基于链路预测的价值链上产业转移趋势研究初探	148
8.1	产业转移理论	148
8.2	反映产业价值链特征的网络指标	151
8.3	京津冀地区产业价值链特征分析	154
8.4	链路预测在产业复杂网络中的应用	160
8.5	ISRN-J3 模型的链路预测仿真结果	165
8.6	GVC 上产业转移的趋势分析	168
8.7	本章小结	172
参考文献	174
后记	186

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究的现实背景

随着贸易壁垒的降低和科技革命的推动，以全球价值链为载体的世界经济一体化格局逐渐形成，各个国家之间国际分工合作和经济贸易活动日益增多和复杂化，早已不能单纯用 Heckscher-Ohlin 模型（H-O 模型）来解释国际分工和国际贸易中出现的新现象^[1]，即产生 Leontief 悖论（the Leontief paradox）^[2]。随之而来的是各种经济理论来尝试解释世界经济格局演变趋势，如劳动熟练说^[3,4]、人力资本说^[5,6]、技术差距说^[7]、产品周期说^[8]、需求偏好相似说^[9]、产业内贸易说^[10]等。这些理论从不同角度来解释或论述当代国际分工、附加值贸易和产业结构升级等一系列相关进程中存在的重要问题，虽然每种理论具有相对独立性和完整性，但是整个理论体系表现为分散性、片面性和不完整性，而且各个国家对于经济数据不同的统计口径也成为分析国家（地区）间产业关联关系的阻碍。

1.1.2 研究的理论意义

在这种背景之下，学者们采用能够反映全球价值链拓扑结构的国家间投入产出数据来继续他们的研究。值得关注的是，有一部分学者根据复杂网络理论建立了一系列基于这类数据的投入产出网络，以物理经济学方法研究产业经济学问题。虽然投入产出网络的构建和应用在国内外已成为研究热点，但在国内还处于研究的起步阶段，特别是大量的复杂网络模型以及分析工具（如节点排序、路径搜索、稳健性、机器学习、传播动力学）还没有充分应用到这类网络，而且许多相关算法还需要结合社会网络分析提出的研究思路加以改进，才能适用于挖掘这类稠密的加权有向网络所蕴含的经济学含义。

本书的理论意义在于：针对社会经济系统中产业信息传递具有复杂性和多样性的特点，改进复杂网络理论和社会网络分析中的算法与工具来测度产业复杂网络的拓扑结构、节点属性和动力学机制，在此基础上建立网络仿真模型，拓展产业经济学研究领域中物理经济学工具的应用范围。

1.1.3 研究的现实意义

改革开放以来，中国一直积极参与国际分工，凭借充裕的劳动力要素优势、巨大的市场潜力和积极的对外开放政策，以后来者居上的姿态迅速地融入了世界经济系统，成为国际垂直专业化分工体系中最为重要的组成部分。特别是当前，我国经济步入“新常态”发展阶段，正在逐步落实“一带一路”战略构想和实现“供给侧改革”巨大转变，这为我国经济管理领域的学者提出新的研究命题，需要将理论工具与发展实际相结合，重新审视我国参与国际分工过程中可能遇到的瓶颈和需要注意的问题。由于国际分工涉及面广、形势复杂多样，不仅体现在流通领域的产品进出口方面，更体现在生产领域中对进口和国产中间产品投入的划分上，涉及不同国家内的生产体系，因此如何准确地定量测度垂直专业化分工一直是产业经济学研究的难点和重点。

本书的现实意义在于：汲取近年来国际分工、产业结构升级和产业关联关系等方面的前沿理论知识，采用当前投入产出研究领域权威的国家间投入产出数据库，从物理经济学视角研究全球价值链上的产业波及效应动力学机制、产业影响力评估方法、产业贸易中介属性、产业竞争状态和产业转移趋势等问题，为我国中长期对外贸易策略和产业发展政策的制定提供理论参考。

1.2 文献综述

随着科学技术的发展和产业分类的完善，产业之间的联系也越来越复杂和密切，这就需要通过产业间投入产出关联的数量关系来研究区域产业系统的一些特性，以此规避割裂研究产业部门对探究产业转移机理的不利影响。针对这种具备高度非线性的区域产业系统，复杂网络理论是一种有效的研究工具。

本书属于产业经济学和物理经济学的交叉学科研究，在研究过程中将会根据产业关联理论建立投入产出网络模型，分析全球价值链上的垂直专业化分工现象及其对地区产业结构造成的影响。因此，文献综述主要从复杂网络理论（仅涉及与本书相关性较高的部分理论）、产业组织网络和投入产出网络等三个方面出

发, 总结其研究现状及发展动态。

1.2.1 复杂网络理论

复杂系统作为一门独立的学科出现于 20 世纪 90 年代, 而复杂网络作为研究复杂系统的有效工具和方法始于 90 年代末。众所周知, 复杂系统是由相互作用的众多子系统组成, 如果将子系统抽象成节点, 把子系统之间的相互作用关系抽象成连接节点的边, 则复杂系统可以抽象成一个复杂网络。最早将复杂系统看成一个网络进行研究的是社会学家, 社会学家通过研究人群关系网络, 分析个体对整个系统的贡献, 强调网络中个体节点的作用。因此, 研究一个复杂网络, 不仅要考虑其微观的网络结构及网络特征, 而且要分析其作为一个整体即从宏观的视角研究其系统特性。对复杂网络的研究包含以下几个内容。

1.2.1.1 基本模型

Erdős 和 Rényi 指出在每个时间步, 在由 N 个节点构成的一维图中以确定概率 p 随机选择其中的两个节点连接一条边, 可以演化形成一个 ER 随机图模型^[11]。由于计算机数据处理和运算能力的发展, 大量的现实网络被证实不是完全随机的网络, 而具有其他统计特征。Watts 和 Strogatz 提出小世界网络概念^[12], 并且证明其具有更高的信号传输速度、更强的计算能力以及更好的同步能力, 而且病毒传播更加容易。但是, ER 模型和 WS 模型的度分布与许多现实网络都不相符, 用它们来描述这些现实网络具有很大的局限性。Barabási 和 Albert 研究发现许多复杂网络具有大规模的高度自组织特性, 即多数复杂网络的节点度服从 Pareto 分布, 并把具有幂律度分布的网络称为无标度网络^[13], 认为增长和择优连接是许多复杂系统的共同特征, 也是无标度网络形成的两种必不可少的机制。这些理论构成后续所有复杂网络研究的基础。

1.2.1.2 实证研究

国内外研究学者针对各类实际网络进行大量的实证研究, 如电影演员合作网络、万维网、论文引用网络、飞机航线网、物流和供应链网络等。从目前的研究成果来看, 多数实际网络普遍存在一些共同的拓扑特性: 大都具有较短的平均距离和高的聚集性, 而且部分网络具有幂函数律的节点度分布, 即具有无标度网络的特性。Albert 等发现网页的链入和链出的概率都遵循 Boltzmann-Gibbs 分布定律^[14]; Jeong 等通过仿真基因 *E. coli* 的新陈代谢网络证明无标度网络表现出对随

机错误的抵抗性^[15]；Newman 借助 Erdős 数的手段证实科学协作网具有小世界效应和无标度特性^[16]；Liljeros 等证明流行病增长和传播的速度在无标度网络中更快，同时该网络的中心节点受损会很大程度上影响整个网络^[17]；Li 和 Chen 发现科学家合作网的权重分布服从 Pareto 分布，并进一步预测大多数的加权网络的权重分布都具有类似的形式^[18]；Latora 和 Marchiori 分别基于有效性和费用的概念，得到能够有效进行信息传输的所谓“经济的小世界网络”^[19,20]；Barrat 等将集聚系数和邻近节点平均度扩展到加权网络中^[21]；Macdonald 等发现部分复杂网络中存在流量和拓扑结构的非线性关系，并验证了真实权重网络中存在马太效应，为权重网络的建模工作提供了可靠的依据^[22]。

1.2.1.3 病毒传播

随着 SIR 模型在病毒传播方面的应用，人们发现在社会网络中，谣言的传播与病毒的传播具有相似的动力学特征，所以学者们将 SIR 模型应用于舆论的传播，以找出控制这种舆论传播的途径。Ball 等研究了在具有两层混合的种群中进行个体移除的流行病传播情况，并提出“大圆模型”^[23]。Kuperman 和 Abramson 研究了流行病在小世界网络中的传播行为^[24]；Pastor-Satorras 和 Vespignani 通过计算机数值模拟和平均场理论分析了无标度网络上病毒传播的特性^[25]；Eguíluz 和 Klemm 进一步研究了具有高簇系数和相配混合性的无标度网络上 SIS 病毒传播的阈值^[26]；Barthélemy 等发现无标度网络上的病毒传播存在分层特性^[27]；Newman 探讨了复杂网络上两种相互关联的病毒的传播，发现系统中存在不同的动力学相^[28]；Gross 等研究了自适应网络上的病毒传播行为，发现病毒传播中存在一级相变、迟滞现象、振荡以及网络结构相配性的涌现^[29]。

上述成果对研究产业结构中资产投入的扩散性和外部性有着良好的借鉴意义，同时也提供了产业结构优化和升级控制点的路径。

1.2.1.4 抗毁性

任何无标度网络都可以承受相当比例的节点损失，这种稳健性源自其自身的拓扑结构特点。无标度网络中存在高度联通的中心节点，它们使得网络能够连成一体。如果故障对任何节点来说是以相同概率发生的，那么故障更有可能发生在度较小、数量较多的非中心节点上，但是这些节点对网络的整体所起的作用是有限的，网络不会因为一定数量的故障而崩溃。如果故障发生在少数中心节点上，还会有其他的中心节点来维持网络的整体性。总而言之，无标度网络的稳健性根源在于其结构的不均衡性。Cohen 等研究了网络对随机性节点失效的稳健性，并

使用幂指数度分布为 $P(k) = k^{-\alpha}$ 的无标度网络进行了测试。他们的研究发现大多数实际网络都是无标度的且次数幂小于等于 3，这种网络无论多少节点被删除，大组件都不会从网络中消失^[30]。

但是，面对攻击的脆弱性也是无标度网络与生俱来的特性之一。删除无标度网络中连通性最强的一些中心节点后，网络很快就分裂成相互无法连通的分散组件。Albert 发现万维网、因特网、社会网络和细胞网络具有极高的网络弹性和稳健性。但面对选择并移走确保网络连通性的中心节点的攻击又显得特别脆弱^[31]。Callaway 等发现对于具有 Pareto 分布的图，大组件的大小在度最高的顶点被删除之后会迅速缩小。对于指数为 2.7 的幂 Boltzmann-Gibbs 分布，大约 1% 的具有最高度的顶点需要被删除从而完全地破坏其大组件，等价于在具有相同拓扑的通信网络中摧毁那些最长的通信路径^[32]。

上述研究对确定产业结构中的核心产业以及确立相关保护和支持政策，寻找制约产业结构升级的关键点以及制定相关政策具有较好的指导意义。

1.2.1.5 链路预测

近年来，复杂网络中的链路预测 (link prediction) 逐渐成为网络演化研究的重要方法。这种方法通过已知的网络节点以及网络结构等信息，预测网络中尚未产生连边的两个节点之间产生连接的可能性，既包含对未知链接的预测，也包含对未来链接的预测^[33]。

链路预测是从计算机领域引入的一种数据挖掘方法，并且促进了复杂网络模型演化的相关研究，早期研究主要集中在基于节点属性、马尔可夫链和机器学习的网络链路预测和路径分析。例如，Zhu 等采用马尔可夫链的预测方法帮助互联网用户进行在线导航^[34]；Popescu 和 Ungar 采用科学文献引用网络的作者信息、期刊信息以及文章内容等节点属性对引用关系进行预测^[35]；O'Madadhain 等利用网络的节点属性建立网络局部范围的条件概率预测模型^[36]。

虽然根据节点属性预测网络演化的效果很好，但是实际网络中这类信息很难获取，对于大规模网络来说更是如此。所以，可以采用更容易获得且更为可靠的网络结构信息来作为预测依据。近年来，这类基于网络结构的链路预测方法逐渐成为主流。Liben-Nowell 和 Kleinberg 提出基于网络拓扑结构的相似性算法，分别从节点相似性和路径相似性两个角度分析社会合作网络的链路预测的效果^[37]；Liu 等根据基于局部信息的结构相似性指标对比分析了现实网络的链路预测准确性，在 Liben-Nowell 和 Kleinberg 的研究基础上提出准确性更高的资源分配指标和局部路径指标^[38]；Guimera 和 Sales-Pardo 利用随机分块模型预测网络缺失的

边,进而识别错误链路,并且第一次提到网络错误连边(spurious links)的概念^[39]。除此之外,一些更为复杂的物理过程也被应用于度量网络节点间的相似性,并借此提高链路预测的准确性,如局部随机游走。

更为重要的是,区域产业经济系统是一个不断演化的系统,如果采用复杂网络模型来描述它,产业转移问题可以用网络演化的思路来解决,表现为网络中新引入了节点、节点之间增添了新的连边、边权大小发生了变化等。这种情况下解析网络演化的规则和机制,可以从经济物理学的视角来解决现实中的产业经济问题,促进复杂网络理论应用于产业经济研究。

链路预测可以充分挖掘网络系统中的各类信息并将其作为网络演化的依据,帮助认识复杂网络演化的机制。但是,链路预测方法在研究区域产业经济问题的经济物理学领域,特别是产业复杂网络研究方向的应用尚属空白。所以,本书将在产业复杂网络的基础上利用链路预测方法研究区域经济学中的产业转移问题,丰富经济物理学中的复杂网络分析工具。

1.2.2 产业组织网络

许多学者根据复杂网络理论的研究范式,在产业发展、产业结构、产业关联、产业组织和产业政策等方面进行了大量的理论建模、动力学仿真和实证研究,极大地丰富了产业经济学的研究工具,表明从复杂性和系统论的角度对经济系统进行研究已经成为一个新的趋势。Chmiel等采用二分图理论建立了波兰大中型公司的合作-竞争网络^[40];Inoue等研究了日本公司及其专利构成的合作-竞争网络^[41];Chang等发现子网络的节点度分布服从一般合作竞争网络下的幂律特征^[42];后锐等选取物流企业构建竞争复杂网络模型,研究范围从垄断市场拓展到宏观经济市场^[43];李永等基于优先级排队网络模型理论建立了一个全球核电站网络,结合网络特征模拟其网络演变情况^[44];姚灿中等建立了有向加权竞争压力网络模型,并模拟分析竞争扩散效应^[45];Upper等借助复杂网络模型分析银行和金融网络上的危机蔓延机制^[46];Hu等根据1995~2010年中国31个省份、9个经济部门的年度国内生产总值计算得到了经济距离矩阵,并且通过阈值和最小生成树构建了空间经济网络^[47];谷林洲等建立新能源汽车产业的技术创新网络模型,并运用社会网络分析方法研究网络特征值和知识流动情况^[48];成丽红等采用复杂网络分析方法对国际工程机械类产品加权贸易网络的密度、点强度、聚集系数、异质性、核心边缘结构等复杂网络特征及其演变规律进行分析^[49];张宏娟等采用随机博弈及博弈学习模型、多主体系统建模等方法,构建

传统产业集群低碳演化模型，并进行产业低碳策略竞争、涌现和不同演化情景的仿真分析^[50]。

综上所述，许多学者为了描述产业组织间竞争合作关系构建了多种复杂网络模型，并使用各种网络特征来解释经济现象。从研究范围来看，这些研究集中在产业组织层面，是产业经济学当中的微观层面。但是，从以往的研究来看，大多数产业复杂网络为无权无向网络，节点之间的边代表的仅仅反映了大规模节点数量条件下网络整体呈现出的拓扑结构特性和物理统计学特征，很少从有向加权网络角度研究经济实体之间信息流、物质流和资金流的动力学机制，没有在真正意义上反映出产业或企业之间错综复杂的技术经济联系。

1.2.3 投入产出网络

投入产出是研究社会经济系统中产业关联的重要基础工具，它源自于瓦尔拉斯的一般均衡理论，受到 Marx 再生产理论的影响，由 Leontief 在《美国的经济结构 1919 ~ 1929》一书中提出。从投入产出经济学提出到现在已有半个多世纪的时间，它的变化和发展主要体现在两个方面：一是经济理论及经济模型向深度方面发展，如外生变量的内生性，静态模型向动态模型的发展，投入产出模型与线性规划模型的结合，消耗系数变动的预测，等等；二是在广度方面，即应用范围的扩展，如从产业结构分析扩展至核算环境污染、收益分配、国际贸易和世界模型，人口、教育模型等^[51]。

近年来，随着复杂网络理论在各个学科领域的渗透，学者们发现投入产出数据的矩阵式结构可以直接或者稍加修改作为网络模型的邻接矩阵，通过这类投入产出网络的拓扑结构特征可以分析产业经济中观层面的产业关联关系。Blöchl 等提出随机游走中心性和累计首达介数的概念，利用经合组织（OECD）国家 2000 年的投入产出数据进行了测算和聚类分析^[52]；邢李志等采用投入产出直接消耗系数构建了产业结构网络模型，根据改进的 Floyd 算法识别产业部门间主要的产业关联，并分析了影响网络稳健性的因素^[53]；Kagawa 等根据日本投入产出数据构建产业关联，提出寻找二氧化碳排放量最大的产业集群的最优组合方式，实证研究了日本汽车供应链下的环保产业集聚^[54]；McNerney 等根据多个国家经济体的产业间资金流情况研究了它们的产业内关联结构^[55]；Martha 等构建发展中国家的投入产出网络，研究经济冲击在关联产业间的传播方式和扩大效应^[56]；文献等通过对投入产出网络边权分布和点权分布的研究发现，这类加权有向网络更加符合列维稳定分布的特点^[57]；安琪儿等在投入产出表的基础上讨论了产业间

隐含能量流动关系对于产业结构产生的影响^[58]；关峻根据中国投入产出表的直接消耗系数矩阵构建了以特定产业部门为核心的产业集群发展关联网，并通过研究产业部门节点的加权集聚系数、点权和流介数来揭示它们在经济系统中的作用和地位^[59]。

与此同时，随着投入产出数据库的发展，相关研究不再局限于单个国家的经济系统，而是延伸至区域间经济系统甚至全球经济系统。Ando 在世界投入产出模型中测量了美国总产出冲击下的行业重要性^[60]；Cerina 等基于社团检测技术定量分析了全球网络的子网络结构和动力学特征，然后采用 PageRank 中心度算法和社团核心测量算法识别关键产业和经济体^[61]；Grazzini 等定义消费影响指数和 GDP 影响指数，在此基础上研究世界投入产出网络的稳健性与中间品相对投入量之间的关系^[62]。

综上所述，这方面的研究从多种角度挖掘投入产出数据作为一种网络形态所蕴含的经济物理学含义，但是基本上都是用静态方法分析模型中内生变量，忽略了导致均衡状态的各变量调整和再调整的实际过程，对确定产业结构的演化趋势和优化控制较少提出有效的解决方案。

1.3 研究内容

大量研究表明投入产出分析、复杂网络建模和垂直专业化分工测度这三个研究领域之间出现了越来越多的交叉点，这主要是因为国家间投入产出数据不仅能在理论上符合复杂系统仿真对于数据质量的要求，而且能真实地反映出国际分工和国际贸易过程中价值流动的规律。由此可见，根据国家间投入产出数据建立反映世界经济体之间产业关联关系的网络模型，借鉴产业经济学、物理经济学和计量经济学等领域的方法和工具，评估并预测世界经济一体化进程中产业环境变化对贸易策略和产业发展产生的影响，从前人研究的积累来看非常具有可行性。

因此，本书旨在从物理经济学视角建立一套评估国家或地区内部产业部门在全球价值链上作用与影响的理论框架，从全球经济宏观层面分析产业分工格局的演化机制及其对于国家产业结构升级的影响机理，促进复杂网络理论和社会网络分析在产业经济学领域的推广和应用。

1.4 研究特色

复杂网络理论的出现为系统、客观地再现区域经济结构提供了一个新的路

径。复杂网络理论所具备的结构复杂、网络进化、连接多样性、动力学复杂性以及多重复杂性融合的特点均可映射至区域产业结构的各特性之上，进而形成一类经济物理学研究范式。本书吸收众多学者的研究成果，将大量网络科学的理论思想和研究工具应用到投入产出分析领域，形成一套独特的产业复杂网络研究框架。本书的研究特色主要反映在以下三个方面：

(1) 遵循物理经济学思路来研究产业经济学问题。物理经济学运用物理学的思想、概念、模型、计算方法来定量研究经济问题中的不确定现象、随机过程和非线性动力学，研究内容涉及国民财富和收入分布、金融市场的波动特性、组织与网络增长、人口经济与环境协调增长等多个领域。本书根据物理经济学的研究思路对投入产出网络模型的幂率、标度、平稳性、时间相关、随机游走等方面展开研究，尝试从新的角度对产业经济学中的国际分工、产业关联和产业结构升级等问题进行定性解释与定量分析。

(2) 综合复杂网络理论与社会网络分析的优势。复杂网络和社会网络都是根据图论发展起来的定量分析方法，前者侧重于开发网络模型与算法来研究各种复杂系统的几何性质、形成机制、演化统计规律、结构稳定性、演化动力学机制等理论问题，后者侧重于根据关系论的思维方式来解释社会学、经济学、管理学等领域的现实问题。本书采用复杂网络理论构建了具有稠密、加权、有向、自环等拓扑结构特点的投入产出网络模型，目的是更加全面、科学地反映全球价值链上产业部门关系的复杂性，然后根据社会网络分析中结构洞理论和中间人属性的分析思路来挖掘投入产出网络模型中蕴含的产业经济学含义。

(3) 比较静态分析与动态分析相结合。为了避免忽略投入产出网络模型外生变量随时间变化而导致的均衡状态移动问题，本书通过计量分析和仿真模拟手段对产业环境变化下的国际分工、产业关联和产业结构升级呈现出的特点进行比较静态分析，同时针对网络模型中节点动力学特征问题进行动态分析。

1.5 创新之处

正如 Barabási 在 *The Network Takeover* 一文中所述：“还原论作为一种范式已经寿终正寝，而复杂性作为一个领域也已疲惫不堪。基于数据的复杂系统数学模型正在以一种全新的视角快速发展成为一个新学科：网络科学。”^[63] 力图在前期研究成果的基础上，将方法论扩展到大数据层面，即采用国家间投入产出数据来构建产业复杂网络模型。与此同时，将更多的研究工具纳入研究框架当中，有利于更加准确地分析现实经济系统中的若干现象。具体来说，本书的创新之处集中