



高耗能产业群循环经济 协同发展研究

郑季良 著



科学出版社



高耗能产业群循环经济 协同发展研究

郑季良 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

我国已经进入并将在相当一段时期处于工业化和城镇化推进经济增长的阶段,对高耗能产业产品的需求巨大,但高耗能产业的循环经济建设一直是国家和社会关注的焦点,是关系到我国工业可持续发展的关键。本书初步勾勒出高耗能产业群循环经济协同发展的理论分析体系,而现有文献一般只是从单一高耗能产业的视角来研究循环经济发展问题。高耗能产业群的循环经济协同发展是一项复杂的系统工程,“协同”一词的内涵,一是将高耗能产业作为该复杂系统的子系统,探询各子系统之间的关系以及协调;二是鉴于循环经济的综合绩效观,深入研究在高耗能产业(群)循环经济建设过程中,经济绩效、环境绩效和社会绩效之间的关系及其协同问题。本书的另一个特色是,充分挖掘和运用了我国统计年鉴中有关高耗能产业循环经济发展的各种数据,如工业产值、能耗、节能减排、社会贡献等,以对高耗能产业(群)循环经济协同发展演进进行了较为客观、科学的评价,并通过模拟仿真的手段实证分析影响变量和调节效果。期待本书的研究方法、基本结论和主要政策建议能够对高耗能产业循环经济发展和节能减排进程控制有所助益。

本书可作为相关专业的博士、硕士研究生的参考用书,也可供政府、企业等相关工作人员参考借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

高耗能产业群循环经济协同发展研究/郑季良著. —北京:科学出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-03-044894-1

I. ①高… II. ①郑… III. ①自然资源-资源利用-研究-中国
IV. ①F124.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 126817 号

责任编辑:张 凯/ 责任校对:蒋 萍
责任印制:徐晓晨 / 封面设计:蓝正设计

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>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 6 月第一次印刷 印张:12 1/4

字数:282 000

定价:56.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

高耗能产业也称矿产资源型产业,“高耗能产业”一词在政府报告和新闻媒体中使用较多,在学术文献中使用相对较少。本研究团队数年来一直使用“高耗能产业”一词来申报各种课题和发表学术论文,作为对数年来研究成果的总结,本书继续沿用该词语。高耗能产业的特点顾名思义比较容易理解,作为我国工业的基础性产业端,为工业发展提供“粮食”——工业原材料,虽然产品附加值不够高,但不可或缺,是我国能源和资源富集地区经济发展的重要产业甚至支柱产业;即使在我国沿海经济发达省份,高耗能产业仍然占有重要的地位。因此,在我国逐渐重视生态立国的现阶段,高耗能产业的可持续发展问题已经成为国家和社会关注的焦点,但也是难点。焦点是对生态环境产生的影响仍然比较大,难点是如何大力控制和减少这些影响,途径是大力开展循环经济建设,存在的问题之一是高耗能产业之间的循环经济建设是相关的,但不同行业的各自为政影响了高耗能产业群的循环经济建设联动效应,或者说协同效应还没有引起必要的、足够的重视。以此问题为出发点,本书认为应该从更高的层面,即高耗能产业群的层面来思考和规划循环经济联动建设问题,为此提出了高耗能产业群的循环经济协同发展的观点。以此观点为指导,本研究团队申报了各种类别和级别的研究课题,如国家自然科学基金项目——高耗能产业群循环经济协同发展的运行机理研究(71063012)、教育部人文社会科学基金规划项目——制造业产业链下的循环经济指标体系构建及演变路径研究(09YJA630056)、云南省现代化管理与新型工业化社会科学研究基地项目——云南省高耗能产业循环经济与低碳经济协同发展模式和效应研究(JD12YB07)等。本书是在课题组相关研究成果及若干硕士学位论文成果的基础上进行总结、提炼而成的,试图初步构建起高耗能产业群循环经济协同发展的理论体系。本书编写提纲由郑季良设计,项目的开展得到了所在单位和课题组成员的大力支持,几届硕士研究生吴桐、陈盼、曾荣、陈墙、秦大伟、董洁、陈春燕、黄毅、韩群慧、胡伟敏等参加了本项目的研究,并完成了各自的硕士学位论文。另外,吸收和借鉴了国内外相关文献成果,在此一并表示衷心的感谢。本书的出版得到了昆明理工大学工业循环经济和区域低碳经济创新团队建设基金的资助,在此也表示衷心感谢。

需要指出的是,循环经济建设在我国的推广工作尚属初步阶段,高耗能产业的循环经济建设虽然取得了很多成果,但缺乏系统性和统一性,与循环经济发展相关的数据还比较缺乏,而且难以获取。本书的研究主要是从定性角度开展的,定量和实证研究也做了一些探索,但还不够充分,作为研究工作的阶段性总结,本书旨在提供和构建起一个有关高耗能产业群循环经济协同发展的理论框架,其科学性和合理性尚待进一步深化研究和实证分析。而且,由于作者知识水平和研究能力有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

郑季良

2015年5月

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 高耗能产业群的概念和形成	1
1.2 高耗能产业群循环经济协同发展研究的必要性	2
1.3 国内外研究概况	3
1.4 研究内容	6
2 高耗能产业循环经济发展模式分析	9
2.1 金属产业循环经济发展模式	9
2.2 非金属产业循环经济发展模式	15
3 基于循环经济的高耗能产业群集聚效应及网络组织研究	21
3.1 基于循环经济的高耗能产业群集聚效应分析	21
3.2 基于循环经济的高耗能产业群网络组织的形成	26
3.3 基于循环经济的高耗能产业群网络系统分析	27
3.4 高耗能产业集群发展的模式	31
3.5 高耗能产业集群的网络组织运作模式和对演变方向的判断	33
4 高耗能产业群节能减排进程实证分析	35
4.1 中国高耗能产业群面临的节能减排总体形势	35
4.2 中国高耗能产业群分行业能源消费进程分析	36
4.3 中国高耗能产业群分行业工业“三废”减排进程分析	40
4.4 高耗能产业群节能减排关联分析	46
4.5 中国高耗能产业群节能减排进程对国民经济发展的影响	48
4.6 中国高耗能产业群节能减排工作成果和存在问题	50
4.7 小结	51
5 矿产资源型生态工业园区循环经济协同发展研究	53
5.1 我国典型矿产资源行业型生态工业园区发展模式分析	53
5.2 矿产资源行业型生态工业园产业链协同发展研究	61
5.3 矿产资源型生态工业园区供应链协同管理体系的构建	66
5.4 小结	74
6 基于建材业的高耗能产业群循环经济协同发展模式研究	75
6.1 我国新型建材产业的发展概况及国内外研究现状	75
6.2 新型建材业在高耗能产业循环经济发展中的作用	78
6.3 建材产业与其他高耗能产业的循环经济协同发展模式研究	80
7 高耗能产业群循环经济协同发展的序参量三维调控机理和仿真研究	84
7.1 协同学理论概述和序参量原理	84

7.2	高耗能产业群循环经济系统的协同性分析·····	88
7.3	高耗能产业群循环经济发展中的序参量识别·····	90
7.4	循环经济协同发展的序参量三维调控机理·····	92
7.5	高耗能产业循环经济发展建设的闭环控制机理·····	96
7.6	高耗能产业循环经济建设中的序参量动力学模型构建·····	97
7.7	高耗能产业循环经济建设序参量三维调控系统动力学模型仿真模拟分析 ·····	106
8	基于序参量的高耗能产业群循环经济协同发展评价研究 ·····	112
8.1	国内外研究现状 ·····	112
8.2	高耗能产业群循环经济协同发展序参量识别 ·····	113
8.3	高耗能产业群循环经济的协同发展评价模型 ·····	116
8.4	高耗能产业群子系统灰色动态协同发展关系评价模型 ·····	119
8.5	高耗能产业群循环经济协同发展评价模型应用研究 ·····	122
8.6	评价结果分析 ·····	140
9	高耗能产业群网络组织供应链协同管理系统研究 ·····	143
9.1	国内外研究现状 ·····	143
9.2	高耗能产业群网络组织供应链协同管理概念的提出 ·····	144
9.3	基于循环经济的高耗能产业群供应链协同管理系统的构建 ·····	145
9.4	基于循环经济的高耗能产业群供应链协同管理运营模式和流程研究 ·····	146
9.5	基于 Petri 网的高耗能产业群供应链协同管理模型建立和优化 ·····	151
10	高耗能产业群循环经济协同发展的逆向物流体系研究·····	157
10.1	逆向物流的概念和特征·····	157
10.2	国内外研究现状·····	159
10.3	循环经济与逆向物流的关系·····	160
10.4	循环经济下高耗能产业群协同发展逆向物流体系构建·····	161
10.5	逆向物流综合评价指标体系构建·····	168
10.6	案例分析——宝钢逆向物流体系建设分析·····	172
11	结束语·····	179
11.1	结论·····	179
11.2	对策和建议·····	181
	参考文献·····	183
	附录·····	189
	附录 A 高耗能产业循环经济序参量指标统计数据 ·····	189
	附录 B 高耗能产业循环经济系统动力学参量历史统计数据 ·····	190

1 绪 论

1.1 高耗能产业群的概念和形成

高耗能产业顾名思义是指能源消耗量高的产业，或能源消耗程度高的产业，如冶金、化工、建材、火电等行业，但尚没有明确的定义。按照对高耗能产业的一般性理解，郑季良（2007）将其定义为对矿产资源进行初加工、在高温焙烧或冶炼过程中消耗大量能源，并伴随有大量的工业废弃物和环境污染的传统产业，它们主要集中在矿产业中的冶金（包括有色金属和钢铁）、化工、建材、火电等行业（郑季良等，2008a）。四川省社会科学院“高耗能工业发展研究”课题组从产业发展及资源结合模式的角度给出高耗能工业的定义为：将优势资源和优势能源相结合、资源密集、大多采用规模化方式生产的一种模式。相关的名词“高载能产业”的概念则为能源价值比重高的产业。一般高耗能行业的耗电成本占产品生产成本的比重在 20% 以上，有的甚至高达 50% 以上。高耗能产业的原料一般为矿产资源，矿产资源的开发和利用为我国的经济建设发展提供了 95% 的能源、80% 的工业原料及 70% 的农业原料，成为我国经济建设与发展的坚强基石。

根据《中国能源统计年鉴》，2005~2010 年能源消耗总量排名靠前的六个行业如表 1.1 所示。可以看到，这六大行业的能源消耗在 2010 年都是过亿吨标准煤的，且它们加总的消耗量约占全国年能源消耗总量的 52.4%。上述六个行业是典型的高耗能行业，其中，冶金（主要是黑色金属冶炼及压延加工业）、化工（化学原料及化学制品制造业）、火电（电力、热力的生产和供应业）和建材（非金属矿物制品业）是耗能最多的四大行业。

表 1.1 2005~2010 能源消耗总量靠前行业 （单位：万吨标煤）

年份	黑色金属 冶炼及压 延工业	化学原料 及制品制 造业	非金属矿 物制品业	电力煤气 及水生产 供应业	石油加工 及炼焦业	有色金属 冶炼及压 延工业	能源消费 总量
2005	35 988.23	22 494.07	18 849.94	17 122.98	11 881.87	7 188.69	235 997
2006	42 812.32	24 779.04	19 948.40	18 811.91	12 360.11	8 633.32	258 676
2007	47 774.37	27 245.27	20 354.84	19 892.72	13 176.51	10 686.37	280 508
2008	51 862.92	28 961.13	25 460.52	20 145.19	13 747.01	11 287.99	291 448
2009	56 404.37	28 946.07	26 882.28	21 016.02	15 328.29	11 401.37	306 647
2010	57 533.71	29 688.93	27 683.25	24 204.58	16 582.66	12 841.45	324 939

资料来源：《中国能源统计年鉴》

高耗能产业是我国的基础性产业，是西部地区的支柱产业，但以粗放式发展为主要

特征。首先是能源的总耗大,在部分西部地区,高耗能产业的能耗总量甚至占到规模工业能源消费总量的70%~90%,其次是单耗(能耗、水耗、物耗)高,最后三废(废水、废气、固体废物)排放量多,即其特点为“三高”:高耗能、高物耗、高污染。因此,它们是我国循环经济建设的重点领域,是节能减排的重点控制行业。由于矿产资源、能源的比较优势及国内外的产业结构调整 and 转移趋势,2000年以来高耗能产业在我国西部地区得到了超常发展、甚至畸形发展,对生态环境产生了严重影响,但限制发展不符合国情。

目前,高耗能产业的循环经济建设在我国得到了广泛的重视和实践,尽管还处于初级阶段,但经过大量的资料分析和实地调研,我们发现由于产业链关系和生态产业链的建设需要,高耗能产业逐渐形成了初步的产业集聚现象,如煤-电-化联产基地建设,煤-电-建材联产模式,冶金企业配套生产化工副产品、水泥副产品等。其成因是矿电结合、余热发电、冶金和化工矿渣在建材工业的利用、冶炼过程中形成了大量的化工副产品等市场需求、环境保护及技术的发展所致。也就是说,高耗能产业的循环经济建设并不是孤立的事件,而是初步形成了以生态产业链为联结的高耗能产业集聚的现象。

通过上述生态产业链特征的分析,可以得到的一般性结论是,跨产业的生态产业链实际上将高耗能产业之间联系了起来,形成了高耗能产业群。这是本书所指的高耗能产业群的内涵,即在循环经济下,由于生态产业链的链接而形成的具有内生联系的高耗能产业集群。之所以没有用“高耗能产业集群”这个词,是因为所形成的生态产业链网络还不够密集,“高耗能产业群”可以理解为一个过渡词。应该指出的是,随着生态产业链的不断延伸和横向关联,“高耗能产业群”的发展方向必然是“高耗能产业集群”。结合产业群的定义,本书将高耗能产业群定义为:在矿产资源的供给、需求和资源转化上具有上下游关系的产业集聚现象,围绕特色资源的开发和优势产业的发展,由核心企业通过产业链延伸在一定的区域内聚集而形成的结构完整、灵活机动的有机整体。

1.2 高耗能产业群循环经济协同发展研究的必要性

通过调研分析我们发现,高耗能产业群的循环经济发展存在着突出的不平衡问题,涉及技术和管理两个方面,表现在:①技术发展不平衡。高耗能产业循环经济发展涉及节能技术、降耗技术、废弃物再利用技术、副产品规模化生产技术等众多技术问题,技术体系远未建立,不同行业、产业、企业间技术水平发展存在着较大的差距。②技术转移不平衡。由于行业间的隔离或壁垒作用,存在着循环经济建设的重复投资、技术转移受限等问题,使副产品和废物的跨行业和产业再利用水平及规模受到影响和制约。③责任意识不平衡。受企业经济实力和地区环境容量限制水平的影响,产业群中对发展循环经济的迫切性和价值性的认识也存在较大的差距。④发展目标不平衡。尽管许多高耗能企业按照政府要求都制定出了分阶段(如2010年、2015年、2020年等)的减排控制性指标和提高资源综合利用率的发展目标,但不同产业或行业的指标和目标不统一,尚缺乏对高耗能产业群循环经济建设的统筹考虑和统一规划。

高耗能产业群的循环经济发展水平不平衡影响了矿产资源的循环利用和再生利用水

平,因此,重视和系统研究高耗能产业群的循环经济协同发展问题就显得非常有必要(郑季良等,2008b)。研究区域性的高耗能产业群循环经济协同发展可以借鉴生态工业园区的建设经验,但这是一项复杂的系统工程,影响范围更广、影响因素更多。研究的基本思路是运用经济学、管理学、协同学、产业生态学、系统工程等理论,研究在高耗能产业群的循环经济建设过程中,在发挥产业集群的集聚效应、培育产业集聚生态效应的基础上,基于产业之间的共生关系、上下游关系和生态产业链关系,实现高耗能产业群循环经济协同发展的基本理论和运行问题,目的是在更高的层面或更大的产业网络空间上,研究如何提高资源利用效率,使产业群废弃物在产业集群内得到最大程度的消解和吸纳。

对高耗能产业群循环经济协同发展进行系统研究、丰富了循环经济与产业集群的相关理论。学术上致力于发现高耗能产业群循环经济协同发展的基本规律,为科学组织区域性的节能减排工作提供理论指导,其成果可以推广到一般产业集群的循环经济协同发展的理论研究和实际应用。现实意义是,推进高耗能产业以提高集群效应为导向的绿色创新管理工作和高耗能产业之间生态产业链的构建、完善和优化,促进区域低碳经济建设和经济社会的可持续发展。应用前景是,为能矿富集地区各级政府制定区域性的高耗能产业布局和发展战略,以及为大型资源型企业(集团)制定跨产业的高耗能产业项目群发展规划提供理论参考和路径选择。

1.3 国内外研究概况

1.3.1 产业集群的协同发展研究

按照协同学创始人——德国理论物理学家哈肯的基本观点,协同学即协调合作之学,是一门在普遍规律支配下的有序的、自组织的集体行为的科学。对复杂系统来说,协同发展(synergic development)是指系统内部及各子系统之间的相互适应、相互协作、相互配合和相互促进。产业集群是一个区域经济系统,具有分工协同、制度协同、集聚协同和竞争协同四方面的协同效应,从而起到降低成本和促进创新的作用(李辉和张旭明,2006)。产业集群也是一个复杂的供应链系统。邹辉霞(2005)认为,协同学揭示了供应链系统从无序向有序转化,或者从有序走向更高级有序的微观机制,为此,研究了供应链协同管理的模型和方法。潘开灵和白烈湖(2006)对管理协同理论及应用进行了系统研究,认为管理协同的内涵包括空间维度的协同、时间维度的协同和力度维度的协同,提出了管理协同的形成机制、实现机制和约束机制。

产业共生,也被称为产业协同,是指一个产业的运行依赖于其他产业所废弃的副产品的存储、回收及再利用,还可以延伸到对公共设施的共享,如能源、水、污水处理等(李柏洲和薛凌,2008)。Robins 和 Kumar (1999)通过一系列案例(主要是高耗能产业)阐明,工业企业不仅要对它们自身生产的环境绩效和社会绩效负责,还应对城市中上下游产业的废物排放承担责任。郑季良(2009b)从企业集群的视角,对绿色制造系统的集成发展进行了论述和深入研究。刘耀彬(2009)通过对江西省城市群协调发展的

灰色关联分析,建立了相应的成因模型,找出驱动城市群形成与演化的序参量是工业化率、城镇固定资产投资占全社会固定资产投资比重和单位面积的公路通车里程数。郭勇(2009b)对我国中部六省规模工业发展差异性及协同发展从规模工业发展水平、发展速度、工业结构和行业划分等方面进行了分析,提出了减少发展差异、促进协同发展的一些对策。

1.3.2 高耗能产业群的循环经济协同发展

高耗能产业在国内外都是循环经济建设 and 发展的重点。高耗能产业群或资源型产业集群概念的提出是中国产业集群研究的产物,国外没有这一提法。不过,循环经济的3R(reduce、reuse、recycle)基本原则就来自于美国杜邦化学公司的3R制造法。循环经济理论引用最多的成功案例——丹麦卡伦堡生态工业园区是以发电厂、炼油厂、制药厂、石膏制板厂等为核心建立了无废物排放的生态产业链模式(即电力与化工、建材产业的完美链接或协同发展)。此外,美国的Brownsville、Chattanooga、Choctaw生态工业园区,加拿大的Fort Saskatchewan、Cornwall、Becancour生态工业园区,日本的腾泽、Kokubo生态工业园区等都是体现了高耗能产业的化工、冶金、建材等产业的协调发展的典范(罗宏等,2004)。在国内,许多国家级和省级行业型生态工业(示范)园区选择在高耗能产业如钢铁、铝业、磷化工、煤化工等行业来建设,并体现了一定程度的协同发展。总而言之,无论是国内还是国外,生态工业园区一般都是以某一高耗能产业为核心,体现了高耗能产业群协同发展的建设范例。生态工业园区的运行机制一般是在他组织的启动下,以构建生态产业链为目的,以园区零排放为目标,通过入园企业之间的自组织的绿色供应链协作达到上述目的和目标的。

但高耗能产业群的协同发展并不局限于生态工业园区,实际上在区域经济层面研究高耗能产业群的协同发展更有现实指导意义,因为,生态工业园区的规划和建设受到诸多限制,在我国尚处于试点阶段,投资成本巨大,而且,生态工业园区的建设不是目的,而是探索区域经济可持续发展的手段,是为探索区域性的高耗能产业群循环经济协同发展提供的试点。云南省的案例说明亟须在区域经济层面考虑高耗能产业群的战略建设和发展问题(郑季良,2008)。目前,国际上直接研究区域经济层面的高耗能产业群循环经济协同发展的文献很少,主要是从产业共生(industrial symbiosis)的角度来阐述,其内容与生态工业园区的建设思路大体相同。例如,澳大利亚是资源大国,该国学者Van Beers等(2007)对矿产业的产业共生、区域资源协同、区域发展协同的概念和意义进行了论述。国内已发表了一些以某一高耗能产业为核心,发展跨产业的产业链模式或论证其优越性的文献,代表性文献有:包菊芳和诸圣国(2007)对钢铁产业循环经济发展模式归纳为以钢铁为中心,将水泥厂、电厂、化工厂、聚合物加工厂等综合起来,建立多条生态产业链。孙静春等(2007)对煤炭集团的循环经济发展模式进行仿真研究并得出结论:煤炭企业发展循环经济产业链(煤电、煤铝、煤化工、煤建材)可以抵御经营风险,并可增加赢利能力约30%。铜陵有色金属(集团)公司以铜产品为主力产业链,同时构建以矿产资源共、伴生硫、铁元素综合利用及产品延伸深加工的化工循环圈(钱柏青,2005)。江西铜业集团的副产品——硫酸达到年产110万吨,已成为

全国著名的硫化工原料基地（黄敏之，2005）。

经过笔者归纳，高耗能产业群的循环经济协同发展模式大体形成了如下几种：①热电联产（利用高温焙烧或冶炼过程中的余热来发电）模式；②煤、电、建材联产模式；③煤、电、化一体化模式；④冶金、建材联产模式；⑤化工、建材联产模式；⑥冶金、化工联产模式等。

但是，尽管高耗能产业群之间的循环经济产业链关系日趋明显，但建立或维持这一产业链的机制还处于初始阶段，主要是出于企业（集团）内部建设循环经济产业链的需要，而基于产业集群建设循环经济产业链网的协同机制还未形成，可以说高耗能产业的循环经济建设基本上处于各自为政、发展不平衡的状态，协同技术当然也处于滞后状态，这都有待学术界的理论研究和政府职能部门发挥引导和调控作用。

1.3.3 高耗能产业循环经济发展的综合评价

评价是认识发展现状、改变现状的重要手段。高耗能产业循环经济发展的目标是实现综合绩效（经济绩效、环境绩效、社会绩效的综合），其发展水平一般通过综合绩效评价来衡量。综合绩效评价包括静态评价和动态评价两个方面。静态评价是指以经济绩效为基础的多绩效目标指标体系的构建（空间维度）；动态评价则指多绩效目标指标体系的构建应考虑发展的阶段性逐步完善和提高（时间维度）。目前的综合绩效评价的研究主要集中在静态评价方面，对协同发展评价的研究很少。

1.3.3.1 高耗能产业的综合绩效研究及综合评价

国外对三个绩效之间的相关关系的一般研究较多，代表性的研究如下。Russo 和 Fouts（1997）在1995年和1996两年通过对美国243家企业的实证分析，得出了随着工业的快速增长，对环境绩效的回报越来越多的结论。Stanwick 和 Stanwick（1998）通过对1987~1992年六年数据的实证分析，得出社会绩效与三个变量即组织规模、经济绩效、环境绩效之间是正相关的结论。但在高耗能产业的绩效研究方面，目前公开发表的成果很少，而且也不全面。代表性的有：Ed Kubel Jr.（2001）对美国钢铁产业新技术的广泛采用对生产率、能源效益和产出的改善进行了分析。Boyd 和 Tolley（2002）对美国玻璃容器制造业的环境绩效与经济绩效之间的关系进行分析，结论是只要排放控制与经济效益挂钩，该产业就有改善效益的机遇。不过由于高耗能产业的环境影响即使在发达国家也不能完全消除，再加上制造业的成本因素，他们对高耗能产业的发展更多地采取限制发展或向发展中国家转移的做法，因此对高耗能产业循环经济发展的相关文献并不多见。

国内对专门行业如钢铁的循环经济指标体系研究较多，从产业群角度的研究较少，代表性的有：沙景华和欧玲（2008）将矿业指标体系分为经济社会效益、矿产资源开发利用、综合节约循环利用、生态环境保护等部分；石吉金（2008）将矿业指标体系分为社会经济、能源消耗、污染排放、循环利用等部分。郑季良和陈志芳（2008）将高耗能产业指标体系分为经济绩效、环境绩效、社会绩效等组成部分，并给出了下设指标。孙学森（2006）初步构建了矿业子系统有序度评价模型和矿业系统协同发展评价模型。

1.3.3.2 循环经济发展的综合评价方法及评价标准

综合评价方法实质上是多目标综合评价方法。对循环经济发展进行综合评价的常用方法一般还是传统的层次分析法、模糊综合评价、主成分分析、网络分析法等,另外也有运用灰色系统分析、因子分析、生命周期综合评价、VFT (value focused thinking) 法的。由于涉及循环经济发展的数据还较缺乏或不全面,目前这方面的研究以建立综合评价模型为主,实证分析较少。较有代表性的有:张乾飞和王艳明(2008)将模糊数学与可拓学结合综合评价固态废弃物生态处理系统;薛斌等(2006)运用网络分析法对绿色供应链管理过程进行综合评价;邓超等(2008)运用生命周期评价对基于工艺约束的生命周期成本进行综合评价和优化;郑季良(2007)运用VFT法对企业的某一环境绩效模型进行了综合评价;曾珍香等(2008)运用主成分分析法对区域间的协调发展进行综合评价。循环经济发展的评价标准方面有ISO14000环境管理体系、SA8000企业社会责任标准等。国家环保总局2006年颁布了生态工业园区的建设、管理和验收标准(指标体系),由经济发展、物质减量与循环、污染控制、园区管理等部分组成。

通过上述国内外文献综述可见,尽管体现高耗能产业群循环经济协同发展的生态工业园区建设和发展研究在国内外得到了较多的研究,但以区域性的高耗能产业群为研究对象在国内外循环经济建设研究中还是一个薄弱研究环节,研究的深度较浅,主要停留在观念、战略层次。鉴于各国的国情不同,我国对高耗能产业群循环经济协同发展开展研究具有重要性和紧迫性。笔者早在2009年就已对高耗能产业群的循环经济协同发展的必要性进行了论证和分析,并对基于循环经济的高耗能产业集群发展模式进行了初步探讨,随后通过一系列相关课题如国家自然科学基金项目、教育部人文社会科学基金项目、云南省应用基础基金项目和云南省社会科学基地项目等所支持的研究,陆续发表了多篇论文。本书是基于上述研究工作的成果,对区域性的高耗能产业群这一特定对象深入研究其协同发展的基础理论及应用问题,一是试图从战略层次向战术或操作层次深入,二是超越生态工业园区层次向区域层次扩展。

1.4 研究内容

(1) 绪论。阐述项目研究的背景、目的和意义,对国内外研究现状进行综述。

(2) 高耗能产业循环经济发展模式分析。高耗能产业涉及的行业较多,这里选取具有代表性的高耗能产业的循环经济建设实践进行归纳和总结。代表性产业的选取思路是,第一,将高耗能产业划分为金属产业和非金属产业两大类;第二,金属产业又可分为黑色金属产业和有色金属产业,黑色金属产业的代表性产业是钢铁产业,有色金属产业的代表性产业有铜、铝、铅锌产业,这里选取铜产业;非金属产业的代表性产业有煤化工、磷化工、水泥产业。

(3) 基于循环经济的高耗能产业群集聚效应及网络组织研究。针对高耗能产业群的涌现现象,运用产业集群理论和网络组织系统理论对基于循环经济的高耗能产业群集聚效应及网络组织进行系统研究,给出了由冶金、化工、建材、火电四大产业形成的网络

组织结构,重点剖析了生态集聚效应,归纳分析了该网络组织运作的三种基本模式:热电联产、互利共生和循环利用,对该网络组织的演进方向进行了思考。

(4) 高耗能产业群节能减排进程实证分析。高耗能产业群的循环经济建设实质上是节能与减排,根据我国的能源结构禀赋,节能与减排是高度相关的。为进一步识别高耗能产业群的循环经济发展进程的不协同现象,基于《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国环境年鉴》的相关数据,对典型高耗能产业节能与减排的近年来的进程进行比较分析和相关分析。其中,节能针对煤炭消费、电力消费和综合能耗三个方面,减排包括废水减排、废气减排和固体废物减排三个方面。所得出的结论可以客观反映出各高耗能产业循环经济发展进程的非协同性。

(5) 矿产资源型生态工业园区循环经济协同发展研究。矿产资源型生态工业园区是我国高耗能产业群的集聚地,可以说是促进我国高耗能产业群循环经济协同发展的典型区域。选取几个有代表性的国家级矿产资源型生态工业示范园区进行案例分析,通过对生态工业园区系统结构、生态产业链建设、所存在问题进行分析研究,对高耗能产业群的循环经济协同发展进行深入理解和研究,以对理论观点的提出进行进一步论证。

(6) 基于建材业的高耗能产业群循环经济协同发展模式研究。本书认为,高耗能产业群网络组织的基本特征之一是形成了以新型建材产业为网络节点的组织结构,为此,在分析了新型建材产业在高耗能产业群循环经济建设中所发挥作用的基础上,对基于建材产业的高耗能产业群循环经济协同发展的一些模式和动力机制进行研究。

(7) 高耗能产业群循环经济协同发展的序参量三维调控机理和仿真研究。本书认为,要实现高耗能产业群循环经济协同发展,需从空间维、时间维和力度维三个维度来进行调控。对三维调控机理进行研究,建立三维调控系统动力学模型,选取一些序参量作为状态变量、速率变量和常量,通过模拟仿真分析,得出较优方案及相应的参量值。在此基础上,对影响这一过程的技术因素、资源因素、环境因素、资金因素、市场因素进行系统动力学仿真研究,对这些因素的调控进行必要的研究。

(8) 基于序参量的高耗能产业群循环经济协同发展评价研究。建立能够反映产业群循环经济协同发展度的评价模型,该模型由经济绩效、环境绩效、社会绩效三个部分组成,所选取的具体指标体系考量到序参量的特征。基于相关统计年鉴的数据,分析产业群经济绩效与环境绩效的协同研究,以及三个绩效之间的关系和发展变化状况,得出产业群循环经济协同发展度随着时间的发展变化状况。

(9) 高耗能产业群网络组织供应链协同管理系统研究。从系统运营的角度,对高耗能产业群网络组织供应链协同管理系统进行研究,包括系统构成、运营模式和流程等,为使该运营系统具有一定的操作性,应用 Petri 网理论给出相应的运营模型。

(10) 高耗能产业群循环经济协同发展的逆向物流体系研究。本书认为,高耗能产业群循环经济协同发展系统运营的关键和基础是建立高耗能产业群的逆向物流体系。为此,对循环经济下高耗能产业群的逆向物流体系的构建进行探讨,给出评价模型,以宝钢集团为案例分析其逆向物流体系建设情况。

(11) 结论与展望。对本项目所得出的结论进行归纳总结,给出创新点,对未来研究的开展提出观点。

上述各章之间的逻辑关系如图 1.1 所示。

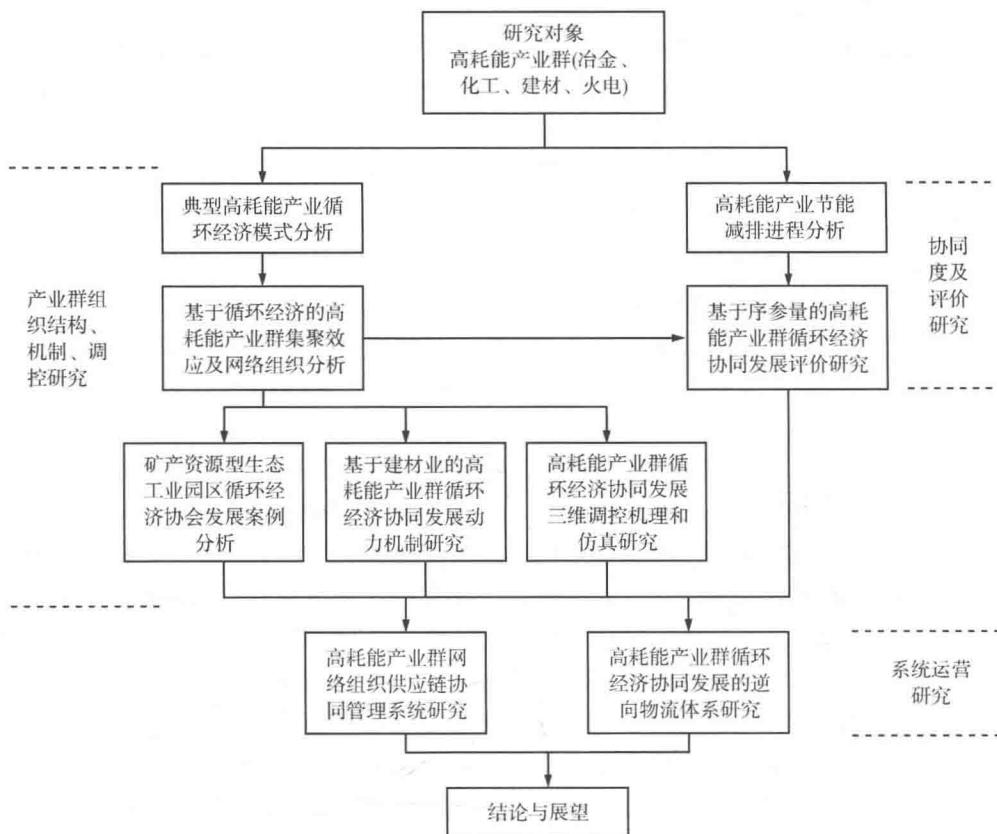


图 1.1 研究内容的逻辑关系

2 高耗能产业循环经济发展模式分析

如前所述,高耗能产业包括的种类较多,各产业的循环经济建设既有共同之处,也呈现出不同的特色。本章选择部分有代表性的产业就其循环经济发展模式进行归纳总结,以为深入分析研究高耗能产业群的协同发展提供基础性材料。高耗能产业一般可以分为金属产业和非金属产业两个部分,下面分别就其循环经济发展模式进行归纳和总结。

2.1 金属产业循环经济发展模式

金属产业是我国重要的原材料工业,是国民经济重要的基础性原材料工业,是高耗能、高耗水、高污染的行业,也是能源、矿石资源、水资源、再生资源消耗量都很大的资源密集型行业。金属产业主要包括钢铁、铜、铝、铅、锌这几大类,其中钢铁产业是目前循环经济研究最广泛、最深入的行业,是黑色金属的代表性产业;铜则是有色金属的代表性产业,循环经济也开展得较为深入。下面就以钢铁产业和铜产业为代表,总结、归纳、分析金属产业的循环经济发展模式。

2.1.1 钢铁产业循环经济发展模式

我国钢铁生产的主要原料有铁矿石、焦炭、锰矿石、铬矿石和铁合金。其中,铁矿石用量占原料消耗量的 15.56%,焦炭占 22.56%。我国铁矿资源 97% 以上是难以直接利用的贫矿,而且开采难度较大,是目前铁矿石进口量最大的国家。焦煤,特别是主焦煤和肥煤资源也不足,也需要进口才能满足炼铁需要。钢铁产业是典型的流程制造业,是能源、水资源、矿产资源消耗密集型产业,是最有条件、最具潜力、最迫切需要发展循环经济的产业。

2.1.1.1 主要环节的节能减排实践

(1) 钢铁行业副产的煤气利用。钢铁业副产煤气主要有高炉煤气、焦炉煤气和转炉煤气,其主要成分是氢气、一氧化碳、甲烷。其中,焦炉煤气含氢量高,可以用于发电、制取氢气,也是制甲醇的优质原料;转炉煤气含一氧化碳量最高,经提纯后可作为碳化工的优质原料。目前,在我国钢铁企业中,煤气基本上已被回收,一是作为燃料用于烧结、焦化、高炉、炼钢、热轧等工序加热,二是作为城市的民用燃气。

(2) “三废”利用。全国 40 个行业中,钢铁工业废气的年排放量占全国总排放量的 18%。钢铁废气中含有粉尘、热能和化学物质,除尘后的高炉煤气利用余压、余热发电,降压后的煤气可回收作为燃料。净化过程收集的尘泥多含有氧化铁,可用来回收金属铁。钢铁工业的废水包括烧结废水、高炉煤气洗涤水、焦化废水、转炉烟气除尘废

水、高炉冲渣水、轧钢废水等。钢铁工业的废水量大、污染面广、成分复杂、污染物质多，针对不同的废水需采用不同的处理方法。目前，一些钢铁厂建设了总排水处理回用设施，有效地防治了水污染，节约了水资源。钢铁工业的固体废物包括开采铁矿时产生的剥离废石，选矿时产生的大量尾矿，高炉、转炉、电炉、铁合金炉渣，含铁尘泥，电镀金属污泥，六价铬渣等。这些固体废弃物量大面广、种类多，但其有毒废物少，便于综合利用，含有有用元素，回收利用价值高。钢铁固体废弃物运用最广泛的主要有以下两类：第一类，高炉炉渣。90%采用水淬工艺处理成粒状矿渣用于生成水泥；10%加工成矿渣碎石用于各种建筑工程中。第二类，转炉炉渣、电炉炉渣。其因过高的铁氧化物含量、过高的游离氧化钙含量、过低的水硬活性，适用范围受到限制，目前我国的利用率仅为 20%，改良后可作为路基材料。

(3) 废钢铁回收利用。废钢是钢铁生产的重要原料之一，是金属材料中最重要，且数量巨大、用途广泛、循环利用最快的品种。我国 2005 年废钢消耗量 6300 万吨，其中进口 1000 多万吨，吨钢消耗废钢 180 千克，但与世界平均水平 430 千克/吨钢相比还有很大差距。

2.1.1.2 生态产业链

钢铁行业主要的生态产业链如图 2.1 所示。其中，第一条的上半部分产业链是钢铁生产的主产业链，下半部分则是钢铁生产过程中的矿渣处理和资源化产业链；第二条是污泥回收生态产业链；第三条是钢铁富产煤气的处理及资源化途径。

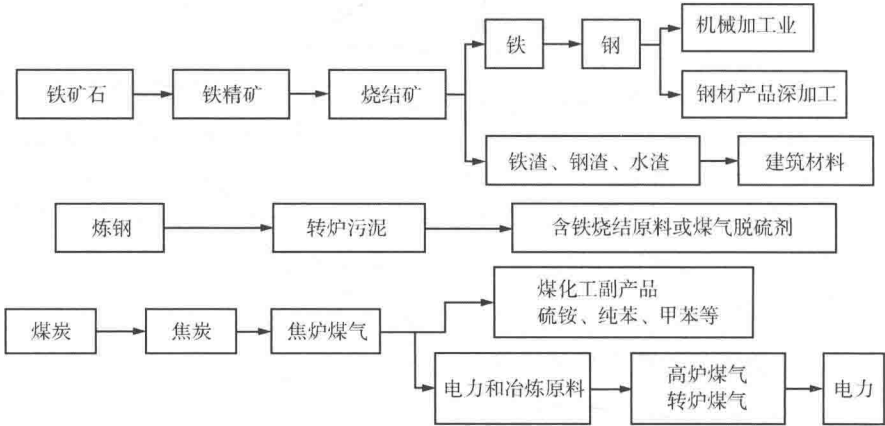


图 2.1 钢铁企业主要生态链示意图

2.1.1.3 生态工业园区

以国家级生态工业示范园区——包头钢铁（集团）有限责任公司（以下简称包钢）为例。包钢为国有特大型联合企业，以钢铁和稀土为主导产业，是我国十大钢铁基地之一。2004 年《包钢生态工业园区建设规划》通过环保总局评审，标志着我国第一个钢铁行业的国家级生态工业园区开始依规划建设，计划到 2010 年，基本完成国家钢铁生

态工业园区的构架,到2020年,建成国家级钢铁生态工业园区。包钢生态工业园属于对现有的钢铁企业进行适当的技术改造,使园区企业建立共生关系,进行副产品、废弃物和能量交换,形成产业链。包钢生态工业园区由钢铁产业集群、稀土产业集群、配套群落和决策支持网络四个群落组成,如图2.2所示。从图中可看到,在整个生态系统构成中,为了使工业产业链更加完备,增强产业链的抗风险能力,增加了一些补链企业个体,如与钢铁产业链相配套的矿石开采企业,废钢渣、铁渣综合利用的建材企业、静脉产业个体等。从包钢生态工业园区中工业生态种群的分布和个体企业的行业属性来看,在工业园中起主导作用的是:钢铁行业和稀土行业。与之相配套的行业(配套群落)主要有:电力行业、采矿行业、煤炭行业、建材行业、机械加工行业、供水业、环保行业等。决策支持网络由包钢集团、利益相关者、政府相关部门、配套群落组成。

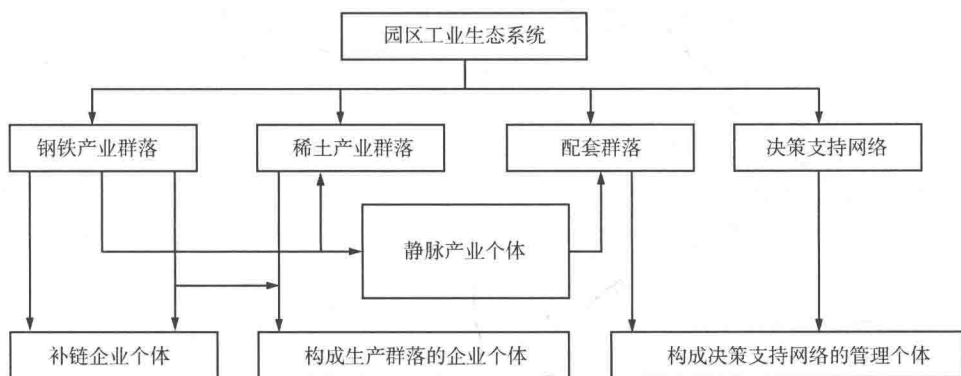


图 2.2 包钢生态工业园区系统结构

2.1.2 铜产业循环经济模式

铜有优良的导电性和导热性,化学性质稳定,并可以与铅、锌、铝、镍、钛等其他金属组成合金,是国民经济许多重要领域不可缺少的原材料。铜工业的主要特点是:工序很多,流程较长,设备的规模大,资源、能耗密集,“三废”产生量大,对环境的污染严重。中国是世界铜资源大国,也是全球最大的铜消费国。我国铜产业的特征是:①铜资源贫乏,供需缺口大;②低品位铜资源、废铜资源丰富;③铜矿产及冶炼与国际先进水平相比差距较大。

2.1.2.1 主要环节的节能减排实践

(1) 最大限度地综合回收利用采矿、冶炼生产过程中产生的废水、废气。以金隆公司为例,金隆公司共有闪速炉、阳极炉、水淬渣硫酸、电解、制氧、低压锅炉、动力中心八套循环水设施,经过投加稳定剂、提高浓缩倍数等方法,使工业用水复用率一直处于92%以上,年节省新水8000多万吨。通过突破传统铜精炼的氧化还原理论,将制氧产生的废弃氮气引入阳极炉,用液化气掺氮气进行还原,既能脱硫除氧、降低重油和液化气消耗,又减轻了精炼过程烟气的污染。