



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

RESEARCH ON THE COORDINATED DEVELOPMENT MODE AND EFFECT OF
CIRCULAR ECONOMY & LOW-CARBON ECONOMY IN ENERGY-INTENSIVE INDUSTRIES

郑季良◎著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE



高耗能产业循环经济



低碳经济协同发展模式和效应研究

RESEARCH ON THE COORDINATED DEVELOPMENT MODE AND EFFECT OF
CIRCULAR ECONOMY & LOW-CARBON ECONOMY IN ENERGY-INTENSIVE INDUSTRIES

郑季良◎著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

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/郑季良著. —北京: 经济管理出版社, 2017. 11

ISBN 978 - 7 - 5096 - 5504 - 7

I. ①高… II. ①郑… III. ①产业经济—循环经济—关系—低碳经济—研究—中国
IV. ①F269.2②F124.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 278944 号

组稿编辑: 申桂萍

责任编辑: 赵亚荣

责任印制: 黄章平

责任校对: 董杉珊

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 玉田县昊达印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 720mm × 1000mm/16

印 张: 13.75

字 数: 212 千字

版 次: 2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5096 - 5504 - 7

定 价: 58.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

前 言

当前，我国社会各界对经济增长方式的绿色发展、循环发展、低碳发展都非常重视，高耗能产业的循环发展、低碳发展更受到广泛的关注。由于高耗能产业的高能耗、高物耗、高排放“三高”特征突出，所以高耗能产业的循环经济发展得到了系统研究和实践，促使我国高耗能产业的能耗强度降低，“三废”（废水、废气、固体废物）排放处理和回收取得了很大的成效。后来，随着我国政府对世界承诺的碳排放总量控制，预计 2030 年达到峰值以后实现下降，高耗能产业的低碳经济发展又开始得到越来越多的关注。对高耗能产业来说，无论是循环经济还是低碳经济其实都是节能减排的过程，但这一过程中的控制点却发生了很大的变化。循环经济强调工业废物（包括余能、余热）的回收再利用，低碳经济则主要关注碳排放的减量化，包括碳排放强度的持续降低和碳总量的上升控制直至逆转下降，碳回收利用的价值和技术目前仍然处于探索阶段。因此，确切来说，高耗能产业现在面临的是循环经济与低碳经济的协同发展问题，节能减排目标由传统的不考虑碳排放控制，扩大到包括碳排放控制内容。2014 年，笔者曾出版了《高耗能产业群循环经济协同发展研究》（科学出版社），这本专著的立意是从循环经济的综合绩效（经济绩效、环境绩效、社会绩效）和由于循环经济建设需要导致的高耗能产业之间的循环经济进程两个方面的协同发展要求来进行研究。随着近几年我国对区域的碳排放总量控制目标的制定和管控，高耗能产业的循环经济与低碳经济协同发展问题涌现出来，但关于“循环经济与低碳经济协同发展”这一提法学者有争议，有的学者认为循环经济包含低碳经济，有的学者认为两者的含义差不多，只是称谓不同而已。笔者对两者的概念、内



涵、发展目标进行了系统思考和比较,从科学的角度以及目前实践出发,认为循环经济与低碳经济既有共通之处,也有不同的目标要求,因此,在《高耗能产业群循环经济协同发展研究》一书的基础上,对高耗能产业循环经济与低碳经济协同发展问题进行了进一步的思考和研究,书名定为《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》,以深入阐述和揭示新时期高耗能产业可持续发展的路径和转型发展要求。

本书的研究还比较粗浅,但因为认识到高耗能产业的循环经济和低碳经济的协同发展问题应该引起学术界更多的关注和深入研究,对我国高耗能产业的节能减排进程进行更加全面的理论指导,故笔者在研究还不够充分的基础上冒昧撰写了《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》一书。本书是在课题组相关研究成果以及若干硕士学位论文成果的基础上进行总结、提炼而成的,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,其中收录了陈盼、陈春燕、周旋、张亚、顾青青的研究成果,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。由于作者知识水平和研究能力有限,书中不足之处敬请广大读者批评指正。

郑季良

2017年8月

目 录

1	绪论	1
1.1	研究背景和意义	1
1.2	国内外研究现状	5
1.3	研究内容	10
1.4	研究方法	12
2	高耗能产业循环经济与低碳经济协同发展的理论分析	14
2.1	循环经济与低碳经济协同发展的动因和模型	14
2.2	高耗能产业循环经济与低碳经济发展的相关性分析	19
2.3	建立高耗能产业循环经济与低碳经济协同发展理论 体系的必要性	27
	小结	29
3	高耗能产业循环经济与低碳经济协同发展的模式研究	30
3.1	钢铁产业循环经济与低碳经济协同发展模式分析	30
3.2	火电产业循环经济与低碳经济协同发展模式分析	35
3.3	水泥产业循环经济与低碳经济协同发展模式分析	37
3.4	铜产业及有色金属产业循环经济与低碳经济协同发展 模式分析	39
3.5	化工产业循环经济与低碳经济协同发展模式分析	45
3.6	碳捕捉与封存技术的发展	47
	小结	48



4 高耗能产业循环经济与低碳经济发展进程和影响因素	
实证分析	49
4.1 高耗能产业能源消耗演变	49
4.2 高耗能产业能耗强度和“三废”排放强度的 演变分析	53
4.3 高耗能产业“三废”排放的影响因素实证分析	60
小结	70
5 高耗能产业（群）循环经济与低碳经济协同发展效应	
评价研究	71
5.1 高耗能产业（群）循环经济与低碳经济协同发展 评价思路	71
5.2 子系统有序度分析	72
5.3 高耗能产业循环经济与低碳经济协同发展效应评价 指标体系构建	73
5.4 综合权重确定	74
5.5 协同度评价模型	74
5.6 高耗能产业（群）循环经济与低碳经济协同发展 效应评价	75
5.7 高耗能产业间复合系统循环经济与低碳经济协同发展 效应的比较分析	80
5.8 高耗能产业间复合系统循环经济与低碳经济的子系统 有序度比较分析	82
5.9 高耗能产业间复合系统循环经济与低碳经济的协同度 比较分析	86
5.10 计入碳排放因素的高耗能产业节能减排协同效应 演变分析	87
小结	97

6 高耗能产业群循环经济与低碳经济协同发展效应的 调控仿真研究	100
6.1 高耗能产业群循环经济—低碳经济协同发展的系统结构和 动力学特征	100
6.2 高耗能产业群循环经济—低碳经济协同发展的系统动力学 模型构建	103
6.3 高耗能产业群循环经济—低碳经济发展效应的 调控仿真研究	120
6.4 综合效益的调控和效应分析	128
小结	130
7 云南省高耗能产业循环经济与低碳经济协同发展分析	132
7.1 云南高耗能产业发展现状分析	132
7.2 云南高耗能产业发展中面临的困境及成因	137
7.3 云南省高耗能产业循环经济和低碳经济发展 现状分析	139
7.4 云南高耗能产业循环经济与低碳经济发展的 相关性分析	144
7.5 云南省高耗能产业循环经济和低碳经济发展 SWOT 分析	150
7.6 云南高耗能产业循环经济与低碳经济协同发展战略和 路径分析	154
7.7 云南省高耗能产业循环经济与低碳经济协同发展的 主要任务	158
7.8 云南高耗能产业循环经济与低碳经济协同 发展的措施	169
7.9 云南高耗能产业循环经济与低碳经济协同 发展的成效	173
小结	182

8	高耗能企业循环经济与低碳经济协同发展案例研究	183
8.1	高耗能企业经济—能源—环境系统评价指标 体系构建	184
8.2	高耗能企业经济—能源—环境系统协同度评价 模型构建	186
8.3	宝钢案例分析	187
	小结	193
9	结论与展望	195
9.1	结论	195
9.2	创新点	200
9.3	展望	201
	参考文献	202

1 绪论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

循环经济与低碳经济的提出分别起源于 1990 年（英国环境经济学家珀斯和特纳）和 2003 年（英国政府能源白皮书），世界各国对两者的认识不仅有时间上的差异，也有程度上的差异，甚至还有政治因素考量。世界各国对循环经济的认识比较统一，它是关乎各国经济社会可持续发展的必然问题，因此发达国家和发展中大国纷纷将循环经济发展列为国策。我国也已将循环经济发展列为国家战略，并通过立法保证，我国于 2007 年颁布了《循环经济促进法》。但低碳经济由于牵扯全球二氧化碳（CO₂）减排责任划分、国家利益权衡以及环境污染不似传统“三废”危害那么迫切和直接，因此各国认识差异较大。实际上，循环经济和低碳经济都是人类面对资源危机、环境污染、生态破坏的自我反省，是对人与自然关系的重新认识和总结，都以生态经济和生态文明、可持续发展为目标。中共十八大在“生态文明建设”论述中指出，要坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针，强调“绿色发展、循环发展、低碳发展”。由此可见，我国已经把循环经济和低碳经济作为与转变发展方式相提并论的战略手段。

低碳经济提出时间比循环经济晚，但两者并不是相互替代关系，

发展中有着各自的重点,存在相互促进、优势互补、协同发展的内在机理。在循环经济、低碳经济的概念上,循环经济是在人—自然资源—社会经济—科学技术的大系统内,在产品的生产、流通、分配、消费等经济活动的全过程中,引入节约的理念,以科学技术提高和制度管理创新为手段,依靠资源的循环利用,最大限度地减少新资源的使用量,减少各种废弃物的排放数量,解决环境保护和可持续发展问题。低碳经济侧重于在生产、流通和消费过程中降低化石能源消耗、减少温室气体排放活动,即从能源的选择和利用中引入环境友好的理念。低碳经济实质上是经济发展方式、能源消费方式、人类生活方式的一次新革命,是对建立在化石燃料(能源)基础之上的现代工业文明的全方位改造。

在循环经济、低碳经济之间的相互关系上,一般来说,循环经济可以为低碳经济的推行提供良好的环境,它所提倡的源头节约资源、绿色生产、多种方式或多次使用资源、减少资源消耗、减少污染、减少排放等,都与低碳经济的减碳思路和路径基本上是一致的。循环经济经过多年的理论和实践发展,在技术和市场需求、制度安排等各方面都为低碳经济发展打下了很好的基础。低碳经济发展侧重于碳减排,很重要的一点就是围绕“碳”元素的生产、流通、消费过程组织经济活动,这延伸了循环经济的内涵,为循环经济的发展明确了一种可量化、考核和操纵的方式。总之,发展循环经济,探索更有效的循环经济发展之路可以对低碳经济的发展提供更好的平台,发展低碳经济则有利于循环经济产业链的完善和延伸,两者协调发展、协同发展是推进生态文明建设,实现可持续发展的现实、必需而又可行的选择。

高耗能产业顾名思义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。笔者(2008)将高耗能产业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。在循环经济建设中,我国各地的大量实践表明,上述高耗能产业由于产业链关系和生态产业链的建设需要逐渐形成了产业集聚现象,例如,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。



为此,笔者(2009)将此现象定义为高耗能产业(集)群,之所以没有直接采用经济学中的“集群”一词,是考虑到高耗能产业之间尚没有形成紧密的经济联系。作为我国工业的基础性产业,高耗能产业的可持续发展一直是我国面临的一个重要课题。即使是在今后相当长一段时期,我国的工业化和城市化进程仍将快速推进,高耗能产业在经济社会发展中的作用不可替代。

然而,高耗能产业具有“三高”(高耗能、高物耗、高污染)的显著特点,其能耗和污染排放占据工业的绝大部分。根据有关资料的统计分析,传统高耗能产业的组成部分只占工业组成行业的28%,但能耗总量却占工业能耗总量的80%,煤炭消耗总量占工业的93%,电力消耗总量占70%,工业废水排放总量占工业的41%,二氧化硫(SO_2)排放量占90%,烟尘排放量占84%,粉尘排放量占96%,工业固体废物排放量占95%, CO_2 排放量占90%。可见,我国的产业结构和能源结构决定了高耗能产业不仅是循环经济建设重点,也是低碳经济建设重点。

我国已于2008年成为世界 CO_2 排放量最大的国家,故尽管我国仍然是发展中国家,但 CO_2 减排责任意识日趋强化。目前我国政府已宣布至2020年 CO_2 排放强度(万元GDP CO_2 排放量)比2005年下降40%~45%、2030年碳排放总量控制的约束性指标。从我国“十一五”到“十三五”经济社会发展规划中,主要“三废”排放控制性指标及循环利用、综合回收率指标不断增加,标准不断提高。也就是说,我国实际上已经开始进入循环经济与低碳经济联动发展、协同发展的目标管理阶段。显然,高耗能产业的循环经济与低碳经济联动发展或协同发展的目标管理是重点和关键领域。

1.1.2 研究目的和意义

循环经济与低碳经济的内涵既有共通之处,也有较大的差异。两个经济发展模式可否并举、如何兼容与共同运作,目前学术上尚存在一些歧义。笔者以为,高耗能产业作为两个经济模式联动发展的关键领域,应该而且可以站在更高的高度来认识,联动必须协调,而联动的优化方向是协同发展,即如何在统一的技术范式下通过协调优化达到协同发展水平,这是亟待研究和考察的重要问题,是本书提出的立



意。从本质内容来看,循环经济与低碳经济的运行要素都是节能与减排,其中,能耗又是引发排放的重要因素。 CO_2 排放的实质是能源的消耗,碳排放根本上取决于能源强度的降低或者能源生产率的提高,所有环境问题的实质也是能源问题,节能与减排密不可分,在现代工业发展方式转变中起着倒逼机制的作用。循环经济与低碳经济的区别只是节能减排的内容和侧重点有着较大的不同之处。低碳经济的实施对循环经济建设将起到促进作用,可以初步判断循环经济与低碳经济的联动是互补关系,统一技术范式是“物质人工闭路循环”与“能源可持续供给”的统一,即实现资源循环利用、能源循环(梯次)利用、“三废”和碳减排的统一。甚至可以这样认为,循环经济与低碳经济的协同发展意味着两者的统一,是节能减排体系的一体化建设。本书旨在高耗能产业循环经济协同发展现有研究的基础上,新增碳排放因素变量,进一步系统梳理和研究高耗能产业循环经济与低碳经济联动发展模式,探索循环经济与低碳经济协同发展的运行机理、模式和效应,为循环经济与低碳经济协调和科学发展提供理论指导和决策依据。

综上所述,循环经济与低碳经济在理论上、实践中都是密切相关的,但两者毕竟还是有着较大的不同之处,一是概念上存在不同之处,二是动机不同,三是推进进度上不同。如循环经济中的三废排放控制在我国“十一五”规划中就已列入,主要出于我国循环经济发展的内在需要,而碳排放控制在“十二五”“十三五”规划中列入,部分出于承担国际责任的结果。更应看到的是,目前针对循环经济与低碳经济的重点领域——高耗能产业进行循环经济与低碳经济的协同发展系统研究非常急需,但还是一个薄弱环节。鉴于高耗能产业的循环经济建设正处于如火如荼阶段,循环经济与低碳经济均已列入我国政府“十二五”“十三五”规划以及2020年中长期经济社会发展规划,研究如何促进各高耗能产业的协同发展,实现高耗能产业以及资源能源富集地区的节能减排综合效应,本书融合了上述几个关键词(循环经济、低碳经济、高耗能产业、协同发展),重点对高耗能产业及集群的循环经济与低碳经济的协同发展模式、效应及对策进行研究,既具有重要的理论研究价值,也有着迫切的现实指导意义。



1.2 国内外研究现状

1.2.1 循环经济与低碳经济的关系及集成研究的提出

循环经济 (Circular Economy) 是一种以资源的高效利用和循环利用为核心,以“减量化、再利用、资源化”为原则,以低消耗、低排放、高效率为特征的经济增长模式 (马凯, 2004)。低碳经济 (Low Carbon Economy) 是英国政府于 2003 年在能源白皮书中首次提出,以低能耗、低排放、低污染为基本特征,以减小碳基能源对气候变暖的影响为基本要求的经济增长模式 (冯之浚和牛文元, 2009)。

循环经济与低碳经济的关系可以归纳为: ①联系。从发展背景、目标导向、指导理念、技术层面、运行环境等方面来看,两者都有相似性。②区别。循环经济具有一定的内生驱动力,低碳经济还没有;低碳经济具有浓厚的政治色彩,循环经济则没有;循环经济关注广泛物质的减量和循环利用,低碳经济主要关注能源领域。周宏春 (2011) 认为,循环经济与低碳经济的很多活动重叠。循环经济从资源角度测度,低碳经济从碳排放强度考量。由于资源包含能源,可以说循环经济的范畴略大于低碳经济。

韩宝华 (2011) 认为,我国现阶段单独推行循环经济或低碳经济都存在无法突破的困境,实现两者的系统整合成为亟待解决理论与现实难题。杨志 (2009) 认为,当前最重要的问题是如何在《循环经济促进法》框架下处理发展循环经济与低碳经济的关系。李佐虎 (2010) 认为,循环经济与低碳经济的统一技术范式是“物质人工闭路循环”与“能源可持续供给”的统一。郑志国 (2009) 提出,低碳经济可以纳入到循环经济框架下,通过循环经济实现低碳经济发展。黄贤金 (2009) 在其主编的《循环经济学》一书中,将低碳经济一章纳入其中。鲍文 (2011) 认为,低碳经济与循环经济统筹发展是区域经济发展与环境保护协同发展的需要,以四川为例,结合各功能区实际情况分析了各具特色的循环经济与低碳经济统筹发展路径。王继红



(2011)以资源型城市铜陵为例,指出应以循环经济促进低碳经济发展,探索和率先走出一条铜陵特色的低碳经济发展新路。

1.2.2 循环经济与低碳经济集成研究思路及方法

贺业方等(2010)认为,发展循环经济和低碳经济的根本共同点在于均需要提高广义资源生产率(生态效率),为此,基于资源产出率的理论分析、情景分析和实证研究,探讨了通过发展循环经济促进碳减排的途径。袁丽静(2010)从循环经济物质流的角度给出了节能减碳的思路。胡佳丽等(2011)从微观企业和宏观产业链两个层面建立了循环经济以及低碳经济价值网。徐玖平等(2010)针对循环经济发展现状,从节能减排、能源结构、产业模式三个维度诊断循环经济实践困境,提出了循环经济低碳模式。Ball等(2009)从物流、能源流、废物处理流的集成角度,研究了制造业及其供应链如何实现零碳制造。

1.2.3 产业集群协同发展及供应链协同管理研究

按照协同学创始人——德国理论物理学家哈肯(1971)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)是指系统内部以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。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。

协同学在企业战略管理上的运用得到了较多的研究,具有代表性的有:Tomas(1997)在《利用协同竞争优势》一文中提出,“充分认识协同的作用,采取方法对企业所拥有的资源进行协同潜力的判别,是企业获得持续性竞争优势的路径之一”。Hiroyuki(1991)将协同概念分解成“互补效应”和“协同效应”两部分,互补效应通过提高实体资源的使用效率来实现;协同效应需要隐形资源才能产生,并且这种协同效应难以被对手复制,成为企业竞争优势的不竭源泉。罗伯特·巴泽尔(2000)认为,“协同创造价值的方式有四种:对资源或



业务行为的共享、市场营销和研究开发的扩散效益、企业的相似性以及对企业形象的共享”。

产业集群是一区域经济系统,具有分工协同、制度协同、集聚协同和竞争协同四个方面的协同效应,从而起到降低成本和促进创新的作用(李辉和张旭明,2006)。Joseph(1991)提出了通过联盟形式实现协同效益。Christopher(2002)认为,通过企业之间在业务行为、技能、信息和知识等方面的共享,实现协同效益。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,并研究了供应链协同管理的模型和方法。Akintoye等(2000)调查分析了英国建筑行业供应链的协同管理,指出该行业存在的问题、面临的障碍以及要考虑的相关因素。Turkay等(2004)对化工行业企业间的协同进行了建模和定量分析。叶孝明等(2006)针对江西省产业集群层次较低的现状,提出整合供应链协同管理、优化产业集群运行机制的思路和对策。于春杰等(2007)从协同学角度对供应链的协同管理进行了系统研究,揭示出供应链剩余是供应链系统的序参量以及对系统演化的作用。孔善右(2008)基于系统协同论视角构建了分形供应链的自组织动力学模型。桑金琰(2011)将协同运作定义为具有相互依赖关系的实体通过“竞争—合作—协调”自组织运行机制组织在一起,完成单一实体不能完成或不经济的任务,并给出基于遗传算法的制造企业多 Agent 协同运作概念模型。

1.2.4 高耗能产业(群)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。循环经济的 3R(Reduce, Reuse, Recycle)基本原则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的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。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。

高耗能产业（群）的协同发展并不局限于生态工业园区。生态工业园区的规划和建设受到诸多限制，其建设不是目的，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。国际上直接研究区域经济层面高耗能产业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 D.、Corder G.、Bossikov A. 和 Van Berkel R.（2006，2007）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取得成效或论证其优越性的文献。代表性文献有：孙静春和席西民等（2007）对一煤炭集团的循环经济发展模式的仿真研究得出结论：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，并增加赢利能力约30%。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。

经过笔者归纳，高耗能产业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。在此基础上，笔者撰写并出版了《高耗能产业群循环经济协同发展研究》（科学出版社2015年版），主要从循环经济的综合绩效观视角，初步研究了高耗能产业及产业群循环经济建设中的经济绩效、环境绩效、社会绩效之间的关系及其协同问题。

1.2.5 高耗能产业的低碳经济发展

徐大丰（2011）运用投入产出数据计算了各工业行业碳排放的影响力系数，得出高耗能产业碳生产率较低、碳排放影响力系数较高的结论，指出了降低碳排放、保持经济增长稳定性的产业结构调整方向和策略。柳克勋（2010）提出了钢铁企业实现低碳化、生态化的具体目标。刘文权（2010）通过对钢铁工业不同工序和不同流程CO₂排放