



(2015-2017 年度能源基金资助项目)

# 基于循环经济的河南省产业集聚区 优化发展研究报告

郑州大学环境科学研究院

2017 年 06 月

**项目研究专家顾问：**

杜祥琬院士 中国工程院，国家气候变化委员会主任

唐孝炎院士 北京大学

**项目负责人：**

张瑞芹教授 郑州大学环境科学研究院

**项目主要参加人员：**

郑州大学环科院

河南省节能监察局

王姗姗

梁二芳

王 克

张 申

刘 磊

河南省冶金研究所

张长森

郝大玮

武志立

鹤壁宝发能源科技公司

付 乐

彭俊冉

高 宇

马伊澜

## 摘要

作为中国人口最多省份，同时也是农业大省、资源大省和新兴工业大省，河南省目前共有 182 个产业集聚区。产业集聚区是河南省工业发展的重要引擎，2016 年河南省 182 个产业集聚区规模以上工业增加值占全省工业总增加值的 63.4%；同时产业集聚区也是能源消耗和污染物排放的集中区域，2016 年河南省产业园区综合能耗占全省工业总能耗的 50% 以上。河南省产业集聚区循环发展仍尚处于起步阶段，亟需在汲取国内外生态工业园区建设最佳实践案例经验的基础上，评估探索不同类型园区的循环发展水平和发展模式，这将为河南产业集聚区的循环发展指明方向，促进河南省产业结构调整和经济发展转型。

基于河南省产业集聚区物质流动和能源消耗等相关数据，本项目拟通过开展系统研究，以工业生态学和循环经济理论为基础，在总结国内外生态工业园区循环发展最佳实践的基础上，采用层次分析法构建产业集聚区循环发展综合评价指标体系，评估园区循环发展水平。在此基础上分析综合（装备制造与电子为主）类、行业（化工）类和静脉类典型产业集聚区的物质流和能流情况，并结合园区产业链现状设置基准情景和循环发展情景，采用物质流分析法和生物群落法分析不同情景下园区企业间关联度和资源产出率情况，探索不同类型产业园区的循环发展模式。研究结果表明：

第一，通过实地调研发现河南省产业集聚区目前发展中存在以下主要问题：大多数园区企业间和产业间并未建立循环链接，园区资源能源生产力亟待提高；园区能耗统计基础薄弱，大多数园区并未对园区内企业能源消耗情况进行统计，园区层面能源消耗数据缺失；目前大多数园区企业产生的废气余热余压只是在本企业内部进行简单利用，利用份额很小，大部分废气被点燃后直接排放，园区低位能量并未得到充分利用。

第二，近年来河南省典型产业集聚区循环发展水平有所提高，但与发达地区相比仍有提高空间。行业（化工）类园区濮阳经开区综合评价结果由 2012 年的 0.41 上升到 2015 年的 0.86，评价期内资源产出指标改善最为明显，废弃物排放指标指标得到一定程度改善；资源消耗指标改善较差，2015 年评价结果比 2012 年低，表明园区未来在资源消耗，资源利用率方面存在较大循环发展潜力空间。综合（装备制造与电子为主）类园区郑州经开区评价结果显示，2008-2014 年间

园区资源消耗指标显著下降，园区  $\text{SO}_2$ 、COD、氨氮排放量逐年降低，资源综合利用指标得到很大改善；但中水回用系统不完善造成水资源产出率偏低。静脉类园区大周产业集聚区评估结果显示其循环经济属于良好水平，园区经济发展的同时兼顾环境保护，大部分指标如 COD、 $\text{SO}_2$  和废水的排放量等均达到了国家生态工业示范园区标准；但园区还存在研发经费投入不足、企业间关联度较低、再生资源回收利用率不达标和环境管理能力不够完善等问题。

第三，不同类型园区循环发展情景下企业间生态关联度和资源产出率较基准情景下均有显著提高，未来河南省产业集聚区循环发展应根据不同园区类型进行分类指导。行业（化工）类园区濮阳经开区未来循环发展模式为“引入补链”，新增双氧水生产项目，实现石化、煤化融合发展；加强热电联供之间水的梯级利用，从而最大限度节约水资源；统一回收各企业的废气，利用余热余压进行发电；加快基础设施建设，如危废处置中心、人工湿地、污泥集中处理中心等。综合（装备制造与电子为主）类园区郑州经开区未来循环发展模式为“延伸产业链条”，在汽车整车装备制造方面引进一批配套关键零部件企业，在电子信息产业方面引进电子、电路、软件开发等项目；提倡企业间的废热、废水梯级利用，利用余热、余压和可燃废弃物进行发电；同时加快区内中水回用系统和供热管网等基础设施建设。静脉类园区大周产业集聚区未来应结合国内静脉园区发展的经验教训，在保证危险废弃物处置能力及园区承载力的前提下，完善回收体系，形成高效率、低污染的回收网络；扩充处理废物类型，加快相关项目建设；提高清洁生产水平，减少污染，完善污染防治设施；加快核心技术开发，产学研相结合。

第四，河南省产业集聚区未来优化发展应从以下几个方面展开：第一，结合“大数据”等先进技术搭建河南省产业集聚区在线信息管理平台，实现园区能源资源消耗和环境排放数据的实时更新。第二，加强园区绿色培训，强化园区管理部门和企业的绿色发展能力建设。第三，围绕园区项目间、企业间、产业间加快园区循环化改造步伐，积极引入补链企业。第四，识别园区能量梯级利用的关键环节，实现能量分等级充分利用，提高能源利用效率。第五，完善园区环保基础设施建设及升级改造，加快基础设施共享平台建设。

**关键词：**循环经济；产业园区；循环发展评估；产业关联；物质流分析

# 目录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究内容与思路.....	2
第二章 河南省产业集聚区发展现状调查与分析.....	4
2.1 国内外产业园区发展形势与策略.....	4
2.1.1 国际产业园区发展现状.....	4
2.1.2 中国产业园区发展现状.....	6
2.2 河南省产业集聚区发展现状分析.....	15
2.2.1 整体概况.....	15
2.2.2 主导产业发展概况.....	16
2.2.3 集聚区发展特征.....	21
2.3 河南省产业集聚区未来展望及面临的挑战.....	22
第三章 国内外生态工业园区循环发展实践.....	26
3.1 丹麦卡伦堡.....	26
3.1.1 园区简介.....	26
3.1.2 园区物质流情况分析.....	26
3.1.3 园区资源能源梯级利用情况分析.....	28
3.2 天津泰达.....	29
3.2.1 园区简介.....	29
3.2.2 园区产业共生情况.....	32
3.2.3 园区循环化发展相关策略.....	35
3.3 苏州高新区.....	36
3.3.1 园区简介.....	36
3.3.2 园区产业共生情况.....	38
3.3.3 园区循环化发展相关策略.....	40
3.4 山东鲁北生态工业园区.....	41
3.4.1 园区简介.....	41
3.4.2 园区物质流情况分析.....	42
3.4.3 园区资源能源梯级利用情况分析.....	45
3.5 铝生态工业园区信发生态工业园区.....	45
3.5.1 园区简介.....	45
3.5.2 信发集团循环经济产业链概况.....	46
3.5.3 信发集团水循环概况.....	50
第四章 河南省典型产业集聚区循环发展水平评估.....	53
4.1 园区循环发展综合评价方法介绍.....	53
4.1.1 园区循环发展水平评价指标体系的构建.....	53
4.1.2 园区循环发展评价指标权重确定.....	54
4.1.3 数据标准化处理.....	57
4.1.4 园区循环发展评价模型.....	58
4.2 案例分析—行业（化工）类产业集聚区循环发展水平评估.....	61

4.2.1 濮阳经开区基本情况.....	61
4.2.2 濮阳经开区主导产业链分析.....	62
4.2.3 濮阳经开区循环经济绩效评价指标体系的构建.....	66
4.2.4 濮阳经开区指标权重的确定.....	68
4.2.5 濮阳经开区循环经济绩效评价结果.....	70
4.3 案例分析—综合（装备制造与电子为主）类产业集聚区循环发展水平评估 .....	75
4.3.1 郑州经济技术开发区基本情况.....	75
4.3.2 郑州经开区循环经济绩效评价指标体系的构建.....	77
4.3.3 郑州经开区指标权重的确定.....	80
4.3.4 郑州经开区循环经济绩效评价结果.....	82
4.4 案例分析—静脉类产业集聚区循环发展水平评估 .....	86
4.4.1 大周再生金属循环产业集聚区基本情况.....	86
4.4.2 大周再生金属集聚区主导产业分析.....	87
4.4.3 园区循环发展综合水平指标体系的构建.....	91
4.4.4 园区循环发展综合水平指标体系权重确定.....	92
4.4.5 园区循环发展评价结果 .....	95
第五章 河南省典型产业集聚区循环发展模式研究.....	102
5.1 园区循环发展模式研究基本方法介绍 .....	102
5.1.1 物质流分析法.....	102
5.1.2 园区企业间关联度的测算方法.....	102
5.1.3 园区资源化率计算方法.....	104
5.1.4 园区资源产出率测算方法.....	106
5.2 案例分析—行业（化工）类园区循环发展模式研究 .....	106
5.2.1 濮阳经开区物质流分析 .....	106
5.2.2 情景设定 .....	109
5.2.3 濮阳经开区企业间关联度测算分析 .....	110
5.2.4 濮阳经开区水资源产出率测算分析 .....	116
5.2.5 濮阳经开区能量梯级利用研究 .....	120
5.2.6 濮阳经开区循环发展模式建议 .....	123
5.3 案例分析—综合（装备制造与电子为主）类园区循环发展模式研究 .....	124
5.3.1 郑州经开区物质流分析 .....	124
5.3.2 情景设定 .....	127
5.3.3 郑州经开区企业间关联度测算分析 .....	132
5.3.4 郑州经开区园区资源化率测算分析 .....	134
5.3.5 郑州经开区循环经济发展模式建议 .....	136
5.4 案例分析—静脉类园区循环发展模式研究 .....	137
5.4.1 大周产业集聚区物质流分析 .....	137
5.4.2 天津子牙静脉园区发展模式 .....	140
5.4.3 大周产业集聚区循环发展模式建议 .....	144
第六章 结论及建议.....	146
6.1 结论 .....	146
6.2 建议 .....	148
6.2.1 梳理问题 .....	148
6.2.2 摸清家底.....	149

6.2.3 加强园区绿色培训 .....	149
6.2.4 引入补链企业 .....	149
6.2.5 加强能量梯级利用 .....	150
6.2.6 建立基础设施共享平台 .....	151
致谢 .....	152
参考文献 .....	153

# 第一章 绪论

## 1.1 研究背景及意义

河南省作为中国人口最多省份，同时也是农业大省、资源大省和新兴工业大省，目前正处于工业化中期阶段。经济发展仍主要依靠第二产业尤其是工业的发展拉动。产业集聚区是河南省工业发展的重要引擎，2016 年河南省 182 个产业园区规模以上工业增加值占全省工业总增加值的 63.4%；同时产业集聚区也是能源消耗和污染物排放的集中区域，2016 年河南省产业园区综合能耗占全省工业总能耗的 50% 以上。产业集聚区的循环发展将对河南省产业结构调整和经济发展转型起到关键作用，并将直接影响河南省能源消费总量的控制及大气污染防治目标的实现。

2008 年国际金融危机后，河南省政府做出建设产业集聚区的重大决策，成为中国第一个正式将产业集聚区建设纳入政府规划的省份。在规范整合原有 300 多个园区的基础上，河南省政府规划确定了 180 个产业集聚区的空间布局，其中有 2 个园区正在开展国家生态工业示范园区建设，分别是郑州市上街区生态工业示范园区和郑州经济技术开发区。经过近 5 年的发展，截止 2013 年底河南省产业集聚区的建成区面积达到 1740.7 平方公里，共涵盖了装备制造、农副产品加工、纺织服装、化工、有色、生物医药、汽车及零部件、新能源等 15 类产业。产业集聚区在经济发展速度方面领先于全省平均水平，对全省经济增长的贡献作用显著。2016 年河南省产业集聚区完成固定资产投资 21014 亿元，同比增长 13.5%，占全省的比重达到 52.9%，对全省投资增长的贡献率达到 52.2%；规模以上工业增加值对全省工业增长的贡献率达到 91%。作为全省经济发展的重要增长极，产业集聚区是新常态下推动河南省经济发展方式转变的重要载体。但与发达地区相比，河南省产业集聚区在循环发展方面仍存在较大差距，主要表现为园区内完整的产业链尚未形成，各企业间关联度低、分工与协作缺乏合理性，资源综合循环利用率较低，能源供给体系相对简单，能效利用水平有待提高。

当前，产业集聚区循环发展是河南省政府支持的重点方向，但由于工作推进尚处于起步阶段，诸如产业集聚区产业共生现状、产业集聚区循环发展潜力、产业集聚区循环发展模式、不同类型园区循环发展方向和重点等问题亟待回答。因

此，本项目拟通过开展系统研究，以工业生态学和循环经济理论为基础，在总结国内外生态工业园区循环发展最佳实践的基础上，构建产业集聚区循环发展综合评价指标体系，评估园区循环发展水平；分析综合（装备制造与电子为主）类、行业（化工）类和静脉类典型产业集聚区的物质流和能流情况，探索河南省不同类型园区的循环发展模式。这将有利于推广国内外生态园区建设的最佳实践，为河南产业集聚区的循环发展指明方向，从而全面推动河南省产业集聚区的循环发展，促进当地产业转型。

## 1.2 研究目的

开展基于循环经济的河南省产业集聚区优化发展研究，其主要目的在于通过调研分析河南省 182 个产业集聚区的园区管理方式、产业结构、主导产业和经济发展情况，提炼产业集聚区循环发展面临的共性问题和关键影响因素，评估综合（装备制造与电子为主）类、行业（化工）类和静脉类典型产业集聚区的循环发展水平；并根据目前国内外生态工业园区发展的最佳实践经验，探索设计河南省典型产业集聚区的循环发展模式，为产业集聚区实现循环优化发展提供一种基本设计思路和具体分析方法，为河南省政府部署园区循环发展规划与实施方案提供支撑，促进河南省乃至我国产业园区的绿色循环低碳发展。

## 1.3 研究内容与思路

本项目总体研究思路如图 1.1 所示。根据研究目标，在对河南省 182 个产业集聚区进行现状分析的基础上，结合国内外生态工业园区的循环发展最佳实践，构建园区循环发展评价模型来对河南省综合（装备制造与电子为主）类、行业（化工）类和静脉类典型产业集聚区的循环发展水平进行评估，完成典型产业集聚区的循环发展潜力识别；然后采用物质流分析法和产业关联度模型来比较河南省典型产业集聚区在无产业共生和有产业共生两种情景下的能源消耗、废弃物排放、污染物排放和产业关联情况，定量分析循环发展模式为产业集聚区带来的环境效益和经济效益，进而设计提出河南省典型产业集聚区循环优化发展路径。

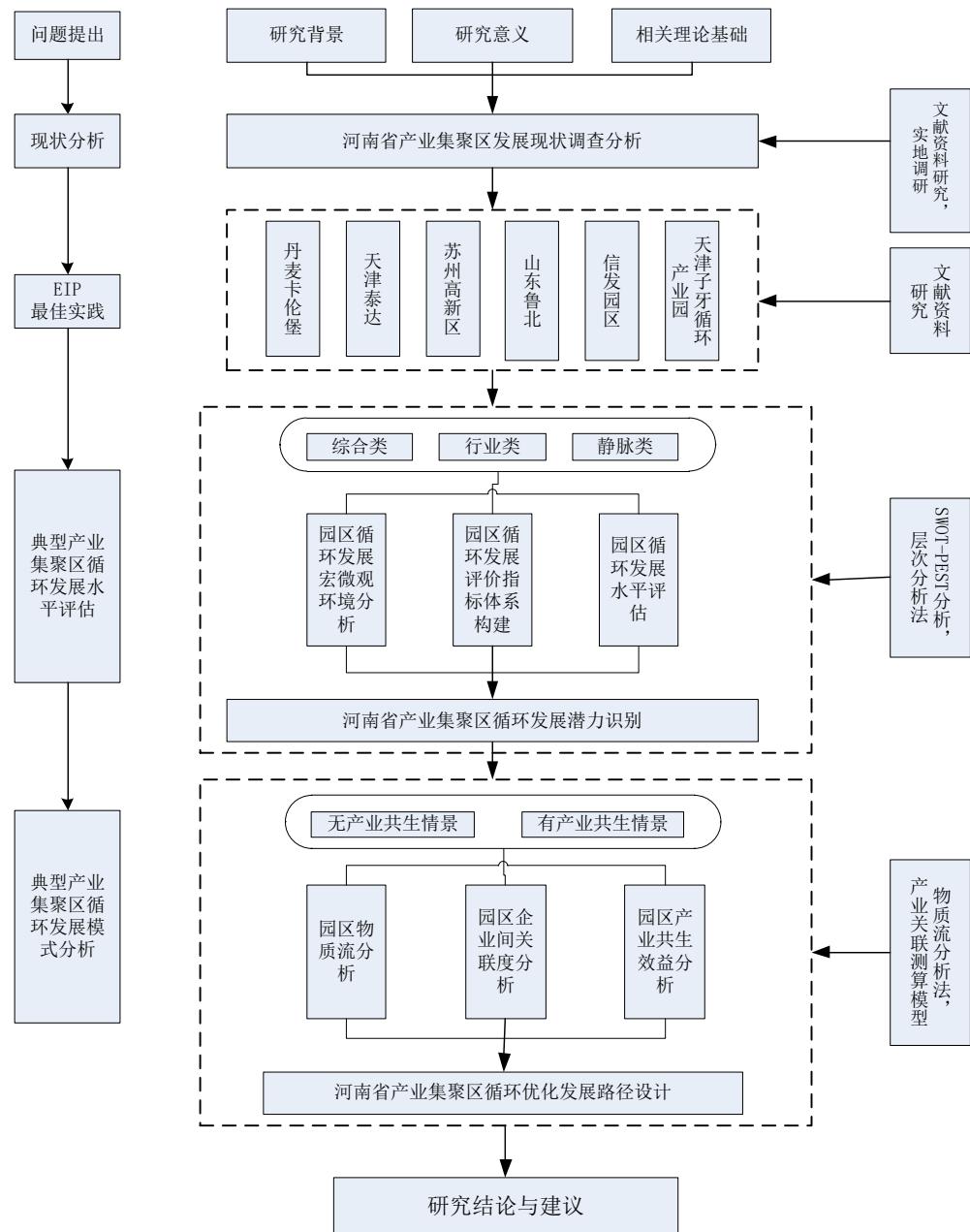


图 1.1 基于循环经济的河南省产业集聚区优化发展项目研究思路

## 第二章 河南省产业集聚区发展现状调查与分析

### 2.1 国内外产业园区发展形势与策略

#### 2.1.1 国际产业园区发展现状

据统计，目前世界各地的产业园区数量约为 1.2-2 万个。以美国为例，该国实现产业集聚效应的产业园区约为 380 个，解决了全国 57% 的劳动力人口安置，创造了 80% 的国民生产总值。从世界产业园区发展历程来看，大致经历了以下四个阶段：第一个阶段，主要是依靠土地开发、基础设施共享、吸引企业入驻进行生产来实现经济扩张；第二个阶段，主要是注重扶持园区企业的研究与技术开发能力的提升，加强科研机构与产业活动的密切合作，园区发展成为有明确创新意识的产业开发基地；第三个阶段，把技术创新、高新技术产业的发展和高新技术项目的产业化结合起来，其基本特征是孵化器职能的形成；第四个阶段，以循环经济和工业生态学为基础的新型组织形态—生态工业园或循环发展园区在各个国家及地区蓬勃兴起。

##### （1）丹麦卡伦堡（Kalundborg）工业园区

丹麦卡伦堡是目前世界上工业生态系统运行最为典型的代表。这个生态工业园区包括如下四个主体企业，阿斯内斯火力发电厂、斯塔托伊尔炼油厂、济普洛克石膏材料公司、诺沃诺迪斯克生物工程公司，以这四个企业为核心通过贸易方式利用对方生产过程中产生的废弃物和副产品，不仅减少废物产生量和处理的费用，还产生了较好的经济效益，形成了经济发展与环境保护的良性循环。需要说明的是卡伦堡生态工业园区的产业共生系统的发起与环境、生态保护毫无关系，更不是受环境保护驱动的，而是企业自身为适应经济环境而形成的，企业为补偿或减少排污成本等政府对环境规制所造成的企业生产成本，自觉进行一系列的技术革新，无形中促进了质能循环合作，使卡伦堡工业园逐渐进化生态工业园区。

##### （2）美国生态工业园区

70 年代以来，在美国环境保护局和可持续发展总统委员会的支持下，美国生态工业园项目应用而生，涉及到生物能源的开发、废物处理、清洁工业、固体和液体废物的再循环等多个领域。目前，美国已有近 20 个生态工业园区，这些

园区往往是一个包含着许多工业企业，也包含着农业、居民区等的区域系统。1994年，美国环境保护局与生态工业园区特别工作组一起指定了费尔菲尔德、查尔斯角、布朗斯维尔和恰塔努加4个社区作为生态工业园区的示范点。根据建设的起点不同的分类方法，具体典型描述如下：a.马里兰州的费尔菲尔德生态工业园区和田纳西州的恰塔努加生态工业园区是改造型生态工业园区，这类园区对现已存在的工业企业通过适当的技术改造，在区域内进行废物和能量的交换。该园区以杜邦公司的尼龙线头回收为核心推行企业零排放改革，不仅减少了污染，而且带动了环保产业的发展，园区所有企业都采用可持续性生产方式制造可持续产品，在老工业区发展了新的产业空间。b.弗吉尼亚州的查尔斯角可持续技术园区为全新型生态工业园区。主要吸引那些具有绿色制造技术的企业入园，并创建一些基础设施使得这些企业间可以实现废水、废热等的交换。c.德克赛斯州的布朗斯维尔生态工业园区是典型的虚拟型的生态工业园区，该工业园在原有成员的基础上，不断增加新成员来担当工业生态链的“补链网”角色，如引入的热电站，废油，废溶剂回收厂等，园区并不严格要求其成员企业在同一地区，它通过建立计算机模型和数据库，在计算机上建立起成员间的物料或能量联系。

### （3）加拿大波特兰（Portland）工业区和 Burnsde 工业园区

国内文献中提到加拿大生态工业园区主要有波特兰（Portland）工业区和 Burnsde 工业园区。a.1995 年以来，生态工业园区项目在加拿大多伦多的波特兰工业区逐步展开。单个企业的清洁生产和内部循环具有一定的局限性，因为生产过程中必然产生厂内无法消解的一部分肥料和副产品，于是需要从厂外去组织物料循环。生态工业园区就是要在更大的范围内实施循环经济的法则，把不同的工厂联接起来形成共享资源和互换副产品的产业共生组合，使得这家工厂的废气、废热、废水、废物成为另一家工厂的原料和能源。波特兰工业园区目前汇集了有废物和能量交换潜力的多种制造和服务行业。b.在加拿大 Burnsde 工业园区，通过回收废纸然后外运供其他公司生产衬垫板。另一家包装公司则重新利用电脑公司过剩的聚苯乙烯；它还拥有各种回收和再利用公司，处理颜料盒、丝带重新涂墨、轮胎翻新和家具翻新等；另外还使用银回收系统回收印刷工厂的银；同时园区内的 19 家化学品生产销售公司还联合进行化学品交换。

### （4）日本藤泽生态工业园区和北九州生态工业园区

至 2004 年 10 月，日本批准建设的生态工业园区有 23 个，较为定型、成熟的生态工业园区有藤泽生态工业园区和北九州生态工业园区。a. 藤泽生态工业园区由 EBARA 公司独立投资和独立经营，虽然它与研究机构合作，但是后者只提供信息资源，整个计划由 EBARA 公司上层管理者提出。EBARA 公司的管理者以零排放为目标，通过展示其有效性来推广环保技术；通过树立绿色形象和改善其在市场上的位置，从而获取更高的市场份额。他们将园区内的商业设施、工业制造区以及居民区整合成一个零排放的生态工业园区，在改善环境的同时，其竞争地位也得到了提升。b. 北九州生态工业园于 1997 年 7 月得到国家的批准正式建立，目的在于将各种垃圾作为其他产业的原料进行回收利用，以尽可能实现不排放垃圾（零排放），建造资源循环社会。项目的具体内容是以现在的响滩地区为中心，集中开展家电、汽车、塑料瓶等各种物品的再利用项目。该地区聚集了很多产学研联合的开展垃圾处理和再利用技术的研究机构；充分利用市内工业基础设施，互相合作，从地方城市的角度出发，努力实现环境联合企业设想，促进市内整个产业界的环保活动等。北九州工业园是通过采取减少废物排放，寻求其最优经济效益而建立生态工业园区的典型。

#### （5）其他欧洲国家生态工业园区实践

1996 年，英国新汉普郡伦敦德里生态工业园区开始进入建设阶段；另外，还计划在南约克镇开发一个可持续发展园区。法国的 OREE 作为欧洲环境合作伙伴组织的发起机构之一，正致力于他的 PALME 计划，该计划旨在为生态工业园区的建立提供技术支持和规范，到 1995 年，已有索菲亚、爱斯特尔等五个工业区在 PALME 计划指导下加紧建设，已取得 PALME 的生态认证标志。荷兰鹿特丹已经建设以石油工业、石油化工及其支持行业为主的生态工业园区，它由 85 家大中型企业组成。意大利北部的 Emilia-Romagna 地区，企业间的合作初具规模，取得了良好的经济效益，具有生态工业发展的良好基础。

### 2.1.2 中国产业园区发展现状

我国现在的产业园区都是从改革开放以来建立的，根据《中国开发区审核公告目录（2006 年）》，目前我国共有各类开发区 1500 多个。至 2016 年，全国拥有 530 家国家级产业园区，其中高新区 156 家、经开区 219 家、出口加工区 63 家、边境经济合作区 16 家、保税区 15 家，其它园区 61 家。省级各类园区 1200

多个，在我国除西藏外各省、自治区、直辖市均有分布。省级以下县、乡、镇建立的各类园区尚未见于统计资料，但有大量这类园区存在于我国各个地方。此外，许多以大型企业为核心建立的产业园区也在我国多有分布，如山东鲁北化工产业园区、山西煤塔山工业园等。据有关协会测算，省级以上开发区及各类功能区、集聚区和工业集中区的工业总产值占全国 60% 以上，成为我国经济发展的重要载体，但园区在创造工业产值和社会财富的同时，也成为我国资源能源消耗和环境污染排放最集中的区域。

纵观我国产业园区发展路径，大致可以划分为三个过程：第一阶段为经济技术开发区，主要是以经济发展为主，主要特征是圈地和盲目的产业聚集，基本没有产业发展规划；第二阶段为高新技术产业开发区，主要以高精尖技术研发为主，主要特征是注重产业规划，多以引进高新技术企业为主；第三阶段为生态产业园区和循环经济产业园区，以实现资源—环境—经济综合效率为主，这部分园区都是对现有园区的改造和提升。其中，生态产业园区和循环经济产业园区虽然表现形式多重多样，但其本质均为实现资源的循环利用和能源梯级利用，运用现代信息技术，最大限度的提高资源能源利用效率，实现企业之间废弃物及副产品的再生利用，最终构建生态工业园区资源网状利用结构，这恰恰是循环经济在工业生产和产业组织领域的具体实现模式，也是园区层面践行循环经济发展理念的核心要求。

### （一）生态工业园区建设

2001 年，原国家环保总局试点支持贵港国家生态工业（制糖）示范园区的建设，这是我国第一个真正意义上的国家生态工业示范园区示范工程，标志着我国生态工业园区正式进入了规划与建设的系统性探索阶段。2007 年，环境保护部、科技部、商务部三部门联合组织启动生态工业园区创建工作，得到各园区积极响应。2015 年又相应出台了《国家生态工业示范园区标准》，《国家生态工业示范园区管理办法》等法律政策。截止 2017 年 1 月底，全国已有 48 家批准为国家生态工业示范园区，其余 45 家园区批准开展国家生态工业示范园区建设，如表 2.1 和表 2.2 所示。这 93 个园区类型涵盖范围较广，具体包括以国家级经济技术开发区为代表的综合（装备制造与电子为主）类园区，覆盖钢铁、化工、制糖等的行业（化工）类园区，以及静脉类产业园区。从推进方式上看，创建完成后

进行验收，验收通过授予“国家生态工业园区”称号。

表 2.1 48 家园区批准为国家生态工业示范园区

序号	名 称	批 准 文 号	批 准 时 间
<b>一、批准为国家生态工业示范园区的园区名单</b>			
1	苏州工业园区	环发〔2008〕9号	2008年3月31日
2	苏州高新技术产业开发区	环发〔2008〕9号	2008年3月31日
3	天津经济技术开发区	环发〔2008〕9号	2008年3月31日
4	烟台经济技术开发区	环发〔2010〕46号	2010年4月1日
5	无锡新区（高新技术产业开发区）	环发〔2010〕46号	2010年4月1日
6	山东潍坊滨海经济开发区	环发〔2010〕47号	2010年4月1日
7	上海市莘庄工业区	环发〔2010〕103号	2010年8月26日
8	日照经济技术开发区	环发〔2010〕103号	2010年8月26日
9	昆山经济技术开发区	环发〔2010〕135号	2010年11月29日
10	张家港保税区暨扬子江国际化学工业园	环发〔2010〕135号	2010年11月29日
11	扬州经济技术开发区	环发〔2010〕135号	2010年11月29日
12	上海金桥出口加工区	环发〔2011〕40号	2011年4月2日
13	北京经济技术开发区	环发〔2011〕50号	2011年4月25日
14	广州开发区	环发〔2011〕144号	2011年12月5日
15	南京经济技术开发区	环发〔2012〕35号	2012年3月19日
16	天津滨海高新技术产业开发区华苑科技园	环发〔2012〕158号	2012年12月26日
17	上海漕河泾新兴技术开发区	环发〔2012〕158号	2012年12月26日
18	上海化学工业经济技术开发区	环发〔2013〕25号	2013年2月6日
19	山东阳谷祥光生态工业园区	环发〔2013〕25号	2013年2月6日
20	临沂经济技术开发区	环发〔2013〕25号	2013年2月6日
21	江苏常州钟楼经济开发区	环发〔2013〕108号	2013年9月15日
22	江阴高新技术产业开发区	环发〔2013〕108号	2013年9月15日
23	沈阳经济技术开发区	环发〔2014〕8号	2014年1月10日
24	上海张江高科技园区	环发〔2014〕48号	2014年3月20日
25	宁波经济技术开发区	环发〔2014〕48号	2014年3月20日
26	上海闵行经济技术开发区	环发〔2014〕48号	2014年3月20日
27	徐州经济技术开发区	环发〔2014〕145号	2014年9月30日
28	南京高新技术产业开发区	环发〔2014〕145号	2014年9月30日
29	合肥高新技术产业开发区	环发〔2014〕145号	2014年9月30日
30	青岛高新技术产业开发区	环发〔2014〕145号	2014年9月30日
31	常州国家高新技术产业开发区	环发〔2014〕199号	2014年12月25日
32	常熟经济技术开发区	环发〔2014〕199号	2014年12月25日
33	南通经济技术开发区	环发〔2014〕199号	2014年12月25日
34	宁波高新技术产业开发区	环发〔2015〕101号	2015年7月31日
35	杭州经济技术开发区	环发〔2015〕101号	2015年7月31日
36	福州经济技术开发区	环发〔2015〕101号	2015年7月31日
37	上海市市北高新技术服务业园区	环科技〔2016〕106号	2016年8月3日
38	江苏武进经济开发区	环科技〔2016〕106号	2016年8月3日
39	武进国家高新技术产业开发区	环科技〔2016〕106号	2016年8月3日
40	南京江宁经济技术开发区	环科技〔2016〕106号	2016年8月3日
41	长沙经济技术开发区	环科技〔2016〕106号	2016年8月3日
42	温州经济技术开发区	环科技〔2016〕114号	2016年8月22日
43	扬州维扬经济开发区	环科技〔2016〕114号	2016年8月22日
44	盐城经济技术开发区	环科技〔2016〕114号	2016年8月22日
45	连云港经济技术开发区	环科技〔2016〕171号	2016年11月29日
46	淮安经济技术开发区	环科技〔2016〕171号	2016年11月29日
47	郑州经济技术开发区	环科技〔2016〕171号	2016年11月29日
48	长春汽车经济技术开发区	环科技〔2016〕171号	2016年11月29日

表 2.2 45 家园区批准开展国家生态工业园区建设

二、批准开展国家生态工业园区建设的园区名单			
1	国家生态工业（制糖）建设示范园区—贵港	环函〔2001〕170号	2001年8月14日
2	鲁北企业集团公司	环函〔2003〕324号	2003年11月18日
3	南昌高新技术产业开发区	环发〔2010〕45号	2010年4月1日
4	西安高新技术产业开发区	环发〔2010〕104号	2010年8月26日
5	合肥经济技术开发区	环发〔2010〕129号	2010年11月4日
6	东营经济技术开发区	环发〔2010〕149号	2010年12月25日
7	株洲高新技术产业开发区	环发〔2010〕149号	2010年12月25日
8	太原经济技术开发区	环发〔2011〕46号	2011年4月2日
9	武汉经济技术开发区	环发〔2011〕122号	2011年10月10日
10	贵阳经济技术开发区	环发〔2011〕122号	2011年10月10日
11	广州南沙经济技术开发区	环发〔2012〕64号	2012年5月30日
12	肇庆高新技术产业开发区	环发〔2012〕114号	2012年9月3日
13	青岛经济技术开发区	环发〔2013〕26号	2013年2月5日
14	天津港保税区暨空港经济区	环发〔2013〕24号	2013年2月6日
15	沈阳高新技术产业开发区	环发〔2013〕24号	2013年2月6日
16	吴江经济技术开发区	环发〔2013〕24号	2013年2月6日
17	长春经济技术开发区	环发〔2013〕41号	2013年4月9日
18	广东东莞生态产业园区	环发〔2013〕53号	2013年4月18日
19	浙江杭州湾上虞工业园区	环发〔2013〕53号	2013年4月18日
20	上海市青浦工业园区	环发〔2013〕158号	2013年12月20日
21	昆山高新技术产业开发区	环发〔2013〕158号	2013年12月20日
22	赣州经济技术开发区	环发〔2013〕158号	2013年12月20日
23	乌鲁木齐经济技术开发区	环发〔2013〕158号	2013年12月20日
24	廊坊经济技术开发区	环发〔2014〕150号	2014年10月14日
25	山东茌平经济技术开发区信发工业园	环发〔2014〕150号	2014年10月14日
26	内蒙古鄂尔多斯上海庙经济开发区	环发〔2014〕150号	2014年10月14日
27	马鞍山经济技术开发区	环发〔2014〕150号	2014年10月14日
28	赣州高新技术产业园区	环发〔2014〕150号	2014年10月14日
29	张家港经济技术开发区	环发〔2014〕150号	2014年10月14日
30	珠海高新技术产业开发区	环发〔2014〕150号	2014年10月14日
31	成都经济技术开发区	环发〔2014〕150号	2014年10月14日
32	连云港徐圩新区	环发〔2014〕198号	2014年12月18日
33	芜湖经济技术开发区	环发〔2014〕198号	2014年12月18日
34	潍坊经济开发区	环发〔2014〕198号	2014年12月18日
35	昆明经济技术开发区	环发〔2015〕83号	2015年7月3日
36	上海市工业综合开发区	环发〔2015〕83号	2015年7月3日
37	蒙西高新技术工业园区	环发〔2015〕83号	2015年7月3日
38	嘉兴港区	环发〔2015〕83号	2015年7月3日
39	杭州钱江经济开发区	环发〔2015〕83号	2015年7月3日
40	杭州萧山临江高新技术产业园区	环发〔2015〕83号	2015年7月3日
41	徐州高新技术产业开发区	环发〔2015〕120号	2015年9月21日
42	锡山经济技术开发区	环发〔2015〕120号	2015年9月21日
43	吴中经济技术开发区	环发〔2015〕120号	2015年9月21日
44	天津子牙经济技术开发区	环发〔2015〕120号	2015年9月21日
45	长沙高新技术产业开发区	环发〔2015〕120号	2015年9月21日

中国生态工业园区建设各地进展差异较大，目前生态工业园区（包括正在建设的和已经授予称号的生态工业园区）主要分布在东部和中部如图 2.1 所示。尤

其是 2010 年之后，东部地区的生态工业园区数目增长迅速，中部地区则相对稳定，西部地区的生态工业园区发展相对比较落后。就省份而言，我国国家生态工业示范园区发展主要集中在江苏省、山东省、浙江省和上海市等东部省份，这四个省份的生态工业园区占中国生态工业园区总的 62%。批准开展国家生态工业示范园区建设的园区高度集中在江苏省、山东省、浙江省，占全国批准开展国家生态工业示范园区建设总数的 31%。尤其江苏省是我国生态工业示范园区数目最多的省份，目前已有二十一个正式授予生态工业示范园区称号的工业园区，以及七个在建的生态工业园区。西部地区生态工业示范园区数目相对较少，发展较为落后。

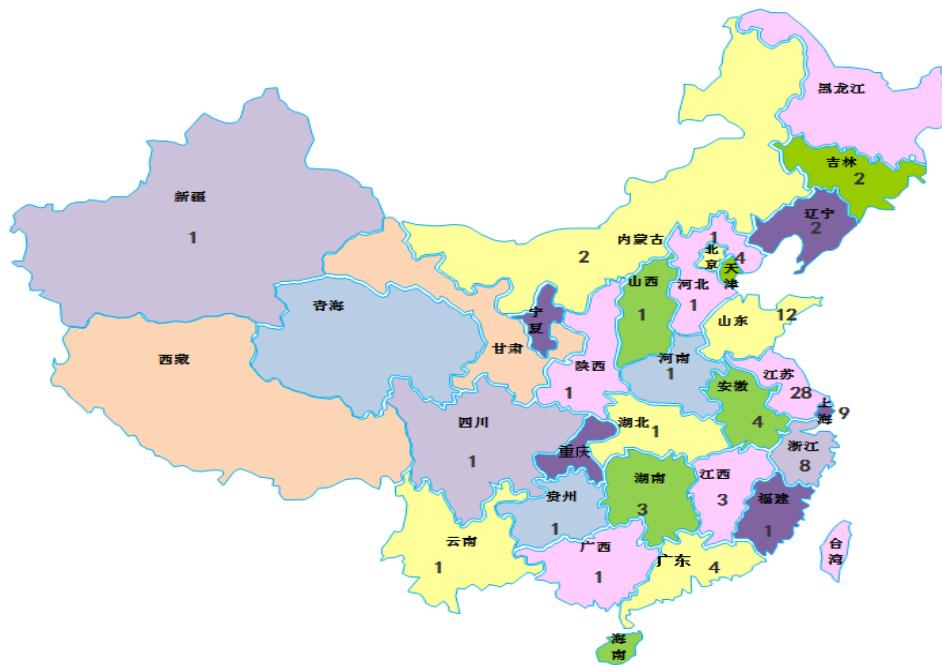


图 2.1 中国生态工业示范园区地理布局

根据环保部发布的《国家生态工业示范园区的申请、提名和管理办法》文件，生态工业园区分为三种类型，分别是行业（化工）类、综合（装备制造与电子为主）类和静脉类工业园区，综合（装备制造与电子为主）类生态工业园区数目，占全国在建及已批准的生态工业园区数量的 86%，主要分布在我国东部和中部地区。行业（化工）类生态工业园区占总数的 13%，它们分布在全国各地，包括制糖行业、电解铝、磷煤行业、盐化工、采矿业、钢铁、煤化工、石油化工和铜等等行业。目前全国就只有一个静脉类生态工业园区，占总数的 1%，天津子牙静脉类综合生态工业园区位于天津市，是中国目前最大的循环经济园区。如图 2.2

所示。

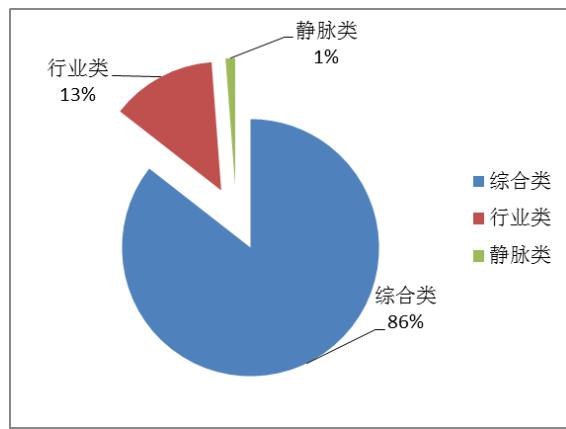


图 2.2 国家生态工业示范园区类型分布

## （二）循环经济产业园区建设

在我国，循环经济园区是作为循环经济中循环进行推进的，主要分为两个阶段，分别是循环经济试点园区和园区循环化改造试点。

第一个阶段是循环经济试点园区，2005 年 10 月，国家发改委等六部门组织开展第一批国家循环经济试点工作，从省市、产业园区、重点行业、重点领域四个方面选择了 82 家试点单位，其中产业园区方面选择了 13 个试点单位，涵盖类型既有综合（装备制造与电子为主）类园区、重化工园区，也有陕西杨凌农业等以农业种植、加工为主的园区；2007 年 12 月，六部门又启动了第二批国家循环经济示范试点工作，继续从四个方面选择了 92 家试点单位，其中产业园区确定共确定了 20 个循环经济试点园区，如下表所示。这次重点选择资源消耗高、节能减排任务重的重化工工业集聚区、产业关联度较高的工业园区。这个阶段主要依靠园区本身推进，由园区自己编制循环经济试点实施方案，政府组织专家论证通过后实施，实施过程中支持力度很小，仅由国家发改委对园区个别废弃物资源化利用项目进行资金支持。

表 2.3 循循环经济试点园区名单

第一批循环经济试点园区名单	
序号	产业园区名称
1	天津经济技术开发区
2	苏州高新技术开发区
3	大连经济技术开发区

4	烟台经济技术开发区
5	河北省曹妃店循环经济示范区
6	内蒙古蒙西高新技术工业园区
7	黑龙江省牡丹江经济技术开发区
8	上海化学工业区
9	江苏省张家港扬子江冶金工业园
10	湖北省武汉市东西湖工业园区
11	四川西部化工城
12	青海省柴达木循环经济试验区
13	陕西省杨凌农业高新技术产业示范区
<b>第二批循环经济试点园区名单</b>	
14	天津市临港工业区
15	大连松木岛化工园区
16	吉林省四平循环经济示范区
17	上海莘庄工业园区
18	苏州工业园
19	扬州经济开发区
20	浙江绍兴滨海工业园区
21	福建泉港石化工业园区
22	江西永修云山经济开发区
23	湖北宜昌经济开发区
24	湖北武汉市青山区
25	湖南株洲市清水塘工业区
26	广州经济技术开发区
27	广东银洲湖纸业基地
28	海南省昌江循环经济工业区
29	四川成都市青白江工业集中发展区
30	重庆长寿化工产业园区
31	青海省西宁市经济技术开发区

32	宁夏宁东能源化工基地
33	新疆库尔勒经济开发区

第二个阶段是园区循环化改造试点，2011年以来，国家发改委、财政部已在全国范围内分四批选择了92个园区作为循环化改造示范点，如下表所示。这个阶段国家投入非常大，推进方式也有创新，国家发改委、财政部专门安排专项资金予以支持园区关键连接项目和公共基础设施建设，包括园区内污染集中防治设施建设及升级改造项目、废物交换平台项目、循环经济技术研发及孵化器项目、循环经济统计信息化项目及监测体系建设项目、生产型服务业循环化改造项目等。但同时也给予园区充分的自主性，中央财政采取预拨与清算相结合的综合财政补助方式对园区循环化改造予以支持，补助资金由地方政府根据园区循环化改造方案统筹使用，专项用于园区循环化改造。补助资金根据园区循环化改造实施方案，按照改造项目新增投资额的一定比例进行补助。

表 2.4 循环化改造试点名单

地区	2012（22个）	地区	2013（20个）
北京	北京经济技术开发区	河南	濮阳经济开发区
天津	天津经济技术开发区	湖北	武汉市青山工业区
河北	沧州临港经济技术开发区	重庆	长寿经济技术开发区
内蒙古	赤峰红山经济开发区	宁夏	宁夏中宁工业园区
黑龙江	宾西经济技术开发区	湖南	湖南岳阳绿色化工产业园
江苏	镇江经济技术开发区	辽宁	辽宁法库经济开发区
浙江	浙江台州化学原料药产业园	甘肃	甘肃临夏工业园
浙江	宁波经济技术开发区	辽宁	大连经济技术开发区
安徽	铜陵经济技术开发区	青海	乌兰工业园
福建	福建德化陶瓷产业园区	山东	胶南经济开发区
江西	江西鹰潭高新技术产业园区	浙江	衢州高新技术产业园区
山东	东营经济技术开发区	天津	曹妃甸工业区
山东	青岛经济技术开发区	江西	赣州经济技术开发区
湖北	湖北宜昌经济开发区猇亭园区	江苏	淮安经济技术开发区
湖南	湖南衡阳松木工业园	山东	临沂市经济技术开发区

湖南	长沙再制造示范基地	广西	广西鹿寨经济开发区
广西	广西钦州港经济开发区	贵州	遵义经济技术开发区
四川	广安经济技术开发区	山西	太原不锈钢产业园区
贵州	贵阳经济技术开发区	吉林	吉林市化学工业循环经济示范园区
云南	昆明高新技术产业开发区	内蒙古	鄂托克经济开发区棋盘井工业园区
宁夏	宁夏石嘴山经济技术开发区		
新疆	乌鲁木齐经济技术开发区		
地区	2014（25个）	地区	2015（25个）
浙江	绍兴滨海工业园区	浙江	丽水经济开发区
四川	四川达州经济开发区	贵州	贵州红果经济开发区
江苏	南通经济技术开发区	陕西	陕西省铜川经济技术开发区董家河循环经济产业示范区
陕西	神府经济开发区神木县锦界工业园区	新疆	新疆五家渠经济技术开发区
广东	广州经济技术开发区	江苏	江苏邳州经济开发区
福建	福建泉港石化工业园区	湖南	衡阳常宁水口山经济开发区
安徽	安徽霍邱经济开发区	江西	井冈山经济技术开发区
江苏	张家港国家再制造产业示范基地	河南	新乡经济开发区
浙江	宁波石化经济技术开发区	广东	湛江经济技术开发区
江西	南昌高新技术产业开发区	河北	鞍山经济开发区
新疆	石河子经济技术开发区	山东	潍坊滨海经济技术开发区
宁夏	宁夏平罗工业园区	福建	厦门市集美（杏林）台商投资区
湖北	湖北潜江经济开发区	湖北	孝感高新技术产业开发区
黑龙江	海林经济技术开发区	上海	上海青浦工业园区
广东	深圳高新区光明高新技术产业园 区	浙江	宁波大榭开发区
山东	日照经济技术开发区	上海	上海临港再制造产业示范基地
湖南	湖南桂阳工业园区	甘肃	甘肃嘉峪关工业园区
甘肃	张掖经济技术开发区生态科技产	宁夏	宁东能源化工基地

	业园		
河南	红旗渠经济技术开发区	广东	深圳国家自主创新示范区坪山园区
内蒙古	乌海经济开发区海勃湾工业园	广西	广西-东盟经济技术开发区
重庆	万州经济技术开发区	新疆	新疆准东经济技术开发区
宁夏	西宁经济技术开发区甘河工业园 区	宁夏	西宁经济技术开发区东川工业园区
海南	洋浦经济开发区	黑龙江	牡丹江经济技术开发区
贵州	贵州大龙经济开发区	安徽	叶集经济开发区
天津	天津空港经济区	内蒙古	内蒙古巴彦淖尔经济开发区

## 2.2 河南省产业集聚区发展现状分析

### 2.2.1 整体概况

2008 年, 河南省委、省政府提出了建设产业集聚区的重大战略决策, 2010 年, 河南省委、省政府把加快产业集聚区建设作为河南加快经济发展方式转变的主要抓手, 全面启动了河南省产业集聚区的科学规划和编制建设工作, 对全省 300 多个产业集群进行了规范整合, 初步确认了 180 个集聚区的空间布局。从数量分布看, 这 180 个产业集聚区在河南省内各个城市分布较为均匀, 数量基本上与各个城市所辖县市区的数量成比例 (见图 2.3)。从级别分布看, 这 180 个产业集聚区多是在原有的各级开发区、高新区以及各县市区自身的城市工业园区的基础上形成的。其中, 以国家级开发区为依托的产业集聚区有 9 个, 分别是郑州经济产业集聚区、开封经济技术产业集聚区、洛阳经济技术产业集聚区、新乡经济技术产业集聚区、焦作经济技术产业集聚区、濮阳经济技术产业集聚区、许昌经济技术产业集聚区、漯河经济技术产业集聚区、林州市产业集聚区; 以国家级高新区为依托的有 7 个, 分别是郑州高新技术产业集聚区、洛阳高新技术产业集聚区、南阳高新技术产业集聚区、安阳高新技术产业集聚区、平顶山高新技术产业集聚区、新乡高新技术产业集聚区、焦作经济技术产业集聚区。截至 2016 年, 河南省产业集聚区的数量达到了 182 个。此外, 根据《河南省产业集聚区考核评价办法》和 2016 年度全省产业集聚区综合评价结果, 在《河南省人民政府关于 2016 年度产业集聚区和服务业“两区”考核评价情况的通报》(豫政〔2017〕10 号)

一文上，授予郑州经济技术产业集聚区、郑州航空港产业集聚区、郑州高新技术产业集聚区、长葛市产业集聚区、林州市产业集聚区、孟州市产业集聚区、洛阳高新技术产业集聚区、禹州市产业集聚区、漯河经济技术产业集聚区和长垣县产业集聚区“2016年度河南省十强产业集聚区”称号；授予汤阴县产业集聚区、巩义市豫联产业集聚区、焦作市工业产业集聚区、开封黄龙产业集聚区、汝州市产业集聚区、鹿邑县产业集聚区、商丘市梁园产业集聚区、沁阳市产业集聚区、南乐县产业集聚区和杞县产业集聚区“2016年度河南省十快产业集聚区”称号。2016年，全省已有六星级产业集聚区2个，三星级3个，二星级52个，一星级84个。经过几年的发展，河南产业集聚区已经初步形成了制造业集中、产业集聚效应突出、土地集约性高的外向型工业区，充分发挥了辐射和带动作用，为河南经济的发展作出了重要贡献。

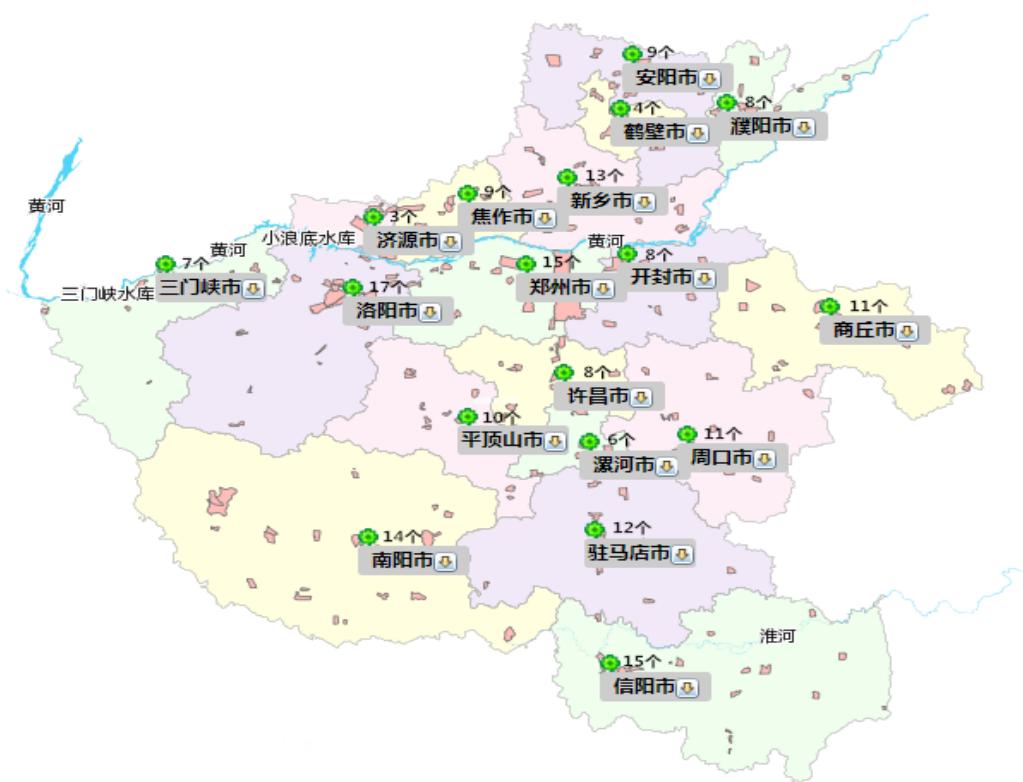


图 2.3 河南省产业集聚区地理分布图

### 2.2.2 主导产业发展概况

根据省发改委公布的《全省 180 个产业集聚区名称及主导产业》发展定位, 180 个产业集聚区主导产业涉及装备制造、食品加工、纺织服装、化工、有色金属、生物医药、新材料、汽车及汽车零部件、轻工、电子信息、新能源、建材、

钢铁、农副产品加工、物流商贸、静脉产业等十六大类(见表 2.5)。

表 2.5 180 个产业集聚区名称及主导产业

主导产业	产业集聚区	数量
汽车及汽车零部件	郑州经济技术产业集聚区、郑州国际物流产业集聚区、中牟汽车产业集聚区、开封汴西产业集聚区、新乡工业产业集聚区、长垣县产业集聚区、原阳县产业集聚区、辉县市产业集聚区、焦作市工业产业集聚区、孟州市产业集聚区、博爱县产业集聚区、许昌尚集产业集聚区、三门峡经济技术产业集聚区、西峡县产业集聚区、林州市产业集聚区、新乡桥北产业集聚区、驻马店装备产业集聚区	17
电子信息	郑州高新技术产业集聚区、郑州航空港产业集聚区、荥阳市产业集聚区、安阳高新技术产业集聚区、鹤壁金山产业集聚区、漯河市东城产业集聚区、睢县产业集聚区、驻马店经济技术产业集聚区、济源市虎岭产业集聚区、新乡电源产业集聚区、沁阳市产业集聚区、新郑新港产业集聚区、西华县产业集聚区、许昌尚集产业集聚区、唐河县产业集聚区、新野县产业集聚区、新蔡县产业集聚区、确山县产业集聚区	18
装备制造	郑州经济技术产业集聚区、郑州国际物流产业集聚区、上街装备产业集聚区、郑州马寨产业集聚区、新密市产业集聚区、登封市产业集聚区、荥阳市产业集聚区、洛阳市伊滨产业集聚区、宜阳县产业集聚区、孟津县华阳产业集聚区、平顶山平新产业集聚区、汝州市产业集聚区、宝丰县产业集聚区、舞钢市产业集聚区、安阳高新技术产业集聚区、安阳市产业集聚区、安阳市纺织产业集聚区、安阳县产业集聚区、林州市产业集聚区、新乡市新东产业集聚区、长垣县产业集聚区、获嘉县产业集聚区、辉县市产业集聚区、焦作经济技术产业集聚区、焦作循环经济产业集聚区、焦作市工业产业集聚区、武陟县产业集聚区、温县产业集聚区、博爱县产业集聚区、濮阳经济技术产业集聚区、南乐县产业集聚区、许昌经济技术产业集聚区、长葛市产业集聚区、鄢陵县产业集聚区、三门峡产业集聚区、邓州市产业集聚区、永城市产业集聚区、信阳市产业集聚区、周口市川汇产业集聚区、太康县产业集聚区、遂平县产业集聚区、西平县产业集聚区、济源市虎岭产业集聚区、	79

	中原电气谷核心区、开封汴西产业集聚区、洛阳工业产业集聚区、 虞城县产业集聚区、开封汴东产业集聚区、兰考县产业集聚区、 洛阳先进制造产业集聚区、偃师市产业集聚区、叶县产业集聚区、 内黄县产业集聚区、郏县产业集聚区、鹤壁市鹤淇产业集聚区、 延津县产业集聚区、濮阳市濮东产业集聚区、许昌魏都产业集聚区、 淅川县产业集聚区、内乡县产业集聚区、桐柏县产业集聚区、 社旗县产业集聚区、方城县产业集聚区、信阳平桥产业集聚区、 罗山县产业集聚区、周口经济技术产业集聚区、扶沟县产业集聚区、 沈丘县产业集聚区、正阳县产业集聚区、汝南县产业集聚区、 南阳高新技术产业集聚区、镇平县产业集聚区、商丘经济技术产 业集聚区、南阳市新能源产业集聚区、民权县产业集聚区、通许 县产业集聚区、平顶山高新技术产业集聚区、济源市高新技术产 业集聚区、唐河县产业集聚区	
食品加工	郑州经济技术产业集聚区、郑州马寨产业集聚区、宜阳县产业集聚区、滑县产业集聚区、汤阴县产业集聚区、浚县产业集聚区、 卫辉市产业集聚区、延津县产业集聚区、修武县产业集聚区、南乐县产业集聚区、清丰县产业集聚区、长葛市产业集聚区、禹州市产业集聚区、漯河市经济技术产业集聚区、漯河市东城产业集聚区、漯河市淞江产业集聚区、临颍县产业集聚区、灵宝市产业集聚区、社旗县产业集聚区、民权县产业集聚区、潢川经济技术产业集聚区、固始县史河湾产业集聚区、固始县产业集聚区、淮滨县产业集聚区、潢川县产业集聚区、项城市产业集聚区、淮阳县产业集聚区、鹿邑县产业集聚区、郸城县产业集聚区、西华县产业集聚区、商水县产业集聚区、新郑新港产业集聚区	32
轻工	洛宁县产业集聚区、郑州市金岱产业集聚区、栾川县产业集聚区、 鄢陵县产业集聚区、襄城县产业集聚区、清丰县产业集聚区、渑池县产业集聚区、淮阳县产业集聚区、宁陵县产业集聚区、信阳市产业集聚区、平舆县产业集聚区、新乡高新技术产业集聚区、 固始县史河湾产业集聚区、固始县产业集聚区、濮阳县产业集聚区	15
建材	汝阳县产业集聚区、平顶山市石龙产业集聚区、汝州市产业集聚区、鹤壁市宝山循环经济产业集聚区、卫辉市产业集聚区、内乡县产业集聚区、信阳市上天梯产业集聚区、汝南县产业集聚区、 鲁山县产业集聚区、信阳市上天梯产业集聚区、内黄县产业集聚	13

	区、泌阳县产业集聚区、南召县产业集聚区	
化工	鹤壁市宝山循环经济产业集聚区、延津县产业集聚区、焦作市工业产业集聚区、濮阳经济技术产业集聚区、濮阳市产业集聚区、台前县产业集聚区、陕县产业集聚区、商丘市睢阳产业集聚区、平顶山市石龙产业集聚区、平顶山化工产业集聚区、新乡经济技术产业集聚区、获嘉县产业集聚区、义马煤化工产业集聚区、永城市产业集聚区、驻马店市产业集聚区、舞阳县产业集聚区、平顶山化工产业集聚区、洛阳市石化产业集聚区、开封市精细化工产业集聚区、范县产业集聚区、济源市虎岭产业集聚区、叶县产业集聚区	22
有色	巩义市产业集聚区、巩义豫联产业集聚区、登封市产业集聚区、新安县产业集聚区、伊川县产业集聚区、焦作市工业产业集聚区、渑池县产业集聚区、商丘市梁园产业集聚区、永城市产业集聚区、鹤壁金山产业集聚区、嵩县产业集聚区、汝阳县产业集聚区、范县产业集聚区、三门峡产业集聚区、卢氏县产业集聚区、灵宝市产业集聚区、陕县产业集聚区、济源市玉川产业集聚区、西峡县产业集聚区、信阳明港产业集聚区	20
钢铁	舞钢市产业集聚区、安阳县产业集聚区	2
纺织服装	安阳市纺织产业集聚区、鹤壁市鹤淇产业集聚区、许昌魏都产业集聚区、漯河市沙澧产业集聚区、临颍县产业集聚区、新野县产业集聚区、商丘市睢阳产业集聚区、夏邑县产业集聚区、虞城县产业集聚区、睢县产业集聚区、信阳平桥产业集聚区、光山县官渡河产业集聚区、鹿邑县产业集聚区、太康县产业集聚区、襄城县产业集聚区、扶沟县产业集聚区、商水县产业集聚区、上蔡县产业集聚区、新密市产业集聚区、滑县产业集聚区、鲁山县产业集聚区、淮滨县产业集聚区、新乡工业产业集聚区、尉氏县产业集聚区、修武县产业集聚区、台前县产业集聚区、镇平县产业集聚区	27
新能源汽车	新乡桥北产业集聚区、新乡电源产业集聚区、三门峡经济技术产业集聚区	3
生物医药	郑州经济技术产业集聚区、嵩县产业集聚区、郟县产业集聚区、浚县产业集聚区、新乡高新技术产业集聚区、新乡经济技术产业集聚区、新乡桥北产业集聚区、武陟县产业集聚区、长葛市产业集聚区	30

	集聚区、禹州市产业集聚区、漯河市淞江产业集聚区、柘城县产业集聚区、新县产业集聚区、潢川县产业集聚区、项城市产业集聚区、淮阳县产业集聚区、驻马店市产业集聚区、孟州市产业集聚区、平舆县产业集聚区、南召县产业集聚区	
新能源	郑州高新技术产业集聚区、南阳市新能源产业集聚区、杞县产业集聚区、洛阳市石化产业集聚区、伊川县产业集聚区、沁阳市产业集聚区、方城县产业集聚区、济源市玉川产业集聚区、洛阳市洛龙产业集聚区、宝丰县产业集聚区、南阳高新技术产业集聚区、南阳市光电产业集聚区、新野县产业集聚区、洛阳高新技术产业集聚区、洛阳市洛新产业集聚区	15
新材料	杞县产业集聚区、洛阳高新技术产业集聚区、洛阳市伊滨产业集聚区、洛阳市洛龙产业集聚区、洛阳市洛新产业集聚区、新安县产业集聚区、孟津县华阳产业集聚区、偃师市产业集聚区、平顶山高新技术产业集聚区、安阳市产业集聚区、焦作经济技术产业集聚区、焦作循环经济产业集聚区、濮阳县产业集聚区、义马煤化工产业集聚区、南阳高新技术产业集聚区、商丘经济技术产业集聚区、驻马店经济技术产业集聚区、济源市高新技术产业集聚区、柘城县产业集聚区	19
农副产品加工	开封黄龙产业集聚区、尉氏县产业集聚区、杞县产业集聚区、通许县产业集聚区、兰考县产业集聚区、洛宁县产业集聚区、原阳县产业集聚区、封丘县产业集聚区、温县产业集聚区、卢氏县产业集聚区、南阳市新能源产业集聚区、邓州市产业集聚区、淅川县产业集聚区、唐河县产业集聚区、桐柏县产业集聚区、商丘市梁园产业集聚区、夏邑县产业集聚区、信阳金牛物流产业集聚区、光山县官渡河产业集聚区、新县产业集聚区、罗山县产业集聚区、商城县产业集聚区、息县产业集聚区、周口经济技术产业集聚区、沈丘县产业集聚区、驻马店装备产业集聚区、遂平县产业集聚区、新蔡县产业集聚区、正阳县产业集聚区、西平县产业集聚区、泌阳县产业集聚区、确山县产业集聚区、上蔡县产业集聚区、南召县产业集聚区	34
静脉产业	长葛大周产业集聚区	1

从产业布局数量上看，装备制造业、农副产品加工业、食品加工业、纺织服装业、化工行业所覆盖的产业集聚区数量占据前 5 位，其数量分别达到 79

个、34 个、32 个、27 个和 22 个。装备制造业作为一个区域工业竞争力的核心体现，现已成为河南依托传统优势产业发展战略性新兴产业的重点选择，主要涉及机械设备、现代农机、轨道交通、环保节能、输变电、数控机床、空分装备及起重、煤矿、石油等大型机械装备。其中，以郑州上街装备产业集聚区为代表的 35 个集聚区明确提出以机械制造为核心打造装备制造产业，成为河南装备制造业的第一方阵。洛阳工业产业集聚区、宜阳县产业集聚区、获嘉县产业集聚区、南乐县产业集聚区和邓州市产业集聚区，提出积极打造以现代农机为核心的装备制造业，成为河南装备制造的又一主流。从产业结构质量上看，还有不少产业集聚区结合产业基础布局涉及传统优势产业，但是全部主导产业定位为传统产业的集聚区占比很少，更多的产业集聚区逐步在向产业链两端、价值链高端领域布局，在不断提高产业集聚区的新型工业化程度。其中主导产业布局全部为汽车及汽车零部件、电子信息、装备制造、食品加工、轻工、建材等六大高成长性产业的集聚区数量为 38 个，占全省产业集聚区总量的 21.1%；主导产业布局全部为新能源汽车、生物医药、新能源、新材料等四大先导产业的集聚区数量为 7 个，占全省产业集聚区总量的 3.9%；主导产业涉及商贸物流、文化创意等现代服务业的产业集聚区有 19 个，占全省产业集聚区总量的 10.6%。

从集聚区确定的主导产业数量上看，各地产业集聚区都转化了发展思路，充分结合本地资源优势及产业基础，集中有限的力量积极打造本地最具优势、特色的支柱产业。其中，拥有 2 个主导产业的集聚区占比最多，一共有 150 个，占到全省产业集聚区总量的 83.5%；仅设定 1 个主导产业的集聚区共有 19 个，占比为 10.5%；拥有 3 个及 3 个以上主导产业的集聚区共有 11 个；占全省产业集聚区比例为 6%，其中，郑州经济技术产业集聚区、焦作市工业产业集聚区和新乡延津县产业集聚区均拥有 4 个主导产业。

### 2.2.3 集聚区发展特征

**综合带动效应持续增强。**2016 年，河南省产业集聚区完成固定资产投资 21014 亿元，同比增长 13.5%，占全省的比重达到 52.9%，对全省投资增长的贡献率达到 52.2%；规模以上工业增加值增长 11.9%，占全省工业的比重达到 63.4%，同比提高 3 个百分点，对全省工业增长的贡献率达到 91%；实现工业主营收入 51614 亿元，占全省的比重达到 65.2%，同比提高 4.4 个百分点，对全省增长的

贡献率达到 95.5%。全省产业集聚区规模以上工业企业从业人员全年平均人数 465 万人，较去年增加 20.58 万人。

**引领转型作用更加突出。**2016 年，产业集聚区高新技术产业增加值增长 16.9%，高成长性制造业增加值增长 13.6%，分别高于产业集聚区规模以上工业 5 个和 1.7 个百分点分别高于全省技术产业和高成长性制造业 1.4 个和 3 个百分点。其中，装备制造、食品、服装服饰、现代家居产业增速分别比全省同行业高 2 个、4.6 个、4 个和 6.9 个百分点。全省产业集聚区工业企业综合能耗消费量为 9031 万吨标准煤，同比下降 3.3%，万元工业增加值能耗同比降低 13.58%，降幅超过全省工业平均值 2.56 个百分点。

**产业集聚水平明显提升。**全省形成 18 个千亿级产业集群、142 个百亿级产业集群，分别比去年增加 3 个和 12 个。其中，郑州电子信息产业集群营业收入超 3100 亿元，洛阳先进装备制造产业集群超 2500 亿元，长垣县产业集聚区起重机械等 31 个产业集群超 200 亿元。2016 年，全省二星级以上产业集聚区达到 57 个，其中，六星级 2 个，三星级 3 个，二星级 52 个、较上年增加 18 个，一星级产业集聚区达到 84 个。

**配套服务功能日益完善。**截至 2016 年底，产业集聚区建成面积 2085.01 平方公里，比上年增加 131.97 平方公里。全年完成基础设施投资 2698.1 亿元，新建移动通信基站 2934 个、接入网光缆线路 9277.4 公里、光纤宽带网络综合网点 41 个，建成投产 110 千伏及以上输变电工程 36 项、新增变容量 420 万千瓦安。新建省级质检中心 9 个、国家级质检中心 2 个。累计建成污水处理厂 132 个。

## 2.3 河南省产业集聚区未来展望及面临的挑战

河南省产业集聚区建设工作开局良好，总体进展顺利，呈现出快速发展和稳步推进的良好势头。当前，国际经济环境复杂严峻，国内经济发展步入新常态，经济运行下行压力进一步加大，全省产业集聚区探索深化改革，谋求新思路、应对新挑战、创造新优势，提升竞争能力，更好地发挥示范和辐射带动作用，同时也面临更多挑战。

### （一）主导产业同质性较强，区域恶性竞争现象依然存在

从 2013 年省发改委公布的《180 个产业集聚区名称及主导产业》中不难发现，全省产业集聚区发展仍存在较强的产业同构性，各个集聚区差异化、互补性

偏低。总体上看，全省 180 个产业集聚区主导产业涉及装备制造的超过 79 个，涉及农副产品加工的 34 个、食品加工的 32 个、纺织服装的 27 个、化工行业的 22 个。与此同时，自 2011 年先后选择两批共 33 家集聚区建设的创新型、新型工业化、数字化等九类专业示范集聚区，在培育集聚区特色、释放示范带动效应上效果也不理想。由于各集聚区在初期发展中，以规模扩张为首要目标，在项目引进、产业培育上没有充分依托本土资源优势或产业基础，普遍存在产业培育与本土优势、传统产业改造升级与战略新兴产业引进、产业链延伸与服务环节增值、龙头企业与中小配套企业等领域的割裂发展，导致各地在招商引资、承接产业转移中争项目、争企业、争产业的情况时有发生，甚至为了吸引企业，集聚区之间在税收返还、场地资金、土地出让金、房地产配套开发等多项政策措施上打价格战，陷入恶性竞争。这一现象不仅存在于传统产业转型升级项目中，甚至蔓延至战略新兴产业布局及生产性服务业发展领域，近些年各地政府不断加大招商引资的优惠力度，争先发展新能源、新材料、电子信息、生物医药和商贸物流，引发了新一轮产业转型升级进程中的产能过剩，延续了区域经济互补性弱、区域发展缺乏协同的发展困局。

## （二）产业链接度偏低，现代产业分工合作网络远未形成

从各个集聚区内部看，产业链环节不完整、本地配套率低仍是产业集群发展的主要制约。在产业集聚区发展初期，主管部门往往容易重“项目”轻“产业”、重“大块头企业”轻“小体格配套企业”、重“生产制造环节”轻“服务增值环节”，导致产业链条环节缺失，产业发展缺乏配套，产业集群以“堆”代“链”，集群效应发挥不足。与此同时，产业链整合难度大也较为突出，当前在多个产业集聚区中，能真正充分发挥培养行业核心竞争力、引导中小企业进行配套供应生产、进行产业链式发展的领袖型龙头企业较少，一些行业的龙头企业与中小企业的关系还处于松散型的状态，甚至有些还存在较为激烈的竞争关系。以郑州航空港产业集聚区的智能终端产业集群为例，作为龙头的富士康由于主导产品苹果手机的特殊认定体系，不能真正发挥龙头企业整合产业链、提升本地配套率的功用。在龙头企业带动上，当前国内知名手机企业仅有天语落户，且还未达产见效；在配套产业链打造上，智能终端产业在芯片生产、模具设计与制造、主板贴片、产品包装设计以及软件系统开发及应用等环节，还都缺乏本地配套能力，很多凝聚在

零配件上的核心技术、关键工艺、产品品牌等基本上由省外企业控制，河南省智能终端产业集群还存在明显的“河南手机深圳制造”的身影。

### （三）自主创新能力弱，传统的产业发展模式仍在延续

目前，集聚区内传统制造、加工企业的占比仍然较大，高新技术企业和有自主知识产权的企业偏少，缺少研发机构和高素质人才，企业拥有的发明专利较少、科技经费支出低、科技从业人员不足。甚至作为各地市自主创新高地的高新技术产业集聚区，其发展战略也多与真正意义上高新区的内涵和定位开始有所偏离，也把上规模放在首位，而忽视投资规模小、发展潜力大的高技术项目，有“制造”无“创造”，创新驱动的后劲不足。当前大多数产业集聚区依然延续着投资驱动和规模扩张的传统产业发展模式，在项目建设上新兴产业、新型项目的“双新”色彩不明显，产业结构中高新技术产业的占比仍然偏低，在发展路径上仍体现出“五个过多依赖”的传统模式，即过多依赖低端产业、过多依赖低小散企业，过多依赖低成本劳动力、过多依赖资源要素消耗、过多依赖传统商业模式。譬如，在2014年中国企业500强榜单中，河南上榜企业中煤电领域的企业达4家，其他分别涉及制造、食品、钢铁等领域，依然以传统企业居多，经济结构明显偏于重化工业。在中国民营500强榜单中，上榜的14家民营企业中金龙钢管、天瑞集团、龙成集团、联合煤炭化工集团、济源钢铁、淅川铝业、金汇不锈钢、金利金铅8家都为能源原材料深加工企业。整体而言，产业发展仍然属于“高投入、高消耗、高污染、低效益”的经济发展范畴，新型工业化水平仍然偏低，与新常态的新要求不相适应。

### （四）土地利用效率不高，集约节约发展水平存在较大提升空间

2012年，全省180个产业集聚区规划面积已超过3000平方公里，同比增速高于规模以上工业增加值、销售收入和利润的增速。2016年，产业集聚区建成区面积已达2085.01平方公里。但是，还有一些产业集聚区大量土地批而未供，占用了宝贵的土地指标，一些项目存在夸大投资，圈占土地现象，造成土地闲置。随着产业集聚区发展的持续推进，发展空间、环境容量及节能降耗等要素的瓶颈制约将进一步凸显，提高产业集聚区的产出效率仍是重要任务。当前，全省建成区固定资产投入产出强度为40.8万元/亩、工业经济密度为79.7万元/亩、省外资金到位密度为12.1万元/亩，虽然较2010年显示出单位效益逐步提升的态势，

但是集聚区集约节约发展水平还不够，同国内一流产业园区差距较大，如 2011 年苏州工业园区投资强度就达到了 600 万元/亩，总体来看，全省产业集聚区的单位投资强度、亩均经济密度、到位资金率以及单位产值能耗等方面与高星级、高标准要求相比还有很大的提升空间。

## 第三章 国内外生态工业园区循环发展实践

### 3.1 丹麦卡伦堡

#### 3.1.1 园区简介

卡伦堡循环经济工业园区位于丹麦首都哥本哈根市西部 100 多公里的海滨小城，是北半球同纬度地区少数几个不冻港之一，其优良的港口条件使卡伦堡的工业得到了快速发展。随着政府环境政策的不断实施、企业战略等的变化，卡伦堡的主要企业开始尝试在企业间交流蒸汽、废水等各种副产品早在上世纪六十年代末就初具雏型，历经 30 多年的发展，其规模和影响力不断扩大，凭借成功的“卡伦堡经验”成为了世界各国发展区域循环经济的典范。园区现有人口 2 万人，所有项目总资额为 7500 万美元，年均利润超过 1500 万美元，总利润为 16000 万美元。

卡伦堡循环经济工业园，这个举世瞩目的工业共生系统由阿斯内斯火力发电厂、斯泰特石油精炼厂、新诺迪斯克制药厂、济普洛克石膏墙板厂等四家大企业与十余家小型企业组成，他们通过“废物链”联系在一起，使上游企业在生产过程中产生的废弃物、浪费的能量成为下游企业的生产要素。卡伦堡循环模式的运作主要是依靠电厂、炼油厂、生物制药厂和石膏板生产厂这四个核心企业，通过贸易方式将自身企业生产所需的原材料及能量从园区内其他企业购得，这样循环利用的模式不仅可以消减上游企业处理废弃物所需的费用，还能为企业获得经济效益，形成经济发展和环境保护的良性循环。

#### 3.1.2 园区物质流情况分析

先介绍下园区的总体物质情况，如下图所示。

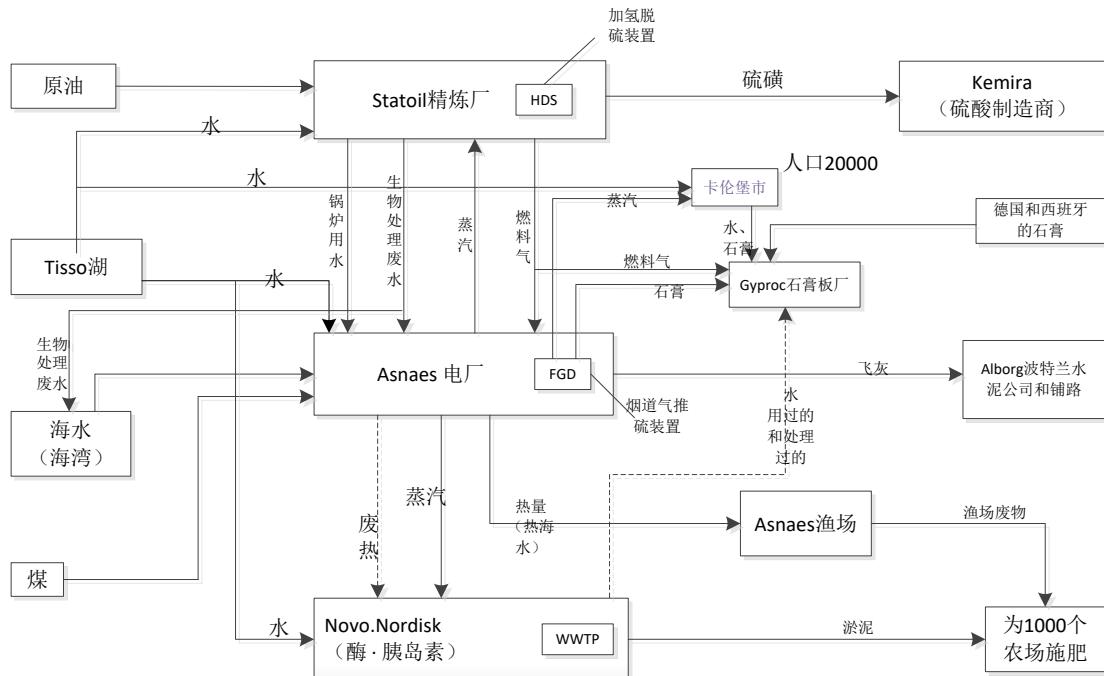


图 3.1 卡伦堡物质流图

阿斯内斯火力发电厂是丹麦卡伦堡生态工业园的核心，与园区多个企业建立了类似食物链性质的物流和能流联系，使进入园区的物质和能量都得到了充分和高效利用。

阿斯内斯电厂除了供应园区内企业工业用电与卡伦堡市的生活用电外，同时向斯泰特石油精炼厂和新诺迪斯克制药厂供应发电过程中产生的蒸汽，满足了精炼厂和制药厂生产所需的热能；通过地下管道向卡伦堡全镇居民供热，由此关闭了镇上 3500 座燃烧油渣的炉子，减少了大量的烟尘排放；利用烟气脱硫工艺每年生产石膏 20 万吨石膏，这些石膏被卖给济普洛克石膏墙板厂，减少了石膏板厂的天然石膏用量；发电站每年产生 3 万吨粉煤灰，将煤灰收集后运输到水泥厂用于生产水泥和筑路，使废弃物得以利用变为原料并减少运输成本；供应中低温的循环热水，使大棚生产绿色蔬菜；发电站的部分冷却水被输送到阿斯内斯养鱼场，鲑鱼适合在温度较高的水中生长，该养鱼场年产 200 吨鲑鱼实现了热能的多级使用。

炼油厂也进行了综合利用，斯泰特石油精炼厂综合利用了火焰气，一是通过管道向石膏厂供应部分燃料气，用于干燥石膏板，同时减少了火焰气排空；二是酸气脱硫生产稀硫酸，用罐车运到一家硫酸厂生产硫酸；三是脱硫后的燃料气体通过管道供给电厂燃烧使用，避免了直接排放对环境的污染，同时也将生产中剩余

的锅炉用水与生产中的生物处理废水提供给阿斯内斯电厂，减少了水资源的浪费。

新诺迪斯克制药厂综合利用了生产残渣,该厂生产用的原材料是农产品,原材料经过微生物发酵加工最终生成药物,其残渣主要是有机物。制药厂用原材料土豆粉、玉米淀粉发酵所产生的废渣、废水、经杀菌消毒后被约 600 户农民用作肥料,从而减少高肥料用量;制药厂的胰岛素生产过程的残余物酵母被用来喂猪,每年有 80 万头猪使用这种产品喂养;用过和处理过的水被输送到济普洛克石膏墙板厂用于石膏墙板的生产;制药厂产出的污泥含有氮磷元素,这些污泥提供给大约 1000 个农场作为养料。

卡伦堡市政府也起到重要作用,卡伦堡市政回收站回收的石膏卖给石膏板厂,减少了石膏板厂的天然石膏用量,也减少了卡伦堡固体填埋量;将城市废水经过污水处理厂后输送到石膏板厂用于产品的生产。

表 3.1 卡伦堡生态工业园主要企业间物质循环

企业名称	原材料	主营产品	可被利用的废弃物/副产品
石膏厂	石膏	石膏板	—
发电站	可燃气、煤、冷却水	热、电	石膏、粉煤灰、硫代物
炼油厂	原油	成品油	可燃气、硫磺
制药厂	土豆粉、玉米淀粉	胰岛素等药物	废渣、废水、酵母
市政府	水、电、热	服务	石膏、污水

### 3.1.3 园区资源能源梯级利用情况分析

**能源梯级利用。**电厂向斯塔托伊尔炼油厂和诺沃诺迪斯克制药厂供应发电过程中产生的蒸汽,使炼油厂和制药厂获得了生产所需的热能;通过地下管道向卡伦堡全镇居民供热,由此关闭了镇上 3500 座燃烧油渣的炉子,减少了大量的烟尘排放;供应中低温的循环热水,使大棚生产绿色蔬菜;余热放到水池中用于养鱼,实现了热能的多级使用。

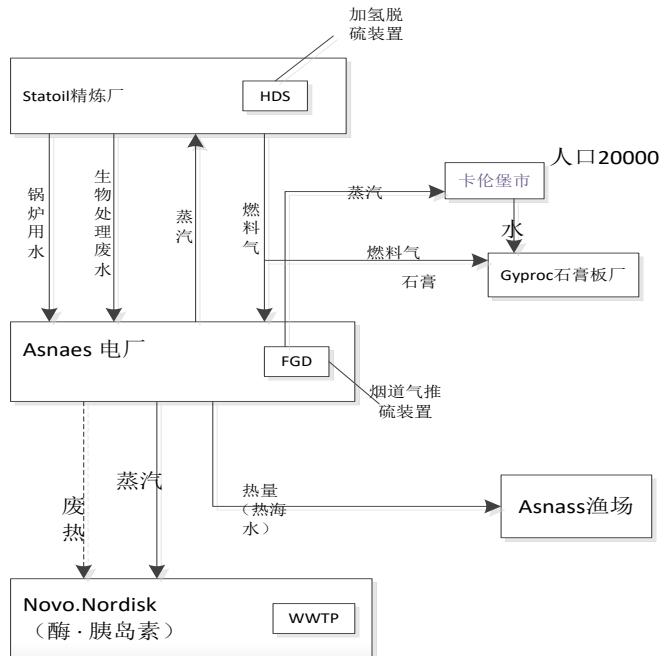


图 3.2 卡伦堡能源梯级利用图

**水资源循环利用。**卡伦堡生态工业园区还进行了水资源的循环使用，发电厂建造了一个 25 万立方米的回用水塘，回用自己的废水，同时收集地表径流，减少了 60% 的用水量。自 1987 年起，炼油厂的废水经过生物净化处理，通过管道向发电厂输送，作为发电厂冷却发电机组的冷却水。炼油厂的废水经过生物净化处理，通过管道向电厂输送，年输送给电厂 70 万立方米的冷却水，整个工业园区由于进行水的循环使用，每年减少 25% 的需水量。卡伦堡工业园区通过以上循环经济的实践，使得工业污染降低了，水污染减少了，资源浪费减少了，但利润却得到了提高。

## 3.2 天津泰达

### 3.2.1 园区简介

天津经济技术开发区（Tianjin Economic-Technological Development Area. 英文简称 TEDA，音译“泰达”）是中国第一个国家级生态经济技术开发区，位于环渤海经济圈核心位置，毗邻港口和中国北方最大的货运机场-天津滨海国际机场，依托京津冀、服务环渤海、辐射三北、面向东北亚如图 3.3 所示。

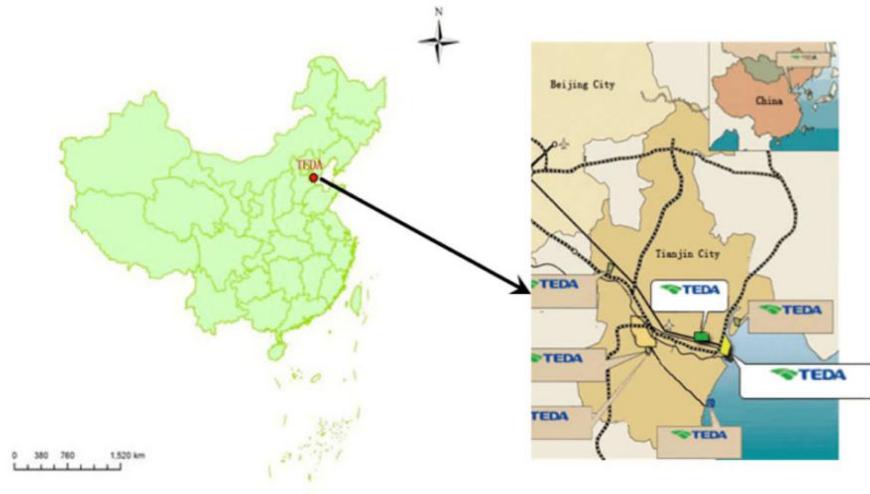


图 3.3 天津经济技术开发区地理位置

天津泰达开发区始建于 1984 年，园区发展历程如表 3.2 所示。1990 年天津经开区环境保护局正式成立，园区环境保护工作走上正轨。2001 年天津泰达开发区开始公布年度环境报告，并提出园区发展战略目标。2004 年天津泰达开发区被国家环保总局提名为国家生态工业园区，2005 年天津泰达开发区被国家发改委提名为国家工业园区循环经济示范试点。

表 3.2 天津泰达经济开发区发展历程

年份	主要活动	主要成就
1984		天津泰达经济技术开发区正式成立
1987	第一座热电联产厂开始投入运行	天津开发区绿化发展有限公司成立
1990		天津开发区环境保护局成立
1995	天津开发区污水处理厂一期试运行	
1996		天津泰达环保协会成立公司
1998	天津开发区污水处理厂二期建立	摩托罗拉是泰达第一个获得 ISO14001 认证的公司
2000	天津开发区污水处理厂正式运行	泰达通过 ISO14001 认证
2001	电镀废水处理设施开始运行	天津泰达开始公布年度环境报告，并提出战略目标
2002	在热发电站安装烟气脱硫系统	泰达签署《国际清洁生产宣言》
2003	泰达回收水装置（阶段 1）投入使用；	泰达为准备国家试点生态工业园成立领导

	泰达危险物处理和处置中心开始运行	小组；天津开发区生态工业园开发计划被批准
2004	天津双岗废物转换能源厂开始试验；滨海快速公共交通系统投入试验操作	天津开发区被国家环保总局提名为国家生态工业园区；天津开发区废物最少化俱乐部成立
2005	工业固体废物生态标识管理系统开始运行	泰达被国家发改委提名国家工业园区循环经济示范试点
2006	天津开发区循环经济试点计划开始实施	天津开发区循环经济促进中心成立
2007	第一座投入海水脱盐工厂试验操作	天津开发区环境信息披露指南颁布
2008	天津开发区循环经济路线图（2010-2020）获批	环保部、商业部、科技部共同提名泰达为国家生态工业园区示范区

2014 年天津经济技术开发区主要经济指标平稳较快增长，区域综合实力不断提升，规模以上工业总产值实现 8900 亿元，财政收入达到 550 亿元，实际使用外资实现 60 亿美元，固定资产投资达到 800 亿元。其中园区产业比例如图 3.4 所示，电子信息行业工业增加值占园区工业增加总值 21.70%，是园区所有行业中占比最高的；其次是汽车行业占比 15.4%；石化行业占比 12.30%；以上行业占比都超过了 10%，几乎占据园区工业增加值的 50%。装备行业、食品行业、新能源新材料行业、生物医药行业占比分别是 8.90%、7.90%、4.50%、2.20%，园区的其他行业的工业增加值占比 27.10%。作为国家级电子信息产业基地，天津经济技术开发区已聚集了移动通讯、显示器、汽车电子、电子元器件和家庭视听系统设备等产业群，具有很好的产业基础，且已形成北方地区最完整的电子产业链。

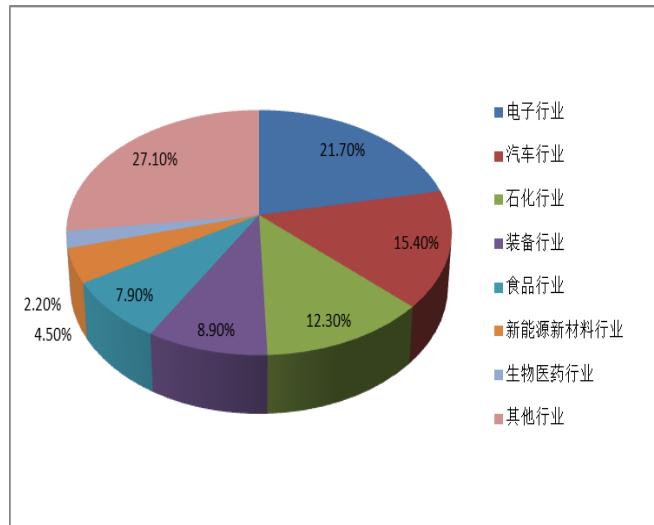


图 3.4 天津泰达经济技术开发区产业比例图

### 3.2.2 园区产业共生情况

天津泰达企业之间协同共生关联度高，到目前为止，已经有超过 250 个公司来加入泰达生态工业链，通过废物交换、清洁生产等手段使一个企业产生的副产品或废物用作另一个工厂的原料，实现了物质闭路循环和能量多级利用，是中国生态工业园区建设中最为成功的典范，天津泰达产业共生网络如图 3.5 所示。园区基础环境设施包括热电厂、电网、水净化厂、燃气电站为园区提供不同形式的能量和水，园区基础设施之间共享能量，交换物质，不仅节省资源，而且提高了基础设施的工作效率。生态工业链主要涉及食品加工、汽车制造、化工、新能源和电子信息五个产业，其中汽车制造产业和食品加工产业中废弃物利用最为充分。

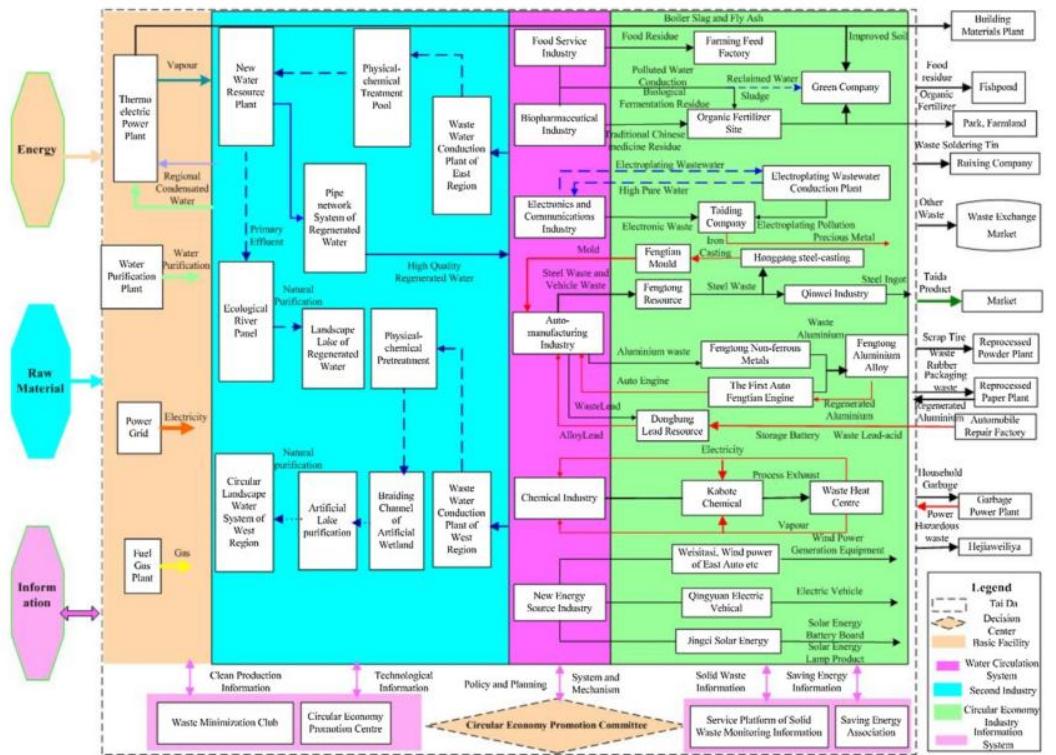


图 3.5 天津泰达产业共生网络

**园区物质循环利用情况。**主要介绍园区内汽车制造产业和食品加工产业的物质循环利用情况。在泰达汽车制造产业中，汽车制造产业在生产过程中主要产生废弃钢材、铝废料和废铅这三种废弃物，回收利用方式如下：(1) 废弃钢材会出售给园区钢材回收厂，之后一部分废钢将被加工成钢锭，另一部分会转售给铸钢厂加工成铁铸件，铁铸件通过模具厂加工之后，将产品模具又用于汽车制造厂。(2)汽车制造厂产生的铝废料全部被园区内有色金属厂回收利用，随后有色金属厂和丰田引擎厂最终排放的废铝会运往铝合金厂，经过处理之后以再生铝的形式出售给引擎厂，在引擎厂内被用作生产发动机的原料，最后发动机会提供给汽车制造厂使用。(3) 汽车制造厂同时也会产生大量废铅，这些废铅连同园区外汽车修理厂产生的含铅废弃物一起被园区铅回收厂回收，加工处理后以合金铅的形式提供给汽车制造厂。

在园区食品加工产业中，食品加工厂产生的残渣被运往饲料厂作为生产饲料的原料，食品加工厂排放的污水和生物发酵残渣则会被下游的生物制药厂和有机肥料厂加以利用，生物制药厂产生的中药残渣则会继续输送给有机肥料厂，这些有机肥料通过绿色公司会被园区外的鱼塘所利用。

**水循环利用情况。**天津泰达水循环系统如图 3.6 所示，园区水厂将原生水输

进入到人工运河，通过自然沉淀净化处理之后，全部流入再生湖里面，这些储备用水可以用于园区道路洒水，绿化灌溉。园区水厂将一部分水连续微滤处理后，输入到再生水管网系统中，管网中经过特殊技术处理的高纯度水输入给园区某些企业，管网中经过一般处理的饮用水输入给园区居民直接使用。用户及企业排放的污水会流入到园区污水处理厂，经过物化处理池深度处理之后，输送至园区水厂。通过进行一个完整的水循环，可以提高水的循环利用率，为园区循环化发展奠定环境基础。

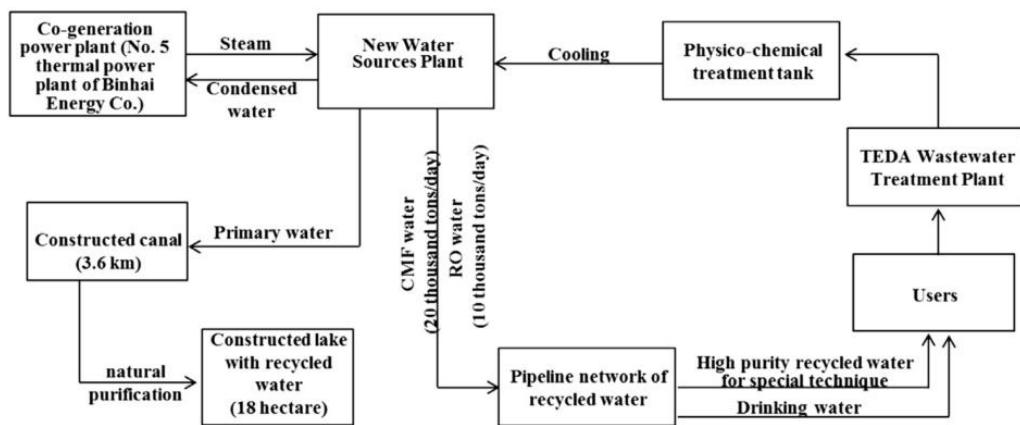


图 3.6 天津泰达水循环系统

**园区能源梯级利用情况。**天津泰达热电厂能量循环利用情况如图 3.7 所示，园区热电厂蒸汽作为热能，为园区居民和企业供暖，同时将蒸汽冷凝水输送给水厂，热电厂产生的电力，则会输送至园区电网进行利用。水厂和园区用户产生的冷凝水可以作为热电厂水资源的来源，热电厂产生的飞灰不会直接排放，热电厂收集储存后，会输送至生态园林发展公司进行利用。

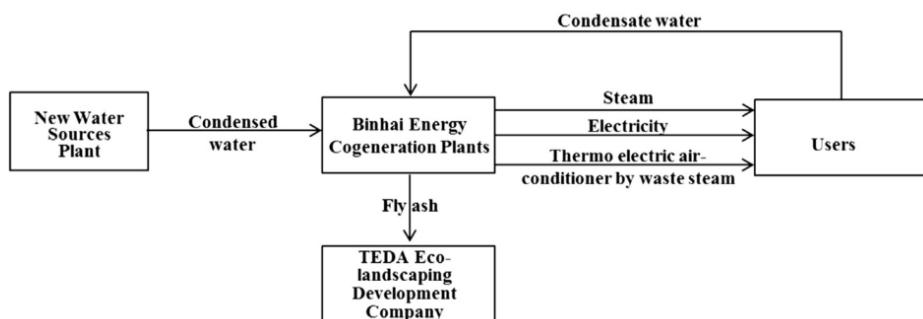


图 3.7 天津泰达热电厂的能量流动

### 3.2.3 园区循环化发展相关策略

**全面接受生态工业发展的概念。**天津经济技术开发区为了园区的可持续发展，在未来的区域规划和各种具体的策略设计理念中加入了绿色发展，比如生态工业发展、循环经济、低碳发展。实施了以下计划：“生态工业园建设计划”、“2010-2020 的循环经济发展项目”、“生态建设和环境保护的计划”、“低碳发展的实施方案”、“天津经开区南岗区工业共生的计划”等，这些计划可以促使天津经济技术开发区变成一个可持续发展区域。

**基础设施的共享。**2012 年天津经开区在基础设施的投资已经达到 135 亿美元，自来水供应能力达到 57.5 万吨/每天，热量供给能力达到 2437.5 吨/每小时，电力和天然气供应分别达到 1655mVA 和 282.5 万立方米。从资源和环境保护的角度来看，泰达有处理每天 15.2 万吨污水的能力，而且建立了基础设施共享的网络，可以进行热量、气体、污染水传导和重复利用、废物焚烧等物质和能量交换。泰达开发区利用地面热泵、绿色节约用水、锅炉的脱硫改造等 9 个重大项目来实现基础设施共享的目标。泰达建造了国家级的人工湿地以及通过再生水供应的人工湖，通过将废水进行深度处理之后，传输至再生水景观系统。

**政策和监管平台的逐步建立。**泰达园区政府政治制度的最大特征是全面地运用政策工具来激励政府履行相关的社会责任。比如政府花费 1520 万美元来打好节能减排政策实施的基础，同时也修订“鼓励能源节约和环境保护”的关键目录，为了政策顺利的实施，泰达政府财政支持超过 400 个项目。为了鼓励当地企业建立环境管理系统，泰达修改了“促进建立 ISO14001 环境管理体系的监管”，通过 ISO14001 环境管理体系的企业会获得 4500 美元的奖励，除此之外，政府也会对那些公布企业环保责任信息的企业进行奖励，这些政策的实施促进企业热情地参与到当地的环境保护。

**信息共享网络的建立。**信息共享对发展生态工业是非常重要的一环，泰达开发区建立了“生态工业园区网站，环境在线监测和预警系统，天津开发区节能网站，泰达低碳信息的网站”等等，这些网站可以有效地处理一些问题。开发区一直致力于低碳社会的发展，为了实现这一目标，建立了“泰达低碳经济促进中心”。

**国际间合作的加强。**从国际同行中学习先进经验和技术始终是泰达的优先日常事项，在过去的十年中，天津开发区开展国际合作研究项目，比如中欧环境合

作项目，泰达与欧盟进行工业共生项目，它致力于促进上游产业和下游产业之间的联系，提高副产品的回收利用和减少废物的产生。同时也有与法国的合资评估温室气体排放的项目，这个项目的目标是收集泰达的温室气体排放数据和准备未来温室气体减排的策略。还有其他国际合作项目研究，如与意大利的清洁发展机制项目、中国与欧洲的环境传导项目以及国家第一个计划与日本地区发展清洁发展机制的项目等。这些国际间的合作也可以促进政府间的联系，例如天津市政府和日本的茨城市签署备忘录，促进两市之间的环境合作协定。

**创新技术的实际应用。**天津开发区存在一些高水平大学和机构，每年都会有大量的科学成果被运用到实际生活中，泰达政府加强与当地高校和机构的联系以及建立高校机构与企业之间的沟通机制。例如泰达园区政府与南开大学共同建立泰达低碳经济促进中心，这个中心在南开大学和其他一些机构学者的帮助下，基于当地政府的支持，致力于研究解决像废水再生、固体废物重复利用、节能减排等技术难题。

### 3.3 苏州高新区

#### 3.3.1 园区简介

苏州高新区是国家级高新技术工业区，位于中国东南部江苏省苏州市，属于苏州西部的行政辖区，东临京杭大运河，南邻吴中区，北接相城区，西至太湖，如图 3.8 所示。



图 3.8 苏州高新区地理位置

苏州高新技术开发区是首个通过国家环保部验收批准命名的生态工业示范园区，苏州高新区作为中国与新加坡政府合作的项目，成立于 1994 年。苏州高新区从成立开始发布循环发展政策，其中包括经济手段、监管手段、自愿性手段

三种，1995 年提出建设项目的环境保护措施；2007 年公布水配额定价体系；2009 年成立 EHS（环境、健康和社会）组织。

表 3.3 苏州高新区园区循环发展政策工具总结

政策工具	年份	内容
经济手段	2007	水配额定价体系公布
	2008	年度环境保护资金（预算：5000 万元/年）包括：集约型污染物治理公司；区域生态修复；污染防治技术和再生水；ISO14001；清洁生产审核；监测和急救反应
	2008	年度节能经费（预算：1500 万元/年）包括：技术改进；节约能源的新产品；清洁或可再生能源的应用（如：天然气、太阳能、地源热泵）；淘汰落后生产力、能源审计
	2012	年度资助绿色建筑资金包括：绿色建筑证书；可再生能源应用；能源审计安装监控系统；建筑物的能源效率标签；改造现有建筑物
监管手段	1995	建设项目的环境保护措施（在审）
	1995	通过环境和能源检查的票否决规则
	1997	危险废物的预防措施（在审）
	1997	污水厂针对环境问题出台监督管理办法
	1999	污水排放管理措施
	2007	消除所以燃煤锅炉，发展热电厂
	2007	提高环境准入条件的新项目：单位工业增加值新鲜水耗≤0.9 吨/万元；单位工业增加值废水排放量≤0.8 吨/万元；停止招聘电镀项目和有环境风险其他项目
	2009	对能源密集型消费者进行强制性能源审计（能耗）≥5 吨标煤/年
	2010	停止招聘化工项目和消除落后化工企业
自愿手段	2005	标签循环经济示范组织和个人
	2009	EHS（环境、健康和社会）组织
	2009	清洁生产审计和能源审计培训和研讨会
	2010	低碳商业协会
	2012	自愿性环境信息披露

2012 年完成地区生产总值 830 亿元,公共财政预算收入 82 亿元,全社会固定资产投资 390 亿元, 工业总产值 2575 亿元, 实现外贸进出口总额 350 亿美元, 其中出口 217 亿美元, 实际利用外资 10 亿美元, 新增注册内资 225 亿元。苏州高新区的主导产业包括有电子通信、新材料、精密机械、生物医药和其他等等如图 3.3.2 所示。其中电子通信产业由印刷电路板、晶体振荡器、液晶显示器三个产业链构成, 电子通信行业工业增加值最高, 占园区工业增加值的 47%; 其次是精密机械行业和新材料行业, 分别占比 20%, 这三种行业的工业增加值总和达到 87%; 生物医药行业占比 5%; 其他行业的工业增加值占比 8%。

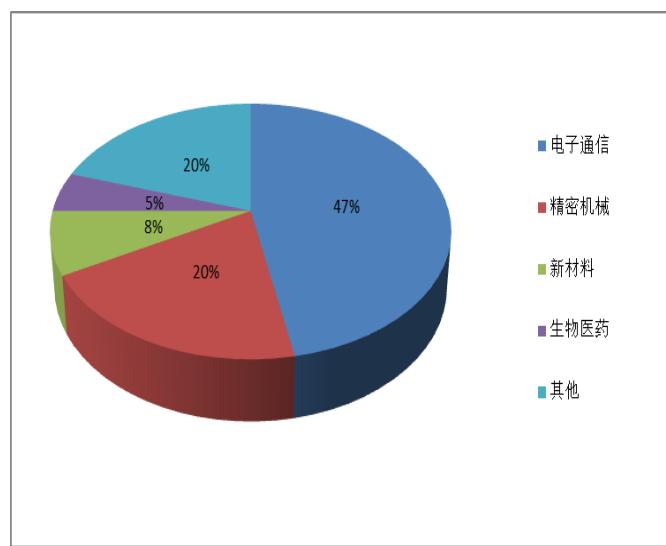


图 3.9 苏州高新技术开发区产业比例

### 3.3.2 园区产业共生情况

苏州高新区目前正在运行的基础设施是根据《中新苏州工业园区市政公共事业发展介绍》所开展起来的, 如图 3.10 所示。目前包括水、天然气、蒸汽供应, 污水处理、发电厂、环境技术和能源服务中心等等。其中污水处理厂、污泥处理厂和热电联产厂之间的联合协同, 促使园区基础环境设施内废物处理效率大大提高; 热力、冷却和电力的区域能源梯级利用, 提高园区的能耗效率。以上两种环境基础设施协同共生的措施, 是苏州高新区发展循环经济的基础。

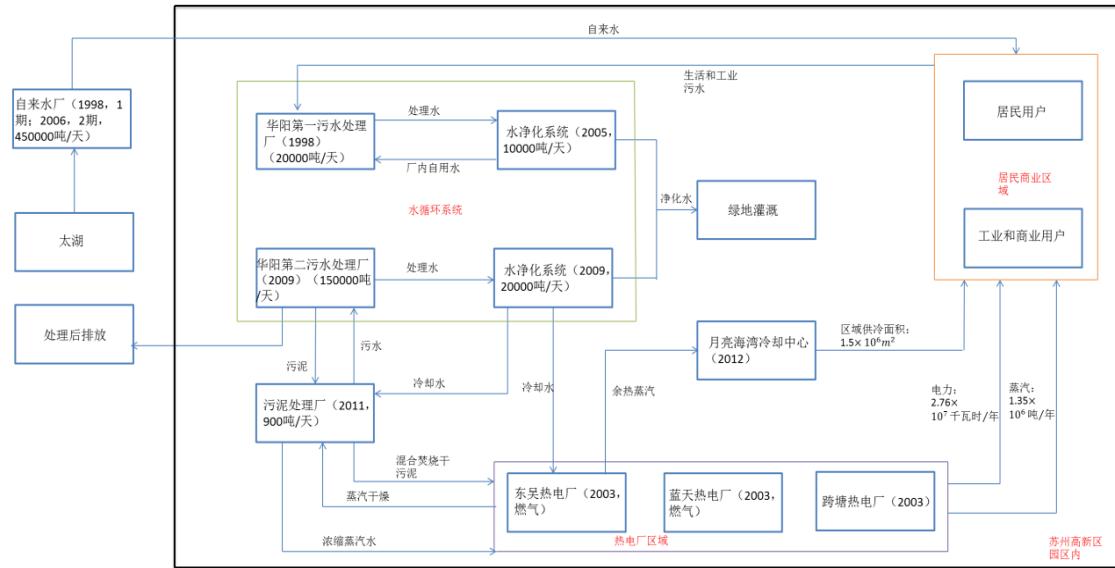


图 3.10 苏州高新区环境基础设施网络

**水循环系统。** 苏州高新区水循环系统如上图所示，园区外的自来水厂的水源来自太湖，水厂处理之后的自来水会直接输入至园区居民和企业。居民商业区域的生活和工业污水通过管道排放至污水处理系统，华阳第一污水处理厂（1998, 20000 吨/天），将处理后的水全部输送至水净化系统（2005, 10000 吨/天），净化水一部分会回流至第一污水处理厂作为厂内用水；同时华阳第二污水处理厂（2009, 150000 吨/天）将一部分污水经过处理之后，直接排放至园区外，另一部分污水会输送至水净化系统(2009,20000 吨/天)，两座水净化系统处理后的水则用于园区道路洒水，绿化灌溉。

**能源梯级利用情况。** 苏州高新区能量梯级利用情况如上图 3.10 所示，水净化系统和污泥处理厂分别向热电厂，提供冷却水和混合焚烧干污泥。热电厂将一部分蒸汽反馈给污泥处理厂，进行污泥干燥；热电厂的余热蒸汽则输送至园区月亮海湾冷却中心，该中心区域供冷面积集中在居民商业区域，负责该区域居民用户、工业和商业用户的供冷工作；同时热电厂每年向居民商业区域提供  $2.76 \times 10^7$  千瓦时电力，以及  $1.35 \times 10^6$  吨的蒸汽。

**园区 PCB 产业共生情况。** 苏州高新区电子信息产业链中 PCB 产业共生程度高，PCB 产业共生主要集中在铜箔印刷电路板生产，其 PCB 产业共生网络如图 3.3.4 所示。主要产品流向：电解铜→铜箔→电路板基材 CCL→电路板 PCB→电子产品如 LCD 和 PC 等。废弃物的处理方式是铜屑、废弃 PCB、含铜污泥、废蚀刻溶液通过资源回收利用企业回收循环利用处理之后，转换为硫酸铜、再生铜、

电解铜和再生蚀刻溶液。

**PCB 产业链企业介绍。**福田金属是园区唯一一家电解铜箔生产企业，在 PCB 产业链中处于上游企业，为下游企业提供原材料。松下电器电工厂使用电解铜箔生产敷铜箔层压板，同时将敷铜箔层压板加工成印刷电路板。百硕电脑、金像电子、金鹏电子、索尼化工电子、大展电路、毅嘉科技等企业利用松下电子提供的敷铜箔层压板来生产印刷电路板。华硕电脑、冠捷科技、佳世达电通等公司则利用上游企业生产的印刷电路板来生产电子产品。华丰化工、中环有缘化工企业，收集第二和第三类企业产生的蚀刻废液，回收其中的硫酸铜，并制备再生蚀刻溶液，所制备的再生液又被第二和第三类企业使用。威翔电子、同和资源利用、苏州环境服务公司等属于资源再生企业，将前四类企业产生的废铜回收再生，处理之后得到电解铜反馈给福田金属，达到产业循环发展无污染。

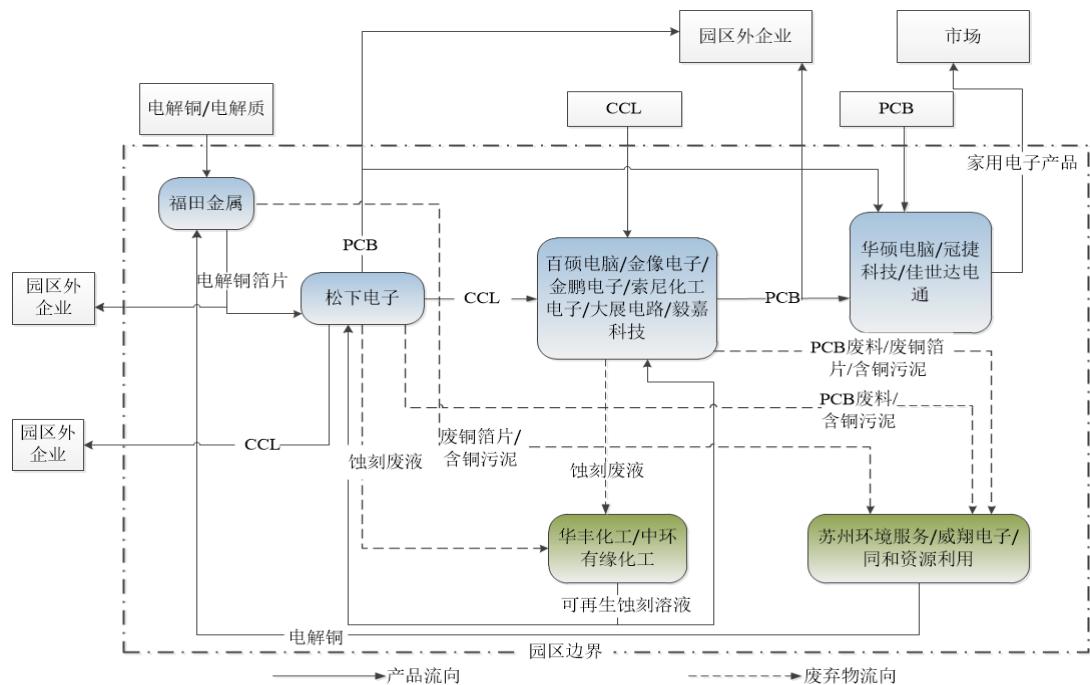


图 3.11 苏州高新区 PCB 产业链共生网络

### 3.3.3 园区循环化发展相关策略

**环境执照审批。** 苏州高新区环境保护局负责评价公司和项目的环境效益和能源消耗，依照对环境和能源的检查情况通过票否来决定是否允许公司成立和项目执行。园区大力发展有环保潜力的公司和项目，如果公司和项目的环境效益满足不了要求，即使该公司和项目会产生大量经济效益，营业执照也不会通过审批。

从 1995 年到 2012 年期间，有超过 400 个涉及 30 亿美元的投资项目，因为不符合园区环境准入规则被拒绝。如果园区批准项目后，项目建设必须要有相关的环境保护设施同时设计、建造和运营整个项目，为了及时地做到污染预防和控制，环保部门将安装实时监测污染物排放系统。

**环境绩效考核奖励。**苏州高新区运用经济手段来处理园区环境保护问题，并非只是一味的直接补贴，而是考核其环境绩效，通过评比之后得到资金奖励。园区环保局和财政局根据环境评估将会对企业和项目进行以下奖励，最多可以获得实际成本的 10%；最多 20% 的节能技术和设备投资补贴；报销 50% 的能源审计费用。这些资金的最终目的是帮助苏州高新区发展污染防治和提高能源利用效率，每年都将会大约 60 个项目，100 多家公司获得环境保护和节约能源资金补贴。

**环境保护自愿活动。**园区除了环境监管和经济工具，企业也自愿开展环境保护活动，从 2005 年开始，园区对那些在水循环利用、废物回收方面取得进展的企业和个人贴上循环经济和环境保护标签，到 2012 年，已经有大约 200 家公司获得这个标签。园区的可持续发展需要行业、当地政府和市民的共同协调，自愿组织环境保护活动，以及相互承担更多的环保责任。除了政府组织外，一些非政府组织积极自愿组织环保活动，2005 年一些公司自发组建环境、健康和社会（EHS）组织，到 2009 年 EHS 组织注册为非盈利机构，组织培训学习环境法规和对园区企业及项目进行评估，并及时给园区环保局反馈。

## 3.4 山东鲁北生态工业园区

### 3.4.1 园区简介

鲁北生态工业园区位于山东省，濒临渤海，地处黄河三角洲。山东鲁北企业集团总公司(简称鲁北集团)前身是无棣县硫酸厂，现拥有 50 亿元资产、52 个成员企业、7000 名员工，占地 460 平方公里，横跨化工、建材、轻工、电力等 12 个行业，是目前世界上最大的磷铵硫酸水泥联产企业，全国最大的磷复肥基地和全国化肥行业经济效益最好的企业集团。是国家发改委、国家环保部等六部委批复的首批循环经济试点单位，列入国家国民经济“十一五”发展规划纲要，是国家生态工业示范园区，国家首批环境友好企业，国家海洋科技产业基地，国家千家

节能试点企业，荣获 2005 中华环境奖、2007 阿拉善 SEE 企业生态奖。

2003 年，中国的国家环保总局授予鲁北化工企业集团为生态工业园区。鲁北生态工业园区有中国最大的磷酸铵、硫酸和水泥联合生产厂，工业园区内部大量的资源（包括工业废弃物和副产品）被回收利用，因此，资源利用效率可以达到 95.6%，清洁能源利用效率可以达到 85.9%。

### 3.4.2 园区物质流情况分析

鲁北工业生态系统是由一个水平产业链和两条垂直产业链 3 条产业链组成的。3 个产业分别是磷铵、硫酸和水泥链；海水链；盐、碱和电力的生产链条。

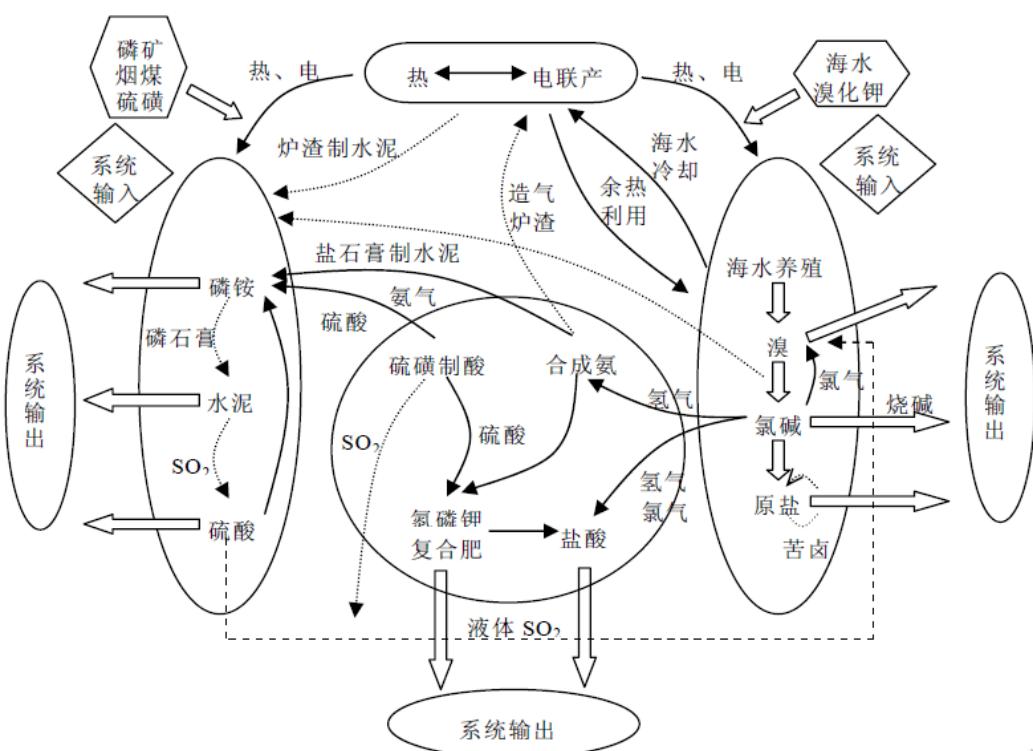


图 3.12 鲁北产业生态系统结构图

1. 磷铵—硫酸—水泥联产(简称 PSC)纵向主链。磷矿经粉磨与硫酸反应得到磷酸，排出废渣磷石膏，磷酸与氨气进行中和反应制得磷铵，废渣磷石膏与焦炭、粘土等辅助材料配制成生料，分解、煅烧与锅炉炉渣粉磨生产水泥， $\text{SO}_2$  窑气经净化、干燥、转化与水化合吸收制得硫酸，硫酸循环利用作为生产磷铵的原料。

该条产业链的特点：利用一种主要原料——磷矿石；消除了两种污染——生产磷铵排放的磷石膏废渣、生产硫酸排放的硫铁矿渣；避免了两大矿山的开采——生产硫酸的硫铁矿、生产水泥的石灰石矿；得到三种主要产品——磷铵、硫

酸、水泥；实现了三个效益——经济效益、社会效益、环境效益。

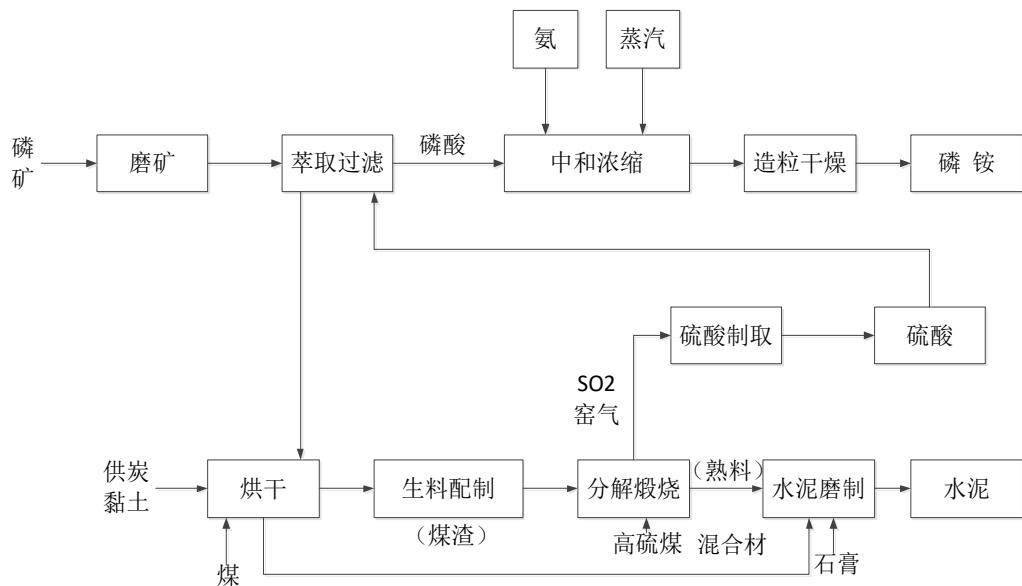


图3.13 PSC 产业链共生关系图

2. 海水“一水多用”纵向主链。为了补充 PSC 生产链中的原料，解决  $\text{SO}_2$  的排放问题，鲁北集团实施“盐、碱、化、养”一体化、多线条、深层次滚动开发，使海水在蒸发、净化过程中，通过合理的分布调节，实现理论组配，形成了多级循环利用海水资源又不污染海洋、盐石膏和苦卤，实现了废物循环利用的“一水多用”格局和综合开发利用模式。

海水( $2\text{-}5^\circ\text{Be}'$ )首先用来养殖，养鱼、虾、蟹、贝等海产品；中度卤水( $12\text{-}15^\circ\text{Be}'$ )，用来自硫酸系统的  $\text{SO}_2$ 、氯碱系统的  $\text{Cl}_2$  作原料提取溴素，并生产溴系列精细化工产品；卤水在  $24^\circ\text{Be}'$  时，副产的盐石膏去制硫酸和水泥；卤水在  $26.5^\circ\text{Be}'$  时，饱和卤水直接生产氯碱，结晶得海盐、并精加工生产加碘盐等；排出的苦卤继续利用，提取硫酸钾、氯化镁等产品。

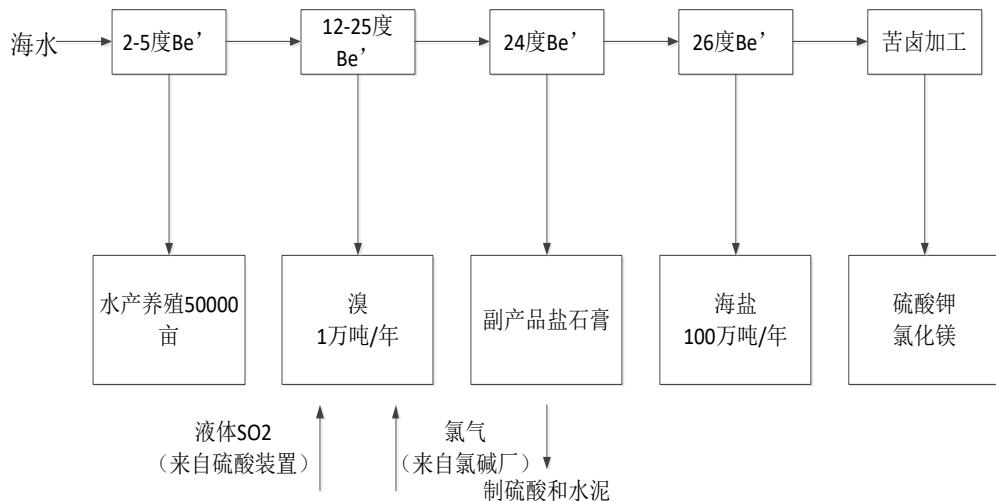


图3.14 海水产业链共生关系图

3. 清洁发电与盐碱联产横向主链。以盐碱电综合联产工艺构成 PSC 产业链和海水一水多用链之间的横向耦合，沟通两大纵向链之间的热电能量流、废物流、物质流。热电厂以劣质煤和煤矸石为原料，采用循环流化床燃烧、海水直流式冷却技术，电和蒸汽用于总公司生产，排放的炉渣用作水泥混合材；离子膜烧碱工程利用百万吨盐场丰富的卤水资源和自备电力，不经传统的制盐、化盐工艺，直接通过管道把卤水输入到氯碱装置，进行氯碱产品的生产。

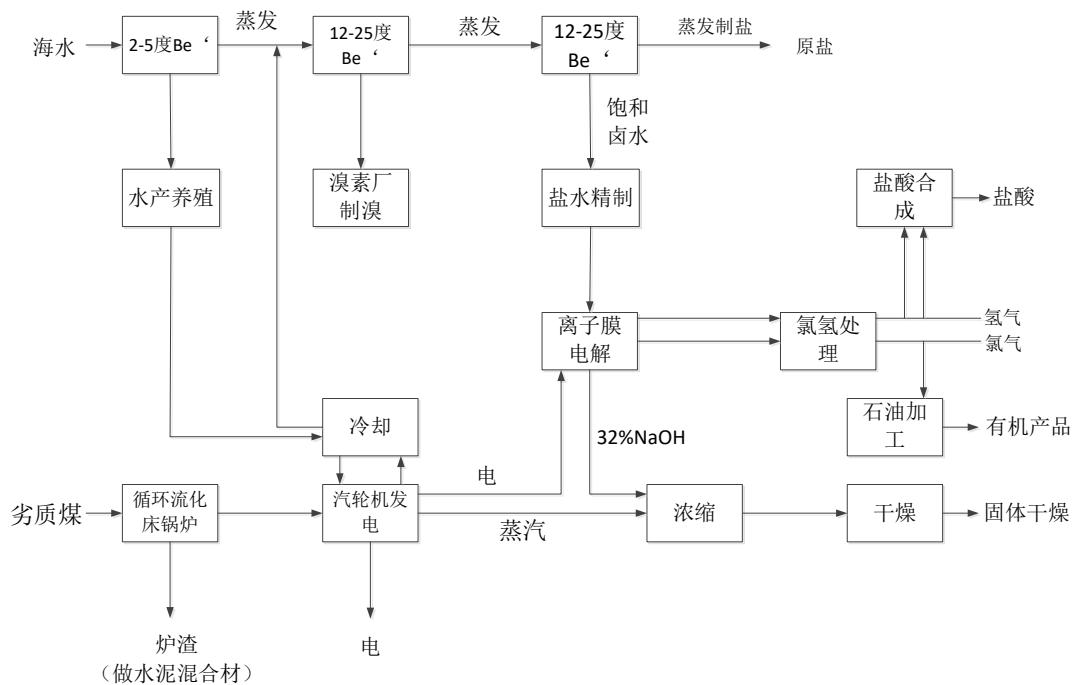


图3.15 清洁发电与盐、碱联产共生关系图

### 3.4.3 园区资源能源梯级利用情况分析

**能量梯级利用：**鲁北生态工业园区在能量使用上，以劣质煤炭为主要能源，转换成蒸汽和电力，根据热能温位的高低，坚持了按质用能和梯级回收利用原则，实现了热电联产、余热利用、梯级利用和供给与消耗的平衡，使系统能源利用效率处于较高的水平。具体来说，鲁北生态工业园区是以煤矸石、劣质煤为原料采用循环流化床燃烧生产过热蒸汽，蒸汽冲击汽轮机旋转发电，剩余蒸汽主要用于中和浓缩磷酸工艺、硫酸工艺、水泥工艺、氯碱工艺、合成氨工艺以及办公区和生活区用汽。电力主要满足 PSC 产业链和海水“一水多用”产业链生产用电以及厂区生活用电的需求。

**水资源循环利用：**鲁北生态工业园区科学的创建了磷铵硫酸水泥联产、海水“一水多用”、盐碱电联产等相配套的工业生态系统。用于冷却热电厂汽轮机的海水，经热交换升温后重新送回海水“一水多用”产业链，提高了溴素提取和海盐制取的效率，热电厂锅炉余热利用率达到 71. 4%，减少了有效热能的损失。

鲁北生态工业园区是世界上为数不多、具有多年成功运行经验的典例，通过磷铵硫酸水泥联产、海水“一水多用”和盐碱电联产三条产业链的有机沟通与整合，形成了以化学紧密共生关系为主的鲁北工业生态系统。现有磷铵硫酸水泥联产纵向主链、海水“一水多用”纵向主链、盐碱电联产横向主链，构成了资源共享、产业共生、结构紧密的工业生态系统，形成了中国鲁北生态工业模式，这种模式对于推动循环经济发展具有借鉴作用。

## 3.5 铝生态工业园区信发生态工业园区

### 3.5.1 园区简介

信发生态工业园区位于山东省聊城市茌平县经济开发区内（图 3.16），始建于 1972 年，是在原茌平热电厂的基础上发展起来的。园区现有 13 家重点企业，涉及热电、氧化铝、电解铝、铅深加工、碳素加工、烧碱、电石、PVC、味精等行业，形成了“热电联产、铅电联营、铅深加工、化工配套”的产业共生体系。目前园区拥有全国最大的地方热电厂、全国最大的铅生产加工基地、全国最大的铝粉生产基地、全国大型的预焙阳极生产基地。

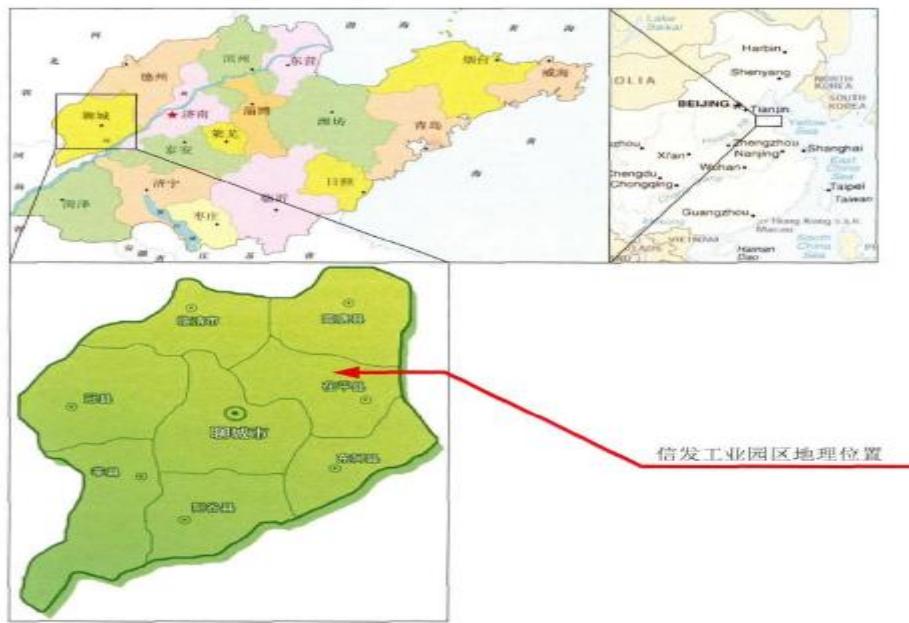


图 3.16 信发生态工业园地理位置图

### 3.5.2 信发集团循环经济产业链概况

目前，信发集团形成了以“氧化铝—电解铝—铝材加工”为主线的铝业主导产业群、以“煤—热电—汽”为核心的能源生产产业群以及配套产业集群。

#### (1) 铝业主导产业链

氧化铝—电解铝产业是信发集团要强力扩张的主导产业。利用国外进口(印尼、越南、澳大利亚等)铝矾土，以及国内河南、山西等地的铝土矿，通过改良拜尔法生产氧化铝，电解法生产金属铝，金属铝配加镁、锌等金属制成铝合金，再通过挤压、延压生产铝(合金)型材、线材、板材、箔，进一步加工成建筑材料、配件等。在集团内部，形成“铝土矿—氧化铝—电解铝—铝加工”的产业链条。

(见图 3.17)

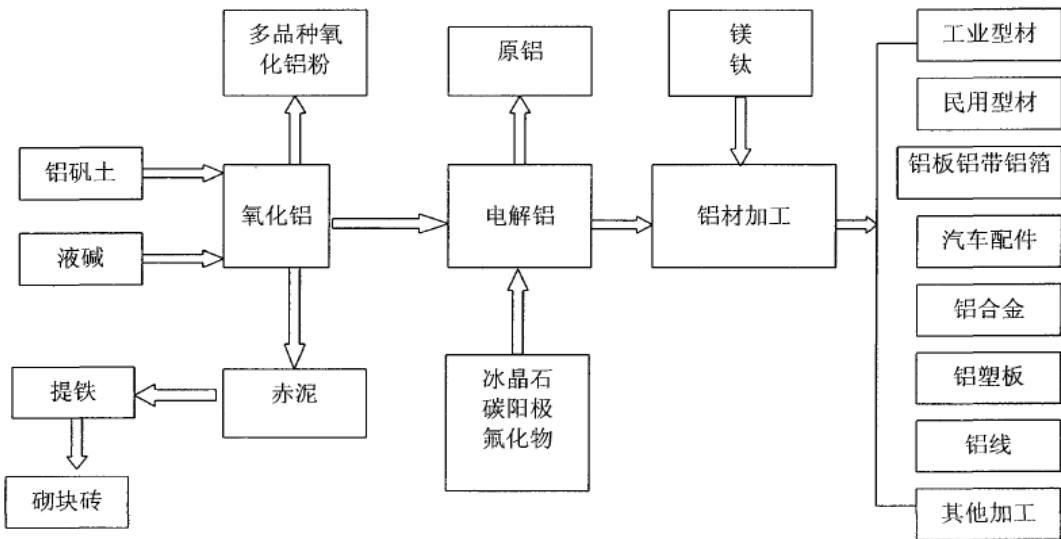


图 3.17 信发集团铝业产业链示意图

### (2) 能源产业群。

以热电为核心产业的信发集团作为亚洲最大的地方热电厂，集团的能量供应来自集团内部的热电厂。信发铝电集团热电企业包括信发热电有限责任公司、信发希望铝业有限公司自备电厂、信发华宇氧化铝有限公司自备电厂，是铝电联营和铝电双赢的能源基础。（见图 3.18）

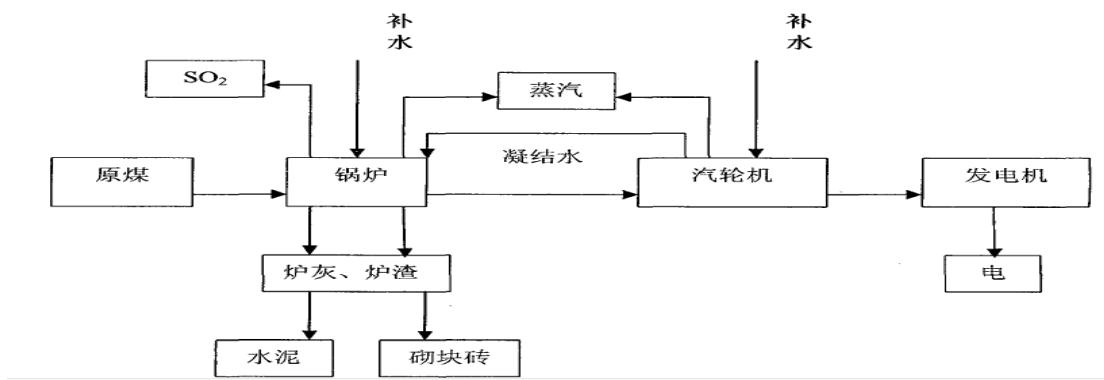


图 3.18 信发集团热电循环经济产业链示意图

### (3) 配套产业群。

为满足氧化铝和电解铝生产，对主导产业链进行延链和补链，形成“电石—烧碱—PVC”加“玉米—淀粉—味精—高效复合肥”的化工产业链、“密度板—板材深加工”的木材加工产业链。同时形成两大静脉产业链条，一个是集团能源产业群产生的固体废物炉渣、粉煤灰、脱硫除尘物的资源化利用生产新型建材的静脉产业链，另一个是集团主导产业群“氧化铝—电解铝—铝材深加工”产生的

固体废物赤泥资源化利用的静脉产业链。

化工产业是信发集团龙头产业的配套产业，主要包括氯碱、PVC 和味精三个部分。氯碱为氧化铝生产提供原料液碱、为 PVC 生产提供氯气；味精产业可以有效的利用电厂余热、提高整个企业集团的能源利用效率。集团具备了淀粉、味精、硫酸、液氨生产的内部产业链条。以下分别是信发集团化工产业的味精和 PVC 循环经济价值链图示(图 3.19 和图 3.20)。

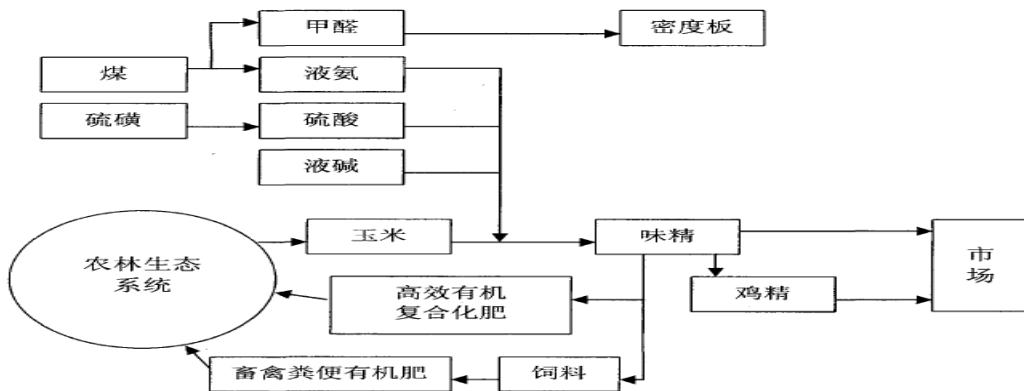


图 3.19 信发集团味精产业链示意图

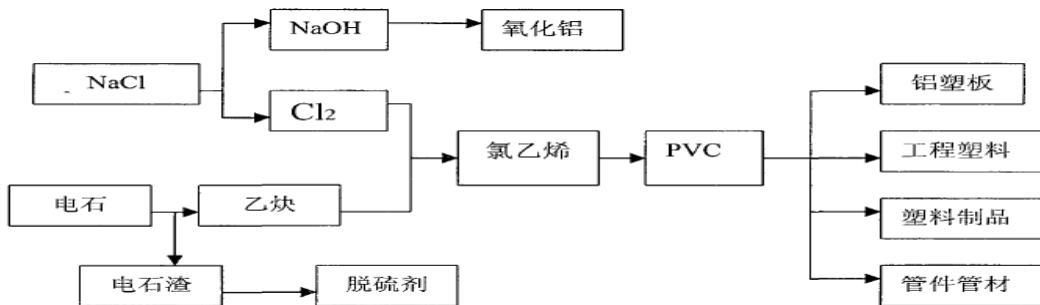


图 3.20 信发集团 PVC 产业链示意图

木材产业是集团产业体系中利用电厂余热的辅助性产业,是循环经济价值链条中的重要组成部分，主要产品是密度纤维板。密度板生产过程中产生的废料一方面经过再利用形成有机肥供给原料林生产基地，另一方面，将密度板生产过程中产生的纸屑外售给造纸厂，实现废物再利用。以下是信发集团木材加工循环经济产业链图示(见图 3.21)。

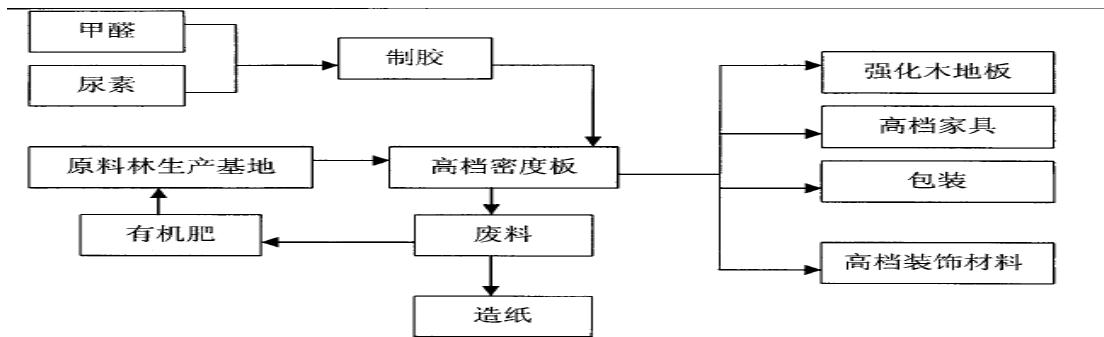


图 3.21 信发集团密度板产业链示意图

在此基础上，信发集团通过对三大产业集群产业链合理延伸与耦合，充分发挥集团优势，形成了“热电联产、铝电联营、产业高度聚集、上下延伸、左右关联、动脉扩张、静脉串联、动静耦合”的结构合理、稳定高效的产业链网（见图 3.22）。

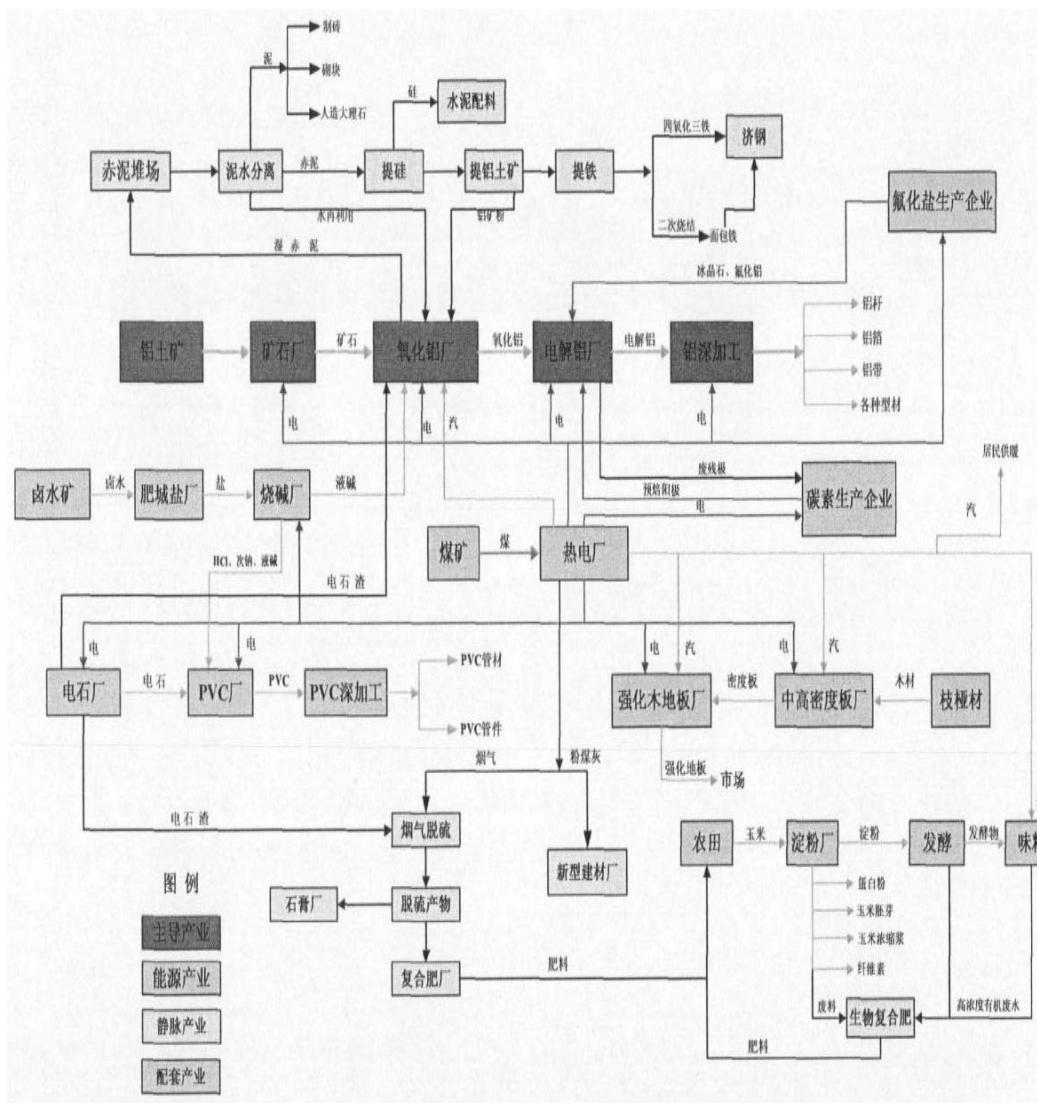


图 3.22 信发集团循环经济链网

### 3.5.3 信发集团水循环概况

信发集团充分考虑各企业间的新鲜水、循环冷却水、蒸汽冷凝水、中水和污水各水系统之间的链接耦合,采用水集成技术与废水资源化技术,优化配置不同企业、不同生产过程的水资源供给。根据生产过程对水质的不同要求,采用分类供水、分类处理的方式,优化水资源配置,提高了集团的水资源利用效率,同时也充分回收可利用的工业废水,使水资源在工业生态系统中得到高质高用、低质低用,延长了水资源的使用时间,提高了整个工业生态系统的用水效率。信发集团充分利用集团内各企业或地方污水处理厂经深度处理后的再生水,同时使热电厂部分发电机组利用县城生活中水作为供水源,发挥了社会综合节水作用,这一措施的采用,使得集团废水排放量大幅度下降。通过节水、中水回用、水资源优化配置和水资源梯级利用等措施,信发集团使得水资源的持续循环利用成为现实,其水平衡示意图如下图所示。

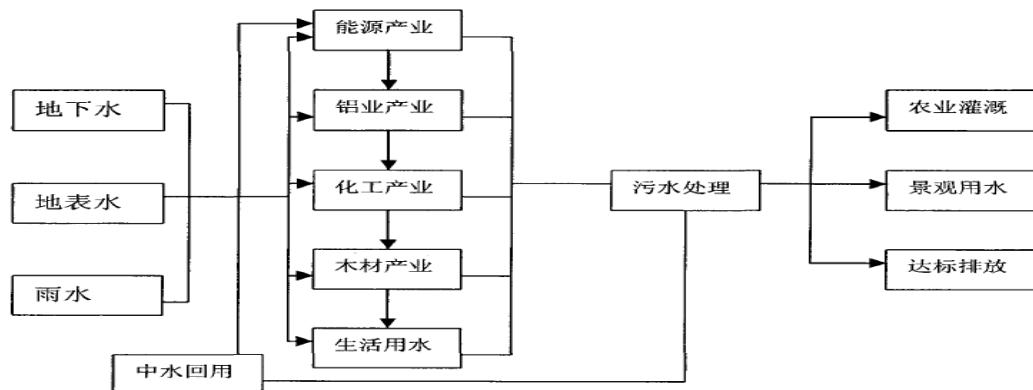


图 3.23 信发集团水平衡示意图

而热电厂作为信发集团用水量最大的企业,其主要用水包括锅炉用水、冷却用水、工艺用水和生活用水,其中冷却用水量最大,约占电厂用水总量的 90%。针对企业间的水循环利用,信发集团一方面充分回收利用冷却塔排污水,将冷却塔排污水用于冲灰、冲洗和喷洒,减少低污染水直接排放损失,提高水的回用率;另一方面,回收处理其他工业废水或生活污水做冷却塔循环水的补充水,例如将电厂灰渣水、消防水池溢水、部分取样水、射水池溢水等进行循环使用,水质较好的经处理后作为冷却塔循环水补充水源,返回到下一级循环水系统再利用,水质较差的工业废水,如含油污水、化学中和池排水、生活污水等处理后用于调湿灰用水、冲灰煤场喷淋用水。

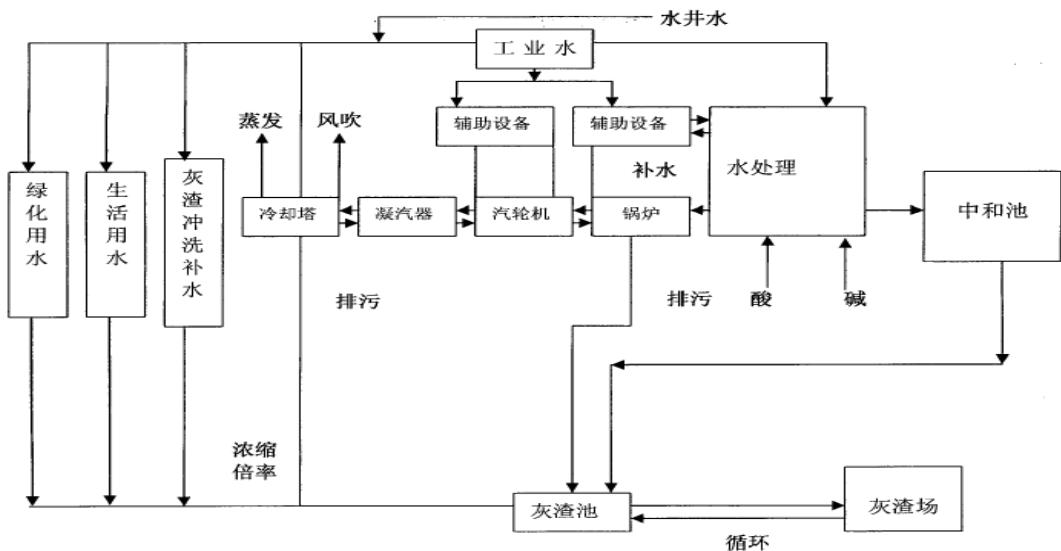


图 3.24 信发集团内部水循环示意图

### 3.5.4 信发集团固体废弃物循环利用情况

信发集团排放的固体废弃物主要包括生产氧化铝过程中所产生的赤泥和热电厂的灰渣。目前已进行了相关清洁生产技术和工艺的研发，建立了固体废弃物资源化利用的网络体系。

**赤泥的利用。**华宇氧化铝有限公司生产过程中产生赤泥，这是一种强碱性物质，如果泄露必然会造成土地碱化、水环境污染，因此，长期以来，信发集团都是通过建设防止渗漏的赤泥储存池进行堆存。近年来，信发集团通过与济钢集团结成循环经济链上的利益共同体，共同开展对赤泥资源化开发的利用研究，实现价值链延伸和增值外，也采取了其他技术进行利用，减少了对环境的污染。具体做法是，首先提取赤泥中的有价值的元素，如铁、铊等，再利用现有的成熟技术，有效地利用提取有价值元素后的废渣，生产高品质的水泥；结合冶金渣、粉煤灰等固体废物为原料，添加小于 5% 的成岩剂，生产凝石砌块(见图 3.25)。

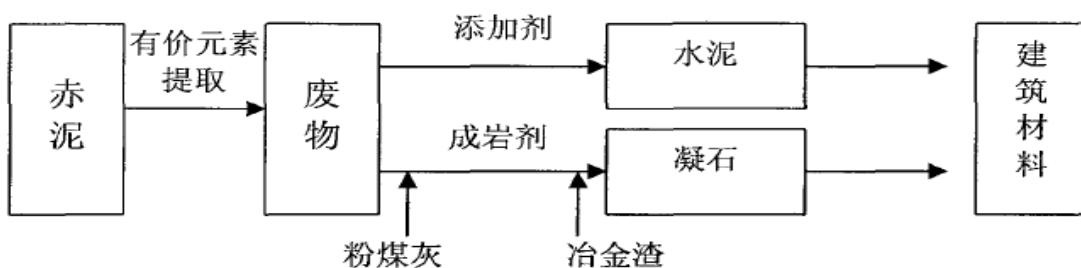


图 3.25 赤泥资源化利用链网示意图

**粉煤灰、炉渣的利用。**电厂产生的粉煤灰、炉渣中的二氧化硅和氧化铝的含量占70%以上,其资源化利用以新型建材为主,用于生产砖、水泥、加气混凝土等,现在,信发集团已经规划建设年产100万吨水泥生产线,年产亿块砖的新型建筑厂,消化集团产生的新渣。此外,粉煤灰在改善土壤性质等方面作用较大,对于粉煤灰的资源化利用是用于生产土壤改良剂,改善土地条件,既实现环保,又促进农业增收。通过以上两种途径,实现了集团粉煤灰和炉渣的全部综合利用(见图3.26)。

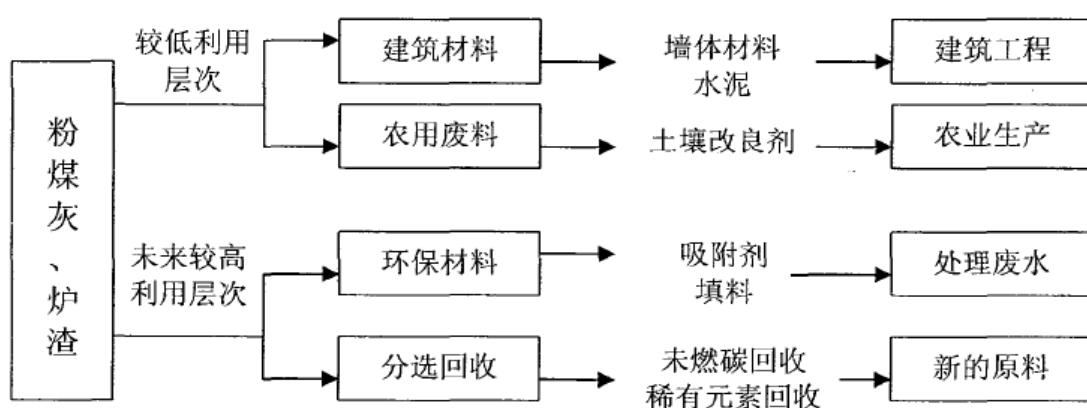


图3.26 粉煤灰、炉渣资源化利用网示意图

## 第四章 河南省典型产业集聚区循环发展水平评估

为评估河南省典型产业集聚区循环发展,本次案例评估采用层次分析法、熵值法来确定权重,并结合突变模型、模糊综合评价模型来对河南省典型产业集聚区进行评估。

### 4.1 园区循环发展综合评价方法介绍

#### 4.1.1 园区循环发展水平评价指标体系的构建

参考国内外相关文献,基于国内产业园区循环经济发展特征,河南省循环经济绩效评价指标原则如下:

第一,完备性原则。评价指标体系力求覆盖区域循环经济发展各个方面,能够全面反映环境、技术水平等要素。同时指标的设置应以现有能够采集的统计资料为根本,同时有客观依据。

第二,代表性原则。根据评价对象的各自特点,选取指标应具备能够反映该对象特征的典型性和代表性。

第三,可操作性原则。评价指标体系应该客观科学,要实事求是,要充分考虑到指标收集和整理的实现程度,对于指标数据既要有数量的要求,还要有质量要求,防止重复和重要考核点的缺失。

第四,渐进性原则。由于考评对象本身是动态发展过程,因此指标选取也不应固定不变,而是动态变化、持续改进的过程,评价结果应该能够反映评价对象的现状水平和未来趋势,增强指标体系的前沿性,提高预测水平。

第五,循环经济的 3R 原则。是对循环经济发展遵循原则的一种简称,具体说来即指循环经济的减量化原则 (Reduce)、再使用原则(Reuse)、再循环原则 (Recycle)。生态工业园区的各种类型决定其流动方式有很大不同,一般生态园区发展状况的指标评价工作应抓住其特征,从而来构建评价指标体系。

第六,动态和静态相结合原则。首先,这一变化的过程是动态的并且指标能反映园区发展的客观性,这是生态园区发展的基础,它是不以人的意志为转移的。例如,它的潜力及内在的发展规律等等。同时,生态工业园的相对稳定性,应保证一段时间。总而言之,动态指标和静态指标应兼并合一,共同作用在指标体系

中。

根据园区类型不同，结合国家环境保护部 2015 年颁布的《国家生态示范园区标准》以及 2006 年颁布的《行业（化工）类生态工业园区标准（试行）》为依据，本研究对不同类型的园区分别构建最初循环发展水平指标体系。评价指标体现的科学、合理、可行性还需要经过筛选，以适应典型园区发展并满足园区经济循环发展实际需求。

本次评估指标体系的筛选采用德尔菲法和专家遴选法，请专家凭借自身的专业理论选择或提出新的意见。最终专家指出在针对园区循环发展水平指标体系中，应尽量采用相对指标，减少绝对指标的比例，结合数据的可获得性和园区的发展，同时结合专家选择、调整，得到综合评价指标体系。

#### 4.1.2 园区循环发展评价指标权重确定

本研究对典型园区循环发展评价指标权重采用层次分析法和改进熵值法；用 AHP 法来确定主观权重，用熵值法来确定客观权重在结合权重后可有效提高评价结果的可靠性与准确性。

##### （一）层次分析法求权重步骤

1、递阶层次结构：将复杂问题分解成元素的组成部分，分为三层，即目标层、影响因素层和指标层，一般元素不超过 9 个。

2、确定标度：影响因素层占的比重并不均等，指标不宜量化。

3、构建判断矩阵：按照本文所建立的指标体系，目标层运行状况的子系统有 n 个，即 B1-Bn，因此 A 判断矩阵应为 n 阶判断矩阵。然后用表 4.1 的标度法向填写人（专家）反复询问，针对判断矩阵的准则，其中两个元素两两比较哪个重要，重要多少，对重要性程度按 1-9 赋值，对各因素之间的重要性来进行评分。将对应结果填入下列表格。

表 4.1 标度及含义

标度	含义
1	两者比较，同样重要
3	两者比较，前者比后者稍微重要
5	两者比较，前者比后者明显重要
7	两者比较，前者比后者强烈重要
9	两者比较，前者比后者极其重要
2、4、6、8	为上述比较结果的中值

倒数  $1/a_{ij}$

$a_{ij}$  是  $x_i$  和  $x_j$  比较结果, 那么  $1/a_{ij}$  是  $x_i$  和  $x_j$  的重要性之比

4、指标权重的计算: 在得出判断矩阵的基础上, 可计算单项指标的权重。方法主要有和积法和方根法, 经过计算得到判断矩阵的特征向量, 即该矩阵中各评价指标的权重。和积法的思想实际上是将的列向量上元素归一化后取平均值作为的特征向量。具体的计算步骤如下:

1) 将判断矩阵的每一列元素作归一化处理, 得元素的一般项为:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (i, j=1, 2, \dots, n);$$

2) 将每一列经归一化的判断矩阵按行相加, 即:  $\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}$ ;

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i}$$

3) 将  $\bar{W}_i$  做规范化处理, 得到:  $\bar{W}_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i}$ , 则有特征向量:  $W = (W_1 \cdots W_n)^T$ ;

4) 计算与特征向量对应的最大特征根  $\lambda_{\max}$  的近似值:  $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i}$ 。

方根法的步骤与“和积法”大体一致, 只有在第二步时, 对归一化后的列向量按行“求和”改为按行“求积”, 再取  $n$  次方根。具体步骤为:

$$\bar{W}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

1) 将矩阵的每一列向量归一化得:  $\bar{W}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$ ;

2) 对归一化以后的列向量各元素, 按行“求积”并开  $n$  次方根得

$$\bar{W} = \left\{ \prod_{j=1}^n \bar{W}_{ij} \right\}^{\frac{1}{n}},$$

3) 再将  $\bar{W}_i$  归一化得:  $\bar{W}_i = \frac{\tilde{W}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{W}_i}$  得到特征向量近似值:  $W = (W_1 \cdots W_n)^T$ ;

4) 计算最大特征根:  $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum \frac{(A\bar{W})_i}{W_i}$ , 作为最大特征根的近似值。

### 5) 判断矩阵的一致性检验

层次分析法中为了对指标排序结果的置信度进行检验, 保证矩阵在满足完全一致的条件。定义判断矩阵一致性指标 C.I. (consistency index),  $C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 。一致性指标 C.I. 越小, 则说明判断矩阵一致性越好, 而 C.I. 的值越大, 表明判断矩阵偏离完全一致性的程度越大。一般, 当判断矩阵的阶数  $n$  越大时, 认为造成的偏离一致性指标 C.I. 的值越大, 阶数越小, 偏离 C.I. 的值也越小。因此对于多阶判断矩阵, 引入了平均随机一致性指标 R.I. (random index), 在检验判断矩阵的一致性时, 将 C.I. 与平均随机一致性指标 R.I. 进行比较, 得出一致性比率 C.R., 即:  $C.R. = C.I. / R.I.$ , 而 R.I. 只与判断矩阵的阶数相关。表 4.2 给出了 1-10 阶时各判断矩阵 R.I. 的值。

表 4.2 平均随机一致性指标的值

数阶	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

一般对于三阶以上才需要检验一致性。当  $C.R. < 0.1$  时, 可认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则, 就需要调整和修正判断矩阵, 直到满意为止。

将两两因素相比较得到的权重结果, 做一致性检验, 保证判断矩阵的合理性。

### (二) 熵值法对客观权重的确定

设定指标体系中有  $n$  个指标,  $m$  个待评价数据的年份, 就构成  $U = (x_{ij})_{mn}$ 。改进熵值法的建立步骤如下:

1、指标数据的无量纲化: 首先对于正负作用的指标进行无量纲处理, 本文

采取指标标准化的方法如下:  $y_{ij} = \left( x_{ij} - \bar{x}_j \right) / s_j$  式中,  $y_{ij}$  为无量纲化处理后的指

标值;  $\bar{x}_j$  为第  $j$  项指标的平均值;  $s_j$  为第  $j$  项指标的标准差,

$$s_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 / m}.$$

2、转换后的数据可将坐标平移, 数据的平移幅度  $a$  在 -5 到 5 之间, 同时平移不会改变结果, 故本文选取较中间的数 1.2,

$$z_{ij} = a + y_{ij} = 2 + y_{ij}$$

3、计算  $z_{ij}$  的比重  $R_{ij}$ , 其中  $R_{ij} = z_{ij} / \sum_{i=1}^m z_{ij}$ 。

4、计算第  $j$  项指标的熵值  $e_j = -k \sum_{i=1}^m R_{ij} \cdot \ln R_{ij}$ 。

如果  $z_{ij}$  对于给定的  $j$  都相等, 可得  $R_{ij} = 1/m$ ,  $(e_j)_{\max} = k \cdot \ln m$ 。现假设  $k = 1/\ln m$  则  $(e_j)_{\max} = 1$ , 故  $e_j \in (0,1)$ 。

5、计算第  $j$  项指标的差异系数  $g_j$ 。对于给定的  $j$ ,  $z_{ij}$  的差异越小,  $e_j$  越大, 指标所起作用越大, 反之亦然;  $e_j=1$  时, 该项指标无意义。定义差异性系数为

$$g_j = 1 - e_j$$

6、求第  $j$  项指标权重值  $w_j = g_j / \sum_{j=1}^n g_j$ 。利用下层结构的指标  $g_j$  求和, 可

对应得出全部指标的差异系数总和, 可对应的出全部指标的差异系数总和  $G = G_1 + \dots + G_5$ , 那么相应的五个影响因素层的指标权重可用  $H_k = G_k / G$  来分别求出。

### (三) AHP-改进熵值法-综合权重确定法

熵值法基于获得的数据, 并没有考虑到园区的实际评价情况, 层次分析法同样主观性太大。本研究运用 AHP-改进熵值法-综合权重确定法对子指标的权重进行确定, 然后子指标权重的加和即是上一层指标的权重。综合运用公式确定权重:

$$W = t \times \alpha + (1-t) \times \beta$$

式中,  $\alpha$  是层次分析法确定的权重;  $\beta$  是改进熵值法确定的权重;  $t$  是修正系数, 从文献调研发现: 陈桂枝, 基于灰色关联分析法的城镇化水平的综合评价——以湖北黄冈市为例等文献均设置  $t$  为 0.5, 即假设两者影响程度相同, 因此本研究取  $t$  为 0.5。

#### 4.1.3 数据标准化处理

按照评价指标的量化与否, 可以将其分为定性和定量两类指标, 园区循环化改造指标体系中搜集的数据需进行标准化及无量纲化处理, 以使得各类指标的方向性及量纲均相同。标准化处理的方法有很多, 对于评估的指标, 在实际操作过程中, 有可能会遇到三类指标, 分别为正向指标、居中型指标及负向指标, 其中以正向及负向指标最为常见。正向指标是指人类期望越大越好的指标, 如资源

产出率等，负向指标是指人类期望越小越好的指标，如废弃物排放量等。本文将选取以下方式对数据进行标准化处理：

对于正向指标  $x_{ij}$ ，令： $x_{ij}^* = x_{ij} / x_{j\max}$ ，( $x > 0$ )

对于负向指标  $x_{ij}$ ，令： $x_{ij}^* = x_{j\min} / x_{ij}$ ，( $x > 0$ )

式中： $x_{j\max}$  为  $x_{ij}$  中最大值， $x_{j\min}$  为  $x_{ij}$  中最小值。

#### 4.1.4 园区循环发展评价模型

由于涉及综合（装备制造与电子为主）类、行业（化工）类和静脉类三种不同类型园区，本研究将采用突变模型和模糊评价模型对不同类型园区进行分别评估。

##### （一）突变评价模型

突变级数法是一种对评价目标进行多层次矛盾分解，然后利用突变理论与模糊数学相结合产生突变模糊隶属函数，再由归一公式进行综合量化运算，最后归一为一个参数，即求出总的隶属函数，从而对评价目标进行排序分析的一种综合评价方法。该方法由突变模型演化而来，它的特点是没有对指标采用权重，但它考虑了各评价指标的相对重要性，从而减少了主观性又不失科学性、合理性，其应用范围广泛。

尖点突变模型、燕尾突变模型和蝴蝶突变模型是初等突变理论中最常见的三种模型，它们的势函数分别是：

尖点突变模型： $f(a) = a^4 + \beta a^2 + \gamma a$

燕尾突变模型： $f(a) = \frac{1}{5}a^5 + \frac{1}{3}\beta a^3 + \frac{1}{2}\gamma a^2 + \delta a$

蝴蝶突变模型： $f(a) = \frac{1}{6}a^6 + \frac{1}{4}\beta a^4 + \frac{1}{2}\gamma a^3 + \frac{1}{2}\delta a^2 + \varepsilon a$

其中， $a$  代表突变模型中呈现的指标状态， $f(a)$  代表突变模型中状态指标  $a$  的势函数， $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\varepsilon$  是状态指标的控制指标。

总指标被逐层分解为子指标后，根据一个指标包含的子指标数量的不同，则突变模型也不同。也即当指标包含两个、三个、四个不同子指标数量时，则突变模式将分别被认为是尖点突变系统、燕尾突变系统和蝴蝶突变系统。分类图示见

图 4.1。根据突变系统中状态指标和控制指标两者之间的特点, 习惯上多把主要控制指标放在次要控制指标之前。

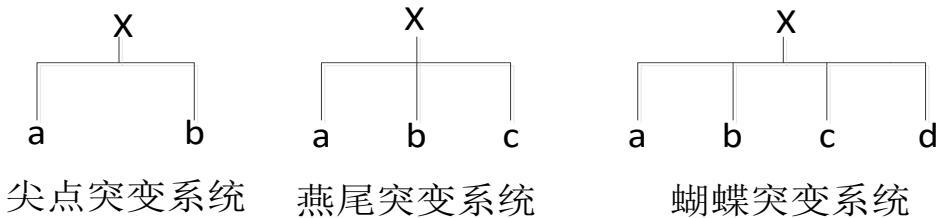


图 4.1 突变系统类型图示

为了更好对评价目标进行评价, 现对模型进行归一化公式推导。假设突变模型中  $a$  的势函数为  $f(a)$ , 利用突变理论基本原理, 求解其一阶导数  $f'(a)=0$ , 此时获得的临界点组成的平衡曲面为  $s$ , 同时求  $f''(a)=0$ , 获得相应奇点集的解: 由  $f'(a)=0$  及  $f''(a)=0$  可以获得下列模型:

尖点突变模型:  $\beta = -6a^2$ ,  $\gamma = 8a^3$

燕尾突变模型:  $\beta = -6a^2$ ,  $\gamma = 8a^3$ ,  $\delta = -3a^4$

蝴蝶突变模型:  $\beta = -6a^2$ ,  $\gamma = 8a^3$ ,  $\delta = -3a^4$ ,  $\epsilon = 5a^5$

利用以上模型得到归一化方程, 通过归一化方程将控制变量转化为状态变量。实际研究中常用的三种模型的归一化方程可用下面的形式表示:

尖点突变模型:  $a_\beta = \beta^{1/2}$ ,  $a_\gamma = \gamma^{1/3}$

燕尾突变模型:  $a_\beta = \beta^{1/2}$ ,  $a_\gamma = \gamma^{1/3}$ ,  $a_\delta = \delta^{1/4}$

蝴蝶突变模型:  $a_\beta = \beta^{1/2}$ ,  $a_\gamma = \gamma^{1/3}$ ,  $a_\delta = \delta^{1/4}$ ,  $a_\epsilon = \epsilon^{1/5}$

其中,  $a_\beta$  用来表示  $\beta$  的  $a$  变量,  $a_\gamma$  用来表示  $\gamma$  的  $a$  变量,  $a_\delta$  用来表示  $\delta$  的  $a$  变量,  $a_\epsilon$  用来表示  $\epsilon$  的  $a$  变量。

## (二) 模糊综合评价模型

模糊综合评价是对受到多种因素影响的事件做出全面分析与评价的一种有效决策方法。其特点是评价结果不是以精确数字刻画的、绝对的肯定与否定, 而是用一个模糊集合来对事物的程度进行表征。当定性指标属于某一等级的判断很难用具体数字来表示, 而只能用“高”、“中”、“低”等模糊概念来表示时, 应用模糊综合评价法可以更好的解决定性指标定量化问题。一方面受数据限制, 另一方面只通过园区的投入产出比考核物流园区的绩效过于片面, 所以本研究根据确立的典型园区绩效评价指标体系, 从多个方面对园区的绩效进行综合评价。该模

糊综合评价模型的基本原理是：综合分析各影响因素对园区绩效的影响程度，通过设置各种影响因素的权重来区分其重要性，进而建立数学模型，计算出园区绩效的最终评价值。

### 1 确定因素集合

$$A = \{A_1, A_2 \dots A_n\}$$

在集合 A 中共有 M 个因素，这些因素通过自身不同程度的模糊性来影响判断矩阵，在此基础上，根据这些因素属性的不同将集合 A 分为 n 个子集，其中  $A_i$  为 A 的子集， $A_{ij}$  为  $A_i$  的子集，分别记为：

$$[A_i] = \{A_{i1}, A_{i2} \dots A_{ij}\}$$

$$[A_{ij}] = \{A_{ij1}, A_{ij2} \dots A_{ijk}\}$$

式中  $i=1,2 \dots n$ ； $j$  为  $A_i$  为中子集的个数； $k$  为  $A_i$  的子集  $A_{ij}$  中因素的个数。

### 2 确定评价标准及评语集

所谓评价标准，指的是各个评价等级所对应的标准值；评语  $V = \{V_1, V_2 \dots V_p\}$ ，

$p$  为评价等级的个数。

### 3 确定隶属度矩阵

依据已建立的隶属度函数确定各因素相对于评价标准的隶属程度，从而得出单因素模糊评价矩阵  $R_{ij}$ ：

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} r_{12} \dots r_{1p} \\ r_{21} r_{22} \dots r_{2p} \\ \dots \dots \dots \\ r_{k1} r_{k2} \dots r_{kp} \end{bmatrix}$$

### 4 建立权重集

计算各层次指标权重，确定因素权重集：

$$A_{ij} = [a_{ij1}, a_{ij2} \dots a_{ijk}]$$

$$A_i = [a_{i1}, a_{i2} \dots a_{ij}]$$

$$A = [a_1, a_2 \dots a_n]$$

### 5 一级模糊综合评价

假设一级模糊综合评价的单因素评价矩阵为，则模糊矩阵复合运算公式  $B_{ij} = A_{ij} \bullet R_{ij}$ 。其中，“•”是模糊合成算子，一般分为主因素决定型、主因素突出型和加权平均型三种，由于加权平均型在测算评价结果时综合考虑了所有因素，因此，比较适合复杂情形下对研究对象进行的综合评价。

通过加权平均型模糊矩阵复合运算，可以得到  $A_{ij}$  的综合评价结果向量：

$$B_{ij} = A_{ij} \bullet R_{ij} = [b_{ij1} \ b_{ij2} \ \dots \ b_{ijp}]$$

## 6 模糊综合评价结果向量分析

依据模糊数学中的最大隶属度原则，若该向量的最大分向量  $b_k = \max(b_1, b_2, \dots, b_k, \dots, b_p)$ ，则说明被评价对象的综合评价结果属于第  $K$  等级。

## 4.2 案例分析—行业（化工）类产业集聚区循环发展水平评估

### 4.2.1 濮阳经开区基本情况

濮阳经济技术开发区（简称濮阳经开区）成立于 1992 年 9 月，1994 年 3 月被河南省政府批准为省级高新技术产业开发区。2006 年 7 月，通过了国家发改委、国土资源部审核公告，命名为“河南濮阳经济开发区”。2013 年 1 月，国务院正式批准濮阳经济开发区升级为国家级经济技术开发区，更名为“濮阳经济技术开发区”。濮阳经济技术开发区（以下简称经开区）位于濮阳市区西部，主要为濮阳市区的建成区，拥有良好的基础设施和公共配套服务。开发区紧邻中原油田、“西煤东输”通道，并有便捷的交通直通京津经济圈、渤海经济圈，可较好利用周边区域资源和市场。辖区总面积 232 平方公里，全区总人口 21.9 万人。是全国首家国家火炬计划生物化工产业基地、国家循环化改造示范试点园区、国家外贸转型升级专业示范基地、国家新型工业化（化工）产业基地、国家中小企业创新服务先进社区、河南省精细化工特色产业基地、国家农业科技园区。

在交通方面经开区已建成 14 条道路，总长 38.5 公里，形成“三纵六横”的区间交通网络。经开区与市区间交通便捷，西侧靠近大广高速，区内东西向主干道中原路直接与大广高速连接；北侧靠近濮范高速公路，区内南北向主干道濮上路直接与濮范高速相连；南临我国新增的“西煤东输”能源动脉，也是世界上第

一条万吨重载铁路--晋中南铁路，全长 1260 公里，是连接我国东西部的重要煤炭资源运输通道， 2014 年已建成通车，为开发区煤化工产业的发展提供重要保障。详见：图 4.2 经开区交通区位图。

在经济发展方面濮阳经开区是中原经济区重要出海通道，中原经济区与环渤海经济圈衔接融合的前沿，省际交会区域性中心城市，同时也是河南省内唯一的同处中原经济区、环渤海经济圈和大京九协作区的城市。2015 年，全区生产总值完成 87.46 亿元，规模以上工业增加值完成 37.44 亿元，公共财政预算收入 7.07 亿元。

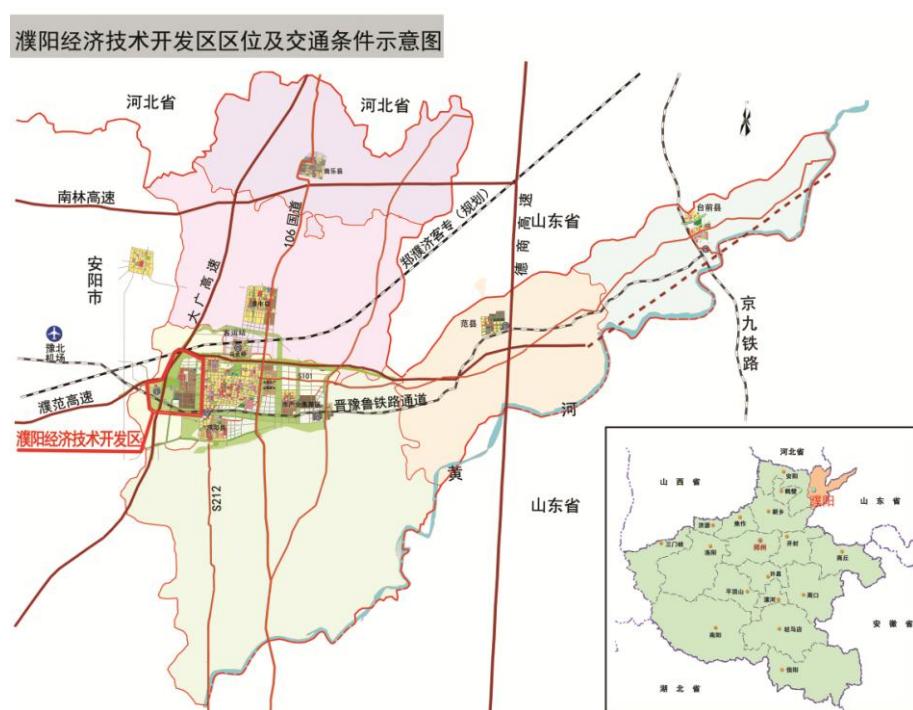


图 4.2 濮阳经开区交通区位图

#### 4.2.2 濮阳经开区主导产业链分析

## （一）经开区主导产业

经开区依托濮阳市丰富的石油、天然气、煤炭、盐矿等自然资源，初步形成了以石化、化工产业为主导，林纸林板业、特色装备制造业、生物医药业、物流业相互支撑，互动发展的产业格局。2015年，全区生产总值完成87.46亿元，同比增长12.8%；固定资产投资完成92.63亿元，同比增长14.9%；规模以上工业

增加值完成 37.44 亿元，同比增长 17%；公共财政预算收入 7.07 亿元，同比增长 10.1%。

主要产业概况如下：

**化工产业：**化工产业是开发区的主导产业，初步形成了石油化工、煤化工融合发展的产业基础。截止 2015 年底，园区拥有各类化工企业 96 家，其中，规模以上化工企业 24 家，实现主营业务 111.18 亿元，占全区规模以上工业主营业务收入的 51%。主导公司以中原乙烯、中原大化、龙宇化工、永金化工、迈奇科技、鹏鑫化工、宏健化工、新豫化工、惠成电子等企业为代表，主导产品有甲醇、乙二醇、乙烯、丙烯、三聚氰胺、尿素、N-甲基吡咯烷酮、季戊四醇等。如表 4.3 所示。

表 4.3 2015 年濮阳经开区主导产业一览表

主导产业（化工产业）情况			
化工产业企业数量	96 个		
规模以上化工企业数量	24 个		
规模以上化工企业主营业务收入	111.8 亿元		
占全区规模以上化工企业总产值比重	51%		
采用国际质量管理体系认证的企业所占比重	95%		
园区主要企业情况			
主要企业名称	2015 年销售 收入 (亿元)	主要产品门类	原料投入
河南省中原大化集团	17.50	尿素、三聚氰胺、NPK	煤、天然气
中原乙烯有限责任公司	36.4	乙烯、丙烯、聚乙烯、聚丙	石脑油、乙醇
濮阳市新豫石油化工有限公司	0.6	C5 石油树脂、双环异戊二	石油、碳 5
河南沃森超高化工科技有限公	0.68	超高分子聚乙烯	乙烯单体
中农发河南农化有限公司	4.25	DEA、MEA	乙烯、氯气
濮阳惠成化工有限公司	3.5	四氢苯酐、增塑剂	氢气、碳 4、碳 5
濮阳班德路化学有限公司	1	增粘树脂	碳 5
宏业生化股份有限公司	1.23	糠醛、甲酸钠	氢气
濮阳迈奇科技有限公司	3.2	N-甲基吡咯烷酮	1,4-丁二醇

**林纸林板产业：**以龙丰纸业、晨光木业等企业为代表的林纸林板产业入驻开发区，主导产品有杨木纸浆、文化用纸等。

**装备制造产业：**以双发实业、贝英数控、海华石油、轩辕石油等企业为代表的 24 家装备制造企业入驻开发区，主导产品有石油机械及配件、压力容器、数控机床、活塞、注水泵及配件等。

**电力建材产业：**濮阳国电装机容量  $2 \times 200\text{MW}$  热电机组，为园区提供电力、蒸汽等，同力水泥现有一条 100 万吨/年水泥粉磨生产线，消纳园区粉煤灰等固体废弃物。

## （二）经开区主导产业链分析

濮阳经济技术产业集聚区是河南省化工企业最密集的地区，拥有 31 万吨乙烯、18 万吨聚丙烯、26 万吨聚乙烯、18 万吨聚丙烯、25 万吨苯、2 万吨 MTBE、30 万吨合成氨、52 万吨尿素、65 万吨甲醇、10 万吨二甲醚、10 万吨复合肥、6 万吨三聚氰胺、20 万吨乙二醇、100 万吨真空盐、10 万吨糠醛、19 万吨甲醛、8 万吨甲缩醛、3.2 万吨 N-甲基吡咯烷酮、5 万吨双氧水、8.5 万吨三聚氰胺、6.5 万吨甲酸钠、2 万吨季戊四醇、2 万吨高粘性萜烯树脂、3 万吨 LED 封装材料、1 万吨超高分子量聚乙烯等产品产能。目前区内形成了较完善的产业链条。

### （1）石化产业链

主要是以中原乙烯有限责任公司为主，辐射和带动了一批以生产石化产品的企业的发展和壮大，石油化工已经在开发区形成比较完整的产业链条。

开发区目前石化产业链主要有以下四个产业链(如图 4.3 所示)，具体产业链如下：

（1）天然气、石脑油—乙烯、丙烯—聚烯烃—农膜、管材等塑料产品加工链；

（2）丙烯—橡胶、丙烯酸—高吸水性树脂、碳纤维、胶合剂、涂料等产品链；

（3）碳四、碳五—橡胶、树脂、精细化工—涂料、轮胎、鞋、车用品等橡胶加工产品链；

（4）芳烃—有机原料—合成材料—精细化工和材料加工产品链，集中发展精深加工。

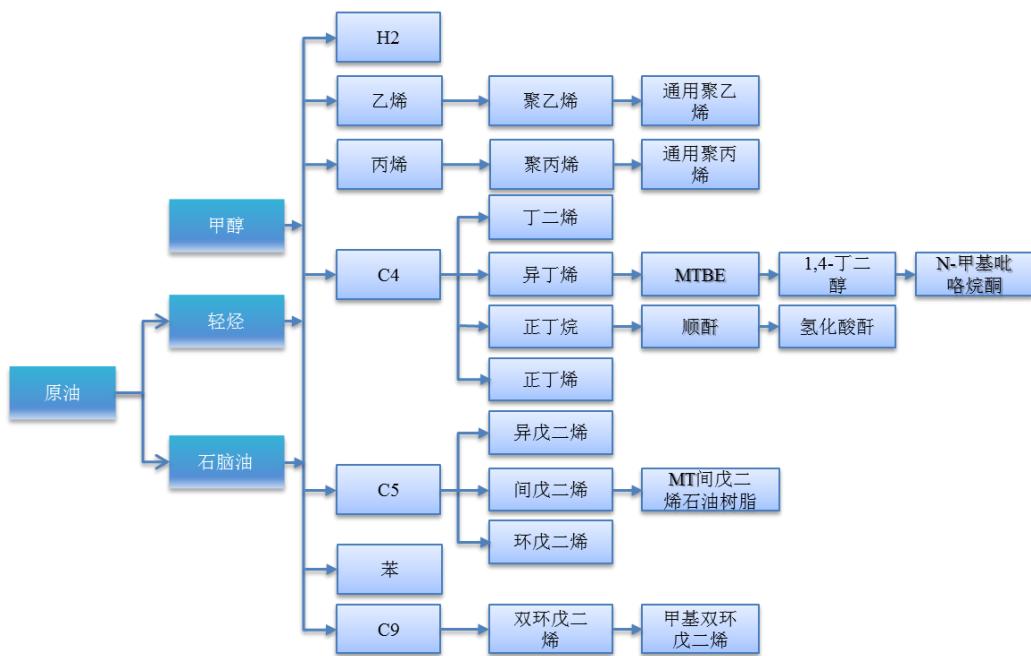


图 4.3 濮阳经开区石化产业链条图

## (2) 煤化工产业链

经开区依托中原大化和龙宇化工两大企业(属世界 500 强企业河南煤化集团公司的全资子公司),突破现代煤化工关键技术,积极发展煤化工深加工产品,形成多元化和精细化的产品结构,如煤制油、煤制烯烃、煤制乙二醇和煤制天然气等,目前区内基本形成了以煤制合成氨、甲醇为龙头,以甲醇和合成氨下游深加工为主体的煤化工产业链。如图 4.4 所示濮阳经开区煤化工产业链条。

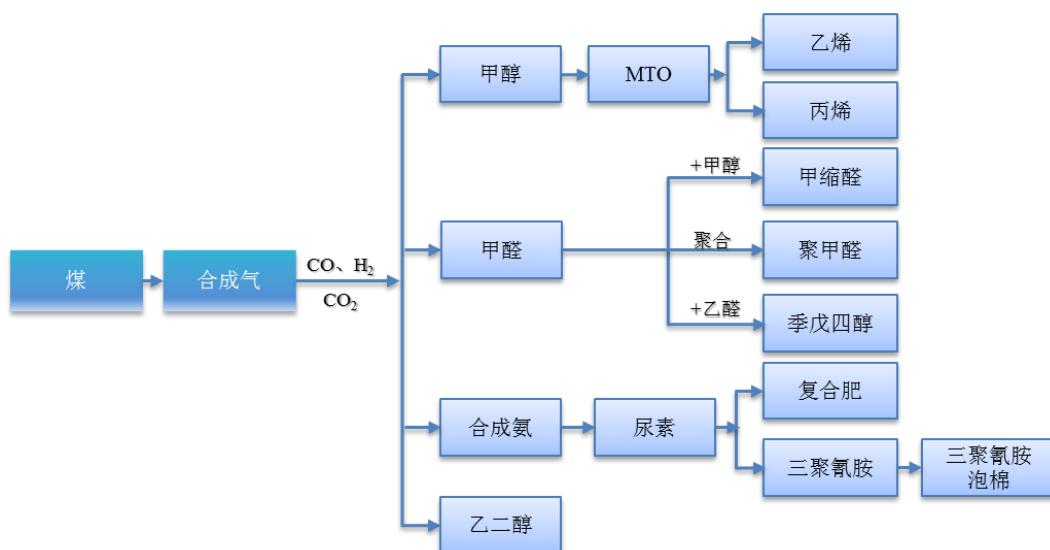


图 4.4 濮阳经开区煤化工产业链条图

### 4.2.3 濮阳经开区循环经济绩效评价指标体系的构建

#### （一）濮阳经开区循环经济绩效评价指标初步建立

目前，面对建设循环工业园区的热潮，我们需要以理论和科学的方法来建立一套评价体系对园区进行评价，包括评价方法、评价指标和数据的采集与计算方法等内容。查阅国家环境保护部 2015 年颁布的《国家生态示范园区标准》以及 2006 年颁布的《行业（化工）类生态工业园区标准（试行）》，我们对濮阳经开区循环发展指标评价体系分为以下几个层次：

一、经济发展指标。在当前的经济发展的情况下，经济效益是一项必不可少的考虑因素，园区的经济发展指标对园区的发展极其重要。检测指标数据包含：1、经济增加值（亿元）；2、人均工业增加值（万元/人）。

二、资源产出指标。资源产出指标是评价循环经济发展水平的综合性指标，也是反映资源节约型、环境友好型社会建设的重要指标。循环经济是指以“减量化、再利用、资源化”为原则，以更少的资源消耗，生产出更多的社会最终产品和劳务的一种经济发展模式，其核心是提高资源产出效率。因此资源产出率是园区循环发展水平评估的重要指标。检测指标数据包括：1、资源产出率（万元/吨）；2、能源产出率（万元/吨标煤）；3、土地产出率（万元/公顷）；4、水资源产出率（万元/立方米）。

三、资源消耗指标。园区的资源消耗指标是园区对资源的利用的综合评价，具体检测指标包括：1、单位工业增加值能耗（吨标煤/万元）2、单位工业增加值新鲜水耗（立方米/万元）3、单位面积工业总产值（亿元/平方公里）。

四、资源利用率指标。资源利用率表示资源的循环利用水平，具体包括：1、工业固体废物综合利用率（%）2、工业用水重复利用率（%）3、危险废物处置率（%）。

五、废弃物排放指标。园区的发展离不开环境的保护，废弃物排放指标是对园区污染物的综合评价指标，具体包括：1、单位工业增加值 COD 排放量（Kg/万元）2、单位工业增加值 SO<sub>2</sub> 排放量（吨/万元）3、单位工业增加值废水排放量（吨/万元）4、单位工业增加值固废产生量（吨/万元）5、单位工业增加值二氧化碳排放量（吨/万元）。

六、生态关联指标。其他指标包括：1、开发区循环产业链关联度（%）2、

非化石能源占一次能源比重（%）3、开展清洁生产的企业所占比例（%）4、环保投资占GDP比重（%）。

表 4.4 濮阳经开区循环发展评价指标体系

	准则层	指标层	单位
濮阳经开区循环发展水平评估指标 A	经济发展 B1	工业增加值 C1	亿元
		人均工业增加值 C2	万元/人
濮阳经开区循环发展水平评估指标 A	资源产出 B2	资源产出率 C3	万元/吨
		能源产出率 C4	万元/吨标煤
		土地产出率 C5	万元/公顷
		水资源产出率 C6	万元/立方米
濮阳经开区循环发展水平评估指标 A	资源消耗 B3	单位工业增加值能耗 C7	吨标煤/万元
		单位工业增加值新鲜水耗 C8	立方米/万元
		单位面积工业总产值 C9	亿元/平方公里
濮阳经开区循环发展水平评估指标 A	资源利用率 B4	工业固体废物综合利用率 C10	%
		工业用水重复利用率 C11	%
		危险废物处置率 C12	%
濮阳经开区循环发展水平评估指标 A	废弃物排放 B5	单位工业增加值 COD 排放量 C13	Kg/万元
		单位工业增加值 SO <sub>2</sub> 排放量 C14	吨/万元
		单位工业增加值废水排放量 C15	吨/万元
		单位工业增加值固废产生量 C16	吨/万元
		单位地区生产总值二氧化碳排放量 C17	吨/万元
濮阳经开区循环发展水平评估指标 A	生态关联指标 B6	开发区循环产业链关联度 C18	%
		非化石能源占一次能源比重 C19	%
		开展清洁生产的企业所占比例 C20	%
		环保投资占GDP比重 C21	%

## （二）濮阳经开区循环经济绩效评价指标筛选

经过初步选择的评价指标体系，基于濮阳市经开区循环经济发展水平评估的含义、现有循环经济评价文献研究基础上进行确定，找到研究的着眼点。受资料获取限制，上述指标体系虽然包含因素不是太多，但它们同样存在个人主观选择

困境，要实现评价指标体现的科学、合理、可行性还需要经过筛选，以适应濮阳经开区发展和满足园区经济可持续发展实际需求。针对园区循环发展水平指标体系中，应尽量采用相对指标，减少绝对指标的比例结合数据的可获得性和园区的发展，同时结合专家选择、调整，得到综合评价指标体系分四个层次，13 个因素，详细情况如表 4.5 所示。

表 4.5 濮阳经开区遴选后评价指标体系

准则层	指标层	单位	方向
资源产出	土地产出率	万元/公顷	+
	水资源产出率	元/立方米	+
	资源产出率	万元/吨	+
	能源产出率	万元/吨标煤	+
资源消耗	单位工业增加值能耗	吨标煤/万元	-
	单位工业增加值新鲜水耗	立方米/万元	-
	单位面积工业总产值	亿元/平方公里	+
资源利用率	工业固体废物综合利用率	%	+
	工业用水重复利用率	%	+
废弃物排放	单位工业增加值 $SO_2$ 排放量	吨/万元	-
	单位工业增加值废水排放量	吨/万元	-
	单位工业增加值固废产生量	吨/万元	-
	单位工业增加值二氧化碳排放量	吨/万元	-

#### 4.2.4 濮阳经开区指标权重的确定

为了更好得到濮阳经开区评价指标权重，根据 4.4 循环经济绩效评价方法，通过观察标准化数据发现，指标数据位于-1.2 和+1.2 之间，因通过指标平移公式可知  $D=1.2$ ，通过对标准化样本数据进行坐标平移，得到标准化处理及平移后样本。

以建立结构化的指标体系基础上，按照 AHP-改进熵值法-综合权重确定法求权重的步骤。首先，逐步构建各层次的判断矩阵，通过判断矩阵，采用和积法计算各指标的相对权重；其次，根据改进熵值法求权重的步骤对子指标确定权重；

最后,应用综合权重确定法对子指标权重进行确定。计算得到三级指标对于各自所在准则层的权重,见表 4.6。

表 4.6 濮阳经开区的主要循环经济指标权重

准则层 $W$	权重 $W_i$	指标层 $R$	权重 $W_i$
资源产出指标 W1	0.2845	土地产出率 R1	0.0481
		水资源产出率 R2	0.0459
		资源产出率 R3	0.1103
		能源产出率 R4	0.0803
资源消耗指标 W2	0.2425	单位工业增加值能耗 R5	0.1158
		单位工业增加值新鲜水耗 R6	0.0805
		单位面积工业总产值 R7	0.0461
资源利用率指 标 W3	0.1637	工业固体废物综合利用率 R8	0.0801
		工业用水重复利用率 R9	0.0836
废弃物排放指 标 W4	0.3093	单位工业增加值 $SO_2$ 排放量 R10	0.1200
		单位工业增加值废水排放量 R11	0.0527
		单位工业增加值固废产生量 R12	0.0520
		单位工业增加值二氧化碳排放量 R13	0.0847

依据准则层的权重和指标层的权重大小,将各层按照重要性进行排序,排序后的结果如下表 4.7 所示。

表 4.7 濮阳经开区循环经济评价指标体系权重

指标层	权重
废弃物排放指标 W4	<b>0.3093</b>
单位工业增加值 $SO_2$ 排放量 R10	0.1200
单位工业增加值废水排放量 R11	0.0527
单位工业增加值固废产生量 R12	0.0520
单位工业增加值二氧化碳排放量 R13	0.0847
资源产出指标 W1	<b>0.2845</b>
土地产出率 R1	0.0481
水资源产出率 R2	0.0459

资源产出率 R3	0.1103
能源产出率 R4	0.0803
<b>资源消耗指标 W2</b>	<b>0.2425</b>
单位工业增加值能耗 R5	0.1158
单位工业增加值新鲜水耗 R6	0.0805
单位工业用地面积工业增加值 R7	0.0461
<b>资源利用率指标 W3</b>	<b>0.1637</b>
工业固体废物综合利用率 R8	0.0801
工业用水重复利用率 R9	0.0836

根据排序后的权重值构建濮阳经开区循环经济绩效评价突变指标体系，其中一级指标权重依大小依次是其中一级指标权重从左到右依次是 W4、W1、W2、W3。二级指标权重依大小依次是 R10、R13、R11、R12；R3、R4、R1、R2；R5、R6、R7；R9、R8。将各指标进行分类，W4 和 W1 属于蝴蝶突变体系，W2 属于燕尾型突变体系，W3 属于尖点突变体系。

#### 4.2.5 濮阳经开区循环经济绩效评价结果

##### （一）濮阳经开区循环经济绩效评价样本数据

本文所涉及的数据来自对濮阳经开区实地调查以及濮阳经开区管委会提供的历年统计数据，濮阳经开区样本数据如下表 4.8 所示。

表 4.8 濮阳经开区循环经济绩效评价样本数据

准则层	指标层	单位	2012 年	2013 年	2015 年
资源产出	土地产出率	万元/公顷	1221.37	1450.38	2030.53
	水资源产出率	元/立方米	324.71	340.23	470.66
	资源产出率	万元/吨	0.37	0.36	0.48
	能源产出率	万元/吨标煤	0.92	0.99	1.08
资源消耗	单位工业增加值能耗	吨标煤/万元	1.61	1.54	1.26
	单位工业增加值新鲜水耗	立方米/万元	76.99	73.48	53.12
	单位面积工业总产值	亿元/平方公里	32	9.74	13.64
资源利用率	工业固体废物综合利用率	%	80	83	85

	工业用水重复利用率	%	87	91	95
废弃物排放	单位工业增加值 $SO_2$ 排放量	Kg/万元	3.91	3.22	2.29
	单位工业增加值废水排放量	吨/万元	6.7932	6.0118	4.4947
	单位工业增加值固废产生量	吨/万元	0.5625	0.6316	0.5188
	单位工业增加值二氧化碳排放量	吨/万元	3	2.5	2.1

## (二) 濮阳经开区循环经济绩效评价结果

在确定了濮阳经开区循环经济绩效评价突变指标体系后,将 2012-2015 年的原始数据进行突变模糊隶属度函数值转换,正向指标数值越大越好,以样本中最大值为基准,将其突变模糊隶属度函数值取值为 1.0; 逆向指标则恰好相反。采用上述标准变化后的 2012-2015 年濮阳经开区循环经济绩效评价指标的突变模糊隶属度函数值见表 4.9。

表 4.9 濮阳经开区循环经济绩效评价指标突变模糊隶属度值

		2012 年	2013 年	2015 年
W4	R10	0.0000	0.4259	1.0000
	R13	1.0000	0.5556	0.0000
	R11	0.0000	0.3400	1.0000
	R12	0.6126	0.0000	1.0000
W1	R3	0.0833	0.0000	1.0000
	R4	0.0000	0.4375	1.0000
	R1	0.0000	0.2830	1.0000
	R2	0.0000	0.1063	1.0000
W2	R5	1.0000	0.2000	0.0000
	R6	0.0000	0.1470	1.0000
	R7	1.0000	0.0000	0.1752
W3	R9	0.5000	0.0000	1.0000
	R8	0.0000	1.0000	0.6000

以 2012 年为例, 利用归一化公式对循环经济绩效进行综合评价, 各层指标计算过程如下: 废弃物排放指标 W4, 下层指标 R10、R13、R11、R12 构成蝴蝶型系统突变模型, 计算指标的相关系数得到变量之间呈强相关关系, 表明各因

素之间可相互代替，根据“互补准则”：

$$\begin{aligned}V_{W4} &= (V_{R10}^{1/2} + V_{R13}^{1/3} + V_{R11}^{1/4} + V_{R12}^{1/4}) / 4 \\&= (0.0000^{1/2} + 1.0000^{1/3} + 0.0000^{1/4} + 0.6126^{1/4}) / 4 \\&= 0.4712\end{aligned}$$

资源产出指标 W1，下层指标 R3、R1、R2、R4 构成蝴蝶型系统突变模型，计算指标的相关系数得到变量之间呈强相关关系，表明各因素之间可相互代替，根据“互补准则”：

$$\begin{aligned}V_{W1} &= (V_{R3}^{1/2} + V_{R1}^{1/3} + V_{R2}^{1/4} + V_{R4}^{1/4}) / 4 \\&= (0.0833^{1/2} + 0.0833^{1/3} + 0.0000^{1/4} + 0.0000^{1/4}) / 4 \\&= 0.0722\end{aligned}$$

资源消耗指标 W2，下层指标 R5、R6、R7 构成燕尾型系统突变模型，计算指标的相关系数得到变量之间呈强相关关系，表明各因素之间可相互代替，根据“互补准则”：

$$\begin{aligned}V_{W2} &= (V_{R5}^{1/2} + V_{R6}^{1/3} + V_{R7}^{1/4}) / 3 \\&= (1.0000^{1/2} + 0.0000^{1/3} + 1.0000^{1/4}) / 3 \\&= 0.6667\end{aligned}$$

资源利用率指标 W1，下层指标 R8、R9 构成尖点型突变模型，计算指标的相关系数得到变量之间呈强相关关系，表明各因素之间可相互代替，根据“互补准则”：

$$\begin{aligned}V_{W3} &= (V_{R9}^{1/2} + V_{R8}^{1/3}) / 2 \\&= (0.5000^{1/2} + 0.0000^{1/3}) / 2 \\&= 0.3536\end{aligned}$$

上一层指标 W1、W4、W2、W3 构成蝴蝶型突变系统模型，计算指标的相关系数得到变量之间呈弱相关关系，表明各指标的作用不可相互代替，根据“非互补准则”：

$$\begin{aligned}V_{\Phi} &= \min (V_{W4}^{1/2}, V_{W1}^{1/3}, V_{W2}^{1/4}, V_{W3}^{1/4}) \\&= \min (0.4712^{1/2}, 0.0722^{1/3}, 0.6667^{1/4}, 0.3536^{1/4}) \\&= 0.4164\end{aligned}$$

同样道理，按照上述评价方法可分别求出濮阳经开区循环经济绩效评价的结

果, 见下表 4.10。

表 4.10 濮阳经开区循环经济绩效评价结果

	2012 年	2013 年	2015 年
综合评价结果	0.4163	0.7480	0.8608
废弃物排放指标	0.4712	0.5596	0.7500
资源产出指标	0.0722	0.5149	1.0000
资源消耗指标	0.6667	0.3250	0.5490
资源利用指标	0.3536	0.5000	0.9217

由上表评价结果可以看出, 2012 年-2015 年, 濮阳经开区循环经济效果改善明显, 2015 年综合评价比 2012 年综合评价有大幅度提升, 分别从资源产出指标、废弃物排放指标、资源消耗指标、资源利用指标等四个指标来分析, 各项指标的发展趋势见下图 4.5。

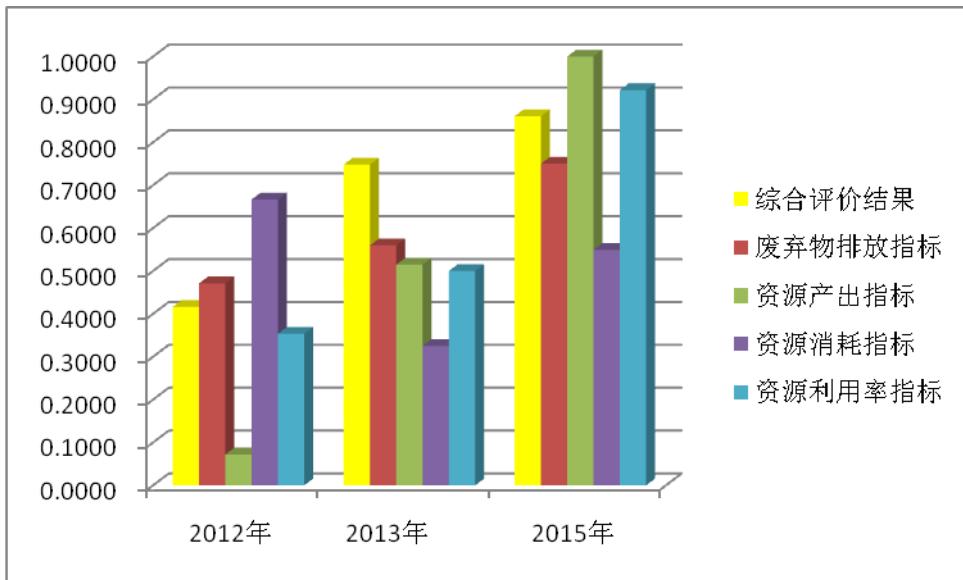


图 4.5 濮阳经开区循环经济绩效评级效果图

2012 年至 2015 年, 资源产出指标上涨幅度最为明显, 园区积极完善产品链, 通过产业链横向耦合和纵向发展不断提高资源产出率; 废弃物排放指标在逐年提升, 园区在发展经济的同时更较为重视静脉产业的发展; 资源消耗指标不稳定, 2015 年评价结果比 2012 年低, 园区应该在产品端不断做精做深, 进一步减少资源消耗量; 资源利用指标在稳步提升, 改善比较明显, 基本满足循环经济发展的需求。

总的评估结果表明, 2015 相较前两年循环发展水平有所增长。因此, 推进

濮阳经开区循环化改造，合理延伸产业链并对园区企业进行循环链接，实现基础设施和公共服务共建共享，有利于实现园区资源高效和废弃物循环利用，提升濮阳经开区可持续发展能力和竞争力。但通过对近年来开发区宏微观环境分析、综合评价指标等数据分析，发现濮阳经开区循环发展中主要面临着以下几个方面的问题：

第一，空间布局有待于进一步优化。受到历史原因的影响，当前开发区土地开发程度较高，且周边产业布局和发展以化工企业为主。随着开发区产业政策和发展规划的不断调整，局部格局存在的不尽合理之处逐步显现。一是在中原路以南，化工一路以西区域范围内，企业数量多、规模小、布局散乱、总体发展水平较低；二是在资源利用方面，企业之间以及和周围环境缺乏互相衔接和配合机制，物耗、能耗较高，公用设施、副产物、可利用的三废资源不能得到共用、它用和再资源化利用；三是土地资源配置的不够合理，一些起点高、相对污染轻、资源消耗少，与上下游关联度比较高的企业布局相距较远，缺乏集中度。

第二，产业链上下游发展规模不协调。随着开发区建设的不断推进，合成气供给公共平台和科学统筹调配开原料气供给体制的缺乏对未来发展形成了不同程度的制约。一方面，开发区大部分企业是化工企业，需要大量的合成气和氢气等化工原料气体，由于在集中供应合成气、压缩气方面还没有完全实现，企业多采取自行建设气化装置、空分装置的措施，能源利用效率低。另一方面，虽然开发区可年产乙二醇 20 万吨，甲醇 70 万吨，但置气能力仅为 15 亿立方米/年，明显不能满足开发区需要。同时，开发区每年需要外购大量甲醇来满足甲醇下游企业生产，如 60 万吨甲醇制烯烃项目 50% 甲醇原料需外购，这在一定程度上限制了石化产业的进一步延伸和发展。此外，开发区内基础化工企业较多，整体产业链不够长，上游资源、产品没有得到充分利用，精深加工产品较少，严重影响开发区化工产业的竞争优势。

第三，石化煤化耦合度不高。由于石化和煤化之间的关联配套不高，目前只是在甲醇供应和部分副产品之间有融合，缺乏全面深度融合。一是开发区的石化链条是以少碳多氢的产业为基础发展起来的，而煤炭化工产业链则是多碳少氢为主的产业，因此造成在石化链条上  $H_2$  资源的富余和煤化链条上的  $CO$  资源富余，而这些副产品又没有得到高效高质利用，形成了资源的浪费。二是企业生产形成

的废弃物没有资源化利用，互惠互利的情况不多，资源利用率还有提升空间。

第四，水资源利用水平有待提高。目前，由于濮阳经济技术开发区尚未建立完善的企业与企业之间，行业与行业之间的水循环链，因此，在生产工艺节水、用水节水、废水循环利用、管网渗漏检测等方面也缺乏相应的措施。此外，虽然大部分企业生产的废水经过企业本身的污水处理设施处理后达标排放，且个别企业实现企业内部水循环，但是由于开发区化工企业较多，工业废水污染较为严重，基础设施投入不够大，中水回用率不高。

### 4.3 案例分析—综合（装备制造与电子为主）类产业集聚区循环 发展水平评估

#### 4.3.1 郑州经济技术开发区基本情况

郑州经济技术开发区成立于 1993 年 4 月，2000 年 2 月获批为河南省首个国家级经济技术开发区。现规划控制区域范围北至陇海铁路，西至机场高速，南至福山路（郑民高速南约 1 公里），东至万三公路，面积 158.7 平方公里，如图 4.6 所示。辖国家级出口加工区（A、B 两区）、省级国际物流园区两个专业园区，辖区现有 6 个办事处 53 个行政村（社区），常住和从业人口约 38 万人。辖区内现有工商注册企业 6450 余家，规模以上工业企业 497 家。2014 年，全区地区生产总值完成 530 亿元，增长 30%；主营业务收入完成 2215 亿元，增长 45%；税收收入完成 85 亿元，增长 136%。在 2015 年全省产业集聚区表彰大会上，被河南省人民政府评为全省唯一一家六星级产业集聚区。



图 4.6 郑州经开区地理位置示意图

郑州经开区通过不断的发展建设，目前，经开区已形成汽车、装备制造、电子信息、食品加工、国际物流等产业集群，以海马汽车、日产第二工厂、恒天重卡、宇通客车为龙头，30多家汽车零部件企业为配套的汽车及零部件产业集聚效应开始显现；以中粮集团、益海嘉里两大粮油巨头为龙头，汇集双汇集团、百事可乐、上好佳、雅士利等食品企业的涉及粮油肉奶和休闲食品的食品加工产业集群逐步形成；以龙工机械、郑煤机为龙头，涉及工程机械装备、煤炭机械装备、煤层气装备等领域的装备制造产业集群即将发力；以旭飞光电、晶诚科技为龙头，涉及集成电路芯片、液晶玻璃基板等产品领域的电子信息产业集群不断壮大；以国际物流产业园区建设为依托，成功引进 TNT、双汇物流、嘉里物流、联邦快运等公司，涉及冷链物流、汽车物流、保税物流、第三方物流等领域的现代物流产业集群迅速崛起。五大产业集群在产值、利税、产业集聚等方面的作用日益明显，有力的引领了全区工业大发展。

**汽车及零部件产业。**重点发展海马汽车、日产第二工厂、恒天重卡、宇通汽车等一批企业，提升行业地位、扩大规模优势、加强市场竞争力、发展巨大潜力的大型汽车及零部件生产企业集团，不断壮大汽车及零部件产业综合实力。以海马和郑州日产两大整车生产企业为核心，发展壮大汽车及零部件产业园区。促进汽车产业链向上下游延伸、价值链向中高端攀升，围绕整车发展，增强零部件配套生产能力，推进汽车零部件生产规模化、专业化。同时，向汽车研发、服务、物流、二手车交易及其他商业配套服务业等产业链延伸，完善提升汽车产业集群，

建设成为中西部地区重要的汽车及零部件产业基地。

**食品加工业。**发挥农业大省资源优势，以产业总量扩张、企业实力增强、品牌效应提升、创新能力提高、安全体系健全为目标，以粮油、烟草以及为核心，同时向方便食品、功能性食品、有机食品和保健品等高附加值产品延伸，建立了包括食品加工、饲料生产、食品废料综合利用在内的完整的产业链。

**高端装备制造业。**高端装备制造业具有自主知识产权的名牌产品和自主创新能力强的高端装备制造优势企业，拥有一批主业突出、技术领先、管理先进、具有核心竞争力的装备制造龙头骨干企业集团，加强重点产业集群建设，强化区域整体实力和竞争能力，以煤矿机械、工程机械和特种机械、电力装备等为主体的先进装备制造业发展格局。

**电子信息产业。**电子信息产业加大关键技术研发力度，加快产品升级换代，促进产业规模快速膨胀，延伸产业链条，推进信息产业集群式发展，大力引进高技术含量、高附加值企业，鼓励自主创新、自主研发，增强信息化带动工业化的能力。努力将电子信息产业打造为集生产和研发于一体的国家级电子信息产业基地。

**现代物流业。**充分发挥了区位优势，以承接产业转移为契机，以河南省进出口物资公共保税中心、郑州市出口加工区续建、郑州铁路集装箱中心站等为平台载体，以国际物流、区域分拨、同城配送为发展定位，重点发展医药类物流、消费品类物流、仓储类及第三方等综合物流、工业类物流。努力建设成河南省现代物流中心。

### 4.3.2 郑州经开区循环经济绩效评价指标体系的构建

#### (一) 郑州经开区循环经济绩效评价指标初步建立

通过对现有循环化改造园区指标体系进行对比分析，查阅国家环境保护部2015年颁布的《国家生态示范园区标准》以及2006年颁布的《行业（化工）类生态工业园区标准（试行）》。同时，由于园区的主导产业、资源禀赋各有不同，评价指标还应纳入更多园区特色的指标，我们对郑州经开区循环发展指标评价体系分为以下几个层次。

首先郑州经开区循环经济绩效评价设为总目标，其次将其分解为不同评价角度（层次），最后将这些评价角度（层次）再分解，细分到具体的描述性的指标，

形成一个严密的逻辑系统。将郑州经开区循环经济绩效评价指标体系分为 3 个层次,第一层为总目标层,旨在综合考察郑州经开区循环经济建设各个因素的综合效应;第二层为准则层,将各个影响因素细化,涵盖资源消耗、资源综合利用和废物排放(处置)因素;第三层即指标层,将准则层的因素分解为可以获取或者计算出的具体指标,以便进行合理科学地评价。其中经济发展设置了 2 个具体指标,资源消耗设置 3 个具体指标,资源综合利用设置了 3 个具体指标,废物排放(处置)设置了 6 个具体指标,园区管理设置了 6 个指标。初步构建的郑州经开区循环经济绩效评价指标体系见表 4.11。

表 4.11 初步构建的产业园区循环经济绩效评价指标体系

目标层	准则层	指标层	单位
经开区循环发 展水平	B1 经济发展指标	C1 园区人均工业增加值	万元/人
		C2 园区工业增加值增长率	%
	B2 资源消耗指标	C3 单位用地面积工业增加值	亿元/km <sup>2</sup>
		C4 单位工业增加值综合能耗	tce/万元
		C5 单位工业增加值新鲜水耗	m <sup>3</sup> /万元
	B3 资源综合利用指标	C6 工业用水重复利用率	%
		C7 工业固体废物综合利用率	%
		C8 生活污水集中处理率	%
	B4 废弃物排放指标	C9 危险废物处置率	%
		C10 单位工业增加值废水产生量	t/万元
		C11 单位工业增加值固废产生量	t/万元
		C12 单位工业增加值 COD 排放量	kg/万元
		C13 单位工业增加值 SO <sub>2</sub> 排放量	kg/万元
		C14 单位工业增加值氨氮排放量	kg/万元
	B5 园区管理指标	C15 环境管理制度与能力	/
		C16 生态工业信息平台的完善度	%
		C17 园区编写环境报告书情况	期/年
		C18 重点企业清洁生产审核实施率	%
		C19 公众对环境的满意度	%
		C20 公众对生态工业的认知率	%

经济发展指标: 经济指标是反映一定社会经济现象数量方面的名称及其数值。经济现象的名称用经济范畴表述, 经济范畴的数量方面则通过数值反映。经济指标在反映经济现象及其发展规律的数量表现时, 是以理论经济学所确定的经

济范畴的涵义为依据。该指标是反映地区经济的重要指标。基于生态产业园经济发展现状，将经济发展指标分为 2 个一级指标，初步设定为人均工业增加值、工业增加值增长率。

**资源消耗指标：**基于可持续发展理论，资源消耗指标用来说明获得单位产品需要的一次能源以及二次资源总量。该项指标是绿色转型的重要指标，它反映节能降耗的效果情况，单位产品的资源消耗指标是经济发展效果的直接表现。因此，将资源消耗指标分为 3 个一级指标，初步设定为单位生产总值能耗、单位工业增加值能耗、单位工业增加值新鲜用水量。

**资源综合利用指标：**基于零排放理论和产业园区经济发展特点，资源综合利用指标主要指工业生产产生的三废（即固废、废水、废气）、生活废物、伴生资源以及传统意义上的五大类废旧物等资源综合回收利用程度。因此，将资源综合利用指标分为 3 个一级指标，初步设定为工业固体废物综合利用率、工业用水重复利用率、生活污水集中处理率。

**废物排放(处置)指标：**基于零排放理论和循环经济产业园区经济发展特点，废物排放(处置)指标主要指工业生产过程中所产生废物（即固体废弃物、水废弃物、废液、废气）的最终产生量或处置量。该指标与资源消耗指标和资源综合利用指标相关，资源消耗越少，综合利用率越高，园区将来需要处理的废弃物越少，园区所在区域环境越好。目前该指标即是国家环境控制要求，同时也是法规要求。因此，本研究将废物排放(处置) 指标分为 6 个一级指标，设定为危险废弃物处置率、单位工业增加值废弃物产生量、工业废水排放量、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）排放量、化学需氧量（COD）排放量和氨氮排放量。

**园区管理指标：**基于评价即分析、判断，它是指标体系的中心功能。评价指标的选择是通过对不同方面、不同层次的描述性指标进行分析，按一定原则进行加工、汇总而成，主要为相对指标。本研究将园区的管理指标分为 6 个一级指标，设定为环境管理制度与能力、生态工业信息平台的完善度、园区编写环境报告书情况、重点企业清洁生产审核实施率、公众对环境的满意度和公众对生态工业的认知率。

## （二）郑州经开区循环经济绩效评价指标筛选

经过初步选择的评价指标体系，基于郑州市经开区循环经济发展水平评估的含义、现有循环经济评价文献研究基础上进行确定，找到研究的着眼点。受资料

获取限制，上述指标体系虽然包含因素不是太多，但它们同样存在个人主观选择困境，要实现评价指标体现的科学、合理、可行性还需要经过筛选，以适应郑州经开区发展和满足园区经济可持续发展实际需求。针对园区循环发展水平指标体系中，应尽量采用相对指标，减少绝对指标的比例结合数据的可获得性和园区的发展，同时结合专家选择、调整，得到综合评价指标体系分四个层次，13 个因素，详细情况如表 4.12 所示。

表 4.12 郑州经开区遴选后评价指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	方向
A 经开区循环 发展水平	B1 经济发展指标	C1 园区人均工业增加值	万元/人	+
		C2 园区工业增加值增长率	%	+
	B2 资源消耗指标	C3 单位用地面积工业增加值	亿元/km <sup>2</sup>	+
		C4 单位工业增加值综合能耗	tce/万元	-
		C5 单位工业增加值新鲜水耗	m <sup>3</sup> /万元	-
	B3 资源综合利用指标	C6 工业用水重复利用率	%	+
		C7 工业固体废物综合利用率	%	+
		C8 生活污水集中处理率	%	+
	B4 废弃物排放指标	C9 单位工业增加值废水产生量	t/万元	-
		C10 单位工业增加值固废产生量	t/万元	-
		C11 单位工业增加值 COD 排放量	kg/万元	-
		C12 单位工业增加值 SO <sub>2</sub> 排放量	kg/万元	-
		C13 单位工业增加值氨氮排放量	kg/万元	-

### 4.3.3 郑州经开区指标权重的确定

为了更好得到郑州经开区评价指标权重，根据 4.1.2 循环经济绩效评价方法，通过分析标准化数据发现，指标数据位于-1.2 和+1.2 之间，因通过指标平移公式可知  $D=1.2$ ，通过对标准化样本数据进行坐标平移，得到标准化处理及平移后样

本。

结合 4.1 叙述的评价方法, 以及对生态化改造的高新生态园区的实际情况的考虑, 本次评估拟采取 AHP 与熵值法共同确定权重, 然后计算两者结合的综合权重。首先, 逐步构建各层次的判断矩阵, 通过判断矩阵, 采用和积法计算各指标的相对权重。如表 4.13 所示。

表 4.13 郑州经开区循环经济 AHP 权重确定

二级指标	二级指标权重	三级指标	三级指标权重
B1 经济发展指标	0.52	C1 园区人均工业增加值	0.67
		C2 园区工业增加值增长率	0.33
B2 资源消耗指标	0.23	C3 单位用地面积工业增加值	0.13
		C4 单位工业增加值综合能耗	0.59
		C5 单位工业增加值新鲜水耗	0.28
B3 资源利用指标	0.12	C6 工业用水重复利用率	0.4
		C7 工业固体废物综合利用率	0.4
		C8 生活污水集中处理率	0.2
B4 废弃物排放指标	0.12	C9 单位工业增加值废水产生量	0.12
		C10 单位工业增加值固废产生量	0.12
		C11 单位工业增加值 COD 排放量	0.18
		C12 单位工业增加值 SO2 排放量	0.39
		C13 单位工业增加值氨氮排放量	0.18

其次, 根据改进熵值法求权重的步骤对子指标确定权重; 最后, 应用综合权重确定法对子指标权重进行确定。计算得到三级指标对于各自所在准则层的权重, 见表 4.14。

表 4.14 郑州经开区的主要经济指标权重

准则层 W	Wi	指标层 R	权重 Wi
B1 经济发展指标	0.20	C1 园区人均工业增加值	0.13
		C2 园区工业增加值增长率	0.07
B2 资源消耗指标	0.24	C3 单位用地面积工业增加值	0.07
		C4 单位工业增加值综合能耗	0.11
		C5 单位工业增加值新鲜水耗	0.07
B3 资源综合利用指标	0.26	C6 工业用水重复利用率	0.09
		C7 工业固体废物综合利用率	0.10
		C8 生活污水集中处理率	0.08
B4 废弃物排放指标	0.29	C9 单位工业增加值废水产生量	0.05
		C10 单位工业增加值固废产生量	0.05
		C11 单位工业增加值 COD 排放量	0.06

		C12 单位工业增加值 SO2 排放量	0.08
		C13 单位工业增加值氨氮排放量	0.06

依据准则层的权重和指标层的权重大大小, 将各层按照重要性进行排序, 排序后的结果如下表 4.15 所示。

表 4.15 郑州经开区循环经济评价指标体系权重

指标层	权重
<b>废弃物排放指标 B4</b>	0.29
单位工业增加值废水产生量	0.05
单位工业增加值固废产生量	0.05
单位工业增加值氨氮排放量	0.06
单位工业增加值 COD 排放量	0.08
单位工业增加值 SO2 排放量	0.06
<b>资源综合利用指标 B3</b>	0.26
工业固体废物综合利用率	0.09
生活污水集中处理率	0.10
工业用水重复利用率	0.08
<b>资源消耗指标 B2</b>	0.24
单位用地面积工业增加值	0.07
单位工业增加值综合能耗	0.11
单位工业增加值新鲜水耗	0.07
<b>经济发展指标 B1</b>	0.20
园区人均工业增加值	0.13
园区工业增加值增长率	0.07

根据排序后的权重值构建濮阳经开区循环经济绩效评价突变指标体系, 其中一级指标权重依大小依次是其中一级指标权重从左到右依次是 B4、B3、B2、B1。将各指标进行分类, W4 属于蝴蝶突变体系, W2 和 W3 属于燕尾型突变体系, W1 属于尖点突变体系。

#### 4.3.4 郑州经开区循环经济绩效评价结果

##### (一) 郑州经开区循环经济绩效评价样本数据

本文所涉及的数据来自对郑州经开区实地调查以及郑州经开区管委会提供的历年统计数据, 受数据来源限制只得到 2008 年, 2013 年和 2014 年部分数据。郑州经开区样本数据如下表 4.16 所示。

表 4.16 郑州经开区循环经济评价指标体系样本数据

准则层	指标层	单位	2008 年	2013 年	2014 年
B1 经济发展指标	C1 园区人均工业增加值	万元/人	18	21.87	24.31
	C2 园区工业增加值增长率	%	29	119.6	35.26
B2 资源消耗指标	C3 单位用地面积工业增加值	亿元/km <sup>2</sup>	6.5	11.61	13.28
	C4 单位工业增加值综合能耗	tce/万元	0.26	0.146	0.1
	C5 单位工业增加值新鲜水耗	m <sup>3</sup> /万元	5.67	4.75	4.42
B3 资源综合利用指标	C6 工业用水重复利用率	%	95.2	70	77.66
	C7 工业固体废物综合利用率	%	68.2	91.3	92.18
	C8 生活污水集中处理率	%	50	100	100
B4 废弃物排放指标	C9 单位工业增加值废水产生量	t/万元	2.23	2.43	2.14
	C10 单位工业增加值固废产生量	t/万元	0.1	0.051	0.058
	C11 单位工业增加值 COD 排放量	kg/万元	0.19	0.066	0.068
	C12 单位工业增加值 SO <sub>2</sub> 排放量	kg/万元	0.17	0.033	0.034
	C13 单位工业增加值氨氮排放量	kg/万元	0.42	0.278	0.27

在确定了郑州经开区循环经济绩效评价突变指标体系后，将 2008、2013 和 2014 年的原始数据进行突变模糊隶属度函数值转换，方法采用 4.1.3 所列公式。正向指标数值越大越好，以样本中最大值为基准，将其突变模糊隶属度函数值取值为 1.0；逆向指标则恰好相反。采用上述标准变化后的郑州经开区循环经济绩效评价指标的突变模糊隶属度函数值见表 4.17。

表 4.17 郑州经开区循环经济绩效评价指标突变模糊隶属度值

		2008	2013	2014
W1	C1	0.13	1.35	2.12

	C2	0.56	2.35	0.69
W2	C3	0.08	1.52	2.00
	C4	2.31	0.92	0.37
	C5	2.32	0.90	0.39
W3	C6	2.30	0.35	0.95
	C7	0.05	1.74	1.81
	C8	0.05	1.78	1.78
W4	C9	0.95	2.30	0.35
	C10	2.34	0.50	0.76
	C11	2.35	0.61	0.64
	C12	2.35	0.62	0.63
	C13	2.35	0.67	0.58

按照 4.1 公式方法计算, 可分别求出郑州经开区循环经济绩效评价的结果, 见下表 4.18。

表 4.18 郑州经开区循环经济绩效评价结果

	2008	2013	2014
经济发展	0.00	0.89	0.71
资源消耗	0.00	0.89	1.00
资源综合利用	0.33	0.66	0.89
废弃物排放	0.18	0.80	0.99
综合评价	0.00	0.87	0.93

由表 4.18 的评价结果可以得到, 自 2008 年至 2014 年, 郑州经开区循环经济进展情况有明显改善, 特别是 2013 年以后改善较为明显。

## (二) 郑州经开区循环经济绩效评价结果

结合表 4.18 与图 4.7 分析。从经济发展、资源消耗、废物排放和资源综合利用四个方面来看, 2008 年至 2014 年以来, 园区资源消耗指标方面改善最多, 园区通过循环经济技术提升, 使各种能源消耗指标得到显著下降, 表明政府和企业在节约资源与节能减排方面有很大进展, 郑州经开区的节能减排技术正在改进完善且效果显著; 废弃物处置结果逐年优化, 释放到空气中的 SO<sub>2</sub>、COD 、氨

氮量绝对值逐年降低，工业废水、固体废弃物总体结果降低；资源综合利用指标得到很大改善，说明园区逐渐重视对资源的重复综合利用效率，因此郑州经开区在循环发展水平提升的同时也加重了对资源的利用水平；经济发展指标高速增长，相较 08 年有巨大提升，在 2013 年尤为突出是由于经开区又新建项目 47 个，上马项目 118 个，总投资 1498 亿元，使经济得到高速发展。

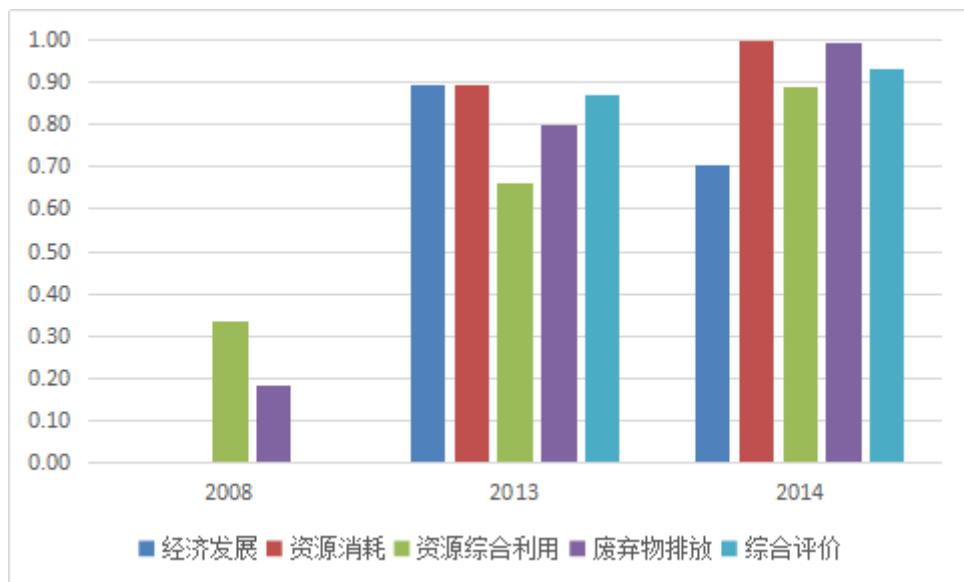


图 4.7 2008-2014 年郑州经开区循环发展水平效果

通过对郑州经开区循环发展水平评估结果表明，2014 相较前 2008 年循环发展水平有很大增长。因此，推进郑州经开区循环化改造，合理延伸产业链并对园区企业进行循环链接，实现基础设施和公共服务共建共享，有利于实现园区资源高效和废弃物循环利用，提升郑州经开区可持续发展能力和竞争力。同时通过对近年来开发区宏微观环境分析、综合评价指标等数据分析，发现郑州经开区循环发展中主要面临着以下几个方面的问题：

## 1 产业链上下游发展规模不协调

随着开发区建设的不断发展，各个企业与公司之间耦合度不高，产业链很短，资源的不充分利用，对环境和经济效益有一定的制约性。此外，开发区内基础企业较多，整体产业链不够长，上游资源、产品、废弃物没有得到充分利用，精深加工产品较少，严重影响开发区综合产业的竞争优势。

## 2 注重废弃物的处置与利用

郑州经开区后续发展应注重构建稳定共生废料处理关系、园区基础设施资源共享和构建绿色能源设施共享系统等园区共性设施平台构建工作，并需全面推行

企业清洁生产审核、构建园区和企业双层环境治理和管理体系、建立园区循环化改造的统计评价和考核制度等。

### 3 水资源利用水平有待提高

目前，由于郑州经济技术开发区尚未建立完善的企业与企业之间，行业与行业之间的水循环链，因此，在生产工艺节水、用水节水、废水循环利用、管网渗漏检测等方面也缺乏相应的措施。此外，虽然大部分企业生产的废水经过企业本身的污水处理设施处理后达标排放，且个别企业实现企业内部水循环，但是由于开发区是大型综合性园区，综合废水污染较为严重，基础设施投入不够大，中水回用率不高，废水利用率有待加强。

## 4.4 案例分析—静脉类产业集聚区循环发展水平评估

### 4.4.1 大周再生金属循环产业集聚区基本情况

长葛市大周再生金属循环产业集聚区，位于河南省长葛市东北部，面积 9.34 平方公里，建成区面积 5 平方公里，拥有各类经济实体 1000 余家，规模以上企业 73 家，从业人员 4.3 万人，是长江以北最大的废旧金属集散地。2011 年 9 月 29 日，国家发改委、财政部正式将长葛市大周镇再生金属回收加工区确定为“国家‘城市矿产’示范基地”。2015 年 4 月，长葛市大周产业集聚区被河南省政府确定为省级产业集聚区，更名为长葛市大周再生金属循环产业集聚区。

在交通方面，长葛市大周再生金属循环产业集聚区，毗邻国家战略中原经济区的核心增长极——郑州航空港综合实验区，地处京港澳高速、107 国道、郑石、郑万高铁等交通枢纽之中。北望郑州、南接许昌、东观开封、西临洛阳，距省会郑州 60 公里，新郑国际机场 25 公里，西距京珠高速公路 2 公里，东距开许省级公路 6 公里。具有承南启北、联东贯西特殊的交通优势和区位优势。

在经济发展方面，2015 年，大周再生金属循环产业集聚区完成主营业务收入 578 亿元，完成工业增加值 100.2 亿元，上缴税金 1.75 亿元，完成固定资产投资 54.66 亿元，招商引资 38 亿元。

园区年回收各种废旧金属 360 万吨，加工利用各类废旧金属 260 万吨，其中再生不锈钢 120 万吨，再生铝 100 万吨，再生铜 30 万吨，其他金属 10 万吨。成为全国知名的再生不锈钢、再生铝、再生铜产业基地。

#### 4.4.2 大周再生金属集聚区主导产业分析

大周镇自上世纪 80 年代开始从事废旧金属回收产业, 经过近 30 年的不断积累, 形成了规模较大的再生金属产业集群, 在业界享有“有色金属之乡”的美名。是长江以北最大的再生金属集散地之一。经营的废旧金属品种繁多、门类齐全, 并在全国各地设立了回收站, 回收队伍规模、覆盖广、专业性强, 已经形成了“一手回收商---专业回收某种金属的二手物质处理商---产业商、批发商”的回收网络模式。大周镇现已建成大小回收产业企业 400 多家, 目前集聚区已基本形成“废旧金属物质回收---分拣、预处理---初级产业---深加工产业---外售”的产业链条, 集聚区内已基本构建起基本产业链架构, 集聚区现有循环经济模式见图 4.8 所示。

集聚区选择再生金属产业和金属制品产业作为集聚区的主导产业。其中, 园区再生金属产业以废钢、废铝、废铜以及稀贵金属—镁, 作为集聚区的重点。金属制品产业, 进一步延长再生金属产业链条, 提高产品的附加值, 以不锈钢金属制品、铝合金及镁合金制品产业打造金属制品加工基地。

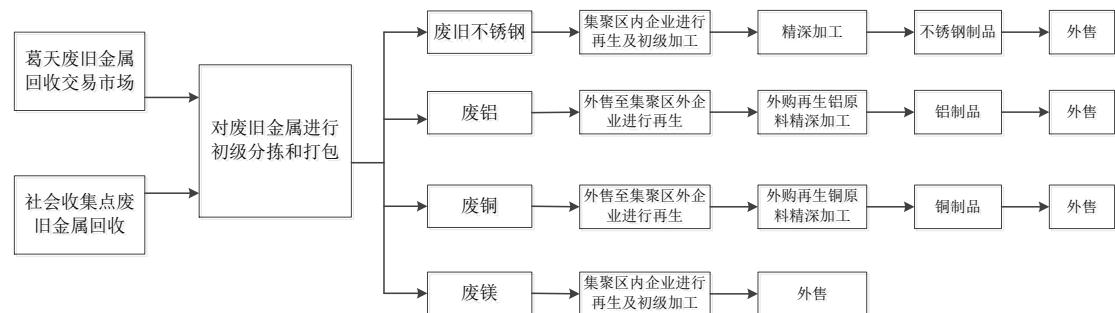


图 4.8 集聚区现有产业链条示意图

##### (一) 集聚区主导产业

1、**再生不锈钢**: 再生不锈钢及不锈钢制品的加工以鑫金汇、金汇维德、金兰普等企业为主, 主要产品有不锈钢薄板、不锈钢带以及不锈钢焊接管等。部分企业简要情况见表 4.19。

表 4.19 再生不锈钢及不锈钢制品代表企业

企业名称	投资 (万元)	产品及规模
河南鑫金汇不锈钢产业有限公司	100000	年产 25 万吨不锈钢坯、年产 56 万吨酸洗白卷
	37769	年产 50 万吨不锈钢方钢、圆钢

河南金汇维德精密不锈钢有限公司	53210	利用再生不锈钢年产 30 万吨不锈钢薄板
河南金兰谱不锈钢有限公司	72391	利用再生不锈钢年产 40 万吨不锈钢薄板及复合钢带
河南天宏金属材料有限公司	30100	年产 10 万吨精密不锈钢薄板冷轧

**2、再生铝：**再生铝及铝制品的加工以汇达感光、澳林莱、金阳铝业、好宜家铝业等企业为主，主要产品有铝质感光板、铝质天花板、铝板带箔以及铝合金建筑型材、工业型材等，部分企业简介见表 4.20。

表 4.20 再生铝及铝制品代表企业

企业名称	投资 (万元)	产品及规模
长葛市汇达感光材料有限公司	36160	年产 3000 万平方米 PS/CTCP/CTP 版
河南澳林莱装饰材料有限公司	9785	年产 150 万平方米装饰材料（铝质天花板）
河南金阳铝业有限公司	17832	利用再生铝年产 15 万吨铝板带箔
河南好宜家铝业有限公司	29000	利用再生铝年产 8 万吨铝合金建筑型材及工业型材
长葛市茗博金属有限公司	11616	利用再生铝年产 10 万吨高精度铝板带箔

**3、再生铜：**再生铜及铜制品的加工主要以超凡金属、长久金属等企业为主，主要产品有高性能轴瓦、铜杆等。部分企业简介见表 4.21。

表 4.21 再生铜及铜制品和再生镁及镁制品代表企业

项目类别	企业名称	投资 (万元)	产品及规模
再生铜	河南超帆金属材料有限公司	10616	利用再生铜年产 5 万吨高性能轴瓦
	长葛市长久金属有限公司	6060	年产 6 万吨铜杆
再生镁	河南德威科技股份有限公司	9648	年产 1 万吨再生镁合金

**4、再生镁：**再生镁企业主要以德威科技为主，主要产品为镁合金锭。德威企业的情况如上表 4.21 所示。

## （二）集聚区主导产业链分析

长葛市大周再生金属循环产业集聚区是河南省唯一的静脉类园区，是长江以北最大的再生金属集散地之一。至 2015 年 12 月，长葛市大周再生金属循环产业集聚区共进驻生产型企业约 26 家。基本形成了废旧金属的回收、再生、深加工等良性循环发展势头。2015 年集聚区回收各种废旧金属 360 万吨，加工利用各类废旧金属 260 万吨，其中再生不锈钢 120 万吨，再生铝 100 万吨，再生铜 30 万吨，其他金属 10 万吨。

### 1. 再生不锈钢产业链

集聚区内以不锈钢制品为主导产业的企业有河南鑫金汇不锈钢产业有限公

司、长葛市中贝管业有限公司、河南天宏金属材料有限公司、河南欧美佳不锈钢有限公司、河南金汇维德精密不锈钢有限公司、河南金兰谱不锈钢有限公司和长葛市佳融金属制品有限公司。企业的产业链如图4.9所示。

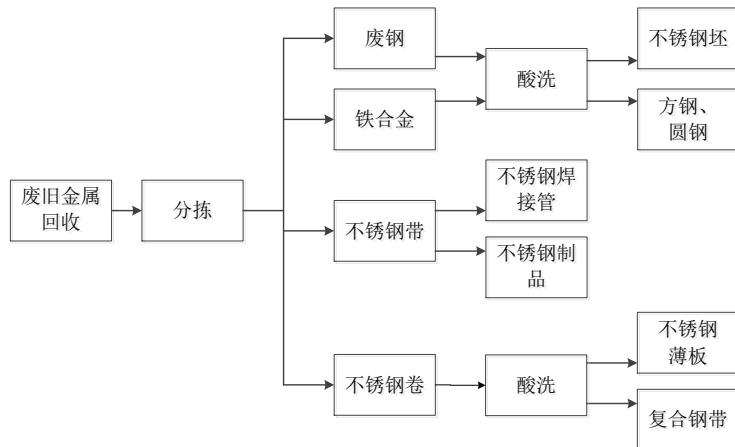


图 4.9 再生不锈钢产业链

典型生产工艺流程有：

- (1) 废钢、铁合金→废钢间料槽→中频炉→AOD→钢水→钢包→扒渣→LF→不锈钢板坯连铸机→缓冷、修磨→钢坯；
- (2) 废钢、铁合金→废钢间料槽→电炉→AOD→钢水→钢包→扒渣→LF→不锈钢板坯连铸机→缓冷、修磨→方钢、圆钢
- (3) 不锈钢带→开卷→矫平→退火→分条制管→焊缝→修磨→平口压花→抛光→不锈钢焊接管
- (4) 不锈钢卷→酸洗→重卷→冷轧→退火→拉矫精整→分条→开平→粗磨→抛光→冲洗→烘干→镀钛→不锈钢薄板

## 2.再生铝产业链

集聚区内，主营再生铝及铝制品加工的企业有：长葛市瑞佳铝业有限公司、河南好宜家铝业有限公司、河南世纪宏达铝业有限公司、长葛市茗博金属有限公司、河南金阳铝业有限公司、河南澳林莱装饰材料有限公司、长葛市汇达感光材料有限公司等共12家公司。再生铝企业的产业链如图4.10所示。

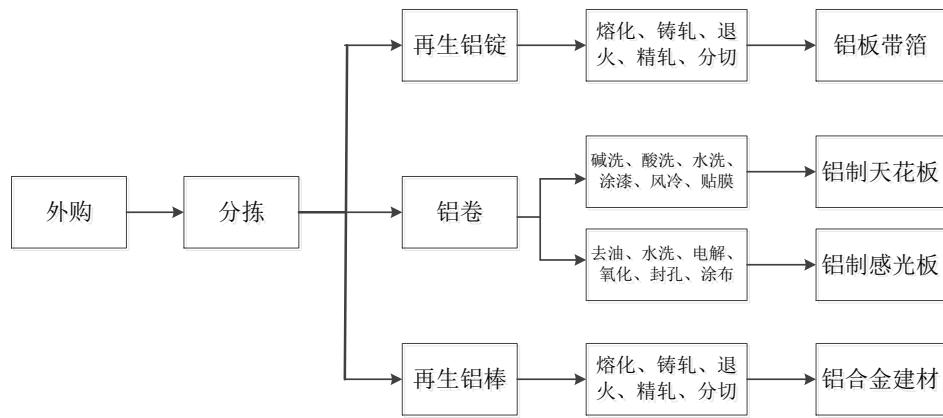


图 4.10 再生铝产业链

典型的生产工艺流程有：

- (1) 再生铝锭→熔化→静置保温炉→细化粒径颗粒→除气装置→泡沫陶瓷过滤器→铸轧→粗冷轧→退火→精轧→箔轧→分切→成品入库
- (2) 铝卷→开卷→碱洗→酸洗→水洗→烘干→风冷→涂背漆→烘干→风冷→贴膜→收卷→覆膜/磨砂卷材（铝质天花板）
- (3) 铝卷→开卷→储片→去油→水洗→中和→水洗→电解磨版→水洗→除灰→水洗→中和→水洗→阳极氧化→水洗→封孔→水洗→干燥→涂布→干燥→裁剪→检验→铝制感光板
- (4) 再生铝棒→铝棒加热→钻棒→挤压机→中断机→晾料架→调直机→锯切装框→修复料口→时效炉→上架扎料→脱脂→水洗→碱蚀→酸蚀→水洗→中和→水洗→阳极氧化→水洗→着色→水洗→封孔→水洗→吹干→卸料→铝合金建材及工业型材

### 3.再生铜产业链

集聚区内以再生铜铜制品和铜制品加工为主导产业的企业有两家，分别是河南超帆金属材料有限公司和长葛市长久金属有限公司。其主要的产业链有：

- (1) 电解铜锭、锡锭、锌块、铅块→熔化→浇铸→冷却→粗加工→搪锡→浇铸巴氏合金→冷却→质量检查→精加工→轴瓦
- (2) 电解铜锭→熔化→浇铸→夹送→剪切→矫直刨角→打毛→轧制→清洗冷却→风干→成圈→拉丝→退火→绕杆打包→铜杆

### 4.再生镁产业链

集聚区再生镁加工的企业，只有河南德威科技股份有限公司一家，其主要生产工艺流程为：

废镁、镁锭、铝锭、锌锭→预热炉→熔化炉→合金化及精炼→降温加镀→炉前分析→转炉→保温静置→连续浇铸→镁合金锭→光谱分析→抛光→包装→入库

#### 4.4.3 园区循环发展综合水平指标体系的构建

根据静脉产业类生态工业园的特点,以《静脉产业类生态工业园区标准(试行)》(HJ/T 275-2006)为基础,构建一个评价体系的基本框架。经过科学、合理、严谨的指标筛选和调整修正过程,本报告最终建立的静脉产业园循环发展绩效指标体系。该指标体系共分三层,从经济发展、产业共生、资源节约、环境保护和信息化支持五个方面共计20个指标对静脉产业园的循环发展绩效进行评价,其中定量指标17个,定性指标3个。具体指标见表4.22。

表 4.22 静脉产业园循环发展绩效评价指标体系

目标层	准则层	指标层
静脉产业园循环发展绩效评价 A	B1 经济发展	C1 人均工业增加值(万元/人)
		C2 静脉产业对园区工业增加值的贡献率(%)
		C3 研究与实验发展经费投入强度(%)
	B2 产业共生	C4 工业固废综合利用率(%)
		C5 企业关联度
		C6 再生资源循环利用率(%)
	B3 资源节约	C7 单位工业用地面积工业增加值(亿元/平方公里)
		C8 单位工业增加值综合能耗(吨标煤/万元)
		C9 单位工业增加值新鲜水耗(立方米/万元)
		C10 工业用水重复率(%)
	B4 环境保护	C11 环境管理能力完善度
		C12 单位工业增加值固废产生量(吨/万元)
		C13 单位工业增加值废水排放量(吨/万元)
		C14 单位工业增加值 COD 排放量(千克/万元)
		C15 单位工业增加值 SO2 排放量(千克/万元)
		C16 危险固废无害化处理率(%)
		C17 绿化覆盖率(%)
		C18 重点企业清洁生产审核实施率(%)
	B5 信息化支持	C19 信息共享平台完善度
		C20 回收体系网络完善度

**经济发展。**静脉产业的发展具有公益性和利益性的双重特性。只有在保持经济良好发展的前提下才能实现园区的可持续发展。因而,选取“人均工业增加值”

和“静脉产业对园区工业增加值的贡献率”两个指标来衡量园区的整体和静脉产业的经济发展质量。

**产业共生。**选取“工业固体废物综合利用率”、“园区内企业关联程度”和“再生资源循环利用率”这三个指标，来衡量静脉产业园产业共生的发展水平。其中，企业关联度反映的是园区内企业之间物质交换、能量流动、信息交流的紧密程度。关联度数值越高，园区的产业共生网络结构越完备。园区企业关联度的计算方法为：

$$C = \frac{L}{S(S-1)/2}$$

式中 C 表示企业关联度，L 表示企业间关联次数，S 为企业数量。

**资源节约。**选取“单位工业用地面积工业增加值”、“单位工业增加值综合能耗”、“单位工业增加值新鲜水耗”和“工业用水重复率”指标来综合考量园区土地资源、能源和水资源的综合利用情况。

**环境保护。**园区静脉产业在发展的同时，也应注重园区内的环境问题，实现经济和环境效益的双赢，从而推动园区的循环发展。因而选取“单位工业增加值固废产生量”、“单位工业增加值废水排放量”、“单位工业增加值 COD 排放量”、“单位工业增加值 SO<sub>2</sub> 排放量”、“危险固废无害化处理率”、“绿化覆盖率”、“环境管理能力完善度”和“重点企业清洁生产审核实施率”衡量园区环境保护情况。

**信息化支持。**搭建信息化、网络化的回收系统，有利于发挥静脉产业的上下游链接的联合作用，提高可资源化利用废弃物的回收利用率。选取“信息共享平台完善度”和“回收体系网络完善度”指标指标。

#### 4.4.4 园区循环发展综合水平指标体系权重确定

本文评价指标体系中，构建递阶层次结构模型，根据递阶层次结构构造判断矩阵。构造 A—B、B—C 判断矩阵。结果如下表 4.23 到 4.28 所示。

表 4.23 A-B 判断矩阵

指标	B1	B2	B3	B4	B5
B1	1	2	1	2	2
B2	1/2	1	1/2	1/2	1
B3	1	2	1	1/2	2
B4	1/2	2	2	1	3
B5	1/2	1	1/2	1/3	1

表 4.24 B1-C 判断矩阵

指标	C1	C2	C3
C1	1	2	2
C2	1/2	1	1
C3	1/2	1	1

表 4.25 B2-C 判断矩阵

指标	C4	C5	C6
C4	1	1	1/2
C5	1	1	1/2
C6	2	2	1

表 4.26 B3-C 判断矩阵

指标	C7	C8	C9	C10
C7	1	1/3	1/2	1/2
C8	3	1	1	1
C9	1	1/2	1	1
C10	2	1	2	1

表 4.27 B4-C 判断矩阵

指标	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C11	1	1/2	1/2	1/3	1/3	1/4	1/2	1
C12	2	1	1	1/2	1/2	1/3	1/2	2
C13	2	1	1	1/2	1/2	1/3	3	1
C14	3	2	2	1	1	1/2	1	2
C15	3	2	2	1	1	1/2	1	2
C16	4	3	3	2	2	1	3	4
C17	2	2	2	1	1	1/3	1	2
C18	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/4	1/2	1

表 4.28 B5-C 判断矩阵

指标	C19	C20
C19	1	1
C20	1	1

在得出判断矩阵的基础上, 可计算单项指标的权重。通过和积法计算得到判断矩阵的特征向量, 即该矩阵中各评价指标的权重。定义判断矩阵一致性指标 C.I. (consistency index),  $C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$ 。一致性指标 C.I. 越小, 则说明判断矩阵一致性越好, 而 C.I. 的值越大, 表明判断矩阵偏离完全一致性的程度越大。一般, 当判断矩阵的阶数  $n$  越大时, 认为造成的偏离一致性指标 C.I. 的值越大, 阶数越小, 偏离 C.I. 的值也越小。因此对于多阶判断矩阵, 引入了平均随机一致性指标 R.I. (random index), 在检验判断矩阵的一致性时, 将 C.I. 与平均随机一致性指标 R.I. 进行比较, 得出一致性比率 C.R., 即:  $C.R. = C.I. / R.I.$ , 而 R.I. 只与判

判断矩阵的阶数相关。

表 4.29 给出了 1-10 阶时各判断矩阵 R.I. 的值。以此进行一致性检验。

表 4.29 平均随机一致性指标的值

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

$CR=0.080/0.90=0.09<0.1$ , 一致性通过。

一般对于三阶以上才需要检验一致性。当  $C.R.<0.1$  时, 可认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则, 就需要调整和修正判断矩阵, 直到满意为止。以上矩阵均已通过了一次性检验。

根据上述判断矩阵计算的结果, 园区评价指标及其权重汇总于表 4.30。

表 4.30 C 层对 A 层的综合权重表

A 层		B 层		C 层		
指标	指标	相对于 A 层的权重	指标	相对于 B 层的权重	相对于 A 层的权重	
A	B1	0.2894	C1	0.5000	0.1447	
			C2	0.2500	0.0724	
			C3	0.2500	0.0724	
	B2	0.1186	C4	0.2500	0.0296	
			C5	0.2500	0.0296	
			C6	0.5000	0.0593	
	B3	0.2110	C7	0.1272	0.0268	
			C8	0.3120	0.0658	
			C9	0.2804	0.0591	
			C10	0.2804	0.0591	
	B4	0.2711	C11	0.0539	0.0146	
			C12	0.0877	0.0238	
			C13	0.0877	0.0238	
			C14	0.1482	0.0402	
			C15	0.1482	0.0402	
			C16	0.2738	0.0755	
			C17	0.1359	0.0163	
	B5	0.1089	C18	0.0600	0.0368	
			C19	0.5000	0.0549	
			C20	0.5000	0.0549	

根据静脉产业类生态工业园区评价指标体系的权重分析结果, 可得结论如下:

(1) 在对目标层 A 层的评价中, 准则层“经济发展”类指标和“环境保护”类指标的权重分别 0.2894 和 0.2711, 排在前两位, 反映出静脉产业园循环发展的根本目的在于实现环境效益和经济效益的双赢。而“经济发展”、“环境保护”和“资源节约”的权重相差不大, 则很好的诠释了循环经济的 3R 理念, 这亦符合

指标体系构建时所遵循的原则。

(2) 从指标层权重的整体排名来看, 人均工业增加值的权重为 0.1447, 排名第一, 说明经济效益是园区最重要的评价要素之一; “危险固废无害化处理率”和“研究与试验发展经费投入”指标的权重分别为 0.0775 和 0.0724, 排名较为靠前, 表明在未来的静脉产业园发展建设中, 必须注意静脉产业生产潜在污染的问题, 合理的处置危险固废; 于此同时还应加大科研经费的投入, 建设园区资源循环利用工程技术中心和成果孵化基地, 通过技术创新, 开发高附加值产品、降低加工成本、实施清洁生产、提升园区影响力。

#### 4.4.5 园区循环发展评价结果

由于目前对静脉行业(化工)类生态工业园的综合评价指标并没有一个固定的标准, 这里以《国家生态工业示范园区标准》(HJ/T 274-2015)的达标指标值为基础, 结合中华人民共和国环境保护行业标准(工业园区标准)和国家十三五相关发展规划、行业规划和节能减排方案确定评价指标体系所得结果如表 4.31。

表 4.31 评价指标标准的确立

指标	级别			
	较差	合格	良好	优秀
C1 人均工业增加值(万元/人)	10	15	22.5	30
C2 静脉产业对园区工业增加值的贡献率(%)	30	48	66	84
C3 研究与实验发展经费投入强度(%)	1.76	2.05	2.25	2.5
C4 工业固废综合利用率(%)	55	70	85	100
C5 企业关联度	0.04	0.33	0.45	0.58
C6 再生资源循环利用率(%)	70	75	80	85
C7 单位工业用地面积工业增加值(万元/平方公里)	5.5	7.5	9	10.5
C8 单位工业增加值综合能耗(吨标煤/万元)	1.45	0.98	0.5	0.1
C9 单位工业增加值新鲜水耗(立方米/万元)	12	9	3	1
C10 工业用水重复率(%)	56	75	90	100
C12 单位工业增加值固废产生量(吨/万元)	0.7	0.5	0.1	0.06
C13 单位工业增加值废水排放量(吨/万元)	20	14	7	2
C14 单位工业增加值 COD 排放量(千克/万元)	2	1	0.5	0.1
C15 单位工业增加值 SO <sub>2</sub> 排放量(千克/万元)	2.2	1	0.5	0.1
C16 危险固废无害化处理率(%)	55	60	85	100
C17 绿化覆盖率(%)	5	15	25	35
C18 重点企业清洁生产审核实施率(%)	55	70	85	100

在评价标准中, 等级“良好”的标准数值大部分是参考《国家生态工业示范园区标准》(HJ 274-2015)来制定的, “优秀”的指标数值则来源于国家十三五

相关发展规划、行业规划和节能减排方案和专家意见。在实地调研以及文献调研的基础上，大周再生金属循环产业集聚区的相关数据详见表 4.31。然后，在得到数据的基础上，利用模糊综合评价法计算园区各指标的隶属度，并得到园区的最终绩效水平。

### (1) 定性指标隶属度的确定

相比定量指标，定性指标无法用确切的数字表达出来，更加具有模糊性。为了取得定性指标评语集，本文采用了百分比统计法，首先对专家的评价结果进行收集统计，之后再经过百分比统计后，将结果作为评价因素的隶属度。

### (2) 定量指标隶属度的确定

对于定量指标，我们通常会采取线性分析法，首先在一个连续不断的区间内选取一组具有分界点作用的数值之后再将实际的指标运用线性内插公式的方法进行处理，得出该指标的隶属度。在环境科学中，运用最广泛的隶属度函数为半梯形分布函数，具体的操作方法如下所示：

假设评价因素集  $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ，评语集  $Y=\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ ， $y_j$  与  $y_{j+1}$  是两个相邻的标准等级，并且  $y_{j+1} > y_j$ ，那么则有  $y_j$  级隶属度函数：

$$r_1 = \begin{cases} 1 & x_i \leq y_1 \\ \frac{y_2 - x_i}{y_2 - y_1} & y_1 < x_i < y_2 \\ 0 & x_i \geq y_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$r_2 = \begin{cases} 1 - r_1 & y_1 < x_i \leq y_2 \\ \frac{y_3 - x_i}{y_3 - y_2} & y_2 < x_i < y_3 \\ 0 & x_i \leq y_1, x_i \geq y_3 \end{cases} \quad (2)$$

$$r_j = \begin{cases} 1 - r_{j-1} & y_{j-1} < x_i \leq y_j \\ \frac{y_{j+1} - x_i}{y_{j+1} - y_j} & y_j < x_i < y_{j+1} \\ 0 & x_i \leq y_{j-1}, x_i \geq y_{j+1} \end{cases} \quad (3)$$

表 4.32 集聚区各评价指标数据汇总

指标	实际数值
C1 人均工业增加值（万元/人）	27.92
C2 静脉产业对园区工业增加值的贡献率（%）	76.61
C3 研究与实验发展经费投入强度（%）	2.08

C4 工业固废综合利用率 (%)	100
C5 企业关联度	0.37
C6 再生资源循环利用率 (%)	77
C7 单位工业用地面积工业增加值 (亿元/平方公里)	8.33
C8 单位工业增加值综合能耗 (吨标煤/万元)	0.46
C9 单位工业增加值新鲜水耗 (立方米/万元)	2.03
C10 工业用水重复率 (%)	95
C12 单位工业增加值固废产生量 (吨/万元)	0.21
C13 单位工业增加值废水排放量 (吨/万元)	5
C14 单位工业增加值 COD 排放量 (千克/万元)	0.34
C15 单位工业增加值 SO <sub>2</sub> 排放量 (千克/万元)	0.59
C16 危险固废无害化处理率 (%)	100
C17 绿化覆盖率 (%)	26
C18 重点企业清洁生产审核实施率 (%)	100

### (一) 数据分析

本文所选取的定量指标可以分为两类,一类是与园区的循环经济发展水平呈正相关性,叫做正向指标;另一类与园区的循环经济发展水平呈负相关,叫做负向指标。下面分别选取这两种指标中的一个,对定性指标隶属度的求解过程进行介绍。

①以定量指标“C1 人均工业增加值”为例,分别提取出 C1 的评价标准和指标数值,如表 4.33 所示:

表 4.33 人均工业增加值指标的评价标准和评价值

指标	级别				
	较差	合格	良好	优秀	评价值
人均工业增加值	10	15	22.5	30	27.92

由于“C1 人均 GDP 增加值”相对于园区的循环经济发展水平来说,是正向指标,则可得,  $y_1=10$ ,  $y_2=15$ ,  $y_3=22.5$ ,  $y_4=30$ ,  $y_3 < x < y_4$ ; 依据公式 (1) 公式 (2),计算过程如下所示:

$$r_1 = r_2 = 0,$$

$$r_3 = \frac{y_4 - x}{y_4 - y_3} = \frac{30 - 27.92}{30 - 22.5} = 0.28$$

$$r_4 = 1 - r_3 = 0.72$$

上述求得的结果汇集到一起得[0,0,0.28,0.72],这个评语集表示指标“C1 人均工业增加值”对于“良好”的隶属度为 28%,对于“优秀”的隶属度为 72%,对于“较差”和“合格”的隶属度均为 0。

②以定量指标“C15 单位工业增加值  $\text{SO}_2$  排放量”为例, 分别提取出 C10 的评价标准和指标数值, 如表 4.34 所示。

表 4.34 单位工业增加值  $\text{SO}_2$  排放量指标的评价标准和评价值

指标	级别				
	较差	合格	良好	优秀	评价值
单位工业增加值 $\text{SO}_2$ 排放量	2.2	1	0.5	0.1	0.59

由于“C8 单位工业增加值综合能耗”相对于园区的循环经济水平来说, 是负向指标, 则可得,  $y_1=0.1$ ,  $y_2=0.5$ ,  $y_3=1$ ,  $y_4=2.2$ ,  $y_2 < x < y_3$ ; 依据公式 (2) 和公式 (3), 计算过程如下所示:

$$r_1 = r_2 = 0$$

$$r_3 = \frac{y_4 - x}{y_4 - y_3} = \frac{30 - 27.92}{30 - 22.5} = 0.28$$

$$r_4 = 1 - r_3 = 0.72$$

将上述求得的结果汇集到一起得评语集  $[0, 0.18, 0.82, 0]$ , 这个评语集表示指标“C8 单位工业增加值综合能耗”对于“合格”的隶属度为 18%, 对于“良好”的隶属度为 82%, 对于其他等级的隶属度为 0。

依照上述步骤分别依次计算得出其他指标的评语集, 最后将所有指标的评语集汇总到一起即得模糊综合评价矩阵, 如表 4.35 所示。

表 4.35 模糊综合评价矩阵

指标	模糊综合评价矩阵			
	较差	合格	良好	优秀
C1 人均工业增加值 (万元/人)	0	0	0.28	0.72
C2 静脉产业对园区工业增加值的贡献率 (%)	0	0	0.41	0.59
C3 研究与实验发展经费投入强度 (%)	0	0.85	0.15	0
C4 工业固废综合利用率 (%)	0	0	0	1
C5 企业关联度	0	0.67	0.33	0
C6 再生资源循环利用率 (%)	0	0.6	0.4	0
C7 单位工业用地面积工业增加值 (亿元/平方公里)	0	0.27	0.73	0
C8 单位工业增加值综合能耗 (吨标煤/万元)	0	0	0.9	0.1
C9 单位工业增加值新鲜水耗 (立方米/万元)	0	0	0.51	0.49
C10 工业用水重复率 (%)	0	0	0.6	0.4
C11 环境管理能力完善度	0	0.85	0.15	0
C12 单位工业增加值固废产生量 (吨/万元)	0	0.3	0.7	0
C13 单位工业增加值废水排放量 (吨/万元)	0	0	0.6	0.4
C14 单位工业增加值 COD 排放量 (千克/万元)	0	0	0.6	0.4

C15 单位工业增加值 $\text{SO}_2$ 排放量 (千克/万元)	0	0.18	0.82	0
C16 危险固废无害化处理率 (%)	0	0	0	1
C17 绿化覆盖率 (%)	0	0.9	0.1	0
C18 重点企业清洁生产审核实施率 (%)	0	0	0	1
C19 信息共享平台完善度	0	0.3	0.6	0.1
C20 回收体系网络完善度	0	0.25	0.75	0

## (二) 综合评价及结果分析

### (1) 一级综合评价

依据公式  $B_i = W_i * R_i$ , 对评价体系的 B 层进行模糊综合评价。

以指标 B1 为例, 因为 B1 下每个指标 (C1, C2, C3) 相对于 B1 的权重, 依次为 0.5, 0.25, 0.25, 因此得  $W_1 = [0.5, 0.25, 0.25]$ ;

通过查阅表 4.35, 可取得指标 C1, C2, C3 的评语集, 将它们汇集到一起, 即得模糊综合评价矩阵  $R_1$ ,

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.28 & 0.72 \\ 0 & 0 & 0.41 & 0.59 \\ 0 & 0.85 & 0.15 & 0 \end{bmatrix}$$

将  $W_1$  与  $R_1$  相乘, 即可求得指标 B1 的模糊运算结果,

$$B_1 = W_1 * R_1 = [0.2125, 0.2800, 0.5075]$$

按照上述的运算过程, 分别计算出 B 层其他所有指标的模糊运算结果, 汇总起来, 生成准则层评价结果, 如表 4.36 所示。

表 4.36 准则层模糊评价结果

准则层	评价结果			
	较差	合格	良好	优秀
B1 经济发展	0	0.2125	0.2800	0.5075
B2 产业共生	0	0.4675	0.2825	0.2500
B3 资源节约	0	0.0343	0.6569	0.3088
B4 环境保护	0	0.2211	0.3461	0.4282
B5 信息化支持	0	0.2750	0.6750	0.0500

### (2) 二级综合评价

将准则层 B 层的因素看作是用来判断目标层 A 的单因子, 对目标层 A 进行模糊综合评价。由上文所得到 A 层下属四个指标 B1, B2, B3, B4, B5 相对于 A 的权重, 依次为 0.2894, 0.1186, 0.2110, 0.2711, 0.1089, 因此得

$$W_A = [0.2894, 0.1186, 0.2110, 0.2711, 0.1089];$$

将指标 B1, B2, B3, B4, B5 的评语集汇集到一起, 即得模糊综合评价矩阵  $R_A$

$$R_A = \begin{bmatrix} 0 & 0.2125 & 0.2800 & 0.5075 \\ 0 & 0.4675 & 0.2825 & 0.2500 \\ 0 & 0.0343 & 0.6569 & 0.3088 \\ 0 & 0.2211 & 0.3461 & 0.4282 \\ 0 & 0.2750 & 0.6750 & 0.0500 \end{bmatrix}$$

则  $A = W_A * R_A = [0, 0.2141, 0.4205, 0.3632]$ , 生成的目标层评价结果如表 4.37 所示。

表 4.37 目标层模糊评价结果

目标层 A	评价结果			
	较差	合格	良好	优秀
A 静脉产业园循环发展绩效	0	0.2141	0.4205	0.3632

由表 4.37 可得, 长葛大周静脉产业园区的循环经济水平属于“良好”等级的隶属度 42.05% 最大, 因此, 我们得出结论: 长葛大周静脉产业园区的循环经济发展水平为“良好”。

同理, 根据最大隶属度原则, 我们对目标层下各个层次的指标完成情况进行汇总, 如表 4.38 所示。

表 4.38 准则层和指标层的指标完成情况

准则层指标	指标完成情况	指标层指标	指标完成情况
B1 经济发展	优秀	C1 人均工业增加值	优秀
		C2 静脉产业对园区工业增加值的贡献率	优秀
		C3 研究与实验发展经费投入强度	合格
B2 产业共生	合格	C4 工业固废综合利用率	优秀
		C5 企业关联度	合格
		C6 再生资源循环利用率	合格
B3 资源节约	良好	C7 单位工业用地面积工业增加值	良好
		C8 单位工业增加值综合能耗	良好
		C9 单位工业增加值新鲜水耗	良好
		C10 工业用水重复率	良好
B4 环境保护	优秀	C11 环境管理能力完善度	合格
		C12 单位工业增加值固废产生量	良好
		C13 单位工业增加值废水排放量	良好
		C14 单位工业增加值 COD 排放量	良好
		C15 单位工业增加值 SO <sub>2</sub> 排放量	良好

		C16 危险固废无害化处理率	优秀
		C17 绿化覆盖率	合格
		C18 重点企业清洁生产审核实施率	优秀
B4 信息化支持	良好	C19 信息共享平台完善度	良好
		C20 回收体系网络完善度	良好

根据表 4.38 可得出以下结论：

(1) 园区的“经济发展”为“优秀”等级。说明园区的经济发展状况非常理想。其中的两个指标均达到优秀水平。

(2) “产业共生”的完成情况为“合格”，表明园区的产业共生发展状况并不理想，该项指标未能达到国家生态工业示范园的基本水平。其原因在于园区内企业之间的相互关联程度不高，物质、能量和信息之间的交流过少。此外，再生资源的回收利用率也不是很高。

(3) 园区的“资源节约”处于“良好”水平，这与园区主要以废旧金属为原料以及内部分企业建设有余热锅炉，对退火炉或者熔炼炉的余热进行利用等手段措施是分不开的。

(4) 园区的“环境保护”处于“优秀”等级。但园区的“环境管理能力完善度”和“绿化覆盖面积”仅为“合格”水平，表明园区还应努力提高自身的环境管理水平，并进一步扩大园区的绿化面积。

(5) 园区的“信息化支持”发展情况为“良好”，这与园区努力搭建信息化交流平台，拓宽回收网络的努力是密不可分的。园区投建的河南葛天金属材料交易中心为长江以北大型再生金属集散地之一，该交易中心建设有电子现货交易中心、商务中心，产品展销商铺，分拣加工交易商铺、现代化仓库及配套设备，极大的拓宽了园区废旧金属的回收渠道。

## 第五章 河南省典型产业集聚区循环发展模式研究

### 5.1 园区循环发展模式研究基本方法介绍

#### 5.1.1 物质流分析法

物质流分析（Material Flow Analysis, MFA）通常以  $t$  作为物质单位，对物质在经济活动中的整个生命周期（包括物质的开采、转换、消费、循环使用以及最终处置）进行核算。通过对经济活动中物质流的定量分析，了解、掌握整个社会生态经济系统中物质流的规模以及流动路径，最终能对经济系统内的物质流进行调控，缓解经济系统对生态系统造成压力。

物质流分析的基本观点也就是指，进入到经济系统中的物质自然资源的数量和质量以及从经济系统中排放到自然生态系统中的废弃物的数量和质量在很大程度上决定了人类行为活动对自然环境造成生态压力。一方面，进入到经济系统中的物质自然资源的数量和质量引起自然生态环境的扰动；另一方面，从经济系统中排放到自然生态系统中废弃物的数量和质量造成了自然生态环境的退化。通过研究物质流入流出经济系统的实物量变动，揭示物质在一定区域内的流动特性以及利用效率，构建评价指标，从而可以减少社会经济系统对自然环境产生的压力和环境负荷。

物质流分析是研究经济系统与生态系统间物质流动规律的方法，反映了输入、输出经济系统的物质流量和存量。总的来说，物质流分析主要有以下几个方面的作用：（1）通过物质流分析可调控经济系统与生态环境之间的物质流动方向和流量，从而达到减少资源开采和投入，提高资源利用效率，减少污染物排放的目的。（2）物质流分析是实现循环经济的重要手段。物质流分析的目的是对社会生产和消费领域的物质流动进行定量和定性分析，了解和掌握整个经济体系中物质的流向、流量，评价和量化经济社会活动的资源投入、产出和资源利用效率，找出降低资源投入量、减少废物排放量，提高资源利用率的方法。综上所述，物质流分析的目的与循环经济的“3R”原则是一致的。

#### 5.1.2 园区企业间关联度的测算方法

对生态工业园的食物网结构进行关联度分析，可以发现生态工业园中缺少的

企业以及副产品、废品资源化的食物链。以此为基础，通过拓宽企业间副产品、废品资源化的范围，增建“纽带”型企业，进行多通道企业间的连接和组合，建立起相互关联、相互促进、共同发展的生态工业体系，必将对生态工业园充分发挥资源优势和工业优势，加快经济发展速度，提高经济发展质量，实现环境与经济协调发展具有重要意义。

在生态工业园内，企业间的连接关系是由企业间发生的物质和能量流动而形成的一种区域性关系，它涉及资源、能源、产品、副产品和废品等多个方面。对生态工业园内企业间的连接关系如何进行评价，要解决的关键问题就是从错综复杂的关系中提炼出具体的表现形式，也就是找出企业间连接关系表现的方式以及影响这种关系发展的主要因素。

园区企业间的关联度是根据生物群落关联度进行量度的，生物群落关联度是指对一生物群落内物种间关联性的大小的量度。它被广泛应用于生物群落内各物种间相互作用、相互影响和相互依存的关系。生物群落关联度等于群落食物网中实际观察到的食物链数与最大可能食物链之比，即

$$C = \frac{L}{S \times (S-1)/2} \quad (5.1)$$

式中：C 为生物群落关联度；S 为物种丰富度，表示食物网中所包含的物种数量；L 为实际观察到的食物链数。

由式（5.1）中可见，生物群落关联度是物种丰富度和食物链数的函数。当物种丰富度一定时，生物群落关联度随食物链数的增加而增加；当食物链数一定时，生物群落关联度在开始阶段随物种丰富度的增加而快速下降，随后趋于平坦。

上述公式完全可以用于生态工业园工业链网的分析。在生态工业园中，上下游企业的链接主要有两种方式：一种是下游企业利用或者消解上游企业的副产品、废弃物以及余能，形成生态工业链；另一种是上游企业的主产品作为下游企业的主要原料，形成产品链。与此对应，在进行园区企业关联度计算时，也分成两种情况：一种情况是单独分析园区内生态工业链  $L_e$ ；另一种情况是同时分析园区内生态工业链和产品链  $L_p$ ，即总食物链数  $L_t = L_e + L_p$ 。这两种情况的关联度分别称为园区企业间生态关联度  $C_e$  和园区企业间总关联度  $C_t$ 。计算公式如下：

园区企业间生态关联度为

错误！未找到引用源。

(5.2)

园区企业间的总关联度为

错 误 ！ 未 找 到 引 用 源 。

(5.3)

式中：  $C_e$  为园区企业间的关联度；  $C_t$  为园区企业间关联度；  $L_e$  为生态工业园（包括工业园）内的生态工业链数；  $L_t$  为生态工业园内的总食物链数；  $S$  为生态工业园内的企业数量。

在本研究中以园区生态关联度和园区的总关联度为例进行计算研究，与丹麦卡伦堡生态工业园区、贵港生态工业园区、南海生态工业园区和鲁北生态工业园区比较园区内的企业数量  $S$ 、园区企业间生态关联度  $C_e$ 、园区企业间关联度  $C_t$ 、生态工业园内的总食物链数  $L_t$  与生态工业园内的总食物链数  $L_e$ 。通过比较分析园区之间的差异，可以评估园区的发展速度、所处状态和效益情况。

### 5.1.3 园区资源化率计算方法

假设一个生态工业园区内有  $S$  家企业，如果该园区企业间相互利用副产品、废品的生态工业链为  $L_e$  条，且企业间副产品、废品的资源化率（通常资源化率是指一个企业的副产品、废品被作为原料供下游企业使用的百分比。以下把“企业间副产品、废品的资源化率”简称为“企业资源化率”）为  $u_i$  ( $0 < u_i < 100\%$ ,  $i=1, 2 \dots, L_e$ )。那么，该园区的企业资源化率之和为  $u_1 + u_2 + \dots + u_{L_e}$ ，即  $\sum_{i=1}^{L_e} u_i$ ；如果该园区企业间相互利用副产品、废品的生态工业链为  $S(S-1)/2$  条，且企业资源化率均为 100%，那么该园区最大可能的企业资源化率之和为  $S(S-1)/2$  ( 错误！未找

到引用源。  $\sum_{i=1}^{S(S-1)/2} u_{mi}$ ，其中企业资源化率  $u_{mi}=100\%$ ），此时该园区内副产品、废品全部被作为原料供下游企业使用。可见，在生态工业园中，错误！未找到引用源。与  $S(S-1)/2$  的比值，说明了该园区企业资源化率之和的变化。所以，可以用它作为生态工业园内副产品、废品资源化程度的判据。故令

$$C_R = \frac{\sum_{i=1}^{L_e} u_i}{S(S-1)/2} \times 100\% \quad (5.4)$$

并称之为园区资源化率。当  $C_R=100\%$  时，园区的企业资源化率之和等于园

区最大可能的企业资源化率之和，此时该园区内副产品、废品全部被作为原料供下游企业使用；当  $C_R=0$  时，园区的企业资源化率之和等于零，此时该园区内副产品、废品没有被作为原料供下游企业使用，而是全部散失于环境中；当  $0 < C_R < 100\%$  时，园区内副产品、废品被作为原料供下游企业使用的数量介于上述两者之间。

式中  $C_R$ —园区资源化率，%， $0 < C_R < 100\%$

$L_e$ —生态工业链的数量

$U_i$ —企业资源化率， $0 < U_i < 100\%$ ， $i=1, 2 \dots, L_e$

$S$ —生态工业园内的企业数量

可见，园区资源化率是衡量生态工业园内副产品、废品资源化程度的重要指标。园区资源化率愈高，生态工业园内副产品、废品的资源化率愈高；反之亦然。

对式（1）进行数学变换，可得

$$C_R = \frac{L_e}{S(S-1)/2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{L_e} U_i}{L_e} \times 100\% \quad (5.5)$$

令  $rL = \sum_{i=1}^{L_e} U_i / L_e * 100\%$ 。由于园区企业间生态关联度  $Ce$ =错误！未找到引用源。, 这样对上式进行化简整理，可得园区资源化率与园区企业间生态关联度之间的关系式

$$CR = Ce * rL \quad (5.6)$$

式中  $rL$ —园区内企业资源化率的平均值，%， $0 < rL < 100\%$

由式 2 可见，园区资源化率的大小与园区企业间生态关联度和企业资源化率平均值得大小有关。当企业资源化率的平均值一定时，园区资源化率随园区企业间生态关联度的增加而提高；当园区企业间生态关联度一定时，园区资源化率随企业资源化率平均值的增加而提高。

#### 5.1.4 园区资源产出率测算方法

资源产出率是评价循环经济发展水平的综合性指标，也是反映资源节约型、环境友好型社会建设的重要指标。循环经济是指以“减量化、再利用、资源化”为原则，以更少的资源消耗，生产出更多的社会最终产品和劳务的一种经济发展模式，其核心是提高资源产出效率。

资源产出率是指主要物质资源实物量的单位投入所产出的经济量,其内涵是经济活动使用自然资源的效率。计算公式为:

错    误    !    未    找    到    引    用    源    。  
(5.7)

其中, 错误! 未找到引用源。 $\Sigma IAV$ 表示工业生产总值, 错误! 未找到引用源。 $\Sigma IAV$ 表示物质资源消费量, 通过资源消费量加总求和的办法得出。

## 5.2 案例分析—行业(化工)类园区循环发展模式研究

### 5.2.1 濮阳经开区物质流分析

#### (一) 经开区产品物质流分析

濮阳经开区 2012 年的产品物质流现状图如图 5.1 所示, 经开区利用的产品主要有天然气、煤和石脑油。煤制合成气向下游逐步发展煤化工产业链, 石脑油裂解制烯烃下下游发展石油化工产业链。“三废”方面, 废水由园区企业各自处理达标排放; 废气由园区企业点燃后排入大气; 固废则由园区的水泥厂消解。

从产业链来看, 濮阳经开区产业链可分为煤化工和石油化工。煤化工产业链依托中原大化和龙宇化工两大龙头企业, 积极发展深加工产品, 形成多元化和精细化的产品结构, 如煤制合成气, 合成气制乙二醇、合成氨制尿素等。石化产业链以中原乙烯为龙头企业, 向下游辐射带动了一批化工企业, 如乙烯裂解丙烯, 丙烯制橡胶、丙烯酸, 丙烯酸合成高吸水性树脂等。

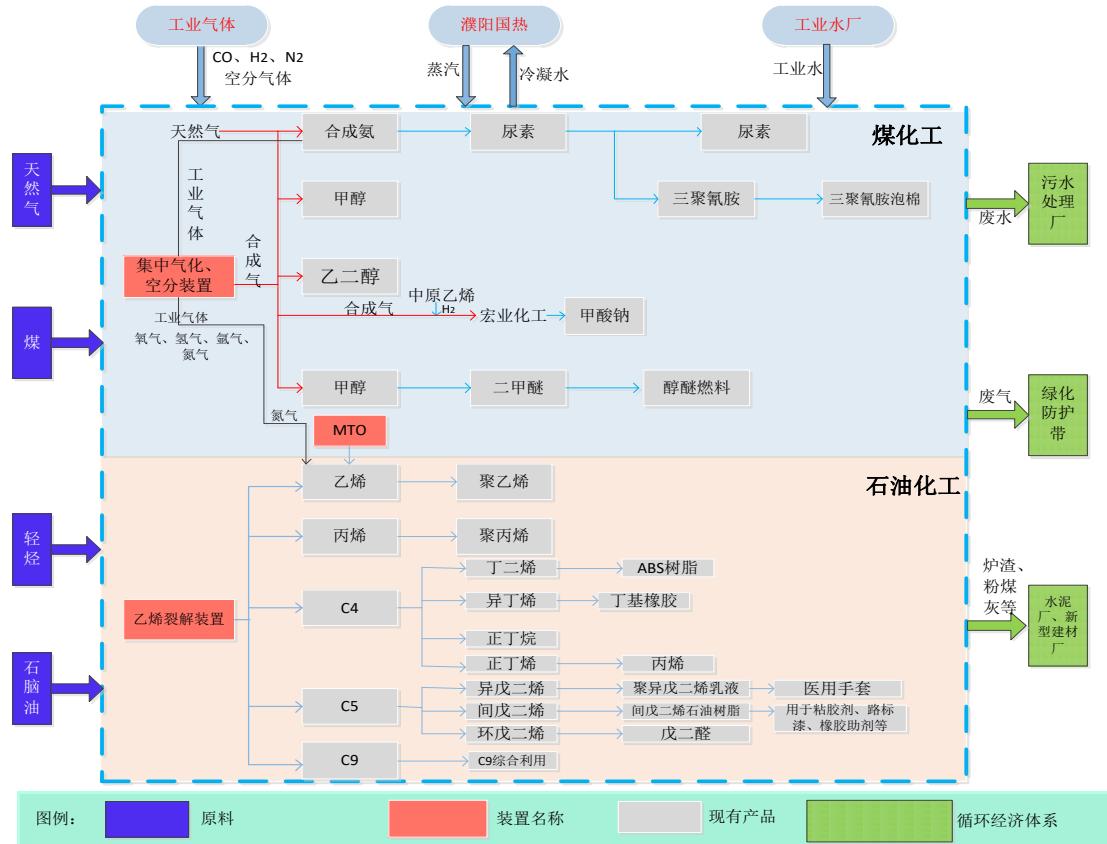


图 5.1 2012 年经开区物质流现状

但同时我们发现，经开区的产业链纵向延伸发展不够精细，同时缺乏横向耦合。存在的问题主要表现在：

### （1）产业链上下游发展规模不协调

随着开发区建设的不断推进，合成气供给公共平台和科学统筹调配开原料气供给体制的缺乏对未来发展形成了不同程度的制约。一方面，开发区大部分企业是化工企业，需要大量的合成气和氢气等化工原料气体，由于在集中供应合成气、压缩气方面还没有完全实现，企业多采取自行建设气化装置、空分装置的措施，能源利用效率低。另一方面，虽然开发区可年产乙二醇 20 万吨，甲醇 70 万吨，但置气能力仅为 15 亿立方米/年，明显不能满足开发区需要。同时，开发区每年需要外购大量甲醇来满足甲醇下游企业生产，如 60 万吨甲醇制烯烃项目 50% 甲醇原料需外购，这在一定程度上限制了石化产业的进一步延伸和发展。此外，开发区内基础化工企业较多，整体产业链不够长，上游资源、产品没有得到充分利用，精深加工产品较少，严重影响开发区化工产业的竞争优势。

### （2）石化煤化耦合度不高

由于石化和煤化之间的关联配套不高,目前只是在甲醇供应和部分副产品之间有融合,缺乏全面深度融合。一是开发区的石化链条是以少碳多氢的产业为基础发展起来的,而煤炭化工产业链则是多碳少氢为主的产业,因此造成在石化链条上的 H<sub>2</sub> 资源的富余和煤化链条上的 CO 资源富余,而这些副产品又没有得到高效高质利用,形成了资源的浪费。二是企业生产形成的废弃物没有资源化利用,互惠互利的情况不多,资源利用率还有提升空间。

### (3) 水资源利用水平有待提高

目前,由于濮阳经济技术开发区尚未建立完善的企业与企业之间,行业与行业之间的水循环链,因此,在生产工艺节水、用水节水、废水循环利用、管网渗漏检测等方面也缺乏相应的措施。此外,虽然大部分企业生产的废水经过企业本身的污水处理设施处理后达标排放,且个别企业实现企业内部水循环,但是由于开发区化工企业较多,工业废水污染较为严重,基础设施投入不够大,中水回用率不高。

## (二) 经开区企业间物质流

2012 年,经开区化工企业实现产值 102 亿元,占园区全部工业企业销售收入的 62.5%。主要产品有 70 万吨甲醇、30 万吨合成氨、50 万吨尿素、32 万吨乙烯、16 万吨丙烯、4 万吨苯、15 万吨糠醇、8 万吨甲醛、6 万吨三聚氰胺、6.5 万吨甲酸钠、2.2 万吨 N- 甲基吡咯烷酮、100 万吨真空盐、1.5 万吨 LED 封装材料等。经开区主要的企业与产品的投入产出情况见表 5.1。

表 5.1 经开区主要企业基本情况

主要企业名称	产品投入	产品产出
河南省中原大化集团	煤、天然气	尿素、三聚氰胺、NPK
中原乙烯有限责任公司	石脑油、乙醇	乙烯、丙烯、聚乙烯、聚丙烯
濮阳市新豫石油化工有限公司	石油、碳 5	C5 石油树脂、双环异戊二烯、未聚碳五
河南沃森超高化工科技有限公司	乙烯单体	超高分子聚乙烯
中农发河南农化有限公司	乙烯、氢气	DEA、MEA
濮阳惠成化工有限公司	氢气、碳 4、碳 5	四氢苯酐、增塑剂
濮阳班德路化学有限公司	碳 5	增粘树脂
宏业生化股份有限公司	氢气	糠醛、甲酸钠
濮阳迈奇科技有限公司	—	N- 甲基吡咯烷酮、氢气

图 5.2 是濮阳经开区企业间产品之间的物质交换，可以看出，经开区以中原大化和中原乙烯为龙头企业向下游逐渐发展不同的化工企业。企业之间主要利用氮气、氢气、碳四、碳五、甲醇和合成气，一些企业之间也做到了副产物的利用。如，迈奇化学的副产物氢气一方面可以供给惠成电子和宏业化工这类缺氢企业，另一方面也增加了迈奇化学企业的经济效益。同时主要企业产生的炉灰、炉渣和粉煤灰等废弃物输送给同力水泥厂，既消解了粉煤灰对环境的污染，也增加了园区的经济效益。但我们发现，园区企业之间的危废主要输送到园区外企业，增加了运输成本，也不利于园区资源的循环利用。我们可以拟建园区的危废处置中心，园区内所有的危废均可输入到危废处置中心，由危废处置中心统一综合利用。

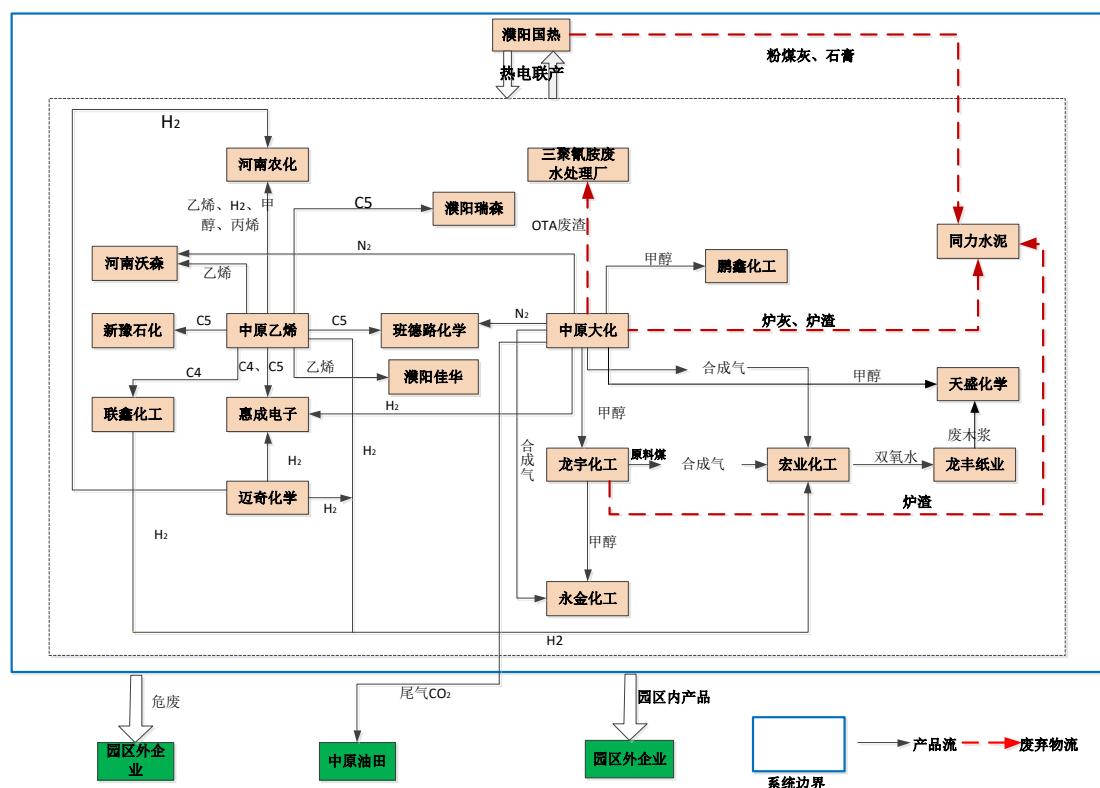


图 5.2 经开区企业物质循环利用情况

## 5.2.2 情景设定

为了对比 2012 年经开区发展现状和循环化改造后的区别，本研究设定了两种情景对濮阳经开区的循环发展水平进行评估，情景定义如下：

基准情景：濮阳经开区的产业发展和能源利用水平保持 2012 年现状不变。基准情景中企业的污水均是厂区自身污水处理厂达标排放，居民区的污水则是统

一集中处理排入濮阳的濮水河中；炉灰炉渣由水泥厂统一回收；热电厂为园区的热和电提供基础保障。

循环发展情景：在基准情景基础上，增加基础设施、引入补链等。基础设施方面，新增了危废处置中心、人工湿地、污泥集中处理中心等基础设施。危废处置中心集中回收企业产生的危废，一方面增加了园区的经济效益，另一方面减少了对环境的污染；人工湿地进一步对排出的污水进行净化；污泥集中处置中心回收污水处理厂的污泥供给农林田地。补链方面，新增双氧水和余热的回收利用，双氧水供给造纸厂，为造纸厂提供产品原料；热电厂增加余热余压的回收利用，进一步利用废弃资源。

### 5.2.3 濮阳经开区企业间关联度测算分析

对生态工业园的食物网结构进行关联度分析，可以发现生态工业园中缺少的企业以及副产品、废品资源化的食物链。以此为基础，通过拓宽企业间副产品、废品资源化的范围，增建“纽带”型企业，进行多通道企业间的连接和组合，建立起相互关联、相互促进、共同发展的生态工业体系，必将对生态工业园充分发挥资源优势和工业优势，加快经济发展速度，提高经济发展质量，实现环境与经

循环发展情景拓宽了经开区的静脉产业链，有利于减少园区的污染，同时也增加了园区的经济效益。图 5.3 中灰色是 2012 年的基准情景，绿色部分是拟新增的基础设施，虚线是引入的补链。

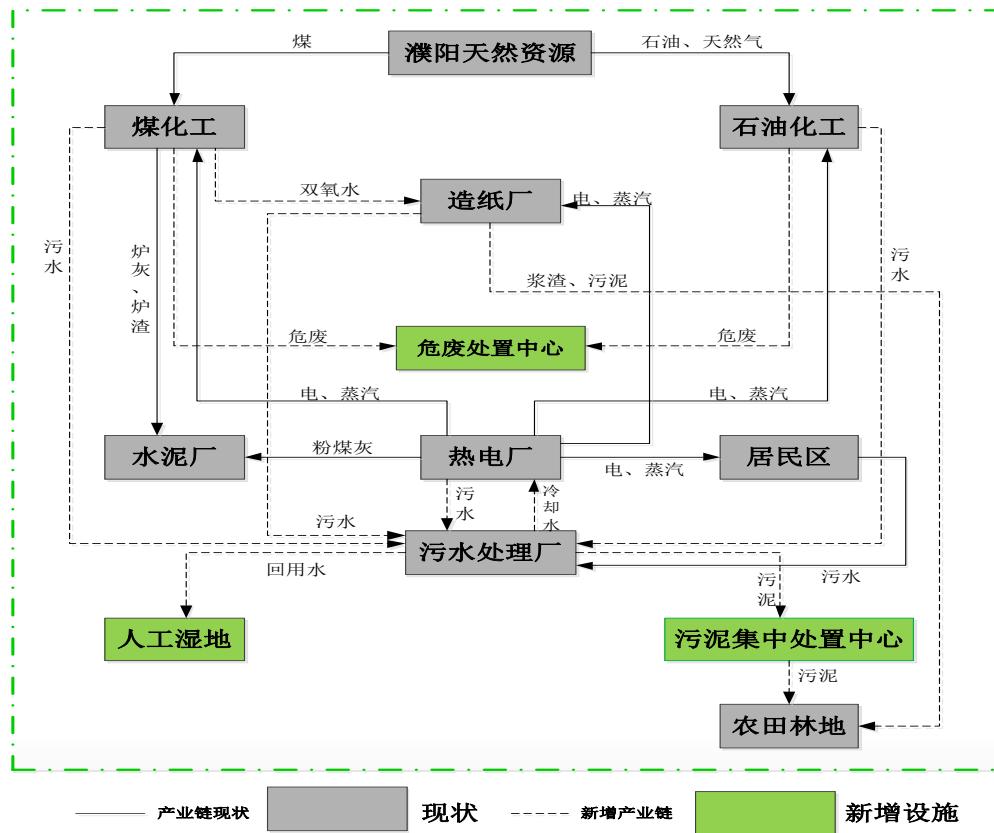


图 5.3 濮阳经开区食物网

### (一) 濮阳经开区企业间关联度测算结果

濮阳经开区依托濮阳市现有的油气等资源初步形成以石油化工和煤化工为主体的产业链条,以中原大化和中原乙烯为主导企业,向下游辐射和带动了一大批企业。园区中的产品链主要有H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>和甲醇等,废物链主要有炉灰、炉渣和粉煤灰等。

以图7经开区的食物网为基础,利用公式(5.2)和公式(5.3),计算濮阳经开区的生态关联度和总关联度。由图可见,基准情景中,该食物网的物种丰富度S=9,生态工业链数L<sub>e</sub>=5,总产品链数L<sub>t</sub>=9,根据式(5.2)和式(5.3),可得基准情景下濮阳经开区的生态关联度为

$$C_e = \frac{5}{\frac{9 \times (9-1)}{2}} = 0.139$$

总关联度为

$$C_t = \frac{9}{\frac{9 \times (9-1)}{2}} = 0.250$$

同样道理可以得到循环发展情景下濮阳经开区的生态关联度和总关联度分别为:  $C_e=0.152$ ,  $C_t=0.318$ , 结果如下表。

表 5.2 两种情景下经开区关联度

不同情景	S	$L_e$	$C_e$	$L_t$	$C_t$
濮阳经开区基准情景	9	5	0.139	9	0.250
濮阳经开区循环发展情景	12	10	0.152	21	0.318

经开区基准情景中企业间的生态关联度为 0.139, 总关联度均为 0.250, 拟新增产业链之后的循环发展情景企业间的生态关联度为 0.152, 企业间的总关联度为 0.318。可以看出, 在循环发展情景中, 企业间的生态关联度和总关联度均大于基准情景, 主要原因在于, 循环发展情景把经济发展和环境保护结合起来, 加强了企业间的物质和能量的流动关系, 构建了企业间利用副产品、废品生态工业链。例如通过在原有的农田林地基础上充分利用了造纸厂产生的浆渣和污泥和污水处理厂产生的污泥, 提高了废弃物的利用率。同样, 新增危废集中处理中心, 一方面可以节省中间运送的费用, 另一方面危废集中处理中心可以循环利用企业产生的危废, 增加了环境效益和经济效益。

查阅文献可知, 生物群落实际关联度的变化范围从最小值 0.049 到最大值 0.600, 平均值为 0.305。经开区的循环发展情景中企业间总关联度为 0.318, 大于平均值。表明循环发展情景中经开区总体水平与自然生物群落接近, 并具有生物群落的结构和功能。

不难发现, 我们所设定的循环发展情境中企业关联度优于原有的基准情景企业关联度, 在循环发展情景中能够较充分利用废弃物, 节约现有资源, 特别是加强了水资源的循环利用, 对园区的可持续发展有着重要的推动作用, 因此循环发展情景中的发展模式可供经开区循环发展模式提供参考。

## (二) 园区循环经济企业间关联度结果比较

付丽, 陈鸿汉 (2011) 采用同样的方法计算了贵港生态工业园区、南海生态工业园区和鲁北生态工业园区生态关联度和总关联度, 为了更全面的分析我国生态工业园区产业关联度的发展水平与国外的差别, 本研究计算了卡伦堡的企业生态关联度和总关联度, 并与贵港生态工业园区、南海生态工业园区和鲁北生态工

业园区的平均值进行比较。国内选取的几个生态工业园区均是开展较早，发展成熟稳定的工业园区，以期能够代表国内生态工业园区发展的总体水平。

根据陆钟武（2010）所阐述的卡伦堡生态工业园产业链，本研究选取 20 世纪 70 年代，20 世纪 80 年代和 20 世纪 90 年代的卡伦堡发展现状，我们以此为基础，研究 1975 年、1985 年、1995 年的卡伦堡生态工业园的食物网见图 5.4、图 5.5、图 5.6。

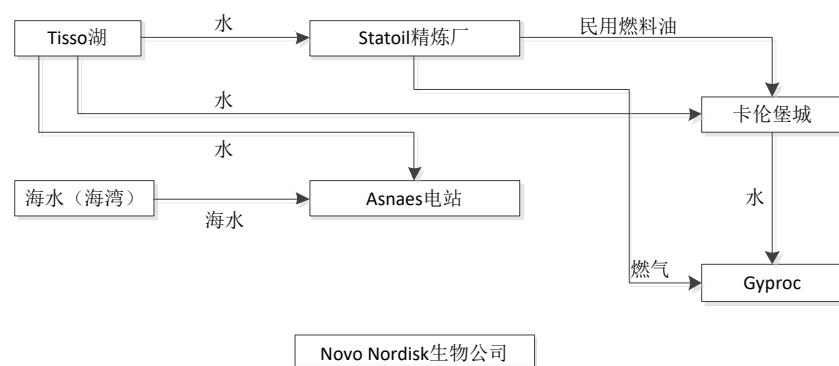


图 5.4 1975 年卡伦堡生态工业园的食物网

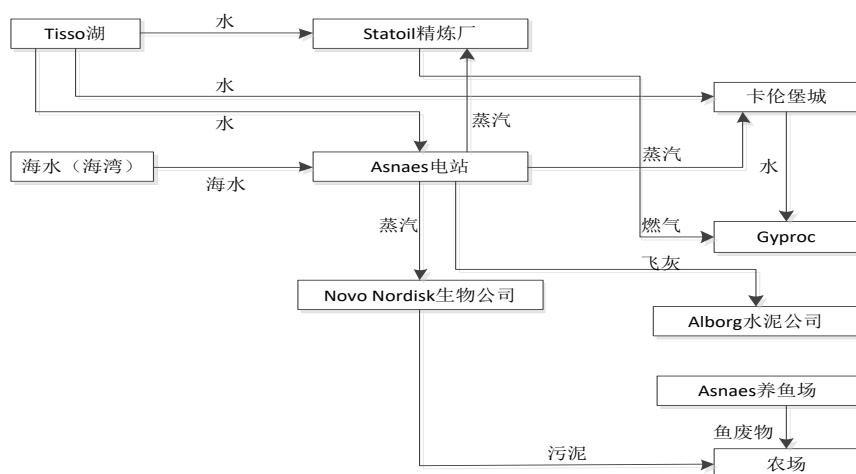


图 5.5 1985 年卡伦堡生态工业园的食物网

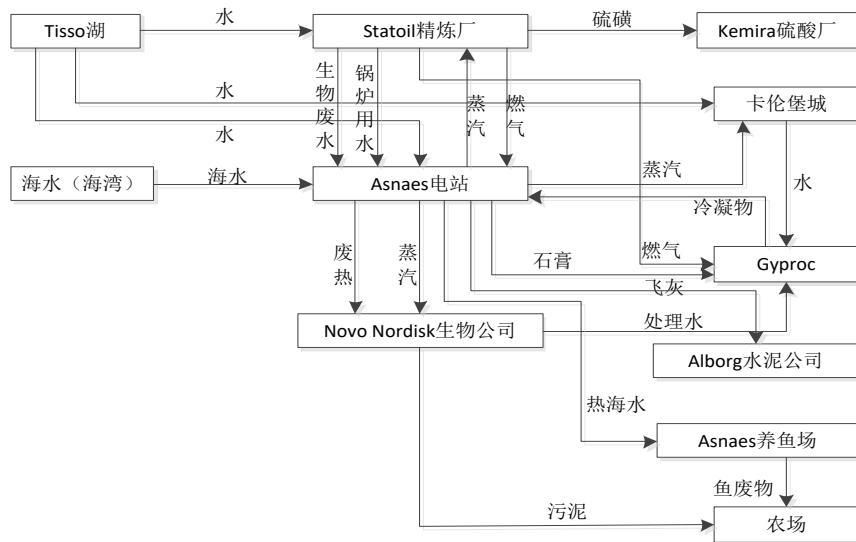


图 5.6 1995 年卡伦堡生态工业园食物网

以公式 (5.1) 为基础, 利用式 (5.2) 和 (5.3) 计算丹麦卡伦堡企业间的生态关联度和企业间的总关联度。图 4 是 1975 年的卡伦堡生态工业园的食物网。由图可见, 该食物网的物种丰富度  $S_{1975}=7$ , 生态工业链数  $L_{e1975}=2$ , 产品链数  $L_{p1975}=5$ , 总食物链数  $L_{t1975}=L_{e1975}+L_{p1975}=7$ 。把  $S_{1975}$  和  $L_{e1975}$  带入公式 (5.2), 可以得到该时期卡伦堡生态工业园的园区企业间生态关联度为

$$C_{e1975} = \frac{2}{7 \times (7 - 1)} = 0.095$$

把  $S_{1975}$  和  $L_{t1975}$  带入公式 (5.3), 可得该时期卡伦堡生态工业园的园区企业关联度为

$$C_{t1975} = \frac{7}{7 \times (7 - 1)} = 0.333$$

同样道理可以得到卡伦堡 1985 和 1995 年的企业间生态关联度和企业间总关联度。

为方便比较, 下表列出了丹麦卡伦堡、贵港生态工业园、南海生态工业园和鲁北生态工业园的企业间生态关联度和企业间的总关联度相关数据, 具体结果见表 5.3。

表 5.3 园区生态关联度和园区企业间总关联度

国家	园区	S	L <sub>e</sub>	C <sub>e</sub>	L <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>
丹麦	1975 年卡伦堡生态工业园	7	2	0.095	7	0.333
	1985 年卡伦堡生态工业园	10	8	0.178	12	0.267
	1995 年卡伦堡生态工业园	11	13	0.236	17	0.309
	贵港生态工业园	15	20	0.190	22	0.210
	南海生态工业园	21	25	0.119	35	0.167
	鲁北生态工业园	12	7	0.110	38	0.580
中国	平均值	—	—	0.140	—	0.319
	濮阳经开区基准情景	9	5	0.139	9	0.250
	濮阳经开区循环发展情景	12	10	0.152	21	0.318

由表 5.3 可知, 濮阳经开区循环发展情景下的生态企业关联度 (0.152) 大于基准情景下的生态企业关联度 (0.139), 说明循环发展情景优于基准情景, 但循环发展情境下的企业生态关联度小于 1985 年卡伦堡生态工业园区的生态关联度, 说明与国外先进园区相比还有一定的差距。

同样可以发现, 濮阳经开区基准情景下总关联度为 0.250, 循环发展情景下企业总关联度为 0.318, 循环发展情景优于基准情景。同时, 濮阳经开区循环发展情景下总关联度与国内的综合发展水平比较接近平均值 (0.319), 总关联度均大于卡伦堡生态工业园区的总关联度。

总的来看, 濮阳经开区基准情景的生态关联度和总关联度与国内外比较均存在不同程度的差距, 循环发展情景下的生态关联度和总分关联度均大于国内的平均值, 与基准情景相比有较大幅度提升。通过上表还可以发现, 我国生态工业园区的企业生态关联度 (0.14) 平均值小于丹麦卡伦堡 1995 年的值 (0.236), 因此国内发展水平与卡伦堡的生态关联度相比仍有很大差距, 有很大提升空间:

第一, 园区产品附加值较低, 资源利用率不高。目前, 虽然濮阳经开区内一些企业形成了原料-中间体-成品的企业内产品链条, 但是多数企业之间关联效应不够, 产业纵横耦合性较低, 没有统一协调的物料、副产、三废处理分配方案。濮阳经开区没有充分利用现有企业副产物, 产业链条纵向延伸也不够。因此濮阳经开区应不断提高下游产品比重, 发展精细化工, 增加产品附加值。

第二, 园区尚未形成完善的循环经济模式。除了产业链纵向发展不足外, 濮阳经开区更缺乏产业链横向之间的耦合。在濮阳经开区进行产业链横向耦合可以实现石化、煤化融合发展, 最大限度地实现产业集聚效益, 实现资源共享和提高能源利用率。

第三，园区中水回用率亟待提高。目前濮阳经开区内的企业均是各自达标排放污水，企业与企业之间中水的回用率不高，濮阳国热与园区企业之间也缺乏中水的回用，造成大量水资源的浪费。因此濮阳经开区亟需加强热电联供之间水的梯级利用，从而最大限度节约水资源。

第四，园区能量梯级利用水平较低。濮阳经开区的企业废气排放量大，同时废气中含有大量的热，目前园区各企业废气处理方式均为点然后自行排放，污染环境的同时造成资源的大量浪费。因此，为加强园区能量梯级利用水平，未来濮阳国热可以统一回收各企业的废气，利用余热余压进行发电，实现园区废弃资源的充分利用。

第五，副产物和废弃物的交换利用有待加强。濮阳经开区副产物和“三废”排放量大，目前很多副产物不能做到物尽其用，如煤化工和石油化工的氢气和一氧化碳产生量大，但不能做到有效的回收，同时“三废”排放也较为粗放。本研究通过分析濮阳经开区物质流动，识别主要的副产物、废弃资源的来源和数量，结合经开区发展需要和周边市场需求，利用先进技术，对各产业副产物和废弃资源等进行回收和资源化利用。例如引入年产 20 万吨双氧水等项目，实现石化、煤化产业链上  $H_2$ 、 $CO$  等副产物的充分利用；依托开发区污泥集中处理中心建设项目和开发区及周边的水泥厂、新型墙体材料等企业，实现开发区内固体废弃物的无害化处理、资源化利用；依托濮阳大化建设年回收 30 万吨二氧化碳装置，用于中原油田二氧化碳驱油，既可实现二氧化碳废气捕集，又可以促进中原油田石油资源综合利用；利用濮阳龙丰纸业产生的废木浆，与煤化工生产的甲醇等生产纤维素醚，实现煤化与造纸工业的链接。通过上述措施，可显著提高开发区的副产物和废弃物综合利用率，减少环境污染物排放。

#### 5.2.4 濮阳经开区水资源产出率测算分析

水是化工生产过程中需求量较大的资源，提高水资源产出率对节约水资源有着重要的作用。因此本研究选择水资源产出率作为重要指标来衡量濮阳经开区的水资源利用情况。

##### （一）濮阳经开区水资源利用基本情况

目前濮阳经开区可利用的水资源丰富，濮阳市境内有河流 97 条，分属黄河、

海河两大河系，另外境内还引进黄河工程和南水北调工程，可以为濮阳经开区提供丰富的水源。但濮阳经开区在利用水资源方面，尚未建立完善的企业与企业之间，行业与行业之间的水循环链，在生产工艺节水、用水节水、废水循环利用、管网渗漏检测等方面也缺乏相应的措施。此外，虽然大部分企业生产的废水经过企业本身的污水处理设施处理后达标排放，且个别企业实现企业内部水循环，但是由于开发区化工企业较多，工业废水污染较为严重，基础设施投入不够大，中水回用率不高，这严重制约了经开区的循环发展，经开区水资源利用现状具体情况见下图 5.7。

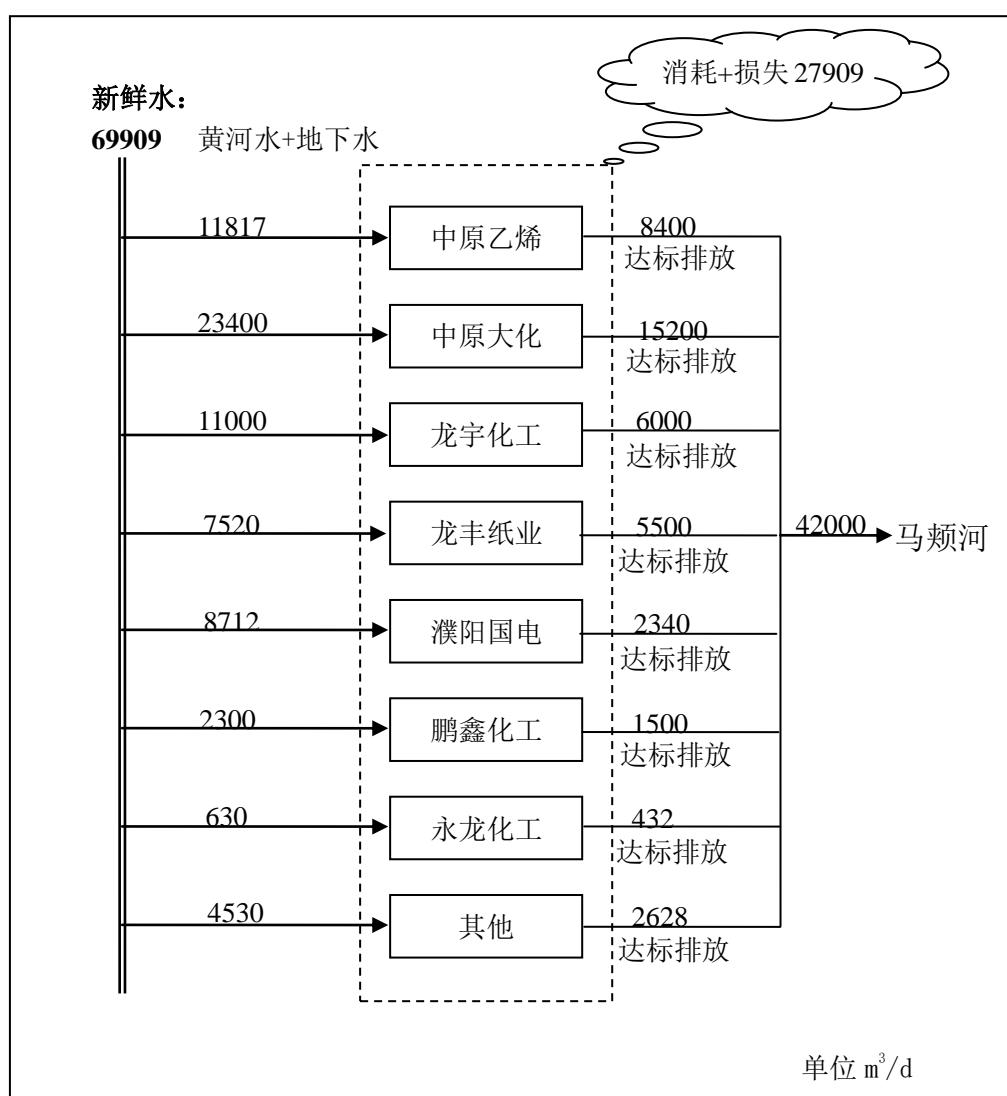


图 5.7 2012 年水平衡现状图

从上图我们发现，濮阳经开区每天平均用水  $69909\text{m}^3$ ，需水量较大的企业分别是中原乙烯用水  $11817\text{ m}^3$ ，中原大化用水  $23400\text{ m}^3$ ，龙宇化工用水  $11000\text{ m}^3$ ，龙丰纸业用水  $7520\text{ m}^3$ ，濮阳国电用水  $8712\text{ m}^3$ ，鹏鑫化工用水  $2300\text{ m}^3$ ，以上企

业用水量占濮阳经开区总用水量的 92.6%。在这些企业中除了企业内部的循环用水外均是处理达标排入马颊河中，每天排水 38940 m<sup>3</sup>。由于濮阳经开区没有统一的污水处理厂，因此水资源的回用率很低，对水资源造成大量浪费。若对排放的水资源回用，将对濮阳经开区的节水大有裨益。

## （二）濮阳经开区水资源产出率测算结果

根据式（5.4）可知，水资源产出率可根据以下公式得出：

$$RP_{Water} = \frac{\sum IAV}{\sum DMI_{Water}} \quad (5.5)$$

错误！未找到引用源。表示水资源的产出率；错误！未找到引用源。表示工业增加值； $\sum DMI_{Water}$  表示直接输入各企业内新鲜水的量。

经开区的水资源产出率同样分两种情景进行比较，基准情景与循环发展情景，两种情景与前文情景设定一致。循环发展情景下，结合开发区的水资源情况，针对用水现状，通过完善分质供水和分级用水机制，建设中水回用系统，推广节水技术等措施实现水资源高效利用。同时借鉴国内同类化学园区先进经验，污水厂出水经湿地净化后再进入工业水厂和景观河道作为工业水源和景观水源进行回用，形成化工区特色的生态水循环体系，既减少排污、又节约利用水资源；合理规划园区内污水管网，形成合理的中水回用系统，并对雨水、微污染水等进行分流和分级综合利用，提高水资源综合利用率。通过上述措施，缓解开发区水资源短缺的压力，提高水资源产出率。改进后的循环发展情景水资源利用情况见图 5.8。

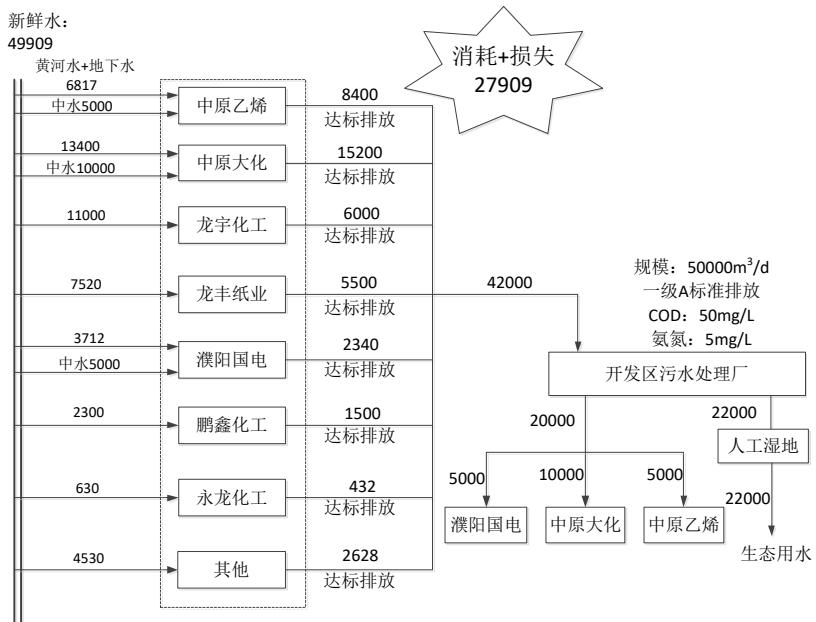


图 5.8 循环发展情景水平衡图 单位:  $\text{m}^3/\text{d}$

根据基准情景和循环发展情景水的平衡图, 基准情景和循环发展情景水资源的总利用量分别是  $69909 \text{ m}^3/\text{d}$  和  $49909 \text{ m}^3/\text{d}$ , 当年的工业生产总值为 160 亿元, 因此结合式 (5.5) 我们可以算出在基准情景和循环发展情景中水资源的产出率分别为:

在基准情景中，水资源的产出率为

错误！未找到引用源。万元/吨

循环发展情景中，水资源产出率为

$$RP_{Water} = \frac{160 \times 10^4}{49909 \times 300} = 0.107 \text{万元/吨}$$

很明显循环发展情景下水资源产出率（0.107）远高于基准情景（0.076），表明该情景可以明显节约水资源，该情景下经开区中水回用及湿地工程项目建成后开发区的废水收集和处理率将达到100%。在循环发展情景下，濮阳经开区污水处理厂回收的废水一部分用于人工湿地进一步净化处理，另一部分回用于需水量大的企业，在提高开发区水资源利用率的同时，也对改善水质、改善区域投资环境具有积极的作用。这不仅提高了水资源的循环利用，也提高了水资源的产出率，增加了当地环境效益和经济效益。因此，通过分析濮阳经开区水资源的产出率可知，经开区在提高水资源产出率方面仍有很大的提升空间。

第一，园区污水处理设施不完备。目前濮阳经开区没有统一的污水处理厂，虽然园区内企业均有污水处理设备，但不能做到对污水的统一回用，造成水资源

的大量浪费。针对现状，经开区内部应建立统一的污水处理厂，在集中处理污水的同时也可以做到水资源的回用。

第二，园区缺乏中水回用系统，分析濮阳经开区的现状发现缺失中水回用系统，因此应推广节水技术等措施实现水资源高效利用。如污水厂出水经湿地净化后再进入工业水厂和景观河道作为工业水源和景观水源进行回用，通过合理规划园区内污水管网，形成合理的中水回用系统，并对雨水、微污染水等进行分流和分级综合利用形成化工区特色的生态水循环体系。

第三，循环冷却水利用不足。循环冷却水系统是石化企业常见的节水方式，循环冷却水系统常可节约水资源 95% 以上，因此，濮阳经开区在实现企业内部水循环上应加强循环冷却水系统的普及率。如在濮阳国热做到冷却水的回用，一方面节约大量水资源，回收大量的余热，另一方面显著增加园区的环境效益和经济效益。

### 5.2.5 濮阳经开区能量梯级利用研究

能量梯级利用是为了节约资源，提高工厂或园区天然气、煤气、蒸汽等能源的利用率，依据热力学理论，借助系统工程方法，对不同温度的热能按应用要求进行合理分配，综合整个工厂乃至整个园区的能量传递、转化和利用的全过程。能量的梯级利用对增强园区的市场竞争力和提高产品的附加值，促进生态工业园内企业的共生发展，建设资源节约型、环境友好型社会，具有重要意义。本研究通过分析濮阳经开区能量梯级利用现状和存在的问题构建了能量梯级利用的方案，在着力分析园区能量需求与供给的基础上，提出园区能量梯级利用的方案和对策。

#### （一）濮阳经开区能量梯级利用的现状

濮阳经开区企业的供热采用集中式供热，由濮阳国热统一提供，2012 年园区消耗的蒸汽为 534.43 万吨，虽然濮阳国热实现了统一的热电联供，但在园区企业间存在余热余压的大量浪费。为充分了解园区内废气的处理方式，研究团队调研了经开区内的主要企业，调研发现，经开区内各个企业的废气均是各自处理达标后排放，但其中含有大量的  $SO_2$  等气体，集中点燃排放造成大量资源的浪费，及其不利于园区的循环发展。基于此，本研究提出了濮阳经开区能量梯级利用存在的问题以及相关的对策建议。

## （二）濮阳经开区能量梯级利用存在的问题

### （1）园区关键节点项目亟需统一规划

濮阳经开区应设计合理的产业链，实现工业生态系统各个过程之间物质、能量和信息的利用和交换。由于濮阳经开区内各个主导企业，各自主体利益不同，发展的战略目标各有差异，导致园内能量梯级利用的重大节点项目、基础设施和关键技术缺失或建设缓慢。例如，濮阳国热的热电联产项目建设滞后，致使园区规划的能量梯级利用实施方案一度搁浅，也影响了下游企业相关产业的发展，严重影响了产业循环、园区循环。

### （2）园区缺少有效的合作交流机制

生态工业园建设的目的就是使一个企业的副产品或废物用作另一个工厂的原料，达到物质能量利用最大化和废物排放最小化。在濮阳经开区，由于企业间信息沟通不畅，缺少必要的合作和交流，生态工业园建设目的难以有效实现。例如：在濮阳经开区内，石油化工产业链重要的特征是少碳多氢，而煤化工产业链的主要特征是多碳少氢，企业排空的这部分氢气和一氧化碳造成了极大的浪费，若利用好开发区的副产物氢气和一氧化碳资源，使其达到用产平衡，将对园区的循环化发展大有裨益。因此园区企业需要建立有效的合作交流机制，实现工业园区的共生与双赢。

### （3）园区有待加大考核激励力度

各级政府是创建生态工业园的推动者、管理者、执行者，虽然国家出台了相关文件要求大力推进生态工业园建设，但是缺乏强制性手段与激励机制。生态工业园创建与否未列入生态市考核指标中，没有成为一个强制性要求，这在某种程度上影响了生态工业园推进力度。对生态工业园排污、技术标准、产业结构等缺乏强制政策与措施要求，很难将园区内产业系统从个体互不相联的游离状态发展成为机构紧密的产业链。激励机制不够健全，在投融资体制、土地利用、规划建设、排污收费等方面没有相应优惠政策。

## （三）濮阳经开区能量梯级利用的对策建议

### （1）加强园区余热回收工作

濮阳经开区内重要企业的余热回收应在技术应用和实际利用方面不断取得突破，使园区规划的“企业和集群之间深度分工、形成产业和区域竞争优势、带

动循环经济高层次发展”的目标得以实现。例如，濮阳国热在热电联供之间余热余压的回收，中原大化和龙宇化工煤制气余热的回收等，是园区能量梯级利用的前提和基础。

## **(2) 构建园区余热管网系统。**

首先，应结合园区道路现状和园区布局的要求，充分考虑维修、管理等因素，架设供热管线；其次，余热管网建设应遵循节约和方便的原则，有效构架循环经济试验园公用供热管网和余热输送体系。最后，以濮阳国热的热电联产为中心，保持园区供热的动态平衡与稳定，逐步构建区域供热系统。

## **(3) 设计园区能量梯级利用方案**

濮阳经开区可在各企业采用节能技术和设备寻求各自的能源使用实现效率最大化同时，通过循环化改造实现企业间能源的梯级利用，优化整个开发区的能源利用，提高能源利用效率。例如，(1) 濮阳国热的热电联供为主体，以中原乙烯和中原大化利用的余热蒸汽为辅，建设濮阳经开区两级蒸汽管网，满足园区内下游企业在化工等方面的蒸汽需求。两级管网中，中压蒸汽管网和低压蒸汽管网既可独立运转，也可由中压管网向低压管网供汽，实现中压管网和低压管网的压力平衡。主供气单位和辅供气单位即实现了工业余热的有效利用，又实现了企业效益的最大化。(2) 濮阳经开区各个企业均有大量的废气排空，其中包含大量的二氧化硫和氮氧化物，若将废气集中处理回收二氧化硫，二氧化硫可制硫酸或点然发电，也可为下游企业提供能源。

此能量梯级利用方案，通过两级蒸汽管网的建设，一是可取代园区内部分企业的燃煤锅炉，减少了化石能源的消耗、降低了环境污染；二是在为工业企业提供生产用蒸汽的同时，还可为住宿、餐饮、洗浴等服务行业提供蒸汽和热水；三是为附近的居民提供冬季取暖所需热源，同时，配套建设制冷机组，夏季为居民供冷，进一步完善了园区配套服务功能，提高了园区公共服务能力。

## **(4) 建立政府主导的能量梯级利用机制**

政府主导是推动能量梯级利用的重要保证。从建立高规格的生态工业园和推进园区的能量梯级利用视角来说，应遵循“统一管理、多方协调、稳步推进”的原则，构建以政府主导运行的统一管理体制。所谓统一管理，即由生态工业园区进行高规格的规划，明确政府、企业等主体的定位，落实能量梯级利用方案；所

谓多方协调，如濮阳国热园区其他企业共同谋划能量的梯级利用，有必要的情况下，提升到更高的政府管理层面。能量的梯级利用涉及各企业主体的合作，同时也攸关彼此的经济利益，政府部门应发挥宏观调控的功能，将企业无力承担或不愿推动的事情做好，实现帕累托最优。

### 5.2.6 濮阳经开区循环发展模式建议

通过对濮阳经开区进行物质流分析、企业关联度分析、水资源产出率以及能量梯级利用分析，发现该园区主要存在以下问题：第一，濮阳经开区产业链上下游发展不协调，园区内基础化工企业较多，精深加工产品较少，整体产业链不够长；第二，园区石化煤化两大产业耦合度不高，目前只有甲醇供应和部分副产品之间有融合，两大主导产业之间缺乏全面深度融合；第三，濮阳经开区目前企业间生态关联度和总关联度与国内外生态工业园区相比仍有较大差距，多数企业之间关联效应不够，没有形成完整的物料、副产品和废弃物循环利用方案；第四，濮阳经开区目前水资源产出率较低，水资源循环利用水平有待提高；第五，濮阳经开区缺少有效的合作交流机制。

在以上分析基础上，本研究提出濮阳经开区下一步进行循环化改造的重点，应主要从以下几个方面着手：

第一，延伸升级主导产业链，拓展精深加工产品。在石化产业链方面，应依托中原乙烯生产的中间产品和副产品，以乙烯、丙烯、C4、C5、C9等作为上游产品，与聚乙烯、聚丙烯、MTBE、顺酐等中游产品以及精细化工、合成材料等下游产品相结合，发展石化深加工产品。在煤化产业链方面，应依托龙宇化工、永金化工等企业，整合现有甲醇等产品资源，建设深加工项目，鼓励发展甲醇制烯烃、乙二醇、醋酸、聚甲醛、醋酸乙烯等深加工产品；同时依托煤制气副产物，生产醋酐、醋酸乙烯、三聚氰胺、聚碳酸酯等化工中间品或终端产品，构建完善产业链，提高资源能源利用效率。

第二，石化煤化的深度耦合。规划项目年产 20 万吨双氧水等，对石化、煤化产业链上 H<sub>2</sub>、CO 等副产物的充分利用，可实现开发区内产业横向耦合，以及企业间高效的物质交换。

第三，提高能源梯级利用水平。可从两方面着手，一是在热电联产的建设中，从以燃煤为主的热电厂向燃气的热、电、气三联供热电厂发展，提高濮阳国热的

热电联供水平，二是统一回收各企业的废气，利用余热余压进行发电，实现园区废弃资源的充分利用。

第四，建立健全基础设施共享平台。首先，通过对污水处理厂统一规划，污水处理厂统一回收的废水一部分用于人工湿地进一步净化处理，另一部分处理后回用于需水量大的企业。充分利用各类水资源，通过构建园区污染集中防治基础设施建设及升级改造，提高园区整体副产品及污染物消纳水平。其次，新增危废处置中心，危废处置中心集中回收企业产生的危废。最后构建人工湿地对排出的污水进行净化，污泥集中处置中心回收污水处理厂的污泥供给农林田地。

第五，濮阳经开区可在各企业采用节能技术和设备寻求各自的能源使用实现效率最大化同时，通过循环化改造实现企业间能源的梯级利用，优化整个开发区的能源利用，提高能源利用效率。例如，（1）濮阳国热的热电联供为主体，以中原乙烯和中原大化利用的余热蒸汽为辅，建设濮阳经开区两级蒸汽管网，满足园区内下游企业在化工等方面的蒸汽需求。两级管网中，中压蒸汽管网和低压蒸汽管网既可独立运转，也可由中压管网向低压管网供汽，实现中压管网和低压管网的压力平衡。主供气单位和辅供气单位即实现了工业余热的有效利用，又实现了企业效益的最大化。（2）濮阳经开区各个企业均有大量的废气排空，其中包含大量的二氧化硫和氮氧化物，若将废气集中处理回收二氧化硫，二氧化硫可制硫酸或点然发电，也可为下游企业提供能源。

## 5.3 案例分析—综合（装备制造与电子为主）类园区循环发展模式研究

### 5.3.1 郑州经开区物质流分析

郑州经开区坚持突出工业主导地位，持续强化工业带动作用，在财力、土地、科技扶持、税收优惠方面优先安排工业项目。坚持以产业园区建设为抓手，围绕龙头企业，延伸产业链条，推动主导产业集群化发展。以海马汽车、日产第二工厂、恒天重卡、宇通客车为龙头，30多家汽车零部件企业为配套的汽车及零部件产业集聚效应开始显现；以中粮集团、益海嘉里两大粮油巨头为龙头，汇集双汇集团、百事可乐、上好佳、雅士利等食品企业的涉及粮油肉奶和休闲食品的食品加工产业集群逐步形成；以龙工机械、郑煤机为龙头，涉及工程机械装备、煤

炭机械装备、煤层气装备等领域的装备制造产业集群即将发力；以旭飞光电、晶诚科技为龙头，涉及集成电路芯片、液晶玻璃基板等产品领域的电子信息产业集群不断壮大；四大产业集群在产值、利税、产业集聚等方面的作用日益明显，有力的引领了全区工业大发展。经开区的主要企业与产品的投入产出情况见下表。

表 5.4 经开区企业基本情况

行业（化工）类型	主要企业名称	主要原料投入	主要产品输出
	郑州宇通客车股份有限公司	钢材、油漆、稀料	客车、客车专用车
	海马轿车有限公司	钢材、面漆	海马轿车
	日立化成工业汽车配件有限公司	PPC、PPG	汽车后背门
汽车整车制造及零部件相关企业	郑州精益达汽车零部件有限公司	半成品车桥半壳、不锈钢、铝板、铝型材料	车桥、铝舱门产品、尾气处理系统
	郑州卓达汽车零部件制造有限公司	塑料、油漆	汽车保险杠
	郑州煤矿机械集团股份有限公司	钢材、焊丝	液压支架
装备制造相关企业	郑州宇通重工有限公司	钢材、油漆	装载机、搅拌车
	郑州双汇食品有限公司	生猪	冷鲜肉
	郑州百事饮料有限公司	瓶胚、白砂糖、盖子	百事可乐
	郑州露露饮料有限公司	杏仁、白糖、水	露露
	益海嘉里（郑州）食品工业有限公司	小麦	面粉、挂面
食品加工相关企业	河南牧鹤（集团）饲料有限公司	玉米、豆粕	鸡料、猪料
	富泰华精密电子（郑州）有限公司	铝合金、塑胶料、切削液	手机机构件
电子信息相关企业	郑州旭飞光电科技有限公司	石英砂、氧化铝	TFT-LCD 玻璃基板

郑州经济技术开发区建区以来，通过不断的开拓创新，逐步使开发区演变成一个初具雏形的现代化制造业新城区，形成汽车及零部件、装备制造、电子信息和食品加工等主导产业，产业集群效应开始显现，园区生态产业链网初显，如下图 5.9 所示。

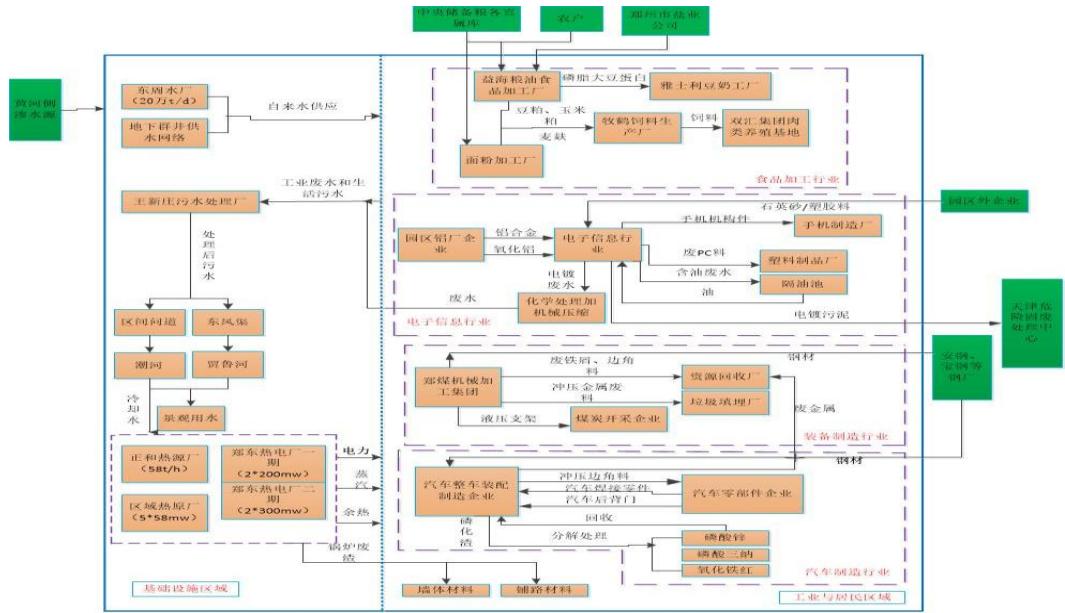


图 5.9 郑州经开区产业共生现状

从上图中可以看出，园区核心主导产业分别是装备制造业、汽车及零部件业、电子信息业以及食品制造业。对于汽车整车装配及零部件行业而言，以海马和日产两大整车生产企业为核心，后端向汽车服务、汽车文化业发展，前端则向金属加工、塑料制品及玻璃制品企业延伸；对于装备制造业来说，以郑州煤炭机械、龙工机械为核心，从传统的煤炭等大型机械的制造向农业机械等相关产业、利星行机械等设备租赁、服务及再制造发展；对于电子信息产业来说，从电子芯片的加工制造走向软件的开发及网络通信服务的构建；至于食品制造业，以粮油、烟草为核心，向方便食品、有机食品、功能性食品等高附加值产品延伸，建立食品加工、饲料生产在内的产业链。

经开区的基础设施如上图所示，园区的自来水供应来自东周水厂和地下群井网络；园区企业产生的工业废水主要经由王新庄或者陈三桥污水处理厂处理后，被园区绿化公司用作绿地浇灌或者道路冲洗；热源厂、热电厂以及燃气锅炉向园区企业和生活区提供集中电力、蒸汽和余热。汽车及机械制造企业和电子信息制造企业产生的冲压金属废料、包装边角料和废弃电子元器件可以通过郑州再生资源回收网络进行循环再利用，汽车及机械制造企业和电子信息制造企业产生的可燃废物、磷化渣、物化干污泥、废溶等危险废物则由天津市危废处理中心进行回收填埋处理。

通过对郑州经开区的调研，目前园区在企业关联程度和资源循环利用方面存

在着一些问题。

(1) 园区产业之间共生协作程度低。经开区企业各自为政，缺少统一规划，造成资源浪费，生产成本提高，废弃物增多。各企业产品生产链接薄弱，导致资源利用率低，影响区域的可持续发展。建议园区随着产业园区的发展，逐步加强企业间的关联度，增强产业之间的共生协作，促进园区循环经济的发展。

(2) 水资源循环利用率低。根据收集的数据显示，郑州经开区目前工业用水的重复利用率为 78%，中水回用率为 48%。园区内部没有完整的水集成利用系统，缺乏对雨水的收集利用、工业水的重复利用；而且企业生产环节产生的冷却水和废水处理方式过于简单，不能在企业内部进行循环利用。建议强化水资源梯级利用，提高水资源利用效率。在园区内建立水集成利用系统和中水回用系统，并且加大水资源循环利用技术研发力度，实现水资源循环利用的关键技术突破。

(3) 能源梯级利用水平有待进一步提高。园区内的能源利用效率低下，利用方式过于单一，企业内的余热利用系统不完善，没有成熟的余热利用技术和相关设备；园区没有构建完善的余热利用管网系统，不能将电力企业生产过程中产生的余热充分运用于园区其他需要供暖的地方。建议完善园区余热管网系统，在园区内推广建设冷热电三联供。合理规划供热机组。

### 5.3.2 情景设定

本报告为了探究经开区经过循环化改造后，园区各企业之间的共生协作程度、水资源利用情况和能源梯级利用水平，各自有哪些方面的提高，特设定了两种情景对郑州经开区的循环发展水平进行评估。

基准情景下，郑州经开区的产业发展和能源利用水平保持 2012 年不变。基准情景中企业之间物质交换保持不变，企业废水和居民生活废水均排放至园区污水处理厂，工业废渣用于墙体材料和道路材料，自来水厂和热电厂向园区提供水、电和热，如图 5.10 郑州经开区生态链网所示。

循环化发展情景下，在经开区现状的基础上，增加环境保护基础设施、企业与企业之间引入补链、增加企业间水的循环利用和提升园区的能源利用效率等。在基础设施方面，依托南水北调中线工程规划的贾寨水厂 (40 万 t/d)，通过区域间的给水管网，来保障经济技术开发区的用水；规划在经济技术开发区南侧、京珠高速公路东侧建设一座区域热源厂，远期热源厂与热电厂可联网向经开区供

热；建设废旧家电及电子产品回收中心及废旧轮胎、废旧机电等再制造中心；规划建设人工湿地以及绿色走廊。在优化产业链结构以及补链工程方面，对园区内的汽车制造、装备制造、食品加工和电子信息四大产业，进行产业链优化和补链。

循环化发展情景下，园区汽车整车制造及零部件产业、装备制造产业、食品加工产业和电子信息产业的生态链设计如下：

### （1）汽车整车制造及零部件产业

在经开区内建设以汽车制造、汽车服务为双核心的汽车生态链，该生态链内集中建立和吸引一些与汽车制造所需核心配件相吻合、与汽车厂产出相适应的企业，形成供应群落、再生产品群落和可更新能源群落。

汽车制造业生态链设计分为三个部分：（1）“原材料供应—零部件生产企业—整车装配制造企业”链，重点引进 2-3 家知名整车制造工厂，使区域总体汽车产能达到 100 万辆以上，吸引二、三级配套商落户开发区，使零配件当地化比率达到 70% 以上；（2）“汽车零部件生产加工企业—汽车整车装配制造企业—危险废物集中处理企业”链，重点建设一个可通过燃烧汽车及零部件生产过程中产生的废弃油布等物质获取热量的资源再生企业，重点建设与其产能相配套的污水处理厂和危废处理中心，鼓励园区原有油漆生产厂家通过技术改造对汽车生产过程中所产生的各种油漆类废物进行回收再利用；（3）“汽车整车装配制造企业—汽车报废拆解企业—汽车零部件再制造企业—汽车零部件生产加工企业”链，重点引进 2-3 家汽车零部件再制造企业，结合郑州市报废汽车回收拆解网络，可以提高整个行业的经济效益，减少资源消耗和废物排放。下图是经开区汽车整车制造及零部件生产行业的生态工业网络图，图中灰色部分是基准情景下的现状，虚线及绿色部分是循环化发展情景下新增加的部分。

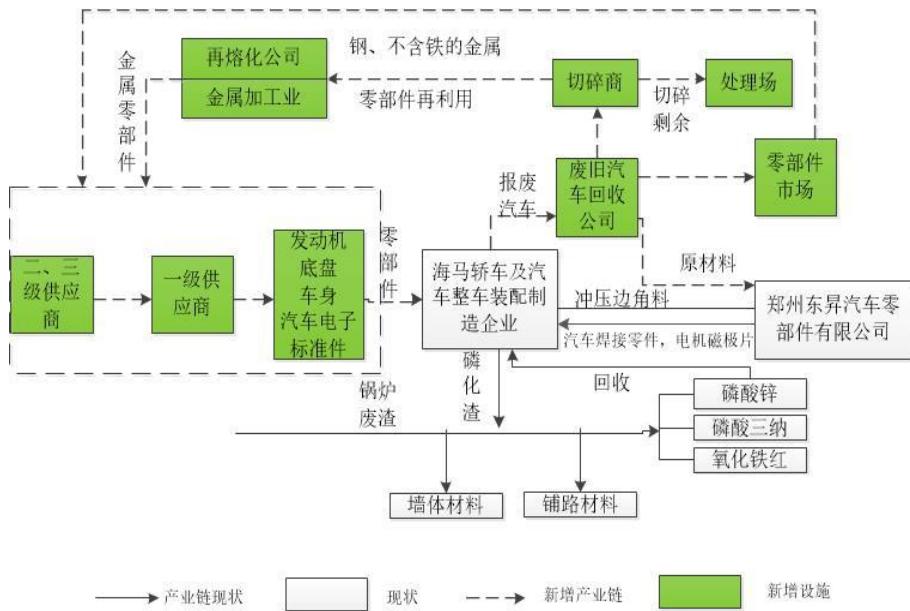


图 5.10 循环化发展情景下汽车整车制造行业产业共生链规划图

## (2) 装备制造产业

在经开区，重点对现有的电力器材制造企业进行改造，推进该类型企业产品向园区大型机械装备及汽车零部件供应的转型；鼓励农用机械及其他大型工程用机械制造企业，建立各自的绿色供应链管理体制；推动河南龙工机械等专用设备生产企业进行面向环境治理设备和静脉产业发展所需设备的产品设计，并推动相关企业进行用于新能源开发用、污染物治理等环境友好型机械设备产品的自主研发。图 5.11 是经开区装备制造行业的生态工业网络图，图中灰色部分是基准情景下的现状，虚线及绿色部分是循环化发展情景下新增加的部分。

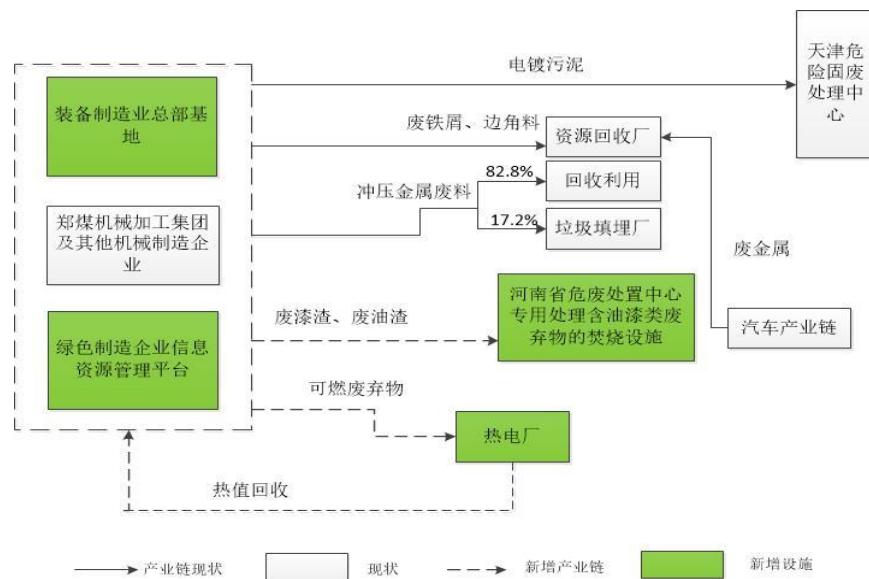


图 5.11 装备制造行业产业共生链规划图

### (3) 食品及农副产品加工产业

经开区充分发挥河南本地的农业资源优势,以市场为导向,以粮油、烟草为核心、适度向方便食品、功能性食品和有机食品等产品延伸,建立包括食品加工、饲料生产、食品废料综合利用在内的完整的产业链。以食用油加工和面粉加工为核心的生态产业集群,在此基础上,构建产业间以物质流为主的产业链条,并注重对各个产业废弃物及中间产品的再利用工程的研发,逐步完成该产业系统的生态化建设。重点建设的产业链包括:

食用油、豆奶生产及废物再利用产业链。益海粮食用油和雅士利豆奶过程产生的废物具有数量多、价值高的特点,注重对其中营养价值较高的磷脂、大豆蛋白和膳食纤维等的开发和利用,经开区引进此类企业或鼓励现有生产企业投资建设利用此类废弃物的生产线。

食品加工废渣—饲料生产产业链。粮油生产过程产生大量的残渣,包括豆粕、玉米粕、豆皮、玉米皮等,均是生产饲料的原料。园区大力发展饲料行业,并加强与经开区内其余食品企业的物质流联系是食品及农副产品加工业顺利实现生态化的关键所在。开发区内饲料企业将产业链向其上游延伸,将产业链延伸到种植业和养殖业,为科学种植和养殖提供产品及技术服务。

图 5.12 是经开区食品及农副产品加工业的生态工业网络图,图中灰色部分是基准情景下的现状,虚线及绿色部分是循环化发展情景下新增加的部分。

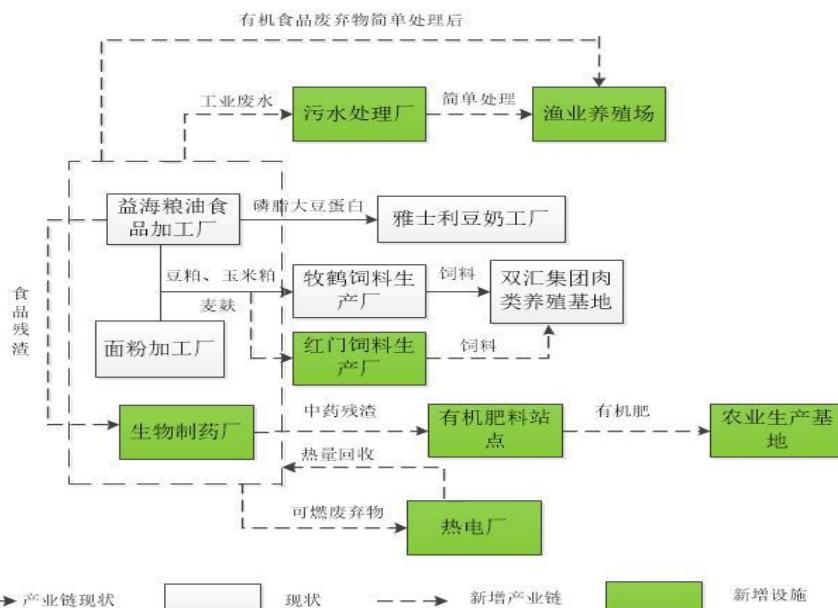


图 5.12 食品及农副产品加工业产业共生链规划图

### (4) 电子信息产业

经开区电子信息行业，以产业生态化为目标，将开发区电子信息产业打造为集生产研发于一体的国家级电子信息产业基地。鼓励高技术含量、高附加值企业的引入，提升园区电子产业产品的技术含量与附加值；延伸产业链条的方向，重点要向产业链下端延伸，引进生产电器、计算机整机、数控仪表等企业。图 5.13 是经开区电子信息产业生态工业网络图，图中灰色部分是基准情景下的现状，虚线及绿色部分是循环化发展情景下新增加的部分。

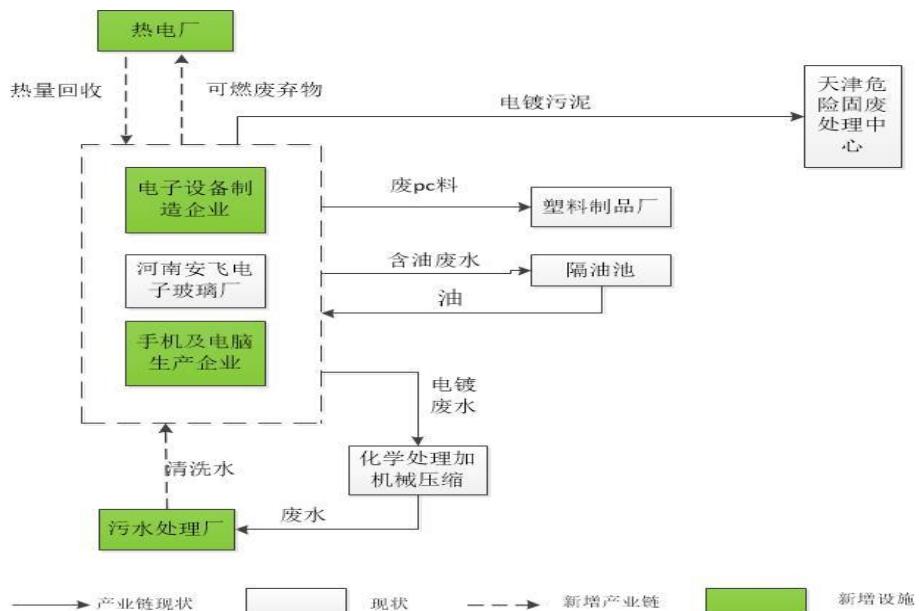


图 5.13 电子信息产业共生链规划图

综合以上图 5.10—图 5.13，郑州经开区以海马、日产、中烟、益海粮油等重大项目为依托，围绕核心企业打造产业集群，初步完成以汽车、装备制造、电子信息及食品加工为主的生态工业链网的建设。可得到郑州经开区循环化发展情景下，整个园区产业共生链网，如下图所示。

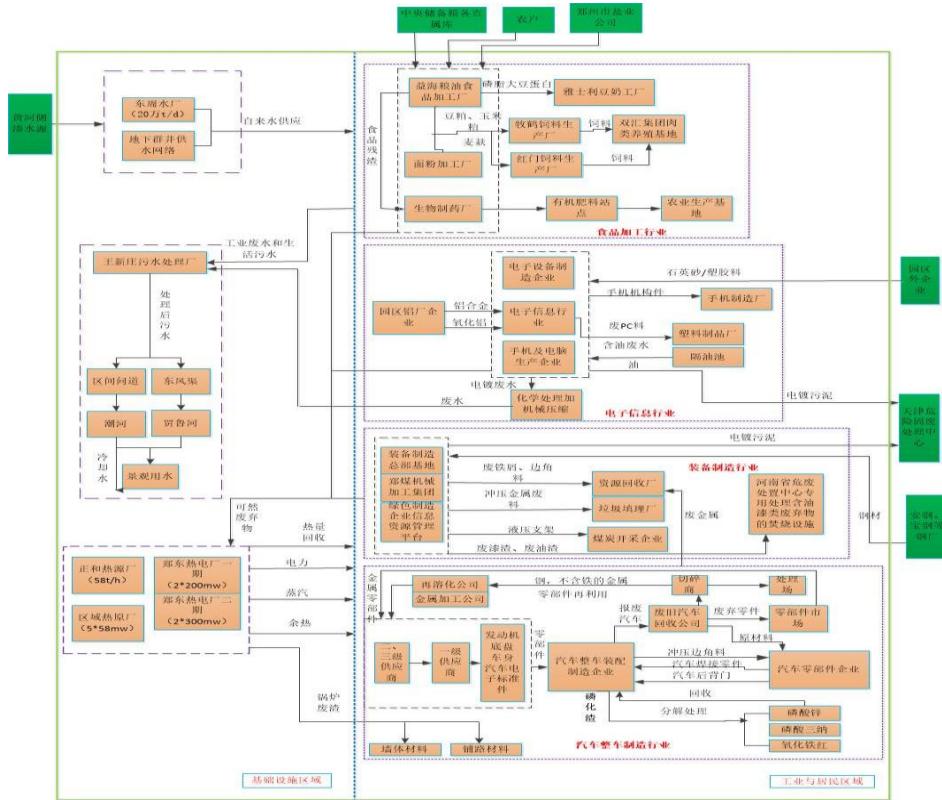


图 5.14 循环化发展情景下郑州经开区产业共生链网

### 5.3.3 郑州经开区企业间关联度测算分析

#### (一) 企业关联度测算结果

以郑州经开区产业共生图和表 5.4 经开区企业基本情况为准, 利用公式 5.2 和 5.3, 计算经开区的生态关联度和总关联度。由该所示, 基准情景下, 该园区总产业个数为 14, 生态工业链数  $L_e=10$ , 总产品链数  $L_t=12$ , 由此可得基准情景下郑州经开区的生态关联度和总关联度分别为:

$$C_e = \text{错误! 未找到引用源。} = \text{错误! 未找到引用源。} = 0.11$$

$$C_t = \text{错误! 未找到引用源。} = \text{错误! 未找到引用源。} = 0.13$$

根据图 5.11—图 5.14 四大产业链的产业共生图, 可以得到循环化发展情景下郑州经开区的生态关联度和总关联度为:

$$C_e = \text{错误! 未找到引用源。} = \text{错误! 未找到引用源。} = 0.13$$

$$C_t = \text{错误! 未找到引用源。} = \text{错误! 未找到引用源。} = 0.15$$

表 5.5 不同情景下经开区关联度

不同情景	S	$L_e$	$L_t$	$C_e$	$C_t$
基准情景	14	10	12	0.11	0.13
循环化发展情景	20	26	29	0.13	0.15

经开区基准情景中企业间的生态关联度为 0.11，总关联度为 0.13，新增产业链之后的循环化发展情景下企业间的生态关联度为 0.13，企业间的总关联度为 0.15。可以看出循环发展情景下企业间的生态关联度高于基准情景下。

## （二）不同产业园区企业关联度的比较

根据 5.2.2 濮阳经开区计算的数据，可以得到卡伦堡 1985 和 1995 年的企业间生态关联度和企业间总关联度。根据其他文献，本研究总结出天津泰达、大连经开区、沈阳经开区、贵港生态工业园和日照经开区的企业间生态关联度和总关联度数据，整理之后，具体结果见下表。

表 5.6 不同产业园区关联度比较

国家	园区	S	$L_e$	$L_t$	$C_e$	$C_t$
丹麦	1975 年卡伦堡生态工业园	7	2	7	0.10	0.33
	1985 年卡伦堡生态工业园	10	8	12	0.18	0.27
	1995 年卡伦堡生态工业园	11	13	17	0.24	0.31
	天津泰达经济技术开发区	17	41	48	0.30	0.35
中国	大连经济技术开发区	16	20	24	0.17	0.20
	沈阳经济技术开发区	16	14	22	0.12	0.18
	贵港生态工业园区	15	20	22	0.19	0.21
	日照经济技术开发区	22	24	29	0.11	0.13
中国	郑州经济技术开发区基准情景	14	10	12	0.11	0.13
	郑州经济技术开发区循环发展情景	20	26	29	0.13	0.15

通过上表的比较之后发现，郑州经开区基准情景企业间关联度水平与日照经济技术开发区一样，其中泰达经开区的企业间关联度最高，其次为 1995 年卡伦堡生态工业园区；郑州经开区循环化发展情景下生态关联度为 0.13，高于沈阳经济技术开发区，但是低于天津泰达、大连经开区和贵港生态工业园区；总关联度为 0.15，仅高于日照经开区，低于其他经开区和生态工业园区。

从上表可见，与国外卡伦堡与国内先进园区相比，郑州经济技术开发区产业关联程度还需要进一步的提升。首先，对园区的企业进行统一规划，加强企业之间物质和能源的循环利用水平；其次，大力开展清洁生产，推行清洁生产技术和清洁生产管理与审计，充分利用废热、废水，提倡企业间的废热、废水梯级利用，

可燃废气的回收利用，鼓励发展区内废弃物综合利用回收物流的“静脉”企业；最后在园区水资源利用方面，建设中水回用系统，提高企业用水重复利用率，降低新水消耗。

### 5.3.4 郑州经开区园区资源化率测算分析

#### （一）园区资源化率的测算

郑州经济技术开发区设置两种情景，分别是基准情景和循环化发展情景，由上述内容可知，基准情景下，经开区的企业数量为  $S=14$ ，生态工业链数  $Le=10$ 。在郑州经开区生态工业园建设规划中可知，基准情景下园区企业资源化率的值为  $ui1=50\%$ ；循环化发展情景下园区企业资源化率的目标值为  $ui2=60\%$ 。将  $S$ 、 $Le$  和  $ui1$  带入式 1，可计算出基准情景下郑州经开区的园区资源化率。

**错误！未找到引用源。5.0%**

循环化发展情景下企业数量为  $S=20$ ，生态工业链数  $Le=26$ ，企业资源化率为  $ui2=60\%$ 。将  $S$ 、 $Le$  和  $ui2$  带入式 1，可计算出循环化情景下郑州经开区的园区资源化率。

**错误！未找到引用源。8.0%**

由以上可知，郑州经开区的园区资源化率较低，为了提高经开区的园区资源化率，可从以下两方面入手：一是要提高园区企业间生态关联度，以扩大企业间相互利用副产品、废品的范围；二是要提高园区内企业资源化率，以提高园区副产品、废品的资源化率。

#### （二）不同园区资源化率的比较

根据表 5.6，所讨论不同园区的关联度，在上述园区中，除了郑州经开区的规划中给出了企业资源化率，余下大部分未给出或部分给出企业资源化率。因此，在讨论上述生态工业园的园区企业间生态关联度和企业资源化率的变化对园区资源化率影响时，假设企业资源化率的平均值分别为 20%、40%、60%、80% 和 100%。把各园区企业间生态关联度和企业资源化率的平均值分别带入式 2 中，可计算出各生态工业园区的园区资源化率。计算结果见表 5.7

表 5.7 不同园区资源化率比较 (%)

国家	园区	$C_e$	$r_L$				
			20%	40%	60%	80%	100%
丹	1975 年卡伦堡生态工业园	0.10	2	4	6	8	10
	1985 年卡伦堡生态工业园	0.18	3.6	7.2	10.8	14.4	18

麦	1995 年卡伦堡生态工业园	0.24	4.8	9.6	14.4	19.2	24
中 国	天津泰达经济技术开发区	0.30	6	12	18	24	30
	大连经济技术开发区	0.17	3.4	6.8	10.2	13.6	17
	沈阳经济技术开发区	0.12	2.4	4.8	7.2	9.6	12
	贵港生态工业园区	0.19	3.8	7.6	11.4	15.2	19
	日照经济技术开发区	0.11	2.2	4.4	6.6	8.8	11
	郑州经济技术开发区基准情景	0.11	2.2	4.4	6.6	8.8	11
	郑州经济技术开发区循环发展情景	0.13	2.6	5.2	7.8	10.4	13
平均值		0.16	3.2	6.5	9.7	12.9	16.1

由上表可知,当园区企业间生态关联度为一定值时,园区资源化率随企业资源化率平均值的增加而提高,并且当企业资源化率平均值达到 100%时,园区资源化率达到最大值,它等于园区企业间生态关联度的值。例如,天津泰达,它的园区企业间生态关联度为 0.30,当企业资源化率平均值从 20%增加到 80%时,园区资源化率值由 6%提高到 24%;当企业资源化率平均值增加到 100%时,园区资源化率达到最大,为 30%,它等于园区企业间生态关联度的值 0.30。由此可见,园区资源化率的大小,在很大程度上取决于园区企业间生态关联度。因此,要想很大程度地提高园区资源化率,只有大幅度地提高园区企业间生态关联度,使园区内企业间形成更多生态工业链,为园区内副产品、废品的资源化创造更多的条件。所以,为了提高园区企业间生态关联度,要在运输成本允许的条件下,扩大副产品、废品的交换范围,不仅使副产品、废品可在一园区内进行交换,而且还要扩大到园区所在城市或其他城市,提高副产品、废品资源化的范围,进而提高园区资源化率。

由表 5.7 还可见,当各生态工业园内企业资源化率的平均值相同时,天津泰达生态工业园的园区资源化率的平均值比 1995 年卡伦堡生态工业园的园区资源化率值略高,表明我国天津泰达的总体水平高于 1995 年卡伦堡生态工业园的水平。在我国天津泰达、大连经开区等生态工业园区中,当企业资源化率均为相同值时(如均为 80%),因为天津泰达生态工业园的园区生态关联度最大为 0.30,所以它的园区资源化率也最大为 24%;同样日照经开区和郑州经开区基准情景下的生态关联度最小为 0.11,所以它的园区资源化率也最小为 8.8%。

可见,在生态工业园的规划和建设工作中,一方面要注意增加园区内企业间

相互利用副产品、废品的连接关系，另一方面还要注意提高企业资源化率。这样不仅可以提高园区企业间生态关联度，而且还可以提高园区资源化率。从而使园区内企业间关系更密切，副产品、废品的资源化率更高，污染物排放量更少，进而使其真正成为一个资源利用率最高，污染物排放量最少，符合可持续发展要求的生态工业园区。

### 5.3.5 郑州经开区循环经济发展模式建议

通过对郑州经开区进行物质流定性分析、企业关联度分析和园区资源化率分析，可以发现经开区存在以下问题：第一，园区内企业类型较多，各产业之间没有形成共生协作的关系，产业链上下游发展不协调，整体产业链不够长；第二，郑州经开区目前企业间生态关联度和总关联度与国内外生态工业园区相比仍有较大差距，企业与企业之间的关联效应低，企业的物料、副产品和废弃物的循环利用率低；第三，郑州经开区园区资源化率较低，与国内外生态工业园区相比差距较大，企业间相互利用副产品、废品的范围比较狭小，园区副产品、废品的资源化率也比较低。

本研究根据对经开区的物质流分析、企业关联度分析和园区资源化率分析，结合郑州经开区的发展规划，提出以下几点建议。

(1) 在产业共生方面，加强企业之间的物质和能量流动，延伸产业的上下游链条，逐步加强企业间的关联度，对企业进行统一规划，加强不同行业之间企业产品以及废弃物的循环利用。在汽车整车装配制造方面，可以以海马汽车年产30万台发动机项目，郑州日产年产20万辆SUV、MPV多功能乘用商务车项目为龙头，带动、引进一批配套关键零部件企业，建设成为省内最大的汽车及零部件生产聚集区。在电子信息产业方面，以晶诚科技8英寸集成电路板及封装测试线项目、安装彩色液晶玻璃基板项目、河南省软件园项目为龙头，引进电子、电路、软件开发等项目形成电子信息产业。在不同行业之间互相利用方面，以中铝年产12万吨冷轧铝板及“1+4”热连轧项目为龙头，发展PS版等铝产品精深加工产品项目，建设成为省内技术含量最高的铝产品深加工基地。生产出来的产品可以运用到汽车、制版、印刷感光材料企业；感光材料又可以用于印刷行业；包装印刷行业可以服务园区其他行业；食品行业的废料可以用于饲料加工行业等。

(2) 在水资源和能量利用方面，充分利用废热、废水、提倡企业间的废热、

废水梯级利用，可燃废气的回收利用，鼓励发展区内废弃物综合利用的“静脉”企业，如经开区热源厂的锅炉灰渣等废弃物的回收和综合利用企业等，促进园区内部及园区与社会环境之间的废物交换体系和能量梯级利用体系建设；对于经济技术开发区污水，通过污水处理厂处理后回用于经开区做为绿化用水。

（3）在建设环境基础设施方面，建立基础设施共享平台，进一步加强开发建设园区供排水、供热和废弃物处理回收等设施。完善园区内污水处理设施，构建中水回用系统，提高水的重复利用率；经开区大力发展城市集中供热工程，加快区内供热管网及热力站的配套建设，积极发展热用户，扩大集中供热规模，充分发挥现有热源的供热效益；建设河南省危废处理中心和废弃物处理回收场，对企业排放的危险物质进行处理，回收利用企业排放的废弃物。经开区大力发展基础设施共享平台可以减少能源和资源的消耗，提高生产设施和设备的利用效率，促进经开区循环经济的发展。

## 5.4 案例分析—静脉类园区循环发展模式研究

### 5.4.1 大周产业集聚区物质流分析

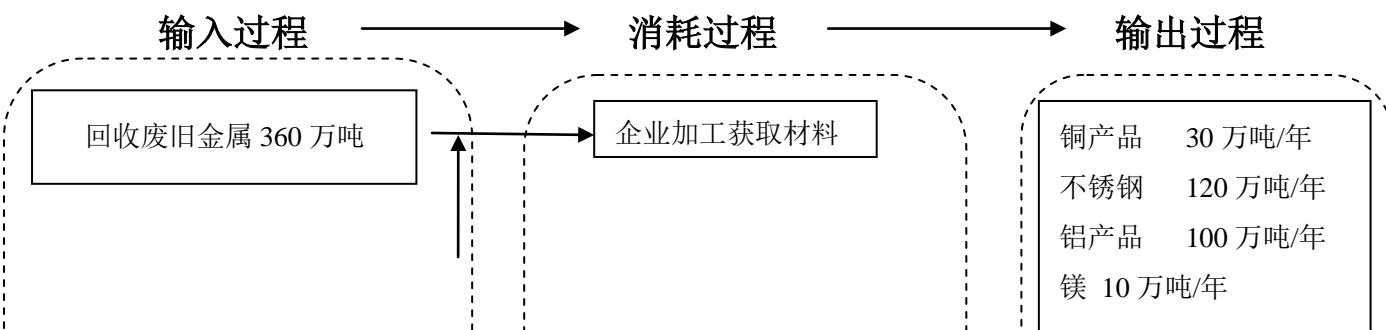
园区以废旧金属的回收、加工、销售为主导产业，已形成再生不锈钢、再生铝、再生铜三大产业基地，是江北最大的再生金属集散地。拥有青山金汇不锈钢、金阳铝业、柯威尔镁业等一批在行业内具有较高知名度的龙头加工企业。形成了“废旧金属回收——分拣拆解——初级加工——精深加工——销售”完整产业链条。不锈钢冶炼、不锈钢型材加工均填补河南省空白。集聚区成为国家重要的循环经济示范园区、“城市矿产”示范基地，再生金属成为长葛市千亿产业，第一大产业。

至 2015 年 12 月，长葛市大周再生金属循环产业集聚区共进驻生产型企业约 26 家。基本形成了废旧金属的回收、再生、深加工等良性循环发展势头。其中废旧金属的回收主要依托河南葛天再生资源有限公司投资建设的河南葛天金属材料交易中心，该交易中心建设有电子现货交易中心、商务中心，产品展销商铺，分拣加工交易商铺、现代化仓库及配套设备。集聚区内现有企业基本情况见表 5.8。

表 5.8 大周企业基本情况

行业(化工)类型	主要企业名称	主要原料投入	主要产品输出
再生不锈钢及不锈钢制品	河南鑫金汇不锈钢产业有限公司	废钢、铁合金	不锈钢坯、不锈钢方钢、圆钢
	河南天宏金属材料有限公司	不锈钢卷	不锈钢薄板
	河南金汇维德精密不锈钢有限公司	不锈钢卷	不锈钢薄板
	河南金兰谱不锈钢有限公司	热轧钢卷、复合钢带坯料	不锈钢薄板、复合钢带
再生铝及铝制品加工	长葛市瑞佳铝业有限公司	再生铝锭	再生铝板带箔
	河南好宜家铝业有限公司	再生铝棒	铝合金建筑型材及工业型材
	河南金阳铝业有限公司	再生铝锭	铝板带箔
	河南澳林莱装饰材料有限公司	铝卷	铝质天花板
	长葛市汇达感光材料有限公司	铝卷	PS/CTCP/CTP 板
再生铜及铜制品加工	河南超帆金属材料有限公司	铜锭	高性能轴瓦
	长葛市长久金属有限公司	铜锭	铜杆
镁等稀贵金属再生加工	河南德威科技股份有限公司	废镁合金、镁锭	再生镁合金

从表 5.8 可以看出, 集聚区现有企业主要还是以再生不锈钢和再生铝产业为主, 且再生铝产业中的企业均是以再生铝为原料进行铝制品的加工生产, 缺少大型的废铝再生企业, 再生铜、再生镁等企业数量较少, 其中再生铜企业仅 2 家, 再生镁企业仅 1 家, 不利于再生铜、再生镁产业链条的发展。集聚区应一方面根据集聚区金属制品产业的规划, 有目的的引进以再生铝、再生铜、再生不锈钢、再生镁等稀贵金属为原材料的新材料、电子制造行业项目, 另一方面督促现有企业加强技术创新与工艺改革, 引导企业投入新产品及新技术的研发中去, 提高产品的市场竞争力。园区目前的物质流流动如下图 5.15 所示:



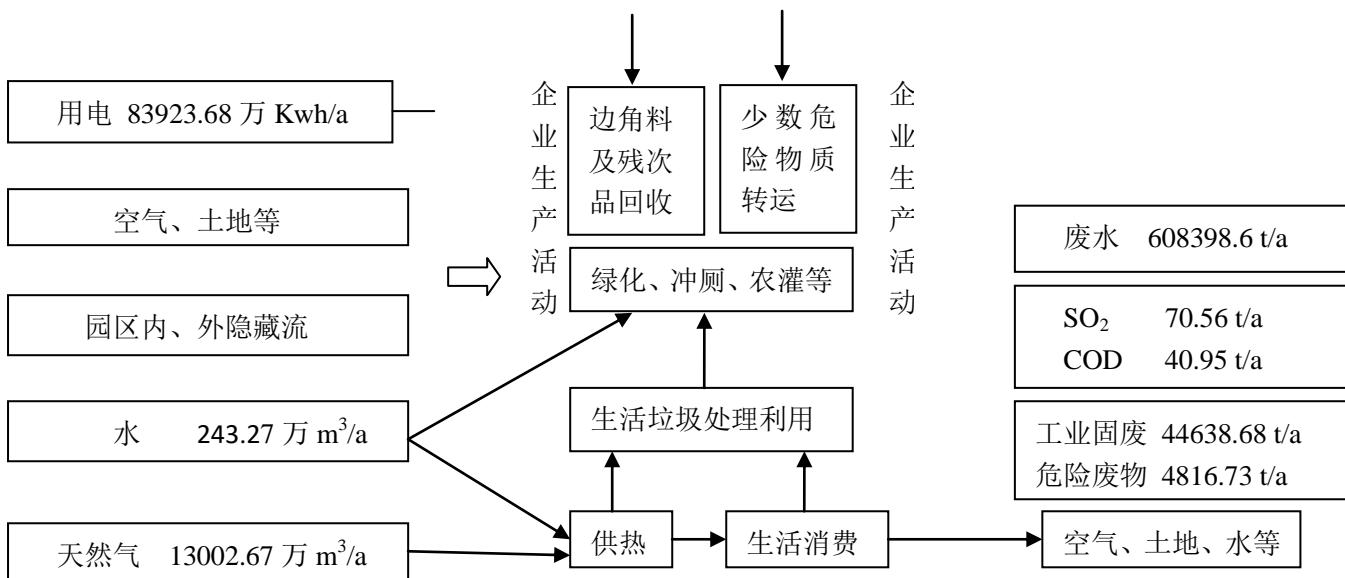


图 5.15 园区物质流流动图

由表 5.5 和图 5.15 可以看出, 集聚区内企业的产品种类相对较少, 输出的产品大多为不锈钢板带、铝板带箔、铜锭、镁合金等金属初级加工产品。多数企业生产链条较短, 生产产品还处在金属制品加工的初级阶段, 产品技术含量较低, 附加值不高, 在同行业中竞争力较低。园区产业定位低, 缺少精深加工产品, 将不利于在未来发展中抢占高地。

此外, 大周产业集聚区内虽已建成河南葛天废旧金属回收交易市场, 废旧金属产业已初具规模, 但目前入驻商户相对较少, 且仍存在部分家庭作坊式的废旧金属回收点, 分散在集聚区内外, 回收到的物质未能得到最合理的利用, 从产业发展层面来说, 不利于废旧金属回收工作的统一管理, 不利于集聚区废旧金属回收产业的做大做强。

集聚区内多数企业没有开展清洁生产审核工作, 这些企业容易造成一系列问题, 例如: 资源、能源管理散乱、消耗大、浪费严重, 污染治理水平低, 产品质量差, 废物产生量大, 回收利用率低。

## 5.4.2 天津子牙静脉园区发展模式

随着静脉产业规模的持续扩大, 园区化已经成为静脉产业集约化发展的主要

形态。自 2006 年，国家颁布了一系列与静脉产业类生态工业园区建设相关的标准，从多个方面对静脉产业园的建设进行了规范后，我国已有青岛新天地静脉产业园、天津子牙循环经济产业园和大连国家生态工业示范园区，得到了国家环保部等三部委同意建设的批复，建设和运营也取得了较好的效果。此外，各省、市根据发展需要，自发建设并命名了一批静脉产业园区，以上均属于静脉产业园的建设范围。目前，我国已经出现了一批规模较大、产业链较完善、产业集群优势较明显的静脉产业园。虽然我国静脉产业园区建设尚处于起步阶段，但中国的静脉产业（即资源再生产业）已有极大的发展。

天津子牙循环经济产业区，专门经营第七类废旧物资(主要是废电线、电缆、电机及废五金电器)拆解加工，是目前中国最大的循环经济园区，是经国务院批准的首家以循环经济为主导产业的国家级经济技术开发区。园区现有企业 231 家，年吞吐能力为 150 万吨。每年可向市场提供原材料铜 45 万吨、铝 25 万吨、铁 30 万吨、橡塑材料 30 万吨，其他材料 20 万吨，形成了覆盖全国各地的较大的有色金属原材料市场。子牙产业园区初步形成了经济、社会和环保效益。经济效益方面，园区生产的铜米、铜锭、铝材、橡塑材料等为天津市和山东、河北、江苏及东北地区等省市的近 200 家有色金属加工企业提供了原材料，环境区域资源压力的同时实现了经济效益；社会效益方面，解决了静海县 2 万多农村剩余劳动力的就业问题；环保效益方面，大型公用工程岛设施齐全，运行稳定，保障了园区及周边地区的环境质量。总体而言，循环经济示范效益逐步显现。

子牙产业园区核心产业链由废弃电器电子产品、废旧机电产品、报废汽车等的拆解加工业、废旧橡塑再生利用业、精深加工与再制造业构成的再生资源产业，结合节能环保新能源产业等重点发展产业，构建大中小三级循环模式，如图 5.16 所示。形成了“静脉串联”、“动脉衔接”、产业间“动态循环”的循环经济发展“子牙模式”。天津子牙循环经济产业区作为静脉类园区的代表，其发展模式和经验值得其他园区学习。

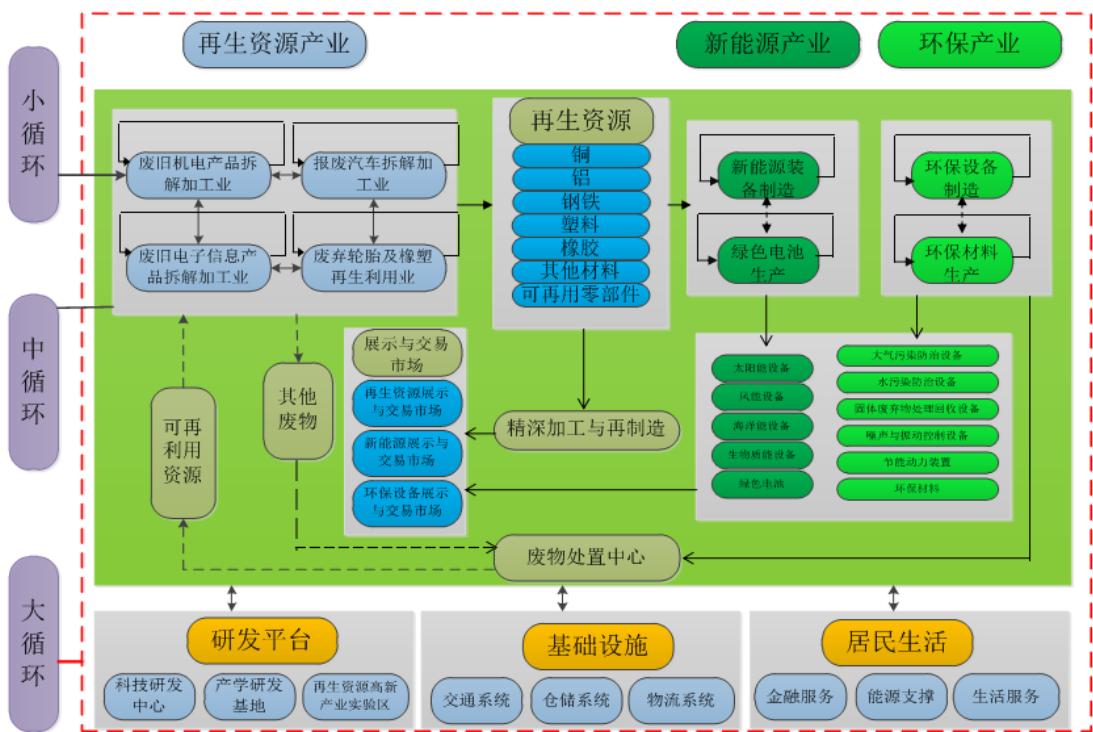
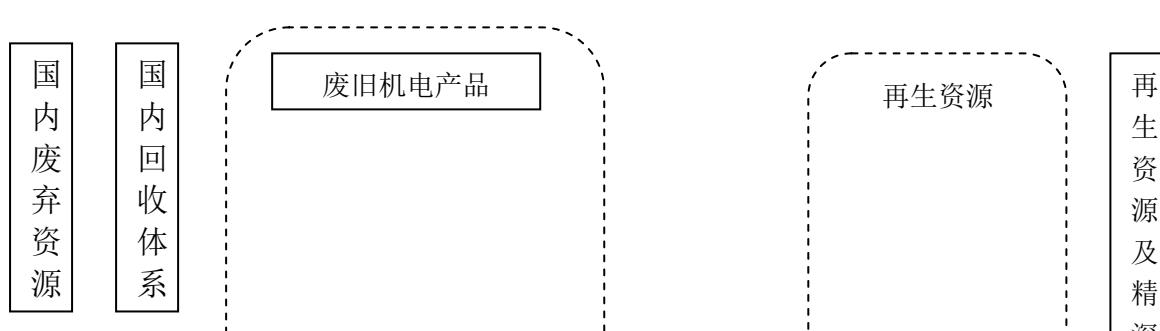


图 5.16 天津子牙循环经济产业链结构图

天津子牙循环经济产业区作为静脉类园区的代表,其发展模式和经验值得其他园区学习。子牙园区以静脉产业为主导,进一步向动脉产业延伸,从简单的原材料供应基地逐步发展成为具备“回收—处理—再利用和再制造”完整功能的循环经济产业园区。子牙以废旧电子信息产品拆解(重点是白色家电和无线通讯设备)、报废汽车拆解加工业、橡塑产业、废旧机电产品拆解加工业等四大主导产业为重点,园区的基本产业链架构如图 5.17 所示。



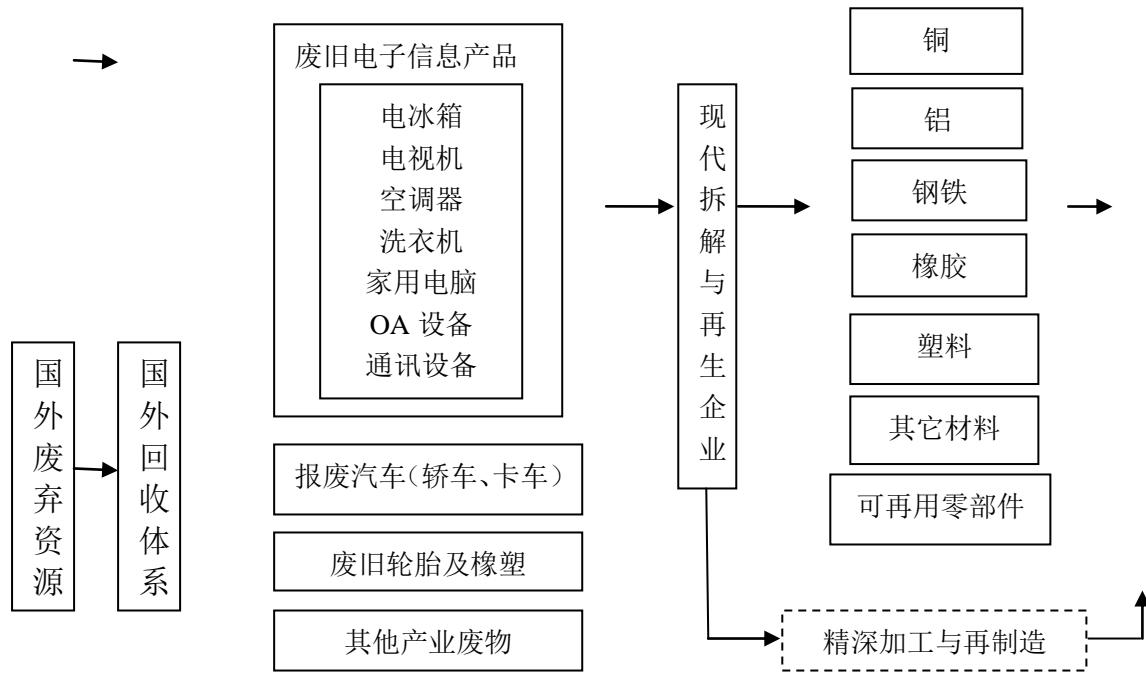


图5.17 子牙产业园区产业链基本架构

机电电子拆解企业产品中的橡塑线缆、塑料器件等可进入橡塑拆解企业进一步拆解，汽车拆解企业产出的电子元器件可在机电电子拆解企业中进一步处理、废旧轮胎可以在橡塑拆解企业中进一步处理，通过用地的邻近布局，实现废物最优的交换使用。各拆解企业产出的产品都进入布局于东部的精深加工企业，产出高附加值产品，实现废旧物资在产业区内的充分循环。并最终以高附加值产品方式通过仓储区及交易中心走向市场，进入到整个社会的大循环系统之中。

考虑到大周产业集聚区未来的发展，这里以子牙的废旧汽车拆解加工生态产业链和废旧电子信息产品拆解生态产业链进行简要介绍。

### 1. 废旧汽车拆解加工生态产业链

2015年园区年拆解汽车6万辆，资源利用率99%以上，可回收7万吨铜、铝、铁等有色金属及有价零部件。园区投资建设了大型报废汽车拆解加工基地，引进大型进口汽车压块破碎加工技术，主要消解中国北方八省报废汽车。园区回收汽车消费市场的报废汽车，在园区内经企业专业拆解、分类、加工后的废玻璃、废轮胎、废铜、废电线、废钢、废铝、废电池等进入相关的精深加工与再制造企业和产业链条，可再用零部件经零部件再制造企业再进入再生资源交易市场。如图5.18所示。

园区利用专业化设备和管理体系，保证拆解过程中废旧零部件的回收、各种

污染物的无害化收集和各种材料的分类处理，建立车辆回收、拆解、破碎分离的有效可靠的回收体系，对保护财产安全、环境保护、资源利用等公共利益和构建资源节约型和环境友好型社会都具有积极的作用。

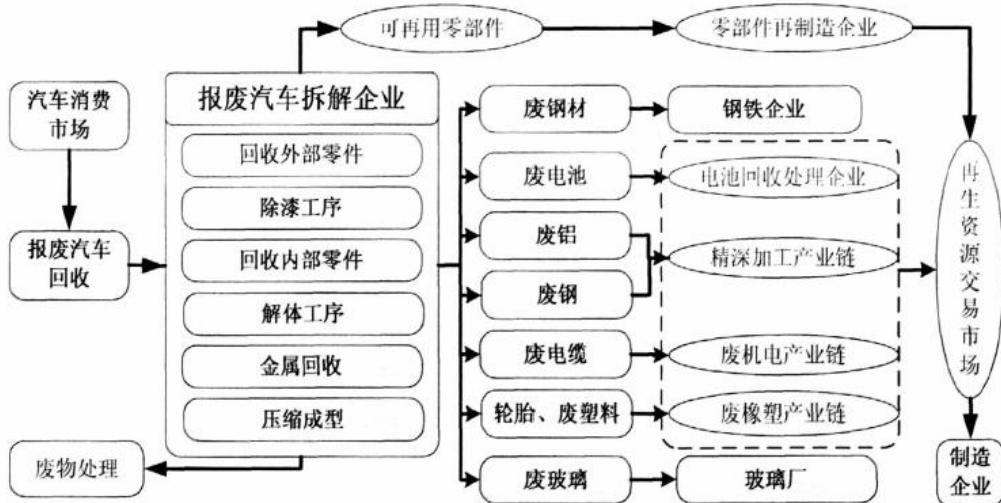


图 5.18 废旧汽车拆解加工生态产业链

## 2. 废旧电子信息产品拆解生态产业链

废旧电子信息产品主要以淘汰报废的电冰箱、空调器、洗衣机、电视机、家用电脑五大家电为代表。园区采用先进拆解和回收利用技术，大力发展电视机、洗衣机、电冰箱、空调等家用电器的再制造，使废旧电子信息产品资源化率达到99%。到2015年回收、拆解、销售废旧家电及电子信息产品320万台。

园区鼓励并引导企业引进和开发废旧电子信息产品再生利用新技术、新设备，采用先进的含氟氯碳化物废旧电信产品处理系统、废冷媒精炼回收处理系统、贵重金属处理系统、塑料分选处理系统、废光盘分选处理系统、废印刷电路板以及其他电子废料分选处理系统、塑料制粒再生处理系统等先进技术工艺，提高废旧家电拆解效率和资源利用效率。

子牙园区的废旧电子信息产品主要来自国外进口以及从国内回收，经过初步拆解、分类，不同的部件分别处理后所得材料主要有塑料、金属、再生玻璃、复合材料等，然后进入再生资源交易市场出售或者由精深加工与再制造企业处理后再出售。

综合考虑废旧电子信息产品的可回收性、可拆卸性、可再制造性和可维护性等环境属性的基础上，寻求新工艺、新技术使废旧电子信息产品回收对环境的负面影响最小，资源得到最合理利用，从而变废为宝、化害为利，发挥出废旧产品

的综合功能和综合效益。废旧电子信息产品拆解生态产业链如图 5.19 所示。

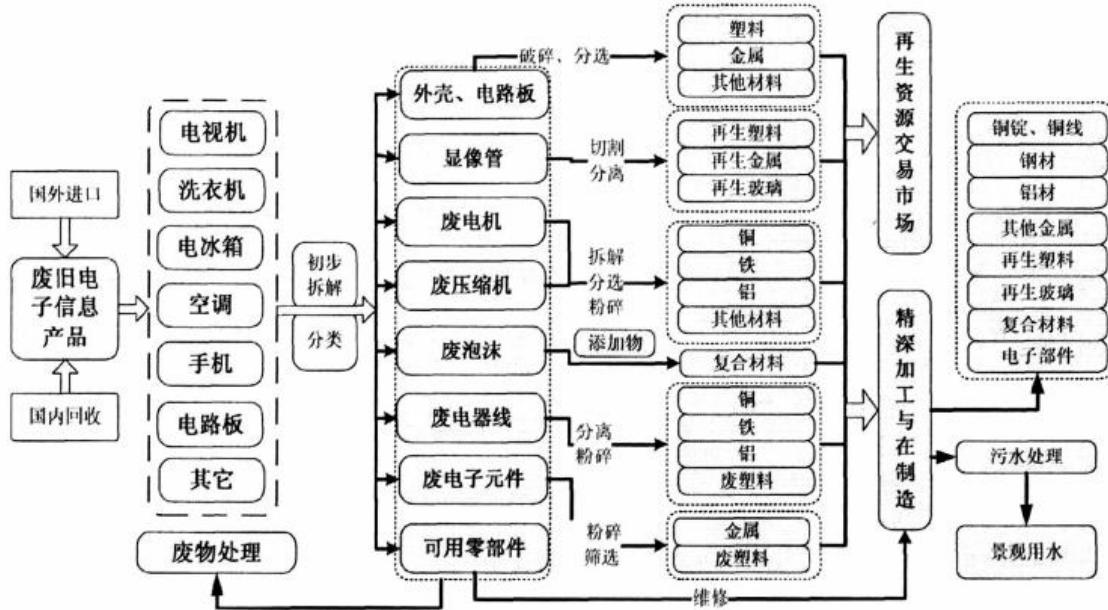


图 5.19 废旧电子信息产品拆解生态产业链

### 5.4.3 大周产业集聚区循环发展模式建议

通过借鉴子牙模式，结合大周产业集聚区的物质流分析，发现大周产业集聚区存在以下问题：第一，园区内企业普遍产品种类普遍较少，且较为单一，产业链过短，大都是金属制品初级加工。第二，回收体系不完善。葛天废旧金属回收交易市场入驻商户少，集聚区外存在部分家庭作坊式的废旧金属回收点，各作坊独立发展，不利于集中管理和污染治理。企业之间缺乏有机的联系，没有形成有效的网络组织形式。第三，园区处理废物的类型较为单一，园区虽然规划建设废旧汽车拆解产业和电子废弃物拆解产业，但是仍未正式投产。第四，集聚区多数企业还未开展清洁生产审核工作，污染集中处理和控制不能得到有效保障。

本研究根据对集聚区的物质流分析和借鉴天津“子牙模式”，结合大周产业集聚区的发展规划，提出以下建议：

第一，构建完整的产业链。一方面，需要构建现有企业之间的产业链条，实现副产品或废弃物的最大化利用；另一方面，对于缺少的产业环节，需要引入新的企业或扩展现有企业的业务领域。推动形成分拣、拆解、加工、资源化利用和无害化处理处置等完整的产业链条，并进一步进行资源化深度加工。

第二，完善回收体系网络。园区要积极建立合理高效的回收方式，通过自建网络或利用现有的社会回收渠道，形成覆盖面广、效率高、参与广泛的专业回收

网络。同时要探索多种规范化现有回收渠道的方法，整合原有的、分散的、不规范的回收队伍，解决原有从业人员的就业问题，消灭污染而不消灭产业。

第三，扩充处理废物类型。一方面，加快废旧汽车拆解产业和电子废弃物拆解产业建设，争取项目尽快正常运营。另一方面，积极主动地参考其他相似产业的运营模式，积累前期经验，吸取教训，保证相关产业投产时能够快速发展，少走弯路。

第四，提高清洁生产水平。一方面，对于集聚区内未开展清洁生产审核的企业，应积极实施清洁生产审计。另一方面，建立完善的污染防治设施，对废水、废气和固体废物等实行集中收集和处理，避免产生二次污染。实施污染集中治理是园区化建设的基本要求，也是园区化建设的主要作用。根据生产工艺及污水产生情况，建立企业层面和园区层面的污水处理设施，对污染进行集中处理和控制；对于不能够处理的危险废物，集中转移。

第五，加快核心技术开发。通过技术创新，可以开发高附加值产品、降低加工成本、实施清洁生产、提升园区影响力，静脉产业园区在园区规划过程中要注重园区资源循环利用工程技术中心和成果孵化基地的建设，注重对专业人才的培养。通过产学研相结合，开展关键技术研发，引进、消化和吸收国外先进技术。加快推广应用先进适用的技术，淘汰落后工艺、技术，使产品向高端化发展。

## 第六章 结论及建议

### 6.1 结论

在对比国内外产业园区循环经济发展现状和总结国内外产业园区循环发展最佳实践的基础上, 本项目从循环发展水平评估和循环发展模式探索两个视角出发, 分别采用层次分析法、物质流分析法和生物群落法对河南省典型园区的循环发展水平进行了客观评价, 并对园区循环发展模式和路径选择进行了深入分析, 最终得出如下结论:

第一, 河南省产业集聚区主要发展特征为: 产业集聚区是河南省工业发展的重要引擎, 2016 年河南省 182 个产业园区规模以上工业增加值占全省工业总增加值的 63.4%; 同时产业集聚区也是能源消耗和污染物排放的集中区域, 2016 年河南省产业园区综合能耗占全省工业总能耗的 50% 以上; 在主导产业分布方面, 河南省 180 个产业集聚区主导产业同质性较强, 主要集中在装备制造业、农副产品加工业、食品加工业、纺织服装业、和化工行业; 此外, 河南省产业集聚区循环发展水平参差不齐, 与发达地区相比存在较大差距, 目前有一家园区已获得国家生态工业示范园区称号 (郑州经济技术开发区), 三家园区被纳入国家园区循环化改造试点 (濮阳经开区、红旗渠经开区和新乡经开区)。

第二, 园区循环发展评估结果表明: 河南省产业集聚区近年来循环发展水平有所提高, 但与发达地区相比仍有改善和提高空间。(1) 行业 (化工) 类园区濮阳经开区评价结果发现, 综合评价结果由 0.51 上升到 0.86, 表明近年来濮阳经开区循环发展水平有所提高, 评价期内资源产出指标改善最为明显, 废弃物排放指标得到一定程度改善, 基本能够满足资源利用发展要求; 资源消耗指标改善不显著, 2015 年反而比 2012 年差, 表明园区未来在资源消耗, 资源利用率方面存在较大循环发展潜力空间。(2) 郑州经开区循环发展水平总体呈现上升趋势, 总的效果由 2008 年上升到 2014 年的 0.93, 说明园区整体循环化发展得到较好发展。在经济发展指标高速增长的情况下, 园区资源消耗指标与废弃物处置结果逐年优化, 各种能源消耗指标得到显著下降; 资源综合利用指标得到很大改善。对园区总的循环发展来看, 虽然总体效果不断完善, 但在水资源循环利用, 中水回收以及产业链的不完善, 产业结构的不完整等方面仍存在很多问题, 从而造成园

区更多资源的浪费，阻碍园区的循环化发展改进。(3) 静脉类园区大周产业集聚区的循环经济属于良好，从四类准则层指标来看，经济发展指标完成情况为优秀，说明该园区经济发展势头较好；产业共生属于合格水平，说明园区内企业间及企业内部的相互关系不够紧密；资源节约指标属于良好水平，说明该园区在进行生产活动时，做到了资源充分利用；环境保护指标完成情况为优秀，说明园区的经济发展不以环境破坏为代价，充分考虑环境承载力，做到经济发展与环境保护齐头并行。

第三，园区循环发展模式研究结果表明：(1) 行业（化工）类园区濮阳经开区循环发展情景下的企业间生态关联度和总关联度为 0.15 和 0.32，均大于基准情景下的生态关联度和总关联度；循环发展情景下的水资源产出率（0.11）比基准情景（0.076）有较大提高。因此濮阳经开区循环发展需从以下几个方面进行：延伸产业链，实现石化、煤化融合发展；加强热电联供之间水的梯级利用，从而最大限度节约水资源；统一回收各企业的废气，利用余热余压进行发电，实现园区废弃资源的充分利用；提高开发区的副产物和废弃物综合利用率，减少环境污染物排放。(2) 综合（装备制造与电子为主）类园区郑州经开区循环化发展情景下的企业间生态关联度和总关联度为 0.13 和 0.15，均大于基准情景下的企业间生态关联度（0.11）和总关联度（0.13）；循环化发展情景下的园区资源化率（8.0%）比基准情景（5.0%）有较大提高。因此郑州经开区需要加强企业之间的物质和能量流动，延伸企业的上下游链条，实现不同行业之间企业产品以及废弃物的循环利用；提倡企业间的废热、废水梯级利用，利用余热、余压和可燃废弃物进行发电，实现园区废弃资源的循环利用；鼓励发展区内废弃物综合利用的“静脉”企业，实现建设园区内部及园区与社会环境之间的废物交换体系和能量梯级利用体系的目标；建立基础设施共享平台，进一步加强开发建设园区供排水、供热和废弃物处理回收等设施。(3) 静脉类园区大周产业集聚区目前存在主要问题有园区产品单一、产业链短；企业间合作较少，彼此独立；大型拆解拆解产业还未投产；缺少污染物集中处理设施等。结合国内静脉园区发展的经验教训，未来大周产业集聚区应该在保证危险废弃物处置能力及园区承载力的前提下，构建较为完整的产业链，进行产品深加工；完善回收体系，形成高效率、低污染的回收网络；同时扩充处理废物类型，加快相关项目建设。

## 6.2 建议

在对河南省典型产业集聚区进行调研分析的基础上,本研究首先梳理了河南省产业集聚区目前在绿色转型中存在的主要问题,其次提出下一步针对性的发展建议。河南省下一步应在摸清园区经济发展和资源能源消耗的基础上加强园区绿色发展培训,搭建园区信息共享平台,强化环保基础设施投入,同时积极引入补链企业,强化能量资源梯级利用,从而加快推动河南省产业集聚区提质转型创新发展。

### 6.2.1 梳理问题

通过实地调研和深入分析发现河南省产业集聚区循环经济发展尚处于起步阶段,大多数园区企业和产业间并未建立循环链接,园区资源能源生产力亟待提高。目前河南省产业集聚区绿色转型所面临的主要挑战为:

- 1) 河南省 180 个产业集聚区主导产业雷同度较高,主要分布在装备制造业(79 家)、农副产品加工业(34 家)、食品加工业(32 家)、纺织服装(27 家)和化工(22 家)等产业。其中以装备制造业为主导产业的园区比例高达 44%,18 个地市每个地市均有 4-5 家装备制造园区,这反映了河南省产业集聚区目前发展中存在同类园区重复建设,并未充分考虑各地资源禀赋和技术研发水平等问题。
- 2) 河南省化工类、综合(装备制造与电子为主)类和静脉类产业集聚区普遍存在产业链条短,产品附加价值低,各产业之间共生程度低,企业间关联度较低的现象。与此同时,调研发现河南省产业集聚区资源能源利用效率较低,余热余压废弃比例高。
- 3) 河南省产业集聚区能耗统计基础薄弱。大多数园区并未对园区内企业能源消耗情况进行统计,园区层面能源消耗数据缺失;同时大多数园区企业分能源品种的消耗量、固体废弃物处置量、废气及余热排放量等数据很难获得。
- 4) 园区循环发展意识淡薄。管理层不了解循环发展和低碳发展的内涵,对于申报国家园区循环化改造试点积极性不高。

## 6.2.2 摸清家底

河南省产业集聚区目前经济发展统计数据较为完备,但能源资源消耗以及环境排放方面的数据严重缺失。在煤炭消耗总量控制、碳排放峰值以及大气污染约束趋紧的多重压力下,河南省当前亟需摸清各产业集聚区的能源消耗、资源消耗以及污染物排放情况。

建议充分结合“大数据”等先进技术搭建河南省产业集聚区在线信息管理平台,实现园区能源资源消耗和环境排放数据的实时更新,加强园区数据统计基础能力建设方面的投入。同时产业集聚区应加强与科研高校的关联,充分利用各方的优势,推动园区基础数据的搜集统计,最终实现“政产学研”协同共进。

## 6.2.3 加强园区绿色培训

通过调研发现,目前河南省产业集聚区绿色低碳循环发展工作开展能力较为薄弱。许多园区对节能环保、循环经济、绿色发展、低碳等概念仍较为模糊,对绿色发展的内涵和意义认识不到位,对如何绿色发展不明确。无论是园区管理部门还是园区企业对绿色发展的能力建设亟待提升,因此河南省必须加强对产业集聚区的绿色培训。

首先要普及国家绿色发展相关政策及循环发展、低碳发展、绿色发展等基本概念,提升产业集聚区管理者和企业负责人对环保政策的认知。

其次要结合河南省产业集聚区主导产业的类型对不同的国内生态工业示范园区进行深入分析,探索每类园区的绿色转型路径和可参考模式。河南省180个产业集聚区按照主导产业不同具体可划分为化工、钢铁、机械类、轻工食品类等16类园区,具体可针对园区类型不同进行分批培训。

## 6.2.4 引入补链企业

在物质流分析基础上,找寻产业链条中的原生资源与废弃物资源的利用潜力,根据关键种企业产生的副产品及废弃物类型多、数量大的特征,挖掘潜在的生态企业,引入互补的企业类型,促进废弃物变废为宝,提高产业链的适配性和稳定性。

第一,确定关键种企业。针对关键种企业的副产品及废弃物再生利用需求引

入补链企业，使补链企业的产品成为关键种企业的原材料；同时也须注重补链企业内部及企业之间废弃物的循环利用，从而在主导产业链外形成众多集成辅助产业链条的循环化企业集合，以形成循环链接的产业网状结构。

第二，优化设计园区产业链。在对园区进行物质流及能量流进行分析的基础上，深入挖掘现有产业链条中的资源循环利用与能量梯级利用潜力，并根据废弃物排放数量和种类来优化设计各种副产品及废弃资源的消纳流向，以增加企业之间的物质能量交换，加强产业链条之间的耦合共生。

第三，合理布局补链企业。在产业链规划设计的基础上，结合园区区位、土地承载力、环境承载力、气候条件、上下游产业链条的延伸度、原料和能源的分布特征以及园区已有企业的布局特点等情况，根据“合理性、成本节约性（运输成本、生产成本等）、保护环境、与区域规划相协调”等原则对园区补链企业进行合理布局，将所设计的补链企业在适宜的区域落地，使其与园区同产业链上的其他节点企业紧密合作，协调发展。

## 6.2.5 加强能量梯级利用

在“十三五”期间，提高园区能量梯级利用效率是河南省实现节能目标的主要措施。根据园区不同产业企业的生产工艺的用能需求，设计出能源的梯级利用流程，最大限度的发挥能源的利用价值提高能源利用率，力求实现产业耦合和资源节约的双重目的。

第一，加强园区余热回收工作。园区内重要企业的余热回收应在技术应用和实际利用方面不断取得突破，从而实现企业和集群之间深度分工，形成产业和区域竞争优势带动循环经济高层次发展。电力企业可以结合园区产业发展现状，有效规划发展余热回收利用设备（余热锅炉或者余热直燃机等），增强余热回收的推广实施能力，并在新建机组中大力推广，优化余热供热改造一体化方案，发挥好节能技改和环保治理的综合效益。

第二，构建完善园区余热管网系统。首先，应结合园区道路现状和园区布局的要求，充分考虑维修、管理等因素，架设供热管线；其次，余热管网建设应遵循节约和方便的原则，有效构架循环经济试验园公用供热管网和余热输送体系。

第三，园区内推广建设冷热电三联供。有效规划发展供热机组，并在新建机组中大力推广，在构建园区蒸汽管网基础上结合工业企业所需热量进行供能；并

配套建设制冷机组，向用户供热、供冷；结合园区电量使用状况，提供并网电力能源互补，使整个系统的经济收益及效率提升。

### 6.2.6 建立基础设施共享平台

建立基础设施共享平台，进一步加强开发区供排水、道路、电力、通讯等硬件基础设施建设，是现代工业园区的特点之一。实现基础设施共享可减少能源和资源的消耗，提高设施和设备的利用效率，避免重复投资。

第一，完善集聚区的基础设施建设。按照“统筹推进、适度超前、突出重点”的原则，完善集聚区内供排水、道路、电力、通讯等硬件基础设施建设；加强园区供排水系统建设，充分利用各类水资源，保障园区防止因水资源短缺而造成的企业经济损失；通过构建园区污染集中防治基础设施建设及升级改造，提高园区整体副产品及污染物消纳水平；增强园区道路交通的便捷性及合理性，通过构建副产品及废弃物运输绿色通道等模式，加强企业之间的对接程度，增进废物交换及运输体系优化。

第二，建立基础设施共享平台。如围绕产业集聚、资源共享，加快建设物流园、污水处理厂、垃圾处理厂等配套设施建设，使集聚区内配套设施与基础设施统筹规划；鼓励和支持集聚区企业使用管廊、蒸汽、工业气体、污水处理、废物焚烧、仓储物流等公用工程资源，提高利用率；除了硬件设施的配备，还应注重“软件”的配套建设，如高质量的网络覆盖、生态环境的营造等。

## 致谢

本研究在河南省发改委环资处和工业处的大力支持下完成，获得能源基金会的项目资金支持，本研究团队在此表示感谢。

## 参考文献

- [1] 罗恩华.园区循环化改造的基本路径设计[D].北京: 清华大学环境学院, 2014.
- [2] 赵愈.循环经济模式的生态工业园区建设与评价研究[D].重庆: 重庆大学房地产与建设管理学院, 2011.
- [3] Lu Bai, Qi Qiao, Yang Yao, et al. insights on the development progress of national Demonstration eco-industrial parks in china[J]. Journal of Clean Production, 2014, 70, 4-14.
- [4] Zhe Liu, Michelle Adams Raymond P. Cote, et al. Comparative study on the pathways of industrial parks towards sustainable development between China and Canada [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2016.
- [5] Han Shi , Marian Chertow, Yuyan Song. Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China[J]. Journal of Clean Production, 2010, 18, 191-199.
- [6] 于振锋. 大连国家生态工业示范园循环化改造对策研究[D].大连: 大连理工大学公共管理学院, 2014.
- [7] 邵启超. 中国静脉产业园区发展模式研究][D].北京: 清华大学环境学院, 2012.
- [8] Mo Zhang, Yanhui Wang, Yuyan Song, et al. Manifest system for management of non-hazardous industrial solid wastes: results from a Tianjin industrial park[J]. Journal of Clean Production, 2016, 133, 252-261.
- [9] Chang Yu , Martin de Jong, Gerard P.J. Dijkema, et al. Process analysis of eco-industrial park development e the case of Tianjin, China[J]. Journal of Clean Production, 2014, 64, 464-477.
- [10] Zhe Liu, Yong Geng, Sergio Ulgiati, et al. Uncovering key factors influencing one industrial park's sustainability: a combined evaluation method of emergy analysis and indexdecomposition analysis[J]. Journal of Clean Production, 2016, 114, 141-149.
- [11] 方龙. 产业园区循环化改造范式及评价研究—以广安经济技术开发区为例[D].四川: 西华大学, 2014.
- [12] 于斐. 工业园区产业共生发展模式驱动力和环境绩效评价[D].山东: 山东大学, 2015.
- [13] 张娜. 基于复合生态效率的生态工业园评价研究—以国家郑州经济技术开发区为例[D].南京: 南京农业大学, 2012.
- [14] Hongsheng Wang, Yue Lei, Haikun Wang, et al. Carbon reduction potentials of China's industrial parks: A case study of Suzhou Industry Park[J]. Energy, 2013, 55, 668-675.
- [15] Chang Yu, Gerard P.J. Dijkema, Martin de Jong, et al. From an eco-industrial park towards an eco-city: a case study in Suzhou, China[J]. Journal of Clean Production, 2015, 102, 264-274.
- [16] Lingxuan Liu, Bing Zhang, Jun Bi, et al. The greenhouse gas mitigation of industrial parks in China: A case study of Suzhou Industrial Park[J]. Energy Policy, 2012, 46, 301-307.
- [17] Guo B, Geng Y, Sterr T, et al. Evaluation of promoting industrial symbiosis in a chemical industrial park: A case of Midong[J].Journal of Cleaner Pruduction, 2016,135: 995-1008.
- [18] 郭坤.产业园区循环经济发展效果评价与对策研究—以迁安西部产业园区为例[D].天津: 天津大学, 2015.
- [19] 付丽.基于生物群落理论的生态工业园定量评价与实例研究[J].资源与产业, 2011,13(3): 140-146.
- [20] Zongguo Wen, Xiaoyan Meng. Quantitative assessment of industrial symbiosis for the promotion of circular economy: a case study of the printed circuit boards industry in China's Suzhou New District[J]. Journal of Clean Production, 2015, 90, 211-219.

- [21] Yong Geng, Zuoxi Liu, Bing Xue. Emery-based assessment on industrial symbiosis: a case of Shenyang Economic and Technological Development Zone[J]. Environ Sci Pollut Res, 2014, 21, 13572-13587.
- [22] Fei Yu, Feng Han, Zhaojie Cui, et al. Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China[J]. Journal of Clean Production, 2015, 87, 339-347.
- [23] 肖慧. 基于循环经济的生态工业园建设研究—以重庆市建桥工业园为案例[D].重庆: 重庆大学, 2012.
- [24] 索伟锵. 生态工业园区效益评价研究—以河南省发展循环经济试点园区为例[D].河南: 河南财经政法大学, 2012.
- [25] Liu Zhe, Geng Yong , Park Hung-Suck, et al. An emery-based hybrid method for assessing industrial symbiosis of an industrial park[J]. Journal of Clean Production, 2016, 114, 132-140.
- [26] Seok Jung, Gjergj Dodbiba, Song Hwa Chae. A novel approach for evaluating the performance of eco-industrial park pilot projects[J]. Journal of Clean Production, 2013, 39, 50-59.
- [27] Li, Huiquan, Bao, WeijunXiu, Caihong Energy conservation and circular economy in China's process industries[J]. Energy, 2010, 35, 4273-4281.
- [28] 薛晓燕. 生态工业园区运行评价研究—以天津泰达生态工业园区为例[D].天津: 天津理工大学, 2010.
- [29] Liu, Jun Wang, Yang Zhang, Hongjing, et al. A review of the eco-industrial park evaluation of high energy consumption and high pollution industry[C]. International Power, Electronics and Materials Engineering Conference, 2015.
- [30] Mathews, John A, Tan, Hao. Progress toward a circular economy in China: The drivers (and inhibitors) of eco-industrial initiative[J]. Journal of Industrial Ecology, 2011, 15, 435-457.
- [31] 褚中微.园区循环经济发展水平综合评价研究—以白银高新技术产业开发区为例[D].兰州: 兰州大学, 2014.
- [32] 陆钟武.工业生态学基础[M].北京: 科学出版社, 2010:225-236.
- [33] Roberts, Brian H. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: An Australian case study[J]. Journal of Clean Production, 2004, 12, 997-1010.
- [34] 张礼军.基于物质流和生态足迹核算的甘肃省循环经济评价研究[D].甘肃: 兰州大学, 2011.
- [35] 范顺坡.湖北化工产业园区循环优化路径研究—以武汉化工园区为例[D].武汉: 武汉工程大学, 2015.
- [36] 谢雄军. 系统论视角下的园区循环经济物质流模型与实证研究[D].广东: 中南大学商学院, 2013.
- [37] Su, Biwei, Heshmati, Almas Geng. A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation[J]. Journal of Clean Production, 2013, 42, 215-227.
- [38] 朱丽. 综合(装备制造与电子为主)类生态工业园区指标体系及稳定机制研究[D].山东: 山东大学, 2011.
- [39] 徐福军.基于物质流分析的区域循环经济评价—以陕西省榆林市为例[D].陕西: 西北大学, 2011.
- [40] 唐燕.基于物质流分析的天津子牙循环经济产业区产业规划与设计[D].天津: 天津理工大学, 2008.