

第一节 煤矿循环经济溯源

一、循环经济理论的渊源与国外学者的研究

学界一般认为，循环经济的思想萌芽可追溯到 1966 年美国经济学家鲍尔丁提出的“飞船经济”，意指地球如同一艘飞船，靠不断消耗自身有限的资源运转，若不循环利用资源就会走向毁灭。“循环经济”一词是美国经济学家波尔丁在 20 世纪 60 年代最先提出的。而英国环境经济学家 D. Pearce 在其 1990 年出版的《自然资源和环境经济学》一书中正式给出了循环经济的定义^[4]：所谓循环经济是对物质闭环流动型经济的简称，就是把清洁生产和废弃物的综合利用融为一体的经济，本质上是一种生态经济，要求运用生态学规律来指导人类社会的经济活动，按照自然生态系统物质循环和能量流动规律重构经济系统，使得经济系统和谐地纳入到自然生态系统的物质循环过程中，建立起一种新形态的经济，通过资源循环利用使社会生产投入自然资源

最少、向环境中排放的废弃物最少、对环境的危害或破坏最小的经济发展模式。

20 世纪 60 年代以来 ,众多国外学者从不同角度开展了循环经济相关理论的研究 ,并逐步形成了循环经济的概念和方法论体系。如 ,Sujit Das. (1995)、 Hirohiso Kishin (1998)、 Yasuo Kondol (2001)、 John E. Tilton (2002)、 S. Spatari (2002) 和 Stuart Koss (2003) 等学者分别对电冰箱、汽车、塑料包装材料、废金属、纸张等产品和资源循环利用的策略进行了研究 ; 在物质减量化及物质减量化与经济发展关系的研究方面 , Cleveland 和 Ruth 指出 , 特定企业或工业的原材料使用范围、运行机制、使用模式、物质减量化等对经济层面产生的影响以及物质替代对环境的影响程度等问题应引起人们足够的重视 ; 在原料与能量流动 (工业代谢) 的研究方面 , Ayres 等 (2002) 对经济运行中原料与能量流动对环境的影响进行了开拓性的研究 ; 在生命周期评价 (life cycle assessment , LCA) 的研究方面 , LCA 理论框架已经初步形成 ;

在产品生态设计的研究方面，Allenby B. R. (1991) 对有关企业产品为环境而设计的问题进行了系统的研究；在生态工业园与工业生态系统的研究方面，Frosch 和 Gallopulos (1989) 对工业生态学的理论进行了初步的研究，并提出了工业生态学的概念；在技术变革和环境的研究方面，S. Erkman 在系统研究的基础上指出环境系统分析是技术研究方法的基础，并诠释了工业生态技术；在循环经济的经济政策、手段、立法等研究方面，Wulf-Peter Schmit (2001) 提出了推行生态型经济。

二、国内学者对循环经济理论的研究

20 世纪 90 年代后期，循环经济这一概念被引入我国，并很快得到国内学者的重视。近几年来，循环经济在国内引起了众多专家学者的关注和热烈的讨论。目前国内对循环经济的实质的认识还存在着相当大的差异，生态经济学界、环境经济学界和经济学界对循环经济的认识存在着较大偏差。

总体来说，国内学者基本上都是基于以下三方面阐述了循环经济的内涵。第一类是从人与自然的关系角度定义循环经济，主张人类的经济活动要遵从自然生态规律，维持生态平衡。从这一角度出发，循环经济的本质被规定为尽可能地少用和循环利用资源。第二类是从生产的技术范式角度定义循环经济，主张清洁生产和环境保护，使生产过程的技术范式从“资源消费—产品—废物排放”开放（或称为单程）型物质流动模式转向“资源消费—产品—再生资源”闭环型物质流动模式。其技术特征表现为资源消耗的减量化、再利用和资源再生化。其本质是生态经济学，其核心是提高生态环境的利用效率。这类观点认为循环经济是一种新的生产方式。第三类观点认为循环经济是一种新的经济形态。首先是将循环经济看作一种新的生产方式，认为它是在生态环境成为经济增长制约要素、良好的生态环境成为一种公共财富阶段的一种新的技术经济范式，是建立在人类生存条件和福利平等基础上的以全体社会成员生活福利最大化为目标的一种新的经济形态。这类

观点特别强调，“资源消费—产品—再生资源”闭环型物质流动模式，资源消耗的减量化、再利用和资源再生化都仅仅是其技术经济范式的表征，其本质是对人类生产关系进行调整，其目标是追求可持续发展^[5]。

三、循环经济发展阶段

循环经济是相对于“三高—低”的“资源—生产—消费—排放废弃物”线性经济而言的，它提倡在“资源—生产—消费—二次资源”模式下发展循环经济。它要求以环境友好的方式开发资源，以较小的资源浪费和环境代价、更高的效益和效率为原则，实现低资源消耗、低污染排放和高生产效率，达到经济系统与生态系统的和谐统一，实现经济、环境和社会的可持续发展。

从最初对环境资源的关注到实施可持续发展和探索循环经济道路，大致经历了以下三个阶段。

(一) 萌芽阶段

早期的循环经济思想萌芽出现于 20 世纪 60—70 年代环境保护思潮兴起的时期，这个时期人们重点关注对经济模式导致环境问题的原因的反思，并且开始采取行动。20 世纪 60 年代美国经济学家鲍尔丁提出了“宇宙飞船理论”，这是循环经济思想萌芽的代表。他认为，宇宙飞船是一个与世隔绝的独立系统，靠不断消耗自身的资源存在，最终它将因资源耗尽而灭亡。要延长宇宙飞船的使用寿命，采取的办法就是实现宇宙飞船内部的资源循环。如果地球的资源消耗超过地球的承受力，就会像宇宙飞船一样走向毁灭。这意味着人类不能为所欲为地开展经济活动，要考虑地球的承受力，走人与自然和谐发展的着道路。这种思想要求抛弃原有的“线性经济”发展道路，代之以“反馈式”即循环的经济发展模式。鲍尔丁的宇宙飞船经济理论在当今看来仍有相当的超前性，它意味着人类社会的发展应该从机械论规律转向生态学规律。

(二) 统一认识阶段

从 20 世纪 70 年代中期到 20 世纪 80 年代中期，国际社会展开环

境整治运动，循环经济思想更多地还是一种超前性理念，人们没有沿着这条发展的路线走下去，人类的经济活动走的是“先污染后治理”的模式。虽然人们认识到了环境污染的危害性，但人类社会开展的环境治理活动，更多地侧重于产生污染物以后的治理，即“末端治理”。对于是否应该从生产和消费源头上防止污染物的产生，大多数国家还缺乏政策上的举措。

(三) 积极实践探索阶段

20 世纪 80 年代以后，伴随着可持续发展理论的产生，人们认识到原有的发展模式是以牺牲资源和环境为代价的发展，因而积极探索，出现了许多新思想，将重点放在如何实现社会的可持续发展上，至此源头预防代替了末端治理。20 世纪 90 年代中期，欧洲国家的有关学者首先提出了循环经济理念，即以资源利用最大化和废弃物排放最小化为主线，将清洁生产、资源综合利用和可持续消费融为一体的循环经济发展战略。这种理念一经提出立即在发达国家

得到响应。德国、日本等国家先后制定了发展循环经济的法律，采取政策手段。如国家税收财政政策推动循环经济的实施。企业内部经营管理等方面。

四、煤炭行业循环经济研究现状

(一) 国外煤炭行业循环经济研究现状

针对煤炭行业的环境污染情况，有些研究人员提出了资源化利用相关废弃物的途径和减少环境污染的措施^[6-9]。相关学者研究了印度次大陆因煤炭燃烧产生的飞灰所含重金属元素汞的排放以及其对大气和土壤产生的污染情况^[10]。

E. Asokan (2006) 等评估了世界范围内粉煤灰和炉渣的生产情况及其环境影响^[11]。Ryunosuke Kikuchi (1999) 等探讨了由于燃煤产生的废弃物在生产化肥和沸石等方面的用途^[12-14]。

Solveig G. Wei T. (2005) 认为，可以通过洁净煤战略减少中国的燃煤 CO₂ 排放量和粉尘污染^[15]。David Laurence (2006) 研究了矿井关

闭后对当地社区造成的影响，通过实例研究和风险评估提出经济利益最大化和不利影响最小化的具体措施^[16]。

J. D. Whyatt , S. E. Metacalfe (2004) 在分析了英国燃煤电厂污染物排放的特点后，提出了减少 SO₂ 排放的措施，并针对污染物排放交易机制提出了建议^[17]。

Simon Shackley 等(2006)研究了煤炭地下气化以及英国人民对它的认知情况^[18]。Gary J. Stiegel 等 (2006) 认为煤气化制氢是可持续发展的有效途径^[19]。

Sodao Wasaka (2002) 等研究了煤炭液化的技术以及液化产品的市场情况，他们认为煤炭液化对煤炭行业具有非常重要的意义^[20-22]。

Y. Adachi , M. Komoto (2000) 介绍了通过生产二甲醚实现对偏远地区的煤炭资源进行综合利用的情况，认为这种方式既可以减少浪费又能减轻环境污染^[23]。

Carol J. Bibler 等 (1998) 针对世界范围内对煤层气的排放情况进

行了研究,指出建立合适的交易机制是提高煤层气回收利用的关键^[24]。

(二) 国内煤炭行业循环经济研究现状

(1) 循环经济发展模式方面。王文飞提出了基于“3R”原则、“就近循环原则”“高质量循环原则”和“能力配套原则”的煤炭行业循环经济总体发展模式^[25]。孙玉峰提出了社会循环经济模式、矿区共生企业的循环经济模式和煤炭企业内部的循环经济模式^[26]。国家发改委将煤炭行业循环经济发展模式分为社会层次上的大循环模式、区域层次上的中循环模式和企业层次的小循环^[27-28]。

(2) 产业链延伸方面。林积泉(2005)提出了以“焦炭”为主要产品的循环经济产业链模式^[29]。李巍(2006)将煤炭产业链分为纵向、横向和扩展型产业链^[30]。

(3) 建立煤炭行业生态工业园区方面。四季春(2006)探讨了煤炭行业建立工业园区的模式,并以潞安集团为例进行了实例分析^[31]。张麟(2006)阐述了依托煤炭资源,以清洁生产为核心,构建了以产

业链网为主体、多种产品并举为主要内容的煤炭行业循环经济工业园区的发展模式^[32]。

(4) 煤炭行业循环经济定量分析方面。常新宇(2007)提出了系统动力学(SD)与多目标规划(MOP)的SD-M集成模型,用于产业链系统规划的定量模型研究^[33]。袁学良(2008)分别从资源代谢分析、元素代谢分析和系统集成分析三个方面对煤炭行业循环经济系统进行探讨^[34]。

(三) 国内外煤炭行业发展循环经济的实践

国外煤炭企业,一般都经历了先污染后治理,最后走上循环经济的发展之路^[35]。孟赤兵(2008)认为国外成功的煤炭大企业都通过走“加工—升值—再加工—再升值”的路子,构造关联多元化产业格局,以煤炭作为原料,以煤气化作为龙头,利用所生产的合成气,一方面,用于燃气轮机联合循环发电;另一方面,还制取甲醇、醋酸等高附加值化工产品,实现煤炭—焦化—煤气—发电—化工—一体化的高效能源化

工系统，充分发挥综合开发优势，形成煤炭工业多元化发展的新模式，对我国煤炭工业的发展具有借鉴意义^[36]。

1. 国外煤炭矿区循环经济实践

(1) 德国鲁尔矿区经济转型。

德国鲁尔矿区的发展经历了由资源开发到资源枯竭、由钢铁振兴到企业没落的过程。通过清理改造和产业结构调整，鲁尔工业区经济走出了低谷，从以煤炭和钢铁工业为中心的资源型生产基地，转变为以煤炭和钢铁生产为基础、以电子计算机和信息产业技术为龙头、多种行业协调发展的新型经济区，产业结构调整取得了明显的成效，成为世界老工业区改造和矿区经济转型的成功典范。

鲁尔矿区的转型包括整体规划、全面治理，重视资源回收和环境保护、竭尽所能提高资源回收率，调整产业结构等方面。鲁尔在发展煤炭生产及技术装备的基础上，利用已有的优势，拓展产业链，积极发展化工、电力等产业，大力引进汽车、电子、信息、食品和服装等

新兴产业，鼓励发展旅游商业、金融和保险等第三产业。对煤炭产业进行技术改造，关、停、并、转那些生产成本低、机械化水平低、生产效率差的煤矿，将采煤业集中到盈利多和机械化水平高的大型企业中去，走高产、高效的发展道路，显著提高劳动生产率和生产效率，使煤炭生产走上健康发展道路。

(2) 澳大利亚矿区的土地复垦。

澳大利亚的矿区土地多种复垦技术居世界领先水平，其土地复垦一般要经历以下阶段：初期规划、审批通过、清理植被、土壤转移、存放和替代、生物链重组、养护恢复、检查验收。土地复垦必须执行保证金制度，基于鼓励和推广的目的，复垦工作做得最好的几家矿业公司只缴纳 25% 的复垦保证金，其他公司则必须足额缴纳保证金。通过建立完善的制度和采取有效的措施，澳大利亚的土地复垦工作取得了长足进步。

(3) 其他发达国家的经验。

在美国，煤炭矿区生态环境保护的重点包括土地复垦、伴生物的开发和燃煤排放物的治理等。循环经济将改变传统的煤炭生产和利用模式，“洁净煤技术计划”给煤炭工业带来发展契机。欧共体、日本等国家制定了洁净煤开发计划，并取得了初步成果，促进了能源行业和煤炭加工利用的科学技术进步，并获得实质性收益。

2. 国内循环经济实践

(1) 同煤集团塔山循环经济园区。

同煤集团塔山循环经济园区是中国煤炭行业首个循环经济园区。园区规划为“一矿八厂一条路”，以世界上单井口最大的井工矿井——年产1500万吨的塔山矿为龙头，建设了选煤厂、高岭岩加工厂、综合利用电厂和坑口电厂、水泥厂、砌体材料厂、甲醇厂、污水处理厂以及一条铁路专用线。塔山循环经济园区于2003年开工建设，2009年8月30日正式建成投运。同煤集团摒弃了传统的“资源—产品—废弃物”单项直线式经济发展模式，采用了“资源—产品—废弃物—再生资

源”反馈式循环经济发展模式，真正实现了煤炭资源利用低消耗、低排放、高效率，实现了以尽可能小的资源消耗和环境成本获得尽可能大的经济效益和社会效益。塔山工业园区的建设，从根本上扭转了多年来大量消耗、大量废弃、大量污染的传统经济增长模式，为资源型企业的可持续发展走出一条新路。2008年，塔山循环经济园区实现销售收入近50亿元，实现利税27.5亿元，项目全部达产后，销售收入将超过100亿元。

(2) 山东新汶矿业集团华丰煤矿循环经济园区示范工程。

该工程宗旨是要进一步加强综合利用煤矸石、煤泥、矿井水及其主产品原煤、洗精煤等资源合理循环、能量合理流动和价值逐级增值的产业链，增强华丰煤矿可持续发展的能力。其骨架项目是通过利用华丰矿及周边煤矿所产的煤矸石、煤泥等低热值燃料为原料进行发电、制造新型墙体材料，发展大量利用废渣的水泥等项目。通过电厂发电、集中供热消除矿区及周边地区散热燃烧造成的资源

浪费和环境污染，并减少煤矸石、煤泥和矿井水等废物的外排。华丰煤矿现有煤矸石近 9Mt，且以每年 0.15Mt 的速度递增。其于 2001 年投产的矸石砖厂一期工程为年产 5 000 万块（折标砖）煤矸石承重空心砖生产线，并通过更换模具生产其他建材产品，本项目每年可利用煤矸石 0.3Mt，减少了堆场用地，同时也减少了煤矸石对环境的污染。现有厂房 10hm²，都是占用原矸石山用地。现存煤矸石可满足生产 30a 以上。华丰煤矿矸石热电厂一期工程于 1996 年建成投产，有 2 台 6MW 机组和 3 台 35t/h 循环流化床锅炉，年消耗矸石及低热值燃料 17 万吨，为进一步解决低热值燃料积压占地和集中供热问题，于 2002 年在原有厂址建成了热电厂二期工程，使得热电厂最终容量为 37MW。每天需用矿井水 7 000t，直接从矿井水处理站通过管道供给。年消耗煤矸石 15 万吨，煤泥 8 万吨，散杂煤 2 万吨，由于靠近矿井和洗煤厂，原料使用废弃物，因此发电成本较低，经济价值可观。华丰煤矿矿井水资源较丰富，年矿井水总量为

8.933 Mm³，年总涌水量 6 Mm³，年排水费用 560 万元。主要为岩溶裂隙水，矿井水由井下分多级排到地面，既造成水资源的浪费，对周围环境也造成污染。而自从投资 200 万元修建矿井水、各种污水处理站，对矿井水循环利用之后，矿井水可以用于生产、基建、卫生、防尘、绿化等。洗选厂推广电磁高频筛，实现洗煤废水闭路循环，节约了地下水资源，2002 年全矿共计用水 $1.3845 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，同比减少 $9.6 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。资源的良性循环，为华丰煤矿创造了新的增长点，销售收入和利润额都产生较大增幅，同时矿区环境及企业声誉都有了明显改善，获得了较高的经济、环境和社会价值。

(3) 兖矿集团循环工业园区。

近年来，兖矿集团转变对煤炭由普通燃料到重要化工原料的认识，大力推进煤炭洁净利用和深加工，延伸煤炭产业链，提高产品附加值，培育煤化工、煤电铝接续主导产业。按照“大项目—多联产—产业基地”发展方向，拉长产业链。在山东，重点建设以煤气化及多联产为主线

的鲁南化工园区、以煤炭焦化及下游产品加工为主线的兖州化工园区、以坑口高硫煤洁净利用为主线的邹城化工园区，形成鲁南煤化工基地。基地建成后，每年将消耗高硫煤 550 万吨，使高硫煤变废为宝，可延长矿区薄煤层矿井服务年限 20 年。统计显示，2005 年以来，兖矿集团通过资源循环利用，年均处理各类污水 3 700 万吨，烟气 300 亿立方米，削减 COD(化学需氧量)5 600 吨，削减 SO₂(二氧化硫)排放量 9 300 吨，削减烟尘排放量 42 万吨，综合利用煤矸石、灰渣等工业固体废物 740 万吨，固废综合利用率连年保持 100%，创造了良好的经济和社会效益。

(4) 山西孝义梧桐工业园的煤—电产业园。

该园区本着“以消化全部低热值燃料为目的，自发自用，多余上网”的建设思路，重点实施了东义集团、金辉煤焦公司、金岩电力煤化工有限公司 3 个 2×15MW 煤矸石发电项目，以及辉鑫、晋茂 2 个 2×6 000 KW 粉煤灰、煤矸石综合利用发电项目。东义集团将炼焦下游

产品煤矸石变废为宝，建设了 2×15 MW 煤矸石发电项目，年消耗煤矸石 30 万吨，年发电量 2.25 亿度，每年可实现销售收入 4.8 亿元；形成了以发电为龙头，热电气联供，污水处理、余热养殖、建材生产并举的综合利用产业链。低热值发电已经成为梧桐工业园的非煤产业。

(5) 徐州张双楼煤矿循环经济园区。

该园区按照资源“吃干榨尽”目标，发展循环经济，目前已基本建成煤泥干燥、煤矸厂砖厂，矿井水、地热综合利用项目，为发展煤焦化项目积极创造条件，延伸煤基产业链，确保明年基本建成以煤、电、煤化工为主体的张双楼循环经济园区。另外，该集团还规划建设“煤矸石—电—热—建材—土地复垦”综合利用西部循环经济区 and 地热值“煤—电—水泥—土地复垦”综合利用的东部循环经济区。

(6) 陕煤集团黄陵煤化工循环经济园区。

该园区以白石焦化项目为主体，是继曹家峪 2×98 万吨焦化、西峪 2×300MW (兆瓦) 煤矸石电厂项目启动之后，黄陵煤化工循环经济园

区规划建设中的 4×98 万吨黄陵煤化工项目的重要组成部分，概算总投资 34 亿元，占地 1 100 余亩。项目建成后，可年产冶金焦 196 万吨，甲醇 20 万吨，实现年销售收入 47.9 亿元，实现利税 6.9 亿元。

另外，黑龙江鹤岗鹤矿集团、包头神华集团、平顶山平煤集团、义马煤业集团等各大国内煤炭企业为了实现可持续发展战略，增强持续竞争力，目前都在积极实施循环经济举措，建设循环经济项目