

■ 席旭东 著

KUANGQUSHENGTAIGONGYE
GONGSHENGMOSHIYUFAZHANYANBIANYANJIU

矿区生态工业

共生模式
与发展演变研究

煤炭工业出版社

矿区生态工业共生模式与 发展演变研究

席旭东 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书运用工业生态学、循环经济、生态工业园区及工业共生等相关理论,对矿区生态工业共生模式种类与结构进行了系统的识别和研究。剖析了矿区生态工业共生模式层级结构、空间和资源流动结构、行业结构和结构指标等内容。依据协同学原理,综合应用工业生态学等基本理论,概括出行为模式与组织模式组合状态下的16种理论共生模式和9种实际共生模式,并研究了帕累托最优路径问题。探讨了矿区生态工业共生发展演变既有联系又有区别的动力机制和推进机制。构建了矿区生态工业共生效益的数学分析模型,并以此对兖矿集团进行实际测算与分析。对兖矿集团生态工业共生模式进行了实证研究,对其发展方向进行了探讨。

本书可供工矿企业管理者、工程技术人员用书,同时可作为大专院校学生参考用书。

序

随着生态环境的持续恶化和人们对环境问题的日益关注，工业系统已经很难继续维持传统的线性生产模式，即无偿地从生态系统中调入原材料，并将大量多余副产品以废物形式排放到生态系统中。20 世纪 70 年代以来，受自然生态过程的启发，1989 年 Frosch 和 Gallopoulos 提出了工业生态学（Industrial Ecology，简称 IE）的思想和工业生态系统的概念，即按自然生态模式来统一规划和组织工业生产，由此，工业生态学迅速发展起来。随后，人们发现了 20 世纪 70 年代出现的丹麦卡伦堡工业共生体，工业共生的概念被正式提出。学者们通过对卡伦堡工业共生体的研究，找到了工业生态学实践的直接方式——生态工业园（EIP）。自此以后，生态工业共生理论研究和实践活动在全球范围内广泛开展。

矿区是由于矿产资源开采加工行为而形成的持续具有共同经济特性、社会功能和环境属性的经济地理区域。世界各国的发展实践表明，在人类现代社会的生产过程中，没有哪一种生产活动能像矿产资源开发利用那样产生如此巨大的极化效应。一方面，矿业作为我国的基础产业，在国民经济和社会发展中具有重要的地位和作用。我国 95% 的能源、80% 以上的工业原料和 70%

的农业生产资料来自矿业。根据 2010 年远景目标纲要和实现国民经济第三步发展战略目标的要求，必然要求矿业保持同步发展。另一方面，一个不容回避的事实是，由于受诸多因素的影响，矿区在其形成和发展过程中，存在着大量复杂的资源、生态环境、经济和社会问题，特别是生态环境问题尤为突出。①矿产资源回采率和伴生资源综合利用率低，造成矿产资源的严重浪费与破坏；②因矿区矿产资源的有限性和产业结构单一性，使矿区发展稳定性差、风险性高，具有生命周期的特征；③矿业属于资源消耗性和生态破坏性极强的行业，突出问题是破坏土地、水资源，工业“三废”大量排放污染环境、破坏地表植被和占用土地，使矿区生态环境遭到严重破坏。以上这些问题的存在严重制约着矿区本身乃至全社会的持续、和谐、健康发展，迫切需要从理论和实践上寻找到解决问题的途径，使矿区发展真正步入持续快速健康的良性轨道上来。

如何寻求矿区可持续发展的具体路径，目前是仁者见仁，智者见智。从理论上讲，循环经济是矿区可持续发展从理念到行动的最先进的实现形式，是目前世界上最为理想的经济发展模式。而资源循环利用是循环经济的核心和基础，其最佳实现形式是生态工业园区。而生态工业园区的基础和实现手段是工业共生。通过矿区工业共生，将整个生产系统视为一种类似于自然生态系统，其中一个生产环节产生的“废”产物被当做另一个生产环节的“营养物”，各生产环节就像自然生态系

统一样,利用彼此的副产物作为原料,形成工业食物链(网),构筑了矿区循环经济发展的基础结构和与区域经济协调发展的平台,从而有利于实现经济效益、社会效益和生态效益协调统一。从实践上看,国内外有发展循环经济、构建生态工业园区的丰富实践经验,为矿区生态工业共生提供了丰富的经验和教训。从矿区自身条件来讲,矿区生态工业共生在资源上具有优势,在产业、技术上具有可能。因此,矿区生态工业共生是构建生态矿区,实现矿区可持续发展的最有效的形式。

矿区生态工业共生模式与发展演变研究是一项矿区发展循环经济,建设生态工业园区,实现工业生态化的基础性研究,是一个崭新的研究领域。当前,国内外生态工业共生的研究方兴未艾,而矿区更是工业生态化研究的热点领域。由于对矿区工业生态化研究的历史不长,更由于矿区工业生态化理论研究的复杂性,迄今矿区工业生态化的理论和实践尚不成熟,还处于探索阶段,特别是系统而深入的研究成果寥寥可数。因此,选择矿区作为研究对象进行工业共生模式与发展演变研究,既是矿区可持续发展本身的要求,也是增强矿区工业生态化研究完备性的要求,更是资源经济与管理学界面临的重要课题。

席旭东博士以积极的姿态进入这一意义重大而深远的科学领域,在前人研究的基础上,通过深入缜密的理论推演和大量实证分析,获得了一系列重要研究成果,并归纳整理、系统提炼写成此书。本书有如下的特点和独到之处:

(1) 学术观点的系统性与创新性强。本书对矿区生态工业共生模式种类与结构系统而全面地进行了识别和研究,科学地指出了矿区生态工业共生发展演变的方向和路径,在理论分析和实践求证中提出了许多创新性观点和战略思路。

(2) 全书遵循定性研究与定量分析相结合的方法。本书在研究过程中,力求将定量分析与定性分析相结合,力争克服在矿区生态工业共生模式与发展演变研究中偏重定性研究而缺乏定量分析的现象。运用生态效率和产业集聚原理,构建了矿区生态工业共生效益的数学分析模型,并以此对兖矿集团进行实际测算与分析。

(3) 全书章节内容结构紧凑,行文规范,图文并茂,既体现出学术著作的严谨规范性,又具有较强的可读性和实用性。

需要指出的是,人们对客观事物和发展规律的认识总是受到时空条件和认知能力的制约,本书作者也不能例外。特别是由于工业共生问题的复杂性和矿区的特殊性,以及国内外社会经济环境的异常多变性,使我们看到本书还存在一些待改进或不足之处,这完全是在情理之中的。衷心希望作者以本书的出版为开端,沿着已确定的研究方向继续深入探求,不断推出新成果,为矿区工业生态化的理论与实践研究作出更大的贡献。

侯运炳

2008年2月20日

前 言

工业共生是不同企业间通过围绕生产性资源进行循环再生利用而开展的一种生态产业的经济合作模式，是一种新现象、新趋势、新课题。20 世纪 70 年代以来，一些发达国家的实践表明，将工业活动转变为资源—产品—再生资源—再生产品的循环过程，有利于最大限度地减少从生产到消费全过程的资源使用和废物排放。受自然生态过程的启发，1989 年 Frosch 和 Gallopoulos 提出了工业生态学（Industrial Ecology，简称 IE）的思想和工业生态系统的概念，即按自然生态模式来统一规划和组织工业生产，由此，工业生态学迅速发展起来。随后，人们发现了 20 世纪 70 年代出现的丹麦卡伦堡工业共生体，“工业共生”（Industrial Symbiosis，ISN）的概念被正式提出，认为：“工业共生是指不同企业间的合作，通过这种合作，共同提高企业的生存能力和获利能力，同时，通过这种共生实现对资源的节约和环境保护。”学者们通过对丹麦卡伦堡工业共生体的研究，找到了工业生态学实践的直接方式——生态工业共生。自此以后，工业共生的相关研究和实践活动广泛开展起来。

以矿产资源开发和利用为主要特征的矿区生态工业

共生模式与发展演变的研究，是工业生态系统中的一个典型组分。因为这一区域往往是生态环境的脆弱区，远离当地社会经济中心的边远区，产业结构调整优化的困难区，以及资源、生态环境、经济和社会问题突出区。对矿区生态工业共生模式与发展演变研究上的重大突破，不仅在于为资源型区域的发展找到坚实可靠的行动指南，而且对其他区域的发展也将产生重要的启发式影响，并丰富生态工业研究的理论宝库。自工业生态学、循环经济等理论引入矿区以来，作为矿产资源开发的矿区，在借鉴国内外生态工业园实践经验和教训的基础上，广泛进行了以先进的科技为依托、以产业和产品结构调整为主线，以提高资源转化利用效率为核心，以生态工业园区建设为重点，以技术、产业和制度创新体系构建为中心环节，积极探索发展循环经济的有效模式，实现矿区产业延伸、转型和替代，以保障矿区健康、稳定和持续发展的研究和实践活动。以上这些研究和实践活动，对推动矿区的健康发展发挥了积极作用。然而，在以往的研究和实践活动中，还存在以下问题：

一是对矿区发展循环经济的本质特征是一个工业共生问题缺乏科学认识。循环经济强调的是全社会经济的循环，是一个科学的系统，是一个涉及社会再生产各个环节的整体性经济运作方式。但是，循环经济在不同的环节具有不同的实现方式：在生产环节表现为生态工业或清洁生产，在消费环节表现为生产者严格的产品责任和回收义务，在分配和交换环节表现为废弃物资源的回

收利用。从循环经济理论本质上来说,资源循环利用是它的核心和基础,其最佳实现形式是生态工业园区,而生态工业园区的基础和实现手段是工业共生。因此,矿区发展循环经济的本质特征是一个工业共生问题。

二是虽然有学者从不同角度展开了研究,但缺乏从共生关系的角度研究矿区生态工业共生模式与发展演变问题,而且理论体系框架尚不完善,这可能导致矿区生态工业实践的盲目性和片面性。Boons 和 Baas (1997)指出,工业共生与生物界共生的一个本质区别是进化的非自发性,即工业系统不像生态系统自发地朝向更高效率的目标进化,因而,实现经济效益、社会效益和环境效益的“三赢”必须建立工业共生模式,并对其进行有效的管理。目前矿区发展循环经济,建设生态工业园的诸多实践恰恰忽略了这一问题。在实践中,如煤矿区开展了以煤电、煤化、煤焦等为核心的构建生态工业园区实践活动,初步形成了矿区生态工业园区模式,并进行了大量报道。但人们从来没有对这种大量的实践活动进行系统总结,提出一般性模式理论体系。为此,本着增强矿区生态工业共生模式与发展演变问题研究的系统性,加大理论研究的深度,注重实证调查和量化分析,提高研究成果对实践的指导性,本书运用工业生态学、循环经济、生态工业园区及工业共生等相关理论,对矿区生态工业共生模式种类与结构,矿区生态工业共生发展演变与实现途径,以及矿区生态工业共生效益测算与实证分析,进行了深入系统的探索研究并梳理汇集成此

书。

本书的写作出版，得到了宋华岭教授、王广成教授、耿殿明教授、魏志轩教授、王艳明教授、阎旭骞博士、梅德琪高级经济师、许启发博士、张新科长、王彬老师等许多专家学者（恕不一一列出）的支持和帮助，在此表示真诚的感谢！

受作者研究水平及时间、资料所限，书中尚存分析论证之不足和某些仓促之痕迹。在此，请广大读者、专家和同行提出批评、指正。

最后，特别感谢中国矿业大学（北京）博士生导师侯运炳教授在《矿区生态工业共生模式与发展演变研究》成书过程中给予的指导和在百忙之中为本书作了序。

谨以此书献给所有支持、帮助和鼓励过我的人们。

作 者

2008 年 2 月于山东烟台

目 次

0 绪论	1
0.1 矿区生态工业共生模式与发展演变 研究的背景与意义	1
0.2 矿区生态工业共生模式与发展演变 研究的思路、内容和方法	18
0.3 本章小结	21
1 国内外相关理论研究综述	23
1.1 工业生态学理论研究综述	23
1.2 循环经济理论研究综述	37
1.3 生态工业园区理论研究综述	41
1.4 工业共生理论研究综述	52
1.5 本章小结	60
2 矿区生态工业共生模式识别与结构分析	62
2.1 矿区生态经济系统基本结构与特征	62
2.2 矿区生态工业共生系统分析	80
2.3 矿区生态工业共生模式识别	95
2.4 矿区生态工业共生模式的物质表现 形式	108
2.5 矿区生态工业共生模式结构分析	119
2.6 本章小结	134

3 矿区生态工业共生模式发展演变研究	138
3.1 矿区生态工业共生模式发展演变的 概念与原理	138
3.2 矿区生态工业共生模式发展演变 方向与路径	147
3.3 矿区生态工业共生动力机制	167
3.4 矿区生态工业共生推进机制	188
3.5 本章小结	207
4 矿区生态工业共生模式共生效益测算 与实证分析	210
4.1 区域生态管理评价相关理论研究 进展	210
4.2 矿区生态工业共生模式共生效益 测算的基本理论与方法	219
4.3 兖矿集团工业共生效益实证分析	226
4.4 本章小结	238
5 典型矿区生态工业共生模式实证研究	240
5.1 兖矿集团生态工业共生模式现状 分析	240
5.2 兖矿集团生态工业共生模式与 卡伦堡工业共生模式的比较	246
5.3 兖矿集团生态工业共生模式发展 方向	250
5.4 本章小结	257
参考文献	258

0 绪 论

0.1 矿区生态工业共生模式与发展演变研究的背景与意义

0.1.1 选题的背景

随着生态环境的持续恶化和人们对环境问题的日益关注,工业系统已经很难继续维持传统的“线性”生产模式,即无偿地从生态系统中调入原材料,并将大量多余副产品以废物形式排放到生态系统中^[1]。20世纪70年代以来,一些发达国家的实践表明,将工业活动转变为“资源—产品—再生资源—再生产品”的循环过程,有利于最大限度地减少从生产到消费全过程的资源使用和废物排放^[2-5]。受自然生态过程的启发,1989年Frosch和Gallopoulos提出了工业生态学(Industrial Ecology,以下简称IE)的思想和“工业生态系统”的概念^[6],即按自然生态模式来统一规划和组织工业生产。由此,工业生态学迅速发展起来。随后,人们发现了20世纪70年代出现的丹麦卡伦堡工业共生体,“工业共生”的概念被正式提出^[7]。学者们通过对丹麦卡伦堡工业共生体的研究,找到了工业生态学实践的直接方式——生态工业园(EIP)^[8]。自此以后,生态工业

园实践在全球范围内广泛开展。

作为工业生态系统的一种,矿区生态系统的生产规模、产业结构以及演进方向均随着矿产资源开发的内外发育环境变化而变化。尽管目前工业生态学的发展还只集中在理论体系的完善和工业生态园区的规划建设上^[9-11],尽管目前矿区工业生态园建设还只是处于初步探索阶段,但是,工业生态学的基本理念和发展原则却为矿区生态系统建设的研究提供了一个新的视角和广阔的发展空间,也为解决矿区矿产资源开发和利用所产生的矛盾提供了新的解决思路。

世界各国的发展实践表明,在人类现代社会的生产过程中,没有哪一种生产活动能像矿产资源开发利用那样产生如此巨大的极化效应。一方面,国家和地区经济发展速度的快慢和发达程度越来越明显地取决于现代矿产资源供应保障系统的能力和建设状态。另一方面,我国矿区在其形成和发展过程中,由于受诸多因素的影响,存在着大量复杂的资源、生态环境、经济和社会问题,特别是生态环境问题尤为突出^[183]。

0.1.1.1 矿业在国民经济和社会发展中具有重要的地位和作用

矿业作为我国的基础产业,在国民经济和社会发展中具有重要的地位和作用。我国95%的能源、80%以上的工业原料和70%的农业生产资料来自矿业^[12]。2001年全国矿业产值达4601亿元,占全国GDP的4.9%,占国内工业总产值的9.3%,经过几十年的发

展,我国已成为世界第三大矿业国^[13]。经济增长必须要求有矿业提供的相应矿产资源作为保障,而且随着我国经济的发展和人民生活水平的日益提高,对矿产资源的需求还将进一步增大。根据 2010 年远景目标纲要和实现国民经济第三步发展战略目标的要求,必然要求矿业保持同步发展。据预测^[14],为保证我国国民经济正常发展,2020 年和 2050 年的原煤产量将分别为 $21 \times 10^8 \text{t}$ 和 $28 \times 10^8 \text{t}$ 。所以从总体来说,矿业无论在今天还是在可预见的未来,不仅不会成为夕阳工业,而且应该有更大的发展。矿产资源是人类生存、经济建设和社会发展不可或缺的重要物质基础,是矿业赖以生存和发展的根本,也是实现可持续发展的物质基础。例如,2000 年,占世界人口 12% 的西欧和北美发达国家,其一次能源的消费却占了全球的 44%^[41]。我国是世界上人口最多的国家,如果没有充足的矿产资源可持续供给能力,是难以长期持续协调稳定发展的。

0.1.1.2 我国矿区存在的主要问题

受传统矿产资源开发与利用模式的影响,出现的资源、生态环境、经济和社会问题主要表现在:

(1) 资源危机出现。21 世纪初期是我国国民经济和社会发展的一个关键时期,社会和经济发展与矿产资源供求之间的矛盾,人口的增加与资源有限性和稀缺性之间的矛盾日益增加。我国现已探明的 45 种主要矿产资源中,到 2010 年可保证需求的有 23 种,到 2020 年则仅为 6 种。特别是绝对量需求大的石油、铁、铜、

铝、硫、磷等重要矿产缺口扩大，进口矿产品将达到 $(2.5 \sim 3) \times 10^8 \text{t}$ ，矿产资源供需矛盾加剧。因此，我国矿产资源的消耗趋势中潜伏着巨大的危险，矿产储量不足是我们面临的一个威胁，资源危机的出现已成为我国经济和社会持续发展的制约因素。

(2) 资源浪费现象严重。在资源危机显现的同时，我国矿产资源浪费现象却十分严重。首先，我国正处于工业化中期起步阶段，矿产资源消耗高，并且消耗速度仍持续增长，国民经济的增长以消耗巨大的自然资源为代价。1983 年与 1953 年比较，我国国民收入增长 9.6 倍，而能源、铁矿、有色金属等矿产资源的消耗量却分别增长了 14 倍、24 倍和 23 倍。我国每创造一个单位的国民收入，比发达国家多投入 3 ~ 10 倍的能源和 2 倍的有色金属资源^[15]。其次，我国矿产资源的回收率低。我国矿产资源的回收率仅为 30% ~ 50%，比发达国家低 10 ~ 20 个百分点。几种重要的有色金属如铝、锌、铅、铜和金、银等的再生利用率均大大低于发达国家水平，其中，铝、锌、铅和金、银的再生利用率还不及发达国家水平的一半。第三，我国矿产资源综合利用率低。根据对 1845 个综合矿山的调查，50% 的矿山伴生矿产的利用率在 25% 以下，只有 2% 的矿山综合回收率达 75% 以上，在 400 个大中型矿山中有 75% 的矿山没有回收或没有很好地回收伴生矿产^[13]。据估算，我国目前矿产资源的综合回收率只有 30% 左右，平均比国外水平低 20%。