

循环经济与清洁生产研究

段 宁/主编

磷资源产业 循环经济

胡山鹰等/编著

新 华 出 版 社

循环经济与清洁生产

段 宁 主编

磷资源产业循环经济

胡山鹰等 编著

新 华 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

磷资源产业循环经济 / 胡山鹰等编著

北京: 新华出版社, 2006. 11

(循环经济与清洁生产研究 / 段宁主编)

ISBN 7-5011-7729-5

I. 磷… II. 胡… III. 磷—化学工业—无污染技术 IV. TQ126.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 134810 号

循环经济与清洁生产研究 / 段 宁 主编

责任编辑: 李 宇 席建海 孔 岳

出版发行: 新华出版社

地 址: 北京石景山区京原路 8 号

网 址: <http://www.xinhupub.com>

邮 编: 100043

经 销: 新华书店

印 刷: 三河市腾飞胶印厂

开 本: 850mm × 1168mm 1/32

印 张: 92.25

字 数: 1600 千字

版 次: 2006 年 11 月第一版

印 次: 2006 年 11 月第一次印刷

书 号: ISBN 7-5011-7729-5

定 价: 330.00 元(10 册)

图书如有印装问题, 请与印刷厂联系调换 电话: (0316) 3116453

《循环经济与清洁生产研究》

主 编 段 宁

著 者 (以姓氏笔画为序)

于秀玲	于宏兵	万年青	毛玉如	尹 洁
王 军	田 恬	白艳英	卢声超	乔 琦
孙启宏	孙 宁	孙大光	刘 忠	刘景洋
何 勇	杜绿君	陈文明	陈定江	李艳萍
沈 鹏	沈静珠	张大伟	周长波	岳思羽
郑 涛	段 宁	胡山鹰	姚 扬	夏训峰
秦人伟	郭 颖	谢 钰	傅泽强	薛 萍

责任编辑 李 宇 席建海 孔 岳

序

人类或许正步入几千年来最深刻、最广泛危机的起始时期：我们与自然界的冲突从来没有像今天这样激烈，地球的未来从来没有像今天这样充满了不确定性。

1733 年凯伊发明飞梭纺织，1785 年瓦特改良蒸气机，1770 年英国的煤产量只有 260 万吨，1836 年增加到 3000 多万吨。工业革命后的短短二百多年左右，人类创造的物质财富远远超过了过去几十个世纪的总和，二战以来，人类创造物质财富的加速度空前加大，但是，随着全球人口持续增长，工业化、城市化进程不断加快，资源枯竭、生态破坏和环境污染问题日益突出，人类的生存和发展受到严重挑战。资料表明，按照目前的消费速度，世界已探明的矿产资源储量可以开采的年限为：钾盐、煤炭、铝土矿、钴等 100 年以上，天然气、铬 50 ~ 100 年，铜、钨、镍、钼、铂、硼等 30 ~ 50 年，石油、铅、锌、锡、硫 20 ~ 30 年，锰、锑、金、银等 10 ~ 20 年。相当一部分工业化国家污染物排放总量仍在上升，许多发展中国家环境污染的程度十分严重。二氧化碳等温室气体的排放没有得到有效遏制，全球气候正在变暖已经成为各国公认的事实，由此造成的对人类生存环境的灾难性危害变得日益现实。有的科学家认为，人类如果不对全球气候升温及时妥善解决，其对人类的打击可能是带有毁灭性质的。

我国经济快速增长导致的资源 and 环境问题更加严峻。

2003 年,我国成为世界第一煤炭消费大国和第二石油、电力消费大国,消耗世界当年总量近 50% 的水泥、35% 的铁矿石、20% 的氧化铝和铜,但创造的 GDP 却仅占世界的 4%。现有荒漠化土地面积占国土总面积 27.9%,每年仍在增加 1 万多平方公里。全国主要污染物如化学需氧量、二氧化硫排放量分别超过水环境和大气环境容量 60% 和 80%。

21 世纪头 20 年是我国的重要战略机遇期,也是经济增长与资源环境承载力之间矛盾最为凸显的关键时期。预测研究表明,2010 年,我国 45 种主要矿产资源中有 21 种可以保证需求;2020 年,可以保证需求的矿产仅为 9 种。铁、锰、铜、铝、钾盐等关系国家经济安全的矿石将严重短缺。到 2010 年,我国石油对外依存度将达到 57%,铁矿石、铜、铝将分别达到 57%、70%、80%。到 2020 年,石油进口量将超过 5 亿吨,对外依存度达 70%。2020 年我国 GDP 将实现翻两番的目标,如果沿袭传统的线性经济增长模式,按目前的资源消耗和污染控制水平,污染负荷将增加 4~5 倍,国家环境安全 and 经济安全将面临严峻挑战。

循环经济是以循环利用的自然资源和环境质量为物质基础,以减量化、再利用和资源化为行为准则,遵循生态规律,满足人类物质需求的一种崭新的经济形态。清洁生产是发达国家在反省传统的以末端治理为主的污染控制战略的种种不足后,提出的一种以源削减为主要特征的环境战略,是一种将综合预防策略持续应用于生产过程、产品和服务中,增加生态效率,减降人类及环境风险的创新性思想。不言而喻,循环经济和清洁生产是引导人类走向可持续发展的根本途径,对于我国的可持续发展尤其具有重大现实意义。

本套丛书的作者,都是长年在循环经济和清洁生产领域十分活跃、具有较高造诣的科研工作者。丛书内容主要以我国“十五”以来第一个国家层面的循环经济科技攻关项目成果为依托,以十几年来若干大型清洁生产国际合作项目产出为基础,从理论方法、战略模式、管理制度和工艺技术等各个方面,比较广泛又相当集中地代表了我国学术界在循环经济和清洁生产领域的最新研究成果。相信本套丛书的出版,有助于广大读者掌握近期动态,了解相关知识。

近几年来,我国的许多科学工作者在循环经济和清洁生产领域做出了大量可喜的高质量研究成果,我们希望这套丛书成为向同行学习和交流的平台,请广大读者对书中的不足之处批评指正。

段 宁

2006年7月20日

前 言

矿产资源产业是国民经济发展的基础和保障,目前,我国90%以上的能源、70%以上的农业生产资料和80%左右的工业原料都取自矿产资源。随着我国近十几年来经济的快速增长,矿产资源需求量不断增加,由于没有完全摆脱高投入、高消耗、高排放、低效率的粗放增长方式,我们付出了很大的资源和环境代价。

磷矿是难以再生的稀缺资源,又是生命中不可缺少的重要元素之一。我国的磷资源按目前的趋势只能维持20多年。一方面,磷资源产业的产品是社会生产过程中不可或缺的必需品,另一方面,从开采、加工到产品利用都存在效率低、资源浪费、环境污染等诸多问题,为此,磷资源产业“只有走以最有效利用资源和保护环境为基础的循环经济之路,可持续发展才能得到实现”。

循环经济是一种以资源的高效利用和循环利用为核心,以“减量化、再利用、资源化”为原则,以低消耗、低排放、高效率为基本特征,是符合可持续发展理念的经济增长模式,是向自然生态运行模式学习并在与自然相适应的条件下发展经济的全新的社会经济模式和生活模式。在生产中,是从资源开采、生产消耗、废弃物利用和社会消费等环节,推进资源综合利用和循环利用的节约能源资源的生产方式。目前,以循环经济理论为指导对资源产业的研究还是起步阶段,大都局限于产业系统

的局部环节,缺少从整体上对资源产业进行较详细的物质代谢等系统分析,导致研究结论适用范围小,说服力不强。此外,因为缺乏有效的定量分析工具,大部分研究结果往往是定性的,无法为政策制定者的决策做出有效的、量化的指导。

本书是“清洁生产与循环经济研究”系列丛书之一。作者从20世纪末开始一直从事磷、煤等资源产业的循环经济规划研究工作,本书以化学原料矿的典型代表——磷矿为对象,以科学发展观为指导,贯彻循环经济理念,采用系统方法,从磷矿资源产业“开采—加工—消费—排放”的整个生命周期出发,对磷资源产业目前存在的相关问题及其相互关联进行剖析,总结磷元素高效循环利用的技术手段和措施,提出我国磷资源产业的发展策略,同时给出两个规划实例,以帮助读者理解本书内容,并掌握和发展这一方法,有助于我国矿产资源可持续发展规划的制定。

本书共9章。第1~2章介绍了世界和我国磷资源的概况、磷资源产业的发展历程和现状。第3章论述磷资源产业开采和主要产品生产的基本工艺以及污染物产生的主要环节。第4章对我国磷元素代谢的全生命周期过程进行了定性和定量分析。第5章以循环经济理念为指导提出了磷资源产业的发展策略。第6章给出了我国磷资源产业发展的投入产出分析、动态模拟和情景分析。第7章在综述现有政策的基础上提出了政策措施建议。第8~9章给出了两个规划实例。本书采用的系统分析思路和相关定量研究方法以及实践案例对资源产业发展循环经济的科学分析、研究和规划工作有一定的借鉴意义,对其它资源产业可持续发展政策的制定也有参考价值。

本书由胡山鹰主编,其中张大伟编写第1~3章,胡山鹰编

写第4~6章,郭颖编写第7章,沈静珠和陈定江编写第8~9章。李有润、周哲、刘征、梁日忠、莫笑萍等对本书的完成都做了不少工作,在此表示诚挚的感谢。

循环经济是新的经济发展观,由于时间仓促和作者的水平有限,书中定有不少缺点和漏失之处,希望读者批评指正。

作者

2006年7月

目 录

第 1 章 磷资源概况	(1)
1.1 磷及其重要用途	(1)
1.2 磷矿资源的形成与磷循环	(3)
1.2.1 磷矿类型及其形成	(4)
1.2.2 磷的循环	(6)
1.3 全球磷矿资源情况	(9)
1.4 我国的磷矿资源	(13)
1.4.1 磷矿资源储量、分布	(13)
1.4.2 磷矿业发展简史	(15)
1.4.3 我国磷矿资源的特点	(16)
1.4.4 我国的重点磷矿	(17)
第 2 章 磷资源产业	(24)
2.1 我国磷化工产业发展历程	(24)
2.1.1 起步阶段(20 世纪 40~70 年代)	(24)
2.1.2 发展阶段(20 世纪 80~90 年代)	(26)
2.1.3 逐步完善阶段(21 世纪初期)	(31)
2.2 我国磷资源产业现状	(33)
2.2.1 磷矿开采	(33)

2.2.2 磷肥产业	(38)
2.2.3 黄磷产业	(47)
2.2.4 三聚磷酸钠	(51)
2.2.5 精细磷化工	(55)
2.3 世界磷资源产业发展对我国的启示	(57)
2.3.1 企业间重组兼并趋向大型化,不断提升竞争力	(58)
2.3.2 矿石利用策略明确,磷化工产品生产趋 于精细化	(59)
2.3.3 注重开发与占领潜在市场	(61)
第3章 磷资源产业基本生产工艺	(64)
3.1 采矿	(64)
3.2 选矿	(66)
3.3 湿法磷酸和磷肥	(71)
3.3.1 湿法磷酸生产工艺	(71)
3.3.2 磷肥生产工艺	(74)
3.4 黄磷及其精制	(77)
3.5 三聚磷酸钠	(81)
3.5.1 热法磷酸法	(82)
3.5.2 湿法磷酸法	(83)
3.6 污染产生的主要环节及其利用方向	(86)
第4章 我国磷资源产业代谢分析	(93)
4.1 磷资源产业代谢基本状况	(93)

4.2 我国磷资源产业分析	(96)
4.2.1 资源开采环节存在的问题	(96)
4.2.2 加工利用环节存在的问题	(98)
4.2.3 产业整体性的问题	(101)
第5章 磷资源产业发展策略	(105)
5.1 磷资源产业实现循环经济的技术策略	(105)
5.1.1 加快攻克磷块岩选矿难关	(105)
5.1.2 推广低品位磷矿原料利用技术	(107)
5.1.3 推广提高回采率的技术	(108)
5.1.4 湿法磷酸净化技术	(109)
5.1.5 窑法磷酸技术	(112)
5.1.6 大力开发产业链链接关键技术	(112)
5.1.7 采用绿色替代、回收技术减少磷资源 消耗和水体富营养化	(113)
5.2 重视政策法规引导	(116)
5.3 磷资源产业循环经济发展策略	(117)
5.3.1 深加工延伸产业链	(117)
5.3.2 副产物资源化利用	(127)
5.3.3 循环经济关键技术	(148)
5.3.4 磷资源产业循环经济系统构建	(150)
5.4 磷资源产业循环经济发展评价指标	(153)

第 6 章 磷资源产业系统分析	(157)
6.1 磷元素循环投入产出分析	(157)
6.1.1 投入产出分析方法	(158)
6.1.2 分析方案	(160)
6.1.3 分析过程和结果	(161)
6.1.4 结果讨论	(166)
6.2 磷资源产业系统动态模拟与分析	(166)
6.2.1 灰色系统理论	(167)
6.2.2 我国磷资源产业系统动态物质流模型的建立	(177)
6.2.3 系统动态建模过程	(183)
6.2.4 现状条件下系统动态情景分析	(196)
6.2.5 循环经济策略实施效果动态情景分析	(203)
第 7 章 磷资源发展循环经济政策	(218)
7.1 磷资源发展政策回顾	(218)
7.1.1 磷矿开采和利用的相关政策	(219)
7.1.2 发展磷肥的相关政策	(223)
7.1.3 有机磷农药相关政策	(225)
7.2 磷资源发展循环经济政策研究	(226)
7.2.1 政策目标分析	(227)
7.2.2 实现途径分析	(229)
7.2.3 制约因素分析	(232)
7.2.4 政策建议	(235)

第 8 章 磷资源地区发展循环经济案例	(241)
8.1 开阳县概况	(241)
8.2 基地建设的目标和总体结构	(243)
8.2.1 基地建设的总体目标	(243)
8.2.2 基地建设的分阶段目标	(243)
8.2.3 基地建设的总体结构	(244)
8.2.4 基地的功能分区	(246)
8.3 产业发展规划	(253)
8.3.1 基地产业的总体设计	(253)
8.3.2 磷化工体系规划	(256)
8.3.3 煤化工体系规划	(261)
8.3.4 氯碱工业体系规划	(265)
8.3.5 副产品体系设计	(271)
8.4 生态社会体系建设	(277)
8.4.1 防洪减灾体系建设	(278)
8.4.2 磷石膏矿井回填	(279)
8.4.3 环境保护与建设	(280)
8.5 系统集成	(282)
8.5.1 物质集成	(282)
8.5.2 能量集成	(285)
8.5.3 水集成	(288)
8.5.4 信息集成	(290)
8.5.5 柔性分析	(291)

8.5.6 多资源共生耦合分析	(293)
8.6 效益分析	(300)
8.6.1 经济效益分析	(300)
8.6.2 环境效益分析	(305)
8.6.3 社会效益分析	(306)
第9章 磷化工企业发展循环经济案例	(309)
9.1 企业概况及规划指标	(309)
9.2 黄磷副产品体系与方案比较	(311)
9.2.1 黄磷副产品体系	(311)
9.2.2 黄磷副产品构成方案	(328)
9.3 多产品共生方案评价	(332)
9.3.1 子系统的物质、能量、资金流分析	(332)
9.3.2 多产品共生方案的物质、能量流分析	(343)
9.3.3 方案比较	(350)
9.4 多产品共生方案分析	(361)
9.5 发展规划	(365)
9.5.1 近期规划	(365)
9.5.2 中期规划	(366)
9.6 效益分析	(371)
9.6.1 建设投资	(372)
9.6.2 效益分析	(372)

第1章 磷资源概况

1.1 磷及其重要用途

磷是第三周期 VA 族元素,元素符号 P,英文名 Phosphorus,原子量 30.97,有三种主要的同素异形体——白磷、红磷和黑磷,三种磷都有多种变体,其在地壳中分布很广,含量为 0.09%,丰度为 1120ppm。自然界中单质磷极少,几乎全是以磷酸盐形式存在,常见的有磷酸盐矿 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 和磷灰石 $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ ^[1]。

在自然生态系统中,磷是重要且不可短缺的元素。生态系统的生产者——绿色植物(或藻类)在通过光合作用将二氧化碳和水转变为有机体的过程中,磷元素直接参与作物光合作用的光合磷酸化和碳同化,磷元素的缺失将导致光合作用无法顺利完成,生态系统的其它环节也必将失灵、瘫痪。所以,如果只有阳光和水而缺乏氮、磷等肥料,作物的生长将无从谈起,其结果必定是庄稼弱不禁风,果实颗粒无收。从长远来讲,磷元素的短缺对维持生态系统的可持续发展是灾难性的。

人类的生存和发展同样离不开磷元素。磷是人体中含量较多的元素之一,脑血液、神经组织的蛋白质、骨骼和牙齿都含有磷,含量仅次于钙,正常成年人骨骼中的含磷量约为 600~900 克,人体每 100 毫升全血中含磷 35~45 毫克。磷对