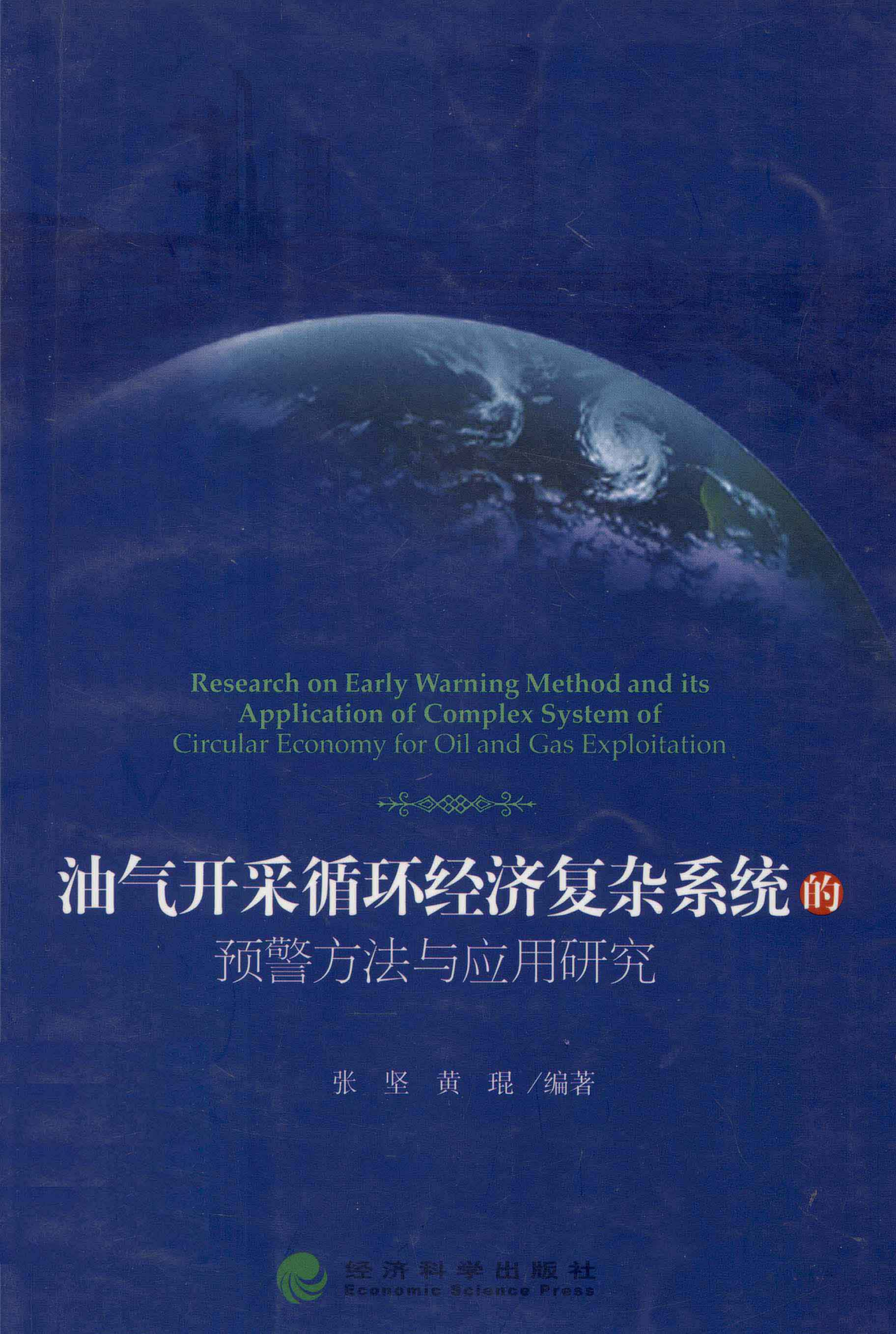




Research on Early Warning Method and its  
Application of Complex System of  
Circular Economy for Oil and Gas Exploitation

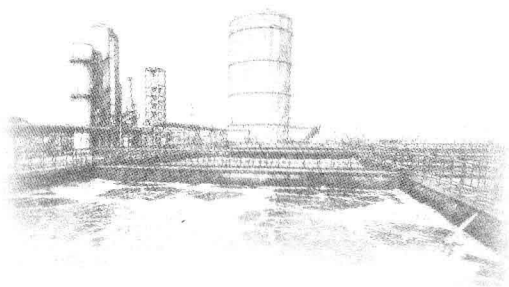


# 油气开采循环经济复杂系统 的 预警方法与应用研究

张 坚 黄 琨 / 编著



经济科学出版社  
Economic Science Press



Research on Early Warning Method and its  
Application of Complex System of  
Circular Economy for Oil and Gas Exploitation



# 油气开采循环经济复杂系统<sup>①</sup>

## 预警方法与应用研究

张 坚 黄 琨 / 编著



经济科学出版社  
Economic Science Press

**图书在版编目 (CIP) 数据**

油气开采循环经济复杂系统的预警方法与应用研究 / 张坚, 黄琨编著. —北京: 经济科学出版社, 2011. 6

ISBN 978 - 7 - 5141 - 0737 - 1

I. ①油… II. ①张…②黄… III. ①油气开采 - 研究 IV. ①TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 105138 号

责任编辑: 金 梅

责任校对: 王凡娥

版式设计: 代小卫

技术编辑: 李 鹏

**油气开采循环经济复杂系统的预警方法与应用研究**

张 坚 黄 琨 编著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 88191217 发行部电话: 88191540

经济理论编辑中心电话: 88191435

电子邮件: jll1435@126.com

网址: www.esp.com.cn

北京市京津彩印有限公司印装

787 × 1092 16 开 10.5 印张 180000 字

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 0737 - 1 定价: 22.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

(版权所有 翻印必究)

# 前言

科学技术进步的推动，引发了 20 世纪 20 ~ 30 年代、60 ~ 70 年代、80 年代至今的石油工业三次技术革命。这三次石油技术革命使世界石油产量出现了三次跨越式增长，到 20 世纪末已达到 35 亿吨。在 20 世纪最后 30 年中，世界石油产量增加了 25 倍，工业总产值增长了 2 倍；以原子能、空间技术和电子计算机的广泛应用为主要标志的第三次技术革命，加速了经济发展，改变了人类的生产和生活方式，提高了人类的生活质量。与此同时，我国经济正以前所未有的、令世界瞩目的速度发展，成为世界上经济增长最快的发展中国家。

随着我国 GDP 持续高速的增长，以石油为代表的能源约束效应日益凸显。据统计，2010 年我国石油对外依存度已高达 53.7%<sup>①</sup>；2011 年 2 月底，国家统计局发布的《中华人民共和国 2010 年国民经济和社会发展统计公报》中显示：2010 年我国进口原油 2.39 亿吨，同比增长 17%，我国石油对外依存度上升 3 个百分点，超过 55%，成为仅次于美国的第二大石油进口国和消费国。

国家发展和改革委员会发布的《节能中长期专项规划》（2004 年）指出，目前我国能源消费仍以煤炭为主，同时优质能源的比重不断上升，石油安全不容忽视。事实上，从 2006 年开始，我国原油对外依存度就以年均 2.9 个百分点的速度增长。据专家预测，“十二五”期间我国原油对外依存度将进一步升高，预计 2015 年我国原油对外依存度将超过 65%<sup>②</sup>。这从一个侧面显现出我国石油资源的“瓶颈”制约程度。

---

① 刘延荣：《专家解析我国在决定油价方面定价权不足 1%》，载 <http://news.qq.com/a/20110501/000389.htm>，2011 年 5 月 1 日。

② 《第一财经日报》：《原油对外依存度将持续攀升 我国能源安全外部形势堪忧》，载 <http://finance.jrj.com.cn/industry/2011/03/0309059345279.shtml>，2011 年 3 月 3 日。

事实证明，传统的高投入、高消耗、高污染、不协调、低效率的增长方式是不可持续的。我国有 13 亿多人口，如果延续早期工业化国家走过的传统发展模式，以长期占用全球当期资源消耗量的绝大部分为前提来实现工业化和现代化，是行不通的。我们必须充分考虑我国资源短缺、环境脆弱的基本特点，寻求比发达国家消耗更少的资源、付出更小的环境代价实现工业化、现代化和获得较高生活质量的发展道路，实现新型工业化与可持续发展战略的良性互动。

近 50 年的实践与理论研究表明：短期内言，资源和资本的投入对经济增长起到了重要的作用；但长期来看，人口的增长、技术的进步和管理的创新决定着经济的长期增长；技术的进步和管理制度的创新不仅是经济长期增长的基石，同时也是改变经济增长方式和变革发展路径的决定力量。

自 20 世纪 90 年代起，发展知识经济和循环经济成为世界发展的两大趋势。知识经济要求加强经济运行过程中智力资源对物质资源的替代，实现经济活动的知识化转向。

循环经济作为一种以资源的高效利用和循环利用为核心，以低消耗、低排放、高效率为基本特征的经济增长方式，是对“大量生产、大量消费、大量废弃”的传统增长模式的根本变革。循环经济要求以友好的方式利用自然资源和环境，实现经济活动的生态化转向；是在社会生产、流通、消费和产生废物的各个环节循环利用能源，发展资源回收利用产业，以提高资源的利用率。循环经济是有别于传统经济“高开发→低利用→高排放”特征的新经济形态，它强调构筑“工业食物链”，通过回收和利用废弃物、以无害化和再生的方式达到资源的永续利用，促进社会经济的可持续发展，表现出“低开发→高利用→低排放”的特征。

近年来，我国的石油天然气开采呈现向陆地深层、环境恶劣区域和海洋发展的趋势。面对勘探对象日趋复杂、开发难度日益增加的现实，企业必须运用更先进的科技手段、采用技术含量更高的尖端设备，才能获得效益。虽然，“十一五”期间，我们在石油石化科技领域取得了令人瞩目的成就，但是，许多关键设备仍依靠进口。为此，必须牢固树立和认真贯彻科学发展观，走新型工业化道路，以信息化带动工业化，以工业化促进信息化，实现资源节约型的循环经济增长模式。

油气开采循环经济复杂系统预警主要是通过对石油企业的工业污染源、主要污染物排放情况、污染治理情况的调查与评价,分析污染物的产生环节和存在的问题,提出削减和控制污染的循环经济工艺方案和建议,对污染削减的程度及所需费用进行环境经济分析,创建油气开采循环经济型发展模式。它对提高油气资源的利用率、缓解油气资源短缺、减轻环境污染压力将发挥巨大的效力。

本书主要是从循环经济复杂系统预警的理论基点、机制设计、预警模型和发展对策四个方面入手,全面、深入地研究油气开采领域循环经济的预警问题。全书共分5章,即:

第1章,循环经济复杂系统预警的理论支撑。本章结合循环经济的内涵及其特征,基于不同视角对循环经济理论进行剖析,运用系统论分析油气开采循环经济复杂系统的内在机理、构成要素、特征、结构、功能和分类。

第2章,循环经济复杂系统预警机制的设计。本章以循环经济为基点分析复杂系统预警的内涵,归纳经济预警的一般方法,并设计循环经济复杂系统预警机制。

第3章,基于循环经济的油气开采复杂系统预警模型。根据“3R”原则和油气开采循环经济的特点,构建了复杂系统预警指标体系,具体包括理论性和操作性两类指标体系,涉及经济子系统、社会子系统、资源子系统和生态环境子系统四个层次的指标;同时,运用模糊 ISODA-TA 聚类分析方法,进行复杂系统的预警和排警决策。

第4章,T公司油气开采循环经济复杂系统预警的实证研究。本章在T公司油气开采循环经济具体实践的基础上,进行复杂系统预警决策的实证研究。

第5章,油气开采循环经济发展的对策。本章剖析了石油(天然气)经济运行特征,结合我国油气资源开采业发展循环经济的环境分析,指出推进循环经济发展模式需要企业、社会、政府三方共同协作;在借鉴国外油气开采循环经济模式的基础上,提出我国油气资源开采的循环经济策略。

环境保护与资源利用问题越来越受到全社会的高度重视和关注,可持续发展问题成为我国社会经济发展的核心问题,我国经济增长方式正在发生巨大的变化。面对能源危机,循环经济型发展模式已成为



我国油气开采业可持续发展的驱动力。在节约能源，降低能耗和保护环境的多重压力之下，如何应用新技术、新工艺、新设备来开发清洁能源和可替代能源，走可持续发展道路，是摆在石油企业科技人员面前的新命题。

本书的出版得到中石油中青年创新基金项目（2010D-5006-0211）的支持。随着低碳经济实践探索的深入开展，还会有更多的问题亟待进一步研究和探讨。

书中不可避免地存在遗漏和不足，恳请读者批评斧正。



# 录

## *Contents*

### 第1章 循环经济复杂系统预警的理论支撑 / 1

#### 1.1 循环经济的研究进展 / 1

##### 1.1.1 油气开采循环经济理论研究的考察 / 3

##### 1.1.2 循环经济评价指标研究的审视 / 5

##### 1.1.3 复杂系统预警研究的评述 / 8

#### 1.2 循环经济的内涵及其特征 / 12

##### 1.2.1 循环经济的内涵和原则 / 12

##### 1.2.2 循环经济的基本特征 / 17

#### 1.3 循环经济理论：基于不同视角的考察 / 19

##### 1.3.1 基于环境的循环经济理论 / 19

##### 1.3.2 基于资源的循环经济理论 / 25

##### 1.3.3 基于价值链的循环经济理论 / 29

#### 1.4 油气开采循环经济复杂系统 / 31

##### 1.4.1 循环经济复杂系统形成的内在机理：

##### 基于系统论的认识 / 31

##### 1.4.2 油气开采循环经济复杂系统的构成要素 / 35

##### 1.4.3 油气开采循环经济复杂系统的特征 / 37

##### 1.4.4 油气开采循环经济复杂系统的结构 / 44

##### 1.4.5 油气开采循环经济复杂系统的功能 / 47

##### 1.4.6 油气开采循环经济复杂系统的分类 / 49



## 第2章 循环经济复杂系统预警机制的设计 / 51

### 2.1 复杂系统预警的内涵：基于循环经济的再认识 / 51

### 2.2 经济预警的一般方法 / 55

### 2.3 循环经济复杂系统预警机制的构建 / 57

#### 2.3.1 循环经济复杂系统预警机制的特点 / 57

#### 2.3.2 循环经济复杂系统预警机制的构成 / 58

#### 2.3.3 循环经济复杂系统预警机制的结构和功能 / 60

## 第3章 基于循环经济的油气开采复杂系统预警模型 / 63

### 3.1 油气开采循环经济复杂系统预警指标体系 / 63

#### 3.1.1 构建原则 / 63

#### 3.1.2 基本框架和指标选取 / 65

### 3.2 油气开采循环经济复杂系统预警方法 / 80

#### 3.2.1 预警方法的选择 / 80

#### 3.2.2 熵与复杂性的度量 / 83

### 3.3 油气开采循环经济复杂系统的预警模型 / 84

#### 3.3.1 模型的建立 / 84

#### 3.3.2 系统预警的基本步骤 / 86

## 第4章 T公司油气开采循环经济复杂系统预警的实证研究 / 99

### 4.1 T公司循环经济活动的背景 / 99

### 4.2 T公司循环经济管理体制 / 101

#### 4.2.1 循环经济组织结构 / 101

#### 4.2.2 循环经济管理制度 / 102

### 4.3 油气开采循环经济方案的产生与筛选 / 103

#### 4.3.1 方案汇总 / 103

#### 4.3.2 方案筛选 / 106

#### 4.3.3 方案的环境评估 / 109

### 4.4 油气开采循环经济项目预警 / 111

## 第5章 油气开采循环经济发展的对策 / 122

- 5.1 石油（天然气）经济运行的特征 / 122
- 5.2 中国油气资源开采行业发展循环经济的环境分析 / 123
  - 5.2.1 外部宏观环境 / 123
  - 5.2.2 中国石油集团的发展环境 / 125
- 5.3 国外油气开采循环经济模式的发展 / 129
  - 5.3.1 发达国家发展循环经济的战略动机 / 129
  - 5.3.2 发达国家油气开采循环经济发展模式分析 / 131
  - 5.3.3 发达国家油气开采作业清洁生产和  
污染治理技术 / 133
  - 5.3.4 发达国家油气开采环保科技的发展趋势 / 136
- 5.4 对我国油气资源开采循环经济的启示 / 137
  - 5.4.1 拓展油气资源开采产业链战略 / 138
  - 5.4.2 加强资源技术进步与创新战略 / 139
  - 5.4.3 建立能源效率提升战略 / 142

## 结 论 / 147

## 参考文献 / 149

# 第 1 章

## 循环经济复杂系统预警的理论支撑

### 1.1 循环经济的研究进展

循环经济的思想萌芽可以追溯到环境保护思潮兴起的时代。20 世纪 60 年代，美国经济学家肯尼思·鲍尔丁（Kennis Bardin）提出的“宇宙飞船理论”可以作为循环经济研究的早期代表作<sup>①</sup>。

尽管鲍尔丁认为他并不是最先将地球比作宇宙飞船的人，但这并不重要，重要的是这一比喻恰当，凸显了地球的狭小、拥挤和资源有限性，必须避免毁灭性的冲突，以及要像由不同的人组成的机组人员那样和谐共处，形成一种世界共同体的概念。他也指出，这个比喻最大的不足在于，宇宙飞船总有明确的目的地和需要完成的任务，而这是计划经济的基本特征；然而生物生态系统甚至称不上是一个共同体，只有生物学家才会这么称其为系统，它是自由私人企业的原始样板，连市长都不需要<sup>②</sup>。

可见在“地球宇宙飞船理论”看来，地球如浩繁星空中的宇宙飞船一样孤立无援，人类要想在地球上生存更长的时间，就必须努力提高地球资源的循环利用能力。但即便如此，到 20 世纪 70 年代人们主要采取的仍然是末端治理的环境保护方式，80 年代人们开始全面重视资源的回收利用以及资源利用效率的提高，90 年代可持续发展思想的盛行尤其是可持续战略的推进，使人们更加重视从源头进行污染治理，并且注重通过改变经济发展模式来提高经济增长的效率，降低经济增长的资源、环境和生态成本。

循环经济与传统的线性经济模式的比较如表 1.1 所示：循环经济的

---

<sup>①②</sup> Boulding, Kenneth E., *The economics of the coming spaceship earth-from environmental quality in a growing economy*, Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1966.

建立依赖于—组以“减量化（Reducing）、再使用（Reusing）、再循环（Recycling）”（简称“3R”原则）为内容的行为原则，每一个原则对循环经济的成功实施都是必不可少的。其中，减量化或减物质化原则所针对的是输入端，旨在减少进入生产和消费流程的物质和能量流量；再利用或反复利用原则属于过程性方法，目的是延长产品和服务的时间强度，尽可能多次或多种方式地使用物品，避免物品过早地成为垃圾；再循环、资源化或再生利用原则是输出端方式，是要求通过把废弃物再次变成资源以减少最终处理量。资源化有两种途径：一是原级资源化，即将消费者遗弃的废弃物资源化后形成与原来相同的新产品，如将废纸生产出再生纸，废玻璃生产玻璃，废钢生产钢铁等；二是次级资源化，即将废弃物生产成与原来不同类型的产品。一般原级资源化利用再生资源的比例高，而次级资源化利用再生资源的比例低。

**表 1.1 循环经济与线性经济模式的比较**

| 经济增长方式 | 特 征                 | 物质流动                  | 理论指导  |
|--------|---------------------|-----------------------|-------|
| 循环经济   | 对资源的低开采、高利用、污染物的低排放 | “资源—产品—再生资源”的物质反复循环流动 | 生态学规律 |
| 线性经济   | 对资源的高开采、低利用、污染物的高排放 | “资源—产品—污染物”的单向流动      | 机械论规律 |

资料来源：黄贤金著，《循环经济：产业模式与政策体系》，南京大学出版社2004年版。

综合运用“3R”原则，按照“避免产生—循环利用—最终处置”的顺序对待废弃物才是资源利用的最优方式。无论是在传统经济还是在循环经济模式下，人类从事生产和活动都是为了使生活更美好，追求更多的福利。人类的经济活动系统是处于更大的生态环境系统中，人们从生态环境系统中吸取能量（严格来说都来自于太阳能）、获取物质，将废弃物排入环境。但是，在传统经济模式下，人们忽略了生态环境系统中能量与物质的平衡，过分强调扩大生产来创造更多的福利；而循环经济则强调经济系统与生态环境系统之间的和谐，着眼点在于如何通过对有限资源和能量的高效利用、如何通过减少废弃物来获得更多的人类福利。

正如有些学者所阐述的，随着环境问题在全球范围内的日益突出，人类赖以生存的一些资源从稀缺走向枯竭，以资源稀缺性为前提所构建

的天人冲突范式（以末端治理为最高形态）将逐渐为天人循环范式（以循环经济为基础）所替代。其主要体现在：生态伦理观由“人类中心主义”转向“生命中心伦理”和“生态中心伦理”，生态阈值问题受到广泛关注，自然资本的作用被重新认识，从浅生态论向深生态论转变。

### 1.1.1 油气开采循环经济理论研究的考察

循环经济（Circular Economy）是与知识经济并提的一种新经济，美国经济学家肯尼思·鲍尔丁指出：它是“人、自然资源和科学技术的大系统内，在资源投入、企业生产、产品消费及其废弃的全过程中，把传统的依赖资源消耗的线性增长经济，转变为依靠生态型资源循环来发展的经济模式”<sup>①</sup>。20世纪五六十年代以来，伴随着生态经济的兴起，循环经济的基本理论框架逐步形成，它是按照自然生态系统物质循环和能量流动规律重构人类的经济社会系统，使经济社会系统和谐地纳入自然生态系统的物质循环过程中，实现经济发展与人口资源环境协调的一种新形态的经济模式。为了探索环境保护与经济发展相协调的机制，西方工业国家逐步形成了废物减量化、源头削减、全程治理、无废和少废、污染预防等新的经济模式与污染治理策略，遵循“减量化、再循环、再利用”的原则处理环境问题，建立良性循环的新机制。

循环经济强调以更小的资源和环境代价实现经济系统与生态系统的和谐共融，强调提高资源生产率，实现“财富翻一番，资源使用少一半”的目标，即提倡“四倍跃进”<sup>②</sup>原则。多数研究认为其实践模式是模拟生态系统循环利用资源。循环从微观到宏观逐层展开：产品层面强调绿色设计<sup>③</sup>，企业层面提倡绿色制造<sup>④</sup>和内部的产业共生网络<sup>⑤</sup>（Industrial Symbiosis Networks, ISNs），园区层面重视企业间的 ISNs 和

---

① Boulding, Kenneth E., *The economics of the coming spaceship earth—from environmental quality in a growing economy*, Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1966.

② [德] 厄恩斯特·冯·魏茨察克等著（1996），北京大学环境工程研究所译：《四倍跃进：一半的资源消耗创造双倍的财富》，中华工商联合出版社2001年版。

③ Zust R, Gaduff G., “Life-cycle modeling as an instrument for life-cycle engineering”, *Annals of the CIRP*, 1997, 46 (1): 351–354.

④ Melnyk S A, Smith R T., “Green Manufacturing”, *Society of Manufacturing Engineers*, USA, 1996: 1–25.

⑤ Robert A. Frosch, Nicholas E. Gallopoulos, “Strategies for Manufacturing”, *Scientific American*, 1989, 261 (3): 94–102.

配套设施共享、废弃集中处理及能量梯次利用<sup>①</sup>等。洛韦 (Lowe, 1996) 将生态工业园 (Eco-industrial Parks, EIPs) 的研究拓展到了区域可持续发展领域<sup>②</sup>; 劳爱乐 (2003) 则强调 EIPs 应加强基础设施的绿色设计、能源效率、资源再用和企业合作等<sup>③</sup>。从生产环节扩展到使用和报废环节形成了社会层面的循环<sup>④</sup>。

联合国环境规划署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 于 1989 年提出了“清洁生产”战略及推广计划, 得到了许多国家政府和企业界的响应, 之后清洁生产又被逐步扩大到服务等领域, 发达国家的循环经济实践从生态工业园区试点开始向循环型社会的立法过渡。1996 年德国颁布了《循环经济与废物管理法》; 2001 年 4 月, 日本开始实行 8 项循环经济法律, 其中《推进建立循环型社会基本法》是世界第一部循环经济法。美国、法国、英国等发达国家和新加坡、韩国等较发达国家也提出了推进循环经济发展计划及单项立法; 我国于 2008 年颁布了《中华人民共和国循环经济促进法》。

就油气开采循环经济研究而言, 一方面石油 (天然气) 开采业是以石油 (天然气) 开采为主的行业, 它以油气资源的开发利用为主, 带动和支持资源型地区经济和社会的发展; 另一方面, 油气资源的开发会对矿区的生态环境带来严重的破坏, 生态环境质量的下降反过来又制约了资源型地区区域经济的发展。因此, 在油气资源开发中如何协调生态环境与经济、社会的关系, 寻求矿区经济的可持续发展, 已经成为我国科技界乃至经济学界都十分关注的重大课题。

中国石油集团把发展循环经济作为实现持续协调发展的动力, 确立了立足生态设计、着力清洁生产、倡导绿色消费的循环经济技术政策体系, 并通过积极开展资源综合利用活动, 努力创建资源节约型、环境友好型企业。虽然我国石油企业与跨国石油公司在全球“绿色石油工业”一体化进程上存在一定的差距, 单位产值污染物排放总量是世界前五大石油公司的 1.6 ~ 3.7 倍<sup>⑤</sup>。但是, 目前中国石油天然气集团公司质量

① A. J. D. Lambert, F. A. Boons, “Eco-industrial parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks”, *Technovation*, 2002, 22: 471 - 484.

② Lowe, Ernest, John Warren, Stephen Moran, *Discovering Industrial Ecology: an executive briefing and sourcebook* Cleveland, OH: Battelle Press, 1997.

③ [美] 劳爱乐著:《工业生态学和生态工业园》, 耿勇译, 化学工业出版社 2003 年版。

④ Schlarb, “Determining Resistance to Environmental Stress Cracking in Luer Fittings”, *Medical Device Technology*, 2002, 12: 30 - 34.

⑤ 许永发、张昭贵:《循环经济下的中国石油集团》, 载《集团经济研究》, 2007 年第 2 期。

安全环保部在积极开展循环经济技术研发应用的基础上,正着手制定发展循环经济的技术政策,建立循环经济的技术支撑体系。

按照国家建设资源节约型、环境友好型社会的要求,中国石油集团公司发放了《循环经济宣传手册》(2005)。全面阐述了集团公司大力发展循环经济,努力创建资源节约型、环境友好型企业的理念、框架和实施途径,并指出从根本上改变传统的经济发展模式,真正走一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源得到充分利用的新型工业化道路。其中,以发展循环经济战略的四个重要部分为重点,即立足生态设计、着力清洁生产、倡导绿色消费、加强资源综合利用。

在借鉴跨国石油公司的循环经济战略的基础上,中国石油集团应建立独特的循环经济模式,加快实施替代能源战略;并以资源为基础,通过产业创新、制度创新和技术创新,提高资源的开发效率和利用率;减少其他资源的消耗,拉长产业链条,使废料和余能多次回收复用,物质合理循环,价值逐级增值,形成互为资源、协同高效发展的模式。

### 1.1.2 循环经济评价指标研究的审视

布朗等人(Brown et al.)于1988年曾提出在选择可持续性指标时所必须考虑的准则:(1)时间变动的敏感性;(2)跨越空间变动的敏感性;(3)超越社会分布的敏感性;(4)可逆性;(5)可控制性;(6)预测能力;(7)整合能力;(8)资料应易于搜集;(9)指标应易于应用<sup>①</sup>。此外,在“可持续西雅图”(1993,1998)中的可持续发展指标体系主要具有如下特征:相关性、地域性、可测量性、可比性、易读性、前瞻性<sup>②</sup>。世界各国和组织从不同角度建立了各类可持续发展指标体系模型,主要有:人文发展指数模型、可持续发展气压计模型、生态足迹模型、联合国可持续发展委员会指标体系模型、英国可持续发展指标体系模型、世界银行可持续发展指标体系模型等<sup>③</sup>。循环经济是可

<sup>①</sup> B. J. Brown, M. E. Hansen, D. M. Liveman, R. W. Merideth, "Global Sustainability: Towards Definition", *Environment Manage*, 11, 1988, 713-719.

<sup>②</sup> 于洋:《绿色、效率、公平的城市愿景——美国西雅图市可持续发展指标体系研究》,载《国际城市规划》,2009年第6期。

<sup>③</sup> 叶正波著:《可持续发展预警系统理论及实践》,经济科学出版社2002年版。



持续发展的延伸,它与可持续发展在评价目标上都具有很多一致的地方。具体可分为以下几个方面<sup>①</sup>:

### 1. 环境 - 经济 - 社会 - 制度体系

循环经济的主要内容包括自然资源与生态环境、经济发展和社会发展问题,它以生态环境的可持续性为基础,以经济稳定发展为前提,以促进社会进步为目标,但更强调自然资源的减量化、循环利用和无害化<sup>②</sup>。据此,循环经济指标体系可以根据 1996 年联合国可持续发展委员会 (Commission on Sustainable Development, CSD) 等机构提出的基于环境 - 经济 - 社会 - 制度理论架构。即以环境面、经济面和社会面三者间的相互作用为基础,并透过制度面进行协调,作为循环经济的发展动力<sup>③</sup>。在构建不同层面的具体指标时,要遵循循环经济指标的选取原则,体现循环经济的内涵和特征,避免完全套用可持续发展指标体系,以致选取的指标缺乏代表性及相关性。如向来生、郭亚军、孙磊等 (2007) 认为,循环经济发展的评价指标体系可从经济、环境和社会三个功能体系进行分析<sup>④</sup>。田金方、苏咪咪 (2007) 认为,循环经济评估内容应该包括四个方面:经济发展状况,循环经济发展特征,生态环保状况和科技支持状况<sup>⑤</sup>。马宗国、张守凤 (2007) 指出,循环经济的监测指标应该涉及经济发展水平、资源节约水平、科技教育水平、环境保护水平和社会稳定水平<sup>⑥</sup>。

### 2. 压力 - 状态 - 响应体系

经济合作发展组织 (Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD) 于 1994 年运用 PSR (Pressure - State - Response) 模式确立了环境系统的整体指标架构。1996 年,联合国可持续发展委员会 (简称 UNCSO) 根据 OECD 的 PSR 模式和可持续系统的特性,将可持

---

①③ 董继红:《循环经济指标体系:概念、架构及评价方法》,载《统计与决策》,2007 年第 3 期。

② 王军:《循环经济的理论与研究方法》,经济日报出版社 2007 年版。

④ 向来生、郭亚军、孙磊、陈明华:《循环经济评价指标体系分析》,载《中国人口、资源与环境》,2007 年第 2 期。

⑤ 田金方、苏咪咪:《循环经济评价指标体系的设计及评估方法》,载《统计与决策》,2007 年第 4 期。

⑥ 马宗国、张守凤:《15 个副省级城市循环经济统计指标体系实验分析》,载《科技进步与对策》,2007 年第 6 期。

续发展评价指标区分为驱动力 (Driving force)、状态 (State) 和响应 (Response) 三种。其中: 驱动力 (D) 定义为人类经济、社会及其他活动。这些活动造成环境及自然资源状态的改变。状态 (S) 定义为环境及自然资源的状态。在环境资源所能承受、不至于破坏生态平衡的前提下, 以承载容量作为自然资源状态可持续性的判断依据。响应 (R) 定义为决策与行动, 决策和行动单位可根据驱动力指标和状态指标的信息模拟并施行相关的社会经济活动决策及响应措施<sup>①</sup>。

石磊等 (2005) 在 DPSIR (Driving Force - Pressure - State - Response) 框架下设计度量区域循环经济发展的指标体系, 含有状态指标、压力指标、驱动力指标、响应指标以及分离指标共五类指标集合<sup>②</sup>; 马其芳等 (2005) 运用 BPEIR (Behavior - Pressure - Effect - Impact - Response) 模型建立了区域农业循环经济发展评价指标体系<sup>③</sup>。

### 3. “3R” 体系

学者依据循环经济的“3R”原则 (减量化、资源化、无害化) 设计循环经济评价指标。如牛桂敏 (2004) 以经济增长指数、科技进步指数、资源消耗指数、废弃物排放指数、资源利用效率指数和资源循环利用指数为标准, 构建循环经济评价指标体系<sup>④</sup>; 章波、黄贤金 (2005) 以资源减量投入、污染减量排放、资源再循环利用、经济社会发展和生态环境质量作为控制层形成了城市循环经济发展评价指标体系<sup>⑤</sup>; 马其芳等 (2005) 将经济与社会发展指标、资源减量投入指标、资源循环利用指标和资源环境安全指标作为分类指标建立农业循环经济发展评价指标<sup>⑥</sup>; 刘滨等 (2005) 以物质流分析为基础, 将评价资源利用的效率和效益、废弃物的产生量和最终处置量、废弃物的再利用和资源化等作为循环经济评价指标体系的主要目标<sup>⑥</sup>。

① 叶正波著:《可持续发展预警系统理论及实践》, 经济科学出版社 2002 年版。

② 石磊、张天柱:《贵阳市循环经济发展度量的研究》, 载《人口、资源与环境》, 2005 年第 5 期。

③⑥ 马其芳、黄贤金、彭补拙、翟文侠、刘林旺:《区域农业循环经济发展评价及其实证研究》, 载《自然资源学报》, 2005 年第 6 期。

④ 牛桂敏:《循环经济评价体系的构建》, 载《城市环境与城市生态》, 2004 年第 2 期。

⑤ 章波、黄贤金:《循环经济发展指标体系研究及实证评价》, 载《中国人口、资源与环境》, 2005 年第 3 期。

⑥ 刘滨、王苏亮、吴宗鑫:《试论以物质流分析方法为基础建立我国循环经济指标体系》, 载《中国人口、资源与环境》, 2005 年第 4 期。