

现代循环经济 发展论

XIANDAI XUNHUAN JINGJI
FAZHANLUN

王永龙 著

中国社会科学出版社

现代循环经济发展论

XIANDAI XUNHUAN JINGJI
FAZHANLUN

王永龙 著

中国社会科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代循环经济发展论 / 王永龙著. —北京: 中国
社会科学出版社, 2009. 12

ISBN 978 - 7 - 5004 - 8421 - 9

I. 现… II. 王… III. 自然资源 - 资源利用 -
研究 - 中国 IV. F124. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 233626 号

出版策划 任 明
特邀编辑 李晓丽
责任校对 韩天炜
技术编辑 李 建

出版发行 **中国社会科学出版社**

社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号 邮 编 100720

电 话 010 - 84029450 (邮购)

网 址 <http://www.csspw.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京奥隆印刷厂

装 订 广增装订厂

版 次 2009 年 12 月第 1 版

印 次 2009 年 12 月第 1 次印刷

开 本 710 × 1000 1/16

印 张 19.75

插 页 2

字 数 324 千字

定 价 35.00 元

凡购买中国社会科学出版社图书, 如有质量问题请与本社发行部联系调换

版权所有 侵权必究

目 录

绪论	(1)
一、人与自然关系的历史反思	(1)
二、经济发展的三种模式	(3)
三、两种发展“范式”的比较	(4)
四、循环经济的生态原理	(6)
五、循环经济的体系和层次	(8)
六、我国发展循环经济的必要性和紧迫性	(9)
第一章 循环经济的理论与方法	(14)
第一节 循环经济的理论基础	(14)
一、整体论	(14)
二、系统论	(16)
三、自组织理论	(17)
四、协同理论	(24)
五、自然资本理论	(27)
六、清洁生产理论	(28)
七、工业生态理论	(29)
第二节 循环经济的运行机制与特征	(30)
一、循环经济的运行机制	(31)
二、循环经济的主要特征	(32)
第三节 循环经济三 R 原则	(33)
一、循环经济三 R 原则	(33)
二、循环经济三 R 原则的关系	(35)
第四节 循环经济的分析方法	(37)
一、工业代谢分析	(38)

二、生命周期评价	(39)
三、区域工业生态系统分析	(41)
四、生态效率评价分析	(42)
第二章 循环经济发展的评价体系	(45)
第一节 循环经济发展的评价体系研究	(45)
一、循环经济发展评价体系的特点	(45)
二、循环经济发展评价指标体系的构成	(45)
三、循环经济发展评价指标的量化方法	(46)
四、循环经济发展评价的特点	(47)
第二节 若干评价(指标)体系的比较分析	(50)
一、GDP 指标体系的贡献、不足及其替代	(51)
二、绿色 GDP 评价体系研究	(53)
三、人文发展指数(HDI)的研究	(57)
四、经济福利指标的研究	(59)
五、真实进步指数(GPI)的研究	(60)
六、主观幸福指标(SWB)的研究	(61)
七、真实储蓄率(GSR)的研究	(62)
八、生态足迹(EF)的研究	(63)
九、联合国可持续发展指标体系研究	(65)
十、国内发展尺度(MDP)的研究	(68)
第三节 循环经济的评价模型	(71)
一、循环经济发展评价的概念模型	(72)
二、循环经济发展的调控模型	(74)
第四节 循环经济发展评价指标设计	(74)
一、循环经济发展评价指标体系建构的原则	(74)
二、循环经济发展评价指标的功能	(76)
三、循环经济发展评价指标体系框架	(77)
第五节 浙江循环农业发展评价	(85)
一、评价模型与指标体系建构	(86)
二、建立浙江循环农业发展评价计量分析模型	(86)
三、数据处理与实证研究	(89)

第三章 循环经济发展的结构分析	(94)
第一节 循环型企业	(94)
一、广西贵糖(集团)的发展模式	(95)
二、山东鲁北集团的发展模式	(99)
三、循环型企业发展模式的普适性分析	(101)
第二节 生态工业园	(102)
一、包头国家生态工业(铝业)园区	(102)
二、石河子国家生态工业(造纸)园区	(105)
三、生态工业园区模式的普适性分析	(106)
第三节 循环型(生态型)城市	(108)
一、贵阳循环型(生态型)城市建设	(109)
二、湖州现代化生态型滨湖大城市建设	(111)
三、杭州市循环经济发展的实践探索	(117)
四、循环型(生态型)城市发展模式的普适性分析	(121)
第四节 循环型区域	(121)
一、“生态浙江”建设的实践探索	(122)
二、“循环型辽宁”建设的实践探索	(128)
三、循环型区域发展模式的普适性分析	(132)
第四章 循环经济与区域协调发展	(133)
第一节 促进区域循环经济的意义	(133)
第二节 区域循环经济原则与体系	(135)
一、发展区域循环经济存在的问题	(135)
二、区域循环经济发展的原则	(136)
三、区域循环经济体系	(137)
四、区域循环经济示范区建设	(140)
第三节 区域循环经济发展模式	(144)
一、空间组合发展模式	(144)
二、资源导向型发展模式	(145)
三、区位导向型发展模式	(146)
第四节 区域循环经济发展的保障机制	(146)

一、完善法律制度建设	(147)
二、加大经济杠杆调控	(148)
三、注重科学规划协调	(149)
四、强化产业政策推动	(150)
第五章 循环经济发展的环境产业促进	(151)
第一节 环境产业及其发展概论	(151)
一、环境产业界定及其分类	(152)
二、环境产业的本质特征	(154)
三、环境产业的运行特征	(156)
四、环境产业的发展特征	(157)
五、我国环境产业发展现状与趋势	(159)
第二节 环境产业带动循环经济的机制和形式	(163)
一、基于循环经济的环境产业划分	(164)
二、环境产业带动循环经济发展机制	(166)
三、环境产业带动循环经济的作用形式	(167)
第三节 废弃产品资源化(产业化)分析	(170)
一、主要废弃产品的资源化(产业化)	(171)
二、废弃产品资源化(产业化)趋势	(177)
第四节 环境产业促进的政策措施	(177)
一、政府奖励政策	(178)
二、优惠税收政策	(178)
三、推进政府采购	(179)
四、完善收费政策	(179)
五、强化资源税政策	(180)
六、促进技术创新政策	(181)
第六章 循环经济发展的技术路径选择	(182)
第一节 循环经济发展中的科技进步作用	(182)
一、科技进步是经济发展的根本途径	(182)
二、科技创新是循环经济的基础	(183)
第二节 循环经济发展的信息技术运用	(187)

一、应用信息技术改造提升传统产业	(187)
二、推进循环经济信息化体系建设	(188)
三、加快发展信息产业	(189)
第三节 循环经济的技术体系与技术战略	(189)
一、循环经济发展的技术体系	(189)
二、循环经济发展的技术战略	(190)
第四节 循环型工业发展的技术路径	(192)
一、制造业推进循环经济发展的技术路径	(192)
二、能源资源型工业推进循环经济的技术路径	(194)
第五节 循环型农业发展的技术路径	(195)
一、循环农业发展的技术战略	(196)
二、循环农业发展的科技服务机制	(196)
三、传统农技推广服务机制存在的问题	(197)
四、完善农技推广服务机制的对策	(199)
五、健全循环农业发展的技术体系	(201)
六、循环农业发展的技术创新及其实践形式	(203)
 第七章 循环经济发展的制度创新	(206)
第一节 循环经济发展的制度创新界定	(206)
一、发展循环经济面临制度障碍	(206)
二、循环经济发展的制度创新界定	(208)
第二节 循环经济发展的制度体系	(210)
一、循环经济政策体系	(210)
二、循环经济法律体系	(211)
三、循环经济财税体系	(212)
四、循环经济金融体系	(214)
五、循环经济资源产权体系	(216)
第三节 循环型工业发展的制度创新	(224)
一、循环型工业发展的制度创新原则	(224)
二、循环型工业发展的制度创新机制	(225)
第四节 循环农业发展的制度创新	(227)
一、我国循环农业发展面临制度障碍	(227)

二、促进循环农业发展的制度创新对策	(231)
第八章 循环经济发展的立法建设	(233)
第一节 国外循环经济法律模式与借鉴	(233)
一、德国循环经济法律模式	(233)
二、日本循环经济法律模式	(235)
三、美国循环经济法律模式	(241)
第二节 我国循环经济立法现状与评价	(243)
一、我国发展循环经济立法的历史和现状	(243)
二、我国清洁生产的立法研究	(245)
三、对我国循环经济法律的若干评价	(250)
第三节 加强我国循环经济立法的若干思路	(252)
一、我国循环经济立法的指导思想和原则	(252)
二、我国加强循环经济立法的主要思路	(254)
第四节 我国《循环经济促进法》立法研究	(256)
第九章 循环经济发展的政府行为优化	(261)
第一节 政府行为原则与循环经济责任	(261)
一、培育良好的循环经济发展环境	(261)
二、引导和规范循环型企业建设	(262)
三、建构和培育循环型社会消费	(263)
第二节 市场机制与政府行为耦合	(263)
一、市场机制与政府行为耦合机制	(264)
二、市场机制与政府行为耦合模式	(265)
三、循环经济的政府行为耦合效应	(266)
第三节 政府环境政策建构	(267)
一、环境经济政策	(267)
二、环境产业政策	(269)
三、环境技术政策	(270)
四、环境消费政策	(271)
第四节 政府环境职能定位优化	(272)
一、政府在循环经济发展中的环境职能	(272)

二、政府环境职能存在的问题	(273)
三、政府环境职能定位优化	(275)
第十章 循环经济发展的环保机制建构	(279)
第一节 环保责任机制	(279)
一、环保责任原则	(279)
二、环保责任类型与结构	(282)
三、环保责任实施	(285)
第二节 战略环评机制	(287)
一、国际战略环评实践	(287)
二、战略环评发生机理	(289)
三、战略环评实施机制	(291)
四、战略替代方案与减缓措施	(292)
第三节 区域（流域）限批机制	(293)
一、区域（流域）限批的提出	(293)
二、区域（流域）限批原则	(294)
三、区域（流域）限批机制	(295)
第四节 环保行政机制	(296)
一、环保行政机制的内涵界定	(296)
二、我国环保行政机制的弊端分析	(298)
三、完善环保行政机制的对策建议	(300)
参考文献	(304)

绪 论

党的十六届三中全会总结我国改革开放以来的历史经验，第一次以中央文件的形式，全面深刻地阐述了科学发展观的战略内涵，提出了“五个统筹”和“五个坚持”，建构了完整的科学发展观的理论体系。从“发展是硬道理”到“发展是第一要务”，再到“全面、协调和可持续发展的科学发展观”，标志着我们对发展观内涵的更加深刻、更加全面的认识。

科学发展观是解决现阶段中国发展进程中改革的力度、发展的速度和社会可承受程度的基础性工作，是全面建设小康社会强有力的保障，它不仅是客观世界最真实的认识，也是建设中国特色社会主义的根本指导思想。

一、人与自然关系的历史反思

关于人与自然的关系研究，从来就是人类安身立命的重要命题。在处理人与自然的关系上，人类社会经历了三个历史性阶段：崇拜自然阶段、征服自然阶段和协调自然阶段。

在人类社会的早期，由于生产力极其低下，原始人群在生产中软弱乏力，因而，同自然之间的关系是十分狭隘的。他们看到有些自然现象给人们带来意外的享受，同时，有些自然现象却给他们带来祸害甚至伤亡。人们虽然想尽办法企图克服自然界带来的灾难，可是所能办到的极其有限。在这种背景下就产生了一种崇拜自然的原始宗教图腾崇拜^①。人们所崇拜的都是与人们相对立的、异己的自然力量。正如马克思、恩格斯所指出的：“自然界起初是作为一种完全异己的、有无限威力的和不可制服的力量与人们对立

^① 图腾是一种印第安语的译音。在印第安人那里，图腾就是氏族的意思。19世纪中期，美国民族学家摩尔根考察了北美印第安人的风俗习惯。他发现那里的氏族绝大部分是用动物的名称命名的，如鹤氏族、狼氏族、熊氏族、麋氏族、鹿氏族、兔氏族，是在想象中和通过想象以征服自然力，支配自然力，把自然力形象化（《马克思恩格斯全集》第12卷，中文第一版，第761页）。不仅给人们带来益处的动物会被人们当作祖先，严重危害人类生存的动物也曾被人类当作祖先崇拜过。正如列宁所说：“原始人完全被生存的困难，同自然斗争的困难所压倒。”（《列宁全集》第12卷，中文第二版，第761页）。

的,人们同它的关系完全像动物同它的关系一样,人们就像牲畜一样服从它的权力,因而,这是对自然界的一种纯粹动物式的意识(自然宗教)。”^①

就在崇拜自然的人类社会早期,先民们已经开始凭简陋的工具、坚忍的意志和不断增长的智慧与险恶的自然环境搏斗。人们在生产斗争中获得了驾驭自然的知识,这些知识鼓励人们作进一步的尝试。在漫长的石器时代,火的使用和农业的发展是人类历史上的两件具有划时代意义的伟大创造。当然人类先后发明了青铜器和铁器,生产力水平有了质的飞跃,社会发展速度逐渐加快。

当人类历史进入16世纪后,随着资本主义的发展和第一次工业革命的出现,人类进入了大规模征服自然的阶段。近400年来,人类依靠科学技术的力量,不断发展生产力。社会生产力从蒸汽机时代进入电气化时代,继而又步入电子计算机时代。比较而言:人类的历史约有300万年,人类的文明史约有6000年,科学技术的历史约有2500年,现代科学技术的历史还不到400年,然而,在这短短的四五百年中,人类社会却发生了迅速而巨大的变化。据法国学者的估计:今天社会在3年内所发生的变化相当于20世纪初30年内的变化、石器时代3000年内的变化。何以如此?靠的正是科学技术的力量。然而,把科学技术作为征服自然利器的人类在此时恰恰缺乏对自然的深刻认识,把自然界当做取之不尽并可肆意挥霍的材料库和硕大无比可以乱掷污物的垃圾桶,巧取豪夺、竭泽而渔的大规模征服自然的做法,终于导致了自然大规模的报复,环境污染、生态失调、能源短缺、城市臃肿、交通混乱、人口膨胀和粮食不足等一系列问题,日益严重地困扰着人类^②。

严酷的事实,迫使人类对自己对待自然界的态度作全面的反省。事实

① 《马克思恩格斯全集》第3卷,中文第一版,第35页。

② 环境污染:包括大气污染、水源污染、土壤污染、噪声污染、放射性污染等。目前浮尘每年以4%的速度增长,大气中的二氧化碳每年以0.4%的速率增长,而二氧化硫约有1.5亿吨排入大气,它与空气中的水分结合形成的“酸雨”,污染土壤、湖泊、河流。噪声是除大气、水质污染之外的第三大公害,它破坏环境、刺激神经,使人烦恼,影响工作,损害健康。

生态系统是由生命系统和环境系统在特定的空间组合而成,它们必须保持彼此之间的一定平衡,才能使生态系统得以生存和发展。生态失调的日益严重,致使生态系统正日益遭遇破坏性毁灭。

20世纪,人类消耗了1420亿吨石油、2650亿吨煤、380亿吨铁、7.6亿吨铝、4.8亿吨铜。美国矿产局估计,世界黄金储备还可采24年,水银为40年,锡为28年,锌为40年,铜为65年,铅为35年,石油探明储量可供开采44年,天然气为63年。

教育并警告人们，把自然界看做人类的对立物或被统治的观点是错误的，只有合理地利用自然，才能维持和发展人类所创造的文明。马克思、恩格斯曾经告诫人们：“我们统治自然界，决不像征服者统治异族人那样，决不是像站在自然界之外的人似的，相反地，我们连同我们的肉、血和头脑都是属于自然界和存在于自然之中的；我们对自然界的全部统治力量，就在于我们比其他一切生物强，能够认识和正确运用自然规律。”^① 人类的科技和经济发展的目标，应当向协调人与自然关系作战略转移。人类应该进入人与自然协调发展的新阶段。在这个阶段，人类应当充分发挥人的聪明才智，不断升华境界，提高自身的素质，达成“人与自然共同发展”的思想共识，以求得人类能同自然协调和谐，共生共荣。

二、经济发展的三种模式

第一种是传统经济模式。它对人类与环境关系的处理模式是：人类从自然中获取资源，又不加任何处理地向环境排放废弃物，是一种“资源—产品—污染排放”的单向线性开放式经济过程。在早期阶段，由于人类对自然的开发能力有限，以及环境本身的自净能力还较强，所以人类活动对环境的影响并不凸显。但是，后来随着工业的发展、生产规模的扩大和人口的增长，环境的自净能力削弱乃至丧失，这种发展模式导致的环境问题日益严重，资源短缺的危机愈发突出。这是不考虑环境代价的必然结果。

第二种是“生产过程末端治理”模式。它开始注意环境问题，但其具体做法是“先污染，后治理”，强调在生产过程的末端采取措施治理污染。结果，治理的技术难度很大，不但治理成本奇高，而且生态恶化难以遏制，经济效益、社会效益和生态效益都很难达到预期目的。

第三种是循环经济模式。它要求遵循生态学规律，合理利用自然资源和环境容量，在物质不断循环利用的基础上发展经济，使经济系统和谐地纳入自然生态系统的物质循环过程中，实现经济活动的生态化。其本质是一种生态经济，倡导的是一种与环境和谐的经济发展模式，遵循“减量化、再利用、资源化”原则，采用全过程处理模式，以达到减少进入生产流程的物质量、以不同方式多次反复使用某种物品和废弃物的资源化目的，是一个“资源—产品—再生资源”的闭环反馈式循环过程，实现从“排除废物”到“净化废物”到“利用废物”的过程，达到“最佳生产，

^① 《马克思恩格斯选集》第4卷，中文第二版，第383—384页。

最适消费，最少废弃”。

三、两种发展“范式”的比较

从人类与环境关系的合理分析中，我们可以借鉴“范式”理论来探讨发展模式问题。“范式”这一概念是由美国著名学者托马斯·S. 库恩在其代表作《科学革命的结构》一书中提出来的，本义是指科学理论研究的内在规律及其演进方式，用库恩的话讲就是“科学共同体的共有信念”。库恩描述了一种常规时期和革命时期相互交替的科学发展模式。他提出，科学首先是在“范式”的支配下，为解决“范式”所提出的“疑点”的高度定向的研究活动，这是科学的常规活动；只有当已有的“范式”不足以应付新问题的挑战时，常规发展才会暂时中断，科学因此陷入危机，最后导致新“范式”取代旧“范式”的科学革命。不同的范式拥有不同的前提假设、概念体系、理论方法和社会实践。由此，基于不同的社会历史状况、技术水平、经济发展的前提条件及其运行机制和对环境问题的不同理解与认识，我们借鉴科学发展的范式理论，可以探索和总结出两种不同的经济发展范式：“末端治理范式”和“循环经济范式”。

在现阶段，许多国家和地区的经济发展范式仍然以生产过程末端治理为主，其理论依据，前期主要是庇古的“外部效应内部化”理论，提出通过征收“庇古税”来达到减少污染排放的目的；后期主要是“科斯定理”，指出只要产权明晰，就可以通过谈判的方式解决环境污染问题，并且可以达到帕累托最优。再后来，又兴起了“环境库兹涅茨曲线理论”，认为环境污染与人均国民收入之间存在着倒“U”关系，随着人均GDP达到某个程度，环境问题会迎刃而解；还有环境资源交易系统的“最大最小”理论，等等。这些理论为早期的环境经济学研究提供了理论分析的基础，即“污染者付费原则”的确定。这一范式对于遏止环境污染的迅速扩展曾经发挥了历史性作用。但是，环境恶化、资源枯竭无法从根本上得到遏止，正如恩格斯所说：“我们不要过分陶醉于我们人类对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都对我们进行报复。每一次胜利，起初确实取得了我们预期的结果，但是往后和再往后却发生完全不同的、出乎预料的影响，常常把最初的结果又消除了。”^① 所以，面对我们赖以生存的各种可用资源逐渐从稀缺走向枯竭的现状，我们不得不进行反思，在

^① 《马克思恩格斯选集》，中文第二版，第383页。

理论上探索能够解决目前困境的途径已经十分迫切,走出末端治理范式危机的时机已经成熟。

20 世纪 60 年代,美国经济学家鲍尔丁提出了“宇宙飞船理论”,他指出,地球就像一艘在太空中飞行的宇宙飞船,要靠不断消耗和再生自身有限的资源而生存,如果不合理开发资源,肆意破坏环境,就会走向毁灭。这是循环经济思想的早期萌芽。随着环境问题在全球范围内的日益突出,人类赖以生存的各种资源从稀缺走向枯竭,以资源稀缺为前提所构建的末端治理范式逐渐为循环经济范式所替代。我们称这种替代为“范式革命”,之所以这样定义是因为通过比较两种范式,我们发现确实发生了质的变革。

第一,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”的探索。人类中心主义生态伦理观认为,人类是世界存在的最高目标,人类的价值是最崇高的且是唯一的,其他物种的价值只有在人类使用它们的时候才表现出来。生命中心主义生态伦理观认为,所有生命特别是动物,都有价值,判别善恶是以是否伤害生命为标准的,导致生物痛苦的行为是不道德的。生态中心主义生态伦理观认为,天下万物,包括无生命的岩石等,都是有价值的,生态系统是一个整体,休戚与共,对局部或个体的破坏就是对整体的伤害,不能为局部的利益而伤害整体。

循环经济范式扬弃人类中心主义生态伦理观,集成人类中心主义、生命中心主义和生态中心主义生态伦理观,强调“生态价值”的全面回归,主张在生产和消费领域向生态化转向,承认“生态位”的存在和尊重自然权利。在这个范式里,人类不应该是自然的征服者和主宰者,而应是自然的一部分,既要维护人类的利益,又要维护整个生态系统的平衡。维护和管理好自然是人类的神圣使命,人类必须在道德规范、政府管理、社会生活等方面转变原有的观念、做法和组织方式,倡导人类福利的代内公平和代际公正,实施减量化、再利用和资源化生产,开展无害环境管理和环境友好消费。

第二,生态阈值问题受到广泛关注。认为生态阈值的客观存在是循环经济范式的基本前提之一。环境的净化能力和承载力是有限的,一旦社会经济发展超越了生态阈值,就可能发生波及整个人类的灾难性后果,并且这个后果是不可逆的。循环经济范式强调在生态阈值的范围内,合理利用自然资本,从原来的仅对人力生产率的重视转向在根本上提高资源生产

率，使“财富翻一番，资源使用减少一半”，在尊重自然的基础上切实有力地保护生态系统的自组织能力，达到经济发展和环境保护的“双赢”目的。

第三，重新认识自然资本的作用。循环经济范式强调，任何一种经济都需要四种类型的资本来维持其运转：以劳动、智力、文化和组织形式出现的人力资本；由现金、投资和货币手段构成的金融资本；包括基础设施、机器、工具和工厂在内的加工资本；由资源、生命系统和生态系统构成的自然资本。在末端治理范式中，是用前三种资本来开发自然资本，自然资本始终处于被动的、从属的地位。而循环经济范式中将自然资本列为最重要的资本形式，认为自然资本是人类社会最大的资本储备，提高资源生产率是解决环境问题的关键。要发挥自然资本的作用，一是通过向自然资本投资来恢复和扩大自然资本存量；二是运用生态学模式重新设计工业；三是开展服务和流通经济，改变原来的生产和消费方式。

第四，从浅生态论向深生态论的转变。末端治理模式是基于一种浅生态论，它关注环境问题，但只是就环境论环境，过分地依赖技术，认为技术万能。可是，一旦技术不能解救生态阈值，则束手束脚，拿不出解决的办法，甚至产生反对经济增长的消极想法。而循环经济模式是一种深生态论，它不仅强调技术进步，而且将制度、体制、管理、文化等因素通盘考虑，注重观念创新和生产、消费方式的变革。它防微杜渐，标本兼治，从源头上防止破坏环境因素的出现。所以，循环经济模式是积极、和谐的，是可持续的稳定发展模式。

四、循环经济的生态原理

循环经济就是要借助于对生态系统和生物圈的认识，特别是产业代谢研究，找到能使经济系统与生态系统“正常”运行相匹配的可能的革新途径，最终就是要建立理想的经济生态系统。

地球生命的最初阶段（与现代经济运行方式之间非常类似）是一级生态系统，与其说是一个真正的“体系”，倒不如说是一些相互不发生关系的线性物质流的叠加。其运行方式，简单地说就是开采资源和抛弃废料，这是形成环境问题的根源。

在随后的进化过程中，资源变得有限了。在这种情况下，有生命的有机物随之变得非常地相互依赖并组成了复杂的相互作用的网络系统，如今天我们在生物群落中所见到的那样。不同组成部分之间也就是说二级生态

系统内部的物质循环变得极为重要，资源和废料的进出量则受到资源数量与环境所能接受废料能力的制约。与一级生态系统相比，二级生态系统对资源的利用虽然已经达到相当高的效率，但也仍然不能长期维持，因为物质、能量流都是单向的：资源减少，而废料不可避免地不断增加。

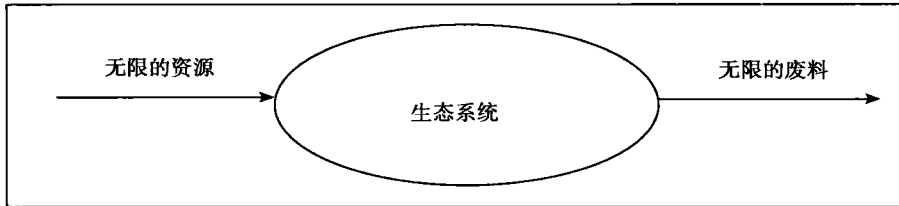


图1 早期一级生态系统示意图

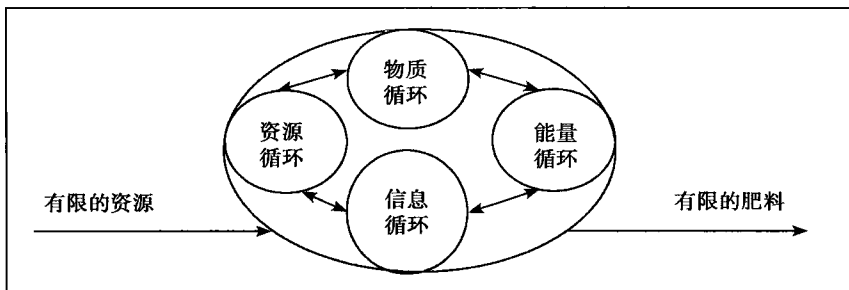


图2 二级生态系统示意图

为了真正转变成为可持续的形态，生物生态系统进化为完全循环的系统。在这种形态下，对一个有机体来说是废料的东西，对另一个有机体来说就是资源。只有太阳能是来自外部的资源。这可称做三级生态系统。在这样的一个生态系统之内，众多的循环借助太阳能既以独立的方式也以互联的方式进行物质交换，这种循环过程在时间长度方面和空间规模方面的差异性相当大。理想的工业社会应尽可能接近三级生态系统。

总的来说，一个理想的经济生态系统包括四类主要行为者：资源开采者、处理者、消费者和废料处理者。由于集约再循环，各系统内不同行为者之间的物质流远远大于出入生态系统的物质流。在近亿年的过程中，生物圈产生了一个三级生态系统运行所需的一切要素。人类活动，特别是工业革命以来的发展活动，在很大程度上属于一级生态系统的范畴。产品的