

教育部长江学者和创新团队发展计划资助项目：与煤炭开采有关的资源与环境保护（编号：IRT0865）

Kuangshan

Shengtai Xitong

WUNENGLIU Hesuan

矿山生态系统物能流 核算

金丹 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

和创新团队发展计划资助项目:与煤炭开采有关的资
编号:IRT0865)

矿山生态系统物能流核算

金丹 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书以社会—经济代谢为理论基础、MEFA 模型为物能流核算框架、能值理论与方法为核算工具,以进入矿山生态—经济—社会复合系统的各子系统物能流历史数据为基础,研究矿山生态系统能学过程,考察矿山特定生命周期阶段主要年份的代谢机制。同时,选择我国东部矿区中煤集团大屯公司姚桥煤矿和兖州煤业股份有限公司济宁三号煤矿开展矿山生态系统实证研究。

图书在版编目(CIP)数据

矿山生态系统物能流核算 / 金丹著. —徐州: 中国矿业大学出版社, 2012. 9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1231 - 3

I. ①矿… II. ①金… III. ①矿山—生态系—环境保护—经济核算 IV. ①X322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 186214 号

书 名 矿山生态系统物能流核算

著 者 金 丹

责任编辑 周 红

责任校对 张海平

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 11.25 字数 214 千字

版次印次 2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

采矿活动在人类生产活动的各个环节中,与自然环境资源的关系最为密切。过去由于对自然环境资源因素的价值认识不足,采矿活动造成矿山生态系统的自适应性降低以及人类后代生态福利的损失。因此,研究矿产资源开发过程中社会与自然之间的互馈关系,建立包含环境资源因素价值的可持续性评价指标,不仅对于矿产资源可持续开发与利用,而且对于产业和区域的可持续发展都具有重要的指导意义。

本书以社会—经济代谢为理论基础、MEFA 模型为物能流核算框架、能值理论与方法为核算工具,以进入矿山生态—经济—社会复合系统的各子系统物能流历史数据为基础,研究矿山生态系统能流过程,考察矿山特定生命周期阶段主要年份的代谢机制。同时,选择我国东部矿区中煤集团大屯公司姚桥煤矿和兖州煤业股份有限公司济宁三号煤矿开展矿山生态系统实证研究。

通过对区域和矿山生态系统的能值评估,从系统运行、污染物排放以及与土地利用之间的关系三个方面开展系统能值流分析,实现了以统一的标准分析社会—经济系统与生态系统之间的相互联系,解决了多学科综合评价的指标难以兼容的难题。以量化的数据说明了环境资源对经济发展的贡献以及采矿活动对环境和人类的影响,评价了经济社会与生态环境相互作用的可持续性。本书主要内容如下:

对矿山生态系统所在区域复合系统进行能值评估,以实例详细介绍能值理论 and 评估方法,通过分析能值指标的变化轨迹评价区域生态经济系统的发展状况,为矿山生态系统能值评估提供区域能值指标。其中全社会电力能值使用量比例、总电力能值使用量比例之间逐渐扩大的差距体现了徐州延长煤炭产业链开发电力能源的发展策略。

依据能路语言符号,绘制矿山生态系统物能流概略图,极大地辅助了繁复的

能值评估过程,建立了一套矿山生态系统能值评价指标体系。能值指标分析表明:2000 年后的矿山生态系统物能流综合利用效率较 2000 年前大幅度提高,近 5 年姚桥煤矿对环境资源和经济反馈的综合利用效率优于济三煤矿,但济三煤矿对经济反馈资源的利用效率是姚桥煤矿的 3 倍,万吨产量姚桥煤矿生产活动的经济反馈成本高;环境资源投入在系统总能值投入中占 95% 左右,其中几乎全部由煤层能值贡献,人类只需要投入数量级为 10^{-7} J 能量就能获得 1 sej(等于 1 J 太阳能)的原煤;矿山生态系统中经济社会的投资收益越来越好,且姚桥煤矿的投资效益增速大于济三煤矿;电力系统升级、提高原煤生产效率以及采用多种运输方式等对提升企业竞争力的成效显著;与地方的其他行业相比,获取相同经济效益,煤炭开采业要以 4 倍多的资源能值为代价,且济三煤矿要比姚桥煤矿消耗更多的能值;矿山生态系统的能值利用强度平均比地方高出 7.76 倍,经济发展的消耗强度大;获得相同产量,回采率低和煤质高决定了济三煤矿比姚桥煤矿动用了更多的煤炭储量能值;两矿山相同产值消耗的水资源能值逐年减少,济三煤矿万元产值水资源能值损失平均比姚桥煤矿低 33%。此外,矿山生态系统的能值转换率和能值能耗指标所表现出来的差异,直观地说明了能量与能值的本质区别,体现了传统能耗核算对能质考虑的不足与能值核算在理论上和方法上的优势。比如,油脂、水泥、沙石、电缆、胶带等传统能耗指标中未考虑的项目,与一次能源一样对矿山生态系统运行具有很高的能值贡献。在研究不同能量源作用于同一系统时,应该更着重于在复合界面对系统中的各种流以同一标准进行统一评价。

以能值为度量标准,量化矿山生态系统主要污染物排放对生态环境的影响程度,以及大气污染物对人类健康的潜在危害程度。结果表明:稀释水污染物浓度的水资源能值贡献在系统中占很大比例;年长日久的煤矸石堆置会造成大量的土地能值损失。 CO_2 通过气候变化对人类健康造成的影响不容忽视。相同原煤产出的情况下,济三煤矿污染物排放对生态环境的负面影响有加剧趋势,研究期内平均影响程度比姚桥煤矿小,且大气污染物对职工生命健康的潜在危害(DALYs)也较后者要小。

通过追踪系统物能流,分析矿山生态系统的代谢与土地利用/覆被变化之间

的相互作用关系。结果表明:人类社会对矿山生态系统的经济反馈直接影响了水域和建设用地的土地面积变化,且能源的利用是矿山生态系统土地利用/覆被变化的重要社会—经济驱动力因子。以能值利用强度作为衡量矿山生态系统的垦殖强度指标,矿山生态系统的垦殖强度是所在区域垦殖强度的 4.43 倍。建立基于能值的生态足迹模型,以区域可更新自然资源和生物生产性土地的可更新部分为基础,计算能值—生态承载力;以系统物能流为基础,计算能值—生态足迹。模型应用结果表明:矿山生态系统经济反馈物能流的利用效率对系统的能值—生态足迹影响很大,人类对矿山生态系统的垦殖使得复合系统的可持续性每况愈下。

本书的研究内容和成果是在导师卞正富教授五年的悉心指导下完成的,在此,向导师致以真诚的敬意和深深的感谢!

作 者

2012 年 3 月于徐州

变量注释表

aa_i	人均第 i 种消费项目折算的生物生产面积, hm^2
a_j	人均第 j 类生物生产土地面积, hm^2
c_i	i 种消费项目的人均消费量, kg
C_{energy}	系统的能值能耗, J/sej
C_i	环境质量执行标准浓度值, mg/L 或 mg/m^3
D	区域能值密度, sej/hm^2
e_1	区域可更新自然资源能值, sej
e_2	表土能值, sej
ec	人均生态承载力, hm^2
EC	总生态承载力, hm^2
EEC	区域年能值—生态承载力, hm^2
EEF	区域年能值—生态足迹, hm^2
EER	进出口能值比率(能值交换率)
ef	人均生态足迹, hm^2
EF	总的生态足迹, hm^2
EIR	能值投资率
$EISD$	可持续发展性能指标
ELR	环境负荷率
$EmET$	总电力能值使用量, sej
$EmEU$	全社会电力能值使用量, sej
EmF	来自社会经济系统的反馈能值, sej
EmI	来自自然环境系统的投入能值, sej
EmI_i	系统第 i 个投入项的能值, sej
EmN	不可更新资源和产品, sej
EmN_0	农业系统生产散失的资源和商品, sej
EmN_1	经济系统集约使用的富集资源和产品, sej

EmN_2	未经本地使用的直接出口不可更新资源和产品, sej
EmR_1	系统外部输入的可更新自然资源流, sej
EmR_2	本地可更新资源和产品, sej
EmT	年能值总流量, sej
EmU	系统年能值总利用量, sej
EmU_{water}	水资源用量, sej
EmW	废气物流能值, sej
EmY	系统总产出能值, sej
$Energy_{air}$	空气动能, J
$Energy_w$	河流势能, J
EnI_i	第 i 个环境资源投入或经济反馈项的能量, J
ESR	能值自给率
EXP	出口额能值, sej
EYR	能值产出率
g	重力加速度, 9.8 m/s^2
h	研究区平均海拔, m
i	物能流项目编号
Im_i	第 i 项消费项目的年进口量, kg
IMP	总进口额能值, sej
j	生物生产性土地类型编号
M_{ai}	稀释第 i 种大气污染物需要的新鲜空气量, kg
M_{air}	需要的新鲜空气总量, kg
M_{water}	需要的新鲜水总量, kg
M_{wi}	稀释第 i 种水污染物需要的新鲜水量, kg
N	人口数, 人
Pd_i	研究区第 i 项消费项目的年产量, kg
P_{energy}	原煤产量的能值, sej
P_{energy}	原煤产量的能量, J
P_i	矿山第 i 种水污染物或大气污染物年排放量, mg
p_i	i 种消费项目的世界平均生产能力, kg/hm^2
SEI	基于能值的生态足迹模型的可持续性评价指数
Tr_i	第 i 项消费项目对应的太阳能值转换率, sej/kg

T_{system}	系统的能值转换率, sej/J
V	年平均风速, m/s
γ_i	i 种消费项目对应生物生产土地类型的均衡因子
γ_j	j 类生物生产用地的产量因子
η_{energy}	基于能值的矿山生态系统的投入产出比
ρ_{water}	水密度, 1.00 kg/L
ρ_{air}	空气密度, 1.225 kg/m ³

目 录

1 绪论	1
1.1 矿业可持续研究背景与意义	1
1.2 研究目标	3
2 研究综述	7
2.1 矿业可持续性研究	7
2.2 生命周期评价在矿业可持续性中的应用	10
2.3 物质和能流核算	12
2.4 生态学能量学评估方法	17
2.5 本章小结	26
3 矿山生态系统理论与研究方法	27
3.1 矿山生态系统的基本特征	28
3.2 能值理论与方法	32
3.3 生态足迹模型	36
3.4 生态环境产品与服务	37
3.5 本章小结	38
4 区域生态经济系统的能值评估	39
4.1 区域概况	39
4.2 能值评估数据准备	40
4.3 徐州生态经济系统物能流能值核算	44
4.4 基于能值评估的系统发展动态分析	52
4.5 本章小结	62
5 矿山生态系统能值评估	64
5.1 研究区概况	64
5.2 矿山生态系统物质能流能值核算	69

5.3	矿山生态系统能值指标比较分析	84
5.4	本章小结	104
6	矿山生态系统污染物排放影响的能值评估	107
6.1	矿山废弃物排放与生态环境贡献	107
6.2	生态环境贡献的能值核算	108
6.3	矿山废弃物排放的生态贡献评估	114
6.4	本章小结	123
7	矿山生态系统代谢与土地利用变化	125
7.1	矿山生态系统代谢与土地利用/覆被变化	126
7.2	基于能值的生态足迹模型	130
7.3	矿山生态系统代谢与生态足迹	132
7.4	本章小结	136
8	全文总结与研究展望	137
8.1	全文总结	137
8.2	研究展望	141
	附录	142
	参考文献	147

1 绪 论

1.1 矿业可持续发展的研究背景与意义

全球环境变化已日益成为制约人类社会可持续发展的焦点问题,影响与环境、经济、政治、外交等有关的一系列国家决策。在这种背景下,20 世纪 80 年代国际科学联盟理事会(International Council of Scientific Unions, ICSU)发起和组织了国际地圈—生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP),即全球变化的研究。

随着研究的深入,人类活动对环境变化的影响越来越受到关注,尤其地球表层系统的变化成为自然和人文过程交叉最为密切的问题。因此,地球表层系统的综合研究已是当前全球变化研究的学科前沿性任务。地球表层系统的动态变化主要受控于自然驱动力与人类驱动力,前者主要指气候—水文过程以及地貌过程对地表特征的改造,后者主要包括工业的新陈代谢与土地转变(史培军,1997)。其中,工业的发展使得自然环境和人类社会这两大复杂系统之间的交互作用越来越明显,尤其矿产资源的开发在可持续发展中的地位和作用不容忽视。随着可持续发展的观点在国际社会得到广泛认可,矿业可持续发展亦逐渐成为一个重要的议题。

在人类生产活动的各个环节中,矿业生产与自然环境资源的关系最为密切,它直接以一定的自然资源作为生产的最终目标。矿产资源是不可再生的,因为其形成需要经历漫长的地质年代,相对于短暂的人类历史,其储量是完全固定不变的。然而,过去长时期持续不断增长的矿物产量数据,说明人类已将矿产资源不可再生的特点置之脑后。同时,采矿活动对环境会造成一定影响,生态系统状况以及(或者)人类的生态福利可能退化降低,采矿邻近区域长期存在的生态系统或者人类社会可能发生变化,等等。由于进行矿业生产活动时对环境资源因素的价值认识不足,矿产资源浪费、滥采乱挖对土地破坏的现象相当严重,资源综合利用程度也较差。从长远利益考虑,评估矿业项目和采矿活动最终对可持续的净效应,合理认识和评价环境资源的贡献,是矿业可持续发展战略的重要课题之一。

矿产资源是人类生存和社会发展的物质基础,矿业作为开采矿产资源的行业,是我国的基础产业,在国民经济和社会发展中具有重要的地位和作用,为人民生活和经济建设提供必需的能源和原材料。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(朱训,1999)。我国地域辽阔、人口众多,充足的矿产资源供给是经济社会稳定、持续发展的前提。其中,能源矿产是我国矿产资源的重要组成部分,种类齐全,储量丰富。经济发展的阶段性、区域经济的不平衡性和资源禀赋的特殊性,决定了作为能源矿产之一的煤炭在我国能源生产与消费构成中的主导地位。2010 年,我国煤炭产量达到 32.4 亿 t,同比增加 1.9 亿 t,同比增长 8.9%。但综合国内外的各种预测,到 2050 年煤炭在我国一次能源消费结构中仍将占第一位,达 50% 左右(钱鸣高,2005)。煤炭是我国长期依赖的主要能源,也是我国长期出口的重要矿产品之一。作为世界上最大的煤炭生产国和消费国,煤炭在我国的经济发展中发挥着基础作用和支柱作用。

然而,我国煤炭工业的发展也存在一些问题:企业规模小,资源开采浪费严重,缺少规模效益,影响产业整体竞争力的提升;产业链过短,大量初始产品进入市场,产业结构亟待升级和集中;开采和使用的一些技术较为落后,资源遭到破坏,能源利用效率低且环境污染严重(刘耀东,2008)。煤炭资源的工业化过程,为区域经济的快速增长创造了奇迹,同时,生产活动也对区域地球表层的改造产生了广泛而且深刻的影响,引发日益严重的资源、环境与灾害问题。资源开采对生态环境的累积影响,不仅表现在土地利用/覆被的变化、地表景观形态的剧烈损害,而且体现在水资源特性变化、土壤物理与化学特性变化、大气污染等各种因素的综合作用对矿山生态系统特征的改变或缓慢持续的破坏。

发展的需要使得有限的矿产资源保障程度和脆弱的环境承载能力面临着前所未有的压力。如何协调矿产资源开发涉及的经济、社会与生态环境之间的关系,寻求产业、矿区及更大范围(区域)的可持续发展,已经成为当今科研领域所关注的一个重要课题。社会的不断进步和科技的迅猛发展也推动了资源环境领域的科学研究。1997 年 6 月 4 日,国家科技领导小组第三次会议决定要制定和实施《国家重点基础研究发展计划》,随后由科技部组织实施国家重点基础研究发展计划,即“973 计划”,其中将自然资源有效利用、生态环境与社会协调发展等作为国家重大需求,明确了“十一五”期间在资源环境领域的重点研究方向包括(部分):① 固体矿产资源勘查评价的重大科学问题;② 矿产资源集约利用的新理论、新技术和新方法;③ 化石能源勘探开发利用的基础科学问题;④ 全球变化与区域响应和适应;⑤ 人类

活动与生态系统变化及其可持续发展……我国资源环境面临的严峻形势也得到了党中央的高度重视,2005年10月11日,中国共产党第十六届中央委员会第五次全体会议一致通过《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十一个五年规划的建议》,明确提出,“要把节约资源作为基本国策,发展循环经济,保护生态环境,加快建设资源节约型、环境友好型社会,促进经济发展与人口、资源、环境相协调”。

21世纪的矿业在国民经济体系中仍是支柱产业和基础产业,并将是追求资源可持续开发利用以及与生态环境相协调的产业。要制定产业和区域可持续发展战略,就必须了解人类赖以生存的地球环境系统与人类日益发展的生产系统(基于地球的资源开发)之间相互作用的基本过程。对矿山生态系统现有的生产运行方式进行能学研究将是一条有效途径。能值理论与方法以能量学、生态学、生态经济学和系统学原理为基础,是一种新的环境经济价值论和系统分析方法,通过提供衡量和比较系统中各种物质流、能量流、货币流、信息流等的共同尺度,可定量评估人类经济活动与自然环境资源的价值以及相互作用关系。本书对矿山生态系统过程的能学研究,对于正确认识采矿活动生命周期过程中人与环境相互作用的机理和人地关系的实质,深入解释矿业和矿业城市发展问题的根源,指导矿山生产系统提高经济效率和生态效益,促进产业转型升级和区域经济结构调整,都有着重要的现实意义。这不仅是产业发展和地区发展的需要,同时也符合国际研究趋势和国家重点基础研究方向,有助于为“资源与环境协调(绿色)开采”以及区域发展战略决策提供科学参考,对于延伸产业链条、强化节能降耗和污染减排、发展循环经济、推动矿业可持续发展都具有实践意义。

1.2 矿山生态系统物能流核算的研究目标与内容

1.2.1 矿山生态系统物能流核算的研究目标与内容

传统的矿山企业的系统效益评估侧重于从经济学的角度,采用货币评价方式和能量分析方法。然而,货币是一种衡量人类在经济活动中贡献和作用的工具,却不适用于自然资源;而不同类别的能量存在着质的差别,不能够简单进行加减,且一般能量单位也不能衡量和表达自然资源与经济活动的本质关系。矿山生产产生的大量废弃物对环境造成的影响则通常采用排放量和排放浓度来衡量,虽然也是定量数据,却不能说明生态环境为此所作出的贡献或损失。长期以来,人们一直在寻找一种可以衡量和分析自然环境资源与人类

经济活动关系的共同尺度。能值理论与分析方法应用能值转换率,以能值为共同基准,可将生态经济系统内流动和储存的各种不同类别的能量和物质转换为同一标准的能值,定量分析研究系统的物能流、货币流、信息流、废物流,通过一系列反映系统结构功能特征和生态系统效益的能值指标评价系统的可持续性能。能值为产业生态系统的管理提供了一个新的视角,并逐渐成为产业生态学评价的新工具。因此,将能值理论与物质能流核算(Material and Energy Flow Accounting, MEFA)框架结合,可以用复合系统内物质和能量存量及流量定量评估社会—自然相互作用,以此评价系统发展的可持续性,从而能为矿山可持续发展从理论走向实践提供一条有效的途径。但目前未见在MEFA框架下从能值角度对矿山生态系统的社会—经济代谢机制与土地利用之间关系开展研究的报道。

本书以我国东部矿区矿山生态系统为实例,对矿山所处生命周期演替阶段进行能值评估。通过统一的度量标准,建立连接生态学与经济学的评估指标体系,定量分析自然环境资源与人类经济活动之间相互作用关系,为科学评价和合理利用自然资源、协调经济发展与生态环境关系、制定企业发展规划和区域经济发展战略提供依据,促进产业及区域社会、经济、生态可持续发展。

研究目标如下:

① 借助 MEFA 框架思想,通过能值评估将采煤生产活动过程与生态系统联系起来。通过定量指标值分析,为人类正确认识资源环境价值、处理经济活动与自然环境的关系,协调矿山生态系统综合效益、制定矿产资源对外贸易策略提供科学的参考。提供历史数据回顾生态—经济—社会系统的发展轨迹,有助于产业转型升级、区域经济结构调整。

② 从生态环境角度评估矿山生态系统污染物排放造成的生态环境压力。通过量化生态环境产品,度量生态环境服务,如稀释、吸纳大气污染物、水污染物以及为固体废弃物提供堆置场所所做的“功”或损失,以评价采矿活动对生态环境的影响程度。并根据大气污染物导致的人类失能生命调整年,评估大气污染物对人类健康的潜在危害,为人类认识生态环境服务价值在矿山生态系统物能流中的地位提供直观、科学的工具。

③ 通过系统物能流建立矿山生态系统社会—经济代谢机制与土地利用变化之间的关系,提供量化数据分析矿区社会经济发展与土地利用之间相互作用关系,分析矿山生态系统土地利用/覆被变化的主导社会—经济驱动力,评价矿山生态系统代谢对土地承载力的压力状况。

1.2.2 矿山生态系统物能流核算的研究内容

本书以我国东部矿区矿山生态系统为研究对象,应用国际前沿的能值理论与方法,通过区域和两个矿山生态系统物能流的能值评估,从系统运行、废弃物排放以及与土地利用之间的关系三个方面开展分析,旨在通过追踪矿山生态系统的能学过程,实现以同一衡量标准分析社会—经济系统与生态系统之间的相互联系,揭示自然资源和采矿活动相互作用的本质和规律,反映资源环境对经济发展的贡献,监测经济社会与生态环境相互作用的可持续性。同时,选取中煤集团大屯公司姚桥煤矿和兖州煤业股份有限公司济宁三号煤矿(以下简称“济三煤矿”)进行实证研究,主要研究内容包括:

① 开展区域生态经济系统能值评估,通过实例详细介绍能值评估的具体步骤、能值指标的建立及评价。为探讨矿山生态系统物能流动态与区域社会—经济物能流代谢机制变化关系以及为比较相同地区不同产业的物能流效益和垦殖强度提供基础。

② 追踪姚桥煤矿矿山生态系统(以下简称“姚桥矿山生态系统”)和济三煤矿矿山生态系统(以下简称“济三矿山生态系统”)生命周期演替阶段的系统物质能流,开展能值评估,建立矿山生态系统尺度下的能值评价指标体系,从系统效率、能耗、能值结构、物能流效益等方面对指标进行动态比较分析。

③ 以定量的数据、统一的衡量标准计算生态环境在被动吸纳废弃物过程中产品和服务的贡献或损失以及大气污染物排放造成的影响人类健康的潜在危害。对两个矿山生态系统的3种主要污染物排放所需要的生态环境服务以及造成的人类健康潜在危害进行能值评估。从生态环境产品贡献、污染物危害等方面开展横向和纵向比较分析。

④ 采用遥感信息分析、物能流核算、能值评估等多种研究方法,分析矿山社会—经济系统代谢机制与土地利用覆被变化相互作用关系。通过系统物能流研究矿山生态系统代谢与土地利用变化的内在联系,以及不同物能流对土地利用/覆被变化的驱动力作用差异。建立基于能值的生态足迹模型,通过系统物能流考察土地承载力,以及系统代谢水平下的能值—生态足迹,评估矿山生态系统代谢对土地承载力造成的压力。

1.2.3 研究技术路线图

本书研究技术路线图如图1-1所示。

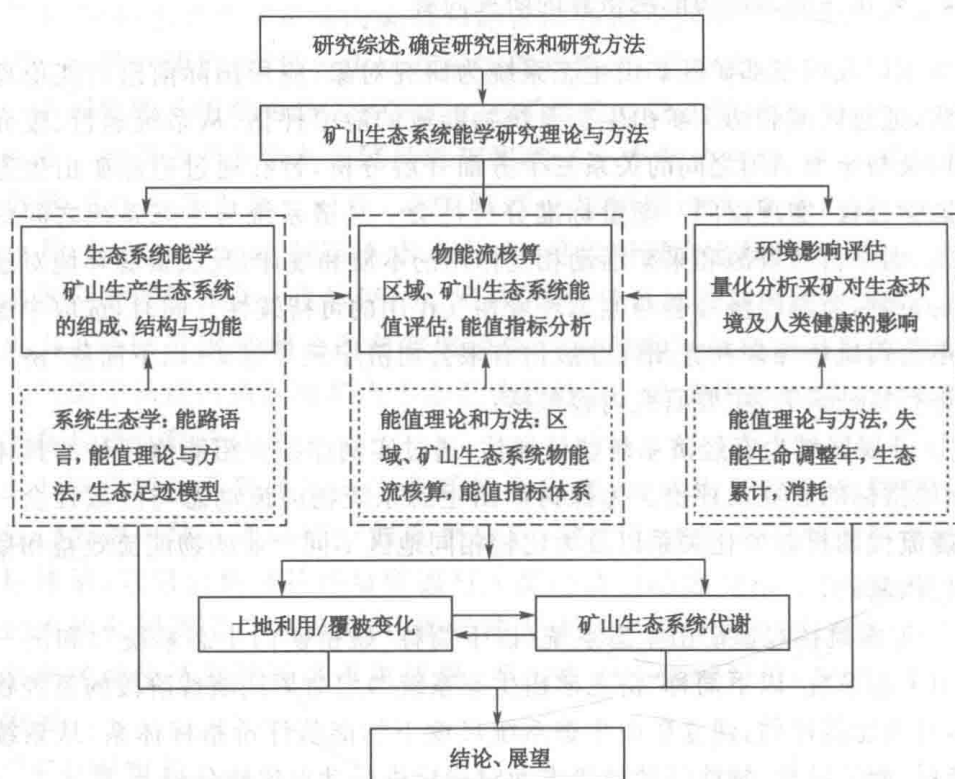


图 1-1 研究技术路线