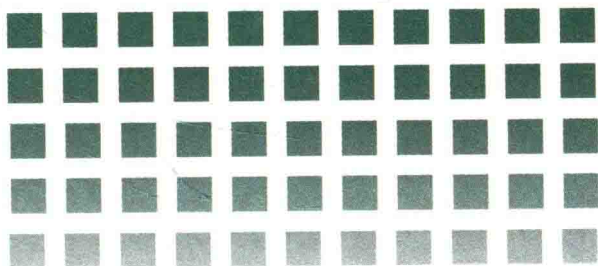


金属矿产资源 高效绿色开发工程管理

陈晓红 等 著



科学出版社

金属矿产资源 高效绿色开发工程管理

陈晓红 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

为了满足实现我国经济社会可持续发展、保障我国生态安全及提高我国国际“绿色竞争力”的现实需求,金属矿产资源开发利用的高效性与绿色化要求越来越高。本书汇集了多年来作者及其研究团队在金属矿产资源高效绿色开发利用工程管理领域的研究成果,详细探讨了其相关理论、评价体系、决策方法、软件工具及应用。本书率先提出了金属矿产资源高效绿色开发工程管理理论;将研究中提出的集成动态量化理论运用到金属矿产资源高效绿色开发工程管理当中;理论与实际密切结合,注重研究成果的凝练和实际应用。

本书可为金属矿产资源开发利用相关领域的学者提供参考,为工程实施者提供指导,同时还适合作为工程类、管理类的本科生、研究生相关课程的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属矿产资源高效绿色开发工程管理/陈晓红等著. —北京:科学出版社, 2015

ISBN 978-7-03-045909-1

I. ①金… II. ①陈… III. ①金属矿-矿产资源开发-工程管理
IV. ①F407.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 237360 号

责任编辑:徐 倩 / 责任校对:李雪雪
责任印制:肖 兴 / 封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 10 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 10 月第一次印刷 印张:14 1/4

字数:287 000

定价:82.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 言 一

我国是一个金属矿产资源大国，从资源条件看，我国是世界上矿产资源品种比较齐全的少数国家之一，目前全球发现的 200 余种矿产资源中，我国有 172 种，其中探明储量的有 159 种，铁、钨、钼、锡、锑、稀土等重要金属矿产储量位居全球前列；从生产和消费角度看，截至 2013 年年底，我国钢产量和消费量已连续 17 年居世界首位，主要有色金属产量和消费量也连续多年位居世界第一。与此同时，我国距金属矿产资源强国的目标还有一定差距，主要表现为：资源利用的集约节约化程度不高，主要金属矿产品种消费量增速远高于经济增速；供需关系失衡，主要金属矿产品种对外依存度不断攀升；管理现代化和信息化程度总体仍然不高，行业全员劳动生产率远低于发达国家水平，矿难、环境污染等事故时有发生。为了增强我国金属矿业的可持续发展能力，提高我国金属矿产资源的战略保障水平，实施金属矿产资源高效绿色开发工程成为我国金属矿业发展的战略选择。

在这一战略背景下，许多工程科技和管理工作者投身于我国金属矿产资源高效绿色开发工程的理论研究和实践创新中，成为推动我国金属矿业发展和进步的重要力量。陈晓红教授及其科研团队就是其中的优秀代表。自改革开放以来，他们的身影活跃于我国许多大型金属矿产开发工程的现场，他们站在学科交叉的前沿，创造性地将经典理论、方法、工具与我国金属矿产资源开发工程的实际相结合，在长期的研究探索中形成了独具特色的金属矿产资源高效绿色开发工程管理体系。

现在，他们将这些研究成果总结提升，汇集于该书，呈现给广大金属矿业从业者和工程科技与管理工作者，这既是对他们多年研究成果的总结和推介，也是对我国金属矿产资源开发工程科技和管理界的一大贡献。

该书内容，既有对理论创新的阐释，即介绍了作者在长期研究中凝练而成的集成动态量化工程管理理论的由来、思想、特点和内容；也有对方法工具开发的展示，即介绍了金属矿产资源高效绿色开发的评价指标体系、决策模型、方法和决策支持系统；还有对实践应用的反馈，即介绍了上述理论、方法和工具在金属矿产资源开发利用科技发展战略工程、固体矿产业持续技术创新工程、大型金属矿产资源基地可持续发展系统评价分析、海外金属矿产资源开发等实践应用领域中运用的过程和取得的效果。全书叙述深入浅出，紧密联系实际，案例资料丰富。读者掩卷时不但能从一个侧面了解我国金属矿业的发展和进步，也能产生许

多对该行业未来发展的思索和期待。

我谨对该书的出版面世表示诚挚的祝贺。我不仅期待作者能以此为新起点为我国金属矿产资源开发工程管理贡献出更多理论成果，也希望更多该书的读者能借此了解中国金属矿产资源开发工程管理的新面貌，投身到中国金属矿产资源开发工程管理理论研究和实践创新的事业当中。

爰为序。

中国工程院院士 中南大学教授

何健善

2015 年 5 月

序 言 二

金属矿产资源开发历史悠久，从农业经济时代发端，历经工业经济时代的蓬勃发展，是国民经济的基础。即便进入知识经济时代，金属矿业仍然是最重要的基础性产业，是全球经济可持续发展的基础。但是，工业经济时代以来，金属矿产资源规模空前的开发利用，带来了资源逐渐枯竭、生态环境破坏等严重问题，其面临的宏观环境已经发生了很大变化。为了应对上述危机和问题，新时期金属矿产资源开发已经呈现高效、绿色、智能等发展趋势；在具体实践中，高效绿色开发工程应运而生，并日益普及。由于金属矿业在工程目标、实施环境、技术手段等方面已经不同于传统金属矿业，研究其适用的工程管理理论与方法成为科学规划、组织、评价此类工程的迫切需要。

我欣喜地看到，工程学和管理学界有越来越多的专家、学者投身于矿业工程管理领域的科学研究，并取得重要成果，很受鼓舞。陈晓红教授自 20 世纪 80 年代从教之初，就深入我国主要有色金属矿产资源基地，理论联系实际、产学研紧密结合，与团队一起开展多层次、多形式的合作科研攻关，并取得重要成果，为大型金属矿产资源开发工程的规划、组织、评价提供了指导和帮助，还为中央有关部门制定相关产业政策提供了重要依据。现在呈现于读者面前的这本《金属矿产资源高效绿色开发工程管理》，就是作者在多年积累的基础上总结、凝练、提升而出的杰出之作。

该书全面阐述了金属矿产资源高效绿色开发的现实意义和工程属性，深入论述了金属矿产资源高效绿色开发工程管理的理论基础，明晰了此类工程管理活动的定义、特征和主要内容。在此基础上，该书以作者提出的集成动态量化理论为核心，系统阐述了金属矿产资源高效绿色开发工程管理的决策理论、方法与工具体系，并介绍了该体系在实践应用中的发展和典型案例。

该书在理论方面，系统总结了长期研究中形成的集成动态量化工程管理理论的由来、思想、特点和内容；在方法工具方面，介绍了金属矿产资源高效绿色开发的评价指标体系、决策模型、方法和决策支持系统，其中的许多工具是作者多年研究开发的原创性理论成果；在实践进展方面，分为金属矿产资源开发利用科技发展战略、固体矿产资源开发的技术创新工程、大型金属矿产资源基地可持续发展系统评价分析、海外金属矿产资源开发四个方面进行介绍和分析，其中许多内容反映了我国金属矿业增强可持续发展能力的实践历程。最后，该书对金属矿产资源高效绿色开发工程的未来发展趋势进行了展望。

该书的写作体现了历史与现实的交互、宏观与微观的衔接、理论与实践的结合，内容既有宏观政策视角的工程管理研究，也有着着眼于具体工程项目实施的微观研究，不仅提出了新理念、新观点，还有具体分析工具、软件系统的研发和应用。该书的面世，对于促进、深化矿业工程管理理论与方法的研究，推动金属矿业界更加重视工程管理理论的应用和实践，具有重要意义。

我衷心地祝贺陈教授及其团队取得的丰硕成果，更加期待他们继续深入这一领域探索，获得更大成就，为我国金属矿业工程管理水平的提高做出新的、更大的贡献。

是为序。

中国工程院院士 中南大学教授



2015年5月

前 言

金属资源是人类赖以生存、社会赖以发展的物质基础。一方面，作为金属生产和消费的第一大国，我国在金属矿产资源开发利用领域取得了举世瞩目的成就，为保障我国经济快速增长做出了突出贡献。但另一方面，我国金属矿产资源的开发利用仍存在冶炼与加工回收率不高、资源重复利用率低、环境污染严重等问题。虽然这些问题与我国金属资源禀赋条件较差、资源开发利用难度高有密切关系，但其在很大程度上也与我国金属矿产资源开发利用工程的宏微观管理在理论、方法和实践中存在的不足有较大关系。长期以来我国的金属资源开发利用更注重短期的经济利益，而忽视了对环境的保护以及资源的可持续利用。随着我国经济体量的不断增大，经济与社会的发展面临着越来越严重的资源保障和环境保护的双重压力，迫切需要转变我国的经济发展和资源利用模式，为此，我国已将建设资源节约型和环境友好型（两型）社会作为基本国策，两型社会与生态文明建设已成为保证我国经济社会可持续发展、保障我国生态安全以及提高我国国际绿色竞争力的现实需求。在这一背景下，传统的资源开发工程管理理论方法和工具已不能满足我国金属资源高效开发利用和资源产业绿色低碳增长的需要，资源的高效绿色开发工程管理急需新的理论、方法和工具的支撑。

针对上述问题，本书依托国家科技计划和国家自然科学基金等项目，汇集了多年来笔者及笔者的研究团队在金属矿产资源开发利用工程管理领域的研究成果，围绕资源高效绿色开发利用，详细探讨了金属资源高效绿色开发工程管理的内涵、相关理论、评价体系、决策方法、平台工具及其应用，为以工程决策为核心的金属资源高效绿色工程管理提供了一个可供参考的理论方法体系。全书分为十章。

第1章作为导论阐述本书研究内容的背景、意义，介绍金属矿产资源高效绿色开发的内涵及现实意义，分析工程管理在金属矿产资源高效绿色开发中的作用。

第2章详细总结金属矿产资源高效绿色开发工程管理相关理论，阐明金属矿产资源高效绿色开发工程管理的内涵，在此基础上以工程管理决策为核心，阐述金属矿产资源高效绿色开发工程管理的集成动态量化理论。

第3章从金属资源高效绿色开发影响因素入手，结合评价基本原则，构建详细的含有二级指标和基层具体指标的金属矿产资源评价指标体系，具有很强的适用性。

第4章分析已有的金属矿产资源开发工程决策理论,重点阐述应用于金属资源高效绿色开发的风险评价方法和不确定性决策方法。

第5章对现有的金属矿产资源开发工程管理与决策软件进行介绍,分析现有软件工具的问题,在此基础上提出金属矿产资源高效绿色开发决策支持系统(decision support system, DSS),并对其进行详细的介绍。

第6章、第7章介绍金属矿产资源高效绿色开发案例,包括金属矿产资源科技发展战略工程和固体矿产业持续技术创新工程。从工程背景、工程实施过程、工程决策方法和工程实施结果几个方面进行详细叙述。

第8章针对大型金属矿产资源基地建设,运用基于综合集成的复杂系统评价模型提出基地可持续发展系统评价方法,构建相应的评价决策支持系统,并以具体的大型金属矿产资源基地为实例说明该方法和系统的应用。

第9章是海外金属矿产资源开发实例,通过实际案例详细、生动地展示海外金属资源开发投资决策过程。

第10章对金属矿产资源高效绿色开发发展趋势进行总结和展望。

本书具有以下特点:①绿色开发思想与工程管理方法相结合,将一个抽象的概念通过具体的工程管理方法阐述出来,便于理解,具有操作性和实用性。②理论与实践相结合,通过大量典型实际研究案例来验证本书提出的理论方法,并给读者的实际应用提供一个清晰的视角。

本书的研究工作得到了多方面的研究基金、计划和机构的帮助,包括国家杰出青年科学基金项目(70125002)、国家创新群体科学基金(70921001、71221061)、国家“十五”科技攻关计划重大项目课题(2001BA609A-01、2004BA615A-01)、国家“十一五”科技支撑计划重大与重点项目课题(2006BAB02A16、2006BAB02B05、2006BAB08B03)、国家自然科学基金重点项目(71431006),以及“两型社会与生态文明”协同创新中心等,在此,笔者对上述资助计划和相关机构表示衷心的感谢!

本书由陈晓红及其研究团队的胡东滨、胡军华、杨怀东、姚海琳等撰写,其中第1、2章由陈晓红、胡东滨、杨怀东撰写,第3、4、5章由陈晓红、胡东滨、胡军华、杨怀东撰写,第6、7、8章由陈晓红、胡东滨、杨怀东、姚海琳撰写,第9、10章由陈晓红、胡军华、姚海琳撰写。同时,在写书过程中,笔者在自己已有的成果上参考了诸多同行的研究工作和成果,得到了科学出版社的支持、课题组老师与研究生的帮助,在此表示诚挚的感谢!

由于笔者水平所限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

理 论 篇

第 1 章 金属矿产资源高效绿色开发概论	3
1.1 金属矿产资源高效绿色开发的内涵	3
1.2 金属矿产资源高效绿色开发的现实意义	5
1.3 工程管理的金属矿产资源高效绿色开发中的作用	14
第 2 章 金属矿产资源高效绿色开发工程管理理论基础	18
2.1 金属矿产资源高效绿色开发工程管理的定义	18
2.2 金属矿产资源高效绿色开发工程管理的特征	22
2.3 金属矿产资源高效绿色开发工程管理的內容	24
2.4 金属矿产资源高效绿色开发工程管理的相关理论	26
2.5 金属矿产资源高效绿色开发工程管理的集成动态量化理论	44

方法工具篇

第 3 章 金属矿产资源高效绿色开发评价指标体系	51
3.1 金属矿产资源高效绿色开发的动力系统分析	51
3.2 评价指标体系的指导思想	53
3.3 评价指标体系的基本原则	54
3.4 评价指标体系建立与指标体系选择的方法	56
3.5 金属矿产资源高效绿色开发评价指标体系的设置框架	58
3.6 金属矿产资源高效绿色开发指标体系	60
第 4 章 金属矿产资源高效绿色开发决策模型和方法	62
4.1 金属矿产资源开发选区风险评价方法	63
4.2 金属矿产品市场风险评价方法	67
4.3 金属矿产资源开发项目评价和方法	71
4.4 金属矿产资源开发不确定性决策方法	74
第 5 章 金属矿产资源高效绿色开发决策支持系统	94
5.1 工程管理与决策软件简介	94
5.2 金属矿产资源高效绿色开发决策支持需求	99

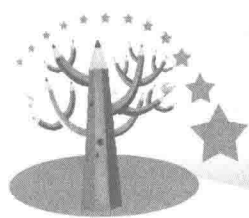
5.3 现有金属矿产资源高效绿色开发决策支持工具及其问题	102
5.4 金属矿产资源高效绿色开发利用决策支持平台	106

实 践 篇

第6章 金属矿产资源开发利用科技发展战略工程	137
6.1 工程背景	137
6.2 工程实施过程	137
6.3 工程决策方法与工具	139
6.4 工程实施结果	148
第7章 固体矿产业持续技术创新工程	154
7.1 工程背景	154
7.2 工程实施过程	155
7.3 工程决策方法	156
7.4 工程实施结果	165
第8章 大型金属矿产资源基地可持续发展系统评价分析	169
8.1 大型金属资源基地可持续发展系统评价问题的提出	170
8.2 大型金属资源基地 RESE 系统的“持续-协调”测度模型	171
8.3 系统结构与功能设计	175
8.4 系统运用与结果分析	177
第9章 海外金属矿产资源开发	191
9.1 湖南有色金属控股集团有限公司投资决策实例	191
9.2 金川国际投资决策实例	195
9.3 俄罗斯有色金属资源投资决策实例	199

展 望 篇

第10章 金属矿产资源高效绿色开发发展趋势	205
10.1 对城市矿产的开发利用成为重点领域	205
10.2 金属矿产资源开发利用的数字化、智能化与无人化	208
10.3 金属矿产资源高效绿色开发工程管理的集成化与模块化	210
参考文献	212



理论篇

第 1 章 金属矿产资源高效绿色开发概论

1.1 金属矿产资源高效绿色开发的内涵

金属矿产资源是生态系统中物质和能量的主要来源之一，是对国家安全和经济社会发展起着至关重要作用的战略物资。根据性质和用途，金属矿产资源可以分为黑色金属矿产和有色金属矿产。

金属矿产资源属于不可再生资源，数量有限。而且我国金属矿产资源也存在诸如“资源的品质较差，贫矿多富矿少，小型矿多大型矿少，共伴生矿多单一矿种少”等特点^[1]，这使得我国在矿产资源综合利用方面效率低下。而且在有色金属矿产资源的开发利用中，矿产资源开发方式的不恰当也带来了日益恶化的环境问题。基于此，金属矿产资源的高效绿色开发显得尤为必要，其一方面可以解决目前金属矿产资源需求增长与可持续利用的矛盾，另一方面也有利于帮助企业理顺价值创造、经济效益和环境保护的关系。

在资源的开发利用中，有许多与高效绿色开发概念类似的观点，如绿色开采、清洁开发、循环利用、集约生产、无废开采等，这些观点的表述或许不同，但表达的意思或多或少地涵盖了高效绿色开发的思想。

20 世纪 60 年代，循环经济（cyclic economy）的概念在美国经济学家波尔丁（Kenneth E. Boulding）的专著《宇宙飞船经济观》中被提出。循环经济是指基于自然生态系统的物质循环和能量流动规律，高效有序地将经济活动构成一个封闭型物质能量循环的流程。区别于传统经济的“高开采、低利用、高排放”目标，循环经济的目标是“低开采、高利用、低排放”^[2]。

至于绿色开采，则是倾向循环经济中绿色工业的概念，遵循绿色工业原则，努力达成一种与环境协调一致的开采技术，从而实现“低开采、高利用、低排放”。

无废开采于 1984 年在联合国欧洲经济委员会会议上被提出。无废开采是一种生产产品的方法，通过这种方法的使用，在原料—资源—生产—消费—二次原料资源的循环中，原料和能源都可以得到最合理的综合利用，同时循环中的各个环节对环境的作用都不会破坏环境的正常功能^[3]。

作为世界各国长期工业污染防治经验的结晶，清洁生产则是在较长的工业污染防治过程中逐步形成的。而清洁生产的实施与推广，大致可以划分为三个阶段：第一阶段是在 20 世纪 70 年代，美国 3M 公司开展了“3P”（pollution

prevention pays) 计划。“3P”计划使人们在增强企业竞争力的同时也开始关注自身行为对环境的影响。后来“3P”计划逐渐向不同行业、不同地区拓展;在20世纪80年代末期,企业和政府开始认可和接受清洁生产,清洁生产从此进入快速发展时期。1989年,清洁生产概念被联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)正式提出。同时UNEP也积极推动清洁生产的实施,世界范围内兴起了清洁生产浪潮,并获得了很大的成功,清洁生产成为全球关注的热点^[4]。

集约概念与粗放概念相对,是指通过借助先进技术和科学规划,从而实现高效产出及环境损害减少等目标的经营方式。李裕伟从强度和深度两个角度解释了矿产集约开发的概念。金属矿产集约开发具体可以理解为降低矿床工业指标,提高资源回收率,提升综合利用率及矿产品加工深度,延伸矿山产业链等的一种开发方式^[5]。

何谓金属矿产资源高效绿色开发?开发主体把金属矿产资源与环境作为一个整体,在充分回收、有效利用金属矿产资源的同时,协调地开发、利用和保护金属资源开发利用地区的土地、水体等各类资源,在满足当前需求和金属资源的可持续发展目标的基础上,实现资源-经济-环境三者统一协调的开发过程,同时也使环境保护不再成为制约企业创造经济效益的瓶颈,甚至可以让绿色高效生产成为企业的竞争优势。

从内涵看,高效绿色开发兼顾了各方主体的利益,遵循在生态环境容量和资源承载力等约束条件下,将环境保护和资源高效利用作为开发的核心内容。

从宏观层面来说,金属矿产资源的高效绿色开发,主要是切实关注社会层面金属资源的后续消费和可持续利用,以实现资源-经济-环境的协调发展。

从中观层面来说,金属矿产资源的高效绿色开发是指发挥科技创新对金属矿产资源开发的支撑作用,通过技术创新、管理创新和劳动者素质的提高,减轻资源开发对生态环境的压力,同时建设一批资源综合利用、再生资源回收体系、城市矿产基地等循环经济示范工程,从而树立标杆,增强推广力度,促进金属矿产行业的产业技术、要素禀赋,最终乃至整个产业链的升级,为在微观层面的企业进行金属资源绿色高效开发提供一个良好的外部环境。

从微观层面来说,金属矿产资源的高效绿色开发主要是指在平时的运营过程中,企业要把资源消耗、环境损害、生态效益指标全面纳入经营目标,通过对矿区资源进行绿色开发设计、采用环境友好的高效新技术和工艺、优化业务流程等方式,实现固体废料产出最小化和资源化、矿产资源有价元素的综合利用,实现矿产资源的充分开发和回收以及对矿区及矿区周边环境的保护。其在实现经济效率的同时实现了对环境的保护。或者企业甚至能够将绿色环保作为企业的价值来源,创造相较于其他同类型企业的核心竞争优势。

1.2 金属矿产资源高效绿色开发的现实意义

1.2.1 金属矿产资源高效绿色开发是缓解我国金属矿产资源结构性失衡矛盾的重要途径

目前,我国正大快步地走在工业化、信息化、城镇化和农业现代化的“四化”建设道路上。从自然资源的消耗角度来看,工业化阶段伴随着各种自然资源的大量消耗^[6]。就工业化过程中经济发展与金属矿产资源消费规律这一议题,国内外学者根据发达国家一百多年来的相关数据进行了研究。研究得到的结论是:一国的基本金属消费量与其经济发展阶段密切相关,在工业化阶段,伴随着工业化进程的推进,一国或地区金属矿产资源消费量也持续迅速增长^[7]。这种关系具体表现为:工业化进程中,金属消费总量与国内生产总值(GDP)的增长呈S形曲线关系——农业社会中,金属资源消耗与经济增长之间未呈现明确的关系;前工业化阶段,金属资源的人均消费开始增长;工业化经济快速发展阶段,GDP呈现显著增长,与此同时,金属资源消费总量也同步显著增长;进入工业化阶段的成熟期,尽管GDP仍在持续增长,但金属资源消费总量的增长速度趋缓,并在某一GDP值(工业化基本完成)时达到最大值;而进入到后工业化阶段,金属资源消费总量不再增长或缓慢下降(详见图1-1)。国内外学者根据发达国家的经验发现的第二个规律是:人均金属消费量与工业化进程间存在密切联系,在前工业化阶段,粗钢等金属的人均金属消费量达到顶峰;工业化阶段则对应着铜铝等基本金属的人均金属消费量顶峰;而稀有金属等金属资源的人均消费总量峰值则会在后工业化阶段出现(详见图1-2)^[8,9]。

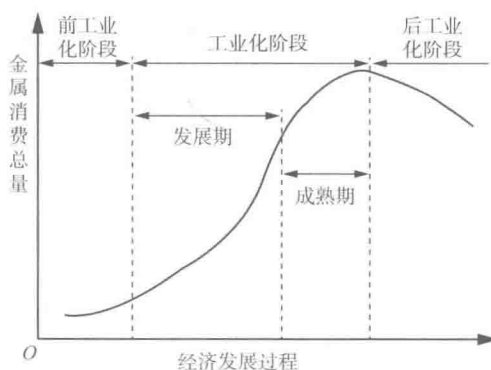


图 1-1 发达国家金属消费总量与经济发展阶段关系图

20 世纪 90 年代初,我国开始进入经济快速发展阶段,在经济总量不断扩张的同时,金属资源消费量随之显著增加。大量的数据显示,处于工业化进程中的中国金属

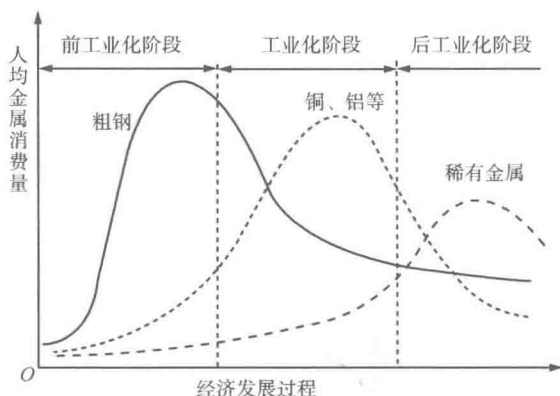


图 1-2 发达国家人均金属消费量与工业化发展阶段的关系

资源消费与经济增长之间也存在与发达国家类似的长期互动关系（详见图 1-3）。

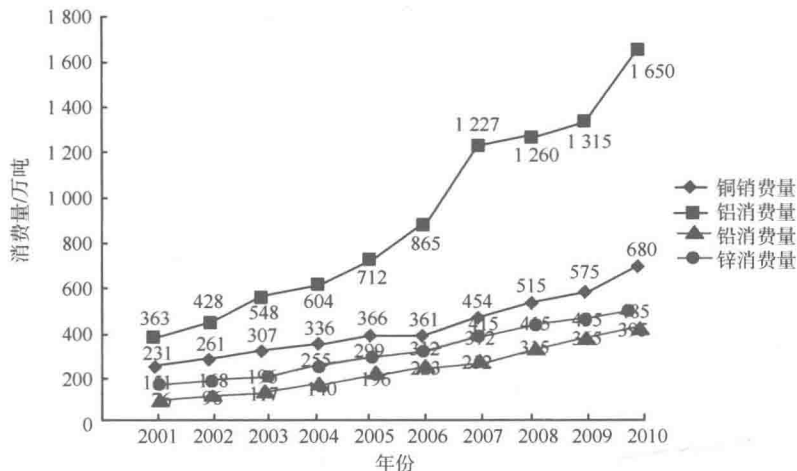


图 1-3 2001~2010 年我国铜、铝、铅、锌消费量数据图

既然我国现阶段对金属资源存在大量的需求，那么我国金属资源的供给情况又如何呢？令人忧虑的是，我国金属资源的基础条件并不乐观，金属矿产资源结构性失衡矛盾突出。从资源总量上看，我国的确是金属矿产资源较为丰富的大国——对于世界上已发现的金属矿产，我国基本都有探明储量。其中，钨、锡、锑、稀土、钽、钛的探明储量居世界第一位；钒、钼、铌、铍、锂的探明储量居世界第二位；锌的探明储量居世界第四位；铁、铅、金、银等的探明储量居世界第五位^[10]。表 1-1^①列举了 2005 年世界主要国家固体矿产资源的情况。从表 1-1

① 2005 世界矿产资源储量表, <http://wenku.baidu.com/view/ef60b6313968011ca3009150.html>。