

矿山生态学导论

卞正富 著



煤炭工业出版社

矿山生态学导论

卞正富 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山生态学导论 / 卞正富著. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2015

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4850 - 1

I. ①矿… II. ①卞… III. ①矿山—生态学—研究
IV. ①TD2 - 05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 069778 号

矿山生态学导论

著 者 卞正富

责任编辑 牟金锁 郭玉娟

责任校对 李新荣

封面设计 晓 杰

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

电 话 010 - 84657898 (总编室)

010 - 64018321 (发行部) 010 - 84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 煤炭工业出版社印刷厂

经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 20 字数 468 千字

版 次 2015 年 10 月第 1 版 2015 年 10 月第 1 次印刷

社内编号 7705 定价 58.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010 - 84657880

内 容 提 要

本书从分析矿山生产过程中的生态环境问题和介绍可供生态矿山建设的生态环境基本原理入手,较为系统地介绍了矿山生态系统评价方法,包括矿山生态风险评价、矿山生态安全评价、矿业发展可持续性评价、矿山生态系统生命周期评价、矿山生态系统生态足迹核算、矿山生态系统物质能量代谢评价、采矿活动对生物多样性与生态系统的影响,以及矿山生态系统能值分析方法。在生态矿山建设方面,本书构建了生态采矿的完全资源利用(TRU)和完整项目开发(TPD)概念框架,总结了矿区生态环境遥感监测,以及绿色开采技术、矸石资源化技术、矿井废水资源化技术、矿区土地复垦技术、闭矿期生态重建技术。在案例部分,重点介绍了我国新汶、潞安及德国鲁尔等矿山生态工业园建设的实践。

本书可作为高等学校矿业、环境类专业的教学参考书,也可供相关专业的科研人员和矿山企业技术人员参考。

前 言

“一切从矿业开始 (Everything begins with mining)”明确表述了矿业在现代社会经济发展中的作用。可持续发展是当代社会进步的指导原则,是全球发展追求的目标。以矿产资源生产为主的产业部门——矿业更是面临资源日趋减少、环境日益恶化而需求增加的矛盾,尤其作为我国在今后相当长的一段时期内的一次能源,煤炭工业的可持续发展直接影响我国国民经济与社会的持续发展。为此,国内外开展了一系列旨在促进矿业可持续发展的研究工作,提出了诸多新理念,如国际矿业与金属委员会(ICMM)提出矿物和金属开采业的可持续发展是指其投资必须具有技术适当性、环境合理性、财务赢利性和社会责任感,并提出了促进矿业可持续发展的十项准则。英国 Skapa 矿业公司的 Dr. Sue Struthers 提出了完全资源利用 (Total Resource Utilisation, TRU) 和完整项目开发 (Total Project Development, TPD) 的概念。TRU 倡导将采矿活动中产生的所有物质都视为资源的一部分,而不仅仅只有目标矿物或金属,TPD 则是一种新型的全面采矿模式,涵盖了完全资源利用,并将矿物开采视为更为广泛的区域发展战略的一部分。钱鸣高院士先后提出了绿色采矿和科学采矿的概念。绿色采矿是从广义资源的角度出发,在矿区范围内的煤炭、地下水、煤层气(瓦斯)、土地乃至矸石以及在煤层附近的其他矿床,都应作为经营这个矿区的开发对象而加以利用,防止或尽可能减轻开采煤炭对环境和其他资源产生的不良影响,以取得最佳的经济效益和社会效益。有关矿业可持续发展的新概念还有与环境协调的开采技术、生态矿山、生态矿业、绿色矿山、绿色矿业、矿业的持久价值 (Enduring Value) 等。不同的概念和提法,其内容有所差异,但就其追求的目标而言是一致的,即实现矿业可持续发展。

笔者自 1995 年起开始关注矿山生态系统和矿业可持续发展,之所以关注并对此长久地感兴趣,是因为在研究矿山环境与土地复垦这一具体问题的过程中,时常被一些理论和实际问题所困扰,如矿山开采对生态环境的影响途

径、影响程度, 矿山开采对生态系统的影响期到底有多长, 如何在开采过程中保护生态环境, 采后土地复垦与生态重建方案如何保障矿山生态系统的持久稳定性等。1995年9月至1996年2月, 中国科学院生态环境研究中心王如松研究员为笔者提供了在该中心系统生态开放实验室客座研究的机会, 开启了笔者研究矿山生态的思路。此后先后承担了原煤炭部青年教师基金项目“矿山生态系统评价方法研究”(1995—1997)、教育部新世纪人才项目“矿山生产生态学”(2004—2008)、教育部长江学者与创新团队项目“与煤炭开采有关的资源与环境保护”(2007—2010)及高等学校学科创新引智计划(“111”计划)“煤炭资源与环境科学技术”项目(2007—2011)等, 上述项目为本书的研究和出版提供了经费保障。“矿山生态重建”也是笔者1998—2001年期间在中国矿业大学矿业工程博士后科研流动站研究的课题。在站工作期间, 得到了合作导师张先尘教授、郭育光教授的指导和帮助。尽管2005年就拟定了本书的写作计划, 但由于笔者的专业基础和能力所限, 一直未能付梓。在此过程中, 得到了中国工程院古德生院士的鼓励和支持, 以及钱鸣高院士的指导和教诲。本书在研究和写作过程中, 还得到了科研团队成员雷少刚、金丹、董霖红、牟守国、赵银娣、冷海龙、赵华、程伟, 以及参与高等学校学科创新引智计划的海外学术骨干Sue Struthers等的协助和支持。其中, 第4章由英国Sue Struthers撰写, 金丹翻译; 5.7.3节为硕士研究生鹿晴晴硕士论文的研究成果; 第6章为博士研究生金丹的研究成果; 7.2.2节为硕士研究生张海霞硕士论文的研究成果。在此, 对上述个人和单位一并表示由衷的感谢! 在写作过程中, 还参阅了大量国内外文献, 由于撰写历时较长, 很难将每一文献标注准确, 且研究工作有些是综述前人的研究工作, 如有创新性成果, 也是前人的研究基础给予的启发, 在此, 对所有被参阅文献的作者表示衷心的感谢!

希望本书的出版能够引起更多的研究人员和矿山工程技术人员关注生态矿山建设和矿业可持续发展问题, 同时希望读者对本书不当或错误之处提出宝贵意见。

著 者

2015年4月

目次

1 绪论	1
1.1 矿业在社会经济发展中的作用	1
1.2 矿山生态学提出的背景	16
1.3 矿山生态学的内涵和研究任务	21
1.4 仿生态学的矿山生产过程组织理论	24
本章主要参考文献	29
2 矿山生产过程中的生态环境问题	31
2.1 矿山生态环境问题的内涵	31
2.2 矿产开采过程中产生的生态环境问题	32
2.3 矿物加工利用过程中产生的生态环境问题	41
2.4 采矿活动对主要环境因子的影响分析	44
2.5 两类典型地域煤炭开采过程产生的生态破坏特征	50
本章主要参考文献	55
3 矿山生态学的理论基础	57
3.1 自然生态系统的物质循环与能量流动	57
3.2 生态系统中物质循环与能量流动的分析方法	64
3.3 生态工程理论	68
3.4 资源、环境、生态经济学理论	72
3.5 工业生态学	81
本章主要参考文献	85
4 生态采矿的 TRU 和 TPD 概念框架	87
4.1 生态采矿的背景	87
4.2 矿山尾矿回收系统	89
4.3 尾矿回收和资源化利用的研究与应用	93
4.4 基于所有矿山废弃物的 TRU	99
4.5 超出采矿作业范畴的 TPD	102
4.6 总结	108
本章主要参考文献	109

5 矿山生态系统评价方法	111
5.1 矿山生态风险评价	111
5.2 矿山生态安全评价	120
5.3 矿业发展可持续性评价	125
5.4 矿山生态系统生命周期评价	130
5.5 矿山生态系统生态足迹核算	146
5.6 矿山生态系统物质能量代谢评价	154
5.7 采矿活动对生物多样性与生态系统的影响	160
本章主要参考文献	174
6 矿山生态系统能值分析方法	178
6.1 能值理论与方法	178
6.2 矿山生态系统能值评估	182
6.3 矿山生态系统主要能值指标分析	192
6.4 小结	202
本章主要参考文献	202
7 矿区生态环境遥感监测	203
7.1 遥感技术与矿区生态环境	203
7.2 矿区土地利用变化的遥感监测	205
7.3 矿区土地沙漠化的遥感监测	210
7.4 矿区大气污染的遥感监测	212
7.5 矿区水环境的遥感监测	215
7.6 矿区土壤污染的遥感监测	217
7.7 矿山开采沉陷及地质灾害的遥感监测	223
7.8 矿区植被变化的遥感监测	226
本章主要参考文献	230
8 生态矿山建设技术	233
8.1 绿色开采技术	233
8.2 矸石资源化技术	245
8.3 矿井废水资源化技术	258
8.4 矿区土地复垦技术	264
8.5 闭矿期生态重建技术	268
本章主要参考文献	277

9 矿山生态工业园建设	279
9.1 生态工业园的概念模型与特征	279
9.2 生态工业园建设的模式	281
9.3 矿山生态工业园建设的实践	283
本章主要参考文献	295
10 国外矿山生态环境管理借鉴	297
10.1 美国	297
10.2 澳大利亚	302
10.3 德国	304
10.4 其他国家	306
本章主要参考文献	308

1 绪 论

1.1 矿业在社会经济发展中的作用

1.1.1 矿业的历史地位

马克思在《资本论》剩余价值学说中明确指出“农业、矿业、加工业与交通运输业是社会四大生产部门”，其中农业、矿业是原料生产部门，属于基础产业，加工业与交通运输业是原料后续加工和运输部门。2000年10月在美国召开的第18届世界采矿大会的主题“一切从矿业开始（Everything begins with mining）”明确表述了矿业在现代社会经济发展中的作用。

随着新兴工业部门在现代社会经济发展中的地位越来越高，人类社会由工业经济走向知识经济，矿业一度被视作“夕阳产业”。而进入21世纪，我国经济快速发展，世界经济对矿产资源的依赖也在增强，又有越来越多的人认为矿业并非“夕阳产业”。孰是孰非，还需从人类社会发展的历程中寻找答案。

矿产品的使用决定了人类文明的进程。人类文明经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代、工业革命和信息时代。非金属矿产打开了人类社会文明时代的大门。据考古资料，人类早期利用的普通石头，如石灰岩、石英岩、砂岩、花岗岩、燧石等均属于非金属矿产资源。金属矿产资源促进了人类社会由初级文明向高级文明的演化。铜是最早被人类利用的金属矿产，铜的发现和使用对人类社会文明的发展起到了极其重要的作用，一开始人们炼出的是纯铜，后来又用铜和锡炼成合金——青铜。地球上铁矿资源要比铜和锡丰富，但被人类开发使用的时间却要晚得多，原因是炼铁需要高温，且需要大量能源，冶炼工艺也很复杂。

化石能源的工业利用是人类社会文明发展的一个里程碑，这一重大转变发生在18世纪中叶英国开始的产业革命。18世纪初，英国传统的小型炼铁业以原始的方法用简陋的“高炉”冶炼矿砂，不能满足对生铁日益增长的需要。炼铁需要焦炭，而焦炭日益稀缺，而且昂贵。居民生活需要燃料，造船业和其他行业需要用木材，森林被砍光，这导致木材供应日益困难。在伯明翰附近科尔布鲁克多尔教友派教徒亚伯拉罕·达比的冶炼厂尝试用烟煤替代木炭，然而试验失败了，因为煤中所含的硫与铁化合使铁无法利用。1753年发明了烧制焦炭的方法，即在一座抽去空气的炭窑或圆炉中把烟煤加热、烘烤，最后使之可用于高炉。放弃木炭方法后，长期设在一度是林木茂盛地区的炼铁厂被迁移到了矿区，矿区就逐步发展成了工业区。煤和铁的结合成为开创工业化道路的支柱之一。传统的煤炭开采受技术制约而难以规模化，例如，当人们不断往下采掘时，矿井排水始终是一个难题，直到瓦特发明的蒸汽机诞生后，矿山排水问题才得以解决。尽管早在17世纪煤炭在英国就已经获得无可争辩的重要地位，但18世纪所有国家开采量居领先地位的传统矿业是金、

银、铜，直到20世纪，煤的意义才日益重要。19世纪中叶以来，铁路的修建及各行各业生产的日益机械化，对机器和车辆润滑油脂的需求日益增长。工作时间的延长迫切要求工厂和车间改变照明方式，动物油和植物油（当时主要是鲸油和菜油）已不能满足灯用燃料的要求。当时，美国、俄国和罗马尼亚已在小范围内使用石油产品，他们将石油注入油池，以原始方式提炼，产量非常有限。19世纪50年代，北美掀起了一个勘探较大石油油田的热潮，直到1910年左右，石油的主要用途仍是照明，而不是动力能源。1913年，美国根据威廉·伯顿提出的石油热裂变理论，将每吨石油提炼成汽油的产量翻了一倍多。第一次世界大战后发展起来的汽车和航空事业对石油提出了新要求，因此石油工业开始飞速发展。

1968年，正当工业国家陶醉于战后经济快速增长的黄金时代时，来自西方不同国家的30位企业家和学者齐聚罗马，共同探讨关系人类发展前途的粮食、资源、环境等一系列根本问题。经过努力，罗马俱乐部的研究小组发表了“增长的极限”报告。该报告估算了地球上若干种不可再生资源 and 能源耗尽的年代，其后的一些著作和言论开始把矿业视为“夕阳产业”，认为相应的矿业将消亡。

1972年，针对环境日益恶化、贫困日益加剧等一系列突出问题，联合国在斯德哥尔摩主持召开了联合国人类环境会议，会议通过了《人类环境行动计划》。这次会议之后，联合国迅速成立了联合国环境规划署。1987年2月，在日本东京召开的第八次世界环境与发展大会通过了“我们共同的未来”报告。该报告以“持续发展”为基本纲领，以丰富的资料论述了当今世界环境与发展方面存在的问题，提出了处理这些问题具体的和现实的行动建议，对各国政府和人民的政策选择具有重要的参考价值。1992年在巴西里约热内卢召开的环境与发展大会上，通过了《里约宣言》和《21世纪议程》等重要文件，确定了相关环境责任，可持续发展的理念也在逐步形成，“人定胜天”的思想逐步被“人与自然和谐相处、社会经济环境可持续发展”的理念取代。在此过程中，矿业可持续发展亦成为一个重要的议题，一方面世界经济的发展丝毫没有因为新兴产业的发展而摆脱对矿业的依赖，另一方面传统的矿产资源开发与利用又对可持续发展目标构成严重威胁。因此21世纪的矿业将是追求资源可持续开发利用及与环境相协调的产业，在国民经济体系中仍是支柱产业和基础性产业。正如王淀佐院士指出的那样，世界是物质的，IT产业首先是制造业，而不是软件业，没有硬件就没有软件，黄金钢铁是虚拟不出来的，可持续发展一定要有资源，合理利用资源就是可持续发展。

回顾人类工业革命的发展历程，不难看出：第一次工业革命发生在18世纪中期到19世纪60年代，以纺织机、蒸汽机的广泛应用为标志，尤其是蒸汽机的发明及其在工业上的应用，使人类社会劳动生产工具和生产力发生了重大变革，称为蒸汽机时代，这一时期煤铁资源起到了极大的推动作用。第二次工业革命也称技术革命，始于19世纪70年代，以内燃机和电的发明及其广泛应用为标志，称为电气时代，这一时期石油及新兴矿产资源起主导作用。第三次工业革命也称高技术革命，发生在20世纪60—70年代，目前还在持续。这场革命将人类社会由工业社会推进到后工业社会，并进入信息社会，人们也称之为信息时代，这一时期稀有金属起到了支持作用。

世界上95%以上的能源、80%以上的工业原材料和70%以上的农业生产资料来自矿

产资源。据有关资料,西欧国家一个人的寿命按照 70 年计算,一生需要消耗 460 t 沙石、39 t 钢材、100 t 石灰、360 t 燃料,因此矿产资源是人类社会文明进步的基础。现代工业和社会经济的发展及人民生活,靠的就是利用大量的矿物原料,几乎没有哪一个工业部门、哪一个人不与矿物原料的消费发生直接或间接的关系。

1.1.2 现阶段矿业对我国国民经济发展的贡献

按照我国的产业分类标准,采矿业包括煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业、黑色金属矿采选业、有色金属矿采选业、非金属矿采选业、其他采矿业。根据国家统计局发布的《中国统计年鉴》,采矿业对我国国民经济发展的贡献如下。

1. 矿业对社会经济发展的贡献突出

改革开放以来,我国社会经济的发展对矿产资源的需求不断上升,拉动或刺激了矿业的高速发展,反过来,矿业又促进了社会经济的高速发展。矿业规模不断扩张,产值持续高速增长,占全国工业总产值的比例稳中有升,矿业总产值从 1998 年的 3914.14 亿元上升到 2013 年的 80979 亿元,16 年间增加到近 20.7 倍,而同期全国工业总产值由 1998 年的 67737.14 亿元增加到 2013 年的 568845 亿元,16 年间增加到近 8.4 倍。从 2009 年到 2013 年,矿业总产值占全国工业总产值的比例显著上升,如图 1-1 所示。一方面说明我国矿业增速高于其他工业行业,另一方面也说明我国社会经济的发展对矿产资源的依赖作用依然明显。

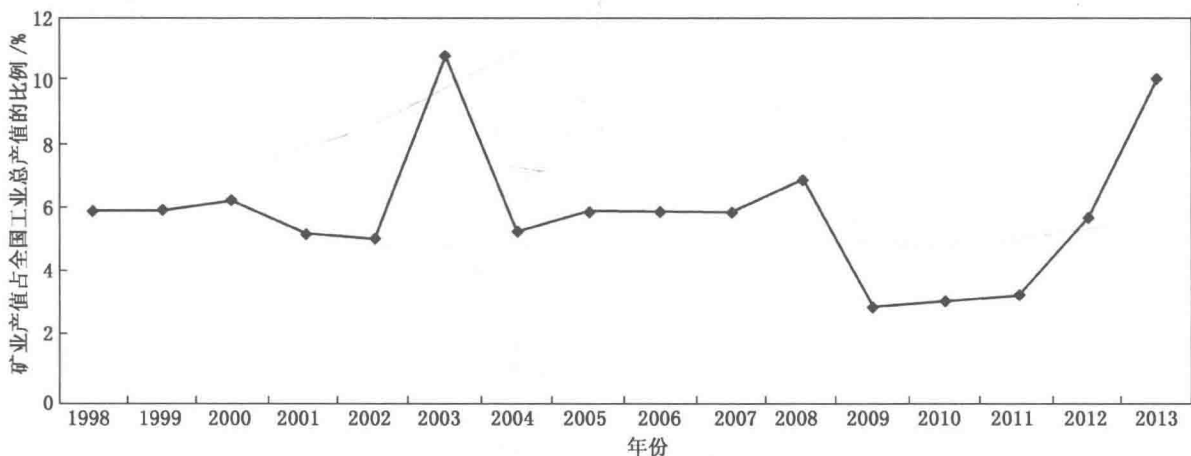


图 1-1 我国矿业产值占全国工业总产值比例的变化 (数据来源于国家统计局)

2. 矿业增加值对 GDP 拉动作用明显

1998 年以来,虽然我国矿业发展规模扩张速度仅与整个工业发展规模相当或略高,但矿业经济的增加值快速上升,从 1998 年的 2064.18 亿元增加到 2012 年的 27081.8 亿元,15 年间增加到 3.1 倍,而同期全国工业增加值由 1998 年的 19421.93 亿元增加到 2012 年的 199670.7 亿元,15 年间增加到 10.3 倍。从 1998 年到 2012 年,矿业增加值在工业增加值中的比例由 10.63% 增加到 13.56%,如图 1-2 所示。矿业增加值在 GDP 中的比例由 1998 年的 2.60% 上升到 2012 年的 5.21%。由上述数据不难看出,矿业增加值在

工业增加值中的比例超过 1/10，占 GDP 的比例迅速增加，超过了 5%，且这一比例还在增加，矿业增加值的增速也高于工业增加值的增速，进一步说明我国经济快速发展对矿产资源的依赖程度增加，转变增长方式也愈加迫切。

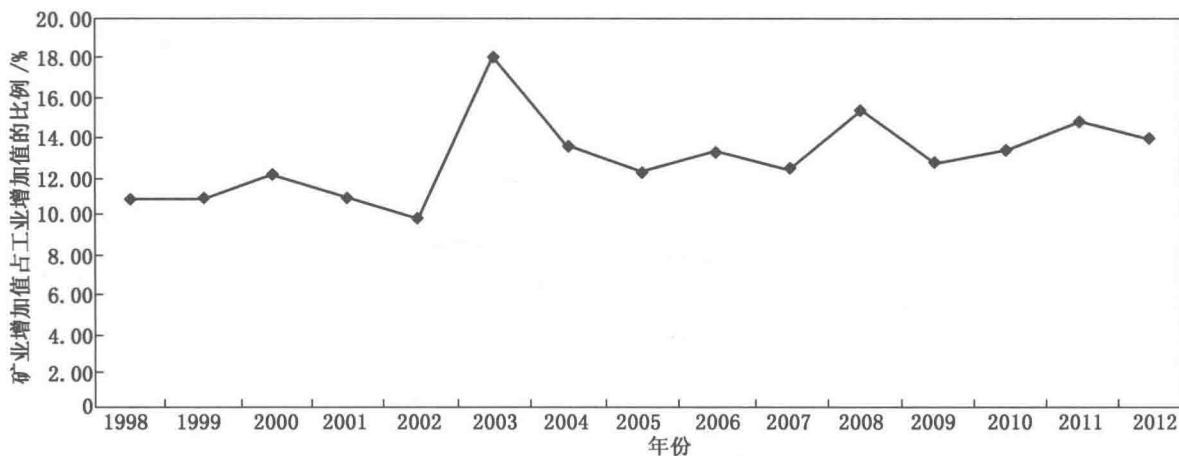


图 1-2 我国矿业增加值占全国工业增加值比例的变化 (数据来源于国家统计局)

3. 矿业经济效益明显高于工业平均水平

20 世纪 90 年代初，由于煤炭采选业和油气开采业高额亏损，我国矿业总体处于全面（政策性）亏损状态，1991 年和 1992 年分别亏损 59.55 亿元和 51.46 亿元，1993 年煤炭采选业和油气开采业仍在继续亏损，但非能源矿业盈利幅度超过能源矿业的亏损额，矿业总体盈亏基本平衡。1994 年后矿业进入全面盈利阶段，2004—2013 年矿业利润占工业利润的平均比例达到 15.2%。2004—2013 年矿业利润由 2316.16 亿元增长到 8104 亿元，增长了 2.5 倍；同期工业利润由 11341.64 亿元增长到 62831 亿元，增长了 5.54 倍。其中，2004—2008 年矿业利润增长了 2.55 倍，同期工业利润增长了 1.69 倍，且对工业利润的贡献超过 20%；2009—2013 年矿业利润增长了 2.67 倍，而同期工业利润先降后升，维持平衡。可以看出，矿业利润增速显著高于工业利润增速，如图 1-3 所示。

4. 矿业生产力水平逐年提高

在矿业总产值、增加值、利润逐年提高的同时，矿业也为社会创造了大量的就业机会，2013 年城镇矿业从业人员数量达到 636.5 万人（图 1-4），同时随着机械化水平的提高，矿业生产力水平逐年提高，表现在矿业总产值、增加值、利润占工业总产值、增加值、利润的比例在上升，而矿业从业人员总数占工业从业人员总数的比例在下降（图 1-5）。矿业每万人从业人员 1999 年创造的产值为 7.39 亿元，2008 年创造的产值为 42.83 亿元，10 年增加到 5.8 倍；工业每万人从业人员 1999 年创造的产值为 16.42 亿元，2008 年创造的产值为 57.42 亿元，10 年增加到 3.50 倍，如图 1-6 所示。虽然矿业生产力水平低于一般工业生产力水平，但其提高的幅度显著高于一般工业平均部门提高的幅度。

综上所述，我国近年来矿业发展速度超过整个经济增长速度，矿业总产值占工业总产值的比重稳中有升，矿业增加值占 GDP 的比重上升幅度更大，矿业对经济增长的贡献明显高于其他行业，说明矿业仍然是国民经济重要的支柱性基础产业。从行业经济效益上分

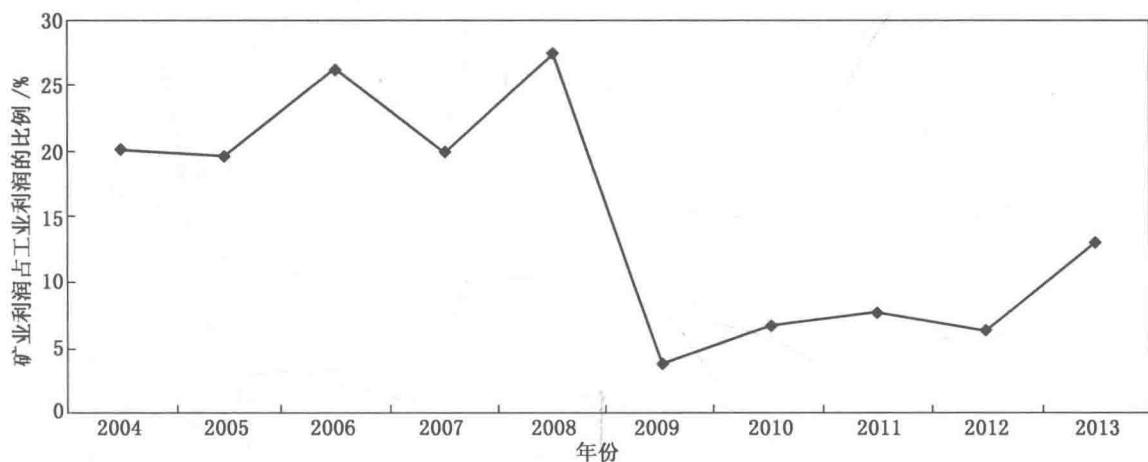


图 1-3 2004—2013 年我国矿业利润占工业利润的比例

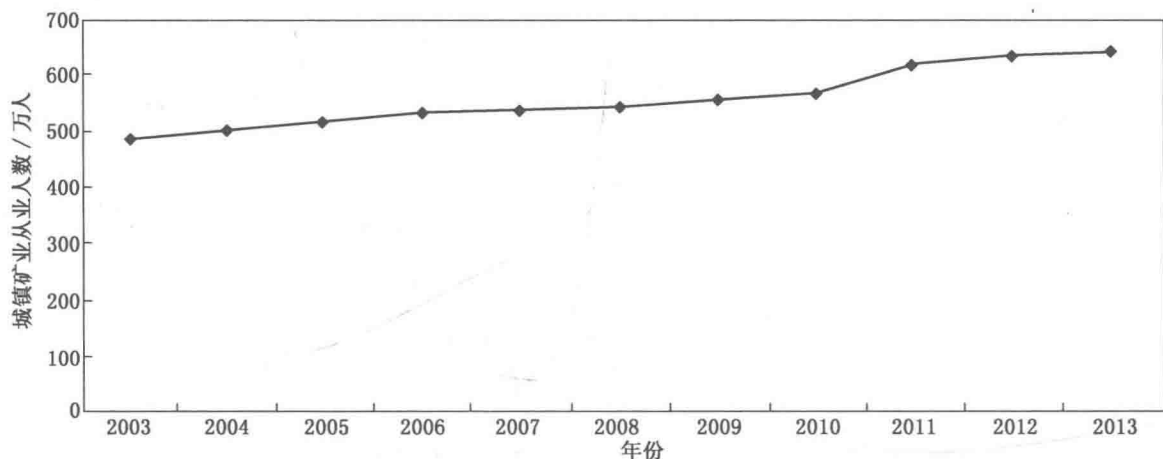


图 1-4 2003—2013 年我国城镇矿业从业人员数量

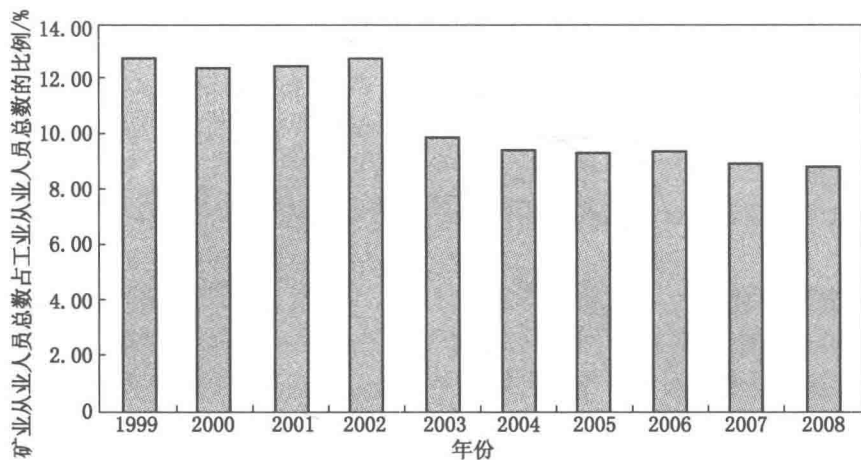


图 1-5 矿业从业人数总数占工业从业人数总数的比例

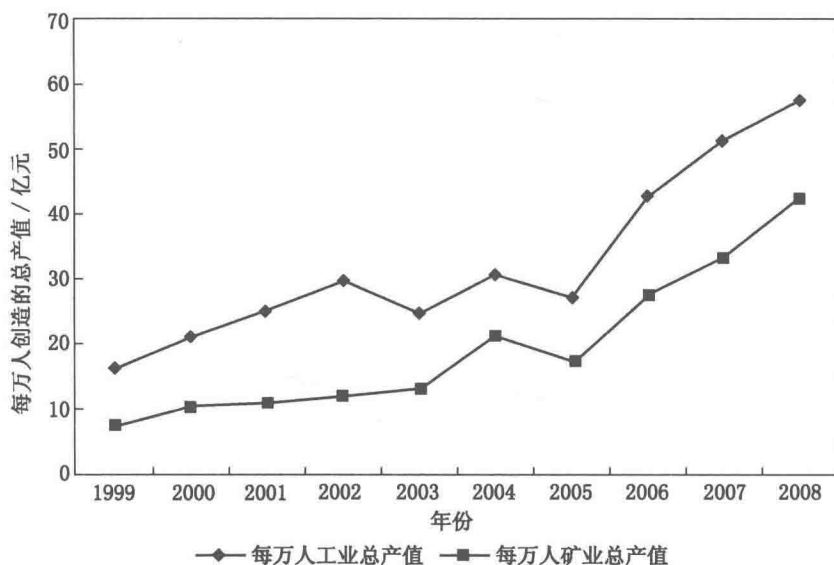


图 1-6 矿业与其他工业部门每万人创造的总产值对比

析, 矿业利润、劳动生产力水平提高的幅度等主要经济指标都大幅度高于工业平均水平, 说明目前矿业仍是工业经济最充满活力的产业之一。上述结论也表明: 我国现阶段的经济增长表现出对矿产资源较强的依赖性, 这就需要转变经济增长方式, 节约利用矿产资源, 提高资源和能源利用效率。

1.1.3 我国矿产资源赋存特点及其开采对生态环境的影响

我国现已发现的矿产有 168 种, 探明有一定储量的矿产有 153 种, 其中能源矿产 8 种, 金属矿产 54 种, 非金属矿产 88 种, 水气矿产 3 种; 探明储量潜在价值仅次于美国和俄罗斯, 居世界第三位, 是世界上矿产资源丰富、矿种齐全配套的少数几个国家之一。我国矿产资源赋存特点及其开采对生态环境的影响特征如下。

1. 矿产品种齐全, 总量丰富, 人均资源相对不足

我国探明储量居世界前列的矿产资源中, 钒、钛、锌、钨、锑、石墨、石膏等矿产资源的探明储量居世界首位, 汞、钼、磷等矿产资源的探明储量居世界第二位, 煤、铅、石棉等矿产资源的探明储量居世界第三位, 居世界前列的还有铁、锰、铜、铝、金、钠盐、石油、天然气等矿产资源。我国矿产资源人均占有量仅为世界人均占有量的 58%, 居世界第 53 位。

因上述资源赋存特点, 加上近年来我国经济快速发展, 使我国迅速发展成为世界采矿大国, 全国 2000 多个县市中, 1800 多个县市有矿产资源开发企业。我国的矿山生态环境问题与采矿点分布一样, 分布广泛, 区域差异明显, 已成为影响矿业与区域社会经济可持续发展的关键。

2. 贫矿多, 富矿少, 共生伴生矿多, 单矿种矿床少

铁、锰矿石是发展我国钢铁工业的主要矿产, 但国内铁矿石入选的平均品位仅为

33.5%，比世界平均水平低10%以上；而含钒钛、含稀土、含锡、含硼的复杂共生铁矿资源占铁矿石总储量的1/3；锰矿石的平均品位只有22%，不及世界商品锰矿石工业标准48%的一半，而且不少矿区的矿石含磷高，需要进行降磷处理；铝、铜矿石是发展有色金属工业的主要矿产，我国用于生产氧化铝的铝土矿几乎都是一水硬铝石，其建设投资和生产成本明显高于国外的三水铝石或一水软铝石矿；我国的铜矿石品位大于1%的储量仅占总储量的35%，而全国的铜矿石平均品位只有0.87%，远低于智利、赞比亚等重要产铜国的铜矿石品位；硫矿资源以硫铁矿为主，且贫矿多；磷矿资源富矿少，矿石平均品位仅为16.95%，且胶磷矿多，开发利用难度大；在已探明的金矿储量中，难处理微细粒嵌布含砷、含碳高的金矿约占1/4，采用常规工艺处理，不但回收率低，且污染严重，有待开发新的工艺技术。

上述资源赋存特点导致我国矿山生态环境问题更为严重，表现在废弃物排放量大，矿产开采与加工利用成本高。

3. 超大型矿床少，中小型矿床多

我国矿产资源总体上是矿区数量多，单个矿区规模偏小，由于单个矿区难以形成规模开发，影响了矿产资源开发的总体效益。矿床规模较大的矿种仅有煤炭、钨、钼、锑、铅、锌、镍、稀土、菱镁矿、石墨等。一些支柱性大宗矿床的规模则以中小型为主，如铁矿、铜矿、铝土矿、硫铁矿等。智利丘基卡玛塔的一个铜矿山年产金属铜达 65×10^4 t，而我国2000年全年铜精矿含铜量仅为 59.26×10^4 t（根据中国有色金属工业2001年年鉴统计），2012年才提高到 148.6×10^4 t，难以形成规模经济效益。

上述资源赋存特点导致我国采矿点分散，环境污染面广，矿产资源开发缺乏规模效益。

1.1.4 国际上主要经济体的矿业在社会经济发展中的作用

1. 美国

美国是已探明矿产资源最丰富、矿产品总量最大、矿产品进出口贸易额最多的世界头号矿业大国。据有关研究资料，美国矿产储量潜在价值总值达298392.75亿美元，是中国的1.8倍，占全球矿产储量潜在价值总值的21.67%；每平方千米国土内矿产资源潜在价值为318.387万美元，是中国的1.84倍，居世界第17位；人均潜在价值为12.017万美元，是中国的8.42倍，居世界第19位。美国各类矿产资源的丰度状况不尽相同，总体来看，非金属矿产资源最为丰富，分布亦广，金属矿产和能源矿产次之。能源矿产中煤矿和铀矿资源比较丰富，在世界上占有重要地位，而油气资源丰度一般；金属矿产中铜、铅、锌等有色金属矿产和金、银等贵金属矿产较为丰富，其他金属矿产一般；非金属矿产中化工矿产和轻工矿产最为丰富。目前美国开发的矿产品种主要有石油、天然气、煤炭、铁、铜、铅、锌、金、银、钼、铀、稀土、硫、磷、硼、天然碱、高岭土、膨润土、硅藻土、石膏、盐、砂石等78种矿产。据美国国家矿业协会报告，随着美国人口的增长、经济的发展和人民生活水平的提高，整个社会对矿产品的需求量与日俱增，从而有力促进了矿业生产的发展。近40年来，美国非能源矿产生产产值增长了30多倍。美国矿业对于美国经济发展和人民生活改善的作用主要表现在以下几个方面：

(1) 为美国经济发展提供了大量能源和原材料。1998年美国矿业提供了51%的石

油、88% 的天然气、100% 的煤炭、76% 的铁矿石、95% 的铜及大量的非金属矿产品，为美国能源和原材料工业，乃至整个社会的发展提供了重要的资源保障。

(2) 为美国创造了大量的经济效益。1998 年美国矿业产值达 1316 亿美元，占美国国内生产总值 60000 亿美元的 2.19%，如果把由矿产品加工而成的原材料产值计算在内的话，则将有大幅度增长。据美国矿业协会资料，仅由固体矿产加工成的原材料即由 400 亿美元增长为 4000 亿美元，经济效益增长 910 倍，矿业及矿产品加工业产值约占美国国民生产总值的 5%。此外，1998 年矿业的发展为美国创造的总体经济效益达 491768 亿美元，其中个人收入 1120.68 亿美元，商业收入 322573 亿美元，州及地方政府税收 253.12 亿美元，联邦政府税收 318.15 亿美元。近年来，由于油气资源的开采，美国采矿业产值持续增加，以 2007 年采矿业产值指数为 100 计算，2013 年采矿业产值指数达 119，据 U. S. G S 估算，2014 年该指数达到 130 (U. S. G S, 2015)。

(3) 为劳动就业和提高人民生活水平做出了重要贡献。美国矿业经过 200 多年的发展已达到了相当大的规模，1998 年已建成现代化的固体矿产生矿山 13876 座，有 357315 人在矿山就业，另外还有石油生产井 57 万多个，解决了数以百万计的劳动力就业问题，从而为解决社会就业和改善人民生活水平做出了重要贡献。美国矿工也受到了优厚的待遇，全美固体矿产矿山工人年平均收入达 49995 美元，比全美其他行业年平均工资 30053 美元高出 19942 美元，为其他行业的 1.66 倍。2013 年采煤工人的周工资达到 1361 美元。

(4) 为区域经济协调发展做出了重要贡献。由于美国矿产资源丰富，分布也相当广泛，再加上对开发矿业比较重视，所以美国 50 个州都有矿业开发活动，建有数量不等的矿山，从事规模不等的矿业生产，对各个州的经济增长都有一定的贡献。由于矿产资源产地多分布于较为偏僻和经济落后的地区，通过矿产资源勘查开发，在原本荒凉的地区建起了一座座矿山，特别是美国西部地区矿业更为发达，这对于美国开发西部、促进东西部地区经济社会协调发展起到了重要作用。

(5) 矿业为美国人民的生活消费提供了大量的矿产资源。矿产资源是人民生活不可缺少的物质基础，人们的吃、穿、住、行、用、医等生活的各个方面都离不开矿产资源。正因为如此，由美国承办的第 18 届世界采矿大会的主题定为“一切从矿业开始”。而随着社会的发展、文明的进步和人民生活水平的提高，矿产资源的消耗量也与日俱增。美国 1776 年刚独立时，人均消耗矿产品量为 536.86 kg，而 1998 年人均消耗矿产品量猛增至 21.578 t，增长到 40.2 倍。美国人每人每年消耗的矿物达 20865.25 kg (46000 磅)，包括 3401.94 kg (7500 磅) 煤炭。可见，现代社会对矿产品的需求和依赖度大为增加。

(6) 2014 年，美国有砷、石棉、铝土等 19 种矿产品 100% 依赖进口，铋、锌、钴、钾等 25 种矿产品 50% 以上依赖进口，另有 17 种矿产品美国为净出口国。

2. 欧洲

欧洲是世界上工业化最早的地区，也是近代化矿业的发源地。历经数百年的矿业开发，虽然矿业在欧洲已逐步衰退，甚至一些国家已关闭了部分矿山（如法国在 2004 年底已关闭所有煤矿，德国也计划在 2018 年关闭所有的硬煤矿山），但矿业在欧洲社会经济发展中的作用丝毫没有下降。据欧洲矿业协会网站 (www.euromines.org) 数据，过去 10 年