

矿产资源经济学

朱永峰 孙世华 著

Mineral Resource Economy



中国经济出版社

前 言

矿产资源是自然资源的重要组成部分，是人类社会赖以生存与发展的基础。人类对矿产资源的开发利用有力地促进了矿业的发展，矿产资源的开发利用也对社会分工和社会生产的进步起到了重要促进作用。随着人类社会的进步，人们能够开发利用的矿产资源日益丰富，从最早期简单地使用石块到冶炼黄铜、青铜、钢铁，直到现代社会广泛开发利用原子能，每一阶段都标志着人类社会的巨大进步和人们对矿产资源开发利用水平的迅速提高。

世界近代史更生动地指出社会发展与资源开发基础的依存关系。十九世纪是大英帝国的霸权时代，二十世纪是美国的霸权时代。他们的称霸分别依赖于当时的产业革命和技术革新，而产业革命的资源基础是煤和铁，技术革新的基础是石油和铜铝镍等金属。二十一世纪是一个高新技术革命的时代，新能源和稀土、稀有金属资源的开发利用已成为这个新时代的关键。

矿产资源的开发利用是人类有意识的一种社会经济活动，它不仅受矿产资源状况的制约，更受经济技术水平的限制。在矿产资源开发利用过程中必须考虑到经济上的合理性和技术上的可行性。在制定矿产资源开发利用的规划时，要正确处理局部利益与全局利益的关系，当前利益与长远利益的关系。因为矿产资源是一个有机的整体，它不仅是各要素之间相互联系、相互制约的整体，而且在地域

之间也是相互联系、相互结合的整体。

矿产资源经济学的理论和实践融会了矿床学、开采技术、经济科学和国家矿业政策等多学科的知识。矿产资源经济学家需要确保向工业生产提供充足的、可靠的和尽可能便宜的矿物原料，这一任务要求矿产资源经济学家在发现和开采矿床的基础上告诉人们如何能最佳地利用和分配矿物原料、如何能避免浪费、如何能把给环境造成的负担保持在一定的限度内。因此，矿产资源经济学的具体任务可归纳为以下几点：有效地计划并参与找矿和研究矿物原料矿床；评价矿产资源的勘探与开采项目；合理利用矿产资源，使之免遭浪费，并在矿床开采过程中保护环境；分析矿产品及其再生原料市场，预测矿产品价格的变化以便保证矿业投资的最大利润；参与讨论国家矿业政策，为有关决策提供准确的基本材料。

本书的出版得到了中国科学院研究基金 KZ951-B1-404 的支持。中国矿物资源探察研究中心的日本专家秋山伸一、志贺美英、加拿大矿业咨询专家 Hedenquist Jeffrey 教授、有色金属总公司的刘国平研究员、中国矿产信息院的戴自希研究员、北京大学的王时麒和艾永富教授提供了许多资料。北京大学何国琦教授审阅了部分章节，中国科学院涂光炽院士审阅了全部书稿。他们提出的宝贵修改意见极大的完善了本书的内容。我们的家人为我们夜以继日地工作表现出了极大的容忍并积极的支持了我们的工作。这里谨对他们的帮助致以衷心的感谢。由于作者水平有限，书中错误和不妥之处恳请读者批评指正。

目 录

第一章 自然资源与矿产资源	1
第一节 自然资源的开发利用	2
第二节 矿产资源与社会发展	5
第三节 矿产资源的储量	16
第二章 矿产资源经济评价	22
第一节 经济评价原则	27
第二节 经济评价方法	33
第三节 影响经济评价的因素	40
第四节 敏感性分析	60
第五节 风险分析	68
第六节 奥托-巴卡尔投资决策准则	82
第三章 矿物原料市场	86
第一节 市场结构与市场形态	87
第二节 市场组织形式	96
第三节 价格	108
第四章 重要矿产资源	125
第一节 铁、锰、镍和铬铁矿	127

第二节	铜、铅、锌和铝土矿	137
第三节	钨、锡和锑	148
第四节	黄金	153
第五节	金刚石	156
第六节	钾盐和磷	160
第五章	矿产资源供需矛盾	167
第一节	二氧化钛供需形势	168
第二节	铜供需形势	171
第三节	矿产资源会匮乏吗?	174
第四节	海洋中的矿产资源	175
第五节	矿产勘查进展	182
第六章	中国的矿产资源	192
第一节	主要金属矿产	193
第二节	主要非金属矿产	208
第三节	矿产分布与矿业布局	213
第七章	能源与能源需求	217
第一节	煤炭	219
第二节	石油和天然气	227
第三节	核能	237
第四节	俄罗斯能源概况	257
第五节	科威特能源概况	264
第六节	巴西能源概况	268

第七节 我国的能源矿产	271
第八节 我国的能源政策	273
第八章 矿业形势	277
第一节 矿业发展现状	277
第二节 矿业法调整	280
第三节 矿产经济评估	289
附录	295
主要参考资料	297

第一章 自然资源与矿产资源

自然资源是人类用来满足自身需要和改善自身福利的自然条件和原料。人在自然环境中发现的各种成分，只要它能以任何方式为人类提供效益就属于自然资源。从广义来说，自然资源包括全球范围内的一切要素，它既包括过去进化阶段中无生命的物理成分如矿物，又包括其他如植物、景观要素、地形、水、空气、土壤和化石资源。因此，自然资源是在一定的时间条件下，能够产生经济价值的、提高人类当前和未来福利的自然环境因素的总称。自然资源的科学概念具备如下特征：自然资源不是脱离开生产应用的抽象研究对象，而是在不同时间和定向范围内可为人类提供福利的物质。自然资源的概念和范畴不是一成不变的，随着社会和科学技术的发展，人类对自然资源的理解不断加深，包括的范围不断扩大，过去被视为不能利用的自然环境因素，随着社会生产的发展和科学技术水平的提高，可变为有一定经济利用价值的自然资源。

自然资源可分为两大类：一类是地下资源，赋存于地壳之中，主要包括矿物原料和能源等，称之为矿产资源，这是本书讨论的主题；另一类是地表资源，赋存于生物圈中，也可称作生物圈资源，主要包括由地貌、土壤和植被等因素构成的土地资源，由地表水、地下水构成的水资源，由各种动物和植物构成的生物资源，以及由光、热、

水等因素构成的气候资源等。根据自然资源在经济部门中的地位可以将其分成农业资源、工业资源、交通资源、矿产资源等，在每一种类型下又可进行更细微的划分，比如在矿产资源下，通常可划分出能源资源、水资源、地热资源、金属矿产资源和非金属矿产资源等。

按照自然资源的再生性质可将自然资源分为三类：第一类是不可再生的资源，或那些再生率小到可以忽视的原料，它们的总量是有限的；第二类是流动资源，包括太阳辐射、风和海潮，以及水圈中的水，这些资源在本质上是连续不断地供应的，它们的更新过程不受人类影响；第三类是可自然更新的资源，包括所有能生长和繁殖的有生命的有机体。

矿产资源是指由地质作用所形成的，赋存于地表和地壳中，采用现代生产技术，能够为国民经济所利用的矿物资源。矿物资源一般有固体、液体和气体三种存在形态。矿产资源的分布非常不均匀，在世界上很难找到两个拥有完全相同矿产资源的地区。

第一节 自然资源的开发利用

现代社会面临环境破坏、人口爆炸、资源枯竭和国际经济秩序崩溃四大危机，粮食、能源、矿物材料和水等各种自然资源是人类生存和支持人类社会发展的基础。为了人类社会健康可持续发展，人类必须合理地开发和利用自然资源，并在此过程中努力保护人类赖以生存的环境。

开发利用自然资源时，应注意以下几个方面的问题。

保证生态平衡

在整个生物圈中，森林、草原、荒漠、湖泊和沼泽等，都是由动物、植物、微生物等生物成分和光、热、水、土、气等非生物成分所组成。每一成分都不是孤立的，而是相互关联、相互制约地形成一个统一的自然综合体。这是一个自然生态平衡的总体，每一个组成部分各自成为一个自然综合体，形成一个生态系统。人们要开发利用其中任一资源就不可避免地要影响其它资源，打破整个生态系统的平衡。如果其中一个生态系统受到外界的干扰，超过它本身自动调节的能力，结果就会使有机体数量减少，生物量下降，生产力衰退，从而引起其结构和功能的失调，使物质循环和能量交换受到阻碍，最终导致整个生态平衡的破坏。因此要针对各种自然资源的基本特点，因地制宜，适时适量，合理地开发利用，以保持各种生态系统的平衡和相对稳定。

与自然资源的换代补给相适应

自然资源的开发利用与换代补给在客观上有一个平衡关系，如果违背了它，就会发生难以预料的后果，如煤炭、石油等非再生资源，是经过漫长的地质时代才形成的，总储量是一定的，开采一点少一点，所以煤炭、石油资源的开发利用，都要求有一个合理的储采比，如果不考虑它的总储量，片面追求高产，盲目扩大开采规模，就会

导致矿山提早衰老，资源枯竭，给经济再生产造成巨大损失。

综合开发利用

对自然资源的多目标开发和综合利用是现代化生产中开发利用自然资源的必然途径。这不仅由自然资源本身的特性所决定，而且现代化生产的发展，在客观上提出了需要，在技术上提供了可能。例如对煤炭资源的开发利用，过去只考虑能源需要一项指标，现在由于现代化生产技术的发展，使煤炭资源在化学等工业方面有了更广泛的用途，大大地提高了煤炭的经济利用价值，这就使煤炭资源的开发利用，不仅要满足能源的需要，还要考虑化学等工业部门综合利用的需要。因此，进一步开发利用各种自然资源，需要从发展国民经济的总体利益出发，全面考虑，合理规划，有计划地安排自然资源的多目标开发和综合利用，以期获得最大的经济效益。

开源和节流

自然资源是丰富多样的，但不是无限的，随着现代化生产的发展，生产规模的扩大和生产技术水平的提高，对自然资源的需要量就更大，对质量的要求就更严格。目前已有不少种类的自然资源，在一些国家和地区出现了程度不同的匮乏和危机。逐步解决这些问题的基本途径，就是开源和节流的并举、互相结合。一方面提倡节约，采取有力措施，提高现有已开发利用自然资源的经济利用效

率；另一方面增加生产，进一步提高现有已开发利用自然资源的产量，并采用现代化生产技术，开发利用新的自然资源，来满足现代化生产发展的需要。

保护环境

为进一步合理开发利用自然资源，就需要保护、发展自然资源，如果只偏重对自然和自然资源的利用，而不注意保护，那么现在和将来都会造成极严重的后果，而且那些尚未被认识的很有价值的自然资源，一旦遭到破坏或灭绝，对国家对人类也必将造成重大损失。为此，对已经开发利用或待开发利用的自然资源，要采取保护性的措施，即在开发利用时要考虑保护，在保护条件下进行合理的开发利用。

第二节 矿产资源与社会发展

劳动创造了人和人类社会文明，当我们的祖先开始使用石块围击猎物并学会了通过燧石撞击而取火时，人类社会开始走上了漫长的文明之路。人类社会的文明发展史同时也是一部发现和利用矿产资源的历史。从早期的旧石器、新石器过渡到青铜器、铁器，直到普遍开发利用原子能的现代社会，每一步飞跃都与人类开发利用矿产资源密切相关。早期的人仅能利用天然存在的石头为自己谋福利，随着人探索自然能力的增强和社会的需要，人们发现了自然铜，并逐渐学会了从矿石中冶炼铜的技术，在此基

基础上又学会了冶炼铁。到了现代社会，人类能开发利用的矿产资源已达数万种之多，不仅能利用几乎所有天然存在的元素，而且还使原子分解并开发利用原子裂变时释放出的能量。因此，人类社会的文明总是与人类开发利用矿产资源紧密联系在一起。

黄金与人类发展史^①

人类对金的占有欲望已延续了 5000 多年，显然是由于它的自然魅力和永恒价值，一部黄金史就是一部人类的发展史。埃及人用最完整的平面几何图形——圆，作为金这个最完美、最珍贵金属的象征。炼金术士把黄金与太阳或希腊太阳神（阿波罗）联系在一起，并用最完美的符号来表示，一个圆和一个圆心，或四周缀有光束的圆环，表示金属之王。对早期的印度哲学家来说，金是矿物之光；而早期的西方哲学家则相信这种金属是阳光的象征，因而是宇宙神灵的化身。

黄金很可能是早期古人类知道的第一种金属，他们在土壤和河砂中发现黄金呈块金和片金产出时，毫无疑问都被它内在的美丽、极大的延展性和极不易损坏的特点所吸引。当部落经过古石器、中石器和新石器时代逐步开化，聚集成为文明中心时，这种金属似乎被看作具有神圣属性，因为它经久耐用，最初很可能当护身符佩带，后来被作为宗教信物。在早期印度、苏美尔和埃及文明时期（公

^① 据博伊尔（1984）

元前 3000 ~ 前 2000 年), 黄金不仅保留它的神圣属性, 而且还成为财富和社会地位的象征。荷马(公元前约 1000 年) 在古希腊史诗《伊利亚特和奥德赛》中多次提及黄金既作为凡人具有财富的标志, 也作为神灵显赫的象征。在希伯莱人的圣经《旧约全书》里多次提及黄金和黄金开采。

印度产金历史悠久, 古代就从那里的残积和冲积砂矿中和从矿脉氧化露头中采出过大量黄金。公元前一世纪赛克尔在他所写的《史书条目》中指出: “在印度, 地下蕴藏有许多种富矿脉, 包括许多银和金”。同样在黄河商代文化早期(公元前 1800 ~ 前 1027 年) 中国人就开始寻找和利用黄金, 这种贵金属主要来自这条大河腹地的砂矿。

1492 年哥伦布看到希斯帕尼技(海地) 的土著人手中拥有金块, 这一发现引起了西班牙人的兴趣, 后来他们出征并征服了墨西哥和南美洲, 1550 年在哥伦比亚的乔科地区找到了产有巨大砂金矿的“黄金国”。葡萄牙人在 16 世纪下半叶发现了巴西的金矿, 1693 年发现了米纳斯格拉斯大金矿, 此后一个世纪, 该国成了世界的主要黄金产地, 其中著名的莫洛费尔金矿已在地下开采了将近一个半世纪, 现在仍保持较高的产量。

从十九世纪初开始, 寻找黄金的足迹遍布加拿大和美国, 形成多次大规模的“淘金热”, 1848 年首先进入加利福尼亚, 1896 年到育空地区克朗代克, 1899 年到达阿拉斯加的诺姆。十九世纪下半叶和二十世纪上半叶, 在许多砂矿已经采尽或已濒临闭坑的情况下, 人们开始把注意力

转向基岩矿床。

据估计，截至 1998 年底，从地球上开采的黄金总量已达 130000 吨，其中 2% 是 1492 年以前，8% 是 1492 ~ 1800 年期间，20% 是 1801 ~ 1900 年期间，70% 是 1901 ~ 1998 年期间生产的。用体积来衡量，这些黄金将占 6300 立方米的空空间，体积虽小，但它却记述了 5000 年来人类的痛苦和磨难，人间之喜悦和悲伤。

我国古代矿业^①

中国是世界上历史悠久的国家之一，我们的祖先早就发现并利用许多自然界的岩石和矿物资源。在长期利用自然资源的过程中，逐步掌握了一些简单的采矿冶炼技术。

自古以来，中华民族就喜爱玉石，把玉作为美好生活和为人品德的象征。出土文物表明，在七千年前的我国新石器时代遗址中就有玉器，距今三千多年前的殷代就有精美的玉器工艺，而且分布广泛，数量较多。浙江余姚河姆渡遗址第四文化层中，掘出璜、决、管、珠等玉制饰品 19 件，距今 5000 ~ 7000 年，并有萤石制成的装饰品。南京北阴阳营青莲岗文化（公元前 5400 ~ 前 4400 年）墓葬中，出土近三百件制作精美的玉和玛瑙饰物。河南偃师二里头文化（公元前二十一世纪—前十七世纪）遗址曾出土长条形玉饰和玉棕、玉块等礼器。河南安阳殷墟五号墓（公元前十四世纪 ~ 前十一世纪）掘获玉器约 700 件，其

^① 据中国矿床（上）

中 300 多件为装饰品和艺术品，其它为礼器、仪仗，实用工具与用具。

从自然铜的发现和利用开始，经历了青铜器的繁荣时代，并向铁器时代过渡的时期，正是我国奴隶社会形成、发展和向封建社会过渡的时期。唐山市大城山龙山文化遗址中发现两块红铜牌，甘肃武威、临夏的齐家文化部落墓葬中多次发现红铜工具和装饰品。红铜不仅经过锤打，还见用单范（铸横）铸造的小斧等红铜器物。河南偃师二里头遗址（公元前 1900 ~ 前 1500）第三堆积层中发现了铜渣、嫩蜗片和铜器、铜凿、铜片、铜锥、铜鱼钩、铜铃、铜刀、铜镑、铜爵等铜锡合金“青铜器”，推测夏代早期属于红铜器时代，夏代晚期可能进入青铜器时代。郑州商代遗址和安阳殷墟出现大量青铜器，黄随盘龙城遗址出土了商代中期 159 件青铜器和一些孔雀石。安阳武官村出土的著名司母戊大方鼎是商代后期的青铜工艺品，表明商、西周是使用青铜的极盛时期，经分析，此鼎含铜 84.77%、锡 11.4%，铅 2.79%。河北菱城台西村出土的商代铜钺，嵌有铁刃，铁锈中残留层状氧化镍（含 NiO_2 0.5%）、氧化钴（含 CoO 0.24%）和铁（含 Fe 60-70%），说明铁刃是用陨铁锻造而成，为 3500 年前的遗物。

春秋战国时代是我国从奴隶社会过渡到封建社会的时期，也是从铜器时代过渡到铁器时代的时期，矿产得到广泛的利用，矿业受到更大的重视。当时社会处于大变革、群雄并起、百家争鸣、文化技术空前发达的时期，是我国古代文明的鼎盛时期。商代青铜铸造已是主要手工业，经

1100多年到春秋末期已积累了丰富的开采铜矿和冶铸青铜的经验。春秋时代齐国官书《考工记》中，系统地载入冶铸不同用途青铜的铜锡比例：“金（当时称铜为金）有六齐（即铜锡比例）：六分其金而锡居一，谓之钟鼎之齐（即为制造钟和鼎的青铜成分）；五分其金而锡居一，谓之斧斤之齐（即可制斧头等工具）；四分其金而锡居一，谓之戈之齐；三分其金而锡居一，谓之大刃之齐；五分其金而锡居二；谓之削杀矢之齐（这三种均指可制武器）；金锡半，谓之鉴隧之齐（即可制平面镜和四面镜）”。这就是冶金史上著名的“六齐”规则，是世界上最早的合金成分规律著作。当时（东周）已用铜金银等铸币，广泛流通，促进商品交换。江苏六合程桥春秋墓出土的铁球和铁条各一件，经金相鉴定，铁球为白口生铁，铁条是块炼铁锻成。这是冶金史上划时代的大事，它表明我国是世界上产生铁最早的国家，比欧洲应用生铁早一千九百多年。

湖北铜绿山铜铁矿床的春秋时代古矿井中，发现11件重达七斤的大铜斧，而战国中后期古矿井中，金属工具则全是铁器，可见生铁的生产是继承青铜冶铸技术发展而来，而其基础则受制于矿产资源特点。古代铁矿业的发达，显然是与我国铁矿分布广泛，且多铁铜共生矿床和沉积铁矿床，其氧化矿石和富矿石易于冶炼有关。铁器一经诞生，即以空前的速度推动着社会的前进，从出土器具和古籍史料看，战国初期铁制农具和兵器尚少，而战国中期以后，铁农具已广泛用于大面积土地耕作；战国晚期南方的楚、吴和北方的齐、赵、韩、燕都已有着发达的冶铁

业。北起辽宁、南到湖南，东起山东半岛，西到四川、陕西，七国广大地区都在使用铁器，在短短的 255 年（战国时代起于公元前 475 年止于公元前 221 年）中几乎遍及全中国。

秦始皇统一全国以后，聚集民间各式兵器铸成十二铜人，共重 24 万斤，自汉武帝实行朝廷铸钱，至西汉末年 120 年内铸出五铢钱（据实测每枚重 3.5 克，280 亿枚），平均每年用于铸钱的铜约 800 吨，可见秦汉时期用铜之广，冶铜规模之大。据统计，西汉铁器出土地点超过 60 处，西汉冶铁遗址 20 多处；南阳冶铁遗址在发掘的三千平方米内就有 17 座半地穴式炼炉、煤饼、陶范、锻、铸件，成套工具和铁矿石。王莽死时，国库中黄金达 70 万斤（约合 179.2 吨）；与当时罗马帝国的黄金储备相等。

清代铁冶由民间经营，前期铁厂以广东佛山、陕西汉中为著。铜矿主要为官办，清代前期主要开采滇铜（汤丹厂最高年产近 1300 万斤）和四川西昌—冕宁的铜。采金盛期则在光绪年间（1875 ~ 1908 年），汞矿集中在贵州、湖南、云南。锌明代称“懂铅”，清代称“白铅”，可能唐朝时期即已使用，十五世纪民间大量生产。明朝宋应星将火法炼锌记于《天工开物》，十八世纪三十年代为英国人传到欧洲，表明我国火法炼锌要比欧洲早四百年以上。黄铜即铜锌合金。白铜是一种铜镍合金，东晋时记载它出于云南会泽、巧家一带，可能是用会理地区铜镍共生矿石造成的；另一种白铜是铜砷合金，《新唐书》记有：“赵赞采连州（即今广东连县一带），白铜铸大钱”。粤北—湖南盛