

教育部高等学校地矿学科教指委采矿工程专业推荐教材

KUANGCHAN ZIYUAN PINGGU XUE

矿产资源评估学

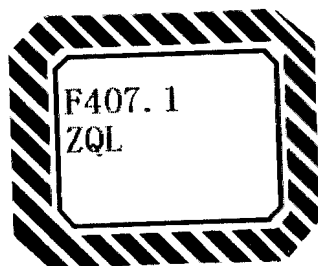
张钦礼 王新民 刘保卫 编著

 中南大学出版社

教育部高等学校地矿学科教指委采矿工程专业推荐教材

矿产资源评估学

张钦礼 王新民 刘保卫 编著



中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

矿产资源评估学/张钦礼编著. —长沙:中南大学出版社,2007.6
ISBN 978-7-81105-563-4

I. 矿... II. 张... III. 矿产资源—资产评估 IV. F407.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 085922 号

矿产资源评估学

张钦礼 王新民 刘保卫 编著

责任编辑 刘 辉

责任印制 文桂武

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

印 装 长沙利君漾印刷厂

开 本 730×960 1/16 印张 14.5 字数 218 千字 插页

版 次 2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-81105-563-4

全套定价 28.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

序

矿产资源的不可再生性、储量耗竭性、供给稀缺性与人类对矿产资源需求的无限性形成尖锐的矛盾。任何国家的经济发展都高度依赖矿产资源，矿产资源的可持续发展对国家经济具有举足轻重的作用。当前，我国已进入工业化快速发展时期，许多矿产资源的供需矛盾十分突出，表现为储量增长赶不上产量增长，产量增长赶不上消费增长，一些重要矿产进口量激增，现有矿产资源储量的保证度急降。可以预见，未来三十年我国矿产资源消费需求仍将成倍数增长，中国将成为许多矿产资源的第一消费大国，供需矛盾将越来越尖锐。为保障我国国民经济发展第三步战略目标的实现，必须采取综合政策、技术、经济措施，保持矿产资源的可持续供应。为此，需对矿产资源的分布特性、资源潜在能力、未来不同时期的供需状况等进行科学评估和预测，为国家和地区制定行业发展规划、企业制定自身发展战略提供依据。

另一方面，矿产资源供应的短缺和需求的旺盛，使矿产品市场日益活跃，矿产品价格一路走高，矿业勘探与开发领域的转让、出售、联营等经济活动日趋频繁，客观上要求对所交易的矿业权(探矿权、采矿权)进行价值评估，为标的矿业权的交易提供参考。

正因为矿产资源评估兼具宏观和微观决策支持功能，在世界上得到广泛重视，我国也实行了矿产资源评估师制度，制定了矿产资源评估的相关法律、法规，完善了评估程序和评估方法。但我国当前矿产资源评估更多关注的是矿业权评估，即经济评估部分，对矿产资源

的技术评估(如储量、开采技术条件、资源潜在能力、供需预测等),虽然也有部分研究成果和相关文献报道,但未形成完整的系统。

本书在参考国内外矿产资源评估研究成果的基础上,结合作者本人的研究成果,系统总结和介绍了矿产资源评估(包括技术评估和经济评估)的理论和方法,涉及矿产资源评估的主要领域,是个大胆的尝试。由于我国矿产资源评估起步较晚,当中许多内容至今仍在探索和发展之中,加之作者水平所限,难免有疏漏与不足之处,敬请读者指正,以祈逐步完善矿产资源评估学的内容和体系,为推动我国矿产资源评估工作的开展做出新贡献。



中国工程院院士
2007年4月

前 言

资源是指环境中能为人类直接利用,并带来物质财富的部分。资源可分为自然资源和社会资源两大类。后者是指社会经济系统中为人类所利用、并能提高生产力水平的社会经济因素,如人力资源、资本资源、文化资源、信息资源等。自然资源定义很多。联合国环境规划署认为,自然资源是在一定时期能够产生价值,提高人类当前和未来生活水平的自然环境因素;而《英国大百科全书》将自然资源定义为在一定时间内人类可以利用的自然生成物,以及生成这些成分的环境功能。总之,自然资源至少包括两个必不可少的要素,即具有一定的使用价值并且在一定时期内可以被人类所获得。自然资源种类繁多,例如土地资源、森林资源、生物资源、水资源、大气资源、能源资源、矿产资源等。其中矿产资源作为国民经济重要基础支柱之一,对人类各种活动影响重大,可以说人类的一切文明成果都离不开矿产资源的支持,矿产资源的稳定供应对实现人类可持续发展至关重要。

现代文明的发展有3大支柱,即能源、材料和信息,而矿产资源则构成了能源和材料两大支柱的主体。矿产资源的勘探、开发和利用是国民经济重要基础产业之一。据统计,我国92%以上的一次能源、80%的工业原材料、70%以上的农业生产资料都来自于矿产资源。与其他自然资源不同,矿产资源的生成需要上百万年、千万年甚至上亿年的时间,相对于短暂的人类历史,可以说矿产资源是不可再生的。换言之,矿产资源不可能无限供应。

因此,根据已有矿产资源的状况,利用科学的评估方法,对其潜在性进行正确的技术评估,对矿产资源的规划、勘探以及开发利用都具有不可忽视的作用。另一方面,作为一种特殊商品,矿产资源具有商品所具有的一切市场特性,如可以依据法律,进行资源勘探与开发权利(即探矿权与采矿权)的转让、出售。对探矿权与采矿权进行合理的经济评估,可以为探矿权与采矿权交易提供必要的参考。

总之,矿产资源的精确评估,宏观上可为将来国家制定行业发展规划,微观上为投资者评估投资价值和投资效果提供依据,保障矿产资源的持续稳定供应,因此具有重要的经济价值和社会价值。正因为资源评估兼具宏观和微观决策支持功能,在世界上得到广泛重视。我国矿产资源评估正处于创始阶段,但随着可持续发展战略的提出及对外开放向资源领域扩大,其重要性将会越来越突出。

作者在参考国内外矿产资源评估理论与实践的基础上,结合自己的研究成果,撰写了《矿产资源评估学》一书,希望起到抛砖引玉的作用,与广大同行交流,共同提高我国矿产资源评估水平。全书共分12章,其中第1至第3章为总论,介绍矿产资源评估基本概念、基本方法和矿产资源时空分布特点;第4至第9章为技术评估内容,涉及矿产资源供需状况预测、富集区确定、潜在性评估、储量评估、开采技术条件评估等;第10至第12章为经济评估内容,主要介绍探矿权评估和采矿权评估的方法。

由于矿产资源评估在我国尚属新生事物,研究成果不多,加之作者水平有限,因此书中难免有值得商榷之处,敬请读者指正。

作者

2007年1月于长沙

目 录

第一章 矿产资源评估基本概念	(1)
1.1 矿产资源概念与基本特征	(1)
1.1.1 矿产资源定义与分类	(1)
1.1.2 矿产资源基本特征	(3)
1.1.3 固体矿床工业性质	(5)
1.2 矿产资源可利用程度的表征指标	(9)
1.2.1 资源/储量	(9)
1.2.2 资源品质	(15)
1.2.3 勘查程度	(15)
1.3 矿床开发技术经济因素	(16)
1.4 矿产资源评估基本概念	(18)
1.4.1 矿产资源评估的目的和意义	(18)
1.4.2 矿产资源评估的内容	(19)
1.4.3 被评估矿产资源的条件	(20)
1.4.4 矿产资源评估原则	(21)
第二章 矿产资源评估基本方法	(23)
2.1 矿产资源技术评估方法	(23)
2.1.1 传统技术评估方法	(23)
2.1.2 极值理论	(25)
2.1.3 潜在资源的预测方法	(26)
2.2 矿产资源经济评估方法	(27)
2.2.1 市场法	(27)
2.2.2 成本法	(29)
2.2.3 收益法	(32)
第三章 矿产资源时空分布	(38)
3.1 矿产资源全球分布状况	(38)
3.1.1 金属矿产资源	(38)

3.1.2 非金属矿产资源	(44)
3.1.3 能源类矿产资源	(44)
3.2 中国矿产资源分布状况	(46)
3.2.1 金属矿产资源	(46)
3.2.2 非金属矿产资源	(53)
3.2.3 能源类矿产资源	(56)
3.3 中国矿产资源特点	(57)
第四章 矿产资源供需预测	(60)
4.1 预测的基本概念	(60)
4.1.1 重要指标与概念	(60)
4.1.2 影响预测可靠度的因素	(63)
4.1.3 预测方法	(64)
4.2 中国矿产资源供需基本趋势	(70)
4.3 中国矿产资源需求预测	(75)
4.3.1 矿产资源完整使用强度规律预测	(75)
4.3.2 弹性系数法矿产资源短期需求预测	(75)
第五章 矿产资源富集区评估	(78)
5.1 地质板块和成矿区	(78)
5.1.1 地质板块	(78)
5.1.2 成矿区	(78)
5.2 矿产资源富集区确定	(85)
5.2.1 确定标准	(85)
5.2.2 中国铜矿床富集区	(85)
5.3 成矿区内矿床主要成矿类型	(91)
5.4 成矿区内矿床主要成矿时代	(93)
第六章 矿产资源质量指标频度分布规律	(95)
6.1 质量指标之间的相关性	(95)
6.2 对数正态分布	(97)
6.3 分形分布	(99)
第七章 矿产资源潜在性评估	(103)
7.1 资源前景评估	(103)
7.1.1 Lasky 品位 - 累积矿量模型	(103)

7.1.2 其他品位 - 累积矿量模型	(105)
7.1.3 Shoji 品位 - 累积矿量模型	(105)
7.1.4 矿产资源前景评估	(107)
7.1.5 多金属矿床评估时的技术处理	(110)
7.2 潜在矿床预测	(114)
7.2.1 潜在矿床预测前提	(114)
7.2.2 潜在矿床数目及储量预测	(114)
7.2.3 潜在矿床空间分布预测	(118)
7.3 探明储量与勘探投资	(124)
第八章 矿床资源量/储量及服务年限评估	(127)
8.1 矿床工业指标	(127)
8.1.1 矿石质量指标	(128)
8.1.2 矿床开采技术指标	(137)
8.2 矿床资源量/储量评估	(139)
8.2.1 估算边界线圈定	(139)
8.2.2 估算参数测定与计算	(142)
8.2.3 资源量/储量估算方法	(143)
8.2.4 资源量/储量评估	(146)
8.2.5 矿产资源储量规模评估	(149)
8.3 矿山服务年限评估	(155)
8.3.1 矿山生产能力	(156)
8.3.2 矿山服务年限计算	(159)
8.3.3 矿山服务年限评估	(160)
第九章 矿床开采技术条件评估	(162)
9.1 矿床开采技术条件内涵	(162)
9.2 专家评估	(164)
9.3 灰关联评估	(166)
9.3.1 灰关联分析法	(167)
9.3.2 专家群层次分析法确定指标权重	(167)
9.3.3 实例研究	(168)
第十章 矿业权评估基本概念	(173)
10.1 矿业权基本概念	(173)

10.2 矿业权评估基本概念	(176)
10.2.1 评估主体和客体	(176)
10.2.2 评估依据	(177)
10.2.3 评估目的	(178)
10.2.4 评估原则	(179)
10.2.5 评估程序	(181)
10.2.6 评估价值类型	(181)
10.2.7 评估方法	(184)
第十一章 探矿权评估	(186)
11.1 市场法评估	(186)
11.1.1 粗估法	(186)
11.1.2 可比销售法	(187)
11.2 成本法评估	(188)
11.2.1 地勘成本法	(188)
11.2.2 勘查成本效用法	(189)
11.2.3 地质要素评序法	(190)
11.2.4 其他方法	(193)
11.3 收益法评估	(194)
11.3.1 约当一折现现金流法	(194)
11.3.2 折现现金流风险系数调整法	(197)
11.4 探矿权评估报告	(199)
11.4.1 评估报告的基本格式	(199)
11.4.2 评估报告正文内容	(200)
11.4.3 附表、附图和附件	(202)
第十二章 采矿权评估	(205)
12.1 市场法评估	(205)
12.2 收益法评估	(207)
12.2.1 贴现现金流量法	(207)
12.2.2 收益法	(211)
12.2.3 收益权益法	(213)
12.2.4 贴现现金流量法、收益法、收益权益法比较	(215)
12.3 采矿权评估报告	(216)
参考文献	(217)

第一章 矿产资源评估基本概念

1.1 矿产资源概念与基本特征

与其他自然资源不同,矿产资源在被开采出来以前,其规模、质量、分布状况等开采技术条件是不能完全确定的。因此,正确理解矿产资源的确切含义、基本特征和工业性质,是合理开发利用矿产资源的前提,也是矿产资源评估的基础。

1.1.1 矿产资源定义与分类

1) 定义

矿产资源是指经过地质成矿作用,埋藏于地下或出露于地表,并具有开发利用价值的矿物或有用元素的集合体。它们以元素或化合物的集合体形式产出,绝大多数为固态,少数为液态或气态,习惯上称之为矿产。

根据美国地质调查局(U. S. Geological Survey)1976年的定义,矿产资源(mineral resources)是指天然赋存于地球表面或地壳中,由地质作用所形成,呈固态(如各种金属矿物)、液态(如石油)或气态(如天然气)的具有当时经济价值或潜在经济价值的富集物。从地质研究程度来说,矿产资源不仅包括已发现的经工程控制的矿产,还包括目前虽然未发现,但经预测(或推断)是可能存在的矿产;从技术经济条件来说,矿产资源不仅包括在当前经济技术条件下可以利用的矿物质,还包括根据技术进步和经济发展,在可预见的将来能够利用的矿物质。

矿产资源定义中,应注意区分以下几个概念:

(1) 矿物

矿物是天然的无机物质，有一定的化学成分。在通常情况下，因各种矿物内部分子构造不同，形成各种不同的几何外形，并具有不同的物理化学性质。矿物有单体者，如金刚石、石墨、自然金等，但大部分矿物都是由两种或两种以上元素组成的，如石英、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿等。

(2) 矿石、矿体与矿床

凡是地壳中的矿物集合体，在当前技术经济水平条件下，能以工业规模从中提取国民经济所必须的金属或矿物产品的，称为矿石。矿石的聚集体叫矿体，而矿床是矿体的总称。对某一矿床而言，它可由一个矿体或若干个矿体所组成。

(3) 围岩

矿体周围的岩石称围岩。根据围岩与矿体的相对位置，有上盘与下盘围岩和顶板与底板围岩之分。凡位于倾斜至急倾斜矿体上方和下方的围岩，分别称之为上盘围岩和下盘围岩；凡位于水平或缓倾斜矿体顶部和底部的围岩，分别称之为顶板围岩和底板围岩。矿体周围的岩石，以及夹在矿体中的岩石（称之为夹石），不含有用成分或有用成分含量过少当前不具备开采条件的，统称为废石。

2) 分类

按照矿产资源的可利用成分及其用途，矿产资源可分为金属、非金属和能源三大类。

(1) 金属矿产资源

金属矿产是国民经济、国民日常生活及国防工业、尖端技术和高科技产业必不可少的基础材料和重要的战略物资。钢铁和有色金属的产量往往被认为是一个国家国力的体现。我国金属工业经过 50 多年的发展，已经形成了较完整的工业体系，奠定了雄厚的物质基础，我国已成为金属资源生产和消费主要国家之一。

根据金属元素特性和稀缺程度，金属矿产资源又可分为：

- a. 黑色金属，如铁、锰、铬、钒、钛等；
- b. 有色金属，如铜、铅、锌、铝土、镍、钨、镁、钴、锡、铋、钼、汞、铊等；

- c. 贵金属, 如金、银、铂、钯、铱、铯、钨、钼等;
- d. 稀有金属, 如铌、钽、铍、锆、锿、铷、锂、铯等;
- e. 稀土金属, 如钐、轻稀土(镧、铈、镨、钕、钐、铈、钆、铽、镱等);
- f. 重稀土金属, 如钐、铈、镨、钕、钐、铈、钆、铽、镱等;
- g. 分散元素金属, 如锗、镓、铟、铊、铋、铪、铌、钨、铼、铱等;
- h. 放射性金属, 如铀、钍(也可归于能源类)等。

(2) 非金属矿产资源

非金属矿产资源系指那些除燃料矿产、金属矿产外, 在当前技术经济条件下, 可供工业提取非金属化学元素、化合物或可直接利用的岩石与矿物。此类矿产少数是利用化学元素、化合物, 多数则是以其特有的物化技术性能利用整体矿物或岩石。因此, 世界一些国家又称非金属矿产资源为“工业矿物与岩石”。

目前世界已实现工业利用的非金属矿产资源有 250 余种, 年开采非金属矿产资源量在 250 亿 t 以上, 非金属矿物原料年总产值已达 2 000 亿美元, 大大超过金属矿产值。非金属矿产资源的开发利用水平已成为衡量一个国家经济综合发展水平的重要标志之一。中国是世界上已知非金属矿产资源品种比较齐全、资源比较丰富、质量比较优良的少数国家之一。迄今, 中国已发现的非金属矿产品有 102 种, 其中已探明有储量的矿产 90 种。非金属矿产品与制品如水泥、萤石、重晶石、滑石、菱镁矿、石墨等的产量多年来居世界之冠。

(3) 能源类矿产资源

能源类矿产资源主要包括煤、石油、天然气、泥炭和油页岩等由地球历史上的有机物堆积转化而成的“化石燃料”。能源类矿产资源是国民经济和人民生活水平的重要保障, 能源安全直接关系到一个国家的生存和发展。

1.1.2 矿产资源基本特征

矿产资源种类繁多, 如我国通过大量的地质勘查工作, 已发现矿产 171 种, 有探明储量的 155 种, 其中金属矿产 54 种, 非金属矿产 90 种, 能源及水气矿产 11 种。虽然不同矿种化学组成、开采技术条件、用途等各不相同, 但都具有以下共同特性:

(1) 有效性

矿产资源具有使用价值, 能够产生社会效益和经济效益。

(2) 有限性、非再生性

矿产资源是在地球的几十亿年漫长历史过程中, 经过各种地质作用后富集起来的, 一旦被开采后, 相对短暂的人类历史, 绝大多数不可再生。换言之, 矿产资源只能越用越少, 特别是那些优质、易探、易采的矿床, 其保有量已日渐减少。为保证矿业可持续发展, 必须“开源与节流”并重, 把节约放在首位, 走资源节约型可持续发展之路。“开源”, 即扩大矿物原料来源, 包括加大深部、边远靶区的勘探力度, 提高资源开发技术水平, 回收低品位的矿量, 寻找替代资源等; “节流”, 即千方百计地改善利用矿产资源的技术水平, 使有限的矿产资源得到最大限度地充分合理地利用, 包括改进、改革采矿方法, 提高选矿、冶炼的工艺技术水平, 努力探索综合回收、综合利用的新方法、新工艺、新技术, 搞好尾矿的综合利用, 寻求变废为宝等物尽其用的各种途径, 使矿产资源非正常人为损失减少至最低限度, 以满足现代化建设对矿产品日益增长的需求。

(3) 时空分布不均匀性

矿产资源分布的不均衡性是地质成矿规律造成的。某一地区可能富产某一种或某几种矿产, 但其他矿种则相对缺乏, 甚至缺失。例如, 29 种金属矿产中, 有 19 种矿产的 75% 储量集中在 5 个国家; 石油主要集中在海湾地区; 煤炭储量大国主要是中国、美国和前苏联地区; 中国的钨、锑储量占世界总储量的一半以上, 而稀土资源占世界总储量的 90% 以上。

(4) 投资高风险性

矿产资源赋存隐蔽, 成分复杂多变。在自然界中, 绝无雷同的矿床, 因而矿产勘探过程中, 必然伴随着不断地探索、研究, 并总有不同程度的投资风险存在。勘探难度大、成本高、效果差、风险高, 是一般工业企业不可比拟的。矿产资源的开发需要一个较长的周期, 从矿山设计、基建、达产至达到设计能力, 一般都需要几年的时间。在此过程中, 矿产品价格的变化, 可能使原预测投资回报率受到影响。

(5) 矿产资源开发的环境破坏性

矿产资源是地球自然环境系统中的组成部分, 矿产资源的开发必然导致对环境的破坏, 造成影响范围内的地表下沉、地下水位下降、土地资源破坏、森

林资源锐减、生物资源减少等。另一方面，矿产资源开发过程中排出的废水、废气、废料，也会造成不同程度的环境污染。因此，矿产资源评估过程中，应充分考虑到这一因素。

(6) 资源储量的动态性

矿产资源储量是一个动态变化的经济和技术概念。从技术层面而言，勘探力度的加强、勘探技术的提高、综合利用水平的进步，会使资源储量增加；资源开发利用会消耗储量。从经济层面而言，开采成本的降低和矿产品价格的升高，会使原来被认为无开采价值的储量，逐渐成为可供人类以工业规模开发利用的储量。

(7) 多组分共生性

由于不少成矿元素地球化学性质的近似性和地壳构造运动与成矿活动的复杂多期性，自然界中单一组分的矿床很少，绝大多数矿床具有多种可利用组分共生和伴生在一起的特点。例如我国最大的镍铜矿山——金川集团有限公司，除主产金属镍和铜外，还伴生钴、硫以及金、银、铂、钯、钼、铀、铯等多种有用元素。

(8) 质量差异性

同一矿种不同矿山，甚至同一矿山不同矿体之间，矿石品位高低不一，资源质量差异巨大。影响资源质量的因素众多，主要包括：

- a. 地质因素，包括矿床地质特征、成矿环境、矿体空间形态、矿体产状、厚度及结构特征等；
- b. 地质工作程度，尤其是生产勘探程度、矿石取样研究程度等；
- c. 开采技术因素，主要指矿床开采方式、采矿方法、机械化水平、管理水平等；
- d. 矿石加工因素，主要指矿石进入选厂后的破碎和选矿工艺流程的技术水平。

1.1.3 固体矿床工业性质

对某一具体矿床进行评估时，首先应了解该矿床的工业性质，从而对该矿床的开发利用难易程度做出科学的判断。固体矿床主要工业性质包括：

1) 物化、力学性质

(1) 硬度

硬度，即矿岩的坚硬程度，也就是抵抗工具侵入的能力。矿岩硬度主要取

决于矿岩的组成,如颗粒硬度、形状、大小、晶体结构以及颗粒间的胶结物性质等。矿岩的硬度,不仅影响矿岩的破碎方法和凿岩设备的选择,而且会影响开采成本等经济指标。硬度愈大,凿岩愈困难。

(2) 坚固性

坚固性也是一种抵抗外力的能力,但它所指的外力是机械破碎、爆破等综合作用下的一种合成力。坚固性的大小一般用相当于普氏硬度系数的矿岩坚固系数(f)表示,该系数实际表示矿岩极限抗压强度、凿岩速度、炸药消耗量等指标的平均值。但由于各参数量纲的不同,因此求其平均值难度较大,一般采用下式来简化求取:

$$f = \frac{R}{100} \quad (1-1)$$

式中: R ——矿岩极限抗压强度, $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

(3) 稳固性

稳固性,即矿岩允许暴露面积的大小和暴露时间的长短。影响矿岩稳固性的因素十分复杂,不仅与矿岩本身地质条件(包括工程地质和水文地质)有关,而且与开采工艺和工程布置关系密切。稳固性是影响开采技术经济指标和作业安全性的重要因素。矿床一般按稳固程度分为:

- a. 极不稳固的:不允许有任何暴露面积,矿床一经揭露,即行垮落;
- b. 不稳固的:允许有较小的不支护暴露面积,一般在 50 m^2 以内;
- c. 中等稳固的:允许不支护暴露面积为 $50 \sim 200 \text{ m}^2$;
- d. 稳固的:不支护暴露面积为 $200 \sim 800 \text{ m}^2$;
- e. 极稳固的:不支护暴露面积 800 m^2 以上。

由于矿岩稳固性不仅取决于暴露面积,而且与暴露空间形状、暴露时间有关,因此,上述分类中允许不支护暴露面积仅是一个参考值。

(4) 结块性

高硫矿石、粘土类矿石崩落后,在遇水和受压并经过一段时间,可能会重新粘结在一起,这一性质称为结块性。矿石的结块性,会对采下矿石的放矿、运输和提升造成困难。

(5) 氧化性

硫化矿石在水和空气的作用下,发生氧化反应转变为氧化矿石的性质,称