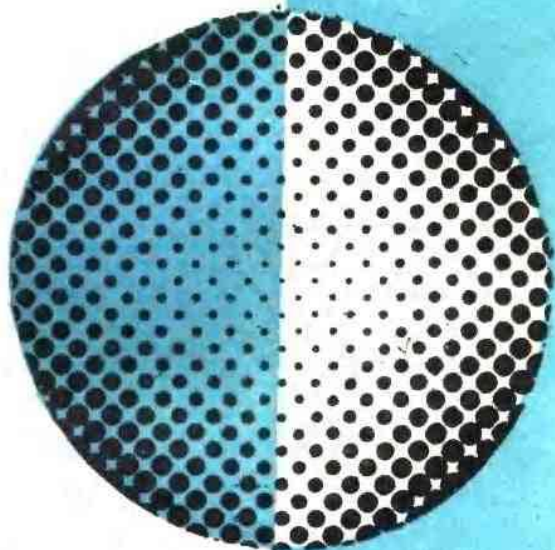


矿产资源综合 开发利用评价 理论与方法

主编 关凤峻 杨裕田

副主编 王生龙 张应红



地质出版社

7.133

(京)新登字085号

内 容 提 要

本书是在地质矿产部“七五”重点科技攻关项目“矿产资源综合利用评价体系(主要有色金属)研究”的基础上,广泛研究吸收国内外有关矿产资源综合利用评价理论,由中国地质矿产经济研究院技术经济研究室部分科研人员编著的。主要内容包括矿产资源综合利用评价、矿产资源综合利用现状、矿产资源综合利用的理论方法、基本数理方法、矿产资源综合利用评价基础和评价体系及计算机在矿产资源综合利用评价中的应用等七个部分。

本书系统论述了矿产资源综合利用评价理论和方法。内容丰富,通俗易懂。可供地质勘查、矿山开发、矿产资源管理等生产、科研、设计、管理人员及大专院校师生进行管理、科研、学习参考。

矿产资源综合利用评价理论与方法

主 编 关凤峻 杨福田

副主编 王生龙 张应红

责任编辑:杨友爱

地质出版社出版发行

(北京和平里)

三河县印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₃₂ 印张:10.375 字数:220千字

1992年12月北京第一版·1992年12月北京第一次印刷

印数:1—2000册 定价:7.20元

ISBN 7-116-01186-2/P·1000

矿产资源综合利用评价

理论与方法

主 编 关凤峻 杨福田

副主编 王生龙 张应红

参加编写人员（按姓氏笔划顺序）

王 文 王生龙 齐亚彬 关凤峻 张应红

杨福田 薛全全 霍雅琴

序

人口、资源与环境，是当今世界各国共同瞩目的三大问题。资源和环境是人类赖以生存的基本条件，也是社会和经济发展的的重要因素，三者是互相促进、又是互相制约着紧密相连的关系。

人类在生活和生产活动中，需要开发利用自然资源，或者对其作进一步的转化或加工，在这个过程中，随着国民经济和社会的发展，工业化进程在加快，各种物质消费在日益增长，丰富的自然资源在大量开采，特别是矿产资源在急剧减少，一些重要资源已濒临枯竭，新的资源尚在进行地质勘探，因此，珍惜资源，合理使用资源，节约资源和资源综合利用问题，已是当代社会经济和发展亟待研究的重要问题。

我国是一个发展中的国家，拥有十一亿的人口，国土面积居世界第三位，可耕地面积只占世界总面积的7%，却养活世界总人口的22%，这是一件了不起的大事。随着人口的增加，我国还要继续加强合理利用土地资源，为全球多作贡献！

我国矿产资源，从绝对量来看，还是比较丰富的，有些矿产储量居世界前列，但人均拥有量特别是开发量，仅为世界平均水平的1/3。随着中国社会主义经济建设和人民生活水平的不断提高，各种资源的消耗量也在飞快增长。目前中国生产水平和科学管理水平还较低，生产效率还不高，企业经济效益也不够理想，矿产资源平均回收率只有30—50%，资源使用

不合理，还存在浪费惊人的现象。这些问题不仅带来环境污染，而且使资源供需日趋紧张。

资源综合利用程度反映人类进步和科学技术水平的重要标志，它直接制约着我国国民经济发展的速度，同时关系到本世纪末我国能否实现第二步战略目标，使国民生产总值再翻一番的问题。因而资源综合利用已被我国作为一项重大技术经济政策。这对合理利用资源，增加社会财富，提高经济效益，保护自然生态平衡，都有着重要的意义。

中国地质矿产经济研究院编写的《矿产资源综合利用评价理论与方法》一书，正是根据我国国情，进一步从理论上研究矿产资源综合利用评价方法。本书在广泛收集了国内外大量的资料的基础上，对我国矿产资源综合利用现状进行了科学的分析，从理论上论证和阐述了各种评价的基本方法，同时提出了评价指标体系和应用方法。

这些研究成果亦需在实践过程中，不断充实完善和提高。

这项科研成果，对当前研究我国矿产资源综合利用方面，无疑是一个宝贵的资料，可供各有关部门和高等院校，在研究这方面问题时参考。

国家计委资源节约和综合利用司

朱 良 栋

1991年12月12日

前 言

本书是在地质矿产部“七五”重点科技攻关项目(编号90042)“矿产资源综合开发利用评价(主要有色金属)研究”的成果基础上而写成的。书中吸收了国内外有关评价的理论与方法,探讨了有关矿产资源综合开发利用评价方面的基本理论与基本方法,试图为开展此项工作奠定一定的理论基础,同时推荐一系列评价的方法。

矿产资源综合开发利用受到各国的普遍重视,绝大多数国家对综合开发利用矿产资源都制定了相应的鼓励性政策,并且都很重视新技术、新工艺的开发与利用。我国历来重视矿产资源的综合开发利用,制定了一系列鼓励和优惠政策,建立了一大批科研生产基地,在综合开发利用矿产资源方面取得了巨大成就。

提高矿产资源的综合开发利用程度,要有政策支持、法律保证和科技推动,这是搞好综合利用的前提条件。然而,没有一套科学的考评方法也是不行的,我国重视政策、法律及科技的作用,但在管理方面却显得薄弱。长期以来开展综合利用受到鼓励和奖励,但综合利用开展到什么程度应该受到鼓励和奖励,一直没有明确界限,特别是,一个矿床、一座矿山综合开发利用应该达到什么程度算合理没有很好研究,进而综合开发利用矿产资源能取得什么样的资源效益、经济效益、环境效益和社会效益,也只在提交报告中偶有定性说明,而完全没有定量评价。为了填补这个空白领域,也为了适应我国矿产资源相对短缺,共、伴生矿产多、新、细、杂、

贫的特点，我们在原科研项目基础上，完成了本书。

本书的第一章、第二章主要介绍了矿产资源综合利用现状及评价的一般概念；第三章重点介绍国内外有关评价的方法、计算公式，并适当地进行了讨论；第四章内容是矿产资源综合利用评价体系建立、应用所涉及的一些数理方法的有关知识，并对其在本体系中应用的可行性从理论上进行了阐述；第五章、第六章是评价体系，在对评价方法、指标、标准和参数及其相互关系进行阐述后，以矿产资源综合利用的资源效益、经济效益、环境效益和社会效益为评价目标建立起矿产资源综合利用的评价体系，重点介绍了总体思路及其各部分间的逻辑关系；第七章介绍了评价软件。

本书最大特点是叙述与讨论相结合，矿产资源综合利用评价领域涉足的人不多，有关学术探讨类文献很少，其中的观点带有探索性，因而，全书可以视为在新学科领域的一次积极探讨。另外，该书介绍的评价体系又是一种应用方法，并已在实践中经过初步检验，因而，具有实用价值。

本书在编写、出版过程中得到了国家计划委员会资源节约和综合利用司副司长朱良栋（研究员级高级工程师）的热情支持和鼓励，得到了地质矿产部矿产开发管理局副局长付鸣珂（高级工程师）、中国地质矿产经济研究院院长冯剑萍（高级工程师）的具体指导，在此深表谢意。矿产资源综合利用评价是一项复杂的系统研究项目，涉及众多专业和生产、管理领域，限于笔者水平，一定存在不少问题，恳请读者批评指正。

目 录

V

第一节	数理统计方法·····	(126)
第二节	正交试验法·····	(148)
第三节	多目标决策方法·····	(168)
第四节	资金时间价值·····	(191)
第五章	矿产资源综合利用评价基础·····	(207)
第一节	矿产资源综合利用评价指标体系·····	(208)
第二节	矿产资源综合利用类型的划分·····	(213)
第三节	矿产资源综合利用评价参考标准·····	(254)
第六章	矿产资源综合利用评价体系·····	(259)
第一节	矿产资源综合利用评价的逻辑思路 ·····	(259)
第二节	矿产资源综合利用评价方法·····	(273)
第三节	矿产资源综合利用评价体系特点·····	(306)
第七章	微型计算机在矿产资源综合利用评价中 的应用·····	(308)
第一节	软件系统的结构和功能·····	(308)
第二节	标准化及字典库·····	(317)
第三节	软件系统的特点·····	(318)
参考文献 ·····		(322)

第一章 矿产资源综合开发 利用评价

矿产资源综合开发利用,对合理利用矿产资源,增加社会财富,提高经济效益,保护自然环境,都有重要意义。国家为了调动企业开展资源综合利用的积极性,制定了一系列方针政策,有力地推动了矿产资源综合开发利用工作。现在普查勘探矿产资源,新建或改、扩建矿山,都必须按照国家《矿产资源法》的规定,执行“综合勘探,综合评价,综合开采,综合利用”的方针。建国40多年来,特别是从70年代起,国家和企业非常重视矿产资源综合开发利用工作,以金川、攀枝花、白云鄂博三大共生矿为代表的综合开发利用矿产资源科学研究和生产实践取得了突破性进展,带动了全国矿山企业综合开发利用工作的展开。

随着矿产资源综合开发利用的广泛开展和深入进行,矿产资源综合开发利用管理工作纳入矿产开发管理重要内容。为了管理的需要,也为了研究矿产资源综合开发利用合理程度的需要,更为了针对我国人均矿产资源占有量较低、资源相对短缺和拥有矿产资源“细、杂、贫”的特点,探索一条充分发挥我国矿产资源优势,形成节约资源型经济结构,实现资源优化配置的可行之路,不仅要强调矿产资源综合开发利用,同时要注意矿产资源综合开发利用评价,从而在矿产资源综合开发利用中不仅讲求要怎样搞,而且讲求要怎样搞得好。

第一节 矿产资源综合开发利用评价概述

随着社会的发展，人类对矿物原料的需要量总的说来呈上升趋势，特别像我国这样仍然处在以钢铁工业为骨干产业的发展中国家，对于传统矿产品的需求，还要有一个增长的过程。国外统计分析表明，国民生产总值人均1000美元之前，钢的消费系数一直向上增长，如图1-1所示^①。

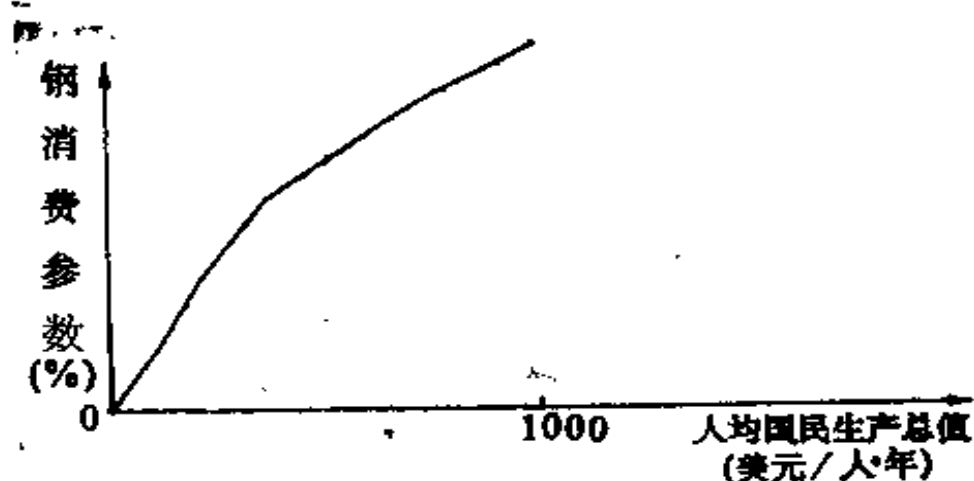


图 1-1

在一定社会发展水平和技术经济条件下，钢消费量与有色金属消费量及其它一些矿产品消费量之间存在着主要由技术因素决定的比例关系，在一定时期视比例为不变的情况下，钢消费量增长，也就意味着其它矿物原料消费的增长。这种比例关系及其增长情况见表1-1^②。

^①据英国《采矿》杂志（月刊），1983年7月。引用时进行了简化。

^②摘自《2000年的中国矿产资源》，第24页。

表1-1 1985年和2000年钢和部分矿产品消费量比钢及增长预测

序号	需求矿产品	计算单位	亿吨钢消费比	1985年预测需求量	2000年预测需求量
0	钢	10 ⁴ t		4500	10500
1	锰	10 ⁴ t	338.50	152	355
2	铜	10 ⁴ t	124.49	56	131
3	铝	10 ⁴ t	191.44	86	201
4	铅	10 ⁴ t	64.65	29	68
5	锌	10 ⁴ t	86.35	39	91
6	镁	10 ⁴ t	3.77	1.7	3.9
7	镍	10 ⁴ t	9.42	4.2	9.9
8	钴	10 ⁴ t	0.59	0.27	0.62
9	锡	10 ⁴ t	3.67	1.65	3.85
10	钨	10 ⁴ t	1.75	0.79	1.84
11	铋	10 ⁴ t	1.02	0.46	1.07
12	汞	10 ⁴ t	0.20	0.09	0.21
13	金	t	242.60	109.17	254.73
14	银	t	2771.50	1247.18	2910.18
15	铂	t	12.40	5.58	13.02
16	钽	t	149.30	67.18	156.76
17	锂(碳酸锂)	t	3600	1620	3780
18	煤	10 ⁸ t	3.23	1.45	3.39
19	石油	10 ⁸ t	4.02	1.81	4.22
20	天然气	10 ⁸ m ³	1802.10	811	1892
21	萤石	10 ⁴ t	65.50	29.5	69

人类对矿物原料的需求，是由社会发展水平和经济发展程度决定的，但矿物原料能否满足这种需求，除在一定限度

内取决于地质普查勘探工作程度能否发现矿物原料基地外，更主要取决于自然界蕴藏的矿产资源量。

我们又知道，矿产资源的再生，是靠自然力的作用，需要经过成千上万年，以至上亿年的时间。人们不可能按着这样的自然周期安排生产、组织经济，从这个意义上说，矿产资源是不可再生的，对任何历史时期的人类来说，面临的矿产资源都是不可再生的，既然如此，可以绝对地说矿产资源不可再生。

显而易见，矿物原料的需求量上升，自然界的资源是有限量，这种无限的需求与有限的供给形成了一对尖锐矛盾。因此，无论经济学家、矿物学家，还是地质学家都承认矿产资源短缺是人类面临的严重问题！

解决矿产资源短缺或不足的措施之一是寻找代用材料，开发新产品。然而，代用材料仍然消耗原料，就矿物原料而言，也仅能是用新产品代替传统材料，但新生产品的矿物原料资源，从动态观点看仍有枯竭之日。所以，解决矿产资源不足的根本措施之一就是综合开发利用矿产资源，以增加矿物原料可利用的种类和数量，变一矿为多矿，变废为宝，提高矿产资源综合开发利用的程度和水平。

社会经济发展向人类提出了综合开发利用矿产资源的要求，同时也正是经济技术的发展使其成为可能，历史上有石器时代、青铜器时代和铁器时代之说，它反映了人类文明的不断进步，同时也说明了那时对矿产资源的开发利用基本是单一的，即只能利用矿石中的铜、铁元素，不能分离青铜中的其它成分，这显然是由当时技术水平决定的。而现代综合开发利用矿产资源，已经具备了良好的技术水平条件。例如，

我国工矿企业在规定设计产品以外，广泛开展综合利用，能够从煤中回收硫铁矿、硫精矿、铝矾土、耐火粘土、瓦斯等，在有色金属冶炼中回收金、银、硫酸，在有色金属矿山开采中回收硫精矿、硫铁矿、铁精矿等；在黑色金属冶炼中回收铜、钴、钒、钛、铌、稀土等；在硫铁矿、磷矿开采过程中回收金、碘等。工矿企业利用采矿废石、选矿尾矿、碎屑、粉末、粉尘，污泥和各种废渣开展综合利用，利用煤矸石、石煤、粉煤灰等生产砖、加气混凝土、大型砌块、陶粒、墙板、水泥和混凝土掺合料、低湿喷射水泥、树脂和橡胶填料等；从烧煤锅炉的干粉煤灰、炉底渣、以及从粉煤灰中提取漂珠、微珠、铁粉、炭粉等；从冶金炉、动力炉渣中回收金属、非金属、化工、建材产品（不包括高炉水渣）等；利用硫铁矿渣、磷石膏、电石渣、磷肥废渣、氨碱废渣、盐泥、铬渣、总溶剂渣等生产可用产品，如建筑材料、纯碱、烧碱、砖、肥料、饲料等；从原油、天然气中回收提取轻烃、氮气、硫磺，炼油厂能在废渣中提取环烷酸和杂酚，在尾气中提取轻烃，利用伴生卤水熬盐及提取稀有金属；铝氧厂利用赤泥、发电厂利用液态渣生产水泥等。

矿产资源综合利用是一个历史概念，它伴随矿产资源综合利用实践活动产生、发展，“综合利用”、“合理利用”和“综合利用”一直没有固定的科学定义，而在理论上深化研究需要给以明确概念，前苏联科学院通讯院士3·B·阿拉叶夫注意到了“综合性”概念的不确切性，他在经济地理概念领域内初次尝试建立科学术语时，就着手整理综合自然开发”系统的一系列概念。他提出用“经济区的综合性”概念来表示地区各经济单位之间的相互关系。前苏

联科学院A·E·费尔斯曼院士对矿产的综合利用作了非常严格的定义，即采出物的完全利用。后来用这一术语说明所有的综合利用方案，设若从原料中获取一种以上的有用组分（回收两种或两种以上有用组分；回收全部有用成分；利用选矿废料和尾矿；利用剥离的岩石）则都可称之为矿物原料的综合利用。前苏联科学院H·B·麦尼里科夫院士将综合利用理解为“最全面的利用所有有价值的原料组分”。

工业发达国家，从70年代以来，越来越注意环境保护问题，因为剥离和开采工程逐渐增加使矿物原料加工时形成的有害废料也越来越多，对环境的影响也日趋严重。综合利用，变害为利，资本主义的综合利用伴随环境治理与保护，发展较快。

我国对矿产资源综合开发利用十分重视，早在1965年国务院批转地质部制定的《矿产资源保护试行条例》中就有明确规定，“在地质勘探工作中，应当努力做好矿床的综合评价和综合勘探”。国家第六个五年计划地质工作计划中提出“要坚决改变地质普查勘探工作中只搞一种矿产，不搞共生、伴生矿产的做法，要进行综合评价和综合勘探，要加强科学攻关，解决矿产资源的综合利用”。1985年，国务院批转当时国家经委《关于开展资源综合利用若干问题的暂行规定》，对包括矿产资源的各种资源综合开发利用，给予了积极地鼓励、支持和若干优惠政策。1986年3月公布的我国《矿产资源法》的第六条、第二十一条、第二十二条及第二十八条，对矿产资源综合勘探、综合评价、综合开采、综合利用均有明确规定。

我国矿产资源综合开发利用工作，比较侧重生产技术、

科学实验研究和政策制定，而理论研究和管理科学化研究相对薄弱，至今很少见到有关矿产资源综合利用的综合性理论探讨，更没有这方面的专门著作。因此，有必要对矿产资源综合利用从理论上进行探讨，明确其基本概念和范畴。

综合利用的原意是指物质资源效能的充分利用，它是一个广泛的范畴。仅就矿产资源综合利用，包括的范围就十分广泛，只要与矿产资源勘查、开采、加工、冶炼有关的工业部门和工矿企业都面临着综合利用资源的问题。例如，煤炭资源综合利用矸石发电、制砖、制造矸石水泥，在煤矿采选中回收硫铁矿、硫精矿、铝矾土、耐火粘土、瓦斯，铁矿综合利用能够回收铜、钴、硫及金、银等。

然而矿产资源的综合利用，在地质勘查阶段主要是查明矿产，即综合勘探综合评价，人们经常所说的矿产资源综合利用一般指矿石选矿加工和矿产品初级冶炼中的综合利用，由于选矿即为分离、回收的过程，致使不少人把选矿称为矿物原料综合利用。无论选矿加工还是冶炼提取，综合利用的对象都是采出矿石。前苏联的材料表明，他们把这种笼统的综合利用概念区分为合理利用和综合利用。合理利用矿物原料是指全面增加从单位资源所获产品的数量和使用价值，从这个意义上讲，合理利用原料就是要将多组份物料产生的成分复杂的生产废料利用起来。例如，利用氧化铝厂的霞石泥（它是用一份霞石精矿和二、三份石灰经烧结和浸出而后生成的）生产水泥，以及从成分复杂的含碳酸钾母液中回收碳酸钠和碳酸钾；利用有色金属冶炼副产硫生产硫酸等，都属于原料的合理利用。他们认为矿物原料的综合利用

与此不同，它是指从地下附带开采的矿产和从矿石或其加工产品回收某些矿产和组份。这里的合理利用和综合利用，实际上都属于物质资源效能充分利用范畴，只不过是前者不那么注重产品的种类和用途，而侧重了使用价值的追求，后者比较明确地指明为矿产资源开发利用过程的合理利用。

“矿产资源综合利用”一词准确全面地表达应该是“矿产资源综合开发利用”。开发矿产资源总体讲是对过去没有利用的矿产资源进行利用，当然也包括对新矿山的综合利用。过去矿产资源综合利用比较笼统，主要侧重已生产矿山。观念上的模糊，在实践活动中必然有所反映，例如我国综合利用搞得好的矿山，绝大多数是在生产过程中开始综合利用矿产资源，很少重视矿山开发期综合利用工作。矿产资源综合开发利用既包括了开发矿产资源综合利用含义，也包括了通常意义的生产过程中的矿产资源综合开发利用含义。

矿产资源综合开发利用，具体可以理解为矿产资源的综合勘探、综合评价、综合开采、综合利用。矿产资源综合勘查综合评价是以勘查一种矿产为主，同时对与其共生和伴生的矿产进行全面的勘查和评价，以便在当前技术可行、经济合理的前提下，充分地开发利用矿产资源。矿产资源综合开采是对某一矿产基地矿产资源，在主矿床（矿体）开采中，把同体、异体矿作为一个整体来规划，在技术可行、经济合理前提下，尽可能采出更多的有价值矿物。矿产资源的综合利用，是对采出矿石在选矿加工和冶炼过程中，综合回收各种有价值成分和元素。

矿产资源综合开发利用是一项跨行业、跨部门的系统工程，片面强调某一环节，忽视另一环节都是错误的，综合勘

探、综合评价、综合开采与综合利用相辅相成，缺少一个环节都不能称其为综合开发利用矿产资源。

矿产资源综合开发利用也是一个经济概念。在传统经济体制和矿产资源开发管理体制下，人们从追求产品的观念出发，往往对于矿产资源综合开发利用的重视仅体现在能查明、采出和利用多少资源数量上，因而对相应的技术手段给予高度重视，我们不难见到有关某某选矿或冶炼技术关键被突破，使某种资源回收率提高百分之几的报道。其实，技术可行确实是综合开发利用矿产资源的前提之一，重视综合开发利用矿产资源技术方法和手段研究毫无疑问是正确的，但同时也必须认识到矿产资源综合开发利用是一个经济概念，在如今经济体制已从传统的单一计划经济转变为市场经济时期，更具特殊意义，所以说经济合理也是综合开发利用矿产资源前提之一。道理也就在这里。经济因素，特别是矿产品市场、价格变动，对矿产资源综合开发利用种类、数量都有直接影响，尤其矿产品价格更为敏感因素。

矿产资源综合开发利用是一项重大的技术经济政策，无论发达国家，还是发展中国家，也无论是资源丰富国家，还是资源贫乏国家，都非常重视，制定了一系列方针政策。比如像我国就明确规定：“国家鼓励企业积极开展资源综合利用，对综合利用资源的生产和建设，实行优惠政策；国家提倡和支持企业，特别是大中型企业，实行一业为主，多种经营；普查勘探矿产资源，新建或改造共生、伴生矿产资源的矿山（包括煤矿山、金属矿山、非金属矿山）、油气田，都必须按照国家矿产资源法规的有关规定，执行综合勘探，综合评价，综合开采，综合利用的方针。应当加强对矿产资源

利用的可行性研究，矿山设计时应当落实综合利用的措施，要把提高矿产资源采选总回收率作为考核矿山企业的主要指标之一”^①。同时“对企业开展综合利用，实行“谁投资，谁受益”的原则。由企业自筹资金建设的综合利用项目，获益归企业所有，主管部门和行业归口部门应当予以扶持，不得提取、摊派费用，不得任意调拨产品。由企业自筹资金建设的综合利用项目生产的产品，不列入国家分配计划，自用时不抵扣分配指标，除国家规定不准自销的产品和黄金、白银等贵重金属外，企业可以自销，由国家投资建设的，制定计划时应当给企业留有超产的余地，超产部分可以按照国家规定自销”^②。由此可见，国家对资源综合利用、矿产资源综合利用是重视的，甚至可以说是高度重视的，但同时也表明国家对矿产资源综合利用还仅能说是处在号召和鼓励阶段，政策性的鼓励和优惠是企业开展综合利用动力机制之一。但却不具约束作用，大家知道，但凡每一件事情做好必须有激励机制和约束机制同时发挥作用才行，也就是俗话所说的有奖有罚，不仅如此，还要奖罚分明。要做到这一点，要真把矿产资源综合利用得搞好，只靠号召、鼓励政策是不够的，必须建立一套完整的科学的矿产资源综合利用评价方法体系，把矿产资源综合利用管理工作纳入科学管理轨道，使之具体化，做到管理工作有的放矢。

矿产资源综合利用评价是在矿产资源综合利用基础上进行的，没有综合利用就失去了评价的对象，也

①引自国家经委《关于开展资源综合利用若干问题的暂行规定》，1985年。

②同上。

就无从评价，可见矿产资源综合利用评价研究的对象是矿产资源综合利用程度，即要研究矿产资源综合利用过程中资源效益（资源回收利用率）与经济效益相互关系及其对立统一。因此，要研究评价的方法体系，指标体系，标准体系和参数体系，研究它们之间的相互关系，建立系统完善的评价体系。

矿产资源综合利用评价研究的内容是丰富的。由研究对象决定，必须首先研究矿产资源综合利用政策，综合利用现状，这本身即是一项浩瀚的基础调查研究工作；同时还必须研究矿产资源综合利用类型划分，除按传统观念把矿产资源划分为非金属、有色金属、黑色金属等大类外，在每种矿产种类中还要进行详细分类，以致区分出亚类，次亚类；当然，最重要的核心研究内容仍然是前已述及的评价方法、评价指标、评价标准和评价参数体系；此外，综合利用评价是复杂的系统评价过程，科学的体系还必须借助先进的电子计算机技术，所以，矿产资源综合利用评价微机软件系统也是研究内容之一。

矿产资源综合利用评价研究的任务是艰巨的。它是为深入贯彻实施《矿产资源法》及其配套法规，加强对矿产资源开发利用的监督检查，考核评价矿山企业生产和矿山建设对综合利用矿产资源的程度与水平，探讨适合矿业特点的科学考评方法，探讨矿产资源综合利用评价的理论与方法。矿产资源综合利用评价研究，是一个崭新的研究领域，国内目前尚无系统的研究经验，国外工业发达国家除了较重视新技术、新方法、新产品的开发研究外，对矿产资源综合利用评价研究也很少给予重视。前苏联一直比

较重视矿产资源综合利用工作，但就矿产资源综合开发利用评价看，也只能说尚处在理论探讨和实践的初期，绝大多数研究集中在“综合勘探，综合评价”阶段，而且也只是少数地质学家和地质经济学家热心这门研究。在这种情况下开展矿产资源综合开发利用评价研究，显然是有一定难度的。

矿产资源综合开发利用评价研究大体上属于技术经济研究范畴。技术经济，研究各种技术赖以生存、发展的科学依据，通过对各种实践活动的技术经济评价，以达到技术先进条件下的经济合理，经济合理基础上的技术先进，达到技术与经济的协调发展、最佳组合。技术经济学是技术科学与经济科学相互交叉的一门科学，是自然科学与社会科学的共同领域，是横跨技术与经济两大学科的综合性学科。矿产资源综合开发利用评价研究亦是立足一定时期内的经济条件，研究矿产资源综合开发利用全过程（包括地质勘查，采矿，选矿加工和冶炼）的技术方法、技术手段，研究各种先进的技术措施，工艺设备赖以生存、发展的科学依据。但凡一种先进技术、先进设备得以在社会生产实践活动中获得应用，则必须符合现实社会经济状况，能对社会经济发展起推动作用。矿产资源综合开发利用需要不断研究新的勘查技术、采矿技术，选矿和冶炼的综合回收技术，没有先进水平的技术手段达不到综合开发利用矿产资源的目的，但先进的技术不意味超越现实，在当前配套技术实现不了的、造价、成本过大的“先进技术”都不可能在矿产资源开发利用中得以应用，单项指标先进和部分指标先进都不是真正的总体意义上的先进。因此，只有那些切实能够降低矿产资源开发利用过程生产成本，增加采、选、冶过程综合回收率的技术，才能满足

技术先进，经济合理的要求，才能真正转变为现实的生产力。矿产资源综合利用评价研究是勘查技术、采矿技术、选矿技术及冶炼技术科学与经济科学相互交叉的一门科学，是地质学、岩石学及矿物学与经济、社会科学共同的研究领域。不仅如此，矿产资源综合利用评价研究同时也是地质技术经济学、矿业技术经济学和冶金技术经济学共同的研究任务，以往矿产资源综合利用研究及评价研究的欠缺之处是，仅在矿业开发全程中某一环节（如地质、选矿等）孤立开展研究，抛开了矿产开发全过程系统内部的自有规律，片面地、过分地尊重生产组织管理的行政部门划分的现实。矿产资源综合利用评价研究的目的是为加强对矿产资源综合利用的监督检查，考核评价矿山企业生产和建设矿山综合利用程度。可见，矿产资源综合利用评价研究与矿产资源开发管理密切相关。从理论上说，技术经济学的产生与管理科学的发展有着密切关系。19世纪末20世纪初，泰勒管理思想的形成与发展为技术与经济的协调发展以及从对立到统一奠定了基础。从实践上看，矿产资源综合利用评价研究，就是矿产资源综合利用管理方法论研究，它应该在矿产资源综合利用管理中获得实际运用。

矿产资源综合利用评价是一项多学科、多层次、多因素的系统研究，它直接涉及地质、采矿、选矿、冶炼、经济、数学、微机等专业知识的综合运用。

矿产资源综合利用评价概念的产生与矿产资源综合利用程度密切联系。随着矿产资源综合利用的进行，理论和实践工作者都感到，不仅进行矿产资源综合利用

利用是重要的，而且综合开发利用的程度同样也是重要的，人们开始注意关心综合开发利用程度的表征方法，截止到80年代末，在我国发表的文献资料中，涉及矿产资源综合开发利用程度表征方法，采用的名词很多，主要有：综合利用率、综合利用系数、元素利用率、元素利用系数、综合利用指数、综合利用回收率等。人们对这些术语的含义理解各不相同，表征方法也很不一致，但目的是共同的，即用其衡量矿产资源综合开发利用的水平。因此，在相当长一段时间里，人们就是用这些概念试图反映矿产资源综合开发利用水平。矿产资源综合开发利用评价概念的产生，是在实践活动和理论研究深化过程中提出来的，人们逐渐发现用表征综合开发利用程度的这些系数、指数只能机械地、被动地表征矿产资源综合开发利用的状况是不能反映其水平的，因为水平是综合开发利用矿产资源所达到的高度，是一个相对概念，只有在相比较情况下存在，而这些系数、指数却不包括这层含义，其实质也反映不了矿产资源综合开发利用水平。欲想正确地反映矿产资源综合开发利用水平，只有进行矿产资源综合开发利用评价，评价即为程度评价，也就是水平评价。这样矿产资源综合开发利用评价概念才逐渐产生，形成。

评价是对一项有意义的实践活动进行论证与分析，并是一个通过论证与分析选择较为满意的方案的过程。矿产资源综合开发利用评价不是单纯的技术评价，也不是单纯的经济评价，而是技术经济综合评价，不仅如此，矿产资源综合开发利用也会带来环境条件改善和一定社会效益，因此，矿产资源综合开发利用的资源效益（指矿产资源综合开发利用程度）、经济效益、环境效益和社会效益都是矿产资源综合开

发利用评价研究的具体内容。然而，矿产资源综合开发利用评价研究和实践，尚处在发展初期，且加之研究起点选择较高，即以定量评价为主，所以暂时无力涉及全部具体内容展开研究，特别像环境效益、社会效益评价目前主要还是定性论证水平，一时难以过渡到定量评价阶段。考虑到这些，本书虽冠名《矿产资源综合开发利用评价理论与方法》，但却侧重于资源效益和经济效益评价及其相互对立统一关系的评价研究。这显然并不意味着环境效益和社会效益评价的不重要和定量评价不可能，将在后面章节讨论中给予适当注意，并且这也反映了此项研究的现实水平。

第二节 矿产资源综合开发利用 评价的目的和原则

一、矿产资源综合开发利用评价目的

我国矿产资源特点（李金昌等，1990）：（1）矿产资源总量多，人均拥有量少；（2）矿产有丰有欠，储量充足的矿产多半用量不大，大宗矿产又多半储量不足；（3）大宗矿产贫矿多，富矿少；（4）共生、伴生矿多，单一矿少；（5）矿床规模有大有小，中小型矿床多，大型、超大型矿床少；（6）矿产资源分布面广但不均衡。由此可见，我国尽管堪称“地大物博”，但资源相对短缺，特别矿产资源人均拥有量较低，共生、伴生矿产居多，从社会和自然两种属性上都决定我国矿产资源开发利用，必须走综合利用之路。不仅我国如此，世界上大多数国家都比较重视资源综合利用，因为资源短缺是人类面临的共同困境，即使资源丰富的国家也

视矿产资源综合利用为一项重要的经济技术政策。例如，1976年，美国国会通过了国家土地资源政策和管理法，这个法规要求，按照综合利用原则，对国家土地及其矿产资源进行调查和对全国矿产资源进行分析研究。70年代初，法国设定了三个反映确保矿产资源稳定程度的基准，其中之一是国内生产的自给率，其中包括国内的矿产资源综合利用。因此，促进矿产资源节约、综合利用和二次资源利用是法国的重要政策。再如像加拿大、澳大利亚这样矿产资源富足的国家也把“促进矿产资源的合理和有效利用”和“评价资源利用最优化”作为矿产和地学管理和战略研究的主要内容。

矿产资源综合利用，不论在国内还是在国外，已越来越被人们重视，特别是科学技术比较发达的国家，矿产资源的综合利用程度较高。例如，美国华昌公司选矿厂处理各种钨锡矿，可从中提取40种产品；美国杜维尔铜矿等七座选矿厂可分别回收金、银、铅、锌、铜、钼、镉、萤石等；前苏联有色冶金工业可综合回收66种元素；前德意志民主主义共和国曼斯菲尔德铜选矿厂可综合回收25种矿物；加拿大12个镍铜矿山可同时回收铂族金属；前西德杜斯堡选矿厂可从黄铁矿中综合回收铜、铅、锌、钴、镉、铈、金、银等；日本从复合硫化矿中回收铜、铅、锌、硫、铁、金、银、钴等；秘鲁尼斯科冶金公司处理多金属硫化物，得到铜、铅、钴及镍等27种金属和化工原料^①。

我国矿产资源综合利用，虽然起步较晚，技术水平不高，但由于国家和企业重视，也有相当程度的发展。例

①、董智虞：《进一步提高我国矿产综合利用的水平》，《矿产资源保护综合利用学术年会论文集》。

如，湖南株州冶炼厂能综合回收铜、铅、锌、镓、铟、锡、锑、锗、铋、钨、钼、银、金、铂、钯、硫、汞等18种元素^①；德兴铜厂铜矿能综合回收铜、硫、钼、金、银等多种产品；铜官山铜矿综合回收铜、硫、铁；青城子铅锌矿在选冶过程中可综合回收铅、锌、硫、金、银、镉、砷、铜、铋、镓、锗等。

矿产资源综合开发利用其结果是多回收利用矿产资源，而矿产资源综合开发利用评价的根本目的，也就是促进矿产资源的综合回收利用程度。如果我们认为只讲矿产资源综合开发利用，是矿产资源综合开发利用“粗放”方式的话，那么就可以把矿产资源综合开发利用评价视为矿产资源综合开发利用的“集约”方式，因为只讲利用，不讲评价，只能解决应该搞或者怎样搞的问题，解决不了怎样搞得好的问题。只有矿产资源综合开发利用评价才能科学地反映矿产资源综合开发利用程度水平，才使其具有可能性，能够知道如何才能把矿产资源综合开发利用开展得更好。

在以往的有关矿产资源综合开发利用先进经验方面的报导中，也提到经济效益问题，但有一个偏向，即基本上都把经济效益作为综合开发利用结果来看待，总是说某某矿山企业，综合回收组分，形成产值若干等。其实，综合开发利用矿产资源，并不是简单只指“顺便回收，能利用多少，就利用多少”之意，它是一项复杂的系统工程，综合开发利用总体讲一定是有投入，有产出的经济过程，没有任何投入，从而获得产出的现象并不多见，也不具有一般代表性。其次，综

① 董警虞：《进一步提高我国矿产综合利用的水平》，《矿产资源保护综合利用学术年会论文集》。

合开发利用获得了显著的经济效益，除个别情况下做到了“物（矿产资源）尽其用”外，一般情况下，还不能不加分析地定论为综合开发利用工作搞得好，在大多数情况下，过高的经济效益暗含着物非尽其用的可能，并有可能是牺牲了部分资源效益为代价，换取了经济效益。这种情况，在矿产资源地质技术经济评价中是常见的。例如，某银铅锌矿床技术经济评价，投资收益率指标高达47%，我们不能不说其经济效益显著的好，但具体分析发现，该评价研究依据的矿产储量最低工业指标偏高，致使一些略低品位的围岩，脉石中的有价成分未列入开采对象，评价中对伴、共生矿产也未综合评价。可以预计，考虑了上述因素，经济效益指标将不会出奇地这样好，但却能扩大资源储量，多回收有用组分，当然，也不能笼统地说多回收就好。在资源效益和经济效益之间存在着对立统一的矛盾，评价研究的任务就是辩证地解决这对矛盾，使两者统一起来。所以说，评价的目的之一是把矿产资源综合开发利用的资源效益、经济效益统一起来，研究综合开发利用过程投入产出关系及经济效益。

自1986年10月起施行《矿产资源法》开始，我国矿产资源勘查、开发管理工作逐步纳入法制管理轨道。经过近几年矿产资源勘查登记管理的工作，矿山企业采矿登记管理制度被施行。矿产资源勘查、开采中的“乱挖滥采”，破坏矿产资源等现象，有了比较明显的改观，但矿产资源开发中存在的资源回收率低、利用率低，损失浪费等深层次问题，尚没有得到解决。随着矿产资源勘查、开发管理工作的深化，矿产开发的监督检查，考核评价必将成为矿产资源开发管理的主要内容。

矿产资源综合开发利用管理是矿产资源开发管理重要内容之一，施行矿产资源综合开发利用管理，对建设矿山可行性研究报告进行综合利用方案的复核，是矿产开发管理的较高水平的阶段。“开采回采率”、“采矿贫化率”和“选矿回收率”列为考核国营矿山企业指标是矿产开发监督管理实际操作步骤之一，但单纯依靠“三率”的管理，还不能代替综合开发利用管理，因为，尽管“三率”指标间接的包含了经济效益水平，但它们不都是同步的，另外，“三率”考核没有一个客观标准也不行，理论和实践都表明，用历史的“三率”指标与现在的“三率”指标相比，一般讲没有可比性，说明不了“三率”是升还是降，用其它矿山企业的“三率”指标与考核矿山企业的“三率”指标相比，也没有可比性，即使是同类矿山其情况亦是如此。只有深入开展矿产资源综合开发利用评价研究，才能把矿产资源开发的资源效益、经济效益、社会效益和环境效益结合起来，把它们联合成一个统一的整体，跨越地质、采矿和选矿等多道工序，综合运用地质、采矿、选矿、经济、数学、决策理论及微机等专业知 识，才能建立系统的矿产资源综合开发利用评价方法体系、评价指标体系、评价标准体系及评价参数体系。从而把矿产资源综合开发利用评价研究从理论方法到实践应用推向较高水平，把矿产资源开发监督检查，考核评价纳入科学管理轨道。由此说，矿产资源综合开发利用评价的又一个目的是直接为矿产资源开发管理提供一套行之可靠的科学评价、管理方法。

由上述可见，矿产资源综合开发利用评价研究既有理论意义，又有实践意义。在此，我们研究、讨论矿产资源综合

开发利用评价理论与方法，既是要对以往有关理论方法研究成果进行阶段性总结，又是对深入开展此项研究的探索。

二、矿产资源综合利用评价应遵循的基本原则

矿产资源开发利用“在开采主矿产的同时，对具有工业价值的共生和伴生矿产应当统一规划，综合开采，综合利用，防止浪费”[●]；“国家对矿产资源的勘查、开发实行统一规划、合理布局、综合勘查、合理开采和综合利用的方针”[●]。这些是矿产资源综合利用的法律规定，同时，也是在研究和实际工作中必须遵循的总原则。在深入贯彻落实《矿产资源法》过程中，人们对综合勘查、综合评价、综合开采和综合利用及综合利用评价所应该遵循的具体原则，结合专题研究项目和实际工作经验，进行了许多探讨，制订了一些原则，分述如下。

（一）综合勘查综合评价的基本原则[●]

矿产综合勘查综合评价是以勘查一种矿产为主，同时对与其共生和伴生的矿产进行全面的勘查和评价，以便在当前技术可行、经济合理的前提下，充分地开发利用矿产资源，把经济效益、社会效益和环境效益很好地结合起来。

1. 整体评价原则

综合勘查评价的目的是为了最大限度地利用矿产资源。因此要紧密结合经济建设的需要和矿床的实际，充分查明各种可供工业利用的矿产，并作出全面的评价，为矿山设计、建设和生产提供可靠的依据。

●、●《中华人民共和国矿产资源法》第二十八条，第六条。

●和汉解等：《矿产综合勘查与评价》，1988年12月。

对共生矿产的综合评价，要根据地质条件、产出状况、共生关系、采选冶条件、需求程度、价值大小和任务要求等，分别情况区别对待。勘查中要突出重点，一矿为主，一孔多用，统筹兼顾，合理安排，不断提高勘查效果。

对综合性矿产，不应把各种组份分割开来，分别按各矿种规范要求进行工作，这样做既不可能又不合理，而应把各种组份综合起来考虑，采用综合工业指标，综合圈定矿体，从地质、技术、经济三个方面，进行整体综合评价。

对于多用途矿产，例如高岭土、硅藻土、石棉、云母等非金属矿产，通过不同选矿工艺或技术加工，可获取多种适于不同用途的矿物原料，应按着相应的技术标准进行采样、试验和评价，以便做到因材施教和优质优用，也是整体评价的重要内容之一。

对于剥离岩石、近矿围岩、夹石、尾矿等，也应进行适当工作，探索和评价其工业利用的可能性；对于老矿山堆存的废石、废渣和尾矿，如数量很大，应注意了解其重新回采利用的可能性，必要时再安排专门工作。

整体评价中要注意选好主元素，处理好主矿产、共生和伴生矿产的关系。在地质科学理论的指导下，合理选择和综合使用各种有效的手段，对矿床进行综合研究，全面考查主矿产、共生和伴生矿产的综合经济价值，合理制订综合工业指标，综合圈定矿体和计算储量，以利矿山开采和资源的充分利用。

2. 查以致用原则

对共生和伴生矿产的综合勘查评价，不仅要查明含量变化，更要切实加强物质组分赋存状态、物化性能、选冶加工

和应用试验研究。这是综合勘查评价的基础和关键，要贯穿于整个地质勘查工作过程的始终。

综合勘查与评价的取样分析是一项重要的基础工作。取样要以地质观察和地球物理研究为基础，选择适当的取样方法和加工流程，切实保证样品的代表性，以满足评价主要矿产、共生和伴生矿产的要求。样品的分析要根据勘查任务的需要，对圈定矿体、计算厚度和参与综合工业指标计算的主要元素、共生元素要做基本分析；要获取精矿产品和需要圈定富集体的伴生有用组分及对选冶加工有重要影响的有害组分，往往也要做基本分析，但详查后期及勘探阶段，在基本查明组份变化规律后，可适当合并样品，改作组合分析。组合样必须严格按工程分矿体、层位（部位）、矿石类型、品级，分别采样，并与主矿产、共生矿产的储量计算块段保持一致。当伴生组份与主要组分具有密切的相关关系，分布均匀程度相近或伴生组份工业价值不大时，可分矿体、层位、类型、品级，分块段组合。采样质量分析要准确可靠，持合有关规范规定的要求。

矿石物质组分赋存状态的研究是确定共生和伴生矿产分布性质、存在形式、回收工艺的重要基础工作，其研究查明程度对矿石综合利用、环境保护、矿山产品种类、数量、质量及经济效益有决定性意义。其主要任务是确定矿物原料的特性，获取定性定量分析和加工工艺方面必不可少的数据。物质组分研究工作，要查明矿物种类及其含量、共生组合、物化特性、结构构造、粒度和嵌布特征、氧化、泥化情况及分布规律等。研究赋存状态要查明有用和有害元素赋存在矿石的哪些矿物中，以及在这些矿物中的含量、存在形式和回收利用

的可能性。

对一种有用组分赋存在多种矿物相中（如多种含铁矿物，多种含铌矿物）的共（伴）生矿产，要查明工业上能利用的和工业上暂不能利用的各种矿物的种类、含量、占有率，及其分布规律。对一种矿物具有多种结晶形态，其工业利用价值又不相同的矿产（如放电锰、水晶、沸石、高岭土等）还要研究不同结晶形态的含量比例及分布规律。

矿物原料选冶加工和应用试验研究在矿产综合勘查与评价中具有极为重要的意义，没有充分的矿石工艺研究资料，就无法作出正确全面评价，更谈不上合理开发利用。我国矿产资源中“新、贫、杂、细”难选矿石占相当数量，再加上共生和伴生的矿产在一起，只有靠加工技术试验开路，把加工技术试验提到重要的战略地位，积极采用新技术、新方法、探索“无废”，“少废”新工艺。要研究从多矿物原料中精选出所有可能综合回收利用的金属、非金属矿物成分，分选同一矿物中符合不同物化特性质量要求的组份（如某高岭土矿通过选矿，生产造纸涂料、填料和高级细瓷料等高岭土精矿产品），查明其含量比例、工艺性能及技术经济条件。特别是低品位矿石更要重视多组分共用。

要加强一矿多用的研究。一矿多用要求研究工作更加精细，非金属矿产具有与金属矿产不同的特点，即使同一品级矿石也会由于矿物结晶形态、嵌布特点、粒度配分等方面的差异，引起物化性能的差别。而各种不同用途对矿石、矿物的物理-化学性能的要求又非常严格。因此要加强地质研究、物理-化学研究、加工工艺研究，提高地质资源的利用率及其经济潜力，面向国内外市场，把找矿和用矿，勘查和开发

利用更紧密地结合起来。

3. 合理勘查原则

矿产综合勘查评价的目的是为了满足国民经济建设和国内外市场各方面的需要。勘查程度的合理确定取决于对该矿产的急需程度及矿床的地质、技术、经济条件，因此应从当时当地的实际出发，按照循序渐进、逐步深入、综合研究、整体评价、技术可行、经济合理的原则，确定合理的勘查研究程度，以最小的人力、物力和时间消耗，取得更优的实际效果。

普查阶段的要求是综合找矿综合评价。详查阶段是对找到的矿床进行有无工业价值的评价，要合理使用各种经济有效的手段和方法，对矿床进行全面系统的研究和总体控制；对主矿产、共生矿产、伴生矿产作出是否具有工业价值的整体评价。详查是矿床综合勘查综合评价的决定性阶段。勘探是对准备开发的主要矿体或矿段，进行全面研究和系统控制。勘探程度主要包括：①矿床地质构造、矿体分布范围和边界；②主要矿体外部形态；③矿体内部结构—质量特征；④物质组分、赋存状态、物化特性、选冶加工技术性能；⑤共生矿产、伴生矿产及剥离岩石的综合勘查评价；⑥开采条件；⑦水文地质条件；⑧技术经济条件等的研究控制程度。地质工作各阶段都应有合理勘查程度要求，不足和过高都将影响矿产勘查的地质、经济效果。

矿产勘查中，研究和控制是目的和手段，整体和局部的关系，必须把研究摆在首位。研究是对矿床地质、技术、经济的整体研究和评价。控制也要先总体后局部，逐步深入；矿体外部边界线是矿与非矿的分界线，必须严格控制，矿体

内部结构、不同类型和品级的界线，是矿体内部不同质量特征的分界线，内外有别，不能等同视之。

各级储量比例，是衡量矿产储量是否满足矿山设计和首期生产要求的重要标志。但研究、控制程度有更重要的多方面内容，不能单纯以高级储量的多寡作为勘探研究程度的标准。有些复杂矿床无法求得高级储量，老矿山延深也不一定要求高级储量，有的矿山投资风险很小，也不需要高级储量。高级储量比例应与矿山投资风险程度成正比。地质勘探应该和矿山建设更紧密地结合起来。因此是否达到勘探程度，主要是看地质、技术、经济三个方面总的研究、控制程度，能否满足拟建矿山的要求。

（二）综合开采、综合利用的基本原则

矿产资源综合开发利用主要是指在进行主要矿产采、选、冶过程中，对矿石中所含的各种有益组分，在技术条件允许和经济合理的范围内，最大程度地予以开采、提取和回收。同时还包括开采、回收利用矿体中及其邻近部位的其它矿产以及采矿、选矿、冶炼过程中所排出的废弃物，主要包括尾矿、表外矿、围岩、废石、炉渣等的综合利用。

1. 同异体矿产统筹兼顾原则

综合开发利用矿产资源，首先是综合开采。因此要在矿山建设规划设计中和生产过程中，对主矿体旁侧、顶底板及其它部位有利用价值的异体矿产统筹规划，合理开采，应不受按矿种分属行政部门管理的束缚，逐步建立以市场需求为导向、以经济效益为目的的思想观念和经营机制。在矿山建设可行性研究和设计中，要对查明的异体矿产做出综合开采方案，研究它们的开采方法，加工利用途径。

2. 主要共生、伴生矿产同等对待原则

据不完全统计,我国现已勘查的有色金属矿床中,具有两种以上共生、伴生组分的矿床占82.7%,有专家认为这个比例可能比实际偏低。在黑色金属矿中,也有许多铁、金、钴、钒、钛等矿产共生、伴生。综合利用矿产资源通常意义是指综合利用共生、伴生矿产,这里强调的是对共生、伴生矿产不能简单视为副产品,能回收多少就回收多少,应该把共生、伴生矿产与主矿产同等对待,一同考虑,在采选方案选择中,要加强综合开采,综合利用内容,特别重视选冶综合回收工艺流程试验研究。共生、伴生矿产是相对具体矿床主矿产而言,就全部矿产资源而言,则无所谓主、共、伴而言,我国人口众多,资源相对短缺,共生、伴生矿产资源的开发利用显得尤为重要。

3. 地、采、选、冶一体化原则

我国现行矿业体制是地、采、选、冶分属不同工业部门,矿种按行政所属归不同工业部门开采。从而导致矿产资源综合开发利用工作一向脱节,很难做到查以致用,矿产资源综合回收过程责任和效益难以区分,监督考评遇到重重困难。但是矿产资源综合开发利用是地质勘查、矿床开采、矿石选冶加工的一体化过程,各道工序之间存在着由技术因素决定的密切相关连续关系,人为地割断这种联系不利于矿产资源的综合开发利用。因此,地、采、选、冶一体化应该是一项重要原则,当然,这项原则在贯彻实施中会遇到许多障碍,但作为科学研究原则必须坚持。其次,人为形成的部门界限,也不一定是障碍的决定性因素,只要各道工序环节在勘查、开发利用中都坚持整体性一体化原则,也能把综合开

发利用工作搞得很好。

4. 依靠科技进步原则

科学技术是第一生产力，矿产勘查矿业开发是知识密集程度较高的产业部门，科技进步的推动作用直接又巨大。在矿产资源综合开发利用中，要改变“重生产，轻研究”的局面，加强新的勘查技术手段、方法研究，加强矿物工艺特性、物质组分分离研究，注意勘查、选冶过程中的分析研究，研究综合开发利用矿产资源新的采矿方法、选冶技术及新产品开发利用。总之，特别注重研究工作，逐步改变传统的勘查、开采和加工技术为现代的技术。

科学研究要面向生产，面向综合开发利用实际工作，积极推广各项科研成果，重视新技术、新工艺投入使用可行性及经济效益论证。在管理体制方面应设立综合开发利用和新产品新技术研究基金，把综合开发利用科学技术研究工作纳入日常工作。

5. 尽力综合利用表外矿、尾矿、围岩、废石、废渣等二次资源

以“废”、“弃”物为主的二次资源综合利用目前在世界范围内受到广泛重视。废、弃物的再利用，一方面回收了资源，另一方面治理了环境。多年来，我国一直比较重视二次资源利用，在矿业方面，主要有用尾矿再选硫和回收伴生金属及用于井下充填材料，在废弃尾矿库和废石场上覆土复垦以及用赤泥制水泥，在冶炼废渣中回收铅、锌，在转炉烟灰中回收海绵铜、海绵镉、精镉、铈、铟、铋等。二次资源综合利用要加强管理，改进落后的再生技术和设备，大幅度提高回收利用率，广泛开展矿山的围岩、夹石、尾矿、废渣的

物质成分和利用可行性查定和研究工作，推动综合利用向深度和广度发展。

（三）矿产资源综合利用评价原则

矿产资源综合利用评价是一项研究工作，也是矿产资源开发的一项管理工作，它涉及多个生产领域和许多专业，是地质、技术、经济等知识的综合运用，评价的内容、步骤及方法长期以来远没有统一，也不完善，评价的深度和广度弹性较大。因此，搞好矿产资源综合利用评价工作，首先要制订出几条基本原则。综合分析零星资料和矿产资源综合利用评价体系研究经验。在当前条件下开展矿产资源综合利用评价要坚持以下原则：

1. 资源、经济、社会、环境效益评价相结合的原则

矿产资源开发的目的是利用资源，一定的技术水平决定着资源开发利用水平，一定的经济、社会及环境条件对资源开发利用也起决定性作用，比如矿产品价格变化，经常直接影响矿山企业的兴衰，影响矿床工业指标，从而导致是矿与非矿性质的变化；再有社会进步，社会经济环境发生变化，对矿产资源开发利用也产生巨大影响，像交通、电力等。矿产资源综合利用同样会产生资源、经济、社会、环境效益问题。四者之间的关系既不是简单的同向正相关，也不是简单的异向负相关，矿产资源综合利用伴随着资源回收利用程度的提高，经济效益有升有降，把它们结合起来评价不意味着二者同向增长就好（最好），也不意味着异向下降就不好，而是指资源和经济效益综合评价状态最佳。同理，随着矿产资源的综合利用程度提高，也会对社会、环境产生积极与消极影响，也不能简单说怎样就好，怎样就不

好，必须在坚持四个效益（资源效益、经济效益、环境效益、社会效益）结合的原则基础上，研究包容它们在内的矿产资源综合利用评价体系，利用科学的方法，借助先进的手段把它们之间的关系结合起来，以四效益整体状态最佳为评价总体目标。

2. 技术与经济相结合原则

矿产资源综合利用评价既不是单纯的技术评价，也不是单纯的经济评价，总体属于技术经济研究范畴。要正确地处理技术可行与经济合理的辩证关系。技术可行是指矿产资源综合利用评价体系所采用的技术方案在目前的技术条件下可以实现。可以实现的技术方案应当以实践为基础，具有较先进的生产实际水平，但一般经过努力又可以达到。经济合理指矿产资源综合利用评价体系的经济效益评价要合理，在社会主义条件下，是指能正确地处理国家和集体利益的关系，使经济效益评价结果能被企业接受和社会所承认。

3. 同异体与共生、伴生矿产综合评价原则

这条原则与综合勘查综合评价、综合开采综合利用的原则是一致的，综合地查明、开发了资源，就必须综合评价。要在评价中对同异体与共生、伴生矿产做出不同的评价方案，结合资源效益、经济效益、社会效益、环境效益及技术可行与经济合理性，统筹兼顾，综合评价。

4. 地采选冶系统评价原则

矿产资源综合利用贯穿于地采选冶全过程，每一环节都十分重要，因此要坚持系统评价原则。否则很难判别综合利用工作搞得与不好，每一环节做得好坏也都与前道

工序工作质量有关,直接对下一环节产生促进或不利影响。

另外,坚持地采选冶系统评价原则,有利于评价标准的制订。对于综合开发利用程度提高,经济效益提高的绝对数量指标,都不能说明综合开发利用搞的好与不好,必须找到客观存在的参照基准,才能回答好与坏的问题。地采选冶系统评价,查明资源共生、伴生组分的多少就是开采过程的参照基准,依此类推,前序为后序基准。

5. 定性与定量相结合原则

我们不能说以往对综合开发利用没有评价,但不成体系,不成系统,远未上升到一定理论高度,且主要是定性评价,即便有些人用“综合利用系数”等定量数据来表征综合开发利用的成绩,但从方法上仍属定性评价。

矿产资源综合开发利用评价,一定要坚持定性评价与定量评价相结合的原则,尤其定量评价必须给予高度重视,采用数学的、决策理论的、系统的及计算机的技术、手段,建立评价方法体系与评价模型,定量地反映矿产资源综合开发利用程度及经济效果,定量地进行“有”与“无”综合开发利用前后效果对比,使综合开发利用工作提高质量,跨上新台阶。

当然,综合开发利用评价是一项复杂的系统工程研究项目,涉及的专业领域多,影响的因素多,在现在思想认识水平和技术水平条件下,还不可能做到完全定量分析,定性评价是不可缺少的,关键是二者如何结合的问题,要在评价过程中有机地配合。搭配使用,提高评价的总体水平和可信度。

6. 动态评价原则

动态评价一是指对地采选冶的全程评价,二是评价要考

虑时间因素。动态评价要对综合开发利用资金投入产出考虑时间因素，统一贴现，同时对评价研究涉及的参数进行时间调整，把它们统一起来，还有评价过程必然涉及评价标准，评价标准也不应视为某些恒定的参数，应该利用现代方法，保证参考标准随资源、经济及技术和时间因素变化而更新，使评价依据的标准永远保持全新状态。

第三节 矿产资源综合开发利用 评价的对象和范围

矿产资源综合开发利用评价的对象和范围是紧密联系的，对象一经明确，范围也就确定了。矿产资源综合开发利用评价的对象和范围又是与矿产资源综合开发利用的概念密切相关。就综合开发利用矿产资源而论，实际工作和理论研究似乎没有像其它学科研究那样，把这一问题作为一个基本问题来研究，本书从系统结构及后面叙述需要，认为有必要加以简单讨论，明确本书的研究对象和范围。

在对象与范围问题上，国外主要是前苏联在伴随矿产资源综合开发利用概念的讨论中有所涉及，归纳一下大体有如下四种提法：

1. 将原料中的几种有价值组分（指提取的最终商品可以在经济上获利或应国民经济要求，及其它社会需要的组分）同时或逐一提取出来，或对某些组分加以利用并将其加工成最终产品或半成品。

这种提法暗含综合开发利用的对象是采出矿石，范围仅

包括同体共生、伴生矿产。

2. 采出物的完全利用，包括从原料中全部回收有用组分，充分利用采场和选厂的废石。

这种提法对范围和对象的理解与第一种是一致的，只不过在综合开发利用程度上推向了极端，或者说理想化。

3. 对矿产资源实行集约化开发，最全面地利用所有有价原料组分，并努力提高其经济效益。

这种提法尽管也是简单明了的，但对象却扩展到矿产资源，并非仅为采出矿石，其范围显然也扩大到开发阶段，不仅仅限于综合利用。然而，矿产资源究竟指什么，意义尚不清楚。

4. 从系统学的观点看来，应当把矿产综合利用理解为勘探、采矿、加工和矿物原料中获得的最终产品的利用，同时考虑与这些过程有关的所有方面协同最优化。换言之，综合开发利用是指在矿山开发过程中，要对其所含各种矿体和上下盘的共生矿，在技术允许的范围内尽可能更多地开采出来；采出的矿石在选、冶过程中，对其所含各种有益组分，要在技术条件允许的范围内最大程度地予以提取、回收。

不难看出，前苏联对综合利用问题的认识，已经从狭义的矿山地质概念扩展成地质、经济、技术、生态环境及各种区域因素最优化统一起来的系统概念，既要注意充分合理地利用矿产资源，又要注意生态环境和地理景观条件的保护与改善，偏颇任何一面，都将会给资源的开发利用造成不可弥补的损失。

在我国关于对象与范围的定义，没有引起争论。由于关心探讨有关综合开发利用方面问题的人们大多数都是地勘单

位、矿山企业、冶炼企业的工程技术人员，他们行政所属不同部门，看问题的视野受到限制。有的只研究伴生元素的回收程度，引用各种数学公式来表达他们的想法；有的专论尾矿的利用、废气、废渣的利用等；几乎没有见到地采选冶一体化讨论的文章。并且，我国探讨综合开发利用问题有两个偏向，一是只注重“查明、回收、利用”的技术手段，二是从不研究经济问题。在我国专业分工较细，在矿业领域尤其如此，十分缺少懂技术、懂经济的综合性人才，作为经济学家从来不把综合开发利用矿产资源视为他们的研究任务。因此，可以说我国对矿产资源综合开发利用评价的基本理论问题、方法问题不够重视。我们编著本书的目的是想探讨这些问题，引起争论与讨论，从基础上做好理论与方法的准备工作。

我们认为，矿产资源综合开发利用及其评价的对象和范围，是矿区或矿床内的同体、异体共伴生矿产。作为第一步，它是国民经济先行部门地质勘查业综合勘查、综合评价的对象和范围，也是地采选冶综合开发利用的总研究对象和范围。这与查明的同异体共生、伴生矿产资源是开采过程的对象和范围，与采出矿石是选矿加工过程综合利用的对象和范围，精矿产品是冶炼加工综合利用的对象和范围是不矛盾的，归根结底，它们都来自于地下蕴藏的资源。

另外，我们对综合开发利用矿产资源的理解也是广义的，它不仅包含了上述“新生”资源的综合开发利用，也包括对采矿废石、选矿废石、尾矿，冶炼废渣、废气等的回收利用。这些都是综合开发利用的对象和范围，当然它们也是评价的对象和范围。

尽管如此，评价的范围要比开发利用的范围宽广得多。它要对资源效益、经济效益、社会效益及环境效益统筹兼顾，总体评价，涉及技术、经济、社会、环境各个方面。由此说，评价工作是一项涉及范围十分广泛的技术经济研究活动。

矿产资源综合利用评价的对象、范围确定了，但研究工作是循序渐进的，鉴于我们掌握的资料和现在所达到的研究深度，在本书中，我们只对同体共伴生矿产资源综合利用评价进行理论与方法方面的研究，其它范围暂不涉及。此外，矿产资源综合利用在规划设计与生产过程都存在，为了与现行矿山建设、生产实际情况相吻合，我们区分“拟建矿山”和“在生产矿山”两种情况研究，这主要是基于方法有所不同的考虑，也是一种新的尝试。

第二章 矿产资源综合开发利用现状

矿产资源是人类的宝贵财富，是发展生产、保障人民生活的重要物质基础，随着社会发展、科学技术进步和世界人口增长，矿产资源消耗速度也越来越快。因此，最大限度地保护与综合利用矿产资源已是世界矿业乃至科学技术发展的明显趋势。综合利用矿产资源，不仅可以增加矿物原料可利用的种类和数量，而且能够提高矿产资源的经济价值，取得最大限度增产节约效果，同时也是获得稀有金属及分散元素的根本方法和改善环境的重要途径。

近年来，许多国家采取各种有效措施加强矿产资源的综合利用工作，并取得了显著成效。我国对矿产资源综合利用工作也给予了高度的重视，如攀枝花、金川、包头三大共生矿的综合利用攻关，为我国全面开展矿产资源综合利用提供了可资借鉴的经验。我国《矿产资源法》的颁布，对矿产资源的合理开发、综合利用工作起到了有效的促进作用。

第一节 国外矿产资源综合开发利用现状

国外矿产资源综合开发利用的显著特点是在采、选、冶各生产环节采用新技术、新工艺，努力提高矿石的综合利用程度，以提高矿产资源的经济效益。目前，西方国家从有色金属矿石中回收有价值元素达70种以上，如美国全部的砷、

铼、硒、铋、钴、镓、锗、钨、铟、镭、铷、碲、铀等都是作为铜和多金属矿的选矿、冶炼副产品回收的，其副产品的回收产值已占矿业总产值的30%，选冶综合回收率在80%以上；前苏联从多金属矿石中除回收12种主要有色金属外，还回收62种有价值元素，副产品的价值占总产值的25%以上，其中铜工业副产品总值占40%，冶炼回收率达到铜97.84%、铅97.45%、锌96.83%；日本从多金属硫化矿中综合回收了铜、铅、锌、硫、铁、金、银、钴等，综合利用系数达85%以上。

国外矿产资源综合利用的现状大体如下：

一、铜矿石综合利用

前苏联从铜矿石中可回收13种元素，综合利用系数达87—90%；其中，卡扎兰矿冶公司从斑岩铜钼矿矿石中除回收铜、钼、金、银和镍外，还研究从含三氧化二铝27.8%的浮选尾矿中生产氧化铝的方法。美国杜拉尔等七座铜选矿厂分别综合回收了铜、金、银、铅、锌、钼和萤石等，综合利用系数多在88—91%；美国一家工厂曾用离子交换法从铜矿石浸出液中（含铀1—10mg/l）回收铀金属。南非帕拉博铜矿是世界上最大的铜矿之一，其采用浮选—磁选—重选—化学选矿联合流程，回收了铜、铁、氧化铀、蛭石、硫、镍及贵金属等多种产品。秘鲁在铜矿冶炼和精炼中可综合回收铜、金、钨、硒、碲、铋、镉、铟等。

二、多金属矿石综合利用

前苏联从多金属矿石中除生产12种主要有色金属外，还回收60余种其它元素；在列宁诺哥尔斯克联合企业，从多金属矿石中回收了金精矿、铜精矿、锌精矿、铅精矿和黄铁精

矿，在冶炼中，还回收了镉、硒、硫、汞和其它稀有金属。日本从多金属硫化矿石中回收铜、铅、锌、硫、铁、金、银、钴等，综合利用系数达85%以上。加拿大从多金属矿石中回收了铅、锌、铜、金、铍、钴、镍、铋、铈、镉、锡、硫和铁等。

三、镍矿石综合利用

国际加拿大镍公司从硫化铜镍矿石中回收了铜、镍、钴、硫、金、银、硒、碲、铁、铂、钯、钼、铌、铍和钒等15种元素。前苏联从硫化铜镍矿回收了上述除铁外的14种元素。美国除了从硫化铜镍矿石中综合回收了铜、镍、钴、硫、铂族金属和贵金属外，还用高梯度磁选机从铜镍矿浮选尾矿中回收了斜长石精矿。

四、钨、锡、钼矿石的综合利用

钨矿床一般分为脉状矿床和接触矿床。含钨矿物有二十多种，但具有工业意义的主要是黑钨矿和白钨矿。它们常伴生有锡石、黄铁矿、重晶石、磷灰石等。锡矿床通常分砂锡矿床和脉锡矿床，砂锡矿矿物组分较脉锡矿简单，但也有数种到十几种，锡石、锆英石、独居石和石英为常见矿物。脉锡矿主要有锡石-硫化物、锡石-石英、锡石-伟晶岩三类，矿物组份从数种到数十种，锡石、黑钨矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、石英、长石等较为常见。钼矿床主要分硫化型和氧化型两类，钼矿石通常伴生有铜、钨、锡等，此外还伴生一些稀贵金属。

日本的钟打钨矿采用重选—浮选—磁选流程，综合生产了白钨矿精矿、黑钨矿精矿、锡石精矿、含铜硫化物精矿和石英精矿。

马来西亚的金塔克拉斯砂锡矿选厂，除生产锡精矿外，还从选锡尾矿中综合回收钛铁矿、独居石、锆英石、钨矿和磷钇矿等，使马来西亚成为世界最大的磷钇矿出口国之一。日本的神子细脉锡矿选矿厂，采用浮选—重选—浮选流程从含锡0.28%的原矿中生产出锡精矿、铜精矿、锌精矿和铅精矿。玻利维亚的莫查-卡马卡脉锡矿选矿厂采用浮选—重选流程从含锡约1.4%的原矿中综合回收锡石精矿、铅-银精矿和黄铁矿精矿等。

美国的克莱马克斯钼矿，矿石赋存于网状石英质矿床中，含钼矿物主要为辉钼矿和大量氧化钼，伴生矿物有黑钨矿、黄铁矿、黄铜矿、锡石和独居石等。采用浮选—磁选流程从矿石综合回收钼精矿、硫精矿、独居石精矿、钨精矿、锡精矿等。硫化钼浮选尾矿（含氧化钼矿）经水力旋流器预先富集后通过硫酸-亚硫酸浸出、活性炭吸附、洗脱，经蒸发、结晶和煅烧，得到三氧化钼产品，辉钼矿中的铼在冶炼过程中加以回收。

五、含铝矿石的综合利用

铝土矿通常伴生有铁、钒、锆和钾等，是可综合利用的传统炼铝原料。前苏联、匈牙利等在利用铝土矿生产氧化铝时可回收钒、铁，副产苏打、钾碱、水泥和单晶硅。流程可分四步：（1）用拜尔法浸提铝土矿；（2）用克虏伯法还原赤泥，然后用磁选法回收铁；（3）用苏打和石灰烧结除去铁的赤泥渣并溶浸烧结物，得到的铝酸盐溶液再返回拜尔法作业；（4）用溶浸过的二次赤泥渣制水泥。

六、稀有金属矿石的综合利用

稀有金属矿石多数为复杂的复合矿石，含有多种有用成

分，然而，它们的品位一般都较低，需综合回收。前苏联采取多种选矿方法，除回收稀有金属矿物外，还大量回收长石和云母等。有的矿山公司在处理锂辉石伟晶岩时，采用手选、重选、磁选、电选和浮选等可分选出绿柱石、磁铁矿、铌铁矿、黑钨矿、黄铁矿、锡石、独居石、锆英石、锂辉石、石榴石、云母、长石和石英等十三种精矿。美国的高塔-瓦尔金选厂在处理铍矿石时，采用浮选—磁选流程综合回收了云母、绿柱石、长石和石英精矿。加拿大采用磁选—重选流程从曼尼托巴伟晶岩矿石中综合回收了钽、锂、铯、铍和镓。尼日利亚的乔斯台地选矿厂采用手选、重选、电选、磁选和浮选，从风化花岗岩矿石中回收了磁铁矿、钛铁矿、锡石、铌铁矿、独居石、锆石、磷钇矿和石英等八种精矿。

七、矿物废料的综合利用

矿物废料是指露天开采剥离下来的废石、地下掘进的废石、选矿厂的尾矿、冶金和以矿物为原料的化工厂废渣等。近年来，矿物废料的利用引起许多国家的重视，国际上已多次召开有关废料综合利用问题的会议。美国矿山局曾对废料进行过详细的研究，加拿大的采矿和能源工业中心等组织也进行过研究，南非进行了从尾矿中回收金和铀的研究，并投入巨资建立废料处理厂。目前国外对矿物废料的综合利用主要在如下几方面：

1. 综合回收废料中的有价成分

美国许多铜矿山的尾矿，采用浮选和浸出法回收铜，取得了较好的经济效益。如在美国契诺选矿厂，从含铜0.15%的铜-钼浮选尾矿中回收铜，使铜的总回收率由80%提高至85%。墨西哥、西班牙、葡萄牙等国家都曾成功地用细菌浸

出法从尾矿中回收铜金属。

安哥拉-美洲联合公司从南非的一些金矿山尾矿中回收金、铀和硫；美国对一些老的氰化物尾矿堆再次进行磨矿和氰化，从中回收铅、锌和银，还从一些铅矿废石中回收萤石；英国应用现代化选煤技术，从煤矸石中回收煤。

2. 将矿物原料作为矿井充填料、道路路基、混凝土配料等

如前苏联计划利用积存1.5亿吨以上的镍渣，主要用于巷道充填、混凝土和钢筋混凝土的粘结剂以及铸石等；联合国欧洲经济委员会就钢渣利用情况对20个国家进行了调查，结果是高炉渣几乎全部利用，铜渣利用率约65%；保加利亚的亚列米科夫铜铁厂兴建一座炉渣厂，其产品主要用于修路，所分选出的金属返回再处理。

3. 用作各种建材制品的原料

前苏联在库尔斯克矿区建立了生产量很大的水泥和石灰厂以及生产矿物染料和硅酸盐制品的工厂，部分利用列别丁和斯托伊连地段的脉石，可使每采一吨铁矿石的成本降低10%。格鲁吉亚的马德涅乌尔铜矿选厂，其尾矿可以供给格鲁吉亚所有玻璃厂所需的石英砂。加拿大利用化工厂的磷或氟石膏废料生产硫酸、水泥和各种石膏制品。英国大量利用煤矸石生产水泥和砖，用浮选尾煤制造塑料。前苏联高岭土选矿厂的废料，其粗粒用于生产高级的钢筋混凝土制品，其细粒用于制硅酸盐砖、玻璃纤维、硅酸水泥、硅酸混凝土、轻型硅砖、泡沫砖、纯石英砂和云母等产品。

第二节 国外矿产资源综合开发利用技术经济政策

围绕着矿产资源的开发与利用，近20年来召开了一系列国际性会议。如1973年在波兰召开了第一届国际现代采矿工艺会议，1977年在鲁萨克召开发展中国家矿产资源利用会议，1979年在华沙召开第十届国际选矿会议，1986年英联邦和前苏联分别在本国召开了矿冶学会理事会第十三届大会和有色冶金原料综合利用及少废料、无废料生产学术交流会，从而推动了世界各国对矿产资源综合利用工作。同时，一些国家为强化对矿业生产的管理，制定了矿业法，通过立法推行资源保护政策和资源替代政策，西方一些国家为加强矿产资源综合利用工作，亦都采取了一系列综合性措施。

一、矿产资源综合利用已成为各国普遍重视的一项技术经济政策

1972年前苏共中央部长会议和前最高苏维埃分别做出了《关于加强自然资源保护和改善综合利用》及《改善自然资源保护和合理利用矿物资源问题》的决议，要求在矿石的开采和加工中充分利用矿物原料并加强这方面的科研工作。1975年前最高苏维埃颁布了《苏联和各加盟共和国矿产法》，要求对主要矿产和伴生矿产进行可靠的经济评价，并研究和评价利用矿石、顶底板和围岩的可能性。前苏联在《1981—1985到1990年苏联经济和社会发展的基本方针》中再次要求保护和合理利用矿产，广泛采用少工序、少尾矿和无尾矿的工艺流程，积极利用废料。美国在1970年制定了《美国矿业

和矿产条例》，要求合理开发和利用矿物资源及寻找矿物新来源。1982年里根政府又制定了新的矿业政策以刺激美国采矿工业的发展。相继，美国矿山局进行了改组，以加强对国家矿物资源政策的决策研究以及对重要战略矿物的技术经济研究。日本为了解决资源问题，除高度依赖国外进口以外，还制定了一系列矿业政策，谋求最大限度地利用本国资源。奥地利为了克服本国资源供应不足，采取三条原则：（1）加强找矿，扩大原料基地；（2）采用“无废料”工艺，充分利用原料；（3）加强低品位原料和废料的利用。为此，政府积极从财政上资助资源的综合利用工作，并颁布一系列法律。

二、设立研究机构，加强研究手段

前苏联在1959年建立“有色金属矿产综合利用常设委员会”之后，地质部门亦相继建立或加强了矿石选冶机构和试验基地，诸如全苏矿物原料研究所、远东矿物原料研究所等机构及60余个选矿、化学和非金属原料工艺实验室和一些试验车间、半工业性试验工厂等，进行了大量的矿产综合利用研究工作。美国矿业局于1976年曾拨款2700万美元进行低品位矿石加工、二次资源利用和冶炼气净化的研究；一些大学和矿冶公司也在研究充分利用矿物原料和减少污染的新工艺。日本通产省将资源技术试验所和公害资源研究所合并为资源与公害研究所，主要从事资源开发利用和工业安全的研究。经互会成员国在贫矿石的处理，资源综合利用率提高等方面进行了合作研究，试验并局部推广了回收表外矿石及尾矿中铜的化学和细菌浸出方法，研究了处理难选铜锌黄铁矿矿石和赤泥的方法等。

三、从基础做起，加强矿产综合评价和综合利用的地质勘探和地质研究工作

综合利用工作及其效果明显体现在矿山生产和采选冶技术上，但越来越多的国家认识到应该从矿产资源的基础做起，认真加强地质勘探和矿产地质研究工作。目前，各主要工业国家多根据矿产综合开发、综合利用的原则重新制订了资源开发政策，规定地质部门必须综合找矿，对矿产必须提供综合评价的地质资料。因此，在找矿、勘探、评价阶段都增加了地质经济、岩石、矿物查定，组分赋存状态与分布规律的研究和评价工作，提出综合品位指标，矿物原料综合利用率，原料综合利用系数，原料利用完全程度等新概念，大大促进矿物工艺学、地质经济学、矿产地质学以及其它边缘学科的发展，也大大促进一大批组分复杂矿床、低品位矿床和非金属矿床的重新评价和开发，以及新资源、新矿床的发现，并救活了一批资源“枯竭”或经济频危的矿山。这些矿山都是在选冶技术发展后，不同程度地补充地质综合评价工作后才获得经济效益的。

第三节 国外矿产资源综合利用技术的新进展

矿产综合利用的发展主要依赖于选冶技术的进步。自70年代以来，综合利用技术取得了长足进展。

一、直接还原法

直接还原法就是利用某种还原剂把矿石中的高价金属化合物在不熔化的条件下还原为低价金属产品的方法。据有关资料介绍，目前的直接还原法有40余种，生产中应用的有10

余种，主要有米德雷克斯 (Midrex) 法、HYZ法、阿 姆 科 (Armco) 法、克虏伯 (Krupp) 法、普罗伟尔 (Purofer) 法等。使用的还原剂可分为固体、气体和液-气混合物；使用的还原炉可分为回转窑、竖炉、固定床和硫化床等。

直接还原法目前主要用于对富铁矿石（块、粉或球团）炼铁，同时也开始用于磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、钛铁矿、铁镍精矿、钒钛磁铁矿、含锡铁矿以及铝土矿、黄铜矿等。南非、加拿大、新西兰、德国、美国等国家进行了大量的实践应用。

二、强磁分选法

选矿领域应用磁选机已有百余年历史。随着第一代和琼斯设计的第二代多层感应磁极辊式强磁选机的应用与改进，70年代以来，美国和瑞典生产出了高梯度湿式强磁选机，近年来，随着超导材料的发展，国外又研究出第四代强磁选机——低温超导磁选机。强磁选机主要用于各种铁矿石的分选，同时也应用于其它矿物的分选和提纯，如可用于从海滨砂矿重矿物中回收钛铁矿、从煤中分离黄铁矿、从萤石浮选精矿中除去独居石和含铁矿物、从长石-石英伟晶岩中分离出黑云母及含铁矿物、从铜镍矿浮选尾矿中生产斜长石精矿、从石棉中除去细粒磁铁矿、从白钨矿精矿中除去磁性杂质、从玻璃砂（包括石英和长石）中除去磁性杂质、从锡精矿中除去磁性杂质、精选滑石、兰晶石及铝土矿等。

三、选择性絮凝技术

所谓选择性絮凝是指在矿浆悬浮液中加入某些化学试剂或施加外力使矿浆中的某种矿粒选择性地聚集成团，而使其其它组分仍然呈完全分散状态，然后通过某种手段使絮凝物与

其它分散的物料分离。

选择性絮凝技术被认为是回收细粒矿物的重要方法，其适用的矿石种类较多，主要用于赤铁矿矿石、钾盐矿石、钛铁矿矿石、重晶石、磷酸盐、煤、铝土矿、铜矿石、锡矿石等的选矿过程中。国外还应用于许多矿物混合物，如从膨润土与蚀变粘土混合物中选择性絮凝膨润土，从黄铁矿（闪锌矿、方铅矿）与石英混合物中选择性絮凝黄铁矿、闪锌矿、方铅矿。

四、磁流体分选法

该法借助于外加磁场或磁场与电场对某些分选介质（强的顺磁性溶液，铁磁性胶粒悬浮液和强电介质溶液）产生的浮力或推力，亦即对这些介质产生的“加重”作用而进行矿物或物料的分离。“加重”后的介质的比重可数倍于原介质，而且可以通过改变磁场或电场强度任意调节。

磁流体分选法具有多种用途，主要用于金属矿和非金属矿的选矿、固体废料的分离和回收以及取代矿物鉴定中的重液分离法。

磁流体分选法可以提高重选金精矿品位、处理含金刚石的精矿、获得超级精煤、分离锆石和石英、分离有色金属和其它废料、获得金及铂等高纯度的单矿物、从宝石生产的废料中分离各种合金及进行玻璃和陶瓷混合物分离等。

磁流体分选法的原理和技术前苏联已研究了十余年，现在美国、德国、日本和南非等也在进行研究，不久的将来会显示其优越性。

五、原地开采法

所谓原地开采法，就是根据矿石和围岩的物质组成和化

学特征、矿石的结构构造、孔隙度和渗透性以及矿体的形态、水文地质条件等，通过浸出、熔化或气化手段，在原地把矿产变成流体（熔液、气体、升华物等），然后把含矿流体输送到加工厂进行分离和提纯。

该法主要适用于低品位或难于开采的矿床，它具有投资少、见效快、规模可大可小及减少污染等优点，国外颇为重视。

美国西部的比尤特、椰林顿、左尼亚和内华达的山城等铜矿山及得克萨斯的雷依、布尼、乔治西等铀矿山，均采用就地浸出法分别回收铜、铀。低品位金矿的堆浸技术更是被普遍采用，美国九个大的堆浸厂统计，处理矿石品位为 1g/t 左右，金的回收率平均为 64.1% ，银的回收率平均为 38% 。

熔炼（溶解）法则是利用较热的加压力的水或蒸汽，在地下直接使矿物融化（或溶解）为流体，然后把它抽至地面进行回收和利用。美国和波兰采用地下熔炼法开采的自然硫产量占其自然硫总量的 80% 以上。在前苏联，当硫矿床埋深在 $140-300\text{m}$ 以下时便采用该法开采。

第四节 我国矿产资源综合开发利用现状

矿产资源综合开采与利用，早在60年代初，我国就明确提出，对矿产资源实行“综合勘探、综合评价、综合开发、综合利用”的方针，并相应开展了一些工作，在矿产资源的综合利用方面取得了一定的成绩，我国目前全部的铋、银、铂族金属、 40% 的金、 30% 的硫都是通过综合利用手段获得

的。对攀枝花、金川、包头三大共生矿的综合利用攻关，为我国开展矿产资源综合利用工作提供了经验。如金川矿初期只能回收镍、钴，通过综合利用攻关研究，已能综合回收钴、铂、钨、钼、铌、钽、钨、金等；攀枝花钒钛磁铁矿，钒钛元素的回收已工业化；包头白云鄂博铁矿，已解决了部分稀土元素的回收问题。

我国在综合回收有色金属矿产中稀散元素方面具有较雄厚的技术优势。如沈阳冶炼厂的硫酸化焙烧-二氧化硫还原硒法为国内外采用至今，水冶锌矿厂用化学-萃取法或全萃法从锌浸出液中分别回收镉、锗、镓，从硫酸介质中协萃锗、镓，比意大利电锌厂的多次中和法优越，比日本同和小坂冶炼厂萃取镉、镓更经济、更先进。从焙烧钼精矿的烟气中用水吸-离子交换法生产镓，已达到国际先进水平。

一、我国铁矿资源的综合开发利用状况

我国蕴藏有丰富的铁矿资源，平均品位为32%左右，贫矿占98%，可直接入炉的富矿仅占总储量的2%。我国铁矿主要类型有五种：受变质磁铁矿石岩型、岩浆岩钒钛磁铁矿型、接触交代矽卡岩型、含稀土金属型、沉积型。这五种类型除受变质磁铁矿石岩型组分较简单外，其余都含有经济价值较高的共、伴生元素，如攀枝花钒钛磁铁矿含有钒、钛、钴、镍、镓等，邯邢地区的铁矿含硫、钴、铜、镓等，包头白云鄂博铁矿是闻名于世的含稀土资源矿床。

据有关资料，我国已开发的铁矿储量占总储量的36.3%，其中重点矿山占有储量约占71%，地方骨干矿山及地、县、群办矿合计占29%。以部管大型矿山企业为主体，开采方法以露天开采为主，采矿量占85%以上。铁矿采选总回收率约

65%。

对于铁矿中共、伴生元素的综合利用工作，有关部门进行过一系列的研究，我国著名三大共生矿的综合利用联合攻关，其中两个矿属于铁矿。通过联合攻关，解决了钒钛磁铁矿和含稀土铁矿的利用问题。如攀枝花钒钛磁铁矿，经过大量的选冶试验研究，设计铁精矿的品位为53%，回收率为73.8%，钒在选矿过程中进入铁精矿，回收率为80—90%，采用雾化提钒工艺在冶炼过程中回收钒；钛的回收主要从选铁尾矿中回收钛铁矿，钛精矿用电炉冶炼75—85%的高钛渣，再制取钛白粉、海绵钛，或用硫酸法直接生产钛白粉，盐酸法制取金红石型涂料钛白粉，并从选钛过程中回收硫、钴、镍等。新疆雅满苏铁矿为矽卡岩型高硫富铁矿，有用元素除铁外，还伴生有铜、钴、金、硫等。采用先浮后磁的选矿工艺，第一步选出铜硫混合精矿，然后进行铜硫分离浮选，获得铜精矿和硫精矿，浮选尾矿经一次弱磁选获得铁精矿和尾矿，尾矿经分级脱水处理分别得到可供生产水泥的原料。

二、我国铜矿资源的综合利用状况

我国探明的铜矿储量虽不少，但近期能开发利用的储量有限。我国铜矿主要类型为斑岩型铜矿、变质岩层状铜矿、矽卡岩型铜矿、黄铁矿型铜矿、超基性岩铜镍矿、砂岩铜矿等。对于各类铜矿的利用程度，从总体上说，铜资源利用率低，且各类铜矿床铜资源利用水平也不一致：矽卡岩型铜矿利用较好，其采选实际生产能力占全国铜矿总生产能力的32%左右；其次为变质岩层状铜矿，现有采选能力约占全国铜矿总生产能力的22%左右；斑岩型铜矿储量虽占首位，但利用率低，其采选生产能力约占全国铜矿总生产能力的16%；

黄铁矿型铜矿、超基性岩铜镍矿、砂岩铜矿实际采选能力分别占全国铜矿总生产能力的12.9%、7.1%和5.4%左右。从选矿的回收情况看，各铜矿山铜的回收率总的趋势是提高的，但回收率均不高，一般为80—85%。

斑岩型铜矿和部分矽卡岩铜矿多为Cu-Mo型矿床，常伴生硫、金、银、铼、硒、碲、钴、铁及金红石等有用成分，它不仅是铜也是钼、铼的重要来源，矿石中Au、Ag含量不高，但总量是相当可观的，如德兴铜厂铜矿已综合回收金、银、硫、钼，其伴生元素的产值及利润均占较大比重。矽卡岩铜矿多为铜-硫-(钴)或铜-铁-硫-(钴)类型组合，如铜官山铜矿、铜录山铜铁矿等均属此类，目前这类矿床除已利用共生矿硫、铁外，伴生金、银、钴、钼也部分回收。黄铁矿型铜矿多呈Cu-Zn多金属组合，矿床常共生硫、铁、铅、锌及钴，伴生金、银、钼、锗、镓、镉、铟、碲、硒等，目前生产矿山中，除部分利用金、银、铁等，其它如钴、钼、重晶石等有用组分也未利用。超基性岩硫化铜镍矿床可供利用的组分较多，除生产镍、铜外，还综合回收了钴、金、银、硫、铂、钯、钨、铋、钼、铈等有益组分，这类矿床综合利用水平较高，是镍、钴及铂族金属的重要来源。变质岩层状铜矿和砂岩铜矿除生产铜外，目前仅在冶炼处理铜精矿时回收银、硫，其他有益伴生组分钴、金、钼均未回收利用。从选矿回收的情况看，共伴生组分回收率多小于50%，有的只达30%左右，甚至低于10%。

三、我国铅锌资源综合利用现状

铅锌矿产资源包括硫化矿、氧化矿，并以硫化矿为主。铅锌矿常是铅锌共生，伴生有铜、金、银、铋、锡、锑、

镉、镓、铟、锗、硫、砷、汞，以及黄铁矿、萤石等。可以综合回收的金属和非金属有价元素多达十几种。

我国铅锌矿山已投入生产的大中小矿山有100余个，多为地下开采，平均采矿贫化率22.9%，平均采矿损失率13.2%。选矿厂主要处理硫化物，产出的精矿品位52—73%。平均回收率为85%左右；锌精矿品位45—57%，平均回收率88%左右。

我国铅锌冶炼厂处理铅精矿、锌精矿或铅锌混合精矿，多年来较注重主金属的回收，对综合利用各厂条件不一，注重程度不一，回收率和经济效益相距较大。综合利用的回收率低的只有40%左右，高的也只有70%左右。铅锌冶炼厂综合利用硫的回收率高的不足95%，低的为60—70%。

凡口铅锌矿是我国最大的铅锌生产矿山，同时是一个多金属矿床，除铅、锌、硫外，还伴生有银、汞、镉、镓、锗等多种有用元素，且大都构成大型以上规模，该矿采矿损失、贫化率较低，损失率指标目前已控制在4%以下，贫化率目前已控制在8%以下；选矿回收率指标锌90%、银95%、铅80%，硫的回收率较差，为40%，除镓外，汞、镉、锗选矿回收率均可达80%以上，资源回收利用属较好的。

四、我国矿物“废料”的综合利用

我国对于矿物“废料”的综合利用工作非常重视，并在许多方面对其应用的可行性进行了研究，就目前的情况，我国矿物“废料”的综合利用主要表现在如下方面：一是从中提取有用成分，如我国上海昆明贵金属联合公司，以废旧金属制品和工业生产过程中的金属废料为原料，炼制成有色金属和合金，并取得明显的经济社会效益；山西某钢铁厂，利

用红矾钠、铬盐等化工产品的废渣，生产出一种含铬生铁的新产品，其耐磨度比普通铸铁高8—10倍；某铅锌尾矿再选，获得合格的锌、铅、硫精矿，并可以综合回收银。二是应用于建材工业，其产品主要是水泥、骨料、砖、玻璃、铸石、矿棉和陶瓷等。据研究，煤渣中含有15—20%的可燃成分，用煤渣代替粘土烧制水泥熟料，可节省煤炭10%以上，在水泥里掺进20%煤渣灰可增强水泥的稳定性；山西有人发明一种以各种工业废渣、河砂等为主要原料，不用粘土、不毁耕地、不用火烧的新法制砖已获成功；云南省某设计院，利用山砂、煤渣、石棉尾矿渣研制成功免烧砖，这种砖不需烧结、不需蒸养，自然养护20—28天就可建房，比烧结砖节能能源60%以上，且具有质量好、强度高等特点。三是用于铺路、填沟和造地复田。四是用于农业方面的肥料、土壤结构改良剂等。

1. 废石的综合利用

大连某熔剂石灰石矿，年产矿石能力为 $400 \times 10^4 \text{t}$ ，每年剥离排弃的废石约 $80 \times 10^4 \text{t}$ ，占地 $160 \times 10^4 \text{km}^2$ 。他们根据废石的不同成分分选加工，适合作水泥原料的，选制后供给水泥厂；不适合的加工成建筑骨料和矿料，用于城市建设；剩下少量废渣，则用于建港修路。

某钨矿采用井下预选废石的方法，取得了较好的经济效益。目前出窿矿石均通过各溜井预选抛废，选别率达到12.8%。预选废石充填到采空区，工艺简单，效率高，减少了充填料的采运费，减少了废石的运输量，减少了选矿费用，免去了大量的废渣、废水、废气的综合治理费用，同时还延长了尾矿库的寿命。

2. 尾矿的综合利用

尾矿的综合利用主要是利用发展了的选矿技术回收其中的^{有价成分}。某铁矿在磁选尾矿中含铁26.22%，同时含硫、钴均具回收价值。试验采用预选脱泥-浮选-强磁选联合工艺，使最终尾矿中铁品位由原来的26%左右降到8%；浮选使硫回收率达到93%以上，并得到了含钴0.45%以上的硫钴精矿。经初步估算，每吨磁选尾矿可新增经济效益16元以上，效益是非常显著的。辽宁某铅锌矿尾矿中含银为69.94 g/t，硫为2.335%，铅为0.19%，锌为0.187%，铜为0.027%。由于原矿中银矿物嵌布粒度细，平均为0.038mm以下，银单体解离度只有10.75%，绝大部分与黄铁矿、脉石连生。将铅锌浮选尾矿再磨后，用碳酸钠作调整剂，丁基铵黑药和丁基黄药作捕收剂，2#油作起泡剂，考胶作抑制剂，经浮选试验，银精矿品位为1193.85g/t，银回收率为63.74%，吨尾矿可新增产值近20元。我国云南锡业公司，目前存有一亿多吨尾矿，尾矿中含锡0.4%左右，还伴生有铅、锌、铟、铋、铁、铜、砷等多种金属，该公司建有两个选矿工段专门处理尾矿，得到锡精矿和铜精矿。我国金川镍矿、红透山铜矿、铜官山铜矿等也分别从尾矿中回收了镍铁矿、硫精矿和铁精矿等，均获得显著的经济效益。

3. 废渣的综合利用

被誉为治理环境“全球500佳”之一的太钢李双良，从1985年以来，把原2km²的渣山，搬掉了4/5，处理冶金渣1484×10⁴t，用来垫地基、代替石子铺路、制作水泥砖、钢渣砖、生产矿棉制品、填沟造地，并回收废钢铁50多万吨，盈利几千万元。锡矿山矿务局利用鼓风炉渣配制水泥，砷碱渣送砷碱

渣工段处理，产出砷酸钠凝合盐及二次锑精矿，1986年全局工业废渣利用率达到57.39%。

我国铅锌冶炼厂每年排出铅锌冶炼废渣几十万吨，含有铜、铅、锌、砷、镉、汞等元素。中国有色金属工业总公司组织制定了“有色金属工业固体废物污染控制标准”，推动了有色冶金工业的废渣治理工作。铅锌冶炼厂废渣的处理主要采用挥发法、熔炼法、浮选法、湿法等，我国都有采用。柳州锌品厂用电弧炉挥发生产氧化锌粉，锌回收率达90%，电弧炉渣含锌2.4—4%；白银公司冶炼厂高铅铜浮渣进行还原熔炼，浮渣成分铅为30.69%，铜为14%，锌为7.34%，砷为2.05%，金为55g/t，银为965g/t，在加入少量铅精矿或铜精矿、焦粉、熔剂后可获得含铅为96%的粗铅，含铜为30%的冰铜，熔渣含铜为1%，铅为0.8%，金为0.8g/t，银为8.5—31.7g/t，回收率铅银均达99%，铜为96%。株州冶炼厂锌浸出渣用浮选方法获得含Ag7000克/吨的银精矿，银回收率65—70%。

4. 粉煤灰的综合利用

近年来，应用选矿技术综合回收粉煤灰中有用的物质，已取得了显著的效果。我国各地粉煤灰中 Fe_2O_3 含量达8—29%，用磁选法回收磁性铁，可得到50%以上的铁精矿。粉煤中未燃尽的碳粒，全国约有 300×10^4 t之多，约占粉煤灰总量的7.5%，可用浮选法或电选法回收，如株州电厂用圆筒式粉煤灰静电分选机进行选矿，得到了产率为32.7%、品位为81.1%、炭回收率为90.4%的精煤。分选过碳粒和氧化铁后的粉煤灰中富集了一种在显微镜下才可见的玻璃质空心微珠，其粒径从1 μm 至300 μm 不等，该微珠呈中心空洞状，是

铅、硅的氧化物在高温下熔融而成。这些玻璃微珠具有特异的性能，已广泛用于建材、化工、军工、轻工等行业，具有较高的经济价值。粉煤灰分选完碳粒、氧化铁、微珠后，剩余物为人工火山灰，可作为硅酸盐水泥掺和料，在耐酸、耐高温等方面都优于普通硅酸盐水泥。

综上所述，我国矿产资源综合利用工作虽然取得了一定的成绩，个别方面甚至达到了国际先进水平，但总体情况与国外发达国家相比，无论在深度还是在广度方面，综合利用水平都还是比较低的，还存在着不小的差距。据有关资料，全国统配煤矿的平均回采率只有50%左右，地方国营煤矿为30—40%，主要有色金属采选总回收率约为55%，铁矿采选总回收率约65%，建材及非金属矿产采选回收率大多低于60%，而乡镇集体和个体采矿回收率更低。

据对全国246个含有伴生或共生矿产的大中型矿山企业的调查，有32.1%的矿山没有综合回收伴生或共生有益组份，就是搞了综合回收的矿山，综合利用程度也是比较低的。从对1845个重要矿山的调查，综合利用有用组份70%以上的仅有2%，利用有用组份达50%的矿山不到15%，75%的矿山有用组份利用率低于25%。

第五节 我国矿产资源综合利用存在问题及提高综合利用程度的途径

一、我国矿产资源综合利用存在的问题

我国矿产资源的综合利用，在勘探、设计、采矿、选

矿、冶炼以及管理各个环节都不同程度地存在一些问题。

1. 矿产综合勘探、综合评价工作程度不够，影响了矿床的综合开采和综合利用

我国大多数的有色金属矿床，都或多或少地伴生有各种贵金属和稀有元素，这是我国有色矿产资源的一个显著特点。占黄金储量近一半的金和几乎全部的白银都伴生在有色金属矿床中。金川、白银厂、云锡、大厂等矿区都含有许多种有用金属组份可供综合回收。

过去，由于地质勘查工作的注意力主要集中于主金属，而对伴生组份或共生矿产的评价重视不够，从而使得矿山开采设计考虑综合利用方案时，缺乏基本的依据。如有色金属矿床中伴生的黄金和白银，在几百处大中型的铜、铅锌矿床中，做过比较深入的地质评价的只是极少数，而绝大多数矿床中金、银的赋存状态，空间位置，品位变化规律以及回收利用的可得性都不清楚，使得一些矿山的伴生有益元素在可行性研究阶段得不到应有的经济评价，影响了资源的综合利用。因此可以说，没有对伴生组份的综合勘探和综合评价，也就没有有效的综合开采和综合利用。

2. 矿产资源开发利用率低，探明储量与开发利用比例不协调

在已探明储量的矿产地中，投入开发利用的约占四分之一。我国煤炭探明总储量居世界之首，但开发利用率只有23%；铁矿探明储量居世界前列，而实际开发利用率仅为45.36%；有色金属是我国特有的矿产资源优势，但据10种重要矿种统计，开发利用率平均为46%，其中占有色金属开发量一半的铝土矿，开发利用率只有23%。均比国外同类矿

产资源的开发利用率低 $1/2$ — $1/5$ 。另外，就是开发利用的资源，常常是生产规模小，矿山占有储量大，即大矿小开的矿山较多，服务年限过长，如铝土矿平均服务上百年，镍矿为120年以上，煤矿可达百年，非金属矿服务年限则更长。

3. 开展综合利用的矿山企业比例低

目前我国矿山企业资源综合利用工作的大体情况是：开展综合利用，部分开展和没有开展的矿山企业大约各占三分之一，说明开展综合利用的矿山企业比例较低。形成这种现象的主要原因，一是由于我国矿业体制中的弊端，阻碍了矿山企业的综合利用工作，如对矿山企业统得过死，违背矿业活动客观规律的管理方式，使矿山企业缺乏应有的活力，生产长期处于低水平的发展，矿山企业无力开展综合利用工作；二是矿产品价格长期偏低，矿山生产成本增高，资源回收越多亏损越大，矿山企业没有综合利用的积极性。

4. 矿山企业中共生、伴生组份的综合利用指数低

任何矿产，都或多或少地伴生有其它有益或有害组分，这就要求由多个部门共同合作，全面考虑和制定矿床的开发计划，以期实现矿床的综合开发和综合利用，但由于我国矿山企业的管理是按矿种分属于各个部门，不利于综合性矿区的综合开发和利用。单打一地找矿与对口矿种的开发，矿山企业只重视主元素的回收而忽视了共生、伴生元素的回收，即使回收共生、伴生元素，其回收率也比较低，常常是听任自流，能回收多少是多少。

5. 选冶技术不过关，综合利用回收率低

我国矿产资源的特点是贫矿多、复合共生矿多、难选冶矿产多，而目前的采、选、冶技术还比较落后，某些矿产的

选冶技术不过关，资源的综合利用率比较低。如我国铅锌冶炼厂金银的回收问题，一般锌精矿含银100—300g/t，冶炼时有75—85%的金进入浸出渣或蒸馏渣中。火法蒸馏只能从烟尘中回收10—15%的金、15—30%的银。与国外相比有一定差距。白云鄂博铁矿，目前铁矿中稀土的回收率仅为2%左右；攀西钒钛磁铁矿，能进行工业生产的仅是铁、钒和部分的钛、钴精矿，从综合利用的角度看，回收指标仍不理想。

二、提高我国矿产资源综合开发利用程度的途径

1. 制定规章法令，从政策上给予保证

我国在1985年制定了《关于开展资源综合利用若干问题的暂行规定》，要求企业积极开展资源综合利用工作，实行“谁投资，谁受益”的原则，凡属企业自筹资金建设的综合利用项目生产的产品，在价格与税收方面给予优惠政策。1986年颁布的《矿产资源法》，规定：“矿床勘探必须对矿区内具有工业价值的共生和伴生矿产进行综合评价，并计算储量。未作综合评价的报告不予审批”。还规定，“在开采主要矿产的同时，对具有工业价值的共生和伴生矿产应当统一规划、综合开采、综合利用”。《矿产资源法》的颁布，为合理开发和充分利用我国矿产资源提供了法律保证。

同时，有关主管部门应将矿产资源的综合利用程度作为考核和检查矿山生产的重要技术经济指标，并制定相应的奖惩办法。并且国家还应制定相应的价格政策，以鼓励厂矿企业开展综合利用工作。

2. 切实加强综合勘探、综合评价、综合开发、综合利用工作

开展这“四个综合”，首先要从地质工作抓起，从地质

角度充分研究矿产资源的特点，加强物质成分的查定和伴生矿产的调查研究，查明不同伴生组份的赋存状态和产出特征，这是确定对它们的回收方法、工艺流程和回收效果的基础。同时，还要做好综合利用的矿床工业评价工作，肯定有价伴生组份的经济价值，为矿床的设计及开采提供依据。

3. 加强科学技术研究，努力提高采、选、冶回收率

目前，我国在矿产资源综合开发利用方面比较突出的一个问题是矿产资源回收利用率低，开采损失和选冶损失都十分惊人，这与我国的采、选、冶技术水平不高密切相关。应组织多方面的力量，加强选、冶技术的科学研究，以提高矿产资源综合利用水平。

矿产资源中伴生有益组份通常都赋存在主金属矿物中，它们在采、选过程中，往往与主金属一道被回收，所以应在提高主金属的采、选回收率上下功夫；对于以单独矿物存在的共生组份，要不断改进工艺技术，研制新设备和新药剂，以提高选矿回收率。同时还要不断完善现行的工艺，研究新工艺，实现选冶（包括使用化学和微生物处理工艺）联合流程，提高矿产综合利用水平。

4. 改革现行的矿业管理体制，改变矿业生产的单打一现象

矿产资源的综合开发利用工作，往往涉及到几个部门。如开发一个普通的铜矿，若铜矿中伴生有可回收利用的金、硫，其产品将涉及到有色、冶金、化工部门，其地质工作要涉及到地矿部门，几个部门如不能很好地协商共虑，很难保证矿山很好地开展综合利用工作。为了更好地开发我国矿业，矿业各部门应实行广泛地横向联合，逐步建立采、选、

冶联合公司，将地质—采矿—选矿—冶炼联合为一体，由单一经营向采选冶联合生产体过渡，促进由单一产品发展为多种产品，推动综合利用向纵深发展。

第三章 国内外矿产资源综合开发

利用评价有关理论方法

矿产资源综合利用评价是一项复杂的大型系统工程。其影响因素十分繁杂，既有自然方面的，又有人为方面的；既有经济方面的，又有技术方面的；还有环境保护方面的。矿山企业或拟建的矿山具体的条件又千差万别，使得这项工作很难得以顺利进行。目前，国内外都没有一套成熟的评价方法。以往人们一般对综合利用技术工艺方面有比较成熟的方法。而对如何从技术上、经济上衡量矿山矿产资源利用水平研究的较少。尽管如此，不论国外，还是国内，很早就有很多学者对矿产资源综合利用评价有关的理论、方法进行过有益的探索，并积累了丰富的经验，这无疑对我们研究这一问题起着有益的启发和借鉴作用。为了更加全面系统地总结经验，深入研究这一问题，并尽早提出适合我国矿业特点及体制的评价体系，本章着重分析国内外大量的有关矿产资源综合利用评价的理论与方法。

第一节 国外矿产资源综合开发利用

评价有关理论、方法及评价标准

面对现代矿产资源的特点及一系列紧迫问题，世界各国尤其工业发达国家，无论本国资源丰富与否，矿产储量保证程度如何，对于矿产资源的综合开发利用这一问题，近20年来一直十分重视。在矿产资源综合开发利用评价研究和实际应用方面都有成功的经验。尽管各国社会制度、经济发展程度、矿产资源特征不尽相同，但研究世界各国矿产资源综合开发利用评价理论、评价方法和指标体系，对我国进一步研究综合开发利用评价问题具有重要借鉴意义。本书主要讨论前苏联一些学者对这一问题的研究情况。

一、基础理论问题

（一）矿产资源综合开发利用的概念

早在30年代初，前苏联科学院院士、著名地球化学家A.E.费尔斯曼曾对矿产资源综合开发利用下过一个较全面的定义：即“有用组份的完全回收，剥离岩石的全部利用和自然环境的保护”。这个定义包括三方面的基本内容，即有用组份回收、剥离岩石利用和环境保护。80年代以来，前苏联矿业界开始从系统学的观点和理论出发来理解矿产资源综合利用的概念，提出了矿产综合利用系统最优化问题。除上述三个基本内容外，从系统学观点看，把矿产综合利用理解为勘探、采矿、加工和由矿物原料中获得的最终产品的

利用，同时考虑与这些过程有关的所有问题，协同最优化。因此，综合利用问题已从狭义的矿山地质概念扩展成为使全面利用采出物、改进生态环境和景观条件以及区域因素最优化统一起来的系统。

但是，前苏联国内也有一些学者提出相反的观点。认为^①：不应该将合理利用矿产资源、合理分配原料、研究无尾矿工艺、保护环境等问题统统归于“原料综合利用”这一概念。上述课题应是合理利用自然资源这个总题目的一些组成部分。见图3-1。

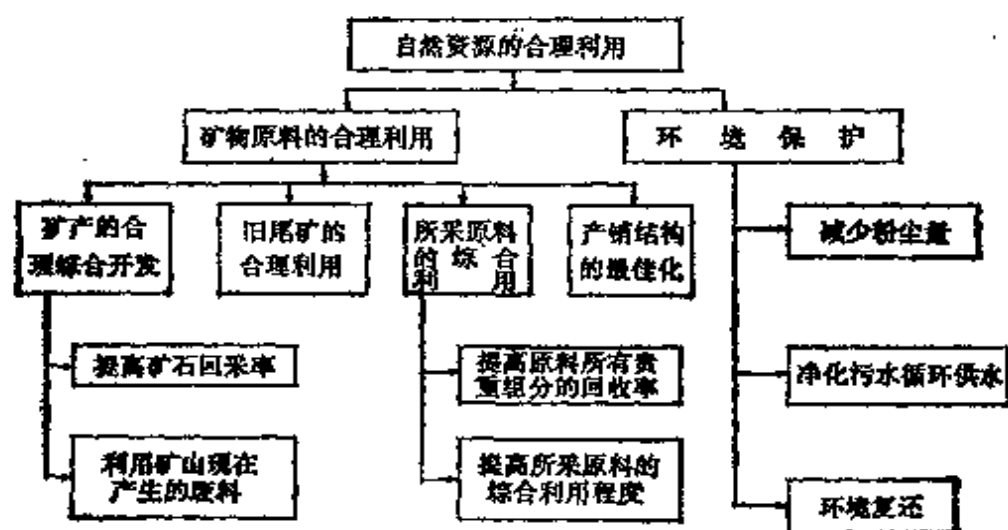


图3-1 合理利用自然资源一些基本问题的相互关系示意图

① Н.В.КРУЖИКИН “有色金属矿石加工部门原料综合利用程度的评价方法”。孙维钧译自《ЦБЕТ.МЕТ.》，1982，No.2。

基于这种理解，“原料综合利用”的定义为：将原料中的几种有价值组份同时或逐一提取出来，或对某些组份加以利用，并将这些组份加工成本企业的最终产品或半成品。这类半成品又经后续加工过程被转变成部门的最终产品。

从目前公开发表的资料分析来看，由于前苏联学者考虑的角度不同，对“原料综合利用”概念理解不一。矿产资源从开发至最终形成加工部门的原料是一个包括勘查、开采、选矿加工、冶炼等阶段的过程，在每一阶段都有其原料，如果仅从一个阶段来理解包括几个阶段的“矿产资源综合利用”概念显然是片面的。另一方面，矿产资源综合利用概念的外延无限扩大，当然也是不可取的。但是，众多的研究讨论，甚至用现代思维方法去研究矿产资源综合利用的概念并得出一些重要的结论，是值得我们借鉴的。

对于矿产资源综合利用评价，前苏联学者没有给出一个完整的定义。一般多用“矿物原料综合利用水平评价”、“伴生组份（或伴生矿产）的经济效果评价”、“矿产储量利用水平评价”来描述。相对其方法却做了较深入研究（下文将详细介绍）。

（二）矿产资源综合利用评价对象和范围

由于对矿产资源综合利用概念理解站在不同的角度，因而前苏联学者对其评价对象不是完全的矿产资源。大体归纳有如下几方面的对象：伴生组份、矿产储量、矿物原料、剥离废石、二次原料等。从综合利用评价的目的来看，有的是考核或促进矿山企业的综合利用水平，有的是考核冶炼加工企业的原料的综合利用水平。

以上不难看出，前苏联矿产资源综合利用评价的范

围是非常广泛的。从大多数学者研究结果来看，不但包括共（伴）生矿产的综合利用评价，而且包括剥离废石、尾矿、二次原料、废水、废气等固态、液态、气态的资源的综合利用评价，甚至还包括环境效益和区域采矿工业综合体产生的一系列附加数益的评价。

（三）矿产资源综合开发利用评价指标

矿产资源综合开发利用评价研究在前苏联刚刚开始时，一般只研究综合开发利用水平，而开发利用水平也只有一些实物量的指标，比如回收伴生组份数目及各伴生组份的回收程度等。随着认识程度的不断提高，渐渐注意并重视矿产资源综合开发利用经济效果的评价并制定一系列经济效益评价指标，不但对每个组份回收利用进行经济分析，而且对整体矿物原料组份回收进行经济分析。先后应用了一些指标。比如：绝对经济效率系数，投资效率系数。现在逐渐建立了环境效益评价指标，剥离岩石利用效益指标，以及综合开发和经营区域矿产资源的总效益指标。这些指标也进一步说明“矿产综合利用”系统最优化的观点，指出综合利用问题是充分合理利用采出物、改进生态环境，与这些过程有关的运输、能源、劳力、水和其他有限资源的利用效率以及区域因素的改进系统最优的问题。

二、国外矿产资源综合开发利用评价方法

这一部分我们仍以前苏联近十年内对矿产资源综合开发利用评价方法的研究结果，简要分析前苏联对这个问题的研究，以对我国开展矿产资源综合开发利用评价方法研究以借鉴。

为使读者系统了解前苏联对这一问题的研究，我们从综

合开发利用系统观点出发,从采矿、选矿和冶炼三个环节综合利用特点着手加以介绍。采矿环节主要介绍废石利用社会经济效果评价,选矿环节主要介绍伴生组份综合利用程度和经济效果的评价及二次原料利用的经济效益评价。

(一) 固体废料的综合利用社会经济效果确定

在前苏联有色冶金企业的固体废料中,以剥离岩石的数量最大。经科学研究和实践证明,剥离岩石特别是新采出的剥离岩石的利用范围和数量可能扩大到用作采空区的充填料;制造各种建筑材料,作为充填料的一个组成部分;制造胶结充填料,硬化混凝土的骨料等。З·К·卡尔加扎诺夫针对现采剥离岩石作为硬化填料或其它充填材料的骨料的条件,提出了确定剥离岩石利用经济效果的方法。

设 C_{Π} 、 C_{BC} 、 K_{Π} 、 K_{BC} 分别代表用一次矿物原料①和剥离岩石生产1 t或1 m³硬化充填料的成本和单位基建费。那么,在其它条件相同的情况下,剥离岩石工业利用的直接经济效益可按(3-1-1)确定。

$$\Theta_{BC}^{CP} = (C_{\Pi} + E_{\Pi\Pi}K_{\Pi}) - (C_{BC} + E_{\Pi\Pi}K_{BC}) \quad (3-1-1)$$

剥离岩石的利用与得到的附加经济效益有关,这部分经济效益是由于废料场设施维护费的减少和环境污染的减少(由于废料场的规模和数量减少)而产生的。此外,剥离岩石保护适于其它用途的土地面积和节约用于生产充填材料的一次性矿物原料。

(二) 二次原料②综合利用的经济效益评价

①一次矿物原料在此专指:专门开采的用作充填材料的非金属矿产——作者注。

②二次原料:在此是指有色冶金企业的废渣、废料、烟尘、渣泥等——作者注。

前苏联学者A·X·别努尼提出用总综合利用系数、最佳综合利用系数和已达到的综合利用系数三个指标来表征有色冶金二次原料的综合利用程度。

1. 总综合利用系数 (K_B)

总综合利用系数是回收到成品中的有用组份价值（按现行批发价格）与二次原料中所有有益组份的总价值（按现行批发价格）之比，表达式为式(3-1-2)。

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^m T_i \Pi_i}{\sum_{i=1}^n T_i \Phi \Pi_i} = \frac{T_1 \Pi_1 + T_2 \Pi_2 + T_3 \Pi_3 + \cdots + T_m \Pi_m}{T_1 \Pi_1 + T_2 \Pi_2 + T_3 \Pi_3 + \cdots + T_n \Pi_n} \quad (3-1-2)$$

式中： T_i ——回收到成品中的组份；

$T_i \Phi$ ——原料中所含的所有组份；

Π_i ——为成品中组份的批发价格。

从这个式中可以看出，假定已回收到成品中为 m 个有益组份，原料中若有 n 个有益组份时，它的价值比即总综合利用系数给出了原料综合利用的完全程度及总价值的一般情况。

2. 最佳综合利用系数 (K_0)

是在采用先进工艺和技术时，能经济有效回收的所有原料组份的价值（按批发价格）与原料中所有组份的总价值（按批发价格）之比。表达式见式3-1-3。

$$K_0 = \frac{\sum_{i=1}^m T_i \Pi_i}{\sum_{i=1}^n T_i \Phi \Pi_i} = \frac{T_1 \Pi_1 + T_2 \Pi_2 + \cdots + T_m \Pi_m}{T_1 \Pi_1 + T_2 \Pi_2 + \cdots + T_n \Pi_n} \quad (3-1-3)$$

式中： T_i ——能回收到成品中的组份；

$T_i \Phi, \Pi_i$ 含义同前式。

从这个式中可以看出，在现有先进工艺和技术被采用后，能回收到成品中的有益组份增加，其按批发价格计算的价值与原料中所有组份按批发价格计算的价值之比同样增加。这个比值表明现有工艺技术条件下潜在的最大综合利用程度，即最佳综合利用系数。

3. 已达到的综合利用系数 (K_D)

是企业现已回收到成品中的那部分组份的价值（按批发价格）与采用先进工艺和技能回收到成品中的那部分组份价值（按批发价值）即最佳可能价值之比。表达式见式(3-1-4)。

$$K_D = \frac{\sum_{i=1}^{m_1} T_i \Pi_i}{\sum_{i=1}^{m_2} T_i \Pi_i} \quad (3-1-4)$$

式中：符号含义同前。设已回收成品中的组份为 m_1 个，采用先进工艺技术可以回收到成品中的组份为 m_2 个，则式3-1-4可写成式(3-1-5)形式。

$$K_D = \frac{T_1 \Pi_1 + T_2 \Pi_2 + T_3 \Pi_3 + \dots + T_{m_1} \Pi_{m_1}}{T_1 \Pi_1 + T_2 \Pi_2 + \dots + T_{m_2} \Pi_{m_2}} \quad (3-1-5)$$

根据以上提出的三个系数 K_B 、 K_O 、 K_D 可以确定部门企业中二次原料综合利用的水平及采用先进方法的前景。前苏联冶金部门在处理有色冶金渣、烟尘、渣泥时，这种方法已广泛应用。

值得考虑的是有益组份的回收合理性。从上述三个系数中可以发现，只表征了技术可行的条件下，综合利用的程度。那么回收某一组份经济是否合理，有必要进一步论证。前苏联学者И·Ф·Худяков等提出有益组份^①是指回收到成品中能盈利、并为国民经济所需的组份。

在计算某单一组份回收的经济效益时，应根据回收该组份的补充费用进行考虑。И·Ф·Худяков等提出计算回收某一组份年经济效益(Э)公式，见式(3-1-6)。

$$\text{Э} = (\Pi - E_{\text{H}}K) A \quad (3-1-6)$$

式中：Π——生产新组份实现的利润(卢布)；

E_{H} ——效益的定额系数；

K——生产新组份的单位投资(卢布)；

A——新组份的年产量；

Э——为年经济效益，卢布。

这个公式已经用于处理低质量的二次原料，但对废有色金属和有色金属废料生产合金的企业不合适。因此，从这些论证中可以看出上述三个系数用来评价二次原料综合利用的局限性。

(三) 可供综合利用伴生组份种类的确定与伴生组份经济效益评价

用技术经济分析方法确定伴生组份的种类已经为各界所共识。在综合利用多种组份矿石时，从技术方面考虑伴生组份回收的难易程度，取决于赋存状态、矿物粒度和嵌布关系等技术加工条件；从经济观点出发，应考虑的仅仅是那些经理

^①И·Ф·Худяков等“二次原料综合利用的经济效益评价”。吴荣庆等译。

济合理的伴生组份。传统确定方法是采取根据同类型矿床从论上类比加以主观臆断。前苏联很多矿物学家发现其不科学性并通过研究提出用经济分析方法来确定伴生组份的方法。从目前来看,方法很多,且多集中于伴生组份生产费用确定方法上。但争议颇多,争议的焦点集中在费用确定上。由于评价矿物原料综合利用效率之前,必须确定合理的组份组合,因此,伴生组份综合利用经济评价显得极其重要。下面我们就前苏联研究现状对这一问题进行分析。

1. 关于伴生组份费用的概念

综合性矿物原料含有多种伴生组份,在开采综合性矿物原料矿石时,无论人们是否利用伴生组份,在开采主成分的同时已开采出来,甚至在选别阶段顺便选别出来。这部分费用对伴生组份来说是共同费用(或称间接费用)。而当提取某伴生组份时,追加的直接选冶加工费用是该组份的直接费用。这项费用只与该组份有关,与矿石其他回收组份无关。

2. 关于伴生组份费用的确定

选矿和冶炼阶段,主成分的回收往往不只一种,同时也回收若干种伴生组份。选矿和冶炼工艺往往是很复杂的,各项费用的发生也是交错的。确定各组份(包括主要组份和伴生组份)的费用十分困难。伴生组份由于其回收过程中工序既有共用工序,又有专用工序;同一伴生组份赋存于不同的产品又有不同的工序组成;由于国民经济需要的不同,又采取不同的工序回收不同规格的产品,等等这些情况,又使得伴生组份费用确定相当复杂。下面我们分析几种前苏联产品费用核算方法。

《有色冶金企业计划、统计和核算产品成本的规范》