

首届全国矿产资源综合利用 与技术经济评价学术研讨会

论 文 集

407

地矿部矿产开发管理局
地矿部地质技术经济研究中心
中国选矿科技情报网地质矿产网
中国有色金属学会采矿学术委员会
中国有色金属学会选矿学术委
中国选矿科技情报

1988年10月

北 京

目 录

建立我国矿产资源综合开发利用评价体系.....	地矿部地质技术经济研究中心 袁宗仪 (1)
试论模糊数学在地质工作及地质经济研究中的应用.....	北京钢铁学院 陈希廉 (11)
LOTUS 1—2—3在地质经济研究中的应用.....	北京钢铁学院 陈希廉 (17)
苏联矿产综合利用概况.....	地矿部郑州矿产综合利用研究所 肖至培 (21)
国外磷酸盐矿床的综合利用.....	化工部化学矿山规划设计院 刘树汉 (24)
我国铜矿资源综合开发利用现状及几个主要铜矿综合利用经济效益分析.....	北京矿产地质研究所 周秋兰 刘和发 (32)
吉林省山门银矿床地质经济评价.....	北京有色冶金设计研究总院 姚剑辉 (38)
江苏省有色矿床资源综合开发利用现状及其实例分析.....	南京铅锌银矿 项长兴 (45)
多金属矿床综合回收利用率的计算与经济评价.....	南京铅锌银矿 项长兴 (50)
论矿产资源综合开发利用研究的原则.....	地矿部地质技术经济研究中心 齐亚彬 (57)
我国铝土矿资源的合理利用与开采工艺探讨.....	沈阳铝镁设计研究院 郑秀岚 (60)
建立矿产资源综合开发利用评价体系的探讨.....	地矿部地质技术经济研究中心 关凤峻 (68)
铝土矿开采综述.....	沈阳铝镁设计研究院 郑秀岚 (72)
黑水锰矿中钴的综合开发浅议.....	中南冶金地质研究所 齐静波 (84)
湖南石煤资源综合开发利用的探讨.....	核工业部六所 凌益煌 (93)
师姑山钨矿综合开发提高经济效益的优化方案.....	东石人埠钨矿 黄山发 (96)
山西石炭系地层共生矿产综合开发利用初探.....	山西地质矿产局 李林书 崔炽昌 (98)
论提高矿产资源综合开发利用程度的途径.....	江西省上饶地区矿产资源管理局 赵松生 (103)
二次回采是地下开采老矿山持续稳产的积极措施.....	五龙金矿 王茂熹 (106)
苏联有色金属矿产资源的合理开发和利用.....	地矿部地质技术经济研究中心 吴荣庆 梁光明等 (109)
矿产综合利用系数探讨.....	广东南山钨矿 方楚平 (115)
国内外伴生钨的综合回收一瞥.....	南昌有色冶金设计研究院 廖经慎 (118)
开发共伴生矿产资源增强矿业经济活力.....	四川省地矿局 高祖泽 (121)
某斑岩铜矿床伴生金银的综合研究与利用.....	江西铜业公司科研所 刘维阁 (123)
对矿产资源综合利用程度评价方法的探讨.....	北京矿产地质研究所 周秋兰 刘和发 (127)
大冶有色公司矿产资源综合利用的现状和设想.....	大冶有色金属公司设计研究院 胡承诚 (132)
铅锌矿石中低品位碳酸锰的综合利用.....	南京铅锌银矿 黄晏 (134)

综合利用矿产资源振兴我国矿业·····	地矿部矿管局	杨志刚(138)
综合利用铀矿资源提高矿床经济效益·····	核工业部中南地勘局230研究所	周春艳(140)
锌浸出渣综合利用高效新工艺研究·····	中南工业大学	唐贤容 尹咏梅(144)
开展资源综合利用增加企业经济效益·····	云南锡业公司	曹乃贤(151)
云南新岐锡—稀有金属花岗岩风化壳型砂矿床技术经济评价·····		
	云南地矿局测试中心	(154)
内蒙古自治区固阳县文圪气铁磷矿综合利用试验研究·····		
	内蒙古地质实验测试中心	李铁军(159)
经济及管理体制改革是提高我国矿产资源综合开发利用的关键·····		
	长沙有色金属专科学校	樊汝培(162)
一论边界品位和工业品位的优化——优化中几个待解决问题的探讨·····		
	北京钢铁学院	陈希廉(163)
二论边界品位和工业品位的优化——有关优化方法的探讨·····		
	北京钢铁学院	陈希廉(169)
我国矿产资源开发利用现状及几点建议·····	地矿部矿管局	侯振才 苗义文(173)
矿产资源开发利用技术经济对策的刍议·····		
	地矿部地质技术经济研究中心	地矿部矿管局(180)
我国矿产资源综合利用有关问题探讨·····		
	地矿部矿产综合利用研究所	地矿部矿管局(186)
我国主要有色金属生产矿山资源保证程度分析研究·····		
	中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所	地矿部矿管局(194)
浅谈我国矿产开发管理的几个问题·····	地矿部矿管局	侯振才 吴世洪(204)
关于我国矿产资源综合利用的几点建议·····	地矿部矿管局	杨志刚 刘清高(208)
提高银铅锌复合多金属矿经济效益的途径·····		
	北京有色金属研究总院	张秀华 卢凤玲(213)
加拿大矿产资源的耗竭理论介绍(根据加拿大凯恩斯博士讲学记录整理)·····		
	地矿部地质技术经济研究中心	王四光(218)
矿床经济评价中的若干问题探讨·····	冶金部长沙黑色矿山设计研究院	任觉世(222)

建立我国矿产资源综合开发利用评价体系

地矿部地质技术经济研究中心 袁宗仪

矿产资源法第六条规定“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”

第二十二条规定“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……”

第二十八条规定“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，防止浪费；对暂时不能综合开采或者必须同时采出而暂时还不能综合利用的矿产以及含有有用组分的尾矿，应当采取有效的保护措施，防止损失破坏”。

上述规定已明确地表明，提高综合地质勘查与综合评价的程度以及矿山综合开发利用的水平已上升到法律的高度给予重视。

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。目前世界矿产开采量，每隔15~18年就要增长一倍，世界人口平均增长率大约为2~2.5%，而矿物原料的需要量要增加5~18%，地球上矿产资源是有限的，因此，合理开发利用，提高对共、伴生矿产资源的综合利用水平是保护矿产资源的重要措施。

如何搞好矿产资源综合开发利用，提高资源利用效率，达到资源优化配置，合理利用，走适合中国国情的综合开发利用矿产资源的路子，形成节约资源型经济结构，是摆在我们面前的重要课题。为此，开展矿产资源综合开发利用评价体系研究，具有十分重要的意义。

一、

国外对矿产资源利用已引起足够的重视，西方国家从有色金属矿床中回收有价元素达70种以上，美国全部的砷、铼、硒、铋、钴、镓、锗、铟、镭、铷、碲、铈都是做为铜和多金属矿的选矿、冶炼副产品回收的，西方国家低品位铜、铅、锌、钼矿石中的副产品价值已达30%以上，其综合回收率已达80%以上。苏联从多金属矿石中除生产12种主要有色金属外，还回收62种有价元素，副产品的价值占总产值的25%以上，许多先进企业的重要有色金属资源从精矿到金属的回收率已达到较高的水平，如铜97.8%，铅97.45%，锌96.83%，而且从铅—锌矿石中能回收17种元素，其综合利用系数也达85%以上。

我国虽然为矿产资源大国，但人均占有量低，有共生矿多、贫矿多、难选矿多的特点，这就给开发利用带来许多不利因素。建国三十多年以来，综合利用问题已逐步提高到重要的

议事日程,并相应开展了很多方面工作。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而获得的。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。如金川矿初期只能回收镍、钴,通过综合利用攻关研究已能回收镍、铜、钴、铂、钯、金、银、硫、铋、钨、钼、钽、铌等12种产品,其综合回收率也在不断提高。攀枝花利用生产的钒渣供出口换回大量的外汇,同时对回收钛、钴、镍的综合利用研究也取得了很大的进展。但是,不能不看到,由于在地质勘查工作中的单打一,造成矿山开发单打一的不正常局面还相当严重,部门的分割又给合理开发利用造成一定的障碍。在矿产资源开发中长期还存在着管理混乱,技术落后,无章可循或者有章不循,致使矿山经济效益很差,其最终造成选(冶)回收率低,综合利用程度低的结果。

矿产资源综合开发、综合利用是国内外矿业发展的大趋势,对我国充分发挥矿产资源经济效益,建立节约资源经济政策尤为重要,又是保护资源,减少环境污染,贯彻落实矿产资源法极为重要的具体措施。对加强矿产资源合理利用、监督管理,提高矿产资源勘查、开发、回收利用具有重大的现实意义和深远意义。

为此,对地质勘查工作及矿山综合开发利用的综合评价指标体系的建立与研究,制定综合开发利用合理化的判据标准并使之数学模式化、定量化,实乃当前我国合理开发利用矿产资源一项重要的工作。

二

在自然界中已知的103种元素中,以分子型、离子型及分散型分别赋存在不同的矿物中,随着采、选、冶技术水平的提高,这些元素综合回收利用的数量在不断的增加。

铁矿综合利用,在国内重点矿山开展研究的较早,白云鄂博稀土铁矿从60年代初到70年代末,集中了国内主要选冶科研单位和大专院校的科研力量,进行多方案的试验研究,先后提出各种试验研究报告达125份以上,提出了以“稀土、钨为主,并对铁、磷、锰、氟进行综合利用的方针”等研究成果;四川攀枝花钒钛磁铁矿近20年的资源综合利用研究,已进入钒钛利用的工业生产阶段,目前的研究重点是降低生产成本和提高钒铁精矿质量;大冶地区铜铁综合利用研究已生产流程化,铁、铜、钴、硫及金、银同时回收,每年获利上缴1亿多元,经济效益十分显著。但是,除了国家重点矿山以外,对一般铁矿山而言,综合利用的研究和重视程度都很不够,对赋存于锡矿中占铁矿总经济价值20—70%的其它伴生矿产,有待于通过资源综合回收加以利用,应引起有关部门和单位的足够重视和注意。

有色金属矿产以复合矿为主,由于近年来在矿山企业推广采用选矿联合流程及选冶联合流程新工艺,大大提高了矿床多元物质组分的回收利用水平。据统计,铜、铅、锌多金属矿中综合回收的银、金、钼、镉、钴、铋、汞等有色金属,经济价值已达原料总价值的38%;从各种多金属矿中每年综合回收的铜已占全国铜总产量的25~30%;从铜、镍、铅、锌中回收的银,占全国银产量的一半综合回收的金,占全国金产量的30%;锡矿原来只能生产单一的锡精矿,现在已能在锡精矿生产的同时,综合回收铁、铜、铅、锌、钨、铋、铌、钛、锆、钽、镉、锑、钼、钨、钽、铌、钇、银、砷、硫等19种矿产品;白银有色公司矿石中17种有用组份已能综合回收14种,综合利用系数达到82.35%。但是,也要看到,我国伴生矿产总的综合利用水平并不高,潜在资源的浪费依然十分严重。如湖南省有一个统计资料,

全省统配钨矿中的铜、锡回收率只有25~35%，钼的回收率30~40%，铋的回收率20~30%，银的回收率3~5%，铅锌基本没回收。伴生矿产的冶炼回收率，苏联达到80%，日本为85%，我国只有40~70%，少数稀散金属实际只有2~3%，其余均在选、冶中流失，跑到尾矿中去了。

当前世界上矿产资源开发的总趋势是矿床的单一利用逐步过渡到综合利用，国外对矿产综合利用的概念不仅是从开发达到最大的经济效益出发，而是从保护矿产资源的合理利用、防止滥事开采，有效的把资源优势转换为生产力，并保护生物圈防止三废污染的综合角度出发，进而采取有效的法律和技术上的措施加以保证。自七十年以来，国际上召开了一系列的会议，交流和讨论有关综合利用方面的经验和问题。国外对矿产综合利用含义的解释是广义的，它不仅包含矿石中主要成份和共（伴）组分的综合回收和利用，而且包括了围岩、尾矿、废渣，甚至废气、废水的利用。

苏联钽铌磁铁矿的矿石总量达155亿吨，多数为贫矿，卡奇卡纳尔最大的矿区矿石储量达140亿吨以上，平均含铁16%，采用磁选法分选出含铁60%以上的钽铁精矿，目前正试验从磁选尾矿中回收钽铁矿、金、铂族元素等。其选厂尾矿还用于生产铸石和酸性土壤的肥料，采矿中剥离的废石还用作建筑材料。1975年苏联索科洛夫—萨尔拜伊采选公司对矽卡岩磁铁矿的湿式磁选尾矿进行了中间试验，采用的工艺是浮选——离子交换——萃取法，所得的产品铜精矿含铜18%，回收率47.4%；磁铁矿精矿含铁59~60%；黄铁矿精矿含硫50.2%，回收率83~86%。前两者为商品精矿，对黄铁矿精矿再用离子交换和溶剂萃取法处理，最终可得含铁66.3%的含铁滤饼，含铜60~80%的沉淀铜，含锌60~70%的氧化锌，含镍75%的氢氧化镍，硫可制单体硫或硫酸，从而达到了综合利用的目的。

以铜、铅、锌为主的多金属矿石常伴生有钴、金、银、铋、镉、钼等多种元素，它不仅是铜、铅、锌的主要来源，也是许多稀有和分散元素的重要来源，搞好多金属矿石的综合利用对于增加有色金属与稀散金属的品种与产量都有重要的意义。苏联奇姆肯特冶炼厂从多金属原料中能回收铅、铋、金、银、镉、铜、铈、碲、铜、硫、锗、钒等，还计划回收铈和生产矿渣水泥。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。例如同和矿业公司的小坂内之岱选厂，处理复杂硫化矿石采用浮选法综合回收了铅精矿（品位51.51%，回收率70.6%）、铜精矿（品位20.39%，回收率86.20%）、锌精矿（品位54.83%，回收率82.9%）、硫精矿（品位48.59%，回收率80.1%）、金、银和重晶石（品位75.25%，回收率56.4%）。加拿大的埃克斯托尔公司处理基德克雷克矿山的多金属矿石，用浮选柱法生产了含银高的铜精矿，含银高的锌精矿及含银低的锌、铅、黄铁和锡等七种精矿。值得提出的是美国除从硫化铜镍矿石中综合回收铜、镍、钴、硫、铂族金属和贵金属外，还用高梯度磁选机从其浮选尾矿中（品位 Al_2O_3 20%）进行回收斜长石精矿（ $Al_2O_3 > 28\%$ ）的试验，并从中提取铝饼，获得了良好的效果。

三

目前国内外大都沿用矿产综合利用系数做为矿山、冶炼厂综合利用程度高低的衡量标准。

所谓综合利用系数系指矿石在选冶加工过程中所获得商品精矿中的有用组分与原矿石中

有用组分之间的变化关系。

综合利用系数的表示法如下：

1. 矿石综合利用系数： $K_{\text{矿}} = K_{\text{选}} \cdot K_{\text{治}} \dots\dots\dots ①$

①式中： $K_{\text{选}}$ ：选矿过程中矿石的综合利用系数；

$K_{\text{治}}$ ：冶炼过程中矿石的综合利用系数

$$K_{\text{选}} = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{Q} \times 100\% = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i \cdot e_i}{\beta_i} = \sum_{i=1}^n r_i \dots\dots\dots ②$$

②式中： $q_1, q_2, \dots, q_n$ ——各商品精矿的产量（吨）， Q ——矿石总量（吨）；

α_i ——矿石中各有用成分的含量（%）；

β_i ——商品精矿中各有用成分的含量（%）；

e_i ——商品精矿中各有用成分的回收率（%）；

r_i ——选矿过程中各商品精矿的产率（%）。

$$K_{\text{治}} = \sum_{i=1}^n r_i \dots\dots\dots ③$$

③式中： r_i ——冶炼过程中各商品的产率（%）

2. 元素的综合利用系数

(1) 回收率表示法： $K_{\text{元}} = K_{\text{选}} \cdot K_{\text{治}} \dots\dots\dots ④$

④式中： $K_{\text{选}}$ ：选矿过程中元素的综合利用系数； $K_{\text{治}}$ ：冶炼过程中元素的综合利用系数。

$$K_{\text{选}} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \dots\dots\dots ⑤$$

⑤式中： e_i ——各种元素在商品精矿中的回收率（%）； n ——选矿过程中综合回收元素的数目。

$$K_{\text{治}} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \dots\dots\dots ⑥$$

⑥式中： e_i ——各种元素在冶炼产品中的回收率（%）； n ——冶炼过程中综合回收元素的数目。

(2) 价值表示法：

$$K_{\text{元}} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i \cdot \beta_i \cdot E_i}{n \cdot Q \cdot \alpha_i \cdot E_i} \dots\dots\dots ⑦$$

⑦式中：

Q ——矿石总量（吨）， α_i ——矿石中各种元素的含量（%）；

E_i ——各种纯金属的价值(元); q_i ——各种商品精矿的产量(吨);

β_i ——各种商品精矿中元素的含量(%)。

上述综合利用系数计算方法各有特点,产率表示法能显示出矿石在选冶过程中的利用程度。例如无尾工艺综合利用系数即为100%,它能鼓励人们尽量地提高矿石的利用量,特别是产量大的产品,其不足之处是不能反映出矿石中元素的利用情况及价值规律。元素表示法能显示出矿石在选加过程中元素的利用程度及价值作用,它能鼓励人们尽量地提高元素的回收率,特别是价值高的稀有、稀散元素,常用于有色金属矿石。

四

矿产资源综合开发利用评价体系是一项难度比较大的研究项目。因其涉及的因素多,学科范围广。即包含技术因素,经济因素,市场供求因素,以及社会、政治因素,涉及的专业学科有地质、采矿、选矿、冶炼、经济、数学及有关法规学。国外虽对这项工作较为重视但至目前尚未查阅到建立起较为完善的综合评价指标体系及较为实用的评价方法。

矿产资源综合开发利用评价体系研究包括以下几项内容:

1. 矿产资源综合开发利用现状,综合利用程度的研究。

(1) 各矿种主元素及共(伴)生元素的资源现状及分析;

(2) 资源生产、消费、价格及贸易情况;

(3) 研究矿产资源储采比例关系,并对矿产资源的利用率进行调查研究。

①研究矿产资源储采比例关系包括如下四个方面的内容(典型矿山统计):

i) 地质勘探储量; ii) 生产勘探储量; iii) 开采实际获得的储量; iv) 矿山年生产能力;

②根据上述四个方面的内容分别统计如下数据:

$$\begin{array}{l} \text{i) 按矿石量} \\ \text{分别统计误差} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 1. \frac{\text{生产勘探储量} - \text{地质勘探储量}}{\text{生产勘探储量}} \times 100\% \\ 2. \frac{\text{开采储量} - \text{地质勘探储量}}{\text{开采储量}} \times 100\% \\ 3. \frac{\text{开采储量} - \text{生产勘探储量}}{\text{开采储量}} \times 100\% \end{array} \right.$$

ii) 按金属量分别统计:同上。上述均限于工业储量。

③统计矿产资源的利用率:

i) $\frac{\text{开采储量}}{\text{地质探明工业储量}} = \text{储量利用率}(\%)$ (平衡表统计)

ii) $\frac{\text{地质探明工业储量}}{\text{矿山年生产能力}} = \text{储采比}(\%)$ (矿山调查)

iii) $\frac{\text{矿山采出矿石量}}{\text{累计与保有探明储量之差}} = \text{具体矿山资源利用率}(\%)$ (矿山调查)

其中累计与保有探明储量之差 = 矿山报表与累计矿石产量与开采中设计允许损失量之

和。或在报表中登记注销的储量。

4) 调查研究分析典型矿山及冶炼厂主元素及共(伴)生元素综合利用程度。

2. 矿产资源工业指标的确定原则与方法的研究。

在进行这项内容的研究中主要应从主元素边界品位及最低工业品位指标考虑,应考虑到矿床的赋存特征,开采技术条件,采、选、冶技术方案,在保障矿山收支平衡的情况下确定各个矿种工业指标的确定原则与方法,对共(伴)生的矿产资源的利用标准可单独予以考虑。对于边界品位的确定,边界品位是划分矿岩的界限品位,一般只具有间接的经济意义,因此在确定时首先应考虑其技术上是否可行,一般应高于合理选矿流程所产生的尾矿品位,可采用经验类比法、统计分析法、图解法或数理统计法来确定。

对最低工业品位的确定：最低工业品位是划分表内、表外矿石的标准，该项指标关系到矿床储量的计算，因而也具有直接的技术经济意义，最好采用统计分析法，价格法，尤其是方案法（技术经济全面比较法）予以确定。

在上述统计法确定主元素的工业指标的同时,可以研究对综合回收共(伴)生矿产时其工业指标确定的新方法的探讨。

3. 对研究矿种中共(伴)生矿产的利用新标准的研究。

在该项内容的研究中,应首先对欲研究矿种目前矿山及冶炼厂利用的标准,结合国外资料并考虑到技术进步情况,通过分析与研究提出研究矿种中对同体共生矿产及伴生矿产的最低品位回收范围或标准以及异体共生矿产的开发利用标准。

我国目前有色金属矿床伴、共生组分表

矿 床	主要组份	共、伴生组份
金矿 铜矿	金 铜	银、铜、铅、锌、硫、锑、砷、锆石、独居石、金红石、刚玉、石英 硫、钴、金、银、铂族、铅、锌、硒、碲、铁、钼、铌、钨、铋、镉、 钼、铈、金红石、孔雀石、铜蓝
铅、锌矿	铅、锌	铜、银、铋、金、锑、汞、硫、镉、铈、镓、锗、硒、碲、钼、萤石、 重晶石
铝土矿 镍矿	铝 镍、铜	钙、钛、钒、锗、镓、锂、黄铁矿、钾、粘土、 钴、铂、钨、金、银、钼、铌、钽、硫、硒、碲、铬、锗、镓、铜、 铈、铌、
钨矿	钨	铜、钨、铋、硒、碲、锡、金、银、镍、锗、钽、铈、铋、钼、钨、 钨族、钼、稀土、铁

4. 按典型矿床研究并测定工艺矿物的分类方法。

(1) 主要矿石的工艺类型分类；(2) 主要矿石物质组成及矿物的工艺嵌布特征；(3) 有益组分在矿石中的分布率；(4) 共(伴)生有价元素在矿石、精矿产品、尾矿中的分布情况；(5) 矿物工艺图的绘制，亦即将矿物组成状况及分选试验结果，绘制在矿床地质图上，用以指导矿山的生产。

5. 采、选(冶)技术方法分类研究。

在对新型矿床进行大量调查研究的基础上,对现有的采、选(冶)技术方法,并结合新

逸性试验资料。

(2) 量化指标体系：主、共、伴生矿产储量；主、共、伴生矿产品位；主矿产的边界品位与最低工业品位；共、伴矿产可供利用的最低品位标准；

2. 采矿技术因素指标体系。

(1) 采矿技术因素指标体系：矿山开拓、采矿方法，可采技术条件的难易情况（包括水文、工程地质条件及矿体产状、埋深等）；采矿新技术、新方法、新工艺、技术进步情况，矿山环境保护情况。

(2) 量化的体系：可采储量；矿山生产规模；采矿损失率，贫化率；资源利用率；储采比例关系；采矿耗电、耗水指标

3. 选矿（冶炼）技术因素指标体系。

(1) 非量化体系：选（冶）工艺方法；选（冶）难易程度；选（冶）产品结构及形式；选（冶）新技术、新方法、新工艺技术进步情况；选（冶）尾矿、废渣、废水、废气的利用情况。

(2) 量化体系：选（冶）原料的品位（主、共、伴元素）；选（冶）生产能力；选（冶）产品产率；选（冶）产品的品位；选（冶）尾矿、废渣、废水、废气有用元素的含量；选（冶）产品的回收率；选（冶）耗电、耗水指标。

4. 经济因素指标体系。

(1) 非量化体系：资源市场的供求关系；矿产品价格变化；资源的消费结构变化及对外贸易情况；技术改革的变化。

(2) 量化体系：地质勘探投资；地质勘探成本；地质勘探投资产出率；采矿投资；采矿成本；采矿劳动生产率；选（冶）投资；选（冶）成本；选（冶）劳动生产率；矿山产品年产值；矿产品价格；矿山实现利润；矿山年盈余现金；国家年利税收益；矿产品出口换汇能力及国际竞争力；投资利润率；投资收益率；投资偿还期；国家收益率；国民收入净增值。

5. 社会环境因素指标体系。

(1) 非量化体系：少尾、无尾工艺及处理方法；区内经济振兴情况；其它情况。

(2) 量化体系：环保投资；环保成本；环保经济效益。

6. 确定矿产资源综合开发利用评价目标及判据标准。

(1) 矿产资源综合开发利用评价目标的确定：研究的矿产资源综合开发利用目标应是一个数量化的综合指标概念，其总体数量化的目标应为各分支目标的多元函数关系。总体目标基本逻辑结构模型为：

$$Z = f(K, L, G, H, S, Q)$$

式中：Z：矿产资源综合开发利用目标函数；K：矿物原料综合利用因素；L：资源利用因素；G：经济效果系数；H：环保效果系数；S：市场供求系数；Q：区内经济振兴系数；各分支目标模型

$$K = \sum_{i=1}^n T_i / \sum_{i=1}^n q_i, \quad L = \sum_{i=1}^n C_i / \sum_{i=1}^n (l_i - b_i),$$

$$G = \sum_{i=1}^n I_{i1} / \sum_{i=1}^n R_{i1}, \quad H = \sum_{i=1}^n I_{i2} / \sum_{i=1}^n R_{i2},$$

$$S = \sum_{i=1}^n X_i / \sum_{i=1}^n q_i, \quad \sum_{i=1}^n X_{qi} / \sum_{i=1}^n (Y_i + X_{qi})$$

以上各式中符号意义如下:

T_i : 矿山开发中矿产品的提取价值(主、共、伴); q_i : 矿物原料(主、共、伴)潜在价值; C_i : 矿山采出矿石量; l_i : 累计探明储量; b_i : 保有探明储量; I_{ii} : 实现利润; R_i : 建设总投资额; I_{hi} : 环保产生的利润; R_{hi} : 环保投资额; X_i : 市市场需要量(主、共、伴); q_i : 市场供求量(主、共、伴); X_{qi} : 区内矿业总产值; Y_i : 区内原工农业总产值;

(2) 对确定总体与分支目标的判据标准的研究: 在实现总体数学模型所求出的总目标之前应对各分支数学模型函数关系进行确定, 可分为以下三种型式的模型: 预测模型: 诸如市场供求关系预测, 矿产品价值预测等; 决策模型: 对资源的利用程度, 产生的投资效益指标等; 优化模型: 在多方案比较的基础上进行优化方案选定的模型。

在实现上述三种模型的基础上对各分支及总体的目标进行综合开发利用程度的评定。

判定标准的制定采用以下两个方式进行:

①对综合开发利用程度优、中、劣的矿山进行调查研究, 在数理统计的基础上, 进行数学计算, 从而得出数量化的判据标准。②广泛的征求专家的意见, 并将意见进行集中分类汇总, 从而得出基准性的标准。

(3) 有关综合开发利用经济数学模型的确定与评价方法: 在进行矿产资源综合开发利用程度评价时, 对评价目标及判据标准的数学模型求解过程中, 要牵涉很多经济指标和参数的选定与计算, 其经济指标与参数确定模型有以下几种: 矿产供求与矿产品价格模型; 工业指标模型; 矿床开发投资模型; 矿产品(采、选、冶)生产成本模型; 环保投资效益模型; 社会经济效益模型。

关于建立矿产资源综合开发利用数学模型的原则:

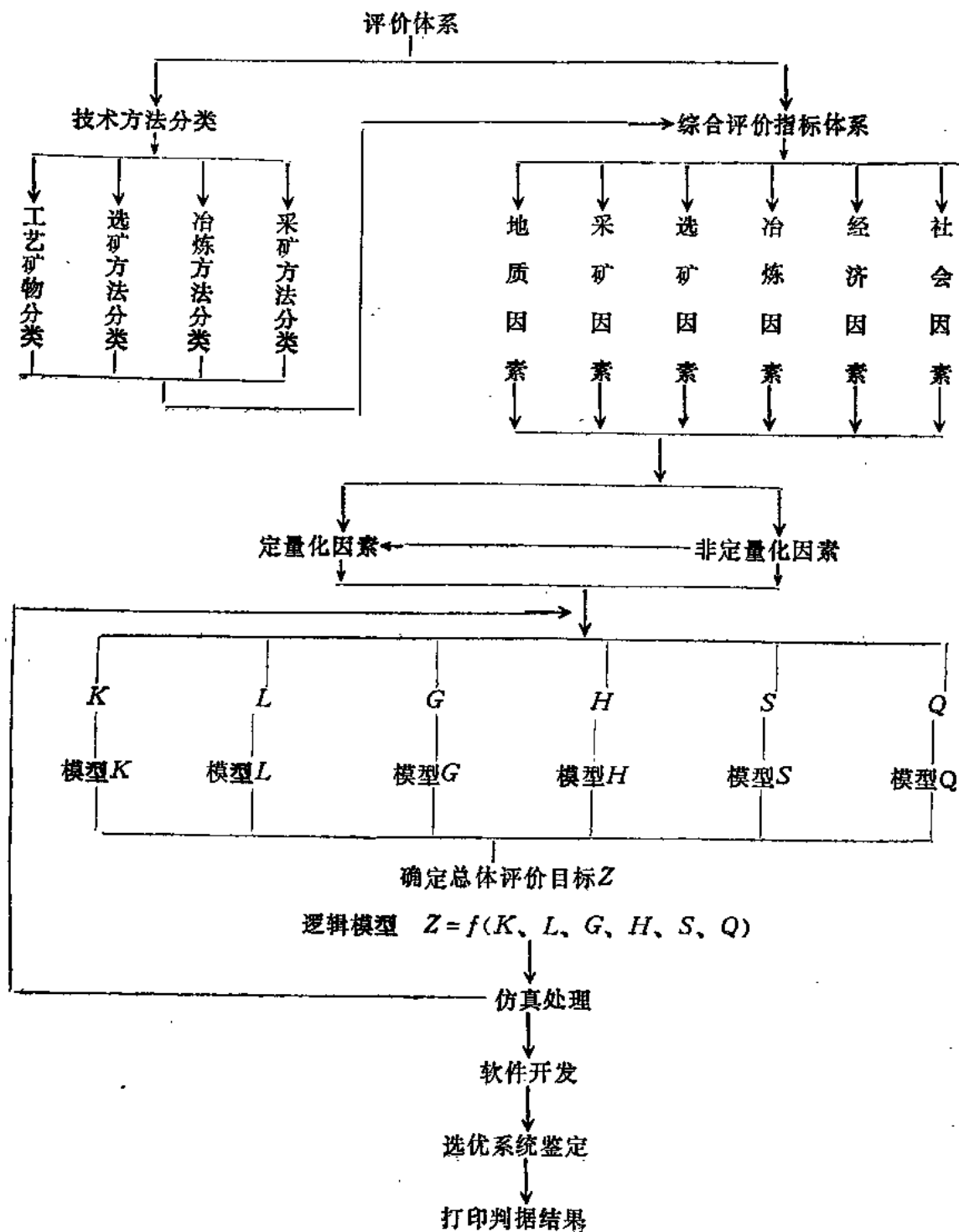
①由于这个项目的研究尚属初期阶段, 故建立模型应本着循序渐进的原则, 模型的规模不宜过大。②所建立的模型结构尽量简单明了, 不要片面追求复杂化, 从而把经济数量关系弄的模糊不清。③要考虑模型的实用性。④在总体逻辑模型稳定后采用逐步扩展的方法。

7. 确定矿产资源综合开发利用评价体系的系统学方法。

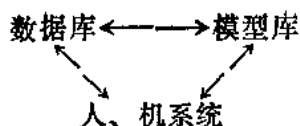
(1) 系统学方法: 矿产资源综合开发利用体系及判据标准的研究由于涉及的面宽, 从系统学角度看是一个复杂的偶合系统, 如其包括矿产地质系统、矿山开发利用技术经济系统、市场供求关系及价格系统以及社会经济环境系统, 从总目标的基本逻辑模型中也可以看出在选择函数的变量参数时有的属定性的非数量化的, 有的属定量的数量化参数, 因此在建模时就应考虑采用定性定量相结合的建模方法, 即要考虑各系统之间的协调性, 还要在多方案因素的优化选择上尽量把一些非数量化的内容调整为数量化的关系, 把一些非线性关系调整为线性关系进行处理, 力求使建立的模型简单、具体、科学、实用。

研究过程中可选用DSS决策支持系统方法, 该方法的特点是把定性分析与计算机的定量分析结合起来。

矿产资源综合利用评价体系总体框图



其结构为:



(2) 评价体系中各系统之间的相对关系: 见系统框图。

(3) 建立微机评价软件系统: 矿产资源综合开发利用评价与数学模型的建立, 为选用先进手段——微机处理创造了先决的条件, 对于DSS系统在数据库及模型库建立的情况下采用人机对话的形式, 大大缩减研究计算的周期, 提高了决策科学依据的精度。采用微机可实现计算、制表、绘图及选优等项功能。并争取在微机软件中开发出人工智能或半人工智能的专家系统。

软件系统应包括如下几部分: ①综合开发利用评价体系程序源; ②各种数学模型程序源。

上述意见仅是个人对建立矿产资源综合开发利用评价体系的初步思路, 权作抛砖之率, 以期引来美玉, 相信通过同行的努力, 不久的将来一颗新星即将展现在我们面前。

试论模糊数学在地质工作及地质经济研究中的应用

北京钢铁学院 陈希廉

一、模糊数学的基本概念

1. 精确与模糊

在人类历史的发展过程中, 人类对客观事物的认识, 逐渐由“心中无数”到“心中有数”, 由模糊趋向精确。以自然数的使用为起点, 千百年来经典数学在描述自然的现象和规律方面, 已取得惊人的成就。在人类历史的早期, 模糊曾作为精确的对立面, 代表着落后的生产力。

但是, 随着人类社会生产力和科学技术的发展, 人类所研究的对象愈来愈广泛、愈复杂, 无数人类的实践证明: 凡是复杂的事物很难精确化, 精确性与复杂性往往是互相矛盾而又互相排斥的。这就是许多科技工作者从实践中总结出来的所谓“不相容原理”(又名“互克性原理”)即: “当一个系统复杂性增大时, 人们使之精确化的能力将减少; 在达到一定的值(或限度)之上时, 复杂性和精确性将相互排斥”。这是由于高度复杂的系统中, 有很多复杂的因素在对系统产生影响, 以致人们无法全部去实地进行考察, 倘若我们抓住了这些因素中的主导因素(这是正确的做法), 便会忽略次要因素, 而导致使某些概念由精确变得模糊起来。

在我们日常生活和工作的过程中, 模糊的概念(即没有确切的界限的事物及其表达形式)

随时可见，例如美与丑，胖与瘦，地质工作中所遇到的矿化的优与劣，矿体形态的复杂与简单等等，虽然是两种完全相反的概念，但在它们之间却没有截然可分的界限。由此可见，人类在社会生活、生产实践以及科技工作中，都少不了要与模糊概念打交道。

由于模糊概念是一种不规则逻辑，由此构成的信息也只能是含义模糊的信息，即所谓模糊信息。例如，要表达一个人的衰老，可用白发苍苍、步履蹒跚、脊背弯曲等一系列形容词来说明，而这些就属于模糊信息。

要利用数字式电算机判别一个概念，要求输入精确的信息，对于模糊信息过去是无能为力的。但是，人脑对于多么模糊的信息都具有高度的识别能力和判断水平。例如，我们对于十多年前的一个老同学或老朋友，尽管过去和现在我们都未对其身高、体重及语言、相貌等进行过精确的测定，尽管其面貌及胖瘦等在十多年中已有许多改变，但是一旦见面，还是能够马上认出他来，而这个认识过程要让电子计算机来做，那就得先测量所要认识人的身高、体重、及语言、相貌等一系列数据，再输入电算机与已存储于机内的许多数据进行对比才能加以判别，而且尽管进行精确的对比，仍然可能闹出“翻脸不认人”的笑话来，因为人体的各项数据并不是恒定不变的。由人脑的判别过程可知，我们恰恰是在模糊中见到了光明。一定程度的模糊反而使我们能够较易地得出所见到的是什么人的精确结论，这就是精确与模糊之间的辩证法：精确兮，模糊所伏；模糊兮，精确所依。所以，就人类对模糊信息的识别能力和判断水平而言，目前还是电子计算机所望尘莫及的。这是由于：人脑的思维活动能够处理大量的模糊性问题，而经典数学却无能为力，因而无法建立起适用于现有数字计算机的数学模型。

2. 模糊数学的产生

生产力和科学的发展，不仅要求人们能够认识简单的自然现象和规律，而且还要求人们能够认识复杂的自然现象和规律以及复杂的社会现象和规律，从而要求从数学角度解决模糊性的问题；而且也要求电算能够处理模糊的信息，而具有人工智能。在这种的形势要求下，模糊数学就应运而生了。

1965年美国查德 (L. A. Zadeh) 教授发表了《模糊集合》(Fuzzzz Set) 的论文，他第一次明确地提出了从数学上解决事物模糊性的问题，并给出了模糊概念的定量表示法。模糊数学从此产生了。

查德在他的论文中引入了“隶属函数”这个概念，来描述差异中的过渡问题，这是精确性对模糊性的一种逼近，因而他首次成功地运用了数学方法描述模糊概念。

模糊数学是专门处理模糊概念、模糊信息的数学新分科。模糊概念、模糊信息之引入数学领域，决非以模糊代替精确，而是为了解决经典数学所不能进入或难以进入的禁区。数学是在不断地追求精确，但在追求精确的过程中，往往遇见难以精确的模糊，模糊数学由于打破了形而上学的束缚，既认识到事物“非此即彼”明晰性的一面，又认识到事物“亦此亦彼”过渡性的一面，因此它具有更强的适用性，并成为架在精确的经典数学与充满模糊性现实世界之间的一座桥梁。

模糊数学的产生虽时间不长，但已显示出强大的生命力，例如，对于气象来说，不论是某种气象的概念和影响气象的因素都具有模糊性(如多云少云就是模糊概念)。利用精确的经典数学方法进行天气预报，未必能得到最精确的结论，而我国气象学界把模糊数学用于天气预报，却提高了预报的可靠性，并在国际学术会议上获得好评。其它如医学、语言学、社会科

学等凡属复杂系统而过去与数学似乎无缘领域的问题,模糊数学的应用都已取得显著成效。

此外,利用模糊数学构造的数学模型,来编制计算机程序,可以使计算机能更广泛、更深入地模拟人脑的思维活动,从而可提高计算机的“智力”。

3. 隶属函数的概念

模糊数学不是让数学变成模模糊糊的东西,而是将数学打入有模糊现象、模糊概念的各知识领域,所以不能把模糊数学的“模糊”看成不要精确,相反地,大量的事实表明,许多事物过分地追求精确反而更模糊,而适当地模糊反而可以达到精确的目的。而其关键在于如何寻求适当的数学语言来描述事物的模糊性。这个数学语言即隶属函数。它在模糊数学中占有突出地位。

经典数学的集合论,实质上是扬弃了事物的模糊性而抽象出来的,是把思维过程绝对化,从而达到精确、严格的目的。一个集合可用特征函数 x (希腊字母读“喜”)来表示。它可表示某元素 X 是否属于集合 A 。若 X 属于 A ,则 $x_A(X)=1$;若 X 不属于 A ,则 $x_A(X)=0$ 。在模糊数学中模糊集合的特征函数称为隶属函数,记作 $\mu_A(X)$,它表示元素 X 属于模糊集合 A 的程度或“资格”由于 μ 可在 $[0, 1]$ 区间连续取值,所以很适合表现元素属于某模糊集合的种种模糊状态。

例如,有人提出判断某人属于“老年人”集合的隶属函数可用下式表达:

$$\mu_{\text{老年人}}(X) = \frac{1}{1 + \left(\frac{5}{X-50}\right)^2} \quad (\text{当 } 50 < X \leq 100 \text{ 时})$$

式中 X ——表示50岁以上的年龄。

由计算可高: $\mu_{\text{老年人}}(55) = 0.5$; $\mu_{\text{老年人}}(60) = 0.8$; $\mu_{\text{老年人}}(70) = 0.94$

这表明55岁的人只能算是“半老”,因他的隶属度(即属于老年人的“资格”)只有0.5,而60岁和70岁的人,属于老年人的隶属分别为0.8和0.94,可以说是基本上是老年人了。

模糊数学中隶属函数通常是根据统计或经验来确定。不同的事物的确定方法可不同,因此隶属函数往往成为进行模糊数学运算中的大难题。卡夫曼已收集整理出23种不同类型的隶属函数。

二、地质体的模糊性

自地质学建立以来,许多地质学家都力图用数学方法来描述某些地质体(矿床、地层、构造、岩体等)的变化规律,但地质体是漫长地史发展中地质作用的复杂产物。正由于地质体的复杂性,所以长期以来虽然地质学家力图用数学来描述地质体的变化规律,却未能得出太满意的结果。最初的地质学家曾经把地质体看成是具有确定性变化的事物,而运用相应的数学方法对其进行研究,结果效果很不理想;后来又有的地质学家把地质体看成是具有随机性变化的事物而运用数理统计的数学方法进行研究,得到了相对较好的效果,数学地质中的各种多元统计方法的运用即其具体成果。而地质统计学的产生,又进一步明确了地质的变化性质往往具有双重性,即既具有确定性的一面,又有随机性的一面,而且找到了相应的处理方法,获得较好的效果。

但是,随着地质科学的发展,目前有的地质学家已开始意识到,在地质体双重性的变化中,对于较复杂的地质体,在其不确定性变化中,又还有两重性,即既有随机性的一面,又有模糊性的一面。这种现象有其必然性,因为有许多地质体都是在漫长的地史岁月中各种复杂地质作用的产物。愈是复杂的地质体,其模糊性将愈显著。

地质体的模糊性不仅表现在其本身特点上,而且也表现在其相互关系、影响形成的因素、有关地质体的概念以及有关的地质工作经验等方面。

1. 地质体本身特点的模糊性

例如某地质体形态的简单与复杂、规模的大与小、地质体物质成分的简单和复杂以及矿化的优与劣等等。

2. 地质体相互关系的模糊性

例如,岩浆岩中,酸性、中性、基性、超基性岩的划分;某些矿床成因类型的划分等。尽管已有某些地质学家为其规定了某些划分标准,而在实际工作中却往往发现有许多类型的划分,仍然存在着许多模糊不清的问题。

3. 影响地质体形成因素方面的模糊性

例如,影响矿床或变质岩形成的温度方面,尽管过去某些地质学家为其规定了某种指标,而划分为高温、中温、低温等,但实际上其间也存在着模糊性;又如,影响地质体形成的深度因素方面,同样存在着模糊性。

4. 地质学中某些概念的模糊性

正由于地质体的模糊性,导致在地质学中所建立的某些有关概念具有模糊性。例如,对于某些复杂的矿床,其中哪些矿物应属有用矿物,哪些矿物应属脉石矿物,往往也是模糊的;甚至,“矿床”这个概念也还存在模糊性。

5. 地质工作经验的模糊性

也由于地质体的模糊性,还导致地质工作经验的模糊性。由于人脑对于模糊的信息具有高度的识别能力和判断水平,因此有经验的地质工作者,往往可根据某地的地质条件,判断其深部是否可能存在矿体,但却难以判断其精确储量。

根据大量地质工作经验所总结出来的有关“矿床勘探类型”和“储量级别”的规定,其中各类型、各级别的划分标准也是模糊的。例如,在勘探类型划分中要考虑矿床构造等条件的“简单”和“复杂”;在储量级别的划分中,要考虑对矿体产状、形态和空间位置等是“准确控制”、“详细控制”抑或“基本控制”,而实际上这些划分标准也是模糊的,正因如此,在某些勘探报告的评审时,对这些问题往往争论不休。

三、模糊数学在地质工作中应用的广泛前景

愈是具有模糊性的事物及模糊信息,愈是需要借助于模糊数学来研究分析,才能得到相对更精确的结论。因此,在地质工作中应用模糊数学是有其广泛前景的。

模糊数学目前尚处于正在发展的阶段,其应用领域也还在不断扩大之中,这里只能就作者所知,举例说明模糊数学可应用于地质工作中的哪些领域。

1. 模糊聚类分析方法

例如本法可用于:进行矿石类型的合理划分;进行矿石或岩石按与采矿有关的物理力学