

高等学校部级重点教材

矿产勘查理论与方法

赵鹏大 主编



 中国地质大学出版社

矿产勘查理论与方法

第四版



高等学校部级重点教材

矿产勘查理论与方法

赵鹏大 池顺都 编著
李志德 曹新志

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书是作者长期从事矿产勘查学的教学和科学研究的经验结晶。本书深入地阐述了矿产勘查的基本理论;全面地讲述成矿预测与矿产普查、矿床勘探与探采结合等矿产勘查的基本问题;此外还对资源经济、在矿产勘查中高新技术的应用及面向未来的接替资源等方面作了简要的介绍。

本书为矿产资源勘查专业大学生的教科书,也可作为从事矿产勘查专业的技术人员及有关专业研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

矿产勘查理论与方法/赵鹏大主编. —武汉:中国地质大学出版社,2001.5

ISBN 7-5625-1638-3

I. 矿…

II. 赵…

III. 理论-方法-矿产勘查

IV. P624

矿产勘查理论与方法

赵鹏大 主编

责任编辑:张华瑛 赵来时

责任校对:熊华珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)

邮编:430074

电话:(027)87483101

传真:87481537

E-mail: cbo@cug.edu.cn

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:576千字 印张:20.625 附图:8

版次:2001年7月第1版

印次:2001年7月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—2 000册

ISBN 7-5625-1638-3/P·562

全套定价:29.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

自1988年笔者等编写出版《矿床勘查与评价》一书以来,至今已经十年有余了。在这十余年中,随着社会主义市场经济的发展,矿产勘查生产工作发生了很大变化。作为公益性、基础性地质调查(包括不同比例尺的地质测量)和风险性很强的地质找矿与作为市场行为较强的矿床勘探的运作方式、投资渠道及承担部门等都有很大差别。前者主要由地质调查部门使用国家财政拨款进行,而后者主要由产业部门进行且将勘探费用纳入成本或作为股份投入。因此,地质勘探阶段虽然在理论上或客观上是存在的,但实践上很少由某个单位一个部门自始至终按阶段进行。1986年公布的新的矿产资源法,规定了私人可以依法获取探矿权和采矿权,并拥有转让权。同时,在一定范围内对国外开放了探矿权和采矿权。因而可以吸纳一部分国外资金进行风险勘查。可以说,在由计划经济向市场经济过渡和转化的当今,矿产勘查工作的多样化和逐步走向市场化是最大的特点,也是最突出的变化。过去的10年,由于世界性的矿业不景气,矿产勘查面临严峻形势:一方面是勘查费用减少,另一方面,矿产勘查也面临激烈竞争。矿产品价格下跌冲击着矿业,也影响着矿产勘查工作的发展。例如,印度矿业界曾惊呼,要“行动起来对付不利局面”。在1998年刊于“*Journal of Mines, Metal & Fuel*(6-7)”的一篇文章^①中写道:“在向新的面向市场经济过渡的过程中,矿产部门遭受到种种威胁,包括竞争愈益激烈的市场,出口下降,矿产勘查和开发新投资财政困难,工资和投入成本盘旋上升。”文章最后强调“印度矿业部门必须行动起来,有效地对付当前的局势,并为下个世纪做好准备。矿业部门需要改变重点,开发新市场,力争生存下来。总之,矿业界的思维方式必须从根本上改变,以驾驭新出现的经济问题。”在矿产品市场中,贱金属是受价格下跌打击最重的矿产品。据报导,与1997年相比,1998年伦敦五金交易所的镍价下跌46%,铅下跌21%,铜下跌43%,锌下跌47%,铝下跌17%,锡下跌5%。黄金价格近年来也不断下跌,以美国为例,对黄金价格产生下压影响的主要因素^②有:①世界上的重要经济大国政治和财政稳定;低利率,低通货膨胀,受控制的增长率。②中央银行出售金锭正在造成市场供应过剩。③近十年来,黄金的供应量增加了大约1120t,即由1987年的2370t增至1996年的3490t,这主要是由于矿山产量增加(增加600t)和黄金制品回收利用量增加(增加约250t)。④每年生产的黄金真正“消失”的呈极少数,其供给市场大部分最终成了珠宝首饰(1996年为2800t,占供应量的80%),而这些黄金是很容易回收利用的。因此,黄金价格在整个20世纪90年代在下跌,虽然这一时期工业部门对黄金的需求增长了70%。然而,北美一些大的黄金公司通过增加其黄金储量基础的办法而使黄金股票的价值在整个20世纪90年代稳步增长。另一方面,许多发展中国家,特别是在南美、西非、东南亚、太平洋周边地区及独联体国家,还包括中国于20世纪90年代开始对外开放,这在全世界范围内产生了多方面新的机会,结果,加拿大和美国50%以上金勘查经费都花费在海外。

前些时期发生的亚洲金融风暴对这一地区乃至世界的矿产勘查业造成重大影响,因为这一地区的发展中国家对原料的需求一直是金属和矿产生产厂商的驱动力。消费量的减少造成许多矿产品供过于求。1998年的勘查工作受到明显的影响。据《1998年世界矿业基本形

① 路石摘译,1998,印度矿业界要行动起来对付不利局面,地质矿产信息(未查到原作者姓名及年份)
② 弗莱明 C. A. 1998,金矿工业30年沧桑之变, *CIM Bulletin*, 91(1025), 55~67(未查到译者姓名及年份)

势》^①一文引用的资料估计“全球矿产勘查费用减少 31%”。但是,也有走俏的矿产,如“在铂族金属中,钯占据中心舞台。5 月份钯价猛涨至 400 美元/盎司^②以上,原因是需求骤增而供应不确定。近十年钯消费量翻了一番,几乎完全是由于汽车催化剂用量增加。J. 马瑟公司预测 1998 年钯需求量将达到 820 万盎司”^③。

从上述简要资源形势分析可以看出,矿产勘查工作尽管是一种具有长效应和长过程的工作,但对矿业市场的敏感性是很强的,对矿种的选择性也是很强的。稀缺矿种、市场供不应求的矿产,国家建设急需的矿产,人民生活需求量大的矿产等等,都会吸引勘查工作向这类矿产资源做更大的投入,并可带动整个国家矿产勘查工作的发展。

当今矿产勘查工作另一令人瞩目的变化是保护生态环境约束或要求越来越高的环境评价标准。资源与环境联合评价已成为今后矿产勘查与开发所必须遵循的原则。这是因为对此问题的忽视将带来严重的负面环境效应。据前不久召开的全国矿山环境保护与治理工作现场会议的资料(2000.10.17《长江日报》报导)表明,长期以来,由于在矿产资源开发利用中忽视环境保护,我国矿山环境恶化趋势尚未得到有效遏制,土地破坏,水生态平衡失调日益突出,“三废”污染严重。我国每年因采矿产生的废水约占工业废水排放总量的 10%以上,而处理率仅为 4.23%,绝大部分未经处理的废水直接排入江河湖海。我国每年工业固体废物排放量中,85%以上来自矿山开采。全国国有煤矿现有煤矸石山 1 500 余座,历年堆积量达 30 亿吨,占地 5 000 多公顷。各类尾矿累计约 25 亿吨,并以每年 3 亿吨的速度递增,不仅占用了大量土地,还对土壤和水资源造成了严重污染。全国因采矿而直接破坏的森林面积已达 106 万公顷^④,破坏草地面积 26.3 万公顷,全国因采矿累计占用土地 586 万公顷,破坏土地 157 万公顷,且每年仍以 4 万公顷的速度递增,而矿区土地复垦率仅为 10%左右。一些地区因矿山开采破坏了水平衡,导致区域性地下水下降,某些地方地下水下降数十米甚至上百米,造成大面积疏干漏斗,致使水资源短缺,严重影响了当地人民群众的生产和生活,制约了当地社会经济的可持续发展。据联合国贸发会议(UNCTAD)的一项资料^⑤,从 1930—1980 年的 50 年间,美国国土面积有 0.25%被用于地表采矿,堆放地表及地下采矿废石及选冶加工废料,其中被矿山影响的土地约有 47%到 80 年代末期已得到复垦(Olle Ostensson, 1997)。对于以开采小型矿床为主的小型矿山,如何将矿床开发与最小的环境影响结合起来也是人们关注的重要问题。联合国经济委员会在 1992 年对非洲的一项调查得知 58%的小型矿山主要是从事金矿和宝石矿的开采,11%开采贱金属,16%为非金属,另 15%为建筑材料(John, Hollaway, 1997)。

宝石开采造成的环境影响有限,因为矿山的规模都是最适度的,大部分是冲积矿床,不需要使用化学药剂。在从冲积层获取宝石的国家(如安哥拉、委内瑞拉及泰国等)也很少有堤坝使下游泥沙淤积。

然而,开采原生金矿则对环境造成显著影响,最主要的是汞污染。由于在原生矿石中较之在坡积层和冲积层中金的颗粒更加细微,直接淘洗只能回收游离的金粒,而更细小的金则需要采用混汞法获取。汞金属本身无毒,但其蒸气吸入肺中则会造成严重危害,所以在混汞加热时会对环境造成不良影响。有人估计(Viega, 1997),从 1980 年的采金热潮兴起以来,在南美已

① 纪忠元摘译,1999,1998 年世界矿业基本形势,地质矿产信息,摘译 MJ. 1998,331(8512),509~511(未查到原作者姓名及年份)

② 1 盎司(oz)=28.349 523g

③ 纪忠元摘译,1998,1998 年世界矿业基本形势,摘译 MJ. 1998,331(8512),509~511

④ 1 公顷=10⁴m²

⑤ Olle Ostensson, 1997,矿业与环境:经济上的议事日程. 工业与环境,20(4):29~31(未查到译者姓名及年份)

有将近 5 000t 汞消失在环境之中!

对有些矿产的开采,可能会引起对环境更大的关注。如美国《观察家报》在 1999 年刊登一篇题为《深海蕴藏的甲烷气体将给地球带来危险》的文章^①。该文指出,“甲烷被誉为未来的燃料,是可能在整个 21 世纪为我们的地球提供电力的一种新能源。但科学家们警告说,世界上最大的尚未开发的能源储备——埋藏在海底的大量的甲烷气体——可能引发给全球造成严重破坏的灾难性大气变暖”。1m³ 甲烷水合物(又称天然气水合物)可以释放出难以置信的 164m³ 甲烷,而甲烷是对环境破坏作用最大的温室气体之一。近年来,已发现了 30 多个量很大的甲烷气体蕴藏地,其中大多数位于深海海底,不过在西伯利亚和阿拉斯加的永冻土地区也有发现。埋藏在深海海底的甲烷比较难以开采,但是工程师们说,他们研制的开采特别黏稠石油的新技术:通过钻孔向下注入蒸气,可以用于开采甲烷。正是这种开采前景为许多研究人员敲响了警钟。法国海洋地质科学研究中心的埃尔温·聚斯教授说:“有关的能源公司目前只是刚刚开始试开采。如果它们开始实施大规模开采计划,我将感到更加不安。”所以有人将海底天然气水合物称为“危险的燃料”。但无论如何,它是一种很有应用和开发潜力的替代新能源,关键是对这类矿产资源的勘查、开发和利用必须同时进行环境效应的评价。当矿床所处的位置不适于开采时,那么只好放弃采矿,但这意味着要付出代价。取而代之的可能是开采另外的品位更低的矿床,这就将提高矿产品的生产成本且排放更多的废石,从而对环境造成更大损害。因此应该意识到,无论是关于矿业或是关于环境的所有决策都要付出代价。我们的目标应该是使这种代价尽可能降到最低程度并避免过低或过高的调控,后者将造成不可接受的环境损害,前者将导致损失应有的物质福利。所以,资源环境的联合评价和综合考虑是非常重要的,这也是近年来矿产勘查在评价勘查对象时所必需考虑的重大问题。

勘查理论和勘查技术的新进展也是近十年来应加以关注的变化。《国土资源科技进展》(2000(3))中一篇题为“矿产勘查面貌在变化”(C. J. Morrissey)的文章,此文在列举了 1976 年以来西方国家发现的 20 个最大的贱金属和贵金属矿床之后,提出了两个很重要的,也是很有意思的现象:一是在 20 个最大的矿床中“有几个新发现是‘新’类型,以前几乎没有发现过此类矿床或者没有发现过地质特征相同的较大矿床”,这里指的是智利的坝德拉利亚 Cu-Au 矿床,印度的兰普拉-阿古恰 Zn、Pb、Ag 矿床及澳大利亚“世纪”Zn、Pb、Ag 矿床。这些矿床都不是熟知的矿床类型,“某些类型矿体其最初的矿例无疑还有待于认识到它们具有重要的经济潜力”。二是有些重要发现“与这样一种常见的观点不一致”:即认为主要发现,尤其是未来的主要发现,只能通过在偏僻地方探测深部的、完全隐伏的矿化获得。所列举的新发现中几个矿床是出露于地表的,如阿拉斯加的“红狗”Pb、Zn、Ag 矿床等。因此该作者提出“一种明显的信息是在人们所熟悉和作过大量勘查工作的成矿带和成矿省,仍然可获得重大的发现”。应该说,这是两个很重要的观点:① 必须重视发现新类型矿床;② 不可忽视已进行过较多勘查工作的老区,当然更不可忽视勘查程度低的新区。

在勘查理论准则和方法体系方面,美国提出并目前仍开展“三部曲”(Three Parts)矿产勘查模式,俄罗斯则提出并开展“预测-普查组合(ППК)”的勘查模式;我国则提出“矿床成矿系列”勘查及预测,边缘成矿理论及预测,“三源”成矿预测,成矿流体与地幔热柱控矿,同位成矿理论及预测,综合信息成矿预测,三维立体统计预测及最近提出的“三联式”(Three Steps)成矿预测等。矿产勘查、矿床开采和矿石选冶加工技术的发展对矿产勘查也带来重要影响和变

① 参考消息,1999. 12. 6,海底甲烷:危险的燃料(未查到原作者及年份)

化。遥感(RS)、地理信息系统(GIS)及全球定位系统(GPS)等所谓“三S”技术的广泛应用是近十年矿产勘查技术中最重要的新进展。生物找矿、生物选矿及原地堆浸技术等有着重要的发展前景。A. Ф. 格奥尔吉也夫斯基等(1996)在“磷块岩微生物选矿——21世纪的工艺”一文中,认为磷块岩的选矿问题具有代表性。他认为,绝大多数传统工艺已不能解决这些问题,而采用生物地质工艺——在微生物及其代谢产物的作用下,从矿石、精矿和尾矿中回收有用组分,科学地开辟并建立了全新的非传统选矿工业。另据报导(1998),我国已成功地进行进行了铀矿原地破碎堆浸开采,它和传统的水冶生产天然铀相比,生产成本有了大幅度降低。其矿山地浸工程全员劳动生产率是常规矿山的3~5倍,生产成本是同等条件常规矿山的1/2,其基建投资也大幅度降低。看来,原地采矿技术的进一步发展将是解决大深度矿床开发的关键所在,是面对采矿深度越来越大,所利用矿石中有益组分越来越低,矿石成分越来越复杂,选矿和加工技术经济指标越来越差,采选过程产生废料越来越多,造成的环境污染越来越严重等挑战的有力武器,是解决这些难题的有效途径。

我们还必需注意到矿产勘查所面临的日益突出的社会问题。D. L. 多尔顿(1997)在“进入公元第三个千年的矿业”一文中指出:“在新的公元第三个千年,矿业将面临要求在开发的方法上进行彻底改变的挑战”。但她所说这种挑战不是来自地质、矿产和技术方面,而是来自政治、社会方面。她强调“矿业是全球性行业,并将受到全球性问题和事件的影响。迄今矿业公司一直关注诸如金属价格这样的国际问题,然而它们将更加关注地方性问题和国家问题”,并认为“成功的矿业公司是那些目光远大,社区责任感更强,并且承认矿业不仅仅是从地下采掘出矿产、加工矿石和矿山经济寿命结束时就闭坑的公司”。作者认为,不能再用20世纪的标准进行矿产开发工作,强调不能低估当地能够且的确在妨碍矿业运营的政治、文化与经济问题。为了成功地开发矿产,矿业公司在规划采矿项目时,已经不得不包括一些当地社区的发展计划。矿业公司越来越需要提供更多的基础设施和做更多的社会善事。例如,澳大利亚西部矿业公司成立了一个地理学家办公室来解决影响公司投资的非矿业问题。在菲律宾,该公司1995年大约780万美元的勘查预算中的10%提供给了勘查地点的社区服务和其他非矿业活动。这样的问题,在我国也是同样存在的,矿产勘查是社会经济活动的一部分,它既受社会经济的制约,又为社会经济的发展服务。

这十年来,矿产勘查学科随着客观形势变化而发生了显著的变化。国家社会政治经济体制的改革、国际市场价格的起伏、国际政治风云的变幻、地质成矿找矿理论和实践的发展、高新技术的引进等等,已成为学科发展的驱动力。这本教材一方面要基本反映矿产勘查的新进展和新变化,另一方面又要满足教学改革、拓宽专业面、增强适应性的新需要。学校是培养能适应未来知识经济时代需要的创新人才基地,新教材应有利于启迪学生的创造性思维,培养学生的创新能力。从这样的高度来看,本教材尚有很多不足之处,我们热切期盼广大读者的宝贵意见。

本教材编写分工如下:第一、二章,赵鹏大;第三章,曹新志;第四章,李志德;第五、六、七章,池顺都。全书由赵鹏大、池顺都负责主编,最后由赵鹏大定稿。

本书附件《矿产勘查理论与方法实习指导书》,前4个实习由曹新志编,后8个由池顺都编。

本书稿蒙裴荣富院士审阅并提出宝贵意见,谨表诚挚谢意。

方敏为本书清绘图件,池漪为本书设计封面,在此一并致以谢意。

赵鹏大

2001年2月

目 录

第一章 资源保证与矿产勘查	(1)
第一节 持续发展与资源保证.....	(1)
第二节 矿产勘查与相关学科.....	(3)
第三节 学科变迁与发展趋势.....	(6)
第二章 矿产勘查基本理论	(11)
第一节 勘查特征与理论思路	(11)
第二节 基本理论与四大基础	(13)
第三节 对立统一与优化准则	(24)
第四节 勘查战略与战术决策	(28)
第三章 成矿预测与矿产普查	(31)
第一节 成矿预测与科学找矿	(31)
第二节 控矿因素与找矿标志	(42)
第三节 成矿规律与矿床谱系	(68)
第四节 找矿技术方法与信息提取	(81)
第五节 数据模型与信息合成.....	(103)
第六节 靶区优选与目标定位.....	(109)
第七节 可行论证与基地确定.....	(113)
第四章 矿床勘探与探采结合	(117)
第一节 勘探要求与工作程序.....	(117)
第二节 勘探阶段与勘探周期.....	(124)
第三节 矿体变异与勘探类型.....	(127)
第四节 勘探精度与勘探程度.....	(135)
第五节 矿体取样与质量评定.....	(141)
第六节 矿体构形与勘探剖面.....	(157)
第七节 储量计算与比较评价.....	(182)
第八节 可行论证与矿山设计.....	(204)
第五章 矿产勘查与资源经济	(211)
第一节 项目选择与市场竟争.....	(211)
第二节 紧缺矿产与两个市场.....	(214)
第三节 矿产资源资产及矿业权价值评估与矿权转让.....	(216)
第四节 风险勘探与资金引进.....	(219)

第五节 矿业经济与矿后经济.....	(221)
第六章 矿产勘查与高新技术.....	(223)
第一节 专家系统与智能勘查.....	(223)
第二节 遥感技术与全球定位.....	(224)
第三节 高精探测与分析技术.....	(225)
第四节 地理信息与神经网络.....	(226)
第五节 分形技术与混沌理论.....	(229)
第六节 海洋技术与超深钻探.....	(230)
第七节 计算机化与矿产勘查.....	(232)
第七章 面向未来与接替资源.....	(235)
第一节 新型产业与新型资源.....	(235)
第二节 环境保护与绿色矿业.....	(238)
第三节 接替资源与非传统矿.....	(242)

第一章 资源保证与矿产勘查

第一节 持续发展与资源保证

20世纪70年代以来,世界上经常讨论人类社会发展的现状和未来问题。1972年,罗马俱乐部推出了梅多斯等人的“增长的极限”报告,他们认为,人口、粮食、工业品和污染等4个参数都是指数增长的,而不可再生资源是随经济发展而逐渐减少的。人口的指数增长与不可再生资源的枯竭将形成经济增长的极限。1987年世界环境与发展委员会在“我们共同的未来”报告中提出了“可持续发展”的命题并将其定义为在不牺牲子孙后代需要的前提下满足当代人需要的发展。1992年在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会,提出了“21世纪议程”。这个文件的实质就是要求人类社会的发展要建立在经济有效、社会保障和生态安全的基础上。这可以说是世界社会发展在认识和行动上的一个转折点:人必须善待自然,人类社会的发展必须与地球或自然的发展相和谐与协调,当代人的发展必须以不牺牲后代人的发展为代价。

众所周知,影响人类社会可持续发展的三个最重大的问题是人口、资源与环境。人口激增、资源短缺和环境恶化是当代人类面临的三大严重问题。此外,还有国家和地区发展的不平衡,局部战争的接连不断,自然灾害的频繁发生等都给人类发展,特别是给发展中国家和不发达国家带来更大的困难和严重后果。

一、矿物原料消费的增长

20世纪后半叶,世界人口激增,如在1950年以前,世界人口只有25亿,但到20世纪末世界人口增长了1倍以上,达到57亿。随着人口增长和经济发展,世界上对矿物原料的需求和消费也有很大的增长。1950—1970年世界石油开采增加了4.4倍,即从521Mt增至2282Mt;天然气增长5.4倍,即从1910亿米³增至10290亿米³;煤增加1.4倍,即从1536Mt增至2158Mt,而金属矿产则增加了2.5~7倍(Козловский Е. А., 1999)。但在这其中,发达国家对矿物原料消费的增长主要不是靠增加本国资源的采掘量,而是更多依靠进口外国资源。例如,在1970年,西欧的石油开采量为16Mt,但所需石油及石油制品量超过其自身开采量的38倍(达606Mt);在美国当时需求石油708Mt,而本国仅开采486Mt,占需求量之65%。铁矿情况也类似,英国、德国、比利时三国生产铁矿石17.6Mt,而进口铁矿为42Mt,为其生产量的2.4倍。

资源保证问题受到很多国家的高度重视。如1984年美国在全国性会议上讨论了如下一些重要问题:战略矿产资源及其在世界上的稳定性;美国对战略性矿物原料的依赖性;美国未来对战略性矿产的需求状况等。对这些问题表现如此巨大之关注是由于美国从全球角度预测最近20~30年间将发生世界性的矿物原料短缺。

尽管如此,在1970—1990年间,世界的矿产勘探储量有了明显的增长:铝土矿增加了9.4倍,铂族金属增加7.3倍,锰矿增加4倍以上,金刚石、钴、磷等增加3倍以上;天然气、铀、锌、钨、硫及钾盐增加了2~3倍,石油及钼增加1.9倍,大多数矿产储量的增长大于开采量。

人们对矿产资源的需求和消费还应注意两方面情况:其一是随着科学技术的进步,大大扩

展了利用新类型矿产的数量,如铀、稀有金属及稀土元素等。其二是世界矿物原料消费结构的变化。如在世界的燃料动力原料平衡中,20世纪50~70年代石油所占比例从27%增加至47.9%,但到90年代则减少到39.2%;天然气逐步增长,从9.8%到18.4%及至90年代的22%;煤则逐步减少其份额:从61.5%降至30.9%乃至29%;原子能所占比例从1970年的0.6%增至1990年的7%,而在西欧国家则增至14%。

总的说来,矿物原料消费增长的速度是惊人的。最近35年消费的石油和天然气数量相当于这类矿产迄今为止开采总量的80%~85%,在这35年中对其他矿物原料的消费也增加了3~5倍,而在这当中,占世界人口16%的发达国家消费了世界矿物原料采掘量的52%,所以一些学者认为:矿产资源问题已从区域问题变为全球问题,并从经济范畴进入政治范畴。

二、矿产资源的保证程度

矿产资源是人类赖以生存和发展的物质基础。目前,我国95%的能源和80%的工业原料都取自矿产资源。“未来20~30年内,我国矿产品的年绝对需求量将大幅度增加,一些主要产品2020年需求量将是目前的两倍”(周永康,1999.12.2)。对这样的需求,我国的矿产资源保证程度如何?这是人们所关注的问题。

我国矿产资源总量丰富,到1998年底,我国已发现171种矿产,矿产地25000多处,有探明储量的矿产153种,其中45种主要矿产已探明储量潜在价值约占世界矿产总值的12%,居世界第3位。然而,我国矿产资源人均占有量仅为世界人均水平的58%,居世界第53位。而且存在支柱性矿产后备储量不足;中小矿床多,大型特大型矿床少,支柱性矿产贫矿和难选矿多、富矿少,以及资源分布与生产力布局不匹配等主要问题。例如在45种主要矿产资源中,到2000年可以保证需求的有29种;到2010年将下降到23种,而到2020年则仅有6种。到2010年,资源短缺、主要靠进口的矿产有铬、钴、铂、钾盐、金刚石等5种;而到2010年,不能保证,需要长期进口补缺的矿产有石油、天然气、铁、锰、铜、镍、金、银、硫、硼等10种;2010年基本可以保证,但可利用矿区在储量或品种上还存在不足,需要在国内进一步找矿或进口解决的矿产有铀、铝、锶、耐火粘土、磷及石棉等6种。届时进口矿产品将达到2.5~3亿吨,这将耗费大量资金和外汇。以铜为例,1995年铜产品进口达220万吨,耗资超过2亿美元。近几年,铬铁矿砂的年进口量超过100万吨,年耗资也在2亿美元左右。这表明我国矿产资源的形势是严峻的。

据联合国经济委员会1981年发表的一份报告预测,如果发展中国家对矿物原料需求达到美国的消费水平,则现有的铝土矿储量在18年后将消耗殆尽,铜9年,石油7年,天然气5年,铅6年,而锌6个月。当然,像美国这种大量资源消费型的发展模式和生活方式是不可取的,尤其像我国这样人口众多的国家,必须走一条资源节约型的发展道路和生活模式,也就是走可持续发展或生态经济发展的道路。

戴自希等(1994)在《我国十几种急缺矿产找矿重大突破的可能途径和对策研究》一文中引述了如下一些资料:目前世界上已知的石油证实储量为9991亿桶,按现在的年采量,其储量寿命约为45年,远比1970年和1980年预测的寿命(30~35年)为长。据证实天然气储量为119万亿米³,按现在的消费量可用55年。煤资源量较丰富,储量寿命在230年左右。铀矿资源现有储量能保证58年,而金属矿产大多数矿种储量寿命均为30~40年以上,其中寿命不到30年的有金、银、汞、铅和锌。有些矿种寿命上百,包括铁、铬、钒、钛、铝、锂、铍、铌、钽和稀土金属矿产。非金属矿产资源丰富,除某些特殊矿种外,大部分资源的保证程度在30~50年以上。储量寿命最短的是金刚石,约为9年。

关于矿产资源的保证程度问题应指出如下几点：

(1) 由于矿产资源分布的不均匀性和各个国家矿产消费水平不同，因而不同国家矿产资源的保证程度各异。在世界经济逐步一体化，矿产资源进入国际大市场，每个国家都有可能利用两种资源、两个市场的情况下，在一定程度上可以缓解本国矿产资源之不足。

(2) 像中国这样的发展中大国，尤其是人口大国，在有条件地利用外国矿产资源以弥补本国某些资源之短缺外，应主要立足于本国资源。为此，必须加强地质勘探工作，努力发现新矿床，特别是战略性和大宗、支柱及紧缺性矿产资源，不断提高这些资源的保证程度，以保护国家的国防安全、经济安全和资源安全。

(3) 不可再生矿产资源的资源总量毕竟是有限的。随着人类对矿产资源不断地采掘和利用，它们必将逐渐消耗殆尽。因此，在不断努力发现新矿床的同时，要积极探索发现和利用非传统矿产资源的新途径，以便传统矿产资源一旦枯竭或告急，可以有新类型资源加以接替。这是一个具有前瞻性，但同时又是具有现实性的大问题。

第二节 矿产勘查与相关学科

一、矿产勘查的基本概念

所谓“矿产勘查”是指对矿床的普查与勘探的总称。矿床普查是在一定地区范围内以不同的精度要求进行找矿或发现矿床的工作，通常分为概查和详查两个阶段或两类工作。矿床普查工作可与不同比例尺的地质制图工作同时进行，也可以从已知矿点的检查入手进行专门性的找矿。找矿一般都是综合性的，即寻找地区内可能存在的一切矿产资源并对它们的质和量及可能的经济意义做出初步判断或评价；对这些矿产资源的成因和分布规律进行初步分析并对今后进一步工作提出建议和设计。找矿也可以是针对某一特定的矿种，如金矿、铜矿或金刚石矿，到已知有这类矿化显示的矿点或选择有利于这类矿床生成或产出的地区进行专门性找矿。找矿要回答的问题是“找什么”？“哪里找”？及“怎么找”。由于矿床的形成，尤其是大型特大型矿床的形成是一个地区地质演化过程中的稀有的、特定的事件，必须具备各种有利成矿的地质条件或因素的组合才可能形成矿床，因此，发现矿床是一件十分稀少或困难的事。矿床不是俯拾皆是之物，找矿犹如大海捞针。然而，矿床的形成都与一定的地质异常有关，矿床的分布也有一定的规律可循，找矿就是研究可能成矿的地质异常和矿床可能的分布规律。为了提高找矿效果，通常要根据科学准则首先进行成矿预测，圈出有利成矿远景区，缩小找矿靶区范围，提高找矿成功率。

勘探是在发现矿床之后，对被认为具有进一步工作价值的对象做一些地表和地下的揭露工作，对矿床可能的规模、形态、产状、质量及开采技术、经济条件等作出评价，换句话说，对矿床的工业远景作出评价。这类工作属于评价性质，故通常称之为评价勘探或初步勘探。当评价勘探取得正面结果，认为所发现的矿床有开采价值并对矿床可能的开发规模有初步认识之后，即可根据需要对矿床做进一步的详细勘探工作，查明矿石质量和类型，计算矿石或有用组分储量，查明开采技术条件，为矿山开采设计提供必要的资料，为先期开采提供有足够精度的储量等，这个阶段的工作即称为工业勘探或详细勘探。

随后，开始矿山设计和建设，矿山投产后，开采矿石、进行选矿直至采尽所有能采出之矿石，然后闭坑，最后是复垦。整个过程如图 1-1 所示。

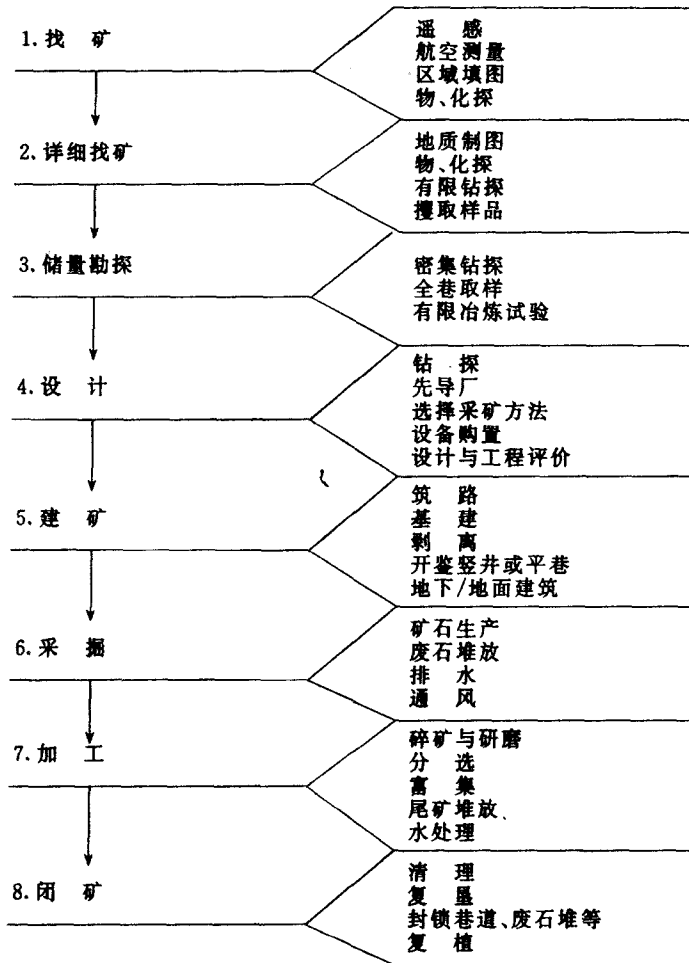


图 1-1 矿产勘查、开发各阶段及其工作内容流程图

(引自联合国环境计划专刊《工业与环境》,1997,20(4))

“矿业与可持续发展”专辑,矿业——事实与数据)

由图 1-1 可以看出,矿产普查与勘探,即矿产勘查,是整个矿业过程的先导和基础。人类利用自然矿产资源必将首先经过找矿与勘探,然后进入矿山建设、矿石开采和加工阶段,从而将地下资源变为工农业生产和人们生活所必需的矿物原料及矿产品。最后,为恢复由于矿业活动而受到破坏或影响的环境,在闭矿之后还需进行土地复垦和复植。

地质学家的矿产勘查活动孕育着一个新矿山的诞生。一旦发现矿床就开始了矿山的生命。矿山从诞生至消亡是一个很长的过程,它的“一生”为人类生存和发展提供了必需的物质基础,而人类的可持续发展有赖于矿产资源的可持续利用。

在国外,矿床普查与勘探工作在不同国家应用不同的术语,具有不同的含义。如 W.C. 彼得斯(1978)在《勘查与矿山地质》一书中指出:“Prospecting”与“Exploration”这两个词在北美及在他本人的著作中是可以互换的。“Exploration”一词用于从概查(矿点检查)到远景评价以至到生产矿山寻找新矿体为止的全部工作序列。在前苏联,上述两个词则分别被译为“找矿”及“勘探”。但在法国及其他一些国家,其意义恰相反,“Exploration”指的是对矿化显示的广泛寻

找,而“Prospecting”则是指对这种显示的更局部的研究(儒歇尔,1963)。

作为一个学科,其名称也有多种不同表述。最早称为“找矿勘探方法”,随后称“找矿勘探地质学”、“矿床普查与勘探”、“矿产普查与勘探”及“矿产勘查”等。但其研究内容都是矿床的寻找及矿床质量的查明及评价问题,是一门应用地质学科。

二、矿产勘查与其他学科关系

“矿产勘查”的主要对象是矿床,因此,与其关系最密切的学科是“矿床学”。为了回答找矿三大问题之一的“找什么”问题,必须了解哪些类型矿床是最有价值的,这就要求研究“矿床工业类型”。最早,“矿床工业类型”是作为矿产勘查的组成部分进行讲授的,如1960年前苏联学者B. M. 克列特尔编著的《矿床普查与勘探》专著,即将“矿床工业类型”包含于该书找矿部分之中。后来,“矿床工业类型”被划分出来而成为单独学科。在西方,也有人将矿床学及矿产勘查学合并而统称为“经济地质学”,可见这些学科间的密切关系。

从前面叙述的内容(图1-1)可知,矿产勘查是矿业生产活动的第一步,它是为矿业生产服务的,因此,“矿产勘查”与“矿山设计与建设”、“采矿学”、“选矿学”及“矿石冶炼学”等学科关系密切。不了解矿床采、选、冶的要求,就不可能在矿产勘查时对矿床做出正确评价,也不可能全面正确地完成矿产勘查工作。在当今强调矿床“勘查开发一体化”的情况下,特别是对小型矿床进行勘查时,重视矿床采、选、冶问题已成为矿产勘查不可分割的任务。正因为如此,某些学者将矿床采、选、冶问题作为重要章节列入《矿产普查勘探学》之中,由此也可见它们之间的密切关系。

1977年前苏联学者E. O. 帕格列比茨基提出了矿床普查勘探的三大基础:地质基础、经济基础及数学基础。他认为:“矿床普查勘探对象的本质可以由三门科学的方法加以揭示和说明:经济学、地质学和数学。以上所有这些便成了矿床普查勘探学的理论基础,而解决普查勘探任务则要求综合应用上述三门科学的方法”。矿产勘查的地质、经济基础是比较明显的,但如何理解它的“数学”基础?最早应用于矿产勘查的数学学科是“概率论”与“数理统计”,这是因为无论是矿床的形成或矿床的普查勘探工作都受“概率法则”支配,都是在不确定条件下进行决策与评价,都是研究受多种因素制约的对象或结果,因而“多元统计分析”也成为矿产勘查应用较多的数学学科。近代勘查理论还要求研究最优勘查方案和勘查过程最优化问题。另外,矿产勘查过程实际上是研究如何以最少的投入获取有关地区地质及矿床的最多及最正确的信息问题。这些,都与现代数学的各种新进展分不开,如近年来兴起的“分形理论”、“混沌理论”等。矿产勘查工作与大量数据打交道,而且经常是与间接的、隐蔽的、不完整的、模糊的或微弱的信息打交道,如何提取、分析、处理及显示这些数据和信息并作出正确评价,没有必要的“数学”基础是不可能的。近年来,逐步形成一些“定量勘查学”学科,如“矿床统计预测”,“地质勘探数据统计分析”等可以说是“矿产勘查学”与“数学地质学”之间形成的交叉学科。不言而喻,“计算机技术与应用”已成为与“矿产勘查”十分密切的学科。

由于“矿产勘查”必须借助各种技术手段与方法去实现发现、揭露和查明矿床的目的,因此,“勘查地球物理”、“勘查地球化学”、“遥感地质学”、“地理信息系统”、“全球定位系统”、“钻探技术与钻井工程”、“坑探技术与掘进工程”等等都与“矿产勘查”学科密切相关。

当今,环境问题已成为影响矿产勘查的重要问题。从矿产资源集约利用和可持续发展角度出发,矿产勘查必须考虑生态环境保护问题和矿业活动可能造成的环境效应问题。因此,“矿产勘查”与“环境地质学”、“生态环境学”关系密切。

由此看来,作为“矿产勘查”的基础除帕格列比茨基提出的以上三大基础外,还应增加“技术基础”及“环境基础”(图 1-2)。

结论是:“矿产勘查”是一门综合性很强,属于“上层建筑”式的应用“地质学科”。

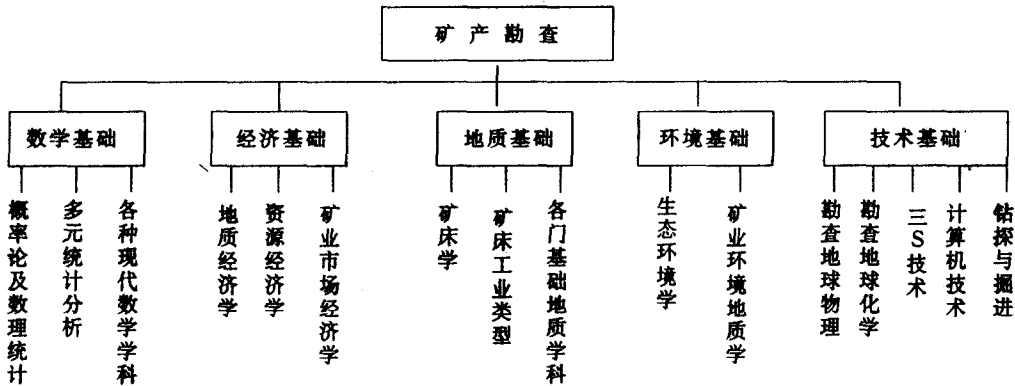


图 1-2 矿产勘查与各主要学科关系图

第三节 学科变迁与发展趋势

近代找矿勘探地质学的学科体系形成于 20 世纪 40 年代初期。1940 年 B. M. 克列特尔在其《矿床普查与勘探教程》专著中首次系统阐述了构成本学科基本内容的找矿、勘探、取样、编录、储量计算等基本原理和方法。它的早期形式为“勘探作业”,是以探矿技术,包括坑探及钻探等内容为主。所以,勘探方法是逐步从探矿技术分离出来而形成独立学科的。

自 B. M. 克列特尔奠基性著作问世以来,60 年已经过去了。在这期间,矿床普查勘探的生产形势发生了很大变化,各国学者在这一学科领域从不同方面也进行了大量研究。所有这些生产和科研成果大大丰富了矿床普查勘探学的内容,但随着矿产普查勘探工作所面临的新形势、新任务和新要求,矿产勘查理论和方法均亟待进一步加强和提高,以满足这种变化的需要。

一、找矿难度日益增大,隐伏矿床找矿问题已成为矿产勘查最突出的问题

美国地质调查局早在 1981 年第 857 号公报中就指出:已知的浅、富矿床逐步枯竭,需要找深部矿(埋深数百米以至大于 1 000m),需要利用贫矿及边远或经济不发达地区的矿床。由于寻找隐伏矿的比例日益增大,矿床发现率呈指数下降。据统计,在美国本土 48 个州范围内,1937—1957 年的 20 年间,每 1 亿英尺^①(=30.48Mm)钻探进尺所能发现的油田面积是指数下降。现在每 1 亿英尺钻探进尺能找到的油田面积已降到 100km² 以下。40 年代早期,大油田约占发现的 3/4。50 年代早期,小油田在发现中就已占有相当大的比例了。又据前苏联的统计资料,由于矿床勘探面临着更加复杂的条件,新矿床的勘探往往用了过量的钻孔,如在勘探中、小型油田时打了约 46%~78% 的非生产井或“干孔”。在 1959—1972 年期间,据 2 150 个石油矿资料分析,C₁ 级储量只有 62.1% 转变为 A+B 级储量,而另外部分经过进一步勘探被证实是无根据的而被注销或转为表外储量。在鞑靼共和国,C₁ 级储量的可证实程度不超过 40%。与

① 1 英尺 = 0.305m

此同时,勘探成本提高了。在加拿大,1950年勘探费用为金属矿床产值的0.8%,1955年增至2.4%,1960年为3.2%,而至1965年已增至4%,即15年中增加了5倍之多。另外,由于采矿的深度加大也使采矿成本提高,例如在南非,威特沃特斯兰德矿层到了70年代开采深度达1万英尺以上,开采和选矿成本占整个黄金生产成本的90%以上。尽管南非劳动力成本和电力成本低,但从品位低于约5g/t的矿石中回收金已经变得不经济了。但由于采选冶技术的日益改进和提高,使得“处理低品位矿床变得经济可行了,最大限度地提高提取效率在经济上是有利的,因为现在即使是回收率稍有提高,收支平衡表上的末行数字也会明显改善”。因此,尽管寻找隐伏矿床,开采低品位及深埋矿床会影响经济效益,但随着科学技术的进步,这些困难是可以逐渐克服的,而寻找隐伏矿床已是势在必行、大势所趋。

二、为满足对矿产资源的需求,不断开拓新类型矿床的找寻和开发

半个世纪以来世界上发现的一些重要矿床大多是以以前不为人知或不被人们重视的新类型矿床。例如①斑岩型矿床(包括Cu、Mo、Sn、W、Au、Ag等),本世纪末世界上发现的大型Cu矿几乎3/4为斑岩型铜矿床,以后陆续发现斑岩Mo矿、斑岩Sn矿以及斑岩Au矿等;②层状与层控矿床,除碳酸盐岩中的铅锌矿床外,还有黑色页岩中的Cu、U、Au、W等矿床;③风化壳型富铁矿床,如澳大利亚的哈默斯利、巴西的卡拉贾斯、俄罗斯的库尔斯克、克里沃罗格等;④火山岩型块状硫化物矿床,如加拿大、美国、澳大利亚、日本等地发现的此类Cu、Pb、Zn、Ag矿床;⑤与前寒武纪含Fe、含Mn建造有关的Cu、U、Au矿床,如澳大利亚奥林匹克坝Cu、U、Au矿床;⑥与基性、超基性层状分异岩体有关的Pt族金属矿床,如美国斯捷尔沃特矿床;近年来,更发现在沉积建造黑色岩系中的Pt族金属矿床,如俄罗斯的干谷矿床等;⑦浅成低温热液的“卡林型”Au矿床,这是前些年在美国西部地区发现的一种分散在第三纪沉积岩中浸染状Au矿床。此外,美、俄、日等国都十分重视加强海洋矿产资源的勘查,其中包括铁锰结核、钴壳类、天然气水合物等。总之,矿床勘查由浅部向深部、由陆地向海洋、由开发地区向边远地区扩展;矿床勘查对象由大而富向大而贫或富而小类型、由矿床的传统类型向非传统新类型的过渡,矿床勘查为适应“空间时代”、“信息时代”及“知识经济”时代的需要而加强对新型矿物原料的研究趋势是值得重视的。

三、为更有效地指导找矿勘探实践,进一步加强了勘查理论的研究

在西方国家,比较重视矿床“勘查哲学”和决策理论的研究。所谓“勘查哲学”是指一整套指导勘查成功地发现和查明矿床的原则,进一步地说,也是研究、定义、解释和改进这些原则的智力信条。这种勘查哲学在不同时期具有不同的内容,而且随勘查对象不同而有所异。如P. A. 拜雷(1972)认为:目标的确定应先行于勘查哲学的确定。进行勘查的五个基本要素是人力、知识、方法、时间和金钱。拜雷并提出了人力是最关键的控制要素。

美国加州大学教授L. B. 斯利科特(1960)认为“找矿是世界上最大、最好的赌博事业”。然而他认为“赌徒破产律”在某种意义上可以作为从事这项风险事业的指导理论。“赌徒破产”的概率 P_r ,可以用下式表示:

$$P_r = e^{-NP_i}$$

式中: P_r ——每一次冒险的成功概率;

N ——冒险次数。

就是说,如果每次冒险的成功比为1:10,即成功概率为0.1,则连续10次冒险的失败概