

KUANGCHANZIYUAN KANCHAYUKAIFA

矿产资源勘查与开发

罗 梅 马代光 编著

地质出版社

矿产资源勘查与开发

罗 梅 马代光 编著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书包括矿产资源勘查与开发两部分,第一部分从矿产成矿规律与成矿预测、矿产勘查依据与勘查信息、矿产勘查技术方法等方面系统地论述了现代矿产勘查技术体系;从矿产勘查阶段划分、勘查工程的矿产取样、原始地质编录与综合编录及矿产资源/储量估算等方面全面地论述了矿产勘查的方法学体系。第二部分包括矿产资源的采、选、冶三方面,论述了矿产资源的露天开采和地下开采,论述了重、浮、磁、电四种主要选矿方法及金铜铀矿堆浸与地浸等湿法冶金工艺技术方法。同时还阐述了矿产资源分类及其分布特征、矿床技术经济评价与矿业资产评估及矿权转让、我国境内外勘查开发矿产资源状况及防范风险措施、金矿混汞法、渗滤氰化法与炭浆树脂法等湿法冶金工艺方法。

本书既突出强调基本概念、基本理论和基本技能,又注重表现综合分析、创新思维和前沿成果。全书资料丰富、体系新颖、详略得当、图件清晰、图文并茂。

本书是为从事矿产资源勘查与开发的工程技术人员编写的,可作为一般地质院校地质矿产勘查专业、地质及地球化学专业学生的专业教材,以及地质勘查单位技术人员培训教材,也可供从事矿产资源勘查与开发的教学人员、研究人员及矿业开发的相关人士参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿产资源勘查与开发 / 罗梅等编著. —北京:地质出版社,
2009.7

ISBN 978-7-116-06126-2

I. 矿… II. 罗… III. ①矿产资源—地质勘探②矿产资源—资源开发 IV. P624 F407.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 095949 号

责任编辑:陈 磊

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324565(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印刷厂

开 本:889 mm × 1194 mm 1/16

印 张:24.25

字 数:700 千字

印 数:1—1000 册

版 次:2009 年 7 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:116.00 元

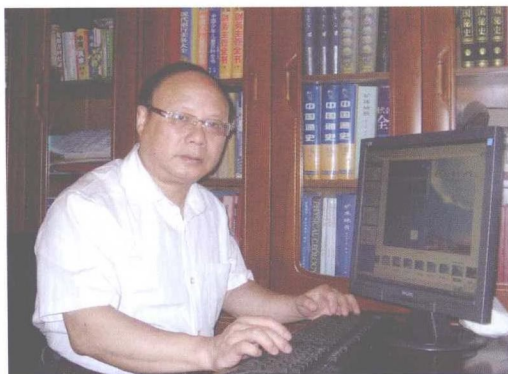
书 号:ISBN 978-7-116-06126-2

审 图 号:GS(2009)355 号

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

作者简介

罗梅，男，58岁，湖南省湘乡市人，成都理工大学（原成都地质学院）教授，四川省特聘矿业专家、国家自然科学基金委员会铀矿专业评委。1968年长沙地校毕业分配到核工业西北地勘局工作，1972年到成都地质学院三系铀矿地质普查与勘探专业学习，1975年毕业留校在铀矿地质教研室任教（历任教研室主任、地矿部地学核技术重点实验室地浸与堆浸研究室主任等职）。40年来主要从事铀、金、铜、铁等矿产的勘查与开发及矿床地质教学与科研工作，其间于1983—1988年支援西藏地矿局参加完成日土幅1/100万区域地质调查，近年参与缅甸、蒙古等周边国家金、铜、铅锌等矿产的勘查与开发。



作为项目负责人承担并完成了国防科工委、国土资源部等系统的科研项目10多项，在国内外地质类核心期刊共发表论文40余篇，出版黄金选冶与首饰加工、宝石与观赏石概论专著两部。科研成果获国土资源部科技成果奖二等奖一项，三、四等奖多项。

作为项目负责人承担并完成的国防科工委、大庆石油管理局等单位的科研项目有：内蒙古测老庙盆地、松辽盆地、二连盆地、大庆油田浅部等地区地浸砂岩型铀矿形成条件、分布规律与找矿方向的研究课题；国土资源部系统的川甘陕三角成矿区金矿床、四川若尔盖巴西金矿床、云南老寨湾金矿床、勐满金矿床等成矿规律与找矿方向的研究课题。承担完成了四川马房窝金矿床、若尔盖巴西金矿床、西藏娘古处金矿床等6处金矿的地质特征、物质组成及金赋存状态研究，对马房窝金矿床进行了炭浆法工艺开发，对巴西金矿床和娘古处金矿床进行了堆浸开发，开发中进行了系统的提金工艺流程试验、建厂设计及技术经济评价，建成炭浆法提金水冶厂一个和堆浸矿山两个。

在校教学工作方面，给本科生、研究生等讲授地质学基础、地球科学概论、元素地球化学、铀矿床学、铀矿找矿勘探地质学、黄金选冶与首饰加工、宝石与观赏石概论、矿产资源勘查与开发概论、地浸与堆浸湿法冶金工艺学等专业基础课和专业课10余门。

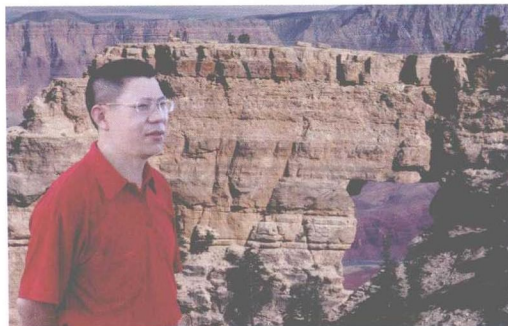
马代光，男，1966年10月24日出生，籍贯：湖南。

1985年9月至1989年7月：成都地质学院（现成都理工大学），应用地球物理专业学习。

2000年至2003年，美国城市大学工商管理专业在职研究生学习，获MBA学位。

1989年7月至1993年1月，地质矿产部石油地质海洋地质局（部机关）物探处工作。

1993年，辞职创建北京洁净煤炭有限责任公司。2000年，组建北京荷马集团公司，任集团董事长兼总经理。集团主要从事地质矿产资源的勘探与开发，重点是煤炭的生产，加工以及贸易工作。是北京市重点扶持的民营企业集团。



1997年至今，担任北京市煤炭行业协会副会长；2002年度被评为“中华管理杰出英才”人物；2003年被劳动人事部聘为全国职业经理人专家委员会专家委员；2004年担任“中国能源战略国际高层论坛”组委会秘书长。被国际名人交流中心编入《创造世界的人》。

序

罗梅教授在近 40 年的地质工作中，长期从事金属矿产资源勘查与开发，并作为项目负责人承担并完成了国家及部省级科研项目 10 余项，在藏北参加完成过百万分之一区域地质调查。在矿产资源勘查方面，对四川若尔盖巴西金矿床、云南老寨湾金矿床和勐满金矿床等进行过金成矿分布规律及找矿方向研究；对内蒙古测老庙盆地及松辽盆地等进行过地浸砂岩型铀矿形成条件、分布规律及找矿方向研究。同时承担完成了对巴西金矿等的堆浸建厂开发和对马房窝金矿进行了炭浆法工艺建厂开发。在大学教学工作中，为地质专业的研究生、本科生讲授过地质学基础、铀矿找矿勘探地质学、矿产资源勘查与开发等 10 多门专业课。科技成果显著，曾获部级科技成果奖多项，在矿床地质、矿物学报及铀矿地质等期刊共计发表论文 40 余篇。

矿产资源勘查的主要目的是开发矿业，作者在其多年地质矿产勘查与开发科研和教学工作基础上，及以前编著的矿产资源开发教材的基础上，按我国新发布的《固体矿产地质勘查规范总则》，重新编著了《矿产资源勘查与开发》一书，作者在新的专著中反映了国内外新的研究成果。

新的矿产资源勘查规范强调矿产勘查与开发的结合，因此对地质院校地质矿产勘查专业的学生提出了更高的要求，不仅要学找矿勘探地质学，还要学采矿方法、选矿方法和选矿流程等。

本书强调矿产找矿勘探与矿产资源开发相结合。全书包括矿产资源勘查与开发两部分，第一部分从矿产成矿规律与成矿预测，矿产勘查依据与勘查信息及矿产勘查技术方法等方面，系统论述了矿产地质调查、物化探等现代矿产勘查技术体系；从矿产勘查阶段划分和各阶段基本工作内容、勘查工程的取样、地质编录及矿产资源/储量估算等方面全面地论述了矿产勘查的方法学体系。第二部分包括矿产资源的采、选、冶三方面，论述了矿产资源的露天开采和地下开采两种主要的矿产资源开采方式，论述了重、浮、磁、电四种主要选矿方法，金铀铜矿堆浸与地浸等湿法冶金工艺技术方法。本书还从矿产资源的经济意义及我国当前两种资源两个市场的资源战略出发，论述了矿床技术经济评价、矿业资产评估与矿业权转让、我国境内外合作合资勘查开发矿产资源状况等矿

业经济中的热门课题。

本书的编写像其内容简介中阐述的那样，既突出强调基本概念、基本理论和基本技能，又注重表现综合分析、创新思维和前沿成果。本书最大的特点是顺应新的矿产资源勘查规范强调矿产勘查与开发相结合这一形势，把矿产资源勘查与开发结合在一本书中阐述。全书资料丰富、体系新颖、详略得当、图件清晰、文图并茂。本书正文之后附有矿产资源储量规模划分标准及常见矿产一般工业指标等，在当前，对地质矿产勘查与矿产资源开发行业的工作者是一本值得一读的有价值的参考书。

中国科学院院士

刘学昭

2008年6月16日于成都

前 言

矿产资源勘查的主要内容是找矿，我国以前的教材称为找矿勘探地质学，本书按我国新发布的《固体矿产地质勘查规范总则》（GB/T13908—2002）改称为矿产资源勘查。随着地质工作的发展与国际接轨，我国地矿行业近 10 余年来先后发布了一系列矿产资源勘查规范和标准，把许多国际惯例的作法纳入规范中。较重要的变化有：矿产勘查工作分为预查、普查、详查和勘探 4 个阶段，比 1987 年三委暂行规定中划分为普查、详查和勘探 3 个阶段多了一个阶段；矿产资源储量分类采用 EFG 三维编码，E、F、G 分别代表经济轴、可行性轴、地质轴，将国际上惯用的可行性评价作为主要内容，将经济效益的观点植于资源勘查阶段的始终；在矿产地质勘查报告编写提纲中，有“矿床开发经济意义概括性研究”一节，要求说明预计的开采方式、开拓方式、采矿方法、选矿方法、选矿流程等。可见，新的矿产资源勘查规范强调矿产勘查与开发的结合，我国许多省原来的地质局亦多改称为地质矿产开发局。本书正是顺应这一形势，编写书名为“矿产资源勘查与开发”。

关于矿产资源/储量，过去的教材以及生产实践中都称为“矿产储量计算”，根据国家标准《固体矿产地质勘查规范总则》，本书改为“矿产资源/储量估算”。估算与计算相比，虽然估算方法、参数选取、运算过程等没有差别，但估算一词更多地体现了资源储量的统计性、不确定性，以及风险性等含义。

我国矿产资源形势不容乐观，尽管矿产资源总量很大，但由于我国人口基数大，矿产资源的人均占有量很低，仅为世界人均占有量的 58%（世界 53 位）。遵照我国两种资源两个市场的资源战略决策，我国有实力的企业已在国外投资进行风险勘探或收购矿山，同时国外一些跨国公司也来我国进行投资风险勘探。这是矿产资源与国际接轨和我国矿业开发适应市场经济的必然趋势。为此，本书编写了矿床技术经济评价、矿产资源评估与矿业权转让、我国境内外勘查开发矿产资源状况及防范风险措施等章节内容。

金属矿产资源的形成是全球地质构造演化的结果，它的形成与分布有一定规律性，这些全球性的成矿带是：环太平洋成矿带、特提斯喜马拉雅成矿带和中亚-蒙古成矿带（3 个成矿带），它们均与造山构造活动带相一致。还有 8 个稳定地块的矿化集中区：北美地块、巴西地块、澳大利亚地块、南部非洲地块、西伯利亚地块、印度地块、塔里木-华北地块和扬子地块。

矿产综合利用既是矿产开发的一项重要政策，也是合理开发资源、保护人

类环境的一种有效手段；而且综合利用共生、伴生矿产资源中的有用组分，可使一矿变为多矿、小矿变成大矿，这样就扩大了资源并增加了产值，还增加了产品品种和降低生产成本等。因此，本书在矿产资源开发中强调矿产资源的综合利用原则。

本书内容包括矿产资源勘查与开发两部分，第一部分从矿产成矿规律与成矿预测、矿产勘查依据与勘查信息、及矿产勘查技术方法等方面系统地论述了地质矿产资源调查的多种现代矿产勘查理论与技术；从矿产勘查阶段划分和各阶段基本工作内容、勘查工程的矿产取样与编录及矿产资源/储量估算等方面全面地论述了矿产勘查的基本方法。第二部分论述了矿产资源的露天开采和地下开采，阐述了重、浮、磁、电四种主要选矿方法及金铜铀矿堆浸与地浸等湿法冶金工艺技术方法。同时还阐述了矿产资源分类及其分布特征、矿床技术经济评价与矿业资产评估及转让、金矿混汞法、渗滤氰化法与炭浆树脂法等湿法冶金工艺方法。为满足矿产资源勘查与开发的需要，在书后特意编入了矿产地质勘查报告编写提纲、矿产资源储量规模划分标准、部分矿产一般工业指标、试验筛筛孔尺寸现行标准和部分矿石（岩石）质量参考指标5个附录。

本书编写共分13章，罗梅编写了绪论、第1章至第7章和第10章至第12章，马代光编写了第8、9和第13章，徐争启参加了附录的编写。本书承蒙中国科学院刘宝珺院士作序，中国科学院院士中国地质大学翟裕生教授、中国矿业协会常务副会长曾绍金研究员、中国核工业总公司地质局黄世杰教授对本书进行了评审及提出宝贵意见。本书编写过程中参阅了国家质量技术监督局发布的《固体矿产地质勘查规范总则》等政策性法令法规、赵鹏大主编的《矿产勘查理论与方法》、翟裕生等编著的《区域成矿学》、阳正熙编写的《矿产资源勘查学》、徐增亮和隆盛银主编的《铀矿找矿勘探地质学》、卢作祥和范永香等编著的《成矿规律及成矿预测学》、张应红等编著的《矿床技术经济评价》等著作。国土资源部康战、中国地质科学院毛景文研究员与王海平研究员、成都理工大学倪师军教授、阳正熙教授及中国地质科学院矿产资源研究所、核工业北京地质研究院、中国地质大学、东华理工大学、四川省地矿局、云南省地矿局、广东省地矿局、湖南省地矿局、四川核工业地质局、湖南核工业地质局、广东核工业地质局、江西核工业地质局以及核工业203所、230所、280所等单位对本书编写提供了资料和帮助，在此对他们表示诚挚的谢意。

作者

2009年3月

目 次

序

前 言

绪 论	(1)
1 矿产资源勘查与开发的概念、性质和任务	(1)
2 矿产资源勘查与开发同其他学科的关系	(2)
3 矿产资源勘查与开发工作的研究方法	(3)
4 资源勘查新技术的使用与工作者应具备的素质	(3)
1 矿产成矿规律与成矿预测	(5)
1.1 矿产成矿规律研究	(5)
1.2 矿产成矿预测方法	(12)
1.3 成矿规律与成矿预测图的编制	(18)
2 矿产勘查依据与勘查方法	(23)
2.1 矿产勘查依据	(23)
2.2 矿产勘查信息	(43)
2.3 矿产资源勘查方法	(52)
3 矿产勘查阶段划分与各阶段内容	(61)
3.1 矿产勘查标准化与勘查阶段划分	(61)
3.2 矿产预查阶段	(63)
3.3 矿产普查阶段	(66)
3.4 矿产详查阶段	(70)
3.5 矿产勘探阶段	(77)
4 勘探工作要求与资源/储量分类	(81)
4.1 矿床勘探程度要求	(81)
4.2 矿床勘探类型划分与勘查工程间距的确定	(82)
4.3 勘探技术手段的选择与勘查工程的布置	(84)
4.4 固体矿产资源/储量分类系统	(92)
5 编 录	(99)
5.1 编录工作的种类及基本要求	(99)
5.2 原始地质编录	(100)
5.3 地质综合编录	(109)
6 取 样	(118)
6.1 矿产勘查取样的任务种类及送样要求	(118)
6.2 岩矿鉴定取样	(120)
6.3 化学分析取样	(121)
6.4 矿石物理参数取样	(131)
6.5 矿石选冶加工技术取样	(133)

7 矿产资源/储量估算	(136)
7.1 资源/储量估算的一般过程	(136)
7.2 矿产工业指标及矿体的圈定与块段划分	(137)
7.3 储量估算参数的确定	(143)
7.4 一般固体矿产资源/储量估算方法	(148)
7.5 可地浸砂岩型铀矿资源/储量估算	(153)
7.6 石油天然气(含煤层气)矿产资源/储量估算	(159)
8 矿床技术经济评价与矿业资产评估	(165)
8.1 矿床技术经济评价概述	(165)
8.2 矿床技术经济评价方法	(169)
8.3 矿业资产评估与矿业权转让	(192)
8.4 我国境内外勘查开发矿产资源状况及防范风险措施	(196)
9 矿产资源分布与矿产资源开发	(200)
9.1 矿产资源类型划分与资源范围的扩展	(200)
9.2 矿产资源的分布	(203)
9.3 矿产资源开发的原则与矿产资源开发前景展望	(226)
10 矿产资源的开采	(229)
10.1 固体矿产资源露天开采	(229)
10.2 固体矿产资源地下开采	(249)
10.3 石油开发采油工艺简介	(264)
11 选矿方法及其工艺技术	(269)
11.1 根据矿石性质确定选矿方法	(269)
11.2 重选法	(276)
11.3 浮选法	(286)
11.4 磁选法	(294)
11.5 电选法	(299)
11.6 其他选矿方法简介	(301)
11.7 矿石选矿试验方案示例	(302)
12 湿法冶金方法及其工艺技术	(309)
12.1 混汞法	(309)
12.2 渗滤氰化法与炭浆法	(312)
12.3 堆浸法	(318)
12.4 地浸法	(325)
13 矿产资源勘查与开发的管理	(332)
13.1 矿产资源法及其实施细则概述	(332)
13.2 矿业权与矿产资源所有权概念及矿业权价值	(340)
13.3 矿业权的法律制度	(342)
13.4 矿业权的申请、转让与注销	(345)
主要参考文献	(351)
附录1 矿产地质勘查报告编写提纲	(354)
附录2 矿区矿产资源储量规模划分标准	(360)
附录3 部分矿产一般工业指标	(364)
附录4 试验筛筛孔尺寸(泰勒筛制)现行标准	(377)
附录5 部分矿石、岩石、矿物密度参考值	(377)

绪 论

1 矿产资源勘查与开发的概念、性质和任务

1.1 矿产资源勘查的基本概念

所谓“矿产资源勘查”是指对矿产资源的普查与勘探的总称。按我国新颁布的地质矿产行业标准（GB/T17766—1999），矿产勘查分为预查、普查、详查和勘探四个阶段。

矿床普查包括预查、普查、详查，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。矿床普查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，即通过多种方法和技术手段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作出初步判断或评价；对这些矿产资源的成因和分布规律进行分析，并对今后进一步工作提出建议和设计。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、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困难的事，找矿有时犹如大海捞针。但是，矿床的形成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矿床加密工程做进一步的地表和地下的揭露工作，查明矿床的规模、形态、产状、矿石质量和类型，估算矿石或有用组分资源/储量，查明开采技术条件和进行选冶试验，对经济条件等作出评价，为矿山开采设计提供必要的资料。随后，开始矿山设计和建设，矿山投产后，开采矿石、选冶加工直至采尽所有能采出之矿石，然后闭坑，最后是复垦。

1.2 《矿产资源勘查与开发》书名的由来及其性质和任务

1.2.1 《矿产资源勘查与开发》书名的由来

过去我国地质勘探队的矿产勘查，只是为国家找矿和查明矿床的规模、矿石质量和提交有用组分储量等内容。改革开放以来，全国许多地质勘探队和地调院除了为国家或矿权人完成矿产勘查任务外，为了取得更大的经济效益，都成立了矿业公司，对找到和查明的矿床进行开发。当前我国各地，凡投资矿产资源勘查的矿权人，最终目的多是开发矿床，即通过探矿权人转变为采矿权人。因此，矿产资源的勘查与开发成了一个整体。按我国新颁布的地质矿产行业标准（规范），矿产地质报告编写提纲中的“矿床开发经济意义概括性研究”一节，就要求说明预计的开采方式、开拓方式、采矿方法、选矿方法、选矿流程等。可见，新的矿产资源勘查规范强调矿产勘查与开发的结合。我国许多省区原来的地质局亦多改称为地质矿产开发局。本书正是顺应这一形势，把矿产资源的勘查与开发结合起来，编写书名定为《矿产资源勘查与开发》。

《矿产资源勘查与开发》是为矿产资源勘查与开发的工程技术人员编写的，也可作为一般地质

院校地质、矿产勘查类专业学生的专业课教材，或野外生产单位的技术人员培训教材。书中主要内容含有矿产资源勘查、矿山开采、选矿、矿石湿法冶金等，这些内容在资源勘查与开发的统一体系中关系非常密切。因为不了解矿床采、选、冶的要求，就不可能在矿产勘查时对矿床作出正确评价，也就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，特别是对一些中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，某些学者将矿床的采、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。

作者认为把矿床的采、选、冶问题置于“矿产普查勘探学”中，仅从书名不易分辨，甚至觉得名不副实，因此还是用《矿产资源勘查与开发》书名更为合适。

1.2.2 矿产资源勘查与开发的性质和任务

矿产资源勘查与开发是从生产实践中总结和发展起来的，又为生产实践服务的应用型科学，它包括资源勘查、开发两部分。资源勘查部分主要研究矿床成矿规律、矿床赋存条件、找矿地质依据、矿体分布和变化规律以及如何有效地应用各种技术手段找寻、探明和评价矿床的理论与方法；开发部分则是对已查明的矿床进行系统的开采，采出后的矿石按其特征和有用矿物组成情况，采用不同选矿方法（重力法、浮选法、磁法等）进行分选，以获得品位较高的有用元素精矿，然后再按其特征采用不同冶炼方法（火法和湿法等）对此精矿（或原生富矿）进行冶炼获得有用元素金属产品的全过程。

2 矿产资源勘查与开发同其他学科的关系

矿产资源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。矿床是在一定条件下各种地质因素综合作用的产物，其形成和分布无不受构造变动、岩浆活动、沉积环境等地质条件的影响和控制。要了解矿床的形成、富集和分布规律，指导找矿方向，查明矿床的变化规律，评述矿床的工业价值，就必须以矿物学、岩石学、地史学、古生物学、构造地质学、地球化学和矿床学等基础理论和专业知识为指导，进行综合研究和分析判断。因此，以上学科的理论知识是矿产资源勘查的基础和理论依据。反过来，矿产资源勘查的实践成果又可使这些学科的理论得到验证、补充和发展。矿产资源勘查与其他各门地质基础课和专业课之间是相辅相成、互相促进的关系。

1977年前苏联学者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”。矿产勘查的地质基础上面已述，经济基础也是比较明显的，数学基础则作以下论述。在早期，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”也就成为矿产勘查应用较多的数学学科。近代勘查理论要求研究最优勘查方案和勘查过程最优化问题，矿产勘查过程实际上也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，没有一定的数学基础是不可能的。不言而喻，“计算机技术与应用”已成为与矿产资源勘查十分密切的学科。

矿产资源勘查与开发必须借助各种技术手段与方法去实现发现、揭露、查明和开发矿床的目的，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、不同采矿方法（露天开采、地下开采、地浸开采）、不同选矿

方法（重力法、浮选法、磁法）等都与矿产资源勘查与开发学科密切相关。

当今，环境问题已成为影响矿业开发的重要问题。从矿产资源综合利用和可持续发展角度出发，矿产勘查与开发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，矿产资源勘查与开发与环境地质学、环境生态学关系密切。

3 矿产资源勘查与开发工作的研究方法

任何成矿作用都是一个长期而复杂的地质过程。要认识这个过程，除了应用正确思想方法外，还必须有一套行之有效的具体研究方法。通过无数次的矿产资源勘查与开发实践，已形成了一套比较完整的研究方法，概括起来有以下几方面。

3.1 野外观察法

矿产资源勘查所研究的对象是广阔无垠的地壳及分布在地壳中的各种矿产，地质人员首先必须深入大自然，把野外作为自己调查研究、获取资料的主要场所。通过野外调查，从宏观掌握地质矿化现象的基本特点和变化规律，并且为室内分析研究取得丰富的第一手材料。因此，野外观察是矿产资源勘查最基本的研究方法。地质填图、矿产普查以及各种探矿工程的地质编录等，均贯穿着野外观察这一基本方法。

3.2 试验研究法

矿产资源勘查与开发过程中，野外观察虽然必不可少，但它毕竟只限于宏观的研究，还有许多问题得不到解决。如矿产质量、矿石物质成分及某些结构构造特征、矿石选冶加工技术性能等，还需要借助于实验室的试验手段对其进行研究。故试验研究也是矿产资源勘查与开发学科的重要研究方法。

3.3 综合分析法

矿产资源勘查与开发工作是一项综合性很强的工作，所涉及的资料量多面广，不但有丰富的地质资料，还有许多技术、经济资料。在地质资料中又可区分为地质、水文、物探、化学分析等不同种类和不同地区的资料。这些资料从不同的角度反映了矿床的局部性特点。然而，要掌握矿床的整体特征并且上升到理性认识的高度，则必须对这些资料进行综合整理，综合研究，去粗取精，去伪存真。所以，综合分析法也是矿产资源勘查与开发学科不可缺少的方法。

3.4 类比法

类比法也是矿产资源勘查与开发中常用的方法。它是长期矿产资源勘查与开发实践和研究的结晶。矿产资源勘查学的理论依据是，在某些相近的地质作用下，可形成矿种相同和类型相似的矿床，换句话说，在地质条件相似的地区，可能找到相似类型的矿床。对于类型相似的矿床，可以应用相似的矿产勘查方法。类比法的实质是应用已知地区或已知矿床的成功经验来指导地质条件相似的新地区或新矿床的矿产勘查工作。但相似不等于相同，相似程度也各有不同，在应用时，还必须紧密结合本地区或本矿床的实际情况，切忌不加分析、盲目照搬别的地区或别的矿床的经验。

4 资源勘查新技术的使用与工作者应具备的素质

当今矿产资源勘查，由于寻找隐伏矿床比例增大，单纯用传统方法发现矿床越来越难。为提高找矿效率，找矿新技术、新方法的研究和应用日益加强。新技术、新方法的大量使用，导致地质、

物化探、遥感和其他勘查信息数量大大增加。电子计算机的普遍应用不仅大大提高了数据处理的能力和效果，而且开辟了勘查方法研究的一项极为重要的技术——地理信息系统（GIS）技术的应用。

许多国家还把进一步提高地质矿产勘查效率的新技术和新仪器（加大探测深度、精度和可靠性），以及在相邻学科新成就基础上研究出的全新测试设备和直接找矿的仪器与方法，作为整个地质学研究领域中最重要任务之一提了出来。由此可见，矿产资源勘查是一个极具挑战性的行业。

矿产资源勘查工作要取得重大突破，除了上述采用先进仪器设备和先进技术手段、改进勘查理论和技术方法外，提高矿产勘查人员的素质也是一个十分重要的问题。

朱训（2003）认为，矿产勘查地质人员需要智力方面和非智力方面的素养。智力方面的素养包括：①合理的知识结构；②丰富的经验储备；③正确的理性思维；④高超的管理才能。非智力方面的素养包括：①强烈的找矿意识；②无私的奉献精神；③良好的协作道德；④强健的身体素质。

毫无疑问，高级知识技术人员的能力将决定未来矿产勘查公司的生存和发展。就矿产勘查而言，所要求的高素质地质人才既是精通矿产勘查理论和技术的行家，也是具有项目管理才能的专家，能够强有力地领导自己的团队同心协力地完成所承担项目的高级人才。这类人不墨守成规，具有很强的开拓创新精神、善于听取他人意见、懂得扬长避短、能够发挥高超管理水平的人才。

为了维持我国国民经济与人类文明对矿产资源的需要，必须培养和造就大批有潜在能力的、优秀的矿产资源勘查地质工作者，他们肩负着为国民经济建设提供足够能源和矿物原料的光荣而又艰巨的任务，让我们共同为之奋斗。

1 矿产成矿规律与成矿预测

1.1 矿产成矿规律研究

成矿规律是指矿床形成和分布的时间、空间、物质来源及共生关系诸方面的高度概括和总结。成矿规律是进行成矿分析的基础，对预测找矿工作具有重要的指导作用。自从 1892 年法国著名学者德洛内提出成矿规律的概念以后，许多地学工作者从不同的方面进行了卓有成效的研究，形成了全球成矿规律、区域成矿规律、矿区成矿规律及单矿种为主的专门性成矿规律等不同的分支。

1.1.1 矿床时间分布规律

矿床在时间上的分布是不均匀的，某些矿种或矿床常在某一地区的某一地质时代内集中出现。如世界上内生（含变质）矿床中，60% 以上的铁、镍和钴矿形成于前寒武纪；80% 的钨、钼矿形成于中生代；40% 以上的铜矿形成于新生代等。外生矿床中，世界的煤主要形成于石炭纪一二叠纪；石油主要形成于新生代。矿产在某一地质时期、某一地区内集中出现的原因比较复杂，既与地球在历史上不同时期的演化和地壳厚度有关，又与不同时期和地域的成矿条件的差异与变化有关。

1.1.1.1 我国矿床主要成矿期

一定类型的矿床及其组合在地史中的出现往往和一定的大地构造发展阶段有关。据我国地壳发展的主要构造运动及成矿特征，将我国的成矿期划分如下。

1) 前寒武纪成矿期

该成矿期是我国一个重要的成矿期，持续时间最长，可进一步细分为如下三期：

(1) 太古宙成矿期：这时地壳开始形成，薄而不稳固，故有大量来自上地幔的超基性、基性岩浆活动，形成重要的绿岩带及有关矿床。本期末发生阜平运动，有广泛的火山和火山沉积作用、花岗岩化和混合岩化作用，并伴随着一系列矿床的形成，重要者有铁、金、铜、磷、滑石、菱镁矿、石墨、云母等。

(2) 古元古代—中元古代成矿期：本期地壳已经形成并相对稳定下来，火山作用、花岗岩化、混合岩化仍较普遍和强烈。火山和火山沉积建造，各种碎屑沉积建造及化学沉积建造大量出现，生物沉积建造开始出现。在这种地质环境中形成的矿产有铬、镍、铂、铁、钛、金刚石、铜铅锌硫化物、稀土、硼、滑石、菱镁矿、云母等。

(3) 中-新元古代成矿期：本期属晋宁、澄江、扬子构造旋回成矿期。这时稳定区与活动带区别明显，大气中 CO_2 占优势，海水中 CO_2 逐渐减少而变成硫酸盐型，主要矿产有铁、铜、磷、石棉、石墨等，在北方产于长城、蓟县、青白口纪地层中。在南方则产于板溪群、会理群、昆阳群、神农架群、南沱砂岩层及相应地层中。

2) 加里东成矿期

此时我国地壳进入了一个新的发展阶段，华南、西南进入相对稳定的地台时期，矿产以产在浅

海地带和古陆边缘海进层序底部的铁、锰、磷、铀等外生矿床为主，如宣龙式铁矿、瓦房子锰矿、湘潭式锰矿、昆阳式和襄阳式磷矿等。中期海侵范围扩大，普遍出现大量钙质沉积，形成灰岩白云岩矿床。晚期在海退环境下形成潟湖相石膏和盐类矿床。祁连山、龙门山、南岭以地槽演化为特点，矿产为内生的铬、镍、铁、铜、石棉，如镜铁山铁矿床、白银厂黄铁矿型铜矿床等。

3) 海西成矿期

与加里东期相似。我国东部处在地台阶段，以稳定的浅海相、海陆交互相、潟湖相及陆相沉积为主，相应形成一系列重要的外生矿产，如南方泥盆纪的宁乡式铁矿、二叠纪的潟湖相锰、铁、煤等矿床，北方石炭纪、二叠纪的铁、铝、煤、粘土矿等矿产；我国西北部地区仍处于地槽发展阶段，以内生金属矿产为主，有秦岭和内蒙古的铬、镍矿床；内蒙古白云鄂博式稀土-铁矿床；阿尔泰、天山地区的稀有金属伟晶岩矿产；与花岗岩有关的钨、锡、铅、锌，南祁连的有色金属，川滇等地的铜、铅、锌及力马河铜-镍硫化物矿床。

4) 印支成矿期

印支运动结束了我国大部分地区的海侵状态，使之上升为陆地，出现一系列内陆盆地，形成许多重要的外生矿床。有铜、石膏、盐类、石油、油页岩等。西部地区尚有三江地槽褶皱系、松潘-甘孜地槽褶皱系、秦岭地槽褶皱系及海南岛地槽褶皱系，其中形成众多的内生矿床，如铁、铜、铬、镍、稀有金属、云母、石棉等。

5) 燕山成矿期

燕山运动是我国最重要的内生成矿期。此时我国西部地区大都结束了地槽阶段，进入地台发展阶段。东部地台区进入地洼阶段，构造活动、岩浆活动和火山活动相当强烈，出现多期岩浆活动和火山喷溢，造成丰富多样的内生矿床。岩浆活动以酸性、中酸性岩浆侵入和喷溢为特征，早期以广泛分布的大规模岩浆活动为代表，形成一系列钨、锡、钼、铋、铁、铜、铅、锌矿床，晚期以广泛分布的小规模岩浆活动为代表，形成一系列重要的铁、铅、锌、汞、锑、金、稀有金属、萤石、胆矾石等矿床。喜马拉雅山地区及台湾地区仍处在地槽发展时期，有超基性、基性岩浆活动，伴随有铬、镍、铜、铅、银等矿床。本期外生矿床不及内生矿床重要，在小型内陆盆地中有铁、铜、铀、煤、盐类、油页岩等矿床产出。

6) 喜马拉雅成矿期

此期我国东部各个地洼区的发展均进入了余动期，构造活动较弱。但台湾地槽和喜马拉雅地槽仍在强烈活动，产出有伴随基性-超基性岩浆活动的铬-铂矿床（西藏）、铜-镍矿床及火山岩中的铜、金矿床（台湾地区）等，以及铅、锌、硫矿床（新疆西南部）。本期内生矿产虽较局限，但外生矿产比较发育，以风化淋滤和沉积矿床为主，主要的有：塔里木盆地和柴达木盆地边缘地带的层状铜矿床；各地的砂金、砂锡矿床；风化淋滤型镍矿；风化壳型铝土矿；西北许多地区的硼矿和盐类矿床；西南地区的钾盐和岩盐及古近纪和新近纪的煤炭和石油等。

由上可知，我国各类矿床在时间上分布很不均匀，其中铁、金等矿早期比较富集，汞、锑、砷、稀有金属等矿晚期相对集中。我国地壳演化早期，成矿作用比较简单；随着时间的推移，地壳加厚，岩浆活动、火山作用、沉积变质作用多次重演，大气中游离氧增多，生物出现和大量繁殖，成矿作用愈来愈复杂，到中、新生代达到最高峰。

1.1.1.2 全球矿床主要成矿期

根据构造作用、岩浆作用、沉积作用和成矿作用的一系列特征，特瓦尔奇列利哲将全球分为7个最主要的成矿期（表1-1）。从表1-1中可以看出，该表归纳了世界上最主要的矿产，但对比我国及世界上一些地区的矿产发育情况看，尚存在以下值得进一步探讨的问题。如特瓦尔奇列利哲把所有的矿产仅归因于地槽和地台型，忽视了地洼区的出现及其成矿的意义。对太平洋周边地区及中、新生代成矿期的强度估计不够充分。在全球成矿期中，前寒武纪的金矿的矿化强度较大，矿化类型也较多。但对比我国前寒武纪成矿期，则金矿化强度较小，矿化类型也较少，其原因有待进一步探讨。

表 1-1 全球主要的成矿期及有关矿产

最主要的成矿期	主要褶皱作用的地台形成期	出现金属矿化作用的强度	最主要的矿石建造	
			地槽型	地台型
中-新生代成矿期 (<150Ma)	阿尔卑斯期 (50Ma)	中等	含铜黄铁矿, 黄铁矿-多金属, 铬铁矿, 矽卡岩-磁铁矿, 硫化物锡矿, 石英-锡石-黑钨矿, Cu-Mo, 脉状金-碲, 青磐岩 Au-Ag, Hg-Sb	碳酸盐岩中的铅、锌, 含铜砂岩, 五元素 (Au、Ag、Co、Se、Te) 碳酸盐岩, 金伯利岩, Cu-Ni
古生成成矿期 (500 ~ 150 Ma)	海西期 (200 Ma)	强	含铜黄铁矿, 黄铁矿-多金属, 铬铁矿, 钛磁铁矿, 铂, 矽卡岩-磁铁矿, 云英岩, Sn-W, 矽卡岩的 Pb-Zn, 锑-汞	碳酸盐岩的 Pb-Zn, 含铜砂岩, 五元素 (Au、Ag、Co、Se、Te) 碳酸盐岩
晚里菲成矿期 (900 ~ 500 Ma)	贝加尔期 (700 ~ 500 Ma)	很强	含铜黄铁矿, 磁铁矿-钛铁矿, 铬铁矿, 脉状石英金矿, 伟晶岩	碳酸盐岩中的 Pb-Zn, 含铜砂岩和页岩 (常伴生钽和铀), 伴生铀的伟晶岩, 云英岩的 Sn-W, 金伯利岩
早里菲成矿期 (1650 ~ 900 Ma)	哥达期 (1000 ~ 900 Ma)	弱	碧玉铁质岩, 伴生铀的铁-硫化物, 脉状石英-稀有金属 (W、Sn、Au、Ta-Nb), 伟晶岩, Fe-Mn, Fe-Ti	Cu-Ni, Cu-Ni-Ag-Co (肖德贝里-德卢思型)
中元古代成矿期 (1800 ~ 1650 Ma)	赫德森期 (1700 ~ 1650 Ma)	中等	黄铁矿-多金属, 碧玉铁质岩、伟晶岩, 铬铁矿	金铀砾岩, 热液铀矿
古元古代成矿期 (2500 ~ 1800 Ma)	白海期 (2000 ~ 1800 Ma)	很强	碧玉铁质岩, 铬铁矿, Fe-Mn, 脉状石英-金矿, Cu (变质岩中的透镜体)	含 Au 和含 U 砾岩, 含 Cu 砂岩, 伴生 Pt、V、Sn、Au 的铬铁矿-Cu-Ni (布什维尔德型)
太古代成矿期 (3500 ~ 2500 Ma)	南罗得西亚期 (2700 ~ 2500 Ma)	弱	磁铁矿-紫苏辉石, 磁铁矿-角闪石, 伴生 Ta-Nb 的伟晶岩, 脉状石英-金矿	

(据特瓦尔奇列利哲, 1970)

1.1.2 矿床空间分布规律

矿床在空间上主要表现为不均匀分布, 具体表现为丛聚性分布、带状分布等, 但在特殊的地质条件下, 也可表现出均匀分布特征, 即在空间上的等距性分布。研究和总结矿床空间分布的样式及其形成原因, 可以在一定地质条件下的地区内有的放矢地进行找矿工作。

1.1.2.1 矿床的丛聚性分布

矿床的丛聚性分布是指矿床在平面的分布上往往在一定范围内集中出现, 构成矿化集中区或特定的成矿区域。

1) 矿化集中区

矿化集中区是指在一个不太大的范围内, 某些矿产或矿产组合特别丰富, 形成具有一套固定的标型矿产或矿床组合的地区, 有人称之为“大型矿集区”。这种矿化集中区国内外实例很多, 如我国南岭地区是钨、锡、稀有、稀土的矿化集中区, 川南、滇北是铁铜的矿化集中区, 湘黔交界地区是汞锑的矿化集中区, 长江中下游地区是铜铁矿化集中区, 鞍本、冀东是铁的矿化集中区, 辽西、冀北是钼和铅锌的矿化集中区, 胶东半岛是金的矿化集中区, 东秦岭是钼和金的矿化集中区等。

矿化集中区内的矿床特点: ①矿床数量多、规模大, 特别是有大型、超大型矿床的存在, 如我国鞍本地区在 $100\text{ km} \times 10\text{ km}$ 范围内发育有 700 余个铁矿床, 总储量达 $5 \times 10^9\text{ t}$ 以上; ②矿种可以是单矿种, 也可以是多矿种, 矿床成因可以是同期多成因, 也可以是多期多成因; ③矿化集中区的形成原因推测与地壳和上地幔中元素分布不均匀性有关, 与地质经历复杂、保存条件良好及矿源层的存在有关。对矿化集中区的认识及研究意义在于指导“就矿找矿”工作的开展。

2) 成矿区域

成矿区域是指某种或某些矿床类型特别发育、地质发展历史相近, 成矿作用上具有一定的共性