

勘查和矿山

地质学

[美] W.C.彼得斯 著



冶金工业出版社

内 容 简 介

本书是根据美国威利公司1978年出版的《Exploration and Mining Geology》一书翻译的。

本书在简要介绍有关矿床及采矿知识的基础上,较系统地介绍了包括有美国、加拿大、澳大利亚以及某些欧洲国家的矿山地质工作的内容、方法、手段以及经济管理方面的内容。全书共分地质学基础、工程因素、经济管理、地质资料的收集与提交、地质学在勘探和采矿中的任务等五部分。

本书可供从事矿产普查、勘探和矿山地质工作的技术人员以及领导干部参考,亦可供大专院校有关师生参考、阅读。

勘查和矿山地质学

[美] W.C. 彼得斯著

《勘查和矿山地质学》翻译组 译

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷99号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787 × 1092 1/16 印张 27 1/4 字数 656 千字

1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷

印数00,001~2,000册

ISBN 7-5024-0339-6

TD·59 定价6.65元

译者的话

我国从事矿产普查、勘探以及矿山地质工作的同志，一般较熟悉苏联及东欧一些国家有关这方面的工作内容，方法和手段，有关的参考书也较多。欧美国家的有关情况，近年来虽在一些地质刊物上有所介绍，但尚缺少内容较系统的参考书。本书正可弥补这方面之不足。

本书主要由北京钢铁学院地质系同志翻译，由于篇幅大，涉及面广，故由较多的同志分头翻译和审校。其中，第一、三章由徐九华译；第二章由刘正杲、黄凤吟、廖兆伶、张树泉合译；第四、十五章由吴炳肃译；第五、九章由曹贞源译；第六、二十章由陈希廉译；第七、十六章由刘正杲译；第八、十二章由陈兆喜译；第十、十四章由袁怀雨译；第十一、十二章由吴雨沛译；第十七章由王辉光译；第十八、十九章由胡野圃、袁怀雨、常乃权合译；附录由吴炳肃、曹乐农合译。全书由常乃欢进行了初校；由刘正杲、袁怀雨、陈希廉进行了专业校对；李万享、邱绪瑶、谭攸波、苏子栋等审阅了部分章节；最后由赵清、吴振寰进行了复校。

由于译者水平不高，译文中错误在所难免，望读者多加批评指正。

译者

序 言

本书的目的是对地质学家在矿物的发现和生产过程中的工作加以概述。书中涉及的大多数方法是现代的，某些概念是最新的，但是地质学在采矿上的应用却是由来已久的。我们的祖先找到矿物并加以开采；他们懂得矿床受地质条件的限制，并且知道每个矿山的矿产总有一天会被采尽。

直到目前，矿产被采尽虽然还不是全人类所关心的事，而对于采矿工作者，对于社会以及对于整个国家都是一件值得关心的事。现在由于有空间上和历史上的优越条件，我们已经开始能够了解地球的大小及其资源的多少，而且已经开始认识到我们是怎样拙劣地滥用这些资源。现在比过去更加需要矿山地质学家，而且他们的工作是从来没有像现在这样重要。

对于那些开始从事勘查和采矿工作的人或准备管理国家矿产的负责人，本书将作为对他们专业工作的入门书。如果是从学院毕业后正要成为专业的地质学家或地质工程师，本书可以作为参考书籍的一部分。

本书论述“坚硬”矿产，即在大陆和海盆中的非流体的原料资源和能量资源。作为说明地质学家在勘查和采矿中的业务范围，本书提到了矿产资源的地理分布、主要矿区的地质条件以及现代的矿床理论，但是没有详细论述。这些课题的简述和把流体资源（石油沉积、天然生成的卤水和地热能）的评述除外，并不表明与它们无关，这正说明它们是复杂而专门的问题，需要由其它书籍作详尽的探讨。

本书采用了构造地质学、矿物学、岩石学及经济地质学的基础知识。本书的主题属于地质学，但是必然要涉及经济和工程的课题。

首章论及勘查和矿山地质学家在历史上的概况，引导读者了解在现代条件下个人相应的任务。第一部分涉及矿床地质学。其中风化带中矿体的一章着重介绍野外调查对象的矿化外貌。第一部分称为地质学基础，因为它讨论了地质推断和观测成果，以后的所有工作都是由此而衍生的。

第二部分介绍在采矿和勘探中的工程因素。这些因素是岩石力学、土壤力学、水文学和采矿实践等要素。它们都是地质工程师在与地球物质打交道时应考虑的。第三部分考虑经济条件，地质学家必须经常与工程师及管理人员一起工作，去选择勘查和采矿的有利场所。

第四部分涉及普查找矿阶段、在详细调查时期以及在最后编、绘地质报告书时，对于地质、地球化学和地球物理等数据的收集和分析。第五部分涉及勘查及采矿的规划，其重点是找矿和生产工作的计划和执行，这是代表政府及私人企业机构进行的。

W.C.彼得斯

引 言

在每次会议上，常有与会者插话说：“……但是，首先我们应当回过头来给‘斑岩铜矿’下个定义（或对‘深度’或对‘热液’下个定义）”。说这种话的人有时是个了不起的人物，他挽救了濒于失败的讨论；有时却是个吹毛求疵的学究，他打乱了整个正取得进展中的思路。无论如何，在术语方面到处都有很多“下定义者”，本来这些术语在开始讨论时（或在一本书的开头）就应当统一起来。一种避免需要亡羊补牢和避免产生讨论离题危险的办法是先确定几条基本规定，也就是在有人有时间去解决语义学上所有模糊不清词意之前，先暂用一张主要词汇解释简表。

在本书中，大部分词汇将在遇到它们时再下定义。很快将出现这种情况。至于现在，有几个基本规定不能再等待，它们包括下列一些对应的词汇：

金属矿床 (Ore Deposit)——矿床 (Mineral Deposit)

矿石是现在可以从中提取有经济价值的矿物及金属的原料。当谈及那种不是用来提炼金属而是被用作提取矿物的矿产资源时，下定义者可能会以应当用术语“工业矿物矿床”或“非金属矿床”为理由来反对用此定义之词，但实际寻找和开采诸如重晶石、萤石及石棉的人仍然这样地称之为“矿石”和这样地划分“矿石储量”。“矿床”(mineral deposit)是一个广义的术语；在本书中，它包括金属矿床 (ore deposit)、煤和油页岩矿床、“非金属”的工业岩石矿床类 (the “nonmetallics” family of industrial rock deposit) 以及经济矿物的天然富集体，这些经济矿物是指在不久的将来就可能被利用的矿物。

勘探 (Prospecting)——勘查 (Exploration)

在北美及本书的用语中，这两个术语可以交换使用，一般用勘查 (Exploration) 这个更可取的术语来表示工作的整个过程，并分为从普查找矿 (reconnaissance——寻找勘探矿区)、进行勘探矿区评价以至最后在矿山寻找补充矿石等三个阶段。在外国的文献中，我们发现一些特殊的定义，对其中的某些有必要加以评述。有几个国家（如苏联），这两个术语译为“找矿” (prospecting for mineral deposit) 和“矿床勘探” (exploration of mineral deposits)，其条件就是在已找到勘探矿区后再对它们进行勘探（克雷特，1968，p.114）。在法国和某些其他国家，其含义正好相反；“勘查” (exploration) 涉及范围广泛的寻找矿化标志，“勘探” (prospecting) 则涉及更局部矿化标志的研究，而普查找矿 “reconnaissance” 却指的是矿体的圈定（罗蒂埃，1963，p.1002）。

地质科学家 (Geoscientist)——地质工程师 (Geological Engineer)

科学家有所发明创造，而工程师则搞设计，这是个重要区别。在采矿工业中有几年经验后，两者间的差别开始变小，最后在完成专业任务的环境中，其差别可以消失。这个过程就叫做培养 (education)（带小写字母 e 的 education）。如果不考虑勘查和采矿在地质学术方面要求上的差别，我们可以把这一对词合并为惯用术语“地质学家” (geologist)。不应当反对把经济地质学家包括在这类人员之中，同样也不应反对把勘探学家及从事勘探的采矿工程师包括在这类人员之中。

当然，这是不言自明的，此处所用的术语“他”在本书中是指人类的一员。

贯穿于地质学家专业中所需的大多数英语定义可在美国地质学会的《地质词汇》(加利、麦克啡及沃尔弗,1972)和美国矿业局的《采矿、矿物及有关术语词典》(矿业局的思拉什及斯塔弗,1968)中查到。至于国际性著作,有荷兰皇家地质及采矿协会的优秀出版物《地质术语表》(英、荷、法、德文)(希费德克尔,1959),还有更专门的小书《采矿地质词汇》(阿姆斯特茨,1971)(英、西、法、德文)。

本书采用米制单位。英制与国际单位制的换算表以及有关的米制单位列于附录D中。对于习惯英制的读者来说,去“想像米制”可能是个临时课题,但此换算表可避免去想像“100米的7/8英寸管子”之类的情况。

目 录

第一章 概述 1	第二节 露天开采 124
第一节 矿山地质学的创始人..... 1	第三节 溶解法开采及有关方法 129
第二节 十八世纪的地质考察和专 科学学校..... 2	第四节 海洋采矿 134
第三节 工业化时代..... 3	第五节 环境工程学 135
第四节 专业特点..... 7	第三部分 经济管理
第一部分 地质学基础	第七章 矿山和矿产经济 136
第二章 地下环境中的矿床 10	第一节 满足对矿产的要求..... 136
第一节 矿石和脉石矿物学..... 10	第二节 矿山经营的服务周期..... 140
第二节 分带模式..... 23	第三节 矿产与政府..... 144
第三节 煤和油页岩岩石学及分带..... 33	第八章 矿石的价值和矿体的概念 153
第四节 矿床形态学..... 37	第一节 时间、地点和矿产的统 一价值..... 153
第五节 矿床的挠曲和错断..... 47	第二节 回收价值和矿物加工处理... 156
第三章 风化带中的矿床 54	第三节 矿产的运输和销售..... 162
第一节 地表环境——风化和侵蚀..... 54	第四节 矿山开拓和矿山生产在 圈定矿体中的作用..... 166
第二节 淋滤作用及伴随的矿物 变化..... 59	第五节 勘探和采矿中的工程经济 分析..... 174
第三节 富集于风化带中的矿床..... 68	第四部分 地质资料的收集和提交
第四节 地貌表现和第四系覆盖层..... 73	第九章 初步研究：已有资料的收 集和评价 184
第四章 金属成矿作用和成矿区 77	第一节 数据、情报资料和事实..... 184
第一节 地球化学基础..... 80	第二节 原始数据和资料的来源..... 185
第二节 分类体系..... 84	第三节 资料数据和情报的评价..... 187
第三节 经济矿产区和成矿构造..... 89	第十章 普查 188
第二部分 工程因素	第一节 普查方案设计..... 188
第五章 土工学的若干原理 94	第二节 航空及人造卫星摄象..... 191
第一节 地质学家和土工学..... 95	第三节 滨海和深海普查..... 202
第二节 岩石的工程性质：地下 环境..... 96	第四节 普查的导线测量和资料 记录..... 202
第三节 土壤和水的工程性质： 地表环境..... 104	第十一章 地表地质制图 207
第四节 工程条件的地质评价..... 109	第一节 制图与对象的关系..... 207
第五节 推荐读物..... 110	第二节 比例尺..... 208
第六章 采矿途径（开采方法） 112	第三节 底图和控制测量..... 209
第一节 地下开采..... 116	

第四节	地质制图装备.....	211	第三节	样品制备.....	309
第五节	地表地质填图程序.....	214	第四节	品位和矿量计算.....	310
第六节	露天矿的地质填图.....	217	第五节	矿石储量分类.....	315
第十二章	地下矿山的地质制图.....	223	第十七章	信息传递.....	320
第一节	地下开采环境.....	223	第一节	为上报和交流资料准备	
第二节	地质资料的选取.....	225		地质数据.....	320
第三节	制图版式.....	226	第二节	勘探的信息传递.....	322
第四节	地下地质制图程序.....	227	第五部分	地质学家在勘查和采矿	
第五节	矿山地质资料的汇编.....	235		中的任务	
第十三章	地球物理勘探.....	238	第十八章	勘查计划.....	334
第一节	地球物探资料的特征.....	240	第一节	地质勘查机构.....	335
第二节	方法和应用.....	240	第二节	地质勘查的目的.....	338
第三节	航空物探.....	242	第三节	勘查计划的类型.....	341
第四节	地面地球物理.....	250	第四节	勘查计划的经济学.....	346
第五节	地球物理工作的规划和		第五节	数学模型在勘查中的应用...	354
	配合.....	257	第十九章	矿产地和矿山的检查与	
第十四章	地球化学勘探和地质植			评价.....	361
	物学勘探.....	260	第一节	老矿新探.....	361
第一节	异常、背景和干扰.....	261	第二节	矿物资产的评价.....	363
第二节	地球化学勘探的程序.....	261	第三节	矿山和矿产地中关键的地	
第三节	基本特点.....	262		质特征.....	371
第四节	方法和应用.....	263	第四节	评价的程序和计划.....	373
第五节	野外和实验室分析方法.....	269	第五节	资产报告.....	376
第六节	地球化学勘探中的野外		第二十章	采矿企业中的矿山地质	
	记录.....	271		工作.....	378
第七节	地球化学资料的处理.....	271	第一节	投产前的工作：设计地	
第八节	推荐读物.....	279		质学家.....	378
第十五章	为取得地质资料而进		第二节	地质机构.....	381
	行的钻探.....	281	第三节	咨询地质学家和咨询公司...	385
第一节	钻探方法和样品的采集.....	282	附录A	野外和实验室记录中常用的	
第二节	钻孔布置方式和钻探程序...	288		缩写.....	386
第三节	钻孔资料的编录.....	292	附录B	野外和矿山地质图的符号	390
第四节	勘探钻孔的设计.....	298	附录C	地质年代名称	393
第十六章	矿体取样和储量计算.....	301	附录D	国际单位制(SI)的符号及其它等值	
第一节	地表露头、矿山巷道和钻			的米制单位.....	396
	孔取样.....	301	附录E	矿产勘查环境管理准则	397
第二节	取样布置方式和间距.....	306	参考文献.....	399	

第一章 概 述

各个矿山的资源都不可避免地要被开采完。从古至今，采矿者都在这一严酷现实的阴影笼罩下工作。在希腊卡桑德拉金银矿巷道遗迹中，就有公元前三百年的采矿者为追寻被错断的矿脉段而挖掘的例证。与其同时代的雅典人，因面临劳里姆银铅矿要采尽的局面，在寻找隐伏矿体时认识到片岩接触带附近的大理岩的有利性，因而挖掘了一千多个探井穿过无矿的岩石，有的深达100米。尽管这是很原始的，却已经涉及了地质学所研究的领域，但矿山地质学这门学科还是在萨克森-波希米亚的埃尔茨山脉，这个中欧矿业的发祥地诞生的（图1-1）。

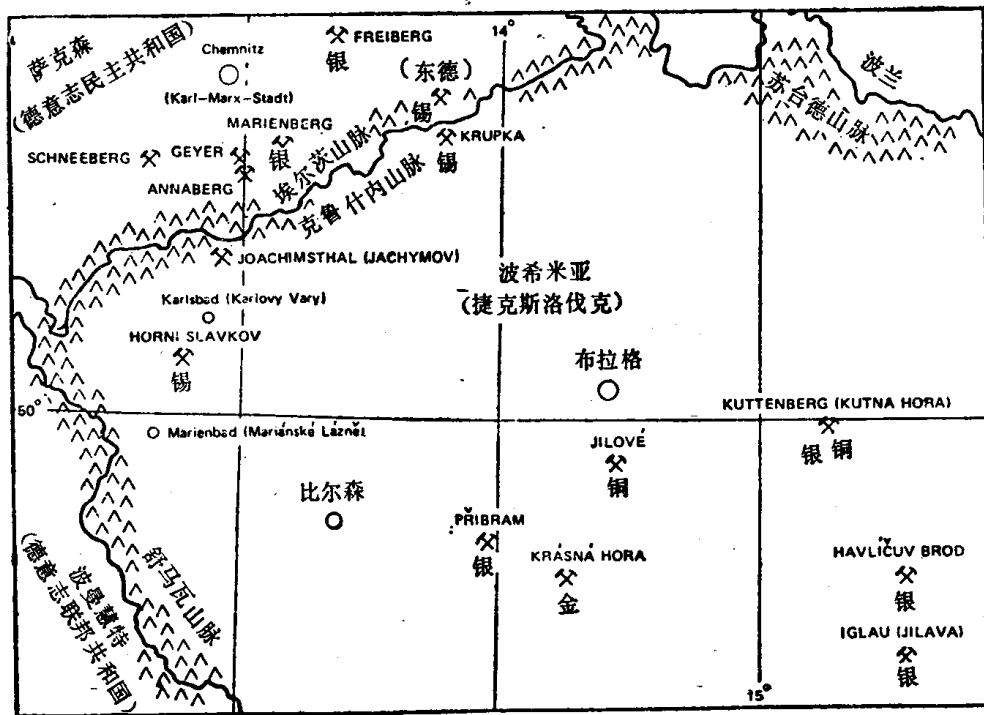


图 1-1 萨克森-波希米亚矿区，16-18世纪。圆括号内为较新的地理名词

第一节 矿山地质学的创始人

十六世纪中，萨克森的克姆尼茨的一个医生，Georgius Agricola，发表了几篇关于找矿、采矿和冶金方面的论文，它统治了地质理论达两个世纪。Agricola是采矿界特有的文艺复兴大师，在地质描述和分析方面具有杰出的复兴才能。在《关于金属化合物》(De Re Uetallica)一文中，他第一次提出了外生矿床的全面理论，并记述了有关找矿的方法，他主张用野外观察的方法，远胜于现在我们称之为“黑箱信号[●]”的探测方法。

“因为我们认为采矿者应当是技术好，而且认真的人，所以他不当利用易迷惑人的枝

●“黑箱”指结构复杂的电子仪器。——译者注

节现象。如果他对自然迹象是细心的并熟悉的话,他就会懂得分岔的枝节对他毫无用处。正如我以前所述的,矿脉有一些天然标志,他可以去亲自观察,”而无需借助于枝节来推测。(据Hoover和Hoover的译文,1912, p.41)。

Agricola抛弃了迷惑人的枝节现象,但并未否定自然界中存在某种确实可借以判断已接近矿体的情况。他的见解之一近似于地球物理学和地球植物学;现代作者关于氧化矿体热力的和有毒的作用所述文字与Agricola的描述也无多大差别。

“此外,因地下矿脉会放散出温暖而干燥的气体以阻止水汽的凝结,所以我们利用观察白霜追索矿脉时,就会看到除长在矿脉上的牧草外,所有的牧草都被白霜弄白了。因此,长在矿脉上的牧草显得比被霜染白的牧草更加湿润。在所有寒冷的地方,当青草还未茂盛之前,如在四、五月份可观察到这种现象;或者当干草收获的晚期,即九月份用长柄大镰刀收割干草(灯绒草)的季节也可观察到。因此,在草地上湿汽不能凝结成霜的地方,其地下就会有矿脉;此外,如果散放出的气体非常热时,这里的土壤只能生长一些矮小而浅色的植物。”(摘自Hoover和Hoover的译文,1912,第37和38页。)

有理由强调Agricola的著作,他的“采矿者”,即在《关于金属化合物》一书的珍贵插图里(图1-2),正热情地指着岩石和矿坑的小圣人,就是矿山地质工作者的先驱。所谓



A—观察 B—挖掘

图 1-2 十六世纪欧洲的找矿方法(据G. Agricola,《关于金属化合物》,1556)

他自己能看到的那些东西就是矿山地质学的要素。如果大多数矿物手册和金属矿床教材要将地名绘在地图上,那么优先填在地图上的地区名称就会是Agricola的故乡—萨克森-博希曼。

矿山地质学虽然在埃尔茨山脉地区诞生,但当时它还没有确定的名称,也没有得到发展。在欧洲人向美洲、非洲和亚洲渗透期间,虽然矿产起过作用,但全着重于换货交易、掠夺,和从那些无需多少地质工作帮助的出露矿体开采浅部矿石。在找矿者的日记中收集了丰富的地质资料,但却处于休眠状态中。关于金属矿床的研究和推测,在十七世纪只限于欧洲的采矿区以及自然科学家、哲学家的著作里,他们保持Agricola的观点原封未动,一直到了

十八世纪这些观点才在矿业学院得到去粗取精的整理。

第二节 十八世纪的地质考察和专科学校

在一些矿区和地区进行地质考察的时期来到了。那是进行所有自然科学考察的时期;因此在像《康沃尔自然史》(Natural History of Cornwall) (Borlase, 1978) 这样范围广阔的书籍里,开始描述矿山和矿产。

殖民地和那些有大片不发达地区的国家特别有理由关注其国土的地质情况,于是,当1756年在巴黎出版第一幅东加拿大地质特征图时,标明了矿床的符号。在俄国,由于对矿床地质的关注,对进入西伯利亚的几个政府矿业考察队给予充分的支持。俄国考察队的文

章非常清楚地写明了矿产地的报告，在已知采矿中心区的找矿，和为证实某些“科学理论的观点”收集资料（Goldenbeng, 1968, 第346页）。矿产图上标有矿石和地质共生体的类型符号，它们是颇为新式的。因此也出现某些复杂的情况，如某些自封的考察者们不科学的爱好。1752年俄国勘察队员章程中，有些措词在二十世纪看来也是非常适当的：“禁止你们与像Zubarev等人这样的找矿者—骗子们进行任何联系和交谈。”（Goldenberg, 1968, 第351页）Ivan.Zubarev这个胆大的人，企图以矿产为资本来获得土地。他偷偷地拜访了圣彼得堡实验室，在那里，他用熔化的金、银币“提高”了一些他的岩石样品的品位，而使自己声名狼籍。Zubarev很不幸运，他去的是杰出的自然科学家M.V.Lomonsov的实验室。Lomonsov对第一次分析就感到奇怪，而第二次分析就揭穿了这一骗局。

由于矿业考察队和采矿者在增长，就产生了进行专业教育的需要。矿业学院成立了，矿山地质学因本身的性质而成为一门学科。萨克森-波希米亚的采矿者们首先在捷克斯洛伐克的雅希莫夫（若昂奇姆赛尔）（1716），萨克森的弗赖贝格（1765）成立了矿业学院。在斯洛伐克的班斯卡·斯蒂亚维尼卡（1735），挪威的康斯堡（1757），圣彼得堡（1773）和巴黎（1783）的另一些矿业学校丰富了学习的内容，并加上了具有不同矿物及采矿传统的地区的影响。1762年，布拉格的重点大学—卡尔斯大学首先设立了采矿系，并将采矿学，采矿法，地质学和矿物学列入必修的大学课程中。

一、火成论者与水成论者

十八世纪末，由于矿产点燃了工业革命早期的火花，从而引起了科学上的关注。

当时正处在地质争论的气氛中，其中有一个争论即火成论与水成论的论战是如此地激烈，以致给后来所有的矿产勘探理论体系都留下它的烙印。追随爱丁堡的James.Hutton理论的火成论派，认为矿床源于火成岩，是从地壳深处以矿浆带到其产出的地方的。赞同弗莱贝格的Abraham.Gottlob.Werner的水成论派，则认为矿床来自原始海洋内的沉积物，矿脉表明海底的裂缝。虽然Werner的观点受到德国的层状库普费尔希弗矿床的少数矿山工程的影响，但他在此期间的重点，仍在于矿脉。矿脉是矿体，而经济条件还没有达到可以开采的层状矿床。正如许多地质争论一样（包括这些争论中的各种现代观点，如我们将在第四章见到的），火成论、水成论两派都从野外工作中，找寻能支持他们在各自论战的领域内所持观点的证据，这是很有实际益处的。

第三节 工业化时代

地质学作为一门年轻的、百家争鸣的科学进入十九世纪。不管它在矿业学院中的实际处境如何，地质学仍更偏于理论而不是“应用。”另一方面，矿物学是一门定量的科学，而且更直接应用于采矿；化学的发展对它很有好处，事实上，多年来它与化学关系密切。光谱学，晶体中各面交角的测定以及偏光显微镜的发明使得十九世纪成为了解矿物共生组合的重要时期。虽然Agricola的矿山地质学仍然有用，但矿业的发展已远远超过了萨克森-博希曼·埃尔茨时代，因而需要一些新的内容。

矿物学和地质学的结合导致有根据的金属矿床理论的出现，它是由巴黎矿业学院的Leonce Elie de Beaumont这样的化学地质学家提出的。Elie de Beaumont (1847) 给Agricola的外生概念和Hutton的岩浆共生观点以数量上的范围；他提出了热液和岩浆水之间的相互联系，这成为一并且至今仍然是金属矿床成矿理论的基本原理。Werner的水

成论派只得退出论战一去重新组织力量。

一、十九世纪的地质调查

地质学家已证明其观点：地层层序，地质构造和矿床之间存在着联系。自然史考察也证明了这一观点。那是组织地质填图的时代，当时矿产是重要的，而煤是最重要的。

1815年，在1英寸比5英里比例尺的第一幅英格兰和威尔士的地质图里，专门为显示煤田而突出地层关系。法国、德国和俄国的系统地质填图开始于十九世纪三十年代，而每个地区的重点都在于矿床。

到十九世纪中期，几乎所有的工业国都成立了地质调查机构，注意力放在主要的矿区（这是优先的问题）以及对隐伏矿藏的预测。这比“自然史”内容更多了。1839年，大不列颠地质调查所的第一篇调查报告详尽无遗地描述而不是稍带顺便地提到康沃尔—德文地区的岩脉、岩墙及花岗岩体。1850年，美国政府发起对苏必利尔湖地区铜和铁的地质调查。十九世纪六十年代，衣阿华州、威斯康星州和伊利诺斯州成立了州地质调查所，把铅矿采矿区作为它们的调查中心，而加利福尼亚州的州地质调查所最初则把注意力放在金矿上。

1842年成立的加拿大地质调查所，对阿巴拉契亚山脉及加拿大地盾更广泛的地区进行了调查，并持续到1867年，即联邦（政府）成立的那一年。随后，由于从大湖区扩展到太平洋并向北伸入北极圈广大区域的新任务，因此在那里开始了一系列重大的普查工作。由此绘制的地质图件，连同矿床说明，成了找矿的直接指南。加拿大政府的科学家和私人找矿者之间的合作努力，成功地创建了她的地质调查组织形式，并且这种形式如此之吸引人，以至已成为全世界地质调查所的样板。

美国地质调查所在1879年以前还未成为正式组织，但那时已经有了大批考察队。第一批考察队，进入了奥泽尔克山脉、大平原、落矶山脉、大盆地和墨西哥的边界一带，其工作与其说是进行科学勘查不如说是进行军事和地形勘查。但如同一个随军人员一样，还是包括了地质和矿床研究。1867年，国会委托Clarence.King，十九世纪最著名的矿山地质学家之一，对北纬40°地区进行勘查，以便为后来的F.V.Hayden和J.W.Powell少校对落矶山脉的地质调查作准备。由于这些担负特别任务的勘查队所取得的成就，使得他们得到巩固，成为以King为首的一个常设机构。这位领导者是一个认真实践的人，他不失时机地委派两名费赖贝格矿业学院的毕业生去调查矿区的地质条件，以便获得金属矿床的成矿原理并用来寻找新矿体。于是，当1882年G.F.Becker关于科莫斯克矿脉和S.F.Emmons关于科罗拉多州利德维尔地区的专著发表时，美国地质调查所和采矿工业之间的一种富有成果的关系便开始了。

美国地质调查所虽然不按加拿大方式那样作为找矿者的顾问，但它直接或间接地对大量的越来越多的从事地质工作的采矿工程师和少数有同等能力的矿山地质学家提供帮助。一些早期的专业文献、会刊提供了极其详细的地质资料，它们至今仍然是一些特定矿区的“圣经”。

十九世纪政府地质调查所的一种作用就是要为采矿业提供“研究院”，而实际情况比计划更是如此。在国内和殖民地地质调查所中获得第一手野外经验的工程师和地质学家为数甚多，而其“毕业生”的基本状况更给人以深刻印象。

二、新的深度与新景象

由于获得了大量资料和新的地区，矿山地质的领域在1850年后确实扩大了。由于使用

了动力提升机和单筒式 (Cornish) 水泵等工具, 采矿技术揭露了地下更深处情况, 从而, 在密执安 (Michigan) 铜矿、澳大利亚的本迪戈含金石英脉和波希米亚的普日布拉姆铅—锌—银矿脉等1,000米以下的深部, 验证了矿床分带和构造控矿理论。出现了一个新的矿山分布格局。优秀的欧洲教科书的矿产地目录里, 补充了十几个澳大利亚矿山和美国西部的利德维尔, 比尤特、比斯比等矿区的名字。与过去完全不同了, 金矿的开采超出了实验和革新的范畴, 卡尔古利、克里普尔·克里克和威特沃特斯兰德已成了地质学和地质学家的检验场所。

在绘制十九世纪矿山新的地理分布时, 科学通常跟随事实而发展, 并作为发现其他矿藏的指南, 而不是停留在原有矿藏上。不论学者们及他们的思想如何, 大部分的矿藏是由“一只篮子、一头驴的找矿者”发现的, 而不是地质学家发现的。新矿区中由找矿者找到的是如此之多, 以至他们的事迹已记载在无数的书籍中一部分是历史书, 部分是民间传说。南澳大利亚 Wallaroo 铜矿的发现, 实际上归因于燃烧着的树根放出绿色的火光, 从袋熊洞里挖出来的碳酸铜卵石, 以及靠投掷一把镐头并在其落下的地方挖的矿井 (Blainey, 1969)。依达荷州克达伦地区的邦克依尔和沙利文矿体实际上由一个找矿者追赶其逃脱的驴子时拾起一块方铅矿而发现的 (Wolle, 1953)。

有些情节描述得太过份了, 有的只不过是偶然的发现, 也有的是投机者蜂拥而上发现的, 而美国和澳大利亚的富于浪漫主义色彩的找矿者却是在这戏剧性事件中的一个游玩的人。找矿者一般都未受过教育, 但他认识岩石, 认识他所希望的东西。他是一个没有文凭的勘查地质学家。

三、有文凭的地质学家

私人主办的地质工作包括由学者们对偶然发现的矿山进行评价, 而后续的寻找和圈定矿体的工作则由采矿工程师来做。采矿工程师也是地质学家、测量家、律师、化学家和冶金家——一个综合性的实干家。在二十世纪矿山地质学家和地质工程师作为专业人员之前, 采矿工程师一直是大多数矿山的地质学家, 并且是找矿勘探的先驱。

咨询地质学家不断地解决特殊问题。不少例子中, 他们是受人尊敬的科学家, 如 Ferdinand von Richthofen 男爵, 他曾于1864年对科莫斯托克矿山的管理部门提出有关矿体向深部延深的看法。而在另一些情况下, 地质学家的报告只是试图使一个过于大胆的预测显得有科学根据的样子。假如找不到合作的地质学家, 有人就可能将矿点的某些地方用别的地方的矿物加以“装饰”或“改扮”, 供有名望但易受骗的科学家进行考察。有这样一件事, 地质学家 Clarence King 和 S.F. Emmons 在1872年曾访问过一个振奋人心的所谓的怀俄明金刚石矿藏, 并揭露了这个骗局的全部内幕, 它的策划者便得到了事与愿违的结果。其证据部分是地质上的; 部分更为直接——骗子竟无耻地撒放了一些经过部分雕琢的钻石。

有一个信任障碍。地质学家常不如采矿工程师讲究实际; 他们有时把顾主陷于无关的矿床预测, 或地质盲区的评价中, 而对他们的建议却有意模棱两可。1880年, 一个由“滑头教授”(他的确是一位教授)作的滑稽报告, 很遗憾, 至今在某些矿区仍被当作适时的幽默作品。

“如果这儿展示有矿体, 无疑就会是一个矿山。脉岩是有利于矿石存在的, 片状的重叠裂隙表明可能产出矿石的岩石无疑具有富含矿石的趋势。虽然我克制自己不发表对古

斯塞鲁姆夫得里矿山的肯定见解，但根据邻近地区的一些脉岩资料，我仍对这种矿脉的存在抱有很大希望。这种岩石的走向是南南东，所有倾向和倾角表明这是一个可靠的铅矿，而且是富矿。首先应对该区进行全面找矿。我建议，穿过能够找到的、最不容怀疑的岩石，挖掘一百个间距为十英尺的探井。若遇到地下水应当排出。如果这岩石被证实富含矿，那么这个矿山将会是有价值的。如果含矿非常富，那么这个矿山将非常有价值。应当记住，如果根据这矿脉有必要掘至深部，较之无此必要的情况，必然要在更远处穿过矿脉。

(Spence, 1970, 第102页, 引自《内华达月刊》(Nevada Monthly), Virginia城, 1880年7月, 卷1, 第147页)

四、勘探技术的出现

当采矿技术蓬勃发展，矿区正在不断出现的时候，勘探技术也开始出现了。十九世纪，在苏必利尔湖铁矿区，金刚石钻探初露锋芒并且与磁法勘探一起经受了早期的考验。1880年，内华达州的科莫斯托克矿采用自然电位法的地球物理方法进行填图。T. Sterry Hun (1873) 用他在加拿大的野外地质经验，以十分类似于近代地球化学勘探原理的方式叙述了地球化学。

新技术和确定富矿边界更加需要工程地质学家，欧洲矿业学院的毕业生首先满足了这个需要。弗赖贝格、柏林、巴黎和圣彼得堡的高等院校把它们的毕业生送往正开发的世界各地，同时也有大学生回来学习。弗赖贝格是令人向往的地方；十九世纪六十年代，入学人数中大约有一半来自美国。

十九世纪中期美国矿业学院开始对地质学有了影响，但是直到十九世纪末期，具有丰富野外地质经验的教师开始建立美国经济地质学之前，教授和教材仍然是欧洲的。

十九世纪促进了矿物学和地质学的结合。在波希米亚的普日布拉姆，矿业学院Frantisek·Pošepny教授的工作对全世界的地质学家有着深远的影响。(The Genesis of Ore Deposits), 在Pošepny最流行的1894年由美国矿冶工程学会用英文发表的《金属矿床成因》著作中，他引用了在内华达、加利福尼亚以及欧洲的野外经验。这本书里，他令人信服地支持了Elie. de. Beaumont早期的火成热液观点，并打开了向现代的深成与浅成成矿作用理论的前进道路。Louis de Launay (1913), 最有远见的经济地质学家之一，承认区域矿产特征和区域成矿带模式的重要性；并在此基础上，他采用了“成矿区域”和“成矿时代”的术语。开创了成矿图编制的技术；这是当代区域矿产勘探最基本的组成部分之一，至今仍然受到法国地质学家强烈影响。

Waldemar Lindgren, 在美国地质调查所创立的年代里从事于澳大利亚和美国的矿业。作为麻省理工学院的教授，他是美国矿山地质学界的巨人。在他的《矿床学》(Mineral Deposits) 教程中 (1913), 在他写的几百篇论文中，以及大量有关他的观点的讨论中，有一个中心思想，即必须通过野外观察和室内研究来阐明金属矿床。如果某些矿床的矿物共生组合或某些局部异常的构造与特定的金属矿床成因类型不符，Lindgren一定要寻根究底；他将重返野外或实验室直到解决这些矛盾。我们最广泛应用的矿床分类表就有这个野外的和实验室的依据。“深成热液”、“中深热液”和“浅成热液”这些专业名词就是Lindgren提出的。

第四节 专业特点

到十九世纪末期,经济地质科学已经由政府、私人企业和学校所确立。这门新的学科有了自己的国际性杂志,其中有1893年在德国首先出版的《实用地质学》(Zeitschrift für Praktische Geologie),和1905年在美国创刊的《经济地质》(Economic Geology)。

在密执安州的马克特山脉(1893)、科罗拉多州的阿斯彭(1893)亚利桑那州的比斯比(1904)和安大略省的萨德伯里(1905)这样的实验基地,政府地质调查部门早期的学会纪要和专业论文为矿山地质提供了详细的资料。这些文献很快就成为详查的指南。采矿组织和地质学会的区域性总结。也由国家地质调查部门出版,以指导进一步找矿。

随着亚利桑那州的汤比斯顿、维多利亚的本迪戈、以及十九世纪许多别的大型矿山的发现,矿业公司开始把它们归功于地质学。在“教授不承担义务”的时代以后,地质学家已赢得了信任。

一、勘探组织和矿山地质学家

勘探组织虽然是二十世纪中期的事,但是,为了在美国西部找矿,1886年在伦敦成立的,并任用一些采矿工程师的勘探有限公司的工作,已拉开了这一组织的序幕。另一个首创的组织是1903年创立的古根海姆勘探公司,它的普查—选点—验证—评价的资料完全可应用于现代的勘探部门。1910年和1911年这两年中,公司的工程师们考察了1,605个矿点,对其中268个矿点作了初步调查,74个作了更深入的调查,并建议购买三个矿点。(Spence, 1970, 第138页)。

有组织地“勘探”,或更确切地说,广泛搜索式的找矿评价,这对于新成立的公司和辛迪加特别有吸引力。较老的采矿公司多半因采取快速行动的实验而醒悟了;在新公司看来,专门技能和财力不如大胆行动更有价值。这是撒尔西斯公司的经验,它是一个完善的欧洲采矿公司,曾指派了四名找矿工程师到世界的边远地区搜寻找矿的新机会。1899至1913年期间,这些机会像潮水般地从美洲和澳大利亚涌来,但都被否定了。十九世纪的一些看法已经过时了,因而撒尔西斯公司选定更牢固的基地,并从内部转向它在西班牙现有矿山的改革上(Checkland, 1967)。

1900年阿纳康达铜矿公司在大型矿区成立了第一个地质部门。组成地质专家组并委派他们去比尤特矿,部分原因是,关于该矿边界争端的法庭诉讼。当1906年诉讼结束时,这个部门已证明在查明矿体以证实合法地位上取得如此巨大的成功,以致该组织被扩大并承担整个地区的勘探任务。Reno H. Sales,自1906年到1948年他退休为止是阿纳康达的首席地质学家。他发展了一套系统的精确的地质制图法和有关构造挖矿的观点。这些都被其他地质学家和驻矿地质部门所广泛模仿。这样多的杰出的矿山人员,接受雷诺·赛尔的地质部门在比尤特矿工作的早期经验,与美国地质调查所一样,该部门已成为著名的矿山地质研究院。

矿山地质科学来到中欧山区的四个半世纪后,专职矿山地质学家和勘探公司也几乎同时产生了。

矿产耗竭和发现的情况,在阿格里科拉和林格伦之间的年代里已有了变化。但在矿产枯竭的程度上,最深刻的变化才刚刚开始。矿山地质学必须在技术与社会的矛盾中以极大的速度提供矿藏资源。为地球科学专家们从事矿山地质学范围内的工作和为地质工程师的

参加已做好了。

二、近代地质学家与矿山的关系

现代矿山地质学家可以作为地质工程师或地球科学家来培养。如果学位是地质工程，就得学习工程科学，地球科学、土木学、采矿学和经济学的课程，使他（她）具有从勘探到开发和利用矿产资源的多种能力。如果学位是地球科学，就得学习物理学和自然科学基础，矿物岩石学，地层学和地貌学，以提供对金属矿床地质特征更深入理解的基础。当具备上述两种基础知识之一的地质学家开始从事矿业、并充分利用他们的经验时，他们的能力的加深和扩大取决于他们的天赋，毕业文凭上的措词一般是无关紧要的，要深入成为一个专家可能还需要毕业后继续学习并取得更多的学位证书。无论怎样，大学学习期间只是工作的预备阶段，而专业工作和专业上的成就。才确定他的专业方向。

有一套有效的工具和概念供矿山地质学家使用，其中许多与本世纪空前的、甚至惊人的科技发展有关系。这些工具和概念在本书后面将详述；它们反映了矿床成因类型的一种几乎占压倒优势的分类，地质学和地球物理学的结合，勘查地球化学的出现以及后勤工作的变革和一系列全新的使用计算机的科学的出现。

地球物理勘探，除了久已应用的各种磁法外，直到它在石油工业上获得广泛应用后几十年才被采矿业所接受。二十世纪二十年代，魁北克、纽芬兰和瑞典用物探发现了一些矿后，曾产生盲目的热情，直到受到拙劣的推断和不成功的试探的冲击之后才冷静下来。二次世界大战末期，地球物理理论、物探解释和工具已经成熟，因此地球物理勘探现在与勘查地球化学结合参加了一系列新的试验，并取得了成就。矿山地球物理学的复苏包括在地表、钻孔和航空上的应用，但其最近的应用是提供有助于在新区发现矿产的非常重要的手段。

航空摄影、人员和设备的飞机运输，二十世纪二十年代已开始成为矿产勘探的一部分，同地球物理学一样，在二次世界大战后就显得更突出了。近年来，具有很大灵活性的直升飞机和宇宙飞船摄影机观察网已许可在全国范围内、甚至次大陆规模的不发达地区布设各种勘探方案。

从Lindgren的《矿床学》（1913年首先出版，一直到1933年又连续出版了许多版次）到近代金属矿床的流行观点已在下列两部美国著作中加以叙述，即《西部各州的金属矿床》（美国矿冶工程师学会，1933）和《1933—1967年的美国金属矿床》（Ridge, 1968），另一部著作（专门论述各种理论及其创始人）是Crook在1933年写的《金属矿床理论的历史》。作为里程碑性质的著作太多了，在这里不能遍述无遗，然而有两本书已被人们公认为二十世纪的经典著作，因此有必要提到它们：L.C. Gratan的《成矿流体的性质》（1940）和W.H. Newhouse的《与构造特征有关的金属矿床》（1942）。

此外，Emmons (1940), Schneiderh hn (1941), Forrester (1946), Mckinstry (1948) 和Bateman (1950) 写的经济地质学和矿山地质学方面十本重要的教科书，仍然是有价值的书籍。

反映近代经济地质学发展的教科书中。有Routhier的综合性著作《金属矿床学》两卷（1963），Park和Mac Diarmid的简明的《金属矿床学》（1975）和Barnes的理论性的《热液矿床的地球化学》（1967）。另有两本研究金属矿床近代理论基础的书要特别提到：Stanton的《矿石岩石学》（1972），这是一本关于“作为岩石的矿石”的综合性代表作，

另一本是Niccolini的《层状金属矿床地质学》(1970),这本书不仅极详细地记述了层状金属矿床,而且具有极广泛的区域性意义。

直到中世纪,“勘探”仍然是原始的“矿点检查”。找矿者报告发现金属矿化,地质学家(或采矿工程师)就评价所发现的矿化。如果他喜欢所见的矿化,就为公司或顾主请求这个矿产权。地质学家可进一步根据地质条件来预测深部矿化、矿区外围,或附近具相似特点的矿带。在那时,利用矿点检查和评价进行勘探是相当成功的,而且仍然是现在勘探程序的基本组成部分。可是,现在的重点变为全区域的和一个地区的计划。随着这个重点的变化,个人找矿者的作用也改变了。

在近半个世纪里,大量的职业找矿者和小型矿山开采者已日渐减少:这是由于随着近地表高品位矿石的枯竭,找到矿的机会已缩减。掌握几十至几百平方公里的勘探特许权和几平方公里的采矿租借权,财务开支又力所不及,另外深部钻探计划和发展矿山所需要的资金与技术的配合也一样有困难。但传统的找矿者是些非常聪敏但财力有限的人;受正规教育不多,但野外观察能力很强的门外汉。他们有希望成为独立的采矿者(或至少成为矿山的股东)。他们仍然是有希望的,但受到很大的局限;只要通过将矿产权出售给较大的公司的投机机会带来获得利润的机会,只要还存在一些高品位的矿体,就将吸引找矿者。二十世纪五十年代,个体找矿者对表生(Shallow—Seated)高品位铀矿床感兴趣,而近年来寻找金矿的热潮又复苏了。这些令人兴奋的年代为“单枪匹马”式的找矿提供了最后的主要活动场所。

然而,还有其他的现代找矿者。他们是受过训练的地质学家,喜欢以个人或找矿小组的带头人进行找矿。这些人常是有经验的顾问,或者从前是“公司职员”。在得到合理酬金,或决定回到某公司薪金的保护伞下之前,他们坚决以自己的地质观点行事。他们充分意识到:依靠他们自己发现并开发一个较大的矿体是不可能的,他们取得一个有望地区所有权或股分,并使有能力为进一步工作支付巨大费用的公司注意它们。Franc Joubin就是这样的人,他是一个富有找铀矿经验的地质学家,他坚信安大略布林得河地区是成矿有利地区。他按照自己的方式找矿,完善自己的关于放射性矿物近地表活动性的理论,直到1955年获得了开发加拿大主要铀矿区的大量资金。

但是对于大多数地区来说,无论在私人还是政府机构内,矿产勘查计划是有组织的事情而不是个别的行动。它们通常包括,不断地验证有望地区,有些地段以及“靶区”。找矿者和找矿地质学家仍然起着作用。但这是一组地质学家,他们具有自己的观点和提供主攻目标的野外资料。地球物理、地球化学和钻探技术给这种小组提供发现矿藏的工具;实验室和计算机设备则提供了测量工具。

寻找新矿体,仅仅是地质学家所关注的一个方面。而资源枯竭的困难与古希腊卡萨德拉和劳里尤姆矿山时期相比,完全同样急需解决。不过现在应当与这种认识联系起来,即只能在保护环境、经济和技术的一定限度内,考虑怎样的矿化程度才是矿体。在以下的章节中将讨论这些问题,这也是地质学家的工作的其它方面。