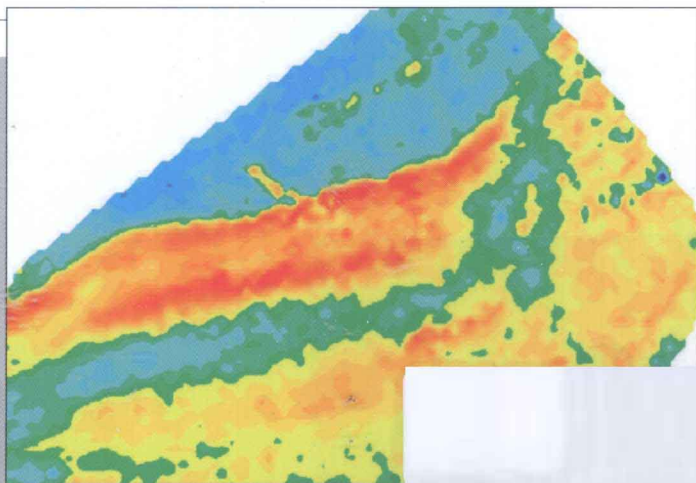


中国金属矿的 地质与地球物理勘查

主 编 刘光鼎

副主编 刘秉光 刘建明 秦克章



科学出版社

中国金属矿的 地质与地球物理勘查

主 编 刘光鼎
副主编 刘秉光 刘建明 秦克章

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

金属矿床的物质基础来源于地球深部。金属矿床的成矿过程及其规律性认识,往往与全球性或区域性的重大地质事件紧密相关。为此,金属矿床的找矿勘探不能再停留于根据露头的就矿找矿阶段,而应综合应用地质、地球物理、地球化学的资料,了解地球动力学环境,特别是壳幔相互作用及其时空演化规律,来“攻深探盲,寻找大矿、富矿”。

本书共分三篇。上篇金属矿勘查理论与方法,着重论述地球物理勘查理论与方法,并讨论地球物理场与矿床地质的关系。中篇中国大陆金属矿产的区域研究,从客观上论证地球物理场与大地构造格架之间的关系,及其控岩控矿作用。下篇金属矿勘查实例,列举了六个矿集区,较详细地论述了金属矿床的勘查。

本书可供从事金属矿找矿勘探的地质、地球物理、地球化学专业教学科研的相关人员以及工程师和研究生等参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国金属矿的地质与地球物理勘查 / 刘光鼎主编. —北京: 科学出版社, 2013. 3
ISBN 978-7-03-036489-0

I. ①中… II. ①刘… III. ①金属矿 - 地质勘探 - 中国 ②金属矿 - 地球物理勘探 - 中国 IV. ①P618. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 012638 号

责任编辑: 谢洪源 韩 鹏 / 责任校对: 陈玉凤

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 3 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2013 年 3 月第一次印刷 印张: 23 1/4

字数: 534 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



《中国金属矿的地质与地球物理勘查》

编委会名单

主 编 刘光鼎

副主编 刘秉光 刘建明 秦克章

编 委 (以汉语拼音排序)

蔡新平 曹令敏 底青云 高玉文 李光明

李金禅 李志伟 梁光河 刘洪臣 刘铁兵

三金柱 申 萍 沈远超 石昆法 肖 波

肖文交 胥 颐 徐兴旺 于昌明 曾庆栋

张连昌 朱东英

前言

地球是一个庞大而复杂的巨系统，有着漫长的演化历史。人类在这颗地球上世代代生息繁衍，同时也在生产和科学实践中不断地研究和深化对地球的认识。随着人类文明的进步，数学、物理、化学和地质学等基础学科逐步诞生和发展；在物理学领域中，又有取得规律性、系统性认识的力学、光学、热学、电学、磁学和原子物理学等分支科学的形成。地球物理学则是应用物理学的理论、方法与技术来研究地球、认识地球，从而相应地又产生了重力、地磁、地电、地震、地热和放射性等学科。

应该说，地球物理学是探索地球各种物理现象本身的规律性，如研究重力场、地磁场、地电场、地震波场、地热场等，寻找其中的规律性，并从这些规律中求得对地球的认识。例如，大地测量与重力研究以及人造卫星的数据说明地球的形状是个不规则的椭球体；而地震波的研究表明，地震波在地球内部传播的速度因深度而不同。地震波速度发生急剧变化的界面，成为速度不连续面。1909年 Mohorovicic 发现地下第一个速度不连续界面，称为莫霍（Moho）界面，认为是地壳的底界；后来，Benot Gutenberg 发现第二个速度不连续界面，称为古登堡（Gutenberg）面，在地球内部 2900km 深处，认为是地幔（Mantle）的底界。这样，根据地震波速度将地球内部分为地壳、地幔和地核三个主要的圈层。

地球的半径约为 6320km，其中地壳的体积仅占地球的 1%，其厚度在大陆平均为 33km，最厚处在中国的青藏高原，地壳厚度为 60 ~ 70km，而在大洋里平均厚度为 7.3km，最薄处只有 5km 左右。地壳主要由硅酸盐类岩石组成，其中次一级不连续面称为康拉德（Conrad）面，将地壳分为上层花岗岩层，下层玄武岩层。在莫霍面与古登堡面之间的地幔于 984km 处有一个次一级的不连续面，将地幔分成上、下两层。上地幔由榴辉岩或橄榄岩组成，它们与地壳合称为岩石层（圈）（Lithosphere）。下地幔是放射性元素大量集中处，具有异常高温，以致物质呈塑性或局部熔融状态，可能是岩浆的发源地，称为软流层（Asthenosphere）。岩浆从软流层上涌，沿断裂或破碎带进入地壳，在一定的容纳空间内汇聚成矿床，其中有些出露地表，形成露头。例如，地幔柱成矿，岩浆起源于地幔或下地壳；相随的多种金属成矿元素，经分馏、演化形成多类矿床。从古登堡面到地心，即所谓的地核（Core）。地核中也有一个次一级的不连续面将地核分为外核和内核。地震纵波的传播速度在古登堡面突然降低，而横波速度为零，从而表明外核是流体，而不是固体。可是，地震波在 5120km 深处进入内核时，纵波速度增加，而横波又重新出现，表明地球内核呈固体状态。

地球物理学在通过地球本身产生的各种自然场来认识地球的同时，还可以利用人工方法激发多种尺度的人工地球物理场，如人工电场、电磁场、地震波场等探索区域的或局部的地球内部结构。人工地球物理场的应用能够主动灵活地进行有目的的地球研究，解决矿产资源的勘查与开发，环境的监测和保护，以及各种自然灾害的监测和防治等社会经济建

设中出现的問題。中国规模宏大的经济建设迫切需要金属矿，如金、铜、铅、锌等各种有色金属，应该在“区域约束局部，深层制约浅层”的原则指导下，应用地球物理方法，攻深探盲，寻找大矿、富矿，以解决金属矿需求的燃眉之急，并拯救曾经在开发金属矿产中作出贡献的危机矿山，为它们提供新的矿源，产出更多的金属矿产资源。

金属矿产是国家经济建设急需的基础原料，在国民经济和人民生活中有着不可替代的作用。尤其在我国经济转型的关键时期，金属矿产资源是国家经济持续发展必不可少的物质基础，加强金属矿的勘查工作就有十分重要的意义。

长期以来，中国科学院地质与地球物理研究所一直在开展金属矿的勘查工作。涂光炽院士对中国的金属矿，特别是金矿床做过深入的研究，他在完成国家科学技术委员会的攀登计划 A 的研究后指出，金属矿的勘查应是“攻深探盲，寻找大矿、富矿”。攀登计划 B-34 项，由谢学锦、刘光鼎院士任首席科学家，分别从地球化学和地球物理角度出发，探讨中国金属矿床的宏观分布，继而深化了金属矿勘查，为攻深探盲提供了方法技术。在此基础上，中国科学院地质与地球物理研究所对国内一些地区金属矿床进行了研究，也取得了一些成果。

中国地大物博，蕴藏着丰富的矿产资源，并且有悠久的勘查开发和利用多种金属矿产的历史。遗憾的是，与中亚和西伯利亚等邻近国家和地区相比较，我们新发现的矿产资源少，而且储量也小得多。究其原因，我们是根据露头以及坑探、槽探来发现金属矿床，只能局限在近地表的有限深度范围内，难以像国外（如南非）那样，使矿井深达 3~4km 以上，开采深部的和隐伏的盲矿体，而矿源层存在于深部（上地幔），只有综合应用地质、地球物理、地球化学方法技术攻深探盲，搞清大地构造格架及其形成演化历史，明确断裂在深部的展布、岩浆在不同时期的活动，进而判断矿产资源的存在及其时空位置，为钻探提供依据，为矿井及坑道建设提供基础。

中国正在开展大规模的经济建设，迫切需要矿产资源，其中包括石油、天然气和多种金属矿产。新中国成立 60 多年来，我们进行了大量的勘查工作，取得了许多重要成果，但是依然远远不能满足国民经济建设的需求，而要依赖于进口。此外，矿山开采遗留下来一大批危机矿山，需要寻找并开发新的矿产资源。所有这些都应大力加强对我国地质环境的认识，应用现代地质、地球物理方法，攻深探盲，寻找大矿、富矿，再经钻探验证，为提供新的各种金属矿产而努力奋斗。

现代地球科学包括地质、地球物理、地球化学以及其他有关学科。地质学从地球表面出露的岩石露头、矿坑中地层展布来认识断层、褶皱与岩脉，并通过古生物和同位素测定来确定其时代，推断构造运动，寻找其发生、发展的历史。地球物理学则在海陆地区采集重力、磁力、电法与地震等地球物理场数据（正演问题），再应用电子计算机对所采集的数据进行处理和解释（反演问题），以探索地下未知地质体的埋深与产状。地球化学则是分析化验野外采集到的样品，了解元素的富集程度与分布情况，并作出地质解释。因此，地质、地球物理与地球化学是从不同的角度来研究认识地球，我们应开展综合研究，使它们相互渗透、相互结合，以求得比较全面的认识。但是，既然地球科学是对地下未知情况的探索，那么，地球物理方法就是其中的重要技术手段，也可以说是现代探索地球内部的高新技术。

在 20 世纪，地球科学沿着大陆漂移、海底扩张和岩石层板块大地构造的发展，使得

许多孤立的地质现象,在全球构造的高度上,进一步求得规律性的认识,而这个认识的取得首先是观念上的革新或变革,即脱离固定论的束缚而升华为活动论。对此,可以概括为三点:①大陆漂移、海底扩张和板块构造的发展,给我们提出了一个新的地球观。它认为地球及其岩石层板块是普遍联系的,不是孤立的,而联系是成系统的。板块大地构造称为新全球构造,是将地球作为一个整体,用岩石层板块对海陆做统一划分,并对地球发展各阶段的全过程加以认识,岩石层板块之间的相对运动(裂谷、海沟、转换断层)主要都是地球深部作用的结果,并有地震、火山、岩浆活动为其表现,从而导出岩石层板块的生成、发展和消亡的演化历史。地球的外部作用,尽管可以起到一定作用,但相对地说却是微弱的。②从大陆漂移、海底扩张到板块构造,充分说明唯物主义的发展论。它认为,地球及岩石层板块是永恒发展的,不是静止固定的,而发展是有规律的,从而地球及岩石层板块既是可以认识的,又是可以预测的。岩石层板块的相对运动,使大洋启闭、大陆离合,以及在时间上和空间上出现一幕幕雄壮的地质演化历史。其发展的机制犹如传送带,表现如新陈代谢,新的岩石层产生于洋脊,老的岩石层消亡于海沟。由于它们都是处于发展之中,因此必须在运动中加以考察和认识。③大陆漂移、海底扩张和板块构造的发展为我们提供了重要的方法论。在20世纪的发展中,它吸收了全部地球科学所积累的丰富实际资料,去伪存真、去粗取精,并赋予新的含义。对于先驱性学说,不采取全盘否定的绝对态度,而是在继承中加以变革、推陈出新。它从地质、地球物理、地球化学等多方面入手,广泛采用现代科学技术成就,从定性描述向精确定量过渡,开展综合研究。地球科学是观测的科学,它在大量观测资料的基础上,提出工作假说(working hypothesis),再到实践中广泛求证(verification),经过补充、修正,再提出新的工作假说。这样的工作方法是符合实践论“实践—认识—再实践—再认识”的。

应该指出,中国大陆是由多个前寒武纪陆核(如太古宙的华北、塔里木,元古宙的扬子、南华和印支)发育成块体,在古生代期间拼合而成古中国大陆雏形,在中生代期间有关塘、冈底斯和印度等地块体先后自南大陆北上,经碰撞、缝合,在特提斯域内形成青藏高原。随后,太平洋板块于新生代期间向欧亚板块俯冲,先后出现马里亚纳和琉球两个沟弧盆系,使地壳减薄,形成中国海及东部地区的滨太平洋域。这样,中国大陆在形成演化过程中,经过多期剧烈运动,出现一个由西低东高到西高东低的跷跷板式的地势形态。从今日跷跷板的地壳厚度来看,其轴部在鄂尔多斯—四川一带为45km左右,贺兰山—龙门山以西的青藏高原为60~70km,而大兴安岭—太行山—武夷山一线为38km,向东递减到冲绳海槽仅18km。在这样山脉纵横复杂的地质环境里,找矿工作是高难度的,必须进行具体的分析研究。

地质找矿工作是对地下未知的探索。对于埋藏在地下深部的金属矿床,首先应进行宏观战略性的调查,获取一般规律性的认识,指导进一步的勘查工作,即“区域约束局部,深层制约浅层”。在此基础上部署进一步大比例尺工作,查明断裂展布、岩浆活动,以及与成矿作用有关的各种地质构造和岩石特征来判断矿床的时空位置,并为钻探提供依据。只有对成矿作用的认识得到验证,矿床定位明确之后,才能开始采矿工程的设计与施工作业。为此,地质找矿工作需要地质理论的指导,需要应用地球物理、地球化学等现代科学技术方法提供的信息来判断地壳深部赋存的矿床。此外,还需要有不畏艰险、克服困难的精神,对具体事物做具体分析,走出一条自主创新的道路。这样,积累多种地区的勘查实

例以供借鉴参考，同样也是重要的。

针对国家经济发展的需求，我们将中国科学院地质与地球物理研究所在金属矿勘查方面的部分成果编纂成书，奉献给读者。

该书包括三篇。上篇金属矿勘查理论与方法，概述了地质与地球化学找矿理论与方法的发展，以及地球物理勘查的磁力、重力、电法、大地电磁法、地震等方法，并强调综合地质地球物理的原则方案。各章节作者在各章节开始处注明，而全书由刘光鼎审阅。中篇中国大陆金属矿产的区域研究，以活动论全球构造学说为指导，通过中国大陆地球物理场特征的分析，来认识中国大陆宏观大地构造格架及其演化，以及对中国大陆各构造区带的地质解析与金属成矿讨论。下篇金属矿勘查实例，分别论述了中国科学院地质与地球物理研究所对大兴安岭有色金属矿、胶东金矿、滇西金矿、新疆金属矿以及西藏冈底斯与班公错铜钼矿等进行研究所取得的一些成果和经验。

尽管我们认识到今天中国金属矿的勘查面临着应用地质、地球物理攻深探盲，寻找大矿、富矿的艰巨任务，同时也意识到攻深探盲是高难度的工作，但我们依然愿意总结自己的工作并且贡献给有志于献身中国矿产资源勘查的同志们，尽管我们的工作还是初步的，有待于深化，我们对于中国成矿理论和方法的认识和应用还存在着局限，但是，我们衷心希望能有更多的同志投身到祖国地质找矿事业中来。书中不当之处，请予指正。

中国科学院地质与地球物理研究所



2010年12月18日

目 录

前言

上篇 金属矿勘查理论与方法

第1章 地质与地球化学找矿	3
1.1 矿产露头标志	4
1.2 成矿系统	5
1.3 模型找矿技术	6
1.4 GIS在成矿预测中的应用	7
1.5 关于“就矿找矿”	7
1.6 地球化学勘查	8
1.7 隐伏矿床定位预测	8
主要参考文献	10
第2章 地球物理勘探	11
2.1 磁力勘探	12
2.2 重力勘探	18
2.3 电法勘探	29
2.4 地震勘探	61
2.5 综合地球物理勘探	109
主要参考文献	126

中篇 中国大陆金属矿产的区域研究

第3章 中国大陆金属矿产的宏观研究	129
3.1 中国大陆基本地质构造特征	131
3.2 中国大陆地球物理场	133
3.3 中国大陆构造格架及其演化	151
主要参考文献	158
第4章 中国大陆区域地质成矿与解析	159
4.1 地球物理场与金属成矿	159
4.2 中国断裂构造带的演化	160
4.3 中国大陆构造区地质解释	165

4.4 结语	180
主要参考文献	181

下篇 金属矿勘查实例

第5章 大兴安岭有色金属矿产	185
5.1 大兴安岭区域成矿特征	186
5.2 古生代海底热液喷流型多金属矿床	191
5.3 中生代热液成矿系列	194
5.4 综合地球物理探测在大兴安岭地区的应用	201
主要参考文献	217
第6章 胶东地区金矿	220
6.1 胶东区域地质概况	220
6.2 胶东地区金矿勘查和研究	232
6.3 胶东金矿成矿规律	239
6.4 胶东金矿成矿系统特征对比	244
6.5 胶东金矿成矿动力学模式	251
主要参考文献	252
第7章 新疆金属矿床构造阶段划分与东天山靶区优选	255
7.1 新疆矿床组合及构造阶段划分	256
7.2 成矿物质时空记录对古板块构造及其演化的意义	260
7.3 东天山成矿带构造—成矿分区、靶区优选及定位预测	260
主要参考文献	284
第8章 准噶尔金铜矿	288
8.1 阿尔泰地区金铜矿床	289
8.2 西准噶尔金铜矿	294
8.3 金铜矿床形成的动力学过程	308
主要参考文献	313
第9章 滇西北衙金矿	316
9.1 矿区地质概况	316
9.2 北衙矿区斑岩年代学与地球化学特征	320
9.3 北衙矿区斑岩成因机制	322
9.4 北衙煌斑岩的成因机制	324
9.5 北衙金矿的成因类型	327
9.6 北衙金矿的结构模型	330
主要参考文献	333
第10章 西藏冈底斯斑岩铜钼矿与班公错富金斑岩铜矿	335
10.1 冈底斯带中新世斑岩铜钼矿	336
10.2 班公错带中生代富金斑岩铜矿	346

10.3 俯冲与碰撞背景下班公错带、冈底斯斑岩铜矿对比·····	350
10.4 冈底斯及北缘斑岩铜钼-多金属带的前景分析·····	353
10.5 班公错带北缘为浅成低温金矿的有利地区·····	354
主要参考文献·····	355

上篇 金属矿勘查理论与方法

第1章 地质与地球化学找矿^①

恩格斯指出：“一个民族要想站在科学的高峰上，就必须一刻也不能没有自己的理论思维。”大陆漂移—板块构造是20世纪地质革命的发展红线，它体现了活动论思维。具体地分析中国海陆的地质结构及其演化历史，将会形成“自己的理论思维”，即我们进行找矿勘查实际工作的指导。

实践—理论—实践是认识发展的规律。思维是实践的基本内容之一，也是创造的基础。理论思维则是创造的先导。而创造性是科学研究的基本特征之一。科学研究既是一个实践过程，又是一个思考和思维的过程，要把零星、个别的现象串联起来，反演其本质的思考过程。要发展中国的地球科学，就必须在实践—理论—实践的认识过程中建立中国自己的理论模式，体现开拓性和创造性。只有认识的发展，理论思维的突破，思维观念的转变，才能推动地球科学的发展，推动能源、矿产勘查的成功，以及环境保护和灾害防治的成效。

发展中国地球科学，还必须在探测、分析、测试中尽可能采用现代高新技术，其中包括应用数学、物理、化学的模拟实验技术，以模拟各种地质作用的环境、过程及所发生的物理、化学作用，如常温常压条件下，构造、沉积、成岩、成矿等作用的定量模拟，以及高温高压下，深部物质状态及作用过程的测试与定量模拟等，以启迪我们对地质作用与过程的思考与理解。

地球内部蕴藏着丰富的矿产资源。地质找矿的任务是认识各种矿产资源的形成演化规律，查明它们在地壳中赋存的空间位置，并把它们开发出来，为人类社会经济发展服务。认识地下埋藏着矿产资源，最初是通过出露于地表的岩石矿物露头取得的。随着找矿知识的长期积累，认识不断的加深，地质找矿工作不仅能在岩矿露头附近以及矿坑中找到有关的矿产资源，而且能够利用地球化学、地球物理等现代科学技术成就寻求与矿产资源形成演化有关的规律来指导地质找矿工作，即攻深探盲，寻找大矿、富矿。

矿产资源的形成与地壳中岩浆活动有关。岩浆是热流体，它在下地幔软流圈中使含矿物质活化，并通过热液循环沿断裂或破碎带向上迁移，在地壳中沉淀、富集而形成金属矿产。断裂带和破碎带不仅是金属矿产的运移通道，而且还往往会成为金属矿床的存储空间。

随着地壳表层和易发现的矿产得到开采，地质找矿工作不仅向地质环境复杂地区发展，而且不断向地壳深部发展，显然地质找矿的难度也在增加。因此应用地球物理方法攻深探盲，寻找大矿、富矿就成为当前的发展趋势。

^① 本章作者：曹令敏

1.1 矿产露头标志

地质找矿是通过野外观察出露在地表的岩石、矿石地层的研究,结合前人的地质资料,了解金属矿产的来源、形成条件、控矿构造、保存条件,并给出矿产的远景评价,指出有利地区。

矿产的露头是找矿的重要标志。在找矿中遇到矿产露头时,一定要将它测绘在地质图上。在地质找矿初期,确实根据露头找到了一些矿床,但是发现了矿产露头,并不等于找到了有工业价值的矿产。因为不能根据矿体露头判断出矿体价值,而且矿体出露地表后,还会遭受到自然因素的作用而起变化,在强烈的氧化条件下,不仅使矿体的物质成分和物理状态发生变化,也使矿体的厚度、形状和产状也发生变化,所以矿产露头的大小、含矿的贫富,不一定和地下的矿体一致。因此必须进行一系列工作来确定所发现的矿产露头的实际意义。

1.1.1 矿产的原生露头

矿产的原生露头,是指直接出露地表,未经或仅经微弱氧化的金属及非金属矿体。一般来说,这些都是物理、化学性质稳定,矿石中矿物和脉石矿物难于风化的矿床,如含钨石英脉、某些钒钛磁铁矿、铬铁矿;非金属方面的水晶、菱镁矿、大理岩等。

1.1.2 矿产的氧化露头

在自然界中,有很多物理性质及化学性质不稳定的矿体,特别是各种多金属硫化物矿体,它们的露头,由于受风化作用以后,其中多数矿体形成氧化物或含氧盐类,组成色彩鲜艳的氧化带。这个“带”是寻找原生硫化物矿床的最好标志。从找矿的角度来看,矿产的氧化露头中,以铁帽和风化壳两类较为重要,它们不但是很好的找矿标志,而且有时其本身就是具有工业价值的矿床。

1. 铁帽

“铁帽”也称“火烧头”、“烧顶”。它一般是含硫化物的矿体在地表受风化作用后,金属硫化物变成氧化物、碳酸盐、硫酸盐等溶液,大离子元素向矿体下部及四周岩石中迁移,另一部分活动性较差的化合物如三氧化二铁,铁元素开始变价,二价铁变成三价铁,而三价铁又含(HO)根,称作“羟基”,便形成褐铁矿在原地堆积起来,形成帽状,即为“铁帽”。铁帽的形成过程是极其复杂的,它决定于矿石成分、围岩条件、氧化条件和地下水活动等诸因素。

铁帽有时本身含铁量很高,达到工业要求时即可作为铁矿开采,如广东某多金属矿区上部,即是以铁帽为主的中型铁矿床。在一般情况下,铁帽是找寻铜、铅、锌、镍、砷、铁等多金属矿产的重要线索。因此,在找矿过程中,要对铁帽的大小、颜色、矿物成分、化学成分、结构构造及其中残余氧化物和次生硫化物进行观察与研究。

2. 风化壳

由于化学风化作用,原来硫化(多数)矿床或岩石中一些易溶的物质下淋迁移出氧化带,剩下一些难溶的有用矿物,在氧化带中相对富集起来,形成风化壳矿床。所以风化壳是一些特殊矿产的氧化露头,如黄钾铁矾、铅矾、彩钼铅矿、硫化物矿床带、矿物、铁、锰、镍、铝、高岭土及某些稀土元素等,它是寻找这类矿产的直接标志。

然而随着地表露头矿的减少和勘查选区的难度加大,单靠地质标志进行找矿已几乎不可能实现。

1.2 成矿系统

矿床学研究十分复杂,矿床的形成、分布和产出多种多样,其成因和分布涉及多种因素、多种地质条件。为此,应深入研究矿床形成和演化规律,首先必须解决思路和方法问题。涂光炽院士曾指出金属矿的勘探应是“攻深探盲,寻找大矿、富矿”。我们指出,对于深部的金属矿体,特别是隐伏的盲矿体必须研究其形成、演化的时空规律性,才能获取勘探开发的依据。地下深处隐伏盲矿体的定位预测是地质找矿中的一个难题。于是最早于20世纪70年代初出现“成矿系统”一词,(俄文地质辞典,卷二)。其概念是指“由成矿物质来源、运移通道和矿化堆积场所组成的一个自然系统”,程裕淇和陈毓川(1983)将其解释为在一定地质时期和一定地质环境中,由一个主导地质成矿作用下形成的,具有时空和成因联系的矿床组合类型。翟裕生(1999)将此概念发展成在一定地质时空域中,控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用过程,以及所形成的矿床系列和异常系列构成的整体,这样,可以从“成矿要素、成矿作用过程及其动力学来研究成矿的总体特征,包括矿床组合及有关地质异常形成的原理”,从而,对深部隐伏矿体的综合定位预测具有重要意义。

过去几十年来,一直以“相似类比”原理对某一类矿床的成矿规律进行预测。这种思维对于发现同类矿床是有重要意义的,但难于发现新类型的矿床。随着地表矿、浅部矿、易识别矿的日益减少,地质找矿正循着隐伏矿、深部矿、难识别矿的方向发展,“相似类比”原理则暴露出明显的不足。自20世纪90年代以来,赵鹏大等(1991)提出了以“求异”原理为基础的“地质异常理论”。强调有利成矿地段往往都处于地质异常单元之内,正如前苏联学者的论断:“最重要的矿床赋存于地壳中具有最大异常地质结构的地段,因此,对象的异常性应该是最有远景的”。近年,陈永清(1999)运用“求异理论”在鲁西铜井金矿对深部矿体进行圈定并取得成功;曹瑜等(1998)在云南运用“求异理论”圈定了一个找矿地段,并建立了GIS成矿预测空间模型。对于隐伏矿体的预测来说,“求异”理论打破了已有观念,提供了一种全新的思路。之后,裴荣富等在1999年总结国内外大型矿床,提出中国特大型矿床的形成具有时空偏在性。“偏在性”理论的提出也为特大型隐伏矿床的定位预测提供了新的思路。

成矿系统及其演化的研究要求全面认识成矿规律,从矿床个体、局部、静态研究扩展到区域、整体、动态的研究,从而建立起综合找矿、综合评价的理论基础。它通过完善找矿思路 and 评价准则,来启发人们既要研究矿床的形成条件,又要研究矿床的保存条件。再

者,从成矿系统的整体出发,可以由已知到未知发现新类型矿床。由单一矿种、单一类型研究到多矿种、多类型的整体研究,由浅入深寻找矿床。从成矿系统的空间结构出发,可引导人们向深处和外围找寻新类型的矿床。从成矿系统的时间结构分析,可以通过查找成矿序列中的缺失环节来找寻新类型矿床。由此可见,成矿系统研究本身是矿床学的一个进步,对研究成矿规律、指导找矿有重要的意义,然而它缺乏定位预测的能力,无法探明矿体的实际深度(刘家远,2002)。

1.3 模型找矿技术

模型找矿,就其本质而言,就是按照先进的成矿理论结合地质实践建立模型进而指导找矿,是针对过去的理论研究脱离、超前找矿实践弊端提出的。它以先进的成矿理论为指导来收集、分析和研究与成矿有关的各类信息,总结出客观的认识、最主要的控矿要素、最有利的找矿标志,从而进行找矿预测的一种方法。模型找矿由于是理论与实践相结合的产物,因此得到了理论界和勘查界的一致认可。

从早期的地质—地球物理模型、地质—地球化学模型,发展到现在的地质—地球物理—地球化学综合地学找矿模型,而且还加入了遥感及其他方面的内容,进行多元信息综合找矿预测。袁奎荣等(1990)通过对隐伏花岗岩及其深部找矿的地、物、化、遥等各种方法的应用和研究,总结出了一整套对隐伏花岗岩及其矿体定位预测行之有效的方法和手段,为综合地学找矿模型的建立奠定了基础。王钟等(1999)通过对铜陵铜矿、新疆铜镍矿、滇东南锡多金属矿等矿床模型的研究,建立了一批具有中国特色的综合地学找矿模型,不仅完善了模型理论,而且对隐伏矿床的找矿预测形成了明确的方法技术。2007年,陈建平等提出了一种基于三维建模的立方体预测模型找矿方法,并取得了专利,该方法实现了从二维找矿到三维找矿的突破,具有重大的理论价值和应用价值。

随着找矿难度的加大,综合地学找矿模型也面临着严峻的挑战。因为地球是个复杂的巨大系统,找矿实际上也是个系统工程,需要多种新理论、新技术和新方法的综合应用,这也在客观上促进了综合地学找矿模型的发展,并且在实用性和快捷性方面提出了更高的要求。综合地学找矿模型是地学研究中的一个深层次的、跨学科的新领域,它主要是通过对各种与矿化有关的信息的相关性和制约性的研究,进而找出最佳的找矿标志组合,来指导找矿预测。它既可用于已有矿山深边部的找矿预测,也可为新地区隐伏矿体定位预测服务,在当前隐伏矿体定位预测中应用最广泛、作用最明显,是成矿学领域中研究的热点。

近年来,由于成矿理论和成矿模式研究的不断发展,我国实现了许多大型矿床找矿的突破,如康家湾玉龙山铅—锌矿、西城铅—锌矿、冬瓜山铜矿、金川硫化铜—镍矿、高家堡银矿、德兴斑岩铜矿、土屋—延东斑岩型铜矿等的发现(韩颐,2006)。在金属矿床预测中,发展成矿理论和成矿模式的研究,建立具有中国特色的成矿模式、成矿系列的成矿理论非常重要。上述实例说明,成矿模式在地质找矿工作中日益发挥着重要的指导作用,然而,要实现定位预测还必须结合地球物理方法,通过测井或地震勘探来确定目标体的隐伏位置。若能进一步使成矿模式与地球物理方法结合起来,必定在隐伏矿床定位预测中取得更大的突破与进展。