

毛景文 胡瑞忠 陈毓川 王义天 等著

大规模成矿作用 与大型矿集区

DAGUIMO CHENGKUANGZUOYONG
YU DAXING KUANGJIQU

上册

地质出版社

大规模成矿作用与 大型矿集区

(上册)

毛景文	胡瑞忠	陈毓川	王义天	等著
高山	范蔚茗	王学求	王登红	
吴淦国	翟明国	刘家军	华仁民	
朱炳泉	向运川	李献华	郭 锋	
杜杨松	马东生	张招崇	毕献武	

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是我国 20 世纪末以来实施国家重点基础研究发展计划的第一个矿产资源方面的研究项目《大规模成矿作用与大型矿集区预测》的最终成果。该项目由国土资源部、中国科学院和教育部等部门 100 多位科学家共同执行,首次全面从地球动力学演化角度探讨金属矿床大规模成矿作用发生的背景、剖析大型矿集区的时空结构、巨量成矿物质堆积过程和圈定大型矿集区靶区以及隐伏大矿体定位的新技术和新方法。研究初步揭示了我国三大成矿域,尤其是滨太平洋成矿域的大规模成矿作用的动力学背景、时代、过程和规律,提出了区域尺度和矿集区尺度的成矿动力学模型,提出或深化研究了与花岗岩有关的流体、古盆地流体和深部流体成矿系统;研制或进一步完善了战略性深穿透地球化学找矿技术方法、地球化学急变带找矿技术方法、热液型铂族金属矿床找矿新思路 and 深部隐伏矿定位技术方法;圈定出一系列大型矿集区尺度和大型矿床尺度的找矿靶区,发现了一些新类型矿床,提出了华南找铀矿的新思路和新方向。本书是集一批不同领域(包括矿床学、地球化学、岩石学、勘查地球化学、地球物理学和大地构造学)活跃在一线优秀科学家的集体智慧的结晶,代表了我国现代地质学部分研究方向的最新研究成果,适于科研、勘查、教学和学生参阅使用。

图书在版编目(CIP)数据

大规模成矿作用与大型矿集区/毛景文等著.

—北京:地质出版社,2006.6

ISBN 7-116-05049-3

I. 大... II. 毛... III. 成矿规律-研究-中国

IV. P612

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 133477 号

组稿编辑:白 铁 王大军

责任编辑:白 铁 于春林 沈 镭

责任校对:李 玫

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) 82324579 (编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:889mm×1194mm¹/₁₆

印 张:65.75

字 数:2000 千字

印 数:1—1000 册

版 次:2006 年 6 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:180.00 元

书 号:ISBN 7-116-05049-3/P·2752

(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)

前言

这部专著是《国家重点基础研究发展规划》(简称973计划)资源环境领域第一个矿产资源研究项目(大规模成矿作用及大型矿集区预测)(编号:1999403200,后期改为1999CB403200)的最终研究成果。这是我国不同部门(国土资源部、中国科学院和教育部)不同专业(矿床学、岩石学、地球化学、勘查地球化学、大地构造学)的科技工作者首次全面合作,面对我国矿产资源短缺的形势,立足中国大陆演化的特点,针对我国东部成矿域以及西南三江成矿带和西北天山成矿带,选择大规模成矿的典型地区(东部地区的小秦岭和胶东,长江中下游、永梅会、湘南和赣东北,扬子地块西缘,三江地区中南段和东天山等矿集区)作为重点研究区,以Cu、Au、Ag、PGE、U、Pb-Zn等矿种的大型-超大型矿床和大型矿集区为重点研究对象,从矿产资源形成过程、形成背景入手,探讨成矿元素在有限地质单元大规模聚集的特殊环境和机制、识别浅表和深部矿化信息的新技术和新方法,最终圈定进一步找矿的靶区和方向。通过五年研究,取得了以下主要进展:

一、深化基础地质研究程度是成矿理论创新的土壤

成矿理论的创新依赖于基础地质的深入研究。与相对稳定的欧美、澳大利亚以及非洲大陆不同,位于欧亚板块东南部的我国大陆在地质历史中经过了多次活动与改造。因此,不能完全照搬发达国家已经形成的成矿理论,必然产生一种符合我国地质特点的新的成矿理论。为此,首先需要开展有关的基础地质研究,理清地质演化过程和地球运动的规律性,构建成矿理论的支撑体系。

1. 大量精测岩石和矿石同位素年龄, 构筑地质历史演化的时钟

以SHRIMP锆石U-Pb、辉钼矿Re-Os、含钾矿物和岩石的Ar-Ar和Rb-Sr方法为主,辅以矿物流体包裹体的Rb-Sr和Sm-Nd等时线方法,获得的大批测年资料。以这些精确成矿年龄为依据,结合区域地球动力学历史演化轨迹研究,提出了区域成矿谱系的新概念。通过对南岭、三江、华北克拉通北缘和阿尔泰四个地区成矿谱系的深入研究,提出了新范例。从年龄精测和成矿年代学视角对区域成矿作用研究进行了新尝试并取得了创新性成果,发展了演化成矿学。

2. 华北中生代岩石圈折沉、地幔交代作用的时序和机制

中国东部岩石圈地幔存在广泛的地幔交代作用和地球化学分区,利用准分子激光-等离子体质谱仪对汉诺坝二辉橄榄岩中单斜辉石颗粒详细的剖面定量分析,清楚地证明了强烈的地幔交代作用。根据汉诺坝橄榄岩包体平衡温压条件(1000℃、2 GPa)下Sr的扩散系数,可得到所观测到的Sr在单斜辉石中不平衡存在的时限应<120Ma。含水流体、硅酸盐熔体和碳酸盐熔体是人们认为最可能的三种地幔交代物质。在所研究的地幔交代作用最明显的样品中,单斜辉石La与Pb含量之间或呈正相关或不相关,没有规律性,表明含水流体不是交代物质。研究表明,这种交代物质是来自中生代折沉的榴辉岩质下地壳,正是由这些物质于软流圈部分熔融产生的熔体在上升过程中对岩石圈地幔发生了改造交代。

在苏鲁造山带南缘的滁州地区发现了一套晚中生代由低铝adakite和偏铝质粗安岩组成的中酸性火山岩组合,可能代表了折沉的榴辉岩部分熔体,并在岩浆演化过程中与周围地幔橄榄岩发生了反应。在Sr-Nd同位素组成上显示出非常低Nd($\varepsilon_{Nd}(t=130\text{ Ma}) = -15.6 \sim -14.9$)和中等程度富集Sr($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)} = 0.7059 \sim 0.7061$)同位素的特征,说明它们是来自古老的长期富集LILE和LREE的地壳岩石部分熔融的结果,而与大洋板块俯冲作用无直接成因联系。偏铝质粗安岩除具有类似于低铝adakite岩石的微量元素特征外,相对于低铝adakite岩石,它们还具有高 Al_2O_3 、Y和HREE,低 SiO_2 、MgO、Cr、Ni以及Sr/Y和La/Yb比值的特征,并表现出强烈的U-Th负异常,说明它们为至少经历过麻粒岩相变质作用的下地壳基性岩石的部分熔融产物,残留矿物相包括角闪石、辉石和少量石

榴子石, 较低铝 adakite 岩石的熔融深度小。其更低的 ($\varepsilon_{\text{Nd}} (t=130 \text{ Ma})$) 值 ($-19.6 \sim -18.8$) 和更为富集的 Sr 同位素组成 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)} = 0.7064 \sim 0.7071$), 可能反映了下地壳源区的不均一性。这些源自苏鲁造山带下地壳的中酸性火山岩与下扬子地区同时代的 adakitic 侵入体和其他偏铝质中酸性火成岩在 Sr-Nd 同位素组成和 T_{DM} 年龄上存在明显差别, 暗示了两地区不同的下地壳增生和演化历史, 因此在下地壳层次上南京-合肥断裂带很可能代表了华北与扬子陆块的边界。从同位素年代的时序和同位素地球化学特点深入认识了壳幔相互作用及其机制。

3. 峨眉山地幔柱的确认及形成演化的动力学过程

通过锆石 SHRIMP U-Pb 法和全岩 Ar-Ar 法对峨眉山大陆溢流玄武岩及其相关侵入岩的精确定年, 将峨眉山大火成岩省的形成时间分成 3 个岩浆活动阶段: 260 Ma 的起始阶段, 256 ~ 254 Ma 的岩浆大规模喷发阶段和 253 ~ 251 Ma 的晚期阶段, 这些不同时代的岩浆活动对应于地幔柱冲击作用的不同阶段。

基于对扬子陆块西缘周边晚古生代海相玄武岩, 桂西晚古生代火山岩的 10 余个柱状剖面进行了系统的样品采集, 初步摸清了其时空分布规律, 并发现其成因的多样性。扬子地块西北部 (保兴, 木里, 三江口) 二叠纪大石包组海相火山岩, 冈达盖组海相火山岩与典型的陆相峨眉山玄武岩具有地球化学成分上的相似性, 它们都为高钛玄武岩类型, 两者都是峨眉山地幔柱的产物。在扬子西南缘, 如桂西 (包括百色、巴马、田林、那坡) -滇东 (如建水) 地区分布了一套具有 OIB 微量元素地球化学特征的基性次火山岩和火山熔岩等。重新厘定的峨眉山大火成岩省的分布范围约 500, 000 km²。

确定了峨眉山大火成岩省是地幔柱活动产物的确切证据: ①首次在滇西丽江地区发现证明地幔柱环境的层状苦橄岩。②结合现代实验岩石学资料, 来自高镁原始岩浆—熔融包裹体和苦橄岩的成分反演这些原始岩浆的熔融温度超过 1550℃, 比正常的地幔潜能温度高 200 ~ 300℃, 说明岩浆熔融过程中在扬子西南地区存在异常热的地幔。③来自大火成岩省的不同类型岩石的定年结果显示峨眉山大火成岩省的形成时间在 10 Ma 以内, 与现代实验模拟的地幔柱冲击岩石圈的时限相吻合。④对峨眉山地幔柱周边二叠纪茅口灰岩的沉积地层对比, 显示在峨眉山地幔柱冲击扬子西南岩石圈的过程中发生了千米尺度的地壳隆升作用。峨眉山大火成岩省记录的地壳快速穹状隆起是显生宙以来世界上 8 个大陆溢流玄武岩省中保存最好最完整的, 从而为理论预测的地幔柱冲击岩石圈可导致地壳千米尺度的隆升作用提供了全球唯一的范例。

4. 低温流体成矿系统——一种罕见的大规模成矿系统

在西南滇黔桂地区大面积发育低温热液成矿域的面积之大、包含的矿种 (Au、Hg、Sb、As 等) 之多、矿床组成和组合之复杂在世界上独一无二。本次研究表明盆地流体大规模流动, 是形成大面积低温成矿域之主因; 在盆地与台地间, 成矿流体主要由盆地向台地发生侧向大规模迁移, 在盆地内部, 成矿流体则主要由台间盆地向相邻的孤立台地或其四周发生垂向大规模迁移; 盆地周缘的古岩溶面, 盆地内部的古潜山、推覆构造和孤立台地的四周是流体集中聚集的有利构造部位, 因而也是成矿和找矿的有利部位。利用 K-Ar、Ar-Ar、Rb-Sr 和 Sm-Nd 法, 确定了研究区的偏碱性超基性岩体和基性岩脉的时代约为 160 ~ 80 Ma。研究发现, 它们是燕山期地幔隆起、岩石圈伸展背景下的产物, 其时代与大面积低温成矿域的主成矿期一致; 西南地区燕山期地幔隆起、构造体制由挤压向伸展的转换, 导致了盆地流体的集中释放和大规模运移。

通过氢、氧、碳、硫、铅、锶、钕和稀有气体同位素地球化学, Rb-Sr、Sm-Nd、K-Ar、Ar-Ar 年代学、微量元素地球化学、流体包裹体地球化学和大陆动力学等方面的研究, 发现①大面积低温成矿作用的成矿流体为大规模运移的盆地流体; ②低温矿床中的成矿物质主要来自于基底和周围地层; ③大面积低温成矿作用主要发生在 155 ~ 80 Ma 之间, 与区内燕山晚期在拉张背景下由地幔上涌而形成的幔源基性脉岩的时代相当; ④区内各低温矿种之间在形成机制上具有相似性; ⑤燕山晚期地幔上涌导致的热异常和地壳拉张引起的驱动力对驱动盆地流体大规模运移成矿形成大面积低温成矿域起着重要的控制作用。

5. 地幔流体成矿系统——一种新的成矿系统

与其他流体成矿系统相比,地幔流体成矿研究在全球则刚刚起步,是一个探索性极强的新方向。经过五年的系统研究,取得了两点新认识:①地幔物质不均一性与大型矿集区形成在物质上具有耦合关系,二氧化碳气藏的形成过程为地幔岩浆(碱性橄榄玄武岩浆)排气、深大断裂疏导与在盆地隆起部位储集成藏,还初步提出金与 CO_2 具有同源性。②在高温高压条件下,地幔流体(或深部流体)处于超临界状态,超临界流体对物质具有极强的溶解性。深部流体与岩石相互作用是获取金属的一种主要来源。在跨越超临界态时出现矿物与水的反应化学动力学的涨落,这是导致金属元素卸载和堆积成矿的重要因素之一。实验证明,高温的气相可以携带金属迁移,如,金、钨、锡、铜等元素,这对运用地气方法或深穿透地球化学方法探测隐伏矿提供了理论依据。

研究提出三种不同环境产出的地幔流体成矿系统:①在印支晚期中国东部及邻区几个板块先后碰撞对接,岩石圈受挤压增厚;而侏罗纪开始后造山阶段,挤压与伸展交替出现。在这一时期花岗岩大范围侵位,是中国东部最为宏大的花岗岩侵位事件。侏罗纪花岗岩主要属于地壳重熔型,是大厚度岩石圈在挤压松弛期或伸展期软流圈沿深大断裂多幕式向地壳涌动,导致地壳物质重熔成花岗岩浆及其侵位的结果。由于岩石圈厚度大,地幔流体在不同部位活动的强烈程度不同,及其被稀释的程度也不同。在这种大背景下,就金矿而言,成矿作用出现多样性,有以冀西北东坪为代表的地幔流体明显参与成矿,有以西秦岭为代表的地幔流体与地壳流体混合成矿,以及以鲁西为代表的以大气降水和地幔流体混合为主的浅成低温热液成矿系统。②在白垩纪中期在中国东部发生了岩石圈快速减薄,而且华北及其邻区与华南地区快速减薄的时限有一定的差别,前者在120 Ma左右,后者基本上110~80 Ma之间。在岩石圈快速减薄期间,软流圈上涌到上地壳,导致地壳区域地热增温,地幔脱气,岩浆活动及火山喷发,岩浆流体、地幔流体与大气降水的混合。在这种大背景下,地幔流体源源不断地沿深大断裂向上涌动,大面积参与成岩成矿过程。从胶东地区、小秦岭-熊耳山地区,扬子地块南缘(或江南古陆南缘)到华南地区,以金和铀为代表的矿床广泛显示出地幔流体在成矿中的积极作用。③扬子地台西缘在地质演化过程中经历过多次的开合过程,中生代特提斯洋的开裂、俯冲和闭合以及印度板块与亚洲板块碰撞后造山都在该区留下深刻的印痕。白垩纪以来,在扬子地台西缘地区发育有世界罕见的大水沟独立碛矿床、与碱性岩浆活动有关的稀土矿床、剪切带型金矿。这三种成矿系统与地幔活动关系密切,地幔流体不同程度地参与了成矿作用,形成了三种各具特色的地幔流体成矿系统。

6. 中国东部中生代埃达克质岩石的厘定及地球动力学和成矿意义

埃达克岩(adakite)是具有特定地球化学特征的一套中酸性火山岩和侵入岩组合,最早于1978年在阿留申的Adak岛上发现,被认为是由消减洋壳在75~85 km深处(相当于角闪岩-榴辉岩过渡带)发生部分熔融而形成。本次研究在辽西发现了典型埃达克岩和高镁埃达克岩,还在我国东部其他若干地区发现中生代中酸性火山岩和侵入岩具有类似于埃达克岩的地球化学特征。但它们却形成于板内环境,其成因显然与板块的消减作用无关。初步研究认为这类埃达克岩的形成可能由加厚下地壳榴辉岩拆沉进入软流圈,之后部分熔融,接着上侵穿过地幔侵入到上地壳或喷发到地表。

由于埃达克质岩石来自深部,与之有关的矿产资源主要为铁、铜、金、钼矿床。例如,江西德兴铜矿、安徽沙溪铜矿、长江中下游地区部分铜钼矿以及山东莱芜西尚庄铁矿等。

7. 深穿透地球化学多营力迁移新理论

传统的地球化学分散模式在矿体上方土壤中都是呈连续的由高浓度到低浓度的晕圈结构。通过对铜陵地区隐伏矿上方土壤样品的系统研究,发现了呈串珠状分层的异常模式,即在靠近矿体和接近于地表的部位出现两层富集现象,而中间是低浓度带,这与元素从矿体到地表含量逐渐降低的经典晕圈模式完全不同,也有别于活动态金属在液体中以扩散、渗滤或毛细管等作用方式形成的连续渐变模式。我们的研究发现,之所以形成串珠状分层模式,是因为活动态金属在气体中向上迁移时有选择地聚集于沿途具有强吸附性岩层或土层中之故。这一模式结构暗示了沉积物地区元素的迁移不是通过传统的浓度扩散迁移机制造成的,而是由某种更快速迁移机制如地球气流迁移等形成。因此,本次研究初步提出了地气流迁移理论模型:即地下深部存在上升的气体流,当气体流通过矿体时,将会把成矿

元素和伴生元素的活动态部分（离子、胶体、超微细亚微米和纳米级颗粒）带到地表，当在地表遇到地球化学障时（各种次生可溶性盐类、粘土、氧化物、有机物或胶体物质等），其中所携带的金属元素将被卸载。这一理论认识通过超临界流体实验得以证实，实验发现含矿的超临界流体在减压减温过程中，于 1.5×10^7 Pa 和 100°C 下分离成液与气两相，在气相内含有 As、Bi、Mg、Na、Cu、Au 许多金属。实验初步证明了气相可携带金属迁移。

二、初步建立中国中新生代大规模成矿的理论体系

1. 中国东部陆内多阶段大规模伸展与大规模成矿

通过研究总结中国北方（包括华北、东北及长江中下游地区）金属矿床的空间分布特点、主要成矿区带（长江中下游、小秦岭-熊耳山、西秦岭、华北克拉通北缘和大兴安岭南段）及大型矿集区（胶东、鲁西和乌奴格吐-甲乌拉）中矿化组合和成矿期次以及地球动力学背景，确定出中国北方大规模成矿作用出现在约 190~160 Ma，140 Ma 和 120 Ma 三个峰期。通过对中生代地球动力学演化的分析研究，认为三大成矿事件所对应的地球动力学背景分别为后碰撞造山过程、构造体制大转折晚期和岩石圈大规模减薄。190~160 Ma 时期主要表现为与大厚度岩石圈局部伸展有关的岩浆-热成矿，140 Ma 左右时期的成矿表现为与深源花岗质岩石有关的斑岩-矽卡岩矿床，而 120 Ma 左右时期的成矿是在岩石圈快速减薄过程中有大量深部流体参与的成矿作用。

华南是我国最主要的钨、锡、铋、铜、银、锑、汞、稀有、重稀土、金和铅锌多金属成矿省，其大规模成矿作用主要发生在 170~150 Ma，140~125 Ma 和 110~80 Ma 三个时间段，前一阶段以铜铅锌和钨矿化为主，后一阶段主要是锡金银铀矿化。尽管 140~125 Ma 也是一个成矿相对集中的时间段，但主要表现为第一个阶段的继续，同时，也是前一个阶段向后一个阶段的过渡，以钨锡矿化为主。这几个阶段的大规模成矿同华南与华北地块后碰撞及太平洋板块俯冲引起弧后多阶段岩石圈伸展有关。

2. 造山带动力学环境具有多样性，大规模成矿作用与局部伸展相耦合

中国西部成矿主要与不同时期造山带的形成和演化密切相关。通过对典型造山带中矿床组合的研究，提出我国造山带矿床可以分为同碰撞成矿、后碰撞成矿和大陆边缘造山带弧后伸展成矿三大类型：①同碰撞过程成矿：以青藏高原为例，同碰撞成矿可再分为碰撞造山期成矿、碰撞松弛期（伸展）成矿、走滑拉分盆地成矿和剪切带扩容成矿四类。这四个类型成矿作用形成的矿床类型有差别，但它们的共同特点是成矿作用与伸展构造密切相关，第一类碰撞造山期成矿抑或平行于主造山带，抑或沿垂直主应力场的伸展构造造成岩成矿。②后碰撞成矿：对于古造山带，造山期间形成的矿床很少被保存下来，通常可以见到后碰撞形成的大量矿床组合。以西秦岭和东天山为例，剖析了后碰撞造山成矿特点、过程和成矿规律。在东天山尽管有碰撞期形成的斑岩铜矿，但是，大规模成矿作用形成于后碰撞的 290~270 Ma 期间。西秦岭金矿大规模成矿也是出现于后碰撞的 210~160 Ma，明显晚于 240~220 Ma 的碰撞造山期。③大陆边缘造山带弧后伸展成矿：在扬子克拉通西南缘发育有我国颇有特色的低温成矿域，包括广泛分布的卡林型金矿、密西西比型铅锌矿和玄武岩型铜矿，这些矿床形成于中生代大陆边缘造山带弧后伸展盆地，矿床形成过程以在伸展区底辟侵位的岩浆作为能源，驱动盆地流体运移和对流循环，成矿物质来自围岩，因而出现富金的浊积岩和火山碎屑岩为卡林型金矿主岩，富铅锌的碳酸盐岩为 MVT 型矿床的主岩，而富铜的溢流玄武岩是铜矿的主岩。

上述三大类型矿床，无论形成于碰撞造山期间，碰撞造山后还是俯冲造山期间，也无论形成于造山带的哪一部位，成矿作用的发生都与伸展构造有着密切的关系。因此，提出大规模成矿作用与大陆岩石圈整体伸展或造山带中局部伸展密切相关，表壳的大爆发成矿与深部岩石圈大动荡（包括地幔底侵，岩石圈折沉，俯冲板块的撕裂、开天窗或后卷等）相耦合。

3. 地幔柱区矿床成矿系统：岩石圈减薄-岩浆喷溢-次火山成矿

相对于西伯利亚和印度德干等，峨眉山地幔柱区溢流玄武岩面积较小，但却形成了丰富的矿产资源组合，有铂钯矿、铜镍硫化物矿以及世界罕见的钒钛磁铁矿。总体上来讲，在低钛玄武岩区形成与浅成侵入岩有关的铂钯矿床，例如，金宝山和杨柳坪；在高钛玄武岩区形成钒钛磁铁矿床，例如攀枝花

花和新街等；当岩浆向上运移过程中在地壳熔融膏盐层或金属硫化物层则形成铜镍硫化物矿床，例如，力马河等。这些矿床组合构成了一个丰富多彩的地幔柱矿床成矿系统。

地幔柱区矿床分布在表壳显示受环状构造的控制，在深部往往受两组断裂交会部位的制约。地幔柱向上冲击、岩浆喷溢到成矿期间整个岩石圈表现为深部软流圈底辟上隆，上部地壳伸展或裂隙，喷溢晚期次火山岩成矿的基本特点。

从以上研究进展可以看出，中国大陆成矿作用可以出现在区域大伸展环境、碰撞造山和俯冲造山环境以及地幔柱环境，但是控制金属元素大规模堆积成矿都是伸展作用。在不同背景下出现的伸展构造形式是各种各样，形成的矿产资源组合也丰富多彩。因此，可以认为伸展与成矿是中国大陆板内成矿的核心。深入研究局部伸展构造、建立相应的成矿模式是我国开展大陆找矿评价的基础。

三、提出四项找矿新思路和新技术方法

成矿理论阐述矿床形成的机制和分布规律性，提出找矿的新方向和新思路，而具体找矿取得新突破通常依靠找矿的新技术和新方法。通过五年的研制和反复实验，形成了四种找矿新思路和新技术方法。

1. 战略性深穿透地球化学找矿技术方法

为在隐伏区找到新的大型矿产基地，本次研究发展了适用于西部大面积覆盖区快速获取地球化学信息和筛选大型矿集区靶区的战略性深穿透地球化学技术方法：①开创性提出了深穿透地球化学异常形成的多营力迁移理论（不同地质条件下，各种营力包括地下水循环、离子扩散、氧化还原电位梯度、蒸发作用、植物作用以及地气流等都可将成矿组分迁移至地表的过程）；②系统地建立了从超低密度、低密度直到高密度地球化学调查和异常追踪方法；③发展了针对荒漠戈壁区深穿透地球化学调查理论与方法；④针对深穿透地球化学信息微弱和贵金属提取与分析的难题，研制出高灵敏快速活动态 Au、Pt、Pd 联测信息提取与分析方法，该方法在国内外尚属首次。

由国际勘查地球化学家协会牵头将澳大利亚、美国、加拿大和中国所发明的三种深穿透地球化学方法，包括金属活动态提取方法、酶提取方法、活动金属离子法，在智利的 Gaby Sue 隐伏斑岩铜矿和美国内华达 Mike 金铜矿进行了对比实验。在由这四个国家参加的“背靠背”对比的实验中，本项目研制的活动态方法效果最为显著，在覆盖几十至上百米厚度的矿体上方发现清晰异常显示。

2. 地球化学急变带预测大型矿集区方法

地球化学急变带往往是物质活动，包括运移和储存的有利地带。关键是找到有利于物质保存的区段，伸展盆地通常是成矿物质保存的最佳地区。因此，利用地球化学急变带方法，结合地质理论、化探、重力异常等多重信息集成，成为本项目开拓出一种有效的找矿方法，并取得了显著效果。

3. 热液型铂族金属矿床新模型与找矿新思维

铂族元素矿床在成因上通常与镁铁质-超镁铁质岩浆作用密切相关，找矿局限在杂岩内部。通过考察南非和加拿大等国在寻找铂族金属矿床的新进展，结合中国西南三省（滇、黔、川）的具体地质情况，深刻研究了铂族元素富集机制，提出了热液铂族元素成矿新模型，指出寻找铂族金属矿床不应只局限于传统的镁铁质-超镁铁质杂岩体内部，也可能在杂岩外部围岩中找到脉状铂钨矿，从而开拓了找铂钨的新领域，实现了找矿的新突破。

4. 深部隐伏矿的定位技术

中国东部和中部很多老矿山资源严重缺乏，面临着关、停的局面。如何在东部地区取得找矿的新突破，关键是采取成矿的新“认知”和有效的技术方法预测深部隐伏矿体。为了解决这个问题，本次研究将胶东大型金矿集中区列为重点进行了立典性研究。通过五年研究，推出了大深度隐伏矿的定位技术和工作程式，即低密度化探方法迅速缩小靶区→利用矿源岩系构造变形岩相形迹进行填图，建立成矿模型，提出找矿方向→恢复构造物理化学场和成矿环境，开展结构分析与界面找矿研究→化探深穿透活化态金属测量确定隐伏区构造及矿化分布范围→物探方法勘测构造延伸和金属硫化物三维空间位置→地物化综合研究提出找矿模型、找矿方法和预测靶区。这一技术在胶东地区金岭矿区的外围实验，取得了初步的效果。

四、圈定出不同级次的找矿靶区, 提出找矿新方向

依托地质调查项目, 检验所提出的新理论与新技术方法的可靠性和实用性。在一些地区, 将预测的找矿靶区直接交付勘查单位或矿山进行查证, 取得了明显效果。

1. 在滇黔相邻区确定大型铜矿集区靶区

利用新研制的铅同位素地质填图新方法, 结合地质演化特点和地球化学块体的高浓集区, 提出滇东北-黔西北接壤区为一个大型铜矿靶区。通过多次野外实际调查, 在云南省鲁甸县首先发现了新的自然铜矿化类型和找铜线索。矿化层位于峨眉山玄武岩组顶部与上覆宣威组砾岩之间, 存在大面积(40 km^2 以上) 难识别的层控型自然铜-氧化铜矿化, 其中铜矿化在小寨向斜东西两翼断续出露长达 $1 \sim 2 \text{ km}$, 厚 $50 \sim 80 \text{ m}$, 矿石 Cu 平均品位 4% , 伴生银在 $100 \sim 200 \text{ g/t}$; 火山角砾岩中 Pt-Pd 为 $0.1 \sim 0.15 \text{ g/t}$ 。这一新发现的重大意义是识别出包裹在沥青和有机碳之中的自然铜, 从而将以前人们通常可见的“鸡窝”状铜矿点连成一片, 可望成为具重要工业价值的矿床。正是在这一找矿思路的指导下, 又在滇东北的永善、会泽、威宁、富源、盘县等地发现了类似的矿化, 其分布面积达 3000 km^2 , 构成一个找矿潜力巨大的矿集区的靶区。

2. 三江中段大型铅锌银找矿靶区

本次研究明确提出在川西义敦成群集中分布的锡银多金属矿床(点) 主要与燕山晚期-喜马拉雅期生成的陆壳重熔型花岗岩具有密切的成因联系, 然后运用地球化学块体新技术方法, 开展综合信息成矿预测, 从已知向未知推广, 从浅部向深部探寻, 圈定了一批找矿靶区。并与四川省地矿局开展合作, 边研究边开展找矿, 不断取得了科学研究与地质找矿的重要突破, 一些靶区已经被验证为工业矿床, 一些矿床的储量迅速增大。这些成果引起了国内外矿业界的极大关注, 许多矿业公司纷纷前去与四川地矿局洽谈在该地区勘查与开发银铅锌矿协议。在项目结束时有两处矿区的探矿权已经分别以 6000 万元和 800 万元转让给有关矿业公司, 继续进行普查工作。

3. 运用找矿新模型实现铂钯找矿的新突破

运用本次研究提出的热液型铂钯矿新成矿模型, 在扬子地块西缘开展找矿预测, 取得大突破。在四川会理米易、攀枝花等地发现了多处热液-活化型铂族金属矿床(点), 交付四川地质矿产局攀西地质大队和 106 地质队进行评价。随后, 又在石棉县大河坝找到一处国内外实属罕见的原生自然铂矿床, 矿石组分单一, 品质优越, 易选易治, 该探矿权评估为 490 万元作价入股, 正与福建紫金矿业股份有限公司合作, 开展进一步勘查。

4. 深穿透地球化学找矿技术在覆盖区找矿效果明显

与地质大调查项目和国家攻关计划相结合, 运用新开拓出的深穿透地球化学找矿技术圈定了近 10 处 Au 、 U 、 Cu (Ni)、 Pt-Pd 异常, 在对这些异常的检查和研究中获得多处重要发现, 并且这些发现已经得到当地地质部门的证实: ①在哈密盆地中发现具有巨大潜力的铀异常, 异常面积达 3300 km^2 , 并伴有钼异常。这一地球化学块体内铀的总量达 16239080 t , 预测铀的潜在资源量可达 3 万余 t , 接近吐鲁番盆地几个异常预测铀资源量总和。地表为第四系含腐殖质粘砂土的淤泥以及土黄色亚砂土、粘砂土中。根据石油部门地质资料, 其下部存在有利于砂岩型铀矿成矿的侏罗系含煤系地层。这一异常已经提交给核工业总公司, 经过初步验证已经找到地浸型砂岩铀矿层, 而且厚度颇大, 可能成为继吐鲁番盆地后一个新的地浸型铀矿产地。进一步研究和工作正在进行之中。②在哈密盆地东南部边缘地表拣块石英脉中首次发现含量高达 19 g/t 的金矿化, 这一异常东西向延伸长达 20 km , 尽管异常主体被第四系风成沙所覆盖, 但从异常边部有泥盆系安山玢岩、火山角砾岩和石炭系火山岩地层出露以及第四系地表见有石英脉角砾这一事实表明这一异常具有极大的寻找大型金矿潜力, 初步预测金的储量可达 100 t 以上。

5. 深部隐伏矿定位技术在实验区显示良好功效

胶东的金岭金矿区资源几乎枯竭, 本次研究将其选定为实验区, 进行了上述的深部隐伏矿定位技术和工作程序, 进而通过钻孔验证, 在该矿区外围隐伏空白区约 192 m 左右新发现了隐伏的金矿体(厚 1 m , 平均品位 24 g/t), 这是区内覆盖层下找矿的新突破, 也是胶东大型金矿集区内罕见的高

品位矿石。目前,进一步的找矿勘查工作正在进行之中。

此外,还提出了华南地区寻找铀矿的新思路和新方向。华南是我国花岗岩型和火山岩型铀矿的主要产地,以往找矿始终围绕着白垩纪花岗岩和火山盆地,近10多年来进一步找矿面临着严重的挑战。本次研究表明,与白垩纪铀矿床有关的花岗岩体不是前人认定的燕山期,而是印支期(锆石 U-Pb 年龄为 226~230 Ma)。华南地区零星出露的印支期花岗岩是在陆壳变形叠置加厚的动力学背景下形成的过铝质的岩石,成岩物质来源于基底岩石,很少有地幔物质参与。因此印支期花岗岩一般不直接成矿,但它们是铀的矿源岩。在白垩纪大面积火山喷发和岩浆侵位期间,受热驱动在晚期岩体周围、火山盆地内部、脉岩或断裂系统沉淀成矿。这一研究结果拓展或开辟了找矿的新思路,指出了找矿的新方向,受到南方多个地质勘查队的高度重视,并作为找矿勘查布局的理论依据。

本书是一项集体性研究成果,先后有 200 多位科研人员参与研究工作,其中有近 90 位学术骨干承担科研任务。本书共有 14 章,其中第一章由毛景文、胡瑞忠执笔,第二章由陈毓川、李献华、李华芹、陈江峰、薛春纪执笔,第三章由高山、郭锋、牛宝贵、徐夕生、许继峰、熊小林、刘勇胜执笔,第四章由王登红、应汉龙、梁华英、黄智龙、骆耀南执笔,第五章由范蔚茗、张招崇、徐义刚、曹志敏、邓海琳执笔,第六章由吴淦国、杜杨松、邓军、余金杰、张旗、张达、秦新龙、臧文拴、狄永军、邵拥军、王元龙、王庆飞、黄定华、孙忠实执笔,第七章由翟明国、聂凤军、徐贵忠、范宏瑞、杨进辉、于在平、张均执笔,第八章由刘家军、张乾、蒋少涌、温汉捷、何明友执笔,第九章由华仁民、陈培荣、陆建军、王岳军、张德全、毕献武执笔,第十章由胡瑞忠、马东生、彭建堂、苏文超、刘建明、罗泰义执笔,第十一章由毛景文、李晓峰、张荣华、王义天、赫英、张作衡、凌洪飞、李红艳、李永峰、胡华斌、姜耀辉、谢桂青、李厚民执笔,第十二章由王学求、张荣华、吕古贤、程志中、姚文生、郝立波、甘树才、刘占元执笔,第十三章由向运川、刘大文、彭润民、迟清华、肖克炎、刘荣梅执笔,第十四章由朱炳泉、汪东波、胡耀国、张正伟、常向阳、冯建忠、邵世才、谢静执笔。全部内容最后由毛景文、胡瑞忠和王义天统编定稿。在本次研究项目的实施和本书的撰写过程始终得到国土资源部寿嘉华副部长、国际合作与科技司黄宗理司长、崔岩副司长、白兴碧处长、高平处长和马岩处长,中国地质调查局叶天竺局长、张洪涛副局长、彭齐鸣主任和中国地质科学院董树文副院长、李贵书处长,中国地质科学院矿产资源研究所有关领导,中国科学院资源环境局张金东处长、周少平处长,中国科学院地球化学研究所有关领导和科技部基础司邵立勤司长、马燕合司长、叶玉江副司长、崔拓处长、王长锐先生、张峰处长等先生的大力支持和指导,并为项目的顺利执行提供了良好的环境和保障;涂光炽、李廷栋、孙枢、谢学锦、裴荣富、翟裕生、常印佛、汤中立、郑绵平、任纪舜、王德滋、贝丰、许东禹、马福臣等先生十分关心本项科研任务的执行,曾提出了诸多宝贵的、具有重要启迪性和指导性的建议和意见;在此我们一并致以崇高的敬意和感谢。这是一次“多兵种、大兵团”的联合攻关,参与项目的各位专家和同仁同心同德,相互支持、和谐共进、硕果累累,为此次科研任务的圆满完成作出了贡献,也为我国类似团体性科研活动的开展提供了一个成功的范例,值此,我们表示诚挚的感谢。

毛景文 胡瑞忠

2006 年 5 月 6 日

目 次

(上 册)

前 言

第一章 大规模成矿作用与地球动力学背景	(1)
第一节 中国东部中生代大规模成矿作用的地球动力学背景	(1)
第二节 中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程	(25)
主要参考文献	(47)
第二章 大规模成矿时代年龄精测与成矿谱系	(58)
第一节 大规模成矿作用年龄精测方法研究	(58)
第二节 中国某些重要成矿区/带成矿作用年龄精测	(68)
第三节 我国某些重要区域矿床成矿谱系	(103)
主要参考文献	(115)
第三章 中国东部中生代构造大转折、岩石圈减薄与大规模成矿作用	(117)
第一节 中国东部中生代构造大转折时空演化及其动力学机制	(117)
第二节 华北克拉通岩石圈减薄作用的 Re-Os 同位素研究	(133)
第三节 华北岩石圈地幔交代作用的时间和机制：中生代下地壳拆沉榴辉岩熔体对地幔 的改造	(139)
第四节 中生代基性火山岩对华北克拉通不同构造分区岩石圈地幔性质的地球化学示踪	(141)
第五节 下地壳拆沉作用的研究	(147)
第六节 华北克拉通 157 ~ 97 Ma 玄武岩浆底侵作用及其热效应	(158)
第七节 华南中生代岩石圈地幔的研究	(163)
第八节 华南和扬子中生代富碱侵入岩研究	(170)
第九节 中国东部中生代下地壳拆沉和岩石圈减薄的初步模型	(173)
主要参考文献	(176)
第四章 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿	(180)
第一节 三江地区区域地质与成矿	(180)
第二节 三江新生代大规模成矿作用与主要地质事件的耦合关系	(193)
第三节 三江新生代富碱岩系与铜金大规模成矿	(202)
第四节 幔源（煌斑）岩浆活动及其成矿效应	(214)
第五节 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿	(218)
第六节 西南三江新生代大规模成矿作用特点及成矿规律	(219)
主要参考文献	(227)
第五章 大陆地幔柱剖析及成矿作用	(232)
第一节 峨眉山玄武岩的同位素年代学	(232)
第二节 峨眉山 LIP 岩石地球化学	(239)
第三节 峨眉山 LIP 的相关岩浆作用	(248)

第四节	峨眉山 LIP 成因与地幔柱动力学	(255)
第五节	峨眉山大火成岩省的成矿作用	(265)
	主要参考文献	(275)
第六章	长江中下游地区铜陵和宁芜大型矿集区	(278)
第一节	铜陵及宁芜矿集区以往研究工作总结	(278)
第二节	区域构造变形演化与构造应力场转换	(283)
第三节	岩石圈层圈结构与构造分层成矿作用	(301)
第四节	铜陵矿集区壳幔相互作用与成矿过程	(307)
第五节	宁芜矿集区壳幔相互作用与成矿过程	(319)
第六节	成矿流体系统特征及其演化动力学过程	(326)
第七节	埃达克岩与铜金等成矿作用的关系	(342)
第八节	关于铜陵矿集区似层状硫化物矿床成矿作用的讨论	(349)
第九节	大型矿集区典型特征及构造-岩浆-成矿系统演化模式	(358)
第十节	铜陵及宁芜矿集区成矿预测	(380)
	主要参考文献	(382)
第七章	胶东-小秦岭大型矿集区	(391)
第一节	胶东矿集区金矿类型及特征	(391)
第二节	胶东金矿成矿时代	(397)
第三节	胶东地区金矿床成矿物质来源	(403)
第四节	胶东地区花岗岩的形成时代及其地球化学特征	(408)
第五节	胶东地区中基性脉岩的时代及其地球化学特征	(416)
第六节	小秦岭大型矿集区	(425)
第七节	华北克拉通金矿床成矿地球动力学背景	(430)
	主要参考文献	(439)
第八章	兰坪盆地铅锌多金属大型矿集区	(443)
第一节	兰坪盆地矿产分布及金顶-白秧坪大型矿集区	(443)
第二节	兰坪盆地岩石圈三维结构	(447)
第三节	兰坪盆地演化与成矿的关系	(470)
第四节	岩浆活动与成矿的关系	(494)
第五节	基底变质岩-混合岩中新成因类型锡矿床	(498)
第六节	大型矿集区的成矿时代	(500)
第七节	大规模成矿流体形成、运移和卸载的动力学机制	(504)
第八节	金顶-白秧坪大型矿集区成矿的动力学模式	(528)
	主要参考文献	(531)

(下 册)

第九章	与不同源花岗质岩浆有关的成矿系统	(535)
第一节	对华南中生代地球动力学背景、花岗岩类及有关成矿作用的总体认识	(535)
第二节	永梅会地区中生代岩浆活动与大规模成矿作用	(548)
第三节	江西德兴和安徽冬瓜山花岗质岩浆活动与铜金成矿作用	(560)
第四节	湘东南花岗闪长质岩石成因、构造意义及有关的成矿作用	(570)
第五节	“三江”地区新生代富碱侵入岩及铜、金成矿作用	(583)
	主要参考文献	(595)

第十章 扬子地块西南缘大面积低温成矿作用	(597)
第一节 区域地质背景	(597)
第二节 下寒武统热水沉积成矿作用	(601)
第三节 加里东期中低温成矿作用	(626)
第四节 燕山期大面积低温成矿作用	(649)
主要参考文献	(675)
第十一章 深部流体成矿系统	(684)
第一节 地幔岩、地幔流体和成藏成矿作用	(684)
第二节 地球深部流体化学动力学	(707)
第三节 岩石圈减薄过程中的深部流体与胶东金矿成矿作用	(722)
第四节 江南古陆南缘某些金矿床形成过程与地幔流体	(741)
第五节 华南中生代热液铀矿与地幔流体关系	(758)
第六节 冀西北地区金矿成矿作用与地幔流体	(771)
主要参考文献	(786)
第十二章 深穿透地球化学与隐伏大矿巨矿的识别	(799)
第一节 国内外研究现状	(799)
第二节 深穿透地球化学理论基础	(801)
第三节 深穿透地球化学信息获取方法	(815)
第四节 大型矿床地球化学定量识别模型与方法	(820)
第五节 深穿透地球化学方法对比试验与应用	(827)
主要参考文献	(840)
第十三章 地球化学块体方法技术与大型矿集区预测	(843)
第一节 地球化学块体的概念与研究意义	(843)
第二节 大型矿集区成矿系统的研究基础	(852)
第三节 地球化学块体方法技术研究	(855)
第四节 基于地球化学资源量预测方法	(869)
第五节 基于地球化学圈定大型矿集区的 GIS 技术	(878)
第六节 区域地球化学数据处理	(893)
第七节 中国主要矿产矿集区圈定及找矿远景区预测	(895)
第八节 结论与建议	(940)
主要参考文献	(942)
第十四章 多元信息集成与大型矿集区分布规律和预测	(945)
第一节 大型矿集区的定义与中国大陆主要的大型矿集区	(945)
第二节 地球化学边界研究的新进展	(947)
第三节 地球化学边界的古特提斯洋-峨眉山地幔柱过渡带火山作用	(953)
第四节 滇东北地球化学边界峨眉山玄武岩地球化学研究	(981)
第五节 滇黔地球化学边界层控型自然铜矿床的发现	(990)
第六节 地幔柱成矿系统	(1011)
第七节 秦岭地区矿集区分布规律和综合预测	(1021)
主要参考文献	(1027)

第一章 大规模成矿作用与地球动力学背景

大规模成矿作用或大爆发成矿是在地质历史演化过程中于某些洲际性或区域性地质构造单元短时期内一些成矿元素大面积高强度超常富集成矿。大规模成矿通常受一定特殊的地球动力学的制约,即与某些构造演化的异常事件密切相关,例如,由于俯冲板块撕裂或大陆岩石圈拆沉导致软流圈上涌到上地壳,引发大规模成矿作用。在我国,大规模成矿主要表现在东部为中生代,西南地区为新生代,西部为晚古生代。具体在什么时间段和在哪里出现大规模成矿,这是一个值得探讨的重要科学问题,也是我们开展科学找矿预测必须要完成的一项基础工作。

本研究针对中国大规模成矿事件,从动力学角度探讨其成矿的地质背景。通过对典型地区的剖析,分析大规模成矿作用发生的时空结构。由于东部中生代成矿具有特色,西部及西南地区成矿与大陆造山过程关系密切,以下分两个部分进行叙述。

第一节 中国东部中生代大规模成矿作用的地球动力学背景

中国东部在此界定为六盘山-龙门山-锦屏山-哀牢山以东地区,从北向南横跨天山-兴蒙造山带、华北克拉通、秦岭-大别造山带、扬子克拉通和华夏地块(或华南褶皱带)。中国东部成矿最早可以追溯到太古宙的 BIF 式铁矿,从太古宙,元古宙,早古生代,晚古生代到中新生的不同地质历史时期,成矿作用以不同形式在发生,尽管太古宙的 BIF 型铁矿和元古宙的 SEDEX 型铅锌矿和白云鄂博式 REE 矿具有重要的经济价值,但只是在中生代出现了“大爆发”或大规模成矿作用(毛景文等, 1999; 华仁民等, 1999)。所谓的大规模成矿作用就是指在一个地质单元内短时间某些元素巨量聚集成矿。中国东部出露的最古老岩石年龄为 3800 Ma (Liu et al., 1992),在整个 3800 Ma 地质历史时期,已知的绝大多数矿产却在 180 ~ 80 Ma 这样 100 Ma 时间段以多期次脉冲式大爆发成矿,构成了我国一条长达 2000 km 甚为壮观的成矿带。在这次地质事件中,构造-岩浆-流体对矿产大规模聚集具有重要的作用。壳幔相互作用、深变质作用以及软流圈热侵引发大量深部流体向上运移,以不同形式参与成矿过程。

在印支期,中国各地块焊合成一个统一大陆。自侏罗纪早中期以来,中国东部大陆构造活跃,出现了一系列重大地质事件。在此时期北方(包括华北和东北)与华南(长江以南地区)具有类似的地球动力学演化过程,也各有自己的特殊性。尽管长江中下游成矿带位于扬子克拉通北缘,其地质演化及成矿作用与北方相同。

一、中国北方中生代成矿作用的特点

在中国北方大多数金属矿床主要分布在三条近 EW 向的造山带和一个 NE 向造山带中(图 1-1),它们是华北克拉通南缘的小秦岭-熊耳山成矿带和西秦岭成矿区、华北克拉通北缘成矿带、长江中下游成矿带、大兴安岭南段 NNE 向成矿带以及到鲁西矿集区和胶东金矿矿集区。正如以前所述及(毛景文等, 2003; 2004a),尽管长江中下游位于扬子克拉通北缘,但其成矿特点和地球动力学演化与中国北方相同。我们将测定和收集到的年龄资料列于表 1-1。然后,再将这些数据以单位矿床为基数制成直方图(图 1-2)。在图中可以看出中国北方 Au-Cu-Mo-W-Fe 大规模成矿作用主要集中在 200 ~ 160 Ma, 140 Ma 左右和 130 ~ 110 Ma 三个时间段(图 1-2)。此外,在已知年龄的矿床中有一个例外,就是小秦岭地区的黄龙铺碳酸岩型钼矿,它的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄在 231 ~ 220 Ma 之间(黄典豪, 1994),表明为印支末期的产物。Stein et al. (1997) 使用高精度 NTIMS 方法对同一样品进行重

测，获得年龄数据为 221.1 ~ 222.0 Ma，平均 221.5 Ma。黄龙铺钼矿成矿物质来源于地幔（黄典豪等，1985；喻学惠等，1992），是一个幔源物质成矿的典例，很可能为造山晚期地幔蠕动或脱气过程的一种成矿响应。

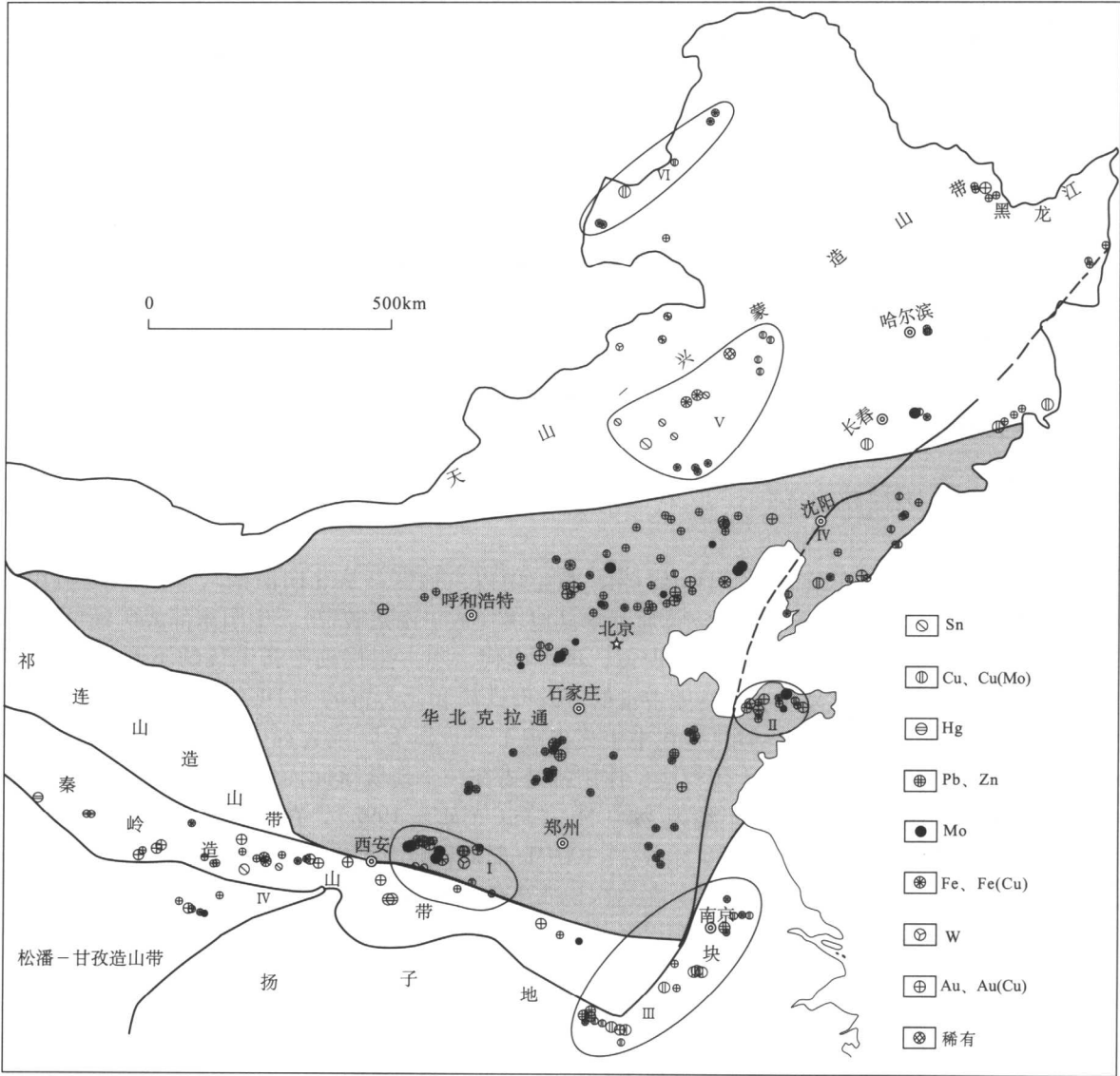


图 1-1 中国北方主要金属矿床分布示意图

I—小秦岭；II—胶东；III—长江中下游；IV—华北克拉通北缘；V—大兴岭南；VI—乌妈格吐-甲乌拉；VII—西秦岭

（一）小秦岭-熊耳山钼钨金矿带

小秦岭-熊耳山地区位于华北克拉通南缘，其中发育有两种类型矿床（图 1-3），即斑岩型-矽卡岩型钼（钨）矿和金矿。斑岩型-矽卡岩型钼（钨）矿包括金堆城钼矿、石家湾钼矿、南泥湖钼钨矿、木龙沟钼矿、上房钼钨矿、三道庄钼钨矿、雷门沟钼矿。这些矿床构成我国最大的钼矿带，也是北方最大的钨矿带。我们对三道庄、南泥湖、上房沟和雷门沟 4 个矿床中的辉钼矿进行 Re-Os 同位素测年，获得 (144.5 ± 2.2) Ma， (141.8 ± 2.1) Ma， (143.8 ± 2.1) Ma ~ (145.8 ± 2.1) Ma 和 (131.6 ± 2.0) Ma ~ (133.1 ± 1.9) Ma 数据。黄典豪等（1994）曾测定金堆城钼矿的辉钼矿 Re-Os 年龄为 (129 ± 7) Ma ~ (139 ± 3) Ma。这组年龄数据说明小秦岭-熊耳山地区的钼钨矿主要形成于 140Ma 左右，金堆城和雷门沟形成时代相对其他三者比较晚一些。小秦岭-熊耳山是我国仅次于胶东

表 1-1 中国北方多金属矿床放射性同位素年龄精测数据

(Ma)

矿床名称	Re-Os 模式年龄	Re-Os 等 时线年龄	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 等时线年龄	Rb-Sr 等 时线年龄	测试矿物 或岩石	参考文献
230 ~ 200 Ma 成矿事件							
黄龙铺 钼矿床	222 ± 8	221				辉钼矿	黄典豪, 1994
	227 ± 7					辉钼矿	
	231 ± 7					辉钼矿	
	220 ± 5					辉钼矿	
	230 ± 7					辉钼矿	
200 ~ 160 Ma 成矿事件							
兰家沟斑岩 钼矿床	188 ± 5	186.5				辉钼矿	黄典豪等, 1996
	186 ± 5					辉钼矿	
	188 ± 5					辉钼矿	
	192 ± 5					辉钼矿	
	185 ± 4					辉钼矿	
杨家杖子砂 卡岩钼矿床	190 ± 6					辉钼矿	
	191 ± 6					辉钼矿	
四平银（金）矿					187 ± 4	石英	梁华英等, 2001
牛心山金矿			175.8 ± 3.1			石英	胡达骧, 1996
八家子金矿				204.0 ± 0.5		绢云母	罗镇宽等, 2002
白云金矿			209 ± 2			石英	刘国平等, 2000
			197 ± 2			石英	
乌奴格吐铜钼矿	155 ± 17					辉钼矿	赵一鸣等, 1997
北岔沟门铅锌矿		152 ± 3				辉钼矿	毛德宝等, 2000
东坪金矿			187 ± 0.3				江思宏等, 2000
			188 ± 0.4				
			187 ± 0.3				
			177.4 ± 5				黄金部队, 1996
后沟金矿			172.9 ± 5			钾长石	王蓉嵘, 1992
北沟金矿			177.6 ± 0.2			石英	胡达骧等, 1994
孟恩陶勒盖 银铅锌矿			179.0 ± 2			白云母	张炯飞等, 2003
小佟家堡子金矿			167.0 ± 2	167.0 ± 4		绢云母	刘国平等, 2002
尚家沟金矿			161.6 ± 1	160.0 ± 1		石英	邵世才等, 2001
小里沟金矿			197.5 ± 1	193.2 ± 1		石英	
140 Ma 左右成矿年龄							
三道庄钼钨矿	144.5 ± 2.2					辉钼矿	本文
	145.0 ± 2.2					辉钼矿	
	145.4 ± 2.0					辉钼矿	
金堆城钼矿	129 ± 7					辉钼矿	黄典豪, 1994
	131 ± 4					辉钼矿	
	139 ± 3					辉钼矿	

续表

矿床名称	Re-Os 模式年龄	Re-Os 等 时线年龄	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄	Rb-Sr 等 时线年龄	测试矿物 或岩石	参考文献
南泥湖钼矿	141.8 ± 2.1					辉钼矿	本文
上房沟钼矿	143.8 ± 2.1					辉钼矿	
	145.8 ± 2.1					辉钼矿	
雷门沟钼矿	131.6 ± 2.0					辉钼矿	
	133.1 ± 1.9					辉钼矿	
大庄科钼矿	147 ± 7					辉钼矿	黄典豪等, 1996
	145 ± 11					辉钼矿	
	146 ± 6					辉钼矿	
小寺沟铜(钼)矿	134 ± 3					辉钼矿	
寿王坟铜(钼)矿	148 ± 4					辉钼矿	
大湾铜(钼)矿	144 ± 7					辉钼矿	吴良士等, 1997
城门山铜矿	144 ± 2					辉钼矿	
	139 ± 3					辉钼矿	
	140 ± 2					辉钼矿	
	139 ± 3					辉钼矿	
	142.3 ± 2.3					辉钼矿	
安庆铜矿	137.9 ± 1.5					辉钼矿	本文
	142.6 ± 1.7					辉钼矿	
铜矿里铜钼矿	141.1 ± 1.6					辉钼矿	
	143.7 ± 1.6					辉钼矿	
沙滩角铜钼矿	140.7 ± 1.6					辉钼矿	
	142.8 ± 1.6					辉钼矿	
南阳山铜矿	140.5 ± 1.6					辉钼矿	
	139.3 ± 1.6					辉钼矿	
	140.7 ± 1.5					辉钼矿	
大团山铜矿		139.1 ± 2.7				辉钼矿	
龙虎山铜矿	139.0 ± 0.3					辉钼矿	Sun et al., 2003
月山铜矿		138.0 ± 2.5 (Os-Os)				辉钼矿	
老鸦岭铜矿	139.0 ± 0.3					辉钼矿	谢智等, 2002
金口岭铜矿	137.0 ± 1.7					辉钼矿	曾普胜, 2003
堡子湾金矿			142.9 ± 0.5			石英	韩金良等, 2002
			142.5 ± 0.5			石英	朱翠伊等, 2002
二道沟金矿			140.6 ± 2.8			绢云母	庞奖励等, 1997
黄岗锡铁矿				137 ± 3 (K-Ar)		钾长石	Ishiyama et al., 2001
大井锡多金属矿			138.3			绢云母	Ai and Feng, 1996
宝盖沟锡矿				138.6 (K-Ar)		云母	Wang et al., 2001