

浅议大规模成矿作用与大型矿集区*

毛景文

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

华仁民

(南京大学地球科学系, 南京)

李晓波

(中国地质信息研究院, 北京)

提 要: 本文系统地阐述了大规模或大爆发成矿作用现象、特点和出现的某些规律。阐述大规模成矿作用发生必须具有特殊的构造环境, 巨量的成矿物质供给, 持续的能量系统, 优越的输运通道和适宜的堆积空间。大规模成矿作用在空间上表现为非均一性, 在成矿区带中绝大多数矿床基本上仅出现于几个空间比较小的大型矿集区内。本文提出研究大型矿集区必须着眼于大尺度(成矿大环境), 切入中尺度(大型矿集区), 地质、地球化学和地球物理多学科交叉, 理清成矿过程, 建立成矿模型, 进而有效地提取找矿信息, 提高找矿效率。

关键词: 大规模成矿 大型矿集区 成矿大爆发 成矿地球动力学

1 引 言

矿产资源勘查越来越依赖于新技术和新方法, 而新技术和新方法的运用或实施又必须有新地质成矿和找矿理论作为支撑或指导。因此, 近 20 年来, 成矿新理论和新思维探索一直是地质学家们的追求。

由于超大型矿床的巨大经济效益, 80 年代中期以来在全世界范围内对超大型矿床的形成机制和背景进行了广泛和深入的研究, 取得了一系列重要进展^[22, 27, 28, 48], 有力地推动了矿产资源的勘查和发现。同时也遇到了一些问题, 例如, 部分超大型矿床像白云鄂博、奥林匹克坝等都是唯一的或点式分布, 找不到第二个相同或相似矿床; 另一方面, 不少超大型矿床不是独立存在, 而是大型矿集区中的一员^[26]。于是, 地质学家们开始思考超大型矿、大矿和中小型矿是否有统一的形成机制? 为什么矿床在时间和空间分布上明显呈不均一型? 大规模成矿或大爆发式成矿的环境和过程是什么?

当前, 国际成矿学正处于新的突破边缘。其主要特征是基于地球动力学, 流体地质学和非线性科学的前沿科学的新思路, 探索巨量金属元素堆积的机理和环境, 发展找大型矿集区(包括巨矿)的新理论和新方法。在国际上, 澳大利亚成立了“地球动力学合作研究中心”, 开展成矿动力学过程和背景研究以及研制新的找矿方法和可视技术; 欧盟科学基金会设立了由 14 国参与的“地球动力学与矿床演化”研究项目; 国际矿床学界也在开展“岩石圈过程与巨量金属堆积”对比研究; 自从 90 年代以来, 国际矿床成因协会钨锡成矿委员会先后在

* 本文系国家杰出青年基金(编号: 49825103)和原地质矿产部跨世纪人才基金(编号: 9617)资助的一部分成果
第一作者简介: 毛景文, 男, 1956 年生, 研究员, 长期从事矿床地质和地球化学研究。邮政编码: 100037
1999-05-17 收稿, 1999-09-10 修改回

中欧和中亚开展海西期碰撞造山与钨锡矿巨量生成研究^[43,44]；美国地质调查所在新推出的“国家矿产资源调查计划”中把特大型矿床与小型矿床关系、成矿过程和改造过程时间、水/岩相互作用的热力学和动力学以及矿床与地壳演化关系列为矿产资源评估和勘查的基础。这些研究计划或项目都是旨在动态认识地球时空演化过程中金属元素巨量富集的规律性，为新一轮矿产资源勘查和评价提供理论基础。

只有置于大背景或大环境下研究成矿作用和成矿过程，才能准确地认识成矿规律。从非线性角度出发认识大规模成矿和大型矿集区，有可能建立逼近实际的成矿和找矿模型。显而易见，着眼于大尺度（成矿省与大规模成矿作用），切入中尺度（大型矿集区）是当前成矿学和矿产勘查学研究的国际大走向。

2 大规模成矿的环境和特点

大规模成矿，亦称大爆发成矿，是在地质历史演化中的短时期内于某些洲际性或区域性地质构造单元部分成矿元素大面积高强度超常聚集成矿。例如，在地球历史早期 CO_2 弥散在大气或海洋中，直到中元古代由于某种突发事件导致绝大多数 CO_2 与 Ca 、 Mg 、 Mn 结合，形成了大面积碳酸盐岩，同时伴随着同生铅锌铜大规模成矿作用。像 Broken Hill、Mt Isa、Red Dog、Sullivan 和 检得等世界级（world class）铅锌矿床，我国的关门山、霍各乞和狼山等铅锌矿床均出现于元古宙。又如，在我国东部的燕山期 $100 \times 10^6 \sim 150 \times 10^6$ a 出现了一次大规模或大爆发成矿事件，钨锡钼铋铜铅锌铋汞金银不仅大面积成矿，而且有众多的世界级矿床（包括大厂锡矿、个旧锡矿、柿竹园钨锡钼铋矿、玲珑-焦家金矿、富湾银矿、蔡家营铅锌矿、锡矿山铋矿、德兴铜矿、多宝山铜矿和三道庄钨铋矿等）和一系列大型矿集区。

成矿作用在地质历史中十分不均一，整体上呈幕式分布，而且不同元素及其元素组合在不同时期具有不同的分布规律。在全球范围内，大规模成矿作用在太古宙表现为 BIF 型铁矿床，以绿岩-花岗岩为主岩的剪切带型金矿床和与科马提岩有关的铜镍矿床；海西期形成一条横跨欧亚大陆，延伸至澳洲的巨大型铜铅锌钨锡成矿带；中生代在太平洋西大陆出现长逾 10 000 km，宽 1 000 ~ 3 000 km 的构造-岩浆成矿带，与花岗质岩石有关的稀有、稀土、钨锡钼铋铁铜铅锌金银矿有序分布，宏伟壮观；喜山期大规模成矿出现于环太平洋和古特提斯构造-岩浆带，前者为板块俯冲环境，后者为板块碰撞环境。

大规模成矿作用发生于某种构造环境中，而不是所有的构造运动都伴随有大规模成矿作用。例如，在中元古代时期大规模成矿作用主要表现为裂陷槽内同生热水（或喷气）成矿，而海西期大规模成矿作用发生于板块碰撞期间。由此可以认为，在某一构造运动时期，可能存在几个构造成矿环境，但大规模成矿作用仅出现于某一个环境内。在地质历史演化期间，同一地区可能经历过数次开裂和闭合过程，相应留下了多次成矿叠加的痕迹，但是大规模成矿往往只有一、两次。不同构造环境制约着矿床组合的分布形式，例如，与不同演化阶段的板块构造和陆内造山折叠有关的矿床，多呈带状分布；在太古宙，矿床分布为不规则形；在地幔柱构造环境中，矿床呈圆形分布。

大规模成矿作用的实质是成矿物质的巨量供给、传输和聚集过程。这种作用不可能在成矿区带或成矿省中均匀发生，有超巨量成矿物质聚集地段，就有更大面积的贫化或不发生变

化的地段。因此, 在一个成矿省中, 大规模成矿主要表现在几个或十几个大型矿集区。这些占全省面积不到 5%~15% 的大型矿集区一般拥有全省成矿金属量的 80%~95%。

3 大规模成矿作用发生的几个重要因素

金属聚集是地球圈层之间相互作用过程中的一种产物, 在一定程度上是一种特殊的岩石。在不同的构造环境中, 形成不同的矿床组合。按照构造环境可以预测矿床组合, 反之, 利用矿床组合也可以鉴别其形成的构造环境。大规模成矿作用与一般成矿作用的相同之处也受控于某一种构造环境, 但有其特殊性和异常性。裴荣富等^[23]认为成矿大爆发取决于地质的、地球化学的和地球物理的多种因素非常罕见的耦合汇聚, 称之为异常成矿构造聚敛场。邓晋福等指出^[4], 成矿大爆发与岩石圈/软流圈系统大灾变有关。谢学锦 (1999) 认为大规模成矿必须有巨量物质供给。McCuaig and Kerrich、Qiu and Groves 通过对北美地盾和澳大利亚西部地盾一系列世界级金矿床的系统研究^[36,39], 剖析了前人对成矿环境的认识, 提出了拆沉作用与大规模成矿的耦合关系。可以认为, 大规模成大爆发成矿往往发生于出现特殊事件的构造环境; 成矿尽管表现为大面积, 但主要集中在几个有限的地区; 无论是巨矿还是大型矿集区的形成, 都必须有巨量的物质补给、能量的持续供给及优越的物质传输系统和罕见的卸载及储存环境。

3.1 特别事件与大规模成矿

通过近 20 年研究, 对地球的演化历史已经有了一定的共识, 即地球早期为一个熔融体, 在冷凝过程中逐渐开始形成原始地壳; 新太古代和古元古代是地壳迅速增长时期, 地壳以小板块或地体在地幔上会聚或发散; 中元古代之后逐渐过渡到类似于现代板块运动形式, 在显生宙一些大陆内部还出现了块体之间的陆内造山运动。在不同地质历史演化阶段和不同构造环境中, 相应产出不同的矿产组合^[40,42], 这是一般规律。大规模成矿作用发生不拘泥一般规律, 而是对应着一些特别事件。例如, 中国东部大规模成矿的动力学环境是一个重要的前沿性科学问题, 区内岩浆活动和成矿作用明显受中生代“立交桥式构造”即近 EW 向和 NNE 向两组构造的控制。任纪舜 (1999) 初步认为在印支末期至燕山早期, 亚洲大陆与美洲大陆的碰撞对接使中国东部地区受到南北方向挤压应力的作用, 燕山中期 (150×10^6 a) 及以后主要受太平洋板块向西俯冲的压应力场的作用。正是由于在中生代如此短时间内经历了两次大规模构造运动, 导致规模宏大的岩浆活动和成矿大爆发。又如, BIF 铁矿是地球上一次最大规模的成铁事件的产物, 它是地壳形成早期, 大量火山活动和淀积的结果。随着地质历史的发展、壳幔分异和地壳不断增厚, 这样的大规模成矿具有不可逆性。壳表大规模成矿作用也雷同。例如, 在高原隆起期间, 内陆湖泊的蒸发量大于补给量, 随着湖盆的多阶梯收缩演化, 卤水逐渐富集到一些体积有限的盐湖中, 以至于大规模形成 Li、K、Cs 等矿产^[30]。

3.2 大规模成矿与物质巨量供给

地球上元素分布有明显的不均一性, 只有当地幔或地壳或两者均富有巨量的某种成矿元素, 才有可能大规模成矿。例如, 在南非北东 350 km 长, 北西 200 km 宽的兰德盆地 (Witwatersrand basin) 中, 拥有全世界已探明黄金储量的 40%^[47]。矿床沿盆地周缘分布, 成因

类型为金铀砾岩型, 产出于时代为 $2\,900 \times 10^6 \sim 2\,700 \times 10^6$ a 厚达 13 900 m 的沉积-火山岩系中。Roberts 指出该金矿为一种古砂矿^[41], 由原生的脉金矿经风化剥蚀和再沉积而成。Vermaak 认为时代为 $2\,670 \times 10^6 \sim 2\,060 \times 10^6$ a 的绿岩带中金矿源于兰德式金-铀砾岩型金矿的再造^[47]。而 Joe (1996) 却论证含金流体在区域变质期间交代砾岩成矿。以上成因认识不尽相同, 但该区金的巨大供给为形成如此巨大的矿集区奠定了基础。在湘南东坡地区, 以千里山花岗岩体为核心不足 20 km² 却蕴藏着巨大量的多金属矿产, 仅柿竹园拥有钨金属 80 万吨, 在世界上数一或数二, 铋储量达 20 万吨, 雄居世界第一, 锡金属储量 40 万吨, 在我国也仅次于个旧和大厂排名第三, 如果再加上新探明的玛瑙山 20 万吨和红旗岭 15 万吨锡金属, 锡金属储量接近大厂矿田。过去几年, 在区内又探明了枞树板和南风坳一批大中型铅锌矿床, 铅锌金属储量已经超过了 100 万吨。此外, 区内的铍和氟储量也都达到大型和超大型规模。尽管东坡地区地质找矿程度颇高, 但前景仍然光明。为什么在如此小的范围内有如此巨大的多金属物质聚集, 他们来自哪里? 这无疑是一个重要的科学问题。王昌烈等 (1987) 和王书凤等认为成矿与花岗岩有关^[25], 季克俭等认为周围地层中金属元素参与了成矿^[9]。毛景文等^[17, 18]和刘义茂等^[11]也认为不仅 3 个期次岩浆活动和地层对成矿的贡献, 还认为大规模成矿事件与地幔活动及部分物质供应有关。最近, 赵振华等^[29]发现湘南地区 $198 \times 10^6 \sim 81 \times 10^6$ a 期间喷出的玄武岩中地幔包体的 W、Sb、Bi、Pb、U、Cu 等元素比原始地幔的平均成分高出 73 ~ 2.8 倍。毛景文进一步提出南岭地区是一个 W、Sn 元素高异常区^[16], 其 W、Sn 成矿作用强度在时间上呈多旋回螺旋式上升, 在空间上东部富钨西部富锡, 中部两者兼富, 位于南岭中段的湘南地区在燕山期大规模金属聚集是地质时空演化之必然。

成矿物质分布不均一性不仅表现在矿集区这样的中尺度范围, 在洲际成矿带中也如此。Sillitoe 和 Ishihara 论述中生代环太平洋构造-岩浆成矿作用在东西两岸差别明显^[34, 46], 东部大陆边缘主要为斑岩铜钼矿, 西部岛弧和大陆边缘均以钨锡矿为主。这在一定程度上反映了物质在全球壳幔中分布的不均一性。即使在同一构造环境中, 供应的物质源不同就形成了不同的矿床组合。中国东部地区在中生代受统一的构造应力场作用, 在北方的成矿元素组合为铁铜钼金银铅锌, 南方则为钨锡铋汞金铜, 东秦岭和长江中下游的中部成矿元素组合亦此亦彼。

3.3 大规模成矿与巨大能量系统

大规模成矿不仅有巨大物质供给, 而且还必须有巨大能量供给。毛景文等曾经提出高热场 (HHP) 含矿花岗岩的多期次叠加是形成柿竹园超大型钨锡钼铋矿床的必要条件^[15], 持续的能量供给使成矿环境长期保持在一个热状态, 不仅有利于岩体本身的分异与成矿, 而且有助于在岩体上部形成一系列对流循环系统, 从周围围岩中萃取成矿物质, 在适宜的构造环境中卸载成矿。Plimer 通过对澳大利亚 Mole 含矿花岗岩的深入研究^[38], 不仅证明其亦为一个高热花岗岩, 还测得岩体结晶时间延续了 50 个百万年, 由此进一步推论岩体释放出的巨大能量对成矿的贡献。季克俭等通过岩浆结晶物理化学研究和一系列典型矿床实例的解剖, 认为岩体仅仅是热液矿床形成的能源^[9], 它与围岩构成的矿源和大气降水作为水源成为成矿的三大要素, 并由此创立了三源成矿学说。

澳大利亚以 Macquarie 大学为主组织国际有关单位开展 GEMC 项目, 即“大陆地球化学演化与成矿”研究, 并实施大陆四维地球动力学模拟计划, 提出了构造圈热侵蚀 (tecton-

sphere thermal erosion) 和壳幔互化新概念。它为陆内构造岩浆大规模活动和成矿大爆发奠定了部分理论基础。所谓的构造圈热侵蚀就是由于岩石圈减薄, 以至于软流圈向上运移, 甚至直接接触下地壳, 致使地壳大规模重融形成花岗质岩石。这一机制对于解释我国东部地区大规模花岗岩侵位和成矿具有独到之处。据邓晋福初步研究^[4], 华南地区在中生代地壳在增厚而非减薄。在地壳增厚区, 构造热侵蚀的必然结果是地壳重融, 岩浆上侵定位和分异成矿。与之相对应, 当时处于地壳减薄区的扬子中下游地区, 大量出现的是壳幔同熔型花岗岩和与之有关的铁铜金矿床。与后者雷同, 华北地块被认为在燕山期地壳大减薄, 地幔去根, 壳幔同熔型花岗岩大规模侵位, 与之伴随形成大量铁铜铅锌金矿床。

近10年来, 地幔柱构造研究已经逐渐成为大地构造研究的热点, 旨在解决大陆上板块构造难以解释的壳幔垂直运动机制。地幔柱上升到岩石圈板块之下, 释放出的巨大量热量可以使岩石圈发生熔融, 形成一系列不同类型的花岗质岩类及其相关的矿产。因此可以认为, 热点和地幔柱是地球内部释放能量的一种最重要形式。自从 Sillitoe 论证巴西朗多尼亚高原前寒武纪锡矿床在成因上与非造山环境的热点活动有关以来^[45], 越来越多实例表明地幔柱与大规模成矿息息相关。例如, 牛树银等和李红阳等提出华北地块北缘张宣地区的金银铅锌成矿作用及分带与地幔柱枝活动有关^[10,21]。陈毓川等和卢纪仁论证扬子地块西缘二叠纪峨眉山玄武岩喷发是地幔柱活动的直接产物^[3,12]。在西缘碲化物金矿、独立碲矿床和与碱性岩有关的稀土矿床呈4个环形分布可能反映出4个地幔柱枝环境^[3]。侯增谦等通过对三江地区构造与成矿的研究^[7], 论证了三江地区地幔柱成矿体系。毛景文等和王登红认为华南地区巨型多金属成矿分带可能与中生代地幔热柱活动有关^[18,24]。其实, 在华南地区东部为大规模钨锡钼铋、稀土、铌钽和铜铅锌矿床, 西部有云贵高原上的大规模锑汞铊砷低温热液矿床。从东向西, 成矿温度逐渐降低, 成矿时间从 150×10^6 a、 120×10^6 a、 $80 \times 10^6 \sim 70 \times 10^6$ a。这可能反映出在扬子地块西部曾存在一个地幔热柱, 地壳从西向东运移, 产生了上述的矿化组合和分布特征。不过, 这一推测还需要有古地磁资料予以证实。

3.4 流体与大规模成矿

流体在成矿过程中扮演着十分重要的角色。它既是能量传递的媒体, 也是成矿物质输送和交换的重要介质。流体的形成、运移、演变和淀积基本上反映了整个成矿轨迹。现代研究表明, 地球中流体几乎无处不在。Kola 半岛超深钻掘进在 12 km 处仍然发现有富含金属元素的流体在运动。马东升总结指出地壳大规模流体活动深度可达 20 km^[14]。现代盆地研究还发现流体通常大规模运动, 其范围可达几百至上千公里^[31,32]。之后在大陆上也发现古流体大尺度运移, 而且与区域成矿密切相关^[13,14,37]。

现代海底和湖底成矿作用清楚地显示了流体与成矿的关系。成矿热卤水池沿着断裂成行、成群分布。由于受下部热力的驱动, 海底和湖底热水发生对流循环, 从海底或湖底岩石萃取金属元素, 然后于海底或湖底卸载成矿。正是对现代成矿作用的观察和研究, 在 70 ~ 80 年代引发了成矿学的一场革命, 即层控矿床 (包括 VHMS 型、SEDEX 型和密西西比型) 的确认和深入研究。70 年代在美国索尔顿湖底发现了正在形成多金属矿产, 随之钻探工程证明下部存在一个正在冷却的花岗闪长岩体。与岩浆有关的流体也参与了成矿。进入 90 年代以来, 越来越多的研究证明海底成矿系统之下部有岩浆房的存在。岩浆房不仅是成矿的能源, 而且岩浆流体不同程度参与了成矿过程^[35]。

大陆边缘是流体最活跃的地区。板块俯冲将大量海水携入地幔，地幔拆沉作用也把大量富水的地壳物质带至深部。最新研究表明在亏损地幔不仅含水矿物金云母和角闪石的存在^[2,6]，而且地壳中的无水矿物橄榄石、辉石和石榴石等也持有氢分子（Schrauder et al., 1993）。地幔十分不均一性，局部含有大量 CO₂、CH₄、H₂O、C₂H₄、H₂S、SO₂、C₃H₆、K、Na 以及不相容元素等。岩石学家一致认为上地幔有流体存在，排气作用是地幔的一种活动形式。在流体存在的部位出现广泛的交代作用，杜乐天将其称之为“地幔溃疡”^[5]。正是由于对地幔研究的进展，使矿床学家认识到不少矿床的成矿作用与地幔流体有着密切的关系。Groves et al 鉴于西澳地质的绿岩型金矿中有大量碳酸盐岩存在^[33]，经研究认为是地幔脱气的产物。四川大水沟独立碛矿床中碳酸盐是最主要的一种脉石矿物，其稳定同位素一致指示为地幔流体成矿^[3]。类似的特点出现于白云鄂博超大型稀土矿床^[1]。氦同位素对地幔物质源示踪的有效性导致重新认识一批矿床的成矿过程，例如，湖南万古金矿^[17]，滇西马厂箐铜矿^[8]。关于地幔流体的组成，杜乐天总结为 HACOONS^[5]，曹荣龙^[1]概括为 CHONS。由于在地幔交代过程中，碱质元素首先进入流体，并在成矿中有清楚的显示。例如，新疆且干布拉克蛭石矿床^[1]和四川大水沟碛矿床^[3]都富有 K 和 Na 元素。另外，在北祁连西段的寒山和鹰嘴山金矿，尽管基性和超基性岩为成矿的主岩，但矿体以碱质和硅质组分为主，因而也被论证为地幔流体成矿的一种证据^[19,20]。

4 大规模成矿作用研究的一些思考

大规模成矿作用研究是超大型矿床研究的一种延伸或展开，不仅研究成矿区带中的超大型矿床，还研究相关的其他矿床，探讨矿床形成过程、时空分布规律和不同规模矿床之间的内在联系。大规模成矿作用是一种重大事件，它与区域地质-地球物理-地球化学环境密切相关。因此，大规模成矿作用研究的基点是成矿地球动力学，探讨层圈之间，尤其是壳幔之间相互作用的形式、过程和结果以及制约其发生的动力学机制。

由于成矿作用在成矿省中表现为非均一性，因此科学研究应着眼于大背景和大环境，立足于中尺度，突出解剖成矿省或成矿区带中的大型矿集区，厘定为什么巨量成矿元素会聚集在几个尺度比较小的矿集区内。通过地球物理精细填图和不同时代壳幔岩石、矿物和地球化学研究，捕获地球圈层的异常活动事件与大规模成矿的耦合关系，尝试找到大规模成矿作用爆发的基因。

大规模成矿的实质就是巨大量成矿物质的汇聚过程。围绕这一系统工程思考成矿物质的来源、输运和淀积。探讨在不同尺度成矿系统中，成矿物质的汇聚形式以及制约该形式的驱动要素。深入研究流体，尤其是超临界流体承载成矿物质的形式和卸载的物理化学条件。大规模成矿作用与大规模热事件密切相关。因此，必须探讨大规模热事件发生的环境、表现形式和能量传输过程及其对于形成矿产的制约。

研究大规模成矿的目的是为了了解成矿过程和成矿规律，进而有效地指导找矿勘查。正确的成矿理论将告诉人们在什么环境中会出现什么样矿产组合，在哪些地段可能有大型矿集区存在。在给定的潜在大型矿集区内实现找矿突破，则需要地质、地球化学、地球物理和遥感等方面技术方法的优化组合配置，进行大比例尺成矿预测。

参 考 文 献

- 1 曹荣龙, 朱寿华. 浅谈地幔流体与成矿. 矿物岩石地球化学通讯, 1994, (4): 210~212.
- 2 陈丰. 氢——地球深部流体的重要源泉. 地学前缘, 1996, 3 (3~4): 72~79.
- 3 陈毓川, 毛景文, 骆耀南等. 四川大水沟砷(金)矿床地质和地球化学. 北京: 原子能出版社, 1996.
- 4 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲等. 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境. 矿床地质, 1999, 18 (4): 309~315.
- 5 杜乐天. 烃碱流体地球化学原理——重论热液作用和岩浆作用. 北京: 科学出版社, 1996, 231~430.
- 6 郭立鹤. 矿物分子光谱学研究的一些热点. 矿物岩石地球化学通讯, 1995, (1): 61~63.
- 7 侯增谦, 李红阳. 试论地幔柱构造与成矿系统——以三江特提斯成矿域为例. 矿床地质, 1998, 17 (2): 97~113.
- 8 胡瑞忠, 毕献武. 滇西马厂箐铜矿黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系. 中国科学 (D辑), 1997, 27 (6): 530~508.
- 9 季克俭, 吴学汉, 张国柄. 热液矿床的矿源, 水源和热源及矿床的分布规律. 北京: 北京科学技术出版社, 1989.
- 10 李红阳, 阎升好, 王金琐等. 初论地幔热柱与成矿——以金银多金属成矿区为例. 矿床地质, 1996, 15 (3): 249~256.
- 11 刘义茂, 王昌烈, 胥友志等. 柿竹园超大型钨多金属矿床的成矿条件与成矿模式. 中国科学 (D辑), 1998, (增刊): 49~56.
- 12 卢纪仁. 峨嵋地幔柱的动力学特征. 地球学报, 1996, 17 (4): 424~438.
- 13 马东升. 地壳中大规模流体运移的成矿现象和地球化学示踪. 南京大学学报 (地质流体专辑), 1997, 33: 1~10.
- 14 马东升. 地壳中流体大规模流动系统及其成矿意义. 高校地质学报, 1998, 4: 250~261.
- 15 毛景文, 李红艳, 裴荣富, Raimbault, L., Guy, B. 湖南千里山花岗岩体地质地球化学及与成矿关系. 矿床地质, 1995, 14 (1): 12~25.
- 16 毛景文. 超大型钨多金属矿床成矿的特殊性——以湖南柿竹园为例. 地质科学, 1997, 32 (3): 351~363.
- 17 毛景文, 李延河, 李红艳等. 湖南万古金矿地幔流体成矿的氦同位素证据. 地质论评, 1997, 43: 646~649.
- 18 毛景文, 李红艳, 王登红等. 华南地区多金属矿床分布与地幔柱关系. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17 (2): 130~132.
- 19 毛景文, 杨建民, 张招崇等. 甘肃寒山剪切带型金矿床地质, 地球化学和成因. 矿床地质, 1998, 17 (1): 1~13.
- 20 毛景文, 张作衡, 杨建民等. 甘肃省鹰嘴山金矿床地质和成矿地球化学. 矿床地质, 1998, 17 (4): 297~306.
- 21 牛树银, 李红阳, 孙爱群等. 地幔热柱多级演化及其成矿作用. 矿床地质, 1996, 15 (4): 298~307.
- 22 裴荣富, 吴良士, 熊群尧等. 超大型矿床偏在性和构造聚敛场. 北京: 地质出版社, 1999.
- 23 裴荣富, 熊群尧. 中国大型金属矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛(场). 矿床地质, 1999, 18 (1): 37~46.
- 24 王登红. 地幔柱及其成矿作用. 北京: 地震出版社, 1998.
- 25 王书凤, 张绮玲. 柿竹园矿床地质概论. 北京: 北京科学技术出版社, 1988.
- 26 涂光炽. 关于超大型矿床的寻找和理论研究. 矿物岩石地球化学通讯, 1989, (3): 163~168.
- 27 涂光炽. 试论非常规超大型矿床物质组成、地质背景、形成机制的某些独特性——初谈非常规超大型矿床. 中国科学 (D辑), 1998, (增刊): 1~6.
- 28 翟裕生, 张湖, 宋鸿林等. 大型构造与超大型矿床. 北京: 地质出版社, 1997.
- 29 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征. 中国科学 (D辑), 1998, (增刊): 6~14.
- 30 郑绵平, 向军, 刘文高等. 青藏高原盐湖. 北京: 北京科学技术出版社, 1989.
- 31 Fyfe W S, Kerrich R. Fluids and thrusting. *Chemical Geology*, 1985, 49: 353~362.
- 32 Garven G. Continental-scale groundwater flow and geological processes. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 1995, 23: 468~488.
- 33 Groves D I, Golding S D, Rock N M S, Barley M E, McNaughton N J. Archaean carbon reservoir and their significance to the fluid source for gold deposits. *Nature*, 1988, 331: 254~257.
- 34 Ishihara S. Granitoid series and mineralization in the Circum-Pacific Phanerozoic granitic belts. *Resource Geology*, 1998,

- 48(4) : 219 ~ 224 .
- 35 Kaihui Yang , Steven D Scott . Possible contribution of a metal-rich magmatic fluid to a sea-floor hydrothermal system . *Nature* , 1996 , 383 : 420 ~ 423 .
- 36 McCuaig T C , Kerrich R . P-T-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits : evidence from alteration systematics . *Ore Geology Review* , 1998 , 12 : 381 ~ 454 .
- 37 Musgrove M , Banerji J L . Regional groundwater mixing and the region of saline fluids : Midcontinent , United States . *Science* , 1993 , 259 : 1877 ~ 1882 .
- 38 Plimer L R , Lu J . Ar-Ar dating of multiphase mineralization associated with the Mole Granite , Australia . In : Pasava J , Kribek B , Zak K . eds . *Mineral deposits : from their origin to their environmental impacts* . A. A. Balkema/ Rotterdam/ Brookfield , 1995 , 497 ~ 500 .
- 39 Qiu Yumin , Groves D I . Late Archean collision and delamination in the southwest Yilgarn craton : the driving force for Archean orogenic lode gold mineralization ? *Economic Geology* , 1999 , 94 : 115 ~ 122 .
- 40 Robb L J , Charlesworth E G , Drennan G R , Gibson R L , Tongu E L . Tectono-metamorphic setting and paragenetic sequence of Au-U mineralisation in the Archaean Witwatersrand Basin , South Africa . *Australian Journal of Earth Sciences* , 1997 , 44(3) : 353 ~ 372 .
- 41 Roberts R G . Archean lode gold deposits . In : Robert R G , Sheshan P A eds . *Ore Deposit Models* , Geoscience Canada , Reprint Series 3 , 1990 .
- 42 Sawkins F J . *Metal deposits in relation to plate tectonics* . Springer-Verlag , 2nd edition , 1990 .
- 43 Seltmann R , Kampf H , Moller P . *Metallogeny of collisional orogens* . Czech Geological Survey , Prague , 1994 .
- 44 Shatov V , Seltmann R , Kremenetsky A , Lehmann B , Popov V , Ermolov P . Granite-related ore deposits of Central Kazakhstan and adjacent area . St . Petersburg , Glagol Publishing House , 1996 .
- 45 Sillitoe R H . Tin mineralization above mantle hot spots . *Nature* , 1974 , 248 : 497 ~ 499 .
- 46 Sillitoe R . H . Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region . *Australian Journal of Earth Sciences* , 1997 , 44(3) : 373 ~ 388 .
- 47 Vermaak C F . A brief overview of South Africa's mineral industry : world context and changing local circumstances . *Mineralium Deposita* , 1997 , 32 : 312 ~ 322 .
- 48 Whiting B H , Hodgson C J , Mason R . Giant ore deposits . Special Publication , Number 2 , Society of Economic Geologists , 1990 .

A PRELIMINARY STUDY OF LARGE-SCALE METALLOGENESIS AND LARGE CLUSTERS OF MINERAL DEPOSITS

Mao Jing wen

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Hua Ren min

(State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Li Xiaobo

(Center of Information, Ministry of Land Mineral Resources, Beijing 100037)

Key words: large-scale metallogenesis, metallogenic explosion, cluster of mineral deposits, metallogenic earth dynamics

Abstract

Why did large-scale metallogenesis or metallogenic explosion span a very short period in the course of geological history within some metallogenic provinces? Why did a lot of mineral deposits occur in several small areas as metallogenic clusters in the metallogenic provinces during the period of metallogenic explosion? Where are the metallogenic clusters distributed in the provinces? And how can the metallogenic clusters be easily found? Focused on these important problems, this paper systematically deals with the basic phenomena, characteristics, and some regularities of large-scale metallogenesis or metallogenic explosion. Large-scale metallogenesis usually happened in special tectonic environments with huge amounts of metallogenic substances as supplements, sustained energy systems, excellent channels for transportation and favorable space for accumulation of metallogenic substances. Large metallogenic clusters could be studied through anatomizing the major deposits, establishing their relationship and tracing their genesis based on the investigation of tectonic environment. After detailed geological, geochemical and geophysical studies, we can understand the mineralization processes, set up the metallogenic models and some prospecting indicators. The models and indicators can be used to do prospecting in similar areas within the same or different metallogenic provinces.