从超大型矿床研究对中国矿产资源的思考

赵振华
(中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

摘要 分析了中国矿产资源面临的巨大需求压力, 提出超大型矿床的开发具有巨大的经济和社会效益, 是缓解矿产资源紧缺压力的关键性出路之一和实现资源-环境一体化的最佳途径, 从而为实现可持续发展提供重要支撑. 中国在超大型矿床的分类、矿床类型的选择性和局限性、时空分布特点等方面研究已取得重要成果. 目前, 应以成矿动力学——地球各圈层相互作用为超大型矿床基础研究的核心内容; 同时, 必须树立新的资源观, 建立资源-环境一体化的资源开发、利用和研究的新体系.

关键词 超大型矿床 成矿动力学 资源环境一体化

1 中国矿产资源面临巨大的需求压力

实施中国经济和社会可持续发展, 矿产资源占有举足轻重的地位. 中国已探明矿产资源168种, 已探明储量152种, 开发利用132种. 但小矿多、大矿少; 贫矿多, 富矿少; 共生组分复杂矿床多, 单一矿种的矿床少, 特别是国民经济大量所需的矿种储量小, 如铁、铜. 虽然中国探明矿产资源储量的潜在价值居世界第3位, 但众多人口使中国已探明矿产资源储量人均占有量退居世界第80位, 为世界人均水平的1/3, 不到美国的1/10, 前苏联的1/7. 到2010年, 将有2/3主要矿种不能满足需要, 15种支柱性大宗矿产将有一半缺口, 特别是中国在下世纪国

从以上讨论可知, 云南若干中、小盆地发现一批具有工业价值的低演化阶段的油、气资源, 从天然气的地球化学特征来看, 它们形成一个低演化阶段的有序系列. 陆良、杨林的生物气具有最轻的甲烷碳同位素值 $\delta^{13}C_1 < -70‰$, 比较而言, 其成藏可能晚于保山盆地的生物气. 保山盆地天然气甲烷碳同位素相对于陆良和杨林较富集^{13}C, 其 $\delta^{13}C_1$ 值为$-60.0‰ \sim -65.4‰$, 生物成气中 CO_2 还原作用的影响较陆良、杨林盆地增加, 其成藏应早于上述二盆地. 天然气中 $\delta^{13}C_2$ 值$< -40‰$, 可作为偏腐殖质源岩生物化学成气阶段 $\delta^{13}C_2$ 的下限值. 该盆地天然气地球化学特征已向"过渡带气"趋近. 应关注保山盆地"过渡带气"的资源潜力. 景谷盆地原油伴生气具有典型的"过渡带气"的地球化学特征, 该盆地油、气主体为油型的低演化阶段同型、同阶的油、气组合, 可能有煤型气的复合贡献.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号: 49572122)和石油天然气总公司(编号: 960006)资助项目.

参 考 文 献

1 黄第藩, 李晋超. 陆相沉积中的未熟石油及其意义. 石油学报, 1987, 8(1): 1~9
2 徐永昌, 沈平, 刘文汇, 等. 一种新的天然气成因类型——生物-热催化过渡带气. 中国科学, B辑, 1990(9): 975~980
3 王铁冠, 钟宁宁, 侯读杰, 等. 低熟油气形成机理与分布. 北京: 石油工业出版社, 1995. 191
4 刘文汇, 徐永昌, 史继扬, 等. 生物-热催化过渡带气形成机制及演化模式. 中国科学, D辑, 1996, 26(6): 511~517
5 Schoell M. Multiple origins of methane in the Earth. Chemical Geology, 1988, 71: 1~10
6 刘树根, 戴苏兰, 赵永胜, 等. 云南保山盆地烃源岩及天然气生成特征. 天然气工业, 1998, 18(1): 18~24

(1998-08-12收稿, 1998-11-13收修改稿)

民生产总值(GNP)的水平正处于发达国家的中期阶段,即基础工业与基础设施发展最快的时期,矿产品使用强度将达到高峰期,人口增长也将达高峰. 到2020年,中国对各种矿产品的需求将增加1倍以上,对大多数矿产品的需求量将超过美国而居世界第一,对矿产品的需求总量将跃居世界第一. 中国后备矿产资源匮乏,矿产资源的这种严峻形势将严重制约中国经济第二、三步发展战略的实现和经济、社会的可持续发展.

2 超大型矿床是缓解矿产资源紧缺压力的关键出路之一

解决中国如此严峻的矿产资源问题的出路可有多种选择:( ) 进口矿产资源——买矿. 包括通过出口中国丰富的矿产资源,换取外汇,进口中国短缺矿产(如铁、铜)和在世界矿产品低价位时进口并储备短缺矿产;( ) 在国外合资或独资找矿、开矿. 在矿产资源丰富、投资环境宽松的国家购买矿山,独资或合资开采,或者在这些国家的有望地区开展地质找矿并开采.

目前,随着冷战的结束,国际矿业的发展实现了全球化. 资源问题超出了国界,许多国家,特别是发展中国家修改本国矿业法,开放了矿产资源市场,改善投资环境和矿业结构,这给我们到国外买矿、找矿、开矿提供了机遇. 但必须看到,靠上述途径只能在一定程度、一定时期缓解中国矿产资源的短缺,不解决根本问题. 解决中国矿产资源的出路应立足国内为主,在国际市场买矿、开矿或找矿为辅. 现在的国际经济和政治形势只是使我们突破了原来以买矿为主的单一辅助措施,增加了到国外开矿、找矿的新措施,但不能代替中国矿产资源的研究和开发.

立足国内,必须进一步加强对中国矿产资源的基础研究,这虽是个老问题,但在当前矿产资源国际化的新形势下,更有其重要意义. 人类对地球中矿产资源的研究开发经历了由经验找矿(直接找矿)到以理论为指导的理论找矿(间接找矿)的发展. 目前大量新技术、新方法(如地球物理、地球化学)迅速发展和应用,使地学理论带来革命性变革,板块构造及相关地球(特别是大陆)动力学理论,使传统地学面貌一新. 软件、网络和模拟技术为代表的知识经济时代的到来,在地学中集中体现在三"S"系统(遥感RS、地理信息系统GIS和全球定位系统GPS)广泛应用,使矿产资源研究与开发进入了信息找矿时代. 地学工作者可由已知矿床信息图象建立遥感找矿模型,迅速圈定找矿远景区和靶区,大大缩短找矿周期并节约大量人力、物力. 耗费大量人力、物力的地质基础图件的填制也将由"3S"技术的应用而缩短时间和成本. 还可预料,随着仿真模拟和深部层析探测技术的发展,以钻探进尺圈定储量的传统勘探方法将受到强烈冲击而改观. 在这种迅速发展、面目全新的国际经济和科技大环境中,中国矿产资源的基础研究与开发从何处"着手"或"切入",其"靶区"应聚焦在哪里? 我们认为抓"大"放"小",打"超大型矿床"这张品牌是新形势下矿产资源研究与开发的最佳选择,其依据如下:

2.1 超大型矿床的开发具有巨大的经济和社会效益,为实施可持续发展提供重要支撑

重要矿业的开拓及工业基地的建立依托于超大型矿床,如中国锡业著称于世,是国际上主要锡产出国和出口国,这主要来源于中国云南个旧和广西大厂两个超大型锡矿. 中国重要钢铁-稀土工业基地包头依托于白云鄂博超大型稀土-铁-铌矿床. 澳大利亚是世界重要的铁矿出口国,其全部铁矿石来源于一个超大型矿床——Harmsley. 可见,超大型矿床巨大的储量使其经济效益无可相比,如澳大利亚著名的Olympic Dam超大型铜-铀-金矿床中铜的储量与中国铜储量几乎相等,黄金储量相当于50个大型金矿床.

2.2 超大型矿床的研究将带动地球科学的发展

目前,找矿,特别是寻找超大型矿床的难度越来越大. 超大型矿床的形成是一低概率事

件, 其形成条件、成矿机理、分布规律和找矿方向等与一般大、中、小矿床有类似之处, 更有许多差异, 它们往往更具复杂性和多样化. 因此, 探索超大型矿床成矿机理和找矿方向等问题, 必须综合运用矿床学、地球化学、地质学、地球物理学等多学科的研究成果、理论和方法, 是一项高度综合性的系统工程. 超大型矿床的研究成果不仅为寻找超大型矿床提供重要理论依据, 而且可以带动地球科学中相关学科, 如矿床学、构造地质学、岩石学、地球化学、地球物理学等学科的发展.

2.3 超大型矿床是国际地球科学研究的前沿课题之一

虽然由于矿业的国际化和环境问题, 发达国家纷纷将矿产开发转向国外, 但基于上述原因, 超大型矿床的研究却倍受青睐. 1989~ 1996年的第28, 29和30届国际地质大会都设立了超大型矿床专题; 1994年的国际矿床成因讨论会把超大型矿床列为重要议题; 国际地球物理大地测量联合会(IUGG)、国际地质科学联合会(IUGS)和国际岩石圈委员(ICL)将会超大型矿床列为国际地球科学领域的12个重大课题之一[1], 美、加、澳等发达国家将超大型矿床列为本国矿产资源的重要研究对象[2].

2.4 实施资源-环境一体化的最佳途径

全球矿业不景气的重要原因之一是囿于环境问题的巨大压力, 矿产开采严重破坏了生态环境. 由于超大型矿床是超常量的成矿元素聚集在一处, 因而, 便于控制和治理由于开矿所造成的环境破坏, 开采一处超大型矿产所造成的环境效应远比开采分散多处的中小型矿床要小得多, 使集中治理环境更为经济、有效. 在当前世界各大矿业公司的开发战略中, 其选择原则是"环境影响可降至最低、矿量大、开采寿命长的矿床", 符合这种原则的首推为超大型矿床.

3 赶超世界地学先进水平的突破口

中国区域地质的优势, 特别是在世界上占优势的某些矿产资源, 为中国在世界地学领域占有一席之地奠定了基础, 它是中国在世界地学领域可"有所为"的重要领域. 以著名矿床学家涂光炽院士为首席科学家的超大型矿床基础研究, 在国家"八五"攀登计划实施中取得了许多重要进展, 突出表现在以下几方面[3~5]: ( ) 提出了中国超大型矿床的分类原则——常规型、非常规型, 过渡型; ( ) 发现了超大型矿床在矿床类型上的选择性和局限性, 即并非某一矿种的各种矿化类型都可以形成超大型矿床, 只是其中的一二种或三种类型可以形成超大型矿床, 在一定程度上某一矿种对其可能出现的超大型矿床在类型上是有选择性的, 如层控型、斑岩型和块状硫化物型易形成超大型矿床, 而石英脉型、伟晶岩型、夕卡岩型、云英岩型难以形成超大型规模; ( ) 立足于寻找超大型矿床, 提出了中国6个新的成矿域: 中亚-东亚金、银、稀土、多金属成矿域; 扬子地台西南低温热液矿床金、银、铜多金属成矿域; 滇东南-桂西块状硫化物矿床成矿域; 郯庐断裂北段东侧前寒武系非金属成矿域; 东南沿海陆相火山岩非金属成矿域; 西南三江铜、金、银、铅、锌、锗等成矿域; ( ) 通过铅同位素地球化学填图, 厘定了中国超大型矿床沿铅同位素急变带分布. 这种急变带两侧存在分属不同块体的中元古代基底, 岩石圈结构存在明显差异, 火山和热水沉积作用广泛发育, 并存在晋宁期至中新生代的动力变质和岩浆作用改造成矿; ( ) 确定了中国东部喜山期和南方晋宁期对金属成矿的重要意义, 是中国2个新的金属成矿期, 如滇东东川、易门、龙脖河等铜矿的成矿年龄为777, 794和869 Ma[6], 东南沿海非金属超大型矿床成矿时代10~ 20 Ma, 著名的台湾金瓜石超大型金矿床形成更为年轻, 为1.0 Ma. 这在过去并未引起中国矿床及地质学界的重视. 对晋宁期和喜山期成矿意义

的确定具有重要的理论和实际意义. 中国在超大型矿床研究领域所取得重要成果在国际上产生了较广泛的影响, 澳、加、俄、南非等国与中国开展了广泛学术交流与合作. 可见, 中国超大型矿床研究处于与国际同步阶段, 在成矿规律和机理研究上处于国际行列.

根据上述分析, 中国在矿产资源基础研究领域"有所为"的选择应是超大型矿床. 抓"大"放"小", 紧紧围绕超大型矿床这一目标开展相关基础研究, 在理论和经济上都有重大意义, 这是中国在地学领域赶超世界先进水平的突破口和切入点.

4 成矿动力学——地球各圈层相互作用是超大型矿床基础研究的核心内容

超大型矿床是成矿元素在地壳适宜空间的超常富集, 一般情况下, 它超过大型矿床储量的5倍以上[1], 或是该成矿元素地壳平均含量的10^{11}~10^{12}倍[2]. 什么因素或何种机理控制了成矿元素如此超常程度的富集? 这是超大型矿床基础研究的核心科学问题. 对超大型矿床形成的全球背景对比研究, 特别是80年代以来兴起的地球动力学将超大型矿床形成机理研究提高到一新水平. 化学地球动力学的研究成果揭示了地幔的垂向与横向不均一性; 地幔交代作用, 地壳与地幔之间双向物质及能量的交换和运动规模已远超出人们的想象; 科学工作者在深海直接观测到了现代热液活动及成矿作用; 地球物理的层析技术揭示了许多矿床与深部地幔热柱的空间联系; 矿床同位素体系研究揭示了许多矿床, 特别是超大型矿床在成矿过程中地幔物质的重要作用; 精确同位素年代学方法的建立揭示了许多超大型矿床成矿过程的多期性. 所有这些特点都表明, 必须把超大型矿床形成的全过程(形成及形成前后)放在地球巨系统的动力学系统中进行研究, 才能充分认识超大型矿床的形成机理, 这种动力学系统可统称为成矿动力学, 它由两部分组成: 成矿地球化学动力学和成矿地球动力学.

4.1 成矿地球化学动力学

这里是指狭义的动力学(kinetics), 是运用化学热力学和不可逆过程热力学原理研究成矿作用的地球化学过程. 它通过研究沉积成岩、变质、岩浆结晶及改造等成矿作用的动力学特征(如流体/岩石相互作用、矿物结晶), 探讨成矿物质来源、运移及富集定位过程.

80年代以来, 成矿地球化学动力学取得了令人瞩目的成果, 如发现了成矿流体的多样性, 除了传统的岩浆热液、变质热液外, 海水、大气降水、建造水等在成矿中发挥了重要作用; 发现了新的重要成矿作用, 如热水沉积成矿、改造成矿、低温成矿; 矿床多成因论的确定和发展, 打破了同一类型矿床在形成机制和成矿模式上基本相同的传统认识.

涂光炽教授近期提出了自然界特殊态物质如: 纳米级物质、超临界流体和剪切带流体对成矿的重大意义, 它形成了成矿地球化学动力学研究的新领域.

4.2 成矿地球动力学

应用大陆动力学, 特别是化学地球动力学的理论和方法, 研究成矿作用和成矿过程的地球动力学背景, 为矿床形成过程、机理及找矿提供依据. 目前, 成矿地球动力学重点包括以下研究领域: (1) 成矿演化. 即随着地质时代推移, 矿种数量增加, 矿化类型趋复杂, 控矿因素趋多样化, 在总的成矿趋势上迭加若干周期性因素. 最典型的表现是成矿的时控性[7~9]. (2) 地壳增生与成矿作用. 地球动力学的研究成果揭示了地壳增生的不同方式: 一是水平增长, 这是传统公认的, 研究程度较高. 它主要表现为岛弧及聚合边界板块碰撞模式, 在不同发育阶段, 产生了不同的成矿作用, 形成了不同动力学环境下的矿床组合; 二是近些年来所揭示的以底侵垫托(底垫)和地幔热柱为代表的地壳垂直增生, 对超大型矿床形成起了重要作用, 它是地

壳深部及地幔物质参与成矿的重要方式. (3) 岩石圈地球化学边界与成矿. 如前述, 超大型矿床沿铅同位素地球化学急变带分布, 它显示了岩石圈地幔的不同地球化学端员(亏损的、富集的)及地幔地球化学作用(地幔交代)对成矿的控制[8]. (4) 成矿作用的地球物理场. 近代地球物理中的层析技术揭示了超大型矿床的地球物理场特征, 如中国东部岩石圈地幔在400 Ma以来减薄了近200 km[10,11], 这样一个大的地球物理场背景, 无疑对该区从古生代到中生代、新生代的成矿起了不可忽视的控制作用. 而成矿区地热、地磁场特征对揭示成矿机制及找矿均有重要意义. 因此, 地学大断面资料是当今成矿学研究不可缺少的. (5) 重大事件与成矿. 在地球发育过程中发生了一些重大的事件, 如球外物体的冲(撞)击作用[12]、缺氧事件、海平面变化等, 一些超大型矿床形成与这些重大事件的发生有密切关系.

5 树立新的资源观, 建立资源-环境一体化新体系

矿产资源是地球赋予人类的财富, 是不能再生的. 中国面对矿产资源需求的巨大压力, 如果只是一味的加大开采, 不考虑保护, 终将遭到大自然的报复. 矿产资源开采具有两面性, 在获得所需要的矿产品同时, 也造成了森林、草原、水系、土壤及大气等人类生存环境重要因素的破坏. 因此, 必须树立新的资源观, 实行资源-环境一体化, 达到自然与社会的协调发展. 我们不仅要研究矿产资源的形成规律, 也要研究矿产开采的环境效应, 实现"无破坏"或将矿产开发所造成的环境破坏降到最低限度, 实行"生态矿业", 即在矿产开采区实行开采与保护并重, 推行矿区土地复垦、尾矿综合利用和生态恢复、保持资源-环境平衡系统. 目前, 可地浸型的铜、铀(如砂岩型)和稀土矿床(花岗岩风化壳型)代表了这种新资源观的新方向, 应加强寻找和开采技术的研究.

致谢 本工作为国家"攀登"计划(A-30和95-预-25)资助项目.

参 考 文 献

1 涂光炽, 赵振华, 刘秉光, 等. 庞然大物——与寻找超大型矿床有关的基础研究. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1995
2 Whiting B H, Hodgson C J, Mason R. Giant ore deposits. Society of Economic Geology Special Publication, 1993 (2): 1~13
3 涂光炽. 试论非常规超大型矿床物质组成、地质背景、形成机制的某些特殊性——初谈非常规超大型矿床. 中国科学, D辑, 1998, 28卷(增刊): 1~6
4 朱炳泉, 常向阳, 邱华宁, 等. 地球化学急变带的元古宙基底特征及其与超大型矿床产出的关系. 中国科学, D辑, 1998, 28卷(增刊): 63~70
5 Guangzhi Tu. Some problems pertaining to superlarge ore deposits of China. Episodes, 1995, 18(12): 83~86
6 邱华宁, 孙大中, 朱炳泉, 等. 东川铜矿同位素地球化学研究. ㊀ Pb-Pb与Ar-Ar法成矿年龄测定. 地球化学, 1997, 26(2): 39~45
7 涂光炽. 回顾30年来的矿床学. 见: 王鸿桢主编. 中国地质科学发展的回顾. 武汉: 中国地质大学出版社, 1995. 126~134
8 Ohmoto H. When did the earth's atmosphere become oxic? Newsletter of Geochemical Society, 1997, 93: 26~27
9 裴荣富. 金属成矿省地质历史演化与特大型矿床. 矿床地质, 1997, 16(2): 169~170
10 袁学诚. 秦岭岩石圈速度结构与蘑菇云构造模型. 中国科学, D辑, 1996, 26(3): 200~215
11 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 1996. 14~22
12 Deutsch A. Isotope systematics support the impact origin of the Sudbury Structure (Ontario, Canada). Geological Society of America, Special Paper, 1994. 293

(1998-06-16收稿, 1998-09-01收修改稿)