

花岗岩有关稀有金属矿床研究新进展

New Advances in the Study of
Granite-Related Rare Metal Deposits

毛景文 王登红

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

提 要:综合评述了花岗岩有关稀有金属矿床近几年研究的新进展。主要进展:地球历史演化与稀有金属元素在地壳中的富集;花岗岩演化途径与成矿;板块成岩成矿模式;高热花岗岩对形成超大型矿床的贡献;有机质与成矿关系;大型稀有金属矿床新产地。

主题词:稀有金属矿床 花岗岩 新进展

稀有金属^①通常包括 Nb、Ta、W、Sn、U、Be、Li、Rb 和 Cs 等元素^[17]。绝大多数稀有金属矿床成矿作用与花岗岩有着密切的成因联系。80 年代中期以来,在国际矿产品市场上稀有金属价格疲软,影响了在该方面研究的投入。尽管如此,花岗岩有关稀有金属成矿作用的复杂性和可探索性仍然吸引着一批学者在艰难环境中挚著的追求,并取得了一系列长足进展。

(1)金属富集到工业品位矿石是一个全球范围内有效的大规模和长期分异过程的最终产物(Brimhall, 1987)^[10]。Lehmann(1994)^[17]在综合前人资料的基础上,提出了几种主要稀有金属元素在地球演化历史中的演化趋势(图 1)。他认为地球最早期的历史演化以地核分凝和由气固分异所控制的原始地幔不断增长为特征。由于稀有金属的低挥发性或难熔性而趋向地壳,在原始地幔中贫化。原始地幔的晶体-液体分异作用形成了太古宙地壳,显生宙壳内分异作用导致了现今的大陆元素分布模式。而花岗质岩浆的形成和运移主导着陆壳内稀有元素的分散和富集。稀有元素在上地壳的富集表明了在地壳物质部分熔融期间的不相容行为。

(2)与稀有金属矿床有关的花岗质岩浆往往被认为源于地壳本身,而且经历过多阶段分异演化作用。在分异演化过程中不相容元素(稀有金属元素)和挥发组分在最晚阶段的小岩体聚集并成矿^[7,11,12,14,16,17,24,29,32],这是一种普遍的稀有金属成矿演化模式,且以 Groves(1978)^[12]提出的模式为经典。但在我国,不少与大型稀有金属矿床有关的花岗岩体多表现为在一套岩体中有两期以上高度分异岩体与成矿有关,例如,大厂锡矿床、个旧锡矿床、柿竹园钨锡钼铋矿床和西华山钨矿床^[1,8,18,21]。在本类成矿演化系统中以大厂锡矿区中的花岗岩演化模式为代表^[1]。在一定程度上讲,花岗岩多阶段分异演化成矿是形成大型和超大型矿床的重要因素之一。

(3)前苏联的解体导致其地质资料对外开放,不少外国学者亲赴野外考察研究。中哈萨克斯坦是一个重要的与花岗岩有关钨钼矿床和斑岩铜矿床的集中分布区。主要矿床有 Verkhnee-Kairakty, Akmaya, Quatpar, Nuratatdy, Batystau, Zhaur Yushni, Aqshetau, Kounrad 和 Kounrad-East 等。其中 Aqshetau 矿床在前苏联时期 WO₃ 已产出 120,000 t; Verkhnee-Kairakty 矿床拥有一百万吨钨储量,平均品位 0.135%,且尚未开采(Heinhorst et al., 1995)^[13]。这些矿床的形成与花岗岩有着密切的关系。该区花岗岩系列通常由花岗闪长岩和淡色花岗岩组成,两者具有成因联系,所有矿床均产于淡色花岗岩周围。由于高磁化率(70.3×10^{-3} SI)和仅有磁铁矿而无钛铁矿,因而确定为 I 型花岗岩。实际上,中哈萨克斯坦这组钨钼矿床与我国河南三道庄钨钼矿

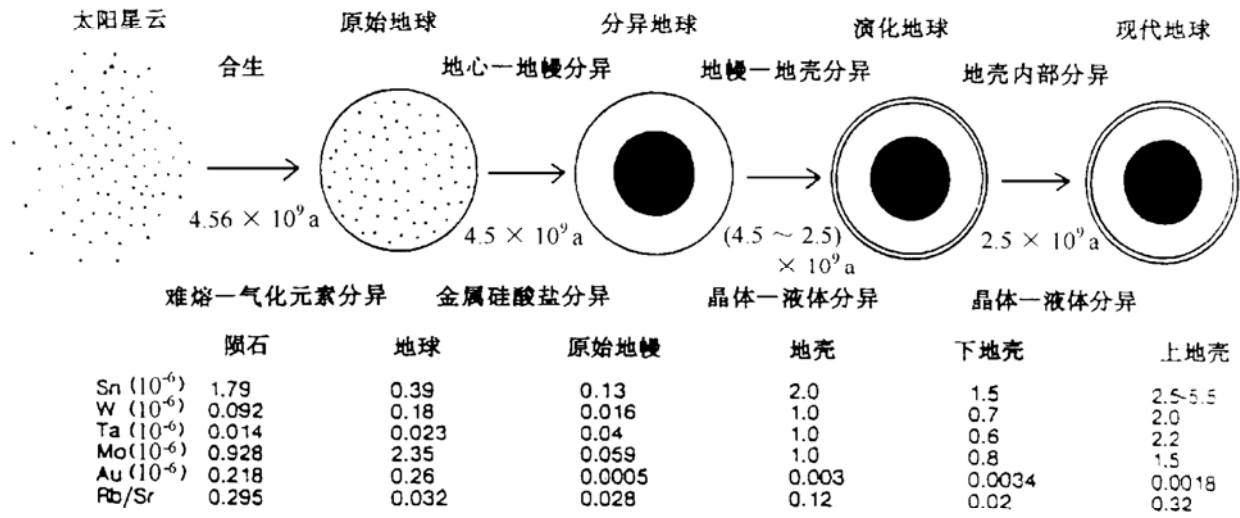


图 1 在地球历史中某些金属分异演化模式
(据 Lehmann,1994)^[17]

床在成因上基本类同。

(4)对于稀有金属矿床形成的大地构造环境一直是一个在不断探索的课题。在 80 年代初,一般认为以锡为代表的稀有元素矿床分布于板块俯冲的弧后地带(Sawkins,1984)^[23]。仅西藏南部的一些锡矿化被认为是大陆碰撞环境的产物(Be Forte,1975)。毛景文等(1993)^[6]曾用板块理论尝试阐述我国锡矿床的分布规律,但对于华南地区广泛大面积产出稀有金属花岗岩和矿床,显然没有获得令人信服的解释。最近,欧洲一批地质学家和矿床学家联手尝试用大陆碰撞理论去认识中欧 Erzgebirge(Krušné Horny)地区的海西期 W-Sn-Mo 矿床的产布规律,取得了一批有意义的资料(例如 Sltmann et al.,1994,^[24]1994^[25])。与此同时,运用板块碰撞理论初步建立了中亚哈萨克斯坦地区 W-Mo 花岗岩的生成演化环境(图 2)。

矿床成矿系列概念(程裕淇等,1979)^[2]提出之初仅为一种区域矿床学分类。最近,陈毓川等(1995)^[1]在桂北地区把成矿系列概念与构造运动、成矿历史演化结合起来,解剖了该区从元古宙到燕山晚期地壳开合历史程式和稀有多金属矿床成矿作用多次重现和定向迁移规律。

(5)富含 U 和 Th 等放射性元素的花岗岩被称为高热花岗岩。在研究同生 Sedexd 型矿床成因时,高热花岗岩往往被认为是驱动热液循环和萃取金属元素成矿的“热能机”(Solomon et al.,1992)^[26]。按照 Darley (1985)的定义,不少与稀有金属矿床有关花岗岩本身就是高热花岗岩。毛景文等(1995)^[8]对柿竹园地区千里山花岗岩体进行了比较详细的地质地球化学研究,证明该岩体的三个阶段岩石均为高热花岗岩,并伴生有 W-Sn-Mo-Bi-Be-F 矿化或 Pb-Zn-Ag 矿化。从第一阶段到第三阶段岩体定位持续了 20×10^6 a。而且由于它们均富含放射性元素,可以设想该岩浆体系及周围环境长期保持着高热状态。由此以来,岩浆得到了充分分异,成矿元素高度聚集,并有助于形成一些热流循环系统,从围岩中汲取有用组分。Plimer 等(1995)^[22]在对澳大利亚 Mole 含锡花岗岩研究时,也认为其为一个高热花岗岩。通过对全球超大型-大型花岗岩稀有金属矿床系统总分析,花岗岩的高热性也是其形成稀有金属矿床的一个必要条件。

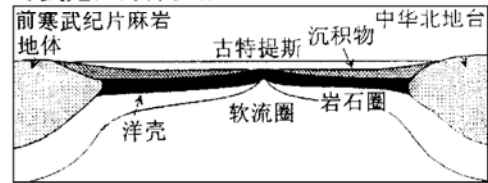
(6)放射性和稳定同位素的广泛应用,使矿床地质学家有机会厘定成矿时代、成矿流体性质、不同源成矿流体的混合程度和成矿流体演化轨迹。例如,Matveyeva(1995)^[19]系统地测定了 Akchatau 云英岩型钨矿床中绿柱石的惰性气体同位素及石英氧同位素,确定在五个阶段矿化中,仅最早阶段为岩浆水,其余以大气降水为主。Plimer 等(1995)^[22]用 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法精确测定澳大利亚 Mole 花岗岩的不同相和有关矿化的成岩成矿时代,计算出该区热液活动长达 30×10^6 a。Neiva 等(1995)^[20]利用 ^{40}Ar - ^{39}Ar 和 Rb-Sr 方法测定伊比利亚花岗岩及有

关钨锡矿脉中白云母,认为岩体结晶后矿化流体活动长达 $2 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6$ a。

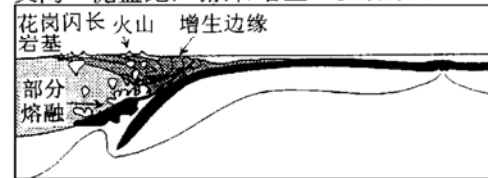
Zhang Ligang et al. (1994)^[31]模拟实验确定了石英-锡石-水和黑钨矿-水的氧同位素分馏反应式。Stauch et al., (1994)^[27]基于对德国 Erzgebirge 地区锡矿床中锡石和石英的氧同位素研究,提出了锡石-水的同位素分异方程式,即 $10^3 \ln \alpha_{\text{cs-water}} = 2.99 \times 10^6 / T^2 - 9.5$ 。自 80 年代以来,随着一些高技术测试手段,例如离子质谱、二次离子质谱。共振离子质谱、加速器质谱和负离子热电离质谱等方法的问世和不断改进,Re-Os 同位素方法对稀有矿床的辉钨矿直接定年显示出了有效性(杜安道等,1994^[3];黄典豪等,1994^[4];Stein et al., 1995^[28];李红艳等,1996^[5])。

(7)有机质碳对锡矿床成矿作用的认识越来越受到重视。碳的富集可以呈黑色页岩、碳水化合物、沥青或石墨形式。在诸多重要锡矿带,例如,玻利维亚、华南、利比里亚、塔斯马尼亚等,锡矿床的围岩为碳酸盐类、钙质黑色页岩或黑色砂板岩。在含锡花岗岩侵位期间,围岩大量被同化和混染,有机质可以影响锡的富集和分散(Zentilliet al., 1995)^[30]。在高 f_{O_2} (高 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值)条件下,岩浆结晶过程中锡可以以 Sn^{4+} 状态出现,所以可以进入磁铁矿、榍石和钛铁矿晶格代替 Ti^{4+} 和 Fe^{3+} ,因而导致锡分散。相反,在低 f_{O_2} 岩浆中锡呈 Sn^{2+} 状态,所以不易进入其它矿物晶格,相应残余流体中富集。此外,富含有机质地层本身就是诸多微量元素、黄铁矿和硫之源(Kribek, 1991)^[15],这些元素在岩浆期后的成矿过程中可能参与成矿作用。对大厂锡矿的成矿作用,涂光炽(1987)^[9]认为 Sn、W 和 Cu 来自花岗岩,而 Sb、Zn、Pb、As 和 S 与泥盆纪含碳硅质岩和碳酸盐岩有关,后者经活化堆积于背斜构造的轴部。

寒武纪: 海洋扩张



奥陶—泥盆纪: 俯冲/增生、弧岩浆作用



石炭纪: 正褶皱弯曲, 海盆闭合



晚石炭—二叠纪: 内碰撞, 随之张裂

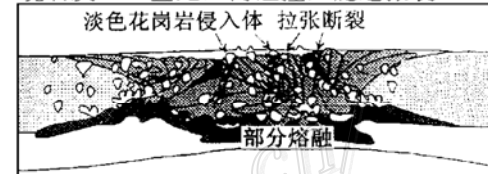


图2 哈萨克斯坦古生代地壳演化略图

(据 Heinhorst et al., 1995^[13])

参 考 文 献

- 1 陈毓川,毛景文等. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹. 南宁:广西科学技术出版社,1995,393~410
- 2 程裕淇,陈毓川,赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报,1979,第1号
- 3 杜安道,何红蓼,殷万宁等. 辉钨矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报,1994,68(4):339~347
- 4 黄典豪,吴澄宇,杜安道等. 东秦岭地区钨矿床的铼-钨同位素年龄及其意义. 矿床地质,1994,13(3):221~230
- 5 李红艳,毛景文,孙亚莉等. 柿竹园钨多金属矿床铼-钨同位素等时代年龄研究. 地质论评,1996,42(3):261~267
- 6 毛景文,毕承思,李红艳. 中国锡矿成矿带与板块构造的关系. 见:矿床地质专业委员会编. 第五届全国矿床会议论文集. 北京:地质出版社,1993,358~360
- 7 毛景文. 云南腾冲地区火成岩系列和锡多金属矿床成矿系列. 地质学报,1988,62(2):175~188
- 8 毛景文,李红艳,裴荣富等. 千里山花岗岩体地质地球化学及与成矿关系. 矿床地质,1995,15(1):12~25
- 9 涂光炽. 广西大厂矿床成因并兼论锡石硫化物矿床形成条件. 锡矿地质讨论会论文集. 北京:地质出版社,1987,105~109
- 10 Brimhall G H. Preliminary fractionation patterns of ore metals through early history. Chem. Geol., 1987,64:1~16
- 11 Gagny C L, Cuney M. Structural, geochemical and ore distribution evidence for the genetic relationship between "ultimate" granitic intrusions and Sn-W mineralization. In: Pagel M Leroy J. eds. Source, transport and deposition of metals. Balkema, Rotterdam, 1993, 751~754
- 12 Groves D I, McCarthy T S. Fractional crystallization and the origin of tin deposits in granitoids. Mineralium Deposita, 1978, 13:11~22

- 13 Heinhorst J, Lehmann B, Seltmann R, Shatov V. Rare-metal granite magmatism and crustal evolution of Central Kazakhstan: a reconnaissance study. In: Pasava J, Kribek B, Zak K. eds. Mineral deposits: from their origin to their environmental impacts. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1995, 455~458
- 14 Higgins N C, Solomon M, Varne R. The genesis of the Blue Tier batholith, northeastern Tasmania, Australia. *Lithos*, 1985, 18:129~149
- 15 Kribek B. Metallogeny, structural, lithological and time controls of ore deposition in anoxic environments. *Mineralium Deposita*, 1991, 26:122~131
- 16 Lehmann B. Metallogeny of tin. Springer, Berlin/Heidelberg/New York, 1990
- 17 Lehmann B. Granite-related rare-metal mineralization: a general geochemical framework. In: Seltmann R, Kampf H, Moller P. eds. Metallogeny of collisional orogens. Czech Geological Survey, Prague, 1994. 342~349
- 18 Mao J, Li H, Perrin M, Raimbault L, Guy B. Spatial-temporal relationship of multiple phases of granitic rock to multiple periods of mineralization in the Shizhuyuan W-polymetallic deposit, South Hunan, China. In: Hanch-Ali, P F, Torres-Ruiz J, Gervilla F. eds. Current research in geology applied to ore deposits, 1993, 633~636
- 19 Matveyeva S S. Geochemical indicators of water sources for ore-forming fluids of the Akchatau greisen deposit. In: Pasava J, Kribek B, Zak K, eds. Mineral deposits: from their origin to their environmental impacts. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1995, 483~485
- 20 Neiva A M R, Dodson M H, Rex, D C, Guise P G. Radiometric constraints on the cooling history of hydrothermal circulation related to the Jales gold-quartz mineralization, Northern Portugal. In: Pasava J, Kribek B, Zak K, eds. Mineral deposits: from their origin to their environmental impacts. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1995. 492~492
- 21 Pei Rongfu, Mao Jingwen. On petrominerogetic models of tin-tungsten granites in south China. Abstracts of Volumes 2, 28th International Geological Congress, 1989, 589~590
- 22 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
- 23 Sawkins F J. Metal deposits in relation to plate tectonics. Springer-Verlag, 2nd edition, 1990
- 24 Seltmann R. Sub-volcanic minor intrusions in the Altenberg caldera and their metallogeny. In: Seltmann R, Kampf H, Moller P, eds. Metallogeny of collision orogens. Czech Geological Survey, Prague, 1994. 198~206
- 25 Seltmann R, Faragher A E. Metallogeny of collisional orogens-review papers. In: Seltmann R, Kampf H, Moller P, eds. Metallogeny of Collisional Orogens. Czech Geological Survey, Prague, 1994. 7~20
- 26 Solomon M, Heinrich C A. Are high-heat-producing granites essential to the origin of giant lead-zinc deposits at Mount Isa and McArthur River, Australia? *Explor. Mining Geol.*, 1992, 1(1):85~91
- 27 Stauch G, Thomas R, Schidlowski M. Oxygen isotope fractionation in quartz-cassiterite mineralization from the Erzgebirge region, Germany. In: Seltmann R, Kampf H, Moller P, eds. Metallogeny of collisional orogens. Czech Geological Survey, Prague, 1994. 218~223
- 28 Stein H J, Markey R, Morgan J W, Sundblad K. Re-Os ages for Precambrian molybdenites from Kuittila, Finland and Kabeliai, Lithuania. In: Pasava J, Kribek B, Zak K, eds. Mineral deposits: from their origin to their environmental impacts. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1995. 525~530
- 29 Stempok M. Magmatic evolution of Krusne hory-Erzgebirge batholith. *Z. Geol. Wiss.* 1993. 21:237~245
- 30 Zentilli M, Pasava J, Graves M C. Possible roles of organic carbon in the control and genesis of tin deposits. In: Pasava J, Kribek B, Zak K, eds. Mineral deposits: from their origin to their environmental impacts. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1995, 825~828
- 31 Zhang Ligang, Liu Jingxu, Chen Zhenshang, Zhou Huanbo. Experimental investigations of oxygen isotope fractionation in cassiterite and wolframite. *Econ. Geol.* 1994, 89:150~157
- 32 Suwimonprecha, P, Černý P, Fridrich G. Rare metal mineralization related to granites and pegmatites, Phuket, Thailand. *Econ. Geol.*, 1995, 90:603~615