

钨矿床研究态势

毛景文* 张作衡 党泽发

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

提 要: 钨在地球历史演化中, 逐渐向地壳分异富集。在成矿历史演化中, 钨在显生宙成矿具多发性, 尤以海西期和燕山期最为重要。尽管现代同生成矿理论最初开始于对欧洲层状白钨矿床的研究, 但近些年来, 越来越多研究证明绝大多数钨矿床在成因上与花岗质岩体关系密切, 甚至包括层控钨矿床的发祥地。本文还明确提出了与 I 型花岗岩、S 型花岗岩、过渡型花岗岩有关的三个钨矿床成矿系统, 并对比其基本特点。近些年来, 探索钨矿床成矿的构造环境是另一个重要走向。

关键词: 研究进展 成矿演化 花岗岩成矿 成矿环境 钨矿床

我国是钨资源大国, 其储量和产量均为世界第一。自从徐克勤 40 年代开始在赣南地区进行钨矿考察和研究以来, 我国学者一直在这一优势矿产研究中不断进取。最近 10 多年来, 由于在国际市场中钨价格下跌, 世界范围内对钨矿研究和勘查投资比较少。尽管大环境不利, 对钨矿床研究从未停顿过。本文就近 20 年来钨矿床研究的主要方面作概要述评。

1 钨在地球发展历史中的演化趋势

钨在国际上被归类为稀有金属, 但在我国与锡一起列为有色金属类。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)^[15]。Lehmann (1994)^[16]在综合前人资料的基础上, 提出包括钨在内的几种主要稀有金属元素在地球历史中的演化趋势。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。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。

钨在上地壳最为富集, 达 2×10^{-6} ; 在原始地幔含量最低, 为 0.016×10^{-6} 。如果考虑到在地质历史演化过程中钨趋于上地壳这一基本规律, 现代地幔中的 W 含量应低于 0.016×10^{-6} 。

就钨形成矿床及规模来看, 在前寒武纪比较少, 在我国仅见扬子地块西缘的平地钨矿床和扬子地块中间的贵州梵净山钨锡矿床。这些矿床的规模比较小, 一般钨储量仅几千吨。在北欧斯堪的纳维亚地盾上也发育有前寒武纪夕卡岩型钨矿床, 但每个钨矿床钨储量也不足 1 万吨。在我国西北祁连山地区发现有塔儿沟和小柳沟两处大型钨矿床, 钨储量均大于 20 万

* 毛景文, 男, 生于 1956 年 12 月, 研究员, 长期从事矿床地质和地球化学研究工作。邮政编码: 100037

吨,毛景文等(1998)^①研究结果表明其为加里东碰撞期前的产物。海西期是一次全球性的钨锡成矿期,西欧康沃尔—伊比利亚—比利牛斯—厄尔士巨型钨锡成矿带于海西期碰撞造山时形成(Hutchison, 1982, Seltmann et al., 1994)^[17,18];澳大利亚东南沿海—塔斯马尼亚是另一个海西期钨锡的成矿带(Kwak et al., 1982)^[19]。在中亚哈萨克斯坦—吉尔吉斯斯坦成矿带钨矿高度聚集,仅哈萨克斯坦 Verkhnee-Kairakty 矿床拥有 100 万吨钨储量,为世界第一大钨矿床(Heinhorst et al., 1995)^[20]。在我国天山海西褶皱带处发现有几小型钨矿床。中生代是钨矿的全盛时期,尤以白垩纪为最,著名的有中国华南钨锡成矿带、小秦岭钨钼成矿带和俄罗斯远东钨锡成矿带、东南亚锡钨成矿带、北美内华达钨成矿区。由上述可知,钨矿化在地质历史中,无论是储量还是分布范围都呈现出越来越增大的规律。朝鲜的 Sandong 钨矿也是世界级(World class)矿床之一,其成因有比较大的争议,矿床本身为层状夕卡岩型,如果理解为同生,则属前寒武纪矿床,若将其与周围中生代花岗岩联系在一起,当属中生代成矿。

2 同生钨矿化的可行性

70 年代至 80 年代初,矿床学经历了一场革命,对层控矿床的辩认和深入研究打破了岩浆热液成矿的一统天下。尤其是对现代海底和湖底成矿作用的直接观察研究,很快比较清楚地认识了以火山岩为容岩的 VMS 型矿床,以沉积岩为容岩的 Sedex 型矿床和以碳酸盐为容岩的密西西比型矿床的成矿过程,并开始将今论古,追索古代相同环境中的矿床成矿机制和分布规律。这场革命的最早发祥地之一的欧洲是以研究层状白钨矿为开端,正如 Klemm 和 Schneider (1977)^[21]称颂 Maucher 的层控思想始于 30 年代,并于 60 年代开始了一次关于欧洲以及全世界古生代层状铋-汞-钨矿的研究计划,结果促进了 1967 年在奥地利-阿尔卑斯大型费尔伯脱(密特伯尔)白钨矿床的发现。希尔(1977)^[1]和布罗德托布等(1977)^[2]总结了东阿尔卑斯早古生代铋-钨-汞建造中的矿床和阿根廷路易斯前寒武纪基底中的层控白钨矿床。此外,一批学者积极探索钨的初始富集与钨矿床之间的关系,例如,Plimer (1980)^[22]论证了镁铁质火山岩有关的喷气型锡和钨矿床是花岗岩有关锡和钨矿床的前身。在我国,一批学者在 80 年代尝试重新认识一批钨矿床的成因,朱金初等(1982)^[3]提出江西枫林钨矿床为一种海底喷流型同生钨和铁矿床;Wan Bing (1982)^[23]把大明山钨矿床论证为同生钨矿床;朱炎龄等(1981)^[4]、梁金城等(1981)^[5]、涂光炽等(1984)^[6]、肖启明等(1984)^[7]把湘西雪峰山一带的钨铋金矿床论证为同生沉积-后生改造成因,而孟宪民于 60 年代最早将其论证为同生沉积成矿,张理刚(1985)^[8]后来则认为是海底热泉成矿。这些学者认识虽然有一定分歧,但都属于同生成矿范畴。

随着研究工作的深入,80 年代末和 90 年代以来,人们又开始对 70~80 年代的研究进行了反思。在东阿尔卑斯山的层状铋-钨-汞矿床下部发现有隐伏花岗岩体的存在,放射性和稳定同位素研究证明了两者的关系。在湘西钨-铋-金矿带中,发现了不少煌斑岩脉以及金属具有分带性,分带中心存在着隐伏花岗岩体。史明魁(1992)^[9]利用沃溪矿脉中的石英

① 毛景文等,1998,北祁连山西段镜铁山式铁铜矿床成矿规律和成矿预测

流体包裹体进行了 Rb-Sr 等时线年龄测定, 获得了 $(144.8 \pm 11.7) \times 10^6$ a 数据。由此以来, 欧洲和中国这两个著名的铋-钨-汞矿带和钨-铋-金矿带可能属于后生, 而不是同生成矿。尽管如此, 并不能完全否认有同生钨矿化的存在。近 10 年来, 矿床学家们发现一种特殊喷气岩 (exhalite) 或热水沉积岩 (hydrothermal sedimentary rock), 电气石岩 (tourmalinite) 和石英锰铝榴石岩 (coticule) 可以用作鉴定同生矿床的有效标志, 例如, 澳大利亚 Broken Hill 及周围变蒸发岩中的白钨矿矿床 (Plimer, 1987; 1984)^[24,25]; 阿根廷 Sierra Parpeanas orientales 地区 100 多个白钨矿露头。

3 花岗岩有关钨矿成矿系统

在地球上, 绝大多数钨矿床与花岗岩有着密切的成因联系。大量工作证实与钨矿床有关的花岗岩一般有两大大类型, 即以中国南岭和中西欧为代表的高侵位高分异的过铝质含钨花岗岩和以中国小秦岭地区和哈萨克斯坦中部为代表的高硅富碱质含钨钼花岗岩。按照花岗岩的成因分类, 前者属于 S 型或钛铁矿型花岗岩类, 后者属于 I 型或磁铁矿型花岗岩类。在华南地区, 与斑岩型钨矿、铜钨矿有关的花岗岩属 I 型或磁铁矿型花岗岩。最近, 毛景文等 (1998) 认为北祁连山西段与塔儿沟和小柳沟钨矿床有关的花岗岩是一种介于前两者之间的过渡类型。兹将三类含钨花岗岩的基本特点列于表 1。

表 1 含钨花岗岩基本特征对比表

岩石类型	南岭型或厄尔士型	华南型	中原型或哈萨克斯坦型	北祁连西段
岩 性	黑云母花岗岩, 淡色花岗岩	花岗闪长岩, 石英二长岩, 花岗岩	花岗闪长岩, 淡色花岗岩	花岗闪长岩, 黑云母花岗岩
岩体出露面积/km ²	10~100	0.1~2.8		0.5~220
SiO ₂ /%	72~78	<67	73~78	60~71
(Na ₂ O + K ₂ O)/%	7~9	5~7	7~10	5~9
副矿物组合	锆石, 磁铁矿, 钛铁矿, 独居石	锆石, 磁铁矿, 金红石, 磷灰石, 褐帘石		榍石, 锆石, 磷灰石, 磁铁矿
铋初始值	0.712~0.755	0.703~0.707		0.7154
稀土元素模式图				
成岩类型	S 型	I 型		过渡型
矿化元素组合	W、Sn、Nb、Ta、Mo、Bi、Li、Be、REE	W、Mo、Cu、Fe		W、Mo、Be

反过来讲, 依据花岗质岩石成因类型及成岩物质的来源不同, 可将钨矿床分为三个成矿系统。

在我国, 与 I 型花岗岩有关的成矿系统分布比较局限, 呈比较孤立和分散, 代表性矿床有河南栾川三道庄钨-钼矿床, 为一种斑岩型和夕卡岩型复合矿床; 广东大宝山铁-铜-钨矿

床,也是一种夕卡岩型和斑岩型复合矿床;江西永平和阳储岭矿床,前者为一种似层状夕卡岩铜-钨矿床,后者则为一种比较典型的斑岩型矿床,绝大部分钨矿化发育于花岗闪长岩的岩体隆起部位;广东莲花山是一种特殊斑岩型钨矿床,虽然也具有比较清楚的围岩蚀变分带,即从中心到边侧有钾化带,石英绢云母化带和青盘岩化带,但矿体出现在外接触带而不是岩体顶部。I型花岗岩有关钨矿床成矿系统中各矿床的基本特点是矿化出现范围比较集中,仅在花岗斑岩体的内外接触带,矿化元素组合为 W-Cu-Mo-Fe,成矿氧逸度相对比较高($f_{O_2} = 10^{-30} \sim 10^{-28}$)。

与 S 型花岗岩有关的钨矿床在我国最发育,其成矿系统也比较复杂,成矿元素组合为 W、Sn、Mo、Bi、Be、Li、F、Nb、Ta、REE,成矿类型有蚀变花岗岩型、夕卡岩型、伟晶岩型、云英岩型、黑钨矿-石英脉型和锡石-黑钨矿石英脉型和角砾岩筒型,其中以夕卡岩型和石英脉型最为发育。该成矿系统中矿床类型与围岩关系密切,以碳酸盐岩为围岩时形成夕卡岩型矿床(例如湖南新田岭)和夕卡岩-云英岩型矿床(湖南柿竹园);以碎屑岩为围岩时往往形成石英脉型矿床(例如江西西华山和漂塘、广东锯板坑,广西珊瑚),以花岗岩为围岩则形成蚀变花岗岩型矿床(例如福建行洛坑)。与该成矿系统有关的花岗质岩石以高硅富碱多挥发组分(F和B)和 Li、Rb、Cs 不相容元素为特征,显示出高侵位和高度分异演化。花岗岩多表现为多期多阶段侵位复合在一起,因此不少矿床出现花岗岩多阶段成岩成矿(Pei Rongfu et al., 1989)^[25]。

与过渡型花岗岩有关的钨矿成矿系统仅见于北祁连山西段新发现的钨矿带。在表 1 中已经表明,有关花岗质岩石以低 SiO_2 , 高碱质组分为特征,具有典型 I 型花岗岩的副矿物组合,又有典型 S 型花岗岩的锶同位素初始值。塔儿沟钨矿床以早元古宙基底变质岩为主岩,其内的碳酸盐夹层被交代形成钙质夕卡岩矿体,其后有大脉状石英黑钨矿矿脉发育,并切穿夕卡岩矿体;小柳沟钨矿成矿系统比较清楚,从下到上有斑岩型、夕卡岩型和石英黑钨矿脉型的分带现象,当石英黑钨矿脉的旁侧为碳酸盐岩或含钙质岩层时,也形成钙质夕卡岩钨矿。矿化元素组合为 W、Be、Mo、Cu,成矿时 f_{O_2} 为 $10^{-32} \sim 10^{-34}$ 。此外,值得指出的是这一成矿系统中的流体包裹体成分测试(激光拉曼光谱方法)表明,无论是气体还是液体,其 CO_2/H_2O 比值大于 1。这种异常现象值得深入研究,是否有地幔流体参与成矿活动,还是有其他原因。

4 钨矿床成矿环境

在 70 年代以前,对钨矿床的研究主要集中在成矿作用及区域分布规律方面。70 年代末到 80 年代,开始注意钨矿床的区域成矿环境,以 Sawkins (1984)^[27] 和 Mitchell (1981)^[28] 的两本专著为代表总结了不同板块构造环境中发育的矿床类型组合。这两本书主要是根据板块构造研究的新进展和块状硫化物矿床研究新进展及对其他矿床类型构造环境的重新厘定编写而成。

90 年代以来,欧洲科学家连续 3 次以钨锡稀有矿床构造成矿环境为主题进行了研究,第一、二轮研究以中欧厄尔士地区和中亚哈萨克斯坦地区为研究内容,先后出版了“碰撞造山的成矿作用”(Seltmann et al., 1994)^[18] 和“哈萨克斯坦中部及邻区花岗岩有关矿床”

(Shatov et al., 1996)^[29]。这两次研究结果都证明了钨等稀有金属矿床形成于板块碰撞会聚阶段, 与成矿有关花岗岩既有 I 型也有 S 型。目前, 新一轮研究在俄罗斯远东地区正在进行之中, 可望出一批新成果。

我国虽然钨矿床分布广泛, 对不少矿床曾进行了比较详细地解剖, 但对成矿环境研究得比较少。钨矿床最集中分布的南岭地区在燕山期是什么样的成矿构造环境, 令人困惑。以往人们笼统将其推测为太平洋板块俯冲环境, 裴荣富等 (1997)^[10]认为碰撞环境, 毛景文等 (1998)^[11]提出南岭地区区域矿床环形有序分布与地幔柱有关。但以上研究仅为初步或设想, 值得进一步工作。相比之下, 北祁连西段构造成矿环境比较清楚, 钨矿床及有关花岗质岩体分布于大陆边缘, 岩石地球化学和放射性同位素测年表明成矿发生于板块碰撞期前。

此外, 辉钼矿的 Re-Os 同位素测年方法的应用, 可以直接厘定钨矿床的成矿时代, 已取得了一批成果, 例如, 黄典豪, 1996^[12]; 李红艳等, 1996^[13]; Stein et al., 1997^[30]; 毛景文等, 1998^①。黑钨矿-水氧同位素分馏反应式通过实验和计算的确定 (丁悌平等, 1990; Zhang Ligang, 1994)^[14, 31], 有助于探讨钨矿成矿流体来源, 还有一些学者在继续探索含钨流体 (或卤水) 从花岗岩结晶到演化成矿过程 (例如, Reyf, 1997)^[32]。

参 考 文 献

- 1 希尔 R. 东阿尔卑斯早古生代锑-铅-汞建造中的矿床及其成因解释. 时限与层控矿床. 蔡文彦等译. 北京: 科学出版社, 1986.
- 2 布罗德托布 M. K. 等. 阿根廷圣路易斯前寒武纪基底中的层控白钨矿床. 时限与层控矿床. 蔡文彦等译. 北京: 科学出版社, 1986.
- 3 朱金初, 徐士进. 华南含锡钨花岗岩的稀土元素地球化学特征和岩石成因. 矿床地质, 1989, 8 (3): 21~31.
- 4 朱炎龄, 李崇佑, 林运淮. 赣南钨矿地质. 南昌: 江西人民出版社, 1981.
- 5 梁金城, 李石锦, 易诗等. 湘西沃溪金矿床层状石英脉的显微构造与组构探讨. 桂林冶金地质学报, 1981 (3): 41~52.
- 6 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学, 第1卷. 北京: 科学出版社, 1984.
- 7 肖启明, 李典奎. 湖南锑矿成因探讨. 矿床地质, 1984, 3 (3): 13~26.
- 8 张理刚. 稳定同位素在地质学中的应用. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985.
- 9 史明魁, 傅必勤, 靳卫祥等. 湘中锑矿. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1993, 74~91.
- 10 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.
- 11 毛景文, 李红艳, 王登红等. 华南地区中生代多金属矿床形成与地幔柱关系. 矿物岩石地球化学通报. 1998, 17 (2): 130~132.
- 12 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇等. 华北地台钼 (铜) 矿床成矿年代学研究——辉钼矿-铼-钨年龄及其地质意义. 矿床地质, 1996, 15 (4): 365~373.
- 13 李红艳, 毛景文, 孙亚莉等. 柿竹园钨多金属矿床的铼-钨同位素等时线年龄研究. 地质论评, 1996, 42 (3): 261~267.
- 14 丁悌平. 我国同位素地质学研究的现状和展望. 矿床地质, 1990, 9 (2): 191~194.
- 15 Brimhall G H. Preliminary fractionation patterns of ore metals through early history. Chemical Geology, 1987, 64: 1~16.
- 16 Lehmann B. Granite-related rare-metal mineralization: a general geochemical framework. In: R Seltmann, H Kampf, and P Moller eds. Metallogeny of collisional orogens. Czech Geological Survey. Prague, 1994, 342~349.

① 毛景文等, 1998, 北祁连山小柳沟钨矿床中辉钼矿的 Re-Os 年龄测定及其地质意义

- 17 Hutchison C S. The various granitoid series and their relationship to W and Sn mineralization. SYMPOSIUM ON TUNGSTEN GEOLOGY. ESCAP/RMRDC, Bandung, Indonesia and Geological Publishing House, Beijing, China, 1982, 87~114.
- 18 Seltmann R, Kampf H, and Moller P. Metallogeny of collisional orogens. Prague, Czech Geological Survey, 1994.
- 19 Kwak T A P, Taylor R G, and Plimer I R. Australia tungsten deposits. SYMPOSIUM ON TUNGSTEN GEOLOGY. ESCAP/RMRDC, Bandung, Indonesia and Geological Publishing House, Beijing, China, 1982, 127~152.
- 20 Heinhorst J, Lehmann B, and Seltmann R. New Geochemical Data on Granitic Rocks of Central Kazakhstan Granite-Related Ore Deposits of Central Kazakhstan and Adjacent Areas. St. Petersburg: Glagol Publishing House, 1996, 55~65.
- 21 Klemm D D, and Schneider H J. TIME AND STRATA - BOUND ORE DEPOSITS. Springer-Verlag, 1977.
- 22 Plimer I R. Exhalative Sn and W deposits associated with mafic volcanism as precursors to Sn and W deposits associated with granites. Mineralium Deposita. 1980, 15: 275~289.
- 23 Wan Bing. The Damingshan strata-bound tungsten deposits in Guangxi Zhuang Autonomous Region, China. SYMPOSIUM ON TUNGSTEN GEOLOGY. ESCAP/RMRDC, Bandung, Indonesia and Geological Publishing House, Beijing, China. 1982, 403~412.
- 24 Plimer I R. The association of tourmalinite with stratiform scheelite deposits. Mineralium Deposita. 1987, 22: 282~291.
- 25 Plimer I R. The mineralogical history of the Broken Hill lode, NSW. Aust. J. Sci. 1984, 31: 379~402.
- 26 Pei Rongfu, and Mao Jingwen. On petrominerogetic models of tin-tungsten granites in South China. Abstracts of Volumes 2, 28th International Geological Congress, 1989, 589~590.
- 27 Sawkins F J. Metal deposits in relation to plate tectonics. Berlin Heidelberg New York: Springer, 1984.
- 28 Mitchell A H G, and Garson M S. Mineral Deposits and Global Tectonic Settings. London: Academic Press, 1981.
- 29 Shatov V, Seltmann R, and Kremenetsky A. et al. Granite-related ore deposits of Central Kazakhstan and adjacent areas. St. Petersburg, Glagol Publishing House, 1996.
- 30 Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Du A. and Sun Y. Highly precise and Accurate Re-Os Ages for Molybdenite from the East Qinling Molybdenum Belt, Shaanxi Province, China. Economic Geology 1997, 92: 827~835.
- 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 Reyf F G. Direct evolution of W-rich brines from crystallizing melt within the Mariktikan granite pluton, west Transbaikalia. Mineralium Deposita 1997, 32: 475~490.