

花岗岩类型与钨、锡成矿作用

——IGCP220项目联系会议纪要

魏明秀

(中国有色金属工业总公司矿产地质研究院)

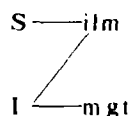
介绍了IGCP220项目国际会议讨论的以下课题：花岗岩分类及其成因，花岗岩类与钨、锡矿化的关系，氧化与还原型夕卡岩钨、锡矿床，以及花岗岩的演化程度，钨矿床的分类，成矿流体性质与花岗岩封闭体系，以及锡石溶解度及其有关的热力学理论计算等研究成果。

南京大学徐克勤、朱今初、刘昌实，地矿部陈毓川、裴荣富，中国有色金属工业总公司朱关祥和笔者参加了1986年6月30日~7月3日在澳大利亚召开的钨、锡矿床成因及其与花岗岩关系的国际学术会议——国际地质对比项目IGCP220的一次例行研讨会。来自中国、美国、苏联、日本、西德、芬兰、印度、马来西亚、泰国、印尼、新西兰、瑞士及东道国澳大利亚等13个国家的85位地质学家出席了会议。会后，中国代表团还考察了阿特兰萨的一个斑岩型锡矿，金岛(King Island)夕卡岩型白钨矿，塔斯马尼亚岛的比肖夫(Bischoff)、雷德贝克(Razorback)、雷尼森贝尔(Renison Bell)等锡石—硫化物型矿床及其与有关的花岗岩。另外还到罗斯伯里(Rosebery)Pb—Zn—Ag块状硫化物矿床以及卡拉(Kara)磁铁矿—白钨矿夕卡岩矿床进行了考察。

会议在海登—阿伦大厅举行。徐克勤教授与朱今初副教授分别作了大会发言，其他成员也分别在分会上作了报告。有48篇论文在会上交流。现就几个主要问题介绍如下：

1. 花岗岩分类与大地构造的关系

有两种常见的花岗岩分类方案：一种是查佩尔和怀特(Chappell and White)提出的S型和I型花岗岩分类。另一种是石原瞬三提出的磁铁矿型(mgt)和钛铁矿型(ilm)花岗岩分类。这两种分类方案的关系，正如日本的能泽(Nozawa)教授所指出的，是：



另外，还有将上述两种分类联系起来的分类方案：即磁铁矿系列I型(mgt-series, I-type)；钛铁矿系列I型(ilm-series, I-type)；钛铁矿系列S型(ilm-series, S-type)。

花岗岩的氧化—还原程度不同，其磁感应系数也不同。现在有一种手提式岩石磁性测定仪，在现场能就地读出磁感应系数，这对判断花岗岩的系列归属非常有效。日本学者佐藤指出：大于 36×10^{-3} SI的是mgt-series，小于此值是ilm-series。他发现岩石的磁感应系数与钛铁矿中 $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeTiO}_3)$ 值成正相关。但具体判定一个岩体属于哪种类型，仅依靠一种标准，如化学成分、或锶同位素、氧同位素、副矿物或磁性等，显然是不够的。上述性质既反映了花岗岩物质来源的不同，也反映了它们形成的复杂历史。例如，同一个岩体（如日本的甲府杂岩体），由于侵位在不同的围岩中而产生了显著的磁性差别。沉积岩中的岩体形成低磁相(L-facies, $< 2 \times 10^{-3}$ SI)，并具有高 $\delta^{18}\text{O}$ (+8~+11‰)及低 $\delta^{34}\text{S}$ (-11~-3‰)值。这是因为岩浆在结晶过程中，一旦与沉积岩中的炭质接触，铁离子就以镁铁质硅酸盐形式，而不是以磁铁矿形式沉淀。而侵位在火山岩中的岩体，由于缺乏炭质还原条件，常形成高磁相(H-facies, $10 \sim 60 \times 10^{-3}$ SI)。这说明，虽然该岩体总的化学成分仍属I型，但复杂的岩浆结

晶史,使磁性和同位素发生了不均一性。

S型和I型花岗岩浆的形成机制尚不十分清楚。就大地构造环境而言,I型花岗岩浆可能产于大陆板块边缘的前缘盆地,而S型花岗岩浆则产于大陆内侧的地壳增厚区。当地壳厚度大于30公里时,常形成穹隆构造。这种穹隆构造以花岗岩岩钟为核部,周围往往被石英—黑云母角闪岩所包围,并伴有直立的褶皱和劈理。由于弧后盆地的闭合性碰撞,盆地中的陆源堆积物在低压环境中发生变质和重熔,在区域性受热的底部形成S型岩浆(有时是S型和I型混合型)。它的形成温度比较低,粘度较大,常以扩张的球体挤入褶皱的韧性地壳,从而形成底辟式“齿根”状巨大岩基。在岩基内岩性较均匀,富硅,仅伴有少量基性岩。由于温度低、粘度大,所以喷出作用不发育,故缺少同期的火山岩。在S型花岗岩中, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.706$,并常见变质沉积物呈捕虏体产出,极少见镁铁质角闪岩捕虏体。I型花岗岩与此不同,在大陆板块的边缘盆地中,板块俯冲作用提供的足够热量与水分,使壳下带增生物质因受到基性岩浆同化混染作用而产生重熔,至少有部分来自地幔的物质参与,从而形成I型岩浆。这种岩浆具有高温、低粘度的特性,常沿深断裂带呈岩柱状注入和充填于俯冲带上方的刚性大陆壳中,经多次侵入而形成巨大的复式岩基。其岩性往往不均匀,成分变化较大,常伴有大量基性岩和安山质火山岩。这些火山活动的衍生物往往是由于岩浆被隔

离在岩浆房内并发生原地分异的结果,因此,复式岩基又被称为陷落火山口岩基。其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0.706$,常含有大量深源的耐熔物质或镁铁质角闪岩捕虏体。

2. 花岗岩类与锡、钨矿化的关系

国外许多大型W—夕卡岩矿床,如加拿大的马克滕(Mactung)和坎滕(Cantung),美国的派恩克里克(Pine Creek)、米尔西蒂(Mill City)和坦皮尤特(Tempiute)及澳大利亚的金岛等,都与I型花岗岩有关。而我国的一些著名黑钨矿—石英热液脉型矿床和夕卡岩型白钨矿矿床,却与S型花岗岩有关。我国还有些斑岩钨矿或火山岩—次火山岩钨矿可能与I型花岗岩有关。世界上的大型锡矿床,包括我国的著名锡矿床,均与S型花岗岩有关。根据钨和锡夕卡岩矿床产出的大地构造环境、矿床元素组合以及花岗岩的成矿专属性,Kwak将W、Sn夕卡岩矿床分成两类:①W—夕卡岩矿床,常伴有Mo、Cu和Zn矿化,但几乎不含Sn。②Sn(W)—夕卡岩矿床,常伴有W、Zn、Pb、Li、Be、F、Cu、Mo等矿化,其中有些矿床W可能多于Sn。

这两类矿床所赋存的花岗岩类,具有不同的岩石化学特征(见表)。Rb/Sr值越高,表示岩浆演化程度越高。譬如金岛白钨矿,从岩石成分看,它属I型花岗岩,而且是低磁性的,却可形成典型的夕卡岩型白钨矿床。据佐藤等现场测量,确属钨铁系列花岗岩。因此,那种认为凡是I型花岗岩必定是高磁性的磁铁

矿床分类	$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	TFe/CaO	Rb/Sr
W—夕卡岩	2.0~0.25	一般>0.3~0.6,全铁高	一般<1.0	一般<4.0~0
Sn—夕卡岩	<0.4~1	一般<1,接近0.5,全铁低	一般较高	一般>2.0~85

矿系列花岗岩的旧概念应当改变。同时也要注意某些钨铁矿系列的I型花岗岩形成的钨矿。

3. 矿床分类

徐克勤教授将我国钨矿床按成因划分成3大类和6种类型:

A.成因上与花岗岩类有关的钨矿床:

(1) 黑钨矿—石英热液脉型矿床

(2) 交代型含白钨矿的夕卡岩矿床

(a) 与S型花岗岩有关

(b) 与I型花岗岩有关的W矿床、W—Mo矿床、

W—Cu矿床。

B.成因上与次火山岩、火山岩、斑岩及浅侵入花岗岩有关的钨矿:

(3) 中低温含钨脉状矿床(白钨矿、钨铁矿、钨锰矿矿石,常伴随有辉钨矿、金和其他硫化物)

(4) 斑岩钨矿床,包括含钨角砾—细脉(W—矿床、W—Mo矿床、W—Sn矿床)矿床

(5) 海底喷出矿床,钨吸附在铁锰氧化物之中。

C.在成因上不直接与花岗岩和次火山岩有关的产在变质岩中的层控矿床:

(6) 层控白钨矿或白钨矿—辉钨矿—金矿或其他层控钨矿床。

4. 氧化型、还原型夕卡岩锡钨矿床与岩浆演化程度的关系

最近的研究工作表明,无论是W—夕卡岩、还是Sn—夕卡岩,都可以进一步划分成氧化型和还原型(这里的“氧化”系指原生矿石,而不是原生矿石风化后的矿石)。矿床的氧化—还原性质主要取决于夕卡岩形成阶段流体中的 Fe^{3+}/Fe^{2+} 值。笔者以个旧矿田氧化型和还原型Sn—B—F夕卡岩矿床为例,研究了这两类夕卡岩的矿物共生组合、石榴石—单斜辉石矿物对中 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的含量变化、夕卡岩期后的蚀变反应和蚀变分带,以及含锡矿物相的稳定度等地质地球化学特征,提出了该矿田存在有两类在成因上和空间分布上相互有关的夕卡岩型锡矿床。即在高 f_{S_2} 、低 f_{O_2} 条件下,以富 Fe^{2+} 流体交代为特征的“还原”型矿床;和在高 f_{O_2} 、低 f_{S_2} 条件下,以富 Fe^{3+} 流体交代为特征的“氧化”型矿床。根据这个论点,在个旧矿区发现了初步认为具工业价值的含钨钙锡矿、水钨矿、水锡石的高品位锡矿床,它属于典型的“氧化”型夕卡岩锡矿床。该区的锡石—硫化物矿床则属“还原”型夕卡岩锡矿床。控制两类夕卡岩矿床成矿的侵入岩体,分别产于东西向和北北东向两组断裂带中。根据花岗岩中造岩矿物的亚种(如黑云母或白云母),成矿母岩的REE分布模式、Eu亏损程度、微量元素,尤其是Rb/Sr、Rb/Ba值的演化,表明“还原”型夕卡岩矿床是与演化程度高的北北东向断裂带内花岗岩体有关,而“氧化”型夕卡岩锡矿则与演化程度低的东西向断裂带内花岗岩体有关。后者还可能与B—F云岩型锡矿床有关。朱令初在研究我国两种类型斑岩锡矿床时也得出了类似的结论。即一类斑岩锡矿与演化度高的S型花岗斑岩有关(如银岩锡矿),另一类则与演化程度低的I型火山岩—次火山岩有关(如大山、西林锡矿)。Kwak也指出:世界上大多数大型夕卡岩钨矿与演化度高的I型花岗岩有关(Rb/Sr $\approx$ 1.0)。其中有些“氧化”型夕卡岩钨矿却与演化度低的I型花岗岩有关(Rb/Sr $\approx$ 0.4)。前者可能含少量锡(可达0.6wt%SnO₂),后者通常不含锡。而富F的Sn夕卡岩(经常是Sn—W夕卡岩)则无例外地与演化度高的S型花岗岩有关(Rb/Sr $>$ 10.0)。

在强烈云英岩化的小岩株附近,常常有锡石—硫化物矿床产出;但是也有一些“氧化”型夕卡岩锡矿是与演化度低的花岗岩有关。某些夕卡岩锡矿甚至可能远离花岗岩体成矿,如澳大利亚的雷尼森贝尔(Rb/Sr $\approx$ 2.0)即是

5. 锡、钨花岗岩的侵位时间与围岩条件

我国锡、钨矿化花岗岩的侵位时间,在南方是以燕山期为主,北方则以海西期为主,加里东期不明显,更老的锡矿床为数不多,而且也不典型。澳大利亚塔斯马尼亚的所有大型锡石—硫化物矿床,均与海西期花岗岩有关,说明花岗岩的侵位发生于晚泥盆世。苏联远东及中亚地区花岗岩的侵位年代,以中白垩世到始新世都有,而且越往东南侵位时代越新。

在西塔斯马尼亚金属成矿带有不同成矿时代和不同类型矿床组合产出。例如,在中寒武世的地槽沉积区,由于火山活动、海底喷发和热液释放而形成富银的块状硫化物型铅锌矿。澳大利亚第三大铅锌矿床罗斯伯里就赋存在该地区。澳大利亚最大的锡石—硫化物矿床(占澳大利亚锡总产量的46%)雷尼森贝尔离之很近。雷尼森贝尔矿床的形成过程是:在一次晚泥盆世巨大的造山运动中,形成南部Heemskirk等富含钨、氟等挥发份的花岗岩体和大量电气石球团。在岩体蚀变和强烈云英岩化的地段,有硫化物和锡石矿化形成。该区著名的锡石硫化物矿床比肖夫、雷德贝、克里夫兰等都与这次岩浆活动有关。由此可见,在一个金属成矿省内,多金属富矿床往往由几种成矿作用叠加而成,这种现象亦应注意。

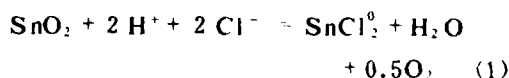
6. 对花岗岩封闭体系流体成矿作用的研究

会上,澳大利亚的泰勒报告了他们对花岗岩封闭体系流体成矿作用研究的初步结果。他们选择没有同化混染、也没有多期构造活动叠加的南非布什维尔德杂岩体由于岩浆结晶分异作用而形成的酸性岩相——Bobbejaankop花岗岩。该岩体的锡矿化,为研究岩浆结晶晚期接近向外泄放的流体体系中热液流体的性质,提供了一个理想的例子。该花岗岩体由顶部往下100米左右,有一个低品位、薄层状的锡石—白钨矿矿化带。该带含1~4%体积的晶隙空洞(最大为0.5 $\times$ 0.1米),充填了许多热液矿物,其中有锡石和白钨矿。这种晶洞结构说明,在花岗岩结晶的最后阶段,有热液矿物从岩浆析出的流体中沉淀。测定了花岗岩

的石英—钾长石、石英—绢云母、石英—绿泥石等矿物对的 $\delta^{18}\text{O}$ 分配系数,以及含1~4%体积晶隙空洞相应矿物对的 $\delta^{18}\text{O}$,对比了晶洞中石英—锡石的 $\delta^{18}\text{O}$ 。认为非洲Zaaiplaats花岗岩代表了一个封闭体系的成矿环境,它接近于从岩浆刚分泌的成矿流体的性质。在此,只有绿泥石有两期,除晚期结晶的绿泥石因受到大气水的混合干扰外,其他矿物如锡石、石英、长石、绢云母与第一期绿泥石都是从封闭流体体系中晶出的,它们处于平衡状态,晶出的温度为300~350℃。这项研究尚待完善。但选题的构思非常新颖,它将加深对花岗岩锡成矿机理的理解。

7. 锡石的溶解度及一些热力学计算

在会上, P.伊庭顿(Eadington)提出,在还原条件下锡石的溶解度可以近似地用 SnCl^0 络合物的浓度来表示,因为在有Cl⁻存在时, SnCl^0 离子团在溶液中占优势。其化学反应式为:



其中 SnCl_2^0 络合物的活度可由下式决定:

$$\log a_{\text{SnCl}_2^0} = \log K - 0.5 \log f_{\text{O}_2} - 2 \text{pH} + 2 \log a_{\text{Cl}^-} \quad (2)$$

式中, K 为反应平衡常数,

$$\log K = 15.7 - 17450/T(K) \quad (3)$$

(3)式至少可外推到300℃仍为线性关系。(2)式表

达了由于流体与岩石的反应,当 T (温度)、 pH 、流体的氧化还原电位发生变化时,都影响到 SnCl_2^0 的活度及锡石的溶解度。假设流体是岩浆分泌的,则 Cl^- 的活度主要由花岗岩的性质如S型或I型来决定。这就表达了锡石的溶解度受岩石学、矿物学和温度分布等因素制约。在自然界,导致锡离子发生价态变化的氧化—还原热液体系是普遍存在的。随着 Sn^{4+} 还原为 Sn^{2+} ,锡石由很低的溶解度(ppb数量级)变为较高的溶解度(ppm数量级)。计算表明,当 Sn^{2+} 和 Sn^{4+} 的氢氧化物浓度相等时,所对应的氧化还原电位,接近于石英—铁橄榄石—磁铁矿氧缓冲平衡(QFM)。而对于相应氯的络合物而言,某值却高于赤铁矿—磁铁矿氧缓冲平衡(HM)。因此,在低还原条件下,Sn总是以 SnCl_2^0 络合物形式出现,是锡大量迁移的形式。根据以上的热力学研究,可以解释为什么大型锡矿都与S型花岗岩有关。因为S型花岗岩中存在炭质强还原剂,成岩氧缓冲平衡往往低于QFM缓冲的环境,这有利于锡的大量溶解和迁移。它还可以解释矿物的蚀变分带:黄玉带靠岩体最近,代表流体压力及 a_{H^+} 都较高的环境;向外由于体系趋于开放,流体压力降低,温度及 a_{H^+} 下降,在角砾岩发育地段,往往白云母带普遍发育。此外,它还可以解释沸腾、不同来源流体的混合、锡和砷络合物平行反应产生锡石与毒砂组合等地质现象。

Granite Types and Sn-W Metallogensis

Wei Mingxiu

(Research Institute of Geology for Mineral Resources, China National Nonferrous Metals Industry Corporation)

Abstract

The International Conference of IGCP No. 220 Project on Correlation and Resources Evaluation of Tin-Tungsten Granites in SE Asia and the Western Pacific Region was held in Canberra, Australia, June 31-July 2, 1986. From the papers presented at the Conference, some interesting topics are choosed, summarized and reviewed in the present article by the author. They are: "Classification of Granitoids and their Forming Conditions", "Relationship of Granitoids to Sn-W Metallogensis", "Oxidized and Reduced Skarn Sn-W Deposits and Evolution Degrees of Granites", "The Classification of Tungsten Deposits", "The Nature of Ore Fluids and study of the closed system for Granites", "Dissolubility of Cassiterite and Related Calculation of Thermodynamic Theory", etc.