

稀有金属花岗岩的特征及其成矿作用

叶松¹, 周宝霞², 叶德隆²

(1. 上海工商职业技术学院, 上海 201806; 2. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

摘要: 本文通过对我国典型稀有金属花岗岩体研究成果的总结, 从稀有金属花岗岩的基本特征、研究进展、成岩成矿作用的几个特点以及其对生态环境的影响等方面, 对稀有金属花岗岩的特征及其成矿作用进行了综述和介绍。有助于学者了解稀有金属花岗岩成岩成矿研究和矿产资源勘查的最新成果, 并用于寻找和鉴别稀有金属花岗岩。同时还讨论了稀有金属花岗岩体对生态环境的天然污染和带给居民群体的健康伤害, 呼吁社会和公众应该引起足够的注意。

关键词: 稀有金属花岗岩; 成矿作用; 岩浆分异作用; 稀有元素; 生态环境

中图分类号: P588.12⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2015)05-0767-10

Characteristics of the rare metal granite and its mineralization

YE Song¹, ZHOU Bao-xia² and YE De-long²

(1. Shanghai Industrial & Commercial Polytechnic College, Shanghai 201806, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: In this paper, through the summary of research results of China's typical rare metal granites in the aspects of basic characteristics, research progress, petrogenesis, mineralization and ecological environment influence, the authors have reviewed and described the characteristics of rare metal granite and its mineralization with the purpose of helping researchers to understand the latest achievements of the research on the mineralization and the exploration of the rare metal granite and to find and identify the rare metal granite. In addition, the natural pollution of rare metal granite to the ecological environment and its health damage to the residents are discussed, and the authors appeal to the society and the public to pay adequate attention to these problems.

Key words: rare metal granite; mineralization; magma differentiation; rare element; ecological environment

稀有金属花岗岩是花岗岩类的一种特殊类型, 泛指稀有金属元素含量较高并有一定规模矿化的一类花岗岩。按国际地科联(1972)的花岗岩类定量矿物分类方案, 稀有金属花岗岩多属钾长花岗岩和碱长花岗岩。按某种稀有金属元素矿化为主可分别形成稀土、铌、钽、锂、铍、钨、锡、铀、钍等矿化类型, 在某些地段矿化元素富集达到工业品位即形成花岗岩型稀有金属矿床。

稀有金属花岗岩, 因其化学成分中富含轻元素Li、碱金属Na和挥发分F, 不少学者也称其为锂氟花岗岩。对于稀有金属花岗岩的成因, 80年代以前, 前苏联学者[最有代表性的是Бейс(1962)的专著]都认为是普通花岗岩经过钠长石化交代作用形成的, 通常称其钠长石化花岗岩。受其影响, 国内大多数研究者也都持这种观点。然而, 稀有金属花岗岩的地质产状、岩石学和矿物学的许多特征, 都是这种观

收稿日期: 2015-05-20; 修订日期: 2015-06-11

基金项目: 地矿部基础资助项目(932004); 国家教委高校博士学科点专项基金(4-91-03)

作者简介: 叶松(1964-), 男, 岩石学专业, 理学硕士, 主要从事矿物、岩石和宝玉石的教学和研究, E-mail: 402509891@qq.com。

网络优先出版时间: 2015-06-18; 网络优先出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1966.P.20150618.0826.001.html>

点难以解释的。

我国各地质时代的花岗岩均有广泛分布,与花岗岩有关的成矿作用及其形成的各类矿床也多种多样。上世纪80年代,我国曾开展了一轮花岗岩与成矿的研究,地矿部门在与花岗岩有关的矿产资源勘查方面做了大量的基础工作,积累了丰富的实际资料,有关院校和科研院所也做了大量的研究工作,取得了丰硕的成果。其中,稀有金属花岗岩的成岩成矿研究是这一轮研究的一个重要课题,其最重要的成果是总结出了稀有金属花岗岩的若干标志性的共同特征,并以大量的实际资料为基础,结合国内外实验岩石学研究的最新成果,论证并确定了稀有金属花岗岩的成岩成矿主要是岩浆作用的产物。

稀有金属花岗岩在我国华南地区(湘、赣、粤、桂4省区)有广泛的分布,在80年代前已有不同程度的研究,而在华北地区鲜见,当时仅发现河北省兴隆县麻地(曾用代号 M111)花岗岩和迁西县汉儿庄花岗岩两个岩体。

1 典型稀有金属花岗岩的基本特征

1.1 麻地花岗岩

麻地花岗岩体位于河北省兴隆县南略偏东方向,距兴隆县城约18 km。大地构造位置处于兴隆—山海关隆起带西端,侵位于马兰峪背斜轴部太古界桑干群黑云角闪斜长片麻岩中。岩体形成时代为燕山早期, Rb-Sr 等时年龄为 171 Ma, 锶初始比值 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$) 为 0.715 3。岩体出露面积近 6 km², 和围岩呈外倾斜的侵入接触, 岩体边缘和顶部普遍含有由钾长石和石英伟晶构成的似伟晶岩团块。岩体是由岩浆两次侵入活动形成的复式岩体: 前次侵入形成红色细粒结构锂铁白云母钠长石花岗岩(γ_3^A), 分布在岩体四周和东南部较高部位, 出露面积 1.2 km²; 后次侵入形成白色细粒-似斑状结构的铝黑鳞云母-铁锂云母钠长石花岗岩(γ_3^B), 构成岩体的主体(图1)(叶德隆等, 1987)。

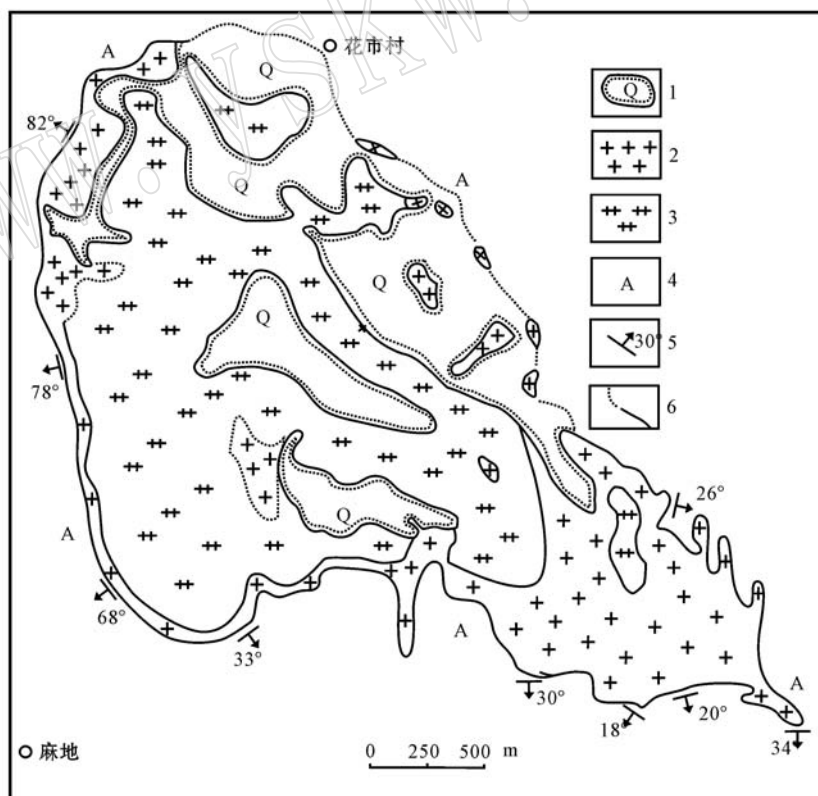


图1 麻地岩体地质简图(据叶德隆等, 1987)

Fig. 1 Schematic geological map of the Madi granite intrusion (after Ye Delong *et al.*, 1987)

1—第四系; 2—锂铁白云母钠长石花岗岩(γ_3^A); 3—铝黑鳞云母-铁锂云母钠长石花岗岩(γ_3^B); 4—太古界桑干群黑云角闪斜长片麻岩; 5—接触面产状; 6—地质界线

1—Quaternary; 2—zinnwaldite-albite-granite; 3—lepidolite-zinnwaldite-albite-granite; 4—Archaean Sanggan Group gneiss; 5—contact boundary attitude; 6—geological boundary

岩体的岩石化学成分为铝过饱和且富钠偏碱性, 平均含量 Al_2O_3 14.95%, Na_2O 5.03%, K_2O 4.05%。岩石化学成分具有相对的稳定性和有规律的分异演化趋势, 在 Q-Ab-Or 等压平衡图上, γ_5^A 的成分点位于花岗岩的最大值附近, 而 γ_5^B 的成分点明显移向 Ab 端, 反映岩浆成分随时间向富钠富稀碱元素富挥发分方向演化的趋势。

岩体的岩石类型是典型的碱长花岗岩。主要造岩矿物是微斜长石、钠长石和石英, 次要矿物是含锂云母, 副矿物有磁铁矿、钛铁矿、锰铝榴石、铌铁矿、铌铁金红石、细晶石、黑稀金矿、独居石、磷钇矿、黄玉、萤石、绿柱石、锆石等 30 多种。微斜长石含 Or 分子 >88%, 钠长石含 Ab 分子 >95%, 二者都接近端员组分。云母是含锂云母, γ_5^A 中是锂铁白云母, γ_5^B 中则是铝黑鳞云母-铁锂云母, 随时间从早到晚, 空间由下往上, 云母种属变化为锂铁白云母→铝黑鳞云母→铁锂云母, 其成分向富 Li、Rb、Cs 的方向演化, 且和整个岩体的化学成分向富钠富氟富稀碱元素的方向演化趋势一致。

岩体具有良好的岩相分带特征。 γ_5^A 分布于岩体四周, 多在标高较低的部位。 γ_5^B 出露的海拔高度为 500~1 000 m。在 500 余米的垂直剖面上岩性呈现有规律的变化。时间上从早到晚、空间上由下往上, 岩性特征变化是: 外貌由红色→灰白色→白色; 结构由细粒等粒→不等粒→细粒似斑状; 造岩矿物钠长石含量渐增, 微斜长石含量渐减; 云母种属由锂铁白云母→铝黑鳞云母→铁锂云母; 岩石化学成分上主要碱金属氧化物含量呈现互为消长关系: Na_2O 渐增, K_2O 渐减, Li_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 BeO 和 Ta_2O_5 渐增, Nb_2O_5 略减, F 含量渐增。矿物和化学成分这种规律性变化, 既反映了岩浆分异演化的总趋势是从早到晚向着富钠富稀碱元素富挥发分方向进行, 又在空间上使岩体顶部或较高部位聚集较多的 Li、Be、Rb、Cs、Ta 等稀有金属, 形成一些较好的矿化地段(叶德隆等, 1987)。

麻地岩体的稀土元素含量很低, 6 个样品的 ΣREE 平均值为 62×10^{-6} , 远低于酸性岩的稀土元素平均值(292×10^{-6})。稀土元素配分特征为轻稀土元素略显富集, LREE/HREE 平均 7.85, La/Yb 平均 24.19, 具有极明显的铈负异常, δEu 平均 0.057。稀有微量元素地球化学特征表现为稀有元

素明显富集, 与酸性岩的平均元素丰度相比, Nb、Ta、Li、Be、Rb、Cs 的富集系数分别为 6.09~24.14, 尤以 γ_5^B 的富集系数更大。与华南稀有元素丰度较高的燕山期花岗岩相比, Nb、Ta、Li、Be、Rb、Cs 分别高出 3.48~18.59 倍。岩体中这些稀有元素丰度明显增高, 既表明它是花岗岩浆分异演化晚阶段的产物, 也为这些稀有金属矿化提供了物质基础。

岩体中含有的稀有金属矿物主要是富锰铌铁矿、铌铁金红石、细晶石和绿柱石, 还有少量独居石、锆石、黑稀金矿和磷钇矿。铌钽矿物单体粒度细小, 以副矿物形式嵌布于长石、石英和云母中。绿柱石主要呈星散状浸染于造岩矿物粒间, 少数集中成细脉或团块。Li 主要赋存于含锂云母中, Rb 和 Cs 主要赋存在微斜长石和含锂云母中。岩体中的矿化有利地段, 其矿石可选性试验表明: 铌钽矿物和含 Li、Rb、Cs 的矿物都是可选的, 选矿产品中铌钽精矿的品位和回收率均可达到工业利用要求, 锂铷绝精矿的品位和回收率亦可达到综合利用的指标(叶德隆等, 1991)。

γ_5^A 岩石呈淡红色, 细粒等粒结构, 通常不含或只含很少量的粒度仅为 0.0n mm 的小板条状钠长石。 γ_5^B 岩石为灰白-白色, 细粒等粒-不等粒-似斑状结构, 总含有一定数量的小板条状钠长石。似斑状结构的岩石, 斑晶是微斜长石和石英(2~4 mm), 基质是小板条状钠长石集合体。宽板状微斜长石斑晶中包嵌的钠长石小条晶沿 {010} 和 {001} 方向规则排布, 形成“棋盘格子结构”; 六方柱锥状石英斑晶中包嵌的钠长石小条晶亦沿晶面方向排列成同心环状, 构成“雪球结构”。岩石中还发育由小板条状钠长石集合体包围着石英斑晶或微斜长石斑晶构成的“包球结构”和由微斜长石和钠长石构成的“包裹-镶边结构”。这些特征结构都是稀有金属花岗岩特有的标型结构, 对于稀有金属花岗岩的成岩成矿条件的研究和找矿实践都有确定的指示意义(叶德隆, 1992)。

1.2 汉儿庄花岗岩

笔者在总结冀东地区花岗岩类大量已有资料, 归并超单元时, 按照划分和确定超单元的标志, 依据岩石特征、同位素年龄、空间分布和相关的成矿系列 4 个因素, 将冀东地区中生代花岗质岩石 85 个岩体划分和归并为 10 个超单元^①。发现汉儿庄花岗岩和

① 叶德隆. 1993. 冀东花岗岩超单元(《冀西-冀北-辽西花岗质岩石及成矿作用》第五章)(未刊)。

麻地花岗岩很相似,二者都是碱长花岗岩,也都是稀有金属花岗岩,可归并为同一个超单元。随后对汉儿庄花岗岩进行了野外地质考察。

汉儿庄花岗岩体位于迁西县北略偏西方向,距迁西县城约 25 km。位于麻地花岗岩体 NE80° 方向,相距约 60 km,二者产出的时代相同,地质构造位置同处于兴隆-山海关隆起带上。

汉儿庄花岗岩是一个椭圆形的小岩株,长轴呈 NE45° 方向,长约 1 500 m,短轴长约 800 m,出露面积 1.2 km²,相对高差约 150 m。岩体侵入于太古界拉马沟组角闪斜长片麻岩中,接触面外倾。岩体边缘出露细粒花岗岩,其中常出现似伟晶岩。似伟晶岩矿物组成钾长石约 2/3,石英约 1/3,偶见白云母,石英常局部集中成几厘米到十几厘米的团块。岩体的主体是细中粒似斑状白色花岗岩,呈斑状结构。最明显的斑晶是石英,粒度 2~4 mm,许多颗粒自形较好,突出在风化面上清晰可见,形似“石豆”,在岩石的断面上,也常见自形的石英斑晶断面。基质部分粒度较细。矿物组成钾长石、石英各为 30% 左右,钠长石近 40%,白云母极少(1%~2%)。

汉儿庄岩体的岩石化学成分特征也属于铝过饱和和富钠偏碱性,5 个样品平均含量: Al₂O₃ 15.28%, Na₂O 6.73%, K₂O 2.96%, 在 Q-Ab-Or 等压平衡图上的投点也偏向 Ab 端。岩体稀土元素含量也很低,ΣREE 为 106 × 10⁻⁶, LREE/HREE 为 4.1, La/Yb 仅为 3.32,轻重稀土元素分馏不明显,也具有极明显的铕负异常,δEu 0.18。岩体部分稀有微量元素和成矿元素 10 个样品平均含量($w_B/10^{-6}$)/富集系数: Be 18.7/3.40、Nb 258/12.91、Rb 517/2.59、Mo 37.88/37.88、Pb 177.5/8.88、Ag 1.786/35.72、Th 47.64/2.64(河北综合地质大队,1990)^①。上世纪六七十年代原河北十六大队曾在汉儿庄花岗岩做过铀矿的普查检查,他们携带的放射性检测仪都有强烈的反应,表明花岗岩的放射性元素含量相当高,当年在岩体两端和中间共开挖了 3 条探槽系统采样,探槽的痕迹至今仍清晰可见。众所周知铀元素含量没有公开发表。除铀、钍矿化外,岩体的局部地段还有铌、钼、铅和银的矿化。

1.3 南岭地区稀有金属花岗岩

夏卫华等(1989)对南岭地区稀有金属花岗岩的 16 个岩体做了深入研究,总结出稀有金属花岗岩的

一些共同特征。稀有金属花岗岩多为小型岩体,其产状为小岩株、岩钟、岩瘤、岩盖、岩舌、岩枝、岩墙等,或复式岩体的晚期产物,大部分属中深-浅成侵入体,定位深度大致在 3~5 km。稀有金属花岗岩的成岩时代为早侏罗世-晚侏罗世,同位素年龄值多在 130~190 Ma 之间。主要造岩矿物是微斜长石、钠长石、石英和浅色云母。岩石化学成分富硅富铝富碱。稀土元素含量除稀土花岗岩外大多数都很低,轻重稀土元素分馏不明显,具有明显的铕负异常。岩石细粒结构-细粒似斑状结构,常见微斜长石斑晶的“棋盘格子结构”和石英斑晶的“雪球结构”等标型结构。某些岩体也发育岩相垂直分带。

麻地岩体和汉儿庄岩体与南岭地区稀有金属花岗岩均可对比,同属典型的稀有金属花岗岩。这些基本特征有助于在地质找矿工作中寻找和鉴别稀有金属花岗岩。

2 稀有金属花岗岩成岩成矿研究的新进展

新世纪以来,我国对稀有金属花岗岩成岩成矿的研究继续深入和拓展,取得了许多新的成果,矿产资源勘查也有新的突破。以下是新近报道的一些代表性实例。

2.1 四川稀有金属花岗岩型绿柱石宝石矿床

四川平武-甘孜-丹巴等地发现多处规模较大的绿柱石宝石矿床,产出的绿柱石晶体块度大、晶形较完整、透明度和净度较高,与之伴生的有宝石级的锡石和白钨矿,具广泛的开发应用前景。该区绿柱石矿床的成因明显有别于我国其他产地的绿柱石,属典型的花岗岩岩浆期后气成-热液矿床。

叶松等(2001)研究并厘定了平武稀有金属花岗岩的特征。平武花岗岩体形成于燕山早期(白云母 K-Ar 同位素年龄 164 Ma),分布于平武县虎牙乡的紫柏杉-武柱塘一带,一些出露面积小于 1 km² 的小花岗岩体呈“岩滴”状成群产出。与绿柱石成矿关系密切的有紫柏杉、蒲口坡、哗哗水、武柱塘 4 个小岩体。紫柏杉岩体较大,平面上呈北东-南西向延伸的短椭圆状,出露面积 0.56 km²。这些岩体与围岩的接触面外倾,在平面上彼此之间的距离都在几公里之内,推测它们有可能在地下深处连为一体。

① 河北综合地质大队, 1990. 河北省中酸性岩体地质特征及其与成矿关系的研究(未刊)。

紫柏杉等4个岩体的岩石学特征相似,岩石均为白色-灰白色,造岩矿物的组成和含量范围为石英15%~35%,钠长石35%~50%,钾长石20%~40%,白云母5%~15%,属碱长花岗岩类,岩石定名为白云母钠长石花岗岩。岩石具有中细粒不等粒结构和似斑状结构,斑晶是钾长石、石英和粗粒钠长石,基质是细小板条状的钠长石微晶。斑晶钾长石包裹小板条状钠长石嵌晶形成“棋盘格子”结构。钾长石中的Or分子和钠长石中的Ab分子多数都在95%以上,二者都近于端员组成。岩石化学成分为铝过饱和富钠偏碱性。稀土元素含量很低,6个样品 ΣREE 平均值为 19.09×10^{-6} ,轻重稀土元素分馏不明显,具有明显的负铕异常, δEu 平均0.4。富含Be、W、Sn、Li、Rb、Nb、Ta等稀有元素,与花岗岩平均值相比,Be、W、Sn的富集系数分别为13.02~35.2,3.7~100.9,13.4~17.2,为绿柱石、白钨矿、锡石的矿化提供了物质基础。综合岩石学、矿物学、岩石化学、稀土和微量元素地球化学特征,岩体是花岗岩浆高度分异演化晚期阶段的产物,是较典型的稀有金属花岗岩。

绿柱石矿化与岩浆期后云英岩化关系密切,形成典型的气成-热液云英岩型和石英脉型矿床。在岩体顶部或边部的云英岩化花岗岩中白云母含量可达30%左右,在白云母富集的部位常产出宝石级的绿柱石、锡石和白钨矿晶体。岩体周围内外接触带有大量的花岗岩或花岗斑岩细脉及各种石英脉沿节理和围岩的层间裂隙产出。石英脉类包括纯石英脉、长石石英脉、白云母石英脉、电气石石英脉、萤石石英脉和方解石石英脉,它们常相互交叉构成网脉状。石英脉裂隙和晶洞内常生长有绿柱石、白钨矿和锡石晶簇,构成含矿脉。绿柱石、白钨矿和锡石晶体巨大,透明度高,构成优质宝石矿床(叶松等,2001)。

2.2 攀西地区碱性花岗岩和碱性正长伟晶岩脉型铌钽矿床(化)群

攀西(攀枝花-西昌)地区的铌钽矿床(化)基本上都是沿着南北向安宁河断裂带分布,沿断裂带两侧分布有大小不一的铌钽矿床(矿化点)30余处,矿体赋存于印支期(260~252 Ma)。碱性花岗岩和碱性正长伟晶岩脉中,其矿石矿物主要为烧绿石、星叶石、褐钨铌矿、锆石等,含矿的碱性花岗岩是花岗质岩浆分异演化的结果(王汾连等,2012)。

2.3 湖南香花岭地区癞子岭稀有金属花岗岩

朱金初等(2011)报道,癞子岭花岗岩岩株侵位于燕山早期,出露面积 2.2 km^2 ,锆石U-Pb年龄为154~155 Ma,以富含Li、Rb、Nb、Ta、Sn、W等稀有金属元素,Pb、Zn等贱金属元素以及 H_2O 、F等挥发分为主要特征。岩体具有明显的垂直分带,自下而上在450~500 m的垂直距离范围内,可划分出产状十分平缓的几个岩相带:从黑鳞云母花岗岩带经浅色花岗岩(二云母花岗岩和锂白云母花岗岩)带、钠长石花岗岩带、云英岩带,到块状石英和黄玉伟晶岩带。各带岩石的常量元素和微量元素组成都有规律的变化,主要表现为Li、Rb、Nb、Ta、Sn、W等稀有金属元素,Pb、Zn等贱金属元素以及 H_2O 、F等挥发分逐步富集,Zr、REE、Y、Th、U等高场强元素逐步亏损。岩体的这种岩石性质和化学元素的垂直分带及层状面型云英岩和钠长石花岗岩的形成,主要与高度发育的岩浆分异和演化密切相关,也是稀有金属元素和挥发分逐步富集并成矿的关键机制。本区广泛发育的云英岩型、钠长石花岗岩型、夕卡岩型、石英脉型、斑岩型、“香花岭岩”型等多种稀有金属和非金属矿床的形成,都是以通过高度的分异演化造成成矿元素的预富集为先决条件。

2.4 江西雅山稀有金属花岗岩

江西宜春雅山稀有金属花岗岩体出露面积约 9.5 km^2 ,为燕山期(锆石U-Pb同位素年龄150 Ma)多阶段侵入的复式岩体,可划分为5个侵入阶段,从早到晚依次为中粗粒黑鳞云母-白云母花岗岩、细粒斑状白云母花岗岩、中粒白云母花岗岩、锂云母花岗岩和黄玉锂云母花岗岩。黄玉锂云母花岗岩分布于岩体最上部分,是雅山岩体晚阶段高程度分异演化的产物,也是Nb、Ta矿化的主要矿体。黄玉锂云母花岗岩呈白色,由于含有大量锂云母而略带紫色;矿物组成石英20%~25%,钠长石50%~60%,锂云母15%~20%,还有少量钾长石、黄玉和萤石;岩石呈斑状结构,石英斑晶较大,常包裹有呈环状排列的板条状钠长石而形成特征的“雪球结构”;岩石化学成分富 Al_2O_3 (18.57%)和 Na_2O (7.05%);稀土元素含量极低, ΣREE 仅 1.31×10^{-6} ,极明显的铕负异常(δEu 0.09);微量元素富集Li、Be、Rb、Cs、Nb、Ta、Th、U,亏损Ba、Sr、Ti,具有高演化花岗岩的显著特征。雅山岩体的成矿受到岩浆高程度分异演化和流体-熔体相互作用的共同影响,前者是Nb、Ta富集的主控因素。同位素示踪研究结果表明,雅山岩体

起源于基底地壳中变质泥质岩的部分熔融,但其成岩过程中也有地幔组分参与(杨泽黎等,2014)。

华南地区一些花岗岩体可以同时存在 W、Sn 矿化和 Ta、Nb 矿化,例如大吉山、邓阜仙、雅山等花岗岩体都同时与钨、锡、钽、铌矿化有关,只是矿种的品位存在差异。李洁等(2013)对雅山花岗岩和西华山花岗岩进行对比研究后指出:雅山花岗岩的全岩地球化学特征、云母和锆石的成分变化均表明,钽、铌成矿作用与花岗岩的高演化密切相关,在岩浆演化过程中逐渐富集 Li、F、P 等元素,有利于钽、铌元素的富集成矿;而西华山花岗岩中钨元素的富集更多地受到流体作用的影响,其岩浆演化程度明显低于雅山花岗岩。认为岩浆演化程度的差异是雅山和西华山花岗岩具有不同成矿类型的重要原因。

2.5 南岭地区稀有金属花岗岩

广西栗木钽、钼、钨、锡稀有金属花岗岩矿田,是同源同期不同阶段的复式花岗岩体。前人研究曾运用多种同位素定年方法获得花岗岩不同岩体同位素地质年龄介于 159~204 Ma 之间,显示出较大的变化范围和不确定性,并判定岩体侵位时代主要为燕山期。

张怀峰等(2013)对该矿田牛栏岭岩体细粒铁锂云母花岗岩和似斑状铁锂云母花岗岩做了锆石 U-Pb 年龄分析,16 个分析点获得的加权平均年龄分别为 223.6 ± 1.7 Ma 和 223.7 ± 1.7 Ma,厘定栗木矿区内岩体的形成时代应为印支期,而不是之前认为的燕山期不同侵入阶段。

陈希清等(2011)测得水溪庙钠长石花岗岩锆石 U-Pb 年龄 212.3 ± 1.8 Ma,李晓峰等(2012)测得金竹源花岗岩锆石 U-Pb 年龄 217.1 ± 1.4 Ma,3 个黄牛含钽钼花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 214 ± 5 Ma。

这些年龄数据一致显示,栗木 Sn-Nb-Ta 矿床形成于晚三叠世,从而提示印支期成矿作用可能成为栗木矿田乃至南岭西段今后稀有金属花岗岩找矿的重点方向。

2.6 内蒙古西部稀有金属花岗岩型大型复合矿产地

东七一山碱长花岗岩位于内蒙古西部额济纳旗境内,呈北东东向侵入于中下志留统向西倾没的背斜核部,出露面积约 1 km^2 ,接触面外倾,倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。岩体可明显分成碱长花岗斑岩和似斑状碱长花岗岩两个相带,碱长花岗斑岩多分布在岩体外围,中部主体是似斑状碱长花岗岩。岩体 Rb-Sr 等时线年龄 128.2 ± 1.1 Ma。主要造岩矿物是微斜长石、

钠长石和石英,其次是铁锂云母和锂云母。钠长石的 Ab 分子都达 98% 以上,几近端员成分。岩石斑状结构和似斑状结构,斑晶是微斜长石、钠长石和石英,基质是小板条状钠长石和细粒石英,石英斑晶常见“雪球结构”。岩石化学成分富硅富碱。稀土元素含量很低, ΣREE 平均为 95.51×10^{-6} ,极明显铈负异常(δEu 平均 0.07)。

碱长花岗岩有铷、锂、铍、钽、铌、钨、锡矿化。已发现有铌铁矿-钽铁矿系列、细晶石-烧绿石系列、铌钽金红石类等多种铌钽矿物,铷和锂主要赋存在含锂云母和微斜长石中,均形成于岩浆结晶作用的晚期;铍主要以绿柱石-石英脉形式分布在碱长花岗岩内外接触带,一般每平方米有 3~5 条,密集处可达 20 余条,脉中石英占 70%~90%、绿柱石占 5%~20%,还有铁锂云母、钠长石、黄玉和萤石;黑钨矿和锡石是花岗岩的副矿物,也赋存在外接触带的石英脉中。此外,大规模萤石矿化和富 F 的碱长花岗岩在成因和空间上密切相伴,是矿区内最晚形成的矿产。据甘肃省第四地质队的勘查结果:该稀有金属花岗岩矿区钽、铌、钨、锡、铍均独立成矿;铷和锂的资源量巨大;萤石矿规模巨大,远景储量在 $5 \times 10^6 \text{ t}$ 以上(特大型萤石矿床);另外,在萤石矿体外围十分发育文石方解石脉及碳酸盐岩溶洞,数量众多,规模巨大,文石及碳酸盐结核的纯度很高,也是可开发的非金属矿产。这是一个多种稀有金属和非金属成矿的大型复合矿产地。

目前,内蒙古西部北山地区的碱长花岗岩已发现多处,产出特征和东七一山碱长花岗岩有很多相似之处。东七一山稀有金属碱长花岗岩的研究成果,对北山地区 Nb、Ta 等稀有金属资源的寻找有积极的指导意义(王勇等,2009;吕博等,2011)。

2.7 内蒙古中部大型稀有金属花岗岩型铌钽矿床

赵井沟大型铌钽矿床位于内蒙古武川县境内,西南部距呼和浩特市和武川县城的距离分别为 42 km 和 29 km。含矿侵入杂岩体呈脉体(浅部)和岩株状(深部)侵入到中石炭统变质砂砾岩中,地表出露长度 420 m,宽度 25~45 m,从地表到地下 800 m 处杂岩体从脉状变为岩株状,走向长度大于 750 m,厚度可达 214 m,倾斜延深为 780 m。含矿侵入杂岩体的岩石类型主要有碱长花岗岩、碱长花岗伟晶岩、碱长花岗细晶岩和云英岩,大致划分为 5 个岩相带:① 斑杂状碱长花岗岩,位于杂岩体上部;② 砂糖粒状碱长花岗岩,位于杂岩体中部;③ 云英岩化花岗

岩体;④云英岩,位于岩体中下部;⑤碱长花岗细晶岩,呈单脉或脉群产在含矿侵入杂岩体边缘地带。岩体锆石 U-Pb 同位素年龄 277 Ma,属海西期岩浆作用产物。造岩矿物组成:石英 25%~35%,钠长石 25%~30%,天河石 15%~25%,含锂云母 10%~15%。岩石化学成分富铝富碱($\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$)富氟。稀土元素含量很低, $\Sigma\text{REE} < 50 \times 10^{-6}$, $\delta\text{Eu} < 0.26$ 。这是一个高度分异型碱长花岗岩,稀有元素富含 Nb、Ta、Li、Rb、Cs 和 W,这些稀有金属元素都富集成矿。铌钽矿物有 3 种,矿化主要呈浸染状和条带状,在岩体中形成透镜状、似层状和囊状矿体。

内蒙古自治区第一地质矿产勘查开发院于 2009~2012 年完成的资源勘查,查定赵井沟稀有金属花岗岩是个大型铌钽等稀有金属矿床,获得储量: Nb、Ta 氧化物 8 745 t, Li_2O 金属量 21 241 t, Rb_2O 金属量 39 678 t, WO_3 1 322 t。选矿试验表明, Nb、Ta 精矿回收率达 55% 以上,尾矿中钠长石和石英含量高达 99%,是极优质的陶瓷原料,可以说这是一个无尾矿的矿床(聂凤军等,2013;柴华等,2013)。

2.8 内蒙古东部碱性花岗岩型稀有稀土矿床

位于大兴安岭南缘内蒙古自治区扎鲁特旗境内的巴尔哲 801 碱性花岗岩岩体是我国重要的稀有稀土矿床,其中锆和稀土元素的储量已达超大型矿床规模,具有重要的经济价值。碱性花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄为 125 Ma。801 碱性花岗岩体呈岩瘤产出,分成东西两个岩株,东岩株出露面积 0.3 km²,西岩株出露面积 0.11 km²,两个岩株向下连为一体。801 岩体侵位后经历了充分的分异演化使成矿元素在岩体上部超常富集并形成工业矿体。显然,岩浆侵位后的分异演化程度对巴尔哲地区碱性花岗岩型稀有稀土元素成矿作用具有明显的控制作用(杨武斌等,2011)。

2.9 新疆东部富含稀有金属的花岗岩杂岩体

白石头泉岩体位于甘、新边界星星峡镇北东约 30 km 处,岩体沿山岗呈 NE 向展布,露头面积约 7 km²。岩体 Rb-Sr 等时线年龄 209.6 ± 9.6 Ma。沿山坡而上,可在岩体中分出 5 个渐变的相带:淡色花岗岩(a带)、含天河石花岗岩(b带)、天河石花岗岩(c带)、含黄玉天河石花岗岩(d带)和黄玉钠长石花岗岩(e带)。从 a 带到 e 带,岩石化学成分、岩性特征、稀有元素含量等都呈现有规律的变化,这种垂向

分带是分离结晶和流体输运的共同结果。造岩矿物主要有钠长石、石英、钾长石、白云母和黄玉,副矿物有石榴石、萤石、锡石、锆石和独居石等。该岩体以石英呈斑晶产出为特征,且越往顶部石英晶形越好。在 d 和 e 带中还出现黄玉斑晶。

岩体的岩石化学成分显著特征是高硅、富碱且 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 、高 F(>2%)、高 Rb($500 \times 10^{-6} \sim 1\,087 \times 10^{-6}$)。稀土元素 ΣREE 变化于 $28.6 \times 10^{-6} \sim 231.9 \times 10^{-6}$, Eu 具强烈的负异常。微量元素以富含 Li、Rb、Cs、W、Sn、Nb、Ta、Hf、Th、U、Pb、Zn 为特征,为稀有金属矿化提供了物质基础(顾连兴等,2007)。

以上实例充分体现了稀有金属花岗岩的基本特征的普遍性。也表明我国稀有金属花岗岩的时空分布有了更大的拓展。成岩时代从燕山期前延至印支期和海西期。空间分布不仅限于华南地区,在华北的内蒙、东北的大兴安岭、西部的四川和新疆,都有稀有金属花岗岩的重要产地(图 2)。稀有金属花岗岩成矿作用的类型更多样,矿产资源种类更丰富。预示我国稀有金属花岗岩研究和矿产资源勘查必将有更好的前景。

3 稀有金属花岗岩成岩成矿作用的几个特点

3.1 成岩作用特点

早在上世纪 60 年代,池际尚教授对北京八达岭花岗岩杂岩体的研究,创造性提出了花岗岩浆侵入期次划分、岩浆深部分异和就地分异作用等理论模型(池际尚等,1997)^①。这种先进的学术思想在国内几十年稀有金属花岗岩成岩成矿研究中得到了充分的体现,发挥了巨大的指导作用。

在多种岩石类型出现的花岗杂岩体地区产出的稀有金属花岗岩,通常都是多期次岩浆侵入形成的复合岩体中岩浆高度分异演化晚期的产物。一些单个的稀有金属花岗岩体往往也是两次或多次岩浆侵入的复合岩体,有的从中心到边缘或从下部到上部具有明显的岩性变化分带,都表现出岩浆就地分异演化的明显特征。正是这种岩浆高度分异演化,造成典型的稀有金属花岗岩形成时间最晚,在空间分布上多出现在岩体的中央或上部,岩体规模都比较

① 首次发表的原文刊于中国地质学会主编的《第卅二届学术会论文选集》(矿物、岩石、地球化学), 1963。

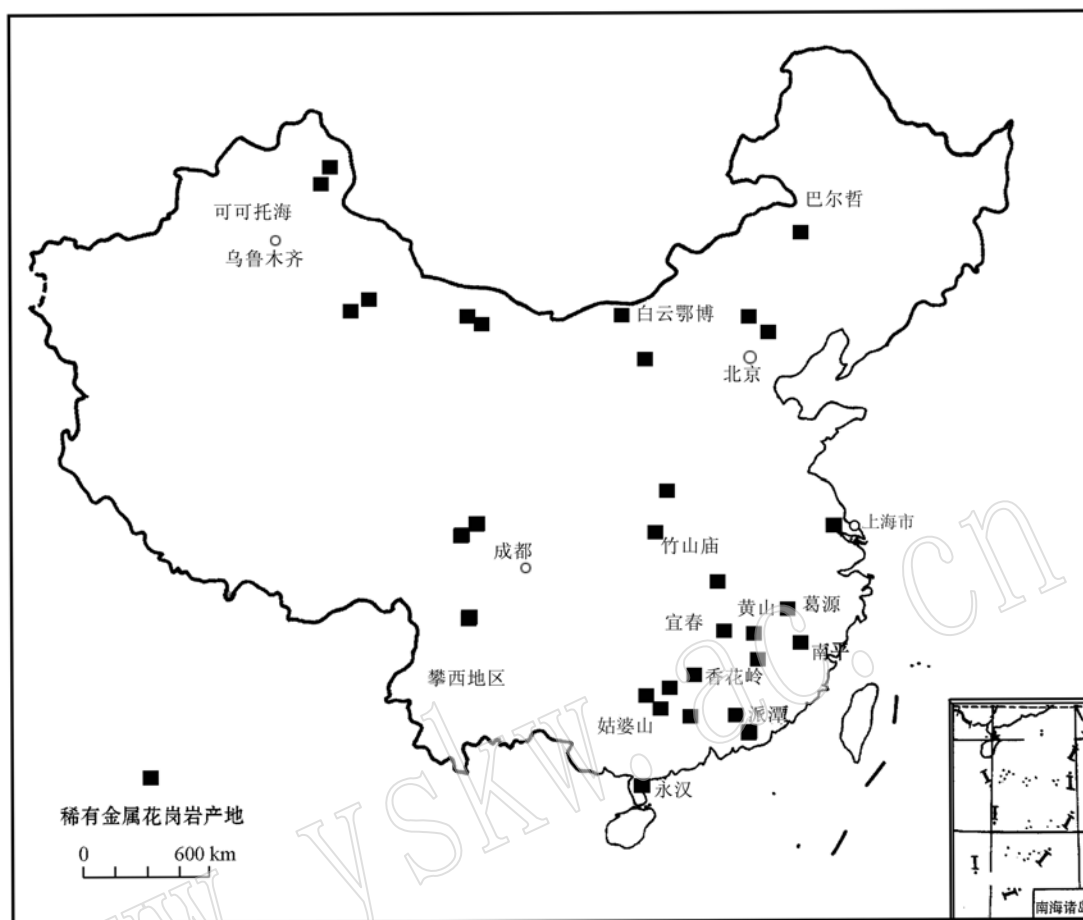


图 2 中国稀有金属花岗岩分布示意图[据王汾连等(2012)补充修改]

Fig. 2 Simplified map showing distribution of the rare metal granites in China (after Wang Fenlian *et al.*, 2012)

小。这种岩浆高度分异演化也使稀有金属元素高度富集,为稀有金属矿化提供了充分的物质基础。

3.2 成矿作用特点

稀有金属花岗岩的成矿作用主要是岩浆作用成矿。其中稀土元素、铌和钽、铀和钍,通常都是岩浆期形成的独立矿物,或独立存在或被包裹镶嵌于造岩矿物中,且这几种稀有金属元素的金属阳离子,在它们的独立矿物中彼此类质同像代换十分普遍,在矿物组成中关系十分密切,可以说是“你中有我,我中有你”;锂、铷和铯多赋存在含锂云母类和微斜长石(天河石)中;铍多以绿柱石形式呈分散浸染状分布于花岗岩中。其次可以伴生岩浆期后气成-热液和热液成矿,通常以似伟晶岩或石英脉形式产于岩体内外接触带,是钨(黑、白钨矿)、锡(锡石)、铍(绿柱石)的主要成矿形式之一。

3.3 矿床特点

稀有金属花岗岩成矿很少是单一元素的成矿,

通常都形成以一两种金属元素为主多种金属元素共生的复合矿床。矿体就是岩体的某些地段。矿石的可选性良好,金属矿石矿物精矿的回收率和品位都比较高;尾矿产品成分比较单纯,钠长石和石英的纯度很高,可用作陶瓷原料。伴生的岩浆期后脉型矿体,常产出白钨矿、锡石、绿柱石、黄玉、萤石、电气石等颗粒粗大的晶体,都是优质的宝石资源。这种多种金属元素和非金属矿物共生的复合矿床,资源可以充分地综合利用,因此,大大提升了稀有金属花岗岩矿床的经济价值。

4 稀有金属花岗岩对生态环境的影响

稀有金属花岗岩作为稀有金属等矿产的载体,在工业经济和民用方面为人们带来巨大经济利益的同时,由于其富含铀、钍、钾、铷、铯、稀土等天然放射性元素和某些有害金属元素,也给岩体及其周边

地区的生态环境带来不同程度的天然污染。超标的放射性辐射和有害元素通过居住环境、饮用水、食物、花岗岩石材用品等多种渠道作用于人体, 给人体造成健康伤害。

在麻地花岗岩和汉儿庄花岗岩进行野外地质调查时, 笔者顺便就花岗岩对生态环境和周边居民健康的影响做了调查。

汉儿庄花岗岩出露于低山区(岩体最高点海拔高度 250 m), 岩体及其周边地区聚居有几百户居民。当地居民形象地说, 居民群体中的健康异常有“五多”: 哑巴多、傻子多、矮子多、怪病多、妇女不生孩子的多。汉儿庄花岗岩富含强放射性元素铀、钍和有害元素铅、钼, 当地居民健康状况异常的种种现象, 与放射性辐射和 Pb、Mo 对人体的伤害情况基本相符(刘牧, 2001; 张浩等, 2014; 刘茂生等, 2004)。这是稀有金属花岗岩这种污染的源岩造成周边生态环境的天然污染, 进而给当地居民带来健康伤害的一个较典型的实例。

事实上, 汉儿庄花岗岩因富含放射性元素和铅等有害元素而造成周围一定区域生态环境的天然污染并不是个案。大多数稀有金属花岗岩体都存在问题, 迄今为止还没有引起社会和公众足够的注意。目前, 生态环境的保护与建设已是国家的战略方针, 良好的生态环境才能保障居民的健康和生活质量。

对于赋存稀有金属的花岗岩体和其他污染源岩的地质体, 本着趋利避害的原则, 既要充分利用各种稀有金属和其它矿产资源, 促进经济建设和社会发展, 又要尽量规避生态环境的天然污染带来的危害。应采取积极的措施, 控制或减少污染源地质体周边生态环境的天然污染对居民健康的伤害。地矿部门和环保部门应将其列为自己的一项主要工作内容, 各自发挥本行业的优势, 互相协作, 做好这项造福民众的工作。

References

- Chai Hua and Wu Jinglong. 2013. Albite granite in Ni-Ta deposit area and its mineralization in Zhaojinggou, Wuchuan county, Inner Mongolia[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, (15): 69~71(in Chinese).
- Chen Xiqing, Fu Jianming, Chen Shunbo, *et al.* 2011. Zircon SHRIMP U-Pb dating and mineralization significance of Yinshanling granite, Northeastern Guangxi Province[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 27(2): 85~89(in Chinese with English abstract).
- Chi Jishang, Li Zhaonai, Li Wenxiang, *et al.* 1997. The granite in Nankuo, west zone in Yanshan Mountain[A]. Petrology and Mineralogy Department, China University of Geosciences. Chi Jishang Anthology[C]. Beijing: Geological Publishing House: 115~128(in Chinese).
- Gu Lianxing, Wu Changzhi, Zhang Zunzhong, *et al.* 2007. Geochemistry of the Baishitouquan topaz-bearing amazonite granite: zoning and magma evolution[J]. Geological Journal of China Universities, 13(2): 207~223(in Chinese with English abstract).
- Li Jie and Huang Xiaolong. 2013. Mechanism of Ta-Nb enrichment and magmatic evolution in the Yashang granites, Jiangxi Province, South China[J]. Acta Petrologica Sinica, 29(12): 4 311~4 322 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiaofeng, Feng Zuohai, Xiao Rong, *et al.* 2012. Spatial and temporal distributions and the geological setting of the W-Sn-Mo-Nb-Ta deposits at the Northeast Guangxi South China[J]. Acta Geologica Sinica, 86(11): 1 713~1 725 (in Chinese with English abstract).
- Liu Mu. 2001. The effect of Mo on human health[J]. China Molybdenum Industry, 25(5): 44~45(in Chinese with English abstract).
- Lü Bo, Yang Yueqing, Meng Guixiang, *et al.* 2011. Geochemical characteristics and petrogenesis of Dongqiyishan alkali feldspar granite, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 30(3): 543~552(in Chinese with English abstract).
- Nie Fengjun, Wang Fengxiang, Zhao Yuan, *et al.* 2013. Geological features and origin of Zhaojinggou Nb-Ta deposit in Wuchuan County, Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 32(4): 730~743(in Chinese with English abstract).
- Wang Fenlian, Zhao Taiping and Chen Wei. 2012. Advances in study of Nb-Ta ore deposits in Panxi area and tentative discussion on genesis of these ore deposits[J]. Mineral Deposits, 31(2): 293~308(in Chinese with English abstract).
- Wang Yong, Lü Qingtian, Meng Guixiang, *et al.* 2009. Alkali feldspar granite of Dongqiyishan, Inner Mongolia and its metallogenesis[J]. Acta Geologica Sinica, 83(10): 1 504~1 514(in Chinese with English abstract).
- Xia Weihua, Zhang Jintong, Feng Zhiwen, *et al.* 1989. Rare Metal Deposit Geology in Nanling Granite[M]. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences, 14~55(in Chinese).
- Yang Wubin, Shan Qiang, Zhao Zhenhua, *et al.* 2011. Petrogenic and metallogenic action of the alkaline granitoids in Baerzhe Area: A comparison between Mineralized and Barren Plutons[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 41(6): 1 689~1 704(in Chinese with English abstract).
- Yang Zeli, Qiu Jiansheng, Xing Guangfu, *et al.* 2014. Petrogenesis and

- magmatic evolution of the Yashan granite pluton in Yichun, Jiangxi Province, and their constraints on mineralization[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(5): 850~868(in Chinese with English abstract).
- Ye Delong. 1992. Typical structure of rare metal granite and its genetic analysis in Xinglong M111 area, Hebei[A]. *Petrology and Mineralogy Department, China University of Geosciences. Petrology Anthology*[C]. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences, 70~80(in Chinese).
- Ye Delong, Ren Yingxin and Tai Daoqian. 1991. The study on the characteristics of geochemistry and mineralization of the M111 rare metal contained granitic intrusion in Xinglong, Hebei[J]. *Geoscience-Journal of Graduate School, China University of Geosciences*, 5(1): 13~23(in Chinese with English abstract).
- Ye Delong, Tai Daoqian and Ren Yingxin. 1987. Geological and petrological characteristics of M111 rare metal-bearing granite intrusion in Xinglong, Hebei[J]. *Earth Science-Journal of Wuhan College of Geology*, 12(3): 225~232(in Chinese with English abstract).
- Ye Song, Qi Lijian, Luo Yong'an, *et al.* 2001. Relationship between the Rare-metal contained granitic intrusions and beryl mineralization in Pingwu, Sichuan, China[J]. *Geological Science and Technology Information*, 20(2): 65~70(in Chinese with English abstract).
- Zhang Hao, Li Lei, Yao Tingting, *et al.* 2014. Radioactive harm to human and ecological environment[J]. *Chinese Building Materials Science and Technology*, 4: 37~39(in Chinese with English abstract).
- Zhang Huaifeng, Lu Jianjun, Wang Rucheng, *et al.* 2013. Confirmation of indosinian age of the Niulanling granite from Limu orefield, Guangxi Province and its significance[J]. *Geological Journal of China Universities*, 19(2): 220~232 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jinchu, Wang Rucheng, Lu Jianjun, *et al.* 2011. Fractionation, Evolution, Petrogenesis and Mineralization of Laiziling Granite Pluton, Southern Hunan Province[J]. *Geological Journal of China Universities*, 17(3): 381~392 (in Chinese with English abstract).
- Бейс А. А. и Северов В. А. 1962. Грейзенизированные и альбитизированные граниты(Апограниты)[J]. *ИЗД. АН СССР*.
- 附中文参考文献**
- 柴 华, 武景龙. 2013. 内蒙古武川县赵井沟钨钽矿区钠长花岗岩及其成矿作用[J]. *内蒙古科技与经济*, 15: 69~71.
- 陈希清, 付建明, 程顺波, 等. 2011. 桂北银山岭岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年锡铅锌多金属矿床形成时代讨论[J]. *华南地质与矿产*, 27(2): 85~89.
- 池际尚, 李北鼎, 李文祥, 等. 1997. 燕山西段南口花岗岩[A]. *中国地质大学岩石教研室编. 池际尚论文选集*[C]. 北京: 地质出版社, 115~128.
- 顾连兴, 吴昌志, 张遵忠, 等. 2007. 东疆白石头泉含黄玉天河石花岗岩体的地球化学: 分带和岩浆演化[J]. *高校地质学报*, 13(2): 207~223.
- I. U. G. S. 1972. 深成岩的分类和命名法(1974 年译)[J]. *地质地球化学*, No. 8.
- 李 洁, 黄小龙. 2013. 江西雅山花岗岩岩浆演化及其 Ta-Nb 富集机制[J]. *岩石学报*, 29(12): 4 311~4 322.
- 李晓峰, 冯佐海, 肖 荣, 等. 2012. 桂东北钨锡稀有金属矿床的成矿类型、成矿时代及其地质背景[J]. *地质学报*, 86(11): 1 713~1 725.
- 刘茂生, 宋继军. 2004. 有害元素铅与人体健康[J]. *微量元素与健康研究*, 21(4): 62~63.
- 刘 牧. 2001. 钼对人体健康的影响[J]. *中国钼业*, 25(5): 44~45.
- 吕 博, 杨岳清, 孟贵祥, 等. 2011. 内蒙古东七一山碱长花岗岩的地球化学特征和成因[J]. *岩石矿物学杂志*, 30(3): 543~552.
- 聂凤军, 王丰翔, 赵宇安, 等. 2013. 内蒙古赵井沟大型钨钽矿床地质特征及成因[J]. *矿床地质*, 32(4): 730~743.
- 王汾连, 赵太平, 陈 伟. 2012. 钨钽矿研究进展和攀西地区钨钽矿成因初探[J]. *矿床地质*, 31(2): 293~308.
- 王 勇, 吕庆田, 孟贵祥, 等. 2009. 内蒙古东七一山碱长花岗岩及其成矿作用[J]. *地质学报*, 83(10): 1 504~1 514.
- 夏卫华, 章锦统, 冯志文, 等. 1989. 南岭花岗岩型稀有金属矿床地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 杨武斌, 单 强, 赵振华, 等. 2011. 巴尔哲地区碱性花岗岩的成岩和成矿作用: 矿化和未矿化岩体的比较[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 41(6): 1 689~1 704.
- 杨泽黎, 邱检生, 邢光福, 等. 2014. 江西宜春雅山花岗岩体的成因与演化及其对成矿的制约[J]. *地质学报*, 88(5): 850~868.
- 叶德隆. 1992. 河北兴隆 M111 稀有金属花岗岩的典型结构及其成因分析[A]. *中国地质大学岩石教研室. 岩石学论文集*[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 70~80.
- 叶德隆, 任迎新, 邵道乾. 1991. 河北兴隆 M111 稀有金属花岗岩体地球化学和矿化特征研究[J]. *现代地质*, 5(1): 13~23.
- 叶德隆, 邵道乾, 任迎新. 1987. 河北兴隆 M111 稀有金属花岗岩体地质和岩石学特征[J]. *地球科学*, 2(3): 265~275.
- 叶 松, 元利剑, 罗永安, 等. 2001. 四川平武稀有金属花岗岩与绿柱石的成矿属性[J]. *地质科技情报*, 20(2): 65~70.
- 张 浩, 李 雷, 姚婷婷, 等. 2014. 放射性对人类及生态环境的危害[J]. *中国建材科技*, 4: 38~39.
- 张怀峰, 陆建军, 王汝成, 等. 2013. 广西栗木矿区牛栏岭岩体印支期年龄的厘定及其意义[J]. *高校地质学报*, 19(2): 220~232.
- 朱金初, 王汝成, 陆建军, 等. 2011. 湘南癞子岭花岗岩体分异演化 and 成岩成矿[J]. *高校地质学报*, 17(3): 381~392.