中俄阿尔泰山中生代花岗岩与稀有金属矿床的初步对比分析*

韩宝福
HAN BaoFu

造山带与地壳演化教育部重点实验室,北京大学地球与空间科学学院,北京 100871
MOE Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, *China*
2007-00-00 收稿, 2008-03-31 改回.

Han BF. 2008. A preliminary comparison of Mesozoic granitoids and rare metal deposits in Chinese and Russian Altai Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4):655 – 660

Abstract Chinese and Russian Altai Mountains are component parts of the Altai Mountains in Central Asia, and both show similar geological evolution during the Paleozoic and are characterized by Mesozoic granitoids and related rare metal deposits. However, a preliminary comparison shows some similarities and differences in these granitoids and related rare metal deposits between the two parts of the Altai Mountains. In Chinese and Russian Altai Mountains, the Mesozoic granitoids are composed of granite-leucogranite associations (mainly S-type), belonging to anorogenic granitoids, but the rare metal deposits in Russian Altai Mountains are dominated by W-Mo and Li-Ta ones formed from late Triassic to early Jurassic and closely related to late-stage granitic stocks and dykes, whereas those in Chinese Altai Mountains by Li-Be-Nb-Ta deposits formed from late Triassic through Jurassic and dominantly related to granopegmatitic veins. These granitoids show similar Sr-Nd isotope characteristics, their initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios vary greatly possibly as a result of magma-fluid interaction, whereas their $\varepsilon_{Nd}(t)$ values are in a range of enriched mantle represented by lamprophyre. Alternatively, they might have resulted from the mixing of mantle and crustal materials.
Key words Altai Mountians, Mesozoic granitoid, Anrogenic, Rare metal deposit

摘 要 中国阿尔泰山和俄罗斯阿尔泰山均属于阿尔泰山脉的组成部分,地理上互相连接,地质上具有相似的古生代演化历史,同样都发育中生代花岗岩及伴生的稀有金属矿床。中国阿尔泰山和俄罗斯阿尔泰山的中生代花岗岩及其稀有金属矿床既表现出一定的相似性,也存在一定的差别。两地与稀有金属矿床有关的中生代花岗岩主要为S型花岗岩,属于非造山花岗岩类,但在俄罗斯阿尔泰山发育以岩珠和岩脉型钨-钼、锂-钽为主的稀有金属矿床,时限为晚三叠世和早侏罗世,而中国阿尔泰山则发育以花岗伟晶岩脉型锂-铍-铌-钽为主的稀有金属矿床,时限从晚三叠世到晚侏罗世。这些花岗岩具有相似的Sr-Nd同位素特征,但$^{87}Sr/^{86}Sr$初始比值变化很大,可能是岩浆-流体作用的结果,而变化较小的$\varepsilon_{Nd}(t)$值与富集地幔来源的岩浆基本相当,或者可以解释为幔源岩浆与地壳物质混合的结果。
关键词 阿尔泰山; 中生代花岗岩类; 非造山; 稀有金属矿床
中图法分类号 P588.121; P618.6; P618.7

1 引言

阿尔泰山脉是贯穿中、俄、蒙、哈接壤地区的一条重要山脉,呈北西-南东方向延伸,长度超过2000km。阿尔泰山脉是中亚造山带的重要组成部分,花岗岩类非常发育,同时也是世界著名的稀有金属产地。在中国境内,阿尔泰造山带广泛发育古生代花岗岩类,稀有金属成矿作用可能与海西中-晚期(336~304Ma)的花岗伟晶岩和钾长花岗岩有关(如李思强等,2006),但中生代稀有金属成矿作用可能也具有重要的

* 国家重点基础研究规划项目(编号: 2007CB411305、2001CB409802)、国家科技支撑计划重点项目(编号: 2006BAB07B08)、中国地质调查局项目(编号: 1212010611803)资助
作者简介: 韩宝福, 男, 1960 年生, 教授, 博士生导师, 构造地质学专业, E-mail: bfhan@pku.edu.cn

意义(Chen *et al.*, 2002)。最近几年获得的锆石年龄证实,中国阿尔泰山花岗岩类主要形成于古生代(王涛等,2005; Windley *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2006; 胡霭琴等,2006; 童英等,2005,2006a,2006b,2007; 韩宝福等,2006; 周刚等,2007a,2007b; 曾乔松等,2007; Briggs *et al.*, 2007; Yuan *et al.*, 2006,2007; Sun *et al.*, 2008),但确实存在中生代花岗质岩石,而且这期岩浆活动似乎与中国阿尔泰山著名的稀有金属矿床的形成密切相关。例如。陈富文等(1999)报道了尚可兰白云母钠长花岗岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 181 Ma(早侏罗世)、可可托海 3 号伟晶岩脉文象-变文象伟晶结构带(外带) 白云母 Ar-Ar 年龄为 178 Ma(早侏罗世)、大喀拉苏和小喀拉苏伟晶岩脉的白云母 Ar-Ar 年龄在 220 ~ 240 Ma 之间(三叠纪),王登红等(2000)则报道了阿祖拜伟晶岩两个白云母 Ar-Ar 年龄分别为 151 和 154 Ma(晚侏罗世)。最近,朱永峰等(Zhu *et al.*, 2005)采用矿物 Rb-Sr 等时线方法,获得了可可托海 3 号伟晶岩脉边部的年龄为 218 ± 6 Ma,同时还获得了黑云母花岗岩的年龄为 249 ± 8 Ma 和二云母花岗岩的年龄为 248 ± 6 Ma,而王涛等(Wang *et al.*, 2007)则采用 SHRIMP 锆石 U-Pb 方法,测定了可可托海 3 号伟晶岩脉 3 个不同相带的年龄分别是 220 ± 9 Ma、198 ± 7 Ma 和 213 ± 6 Ma,附近的阿拉尔花岗岩的锆石 U-Pb 年龄是 212 ± 2 Ma and 210 ± 3 Ma。所有资料这些均显示,中国阿尔泰山最重要的稀有金属成矿作用可能与中生代而不是古生代岩浆活动的关系最为密切,形成了世界著名的花岗伟晶岩型稀有金属矿床。有关资料显示,在与中国接壤的俄罗斯阿尔泰山,中生代花岗质岩浆活动也伴有重要的稀有金属成矿作用。因此,比较俄罗斯阿尔泰山和中国阿尔泰山中生代花岗岩及稀有金属矿床的相关资料,能够为综合分析阿尔泰山中生代花岗岩类岩浆活动与稀有金属成矿作用的关系、探讨稀有金属成矿机理等提供有价值的参考。

2 俄罗斯阿尔泰山的花岗岩类及时代

与中国阿尔泰山花岗岩类的情形相似,俄罗斯阿尔泰山(属于山区阿尔泰部分)以发育古生代花岗岩类为主,但也有相当数量的中生代花岗岩类产出,分布在比斯克-巴尔瑙尔盆地以南至中俄、中蒙边界之间的区域以及哈萨克斯坦阿尔泰山区(图 1)。目前所掌握的有限的资料显示,古生代花岗岩类包括泥盆纪似斑状黑云母花岗岩、亚碱性和碱性(含钠闪石)花岗岩、二长花岗岩、石榴石电气石花岗岩和似斑状黑云母堇青石花岗岩等,它们的锆石 U-Pb 年龄和 Rb-Sr 等时线年龄在 380 ~ 360Ma 之间(Vladimirov *et al.*, 1997; Plotnikov *et al.*, 2001; Kruk *et al.*, 2004)。而中生代花岗岩类主要包括似斑状二云母花岗岩、白云母电气石花岗岩、似斑状角闪石黑云母花岗岩、黑云母花岗岩、角闪石黑云母正长岩、花岗正长岩,还有白岗岩、翁岗岩和含锂辉石花岗岩等,构成了所谓的"淡色花岗岩-花岗岩类"组合(Kozlov *et al.*, 1991, Vladimirov *et al.*, 1997)。它们的锆石 U-Pb 年龄和 Rb-Sr 等时线年龄在 250 ~ 180Ma 之间(Kozlov *et al.*, 1991; Ilyin *et al.*, 1994; Vladimirov *et al.*, 1997, 2001; Annikova *et al.*, 2006)。此外,还有少量晚石炭世-二叠纪花岗岩类,它们的锆石年龄在 310 ~ 265Ma 之间(Kozlov *et al.*, 1991; Vladimirov *et al.*, 2001)。

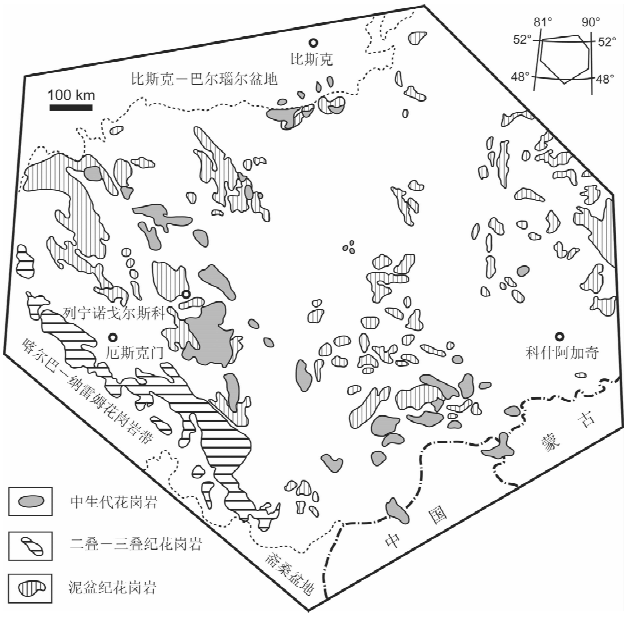


图 1 俄罗斯阿尔泰山晚古生代-中生代花岗岩类分布简图
据 Vladimirov *et al.* (1997)简化

Fig. 1 Distribution of late Paleozoic and Mesozoic granitoids in Russian Altai (simplified from Vladimirov *et al.*, 1997).

3 俄罗斯阿尔泰山南部的中生代花岗岩类与稀有金属矿床

在俄罗斯山区阿尔泰南部与中、蒙、哈等国接壤的地区,有十多个早中生代花岗岩体都与稀有金属矿床有关,其中重要的岩体有钦达加泰、昆古尔贾林、奥罗察干、卡尔古特、阿卡拉哈等(图 2)。这些花岗岩的主体由中-粗粒似斑状黑云母和二云母花岗岩组成,为岩体的早期侵入相,斑晶为 12 ~ 15cm 的钾长石。这些岩石又被细晶质到伟晶质的白云母和白云母-电气石淡色花岗岩岩珠和岩脉侵入。淡色花岗岩岩珠的直径不超过 200m,岩脉宽度不超过 10m。晚期岩石包括云英岩、翁岗岩化的细晶花岗岩-斑岩以及锂辉石细晶岩和花岗斑岩。稀有金属矿化主要出现在钦达加泰岩体、昆古尔贾林岩体和卡尔古特岩体等三个岩体中。这些岩体的围岩是变质的早古生代陆源沉积地层、中古生代酸性火山岩和花岗岩类。在岩体的外接触带,围岩发生角岩化和云英岩化。

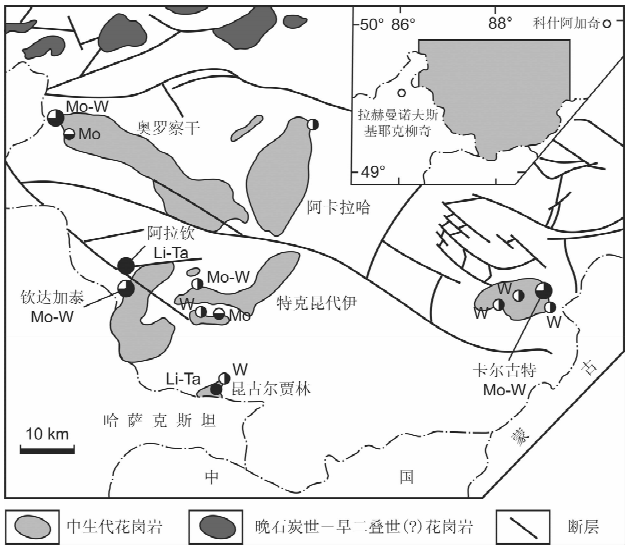


图 2 俄罗斯阿尔泰山南部中生代花岗岩类及稀有金属矿床分布简图。据 Vladimirov *et al.* (1998)简化。

Fig. 2 Mesozoic granitoids and related rare metal deposits in southern Russain Altai (simplified from Vladimirov *et al.*, 1998).

钦达加泰岩体位于俄哈边界附近。在钦达加泰岩体的北部,晚期超稀有金属岩石以含锂辉石的花岗斑岩为代表,并侵入在钦达加泰岩体的主要岩相黑云母似斑状花岗岩和寒武纪片岩之中。而似斑状锂辉石花岗斑岩是最晚形成的,在由细粒钠长石、石英和白云母组成的基质中,发育石英、锂辉石和少量微斜长石、白云母等斑晶,其中锂辉石含量达到 25 ~ 30%。

昆古尔贾林岩体位于钦达加泰岩体西南方向的俄哈边界附近,南距中俄哈三国交界处约 15km。该岩体中发育含锂辉石细晶岩脉,宽度约 50cm,侵入在白云母-电气石淡色花岗岩中,与白云母细晶岩脉系一起产出,岩脉的锂辉石含量为 10 ~ 15%,属于晚期岩浆侵入的产物。

卡尔古特岩体位于钦达加泰岩体正东方向的卡尔古特河上游,东邻俄蒙边界,南距中俄边界约 30km。岩体由两部分组成:由花岗岩-淡色花岗岩组成的卡尔古特杂岩和由岩脉和小侵入体组成的东卡尔古特杂岩。在东卡尔古特杂岩中,云英岩、翁岗岩和成分类似于早期花岗岩的霏细岩等属于晚期岩浆活动的产物。100 多条岩脉组成了北东走向的岩脉带,单条岩脉长度可以超过 1km,但一般从几十厘米到 18 ~ 20m 不等。岩石具有斑状结构,斑晶大小 2 ~ 5mm,由石英、钾长石、酸性斜长石和白云母等构成,在有的岩脉中还有磷灰石和(或)黄玉斑晶,基质是隐晶质的,由石英、钾长石和云母等组成。

与这些中生代花岗岩体密切相关的成矿作用形成了一系列钼、钨、锂、钽等稀有金属矿床(图 2),其中以尤以卡尔古特矿床最具代表性。

4 卡尔古特钼-钨-稀有金属矿床

卡尔古特钼-钨-稀有金属矿床发育在东卡尔古特杂岩中(图 3)。该矿床最早在 20 世纪 30 年代开始得到研究,是现今山区阿尔泰此类矿床中唯一得到深入研究并已开采的钼-钨-稀有金属矿床。除钨和钼作为最具有价值的矿种之外,铜、铋、铍的储量也得到了评价,贵金属含量也非常可观。

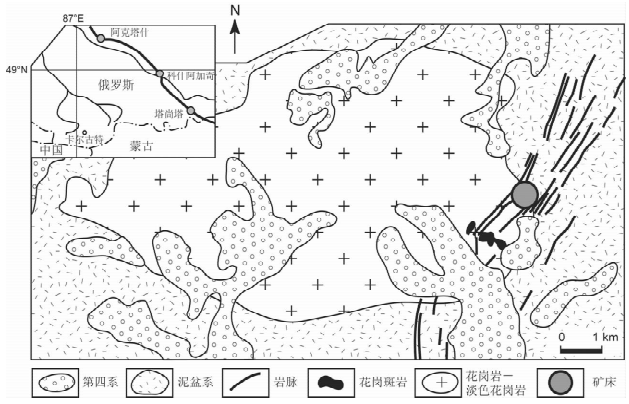


图 3 卡尔古特岩体地质简图。据 Potseluev *et al.* (2006)简化。

Fig. 3 Sketch map of the Kalguty complex in southern Russian Altai, showing the location of the Kalguty Mo-W deposit in the complex (simplified from Potseluev *et al.*, 2006).

卡尔古特矿床与该地区淡色花岗岩有关。早期形成的花岗岩主要是黑云母花岗岩、二云母花岗岩等,而成矿作用主要与晚期的岩脉密切相关(图 4)。

最新的研究(Annikova *et al.*, 2006)揭示,东卡尔古特杂岩中含矿和不含矿岩石的白云母 Ar-Ar 年龄在 205 ~ 201Ma 之间,被认为代表了东卡尔古特杂岩和 W-Mo-Bi-Be 矿化作用的时代。而早期卡尔古特花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 216 ± 3 Ma,黑云母 Ar-Ar 年龄为 202 ± 1 Ma,表明东卡尔古特杂岩和钨-钼-铋-铍矿化作用发生在卡尔古特花岗岩侵位之后,而且可能造成了卡尔古特花岗岩中黑云母的放射成因 Ar 部分丢失。

矿化作用发生在一系列北东延伸的陡倾岩脉中,这些矿脉中还含黄铁矿、辉铋矿和绿柱石等。矿脉的长度从数十米到 1000 米不等,宽度很少超过 1 米,矿化的垂向深度大于 500 米。矿脉伴有厚度大于 0.5 米的云英岩化边。含矿石英脉和云英岩体与细晶岩、微晶花岗岩和翁岗岩(ongonite)岩脉密切相关。翁岗岩脉与矿脉和云英岩体之间复杂的相关性表明它们几乎是同时形成的。对矿床的同位素和地球化学研究认为,卡尔古特矿床的形成与岩浆-流体相互作用有关(Potseluev *et al.*, 2006)。

矿石矿物和脉石矿物超过 50 种。黑钨矿、辉钼矿、绿柱石、辉铋矿及其它含铋矿物、黄铜矿等是最重要的矿石矿物,还发现了铅泡铋矿、柱硫铋铜铅矿、辉铋铜铅矿、辉碲铋矿、

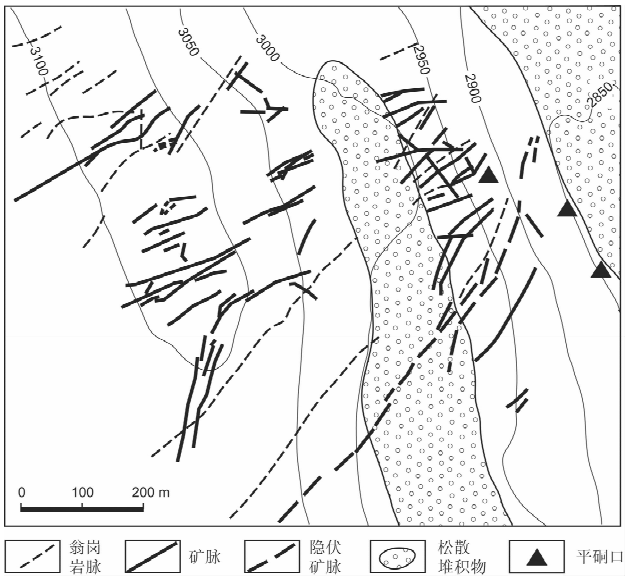


图4 卡尔古特钼-钨矿床地质图。据 Potseluev *et al.* (2006)简化。

Fig. 4 Sketch map of the Kalguty Mo-W deposit (simplified from Potseluev *et al.*, 2006)

砷黝铜矿等矿物。石英和白云母是主要的脉石矿物,其它脉石矿物(长石、萤石、电气石等)含量不超过5%。石英-铋-钼-钨、石英-钨、石英-钨-钼等是最主要的成矿类型,自然金、铋、铜、石墨与普通氧化物、硫化物、硫酸盐共生。矿石的品位和储量均已得到评估。

矿脉中很多元素的含量很高,远远高于全球的平均值(在俄文文献中被称为克拉克值)。例如:Bi(12360),W(6480),Mo(4750),Pt(450),Cd(340),Sb(290),Cu(230),Ag(200),As(133),Pd(127),Be(37),Cs(10),Pb(10),Au(9),Zn(9),Os(6.1),Cr(5.2)。定量和半定量分析表明,在矿体和围岩中贵金属 Au、Ag、Pt、Pd、Os、Rh 等含量也很高,但分布极其不均匀。

5 比较和意义

俄罗斯学者认为,俄罗斯阿尔泰山中生代含稀有金属花岗岩的分布可以延伸到中、蒙、哈等国的相邻地区(Vladimirov *et al.*, 1997)。而近年的研究已经证实,在中国阿尔泰山确实存在着中生代花岗岩及相关的稀有金属矿床。因此,对比中俄阿尔泰山中生代花岗岩与稀有金属矿床的地质特征,对于深化中国阿尔泰中生代花岗岩和相关稀有金属矿床的研究具有重要的参考意义。

中国阿尔泰山和俄罗斯阿尔泰山地理上自然相连,地质上具有相似的演化历史,均是阿尔泰古生代造山带的重要组成部分。无论在俄罗斯阿尔泰山还是在中国阿尔泰山,主要的构造热事件发生古生代,而中生代花岗岩均侵入在古生代地层或变质岩石和古生代花岗岩之中,并且均与稀有金属成矿作用密切相关。

大量的同位素定年结果显示,在岩浆活动和稀有金属矿床的时代和相互关系方面,俄罗斯阿尔泰山中生代花岗岩的时代集中在三叠纪和早侏罗世,而相关的稀有金属矿床主要形成于晚三叠世和早侏罗世,稀有金属成矿作用往往与同一岩体的晚期岩浆活动密切相关。而中国阿尔泰山与中生代花岗岩或花岗伟晶岩相关稀有金属成矿作用的时代似乎略晚,从晚三叠世可以延伸到晚侏罗世,但也存在早三叠世花岗岩。俄罗斯阿尔泰山三叠纪花岗岩类和与西伯利亚超级地幔柱有关的幔源含矿岩浆活动的时限基本一致,属于非造山花岗岩类(Dobretsov, 2003),是这个地幔柱演化最后阶段的产物(Potseluev *et al.*, 2006)。

俄罗斯阿尔泰山的中生代花岗岩以花岗岩-淡色花岗岩为主,包括黑云母花岗岩、二云母花岗岩,有些花岗岩还含有石榴石、电气石或堇青石等,而中国阿尔泰山的中生代花岗岩包括黑云母花岗岩、白云母花岗岩、二云母花岗岩等。矿物学特征表明,与稀有金属矿床有关的主要为S型花岗岩。

目前的资料显示,中国阿尔泰山的稀有金属矿床主要与花岗伟晶岩有关,但花岗伟晶岩与二云母花岗岩、细粒花岗岩、白云母花岗岩可能存在着密切的成因联系(李思强等, 2006; Wang *et al.*, 2007)。而俄罗斯阿尔泰山的稀有金属矿床虽然也与花岗岩-淡色花岗岩关系密切,但寄主岩石具有多样性,不一定是花岗伟晶岩,而且往往与同一花岗岩体的晚期岩石(尤其是各种岩脉)关系更为密切。

俄罗斯阿尔泰山和中国阿尔泰山的中生代花岗岩具有相似的 Sr-Nd 同位素特征,$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值变化很大,而 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值均为负值,但变化相对较小。很高的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值可能是岩浆-流体作用的结果,而 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值与富集地幔来源的岩浆基本相当(图5),也可以被解释为岩浆源区的混合(Vladimirov *et al.*, 1998),即幔源岩浆与地壳物质的混合(Potseluev *et al.*, 2006)。

俄罗斯阿尔泰山与中生代花岗岩有关的稀有金属矿床以钼-钨、锂-钽矿床为主(图2),卡尔古特稀有金属矿床除钼、钨之外,铋含量也很高,贵金属可能也具有很好的远景。而中国阿尔泰山的稀有金属矿床则以锂-铍-铌-钽为主(如可可托海、阿祖拜、尚克兰、库鲁木特等),钼-钨矿床尚少见报道。

总体上,俄罗斯阿尔泰山和中国阿尔泰山的中生代花岗岩及其稀有金属成矿作用既表现出一定的相似性,也存在明显的差别。最显著的差别可能是稀有金属矿床的时代、矿床类型和与成矿作用密切相关的岩石组合。因此,在中国阿尔泰山的稀有金属矿床勘察和成矿作用研究中,除关注古生代岩浆活动与稀有金属成矿作用外,更应重视和加强对早中生代S型花岗岩及其稀有金属成矿作用的研究,尤其应关注晚期各种岩脉的钼-钨成矿作用。

在新疆北部,除阿尔泰山存在确凿无疑的中生代花岗岩外,在东天山也存在着中生代花岗岩(如尾亚岩体,Zhang *et al.*, 2005),而且还存在着这个时期形成的稀有金属矿床,如哈密镜儿泉花岗伟晶岩型稀有金属矿床,其白云母 Ar-Ar 年龄为243Ma,而且含矿的花岗伟晶岩与二云母花岗岩密切相关(陈郑辉等,2006),而与镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床相

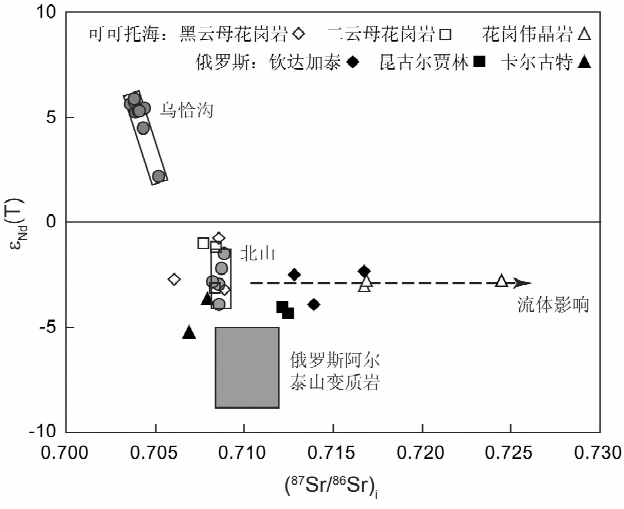


图5 中俄阿尔泰山中生代花岗岩类$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i - \varepsilon_{Nd}(t)$图

俄罗斯阿尔泰山的数据引自 Vladimirov *et al.*.（1998），中国阿尔泰山的数据引自 Zhu *et al.*（2006）。为了比较，图中还给出了时代相近的亏损地幔岩浆（中国阿尔泰山乌恰沟晚二叠世镁铁质侵入岩，陈立辉等，2006）、富集地幔岩浆（甘肃北山三叠纪煌斑岩，刘畅等，2006）和俄罗斯阿尔泰山早-中古生代变质岩（Plotnikov *et al.*，2001）的数据。

Fig. 5 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i - \varepsilon_{Nd}(t)$ diagram for Mesozoic granitoids from Chinese Altai (Zhu *et al.*, 2006) and Russian Altai (Vladimirov *et al.*, 1998).

The depleted and enriched mantle-derived magmas, represented by the Wuqiagou mafic intrusions from Chinese Altai (Chen and Han, 2006) and the lamprophyre dykes from Beishan of Gansu Province (Liu *et al.*, 2006), respectively, and early and middle Paleozoic metamorphic rocks from Russian Altai (Plotnikov *et al.*, 2001) are also shown for comparison.

邻的小白石头泉钨矿的年龄为 244 Ma（李华琴等，2004），也属于这一时期岩浆-成矿作用的产物。

最近，朱永峰（2007）总结了新疆及邻区三叠纪岩浆活动、韧性构造变形和成矿作用的年代学资料，提出三叠纪是中亚地区最重要的成矿时代之一。但就阿尔泰山而言，中生代花岗岩及其相关的稀有金属成矿作用的时限应为三叠纪和侏罗纪。显然，中生代花岗岩及相关的稀有金属矿床在阿尔泰山及毗邻地区可能具有广阔的远景。

References

Annikova IY, Vladimirov AG, Vystavnoi SA, Zhuravlev DZ, Kruk NN, Lepekhina EN, Matukov DI, Moroz EN, Palesskii SV, Ponomarchuk VA, Rudnev SN and Sergeev SA. 2006. U-Pb and $^{39}Ar/^{40}Ar$ dating and Sm-Nd and Pb-Pb isotopic study of the Kalguty molybdenum-tungsten ore-magmatic system, Southern Altai. Petrologiya 14(1): 90 – 108 (in Russian)

Chen FW, Li HQ and Lu YF. 2002. Tempo-spatial distribution of rare metal and REE deposits in Xinjiang, Northwest China. Acta Geologica Sinica, 76(4): 478 – 487

Chen FW, Li HQ, Wang DH, Cai H and Chen W. 1999. New chronological evidence for Yanshanian diagenetic mineralization in China's Altay orogenic belt. Chinese Science Bulletin, 45(2): 108 – 113

Chen LH and Han BF. 2006. Geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopic composition of mafic intrusive rocks in Wuqiagou area, north Xinjiang: Constraints for mantle sources and deep processes. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1201 – 1214 (in Chinese with English abstract)

Chen ZH, Wang DH, Gong YF, Chen YC and Chen SP. 2006. $^{40}Ar - ^{39}Ar$ isotope dating of muscovite from Jingerquan pegmatite rare metal deposit in Hami, Xinjiang, and its geological significance. Mineral Deposits, 25(4): 470 – 476 (in Chinese with English abstract)

Dobretsov NL. 2003. Mantle plumes and their role in the formation of anorogenic granitoids. Geologiya i Geofizica, 44 (12): 1243 – 1261 (in Russian with English abstract)

Han BF, Ji JQ, Song B, Chen LH and Zhang L. 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism. Acta Petrologica Sinica, 22: 1077 – 1086 (in Chinese with English abstract)

Hu AQ, Wei GJ, Deng WF, Chen LL. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating and its significance for gneisses from the southwest area to Qinghe County in the Altai, China. Acta Petrologica Sinica, 22: 1 – 10 (in Chinese with English abstract)

Ilyin VA, Khalilov VA, Kozlov MS, Maslov VI and Timkin VI. 1994. The age of the Alokhiskii stock of Gorny Altai according to U-Pb and Rb-Sr dating. Geologiya i Geofizica, 35(1): 79 – 81 (in Russian with English abstract)

Kozlov MS, Khalilov VA, Stasenko NV, Timkin VI. 1991. Jurassic leucogranite-granite formation of Altai. Geologiya i Geofizica, 32 (8): 44 – 53 (in Russian with English abstract)

Kruk NN, Vladimirov AG, Rudnev SN, Vladimirov VG, Savinykh YV, Levchenkov OA, Kovach VP, Kireev AD. 2004. Internal structure, geodynamic setting, and U-Pb isotopic age of the Kubadru granitold batholith (Gorny Altai). Geologiya i Geofizika, 45 (6): 688 – 702 (in Russian with English abstract)

Li HQ and Chen FW. 2004. Isotopic Geochronology of Regional Mineralization in Xinjiang, NW China. Beijing: Geological Publishing House, pp. 391 (in Chinses with English abstract)

Li TD, Cheng J. 2004. Geological character of No. 228 vein of the Kelumute lithium-tantalum-niobium deposit of Fuyun County in Xinjiang. Mineral Resources and Geology, 18(5): 428 – 431 (in Chinese with English abstract)

Liu C, Zhao ZH and Guo ZJ. 2006. Chronology and geochemistry of lamprophyre dykes from Beishan area, Gansu province and implications for the crust-mantle interaction. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1294 – 1306 (in Chinese with English abstract)

Plotnikov AV, Titov AV, Kruk NN, Ota T, Kabashima T and Hirata T. 2001. Middle Paleozoic age of metasomatism in the south Chuya complex in Gorny Altai. Geologiya i Geofizica, 42(9) 1333 – 1347 (in Russian with English abstract)

Potseluev AA, Babkin DI and Kotegov VI. 2006. The Kalguty Complex Deposit, the Gorny Altai: Mineralogical and Geochemical Characteristics and Fluid Regime of Ore Formation. Geologiya Rudnykh Mestorozhdenii, 48(5): 439 – 459 (in Russian)

Sun M, Yuan C, Xiao WJ, Long XP, Xia XP, Zhao GC, Lin SF, Wu FY and Kröner A. 2008. Zircon U-Pb and Hf isotopic study of gneissic rocks from the Chinese Altai: Progressive accretionary history in the early to middle Palaeozoic. Chemical Geology, 247: 352 – 383

Tong Y, Hong DW, Wang T, Wang SG and Han BF. 2006. TIMS U-Pb zircon ages of Fuyun post-orogenic linear granite plutons on the southern margin of Altay orogenic belt and their implication. Acta Petrologica et Minerallogica, 25: 85 – 89 (in Chinese with English abstract)

Tong Y, Wang T, Hong DW, Dai YJ, Han BF and Liu XM. 2007. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implications. Acta Petrologica Sinica, 23: 1933 – 1944 (in Chinese with English abstract)

Tong Y, Wang T, Hong DW. 2005. Zircon U-Pb age of Tielike pluton in the western Altay orogen and its implications. Acta Geoscientia Sinica, 26(Sup.): 74 – 77 (in Chinese with English abstract)

Tong Y, Wang T, Kovach VP, Hong DW and Han BF. 2006. Age and origin of the Takeshiken postorogenic alkali-rich intrusive rocks in southern Altai, near the Mongolian border in China and its implications for continental growth. Acta Petrologica Sinica, 22: 1267 – 1278 (in Chinese with English abstract)

Vladimirov AG, Ponomareva AP, Shokalskii SP, Khalilov VA, Kostitsyn YA, Ponomarchuk VA, Rudnev SN, Vystavnoi SA, Kruk NN and Titov AV. 1997. Late Paleozoic – early Mesozoic granitoid magmatism in Altai. Geologiya i Geofizica, 38(4): 715 – 729 (in Russian with English abstract)

Vladimirov AG, Vystanvnoi SA, Tikov AV, Rudnev SN, Dergachev VB, Annikov IY and Tikunov YV. 1998. Petrology of the early Mesozoic rare-metal granites of the southern Gorny Altai. Geologiya i Geofizica, 39(7): 901 – 916 (in Russian with English abstract)

Vladimirov AG, Kozlov MS, Shoka'skii SP, Khalilov VA, Rudnev SN, Kruk NN, Vystavnoi SA, Borisov SM, Berezikov YK, Metsner AN, Babin GA, Mamlin AN, Murzin OM, Nazarov GV and Makarov VA. 2001. Major epochs of intrusive magmatism of Kuznetsk Alatau, Altai, and Kalba (from U- Pb isotope dates). Geologiya i Geofizika, 42(8): 1157 – 1178 (in Russian with English abstract)

Wang T, Hong DW, Tong Y, Han BF and Shi YR. 2005. Zircon U-Pb SHRIMP age and origin of post-orogenic Lamazhao granitic pluton from Altai Orogen: its implications for vertical continental growth. Acta Petrologica Sinica, 21: 640 – 650 (in Chinese with English abstract)

Wang T, Tong Y, Jahn BM, Zou TR, Wang YB, Hong DW and Han BF. 2007. SHRIMP U-Pb Zircon geochronology of the Altai No. 3 Pegmatite, NW China, and its implications for the origin and tectonic setting of the pegmatite. Ore Geology Reviews, 32: 325 – 336

Windley BF, Kröner A, Guo JH, Qu GS, Li YY and Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai Orogen, NW China: new zircon age data and tectonic evolution. J. Geol., 110: 719 – 737

Yuan C, Sun M, Xiao WJ, Li XH, Chen HL, Lin SF, Xia XP and Long XP. 2007. Accretionary orogenesis of the Chinese Altai: Insights from Paleozoic granitoids. Chemical Geology, 242: 22 – 39

Yuan C, Sun M, Xiao WJ, Li XH, Lin SF, Xia XP, Long XP, Cai KD. 2006. Paleozoic Accretion of Chinese Altai: Geochronological Constraints from Granitoids. Abstract of Western Pacific Geophysics Meeting, CD-ROM. Beijing, China

Zeng QS, Chen GH, Wang H and Shan Q. 2007. Geochemical characteristic, SHRIMP zircon U-Pb dating and tectonic implication for granitoids in Chonghuer basin, Altai, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 23: 1921 – 1932 (in Chinese with English abstract)

Zhang ZZ, Gu LX, Wu CZ, Li WQ, Xi AH and Wang S. 2005. Zircon SHRIMP dating for the Weiya pluton, eastern Tianshan: its geological implications. Acta Geologica Sinica, 79(4): 481 – 490

Zhou G, Zhang ZC, Lou SB, He B, Wang X, Yin LJ, Zhao H, Li AH and He YK. 2007. Confirmation of high-temperature strongly peraluminous Mayin'ebo granites in the south margin of Altay, Xinjiang: age, geochemistry and tectonic implications. Acta Petrologica Sinica, 23: 1909 – 1920 (in Chinese with English abstract)

Zhou G, Zhang ZC, Wang X, Lou SB, He B and Zhang XL. 2007. Zircon U-Pb SHRIMP and $^{40}Ar-^{39}Ar$ dating of the granite mylonite in the Mayinebo fault belt of North Xinjinag and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 81: 359 – 369 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF. 2007. Indosinian movement and metallogeny in Xinjiang, Chian. Geological Bulletin of China, 26(5): 510 – 519 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF, Zeng YS and Gu LB. 2006. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite No. 3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altay Mountains, northwest China. Journal of Asian Earth Sciences, 27: 61 – 77

附中文参考文献

陈富文,李华芹,王登红,蔡红,陈文. 1999. 中国阿尔泰造山带燕山期成岩成矿同位素年代学新证据. 科学通报,44(6): 1142 – 1148

陈立辉,韩宝福. 2006. 新疆北部乌恰沟地区镁铁质侵入岩的年代学、地球化学和 Sr-Nd-Pb 同位素组成: 对地幔源区特征和深部过程的约束. 岩石学报,22(5): 1201 – 1214

陈郑辉,王登红,龚羽飞,陈毓川,陈世平. 2006. 新疆哈密镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床$^{40}Ar-^{39}Ar$年龄及其地质意义. 矿床地质,25(4): 470 – 476

韩宝福,季建清,宋彪,陈立辉,张磊. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限. 岩石学报,22(5): 1077 – 1086

胡霭琴,韦刚健,邓文峰,陈林丽. 2006,阿尔泰地区青河县西南片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报,22(1): 1 – 10

李华芹,陈富文. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学. 北京: 地质出版社,391 页

李思强,周小平. 2006. 北疆阿尔泰稀有金属成矿特征和找矿方向. 新疆有色金属,(2): 5 – 8

李泰德, 程剑. 2004. 新疆富蕴县柯鲁木特锂-钽-铌矿床 228 号脉地质特征分析. 矿产与地质,18(5): 428 – 431

刘畅,赵泽辉,郭召杰. 2006. 甘肃北山地区煌斑岩的年代学和地球化学及其壳幔作用过程讨论. 岩石学报,22(5): 1294 – 1306

童英,洪大卫,王涛,王式洸,韩宝福. 2006. 阿尔泰造山带南缘富蕴后造山线形花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石矿物学杂志,25(2): 85 – 89

童英,王涛,Kovach VP, 洪大卫,韩宝福. 2006. 阿尔泰中蒙边界塔克什肯口岸后造山富碱侵入岩体的形成时代、成因及其地壳生长意义. 岩石学报,22(5): 1267 – 1278

童英,王涛,洪大卫,代亚健,韩宝福,柳晓明. 2007. 中国阿尔泰北部山区早泥盆世花岗岩的年龄、成因及构造意义. 岩石学报,23(8): 1933 – 1944

童英,王涛,洪大卫,柳晓明,韩宝福. 2005. 阿尔泰造山带西段同造山铁列克花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地球学报,26(增刊): 74 – 77

王登红,陈毓川,邹天人,徐志刚,李华芹,陈文,陈富文,田峰. 2000. 新疆阿尔泰阿祖拜稀有金属-宝石矿床的成矿时代 – 燕山期稀有金属成矿的新证据. 地质论评,46(3): 307 – 311

王涛,洪大卫,童英,韩宝福,石玉若. 2005. 中国阿尔泰造山带后造山喇嘛昭花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义. 岩石学报,21(3): 640 – 650

曾乔松,陈广浩,王核,单强. 2007. 阿尔泰冲乎尔盆地花岗质岩类的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义. 岩石学报,23(8): 1921 – 1932

周刚,张招崇,罗世宾,何斌,王祥,应立娟,赵华,李爱红,赵永康. 2007. 新疆阿尔泰山南缘玛因鄂博高温型强过铝花岗岩:年龄、地球化学特征及其地质意义. 岩石学报,23(8): 1909 – 1920

周刚,张招崇,王新昆,王祥,罗世宾,何斌,张小林. 2007. 新疆玛因鄂博断裂带中花岗质糜棱岩锆石 U-Pb SHRIMP 和黑云母$^{40}Ar-^{39}Ar$年龄及意义. 地质学报,81(3): 359 – 369

朱永峰. 2007. 新疆的印支运动与成矿. 地质通报,26(5): 510 – 519