

文章编号:0258-7106(2003)01-0041-15

试析地幔来源物质成矿域*

——以中亚造山带为例

洪大卫¹ 王式光² 谢锡林³ 张季生¹ 王涛¹

(1 中国地质科学院地质研究所,北京 100037; 2 北京大学地质系,北京 100871;

3 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘要 文章总结了大量的 Sr, Nd, S, Pb 多元同位素资料,据此认为,中亚造山带的铜、金多金属矿床与区域花岗岩在形成时代和物质来源上基本吻合,具有一定的继承性。从古生代直至中生代,地幔来源物质参与了成岩成矿作用,即便是钨、锡、稀有金属矿床,也受到地幔来源物质的明显影响,从而揭示了地幔来源物质在中亚造山带金属成矿作用中的重要意义。

关键词 地质学 成矿物质来源 成矿域 中亚造山带 综述

中图分类号: P612;

文献标识码: A

成矿作用理论欲解决的最基本问题之一就是成矿物质的来源。从成矿物质来源的角度研究矿床成因,不仅可以更深刻地揭示矿质富集的本质,有效地指导矿产预测和资源评价,而且可以把成矿作用研究同深部过程研究紧密地结合起来,这样将有助于探讨成矿作用的地球动力学背景。现代同位素测试技术的发展为该项研究提供了一个强有力的武器。中亚造山带是世界上最重要的以铜、金为代表的多金属成矿带之一,也是世界上最重要的稀有金属(锂、铍、铌、钽)成矿带之一,其中所产出的大多数矿床都同花岗岩类岩石有密切的关系。本文的目的就是试图在现已积累的大量 Sr, Nd, S, Pb 多元同位素资料的基础上,通过对区域花岗岩与矿床的形成时代和物质来源的对比来探索它们之间的关系,以求揭示地幔来源物质在中亚造山带金属成矿作用中的重要意义。

中亚造山带位于西伯利亚和中朝—塔里木地台之间(图 1)。作为中亚造山带形成背景的古亚洲洋,大约在 1 000 Ma 前开始张开,大规模扩张在 700 ~ 600 Ma。在经历过若干微陆块之间、微陆块与南北大陆之间的碰撞之后,直至晚泥盆—早石炭世古亚洲洋最终封闭(洪大卫等,1994; Dobretsov et al., 1995;

Khain et al., 2002)。

中亚造山带的一个显著特点是广泛发育古生代—中生代的花岗岩,花岗岩的出露面积超过 5 000 000 km²。花岗岩浆活动从 500 Ma 前开始,在晚泥盆—早石炭世古亚洲洋最终封闭、西伯利亚板块同中朝—塔里木板块碰撞拼合前后达到高潮,在碰撞之后的拉伸机制下还继续进行。花岗岩的构造类型相应地由俯冲型到碰撞型到最后变为拉张型,因而中亚造山带中既有大量的 I 型花岗岩,也有大量的 S 型和 A 型花岗岩(洪大卫等,2000)。

1 中亚造山带花岗岩的钐-钕同位素特点

从近年来对东哈萨克斯坦、俄罗斯阿尔泰、新疆阿尔泰、东-西准噶尔、阿拉套山、天山、蒙古、俄罗斯外贝加尔、中国内蒙古和东北地区、俄罗斯远东滨海区等地花岗岩的钐-钕同位素研究的主要结果(Jahn et al., 2000a, b; 洪大卫等,2000)可见:

(1) 中亚造山带的大量花岗岩,不论属于什么时代(加里东期、海西期、中生代),也不论属于什么构造背景(同造山、晚造山、后造山和非造山)和何种

* 本文得到国家自然科学基金(49772105、40072023)和中国地质调查局(200113900018)的资助
第一作者简介 洪大卫,男,1938年生,研究员,长期从事花岗岩岩石学和地球化学研究。
收稿日期 2002-06-21; 改回日期 2002-11-29。李岩编辑。

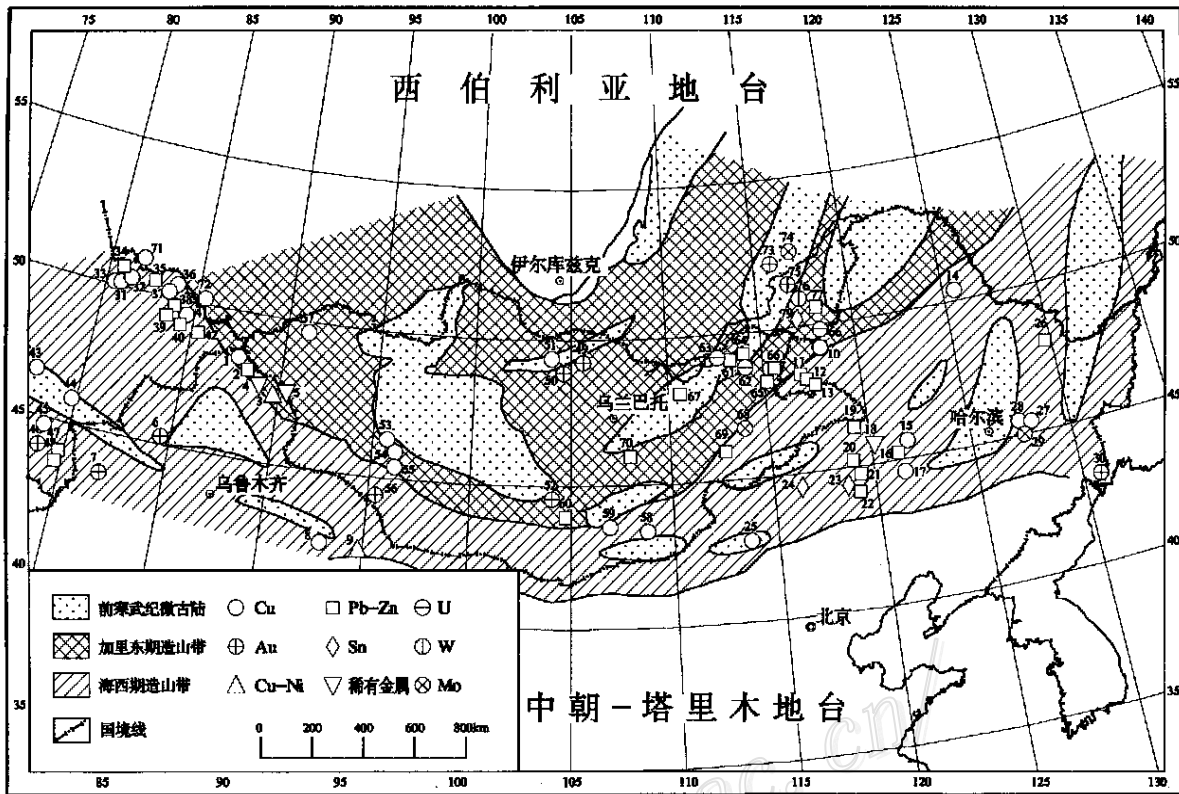


图1 中亚造山带构造分区和金属矿床分布简图

图中数字为矿床编号,与表1一致

Fig.1 Tectonic subdivision and distribution of metallic mineral deposits in the Central Asian orogenic belt

Number of the mineral deposits in Fig.1 as for Table 1

类型(I型、S型、A型、M型),均显示出 $\epsilon_{Nd}(t)$ 为正值,而且变化范围很小(图2)。这一方面说明钕同位素成分同岩石总成分之间没有什么相关性(钕同位素成分不受岩浆分异的影响,更深刻地反映了岩浆来源的本来性质);另一方面也反映出古老地壳物质混染的影响很小。这种特点同西欧加里东造山带、海西造山带和喜马拉雅碰撞带等显生宙造山带的花岗岩和澳大利亚拉克兰褶皱带的S型和I型花岗岩明显不同(图2)。

众所周知,在初始钕同位素成分的基础上大陆地壳一般可以分成地幔来源的新生地壳和至少有部分古老地壳来源的进化地壳。前者具有正 ϵ_{Nd} 值,类似亏损地幔来源;后者具有负 ϵ_{Nd} 值,类似古老地壳来源(Bowring et al., 1995)。因此,上地幔来源的新生物质在中亚造山带显生宙花岗岩的来源中显然将占压倒优势,因而同世界其他地区地壳来源的显生宙花岗岩形成鲜明的对比。中亚造山带中大量的、成分高度演化的花岗岩浆却来源于地幔物质,这就

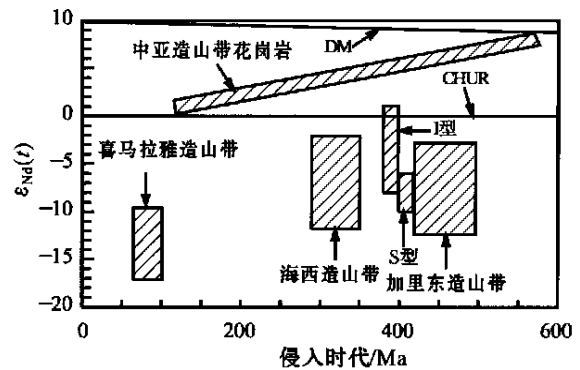


图2 显生宙花岗岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 与侵入时代的关系
中亚造山带据洪大卫等(2000);加里东、海西和喜马拉雅造山带据 Patchett (1992);澳大利亚拉克兰褶皱带的S型和I型花岗岩据 McCulloch 等(1982)

Fig.2 Plot of $\epsilon_{Nd}(T)$ versus intrusive ages for the Phanerozoic granites

Data from the following areas: CAO, from Hong et al. (2000); Caledonides, Hercynides and Himalaya, from Patchett (1992); S- and I-type granites in the Lachlan fold belt, Australia, from McCulloch et al. (1982)

在岩石学上提出了一个十分严峻的问题。笔者认为其中必然经历过一个十分复杂的过程,包括同化-分馏-结晶(AFC)模型(DePaolo,1981)和熔融-同化-储集-均一化(MASH)模型(Hildreth et al.,1998)在内的许多作用都可能在短时间内共同导致新生物质的熔融和同化,进而转化成新生地壳。

(2) 中亚造山带的花岗岩,不论属于什么时代,钨模式年龄 t_{DM} 大都在 500~1 000 Ma 范围内,主要集中在 700~800 Ma 左右。同世界其他地区显生宙花岗岩相比,它们的 t_{DM} 不仅比较小,而且相对集中,反映了本区花岗岩源区同位素的均一性。值得注意的是,花岗岩的 t_{DM} 同由蛇绿岩和岛弧杂岩时代所记录的古亚洲洋大规模扩张的时间十分接近。如果考虑到在花岗岩的形成过程中还曾有少量陆壳物质混染的影响而使 t_{DM} 偏高的话,则花岗岩的 t_{DM} 就同古亚洲洋大规模扩张的时间基本上是一致的。由此或可推断,在中亚造山带的花岗岩中至少有一部分(例如某些加里东期和海西早期的花岗岩)的形成可能同古亚洲洋消减时的板块俯冲作用有关,这部分花岗岩的来源可能是俯冲的洋壳及其上覆的地幔楔(洪大卫等,2000)。

(3) 只有在一些元古代微陆块上的花岗岩(多发生在 300 Ma 以后)才出现 ϵ_{Nd} 为负值, t_{DM} 明显升高,且 ϵ_{Nd} 和 t_{DM} 有较大的变化范围(Kovalenko et al.,1996;洪大卫等,2000)。但是同世界其他典型的壳源花岗岩相比,它们的 ϵ_{Nd} 值仍然较高、 t_{DM} 较低。这一方面说明,从 300 Ma 左右开始,微陆块上古老的前寒武纪陆壳物质积极参与了花岗岩的形成过程;另一方面说明虽然有古老的陆壳物质混染的影响,地幔物质仍然在花岗岩形成过程中起了主导作用。这同中亚造山带花岗岩的总体特点是并行不悖的。值得注意的是,古亚洲洋最终封闭、西伯利亚板块同中朝-塔里木板块碰撞拼合的时代就在晚泥盆-早石炭世。这次碰撞事件乃是古亚洲洋构造域内最重大的一次构造事件,标志着劳亚超级大陆的基本形成(Veevers,1994;Debretsov et al.,1995)。可能正是因为这样一次巨大的碰撞事件,才导致古老地壳物质在 300 Ma 左右积极参与微陆块上的花岗岩浆活动,形成负 ϵ_{Nd} 值花岗岩。同时,可能由于这次碰撞事件后引发的大规模拉伸体制为地幔来源物质的底侵作用、碰撞后的拆沉作用提供了有利的条件,促使由俯冲洋壳形成的先存年轻地壳同部分古老陆壳泥质物质一起部分熔融,才导致造山带中大

面积的晚古生代-中生代花岗岩具有正 ϵ_{Nd} 值;

(4) 众所周知,地幔由于析出大陆地壳而变成亏损地幔,随着地壳的不断析出,地幔的亏损程度逐渐升高,相应地 ϵ_{Nd} 值亦逐渐升高。但是,随着时代逐渐变新,中亚造山带花岗岩的 ϵ_{Nd} 值却逐渐降低,尤其是 200 Ma 以后的中生代花岗岩,无论是在造山带还是在微陆块上, ϵ_{Nd} 值都趋近于零(Kovalenko et al.,1996;洪大卫等,2000)。这可能是由于劳亚超大陆在 200 Ma 以后开始裂解和离散(Veevers,1994),陆壳重循环作用得到增强的结果。

2 中亚造山带中与岩浆岩有关的金属矿床的特点和分布规律

如果如上所述,中亚造山带中的大量花岗岩是由地幔来源的新生物质重熔而成的,那么人们自然会感兴趣,在这样的背景下,与岩浆岩有关的金属矿床是不是也与地幔来源的物质有密切的关系?这是下面将继续讨论的问题。

表 1 中列举了研究区内与岩浆岩有关的主要大、中型矿床的基本特点。图 1 则展示了这些矿床的空间分布。从表 1 和图 1 可知:

(1) 中亚造山带的金属矿床一方面以铜多金属为主,包括 Cu, Au, Mo, Ni, Pb, Zn, Ag 等,其中包括许多世界著名的大型、超大型矿床,例如哈萨克斯坦的阿克斗卡斑岩铜矿、阿尔哈雷陆相火山岩金矿、蒙古的额尔登特斑岩铜钼矿、奥隆奥夫特热液脉型金矿、塔林破碎触变带金矿、我国新疆的阿舍勒火山沉积型铜锌矿、土屋斑岩铜矿等;另一方面,区内还出现了许多著名的大型、超大型稀有金属和放射性元素矿床,如新疆阿尔泰地区的可可托海、库鲁木图花岗伟晶岩型 Li-Be-Nb-Ta 矿床、内蒙古中部的巴尔哲碱性花岗岩型 Nb-Y-Be 矿床、哈萨克斯坦的维尔赫尼-厄斯佩碱性花岗岩型稀土-Zr-Nb 矿床(研究区之外,据 Heinhorst et al.,2000)、俄罗斯外贝加尔地区的斯特列利佐夫和蒙古东部的多尔诺特超大型火山岩型铀矿等。这些金属矿床,除黑色岩系矿床之外,包括块状硫化物型、斑岩型、陆相火山岩型、铜镍硫化物型、夕卡岩型、热液脉状型、伟晶岩型等在内的各类矿床均与岩浆作用有关,尤其是与不同时代的花岗岩有密切的成因联系。

(2) 在中亚造山带,虽然晚元古代(例如内蒙古

表1 中亚造山带中与岩浆岩有关的主要金属矿床

Table 1 Major metal deposits related to magmatic rocks in the Central Asian orogenic belt

编号	矿床名称	成矿带	矿种	成矿时代	规模	矿床类型	资料来源
中 国							
1	哈巴河阿舍勒	新疆阿尔泰	Cu, Zn	晚古生代	大	火山沉积型	戴自希等, 2001
2	阿勒泰可可塔勒	新疆阿尔泰	Pb, Zn, Ag, Cu	晚古生代	大	火山沉积型	戴自希等, 2001
3	富蕴喀拉通克	新疆阿尔泰	Cu, Ni	晚古生代	中	铜镍硫化物型	戴自希等, 2001
4	富蕴可可托海	新疆阿尔泰	Li, Be, Nb, Ta	中生代	大	花岗伟晶岩型	王登红等, 2002
5	阿勒泰库鲁木图	新疆阿尔泰	Li, Be, Nb, Ta	中生代	大	花岗伟晶岩型	戴自希等, 2001
6	托里齐依求	新疆西准噶尔	Au	晚古生代	大	热液脉型	戴自希等, 2001
7	伊宁阿希	新疆西天山	Au	晚古生代	大	火山岩型	戴自希等, 2001
8	哈密土屋	新疆东天山	Cu	晚古生代	大	斑岩型	戴自希等, 2001
9	哈密黄山	新疆东天山	Cu, Ni	晚古生代	中	铜镍硫化物型	戴自希等, 2001
10	新巴尔虎右旗乌奴格吐山	内蒙古	Cu, Mo	中生代	大	斑岩型	赵一鸣等, 1997
11	新巴尔虎右旗甲乌拉	内蒙古得尔布干	Ag, Pb, Zn	中生代	大	潜火山热液型	赵一鸣等, 1997
12	新巴尔虎右旗查干布拉根	内蒙古得尔布干	Ag, Pb, Zn	中生代	大	潜火山热液型	赵一鸣等, 1997
13	新巴尔虎右旗额仁陶勒盖	内蒙古得尔布干	Ag	中生代	大	潜火山热液型	赵一鸣等, 1997
14	嫩江多宝山	黑龙江小兴安岭	Cu, Mo	晚古生代	大	斑岩型	赵一鸣等, 1997
15	突泉莲花山	内蒙古锡林浩特	Cu, Ag	中生代	中	热液-斑岩型	赵一鸣等, 1997
16	科尔沁右翼中旗孟恩陶勒盖	内蒙古锡林浩特	Zn, Pb, Ag	中生代	大	热液型	赵一鸣等, 1997
17	科尔沁右翼中旗布敦化	内蒙古锡林浩特	Cu	中生代	中	斑岩热液型	赵一鸣等, 1997
18	扎鲁特旗	内蒙古锡林浩特	Nb, Y, Be	中生代	大	碱性花岗岩型	赵一鸣等, 1997
19	东乌旗朝不楞	内蒙古锡林浩特	Fe, Cu, Zn, Bi	中生代	中	夕卡岩型	赵一鸣等, 1997
20	巴林左旗浩布高	内蒙古锡林浩特	Pb, Zn, Cu, Ag, Sn	中生代	大	夕卡岩型	赵一鸣等, 1997
21	巴林左旗白音诺尔	内蒙古锡林浩特	Pb, Zn, Cu, Sn	中生代	大	夕卡岩型	赵一鸣等, 1997
22	林西大井	内蒙古锡林浩特	Ag, Pb, Zn, Cu, Sn	中生代	大	热液脉型	赵一鸣等, 1997
23	克什克腾旗黄岗	内蒙古锡林浩特	Sn, Fe	中生代	大	夕卡岩型	赵一鸣等, 1997
24	锡林浩特市毛登	内蒙古锡林浩特	Cu, Sn	中生代	中	热液脉型	赵一鸣等, 1997
25	四子王旗白乃庙	内蒙古温都尔庙	Cu	元古代-早古生代	大	火山岩型	聂凤军等, 1993
26	逊克县翠宏山	黑龙江张广才岭	Pb, Zn, Fe, Mo, W	晚古生代	大	夕卡岩型	宋叔和, 1992
27	宾县弓棚子	黑龙江张广才岭	Cu, Zn, Pb, W	中生代	中	夕卡岩型	宋叔和, 1992
28	阿城市白岭	黑龙江张广才岭	Cu, Zn	中生代	中	夕卡岩型	宋叔和, 1992
29	阿城市王道岭	黑龙江张广才岭	Mo	中生代	中		宋叔和, 1992
30	珲春市小西南岔	吉林-辽西	Au, Cu	晚古生代	中	热液脉型	宋叔和, 1992
哈萨克斯坦							
31	别列佐夫	阿尔泰	Cu	晚古生代	大	火山沉积型	戴自希等, 2001
32	别洛乌索夫	阿尔泰	Cu, Zn, Pb	晚古生代	大	火山沉积型	戴自希等, 2001
33	尼古拉耶夫	阿尔泰	Cu, Zn, Au, Ag	晚古生代	大	火山沉积型	戴自希等, 2001
34	阿特米耶夫	阿尔泰	Zn, Pb, Cu, Au, Ag	晚古生代	大	热液脉型	MMAJ, 1998
35	捷克马尔	阿尔泰	Zn, Pb, Cu, Au, Ag	晚古生代	大	热液脉型	MMAJ, 1998
36	列宁诺戈尔斯克	阿尔泰	Cu, Zn, Pb, Au, Ag	晚古生代	大	火山沉积型	戴自希等, 2001
37	季申	阿尔泰	Cu, Zn, Pb, Au	晚古生代	大	火山沉积型	戴自希等, 2001
38	新列宁诺戈尔斯克	阿尔泰	Zn, Pb, Cu, Au, Ag	晚古生代	大	热液脉型	MMAJ, 1998
39	奥伯鲁切夫	阿尔泰	Zn, Pb, Cu, Au, Ag	晚古生代	大	热液脉型	MMAJ, 1998
40	马列耶夫	阿尔泰	Zn, Pb, Au, Ag	晚古生代	大	火山沉积型	戴自希等, 2001
41	孜良诺夫	阿尔泰	Cu, Zn, Pb	晚古生代	大	火山沉积型	戴自希等, 2001
42	梅也斯克	阿尔泰	Zn, Pb, Cu	晚古生代	大	热液脉型	MMAJ, 1998
43	萨亚克	巴尔喀什	Cu, Mo, Au, Ag	晚古生代	大	夕卡岩型	戴自希等, 2001
44	阿克斗卡	巴尔喀什	Cu, Mo, Au, Ag	晚古生代	大	斑岩型	戴自希等, 2001
45	科克赛	巴尔喀什	Cu, Mo, Au, Ag	晚古生代	大	斑岩型	戴自希等, 2001
46	阿尔哈雷	巴尔喀什	Au	晚古生代	大	陆相火山岩型	戴自希等, 2001
47	西特克尔	巴尔喀什	Zn, Pb	晚古生代	中	热液脉型	MMAJ, 1998
48	特克尔	巴尔喀什	Zn, Pb	晚古生代	中	热液脉型	MMAJ, 1998

(续表 1)

Table 1 (Cont.)

编号	矿床名称	成矿带	矿种	成矿时代	规模	矿床类型	资料来源
蒙 古							
49	博鲁	北蒙古	Au		中	热液脉型	MMAJ,1998
50	邦巴特	北蒙古	Au		中	热液脉型	MMAJ,1998
51	额尔登特	北蒙古	Cu, Mo	古生代	大	斑岩型	MMAJ,1998
52	奥隆奥夫特	南蒙古	Au	晚古生代	中	热液脉型	MMAJ,1998
53	阿朱戈尔	戈壁阿尔泰	Cu, Pb, Ag		中	热液脉型	MMAJ,1998
54	夏尔塔尔	戈壁阿尔泰	Cu, Zn, Pb, Co		中	热液脉型	MMAJ,1998
55	努赫尼-努鲁	戈壁阿尔泰	Cu, Ag, Zn, Co, Ni			热液脉型	MMAJ,1998
56	塔林	戈壁阿尔泰	Au	晚古生代	大	破碎蚀变带型	聂凤军,2000
57	奥托尔山	戈壁阿尔泰	Cu	晚古生代	小	热液脉型	戴自希等,2001
58	察干苏布尔加	南蒙古	Cu, Mo, Au	晚古生代	大	斑岩型	MMAJ,1998
59	苏赫汗博格得	南蒙古	Cu, Au, Ag	晚古生代	中	块状硫化物型	MMAJ,1998
60	哈尔吐戈	南蒙古	Pb, Sb, Zn, Ag	古生代	大	夕卡岩型	MMAJ,1998
61	乌兰	东蒙古	Zn, Pb, Cu, Au, Ag	中生代	中	热液脉型	MMAJ,1998
62	多尔诺特	东蒙古	U, Mo	中生代	大	火山岩型	向伟东等,1998
63	古尔布拉克	东蒙古	U, Mo	中生代	大	火山岩型	向伟东等,1998
64	麦克哈尔	东蒙古	Zn, Pb, Ag	中生代	中	热液脉型	MMAJ,1998
65	察布	东蒙古	Pb, Zn, Cu, Ag, Au	中生代	大	热液脉型	MMAJ,1998
66	巴彦乌尔	东蒙古	Pb, Zn, Au, Ag	中生代	中	热液脉型	MMAJ,1998
67	温都尔汗	东蒙古	Pb, Zn, Ag	中生代	中	热液脉型	MMAJ,1998
68	阿伦努尔	东蒙古	Mo, W	中生代	大	热液脉型	赵一鸣等,1997
69	土麦丁	东蒙古	Zn, Pb	中生代	中	夕卡岩型	MMAJ,1998
70	土麦丁南	东蒙古	Zn, Pb, Cu, Ag, Mo	中生代	中	夕卡岩型	MMAJ,1998
俄罗斯							
71	兹麦伊诺戈尔斯克	阿尔泰	Cu	晚古生代	大	火山沉积型	戴自希等,2001
72	克拉斯诺亚尔斯克	阿尔泰	Cu	晚古生代	中	热液脉型	戴自希等,2001
73	达拉松	额尔古纳	Au	中生代	大	热液脉型	赵一鸣等,1997
74	日列津	额尔古纳	Mo	中生代	大	热液脉型	赵一鸣等,1997
75	巴列伊	额尔古纳	Au	中生代	大	热液脉型	赵一鸣等,1997
76	布格达因	额尔古纳	W, Mo	中生代	大	热液脉型	赵一鸣等,1997
77	诺依昂-塔洛格	额尔古纳	Pb, Zn, Ag	中生代	大	火山岩型	向伟东等,1998
78	斯特列利佐夫	额尔古纳	U, Mo	中生代	大	火山岩型	赵一鸣等,1997
79	舍尔洛伏戈尔	额尔古纳	Sn, W	中生代	大	云英岩-石英脉型	赵一鸣等,1997

白乃庙铜矿)和早古生代(例如哈萨克斯坦的科克塔斯扎尔铜金矿、博谢库利铜钼矿、库斯莫龙铜锌矿、阿克巴斯套铜锌矿、热依桑铜钼矿等,均在研究区之外,据 MMAJ,1998)就已有成矿活动,但成矿作用的高峰期却出现在晚古生代和中生代,同区域花岗岩浆活动的高峰完全一致。而且大体上以 E150°为界,西部的成矿作用主要发生在晚古生代,东部主要在中生代,反映出西部的成矿作用主要受古亚洲洋构造域的控制,而东部则明显受到太平洋构造域叠加的影响。值得注意的是,过去人们一直以为,陆相火山岩金矿在时空分布上局限于环太平洋带和特提斯带的新生代火山岩带中,现在却在中亚造山带范围内发现了晚古生代的陆相火山岩型金矿,如新疆阿希、哈萨克斯坦阿尔哈雷和乌兹别克斯坦可奇布

拉克(在研究区之外,据戴自希等,2001)等。这无论从拓宽经济效益还是从深化成矿理论研究等方面看均具有重要意义(涂光炽,1999)。

(3) 从矿床的成矿元素组合上看,以 Cu, Au 为代表的多金属元素组合遍布整个中亚造山带,但是从西向东又有明显的变化。哈萨克斯坦的矿山阿尔泰地区明显是以 Cu, Au 为主,产出一系列的超大型矿床;而至中国新疆境内,则明显变成以 Li-Be-Nb-Ta 稀有金属为主(例如可可托海和库鲁木图超大型矿床),并伴有少数的 Cu-Ni 矿床(例如喀拉通克和黄山)。至东蒙古—额尔古纳一带,则以 Cu, Pb, Zn, Ag 为主,且出现了少量的 Cu-Sn 组合(例如内蒙古黄岗、浩布高和大井)、U-Mo 组合(例如俄罗斯的斯特列利佐夫和蒙古多尔诺特超大型铀矿)和 Nb-Y-

Be 稀有金属组合(内蒙古巴尔哲)。大兴安岭南段,即内蒙古锡林浩特—甘珠尔庙一带是我国北方目前唯一已知的 Sn 多金属成矿密集区,其中黄岗锡矿是目前我国北方地区最大的锡矿。同广西大厂、云南个旧、湖南骑田岭等华南著名锡矿相比,它的最大特点是与 Cu 密切共生。类似的情况亦见于俄罗斯额尔古纳—黑龙江成矿带的布格达因和舍尔洛伏戈尔 W-Sn 矿(赵一鸣等,1997)。Cu, Au, Ni 是地幔来源成矿区的典型成矿元素, W, Sn, U 则是地壳来源成矿区的典型成矿元素。本区东部出现的 Sn-Cu, U-Mo 组合可能是不同类型花岗岩、不同来源成矿作用叠加的结果。

(4) 在空间分布上,矿床常成群、成带出现,明显受一定的构造-岩浆活动带的控制,例如阿尔泰、巴尔喀什—伊犁、北蒙古鄂尔浑—色楞格、东天山吐哈盆地、东蒙古克鲁伦—额尔古纳、内蒙古锡林浩特—甘珠尔庙、南蒙古中戈壁—内蒙古温都尔庙等成矿带就都是最显著的成矿密集带。

3 矿床的同位素地球化学特征

3.1 铷、钕同位素

从表 2 可见:

(1) 含矿岩石的铷初始值 I_{Sr} 绝大多数都小于 0.706, ϵ_{Nd} 值绝大多数为正值,同前述花岗岩的总体同位素特点完全一致,说明它们都来源于地幔物质。甚至矿石流体包裹体的铷同位素也反映了上述特点,说明成矿流体也继承了岩浆来源于地幔物质的性质。某些与钨、锡、稀有金属矿化有关的花岗岩,即便是 I_{Sr} 值较高(0.711~0.728),它们的 ϵ_{Nd} 值仍然较高,甚至仍为正值,或在零值附近摆动,仍然表明了地幔来源物质的强烈影响。只有一些出露在微陆块上的含矿岩石,如内蒙古白乃庙、俄罗斯外贝加尔和山区阿尔泰的某些稀有金属、钨锡矿床的含矿岩石才显出 ϵ_{Nd} 为负值的特点,这同上述区域花岗岩的特点也是完全一致的。

(2) 含矿岩石,尤其是与钨、锡、稀有金属矿化有关的岩石,一般都是岩浆演化晚期分异比较充分的岩石,但是它们的同位素特点却同区域花岗岩一致,没有受到岩浆结晶分异和矿化作用的影响。

(3) 尽管本区矿床的成矿时代跨度较大,但是它们的铷、钕同位素系统却是稳定的,变化范围狭窄,说明从早古生代直至中生代,含矿岩石的来源基

本类似。同区域花岗岩一样,含矿岩石的 ϵ_{Nd} 值从早古生代到中生代逐渐降低,尤其是 200 Ma 以后的中生代含矿岩石, ϵ_{Nd} 值都趋近于零,说明本区的含矿岩石同区域花岗岩一样,一方面来源于地幔来源物质,一方面在中生代以后又受到地壳重循环作用增强的影响。

3.2 硫、铅同位素

限于目前掌握的资料,以下仅将新疆北部和大、小兴安岭地区各类 Cu-Au 多金属矿床的硫、铅同位素资料(表 3 和表 4)综述如下:

新疆北部和大、小兴安岭地区,除新疆可可塔勒、铜华山、铁木尔特铅锌矿和内蒙古谢尔塔拉铁锌矿等少数矿床之外,大多数金属矿床矿石的硫同位素组成都比较稳定,硫化物的 $\delta^{34}S$ 变化于 1.5‰~4.3‰ 之间,峰值或平均值接近于零,极差一般小于 5‰(表 3)。与陨石硫相似,少数矿床相对于陨石硫的最大偏差不超过 $\pm 4\%$ 。因此上述地区大多数矿床的矿质硫应主要来自深部,即上地幔、俯冲洋壳或下地壳(赵一鸣等,1997;李华芹等,1998;王登红等,2002)。由于成矿流体在地壳岩石内对流循环,硫同位素有充分的机会在高温下混合均一,导致 $\delta^{34}S$ 值分布范围十分狭窄。

新疆北部和大、小兴安岭地区大多数金属矿床的岩石和矿石铅同位素组成变化幅度不大,具有低 μ 值和低 Th/U 比值的特点(表 4)。在 $^{206}Pb/^{204}Pb$ - $^{207}Pb/^{204}Pb$ 图上沿一狭长的范围呈清楚的线性排列,构成了本区铅同位素组成的一条主趋势线。其主干段均落在岛弧铅演化线和地幔铅演化线之间,在岛弧铅和大洋火山岩铅区域范围内(图 3)。说明本区大多数金属矿床的铅来源主要是地幔铅或者古洋壳的地幔型铅,没有受到多少地壳铅的混合(赵一鸣等,1997;李华芹等,1998;王登红等,2002)。

综上所述,中亚造山带的金属矿床,不论属于何种成因,也不论形成于何时代和何种大地构造环境,其含矿岩石的铷、钕同位素和矿石的硫、铅同位素特点,均一致地反映出它们来源于地幔来源物质,同区域花岗岩所反映的特点完全一致。

4 结 论

所谓成矿域(metallogenic province)是指一个以一组特殊的矿床或一类或几类具有特征性成矿作用为特点的地域,它可包含多期矿化或多个成矿时代

表 2 中亚造山带含矿岩石的 Sr、Nd 同位素

Table 2 Sr, Nd isotopic compositions of ore bearing rocks from the Central Asian orogenic belt

矿床名称	含矿岩石	t / Ma (测定方法)	I_{Sr}	ϵ_{Nd}	资料来源
中国新疆					
阿尔泰					
阿舍勒铜-锌矿	蚀变英安质角砾凝灰岩	290.8 ± 5 (Rb-Sr)	0.7087		李华芹等, 1998
	英安斑岩	296 ± 10 (Rb-Sr)	0.7061	+2.5 ~ +4.4	李华芹等, 1998
	次流纹斑岩	294 ± 38 (Rb-Sr)	0.7063	+4.4	李华芹等, 1998
	铁质碧玉岩	378.3 ± 39 (Rb-Sr)	0.7086	+1.52 ~ +1.9	李华芹等, 1998
	花岗闪长岩	360 ± 11 (Rb-Sr)	0.7060	+0.9 ~ +1.2	李华芹等, 1998
	细碧岩			+6.7 ~ +8.1	李华芹等, 1998
索尔库都克铜钼矿	蚀变安山岩	288.3 ± 17.6 (Rb-Sr)	0.7046 ± 4	+5.4 ~ +5.9	李华芹等, 1998
多纳拉萨依金矿	英云闪长岩	289 ± 5 (U-Pb)	0.7069 ~ 0.7079		李华芹等, 1998
	石英闪长玢岩	371 ± 22 (Pb-Pb)	0.7058 ~ 0.7074		李华芹等, 1998
	斜长花岗岩岩脉	352.5 ± 40 (Rb-Sr)	0.7043 ± 1		李华芹等, 1998
	含金石英脉石英流体包裹体	269.0 ± 13 (Rb-Sr)	0.7073 ± 4		李华芹等, 1998
赛都金矿	黑云母花岗岩	275.87 ± 21 (Rb-Sr)	0.7076 ± 1		李华芹等, 1998
	金脉石英流体包裹体	272 ± 19 (Rb-Sr)	0.7116 ± 3		李华芹等, 1998
萨尔布拉克金矿	流纹斑岩	292.1 ± 7.3 (Rb-Sr)	0.7033 ± 19		李华芹等, 1998
	石英流体包裹体	285 ± 43 (Rb-Sr)	0.7051 ± 1		李华芹等, 1998
喀拉通克铜镍矿	基性-超基性岩	297.7 ± 11 (Sm-Nd)		+6.0	李华芹等, 1998
可可塔勒铅锌矿	变流纹质角砾凝灰熔岩	358.0 ± 9.9 (Rb-Sr)	0.70790 ± 75		周刚等, 1998
尚可兰铋钨矿	白云母钠长花岗岩	181 ± 9.2 (Rb-Sr)	0.70494 ± 65		陈富文等, 1999a
	流体包裹体	177 ± 17 (Rb-Sr)	0.70494 ± 65		陈富文等, 1999a
	白云母钠长花岗岩	176.1 ± 12.9 (Rb-Sr)	0.70483 ± 1365		张前锋等, 1994
大哈拉苏铋钨矿	黑云母正长花岗岩	221.7 (Rb-Sr)	0.7064		王中刚等, 1998
将军山铋钨矿	天河石花岗岩	227 (Rb-Sr)	0.7110		王中刚等, 1998
西准噶尔					
哈图金矿	凝灰岩	320 ± 56 (Rb-Sr)	0.7054 ± 1		李华芹等, 1998
	正长花岗岩	285 ± 11 (Rb-Sr)	0.7059 ± 2		李华芹等, 1998
	碱长花岗岩	298 ± 4 (Rb-Sr)	0.7062 ± 9		李华芹等, 1998
	石英流体包裹体	290 ± 1 (Rb-Sr)	0.7048 ± 1		李华芹等, 1998
			288 ± 12 (Rb-Sr)	0.7050 ± 1	
布尔克斯岱金矿	安山岩	347 (Rb-Sr)	0.7037	+7.96	贺伯初等, 1994
	碱性长石花岗岩	314 (Rb-Sr)	0.7046	+5.65	贺伯初等, 1994
	辉绿玢岩	329 (Rb-Sr)	0.7037	+6.06	贺伯初等, 1994
	石英钠长斑岩	294 ± 5 (Rb-Sr)	0.70454 ± 47		王登红等, 2002
	塔斯特金矿	角闪二长花岗岩	320.3 ± 8.6 (Rb-Sr)	0.70454 ± 47	
东准噶尔					
萨惹什克锡矿	碱性花岗岩	290 ± 11 (U-Pb)		+7.31	毕承思等, 1993
				+6.43	本文
				+3.73	本文
				+6.79	本文
				+7.51	本文
贝勒库都克锡矿	黑云母花岗岩	313 ± 18 (U-Pb)		+5.84	本文
	红土井子锡矿	黑云母花岗岩	297.3 ± 3.8 (U-Pb)	+8.52	本文
				+5.42	本文
卡姆斯特锡矿	黑云母花岗岩	276.6 ± 4.6 (U-Pb)			本文
					本文
干梁子锡矿	碱性花岗岩	307 ± 20 (Rb-Sr)	0.70232 ± 854		陈富文等, 1999b
	锡石英脉流体包裹体	305 ± 25 (Rb-Sr)	0.70766 ± 145		陈富文等, 1999b
西天山					
阿希金矿	安山岩	345.9 ± 9 (Rb-Sr)	0.7057 ± 14		李华芹等, 1998
	钠长斑岩	331 ± 8 (Rb-Sr)	0.7059 ± 9		李华芹等, 1998
	安山玢岩	289 ± 15 (Rb-Sr)	0.7076 ± 1		李华芹等, 1998
	石英流体包裹体	340 ± 8 (Rb-Sr)	0.7062 ± 2		李华芹等, 1998
			311.5 ± 14 (Rb-Sr)	0.7069 ± 4	

(续表 2-1)

Table 2 (Cont. 1)

矿床名称	含矿岩石	t/ Ma(测定方法)	I_{Sr}	ϵ_{Nd}	资料来源
尼勒克铜矿	玄武岩	298 ± 7(Rb-Sr)	0.7050 ± 1	+ 3.5 ~ + 5.8	李华芹等,1998
	石英钠长斑岩	247.8 ± 5(Rb-Sr)	0.7054 ± 1	+ 0.8 ~ + 0.9	李华芹等,1998
中天山					
可可乃克含铜黄铁矿	石英角斑岩	425.3 ± 5(Rb-Sr)	0.70577 ± 1		李华芹等,1998
东天山					
康古尔塔格金矿	蚀变安山岩	290 ± 5(Rb-Sr)	0.7099 ± 2	+ 2.6 ~ + 3.2	李华芹等,1998
	蚀变流纹岩	300 ± 13(Rb-Sr)	0.7079 ± 3	+ 0.2 ~ + 0.6	李华芹等,1998
	英云闪长岩	248 ± 1(Rb-Sr)	0.7043 ± 1	+ 0.3 ~ + 3.6	李华芹等,1998
	石英流体包裹体	282.3 ± 5(Rb-Sr)	0.7077 ± 2		李华芹等,1998
		258 ± 21(Rb-Sr)	0.7106 ± 3		李华芹等,1998
西风山金矿	二长花岗岩	284 ± 13(Rb-Sr)	0.7061 ± 1		李华芹等,1998
	石英流体包裹体	272 ± 3(Rb-Sr)	0.7070 ± 1		李华芹等,1998
玉西银矿	糜岩化花岗岩	266.7 ± 4(Rb-Sr)	0.7071 ± 3		李华芹等,1998
石英滩金矿	安山岩	285 ± 12(Rb-Sr)	0.7046 ± 1		李华芹等,1998
	花岗岩	266 ± 3(Rb-Sr)	0.7054 ± 1		李华芹等,1998
	流纹质熔结凝灰岩	256.8 ± 13.6(Rb-Sr)	0.7074 ± 4		李华芹等,1998
	英云闪长岩	293 ± 1(Rb-Sr)	0.7039 ± 1		李华芹等,1998
	含金石英脉流体包裹体	288 ± 7(Rb-Sr)	0.7049 ± 1		李华芹等,1998
			276 ± 7(Rb-Sr)	0.7051 ± 1	
		244 ± 9(Rb-Sr)	0.7059 ± 1		李华芹等,1998
黄山铜-镍矿	基性-超基性岩	308.9 ± 10.7(S m- Nd)		+ 6.6	李华芹等,1998
黄山东铜-镍矿	基性-超基性岩	320 ± 38(S m- Nd)		+ 7.8	李华芹等,1998
土屋铜矿	流纹岩	416 ± 120(S m- Nd)		+ 5.6	芮宗瑶等,2002
	英安岩	416 ± 120(S m- Nd)		+ 8.8	芮宗瑶等,2002
	含矿安山岩	416 ± 120(S m- Nd)		+ 8.8	芮宗瑶等,2002
	含矿玄武粗面岩	416 ± 120(S m- Nd)		+ 8.0	芮宗瑶等,2002
	含矿粗面玄武岩	416 ± 120(S m- Nd)		+ 8.3	芮宗瑶等,2002
	含矿粗安玄武岩	416 ± 120(S m- Nd)		+ 8.2	芮宗瑶等,2002
	含矿粗安玄武岩	416 ± 120(S m- Nd)		+ 8.6	芮宗瑶等,2002
	蚀变斜长花岗岩斑岩	369 ± 69(Rb-Sr)	0.70328 ± 32	- 1.4	芮宗瑶等,2002
	蚀变斜长花岗岩斑岩	369 ± 69(Rb-Sr)		+ 7.4	芮宗瑶等,2002
	蚀变斜长花岗岩斑岩	369 ± 69(Rb-Sr)		+ 9.4	芮宗瑶等,2002
	蚀变斜长花岗岩斑岩	369 ± 69(Rb-Sr)		+ 7.2	芮宗瑶等,2002
	蚀变斜长花岗岩斑岩	369 ± 69(Rb-Sr)		+ 7.0	芮宗瑶等,2002
	蚀变斜长花岗岩斑岩	369 ± 69(Rb-Sr)		+ 8.3	芮宗瑶等,2002
	蚀变斜长花岗岩斑岩	369 ± 69(Rb-Sr)		+ 6.2	芮宗瑶等,2002
中国黑龙江					
多宝山铜钼矿	花岗闪长岩	292(K- Ar)	0.7037 ~ 0.7054	+ 2.66	杜琦,1988
				+ 6.70	吴福元等,1999
				+ 3.58	吴福元等,1999
铜山铜钼矿	花岗闪长岩	310(Rb-Sr)	0.7040 ± 1	+ 7.11	赵元艺等,1997
				+ 3.56	吴福元等,1999
				+ 3.90	吴福元等,1999
中国内蒙古					
乌鲁格吐山铜钼矿	黑云母二长花岗岩	211 ± 21(Rb-Sr)	0.70617 ± 53		秦克章,1998
甲乌拉银铅锌矿	花岗闪长岩	225.4 ± 7.9(Rb-Sr)	0.70533 ± 14		秦克章,1998
小坝梁铜金矿	辉长岩-细碧岩-凝灰岩	243 ± 15(Rb-Sr)	0.7049 ± 2		陈德潜等,1995
孟思陶勒盖银铅锌矿	长花岗岩	246.79(Rb-Sr)	0.7039		盛继福等,1999
哈日根台钛铁矿	二长花岗岩	278(Rb-Sr)	0.7051		赵一鸣等,1997
白音诺铅锌矿	花岗闪长斑岩	171(Rb-Sr)	0.7056		赵一鸣等,1997
	酸性凝灰熔岩	160(Rb-Sr)	0.7077		赵一鸣等,1997
黄岗锡铁矿	正长-碱长花岗岩	142.05(Rb-Sr)	0.7028		赵一鸣等,1997
毛登锡铜矿	花岗岩	149(Rb-Sr)	0.70501		赵一鸣等,1997

(续表 2 - 2)

Table 2 (Cont. 2)

矿床名称	含矿岩石	t/ Ma(测定方法)	I_{Sr}	ϵ_{Nd}	资料来源
敖瑙达巴银锡铜矿	花岗斑岩	148.30(Rb-Sr)	0.708		赵一鸣等,1997
安乐锡铜矿	花岗斑岩	134.2 ± 20.7(Rb-Sr)	0.7018 ± 40		王国政,1997
浩布高铅锌铜矿	正长花岗岩	131.2(Rb-Sr)	0.7077		张德全,1993
东山湾锡矿	花岗斑岩	134.7(Rb-Sr)	0.7096		张德全,1993
布敦化铜矿	斜长花岗斑岩	166 ± 2(Rb-Sr)	0.7055		盛继福等,1993
巴尔哲铋钨铍矿	碱性花岗岩	127.2(Rb-Sr)	0.7071	+ 2.44	张德全,1993
	碱性花岗岩	127.2(Rb-Sr)		+ 2.36	王一先等,1997
	碱性花岗岩	127.2(Rb-Sr)		+ 2.14	王一先等,1997
	碱性花岗岩	127.2(Rb-Sr)		+ 2.50	王一先等,1997
	碱性花岗岩	127.2(Rb-Sr)		+ 2.20	王一先等,1997
	碱性花岗岩	127.2(Rb-Sr)		+ 1.93	王一先等,1997
碧留台金矿	正长闪长岩	200 ± 10(Rb-Sr)	0.70442 ± 140	+ 4.62	Zhu et al., 2001
	正长闪长岩	200 ± 10(Rb-Sr)		+ 4.79	Zhu et al., 2001
	正长闪长岩	200 ± 10(Rb-Sr)		+ 4.50	Zhu et al., 2001
	正长闪长岩	200 ± 10(Rb-Sr)		+ 4.80	Zhu et al., 2001
	正长闪长岩	200 ± 10(Rb-Sr)		+ 4.17	Zhu et al., 2001
	正长闪长岩	200 ± 10(Rb-Sr)		+ 3.32	Zhu et al., 2001
	正长闪长岩	200 ± 10(Rb-Sr)		+ 3.21	Zhu et al., 2001
白乃庙铜矿	角闪石花岗岩	459 ± 2.9(U-Pb)		- 3.76	本文
	角闪石花岗岩	459 ± 2.9(U-Pb)		- 4.21	本文
	角闪石花岗岩	459 ± 2.9(U-Pb)		- 2.63	本文
	角闪石花岗岩	459 ± 2.9(U-Pb)		- 3.38	本文
	片麻状石英闪长岩	454 ± 1.4(U-Pb)		- 2.67	本文
	片麻状石英闪长岩	454 ± 1.4(U-Pb)		- 1.36	本文
	片麻状石英闪长岩	454 ± 1.4(U-Pb)		- 3.78	本文
蒙古					
北蒙古					
额尔登特铜钼矿	早期花岗斑岩	253 ± 18(Rb-Sr)	0.70416 ± 8		Sotnikov et al.,1995
	晚期花岗斑岩	221 ± 14(Rb-Sr)	0.70412 ± 8		Sotnikov et al.,1995
中蒙古					
罕奇夫朗稀有金属矿	淡色花岗岩	195.3 ± 0.6	0.7063 ± 22	+ 0.5 ~ + 1.2	Kovalenko et al.,1999
翁岗-哈耶尔汗稀有金属矿	翁岗岩	128.3 ± 0.8	0.7060 ± 22		Kovalenko et al.,1999
巴嘎-嘎芝伦稀有金属矿	黑云母花岗岩	202	0.7112 ± 11	+ 1.9	Kovalenko et al.,1999
东蒙古					
玻伦-卓格丁稀有金属矿	天河石花岗岩	125	0.709 ~ 0.713	+ 1.8	Kovalenko et al.,1997
南季尔斯克钨钼矿	淡色花岗岩	282(U-Pb)	0.7148	+ 1.60	Kovalenko et al.,1997
	天河石-钠长石花岗岩	282(U-Pb)	0.7280	+ 1.36	Kovalenko et al.,1997
	花岗斑岩	157	0.7117	+ 0.82	Kovalenko et al.,1997
	黑云母花岗岩	200	0.7083	+ 0.57	Kovalenko et al.,1997
	黑云母花岗岩	157	0.7056	+ 0.44	Kovalenko et al.,1997
	黑云母花岗岩	162	0.7083		Kovalenko et al.,1997
西蒙古					
阿尔泰克季尔塔乌钨钼矿	黑云母花岗岩	189 ± 20(Rb-Sr)	0.7056 ± 28		Kozlov et al.,1995
	淡色花岗岩	180 ± 15(Rb-Sr)	0.7286 ± 135		Kozlov et al.,1995
科布多哈尔得赞-布列格特乌铋钨铍稀土矿	碱性花岗岩	376 ± 11(Rb-Sr)	0.7044 ± 1	+ 6.48	Kovalenko et al.,1992
	碱性花岗岩	376 ± 11(Rb-Sr)		+ 5.80	Kovalenko et al.,1992
	碱性花岗岩	376 ± 11(Rb-Sr)		+ 7.00	Kovalenko et al.,1992
	碱性花岗岩	376 ± 11(Rb-Sr)		+ 7.67	Kovalenko et al.,1992
	英碱正长岩	376 ± 11(Rb-Sr)		+ 2.76	Kovalenko et al.,1992
	稀有金属碱性花岗岩	374 ± 36(Rb-Sr)	0.7043	+ 5.01	Kovalenko et al.,1992
	稀有金属碱性花岗岩	374 ± 36(Rb-Sr)		+ 4.33	Kovalenko et al.,1992
	稀有金属碱性花岗岩	374 ± 36(Rb-Sr)		+ 4.79	Kovalenko et al.,1992

(续表 2-3)

Table 2 (Cont. 3)

矿床名称	含矿岩石	t/ Ma(测定方法)	I_{Sr}	ϵ_{Nd}	资料来源
	稀有金属碱性花岗岩	374 ±36(Rb-Sr)		+5.43	Kovalenko et al.,1992
	稀有金属碱性花岗岩	374 ±36(Rb-Sr)		+5.70	Kovalenko et al.,1992
	稀有金属碱性花岗岩	374 ±36(Rb-Sr)		+5.70	Kovalenko et al.,1992
	碱流岩	374 ±36(Rb-Sr)		+4.87	Kovalenko et al.,1992
	碱流岩	374 ±36(Rb-Sr)		+5.49	Kovalenko et al.,1992
	碱流岩	374 ±36(Rb-Sr)		+5.02	Kovalenko et al.,1992
	碱流岩	374 ±36(Rb-Sr)		+5.62	Kovalenko et al.,1992
	花岗岩	374 ±36(Rb-Sr)		+2.68	Kovalenko et al.,1992
	变白榴石玄武岩	374 ±36(Rb-Sr)		+4.33	Kovalenko et al.,1992
	粗玄岩	374 ±36(Rb-Sr)		+2.76	Kovalenko et al.,1992
俄罗斯					
外贝加尔					
别季明稀有金属矿	天河石花岗岩	265(Rb-Sr)	0.700	-6.9	Kovalenko et al.,1999
哈拉古尔稀有金属矿	天河石花岗岩	317 ±7(Rb-Sr)	0.711 ±16	-1.2 ~ -2.7	Kovalenko et al.,1999
赤塔					
奥尔洛夫稀有金属矿	天河石花岗岩	142.9 ±1.8(Rb-Sr)	0.706 ±5	+0.1	Kovalenko et al.,1999
杭吉拉依稀有金属矿	天河石花岗岩	142		-1.3	Kovalenko et al.,1999
索克吐依稀有金属矿	黑云母花岗岩	142		-0.1	Kovalenko et al.,1999
艾琴肯稀有金属矿	天河石花岗岩	142		+1.4	Kovalenko et al.,1999
阿里-布拉克稀有金属矿	翁岗岩	142		-0.9	Kovalenko et al.,1999
山区阿尔泰					
钦达嘎吐依钨矿	淡色花岗岩	199 ±0.8(Rb-Sr)	0.7122 ±2	-4.08 ~ -4.35	Vladimirov et al.,1998
	锂辉石花岗岩			-3.29 ~ -4.99	Vladimirov et al.,1998
库论古尔得热林钨矿	淡色花岗岩			-2.33 ~ -2.53	Vladimirov et al.,1998
卡尔古钦钨矿	黑云母花岗岩	204 ±1.5(Rb-Sr)	0.7069 ±2		Vladimirov et al.,1998
北阿尔泰					
萨维斯基罗锡钨矿	淡色花岗岩	241 ±4.5(Rb-Sr)	0.7051 ±4		Vladimirov et al.,1997
别洛库里哈锡钨矿	花岗岩	245 ±8(Rb-Sr)	0.7071 ±6		Vladimirov et al.,1997
阿里斯基锡钨矿	淡色花岗岩	244.3 ±5.3(Rb-Sr)	0.7058 ±4		Vladimirov et al.,1997
卡拉可尔锡钨矿	淡色花岗岩	241(Rb-Sr)	0.7061		Vladimirov et al.,1997
哈萨克斯坦					
阿可苏金矿					
	石英二长闪长岩	450	0.70505	+3.49	Heinhorst et al.,2000
			0.70754	+3.53	Heinhorst et al.,2000
	斑状花岗闪长岩	450	0.70546	+3.13	Heinhorst et al.,2000
			0.70545	+3.12	Heinhorst et al.,2000
	角闪辉长岩	450	0.70475	+2.83	Heinhorst et al.,2000
	花岗岩	450	0.70635	+2.82	Heinhorst et al.,2000
斯特普亚克金矿					
	角闪辉长岩	450	0.70809	+0.04	Heinhorst et al.,2000
	石英二长闪长岩	450	0.71277	-0.76	Heinhorst et al.,2000
多林耶金矿					
	辉长岩	300	0.70435	+5.54	Heinhorst et al.,2000
	斑状花岗闪长岩	300	0.70541	+4.52	Heinhorst et al.,2000
	斑状二长闪长岩	300	0.70472	+5.54	Heinhorst et al.,2000
	石英闪长岩	300	0.70502	+4.95	Heinhorst et al.,2000
	石英闪长岩	300	0.70551	+5.32	Heinhorst et al.,2000
阿克斗卡铜矿					
	斑状花岗闪长岩	300	0.70964	+5.58	Heinhorst et al.,2000
	花岗闪长岩	300	0.70798	+4.45	Heinhorst et al.,2000
	花岗岩	300	0.71380	+5.41	Heinhorst et al.,2000
	斑状岩株	300	0.70622	+2.86	Heinhorst et al.,2000
	花斑岩	300	0.70710	+5.94	Heinhorst et al.,2000
孔拉德铜矿					
	角闪花岗闪长岩	325		+0.72	Heinhorst et al.,2000
鲁拉塔第稀有金属矿					
	淡色花岗岩	330		+2.03 ~ +0.88	Heinhorst et al.,2000
巴第斯塔稀有金属矿					
	淡色花岗岩	310		-0.59 ~ -0.43	Heinhorst et al.,2000
贝克陶阿塔稀有金属矿					
	淡色花岗岩	290		+0.89	Heinhorst et al.,2000
孔拉德东稀有金属矿					
	细晶岩	295		+1.62	Heinhorst et al.,2000
阿克夏塔稀有金属矿					
	淡色花岗岩	285		+0.75 ~ -3.03	Heinhorst et al.,2000
维尔赫尼-厄斯佩稀有金属矿					
	钠闪石花岗岩	250		+7.86 ~ +5.28	Heinhorst et al.,2000

表 3 新疆北部和大、小兴安岭地区矿床的矿石硫化物硫同位素

Table 3 Sulfur isotopic compositions of ores in metal deposits from north Xinjiang and Da-Xiao Hinggan Mountains

矿床名称	样品数	$\delta^{34}\text{S} \text{‰}$			资料来源
		变化范围	极差	均值	
新疆北部					
齐求 I 金矿	14	-0.3 ~ +0.7	1	0.9	李华芹等,1998
齐求 II 金矿	20	-1.5 ~ +3.0	4.5	0.99	李华芹等,1998
阔个沙也金矿	22	-0.8 ~ +3.6	4.4	2.15	李华芹等,1998
萨尔托海 I 金矿	11	+2.3 ~ +4.3	2	3.3	李华芹等,1998
金窝子金矿	30	-1.4 ~ +8.4	9.8	5.4	李华芹等,1998
南金山金矿	3	-0.4 ~ +5.9	6.3	3.1	李华芹等,1998
小马庄山金矿	3	-3.2 ~ +5.6	8.8	1.7	李华芹等,1998
多纳拉萨依金矿	12	-7.02 ~ -2.46	4.56	-3.86	李华芹等,1998
萨尔布拉克金矿	11	-6.1 ~ +1.2	7.30	-1.32	李华芹等,1998
康古尔塔格金矿	9	-0.9 ~ +3.3	4.2	0.06	李华芹等,1998
阿希金矿		+0.9 ~ +4.3	5.2		李华芹等,1998
金山沟金矿		-0.7 ~ +3.5	4.2	1.9	李华芹等,1998
喀拉通克铜镍矿	29	-1.1 ~ +0.8	1.9	-0.3	李华芹等,1998
黄山铜镍矿	5	-0.2 ~ +0.9	1.1	0.3	李华芹等,1998
黄山东铜镍矿	24	-0.8 ~ +2.8	3.6	0.8	李华芹等,1998
菁布拉克铜镍矿	3	0.3 ~ 1.2	1.5	0.6	李华芹等,1998
喇嘛苏铜矿	2	3.1 ~ 5.5	2.4	4.3	李华芹等,1998
彩华沟铜矿	10	-1.5 ~ 3.5	5.0	2.6	李华芹等,1998
阿舍勒铜锌矿	88	2.2 ~ 7.63	5.43	4.06	李华芹等,1998
索尔库都克铜钼矿		-1.77 ~ -10.17	8.4	-3.87	李华芹等,1998
马鞍桥铅锌矿	8	-11.8 ~ -0.2	11.6	-5.4	李华芹等,1998
铜华山铅锌矿	5	-23.4 ~ -27.8	4.4	-25.4	李华芹等,1998
铁木尔特铅锌矿	6	+3.4 ~ -23.2	26.8	-7.75	李华芹等,1998
可可塔勒铅锌矿	48	-4.1 ~ -15.3	11.2	-10.4	李华芹等,1998
萨瓦亚尔顿金锑矿	14	-3.0 ~ +1.3	4.3	-0.42	叶庆同等,1999
黑龙江					
多宝山铜钼矿	234	-5.2 ~ +3.3	8.5	-0.77	赵一鸣等,1997
铜山铜钼矿	41	-3.3 ~ +1.6	4.9	-0.39	赵一鸣等,1997
三矿沟铜金矿	11	-1.0 ~ +1.5	2.5	0.45	赵一鸣等,1997
二十一站铜金矿	3	+1.2 ~ +2.0	0.8	1.60	赵一鸣等,1997
内蒙古中部					
谢尔塔拉铁锌矿	110	-0.3 ~ +15.9	16.2	7.33	赵一鸣等,1997
乌鲁格吐山铜钼矿	53	-0.2 ~ +4.2	4.4	2.38	赵一鸣等,1997
八大关铜钼矿	15	0.5 ~ +4.8	4.3	2.64	赵一鸣等,1997
甲乌拉银铅锌铜矿	71	-2.9 ~ +4.0	6.9	2.60	赵一鸣等,1997
查干布拉根银铅锌矿	25	-4.0 ~ +5.1	9.1	2.57	赵一鸣等,1997
额仁陶勒盖银矿	15	-4.0 ~ +4.1	8.1	2.37	赵一鸣等,1997
莲花山铜银矿	32	-1.4 ~ +3.3	4.7	1.45	赵一鸣等,1997
闹牛山铜矿	9	-0.3 ~ +2.5	2.8	1.46	赵一鸣等,1997
布敦化铜矿	36	-2.6 ~ +1.5	4.1	-0.89	赵一鸣等,1997
长春岭铅锌银矿	12	+0.7 ~ +3.6	4.3	2.32	赵一鸣等,1997
孟思陶勒盖银铅锌矿	24	+0.7 ~ +4.9	4.2	2.22	赵一鸣等,1997
白音诺铅锌矿	53	-6.6 ~ +2.6	9.2	-3.38	赵一鸣等,1997
浩布高铅锌铜矿	9	-4.7 ~ +0.9	5.6	-2.46	赵一鸣等,1997
敖瑙达巴银锡铜矿	7	-6.2 ~ +3.0	7.4	0.34	赵一鸣等,1997
大井银铜锡矿	47	-3.9 ~ +3.5	7.4	0.39	赵一鸣等,1997
黄岗锡铁矿	21	-4.0 ~ +3.4	7.4	0.33	赵一鸣等,1997
小坝梁铜金矿	3	+2.0 ~ +3.9	1.9	2.90	赵一鸣等,1997

(Bates et al., 1987)。从上述可知,中亚造山带以铜、金为代表的多金属矿床的成矿时代和成矿物质来源与区域花岗岩的形成时代和物质来源完全一致,至少从古生代以来直至中生代,它们都来源于地幔来

源物质。即便是钨、锡、稀有金属等矿床,虽然以地壳来源物质为主,却也都受到地幔来源物质的明显影响,甚或可能是两类来源物质叠加作用的结果。如果同以钨、锡、铋、钼矿床为代表的华南地壳来源

表4 新疆北部和大、小兴安岭地区的铅同位素

Table 4 Lead isotopic compositions from north Xinjiang and Da-Xiao Hinggan Mountains

矿床名称	样数	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	μ	Th/ U	资料来源
新疆北部							
阿舍勒铜锌矿	129	17.831 ~ 18.924	15.359 ~ 15.649	37.506 ~ 38.969	9.102 ~ 9.511	3.502 ~ 4.002	李华芹等,1998
可可塔勒铅锌矿	23	18.075 ~ 18.192	15.55 ~ 15.629	38.065 ~ 38.177	9.17 ~ 9.376	3.749	王登红等,2002
铁木尔特铜钨矿	21	16.742 ~ 18.039	15.495 ~ 15.541	37.763 ~ 37.843	9.06 ~ 9.374	3.818	王登红等,2002
喀拉通克铜镍矿		17.691 ~ 18.656	15.232 ~ 15.658	37.232 ~ 38.522			王登红等,2002
萨尔布拉克金矿	9	17.962 ~ 18.038	15.423 ~ 15.499	37.505 ~ 37.708	9.167 ~ 9.306	3.557 ~ 3.611	王登红等,2002
赛都金矿	1	18.110	15.431	37.568			王登红等,2002
科克萨依金矿	1	18.478	15.778	38.721			王登红等,2002
金山沟金矿	3	17.784 ~ 17.858	15.405 ~ 15.488	37.308 ~ 38.127			王登红等,2002
贝勒库希克锡矿	2	18.339 ~ 18.850	15.628 ~ 15.773	38.399 ~ 38.559			王登红等,2002
萨惹什克锡矿	2	18.150 ~ 18.503	15.486 ~ 15.545	37.774 ~ 38.211			王登红等,2002
布尔克斯岱金矿	2	17.952 ~ 18.105	15.443 ~ 15.534	37.599 ~ 37.91			王登红等,2002
康古尔塔格金矿	3	18.156 ~ 18.166	15.534 ~ 15.546	37.930 ~ 37.963	9.111 ~ 9.146	3.776 ~ 3.790	姬金生等,1994
萨瓦亚尔顿金铋矿	9	18.012 ~ 18.203	15.470 ~ 15.639	38.062 ~ 38.464	8.89 ~ 9.58	3.82 ~ 3.94	叶庆同等,1999
黑龙江							
多宝山铜钼矿	3	17.869 ~ 17.996	15.512 ~ 15.568	37.684 ~ 37.769	9.35 ~ 9.44	3.63 ~ 3.71	赵一鸣等,1997
铜山铜钼矿	3	17.560 ~ 17.630	15.434 ~ 15.485	37.300 ~ 37.415	9.23 ~ 9.33	3.65 ~ 3.68	赵一鸣等,1997
内蒙古中部							
乌鲁格吐山铜钼矿	7	18.352 ~ 18.433	15.510 ~ 15.633	38.068 ~ 38.421	9.29 ~ 9.52	3.59 ~ 3.72	赵一鸣等,1997
甲乌拉银铅锌铜矿	19	18.263 ~ 18.647	15.457 ~ 15.736	37.841 ~ 38.710	9.19 ~ 9.71	3.53 ~ 3.82	赵一鸣等,1997
查干布拉根银铅锌矿	7	18.266 ~ 18.364	15.455 ~ 15.591	37.601 ~ 38.264	9.19 ~ 9.45	3.43 ~ 3.68	赵一鸣等,1997
额仁陶勒盖银矿	4	18.079 ~ 18.765	15.539 ~ 15.885	38.060 ~ 38.759	9.37 ~ 9.98	3.74 ~ 3.78	赵一鸣等,1997
布敦化铜矿	3	18.248 ~ 18.290	15.476 ~ 15.537	37.911 ~ 38.113	9.23 ~ 9.35	3.57 ~ 3.65	赵一鸣等,1997
长春岭铅锌银矿	3	18.104 ~ 18.237	15.427 ~ 15.530	37.815 ~ 38.158	9.15 ~ 9.34	3.60 ~ 3.69	赵一鸣等,1997
孟思陶勒盖银铅锌矿	7	17.942 ~ 18.304	15.540 ~ 15.756	38.460 ~ 39.119	9.34 ~ 9.78	3.94 ~ 4.13	赵一鸣等,1997
白音诺铅锌矿	17	18.228 ~ 18.683	15.480 ~ 15.850	37.925 ~ 38.871	9.24 ~ 9.92	3.58 ~ 3.85	赵一鸣等,1997
浩布高铅锌铜矿	12	18.248 ~ 18.479	15.478 ~ 15.634	37.927 ~ 38.436	9.24 ~ 9.52	3.58 ~ 3.77	赵一鸣等,1997
敖瑙达巴银锡铜矿	3	18.231 ~ 18.321	15.491 ~ 15.591	37.935 ~ 38.271	9.26 ~ 9.45	3.60 ~ 3.71	赵一鸣等,1997
大井银铜锡矿	12	18.258 ~ 18.498	15.478 ~ 15.787	37.969 ~ 38.925	9.25 ~ 9.82	3.59 ~ 3.92	赵一鸣等,1997
黄岗锡铁矿	4	18.183 ~ 18.414	15.448 ~ 15.690	37.897 ~ 38.632	9.18 ~ 9.63	3.60 ~ 3.83	赵一鸣等,1997
小坝梁铜金矿	3	17.531 ~ 17.743	15.397 ~ 15.601	37.094 ~ 37.403	9.16 ~ 9.55	3.57 ~ 3.63	赵一鸣等,1997
莲花山铜银矿	3	18.104 ~ 18.492	15.427 ~ 15.739	37.815 ~ 38.570	9.15 ~ 9.72	3.73 ~ 3.91	盛继福等,1999

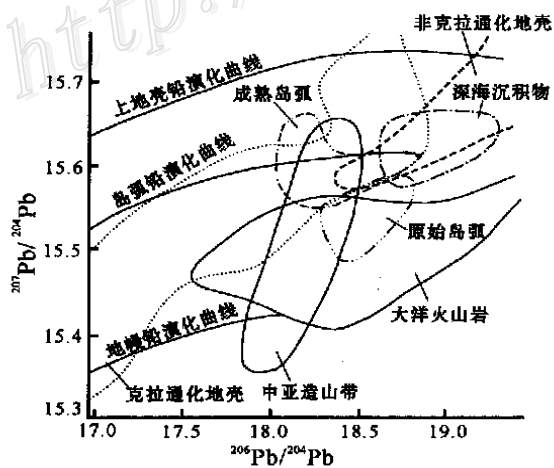


图3 铅同位素组成图解

铅构造模式的同位素演化曲线据 Zartman 等(1981), 构造环境分区据 Doe 等(1979)

Fig.3 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb versus ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb diagrams for mineral deposits
Lead isotopic evolution curves after Zartman et al. (1981);
Tectonic environment discrimination after Doe et al. (1979)

物质成矿域(Hong et al.,1998)对比,或许可以认为,中亚造山带乃是一个典型的地幔来源物质成矿域。至于这种地幔来源物质究竟是地幔直接分异的产物,还是玄武岩浆底侵转化成的下地壳或是俯冲洋壳衍生的新生地壳,以及这些地幔来源物质形成于何种地球动力学环境,都还有待于进一步探讨。

致谢 戴自希研究员提供了中亚地区金属矿床的大量资料和图件,工作过程中同芮宗瑶研究员作过有益的讨论,一并在表示感谢。

References

Bates R L and Jackson J A. 1987. Glossary of geology[M]. 3rd ed. Virginia: American Geological Institute, Falls Church. 788p.
Bi C S, Shen X Y, Xu Q S, et al. 1993. Geological characteristics of stanniferous granites in the Beilekuduk tin metallogenic belt, Xinjiang[J]. Acta Petrol. and Mineral., 12(3): 213 ~ 223 (in

- Chinese with English abstract) .
- Bowring S A and Housh T. 1995. The earth's early evolution[J]. *Sci.*, 269: 1535 ~ 1540 .
- Chen D Q, Zhao P and Wei Z G. 1995. On the submarine volcanic hydrothermal genesis of the Xiaobaliang copper deposit [J]. *Acta Geosci. Sinica*, (2): 190 ~ 203 (in Chinese with English abstract) .
- Chen F W, Li H Q, Wang D H, et al. 1999a. New chronological evidence of the Mesozoic rock-forming and metallogenic events in the Altay orogenic belt, China[J]. *Chinese Sci. Bull.*, 44(11): 1142 ~ 1148 (in Chinese with English abstract) .
- Chen F W, Li H Q, Cai H, et al. 1999b. Chronology and origin of the Ganliangzi tin orefield, Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 18(1): 91 ~ 97 (in Chinese with English abstract) .
- Chu X L, Huo W G and Zhang X. 2001. Sulfur, carbon and lead isotope studies of the Dajing polymetallic deposit in Linxi County, Inner Mongolia, China: Implication for metallogenic elements from hypomagmatic source[J]. *Res. Geol.*, 51(4): 333 ~ 344 .
- Dai Z X, Bei Y, Wu C G, et al. 2001. Comparison of metallogenic potentiality between western China and its adjacent countries[M]. Beijing: Seismol. Press. 201p (in Chinese) .
- De Paolo D J. 1981. A Nd and Sr isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California[J]. *J. Geophys. Res.*, 86: 10470 ~ 10488 .
- Dobretsov N L, Berzin N A and Buslov M M. 1995. Opening and tectonic evolution of the Paleo-Asian ocean[J]. *International Geol. Rev.*, 37: 335 ~ 360 .
- Doe B R and Zartman R E. 1979. Plumbotectonics, the Phanerozoic [A]. In: Barnes HL ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* [C]. 2nd edition. New York: John Wiley and Sons. 22 ~ 70 .
- Du Q. 1988. Doubaoshan porphyry copper deposits[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 386p (in Chinese) .
- He B C, Tan K R and Wu Q H. 1994. Ages and Sr, Nd isotopic evidences of mantle source magmatite in the Bu's gold deposit, Jimunai County, northern Xinjiang[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 18(3): 219 ~ 228 (in Chinese with English abstract) .
- Heinhorst J, Lehmann B, Ermolov P, et al. 2000. Paleozoic crustal growth and metallogeny of Central Asia: evidence from magmatic-hydrothermal ore systems of Central Kazakhstan [J]. *Tectonophysics*, 328: 69 ~ 87 .
- Hildreth W and Moorbath S. 1998. Crustal contribution to arc magmatism in the Andes of Central Chile [J]. *Contrib. Miner. Petrol.*, 98: 455 ~ 489 .
- Hong D W, Huang H Z, Xiao Y J, et al. 1994. The Permian alkaline granites in central Inner Mongolia and their geodynamic significance [J]. *Acta Geol. Sinica*, 68(3): 217 ~ 230 (in Chinese with English abstract) .
- Hong D W, Wang S G, Xie X L, et al. 2000. Genesis of positive ϵ_{Nd} granitoids in the Da Hinggan Mts- Mongolia orogenic belt and continental crustal growth[J]. *Earth Sci. Frontiers*, 7: 441 ~ 456 (in Chinese with English abstract) .
- Hong D W, Xie X L and Zhang J S. 1998. Isotope geochemistry of granitoids in south China and their Metallogeny[J]. *Res. Geol.*, 48: 251 ~ 263 .
- Jahn B M, Wu F and Hong D. 2000a. Important crustal growth in the Phanerozoic: Isotopic evidence of granitoids from east-central Asia [J]. *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet Sci.)*, 109(1): 5 ~ 20 .
- Jahn B M, Wu F and Chen B. 2000b. Massive granitoid generation in central Asia: Nd isotopic evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic[J]. *Episodes*, 23: 82 ~ 92 .
- Ji J S, Tao H X, Yang X K, et al. 1994. Geology and metallogeny of the Kangguertage gold deposits, eastern Tianshan mountains[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 200p (in Chinese) .
- Khain E V, Bibikova E V, Kroner A, et al. 2002. The most ancient ophiolite of the Central Asian fold belt: U-Pb and Pb-Pb zircon ages for the Dunzhugur Complex, Eastern Sayan, Siberia, and geodynamic implications [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 199: 311 ~ 325 .
- Kovalenko V I, Thareva G M, Yarmolyuk V V, et al. 1992. Sr and Nd isotopic composition and ages of rare-metal bearing alkaline granitoids in western Mongolia[J]. *Rep. Acad. Sci.*, 327: 570 ~ 754 (in Russian) .
- Kovalenko V I, Yarmolyuk V V, Kovach V P, et al. 1996. Sources of Phanerozoic granitoids in central Asia: Sm-Nd isotope data[J]. *Geochemistry*, (8): 699 ~ 712 (in Russian) .
- Kovalenko V I, Yarmolyuk V V, Thareva G M, et al. 1997. Sources of granitic magma in southern Dzhir mineralized area, southeastern Mongolia: data of Nd, Sr, Pb and O isotope composition[J]. *Rep. Acad. Sci.*, 353: 659 ~ 662 (in Russian) .
- Kovalenko V I, Kastitsin Y A, Yarmolyuk V V, et al. 1999. Magma sources and isotope (Sr, Nd) evolution of the rare-metal Li-F granites[J]. *Petrology*, 7(4): 401 ~ 429 (in Chinese) .
- Kozlov V D, Sandimirova G P, Pakholchenko YA, et al. 1995. On Mesozoic age of ore-bearing granites of the Kyzyl-Tau massif (Mongolian Altai)[J]. *Geology and Geophysics*, 36(3): 73 ~ 77 (in Russian) .
- Li H Q, Xie C F, Chang H L, et al. 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in north Xinjiang, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 263p (in Chinese with English abstract) .
- McCulloch M T and Chappell B W. 1982. Nd isotopic characteristics of S- and I-type granites[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 58: 51 ~ 64 .
- Metal Mining Agency of Japan (MMAJ). 1998. Mineral Resources Map of Asia and list of metallic minerals deposits in Asia[M].
- Nie F J and Jiang S H. 2000. Discovery and its exploration significance of Talin Mettes Uul gold mineralized belt, south Mongolia[J]. *Geology of Inner Mongolia*, (2): 20 ~ 23 (in Chinese with English abstract) .
- Nie F J, Pei R F, Wu L S, et al. 1993. Magmatic activity and metallogeny of the Bainaimiao district, Inner Mongolia, China[M]. Beijing: Beijing Sci. & Technol. Press. 239p (in Chinese with English abstract) .
- Patchett P J. 1992. Isotopic studies of Proterozoic crustal growth and evolution[A]. In: Candie K C, ed. *Proterozoic crustal evolution*

- [C]. Amsterdam : Elsevier . 481 ~ 508 .
- Qin K Z . 1998 . The Mesozoic porphyry-subvolcanic-epithermal Cu , Mo , Pb , Zn , Ag metallogenic systematics in southern Ergun [J] . Mineral Deposits , 17 (supp .) : 201 ~ 206 (in Chinese) .
- Rui Z Y , Liu Y L , Wang L Z , et al . 2002 . The eastern Tianshan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework [J] . Acta Geol . Sinica , 76 (1) : 83 ~ 94 (in Chinese with English abstract) .
- Sheng J F and Fu X Z . 1999 . Metallogenic settings and geological characteristics of the copper polymetallic deposits in the middle segment of Da Hinggan Mountains [M] . Beijing : Seismol . Press . 216p (in Chinese) .
- Sheng J F , Li Y , Wang X Y , et al . 1993 . Geological characteristics and metallogeny of the Budenghua copper deposits , Inner Mongolia [A] . In Zhang D Q and Zhao Y M , ed . Contributions to the copper-poly-metallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions [C] . Beijing : Seismol . Press . 116 ~ 125 (in Chinese with English abstract) .
- Song S H . 1992 . Mineral Resources Map of China , 1 : 5000000 [M] . Beijing : Geol . Pub . House (in Chinese) .
- Sotnikov V I , Ponomarchuk V A , Berzina A P , et al . 1995 . Geochronological borders of magmatism of Cu-Mo porphyry Erdene-tuin-Obo deposit (Mongolia) [J] . Geol . & Geophys . , 36 (3) : 78 ~ 89 (in Russian) .
- Tu G Z . 1999 . On the central Asia metallogenic province [J] . Sci . Geol . Sinica , 34 (4) : 397 ~ 404 (in Chinese with English abstract) .
- Veevers J J . 1994 . Pangea : evolution of a supercontinent and its consequences for Earth's paleoclimate and sedimentary environments [A] . In : Klein G D , ed . Pangea , paleoclimate , tectonics , and sedimentation during accretion , zenith , and breakup of a supercontinent , Boulder , Colorado [C] . Geol . Soc . Am . Spec . , Paper 288 : 13 ~ 23 .
- Vladimirov A G , Ponomareva A P , Shokalskii S P , et al . 1997 . Late Paleozoic-early Mesozoic granitoid magmatism in Altai [J] . Geol . & Geophys . , 38 (4) : 715 ~ 729 (in Russian) .
- Vladimirov A G , Vystavnoi S A , Titov A V , et al . 1998 . Petrology of the early Mesozoic rare-metal granites of the southern Gornng Altai [J] . Geol . & Geophys . , 39 (7) : 901 ~ 916 (in Russian) .
- Wang D H , Chen Y C , Xu Z G , et al . 2002 . Metallogenic series and metallogeny in the Altai metallogenic province [M] . Beijing : Atomic Power Press . 493p (in Chinese) .
- Wang G Z . 1997 . Geological characteristics and genesis of the Anle tin-copper deposit , Inner Mongolia [J] . Mineral Deposits . 17 (3) : 260 ~ 271 (in Chinese with English abstract) .
- Wang Y X and Zhao Z H . 1997 . Geochemistry and origin of the Baerzhe REE-Nb-Be-Zr superlarge deposit [J] . Geochemistry , 26 (1) : 24 ~ 35 (in Chinese with English abstract) .
- Wang Z G , Zhao Z H , Zhou T R , et al . 1998 . Geochemistry of the granitoids in Altai [M] . Beijing : Sci . Press . 152p (in Chinese) .
- Wu F Y , Sun D G and Lin Q . 1999 . Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in northeast China [J] . Acta Petrol . Sinica , 15 (2) : 181 ~ 189 (in Chinese with English abstract) .
- Xiang W D , Hu S K , Yan H Q , et al . 1998 . Metallogenic significance of the Mesozoic volcanic magmatism in the western slope of Da Hinggan Mountains and its adjacent area [J] . Mineral Deposits , 17 (supp .) : 67 ~ 70 (in Chinese) .
- Ye Q T , Wu Y P , Fu X J , et al . 1999 . metallogenic condition and prospecting of nonferrous metallic deposits in southwest Tianshan mountains [M] . Beijing : Geol . Pub . House . 201p (in Chinese with English abstract) .
- Zartman R E and Doe B R . 1981 . Plumbotectonics : the model [A] . In : Zartman R E and Taylor S R , ed . Evolution of the upper mantle [C] . Tectonophysics , 75 : 135 ~ 162 .
- Zhang D Q . 1993 . Two granitoid series in different tectonic environments of southern Da Hinggan Mountains , China [J] . Acta Petrol . et Mineral . 45 (1) : 1 ~ 11 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Q F , Hu A Q , Zhang G X , et al . 1994 . Evidence from isotopic age for presence of Mesozoic-Cenozoic magmatic activities in Altai region , Xinjiang [J] . Geochemistry , 23 (3) : 269 ~ 279 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao Y L , Ma Z H , Feng B Z , et al . 1997 . Geochemical and prospecting study of the Duobaoshan copper metallogenic system [M] . Jilin : Jilin People's Press . 155p (in Chinese) .
- Zhao Y M and Zhang D Q . 1997 . Metallogeny and prospective evaluation of copper-poly-metallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions [M] . Beijing : Seismol . Press . 318p (in Chinese with English abstract) .
- Zhou G , Han D N and Deng J N . 1998 . Study of isotope geochemistry on the Keketale Lead-Zinc deposit , Xinjiang [J] . Min . Res . & Geol . , 12 (1) : 33 ~ 38 (in Chinese with English abstract) .
- Zhou G , Qin J H , He L X , et al . 1999 . Formation time of granitoids in Sawuer Mountains , Xinjiang [J] . Acta Petrol . et Mineral . , 18 (3) : 237 ~ 242 (in Chinese with English abstract) .
- Zhu Y F , Sun Z H and Jiang N . 2001 . A gold-bearing alkaline pluton in eastern Linxi district , Inner Mongolia : Its geochemistry and metallogenic significance [J] . Resource Geol . , 51 (4) : 393 ~ 399 .

附中文参考文献

- 毕承思 , 沈湘元 , 徐庆生 , 等 . 1993 . 新疆贝勒库都克锡矿带含锡花岗岩地质特征 [J] . 岩石矿物学杂志 , 12 (3) : 213 ~ 223 .
- 陈德潜 , 赵平 , 魏振国 . 1995 . 论小坝梁铜矿床的海底火山热液成因 [J] . 地球学报 , (2) : 190 ~ 203 .
- 陈富文 , 李华芹 , 蔡红 , 等 . 1999 . 新疆干梁子锡矿田成岩成矿作用同位素年代学研究及矿床成因探讨 [J] . 矿床地质 , 18 (1) : 91 ~ 97 .
- 陈富文 , 李华芹 , 王登红 , 等 . 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 [J] . 科学通报 , 44 (11) : 1142 ~ 1148 .
- 戴自希 , 白冶 , 吴初国 , 等 . 2001 . 中国西部和毗邻国家铜金找矿潜力的对比研究 [M] . 北京 : 地震出版社 . 201 页 .
- 杜琦 . 1988 . 多宝山斑岩铜矿床 [M] . 北京 : 地质出版社 . 386 页 .
- 贺伯初 , 谭克仁 , 吴玺虹 . 1994 . 北疆吉木乃布氏金矿幔源岩浆岩时代及 Sr , Nd 同位素证据 [J] . 大地构造与成矿学 , 18 (3) : 219 ~ 228 .

- 洪大卫, 黄怀曾, 肖宜君, 等. 1994. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义[J]. 地质学报, 68(3): 217~230.
- 洪大卫, 王式光, 谢锡林, 等. 2000. 兴蒙造山带正 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长[J]. 地学前缘, 7(2): 441~456.
- 姬金生, 陶洪祥, 杨兴科, 等. 1994. 东天山康古尔塔格金矿带地质与找矿[M]. 北京: 地质出版社. 200 页.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 1998. 新疆北部有色金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社. 263 页.
- 聂风军, 江思宏. 2000. 中蒙边境塔林大型金矿化带发现对我们的启示[J]. 内蒙古地质, (2): 20~23.
- 聂风军, 裴荣富, 吴良士, 等. 1993. 内蒙古白乃庙地区岩浆活动与金属成矿作用[M]. 北京: 北京科学技术出版社. 239 页.
- 秦克章. 1998. 额尔古纳南段中生代斑岩-次火山岩-浅成低温 Cu, Mo, Pb, Zn, Ag 成矿系统[J]. 矿床地质, 17(增刊): 201~206.
- 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 等. 2002. 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局[J]. 地质学报, 76(1): 83~94.
- 盛继福, 付先政. 1999. 大兴安岭中段成矿环境与铜多金属矿床地质特征[M]. 北京: 地震出版社. 216 页.
- 盛继福, 李岩, 王湘云, 等. 1993. 内蒙古布敦化铜矿床地质特征及成矿作用[A]. 见: 张德全, 赵一鸣, 主编. 大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集[C]. 北京: 地震出版社. 116~125.
- 宋叔和. 1992. 中国矿产资源图 1: 5 000 000[M]. 北京: 地质出版社.
- 涂光炽. 1999. 初议中亚成矿域[J]. 地质科学, 34(4): 397~404.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京: 原子能出版社. 493 页.
- 王国政. 1997. 内蒙古安乐锡铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 16(3): 260~271.
- 王一先, 赵振华. 1997. 巴尔哲超大型稀土铍铍矿床地球化学和成因[J]. 地球化学, 26(1): 24~35.
- 王中刚, 赵振华, 邹天人, 等. 1998. 阿尔泰花岗岩类地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 152 页.
- 吴福元, 孙德有, 林强. 1999. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生[J]. 岩石学报, 15(2): 181~189.
- 向伟东, 胡绍康, 阎鸿铨, 等. 1998. 大兴安岭西坡及邻区中生代火山岩浆作用的成矿意义[J]. 矿床地质, 17(增刊): 67~70.
- 叶庆同, 吴一平, 傅旭杰, 等. 1999. 西南天山有色金属矿床成矿条件和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社. 201 页.
- 张德全. 1993. 大兴安岭南段不同构造环境中的两类花岗岩[J]. 岩石矿物学杂志, 12(1): 1~11.
- 张前锋, 胡霭琴, 张国新, 等. 1994. 阿尔泰地区中-新生代岩浆活动的同位素年龄证据[J]. 地球化学, 23(3): 269~279.
- 赵一鸣, 张德全. 1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价[M]. 北京: 地震出版社. 318 页.
- 赵元艺, 马志红, 冯本智, 等. 1997. 多宝山铜矿床系统地球化学及找矿研究[M]. 长春: 吉林人民出版社. 155 页.
- 周刚, 韩东南, 邓吉牛. 1998. 新疆可可塔勒铅锌矿床同位素地球化学研究[J]. 矿产与地质, 12(1): 33~38.
- 周刚, 秦纪华, 何立新, 等. 1999. 新疆萨吾尔山花岗岩类的形成时代[J]. 岩石矿物学杂志, 18(3): 237~242.

Metallogenic Province Derived from Mantle Sources: A Case Study of Central Asian Orogenic Belt

HONG Da Wei¹, WANG Shi Guang², XIE Xi Lin³, ZHANG Ji Sheng¹, WANG Tao¹

(1 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Department of Geology, Peking University, Beijing 100871, China; 3 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The Central Asian Orogenic Belt (CAOB) is one of the most important regions for Cu, Au and poly metallic as well as rare metallic (Li, Be, Nb, Ta) mineralizations in the world. Sr, Nd, S and Pb isotopic data available indicate that the mineral deposits of the CAOB are consistent with the regional granites in metallogenic epochs and sources. Data available also suggest that mantle sources might have played an important role in the Paleozoic to Mesozoic mineralization in the CAOB.

Key Words: Central Asian Orogenic Belt, metallogenic source materials, metallogenic province, mantle source, Sr, Nd, S and Pb isotopes