

新疆福海县哈龙稀有金属矿床地质特征及成因浅析

郭旭吉¹, 马占龙²

(1. 新疆维吾尔自治区有色地勘局 706 地质队, 新疆 阿勒泰 836500; 2. 宁夏矿业开发勘察院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 哈龙-青河早古生代深成岩浆弧是新疆阿尔泰重要的稀有金属成矿带, 带内分布多个大、中型稀有金属(锂铍、钽铌)矿床, 赋矿伟晶岩时代主要集中于三叠纪(250~205Ma)和侏罗纪(200~180Ma)。其中哈龙-阿祖拜伟晶岩田中含矿伟晶岩主要由微斜长石型伟晶岩、微斜长石-钠长石型伟晶岩和钠长石-锂辉石型伟晶岩组成, 伟晶岩类型及相关矿化依次出现 4 个水平分带, 以 II 带铍矿化和 III 带锂矿化为特征。结合野外地质特征、成岩成矿时代及地球化学特征, 认为哈龙-阿祖拜伟晶岩田稀有金属成矿为伟晶岩自身岩浆-热液演化的产物, 伟晶岩初始岩浆可能与先期存在幔源物质的古老地壳物质部分熔融有关。

关键词: 矿床成因; 稀有金属; 伟晶岩; 哈龙; 新疆

中图分类号: P618.6

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2015)03-0355-07

Geological Characteristics and Genesis of Halong Rare Metal Deposit in Fuhai County, Xinjiang

GUO Xuji¹, MA Zhanlong²

(1. 706 Geological Party, Xinjiang Geoexploration Bureau for Nonferrous Metals, Altay 836500, Xinjiang, China;
2. Ningxia Mining Development and Exploration Institute, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: The early Paleozoic Halong-Qinghe arc is an important rare metallogenic belt in Altay, Xinjiang. Many large- and medium-scale rare metal (lithium, beryllium, tantalum and niobium) deposits distributed within this belt, and ore-hosted pegmatite were mainly formed in Triassic (250-205 Ma) and Jurassic (200-180 Ma). In Halong-Azubai pegmatite ore field, ore-bearing pegmatite is mainly composed of microcline type pegmatite, microcline-albite type pegmatite and albite-spodumene type pegmatite. The pegmatite type and associated mineralization occurs four horizontal zoning in sequence, characterized by II zone beryllium mineralization and III zone lithium mineralization. Combined with field geological characteristics, petrogenetic and metallogenetic epoch, and geochemical characteristics, we suggest that rare metal mineralization in Halong - Azubai pegmatite ore field was the product of their own pegmatite magmatic-hydrothermal evolution; the initial pegmatite magma may related to the partial melting of mantle material in ancient crust.

收稿日期: 2015-04-04; 修回日期: 2015-05-15

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划重点项目(2011BAB06B03-04)

作者简介: 郭旭吉(1971-), 男, 高级工程师, 主要从事矿产地质勘查及地质技术管理工作。E-mail: guo_xuji@163.com

Key words: ore genesis; rare metal; pegmatite; Halong; Xinjiang

新疆阿尔泰造山带位于西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块之间,其南以额尔齐斯大断裂为界与南部的准噶尔板块相接,北接西伯利亚板块,是中亚造山带的重要组成部分。区内花岗岩广泛分布,具有多时代、多类型、多成因、形成于多种构造环境的特点(芮行健等,1984;邹天人等,1988;王登红等,2002;Wang et al., 2006;张招崇等,2006)。同时,阿尔泰也是世界上最重要的伟晶岩分布地区(王登红等,2003),已发现的伟晶岩脉有近十余万条,分属于38个伟晶岩田(邹天人等,2006),这些伟晶岩主要呈北西-南东向展布于中、南阿尔泰构造单元内(任宝琴等,2011)。伟晶岩的形成具有多时代的特征,从加里东期到燕山期,均有伟晶岩型矿床的产出。吴柏青等(1989)根据伟晶岩脉的时空分布、主要造岩矿物组合、矿化特征、副矿物类型以及与围岩的接触关系等,将区内的伟晶岩划分为变质分异伟晶岩、混合交代伟晶岩以及重熔岩浆分异伟晶岩等3种不同类型。

哈龙-阿祖拜伟晶岩田位于中阿尔泰,其矿床地质特征、岩浆演化与成矿作用目前还缺乏系统研究,制约了成矿规律总结和进一步找矿方向的确定。笔者在对哈龙-阿祖拜伟晶岩田中含矿伟晶岩和稀有金属矿体地质特征调研的基础上,总结了成岩成矿时代和地球化学特征,初步探讨了矿床成因,以期对阿尔泰伟晶岩的进一步研究提供依据。

1 区域地质背景

哈龙-阿祖拜伟晶岩田位于中阿尔泰哈龙-青河早古生代深成岩浆弧内(图1)、哈龙河-阿祖拜河两侧、哈龙-可可托海复背斜出露的哈龙花岗岩与片岩接触带西侧约2km处,属于群库爾-阿祖拜伟晶岩带的北端延伸部分,向北至哈龙河上游,向南至阿祖拜。库卡拉盖矿区出露地层主要为中-上志留统库鲁木提群($S_{2-3}KL^a$)(图2),为一套浅海-半浅海相类建造,岩性主要为灰绿-灰紫色细砂岩、粉砂岩与泥岩呈不均匀的互层体,受区域变质作用,岩石多已变质成石英-黑云母片岩,如矽线石-石英片岩、红柱石-黑云母-石英片岩、含长石黑云母的绢云母-绿泥石-石英片岩和堇青石-黑云母-石英片岩等。

区内构造发育,以NW-SE向为主,发育少量EW向构造。NW向构造,从空间分布上看,褶皱轴向和断裂延伸方向均有向东收敛、向西撒开的趋势,对区内岩层展布、岩浆活动和矿产分布都起了一定的控制作用,如哈龙复背斜和断层。哈龙复式背斜长60多千米,宽约40多千米,轴向NW290°,两翼基本对称,北翼倾向NE45°,倾角50°~70°,南翼倾向NW230°~240°,倾角70°,在哈龙向NW倾没,倾向NW290°~300°,倾角5°~20°。组成背斜的地层为中-上志留统库鲁木提群下、上亚群,因大量片麻状黑云母花岗岩、二云母花岗岩侵入及EW向、NW向断裂的强烈破坏而出露极不完整,南翼绝大部分被花岗岩占据。佳木开达板-阿尔泰山一带断裂总体走向NW310°~320°,倾向NE,倾角70°~80°,呈NW撒开、SE收敛状分布,略呈向SW凸出的弧形,切割中-上志留统库鲁木提群、片麻状黑云母花岗岩和二云母花岗岩等。中基性、酸性岩脉沿该组断裂广泛分布,群库矿场和哈龙矿点严格受其控制。EW向构造主要为哈龙断层,其倾向360°,倾角约70°,延伸20多千米,向西在阿尔泰山南被NW向构造截接,向东延伸图外,切割中-上志留统和片麻状黑云母花岗岩体。沿断层发育100~500m宽的破碎带,见强烈赭石化、硅化、绿帘石化等。

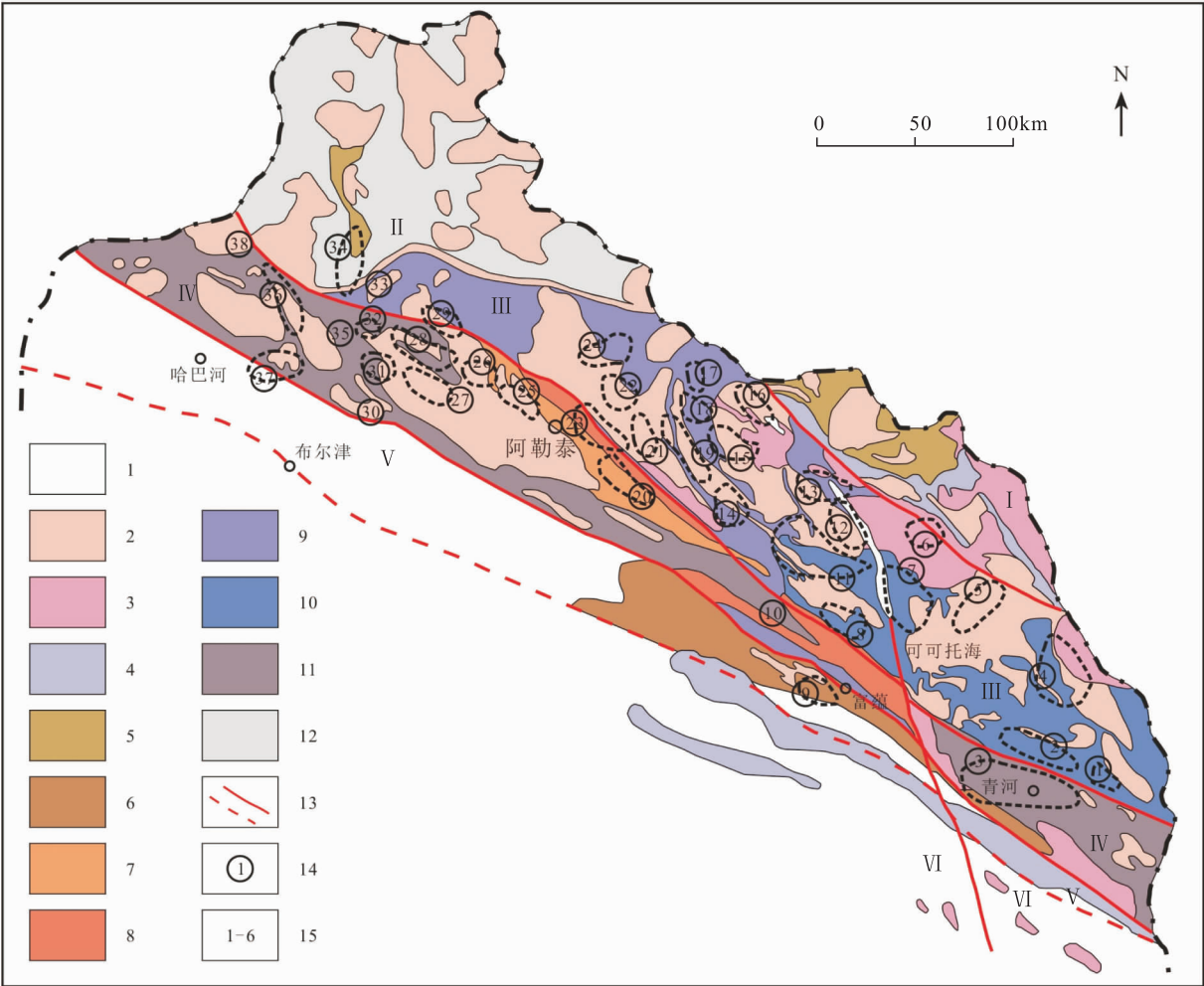
区内岩浆岩主要为哈龙岩体和花岗伟晶岩,在哈龙背斜的倾没端、EW向断裂与NW向断裂得复合地带及与之相应的次级构造中,有大量的伟晶岩脉分布,仅群库爾、哈龙就分布有340余条伟晶岩,其中发育绿柱石、锂辉石、白云母矿化的伟晶岩有103条,为阿勒泰稀有金属成矿重要的远景区之一(邹天人等,2006)。区内哈龙岩体呈岩基状出露于矿田东部,近NNW-SSE向带状展布,规模较大,面积约为600km²,岩性主要为片麻状黑云母花岗岩和二云母花岗岩。哈龙岩体在北、西及南侧与库鲁木提下亚群呈侵入接触关系(图2),接触变质作用明显,在岩体内接触带常见库鲁木提下亚群捕虏体。

2 伟晶岩脉矿床地质特征

哈龙-阿祖拜伟晶岩田主要由库卡拉盖、卡鲁安

矿区组成,库卡拉盖、卡鲁安矿区内花岗伟晶岩类型主要有微斜长石型伟晶岩、微斜长石-钠长石型伟晶岩和钠长石-锂辉石型伟晶岩,后者锂辉石矿化较

好,如库卡拉盖 650、卡鲁安 801、卡鲁安 802、卡鲁安 803、卡鲁安 805、卡鲁安 806、卡鲁安 807 号脉等。



1. 第四系;2. 早—中 古生代花岗岩类;3. 晚古生代花岗岩类;4. 晚石炭纪火山岩;5. 泥盆纪火山岩 6. 泥盆纪? 变沉积岩;7. 中泥盆统阿勒泰组;8. 下泥盆统康布铁堡组;9. 志留纪火山岩;10. 元古宙? 奥陶纪片岩;11. 元古宙—奥陶纪片麻岩—片岩;12. 震旦—寒武变质沉积岩;13. 断裂;14. 伟晶岩田及编号;15. 地块及编号; I. 北阿尔泰构造带; II. 和 III. 中阿尔泰构造带; IV. 南阿尔泰构造带; V. 额尔齐斯构造带; VI. 东准噶尔块体;CAOB. 中亚造山带;伟晶岩田名称:①. 阿木拉宫;②. 布鲁克特-纳林萨拉;③. 阿拉克捷-塔拉特;④. 米尔特根;⑤. 琼湖-道尔久;⑥. 阿拉尔;⑦. 可可托海;⑧. 柯布卡尔;⑨. 富蕴西;⑩. 库尔图;⑪. 库威-结别特;⑫. 丘曲拜;⑬. 阿拉依格勒;⑭. 蒙库;⑮. 阿拉山;⑯. 柯鲁木特-吉得克;⑰. 阿祖拜;⑱. 群库尔;⑲. 虎斯特;⑳. 大喀拉苏-可可西尔;㉑. 胡鲁宫;㉒. 巴寨;㉓. 阿巴宫;㉔. 吐尔贡;㉕. 卡拉苏;㉖. 切米尔切克;㉗. 塔尔朗;㉘. 切别林;㉙. 阿尔扎克;㉚. 阿克赛依-阿克苏;㉛. 阿克巴斯塔乌;㉜. 萨尔加克;㉝. 乌鲁克特;㉞. 切伯罗依-阿克贡盖特;㉟. 苇子沟;㊱. 也留曼;㊲. 哈巴河东;㊳. 加曼哈巴

图 1 阿尔泰造山带地质简图 (据 Wang et al. , 2006; 邹天人等, 2006 改编)

Fig. 1 Geological and pegmatite distribution of the Chinese Altai Orogen (After Wang et al. , 2006; Zou et al. , 2006)

现将代表性伟晶岩脉分述如下。
库卡拉盖 650 号脉:已控制长度 1 230m,平均水平厚度 9.88m,产状 240°~250°∠60°~70°。脉

体在向南约 300m 处尖灭,由 2 期伟晶岩组成,早期为钠长石伟晶岩,侵位于黑云母-石英片岩层理中,含少量锂辉石;晚期伟晶岩主要为锂辉石-钠长石-

锂白云母和锂云母-钠长石组合,侵位于黑云母石英片岩层理和早期伟晶岩中,在接触带以发育定向生长的薄片状锂辉石为特征。稀有金属矿石为定向、条带状构造;矿石结构为伟晶结构。矿石中有用矿物主要有锂辉石、钽铌铁矿、绿柱石等;脉石矿物主要有更长石、石英、白云母、斜长石、钾长石等。锂辉石是最主要的含锂矿物,多为浅紫色,晶面常有纵纹,呈半自形柱状、长柱状以及不规则柱状晶体产出,具平行定向分布,最大粒度 $20\text{mm} \times 6\text{mm}$,最小粒度 $0.08\text{mm} \times 0.9\text{mm}$,一般为 $0.4\text{mm} \times 2\text{mm}$,在矿石中与石英、长石紧密相嵌,相互交错。

卡鲁安 806 号脉:位于矿区北部哈龙河东岸,呈不规则脉状,厚度沿走向变化较大($0.7 \sim 5.6\text{m}$)。目前控制长度约 900m ,平均水平厚度 2.4m ,延深 200m ,产状 $260^\circ \angle 65^\circ$,顺层侵位到黑云母石英片岩中。伟晶岩类型为钠长石-锂辉石型,由细粒伟晶岩带($1 \sim 3\text{cm}$)、石英-微斜长石带($30 \sim 50\text{cm}$,锂辉石含量 $< 5\%$)和中部的石英-薄片钠长石-锂辉石带(锂辉石矿体)等结构带组成。

卡鲁安 807 号脉:走向为近 EW 向,总体呈波状弯曲,地表出露长约 650m ,目前已控制长度约 480m ,向下延深较稳定,已控制 200m ,且矿体有变厚的趋势。脉体产状 $170^\circ \sim 180^\circ \angle 60^\circ \sim 80^\circ$,与产状 $262^\circ \angle 50^\circ$ 的黑云母石英片岩呈切层侵入关系。807 号脉由上、下两部分组成,在约 2400m 标高处呈过渡关系。上部为石英-钠长石-锂云母伟晶岩,中粗粒结构,由石英、钠长石、少量的白云母和锂云母组成;下部为石英-钠长石-锂辉石伟晶岩,中细粒结构,块状构造,主要由石英、钠长石、锂辉石组成。

在哈龙-阿祖拜伟晶岩田中,由哈龙花岗岩体向西,伟晶岩类型及其矿化依次出现 4 个水平分带(图 2):I 带:为距花岗岩接触带内外各约 500m 范围,大致平行花岗岩接触带展布,分布着规模巨大的长数百米至千余米,宽数米至数十米的微斜长石型伟晶岩,稀有金属矿化极弱,不具工业价值;II 带:为岩体外接触带 $500 \sim 1500\text{m}$,分布着长数十米至数百米的微斜长石型伟晶岩,早期文象结构带中含有大量绿柱石,为具有工业价值的 Be 矿化带,此外有钽铌铁矿和白云母产出;III 带:为岩体外接触带 $2000 \sim 4500\text{m}$,分布着规模较大的钠长石-锂辉石型伟晶岩,走向近 NS 向,倾向 SWW 向陡倾斜,绝大多数伟晶岩脉平行围岩片理产出,长五十米至千

余米,为具有工业价值的 Li 矿化带;IV 带:位于 III 带西侧(外侧),分布着低温热液阶段产出的石英脉。

3 成岩成矿时代

张辉等(2014)获得库卡拉盖 650 号脉中晚期伟晶岩与早期伟晶岩、卡鲁安 805 号脉伟晶岩、卡鲁安 806 号脉伟晶岩锆石 U-Pb 加权平均年龄分别为 $(211.3 \pm 2.4)\text{Ma}$ 、 $(227.9 \pm 2.6)\text{Ma}$ 、 $(216.0 \pm 2.6)\text{Ma}$ 、 $(223.7 \pm 1.8)\text{Ma}$,代表各脉体的侵入年龄;获得卡鲁安 807 号脉锆石 U-Pb 下交点年龄 $(221 \pm 15)\text{Ma}$ 。库卡拉盖 650 号脉锆石年龄结果与地质特征一致,即其由 $(227.9 \pm 2.6)\text{Ma}$ 的早期钠长石伟晶岩与 $(211.3 \pm 2.4)\text{Ma}$ 的晚期锂辉石-钠长石-锂云母伟晶岩组成。考虑到伟晶岩中稀有金属成矿作用是伟晶岩自身岩浆-热液演化的产物,其稀有金属成矿时代略晚于其成岩时代,可以得出哈龙-阿祖拜伟晶岩田中伟晶岩及相应稀有金属矿形成时代约为 $211 \sim 228\text{Ma}$ (马占龙等, 2015)。

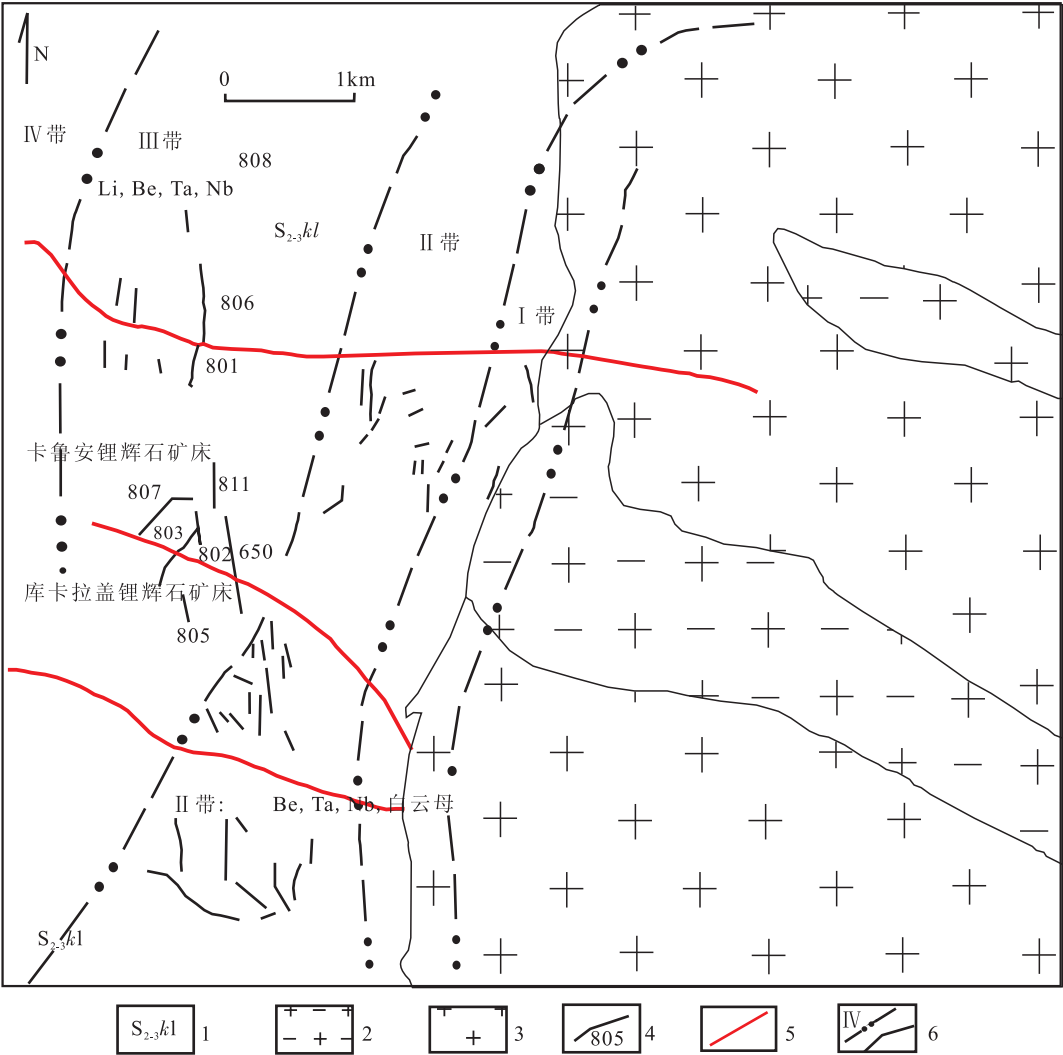
阿尔泰造山带中主要存在 3 期伟晶岩,即二叠纪伟晶岩($280 \sim 260\text{Ma}$)、三叠纪伟晶岩($250 \sim 205\text{Ma}$)和侏罗纪伟晶岩($200 \sim 180\text{Ma}$) (任宝琴等, 2011)。并且,这些伟晶岩具有明显的时空分布规律,如二叠纪伟晶岩仅出露于南阿尔泰构造单元中,三叠纪伟晶岩主要分布于中阿尔泰构造单元中(少量分布于南阿尔泰构造单元中),而侏罗纪伟晶岩仅分布于中阿尔泰构造单元中。哈龙-阿祖拜伟晶岩田中伟晶岩形成时代与群库尔伟晶岩(U-Pb 年龄为 $206.8 \pm 1.6\text{Ma}$)、佳木开伟晶岩(U-Pb 年龄为 $212.2 \pm 1.7\text{Ma}$)、阿巴宫-塔拉特伟晶岩(U-Pb 年龄为 $246.8 \pm 1.2\text{Ma}$) (任宝琴等, 2011)、可可托海 3 号伟晶岩(U-Pb 年龄为 $\sim 220\text{Ma}$; Zhu et al., 2006; Wang et al., 2007; Re-Os 等时线年龄为 $208.8 \pm 2.4\text{Ma}$; 刘锋等, 2012)、大喀拉苏伟晶岩(Ar-Ar 年龄为 $248.4 \pm 2.1\text{Ma}$)、小喀拉苏伟晶岩(Ar-Ar 年龄为 $233.8 \pm 0.4\text{Ma}$; 王登红等, 2003)形成时代一致,均为三叠纪,表明阿尔泰伟晶岩及相应稀有金属矿床主要形成于三叠纪。

4 成因浅析

前人认为额尔齐斯断裂带以北华力西期造

山后伸展作用形成的花岗岩体,可能为造山带内岩浆成因伟晶岩的形成提供有利的物源条件(吴柏青等,1989;邹天人,1995)。在哈龙-阿祖拜伟晶岩田中伟晶岩形成时代(三叠纪)明显不同于与之有密切空间关系的哈龙花岗岩(早泥盆世),如此大的时间差异(>160Ma)表明伟

晶岩与花岗岩之间不可能存在成因上的联系,即哈龙花岗岩不可能是哈龙-阿祖拜伟晶岩田中伟晶岩的成矿母岩浆。哈龙-阿祖拜伟晶岩田中伟晶岩存在类型上的差异,表明该伟晶岩田中至少存在 2~3 期次的伟晶岩脉动侵入的特征(马占龙,2014)。



1. 志留系库鲁木提群; 2. 黑云母花岗岩; 3. 二云母花岗岩; 4. 伟晶岩脉及编号; 5. 断层; 6. 带号及界线

图 2 哈龙-阿祖拜稀有金属矿田矿化分带图

Fig. 2 Halong-Azubai Rare metal ores decompose minefield with chart

阿尔泰伟晶岩以其锆石中低的 Hf 同位素组成和相对较老的 T_{DM2} 变化于 1 090~1 213 Ma (马占龙, 2014), 与阿尔泰造山带中不同时代花岗岩中锆石 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值、 T_{DM2} 相似, 哈龙矿区伟晶岩中锆石 $\epsilon_{Hf}(t)$ 整体位于球粒陨石线之上, 显著不同于亏损地幔

的 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值。正的 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值表明形成伟晶岩、花岗岩初始岩浆含有地幔物质的部分熔融, 或者是壳源物质和亏损幔源共同作用的结果。由于其 T_{DM2} 远远大于伟晶岩、花岗岩锆石的结晶年龄, 表明伟晶岩、花岗岩形成与壳源物质的部分熔融有关。哈龙伟晶

岩初始岩浆很可能是与先期存在幔源物质的古老地壳物质部分熔融有关。

参考文献(References):

滕家欣,王庆明. 阿尔泰成矿带主要矿床类型及勘查选区[J]. 西北地质, 2006, 39(2): 17-33.

TENGJiaxin, WANG Qingming. Major Ore Deposits in Altay Metallogenic Zone and Propecting Areas [J]. North western Geology, 2006, 39(2): 17-33.

焦学军,马忠美,郭旭吉,等. 阿尔泰山南缘克朗盆地泥盆纪火山沉积与矿产[J]. 西北地质, 2005, 38(3): 21-28.

JIAO Xuejun, MA Zhongmei, GUO Xuji, et al. Devonian volcano-sediments and mineralization of Kelang basin in southern Altay mountains [J]. Northwestern Geology, 2005, 38(3): 21-28.

芮行健,吴玉金. 中国阿尔泰花岗岩的成因[M]. 见: 徐克勤编. 花岗岩地质及其与成矿的关系国际学术会议论文集[C]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984: 281-291.

RUI Xingjian, WU Yujin. The origin of granites in Altay, China[M]. In: Xu Keqin (ed.). The International Symposium for the Granite Geology and its Relationship with Mineralization[C]. Nanjing: Science and Technique Publishing House of Jiangsu Province, 1984: 281-291.

邹天人,曹惠志,吴柏青. 新疆阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩及其判别标志[J]. 地质学报, 1988, 62(3): 228-234.

ZOU Tianren, CAO Huizhi, WU Baiqing. Orogenic and anorogenic granitoids of the Altay Mountains, Xinjiang and their discrimination criteria[J]. Acta Geologica Sinica, 1988, 62(3): 228-234.

王登红,陈毓川,徐志刚,等. 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, 2002: 1-493.

WANG Denghong, CHEN Yuchuan, XU Zhigang, et al. Minerogenetic Series and Regularity of Mineralization in the Altai Metallogenic Province, China[M]. Beijing: Atomic Press, 2002: 1-493.

张招崇,闫升好,陈柏林,等. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年[J]. 科学通报, 2006, 51(8): 952-962.

ZHANG Zhaochong, YAN Shenghao, CHEN Bailin, et al.

SHRIMP zircon U-Pb dating for subduction-related granitic rocks in the northern part of East Junggar, Xinjiang[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(8): 952-962.

王登红,陈毓川,徐志刚. 新疆阿尔泰印支期伟晶岩的成矿年代学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(1): 14-17.

WANG Denghong, CHEN Yuchuan, XU Zhigang. ⁴⁰Ar/³⁹Ar isotope dating on muscovites from Indosinian rare-metal deposits in Central Altay, Northwestern China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2003, 22(1): 14-17.

邹天人,李庆昌. 中国新疆稀有及稀土金属矿床[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 34-51.

ZOU Tianren, LI Qingchang. The Rare Metal and the REE Deposits in Xinjiang, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 34-51.

任宝琴,张辉,唐勇,等. 阿尔泰造山带伟晶岩年代学及其地质意义[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 587-596.

REN Baoqin, ZHANG Hui, TANG Yong, et al. LA-ICPMS U-Pb zircon geochronology of the Altai Pegmatites and Its Geological Significance[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2011, 31(3): 587-596.

吴柏青,邹天人. 试论新疆阿尔泰花岗伟晶岩的成因[J]. 新疆矿产地质, 1989, (1): 60-70.

WU Baiqing, ZOU Tianren. Genesis of granitic pegmatites in Altay, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology and Mineral Resources, 1989, (1): 60-70.

吴长年,朱金初,刘昌实,等. 阿尔泰伟晶岩中流体熔融包裹体成分的研究[J]. 地球化学, 1995, (4): 351-358.

WU Changnian, ZHU Jinchu, LIU Changshi, et al. Study of compositions of melting fluid inclusions in pegmatites, Altay, Xinjiang[J]. Geochimica, 1995, (4): 351-358.

刘锋,张志欣,李强,等. 新疆可可托海 3 号伟晶岩脉成岩时代的限定: 来自辉钼矿 Re-Os 定年的证据[J]. 矿床地质, 2012, 31(5): 1111-1118.

LIU Feng, ZHANG Zhixin, LI Qiang, et al. New age constraints on Koktokay pegmatite No. 3 vein, Altay Mountains, Xinjiang: evidence from molybdenite Re-Os dating[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(5): 1111-1118.

邹天人. 增生大陆边缘(阿尔泰式)稀有金属伟晶岩矿床模式[M]. 见: 裴荣富编. 中国矿床模式. 北京: 地质出

- 版社, 1995, 118-120.
- ZOU Tianren. Accretionary continental margin (Altai) rare-element pegmatitic deposits model[M]. In: Pei Rongfu (ed). *Deposit Models in China*. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 118-120.
- 秦克章, 申茂德, 唐冬梅, 等. 阿尔泰靠山带伟晶岩型稀有金属矿化类型与成岩成矿时代[J]. 新疆地质, 2013, 31: 1-7.
- QIN Kezhang, SHEN Maode, TANG Dongmei, et al. Types, Intrusive and Mineralization Ages of Pegmatite Rare-element Deposits in Chinese Altay [J]. *Xinjiang Geology*, 2013, 31: 1-7.
- 郭正林, 申茂德, 郭旭吉, 等. 阿尔泰地区花岗伟晶岩稀有金属成矿机理及找矿标志浅析 [J]. 新疆地质, 2013, 31: 77-83.
- GUO Zhenglin, SHEN Maode, GUO Xuji, et al. Analysis of Prospecting and Metallogenesis of Rare Metal in Granitic Pegmatite from Altai [J]. *Xinjiang Geology*, 2013, 31: 77-83.
- 张辉. 新疆阿尔泰成矿带哈龙-青河一带稀有金属成矿规律及找矿靶区预测研究[R]. 新疆有色集团科研报告, 2014.
- 马占龙. 新疆卡鲁安矿区伟晶岩锆石 U-Pb 定年、Hf 同位素组成及其与哈龙花岗岩成因关系研究 [D]. 中国科学院大学硕士学位论文, 2014.
- 张忠利, 樊俊利, 徐伟, 等. 新疆福海县库卡拉盖西段稀有金属矿普查报告 [R]. 新疆有色地勘局勘查报告, 2012.
- 陈剑锋. 阿尔泰 3 号脉缓倾斜部分的形成和演化[D]. 中国科学院地球化学研究所硕士学位论文, 2011.
- 刘宏. 新疆阿尔泰阿拉尔花岗岩与可可托海 3 号伟晶岩脉成因关系地球化学研究[D]. 昆明理工大学硕士学位论文, 2013.
- 吕正航. 新疆柯鲁木特 112 号伟晶岩岩浆-热液演化及成因初探 [D]. 中国科学院大学博士学位论文, 2013.
- WANG T, HONG D W, Jahn B M, et al. Timing, petrogenesis, and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains, Northwest China: Implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen [J]. *The Journal of Geology*, 2006, 114(6): 735-751.
- WANG T. 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[J]. *Ore Geol. Rev.*, 2007, 32(1-2), 325-336.
- LV Z H, ZHANG H, TANG Y, et al. Petrogenesis and magmatic - hydrothermal evolution time limitation of Kelumute No. 112 pegmatite in Altai, Northwestern China: Evidence from zircon U-Pb and Hf isotopes[J]. *Lithos*, 2012, 154: 374-391.
- ZHU Y F, ZENG Y, GU L. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite No. 3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altai Mountains, northwest China [J]. *J. Asian Earth Sci.*, 2006, 27(1), 61-77.