

新疆白龙山伟晶岩型锂矿床研究进展

王核^{1,2,3)}, 徐义刚^{1,2,3)}, 闫庆贺^{1,2,3)}, 张晓宇^{1,2,3)}

1) 中国科学院广州地球化学研究所, 矿物学与成矿学重点实验室, 广东广州, 510640;

2) 中国科学院大学, 北京, 100049;

3) 中国科学院深地科学卓越创新中心, 广东广州, 510640

内容提要:大红柳滩-白龙山一带是西昆仑-喀喇昆仑山花岗伟晶岩分布最为集中、稀有金属矿化最好的地区。项目组2017年通过多次野外勘查、系统取样与室内化验分析, 确认在新疆和田县喀喇昆仑腹地白龙山新发现了一处超大型锂铷多金属矿床, 该矿床为花岗伟晶岩型。同时在大红柳滩-白龙山发现了雪风岭、雪盆、双牙、冰舟、白龙山南、大红柳滩东(496北沟)等多处花岗伟晶岩型锂多金属矿床。通过对白龙山锂多金属矿床研究, 目前已确定含矿伟晶岩脉群带长度 >8250 m, 宽度 $46\sim 165$ m, 在白龙山锂多金属矿区划分出5个含矿伟晶岩脉群带, 共发现含矿伟晶岩脉166条, 对其中52条主要矿体进行了研究, 含矿伟晶岩脉长度 $50\sim 1230$ m, 宽 $1.5\sim 157$ m不等, Li_2O 平均品位 $0.93\%\sim 3.44\%$, BeO 平均品位 $0.54\%\sim 0.63\%$, Rb_2O 平均品位 $0.11\%\sim 0.18\%$, Nb_2O_5 平均品位 $0.011\%\sim 0.018\%$, Ta_2O_5 平均品位 $0.003\%\sim 0.009\%$ 。新疆昆仑蓝钻矿业开发有限责任公司第一期勘探对部分区段进行勘查, 目前勘探一期控制资源量 Li_2O 超过60万t, 达到超大型规模。项目组预测白龙山矿床潜在资源量 Li_2O 为506万t, 伴生 BeO 为16万t, Rb_2O 为31万t, Nb_2O_5 为4万t, Ta_2O_5 为1.75万t, 有望成为一个世界级规模的巨型锂多金属矿床。白龙山锂矿伟晶岩脉群, 以二云母花岗岩为中心向北和向南存在对称的伟晶岩脉群分带现象, 该矿床形成于碰撞造山环境, 与典型的LCT和NYF型锂矿不尽相同, 具有独自特点, 提出白龙山锂矿为LRN(Li-Rb-Nb)型锂矿的新观点。

关键词:西昆仑-喀喇昆仑; 白龙山; 伟晶岩; 锂多金属矿床

锂是自然界最轻的金属, 具有储能和生能功能, 被称为21世纪的“绿色能源金属”和“白色石油”, 可支撑航空航天、核能和新能源等高新产业(Li Jiankang et al., 2014, 2015; Liu Lijun et al., 2017; Zhai Mingguo et al., 2019)。锂也是市场需求增长最快的“高科技金属”之一, 对未来高科技发展和未来能源战略具有举足轻重的地位(Grosjean et al., 2012; Kesler et al., 2012; Li Jiankang et al., 2015; Martin et al., 2017)。我国锂资源量排第四位, 但多为盐湖型, 一般 $\text{Mg}/\text{Li}=40$, 很高, 难以开采(南美盐湖型锂矿 $\text{Mg}/\text{Li}=6$)。花岗伟晶岩型锂矿, 由于品位高、易开发成为最经济的锂矿类型, 且常伴生可利用的Be、Nb、Ta、Rb、Cs等多

种稀有元素(Wang Denghong et al., 2018), 是中国主要利用的矿床类型之一。

白龙山锂多金属矿床位于和田县城西南方向约175 km, 地理坐标为东经 $79^\circ 11' 40''\sim 79^\circ 17' 30''$, 北纬 $35^\circ 49' 00''\sim 35^\circ 52' 00''$, 构造位置上处于西昆仑-喀喇昆仑造山带的甜水海地块东段。2017年中国科学院广州地球化学研究所发现该矿床并进行初步评价, 预测潜在资源量氧化锂343万t(Wang He et al., 2017)。2020年, 新疆昆仑蓝钻矿业开发有限责任公司第一期勘探项目对部分区段进行勘查, 前期控制资源量已超过60万t, 达到超大型规模, 项目组预测白龙山一带潜在资源量 Li_2O 为506万t, 伴生 BeO 为16万t, Rb_2O 为31万t, Nb_2O_5 为4.06万

注: 本文为国家重点研发项目(编号2019YFC0605201)、新疆维吾尔自治区科技重大专项重点研发任务专项(编号2019B00011和2020A03005)、国家自然科学基金项目(编号91962215)、第二次青藏高原综合科学考察项目(编号2019QZKK0802)联合资助的成果。

收稿日期: 2021-08-20; 改回日期: 2021-09-22; 网络发表日期: 2021-10-09; 责任编辑: 蔡志慧。

作者简介: 王核, 男, 1966年生。研究员, 博士生导师, 主要从事成矿预测方面研究。E-mail: wanghe@gig.ac.cn。

引用本文: 王核, 徐义刚, 闫庆贺, 张晓宇. 2021. 新疆白龙山伟晶岩型锂矿床研究进展. 地质学报, 95(10): 3085~3098. doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2021083.
Wang He, Xu Yigang, Yan Qinghe, Zhang Xiaoyu. 2021. Research progress on Bailongshan pegmatite type lithium deposit, Xinjiang. Acta Geologica Sinica, 95(10): 3085~3098.

t, Ta₂O₅ 为 1.75 万 t, 有望成为一个世界级规模的巨型锂多金属矿床(Wang He et al., 2020)。

1 成矿地质背景

西昆仑-喀喇昆仑地区中生代花岗伟晶岩相当发育, 是中国重要的伟晶岩成矿带。西昆仑地区自 1958 年新疆地勘局在东部的大红柳滩、阿克沙依沟以及西部肖尔布龙、卡拉瓦拉、霍什塔什等地发现含锂辉石伟晶岩脉以来, 稀有金属找矿工作一直停滞不前。2012 年, 山东冶金地勘局对大红柳滩锂矿

(2012 年改名为阿克塔什) 勘查探获氧化锂资源量 8.77 万 t, 达到中型规模(Zhou Bing et al., 2011; Yan Qinhe et al., 2018)。2017 年以来在大红柳滩外围一带先后发现了白龙山超大型伟晶岩型锂多金属矿(Wang He et al., 2017, 2020)、雪风岭锂矿(Wang He et al., 2020)、冰舟锂矿、俘虏沟 1 号 2 号锂矿、大红柳滩东(496)锂矿(图 1)等。

白龙山锂铍钽多金属矿床构造位置上处于甜水海地块东段, 麻扎-康西瓦缝合带以南, 乔尔天山-红山湖缝合带以北(图 1)。区域内出露地层主要为

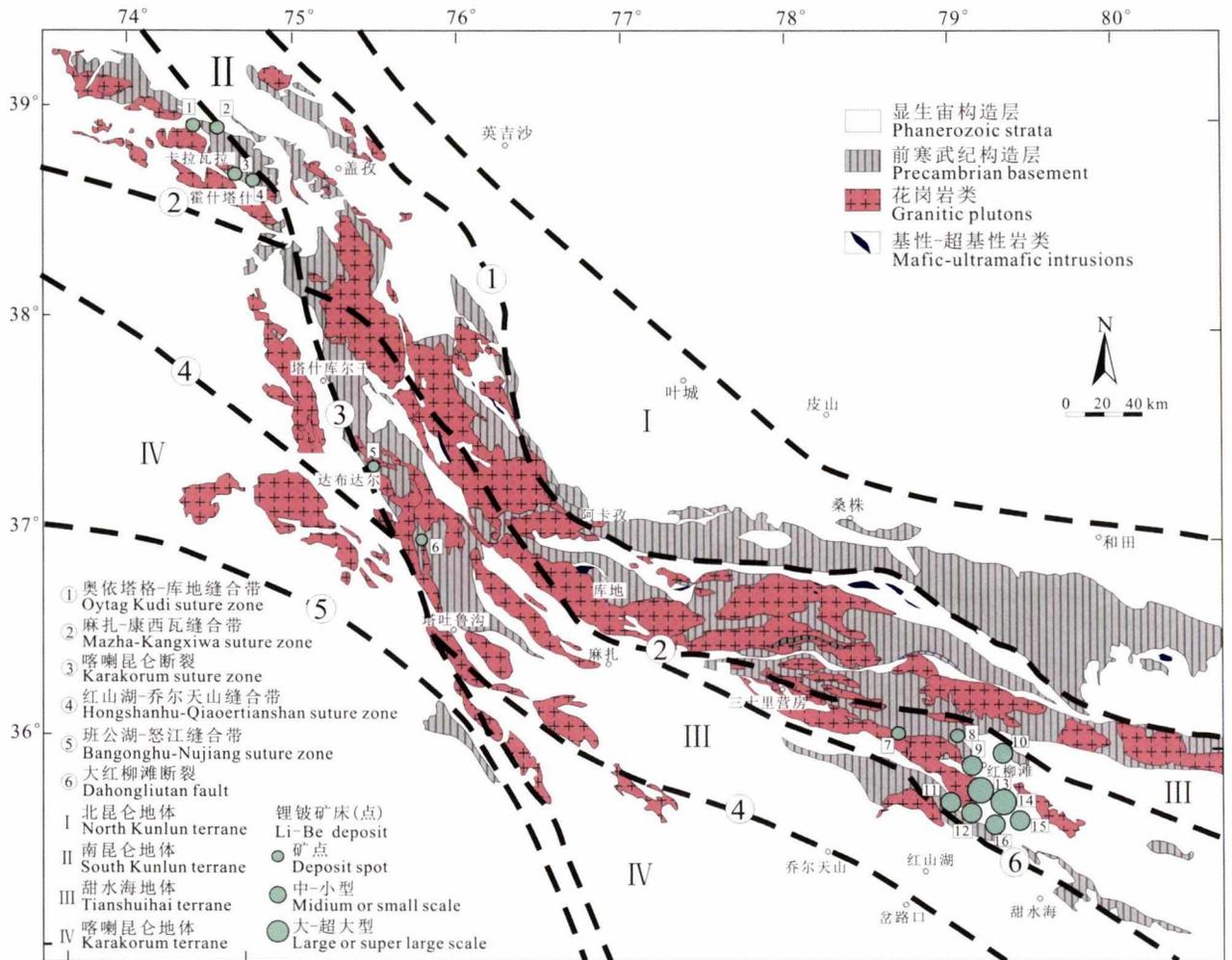


图 1 西昆仑构造单元划分与稀有金属分布图(据 Wang He et al., 2020)

Fig. 1 Simplified geological map of the western Kunlun orogenic belt, Xinjiang, northwestern China (after Wang He et al., 2020)

1—卡拉瓦拉锂铍矿; 2—肖尔布隆锂铍矿; 3—霍什塔什锂铍矿; 4—土曼其铍矿; 5—达布达尔铍矿; 6—三素铍矿; 7—康西瓦铍矿; 8—阿克萨依铍矿; 9—大红柳滩锂矿; 10—大红柳滩东锂矿床; 11—俘虏沟 1 号脉群锂矿床; 12—俘虏沟 2 号脉群锂矿床; 13—白龙山锂矿床; 14—五〇九道班西锂矿床; 15—雪风岭锂矿床; 16—冰舟锂矿床

1—Kalawala Li-Be deposit; 2—Xiaerbulong Li-Be deposit; 3—Huoshitashi Li-Be deposit; 4—Tumanqi Be deposit; 5—Dabudaer Be deposit; 6—Sansu Be deposit; 7—Kangxiwa Be deposit; 8—Akesayi Li deposit; 9—Dahongliutan Li deposit; 10—eastern Dahongliutan Li deposit; 11—Fulugou No. I Li deposit; 12—Fulugou No. II Li deposit; 13—Bailongshan Li deposit; 14—509 Li deposit; 15—Xuefengling Li deposit; 16—Bingzhou Li deposit

震旦系甜水海岩群的滨浅海相低绿片岩相,岩性主要为硬绿泥千枚岩、片理化泥质板岩、绿泥钙质片岩夹片理化粉砂岩、大理岩、白云岩(Hu Jun et al., 2016a, 2016b);下志留统温泉沟组为灰绿-浅灰色中厚层中粒长石石英砂岩夹粉砂及黑色薄层硅质岩,局部夹英安岩;三叠系巴颜喀拉山群为灰色中-厚层状变细粒长石石英砂岩夹石英粉砂岩、绢云母石英板岩。区域地层整体呈单斜产出,构造变形褶皱作用较为突出,晚古生代地层组成一系列线状紧闭褶皱。主要断裂为康西瓦断裂、红柳滩断裂、哈巴克达坂断裂、泉水沟断裂和肖尔克谷地断裂,其中康西瓦断裂为区域性大断裂,控制着该区地层及岩浆岩的展布方向。各地层单元之间大都为断层接触,片理、节理较为发育,共同构成巨大的近东西向的构造隆起带(Hu Jun et al., 2016b)。出露岩体为加里东期 485 Ma 的黑云母二长花岗岩(Hu Jun et al., 2017),印支期 209 Ma 的二云母花岗岩(Wei Xiaopeng et al., 2017)、213 Ma 的石英闪长岩(Wei Xiaopeng et al., 2018)等。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质

矿区地层较为简单,出露地层主要为中生界中上三叠统巴颜喀拉山群变质岩和第四系冰川、松散堆积物。巴颜喀拉山群主要岩性为灰绿色变砂岩和灰-深灰色二云母石英片岩,地层产状倾向 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$,倾角一般在 $65^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 之间。变质程度较低,属绿片岩相。区内含锂辉石伟晶岩脉侵位于该层位的变砂岩层中。

矿区主要呈一单斜构造,但片理和节理比较发育。

矿区岩浆岩较发育,在矿区南部广泛发育细粒石英闪长岩,矿区北西部见细粒白云母花岗岩。

灰黑色石英闪长岩:为区域上一大石英闪长岩岩基,长石含量达 60%左右,角闪石最高含量达 15%,石英含量 8%~10%,黑云母 10%。石英闪长岩中发育大量的含黑色电气石白云母伟晶岩脉,岩脉中含较少锂辉石。

灰色黑云母花岗岩:具细粒花岗结构,块状构造,斜长石含量 55%~60%,石英 25%~35%,黑云母 10%~15%,白云母 3%~5%。

灰白色二云母花岗岩:具细粒花岗结构,块状构造,斜长石含量 55%~60%,石英 30%~35%,白云母 5%~8%,黑云母 5%~7%。

矿区岩脉类型主要为花岗伟晶岩,共见有大小不同的花岗伟晶岩脉百余条,其中含矿花岗伟晶岩脉 52 条,各脉体走向主要呈 NW—SE 向,个别呈 NE—SW 向。含矿伟晶岩脉长度 50~1230 m,宽 1.5~157 m 不等。

花岗伟晶岩脉与围岩之间界线清楚,倾角一般在 $65^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 之间,个别近乎直立。同一岩脉之顶底板产状基本一致。伟晶岩形态一般呈较规则的脉状体或透镜状,部分具膨胀收缩现象。

矿区内区域变质作用普遍发育,变质程度达低绿片岩相,变质矿物组合为石英+斜长石+白云母+黑云母+红柱石。接触变质作用主要发生在侵入岩体与变砂岩的接触部位角岩化,以绿帘石化、绿泥石化为主。

2.2 矿体特征

矿区主要出露一条长约 8250 m,宽度 200~500 m 的含锂辉石伟晶岩脉带(图 2),总体产状 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\angle 66^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。这条含锂辉石伟晶岩脉群带可划分出 6 个矿化区段,锂多金属矿体共计 47 条,铍矿体 5 条。分别对 I、II、III、IV、V 区段进行了采样,共计完成 494 件矿石样品分析。其中 I 号含矿伟晶岩脉群由 8 个锂多金属矿体(4 个隐伏矿体)、5 个铍矿体及 11 个低品位铍矿化体组成;II 号含矿伟晶岩脉群圈定出 10 个锂多金属矿体;III 号含矿伟晶岩脉群圈定出 12 个锂多金属矿体;IV 号含矿伟晶岩脉群圈定出 5 个锂多金属矿体;V 区号含矿伟晶岩脉群为陕西地调院发现的 509 道班西锂矿,该区矿体主要依据 Peng Hailian et al. (2018)的工作进行了补充。

主要矿体描述如下:

I-1 号矿体:位于矿区西部,呈 NWW—SEE 走向。矿化体(表 1)地表出露长约 1230 m,宽度 46~77.73 m,采样控制厚度 61.86 m。 Li_2O 品位平均为 1.26%, BeO 为 0.053%, Rb_2O 为 0.1%, Nb_2O_5 为 0.015%, Ta_2O_5 为 0.009%。

II-1 号矿体:位于矿区中部,呈 NWW—SEE 走向。矿化体地表出露长约 730 m,宽度 41~152 m。经地表连续刻线控制,取样分析 Li_2O 品位平均为 1.47%, BeO 为 0.057%, Rb_2O 为 0.12%, Nb_2O_5 为 0.013%, Ta_2O_5 为 0.006%。

III-1 号矿体:位于矿区东部,呈 NWW—SEE 走向。矿化体地表出露长约 420 m,宽度 12~31 m,平均厚度 21.5 m, Li_2O 品位平均为 1.52%。

III-2 号矿体:位于矿区东部,呈 NWW—SEE 走向。矿化体地表出露长约 990 m,宽度 60~152

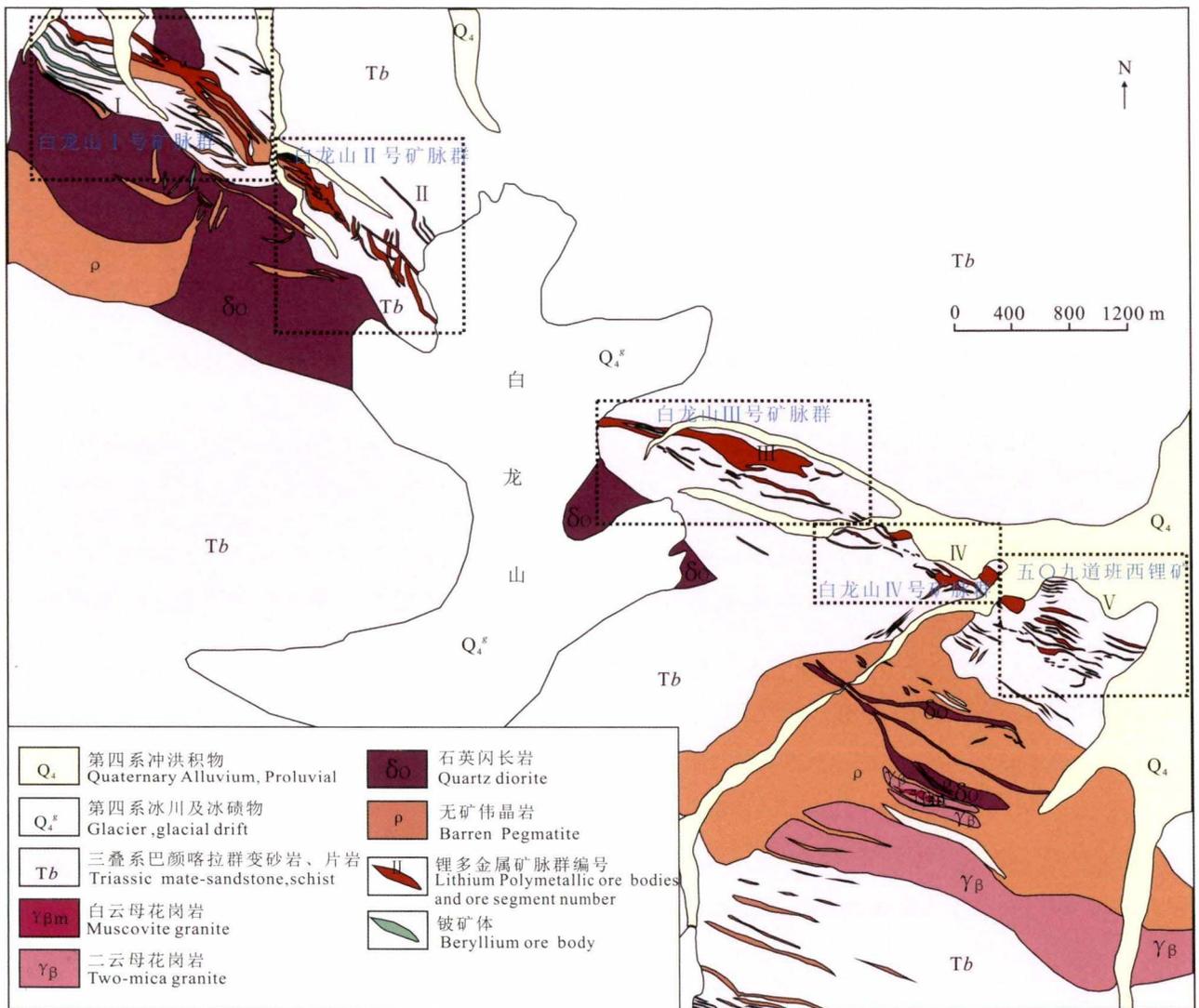


图2 西昆仑白龙山锂多金属矿床主要矿体地质简图

Fig. 2 Simplified geological map of main ore bodies in Bailongshan lithium polymetallic deposit

m,单孔控制厚度 37 m。经地表连续刻线控制,取样分析 Li_2O 品位平均为 1.60%, BeO 为 0.054%, Rb_2O 为 0.139%, Nb_2O_5 为 0.014%, Ta_2O_5 为 0.007%。

IV-1号矿体:位于矿区中部,呈NW—SE走向。矿化体地表出露长约530 m,宽度30~68 m,采样控制厚度45.52 m。取样分析 Li_2O 平均为2.17%, BeO 为0.054%, Rb_2O 为0.092%, Nb_2O_5 为0.014%, Ta_2O_5 为0.007%。

IV-5号矿体:位于矿区中部,呈NW—SE走向。矿化体地表出露长约390 m,宽度90~100 m,采样控制厚度53.03 m,向西覆盖,但经过EH4电磁测深剖面测量深部向西延伸与IV-2号矿体相连,长度可达800 m。取样分析 Li_2O 品位平均为1.83%, BeO 为0.063%, Rb_2O 为0.153%, Nb_2O_5

为0.015%, Ta_2O_5 为0.009%。

V-1号矿体:位于矿区东部,呈NW—SE走向。矿化体地表出露长约339 m,采样控制厚度25.80 m。 Li_2O 品位平均为1.94%, BeO 为0.04%, Rb_2O 为0.11%, Nb_2O_5 为0.016%, Ta_2O_5 为0.006% (Peng Hailian et al., 2018)。

V-3号矿体:位于矿区东部,呈NW—SE走向。矿化体地表出露长约700 m,采样控制厚度5.17 m。 Li_2O 品位平均为1.85% (Peng Hailian et al., 2018)。

V-5号矿体:位于矿区东部,呈NW—SE走向。矿化体地表出露长约702 m,采样控制厚度13.44 m。 Li_2O 品位平均为2.31%, BeO 为0.055%, Rb_2O 为0.11%, Nb_2O_5 为0.018%, Ta_2O_5 为0.008% (Peng Hailian et al., 2018)。

表 1 白龙山锂铍钽多金属矿床主要矿体一览表

Table 1 The schedule of the ore body in Bailongshan lithium polymetallic deposit

伟晶岩脉群编号	矿体编号	长度(m)	厚度(m)	Li ₂ O	BeO	Rb ₂ O	Cs ₂ O	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅
				平均含量(%)	平均含量(%)	平均含量(%)	平均含量(%)	平均含量(%)	平均含量(%)
I	I-1	1230	61.86	1.26	0.055	0.100	0.005	0.011	0.003
	I-2	210	3.10	1.53	0.062	0.079	0.005	0.020	0.020
	I-3	120	1.80	2.21	0.040	0.088	0.009	0.005	0.002
	I-4	390	9.66	0.008	0.097	0.067	0.003	0.012	0.002
	I-5	410	5.64	0.03	0.060	0.033	0.004	0.023	0.003
	I-6	230	1.88	0.05	0.055	0.032	0.004	0.009	0.001
	I-7	310	3.76	0.045	0.082	0.057	0.007	0.007	0.001
	I-8	180	9.37	0.045	0.450	0.049	0.002	0.016	0.002
II	II-1	730	115.85	1.47	0.057	0.120	0.012	0.013	0.006
	II-2	160	11.56	1.96	0.042	0.091	0.008	0.012	0.006
	II-3	290	3.85	1.68	0.074	0.034	0.004	0.009	0.002
	II-4	450	34.67	1.83	0.055	0.054	0.005	0.013	0.004
	II-5	520	7.70	2.77	0.046	0.077	0.017	0.031	0.015
	II-6	320	26.96	2.07	0.071	0.066	0.015	0.017	0.010
	II-7	490	19.26	2.48	0.048	0.112	0.012	0.010	0.006
	II-8	590	5.80	3.06	0.011	0.036	0.006	0.006	0.004
	II-9	170	2.20	5.47	0.007	0.057	0.009	0.008	0.011
	II-10	170	2.20	1.99	0.052	0.069	0.006	0.015	0.009
III	III-1	420	23.50	1.52	0.012	0.039	0.003	0.028	0.010
	III-2	990	97.96	1.60	0.054	0.139	0.009	0.014	0.007
	III-3	150	9.00	2.56	0.010	0.093	0.033	0.014	0.007
	III-4	660	9.50	3.40	0.017	0.039	0.006	0.009	0.007
	III-5	480	5.00	2.54	0.045	0.130	0.010	0.010	0.020
	III-6	140	9.30	2.26	0.037	0.190	0.018	0.019	0.006
	III-7	220	5.00	1.13	0.079	0.028	0.004	0.070	0.050
	III-8	160	3.20	2.33	0.047	0.052	0.004	0.019	0.006
	III-9	110	2.80	3.44	0.029	0.026	0.002	0.017	0.008
	III-10	75	5.50	2.10	0.079	0.027	0.003	0.056	0.019
	III-11	100	3.00						
	III-12	90	2.00						
IV	IV-1	530	45.52	2.17	0.054	0.092	0.010	0.014	0.007
	IV-2	290	26.8	1.66	0.046	0.028	0.009	0.011	0.002
	IV-3	310	5.60	2.78	0.056	0.046	0.002	0.028	0.008
	IV-4	65	8.30	1.96	0.042	0.091	0.008	0.012	0.006
	IV-5	390	53.03	1.88	0.063	0.153	0.020	0.015	0.009
五〇九道班 西锂矿区 (Peng Hailian et al., 2018)	V-1	339	25.80	1.93	0.040	0.110	0.010	0.016	0.006
	V-2	369	13.51	1.85	0.027	0.045	0.008	0.014	0.002
	V-3	708	5.17	2.81	0.044	0.079	0.009	0.009	0.003
	V-4	673	7.10	1.61	0.063	0.079	0.012	0.017	0.012
	V-5	702	13.44	2.31	0.055	0.110	0.009	0.018	0.008
	V-6	360	5.60	1.74					
	V-7	447	2.11	1.50					
	V-8	357	14.08	0.93					
	V-9	270	4.61	2.05					
	V-10	323	4.72	2.15					
	V-11	180	4.04	3.44			0.011	0.008	0.005
	V-12	140	2.15	0.73					
	V-13	120	3.00						
	V-14	170	8.75	2.57					
	V-15	150	5.00						

2.3 矿石结构构造

2.3.1 矿石矿物

矿石矿物主要有锂辉石、锂白云母、磷锂铝石、绿柱石、铌钽铁矿、钽铌铁矿、锡石、氧化锰铁、铁锰磷酸盐、电气石、纤铁矿等。

锂辉石是矿石中主要的富锂矿物,约占30%~35%,呈淡灰色、灰白色,多呈粗大的半自形板状及板状晶体穿入石英及长石之间,少量为细晶状、锥晶板状晶体,晶体粒度小者一般在1 cm×2.5 cm~3 cm×2.5 cm,大者达15 cm×10 cm~25 cm×10 cm,比重为3.16,解理发育,其中部分锂辉石中有石英包裹体。

锂白云母约占2%~4%,矿石中含锂白云母含量较低,无色,玻璃光泽,多呈自形一半自形片状,有金属矿物沿片理浸染,部分结晶粗大的在手标本即可清晰辨认,少量结晶粒度相对细小的则多夹杂少量石英和长石分布于矿石的裂隙中。

磷锂铝石在矿石中含量很低,约占0.5%~1%,不规则细粒分布于锂辉石中,应是锂辉石的次生产物。

绿柱石约占0.1%~0.2%,为浅绿色,一般晶形较完整,但受应力作用易碎,分布极不均匀,有时呈包体产于锂辉石中,单矿物绿柱石产量极少。

铌钽铁矿,约占0.01%,矿石中铌钽矿物主要为细小的滴状,沿钠长石带中的裂隙或孔隙分布,常集群出现,个别为单矿物颗粒散布。

锡石,约占0.3%,多以结晶细小的乳滴状单矿物颗粒分布,夹杂于钠长石颗粒的间隙或解理缝中。

脉石矿物主要为石英(30%~35%)、钠长石(20%~25%),次为钾长石(3%~5%)、白云母(1%~3%)、磷灰石(0.1%~0.2%)。

2.3.2 矿石结构

矿区的伟晶岩矿脉矿石中主要见细粒伟晶结构、中粗粒伟晶结构、滴状结构等。其中以中粗粒结构含矿最为富集。

(1)中粗粒伟晶结构:矿物粒径1~10 cm,半自形中粗粒变余伟晶结构,块状构造,含45%~50%的长石,15%~30%的石英,3%~30%的锂辉石,<3%的白云母,有时有锡石、铌钽铁矿等组成,为含锂辉石的重要结构。

(2)细粒伟晶结构:矿物粒径0.5~1 cm,半自形柱状结构,由90%的长石、3%的磷铝石、3%的石英、3%的白云母及少量绢云母组成。

(3)滴状结构:钽铌矿物呈细小的滴状沿钠长

石带中的裂隙或孔隙分布。

2.3.3 矿石构造

矿石构造较简单,主要为条带状构造、块状构造。

(1)条带状构造:锂辉石、电气石等呈条带状分布于花岗伟晶岩中。

(2)块状构造:锂辉石等颗粒分布于斜长石或钾长石颗粒间或夹杂少量细粒石英、长石充填分布于岩石的裂隙中。

3 矿区伟晶岩脉群分带特征

3.1 伟晶岩脉群分带

白龙山矿区伟晶岩分带比较明显,在I区段表现为区段伟晶岩脉群的分带(图3),石英闪长岩中心含大量黑色电气石块体石英-长石伟晶岩脉及少量含石榴子石伟晶岩脉体(图5l),向北伟晶岩脉中黑色电气石颗粒逐渐变小,进入地层后向北远离石英闪长岩依次为含绿柱石石英-长石-白云母伟晶岩脉,再向北为一宽大于280 m的厚大伟晶岩脉,该伟晶岩脉内部结构带分为5个带,由南向北含墨绿色电气石石英-钠长石-白云母带、石英-白云母带、块体长石-石英带、钠长石-石英-锂辉石带和石英-锂辉石带,并与黑云母花岗岩接触。

II区段II-1矿体产出的伟晶岩脉内部分带由北向南为石英-锂辉石带(图5b)、钠长石-石英-锂辉石带(图5c)、块体长石-石英带和石英-白云母带组成,在石英-锂辉石带中见一含白云母石英带(图5a),为石英核,出露长35 m,宽6~10 m。

III区段北部的III-1、III-2、III-3含矿伟晶岩脉均为单一的石英-锂辉石伟晶岩脉(图5b),南部的III-4~III-9为钠长石-石英-锂辉石伟晶岩脉。

IV区段北部的IV-2、IV-5主要为石英-锂辉石伟晶岩脉,南部的IV-1、IV-3、IV-4为钠长石-石英-锂辉石伟晶岩脉(图5c)。

五〇九道班西锂矿为V区段伟晶岩脉分带最为明显,北部向南依次为石英-锂辉石伟晶岩脉、钠长石-石英-锂辉石伟晶岩脉、块体长石伟晶岩脉、含绿柱石石英-钠长石-白云母伟晶岩脉(图5d)。再向南为一宽大于1000 m的伟晶岩株,可见明显的内部结构带,由北向南依次为石英-白云母带(图5e,约6~15 m)、细粒条带状石英-电气石-白云母带(约200~250 m,图5f)、中粗粒石英-电气石-白云母带(约200 m)、块体石英-钠长石-白云母带(约150~300 m,图5g)、石英-钠长石-黑色电气石带(约300~500

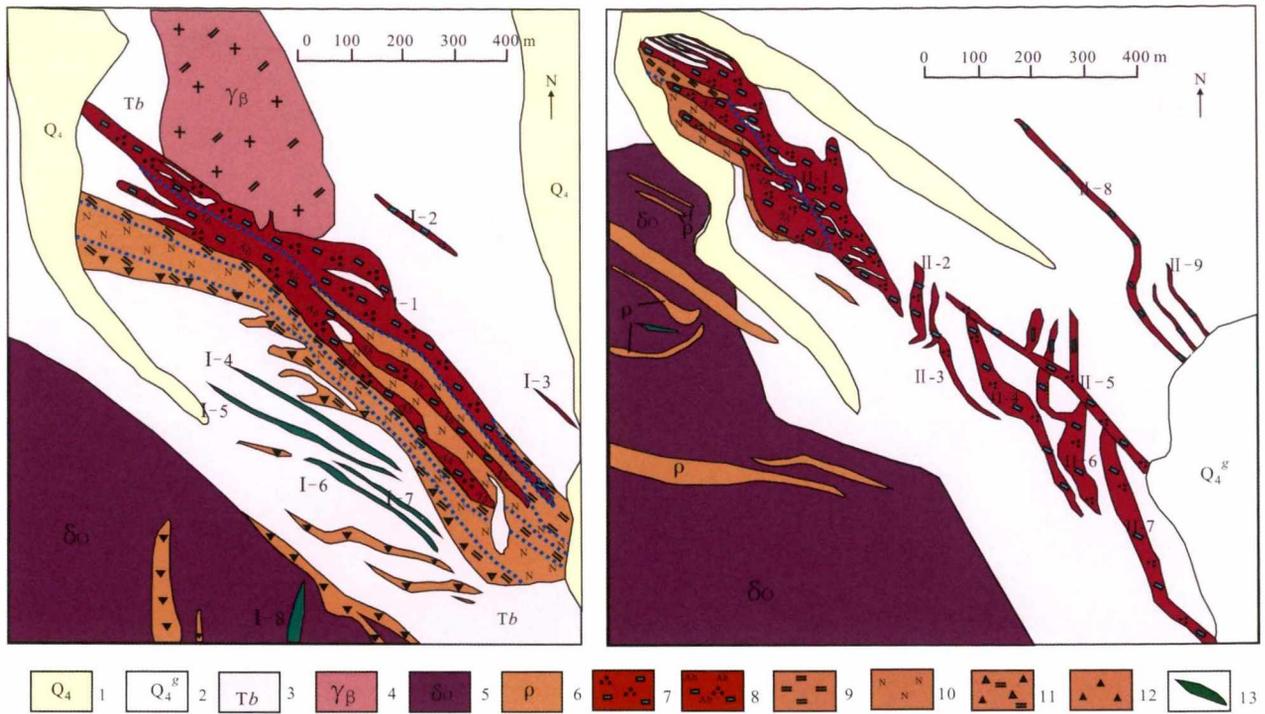


图 3 白龙山锂多金属矿 I 号、II 号段伟晶岩脉群分带

Fig. 3 Zoning of pegmatite vein group of I~II mining segments in Bailongshan lithium polymetallic deposit

1—第四系冲洪积物;2—第四系冰碛物;3—三叠系变砂岩、片岩;4—黑云母花岗岩;5—石英闪长岩;6—无矿伟晶岩;7—石英-锂辉石伟晶岩带;8—石英-锂辉石-钠长石伟晶岩带;9—白云母伟晶岩带;10—块体长石伟晶岩带;11—绿色电气石伟晶岩带;12—黑色电气石伟晶岩带;13—铍矿体

1—The Quaternary alluvial deposits;2—Quaternary glacial debris;3—Triassic metamorphic sandstone and schist;4—biotite granite;5—quartz diorite;6—barren pegmatite;7—quartz-spodumene pegmatite vein group;8—quartz-albite-spodumene pegmatite vein group;9—muscovite pegmatite vein group;10—blocky feldspar pegmatite vein group;11—green tourmaline pegmatite vein group;12—black tourmaline pegmatite vein group;13—beryllium ore body

m,图 5h)、梳状-文像结构带(0.3~0.5 m,图 5i)、细晶岩带、黑云母花岗岩与伟晶岩互层带(图 5j),最后向南进入含电气石二云母花岗岩。

3.2 伟晶岩脉群分带研究的找矿意义

含电气石二云母花岗岩约 400 m 宽,我们认为二云母花岗岩向南可能存在着类似北部伟晶岩脉群带,通过工作发现了与北部对称的伟晶岩脉群分带,向南依次见石英-钠长石-黑色电气石伟晶岩脉、块体石英-钠长石-白云母伟晶岩脉、石英-白云母伟晶岩脉、石英-钠长石-锂辉石伟晶岩脉、石英脉。

认识到南部伟晶岩脉有对称分带的特征,我们在矿区南 3 km 处发现了冰舟锂矿和白龙山东锂矿,向东追索又发现了雪盆锂矿和双牙锂矿。

4 成岩成矿年龄

本文对白龙山石英闪长岩和含锂辉石伟晶岩进行了成岩成矿年代学研究。

白龙山石英闪长岩体出露于俘虏沟喀拉喀什河

谷(图 6a),岩体整体被第四纪冲积物覆盖,岩体规模和侵入围岩没有被限定。岩石由斜长石、黑云母、角闪石、石英组成(图 6b)。在岩石中,斜长石约占 60%,半自形板状,杂乱分布,粒度一般为 0.5~3 mm,聚片双晶发育(图 6c、d);黑云母约占 15%,棕褐色,呈叶片装,片径为 0.5~2 mm。角闪石约占 15%,呈半自形柱状,杂乱分布,粒度一般 0.3~2 mm;石英约占 10%,呈他形粒状,粒径一般为 0.2~1 mm;副矿物为磷灰石、楣石、锆石等。

石英闪长岩中的锆石颗粒通常为自形,呈棱柱状,浅黄色,透明到半透明,长度一般为 100~300 μm ,长宽比集中于 2:1~3:1。CL 图像中显示,样品发育清晰的韵律环带,具有岩浆锆石的特征。锆石的 Th 为 $59 \times 10^{-6} \sim 216 \times 10^{-6}$, U 为 $96 \times 10^{-6} \sim 382 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.50~0.92,具有典型的岩浆锆石特征。18 个点位的 LA-ICP-MS U-Pb 定年分析,获得其加权平均年龄为 $212.3 \pm 1.6 \text{ Ma}$ (MSWD = 0.1, n=18)(图 7a, Wang He et al., 2020)。

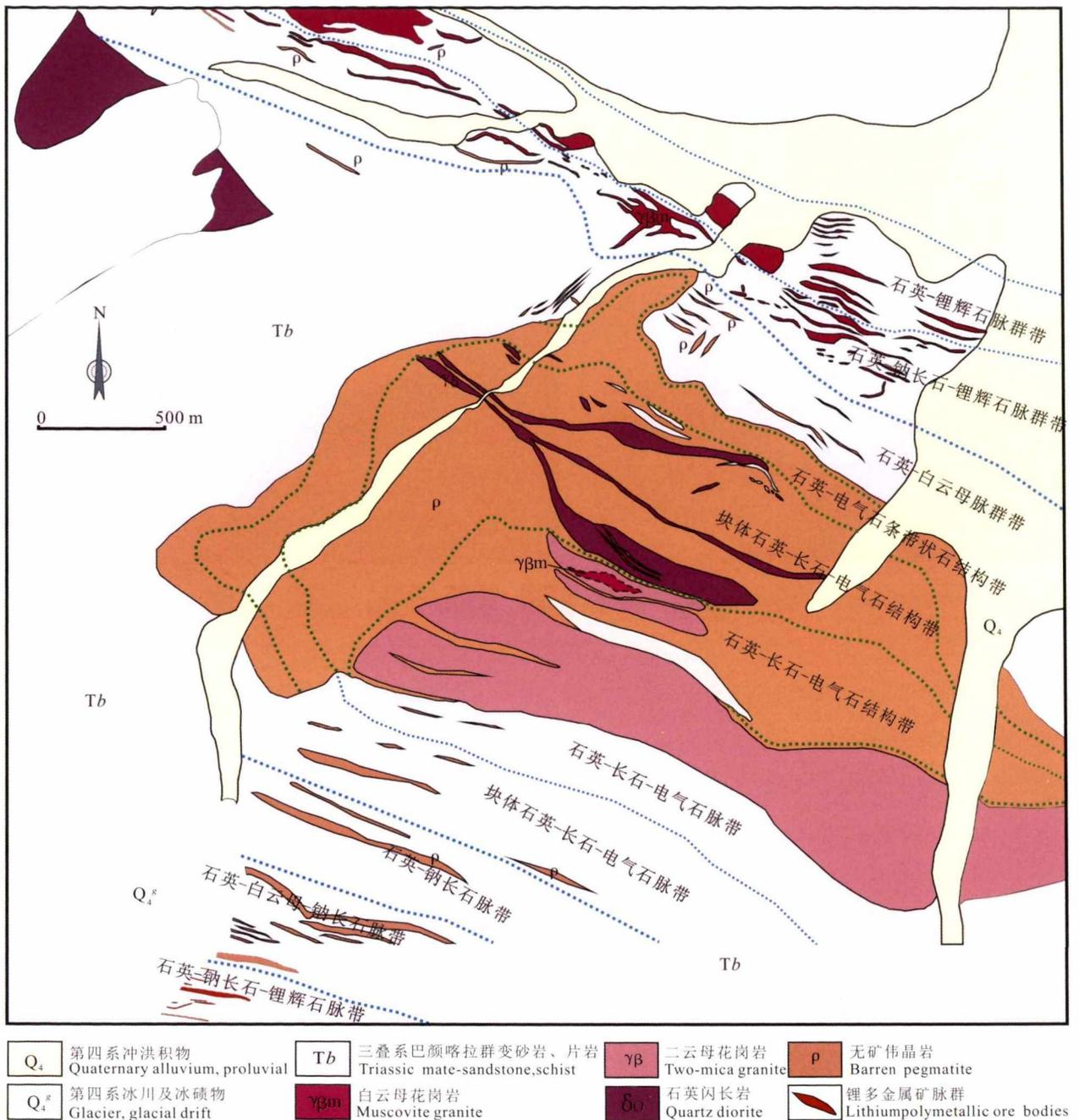


图4 白龙山锂多金属矿床Ⅲ~Ⅴ区段伟晶岩脉分带图

Fig. 4 Zoning of pegmatite vein group of Ⅲ~Ⅴ mining segments in Bailongshan lithium polymetallic deposit

铌钽铁矿颗粒一般长 200~430 μm, 宽 180~300 μm。铌钽铁矿的 Th 为 $1.08 \times 10^{-6} \sim 11.67 \times 10^{-6}$, U 为 $447 \times 10^{-6} \sim 3248 \times 10^{-6}$ 。24 个点位的 LA-ICP-MS U-Pb 定年分析, 获得其加权平均年龄为 208.1 ± 1.5 Ma (MSWD = 0.30, n = 24) (图 7b; Wang He et al., 2020)。

5 成矿构造环境

对大红柳滩-白龙山一带的片麻状二云母花岗

岩中 46 个锆石点位进行 U-Pb 定年测定, 获得加权平均年龄 209.7 ± 1.3 Ma, MSWD = 0.11 (Wei Xiaopeng et al., 2017)。白龙山地区石英岩体和伟晶岩均在晚三叠世结晶, 两者可能有密切的成因联系。大红柳滩岩体二云母花岗岩和二长花岗岩在 Rb-(Y+Nb)图解和 Rb-(Yb+Nb)图解 (Pearce et al., 1984) 中的投影点均落在同碰撞花岗岩区域内 (图 8; Wei Xiaopeng et al., 2017)。二云母花岗岩和二长花岗岩在 Hf-Rb/10-Ta × 3 图解 (Harris et al.,

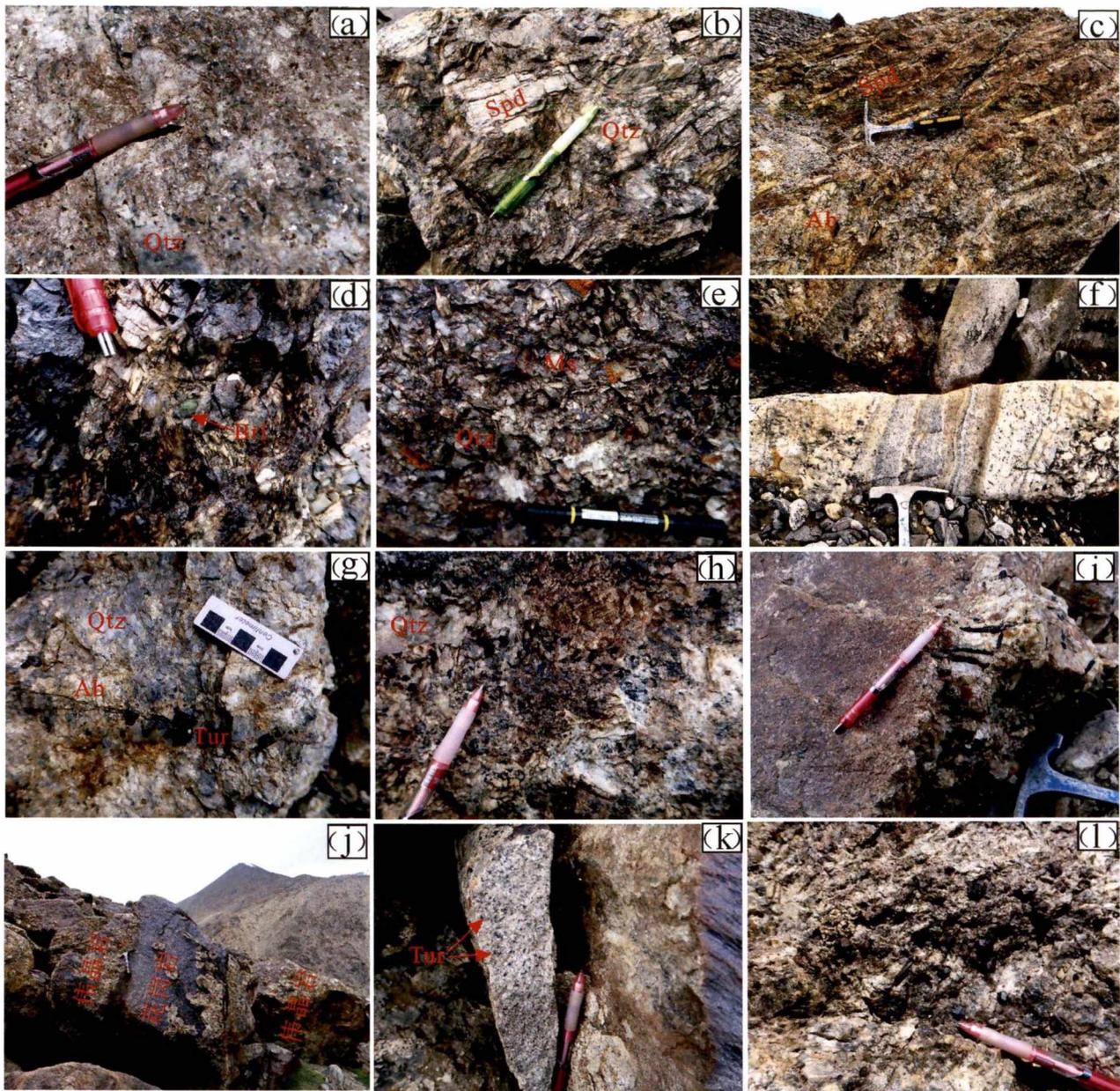


图 5 白龙山锂多金属矿床伟晶岩分带特征野外照片

Fig. 5 Photographs showing various types of pegmatites in Bailongshan lithium polymetallic deposit

(a)一含白云母石英核带;(b)一石英-锂辉石伟晶岩;(c)一钠长石-石英-锂辉石伟晶岩;(d)一绿柱石-钠长石-石英伟晶岩;(e)一石英-白云母伟晶岩;(f)一条带状伟晶岩与细晶岩互层;(g)一块体石英-钠长石-黑电气石伟晶岩;(h)一石英-长石-电气石伟晶岩;(i)一石英长石细晶岩及梳状构造;(j)一伟晶岩与花岗岩互层;(k)一含电气石二云母花岗岩;(l)一花岗闪长岩中的含石榴子石伟晶岩脉;Qtz—石英;Spd—锂辉石;Ab—钠长石;Brl—绿柱石;Ms—白云母;Tur—电气石

(a)—Quartz nuclear belt containing muscovite; (b)—quartz-spodumene pegmatite; (c)—albite-quartz-spodumene pegmatite; (d)—beryl-albite-quartz pegmatite; (e)—quartz-muscovite pegmatite; (f)—interbedded banded pegmatite and aplite; (g)—blocky quartz-albite- black tourmaline pegmatite; (h)—quartz-feldspar-tourmaline pegmatite; (i)—quartz- feldspar aplite and dressing structure; (j)—interbedded banded granite and pegmatite; (k)—tourmaline-containing mica granite; (l)—pegmatite vein containing garnet in granodiorite; Qtz—quartz; Spd— spodumene; Ab—albite; Brl— beryl; Ms—muscovite; Tur—tourmaline

1986)和 R1-R2 图解(Batchelor et al. ,1985)中也都是落在同碰撞花岗岩区域(图 8;Wei Xiaopeng et al. , 2017)。由此推断,大红柳滩-白龙山一带花岗岩可能形成于同碰撞造山环境。

大红柳滩-白龙山地区发育伟晶岩超过 7000 条,大红柳滩(阿克塔什)伟晶岩的铌钽铁矿 U-Pb 年龄为 211.9 ± 2.4 Ma,锡石 U-Pb 年龄为 218 ± 12 Ma(Yan Qinhe et al. , 2018),这说明白龙山-大红

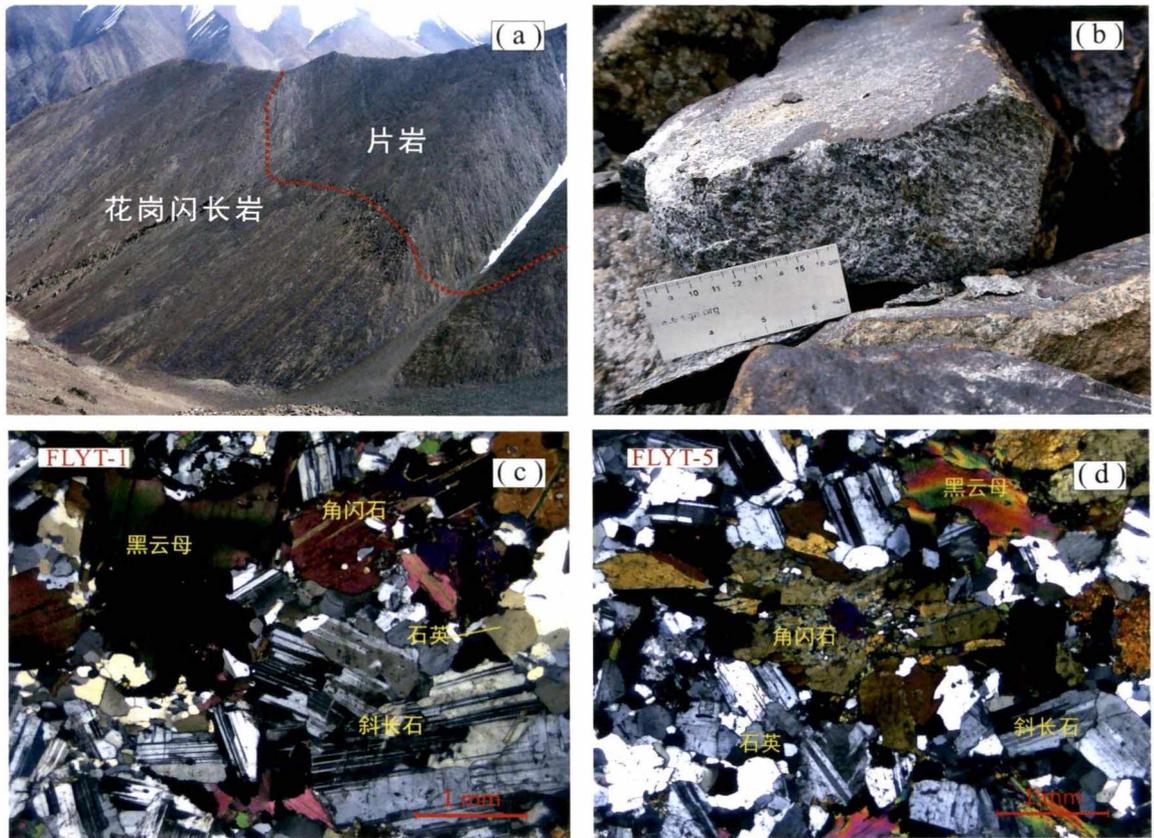


图 6 白龙山石英闪长岩体、手标本及显微照片(正交偏光)

Fig. 6 Field photos, hand specimen and micrograph of quartz diorite in Bailongshan

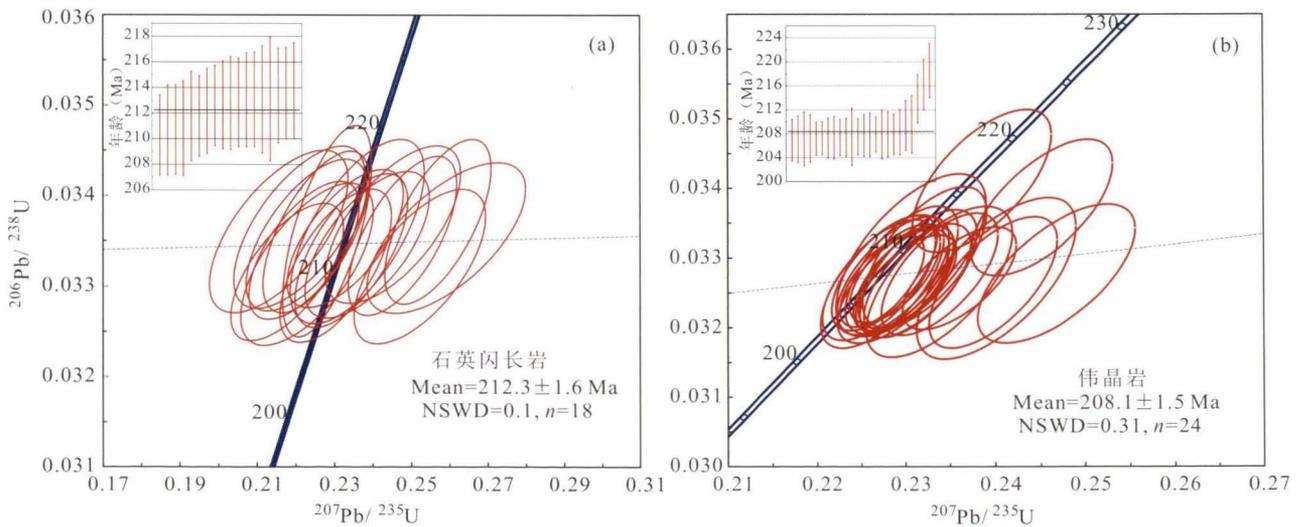


图 7 白龙山矿床石英闪长岩锆石 U-Pb 谐和图(a)和伟晶岩铌钽铁矿 U-Pb 谐和图(b)(据 Wang He et al., 2020)

Fig. 7 Zircon U-Pb concordia diagrams and weighted mean age calculation for the Bailongshan quartz diorite(a); concordia plots of the Bailongshan coltan(b)(after Wang He et al., 2020)

柳滩地区的伟晶岩主要形成于晚三叠世,与广泛分布于西昆仑造山带的三叠纪花岗岩几乎同时期。在区域上,甜水海地体晚三叠世主要为一套深海复理石建造,大规模的山间磨拉石建造主要发生在白垩

纪,以铁流滩组红色砾岩、砂砾岩不整合于侏罗纪地层之上为代表。因此白龙山一带稀有金属矿床可能不是形成于造山后的伸展环境,而是形成于同碰撞造山环境。

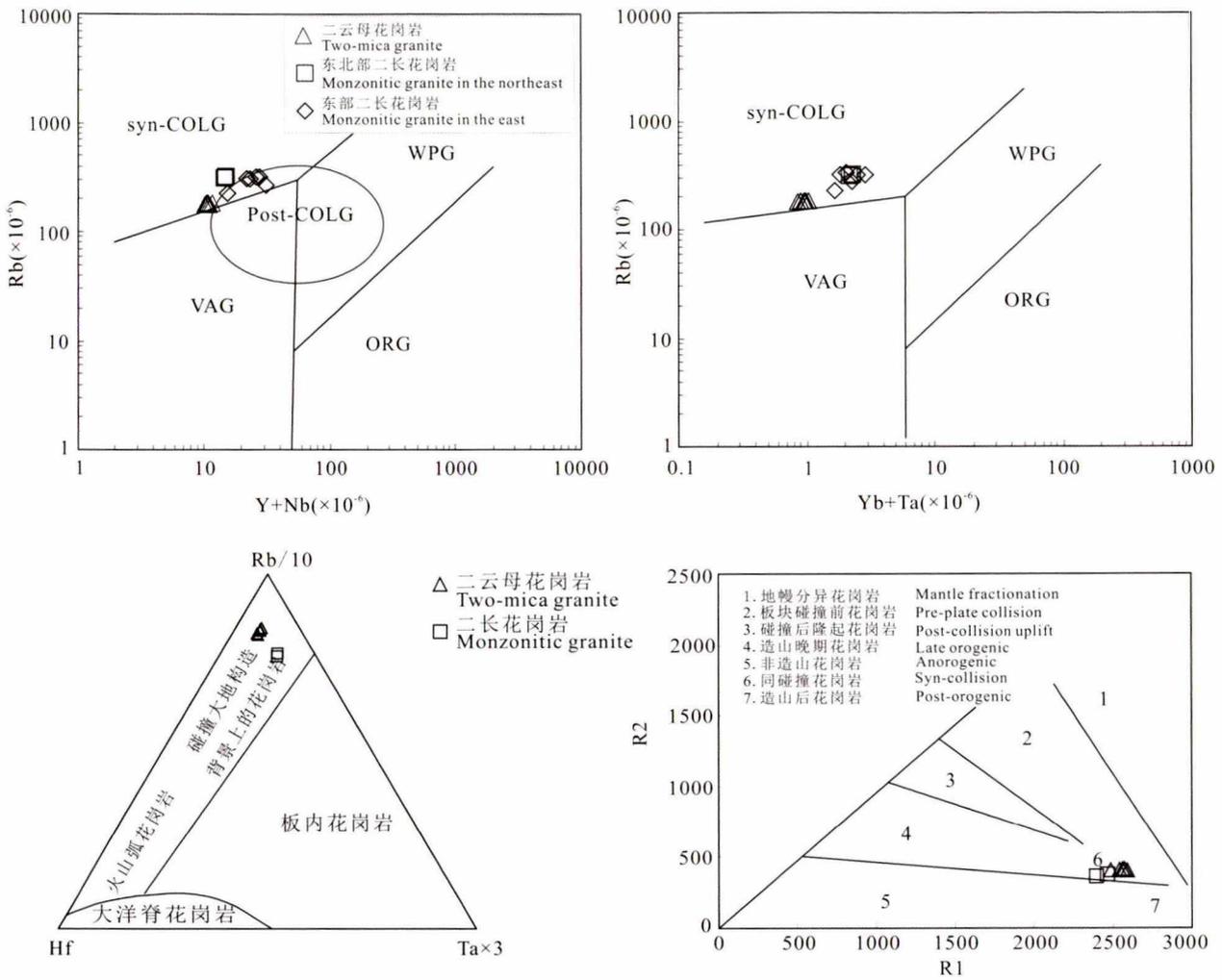


图 8 大红柳滩花岗岩的构造背景判别图解(据 Pearce et al., 1984; Harris et al., 1986; Batchelor et al., 1985; Wei Xiaopeng et al., 2017)

Fig. 8 Structural background discrimination diagram of granite in Dahongliutan

(after Pearce et al., 1984; Harris et al., 1986; Batchelor et al., 1985; Wei Xiaopeng et al., 2017)

WPG—板内花岗岩; ORG—洋中脊花岗岩; VAG—岛弧花岗岩; syn-COLG—同碰撞花岗岩; Post-COLG—后碰撞花岗岩;

$$R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti); R2 = 6Ca + 2Mg + Al$$

WPG—intraplate granite; ORG—granite in the mid-ocean ridge; VAG— island arc granite; syn-COLG—syn-collision granite;

Post-COLG—post-collision granite; $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti); R2 = 6Ca + 2Mg + Al$

6 矿床成因类型——LRN 型锂矿

白龙山锂铍钼多金属矿床含矿伟晶岩与 LCT/NYF 型伟晶岩对比, 含矿伟晶岩富含 Li、Rb 和 Be, 伟晶岩总成分过铝质, 与 LCT 型锂矿类似, 但白龙山含矿伟晶岩与 LCT 型锂矿有着明显的不同点: ① 白龙山含矿伟晶岩 Nb>Ta 与 LCT 型锂矿伟晶岩 (Ta>Nb) 不同, 明显的不符合 LCT(Li-Cs-Ta) 中 Ta 为优势元素命名的原则; ② 白龙山含矿伟晶岩中 Cs 的含量极低, 未见有铯榴石等矿物, 明显不符合 LCT(Li-Cs-Ta) 中 Cs 为优势元素命名的原则; ③ 白龙山含矿伟晶岩中未见锂云母, 不同于典

型的 LCT 型锂矿。鉴于此, 白龙山锂矿富含成矿元素主要为 Li、Rb 和 Be, 其中 Li 和 Rb 均达到或超过工业矿品位, 另外有明显的 Nb>Ta 特征, 可见白龙山锂矿优势的成矿元素为 Li、Rb 和 Nb。这种新的锂矿类型我们认为命名为 LRN(Li-Rb-Nb) 较为合适。

白龙山锂辉石中的包裹体类型主要为 H₂O+液态 CO₂+气态 CO₂ 三相包裹体。流体包裹体的大小普遍分布在 2~20 μm 之间, 最大可达到 100 μm 以上, 包裹体呈柱状、梭状。均一温度主要分布于 290~340℃ 之间, 均一状态可见临界均一、均一至气相以及均一至液相; 盐度分布在 10.2%~

17.48%之间。初步测试显示成矿流体为较高盐度,中高温流体。在测试中,发现了流体不混溶现象,在同一组的流体包裹体中,不同包裹体之间气液相比

值相差较大,均一状态不同,但却有着相同的捕获温度和压力,暗示发生了流体不混溶,推测流体不混溶与锂大规模富集成矿有着密切的联系。

表2 白龙山锂矿含矿伟晶岩与LCT/NYF型伟晶岩对比(据Černý et al., 2005)

Table 2 Comparison between ore-bearing pegmatite and LCT/NYF pegmatite in Bailongshan lithium deposit (after Černý et al., 2005)

	LCT(Li-Cs-Ta)	NYF(Nb-Y-F)	白龙山锂矿含矿伟晶岩 LRN(Li-Rb-Nb)
地球化学特征	Li, Rb, Cs, Be, Sn, Ga, Ta > Nb (B, P, F)	Nb > Ta, Ti, Y, Sc, REE, Zr, U, Th, F	Li, Rb, Be, Nb > Ta (B, P, F)
伟晶岩总成分	过铝质至次铝质	次铝质至低铝质(至次碱质)	过铝质(A/CNK=1.5~4.7)
构造背景/ 相关花岗岩	(同造山至)造山晚期(至非造山); 极不均一 S 及 I 型	(同造山、造山晚期、造山后)至非造山; 近均一 A 及 I 型	造山期; 极不均一 S 及 I 型
源区岩石	未亏损的中上地壳表壳岩(变质泥岩、浊积岩)和基底片麻岩, 无幔源	亏损中下地壳麻粒岩、新生花岗岩及地幔交代的地壳	未亏损的中上地壳表壳岩(变质泥岩、浊积岩)石, 石英闪长岩具有幔源成因

表3 白龙山锂辉石包裹体测温结果

Table 3 Inclusion thermometry of spodumene in Bailongshan lithium deposit

包裹体编号	样号	大小(μm)	包裹体类型	$T_{m, \text{cla}}$ (°C)	T_{h, CO_2} (°C)	$T_{h, \text{tot}}$ (°C)	均一相态	盐度(%)
1	6-4-4	15	H ₂ O-LCO ₂ -VCO ₂	3.6	22.2	303.2	气相	11.06
2		14.5	H ₂ O-LCO ₂ -VCO ₂	3.9	24.9	320.5	气相	10.62
3		9	H ₂ O-LCO ₂ -VCO ₂	4.2	22.3	299.5	气相	10.19
4		15	H ₂ O-LCO ₂ -VCO ₂	3.8	19.4	307.4	液相	10.77
5		21	H ₂ O-LCO ₂ -VCO ₂	4.1	25.8	314.1	液相	10.33
6	2-1-1	10.5	H ₂ O-LCO ₂ -VCO ₂	-0.2	23.8	317.1	气相	15.72
7		9.0	H ₂ O-LCO ₂ -VCO ₂	-0.5	23.7	307.7	临界均一	16.02

注:样品 6-4-4、2-1-1 均来自白龙山 II-1 号矿体; $T_{m, \text{cla}}$ = CO₂ 笼合物融化温度, T_{h, CO_2} = CO₂ 部分均一温度, $T_{h, \text{tot}}$ = 均一温度。

7 结论

(1) 在新疆和田县喀喇昆仑腹地白龙山发现了一处超大型锂铍钽多金属矿床, 标志着整个西昆仑-喀喇昆仑区域在稀有金属矿产找矿方面实现了重大突破。确定含矿伟晶岩脉群带长度 > 8250 m, 宽度 200~500 m, 在白龙山锂多金属矿区划分出 6 个矿化区段共计锂多金属矿体 47 条, 铍矿体 5 条, 其中 I-1、II-1、III-2、V-1、VI-5 矿体规模巨大, 长 702~1230 m, 厚 13.44~115.85 m, 5 个主矿体 Li₂O 平均品位 1.26%~2.31%, BeO 平均品位 0.54%~0.63%, Rb₂O 平均品位 0.11%~0.18%, Nb₂O₅ 平均品位 0.011%~0.018%, Ta₂O₅ 平均品位 0.003%~0.009%, 估算 334 资源量 Li₂O 为 506 万 t, 伴生 BeO 为 16 万 t, Rb₂O 为 31 万 t, Nb₂O₅ 为 4 万 t, Ta₂O₅ 为 1.75 万 t, 是一个世界级规模的超大型锂铍钽多金属矿床。

(2) 对白龙山伟晶岩脉群初步进行了分带, 根据以二云母花岗岩为中心向北和向南存在对称的伟晶岩脉群分带现象, 在矿体南 3 km 处发现了冰舟锂

矿和白龙山东锂矿。

(3) 白龙山矿床形成于碰撞造山环境, 与典型的 LCT 锂矿不尽相同, 具有独自特点, 我们重新进行了对比划分, 并提出白龙山锂矿为 LRN(Li-Rb-Nb) 型锂矿的新观点。

References

- Batchelor R A, Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48(1-4): 43~55.
- Černý P, Ercit T S. 2005. The classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian Mineralogist*, 43: 2005~2026.
- Grosjean C, Miranda P H, Perrin M, Poggi P. 2012. Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 1735~1744.
- Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. 1986. *Geochemical characteristics of collision zone magmatism*. Geological Society, London, Special Publications, 19: 67~81.
- Hu Jun, Wang He, Huang Chaoyang, Tong Laixi, Mu Shenglu, Qiu Zengwang. 2016a. Geological characteristics and age of the Dahongliutan Fe-ore deposit in the West Kunlun orogenic belt, Xinjiang, northwestern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 116: 1~25.
- Hu Jun, Wang He, Han Hongwei, Wei Yong, Mu Shenglu. 2016b. Genesis of the Dahongliutan iron deposit in the Tianshuihai Terrane, West Kunlun and its prospecting significance.

- Geotectonica et Metallogenia, 40(5): 949~959 (in Chinese with English abstract).
- Hu Jun, Wang He, Wang Min. 2017. Provenance and tectonic setting of siliciclastic rocks associated with the Neoproterozoic Dahongliutan BIF; implications for the Precambrian crustal evolution of the Western Kunlun orogenic belt, NW China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 147: 95~115.
- Kesler S E, Gruber P W, Medina P A, Keoleian G A, Everson M P, Wallington T J. 2012. Global lithium resources; relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geology Reviews*, 48: 55~69.
- Li Jiankang, Liu Xifang, Wang Denghong. 2014. The metallogenetic regularity of lithium deposit in China. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2269~2282 (in Chinese with English abstract).
- Li Jiankang, Zou Tianren, Liu Xifang, Wang Denghong, Xin Ding. 2015. The metallogenetic regularities of lithium deposits in China. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 89(2): 652~670.
- Liu Lijun, Wang Denghong, Liu Xifang, Li Jiankang, Dai Hongzhang, Yan Weidong. 2017. The main types, distribution features and present situation of exploration and development for domestic and foreign lithium mine. *Geology in China*, 44(2): 263~278 (in Chinese with English abstract).
- Martin G, Rentsch L, Höck M, Bertau M. 2017. Lithium market research-global supply, future demand and price development. *Energy Storage Materials*, 6: 171~179.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace-element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic-rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956~983.
- Peng Hailian, He Ningqiang, Wang Mancang, Du Biao, Li Wujie, Liu Youqi. 2018. Geological characteristics and metallogenetic regularity of West Track 509 rare polymetallic deposit in Dahongliutan region, Hetian, Xinjiang. *Northwestern Geology*, 51(3): 146~154 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Sun Yan, Liu Xifang, Tian Shihong, Dai Jingjing, Liu Lijun, Ma Shengchao. 2018. Deep exploration technology and prospecting direction for lithium energy metal. *Geological Survey of China*, 5(1): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Wang He, Li Pei, Ma Huadong, Zhu Bingyu, Qiu Lin, Zhang Xiaoyu, Dong Rui, Zhou Kailin, Wang Ming, Wang Qian, Yan Qinghe, Wei Xiaopeng, Gao Hao. 2017. Discovery and its prospecting implication of Bailongshan superlarge lithium-rubidium deposit in Karakorum, Hetian, Xinjiang. *Geotectonica et Metallogenia*, 41(6): 1053~1062 (in Chinese with English abstract).
- Wang He, Gao Hao, Ma Huadong, Zhu Bingyu, Xin Chunhui, Zhou Kailin, Zhu Baozhang, Wang Zhenghong, Wang Ming, Dong Rui, Yan Qinghe, Zhang Xiaoyu. 2020. Preliminary study on geological characteristics and pegmatite vein group zoning of Xuefengling lithium deposit, Xuepen lithium deposit, Shuangya lithium deposit in Karakorum, Hetian, Xinjiang. *Geotectonica et Metallogenia*, 44(1): 57~68 (in Chinese with English abstract).
- Wei Xiaopeng, Wang He, Hu Jun, Mu Shenglu, Li Pei, Qiu Zeng, Wang, Yan Qinghe. 2017. Geochemistry and Geochronology of Dahongliutan two-mica Granite pluton, Western Kunlun orogen; implication for tectonic. *Geochimica*, 46(1): 66~80 (in Chinese with English abstract).
- Wei Xiaopeng, Wang He, Zhang Xiaoyu, Dong Rui, Zhu Shibo, Li Pei, Yan Qinhe, Zhou Kailin. 2018. Petrogenesis of Triassic high-Mg diorites in the Western Kunlun Orogen and its tectonic implication. *Geochimica*, 47(4): 363~379 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Wang Rucheng, Zhao Zhongbao, Fu Xiaofang. 2018. On the structural background of the large-scale "Hard-rock type" lithium ore belts in China. *Geology in China*, 92(6): 1091~1106 (in Chinese with English abstract).
- Yan Q H, Qiu Z W, Wang H, Wang M, Wei X P, Li P, Zhang R Q, Li C Y, Liu J P. 2018. Age of the Dahongliutan rare metal pegmatite deposit, West Kunlun, Xinjiang (NW China): Constraints from LA-ICP-MS U-Pb dating of columbite-(Fe) and cassiterite. *Ore Geology Reviews*, 100: 561~573.
- Zhai Mingguo, Wu Fuyuan, Hu Ruizhong, Jiang Shaoyong, Li Wenchang, Wang Rucheng, Wang Denghong, Qi Tao, Qin Kezhang, Wen Hanjie. 2019. Critical metal mineral resources; current research status and scientific issues. *Science Foundation in China*, 2: 106~111 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Bing, Sun Yixuan, Kong Deyi. 2011. Geological features and prospecting potential of rare metallic deposits in the Dahongliutan Region, Xinjiang. *Acta Geologica Sichuan*, 31(3): 288~292 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

- 胡军, 王核, 韩红卫, 魏勇, 慕生禄. 2016b. 西昆仑甜水海地块大红柳滩铁矿床成因浅析及找矿意义. *大地构造与成矿学*, 40(5): 949~959.
- 李建康, 刘喜方, 王登红. 2014. 中国锂矿成矿规律概要. *地质学报*, 88(12): 2269~2282.
- 刘丽君, 王登红, 刘喜方, 李建康, 代鸿章, 闫卫东. 2017. 国内外锂矿主要类型、分布特点及勘查开发现状. *中国地质*, 44(2): 263~278.
- 彭海练, 贺宁强, 王满仓, 杜彪, 李武杰, 刘幼骥. 2018. 新疆和田县大红柳滩地区 509 道班西稀有多金属矿地质特征与成矿规律探讨. *西北地质*, 51(3): 146~154.
- 王登红, 孙艳, 刘喜方, 田世洪, 代晶晶, 刘丽君, 马胜钊. 2018. 锂能源金属矿产深部探测技术方法与找矿方向. *中国地质调查*, 5(1): 1~9.
- 王核, 李沛, 马华东, 朱炳玉, 邱林, 张晓宇, 董瑞, 周楷麟, 王敏, 王茜, 闫庆贺, 魏小鹏, 何斌, 卢鸿, 高昊. 2017. 新疆和田县白龙山超大型伟晶岩型锂矿多金属矿的发现及其意义. *大地构造与成矿学*, 41(6): 1053~1062.
- 王核, 高昊, 马华东, 朱炳玉, 邢春辉, 周楷麟, 朱宝彰, 王振宏, 王敏, 董瑞, 闫庆贺, 张晓宇. 2020. 新疆和田县雪凤岭锂矿床、雪盆锂矿床和双牙锂矿床地质特征及伟晶岩脉群分带初步研究. *大地构造与成矿学*, 44(1): 57~68.
- 魏小鹏, 王核, 胡军, 慕生禄, 丘增旺, 闫庆贺, 李沛. 2017. 西昆仑大红柳滩二云母花岗岩地球化学和地质年代学研究及其地质意义. *地球化学*, 46(1): 66~80.
- 魏小鹏, 王核, 张晓宇, 董瑞, 朱士波, 邢春辉, 李沛, 闫庆贺, 周楷麟. 2018. 西昆仑东部晚三叠世高镁闪长岩的成因及其地质意义. *地球化学*, 47(4): 363~379.
- 魏小鹏. 2018. 西昆仑造山带三叠纪花岗岩类时空分布、岩石成因及其构造背景. *中国科学院大学*. 1~165.
- 许志琴, 王汝成, 赵中宝, 付小方. 2018. 试论中国大陆“硬岩型”大型锂矿带的构造背景. *中国地质*, 92(6): 1091~1106.
- 翟明国, 吴福元, 胡瑞忠, 蒋少涌, 李文昌, 王汝成, 王登红, 齐涛, 秦克章, 温汉捷. 2019. 战略性关键金属矿产资源: 现状与问题. *中国科学基金*, 2: 106~111.
- 周兵, 孙义选, 孔德懿. 2011. 新疆大红柳滩地区稀有金属矿成矿地质特征及找矿前景. *四川地质学报*, 31(3): 288~292.

Research progress on Bailongshan pegmatite type lithium deposit, Xinjiang

WANG He^{*1,2,3)}, XU Yigang^{1,2,3)}, YAN Qinghe^{1,2,3)}, ZHANG Xiaoyu^{1,2,3)}

1) CAS Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry,

Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China;

2) University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3) CAS Center for Excellence in Deep Earth Science, Guangzhou, Guangdong 510640, China

* Corresponding author: wanghe@gig.ac.cn

Abstract

The Dahongliutan-Bailongshan area has the most concentrated distribution of granitic pegmatite and the best mineralization of rare metals in the West Kunlun and Karakoram Mountains. In 2017, through multiple field surveys, systematic sampling and laboratory analysis, the project team confirmed that a super-large lithium rubidium polymetallic deposit was newly discovered in Bailongshan, Karakoram hinterland of Hotan County, Xinjiang Province, which is a granitic pegmatite-type deposit. At the same time, several granitic pegmatite type lithium polymetallic deposits, such as Xuefengling, Xuepen, Shuangya, Bingzhou, Bailongshannan and Dahongliutan East (496), have been discovered in Dahongliutan-Bailongshan. For the Bailongshan lithium polymetallic deposit, it has been determined that the ore-bearing pegmatite vein group belt has a length of >8250 m and a width of 46~165 m, and can be divided into 5 ore-bearing pegmatite vein group belts. A total of 166 ore-bearing pegmatite veins have been found, of which 52 have been studied. The length of ore-bearing pegmatite veins is 50~1230 m, the width is 1.5~157 m, the average grade of Li_2O is 0.93%~3.44%, BeO is 0.54%~0.63%, Rb_2O is 0.11%~0.18%, Nb_2O_5 is 0.011%~0.018%, Ta_2O_5 is 0.003%~0.009%. The Xinjiang Kunlun Blue Diamond Mining Development Co., Ltd. has explored some sections in the first phase of exploration. At present, the controlled resource amount of Li_2O in the first phase of exploration exceeds 600000 tons, reaching a super-large scale. The project team predicts that the potential resources are 5.06 million tons of Li_2O , 160000 tons of associated BeO , 310000 tons of Rb_2O , 40000 tons of Nb_2O_5 and 17500 tons of Ta_2O_5 , which is expected to become a giant lithium deposit on world scale. The pegmatite dike group of the Bailongshan Lithium deposit has the phenomenon of symmetrical zonation of pegmatite dike group with the center of two-mica granite in the north and south. The deposit was formed in the collision orogenic environment, which is different from the typical LCT and NYF type Lithium deposit, and has its unique characteristics. A new viewpoint that the Bailongshan lithium deposit is the LRN (Li-Rb-Nb) type lithium deposit is proposed.

Key words: West Kunlun-Karakoram; Bailongshan; pegmatite; lithium polymetallic deposit