

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2022.02.003

青海茶卡北山锂稀有多金属矿床 白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年及其地质意义

陈静¹, 韩杰², 余福承², 王秉璋², 李五福²

(1. 青海师范大学地理科学学院, 西宁 810016;

2. 青海省地质调查院, 西宁 810012)

摘要: 宗务隆构造带南侧的成矿环境与“马尔康-雅江-喀喇昆仑巨型锂矿带”具有很大的相似性,新发现的茶卡北山伟晶岩型锂多金属矿床证实此带是青藏高原北部的一条重要的锂、铍成矿带,该矿床内含矿伟晶岩主要为含锂辉石花岗岩伟晶岩和含绿柱石白云母花岗伟晶岩,形成于晚三叠世。对含矿白云母伟晶岩进行白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素测年结果显示,随着温度从 750 °C 逐渐升到 1100 °C,白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄坪非常平坦,其年龄值为 210.4 Ma—212.7 Ma,坪年龄为 212.60 Ma±0.64 Ma,与晚期伟晶岩结晶年龄相近,基本限定茶卡北山伟晶岩型锂稀有多金属矿床的成矿年龄为晚三叠世晚期。

关键词: 伟晶岩型;锂稀有多金属矿床;白云母;⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素测年;茶卡北山;青海省

中图分类号: P618.71:P597 **文献标识码:** A

0 引言

宗务隆(山)构造带地处青藏高原东北缘(图 1),在其南侧形成了具有规模的海西-印支期岩浆岩带,与“马尔康-雅江-喀喇昆仑巨型锂矿带”^[1]的成矿环境有很大的相似性^[2]。茶卡北山锂多金属矿是宗务隆构造带中首个被证实的锂稀有多金属矿床,该矿床的发现可推断宗务隆构造带东段可能是青藏高原北部一条新的、重要的锂、铍成矿带^[2]。

茶卡北山锂多金属矿床为近两年的新发现,目前仅有王秉璋等^[2]对其成矿地质特征、成岩时代以及成矿环境进行过初步探讨,认为含矿伟晶岩形成时代为 217.0 Ma±1.8 Ma—235.9 Ma±2.3 Ma,是变质基底达肯大坂岩群重熔形成的高分异花岗岩,形成于宗务隆构造带晚三叠世碰撞或后碰撞构

造阶段。由于文献[2]得出的含矿伟晶岩形成时代跨度较大(约 18 Ma),并不能约束该矿床的成矿时代,因此,本文将通过对含绿柱石白云母伟晶岩中的白云母进行⁴⁰Ar-³⁹Ar 热年代学研究,以限定茶卡北山伟晶岩型锂多金属矿床的形成时代,这对在该区进一步开展稀有金属矿床找矿研究具有重要意义。

1 成矿地质背景及伟晶岩特征

茶卡北山地区位于宗务隆构造带东段(图 1),出露地层主要有中新元古界达肯大坂岩群,由片麻岩、片岩和大理岩组成,其次分布有石炭-二叠系甘家组砂岩-灰岩组及早中三叠统隆务河组碎屑岩相浊积岩。区内断裂主体为 NW-SE 向,与地层走向基本一致(图 2a)。侵入岩主要为奥陶纪辉长岩-闪

收稿日期: 2021-09-17; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 国家自然科学基金(编号:41862011)、中国科学院“西部之光”人才培养引进计划和青海省省级财政资金勘查项目(编号:2020021022jc013)联合资助。

作者简介: 陈静(1982—),女,副教授,研究方向矿物学、岩石学、矿床学专业,主要从事地质科研工作。通信地址:青海省西宁市城北区学院路,青海师范大学地理科学学院;邮政编码:810016;E-mail:2019194@qhnu.edu.cn

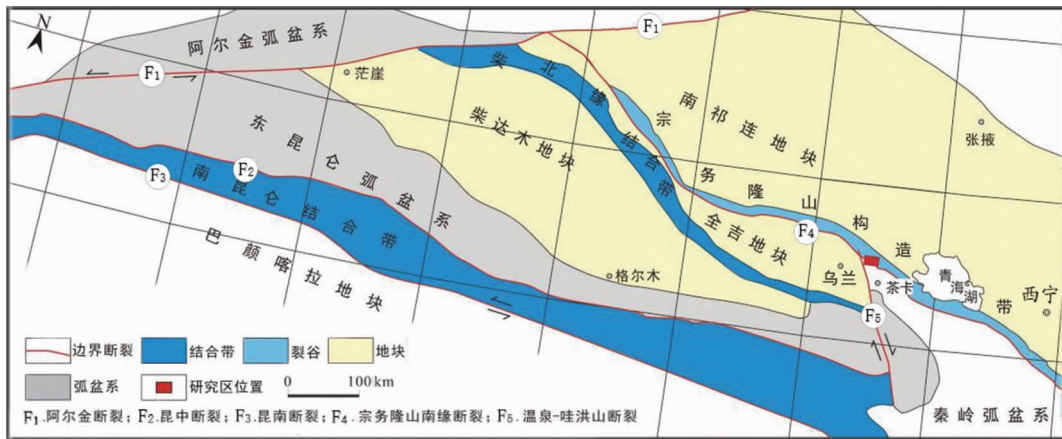
图 1 青藏高原东北缘地质构造分区略图(据潘桂棠等^[3],修改)

Fig. 1 Tectonic division map of northeast margin of the Qianghai-Tibet plateau

长岩组合、印支期花岗岩及广泛发育的伟晶岩脉。矿区内伟晶岩脉分布于元古代达肯大坂岩群片岩和奥陶纪石英闪长岩之中(图 2b)。

目前在茶卡北山矿区内已发现 356 余条伟晶岩脉,脉体规模大小不等,脉宽一般为 0.2~20 m,最宽者超过 40 m,长 50~400 m,呈透镜状、巢状、囊状、条带状等形态,多为 NW 向展布,部分为 EW 向、NE 向等,矿体倾角一般在 40~65°,整体倾向 NE。根据围岩岩性的不同,可将其划分为 3 条伟晶岩带,与区域构造线走向一致,均为 NW 向产出。

I 号伟晶岩带围岩为石英闪长岩,II 号带围岩为中粒二云石英片岩,III 号带围岩为糜棱岩化石英闪长岩。伟晶岩脉的岩性主要有 6 种:灰白色含锂辉石花岗伟晶岩、浅肉红色含绿柱石花岗伟晶岩、灰白色含绿柱石白云母花岗伟晶岩、灰白色含针状电气石细纹象结构花岗伟晶岩、灰白色粗纹象结构花岗伟晶岩、灰白色含粗粒电气石花岗伟晶岩。这些伟晶岩结晶年龄主要集中在晚三叠世晚期,均具有低且负的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值和古老的 t_{DM2} 模式年龄。王秉璋等^[2]认为,变质基底达肯大坂岩岩群为茶卡北山伟晶岩源岩,与宗务隆构造带内大面积出露的晚二叠世一早三叠世花岗岩并无成因上的联系。

2 围岩蚀变与矿化特征

茶卡北山锂多金属矿围岩蚀变主要沿构造破碎带、石英脉、伟晶岩脉、岩体和围岩的接触边缘,蚀变类型主要为钾化、碳酸盐化、绿帘石化、高岭土化、白云母化等。其中,白云母化和钾化与成矿关系密切,

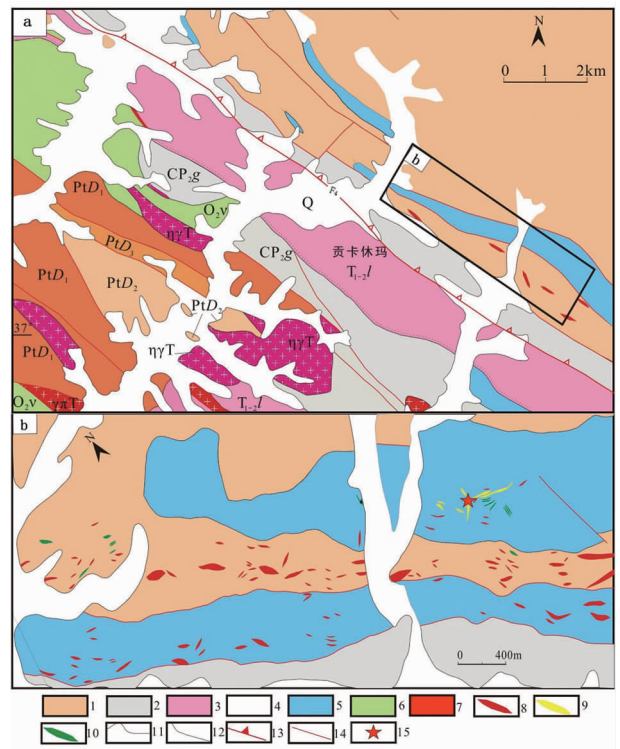


图 2 区域地质图及研究区伟晶岩分布

Fig. 2 Regional geological and pegmatite distribution map of the study area

a. 茶卡北山区地质图;b. 研究区伟晶岩分布图(据王秉璋等^[2])

1. 元古界达肯大坂岩群片岩岩组; 2. 石炭-二叠系甘家组;
3. 早中三叠统隆务河组; 4. 第四系;
5. 奥陶纪石英闪长岩; 6. 奥陶纪辉长岩; 7. 三叠纪花岗岩;
8. 伟晶岩(未分); 9. 含绿柱石锂辉石伟晶岩; 10. 含绿柱石伟晶岩;
11. 地质界线; 12. 角度不整合地质界线; 13. 区域性断裂;
14. 断裂; 15. 采样点

目前发现的铍矿化体均产于伟晶岩中,尤其是钾化、白云母化较强的伟晶岩中,即使未见绿柱石仍有铍

矿化。含矿岩石较为单一,均为花岗伟晶岩,岩性主要为灰白色含锂辉石花岗伟晶岩和灰白色含绿柱石白云母花岗伟晶岩。含锂辉石花岗伟晶岩矿石矿物主要有锂辉石、绿柱石、锂云母、铌钽铁矿等,脉石矿物主要有钾长石、斜长石、石英、白云母以及少量黑云母、磷灰石和锆石;含绿柱石白云母花岗伟晶岩矿石矿物为绿柱石(多数含量 $\leq 1\%$,少数可达 6%),脉石矿物主要有钠长石、石英、钾长石、白云母、绢云母、黑云母、电气石、石榴子石等。

3 样品采集及分析测试结果

3.1 样品采集及矿物学特征

本次 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素测年挑选的白云母采自茶卡北山锂稀有多金属矿区东部含绿柱石白云母伟晶岩,采样位置见图2b所示。

伟晶岩样品呈灰白色,伟晶结构,块状构造(图3a),主要成分为钠长石(约占 45%)、钾长石(约 20%)、石英(约 26%)、白云母-锂云母(约 4%)、绿柱石(3%)、电气石-石榴石(约 1%)、微量锆石+磷灰石及不透明金属矿物(约 1%)(图3b)。手标本和镜下特征观察,白云母样品新鲜,未受到后期蚀变

影响。

3.2 分析方法和测试结果

(1) 分析测试方法

白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素测年在澳大利亚墨尔本大学完成。将新鲜未蚀变的岩石样品清洁并粗碎至40目,经人工挑取合适颗粒,用酸进行处理(斜长石处理:超声波水浴(约 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$)中使用 3.5 mol/L HCl 60 min,后 7% HF 5 min,最后使用 1 mol/L HNO_3 60 min,并置于去离子水和丙酮中清洗;角闪石的处理方式:超声波水浴(约 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$)中使用 1 mol/L HNO_3 60 min,后置于去离子水和丙酮中清洗)。处理完的样品称重,并装入铝制的小包装,样品包装袋与标样(Fish Canyon tuff sanidine,年龄= $28.1260\text{ Ma}\pm 0.0093\text{ Ma}$ (1σ);Phillips等,2017)交错放置于硅酸盐玻璃管内(玻璃管型号UM#84)。后放置于美国地质调查局(USGS)的TRIGA反应堆中照射(40 MWhr)。经反应堆照射后,将矿物分离物从包装中取出。

$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素使用ThermoFisher ARGUS-VI多接收质谱仪进行激光分段升温分析,样品在 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下放气2 h,之后在 $500\sim 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 逐渐加热。达到所需温度需要大约3 min,每个加热步骤的持续时间为20 min。在样品被送入VG3600质谱仪之

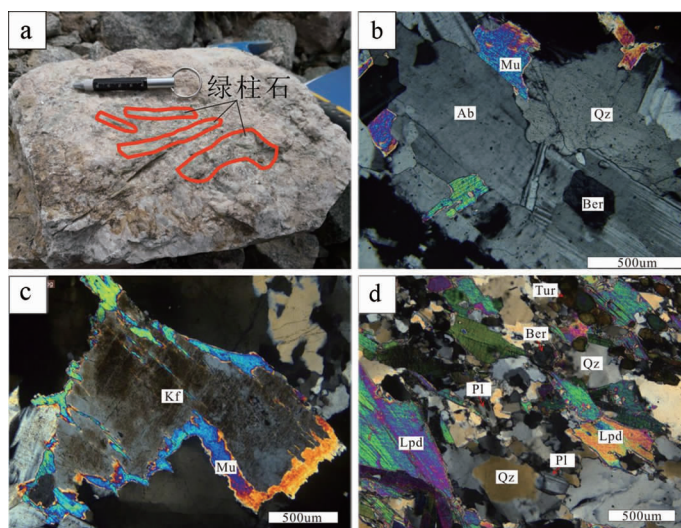


图3 青海茶卡北山锂稀有多金属矿床白云母伟晶岩特征

Fig. 3 Features of muscovite granitic pegmatite in Chaka Beisan Li-poly metallic deposit

a. 含绿柱石白云母伟晶岩(手标本); b-d. 伟晶岩薄片显微特征(+)

Ab. 钠长石; Qz. 石英; Kf. 钾长石; Lpd. 锂云母; Mu. 白云母;

Pl. 斜长石; Ber. 绿柱石; Tur. 电气石

前萃取气体,先由多台 SAES 锆-铝(Zr-Al)吸气剂净化清洗。

通过对标准空气体积的分析来检查质量歧视效应和仪器校准。修正干扰反应系数,数据集中显示了通过辐射测定的型号 UM#84 玻璃管中的高纯度 K 玻璃和 Ca 盐。发布的数据已经修正系统背景、质量歧视效应、梯度影响和大气污染。除非另有说明,与年龄测定相关的误差包括 J 值的不确定性、标样年龄误差影响和衰减常数^[4]。实验数据使用 ISOPLOT 程序计算坪年龄及正、反等时线^[5],坪年龄误差以 2σ 给出。

(2)测试结果

白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 测试数据结果见表 1,样品激光加热分为 12 个阶段(图 4)。

从图 4 可以看出,第 2 阶段到第 11 阶段随着温度从 750℃ 逐渐升到 1100℃,其年龄值基本差别不大(210.4 Ma—212.7 Ma),年龄坪非常平坦。³⁹Ar 释放量高于 50% 是检验形成的年龄坪真实性的主要依据^[6]。本次测试中 10 个温阶积累的³⁹Ar 释放量为 56.7%,表明坪年龄真实可靠。因此,本次对茶卡北山伟晶岩型锂多金属矿床含绿柱石白云母伟晶岩进行白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年的坪年龄为 212.60 Ma±0.64 Ma。

4 结果讨论及地质意义

云母不仅是伟晶岩整个岩浆阶段的结晶产物,也是热液过程的参与者。作为层状硅酸盐矿物,层间或八面体位置上可容纳锂、铷、铯、锡、铌、钽等稀有金属^[7]。因此,云母可以成为稀有金属重要的载体

矿物,从而为研究花岗岩或伟晶岩中稀有金属成矿作用发挥重要作用。

茶卡北山伟晶岩型锂稀有多金属矿床伟晶岩结晶过程首先经历 K(Na)阶段,晶出文象、变文象伟晶岩,随着大量含 K 矿物的晶出,Na 浓度增高,引起 Na 取代 K 的作用,由于水解作用,钾长石被白云母-石英所交代(图 3c);当伟晶岩熔体原始成分中 Li 含量很高时 Na-Li 阶段形成,即在 K(Na)、Na(K)阶段之后,大量锂辉石结晶,形成灰白色含锂辉石花岗伟晶岩。在晚期 Na(K)阶段大量的钠长石晶出,在钠长石晶出晚期,有相当数量的白云母充填于钠长石板条状晶体间隙中结晶,当白云母特别富集时形成为白云母集合体;在伟晶岩晚期阶段表现为 Li-Cs 阶段,Li 在溶液中再一次富集,可能伴随有 Cs 的富集,该阶段以大量锂云母的晶出为特征,Li 赋存于白云母层间或八面体上,并呈典型的玫瑰紫自形-半自形楔状集合体产出(图 3d),常伴有绿色及多色电气石晶出(图 3a)。锂云母不仅是高分异花岗岩最重要的造岩矿物学标志之一^[8],也是稀有金属成矿作用中重要的锂矿物,如世界著名稀有金属矿床可可托海三号伟晶岩晚期阶段也出现大量锂云母^[9]。

白云母的封闭温度在中等冷却速率下约为 350℃^[10],而在压力增大、快速冷却、矿物颗粒增大等情况下封闭温度会增高^[11-12]。本文所测白云母样品取自含绿柱石白云母伟晶岩的白云母集合体(图 3a),具有较大的矿物颗粒,其封闭温度应大于 350℃,可能达到 400℃。由于晚三叠世晚期青藏高原东北部处于造山后伸展阶段,具有较低的热历史,该样品⁴⁰Ar-³⁹Ar 体系受到后期热事件影响的可能性较低。因此,伟晶岩中白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄可以

表 1 青海茶卡北山锂稀有多金属矿床白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 分析结果

Table 1 Analysis of ⁴⁰Ar-³⁹Ar of muscovite from Chaka Beishan Li-rare poly metallic deposit

序号	T/℃	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	⁴⁰ Ar/%	³⁹ Ar(累计)/%	t/Ma	±2σ/Ma
1	700	1.0171	0.4815	1.4736	0.29	1.59	245.5	2.1
2	750	0.8248	0.2523	1.2998	1.17	9.55	212.7	0.8
3	780	0.7677	0.0604	1.2939	3.11	32.23	212.7	0.4
4	810	0.7597	0.0345	1.2649	2.13	47.88	212.6	0.5
5	840	0.7583	0.0336	1.2664	1.41	58.26	212.4	0.5
6	870	0.7580	0.0575	1.2609	0.85	64.51	210.4	0.5
7	900	0.7832	0.1304	1.3243	0.51	68.13	211.3	0.8
8	950	0.7867	0.1375	1.3231	0.53	71.91	211.6	1.2
9	1000	0.7885	0.1334	1.2944	0.76	77.33	212.4	0.9
10	1050	0.7780	0.0958	1.2719	1.47	87.88	212.6	0.7
11	1100	0.7981	0.1637	1.3070	1.13	95.81	212.6	1.0
12	1450	1.3189	1.8455	1.6364	0.99	100.00	217.6	1.6

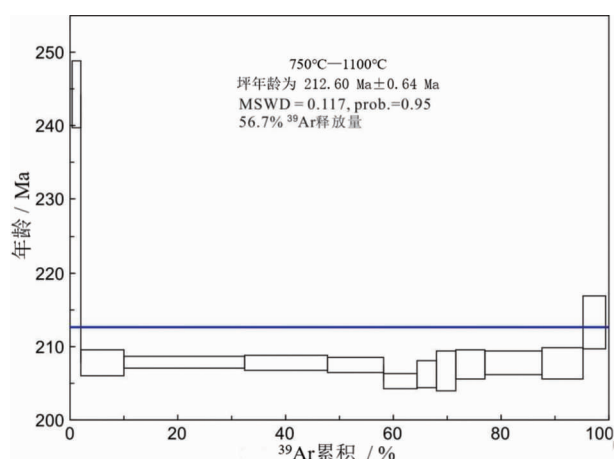


图4 茶卡北山锂伟晶岩型稀有多金属矿
白云母伟晶岩白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄图

Fig. 4 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ plateau age of muscovite from
muscovite granitic pegmatite in Chaka Beishan
Li-rare poly metallic deposit

代表伟晶岩结晶晚期阶段大量白云母富集及锂成矿(锂云母形成)时间。

王秉璋等^[2]对两类含矿伟晶岩——含锂辉石花岗伟晶岩和含绿柱石白云母花岗伟晶岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测试,得到其形成时代分别为 $217.0\text{ Ma} \pm 1.8\text{ Ma}$ 和 $235.9\text{ Ma} \pm 2.3\text{ Ma}$,表明伟晶岩形成至少有 2 期,而本次所获得的白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄与晚期伟晶岩年龄相近,基本限定了成矿年龄为晚三叠世晚期。

5 结语

茶卡北山伟晶岩型锂稀有多金属矿床的发现证实实务隆构造带南侧是青藏高原北部一条新的、重要的锂、铍矿成矿带。对该矿床含绿柱石白云母伟晶岩进行白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测年获得 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪

年龄为 $212.60\text{ Ma} \pm 0.64\text{ Ma}$,与晚期伟晶岩结晶年龄相近,基本限定茶卡北山伟晶岩型锂稀有多金属矿床的成矿年龄为晚三叠世晚期。

参考文献:

- [1] 许志琴,王汝成,赵中宝,等. 试论中国大陆“硬岩型”大型锂矿带的构造背景[J]. 地质学报,2018,92(6):1091-1106.
- [2] 王秉璋,韩杰,谢祥镭,等. 青藏高原东北缘茶卡北山印支期(含绿柱石)锂辉石伟晶岩脉群的发现及 Li-Be 成矿意义[J]. 大地构造与成矿学,2020,44(1):69-79.
- [3] 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质,2009,36(1):1-28.
- [4] McDougall I, Harrison T M. Geochronology and thermo chronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method [J]. Journal of Petrology, 1999,41(12):1823-1824.
- [5] Ludwig K R. ISOPLLOT 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel; Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, v. 4.
- [6] Turner G, Miller J A, Grasty R L. The thermal history of the Bruderheim meteorite [J]. Earth and Planet Science Letter, 1966(1):155-157.
- [7] 王汝成,谢磊,诸泽颖,等. 云母:花岗岩-伟晶岩稀有金属成矿作用的重要标志矿物[J]. 岩石学报,2019,35(1):69-75.
- [8] 吴福元,刘小驰,纪伟强. 高分异花岗岩的识别与研究[J]. 中国科学:地球科学,2017,47(7):745-765.
- [9] 周起凤,秦克章,唐冬梅,等. 阿尔泰可可托海 3 号脉伟晶岩型稀有金属矿床云母和长石的矿物学研究及意义[J]. 岩石学报,2013,29(9):3004-3022.
- [10] Jager E. Introduction to geochronology. In: Jager E and Hunziker J C (eds.). Lectures in Isotope Geology. Berlin: Springer-Verlag, 1979, 1-12.
- [11] Hames W E, Bowring S A. An empirical evaluation of the argon diffusion geometry in muscovite [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1994, 124(1-4): 161-169.
- [12] Reddy S M, Potts G J. Constraining absolute deformation ages: The relationship between deformation mechanisms and isotope Systematics [J]. Journal of Structural Geology, 1999, 21(8-9): 1255-1265.

$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating of muscovite in Chaka Beishan Li-polymetallic deposit in Qinghai province and the geological significance

CHEN Jing¹, HAN Jie², YU Fucheng², WANG Bingzhang², LI Wufu²

(1. School of Geographic Sciences, Qinghai Normal University, Xining 810016, China;

2. Qinghai Geological Survey Institute, Xining 810012, China)

Abstract: The area in the south of Zonglong tectonic belt is very similar in metallogenic setting to the Markang-Yajiang-Karakoram giant Li ore belt and Chaka Beishan pegmatite type Li- poly metallic deposit is newly discovered here proving the area a new important Li-Be mineralization belt in the North of Qinghai-Tibet plateau. The Late Trassic spodumene-bearing granitic pegmatite and the beryl-bearing muscovite granitic pegmatite are mainly the ore hosts. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating of muscovite from the muscovite granitic pegmatite shows that at the temerature rising from 750 °C to 1100 °C the age plateau of the muscovite get very flat. The age value is 210.4 Ma-212.7 Ma and the plateau age $212.60\text{ Ma}\pm0.64\text{ Ma}$, very close to that of crystallization of the pegmatite corresponding the Late Triassic.

Key Words: pegmatite type Li-rare polymetallic deposit; muscovite; $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$; Chaka Beishan area; Qinghai province