

东昆仑拉陵灶火钼多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素定年

王富春^{1,2} 陈 静³ 谢志勇⁴ 李善平³ 谈生祥³ 张玉宝³ 王 涛³

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春, 130061; 2. 青海省地质调查局, 青海 西宁 810001; 3. 青海省地质调查院, 青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室, 青海 西宁 810012; 4. 青海省有色地质八队, 青海 西宁 810012)

摘要:拉陵灶火钼多金属矿床是青海祁漫塔格成矿带新发现的矽卡岩-斑岩型矿床。利用辉钼矿 Re-Os 同位素定年技术, 11 件样品和 4 件重复样品的模式年龄显示 2 个分段: 214.1~223.9 Ma 与 235.7~240.8 Ma, $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 等时线年龄分别为 $(214.5\pm 4.9)\text{Ma}$ 和 $(240.8\pm 4.0)\text{Ma}$, 模式年龄的加权平均值分别为 $(217.6\pm 3.5)\text{Ma}$ 和 $(238.4\pm 1.2)\text{Ma}$, 等时线年龄与模式年龄加权平均值在误差范围内一致, 表明矿床存在 2 期成矿作用: 中三叠世和晚三叠世。辉钼矿样品中铼含量为 $17.40\times 10^{-6}\sim 149.52\times 10^{-6}$, 绝大多数集中在十几至几十微克, 指示其成矿物质来源为壳幔混合源。结合前人及本次研究成果表明, 两次成矿作用分别与中三叠世东昆仑地区俯冲结束与碰撞开始时的板片断离作用和晚三叠世岩石圈拆沉作用有关。

关键词:拉陵灶火钼多金属矿床; 辉钼矿; Re-Os 同位素定年; 祁漫塔格

中图分类号: P597^{+.3}; P618.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)04-1209-09

东昆仑作为中国中央造山带西段的重要组成部分, 其地质构造位置与成岩成矿作用突出显赫, 历来都是地学工作者重点关注的地区之一。近年来, 在东昆仑地区新发现并确认了多处铜钼多金属矿床(点), 如乌兰乌珠尔、鸭子沟、卡尔却卡等, 引起了人们广泛关注。这些矿床的精确同位素定年显示, 成岩成矿年龄集中在 215~239 Ma, 被学者们认为是形成于印支期碰撞造山的后碰撞阶段^[1-4]。拉陵灶火钼多金属矿床是 2011 年青海省地质调查院在祁漫塔格东段发现的矽卡岩-斑岩型矿床, 目前对其勘查工作仅限于工程控制, 矿床基础地质研究仍在进行中。前期勘查成果表明, 该矿床的形成与中酸性岩浆侵入活动密切相关, 矿床成因初步拟定为矽卡岩-斑岩型。由于成矿时代的不确定直接影响着找矿的思路和部署, 因此, 本文在对矿床成矿地质特征详细研究基础之上, 进行了辉钼矿 Re-Os 同位素定年, 首

次厘定了矿区内印支期存在 2 期成矿作用, 并探讨了 2 期成矿作用的构造背景, 对精确划分东昆仑成矿带印支期成矿期次、明确成矿背景具有重要意义, 也对矿区内正在开展的矿产普查工作提供了有益的指导。

1 成矿地质背景

东昆仑造山带位于青藏高原北部, 南邻巴颜喀喇, 北邻柴达木盆地, 其西端被阿尔金大型走滑断裂所截。姜春发等^[5]根据东昆仑地区的地层、构造和岩浆特征, 把东昆仑划分为东昆仑北带、东昆仑中带、东昆仑南带 3 个构造单元。该带内部南北差异较大, 以昆中断裂为界, 南、北基底不连续、性质明显不同, 北部为古老结晶基底, 而南部以中—新元古代大洋玄武岩高原为褶皱基底, 表现为多期边缘造山作用形成的边缘造山带, 带内矿产资源丰富, 成矿条件良好。孙丰月等^[6]认为东昆仑造山带整体表现为柴达

收稿日期: 2012-10-29; 改回日期: 2013-02-20

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项(201211037)、青海省科技支撑计划项目(2011-J-113A)及青海省自然科学基金项目(2012-Z-934Q)联合资助。

作者简介: 王富春, 男, 1968 年生, 硕士生, 主要从事矿产勘查工作; E-mail: xnwfuchun@163.com。

木陆块南缘由北向南不断拼贴、增生,具有多期次边缘造山作用的边缘造山带,同时以昆北、昆中、昆南、阿尼玛卿南缘四条断裂为界,将东昆仑造山带由北向南依次划为昆北加里东弧后裂陷带(祁漫塔格弧后盆地)、昆中基底隆起花岗岩带、昆南复合拼贴带、阿尼玛卿蛇绿混杂岩带和北巴颜喀拉造山带。该造山带基底主要形成于古元古代晚期,到晚古生代—早中生代卷入古特提斯构造体制,属于古特提斯造山系统的北缘。

本文研究的拉陵灶火钼多金属矿区即处于昆北断裂南侧(图1),大地构造位置相当于昆中岩浆弧北部边缘,以昆北断裂为界与祁漫塔格弧后盆地区相临。矿区出露的地层较简单,主要为古元古代金水口岩群白沙河岩组(Pt_{1b})及第四纪地层(Q)。其中,金水口岩群白沙河岩组(Pt_{1b}),为一套由高绿片岩相—麻粒岩相组成的中高级变质岩系,多被后期花

岗岩体、断层所侵蚀、支解破坏,与岩体接触地带是形成矽卡岩型多金属矿产的有利地段。第四纪堆积物主要分布在诸多大小不等形状各异的河谷两侧及盆地边缘,时代上从中—晚更新世均有发育。该区由于受子曲深大断裂影响,形成的次一级构造较发育,按其展布方向分为NW向、NE向、WE向、NNE向四组断裂,北西向逆断层为区内主干断裂,基本控制了区内地层和侵入岩的分布(图1)。

区内中酸性岩浆侵入活动频繁,分布有中三叠世英云闪长岩(T₂δo)+花岗闪长岩(T₂γδ)组合,晚三叠世斑状二长花岗岩(T₃ηγ)及早白垩世钾长花岗岩(K₁ξγ),与成矿作用有关的为中三叠世花岗闪长岩和石英闪长岩,两者彼此相邻,前者是斑岩型钼矿化的成矿岩体,后者与白沙河岩组接触带形成矽卡岩型钼多金属矿体(图1)。就目前所获得的精确锆石U-Pb年龄,两类岩体可分为3个侵入期

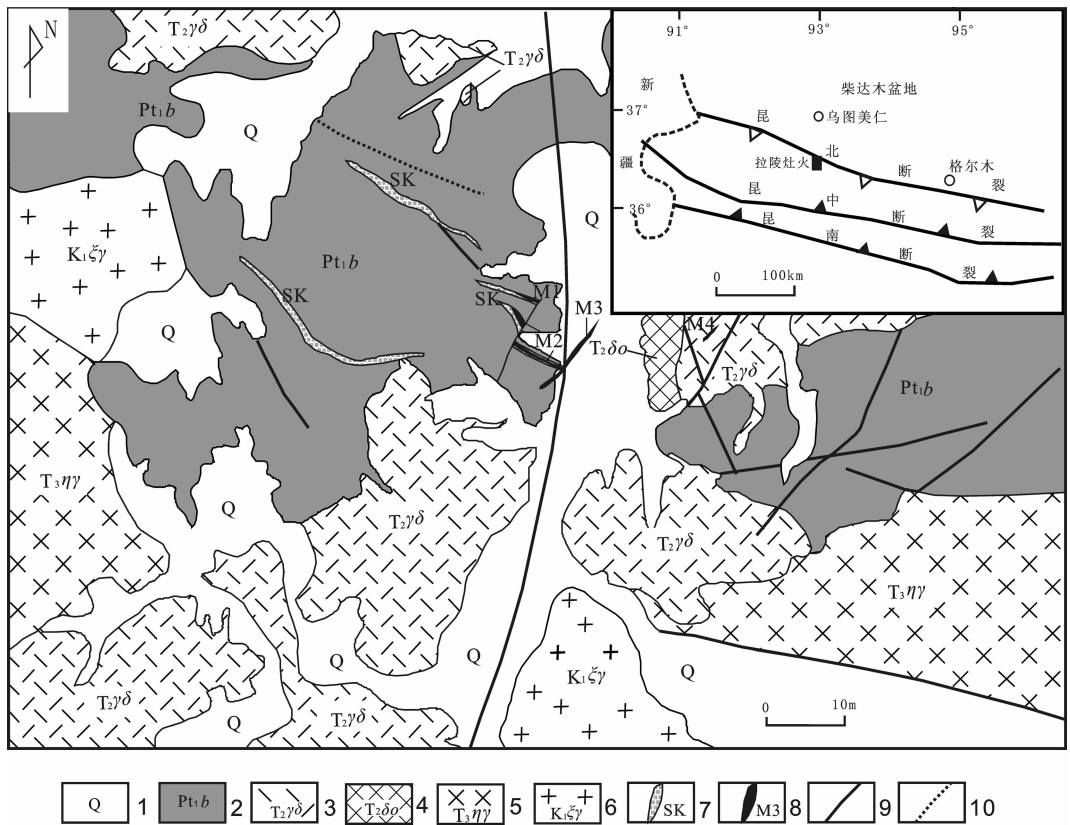


图1 拉陵灶火钼多金属矿区地质略图

1—第四系;2—古元古代金水口群白沙河岩组;3—中三叠世花岗闪长岩;4—中三叠世石英闪长岩;5—晚三叠世二长花岗岩;6—早白垩世钾长花岗岩;7—矽卡岩;8—矿体及编号;9—断层;10—推测断层

Fig. 1 Geological sketch map of the Lalingzaohuo Mo polymetallic deposit

1— Quaternary; 2—Baishahe Formation of Paleoproterozoic Jinshui Kou Group; 3—Middle Triassic granodiorite; 4—Middle Triassic quartz diorite; 5—Late Triassic monzogranite; 6—Early Cretaceous moyites; 7—Skarn; 8—Ore and its serial number; 9—Fault; 10—Inferred fault

次,第一期次为细粒花岗闪长岩(锆石 U-Pb 年龄为 (250.4 ± 4.0) Ma), 岩体与金水口岩群白沙河岩组呈侵入接触关系;第二期次为细粒花岗闪长岩内部的似斑状花岗闪长岩(锆石 U-Pb 年龄为 (242.6 ± 3.4) Ma), 与斑岩型钼矿化关系密切;第三期次为细粒花岗闪长岩西侧的石英闪长岩(锆石 U-Pb 年龄为 (228.49 ± 0.84) Ma), 其西侧与金水口岩群白沙河岩组呈侵入接触关系, 东侧侵入于花岗闪长岩体的边缘相细粒花岗闪长岩中, 局部地区两岩体不易区别。同时, 区内花岗岩类普遍发育暗色微粒包体, 大多为浑圆状—次浑圆状、长条状、不规则状等(图 2-A、B)。包体均具有典型的岩浆结构, 如细粒半自形粒状结构或斑状结构, 块状构造, 有时具有流动构造, 主要由斜长石、石英、碱性长石、角闪石和黑云母等矿物组成, 为细粒闪长质包体。

拉陵灶火矿区矿化类型主要有两种:

(1) 矽卡岩型多金属矿化。矿区内共圈出 3 条矽卡岩型矿体(M1-3), 其中 M1 矿体形成于 SK2 矽卡岩斜长角闪岩地层中(图 1), 近东西向展布, 矿体长 200 m, 产状 $220^\circ \angle 390^\circ$, Mo 平均品位 0.05%, 被一近南北向平移断层切断, 含矿岩石为黑云母化石榴石辉石矽卡岩, 矿物成分主要为辉石、铁铝榴石、石英、方解石、磷灰石等, 矿石矿物有辉钼矿、少量黄铁矿, 辉钼矿呈细脉浸染状、星点状、放射状和团块状。由东向西矽卡岩化逐渐减弱。M2 钼矿(化)体赋存于 SK3 矽卡岩化斜长角闪岩带, 矿体长 550 m, 平均厚度 19.35 m, 钼最高品位 0.5%, 平均品位 0.09%, 延伸方向 NW-SE ($130^\circ \sim 310^\circ$), 产状 $220^\circ \sim 240^\circ \angle 35^\circ \sim 45^\circ$, 受 NW-SE、NE-SW 向断层控制, 在断层交汇部位矿化较强, 岩石类型为全蚀变矽卡岩, 矿物有石榴子石、阳起石、绿帘石等, 辉钼矿、黄铁矿(少量), 辉钼矿呈星点状、细脉状, 分布不均匀。M3 矿体被第四系风成沙覆盖, 主体为一隐伏的盲矿体, 产于闪长岩与白沙河岩组接触带内侧(内接触带)闪长岩体中。延伸方向 40° , 矿体长 900 m, 平均品位 0.07%, 铜平均品位 0.84%, 含矿岩石为矽卡岩, 蚀变矿物有黄钾铁矾、石榴子石、阳起石、绿帘石等; 矿化有黄铜矿、磁铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿等; 黄铜矿呈团块状、细脉状, 辉钼矿呈星点状、细脉浸染状、团块状, 多成片状、放射状集合体(图 2-C、D)。

(2) 产于岩体内部的斑岩型钼矿化。矿区内圈出 1 条斑岩型矿(化)体(M4), 矿(化)体呈透镜状赋存

于花岗闪长岩中, 岩体在岩相上从里向外为似斑状花岗闪长岩—中细粒花岗闪长岩。矿体呈 NW-SE 向展布, 矿化主要有辉钼矿化、黄铁矿化, 局部见有少量孔雀石化。辉钼矿多以片状集合体或浸染状、星点状分布在花岗闪长岩中及石英脉中(图 2-E、F)。蚀变类型有绢云母化、硅化、绿泥石化、钾化和高岭土化。其中, 绢云母化、硅化、绿泥石化较强地段钼矿化较强。

2 样品采集与测试方法

本文用于挑选辉钼矿的矿石样品采自拉陵灶火中游钼多金属矿区, 样品 DYSZ 为 M3 矿体及附近探槽 ($93^\circ 16' 18'' \sim 93^\circ 16' 35''$ E; $36^\circ 30' 47'' \sim 36^\circ 31' 03''$ N) 中的矽卡岩型辉钼矿矿石, 辉钼矿呈星点状、团块状或成片状、放射状集合体(图 2-C、D); 样品 DYSG 为 M4 矿体及附近的花岗闪长岩 ($93^\circ 17' 35'' \sim 93^\circ 17' 47''$ E; $36^\circ 30' 51'' \sim 36^\circ 30' 59''$ N) 中辉钼矿石英脉(图 2-E)及团块状辉钼矿(图 2-F)。辉钼矿挑选由河北省区域地质调查大队地质实验室完成, 先后经过重力分离、电磁分离和在实体显微镜下挑选获得, 辉钼矿纯度在 99% 以上。辉钼矿晶体新鲜、无氧化、无污染。

样品分析和测试在中国科学院广州地化所同位素地球化学国家重点实验室进行, 分析仪器是 PQ Excell ICP-MS, 样品的化学处理流程和质谱测定技术依据 Du et al.^[7]和杜安道等^[8-9]。在 200°C 卡洛斯特管封闭溶样, 蒸馏吸收 Os, 丙酮萃取 Re。Re、 ^{187}Re 和 ^{187}Os 含量用电感耦合等离子体质谱仪 (TJA X-Series ICP-MS) 测得。普通 Os 是据 Nier 值的 Os 同位素丰度, 通过测定 $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$ 比值算得, ^{187}Os 是 ^{187}Os 同位素总量。Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差。置信水平 95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度 (1.02%), 置信水平 95%。模式年龄 t 按下式计算: $t = \ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re}) / \lambda$, 其中 λ (^{187}Re 衰变常数) = $1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ ^[10]。

3 分析结果

辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果列于表 1, 11 件辉钼矿和 4 件重复检验样品的 Re、Os 含量变化范围较大, Re、 ^{187}Re 和 ^{187}Os 含量分别为 $17.40 \times 10^{-6} \sim 149.52 \times 10^{-6}$ 、 $10.94 \times 10^{-6} \sim 93.98 \times 10^{-6}$ 和 $43.52 \times 10^{-6} \sim 343.80 \times 10^{-6}$ 。但 4 套平行样同位素含量基本一致, 表



图 2 拉陵灶火钼多金属矿区花岗闪长岩中暗色微粒包体和各类矿石照片

A、B—花岗闪长岩中暗色微粒包体；C—矽卡岩中放射状辉钼矿集合体；D—矽卡岩中辉钼矿、黄铜矿矿石；E—石英脉中辉钼矿集合体；F—花岗闪长岩中辉钼矿片状集合体；MME—暗色微粒包体

Fig.2 Photographs of MME in granodiorites and various ore types from the Lalingzaohuo Mo polymetallic deposit
2— A, B—MME in granodiorites; C—Molybdenite radial aggregates in skarn; D—Molybdenite, chalcopyrite ore in skarn;
E—Molybdenite aggregates in quartz vein; F—Molybdenite sheet aggregates in granodiorite; MME—Mafic microgranular enclave

明测试数据精确可靠。15 组数据的模式年龄集中在两个年龄区域:214.1~223.9 Ma 与 235.7~240.8 Ma,前者 6 组数据与后者 9 组数据分别构成 2 条很好的 $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 等时线(图 3),等时线年龄分别为 $(214.5\pm 4.9)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.8$) 和 $(240.8\pm 4.0)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=0.67$),由等时线获得的 ^{187}Os 初始值为 2.4 ± 4.7 和 -0.7 ± 1.1 ,数值较小,说明等时线年龄可靠。模式年龄的加权平均值分别为 $(217.6\pm 3.5)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=4.7$) 和 $(238.4\pm 1.2)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=0.79$),等时线年龄与模式年龄加权平均值在误差范围内一致。等时线年龄代表了辉钼矿的结晶时间,即该矿床的成矿年龄为 $(214.5\pm 4.9)\text{Ma}$ 和 $(240.8\pm 4.0)\text{Ma}$ 。

4 讨论

4.1 成矿时代的厘定

较之 K-Ar 和 Ar-Ar 年龄,辉钼矿的 Re-Os 体系不容易受后期的热液、变质和构造事件干扰^[11-12],所以 Re-Os 年龄准确代表硫化物的成矿时代^[14]。拉陵灶火矿区 Re-Os 同位素定年研究尚属首次,研究数据表明,成矿时间分别为 $(240.8\pm 4.0)\text{Ma}$ 和 $(214.5\pm$

$4.9)\text{Ma}$,相当于中、晚三叠世。所采样品 M4 矿体中的辉钼矿 Re-Os 年龄均为 240 Ma 左右(表 1),M3 矿体则出现 2 个成矿时段。

与斑岩型钼矿化(M4 矿体)相关花似斑状岗闪长岩体锆石 U-Pb 年龄(LA-ICP MS 法)为 $(242.6\pm 3.4)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=2.9, n=18$),其采样位置为东经 $93^{\circ}17'35''$,北纬 $36^{\circ}30'51''$ 。同一岩体外围细粒花岗闪长岩年龄为 $(250.4\pm 4.0)\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=3.1, n=16$,本项目组研究成果,未发表数据)。显然成矿时间与晚期似斑状花岗闪长岩形成时间能很好的吻合。实际上,与斑岩型钼矿成矿有关的岩体一般是复式侵入体^[15-16],而大多数大型斑岩型钼成矿与复式侵入体中晚期的浅成侵入体有关^[17]。区域上,中三叠世岩浆活动异常强烈,其形成持续的时间较短,是爆发式的,并显示强烈的壳幔岩浆相互作用特征^[18-22],是整个东昆仑造山带北侧(昆中陆块北部)最为强烈的一次壳幔岩浆混合作用事件。就目前的研究表明,区内中三叠世成矿鲜有报道,有精确同位素年龄的仅有卡尔却卡铜多金属矿床索拉吉尔矿区辉钼矿 $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 等时线年龄为 $(239\pm 11)\text{Ma}$ ^[3],本次研究进一步明确了东昆仑

表 1 拉陵灶火多金属矿区辉钼矿 Re-Os 同位素测年分析结果
Table 1 Re-Os isotopic data for molybdenite from the Lalingzaohuo polymetallic ore district

样品编号	样品重量/g	$\text{Re}/\mu\text{g g}^{-1}$		$^{187}\text{Re}/\mu\text{g g}^{-1}$		$^{187}\text{Os}/\text{ng g}^{-1}$		模式年龄/Ma	
		测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
DYSZ-1	0.0306	27.4263	0.2064	17.2385	0.1297	64.4302	0.2555	223.9	1.9
DYSZ-2	0.0308	140.5930	0.6020	88.3685	0.3782	315.7100	1.0380	214.1	1.2
DYSZ-3	0.0297	38.2633	0.1968	24.0500	0.1237	88.1561	0.4369	219.6	1.6
DYSZ-4	0.0603	67.3174	0.4839	42.3116	0.3041	153.9400	0.4751	218.0	1.7
DYSZ-5	0.0311	140.3150	0.3860	88.1937	0.2423	317.7360	1.9120	215.9	1.4
DYSZ-5-1	0.0302	149.5210	0.9240	93.9799	0.5808	343.7950	1.6660	219.2	1.7
DYSZ-7	0.0643	55.2871	0.2167	34.7501	0.1362	139.5500	0.7270	240.6	1.6
DYSG-1	0.0306	29.8086	0.2313	18.7358	0.1454	74.5664	0.4168	238.4	2.3
DYSG-1-1	0.0311	31.7505	0.1643	19.9564	0.1033	79.0251	0.1412	237.2	1.3
DYSG-3	0.0294	24.4383	0.1403	15.3604	0.0882	60.4330	0.4769	235.7	2.3
DYSG-4	0.0422	17.6211	0.1591	11.0755	0.1000	43.9935	0.2401	238.0	2.5
DYSG-4-1	0.0402	17.3997	0.0991	10.9364	0.0623	43.5234	0.3058	238.4	2.2
DYSG-6	0.0305	31.5134	0.1880	19.8074	0.1181	79.3834	0.0733	240.1	1.4
DYSG-7	0.0301	24.7133	0.0983	15.5333	0.0618	61.4010	0.4226	236.8	1.9
DYSG-7-1	0.0306	25.1548	0.1262	15.8108	0.0793	62.9002	0.3177	238.3	1.7

注:测试单位:中国科学院广州地化所同位素地球化学国家重点实验室,分析者:孙亚莉 孙胜玲。

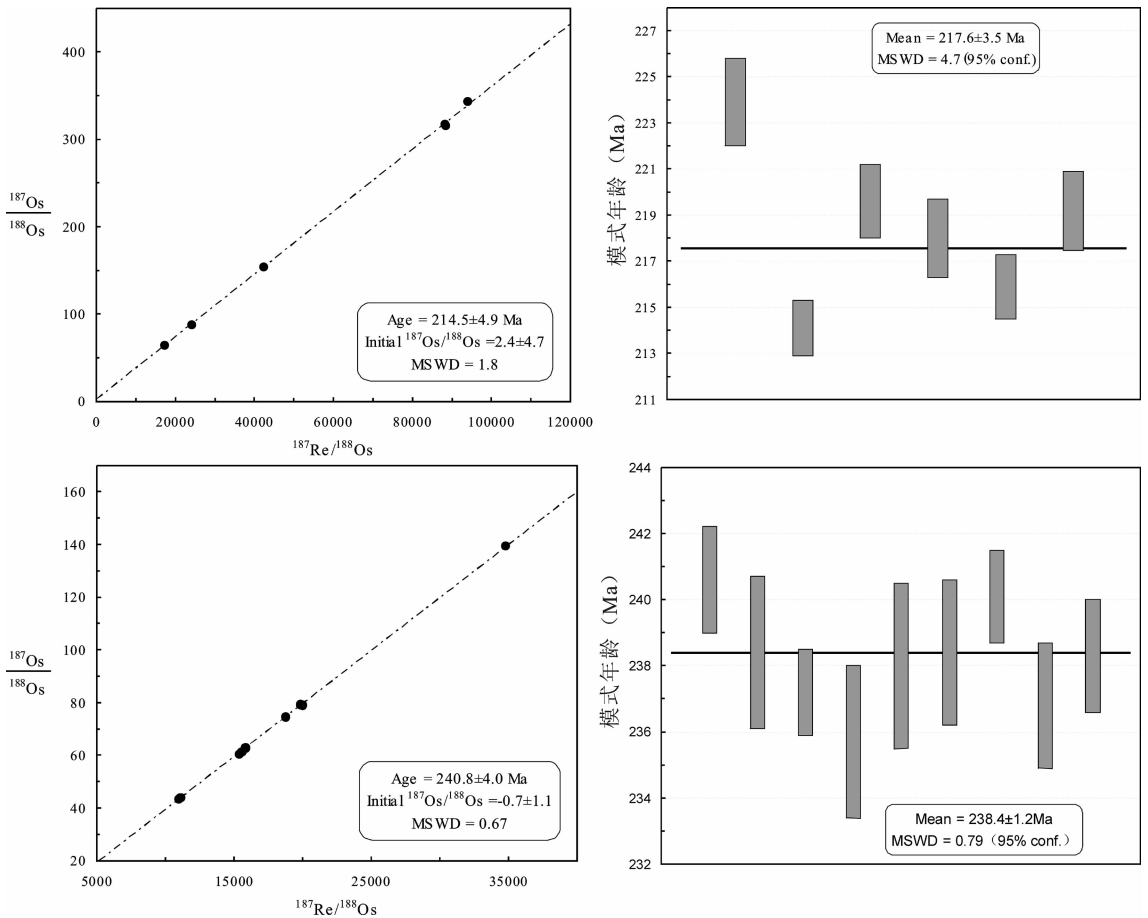


图3 拉陵灶火钼多金属矿区辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄和模式年龄加权平均值

Fig.3 Molybdenite Re-Os isochron age and weighted average model ages of the Lalingzaohuo Mo polymetallic deposit

成矿带中三叠世岩浆活动爆发同时也伴随铜钼多金属成矿作用,对完善区内成矿期次和成矿规律的研究起到了积极的作用。

在拉陵灶火钼多金属矿区内,矽卡岩型矿化辉钼矿年龄呈现两个时段:(214.5±4.9)Ma和(240.8±4.0)Ma,后者形成可能与似斑状花岗闪长岩的侵入有关;前者与相关岩体石英闪长岩(矿体形成于内接触带)形成年龄((228.49±0.84)Ma^[21])相差14Ma,其原因,尚有待进一步研究。区域上,晚三叠世成矿作用具有一定的普遍性,如乌兰乌珠尔(含矿花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄:(215±5)Ma,可代表矿床的形成时代^[1])、鸭子沟(辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(224.7±3.4)Ma^[2])、卡尔却卡(A区含矿似斑状二长花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(227±2 Ma^[4])等,因此,晚三叠世也是东昆仑地区一次重要的成矿期。

Mao et al 1999^[23]在综合分析、对比了中国各种类型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量后,认为从地幔到

壳幔混源再到地壳,矿石中的含 Re 量成十倍地下降,即从幔源到壳幔混源到壳源,辉钼矿 Re 含量呈数量级下降,即从 $n \times 10^{-4}$,经 $n \times 10^{-5}$,降低为 $n \times 10^{-6}$ ^[1323],因此,辉钼矿的 Re 含量可以指示成矿物质的来源。拉陵灶火钼多金属矿床辉钼矿 Re 含量为 $17.40 \times 10^{-6} \sim 149.52 \times 10^{-6}$ 总体为十几微克到几十微克,与壳幔混合源岩浆矿床的辉钼矿 Re 含量相近,可以推断该矿床的成矿物质来源为壳幔混合源。与莫宣学等^[21]提出的壳幔强烈相互作用是东昆仑印支期成岩成矿的大环境的观点相一致。

4.2 成矿构造背景探讨

根据王秉璋等^[22]对整个东昆北带岩浆演化的分析表明,至中三叠世东昆仑西段并不具备碰撞造山带加厚大陆岩石圈拆沉作用发生的条件,成岩成矿的深部原因,可能与俯冲结束与碰撞开始时的板片断离作用^[18]有关。板片断离作用会导致软流圈物质上隆并诱发地幔楔的减压熔融而产生镁铁质岩浆,

伴随着幔源岩浆的底侵作用,深部流体和幔源岩浆所含的成矿物质被注入到岩基岩浆中,与从岩基岩浆源区萃取的成矿物质汇聚在一起,一部分受岩基热的驱使上升成矿。由于流体中成矿元素的浓度强烈依赖于压力,另一部分成矿元素则滞留在难熔残余中形成新的矿源层。

晚三叠世,正好是印支晚期东昆仑发生强烈壳-幔相互作用并导致产生大量岩浆-热液活动和成矿作用的时期^[2]。由于俯冲岩石圈板片的断离诱发大规模的幔源岩浆底侵作用,使自身密度进一步的增大,导致重力不稳,发生拆沉作用,诱发形成又一阶段大规模壳-幔相互作用^[18,20-21],也导致了区内第二次成矿作用大爆发。这些幔源、壳幔混源岩浆沿 EW 向岩石圈断裂及其伴生的 NW、NWW 向断裂不断上侵,伴随着产生岩浆-热液矿化作用,形成了一系列斑岩-矽卡岩-热液脉型铜钼多金属矿床。

5 结论

(1)拉陵灶火铜多金属矿 Re-Os 等时线年龄为(214.5±4.9)Ma 和(240.8±4.0)Ma,成矿时代分别为中三叠和晚三叠世;斑岩型钼矿化年龄约为 240 Ma,与成矿岩体似斑状花岗闪长岩形成时间能很好的吻合,明确了东昆仑成矿带中三叠世岩浆活动爆发同时也伴随铜钼多金属成矿作用;矽卡岩型矿化辉钼矿年龄呈现两个时段:(214.5±4.9)Ma 和(240.8±4.0)Ma,后者形成可能与似斑状花岗闪长岩的侵入有关;前者与相关石英闪长岩岩体形成年龄相差 14 Ma,其成因有待进一步探讨。

(2)两期辉钼矿 Re 含量总体十几微克到几十微克,与壳幔混合源岩浆矿床的辉钼矿 Re 含量相近,可以推断该矿床的成矿物质来源为壳幔混合源。

(3)两期成岩成矿分别形成于不同的动力学背景:中三叠世东昆仑 Cu-Mo 多金属矿床系统形成时正处于洋壳俯冲结束与碰撞开始时的转折期,强烈壳-幔相互作用及岩浆演化系列显示成岩成矿作用与板片的断离作用有关;而晚三叠世,东昆仑地区大量岩浆-热液活动和成矿作用则与岩石圈拆沉作用有关。

参考文献(References):

[1] 余宏全,张德全,景向阳,等.青海省乌兰乌珠尔斑岩铜矿床地质特征与成因[J].中国地质,2007,34(2):306-312.

She Hongquan, Zhang Dequan, Jing Xiangyang, et al. Characteristics and metallogenesis of Wulanwuzhuer porphyry copper deposit in Qinghai Province[J]. *Geology in China*, 2007, 34 (2):306-312(in Chinese with English abstract)

[2] 李世金,孙丰月,丰成友,等.青海东昆仑鸭子沟多金属矿的成矿年代学研究[J].地质学报,2008,82(7):949-955.

Li Shijin, Sun Fengyue, Feng Chengyou, et al. Geochronological study on Yazigou polymetallic deposit in eastern Kunlun, Qinhai Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82 (7):949 -955 (in Chinese with English abstract).

[3] 丰成友,李东生,屈文俊,等.青海祁漫塔格索拉吉矽卡岩型铜钼矿床辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质意义 [J]. *岩矿测试*, 2009, 28(3):223-227.

Feng Chengyou, Li Dongsheng, Qu Wenjun, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Suolajier skarn-type copper-molybdenum deposit of Qimantage Mountain in Qinghai Province and its geological significance [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2009, 28(3):223-227 (in Chinese with English abstract).

[4] 王松,丰成友,李世金,等.青海祁漫塔格卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J].*中国地质*,2009,36(1):74-84.

Wang Song, Feng Chengyou, Li Shijin, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granodiorite in the Kaerqueka polymetallic ore deposit, Qimantage Mountain, Qinghai Province, and its geological implications[J]. *Geology in China*, 2009, 36(1):74-84 (in Chinese with English abstract).

[5] 姜春发,杨经绥,冯秉贵,等.昆仑开合构造[M].北京:地质出版社,1992,59-78.

Jiang Chunfa, Yang Jingsui, Feng Binggui, et al. Opening-closing Tectonics of Kunlun [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992, 59-78(in Chinese).

[6] 孙丰月,李碧乐,丁清峰,等.东昆仑成矿带重大找矿疑难问题研究[R].中国地质调查局地质调查项目成果报告,2009,14-17.

Sun Fengyue, Li Bile, Ding Qingfeng, et al. Prospecting Problems Studies of East Kunlun Metallogenic Belt [R]. Geological Survey Report of China Geological Survey, 2009, 14-17(in Chinese).

[7] Du A, Wu S, Sun D, et al. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 2004, 28(1):41-52.

[8] 杜安道,何红蓼,殷宁万,等.辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J].地质学报,1994.68(4):339-347.

Du Andao, He Hongliao, Yin Ningwan, et al. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1994. 68 (4):339-347 (in Chinese with English abstract).

- [9] 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 2001, 20(4):247-252.
Du Andao, Zhao Dunmin, Wang Shuxian, et al. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with Carius tube sample preparation [J]. Rock and Mineral Analysis, 2001, 20 (4):247-252 (in Chinese with English abstract).
- [10] Smoliar M I, Walker R J, Morgan J W. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and IVB iron meteorites [J]. Science, 1996, 271:1099-1102.
- [11] Suzuki K, Shimizu H and Masuda A. Re-Os dating of molybdenites from ore deposits in Japan: Implication for the closure temperature of the Re-Os system for molybdenite and the cooling history of molybdenum ore deposits [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1996. 60: 3151-3159.
- [12] Stein H J, Sundblad K, Markey R, et al. Re-Os ages for Archean molybdenite and pyrite, Kuittila-Kivisuo, Finland and Proterozoic molybdenite, Kabeliai, Lithuania: Testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting [J]. Mineral Deposita, 1998, 33: 329-345.
- [13] Stein H J, Markey R J, Morgan J W, et al. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works [J]. Terra Nova, 2001, 13(6):479-486.
- [14] Selby D, Creaser R A, Hart C J, et al. Absolute timing of sulfide and gold mineralisation: A comparison of Re-Os molybdenite and Ar-Armica methods from the Tintina Gold Belt, Alaska [J]. Geology, 2002, 30:791-794.
- [15] Carten R B, Snee L W. Hydrothermal history and duration of ore formation at the Henderson porphyry molybdenum deposit, Colorado; Geological Society of America Annual Meeting Abstracts, New Orleans, 1995, A-281.
- [16] Shinohara H, Kazahaya K, Lowenstern J. Volatile transport in convecting magma column: Implications for porphyry Mo mineralization[J]. Geology, 1995, 23:1091-1094.
- [17] Villeneuve and Whalen. The Endako batholith: episodic plutonism culminating in formation of the Endako porphyry molybdenite deposit, North-Central British Columbia [J], Economic Geology 2001, 96:171-196.
- [18] 罗照华, 柯珊, 曹永清, 等. 东昆仑印支晚期幔源岩浆活动[J]. 地质通报, 2002, 21(6):292-297.
Luo Zhaohua, Ke Shan, Cao Yongqing, et al. mantle-derived magma activity in late Indosinian, East Kunlun [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21 (6):292-297(in Chinese with English abstract).
- [19] 刘成东, 莫言学, 罗照华, 等. 东昆仑壳-幔岩浆混合作用: 来自锆石 SHRIMP 年代学的证据[J]. 科学通报, 2004, 49(6):592-602.
Liu Chengdong, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, et al. Crust-mantle magma mixing in East Kunlun: Evidence from SHRIMP zircon geochronology [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(6):592-602 (in Chinese with English abstract).
- [20] 谟宏伟, 罗照华, 莫言学, 等. 东昆仑造山带三叠纪岩浆混合作用因花岗岩的岩浆底侵作用机制[J]. 中国地质, 2005, 32(3):385-395.
Chen Hongwei, Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, et al. Underplating mechanism of Triassic granite of magma mixing origin in the East Kunlun orogenic belt [J]. Chinese Geology, 2005, 32 (3):385-395 (in Chinese with English abstract).
- [21] 莫言学, 罗照华, 邓晋福, 等. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3):403-414.
Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Deng Jinfu, et al. Granitoids and crustal growth in the East-Kunlun orogenic belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13 (3):403-414 (in Chinese with English abstract).
- [22] 王秉璋, 王涛. 青海省东昆仑祁漫塔格火成岩类成矿作用及找矿靶区优选[R]. 2011: 85-90.
Wang Bingzhang, Wang Tao. Mineralization of Igneous Rocks in Qimantage, East Kunlun, Qinghai Province and Preferred Prospecting Targets[R]. 2011: 85-90(in Chinese).
- [23] Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in the northern Qilian Mountains and its geological significance [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1999, 63(11-12): 1815-1818.

Geological features and Re-Os isotopic dating of the Lalingzaohuo molybdenum polymetallic deposit in East Kunlun

WANG Fu-chun^{1,2}, CHEN Jing³, XIE Zhi-yong⁴,
LI Shan-ping³, TAN Sheng-xiang³, ZHANG Yu-bao³, WANG Tao³

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China; 2. Qinghai Geological Survey Bureau, Xining 810001, Qinghai, China; 3. Qinghai Geological Survey Institute, Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources of Northern Qinghai-Tibetan Plateau, Xining 810012, Qinghai, China; 4. No. 8 Geological Party of Qinghai Nonferrous Geological Bureau, Xining 810012, Qinghai, China)

Abstract: The Lalingzaohuo molybdenum polymetallic deposit in the Qimantag metallogenic belt of Qinghai Province is a newly discovered skarn - porphyry type deposit. Eleven samples and four repetition samples for Re-Os isotopic dating were analyzed, and the model ages show two segments: 214.1~223.9 Ma and 235.7~240.8 Ma with ¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os isochron ages of (214.5±4.9) Ma and (240.8±4.0) Ma and the weighted average model ages of (217.6±3.5) Ma and (238.4±1.2) Ma , respectively. The age dating indicates that there are two metallogenic epochs: Middle Triassic and Late Triassic. The rhenium content of the molybdenite ranges from 17.40 × 10⁻⁶ to 149.52 × 10⁻⁶, with the great majority concentrated in a dozen micrograms to tens of micrograms, indicating a crust-mantle mixed mineral source. Combined with previous studies, the authors hold that the two ore-forming events in Triassic were associated with the breakoff of the subducting slab in Middle Triassic and lithospheric delamination in Late Triassic.

Key words: Lalingzaohuo Mo polymetallic deposit; molybdenite; Re-Os isotope dating; Qimantag

About the first author: WANG Fu-chun, male, born in 1968, master candidate, engages mainly in the study of mineral exploration; E-mail: xnwfuchun@163.com.