

西藏雄村斑岩铜矿床辉钼矿 Re-Os 同位素体系

黄 勇^{1,3} 唐菊兴² 丁 俊³ 张 丽³ 郎兴海¹

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 3. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要: 辉钼矿 Re-Os 同位素测年是现今研究斑岩铜矿成矿时限最有效的手段。本文通过开展冈底斯成矿带雄村斑岩铜金矿辉钼矿 Re-Os 同位素年代学研究, 并结合前人已发表的数据, 认为雄村斑岩铜金矿床成矿时限为 171~175 Ma。I 号矿体可能受到始新世大规模的岩浆活动扰动, 辉钼矿在经历过后期热事件影响, 在辉钼矿中形成有极微量富 Re 的 K-硅酸盐矿物, I 号矿体辉钼矿 Re 含量比 II 号矿体以及 III 号矿体中辉钼矿 Re 含量高出 1~4 倍, 其 Re-Os 同位素年龄比真实年龄偏低, 不能完全代表成矿年龄。同时通过与冈底斯成矿带斑岩-矽卡岩铜钼矿床, 钼/钼铜矿床的对比研究后发现, 雄村斑岩铜金矿中辉钼矿 Re 含量比同一成矿带上中新世斑岩铜钼矿床中辉钼矿 Re 含量高出一个数量级, 比古新世—始新世斑岩钼矿/钼铜矿床中辉钼矿 Re 含量高出两个数量级。辉钼矿 Re 含量变化特征与成矿物质的来源、钼的浓度、成矿母岩组分以及成矿期间的物理/化学条件有关。

关键词: Re-Os 同位素; 斑岩铜金矿床; 岛弧型; 雄村; 冈底斯; 西藏

中图分类号: P597; P618.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)01-0302-11

同位素年代学研究是精确厘定矿床成岩成矿时限、矿化跨度的最为有效、直接的手段。斑岩铜矿中早期钾硅酸盐化带中热液钾长石、黑云母, 或黄铁绢英岩化中的热液绢云母与金属矿化基本同时形成或略早于成矿年龄, 因而采用 K-Ar、Ar-Ar 法测定云母、长石类矿物的蚀变年龄, 以此来代表成矿年龄。但由于各同位素体系对于后期地质事件 (如晚期蚀变、变质作用、后期热液交代等) 的抗扰动能力不同, 因而常常得出不一致, 甚至错误的年代学数据^[1], 因而直接测定金属硫化物的 Re-Os 同位素年龄是研究成矿时限最为直观的手段。铼为中等不相容元素, 钨为强相容元素, 铼和钨均为亲铁元素, 同时铼与钼族元素具有相似的地球化学特征, 上述特征表明 Re-Os 同位素研究具有极其广泛的应用前景。而辉钼矿是富集铼的理想矿物, 通常辉钼矿中不含非放射成因的 ¹⁸⁷Os, 因此可以通过直接测定 ¹⁸⁷Re 和

¹⁸⁷Os 的含量来确定辉钼矿化年龄^[2]。但 McCandless 等^[3]和 Suzuki 等^[4]认为辉钼矿仍然可能受到后期地质事件的扰动, 而丢失部分铼, 并提出被均一化的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄不能得到有效的年代学数据。

西藏雄村斑岩铜金矿床是冈底斯成矿带上新发现的超大型斑岩铜金矿床^[5,6], 关于雄村斑岩铜金矿成岩成矿时代的研究也陆续见有报道^[7-11]。冈底斯成矿带上斑岩铜矿主要形成于中新世^[12,13], 近年来关于古新世—始新世斑岩矿床也有报道^[14,15], 但对于早—中侏罗世成矿期却鲜有报道。本文第一次系统阐述雄村铜金矿集区 I 号、II 号、III 号矿体 Re-Os 同位素体系, 精确厘定冈底斯成矿带唯一一个形成于早—中侏罗世的超大型斑岩型铜金矿床成矿年龄, 对于进一步探讨冈底斯成矿带构造—岩浆—成矿演化具有重要的理论价值及找矿意义。

收稿日期: 2012-10-08; 改回日期: 2013-01-18

基金项目: 国家自然科学基金(41172077)、中国地质调查局地质大调查项目(1212011221073)共同资助。

作者简介: 黄勇, 男, 1982 年生, 博士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业; E-mail: yong.huang@hotmail.com。

通讯作者: 唐菊兴, 男, 1964 年生, 研究员; E-mail: tangjuxing@126.com。

1 地质背景

雄村斑岩铜金矿集区位于冈底斯带中东段南缘,雅鲁藏布江缝合带北侧。矿集区目前由3个大型矿体及多个矿点(都有大型矿床规模的潜力)组成。区内出露的地层有中—下侏罗统火山—沉积岩,中—下侏罗统安山质凝灰岩,全新统冲积物—崩积物。中—下侏罗统雄村组安山质凝灰岩是I号矿体的含矿围岩,雄村铜金矿I号矿体约2/3的资源量赋存于安山质凝灰岩中,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(176\pm 5.0)\text{Ma}$ ^[7](代号 Vte)。出露发育多期岩浆岩活动,最早一期为角闪石英闪长玢岩(代号: IHD),该岩体位于I号矿体底板。含眼球状石英斑晶的石英闪长斑岩是I号矿体的成矿斑岩(代号: IUQ),该岩体出露面积较小,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(173\pm 3.0)\text{Ma}$,区内最大一期岩浆活动为始新世的黑云母花岗闪长岩(代号: IBG),出露早矿区东侧,并穿切I号矿体。此外矿区内还出露有成矿期后的安山岩脉(dA),煌斑岩脉(dL)、闪长岩脉(dD)。

雄村铜金矿矿化与围岩蚀变围绕含眼球石英斑晶的石英闪长斑岩呈环带状分布,斑岩体由内向外,蚀变可以划分为以下5类:(1)早期钾硅酸盐化,这类蚀变分布在斑岩体内,以钾长石—黑云母—磁铁矿—红柱石蚀变组合为主;(2)广泛分布的硅化,强硅化带中含有大量网脉状穿插的石英硫化物脉,基质基本被大量石英和少量白云母交代,红柱石在强硅化带中分布较少。强硅化带可能是高密度石英—硫化物脉;(3)黑云母—绢云母蚀变,这类蚀变分布在钾硅酸盐化带外围,主要蚀变矿物组合为黑云母、绢云母、红柱石、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿,铜/铁较高,是主要的含矿蚀变之一;(4)黄铁绢英岩化,以黄铁矿—绢云母/白云母—石英—黄铜矿—磁黄铁矿组合为主,主要分布在矿体外接触带,该蚀变带类含有大量的黄铁矿,铜/铁比最低,并发育有大量的成矿期后张性石英脉;(5)青磐岩化,青磐岩化主要分布在矿区外围,以绿泥石—绿帘石—方解石蚀变组合为特征。此外在II号矿体还见有以阳起石—钠长石—绿泥石—少量电气石为主的钠质—钙质蚀变。

2 Re-Os 分析方法

单矿物挑选由河北区域地质调查实验室完成,样品分析由中国地质科学院国家地质实验测试中心

Re-Os 同位素实验室采用电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 测定,样品的分解、蒸馏、萃取流程和质谱测定方法见杜安道等^[16-17]。对于 Re:选择质量数 185、187,用 190 监测 Os。对于 Os:选择质量数为 186、187、188、189、190、192。用 185 监测 Re,标准矿物为 GBW04436 (JDC)。由于辉钼矿基本不含普通 Os,因此模式年龄计算公式采用:

$$t = \frac{1}{\lambda} \left[\ln \left(1 + \frac{{}^{187}\text{Os}}{{}^{187}\text{Re}} \right) \right]$$

其中 λ (${}^{187}\text{Re}$ 衰变常数) = $1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ 。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%。

3 分析结果及讨论

3.1 样品情况及分析结果

所有的辉钼矿均采自石英—辉钼矿脉,脉体宽度较小,普遍在 0.1~0.3 cm,并穿插早期石英硫化物脉,主要分布在早期钾硅酸盐化带中。在II号矿体以及III号矿体中分布相对较多,但在I号矿体中辉钼矿主要以裂隙充填为主。同时为了对比研究冈底斯成矿带斑岩矿床辉钼矿 Re 同位素体系,本文同时测试了2件查个勒斑岩钼矿中的辉钼矿(位于查个勒铅锌矿西南侧),测试结果见表1,查个勒样品结果列于表2。

3.2 Re 含量分布特征

16件辉钼矿中 Re 含量结果见表1,样品中除了编号为7221的辉钼矿外,其余辉钼矿 Re 含量均大于 $1500 \mu\text{g/g}$ 。依据辉钼矿中 Re 的含量,可将上述16件样品划分为两组。第一组为I号矿体中的4件辉钼矿脉,其 Re 含量介于 $5077.15 \sim 12181.94 \mu\text{g/g}$,平均 $8074.21 \mu\text{g/g}$ 。第二组为II号矿体和III号矿体的12件辉钼矿,其 Re 含量为 $737.2 \sim 5311.00 \mu\text{g/g}$,平均 $2575.27 \mu\text{g/g}$,总体上I号矿体中 Re 浓度明显大于II号矿体和III号矿体中的辉钼矿 Re 浓度。

冈底斯成矿带目前已发现有斑岩—矽卡岩矿床中辉钼矿 Re 含量变化较大,从数十 $\mu\text{g/g}$ 到上万 $\mu\text{g/g}$,跨度可达3个数量级。依据辉钼矿 Re 含量,可将辉钼矿划分为3组,第一组为渐新世—中新世斑岩铜钼矿床,包括驱龙斑岩铜多金属矿床、甲玛斑岩—矽卡岩铜多金属矿床、朱诺斑岩铜(钼、金)矿、邦铺斑岩—矽卡岩铜钼矿床、冲江斑岩铜钼矿床、拉抗俄斑岩铜钼矿床等。除甲玛斑岩接触带上辉钼矿

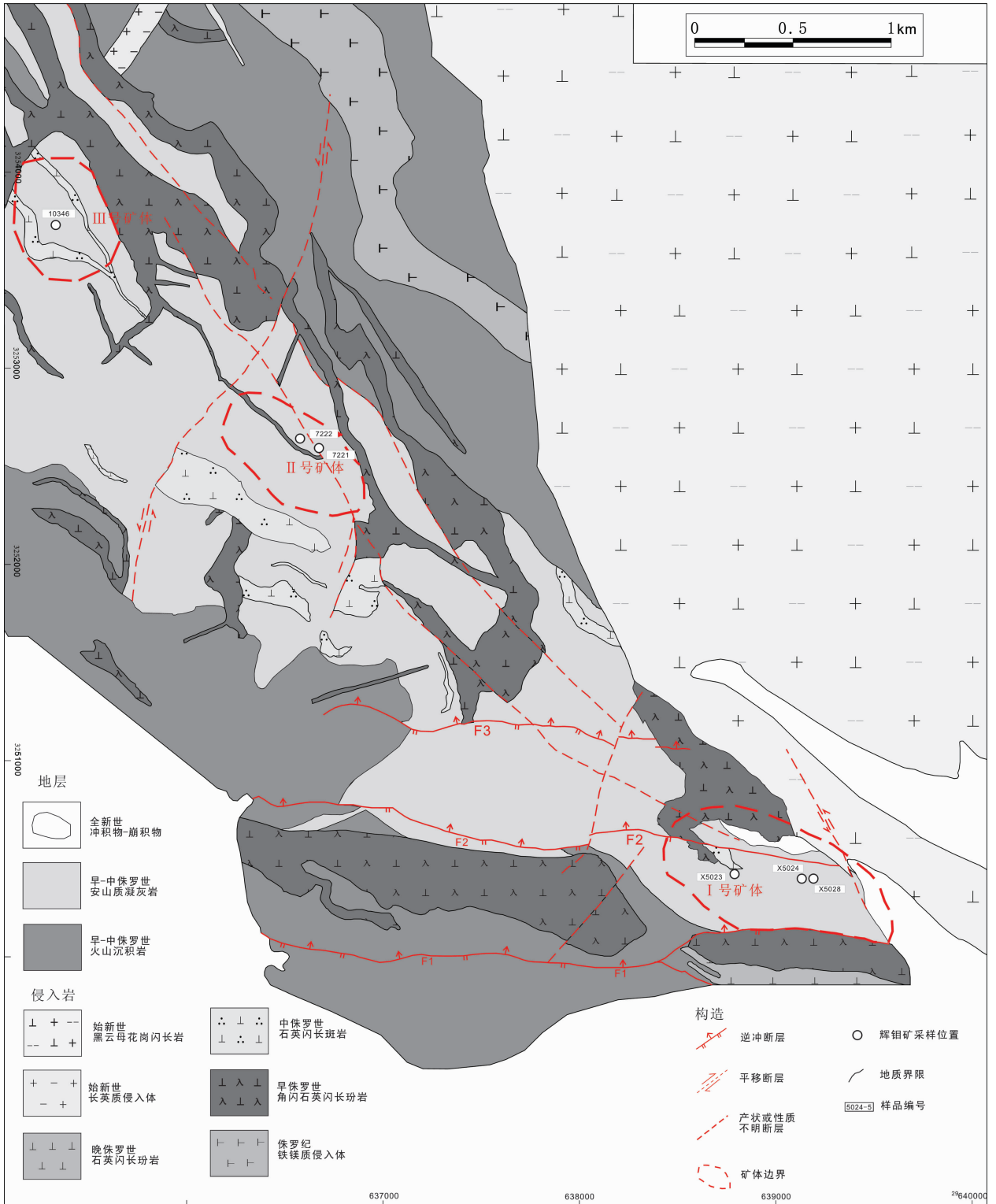


图1 雄村铜金矿床地质简图(据唐菊兴等,2006^①;Oliver 2006^②修改)

Fig.1 Simplified geological map of the Xiongacun copper-gold deposit (after Tang Juxing et al., 2006^①;Oliver,2006^②)

①Oliver J. Geological mapping of the Xietongmen property and continuous areas, Tibet, People's Re-public of China. Private Report to Continental Minerals Corp., 2006.

②唐菊兴,李志军,钟康惠,等.西藏自治区谢通门县雄村铜矿勘探地质报告[R].成都:成都理工大学档案馆,2006.

表 1 雄村铜矿区辉钼矿 Re 同位素组成
Table 1 Re isotopic composition of molybdenite in the Xionggun Porphyry deposit

矿体	样号	矿物	Re/(μ g/g)		C 普 Os/(ng/g)		$^{187}\text{Re}/(\mu\text{g/g})$		$^{187}\text{Os}/(\text{ng/g})$		模式年龄/Ma	
			测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ
I ^[18]	X-1	辉钼矿 ⁺	12181.84	106	2.392	4.304	7656.53	67	20483	165	160.4	2.3
I ^[18]	X5023-8	辉钼矿 ⁺	5077.15	43	2.713	1.664	3191.09	27	8522	73	160.1	2.3
I ^[18]	X5024-2	辉钼矿 ⁺	5276.87	43	2.663	4.222	3316.62	27	9040	78	163.4	2.3
I ^[18]	X5028-3	辉钼矿 ⁺	9760.97	137	1.455	1.496	6134.97	86	16677	133	162.9	2.9
II ^[19]	7222-383.6	辉钼矿 ⁺	1668.11	12	2.693	4.270	1048.44	8	3021	29	172.7	2.5
II ^[19]	7222-431.2	辉钼矿 ⁺	1614.54	12	5.845	4.507	1014.77	8	2918	28	172.4	2.5
II ^[19]	7222-384.8	辉钼矿 ⁺	1637.25	12	1.058	1.677	1029.04	8	2929	24	170.6	2.3
II ^[7]	278-1	辉钼矿 ⁺	2142.44	18.627	3.413	1.755	1346.57	11.708	3901	32	173.6	2.5
II ^[7]	278-2	辉钼矿 ⁺	2018.52	17.583	2.433	1.683	1268.68	11.051	3587	34	169.5	2.6
II ^[7]	278-3	辉钼矿 ⁺	2154.38	18.482	1.737	1.836	1354.07	11.616	3993	32	176.8	2.5
II ^[7]	278-5	辉钼矿 ⁺	2057.79	16.417	4.8236	1.9729	1293.36	10.319	3723	30	172.5	2.4
II ^[11]	7221	辉钼矿 ⁺	737.2	4.0	-	-	463.26	2.6	1346	3	174.2	1.1
III	10346-103.5	辉钼矿 ⁺	2441.00	18	0.7266	4.0721	1534.00	11	4500	45	175.8	2.6
III	10346-100.9	辉钼矿 ⁺	3030.00	23	0.3584	1.205	1905.00	14	5462	49	171.9	2.5
III	10346-109.8	辉钼矿 ⁺	5311.00	43	0.5911	1.9874	3338.00	27	9657	76	173.4	2.4
III	10346-107.5	辉钼矿 ⁺	4253.00	40	0.3504	2.7492	2673.00	25	7719	62	173.1	2.6

表 2 冈底斯成矿带斑岩-矽卡岩辉钼矿 Re 含量统计
Table 2 Re content of porphyry-skarn deposits in the Gangdise metallogenic belt

矿区名称	类型	Ma	n	Re/ 10^{-6}			参考文献
				平均	最大	最小	
驱龙	Cu-Mo	16.17	4	363.0683	407.042	262.857	[18]
甲玛(角岩)	Mo	14.59	5	439.0972	616.352	193.313	[12]
甲玛(矽卡岩)	Cu-Mo-Au	15.79	3	318.484	484.722	196.877	[12]
甲玛(正常斑岩)	Mo	14.67	14	125.6831	207.671	86.605	[12]
甲玛(斑岩接触带)	Mo	14.81	8	81.963	126.965	61.659	[12]
朱诺	Cu-Mo-Au	13.93	4	281.7998	312.113	227.148	[13]
帮浦	Cu-Mo	14.45	5	209.28	250.5	166.8	[21]
冲江	Cu-Mo	14.05	6	181.48	463.2	87.72	[20]
拉抗俄	Cu-Mo	13.55	2	457.35	514.1	400.6	[20]
达布	Cu-Mo	14.76	5	347.28	467	246.1	[20]
明则	Cu-Mo	30.22	8	343.575	419.5	233.7	[21]
查个勒	Mo	63.31	2	14.515	15.86	13.17	本文
沙让	Mo	52.04	7	54.12	74.23	36.19	[14]
吉如	Cu-Mo	49.35	5	70.28	87.3	48	[22]
冲木达(矽卡岩)	Cu-Au-Mo	39.49	6	31.81467	49.091	15.395	[23]
亚贵拉(矽卡岩)	Pb-Zn-Mo	65	5	55.7	111.7	23.8	[15]
雄村III号矿体	Cu-Au	173.55	4	3758.75	5311	2441	本文
雄村II号矿体	Cu-Au	172.60	8	1753.777	2154.384	737.2	[7,8,11]
雄村I号矿体	Cu-Au	161.70	4	8074.207	12181.84	5077.145	[9]

Re 含量在 $61 \times 10^{-6} \sim 127 \times 10^{-6}$ 外,其余斑岩矿床中辉钼矿 Re 含量均大于 100×10^{-6} , 主要集中在分布在 $100 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$ 。第二组为古新世—始新世斑岩—矽卡岩矿床,包括查个勒斑岩钼矿(查个勒铅锌矿西南 1 km 处)、沙让斑岩钼矿、吉如斑岩钼矿、冲木达矽卡岩铜钼、亚贵拉矽卡岩铅钼矿,其辉钼矿 Re 含量均小于 100×10^{-6} ,集中分布在 $10 \times 10^{-6} \sim 50 \times 10^{-6}$ 。第三组为早—中侏罗世斑岩铜金矿床,包括雄村矿集区内 I 号矿体、II 号矿体以及 III 号矿体。其辉钼矿 Re 含量集中分布在 $1000 \times 10^{-6} \sim 10000 \times 10^{-6}$,明显大于冈底斯成矿带第一组辉钼矿和第二组辉钼矿 Re 含量(图 2)。

第一组斑岩矿床以铜—钼组合为主,且钼品位较低,岩浆岩以二长花岗斑岩以及花岗斑岩为主,岩性偏酸性;第二组以斑岩钼矿为主,如沙让斑岩钼矿、查个勒斑岩钼矿(查个勒矿区东南侧);第三组为斑岩型铜—金组合,含矿岩浆岩为闪长玢岩、石英闪长玢岩等,钼平均品位低于 0.01×10^{-6} ,岩性偏中性。

3.3 Re 含量的指示意义

关于影响辉钼矿 Re 浓度变化的因素仍然存在争议^[24]。通过冈底斯成矿带斑岩—矽卡岩中辉钼矿 Re 的含量与钼的品位与金属量,铜的品位与金属量对比研究后(图 3)。可以发现辉钼矿 Re 浓度与钼金属量,铜金属量以及铜的品位均无关联,但与钼的品位呈反相关(图 3-c),上述现象在世界斑岩铜钼矿床,钼铜矿床中普遍存在,一些学者将上述现象解释为辉钼矿的平衡现象^[25,26]。Stein et al^[2]认为斑岩型铜钼矿/钼矿床中辉钼矿 Re 的含量与岩浆热液系统平衡现象有关,斑岩系统中 Re 集中分布在辉钼矿中,因而含辉钼矿较少的斑岩 Cu—Mo 系统中辉钼矿 Re 含量较高,而辉钼矿含量较高的斑岩 Mo 矿中(Climax 型)Re 含量较低。同样 Berzina et al^[24]通过统计认为辉钼矿中 Re 含量与辉钼矿的储量,铜的品位没有直接的相关性,例如 Sora 和 Erdenetuin—Obo 斑岩矿床的 Mo 储量约为 200 t,但辉钼矿中 Re 的含量分别为 $6 \times 10^{-6} \sim 18 \times 10^{-6}$ 和 $104 \times 10^{-6} \sim 199 \times 10^{-6}$,并提出 Re 含量与 Cu/Mo 比呈反向相关关系。Mao^[27]认为辉钼矿中 Re 含量可以反映成矿物质来源,从幔源到 I 型,再到 S 型花岗质岩浆热液矿床中 Re 的含量呈数量级下降。Stein et al^[2]同样认为与起源于地幔底垫或交代作用,或起源于铁镁质、超铁镁质岩浆岩部分熔融的岩浆有关的斑岩矿床更加富集 Re。

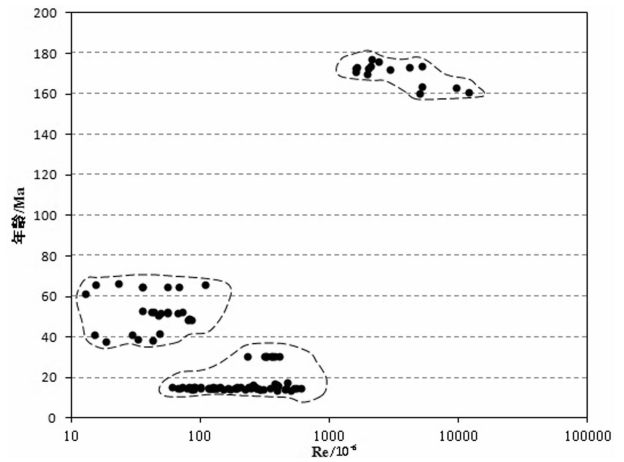


图 2 冈底斯成矿带 Re-t 图解(据 105 件辉钼矿测试结果统计)

Fig.2 Re-t diagram of porphyry-skarn deposit in the Gangdise metallogenic belt (based on statistics of 105 molybdenite samples)

Xiong et al^[28]通过实验证明 ReS_2 的溶解性与成矿热液流体的氧化还原性有关,还原性流体不利于 Re 的迁移与沉淀,而氧化性流体有利于 Re 的迁移与沉淀,例如含 Re 较高的 Aksug 和 Erdenetuin—Obo 斑岩铜钼矿床中含有大量的石膏以及低的 $(\text{CO} + \text{CH}_4) / \text{CO}_2$ 比值。部分学者认为斑岩铜钼矿床中 Re 的富集与氯的活逸度(Cl activity)有关,流体中高氯活逸度有利于 Re 的富集,因此氯络合物可能是控制 Re 迁移富集的因素之一。还有部分学者提出温度、酸碱度对辉钼矿 Re 含量的控制作用^[25,29,30],并提出在酸性热液中沉淀的辉钼矿 Re 含量比碱性熔体中沉淀的辉钼矿 Re 含量高。例如 Sora 斑岩矿床中强钾化蚀变到中的辉钼矿 Re 含量明显比周围辉钼矿中 Re 含量低。同样苏联学者^[31]提出钼矿床中 Re 的含量与矿石建造有关,最富钼的辉钼矿是产于中温环境下的含钼次生石英岩建造。但冈底斯成矿带上不同斑岩—矽卡岩矿床中同一矿石建造,仍然存在 Re 含量呈数量级变化特征。

雄村铜金矿中辉钼矿 Re 含量明显比同一成矿带上斑岩型铜钼矿以及斑岩型钼矿中辉钼矿 Re 含量高,但却不含或极少含有硬石膏,因此氧逸度对辉钼矿 Re 含量的控制作用不明显,并且 I 号矿体中含有大量的磁黄铁矿,磁黄铁矿与黄铜矿紧密共生,因此流体的氧化还原性也可能不是主要控制因素。

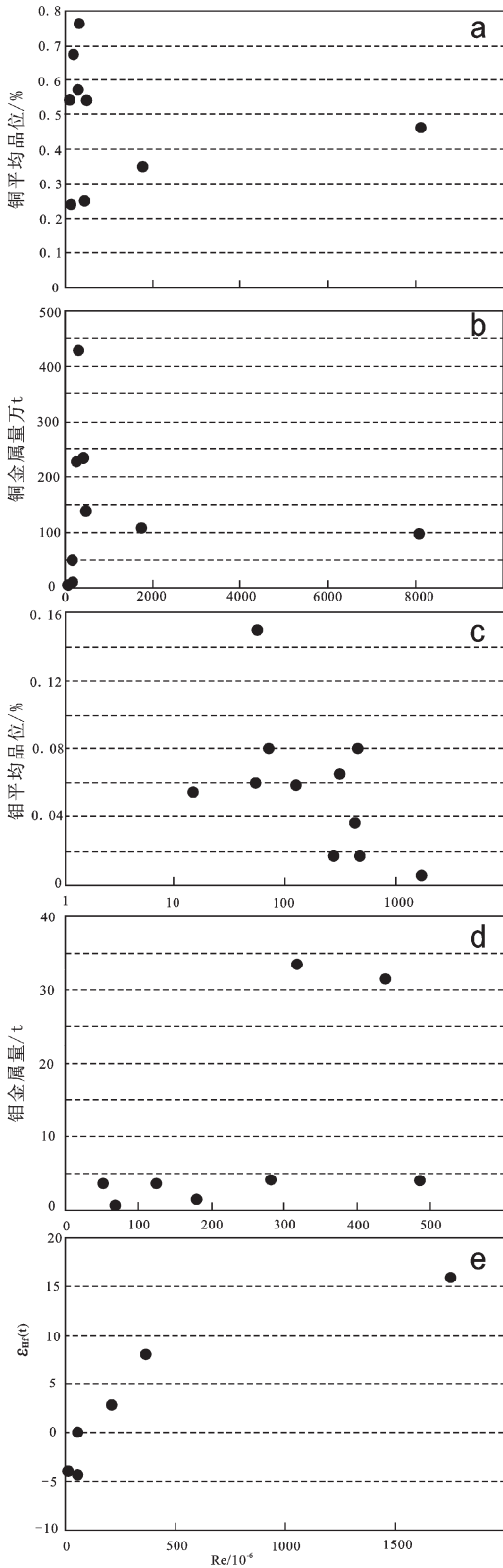


图 3 Re 含量与铜品位(a),铜金属量(b),钼品位(c),钼金属量(d), ε_{Hf}(t)(e)关系图解

如前所述,通过对比辉钼矿资料,揭示出冈底斯成矿带斑岩矿床中辉钼矿 Re 含量分布具有时效性(图 2),从早—中侏罗世→渐新世—中新世→古新世—始新世,辉钼矿中 Re 含量呈数量级下降,从上千 μg/g 到几十 μg/g。依据已有的同位素资料,可以发现辉钼矿中 Re 同位素与 ε_{Hf}(t)呈反向相关:早中侏罗世斑岩矿床 Hf 同为极度亏损,ε_{Hf}(t)集中分布在+15 左右,显示出亏损幔源特征。古新世—始新世斑岩体锆石 Hf 同位素相对富集,如:查个勒斑岩钼矿体中岩浆锆石 ¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 比值分布在 0.282533~0.282686, ε_{Hf}(t)变化于-3.2~-8.5,并集中分布在-3~-4,反映出壳源特征(黄勇,未刊资料),而辉钼矿的 Re 平均含量只有 13.17×10⁻⁶。沙让斑岩钼矿中角闪闪长岩锆石 Hf 同位素 ¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 比值分布在 0.282700~0.282790, ε_{Hf}(t)变化于-1.536~1.618,反映出壳幔混合特征^[34],其辉钼矿 Re 的平均含量为 31.19×10⁻⁶,亚贵拉矽卡岩铅锌钼矿成矿斑岩体 ε_{Hf}(t)变化于-11.46~2.46。渐新世—中新世驱龙斑岩铜钼矿床成矿斑岩体岩浆锆石 Hf 同位素, ε_{Hf}(t)变化于 6.2~9.9^[33]。徐旺春^[34]在研究区域上中新世岩浆活动时指出,该时期岩浆岩 Hf 同位素组成基本一致, ε_{Hf}(t)集中变化于 1~8,反映出铁镁质或超铁镁质部分熔融的特征,该期斑岩铜钼矿床中辉钼矿 Re 含量集中分布在 100×10⁻⁶~500×10⁻⁶。因此冈底斯成矿带上不同时期斑岩矿床中辉钼矿 Re 浓度变化可能与岩浆源区或成矿物质来源有关,从幔源,到铁镁质/超铁镁质下地壳,再到壳源/壳幔混合,辉钼矿 Re 含量呈数量级下降,从数千 μg/g 到数百 μg/g,再到数十 μg/g,上述数据比 Mao^[27]统计的高出一个数量级。同时如前所述,辉钼矿 Re 含量也可能与岩浆组分、钼的品位以及成矿期的物理化学条件有关。

3.4 辉钼矿 Re-Os 体系

如图 4 所示,通过雄村矿区内各岩体 Ar-Ar 同位素体系,U-Pb 同位素体系与辉钼矿 Re-Os 体系的对比研究,结果显示 II 号矿体与 III 号矿体辉钼矿 Re-Os 年龄与侵入体年龄在误差范围内一致/稍晚于侵入体年龄,其 Re-Os 年龄可以代表成矿年龄(图 3)。但 I 号矿体辉钼矿 Re-Os 年龄比成岩年龄晚了约 10 Ma(图 5),造成这种结果的原因可能有两种:第一种是持续的热液活动;第二种是后期地质热事件的扰动,造成 Re 的重新分布,使 Re-Os 年龄偏低。然而在没有后期岩浆继续活动的前提下,要

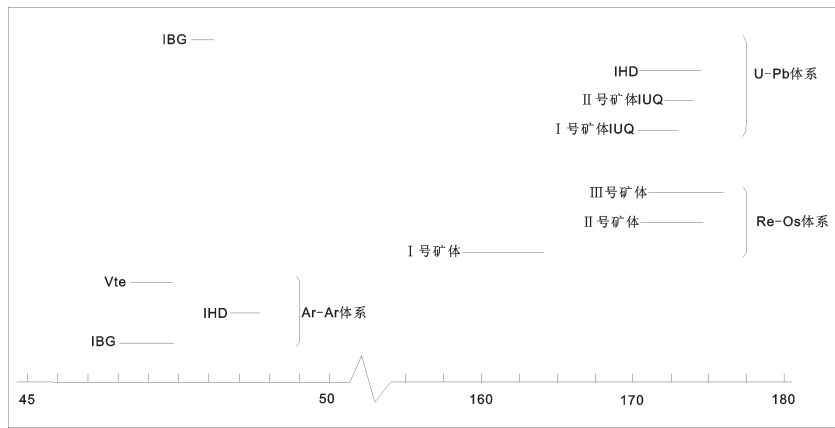


图4 雄村矿集区同位素体系对比

Fig.4 Comparative diagram of isotopes systems

维持持续数百万年的高-中温热液活动 (3H 和 2R 均形成在高中温环境)显然是不太可能。因此极有可能是后期热事件使得辉钼矿年龄失真。

关于辉钼矿 Re-Os 体系是否会受到后期事件的影响也有报道,McCandless^[4]通过研究辉钼矿中 Re 的分布特征后指出单个辉钼矿中 Re 含量分布不均匀,这种不均匀分布特征指明部分辉钼矿是由 3R 和 2H 型的机械混合组成。3R 因螺旋错位结构而含较高的 Re。这种辉钼矿在后期高温热液影响下位于点缺陷中的 Re 容易发生迁移而丢失,但在温度降低后 Re 又重新富集在辉钼矿中,因此辉钼矿只可能丢失极少量的 Re。例如 Gold Acres 矽卡岩 Cu-Mo 矿床因受后期浅成低温热液的影响,辉钼矿丢失了少量的 Re,其模式年龄为 168.3 Ma,比成矿岩体年龄(99.0 Ma)老。Lorelei 矿床中辉钼矿同样因为后期热事件的影响而丢失了部分 Re,但辉钼矿 Re 年龄比预期的偏年轻。造成这种结果可能是因为 Os 的丢失或 Re 的富集。因 Os 同位素稳定,因此这种现象被解释为 Re 活化迁移后进一步在 K-Si 矿物中富集,这种极微量矿物分布在辉钼矿中,因而造成了模式年龄比实际年龄偏低的现象,这种现象在辉钼矿次生氧化实验中得到进一步证实^[4]。雄村 I 号矿体辉钼矿与之类似, I 号矿体辉钼矿 Re-Os 年龄明显滞后于成岩年龄,并与 II 号矿体与 III 号矿体辉钼矿 Re-Os 年龄相差较大(图 4)。

上述推论同样也得到了 Ar-Ar 同位素体系以及野外地质现象的支持。唐菊兴^[4]在研究主要地质体的 Ar-Ar 年龄后提出始新世的大规模岩浆活动

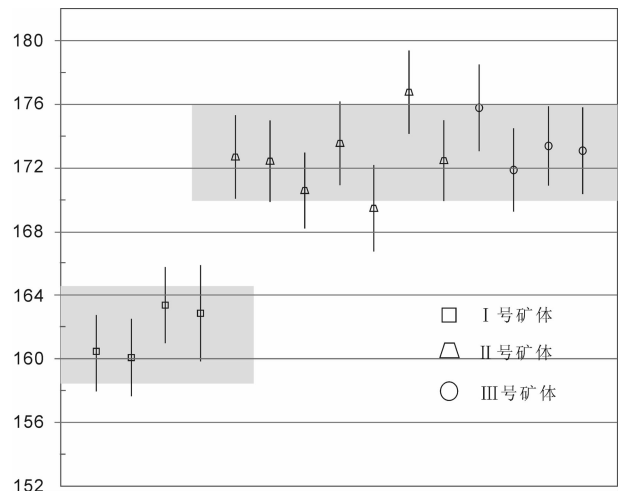


图5 雄村矿集区辉钼矿 Re-Os 年龄分布

Fig.5 Re-Os dating of the Xiongacun ore district

使得雄村矿区云母内 Ar 同位素同化均一,各岩体的 Ar-Ar 年龄记录了这次热事件(图 4)。同时始新世岩浆活动边缘广泛分布的角岩化以及 I 号矿体内穿插的始新世岩浆岩脉是这次热事件的有力证据。在 II 号矿体与 III 号矿体并未发现有始新世黑云母花岗闪长岩脉穿插矿体现象。因此 I 号矿体辉钼矿 Re-Os 不能代表成矿年龄。

4 结论

通过本次研究,结合前人发表的资料,得出如下结论:

(1)雄村斑岩铜金矿 I 号矿体可能受始新世岩浆活动的影响,辉钼矿 Re-Os 年龄比实际年龄偏

低,雄村斑岩铜矿成矿时限应在 171~175 Ma。

(2)从早—中侏罗世斑岩铜金矿床、古新世—始新世斑岩钼(钨、铜)矿床到中新世斑岩—矽卡岩铜钼矿床,辉钼矿 Re 含量从数千 $\mu\text{g/g}$ 变化到数十 $\mu\text{g/g}$,呈现出数量级下降。影响辉钼矿中 Re 含量变化的因素可能是成矿物质来源,与钼的浓度、成矿母岩组分以及成矿期间的物理/化学条件有关。

致谢:中国地质科学院国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室对样品分析测试提供了极大的帮助,加拿大 BCIT 大学 Reza Tafti 博士在雄村斑岩铜金矿床工作期间给予笔者许多宝贵指导,在此一并表示感谢。

参考文献(References):

- [1] Selby D, Creaser R A. Re-Os geochronology and systematics in molybdenite from the Endako porphyry molybdenum deposit, British Columbia, Canada [J]. *Economic Geology*, 2001, 96:197-204.
- [2] Stein H J, Sundblad K, Markey R, et al. Re-Os ages for Archean molybdenite and pyrite, Kuitila-Kiviso, Finland and Proterozoic molybdenite, Kabeliai, Lithuania; testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting [J]. *Mineralium Deposita*, 1998, 33:329-345.
- [3] 唐菊兴,张丽,黄勇,等.西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及地质意义[J]. *矿床地质*, 2009, 28(6):759-769.
Tang Juxing, Zhang Li, Huang Yong, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope ages of main geological bodies in Xiongacun copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet, and their geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28 (6):759-769 (in Chinese with English abstract).
- [4] McCandless T E, Ruiz J, Campbell A R. Rhenium behavior in molybdenite in hypogene and near surface environments; Implications for Re-Os geochronometry [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1993, 57: 889-905.
- [5] Suzuki K, Kagi H, Nara M, et al. Experimental alteration of molybdenite of the Re-Os system, infrared spectroscopic profile and polytype [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2010, 64: 223-232.
- [6] 黄勇,唐菊兴,郎兴海,等.西藏雄村铜金矿床 II 号矿体侵入岩—火山岩的地球化学特征—对岩石成因及构造背景的约束[J]. *矿床地质*, 2011, 32(2):340-352.
Huang Yong, Tang Juxing, Lang Xinghai et al. Geochemistry characteristics of intrusion rocks and volcanic rock of Xiongacun No. II copper-gold deposit, Tibet: Constraints on rock formation and tectonic settings [J]. *Mineral deposits*, 2011, 32 (2):340-352 (in Chinese with English abstract).
- [7] 唐菊兴,李志军,张丽,等.西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体形成的时限:锆石 U-Pb、辉钼矿 Re-Os 年龄的证据[J]. *矿床地质*, 2010, 29(3):161-475.
Tang Juxing, Li Zhijun, Zhang Li, et al. Time limit for formation of main geological bodies in Xiongacun copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet: Evidence from zircon U-Pb ages and Re-Os age of molybdenite [J]. *Mineral Deposits*, 2010, 29(3):461-475 (in Chinese with English abstract).
- [8] 郎兴海,唐菊兴,陈毓川,等.西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿床 II 号矿体中辉钼矿 Re-Os 年代学及地质意义 [J]. *矿物岩石*, 2010, 30(4): 55-61.
Lang Xinghai, Tang Juxing, Chen Yuchuan, et al. Re-Os dating of molybdenite from orebody No. II of the Xiongacun porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen, Tibet and its geological significance [J]. *Minerals and Petrology*. 2010, 30(4):55-61(in Chinese with English abstract).
- [9] 郎兴海,唐菊兴,陈毓川,等.西藏冈底斯成矿带南缘新特提斯洋俯冲期成矿作用——来自雄村矿集区 I 号矿体的 Re-Os 同位素年龄证据[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2012, 37(3):515-525.
Lang Xinghai, Tang Juxing, Chen Yuchuan et al. Subduction metallogenesis of southern margin of Tethys: Evidence from Re-Os dating of Xiongacun No I orebody [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2012, 37 (3): 515 -525 (in Chinese with English abstract).
- [10] 曲晓明,辛洪波,徐文艺.三个锆石 U-Pb SHRIMP 年龄对雄村特大型铜金矿床容矿火成岩时代的重新厘定 [J]. *矿床地质*, 2007, 26(5):512-518.
Qu Xiaoming, Xin Hongbo, Xu Wenyi. Collation of age of ore-hosting volcanics in Xiongacun superlarge Cu-Au deposit on basis of three zircon U-Pb SHRIMP ages [J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26 (5): 513-518(in Chinese with English abstract).
- [11] Tafti R, Mortensen J K. Jurassic U-Pb and Re-Os ages for the newly discovered Xietongmen Cu-Au Porphyry district, Tibet, PRC: Implications for metallogenic epochs in the Southern Gangdese belt [J]. *Economic Geology*, 2009, 104:127-136.
- [12] 应立娟,王登红,唐菊兴,等.西藏甲玛铜多金属矿辉钼矿 Re-Os 定年及其成矿意义 [J]. *地质学报*, 2010, 84(8):1165-1174.
Ying Lijuan, Wang Denghong, Tang Juxing et al. Re-Os dating of Molybdenite from the Jiama copper polymetallic deposit in Tibet and its metallogenic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84 (8):1165-1174(in Chinese with English abstract).
- [13] 郑有业,张刚阳,许荣科,等.西藏冈底斯朱诺斑岩铜矿床成矿时代约束 [J]. *科学通报*, 2007, 52(21):2542-2548.
Zheng Youye, Zhang Yanggang, Xu Rongke, et al. Time constraint of mineralization of Zhuluo porphyry copper deposit, Tibet [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52 (21):2542-2548(in Chinese with English abstract).
- [14] 唐菊兴,陈毓川,王登红,等.西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义 [J]. *地质学报*, 2009, 83 (5), 698-704.

- Tang Juxing, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. Re-Os dating of molybdenite from the Sharang porphyry molybdenum deposit in Gongboyamda County, Tibet and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83 (5): 698-704 (in Chinese with English abstract).
- [15] 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 等. 西藏工布江达地区亚贵拉铅锌铜矿床辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义[J]. *地质通报*, 2011, 30(7): 1027-1036.
- Gao Yiming, Chen Yuchuan, Tang Juxing, et al. Re-Os dating of molybdenite from the Yaguila porphyry molybdenum deposit in Gongbojiangda area, Tibet, and its geological significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(7):1027-1036 (in Chinese with English abstract).
- [16] 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).
- [17] 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 Dunming, 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).
- [18] 王亮亮, 莫宣学, 李冰, 等. 西藏驱龙斑岩铜矿含矿斑岩的年代学与地球化学[J]. *岩石学报*, 2006, 22(4):1001-1008.
- Wang Liangliang, Mo Xuanxue, Li Bing, et al. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyry in Qulong Cu(Mo) ore deposit, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(4):1001-1008 (in Chinese with English abstract).
- [19] 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 西藏冈底斯东段斑岩铜铅锌成矿系统的发育时限: 帮浦铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据[J]. *矿床地质*, 2003, 22(3):246-252.
- Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Gao Yongfeng et al. Development of porphyry copper-molybdenum-lead-zinc ore-forming system in East Gangdese Belt, Tibet: Evidence from Re-Os age of molybdenite in Bangpu copper polymetallic deposit [J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22(3): 246-252 (in Chinese with English abstract).
- [20] 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 等. 青藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄: 成矿作用时限与动力学背景应用[J]. *中国科学*, 2003, 33(7):509-618.
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Wang Shuxian, et al. Re-Os dating for molybdenite from porphyry copper deposit in Gangdese Metallogenic Belt, Xizang: Ore forming time-limit and application of kinetics [J]. *Science in China*, 2003, 33:509-618 (in Chinese with English abstract).
- [21] 闫学义, 黄树峰, 杜安道. 冈底斯泽当大型钨铜钼矿 Re-Os 年龄及陆缘走滑转换成矿作用[J]. *地质学报*, 2010, 84(3):398-406.
- Yang Xueyi Huang Shufeng, Du Andao. Re-Os ages of large Tungsten, Copper and molybdenum deposit in the Zetang orefield, Gangdise and marginal strike-slip transforming metallogenesis [J]. *Acta Geologica Sinica*. 2011, 84 (3):398-406 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张阳刚, 郑有业, 龚福志, 等. 西藏吉如斑岩铜矿: 与陆陆碰撞过程相关的斑岩成岩成矿时代约束 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(3): 473-479.
- Zhang Yanggang, Zheng Youye, Gong Fuzhi, et al. Geochronologic constraints on magmatic intrusions and mineralization of the Jiru Porphyry copper deposit, Tibet, associated with continent-continent collisional process [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(3):473-479 (in Chinese with English abstract).
- [23] 李光明, 刘波, 余宏全, 等. 西藏冈底斯成矿带南缘喜马拉雅早期成矿作用—来自冲木达铜金矿床的 Re-Os 同位素年龄证据 [J]. *地质通报*, 2006, 25(12):1481-1486.
- Li Guangming, Liu Bo, She Hongquan et al. Early Himalayan mineralization on the southern margin of the Gangdise metallogenic belt, Tibet, China: Evidence from Re-Os ages of the Chongmuda skarn type Cu-Au deposit [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(12): 1481-1486 (in Chinese with English abstract).
- [24] Berzina A N, Sotnikov V I, Eliopoulos M E, et al. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposits of Russia (Siberia) and Mongolia [J]. *Ore Geology Reviews*, 2005, 26:91-113.
- [25] Giles D L, Shilling J H. Variation in rhenium content of molybdenite. *International Geological Congress, 24th Session, Section 10, 1972:145-152.*
- [26] Newberry R J J. Polytypism in molybdenite: (II). Relationships between polytypism, ore deposition, alteration stages and rhenium contents[J]. *American Mineralogist*, 1979, 64:768-775.
- [27] Mao J W, Xie G Q, Bierlein F et al. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008, 72: 4607-4626.
- [28] Xiong Y, Wood S. Experimental determination of the hydrothermal solubility of ReS₂ and the Re-ReO₂ buffer assemblage and transport of rhenium under supercritical conditions [J]. *Geochemical Transactions*, 2002, 3:1-10.
- [29] Todorov T, Staikov M. Rhenium content in molybdenite from ore mineralizations in Bulgaria [J]. *Geologica Balcanica*, 1985, 15(6): 45-58.
- [30] Filimonova L Y, Zhukov N M, Malyavka A G. Genetic aspects of polytypism and rhenium contents of molybdenite in porphyry copper deposits[J]. *Geochimiyu*, 1984, 7:1040-1046.
- [31] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- Liu Yinjun, Cao Liming, Li Zhaoling, et al. *Element geochemistry* [M]. Beijing: Science Press, 1984(in Chinese with English abstract).

- [32] 高一鸣, 陈毓川, 王成辉, 等. 亚贵拉—沙让—洞中拉矿集区中新生代岩浆岩 Hf 同位素特征与岩浆源区示踪 [J]. 矿床地质, 2011, 30(2): 280–291.
Gao Yiming, Chen Yuchuan, Wang Chenhui, et al. Zircon Hf isotopic characteristics and constraints on petrogenesis of Mesozoic–Cenozoic magmatic rocks in Nyainquetanglha region, Tibet[J]. Mineral Deposits, 2011, 30(2): 280–291 (in Chinese with English abstract).
- [33] 杨志明. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床——岩浆作用及矿床成因 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2008.
Yang Zhiming. The Qukong giant Porphyry Copper Deposit in Tibet: Magmatism and Mineralization [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2008 (in Chinese with English abstract).
- [34] 徐旺春. 西藏冈底斯花岗岩类锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位数组成的空间变化及其地质意义 [D]. 中国地质大学(北京), 2010: 42–57.
Xu Wangchun. Spatial Variation of Zircon U-Pb Ages and Hf Isotopic Compositions of the Gangdese Granitoids and Its Geologic Implications [D]. China University of Geosciences (Beijing), 2010: 42–57 (in Chinese with English abstract).

The Re–Os isotope system of the Xiongkun porphyry copper–gold deposit, Tibet

HUANG Yong^{1,2}, TANG Ju-xing³, DING Jun², ZHANG Li², LANG Xing-hai¹

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Beijing 100037, China)

Abstract: Re–Os dating of molybdenite is an efficient means to restrict the time of mineralization. The age of mineralization of the Xiongkun porphyry copper–gold deposit is confined between 171 Ma and 175 Ma based on this study and other data available. No. I ore body of the Xiongkun deposit was affected by later magmatic thermal event. Molybdenite contains trace K–Si silicate enriched in Re. As a result of this event, the Re content of molybdenite is one to four times higher than that of molybdenite in No. II ore body and No. III ore body, and the age of molybdenite in No. I ore body is younger than the real age. The authors also compared the Re content of molybdenite between this deposit and other porphyry–skarn deposits within this belt and found that the content of Re shows systematic variation. The Re content of the Xiongkun porphyry copper–gold deposit is one order of magnitude high than that of Miocene porphyry deposits and two order of magnitude higher than Paleocene to Eocene porphyry–skarn deposits. The Re variation is related to the source of metal, the content of molybdenum, the composition of magma and the physical/chemical condition of magmatic–hydrothermal solution.

Key words: Re–Os isotope; porphyry copper–gold deposit; Xiongkun; Gangdise; Tibet

About the first author: HUANG Yong, male, born in 1982, doctor candidate, majors in mineralogy, petrology and mineral deposits; E-mail: yong.huang@hotmail.com.

About the corresponding author: TANG Ju-xing, male, born in 1964, senior researcher; E-mail: tangjuxing@126.com.