# 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

闫学义<sup>1)</sup>,黄树峰<sup>1,2)</sup>,杜安道<sup>3)</sup>

 中国冶金地质总局矿产资源研究院,北京,100025; 2)中国冶金地质总局第二地质勘查院, 福建甫田,351111; 3)国家地质实验测试中心,北京,100037

内容提要:在前人获取冈底斯成矿带泽当矿田冲木达铜金矿床条带状层砂卡岩型矿石浸染状辉钼矿 Re-Os 法等时线年龄 40.3±5.6Ma 的基础上,新获该矿田内另外两组 Re-Os 法等时线年龄:明则隐伏斑岩型钼矿床中辉钼 矿 Re-Os 法等时线年龄为 30.26±0.69Ma;努日层砂卡岩型钨铜钼矿床中与后期石英闪长玢岩体(E<sub>3</sub> δo)叠加改造 成矿有关的斑点状辉钼矿 Re-Os 法等时线年龄为 23.62±0.97Ma。以走滑型陆缘成矿新认识为出发点,总结了冈 底斯成矿带陆缘走滑转换成矿作用的类型特征和时空分布:①斑岩型矿床和层砂卡岩矿床是区带内已知中大型铜 多金属矿床的主要类型;②早期(68~38Ma)矿床受到"印-亚陆缘"会聚走滑阶段一、二级序左旋走滑转换构造控 制,晚期(30~13Ma)矿床受到"印-亚陆缘"离散走滑阶段三、四级序左旋走滑转换构造控制;③斑岩型矿床的矿体 形成受控于走滑推闭型转换断裂构造,层砂卡岩型矿床的矿体形成受控于走滑拉分型转换断裂构造;④区域走滑转换成矿构造应力场具逆时针旋转特征,显示 68~13Ma 间印度大陆相对亚洲大陆朝 NEE 作斜向对接作用,走滑 主应力场被伸展主应力场替代时间以 13~8Ma 南北向碰撞裂谷的形成-活动为标志。提出"沿边找钼找钨、沿走滑转换构造带找铜金多金属矿,主攻斑岩-层砂卡岩复合型富-大矿"等今后区域找矿方向。

关键词: 冈底斯; 陆缘会聚走滑; 转换成矿; 泽当矿田; 铜多金属矿; Re-Os 年龄

冈底斯成矿带是研究大陆边缘成矿作用的天然 模拟实验室。泽当矿田是中国冶金地质总局在冈底 斯成矿带东段新近发现的一处大型钨铜钼矿详查开 发基地,是一组类型不同但统一于陆缘走滑转换构 造成矿体制作用的钨、铜、钼矿床组合(闫学义等, 2010)。由于成矿集中、多矿共生、矿床规模大、开采 利用条件好,以及矿床类型在冈底斯成矿带具有代 表性,因此精确确定泽当矿田层矽卡岩-斑岩型钨铜 钼矿床的成矿年龄,揭开其复杂成矿历史的内幕,寻 找两类矿床与冈底斯成矿带其它中大型矿床的时空 关系,总结研究同类矿床分布规律,不仅对冈底斯地 区今后找矿具有实际意义,而且对深化和丰富边缘 成矿理论研究具有重要的参考价值。

按照古陆边缘的构造动力学特征(翟裕生, 1999),陆缘构造可分为离散型(拉张型)、会聚型(挤 压型)、转换型(走滑型),笔者认为:冈底斯斑岩铜矿 带所在的陆缘构造,既不同于世界主要斑岩铜矿经 典的活动大陆边缘与岛弧消减带挤压环境,也不同 于陆内古板块边缘或聚合带拉张环境,而是印度大陆朝欧亚大陆斜向碰撞过程多级序-左旋剪切转换构造带的走滑(转换)环境,经历了早期(68~38Ma) 会聚走滑和晚期(30~13Ma)离散走滑两个主要阶段;冈底斯成矿带层矽卡岩型、斑岩型两个主要类型矿床,分别受到拉分型和推闭型两种不同的走滑转换构造类型控制。现总结分析如下:

# 泽当矿田层砂卡岩-斑岩型钨铜钼 矿床基本特征

#### 1.1 努日矿区层矽卡岩型钨铜钼(金银)矿特征

矿体呈层状、似层状就位于比马组(K<sub>1</sub>b)安山 质火山-沉积岩系中"钙铁硅泥质"层状岩石中,处于 碳酸盐岩与碎屑岩相的过渡带或与灰岩(大理岩)、 石英粉砂岩相伴出现。

矿体受控于层间剥离断层带(即 NWW 向雅鲁 藏布江走滑断裂东南端转换派生的 NEE 向拉分型 构造),在努日矿区中矿段形成厚层块状砂卡岩型铜

收稿日期:2009-09-20;改回日期:2010-01-15;责任编辑:郝梓国。

注:本文为《西藏冈底斯东段铜多金属资源评价与新方法技术研究》科研项目的成果。

作者简介:闫学义,男,1950年生。教授级高工。主要从事矿产地质勘查管理与研究,现为中国地质学会副理事长、中国冶金地质总局局 长兼矿产资源研究院院长。通讯作者:黄树峰,电话:0594-3593368;Email:hsf1960@sina.com。



# 图 1 西藏泽当矿田地质矿产略图

### Fig. 1 Geological and mineral map in Zedang ore field, Xizang(Tibet)

1—含矿层砂卡岩 2—角砾岩简型矿体 3—隐伏斑岩型矿体 4— 金矿点(娘姑处) 5—钼矿点(帕南) 6—铜矿点(车门) 7—铜金矿 点(普章) 8—矿田大致边界 9—走滑断裂 10—推测断裂;  $F_1$ —雅 江走滑断裂;  $F_10$ —推闭型转换构造(含矿逆冲断层);  $F_3$ —雅江 缝含带逆冲断层;  $F_0$ —受层间走滑断裂改造的含矿剥离断层(西 倾); Q—第四系; Elb—古近系罗布莎群;  $K_2Ed$ —上白垩纪-古近 系旦师庭组;  $K_1b$ —下白垩统比马组;  $K_1m$ —下白垩统麻木下组;  $T_3$ —三叠系; Ms—枕状及块状熔岩;  $E_2\gamma$ —始新世二长花岗岩、 花岗闪长岩类;  $E_3 \xi\gamma$ —新新世钾长花岗岩;  $\Sigma$ —蛇绿岩; RoI、 MRoI—分别为努日、明则矿床同位素样品采集点(钻孔)

1-Ledge skarn; 2-cartridge-type breccia orebody; 3concealed porphyry-type ore body; 4-gold ore occurrences (Niangguchu); 5-molybdenum ore occurrences(Panan); 6copper ore occurrences ( Chemen ); 7-copper-gold ore occurrences (Puzhang); 8-ore filedrough border; 9-strike slip fault; 10-surmising fault; F1-Brahmaputra strike slip fault; F<sub>10</sub>—push-close transfer zone(ore-bearing thrust fault); F<sub>3</sub>—thrust fault in Brahmaputra suture zone; F<sub>0</sub>—ore-bearing stripping faultage changed by interlaminar strike slip fault (Xiqing); Q—Quaternary; Elb—Paleogene Luobusa Group; K2 Ed-upper Cretaceous series-Palaeogene Danshiting Group; K1 b-lower Cretaceous series Bima Group; K1 m-lower Cretaceous series Mamuxia Group; T3-Triassic Period; Mspillow-like and block lava; E2 7-Eocene Monzonite granite, granodiorites;  $E_3 \notin \gamma$ —Oligocene potassium granitoids;  $\Sigma$  ophiolite; RoI, MRoI-Different isotope sample collection points (drill hole)in Nuri, Mingze deposit

钼钨矿,明则矿区东矿段形成层纹-条带状砂卡岩型 铜(金银)矿(金银一般为低品位矿,Au(1.2~1.54) ×10<sup>-6</sup>,Ag48.3×10<sup>-6</sup>)。

矿区发育一套由岩筒状矿化热液角砾岩和虫管 状-树枝状-姜块状石榴石(岩)组成的热水(大气降 水次火山热液)环流管道系统,管道中心可见萤石、 方解石充填物,边缘地带局部出现石膏、硅灰石等热 水特征矿物。含矿标志层上部为厚层块状石榴石 (±透辉石±透闪石±绿帘石)砂卡岩,棕褐-深褐 色,具雏晶结构的钙硅泥质角岩;下部或边部为层 纹-条带状石榴石(±硅灰石±萤石±石膏)砂卡岩, 草绿色。容矿岩石富含 Cu、Mo、W、Sb、Co、Ni、Bi、 V、Sr、F、Cl、贫 Li、Fe、Nb、Y。

矿石构造主要为细粒浸染状、条带状、稠密浸染状、斑点状、脉状。矿石矿物组合为黄铜矿+斑铜矿 (银、金含量高)+白钨矿±辉钼矿±硫铋铜矿±(地 表氧化带可见孔雀石,镜下可见钨华),矿床品位为 Cu0.66%、Moo.07%、WO<sub>3</sub>0.23%。

本类矿床的典型代表是努日矿区南矿段钨铜钼 矿床和明则矿区冲木达矿段铜金(钼银)矿床。

#### 1.2 明则矿区斑岩钼(钨铜)矿床特征

斑岩型钼(钨铜)矿体的围岩为钾长花岗(斑) 岩,往深部过渡为二长花岗(斑)岩。矿化蚀变分带 上铜下钼,自上而下依次出现粘土化(土绿泥石化) 带、千枚岩化带(绢云母化+硅化+褐铁矿+孔雀石 化="火烧皮")、黄铁绢英岩化带、黑云母-钾长石化 带。1:5万水系沉积物化探呈现出 Cu-Mo-W 等组 合异常。

矿床类型具有叠加型垂向分带现象,上部为早期层砂卡岩型铜矿,中下部为晚期隐爆角砾岩型钼 矿和斑岩型钼(钨铜)矿。矿体受控于"J"字型走滑 推闭型转换构造;冲木达走滑断裂呈 NEE 走向,是 在剥离断层基础上发育成脆韧性剪切带;推闭型转 换构造呈 NWW 走向、迭瓦状逆冲断层组合形式, 剖面的"上下陡、中间缓",显示断层逆冲过程局部引 张构造控岩控矿特征。

矿石构造呈细脉-浸染状;脉状热液型钼矿呈不 规则脉状,角砾状。矿石矿物组合为辉钼矿土黄铜 矿;痕量的斑铜矿、黄铁矿;石英+绢云母土硬石膏 土钾长石。脉状热液型钼矿为辉钼矿土石英土黄铁 矿。层控砂卡岩型铜矿为黄铜矿土辉铜矿土斑铜矿 土黄铁矿;痕量的辉钼矿土黝铜矿;石榴石土透辉石 土硅灰石土萤石土方解石土硬石膏土铁白云石。矿 体倾向上在构造引张部位明显加厚,ZK004 单孔见 矿总厚度达 297.53m,平均品位 Mo 0.104%; ZK402 在浅部罗布莎群(Elb)盖层中发现隐爆角砾 岩型富钼矿脉,厚度 6.16m,平均品位 Mo 4.13%; 整个矿床的平均品位 Mo0.1022%。

本区的典型代表明则矿区程巴矿段钼-铜-钨矿

床(浅部层砂卡岩型铜矿,中部矿床主体为斑岩型钼 矿,中下部局部出现脉型热液钨矿)。

## 2 Re-Os 年龄样品分析方法与结果

#### 2.1 样品采集

对努日层砂卡岩型钨铜钼矿床,在 ZK1201 钻 探岩心中选择石英闪长玢岩体(E<sub>3</sub> δo)上盘厚层块状 层砂卡岩型矿石采集 11 件辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素年龄分析;对斑岩钼(钨铜)矿床,在明则 ZK004 钻探岩心中选择含钼钾长花岗岩体及其顶 部细脉状-斑点状、团块状-浸染状矿石采集 6 件辉 钼矿样品进行 Re-Os 同位素年龄分析。

#### 2.2 分解样品

准确称取待分析样品,通过长细颈漏斗加入到 Carius管(一种高硼厚壁大玻璃安瓿瓶)底部。缓慢 加液氮到有半杯乙醇的保温杯中,调节温度到摄氏 -50~-80℃。放装好样的 Carius 管到该保温杯中, 通过长细颈漏斗把准确称取的 185Re 和 190Os 混合 稀释剂加入到 Carius 管底部,再加入 2mL 10 mol/L HCl,4mL 16 mol/L HNO<sub>3</sub>、1mL30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 当管底溶 液冰冻后,用丙烷氧气火焰加热封好 carius 管的细颈 部分。放入不锈钢套管内。轻轻放套管入鼓风烘箱 内,待回到室温后,逐渐升温到 200℃,保温 24h。在 底部冷冻的情况下,打开 Carius tube,并用 40 mL 水 将管中溶液转入蒸馏瓶中。

#### 2.3 蒸馏分离锇

于 105~110 ℃ 蒸馏 50 min, 用 10 mL 水吸收蒸 出的 OsO<sub>4</sub>。用于 ICPMS(等离子体质谱仪测定)测 定 Os 同位素比值。将蒸馏残液倒入 150 mL Teflon 烧杯中待分离铼。

#### 2.4 萃取分离 Re

将第一次蒸馏残液置于电热板上,加热近干。 加少量水,加热近干。重复两次以降低酸度。加入 10 mL 5 mol/L NaOH,稍微加热,转为碱性介质。 转入 50mL 聚丙烯离心管中,离心,取上清液转入 120 mLTeflon 分液漏斗中。加入 10 mL 丙酮,振荡 5min. 萃取 Re。静止分相,弃去水相。加 2mL 5mol/L NaOH 溶液到分液漏斗中,振荡 2 min,洗 去丙酮相中的杂质。弃去水相,排丙酮到 150 mL 已加有 2mL 水的 Teflon 烧杯中。在电热板上 50℃ 加热以蒸发丙酮。加热溶液至干。加数滴浓硝酸和 30%过氧化氢,加热蒸干以除去残存的锇。用数毫 升稀 HNO₃溶解残渣,稀释到硝酸浓度为 2%。备 ICPMS 测定 Re 同位素比值。如含铼溶液中盐量超 过1 mg/mL,需采用阳离子交换柱除去钠。

#### 2.5 质谱测定

采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series ICPMS测定同位素比值。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。

#### 2.6 Re-Os 年龄分析结果

前人(李光明等,2006)在测量明则斑岩-层矽卡 岩复合型钼铜钨矿的东侧冲木达铜金矿床中,选择 层纹条带状砂卡岩型铜金(钼)矿石采集6件辉钼矿 样品进行 Re-Os 同位素年龄分析,结果表明冲木达 铜钼矿的 Re-Os 模式年龄介于(37.63±0.52)-(41.19±0.51)Ma之间,等时线年龄值为(40.3± 5.6)Ma。本次工作在努日矿床采集的11件辉钼矿 样品和在明则矿床采集8件辉钼矿样品 Re-Os 同 位素分析数据结果分别列于表1、表2。

表 1~2 中:普 Os 是根据 Nier 的值 Os 同位素 丰度,通过<sup>192</sup> Os/<sup>190</sup> Os 测量比计算得出,<sup>187</sup> Os 是 <sup>187</sup> Os同位素总量;Re、Os 含量的不确定度包括样品 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%。

年龄 t 按下式计算,其中  $\lambda$ (<sup>187</sup> Re 衰变常数)= 1.666×10<sup>-11</sup>a<sup>-1</sup>。

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

从表1中可以看出努日矿床的模式年龄介于 23.4~23.8Ma之间,利用 ISOPLOT 软件作用(见图 2),得出努日矿区辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄值



图 2 第日W区中鮮HW Re-Os 时位系导时线 Fig. 2 Geochron of molybdenite Re-Os isotope in Nuri ore field, Xizang(Tibet)





为(23.62±0.97)Ma;从表 2 中知道明则矿床的模式 年龄介于 29.97~30.39 Ma 之间,利用 ISOPLOT 软 件作用同样可得明则矿区辉钼矿 Re-Os 同位素等时 线年龄值为(30.26±0.69)Ma(见图 3)。

# 3 冈底斯成矿带陆缘走滑转换成矿作用:时空分布与类型特征

众所周知,冈底斯成矿带是印度大陆与亚洲大 陆对接(碰撞)期间形成的重要成矿带。问题是:全 球板块运动场中"大约59%的相对运动矢量与板块 运动法线相交(>22°)(据 Woodcock, 1986 年统计) (宋鸿林,1996),而板块碰撞期间由于板块边界与运 动方向斜交而出现的会聚走滑(convergent)和离散 走滑(divergent wrenching)往往被人们所忽视。 《印度一亚洲主碰撞带成矿作用》973项目(侯增谦 等,2008),经过 2002~2008 年工作,创新性提出了 碰撞造山三阶段演化模式,及主碰撞聚合(65~ 41Ma)、晚碰撞转换(40~26Ma)、后碰撞伸展(25~ 0Ma)三阶段连续演变过程。同时,对40~26Ma期 间青藏高原东缘"三江地区"大规模的走滑运动系统 及其成矿作用予以重视,但对冈底斯成矿带的走滑 转换成矿作用此前未见相应报道。不久前本文主要 作者以冈底斯东段泽当大型钨铜钼矿形成模式为

表 1 努日矿区中辉钼矿 Re-Os 同位素含量及模式年龄 Table 1 Re-Os isotopic contents and model ages of molybdenite in the Nuri ore district

原样名	样重(g)	Re 年(g/g)		Os 普(ng/g)		$^{187}\mathrm{Os}(\mathrm{ng/g})$		$^{187}{ m Re}/^{188}{ m Os}$		<sup>187</sup> Os/ <sup>188</sup> Os		模式年龄(Ma)	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
Ro I −1	0.004	300599	2977	15.52	0.29	76.0	0.80	93578	1984	38	0.71	23.8	1.1
Ro I -2	0.004	291775	2363	14.45	0.14	72.7	0.80	97542	1213	39	0.40	23.4	0.9
Ro I -4	0.004	292128	3072	18.03	0.38	76.1	0.77	78281	1842	32	0.68	24.4	1.2
Ro I -9	0.004	311865	3582	29.56	0.58	79.3	1.11	50958	1154	21	0.45	23.6	1.7
Ro⊥-10	0.004	256798	2174	10.40	0.26	64.9	0.56	119228	3161	48	1.18	23.8	1.1
Ro∐-11	0.004	313388	2521	18.86	0.47	80.0	0.84	80248	2083	33	0.81	23.9	1.3
Ro ∐ -1	0.004	295641	2503	17.17	0.16	74.7	0.61	83166	1059	33	0.24	23.7	1.0
Ro I −2	0.004	291365	2766	16.40	0.16	73.1	0.60	85817	1167	34	0.26	23.5	1.0
Ro I −3	0.006	291324	2577	16.84	0.19	73.1	0.61	83549	1208	33	0.33	23.5	1.0
Ro I −4	0.004	297820	2615	17.42	0.14	74.3	0.59	82576	987	33	0.16	23.4	1.0
<b>R</b> o∐-5	0.004	295678	2227	16.97	0.13	75.2	0.59	84136	901	34	0.13	23.8	1.0

表 2 明则矿区辉钼矿 Re-Os 同位素含量及模式年龄

Table 2         Re-Os isotopic contents and model ages of molybdenite in the Mingze ore distribution	rict
--	------

原样名	样重 (g)	Re ( $\mu g/g$ )		Os 普(ng/g)		$^{187}\mathrm{Re}(\mu\mathrm{g/g})$		$^{187}\mathrm{Os(ng/g)}$		模式年龄 (Ma)	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
MRo I -1	0.00466	365.7	3.0	1.6414	0.0609	229.8	1.9	116.08	0.94	30.31	0.42
MRo I -2	0.00295	388.2	3.0	1.4862	0.0535	244.0	1.9	122.52	0.98	30.13	0.42
MRo I -3	0.00327	233.7	1.8	0.3949	0.0469	146.9	1.1	73.53	0.68	30.04	0.44
MRo I -4	0.00375	317.5	2.4	1.1617	0.0426	199.5	1.5	100.58	0.81	30.25	0.41
MRo I -5	0.00315	334.1	2.7	1.8664	0.0506	210.0	1.7	106.32	0.85	30.38	0.42
MRo I -6	0.00353	328.0	2.7	1.3155	0.0444	206.1	1.7	104.41	0.93	30.39	0.45
MRo I -7	0.00388	361.9	3.4	1.6162	0.0230	227.5	2.1	114.75	1.01	30.27	0.46
MRo I -8	0.00366	419.5	3.1	1.1888	0.0635	263.7	2.0	131.69	1.06	29.97	0.41

例,提出冈底斯成矿带 68~23Ma 走滑型陆缘转换 成矿新认识(闫学义等,2010;有关私人通讯认识已 为侯增谦部分引用,2010)。本文作者认为:冈底斯 成矿带是陆缘走滑转换成矿作用的结果,早碰撞期 (68~38Ma)表现为"会聚走滑",晚碰撞期(30~ 13Ma)表现为"离散走滑"。

走滑转换构造(strike-slip transform structure) 一词曾由叶洪(1988)做了系统的论述。所指"与走 滑断层相伴生的或者说由断层的走滑运动转换而成 的各类张性、压性或张扭性、压扭性构造"。按照地 质力学理论的说法,"走滑断层"为高序次构造,"转 换构造"系由高序次主干走滑断层沿两盘的位移在 断层末端形成不同力学性质、不同方向的另一类型 低序次构造,这种低序次构造若为张性、张扭性的 (如剥离断层),则称"拉分型转换构造";若为压性、 压扭性构造(如逆冲断层),则称"推闭型转换构造"。

#### 3.1 走滑转换成矿的时空分布

#### 3.1.1 早碰撞期(68~38Ma)转换成矿作用

在新特提斯洋往东北斜向俯冲-闭合进而发生 陆-陆对接期间,由于一级序雅江走滑断裂(F<sub>1</sub>)的 左旋剪切作用,冈底斯东段由东往西先后形成了 NEE 向朗县基底剥离断层、泽当层间剥离断层,并 在后续回弹活动中形成与 NEE 向上层次剥离断层 有关的达孜-甲马"类双峰"玄武-流纹质次火山岩脉 带(53~42Ma)(侯增谦,2006),三者共同组成了雅 江走滑断裂的拉分型转换构造。从现有同位素年龄 资料看,早期拉分型转换构造成矿时限为68~ 40Ma,因为赋存在拉分型转换构造——层间剥离断 层带的努日式层矽卡岩钨铜钼矿,其中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄值为(40.3±5.6) Ma;泽当北西 西方向约 20 公里处的朗达铜矿中辉钼矿 Re-Os 等 时线年龄值为 47.6 Ma(侯增谦等,2006 引自李光 明等,未刊资料);与成矿关系密切的次火山岩(闫学 义等,2010)所在层位—— 旦师庭组安山岩 Rb-Sr 等 时年龄为 67.78 Ma<sup>●</sup>;甲马层矽卡岩型铜铅锌 (钼)矿成矿期石英流体包裹体 Rb-Sr 等时年龄为 54.25Ma(李胜荣等,2008)、亚贵拉层矽卡岩型铅锌 银(钼)矿中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄值为 66± 10Ma(唐菊兴,2008,未刊资料)。

冈底斯成矿带大致以当雄(-大竹卡)北东向大 型左行走滑断裂(图4FⅡ)为界划分为以东的"东 段"(又称"中东段")和以西的"西段"。由于在53~ 38 Ma期间该二级序左旋走滑断裂作用,东西两段 分别形成了近东西向推闭型转换构造带:北部是以 石炭-二叠系(C-P)透镜状地块组成的断隆区,在其 东段伴随出现近东西向推闭型转换断裂带(南倾逆 冲断层,秦克章等,2008)沙让斑岩型钼矿(51~ 53Ma,其中 53 Ma 为含矿斑岩锆石 U-Pb 年龄,秦 克章等,2008;51Ma为7件辉钼矿Re-Os等时线年 龄值,唐菊兴等,2009);南部是以侏罗-白垩地层组 成的断陷区,在其西段伴随出现近东西向推闭型转 换断裂带(据朗兴海 2007 年学位论文资料:含矿构 造为北倾逆冲断层,矿化斑岩中可见眼球状压裂石 英斑晶)控制的雄村斑岩型铜金矿(47.62~38.11 Ma,据伟晶岩脉钾长石 K-Ar 测年和热液绢云母 <sup>40</sup> Ar/<sup>39</sup> Ar 测年,徐文艺等,2006),其北东部类似含 矿断裂带构造的还有吉如斑岩型铜矿,矿床中辉钼 矿的 Re-Os 加权模式年龄值为 49.2±10Ma(龚福 志等,2008)。其中,斑岩型矿床受推闭型转换断裂 控制,得益于当雄二序次走滑断裂的左旋剪切作用 (见图4、表3)。

#### 3.1.2 晚碰撞期(30~13Ma)转换成矿作用

晚碰撞期(30~13Ma)在冈底斯成矿带东段泽 当矿田:明则矿区形成斑岩型钼矿的"J"字型走换推 闭型转换构造,其中明则斑岩型钼矿赋存在 NWW 向逆冲断层的断坡引张部位,平面上往东为 NEE 走向的和含矿剥离断层连成一体。早期(68~ 40Ma)NEE 向剥离断层后期(30~23Ma)正断式左 旋走滑作用,不仅形成与脆韧性剪切有关的多米诺 牌形构造、旋转透镜体、粗糜棱岩化,而且在 NWW 走向形成了以迭瓦状逆冲断层组合为特征的推闭型 转换构造,构筑了斑岩型矿床所具备的封闭式构造 环境条件。含矿断裂在剖面上见粗糜棱岩化-扁豆 体化含钼钾长花岗岩,缓处构造带储存矿体明显加 厚,显示上盘逆冲过程之扭动外力产生张应力在断 面缓处造成局部引张的构造控矿特征。努日矿区早 期(68~40Ma)层矽卡岩型矿体发生层间"S"型扭 曲,显示层间剥离断层由于区域性三、四级序走滑断 裂作用而发生继承性斜滑作用过程。因此,南矿段 钨铜钼主矿体平剖面均呈"S"形,指示平面上左旋 扭动、剖面上上盘斜滑的演变特征。

由于这种斜向走滑伴有上盘斜落且由东往西递 进发展,因此,在其控制下的斑岩铜矿成矿年龄则由 东往西递减:在泽当矿田南东侧明则斑岩型钼铜矿 Re-Os 年龄值为 30Ma,西北侧努日浸染状铜钼矿化 石英闪长岩(ðoE<sub>3</sub>)Ar-Ar 年龄为 23.77Ma(李光明 等,2006);在吹败子至朱诺一线,含矿斑岩成岩(成 矿)时代自东向西变新:吹败子 18.7Ma(20.7Ma)→



图 4 冈底斯成矿带斑岩-层矽卡岩型矿床与走滑转换构造时空关系

Fig. 4 Temporal and spatial relations of porphyry-layer skarn deposit and strike-slip converting

structure in Gang Disi metallogenic belt

1-断陷区;2-断隆区;3-走滑断裂及级序;4-拉分型转换断裂(剥离断层)及序号;5-推闭型转换断裂(逆冲断层);6-推闭型转换构 造(断隆与断陷)分界线;7-走滑运动方向;8-铜矿床(点);9-金矿床(点);10-铅锌矿床(点);11-铜金矿床(点);12-钨铜钼矿床 (点);13-钼矿床(点);14-铅锌银矿床(点);15-铜铅锌矿床(点)

1—fault subsidence district; 2—upfaulted district; 3—strike-slip fault and serial number; 4—pull-type converted fault (denudational fault) and serial number; 5—push-closure type converted fault (thrust fault); 6—push-closure type converted structure, the boundary of upfault and fault subsidence; 7—strike-slip movement direction; 8—copper deposit (spot); 9—gold deposit (spot); 10—lead-zinc deposit (spot); 11—copper-gold deposit (spot); 12—tungsten-copper-molybdenum deposit(spot); 13—molybdenum deposit (spot); 14—lead-zinc-silver deposit (spot); 15—copper-lead-zinc deposit (spot). F I —First order strike-slip fault - Layer skarn deposit (± mineralization superposition): pull-type converted fault; F II —Second order strike-slip fault—Porphyry deposit: Push-closure type converted fault; F II — The third and fourth order strike-slip fracture converted rock-forming: Push-closure type converted structure-hydrothermal superposition rock-forming in porphyry deposit or in the period of skarn-forming

得明顶 17.8Ma(15.68Ma)→驱龙 17.58Ma(达布 15.53Ma)→厅宫 15.49Ma(17.0Ma)→冲江16.14 Ma(14.56Ma)→朱诺 16.9Ma(13.93a)<sup>●</sup>。

#### 3.2 走滑转换成矿的类型特征

冈底斯成矿带已知的中大型铜多金属矿床,几 乎没有例外地与陆缘走滑转换构造密切相关,但就 工业类型而言可分为"斑岩型"和"层砂岩型"两大类 型,兹将冈底斯成矿带陆缘走滑转换成矿的类型特 征总结分析于表 3,并归纳以下几点共同特征:

(1)从转换成矿构造类型上看,斑岩型矿床受控

于推闭型转换构造,层砂卡岩型矿床则受控于拉分 型转换构造。

(2)从野外找矿蚀变标志上看,斑岩型矿床表层 往往多见青盘岩化、泥化、千枚岩化(火烧皮)、黄铁 绢英岩化等面型蚀变;层矿卡岩型矿床则出现在碳 酸盐相与碎屑岩相之间的层间剥离断层带或滑脱型 层间破碎带,特征标志层为(硅灰石、绿帘石、透辉 石)石榴石层砂卡岩。

(3)从矿种与含矿斑岩岩石类型关系上看,钼钨 矿与偏碱性的似斑状钾长花岗岩关系密切,铜金矿 则与偏中性的二长花岗(斑)岩-花岗闪长(斑)岩息 息相关;斑岩型铅锌银矿尚未发现。

### 4 讨论与结论

发生在 68~13Ma 期间的印度大陆欧亚大陆的 碰撞成矿事件,其陆缘构造动力型式为走滑(转换) 型。走滑转换构造与含矿斑岩体、层砂卡岩的时空关 系分析是区域成矿学研究的有效方法,而走滑转换构 造成矿的时空演化规律是成矿预测的核心问题。本 文在综合分析基础上,着重阐述以下几个问题。

#### 4.1 转换成矿时限与年龄间断

以斑岩、层砂卡岩主要类型矿床为代表的冈底 斯成矿带陆缘走滑成矿年龄下限应为 66~68Ma, 因为东冈底斯北缘亚贵拉层砂卡岩型铅锌银(钼)矿 床中辉钼矿的 Re-Os 年龄为 66.0Ma,东冈底斯南 缘努日层砂卡岩型钨铜钼矿的成矿与旦师庭组 (K<sub>2</sub>E)次火山热液作用有关(闫学义等,2010),而旦 师庭组火山岩 Rb-Sr 年龄为 68Ma。

以斑岩、层砂卡岩主要类型矿床为代表的冈底斯 成矿带陆缘走滑成矿年龄上限应为13Ma±,因冈底 斯西段朱诺斑岩铜矿 Re-Os 年龄为13.93Ma,冈底斯 东段北缘蒙亚啊铅锌矿近矿花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS 年龄13.9±0.27Ma。走滑主应力场被伸展主应 力场替代时间以13~8 Ma 南北向碰撞裂谷的形成-活动为标志:因为南北向碰撞裂谷活动时代由南往北 逐渐年轻、位移量由大变小,表明其形成动力与印度 大陆由南往北的碰撞运动有关(张进江,2007)。

在冈底成矿带主要类型矿床之"68~13Ma"成 矿时限内,存在"37~31Ma"的明显年龄间断,本文 新获的明则辉钼矿 Re-Os 等时年龄(30.26±0.69) Ma,代表东冈底斯成矿带南部斑岩型矿床的年龄 "老大";其西侧努日辉钼矿 Re-Os 等时年龄(23.62 ±0.97Ma)与"S"形层砂卡岩型钨铜钼矿体下盘含 矿石英闪长玢岩体(E<sub>3</sub> δo)Ar-Ar 年龄(23.77Ma)基 本一致,代表同期(叠加)成矿斑岩家族的"老二";再 往西就是与上部剥离断层-"走滑式复活"有关的驱 龙式铜矿,年龄往西有规律地递减。基于此,并考虑 到走滑断层的可持续活动和剥离断层的继承性活 动,可以预测泽当矿田层间剥离断层以东地区特别 是朗县-林芝基底剥离断层构造岩浆活动带有望发 现 37~30 Ma 的斑岩型矿床。

#### 4.2 转换成矿类型特征及走滑应力场旋转方向

斑岩型矿床受控于推闭型转换构造,富集加厚 于逆冲断层带断坡引张型构造空间,或 NWW-近东 西向"先压后张"断裂构造带。

层砂卡岩型受控拉分型转换构造,赋存于"J-K" 比马组、多底沟组、门中组碳酸盐岩与碎屑岩层间滑 脱型剥离断层或"C-P"碳酸盐岩-碎屑岩层层间滑脱 型破碎带。

从成矿时空变化规律上看,冈底斯东段层矽卡 岩型矿床自南往北出现 WMoCu(高中温)-CuPbZn (中温)-PbZnAg(中低温)的成矿温度、成矿元素水 平分带(闫学义等,2010),显示了控矿剥离断层由深 层次剥离并往浅层次发展演化的成矿规律;斑岩型 (驱龙式)矿床形成年龄自东往西由 21Ma 递变为 15Ma 的现象表明晚期走滑转换构造的主干断裂继 承剥离断层活动而显示斜向走滑(斜落)特征。上述 陆缘走滑转换成矿由南往北、从东往西的迁移演变 规律,反映了冈底斯成矿带"反时针旋转"的区域性 走滑转换成矿构造应力场特征。

#### 4.3 今后找矿方向

#### 4.3.1 沿边找钼找钨

沿冈底斯岩浆弧带的南一东一北"边缘",不仅 是印度大陆与亚洲大陆走滑对接-推闭挤出地壳加 厚地带,而且是岩浆弧带深部"热向斜"热上涌的前 锋带,有助于壳源-中高温钨钼矿的产出,尤其要注 意北缘 C-P 断隆区钾长花岗(斑)岩出露区-推闭型 转换断裂带斑岩型钼矿的寻找、特别需要重视南缘 W-Mo 化探异常区和钾长花岗(斑)岩出露区-推闭 型转换断裂带斑岩型钼钨矿的寻找(重点是温区-桑 日-朗县-林芝一带)。在冈底斯东段南部,要以山南 勘查开发基地为核心,加大整装勘查开发力度,争取 在钨铜钼等找矿方面取得新的更大突破。

#### 4.3.2 沿走滑转换构造带找铜金多金属矿

在东冈底斯拉分型、推闭型转换断裂并存的泽当、 驱龙、亚贵拉等大型矿床周边地区,主攻斑岩-层砂卡岩 复合型铜多金属"富-大矿",在西冈底斯推闭型转换断 裂发育地区,主攻雄村式斑岩型铜金"大矿"。

致谢:本文是《西藏冈底斯东段铜多金属资源评价与新方法技术研究》科研项目的部分阶段成果,第二地勘院西藏分院野外地质技术人员打下了良好的勘查工作基础,科研项目野外工作中曾经与秦克章博导等中科院研究人员合作并就研究区域主要地质问题作过现场讨论交流,国家地质实验测试中心屈文俊、曾法刚等参加辉钼矿 Re-Os 法分析测年,刘阳博士和吴志山助工参加了野外调研工作,文稿编辑过程郝梓国研究员提出许多宝贵的修改意见,在此对他们表示衷心的感谢。

表 3 冈底斯成矿带走滑转换成矿作用类型特征

Table 3 The style features of strike-slip converted rock-forming action in Gang Disi rock-forming belt

	矿种	CuAu	Cu(Mo)	Mo(Cu)			
	矿床式	雄村式	驱龙式	沙让式	明则式		
	成矿年限	$49 \sim 38 \mathrm{Ma}$	21~15Ma	53~51Ma	30Ma		
				似斑状钾长花岗岩、			
	含矿斑岩类型特征、 构造特征、蚀变类型	黑云母二长花岗岩,锆石 U-		花岗斑岩(锆石 U-			
		Pb 年龄 56Ma(据西藏地勘	黑云母二长花岗岩-二长花岗	Pb 年龄 53Ma(秦克	似斑状钾长花岗岩		
斑		局,2004),在北西西向岩体下	斑 岩, 锆 石 U-Pb 年 龄	章等,2008),在东西	(E <sub>3</sub> ξγ),在北西西向		
岩		盘压性断裂-蚀变带成矿。表	17Ma❸,在北西西向控岩压性	向控岩控矿逆冲断	控岩控矿逆冲断层-		
刑		层泥化、绿泥石-绢英岩化等。	破碎-蚀变带成矿。表层青盘	层-蚀变带成矿,表	蚀变带成矿。表层		
工		深部见含矿眼球状石英闪长	岩化-千枚岩化等。	层青盘岩化-硅、泥	泥化-千枚岩化等。		
‴ 床		斑岩。		化-千枚岩化(钼华)			
1				等。			
	隶属成矿区带	冈底斯西段南部带	冈底斯东段中部带	冈底期东段北部带	冈底斯东段南部带		
	控矿构造型式(图4)	"√"字型走滑推闭型转换断	"√"字型(或S型)走滑推闭	反"√"字型走滑推	"√"字型走滑推闭		
		裂	型转换断裂	闭型转换断裂	型转换断裂		
	代表性由大型矿床		驱龙(+羌堆)、厅宫(+冲江				
	(占)	雄村、吉如	+南木+达布)、(吹败子+得	沙让、汤不拉	明则		
			明顶+汤不拉)				
	矿种	WCuMo(Au)	CuPbZn(Mo)	PbZnAg(Mo)			
	矿床式	努日式	甲马式	亚贵拉式			
	成矿年限 68~40(23)Ma		54(-15.41)Ma	66~40Ma			
	隶属成矿区带	冈底斯东段南部带	冈底斯东段中部带	冈底斯东段北部带			
层		J-K碳酸盐相与碎屑岩相的	J-K碳酸盐相(灰岩、大理岩)				
119		2股市(冰市透牌石)石榴石 日本上山 近式东山北一区井	与碎屑岩相(角岩化砂板岩)	C-P碳酸盐相(大理岩)与碎屑岩相(变质粉 砂岩)的过渡带(绿帘透辉石)石榴石层砂卡 岩,近矿石英斑岩年龄为40Ma <sup>6</sup> 。			
Т Ш	含矿标志层及近矿	层砂下石, 近初 斑石 万 二 氏化	的过渡带(硅灰石、透辉石)石				
石	斑岩	冈石(E <sub>2</sub> ηγ, 5/Ma) 和石央内	榴石层砂卡岩,近矿花岗闪长				
型		长坊右(E <sub>3</sub> δ0, Ar-Ar 法年酸     メ a) (E <sub>3</sub> δ0, Ar-Ar 法年酸     メ b) (E <sub>3</sub> δ0, Ar-Ar (E <sub>3</sub> δ0, Ar (E <sub>3</sub> δ0, Ar-Ar (E <sub>3</sub> δ0, Ar (E <sub>3</sub> δ0,	斑岩 K-Ar 年龄为 65 ~				
旬		为 23. 77 Ma, 学 光 明 等,	50 <b>Ma</b> ● 。				
床			<u> </u>	<u> 사내 1 방안 표미는 제 수소 시 표마는 산 씨로 전히 더 안 3편 마산</u>			
	控矿构造型式(图4)	料 八 子型正宿拉分型转换	料 八 子型正宿拉分型转换	科 八 子望正俏拉汀望转拱断裂: 云间简脱 m. P			
	代表性由大刑矿床	<b> </b>	町袋: 伝 间 宿 脱 断 层	断层			
	(点)	努日(冲木达、明则)	甲马(羌堆)	亚贵拉(洞中松多、蒙亚啊、勒青拉、则学)			
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1	1				

#### 注 释

- 西藏自治区地质勘查局. 1993. 1:20 万浪卡子幅-泽当幅区域地 质调查报告.
- ❷ 西藏自治区地质勘查局.1992.1:20 万加查幅区域地质调查报告.
- ❸ 西藏自治区地质勘查局.2007. 冈底斯成矿带地质勘查成果汇报.
- ❹ 西藏自治区地质六队,2000-12,甲马矿区铜铅多金属矿详查报告.
- 5 河南地质调查院,2009,青藏高原专项 2009 年度工作方案.

#### 参考文献

- 龚福志,郑有业,张刚阳,屈文俊.2008. 首次在冈底斯发现主碰撞期 斑岩铜矿——来自西藏吉如斑岩铜矿辉钼矿 Re-Os 同位素年 龄的证据.四川地质学报,28(4):296~299.
- 侯增谦,莫宣学,高永丰,杨志明,董国臣,丁林. 2006. 印度大陆与 亚洲大陆早期碰撞过程与动力学模型——来自西藏冈底斯新生

代火成岩证据. 地质学报, 80(9):1233~1248.

- 侯增谦,杨竹森,徐文艺,莫宣学,丁林,高永丰,董方浏,李光明,曲 晓明,李光明,赵志丹,江思宏,孟祥金,李振清,秦克章,杨志明. 2006.青藏高原碰撞造山带:主碰撞造山成矿作用(I).矿床地 质,25(4);337~354.
- 侯增谦,王二七. 2008.印度-亚洲大陆碰撞成矿作用主要研究进 展.地质学报,29(3):275~292.
- 侯增谦,杨志明. 2009.中国大陆环境斑岩型矿床:基本地质特征、岩 浆热液系统和成矿概念模型.地质学报,83(12):1779~1817.
- 侯增谦. 2010.大陆碰撞成矿论. 地质学报,84(1):30~58.
- 李光明,秦克章,丁奎首,李金祥,王少怀,江善元,林金灯,江化寨,方 树元,张兴春.2006. 冈底斯东段南部第三纪夕卡岩型 Cu-Au± Mo矿床地质特征、矿物组合及其深部找矿意义. 地质学报,80 (9):1407~1421.
- 李光明,刘波,佘宏全,丰成友,屈文俊. 2006. 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 Re-Os 同位

素年龄证据.地质通报,25(12):1483~1485.

- 李胜荣等.2008. 西藏墨竹工卡县甲马多金属矿床几组年龄数据的 比较与成因研究. 岩石学报,24(3):511~518.
- 秦克章,李光明,赵俊兴,李金祥,薛国强,严刚,粟登奎.2008.西藏首例独立钼矿一冈底斯沙让大型斑岩钼矿的发现及其意义. 中国地质,35(6):1101~1112.
- 宋鸿林,1996.斜向滑动与走滑转换构造.地质科技学报,15(4):33 ~37.
- 唐菊兴,陈毓川,王登红,王成辉,许远平,屈文俊,黄卫,黄勇,等. 2009.西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼-锇同位素年龄 及其地质意义.地质学报,83(5):698~704.

- 叶洪.1988. 断块构造理论在研究"走滑转换构造"中的应用.见:孙枢 等主编,断块构造理论及其应用.北京:科学出版社,22~31.
- 徐文艺,曲晓明,侯增谦,杨竹森,潘凤雏,崔艳合,陈伟十,杨丹,连 玉.2006.西藏雄村大型铜金矿床的特征、成因和动力学背景.地 质学报,80(9):1392~1406.
- 闫学义,黄树峰.2010. 冈底斯东段泽当大型钨铜钼矿新发现及走滑型陆缘成矿新认识. 地质论评,56(1):9~19.
- 张进江,2007. 北喜马拉雅及藏南伸展构造综述. 地质通报,26(6): 639~647.
- 翟裕生.1999.论成矿系统.地学前缘,6(1):13~27.

# Re-Os Ages of Large Tungsten, Copper and Molybdenum Deposit in the Zetang Orefield, Gangdisê and Marginal Strike-slip Transforming Metallogenesis

YAN Xueyi<sup>1)</sup>, HUANG Shufeng<sup>1,2)</sup>, DU Andao<sup>3)</sup>

Beijing Institute of Geology for Mineral Resources of China Metallurgical Geology Bureau, Beijing, 100025;
 The Second Geological Prospecting Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Putian, Fujian, 351111;
 National Research Centre of Geoanalysis, Beijing, 100037

#### Abstract

Based on the Re-Os isochron age (40.  $3\pm5$ . 6Ma) of disseminated molybdenite from the Chongmuda skarntype Cu-Au deposit in Gangdisê, Tibet, two sets of Re-Os isochron ages for the orefield were obtained. The molybdenite Re-Os isochron age of blind porphyry-type molybdenum deposit is 30.  $26 \pm 0.69$ Ma and spotted molybdenite Re-Os isochron age of Nuri layered skarn-type W-Cu -Mo deposit superimposed by later quartz diorite porphyry is 23.  $62 \pm 0.97$  Ma. Starting with the new understanding of strike-slip marginal metallogenesis, this paper summarizes the characters of marginal strik-slipping metallogenesis, and spatial-temporal distribution of porphyry deposits in the Gangdisê metallogenic belt. ① The porphyry-type deposits and stratiform skarn deposits are the primary types of the known medium-and-large-sized copper polymetallic deposits in the belt. (2) Early (68  $\sim$ 38Ma) deposits were controlled by the 1st-order and 2nd-order left-lateral strike-slip transforming structure in the strike-slip convergent stage of the "India-Asian continental margin", while late  $(30 \sim 13 \text{Ma})$  deposits by the 3rd-order and 4th-order left-lateral strike-slip transforming structure in the divergent strike-slip stage of the "India-Asian continental margin". (3) The formation of ore bodies in porphyry-type deposits is subject to strike-slip holding faults, while the formation of ore bodies of stratiform skarn deposit is subject to strike-slip dragging faults. (4) The stress field of regional strike-slip transform ore-forming structure is characterized by anti-clockwise rotation, which indicates that during 68~13Ma, the Indian Continent spliced obliquely towards northern northeast relative to the Asian Continent, and was replaced by the extensional-dominated stress field during the formation of South-North collisional rift at  $13 \sim 8$  Ma. At last, this study outlines the orientation for ore exploration: molybdenum and tungsten deposits along the margin, and Cu-Au polymetallic along strike-slip transforming structure belt, with a main target at rich and large compound porphyry-type and stratabound skarn-type deposits.

**Key words:** Gangdisê; marginal convergent strike-slip; copper and molybdenum minerals; Re-Os age; Zetang Orefield; Xizang(Tibet)