

西藏工布江达地区亚贵拉铅锌钼矿床辉钼矿 Re-Os测年及其地质意义

高一鸣¹, 陈毓川², 唐菊兴¹, 李超³, 李新法⁴, 高明⁴, 蔡志超⁴

GAO Yi-ming¹, CHEN Yu-chuan², TANG Ju-xing¹, LI Chao³,

LI Xin-fa⁴, GAO Ming⁴, CAI Zhi-chao⁴

1. 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;

2. 中国地质科学院, 北京 100037;

3. 国家地质实验测试中心, 北京 100037;

4. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450001

1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences/Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Ministry of Land and Resource, Beijing 100037, China;*

2. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

3. *National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China;*

4. *Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001, Henan, China*

摘要: 为确定念青唐古拉成矿带斑岩型矿床的成矿时间, 对亚贵拉铅锌钼多金属矿集区斑岩钼矿的5件辉钼矿样品进行了Re-Os同位素分析, 所获辉钼矿模式年龄在 $(64.27 \pm 0.90) \sim (65.97 \pm 1.13)$ Ma范围内, 等时线年龄为 (65.0 ± 1.9) Ma (MSWD=3.2)。亚贵拉辉钼矿属主碰撞期成矿, 成矿与短期内大规模的岩浆活动有关, 暗示念青唐古拉—冈底斯地区存在大规模的主碰撞期成矿作用。

关键词: Re-Os同位素年龄; 辉钼矿; 斑岩钼矿; 念青唐古拉; 西藏

中图分类号: P618.42; P618.43; P618.65; P597+.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)07-1027-10

Gao Y M, Chen Y C, Tang J X, Li C, Li X F, Gao M, Cai Z C. Re-Os dating of molybdenite from the Yaguila porphyry molybdenum deposit in Gongbo'gyamda area, Tibet, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30 (7): 1027-1036

Abstract: Located in the Gongbo'gyamda County of Tibet, the Yaguila Pb-Zn, Mo deposit is a porphyry Mo skarn-hydrothermal vein type deposit occurring in the eastern part of the Gangdise belt. For the purpose of finding out the mineralization time of the porphyry type molybdenum deposit in the Nianqingtanggula mineralization belt, the authors selected five molybdenite samples from the Yaguila ore district to perform the Re-Os dating. The Re-Os dating yielded weighted average model ages of (64.27 ± 0.9) to (65.97 ± 1.13) Ma, varying in a narrow range, and an isochrone age of 65.0 ± 1.9 Ma (MSWD=3.2). It is proved that the porphyry type molybdenum deposit of the Yaguila ore district was formed during Early Eocene. The results indicate that there occurred large scale ore-forming processes during the main Indian-Asian collision period in the Gangdise belt.

Key words: Re-Os dating; molybdenite; porphyry molybdenum deposit; Nianqingtanggula; Tibet

收稿日期: 2010-04-14; 修订日期: 2011-02-17

资助项目: 国家基础研究计划“973”项目《青藏高原南部大陆聚合与成矿作用》(编号: 2011CB403103)、国家科技支撑项目《西部优势矿产资源潜力评价体系及集成示范研究》(编号: 2006BAB01A01)和中国地质调查局青藏高原专项项目《西藏冈底斯东段中新生代斑岩成矿系统与找矿预测》(编号: 1212010012005)

作者简介: 高一鸣(1981-), 男, 博士, 助理研究员, 从事矿床学研究。E-mail: rob8153@126.com

青藏高原以其得天独厚的成矿地质条件成为矿床学家研究印度-亚欧大陆板块运动、碰撞造山作用、碰撞造山与成矿作用,完善西部成矿系列理论的最佳场所^[1-12]。2000年以来的地质大调查和商业性勘查在青藏高原念青唐古拉-冈底斯地区取得了重大突破,雄村、驱龙、甲玛等矿床均达到超大型规模^[13-31],沙让、冲江、厅宫、白容、朱诺、程巴、冲木达等斑岩铜(钼)矿床具中、大型以上规模的找矿前景^[32-33],拉抗俄、达布、吹败子、吉如等多处矿化显示具有良好的含矿斑岩体,揭示了念青唐古拉-冈底斯成矿带是一条资源潜力巨大的铜多金属成矿带^[34-40]。冈底斯成矿省(Ⅱ₁₀)内的念青唐古拉成矿带属于拉萨地块三级成矿带(Ⅲ-43)内的四级成矿亚带^[41],矿带内自海西期-印支期-燕山期-喜马拉雅期火山-岩浆活动贯穿碰撞造山过程的始终,构成了一个巨大的火成岩-岩浆岩带,为成矿提供了十分有利的条件。随着区内矿产资源勘查工作的展开,碰撞造山、成矿作用和成矿系列理论研究的不断深入,找矿勘查必将有大的突破。青藏高原造山带,自印度与亚洲大陆碰撞以来,经历了主碰撞(65~40Ma)、晚碰撞(40~26Ma)和后碰撞(25~0Ma)的演化历程^[5]。莫宣学等^[10]和王成善等^[42]均从不同角度将主碰撞的起始年代推定为65Ma。随着研究的不断深入,念青唐古拉-冈底斯成矿带内主碰撞期成岩成矿的事件不断被发现^[31-33,43],但这些成岩成矿事件多属主碰撞中晚期。这给我们提出了一个重要的科学问题,即印度-亚欧大陆碰撞早期是否存在与强烈岩浆活动所对应的成矿作用。西藏工布江达县亚贵拉铅锌钼多金属矿是念青唐古拉-冈底斯成矿带一个重要的大型-超大型规模的铅锌钼多金属矿床,矿区的辉钼矿Re-Os同位素等时线年龄为(65.0±1.9)Ma(MSWD=3.2),属2个大陆碰撞伊始成矿,该测年数据对主碰撞期成矿时代研究工作填补了空白。亚贵拉-沙让矿集区成岩成矿年代学数据预示,区内不仅存在与主碰撞初期耦合的大规模岩浆活动,并且存在与该岩浆活动有关的成矿作用,即存在一次重要的构造-岩浆-成矿事件。因此,念青唐古拉-冈底斯成矿带主碰撞期早期的成矿作用不容忽视,这一认识对下一步区域找矿的工作部署具有重要意义。

1 地质概况和矿化特征

亚贵拉铅锌钼多金属矿区位于念青唐古拉成矿

带扎雪-金达铅锌多金属成矿亚带东部,大地构造位置主要位于隆格尔-唐古拉复合火山岩浆弧,北侧为班戈-崩错火山岩浆弧,南为叶巴火山弧(图1)^[44]。

区内地层出露上石炭统一下二叠统来姑组($C_2P_1l^1$),为一套灰色细碎屑岩夹碳酸盐岩沉积建造,大致相当于区域上来姑组中上部层位。矿区地层呈单斜产出,总体倾向北北西,局部倾向北北东,倾角42~71°。根据岩性组合特征,矿区来姑组由下而上可大致划分为3个岩性段(图2)^①。

第一岩性段($C_2P_1l^1$):分布于矿区南部,呈近东西向展布,主要岩性为一套灰色砂质板岩夹变石英砂岩建造,厚度大于340m。

第二岩性段($C_2P_1l^2$):分布于矿区中部,呈带状近东西向展布,为一套灰色细碎屑岩及碳酸盐岩沉积建造,厚度1220m。其中灰岩呈夹层或透镜体分布于该段地层中,一般单层厚20m左右,局部可达80m,与变石英砂岩共同构成矿区内的含矿地层。

第三岩性段($C_2P_1l^3$):分布于矿区东北部,为一套灰色砂质板岩、变石英砂岩不等厚互层,厚度大于840m,与下伏第二岩性段整合接触。

受区域性断裂的影响,矿区断裂构造发育。矿区中部发育一条北东向的次级断裂破碎带 F_1 ,为成矿后断裂构造。 F_1 断裂区内出露长度大于7000m,产状356~12°∠70~83°,东西两端被第四系覆盖。该断裂具多期活动的特点,主断裂面上常具光滑的后期构造滑脱遗迹。根据构造面上的阶步特征判断,具逆断层性质,破碎带一般宽10~40m不等,最宽可达160m,断裂东段破碎带规模大于西段。破碎带内岩石挤压片理化、构造透镜体发育,沿断裂带底部发育有一石英斑岩脉。

矿区岩浆活动强烈,主要岩石类型有灰白色黑云母花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩等。黑云母花岗岩(γ_3^3)主要分布于矿区西北部,呈不规则岩株状分布,出露面积约3.5km²。岩石呈灰白色,中细粒花岗岩结构,块状构造,主要矿物为斜长石、微斜长石、石英、黑云母。斜长石呈半自形晶,板柱状,个别呈聚片双晶,多为更长石;微斜长石呈半自形晶,板柱状;石英呈不规则粒状分布;黑云母呈片状。副矿物有磁铁矿、锆石等。花岗斑岩主要分布于矿区南部,露头稀少,为一隐伏岩体。岩石呈灰白色,具斑状结构,基质呈霏细结构,块状构造。斑晶矿物主要为斜长石、石英等,钾长石斑晶少量。斜长石斑晶呈半自形,板柱

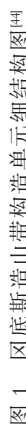


Fig. 1 Tectonic subdivisions of the Gangdise orogenic belt

1—湖泊;2—缝合带;3—构造单元界线;4—主构造单元;5—次级构造单元;6—城市;7—主要县乡;8—工作区;Ⅰ—喜马拉雅带;Ⅱ—雅鲁藏布缝合带;Ⅲ—拉昂错—牛库蛇绿岩带;
Ⅱ-2—仲巴陆块,Ⅱ-3—雅鲁藏布(公珠错—昂仁—米林)主缝合带,Ⅱ-4—朗杰学增生楔逆推带;Ⅲ—冈底斯—念青唐古拉复合岩弧;Ⅳ-1—南冈底斯
岩弧(K₂—E₂),Ⅳ-2—桑日火山弧(J₃—K₁),Ⅳ-3—叶巴火山弧(J₁—J₂),Ⅳ-4—隆格尔—念青唐古拉复合火山岩浆弧(P—T₃),Ⅳ-5—措勤—多瓦复合弧前后陆盆地,

IV-6—则弄火岩浆弧(J_5-K_1)；V—狮泉河—拉果错—阿索—永珠—纳木错—嘉黎—波密弧(简称 Slainajap 带)；VI—昂岗日—班戈—伯舒拉岭岩浆弧；VI-1—昂岗日岩浆弧；VI-2—波仓藏布—色林错弧前(?)；VI-3—班戈—崩错火山岩浆弧(K_1-K_2)；VI-4—那曲弧前盆地(?)；VI-5—伯舒拉岭岩浆弧(T_3, J_3-K)；VII—班公湖—怒江缝合带；

Ⅶ-1-1-日土-改则带→木嘎岗日带→安多-索县带→丁青-碧土带,Ⅶ-2-桂牙-觉翁弧-弧碰撞带,Ⅶ-3-东恰错增生弧(K_2),Ⅶ-4-东巧-依拉山弧-弧碰撞带,Ⅶ-5-聂荣残余弧,Ⅶ-6-嘉玉桥残余弧,Ⅶ-7-洛隆-八宿弧-弧碰撞带;Ⅷ-南羌塘和左贡前陆盆地

状, 强烈绢云母化, 多数仅保留其假象, 零散分布; 石英斑晶呈它形粒状, 零散分布。基质主要由隐晶长英质矿物组成。石英斑岩主要有 2 期, 分布于矿区北部的石英斑岩大岩基最新锆石 SHRIMP U-Pb 测年

结果为 130Ma 左右^[45], 分布在矿区中部沿 F_1 断裂带呈一小岩枝露出地表的石英斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果为 65Ma 左右 (高一鸣等, 未刊资料)。2 期石英斑岩在结构构造和矿物组成上非常类

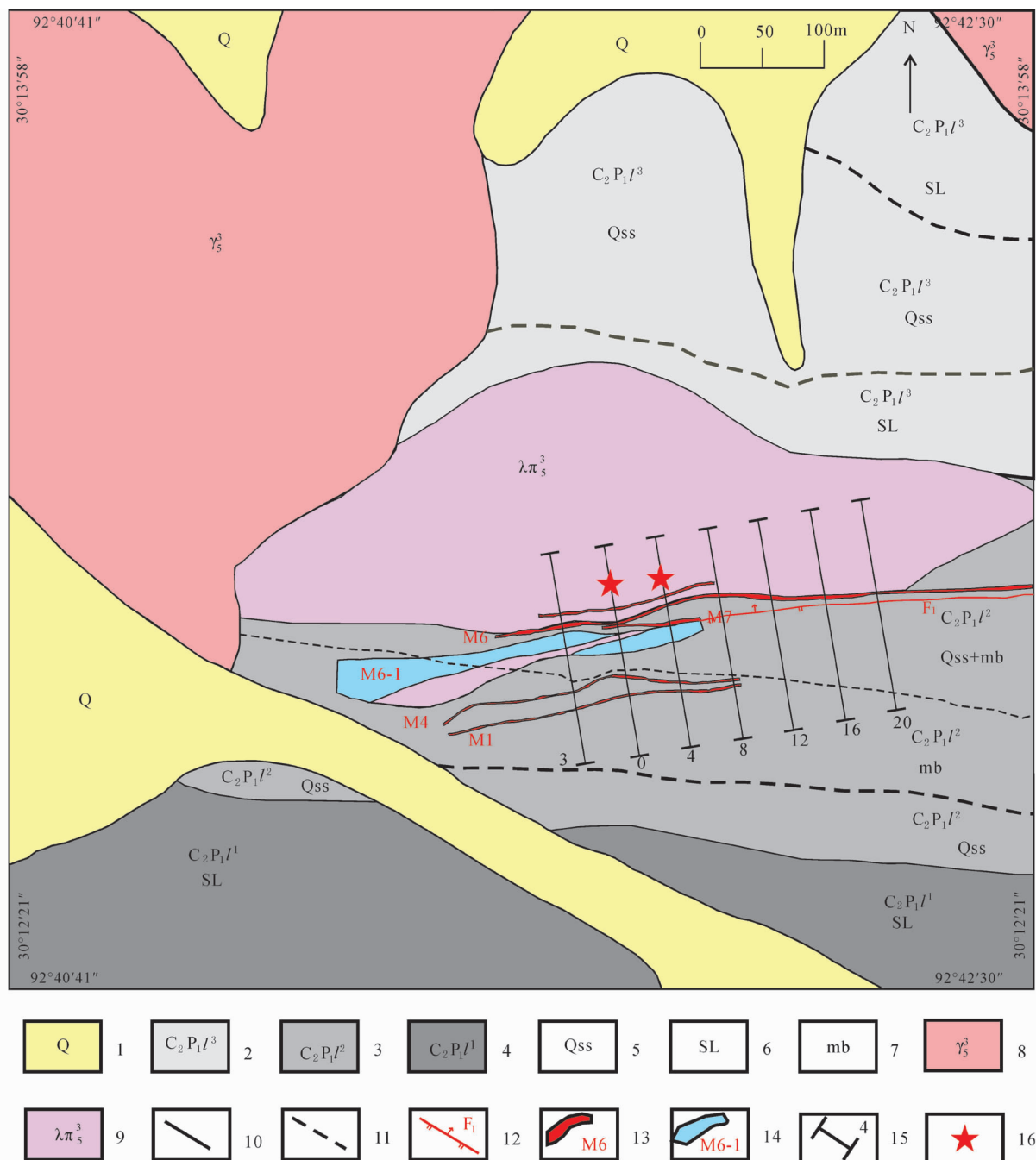


图 2 亚贵拉矿区地质简图(据参考文献①修编)

Fig. 2 Simplified geological map of the Yaguila ore district

1—第四系; 2—上石炭统—下二叠统来姑组第三段; 3—上石炭统—下二叠统来姑组第二段; 4—上石炭统—下二叠统来姑组第一段; 5—变质石英砂岩; 6—砂质板岩; 7—大理岩; 8—花岗岩; 9—石英斑岩; 10—地质界线; 11—岩性界线; 12—断层及其编号; 13—铅锌矿体及编号; 14—铜矿化带及其编号; 15—勘探线及其编号; 16—取样位置



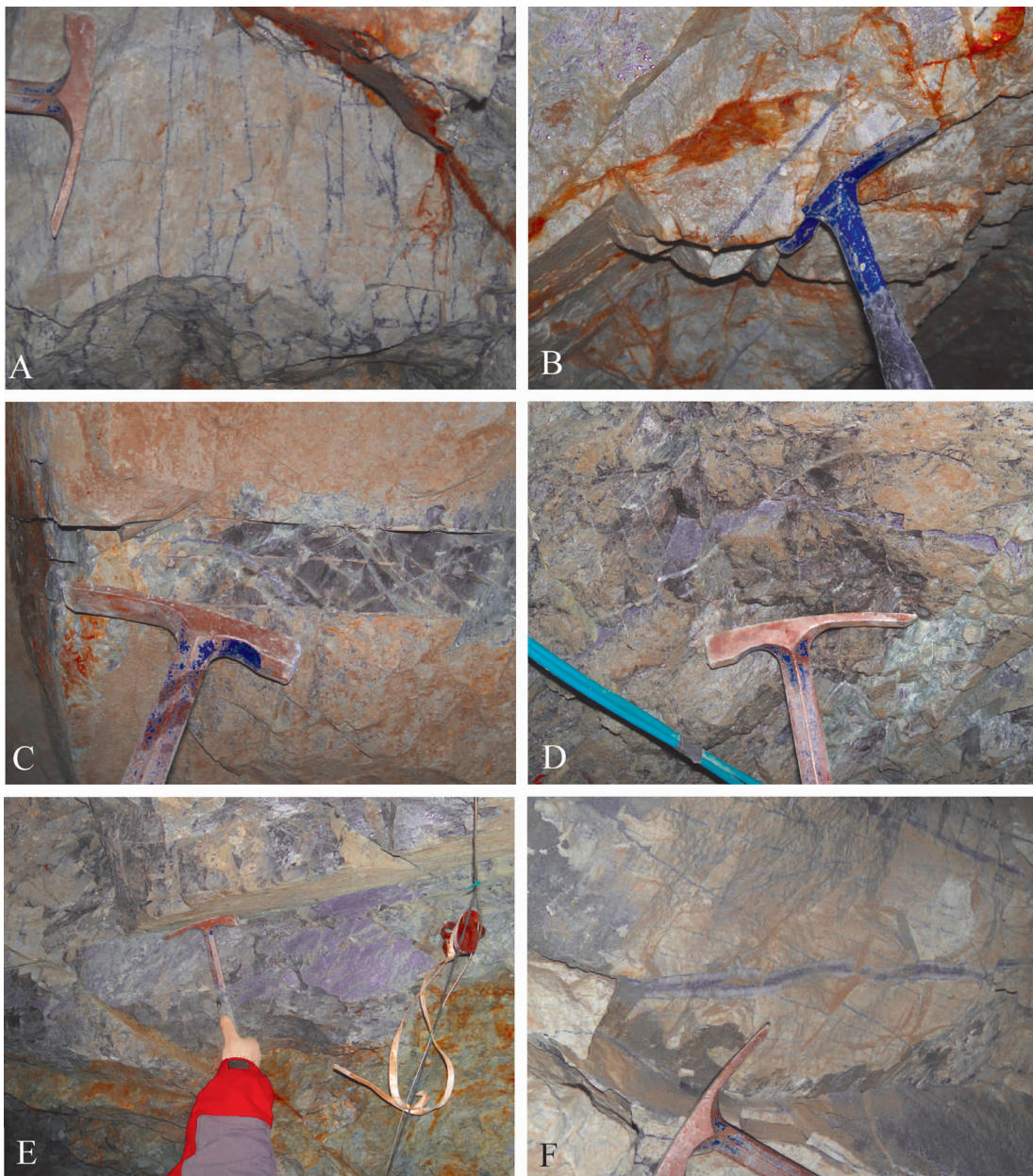
似, 岩石呈灰色, 具斑状结构, 基质呈霏细结构, 块状构造。斑晶矿物主要有石英、透长石、斜长石等。石英斑晶呈它形粒状, 斑晶形状不规则, 零散分布。基质矿物主要由隐晶长英质矿物组成, 沿裂隙有绿帘石、绢云母等充填分布。副矿物主要为磁铁矿、锆石等。

区内围岩蚀变发育, 常见有绿泥石化、绢云母化、角岩化、矽卡岩化。

矿区辉钼矿矿体呈厚层状、脉状或透镜状, 赋存

于矿区中部(图 2)石英斑岩小岩枝及其上盘的碎裂角岩中, 矿化呈细脉浸染状(脉宽 0.1~3cm)发育于石英斑岩、碎裂角岩中或直接发育于碎裂角岩裂隙面上(图版 I-3), 矿体大部呈隐伏矿体产出。初步研究认为其为斑岩-接触带角岩型钼矿床, 矿体产状和岩体的产状一致, 主要呈隐伏矿体产出, 仅在矿区西部 15~9 勘探线之间地表见有钼矿化露头。矿体地表出露最低海拔标高为 4758m, 最高为 4804m, 并

图版 I Plate I



A—石英斑岩中石英脉型辉钼矿;B—石英斑岩中石英脉型辉钼矿;C—角岩中石英脉型辉钼矿;
D—角岩裂隙面上细粒辉钼矿;E—角岩裂隙面上细粒辉钼矿;F—石英斑岩中石英脉型辉钼矿

以 120m 工程间距用 M6TC9、M6TC5 探槽工程进行了追索揭露,地表控制矿体长度 200m;深部在 PD6 坑道工程中见有厚层状钼矿体(厚 34.47m),见矿海拔标高为 4684m,在 PD3、PD5、PD4 坑道工程见有脉状或透镜状钼矿(化)体(厚 3.75~7.3m),见矿海拔标高在 4874m 以上,深部实际控制矿体长度 750m。钼矿体形态复杂,沿倾向矿体厚度变化大,膨大收缩、分支复合现象明显;沿走向变化情况目前不明。钼矿体矿石矿物为辉钼矿,脉石矿物以石英为主,有益组分主要为 Mo,局部伴生少量 Pb、Zn。钼品位为 0.03%~0.247%,平均品位 0.15%。

矿区铅锌矿矿体主要赋存于来姑组第二岩性段(C_2P_1l)内,主要赋矿岩性为角岩、大理岩、矽卡岩等。以细粒角岩为主,大理岩(矽卡岩化)一般厚 20~35m 不等,作为夹层分布于角岩中。铅锌矿体分布于近东西向展布的大理岩与角岩的层间部位,受矽卡岩或矽卡岩化大理岩的控制。

2 辉钼矿 Re-Os 同位素年龄

2.1 样品采集和样品特征

亚贵拉矿区的辉钼矿主要产于矿区中部近东西向展布的石英斑岩岩枝及其外接触带的碎裂角岩中,矿石呈细脉浸染状分布于石英斑岩、碎裂角岩

中。本次采集了辉钼矿 5 件,其中石英斑岩中的辉钼矿 4 件,角岩裂隙中的辉钼矿 1 件。样品分别采自平硐 301、平硐 401 和平硐 402 的不同矿化位置。样品编号规则为:亚贵拉拼音缩写-采样流水号或平硐拼音缩写-采样流水号,不同产出状态的辉钼矿采样信息详见表 1。本次采样包括了不同产出状态的辉钼矿,样品具有代表性。样品采自不同平硐的不同位置,可代表亚贵拉矿区的主要辉钼矿类型。

2.2 Re-Os 同位素测定

Re-Os 同位素分析测试在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室进行,数据是由电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 进行测量而得到的。Re-Os 化学分离步骤和质谱测定等分析方法详见文献[46-50]。由本次实验的标准物质 GBW04435 标准物质(HLP)和 GBW04436(JDC)的测试分析结果(表 2),可以看出分析质量较好。

2.3 分析结果

亚贵拉矿区 5 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测定结果见表 3,其中样品 PD401-14 测试了 2 次,目的是检验测试结果。普 Os 是根据原子量表^[46]和同位素丰度表^[47],通过 $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$ 测量比计算得出的, ^{187}Os 是 ^{187}Os 同位素的总量。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、

表 1 亚贵拉矿区辉钼矿样品产出特征

Table 1 Characteristics of occurrence of molybdenite from the Yaguila ore district

样品编号	赋存岩性	采样位置	产状	形态	矿物组合
YGL-2	石英斑岩	亚贵拉矿区 402 平硐	石英脉中浸染状	细粒状	石英+辉钼矿
PD301-5	石英斑岩	亚贵拉矿区 301 平硐	石英脉中浸染状	细粒状	石英+辉钼矿
PD401-9	石英斑岩	亚贵拉矿区 401 平硐	石英脉中浸染状	细粒状	石英+辉钼矿
PD401-12	角岩	亚贵拉矿区 401 平硐	裂隙中浸染状	细粒状	辉钼矿
PD401-14	石英斑岩	亚贵拉矿区 401 平硐	石英脉中浸染状	细粒状	石英+辉钼矿

表 2 实验标准物质 GBW04435 (HLP)和 GBW04436 (JDC)测定结果

Table 2 Determinations of GBW04435 (HLP) and GBW04436 (JDC)

编号	原样名	样重/g	Re/ng·g ⁻¹		¹⁸⁷ Os/ng·g ⁻¹		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
071121-9	HLP	0.01166	282327	2656	653.4	5.3	220.6	3.2
080103-23	HLP	0.00986	285603	3543	660.8	6.3	220.5	3.6
090615-19	JDC	0.1009	17.17	0.14	25.25	0.21	140.2	2.0
090703-19	JDC	0.10042	17.13	0.19	25.14	0.21	140.0	2.2

表 3 亚贵拉矿区辉钼矿 Re-Os 分析结果

Table 3 Results of Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Yaguila ore district

样品编号	岩性	样品重量/g	Re /ng·g ⁻¹		普 Os /ng·g ⁻¹		¹⁸⁷ Re /ng·g ⁻¹		¹⁸⁷ Os /ng·g ⁻¹		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
YGL-2	石英斑岩	0.00519	111719	1245	0.1896	0.0442	70218	782	76.70	0.67	65.53	1.07
PD301-5	石英斑岩	0.00294	23861	290	0.1645	0.0559	14997	182	16.49	0.15	65.97	1.13
PD401-9	石英斑岩	0.02512	56407	475	0.0158	0.0081	35453	298	38.07	0.36	64.43	0.97
PD401-12	角岩	0.00723	69534	628	0.0437	0.0337	43704	395	46.76	0.39	64.19	0.95
PD401-14	石英斑岩	0.03052	36235	286	0.0029	0.0098	22774	180	24.46	0.21	64.43	0.91
PD401-14	石英斑岩	0.02028	36388	292	0.0315	0.0160	22870	184	24.50	0.20	64.27	0.90

注:由中国地质科学院国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成

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:

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

式中, $\lambda({}^{187}\text{Re}$ 衰变常数) $=1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ 。本次试验全流程空白水平 Re 含量约为 9.2~16pg, 普通 Os 含量为 0.1~0.2pg, 远小于所测样品中 Re、Os 的含量,不会影响试验结果的准确测定。矿区辉钼矿的 Re 含量为 $(23861 \pm 290) \sim (111719 \pm 1245) \text{ng/g}$, ${}^{187}\text{Re}$ 的含量为 $(14997 \pm 182) \sim (70218 \pm 782) \text{ng/g}$, ${}^{187}\text{Os}$ 的含量为 $(16.49 \pm 0.15) \sim (76.70 \pm 0.67) \text{ng/g}$ 。辉钼矿的模式年龄分布在 $(64.27 \pm 0.90) \sim (65.97 \pm 1.13) \text{Ma}$ 的范围内,在误差范围内模式年龄较为一致。5 件样品所获得的等时线年龄为 $(65.0 \pm 1.9) \text{Ma}$ (MSWD=3.2) (图 3),加权平均年龄为 $(64.70 \pm 0.73) \text{Ma}$ (MSWD=6.8) (图 4),成矿年代属古新世早期。亚贵拉不同产状的辉钼矿基本属于同一时代成矿作用的产物。

3 讨论与结论

一般认为辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄代表成矿年龄。本文利用 Re-Os 法定年得到的不同产状的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $(64.27 \pm 0.90) \sim (65.97 \pm 1.13) \text{Ma}$, 平均模式年龄为 $64.70 \text{Ma} \pm 0.73 \text{Ma}$, 所有样品的等时线年为 $65.0 \text{Ma} \pm 0.9 \text{Ma}$ (MSWD=3.2)。辉钼矿的成矿时间相对集中,暗示本区岩浆-热液成矿作用是爆发式的。

青藏高原的形成经历了印度-亚洲大陆板块从俯冲到碰撞的一系列过程^[6]。伴随这些过程始终的

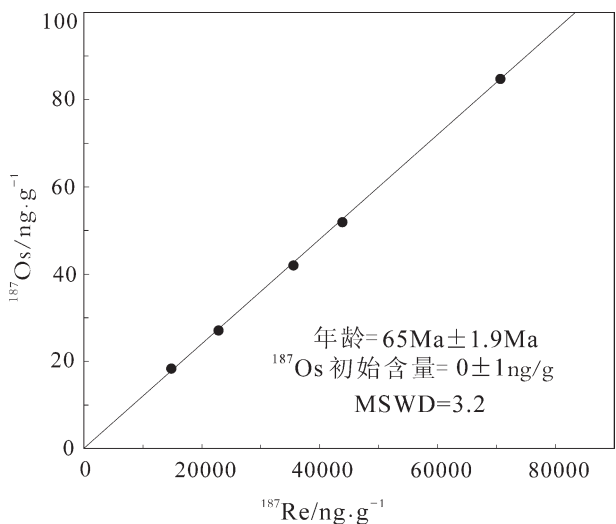


图 3 亚贵拉矿区辉钼矿 Re-Os 等时线年龄

Fig. 3 Re-Os isotopic isochron diagram of molybdenite in the Yaguila ore district

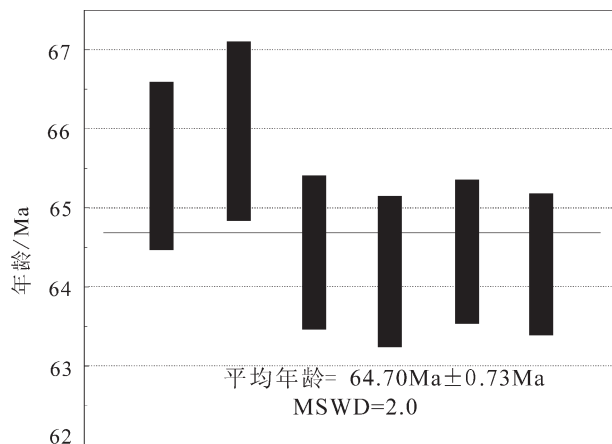


图 4 亚贵拉矿区辉钼矿 Re-Os 加权平均年龄

Fig. 4 Re-Os weighted mean model age diagram of molybdenite in the Yaguila ore district

火山-岩浆-成矿作用产出了不同类型的矿床, 形成一个比较完整的成矿系列, 包括: 印度-亚洲大陆碰撞前的俯冲阶段(180~65Ma)过程中燕山早期与俯冲型岛弧岩浆作用有关的铜-金-铅-锌-银多金属矿床成矿亚系列^[27], 与燕山晚期碰撞型花岗质岩石有关的铜-铅-锡-锌-银矿床成矿亚系列; 主碰撞期(65~40Ma)与喜马拉雅早期花岗质岩石有关的铜-钼-铁-铅-锌-金矿床成矿亚系列^[32]; 后碰撞期(21~12Ma)与喜马拉雅晚期花岗质岩石有关的铜-钼-铅-锌-金-钨矿床成矿亚系列(该亚系列与碰撞后伸展背景下的花岗质岩浆作用有关)^[5~9]。

在以往的研究中, 冈底斯带成矿年龄主要集中在18~12Ma之间。带内主要斑岩铜(钼)矿床辉钼矿的Re-Os等时线年龄如下: 驱龙 15.99Ma \pm 0.3Ma, 冲江 14.58Ma \pm 0.69Ma、14.04Ma \pm 0.16Ma, 南木 14.67Ma \pm 0.2Ma, 拉抗俄 13.5~13.6Ma^[1,3~4,15~18,22,40,51~52], 甲玛超大型斑岩-矽卡岩铜(钼)矿床 14.2~17.5Ma^[53]。这些矿床明显不同于世界主要斑岩铜矿带经典的岛弧消减带与活动大陆边缘挤压环境, 也不同于陆内古板块边缘环境, 其形成于印度与亚洲大陆后碰撞伸展环境^[5,20~21]。而碰撞前成矿(180~65Ma)也已经在西藏谢通门县雄村铜矿取得重大突破^[25,27~28]。

对于主碰撞期的研究, 莫宣学^[54]认为林子宗组火山岩是青藏高原主要的同碰撞型火山岩, 是印度-亚洲大陆碰撞的火山岩响应, 对林子宗组火山岩进行了系统的⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素测年, 确定林子宗组火山岩的年龄区间为40.84~64.47Ma; 底部年龄给出了林子宗组火山岩与下伏地层间不整合形成时间的最晚时限(约65Ma), 并认为该不整合面上、下之地层的沉积相、变形样式与变形程度均截然不同, 反映形成环境的重大变化, 标志着一次重大的地质事件, 2个大陆碰撞的起始年代推定为65Ma^[10]。王成善等^[42]认为西藏仲巴错江顶群为“碰撞型三角洲沉积”, 曲下组可能代表了碰撞启动时期的建造。藏南定日的海相白垩系—古近系沉积演化、Sr和C同位素变化也支持2个大陆碰撞启动时间大约在白垩系—三叠系界线时期。对比喜马拉雅西段碰撞启动时间, 并考虑大印度北缘失掉的宽度, 2个大陆最可能的碰撞启动间是65Ma左右^[42]。本文辉钼矿等时线年龄为65.0Ma \pm 1.9Ma(MSWD=3.2), 属于2个大陆开始碰撞早期的成矿, 因此其意义十分重大, 即印度-亚欧大陆碰撞伊始, 就有与强烈岩浆活动响应

的成矿作用, 指明了在古新世早期有钼多金属成矿作用。对主碰撞期(65~40Ma)大规模火山-岩浆作用所对应的成矿事件研究得不多。芮宗瑶等^[14]认为, 拉萨地块南缘的陆缘岩浆弧在55~45Ma和30~24Ma时形成了2个活动高峰, 这一时间段内的火山-岩浆作用是非常强烈和巨大的, 为成矿创造了很好的条件。所以, 仅仅以念青唐古拉-冈底斯南缘矽卡岩型铜金矿成矿亚带的冲木达铜矿(40.3 \pm 5.6)Ma^[33]等矿床作为主碰撞期成矿的代表显然是不完善的, 这样的成矿规模并不能很好地对应念青唐古拉-冈底斯主碰撞带强烈的岩浆活动及其成矿响应^[32]。随着研究的进一步深入, 主碰撞期成矿事件不断被发现(如亚贵拉—沙让地区的斑岩-矽卡岩成矿系列)^[32,42,45]。唐菊兴等^[32]认为, 念青唐古拉成矿带中大量燕山晚期、喜山早期的黑云母花岗岩(花岗斑岩、石英斑岩)岩浆活动对铅-锌-铜多金属矿形成的影响很大, 大部分矿体离岩体很近, 常在距离岩体0~4km范围内形成岩体中的钼矿化和岩体外围灰岩与黑色岩系层间构造中的铜-锌-铅-银-金矿化分带。这类矿床不是前人所指的海底喷流成矿作用形成的, 而是一个经历了从俯冲期到碰撞期系列构造演化的, 与中酸性岩浆侵入有关的, 具有大型—超大型成矿潜力的成矿系列^[32]。因此, 念青唐古拉-冈底斯带的主碰撞期(65~40Ma)成矿作用不容忽视。

到目前为止, 主碰撞早期与岩浆活动有关的成矿作用的研究工作十分薄弱。在亚贵拉—沙让矿集区内, 亚贵拉矿区的铅-锌资源量已经达到大型规模以上; 沙让钼矿为西藏念青唐古拉成矿带上首次发现的达到大型规模的独立钼矿床^[55], 该钼矿的7件辉钼矿样品所获Re-Os同位素等时线年龄为51Ma \pm 1.0Ma(MSWD=0.55)^[32], 这些数据表明念青唐古拉成矿带存在与古新世—始新世早期连续的岩浆活动相对应的钼多金属成矿作用。亚贵拉矿区辉钼矿为念青唐古拉成矿带上发现的第一个主碰撞期矿床, 区内可见铅-锌矿体穿插含辉钼矿斑岩, 经过初步研究, 认为其是一个与石英斑岩侵位有关的, 早期以钼为主、晚期以铅-锌为主的斑岩-矽卡岩成矿系列。这一发现将进一步丰富冈底斯这一巨型斑岩成矿带的成矿系列理论, 从而建立大陆碰撞造山带主碰撞期矿床的找矿标志, 确定大型—超大型矿床成矿的有利地段, 为完善碰撞造山的成矿系列理论和

指导冈底斯斑岩成矿带的远景区划、勘查工作与下一步的找矿突破提供了新的实证, 具有重要的现实意义。

结论:亚贵拉辉钼矿为主碰撞期早期成矿。成矿时间相对集中, 表明与短期内大规模的岩浆活动有关。念青唐古拉-冈底斯成矿带中东段存在大规模主碰撞期(40~65Ma)的成矿作用。

致谢:在测试工作中得到国家地质实验测试中心屈文俊研究员的精心指导, 在野外工作中得到中国地质大学(北京)王立强硕士的协助, 在成文过程中得到中国地质科学院地质研究所周利敏博士的帮助, 在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 等.冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 2003,22(3): 217-225.
- [2] 李光明, 冯孝良, 黄志英, 等.西藏冈底斯构造带中段多岛弧-盆系及其演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2000,20(4): 38-46.
- [3] 侯增谦, 吕庆田, 王安建, 等.初论陆陆碰撞与成矿作用——以青藏高原原造山带为例[J]. 矿床地质, 2003,22(4): 319-334.
- [4] 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 等.西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(D辑), 2003,33(7): 609-618.
- [5] 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 等.青藏高原碰撞造山带成矿作用:构造背景、时空分布和主要类型[J]. 中国地质, 2006,33(2): 348-359.
- [6] 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等.青藏高原碰撞造山: I.主碰撞造山成矿作用[J]. 矿床地质, 2006,25(4): 337-358.
- [7] 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 等.青藏高原碰撞造山带: II.晚碰撞转换成矿作用[J]. 矿床地质, 2006,25(5):521-543.
- [8] 侯增谦, 赵志丹, 高永丰, 等.印度大陆板片前缘撕裂与分段俯冲:来自冈底斯新生代火山-岩浆作用证据[J]. 岩石学报, 2006, 22: 761-774.
- [9] 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等.青藏高原碰撞造山带: III.后碰撞伸展成矿作用[J]. 矿床地质, 2006,25(6):629-651.
- [10] 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等.印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 2003,10(3):135-148.
- [11] 莫宣学, 潘桂棠. 从特提斯到青藏高原形成: 构造-岩浆事件的约束[J]. 地学前缘(中国地质大学(北京), 北京大学), 2006,13(6): 43-51.
- [12] 莫宣学, 赵志丹, Don J Depaolo, 等. 青藏高原拉萨地块碰撞-后碰撞岩浆作用的三种类型及其对大陆俯冲和成矿作用的启示: Sr-Nd 同位素证据[J]. 岩石学报, 2006,22(4): 795-803.
- [13] 李光明, 王高明, 高大发, 等.西藏冈底斯铜矿资源前景与找矿方向[J]. 矿床地质, 2002,21 (增刊): 144-147.
- [14] 李光明, 杨家瑞, 丁俊.西藏雅鲁藏布江成矿区矿产资源评价新进展[J]. 地质通报, 2003,22 (9): 699-703.
- [15] 李光明, 芮宗瑶.西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成岩成矿年龄[J]. 大地构造与成矿学, 2004,28(2): 165-170.

- [16] 李光明, 芮宗瑶, 林方成, 等.西藏甲马和驱龙矿卡岩型铜-多金属矿床的 Re-Os 年龄及意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004,23 (增刊):32.
- [17] 李光明, 芮宗瑶, 王高明, 等.西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及意义[J]. 矿床地质, 2005, 24 (5): 481-489.
- [18] 曲晓明, 侯增谦, 黄卫.冈底斯斑岩铜矿(化)带: 西藏第二个“玉龙”铜矿带[J]. 矿床地质, 2001,20(4): 355-366.
- [19] 曲晓明, 侯增谦, 李佐国.冈底斯斑岩铜矿带 S、Pb 同位素特征:对成矿物质来源和造山带物质循环的指示[J]. 地质通报, 2002,21 (11):768-776.
- [20] 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.
- [21] 曲晓明, 辛洪波, 徐文艺.西藏雄村特大型铜金矿容矿火山岩的成因及其对成矿的贡献[J]. 地质学报, 2007,81(7):964-971.
- [22] 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等.西藏冈底斯成矿带驱龙铜矿 Re-Os 年龄及成矿学意义[J]. 地质论评, 2003,49(6): 660-666.
- [23] 孟祥金, 侯增谦, 李振清.西藏驱龙斑岩铜矿 S、Pb 同位素组成:对含矿斑岩与成矿物质来源的指示[J]. 地质学报, 2006, 80(4): 554-560.
- [24] 丁枫, 唐菊兴, 崔晓亮. 硫、铅同位素及微量元素对西藏雄村铜金矿成矿物质来源的指示[J]. 矿床地质, 2006,25(增刊): 399-402.
- [25] 唐菊兴, 李志军, 张丽, 等.雄村式斑岩型-浅成低温热液型铜金矿地质特征[J]. 矿物学报, 2007, 27(增刊):127-128.
- [26] 唐菊兴, 陈毓川, 江云华, 等.西藏主要夕卡岩矿床特征[C]//陈毓川. 第九届全国矿床会议论文集. 第九届全国矿床会议, 北京:地质出版社, 2008:36-37.
- [27] 唐菊兴, 黄勇, 李志军, 等.西藏谢通门县雄村铜金矿元素地球化学特征[J]. 矿床地质, 2009,28(1): 15-28
- [28] 张丽, 唐菊兴, 邓起, 等.西藏谢通门县雄村铜(金)矿矿石物质成分研究及其意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(3): 318-326.
- [29] 杨志明, 侯增谦, 宋玉财, 等.西藏驱龙超大型斑岩铜矿床:地质、蚀变与成矿[J]. 矿床地质, 2008,27(3): 279-318.
- [30] 杨志明, 侯增谦, 夏代详, 等.西藏驱龙铜矿西部斑岩与成矿关系的厘定:对矿床未来勘探方向的重要启示[J]. 矿床地质, 2008,27 (1): 28-36.
- [31] 郑有业, 张刚阳, 高顺宝, 等.西藏沙让斑岩型钼矿床的发现意义及成岩成矿时代约束[C]//陈毓川. 第九届全国矿床会议论文集. 第九届全国矿床会议, 北京:地质出版社, 2008: 674-676.
- [32] 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-钼同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2009, 83(5): 698-704.
- [33] 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):1482-1486.
- [34] 芮宗瑶, 李光明, 王龙生.青藏高原的金属矿产资源[J]. 地质通报, 2004, 23(1): 20-24.
- [35] 王全海, 王保生, 李金高, 等.西藏冈底斯岛弧及其铜多金属矿带

- 的基本特征与远景评估[J]. 地质通报, 2002,21(1): 35-40.
- [36]郑有业, 王保生, 樊子琿, 等. 西藏冈底斯东段构造演化与铜多金属成矿潜力分析[J]. 地质科技情报, 2002,21(2): 55-60.
- [37]郑有业, 多吉, 王瑞江, 等. 西藏冈底斯巨型斑岩铜矿带勘查研究最新进展[J]. 中国地质, 2007,34(2): 324-334.
- [38]黄志英, 李光明. 西藏雅鲁藏布江成矿区斑岩型铜矿基本特征与找矿潜力[J]. 地质与勘探, 2004,40(1): 1-6.
- [39]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.
- [40]张洪涛, 陈仁义, 韩芳林. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质条件[J]. 矿床地质, 2004,23(2): 150-163.
- [41]徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 127.
- [42] 王成善, 李祥辉, 胡修棉. 再论印度-亚洲大陆碰撞的启动时间[J]. 地质学报, 2003,77(1): 16-24.
- [43]高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床角闪闪长岩锆石 SHRIMP 定年, 角闪石 Ar-Ar 定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2010,29(2): 323-331.
- [44]潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 521-533.
- [45]高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 等. 西藏工布江达县亚贵拉铅锌、钼多金属矿床石英斑岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 地质学报, 2009,83(10): 1436-1444.
- [46]Wieser M E. Atomic weights of the elements 2005 (IUPAC technical report)[J]. Pure Appl. Chem., 2006,78(11): 2051-2066.
- [47]Bohlke J K, de Laeter J R, De Bièvre P, et al. Isotopic Compositions of the Elements[J]. J. Phys. Chem. Ref. Data, 2005,34(1): 57-67.
- [48]杜安道, 何红廖, 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.
- [49]屈文俊, 杜安道. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 2003,22(4): 254-257.
- [50]Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong, 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.
- [51]曲晓明, 侯增谦, 李振清. 冈底斯铜矿带含矿斑岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及地质意义[J]. 地质学报, 2003,77(2): 246-252.
- [52]曲晓明, 侯增谦, 莫宣学, 等. 冈底斯斑岩铜矿与南部青藏高原隆升之关系——来自含矿斑岩众多阶段锆石的证据[J]. 矿床地质, 2006,25(4): 388-400.
- [53]应立娟, 唐菊兴, 王登红, 等. 西藏甲玛铜多金属矿床矽卡岩中辉钼矿铼-钨同位素定年及其成矿意义[J]. 岩矿测试, 2009,28(3): 265-268.
- [54]莫宣学. 青藏高原岩浆岩成因研究: 成果与展望[J]. 地质通报, 2009,28(12): 1693-1703.
- [55]秦克章, 李光明, 赵俊兴, 等. 西藏首例独立钼矿——冈底斯沙让大型斑岩钼矿的发现及其意义[J]. 中国地质, 2008,35(6): 1101-1112.
- ① 李新法, 杜欣, 高明, 等. 西藏工布江达县亚贵拉铅锌银矿普查设计书(附图 2). 2008.