

冈底斯成矿带东段矿床成矿系列及找矿突破的关键问题研究

唐菊兴¹⁾, 多吉²⁾, 刘鸿飞²⁾, 郎兴海³⁾, 张金树²⁾, 郑文宝¹⁾, 应立娟¹⁾

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) 西藏自治区地质矿产勘探开发局, 西藏拉萨 850000;

3) 成都理工大学地球科学学院, 四川成都 610059

摘要: 冈底斯成矿带是我国最重要的资源接续基地之一, 其中冈底斯岩浆弧(III43)是最重要的 III 级成矿带, 研究程度最高在拉孜县-工布江达县长约 600 km、宽约 90 km 范围内, 已发现并评价了 5 个超大型矿集区: 雄村铜金矿集区, 厅宫-冲江铜多金属矿集区, 甲玛-驱龙-邦铺铜多金属矿集区, 蒙亚啊-洞中拉-亚贵拉多金属矿集区, 程巴-努日钨钼铜矿集区。根据近年来的研究成果, 厘定出与海西期火山作用、海西期裂谷构造有关的铅锌银矿床成矿系列组、印支-燕山期与沉积-构造岩浆作用有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼矿床成矿系列组以及冈底斯成矿带内喜山期与构造岩浆、沉积作用有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼、钨、铀、盐类矿床成矿系列组, 包括 6 个矿床成矿系列和 10 个成矿亚系列。主要的矿床成矿亚系列为: 与早侏罗世-晚侏罗世岛弧型中酸性火山岩-浅成岩建造有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列, 成矿年龄 173~160 Ma, 雄村外围和拉萨以东广泛分布的叶巴组分布区是其主要找矿远景区; 与古新世-始新世中酸性火山-中浅成岩建造有关的铅锌、银、钼、钨、铁矿床成矿亚系列(沙让式、亚贵拉式、洞中拉式), 成矿年龄在 65~38 Ma, 林周盆地-南木林盆地及其北侧的隆格尔断隆带是主要的找矿远景区; 与中新世中酸性浅成岩建造有关的铜、钼、铅锌、钨、金、银矿床成矿亚系列(驱龙式、甲玛式、冲江-厅宫式、朱诺式、邦铺式), 成矿年龄 17~13 Ma, 冈底斯成矿带东段中带是主要的找矿远景区, 尤其是含矿斑岩体接触带的矽卡岩型铜多金属矿, 如新发现的普桑果矽卡岩型铜铅锌矿。成矿元素从南往北的分布规律为 Cu-Au(斑岩型) Mo-W(Cu)(斑岩-矽卡岩型) Cu-Mo-Pb-Zn(Au, Ag)(斑岩-矽卡岩型) Mo(Cu)(斑岩) Pb-Zn-Mo-W-Fe(斑岩-矽卡岩型) Pb、Zn(Ag)(热液脉型)。成矿时代从南往北的规律为 173~154 Ma(雄村) 40~20 Ma(努日-程巴等) 17~13 Ma(驱龙、甲玛等) 65~38 Ma(沙让、亚贵拉等)。冈底斯成矿带强烈的燕山晚期、喜山期的黑云母花岗岩(花岗斑岩、石英斑岩)岩浆活动控制了矽卡岩型铜铅锌铁钼矿床的分布, 形成岩体中 Cu、Mo、W 矿化, 外围接触带(0~4 km)灰岩与黑色岩系的层间构造中的 Mo-W-Cu-Zn-Pb-Ag-Au 矿化分带, 主要的含矿岩系组合是灰岩(大理岩)+黑板岩、凝灰岩、砂板岩。主要的含矿层位为晚石炭-早二叠世昂杰组、来姑组, 二叠纪的洛巴堆组、下拉组, 中侏罗世多底沟组与晚侏罗世林布宗组层间构造。按照“缺位”理论预测燕山晚期-喜山早期(126~40 Ma)念青唐古拉地区矽卡岩型多金属矿附近的斑岩钼(铜)矿等 5 种主要矿床类型和雄村铜金矿外围, 拉萨以东叶巴组(J_{2y})大面积分布地区等 4 个主要预测区, 提出了增生楔中的造山型金矿的找矿突破、推覆-滑覆构造控岩控矿模型的构建等当前找矿突破中的关键地质问题。

关键词: 矿床成矿系列; 斑岩型; 矽卡岩型; 冈底斯成矿带; 西藏

中图分类号: P611.07; P617 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.04.02

本文由国家自然科学基金项目(编号: 41172077)、国家 973 项目(编号: 2011CB403103)、青藏专项(编号: 1212011085529)、地质大调查项目“全国重要矿产和区域成矿规律研究”(编号: 1212010733803)、西藏天圆矿业资源开发有限公司项目(编号: 2006G-07)和中国黄金集团项目(编号: E0804)联合资助。

收稿日期: 2012-06-28; 改回日期: 2012-07-11。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 唐菊兴, 男, 1964 年生。博士, 研究员。主要从事矿床学和固体矿产勘查与评价研究工作。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。E-mail: tangjuxing@126.com。

Minerogenetic Series of Ore Deposits in the East Part of the Gangdise Metallogenic Belt

TANG Ju-xing¹⁾, Dorji²⁾, LIU Hong-fei²⁾, LANG Xing-hai³⁾, ZHANG Jin-shu²⁾, ZHENG Wen-bao¹⁾,
YING Li-juan¹⁾

1) *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;*

2) *Geology & Mineral Exploration Development Bureau of Tibet Autonomous Region, Lhasa, Tibet 850000;*

3) *Geoscience institute, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059*

Abstract: The Gangdise metallogenic belt is one of the most important continual basements for mineral resources in China. The Lhasa Terrane (Gangdise magmatic arc, III43) is one of the most significant third-level (III) metallogenic belts. There is a region from Lhaze County to Gongbo'gyamda County which is 600 km long and 90 km wide and has been studied in detail. There are five ore concentrated areas with the superlarge size Cu polymetallic deposits based on exploration and evaluation: Xiongkun Cu-Au ore concentrated area, Tinggong-Chongjiang Cu polymetallic ore concentrated area, Jiama-Qulong-Bangpu Cu polymetallic ore concentrated area, Mengyaa-Dongzhongla-Yaguila polymetallic ore concentrated area, and Chengba-Nuri W-Mo-Cu ore concentrated area. The research in recent years shows that there are five groups of minerogenetic series composed of Pb-Zn-Ag minerogenetic series group related to Hercynian volcanism and rift valley, Cu-Au-Fe-Pb-Zn-Ag-Mo minerogenetic series group related to Indo-Chinese and Yanshanian sedimentation-tectonic magmatism, Cu-Au-Fe-Pb-Zn-Ag-Mo-W-U-salt deposits minerogenetic series group related to Himalayan tectonic magmatism and sedimentation in the Gangdise metallogenic belt, which are composed of six minerogenetic series and ten subseries of ore deposits. The major subserieses include Cu-Au-Ag-Pb-Zn subseries related to Early Jurassic-Late Jurassic arc-type intermediate-felsic volcanic-supergene rock formation between 173 Ma and 160 Ma in the Yaba Formation in the periphery of Xiongkun and east of Lhasa with a promising potential; Pb-Zn-Ag-Mo-W-Fe subseries (Sharang style, Yaguila style and Dongzhongla style) related to Paleocene-Eocene intermediate-felsic volcanic rock and intermediate-supergene rock formation between 65 Ma and 38 Ma in the Linzhou Basin-Nanmulin Basin and Longger dislocated upwarping belt in the north with a promising potential; Cu-Mo-Pb-Zn-W-Au-Ag subseries (Qulong style, Jiama style, Chongjiang-Tinggong style, Zhunuo style and Bangpu style) related to Miocene intermediate-felsic supergene rock formation between 17 Ma and 13 Ma in the central zone of the east Gangdise metallogenic belt with a promising potential, especially the skarn-type Cu polymetallic deposits in the contact zone of ore-bearing porphyry. The distribution of metals from south to north are Cu-Au (porphyry type)→Mo-W(Cu) (porphyry-skarn type)→Cu-Mo-Pb-Zn (Au-Ag) (porphyry-skarn type)→Mo (Cu) (porphyry type)→Pb-Zn-Mo-W-Fe (porphyry-skarn type) →Pb-Zn (Ag) (hydrothermal vein type). The metallogenic ages from south to north are 173–154 Ma (Xiongkun)→40–20 Ma(Chongmuda etc.)→17–13 Ma (Qulong, Jiama etc.)→65–38 Ma (Sharang, Yaguila etc.). Biotite granite (granite porphyry, quartz porphyry) magmatic activities of Late Yanshanian and Late Himalayanian periods in Gangdise controls the distribution of skarn type Cu-Pb-Zn-Fe-Mo ore deposits. Most skarn type ore deposits occur in the intrusion or the surrounding area within 0-4 km from the intrusion with Cu, Mo, W mineralizations. There are Mo-W-Cu- Zn-Pb-Ag-Au ore bodies occurring in the interlaminar structure between limestone and black rocks in the external contact zone. The major host rock assemble is limestone (marble) + black slate, tuff, sand-slate. The

ore-bearing strata include Late Cretaceous-Early Permian Angjie Formation and Laigu Formation, Permian Luobadui Formation and Xiala Formation, and interlaminar structure between Middle Jurassic Duodigou Formation and Late Jurassic Linbuzong Formation. There are five major types of ore deposits, i.e., the skarn type polymetallic deposit close to porphyry Mo (Cu) deposit of Late Yanshanian-Early Himalayan periods (126–40 Ma) in Nyainqentanglha region and four major promising areas such as the Yeba Formation (J_2y) in the east of Lhasa based on the “vacancy” theory. Some significant opinions are proposed such as the exploration breakthrough for orogenic Au deposits in the accretionary wedge and the model of the overthrust-slide nappe structure controlling the magmatism and mineralization.

Key words: minerogenetic series of ore deposits; porphyry-type; skarn-type; Gangdise metallogenic belt; Tibet

冈底斯成矿带的成矿地质背景、矿床地质研究和资源潜力评价,是我国矿产勘查领域多年来的重点找矿区带(芮宗瑶等,1984,2004;侯增谦等,2003,2006;莫宣学等,2003;张洪涛等,2004;唐菊兴等,2009a,b,2010b,2011;李光明等,2004,2005,2006;曲晓明等,2002;徐文艺等,2006;孟祥金,2003a,b;张丽等,2007;杨志明等,2008;郑有业等,2004,2007)。冈底斯成矿带其构造地质背景的独特性在于既受到班-怒洋向南俯冲的影响,又深深打上了雅江洋向北俯冲的烙印。在欧亚-印度大陆碰撞过程中,历经复杂的构造-岩浆-成矿作用。因此,在构造演化的各个阶段均可能存在与之相对应的成矿作用,从晚石炭世-早二叠世到中新世,发现不同构造演化阶段形成的成矿作用,这就是矿床成矿系列指导找矿实践的理论基础(陈毓川等,2006,2008,2009,2010;王登红等,2009,2010)。

正在实施的青藏专项更是在冈底斯成矿带布置了3个重要的矿产勘查区。至今还处于总体碰撞阶段的青藏高原记录了从特提斯洋俯冲到印度大陆与亚洲大陆碰撞整个岩浆-构造演化及其成矿响应,由此可以形成与构造-岩浆演化响应的成矿作用(Sillitoe,1997;Sillitoe et al.,1984;Richards,2009;侯增谦等,2008;陈毓川等,2006,2008,2009,2010)。

冈底斯成矿带位于西藏自治区中南部,包括拉萨、日喀则、山南、林芝等地(市)的40余个县市。地理坐标介于东经 $80^{\circ}\sim 94^{\circ}$,北纬 $29^{\circ}\sim 32^{\circ}30'$ 之间,其南北宽约220 km,东西长约1230 km,面积约 $2.7\times 10^5\text{ km}^2$ 。而研究区主要包括谢通门县-工布江达县部分。

1 冈底斯成矿带的划分

根据徐志刚等(2008)成矿区带划分方案和原则,将冈底斯成矿带纳入到冈底斯-腾冲成矿省(II-10)

的一部分,在西藏地区的又进一步部划分为4个III级成矿区带(图1),其中拉萨地体(冈底斯岩浆弧)(III43)是最重要的III级成矿带。目前研究程度最高的是在谢通门县-工布江达县长约600 km、宽约90 km的范围内,已发现并评价了5个超大型矿床或矿集区(雄村铜金矿、驱龙铜钼矿、甲玛铜多金属矿、邦铺斑岩钼矿、亚贵拉-沙让-洞中拉铅锌钼矿集区),十余处大中型矿床。

2 区域地质概况

冈底斯成矿带在大地构造上跨冈底斯-喜马拉雅2个一级构造区(图2),其形成与特提斯洋的演化及印度大陆与亚洲大陆的碰撞过程密切相关,自北而南可划分为狮泉河-申扎-嘉黎结合带、措勤-申扎岛弧、隆格尔-工布江达复合岛弧、冈底斯岩浆弧、日喀则弧前盆地、雅鲁藏布蛇绿混杂岩带、北喜马拉雅褶皱带等次级构造单元,自晚古生代以来,经历了复杂的地质构造演化历史(夏代祥等,1993;潘桂棠等,2002,2006;王成善等,2004)。

冈底斯成矿带主要出露的地层属藏滇地层大区(夏代祥,1997),包括措勤-申扎、拉萨-察隅、雅鲁藏布江、北喜马拉雅等地层分区。中、新元古界念青唐古拉群构成区内的结晶基底,下古生界地层以碳酸盐岩建造、陆源碎屑岩建造为主,主要分布在申扎地区;上古生界主要分布在隆格尔-念青唐古拉山地区,为一套海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积,局部夹双峰式火山岩建造(见玄武岩)。中生界总体为一套厚度巨大的弧火山岩建造、碳酸盐岩建造和复陆源碎屑岩建造组合,其中叶巴组、则弄群和桑日群等侏罗-白垩系和林子宗群古近系为火山岩建造。上新世以来工作区全面隆升,发育河、湖相的砾、砂、泥质岩建造。

冈底斯弧火山活动始于石炭纪,代表了印度陆

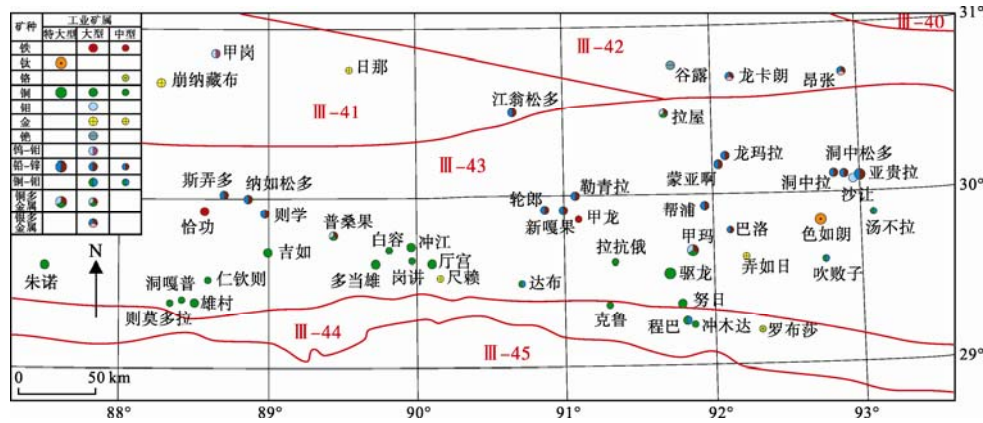


图 1 冈底斯中段主要大中型矿床分布图(据姚晓峰, 2011 修编; 矿带划分据徐志刚等, 2008)

Fig. 1 Distribution of large-intermediate size ore deposits in the eastern part of the Gangdise metallogenic belt

III-40-班公湖-怒江(缝合带)Cr 成矿带; III-41-狮泉河-申扎(岩浆弧)W Mo(Cu Fe)硼砂金成矿带; III-42-班戈-腾冲(岩浆弧)Sn W Be Li Fe Pb Zn 成矿带; III-43-拉萨地块(冈底斯岩浆弧)Cu Au Mo Fe Sb Pb Zn 成矿带; III-44-雅鲁藏布江(缝合带, 含日喀则弧前盆地)Cr Au Ag As Sb 成矿带; III-45-喜马拉雅(造山带)Au Sb Fe 白云母成矿带

III-40-Bangong Co-Salween River (suture zone) Cr metallogenic belt; III-41-Seng-ge Kambab- Xainza (magmatic arc) W-Mo (Cu-Fe) borax gold metallogenic belt; III-42-Bangor-Tengchong (magmatic arc) Sn-W-Be-Li-Fe-Pb-Zn metallogenic belt; III-43-Lhasa block (Gangdise magmatic arc) Cu-Au-Mo-Fe-Sb-Pb-Zn metallogenic belt; III-44-Yarlung Zangbo River (suture zone, Shigatse fore-arc basin included) Cr-Au-Ag-As-Sb metallogenic belt; III-45-Himalaya (fold belt) Au-Sb-Fe muscovite metallogenic belt

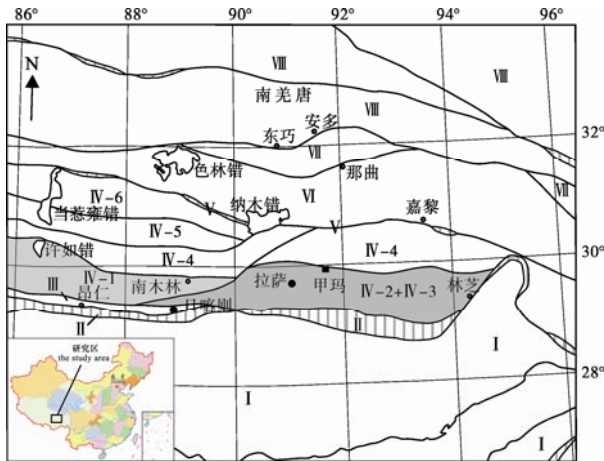


图 2 西藏构造单元划分和冈底斯构造单元细结构 (据潘桂棠等, 2006, 略作修改)

Fig. 2 Tectonic subdivisions of the Gangdise orogenic belt in Tibet (modified after PAN Gui-tang et al., 2006)

I-喜马拉雅带; II-雅鲁藏布缝合; III-日喀则弧前盆地; IV-冈底斯-念青唐古拉复合岩浆弧(IV-1-南冈底斯岩浆弧(K₂-E₂); IV-2+IV-3-桑日火山弧(J₃-K₁)+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-多瓦复合弧后前陆盆地; IV-6-则弄火山岩岩浆弧(J₃-K₁); V-狮泉河-拉果错-阿索-永珠-纳木错-嘉黎-波密弧-弧碰撞带(简称 Slainajap 带); VI-昂龙岗日-班戈-伯舒拉岭岩浆弧; VII-班公湖-怒江缝合带; VIII-南羌塘和左贡前陆盆地

I-Himalayan belt; II-Yarlung Zangbo suture; III-Rikaze forearc basin; IV-Gangdise-Nyainqentanglha compound magmatic arc (IV-1-South Gangdise magmatic arc (K₂-E₂); IV-2+IV-3-Sangri volcanic arc (J₃-K₁)+Yeba volcanic arc (J₁-J₂); IV-4-Longgeer-Nyainqentanglha compound volcanic magmatic arc (P-T₃); IV-5-Cuoqin-Duowa compound back-arc foreland basin, IV-6-Zenong volcanic magmatic arc (J₃-K₁); V-Shiquanhe-Laguocuo- Asuo-Yongzhu-Namucuo-Jiali-Bomi arc-arc collision belt(Slainajap belt); VI-Anglonggangri-Bange-Boshulaling magmatic arc; VII-Bangonghu-Nuijiang suture belt; VIII-South Qiangtang and Zuogong foreland basin

块北缘的构造体制已发生从被动大陆边缘到活动大陆边缘的转换, 到中生代时期进一步发育成多岛弧-盆系统(潘桂棠等, 2006)(图 2)。印度大陆与欧亚大陆沿雅鲁藏布江结合带的弧-陆碰撞作用是冈底斯成矿带特提斯演化和青藏高原形成过程中影响最为广泛和强烈的构造-岩浆-热事件, 随着这一碰撞事件的发生, 冈底斯成矿带由特提斯弧-盆系统构造演化阶段转入了全新的陆内汇聚和高原隆升构造体制演化阶段(夏代祥等, 1993; 潘桂棠等, 2002, 2006)。

3 矿床成矿系列及其成矿演化

冈底斯成矿带, 从谢通门县-工布江达县目前已经确定重要矿集区为: 雄村铜金矿集区、厅宫-冲江铜矿集区、甲玛-驱龙-邦铺铜多金属矿集区、蒙亚啊-洞中拉-亚贵拉多金属矿集区、程巴-努日钨铜钼矿集区。其重要矿床的分布见图 1。

3.1 矿床成矿系列

到目前为止, 已厘定出与海西期火山作用、海西期裂谷构造有关的铅锌银矿床成矿系列组、印支-燕山期与沉积-构造岩浆作用有关的铜、金、铁、铅、银、钼矿床成矿系列组以及冈底斯成矿带内喜山期与构造岩浆、沉积作用有关的铜、金、铁、铅、银、钼、钨、铀、盐类矿床成矿系列组, 包括 6 个矿床成矿系列和 10 个成矿亚系列(表 1)。

3.2 矿床成矿系列的演化

从石炭纪开始至第四纪的构造演化, 潘桂棠等(1997, 2002)认为, 冈底斯带的主体经历了石炭-二叠纪的活动大陆边缘演化阶段, 中生代开始的多

表1 冈底斯成矿带东段的矿床成矿系列

Table 1 Metallogenic series of deposits in the Gangdise metallogenic belt

矿床成矿组	矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	矿床式	成矿年龄/Ma	资料来源
冈底斯成矿带与海西期火山作用、海西期裂谷构造有关的铅锌银矿床成矿系列组	Pz ₂ -1I 冈底斯成矿带与海西期火山作用有关的铅锌银矿床成矿系列 Pz ₂ -2S 冈底斯成矿带与海西期裂谷构造-岩浆-热水沉积作用有关的铅锌银矿床成矿系列	Pz ₂ -1Ia 与石炭纪-二叠纪裂谷型双峰式火山活动有关的铅锌银矿床成矿亚系列	洞中拉式(铅锌铜银金)?		
		Pz ₂ -1Sb 与石炭纪-二叠纪裂谷盆地沉积作用有关的铅锌银矿床成矿亚系列	亚贵拉式(铅锌)?		
冈底斯成矿带内印支-燕山期与沉积-构造岩浆作用有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼矿床成矿系列组	Mz-1I 与印支期-燕山期火山-中酸性岩有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼矿床成矿系列	Mz-1Ia早-中三叠世与岛弧型中酸性火山岩-浅成岩建造有关的铜金铁矿床成矿亚系列	?		
		Mz-1Ib早侏罗世-晚侏罗世岛弧型中酸性火山岩-浅成岩建造有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列	雄村式(铜金锌) 拉屋式(铅锌铜银)	173 ± 4~160	唐菊兴等, 2010 郎兴海等, 2011
		Mz-1Ic 与白垩世中酸性火山岩-中深成岩建造有关的铁、铅锌、铜矿床成矿亚系列	尼雄式(铁)	112.09 ± 0.54	于玉帅等, 2011
			洞中拉式(铅锌铜银) 蒙亚啊式(铅锌银)	126	崔晓亮等(2011)
		亚贵拉式(铅锌银钼)	126、65	高一鸣等, 2010	
		哈海岗(钨钼铅锌)	141.7 ± 4	王立强等, 2012	
Mz-1s 与印支期沉积作用有关的铁、铜、石膏矿床成矿系列	Mz-1s 与中晚侏罗世前陆盆地有关的铁、铜、石膏矿床成矿亚系列	雀莫错组式(砂岩铜矿) 当曲式(菱铁矿) 碾廷式(菱铁矿)	雁石坪群及相当层位(J ₂₋₃)		
冈底斯成矿带内喜山期与构造岩浆、沉积作用有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼、钨、铀、盐类矿床成矿系列组	Kz-2I 与喜山期火山-中酸性岩建造有关的铜、金、铁、铅锌、银、钼钨矿床成矿系列	Kz-2Ia 与古新世-始新世中酸性火山-中浅成岩浆建造有关的铅锌、银、钼、钨、铁矿床成矿亚系列	恰功(铁铜)		陈毓川等, 2010
			沙让式(钼)	56.9 ± 2.6 51	唐菊兴等, 2009b
			蒙亚啊式(铅锌银)	64.89±0.89	高一鸣等, 2010
			亚贵拉式(铅锌银钼) 新嘎果式(铅锌银铜) 纳如松多式(铅锌)	56.5±2.5Ma 61.7?	程文斌等, 2010 杨勇等, 2010
		Kz-2Ib 与渐新世酸性浅成岩建造有关的钨、钼、铜、铅锌矿床成矿亚系列	明则式(铜钼)	30.26±0.69	阎学义等, 2010
			程巴式(钼铜) 努日式(铜钨钼)	23.62±0.97	阎学义等, 2010
		Kz-2Ic 与中新世中酸性浅成岩建造有关的铜、钼、铅锌、钨、金、银矿床成矿亚系列	驱龙-知不拉(铜钼银铅锌)		芮宗瑶等, 2004b
			甲玛式(铜钼金银铅锌钨)	15.99±0.32	李光明等, 2005
			帮浦式、巴洛式(钼铜银)	15.22~14.5	应立娟等, 2009
			汤不拉式(钼铜)	15.32±0.79	孟祥金等, 2003
厅宫-冲江(铜钼银)	20.9±1.3		王保弟等, 2010		
朱诺式(铜金)	14.80±0.30		郑有业等, 2004		
达布式(铜钼低品位)	13.72 ± 1.14	郑有业等, 2007			
普桑果式(铜铅锌金银钨)	14.53±0.80	芮宗瑶等, 2004b			
则学-则桑式(铅锌银)	15.849 ± 0.049	崔晓亮等, (待刊)			
Kz-3F 与第四纪山间盆地陆相表生沉积作用有关的铀、硼、锂、石盐、芒硝、钠硝石的矿床成矿系列	Kz-3Fa 与第四纪全新世山间盆地陆相表生沉积作用有关的铀、硼、锂、石盐、芒硝、钠硝石的矿床成矿亚系列	搭格架式(铀)	255.1ka~现代		
		扎布耶式(硼、锂、石盐等) 楠木林乌郁式(铜铀)	现代 现代	赵元艺, 2006	

注: Pz-1Ia、Mz-1I、Kz-2I 等为矿床成矿系列地质代号与编号; 其中 Pz、Mz、Kz 为古生代、中生代和新生代, 1、2 为矿床成矿系列编号, S、I 为沉积作用、岩浆作用、F 为表生作用, a、b、c 为矿床成矿亚系列编号。

岛、弧、盆体系,期间发生了岛弧增生叠合,弧-弧碰撞,弧-陆碰撞;亚洲-印度大陆的碰撞,又经历陆-陆碰撞造山,陆内挤压走滑旋转,陆内伸展等多个构造演化阶段。

成矿物质由早期的洋壳低角度俯冲形成幔源为主岛弧型斑岩铜金矿,弧-陆增生造山、陆-陆碰撞造山早阶段形成壳源为主的矽卡岩型铁钼钨铅锌矿,向伸展背景下壳幔混合源为主的斑岩型铜钼铅锌矿,最后为表生沉积作用的盐类和铜、铀矿。

3.2.1 晚古生代活动大陆边缘演化阶段

尽管潘桂棠等(1997)认为来姑组(C_2-P_1l)、洛巴堆组(P_2l)、昂杰组(C_2-P_1a)、下拉组(P_2l)等具伸展构造环境“双峰式”特征的火山活动和一套隆-凹相间以深水盆地相碳酸盐岩和碎屑岩沉积组合为特征的裂谷盆地沉积组合演化的产物,但目前尚未有充分的证据认为晚石炭世-二叠纪是冈底斯成矿带具有重要的成矿事件,或形成矿源层。但在当雄-工布江达地区的来姑组(C_2-P_1l) (亚贵拉铅锌银钼矿)、洛巴堆组(P_2l) (洞中拉铅锌银(铜)矿),在南木林-谢通门-拉孜-昂仁地区的昂杰组(C_2-P_1a)、下拉组(P_2l) (则学-则桑、郎嘎拉等铅锌银矿)的黑色碳质砂板岩与灰岩之间的层间构造是重要的赋矿层位。

陈毓川等(2010)认为这一阶段的成矿事件主要与第一次造弧作用的火山-岩浆作用有关。尽管我们目前没有发现有哪个矿床是确切形成于晚古生代,但不能由此否定存在与念青唐古拉复合火山岩浆弧沉积-喷流作用有关的铅锌成矿元素的初始富集。有一点可以肯定,以上层位控制的矿床类型都是矽卡岩型铅锌银(铜)矿,部分矿区内有钼、铋矿化(如亚贵拉石英斑岩、角岩中的钼矿体,玛雄郎的钼铋矿化,哈海岗的钼钨铅锌矿化,但这些矿区辉钼矿的成矿年龄都是在燕山期或喜山期(王立强等, 2012; 高一鸣等, 2011)。

3.2.2 中生代多岛弧盆系统演化阶段

中生代形成一系列的弧后盆地和岛弧带(陈毓川等, 2010),已经确认的有早、中三叠世的陆缘弧基础上的查曲浦弧火山活动(查曲浦组代表了冈底斯带发生的第二次造弧作用),但与之相关的成矿作用尚未发现。

得益于新特提斯洋向北俯冲,形成了早中侏罗世冈底斯带南侧从日喀则-工布江达长约 550 km 的叶巴火山弧,具成熟岛弧性质(朱弟成等, 2005)。雄村铜金矿的围岩和含矿岩体正是岛弧演化的产物(唐菊兴等, 2009b, c, 2010a),形成于早侏罗世-晚侏罗世与岛弧型中酸性火山岩-浅成岩建造有关的铜、

金、银、铅锌矿床成矿亚系列,其成矿的岩浆构造模式见图 3(郎兴海, 2012)。

晚三叠世-早中侏罗世形成的岛弧,至晚侏罗世增生在拉萨地体上,是不是叶巴弧也具有相同的构造背景,具有岛弧型斑岩铜金矿的找矿潜力。

晚侏罗世-早白垩世,冈底斯南缘桑日增生弧与冈底斯北部同时代的则弄火山岩浆弧、班戈火山岩浆弧及其间的九子拉弧间盆地的形成,暗示存在班公湖-怒江洋向南与雅鲁藏布斯洋向北的双向俯冲,形成复杂的多岛-弧-盆体系。雄村铜金矿集区最后一期成矿在 165~161 Ma(郎兴海等, 2012)。

晚白垩世,冈底斯带以北的班公湖-怒江特提斯洋消亡,亚洲大陆与冈底斯复合岛弧发生强烈的弧-陆碰撞,形成一系列矽卡岩型铁矿和斑岩-矽卡岩型铜金矿,如尼雄铁矿、尔尔穷铜金矿,形成白垩世中酸性火山岩-中深成岩建造有关的铁、铅锌、铜矿床成矿亚系列。与尼雄铁矿成矿有关的花岗岩的锆石 LA-ICP-MS 法 U-Pb 年龄为 112.09 ± 0.54 Ma, MSWD=0.45,成矿花岗岩的岩石地球化学特征反应形成背景为活动大陆边缘(于玉帅等, 2011),岩体形成于早白垩世晚期。

从岩浆源区上看,雄村式铜金矿的火山岩和含矿斑岩与典型的岛弧火山岩一致,而早白垩世的尼雄式铁矿、洞中拉式铅锌矿可能的含矿岩体(126 Ma; 崔晓亮等, 2011)来源于陆壳的部分熔融,因此,念青唐古拉地区洞中拉-亚贵拉矿集区的矽卡岩型铅锌银(铜)矿是否和 126~120 Ma 的岩浆作用有关,有待进一步查证。王立强等(2012)在林周盆地以北识别出形成于 141 Ma 的哈海岗式的钨钼铅锌矿,首次发现了冈底斯成矿带燕山晚期 150~140 Ma 之间

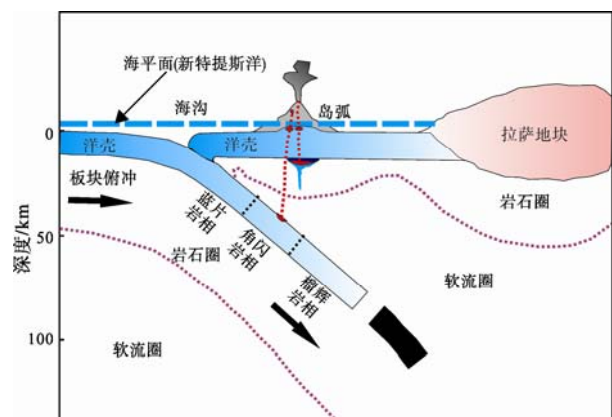


图 3 雄村斑岩铜金矿形成的可能构造动力学模式 (郎兴海, 2012)

Fig. 3 Geodynamic model for the evolution of the Xiong-cun porphyry copper-gold deposit (LANG Xing-hai, 2012)

的成矿作用, 弥补了矿床成矿亚系列中矿床式的遗憾。这个成矿年龄的确定具有十分重要的意义, 显示燕山期的成矿作用不仅发生在班-怒带, 在冈底斯成矿也出现了找矿前景。

同时, 新特提斯洋盆进一步向北俯冲, 南冈底斯火山岩浆弧增生在念青唐古拉复合古岛弧带南侧。但关于叶巴弧、桑日弧岩浆活动的成矿也就在雄村矿集区有显示, 雄村 I 号矿体的含矿斑岩的成矿年龄在晚侏罗世(郎兴海等, 2012), 拉萨以东-工布江达大片出露的叶巴组火山岩地区, 类似于洞嘎金矿的小矿点众多, 寻找雄村式斑岩铜金矿的前景较好。

3.2.3 新生代陆-陆碰撞作用阶段、陆内挤压-伸展作用演化阶段

白垩纪末-始新世时期, 欧亚-印度大陆的碰撞事件形成了大规模的火山-岩浆活动, 以冈底斯南缘火山岩-花岗岩带同碰撞型花岗岩开始大量侵位, 以林子宗群早期弧火山岩的发育为代表。侯增谦等(2006, 2008)将其归为欧亚-印度大陆的主碰撞期的主要成矿事件, 形成的侵入岩以具有壳幔混源型钙碱性岛弧造山带花岗岩和陆壳改造(S)型花岗岩的特征。陆-陆碰撞导致地壳增厚, 形成与古新世-始新世中酸性火山-中浅成岩浆建造有关的铅锌、银、钼、钨、铁矿床成矿亚系列。该类矿床主要位于隆格尔-念青唐古拉一带, 从谢通门-工布江达一线广泛分布这一系列的铅锌、钼、钨矿床, 其成矿时代集中在 65~38 Ma(唐菊兴等, 2009a; 秦克章等, 2009; 费光春等, 2010; 杨勇等, 2010)。主要形成的矿床式包括恰功(铁)、沙让式钼矿、洞中拉-蒙亚啊式铅锌铜银金矿, 亚贵拉式铅锌银钼矿, 勒青拉式铅锌银矿, 轮郎-新嘎果式铅锌银矿, 尤卡郎式铅锌银矿, 纳如松多式铅锌矿, 甲拉浦式铁锌矿。很显然, 利用普遍发育的矽卡岩型铅锌(铜银)矿预测和寻找同一岩浆成矿体系的斑岩型钼、钨矿显得十分迫切。

新近发现并识别出的 23~20 Ma 的成矿, 主要集中在雅江缝合带的北缘, 冈底斯南缘的山南铜钼成矿带形成了以努日、明则等斑岩-矽卡岩型铜钼矿床(闫学义等, 2010), 这是欧-亚地块相互碰撞, 地壳增厚导致下地壳熔融的结果, 形成钼钨矿化为主。仅仅从区域成矿规律的角度分析, 这类矿床不应该出现在雅鲁藏布江缝合带的附近, 因此, 认为现在标注缝合带的位置需要重新厘定。

17~10 Ma, 冈底斯-念青唐古拉成矿带所在的拉萨地体发生南北向-北东向的伸展构造, 造成深部壳幔混合的岩浆上侵, 侯增谦等(2008)称之为新生

下地壳熔融。从而形成了冈底斯成矿带大型-超大型矿床。这类矿床几乎无例外的是, 如果围岩中有灰岩、大理岩层位, 则形成规模较大的矽卡岩型铜多金属矿, 如驱龙外围的知不拉矽卡岩型铜多金属矿、甲玛铜多金属矿、邦铺斑岩钼铜矿外围接触带的矽卡岩型铅锌矿等, 规模均在大型规模以上, 甲玛 矿区仅仅产于矽卡岩中的铜多金属矿的铜资源量 已经超过 250 万吨, 钼资源量超过 20 万吨, 伴生金超过 100 吨、伴生银 8000 吨以上、铅锌大于 55 万吨。

如果含矿斑岩的接触带没有灰岩、大理岩层位, 一般不形成典型的矽卡岩型铜多金属矿体, 如冲江、厅宫、朱诺等斑岩铜矿床。

全新世开始, 山间盆地内发生陆相表生沉积作用, 主要形成硼、锂、铯石盐、芒硝、钠硝石、地热等盐类、水资源矿床, 一般认为这些盐类矿床与盆地内的深断裂有关, 物质来源于深部(赵元艺等, 2006)。

4 冈底斯成矿带与相邻成矿带成矿谱系

综上所述, 从 320 Ma 至全新世, 冈底斯成矿带与相邻成矿带经历了海西中晚期、印支-燕山期、喜山期 3 个构造旋回, 发育了多期的有利于成矿的地质背景, 并发生多次大规模成矿事件, 目前已经发现并识别的成矿事件集中在早中侏罗世、古新世-中新世。冈底斯成矿带及临区成矿谱系图见表 2。按照矿床成矿系列理论(陈毓川等, 2006, 2008, 2009, 2010)预测主要矿床类型包括造山型金矿、与韧性剪切带有关构造蚀变岩型金矿、念青唐古拉地区矽卡岩型多金属矿附近的斑岩钼矿及其外围的多金属矿、似 IOCG 型铁铜金矿、斑岩铜矿外围的浅成低温热液金矿等。

5 区域成矿时空分布

5.1 矿床的空间分布规律

冈底斯成矿带目前研究和勘查程度最高的是冈底斯成矿带拉孜-工布江达一带(图 1)。

重要的矿集区分布规律(从南往北): 程巴-努日钼铜矿集区, 雄村铜金矿集区, 驱龙-甲玛-邦铺铜钼多金属矿集区, 冲江-厅宫-甲桑浦矿集区, 蒙亚啊-洞中拉-亚贵拉矿集区。这 5 个重要矿集区集中了冈底斯成矿带中段初步查明或查明的主要大型-超大型矿床。

成矿元素的分布规律(从南往北): Cu-Au(雄村铜金矿, 矿床类型为斑岩型) Mo, W(Cu)(程巴、努

表 2 冈底斯成矿带及毗邻地区成矿谱系

Table 2 Metallogenic dendritic diagram of Gangdise metallogenic belt and its surrounding areas

代 纪	冈底斯带构造演化阶段	藏南成矿带	雅江成矿带	冈底斯成矿带	班公湖-怒江成矿带
第四纪	后阶段碰撞			与第四纪山间盆地陆相表生沉积作用有关的铀、硼、锂、石盐、芒硝、钠硝石的矿床成矿系列	与第四纪山间盆地陆相表生沉积作用有关的铀、硼、锂、石盐、芒硝、钠硝石的矿床成矿系列
	碰撞后阶段-陆内伸展	与中新世中酸性浅成岩浆建造有关的铅锌、锑、金、银(锡)矿床成矿亚系列?	造山型金锑矿床成矿系列?	与中新世中酸性浅成岩浆建造有关的铜、钼、铅锌、钨、金、银矿床成矿亚系列	造山型金锑矿床成矿系列?
新生代	碰撞后阶段-推覆-滑覆		造山型金锑矿床成矿系列?		造山型金锑矿床成矿系列?
	碰撞-走滑			与渐新世酸性浅成岩浆建造有关的钨、钼、铜、铅锌矿床成矿亚系列	
古近纪	陆陆碰撞		与古新世蛇绿岩套有关的铬-Pt 族+造山型金锑矿床成矿系列?	与古新世-始新世中酸性火山-中浅成岩浆建造有关的铅锌、银、钼、钨、铁矿床成矿亚系列	与古新世蛇绿岩套有关的铬-Pt 族+造山型金锑矿床成矿系列?
	弧-陆拼贴、洋-陆俯冲、增生楔		与白垩纪蛇绿岩套有关的铬-Pt 族矿床成矿亚系列	与白垩世中酸性火山岩-中深成岩建造有关的铁、铅锌、铜矿床成矿亚系列	与白垩世岛弧型中酸性火山岩-浅成岩建造有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列
中生代	侏罗纪		与侏罗纪蛇绿岩套有关的铬-Pt 族矿床成矿亚系列	与早侏罗世-晚侏罗世岛弧型中酸性火山岩-浅成岩建造有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列	与侏罗世-晚侏罗世岛弧型中酸性火山岩-浅成岩建造有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列
	三叠纪	岛弧		与早-中三叠世与岛弧型中酸性火山岩-浅成岩建造有关的铜、金、铁矿床成矿亚系列?	
古生代	二叠纪	裂谷		与石炭纪-二叠纪裂谷盆地沉积作用有关的铅锌银矿床成矿亚系列?	
	石炭纪			与石炭纪-二叠纪裂谷型双峰式火山活动有关的铅锌银矿床成矿亚系列?	
重要矿床		扎西康铅锌锑银(金)矿	罗布莎铬铁矿、隆子金矿?	雄村铜金矿、驱龙铜钼(银)矿、甲玛铜钼铅锌(金银)矿、邦铺铜钼矿、亚贵拉铅锌钼(银)矿、洞中拉铅锌铜银(金)矿、尼雄铁矿	多龙铜金、尕尔穷铜金矿
主要矿床类型		岩浆热液型(铅锌锑(锡))	岩浆型、造山型金矿	斑岩、矽卡岩型	斑岩、矽卡岩型
预测的“缺位”矿床类型		与构造-热穹窿有关的金锑矿、剪切带有关的构造蚀变岩型金矿、与岩浆热液有关锡多金属矿(大厂区)	增生楔中的造山型金矿	裂谷盆地中的VMS型多金属矿、念青唐古拉地区矽卡岩型多金属矿附近的斑岩钼铜矿、似IOCG型铁铜金矿、斑岩铜矿外围的浅成低温热液金矿、与剪切带有关的构造蚀变岩型金矿	增生楔中造山型金矿、似IOCG型铁铜金矿床、与剪切带有关的构造蚀变岩型金矿
资源潜力		铅锌 1000 万吨、锑 50 万吨、金 500 吨	铬铁矿 1000 万吨、金 500 吨	铜 3700 万吨、铅锌 1500 万吨、金 1000 吨、银 25000 吨、钼 350 万吨、富铁矿 5 亿吨	铜 1500 万吨、金 1000 吨、富铁矿 5 亿吨、铅锌 500 万吨

注: ? 表示该矿床成矿亚系列是据地质背景预测的。

日、冲木达等, 矿床类型为斑岩-矽卡岩型) Cu-Mo-Pb/Zn(Au, Ag)(驱龙、甲玛、邦铺、普桑果、冲江、厅宫、白容、拉抗俄、知不拉, 矿床类型为斑岩-矽卡岩型) Mo(Cu)(达布、汤不拉, 矿床类型为斑岩型) Pb-Zn-Mo-W-Fe(朱诺、亚贵拉、蒙亚啊、洞中拉、洞中松多、沙让、拉屋、轮郎、新嘎果、穆青勒、日乌多、甲拉浦、恰功, 矿床类型为斑岩-矽卡岩型-热液脉型) Pb、Zn(郎嘎拉、则学、则桑, 矿床类型为热液脉型)。

5.2 冈底斯成矿带东段矿床的成岩成矿时代

从南到北, 重要矿床的成岩成矿时代的分布有一定的规律性, 具体表现在:

1) 雄村铜金矿成岩年龄为 174~164 Ma(锆石 U-Pb 法), 成矿年龄在 174~160 Ma 之间, 其中 II 号矿体的成矿早于 I 号矿体, III 号矿体的成矿年龄与 II 号矿体基本一致。后期侵位的各类岩脉及黑云母花岗岩闪长岩均穿插、切割矿体。其中闪长岩玢岩脉、安山岩脉、云煌岩脉(49~47 Ma, 云母 Ar-Ar, 锆石 U-Pb)。谢通门大岩基黑云母花岗岩闪长岩, 穿切铜(金)矿体, 47.22±0.73 Ma(锆石 U-Pb 法、黑云母)(唐菊兴等, 2009a)。

显示, 冈底斯成矿带存在早中侏罗世与岛弧型斑岩有关的斑岩型铜金银矿床成矿亚系列。

2) 冈底斯东段南部分布的努日、明则、冲木达和程巴等中到大型 Mo(Cu)、Cu-Au±Mo、W-Cu-Mo 矿床, 构成斑岩-矽卡岩、热液脉状铜钼(金)或钼(铜)多金属成矿系列。成岩成矿年龄在 40~20 Ma(李光明等, 2006; 闫学义等, 2010)。其中努日的钨资源量已达大型以上。

3) 朱诺-普桑果-冲江-厅宫-白容-驱龙-甲玛-邦铺一线位于冈底斯成矿带东段的中亚带, 成岩成矿年龄在 17~13 Ma。

甲玛辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄集中在 15 Ma 左右(李光明等, 2004; 余宏全等, 2005; 应立娟等, 2010); 驱龙辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄集中在 16 Ma 左右(孟祥金等, 2003a; 芮宗瑶等, 2004; 王亮亮等, 2006); 厅宫辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为 15.49±0.36 Ma(芮宗瑶等, 2004); 冲江辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为 14.85~14 Ma(侯增谦等, 2003; 芮宗瑶等, 2003; 郑有业等, 2004); 知不拉辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 16.9±0.64 Ma(李光明等, 2005)、朱诺辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为 13.72±0.62 Ma(郑有业等, 2007); 甲玛北部的邦铺多金属矿床中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为

15.32±0.79 Ma(孟祥金等, 2003b); 西藏地质六队新发现的普桑果铜多金属矿 15.849±0.049 Ma(崔晓亮等, 2012), 上述矿床的成矿年龄集中在 17~13 Ma 之间。

4) 拉屋-蒙亚啊-洞中拉-沙让-亚贵拉矿集区构成了冈底斯成矿带的北亚带。主要代表了主碰撞阶段的成矿, 以斑岩型钼矿、矽卡岩型铅锌多金属矿为主。斑岩钼矿的成岩成矿年龄在 66~45 Ma 左右, 沙让已经测定的含矿岩体锆石年龄在 52~46 Ma, 辉钼矿成矿年龄在 53~51 Ma 左右(唐菊兴等, 2009a; 高一鸣等, 2009)。高一鸣等(2011)测定了亚贵拉钼矿体中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄约为 64.89±0.89 Ma, 平均的模式年龄为 63.6±2.2 Ma。表明冈底斯成矿带北亚带存在与主碰撞期地壳增厚导致壳源的 S 型花岗岩有关的成矿系列, 从岩体向外形成以 Mo、W、Pb-Zn-Cu-(Ag)的元素分带或矿化分带, 形成岩体中的斑岩钼矿、斑岩钨矿、矽卡岩型铅锌多金属矿。

5.3 矽卡岩型矿床的特点和控矿因素

冈底斯成矿带, 强烈的燕山晚期、喜山期的黑云母花岗岩(花岗斑岩、石英斑岩)岩浆活动控制了铅锌铜多金属矿的形成, 大部分矿床形成于岩体或岩体外围的 0~4 km 范围内, 形成岩体中 Cu、Mo 矿化, 外围灰岩与黑色岩系的层间构造中的 Cu-Zn-Pb-Ag-Au 矿化分带。这类矿床是否由海底喷流成矿作用形成需要进一步探讨。该类矿床的主要特点如下:

1) 矿体既受层序界面的控制, 也受主碰撞期岩浆活动的影响, 成矿年龄集中在 65~40 Ma、40~23 Ma、17~13 Ma, 成矿与岩浆作用有关。

无论是甲玛铜多金属矿、驱龙外围的知不拉铜多金属矿、邦铺外围的铅锌多金属矿等, 还是亚贵拉铅锌多金属矿、蒙亚啊铅锌多金属矿、洞中拉多金属矿、拉屋岩体外围的铅锌矿, 都具有这样的特点。矿体受砂板岩(角岩)和灰岩(大理岩)的层间构造控制, 测定的亚贵拉辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 64.89±0.89 Ma, 平均的模式年龄为 63.6±2.2 Ma(高一鸣等, 2011), 由此可见, 燕山期、喜山期花岗斑岩、石英斑岩、花岗岩的侵位, 近东西向分布的层间构造带(来姑组、洛巴堆组、多底沟组-林布宗组、昂杰组、下拉组的灰岩-黑色岩系的层间构造), 来姑组、洛巴堆组、多底沟组-林布宗组的灰岩-黑色岩系建造控矿。这三大控矿因素是控制矽卡岩型多金属矿的分布。

2) 矽卡岩型铅锌铜银矿主要受灰岩(大理岩)与

黑色岩系的层间构造及其地球化学障的控制。主要的含矿岩系组合是灰岩(大理岩)+黑色板岩、凝灰岩、砂板岩。主要的含矿层位是晚石炭-早二叠世来姑组(灰岩-黑色岩系层间构造)、二叠纪的洛巴堆组(灰岩-黑色岩系的层间构造)、中侏罗世多底沟组与晚侏罗世林布宗组层间构造(灰岩-黑色岩系的层间构造)。而这种层间构造是东西向伸展构造继承了灰岩-黑色岩系之间的层序界面形成的控矿构造而已。

洞中拉、蒙亚啊、亚贵拉等矿床金属硫矿物 $\delta^{34}\text{S}$ 组成变化范围较小, 介于+1.6‰~+5.1‰之间, 平均 $\delta^{34}\text{S}$ 值 3.58‰, 皆十分接近于零, 方差 1.454‰, 表明这些矿床的硫源主要为岩浆来源(王立强等, 2010)。矿石显微组构和矿物组合特征, 显示成矿元素的高-中温组合和矿物组构的充填交代作用特点, 矿石常见条带状构造, 但这种条带状构造是选择性交代的产物。

6 冈底斯成矿带找矿突破的几个关键地质问题

根据多年来对西藏各成矿带的研究, 提出以下找矿突破中需要重视的关键地质问题, 以期抛砖引玉, 引起各方重视。

1) 增生楔、大型韧性剪切带中的造山型金矿(侯增谦等, 2008)的找矿突破关乎能否在冈底斯及相邻成矿带找到长期悬而未决的岩金矿找矿问题。冈底斯成矿带南缘、班-怒带广泛发育的增生楔也许是西藏岩金矿取得重大找矿突破的最佳突破口。

西藏砂金矿床星罗棋布, 其中崩纳藏布、马攸木砂金矿床规模较大, 但岩金矿床至今尚未突破, 只有弄如日、邦布金矿的规模达到中小型。伴生金矿床, 雄村矿集区查明的伴生金达到 230 吨以上(I号矿体 Au 平均品位 0.64%, II号矿体 Au 平均品位 0.2%); 甲玛矿床控制盒查明的伴生金资源量达到 140 吨(伴生金品位大于 0.3%)。

冈底斯成矿带的南缘、班-怒带的增生楔远比现在圈定的范围要大, 导致有些金矿点未识别其增生楔背景。冈底斯成矿带南缘的邦布金矿位于朗杰学增生楔中的曲松北西向大型剪切带, 产于上三叠统朗杰学群陆缘复理石建造中的宋热组含炭岩系, 有众多的基性岩脉侵位。

马攸木金矿位于雅江缝合带中间的仲巴微陆块强烈变形和热动力变质带中, 泥盆系马攸木群中发育若干脆韧性构造, 形成石英脉型和构造蚀变岩型

金矿体。

藏南拆离系变质核杂岩的外围的环状断裂和放射状断裂分布区, Au、Sb、Ag、As、Hg 等中低温元素组合矿化或异常发育, 次火山岩(闪长玢岩、流纹斑岩、辉绿岩、辉绿辉长岩等)分布广泛。查拉普金矿、浪卡子金矿床都有扩大规模的潜力, 扎西康、沙拉岗锡多金属矿深部及外围找矿工作尚在起步阶段。

由上可知, 西藏造山型金矿的找矿大有可为, 广泛发育的浊积岩, 新生代构造变形带, 代表深部来源的煌斑岩、辉绿岩、辉绿辉长岩, 遍布全区的砂金矿点; 找矿地质条件好, 找矿标志明显, 关键是要找到一套适用的评价方法和指标。

2) 底斯带成矿带以及藏南地区 65~10 Ma 的岩浆活动是否能形成类似于腾冲-下察隅地区成矿类似的锡多金属矿集区。

目前, 在藏东的类乌齐-左贡成矿带已经发现并初步评价塞北弄锡矿、索达锡多金属矿, 索达锡多金属矿有较大的找矿潜力。但冈底斯成矿带尚未取得大的突破, 该带的北部念青唐古拉地区, 基底为念青唐古拉群, Sn-W-Pb-Zn-Sb-Ag-Au 化探组合异常发育, 目前已经发现玛雄郎钨铋铅锌矿、哈海岗钨钼铅锌矿, 独立的锡多金属矿的找矿工作任重道远。

值得一提的是藏东和藏南都发现评价了类似于大厂锡矿田浅部发育的锡多金属矿体, 如藏东的拉诺玛铅锌锡矿、藏南扎西康锡多金属矿, 都有一个相同的特点, 锡矿物除了辉锡矿外, 大量发育脆硫锡铅矿等硫盐类矿物, 从浅部向深部的矿物分带为石英-方解石-辉锡矿-方铅矿-闪锌矿-锡硫盐类矿物-闪锌矿-黄铁矿-毒砂-铁菱锰矿-(方铅矿)-闪锌矿-黄铁矿-毒砂, 陈毓川等(2010)认为类似的矿物组合和分带, 显示深部有可能找到类似于大厂式的锡多金属矿体。

3) 拉孜以西地区, 是否存在斑岩铜矿的成矿背景?

东经 90°以西的冈底斯成矿带是否发育斑岩铜矿床, 这是个困扰众多学者的问题。事实是, 目前冈底斯成矿带的东经 90°以西, 目前发现了雄村铜金矿(成岩成矿年龄在 175~160 Ma)(唐菊兴等, 2009c, 2010a; 郎兴海等, 2010, 2012), 朱诺斑岩型铜(金)矿(13.72 ± 1.14 Ma)(郑有业等, 2007)(铜资源量已经超过 150 万吨), 西藏地质六队在南木林盆地发现的砂卡岩型铜多金属矿(普桑果铜多金属矿,

表 3 斑岩铜矿不同蚀变带、剥蚀程度及对应的重要指示元素分布
Table 3 Chemical zonation patterns of the alteration and denudation degree

剥蚀程度	蚀变带	指示元素	备注
剥蚀程度很浅	泥化、青磐岩化带, 黄铁绢云岩化的上部	Hg、Tl、Li、(As、Pb、Zn)	
剥蚀程度浅	泥化中部偏下、青磐岩化带下部, 黄铁绢云岩化的中部	As、Pb、Zn、Mn、(Bi)	
剥蚀程度中等	泥化根部、青磐岩化带深部, 黄铁绢云岩化的中下部	Te、Se、Bi、Mn(Zn、Pb、Cu、Mo)	黄铁绢英岩化下部 Mn、Te 含量高
剥蚀程度强	黄铁绢云岩化的中下部、钾硅化带	Cu、Mo、Te、Se、	剥蚀程度越高, Cu 含量越高

Cu-Pb-Zn-Co 组合)(15.849±0.049 Ma; 崔晓亮等, 2012)显示南木林盆地内还有寻找斑岩型矿床的潜力。

拉孜至狮泉河镇, 长达数千千米的范围内, 地质工作程度极低, 1:20 万化探尚未全面完成, 中大比例尺的地质调查更是凤毛麟角, 斑岩铜矿的找矿前景不明, 但我们相信, 随着青藏专项地质矿产调查的不断深入, 新的斑岩铜矿床的发现将会指日可待。

4) 弧-陆拼贴、陆陆拼贴后, 岛弧环境下形成的斑岩铜金矿床的保存问题。

多岛弧盆体制下(潘桂棠等, 2006; 侯增谦等, 2006), 岛弧地体不断拼贴到拉萨地体上, 随着高原的差异性隆升(垂向增生)(芮宗瑶等, 2003, 2004), 致使特殊构造背景下, 拼贴到拉萨地体的地质体(自晚三叠世-喜山早期的俯冲阶段形成的弧盆产物)得以有可能保存下来, 从而有可能保留了晚三叠世以来多次造弧作用下形成的斑岩型钢金矿。越来越多的证据显示南木林盆地内也存在一系列 180~120 Ma 之间的岩浆活动(刘鸿飞私人通讯), 这些岩浆活动是否是拼贴到拉萨地体的残留岛弧体, 需要进行进一步的研究。

5) 隐伏斑岩矿床的预测准则, 如异常元素的选择、流体逃逸痕迹的识别、围岩岩性圈闭重要性。斑岩铜矿区的隐伏含矿斑岩的化探指示元素(芮宗瑶等, 1984), 我们常常采用 Mo、Cu、Pb、Zn 等, 通过实践, 有些元素对寻找隐伏的斑岩铜矿是有效果的(表 1)。

斑岩铜矿区常见各种流体逃逸的标志而不易被研究者重视, 如: 大理岩中不规则分布的铁碳酸盐矿物、锰碳酸盐矿物, 角岩和砂板岩中的石英-磁黄铁矿脉。这些的不易引起重视的蚀变和脉体正是流体逃逸的重要证据。

围岩的岩性圈闭, 对于一个大型的斑岩铜矿床而言显得十分重要(芮宗瑶等, 1984), 良好的规模巨大的角岩岩性圈闭, 一方面表明岩体规模大、热量

足, 另一方面热变质角岩构成了一个为岩浆流体活动良好的圈闭空间, 甲玛(原岩砂板岩)、驱龙(原岩凝灰岩)、雄村(原岩凝灰岩)、玉龙(原岩砂板岩)等矿床均有大 10 km² 的角岩化。

6) 推覆-滑覆构造控岩控矿模型的构建, 以及推覆-滑覆构造的时限确定。

冈底斯成矿带推覆-滑覆构造控岩控矿模型的构建, 钟康惠等(2012)将有详细的阐述, 但推覆-滑覆构造形成时限需要做更深入的研究, 尤其是与斑岩铜矿带相伴的走滑变形构造带在控岩控矿方面扮演着什么角色, 至少目前尚不清晰(闫学义等, 2010)。

7 结论

通过以上研究, 得到以下结论。

1) 冈底斯成矿带东段, 划分出 3 大矿床成矿系列组、6 个矿床成矿系列和 10 个成矿亚系列。主要的矿床成矿亚系列为: 与早侏罗世-晚侏罗世岛弧型中酸性火山岩-浅成岩建造有关的铜、金、银、铅锌矿床成矿亚系列, 与古新世-始新世中酸性火山-中浅成岩浆建造有关的铅锌、银、钼、钨、铁矿床成矿亚系列, 与中新世中酸性浅成岩浆建造有关的铜、钼、铅锌、钨、金、银矿床成矿亚系列。

2) 从南向北, 成矿元素组合和矿体组合分布规律为: Cu-Au(斑岩型-浅成低温热液型) Mo-W(Cu)(斑岩-矽卡岩型) Cu-Mo-Pb-Zn(Au、Ag)(斑岩-矽卡岩型) Mo(Cu)(斑岩) Pb-Zn-Mo-W-Fe(斑岩-矽卡岩型) Pb、Zn(Ag)(热液脉型)。成矿时代显示为南北老, 中间新的规律, 矿床类型主要为斑岩-矽卡岩型。

3) 板块俯冲、碰撞形成的构造地质背景及其与之相对应的矿床成矿系列, 印-亚大陆碰撞前的俯冲增生阶段(200~65 Ma), 主碰撞期垂向增生(65~40 Ma), 碰撞过程中走滑、伸展(23~12 Ma)等重要地质背景将形成多组完整的矿床成矿系列组。因此, 除了重视寻找 17~13 Ma 形成的斑岩-矽卡岩型

Cu 多金属矿外, 应该加强对碰撞前和主碰撞期形成的矿床系列的识别, 并预测未被发现的矿床成矿亚系列。

按照矿床成矿系列的“缺位”预测理论(陈毓川等, 2006, 2008, 2009, 2010), 石炭纪-二叠纪裂谷盆地中的 VMS 型多金属矿, 燕山晚期-喜山早期(126~40 Ma)念青唐古拉地区矽卡岩型多金属矿附近的斑岩钼(铜)矿, 以及燕山晚期-喜山早期冈底斯中部中酸性岩浆岩附近似 IOCG 型铁铜金矿, 早中侏罗世、中新世斑岩型铜矿外围的浅成低温热液金矿, 与增生楔及脆韧性剪切带中的造山型金矿等矿床类型是下一步工作的重点。

作者注: 本文综合了 1999 年以来的大调查成果及由此推动的商业性勘查成果资料, 由于时间仓促, 难免有引用资料未注明来源, 敬请谅解!

参考文献:

- 陈毓川, 刘德权, 唐延龄, 王登红, 董连慧, 徐新, 王晓地. 2008. 中国天山矿产及成矿体系[M]. 北京: 地质出版社.
- 陈毓川, 刘德权, 应立娟, 王登红, 唐延龄. 2009. 新疆觉罗塔格成矿带与南阿尔泰成矿带的对比研究[J]. 矿床地质, 28(1): 2-14.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 80(10): 1501-1508.
- 陈毓川, 王登红. 2010. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京: 地质出版社.
- 崔晓亮, 多吉, 刘鸿飞, 张金树, 刘婷婷, 粟登远, 普布次仁, 杜刚强, 刘祖军. 2012. 西藏浦桑果铜多金属矿床侵入岩的地球化学特征及对构造环境的约束[J]. 地球学报, 33(4): 537-545.
- 崔晓亮, 唐菊兴, 多吉, 钟康惠, 高一鸣, 刘鸿飞, 张金树, 王成辉, 刘婷婷. 2011. 西藏洞中拉铅锌矿床石英斑岩锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(5): 557-562.
- 费光春, 温春齐, 周雄, 吴鹏宇, 温泉. 2010. 西藏洞中拉铅锌矿床石英激光探针 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年及地质意义[J]. 矿物岩石, 30(3): 38-43.
- 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 杜欣, 李新法, 高明, 蔡志超. 2009. 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, 83(10): 1436-1444.
- 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 李超, 李新法, 高明, 蔡志超. 2011. 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[J]. 地质通报, 30(7): 1027-1036.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 王安建, 潘桂棠, 曲晓明, 聂凤军. 2006. 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, 33(2): 348-359.
- 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 高永丰, 杜安道, 黄卫. 2003. 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, 33(7): 509-618.
- 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[J]. 地球学报, 29(3): 275-292.
- 郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 李志军, 黄勇, 王成辉, 陈渊, 张丽. 2010. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区 I 号矿体的岩石地球化学特征: 对成矿构造背景的约束[J]. 地质与勘探, 46(5): 887-898.
- 郎兴海, 唐菊兴, 陈毓川, 李志军, 邓起, 黄勇, 王成辉, 陈渊, 张丽. 2012. 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, 37(3): 515-525.
- 郎兴海. 2012. 西藏雄村斑岩型铜金矿集区成矿作用与成矿预测[D]. 成都: 成都理工大学.
- 李光明, 刘波, 余宏全, 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——来自冲木达铜金矿床的 Re-Os 同位素年龄证据[J]. 地质通报, 25(12): 1482-1486.
- 李光明, 芮宗瑶, 王高明, 林方成, 刘波, 余宏全, 丰成友, 屈文俊. 2005. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 24(5): 482-489.
- 李光明, 芮宗瑶. 2004. 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, 28(2): 165-170.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 黄卫, 曲晓明, 屈文俊. 2003a. 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, 49(6): 660-666.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 黄卫, 曲晓明, 屈文俊. 2003b. 西藏冈底斯东段斑岩铜钼铅锌成矿系统的发育时限: 邦铺铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据[J]. 矿床地质, 22(3): 246-252.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 董国臣, 周肃, 郭铁鹰, 张双全, 王亮亮. 2003. 印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 10(3): 135-148.
- 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 丁俊, 陈智梁. 2002. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 22(11): 701-707.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 朱弟成, 王立全, 李光明, 赵志丹, 耿

- 全如, 廖忠礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3): 521-531.
- 潘桂棠, 王培生. 1997. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 秦克章, 李光明, 赵俊兴, 李金祥, 薛国强, 严刚, 粟登奎, 肖波, 陈雷, 范新. 2008. 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, 35(6): 1101-1112.
- 曲晓明, 侯增谦, 李佐国. 2002. 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, 21(11): 768-776.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 张立生, 王龙生, 刘玉琳. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 22(3): 217-225.
- 芮宗瑶, 黄崇柯. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京: 地质出版社.
- 芮宗瑶, 李光明, 张立生, 王龙生. 2004. 西藏斑岩铜矿对重大地质事件的响应[J]. 地学前缘, 11(1): 145-152.
- 余宏全, 丰成友, 张德全, 潘桂棠, 李光明. 2005. 西藏冈底斯中东段矽卡岩铜-铅-锌多金属矿床特征及成矿远景分析[J]. 矿床地质, 24(5): 508-520.
- 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 王成辉, 许远平, 屈文俊, 黄卫, 黄勇. 2009a. 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, 83(5): 698-704.
- 唐菊兴, 邓世林, 郑文宝, 应丽娟, 汪雄武, 钟康惠, 秦志鹏, 丁枫, 黎枫佶, 唐晓倩, 钟裕锋, 彭慧娟. 2011. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿床勘查模型[J]. 矿床地质, 30(2): 179-196.
- 唐菊兴, 黄勇, 李志军, 邓起, 郎兴海, 陈渊, 张丽. 2009b. 西藏谢通门县雄村铜金矿床元素地球化学特征[J]. 矿床地质, 28(1): 15-28.
- 唐菊兴, 黎风佶, 李志军, 张丽, 唐晓倩, 邓起, 郎兴海, 黄勇, 姚晓峰, 王友. 2010a. 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, 29(3): 461-475.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫佶, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010b. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[J]. 地球学报, 31(4): 495-506.
- 唐菊兴, 张丽, 黄勇, 王成辉, 李志军, 邓起, 郎兴海, 王友. 2009c. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 759-769.
- 王成善, 朱利东, 刘志飞. 2004. 青藏高原北部盆地构造沉积演化与高原向北生长过程[J]. 地球科学进展, 19(3): 373-381.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚. 2009. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京: 原子能出版社.
- 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 唐菊兴, 李建康, 应立娟, 王成辉, 刘善宝, 李立兴, 秦燕, 李华芹, 屈文俊, 王彦斌, 陈文, 张彦. 2010. 我国重要矿产成岩成矿年代学研究新数据[J]. 地质学报, 84(7): 1030-1040.
- 王立强, 顾雪祥, 程文斌, 唐菊兴, 钟康惠, 刘晓吉. 2010. 西藏蒙亚啊铅锌矿床 S、Pb 同位素组成及对成矿物质来源的示踪[J]. 现代地质, 24(1): 52-58.
- 王立强, 唐菊兴, 王焕, 李超, 罗炳学. 2012. 西藏哈海岗钨钼多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素定年[J]. 岩矿测试, 31(1): 113-119.
- 王亮亮, 莫宣学, 李冰, 董国臣, 赵志丹. 2006. 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, 22(4): 1001-1008.
- 夏代祥, 郑安柱, 谢义木. 1993. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 夏代祥. 1997. 西藏自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 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[J]. 地质学报, 80(9): 1392-1406.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉. 2008. 中国成矿区带划分方案: 附图(中国三级成矿区带图)[M]. 北京: 地质出版社.
- 闫学义, 黄树峰, 杜安道. 2010. 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, 84(3): 398-405.
- 杨勇, 罗泰义, 黄智龙, 杨竹森, 田世洪, 钱志宽. 2010. 西藏纳如松多银铅矿 S、Pb 同位素组成: 对成矿物质来源的指示[J]. 矿物学报, 30(3): 311-318.
- 杨志明, 侯增谦, 宋玉财, 李振清, 夏代祥, 潘凤雏. 2008. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床: 地质、蚀变与成矿[J]. 矿床地质, 27(3): 279-318.
- 姚晓峰, 王友, 畅哲生, 郑文宝, 应立娟, 邓世林, 唐晓倩. 2011. 西藏甲玛铜多金属矿矽卡岩特征及成因意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(6): 662-670.
- 应立娟, 王登红, 唐菊兴, 畅哲生, 屈文俊, 郑文宝, 王焕. 2010. 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, 84(8): 1165-1174.

- 于玉帅, 高原, 杨竹森, 田世洪, 刘英超, 曹圣华, 胡为正, 鄯海满. 2011. 西藏措勤尼雄矿田滚轴铁矿侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄与地球化学特征[J]. 岩石学报, 27(7): 1949-1960.
- 张洪涛, 陈仁义, 韩芳林. 2004. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质条件[J]. 矿床地质, 23(2): 150-163.
- 张丽, 唐菊兴, 邓起, 黄勇, 郎兴海, LANG J, TAFTIR. 2007. 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), 34(3): 318-326.
- 赵元艺, 赵希涛, 马志邦. 2006. 西藏搭格架热泉型铈矿床年代学研究[J]. 岩石学报, 26(3): 717-724.
- 郑有业, 多吉, 王瑞江, 程顺波, 张刚阳, 樊子琛, 高顺宝, 代芳华. 2007. 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, 34(2): 324-334.
- 郑有业, 高顺宝, 程力军, 李国梁, 冯南平, 樊子琛, 张华平, 郭建慈, 张刚阳. 2004. 西藏冲江大型斑岩铜(钼金)矿床的发现及意义[J]. 地球科学, 29(3): 333-339.
- 钟康惠, 李磊, 周慧文, 白景国, 李伟, 钟婉婷, 张勇强, 蔺吉庆, 郑凡石, 黄小雨, 陆彪, 雷波. 2012. 西藏甲玛-卡军果推-滑覆构造系特征[J]. 地球学报, 33(4): 411-423.
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 廖忠礼, 江新胜, 王立全, 赵志丹. 2005. 特提斯喜马拉雅带中段桑秀组玄武岩的地球化学和岩石成因[J]. 地球化学, 34(1): 7-19.
- CUI Xiao-liang, Dorji, LIU Hong-fei, ZHANG Jin-shu, LIU Ting-ting, SU Deng-kui, Phurbu Tsering, DU Gang-qiang, LIU Zu-jun. 2012. Geochemical Characteristics of Intrusive Rocks in the Pusangguo Copper- Polymetallic Deposit, Tibet: Constraints on Tectonic Setting[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 537-545(in Chinese with English abstract).
- CUI Xiao-liang, TANG Ju-xing, DUO Ji, ZHONG Kang-hui, GAO Yi-ming, LIU Hong-fei, ZHANG Jin-shu, WANG Cheng-hui, LIU Ting-ting. 2011. Zircon U-Pb Age of the Quartz Porphyry from Dongzhongla Pb-Zn Deposit in Tibet, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), 38(5): 557-562(in Chinese with English abstract).
- FEI Guang-chun, WEN Chun-qi, ZHOU Xiong, WU Peng-yu, WEN Quan. 2010. Laser Microprobe ^{40}Ar - ^{39}Ar Geochronology of Quartz From Dongzhongla Lead-Zinc Deposit in Tibet and Its Significance[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 30(3): 38-43(in Chinese with English abstract).
- GAO Yi-ming, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, DU Xin, LI Xin-fa, GAO Ming, CAI Zhi-chao. 2009. Shrimp U-Pb Dating of Zircon from Quartz Porphyry in the Yaguila Pb-Zn-Mo Deposit, Gongbujiangda County, Tibet and Its Geological Implication[J]. Acta Geologica Sinica, 83(10): 1436-1444(in Chinese with English abstract).
- GAO Yi-ming, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, LI Chao, LI Xin-fa, GAO Ming, Cai Zhi-chao. 2011. Re-Os Dating of Molybdenite from the Yaguila Porphyry Molybdenum Deposit in Gongbo'gyamda Area, Tibet, and Its Geological Significance[J]. Geological Bulletin of China, 30(7): 1027-1036(in Chinese with English abstract).
- HOU Zeng-qian, MO Xuan-xue, YANG Zhi-ming, WANG An-jian, PAN Gui-tang, QU Xiao-ming, NIE Feng-jun. 2006. Metallogenesis in the Collisional Orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic Setting, Tempo-Spatial Distribution and Ore Deposit Types[J]. Geology in China, 33(2): 348-359(in Chinese with English abstract).
- HOU Zeng-qian, QU Xiao-ming, WANG Shu-xian, GAO Yong-feng, DU An-dao, HUANG Wei. 2003. 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, 33(7): 509-618(in Chinese with English abstract).
- HOU Zeng-qian, WANG Er-qi. 2008. Metallogenesis Of The

References:

- CHEN Yu-chuan, LIU De-quan, TANG Yan-ling, WANG Deng-hong, DONG Yan-hui, XU Xin, WANG Xiao-di. 2008. Chinese Tianshan Mineral Ore-Forming System[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CHEN Yu-chuan, LIU De-quan, YING Li-juan, WANG Deng-hong, TANG Yan-ling. 2009. A Comparative Study of Jueltage Metallogenic Belt and South Altay Metallogenic Belt In Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 28(1): 2-14(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, WANG Deng-hong. 2006. On Mineralogical (Metallogenetic) Series: Third Discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 80(10): 1501-1508(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong. 2010. Classification Scheme of Important Mineral Forecasts[M]. Beijing: Geological Publishing(in Chinese).

- Indo-Asian Collisional Orogen: New Advances[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(3): 275-292(in Chinese with English abstract).
- LANG Xing-hai, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, HUANG Yong, WANG Cheng-hui, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2010. Characteristics of rock geochemistry of orebody No. I in the Xiongcu porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen county, Tibet: Constraints on metallogenic tectonic settings[J]. *Geology and Exploration*, 46(5): 887-898(in Chinese with English abstract).
- LANG Xing-hai, TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, LI Zhi-jun, DENG Qi, HUANG Yong, WANG Cheng-hui, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2012. Neo-Tethys Mineralization on the Southern Margin of the Gangdise Metallogenic Belt, Tibet, China: Evidence from Re-Os Ages of Xiongcu Orebody No.1[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 37(3): 515-525(in Chinese with English abstract).
- LANG Xing-hai. 2012. Metallogenesis and metallogenic prediction for Xiongcu porphyry copper-gold district, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- LI Guang-ming, LIU Bo, SHE Hong-quan, FENG Cheng-you, QU Wen-jun. 2006. 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*, 25(12): 1482-1486(in Chinese with English abstract).
- LI Guang-ming, RUI Zong-yao, WANG Gao-ming, LIN Fang-cheng, LIU Bo, SHE Hong-quan, FENG Cheng-you, QU Wen-jun. 2005. Molybdenite Re-Os Dating of Jiama and Zhibula Polymetallic Copper Deposits in Gangdise Metallogenic Belt of Tibet and Its Significance[J]. *Mineral Deposits*, 24(5): 482-489(in Chinese with English abstract).
- LI Guang-ming, RUI Zong-yao. 2004. Diagenetic and mineralization ages for the porphyry copper deposits in the gangdise metallogenic belt, southern Xizang[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2): 165-170(in Chinese with English abstract).
- MENG Xiang-jin, HOU Zeng-qian, GAO Yong-feng, HUANG Wei, QU Xiao-ming, QU Wen-jun. 2003a. Re-Os Dating for Molybdenite from Qulong Porphyry Copper Deposit in Gangdise Metallogenic Belt, Xizang and its Metallogenic Significance[J]. *Geological Review*, 49(6): 660-666(in Chinese with English abstract).
- MENG Xiang-jin, HOU Zeng-qian, GAO Yong-feng, HUANG Wei, QU Xiao-ming, QU Wen-jun. 2003b. Development of Porphyry Copper-Molybdenum-Lead-Zinc Ore-Forming System in East Gangdise Belt, Tibet: Evidence From Re-Os Age of Molybdenite in Bangpu Copper Polymetallic Deposit[J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 246-252(in Chinese with English abstract).
- MO Xuan-xue, ZHAO Zhi-dan, DENG Jin-fu, DONG Guo-chen, ZHOU Su, GUO Tie-ying, ZHANG Shuang-quan, WANG Liang-liang. 2003. Response of Volcanism to the India-Asia Collision[J]. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 135-148(in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tang, LI Xing-zhen, WANG Li-quan, DING Jun, CHEN Zhi-liang. 2002. Preliminary Division of Tectonic Units of the Qinghai-Tibet Plateau and its Adjacent Regions[J]. *Regional Geology of China*, 22(11): 701-707(in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tang, MO Xuan-xue, HOU Zeng-qian, ZHU Di-cheng, WANG Li-quan, LI Guang-ming, ZHAO Zhi-dan, GENG Quan-ru, LIAO Zhong-li. 2006. Spatial-Temporal Framework of the Gangdise Orogenic Belt and Its Evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521-531(in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tang, WANG Pei-sheng. 1997. Geological Structure Formation and Evolution in East Tethys[M]. Beijing: Geological Publishing(in Chinese).
- QIN Ke-zhang, LI Guang-ming, ZHAO Jun-xing, LI Jin-xiang, XUE Guo-qiang, YAN Gang, SU Deng-kui, XIAO Bo, CHEN Lei, FAN Xin. 2008. Discovery of Sharang Large-Scale Porphyry Molybdenum Deposit, the First Single Mo Deposit in Tibet and Its Significance[J]. *Geology in China*, 35(6): 1101-1112(in Chinese with English abstract).
- QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, LI Zuo-guo. 2002. Implications of Ofsand Pb isotopic compositions of the Gangdise Porphyry Copper Belt for the Ore-Forming Material Source and Material Recycling Within the Orogenic Belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 768-776(in Chinese with English abstract).
- RICHARDS J P. 2009. Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere[J]. *Geology*, 37(3): 247-251.

- RUI Zong-yao, HOU Zeng-qian, QU Xiao-ming, ZHANG Li-sheng, WANG Long-sheng, LI Yu-lin. 2003. Metallogenetic Epoch of Gangdese Porphyry Copper Belt and Uplift of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 217-225(in Chinese with English abstract).
- RUI Zong-yao, HUANG Chong-ke. 1984. Porphyry Copper(Molybdenum) Deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- RUI Zong-yao, LI Guang-ming, ZHANG Li-sheng, WANG Long-sheng. 2004. The Response of Porphyry Copper Deposits to Important Geological Events in Xizang[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 145-152(in Chinese with English abstract).
- SHE Hong-quan, FENG Cheng-you, ZHANG De-quan, PAN Gui-tang, LI Guang-ming. 2005. Characteristics and Metallogenetic Potential of Skarn Copper-Lead-Zinc Polymetallic Deposits in Central Eastern Gangdese[J]. *Mineral Deposits*, 24(5): 508-520(in Chinese with English abstract).
- SILLITOE R H, GAPPE I M. 1984. Philippine Porphyry Copper Deposits: Geologic Setting and Characteristics[M]. Thailand: CCOP Project Office.
- SILLITOE R H. 1997. Characteristics and Controls of the Largest Porphyry Copper-Gold and Epithermal Gold Deposits in the Circum-Pacific Region[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44(3): 373-388.
- TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, WANG Cheng-hui, XU Yuan-ping, QU Wen-jun, HUANG Wei, HUANG Yong. 2009a. Re-Os Dating of Molybdenite from the Sharang Porphyry Molybdenum Deposit in Gongbujiangda Country, Tibet and Its Geological Significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(5): 698-704(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, DENG Shi-lin, ZHENG Wen-bao, YING Li-juan, WANG Xiong-wu, ZHONG Kang-hui, QIN Zhi-peng, DING Feng, LI Feng-ji, TANG Xiao-qian, ZHONG Yu-feng, PENG Hui-juan. 2011. An exploration model for Jiama copper polymetallic deposit in Maizhokunggar County, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 30(2): 179-196(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, HUANG Yong, LI Zhi-jun, DENG Qi, LANG Xing-hai, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2009b. Element Geochemical Characteristics Of Xiongcu Cu-Au Deposit In Xaitongmoin County, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 28(1): 15-28(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, LI Feng-ji, LI Zhi-jun, ZHANG Li, TANG Xiao-qian, DENG Qi, LANG Xing-hai, HUANG Yong, YAO Xiao-feng, WANG You. 2010a. Time limit for formation of main geological bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen county, Tibet: Evidence from Zircon U-Pb ages and Re-Os age of molybdenite[J]. *Mineral Deposits*, 29(3): 461-475(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, WANG Deng-hong, WANG Xiong-wu, ZHONG Kang-hui, YING Li-juan, ZHENG Wen-bao, LI Feng-ji, GUO Na, QIN Zhi-peng, YAO Xiao-feng, LI Lei, WANG You, TANG Xiao-qian. 2010b. Geological Features and Metallogenetic Model of the Jiama Copper-Polymetallic Deposit in Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(4): 495-506(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, ZHANG Li, HUANG Yong, WANG Cheng-hui, LI Zhi-jun, DENG Qi, LANG Xing-hai, WANG You. 2009c. Period of time for the formation of main geologic bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen county, Tibet: Evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages[J]. *Mineral Deposits*, 28(6): 759-769(in Chinese with English abstract).
- WANG Cheng-shan, ZHU Li-dong, LIU Zhi-fei. 2004. Tectonic and Sedimentary Evolution of Basins in the North of Qinghai-Tibet Plateau and Northward Growing Process of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Advance in Earth Sciences*, 19(3): 373-381(in Chinese with English abstract).
- WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, XU zhi-gang. 2009. Altai Metallogenic Provinces Metallogenic Series and Metallogenic Regularity[M]. Beijing: Atomic Energy Press(in Chinese).
- WANG Deng-hong, CHEN Zhen-hui, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, LI Jian-kang, YING Li-juan, WANG Cheng-hui, LIU Shan-bao, LI Li-xing, QIN Yan, LI Huan-qin, QU Wen-jun, WANG Yan-bin, CHEN Wen, ZHANG Yan. 2010. New Data of the Rock Forming and Ore-Forming Chronology for China's Important Mineral Resources Areas[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(7): 1030-1040(in Chinese with English abstract).
- WANG Liang-liang, MO Xuan-xue, LI Bing, DONG Guo-chen, ZHAO Zhi-dan. 2006. Geochronology and Geochemistry of the Ore-Bearing Porphyry in Qulong Cu(Mo)Ore Deposit, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 1001-1008(in Chinese with English abstract).
- WANG Li-qiang, GU Xue-xiang, CHENG Wen-bin, TANG Ju-xing,

- ZHONG Kang-hui, LIU Xiao-ji. 2010. Sulfur and Lead Isotope Composition and Tracing for the Sources of Ore-Forming Materials in the Mengya'a Pb-Zn Deposit, Tibet[J]. *Geoscience*, 24(1): 52-58(in Chinese with English abstract).
- WANG Li-qiang, TANG Ju-xing, WANG Huan, LI Chao, LUO Bing-xue. 2012. Geological Characteristics and Re-Os Dating of the Hahaigang W-Mo Polymetallic Deposit, Tibet[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 31(1): 113-119(in Chinese with English abstract).
- XIA Dai-xiang, ZHENG An-chu, XIE Yi-mu. 1993. *Regional Geology of Tibet Autonomous Region*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- XIA Dai-xiang. 1997. *Lithostratigraphy of the Tibet Autonomous Region*[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- XU Wen-yi, QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, YANG Zhu-sen, CUI Yan-he, CHEN Wei-shi, YANG Dan, LIAN Yu. 2006. The Xiongcu Copper-gold Deposit in Tibet: Characteristics, Genesis, and Geodynamic Application[J]. *Mineral Deposits*, 80(9): 1392-1406(in Chinese with English abstract).
- XU Zhi-gang, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, CHEN Zheng-hui. 2008. *Division of China Metallogenic Districts*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- YAN Xue-yi, HUANG Shu-feng, DU An-dao. 2010. Re-Os Ages of Large Tungsten, Copper and Molybdenum Deposit in the Zetang Orefield, Gangdisê and Marginal Strike-Slip Transforming Metallogenesis[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(3): 398-405(in Chinese with English abstract).
- YANG Yong, LUO Tai-yi, HUANG Zhi-long, YANG Zhu-sen, TIAN Shi-Hong, QIAN Zhi-kuan. 2010. Sulfur and Lead Isotope Compositions of the Narusongduo Silver Zinc-Lead Deposit in Tibet: Implications for the Sources of Plutons and Metals in the Deposit[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 30(3): 311-318(in Chinese with English abstract).
- YANG Zhi-ming, HOU Zeng-qian, SONG Yu-cai, LI Zhen-qing, XIA Dai-xiang, PAN Feng-chu. 2008. Qulong Superlarge Porphyry Cu Deposit in Tibet: Geology, Alteration and Mineralization[J]. *Mineral Deposits*, 27(3): 279-318(in Chinese with English abstract).
- YAO Xiao-feng, WANG You, CHANG Zhe-sheng, ZHEN Wen-bao, YING Li-juan, DENG Shi-lin, TANG Xiao-qian. 2011. Characteristics and the Genesis Implication of Skarn in the Jiama Copper-Polymetallic Deposit, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, 38(6): 663-670(in Chinese with English abstract).
- YING Li-juan, WANG Deng-hong, TANG Ju-xing, CHANG Zhe-sheng, QU Wen-jun, ZHENG Wen-bao, WANG Huan. 2010. Re-Os Dating of Molybdenite from the Jiama Copper Polymetallic Deposit in Tibet and Its Metallogenic Significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(8): 1165-1174(in Chinese with English abstract).
- YU Yu-shuai, GAO Yuan, YANG Zhu-sen, TIAN Shi-hong, LIU Ying-chao, CAO Sheng-hua, HU Wei-zheng, QIE Hai-man. 2011. Zircon La-Icp-Ms U-Pb Dating and Geochemistry of Intrusive Rocks from Gunjiu Iron Deposit in the Nixiong Ore Field, Coqen, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 1949-1960(In Chinese with English abstract).
- ZHANG Hong-tao, CHEN Ren-yi, HAN Fang-lin. 2004. Reunderstanding of Metallogenic Geological Conditions of Porphyry Copper Deposits in China[J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 150-163(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Li, TANG Ju-xing, DENG Qi, HUANG Yong, LANG Xing-hai, LANG J, TAFITI R. 2007. Study on Mineral Compositions of the Ore from the Xiongcu Cu(Au) Deposit in Xietongmen County, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 34(3): 318-326(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yong-jun. 2001. The Property of the Yarlung Zangbo River Aeromagnetic Anomaly Zone and Its Significance[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 25(4): 241-253(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Yuan-yi, ZHAO Xi-tao, MA Zhi-bang. 2006. Study On Chronology for Hot Spring Typed Cs-Deposit of Targjia, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3): 717-724(in Chinese with English abstract).
- ZHENG You-ye, DUO Ji, WANG Rui-jiang, CHENG Shun-bo, ZHANG Gang-yang, FAN Zi-hui, GAO Shun-bao, DAI Fang-hua. 2007. New Advances in the study of the gigantic Gangdisê porphyry copper metallogenic zone, Tibet[J]. *Geology in China*, 34(2): 324-334(in Chinese with English abstract).
- ZHENG You-ye, GAO Shun-bao, CHENG Li-jun, LI Guo-liang, FENG Nan-ping, FAN Zi-hui, ZHANG Hua-ping, GUO Jian-ci, ZHANG Gang-yang. 2004. Finding and Significances of

- Chongjiang Porphyry Copper (Molybdenum, Aurum) Deposit, Tibet[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 29(3): 333-339(in Chinese with English abstract).
- HONG Kang-hui, LI Lei, ZHOU Hui-wen, BAI Jing-guo, LI Wei, ZHONG Wan-ting, ZHANG Yong-qiang, LIN Ji-qing, ZHENG Fan-shi, HUANG Xiao-yu, LU Biao, LEI Bo. 2012. Features of Jiama(Gyama)-Kajunguo Thrust-gliding Nappe Tectonic System in Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 411-423(in Chinese with English abstract).
- ZHU Di-cheng, PAN Gui-tang, MO Xuan-xue, LIAO Zhong-li, JIANG Xin-sheng, WANG Li-quan, ZHAO Zhi-dan. 2005. Geochemistry and Petrogenesis of the Sangxiu Formation Basalts in the Central Segment of Tethyan Himalaya[J]. Geochimica, 34(1): 7-19(in Chinese with English abstract).

中国工程院能源与矿产工程学部院士参观考察 中国地质科学院

6月14日,在两院院士大会即将结束之际,中国工程院院长周济率40多位中国工程院能源与矿产工程学部院士来到中国地质科学院参观考察。这是中国工程院第十一次院士大会学术交流活动的一项重要内容。国土资源部部长、党组书记、国家土地总督察徐绍史,党组副书记、副部长、国家土地副总督察,国家测绘地理信息局局长徐德明,党组成员、副部长张少农,总工程师钟自然陪同考察。

中国地质科学院党委书记王小烈汇报了中国地质科学院的基本情况。中国地质科学院副院长兼矿产资源研究所所长王瑞江、矿产资源研究所毛景文研究员、王安建研究员分别作了“中国地质科学院矿产资源研究所科技工作情况”、“国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室工作情况”和“中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心工作情况”的专题汇报。

汇报结束后,在徐绍史等人的陪同下,院士们参观了大陆构造与动力学国家重点实验室、国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室、深部探测研究中心、北京离子探针中心,并听取了相关汇报。院士们对大陆科钻、矿产资源勘查与开发、地应力监测以及远程共享技术产生了浓厚兴趣,并对地质科技事业的快速发展表示赞扬。院士们不时与地质科技人员交流,对地质科技服务经济社会发展、推动地质找矿、防灾减灾等方面提出许多建议。

在大陆构造和动力学国家重点实验室,邱爱慈院士说:“这个国家级重点实验室的原创性足够了。地质科学是一个综合性的科学领域,需要大量先进仪器参与其中。入地比上天更难。钻探验证科研的思想和预测,深化认识,这是科学进步的前提”。

在国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,彭苏萍院士说:“中国地质科学院是国内地质研究的顶级科研单位,我过去读博士的时候曾在这里做过实验,可以说与地科院很有渊源。我觉得地科院的矿床学和钾盐研究是走在世界前列的。看了成矿作用过程与四维成矿模型,我感到非常震撼”。

在深部探测中心,张玉卓院士说:“我对这个深部专项特别感兴趣,它对进一步提高对地球的认识程度意义非常重大,他们的研究是综合性的多方位的,所有地学界的人都会非常关注。国家拨了10多个亿,很必要。科学研究分基础性科研和应用性科研。大学如地大主要进行基础性科研,我认为,地科院主要应该进行应用性科研,培养大量应用型人才,瞄准国民经济主战场”。

彭苏萍院士说:“地应力测量一定要做到矿区去,我们煤矿的岩爆对矿井的破坏、对支护的影响很大,下一步再做地应力监测的时候,要想办法拓宽服务面”。

在北京离子探针中心,院士们对国内唯一一台高分辨率二次离子质谱仪十分感兴趣并赞赏了实验室的工作,苏万华院士说:“这个实验室的工作很出色,符合国家对重点实验室对开放性、前沿性、人才培养和国际交流等方面的要求”。