

文章编号 10258-7106(2007)02-0153-10

西藏冈底斯银多金属矿化带的基本特征 与成矿远景分析*

孟祥金¹, 侯增谦², 叶培盛³, 杨竹森¹, 李振清¹, 高永丰⁴

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;
3 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 4 石家庄经济学院, 河北 石家庄 050031)

摘 要 在冈底斯斑岩铜矿带的北侧, 发育一条与之平行的银多金属矿化带。文章对该银多金属矿化带的成矿构造背景、矿床类型及矿化特点进行了初步分析与总结。研究结果表明, 该矿化带受旁多—措勤逆冲系的控制, 呈近 EW 向带状展布, 带内矿床多位于 EW 向逆冲断裂与近 NS 向张性构造的交汇部位, 主要矿化类型为矽卡岩型和热液脉型。据矿化特点差异, 以念青唐古拉为界, 可分为东、西 2 段, 东段以矽卡岩型 Cu-Pb-Zn-Ag 矿化为主, 西段以热液脉型 Ag-Pb-Zn 矿化为主, 西段矿床的银含量明显高于东段。该矿化带是大陆碰撞造山晚期或后碰撞伸展早期(25~15 Ma)热液活动的产物。综合对比分析显示, 该矿化带具有良好的成矿条件及巨大的成矿潜力, 有望发展成为一条规模巨大的银多金属成矿带。

关键词 地质学, 银多金属矿化带, 旁多—措勤逆冲系, 成矿潜力, 冈底斯, 西藏

中图分类号: P618.52

文献标识码: A

Characteristics and ore potentiality of Gangdese silver-polymetallic mineralization belt in Tibet

MENG XiangJin¹, HOU ZengQian², YE PeiSheng³, YANG ZhuSen¹, LI ZhenQing¹ and GAO YongFeng⁴

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China;

3 Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China; 4 Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China)

Abstract

A new silver-polymetallic mineralization belt in parallel with the Gangdese porphyry copper belt was discovered on the northern side of the Gangdese Range. This WE-trending silver-polymetallic mineralization belt is controlled by the Pangduo-Cuoqin thrust system. Most of the deposits in the belt occur at the junctions between the WE-striking thrust faults and the NS-striking tension faults. Two types of mineralization can be recognized in the belt. In the western part, i. e. to the west of Yangbajing rift, the deposits are dominated by hydrothermal veinlike silver-lead-zinc mineralization; in the eastern part, however, the deposits are characterized by skarn type copper-lead-zinc-silver mineralization. The silver content of ores in the western belt is obviously higher than that in the eastern belt. The silver-polymetallic deposits resulted from the hydrothermal process in the late period of the continent collisional orogenic activity or in the early stage of collision-extension (25~15 Ma). An integrated analysis shows that the belt has favorable conditions for silver-polymetallic mineralization and possesses remarkable mineralization potentiality. The belt is therefore expected to develop into a large-size silver-polymetallic

* 本文得到国家重点基础研究发展规划 973 项目“印度-亚洲大陆碰撞带成矿作用”(编号 2002CB412610)的资助

第一作者简介 孟祥金, 男, 1966 年生, 副研究员, 主要从事矿床学研究。

收稿日期 2006-04-25; 改回日期 2006-11-17。许德焕、李 岩编辑。

belt in Tibet.

Key words: geology, silver-polymetallic mineralized belt, Pangduo-Cuoqin thrust system, potentiality of mineralization, Gangdese, Tibet

西藏冈底斯带是青藏高原碰撞造山带内最具成矿潜力的大型构造-岩浆成矿带。经初步勘查,冈底斯斑岩铜矿带已初具规模,至少有 5 个斑岩型铜矿床(甲马、驱龙、冲江、厅宫、朱诺)具大型规模潜力,还有一批同时代的矿化斑岩体显示出良好的找矿前景(侯增谦等,2001;曲晓明等,2001;郑有业等,2002;汪全海等,2002)。然而,据已有的矿产勘查、民间采矿及笔者最近的区域调查,发现在冈底斯斑岩铜矿带的北侧发育一条与之平行的银多金属矿化带。该带东起工布江达的洞中松多,西至昂仁的许如错,可能继续向西延伸,总长逾 1 000 km,具有较大的成矿远景,有望成为继斑岩铜矿带之后的又一条更具经济意义的银多金属成矿带。

1 地质构造背景

冈底斯构造-岩浆带作为拉萨地体的重要组成部分,经历了长期而复杂的发育历史,至少可识别出 4 个构造-岩浆阶段。

(1) 雅鲁藏布江洋壳板片俯冲阶段

向北的俯冲作用发生于中-晚白垩世,形成了著名的雅鲁藏布江缝合带,导致了冈底斯岩浆弧的发育和日喀则弧前盆地的形成(Allegre et al., 1984; Harrison et al., 1992; Durr, 1996)。雅鲁藏布江缝合带被早第三纪的南倾逆冲断裂系强烈改造(Yin et al., 1994),仅局部地段得以残留。冈底斯岩浆弧主要沿拉萨地体南缘分布,弧内岩浆岩侵入于古生代-中生代地层中,显示出安第斯陆缘弧特征(Coulon et al., 1986; Pierce et al., 1988),弧前盆地出露在日喀则附近,其内,发育完好的白垩系-老第三系弧前序列(Durr, 1996)。

(2) 陆-陆强烈碰撞阶段

碰撞作用可能始于 65 Ma,于 55~45 Ma 达到高峰(莫宣学等,2003),产出大体积的花岗岩及巨厚(逾 5 000 m)的林子宗火山岩系。这些碰撞期花岗岩的峰期年龄为 55~45 Ma,与弧花岗岩共同构成长逾 2 000 km 的冈底斯花岗岩基。林子宗火山岩

系的年龄介于 64~41 Ma 间(莫宣学等,2003),与碰撞花岗岩相伴产出,因隆升剥蚀,主要在冈底斯带的盆地区域发育(图 1)。

(3) 冈底斯逆冲断裂活动阶段

至少产生了 2 条规模巨大的逆冲断裂带。其一为南倾的大反向逆冲断裂带或泽当—仁布断裂带(Yin et al., 1994),强烈改造了雅鲁藏布江缝合带,并展布于其南侧。尽管对其起始时限尚未很好约束,但至少在 19~10 Ma 期间是活动的(Yin et al., 2000)。其二为沿雅鲁藏布江缝合带北侧展布的北倾的冈底斯逆冲断裂带(Harrison et al., 1992),随着蛇绿混杂岩的出露而消失,其活动年龄介于 30~24 Ma(Harrison et al., 2000),它的发育导致了其上盘冈底斯花岗岩基的广泛出露。值得高度重视的是产于冈底斯内部的一系列呈 EW 向展布的逆冲断裂系,在念青唐古拉以东,被命名为旁多逆冲系(叶培盛,2004),在念青唐古拉以西,主要发育于措勤地区,暂称措勤逆冲系。这些逆冲断裂系严格控制了冈底斯银多金属矿带的形成与发育。

(4) 后碰撞伸展阶段

在冈底斯,后碰撞伸展发育于区域性大面积隆升之后(19~21 Ma),主要表现为冈底斯造山带乃至拉萨地体和整个青藏高原发生 EW 向伸展,产生了走向近 NS 的横跨冈底斯山分布的裂谷系或正断层系统(Harrison et al., 1995; Coleman et al., 1995; Blinskiuk et al., 2001)。大体在与快速隆升和 NS 向裂谷事件相当的时段内,冈底斯造山带中发育了大量小体积的钾质-超钾质熔岩(Coulon et al., 1986; Miller et al., 1999)及众多的花岗质斑岩体。后者主体侵位于冈底斯花岗岩基内部,年龄集中于 13~18 Ma,构成了一条平行于主碰撞带的呈近 EW 向展布的酸性斑岩带。这些斑岩在成分上以富钾为特点,属钾玄岩-高钾钙碱性岩系,在岩石化学上显示出与埃达克岩的亲性和(侯增谦等,2004a),于 16~13 Ma 期间,发生不同程度的铜钼矿化,构成一条规模巨大的斑岩铜矿带,即冈底斯铜矿带(侯增谦等,2003a; 芮宗瑶等,2003)。

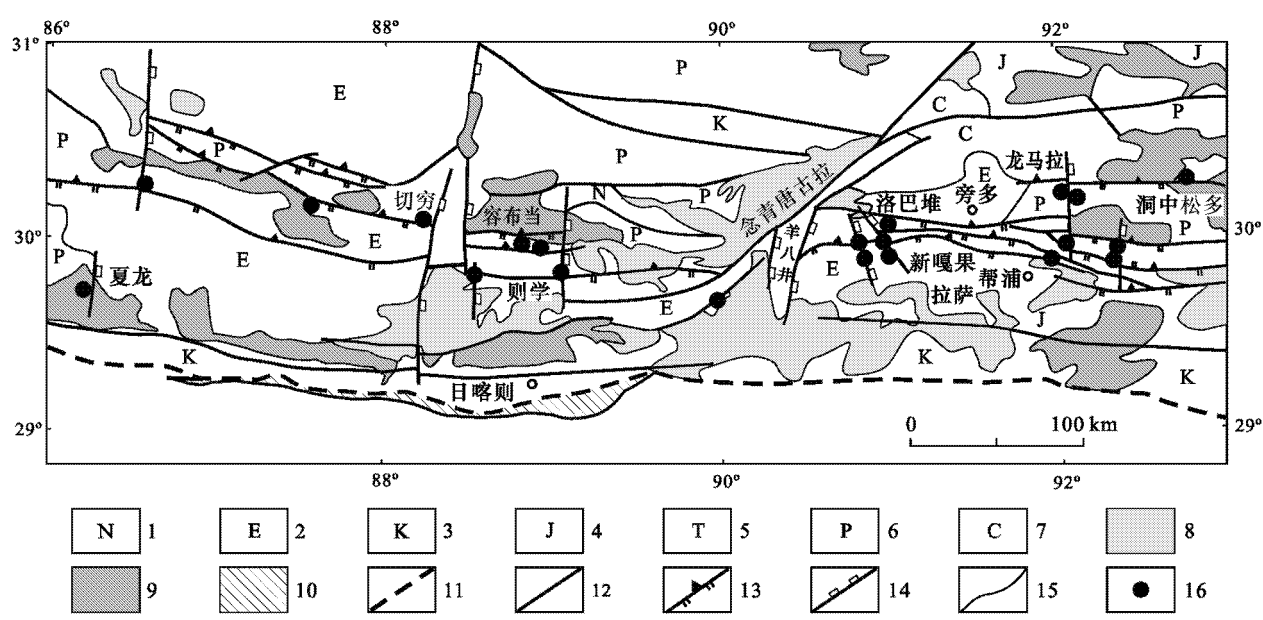


图 1 冈底斯构造-岩浆带的构造格架及银多金属矿床的分布

1—新近系 2—古近系 3—白垩系 4—侏罗系 5—三叠系 6—二叠系 7—石炭系 8—喜马拉雅期花岗岩 9—燕山期花岗岩 10—蛇绿岩 11—缝合带 12—断层 13—逆冲断裂 14—张性构造 15—地质界线 16—银多金属矿

Fig. 1 Tectonic framework of the Gangdese tectonic belt , showing distribution of silver-polymetallic deposits

1—Neogene 2—Paleogene 3—Cretaceous 4—Jurassic 5—Triassic 6—Permian 7—Carboniferous 8—Himalayan granite 9—Yanshanian granite 10—Ophiolite 11—Suture zone 12—Fault 13—Thrust fault 14—Tension fault 15—Geological boundary 16—Silver-polymetallic deposit

2 旁多—措勤逆冲断裂系

伴随印-亚大陆碰撞而引起的地壳缩短和构造变形,不仅形成了位居雅鲁藏布江缝合带两侧的冈底斯逆冲断裂带和泽当—仁布逆冲断裂带,而且在冈底斯内部产生了一系列逆冲断裂系及由此构成的逆冲-推覆构造。在念青唐古拉以东,逆冲-推覆构造在当雄旁多发育完好,东西向延伸逾 600 km(图 1),组成旁多逆冲系统(叶培盛,2004)。旁多逆冲系由 4 个构造带构成,从南到北依次为:①南部前缘挤压滑脱构造带;②中部叠瓦状逆冲断层带;③北部高角度逆冲断层-逆冲推覆岩席带;④后缘逆冲推覆带。第①带以逆掩断层和紧密褶皱为主,第②带以叠瓦状逆冲断层系和斜歪倒转褶皱构造为特征,第③带被高角度逆冲断层所夹持,第④带以发育高角度逆冲断层和直立-斜歪褶皱群为特点。夹持不同褶皱群和推覆体的一系列逆冲断层的走向相近,均以近 EW 向为主,倾向 N 或 NNE,但倾角发生规律性变化:前缘较缓($<30^{\circ}$),中部陡峭($50\sim80^{\circ}$),北缘减缓($15\sim30^{\circ}$) (吴珍汉等,2003;叶培盛,2004)。据逆冲断层产状和构造变形特点推断,不同的逆冲

断层,向深部产状趋缓,汇聚于拉萨地体中部统一的深部构造滑脱界面(图 2)。

旁多逆冲系的活动时代,目前尚无测年数据,然而,根据地质特征和切割关系可做出初步限定。该逆冲推覆构造带卷入并切割了石炭系-白垩系和古近纪地质体,其中,逆冲推覆将石炭系-三叠系叠覆于上白垩统设兴组及始新统(43~34 Ma)(莫宣学等,2003;中国地质调查局,2004)帕纳组火山岩系之上。同时,逆冲断层切割了年龄为 52 Ma 的黑云母二长花岗岩和 52~49 Ma 的羊八井花岗岩,由此可将旁多逆冲系活动时代的下限定为 34 Ma 左右(叶培盛,2004)。向西延伸的旁多逆冲系,被念青唐古拉山脉和当雄—羊八井裂谷切割截断,表现为被念青唐古拉花岗岩冲断。刘琦胜等(2003)研究表明,念青唐古拉山脉的主体为中新世花岗岩基,其锆石 SHRIMP 年龄为 18.3~11.1 Ma;以当雄—羊八井裂谷发育为代表的近 EW 向伸展和 NS 向正断层,其形成时限被限定为 18~14 Ma (Blinskiuk et al., 2001; Williams et al., 2001)。由这些资料推定,旁多逆冲系活动时代的上限 <18 Ma。此外,沿旁多逆冲推覆构造带,出露大量小体积花岗岩,它们严格受旁多逆冲系的控制。区域调查和有限的测年资料显

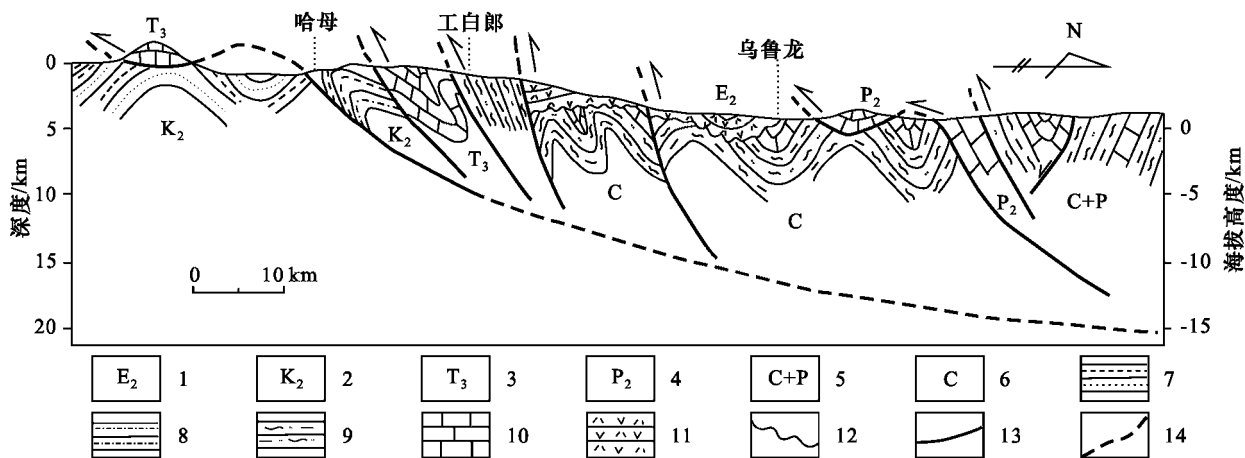


图 2 冈底斯带旁多逆冲系构造式样(据叶培盛, 2004)

1—始新统 2—上白垩统 3—上三叠统 4—上二叠统 5—二叠系与石炭系(未分) 6—石炭系 7—砂泥质板岩 8—含粉砂泥质板岩;
9—板岩 10—灰岩 11—火山岩 12—地层不整合界线 13—逆冲断层 14—推测逆冲断层

Fig. 2 Structural pattern of Pangduo thrust system in Gangdisai belt (after Ye 2004)

1—Eocene 2—Upper Cretaceous 3—Upper Triassic 4—Upper Permian 5—Permian and Carboniferous 6—Carboniferous 7—Sandy argillite;
8—Silty argillite 9—Slate 10—Limestone 11—Volcanic rock 12—Unconformity 13—Thrust fault 14—Inferred thrust fault

示, 这些岩浆的侵位活动时限为 30~24 Ma^①, 与雅鲁藏布江缝合带北缘的冈底斯逆冲断裂活动的时限一致。

在念青唐古拉以西到措勤一带, 同样发育一条与旁多逆冲系性质类似的冲断系统——措勤逆冲系。其研究程度低于东段逆冲系, 但就基本结构、断裂特征和构造式样而言, 两者具有较广泛的可比性。措勤逆冲构造带总体呈近 EW 向展布, 西自措勤以西, 经扎日南木错南、措麦, 向东交于羊八井 NE 向裂谷而与旁多逆冲系相接, 东西长逾 650 km。措勤逆冲构造带南北边界断裂的主断面总体倾向 N, 北侧断裂为一条区域性大断裂, 倾角较大(60~75°), 南侧断裂的倾角略小(40~60°)。处于逆冲构造带内部的断裂倾向有较大变化: 在措勤一带, 断面总体倾向南, 倾角 30~40°, 在东部江章—接弄一带, 主断面多倾向南, 倾角变大(45~75°), 局部断面向北陡倾(倾角 60~74°)。断裂带内以发育碎裂岩、硅化岩和构造岩为特征, 局部发育糜棱岩。措勤逆冲构造带表现为多期活动的脆韧性构造带: 早期为由北向南逆冲, 中期呈现斜冲-韧性剪切性质, 晚期具有左行走滑特征。措勤逆冲系的活动时限目前尚未很好限定。有限的年龄数据显示, 该逆冲系西段断裂构造的斜冲-韧性剪切活动时间为 45 Ma, 晚期走滑时

间为 10.4 Ma(石英 ESR 测年)^②。同时, 该逆冲系所切割的最新地层的时代为中新世, 并且, 沿逆冲带有中新世花岗岩体侵位。上述年龄及地质现象表明, 措勤逆冲系具有多期活动的特点, 且活动时限较长, 与旁多逆冲系略有不同。

3 矿化带特征

冈底斯银多金属矿化带位于冈底斯花岗岩基的北侧, 在空间上严格受近 EW 向展布的措勤—旁多逆冲带控制。以 NE 向展布的念青唐古拉为界, 矿化分为东、西两段。东段西起羊八井, 东抵墨竹工卡以东, 长大于 150 km, 宽约 30 km, 以 Cu-Pb-Zn 矿化为主。目前, 东段内已发现 Cu-Pb-Zn 多金属矿床和矿(化)点 10 余处(图 1)。西段东起南木林, 西至昂仁许如措以西, 长逾 200 km, 总体宽约 50 km, 以 Ag-Pb 矿化为主。目前已有资料显示, 西段内已发现 Ag-Pb 多金属矿床(点) 8 处。无论是东段的 Cu-Pb-Zn 矿床, 还是西段的 Ag-Pb 多金属矿床, 多位于 EW 向逆冲构造与近 NS 向张性断裂的交汇处。矿体的产出与展布也受这 2 组构造的控制, 矿体多赋存在这 2 组构造内或其次级构造中。表 1 初步总结了冈底斯银多金属矿化带内主要矿床(点)的矿化特

① 西藏地质矿产局. 2001. 1:20 万区域地质调查报告. 内部资料.

② 中国地质调查局成都地质矿产研究所. 2004. 青藏高原及邻区地质图(1:1 500 000)说明书. 内部资料.

表 1 冈底斯银多金属矿带主要矿床的矿化特征

Table 1 Characteristics of silver-polymetallic deposits in Gangdese belt

地质概况	矿化特征	矿石组构与矿物组合	金属含量(w_B)	类型
矿带东段				
洛巴堆矿床				
位于冈底斯岩浆弧北侧东段。矿 区出露下二叠统洛巴堆组灰岩、 砂岩、安山岩、流纹岩、凝灰岩。 未见岩浆岩体。矿体产于安山 质凝灰岩与灰岩过渡部位。断 裂构造发育,以 EW 向、NW 向、 NE 向为主	矿体大多呈多层似层状顺地层产出, 部分呈脉状、透镜状赋存在构造破 碎带内。浸染状、细脉状矿化。围 岩蚀变发育,以矽卡岩化、绿泥石 化、碳酸盐化、硅化为主	矿化以锌为主,铅次 之,局部见铜。块 状、浸染状、团块状 构造。矿石矿物主 要为闪锌矿、方铅 矿、黄铁矿、黄铜矿	Pb 0.3%~5.66%,平 均 2.71%; Zn 1.3%~46.75%, 平均 8.92%; Cu 0.1%~5%; Ag 55~167 g/t	矽卡岩- 热液 脉型
帮浦矿床				
位于冈底斯岩浆弧北侧东段。矿 区出露下二叠统洛巴堆组灰岩、 砂板岩及古新统典中组凝灰岩。 矿区东南部见有喜马拉雅期二 长花岗岩,矿区中部出露二长花 岗斑岩株。EW 向断裂构造发 育	矿化出现在斑岩体内、岩体接触带及 EW 向构造带内。矿化具分带性: 斑岩体内以铜钼为主,浸染状矿 化;外围以铅锌银为主,脉状、细脉 状矿化。蚀变分布范围较大,主要 有钾硅酸盐化、绢英岩化、矽卡岩 化、青磐岩化	浸染状、细脉浸染状、 块状、斑点状构造。主 要矿物为方铅矿、闪 锌矿、黄铜矿、斑铜矿、辉 钼矿、黝铜矿、磁黄铁 矿	Pb 0.82%~60.2%; Zn 0.02%~4.16%; Cu 0.13%~0.23%; Mo 0.05%; Ag 105~211 g/t	斑岩-矽 卡岩 型
龙马拉矿床				
矿区出露二叠系灰岩及砂页岩,南 侧为古近纪酸性火山岩。近 NS 向构造及 EW 向构造发育	矿体赋存在矽卡岩化灰岩内和 NS 向 破碎带内。为铅锌铜矿化。矽卡 岩内矿体呈不规则状、囊状、团块 状,断裂破碎带内矿体呈脉状、透 镜状。围岩蚀变主要为矽卡岩化、 绢英岩化、青磐岩化	块状、浸染状、细脉浸 染状、细脉状构造。 主要矿物为方铅矿、 闪锌矿、黄铜矿、斑 铜矿、黄铜矿、孔雀 石、铜蓝	Pb 0.3%~5%; Zn 1.25%~12.3%; Cu 0.3%~4.7%; Ag 37~109 g/t	矽卡岩 型
新嘎果矿床				
矿区出露白垩系塔克组灰岩、泥页 岩及砂板岩,南东侧见有花岗闪 长岩体。NW、NS、EW 向断裂构 造发育。含矿构造为近 NS 向断 裂	有两种矿化类型:构造破碎带内的 脉状、透镜状矿体;地层层间破碎 带内的层状、似层状矿体。前者以 铜、铅、锌矿化为主,后者以锌、铅 矿化为主。围岩具碳酸盐化、硅 化、矽卡岩化蚀变	浸染状、团块状、细脉 状构造。金属矿物 为方铅矿、闪锌矿、 黄铁矿、黄铜矿、孔 雀石、铜蓝	Pb 6.4%~11.5%; Zn 6.73%~23.8%; Cu 0.03%~0.7%; Ag 71~86 g/t	矽卡岩- 热液 脉型
矿带西段				
则学矿床				
出露石炭系灰岩、砂板岩及第三系 火山岩。以 EW 向断裂为主。 矿区东部见有小规模的花岗斑 岩体。矿体产于 EW 向破碎带 及矽卡岩化灰岩内	矿体规模小,矿化不连续。破碎带内 的矿化较强,灰岩地层的矿化较 弱。以铅锌矿化为主,局部见铜矿 化。蚀变有石榴石矽卡岩化、碳酸 盐化和弱硅化	浸染状、细脉状构造。 主要金属矿物为方 铅矿、闪锌矿、黄铁 矿、镜铁矿,局部见 有黄铜矿	Pb 0.01%~2.3%; Zn 0.3%~8.7%; Ag 93~376 g/t	热液脉 型
切穷矿床				
出露林子宗群(E_{1-2})流纹质凝灰 岩和流纹岩。矿区北部出露中 新世花岗岩。EW 向断裂从矿 区南部火山岩区通过。花岗岩 内的 NW 向破碎带为主要含矿 构造	矿体呈透镜状、脉状,矿化不稳定。 单矿体长几米到几十米,宽 1m 左 右。以银、铅矿化为主,有少量锌、 铜矿化。主要蚀变为硅化、绿泥石 化、碳酸盐化、绢云母化、褐铁矿化	角砾状、细脉状、块状、 浸染状构造。主要 金属矿物为方铅矿、 闪锌矿、黄铜矿,局 部见有孔雀石	Pb 8.70%~60.2%; Zn 0.64%~7.42%; Cu 0.20%~3.18%; Ag 105~2 197 g/t	热液脉 型
容布当矿床				
林子宗群(E_{1-2})角砾火山岩不整 合于二叠系灰岩夹砂板岩之上。 中新世二长花岗斑岩呈岩枝侵 位于灰岩中。区域性 EW 向大 断裂从矿区南侧通过。岩体与 灰岩接触带及 NW 向构造破碎 带为赋矿地段	矿体规模较大,构造破碎带内的矿体 呈脉状,矽卡岩带内的矿体呈不规 则透镜状。以银、铅、锌、铜矿化 为主。主要蚀变为矽卡岩化、硅化、 青磐岩化	细脉状、块状、浸染状 构造。主要金属矿 物为闪锌矿、方铅 矿、黄铜矿、铜蓝、孔 雀石	Pb 3.63%~32.2%; Zn 1.87%~34.5%; Cu 1.84%~11.5%; Ag 98~305 g/t	矽卡岩- 热液 脉型
夏龙矿床				
出露喜马拉雅期花岗岩。外围为 林子宗群(E_{1-2})火山角砾岩、凝 灰岩。矿体赋存在花岗岩内的 NS 向张性构造带中	主要为铅矿化,局部见铜矿化。矿体 呈透镜状、脉状产出,规模较小。 主要矿物为块状方铅矿,晶体大且 晶形完好。围岩蚀变有硅化、绢 云母化、碳酸盐化	块状、稠密浸染状构 造。金属矿物主要 为方铅矿,有少量黄 铜矿及黄铁矿	Pb 30.6%~64.7%; Zn 0.01%~0.02%; Ag 933~2 380 g/t	热液脉 型

征。由表 1 可见,带内矿床以矽卡岩型和热液脉型矿化为主,矿床普遍含 Ag,但东段矿床(点)的 Ag 含量总体上低于西段矿床(点)。东段矿床多有 Cu 矿化且 Cu 含量较高,而在西段,Cu 矿化不发育,目前仅在一些矿床的局部见有微弱的 Cu 矿化。上述特征表明,东、西 2 段的矿化特点存在一定的差异。

4 主要矿床类型与典型矿床

冈底斯银多金属矿带内,矿化类型主要为矽卡岩型及热液脉型。从分布上看,东段以矽卡岩型为主,西段则发育热液脉型矿化(表 1)。在东段的矽卡岩型矿床中,部分矿床显示出与斑岩型矿化有某种成因联系,具代表性的矽卡岩型矿床首推帮浦 Cu-Pb-Zn 矿床。西段的热液脉型矿化,与岩浆活动的关系不明显,在脉状矿床中,切穷 Ag-Pb 矿床较为典型。

帮浦矿床 位于旁多逆冲系中段尼龙多—也吾拉 NWW 向逆冲断裂的北侧(图 1)。矿区出露下二叠统洛巴堆组灰岩、砂板岩及古新统典中组凝灰岩,两者呈断层接触。二长花岗斑岩体侵入典中组酸性凝灰岩内,呈岩株产出(图 3a)。斑岩体内发育细脉浸染状、浸染状 Mo-Cu 矿化,矿化呈面状分布。金属矿物为黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿。斑岩体外接触带发育 Cu、Pb、Zn 矿化,矿体呈脉状、透镜状、不规则

状分布在近 EW 向破碎带和矽卡岩内。矿体产状受接触带及构造带控制。矿石矿物组合为黄铜矿-磁黄铁矿-斑铜矿-方铅矿-闪锌矿-黄铁矿。岩体内的铜、钼矿化较弱,铜含量一般不足 0.2%,围岩中的矿化较强,Cu、Pb、Zn、Ag 含量(w_B)分别为 0.13%~0.23%、0.82%~60.2%、7.66%~44.16%、 $(105\sim211)\times 10^{-6}$ 。斑岩体内发育钾化、绢英岩化蚀变,而斑岩体的围岩中则具矽卡岩化、硅化、大理岩化及青磐岩化蚀变。从斑岩体到含矿地层,金属矿物组合具有从黄铜矿-辉钼矿-黄铁矿到磁黄铁矿-黄铜矿-斑铜矿-黄铁矿到方铅矿-闪锌矿-黄铜矿的分带性变化。帮浦矿床显示出斑岩-矽卡岩型复合矿化的特点。

切穷矿床 位于措勤逆冲断裂带的北侧(图 1)。矿区南部出露古近纪林子宗群(E_{1-2})火山岩(图 3b),主要岩性为流纹质凝灰岩和流纹岩。矿区北部出露中新世花岗岩体,侵入于流纹质凝灰岩地层内。EW 向逆冲断裂从矿区中部火山岩区通过,倾向 N,倾角 50~60°。花岗岩体内发育数条 NW 向断裂,银铅矿体即赋存其中。含矿断裂构造呈平行或斜列分布,规模不大,长几十至 100 余米,宽 1~5 m,倾向 NE,倾角 55~65°。矿体呈脉状、透镜状产出,其产状总体上与破碎带一致。矿石具浸染状、细脉状、角砾状、块状、条带状构造。主要金属矿物为方铅矿,局部见有黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿。以银、铅矿化为

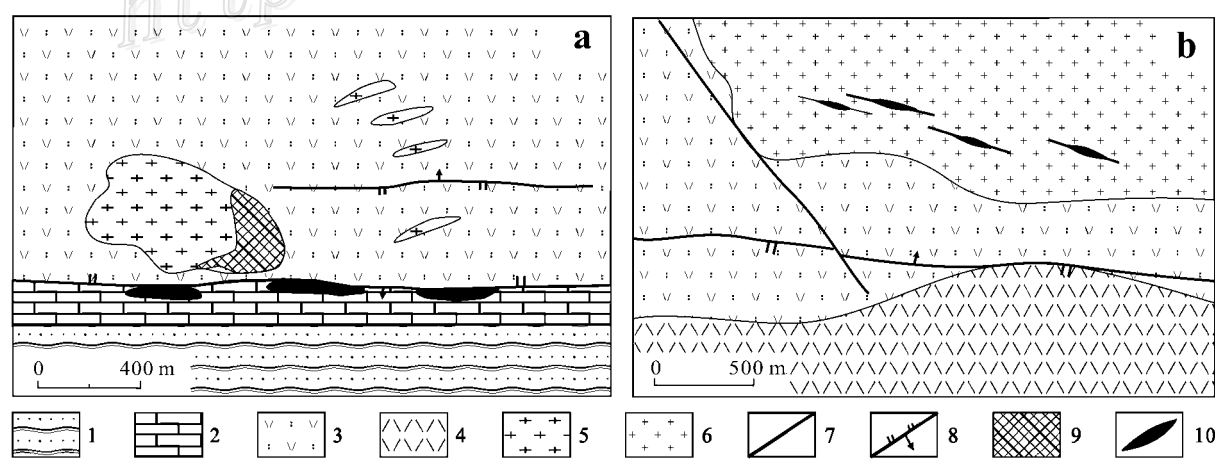


图 3 冈底斯银多金属矿化带帮浦矿床(a)和切穷矿床(b)地质略图

1—上二叠统砂板岩 2—上二叠统大理岩化灰岩 3—古新纪凝灰岩 4—古近纪流纹岩 5—中新世二长花岗斑岩 6—中新世花岗岩;
7—断裂 8—逆冲断层 9—Cu-Mo 矿体 10—银多金属矿体

Fig. 3 Geological sketch map of the Bangpu deposit (a) and the Qieqiong deposit (b)

1—Upper Permian slate 2—Upper Permian marbleized limestone 3—Paleogene tuff 4—Rhyolite 5—Miocene monzogranite porphyry;
6—Miocene granite 7—Fault 8—Reverse thrust fault 9—Molybdenum-copper ore body 10—Silver-polymetallic ore body

主,有少量锌、铜矿化。金属含量(w_B)分别为 Pb 8.70 %~60.2 %、Zn 0.64 %~7.42 %、Cu 0.2 %~3.18 %、Ag $(105\sim2\,197)\times 10^{-6}$,Ag 含量普遍较高。主要蚀变为硅化、绿泥石化、方解石化、绢云母化、褐铁矿化。

5 控矿要素与成矿远景分析

5.1 控矿要素分析

不论是冈底斯银多金属矿化带的东段还是西段,均严格受近 EW 向展布的逆冲带的控制。多数矿床和矿点分布于逆冲推覆构造带内,更多地受前缘缓角度逆冲断裂带的控制。这种区域构造控制主要体现为,深部构造滑脱带和浅部逆冲断裂对不同规模流体流的迁移-汇聚及成矿流体的循环-排泄等方面的控制。

如前所述,在逆冲推覆构造系统中,倾向一致但倾角不同的一系列逆冲断裂在深部有变缓的趋势,显示“犁式”断裂特征,并汇聚于拉萨地体中部统一的深部逆冲滑脱带内。这种构造式样类似于板块俯冲带。大洋钻探研究证实,在洋壳板片俯冲过程中,从俯冲板片排挤出的流体沿俯冲带向上回流,并在增生楔和前陆大量汇聚(ODP leg 110 Scientific Party, 1987)。Oliver(1992)和 Deming(1992)的研究表明,在大陆板块汇聚-碰撞过程中,流体流从主碰撞带向前陆方向迁移-汇聚,导致 MVT 型 Pb-Zn 矿床与油气田的共存发育(Johnston, 1999),并据此提出了大规模流体起源于造山过程,并向前陆盆地迁移-汇聚的概念性模型。Gayer 等(1998)对南威尔士前陆盆地内流体流的数值模拟表明,向前陆盆地汇聚的流体,具有跨盆地的温度递变,最高排泄温度可高达 300℃,并引起含沥青煤向无烟煤的递进变质。在冈底斯带,尽管相对向北俯冲的陆壳(包括古生-新生界)能否排挤出大量流体尚不能确证,但向北缓倾的逆冲-滑脱带至少可以作为流体迁移的通道,控制了大规模流体流的输运和集聚。按照造山带流体迁移模式,大规模流体流可能沿着向北缓倾的逆冲-滑脱带向南迁移和汇聚,并沿合适的构造通道向上排泄。这些排泄通道可以是逆冲断裂或张性断裂,也可以是断裂破碎带。在冈底斯,一系列北倾的逆冲断裂,不仅大大增大了地层的渗透率,提高了流体的对流循环能力,而且很可能作为流体的排泄通道,诱导流体沿其向上运移和排泄,并在构造虚脱空间或

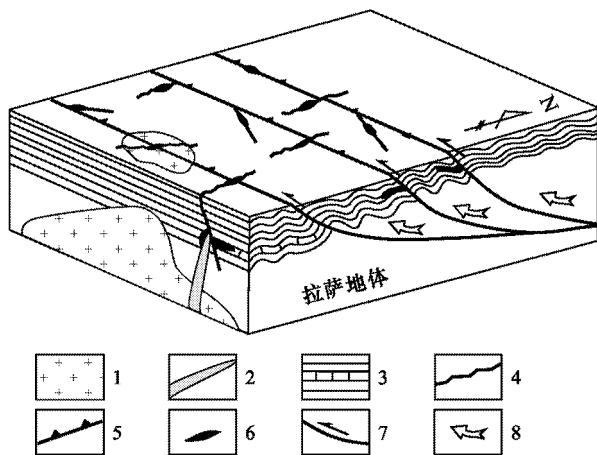


图 4 冈底斯银多金属矿化带成矿作用示意图

1—燕山期花岗岩 2—中新世花岗斑岩 3—第三系-二叠系 4—张性构造 5—逆冲断裂 6—银多金属矿 7—运动方向(逆冲) 8—流体迁移方向

Fig. 4 Sketch map showing silver-polymetallic mineralization in Gangdese belt

1—Yanshanian granite; 2—Miocene granite porphyry; 3—Tertiary-Permian 4—Tension fault 5—Reverse thrust fault 6—Silver-polymetallic deposit 7—Thrust movement direction 8—Fluid migration

扩容空间聚集成矿(图 4)。

尽管冈底斯银多金属矿化带受旁多—措勤逆冲带的控制,但其中的多数矿床和矿点都位于 NS 向正断层与 EW 向逆冲断裂的交汇部。在冈底斯带东段,部分矿床(点)偏离旁多逆冲系,但明显受近 NS 向或 NNW 向正断层的控制。有限的 Re-Os 同位素测年资料表明,其成矿年龄为 14~16 Ma(孟祥金等, 2003),与斑岩铜矿的成矿年龄相当(侯增谦等, 2003b),也与 NS 向正断层的发育时限(13~18 Ma)相一致。在冈底斯带西段,多数矿床的脉状矿体走向近 NS,或呈近 NS 向延展,部分地段的脉状矿体呈等间距产出,受 NS 向正断层控制。该带西段的夏龙银多金属矿床的热液云母 K-Ar 测年资料表明,其成矿年龄为 25 Ma(孟祥金,未刊资料),与后碰撞伸展起始时间(~ 25 Ma)相当。由此看来,这种构造控制反映出,EW 向逆冲断裂虽然具有输导流体的通道功能,但向上排泄的流体主要集聚并定位于由碰撞后伸展所形成的扩容空间,即 NS 向正断层,或由正断层与逆冲断裂交汇所产生的扩容空间内(图 4)。

斑岩-岩浆系统和石炭纪-第三纪地层系统,对冈底斯银多金属矿化带的成矿作用也起了重要的作用,主要体现在 2 方面,即驱动流体循环的热源及成矿物质的贡献。在冈底斯带东段,斑岩-岩浆系统有

重要贡献。尽管大多数矿区未见斑岩体出露,但下列3个事实表明,深部可能有岩体发育:①中新世斑岩东西向断续成带,侵位于冈底斯花岗岩基之内,南北向串珠成列,断续延伸达50 km,受近NS向正断层控制(侯增谦等,2003b; Hou et al., 2004b)。这些斑岩体从斑岩铜矿带向北断续延伸,出现在汤巴拉和帮浦矿区。②银多金属成矿作用主要形成矽卡岩型矿床,矽卡岩化要求有必需的热源,即侵入体。③在旁多逆冲系,断续出露一些小体积花岗岩类侵入体,尽管其年龄未很好限定,但区域地质调查资料表明,以中新世为主。在冈底斯带西段,地层或沉积建造的控矿作用更为明显,尽管矿体主要产于一些断裂带内,但赋矿地层以二叠系为主,少量为古近纪火山岩系。石炭系-二叠系以浅海相火山碎屑沉积为主,被解释为弧后扩张的产物(Pierce et al., 1988),其岩相特征类似于产出四川夏塞特大型银矿床的晚三叠世碎屑岩系(刘权,2003)。早第三纪火山岩系以安山质为主,英安质次之,是大陆碰撞的典型产物。这2套岩系被深深卷入逆冲推覆构造带中,并被一系列逆冲断层所切割。火山-沉积建造中的金属,如Ag和Pb等,很可能被对流循环的热流体淋滤和萃取,提供了大量成矿物质。

5.2 成矿远景分析

冈底斯银多金属矿化带虽有长逾1 000 km的规模,但除民间开采外,尚未进行过系统的矿产勘查。目前,整个矿化带内的矿床多处于中、小型规模水平上,此带究竟有多大的成矿远景,亟待做出科学预测。基于以下分析,笔者初步认为,冈底斯银多金属矿化带有望发展成为一条规模巨大的多金属成矿带,特别是,其西段可望成为一条潜力巨大的Ag矿带。

构造-岩浆控制条件 冈底斯银多金属矿化带产于拉萨地体中部的逆冲推覆构造带中,夹持于旁多—措勤逆冲系之间,位于EW向逆冲断裂与NS向张性断裂的交汇部位,矿体赋存于由正断层所产生的扩容空间内。印度大陆板片向亚洲大陆下俯冲,并于65~55 Ma与之强烈碰撞,不仅导致地壳的双倍增厚,更引起地壳的大规模缩短。据研究,自白垩纪以来,该高原的地壳缩短量达1 800 km(Murphy et al., 1997)。前人研究表明,不同地体间通过大规模逆冲推覆作用实现了块体拼贴和叠置,如冈底斯逆冲断裂和大反向逆冲断裂活动,导致拉萨地体向南推覆叠置于印度大陆板片之上。笔者注意到,在

诸如拉萨地体之类的地体内部,大规模地壳缩短主要是通过逆冲-推覆致使板片重复叠置来实现的。这种逆冲作用形成了横亘冈底斯内部的长逾1 000 km的巨型逆冲推覆构造带。该构造带由于受后期构造-岩浆事件的改造、破坏,被切割成2段或数段,但其巨型规模仍清晰可辨。在逆冲-推覆构造带中,异常发育的逆冲断裂和滑脱带势必增大构造带的渗透率,促进流体的对流循环和迁移-汇聚。在逆冲-推覆过程中,古生代-中生代地层卷入其中,势必被流经其中的流体淋漓和萃取大量成矿物质。进入中新世以来的碰撞后东西向伸展作用,在拉萨地体表现得异常明显,除形成数条规模较大的NS向裂谷(如当雄—羊八井、谢通门、措勤裂谷等)外,还发育一系列近NS向的正断层系统。这些正断层系统在近地表处主要表现为一系列等间距的近NS向河谷和水系,在冈底斯斑岩铜矿带中,它们控制着含斑岩体的空间就位,在逆冲-推覆构造带内,它们与一系列逆冲断裂交汇,控制着热液流体的汇聚和金属硫化物的定位。

总之,近EW向的逆冲-推覆构造和近NS向的正断层系统,不是局部地壳形变的产物,而是伴随陆-陆碰撞和碰撞后伸展等重大地质过程而产生的构造事件,因此,其规模巨大,影响至深,为成矿作用提供了重要条件。

成矿作用类比性 前已述及,冈底斯银多金属矿化带具有明显的分段性,东段以矽卡岩型矿化为主,西段以热液脉型矿化为主。东西两段的成矿作用特征可分别与西藏甲马大型铜多金属矿床和川西夏塞特大型银(铅-锌)矿床类比。

甲马矿床是一个典型的斑岩Cu-Mo、矽卡岩Pb-Zn成矿系统。斑岩Cu-Mo矿化产于斑岩岩株内部及其与围岩的接触带,伴有典型的热液蚀变,如钾硅酸盐化、石英-绢云母化和弱粘土化。矽卡岩Pb-Zn矿化发育于斑岩体的围岩(二叠纪碳酸盐建造)内,可能是因为热液顺层交代碳酸盐岩,所以形成了层状矽卡岩及伴生的层状-透镜状Pb-Zn富矿体。后者曾被解释为中生代海底喷流-沉积产物(杜光树等,1998)。然而,最近的Re-Os定年表明,甲马矿床的成矿年龄为15.7 Ma(芮宗瑶等,2003),与冈底斯斑岩铜矿带内的其他矿床无异,也集中于区域铜矿成矿时限内(14~16 Ma)(侯增谦等,2003b)。在冈底斯带的东段,产于逆冲推覆构造带内的多金属矿床,尽管赋存富Pb-Zn矿体的地层层位与甲马矿床

不尽相同,但其形成机制一致,成矿条件似乎更为优越,因此,有望形成大型富矿。

川西夏塞特大型 Ag 矿床的发现是近年来取得的重大找矿突破。该矿床产于晚三叠世弧后环境沉积的巨厚砂板岩系内。矿床主要受 NNW 向张性断裂带的控制,矿体就位于上三叠统砂岩-粉砂岩与绢云母板岩及钙质板岩系的层间滑脱带和断裂带中,呈脉状、大脉状、似层状和透镜状(刘权,2003)。沿断裂破碎带发育强烈的线性蚀变带,从矿体至外围砂板岩系,出现硅化-绢云母化-方解石化-绿泥石化-阳起石化的水平分带,反映出该断裂破碎带既是热液运移通道,又是主要容矿空间。矿床的硫、铅同位素组成表明,受岩浆驱动的热液流体沿着区域性张性断裂向低压、低温方向大规模迁移,并从相对富银的上三叠统砂板岩系中淋滤 Ag、Pb、Zn 等成矿物质,在构造扩容空间卸载成矿。冈底斯带西段的 Ag-Pb 矿化,不论在提供成矿物质的沉积建造和形成背景方面,还是在控矿构造和成矿方式方面,均可与夏塞银矿床对比,反映出冈底斯带西段具有形成大型 Ag 矿的成矿远景。

矿化带综合异常 1:50 万和局部 1:20 万化探资料显示,在冈底斯斑岩铜矿带范围内,除已发现的斑岩型矿床和矿点外,还发育众多的套合好、浓度中心明显、未被检查的 Ag、Zn、Pb 等地球化学异常。经遥感解译和 TM 图像处理后发现,该带内尚有众多与化探异常耦合的交汇构造及热液蚀变晕信息,其中多数在空间上处于 EW 向逆冲断裂带与 NS 向裂谷或断裂带的交汇点或交汇区附近,其空间位置及综合示矿信息与已知矿床或矿点相当,也反映出该矿化带具有较好的成矿信息显示和很大的找矿前景。

References

- Allegre C J and 34 others. 1984. Structure and evolution of the Himalayan-Tibet orogenic belt[J]. *Nature*, 307: 17~22.
- Blinskiuk P M, Hacker B, Glodny J, Ratschbacher L, Bill S, Wu Z H, McWilliams M O and Calvert A. 2001. Normal faulting in central Tibet since at least 13.5 Myr ago[J]. *Nature*, 412: 628~632.
- Coleman M and Hodges K. 1995. Evidence for Tibetan Plateau uplift before 14 Ma ago from a new minimum age for east-west extension[J]. *Nature*, 374: 49~52.
- Coulon C, Maluski H, Bollinger C and Wang S. 1986. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet: $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating, petrological characteristics and geodynamic significance[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 79: 281~302.
- Deming D. 1992. Catastrophic release of heat and fluid flow in the continental crust[J]. *Geol.*, 20: 83~86.
- Du G S, Yao P, Pan F C, Li D K, Li W B and Ning Y Y. 1998. Sedimentation-exhalation skarn and ore-formation: Exemplified by Jiama copper polymetallic deposit, Xizang[M]. Chengdu: Sichuan Sci. & Techn. Press. 1~185 (in Chinese).
- Durr S B. 1996. Provenance of Xigaze fore-arc basin clastic rocks (Cretaceous, south Tibet)[J]. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 108: 669~684.
- Gayer R, Garven G and Rickard D. 1998. Fluid migration and coal-rank development in foreland basins[J]. *Geol.*, 26: 679~682.
- Geological Survey of China. 2004. Results and advances of regional mapping in the Gangdese belt in Tibet[J]. *Geol. Bull. China*, 23: 45~60 (in Chinese).
- Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F and Yin A. 1992. Raising Tibet[J]. *Sci.*, 255: 1663~1670.
- Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F and Lovera O M. 1995. Activation of the Nyainqentanghla shear zone: Implication for uplift of the southern Tibetan Plateau[J]. *Tectonics*, 14: 658~676.
- Harrison T M, Yin A, Grove M, Lovera O M, Ryerson F J and Zhou X H. 2000. Displacement history of the Gangdese thrust, South-western Tibet[J]. *J. Geophys. Res.*, 105: 19 211~19 230.
- Hou Z Q, Mo X X, Gao Y F, Qu X M and Meng X J. 2003a. Adakite: A significant Cu-bearing porphyry—A case study on porphyry Cu deposits in Tibet and northern Chile[J]. *Mineral Deposits*, 22: 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Wang S X, Qu X M, Gao Y F, Du A D and Huang W. 2003b. Re-Os age for molybdenites from the Gangdese porphyry copper belt on Tibetan plateau: Implication for geodynamic setting and duration of the Cu mineralization[J]. *Science in China*, 33: 509~516 (in Chinese).
- Hou Z Q, Gao Y F, Meng X J, Qu X M and Huang W. 2004a. Miocene Gangdese porphyry copper belt in Tibet: Genesis of adakitic intrusives and structure constraint[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 239~248 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, Rui Z Y and Mo X X. 2004b. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in South Tibet[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 220: 139~155.
- Johnston J D. 1999. Regional fluid flow and the genesis of Irish Carboniferous base metal deposits[J]. *Mineral Deposits*, 34: 571~598.
- Liu Q. 2003. Geological characteristics and genesis of Xiasai silver-polymetallic deposit in western Sichuan Province[J]. *Mineral Deposits*, 22(2): 121~128 (in Chinese with English abstract).
- Liu Q S, Wu Z H, Hu D G, Ye P S, Jiang W, Wang Y B and Zhang H C. 2003. Iron-probe U-Pb age of the Nianqingtangula granites in Tibet[J]. *Chinese Sci. Bull.*, 48(20): 2 170~2 175 (in Chinese).
- Meng X J, Hou Z Q, Gao Y F, Huang W, Qu X M and Qu W J. 2003. 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*, 22: 246~252 (in Chinese with English abstract).
- Miller C, Schuster R, Klotzli U, Frank W and Purtscher F. 1999. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis[J]. *J. Petrol.*, 40: 1 399~1 424.

- Mo X X, Zhao Z D, Deng J C, Zhou S, Guo T Y, Zhang S Q and Wang L L. 2003. Response of volcanism to the India-Asian collision[J]. Earth Science Frontiers, 10 : 135~148 (in Chinese with English abstract).
- Murphy M A, Yin A, Harrison T M, Duerr S B, Chen Z, Ryerson F J, Kidd W S F, Wang X and Zhou X. 1997. Did the Indo-Asian collision alone create the Tibetan Plateau? [J]. Geol., 25 : 719~722.
- ODP leg 110 Scientific Party. 1987. Expulsion of fluids from depth along a subduction zone decollement horizon[J]. Nature, 326 : 785~788.
- Oliver J. 1992. The spots and stains of plate tectonic[J]. Earth Sci. Rev., 32 : 77~106.
- Pierce J A and Mei H. 1988. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Golmud[J]. Philosophical Transaction of Royal Society of London, A327 : 203~213.
- Qu X M, Hou Z Q and Huang W. 2001. Is the Gangdese porphyry copper belt the second Yulong porphyry copper belt in Tibetan plateau [J]? Mineral Deposits, 20(4) : 355~366 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Hou Z Q, Qu X M, Zhang L S, Wang L S and Liu Y L. 2003. Metallogenic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Mineral Deposits, 22 : 224~232 (in Chinese with English abstract).
- Wang Q H, Wang B S, Li J G, Yao P, Li Z, Zhou Z Y, Cheng L J and Liu H F. 2002. Basic features and ore prospect evaluation of the Gangdese island-arc, Tibet, and its copper polymetallic ore belt[J]. Geol. Bull. China, 21 : 35~40 (in Chinese with English abstract).
- Williams H, Turner S, Kelley S and Harris N. 2001. Age and composition of dikes in Southern Tibet : New constraints on the timing of east-west extension and its relationship to post-collisional volcanism [J]. Geol., 29 : 339~342.
- Wu Z H, Ye P S, Hu D G and Liu Q S. 2003. Thrust system of the north Lhasa block[J]. Geol. Rev., 49(1) : 74~80 (in Chinese with English abstract).
- Ye P S. 2004. Ophiolite and thrust system in central Lhasa block[dissertation for doctor degree] D]. Tutor : Wu Z H. Beijing : CAGS. 1~125 (in Chinese with English abstract).
- Yin A, Harrison T M, Ryerson F J, Chen W, Kidd W S F and Copeland P. 1994. Tertiary structural evolution of the Gangdese thrust system, southeastern Tibet[J]. J. Geophys. Res., 99 : 18 175~18 201.
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 28 : 211~280.
- Zheng Y Y, Wang B S, Fan Z H, and Zhang H P. 2002. Analysis of tectonic evolution in the eastern section of the Gangdese Mountains, Tibet and the metallogenic potentialities of copper gold polymeta[J]. Geol. Sci. & Techn. Infor., 21(2) : 55~60 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 杜光树, 姚 鹏, 潘凤维, 栗登达, 李文彬, 宁英毅. 1998. 喷流-沉积成因矽卡岩与成矿——以西藏马甲铜多金属矿床为例 [M]. 成都 : 四川科学技术出版社. 1~185.
- 侯增谦, 曲晓明, 黄 卫, 高永丰. 2001. 冈底斯斑岩矿化带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带 [J]. 中国地质, 28(10) : 27~40.
- 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 曲晓明, 孟祥金. 2003a. 埃达克岩 : 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例 [J]. 矿床地质, 22 : 1~12.
- 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 高永丰, 杜安道, 黄 卫. 2003b. 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 : 609~618.
- 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 曲晓明, 黄 卫. 2004a. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带 : 埃达克质斑岩成因与构造控制 [J]. 岩石学报, 20 : 239~248.
- 刘 权. 2003. 四川夏塞银多金属矿床地质特征及成因 [J]. 矿床地质, 22(2) : 121~128.
- 刘琦胜, 吴珍汉, 胡道功, 叶培盛, 江 万, 王彦斌, 张汉成. 2003. 念青唐古拉花岗岩离子探针 U-Pb 同位素年龄 [J]. 科学通报, 48(20) : 2 170~2 175.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 黄 卫, 曲晓明, 屈文俊. 2003. 西藏冈底斯东段斑岩铜钼铅锌成矿系统的发育时限 : 来自帮浦铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据 [J]. 矿床地质, 22 : 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 : 135~148.
- 曲晓明, 侯增谦, 黄 卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿带 : 西藏第二条“玉龙”斑岩铜矿带 [J]? 矿床地质, 20(4) : 355~366.
- 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 : 217~225.
- 王全海, 王保生, 李金高, 姚 鹏, 李 志, 周祖翼, 程力军, 刘鸿飞. 2002. 西藏冈底斯岛弧及其铜多金属成矿带基本特征与远景评估 [J]. 地质通报, 21(1) : 35~40.
- 吴珍汉, 叶培盛, 胡道功, 刘琦胜. 2003. 拉萨地块北部逆冲推覆构造 [J]. 地质论评, 49(1) : 74~80.
- 叶培盛. 2004. 拉萨地块中部蛇绿岩与逆冲推覆构造 [博士论文] [D]. 指导老师 : 吴珍汉. 北京 : 中国地质科学院. 1~125.
- 郑有业, 王保生, 樊子晖, 张华平. 2002. 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, 21 : 55~60.
- 中国地质调查局. 2004. 冈底斯构造带区域地质调查结果和进展 [J]. 地质通报, 23 : 45~60.