

西藏冈底斯巨型斑岩铜矿带勘查研究最新进展

郑有业^{1,4} 多吉² 王瑞江³ 程顺波¹ 张刚阳¹
樊子琿² 高顺宝² 代芳华¹

(1. 中国地质大学资源学院 湖北 武汉 430074; 2. 西藏地勘局, 西藏 拉萨 850000;
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 4. 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

提要:冈底斯斑岩铜矿带是近年来中国在世界三大斑岩铜矿带之一的喜马拉雅—特提斯成矿域中铜矿找矿取得重大突破的斑岩成矿带。驱龙等大—超大型斑岩铜矿床的发现与评价, 标志着—个超千万吨级的斑岩铜矿勘查开发基地已经初步形成。笔者在重点介绍近年来驱龙、朱诺、冲江、吉如等斑岩铜矿最新找矿成果的基础上, 对该带控岩控矿构造、含矿斑岩及其源区特征、成矿规律、成矿系列、成矿时代等主要理论研究成果进行了归纳与总结, 并对其勘查和研究工作中存在的不足以及今后的努力方向提出了建议。

关 键 词:冈底斯; 斑岩巨型铜矿带; 勘查评价; 成矿理论; 重大突破

中图分类号: P618.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)02-0324-11

西藏冈底斯斑岩铜矿带位于雅鲁藏布江北岸, 东起工布江达县, 西至昂仁县, 地理座标为东经: $87^{\circ}\sim 94^{\circ}$; 北纬 $29^{\circ}\sim 31^{\circ}$; 东西长约 600 km, 南北宽 120 km, 面积约 7.2 万 km^2 。处于全球三大斑岩成矿带之一的特提斯—喜马拉雅成矿域中; 大地构造位于冈底斯—念青唐古拉板片次级构造单元冈底斯陆缘火山—岩浆弧之东段, 南北界于雅鲁藏布江结合带和班公湖—怒江结合带之间, 东西两侧分别与西南“三江”构造带和帕米尔—喀喇昆仑构造带相连^[1]。晚古生代以来南北两大板块之间俯冲、碰撞及造山后伸展等构造演化过程中, 伴随着不同级别、不同期次大型走滑断裂构造的形成, 深部物质出现部分熔融, 壳幔之间发生大规模的物质、能量交换, 造成广泛而强烈的火山—岩浆活动, 形成钙碱性→高钾钙碱性→钾玄岩系列岩浆杂岩体, 具有分布广、期次多、规模大、时代新的特点, 为斑岩铜矿的形成奠定了构造—流体—成矿物质相耦合的良好配置, 为成矿提供优越的背景条件(图 1)。

上世纪 90 年代以前该带发现了甲马大型铜多金属矿床、厅官小型斑岩铜矿床及一些重要找矿线索。在中国地质调查局、成都地质矿产研究所的大力支持与指导下, 2001 年以来随着新一轮国土资源大调查工作的开展, 项目团队以斑岩型铜钼矿为主攻矿床类型, 以大型、超大型矿床为找矿目标, 加强冈底斯斑岩铜矿带成矿规律研究, 运用新的思路进

行成矿定位预测, 快速缩小找矿靶区, 指导该区的矿产勘查评价工作, 大大加速了冈底斯斑岩铜矿带的勘查进程; 在找矿思路上有重要创新, 在找矿认识上取得重大进展, 在找矿效果上取得重大突破, 受到国内外的广泛关注, 自此掀开了中国斑岩铜矿勘查历史的崭新一页, 一个超千万吨级的铜金多金属矿产勘查开发基地初步形成。

1 勘查研究历史回顾

1984 年, 芮宗瑶等^[2]根据政务院文教委地质调查组李璞等和西藏地质局在上世纪 60 年代发现的为数不多的矿化线索, 并经张洪涛等实地踏勘后, 在其《中国斑岩铜(钼)矿床》^[3]中, 首次提出“雅鲁藏布江斑岩铜(钼)矿成矿带”, 认为其“西起马泉河萨噶以西, 经昂仁、尼木, 一直东延至林芝一带, 长达 1 000 余千米, 大地构造单元属于拉萨地槽褶皱带, 其中 60~10 Ma 的小斑岩体和铜钼矿化带有关, 已知有尼木等斑岩铜矿点”, 首次提出了冈底斯斑岩铜矿带的存在。与此同时, 原西藏地矿局刘肇模等^[4]在编写西藏矿产总结和划分青藏高原主要成矿带时也提出了相关认识。

1991 年, 徐正余等^[5]根据斑岩铜矿在青藏高原的产出部位划分出了秦岭—昆仑成矿带、三江成矿带和冈底斯成矿带等 3 个斑岩铜矿成矿带, 首次将三江斑岩成矿带与冈底斯斑

收稿日期: 2007-01-24; 改回日期: 2007-03-02

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(200210200001)、国家“973”项目(2002CB412610)、国家自然科学基金项目(40542008)

联合资助。

作者简介: 郑有业, 男, 1962 年生, 博士, 教授, 主要从事基础地质、成矿规律及矿床勘查评价工作; E-mail: zhyouye@163.com。



图 1 西藏冈底斯斑岩铜矿带火成岩及矿产分布图

1—新近纪酸性—中酸性侵入岩;2—古近纪酸性—中酸性侵入岩;3—侏罗纪酸性—中酸性侵入岩;4—三叠纪酸性—中酸性侵入岩;
6—中性侵入岩;7—蛇纹岩;8—酸性火山岩;9—中基性火山岩;10—地质界线;11—实测断层;12—推测断层;13—火山口(机构);14—铜矿床(点);
15—金矿床(点);16—多金属矿床(点);17—铅锌矿床(点)

Fig.1 Distribution of igneous rocks and minerals in the Gangdise porphyry copper belt, Tibet

1—Neogene acid and intermediate—acid intrusive rocks;2—Paleogene acid and intermediate—acid intrusive rocks;3—Jurassic acid and intermediate—acid intrusive rocks;4—Triassic acid and intermediate—acid intrusive rocks;6—Intermediate intrusive rocks;7—Ophiolite;8—Acid volcanic rocks;
9—Intermediate—basic volcanic rocks;10—Geological boundary;11—Measured fault;12—Inferred fault;13—Crater (volcanic edifice);14—Copper deposit (occurrence);
15—Gold deposit (occurrence);16—Polymetallic deposit (occurrence);17—Lead—zinc deposit (occurrence)

岩成矿带相提并论,意义深远。

1994年,原西藏地矿局张浩勇等^①利用当时的地、物、化、遥等资料,开展了以“一江两河”地区为重点的铬金铜成矿远景区划,其中明确提出了冈底斯燕山—喜山期 Cu、Au、Pb、Zn 成矿带。

1996年,西藏地质学会在总结西藏铜矿资源时,提出在雅鲁藏布江北侧冈底斯岛弧中段发现了若干铜矿点,具备良好的成矿背景,总体构成西藏的另一条铜矿带。

1999年,西藏地勘局多吉等在综合分析当时已有资料的基础上,认为冈底斯成矿带有很好的找矿前景,建议加大该带的勘查力度。

2000年下半年,受新疆东天山斑岩找矿取得进展的鼓舞,在查阅大量前人资料的基础上,开始对冈底斯地区的各种资料进行系统分析处理,提出“冈底斯将会成为超1 000万t级铜多金属巨型成矿带”的新认识,得到中国地质调查局、成都地质调查中心及原西藏地矿厅的大力支持,此为该带后来斑岩找矿的重大突破奠定了基础。

2001年5月底,在西藏地质调查院的组织下,完成了“西藏冈底斯东段铜多金属成矿带矿产资源评价及找矿突破”立项论证报告初稿^②,并在该报告中将驱龙、冲江列为首选勘查靶区。

2001年7~8月,以张洪涛等带领的中国地质调查局和成都地质调查中心专家组先后两次亲临西藏进行实地考察指导,得到充分肯定,确认冈底斯成矿带巨大的找矿潜力,自此拉开了冈底斯斑岩铜矿勘查的序幕。该成矿带的推出被评为2001年全国地质调查工作十大进展第5名。

2001年,侯增谦等^③指出冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带。

2002年初,郑有业等^④进一步指出冈底斯斑岩铜矿带(333+334₁)资源量应在1 200万t以上,并优选出8个最有找矿前景的矿集区,为该带的找矿工作部署提供了依据。

2002—2005年,“西藏雅鲁藏布江东段铜多金属矿勘查”项目作为中国地质调查局重大项目开始实施,找矿评价取得重大突破。

2 矿产勘查新进展

冈底斯斑岩铜矿带所发现的矿床类型主要以斑岩型铜钼矿床为主,此外还有浅成低温热液型、喷流—沉积改造型、矽卡岩型、剪切带型等铜金铅锌铁矿床^[6-7]。先后发现了驱龙超大型斑岩铜矿床(中国第一大铜矿)、冲江大型斑岩铜矿床、朱诺大型斑岩铜矿床、吉如大型斑岩铜矿床、蒙亚啊大型铅锌矿床、洞中松多大型铅锌矿床,并新发现了待评价的得明顶、懂师布、德曲、象背山等斑岩铜矿点以及洞中拉、巴洛、也达松多、色日吉窝等多金属矿点或重大找矿线索。

2.1 驱龙斑岩铜钼矿床

驱龙斑岩铜(钼)矿床位于墨竹工卡县境内,向西距拉萨市80 km,是在前人1987—1999年已作三级异常查证、二级异常查证及矿点检查等工作的基础上找矿取得重大突破的。矿区地层主要为中侏罗统叶巴组的一套英安质—流纹质火山岩、火山碎屑沉积岩及碳酸盐岩等。通过野外勘查工作,2002年在驱龙矿区共发现4个斑岩体及5个矿化体(图2)。含矿斑岩体主要为石英斑岩、二长花岗斑岩、花岗斑岩等,地表出露面积较小(0.15~0.75 km²),呈岩枝状、岩株状产出,产状陡立,以被动形式侵位于黑云母二长花岗岩中,界线基本清楚,岩相分带不明显,同时在斑岩体内可见辉绿玢岩及闪长玢岩脉等穿插。

铜(钼)矿体主要产于含矿斑岩体与黑云母二长花岗岩的内外接触带中,以含矿斑岩体为中心,形成具有中心式、面状、环带分布的蚀变特征,并配有相应的矿化分带^④。由斑岩体向外表现为钾化+黄铁绢英岩化+硬石膏化→粘土化+黄铁绢英岩化+硬石膏化+青磐岩化→青磐岩化,相应的矿化分带由内向外依次为:磁铁矿化、黄铜矿化→黄铜矿化→黄铜矿化、辉钼矿化,其中矿化与强烈的黄铁绢英岩化和硬石膏化密切相关。此外,在岩体外围叶巴组火山岩地层中还发育有矽卡岩型矿化作用。

2002—2005年通过对I、II号斑岩体进行钻探控制,孔深均大于500 m,大多数钻孔未打穿矿体,揭示矿体平均厚度474 m,最大厚度572 m。根据中国地质调查局2002年底下发的有关资源量计算规范,平均品位铜0.502%;钼0.032%;银3.805 g/t。初步控制333+334₁资源量:铜789万t;钼51万t;银5931t,考虑到矿体仍未控制到边界及Ⅲ、Ⅳ号含矿斑岩仍未控制,预测总资源量Cu 1400~1600万t,Mo 130万t。

2.2 冲江斑岩铜矿床

冲江斑岩铜矿床位于尼木县西北约30 km处,交通便利,是在前人1988—1992年已作异常查证、矿点检查的基础上发现的。矿区地层主要为上白垩统设兴组,为一套火山碎屑岩建造。赋矿围岩比较单一,主要为含巨斑的黑云母二长花岗斑岩,呈岩基产出,同时可见石英闪长玢岩、闪长细晶岩等以岩脉的形式产于其中^④(图3)。

铜矿化主要分布于江古曲两侧,总体呈北东—南西向展布,北东—南西长约2.5 km,南西宽约1.8 km。通过2002年的野外勘查工作,共圈定5个矿体,其中以Cu₂和Cu₃矿体最大,研究程度最高。矿石矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、黝铜矿、斑铜矿、孔雀石、蓝铜矿、黑铜矿、辉铜矿等。矿区蚀变分带简单,与斑岩铜矿典型的“闪长岩”蚀变分带模式相一致,铜矿化主要与钾化、钾硅化密切相关。矿石在近地表主要为氧化矿和混合矿石,向下为硫化矿石,经过地表及7个钻孔4个平硐控制,矿床平均品位铜0.67%;金0.116 g/t;银

①张浩勇,巴登珠,夏代祥,等. 西藏自治区一江两河地区中部流域铬、金、铜矿第二轮成矿远景区划报告, 1994.

②郑有业,樊子琛,张华平,等.《西藏冈底斯东段铜金多金属成矿带矿产资源综合评价与重点突破》立项报告,西藏地质调查院, 2001.

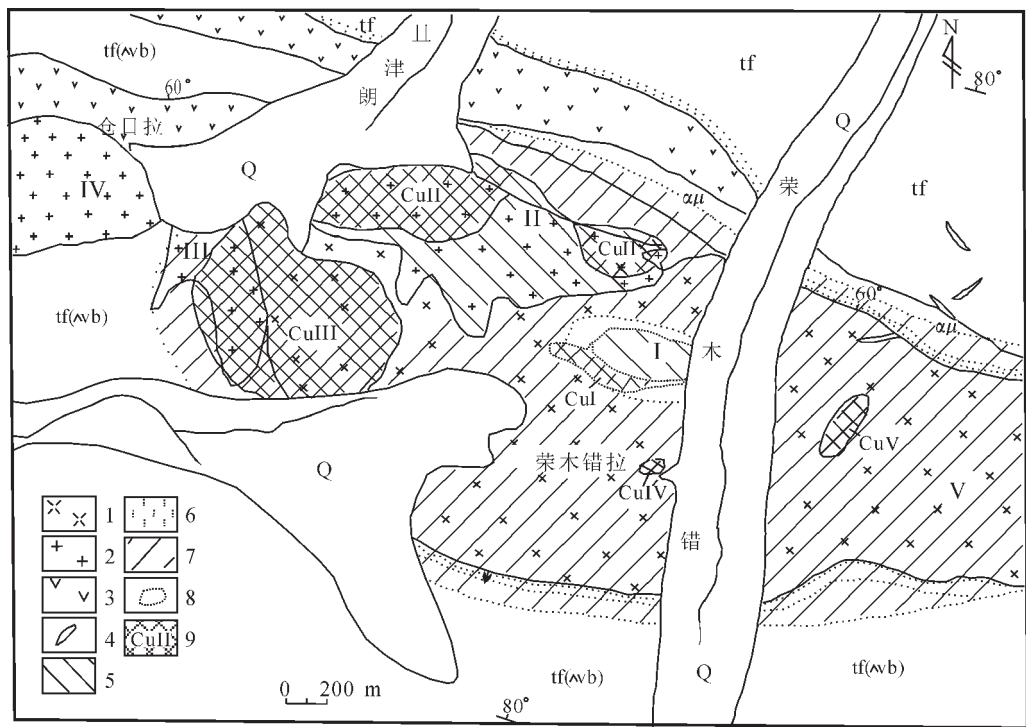


图 2 西藏驱龙斑岩铜矿地质简图

Q—第四系;tf—流纹质凝灰岩;αμ—安山玢岩及英安岩;tf(αvb)—英安—安山质含火山角砾的晶屑、岩屑凝灰岩;
1—黑云母二长花岗岩;2—石英斑岩、花岗斑岩;3—流纹斑岩;4—岩脉;5—黄铁绢英岩化;
6—高岭土化;7—青磐岩化;8—蚀变边界;9—矿化(体)及编号

Fig.2 Geological sketch map of the Qulong porphyry copper (-molybdenum) deposit, Tibet

Q—Quaternary;tf—Rhyolitic tuff;αμ—Andesitic porphyrite and dacite;tf(αvb)—Dacitic-andesitic crystal and lithic tuff containing volcanic breccia;1—Biotite monzogranite;2—Quartz porphyry and granite porphyry;3—Rhyolite porphyry;4—dike;5—Pyrite phyllic alteration;6—Kaolinization;7—Propylitization;8—Alteration boundary;9—Copper mineralization body and its number

4.916 g/t。已控制 333+334₁ 资源量铜 50.13 万 t,伴生金 2.84 t,伴生银 368 t,已达大型。此外,根据 2002 年所做的 1:5 万水系沉积物测量及 1:1 万土壤测量结果,矿区外围还存在较好的找矿前景,总体显示出冲江铜矿区还有较大的找矿潜力。

2.3 朱诺斑岩铜矿床

朱诺斑岩铜矿床位于昂仁县境内,距离日喀则市约 300 km,为 2003 年 6 月通过运用新的思路对化探数据进行重新处理时新发现。矿区出露地层主要为古新世—始新世林子宗群的一套英安质—安山质—流纹质火山碎屑岩及砂砾岩等(图 4)。

矿区共发现了 3 个斑岩体和 3 个矿体,成矿意义最大的是 I 号斑岩体^[10]。含矿斑岩主要为石英斑岩和花岗斑岩等,矿体主要赋存于斑岩体及其外接触带的斑状角闪二长花岗岩和黑云母花岗斑岩中,矿石矿物主要为孔雀石、蓝铜矿、赤铜矿、自然铜、黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿,具经典的斑岩型“二长岩”矿化和蚀变分带模式,且近地表主要为氧化矿石,深部为硫化矿石。黄铁绢英岩化、硅化及碳酸盐化与矿化密切相关。2004—2005 年主要对 CuI 矿体进行了初步工程控制,矿床平均品位铜 0.83%;银 2.65 g/t。目前已控制 333+334₁ 铜资源量 107 万 t,伴生银 340 t,预测总资源量应在 200 万 t 以上。

2.4 吉如斑岩铜矿床

吉如斑岩铜矿床位于南木林县境内,距南木林县城约 20 km,交通方便。2001 年通过运用新的思路优选靶区后经查证发现的。矿区范围内岩浆岩大面积出露,以花岗斑岩为中心,向外依次出现:花岗斑岩→黑云二长花岗岩→斑状二长花岗岩,闪长玢岩以岩脉形式侵位于上述各种岩石中,构成了一个复杂的岩浆成矿系统^[11]。

矿区共圈出 3 个含矿斑岩体及 2 个矿体,其中 Cu II 矿体地表规模较大;蚀变以斑岩体为中心向外为硅化(泥化)—黄铁绢英岩化—青磐岩化。矿化主要见于黄铁绢英岩化带和硅化带中,金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、方铅矿、孔雀石、斑铜矿等,结晶结构和交代结构发育,地表普遍见有孔雀石及少量蓝铜矿化。根据与驱龙矿床比较^[9],认为 I、II 号斑岩体一带可能形成一个大范围的盲矿体,其面积有望达 1.5 km²,目前正在施工的 ZK201 孔见矿情况良好,预测该矿床规模有望达到大型以上。

2.5 其他斑岩铜矿床^[12]

吹败子斑岩铜矿床:位于工布江达县,是在前人 1991—1996 年已作三检、二检等工作基础上发现的。矿区出露地层

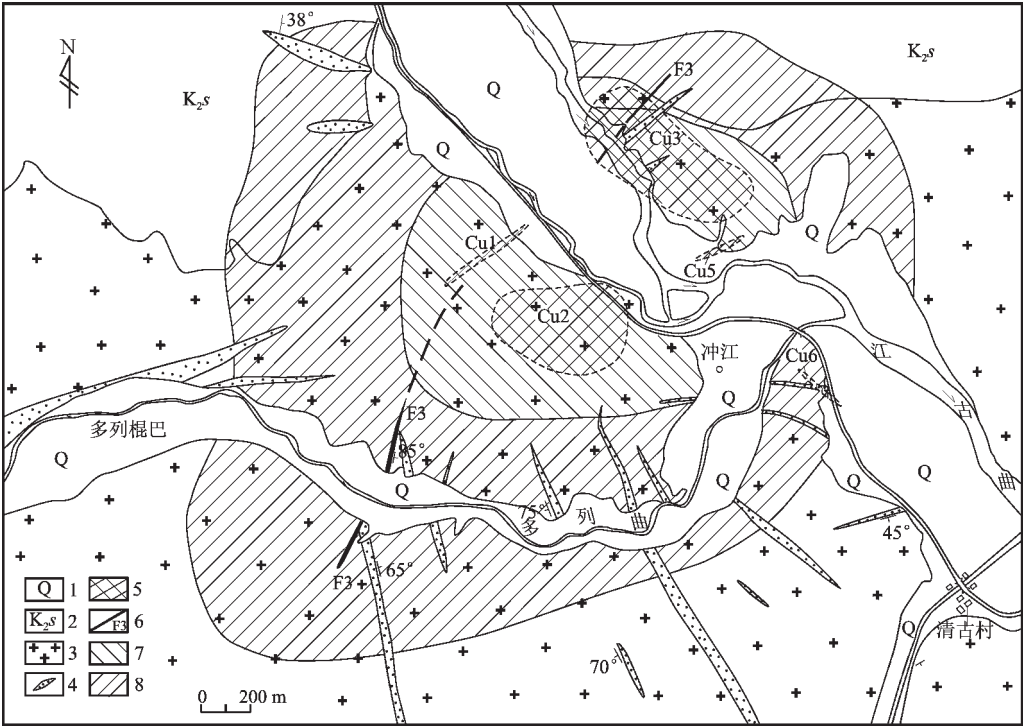


图 3 西藏冲江斑岩铜矿地质简图

1—第四系;2—设兴组凝灰岩;3—含巨斑花岗岩闪长斑岩;4—石英闪长玢岩;5—铜矿体及编号;6—断层及编号;
7—钾硅化及绿泥石化;8—青磐岩化

Fig.3 Geological sketch map of the Chongjiang porphyry copper deposit, Tibet

1—Quaternary;2—Tuff of the Shexing Formation;3—Granodiorite porphyry containing mega-phenocrysts;4—Quartz dioritic porphyrite;5—Copper orebody and its number;6—Fault and number;7—Potassic-silicification and chloritization;8—Propylitization

为中侏罗统叶巴组,含矿斑岩为石英斑岩、斑状黑云母二长花岗岩等。地表圈定了 2 个斑岩体和 5 个铜钼矿(化)体,矿石矿物主要为黄铜矿、辉钼矿、磁黄铁矿、闪锌矿、黄铁矿、辉铜矿、孔雀石等。矿区蚀变类型主要为泥化、黄铁绢英岩化、青磐岩化等,其中矿化主要与泥化和黄铁绢英岩化关系密切,预测该矿床有望达中到大型。

得明顶斑岩铜矿床:位于工布江达县,为 2003 年新发现。矿区地层为中侏罗统叶巴组,项目组在矿区地表共圈定了 5 个斑岩体和 3 个矿(化)体,其中 Cu2 矿体找矿前景较好,含矿斑岩为石英斑岩,蚀变类型有黄铁绢英岩化、青磐岩化等,矿化主要与黄铁绢英岩化相关。通过矿区地表控制,矿石 Cu 平均 0.1%,Mo 在 0.05%~0.1%,以富 Mo 为特点,预测该矿床有望达到大型以上。

象背山斑岩铜矿床:2005 年新发现,在矿区地表圈定了 2 个铜矿体,矿床类型为斑岩型与矽卡岩型的复合型。其中矽卡岩型矿体平均品位 2.3%。预测该矿床有望达中型。

德曲斑岩铜矿致异常:2005 年新发现,位于朱诺铜矿的 SW 方向,中心距离朱诺铜矿约 8 km,异常元素组合为 Cu、Mo、W、Bi、Pb、Zn、Ag、Au,异常呈北东向展布,面积大于 20 km²,异常强度高,浓集中心明显,反映为斑岩铜矿引起,地表普遍见孔雀石及蓝铜矿化,具较好的找矿前景。

沙让斑岩钼矿点:2003 年新发现,矿区地表发现了 1 个钼矿体,矿化具斑岩型及细网脉-大脉状石英脉型矿化。矿体地表长 1 200 m,宽 50~220 m,平均品位 Mo 为 0.127%,推测该矿区资源远景可达中型规模。

此外还发现了懂师布、勒宗、生浦、夏工普、加尔西、汤不拉、则多拉、松多握、普下、巴拉等众多斑岩铜矿点及重大找矿线索;蒙亚啊、洞中松多、洞中拉、巴洛、劣布、多其木、也达松多、玛雄朗、玛弄勒、则学、帮浦、松多雄、秧颠、嘎松多等众多的多金属矿点或重大找矿线索;八一牧厂、色日吉窝、普钦木、洞嘎北、德吉林、跃进沟、安张等众多的金矿点或重大找矿线索,显示冈底斯成矿带巨大的找矿潜力,一个世界级的铜多金属成矿带初现端倪。

3 成矿理论研究进展

伴随着冈底斯斑岩铜矿带的勘查进程,侯增谦、莫宣学、芮宗瑶、秦克章、李光明、郑有业等众多学者对该带成矿理论、找矿认识进行了大量研究与探索,主要表现在控岩控矿构造、含矿斑岩及其源区特征、成矿动力学背景、成矿规律、成矿系列等方面取得了一批重要成果,综述如下。

3.1 控岩控矿构造研究

就冈底斯斑岩铜矿带的控岩控矿构造而言,侯增谦等^[13]

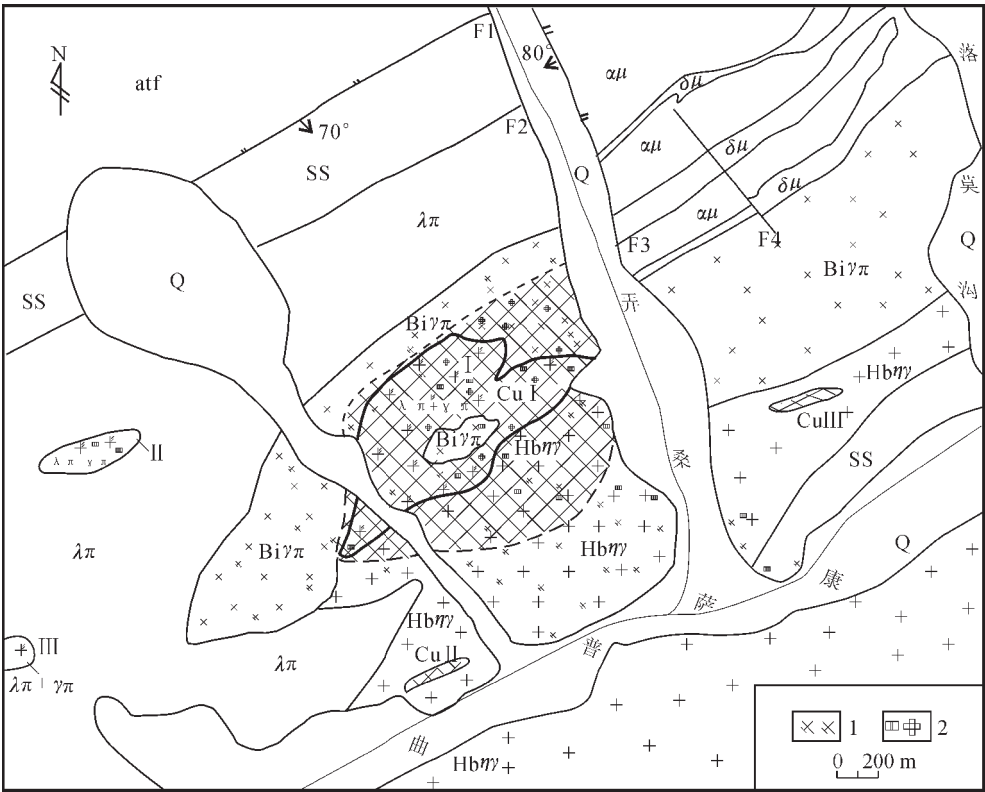


图 4 西藏朱诺斑岩铜矿地质简图

Q—第四系;atf—灰绿色安山质晶屑凝灰岩、熔结角砾岩; $\alpha\mu$ —灰绿色、紫红色强绿帘石化安山玢岩、凝灰岩、安山质角砾岩;
 $\lambda\pi + \gamma\pi$ —灰白色细砂岩夹英安质凝灰岩;SS—石英斑岩、中细粒花岗岩斑岩; $\delta\mu$ —闪长玢岩; $\lambda\pi$ —灰白色流纹斑岩;
Hbηγ—灰白色角闪二长花岗岩斑岩;Biγπ—浅灰色中细粒黑云母花岗岩斑岩;Cu III—铜矿(化)体及编号;1—高岭土化;2—黄铁绢英岩化

Fig.4 Geological sketch map of the Zhunuo porphyry copper deposit, Tibet

Q—Quaternary;atf—Grayish green andesitic crustal tuff and welded breccia; $\alpha\mu$ —Grayish green and purplish red strongly epidotized andesitic porphyrite, tuff and andesitic breccia; $\lambda\pi + \gamma\pi$ —Grayish white fine sandstone with dacitic tuff;SS—Quartz porphyry and medium-and fine-grained granite-porphyry; $\delta\mu$ —Dioritic porphyrite; $\lambda\pi$ —Grayish white rhyolite porphyry;
Hbηγ—Grayish white hornblende monzogranite porphyry;Biγπ—Light gray medium- and fine-grained biotite granite porphyry;
Cu III—Copper orebody (mineralization body) and its number;1—Kaolinization;2—Pyrite phyllic alteration

认为,在碰撞后伸展阶段,主要发育受SN向正断层系统控制的斑岩铜矿成矿系统、浅成低温热液金矿成矿系统和热水沉积铍锂硼金属成矿系统。在此基础上,初步提出了碰撞造山带成矿作用的构造控制模型。侯增谦等^[14]认为SN向断裂(陷)形成于中新世早中期,横切主碰撞带的SN向正断层系统及其限定的裂谷地堑,为埃达克质熔体运移和浅层次就位提供了通道和场所,正断层东西向伸展作用和正断层的活动使得应力突然释放,引起岩浆房去气作用,形成大量的富金属的挥发成分并使其上升,形成含矿的岩浆热液系统。莫宜学等^[15]认为含矿斑岩体及相关矿床形成于印—亚碰撞后的一次大规模的伸展事件,与南北走向的“裂谷”(地堑)系有成因联系。而张浩勇等^①认为NW向构造才是本区最发育的主干构造,往往集中成带,组成了本区的构造格架,是区内重要的控矿构造之一。

笔者通过大量的野外调查和室内综合研究,到目前为止

还没有发现任何一个斑岩铜矿床产于SN向断裂(陷)中。笔者既不同意SN向断裂(陷)为控(斑)岩控矿构造的认识,也不同意NW向构造才是本区最发育的主干构造、重要的控矿构造的认识。提出“NE向断裂构造是区内最发育、最主要的控(斑)岩控矿构造,并在EW方向上具有等距性、雁行状分布”的新认识,它们控制了斑岩体及斑岩铜矿床“EW成带、NE成行、交汇成矿”的规律性分布。据此识别出生浦—拉建果、得明顶—汤不拉、普下—驱龙、色月—达布、宗嘎—冲江、熊村—吉如、懂师布—朱诺这7条NE向构造带,显然它们均与NE向构造显性或构造隐性地球化学边界有密切的成因联系。它是挤压背景下由于南北两大板块之间作用力矩不在一条线上而产生的局部张扭性环境、为深部含矿斑岩岩浆沿左旋大型走滑断裂上侵提供构造前提。

3.2 含矿斑岩研究

2001年以来,许多学者^[8-9,14-15]对该区含矿斑岩作了大量

①张浩勇,巴登珠,夏代祥,等. 西藏自治区一江两河地区中部流域铬、金、铜矿第二轮成矿远景区划报告, 1994.

研究工作,表明该区含矿斑岩高钾富碱过铝,强烈富集轻稀土和大离子不相容元素,亏损高场强元素,无或具有弱 Eu 异常,低铽初始值等。曲晓明等^[16]、侯增谦等^[17]、张旗等^[18]认为该区含矿斑岩具有埃达克岩地球化学特征,显示埃达克岩岩浆亲合性;Coulon^[19]、Kepezhinkas^[20]、高永丰^[21]等提出,富钾熔浆有可能是含金云母富集地幔熔融的结果;郑有业等^[8,9]认为含矿斑岩实际上是一种蚀变岩,化学分析结果可能并不代表原岩的成分,高钾有可能是蚀变引起的(铜、钾元素呈正相关),提出含矿斑岩所具有的地球化学特征应该是斑岩岩浆源区及后期上地壳混染综合作用的结果;2006 年笔者据含矿斑岩复杂的岩性、多期次侵入、多种岩体同时赋矿等特点,提出含矿斑岩体为多期次侵入的复式杂岩体这一新认识;同时根据含矿与非含矿斑岩具有相似的稀土元素含量,但含矿斑岩明显富集 Cu、Mo 等成矿元素和 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 等比值较高, Sr、U、Th 等元素含量也较高;而 Co、Ba、Ta、Hf 等元素含量明显偏低,具有 Y、Nb、Mn 等元素负异常, δEu 异常不明显或弱的负 Eu 异常等特征,建立了冈底斯含矿斑岩与非含矿斑岩的地球化学区分标志。指出其成矿环境与环太平洋科迪勒拉和安第斯斑岩铜矿带明显不同,主要形成于碰撞造山隆升与伸展走滑的转换阶段,与冈底斯地区北东向左旋大型走滑断裂在时间和空间上具有某种成因上的联系。

3.3 成矿动力学模式研究

由于冈底斯含矿斑岩在地球化学特征上具有很多复杂性、特殊性,因此,成矿动力学模式一直是众多学者争论的焦点。曲晓明等^[16]通过对冈底斯斑岩铜矿 S、Pb 同位素及斑岩地球化学特征的研究,认为含矿斑岩主要来自于已脱水沉积物和俯冲洋壳的部分熔融,并混入了不同数量的沉积物熔体和地幔楔组分,在源区物质组成上显示出清晰的印度洋型亏损地幔与印度洋沉积物之间的混合关系。侯增谦等^[14,17]等对冈底斯斑岩铜矿的地球化学特征进行了较为详细的研究,并把冈底斯斑岩铜矿带与国内外其他斑岩铜矿带(智利北部斑岩铜矿带等)进行了对比研究,认为含矿的长英质岩浆并非来自地幔楔形区或壳幔过渡带,而是来自俯冲的洋壳板片的直接熔融,岩浆源区是一种富含水的、不含斜长石的、具有角闪岩-榴辉岩变质相的角闪榴辉岩,同时,起源于 MORB 的埃达克质熔体在上升途中与富集地幔物质(特别是 EM II 型富集地幔的部分熔融产生的钾质-超钾质玄武质熔体)发生了物质交换。侯增谦等^[14,22-25]又提出,冈底斯含矿斑岩可能是来自加厚的藏南镁铁质地壳的部分熔融,但是同时认为源于俯冲洋壳残片熔融的可能性也不能排除。郑有业等^[9]指出斑岩岩浆作用与拆沉作用及其伴生的软流圈物质上涌有关。此外,芮宗瑶^[26-28]、李光明^[29]等也认为冈底斯斑岩铜矿的源区应以洋壳或上地幔为主,后期受一定程度地壳物质的混染。综合前人的成果,笔者提出拆沉榴辉岩相下地壳物质的部分熔融和软流圈地幔底侵作用玄武质地壳的直接熔融作用、是冈底斯地区含矿斑岩岩浆形成的主导机制,并建立了“拆沉-底侵-部分熔融”成矿动力学模式。

3.4 成矿规律研究

同位素研究显示斑岩铜矿矿石硫为典型的岩浆硫来源,铅以造山带铅为主,外加少量地幔铅和上地壳铅混染的特征;成矿流体^[30-31]具有岩浆水和热卤水混合特点,属 $\text{NaCl}(\text{F})-\text{KCl}(\text{F})-\text{C}_2\text{H}_6-\text{HCO}_3-\text{CaSO}_4$ 型流体。指出成矿流体总体显示出高温、高盐度、高矿化度、高氧逸度的还原性酸性流体特征,并且富集 Na^+ 、 K^+ 、 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 等成分,以富 F⁻ 为特征,流体减压沸腾、不同性质流体混合作用及热液蚀变是促使金属离子沉淀富集的主要机制。提出冈底斯地区 IV、V 级成矿带划分方案;笔者根据冈底斯地区从东往西含矿斑岩性质由酸性→中酸性→中酸性、酸性;成矿元素由 Cu、Mo、Ag→Cu、Au、Ag→Cu、Au;矿化类型组合由斑岩型、(层)矽卡岩型、热液脉型→斑岩型、热液脉型→斑岩型、浅成低温热液型、热液脉型、矽卡岩型;火山岩地层时代由中侏罗统叶巴组→上白垩统设兴组→古近系林子宗群,由俯冲型火山岩→碰撞型火山岩演变,火山活动明显增强;蚀变组合由钾化+黄铁绢英岩化(硬石膏化、磁铁矿化)+粘土化+青磐岩化→钾硅化(绿泥石化+电气石化)+青磐岩化→钾化+绢英岩化+青磐岩化,由“二长岩”模式→“闪长岩”模式→似“二长岩”模式;成矿作用由上侵同熔酸性岩浆→幔源流体碱质交代(斑岩无明显边界)→上侵同熔酸性岩浆活动等,经综合对比研究、冈底斯斑岩铜矿带由东向西划分为“驱龙式”→“冲江式”→“朱诺式”3 种模式类型,成矿总体显示出同源多位、同位多期、深源浅成、多因复成的特征。

3.5 成矿系列研究

随着构造-岩浆演化,笔者将冈底斯火山-岩浆杂岩带的成矿划分为富有特色的六大成矿系列:与晚古生代陆内裂谷作用有关的喷流(气)沉积-改造型 FeCuPbZnAg 成矿系列;与新特提斯洋盆裂解有关的岩浆分结型 CrPtPd 和岩浆熔离型 Cu、Ni 矿床系列;与俯冲型火山-岩浆热液活动有关的 CuAu 多金属矿床系列;与弧间拉张有关的热水沉积-改造型 CuFePbZnAg 矿床系列;与弧-陆碰撞造山作用有关的矽卡岩型 CuAuFe、剪切带型及蚀变岩型 Au(Cu、Zn)矿床系列;与造山期后伸展走滑作用有关的斑岩型 CuMoAuAg、矽卡岩型 CuPbZn(Ag)及浅成低温热液型 AuCu(Sb)矿床系列,它们共同构成了冈底斯成矿巨系统。

3.6 成岩成矿时代研究

在冈底斯斑岩成岩成矿时代方面,侯增谦^[32]、莫宣学^[33]、郑有业^[8-9]、芮宗瑶^[26]、李光明^[29]、曲晓明^[34]等所作的大量工作研究表明,斑岩成岩年龄集中变化于 17.8~15.6 Ma;斑岩蚀变及矿化年龄集中在 15.68~13.72 Ma;与斑岩铜矿化相关的矽卡岩型矿化年龄变化于 17.5~16.9 Ma;笔者首次指出成岩、成矿年龄具有从东往西逐渐变新的规律性,这与雅鲁藏布江缝合带从东向西闭合时间越来越晚的规律也是一致的。且矿化时间集中于 2 Ma 以内,斑岩体侵位与斑岩成矿具有相对集中爆发的特殊性,这与南科迪勒拉及安第斯成矿年龄变化达 50~60 Ma 明显不同,显示出冈底斯斑岩铜矿带成矿的特殊性。

4 结 论

(1)冈底斯斑岩铜矿带以其强烈火山-岩浆活动和复杂的地质构造演化历程,为矿床形成奠定了“构造-建造-岩浆-流体”相耦合的良好基础。2001年以来的勘查工作,找矿实践上取得重大突破,先后新发现及评价了驱龙、冲江、朱诺等大-超大型斑岩铜矿床及一系列重大找矿线索;预测进一步的勘查评价吉如、得明顶、懂师布、德曲、勒宗、加尔西等矿点或异常,有望发现大型以上规模的斑岩铜钼矿床;预测进一步评价蒙亚啊、洞中松多、也达松多、轮朗等铜金多金属矿点或异常,有可能发现大型以上规模的铜金多金属矿床;显示该带优越的成矿背景及巨大的找矿潜力。继续向西部找矿、扩大该带规模是下一步勘查部署的关键所在。

(2)冈底斯斑岩铜矿带在控岩控矿构造、含矿斑岩及其源区特征、成矿动力学背景、成矿规律、成矿系列、成矿模式、成矿时代等理论研究方面取得重大进展,大大加速了冈底斯斑岩铜矿带的勘查进程;证实冈底斯斑岩铜矿形成于陆内造山向伸展走滑转换阶段的过渡时期,明显不同于世界主要斑岩铜矿带经典的活动大陆边缘与岛弧消减带挤压环境,也不同于陆内古板块边缘以及古克拉通环境;斑岩岩浆的源区应与加厚玄武质地壳“拆沉-底侵-部分熔融”过程密切相关;且矿化时间集中于2 Ma以内,斑岩体侵位与斑岩成矿具有相对集中爆发的特殊性。

(3)斑岩铜矿床作为全球最重要的铜矿类型,以其规模大、品位低、好开采、易选冶等特点一直受到世人的普遍关注。在中国铜矿资源短缺的状况进一步加剧,已经威胁国家战略安全和经济发展的严峻形势下,冈底斯斑岩铜矿勘查开发基地的发现与评价具有非常巨大的理论与现实意义。

(4)冈底斯斑岩铜矿带的勘查研究虽然取得了辉煌成就,但由于该带整体工作程度较低、目前世界上对后碰撞造山环境中斑岩铜矿的成矿作用研究资料极少,应该看到工作中仍存在问题。首先从近年来国内外发表的文章看,表现在大量的研究工作集中在地球化学及成矿年代测试上,典型矿床解剖及扎实的野外第一手矿化蚀变资料缺乏,成矿理论研究落后于勘查评价的步伐;二是含矿斑岩的源岩、壳幔作用与成矿响应、成矿动力学机制等还处在探索阶段,尚需要进一步完善;三是该带东西成矿差异的内在原因,驱龙矿石中紫红色硬石膏及金红石大量发育的机理,熊村铜金矿床是浅成低温热液型、块状硫化物型、构造蚀变岩型还是复合型?能否找到富金斑岩型铜矿床或与俯冲过程有关的斑岩型铜矿床?该带自昂仁县向西还能延伸多远等问题有待进一步深入。因此搞清俯冲成矿与造山成矿的区别与联系,加快该带的矿产评价和理论研究步伐,使冈底斯尽快跨入世界级巨型斑岩铜矿带的行列、变资源优势为经济优势已刻不容缓。

致谢:冈底斯项目执行过程中,王保生、程力军、刘鸿飞、杜光伟、陆彦、李金高、潘凤雏、刘敏院、许剑、刘德华、冯南

平、张能军、古叶、谢名臣、边久、龚福志、邓一朋、闫学欣、贡布、格桑多吉、王刚、樊万寿、董广法、康亚龙、尹利君、罗永平、邓涛等专家、学者及广大技术人员做了大量卓有成效的工作,付出了艰辛的劳动,冈底斯斑岩铜矿带的找矿突破与他们的努力是分不开的,在此表示最衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1] 潘桂棠,陈智梁,李兴振,等.东特提斯地质构造形成演化[M].北京:地质出版社,1997.
Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xingzhen, et al. The Tectonic Generation and Evolution of Eastern Tythes[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997(in Chinese).
- [2] 芮宗瑶,黄崇珂,齐国明,等.中国斑岩铜(钼)矿床[M].北京:地质出版社,1984.
Rui Zongyao, Huang Congke, Qi Guoming, et al. The Porphyry Copper (Molybdenum) Deposit in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984(in Chinese).
- [3] 王全海,李金高,程力军,等.西藏冈底斯多金属矿产资源的研究概况与勘查历史回顾[J].西藏地质,2002,20:74-77.
Wang Quanhai, Li Jingao, Cheng Lijun, et al. A review of study and exploration history of polymetallic mineral resources in the Gangdise belt, Tibet[J]. Geology in Tibet, 2002, 20:74-77(in Chinese).
- [4] 徐正余,陈福忠,郑延中,等.中华人民共和国地质矿产部地质专报(第20号)青藏高原主要矿产及其分布规律[M].北京:地质出版社,1991.
Xu Zhengyu, Chen Fuzhong, Zheng Yanzhong, et al. Main Mineral Resources and Its Distribution in Qinghai-Tibet Plateau: Geological Bulletin of Ministry of Geological and Mineral Deposits of P.R.C.[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991(in Chinese).
- [5] 侯增谦,曲晓明,黄卫.冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带[J].中国地质,2001,28(10):27-29.
Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Huang Wei. The porphyry copper metallogenic belt will probably be a second Yulong copper belt[J]. Chinese Geology, 2001, 28(10):27-29(in Chinese).
- [6] 郑有业,王保生,樊子琰,等.西藏冈底斯东段构造演化及铜金多金属成矿潜力分析[J].地质科技情报,2002,21(2):55-60.
Zheng Youye, Wang Baosheng, Fan Zhihui, et al. Analysis of tectonic evolution in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet and the metallogenic potentialities of copper gold polymetal belt [J]. Geological Science and Technology Information, 2002, 21(2):55-60(in Chinese with English abstract).
- [7] 李光明,潘桂棠,王高明,等.西藏冈底斯成矿带矿产资源远景评价与展望[J].成都理工大学学报(自然科学版),2004,31(1):22-27.
Li Guangming, Pan Guitang, Wang Gaoming, et al. Evaluation and prospecting value of mineral resources in Gangdise metallogenic belt, Tibet, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2004, 31 (1):22-27 (in Chinese with English abstract).
- [8] 郑有业,薛迎喜,程力军,等.西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床:

- 发现、特征及意义[J]. 地球科学, 2004, 29(1):103-108.
- Zheng Youye, Xue Yingxi, Cheng Lijun, et al. Finding, characteristics and significance of Qulong superlarge porphyry copper (molybdenum) deposit, Tibet[J]. Earth Science, 2004, 29(1): 103-108(in Chinese with English abstract).
- [9] 郑有业, 高顺宝, 程力军, 等. 西藏冲江大型斑岩铜(钼金)矿床的发现及意义[J]. 地球科学, 2004, 29(3):333-339.
- Zheng Youye, Gao Shunbao, Cheng Lijun, et al. Finding and significances of Chongjiang porphyry copper (molybdenum, gold) deposit, Tibet[J]. Earth Science, 2004, 29(3):333-339(in Chinese with English abstract).
- [10] 郑有业, 高顺宝, 张大权, 等. 西藏朱诺斑岩铜矿床发现的重大意义及启示[J]. 地学前缘, 2006,13(4):233-239.
- Zheng Youye, Gao Shunbao, Zhang Daquan, et al. The discovery of the Zhuluo porphyry copper deposit in Tibet and its significance [J].Earth Science Frontiers, 2006, 13(4):233-239(in Chinese with English abstract).
- [11] 郑有业, 多吉, 张刚阳, 等. 西藏吉如斑岩铜矿床的发现过程及意义[C]//矿床学研究面向国家重大需求:新机遇与新挑战. 北京:地质出版社, 2006:675-679.
- Zheng Youye, Duo Ji, Zhang Gangyang, et al. The discovery process of Jiru porphyry copper deposit and its significance[C]// New opportunity and new challenge - mineral deposit research meets great national demand. Beijing:Geological Publishing House, 1997:675-679(in Chinese with English abstract).
- [12] 郑有业, 高顺宝, 樊子珩. 西藏冈底斯斑岩铜矿带找矿新进展及关键性科学问题[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23:162-164.
- Zheng Youye, Gao Shunbao, Fan Zihui. The new advance and key scientific problem of exploring of porphyry copper deposit in Gangdise Tibet [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2004, 23:162-164(in Chinese with English abstract).
- [13] 侯增谦, 吕庆田, 王安建, 等. 初论陆-陆碰撞与成矿作用—以青藏高原造山带为例[J]. 矿床地质, 2003, 22(4):319-333.
- Hou Zengqian, Lü Qingtian, Wang Anjian, et al. Continental collision and related metallogeny:A case study of mineralization in Tibetan Orogen [J]. Mineral Deposits, 2003, 22 (4):319-333(in Chinese with English abstract).
- [14] 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 等. 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, 2004, 20(2):239-248.
- Hou Zengqian, Gao Yongfeng, Meng Xiangjin, et al. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogene [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2):239-248(in Chinese with English abstract).
- [15] 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 2005,11(3):281-290.
- Mo Xuanxue, Dong Guocheng, Zhao Zhidan, et al. Spatial and temporal distribution and characteristics of granitoids in the Gangdese, Tibet and implication for crustal growth and evolution [J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11(3):281-290 (in Chinese with English abstract).
- [16] 曲晓明, 侯增谦, 李佑国. S、Pb 同位素对冈底斯斑岩铜矿带成矿物质来源和造山物质循环的指示 [J]. 地质通报, 2002, 21(11): 768-776.
- Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Li Youguo. Implications of S and Pb isotopic compositions of the Gangdise porphyry copper belt for the ore-forming material source and material recycling within the orogenic belt [J]. Regional Geology of China, 2002, 21 (11):768-776(in Chinese with English abstract).
- [17] 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 等. 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, 2003, 22(1):1-12.
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Gao Yongfen, et al. Adakite: a possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan plateau and in northern Chile[J]. Mineral Deposit, 2003, 22(1):1-12(in Chinese with English abstract).
- [18] 张旗, 王元龙, 张福勤, 等. 埃达克岩与斑岩铜矿[J]. 华南地质与矿产, 2002, 3:85-90.
- Zhang Qi, Wang Yuanlong, Zhang Fuqin, et al. Adakite and porphyry copper deposit [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2002, 3:85-90(in Chinese with English abstract).
- [19] Coulon C, Maluski H, Bollinger C, et al. 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.,1986,79:281-302.
- [20] Kepezhinskas P, Defant M J, Drummond M S. Progressive enrichment of island arc mantle by melt-peridotite interaction inferred from Kamachatka xenoliths [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1996, 60:1217-1229.
- [21] 高永丰, 侯增谦, 魏瑞华. 冈底斯晚第三纪斑岩的岩石学、地球化学及其地球动力学意义[J]. 岩石学报, 2003, 19(3):418-428.
- Gao Yongfeng, Hou Zengqian, Wei Ruihua. Neogene porphyries from Gangdese:petrological, geochemical characteristics and geodynamic significances [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003,19(3): 418-428(in Chinese with English abstract).
- [22] 侯增谦, 卢记仁, 林盛中. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿性:源岩相变及深部过程约束 [J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 108-121.
- Hou Zengqian, Lu Jiren, Lin Shengzhong. Copper ore potential of adakitic intrusives in Gangdese porphyry copper belt:Constrains from rock phase and deep melting process [J]. Mineral Deposits, 2005, 24(2):108-121(in Chinese with English abstract).
- [23] 侯增谦, 钟大赉, 邓万明. 青藏高原东缘斑岩铜钼金成矿带的构造模式 [J]. 中国地质, 2004, 31(1):1-14.
- Hou Zengqian, Zhong Dalai, Deng Wanming. A tectonic model for porphyry copper-molybdenum-gold metallogenic belts on the eastern margin of the Qinghai, Tibet Plateau[J]. Geology in China, 2004, 31(1):1-14(in Chinese with English abstract).
- [24] 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):340-351.
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Yang Zhiming, et al. Metallogenesis

- in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, temporal distribution and ore deposit types[J]. *Geology in China*, 2006, 33(2):340-351(in Chinese with English abstract).
- [25] 芮宗瑶, 李光明, 张立生, 等. 青藏高原的金属矿产[J]. *中国地质*, 2006, 33(2):363-373.
- Rui Zongyao, Li Guangming, Zhang Lisheng, et al. Metallic ore deposits on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geology in China*, 2006, 33(2):363-373(in Chinese with English abstract).
- [26] 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(30):217-225.
- Rui Zongyao, Hou Zengqian, Qu Xiaoming, et al. Metallogenic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22 (30):217-225 (in Chinese with English abstract).
- [27] 芮宗瑶, 陆彦, 李光明, 等. 西藏斑岩铜矿的前景展望[J]. *中国地质*. 2003, 30(3):302-308.
- Rui Zongyao, Lu Yan, Li Guangming, et al. Looking forward to the prospects of porphyry copper deposits in Tibet [J]. *Chinese Geology*, 2003, 30(3):302-308(in Chinese with English abstract).
- [28] 孙忠军, 任天祥, 向运川. 西藏冈底斯东段成矿系列区域地球化学预测[J]. *中国地质*, 2003, 30(1):105-112.
- Sun Zhongjun, Ren Tianxiang, Xiang Yunchuan. Regional geochemical prediction of the minerogenic series in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet [J]. *Geology in China*, 2003, 30(1):105-112(in Chinese with English abstract).
- [29] 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, 22(2):165-170.
- Li Guangming, Rui Zongyao. Diagenetic and mineralization ages for the porphyry copper deposits in the Gangdise metallogenic belt, southern Tibet[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2004, 22(2):165-170(in Chinese with English abstract).
- [30] 郑有业, 高顺宝, 张大权, 等. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床成矿流体对成矿的控制[J]. *地球科学*, 2006, 31(3):349-354.
- Zheng Youye, Gao Shunbao, Zhang Daquan, et al. Ore-forming fluid controlling mineralization in Qulong super-Large porphyry copper deposit, Tibet [J]. *Earth Science*, 2006, 31 (3):349-354(in Chinese with English abstract).
- [31] 姚鹏, 王全海, 李金高. 西藏甲马—驱龙矿集区成矿远景 [J]. *中国地质*, 2002, 29(2):197-202.
- Yao Peng, Wang Quanhai, Li Jin-gao. Ore and ore resource prospects of the Jiama-Qulong ore concentration area, Tibet [J]. *Geology in China*, 2002, 29(2):197-202(in Chinese with English abstract).
- [32] 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.
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Wang Shuxian, et al. Molybdenum rhenium-osmium dating of porphyry copper metallogenic belt in Gangdise, Tibet: Limitation of the mineralization and dynamic setting [J]. *Science in China (series D)*, 2003, 33(7):609-618(in Chinese).
- [33] 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]. *岩石学报*, 2003, 77 (2):245-252.
- Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Li Zhenqing. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the ore-bearing porphyries of the Gangdese porphyry copper belt and their geological significances[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2003, 77(2):245-252(in Chinese with English abstract).

New Advances in the study of the gigantic Gangdise porphyry copper metallogenic zone, Tibet

ZHENG You-ye^{1,4}, DUO Ji², WANG Rui-jiang³, CHENG Shun-bo¹,
ZHANG Gang-yang¹, FAN Zi-hui¹, GAO Shun-bao², DAI Fang-hua¹

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lhasa 850000, Tibet, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4. State key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: The Gangdise porphyry copper metallogenic zone belongs to the Himalaya-Tethyan metallogenic domain—one of the three porphyry copper metallogenic belts in the world, where a major breakthrough has been made in mineral exploration in recent years. The Gangdise zone is also a porphyry metallogenic zone where a major breakthrough has been made in copper exploration in China. The discovery and evaluation of a number of large and superlarge porphyry copper deposits such as the Qulong deposit signifies the primary formation of a new base of exploration and exploitation of over ten million tons of porphyry copper ores. The paper mainly introduces the latest achievements and experience in exploration of the Qulong, Zhunuo, Chongjiang and Jiru porphyry copper deposits in the Gangdise belt, and on that basis, it summarizes the main results of theoretical research on the rock- and ore-controlling structures, features of ore-bearing porphyries and their source regions, metallogenic characteristics, metallogenic series and mineralizing ages in this belt and at last presents some thoughts and suggestions on the disadvantages and future direction in the copper exploration and theoretical research.

Key words: porphyry copper metallogenic belt; Gangdise; Tibet; exploration and evaluation; major breakthrough

About the first author: ZHENG You-ye, male, born in 1962, doctor and professor, mainly engages in the study of fundamental geology and metallogeny and mineral exploration and evaluation; E-mail: zhyouye@163.com.