

冈底斯：东西超过一千千米的中新世斑岩-矽卡岩-浅成低温热液型铜矿带

宋 扬¹⁾, 唐菊兴^{1, 2)*}, 刘治博¹⁾, 王 楠¹⁾, 闫徐坤¹⁾,
谢富伟³⁾, 马旭东¹⁾, 孙 豪¹⁾

1)中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2)中国地质科学院, 北京 100037;

3)成都理工大学地球与行星科学学院, 四川成都 610059

摘 要: 冈底斯岩浆弧的中东段发育众多铜多金属矿, 而在东经 88°以西的冈底斯西段, 铜矿的成矿潜力、找矿方向等问题一直是国内外矿床界和企业界关注的焦点。在陆相火山岩区斑岩-矽卡岩-浅成低温热液成矿作用和矿床成矿系列理论的指导下, 通过对藏西北革吉陆相火山岩区开展矿产地质调查, 圈定短波红外光谱、水系、重砂、土壤地球化学-高精度大功率激电探测-矿物化学异常, 经钻探验证, 揭露了中新世嘎扎村组蚀变火山碎屑岩中巨厚的(>550 m)高级泥化蚀变带, 发现了累计厚度 137 m, 平均品位 0.46%铜(金银)矿体, 实现了冈底斯西段铜矿找矿重大突破。赋矿火山岩中发育典型的高硫化浅成低温热液矿化蚀变矿物组合, 成岩成矿年龄为 17 Ma 左右, 是青藏高原找矿新区新发现的高硫化浅成低温热液型铜(金银)矿, 深部寻找斑岩铜矿的潜力大。珠勒一芒拉地区火山岩与冈底斯中—东段中新世岩浆岩具有相对一致的结晶年龄和岩石地球化学特点, 显示与印度—欧亚大陆碰撞后伸展环境有关。因此, 芒拉高硫化浅成低温热液型铜(金银)矿的发现, 不仅将冈底斯中新世斑岩-矽卡岩-浅成低温热液铜矿带向西延伸了近千 km, 而且开辟了陆相火山岩区寻找碰撞型斑岩-浅成低温热液型铜矿的新方向。

关键词: 青藏高原; 冈底斯; 浅成低温热液; 斑岩; 铜矿

中图分类号: P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2024.121611

Gangdese: A Miocene Porphyry-skarn-epithermal Copper Belt over 1 000 km from East to West

SONG Yang¹⁾, TANG Juxing^{1, 2)*}, LIU Zhibo¹⁾, WANG Nan¹⁾, YAN Xukun¹⁾,
XIE Fuwei³⁾, MA Xudong¹⁾, SUN Hao¹⁾

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

2) Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3) College of Earth and Planetary Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059

Abstract: The central and eastern part of Gangdese magmatic arc is rich in copper deposits. To the west of 88°E in longitude, the potential and prospecting of copper resources have always been key focus both in academic and industrial circles. Under the guidance of the metallogenic series theory, mineral geological survey was conducted in the continental volcanic rock area in northwest Xizang, and drilling was carried out in the altered

本文由中国地质调查局新一轮找矿突破“铜(金)锑等紧缺战略性矿产调查与潜力评价”项目(编号: DD20230054)和国家自然科学基金面上基金“斑岩-高硫化浅成低温热液铜金成矿系统的砂金矿物学标志”项目(编号: 42172100)联合资助。

收稿日期: 2024-11-05; 改回日期: 2024-12-15; 网络首发日期: 2024-12-17。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 宋扬, 男, 1983 年生。博士, 研究员, 博士生导师。主要从事青藏高原铜金锑成矿作用与勘查评价研究。通信地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。E-mail: songyang100@126.com。

*通信作者: 唐菊兴, 男, 1964 年生。中国工程院院士, 博士, 研究员, 博士生导师。主要从事矿产勘查评价研究。通信地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。E-mail: tangjuxing@126.com。

volcanic clastic rocks of the Miocene Gazhacun Formation. It revealed a thick (>550 m) advanced argillic alteration zone and a copper (gold and silver) orebody with a thickness of 137 m and an average Cu grade of 0.46%. This achieved a major breakthrough in copper exploration in the western section of Gangdese. The Zhule-Mangla area has typical high-sulfidation epithermal mineralization and alteration mineral assemblages, which belong to the new type of copper deposits in the Tibetan Plateau. Geochemical studies of the volcanic rocks aged approximately 17 Ma in the Zhule-Mangla area reveal that the Miocene potassic calc-alkaline magmatic rocks of Gangdese exhibit relatively consistent petrogeochemical characteristics. This is associated with the partial melting of the lower crust in the post-collision extensional tectonic setting of the India-Asia collision. Therefore, the discovery of the high-sulfidation epithermal copper deposit in Mangla extends the Gangdese Miocene porphyry-skarn-epithermal copper belt westward by nearly 1 000 km, and opens a new direction for searching for collisional porphyry-epithermal copper deposits in the continental volcanic rock region.

Key words: Tibetan Plateau; Gangdese; epithermal; porphyry; copper deposit

冈底斯岩浆弧最早被认为发育一条东西长约 400 km, 南北宽近 50 km 的斑岩铜成矿带或铜矿化带(侯增谦等, 2001), 2006 年起, 先后发现了以驱龙、甲玛、朱诺等为代表的碰撞型斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床(郑有业等, 2004, 2006; 杨志明等, 2005; 唐菊兴等, 2010, 2013)和以雄村为代表的俯冲型斑岩-浅成低温热液型铜金矿床(唐菊兴等, 2006; 郎兴海等, 2010)。该成矿带目前已探获的铜资源量超过 4 300 万 t, 有望成为我国第一个能与南美安第斯媲美的世界级铜矿带。然而, 受青藏高原地质工作程度的影响, 日喀则昂仁县朱诺铜矿以西地区一直未取得较大的铜矿找矿进展。二十多年来, 冈底斯铜矿带的规模、冈底斯西段铜矿成矿潜力和找矿方向等问题一直是国内外矿床界和企业界关注的焦点。

2015 年以来, 以陈毓川院士矿床成矿系列“缺位理论”为指导, 在科技部和自然资源部资助下, 唐菊兴等(2017)全面分析西藏斑岩-矽卡岩-浅成低温热液铜多金属矿成矿作用、勘查方向与资源潜力, 提出冈底斯谢通门—昂仁以西陆相火山区铜矿找矿潜力大的重要认识。此后, 在中国地质调查局的持续支持下, 中国地质科学院矿产资源研究所组织完成了“班公湖—怒江成矿带铜多金属矿资源基地调查”和“藏西北铜多金属资源基地综合调查评价”二级项目, 其中在冈底斯西段完成了若干幅 1:5 万矿产地质调查工作, 在阿里革吉陆相火山岩区新发现一批铜矿找矿靶区。

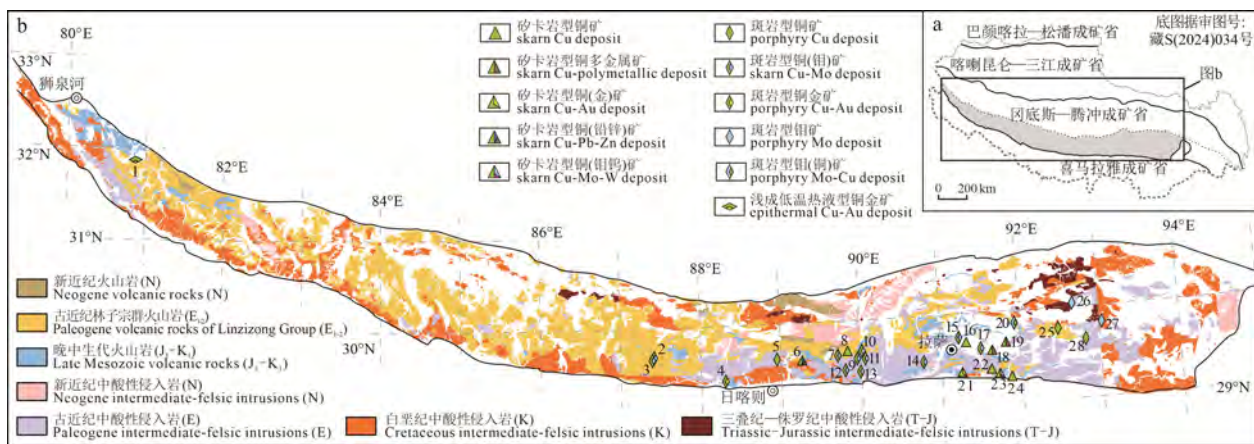
2023—2024 年, 新一轮找矿突破战略行动项目“铜金锑紧缺战略性矿产调查与潜力评价”, 对阿里革吉珠勒—芒拉地区中新统布嘎寺组和嘎扎村组火山岩分布区开展矿产调查评价, 并对嘎扎村组蚀变火山岩区中的遥感-物探-化探-矿物化学综合异常实施钻探验证, 揭露了巨厚的(>550 m)高级泥化蚀变带, 发现 137 m 厚、平均品位 0.46% 的铜(金银)矿体, 不仅将冈底斯铜矿带向西延伸了近千 km, 而且开辟了在中新世陆相火山岩地区寻找碰撞型斑岩

-浅成低温热液型铜矿的新方向(图 1)。

1 铜成矿作用

全球 3/4 的铜由斑岩成矿系统提供, 主要为斑岩型、矽卡岩型和高硫化浅成低温热液型三种铜或铜多金属矿床类型(Sillitoe, 2010)。冈底斯成矿带以发育斑岩型铜金、铜钼、钼(铜)矿床、矽卡岩型铜、铅锌、铁、钨钼矿床和浅成低温热液型铅锌、金、银矿床为特征(谢富伟等, 2022), 近期又在冈底斯西段发现中新世斑岩(?)—高硫化浅成低温热液型铜(金银)矿(王楠等, 2024)。中酸性斑岩体内形成斑岩型铜钼矿, 斑岩体上部发育高硫化浅成低温热液型铜金/金铜矿, 斑岩内外接触带赋存矽卡岩-角岩型铜多金属矿, 斑岩远端出现矽卡岩型或中-低硫浅成低温热液型铅锌银锑矿(化)是冈底斯带斑岩成矿系统的区域成矿模式。

冈底斯成矿带斑岩型铜钼金多金属矿床主要分布在南冈底斯岩浆弧南缘及念青唐古拉弧背断隆带东段, 形成于侏罗纪、始新世和中新世, 典型矿床包括驱龙、甲玛、朱诺、雄村、邦铺等, 矿床的形成与洋壳俯冲或碰撞后阶段形成的幔源、壳幔混源的岩浆作用有关(Yang et al., 2019; 王瑞等, 2020; Sun et al., 2023)。矿床分布总体上受东西向构造控制, 与中新世南北向裂谷也有密切关系, 常常分布于东西向构造带与南北向裂谷系交汇部位。赋矿围岩主要有火山碎屑岩、砂页岩、凝灰岩、凝灰质砂页岩、碳酸盐岩等; 赋矿岩体主要为石英闪长斑岩、黑云母花岗闪长斑岩、石英二长花岗斑岩、钾长花岗岩、斑状二长花岗岩等; 伴随钾硅酸盐化、钠化-钙化、绿泥石-绢云母化、青磐岩化和泥化蚀变等; 蚀变分带以中心为钾硅酸盐化、外围青磐岩化, 绢英岩化强烈叠加在早期的钾硅酸盐化带内为特征, 金属矿物组合主要为黄铜矿-黄铁矿。最近, Liu et al.(2023)在朱诺以西约 200 km 处发现了晚三叠世鲁尔玛斑岩型铜矿。



- 1—珠勒—芒拉; 2—朱诺; 3—北姆朗; 4—雄村; 5—吉如; 6—普桑果; 7—白容; 8—汤巴拉; 9—彭岗; 10—冲江; 11—厅宫;
12—岗讲; 13—总训; 14—达布; 15—拉抗俄; 16—程巴; 17—巨龙; 18—知不拉; 19—甲玛; 20—邦铺; 21—克鲁;
22—拖浪拉; 23—努日; 24—冲木达; 25—夏马日; 26—沙让; 27—汤不拉; 28—吹败子。

- 1—Zhule-Mangla; 2—Zhunuo; 3—Beimulang; 4—Xiongcu; 5—Jiru; 6—Pusanguo; 7—Bairong; 8—Tangbala; 9—Penggang; 10—Chongjiang;
11—Tinggong; 12—Gangjiang; 13—Zongxun; 14—Dabu; 15—Lakange; 16—Chengba; 17—Qulong; 18—Zhibula; 19—Jiama; 20—Bangpu;
21—Kelu; 22—Tuolangla; 23—Nuri; 24—Chongmuda; 25—Xiamari; 26—Sharang; 27—Tangbula; 28—Chuibaizi.

图 1 西藏大地构造分区简图(a)和冈底斯斑岩-矽卡岩-浅成低温热液型铜多金属成矿带地质简图(b)

Fig. 1 Simplified tectonic framework of Tibet (a) and the geological map of Gangdese porphyry-skarn-epithermal copper-polymetallic mineralization belt (b)

矽卡岩型铜多金属矿床主要分布在冈底斯成矿带中、东段,与成矿相关的侵入岩体主要为花岗闪长岩、二长花岗岩等,岩体主要侵入于下—中侏罗统叶巴组、上侏罗统多底沟组、下白垩统塔克那组和下白垩统比马组碳酸盐岩中,在接触带附近发生接触交代作用,产生铜、铅、锌、钼等矿化,矿体主要呈层状、似层状、囊状、不规则状等,受侵入岩体和碳酸盐岩地层的控制(谢富伟等, 2022)。该类矿床形成构造背景主要分为两类:一是产出喜马拉雅中期的晚碰撞环境,以努日等矿床为代表;二是产出燕山早期碰撞后伸展环境,以甲玛、普桑果、知不拉等矿床为代表。

浅成低温热液型铜金矿分布在革吉陆相火山岩区酸性蚀变岩帽内,以珠勒、芒拉和罗布等为代表(刘治博等, 2023)。对芒拉铜(金银)矿的相关研究和钻探工程验证结果表明,蚀变矿物组合为多孔状石英、明矾石、高岭石、地开石、叶腊石等高硫化体系蚀变矿物,金属矿物主要为硫砷铜矿、黝铜矿、黄铜矿和铜蓝、蓝辉铜矿等 Cu-S 二元体系矿物,为高硫化浅成低温热液型铜(金银)矿(王楠等, 2024)。

2 岩浆岩特征

本次对珠勒—芒拉地区嘎扎村组 37 件火山围岩样品进行了全岩主微量元素分析,并对部分典型样品(包括粗面岩、粗面安山岩、英安岩和流纹岩)进行了锆石 U-Pb 定年。同时,基于多个岩石蚀变判别指标,收集冈底斯中—东段 52 件中新世(13~17 Ma)含铜侵入岩(主要涉及驱龙、甲玛、朱诺、邦铺、拉抗

俄、岗讲等斑岩铜矿区)、14 件中新世(16~20 Ma)钙碱性火山岩的全岩地球化学数据与研究区火山岩进行对比。

锆石 U-Pb 定年结果显示,珠勒—芒拉地区火山岩的结晶年龄为 16.4~17 Ma,如英安岩结晶年龄为 16.8 Ma(图 2a),表明该地区的火山岩形成于中新世。岩石样品的结晶年龄与冈底斯中—东段主要碰撞型斑岩铜系统中的岩浆侵位峰期(~16 Ma)基本一致(谢富伟等, 2022),暗示珠勒—芒拉地区火山岩与印度—欧亚大陆碰撞后伸展构造背景有关。全岩地球化学结果表明,火山岩样品的 SiO₂ 含量介于 55.69%~73.23%之间,以中酸性火山岩为主;在硅-碱投图(K₂O-SiO₂)中,除少量样品落入到钾玄岩系列范围外,其余绝大多数样品都落入到高钾钙碱性系列区域内(图 2b);轻、重稀土分异明显(图 2c),大离子亲石元素(Th、U、K)富集而高场强元素(Nb、Ta、Ti)亏损(图 2d);具有高的 Sr/Y(均值 47)、(La/Yb)_N(均值 36)比值以及低的 Y(平均值 12)和 Yb(均值 1.1)含量等;这些岩石地球化学特征与冈底斯中—东段中新世含铜侵入岩和钙碱性火山岩尤为相似(图 2b, c, d),进一步表明珠勒—芒拉地区中新世火山岩形成于印度—欧亚大陆碰撞后伸展背景。

3 结论与意义

我国铜矿床按工业类型主要分为斑岩型、矽卡岩型、层状型(包括变质岩层状型和含铜砂页岩型)、火山沉积型和铜镍硫化物型 5 类,铜资源/储量占全国的 90%以上(王登红等, 2014)。高硫化浅成低温

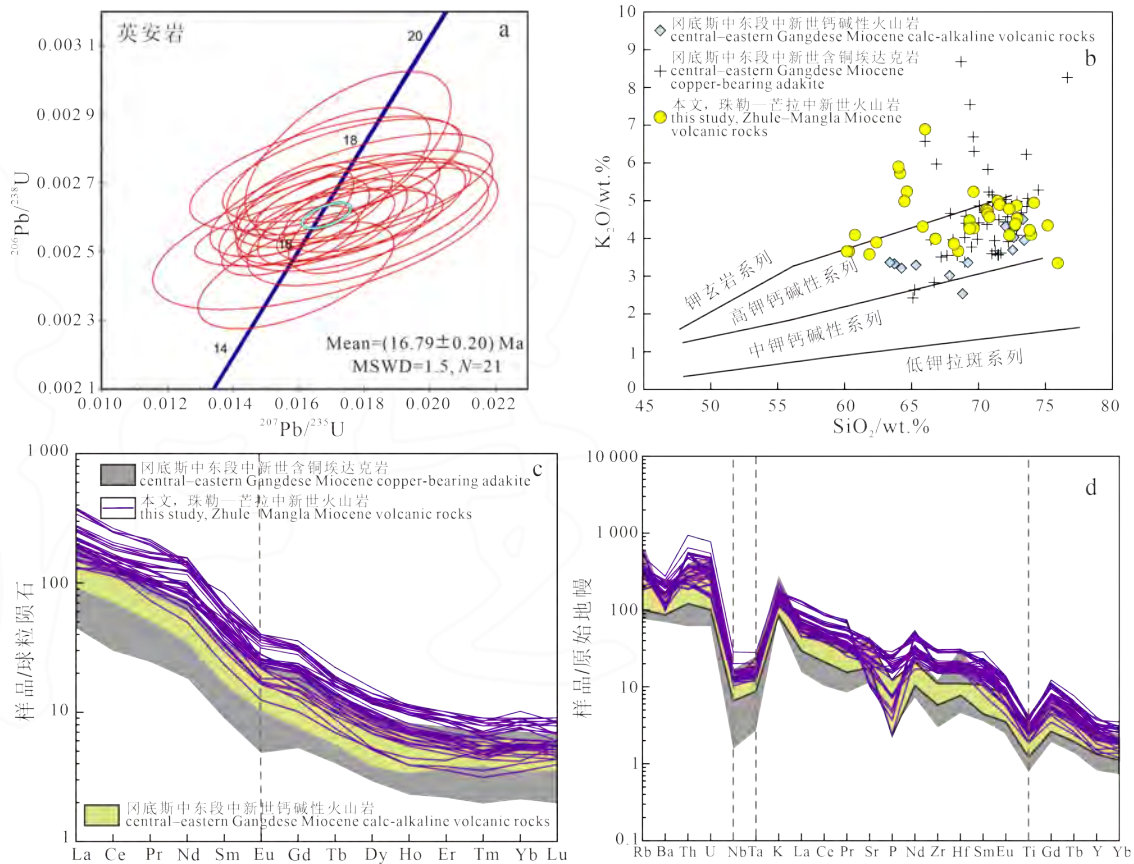


图2 珠勒—芒拉中新世火山岩锆石 U-Pb 谐和图(a)、 K_2O - SiO_2 图(b, 底图据 Peccerillo et al., 1976)、球粒陨石标准化稀土元素配分图(c)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(d) (标准化值据 Sun et al., 1989)

Fig. 2 U-Pb concordia diagrams (a), K_2O vs. SiO_2 diagram (b, base map from Peccerillo et al., 1976), chondrite-normalized REE patterns (c) and primitive mantle-normalized trace-element spider diagrams (d) (normalizing data from Sun et al., 1989) of the Zhule-Mangla Miocene volcanic rocks

热液活动一般形成金矿或金铜矿, 或者与深部斑岩成矿作用叠加套合形成斑岩-浅成低温热液型铜金矿。冈底斯西段珠勒—芒拉地区陆相火山岩中发育面积超过 50 km^2 , 厚度(深度)超过 550 m 的高级泥化褪色蚀变带, 矿(化)体中发现硫砷铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝及明矾石、地开石、叶腊石、高岭石等高硫化浅成低温热液矿化蚀变矿物组合, 铜矿累计见矿视厚度 137 m , 平均品位达 0.46% , 其中, 单孔铜品位大于 1% 的样品有 14 件。因此, 革吉陆相火山岩地区是青藏高原重要的找矿新区。

革吉中新统嘎扎村陆相火山岩与冈底斯中—东段中新世铜矿区火山/侵入岩在形成时代和地球化学特征方面基本一致, 均形成于印度—欧亚大陆碰撞后伸展背景。随着珠勒—芒拉斑岩(?)—高硫化浅成低温热液型、朱诺—罗布真斑岩—浅成低温热液型、驱龙—甲玛斑岩—矽卡岩型、德明顶—汤不拉斑岩型等铜多金属矿床的发现和勘查, 冈底斯西段阿里、冈底斯中段日喀则、冈底斯东段拉萨、林芝等地区中的铜矿找矿有利区随同期岩浆作用连接在一起, 构成了东西超过 1000 km 的冈底斯中新世碰撞型斑岩—矽卡岩—浅成低温热液铜矿带(图 1)。

致谢: 谨以此文祝贺陈毓川先生九十华诞暨从事地质工作 70 余年。藏西北地区矿产地质调查与科研工作得到了中国地质调查局相关部室、西藏自然资源厅、阿里地区行署、阿里自然资源局、革吉县政府、西藏自治区地质矿产勘查开发局、成都理工大学、成都地质调查中心、中国自然资源航空物探遥感中心等单位的大力支持。本文的撰写和刊出得到了中国地质科学院矿产资源研究所王登红研究员、王岩研究员和郑明高级工程师, 及两位审稿专家和《地球学报》编辑部的指导帮助, 在此一并感谢。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20230054), and National Natural Science Foundation of China(No. 42172100).

参考文献:

- 侯增谦, 曲晓明, 黄卫, 等, 2001. 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, 28(10): 27-29.
- 郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 等, 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.
- 刘治博, 唐菊兴, 李志军, 等, 2023. 西藏革吉县珠勒地区发现高硫化浅成低温热液铜金矿化类型[J]. 中国地质, 50(3):

967-968.

- 唐菊兴, 李志军, 钟康惠, 等, 2006. 西藏自治区谢通门县雄村铜矿勘探地质报告[R]. 成都: 成都理工大学.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 等, 2010. 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, 王勤, 杨欢欢, 等, 2017. 西藏斑岩-矽卡岩-浅成低温热液铜多金属矿成矿作用、勘查方向与资源潜力[J]. 地球学报, 38(5): 571-613.
- 唐菊兴, 郑文宝, 陈毓川, 等, 2013. 西藏甲玛铜多金属矿床深部斑岩矿体找矿突破及其意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 43(4): 1100-1110.
- 王登红, 徐志刚, 盛继福, 等, 2014. 全国重要矿产和区域成矿规律研究进展综述[J]. 地质学报, 88(12): 2176-2191.
- 王楠, 刘治博, 唐菊兴, 等, 2024. 冈底斯成矿带西段首次发现中新世高硫化浅成低温热液型铜(金银)矿床[J]. 矿床地质, 43(6): 1-6.
- 王瑞, 朱弟成, 王青, 等, 2020. 特提斯造山带斑岩成矿作用[J]. 中国科学: 地球科学, 50(12): 1919-1946.
- 谢富伟, 郎兴海, 唐菊兴, 等, 2022. 西藏冈底斯成矿带成矿规律[J]. 矿床地质, 41(5): 952-974.
- 杨志明, 谢玉玲, 李光明, 等, 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带驱龙铜矿成矿流体特征及其演化[J]. 地质与勘探, 41(2): 21-26.
- 郑有业, 高顺宝, 张大全, 等, 2006. 西藏朱诺斑岩铜矿床发现的重大意义及启示[J]. 地学前缘, 13(4): 233-239.
- 郑有业, 薛迎喜, 程力军, 等, 2004. 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, 29(1): 103-108.

References:

- HOU Zengqian, QU Xiaoming, HUANG Wei, et al., 2001. Modes of occurrence of gold in supergene medium in arid areas of northern China[J]. China Geology, 28(10): 27-29(in Chinese with English abstract).
- LANG Xinghai, CHEN Yuchuan, TANG Juxing, et al., 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).
- LIU Hong, HUANG Hanxiao, LI Guangming, et al., 2023. Subduction-related Late Triassic Luerma porphyry copper deposit, western Gangdese, Tibet, China: Evidence from geology, geochemistry, and geochronology[J]. Ore Geology Reviews, 154: 105253.
- LIU Zhibo, TANG Juxing, LI Zhijun, et al., 2023. First discovered Miocene high sulfur epithermal Cu-Au deposits in Zhule area, Geji County, Tibet[J]. China Geology, 50(3): 967-968(in Chinese with English abstract).
- PECCERILLO A, TAYLOR S R, 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58: 63-81.
- SILLITOE R H, 2010. Porphyry copper systems[J]. Economic Geology, 105(1): 3-41.
- SUN S S, MCDONOUGH W F, 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society, London, Special Publications, 42(1): 313-345.
- SUN Xiang, DENG Jun, LU Yongjun, et al., 2023. Two stages of porphyry Cu mineralization at Jiru in the Tibetan collisional orogen: Insights from zircon, apatite, and magmatic sulfides[J]. Bulletin, 135(11-12): 2971-2986.
- TANG Juxing, LI Zhijun, ZHONG Kanghui, et al., 2006. Geological report on the exploration of Xiongcu copper mine, Xietongmen County, Tibet Autonomous Region[R]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese).
- TANG Juxing, WANG Denghong, WANG Xiongwu, et al., 2010. Geological Features and Metallogenic Model of the Jiama Copper-Polymetallic Deposit in Tibet[J]. Journal of Earth Sciences, 31(4): 495-506(in Chinese with English abstract).
- TANG Juxing, WANG Qin, YANG Huanhuan, et al., 2017. Mineralization, Exploration and Resource Potential of Porphyry-skarn-epithermal Copper Polymetallic Deposits in Tibet[J]. Earth Journal, 38(5): 571-613(in Chinese with English abstract).
- TANG Juxing, ZHENG Wenbao, CHEN Yuchuan, et al., 2013. Prospecting Breakthrough of the Deep Porphyry Ore Body and Its Significance in Jiama Copper Polymetallic Deposit, Tibet, China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 43(4): 1100-1110(in Chinese with English abstract).
- WANG Denghong, XU Zhigang, SHENG Jifu, et al., 2014. Progress on the Study of Regularity of Major Mineral Resources and Regional Metallogenic Regularity in China: A Review[J]. Journal of Geology, 88(12): 2176-2191(in Chinese with English abstract).
- WANG Rui, ZHU Dicheng, WANG Qing, et al., 2020. Porphyry mineralization in the Tethyan orogen[J]. Science China Earth Sciences, 63(12): 2042-2067(in Chinese with English abstract).
- WANG Nan, LIU Zhibo, TANG Juxing, et al., 2024. First discovery of Miocene high-sulfidation low-temperature hydrothermal copper (gold-silver) deposits in the western part of the Gondwana orogenic belt[J]. Geology of Mineral Deposits, 43(6): 1-6(in Chinese with English abstract).
- XIE Fuwei, LANG Xinghai, TANG Juxing, et al., 2022. Metallogenic regularity of Gangdese Metallogenic Belt, Tibet[J]. Mineral Deposits, 41(5): 952-974(in Chinese with English abstract).
- YANG Zhiming, XIE Yuling, LI Guangming, et al., 2005. Characteristics and forming process of ore-forming fluids at Qulong copper deposit in Gangdise porphyry copper belt, Tibet[J]. Geology and Exploration, 41(2): 21-26(in Chinese with English abstract).
- YANG Zhiming, COOKE D R, 2019. Porphyry copper deposits in China[J]. SEG Special Publication, 22: 133-187.
- ZHENG Youye, GAO Shunbao, ZHANG Dazhuan, et al., 2006. The discovery of the Zhunuo porphyry copper deposit in Tibet and its significance[J]. Geological Frontiers, 13(4): 233-239(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Youye, XUE Yingxi, CHENG Lijun, et al., 2004. Characteristics and Significances of Qulong Superlarge Porphyry Copper(Molybdenum)Deposit, Tibet[J]. Geoscience, 29(1): 103-108 (in Chinese with English abstract).