

西藏邦铺钼(铜)多金属矿床隐爆角砾岩型矿体的发现及找矿意义*

王晓青^{1,2}, 刘敏^{3**}

(1 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2 山西省地质勘查局 214 地质队有限公司, 山西 运城 044000;
3 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)

摘要 邦铺矿床为冈底斯成矿带东段一个大型斑岩-矽卡岩 Mo(Cu)多金属矿床, 笔者首次在矿区东部发现了隐爆角砾岩型 Pb-Zn-Cu 矿体, 从而进一步深化完善了邦铺斑岩成矿系统。通过详细的钻孔地质编录和岩相学研究发现, 角砾岩筒在垂向上和横向上具有明显的分带性: 从浅部到深部, 从角砾岩筒中心到边部, 依次为爆破相-震碎相-震裂相-裂隙相。角砾岩型 Pb-Zn-Cu 矿体主要赋存于角砾岩筒的裂隙相和震裂相中, 少数赋存于震碎相和爆破相中。方铅矿和闪锌矿呈脉状、网脉状、条带状产于裂隙相的裂隙中和震裂相胶结物中。根据隐爆角砾岩中石英二长斑岩角砾 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄((14.51±0.12)Ma)将隐爆角砾岩的形成年龄限定在~14 Ma, 该年龄与斑岩矿体成矿年龄((14.67±0.54)Ma~(14.11±0.31)Ma)及矽卡岩矿体成矿年龄((13.93±0.87)Ma)相一致, 统一的形成年龄说明隐爆角砾岩应为斑岩成矿系统的一部分。根据斑岩成矿系统中各类型矿体的分布规律, 结合冈底斯成矿带碰撞造山背景下后碰撞阶段斑岩成矿系统多中心复合成矿的特征, 推测邦铺矿区东部很可能还存在另一个同期的斑岩型矿化中心。

关键词 隐爆角砾岩; 石英二长斑岩; 斑岩-矽卡岩矿床; 邦铺 Mo(Cu)多金属矿床
中图分类号: P618.65; P618.41 **文献标志码**: A

Discovery of cryptoexplosive breccia-type ore bodies and its prospecting significance in Bangpu porphyry Mo(Cu) polymetallic deposit, Xizang

WANG XiaoQing^{1,2} and LIU Min³

(1 School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2 The 214 Geological Team of Shanxi Provincial Geological Prospecting Bureau Co., Ltd., Yuncheng 044000, Shanxi, China; 3 MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

The Bangpu deposit is a large porphyry-skarn Mo(Cu) polymetallic deposit in the East of the Gangdese metallogenic Belt. Authors of this paper discovered the cryptoexplosive breccia and diatreme for the first time in the east of the Bangpu ore deposit. Detailed drill core logging and studies on petrography and mineragraphy show that, the cryptoexplosive breccia can be divided into four facies zones: From shallow to deep and from center to the edge of diatreme, explosive facies, shattering facies, cracking facies and fissure facies. Breccia-type Pb-Zn-Cu ore bodies mainly occur in the fissure facies and cracking facies of breccia, and a small amount is in the shattering facies and explosive facies. Galena and sphalerite occur as veins, stockworks and bands in the fissure and cement of breccias. The rock-forming age of cryptoexplosive breccia is about ~14 Ma, constrained by LA-ICP-

* 本文得到中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20230336 和 DD20160124)联合资助

第一作者简介 王晓青, 男, 1983 年生, 高级工程师, 构造地质与矿产勘查研究方向。Email: yc214wxq@163.com

** 通讯作者 刘敏, 女, 1983 年生, 高级工程师, 主要从事金属矿床成矿规律与战略研究。Email: liuminhello@163.com

收稿日期 2024-04-29; 改回日期 2024-09-06。孟秋熠编辑。

MS U-Pb age of zircon in quartz monzonite porphyry breccia (14.51 ± 0.12)Ma. This consists with the metallogenic ages of porphyry ore bodies (14.67 ± 0.54)Ma~(14.11 ± 0.31)Ma and skarn ore bodies (13.93 ± 0.87)Ma. Their spatiotemporal distribution relationship suggests that the three types of orebodies belong to one common porphyry mineralized system. According to the distribution of different types of ore bodies in the porphyry metallogenic system, combined with the polycentric complex mineralization of the Gangdese metallogenic belt in the Tibetan Plateau, the discovery of cryptoexplosive breccia-type ore body indicates that there is probably another porphyry mineralization center in the eastern part of the Bangpu ore district.

Key words: cryptoexplosive breccia, quartz monzonite porphyry, porphyry-skarn deposit, Bangpu Mo(Cu) polymetallic deposit

隐爆角砾岩是在近地表(0.5~3.0 km)浅成、超浅成封闭条件下由隐爆作用形成的一类角砾状碎屑岩,通常以筒状体或上大下小的漏斗岩筒状产出(章增凤等,1991;胡承绮等,1997;蒋禹恒等,2019)。隐爆角砾岩在时空上与浅成、超浅成中酸性侵入体或潜火山岩侵入体密切相关,与小岩株、岩脉或深部较大规模的隐伏侵入体相连(周玉龙等,2012;蒋禹恒等,2019)。隐爆角砾岩通常孔隙度较大,是岩浆热液、成矿流体的良好通道和储存空间,其成岩过程往往伴随成矿作用(陈云杰等,2012;林书平等,2012;高荣臻等,2014;刘国燕等,2019)。随着大量与隐爆角砾岩有关的金、银、铜、铅、锌、铁、钨等矿床的发现,隐爆角砾岩成为了地质勘探的热点。其中,隐爆角砾岩型金矿以美国普尔克里克金矿、俄罗斯达拉逊金矿和克留奇金矿、智利马里昆加金矿集区最为著名(方维萱,2016),中国主要有内蒙古赤峰陈家杖子金矿、河南祁雨沟金矿和山西堡子湾金矿。除此之外,许多大型岩浆热液矿床也伴随隐爆角砾岩型矿体,Sillitoe(2010)通过对大量斑岩矿床系统研究发现,斑岩型矿体与隐爆角砾岩型矿体存在密切的时空及成因联系,许多斑岩矿体上部或边侧常伴生隐爆角砾岩型矿体,从而将隐爆角砾岩型矿体归于斑岩成矿系统中,建立了隐爆角砾岩型矿体和斑岩矿体之间的联系。综上所述,隐爆角砾岩不仅可以形成单独的隐爆角砾岩型矿床,也可以与斑岩矿床、矽卡岩矿床、浅成低温矿床共同构成一个复杂的斑岩成矿系统。因此,隐爆角砾岩型矿床具有很好的找矿指示意义,即在有利的斑岩矿床构造环境中,如果发现了隐爆角砾岩型矿体,那么很可能在隐爆角砾岩矿体的深部或外围存在同期的斑岩型矿体。

邦铺矿床为西藏冈底斯成矿带东段一个大型斑岩-矽卡岩 Mo(Cu)多金属矿床。经过近20年勘查和开采工作,矿区中相继发现了斑岩型 Mo(Cu)矿体、

矽卡岩 Cu-Pb-Zn 多金属矿体,目前整个矿床的 Mo 金属量超过 60 万 t, Cu 金属量超过 100 万 t, Pb+Zn 金属量超过 120 万 t, Ag 金属量超过 1000 t。邦铺矿床已然成为冈底斯成矿带上大型铜-钼-铅-锌-银多金属矿床。众多学者围绕邦铺矿床开展了研究工作,针对斑岩矿体开展了矿床成因、矿化蚀变、流体演化和成矿年代学等方面研究工作(周雄,2012;王立强,2013;Luo et al., 2015;赵晓燕,2015;罗茂澄,2017);针对矽卡岩矿体开展了矿物学和相关的地球化学研究工作(王立强等,2013;2014;康浩然等,2015;赵晓燕等,2015);此外对矿区各类侵入体也开展了详细的同位素测年和地球化学研究工作(李丹等2009;王立强等,2011;2012;冷秋锋等,2012;赵晓燕等,2013;胡永斌等,2015)。邦铺矿区同时存在斑岩型、矽卡岩型和热液交代型等多种矿化类型,近年来在矿区东部又发现了隐爆角砾岩筒,并在角砾岩筒发现了 Pb-Zn-Cu 多金属矿体,矿区成矿和找矿潜力大。笔者基于详细野外工作,对东部钻孔编录和系统的岩相学观察,识别出角砾岩型矿体,并系统分析了矿体与已知矿体的时空及成因关系,提出东部存在独立矿化中心,深部可能存在斑岩型矿化,对于区域找矿勘查部署具有重要意义。

1 区域地质

邦铺矿床大地构造位于冈底斯造山带拉萨地体东部(图 1a),冈底斯岩浆弧形成于中生代新特提斯洋板片向北部冈底斯岩浆弧之下俯冲及印度与亚洲大陆碰撞过程中,既有俯冲过程形成的岩浆岩,也有碰撞过程形成的岩浆岩,是一个经历了长期演化的复合型岩浆弧,发育多期与岩浆作用有关的金属成矿系列(张泽明等,2019)。邦铺矿床位于冈底斯成矿带东段,成矿区带划分位于特提斯和喜马拉雅成矿

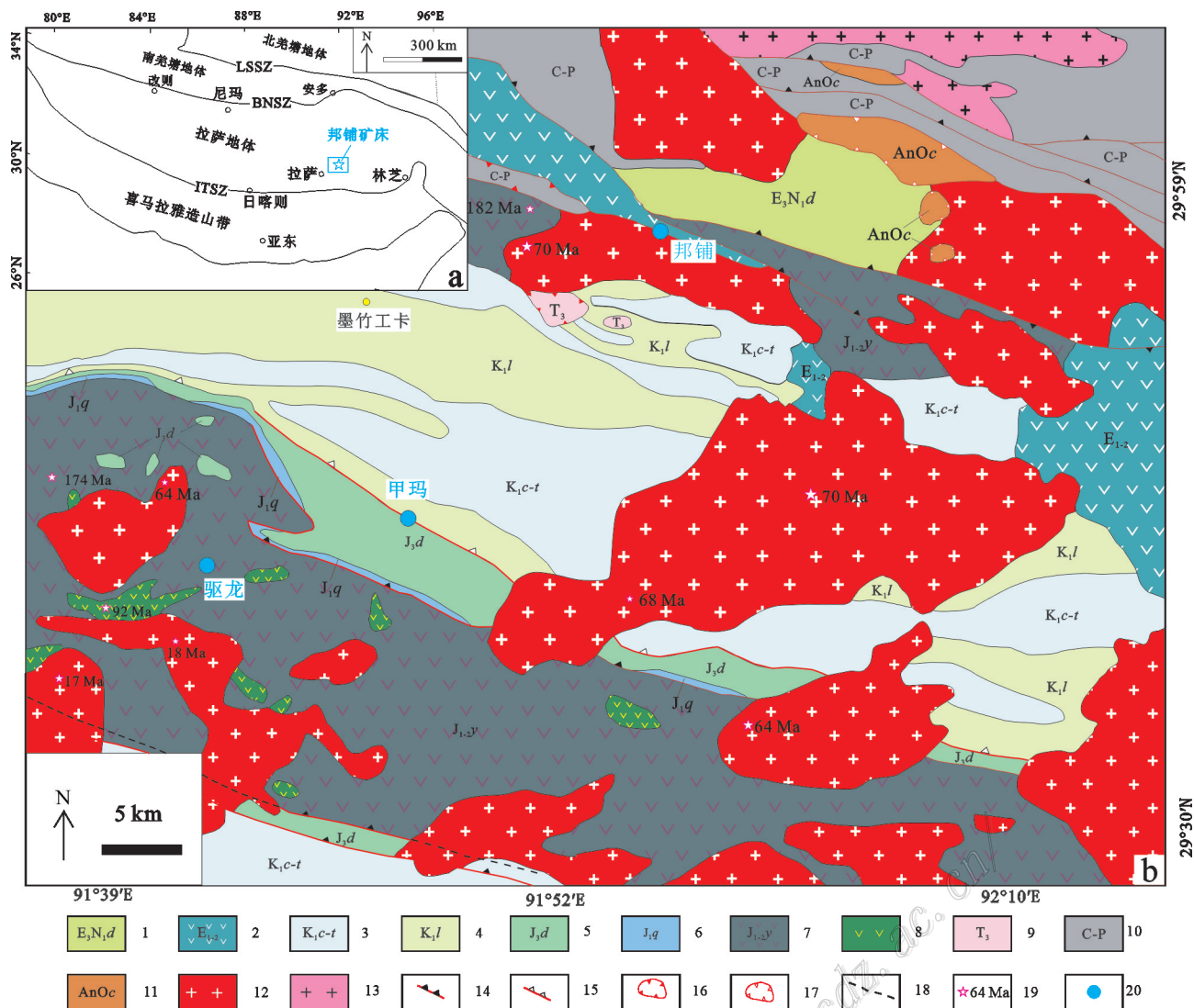


图 1 邦铺矿区大地构造位置图(a, 修改自张泽明等, 2019)及区域地质图(b, 修改自马士委, 2017)

- 1—中新统一渐新统大竹卡组; 2—古近系典中组、年波组和帕那组; 3—白垩系楚木龙组和塔克那组; 4—白垩系林布宗组; 5—侏罗系多底沟组; 6—侏罗系却桑温泉组; 7—侏罗系叶巴组; 8—雅鲁藏布江构造混杂岩; 9—三叠系沉积岩; 10—石炭系—二叠系松多岩组和洛巴堆组; 11—元古界岔萨岗岩组; 12—白垩纪—新近纪冈底斯岩基; 13—三叠纪花岗岩; 14—逆冲断层; 15—褶皱冲断带; 16—推覆体; 17—构造窗; 18—角度不整合; 19—U-Pb 年龄; 20—矿床

LSSZ—龙木措-双湖缝合带; BNSZ—班公湖-怒江缝合带; ITSZ—雅鲁藏布江缝合带

Fig. 1 Tectonic setting (a, modified from Zhang et al., 2019) and regional geological map (b, modified from Ma, 2017) of the Bangpu deposit

- 1—Oligocene-Miocene Dazhuka Formation; 2—Paleocene Dianzhong, Nianbo and Pana Formations; 3—Cretaceous Chumulong and Takena Formations; 4—Cretaceous Linbuzong Formation; 5—Jurassic Duodigou Formation; 6—Jurassic Quesangwenquan Formation; 7—Jurassic Yeba Formation; 8—Yarlung Zangbo suture zone mictite; 9—Triassic sediments; 10—Carboniferous—Permian Songduo Formation complex and Luobadun Formation; 11—Proterozoic Chasagang Formation; 12—Cretaceous—Tertiary batholith; 13—Triassic granite; 14—Thrust fault; 15—Fold thrust belt; 16—Nappe; 17—Tectonic windows; 18—Unconformable geological boundary; 19—U-Pb age; 20—Deposits
- LSSZ—Longmuco-shuanghu suture zone; BNSZ—Bangong-Nujiang suture zone; ITSZ—Yarlung Zangbo suture zone

域 (I) 雅鲁藏布江成矿省 (II) 冈底斯-念青唐古拉中生代—新生代铜钼金铁盐类成矿带 (III) 驱龙-甲玛-邦铺铜钼多金属矿集区 (IV) 北东部 (徐志刚等, 2008)。

区域地层属冈底斯-腾冲地层之拉萨-沃卡地层分区和却桑-松多地层分区 (图 1b)。区域内最老岩石单元为元古界岔萨岗岩组, 主要为一套由角闪石片

岩、斜长角闪岩、角闪辉石岩、蛇纹岩等组成的变质岩；晚古生代—新生代主要为沉积积及浅变质岩系；石炭系松多岩组为灰白色石英岩夹少量片岩；二叠系洛巴堆组主要为灰岩和大理岩，夹有安山岩夹层；三叠系为一套浅变质灰岩、沉积碎屑岩，含同期基性-酸性火山岩夹层；侏罗系和白垩系为沉积碎屑岩和生物碎屑岩，夹有同期火山岩，其中，侏罗系叶巴组主要由安山岩和凝灰岩组成，却桑温泉组为砾岩、长石石英砂岩夹页岩，多底沟组主要由灰岩组成，夹有少量砂岩。白垩系林布宗组由黑板岩、泥岩、粉砂岩组成，夹有白色石英砂岩，楚木龙组和塔克那组由石英砂岩、页岩和泥灰岩组成；新生代火山活动急剧增强，古近系典中组、年波组和帕那组为一套由安山岩、英安岩及同成分凝灰岩组成的火山岩，中新统一渐新统大竹卡组主要由砾岩、含砾砂岩和岩屑砂岩组成。地层在呈近东西向片状、带状展布，在侵入岩较发育的地

区，地层呈孤岛状零星分布(马士委,2017)。

区域岩浆活动剧烈，既有大面积展布的侵入岩又有巨厚层火山喷发岩，主要分布在雅鲁藏布江构造混杂岩带以北，由南至北形成拉萨-沃卡构造岩浆岩带、却桑-松多构造岩浆岩带(图1b)。冈底斯成矿带段受新特提斯洋向北俯冲和印度-欧亚两大板块碰撞造山作用影响，区域构造线总体走向近东西向，次级构造线多呈北西西向。在近南北方向挤压作用下，地层发生强烈褶皱变形，形成一系列轴迹近东西向或北西西向复式背斜和向斜，同时发育大量近东西向或北西西向的逆冲断层、逆冲推覆构造、韧性剪切带、滑脱带等(马士委,2017)。

2 矿区地质

邦铺矿区出露地层主要为下二叠统洛巴堆组、

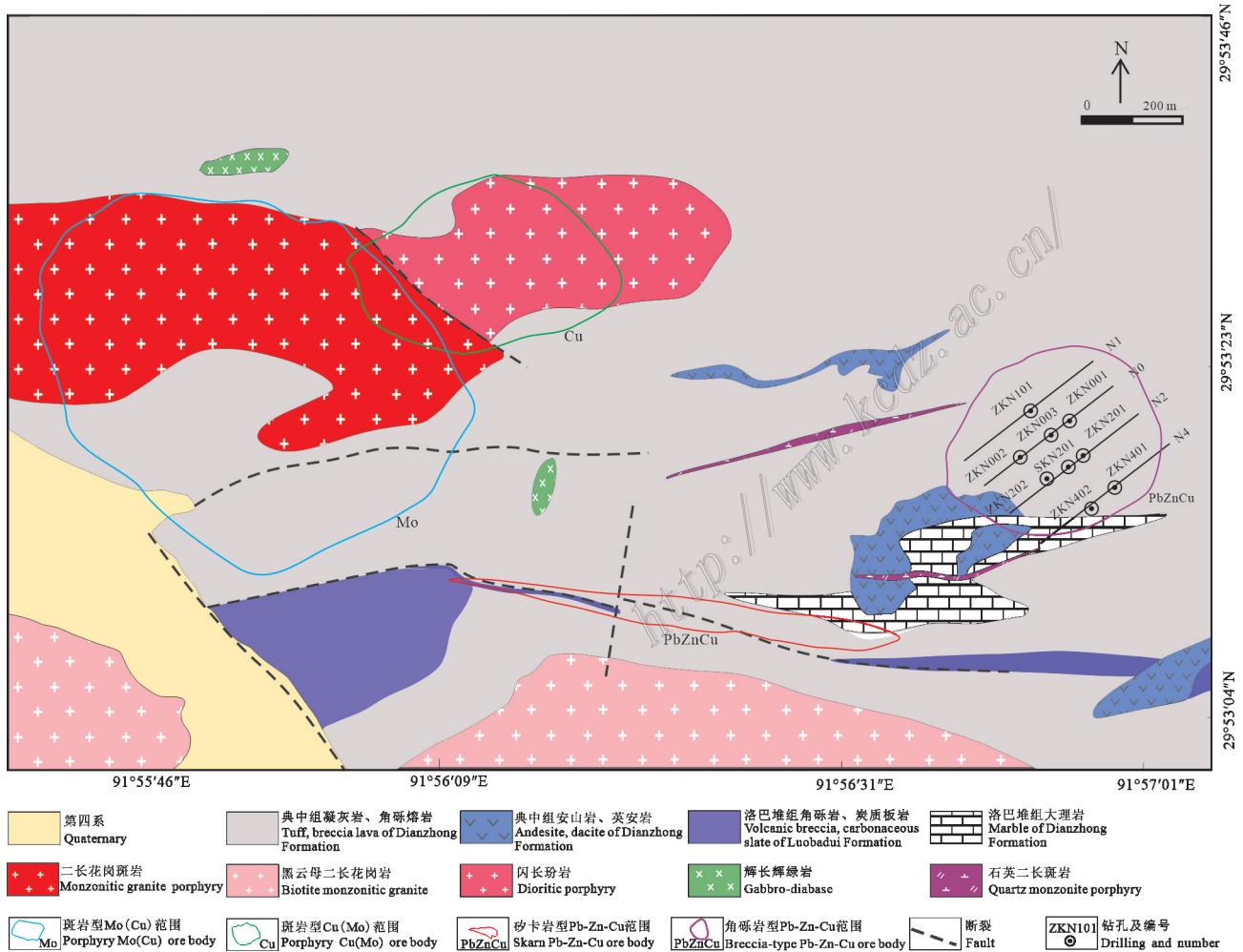


图2 邦铺矿区地质图(据王立强,2013修改)

Fig.2 Geological map of the Bangpu ore district (modified from Wang,2013)

古近系典中组及少量第四系沉积物(图2)。下二叠统洛巴堆组近东西向展布于矿区南部,为一套陆源碎屑岩和碳酸盐岩组合,伴随中基性火山岩喷发,主要岩性为火山角砾熔岩、流纹岩、黑色碳质板岩及大理岩。古近系典中组主要为一套火山喷发岩,主要岩性为安山岩、含角砾凝灰岩、凝灰质板岩等。第四系主要为冲洪积物,少量残坡积物。受区域构造控制,矿区构造以断裂为主。既有成矿前断裂,也有成矿后断裂,成矿前断裂对成矿有利,成矿后断裂对矿体造成破坏。

邦铺矿区岩浆作用频繁,既有大面积展布的侵入体,又有同时期火山喷出岩及火山碎屑岩。侵入岩按时代可分为古新世侵入岩和中新世侵入岩。古新世中粗粒二长花岗岩大面积侵入矿区南部典中组火山岩中,赵晓燕(2015)采用LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法得到年龄 $(62.24 \pm 0.32)\text{Ma}$ 。中新世岩体为二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩、辉绿玢岩、细粒闪长岩等组成的杂岩体,成岩时代介于 $13.23 \sim 15.43\text{Ma}$ (王立强, 2013; 赵晓燕, 2015)。二长花岗斑岩呈隐伏-半隐伏岩株侵位于矿区中西部,该岩体是矿区斑岩型 Mo(Cu) 矿体的成矿岩体。赵晓燕(2015)采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法得到年龄 $(14.63 \pm 0.25)\text{Ma}$ 。闪长玢岩为邦铺矿区斑岩型 Cu(Mo) 矿体的成矿岩体, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 $(14.84 \pm 0.35)\text{Ma}$ (赵晓燕, 2015)。辉绿辉长玢岩主要分布在斑岩矿体的东北部,呈脉状、岩墙或小岩枝状产出。冷秋锋等(2012)和赵晓燕等(2013)分别采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法测得辉绿辉长玢岩的年龄分别为 $(15.21 \pm 0.29)\text{Ma}$ 和 $(14.46 \pm 0.38)\text{Ma}$ 。

3 斑岩型矿体及矽卡岩型矿体地质特征

3.1 斑岩型矿体

斑岩型 Mo(Cu) 矿体呈隐伏-半隐伏状赋存于矿区西部的二长花岗斑岩、闪长玢岩及上覆典中组火山岩中(图2)。二长花岗斑岩和闪长岩玢岩几乎全岩钼、铜矿化,二长花岗斑岩中 Mo 品位较高, Cu 品位较低;闪长玢岩中铜品位较高,钼品位较低,二者在空间位置上交叉分布,难以区分。

斑岩型 Mo(Cu) 矿体平面上近似椭圆状,剖面上呈筒状或长柱状,整体呈椭圆形或近似圆形的等轴体。控制东西最大长度 800 m,南北宽 500 m 左右;深度未完全控制,最大深度约 800 m。Mo 品位

0.01%~0.25%,平均 0.097%,品位最高矿段位于二长花岗斑岩体强钾化带内,稠密浸染状辉钼矿分布于硅化带和钾化带内,向外绢英岩化带内辉钼矿含量减少,钼品位降低,最外部青磐岩化带矿化最弱。闪长玢岩中 Cu 矿化较好,斑岩型 Cu(Mo) 矿体长度 400~800 m,宽度 300~700 m,矿体平均厚 400 m。矿石 Cu 品位一般 0.3% 左右,最大可达 0.5%。受限于勘查工作程度,斑岩型矿体深部并未完全控制,大部分钻孔终孔处仍为矿体,深部品位有升高趋势,将来随着勘查工作的深入,斑岩型矿体的规模和品位还可能发生变化。

3.2 矽卡岩型矿体

矽卡岩型 Pb-Zn-Cu 矿体位于矿区中部斑岩型矿体南东侧,赋矿围岩为洛巴堆组大理岩和典中组凝灰岩。矽卡岩矿体受断裂构造及岩性界面控制,矿体呈似层状、透镜体状近东西向展布(图2),长度 800 m 左右,总体走向 100° ,倾向南,倾角 $75^\circ \sim 85^\circ$;延深 300~800 m,厚度 2~40 m,平均 5 m。矿石 Pb+Zn 品位 1%~45%,平均 12%;Cu 品位 0.1%~4.2%,平均 0.35%。

矽卡岩矿体具有分带性,垂向上 4850 m 以上矽卡岩矿物含量很少,形成富 Pb 高品位块状矿石;4850 m 以下为典型浸染状、条带状矽卡岩型矿石,形成石榴石辉石矿卡岩和辉石(石榴石)矽卡岩。浅部矽卡岩矿物不发育, Pb+Zn 品位较高,深部矽卡岩矿物大量发育, Cu 品位升高, Pb+Zn 品位降低。横向上高品位铅锌矿体位于东部,西部靠近岩体端深部铅锌品位较低, Cu 品位较高。

4 隐爆角砾岩型矿体地质特征

4.1 隐爆角砾岩地质特征

隐爆角砾岩位于矿区东部(图2),目前在 9 个钻孔中见到角砾岩,沿走向和倾向尚未完全控制。角砾岩呈不规则筒状体分布,近于直立,平面上呈直径约 300 m 的不规则椭圆状,长轴方向近南北向,控制深度约 400 m。角砾岩中角砾约占 70%,胶结物约占 30%,角砾主要成分为凝灰岩、石英二长斑岩、安山岩和板岩,其中石英二长斑岩角砾主要呈棱角状(图 3a, b),直径 5 cm 居多,少量为二次破碎形成的细小角砾碎块(图 3c)。角砾中凝灰岩占比较高,最高可达 80%,大部分凝灰岩角砾发生青磐岩化蚀变,对外表现出浅灰绿色(图 3d~f);还有少量安山岩和黑色板岩角砾(图 3g~i)。大部分角砾棱角分明,少量角砾呈

次棱角或次圆状,沿角砾边缘发生热液蚀变,形成角砾的次生加大现象(图3b),少量角砾发生二次破碎,产生大量的构造裂纹(图3h)。胶结物主要成分为同角砾成分的细小岩粉,少量为碳酸盐岩、硅化物、黄铁矿、方铅矿和闪锌矿。

通过详细钻孔地质编录和岩相学研究,角砾岩筒在垂向上和横向上具有分带性,根据角砾和胶结物的变化规律划分为裂隙相-震裂相-震碎相-爆破相4个相带。

(1) 裂隙相:裂隙相位于角砾岩筒边部和底部围岩中,目前尚未完全控制其范围。裂隙相并未产生明显角砾,凝灰岩由于硬度较小,隐爆作用产生大量密集分布的裂隙。网脉状裂隙分布于角砾岩筒边部围岩中(图3e),一般较为平直,多数宽1~10 mm,少量0.5~1.5 cm,裂隙内充填石英硫化物或方解石硫化物,硫化物主要为黄铁矿、方铅矿和闪锌矿,形成较富的铅锌矿体,裂隙相中的矿化构成角砾岩型矿体的主体(图4a、b)。

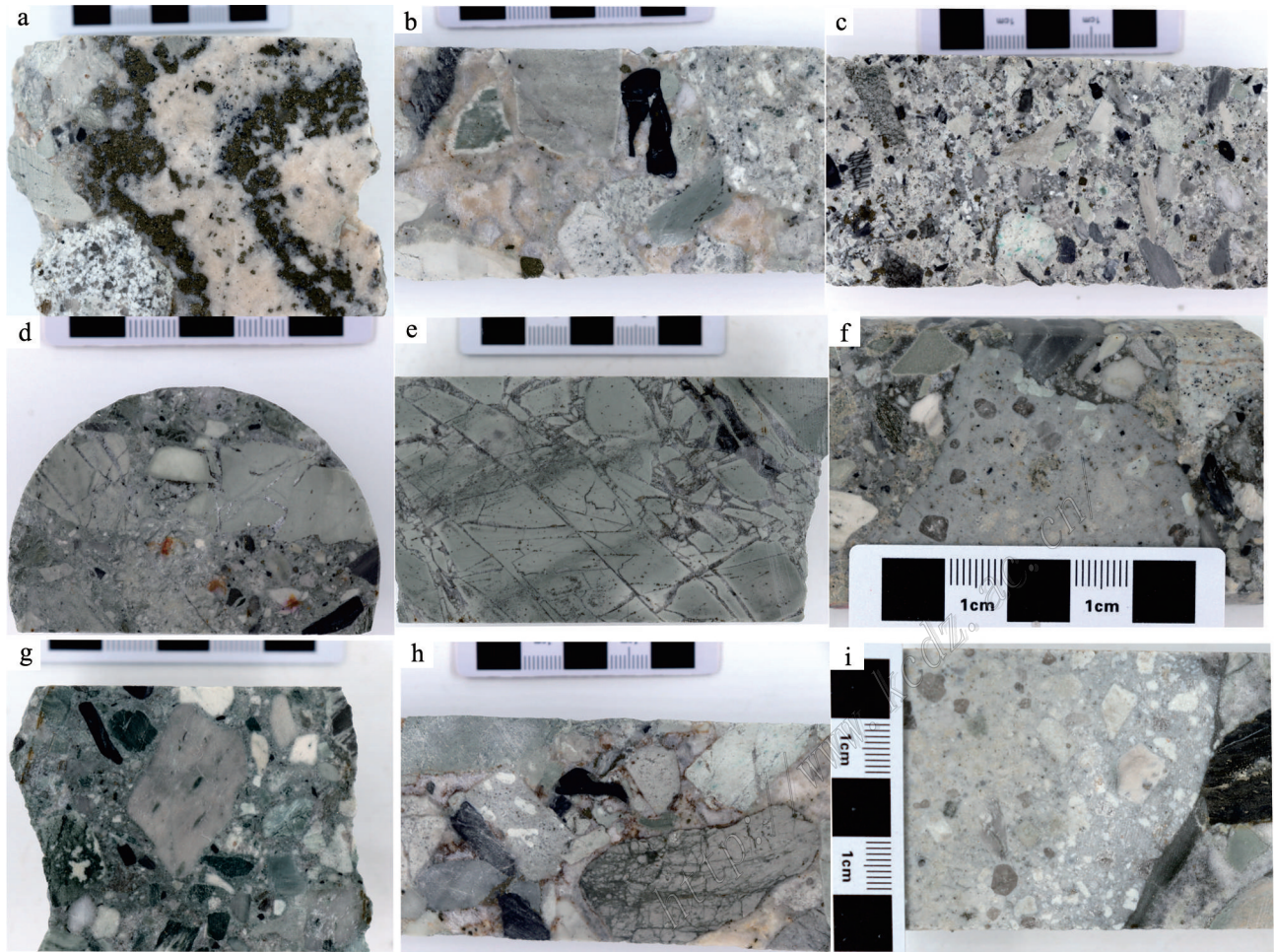


图3 邦铺矿床隐爆角砾岩照片

a. 震裂相中黄铁矿细脉分布于石英二长斑岩和凝灰岩角砾间隙; b. 震碎相中黑板岩角砾、凝灰岩角砾的蚀变边; c. 爆破相石英二长斑岩角砾的二次破碎; d. 爆破相中大小截然不同的角砾; e. 裂隙相中的网状裂隙; f. 震碎相中的凝灰岩和石英二长斑岩角砾; g. 震碎相中次棱角状-次圆状角砾; h. 震碎相中角砾的二次破碎; i. 震碎相中的石英二长斑岩角砾

Fig. 3 Photos of cryptoexplosive breccias from the Bangpu ore district

a. Pyrite veins between breccias of quartz monzonite porphyry and tuff in the cracking facies; b. Alteration edge of black slate breccia and tuff breccia in the cracking facies; c. The secondary breaking breccias of quartz monzonite porphyry in the explosive facies; d. The very different sizes of breccias in the explosive facies; e. Reticulated fissure in the fissure facies; f. Tuff breccias and quartz monzonite porphyry breccias in the shattering facies; g. The subangular-subcircular breccias in the shattering facies; h. Secondary break of breccias in the shattering facies; i. Quartz monzonite porphyry breccias in the shattering facies

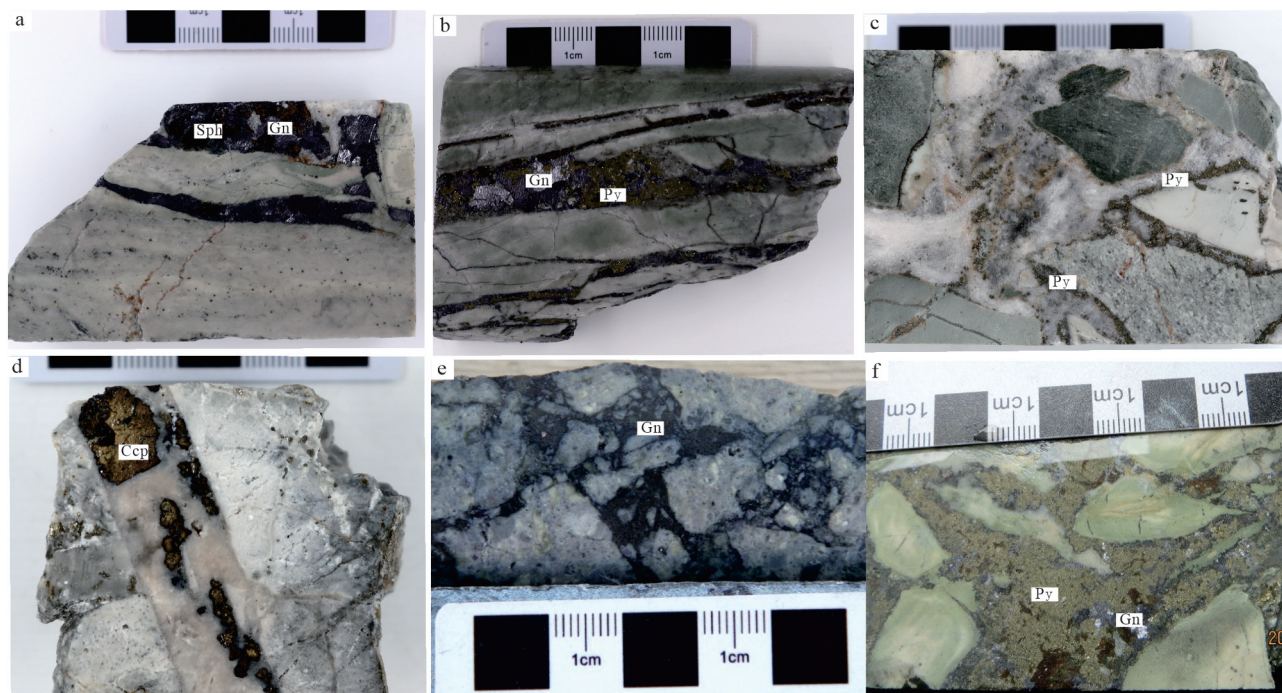


图 4 邦铺矿床隐爆角砾岩矿化特征

- a. 裂隙相中的方铅矿-闪锌矿细脉;b. 裂隙相网状黄铁矿-方铅矿细脉;c. 震碎相热液胶结中的黄铁矿;d. 震碎相硅化胶结物中的黄铜矿;
e. 震碎相胶结物中的方铅矿;f. 爆破相胶结物中的黄铁矿和方铅矿

Py—黄铁矿;Sph—闪锌矿;Ccp—黄铜矿;Gn—方铅矿

Fig. 4 Mineralization characteristics of cryptoexplosive breccias in the Bangpu ore district

- a. Galena-sphalerite veins in the fissure facies; b. Reticulated pyrite-galena veins in the fissure facies; c. Pyrite in the cement in the shattering facies;
d. Chalcopyrite in the cement in the shattering facies; e. Galena in the cement in the shattering facies; f. Pyrite and galena in the cement in the explosive facies of cryptoexplosive breccia

Py—Pyrite; Sph—Sphalerite; Ccp—Chalcopyrite; Gn—Galena

(2) 震裂相:震裂相位于角砾岩筒上部或边部,相比于裂隙相,震裂相稍靠近角砾岩筒中心,较大的隐爆作用产生较宽的裂隙,裂隙周边的岩石沿裂隙发生错位移动,但位移较小,大部分角砾具有可拼合性,角砾成分以原地为主,多呈棱角状,大小 5 cm 左右。角砾间被同成分的凝灰岩细粉或细小角砾胶结,部分角砾裂隙充填脉状或网状矿化金属硫化物,金属硫化物以方铅矿、闪锌矿为主,少量黄铜矿(图 4c~e)。该带为重要矿化相带。

(3) 震碎相:震碎相位于震裂相上部或靠近角砾岩筒中心部位,角砾成分较为复杂,以凝灰岩为主(80%),少量洛巴堆组板岩(10%)和石英二长斑岩角砾(10%),角砾呈次棱角状-次圆状,砾径一般小于 5 cm,以 2 cm 居多,部分可拼合。胶结物为同成分细小角砾岩粉,中间夹有石英-硫化物或碳酸盐-硫化物。金属矿物以方铅矿为主,少量红褐色他形闪锌

矿;矿石品位与角砾大小及多寡有关,角砾越小(< 2 cm),则裂隙越发育,胶结物也就越多,容矿空间更大,局部形成高品位矿石(图 4f)。

(4) 爆破相:爆破相位于角砾岩筒上部或岩筒中心部位,角砾成分复杂,大小混杂。除凝灰岩角砾外,还有较多的石英二长斑岩和黑板岩角砾,大多数角砾呈次圆状,砾径 < 2 cm,不具有拼合性,胶结物以岩屑、岩粉为主,少量热液胶结物。稀疏浸染状矿化,硫化物为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿,品位较低。

角砾岩筒中角砾岩及含矿性具有一定的变化规律,从角砾岩筒边部到中心,依次为裂隙相-震裂相-震碎相-爆破相(图 5,图 6)。从裂隙相到爆破相,角砾位移逐渐增大;裂隙相只生产裂隙,几乎没有角砾;震裂相角砾以原位角砾为主,位移很小;震碎相中角砾发生一定位移;中心部位爆破相角砾位移量最大。从边部到中心,角砾从大多数为棱角状向次

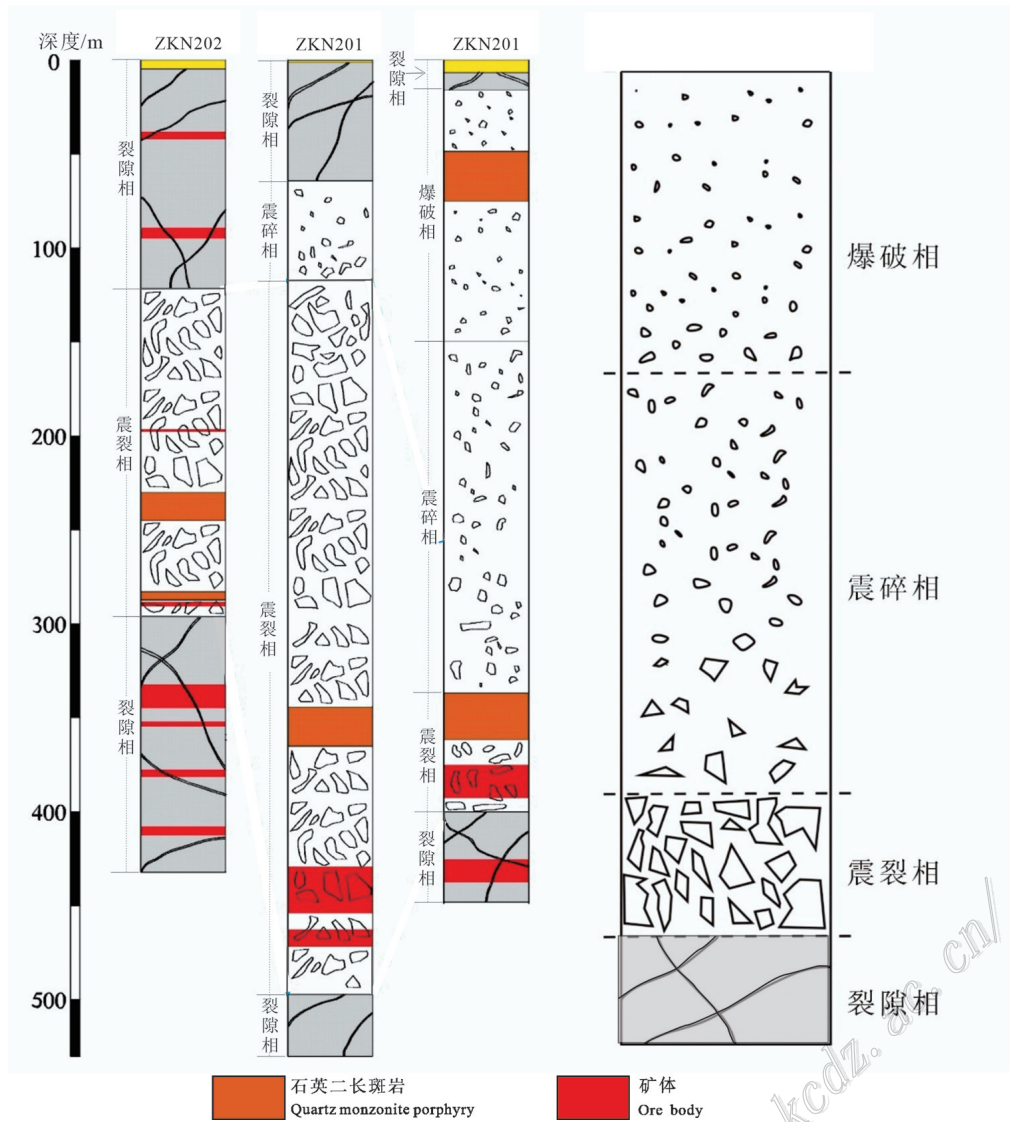


图5 N2线隐爆角砾岩筒分带示意图

Fig. 5 The lithofacies zoning diagram of cryptoexplosive diatreme at prospecting line N2

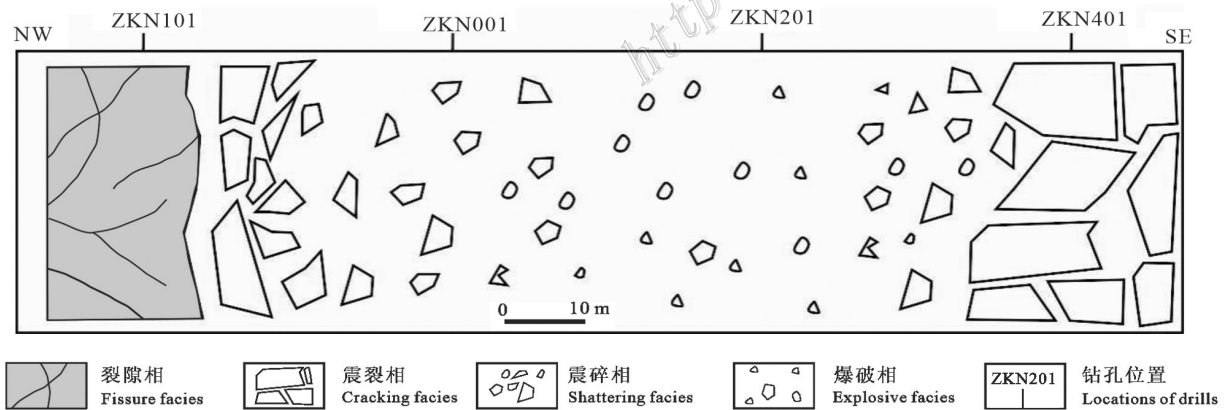


图6 隐爆角砾岩筒水平分带图

Fig. 6 The horizontal lithofacies zoning diagram of cryptoexplosive diatreme

圆状转变,边部震裂相以棱角状角砾为主,岩筒中心爆破相角砾多呈次圆状;角砾成分也有一定变化规律,岩筒边部角砾以单一凝灰岩为主,不含或含少量石英二长斑岩角砾,中心部位爆破相角砾成分复杂,凝灰岩、石英二长斑岩和黑色板岩角砾等多种成分混杂出现,从边部到中心石英二长斑岩角砾明显增多。角砾岩筒边部裂隙相含矿性最好,平直的裂隙中充填方铅矿或闪锌矿细脉,震裂相金属硫化物主要分布于胶结物中,以网脉状为主,少量浸染状,震碎相矿化较弱,浸染状占比较高,少量网脉状,中心部位爆破相矿化最弱,方铅矿或闪锌矿呈稀疏浸染状分布于胶结物中。

目前 9 个钻孔中发现角砾岩型矿体,沿走向和倾向尚未完全控制,共圈出 8 层矿体。矿化以铅锌银为主,Pb + Zn 品位 0.50%~12.35%,平均 5.26%,伴生 Ag 平均品位 50.29 g/t;伴生 Cu 平均品位 0.1%;伴生 Au 平均品位 0.21 g/t。矿石呈灰色、斑杂色,矿石矿物主要为方铅矿(2%~20%)和黄铁矿(10%~15%),闪锌矿(1%~15%)和黄铜矿(0.1%~0.5%)次之,少量辉银矿、银金矿,脉石矿物为石英、绿泥石、绿帘石、长石、方解石等。方铅矿和闪锌矿呈细脉或稠密浸染状分布于凝灰岩裂隙或角砾岩胶结物中(图 4a~f),根据矿体在角砾岩筒各相带的分布情况,大体分为凝灰岩裂隙充填型和角砾间隙胶结型 2 种类型。凝灰岩裂隙充填型矿体主要分布于角砾岩筒的底部和边部的裂隙相带内,方铅矿和闪锌矿多呈脉状、网脉状、条带状产出,矿化均匀,品位稳定,构成角砾岩型矿体的主体(图 4a,b)。角砾间隙胶结型矿化主要分布于震裂相内,少数产于震碎相中,爆破相中最少。方铅矿和闪锌矿主要呈浸染状分布于胶结物中(图 4c~e),该类型矿石品位低于裂隙充填型,局部形成高品位矿体,但矿化不均匀,品位变化较大。角砾岩型矿体与震裂相和裂隙相关系密切,可能是由于角砾岩筒边部容矿空间连通性好,有利于含矿热液流通和沉淀。

5 隐爆角砾岩型矿体与斑岩矿体、矽卡岩矿体关系讨论

5.1 隐爆角砾岩型矿体与斑岩系统成矿时间关系

通过岩芯编录和岩相学研究发现,矿区隐爆角砾岩的形成与石英二长斑岩关系密切,石英二长斑岩侵位过程中,其前锋冷却凝固在一个相对封闭而脆弱的“密闭空间”,为隐爆作用准备了条件,随着岩浆不断地结晶分异,大量的挥发分也逐渐分异并聚

集,最终发生了隐爆作用。本次在角砾中选取了未蚀变的石英二长斑岩开展 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年来限定隐爆角砾岩形成时代。

石英二长斑岩样品经破碎后,采用常规重力、磁选方法选出锆石,并在双目镜下手工挑选代表性的锆石颗粒,黏于环氧树脂上进行抛光制靶后,进行透射光和反射光显微照相以及阴极发光图像分析,检查锆石的内部结构选取适宜的测试点位(侯可军等,2009)。锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质科学院矿产资源研究所 LA-ICP-MS 实验室完成。所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统,本次挑选的石英二长斑岩典型阴极发光图像如图 7,石英二长斑岩样品锆石半自形到自形,粒状到短柱状,粒径一般 60~110 μm ,柱面、锥面发育良好,晶体自形程度高,透明,无色或浅黄色,震荡环带发育,具有岩浆锆石的特点。24 个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄集中在 14.0~15.1 Ma 之间,加权平均值 $(14.51 \pm 0.12)\text{Ma}$ (MSWD=1.3)(图 8),该加权平均值 $(14.51 \pm 0.12)\text{Ma}$ 代表了石英二长斑岩的结晶年龄。该年龄将隐爆角砾岩的形成年龄限定在 ~14 Ma。

邦铺矿区侵入体较多,前人开展了大量同位素测年工作,赵晓燕(2015)采用 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 法得到二长花岗斑岩的成岩年龄 $(14.63 \pm 0.25)\text{Ma}$,闪长玢岩年龄 $(14.84 \pm 0.35)\text{Ma}$;周雄(2012)采用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法得到二长花岗斑岩的成岩年龄 $(13.9 \pm 0.3)\text{Ma}$,利用全岩 Rb-Sr 法得到年龄 $(13.88 \pm 0.38)\text{Ma}$,钾长石 Ar-Ar 法得到年龄 $(15.75 \pm 0.18)\text{Ma}$;其他小岩枝的年龄介于 $(13.88 \pm 0.38)\text{Ma}$ ~ $(15.75 \pm 0.18)\text{Ma}$,虽然采用不同的测年方法得到的结果略有差异,但结果差异不大,这些侵入体的年龄与隐爆角砾岩中石英二长斑岩年龄相近,表明石英二长斑岩与这些侵入体形成于同一期岩浆侵入事件。

针对斑岩成矿系统的成矿年龄也开展了大量测年工作,周雄(2012)采用辉钼矿 Re-Os 同位素法构建了 $(14.67 \pm 0.54)\text{Ma}$ 的等时线年龄,并将 $(14.67 \pm 0.54)\text{Ma}$ 作为斑岩型 Mo(Cu)矿体的成矿年龄;王立强(2013)也将辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄 $(14.11 \pm 0.31)\text{Ma}$ 作为辉钼矿的结晶年龄;从而将斑岩矿床成矿年龄限定于 $(14.67 \pm 0.54)\text{Ma}$ ~ $(14.11 \pm 0.31)\text{Ma}$ 之间,略晚于岩体成岩年龄;赵晓燕(2015)对矽卡岩矿体块状铅锌矿石中的闪锌矿和黄铁矿进行了 Rb-Sr 同位素测试工作,得到等时线年龄 $(13.93 \pm 0.87)\text{Ma}$,

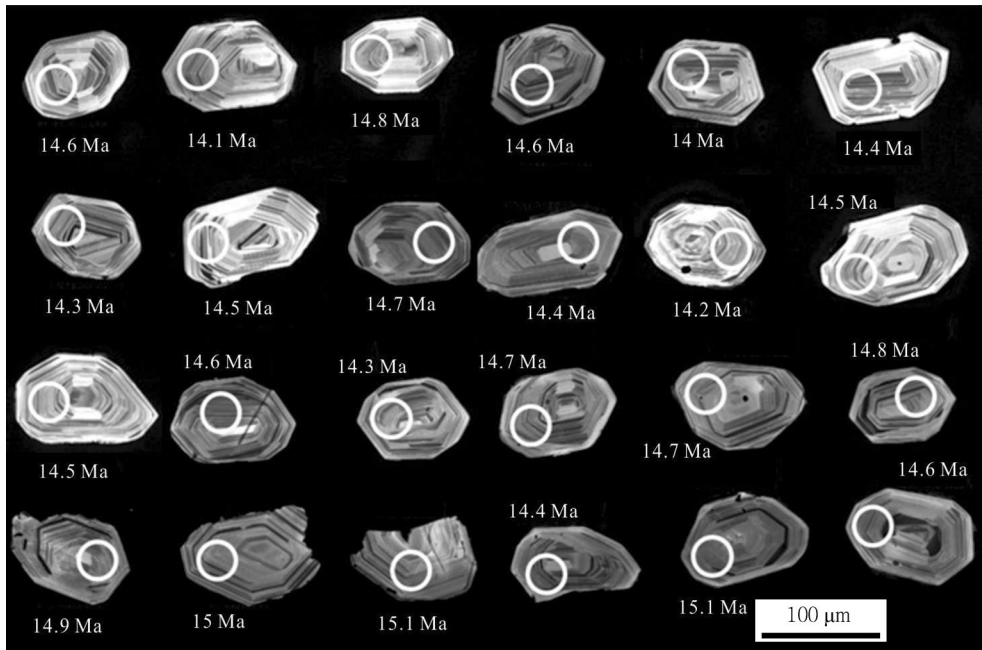


图7 石英二长斑岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 7 Cathode luminescence (CL) images of selected zircons from the quartz monzonite porphyry

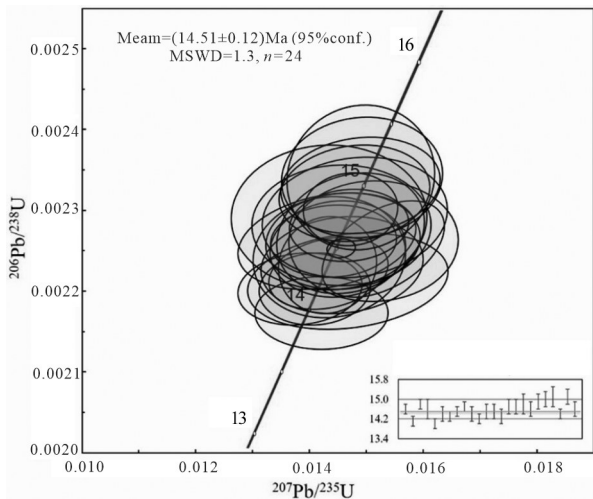


图8 石英二长斑岩锆石U-Pb协和图

Fig. 8 The LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram of zircon in quartz monzonite porphyry from the Bangpu ore district

并将该年龄作为矽卡岩矿床的成矿年龄。谢桂青等对矽卡岩和隐爆角砾岩中与成矿相关的白云母进行原位 Rb-Sr 同位素测年(内部资料),得到等时线年龄~14 Ma。这些成矿年龄略晚于成矿岩体的成岩年龄,笔者获得隐爆角砾岩矿体成矿年龄略小于石英二长斑岩年龄(14.51±0.12)Ma,与斑岩矿体、矽卡岩矿体成矿年龄相一致,说明邦铺矿区隐爆角砾岩

型矿体、斑岩型矿体、矽卡岩型矿体很可能形成于同一期成矿事件。

5.2 隐爆角砾岩型矿体与斑岩系统的空间关系

虽然隐爆角砾岩与侵入体的空间关系存在底侵隐爆和侧向隐爆2种方式,底侵隐爆角砾岩常发生于浅成-超浅成中酸性侵入岩、次火山岩顶部,深部常与较大的隐伏岩体相连;而侧向隐爆角砾岩与围岩直接接触,深部与侵入体不相连,表现为“无根”特征(石洪召等,2017)。邦铺矿区的隐爆角砾岩形成于次火山岩顶部,并且在角砾岩中发现了石英二长斑岩的角砾,说明隐爆角砾岩与浅成侵入体关系密切,表现出底侵隐爆特征。

根据空间位置关系,矿区西部的斑岩型矿化与东部的隐爆角砾岩型矿化并不属于同一个矿化中心,其原因主要有以下几点:① 矿区西部的斑岩型矿体成母岩为二长花岗斑岩和闪长玢岩,最深的钻孔施工至3800 m标高,斑岩型矿体上部和边侧并未见到石英二长斑岩及相关的角砾岩型矿化,东部的隐爆角砾岩型中也未发现二长花岗斑岩和闪长玢岩角砾;② 西部的斑岩型矿体与东部角砾岩型矿体距离约3 km,二者中间为矽卡岩型矿体,矽卡岩矿化最深的钻孔施工至3800 m标高,深部和走向上未见到相关侵入体,因此,至少在3800 m标高以上,东部的隐爆角砾岩型矿体与西部的斑岩型

矿体3 km之隔并未发现相关岩体,隐爆角砾岩与侵入体呈底侵隐爆方式接触,与隐爆角砾岩相关的较大隐伏岩体很可能位于已发现的隐爆角砾岩的深部。

5.3 隐爆角砾岩成矿模式

许多大型岩浆热液矿床特别是斑岩成矿系统普遍存在隐爆角砾岩筒,隐爆角砾岩筒已然成为斑岩成矿系统的重要组成部分,通常隐爆角砾岩的形成与相关的岩浆作用、成矿作用构成一个连续的地质过程,形成岩浆岩-角砾-矿体的综合地质体(刘国燕等,2019)。如云南普朗斑岩系统中的隐爆角砾岩型铜矿,1999年只发现了斑岩型铜矿体,近年来在矿区发现了同期隐爆角砾岩型铜矿体,显示深部还有形成斑岩矿床的第二空间(石洪召等,2017)。山西义兴寨金矿床最初只发现了产于燕山期中酸性侵入岩接触带及附近岩浆隐爆角砾岩中的金矿体,近年来在深部发现了大型斑岩型金矿体,仅斑岩型金矿体资源量就超过了50 t,整个矿区金矿床资源量超过90 t(白晓明,2022;刘效广,2022)。冈底斯成矿带大多数斑岩矿床形成于碰撞造山背景下的陆内造山或后碰撞阶段(13~30 Ma),其成矿模型与传统俯冲弧背景下斑岩成矿系统模型有一定的差异,往往具有多种矿床类型共存,多中心复合成矿的特征(唐菊兴等,2009;2010)。林彬等(2019)通过对甲玛超大型斑岩成矿系统研究,发现甲玛斑岩成矿系统存在多个矿化中心,同一矿床内存在多个成矿斑岩体,二长花岗斑岩、花岗斑岩与钼矿化密切相关,花岗闪长斑岩、闪长玢岩则与铜矿化密切相关,并依据矿化类型和分布位置将甲玛矿床划分为主矿段、南坑矿段和则古朗北矿段3个矿化中心。据此研究成果提出了区别于传统俯冲背景的碰撞后伸展环境下的“多中心复合成矿”模型,该模型表明碰撞造山背景下同一个斑岩系统可能存在多个岩浆热源中心,不同岩浆热液中心均可以形成多元矿体结构,不同中心的成矿流体除了独立成矿以外,还可以相互复合叠加,形成大规模、高品位的叠加型矿体。

邦铺矿床位于冈底斯成矿带驱龙-甲玛-邦铺铜钼多金属矿集区内(徐志刚等,2008),距甲玛铜多金属床仅15 km。隐爆角砾岩对同一成矿过程的斑岩成矿系统具有很好的找矿指导意义。矿区西部的斑岩成矿系统具有2个矿化中心,二长花岗斑岩与钼矿化密切相关,闪长玢岩与铜矿化密切相关。矿区东部隐爆角砾岩体及相关矿化与西部的斑岩型Mo(Cu)虽然具有相近的成岩成矿年龄,但是斑岩体岩

性差异明显,空间位置相互独立,两者之间的区域发育矽卡岩型矿化,因此,东部与西部很可能并不属于同一个矿化中心。根据冈底斯成矿带碰撞后伸展环境下的“多中心复合成矿”的特性,笔者借鉴甲玛矿床的成功勘查经验,初步总结出邦铺矿区斑岩系统成矿模型图(图9)。邦铺斑岩多金属矿床形成于印度大陆与欧亚大陆发生碰撞后的陆内造山阶段或后碰撞阶段(13~30 Ma),深部形成富含Mo、Cu、Pb、Zn等成矿元素的初始岩浆侵入于典中组火山岩之中,含矿岩浆逐渐固结形成二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、石英二长斑岩、闪长玢岩等岩体,形成了以二长花岗斑岩体为主的斑岩型Mo(Cu)矿体,以闪长玢岩体矿化为主的斑岩型Cu(Mo)矿体,F1断裂破碎带中含矿热液与洛巴堆组大理岩发生交代作用,近端形成矽卡岩型Cu矿体,远端形成矽卡岩型Pb+Zn矿体。同时在矿区东部,深部斑岩体侵入凝灰岩中,浅部形成石英二长斑岩体小岩枝,由于凝灰岩中断裂系统不发育,成矿液体从石英二长斑岩体顶部或侧部沿微裂隙脱离系统,造成含矿流体和挥发分出溶,随着出溶气体越来越多,逐渐聚集在岩体顶部发生隐爆作用,在隐爆角砾岩筒边部的裂隙带和震裂带形成热液流体胶结的高品位矿化,在角砾岩筒中心或接近隐爆中心位置形成浸染状低品位矿化。笔者推测深部很可能还存在与石英二长斑岩体同期或稍早的成矿斑岩体。

5.4 对勘查作用的启示

邦铺矿区东部隐爆角砾岩型矿体的发现深化了斑岩成矿系统的认识,成矿模式图(图9)中显示矿区东部很可能还存在同期的矿化中心,根据斑岩多金属矿化系统特征,角砾岩型矿化一般发育在斑岩型矿化体的上部或边部,目前东部只发现了浅部的隐爆角砾岩型矿化,秉承“缺位”找矿理论,在下一步勘查评价工作中,要坚持完整的斑岩成矿系统的理论认识,即包括斑岩型矿体、矽卡岩型矿体、隐爆角砾岩型矿体等多种矿化类型,要注意根据已知矿体开展缺位未知矿体找矿工作,东部推测的斑岩系统,受限于施工深度,只发现了浅部隐爆角砾岩型矿体,深部很可能存在同期的斑岩型矿体,这也正是邦铺矿区下一步资源量成倍突破的关键。因此,笔者建议在开展单热源斑岩矿床勘查工作时,要特别注意周边及外围潜在热液中心的勘查,结合岩相学和地球物理工作,厘定多热源中心的存在位置及矿化规模,开展斑岩系统多中心复合成矿找矿勘查工作。

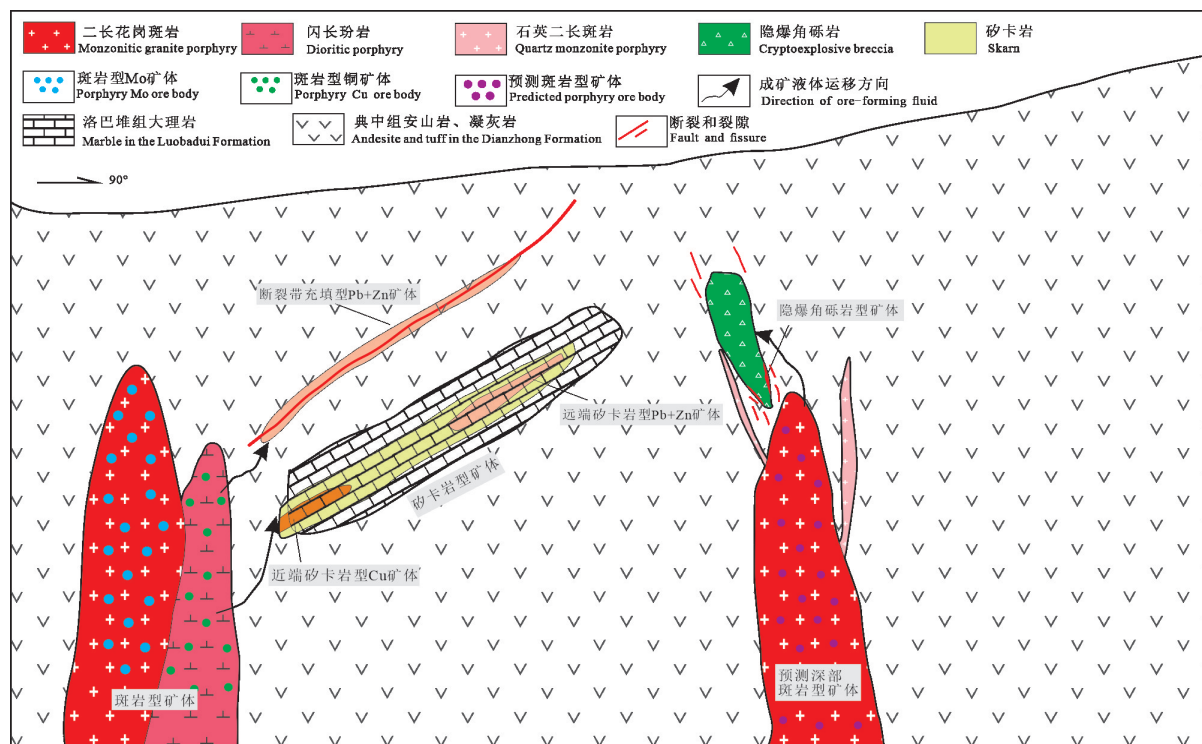


图9 邦铺多金属矿区成矿模型图

Fig. 9 The schematic metallogenic model of the Bangpu ore district

6 结论

(1) 邦铺斑岩 Mo(Cu)多金属成矿系统东部发现隐爆角砾岩,隐爆角砾岩体呈筒状体分布,角砾岩筒在垂向上和横向上具有明显的分带性,从浅部到深部,角砾岩筒中心到边部,依次为爆破相-震碎相-震裂相-裂隙相。

(2) 隐爆角砾岩型 Pb-Zn-Cu 矿体主要赋存于角砾岩筒的裂隙相和震裂相中,少数赋存于震碎相和爆破相中,方铅矿和闪锌矿呈脉状、网脉状、条带状产于裂隙相的裂隙和震裂相的胶结物中。

(3) 隐爆角砾岩中石英二长斑岩角砾 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (14.51 ± 0.12) Ma,该年龄与前人测试斑岩矿体成矿年龄 (14.67 ± 0.54) Ma~ (14.11 ± 0.31) Ma 及砂卡岩矿体成矿年龄 (13.93 ± 0.87) Ma 相一致,说明隐爆角砾岩应为斑岩成矿系统的一部分。

(4) 隐爆角砾岩型矿体与西部成矿斑岩体相距较远,结合冈底期成矿带碰撞造山背景下后碰撞阶段斑岩成矿系统多中心复合成矿的特征,邦铺矿区东部很可能还存在另一个同期的斑岩型矿化中心。

References

- Bai X M. 2022. Geological characteristics, geochronology, and prospecting direction of the Tietangdong cryptoexplosive breccias pipe in the Yixingzhai gold deposit, Shanxi Province[J]. Gold, 43 (12): 9-18(in Chinese with English Abstract).
- Chen Y J, Zhao R Y and Wu B. 2012. Discovery of cryptoexplosive breccias in the Jiling uranium deposit of the Longshouhan area, Gansu Province and their genesis[J]. Geology and Exploration, 48 (6): 1101-1108 (in Chinese with English abstract).
- Fang W X. 2016. On tectonic system of hydrothermal breccia: Objective, methodology and lithofacies-mapping applications[J]. Geotectonica et Metallogenia, 40(2): 237-265(in Chinese with English Abstract).
- Gao R Z, Lü X B, Yang Y S and Li C C. 2014. Characteristics of cryptoexplosive breccias in the Zhengguang gold deposit of Heilongjiang Province and their geological implications[J]. Geology and Exploration, 50(5): 874-883(in Chinese with English abstract).
- Hou K J, Li Y H and Tian Y R. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multiion counting-ICP-MS[J]. Mineral Deposits, 28 (4): 481-492(in Chinese with English abstract).
- Hu C Q, Feng Z H, Wang L J, Shi T J and Li J Q. 1997. Study on the features of intermediate-acid Cryptoexplosive breccia and subvolcanic rocks (ultra-hypabyssal rocks) and their relations with mineralization-Tading Xinmin-Jitang copper and silver mining area of

- Guigang Guangxi as an example[J]. *Geology and Prospecting*, 33(4): 1-6(in Chinese with English abstract).
- Hu Y B, Liu J Q, Hu J R, Ding X, Sun W D, Liu Y and Ling M X. 2015. Geochemical studies on ore-bearing rocks in Bangpu porphyry Mo(Cu) deposit, Tibet: Implications on the magma source and metallogenic mechanism[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(7): 2038-2052(in Chinese with English Abstract).
- Jiang Y H, Liu Z Q, Cui F Z, Gen J B, Li R S and Xi H. 2019. A review of cryptoexplosive breccia research and its diagenesis and metallogenesis mechanism[J]. *Mineral Resources and Geology*, 33(6): 1009-1015+1025(in Chinese with English Abstract).
- Kang H R, Wang L Q, Zuzhu S M, Tang J X, Luo M C, Lin X and Yang C. 2015. Geochemical characteristics of skarns in Bangpu Mo polymetallic deposit, Tibet and its geological significance[J]. *Nonferrous Metals (Mining Section)*, 67(6): 23-29(in Chinese with English Abstract).
- Leng Q F, Wang L Q, Ying L J, Zheng W B, Luo M C, Cheng W, Lin B and Wang Y Y. 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of allgovite in the Bangpu molybdenum (copper) deposit in Tibet and its geological significance[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 33(4): 559-568 (in Chinese with English Abstract).
- Li D, Wen C Q, Zhou X and Zhou Y. 2009. Strontium isotopic tracer in Bangpu molybdenum(copper) Polymetallic deposit, Tibet[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 29(Supp.):311-312(in Chinese).
- Lin B, Tang J X, Tang P, Zheng W B, Greg Hall, Chen G L and Zhang Z K. 2019. Polycentric complex mineralization model of porphyry system: A case study of Jiama superlarge deposit in Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 38(6):1204-1222(in Chinese with English Abstract).
- Lin S P, Liu S, Wang C L, Qi J P and Liang H Y. 2012. Locating the cryptoexplosion center at Ermiaogou Cu polymetallic deposit in the Zijin ore field and its geological implication[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 450-456(in Chinese with English abstract).
- Liu G Y, Li Z F, Zhang Y, He S Y, Lin G, Zhang L P and Wang L. 2019. Geochemical characteristics of cryptoexplosive breccia in Ketinghaer copper-zinc deposit of Qinghai Province and their geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 38(1): 197-210(in Chinese with English Abstract).
- Liu X G. 2022. Metallogenic characteristics and genesis analysis of Yixingzhai gold deposit in the Fanshi County of Shanxi, China[J]. *Mineral Resources and Geology*, 36(2): 299-309(in Chinese with English abstract).
- Luo M C, Tang J X, Mao J W, Wang L Q, Chen W and Leng Q F. 2015. Immiscibility of magmatic fluids and their relation to Mo and Cu mineralization at the Bangpu porphyry deposit, Tibet, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences* 103: 360-373.
- Luo M C. 2017. Fluid evolution and mineralization in porphyry copper (molybdenum) deposits: Case study from Bangpu and Jiama[D]. Supervisor: Mao J W. Beijing: China University of Geosciences (Beijing). 1-122(in Chinese with English Abstract).
- Ma S W. 2017. Structural framework and the relationship with mineralization of Jiama copper-polymetallic deposit, southern Tibet[D]. Supervisor: Xu Z Q. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. 1-128(in Chinese with English Abstract).
- Shi H Z, Fan W Y, Wang D B, Wang X F and Tang G L. 2017. Discovery of liquid cryptoexplosive breccia and its prospecting significance in Pulang porphyry copper polymetallic deposit[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 47(3):751-759(in Chinese with English Abstract).
- Sillitoe R H. 2010. Porphyry copper systems[J]. *Economic Geology*, 105: 3-41.
- Tang J X, Chen Y C, Duo J, Liu H F, Du X, Zhang J S, Zheng W B and Gao Y M. 2009. The main deposit type, metallogeny and exploration in the eastern of Gangdese metallogenic belt, Tibet[C]. *Acta Mineralogica Sinica*. 476-478(in Chinese).
- Tang J X, Wang D H, Wang X W, Zhong K H, Ying L J, Zheng W B, Li F J, Guo N, Qin Z P, Yao X F, Li L, Wang Y and Tang X Q. 2010. Geological features and metallogenic model of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 31(4): 495-506(in Chinese with English abstract).
- Wang L Q, Tang J X, Chen Y C, Luo M C, Leng Q F, Chen W and Wang H. 2011. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of ore-bearing monzogranite porphyry in Bangpu molybdenum (copper) deposit, Tibet and its significance[J]. *Mineral Deposits*, 30(2):349-360(in Chinese with English Abstract).
- Wang L Q, Tang J X, Wang D H, Luo M C, Chen W and Huang F. 2012. Rare earth element and trace element features of molybdenite in Bang Mo (Cu) deposit, Maizhokunggar, Xizang (Tibet), and their constraints on nature of ore-forming fluid[J]. *Geological Review*, 58(5):887-892+92-93 (in Chinese with English Abstract).
- Wang L Q. 2013. Study on Bangpu-type molybdenum polymetallic deposit, Tibet and the metallogenic regularity of molybdenum polymetallic deposits in the East section of the Gangdese Metallogenic Belt[D]. Supervisor: Chen Y C. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. 1-180(in Chinese with English Abstract).
- Wang L Q, Chen W, Li X, Kang H R, Luo M C, Leng Q F and Li Z. 2013. The coupling relationship between porphyry and skarn mineralization in the Gangdise metallogenic belt: A case study of Bangpu deposit[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 33(Supp.): 838-839 (in Chinese).
- Wang L Q, Tang J X, Chen W, Luo M C, Kang H R and Leng Q F. 2014. Mineralogical characteristics of skarn in the Bangpu Mo polymetallic deposit, Tibet and their geological significance[J]. *Geology in China*, 41(2):562-576(in Chinese with English Abstract).
- Zhang Z F. 1991. General features and genetic mechanism of cryptoexplosive breccia[J]. *Geological Science and Technology Information*, (4): 1-5(in Chinese with English Abstract).
- Zhang Z M, Ding H X, Dong X and Tian Z L. 2019. Formation and evolution of the Gangdese magmatic arc, southern Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 35(2): 275-294(in Chinese with English Abstract).
- Zhao X Y, Yang Z S, Hou Z Q, Zheng Y C, Liu Y C, Tian S H, Fu Q and Fen F. 2013. Petrogenesis of diabase porphyrite in Bangpu deposit and its instructions to the regional tectonic and magmatic

- evolution[J]. 29(11) 3767-3778(in Chinese with English Abstract).
- Zhao X Y. 2015. Geology and genesis of the post-collisional porphyry-skarn Mo-Cu-Pb-Zn deposit at Bangpu, Tibet[D]. Supervisor: Zhao Z D. Beijing: China University of Geosciences (Beijing). 1-156(in Chinese with English Abstract).
- Zhao X Y, Yang Z S, Liu Y X and Pei Y R. 2015. Discussion on the relationship between porphyry and skarn mineralization types Geology and the Mo-rich characteristics of at Bangpu Mo-Cu-Pb-Zn deposit, Tibet[J]. Acta Geologica Sinica, 89(S1):256-258(in Chinese).
- Zhou X. 2012. Genesis study of Mo-Cu polymetallic deposit from the Bangpu, Tibet[D]. Supervisor: Wen C Q. Chengdu: Chengdu University of Technology. 1-180(in Chinese with English Abstract).
- Zhou Y L. 2012. The geological features and uranium mineralization of Baquan cryptoexplosive breccia in Xiangshan orefield[J]. Uranium Geology, 28(5): 273-280(in Chinese with English Abstract).
- 附中文参考文献**
- 白晓明. 2022. 山西义兴寨金矿床铁塘洞隐爆角砾岩筒地质特征、形成时代和找矿方向[J]. 黄金, 43(12): 9-18.
- 陈云杰, 赵如意, 武彬. 2012. 甘肃龙首山地区菱岭钼矿床隐爆角砾岩的发现及成因探讨[J]. 地质与勘探, 48(6): 1101-1108.
- 方维萱. 2016. 论热液角砾岩构造系统及研究内容、研究方法和岩相学填图应用[J]. 大地构造与成矿学, 40(2): 237-265.
- 高荣臻, 吕新彪, 杨永胜, 李春诚. 2014. 黑龙江争光金矿床隐爆角砾岩特征及其地质意义[J]. 地质与勘探, 50(5): 874-883.
- 侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术 [J]. 矿床地质, 28(4): 481-492.
- 胡承绮, 冯佐海, 王林江, 石体坚, 李骏青. 1997. 中酸性隐爆角砾岩、次火山(超浅成)岩与成矿的关系——以广西贵港新民-吉塘洞银矿区为例 [J]. 地质与勘探, 33(4): 1-6.
- 胡永斌, 刘吉强, 胡敬仁, 丁兴, 东卫东, 刘焰, 凌明星. 2015. 西藏邦铺钼铜多金属矿床含矿斑岩的地球化学:对成岩源区与成矿机制的启示[J]. 岩石学报, 31(7):2038-2052.
- 蒋禹恒, 刘战庆, 崔丰智, 岑炬标, 李瑞霜, 席昊. 2019. 隐爆角砾岩成岩成矿机制研究综述 [J]. 矿产与地质, 33(6): 1009-1015+1025.
- 康浩然, 王立强, 尊珠桑姆, 唐菊兴, 罗茂澄, 林鑫, 杨超. 2015. 西藏邦铺钼多金属矿床砂卡岩地球化学特征及其地质意义[J]. 有色金属(矿山部分), 67(6):23-29.
- 冷秋锋, 王立强, 应立娟, 郑文宝, 罗茂澄, 陈伟, 林彬, 王艺云. 2012. 西藏邦铺钼(铜)矿床辉绿玢岩脉体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地球学报, 33(4):559-568.
- 李丹, 温春齐, 周雄, 周玉. 2009. 西藏邦铺钼(铜)多金属矿床锶同位素示踪[J]. 矿物学报, 29(S1):311-312.
- 林彬, 唐菊兴, 唐攀, 郑文宝, Greg H, 陈国良, 张忠坤. 2019. 斑岩成矿系统多中心复合成矿作用模型——以西藏甲玛超大型矿床为例 [J]. 矿床地质, 38(6): 1204-1222.
- 林书平, 刘莎, 王春龙, 祁进平, 梁华英. 2012. 紫金山矿田二庙沟铜多金属矿点隐爆角砾岩活动中心的厘定及意义[J]. 大地构造与成矿学, 36(3): 450-456.
- 刘国燕, 李泽峰, 张勇, 何书跃, 林贵, 张来平, 王磷, 张鹏. 2019. 青海克停哈尔铜钼矿床隐爆角砾岩地球化学及地质意义 [J]. 矿床地质, 38(1): 197-210.
- 刘效广. 2022. 山西繁峙县义兴寨金矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿产与地质, 36(2): 299-309.
- 罗茂澄. 2017. 斑岩铜钼矿床流体演化与沉淀机制[D]. 导师:毛景文. 北京:中国地质大学(北京). 1-122.
- 马士委. 2017. 藏南甲玛铜多金属矿床构造格架与成矿的关系[D]. 导师:许志琴. 北京:中国地质科学院.
- 石洪召, 范文玉, 王冬兵, 王显峰, 谭耕莉. 2017. 云南普朗斑岩型铜多金属矿床气液隐爆角砾岩的发现及其找矿意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 47(3): 751-759.
- 唐菊兴, 陈毓川, 多吉, 刘鸿飞, 杜欣, 张金树, 郑文宝, 高一鸣. 2009. 西藏冈底斯成矿带东段主要矿床类型、成矿规律和找矿评价[C]. 矿物学报. 476-478.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫皓, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 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.
- 王立强, 唐菊兴, 陈毓川, 罗茂澄, 冷秋锋, 陈伟, 王焕. 2011. 西藏邦铺钼(铜)矿床含矿二长花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 矿床地质, 30(2):349-360.
- 王立强, 唐菊兴, 王登红, 罗茂澄, 陈伟, 王凡. 2012. 西藏墨竹工卡县邦铺钼(铜)矿床辉钼矿稀土-微量元素特征及对成矿流体性质的指示[J]. 地质论评, 58(5):887-892
- 王立强. 2013. 西藏邦铺式钼多金属矿床-兼论冈底斯成矿带东段钼多金属矿床成矿规律[D]. 导师:陈毓川. 北京:中国地质科学院. 1-216.
- 王立强, 陈伟, 林鑫, 康浩然, 罗茂澄, 冷秋锋, 李壮. 2013. 冈底斯成矿带斑岩-砂卡岩矿化之耦合关系——以邦铺矿床为例[J]. 矿物学报, 33(S2):838-839.
- 王立强, 唐菊兴, 陈伟, 罗茂澄, 康浩然, 冷秋锋. 2014. 西藏邦铺钼多金属矿床砂卡岩矿物学特征及其地质意义[J]. 中国地质, 41(2): 562-576.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社. 1-214.
- 张泽明, 丁慧霞, 董昕, 田作林. 2019. 冈底斯岩浆弧的形成与演化[J]. 岩石学报, 35(2):275-294.
- 章增凤. 1991. 隐爆角砾岩的特征及其形成机制 [J]. 地质科技情报, (4): 1-5.
- 赵晓燕, 杨竹森, 侯增谦, 郑远川, 刘英超, 田世洪, 付强, 费凡. 2013. 西藏邦铺矿区辉绿玢岩成因及对区域构造岩浆演化的指示[J]. 岩石学报, 29(11): 3767-3778
- 赵晓燕. 2015. 西藏邦铺斑岩-砂卡岩铜钼矿床地质特征及矿床成因[D]. 导师:赵志丹. 北京:中国地质大学(北京). 1-156.
- 赵晓燕, 杨竹森, 刘英超, 裴英茹. 2015. 西藏邦铺钼铜铅矿床斑岩-砂卡岩两种矿化类型关系及矿床富 Mo 特征探讨[J]. 地质学报, 89(S1):256-258.
- 周雄. 2012. 西藏邦铺钼铜多金属矿床成因研究[D]. 导师:温春齐. 成都:成都理工大学. 1-180.
- 周玉龙. 2012. 相山钼矿田巴泉隐爆角砾岩(筒)地质特征与钼成矿[J]. 矿床地质, 28(5): 273-280.