

西藏嘎拉勒铜金矿床地质特征与控矿条件分析

毛敬涛^{1,2}, 杨竹森², 何林³, 张雄², 周金胜², 徐玉涛¹, 龚雪婧⁴,
裴英茹², 马旺^{1,2}

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037;
3. 西藏自治区第二地质大队, 西藏 拉萨 850000; 4. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘要: 嘎拉勒铜金矿床位于冈底斯成矿带西段北缘,是近年来该区域发现的一个重要的典型镁质矽卡岩型铜金矿床。本文在矿区大比例尺地质填图基础上,结合前人研究资料,对该矿床地质特征和控矿条件进行了系统阐述和分析。矿区内出露地层主要为下白垩统捷嘎组白云岩和白云质灰岩,其下伏为下白垩统郎久组砂岩、粉砂岩和流纹质-英安质火山岩及火山碎屑岩。矿区内至少发生了3期构造变形,第1期形成北西向褶皱和北东向张性横断层,第2期形成北东向褶皱、北东向压性纵断层和北西向小型张性横断层,第3期形成近南北向正断层。区内自早到晚侵入有燕山晚期斑状石英闪长岩、闪长玢岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗斑岩。在石英闪长岩和花岗闪长岩与捷嘎组白云岩和白云质灰岩接触带附近形成典型镁质矽卡岩,包括早、晚两个阶段,早阶段形成由橄榄石、粒硅镁石和少量尖晶石、石榴子石、透辉石组成的干矽卡岩,晚阶段形成由蛇纹石、金云母和少量绿帘石组成的湿矽卡岩,叠加在干矽卡岩之上或其外侧,构成自岩体向外的橄榄石+尖晶石+粒硅镁石+石榴石+金云母带、金云母+蛇纹石+橄榄石+石榴石+透辉石带、蛇纹石+金云母+绿帘石+透辉石带、蛇纹石+金云母化大理岩带。矿体呈层状、似层状、团块状及不规则状主要产于蛇纹石+金云母化带内,金属矿物主要有磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、自然金等,伴有硅化、绿泥石化和碳酸盐化。成矿作用与花岗闪长岩和石英闪长岩的侵入活动密切相关,主要受北东和北西向褶皱及相关断裂控制,矽卡岩化受捷嘎组中部纹层状白云岩和砂质白云岩等有利岩性控制,矿体就位于矽卡岩带的高渗透率部位。

关键词: 地质特征;铜金矿床;矽卡岩;嘎拉勒;西藏

中图分类号: P583.31⁺2; P618.41; P618.51 文献标识码: A 文章编号: 1000-6524(2016)04-0677-15

Geological features and ore-controlling factors of the Galale Cu-Au deposit in Tibet

MAO Jing-tao^{1,2}, YANG Zhu-sen², HE Lin³, ZHANG Xiong², ZHOU Jin-sheng², XU Yu-tao¹,
GONG Xue-jing⁴, PEI Ying-ru² and MA Wang^{1,2}

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. No. 2 Geological Party of Tibet, Lhasa 850000, China; 4. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Located in the northwestern part of the Gangdise polymetallic belt of Tibet, the Galale Cu-Au deposit discovered in recent years is a typical magnesian skarn-type deposit. Based on large-scale geological mapping together with previous studies, the authors systematically analyzed geological features and ore-controlling factors of the Galale Cu-Au deposit. The main strata outcropped in this area consist of dolomite and dolomitic limestone of

收稿日期: 2015-07-13; 接受日期: 2016-06-03

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)资助项目(2011CB403104); 中国地质调查局地质调查子项目(12120113037901)

作者简介: 毛敬涛(1987-), 男, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业, E-mail: maotaishuai@126.com。

the Lower Cretaceous Jiege Formation underlain by interbedded sandstone, siltstone and rhyolitic-dacitic volcanic rocks of the Lower Cretaceous Langjiu Formation. There are at least three phases of deformation: the first period formed NW-trending folds and NE-striking tensional cross faults, the second one formed NE-trending folds, NE-striking longitudinal compression faults and small-sized tensional cross faults in NW direction, and the third period formed nearly NS-trending normal faults. According to the temporal succession, the intrusive rocks in the mining area include porphyritic quartz diorite of late Yanshanian period, diorite-porphyrite, quartz diorite, granodiorite and granitic porphyry. The typical magnesian skarn was formed near the contact zones between quartz diorite, granodiorite and dolomite, dolomitic limestones of the Jiege Formation, and the skarn was formed in two periods: the skarn of early period is composed of olivine, humite, a small amount of spinel, garnet and diopside, whereas the wet skarn of late period is composed of serpentine, phlogopite and a small amount of epidote, superimposed upon the stem skarn or existent at the outside, forming many lithologic zones, such as olivine + spinel + humite $\pm$ garnet $\pm$ phlogopite zone, phlogopite + serpentine $\pm$ olivine $\pm$ garnet $\pm$ diopside zone, serpentine + phlogopite + epidote $\pm$ diopside zone, and serpentine $\pm$ phlogopite of marble zone. The orebody is mainly hosted in the serpentine + phlogopite zone, which is mostly in the form of stratiform, stratoid, massive and other irregular structures. Moreover, the main metallic minerals are magnetite, pyrite, chalcopyrite, bornite, chalcocite, natural gold and so on, accompanied by silicification, chloritization and carbonation. The mineralization in this area is closely related to the emplacement of granodiorite and quartz diorite, controlled by NE, NW-trending folds and related faults. The skarns are controlled by potential lithologic characters such as lamellar dolomite and sandy dolomite of middle Jiege Group, with the orebody located in the skarn zones of high permeability.

Key words: geological features; Cu-Au deposit; skarn; Galale; Tibet

Fund support: National Program on Key Basic Research Project (“973” Program) (2011CB403104); China Geological Survey Project (12120113037901)

嘎拉勒铜金矿床位于西藏自治区革吉县城西北约 30 km(地理坐标:东经 80°55′,北纬 32°32′),是近年来在冈底斯多金属成矿带西段发现的一个具有大型规模的典型镁质矽卡岩型铜金矿床,其成矿特征与南西侧的尕尔穷铜金矿床具有相似性,并构成尕尔穷-嘎拉勒铜金矿集区(唐菊兴等, 2013),代表了该区域燕山晚期的一次重要成矿事件(唐菊兴等, 2013; 张志等, 2013a, 2013b)。前人对矿集区内的尕尔穷铜金矿床进行了较多的研究,包括矿床地质特征(李志军等, 2011b; 胡正华等, 2012)、成岩成矿时代(李志军等, 2011a; 姚晓峰等, 2012a, 2013)、岩浆岩地球化学(邓世林等, 2011; 雷传扬等, 2012; 张志等, 2013a)、矽卡岩化作用(宋俊龙等, 2012; 张志等, 2013b)、矿石矿物组成(王友, 2010; 肖渊甫等, 2012; 王强等, 2013; 赵亚男等, 2014)、成矿物质来源(姚晓峰等, 2012b)、成矿元素分布规律(姚晓峰等, 2011; 张志等, 2012; 何建娟等, 2014)及地球化学异常(王红星等, 2012)等方面,但对嘎拉勒铜金矿床的研究主要限于矿床的地质特征(张志等, 2013c)、成岩成矿时代(吕立娜等,

2011; 张雄等, 2014),岩浆岩地球化学(吕丽娜等, 2011; 张志等, 2013a)和矿石矿物组成(王强等, 2013; 何建娟等, 2014; 赵亚男等, 2014)等方面,在地质特征及控矿条件分析方面虽有涉及,但不够系统深入,影响了对该矿床成因机制与找矿方向的深入认识。近期,嘎拉勒矿区的详查工作为全面系统地了解该矿床的地质特征提供了良机。本文以嘎拉勒矿区大比例尺地质填图工作为基础,系统总结了该矿床的地质特征,并分析了其控矿条件,以期深入研究矿床成因提供基础地质资料。

1 区域地质背景

嘎拉勒铜金矿床位于冈底斯多金属成矿带西段北侧,大地构造位置处于西藏-“三江”造山系(I级)之拉达克-冈底斯弧盆系(II级)中措勤-申扎岛弧带(J_3-K_1)(III级)(潘桂棠等, 2009)的西北边缘(图1),北与狮泉河-阿索-纳木错-嘉黎蛇绿混杂岩带(J-K)相接,南与隆格尔-工布江达复合岛弧相邻,再向北、向南分别隔昂龙冈日-班戈岩浆弧、拉

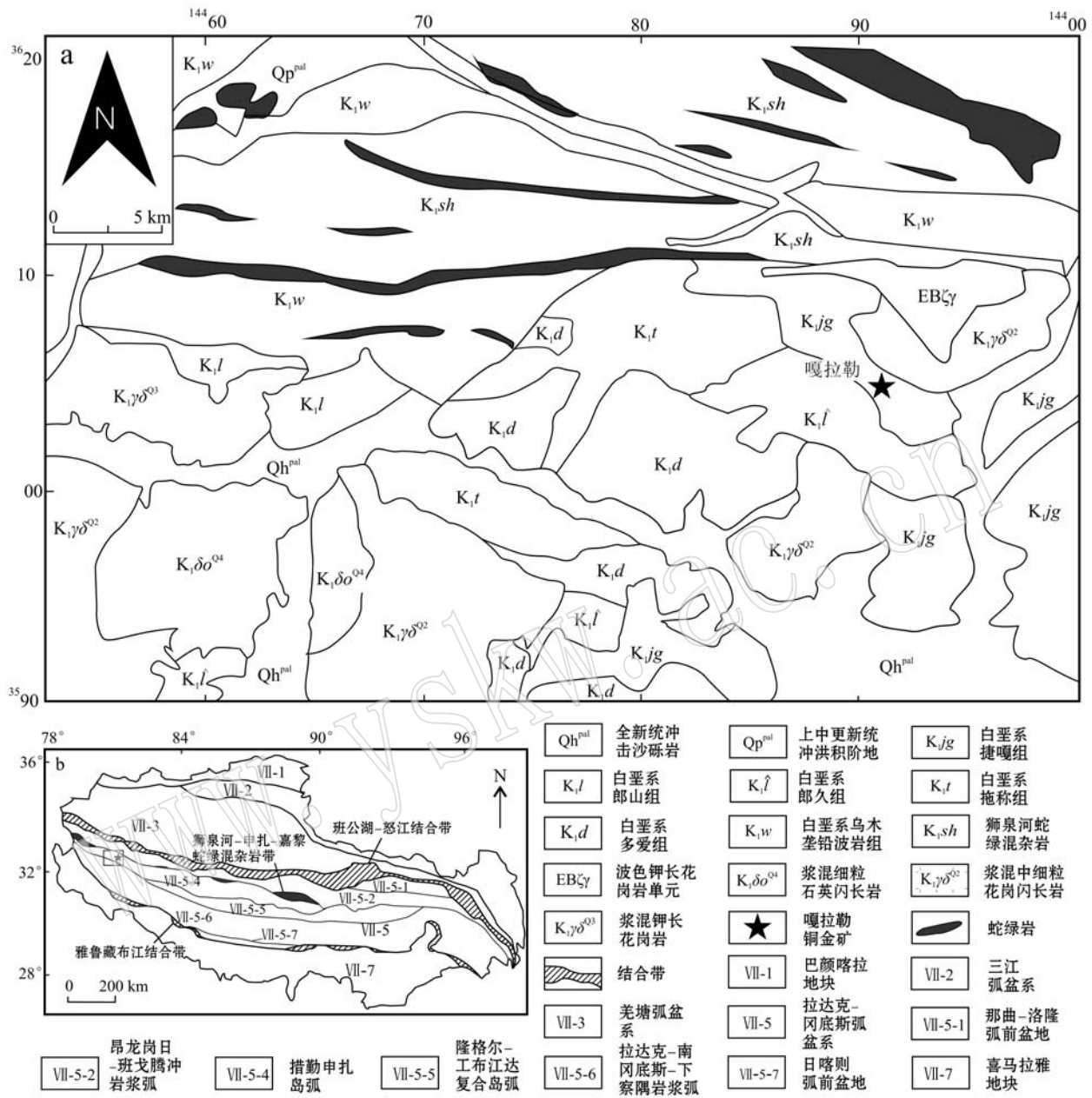


图 1 西藏嘎拉勒铜金矿床区域地质简图(a, 据徐荣科等, 2004^①)和嘎拉勒铜金矿区构造位置图 (b, 据潘桂棠等, 2009)

Fig. 1 Regional geological map of the Galale Co-Au deposit(a, after Xu Rongke *et al.*, 2004^①) and structural location map of the Galale gold-copper deposit (b, modified after Pan Guitang *et al.*, 2009)

达克-南冈底斯岩浆弧与班公湖-怒江结合带和雅鲁藏布江结合带相望。该区域属措勤盆地中部拗陷带(张义等, 2008)的西段, 地层分区属滇藏地层大区之冈底斯-腾冲地层区内日松-革吉-它日错地层分

区之革吉-它日错小区(陈明等, 2005)。

区域上, 措勤盆地的基底包括结晶基底和褶皱基底(陈明等, 2005; 陶晓风等, 2008)。结晶基底由前震旦系念青唐古拉群黑云二长片麻岩、黑云斜

① 徐荣科, 次 邛, 庞振甲, 等. 2004. 狮泉河幅 1:25 万区域地质图(144C004002).

长片麻岩、花岗片麻岩、条带状混合岩、阳起斜长大理岩、透辉大理岩等深变质岩系组成(陈明等, 2005; 陶晓风等, 2008; 张义等, 2008)。褶皱基底由奥陶-泥盆系稳定陆表海碳酸盐岩台地和石炭-二叠系次稳定冰水环境碎屑岩、灰岩组成, 经海西运动晚幕发生强烈褶皱和较微变质并上升成陆(陈明等, 2005; 陶晓风等, 2008), 但纪占胜等(2008)研究认为, 措勤盆地在晚古生代-早中生代不存在长达 75 Ma 以上的沉积间断, 其中晚二叠世-晚三叠世诺利期都是海相碳酸盐岩地层, 晚三叠世瑞替期-早中侏罗世为陆缘碎屑岩地层, 两者之间为角度不整合接触, 显示褶皱基底形成于印支运动晚幕。

嘎拉勒铜金矿床所处的措勤-申扎岛弧带西北缘北邻狮泉河蛇绿混杂岩带, 该蛇绿混杂岩带包括 4 条蛇绿混杂亚带和 3 个火山岛链, 其中放射状硅质岩时代为早白垩世早期(郑有业等, 2004), 代表中侏罗-早白垩世早期班公湖-怒江洋向南俯冲形成的弧后小洋盆(潘桂棠等, 2006)或裂谷带(陈明等, 2005; 陶晓风等, 2008)。小洋盆或裂谷带南侧中晚侏罗世沉积了接奴群滨岸相-浅海相碎屑岩夹碳酸盐岩, 底部以底砾岩超覆于褶皱基底之上, 上部夹中酸性火山岩(陈明等, 2005; 陶晓风等, 2008); 早白垩世早中期受班公湖-怒江洋闭合及其后的持续作用, 沉积了则弄群(自下向上包括多爱组、拖称组和朗久组)巨厚的弧火山岩及滨岸-三角洲相碎屑岩(朱弟成等, 2006; 陶晓风等, 2008); 早白垩世晚期沉积了捷嘎组台地相碳酸盐岩-浅水陆棚相碎屑岩, 代表了一次较广泛的海侵(陈明等, 2005; 陶晓风等, 2008)。早白垩世末期, 受冈底斯-羌塘碰撞造山的影响, 措勤盆地发生了大规模的褶皱冲断, 地壳缩短 20%~30%(张义等, 2008), 普遍抬升成陆, 并伴有大规模的钙碱性系列中酸性岩浆侵入(朱弟成等, 2006; 严毅发, 2011)和矽卡岩型铁成矿作用(于玉帅等, 2011, 2012)。晚白垩世盆地南部沉积了竟柱山组紫红色砾岩、砂岩为主的陆源碎屑岩, 代表了碰撞后山前磨拉石建造(韩维峰, 2013), 伴有双峰式岩浆侵入(曲晓明等, 2006)和矽卡岩型铜金成矿作用(王冠民, 2001; 辛洪波等, 2006; 姚晓峰等, 2013)。晚白垩世末期, 受印度-亚洲大陆碰撞造山影响, 区域上再度褶皱抬升。古近纪, 在盆地南部沉积了林子宗群火山岩系, 北部沉积了日贡拉组河湖相碎屑岩系。渐新世末的构造运动使盆地缩短了 14%(张义等, 2008), 并再次抬升。

2 矿区地质

2.1 地层

嘎拉勒铜金矿区出露地层较简单, 为下白垩统则弄群上部朗久组(K_1l)及上覆的下白垩统捷嘎组(K_1jg)和第四系松散堆积物(图 2)。朗久组(K_1l)主要为砾岩、砂岩与粉砂岩互层夹流纹岩、英安岩等, 岩层整体倾向为 $160^\circ\sim 200^\circ$, 倾角在 $40^\circ\sim 50^\circ$ 之间, 局部受褶皱和岩体侵位影响而产状变化较大。

捷嘎组(K_1jg)与下伏朗久组地层呈微角度不整合接触。根据岩性组合, 可将该组分为下、中、上 3 部分, 下部为泥晶灰岩、生物碎屑灰岩, 厚度 80~100 m; 中部为中厚层、纹层状白云岩、砂质白云岩夹白云质砂岩, 厚度 100~200 m; 上部为厚层-巨厚层状白云岩和白云质灰岩, 常接触变质形成白云质大理岩, 厚度约 150~200 m, 未见顶。

2.2 构造变形

研究区断裂构造以北东向和北东东向断层为主, 次为北西向和南北向小规模断层, 其中与成矿关系密切的为 F_1 、 F_2 和 F_4 号断层。 F_2 断层为逆冲断层, 呈北东东向展布, 长度约 2 km, 沿断裂有花岗闪长岩侵入, 并在断裂破碎带内发生强烈硅化和石英网脉充填。 F_4 断层为详查区规模最大的一条断裂构造, 呈北东向展布, 长度约 4 km, 断层主体切割捷嘎组地层, 局部切错朗久组和岩体, 向北东止于石英闪长岩体; 在断层南西段, 构造破碎带宽 20~30 m, 产状 $160^\circ\angle 60^\circ$, 以发育构造角砾岩为特征, 角砾成分为大理岩化白云岩, 胶结物硅化、赤铁矿化强烈, 并伴有石英细脉。矿区内褶皱构造较为发育, 其展布方向有北西向和北东向两组。由于两组褶皱方向近于垂直, 造成复杂的叠加变形特征, 加之岩体侵入和断裂切割的破坏, 使褶皱构造形迹更为复杂。

研究区可能至少经历了 3 期构造变形, 第 1 期构造活动形成北西向褶皱和北东向张性横断层, 推断的北西向逆断层也应形成于这一时期, 属压性断层, 其反映的区域应力场主压应力方向为北东-南西向, 可能为区内北侧的近东西向的狮泉河蛇绿混杂岩带南界断裂左行走滑所派生; 第 2 期构造活动形成北东向褶皱、北东向压性断层以及北西向小型张性横断层, 这些构造形迹反映的区域应力场主压应力方向为北西-南东向, 可能与区域北侧的近东

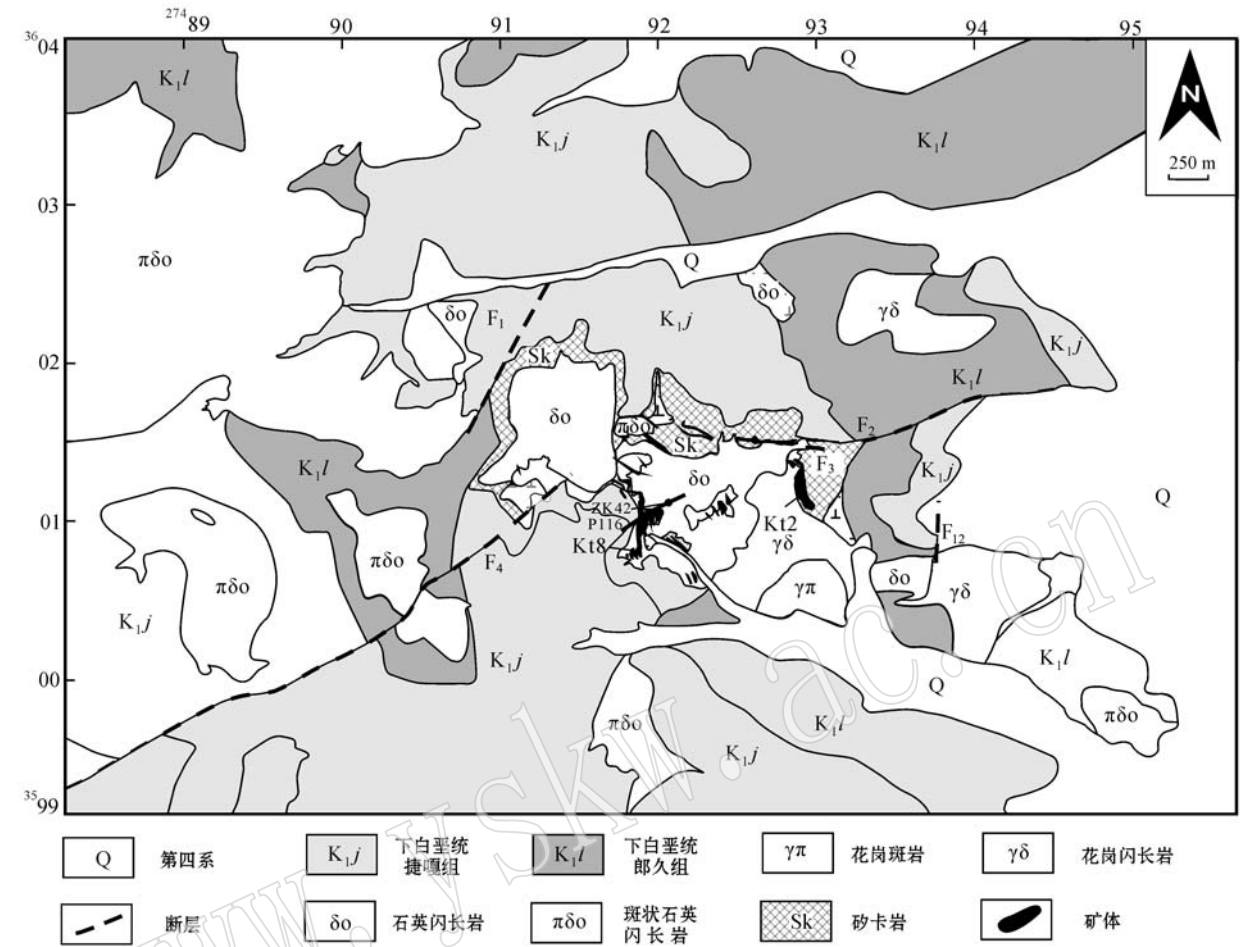


图 2 嘎拉勒铜金矿床地质简图(据何林等,2014^①)

Fig. 2 Generalized geological map of the Galale Cu-Au deposit (after He Lin *et al.*, 2014^①)

西向狮泉河蛇绿混杂岩带南界断裂右行走滑相关；第 3 期构造活动形成近南北向正断层，切割前期所有构造。

2.3 岩浆岩特征

矿区内出露的岩体从早到晚分别为斑状石英闪长岩、闪长玢岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗斑岩，其中石英闪长岩和花岗闪长岩与成矿关系最为密切(图 2)。

斑状石英闪长岩(πδo)在详查区内大面积分布，其与外围地层的接触热变质作用不强烈，仅局部发育大理岩化。岩石呈深灰、灰黑色，似斑状结构，块状构造。斑晶含量 20%，粒径 3~8 mm，以斜长石为主，呈自形长板状，另有少量正长石，呈自形厚板状。基质全晶质，由斜长石、正长石、石英、角闪石和黑云

母组成，粒径 1 mm；斜长石呈半自形板状，含量 40%；正长石含量 10%；石英含量 10%；角闪石呈自形柱状，含量 10%；黑云母含量 10%。局部岩石蚀变较强，以绢云母化、高岭土化、绿泥石化为主(图 3a)。锆石 U-Pb 年龄为 131±17 Ma(吕丽娜等,2011)。

闪长玢岩(δμ)呈小岩株和岩脉侵入于矿区东南部朗久组和捷嘎组地层中，并见被后期侵入体所捕虏。岩石呈灰黑色，斑状结构，块状构造，斑晶含量 10%~30%，主要为斜长石，少量角闪石，基质微晶质和隐晶质(图 3b)。斜长石斑晶呈自形板状，环带构造发育，粒径 1~3 mm；角闪石斑晶呈自形针柱状，长 2~4 mm，宽<0.5 mm。岩石蚀变强烈，以绿泥石化和绿帘石化为主。

石英闪长岩(δo)在详查区内分布较广，主要出

① 何 林，张志宝，田永龙，等. 2014. 西藏自治区革吉县尕尔穷铜矿详查报告.

露于中部一带,呈岩株、岩枝状侵入于捷嘎组、朗久组地层中。详查区与成矿关系密切的各类矽卡岩即发育在该岩体与捷嘎组白云质大理岩的接触带内。岩石呈灰、深灰色,细粒状结构,块状构造,矿物组成约为斜长石 55%、正长石 10%、石英 15%、角闪石 10%、黑云母 10% 左右,粒径 1~2 mm,含不足 5% 的角闪石斑晶,粒径 3 mm 左右。局部岩石蚀变强烈,以绢云母化、高岭石化、绿泥石化和绿帘石化为主(图 3d、3g)。

花岗闪长岩($\gamma\delta$)在矿区内呈岩株、岩枝状侵入于捷嘎组、朗久组及石英闪长岩体中,并切断石英闪

长岩体内的石英细脉(图 3e),与成矿关系尤为密切。岩石呈浅灰、灰红色,中细粒状结构,块状构造,矿物组成为斜长石 40%、正长石 25%、石英 25%、黑云母 10% 左右,另有少量角闪石、榍石、磁铁矿,粒径 2~3 mm(图 3c、3f)。锆石 U-Pb 年龄为 86.52 ± 0.41 Ma (吕丽娜等,2011)。

花岗斑岩($\gamma\pi$)出露面积较小,以小岩株、岩枝和岩脉状侵入于所有地质体中,并切穿矽卡岩带和矿体。岩石呈浅灰、浅肉红色,斑状结构,块状构造。斑晶含量 15%~20%,主要为正长石和石英,偶见斜长石和黑云母,粒径 1~2 mm;基质隐晶质或微粒结

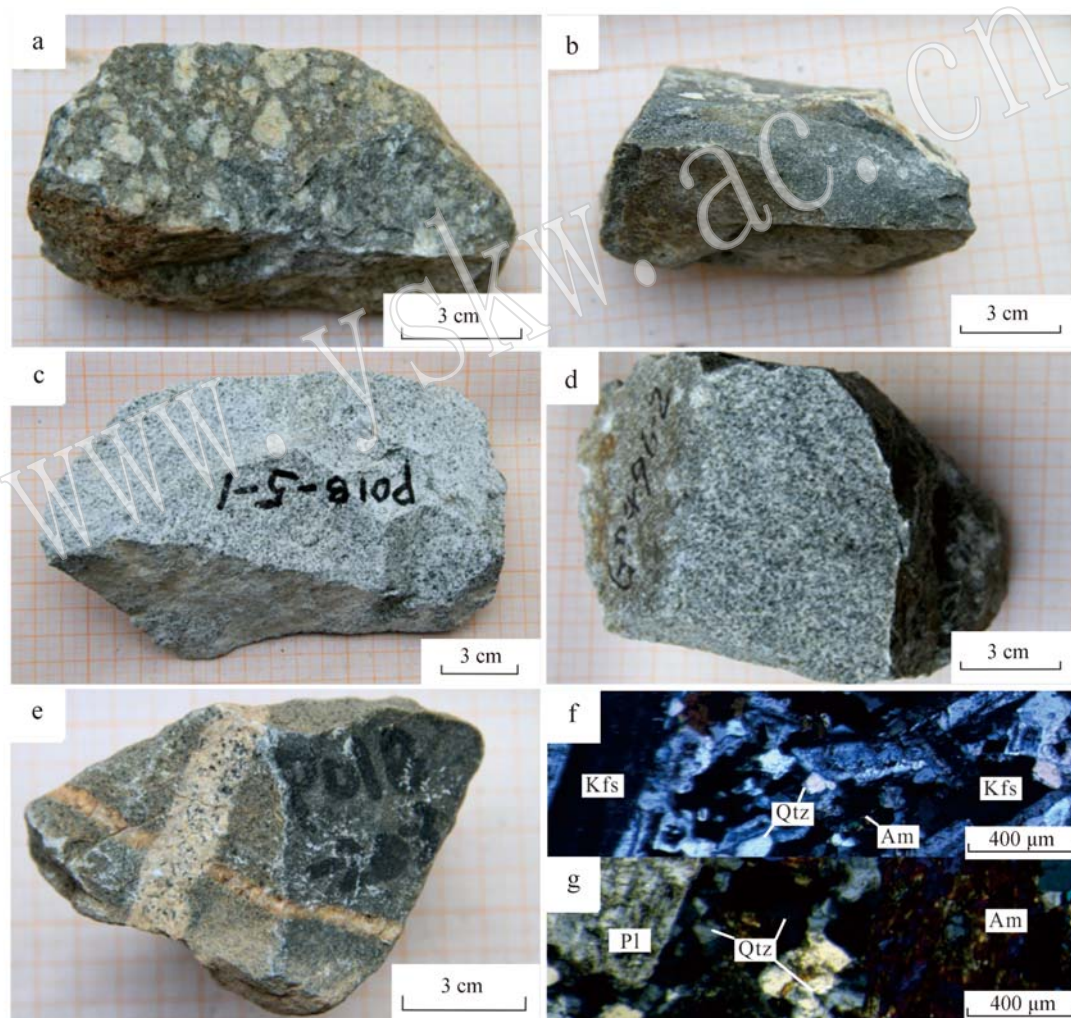


图 3 嘎拉勒铜金矿床代表岩石照片

Fig. 3 Photos of typical rock samples of the Galale Cu-Au deposit

a—斑状石英闪长岩; b—闪长玢岩; c, f—花岗闪长岩; d, g—石英闪长岩; e—含石英脉石英闪长岩被花岗闪长岩穿切;
Kfs—钾长石; Qtz—石英; Am—角闪石; Pl—斜长石
a—porphyritic quartz diorite; b—diorite porphyrite; c, f—granodiorite; d, g—quartz diorite; e—quartz diorite which contains
quartz veins penetrated by granodiorite; Kfs—K-feldspar; Qtz—quartz; Am—amphibole; Pl—plagioclase

构,主要由钾长石和石英组成,二者含量大体相当,岩石具较强的绢云母化、碳酸盐化。

3 矿床地质特征

嘎拉勒铜金矿床现在探明总矿石量2 387余万吨,金金属量40余吨,平均品位为4.5 g/t,边界品位为0.5 g/t;铜金属量15万吨,平均品位为0.7%,边界品位为0.2%。仅金量就已达到大型矿床规模。矿区内最大的矿体为KT8,占矿区总资源量的60%左右。

3.1 蚀变与矿化

研究区围岩蚀变较为发育,分布广、类型多,以镁质矽卡岩化为主,另有绿泥石化、绿帘石化、硅化、绢云母化、高岭土化等,伴随的矿化有磁铁矿化、黄铁矿化、黄铜矿化、孔雀石化和金矿化。

矽卡岩化:沿石英闪长岩和花岗闪长岩体与捷嘎组白云质大理岩的接触带发育大量层状、似层状、团块状以及不规则状等矽卡岩。在主接触带内形成以镁质矽卡岩为主的各类矽卡岩(张志等, 2013c),在远离主接触带的部位形成不同程度的矽卡岩化大理岩。矽卡岩矿物以镁橄榄石、金云母、蛇纹石、石榴石、绿帘石为主,次为镁铁尖晶石、粒硅镁石、透辉石、透闪石等。

绿泥石化、绿帘石化:二者常伴生在一起,一般在矽卡岩带内发育较强,此外在朗久组火山岩中发育普遍。硅化:主要发育在岩体与围岩的接触带上。此外在构造破碎带内也较为发育,常见细小的石英脉充填于岩石裂隙中。绢云母化、高岭土化:多发育于朗久组火山碎屑岩中,此外在受区域变质的石英闪长岩体中也见弱绢云母化、高岭土化。磁铁矿化:主要发育在矽卡岩带内,呈浸染状分布于矽卡岩矿物间隙。黄铁矿化:沿破碎带分布,尤其是矽卡岩带内的破碎带中较为发育,呈星点状或微细脉状分布于岩石中,现多已蚀变为褐铁矿,沿岩石裂隙面分布。黄铜矿化:呈星点状分布于矿化矽卡岩中。孔雀石化:主要分布于矽卡岩型铜金矿石的裂隙面上。

研究区内矽卡岩中蛇纹石、金云母十分发育,表明矽卡岩退变质蚀变十分强烈。而绿帘石、绿泥石普遍交代石榴子石、透辉石等,部分交代完全者形成了绿帘石绿泥石矽卡岩。自岩体向外可分出镁橄榄石+镁铁尖晶石+粒硅镁石±石榴石±金云母带

(磁铁矿化)、金云母+蛇纹石+石榴石+透辉石+绿帘石带(磁铁矿化+黄铜矿化+金)、蛇纹石+透辉石+透闪石+绿帘石±金云母带(磁铁矿化+黄铜矿化+金)、蛇纹石±金云母化大理岩带(黄铜矿化+金)、大理岩带(图4),显示了矿区矽卡岩具有从高温至低温的演化序列。

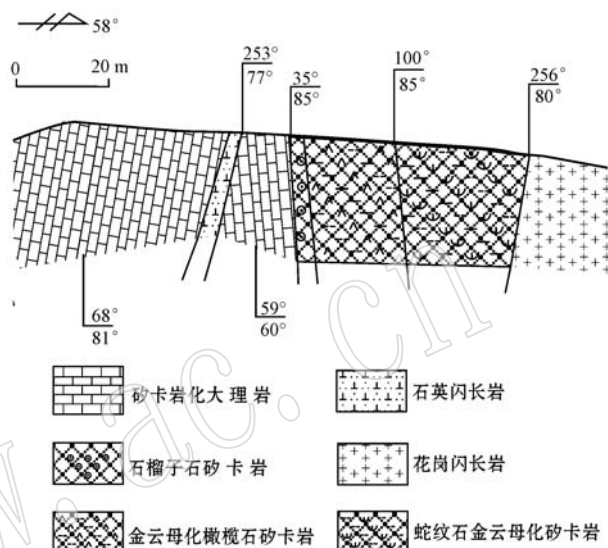


图4 2号矿体蚀变带剖面图

Fig. 4 Geological section of alteration zones of No. 2 orebody

3.2 矿体、矿石特征

3.2.1 矿体特征

详查区内存在20处金铜矿(化)体和12处铜金矿(化)体,矿体分布主要受中酸性侵入岩体控制,以浸染状、条带状、斑杂团块状、细网脉状等构造赋存于侵入岩与碳酸盐接触所形成的矽卡岩内。其中KT2和KT8为主矿体,其次为KT3、KT4、KT9及KT10号矿体(何林等,2014)^①。

KT2位于详查区中部东侧,产于花岗闪长岩与大理岩接触带矽卡岩内,呈似层状、透镜状产出。矿体产状为 $80^{\circ}/75^{\circ}$,其顶板为大理岩,底板为花岗闪长岩,其矿化组合为Au+Cu+Fe。KT2内富含大量磁铁矿,呈透镜状似层状产出,铜金矿体在磁铁矿体四周分布。

KT8位于详查区中部偏南地区,矿体产于石英闪长岩与大理岩接触带内的矽卡岩和蛇纹石化大理岩、硅化凝灰岩的混杂体中,呈层状、似层状、透镜状

① 何林, 张志宝, 田永龙, 等. 2014. 西藏自治区革吉县杂尔穷铜矿详查报告.

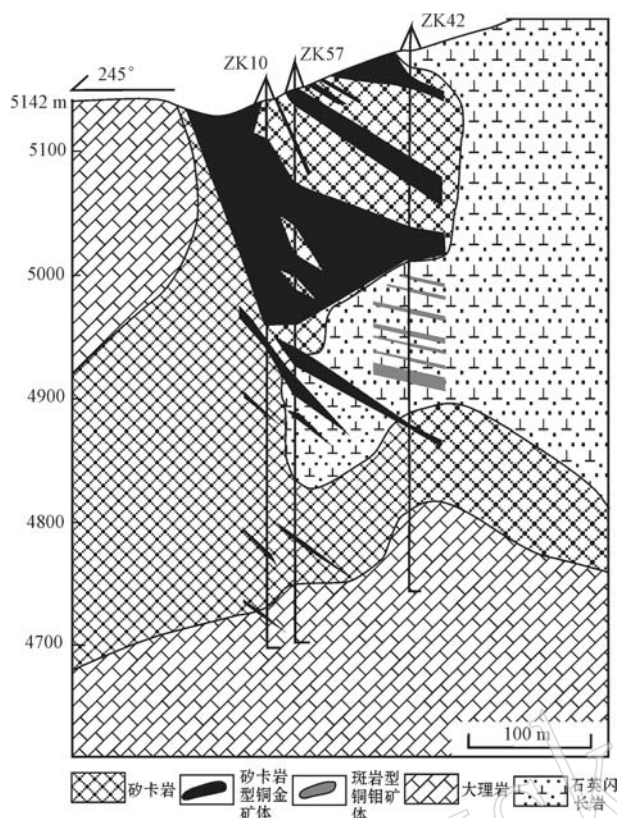


图5 嘎拉勒铜金矿床8号矿体116勘探线剖面图

Fig. 5 Geological section of the No. 116 prospecting line of No. 8 orebody in the Galale Cu-Au deposit

等产出,矿体产状 $70^{\circ}\angle 65^{\circ}$,顶板为砂卡岩,底板为砂卡岩和白云质大理岩,矿化组合为Cu+Au。钻孔ZK42在KT8深部发现少量斑岩型钼矿化体,推测深部可能存在斑岩型铜钼矿体(图5)。KT8为该矿区工程量最大、控制最长的矿体,其金资源量已达大型矿床规模。

3.2.2 矿石特征

矿区矿石矿物以自然金、黄铜矿、磁铁矿为主,此外还有孔雀石、斑铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等次要矿物,另有少量辉铋矿、自然铋、铋锑互化物、辉锑矿、自然银等罕见、贵金属矿物。非金属矿物主要为砂卡岩矿物,有橄榄石、蛇纹石、金云母、石榴子石、透辉石、绿帘石、绿泥石、尖晶石、粒硅镁石、方解石和石英等。矿石构造主要可见稀疏-稠密浸染状(图6a、6b)、团块状及条带状构造(图6c、6d)等;矿石结构以结晶结构为主,包括包含结构(图6e)、半自形-他形粒状结构(图6f)等,还见有共生结构(图6g)和交代残留结构(图6h)等(张志等,2013c)。

3.2.3 主要砂卡岩矿物特征

橄榄石:橄榄石在矿区内砂卡岩中分布普遍但不连续,晶型主要呈柱状、细粒状。肉眼观察呈黄绿色、橄榄绿色,单偏光镜下呈无色-黄褐色,不规则裂隙发育;正交偏光下呈二级黄-三级蓝绿,平行消光。橄榄石普遍沿边缘和裂隙被蛇纹石和金云母交代蚀变,部分呈孤岛状残留(图7a、7b)。

蛇纹石与金云母:蛇纹石与金云母在矿区砂卡岩内大量发育,常相互伴生。蛇纹石肉眼观察呈浅绿-黄绿色,半透明,油脂光泽,触摸有滑感;单偏光镜下无色,正低突起;正交偏光下呈一级灰-一级灰白。金云母主要为片状、板柱状,另可见鳞片状和叶片状集合体,肉眼观察呈黄绿色,半透明-透明,玻璃光泽,硬度小于指甲。正交偏光下呈二级橙红-三级红绿。部分金云母被后期蛇纹石蚀变交代(图7c)。

石榴子石:石榴子石在矿区砂卡岩内发育较少,仅在花岗闪长岩与大理岩接触带内砂卡岩中发现少量自形-半自形粒状集合体。肉眼观察呈红褐色;单偏光镜下呈无色-黄褐色,正高突起,具不规则裂纹;正交偏光下部分全消光。石榴子石大部分发生绿帘石化,个别保持了石榴子石自形-他形粒状的外形(图7d、7e)。

透辉石:透辉石是嘎拉勒矿区砂卡岩中非常重要的硅酸盐矿物,主要呈粒状、柱状、放射状集合体,分布较普遍但不是很均匀。肉眼观察呈浅绿色、灰绿色;单偏光下呈浅绿色,多色性不明显,正高突起,可见裂纹;正交偏光下干涉色呈二级蓝绿至橙黄,斜消光,正延性。部分颗粒沿其裂隙和边缘被蛇纹石、金云母交代(图7f)。

绿帘石:绿帘石在矿区内重要的砂卡岩矿物,主要呈柱状、粒状集合,偶有分布,多见于石英闪长岩与大理岩接触带砂卡岩(八号矿体)内。肉眼观察成草绿色、黄绿色;单偏光下呈灰-土黄色,多色性较弱,正高突起;正交偏光下具有鲜艳而明亮的二级-三级干涉色。

3.3 矿床成矿期次划分

矿床成矿过程可分为岩浆热液成矿期与表生期2个成矿期,其中岩浆热液成矿期为主要成矿时期,其可进一步划分为5个阶段(表1):①进变砂卡岩化阶段:主要形成镁橄榄石、镁铁尖晶石、粒硅镁石、石榴子石和透辉石等,构成花岗闪长岩和石英闪长岩体与捷嘎组白云岩接触带上的干砂卡岩带;②退变砂卡岩化阶段:主要形成金云母、蛇纹石、透闪石、绿帘石等,蚀变交代镁橄榄石、石榴石和透辉

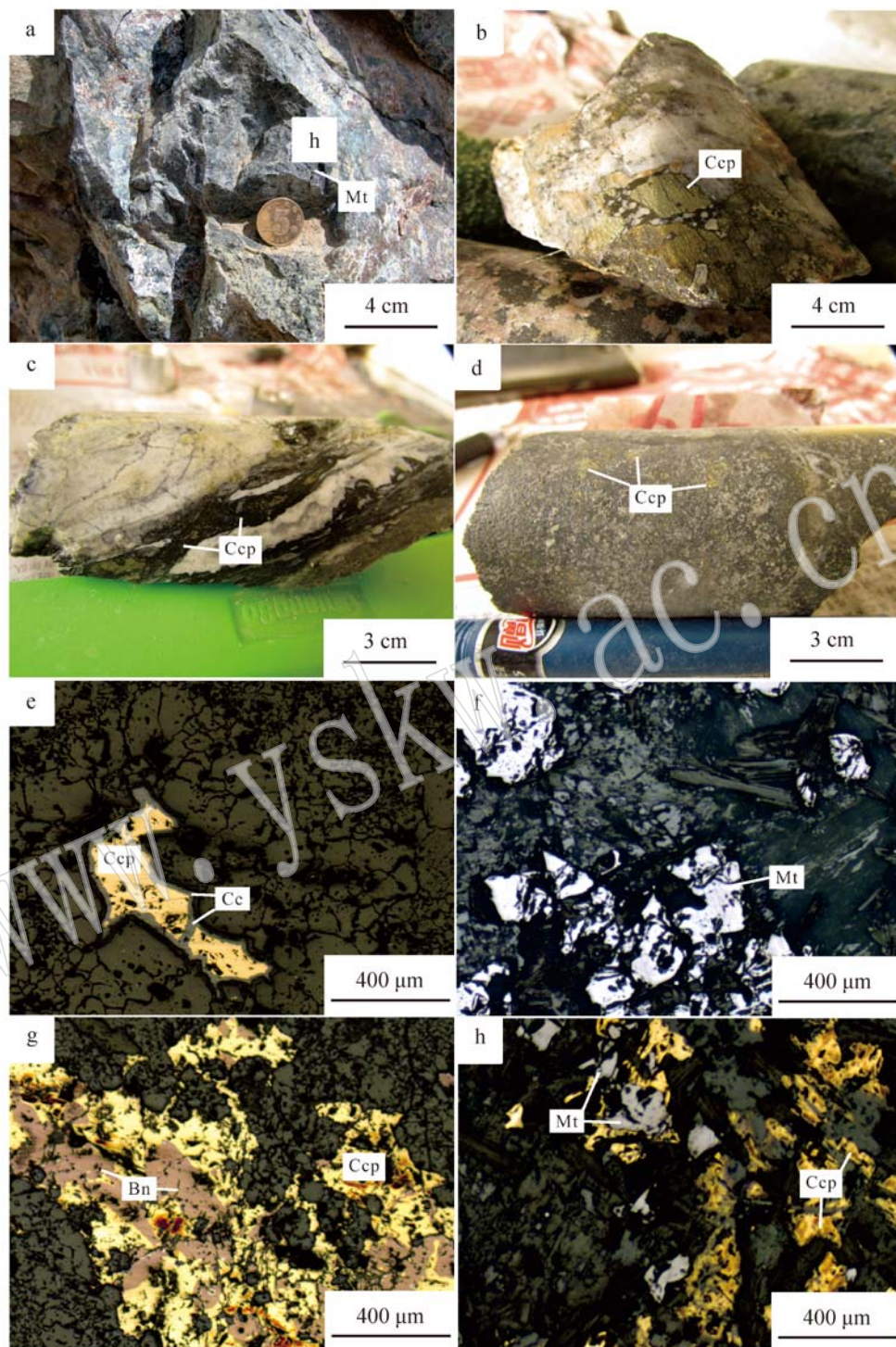


图6 嘎拉勒矿床矿石组构特征

Fig. 6 Ore textures and structures of the Galale deposit

a—浸染状磁铁矿；b—星点状黄铜矿；c—条带状黄铜矿；d—团块状黄铜矿；e—黄铜矿包含磁铁矿，反射光；f—自形-半自形粒状磁铁矿，反射光；g—黄铜矿与斑铜矿的共生结构，反射光；h—辉铜矿交代黄铜矿，反射光；Mt—磁铁矿；Ccp—黄铜矿；Ce—辉铜矿；Bn—斑铜矿
a—disseminated magnetite；b—star-shaped chalcopyrite；c—banded chalcopyrite；d—lumpy chalcopyrite；e—magnetite in the chalcopyrite, reflected light；f—euhedral-subhedral granular magnetite, reflected light；g—chalcopyrite and bornite assuming exsolution, reflected light；h—chalcopyrite replaced by chalcocite, reflected light；Mt—magnetite；Ccp—chalcopyrite；Ce—chalcocite；Bn—bornite

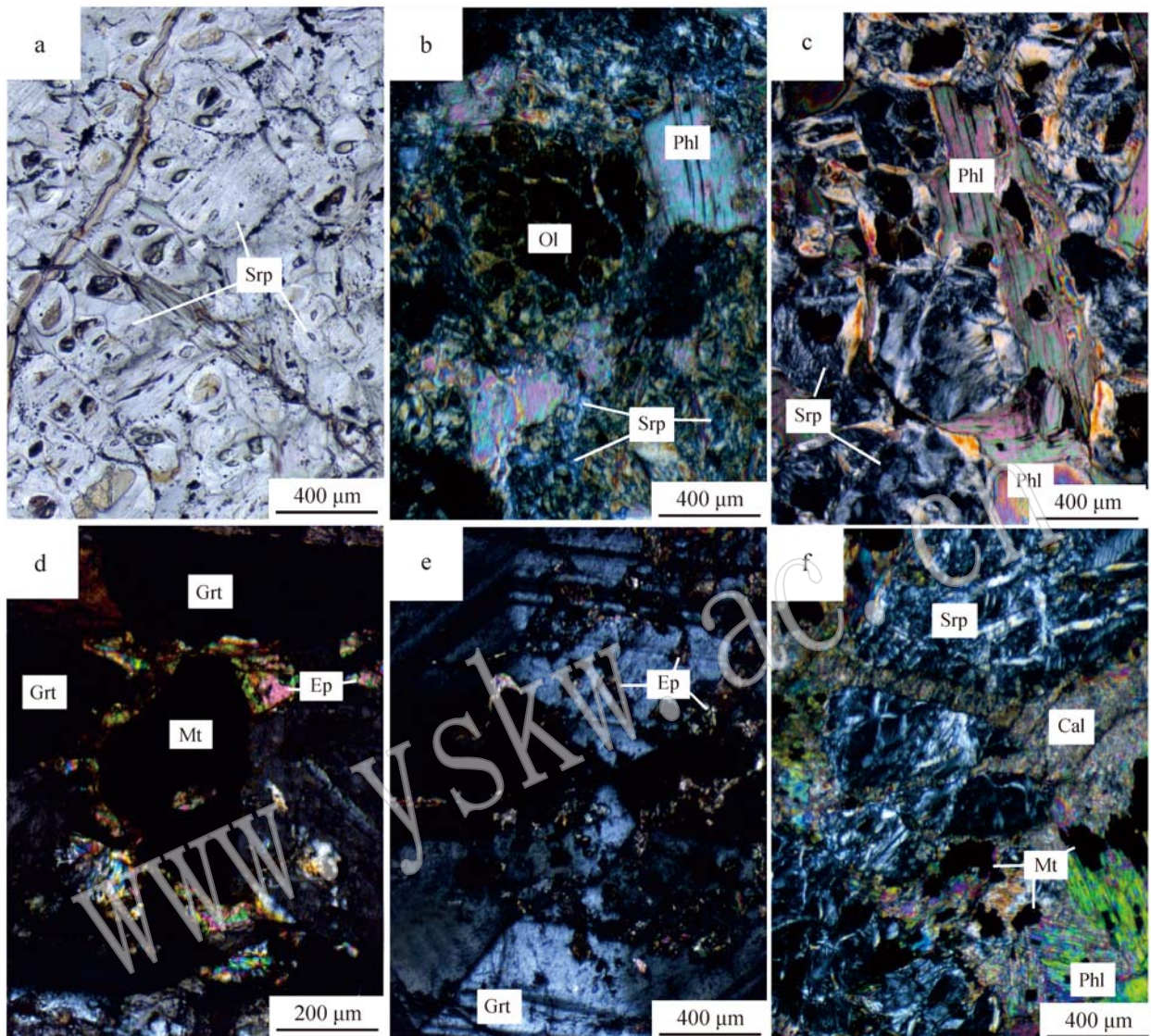


图 7 嘎拉勒铜金矿床矽卡岩矿物显微照片

Fig. 7 Microphotograph of skarn minerals in the Galale Cu-Au deposit

a—橄榄石被蛇纹石交代呈孤岛状残留(-); b—橄榄石被蛇纹石、金云母交代(+); c—金云母被蛇纹石交代(+); d—绿帘石化的石榴子石被磁铁矿交代(+); e—环带状石榴子石被绿帘石交代(+); f—放射状透辉石被蛇纹石交代, 后又被磁铁矿方解石交代(+);

Srp—蛇纹石; Ol—橄榄石; Phl—金云母; Ep—绿帘石; Grt—石榴子石; Cal—方解石; Mt—磁铁矿

a—olivine replaced by serpentine with remains of the isolated island shapes (-); b—olivine replaced by serpentine and phlogopite (+); c—phlogopite replaced by serpentine; d—garnet replaced by epidote, and after that they both were replaced by magnetite (+); e—garnet of annular stripe shape replaced by epidote (+); f—diopside of radial shape replaced by serpentine, and after that they both were replaced by magnetite and calcite (+); Srp—serpentine; Ol—olivine; Phl—phlogopite; Ep—epidote; Grt—garnet; Cal—calcite; Mt—magnetite

石等,或组成细脉状、团块状集合体分布于大理岩和岩体中,构成湿矽卡岩带,叠加于干矽卡岩带之上及两侧;③ 磁铁矿阶段:主要形成磁铁矿、方解石、石英和绿帘石,充填于矽卡岩矿物间隙及岩石裂隙中;④ 石英硫化物阶段:主要形成石英、黄铁矿、黄铜

矿、自然金、斑铜矿等,呈浸染状和细脉浸染状分布于矽卡岩带,或沿构造裂隙充填交代形成大理岩中的脉体;⑤ 石英碳酸盐阶段:主要形成石英、方解石、绿泥石、蛇纹石、辉铜矿等,呈脉状穿切于矽卡岩带及两侧岩石中(图 7f)。

表 1 嘎拉勒铜金矿床主要矿物生成顺序表

Table 1 Mineral-forming sequence in the Galale Cu-Au deposit

期次 阶段 矿物	岩浆热液成矿期					表生期
	进变矽卡岩化阶段	退变矽卡岩化阶段	磁铁矿阶段	石英硫化物阶段	石英碳酸盐阶段	
镁橄榄石	■■■■■					
镁铁尖晶石	■■■					
粒硅镁石	■■■					
石榴子石	■■■■■					
透辉石	■■■■■					
蛇纹石		■■■■■			■■■■■	
金云母		■■■■■				
透闪石		■■■				
绿帘石		■■■■■				
方解石			■■■		■■■■■	
石英			■■■■■	■■■■■	■■■■■	
磁铁矿			■■■■■			
黄铁矿				■■■■■		
黄铜矿				■■■■■		
自然金				■■■■■		
斑铜矿				■■■		
辉铜矿					■■■	
绿泥石					■■■■■	
孔雀石						■■■■■
蓝铜矿						■■■
褐铁矿						■■■■■

4 讨论

4.1 控矿条件

4.1.1 地层条件

矿区内地层较简单,主要为下白垩统则弄群上部朗久组(K_1l)和下白垩统捷嘎组(K_1jg),与成矿作用关系密切的为捷嘎组(K_1jg)地层,其中部中厚层、纹层状白云岩、砂质白云岩夹白云质砂岩对成矿最为有利,而上部厚层-巨厚层状白云岩和白云质灰岩,仅在与侵入岩接触边界有部分大理岩化、矽卡岩化,向地层内部延伸并不大,矿化较弱。推测这种现象的形成是因为含矿热液更易沿层理及裂隙运移,与不纯白云岩发生蚀变交代,故造成纹层状白云岩矿化程度较高,矿体较大,巨厚层状白云岩的矿化程度较弱,矿体较小。

另在花岗闪长岩与郎久组砂岩、粉砂岩地层接触边界偶有少量矽卡岩化现象,但并未见到与成矿

有关的矿化现象。

4.1.2 岩浆活动对成矿的控制

矿区内共发现有 5 套侵入岩体,按时间先后分别为:斑状石英闪长岩、闪长玢岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗斑岩。前人经过研究得出,该矿床的成矿母岩为花岗闪长岩(吕丽娜等, 2011; 唐菊兴等, 2013; 张志等, 2013c),但笔者通过对该矿区研究工作发现,石英闪长岩与矿床的形成,同样有着密切的联系。首先,嘎拉勒铜金矿床内各主要矿体均产于矽卡岩内,矽卡岩之存在,可视之为该矿区内矿床形成的必要条件。通过地表观测发现,花岗闪长岩与捷嘎组地层接触带存在大量矽卡岩,并伴有强烈矿化,形成矿区内主要的 2 号矿体;而石英闪长岩与地层接触带内同样分布着大量强烈矿化的矽卡岩,矿区内重要的 8 号矿体就产于该类接触带。其次,有证据显示,该矿区内至少发生两期热液活动(图 3d),早期形成的石英闪长岩中的石英脉被后期花岗闪长岩脉切断,脉体穿切边界清晰,说明在石英闪长

岩侵入后至花岗闪长岩侵入前存在一次热液活动,并有足够的时间使热液冷却结晶成岩。

据此对成矿过程作出以下假设,假设1:早期石英闪长岩侵入捷嘎组地层中,不含矿的热液沿接触边界上侵,与围岩发生蚀变交代作用,形成大量矽卡岩,但并未形成矿体;后期花岗闪长岩侵入,此时部分含矿热液沿早期石英闪长岩侵位的边界上侵就位,在石英闪长岩与围岩所形成的矽卡岩内富集成矿。假设2:早期石英闪长岩侵入捷嘎组地层中,含矿热液与围岩发生接触交代作用,形成矿体;后期花岗闪长岩侵入,含矿热液沿边界上侵,再次与围岩发生接触交代,部分与早期形成的矿(化)体发生叠加改造。通过研究发现部分现象和疑问:①石英闪长岩体侵入后,有热液活动的证据,故其有成矿的充分条件;②部分石英闪长岩与地层接触带内的矿体,距离出露的花岗闪长岩岩体较远,致使花岗闪长岩所形成的含矿热液运移到这部分区域的条件更苛刻,难度更大;③2号矿体(花岗闪长岩与围岩接触带内)与8号矿体(石英闪长岩与围岩接触带内)作为矿区内两个主要矿体,其矿体矿化组合存在差异,2号矿体矿化组合为 $Au + Cu + Fe$,其中发现大量磁铁矿,硫化物含量较低,8号矿体矿化组合为 $Au + Cu$,硫化物含量较高,但是,两个矿体周围的蚀变分带基本相同,未见明显差异。据此作者进行大胆推测:石英闪长岩和花岗闪长岩的侵入均形成不同程度的矿化,但由于两期岩浆所含热液成分相近、侵位位置属于同一地层、侵位时间间隔较短等因素的影响,致使两期岩浆热液所形成的蚀变分带相似,仅在磁铁矿和硫化物含量上有所差别。

4.1.3 构造运动对成矿的控制

研究区内至少经历了3期构造变形,其中第1期以北西向褶皱和北东向张性横断层的构造活动与成矿作用关联不大;第2期构造运动与成矿关系最为密切,其主要形成北东向褶皱、北东向压性断层以及北西向小型张性横断层,与成矿相关的石英闪长岩、花岗闪长岩岩体主要沿北东向断裂侵入,在断层破碎带附近的捷嘎组碳酸盐地层内亦发育有矽卡岩矿化,可见本期构造运动所形成的断裂为岩浆的侵入和流体的运移提供了有利通道;第3期构造运动发生于成矿后,其所形成的南北向断层对矿体起破坏作用。

4.2 矿床描述性模型

将嘎拉勒铜金矿床的主要矿床特征、矿床产出

大地构造背景、矿化蚀变分带等描述如下:

构造背景:隶属于拉达克-冈底斯弧盆系中的措勤-申扎岛弧带的西北边缘,属中冈底斯成矿带西北段。赋矿地层:下白垩统捷嘎组地层中的白云岩、白云质大理岩,其中地层中部纹层状白云岩中矿(化)体规模较大。成矿岩体:为石英闪长岩和花岗闪长岩,细粒、中细粒结构。地质时代:晚白垩世花岗闪长岩 86.52 ± 0.41 Ma,石英闪长岩早于花岗闪长岩,两者应均于白垩世晚期侵入就位。

控矿构造:北东向褶皱、北东向压性断层以及北西向小型张性横断层。成矿阶段:磁铁矿阶段、石英硫化物阶段、石英碳酸盐阶段及表生阶段。成矿环境:侵入岩和白云岩、白云质大理岩接触带、接触带附近的断裂带及捷嘎组纹层状碳酸盐地层中矽卡岩内。矿体形态:条带状、似层状及透镜状等。矿物组合:金属矿物以自然金、黄铜矿、磁铁矿为主,此外还有孔雀石、斑铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等次要矿物,另有少量辉铋矿、自然铋、铋锑互化物、辉锑矿、自然银等。非金属矿物主要为有橄榄石、蛇纹石、金云母、石榴子石、透辉石、绿帘石、绿泥石、尖晶石、粒硅镁石、方解石和石英等。结构、构造:矿石结构有结晶结构、包含结构、半自形-他形粒状结构、交代残留结构及共生结构等。构造有稀疏-稠密浸染状构造、团块状构造及条带状构造。围岩蚀变:矽卡岩化、绿泥石化、绿帘石化、硅化、绢云母化、高岭土化等,伴随的矿化有磁铁矿化、黄铁矿化、黄铜矿化、孔雀石化和金矿化。蚀变分带:由岩体向地层所形成的镁橄榄石+镁铁尖晶石+粒硅镁石(石榴石(金云母带、金云母+蛇纹石+石榴石+透辉石+绿帘石带、蛇纹石+透辉石+透闪石+绿帘石(金云母带、蛇纹石(金云母化大理岩带、大理岩带。

详查区内与铜金成矿作用关系密切的是矽卡岩化、黄铁矿化、黄铜矿化等。区内的主要矿体均产于矽卡岩带中,金矿化程度与铜矿化的发育密切相关。

5 结论

(1)嘎拉勒矿区出露的地层主要为下白垩统捷嘎组碳酸盐岩及其下伏的郎久组砂岩砾岩,岩浆岩由早到晚有斑状石英闪长岩、闪长玢岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗斑岩,矿体主要产于石英闪长岩和花岗闪长岩与碳酸盐围岩接触带矽卡岩内。矿化过程可分为岩浆热液成矿期和表生期,其中,岩浆

热液成矿期又分为进变矽卡岩化阶段、退变矽卡岩化阶段、磁铁矿阶段、石英硫化物阶段和石英碳酸盐阶段。

(2) 矿区内矽卡岩具有良好的分带性, 自岩体向外可分出镁橄榄石+镁铁尖晶石+粒硅镁石±石榴石±金云母带、金云母+蛇纹石+石榴石+透辉石+绿帘石带、蛇纹石+透辉石+透闪石+绿帘石±金云母带、蛇纹石±金云母化大理岩带、大理岩带, 具有由高温至低温的演化特点。

(3) 前人研究指出嘎拉勒矿区花岗闪长岩为成矿母岩, 本次通过野外观察发现, 石英闪长岩与围岩接触带矽卡岩内, 同样发育有铜金矿体, 由此判断该矿床可能存在两期成矿作用: 早期石英闪长岩侵入捷嘎组碳酸盐地层, 形成早期矽卡岩矿(化)体, 后期花岗闪长岩再次侵入就位, 对早期矿(化)体叠加改造, 使成矿元素更加富集。

致谢 西藏自治区地质二大队的西藏润地矿业有限公司对笔者的野外工作给予了大力支持, 特致感谢!

References

- Chen Ming, Wang Jian, Tan Fuwen, *et al.* 2005. Sedimentary characteristics in the Coqen Basin, Xizang during the Middle Jurassic to the Early Cretaceous[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 25(1/2): 171~179(in Chinese with English abstract).
- Deng Shilin, Tang Juxing, Li Zhijun, *et al.* 2011. Geochemical characteristics of rock mass in the Gaerqiong Cu-Au deposit, Tibet[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 38(1): 85~91(in Chinese with English abstract).
- Han Weifeng. 2013. Depositional Characteristics of Early Cretaceous and Its Tectonic Significance in Cuoqin Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese).
- He Jianjuan, Xiao Yuanfu, Guo Long, *et al.* 2014. The modes of occurrence of gold and silver in the Galale copper gold deposit, Tibet[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(6): 1143~1150(in Chinese with English abstract).
- Hu Zhenghua, Tang Juxing, Li Zhijun, *et al.* 2012. Geological characteristics and genetic significance of Cu-Au deposits of Ga'erqiong in Geji County, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(4): 588~600(in Chinese with English abstract).
- Ji Zhansheng, Yao Jianxin and Wu Guichun. 2008. Upper Paleozoic-Lower Mesozoic in the Coqen basin, Tibet, China: A potential petroleum-bearing sedimentary sequence[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(1): 36~63(in Chinese with English abstract).
- Lei Chuanyang, Li Zhijun, Zhang Zhi, *et al.* 2012. Geochemical characteristics and geodynamic significance of the granites in the Ga'erqiong Cu-Au deposit, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(4): 601~612(in Chinese with English abstract).
- Li Zhijun, Tang Juxing, Yao Xiaofeng, *et al.* 2011a. Re-Os isotope age and geological significance of molybdenite in the Gaerqiong Cu-Au deposit of Geji, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 38(6): 678~683(in Chinese with English abstract).
- Li Zhijun, Tang Juxing, Yao Xiaofeng, *et al.* 2011b. Geological characteristics and prospecting potential of Gaerqiong copper-gold polymetallic deposit in Ali District, northern Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 30(6): 1149~1153(in Chinese with English abstract).
- Lü Lina, Cui Yubin, Song Liang, *et al.* 2011. Geochemical characteristics and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Galale skarn gold(copper) deposit, Tibet and its significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 18(5): 224~242(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Mo Xuanyue, Hou Zengqian, *et al.* 2006. Spatial-temporal frame work of the Gangdese orogenic belt and its evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521~533(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Xiao Qinghui and Lu Songnian. 2009. Subvision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 26(1): 1~4(in Chinese with English abstract).
- Qu Xiaoming, Xin Hongbo, Xu Wenyi, *et al.* 2006. Discovery and significance of copper-bearing bimodal rock series in Coqin area of Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 707~716(in Chinese with English abstract).
- Song Junlong, Li Zhijun, Yao Xiaofeng, *et al.* 2012. Characteristics and the genetic significance of Skarn in the Gaerqiong Cu-Au Deposit, Geji County, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(4): 703~712(in Chinese with English abstract).
- Tang Juxing, Zhang Zhi, Li Zhijun, *et al.* 2013. The metallogensis, deposit model and prospecting direction of the Ga'erqiong-Galale copper-gold ore field, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(4): 385~394(in Chinese with English abstract).
- Tao Xiaofeng, Liu Dengzhong, Zhu Lidong, *et al.* 2008. The evolution of the Coqen basin of Mesozoic of Cenozoic in Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 35(1): 103~107(in Chinese with English abstract).
- Wang Guanmin. 2001. Tectonic-Sedimentary evolution of the Cuoqin Basin and its hydrocarbon potential[J]. *Acta Petroli Sinica*, 22(1): 31~35(in Chinese with English abstract).
- Wang Hongxing, Yao Xiaofeng, Li Zhijun, *et al.* 2012. Lithogeochemical anomaly characteristics and ore-search targeting of the

- gaerqiong gold copper ore district in gegyai county, Tibet[J]. Journal of Chendu University of Technology, 33(4): 693~702(in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Sun Yan, Li Zhijun, *et al.* 2013. Rare bismuth minerals in the Galale copper and gold deposit of the Bangong Co-Nujiang metallogenic Belt[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 32(3): 343~348(in Chinese with English abstract).
- Wang You. 2010. Study on Features of Ores in the Ga'erqiong Copper-Gold Deposit, Geji Country, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- Xiao Yuanfu, Sun Yan, Wang Qiang, *et al.* 2012. The discovery of rare intermetallic compounds (Ni-Cr-Fe, Cu-Zn) in the Garqiong copper-gold deposit of Tibet[J]. Geology in China, 39(5): 1 311~1 317(in Chinese with English abstract).
- Xin Hongbo and Qu Xiaoming. 2006. Geological characteristics and ore-forming epoch of Ri'a copper deposit related to bimodal rock series in Coqen County, western Tibet[J]. Mineral Deposits, 25(4): 477~482(in Chinese with English abstract).
- Yan Yifa. 2011. Intrusive Rocks Formation Spatio-temporal Distribution in the Western Section of Nyenchen Tanglha Subzone[D]. Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- Yao Xiaofeng, Tang Juxing, Li Zhijun, *et al.* 2012a. S-Pb isotope characteristics of the Ga'erqiong gold-copper deposit in Tibet: Tracing the source of ore-forming Materials[J]. Acta Geoscientia Sinica, 33(4): 528~536(in Chinese with English abstract).
- Yao Xiaofeng, Tang Juxing, Li Zhijun, *et al.* 2012b. Research on magma origin of two intrusive from Gaerqiong copper-gold deposit and it's geological significance, western Bangonghu-Nujiang Metallogenic Belt, Tibet-from the implication from Hf isotope characteristics[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 42(2): 188~197(in Chinese with English abstract).
- Yao Xiaofeng, Tang Juxing, Li Zhijun, *et al.* 2013. The redefinition of the ore-forming porphyry's age in Gaerqiong skarn-type-gold-copper deposit, Western Banggonghu-Nujiang metallogenic belt, Tibet[J]. Geological Review, 59(1): 193~200(in Chinese with English abstract).
- Yao Xiaofeng, Tang Juxing, Wang You, *et al.* 2011. The study of the characteristics of gold minerals in Gaerqiong copper-gold deposit, Tibet[J]. Geology and Exploration, 47(6): 1 018~1 025(in Chinese with English abstract).
- Yu Yushuai, Gao Yuan, Yang Zhusen, *et al.* 2011. Zircon LA-ICP-MSU-Pb dating and geochemistry of intrusive rocks from Gunjiu iron deposit in the Nixiong ore field, Coqen, Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(7): 1 949~1 960(in Chinese with English abstract).
- Yu Yushuai, Yang Zhusen, Liu Yingchao, *et al.* 2012. Mineralogical characteristics of skarn in Ri'a copper deposit of Nixiong ore-field, Tibet, and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 31(4): 775~790(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiong, Yang Zhusen and He Lin. 2014. Ar-Ar isotopic age of phlogopite from the Galale gold-copper deposit in Tibet and its geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 33(6): 1 127~1 133(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yi, Li Yalin and Huang Jijun. 2008. Tectonic division and crustal shortening in the Coqen Basin, Xizang[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 28(1): 7~13(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhi, Chen Yuchuan, Tang Juxing, *et al.* 2013c. Geological and skarn mineral characteristics of Galale Cu-Au deposit in Tibet[J]. Mineral Deposits, 32(5): 915~931(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhi, Tang Juxing, Chen Yuchuan, *et al.* 2013b. Skarn mineral characteristics and the Gaerqiong Cu-Au deposit in Bangong co-Nujiang river suture zone, Tibet[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 32(3): 305~317(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhi, Tang Juxing, Li Zhijun, *et al.* 2013a. Petrology and geochemistry of intrusive rocks in the Gaerqiong-Galale ore concentration area, Tibet and their geological implications[J]. Geology and Exploration, 49(4): 676~688(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhi, Tang Juxing, Yang Yi, *et al.* 2012. Element spatial distribution of the Gaerqiong copper-gold deposit in Tibet and its geochemical exploration model[J]. Acta Geoscientia Sinica, 33(4): 663~672(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yanan, Xiao Yuanfu, Zhang Shiming, *et al.* 2014. Occurrence and genetic implication of ore minerals from Galale copper gold deposit, Tibet, China[J]. Acta Geoscientia Sinica, 34(1): 83~91(in Chinese with English abstract).
- Zheng Youye, Xu Rongke, He Laixin, *et al.* 2004. The Shiquan River ophiolitic mélange zone in Xizang: The delineation and significance of a new archipelagic arc-basin system[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 24(1): 13~20.
- Zhu Dicheng, Pan Guitang, Mo Xuanxue, *et al.* 2006. Late Jurassic-Early Cretaceous geodynamic setting in middle-northern Gangdese: New insights from volcanic rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 524~546(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈明, 王剑, 谭富文, 等. 2005. 西藏措勤盆地中侏罗世-早白垩世沉积充填特征[J]. 沉积与特提斯地质, 25(1~2): 171~179.
- 邓世林, 唐菊兴, 李志军, 等. 2011. 西藏尕尔穷铜金矿床岩体地球

- 化学特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(1): 85~91.
- 韩维峰. 2013. 措勤盆地晚白垩世沉积特征及其构造意义[D]. 北京: 中国地质大学.
- 何建娟, 肖渊甫, 郭一龙, 等. 2014. 西藏嘎拉勒铜金矿床金和银的赋存状态研究[J]. 岩石矿物学杂志, 33(6): 1143~1150.
- 胡正华, 唐菊兴, 李志军等. 2012. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿床地质特征及其成因意义[J]. 地球学报, 33(4): 588~600.
- 纪占胜, 姚建新, 武桂春. 2008. 西藏措勤盆地的上古生界-下中生界: 潜在的油气沉积建造[J]. 地质通报, 27(1): 36~63.
- 雷传扬, 李志军, 张志等. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿床花岗岩类的地球化学特征及其地球动力学意义[J]. 地球学报, 33(4): 601~612.
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 等. 2011a. 班公湖-怒江成矿带西段尕尔穷铜金矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(6): 678~683.
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 等. 2011b. 藏北阿里地区新发现的尕尔穷铜金多金属矿床地质特征及其找矿前景[J]. 矿床地质, 30(6): 1149~1153.
- 吕立娜, 崔玉斌, 宋一亮, 等. 2011. 西藏嘎拉勒夕卡岩型金(铜)矿床地球化学特征与锆石的 LA-ICP-MS 定年及意义[J]. 地学前缘, 18(5): 224~242.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3): 521~533.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 26(1): 1~4.
- 曲晓明, 辛洪波, 徐文艺, 等. 2006. 藏西措勤含铜双峰岩系的发现及其意义[J]. 岩石学报, 22(3): 707~716.
- 宋俊龙, 李志军, 姚晓峰, 等. 2012. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿砂卡岩特征及成因意义[J]. 地球学报, 33(4): 703~712.
- 唐菊兴, 张志, 李志军, 等. 2013. 西藏尕尔穷-嘎拉勒铜金矿集区成矿规律、矿床模型与找矿方向[J]. 地球学报, 34(4): 385~394.
- 陶晓风, 刘登忠, 朱利东, 等. 2008. 西藏措勤中生代沉积盆地演化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 35(1): 103~107.
- 王冠民. 2001. 西藏措勤盆地构造沉积演化及含油气远景[J]. 石油学报, 22(1): 31~35.
- 王红星, 姚晓峰, 李志军, 等. 2012. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿区岩石地球化学勘查异常特征及找矿方向[J]. 地球学报, 33(4): 693~702.
- 王强, 孙一燕, 李志军, 等. 2013. 班公湖-怒江成矿带嘎拉勒铜金矿床发现罕见铋矿物[J]. 矿物岩石地球化学通报, 32(3): 343~348.
- 王友. 2010. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿床矿石特征研究[D]. 成都: 成都理工大学.
- 肖渊甫, 孙一燕, 王强, 等. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿床发现罕见金属(Ni-Cr-Fe, Cu-Zn)互化物[J]. 中国地质, 39(5): 1311~1317.
- 辛洪波, 曲晓明. 2006. 藏西措勤县日阿与斑(玢)岩有关的铜矿床的矿床地质特征与成矿时代[J]. 矿床地质, 25(4): 477~482.
- 严毅发. 2011. 冈底斯-念青唐古拉构造岩浆岩带西段中生代侵入岩时空分布[D]. 成都理工大学.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 等. 2012a. 班怒带西段尕尔穷铜金矿两套侵入岩源区研究及其地质意义——来自 Hf 同位素特征的指示[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 42(2): 188~197.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 等. 2012b. 西藏尕尔穷铜金矿床 S、Pb 同位素地球化学特征——成矿物质来源示踪[J]. 地球学报, 33(4): 528~536.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 等. 2013. 班怒带西段尕尔穷砂卡岩型铜金矿含矿母岩成岩时代的重新厘定及其地质意义[J]. 地质论评, 59(1): 193~200.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 王友, 等. 2011. 西藏尕尔穷铜金矿矿物特征研究[J]. 地质与勘探, 47(6): 1018~1025.
- 于玉帅, 高原, 杨竹森, 等. 2011. 西藏措勤尼雄矿田滚铁侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄与地球化学特征[J]. 岩石学报, 27(7): 1949~1960.
- 于玉帅, 杨竹森, 刘英超, 等. 2012. 西藏尼雄矿田日阿铜矿床砂卡岩矿物学特征及地质意义[J]. 矿床地质, 31(4): 775~790.
- 张雄, 杨竹森, 何林. 2014. 西藏嘎拉勒金铜矿床⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素年龄及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 33(6): 1127~1133.
- 张义, 李亚林, 黄继钧. 2008. 西藏措勤盆地构造特征与地壳缩短[J]. 沉积与特提斯地质, 28(1): 7~13.
- 张志, 陈毓川, 唐菊兴, 等. 2013c. 西藏嘎拉勒铜金矿床地质特征及砂卡岩矿物学特征研究[J]. 矿床地质, 32(5): 915~931.
- 张志, 唐菊兴, 陈毓川, 等. 2013b. 西藏班-怒结合带尕尔穷铜金矿床砂卡岩矿物学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 32(3): 305~317.
- 张志, 唐菊兴, 李志军, 等. 2013a. 西藏尕尔穷-嘎拉勒铜金矿集区侵入岩岩石地球化学特征及其地质意义[J]. 地质与勘探, 49(4): 676~688.
- 张志, 唐菊兴, 杨毅, 等. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿元素空间分布规律及地球化学勘查模型[J]. 地球学报, 33(4): 663~672.
- 赵亚男, 肖渊甫, 张世铭, 等. 2014. 西藏嘎拉勒铜金矿床矿石矿物赋存状态及成因意义[J]. 矿物学报, 34(1): 83~91.
- 郑有业, 许荣科, 何来信, 等. 2004. 西藏狮泉河蛇绿混杂岩带——一个新的多岛弧盆系统的厘定及意义[J]. 沉积与特提斯地质, 24(1): 13~20.
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 2006. 青藏高原中部中生代 OIB 型玄武岩的识别: 年代学, 地球化学及其构造环境[J]. 地质学报, 80(9): 1312~1328.