

doi: 10.12029/gc20200216

毕志伟,王艳凯,孙肖,张建珍,张涛,刘腾飞. 2020. 西藏日土县巴工铅多金属矿(点)地质、岩浆岩地球化学及成岩年代学特征研究[J]. 中国地质, 47(2): 497-515.

Bi Zhiwei, Wang Yankai, Sun Xiao, Zhang Jianzhen, Zhang Tao, Liu Tengfei. 2020. Geological characteristics, magmatic geochemistry and petrogenic chronology of the Bagong Pb polymetallic ore spot in Ritu County, Tibet[J]. *Geology in China*, 47(2): 497-515(in Chinese with English abstract).

西藏日土县巴工铅多金属矿(点)地质、岩浆岩地球化学及成岩年代学特征研究

毕志伟,王艳凯,孙肖,张建珍,张涛,刘腾飞

(河北省区域地质调查院,河北 廊坊 065000)

摘要:巴工铅多金属矿位于西藏班公湖—怒江成矿带西部,构造单元归属于日土—多龙早白垩世岩浆弧带,初步估算Cu+Pb+Zn 334,资源量为9.49万t。本文以西藏日土埃永错东地区铜铅锌多金属矿产调查评价成果为基础,论述了日土县巴工铅多金属矿的地质特征,并对其成因、找矿意义等进行了初步讨论。通过大比例尺填图、系统采集稀土微量硅酸岩和同位素样品对其研究,查明矿点内出露的岩体有辉绿岩、石英二长闪长岩、花岗闪长斑岩和花岗斑岩,其中花岗闪长斑岩与成矿作用关系最为密切,形成环境为活动大陆边缘,时代为早白垩世((112.7±0.68) Ma);控矿因素主要有地层、构造、岩浆岩;成矿围岩主要为蚀变凝灰质砂岩、蚀变沉凝灰岩、蚀变辉绿岩和绢云绿泥蚀变岩;控矿构造为北西西向、近东西向和北西向断裂,矿体呈浸染状、透镜状、网脉状和集合体块状产出。初步认定巴工铜铅锌多金属矿成因为中低温热液裂隙充填型。该矿点的发现为班公湖—怒江结合带及两侧火山岩岩浆弧带这一有利成矿带提供了新的找矿线索,为该地区的找矿进一步拓宽了找矿方向。

关键词:铜铅锌;花岗闪长斑岩;早白垩世;中低温热液裂隙充填型;地质调查工程;巴工;西藏

中图分类号:P618.41~42 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2020)02-0497-19

Geological characteristics, magmatic geochemistry and petrogenic chronology of the Bagong Pb polymetallic ore spot in Ritu County, Tibet

BI Zhiwei, WANG Yankai, SUN Xiao, ZHANG Jianzhen, ZHANG Tao, LIU Tengfei

(Hebei Regional Geological Survey Institute, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: The Bagong Pb polymetallic ore spot is located in the west of the Bangong Co-Nujiang metallogenic belt, and its tectonic unit belongs to Ritu-Duolong early Cretaceous magma arc belt. Preliminary estimation of Cu+Pb+Zn 334, resources is 94900 tons. Based on the results of investigation and evaluation of Cu-Pb-Zn polymetallic ore resources in the eastern Aiyongcuo area in Ritu County of Tibet, The authors investigated their geological characteristics, genesis and prospecting significance. Samples of rare earth elements, trace elements, silicate and isotopes were systematically collected and studied through large scale mapping, and the pluton which is exposed in the ore spot consists of diabase, quartz monzodiorite, granodiorite porphyry and granite porphyry. Among them,

收稿日期:2018-04-25;改回日期:2019-12-28

基金项目:中国地质调查局项目(121201103000160903)资助。

作者简介:毕志伟,男,1984年生,高级工程师,从事区域地质矿产调查工作;E-mail:11196363@qq.com。

granule porphyry formed on active continental margin in early Cretaceous (112.7 ± 0.68) Ma) seems to be most closely related to mineralization. The ore-controlling factors are mainly composed of strata, magma and structure. The metallogenic wall rocks mainly include altered tuff sandstone, altered agglomerate, altered diabase and sericite-chlorite altered rock. The ore-controlling structure mainly includes NWW-, nearly EW- and NW-trending faults. The orebody exhibits disseminated, lentoid, stockwork and aggregation forms. The authors preliminarily hold that the origin of the Bagong Cu-Pb-Zn polymetallic ore spot is of medium and low temperature hydrothermal fracture filling type. The discovery of this ore spot provides a new prospecting clue for Bangong-Nujiang junction zone and the volcanic-magma arc on both sides of the junction zone. In addition, the prospecting direction is further expanded in this area.

Key words: Cu-Pb-Zn; granodiorite porphyry; Early Cretaceous; medium and low temperature hydrothermal fracture filling type; geological survey engineering; Bagong area; Tibet

About the first author: BI Zhiwei, male, born in 1984, senior engineer, mainly engages in regional geology and mineral resources exploration; E-mail: 11196363@qq.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 121201103000160903).

1 引 言

班公湖—怒江结合带及其两侧火山岩浆弧带是一条重要的多金属构造岩浆成矿带(刘庆宏等, 2004; 廖六根等, 2005; 曹圣华等, 2006; 曲晓明等, 2009; 薛万文等, 2019), 而与班怒带有关的矿(床)主要分布于南羌塘和北冈底斯带。2003—2006年, 江西地质调查院在班公湖—怒江结合带西段扎普—多不杂岩浆弧带内相继发现了弗野磁铁矿点、材玛锑铁矿点(冯国胜等, 2006, 2007)、扎普铜矿点, 西藏地质矿产勘查局第五地质大队在该带改则县附近发现了多不杂、多龙铜矿点等众多矿(化)点, 2005年前后发现的多不杂矿区通过后期(2005—2018年)勘探工作在该地区及外围一共查明有多不杂、波龙、拿顿、拿若、色那、铁格龙、塞角、尕尔勤和铁格隆南9大矿区。前人对这些矿床开展过非常多的研究工作, 这些矿床均与晚侏罗世—早白垩世花岗岩关系密切, 多龙矿集区9大矿区中早白垩世花岗岩闪长斑岩就是含矿岩体(曲晓明等, 2006; 余宏全等, 2009; 辛洪波等, 2009; 李金祥等, 2012; 孙兴国等, 2014; 杨超等, 2014; 方向等, 2014, 2015; 唐菊兴等, 2016; 汪东波等, 2016; 王勤等, 2016), 这些矿床(点)的发现显示了该带巨大的找矿潜力, 但是目前发现的矿床以斑岩、浅成低温热液和矽卡岩型铜铁金矿为主, 一直未发现有重要价值的铅锌矿或找矿线索。2011—2013年河北区调所承担的西藏1:5万埃永错东地区四幅区调项目中, 在该成矿带内新发现了1处以铅锌为主的多金属矿点(孙肖等, 2015), 后续2014—2016年通过对该矿点开展调查评价工

作, 查明矿化产于早—中二叠世吞龙共巴组中所发育的断层破碎带之中, 赋矿岩石为构造蚀变岩、石英脉等, 矿体呈北西西向、近东西向展布, 邻近矿体分布有与矿化关系密切的早白垩世石英二长闪长岩、花岗闪长斑岩等, 同期花岗岩的分布显示了巴工矿点与这些矿床具有相似的区域成矿地质背景。本文在综合分析1:5万埃永错东地区四幅区调成果的基础上, 结合西藏日土埃永错东地区铜铅锌多金属矿产调查评价的相关成果资料, 认为巴工矿点铜铅锌矿化主要受控于北西西向和近东西向断裂, 矿化成因类型为中低温热液裂隙充填型。本矿点的发现为后续扎普—多不杂岩浆弧带西段日土—革吉一带多金属矿的找矿工作提供了更多的线索和方向。

2 区域成矿地质背景

巴工铅多金属矿点位于西藏自治区日土县以东约150 km, 矿区附近有公路与日土县城、革吉县盐湖乡相通, 交通较方便。在大地构造位置上处于班公湖—怒江结合带西端北缘、南羌塘地块南缘之扎普—多不杂岩浆弧带(图1)西段。是班公湖—怒江结合带西段北缘多金属构造岩浆成矿带的重要组成部分。

区域资料显示与成矿关系密切的地层主要为区域上广泛分布的二叠纪—白垩纪碎屑岩、火山碎屑岩。其中北西西向深大断裂控制了岩浆的侵位, 与之伴生的次级北东向、北西向等断裂的多期次活动以及接触带构造、层间破碎带构造为成矿物质迁移富集提供了良好的容储空间。该带具强烈的构

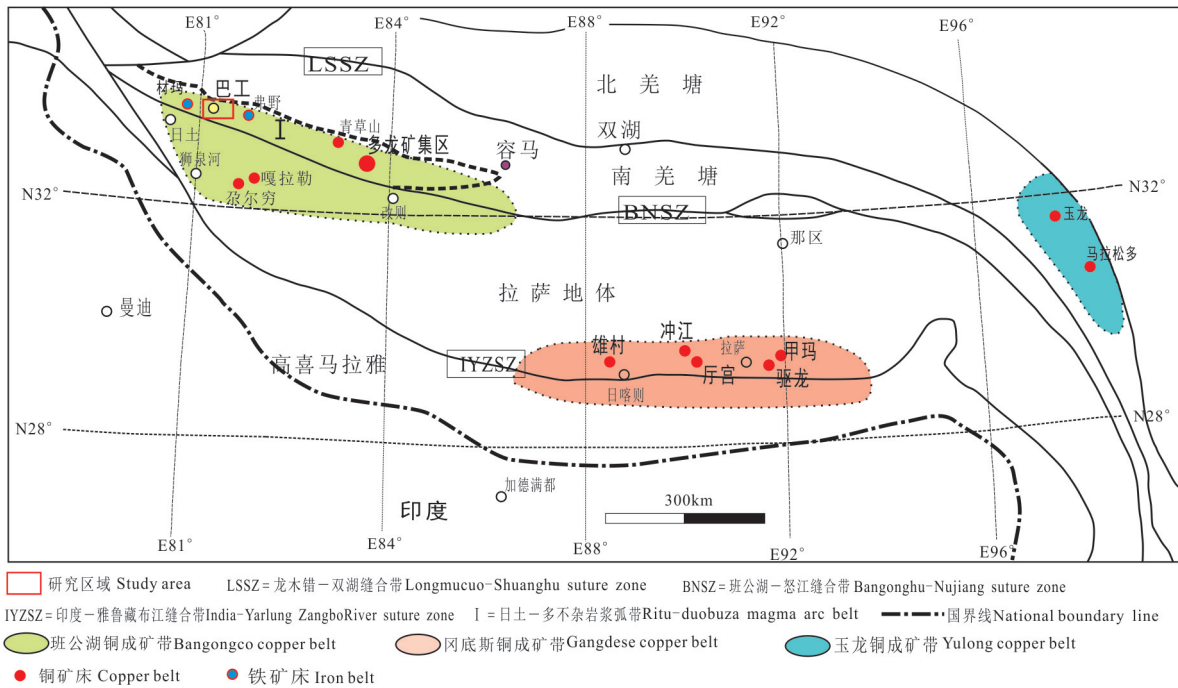


图1 西藏区域成矿带划分图

Fig.1 Regional metallogenic belt-dividing map of Tibet

造岩浆活动,班公湖—怒江结合带北侧在侏罗纪至早白垩世具有碰撞增生型造山带的特点(李继亮, 2004;袁四化等, 2009),表现为俯冲作用形成的岩浆弧型花岗(斑)岩类侵入到弧前增生盆地复理石碎屑岩中。尤其是早白垩世的中酸性侵入岩是区域上极为有利的成矿岩体,其中该带上规模最大的改则波龙—多不杂斑岩型铜金矿床的含矿岩体均形成于早白垩世(曲晓明等, 2006;余宏全等, 2009;方向等, 2015)。

研究区区域地球化学特征显示在扎普—多不杂成矿带范畴分布有诸多 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、Cr、Ni 等金属元素地球化学富集块体。前人(冯国胜等, 2006, 2007)在该带内已发现与燕山晚期和喜马拉雅期造山岩浆构造活动相关的弗野、材玛矽卡岩型磁铁矿,多龙矿集区(包括铁格隆南、波龙、多不杂等九大矿区)浅成低温热液—斑岩型大型铜金矿床,说明巴工矿点所处的扎普—多不杂成矿带是区域上极为有利的成矿地带。

3 矿区地质概况及矿床地质特征

3.1 矿区地质概况

矿区出露的地层主要有下一中二叠统吞龙共

巴组(P_{1-2t})、中二叠统龙格组(P_{2lg})和新近系喷呐湖组(Ns)(图2)。吞龙共巴组为一套碎屑岩岩石组合,为含砾中细粒(或不等粒)凝灰质长石岩屑砂岩、凝灰质岩屑砂岩、凝灰质细砂质粉砂岩等;龙格组(P_{2lg})主要为一套泥晶灰岩、燧石条带灰岩等碳酸盐岩建造;美日切错组(K_1m)主要为一套火山碎屑岩,岩性主要为凝灰岩、角砾凝灰岩;喷呐湖组下部为砾岩,上部为灰白色亮晶藻团块灰岩(毕志伟, 2017, 2018)。

构造上矿区处于区域大型背斜的核部轴部位置(图2),临近矿区北东向走向断裂改造北西西向(西矿段)断裂构造线方向转变为近东西向(东矿段),是区域构造线转换部位(1:25万羌多幅)。以第四系为界将矿区分为东西矿段,西矿段地层和构造线整体呈北西西向(25° 左右),区域大型背斜的南北两翼在该矿段内均有出露;东矿段整体构造线呈北东东向(75° 左右),该矿段主要处于北东东向背斜的南东翼。

西矿段背斜北翼发育有次一级的平缓直立向斜构造,轴面走向 25° 左右,向北陡倾。断裂构造最为发育,主要为脆性断裂,多数断裂的运动形迹与褶皱较为一致,呈北西西向(F3、F4、F5、F6、F7断

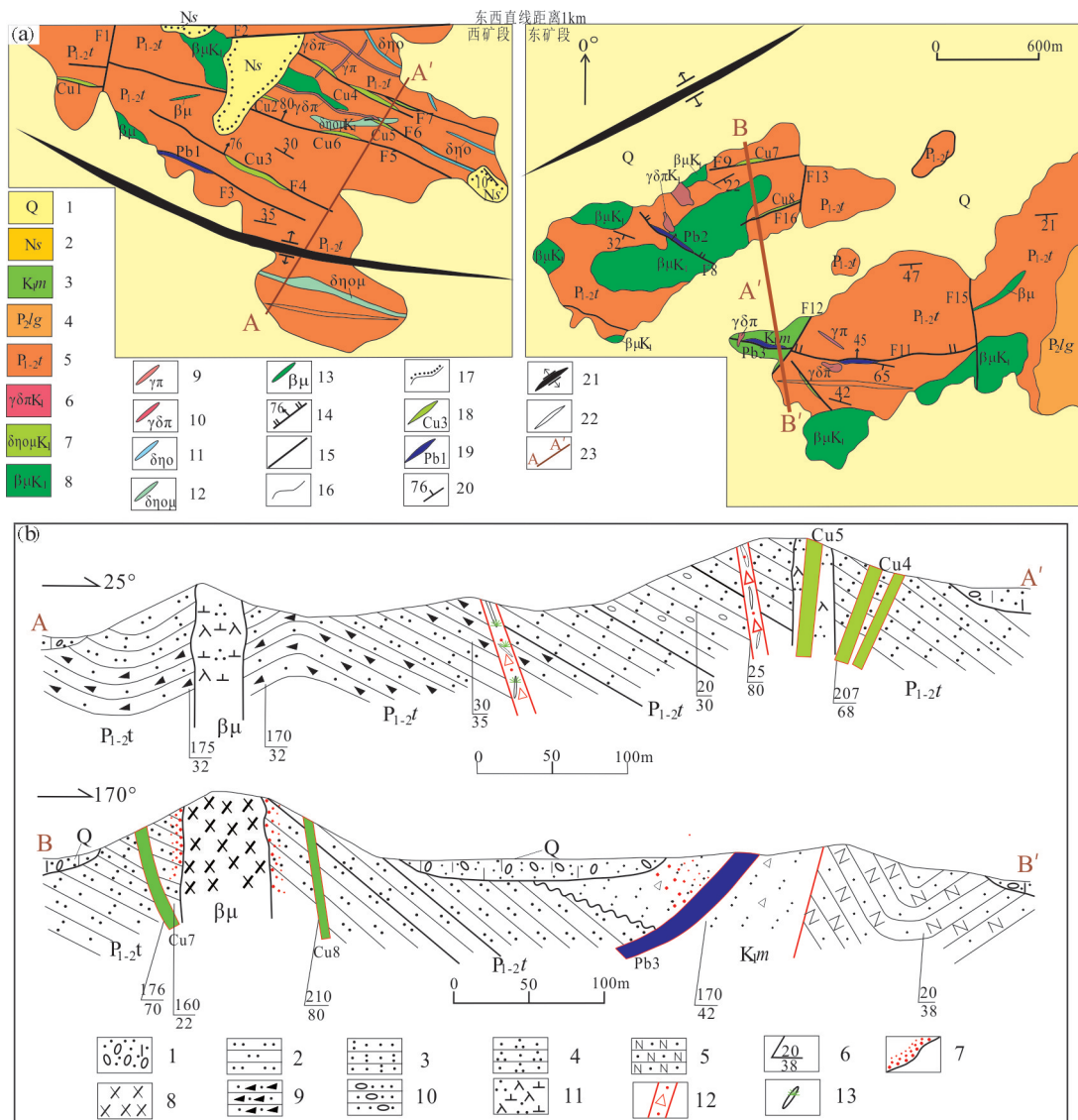


图2 研究区(巴工矿区)地质矿产及剖面图

a: 1—第四系; 2—喷呐湖组; 3—美日切错组; 4—龙格组; 5—吞龙共巴组; 6—花岗闪长斑岩; 7—石英二长闪长岩; 8—辉绿岩; 9—花岗斑岩; 10—花岗闪长斑岩脉; 11—石英二长闪长岩脉; 12—石英二长闪长岩脉; 13—辉绿岩脉; 14—正断层; 15—性质不明断层; 16—一般地质界线; 17—角度不整合界线; 18—铜矿体及编号; 19—铅矿体及编号; 20—地层产状; 21—区域复式背斜轴线; 22—一向斜轴线; 23—图切割面线及编号; b: 1—砂砾石; 2—粉砂岩; 3—凝灰质砂岩; 4—石英砂岩; 5—长石砂岩; 6—产状; 7—角岩化; 8—辉绿岩; 9—岩屑砂岩; 10—含砾细砂岩; 11—石英二长闪长岩; 12—断层破碎带; 13—孔雀石化石英脉

Fig. 2 Geological and mineral section of the study area (Bagong mining area)

a: 1-Quaternary; 2-Suonahu Formation; 3-Meriqiecuo Formation; 4-Longge Formation; 5-Tunlonggongba Formation; 6-Granodionrite porphyry; 7-Quartz diorite porphyrite; 8-Diabase; 9-Granite porphyry dyke; 10-Granodionrite porphyry dyke; 11-Quartz diorite dyke; 12-Quartz diorite porphyrite dyke; 13-Diabase dyke; 14-Normal fault; 15-Unknown fault; 16-General geological boundary; 17-Angular unconformity boundary; 18-Copper orebody and its serial number; 19-Lead orebody and its serial number; 20-Attitude of strata; 21-Regional duplex anticline axis; 22-Syncline axis; 23-Graph cut section and its serial number; b: 1-Sandstone; 2-Siltstone; 3-Gravel-bearing sandstone; 4-Quartz sandstone; 5-Feldspathic sandstone; 6-Attitude; 7-Hornfelsic; 8-Diabase; 9-Lithic sandstone; 10-Gravel-bearing sandstone; 11-Quartz diorite porphyrite; 12-Fault fracture zone; 13-Malachite quartz dyke

裂),是西矿段的导矿和容矿断裂(图2,图3),填图和探槽工程显示地表已知的矿体和强蚀变均产于北西西向断裂破碎带内或其旁侧。破碎带主要由

断层角砾岩、碎粉岩等组成,蚀变岩较常见,其内多见有后期侵入的石英脉,破碎带内以及石英脉与围岩接触地段常见有孔雀石化、黄铜矿化、斑铜矿化

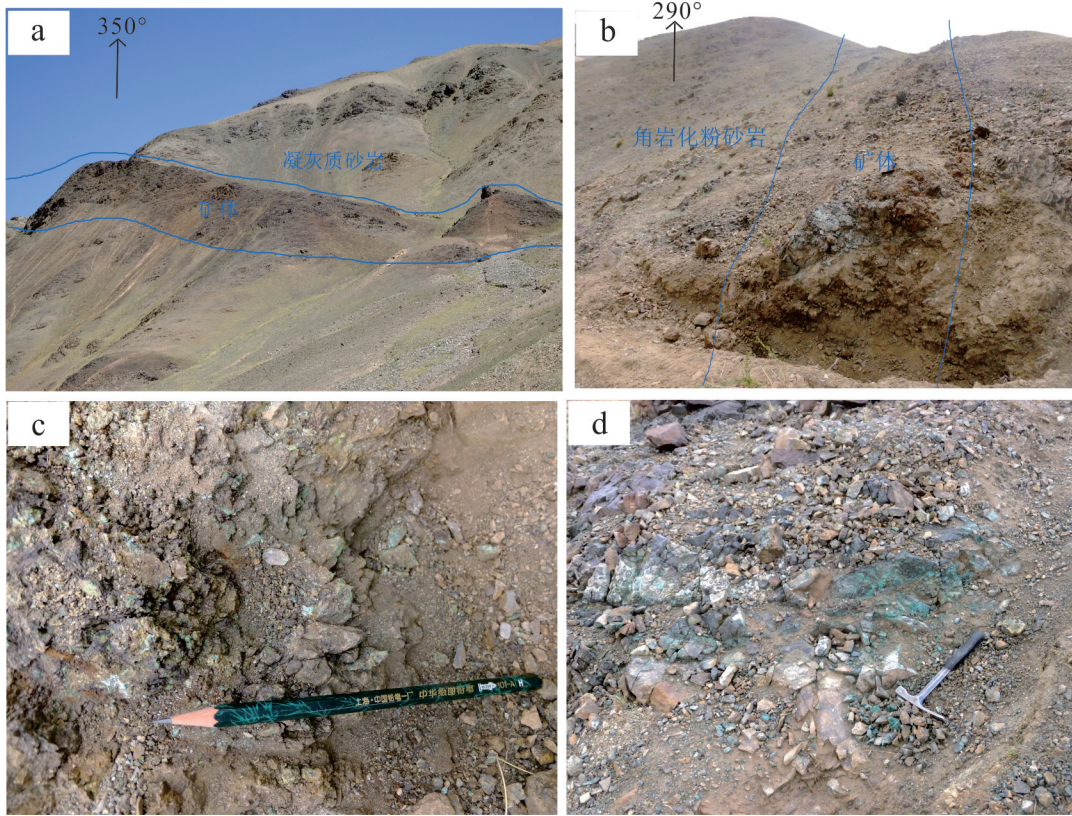


图3 地表典型断裂和矿化照片

a—F4断裂(Cu3矿体)产状;b—F5断裂(Cu6矿体)产状;c,d—Cu4矿体矿化特征

Fig.3 Photo of typical faults and mineralization on the surface

a—F4 fault(Cu3 orebody)attitude; b—F5 fault(Cu5 orebody) attitude; c, d—Mineralization of Cu4 orebody

等矿化蚀变特征。北西西向断裂以F3为代表,该断裂地表可见长约1300 m,北西和南东分别被新近纪唢呐湖组和第四系覆盖,地表形成几米至30~40 m的构造破碎带,该断层在地表走向延深较为平直,见次一级分支小断裂,断层倾向 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$,倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。次为近北向和近东西向断裂(F1、F2),其属于后期次一级的断裂,对成矿起破坏作用。

东矿段整体处于区域大型背斜的南翼,发育次一级的向斜构造,轴面走向 70° 左右,两翼间夹角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$,为开阔直立向斜。断裂构造较发育,均为脆性断裂,根据断裂的活动形迹及展布特征,可分为北西向断裂(F8、F14)、近东西向断裂(F9、F10、F11)、北东向(F12、F13)和近北向断裂(F15)4组。其中近东西向和北西向断裂是矿区铅锌矿化的导矿和容矿构造,填图和探槽工程显示矿化和蚀变均产于构造破碎带中或其旁侧。近东西向断裂以F12断裂为代表,该断裂在地表曲折延伸长1500

m左右,地表形成宽数米至十几米的破碎带,破碎带内常见细小的石英脉充填,倾向 $350^{\circ}\sim 10^{\circ}$,倾角 $42^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 。北西向断裂以F8断裂为代表,走向延伸长500 m左右,往南东延深被第四系覆盖,地表形成4~30 m宽的破碎带,破碎带内见强磁铁矿化、白铅矿化、褐铁矿化以及硅化,倾向北东,倾角 $65^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。北东向断裂和近北向断裂为后期次生断裂,硅化较强、矿化蚀变弱,其破坏切割早期北西向和近东西向断裂(图3)。

矿区内岩浆岩为南羌塘南缘早白垩世火山岩浆弧带的一部分,岩体与区域构造线展布方向基本一致,其中矿区西部岩浆岩多呈北西西向条带状分布,矿区东部岩浆岩呈北东东向条带状或串珠状分布,岩石类型主要有辉绿岩、花岗闪长斑岩、石英二长闪长斑岩,另有零星花岗斑岩出露。

辉绿岩:辉绿结构,由斜长石和单斜辉石组成。斜长石呈半自形板条状,长径一般 $0.2\sim 1.5$ mm,

可见聚片双晶,含量65%~70%。单斜辉石呈半自形柱粒状,粒径一般0.2~1 mm,少部分1.5~3.5 mm,其中粒径较小者多呈孤岛状分布于斜长石间隙间,粒径较大者无色,局部纤闪石化,含量30%左右。

花岗闪长斑岩:斑状结构,由斑晶、基质组成。斑晶主要为斜长石、钾长石、石英、黑云母,粒径一般0.3~3.5 mm。斜长石呈半自形宽板状,聚片双晶、环带构造较发育,含量20%±;石英呈他形粒状,粒内轻波状消光,多具熔蚀结构,含量10%±;钾长石呈半自形板状,具高岭土化,含量1%~5%;黑云母主呈鳞片状、叶片状,含量10%±。基质由斜长石、钾长石、石英及黑云母组成,粒径一般<0.1 mm,少量0.1~0.2 mm,斜长石(30%~35%)呈半自形板条状;钾长石呈他型粒状,填隙状分布于斜长石粒间,含量5%~10%;石英呈他形粒状,填隙状分布于斜长石粒间,含量15%±;黑云母呈鳞片状,零星分布,含量1%~5%。

石英二长闪长斑岩:斑状结构,由斑晶、基质组成。斑晶由斜长石、钾长石、石英、黑云母组成,粒径一般0.4~2 mm,少量2~5 mm。斜长石呈半自形

宽板状,聚片双晶、环带构造较发育,根据 $\perp(010)$ 晶带的最大消光角法测得 $NP' \wedge (010)=25$,牌号 $An=46$,属于中长石,含量20%~25%;钾长石呈半自形板状,宽板状,为正长石,含量2%~5%;石英呈他形粒状,粒内轻波状消光,含量2%~5%;黑云母叶片状,多色性明显: Ng' =红棕色、红褐色, Np' =浅黄褐色,含量5%±。基质由斜长石和少量钾长石、石英、黑云母组成,粒径一般<0.1 mm,斜长石呈细小板条状,含量35%~40%;钾长石、石英呈他型粒状,含量分别为5%~8%、10%±,填隙状分布于斜长石粒间;黑云母呈鳞片状,零星分布,含量2%~5%。

3.2 矿床地质特征

3.2.1 金属元素地球化学分布与主要地质单元的关系

项目针对矿区内以及附近主要地质单元开展了岩石光谱采样分析,Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn等15种成矿元素平均含量分别列于表1中。为了反映这些元素的区域地球化学特征,了解其相对于中国陆壳和大陆壳元素中元素的富集分散规律,将不同地质单元元素的平均值与中国陆壳相应元素的平均

表1 主要地质单元主要成矿元素含量(单位:Au、Hg为 10^{-9} ,其他为 10^{-6})

Table 1 Main metallogenic element content in major geological units (unit: Au and Hg: 10^{-9} , other: 10^{-6})			Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sn	Cr	Co	Ni	Mo	W	Bi	Mn	Sb	Hg
吞龙共巴组	38	特征值	35.08	0.14	193.6	2149	941.1	125.3	177.0	39.9	104.6	2.76	4.96	11.82	4700	12.29	110.00
		最大值	35.08	0.14	193.6	2149	941.1	125.3	177.0	39.9	104.6	2.76	4.96	11.82	4700	12.29	110.00
		最小值	0.91	0.04	0.9	5.8	10.3	0.7	14.0	1.8	8.0	0.34	0.30	0.16	246	0.21	5.00
		平均值	4.49	0.07	25.4	96.2	113.9	13.8	70.0	12.1	25.2	0.77	1.80	1.20	885	1.82	29.74
龙格组	87	特征值	8.48	0.13	49.2	16.0	195.8	2.3	410.2	37.8	108.8	1.41	1.03	0.31	2319	19.64	480.00
		最大值	8.48	0.13	49.2	16.0	195.8	2.3	410.2	37.8	108.8	1.41	1.03	0.31	2319	19.64	480.00
		最小值	0.31	0.03	3.9	1.2	11.6	0.8	10.9	0.5	8.3	0.25	0.09	0.03	28	0.07	4.00
		平均值	1.35	0.05	6.9	2.8	29.2	1.3	24.0	1.4	11.7	0.37	0.21	0.09	207	0.76	32.71
曲色组	32	特征值	4.90	0.12	50.9	24.0	100.7	2.9	263.1	29.9	67.8	2.22	1.40	1.90	4693	1.59	194.00
		最大值	4.90	0.12	50.9	24.0	100.7	2.9	263.1	29.9	67.8	2.22	1.40	1.90	4693	1.59	194.00
		最小值	0.40	0.03	14.1	5.5	37.5	1.0	48.5	4.1	18.6	0.45	0.44	0.15	209	0.18	6.00
		平均值	1.75	0.07	26.1	11.5	59.9	1.8	112.5	13.2	35.1	0.87	0.81	0.67	1493	0.49	43.34
喷呐湖组	15	特征值	1.13	0.07	9.5	29.5	195.1	1.8	15.7	3.8	14.9	0.35	0.29	0.17	411	1.02	48.00
		最大值	1.13	0.07	9.5	29.5	195.1	1.8	15.7	3.8	14.9	0.35	0.29	0.17	411	1.02	48.00
		最小值	0.33	0.04	3.6	1.2	19.1	0.9	13.0	0.7	8.8	0.24	0.09	0.04	33	0.04	7.00
		平均值	0.58	0.06	5.5	6.4	93.6	1.3	14.1	1.7	12.2	0.31	0.16	0.07	197	0.25	17.13
辉绿岩	7	特征值	0.87	0.78	119.07	177.79	493.64	6.48	19.4	11.9	9.4	0.48	0.67	0.23	1014	0.40	10.00
		最大值	0.87	0.78	119.07	177.79	493.64	6.48	19.4	11.9	9.4	0.48	0.67	0.23	1014	0.40	10.00
		最小值	0.71	0.07	47.54	3.99	74.51	1.43	91.1	40.7	22.1	0.75	1.34	0.41	1711	1.63	45.00
		平均值	0.81	0.38	73.70	64.87	214.30	4.05	71.1	32.2	18.7	0.57	0.88	0.32	1338	0.97	30.25
花岗闪长斑岩	5	特征值	1.33	0.25	16.1	65.6	69.7	3.33	-	-	5.06	1.57	2.47	0.76	-	1.16	0.008
		最大值	1.33	0.25	16.1	65.6	69.7	3.33	-	-	5.06	1.57	2.47	0.76	-	1.16	0.008
		最小值	0.98	0.08	12.7	49.0	54.6	2.20	-	-	3.97	0.55	2.12	0.25	-	0.81	0.003
		平均值	1.15	0.16	14.4	62.3	67.1	2.77	-	-	4.51	1.06	2.29	0.51	-	1.00	0.005
陆壳元素丰度			3.4	0.07	54	13	85	1.7	90	20	71	1.2	1.1	3.6	1100	0.5	90
全地壳元素丰度			3.5	0.08	63	12	94	1.7	11	25	89	1.3	1.1	4.3	1300	0.6	90

注:陆壳元素丰度、全地壳元素丰度数据引自黎彤,1984。

值及大陆上地壳元素含量进行了对比,特征如下:

吞龙共巴组岩石主要元素平均含量与陆壳元素丰度相比,主成矿元素中Au、Pb、Zn元素平均值高于陆壳对应元素丰度,Au、Pb、Zn是对应元素丰度值1.3倍、7.4倍、1.3倍,其中Pb元素异常突出。Ag元素含量基本相当,另W、Sn、Sb元素也高于陆壳元素对应元素的丰度,Sn元素异常突出,为对应元素的8.1倍;与全地壳元素丰度值相比,Au、Pb、Zn、W、Sn平均值略高于其丰度,同样显示Pb、Sn元素异常突出。吞龙共巴组是Au、Pb、Zn、Sn成矿的有利层位,富集成矿的可能性非常大。

龙格组岩石15种元素平均含量与陆壳元素丰度以及全地壳元素丰度值相比,除Sb元素外,其他元素均低于或对应元素丰度,无正异常显示。金属元素含量特征表明,龙格组仅仅为Sb为成矿的有利层位。

曲色组岩石元素平均含量与与陆壳元素丰度以及全地壳元素丰度值相比,Sn、Cr、Mn元素高于对应元素的丰度值,且正异常不明显。金属元素含量特征表明,曲色组是Ag、Cr成矿的有利层位。

喷呐湖组岩石元素平均含量与与陆壳元素丰度以及全地壳元素丰度值相比,Zn、Cr元素与对应元素丰度值大致相当,其他元素均低于其值。根据金属元素含量特征表明,喷呐湖组是Zn、Cr等元素成矿的有利层位。

早白垩世辉绿岩元素平均含量与陆壳元素丰度相比,Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Co、Sb元素平均值均明显高于对应元素丰度值,分别为对应元素丰度值的5.4倍、1.4倍、5.0倍、2.4倍、1.6倍和1.9倍,另外Mn元素也略高于陆壳对应元素的丰度值;与全地壳元素丰度值相比,Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Cr、Co、Sb均高于对应元素丰度,其他元素略低于中国上地壳该元素丰度。根据金属元素含量特征表明,辉绿岩是Ag、Cu、Pb、Zn矿成矿的有利位置。

早白垩世花岗闪长斑岩元素平均含量与陆壳元素丰度相比,Ag、Pb、Sn、W、Sb元素平均值均明显高于对应元素丰度值,其中Ag、Pb、Sn、W、Sb是对应元素2.0倍、3.2倍、1.6倍、2.1倍,Pb元素异常明显;与全地壳元素丰度值相比,Ag、Pb、Sn、W、Sb均明显高于对应元素丰度值,其他元素略低于对应元素丰度。根据金属元素含量特征以及结合巴工矿

点矿床特征综合判断,花岗闪长斑岩可能与Ag、Pb成矿关系密切或是成矿的有利位置。

从图3中可以看出,辉绿岩以及吞龙共巴组碎屑岩的内部均分布有Cu或PbZn矿体,认为其为成矿提供的部分物质来源。而花岗闪长斑岩Ag、Pb元素同样地球化学背景值相对较高,另蚀变也较强,故认为其极有可能为成矿带来了流体和物质来源。

3.2.2 矿体特征

矿区通过探槽和地表拣块样品控制,在东西矿段内共圈定12条矿体(图3)。西矿段矿体平面呈北西西向雁列式展布,为热液型蚀变岩型矿化。含矿围岩为蚀变凝灰质砂岩、细砂质粉砂岩、石英砂岩,临近矿体出露有辉绿岩、石英二长闪长玢岩等中性侵入岩及脉岩,故认为矿化与侵入岩(尤其是花岗闪长斑岩)关系较为密切。矿区东部铜铅矿体主呈近东西向和北东东向展布,另在次级北西向断裂也略有分布(矿化相对较弱),其明显受北东东向构造和岩浆热液控制,也属于热液蚀变岩型矿化。

Cu1、Cu2、Cu3、Cu5、Cu6矿体分布于西矿段,走向 $280^{\circ}\sim 288^{\circ}$,倾向分别为 12° 、 195° 、 200° 、 190° 和 195° 左右,倾角 $62^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。地表矿体长分别为140~280 m,平均厚度0.69~3.86 m,铜矿物为孔雀石、黄铜矿、蓝辉铜矿、辉铜矿、铜蓝,伴生有褐铁矿、黄铁矿、毒砂等,主要呈叶片状、网脉状、浸染状和集合体团块状,赋矿岩石为构造蚀变岩和石英脉。Cu平均品位1.05%、7.2%、3.43%、1.61%和0.39%,伴生有Pb、Ag等元素。

Cu4矿体为西矿段地表规模最大的矿体,呈北西西走向展布,矿体地表断续延长上千米,具有分支复合特征,从西往东共分为3段,沿走向分别延长260 m、350 m和285 m,厚度1.85~11.8 m,走向 300° 左右,倾向均为南西,倾角 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$;铜矿物主要为黄铜矿、铜蓝、斑铜矿、蓝辉铜矿和孔雀石,矿石主要呈浸染状、网脉状和集合体团块状,见分支复合特征,赋矿岩石为构造蚀变岩及脉石英,围岩为凝灰质不等粒(长石)岩屑砂岩、含凝灰质细砂质粉砂岩,沿断层破碎带裂隙膨大部或石英脉密集发育地段铜矿化相对比较富集,局部可见呈透镜状产出的块状黄铜矿矿体,厚2~11 cm,走向延长60 cm~10 m。构造蚀变岩以硅化为主,伴生绢云母化和绿泥石化,Cu平均品位分别为2.77%、2.26%和0.84%,

同时伴生有 Ag 等元素。

PbZn1 矿体分布于西矿段,走向 280°左右,倾角 76°左右,矿化平均厚度 2.2 m 左右,地表矿化断续延长 350 m 左右。铅锌矿物主要为碲铅矿、碲锌矿,矿化多呈浸染状、蜂窝状产出,赋矿岩石为矿化凝灰质不等粒砂岩、黑云硅质蚀变岩,其中裂隙发育地段矿化相对较富集,Pb 平均品位 3.02%,Zn 平均品位 4.45%,伴生有 Ag 等元素。

Cu7、Cu8、Cu9 矿体分布于东矿段,地表矿化断续延长分别为 60 m、110 m、210 m 左右,厚度平均 0.88 m、1.84 m 和 0.49 m 左右,呈北西西或近东西走向,倾向分别为 210°、160°和 50°左右,倾角 80°、72°、85°左右,铜矿物为孔雀石,呈浸染状、团块状、薄膜状分布于岩石裂隙之间,赋矿岩石为构造蚀变岩,围岩为含砾长石英砂岩、凝灰质砂岩。Cu 平均品位 0.63%~6.31%,伴生 Ag、Pb、Zn 等元素,

Pb1、Pb2 和 Pb3 矿体分布于东矿段,矿体沿走向延长数百米不等,走向严格受断裂控制,具有尖灭再现以及分支复合的特征,平均厚度 1.37~7.36 m,断裂为北倾或北东倾向,性质为正断层。其中铅矿物主要为铅矾、白铅矿,伴生有孔雀石、黄铜矿、闪锌矿化等,矿石主要呈浸染状、集合体块状、蜂窝状、浸染状、细脉状等分布于岩石裂隙以及断层破碎带之中。赋矿岩石为构造蚀变岩、石英脉,含矿围岩为石英砂岩、长石英砂岩和凝灰质砂岩、辉绿岩。Pb 平均品位 0.85%~27.57%,伴生 Zn、Cu、Ag 等元素。

整体上巴工矿区矿体中具矿石品位相对较高,地表延深较稳定,石英脉和裂隙发育地段铜矿化较富集,蚀变岩发育地段铅锌矿化富集明显的特征。

通过探槽工程显示巴工矿区地表矿体具铜铅矿石品位较高,蚀变种类丰富,矿化规模较大,局部氧化的铅锌矿明显富集的特征,12 条矿体初步估算的 Cu+Pb+Zn 334₁资源量为 9.49 万 t。尤其是东矿段,探槽揭露的地段主要为氧化矿,深部分布有较好的低阻高极化率激电异常,物探激电测深剖面显示在地下不同的深度存在体积较大的低阻高极化率地质体,进一步反映了深部存在厚大原生铅锌铜多金属矿体的可能性,有望进一步扩大找矿远景。

3.2.3 矿石类型及组分

按矿区内出露的主要矿石矿物的组合特征,矿

石主要分为铜矿物和铅锌矿物,铜矿物主要为黄铜矿、孔雀石矿石,次为斑铜矿、蓝辉铜矿、辉铜矿、铜蓝矿石,铅锌矿物为白铅矿、碲铅矿和碲锌矿矿石。

巴工矿区矿石构造主要表现为网脉状结构、块状构造、皮壳状构造、角砾状构造、条带状构造、浸染状构造和细小堆状构造(图 4)。矿石矿物以白铅矿、黄铜矿、闪锌矿和孔雀石为主,次为斑铜矿、蓝辉铜矿、辉铜矿、铜蓝、碲铅矿和碲锌矿。

本次工作在调查区内采集了部分光片样品,根据光片鉴定成果,其中黄铜矿多呈他型粒状;孔雀石多呈纤维状、针柱状,部分呈土状、粉末状,其整体集合体呈网脉状分布并交代岩石。白铅矿多呈云朵状,集合体呈块状,碲铅矿、碲锌矿多呈他形粒状(图 5),另外铜蓝多呈他型粒状和细板状结构,辉铜矿、斑铜矿、黄铁矿、雌黄铁矿多呈他形粒状结构,斑铜矿局部见固溶体分离结构。其中他型粒状结构为矿石最为典型结构特征之一。

在黄铜矿边缘可见蓝辉铜矿、斑铜矿和铜蓝沿其边缘分布并交代,蓝辉铜矿呈网脉状交代黄铜矿,辉铜矿局部被蓝辉铜矿交代,铜蓝沿辉铜矿边缘并交代,斑铜矿局部被蓝辉铜矿交代。判断主要铜矿物生成顺序为黄铜矿早于斑铜矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝;斑铜矿早于蓝辉铜矿;辉铜矿早于蓝辉铜矿;辉铜矿、蓝辉铜矿早于铜蓝;孔雀石属于后期氧化形成(图 6)。其中成岩期主要形成磁铁矿、磁黄铁矿、热液期主要形成赤铁矿、毒砂、黄铜矿、辉铜矿和斑铜矿,表生期主要形成蓝辉铜矿、铜蓝、孔雀石和褐铁矿(表 2)。

3.2.4 蚀变类型及分带

矿区内围岩蚀变较强烈、类型丰富,其主要有硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化、高岭土化、褐铁矿化、黄铁矿化等。其中硅化、绢云母化、碳酸盐化最为普遍。与矿化关系密切的有硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化、褐铁矿化、黄铁矿化等,这些蚀变沿断裂破碎带内蚀变岩及断裂两侧、岩体与围岩接触带较为发育,常叠加在一起分带并不明显。另通过室内薄片鉴定研究,含矿岩石受热液影响,使得岩石中充填物多发生多种蚀变,使充填物发生脱玻化,蚀变矿物多是凝灰物脱玻化产物,后期多被程度不等的硅化,故

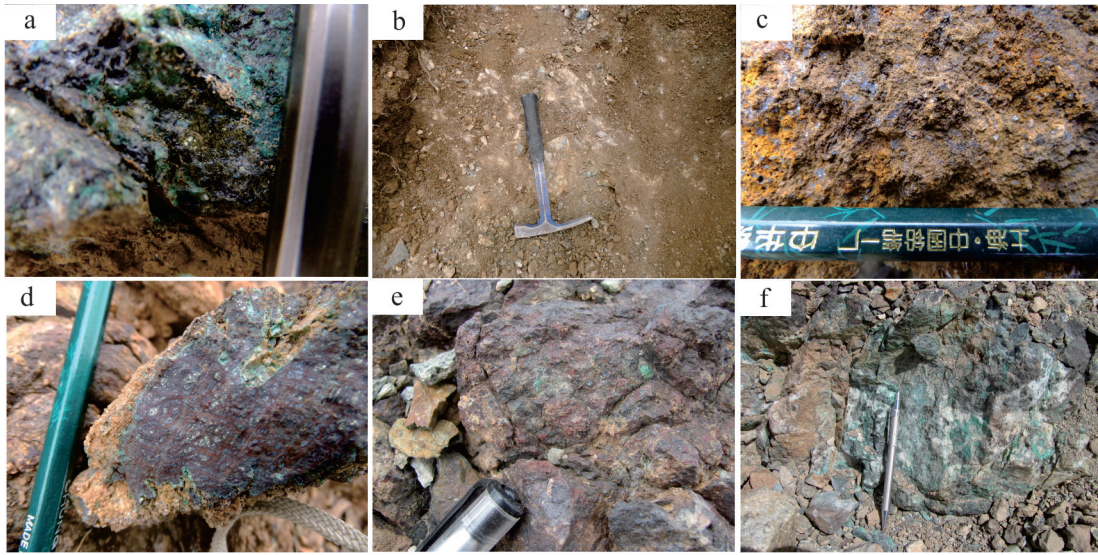


图4 典型矿石照片

a—块状孔雀石化黄铜矿;b—块状白铅矿;c—蜂窝状褐铁矿化碲铅矿;d—块状—网脉状黄铜矿、辉铜矿;
e—角砾状碲铅矿;f—浸染状—脉状孔雀石矿石

Fig.4 Photo of typical ores

a—Massive structure of chalcopyrite; b—Massive structure of cerussite; c— Alveolar structure of altaite; d— Massive- spiderweb structure of chalcopyrite and chalcocite; e— Breccia altaite; f— Disseminated-spiderweb structure of malachite

判断含矿蚀变岩原岩应该为凝灰质的砂岩或沉凝灰岩。另在矿脉附近伴随程度不等的角岩化作用,其应是碎屑岩与岩浆岩接触带发生的接触交代变质作用。

矿区内分布的花岗闪长斑岩分布有绢云母、绿泥石、碳酸盐、绿泥石、绿帘石、次闪石、石英等蚀变矿物,由于岩体分布面积小(图2),均小于0.01 km²,故区内矿化与蚀变分带并不明显,但是花岗闪长斑岩与矿体内及其附近的蚀变特征相似程度较高,故认为成矿可能与花岗闪长斑岩有关。

4 岩浆岩地球化学特征及成岩时代

从矿体产出特征来看,巴工铜铅锌多金属矿与

花岗闪长斑岩具有密切的时、空联系,是与花岗闪长斑岩关系较为密切的热液型多金属矿。通过对花岗闪长斑岩岩石地球化学特征及成因的探讨,有利于研究矿床成矿作用。另外辉绿岩作为矿体的含矿围岩,其与矿体也存在较为密切的联系。笔者从矿区内采集了4件花岗闪长斑岩和3件辉绿岩,进行了主量、稀土和微量元素分析。7件样品均在河北省区域地质矿产调查研究所实验室测试完成,其中主量元素采用XRF法在荷兰帕纳科公司研制的Axios X射线荧光光谱仪上测定,分析精度一般优于2%,稀土和微量元素采用美国赛默飞世尔科技公司(Thermo Fisher Scientific)研制的X Series II型等离子体光谱仪(ICP-MS)测定,并以GSD9标

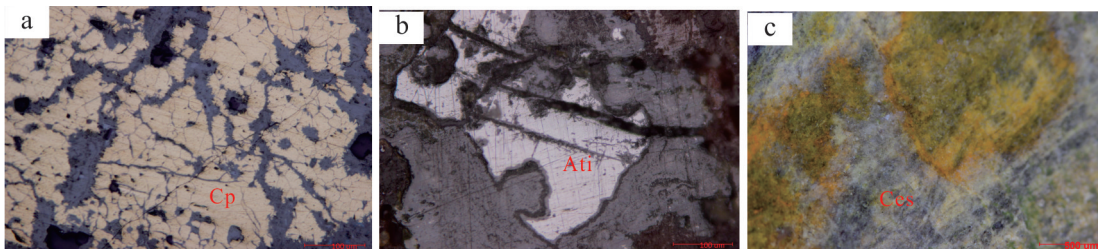


图5 巴工矿区主要矿石结构

a—他形粒状黄铜矿;b—他形粒状碲铅矿;c—云朵状白铅矿;Cp—黄铜矿;Ati—碲铅矿;Ces—白铅矿

Fig. 4 The main ore structure in the Bagong mining area

a—Anhedral granular chalcopyrite; b—Anhedral granular altaite;c—Shape of cloud-like cerussite; Cp—Chalcopyrite; Ati—Altaite; Ces—Cerussite

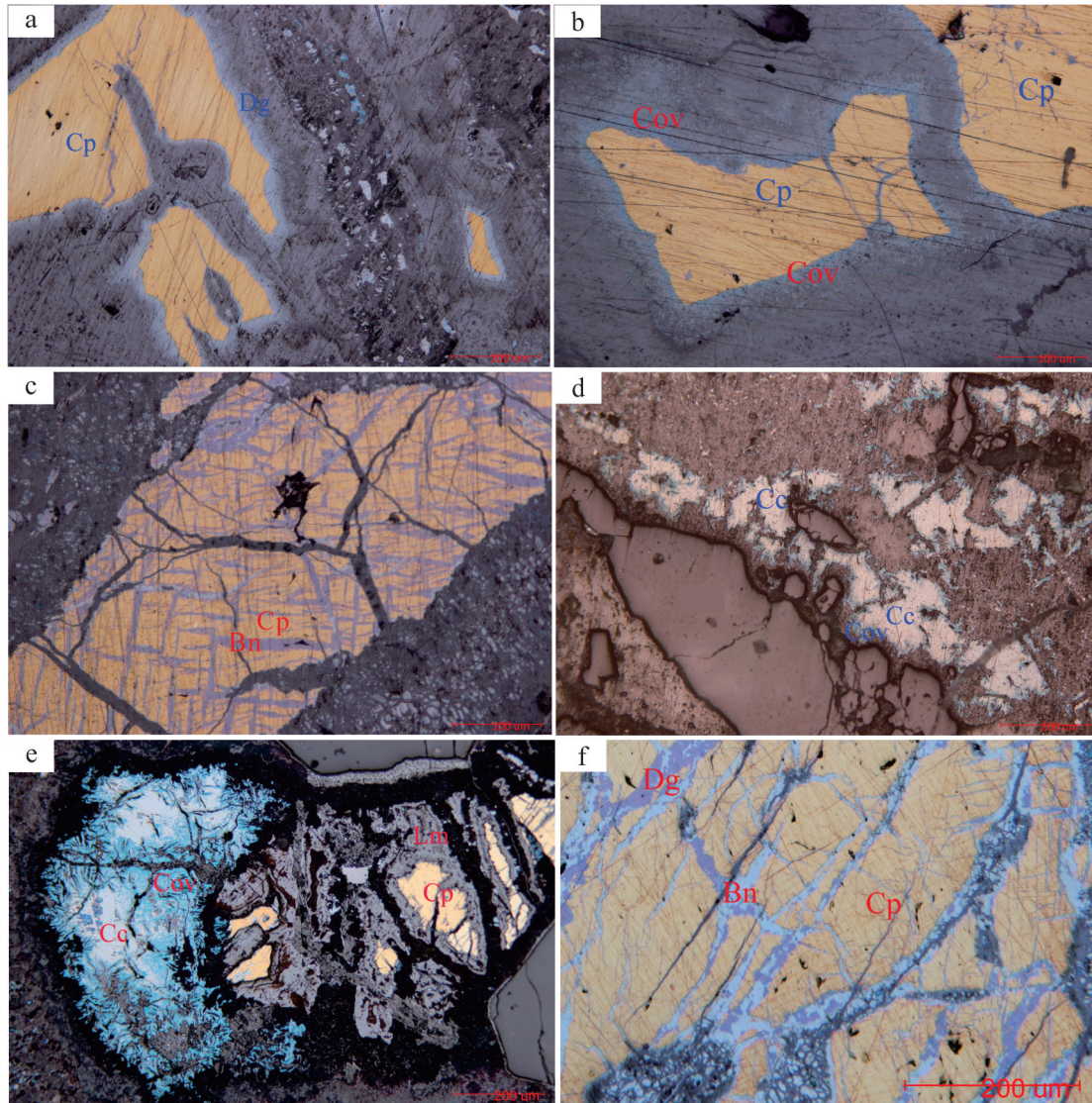


图6 主要矿石矿物之间接触关系

a—蓝辉铜矿沿边缘交代黄铜矿；b—铜蓝沿边缘交代黄铜矿；c—黄铜矿中网脉状斑铜矿；d—铜蓝交代辉铜矿；e—铜蓝交代辉铜矿、褐铁矿交代黄铜矿；f—蓝辉铜矿与斑铜矿呈网脉状交代黄铜矿；Cp—黄铜矿；Cov—铜蓝；Bn—斑铜矿；Cc—辉铜矿 chalcocite；Dg—蓝辉铜矿

Fig. 6 The contact relationships of main ore minerals

a—Digenite metasomatism of the chalcopyrite edge; b—Covellite metasomatism of the chalcopyrite edge; c—Spiderweb bornite in chalcopyrite; d—Covellite replacing chalcocite; e—Covellite replacing chalcocite, covellite replacing chalcopyrite; f—Spiderweb digenite and bornite replacing chalcopyrite; Cp—Chalcopyrite; Cov—Covellite; Bn—Bornite; Cc—Chalcocite; Dg—Digenite

准样做分析样品元素浓度的校正标准,分析精度一般优于1%~5%。

4.1 花岗闪长斑岩成岩与成矿年龄

矿体产于北西西向、近东西向断层破碎带以及层间裂隙中,其中辉绿岩作为成矿围岩,其成岩早于成矿期,故其与成矿作用关系不大;但在邻近矿体多分布有花岗闪长斑岩,花岗闪长斑岩本身并不含矿,由于其多具较强的蚀变,说明其为成矿作用

带来了成矿流体,铜铅锌矿体与花岗闪长斑岩的侵入活动密切相关,其成岩年代学的研究对矿床成矿时代以及成因研究具有重要意义。

本次测年样品采自地表露头新鲜的花岗闪长斑岩。锆石挑选由河北省区调队廊坊实验室完成,采用人工破碎、淘洗、重液和电磁分选技术分选锆石,后在双目镜下人工挑纯。锆石制靶在北京皓年领航科技有限公司完成。在天津地质矿产研究所

表2 主要矿石矿物生成顺序

Table 2 Main ore minerals-forming sequence			
矿化期主要矿物	成岩期	热液期	表生期
黄铁矿	-----		
磁黄铁矿	-----		
赤铁矿	-----		
毒砂	-----		
黄铜矿	-----		
辉铜矿	-----		
斑铜矿	-----		
碲铅矿	-----		
蓝辉铜矿	-----		
铜蓝			-----
褐铁矿			-----
白铅矿			-----
孔雀石			-----
石英	-----		
绢云母	-----		

同位素实验室利用激光烧蚀多接收器等离子质谱仪(LA-MC-ICP-MS)进行微区原位U-Pb同位素测定,激光剥蚀斑束直径30 μm,采用GJ-1作为外部锆石年龄标准进行U-Pb同位素分馏校正(Jackson et al., 2004),数据处理采用中国地质大学刘勇胜研发的ICPMSDataCal程序(Liu et al., 2009)和Ludwing的Isoplot程序(Liu et al., 2008),应用²⁰⁸Pb校正法对普通铅进行校正(Ludwig, 2003),利用NIST612玻璃标样作为外标计算锆石样品的Pb、U、Th含量。锆石加权平均年龄的计算及谐和图的绘制采用Microsoft程序和基于该程序开发的ISOPLOT3.0程序,文中图件制作采用geokit软件(路远发,2004)。

本次用于测年的花岗闪长斑岩的锆石呈浅灰白色或无色透明,多具有长柱状晶形,保存完好CL图像上显示晶棱锋锐、晶面平直,震荡环带特征明显,特征明显,成因单一(图7)。对花岗闪长斑岩内的21颗锆石进行了U-Th-Pb同位素分析,分析结果见表3。各测点的Th/U比值多在0.27~0.65,反映其岩浆成因的特征。21颗锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值介于112~116 Ma,大部分(17个)锆石的数据点切割谐和线(图8),有少数锆石(4个)的数据点偏离谐和线,可能是锆石的初始普通铅扣除不够准确导致数据点偏离谐和线,但这并不显著影响其²⁰⁶Pb/²³⁸U的年龄的精确度,所测数据点²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为(112.7±0.62)Ma(95%置信度,MSWD=0.64),该年龄反映了花岗闪长斑岩的侵位年龄。

4.2 辉绿岩、花岗闪长斑岩地球化学特征及成因

从矿体产出特征来看,巴工铜铅锌多金属矿与花岗闪长斑岩具有密切的时、空联系,是与花岗闪长斑岩关系较为密切的热液型多金属矿。通过对花岗闪长斑岩岩石地球化学特征及成因的探讨,有利于研究矿床成矿作用。另外辉绿岩作为矿体的含矿围岩,其与矿体也存在较为密切的关系。本次工作在矿区内采集了4件花岗闪长斑岩和3件辉绿岩,进行了主量、稀土和微量元素分析。

4.2.1 辉绿岩、花岗闪长斑岩岩石地球化学特征

辉绿岩SiO₂含量为47.75%~49.65%,平均48.70%;DI=27.29~38.27,平均32.78;SI=29.27~32.71,平均30.99,岩浆分异程度较差,K₂O/Na₂O>1,稀土平均值为5.04,其中轻稀土相对富集(表4)。其稀土元素与基性岩平均含量(维氏,1962)相比,

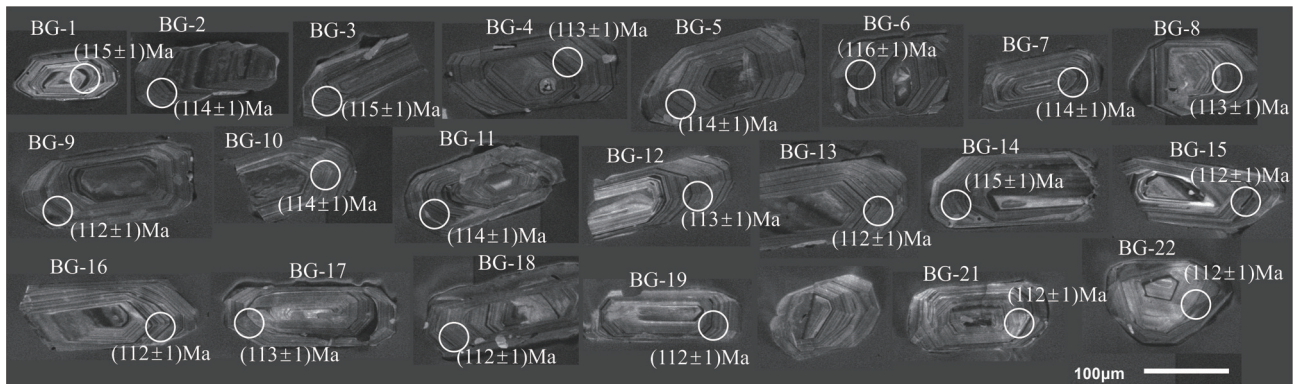


图7 锆石阴极发光照片
Fig.7 CL images of zircon

表3 花岗闪长斑岩中的锆石LA-ICP-MS U-Pb分析结果
Table 3 La-ICP-MS zircon U-Pb dating result of granodiorite porphyry

样号	U/10 ⁻⁶	Pb/10 ⁻⁶	同位素比值						表面年龄/Ma					
			²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ	err%	²³² Th/ ²³⁸ U	1σ	err%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ
BG-1	13	652	0.0072	0.0003	4.75	0.652	0.003	0.46	115	1	144	6	663	99
BG-2	27	1533	0.0060	0.0003	4.30	0.314	0.001	0.47	114	1	122	3	275	50
BG-3	25	1421	0.0057	0.0002	3.93	0.291	0.001	0.39	115	1	121	3	254	51
BG-4	22	1287	0.0059	0.0002	3.67	0.277	0.002	0.55	113	1	117	3	200	57
BG-5	22	1216	0.0076	0.0003	3.40	0.274	0.001	0.31	114	1	150	3	763	43
BG-6	29	1499	0.0095	0.0003	3.13	0.304	0.002	0.79	116	1	177	3	1097	34
BG-7	30	1653	0.0052	0.0002	3.22	0.364	0.002	0.43	114	1	119	2	224	42
BG-8	24	1364	0.0052	0.0002	3.57	0.289	0.001	0.49	113	1	116	3	176	50
BG-9	25	1438	0.0047	0.0002	3.57	0.335	0.002	0.45	112	1	115	3	161	50
BG-10	24	1356	0.0050	0.0002	3.34	0.300	0.000	0.06	114	1	119	3	221	48
BG-11	41	2247	0.0049	0.0002	3.15	0.497	0.002	0.38	114	1	120	2	237	36
BG-12	27	1567	0.0050	0.0002	3.39	0.314	0.001	0.24	113	1	115	2	164	47
BG-13	30	1751	0.0051	0.0002	3.63	0.318	0.000	0.11	112	1	113	2	123	44
BG-14	35	1702	0.0117	0.0005	4.62	0.331	0.001	0.38	115	1	213	6	1510	51
BG-15	28	1601	0.0053	0.0002	4.39	0.381	0.001	0.16	112	1	118	3	226	49
BG-16	27	1523	0.0052	0.0003	4.88	0.392	0.001	0.13	112	1	112	4	124	71
BG-17	14	787	0.0097	0.0006	6.50	0.271	0.001	0.41	113	1	120	7	265	127
BG-18	29	1632	0.0059	0.0002	4.01	0.346	0.001	0.24	112	1	120	2	275	45
BG-19	36	1996	0.0053	0.0002	3.55	0.424	0.000	0.09	112	1	116	2	215	42
BG-21	31	1741	0.0056	0.0002	3.42	0.334	0.108	32.30	112	1	116	2	207	44
BG-22	23	1276	0.0063	0.0002	3.81	0.337	0.000	0.07	112	1	116	3	211	53

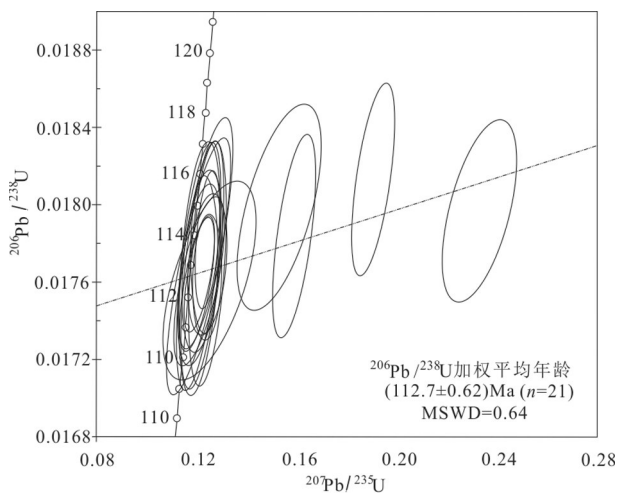


图8 巴工花岗闪长斑岩²⁰⁷Pb/²³⁵U—²⁰⁶Pb/²³⁸U谐和图
Fig.8 ²⁰⁷Pb/²³⁵U—²⁰⁶Pb/²³⁸U concordia diagram of granodiorite porphyry in Bagong area

Ce明显偏高,La、Gd、Yb、Ho明显偏低,其余基本相当。(La/Yb)_N=1.96~4.99,平均值为3.48,稀土配分模式呈近水平的平滑曲线,具有铈正异常(δEu=

1.23~1.3)(图9)。岩石微量元素与维氏值基性岩相比,Rb、Sr、Sc、Hf明显偏高,Nb、P偏低,其他元素基本相当。根据微量元素蛛网图(图9)显示,Ba、K、La、Sr、Hf相对富集,Th、Ta、Nb、Ce、P、Sm相对亏损。另Rb/Sr=0.1~0.24,Zr/Hf=24.93~50.04,K/Rb=37.61~412.53,其中Rb/Sr值介于下地壳与地幔之间(Taylor et al., 1985),推测岩浆来源于上地幔。

花岗闪长斑岩SiO₂含量为66.82%~66.98%,平均66.88%。(K₂O+Na₂O)含量5.98%~7.09%,A/CNK=1.34~1.44,为强过铝质岩石,K₂O/Na₂O>1,CaO含量相对维氏值较高,里特曼指数=1.74~2.92,属钙碱性系列。其稀土元素与酸性岩平均含量(维氏,1962)相比,大部分元素均偏低或基本相当。在稀土元素球粒陨石标准化蛛网图中(图9),La/Yb比值17.1~20.8,SI=29.27~32.71,平均30.99,说明岩浆分异程度较差,铈异常不明显(δCe=0.89~0.91),具有强的铈负异常(δEu=0.61~0.77)。根据微量元素蛛网图显示(图9),Th、La、Nd、Hf、Y相对富集,Ba、Nb、Sr、P、Ti明显亏损的特征。Rb/Sr=0.52~

表4 矿区花岗闪长斑岩、辉绿岩主量元素(%)和微量元素(10⁻⁶)分析结果
Table 4 Major(%) and trace(10⁻⁶) element compositions of granodiorite porphyry, diabase

序号	岩性	样品编号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	HL	总和		
1		YQ1074-2-1	66.84	14.71	0.46	1.19	2.42	3.10	1.36	4.58	2.51	0.092	0.16	2.47	99.89		
2	花岗闪	YQ1074-2-2	66.98	14.13	0.46	1.85	1.95	4.59	1.41	4.23	1.75	0.13	0.16	2.26	99.87		
3	长斑岩	YQ1074-2-3	66.82	14.13	0.46	1.01	2.62	3.29	1.38	4.22	2.72	0.082	0.16	3.02	99.90		
4		YQ1113-2-1	68.56	14.19	0.46	1.53	1.99	2.72	1.19	4.73	2.21	0.099	0.15	2.00	99.83		
5		YQ1115-1-1	47.04	16.15	1.09	2.77	7.18	8.59	9.24	0.80	2.70	0.18	0.10	3.89	99.75		
6	辉绿岩	YQ1115-1-2	46.90	15.90	1.07	2.26	7.23	10.78	8.67	0.75	2.13	0.24	0.095	3.72	99.75		
7		YQ1115-1-3	48.17	15.54	1.10	1.89	6.95	10.37	8.71	0.38	2.21	0.35	0.089	3.99	99.75		
序号	岩性	样品编号	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	花岗闪长斑岩	XT1074-2-1	20.5	39.0	69.5	8.56	30.7	5.40	1.16	4.54	0.67	3.48	0.71	2.08	0.35	2.28	0.44
2		XT1074-2-2	18.0	34.5	61.9	7.34	26.1	4.79	1.08	3.83	0.58	3.05	0.63	1.82	0.30	1.97	0.38
3		XT1074-2-3	21.3	49.1	87.2	10.3	35.5	5.93	1.10	5.11	0.71	3.57	0.73	2.14	0.35	2.37	0.46
4		XT1113-2-1	19.6	50.7	82.8	9.66	34.9	5.69	1.14	6.29	0.77	3.71	0.69	2.25	0.35	2.06	0.32
5	辉绿岩	XT1115-1-1	17.1	9.14	19.0	2.54	12.7	3.08	1.12	2.29	0.47	3.51	0.67	1.73	0.31	1.65	0.24
6		XT1115-1-2	11.5	6.77	12.5	1.69	8.53	1.96	0.76	1.51	0.31	2.27	0.44	1.18	0.22	1.25	0.18
7		XT1115-1-3	13.8	9.04	16.9	2.29	10.5	2.51	0.94	1.89	0.39	3.03	0.57	1.51	0.26	1.56	0.22
维氏,1962*			20	27	4.5	4	20	5	1	5	0.8		1	2	0.2	20	0.6
			34	60	100	12	46	9	1.5	9	2.5		2	4	0.3	4	1
序号	岩性	样品编号	Rb	Ba	Sr	Nb	Ta	Zr	Hf	Th	U	Cr	Ti	V	P	K	Li
1	花岗闪长斑岩	WL1074-2-1	158	536	246	19.9	1.66	155	5.15	25.1	4.72	6.92	2713	37.9	659	38039	32.8
2		WL1074-2-2	142	528	274	17.4	1.49	156	5.27	20.1	4.01	7.74	2408	33.9	608	35120	30.4
3		WL1074-2-3	180	478	241	18.6	1.67	130	4.36	31.3	4.80	8.12	2408	35.9	670	35014	32.7
4		WL1113-2-1	154	481	273	16.7	1.78	183	5.69	27.7	6.70	11.1	2805	39.8	634	39266	25.7
5	辉绿岩	WL1115-1-1	6.85	216	407	4.39	0.35	85.1	2.97	1.04	0.35	394	6124	124	351	6641	47.3
6		WL1115-1-2	9.45	289	410	4.70	0.35	74.4	2.64	1.12	0.37	387	6321	130	333	6226	30.9
7		WL1115-1-3	1.87	76.7	314	3.85	0.29	78.3	2.98	1.04	0.37	368	5470	121	262	3155	29.3

注:*数据转引自文献:蒋敬业等(2006)。

0.64, K/Rb=194.7~247.2, 其中 Rb/Sr 比值介于下地壳与地幔间(Taylor et al., 1985), 推测岩浆源属于壳幔混合。

4.2.2 成因分析

过铝质花岗岩形成于碰撞造山过程中的挤压型构造环境, 也可以形成于岩石圈伸展作用相关的张性构造环境(林广春等, 2003; 廖忠礼等, 2006)。花岗闪长斑岩的 Rb-(Y+Nb)图解与 Nb-Y 图解中, 花岗闪长斑岩的样品均落入火山弧花岗岩区(图 10), 辉绿岩的 Th-Hf-Ta 判别图解落入岛弧环境, Ta/Yb-Th/Yb 判别图解进一步显示其投入岛弧之陆缘火山弧花岗岩大区内(图 11)。本次所研究的花岗闪长斑岩、辉绿岩在形成环境基本一致, 其中辉绿岩的成岩时代为(113.6±0.35) Ma, 其与花岗闪长斑岩形成的时代基本一致, 环境也基本一致, 其应该是同一个岩浆演化序列中不同

阶段的产物。

花岗闪长斑岩区域上呈北西西向串珠状分布(与班怒带北界断裂展布方向基本一致), 指示其与北西西向构造活动关系密切, 同位素显示辉绿岩和花岗闪长斑岩侵位于早白垩世晚期, 区域资料显示该时期正处于班怒洋往北向羌塘陆块俯冲的末期, 在羌塘地块的南缘形成活动大陆边缘陆缘火山弧, 因此, 辉绿岩和花岗闪长斑岩岩浆是由于班怒洋向北俯冲末期不同阶段形成。

5 讨论

热液型多金属矿床在各类矿床中最复杂, 种类最多样, 可在不同的地质背景条件下, 通过不同组成、不同来源的热液活动形成, 巴工矿点属于与岩浆有关的热液脉型矿床。目前西藏的铅锌矿主要分布于冈底斯—念青唐古拉成矿带东段, 主要有砂

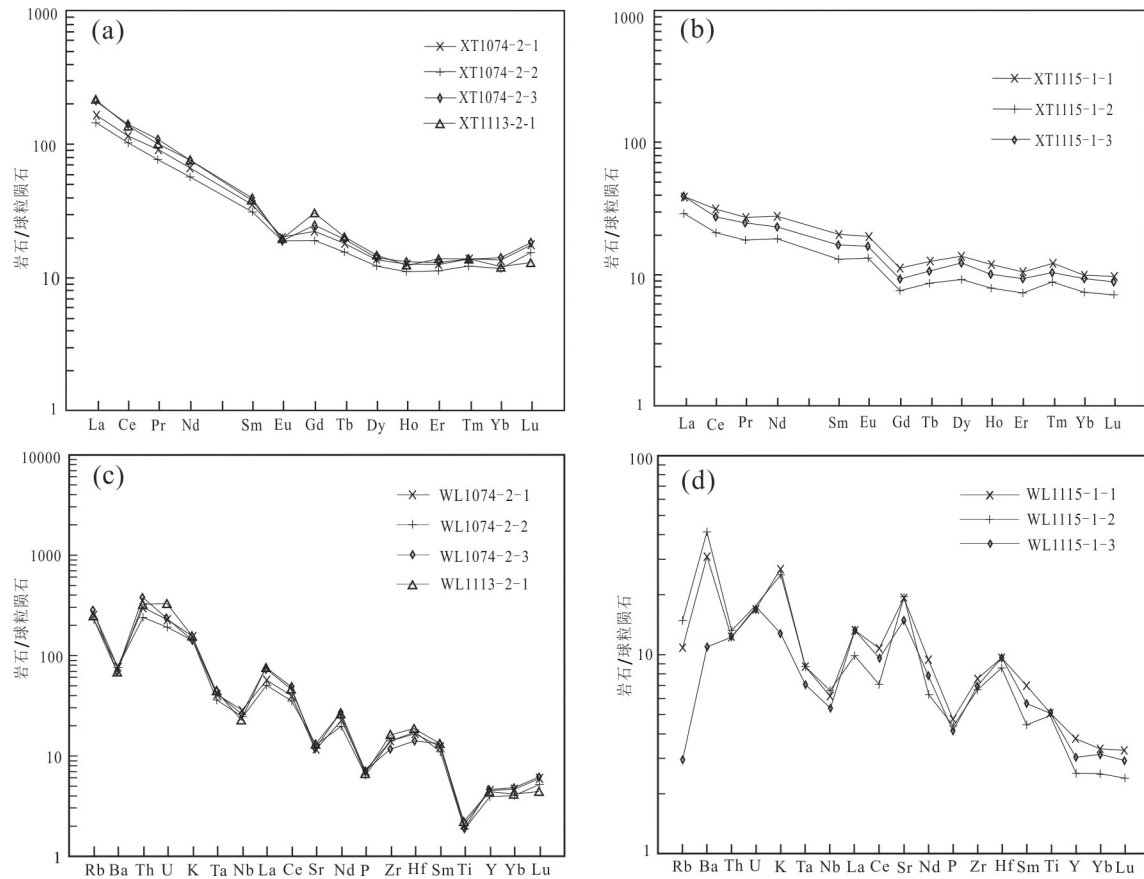


图9 巴工花岗闪长斑岩(a,c)和辉绿岩(b,d)稀土配分曲线图及微量元素原始地幔标准化蛛网图(球粒陨石值据Sun, 1989)
Fig.9 Chondrite-normalized REE patterns of granodiorite porphyry and diabase and primitive-mantle-normalized trace element patterns(chondrite values after Sun, 1989) for the Bagong granodiorite porphyry, diabase

卡岩型铅锌矿床,热液脉型铅锌铜银多金属矿等,这些矿床的形成与燕山晚期或始新世主碰撞期的岩浆活动有关(李光明等,2004;连永牢等,2010,2011;高顺宝等,2012;黄瀚霄等,2012;王立强等,2012),其中亚贵拉铅锌多金属矿床是这些矿床的典型代表之一。班公湖—怒江成矿带内目前暂未发现有价值的铅矿点或找矿线索,巴工铜铅锌多金属矿的发现可以为班公湖—怒江成矿带的后续找矿工作提供更多的找矿方向。

巴工铅多金属矿的矿体多临近早白垩世花岗闪长斑岩,且矿体内与岩体发育相似程度较高的蚀变,故分析花岗闪长斑岩与矿体存在某种密切的内在联系(可能是侵位后的流体起到了对围岩地层萃取有用元素的作用,并在成矿有利地带富集),该矿的形成时期略晚于花岗闪长斑岩的侵位时代,可能形成于早白垩世晚期。班公湖—怒江成矿带目前

已发现的规模最大、前景最好的矿床主要产于南羌塘地块,形成时代主要为早白垩世(耿全如等,2011),故认为巴工铅多金属矿具有较好的前景。

班公湖—怒江洋结合带经历了复杂的地质构造演化。前人关于班公湖—怒江洋的构造演化存在一些争议,大多数学者认为班公湖—怒江洋始于晚三叠世,主要经历了晚三叠世至早侏罗世洋壳拉张、中侏罗世和早白垩世分别向南北两侧俯冲消亡和早白垩世晚期至晚白垩世碰撞走滑这3个主要阶段(万顺等,2003;邱瑞照等,2004;陈奇等,2007;耿全如等,2011;尹滔等,2019;吴建亮等,2019)。正是由于班公湖—怒江洋向北的俯冲作用,在南羌塘地块南缘形成了扎普—多不杂火山陆缘火山—岩浆弧带(廖六根等,2005;耿全如等,2011),该岩浆弧带分布的中酸性岩浆岩多具有重融型花岗岩的特征,形成了一系列与重融型花岗岩密切相关的多金

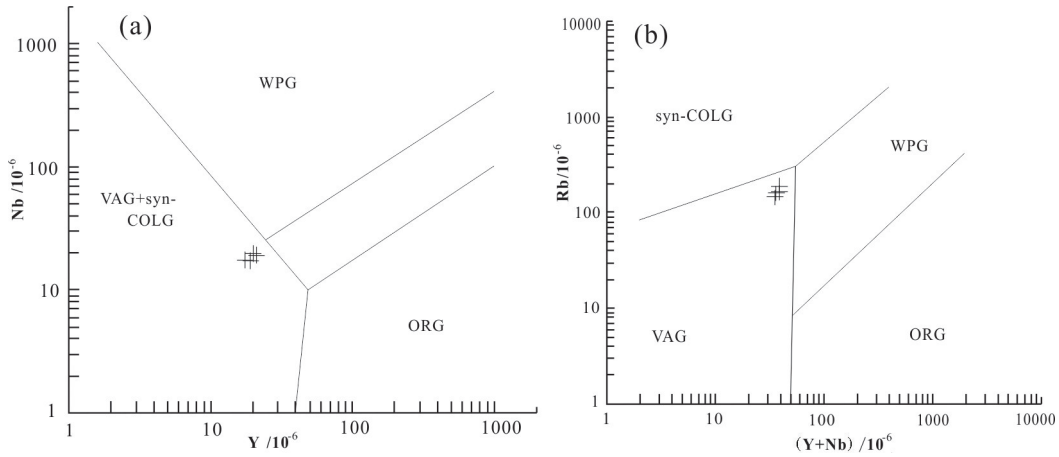


图10 花岗闪长斑岩的Nb-Y、Rb-(Y+Nb)图解(据Pearce et al., 1984)

a—Nb-Y图解;b—Rb-(Y+Nb)图解;syn-COLG—同碰撞花岗岩;WPG—板内花岗岩;VAG—火山弧花岗岩;ORG—洋脊花岗岩

Fig. 10 Nb-Y diagram and Rb-(Y+Nb) diagram of granodiorite porphyry(after Pearce et al., 1984)

a- Nb-Y diagram;b- Nb-(Y+Nb) diagram;syn-COLG-colliding granite;WPG-Within plate granite;VAG-Volcanic arc granite;ORG-Oceanic ridge granite

属矿床,主要为斑岩型铜矿、矽卡岩型磁铁矿和热液型多金属矿(耿全如等,2011)。

从矿化特征来看,巴工铅多金属矿成矿作用与花岗闪长斑岩关系最为密切,其成矿时代应略晚于花岗闪长斑岩的侵位年龄,花岗闪长斑岩的侵位时代为112~116 Ma,恰好处于班公湖—怒江洋往北俯冲的末期,花岗闪长斑岩呈北西向分布,具有强过铝质重融型花岗岩的岩石地球化学特征,说明矿区

内花岗闪长斑岩岩体是俯冲作用引起的岩浆活动的产物,据此分析,巴工铜铅锌多金属矿的形成与班公湖—怒江洋往北俯冲形成的岩浆弧有关,是班公湖—怒江成矿带构造演化阶段成矿事件的重要体现。

6 结论

(1)目前对于根据巴工矿区已有地物化遥等资

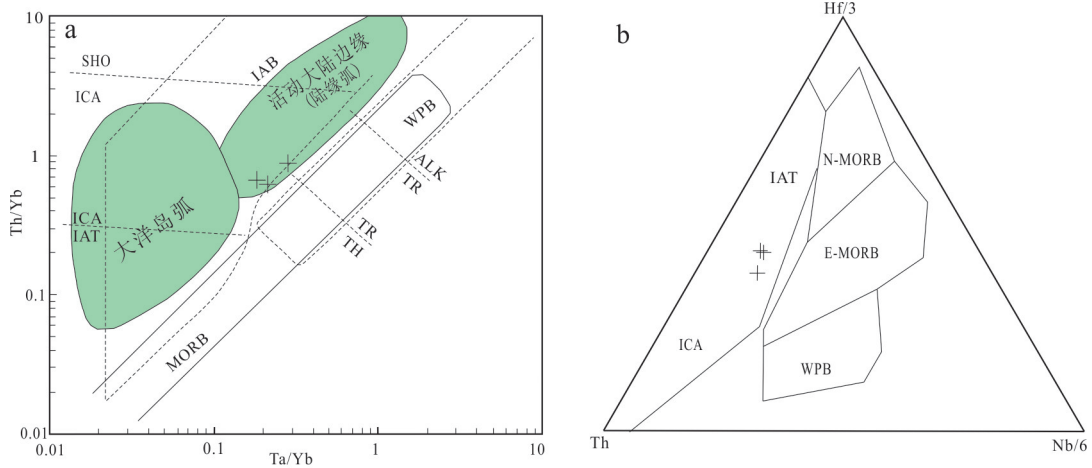


图11 辉绿岩Ta/Yb-Th/Yb判别图解(a,据Pearce, 1982)和Th-Hf-Ta判别图解(b,据Wood, 1980)

IAT—岛弧拉斑玄武岩;ICA—岛弧钙碱性玄武岩;WPB—板内玄武岩;ALK—碱性玄武岩;TR—过渡玄武岩;TH—拉斑玄武岩;SHO—岛弧橄榄玄武岩;MORB—大洋中脊玄武岩;N-MORB—正常型洋中脊玄武岩;E-MORB—富集型洋中脊玄武岩

Fig. 11 Ta/Yb-Th/Yb diagram(after Pearce, 1982)and Th-Hf-Ta diagram(after Wood, 1980)of diabase

a-Ta/Yb-Th/Yb diagram of diabase;b-Th-Hf-Ta diagram of diabase;IAT-Island arc tholeiite;ICA-Island calc-alkaline arc basalt;WPB-Within plate basalts;ALK- Alkali basalt;TR- Transitional basalt;TH-Tholeiite;SHO- Island shoshonitic;MORB-Midocean ridge basalt;N-MORB-Normal midocean ridge basalt;E-MORB-Enriched midocean ridge basalt

料,结合地表工程揭露和矿体分布等特征,巴工矿区的赋矿地层为早—中二叠世吞龙共巴组碎屑岩和早白垩世辉绿岩,直接找矿标志有黄铜矿化、蓝铜矿化、斑铜矿化、辉铜矿化、孔雀石化、白铅矿化、碲铅矿化和闪锌矿化等;间接找矿标志有褐铁矿化、孔雀石化、赤铁矿化、硅化、绿泥石化、绿帘石化等。

(2)主要地质单元的金属元素地球化学特征显示,吞龙共巴组碎屑岩、早白垩世辉绿岩和花岗闪长斑岩中的Cu、Pb、Zn、Ag元素背景值较高,而矿体仅产于吞龙共巴组碎屑岩和早白垩世辉绿岩之中,以此推断吞龙共巴组碎屑岩和矿区内早期的侵入岩(辉绿岩等)可能为成矿作用提供了成矿物质,后期侵位的花岗闪长斑岩为成矿作用提供了成矿流体并提供了部分成矿物质。成矿流体通过萃取吞龙共巴组碎屑岩和早期侵入岩在北西西向、北东东向的断裂成矿有利部分富集沉淀。北西西向、北东东向和近东西向断裂是巴工铜铅锌多金属矿的导矿构造和容矿构造。

(3)区内花岗闪长斑岩与矿体具有相似的蚀变特征,分别为硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化、高岭土化、褐铁矿化、黄铁矿化等,另外地球化学特征显示花岗闪长斑岩Ag、Pb高背景值可能与成矿较为密切。综合判断矿床类型为与岩浆有关的热液脉型矿床。

(4)与区内多金属矿化关系较密切的花岗闪长斑岩形成于早白垩世,形成环境为活动大陆边缘陆缘火山弧。

综上所述,巴工铜铅锌多金属矿石形成于班公湖—怒江洋俯冲期后的热液型多金属矿,该矿点的发现对班公湖—怒江成矿带的后续的找矿具有重要的指导意义。

致谢:本文在编写过程中得到了中国地质科学院矿产资源研究所王立强副研究员的指导,匿名审稿专家对论文提出了较多宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

References

- Bi Zhiwei. 2017. Research on the Middle Permian Longge Formation in western part of the south Qiangtang Basin, Qianghai—Xizang (Tibet),China[J]. Geological Survey and Research, 40(2):89–98(in Chinese with English abstract).
- Bi Zhiwei, Li Zhimin, Li Qiang, Wang Yankai, Sun Xiao, Zhang Tao. 2018. The discovery of the Upper Jurassic to Lower Cretaceous marine strata on the southwestern margin of the Qiangtang block[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 38(1):1–10 (in Chinese with English abstract).
- Cao Shenghua, Deng Shiquan, Xiao Zhijian, Liao Liugen. The archipelagic arc tectonic evolution of the Meso–Tethys in the western part of the Bangong Lake–Nujiang suture zone[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 26(4):25–32.
- Chen Qi, Xie Lin, Xiao Zhijian. 2007. Characteristics and Tectonic Evolution of Bangong Lake Ophiolitic Melange Belt in the Western Qinghai–Tibet Plateau[J]. Journal of east China institute of Technology, 30(2):107–112(in Chinese with English abstract).
- Fang Xiang, Tang Juxing, Li Yanbo, Wang Qin, Ding Shuai, Zhang Zhi, Yang Chao, Li Yubing, Chen Hongqi, Wei Lujie, Ni Ma. 2014. Metallogenic element spatial distribution of the Naruo copper (gold) deposit in the Duolong ore concentration area of Tibet and its geochemical exploration model [J]. Geology in China, 41(3): 936–950(in Chinese with English abstract).
- Fang Xiang, Tang Juxing, Song Yang, Yang Chao, Ding Shuai, Wang Yiyun, Wang Qin, Sun Xingguo, Li Yu–bin, Wei Lujie, Zhang Zhi, Yang Huanhuan, Gao Ke, Tang Pan. 2015. Formation epoch of the south Tiegelong supelarge epithermal Cu (Au–Ag) deposit in Tibet and its geological implications[J]. Acta Geoscientia Sinica, 36(2): 168–176(in Chinese with English abstract).
- Feng Guosheng, Liao Liugeng, Chen Zhenhua, Xiao Zhijian. 2006. Geological characteristics of the Caima iron–polymetallic deposit, Rutog country western Tibet, China, and its significance for mineral prospecting[J]. Geological Bulletin of China, 25(1/2): 267–272(in Chinese with English abstract).
- Feng Guosheng, Chen Zhenhua, Liao Liugeng, Xiao Yebin. 2007. Geological characteristics of the Fuye porphyry iron deposit, Rutog County, Tibet, China and its significance for iron prospecting[J]. Geological Bulletin of China, 26(8):1041–1047(in Chinese with English abstract).
- Gao Shunbao, Zheng Youye, Tian Liming, Zhang Zhong, Qu Wenjun, Liu Minyuan, Zheng Haitao, Zheng Lei, Zhu Jihua. 2012. Geochronology of magmatic intrusions and mineralization ineralization of Chagele copper–lead–zinc deposit in Tibet and its implications[J]. Earth Science–Journal of China University of Geoscience, 37(3):507–514(in Chinese with English abstract).
- Geng Quanru, Pan Gurtang, Wang Liquan, Peng Zhimin, Zhang Zhang. 2011. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co–Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 30(8):1261–1274 (in Chinese with English abstract).
- Jackson S E, Pearson J, Griffin W L. 2004. The application of laser ablation–inductively coupled plasma–mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology[J]. Chemical Geology, 211: 47–69.
- Jiang Jingye, Cheng Jianping, Qi Shihua, Xiang Wu. 2006. Applied

- Geochemistry[M]. Wu Han: China University of Geosciences Press.
- Huang Hanxiao, Li Guangming, Zeng Qinggao, Liu Bo, Duan Zhiming, Dong Suiliang, Zhang Hui, Zhang Li. 2012. Geochronology of the Chagele Pb–Zn deposit in Tibet and its significance[J]. *Geology in China*, 39(3):750–759(in Chinese with English abstract).
- Li Guangming, Pan Guitang, Wang Gaoming, Huang Dafa. 2004. Evaluation and prospecting value of mineral resources in Gangdise metallogenic belt, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 31(1):22–27 (in Chinese with English abstract).
- Li Jiliang. 2004. Basic characteristics of accretion–type orogens[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(9):947–951(in Chinese with English abstract).
- Li Jinxiang, Qin Kezhang, Li Guangming, Xiao Bo, Zhao Junxing, Cao mingjian, Chen Lei. 2012. The Nadu high suphidation epithermal deposit with paragenesis of duolong porphyry Cu–Au deposit in Bangong Lake belt, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 31 (supp.):991–992(in Chinese).
- Li Jinxiang, Li Guangming, Qin Kezhang, Xiao Bo. 2008. Geochemistry of porphyries and volcanic rocks and ore–forming geochronology of Duobuza gold–rich porphyry copper deposit in Bangonghu belt, Tibet: Constraints on metallogenic tectonic settings[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 531–543 (in Chinese with English abstract).
- Li Tong. 1984. Abundance of chemical elements in oceanic and continental crust[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 18(1):19–27.
- Lian Yonglao, Cao Xinzhi, Yan Changhai, Du Xin. 2010. Geological features and range of reconnaissance for the Pb–Zn–Ag–polymetallic deposit in the Nyainqntanglha region, Tibet[J]. *Acta Geologica Sichuan*, (4): 442–446(in Chinese with English abstract).
- Lian Yonglao, Cao Xinzhi, Yan Changhai, Du Xin. 2011. Metallogenic series and prospecting potential of lead–zinc–silver ore district in Nyainqntanglha, Tibet[J]. *Journal of Guizhou University (Natural Sciences)*, 28(2):32–36(in Chinese with English abstract).
- Liao liugen, Cao Shenghua, Xiao Yebin, Ou Yang Kegui, Hu Zhaorong, Feng Guosheng. 2005. The delineation and significance of the continental–margin volcanismagmatic arc zone in the northern part of the Bangong–Nujiang suture zone[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 25(1/2):163–170.
- Liao Zhongli, Mo Xuanxue, Pan Guitang, Zhu Dicheng, Wang Liquan, Zhao Zhidan, Jiang Xinsheng. 2006. On peraluminous granites in Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 25 (7): 812–821(in Chinese with English abstract).
- Liao Zhongli, Mo Xuanxue, Pan Guitang, Zhu Dicheng, Wang Liquan, Geng Quanru, Zhao Zhidan, Xiong Xingguo, Dong Guochen. 2006. Petrochemistry characteristic and petrogenesis of peraluminous granite in the Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(9):1329–1341(in Chinese with English abstract).
- Lin Guangchun, Ma Changqian. 2003. Genesis of peraluminous granitoids and their tectonic settings[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (1): 65–70(in Chinese with English abstract).
- Liu Qinghong, Xiao Zhijian, Cao Shenghua, Liao Liugen, Xiao Yebin. 2004. A preliminary study of the spatio–temporal framework of the archipelagicarc–basin systems in the western part of the Bangong–Nujiang suture zone[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 24(3):15–21.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Gunther D, Gao Changgui. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA–ICP–MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 257(1/2): 34–43.
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing. 2010. Continental and oceanic crust recycling–induced melt–peridotite interactions in the Trans North China Orogen: U–Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 51:537–571.
- Ludwig K R. 2003. User’s manual for Isoplot/EX, Version 3.00: Ageochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4:1–70.
- Lu Yuanfa. 2004. GeoKit: A use VBA to construct geochemical tool package *Geochimica [J]. Geochimica*. 33(5):459–464 (in Chinese with English abstract).
- Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries [C]//Thorpe R S, (ed.). *Andesites*. John sons: 525esara.
- Qiu Ruizhao, Zhou Su, Deng Jinfu, Li Jinfu, Xiao Qinghui, Cai Zhiying. 2004. Dating of grabbro in the Shemalagou ophiolite in the western segment of the bangong Co–Nujiang ophiolite belt, Tibet–with a discussion of the age of the bangong Co–Nujiang ophiolite belt [J]. *Geology in China*, 31(3):262–268 (in Chinese with English abstract).
- Qu Xiaoming, Xin Hongbo. 2006. Ages and tectonic environment of the Bangong Co porphyry copper belt in western Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(7):792–799(in Chinese with English abstract).
- Qu Xiaoming, Wang Ruijiang, Xing Hongbo, Zhao Yuanyi, Fan Xingtao. 2009. Geochronology and geochemistry of igneous rocks related to the subduction of the Tethys oceanic plate along the Bangong Lake arc zone, the western Tibetan Plateau[J]. *Geochimica*, 38(6):523–635.
- She Hongquan, Li Jinwen, Ma Dongfang, Li Guangming, Zhang Dequan, Feng Chengyou, Qu Wenjun, Pan Guitang. 2009. Molybdenite Re–Os and SHRIMP zircon U–Pb dating of Duobuza porphyry copper deposit in Tibet and its geological implications[J]. *Mineral Deposits*, 28(6):737–746.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics

- of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]//Saunders A D, Norry M J(eds.).Magmatism in the Oceanic Basins[J]. Geological Society, London, Special Publications, 42(1): 313–345.
- Sun Xiao, Bi Zhiwei, Li Guangdong, Zhang Jianzhen, Li Zhimin.2015. Achievements and prospects of regional geological survey in the east Aiyongcuo area, Tibet[J]. Geological Survey of China, 2(7): 13–18.
- Sun Xingguo, Feng Daoyong, Su Dengkui, Wang Side, Hou Junfu, Yin Xianbo, Yuan Huashan, Jiang Shaoqing. 2014. The exploration breakthrough of the Tiegelongnan superlarge porphyry Cu (Au) deposit, Bangong Lake arc, Tibet, and its significance[J]. Geology in China, 41(4): 1314–1327(in Chinese with English abstract).
- Tang Juxing, Song Yang, Wang Qin, Lin Bin, Yang Chao, Guo Na, Fang Xiang, Yang Huanhuan, Wang Yiyun, Gao Ke, Ding Shuai, Zhang Zhi, Duan Jilin, Chen Hongqi, Su Dengkui, Feng Jun, Liu Zhibo, Wei Shaogang, He Wen, Song Junlong, Li Yanbo, Wei Lujie. 2016. Geological characteristics and exploration model of the Tiegelongnan Cu (Au–Ag) Deposit:The first ten million tons metal resources of a porphyry–epithermal deposit in Tibet[J].Acta Geoscientica Sinica, 37(6):663–690(in Chinese with English abstract).
- Wang Dongbo, Jiang Shaoqing, Dong Fangliu. 2016. Geological exploration of the Rongna porphyry copper deposit in the Duolong ore concentration area, northern Tibet[J].Geology in China, 43(5): 1599–1612(in Chinese with English abstract).
- Wang Liqiang, Cheng Wenbing, Luo Maocheng, Tang Juxing, Zhong Kanghui, Liu Xiaoji. 2012. Sulfur and lead isotope composition and tracing for the sources of ore–forming materials in the Mengya'a Pb–Zn deposit, Tibet[J].Geology in China, 39(3):740–749(in Chinese with English abstract).
- Wang Qin, Tang Juxing, Fang Xiang, Lin Bing, Song Yang, Wang Yiyun, Yang Huanhuan, Yang Chao, Li Yanbo, Wei Lujie, Feng Jun, Li Li. 2015. Petrogenetic setting of andsites in Rongna ore block, Tiegelong Cu (Au–Ag) deposit, Duolong ore concentration area, Tibet: Evidence from zircon U–Pb LA–ICP–MS dating and petrogeochemistry of andsites[J].Geology in China, 42(5):1324–1336(in Chinese with English abstract).
- Wu Jianliang, Yin Xianke, Wang Bo, Liu Wen, Lei Chuanyang, Li Wei, Zhang Wei. 2019. Geochemistry and geochronotry of intermediate–basic dikes in Awengcuo area of north Tibet and intraplate extensional structures [J].Geology in China, 46(6):1356–1371(in Chinese with English abstract).
- Xin Hongbo, Qu Xiaoming, Wang Ruijiang, Liu Hongfei, Zhao Yuanyi, Huang Wei. 2009. Geochemistry and Pb, Sr, Nd isotopic features of ore–bearing porphyries in Bangong Lake porphyry copper belt, western Tibet[J].Mineral Deposits, 28(6):785–792.
- Xue Wanwen, Tian Yongge, Han Xiaolong, Fu Yanwen, Li Jie.2019. The Namuqin gold–polymetallic deposit in western Bangonghu–nujiang metallogenic belt: Geology and Genesis[J].Geology and Resources, 28(3):266–271 (in Chinese with English abstract).
- Yang Chao, Tang Juxing, Wang Yiyun, Yang Huanhuan, Wang Qin, Sun Xingguo, Feng Jun, Yin Xianbo, Ding Shuai, Fang Xiang, Zhang Zhi, Li Yubin. 2014. Fluid and geological characteristics researches of Southern Tiegelong epithermal porphyry Cu–Au deposit in Tibet[J]. Mineral Deposit, 33(6): 1287–1305(in Chinese with English abstract).
- Yin Tao, Li Wei, Yin Xianke, Zhang Wei, Yuan Huayun, Pei Yalun.2019.The Early Cretaceous granodiorites in the Aweng Co area, Tibet: Evidence for the subduction of the Bangong Co–Nujiang River oceanic crust to the south[J]. Geology in China, 46(3):1105–1115(in Chinese with English abstract).
- Yuan Sihua, Wang Liquan, Jiang Xinsheng, Yin Fuguang, zhudicheng, Zhuo Jiewen, Zhang Wanping. 2009. The retrospect and prospect on archipelago model and composite arc–basin system model of orogenesis[J].Geological Science and Technology Information, 28(5):1–11(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 毕志伟. 2017. 青藏高原南羌塘盆地西部中二叠统龙格组地层的研究[J]. 地质调查与研究, 40(2):89–98.
- 毕志伟, 李志敏, 李强, 王艳凯, 孙肖, 张涛. 2018. 羌塘地块西南缘上侏罗统一白垩统海相地层的发现[J]. 沉积与特提斯, 38(1):1–10.
- 曹圣华, 邓世权, 肖志坚, 廖六根. 2006. 班公湖–怒江结合带西段中特提斯多岛弧构造演化[J]. 沉积与特提斯, 26(4):25–32.
- 陈奇, 谢琳, 肖志坚. 2007. 青藏高原西部班公湖蛇绿混杂岩带的基本特征与构造演化[J]. 东华理工学院学报, 30(2):107–112.
- 方向, 唐菊兴, 李彦波, 王勤, 丁帅, 张志, 杨超, 李玉彬, 陈红旗, 卫鲁杰, 尼玛. 2014. 西藏多龙矿集区拿若铜(金)矿床成矿元素空间分布规律及地球化学勘查模型[J]. 中国地质, 41(3):936–950.
- 方向, 唐菊兴, 宋杨, 杨超, 丁帅, 王艺云, 王勤, 孙兴国, 李玉彬, 卫鲁杰, 张志, 杨欢欢, 高轲, 唐攀. 2015. 西藏铁格隆南超大型浅成低温热液铜(金、银)矿床的形成时代及其地质意义[J]. 地球学报, 36(2):168–176.
- 冯国胜, 廖六根, 陈振华, 肖志坚. 2006. 西藏西部日土县材玛铁多金属矿地质特征及找矿意义[J]. 地质通报, 25(1/2):267–272.
- 冯国胜, 陈振华, 廖六根, 肖业斌. 2007. 西藏日土地区弗野矽岩铁矿的地质特征及找矿意义[J]. 地质通报, 26(8):1041–1047.
- 高顺宝, 郑有业, 田立明, 张众, 屈文俊, 刘敏院, 郑海涛, 郑磊, 朱继华. 2012. 西藏查个勒铜铅锌矿成岩成矿时代及意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 37(3):507–514.
- 耿全如, 潘桂堂, 王立全, 彭智敏, 张璋. 2011. 班公湖–怒江带–羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景[J]. 地质通报, 30(8):1261–1274.
- 黄瀚霄, 李光明, 曾庆高, 刘波, 段志明, 董随亮, 张晖, 张丽. 2012. 西藏查个勒铅锌矿床成矿时代研究及地质意义[J]. 中国地质, 39(3):750–759.
- 蒋敬业, 程建萍, 祁士华, 向武. 2006. 应用地球化学[M]. 武汉: 中国地

- 质大学出版社.
- 李光明, 潘桂堂, 王高明, 黄志英, 高大发. 2004. 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), 31(1):22-27.
- 李继亮. 2004. 增生型造山带的基本特征[J]. 地质通报, 23(9):947-951.
- 李金祥, 李光明, 秦克章, 肖波. 2008. 班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床斑岩-火山岩的地球化学特征与时代对成矿构造背景的制约[J]. 岩石学报, 24(3):531-543.
- 李金祥, 秦克章, 李光明, 肖波, 赵俊兴, 曹明坚, 陈雷. 2012. 西藏班公湖带与多龙斑岩Cu-Au矿床共生的拿顿高硫型浅成低温热液Au-Cu矿床[J]. 矿床地质, 31(增刊):991-992.
- 黎彤. 1984. 大洋地壳和大陆地壳的元素丰度[J]. 大地构造与成矿学, 18(1):19-27.
- 廖六根, 曹圣华, 肖业斌, 欧阳克贵, 胡肇荣, 冯国胜. 2005. 班公湖—怒江结合带北侧陆缘火山—岩浆弧带的厘定及其意义[J]. 沉积与特提斯, 25(1/2):163-170.
- 连永牢, 曹新志, 燕长海, 杜欣. 2010. 西藏念青唐古拉地区铅锌银多金属矿成矿特征及找矿方向[J]. 四川地质学报, (4):442-446.
- 连永牢, 曹新志, 燕长海, 杜欣. 2011. 西藏念青唐古拉地区铅锌银矿床成矿系列及找矿前景[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 28(2):32-36.
- 廖忠礼, 莫宣学, 潘桂堂, 朱弟成, 王立全, 赵志丹, 江新胜. 2006. 初论西藏过铝花岗岩[J]. 地质通报, 25(7):812-821.
- 廖忠礼, 莫宣学, 潘桂堂, 朱弟成, 王立全, 耿全如, 赵志丹, 熊兴国, 董国臣等. 2006. 西藏过铝花岗岩的岩石化学特征及成因探讨[J]. 地质学报, 80(9):1329-1341.
- 路远发. 2004. GeoKit: 一个用VBA构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 33(5):459-464.
- 林广春, 马昌前. 2003. 过铝花岗岩的成因类型与构造环境研究综述[J]. 华南地质与矿产, (1):65-70.
- 刘庆宏, 肖志坚, 曹圣华, 廖六根, 肖业斌. 2004. 班公湖—怒江结合带西段多岛弧盆系时空结构初步分析[J]. 沉积与特提斯, 24(3):15-21.
- 邱瑞照, 周肃, 邓晋幅, 李金发, 肖庆辉, 蔡志勇. 2004. 西藏班公湖—怒江西段舍马拉沟蛇绿岩中辉长岩年龄测定——兼论班公湖—怒江蛇绿岩带形成时代[J]. 中国地质, 31(3):262-267.
- 曲晓明, 辛洪波. 2006. 藏西班公湖斑岩成矿带的成矿时代及成矿构造环境[J]. 地质通报, 25(7):792-799.
- 曲晓明, 王瑞江, 辛洪波, 赵元艺, 樊兴涛. 2009. 西藏西部与班公湖特提斯洋盆俯冲相关的火成岩年代学和地球化学[J]. 地球化学, 38(6):523-635.
- 余宏全, 李进文, 马东方, 李光明, 张德全, 丰成友, 屈文俊, 潘桂棠. 2009. 西藏多不杂斑岩铜矿床辉钼矿 Re-Os 和锆石 U-Pb SHRIMP测年及地质意义[J]. 矿床地质, 28(6):737-746.
- 孙肖, 毕志伟, 李广栋, 张建珍, 李志敏. 2015. 西藏埃永错东地区区调成果与展望[J]. 中国地质调查, 2(7):13-18.
- 孙兴国, 冯道永, 粟登遼, 王思德, 侯俊富, 印贤波, 袁华山, 江少卿. 2014. 西藏班公湖带铁格隆南超大型斑岩铜(金)矿床的勘查突破及区域找矿意义[J]. 中国地质, 41(4):1314-1327.
- 唐菊兴, 宋扬, 王勤, 林彬, 杨超, 郭娜, 方向, 杨欢欢, 王艺云, 高轲, 丁帅, 张志, 段吉琳, 陈红旗, 粟登遼, 冯军, 刘治博, 韦少港, 贺文, 宋俊龙, 李彦波, 卫鲁杰. 2016. 西藏铁格隆南铜(金银)矿床地质特征及勘查模型——西藏首例千万吨级斑岩—浅成低温热液型矿床[J]. 地球学报, 37(6):663-690.
- 汪东波, 江少卿, 董方浏. 2016. 藏北多龙矿集区荣那斑岩铜矿找矿突破的实践[J]. 中国地质, 43(5):1599-1612.
- 王立强, 程文斌, 罗茂澄, 唐菊兴, 钟康惠, 刘晓吉. 2012. 西藏蒙亚阿铅锌矿床金属硫化物、石英稀土元素组成特征及其成因研究[J]. 中国地质, 39(3):740-749.
- 王勤, 唐菊兴, 方向, 林彬, 宋扬, 王艺云, 杨欢欢, 杨超, 李彦波, 卫鲁杰, 冯军, 李力. 2016. 西藏多龙矿集区铁格隆南铜(金银)矿床荣那矿段安山岩成岩背景:来自锆石U-Pb年代学、岩石地球化学的证据[J]. 中国地质, 42(5):1324-1336.
- 吴建亮, 尹显科, 王波, 刘文, 雷传扬, 李威, 张伟. 2019. 藏北阿翁错地区中基性脉岩年代学、地球化学特征及其板内伸展构造作用[J]. 中国地质, 46(6):1356-1371.
- 辛洪波, 曲晓明, 王瑞江, 刘鸿飞, 赵元艺, 黄玮. 2009. 藏西班公湖斑岩成矿带成矿斑岩地球化学及Pb、Sr、Nd同位素特征[J]. 矿床地质, 28(6):785-792.
- 薛万文, 田永革, 韩晓龙, 付彦文, 李杰. 2019. 西藏班公湖—怒江成矿带西段纳木钦金多金属矿地质特征及成因[J]. 地质与资源, 28(3):266-271.
- 杨超, 唐菊兴, 王艺云, 杨欢欢, 王勤, 孙兴国, 冯军, 印贤波, 丁帅, 方向, 张志, 李玉彬. 2014. 西藏铁格隆南浅成低温热液型—斑岩型Cu-Au矿床流体及地质特征研究[J]. 矿床地质, 33(6):1287-1305.
- 袁四化, 王立全, 江新胜, 尹福光, 朱弟成, 卓皆文, 张万平. 2009. 多岛海(洋)及多岛弧盆系造山模式解析造山带演化的研究进展[J]. 地质科技情报, 28(5):1-11.
- 尹滔, 李威, 尹显科, 张伟, 袁华云, 裴亚伦. 2019. 西藏阿翁错地区早白垩世镁花岗闪长岩——班公湖—怒江洋壳南向俯冲消减证据[J]. 中国地质, 46(3):1105-1115.