

秘鲁邦沟铁多金属矿地质特征及成矿阶段划分

姚仲友¹, 崔聚荣², 魏文俊², 董彦璞², 刘君安¹

YAO Zhongyou¹, CUI Jurong², WEI Wenjun², DONG Yanpu², LIU Jun'an¹

1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016;

2. 中融新大集团(青岛)矿产资源有限公司, 山东 青岛 266061

1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;

2. The New Financial Group (Qingdao) Mineral Resources Co., Ltd., Qingdao 266061, Shandong, China

摘要:秘鲁首都利马至查拉400km沿海成矿带赋存多处铁、铜、金矿床,铜金矿床具有IOCG(铁氧化物)型,铁矿多为矽卡岩型。邦沟铁多金属矿规模巨大,矿床位于西科迪勒拉山西部边缘的伊卡-纳斯卡拗陷附近。矿床类型既有矽卡岩特征,也具有IOCG特点。总结矿床地质特征认为,邦沟铁和多金属矿矿化存在同期不同阶段的特点,铁矿化发生在第一期,铜金硫化物矿化发生在第二期;铜金硫化物在空间上与主铁矿体异位,铜金矿有较大找矿潜力。

关键词:秘鲁邦沟铁矿;矽卡岩;铁氧化物-铜-金矿;矿化阶段

中图分类号:P618.31 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)12-2213-08

Yao Z Y, Cui J R, Wei W J, Dong Y P, Liu J A. Geological characteristics and metallogenic stages of the Pongo iron polymetallic ore deposit in Peru. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(12):2213-2220

Abstract: From Lima, the capital of Peru, to Chala City, there is a 400km long mineralization zone along the Pacific coast. In this zone, there are a number of iron, copper, gold deposits. The copper-gold deposits possess the special IOCG type characteristics, whereas the iron deposits are mainly of skarn type. Pongo is a huge iron deposit. The deposit is located in the Western Cordillera near the western edge of the depression of ICA to Nascar. The deposit is accompanied by copper-gold mineralization. This deposit not only has skarn specialty but also has IOCG features. The authors summarized the geological factors of the deposit and indicated an excellent copper-gold potential. It is also pointed out that the main iron mineralization and the gold-copper sulfides are different in stage and space.

Key words: Pongo iron deposit in Peru; skarn; IOCG copper-gold deposit; mineralization stage

秘鲁邦沟(Pongo)铁多金属矿床隶属中融新大集团(青岛)矿产资源有限公司。矿区位于秘鲁阿雷基帕大区(Arequipa)格拉威力省(Caraveli)贝拉务农区(Bella Union)。从首都利马沿南泛美公路南行550km,距离泛美南公路5km,交通便利。项目区的地形由基本平坦的沙漠平原、平缓坡地、沙丘和干河谷组成。海拔320~420m不等。气候干旱少雨,冬季多雾,每年1—6月为湿季,7—12月为干季。

矿床位于西科迪勒拉山西部边缘的伊卡-纳斯卡拗陷附近,已查明铁矿石资源量 $38\times 10^8\text{t}$,伴生铜

$375\times 10^4\text{t}$ 、金226t。其次伴生有Co、Mo及Re、Rb等稀有元素。矿床类型具有IOCG型矿床特征。查明该矿床的地质特征和矿床成因,对指导该区找矿,扩大铜金资源量具有重要意义。本文总结了邦沟矿区的地质特征和矿化特征,探讨了矿床类型,以期对该矿床的勘查开发提供启发和帮助。

1 区域地质概况

秘鲁邦沟铁多金属矿位于安第斯成矿带中安第斯成矿省海岸安第斯IOCG型铁、铜、金成矿带的

收稿日期:2017-03-28;修订日期:2017-09-19

资助项目:中国地质调查局项目《海上丝绸之路大洋洲和南美洲矿产资源评价》(编号:DD20160110)

作者简介:姚仲友(1962-),男,本科,教授级高级工程师,从事矿床地质及成矿规律研究。E-mail: yaoyao_q@163.com

中北段^[1],属于秘鲁中晚侏罗世铁-铜-金成矿亚带。在该带从首都利马到查拉市之间长400km、宽70km的范围内,分布有多个IOCG型矿床,如Raul、Condestable, Eliana, Monterrosas, Mina Justa, Cobre-pampa, Marcona, Acri等^[2]。区域性赛丽瑶斯(Cerrillos)断裂系统的一部分——贝拉务农(bella union)断层从矿区通过^[3](图1)。

区域地层从早到晚依次为中元古代变质岩、早古生代砂砾岩、晚古生代碳酸盐岩、中生代火山岩和陆源碎屑岩、新近纪半固结的砂砾岩和第四纪松散堆积物。

中元古代变质岩也被称为沿海基底杂岩,基本岩性是片麻岩、红色花岗片麻岩,含有不规则的石英脉、伟晶岩脉和磁铁矿脉。

古生代地层出露不全,仅见早古生代圣胡安组(San Juan)和石炭纪马尔科纳组(Marcona),前者为含花岗片麻岩砾石的砾岩、砂砾岩、砂岩和页岩,并

含薄层石灰岩,厚约250m;后者以厚层石灰岩和白云岩为主,含石英砂岩和砂砾岩层,厚约650m。

中生代地层有中侏罗世里约格兰德组,晚侏罗世哈乌阿依组和早白垩世牙乌卡组。其中,里约格兰德组由蓝紫色-灰绿色安山岩、安山质凝灰岩和火山角砾岩组成,局部有红色砂岩薄层和蓝色含化石的石灰岩薄层,厚约500m;哈乌阿依组以石灰岩为主,礁灰岩占较大的比例,常含红色砂岩和砂砾岩夹层,厚约400m;牙乌卡组由粉砂岩、泥岩、石灰岩及凝灰岩组成,厚约500m。

新生代地层大面积覆盖在较老的地质体之上。可见新近纪中新世皮斯科组,主要出露于哈乌阿依河一带,由褐色半固结砂岩和砂砾岩组成,巨大的砾石由粉砂岩和粘土胶结,厚约350m;第四纪松散堆积物有滨海相沉积物、风积物、戈壁砾石等。

侵入岩有沿海岩基和半深成岩浆岩2类。沿海

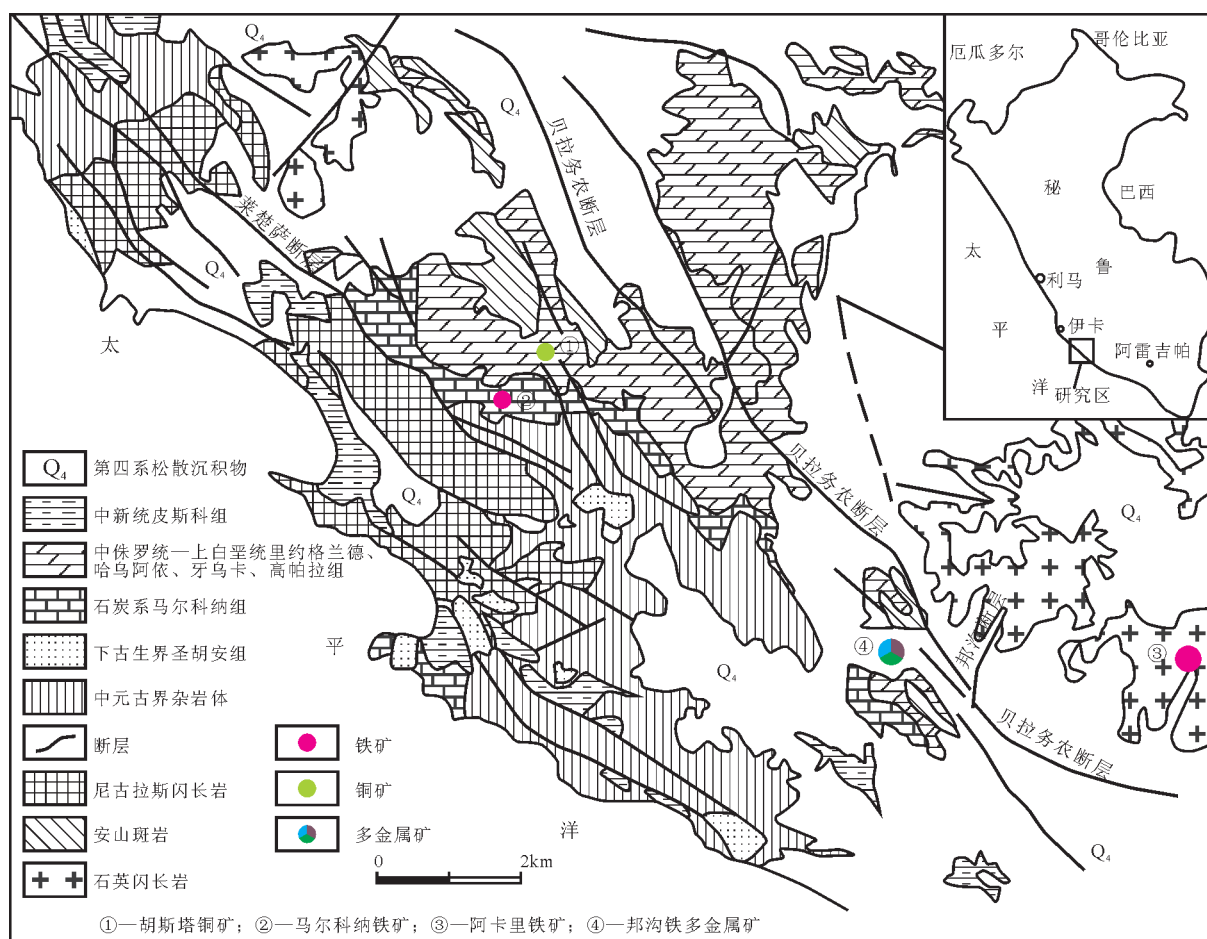


图1 区域地质矿产图

Fig. 1 Regional geological and mineral resources map

岩基赋存在邦沟矿区以东,为晚白垩世侵入,同位素年龄为 $1.09 \pm 0.14 \text{ Ma}$,由石英闪长岩和二长岩组成。半深成岩浆岩有2期:第一期由安山斑岩组成,以发育良好的斜长石斑晶为特征(3~10mm),为阿尔必期的产物,呈岩盖和岩床产出;第二期主要为微晶闪长岩和安山岩岩墙,侵入于安山斑岩中。

2 矿床地质特征

2.1 地层

邦沟矿床(图2)的地表被第四纪松散堆积物大面积覆盖,仅见晚侏罗世哈乌阿依组和早白垩世牙

乌卡组。哈乌阿依组不整合覆盖于里约格兰德组之上,由石灰岩、红色砂岩和凝灰质熔岩及火山沉积岩组成,发育交错层理,出露于2号矿段北部。牙乌卡组在矿区内有少量出露,位于矿区北部,由泥质沉积岩和火山熔岩组成。

2.2 岩浆岩

矿区内发育多种不同类型的侵入岩,主要有沿海的石英闪长岩和二长岩岩基、安山斑岩岩株及微晶闪长岩和安山岩岩墙。

沿海岩基闪长岩出露在矿区东部,经历了弱热液蚀变。铁矿化与该岩基之间没有直接关联。安

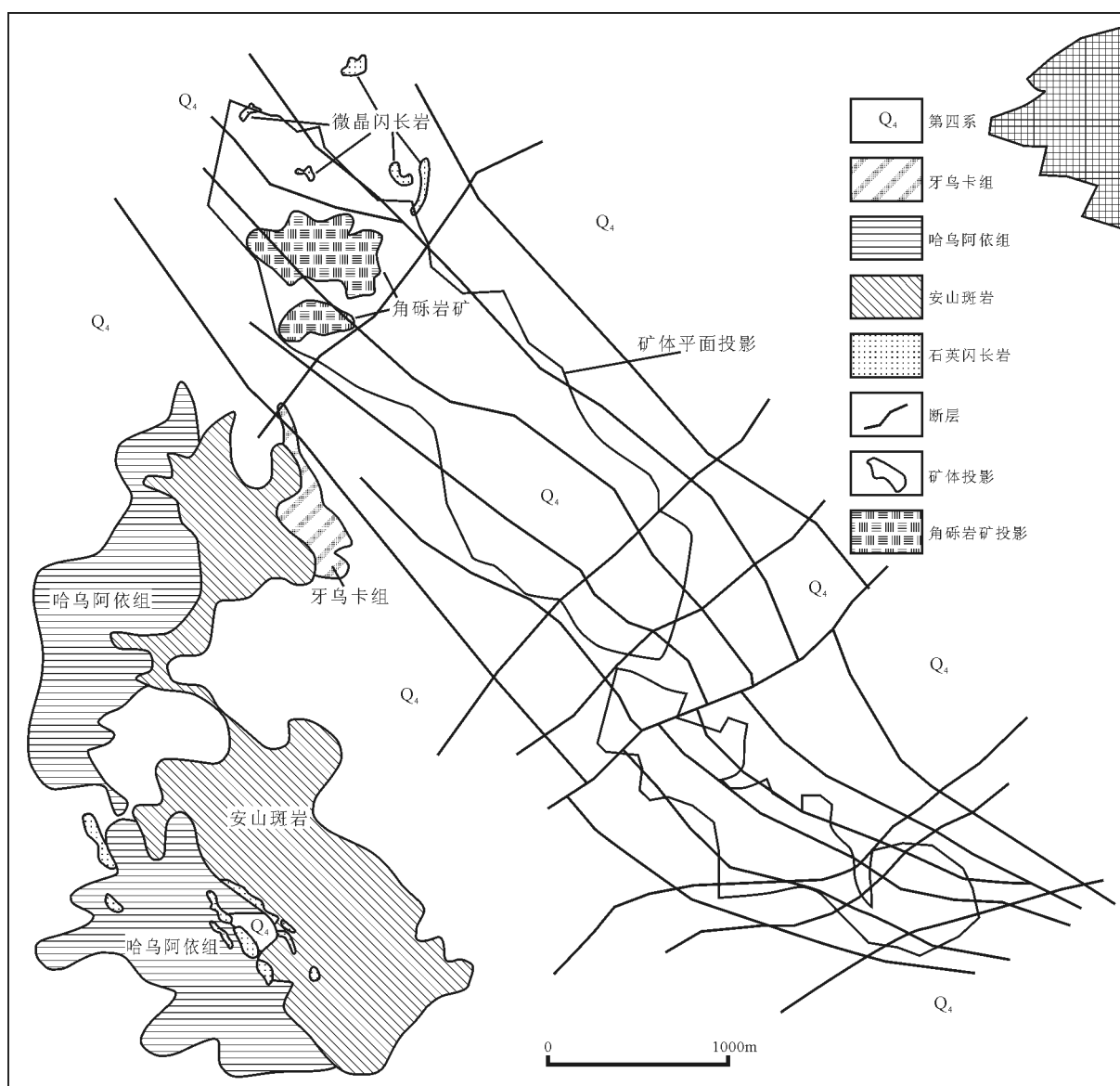


图2 邦沟铁多金属矿床地质示意图

Fig. 2 Geological map of the Pongo iron polymetallic deposit

山斑岩岩株侵入岩基。安山斑岩属于含粗粒斜长石晶体的斑状安山岩,呈岩株和岩床产出,在矿区西部出露。其中发育磁铁矿/硫化物角砾岩和细脉。微晶闪长岩和安山岩岩墙贯穿了所有地层及安山斑岩。其中发育浸染状硫化物和磁铁矿矿脉。

2.3 构造

该矿床的主要构造控制因素为贝拉务农断层,属于区域性断裂构造。区域上有5组断层:①北西—南东向左旋断层;②近东西向右旋断层;③南北向到北北西—南南东向横移断层,具有正错动;④北东—南西向断层;⑤北西—南东走向区域断层。

矿床内发育2组主要断层:纵向断层和横向断层。纵向断层走向 140° ,倾角 65° 左右,倾向东,与铁矿体走向近平行。横向断层走向 40° ,倾角 70° ,倾向南东,这些断层切穿了矿体和纵向断层^{①②}(图2)。

2.4 成矿围岩蚀变

邦沟矿床的成矿围岩蚀变表现出镁质矽卡岩的典型矿物空间分带和时间分阶段的特征。

空间分带特征是:内带的蚀变矿物组合以蛇纹石(利蛇纹石、叶蛇纹石)和磁铁矿交代早期镁橄榄石为主,还含有绿泥石、白云石、硬石膏、滑石和金云母;次外带的蚀变矿物组合有钠长石、黑云母、阳起石、钾长石、石英、石榴子石、微斜长石、绿帘石、方解石等;外带有绿泥石—绢云母、绿泥石—石英等。

时间分阶段特征是:①镁橄榄石+磁铁矿阶段,马尔科纳组和圣胡安组中的小型白云岩透镜体被镁质矽卡岩交代,最初形成规模较小的镁橄榄石和方解石交代集合体,含少量金云母和零星磁铁矿,之后形成大规模镁橄榄石和磁铁矿化集合体,并形

成矿体。磁铁矿含大量的钛尖晶石和铁尖晶石出溶物,表明其形成于较高温度(大于 500°C)。大部分镁橄榄石被蛇纹石交代。②透辉石矽卡岩阶段,交代镁橄榄石+磁铁矿矽卡岩,矿物主要由斜辉石及少量冰长石、透闪石、金云母和石英组成,与富镁橄榄石矽卡岩互层产出。③钙质矽卡岩叠加交代阶段,斜辉石、钙铝铁榴石、阳起石、金云母和透闪石组成的钙质矽卡岩叠加于基性火成岩之上形成,例如镁质矽卡岩中钙化。④镁质矽卡岩外部交代阶段,以白云石+磁铁矿为主,有含量不等的硼镁铁矿、硫化物及少量铁尖晶石。磁铁矿中存在硼镁铁矿和含钛出溶物,表明这一事件与矽卡岩同期发育。这部分岩石中的磁铁矿有2种赋存形式:细粒磁铁矿(小于 2mm)和粗粒磁铁矿。⑤外围的热液蚀变阶段,由石英、绿泥石、绢云母、方解石组成的外围蚀变。

3 矿体地质特征及资源量

3.1 矿体分布

邦沟矿床分为4个矿段:1号矿段、2~3号矿段、4号矿段和角砾岩矿段(图3)。

1号矿段位于矿区的北端,磁异常长 2km 、宽 1.5km ,未进行有效勘查。2~3号矿段是邦沟矿区查明的主要矿段。矿体走向北西 320° ,长 4.0km ,宽 0.9km ,平均厚度为 400m 。矿石为块状构造和浸染状构造,结构为自形—半自形粒状结构。4号矿段长 2.2km ,宽 0.4km ,厚 150m 。矿体被第四系覆盖,矿体走向和倾向与2~3矿段相似。角砾岩矿段包括2个筒状角砾岩体,直径约为 0.5km 和 0.25km ,平均厚度为 300m ,含矿主岩为中侏罗世里约格兰德组火山沉积岩。角砾岩由岩性各异、大小不一的围岩碎屑

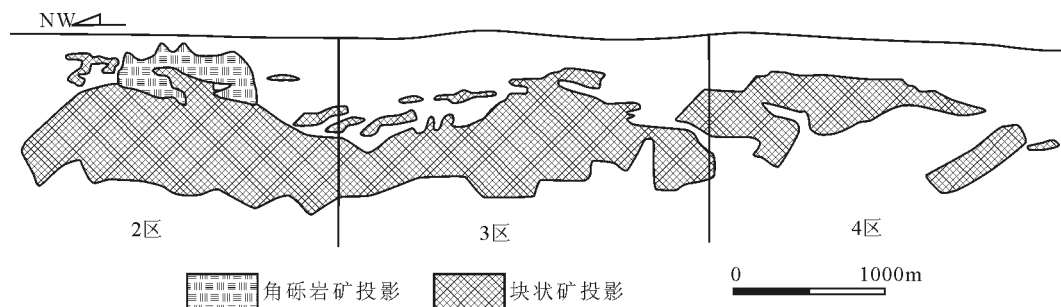


图3 邦沟铁多金属矿体纵投影

Fig. 3 Vertical projection of iron polymetallic orebody in the Pongo iron polymetallic deposit

组成,角砾由细粒和粗粒磁铁矿胶结,含方解石和少量硼镁铁矿、硫化物(图4)。

3.2 矿体的含矿主岩

铁矿体的位置、形态和品位受构造和岩性的控制。大部分磁铁矿化赋存于马尔科纳组云岩围岩中,小部分位于里约格兰德组、依阿乌卡组 and 哈乌阿依组火山沉积岩中,呈热液胶结角砾岩和矿脉产出。

3.3 矿体矿物组分和化学组分

邦沟矿床的矿石矿物主要为磁铁矿,含少量黄铜矿,其次为铁硫化物(黄铁矿和磁黄铁矿)和微量闪锌矿、方铅矿、斑铜矿、方黄铜矿和黝铜矿。另外,有少量砷黄铁矿、斜方砷铁矿、辉砷镍矿,伴生天然铋的辉铋矿。金矿化与晚期白铁矿和铈银矿/辉铋矿有关。

部分钻孔中的样品发育有钴、钼矿化、铼矿化及稀有元素铷矿化,这些矿化多赋存在浅部围岩中。铁矿化呈现出矿体中心部位品位高,向边部品位降低的规律(图5)。

铜金矿化与磁铁矿化空间关系密切,呈铁、铜、金同体特点,但Cu、Au含量变化与Fe品位变化相关性不明显(图6)。品位较高、规模较大的铜、金矿体多赋存在Fe品位较低的铁矿体外侧,尤以铁矿体上盘为主,2矿段钻孔揭露在火山沉积序列中有厚度9m,Au含量大于10g/t的区段,与铁矿同体。

铜与铁相关性也不明显,表现出与金相似的特点(图7)。金与铜表现出很强的相关性,具有铜高、金高的特点(图8)。

3.4 资源量

资源量分为2种产出状态:第一为块状矿石,第二为角砾状矿石。块状矿石的矿体包含2、3、4号矿

段。查明铁矿石资源量 $38.1 \times 10^8 \text{t}$,铜金属量 $375 \times 10^4 \text{t}$,金金属量226t,属于超大型规模。角砾状矿石的资源量尚待查明。

4 矿床类型和成矿阶段

4.1 矿产类型

矿床属于典型的富铁镁质矽卡岩矿床,具有科迪勒拉镁质矽卡岩的大部分典型特征。但是在区域上,矿床属于大型IOCG型热液系统的一部分,其中包括大量不同类型的铁矿床,例如IOCG型(敏纳胡斯塔)、钙质矽卡岩型(马尔科纳)、镁质矽卡岩型(邦沟)及脉状磁铁矿/磷灰石矿床(阿卡里)。

邦沟矿床的含矿主岩是石炭纪马尔科纳组碳酸盐岩及其上覆中侏罗世里约格兰德组火山喷发-沉积岩之后形成的,侵入岩对产生IOCG型矿化起巨大作用。矿化矽卡岩和钙碱质蚀变均属于岩浆热液流体与不同的碳酸盐岩和火山-沉积岩反应的产物。

邦沟矿床是目前发现的全球范围规模最大的富铁镁质矽卡岩矿床。一般来讲,镁质铁矽卡岩矿床很少超过 $10 \times 10^8 \text{t}$ 矿石,仅个别例外情况,例如Colquimarca(秘鲁)、La Carmen(墨西哥)、Turgai(哈萨克斯坦)、Kachar和Sarbay(俄罗斯)及Musam C(朝鲜)。

4.2 成矿阶段

邦沟矿床中的成矿阶段可划分为2个阶段。

(1) 第I阶段

石英二长岩的侵入,带来了岩浆热液系统,与马尔科纳组碳酸盐岩接触交代,产生镁质矽卡岩(镁橄榄石+磁铁矿和斜辉石矽卡岩),以及含白云石、磁铁矿和硼镁铁矿的外部交代晕。

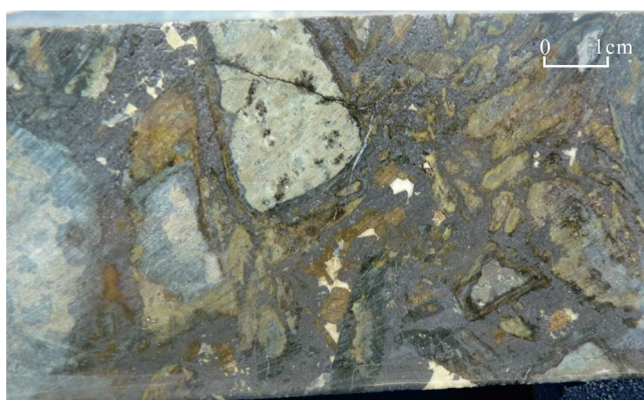


图4 角砾岩矿石

Fig. 4 Breccia ore

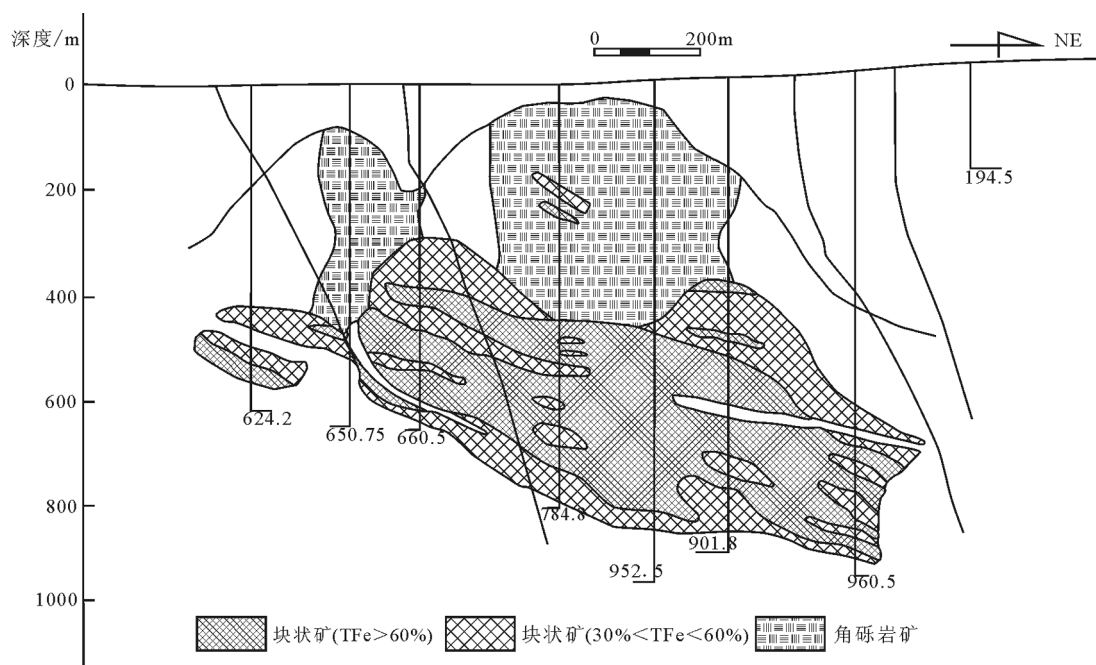


图5 邦沟矿体资源量计算横剖面

Fig. 5 Calculation of cross sectional volume of orebody

矽卡岩化过程中大量残余液体聚积和 CO_2 释放,在里约格兰德组下方产生了液体超压。超压导致围岩压裂,形成角砾状和脉状矿(可能位于侵

入体的上方),在角砾矿和脉状矿中存在粗粒磁铁矿/方解石晶体,表明系统经历了超饱和和缓慢结晶过程。

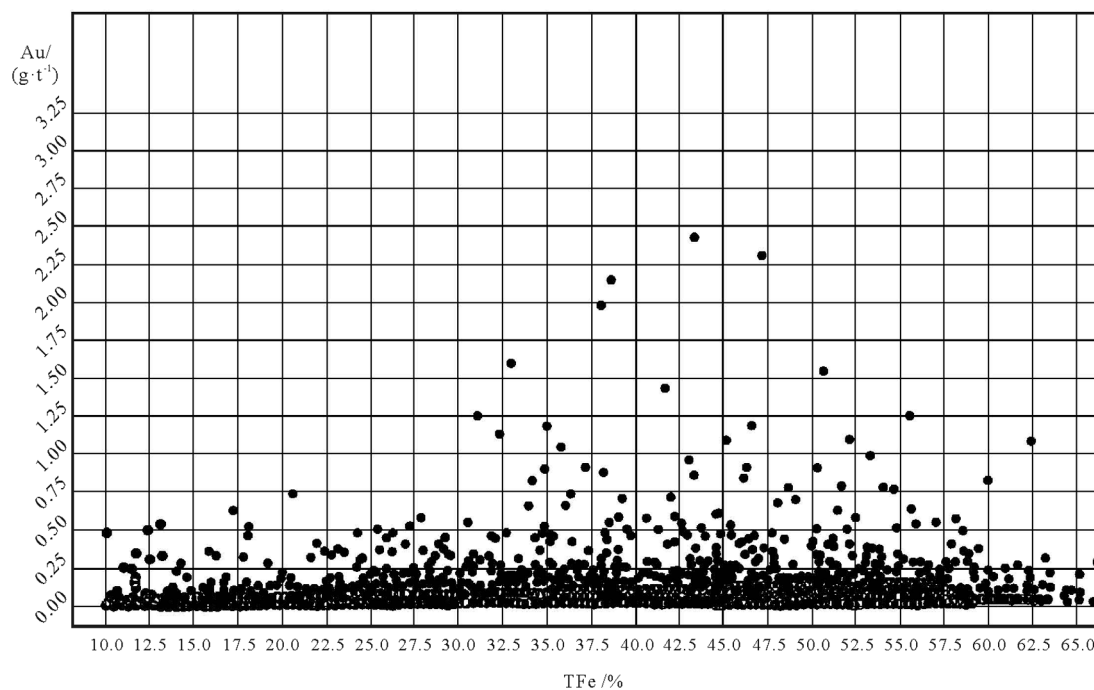


图6 Au-Fe品位散点图

Fig. 6 Scatter diagram of gold and iron grade

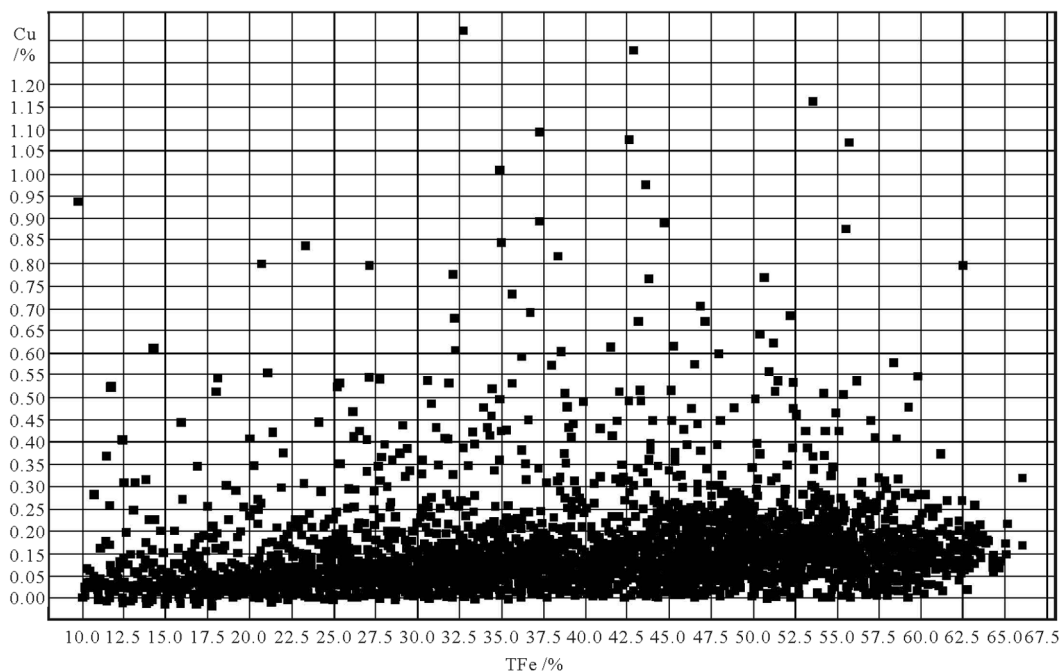


图7 Cu-Fe 散点图

Fig. 7 Copper and iron scatter diagram

(2)第Ⅱ阶段

镁橄榄石被蛇纹石(利蛇纹石/纤维蛇纹石)和其他水合叶硅酸盐交代。最终,白云石被方解石交

代,形成大量石英、方解石和绿泥石/绢云母脉。

在角砾状和脉状矿体中,由于还原硫从围岩中析出,硫化物比例有所提高。由于多个原因,

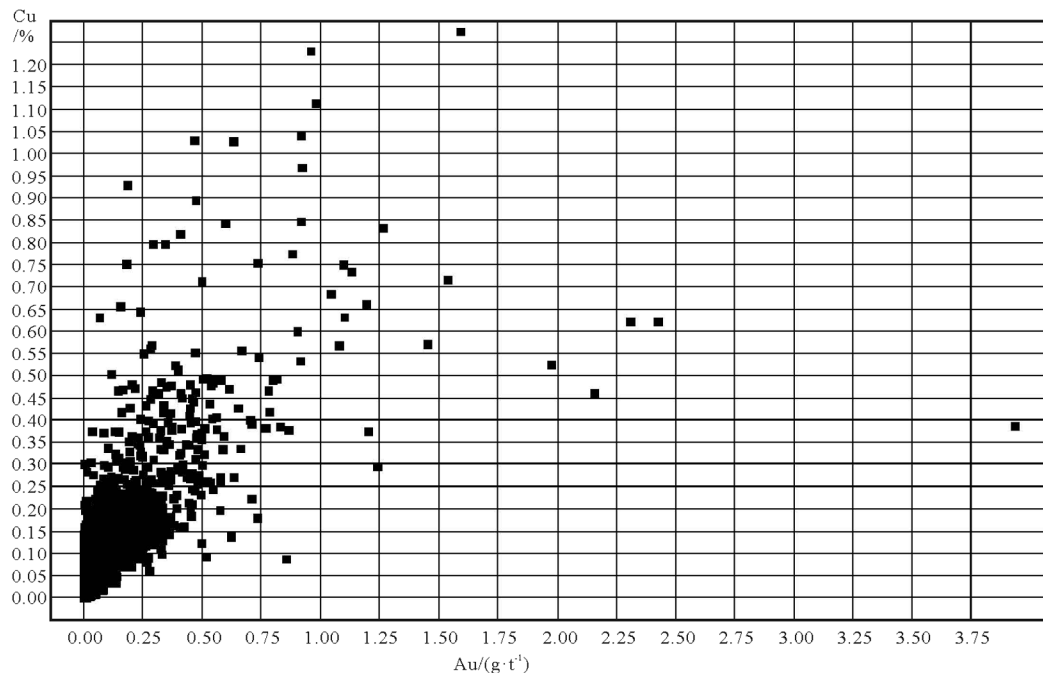


图8 Cu-Au 散点图

Fig. 8 Scatter diagram of copper and gold

包括高成矿温度(大于 350℃),成矿流体的氧化性、还原硫等,成矿流体中 Cu 含量较低也可以富集成矿^[4-5]。

5 结 论

(1)铁矿化的层控性:铁矿化基本发育在马尔科那组白云岩中,显示层控成矿特点。此外,矿化角砾岩的缝隙充填和脉状矿体的展布也主要限制在这些地层之内。

(2)构造控矿特点:矿化主要沿北西—南东向构造分布,与区域成矿带的延伸方向一致。邦沟铁多金属矿的主要控矿构造为贝拉务农断层。

(3)铜金与铁矿化具有同期不同阶段的特点:铁矿化发生在第一阶段,而铜金硫化物矿化发生在第二阶段。铜金矿化与铁矿体空间关系密切,多赋存于靠近高品位铁矿体的边部,以及 Fe 品位较低区块或里约格兰德组中充填的铁矿脉中。

(4)从矿床大地构造位置、浅部隐爆角砾岩、铁—铜—金、钴、钼、铼等多种矿化,矿床的巨大规模等特征与奥林匹克坝铁铜金铀矿床相比具有相似性,似为 IOCG 矿床类型。

致谢:中国地质调查局南京地质调查中心陈世忠研究员、郭维民高级工程师、李汉武工程师参加了与中融新大集团(青岛)矿产资源有限公司(秘鲁)的对接与调研工作,文中插图由南京地质调查中心鞠冬梅工程师清绘,在此表示感谢。

参考文献

- [1]卢民杰,朱小三,郭维民.南美安第斯地区成矿带划分探讨[J].矿床地质,2016,35(5):1073-1083.
- [2]Chen H Y, Cooke D R, Baker M J. Supercontinent breakup and IOCG mineralization Andes[C]//SGA Biennial Meeting, 2011: 846-848.
- [3]Jaillard E, Hérail G, Monfret T, et al. Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and northernmost Chile[J]. Tectonic Evolution of South America, 2000, 31: 481-559.
- [4]Chen H Y, Clark A H, Kyser T K, et al. Evolution of the giant Marcona-Mina Justa iron oxide-copper-gold district, south-central Peru[J]. Economic Geology, 2010, 105(1): 155-185.
- [5]Chen H Y, Clark A H, Kyser T K. The Marcona magnetite deposit, Ica, south-central Peru: a product of hydrous, iron oxide-rich melts?[J]. Economic Geology, 2010, 105(8): 1441-1456.
- ①IMC-Montan Consulting GmbH. NI 43-101 Technical Report on Pampa de Pongo Iron Deposit. 2012.
- ②山东省第四地质矿产勘察院. 秘鲁阿雷基帕省邦沟矿区中段铁(铜)矿详查报告. 2010.