

老挝爬奔金矿成矿作用与成矿演化

薛兰花,史老虎

(天津华勘矿业投资有限公司,天津,300171)

摘要:爬奔金矿位于老挝北部琅勃拉邦岛弧带中段,矿体赋存于石炭-下二叠统的厚层-巨厚层灰岩NNW向断裂带中。目前圈定的6条矿体,呈大脉状产出,构造交汇部位呈透镜状和囊状。矿石矿物成分简单,以铁氧化物为主。金以粒间金和裂隙金赋存于方解石等脉石矿物中。本文在前人研究的基础上,通过野外调查,对不同期方解石脉进行观察分类,结合岩矿石常量元素的分析对比,研究剪切作用下流体起源与金属活化机制,探讨构造、流体、成矿的时空关系及控矿机制。结果表明:爬奔金矿成矿物质来源于石炭-下二叠统的灰岩,金的迁移以氯的络合物形式进行,成矿温度低、属浅成低温脉型矿床。构造动力贯穿整个成矿过程,起主导作用,成矿演化分为三期七个阶段,成矿期的四个阶段是同一动力作用下递进变形在同一构造位置的同位叠加成矿,形成不同的碳酸盐化及独特的矿化蚀变标志,找矿指示意义重大,可以作为该类型矿床独特的找矿标志,指导外围找矿工作。

关键词:成矿作用;成矿演化;爬奔金矿;老挝

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2016)03-0191-08

爬奔金矿是老挝北部地区发现并勘查的首个大型金矿床,其含金碳酸盐脉是该金矿类型的突出特点,既不同于与岩浆-火山有关的金矿,也不同于卡林型金矿,与甘肃大水金矿差别也比较大,目前没有可直接借鉴和对比的矿床类型。近几年虽然不同专家、学者开展了成矿规律、控矿因素及矿床成因的专题研究^[1-2],提出了不同的见解,对区域成矿预测及外围找矿起到一定的指导作用。本次通过野外地质调查、岩矿石常量元素对比、蚀变岩和不同期方解石脉的分类研究,并与世界典型矿床成因类型对比,探讨爬奔金矿的成矿作用及成矿演化规律,以期对这些独特的地质现象进行更接近地质真实的推断解释,为外围找矿工作提供借鉴和参考。

1 区域地质背景及成矿环境

爬奔金矿地处中国“三江”成矿带南延琅勃拉邦岛弧带中段西侧,西北以琅勃拉邦断裂(F_3)为界与思茅-丰沙里微陆块(II_2)毗邻,南东以普雷山断裂(F_4)为界与万象-巴色微陆块、长山微陆块和桑怒岛弧带拼合^[3]。

区域主要出露下石炭统(C_1)浅海相沉积岩地层、石炭-下二叠统($C-P_1$)海相沉积岩地层、中二叠统

(P_2)喷溢相火山岩地层、中-上三叠统(T_{2-3})陆相红层为主的碎屑岩地层和第四系残坡积物等。区域整体位于NE-NNE向大型韧性剪切带中,同方向次级韧性剪切带发育,控制了区域整体构造格架、地层分布和岩浆岩带展布,进而控制着不同类型的矿床形成与分布。区域岩浆活动强烈,中酸性岩、基性岩均有出露,侵入岩与火山岩同等发育;区域基性火山岩产于二叠系中统,覆于海相碳酸盐岩之上,推测其形成于小洋盆环境;中酸性侵入岩呈岩枝、岩株状产出,推测属二叠世-早三叠世岛弧环境的产物^[4],与金矿成矿无成因关系。区域矿带分布与不同时代的灰岩块体展布相一致,以 F_3 韧性断裂带为界,分为东西两个矿带,断续长大于10 km,西矿带发育Au、Cu、Zn多金属矿化,东矿带为单一金矿带(图1)。爬奔金矿位于东矿带南端,金矿体赋存于石炭-下二叠统($C-P_1$)中厚-巨厚层的灰岩中,受NE向和NNW向断裂共同控制。

2 元素地球化学特征

本次利用1/2.5万水系沉积物测量资料,对研究区的Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Mo、As、Sd、Bi、Hg、Cd等主要成矿元素的区域地球化学特征进行了对比研

收稿日期:2016-06-28

资助项目:中央基金项目“老挝琅勃拉邦省巴乌县金铜多金属矿普查和详查(201211B00200006)”

作者简介:薛兰花(1962-),女,1986年毕业于桂林冶金地质学院,高级工程师,长期从事矿产勘查与研究工作,Email:434397192@qq.com。

化和方解石化。硅化肉眼不可见,以岩石硬度变大为特点,褐铁矿化、菱铁矿化等铁氧化物浸染围岩形成的“红化”蚀变和方解石化形成的“褪色”蚀变是区内特殊的蚀变现象。蚀变受构造控制,具明显分带,蚀变自中心向两侧逐渐减弱。

4 成矿特征分析

4.1 成矿物理化学条件

昆明理工大学采集了10件流体包裹体显微测温片^[2],经对样品354个气液两相包裹体测温统计显示,均一温度为107~332℃,主要集中在160~240℃范围内(图2),为低温热液矿床。包体冰点温度为-10.7~0.5℃,符合低盐度NaCl-H₂O体系。

根据成矿压力和成矿深度经验公式^[2]:

$$T_0(\text{初始温度}) = 374 + 920 \times N \text{ (成矿溶液的盐度)}$$
$$(\text{℃}) \tag{1}$$

$$P_0(\text{初始压力}) = 219 + 2620 \times N \text{ (成矿溶液的盐度)}$$
$$(\times 10^5 \text{ Pa}) \tag{2}$$

$$H_0(\text{初始深度}) = P_0 \times 1/300 \times 10^5 (\text{km}) \tag{3}$$

$$P_1(\text{成矿压力}) = P_0 \times T_1 \text{ (矿区实测成矿温度)}/$$
$$T_0 (\times 10^5 \text{ Pa}) \tag{4}$$

$$H_1(\text{成矿深度}) = P_1 \times 1/300 \times 10^5 (\text{km}) \tag{5}$$

计算得出成矿压力为(9.34~21.37)×10⁵ Pa,平均值为16.3×10⁵ Pa,成矿深度为(0.48~0.96) km,由此判断爬奔金矿属于浅成低温热液矿床^[2],这与矿区出现的低温组合元素相一致。

4.2 成矿物质来源

4.2.1 微量元素特征

矿石中的矿物是成矿物质来源的记录者。通过

对矿石与围岩蚀变矿物的常量、微量元素地球化学研究可以判别矿源层。爬奔金矿区出露主要岩石为灰岩和砂岩,另外在深部钻孔中见有沉凝灰岩和闪长岩。大量的分析数据表明^[7](图3):不同矿石类型与灰岩元素特点一致,Ca、Au、As、Sb、Hg高,Al、K、Na、Si、Fe、Mg、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo低。结合岩石稀土元素分析结果,含矿方解石、矿化蚀变岩石、矿体围岩稀土配分曲线一致,稀土含量较低(2.6×10⁻⁶~20.6×10⁻⁶);明显富集轻稀土元素,具有弱的铈亏损,较明显的铈异常,轻稀土分馏程度明显强于重稀土,岩石、蚀变岩石及矿石类似,反映矿石稀土元素来自围岩。砂岩中Cu、Pb、Zn高,Au、As、Sb、Hg低,若成矿物质来源于砂岩,Cu、Pb、Zn会有一定的富集,区内Cu、Pb、Zn没有富集的迹象。闪长岩和沉凝灰岩元素的特点是Au、As、Sb、Hg低,Cu、Pb、Zn高,也与矿石特征不一致。花岗岩、火山岩的特点是Al、K、Na、Si、Fe、Mg、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Mo高,这些与矿石的元素特点差异明显,也与岩石中没有发现来自岩浆岩石英、长石、绿泥石、绿帘石、辉石、角闪石等矿物的地质现象相一致。不管是常量元素还是微量元素矿石对灰岩有一定的继承性,从矿石学来看,矿石与围岩没有本质区别,矿石与灰岩有物质和成因上的继承性,因此成矿物质来源于灰岩。

4.2.2 氢氧同位素特征

根据昆明理工大学的研究报告,包体水氢氧同位素测定结果^[2](图4)表明,爬奔金矿方解石包裹体水的δD值介于(-49~-92)‰之间,平均-82.82‰,其与滇西温泉的δD值(-80.8~-113.0)‰不一致,与滇中地区中生代大气降水的δD值-98‰也存在差异。利用包裹体温度将矿物的氧同位素组成换算为成矿流体的氧同位素组成,爬奔矿床成矿流体δ¹⁸O H₂O的范围为(+8.32~+13.42)‰,平均+11.17‰,成矿流体的氢氧同位素变化范围与典型的中生代大气降水及原生岩浆水都存在差异,部分样品δD值接近滇中地区中生代大气降水的δD值。

从成矿流体的δDH₂O-δ¹⁸O组成图上可以看出,样品点均落在原生岩浆水及高岭石风化线附近,说明含矿脉石矿物包裹体水既不是典型的原生岩浆水,也排除了变质水来源,同时又与地层中封存的古大气降水存在密切关系,古大气降水在沉积岩中经水岩相互作用而演化成热卤水过程中,水与岩石中矿物发生氧同位素交换反应,使流体的δ¹⁸O值增高而

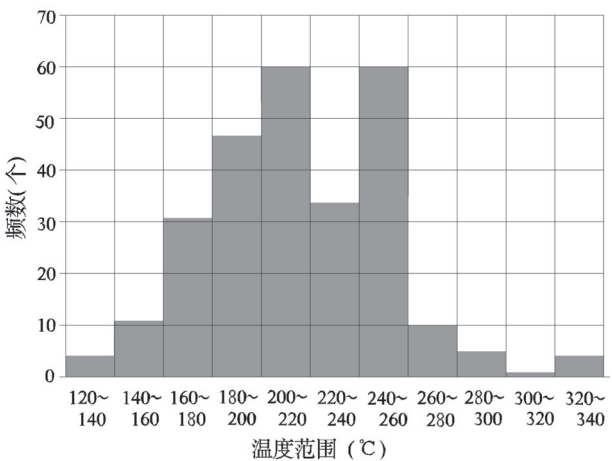


图2 包裹体均一温度直方图

Fig.2 Histogram of inclusion uniform temperature

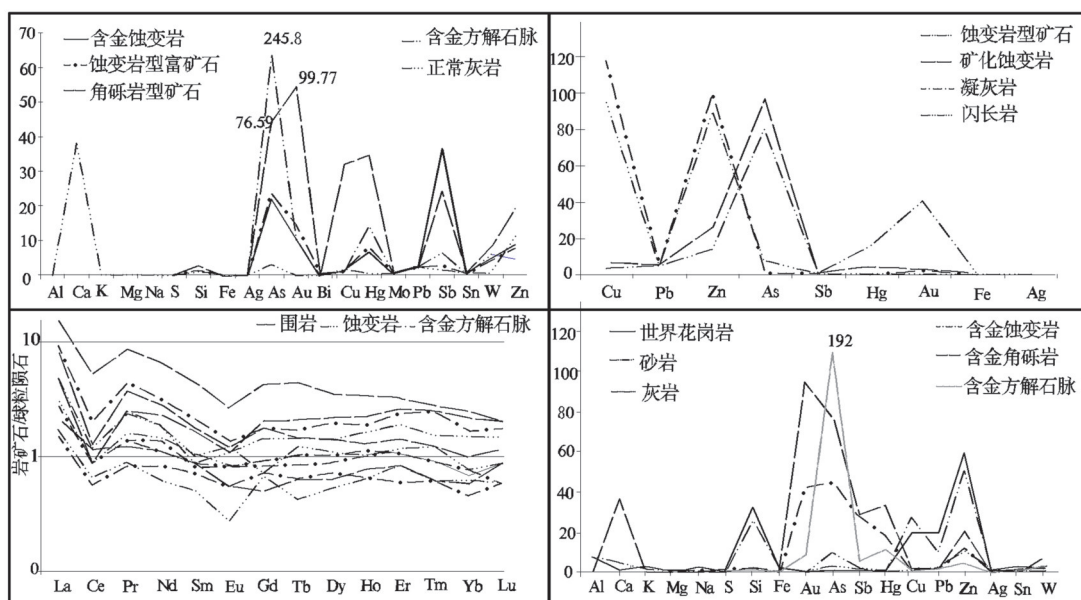


图3 岩矿石元素含量变化和稀土配分曲线

Fig.3 Mineral element content variation and REE distribution curve

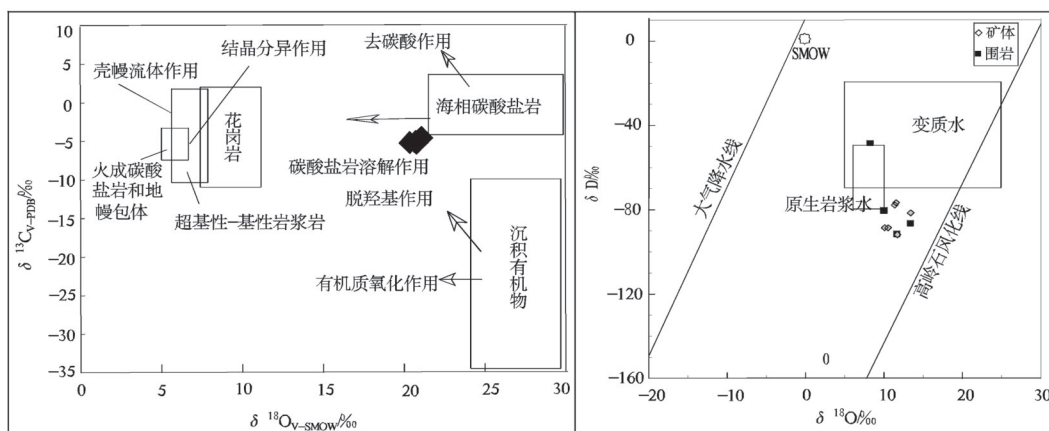


图4 方解石同位素组成

Fig.4 Composition of the calcite isotope

出现氧同位素漂移^[8]。

4.2.3 碳氧同位素特征

方解石碳氧同位素分析结果^[2]显示,¹³C值分布在-4.5~-5.2之间,¹⁸O值介于20.0~20.8之间,样品同位素组成特征相对集中,成因单一,为同成因。在C-O同位素图解中,样品同位素组成投影均落在海相碳酸盐区域附近,表现出碳酸盐溶解再结晶的成因演化趋势,说明主要载金矿物方解石是流体与石炭-下二叠统海相碳酸盐岩相互作用的产物。爬奔矿床成矿热液流体主要为地层水,是剪切作用下岩石压溶的结果^[7]。

方解石的溶解温度比较低,灰岩在常温条件溶解再沉淀形成喀斯特地貌在南方非常普遍,包裹体测温结果也证明了爬奔金矿形成温度较低。爬奔金矿整体处在一剪切带中,压溶形成的方解石脉发育

在强应变区,因此动力作用转化的热能是区内主要的热源。

4.3 金的迁移富集特征

热液作用是Au富集的主要阶段,Au的化学性质不活泼,其络合物在溶液中比较稳定,因此热液作用过程中Au的迁移富集范围广泛。

方解石中包裹体分析结果表明,包裹体液相成分主要为Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺,具有Na⁺>K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺的阳离子浓度序列和Cl⁻>HCO₃⁻>F⁻的特点,成矿流体属Na-K-Cl型卤水。金的迁移形式主要与K、Na形成各种氯的络合物。爬奔金矿石英少见,但硅化强度与金矿化正相关^[3],不排除金以硅的络合物迁移的可能。爬奔金矿岩矿石中几乎不含黄铁矿,岩矿石中S的含量很低,金呈S的络合物迁移的可能性

不大。

随着地壳的抬升,从韧性剪切进入韧-脆性剪切-脆性变形,随着构造扩容空间的产生,压力和温度降低,金络合物分解导致自然金沉淀,形成方解石脉型和角砾岩型矿石。随着流体对围岩的交代,流体与灰岩发生水-岩反应,导致pH增高,溶液变为弱碱-碱性,金在pH增高的条件下发生沉淀^[9],形成蚀变岩型矿石。此外近地表亚铁离子、低价锰、HS⁻、碳及有机质也可使金络离子还原成自然金沉淀。爬奔金矿蚀变岩型表现的棕红、紫红、淡红色的“红化”蚀变是二价铁离子对金络合物还原作用的结果。

5 成矿时代与成矿演化

5.1 成矿时代

根据爬奔金矿的成矿地质特征,赋矿岩石就是母岩,矿石与围岩岩性一致,具继承性,灰岩既是矿源层,也是赋矿围岩,矿化、土壤异常等矿化信息几乎全部集中在C-P₁的灰岩中;T_{2,3}的地层与C-P₁地层不整合接触,缺失了T₁的地层,同时叠加了后期构造,砂岩除石英脉外,碳酸盐化很弱,没有发现方解石脉,也没有发现任何矿化迹象;种种迹象表明,地表出露的三叠系砂岩是在金矿成矿后沉积压覆或构造压覆在金矿化系统之上的。P₂的安山岩中也未发现金矿化。爬奔地区金矿化没有穿时性,成矿局限于C-P₁的灰岩,因此,金矿化时代推定在P₁-P₂之间。根据以上分析,认为爬奔型金矿成矿时代为华里西晚期造山期,主要成矿时期为后造山期,但成矿演化经历同造山-后造山-造山后的整个过程。

5.2 成矿演化

通过对矿床地质特征、矿床元素地球化学及矿床成因的研究,爬奔金矿成矿经历成矿前-成矿期-成矿后的整个过程,在这个过程中构造动力一直起主导作用。因此,把成矿演化分为三期七个阶段。

同造山期-成矿早期:造山作用强挤压形成韧性剪切带,剪切带内强变形区大范围压溶使金活化,并形成含矿热液^[9]。第一阶段韧性剪切早期,压碎及初糜棱岩化使灰岩中的方解石重结晶,形成云雾状、云朵状、团块状的一期碳酸盐化,没有明显的剪切流动现象(图5a)。岩石化学成分变化不大,Ca、Al、Si、Mg、K、Na没有变化,Au含量与原岩一样,Au平均 $(4 \sim 5) \times 10^{-9}$ 。与原岩相比,方解石粒度变粗,粒径小于0.2 mm,界线模糊,发生易溶方解石和硅质、铁质、

泥质、碳质的原地分异。第二阶段韧性剪切递进变形中岩石发生强烈糜棱岩化,重结晶的方解石沿剪切方向发生层内流动,形成绸缎状、条带、条纹、似丝状的二期碳酸盐化(图5b);方解石含量大于75%,与原岩界线明显;该阶段碳酸盐化岩石Au增高至 $(8 \sim 10) \times 10^{-9}$ 。第三阶段在韧性剪切递进变形中,形成的压扭性裂隙和张扭性裂隙被方解石脉体充填形成三期碳酸盐化;岩石中的封存水被释放,形成层间低流体压力,脉体窄而短,呈右型或左型斜列式平行分布(图5c);方解石脉与基体界线明显,方解石颗粒明显变粗,大于0.2 ~ 0.5 mm;该阶段灰岩中Au比较低,一般小于 8×10^{-9} ,甚至低于第二期碳酸盐化。

同造山期构造动力作用形成动力热液使封存于岩石中的各种形式的地下水,在构造侧分泌作用下,被排出并形成热液,并将所流经地段矿源层中的成矿组分带入溶液^[10]。同时使矿源层岩石的结构构造、矿物成分和化学成分发生变化。同造山期构造起主导作用,在剪切作用下通过压溶形成含矿热液,为成矿奠定了物质基础和先决必备条件。

后造山期-成矿期:造山晚期地壳缓慢抬升,本区进入韧性-韧脆性-脆韧性-脆性变形期,形成含矿热液,在巨大流体压力的作用下沿裂隙或断裂带扩容、充填、交代形成蚀变岩型、充填方解石脉型和角砾岩型金矿。第四阶段在韧性-韧脆性剪切转换期,含铁、硅流体沿裂隙交代,随着铁碳酸盐化和硅化,热液的pH-Eh改变,导致金沉淀^[11];形成方解石网脉和铁碳酸盐化(红化)蚀变岩型矿石(图5d)。四期碳酸盐化最主要的特征是发育方解石网脉及铁碳酸盐化,并伴随有硅化,硅化为石英微晶或玉髓;该阶段碳酸盐化为矿区主要的金矿化类型;矿石中见明显的压溶构造及缝合线,定向延长,铁碳酸盐也呈条带状、绸缎状、绸丝状,显示有明显的韧性剪切特征。第五阶段随着递进变形的进一步发展,上部剪裂带进一步发育,深部韧性剪切持续提供动能和热液,脉动式热液活动使矿石沉淀与剪切作用同步,形成密集条带状金矿化(五期碳酸盐化)(图5e)。条纹状含金方解石脉的形成是剪切带多旋回剪切构造活动和流体交互作用的结果。第六阶段进入近地表环境,岩石静压力突然降低,但流体压力依然很高,使岩石破碎,形成角砾岩,含矿热液充填、交代、胶结形成角砾岩型矿化(图5f);六期碳酸盐化的特点是在角砾岩带中形成方解石细脉,同时硅化增强,Si可达 5×10^{-2}

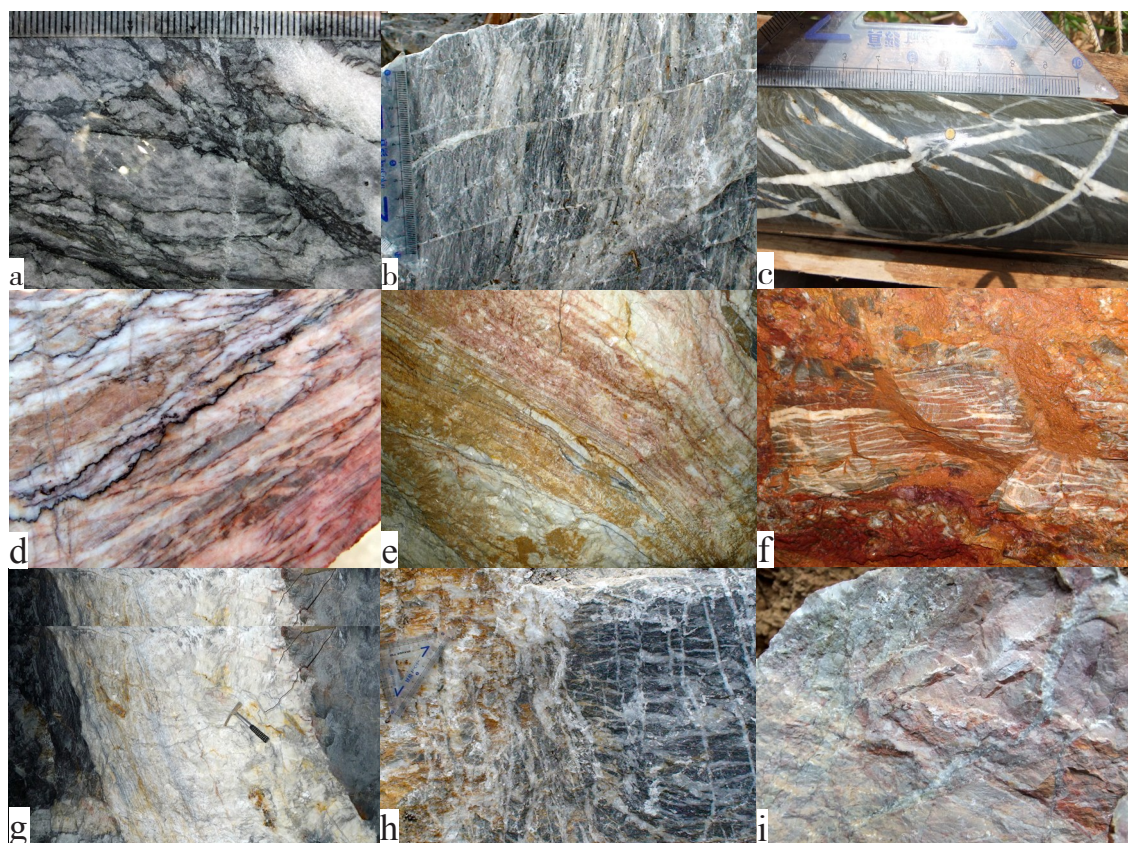


图5 不同成矿阶段方解石特征

Fig.5 Calcite feature in different mineralization stage

a.b.c 成矿早期;d.e.f.g 成矿中期;h.i 成矿晚期

以上,方解石脉含一定的微晶石英,同时含菱铁矿及赤铁矿等,Fe可达 3×10^2 以上。第七阶段早期形成的条带状方解石脉随着地壳的抬升进入近地表拉张环境,在递变变形中沿条带状方解石脉两壁与围岩的接触处再次张开为流体充填形成七期碳酸盐化;该期碳酸盐化的特点是沿裂隙、早期脉体的两壁、形成粗粒自型晶簇状方解石脉(图5h);该期方解石脉代表成矿晚期。 Au 含量 $(0.2 \sim 1) \times 10^9$ 。

后造山期成矿的特点是,通过扩容对围岩进行渗滤和扩散交代。除了构造提供通道和空间外,流体起主导作用。构造为流体流动提供驱动力,流体的流动反过来又影响岩石的渗透率^[12]。第四阶段的蚀变岩型金矿代表成矿早期的矿化,第五、六阶段的条带状方解石脉和角砾岩型金矿代表成矿期矿化,第七阶段的方解石脉代表成矿晚期的低品位金矿化。这四个阶段是同一动力机制作用下递进变形在同一构造位置的同位叠加成矿。

造山后-成矿晚期:造山后进入地表近地表拉张环境,发育多期次不同方向的方解石脉,与成矿关系不大,不进行分期。成矿后主要有近东西向和北北东

10~5°的两组方解石脉,其中近东西向方解石脉宽色白,北北东10~5°走向的方解石透亮,形成平行分布的密集透明的马尾丝状方解石细脉(图5i)。更晚的一期的碳酸盐化,为粗粒纯白色方解石脉,无蚀变,走向北东或北西向,该期方解石脉明显切穿蚀变岩型矿石。

6 矿床成因类型

在地质作用过程中Au、Ag密切伴生,Au/Ag比值与矿床类型、形成的物理化学条件密切相关。世界几种重要成因类型矿床Au/Ag比值(表1)有以下规律:

(1)Au/Ag比值大于1的矿床类型有三类:含金铀砾岩型,中生代以前特别是前寒武纪含金石英脉型,某些砂卡岩型金矿。

(2)砂金矿 Au/Ag比值总大于1。

(3)岩浆热液矿床、火山-次火山岩型金矿 Au/Ag比值总小于1。很多中生代和新生带与火山岩有关的浅成低温热液金矿床中能圈出独立银矿体。对这些矿床矿石及蚀变岩分析结果表明,Au与Ag的相关系数很高。

(4)一般高温和深部条件下形成的矿床Au/Ag比

表1 爬奔金矿与世界典型矿床类型 Au/Ag 比值对比(据参考文献[7])
Tab.1 Au/Ag Comparison between Phapon gold deposit and world typical deposit types

矿床及岩石	Au/Ag 比值	爬奔矿区	Au/Ag 比值
灰岩	0.07	灰岩	0.28 ~ 0.5
页岩粉砂岩	0.04	粉砂岩	0.15
花岗岩	0.034	土壤	
含铜页岩型	0.06 ~ 0.025		
红层砂岩型	0.03 ~ 0.01		
含铀金砾岩型(兰德型)	5 ~ 20	弱蚀变岩	1.08
密西西比型铅锌矿	0.001 ~ 0.1	蚀变岩	13.49
矽卡岩型	0.005 ~ 10	强蚀变岩	156.94
肖德贝利铜镍硫化物矿床	0.03 ~ 0.07	剪切斜列方解石脉	0.81
斑岩铜矿	0.001 ~ 0.1	北东向方解石脉	2.53
黄铁矿型多金属矿	0.006 ~ 1	北西向方解石脉	42.53
黑矿型	0.005 ~ 0.05	方解石网脉	17.9
前寒武纪—中生代含金石英脉	1.37 ~ 12.5	条带状方解石脉	62.92
第三纪火山岩含金石英脉	0.005 ~ 0.33	方解石脉围岩	34.65
Ag—Co—Ni—As—Bi—V 矿脉	< 0.0001 ~ 0.1	方解石脉型矿石	42.68
温泉硅质泉华	< 1	蚀变岩型矿石	43.54
砂金矿	< 1	角砾岩型矿石	178.59

值高,低温、浅成条件下形成的矿床 Au/Ag 比值低。

(5)时代较老地层中的矿床 Au/Ag 比值高,而时代新的地层中 Au/Ag 比值低。

(6)由较强的碱性热液形成的矿床 Au/Ag 比值高,由弱碱性或酸性溶液形成的矿床 Au/Ag 比值低^[8]。

爬奔金矿 Ag 非常低,一般平均 0.05×10^{-6} ,钻孔、坑道及地表原生晕、次生晕中没有异常显示。Au/Ag 比值很高,与岩浆—火山成因矿床差别很大。

综上对爬奔金矿成矿地质特征、矿体特征、矿床地球化学的研究及对成矿物质来源、流体起源、热源等方面的探讨,认为爬奔金矿为压剪压溶构造流体成矿的浅成低温脉状矿床。

7 结论

(1)爬奔金矿地处两大构造单元接合部,为一多性质动力转换地带,构造动力作用在成矿作用中起主导作用,提供主要热源。

(2)成矿物质来源于C-P₁的灰岩,构造压溶形成含矿热液,金以氯的络合物进行迁移富集。

(3)成矿时代为华里西晚期造山期,成矿演化经历同造山期—后造山期—造山后期,对应成矿早期—成矿期—成矿晚期三个成矿期七个阶段,成矿期的四个阶段是同一构造位置的同位叠加成矿。

(4)矿床成因类型为压剪压溶构造流体成矿的浅成低温脉状矿床。

参考文献:

[1] 张瑞华,刘禧超,车路宽. 老挝琅勃拉邦省巴乌县帕奔村金矿构造控矿规律及找矿区段研究[R].天津华北地质勘查局地质研究所,天津华北地质勘查总院,2009,11.

[2] 杨海林,于文修,董振,等. 老挝爬奔金矿矿床地质特征及成因研究[R].昆明理工大学,2013,10.

[3] 史老虎,薛兰花,董广法,等. 老挝琅勃拉邦爬奔金矿构造特征及控矿作用[J].黄金科学技术,2016,24(02):21-28.

[4] 刘禧超,张瑞华,车路宽.老挝琅勃拉邦帕奔矿区原生金矿床的地质特征及找矿方向[J].地质找矿论丛,2010,2:171-176.

[5] 牛英杰,胡金才,李孝红.老挝琅勃拉邦省爬奔金矿地球化学特征[J].地质调查与研究,2013,36(2):92-99.

[6] 石吉友.含金矿石氰化试验研究报告[R].长春黄金研究院,2013.

[7] 冯建忠,刘运记,牛英杰,等. 老挝琅勃拉邦省帕奔金矿控矿因素及找矿方向研究[R].天津华北地质勘查总院,天津华勘矿业投资有限公司,2016,06.

[8] 杨永胜,昌新彪. 浅成低温热液贵金属矿床成矿条件浅析[J].矿床地质,2012,31(增刊):807-808.

[9] 郭春影,张文钊,葛良胜.等. 氢氧同位素体系成矿流体示踪若干问题[J].矿物岩石,2011,31(3):41-47.

[10] 刘智明. 东安浅成低温热液型金矿床地质特征及成因[J].地质找矿论丛,2006,21(02):95-99.

[11] 张继武,吴军,李昌寿,等.云南镇沅老王寨金矿床地质特征及成因探讨[J].黄金地质,2010,31(6):19-23.

[12] 胡波. 浅成低温热液金矿床类型特征及成因探析[J].资源与环境,2013,36:119.