青山金矿床黄铁矿的标型特征及矿床成因初探

周云,汪雄武,彭惠娟,陈兵,秦志鹏

(成都理工大学地球科学学院,成都 610059)

摘 要:对陕西青山金矿床中的主要矿石矿物黄铁矿的研究表明,富金矿段的黄铁矿具有颜色暗黄 - 灰黄、颗粒细小破碎、晶形差,为五角十二面体和复杂聚形、亏硫与铁的特点,对于研究矿床成因具有重要意义。立方体晶形黄铁矿形成于较高或较低温度、高氧逸度和低硫逸度的条件下,中等温度、偏酸性、低氧逸度、高硫逸度的还原条件则有利于五角十二面体与八面体的发育。矿区矿源层为热水沉积成因的含碳黑色岩系,具有热水沉积成矿预富集－脆性构造叠加－大气降水为主的含矿热液改造的微细浸染型金矿床的成矿特点,富金细粒黄铁矿是地下热卤水与大气降水热液两种流体混合与沸腾使物理化学条件瞬变的产物。

关键词:黄铁矿;标型特征;矿床成因;青山金矿

中图分类号:P618 文献标识码:A 文章编号:1671-4172(2009)05-0019-07

Discussion on Typomorphic Features of the Pyrite and Genesis of Qingshan Gold Deposits

ZHOU Yun, WANG Xiongwu, PENG Huijuan, CHEN Bing, QIN Zhipeng

(College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The studies on the Pyrite which is the main ore mineral of Qingshan gold deposit in Shanxi show that the bonanza is characterized by a dark-pale yellow color, fine and broken grain, bad morphology, pentagonal dodecahedron and complicated combination, poor in Sulfur and Iron. The feature has provided much important information for genesis of ore deposit. Cubic crystal pyrite formed in high or low temperature, high oxygen fugacity and low sulfur fugacity conditions; it is beneficial for the growth of pentagonal dodecahedron and octahedron in the reduction condition of moderate temperature, weak acidity, low oxygen fugacity and high sulfur fugacity. The source beds in the mining area are black rock series which are composed by hydrothermal sediment layers, having the metallogenic features which are micro-disseminated gold deposit: hydrothermal sedimentation formed the pre-enrichment-ductile-brittle structure-reformed by ore-bearing hydrothermal solution which is mainly meteoric water. The gold-bearing fine grained pyrite is the product of the great changes of the physicochemical conditions, which is because of the underground thermal brine and meteoric hydrothermal fluids? mixing and boiling.

Key words: pyrite; typomorphic feature; genesis of ore deposits; Qingshan gold deposits

黄铁矿是金矿床中最普遍最重要的载金矿物,前人通过对黄铁矿标型特征的研究,曾有效地指导了矿山的勘探和开采[1-9],它在判断成矿温度、剥蚀程度、矿床规模、寻找隐伏矿体等方面均起到了重要作用[10-15]。金矿物的形成在时空以及成因上与黄铁矿有密切的关系,对黄铁矿进行深入的成因矿物学研究,有助于对青山金矿的远景做出评价。

热液成因矿床中含有丰富的流体包裹体,在不同成矿阶段形成含金性不同的黄铁矿,由于形成过程中热液成分和物化条件的变化,流体包裹体的发育程度和特征往往也存在一定差异[16]。通过对黄铁矿标型特征和流体包裹体的研究,可以揭示有关黄铁矿含金性、成矿物理化学条件、矿床成因等方面的多种信息,能较好地解决实际找矿中的问题,是金矿找矿矿物学的研究和应用中行之有效的方法。

1 矿床地质概况

青山金矿位于陕西省镇安县北东方向约 20 km 处,区域构造上位于东秦岭的镇(安)- 旬(阳)盆地。区内出露的地层有第四系、上石炭统武王沟组(C_3w)、中石炭统铁厂铺组(C_2t)、下石炭统界河街组(C_1j)上泥盆统九里坪组(D_3j)。岩浆活动弱,仅在龙王沟矿段出露石英闪长岩体。构造活动强烈,主要表现为近东西轴向的大型斜歪背斜和一系列东西向与南北向的断裂构造。矿床类型为微细浸染型,主要受东西向与南北向的断裂构造控制,矿体呈脉状、透镜体状,主要赋存于下石炭统界河街组和上泥盆统九里坪组的隐晶或微粒灰岩、砂钙质、炭质板岩中(图 1)。

青山金矿床金矿石类型有铁帽型和菱铁矿－黄

基金项目:成都理工大学地质调查项目(编号 HQ0013)资助

作者简介:周云(1984-),女,在读研究生,矿物学,岩石学,矿床学专业。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

铁矿型,铁帽型矿石金属矿物主要为褐铁矿,次为赤铁矿、锰铁矿,少量的黄铁矿,非金属矿物主要为方解石、粘土。菱铁矿－黄铁矿型矿石金属矿物主要为菱铁矿、黄铁矿、,其次为砷黄铁矿、镜铁矿、辉锑矿、钛铁矿、白铁矿、毒砂等,非金属矿物主要为方解石、石英。金以次－超显微金形式存在,主要载金矿物有黄铁矿、褐铁矿、石英、毒砂、粘土矿物,具低温矿物组合与 Au、As、Sb、Hg、Ba 元素组合特征。矿床围岩蚀变发育,与成矿有关的蚀变作用主要有黄铁矿化、硅化、毒砂化、碳酸盐化和绢云母化。

上发育较粗大的条纹。切面形态有三角形、五边形、四边形和六边形，可呈单个矿物形式散布于矿石之中，也可以团块浸染状出现。

3) 细粒黄铁矿

含矿溶液浓度大,可使黄铁矿结晶速度快、结晶中心多,形成细粒黄铁矿。本矿床细粒黄铁矿光泽比标准的黄铁矿颜色暗淡,多为暗黄色、灰黄色等,大量发育非定向附生、无生长层纹的细粒黄铁矿聚形晶,以浸染状构造分布于矿石之中。细粒黄铁矿比表面积大,聚金能力强,经金含量分析结果证实,以粒度在

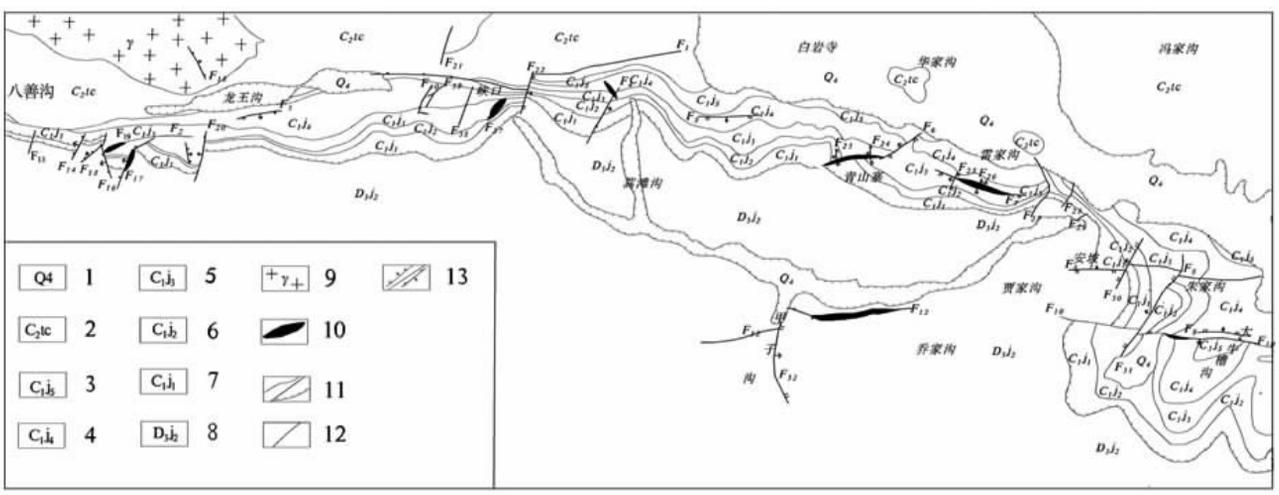

图 1 青山金矿矿区地质图

Fig.1 Geological map of Qingshan gold deposits

1.第四系松散堆积物;2.中石炭统铁厂铺组钙质、炭质板岩;3.下石炭统界河街组第五层灰岩、钙质板岩互层;4.下石炭统界河街组第四层砂钙质条带细粒灰岩;5.下石炭统界河街组第三层中层隐晶灰岩;6.下石炭统界河街组第二层土黄色钙质板岩;7.下石炭统界河街组第一层中厚层粗粒灰岩;8.上泥盆统九里坪组上段黑色炭质板岩;9.石英闪长岩体;10.金矿体;11.地层界线 / 不整合界线;12.张扭性断裂;13.正断层 / 逆断层

2 黄铁矿标型特征

2.1 黄铁矿类型

通过系统光片鉴定,识别出本矿床具有不同形貌和结构特征的三种黄铁矿:草莓状黄铁矿、粗粒黄铁矿和细粒黄铁矿。

1) 草莓状黄铁矿

草莓状黄铁矿形成于沉积成岩期,产于炭质板岩围岩中。系菌藻类生物成因,是由于细菌或微生物活动所生成的,以集合体形式产出。显微镜下所观测到的草莓状黄铁矿均呈圆形,单个莓球直径多为数微米至几十微米,最大可达 100μ m。草莓状黄铁矿的存在反映了一种 200℃以下的低温条件,表明矿床的形成与富含有机质的地层密切相关。

2) 粗粒黄铁矿

粗粒黄铁矿生成于热液成矿期第一成矿阶段,颜色为浅黄色,强金属光泽,自形程度高,主要以浸染状构造分布于矿化体中,围岩如炭质板岩中也有零星分布。矿物粒径通常大于 0.1mm,黄铁矿的 {100} 晶面

0.01～0.1 mm 之间的黄铁矿含金为好。{210}和{111}及其聚形发育的细粒黄铁矿与含金热液相互作用的强度大,具有较高载金能力,通过前人的黄铁矿吸附金的动态实验[17],表明黄铁矿粒度越细,金的沉淀速度越快 (图 2) 。

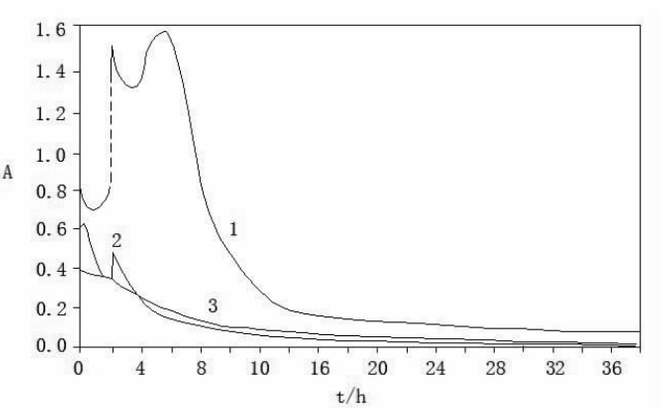

图 2 不同粒度黄铁矿对热液中金吸附过程[17]

Fig.2 Diagram showing gold absorption onto pyrites of different grain-sizes[17]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1、2、3——80 目、40 目和颗粒状晶体黄铁矿在 Au-Cl 溶液中吸附金的过程 ;吸光率 A 越强,表示溶液中金离子越多 ;实验开始时的溶液搅拌引起吸光率波动。2 与 3 线相交,表明黄铁矿粒度越细,金的沉淀速度越快。

部分细粒黄铁矿环带结构发育,可称为细粒环带状黄铁矿,有的环带全部或部分被溶蚀,由石英或粘土矿物填入。黄铁矿的结晶形态越好,环带越规则。内环略呈椭圆形,外环近四边形或者与颗粒外形相似。

不同特征黄铁矿的金丰度差异明显,黄铁矿粒度与金含量呈反消长关系,即黄铁矿颗粒越细,金含量越高。以呈浸染状分布的细粒黄铁矿的含金性为优,而草莓状黄铁矿和粗粒黄铁矿仅含微量金甚至不含金。

2.2 黄铁矿产出特征

黄铁矿呈星点状产于炭质板岩中,形态为草莓状或晶形发育的立方体,金含量无或较低,而赋存于各种矿体或矿化岩石内的黄铁矿,多为晶形差的立方体和五角十二面体或者是两者的聚形, 金含量一般较高,黄铁矿晶体在时空上的分布规律对于研究金矿床矿化富集规律和指导该矿区的找矿具有十分重要的意义。

1) 黄铁矿晶形与成矿阶段的关系

黄铁矿晶体习性随着成矿阶段演化呈规律性变化,总的演化趋势符合前人的研究结论[18],即早成矿阶段为立方体 {100} 习性,中期以五角十二面体 {210} 习性为主,最晚期以五角十二面体或立方体 {100} 十 {210} 为主 (表 1) 。

2) 黄铁矿晶形的空间分布

本文研究发现,青山金矿区黄铁矿的晶体形态在空间上的规律性表现为:①立方体 {100} 主要分布于矿体的头部和边部。②矿体的中上部以五角十二面体 {210} 和五角十二面体与立方体聚形 {210} 十 {100} 为主。③矿体中部以五角十二面体 {210} 和五角十二面体与立方体 {100} 聚形 {210} 十 {100} 为主,聚形中含量 {210} > {100} 。④矿体下部以五角十二面体 {210} 和八面体 {111} 构成的聚形为主。⑤矿体尾部以立方体 {100} 和八面体 {111} 为主。这与陈光远等研究胶东金矿的黄铁矿晶形空间分布规律性相似[19]。

2.3 黄铁矿的形成期次

对本矿床黄铁矿研究表明(表 1),热液成因黄铁矿至少有 6 个世代, 代表了 6 次不同阶段的热液活动, 形成了各世代热液叠加的石英脉体与方解石脉体。与金矿化有关的主要阶段为热液期的 II 、III世代的黄铁矿(碳酸盐)石英脉阶段,其次为VI世代的石英 - 碳酸盐脉阶段, 黄铁矿微量元素特征表现为含 Au、Ag、As、Sb、Hg 等, 杂质数量多且含量相对高于其它阶段黄铁矿。

由热液期第 I 阶段到第 V 阶段,粒度变小,自形程度变差,含矿性变好,共生组合更复杂,到第VI阶段,粒度稍变粗,自形,含量减少,含矿性变差,矿物组合简单。第 I ～第 V 阶段,黄铁矿由稀疏浸染状分布逐渐向脉状转化。总的来说以黄铁矿粒度小,自形差,含量高,共生矿物复杂为富矿标志。

2.4 黄铁矿物性、形貌特征及其含金性

含金黄铁矿颜色一般较深,光泽比标准的黄铁矿暗淡,多为暗黄色、灰黄色或浅绿黄色等。而含金低或

表 1 青山金矿床黄铁矿产出特征

Table 1 The characteristics of pyrite in Qingshan gold deposits

形成期	热液期					
形成阶段	第一热液期			第二热液期		
	石英脉	黄铁矿(碳酸盐)－石英脉	石英－碳酸盐脉		黄铁矿、石英脉	碳酸盐脉
世代	I	II	III	IV	V	VI
晶形	他形粒状	{100} 为主,其次 {100} + {hk0}	{100} + {210} 为主	{210} + {111} 为主	{100}	{100}
粒径 /mm	0.5～1.0	0.5～1.0	0.1～1.0	＜0.1～0.5	0.005～0.05	0.005～0.05
共生组合	石英、绿泥石、绢云母	石英、黄铁矿、次显微金、绿泥石、绢云母、方解石	石英、黄铁矿、次显微金、绿泥石、绢云母	方解石、黄铁矿、石英、次显微金、绿泥石、绢云母	方解石、黄铁矿、石英	方解石、黄铁矿
产出特征	残余碳酸盐岩	矿体之脉体,被后期脉体穿插切割	成团块状产于蚀变岩石及脉体中,被脉石矿物交代	以淡黄色方解石脉,石英脉为特点,亦见细粒黄铁矿,方解石穿插早期脉体	产于蚀变岩石及石英脉体中	方解石脉中
产出位置	矿化体	富矿			矿化体	

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

不含金的黄铁矿颜色一般较浅,常为黄白色、浅金黄色等,并显强金属光泽[20]。青山金矿的黄铁矿反射率以围岩中的最高,反射率随着类质同象(尤其是 As)的替代而降低。矿化早期最低,而中晚期黄铁矿反射率略低于围岩中黄铁矿,又高于矿化早期黄铁矿。含金黄铁矿硬度一般比围岩中黄铁矿低,而又高于矿化早期黄铁矿。另外,富金黄铁矿具有较破碎的特点。

2.5 黄铁矿主成分特征

不同期次的黄铁矿,其化学成分亦有差异,利用日本岛津 EPMA-1600 电子探针对青山金矿不同世代、不同类型的黄铁矿单矿物做主成分含量分析(表 2)

表 2 青山金矿不同晶体形态的黄铁矿化学成分特征表(ω_B%)

Table 2 The chemical components feature of different crystal shape of pyrite in Qingshan gold deposits

项目	草莓状黄铁矿(I)	晶体形态不明显,粗粒(II)	立方体(IV)	八面体(IV)	破碎黄铁矿(V)	立方体与五角十二面体聚形(V)		五角十二面体(VI)	
Fe	44.13	45.66	46.76	46.44	46.29	44.81	45.13	46.43	47.80
S	55.87	54.34	52.53	52.28	50.57	50.04	50.95	49.65	49.05
As	0	0	0.71	1.26	3.14	5.15	3.92	6.58	3.15
Fe/S	0.4514	0.5271	0.5087	0.5076	0.5211	0.5117	0.5361	0.5344	0.5569

注:Fe/S 为单位分子内离子数之比,理论值为 0.5000,由宜昌地质矿产研究所电子探针室测定

3 黄铁矿成因

不同晶形黄铁矿其形成的物化条件也会不同[21],结合室内与镜下观察,根据黄铁矿不同的晶体形态(立方体、五角十二面体、八面体等),分别采相应共生的方解石脉进行均一温度测定,得到的成矿流体温度变化范围是 153.6℃～335℃(测次 35),通过均一温度频率直方图(图 3),认为存在三个温度峰值,得出立方体形成于 220℃～280℃和 130℃～160℃,五角十二面体和八面体形成于 160℃～220℃。三个温度峰值代表热液成矿期的三个阶段,成矿早阶段的温度为 220℃～280℃,平均约 242℃;主成矿阶段的温度集中在 160℃～220℃,平均约 195℃;成矿晚阶段的温度集中在 130℃～160℃。平均约 148℃。

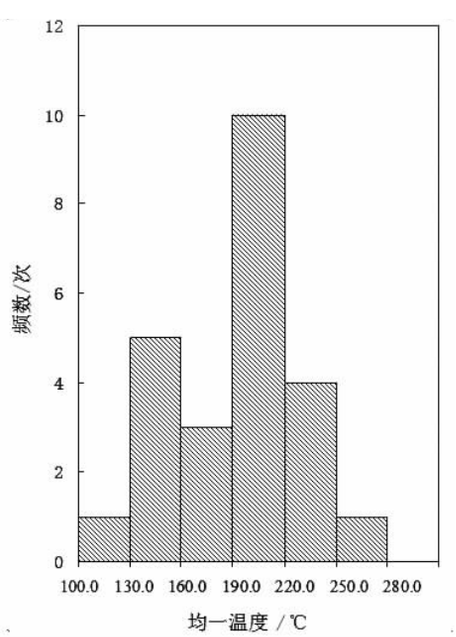

图 3 青山金矿床流体包裹体均一温度直方图

Fig. 3 The histogram of homogenization temperatures of fluid inclusion in Qingshan gold deposits

根据流体包裹体成分(表 3)计算出青山金矿床从早期、主期到晚期流体的部分物理化学参数(表 4)。显示主成矿阶段成矿流体为酸性,属相对还原环境,氧逸度偏低,硫逸度较高;成矿早期流体属相对氧化环境,氧逸度偏高,硫逸度偏低;成矿晚期流体则属相对氧化环境,氧逸度偏高,硫逸度偏低。

综上可得出本矿床不同晶形黄铁矿的形成条件:

(1) 立方体{100}在较高温度或较低温度,温度变化梯度大(快速冷却),氧逸度高,硫逸度小的条件下形成,常在矿体围岩中、弱矿化带、矿化早期阶段或成矿作用最晚期出现。

(2) 细粒五角十二面体{210}和它的各种聚形在中等温度、温度变化梯度小(缓慢冷却)、高硫逸度条件下,低氧逸度的还原条件下形成,因此出现在强矿化地段,矿体内带,矿化中期和中晚期阶段。系统温度中等,流体浓度大,水或挥发份含量低,杂质成分复杂且含量高,则黄铁矿晶体发芽率高,生长缓慢,形成大

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3 青山金矿床方解石流体包裹体成分分析结果

Table 3 Fluid inclusion composition analysis of calcite in Qingshan gold deposits

样号	矿物名称	气相成份 (10^{-6})				
		H_2O	CO_2	CO	CH_4	H_2
PD8-5	方解石	778.50	213.50	0.50	0.02	0.22
B1-1	方解石	333.50	385.50	1.50	0.05	0.12
BX046-2	方解石	312.20	550.50	1.50	0.02	0.14

液相成份								
K^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Li^+	F^-	Cl^-	$SO4^=$	$HCO3^-$
10.95	1.34	91.89	3.79	0.01	0.01	3.10	2.50	71.40
0.38	7.55	120.07	3.51	0.02	0.35	10.08	0.25	174.50
0.48	0.59	151.54	17.79	0.01	0.05	1.25	0.00	174.50

注:气相成分单位为 10^{-6},液相成分单位为 g/l。由宜昌地质矿产研究所包裹体室测定

表 4 青山金矿床流体部分物理化学参数

Table 4 Part of physical chemistry parameters of the fluid in Qingshan gold deposits

成矿期	早期	主期	晚期
pH	4.225	4.620	3.489
Eh(V)	−0.061	-0.093	-0.003
fo_2(× 10^5 Pa)	$10^{-41.298}$	$10^{-45.449}$	$10^{-40.167}$
fs_2(× 10^5 Pa)	$10^{-1.085}$	$10^{-8.08}$	$10^{-10.615}$

量粒度细小的黄铁矿及其集合体。

(3) 细粒八面体{111}形成条件与{210}有类似之处,可出现于强矿化地段、矿体内带、矿化中期和中晚阶段,但它出现的频率大大低于{210}及其习性晶体,且在成矿最晚期于浅部出现。

4 成矿物质来源和矿床成因探讨

1)赋矿岩系岩石学

青山金矿上泥盆统九里坪组上段(D_3j_2)为含碳热水沉积岩层组成的黑色岩系,即黑色含泥碳质板岩,金的背景值为 1.1×10^{-9}[22],低于金的地壳克拉克值。其上部为下石炭统界河街组一段(C_1j)的中厚层夹薄层燧石条带或团块粗粒灰岩,含金性好,是主要的容矿岩层,金含量一般为 15×10^{-9}～78×10^{-9},高出金的地壳克拉克值的 4～20 倍。说明黑色岩系中 Au 被活化迁出转入成矿热液,为成矿热液期金的富集提供了物质条件,构成了矿源层,其岩石学特征如下:

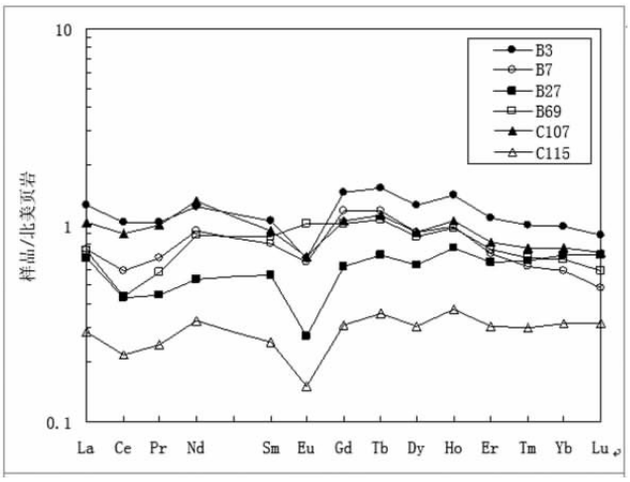

图 4 青山金矿床炭质板岩的稀土元素标准化分布型式图

Fig. 4 Standardized mode of distribution of REE in carbonaceous slate in Qingshan gold deposit

B3- 碳质板岩; B7- 碳质板岩; B27- 矿化碳质板岩; B69- 含泥碳质板岩; C107- 含硫化物,石英脉碳质板岩; C115- 含黄铁矿碳质板岩

主要由碳泥质、显微鳞片状绢云母、显微细粒石英组成,半定向－定向排列,泥状碳质沿纹层状分布,含量 90%左右,石英显微细晶微压扁拉长,约含 5%,岩石层理发育,泥质板岩、粘土岩均为夹层,其中发育成岩草莓状黄铁矿,另外还可见生物碎屑。从本区黑色含泥碳质板岩稀土元素组成分布型式图(图 4),可见该区含泥碳质板岩稀土元素特征表现为,HREE 有富集趋势,∑ REE 低,Ce 为负异常,显示了热水沉积物的特点。

2)矿床成因浅析

青山微细浸染型金矿的形成经历了两个阶段,即热水沉积黑色岩系沉积成岩成矿预富集期和热液改造富集成矿期。

沉积作用中,草莓状黄铁矿在热水沉积黑色岩系中形成,使金发生预富集。对于草莓状黄铁矿的形成,前人先后提出观点"低温热液成因""沉积－热液富集成因""低温热液成因"、"海底热水沉积成因"、"生物沉积成因"[23],对于本类型矿床,应为海底热水沉积和生物沉积混合成因[24]。细菌还原硫酸盐作用,是硫地球化学成矿特征之一,细菌还原硫酸盐作用发生的理想环境是厌氧、无毒、pH 值近于 7,并且有足够的有机质和适当的温度。本区断陷盆地环境和大量有机碳与硫酸盐的产出,为这种作用的进行创造了良好的条件。由于盆地内同生断裂的长期活动,海底热卤水沿同生断裂喷溢,生活在热水喷口附近的嗜热微生物,吸附海底热水喷流带来的 Fe、Au、Ag、Sb、As 等成矿元素,进行新陈代谢并不断还原硫酸盐,因此细菌还原硫酸盐作用是导致本区金属硫化物矿化最可能

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的生物营力。在厌氧的海相沉积物中,细菌将硫酸盐转化成 H_2S,另一方面微生物在生长过程中吸附的 Fe^{2+}与 H_2S 反应生成 FeS,FeS 可进一步与水体或淤泥中的自然硫反应形成草莓状黄铁矿[25]。这种成矿作用可概括为海底沉积喷流—嗜热微生物吸附、新陈代谢与还原—草莓状黄铁矿形成。

由本矿床中不同晶形与粒度黄铁矿的形成条件,可知细粒黄铁矿的形成是两种不同性质的流体混合,导致热液瞬时过饱和、硫逸度升高、还原性增强、粘度增大等一系列截然变化,使得杂质含量高的细粒黄铁矿快速沉淀[16]。由本矿床包裹体氢氧同位素研究(待刊)可知,地下热水循环淋滤萃取围岩中的成矿元素,成矿流体为高温高压且富含金、砷、银、硫、铁的地下热卤水与晚阶段低温低压的大气降水热液两种流体的混合,这种成矿流体瞬时过饱和,物理化学性质瞬时巨变的条件导致沉淀金形成富金细粒黄铁矿,流体混合和沸腾是最重要机制,与上面结论吻合。

多次热液叠加形成的成矿热液将后生构造运动形成的断裂作为向上运移的通道,黑色岩系对于沿构造通道迁移的含矿热液起着隔挡层作用,形成地球化学—物理障,致使成矿热液处在一个较封闭体系中,不易扩散,在断裂通道中沉淀富集成矿。其中碎裂富金黄铁矿的形成是由于发生构造 - 热液脉动时,先成黄铁矿大量破碎,含金流体中的金快速沉淀于黄铁矿的表面、裂隙和晶隙中,从而富集成矿。并据此判断,金的沉淀、就位、成矿并非一个缓慢均匀的积累过程。

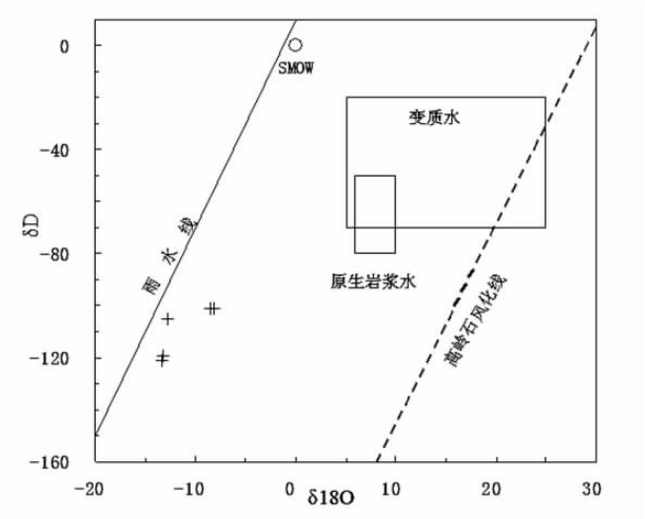

图 5 青山金矿床方解石流体包裹体 $\delta^{18}O_{H_2O}$–δD 图

Fig. 5 $\delta^{18}O_{H_2O}$-δD diagram of hydrogen and oxygen isotope value of fluid inclusions of calcite in Qingshan gold deposits

5 结论

1) 青山金矿床含金黄铁矿的标型特征明显,含金黄铁矿的颜色一般较深,呈暗黄色、灰黄色,晶形差,多呈五角十二面体或复杂聚形晶,矿物颗粒较细,较破碎,处于构造变形强烈部位,稠密浸染状分布,反射率及硬度都较低,矿物共生组合复杂,野外可直接判别,亏硫、亏铁是含金黄铁矿的主成分标型特征,查明该区黄铁矿的标型特征即可评价各种地质体的含金性。

2) 较高或较低温度、高氧逸度和低硫逸度的条件有利于黄铁矿的{100}晶形发育,中等温度、低氧逸度、高硫逸度条件有利于晶形趋于复杂的 {210}和{111}发育。流体浓度大,水或挥发份含量低,杂质成分复杂且含量高,更有利于具有较高载金能力的细粒黄铁矿的形成。

3) 青山微细浸染型金矿床矿源层为由含碳热水沉积岩层组成的黑色岩系,具有类似卡林型金矿床的成矿特点,成矿作用过程为:黑色岩系热水沉积预富集—地下热卤水循环淋滤萃取围岩中的金并与大气降水热液混合沸腾—因物理化学条件的瞬变和黑色岩系的地球化学与物理障而沉淀富集金成矿。

志谢:刘显凡教授在成文过程中给予了宝贵的建设性意见,特此感谢!

参 考 文 献

[1] 姜绍飞,杜振国,刘之洋. 义兴寨金矿黄铁矿的标型特征及成因意义[J]. 矿产与地质, 1995, 9(3):203-207.

[2] 涂怀奎. 秦岭地区黄铁矿特征与金矿关系的研究[J]. 化工矿产地质, 2004, 26(3):162-169.

[3] 苏文超. 黔西南烂泥沟金矿黄铁矿热电性研究及其找矿意义[J]. 黄 金地质, 1997, 3(2):7-12.

[4] 苏欣栋. 我国微细浸染型金矿床地质特征及找矿方向[J]. 黄金, 9(4):19-23.

[5] 史文胜,曹新志,孙华山,等. 山东招远市界河金矿黄铁矿标型[J]. 矿物学报, 2008, 23(2):113-119.

[6] 朱文风,朱贵田. 广西龙头山金矿床黄铁矿特征与金矿关系 [J]. 矿产与地质, 2005, 19(2): 155-158.

[7] 赵利青,白院平,于凤金. 微细浸染型金矿成矿与找矿的几个问题[J]. 黄金地质, 2001,7(4): 60-65.

[8] Berger B R, Bagby W C. The geology and origin of Carlin-type gold deposits[A]. Foster R P ed. Gold Metallogeny and Exploration [C]. London: Chapman & Hall. 1991, 210-248.

[9] Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et a1. Orogenic gold deposits: Aproposel classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit type[J].Ore Geo1. Rer..1998, 13(1-5):7-27.

[10] Kuehn C A, Rose A W. Geology and geochemistry of wallrock alter ation at the Carlin gold deposit, Nevada [J]. Econ. Geol., 1992, 87 (7): 1697-1721.

(下转第 49 页)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式中:R_K—空气冲击波对掩体人员的最小安全距离,m;Q—延发爆破为最大一段装药 kg。

则 R_K=25×(912)1/3 =242 m

5.3 个别飞石距离

R_F=(15~16)d

式中:R_F—个别飞石的飞散距离,m;d—深孔直径,cm。则:R_F=15×15=225 m

上述计算结果表明 地震波、冲击波及个别飞石对 250 m 以外的人员、房屋不构成危险影响。炮响 15 min 后工作人员才能进入爆破区,因为露天爆破有害气体散去较快,不构成对工作人员危害,按照该方案组织爆破是安全可靠的。

6 效果分析

1) 采用本设计方案在第一铝矿九架炉采区进行露天台阶深孔爆破,只要一台 KQG150Y 潜孔钻和配套的空气压缩机即可以满足施工要求。此外,结合实际情况,通过采取"预留保护层、设置缓冲带"等多种技术措施后,未产生过多飞石,采区周边的建筑物得到了很好保护。

2) 对溶洞、泥夹石、破碎带、断层等地质复杂地带,在严格执行本设计方案的基础上,经过适度调整孔、排距和孔底超深,大块、根底等到了较好控制。

3) 对于地质条件较好的地带,采用该设计方案,实施爆破的效果更加良好,基本无大块、根底现象。

4) 在爆破、铲装后,整个采场工作面较为平整,大大改变了以前工作面凸凹不平的现象。

7 结语

1) 复杂地质条件下露天台阶深孔爆破技术质量完全可以通过优化设计、规范施工得以控制,在安全、技术、经济上是切实可行的。

2) 本露天台阶深孔爆破技术的实践,为今后处理类似复杂地质条件下的台阶爆破中的参数选择、装药结构的布设及技术措施的编制等提供了可以借鉴的经验。□□□□

参 考 文 献

[1] 管伯伦. 爆破工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993.

[2] 于亚伦. 工程爆破理论与技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[3] 戴俊. 岩石动力学特性与爆破理论[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.

[4] 王德胜. 露天矿山台阶中深孔爆破开采技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.

[5] 孙俊鹏. 初探填塞对爆破飞石的有效控制[J]. 中国矿业, 2000, S1: 47-50.

(上接第 24 页)

[11] 刘爽,刘新会,魏宽义. 陕川丁家林－太阳坪金矿床黄铁矿标型特征[J]. 地质找矿论丛, 2005(增刊): 20-24.

[12] Wells J W, Mullens T E. Gold-bearing arsenian pyrite determined by microprobe analysis, Cortze and Carlin gold mines, Nevada [J]. Econ. Geol., 1973, 68(2): 187-201.

[13] Simon G, Kesler S E, Chryssoulis S. Geochemistry and texture of gold bearing arsenian pyrite, Twin Creeks, Nevada: implications for deposition of gold in Carlin-type deposits [J]. Econ. Geol., 1999, 94(3): 405-422.

[14] Arehart G.B, Chryseonlis S L. Gold and arsenic in iron sulfides from sediments[J]. Econ. Geol., 1993, 88: 171-185.

[15] Arehart G B. Characteristics and origin of sediment-hosted disseminat ed gold deposits: a review [J].Ore Geology Reviews. 1996,11 (6): 383-403.

[16] 李晶,陈衍景,刘迎新. 华北克拉通若干脉状金矿的黄铁矿标型特征与流体成矿过程[J]. 矿物岩石, 2004, 97(3): 93-102.

[17] 贾建业,兰斌明,吴建设,等. 黄铁矿随时间(t)变化对金吸附的动态实验[J]. 西安地质学院学报, 1996, 18 3)94-99.

[18] 张艳彬,张渊,陈国华,等. 山东黄埠岭金矿黄铁矿标型特征研究[J].黄金, 2004, 25(4): 11-14.

[19] 陈光远,邵伟,孙岱生,等. 胶东金矿成因矿物学与找矿[M]. 重庆: 重庆出版社, 1989: 324-333.

[20] 刘腾飞. 桂东金矿黄铁矿标型特征及找矿意义[J]. 黄金地质, 1996, 2(1): 70-76.

[21] 陈光远,孙岱生,张立. 黄铁矿成因形态学[J]. 现代地质, 1987, 1 (1): 60-76.[22] 冯建忠,汪东波,王学明.西秦岭泥盆系 Au 背景值的确定、元素地球 化学特征及地质意义[J]. 中国地质, 2005, 32 (1): 100-107.

[23] 李钟模,夏学惠,刘昌涛,等. 冀东地区长城系高于庄组岩相古地理及黄铁矿生物成因探讨[J]. 化工矿产地质,1998, 20(3): 220-232.

[24] 佟景贵,李胜荣,肖启云,等. 贵州遵义中南村黑色岩系黄铁矿的成分标型与成因探讨[J].现代地质, 2004,18(1):41-47.

[25]夏学惠.河北高板河铅锌硫铁矿矿床黄铁矿生物组构与微生物成矿初探[J].矿物岩石,1994,14(1): 83-89.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net