

胶东望儿山断裂带陈家—付家金矿床 黄铁矿标型特征研究*

赵利青

王小华 李自杰 苑保钦

(北京大学地质学系,北京)

(武警黄金地质研究所,河北廊坊)

提 要: 金矿床产于切割黑云母花岗岩和钾长变斑花岗闪长岩的北东向望儿山断裂中,沿断裂带从北到南产出界河、上庄、王家沟子、河东、付家等5个中型金矿床。矿床均属于断裂破碎带蚀变岩型,或称“焦家式”。黄铁矿是主要的载金矿物。对产于不同矿床中的黄铁矿的晶形、热电性、爆裂温度、微量元素进行了分析研究,认为从北到南黄铁矿的平均爆裂温度有增高的趋势,爆裂频数则有降低的趋势,总体上分为150~200℃和230~270℃两组,前一组黄铁矿含金高。

主题词: 金矿 黄铁矿 标型特征 胶东望儿山

1 研究区矿床地质概况

研究区位于胶东半岛焦(家)-新(城)金矿田内,属焦家断裂的次级断裂(图1),望儿山断裂是一条多期多阶段活动的断裂。其北段陈家—付家地段断裂,长约8 km,走向北东40°,倾向北西,倾角30°~42°。其上、下盘均有分枝断裂,断裂面舒缓波状,主断裂带内除发育早期韧性剪切形成的糜棱岩系岩石外,大量发育碎裂岩系的岩石。从北东到南西控制了界河、上庄、王家沟子、河东、付家5个中型断裂破碎带蚀变岩型金矿,或称“焦家式”金矿。断裂切割玲珑黑云母花岗岩和上庄郭家岭钾长变斑花岗闪长岩,各方面证据表明,后者侵入前者^①,两者均为赋矿岩石。浅部断裂发育在黑云母花岗岩中,中部及河东金矿等地沿袭两种花岗岩的接触界面发育,深部断裂完全发育在上庄钾长变斑花岗闪长岩中,晚太古界胶东群残留体在两种花岗岩中均有发育。矿田控矿断裂构造以北东向为主,其次为北东东向、北西向,控制了大量的金矿床(点)。

矿体形态简单,多呈脉状或透镜状,主断裂控制主矿体,次级分枝断裂控制较小的矿体,一般矿体的倾向延深大于走向延长,较厚大且稳定延深,并有南西侧伏。已控制主矿体倾斜延深如下:界河1号矿体750 m,上庄2号510 m,河东1号570 m,付家1号200 m。热液交代花岗(闪长)质碎裂岩系的岩石,形成破碎带蚀变岩型金矿床,黄铁绢英岩化是主要的蚀变,黄铁矿是主要的载金矿物,其次为石英。裂隙金常见(45%),晶隙金次之(35%),包体金较少(20%)。

* 国家黄金局资助项目(编号89-A-20)

赵利青,男,1965年生,1985年获应用地球化学硕士学位,现为北京大学矿床学博士研究生,工程师

① 赵利青、李自杰、苑保钦、王小华,1992年,望儿山金矿带陈家—付家金矿成矿条件及找矿方向研究,国家黄金管理局地质科研项目

1996-02-14收到稿,1996-07-16修改回

2 主要载金矿物黄铁矿的标型特征

矿相学研究表明,自然金与辉碲铋矿、黄铜矿、方铅矿等共生于黄铁矿的晶(裂)隙中,这些矿物的出现可作为金矿化黄铁矿的标志。尤其是辉碲铋矿与自然金共生规律明显,既可形成定向连晶,也可形成内外镶嵌,辉碲铋矿堪称找金的“标型矿物”。

根据前人的研究^[1],黄铁矿的热电性、晶形、微量元素等对指示找矿效果较好,我们主要进行了这三方面的工作。所采样品均为含金(石英)黄铁矿阶段的细脉,脉状黄铁矿,该阶段分布范围最广。

2.1 热电性

整个带上黄铁矿热电系数变化范围较大,不同的矿区有一定的差异(表1)。以付家

表1 陈家—付家金矿区黄铁矿热电性特征

Table 1. Pyroelectric properties of pyrite from the Chenjia-Fujia gold ore district

矿区	样品数	热电系数 $\alpha(\mu\text{V}/\text{C})$	导电类型
付家	6	-369~-106(-168.5)	电子(N)
		328~390(359)	空穴(P)
付家	8	-241~-118.1(-145.9)	电子(N)
		106~283(174.5)	空穴(P)
上庄	4	-348~-125(-183.98)	电子(N)
界河	7	-182~-133.7(-154.58)	电子(N)

注:()为平均值

金矿区变化范围最大,其次是河东、上庄,界河金矿变化范围最小。导电类型以电子型(N型)出现占绝大多数,空穴型(P型)仅在付家、河东出现。付家有一个样品出现68%的N型黄铁矿,32%的P型黄铁矿;河东有3个样品中同时出现两种类型黄铁矿,两件P型出现率为30%,一件P型出现率为56%。界河金矿为N型黄铁矿。崔天顺等^[2]对界河金矿的研究结果是:各阶段黄铁矿均为N型,占99.5%,热电系数变化于-3~-479 $\mu\text{V}/\text{C}$ 之间,均值-129 $\mu\text{V}/\text{C}$;P型仅占0.5%。

2.2 晶形

整个矿带上黄铁矿晶形种类较多,出现的单形晶有{100}、{111}、{210},聚形晶形{100}+{111},{111}+{100},{210}+{100},{100}+{210}+{111},{111}+{100}+{210},{111}+{210}。不同矿区黄铁矿的形态分布及出现率有所不同(表2),从付家到河东、上庄、界河金矿

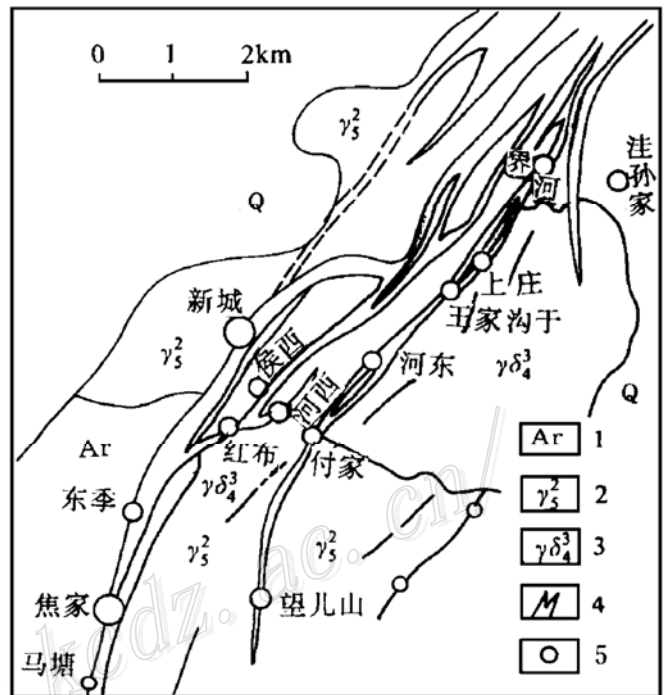


图1 研究区及外围地质略图

1—上太古界胶东群;2—黑云母花岗岩;3—钾长变斑花岗岩闪长岩;4—蚀变带;5—金矿床

Fig. 1. Geological sketch map of the study area as well as its outskirts.

1—Upper Archean Jiaodong Group; 2—Biotite granite; 3—K-feldspar porphyroblastic granodiorite; 4—Alteration zone; 5—Gold deposit.

{100}由多变少,{111}、{100}+{111}晶形由少变多。在纵向上,黄铁矿的晶形在不同的矿区也有差异,由表 3 可见,在大致相近的标高上,河东金矿在-50 m 中段黄铁矿形态种类多,且复杂晶形含量略高;而上庄、界河金矿则分别在-78m、-56m 中段上的复杂晶形较多,这些中段均是矿体肥厚的地段。

陈光远等总结胶东金矿黄铁矿晶形后指出^[1]:早、晚阶段黄铁矿均以立方体为主;中期以五角十二面体为主;矿体顶部为{100}+{111}、{111}习性晶体较多,中部五角十二面体习性{210}为主,底部立方体习性{100}为主。程敏清等研究了胶东某些金矿床黄铁矿晶形后指出^[3]:第Ⅱ阶段黄铁矿在矿体垂直空间上晶形变化规律为:头部{111},往下{111}+{110}及{111}+{210};中部以{210}为主,伴有{100}+{111}及{100}+{210};尾部以{100}+{210}为主,而且愈往深部{100}在其聚形中所占比例越大。

付家金矿从-15 m 中段到-45 m 中段,各矿体{100}晶形减少,{111}及其它晶形增加,变化较快,可能指示矿体规模较小,但深部仍有延伸,4 号矿体的黄铁矿晶形种类较少,以{100}为主,{111}次之,复杂的{210}及聚形晶出现率较低,而 1、2 号矿体的黄铁矿晶形种类略多,复杂的{210}及聚形晶出现率略高,指标 1、2 号矿体规模可能较 4 号延深大,与实验情况相符。

表 2 不同矿区黄铁矿形态特征(出现率%)

Table 2. Percentages of various crystal forms of pyrite observed in different ore districts

矿区	{100}	{111}	{210}	{100}+ {111}	{111}+ {110}	{210}+ {110}	{111}+ {210}	{100}+ {210}+ {111}	{111}+ {100}+ {210}	其它
付家	34.2	15.4	1.8	5.3	14.5	1.6		1.8	0.8	24.5
河东	20.8	15.6	22	2.4	6	2.2	0.2			22.8
上庄	15.3	20.1	2.6	8	9	19.3				23.7
界河	12.3	44.3	1.7	8.5	3.5	1.1				30.6

表 3 不同矿区相近标高黄铁矿晶形出现率(%)对比

Table 3. Percentages of various crystal forms of pyrite observed at similar levels of different ore districts

标高 (m)	中段 (m)	矿区	{100}	{111}	{210}	{100}+ {111}	{111}+ {110}	{210}+ {110}	{111}+ {210}	{100}+ {210}+ {111}	{111}+ {100}+ {210}	其它
-50±	-45	付家	21.97	18.27	3.5	8	20.67	3		3.7	1.67	19.3
	-50	河东	21	17.5	22.5	1.5	8.5	3.5	0.5			25
	-47	上庄	19	20	2	11	9	18				21
	-56	界河	7	48.1	2	2	10	1.5				29.4
-80±	-80	河东	22.5	15.0	32.5	3.4	1.5	2				23
	-78	上庄	12.02	24.3	4.68	6	5	11.9				36.1
	-86	界河	17.6	42.5	1.3	5	7	0.7				25.9

河东金矿主矿体向深部黄铁矿晶形种类略多,1 号矿体在-50 m 中段复杂晶形黄铁矿出

现率略高;7号矿体在-80 m中段出现较多的{210}及聚形晶黄铁矿,从上到下{100}减少,{111}、{210}增加,矿体应有较好延深,实际延伸到-300 m。

上庄金矿2号矿体黄铁矿晶形以{100}、{111}各占20%、并且在垂向上(-47 m~-80 m)变化不明显为特征,其它聚形晶也较多见,矿体规模较大,延伸到-275 m。

界河金矿1号矿体从-56 m~-86 m中段,{100}出现率由48.1%降到42.5%,{111}出现率由7%增至17.6%,与矿体仍处于中浅部一致,实际延伸达-450 m。

2.3 微量元素特征

为了查明带上黄铁矿的微量元素与金的关系,对38件黄铁矿样品中10个元素的分析结果进行了R型聚类分析,R型聚类谱系图(图2)将微量元素分为以下三组:①Ba、As;②Bi、Au、Ni、Se、Te;③Ti、Co、Ag。Au与Bi、Te、Se、Ni组成一组,反映了它们之间密切的关系,在矿物形式上表现为常见自然金与辉碲铋矿共生,产于黄铁矿的裂隙中。

黄铁矿中与Au成正相关的元素有Bi、Te,相关系数分别为0.482、0.552;As与Co、Ni负相关,相关系数分别为-0.390、-0.422;Bi、Se、Te、Co、Ni之间两两相关,相关系数变化于0.422~0.708,其中Ni与Te相关系数高达0.708;Ti与As负相关,相关系数为-0.396,与Te、Co、Ni正相关,相关系数分别为0.362、0.579、0.486。

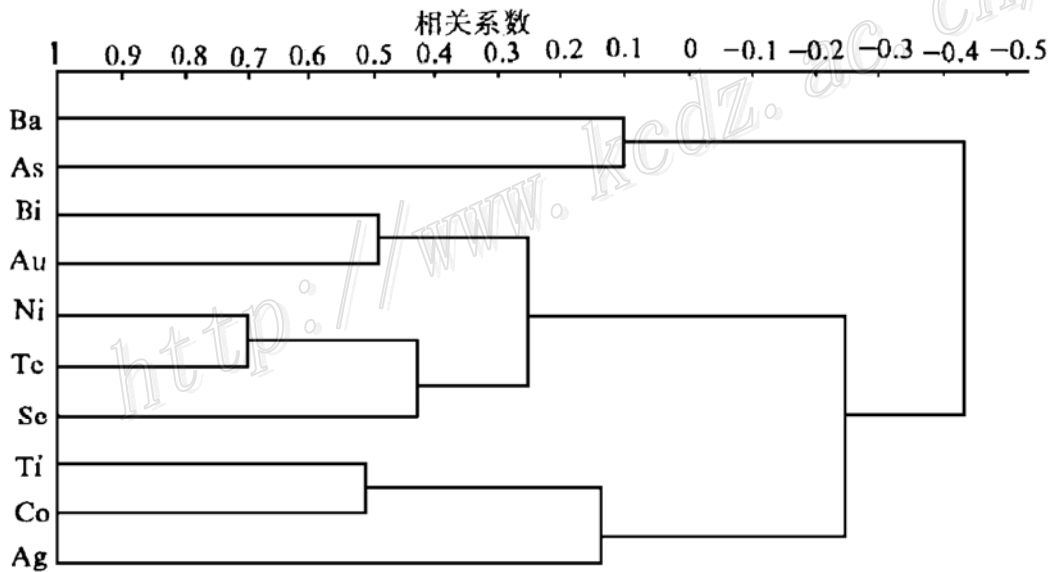


图2 陈家—付家金矿黄铁矿微量元素R型聚类谱系图

Fig. 2. R-mode cluster dendritic diagram of minor elements in pyrite from the Chenjia-Fujia gold deposit.

为了从微量元素角度查明带上各矿区黄铁矿之间的差异,又对37件样品进行了Q型聚类分析,得到图3。从图3中可见整个带上黄铁矿微量元素组成大致相似,无明显差异,表明它们具有相同的成因环境,相同的物质来源。但是如果细致地考察,各矿区又有些差异,显示出从界河到付家的渐变过渡关系。相邻矿床间更为接近。如距离系数为0.5时,所有样品分为3组:第一组为河东,因其特高的金含量而自成一组;第二组由付家、河东、上庄样品组成;第三组主要为界河金矿样品。若以距离系数为0.3来考察,第二组又可分为五个亚组:第一、二亚组均为

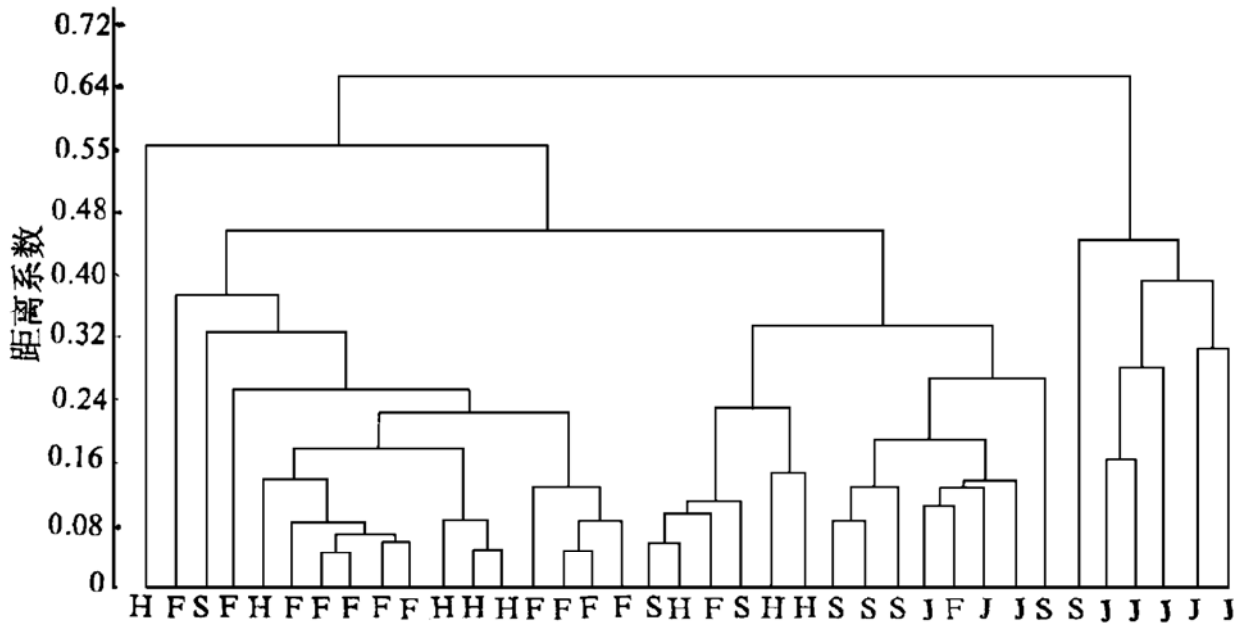


图 3 陈家—付家金矿黄铁矿微量元素 Q 型聚类谱系图

H、F、S、J 分别代表河东、付家、上庄、界河金矿的黄铁矿样品

Fig. 3. Q-mode cluster dendritic diagram of minor elements in pyrite from the Chenjia-Fujia gold deposit.

H, F, S and J represent pyrite samples from Hedong, Fujia, Shanzhuang and Jiehe gold deposit respectively.

单个样品;第三亚组则由河东、付家的样品组成,其中的更小组则是分别由河东、付家样品组成;第四亚组主要为河东样品,其次为上庄样品;第五亚组主要为上庄样品,其次为界河样品。

付家金矿:从微量元素及其比值看,1、2号矿体的As、Ba、Co、Co/Ni、As/Ti、Bi+Te较4号矿体小;Se/Te、Au/Bi、As/Se、Co+Ni、(Co+Ni)/As等较4号矿体大,而Co·Ni/(Ag·As)较4号矿体小,是由于4号矿体黄铁矿中Ag含量较低所致。

河东金矿:不同标高黄铁矿微量元素特征有差异。1号矿体的黄铁矿中Ag主要集中在-25 m标高,表明为矿体前缘元素,Te、As主要分布在-50 m中段,Ba、Co、Ni、Bi等主要分布在矿体-80 m中段,Au在-50 m标高最富,达 1039×10^{-6} ,其次为-25 m和-80 m中段。反映在元素比值上Co/Ni、Se/Te、Co·Ni/(Ag·As)、Co+Ni及(Co+Ni)/As由矿体浅部往深部有增高的趋势。7号矿体与1号矿体特征大致相似,只是Au在-80 m标高最富。

上庄金矿:该矿区黄铁矿微量元素含量,在不同标高变化不明显,但Au主要富集在-78 m标高,As在-47 m标高略高,Ag在-47 m、-108 m中段略高,Co、Ni、Te在-108 m标高略高,Bi、Ba在-78 m中段略高;反映在元素比值上Co·Ni/(Ag·As)、Co+Ni、(Co+Ni)/As由上部到深部有增高的趋势,Au/Ag比值在-78 m最高,这与Au主要富集在-78 m标高有关。

界河金矿:同河东金矿具有大致相似之处,黄铁矿中微量元素在不同的标高有一定的差异,As、Ag主要富集在中上部,Au、Bi、Co等元素主要富集在中下部,Au主要富集在-56 m中段。该矿区的Co、Ni值较上述几个矿区高,As略低。

不同矿区黄铁矿微量元素及比值(表4)有一定变化规律,河东金矿以较高的As、Co/Ni、

Au/Bi, 较低的 Se、Te、Ni、Co · Ni(Ag · As)、(Co+Ni)/As 为特征; 上庄金矿以较高的 Ag, 较低的 Au/Ag 为特征; 界河金矿以较高的 Co、Ni、Ti、Bi、Te、Se、Au/Ag、Co · Ni/(Ag · As)、(Co+Ni)/As、Bi+Te, 较低的 Ag、As、As/Ti 为特征。从界河到付家 Se、Te、Bi、Co、Ni、Ti、Co · Ni/(Ag · As)、Co+Ni、(Co+Ni)/As、Bi+Te 有逐渐降低的趋势, 而 As、Bi、As/Ti 有逐步升高的趋势。

同一样品矿石微量元素与黄铁矿微量元素的直观比较发现: 黄铁矿的 Co、Ni、As 含量均远大于矿石中相应元素的含量, Ba 反之; 黄铁矿的 Au、Ag、Bi 含量一般大于矿石中对应元素的含量。说明矿石中 Au、Ag、Bi、Co、Ni、As 等元素的高含量与黄铁矿的出现直接有关, 而 Ba 则应主要赋存于长石中, 与黄铁矿的产出无关。

2.4 爆裂温度

表 5 是各矿床黄铁矿的爆裂温度, 从北到南平均爆裂温度有增高的趋势, 爆裂频数则有降低的趋势; 整个带上黄铁矿的爆裂温度可分为两组: 一组温度为 150~200 °C; 另一组温度为 230~270 °C。大部分样品温度小于 200 °C, 金品位大于 80×10^{-6} , 高者达 1000×10^{-6} 。后一组样品金品位一般小于 60×10^{-6} 或 20×10^{-6} 。也就是说成矿温度为中低温, 黄铁矿化有两个阶段, 早阶段黄铁矿的金矿化较差, 金矿化主要与较低温的黄铁矿化关系密切。

表 4 黄铁矿微量元素含量(10^{-6})及比值特征

Table 4. Contents or ratios of minor elements in pyrite

矿区	样品数	Au	Ag	As	Bi	Te	Co	Ni	Ba	Ti	Se
付家	12	<76.2	<17.9	83.9	40.1	14.7	95.4	84	20	<14.4	<0.68
河东	8	393.5	77	133	72.4	0.86	112	30	7	<22.4	<0.1
上庄	8	<149.6	128	43	87.8	36.4	243	221	6.4	<40.5	<0.5
界河	8	343.8	25	14	265	140	337	252	5	43.6	2.38
矿区	Au/Ag	Co/Ni	As/Ti	Au/Bi	Co · Ni/(Ag · As)	Co+Ni	(Co+Ni)/As	Bi+Te			
付家	3.65	0.98	19.6	1.85	13.9	179.4	2.61	54.8			
河东	5.36	3.71	17.2	13.1	1.1	142	1.95	73.3			
上庄	1.33	1.20	1.65	2.1	14.06	464	13.1	124.2			
界河	8.36	1.62	0.34	2.4	297.4	589	39.8	405			

注: 所有数据为算术平均值; 分析者: 中国人民武装警察部队黄金指挥部测试中心

表 5 黄铁矿爆裂温度测试结果

Table 5. Decrepitation temperatures of pyrite

矿床	样数	爆裂温度(°C)		爆裂频数	
		平均值	变化范围	平均值	变化范围
界河	20	178	150~210	24085	11354~41366
上庄	6	201	158~269	14844	9263~16382
河东	8	186	160~195	14945	10424~17209
付家	6	217	175~255	11391	6789~18653

注: 由武警黄金地质研究所姜淑华测试

另外,界河金矿蚀变岩型矿体与下盘裂隙充填型矿体相比,后者黄铁矿爆裂温度低于前者,二者相差 10~20 °C,据此可以判断矿液是由蚀变岩型矿体所处地段流向裂隙充填型矿体所处地段的。

3 黄铁矿热电性、微量元素、爆裂温度、爆裂频数之间的关系

对 19 件黄铁矿样品同时测定有爆裂温度及微量元素,研究发现爆裂温度与爆裂频数显著负相关,相关系数为 -0.683,与 Se 正相关;Co 与 Ni 正相关,Te、Ag、Co、Ni 两两相关;Au 与 As 爆裂频数正相关,与 Se 负相关,相关系数分别为 0.672、0.500、-0.472。

14 件 N 型黄铁矿的爆裂温度与热电系数值为正相关,相关系数为 0.558;爆裂频数与爆裂温度负相关,相关系数 -0.695,与热电系数值不相关。

17 件黄铁矿样品同时测定微量元素和热电系数,研究表明热电系数值与 Ni 呈负相关。相关系数为 -0.606。即 Ni 含量越高(类质同象置换 Fe 越多),黄铁矿(N 型)的热电系数值越小。热电系数值与 Au 不相关。

总之,形成温度较高的黄铁矿,Ni、As、Te、(Co)较低,金含量低,爆裂频数低,N 型黄铁矿的热电系数值较大;反之温度较低的黄铁矿,Ni、As、Te 等较高,Au 含量较高,爆裂频数较高。即晚阶段、杂质元素较多的黄铁矿含 Au 高。

4 结 论

对主要载金矿物黄铁矿热电性、晶形、微量元素、爆裂温度和爆裂频数的系统研究有助于全面认识金矿化黄铁矿的特征,并对矿体的规模及深部远景作了定性评价。

根据前人大量研究,一般认为黄铁矿热电系数值沿矿体垂向上变化较小者矿体规模大,P 型出现于浅部、N 型出现于深部;{111}、{210}及其聚形晶黄铁矿金矿化较好,{100}晶形黄铁矿的金矿化较差;结合元素地球化学分带规律,As 高的黄铁矿一般指示矿体中上部,Ni、Co 高的黄铁矿指示矿体中下部。虽然前人讨论过热电性与化学成分间的关系,但很少见同时研究形成温度的论文。本文指出:中低温黄铁矿与金矿化关系密切,并且 Au 的高含量与热电系数值较小的 N 型黄铁矿关系密切,这一结论具有重要意义。

沿断裂带从北到南:黄铁矿以 N 型为主,P 型仅在南部河东、付家金矿少量出现;{100}晶形增加,{111}、{100}+{111}晶形减少;黄铁矿中 Se、Te、Bi、Co、Ni、Ti、Co·Ni/(Ag·As)、Co+Ni、(Co+Ni)/As、Bi+Te 有逐渐降低的趋势,而 As、Bi、As/Ti 有逐渐升高的趋势;黄铁矿平均爆裂频数有增高的趋势,爆裂频数则有降低的趋势;由此推论断裂蚀变带剥蚀程度由北向南减弱,付家金矿深部应有更好的找矿前景,尽管目前控制的矿体规模较小。

参 考 文 献

- 1 陈光远等.胶东金矿成因矿物学与找矿.重庆:重庆出版社.1988
- 2 崔天顺,齐金钟.山东界河金矿黄铁矿环带及导型结构的研究.矿物学报,1995,15(4)

- 3 程敏清,王存昌.胶东三山岛、大开头、马家窑等金矿石英、黄铁矿的矿物标型特征及找矿评价意义.地质找矿论丛, 1988,3(3)

TYPOMORPHIC CHARACTERISTICS OF PYRITE FROM THE CHENGJIA-FUJIA GOLD DEPOSITS ALONG THE WANGERSHAN FAULT, EASTERN SHANDONG

Zhao Liqing

(*Department of Geology, Peking University, Beijing 100871*)

Wang Xiaohua, Li Zhiji and Yuan Baoqing

(*Institute of Gold Geology, Langfang 102800*)

Key words: Jiaodong (eastern Shandong gold deposit, pyrite, typomorphic characteristic)

Abstract

The study area is located in eastern Shandong where gold deposits are concentrated. Along the NE-trending Wangershan fault 8 km in length that cuts biotite granite and K-feldspar porphyroblastic granodiorite there exist from north to south 4 middle-size gold deposits, namely Jiehe, Shangzhuang, Hedong and Fujia, which are all fault shatter zone altered rock deposits called "Jiaojia type", with pyrite being the main gold carrier mineral. Pyrite from various deposits was studied in the light of crystal form, pyroelectricity, decrepitation temperature, chemical composition and trace elements.

Ore microscopic study demonstrates that native gold is associated with tetradymite, chalcopyrite and galena in cracks of pyrite crystals. These minerals serve as indicators of pyrites related to gold mineralization.

Pyroelectricity coefficients of pyrite vary considerably along the whole fault zone, suggesting that N-type pyrite is dominant, with merely small amounts of P-type pyrite seen in Fujia and Hedong deposits.

From Fujia through Hedong, Shangzhuang to Jiehe, pyrite with $\{100\}$ crystal form gradually decreases in amount whereas things are just the opposite for pyrite with $\{111\}$ and $\{100\} + \{111\}$ crystal forms.

As for trace elements in pyrite, Bi and Te are positively related to gold, and pyrite with high Se and Ni is generally related to gold mineralization.

From north to south, average decrepitation temperature of pyrite tends to increase, whereas decrepitation frequency seems to decrease. In general, two groups of decrepitation temperature ($150 \sim 200^\circ\text{C}$ and $230 \sim 270^\circ\text{C}$) can be recognized, and pyrite of the former group contains very high gold.