卷(Volume)30,期(Number)3,总(Total)121
页(Pages)23－33,2010,9,(Sept,2010)

矿 物 岩 石
J MINERAL PETROL

胶东照岛山金矿黄铁矿成分与热电性标型特征研究

张运强， 李胜荣*， 陈海燕， 薛建玲， 孙文燕， 张 旭

(中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083)

【摘 要】 对胶东照岛山金矿中黄铁矿成分和热电性标型特征研究表明:黄铁矿成分亏S富As;黄铁矿的特征元素为:As,Co,Ni,Mo,Se,Au,Ag,Sb,Pb,Te,不同成矿阶段微量元素含量的变化说明,黄铁矿的形成温度从早期成矿阶段到主成矿阶段逐渐降低,金沉淀主要发生在石英黄铁矿和多金属硫化物阶段;P型黄铁矿出现率为61%,与胶东几个典型金矿相比,黄铁矿热电系数离散性较大;热电导型按成矿时间先后变化规律为:P＞N→P＜N→P≫N→P≫N;As是金矿化的有利组分,微量元素As与(Co＋Ni)的相对含量与黄铁矿P型、N型出现率及导型组合密切相关。结合黄铁矿成矿温度、热电系数垂向变化以及黄铁矿P型出现率、P型均值分带性等标型特征的研究表明:照岛山金矿床的形成温度为150 ℃～340 ℃,属中低温矿床;矿床总体剥蚀较浅,深部矿体未被揭露;P型黄铁矿热电系数均值、出现率高值区是有利的找矿标志。黄铁矿热电性参数显示,矿区南部矿段(8线～16线)和北部矿段(120线)－200 m以下分别存在一处高值区,推测两处具有深部找矿前景。

【关键词】 黄铁矿;微量元素;热电性;标型特征;照岛山;胶东

中图分类号:P578.2+92;O472+.7 **文献标识码**:A

文章编号:1001－6872(2010)03－0023－11

0 引 言

黄铁矿是金矿床中最普遍最重要的载金矿物[1]。黄铁矿的化学成分和热电性标型特征具有重要的成因与找矿意义,尤其是热电性标型特征可反映矿物成分和晶体结构的某些细微差异,由此联系到矿物形成的环境及物理化学条件(如温度、压力、介质成分变化等),为矿物学研究和地质与找矿提供重要的指示信息[2]。对玲珑、三山岛[3]和乳山[4]等

收稿日期:2009－12－15; **改回日期**:2010－05－26

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划(90914002);全国危机矿山接替资源找矿(20089937);高等学校学科创新引智计划(B07011)

作者简介:张运强,男,27岁,硕士生,矿物学、岩石学、矿床学专业,研究方向:成因矿物学与找矿矿物学. E-mail:zhyqok@163.com

*通讯作者:李胜荣,男,53岁,教授(博士导师),研究方向:成因与找矿矿物学及环境与生命矿物学. E-mail:lisr@cugb.edu.cn

金矿黄铁矿成分、形态、热电性和晶胞参数等标型特征的研究表明：As，Sb，Co，Ni 等杂质进入黄铁矿晶格受温度的限制，高温有利于 Co、Ni 代替 Fe，形成 N 型黄铁矿，低温有利于 As，Sb 代替 S，形成 P 型黄铁矿；主成矿阶段黄铁矿以 P 型为主，P 型黄铁矿高值区以及 P 型黄铁矿热电系数高值区往往指示富金矿段；大型金矿顶部黄铁矿以 P 型为主，随深度的增加 N 型黄铁矿比率逐渐增大，依此可判断矿床规模、推测剥蚀深度以及寻找深部矿体。

照岛山金矿区位于烟台市牟平县境内，20 世纪 80 年代中期，圈出了 3 个Ⅳ级成矿远景区和 9 个Ⅴ级成矿远景区①；90 年代初，圈定断裂构造 10 条②；2001 年，发现磁异常 5 处，硫化物富集带 4 条③；2003 年核定了 1 个具有工业品位的矿段。目前对于该矿区的研究以基础的物探、化探及普查为主，成矿远景区的圈定亦仅限于定性。研究通过黄铁矿成分和热电性标型特征的分析，希望对成矿温度和矿体剥蚀率起到标识作用，利用黄铁矿热电性随深度的变化，研究照岛山金矿黄铁矿热电性参数由浅到深的变化规律，探索矿床深部成矿的潜力。

1 矿区地质概况

照岛山金矿区位于胶东牟乳成矿带北段，大地构造位置处于华北克拉通东部，胶东陆块与苏鲁超高压变质带之间(图 1)。区内出露地层有下元古界荆山群变质岩系和第四系，岩性为一套由黑云变粒岩、斜长透辉岩、透辉大理岩、斜长角闪岩组成的中级变质岩系[5]。

区内断裂构造发育，主要有 NNE 向金牛山断裂(F_1)和 NE 向牟平-即墨断裂(F_2)[6]。NNE 向断裂贯穿矿区南北，是主要的控矿与容矿构造。NE 向断裂通过邓格庄矿床北部，横穿区内 NNE 向断裂及旁侧次级断裂，也有金矿床(点)产出。

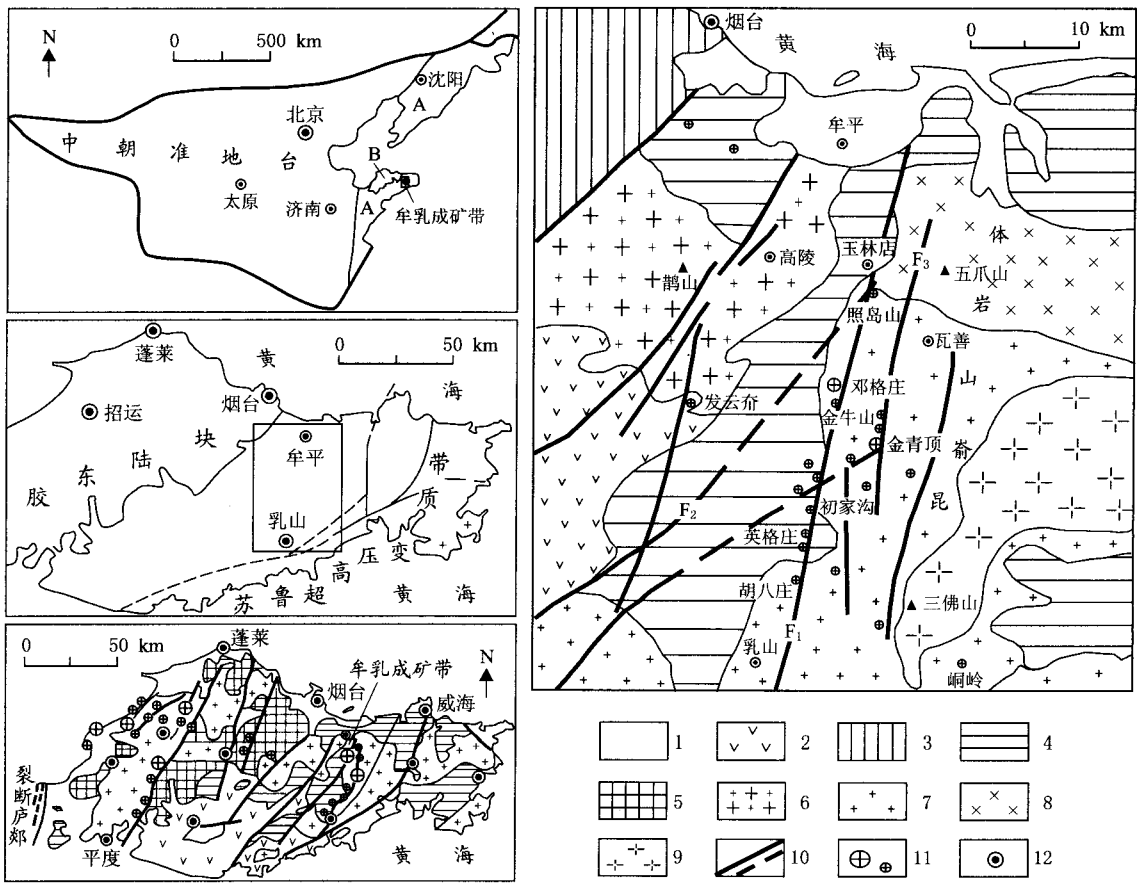


图 1 山东区域地质略图(据李胜荣等，1996[4]修改)

A. 胶辽台隆；B. 胶北隆区；1. 第四纪；2. 白垩系砂砾岩和火山岩；3. 下元古界粉子山群；4. 太古—下元古界荆山群；5. 太古界胶东群；6. 中生代鹊山二长花岗岩；7～8. 中生代昆嵛山岩体：7. 瓦善弱片麻状二长花岗岩；8. 五爪山弱片麻状含榴二长花岗岩；9. 三佛山二长花岗岩；10. 断层；11. 金矿床及矿点；12. 地名；F_1. 金牛山断裂；F_2. 牟平-即墨断裂；；F_3. 将军石断裂

Fig. 1 Regional geological sketch map of the Mouping-Rushan district

①山东省地矿局实验室. 牟平-乳山地区金矿控矿条件研究(1∶100000)报告，1995.

②山东省地矿局第三地质队. 牟乳金成矿带北段航电异常地面查证研究报告，1990.

③山东省地矿局第三地质矿产勘查院. 牟平区尺坎工区金矿普查物探测量研究报告，2001.

区内岩浆活动频繁，分布最广的为昆嵛山二长花岗岩，是金矿体的直接围岩。岩体与荆山群地层呈侵入接触。据测得其黑云母^{40}Ar-^{39}Ar年龄为 120 Ma～147 Ma[7]，锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 140 Ma～160 Ma[8]，说明其形成时代为中生代燕山期，岩体的成因类型为Ⅰ型花岗岩，成岩物质主要来自壳源[9]。

照岛山金矿区已探明Ⅰ，Ⅱ号两个构造蚀变矿化带(图 2)。Ⅰ号矿化带赋存于 NNE 向断裂带内，矿带长1 600 m，倾向南东，局部反倾，倾角 75°～89°，平均 87°。在Ⅰ号矿化带中，初步圈定Ⅰ-1 和Ⅰ-2 两个工业矿体。两矿体均呈陡倾斜薄板状，Ⅰ-1 矿体向 SW 侧伏，沿走向及倾向具膨缩分支复合现象，Ⅰ-2 矿体向 NE 侧伏。金品位最高 4.72×10^{-6}，平均 2.29×10^{-6}。矿石中金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、褐铁矿、辉铜矿、铜蓝、方铅矿、闪锌矿、自然金、银金矿、金银矿、碲银矿等，脉石矿物有石英、金红石、绢云母、方解石、绿泥石等，副矿物有榍石、磁铁矿、磷灰石、锆石、钛石等。矿区内广泛发育不同类型的围岩蚀变，主要有钾长石化、绢英岩化、黄铁绢英岩化、绿泥石化等。

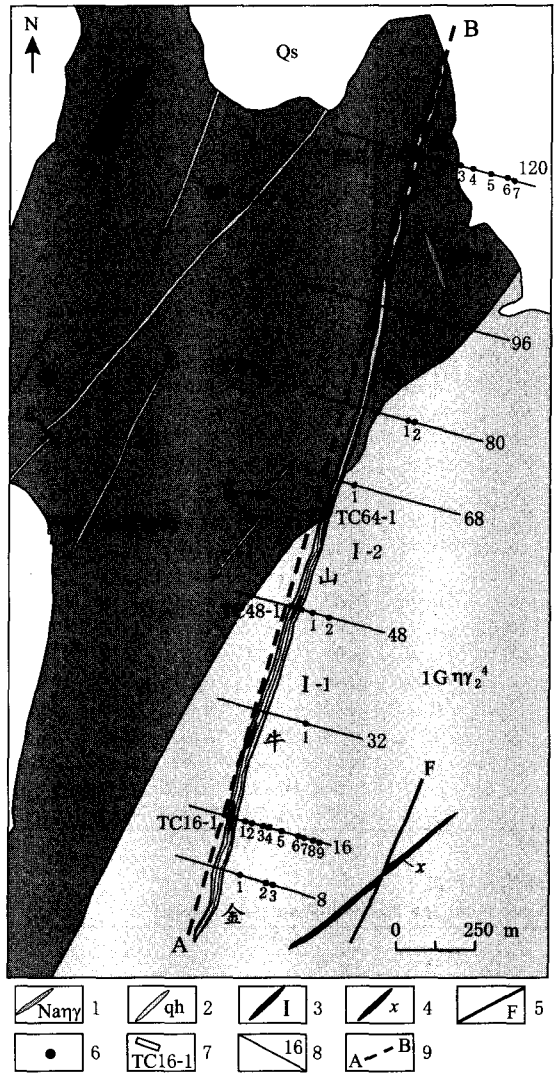


图 2　照岛山金矿区地质略图(据山东省第三地质矿产勘查院，2007 修改)

Qs. 第四系山前组；Pt_1js. 太古-元古界荆山群；$1Y\eta\gamma_2^4$. 五爪山弱片麻状含榴二长花岗岩；$1G\eta\gamma_2^4$. 瓦善弱片麻状二长花岗岩；1. 钠长石化二长花岗岩；2. 含金石英脉；3. 矿体及编号；4. 煌斑岩；5. 断层；6. 取样位置；7. 探槽及编号；8. 勘探线及编号；9. 矿体走向基线

Fig. 2　Geological sketch map of the Zhaodaoshan gold ore district

根据矿物的穿插关系以及镜下的显微结构构造观察，将照岛山金矿成矿分为热液蚀变期、热液矿化期(表 1)，热液蚀变期又分为钾长石化阶段、绢英岩化阶段和黄铁绢英岩化阶段，热液充填期又分为 4 个成矿阶段，按时间后依次为：第一阶段为黄铁矿石英阶段，第二阶段为石英黄铁矿阶段，第三阶段为多金属硫化物阶段，第四阶段为石英碳酸盐阶段，其中第二、三阶段是主矿化阶段。

2　黄铁矿的标型特征

黄铁矿是区内最普遍、最主要的载金矿物，根据野外的矿石产出特征和室内的镜下观察，照岛山金矿中黄铁矿可分为 5 种类型(表 1)。

Ⅰ类黄铁矿产于黄铁绢英岩阶段，铜黄色，晶形以{210}、{100}为主，自形结构，呈稀疏浸染状产出，含量 10%左右。矿物共生组合为：绢云母、石英、黄铁矿和绿泥石等。

Ⅱ类黄铁矿产于黄铁矿石英阶段。浅黄白色，

表 1　照岛山金矿区矿化阶段及矿物生成顺序表

Table 1　Mineralization stages and paragenetic sequence of minerals in the Zhaodaoshan gold ore district

期次阶段	热液蚀变期			热液矿化期			
	钾长石化阶段	绢英岩化阶段	黄铁绢英岩阶段(Ⅰ)	黄铁矿-石英阶段(Ⅱ)	石英-黄铁矿阶段(Ⅲ)	多金属硫化物阶段(Ⅳ)	石英-碳酸盐阶段(Ⅴ)
钾长石	—						
石英	—	—	—	—	—	—	—
绿泥石	—	—					
磁铁矿					—		
绢云母		—	—	—			
黄铁矿			—	—	—	—	—
磁黄铁矿					—		
银金矿				-	—	-	
金银矿				-	-	—	
黄铜矿					-	—	
方铅矿						—	
闪锌矿						—	
银黝铜矿						—	
方解石				-	-		—
白云石							—
褐铁矿							
孔雀石							
矿化特征	无矿	无矿	弱矿化	贫矿	富矿	富矿	弱矿化

晶形以{100}为主，自形、半自形结构，呈稀疏浸染状产出，含量小于15%。矿物共生组合为：黄铁矿、石英等。

Ⅲ类黄铁矿产于石英黄铁矿阶段。淡黄色和铜黄色，晶形以{210}、{311}为主，他形、浑圆和碎裂结构，呈稠密浸染状产出，含量40%～75%。矿物共生组合为：石英、黄铁矿和磁黄铁矿等。

Ⅳ类黄铁矿产于多金属硫化物阶段。铜黄色，晶形以{210}、{100}为主，自形和碎裂结构，呈细脉状产出。含量20%左右。矿物共生组合为：石英、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和黝铜矿等。

Ⅴ类黄铁矿产于石英碳酸盐阶段。浅黄白色，自形结构，呈稀疏浸染状产出，含量5%左右。矿物共生组合为：石英、方解石、黄铁矿和白云石等。

2.1 成分标型

2.1.1 *主元素* 黄铁矿的电子探针分析数据中S和Fe的平均质量分数分别为：$w(S)=52.72\%$，$w(Fe)=46.55\%$（表2），分子式中 $n(S)/n(Fe)=1.97\sim2.10$，其中 $n(S)/n(Fe)<2$ 者占78.57%（表3），与理想黄铁矿的化学成分[$w(S)=53.4\%$，$w(Fe)=46.55\%$，$n(S)/n(Fe)=2$]相比，照岛山金矿黄铁矿中S的含量不足，以S亏损型黄铁矿占优势，与前苏联一些金矿[$n(S)/n(Fe)<2$ 占80%][10]以及玲珑金矿[$n(S)/n(Fe)<2$ 占81.25%][3]相似。

表2 照岛山金矿黄铁矿电子探针分析结果. $w(B)/\%$

Table 2 The analysis of EPMA of pyrites from Zhaodaoshan gold deposit (in percentage)

样号	As	Se	Fe	S	Zn	Mo	Cu	Au	Pb	Sb	Ag	Ni	Co	Te	总量
8-1	0.05	0.00	46.50	53.49	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	100.60
8-2	0.00	0.00	46.65	52.51	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.03	99.81
8-3	0.79	0.00	46.10	52.04	0.00	0.49	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	99.57
16-1	0.27	0.00	46.22	52.26	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	99.33
16-2	0.09	0.05	46.40	51.91	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.18	0.00	99.13
16-3	0.36	0.00	46.39	52.84	0.04	0.51	0.00	0.06	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	100.29
16-4	0.44	0.00	46.54	52.87	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.04	0.00	100.37
16-5	0.00	0.03	46.77	52.75	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	100.00
16-6	0.03	0.00	46.74	51.83	0.00	0.53	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	99.24
16-7	0.00	0.00	46.89	52.57	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	100.02
16-8	0.00	0.00	46.84	51.54	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	99.01
16-9	0.09	0.00	46.41	52.86	0.00	0.53	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.00	99.98
32-1	0.00	0.00	46.78	52.31	0.06	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	99.79
48-1	0.04	0.00	45.96	53.05	0.05	0.48	0.00	0.13	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	99.85
48-2	0.00	0.00	46.69	52.93	0.00	0.49	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	100.30
68-1	0.66	0.00	45.56	52.90	0.04	0.63	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.60	0.10	0.00	100.52
80-1	0.07	0.00	46.87	53.28	0.00	0.54	0.00	0.06	0.11	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	101.01
80-2	0.16	0.00	46.56	53.19	0.00	0.41	0.00	0.13	0.00	0.00	0.04	0.00	0.07	0.00	100.55
96-1	0.11	0.04	46.31	52.93	0.00	0.47	0.00	0.00	0.07	0.03	0.00	0.00	0.05	0.00	100.01
96-2	0.10	0.00	46.75	52.63	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.13	0.05	0.00	100.18
120-1	0.17	0.00	46.93	53.19	0.00	0.44	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.05	0.00	100.86
120-2	0.03	0.00	46.78	53.46	0.04	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	100.96
120-3	0.00	0.00	46.57	53.21	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	100.35
120-4	0.17	0.04	46.95	52.56	0.09	0.57	0.00	0.13	0.00	0.00	0.04	0.04	0.11	0.04	100.56
120-5	0.06	0.00	46.91	51.51	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	99.07
120-6	0.04	0.00	46.65	53.13	0.05	0.41	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	100.44
Tc16-1	0.00	0.00	46.66	53.15	0.00	0.42	0.00	0.16	0.00	0.00	0.04	0.04	0.11	0.00	100.59
Tc64-1	0.00	0.00	46.05	53.19	0.00	0.40	0.00	0.00	0.11	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	99.81

注：分析者：核工业地质研究院电子探针室葛祥坤，2009

表3 照岛山金矿黄铁矿晶体化学式

Table 3 The crystallographic chemical formula of pyrites from the Zhaodaoshan gold deposit

样号	化学式	样号	化学式
8-1	$(Fe_{0.993}Mo_{0.006})_{0.999}S_{1.999}$	48-2	$(Fe_{1.008}Mo_{0.006})_{1.014}S_{2.00}$
8-2	$(Fe_{1.015}Mo_{0.007}Co_{0.001})_{1.0233}S_{2.00}$	68-1	$(Fe_{0.979}Mo_{0.008}Ni_{0.012}Co_{0.002})_{1.001}(S_{1.989}As_{0.011})_{2.00}$
8-3	$(Fe_{1.006}Mo_{0.006})_{1.012}(S_{1.987}As_{0.013})_{2.00}$	80-1	$(Fe_{1.004\,8}Mo_{0.006\,8}Co_{0.001\,4})_{1.013}(S_{1.998\,9}As_{0.001\,1})_{2.00}$
16-1	$(Fe_{1.009}Mo_{0.006})_{1.015\,61}(S_{1.996}As_{0.004})_{2.00}$	80-2	$(Fe_{0.999}Mo_{0.005}Co_{0.001})_{1.006}(S_{1.997}As_{0.003})_{2.00}$
16-2	$(Fe_{1.02}Mo_{0.006}Co_{0.004})_{1.030\,18}(S_{1.998}As_{0.001})_{1.99}$	96-1	$(Fe_{0.999}Mo_{0.006}Co_{0.001})_{1.005\,5}(S_{1.997}As_{0.002})_{1.99}$
16-3	$(Fe_{1.00}Mo_{0.006})_{1.014}(S_{1.994}As_{0.003})_{1.997}$	96-2	$(Fe_{1.014}Mo_{0.006}Ni_{0.003}Co_{0.001})_{1.024\,4}(S_{1.998}As_{0.002})_{2.00}$
16-4	$(Fe_{1.002}Mo_{0.006})_{1.008}(S_{1.993}As_{0.007})_{2.00}$	120-1	$(Fe_{1.007}Mo_{0.006}Co_{0.001})_{1.013\,5}(S_{1.997}As_{0.003})_{2.00}$
16-5	$(Fe_{1.013}Mo_{0.005}Co_{0.001})_{1.019}S_{2.00}$	120-2	$(Fe_{1.00}Mo_{0.006})_{1.063}S_{2.00}$
16-6	$(Fe_{1.03}Mo_{0.007})_{1.037\,18}S_{2.00}$	120-3	$(Fe_{1.00}Mo_{0.006}Co_{0.001})_{1.006\,5}S_{2.00}$
16-7	$(Fe_{1.03}Mo_{0.007})_{1.037\,18}S_{2.00}$	120-4	$(Fe_{1.019}Mo_{0.007}Co_{0.002}Zn_{0.002})_{1.030}(S_{1.996}As_{0.003})_{1.99}$
16-8	$(Fe_{1.038}Mo_{0.007})_{1.045}S_{2.00}$	120-5	$(Fe_{1.04}Mo_{0.006})_{1.046\,75}S_{1.999}$
16-9	$(Fe_{1.003}Mo_{0.007})_{1.009}(S_{1.999}As_{0.001})_{2.00}$	120-6	$(Fe_{1.003}Mo_{0.005}Co_{0.001})_{1.009\,72}S_{1.999}$
32-1	$(Fe_{1.022}Mo_{0.007}Co_{0.001}Zn_{0.001})_{1.031}S_{2.00}$	Tc16-1	$(Fe_{1.003}Mo_{0.005}Co_{0.002})_{1.011}S_{2.00}$
48-1	$(Fe_{0.99}Mo_{0.006}Co_{0.001})_{0.997}S_{1.999}$	Tc64-1	$(Fe_{0.989}Mo_{0.005})_{0.995}S_{2.00}$

2.1.2 微量元素 微量元素测试数据显示黄铁矿中普遍含 As,检出率为 67.9%,19 个样品的平均 w(As)为 0.2%,最高达 0.79%,与乳山金矿(0.27%,2 个样品[4])和黑岚沟金矿(0.2%,9 个样品[11])的基本相当。富 As 是导致黄铁矿热电导型为 P 型的主要因素之一,胶东金矿中黄铁矿富 As 这是该矿可能形成大矿的有利找矿标志[3]。

表 4 照岛山金矿黄铁矿微量元素含量. w(B)/10^{-6}

Table 4 Average contents of trace elements in pyrites from the Zhaodaoshan gold deposit (in [$\times10^{-6}$])

组别	含量区间	微量元素含量均值(括号内为统计个数)
A	2 000～500	As 1 332(19),Co 561(28)
B	500～100	Mo 492(28), Au 307(9),Ni 304(6),Pb 196(7), Zn 132(7)
C	<100	Ag 61(6),Se 57(4),Sb 54(4), Te 36(3)

注:限于 EPMA 分析精度不足,100×10^{-6}以内数位的数值仅供参考

该区黄铁矿的微量元素成分复杂,按照各微量元素的均值(表 4)划分为2 000～500,500～100,<100 等 3 组,11 个元素的含量顺序为:As-Co-Mo-Au-Ni-Pb-Zn-Ag-Se-Sb-Te。与胶东其他金矿床黄铁矿微量元素(表 5)比较:照岛山金矿黄铁矿富含 As,Co,Ni,Mo,Sb,Pb,Zn,Au,Ag,Te 等微量元素,其中 w(Co)较胶东其他金矿黄铁矿高 3 倍～7 倍,w(Ni)高 4 倍,w(Sb)高 2 倍～4 倍,w(Se)高 14 倍,w(Au)高 3 倍～7 倍,w(As)较胶西北金矿高 2 倍,w(Te)较胶西北金矿高近 2 倍;w(Ag),w(Zn)略高于其他金矿,Pb 略低于其他金矿。As,Sb 质量分数较高,则往往表现为对形成金矿床有利,可能因为有的金在内生作用过程中呈 Au-As-S 络合物或 Au-Sb-S 络合物迁移[12]。

按照地壳元素计算各种元素在黄铁矿中的富集系数(表 6),划分为>100 000,>5 000,>1 000,>500,>100,>10,<10 等 7 组;11 个元素的富集系数顺序为:Au-Te-Ag-Mo-Se-As-Sb-Co-Pb-Ni-Zn。

根据以上 3 个因素确定本区金矿黄铁矿特征元素为:As,Co,Ni,Mo,Se,Au,Ag,Sb,Pb,Te 等 10 种,这与胶东金矿黄铁矿的特征元素基本相同。

不同阶段黄铁矿微量元素呈现规律变化,表现在:w(As)逐渐升高,黄铁绢英岩至黄铁矿石英阶段为 0.18%,石英黄铁矿至多金属硫化物阶段迅速上升到 0.26%;而 w(Co+Ni)的变化正好相反。Новгородва等[10]认为高温有利于 Co,Ni 替代黄铁矿中的铁,高温时黄铁矿中的 As 等不稳定,低温时有利于 As 等进入黄铁矿晶格替代 S。因此,利用黄铁矿的类质同象关系可以判断其形成温度。不同阶段黄铁矿微量元素的变化(表 7)表明:黄铁矿的形成温度从早期成矿阶段到主成矿阶段逐渐降低。另外,Cu+Pb+Zn 含量从早阶段到主成矿阶段略微降低,总体变化不大。Au 从早期成矿阶段到主成矿阶段逐渐升高,表明金沉淀主要发生在石英黄铁矿和多金属硫化物阶段。

表 5 胶东金矿黄铁矿微量元素. w(B)/10^{-6}

Table 5 Average contents of trace element in pyrites from gold deposit in the eastern Shandong Province (in [$\times10^{-6}$])

矿区	Co	Ni	As	Sb	Bi	Te	Se	Cr	Mo	Ga	Au	Ag	Hg	Pb	Zn
金牛山(3)[13]	127	109	220(2)	4.42	66.73	3.04	4.92	2.69	15.17		3.53	15.9		102	205
傅家(3)[13]	74	143	123	10.24	106	1.55	6.95	2.41	42.33		152	60		127	59
乳山(11)[4]	131.3	85.9	2 658	17.67	123.8	111.63	4.9	43.8	5.1	8.4	97.5	155.5	0.16	127.8	71.5
邓格庄(4)[14]	98.48(2)	35.02(2)	2 750			114(1)		43		103(3)	245(2)	43(2)		424	163
邓格庄(7)[15]	8.26	6.43	3 742	27.86	17.43	9.11	1.86	6(1)			17.43	27		725	108
红石头小矿点(5)[15]	31.4	43.4	379.6	2.3	3	7.5	5.6				1.17	6.72		58.8	21.8
邓格庄(15)[16]	73.1	79.6	1 163(7)								7.71	26.89			157(7)
总平均值(48)	77	70	1 824	15	70	49	4.5	30	17	40	44	46	0.16	277	98
胶西北(15～36)[3]	161	79	585	22	22	22	4.43	20	0.99	1.7	101	59	2.7		
照岛山(28)	561	304	1 332	54		36	57		492		307	61		196	132

注:所列微量元素含量均为平均含量,括号内数字为统计个数,未标注者为矿区所取样品个数

表 6 照岛山金矿黄铁矿微量元素富集倍数

Table 6 Concentration coefficient of trace elements in pyrites from the Zhaodaoshan gold deposit

组别	富集系数*	元素及其富集系数
a	>100 000	Au 341 111
b	>5 000	Te7 200*
c	>1 000	Ag 1 109
d	>500	Mo 984, Se 814, As 555
e	>100	Sb 300
f	≥10	Co 30, Pb 13, Ni 10
g	<10	Zn 2

注:* 按 Wedepohl[17]大陆地壳克拉克值计算,其余按鄢明才等[18]计算,中国东部大陆地壳克拉克值计算[19]

表 7 照岛山金矿不同成矿阶段黄铁矿的微量元素含量. w(B)/10^{-6}

Table 7 Average contents of trace element in pyrites of different mineralizing stages from the Zhaodaoshan gold deposit (in [$\times10^{-6}$])

成矿阶段	样品数/个	As	Ni	Co	Sb	Au	Ag	Cu+Pb+Zn
黄铁绢英岩(Ⅰ)	8	1 838	750	590	370	600	200	1 200
黄铁矿石英(Ⅱ)	12	1 771	2 267	660	400	1 071	400	1 500
石英黄铁矿+多金属硫化物(Ⅲ～Ⅳ)	7	2 550	200	400		500		950

注:限于 EPMA 分析精度不足,100×10^{-6}以内数位的数值仅供参考

2.2 热电性标型

2.2.1 测试原理及应用 半导体矿物的热电性通常包括:导电类型(电子导型,电子型,N 型;空穴导电,空穴型,P 型)和热电系数[即热电势率,α/±(μV·℃$^{-1}$),极性符号+或−分别表示

P型或N型]。热电系数是指处在温差条件下的半导体矿物,由于温差形成的非平衡载流子由高温区向低温区扩散,扩散的结果在半导体内形成了电场,对外表现为温差热电势(E)。温差一定时,E达到一平衡值。热电系数即为单位温差下的热电动势[3],计算公式为:

$$\alpha = E/(T_H - T_L) = E/\Delta T$$

式中:α. 热电系数/(μV·℃);E. 热电动势/mV;ΔT. 温差/℃。

2.2.2 测试结果 利用BHTE-06型热电系数测量仪(北京航空航天大学研制),对照岛山金矿区+143 m~-388 m范围内2个地表探槽、20个钻孔不同阶段的22件样品,共计1 093粒纯净黄铁矿单晶,用超声波在纯酒精溶液中清洗表面氧化膜和杂质后,根据大量的测试条件,设定$\triangle T$=60 ℃±1 ℃,测试结果(表8)表明:

照岛山金矿单粒黄铁矿热电系数α变化范围为-340.2 μV/℃~346.6 μV/℃。其中N型黄铁矿α变化于-1.7 μV/℃~-340.2 μV/℃之间,集中区为-1 μV/℃~-150 μV/℃;P型黄铁矿α变化于+1.7 μV/℃~+346.6 μV/℃之间,集中区为100 μV/℃~350μV/℃(图3);P型黄铁矿出现率为61.02%。单颗粒黄铁矿α均值变化范围为-185.8 μV/℃~+267.53 μV/℃。其中N型为-185.8 μV/℃~-32.58 μV/℃,P型为+75.1 μV/℃~+267.53 μV/℃。

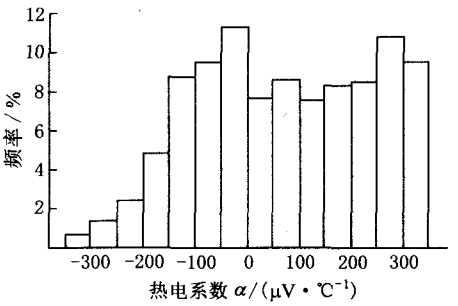


图3 照岛山金矿黄铁矿热电系数直方图

Fig. 3 Histogram showing the thermoelectric coefficient of pyrite from the Zhaodaoshan gold deposit

与胶东几个典型金矿黄铁矿α值比较(表9、图4),照岛山金矿区α值离散性较大,与玲珑东山和夏甸金矿比较接近。P型黄铁矿出现率低于三山岛、罗峰、玲珑东山、金青顶和玲珑西山等大型金矿,但明显高于栖霞、夏甸等中型金矿。

照岛山金矿区不同阶段黄铁矿热电系数及其常见值变化比较稳定(表10,图5),但Ⅰ阶段和Ⅲ阶段黄铁矿α离散性相对较大。导型组合变化规律为:热液蚀变期Ⅰ阶段:P>N,热液矿化期Ⅱ→Ⅴ阶段的变化是:P<N→P≫N→P≫N,其中主成矿阶段(Ⅲ+Ⅳ):P≫N。

2.2.3 热电导型与微量元素的关系 陈光远等[3]研究黄铁矿热电性与其所含微量元素的关系认为:影响黄铁矿热电性的最主要因素是类质同象的种类、浓度和结构缺陷的类型、密度。当黄铁矿的成分和结构近于理想晶体时,其导型不明显,热电势值很小,实际的黄铁矿往往含各种杂质并存在结构缺陷,As,Sb,Se,Te等代替S,使黄铁矿含过剩的阴电荷而去捕获空穴形成空穴型导型(P型);Co,Ni等替代S的空位形成电子型导型(N型)。

由表11可以得出:黄铁矿中As,Sb,Se,Te的总含量ΣAs直接影响P型均值$\bar{\alpha}_p$以及P型出现率P%的大小,含矿热液中ΣAs高,与S发生类质同像进入黄铁矿晶格As等微量元素也就多,使$\bar{\alpha}_p$,P%都升高。对黄铁矿中ΣAs与$\bar{\alpha}_p$,P%关系进行投点统计,散点图结果表明:ΣAs与$\bar{\alpha}_p$和P%均近似正相关。与之对应,Σ(Co+Ni)与$\bar{\alpha}_N$呈近似正相

表8 照岛山金矿区黄铁矿的热电性特征

Table 8 Thermoelectric properties of pyrite from various levels in the Zhaodaoshan gold deposit

样品编号	N型热电系数 α/(μV·℃⁻¹)				P型热电系数 α/(μV·℃⁻¹)			
	最大值	最小值	平均值	出现频率/%	最大值	最小值	平均值	出现频率/%
8-1	-6.8	-131.4	-70	57	190.6	3.3	75.53	43
8-2	-25.3	-151.8	-105.65	12	330	29.7	247.17	88
16-1	-	-	-	0	306.2	80.1	225	100
16-3	-	-	-	0	331.1	37.9	267.53	100
16-5	-15.2	-179.1	-92.98	70	332.2	6.7	99.4	30
16-6	-6.6	-266.1	-118.57	42	339.6	5.1	192	58
16-8	-15	-70.7	-42.8	4	336.8	49.5	262.46	96
16-9	-9.9	-293.1	-109.46	50	335.6	1.7	166.81	50
16-10	-24	-44.1	-32.58	8	331.6	63.4	235.75	92
32-1	-5.1	-173.6	-89	88	201	13.4	100.55	12
32-2	-15.1	-261.5	-108.73	56	271	29.7	113.15	44
32-3	-3.4	-134	-57.17	32	328.9	6.7	151	68
48-2	-1.7	-158.7	-50.64	32	184	1.7	75.1	68
68-1	-25.5	-340.2	-185.8	84	188.4	25.2	102.09	16
80-1	-18.7	-318.4	-120	62	334.5	17	147.65	38
96-1	-15.2	-310.8	-163.7	62	273.8	5	98.84	38
120-1	-15	-231.5	-86	34	328.2	10	162.33	66
120-4	-11.9	-215.9	-64.9	24	333.9	17.1	197.7	76
120-7	-21.6	-200	-88.1	58	306.3	6.7	121.61	42
120-6	-12.1	-216.3	-78.54	32	344.3	10.1	155.8	68
Tc16-1	-8.7	-307.7	-105.57	38	331.6	13.6	167.93	62
Tc64-1	-8.5	-185.2	-90.35	16	346.6	3.4	210.7	84

表 9 胶东金矿黄铁矿热电系数

Table 9 Thermoelectric coefficient (α) of pyrite from the gold deposit in eastern Shandong Province

矿区	成因类型	矿床规模	N 型		P 型		P 型/%
			α 值范围/(μV·℃$^{-1}$)	α 常见值/(μV·℃$^{-1}$)	α 值范围/(μV·℃$^{-1}$)	α 常见值/(μV·℃$^{-1}$)	
照岛山	石英脉	未知	−2～−340	−1～−200	+2～+347	+100～+350	61
金青顶[4]	石英脉	单脉大型	−25～−598	−50～−300	+32～+534	+100～+350	81.3
流口[20]	石英脉	小型	−45～−297	−50～−150	+12～+502	+50～+250	18.8
栖霞[20]	石英脉	中型	−11.3～−296.2	−20～−120	+26～+441.1	+80～+200	32.4
夏甸[20]	蚀变岩	中型	−35.1～−283.6	−100～−150	+24.5～+567.4	+50～+100	35
玲珑西山[20]	石英脉	大型	−195.1～−400	−199～−245	+275.5～+350	+275～+343	78.2
玲珑东山[20]	石英脉	大型	−12～−433	−50～−100	+11～+565	+50～+300	87.1
罗峰[20]	蚀变岩	大型	−20～−458	−46～−93	+19～+545	+327～+382	97.1
三山岛[20]	蚀变岩	大型	0	0	+39.4～+406.4	+150～+300	100

表 10 照岛山金矿区不同阶段黄铁矿热电系数/(μV·℃$^{-1}$)

Table 10 The thermoelectric coefficient of pyrite in different stages in the Zhaodaoshan gold deposit

成矿阶段	黄铁绢英岩(Ⅰ)	黄铁矿石英(Ⅱ)	石英黄铁矿+多金属硫化物(Ⅲ～Ⅳ)	石英碳酸盐(Ⅴ)
黄铁矿粒数	300	493	250	50
α_N 范围	−311～−10	−340～−2	−266～−3	−44～−24
α_N 常见值	−200～0	−150～0	−150～0	−50～0
N/%	33.4	52.5	24.8	8
α_P 范围	+2～+344	+2～+271	+5～+340	+63～+332
α_P 常见值	+200～+300	0～+200	+150～+350	+200～+350
P/%	66.6	47.5	75.2	92

关(图 6A～C)。

As,Sb,Se,Te 是形成黄铁矿型金矿床的有利组分,黄铁矿中 ΣAs 和 Σ(Co+Ni)的含量与黄铁矿的导型类型密切相关。在胶东地区,当黄铁矿中 Σ(As)≫Σ(Co+Ni)时,黄铁矿导型 P 型占优势;当 Σ(As)≈Σ(Co+Ni) 时,常为 P+ N 型;当 Σ(As)≪Σ(Co+Ni) 时,以 N 型占优势[20]。由表 7 可以得出:随着 Σ(As)和 Σ(Co+Ni)的变化,黄铁矿热电性导型出现 P>N→P<N→P≫N 的变化规律。对黄铁矿中微量元素 ΣAs /Σ(Co+Ni)与 P%关系进行投点统计,散点图结果表明:ΣAs /Σ(Co+Ni)与 P%近似正相关(图 6D)。

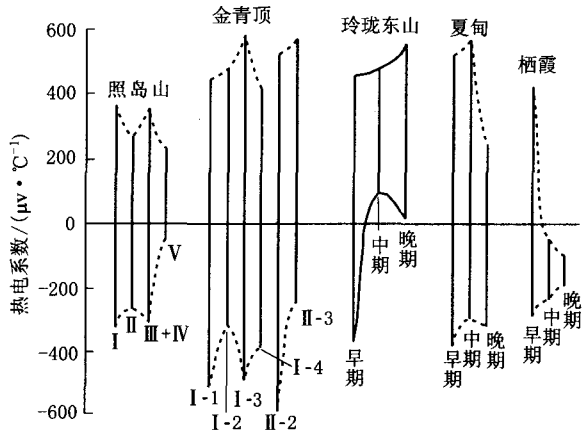


图 4 胶东金矿黄铁矿热电系数离散性比较(金青顶据李胜荣等,1996[4];玲珑东山、夏甸、栖霞据邵伟等,1990[20])

Fig. 4 Dispersion of thermoelectric coefficient of pyrite in eastern Shandong Province

3 分析结果及讨论

3.1 成矿温度计算

黄铁矿的热电系数与其形成温度有一定的关

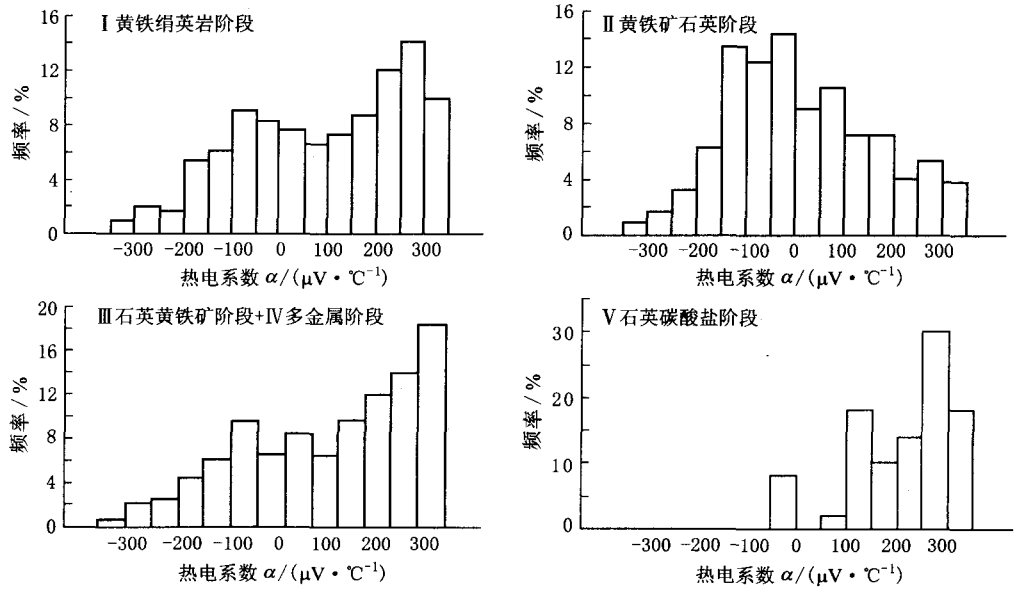


图 5 照岛山金矿区不同阶段黄铁矿热电系数直方图

Fig. 5 Histogram of thermoelectric coefficient of pyrite in different stages in the Zhaodaoshan gold deposit

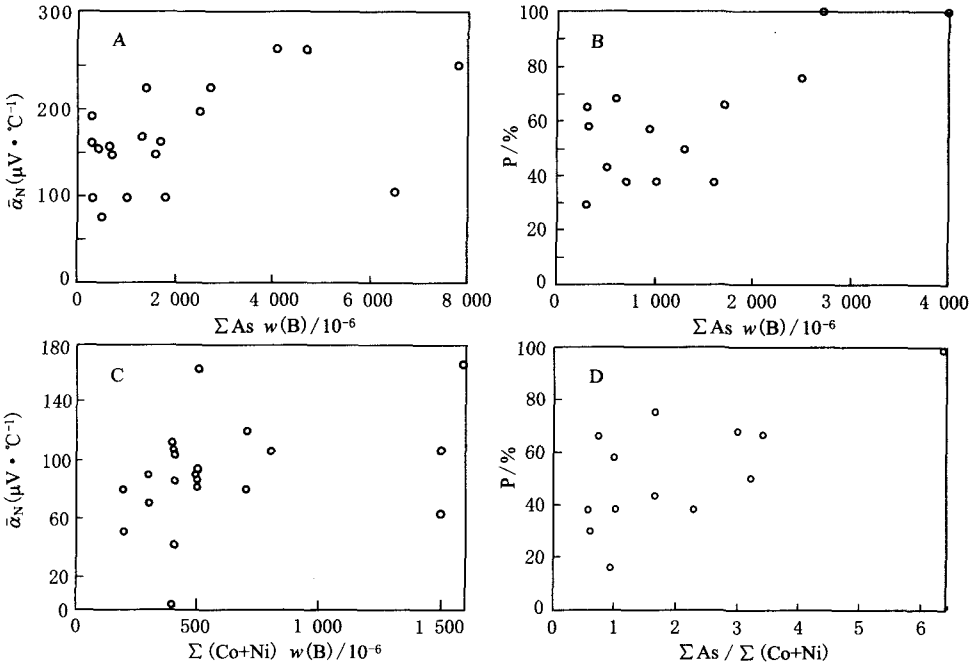


图 6 照岛山金矿黄铁矿微量元素含量与热电系数关系图

Fig. 6 Correlation between trace element compositions of pyrites and thermoelectric coefficient (α) of pyrite in the Zhaodaoshan gold deposit

表 11 照岛山金矿黄铁矿微量元素. $w(B)/10^{-6}$ 与热电性关系

Table 11 Relationship between trace element compositions of pyrites and thermoelectric coefficient (α) of pyrite in the Zhaodaoshan gold deposit(in $[\times 10^{-6}]$)

样品	As	Se	Sb	Te	Co	Ni	ΣAs	Σ(Co+Ni)	Σ(Cu+Pb+Zn)	ΣAs/Σ(Co+Ni)	a_p /(μV·℃⁻¹)	a_N /(μV·℃⁻¹)	P /%
8-1	500	0	0	0	300	0	500	300	0	1.67	76	70	43
8-2	0	0	0	300	600	200	300	800	0	0.38	247	106	88
8-3	7 900	0	0	0	400	0	7 900	400	0	19.75	247	106	88
16-1	2 700	0	0	0	400	0	2 700	400	0	6.75	225	0	100
16-2	900	500	0	0	1 800	200	1 400	2 000	0	0.7	225	0	100
16-3	3 600	0	500	0	200	0	4 100	200	400	20.5	268	0	100
16-4	4 400	0	300	0	400	0	4 700	400	0	11.75	268	0	100
16-5	0	300	0	0	500	0	300	500	0	0.6	99	93	30
16-6	300	0	0	0	300	0	300	300	500	1	192	119	58
16-7	0	0	0	0	200	0	0	200	0	0	192	119	58
16-8	0	0	0	300	400	0	300	400	0	0.75	262	43	96
16-9	900	0	400	0	400	0	1300	400	0	3.25	167	109	50
32-1	0	0	0	0	500	0	0	500	600	—	106	89	12
48-1	0	0	0	0	200	0	0	200	0	—	75	51	68
68-1	6 600	0	0	0	1 000	6 000	6 600	7 000	400	0.94	102	182	16
80-1	700	0	0	0	700	0	700	700	1 100	1	148	120	38
80-2	1 600	0	0	0	700	0	1 600	700	0	2.29	148	120	38
96-1	1 100	400	300	0	500	0	1 800	500	700	1	99	164	38
96-2	1 000	0	0	0	500	1 300	1 000	1 800	0	0.56	99	164	38
120-1	1 700	0	0	0	500	0	1 700	500	0	3.4	162	86	66
120-2	300	0	0	0	400	0	300	400	400	0.75	162	86	66
120-4	1 700	400	0	400	1 100	400	2 500	1 500	900	1.67	198	65	76
120-5	600	0	0	0	200	0	600	200	0	3.00	156	79	68
120-6	400	0	0	0	700	0	400	700	1 300	0.57	156	79	68
Tc16-1	*0*	*0*	*0*	*0*	*1 100*	*400*	*0*	*1 500*	*0*	*0*	*211*	*106*	*62*
Tc64-1	0	0	0	0	300	0	0	300	1 100	0	211	90	84

注:ΣAs 为 $w(As+Sb+Se+Te)$,Σ(Co+Ni)为 $w(Co+Ni)$

系,Γ. A 戈尔巴乔夫利用大量数据做出了黄铁矿的热电性-温度图[21](图 7)。从该图获得线性方程:

$t=(704.51-\alpha)/1.818$ (N 型)

$t=3(122.22+\alpha)/5.0$ (P 型)

利用该方程计算得出照岛山金矿黄铁矿的形成温度范围为 103 ℃～382 ℃,主要集中在 150 ℃～340 ℃之间,表明该矿床为中低温矿床。

3.2 不同标高热电性变化规律

胶东地区多数金矿床黄铁矿热电性垂向分带的规律是:矿体浅部黄铁矿以 P 型为主或为单一的 P 型,向深部则 N 型黄铁矿增多或成为单一的 N 型。若矿体的剥蚀较浅,则近地表的黄铁矿以P型为

主,反之以 N 型为主[4,20]。

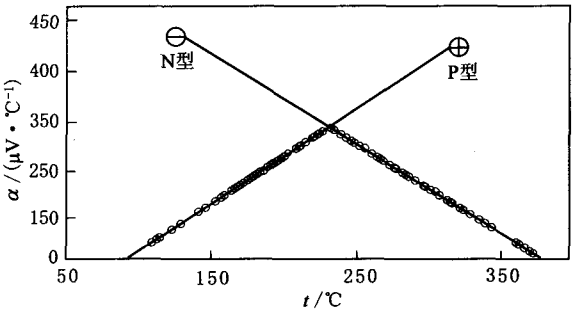


图 7　黄铁矿热电系数-温度图(底图据 Г. А 戈尔巴乔夫,1964)

Fig. 7　Relationship between thermoelectricity and temperatures

测试并计算照岛山金矿 16 勘探线的黄铁矿热电性在不同标高上的变化规律(表 12,图 8)表明:400 m 垂深范围内 P 型黄铁矿出现率较高,由地表至 0 m 标高黄铁矿主要以 P 型为主或为单一 P 型;0 m至−112 m标高 N 型黄铁矿逐渐增多,以 N+P 为主;−112 m 至−276 m 标高 P 型黄铁矿逐渐增加,以 P 型为主;且 P 型出现率高值有向深部继续延伸的趋势。表明照岛山金矿总体剥蚀较浅,目前揭露的仅为浅部矿体,深部矿体远远没有被揭露。

3.3　热电性填图

利用照岛山金矿区黄铁矿单晶热电性数据,沿矿体走向基线 AB 方向(图 2)切纵剖面,填制了照岛山金矿区Ⅰ号矿体黄铁矿 P% 和 $\bar{\alpha}_p$ 垂直纵投影图(图 9),对照该方向上金品位等值线剖面图(图 10),可以看出具有以下规律性:

(1)沿矿体走向黄铁矿 P 型出现率出现三个高值区,呈近等间距分布于 8 线～16 线 0 m～−300 m;56 线～72 线+50 m～+100 m;120 线−200 m 以下,与金品位等值线图的高值区基本吻合;高值区分布形态反映了主矿体的侧伏方向,8 线～16 线向 SW 侧伏,120 线附近向 NE 侧伏;56 线～72 线高值区由上到下变小,另外两个高值区−200 m 以下又出现 P 型出现率高值区,推测还可能存在成矿远景。

表 12　照岛山金矿 16 勘探线不同标高黄铁矿热电系数特征

Table 12　The thermoelectric coefficient of pyrite in different levels at line 16 from Zhaodaoshan gold deposit

样号	标高/m	粒数	α 常见值	$\bar{\alpha}_p$	P/%
16-1	143	50	−196～269	168	62
16-2	19	50	142～306	225	100
16-3	18	50	215～331	268	100
16-5	−110	50	−179～190	99.4	30
16-5	−112	50	−205～303	192	58
16-10	−253	50	−44～332	236	92
16-8	−276	50	142～337	262	96

(2)$\bar{\alpha}_p$ 垂直纵投影图与 P%垂直纵投影图基本相似,即 220 μV/℃～250 μV/℃的高值区出现于 8 线～16 线 0 m～−300 m,56 线～72 线+50 m～+100 m,120 线−200 m 以下,与金品位等值线图的高值区吻合较好。

4　结　论

4.1　照岛山金矿黄铁矿化学成分具有亏 S 富 As 的特点,黄铁矿的特征元素为:As,Co,Ni,Mo,Se,Au,Ag,Sb,Pb,Te 等 10 种,与胶东其他金矿基本相同。

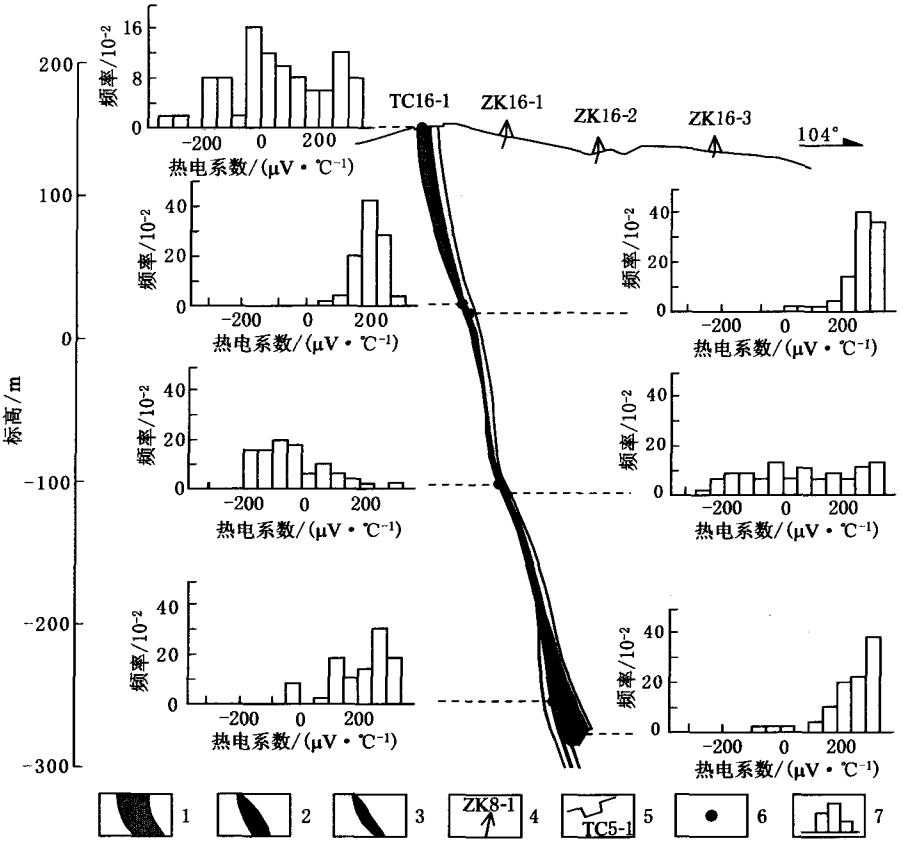


图 8　照岛山金矿不同标高黄铁矿热电系数分布图

1. 矿化蚀变带;2. 黄铁矿化石英脉;3. 矿体;4. 钻孔及编号;5. 探槽及编号;6. 取样点位置;7. 不同标高的 α 直方图.

Fig. 8　Diagrammatic profile of vertical zoning of thermoelectric coefficients of pyrite in the Zhaodaoshan gold deposit

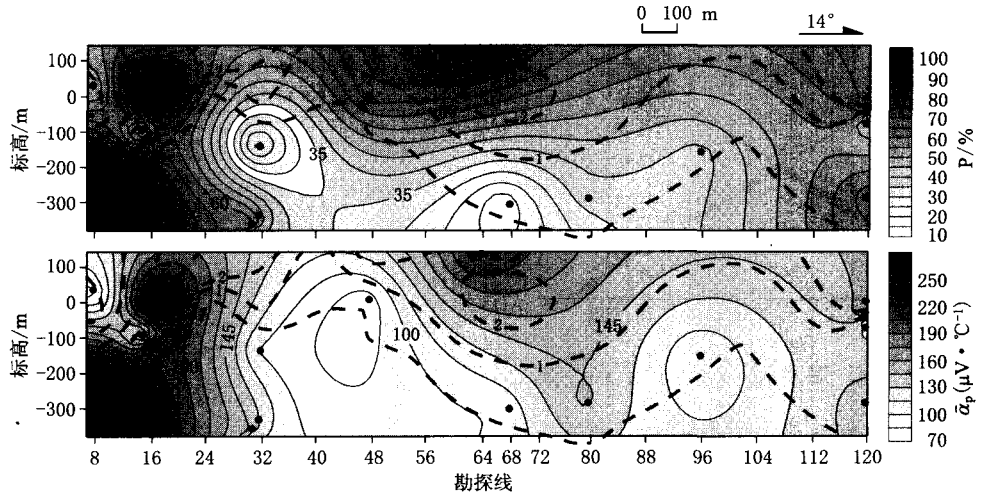


图 9 照岛山金矿黄铁矿 P/%，$\bar{\alpha}_p$ 垂直纵投影图

注：●为采样点位置，虚线为金品位分布等值线图

Fig. 9 Vertical longitudinal isopleth of P-type pyrite in the Zhaodaoshan gold deposit

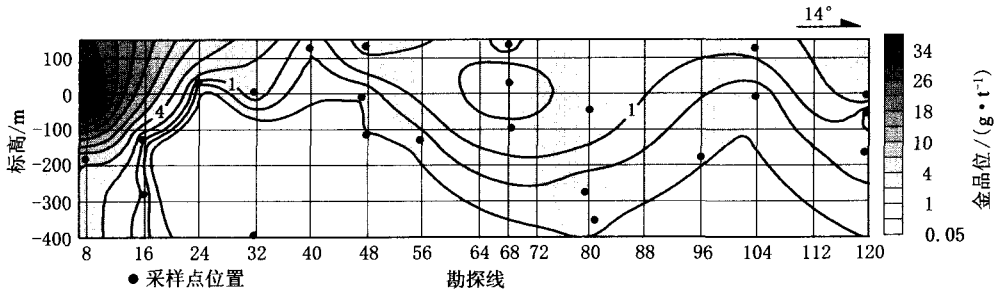


图 10 照岛山金矿区Ⅰ号矿体金品位等值线垂直纵投影图

Fig. 10 Vertical longitudinal isopleth of of gold grade from I ore body in the Zhaodaoshan gold deposit

4.2 黄铁矿微量元素 ΣAs 与 $\bar{\alpha}_p$ 和 P%均呈正相关关系，Σ(Co+Ni)与 N 呈正相关关系，ΣAs/Σ(Co+Ni)与 P%呈正相关关系；不同阶段黄铁矿微量元素 As，Co，Ni 含量呈规律性变化，与黄铁矿热电性导型变化密切对应。

4.3 黄铁矿 $\bar{\alpha}_p$ 较大，P%较高，离散性较大；导型组合变化规律为：热液蚀变期Ⅰ阶段 P＞N，热液矿化期Ⅱ→Ⅴ阶段的变化是：P＜N→P≫N→P≫N，主成矿阶段(Ⅲ＋Ⅳ)：P≫N。

4.4 照岛山金矿黄铁矿的形成温度范围为 103 ℃～382 ℃，主要集中在 150 ℃～340 ℃之间，表明该矿床为中低温矿床。

4.5 16 勘探线不同标高黄铁矿热电系数特征表明：照岛山金矿的剥蚀较浅其，8 线～16 线与 120 线附近标高－200 m 以下出现高值区，推测可能出现富矿段。

参考文献

[1] 博伊尔. **金的地球化学及金矿床**[M]. 马万钧译. 北京：地质出版社，1984.

[2] 杨赞中，石学法，于洪军，等. **矿物热电性标型及其在大洋地质找矿中的应用**[J]. **矿物岩石**，2007，1(27)：11-17.

[3] 陈光远，孙岱生，邵 伟，等. **胶东金矿成因矿物学与找矿**[M]. 重庆：重庆科技出版社，1989.

[4] 李胜荣，陈光远，邵 伟，等. **胶东乳山金矿田成因矿物学**[M]. 北京：地质出版社，1996.

[5] 赵懿英，胡受奚，徐 兵，等. 山东胶北地体的前寒武纪地层问题[J]. **中国区域地质**，1995，(3)：272-279.

[6] 李士先，刘长春，安郁宏，等. **胶东金矿地质**[M]. 北京：地质出版社，2007.

[7] 张德全，徐洪林，孙桂英. 山东邓格庄金矿与昆嵛山花岗岩的定位时代及其地质意义[J]. **地质评论**，1995，41 (5)：415-425.

[8] 郭敬辉，陈福坤，张晓曼，等. 苏鲁超高压带北部中生代岩浆侵入活动与同碰撞-碰撞后构造过程：锆石 U-Pb 年代学[J]. **岩石学报**，2005，21 (4)：1 281-1 301.

[9] 陈光远，孙岱生，邵 岳. 胶东昆嵛山二长花岗岩副矿物成因矿物学研究[J]. **现代地质**，1996，10 (2)：175-186.

[10] Новгородва М И，Гамлдин Г Н，Щедин А И. **Тидоморфиэм золотовосинх сулвфидов д их мидералвних ассодаций**[M]. Б нв. Обпие волрое тидоморфизм минералон，Изд. Наука Москва，1980.

[11] 初凤友. 蓬莱东南部郭家岭岩体中黑岚沟金矿成因矿物学与找矿矿物学研究及成矿远景评价[D]. 北京：中国地质大学，1992.

[12] Boyle R W. **The geochemistry of gold and its deposits**[M]. Canada Geol，Survey Bull，1979，280.

[13] 潘玉成. 山东金牛山金矿黄铁矿热电性研究[J]. **黄金地质科技**，1994，4：65-69.

[14] 应汉龙. 胶东邓格庄金矿床矿物化学研究[J]. **贵金属地质**,1995,4 (4) :247-254.
[15] 张起诚,沈 昆,赵志高. 山东牟平邓格庄金矿床金及相关矿物的研究[J]. **山东地质**,1994,10 (1) :12-23.
[16] 张德全,徐洪林,孙桂英. 山东牟平邓格庄金矿的地球化学特征及成因[J]. **矿床地质**,1997,16 (3) :204-213.
[17] Wedepohl K H. The composition of the continental crust[J]. **Geochemica Cosmochimica. Acta**,1995,59 (7):121-1217.
[18] 鄢明才,迟清华. **中国东部地壳与岩石的化学组成**[M]. 北京:科学出版社,1997.
[19] Yan Mingcai, Chi qinghua. **The chemical compositions of the continental crust and rocks in the Eastern part of China**[M]. Beijing: Science Press, 2005.
[20] 邵 伟,陈光远,孙岱生. 黄铁矿热电性研究方法及其在胶东金矿的应用[J]. **现代地质**,1990,4 (1) :46-57.
[21] Hollister V F. Discoveries of Epithermal Precious Metal Deposits[J]. **Case histories of mineral discoveries, New Jersey**,1985,1:169.

RESEARCH ON THE TYPOMORPHISMS OF COMPOSITIONS AND THERMOELECTRIC CHARACTERISTICS OF PYRITE FROM ZHAODAOSHAN GOLD GEPOSIT IN THE EASTERN SHANDONG PROVINCE

ZHANG Yun-qiang, LI Sheng-rong, CHEN Hai-yan, XUE Jian-ling, SUN Wen-yan, ZHANG Xu

State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, *China*

Abstract: Pyrite is one of the most important gold bearing minerals in eastern Shandong gold province. The compositions, crystal form, thermoelectric characteristics and cell parameters and so on were studied to unravel the mechanism of hydrothermal gold deposits. It was showed that the composition of pyrite is characterized by poor in S, rich in As. The typical trace elements same as other places in the eastern Shandong province are comprised by As, Co, Ni, Mo, Se, Au, Ag, Sb, Pb and Te. Average contents of trace elements in pyrites of different mineralizing stages indicated that the crystallizing temperature gradually became low from the early stage to the main metallogenic stages, and the precipitation and concentration of Au occurred during quartz-pyrite stage and polymetal minerals stage. The electric conduct assemblage for the pyrite is characterized by P>N →P<N→P≫N→P≫N, from stage Ⅰ to Ⅴ. Gold minerals are closely related to As in the pyrite and the P/(P+N) value and the electric conduct assemblage are closely correlated to the composition of As and (Co+Ni). Based on the crystallizing temperature of pyrite, the changes of thermoelectrical coefficient with depth, the distribution of pyrite type and the mean of thermoelectric coefficient, it is considered that the genesis of Zhaodaoshan gold deposit belongs to the hydrothermal gold ore deposit of middle-low temperature. The denudation rate is lower and the deep part of ore body has not been exhumed until now. The higher region of the value of $\bar{\alpha}_p$ and P% often indicates the rich ore segment. By means of pyrite-thermoelectricity mapping, it shows that there are two high-value areas of $\bar{\alpha}_p$ and P% below 200 m level from line 8 to line 16 and near the line 120. It is suggest that good exploring prospect of the two favorable positions of gold mineralization are proposed on the basis of above study.

Key words: pyrite; composition; trace elements; thermoelectric properties; typomorphism; Zhaodaoshan; east Shandong Province

ISSN 1001-6872(2010)03-0023-11; CODEN:KUYAE2

Synopsis of the first author: Zhang Yunqiang, 27 years old, a Ms of mineralogy, petrology and ore deposit. Now he is engaged in the research of genetic mineralogy and prospecting mineralogy.