山西耿庄金矿重晶石巨晶中多相态包裹体研究

黄 菲[1,2], 金成洙[1], 姚玉增[1,2], 赵玉山[1], 温守钦[1]
(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 南京大学 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 江苏 南京 210008)

摘要: 在山西耿庄金矿区发现的重晶石巨晶, 包含有富镍黄铁矿、FeS_2 - Fe(Ni, Co) S_2 系列晶须和气液包裹体。用扫描电镜、电子探针等分析研究了重晶石和固体包裹体矿物的形貌、成分和物理性质。用激光拉曼光谱仪研究了气液包裹体成分、均一温度。结果表明: 重晶石成分单一, 结构发育完好; FeS_2 - Fe(Ni, Co) S_2 系列晶须成分随着晶须加粗有明显变化; 富镍黄铁矿成分较为稳定。固体包裹体矿物的结晶程度高, 晶体形态标准。热液为低盐度流体, 其成分主要为 H_2O, 含少量 CO_2, 其总体密度为 0.79～0.95 g/cm^3。包裹体均一温度变化范围大, 为 134.7～269.5 ℃。根据本次研究成果, 结合地质背景, 运用晶体生长和地球化学理论, 讨论了耿庄金矿重晶石形成时期的热液活动特点及方式、相关元素的地球化学行为、重晶石和固体包裹体矿物的形成条件等。认为该期热液活动中沸腾作用和混合作用表现强烈; 并且热液活动过程具有明显的阶段性和原位叠加特点。

关键词: 耿庄金矿; 重晶石; 富镍黄铁矿; 晶须; 包裹体
中图分类号: P618.51; P619.251 **文献标识码**: A **文章编号**: 1671-5888(2005)03-0313-07

Study on Multi-phase Inclusions of Giant Barite Crystals in Gengzhuang Gold Deposit, Shanxi Province

HUANG Fei[1,2], JIN Cheng-zhu[1], YAO Yu-zeng[1,2], ZHAO Yu-Shan[1], WEN Shou-qin[1]
(1. *School of Resources and Civil Engineering, Northeast University, Shenyang 110004, China*; 2. *State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing 210093, China*)

Abstract: Ni-rich pyrites, FeS_2 - Fe(Ni, Co) S_2 whisker series and V-L inclusions occur in giant barite crystals discovered in Gengzhuang gold deposit, Shanxi Province. The morphology, component and physical characteristics of barite and solid inclusion are studied by means of SEM and microprobe etc. The component, homogenous temperature of V-L inclusions are researched through Laser Roman. The results indicate that the barites are pure and their structures are excellent. The component of FeS_2 - Fe(Ni, Co) S_2 whisker series changes with the thickening of the whiskers. The component of Ni-rich pyrite is stable. The crystalline of solid inclusions is good with standard crystal shape. The hydrothermal liquid is of low sanity, and the component mainly is H_2O with little CO_2, and the general density is 0.79～0.95 g/cm^3. The homogenous temperature varies greatly, i.e., 134.7～269.5 ℃. Combined the results above with the geological setting, the hydrothermal activity, the geochemical behaviors of the related elements, the forming conditions of barite and solid inclusions are discussed using the theories of crystal growth and geochemistry. Boiling and blending of the hydrothermal fluids are of great importance and multiple stages and in-situ overlapping are believed to be a major features of the hydrothermal activities in the Gengzhuang gold deposit.

收稿日期: 2004-09-20
基金项目: 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室基金资助
作者简介: 黄菲(1959-), 女, 江苏扬州人, 副教授, 博士研究生, 主要从事基础地质及矿物学研究, E-mail: sy-hf@263.net。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Key words: Gengzhuang gold deposit; barite; Ni-rich pyrite; whisker; inclusion

0 引 言

矿物及其中包裹体蕴涵着丰富的地质信息,特别是矿物中流体包裹体作为成岩成矿溶液的样品,含有关于成岩成矿流体的性质、成因、演化及温度压力条件等重要内容,对于探讨矿床成因、成矿理论及指导找矿等都有重要意义。重晶石是典型热液作用的产物,近年来的研究已经表明,重晶石是确定热液稀释、混合作用的标志[1]。在耿庄金矿矿体赋存的角砾岩体晶洞内发现的重晶石不仅晶体巨大,而且其中含有多种形态的 FeS_2—Fe(Ni,Co)S_2 系列晶须[2]、富镍黄铁矿和大量流体包裹体,这与以往发现的重晶石有明显差异。这些现象成为进一步揭示该区热液演化过程,认识成矿环境,研究矿物生长规律等内容的重要依据。本文运用扫描电镜、电子探针、激光拉曼光谱仪等手段,研究了重晶石巨晶中所含多相态包裹体,结合地质背景,讨论其形成条件和成矿热液的作用特点及方式。

1 地质背景

山西耿庄金矿区位于五台山北麓,隶属于山西省繁峙县伯强乡。矿区中心地理坐标:东经 113°35′43″,北纬 39°07′32″。面积约 2.17 km^2。

矿区内地层主要是太古界五台超群庄旺组,岩石组合以黑云斜长片麻岩为主,次为角闪斜长片麻岩、角闪片岩等;有少量第四系分布。控制矿床的主要断裂交叉处形成次火山隐爆火山机构,成为耿庄金矿体的导矿、控矿构造。矿区岩浆活动以燕山期中酸性超浅成侵入活动和伴随的隐爆作用为主要形式,岩石有花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、隐爆角砾岩和辉绿岩。

隐爆角砾岩体处于矿区 F_1 和 F_2 两断层交叉处,长约 1 000 m,宽约 500 m,面积约 0.5 km^2。角砾岩颜色一般为灰白色—灰黑色,角砾成分主要为片麻岩,还有少量大理岩、花岗岩、页岩等。角砾大小不一,从数厘米到数米不等,胶结物常为岩粉或花岗闪长质。据岩石特征分析,隐爆岩体的形成大致分为三个阶段:前岩浆期气爆阶段,岩浆侵入期岩爆阶段,岩浆期后含矿热液侵入成矿、蚀变阶段。具有明显多阶段隐爆的特征。

隐爆角砾岩体内,有多条工业矿体,多为脉状、透镜状、囊状,矿体与围岩界线不明显。矿石成分复杂,主要矿石矿物有:黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、毒砂、银金系列矿物、磁黄铁矿等;脉石矿物有:石英、方解石、绢云母、斜长石、钾长石、角闪石、绿泥石、重晶石、黑云母等。矿石主要为半自形-他形粒状结构、交代结构、碎裂结构;块状构造、浸染状构造、角砾状构造等。本次研究重晶石样品采于隐爆角砾岩体的晶洞内,是本矿区热液活动的产物。

2 重晶石晶体特征

晶体纯净透明,颜色呈白色、淡黄、黄、褐黄色,许多晶体中心为白色,向外出现淡黄—黄—褐黄色分带现象(图 1-a)。

单晶晶面完整,自形程度高,达到了完美的程度。一般粒径为 2～3 cm,最大可达 4～6 cm,最小的也有 1 cm 左右。单晶体形态主要有两类,其一为单形{001},但最多的是平行双面 c{001}与斜方柱 m{210}、o{011}、d{101}的聚形。晶体的连生现象多样,有沿(001)的,也有沿(210)的平行连生晶,大多数重晶石集合体成晶簇状出现。

用电子探针对重晶石样品进行了成分分析,结果列入表 1。与理论值和其他地区的重晶石成分进行比较,发现本区重晶石以成分比较单一、类质同象元素 Ca、Sr 取代少、杂质含量低为特点。

表 1 重晶石的电子探针成分分析结果

Table 1 Microprobe analysis data of barite w_B/ %

序号	样品及参考值	CaO	BaO	SrO	SO_3	合计
1	Hf3-1-1	0.019	64.53	0.478	34.774	99.801
2	Hf3-1-2	0.029	64.910	0.000	34.410	99.349
3	Hf4-1-2	0.042	64.958	0.144	34.131	99.275
4	Hf4-1-2	0.11	65.09	0.42	34.33	99.95
5	Hf5-1-2	0.000	64.95	0.36	33.83	99.14
6	Hf7-1-1	0.11	64.91	0.35	33.55	98.91
7	Hf7-1-2	0.10	65.13	0.47	34.02	99.72
8	Hf7-1-3	0.14	65.21	0.65	32.82	98.83
9	德国[3]	1.89	60.30	1.38	35.69	99.26
10	英国[3]	0.000	48.6	14.7	36.2	99.5
11	理论值[4]	0.000	65.7	0.000	34.3	100

测试单位:中国地质大学电子探针实验室;仪器型号为岛津 EPMA-1600;分析者:尹京武;分析条件:加速电压 15 kV;束流 7×10^{-9} A;束斑 1 μm;标样:$BaSO_4$,$CaCO_3$,$SrSO_4$

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

晶体中含有大量 FeS_2—Fe(Ni,Co)S_2 系列晶须、富镍黄铁矿和各种气液包裹体,并且分布有一定的规律性。

3　多相态包裹体特征

3.1　固体包裹体矿物特征

由于重晶石透明度极高,肉眼可直接观察到固体包裹体呈浅铜黄色,金属光泽;偏光显微镜下包裹体清晰可见,均为结晶完好的单晶体分布于重晶石的不同部位。在反光显微镜下,固体包裹体矿物均呈浅铜黄色。维氏硬度计测得 Hv 最低 766 kg/mm^2;最高 1 028 kg/mm^2;平均 937.5 kg/mm^2。

(1)富镍黄铁矿:自形粒状晶体,晶面发育完好,以四面体、立方体、八面体、五角十二面体晶形出现。粒径 0.5～1 mm,数量较多,集中在重晶石的中心部位出现,均匀分布(图 1-b)。

(2)FeS_2—Fe(Ni,Co)S_2 系列晶须:位于重晶石晶体的边部,数量众多,密集分布,定向性好,由中心向边缘方向生长,垂直重晶石的(011)、(101)、(210)面,构成了重晶石巨晶中非常明显的晶须环带。晶须的集合体有一组平行状产出,且生长整齐;也有部分晶须成交叉状产出,但交角较小,呈现出从重晶石的内部向外生长的总体方向。晶须单晶体形态多为直线(杆)状,部分晶须微弯,但生长总体方向不变。晶须直径一般 1～5 μm,断面多呈正方形和正三角形,有少量呈矩形。长度一般 3～5 mm,最长的达到 15 mm。大多数晶须表面光滑,长度、形状几乎一致(图 1-c)。有部分晶须较粗,成为棒状体,生长取向与边部晶须一致,但主要分布在中心和边缘的过渡部位。还有部分晶须出现了二次或三次加厚现象(图 1-d,1-e,1-f)。

用日本岛津公司的 SSX-550 扫描电镜和 JXA-8100 电子探针仪对固体包裹体矿物分别进行了分析,结果见表 2。

从包裹体矿物成分特点可以看出,基本属于 FeS_2-Fe(Ni,Co)S_2 固溶体系列。但是,富镍黄铁

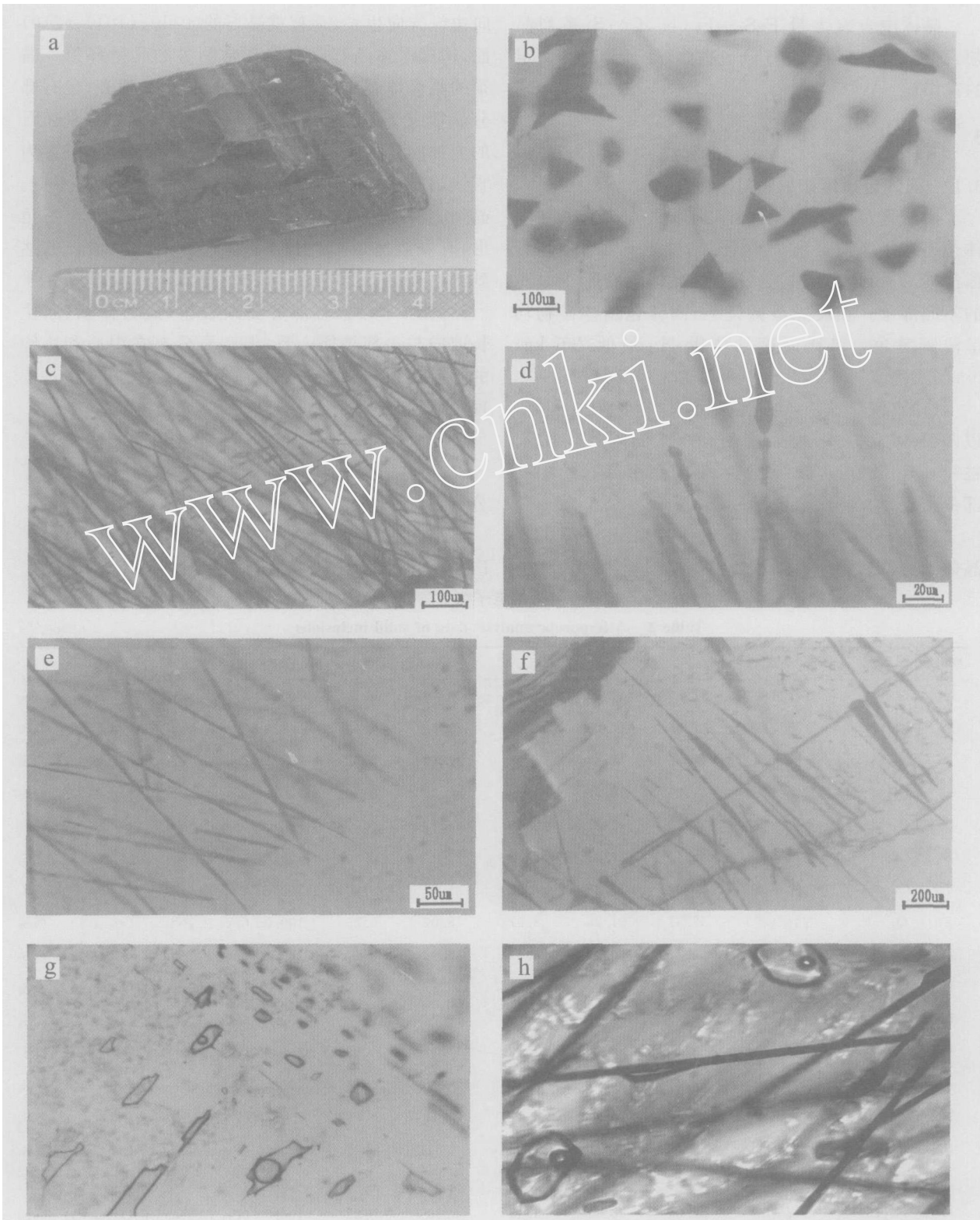
表 2　固体包裹体的电子探针成分分析结果

Table 2　Microprobe analysis data of solid inclusions　　w_B/%

序号	样号	矿物名称	S	Fe	Co	Ni	As	合计	矿物分子式
1	QJ-2-1	富镍黄铁矿	52.53	19.25	7.61	20.48	0.13	100.00	$(Ni_{0.424\,7}Fe_{0.407\,5}Co_{0.157\,2})_{0.989\,4}S_2$
2	ZX-1-3	富镍黄铁矿	52.26	17.85	8.54	21.24	0.12	100.00	$(Fe_{0.392\,1}Ni_{0.443\,8}Co_{0.177\,8})_{1.013\,6}S_2$
3	ZX-1-13	富镍黄铁矿	52.36	18.47	7.02	21.83	0.32	100.00	$(Ni_{0.455\,3}Fe_{0.404\,9}Co_{0.145\,8})_{1.006\,0}S_2$
4	ZX-1-14	富镍黄铁矿	53.36	18.99	7.28	20.26	0.10	100.00	$(Ni_{0.414\,6}Fe_{0.408\,6}Co_{0.148\,4})_{0.971\,6}S_2$
5	ZX-1-15	富镍黄铁矿	52.51	15.21	9.05	23.23	0.00	100.00	$(Ni_{0.483\,0}Fe_{0.332\,5}Co_{0.187\,4})_{1.002\,9}S_2$
6	ZX-1-16	富镍黄铁矿	51.90	17.29	7.72	23.10	0.00	100.00	$(Ni_{0.486\,0}Fe_{0.382\,5}Co_{0.161\,8})_{1.030\,3}S_2$
7	ZX-1-17	富镍黄铁矿	53.09	17.56	7.53	21.82	0.00	100.00	$(Ni_{0.448\,9}Fe_{0.379\,8}Co_{0.154\,2})_{0.982\,9}S_2$
8	QJ-1-6	晶须(粗)	52.31	21.25	8.07	18.07	0.29	100.00	$(Fe_{0.463\,8}Ni_{0.375\,2}Co_{0.166\,8})_{1.005\,8}S_2$
9	QJ-1-7	晶须(粗)	52.78	20.04	8.09	18.93	0.17	100.00	$(Fe_{0.434\,6}Ni_{0.390\,4}Co_{0.166\,2})_{0.952\,5}S_2$
10	QJ-1-8	晶须(粗)	52.73	18.76	8.21	19.87	0.43	100.00	$(Ni_{0.408\,2}Fe_{0.405\,1}Co_{0.168\,0})_{0.981\,3}S_2$
11	QJ-1-9	晶须(粗)	52.92	19.32	8.71	19.04	0.02	100.00	$(Fe_{0.419\,0}Ni_{0.392\,8}Co_{0.179\,0})_{0.990\,8}S_2$
12	QJ-1-10	晶须(粗)	53.16	26.25	3.39	17.17	0.03	100.00	$(Fe_{0.566\,7}Ni_{0.352\,5}Co_{0.069\,3})_{0.988\,5}S_2$
13	HD-10-6	晶须(粗)	53.34	26.97	2.80	16.76	0.14	100.00	$(Fe_{0.580\,5}Ni_{0.343\,1}Co_{0.057\,1})_{0.980\,7}S_2$
14	HD-10-7	晶须(粗)	53.56	26.78	3.17	16.48	0.00	100.00	$(Fe_{0.574\,4}Ni_{0.336\,0}Co_{0.064\,2})_{0.974\,6}S_2$
15	F-10-1	晶须	52.70	34.49	4.29	8.51	0.01	100.00	$(Fe_{0.751\,3}Ni_{0.176\,2}Co_{0.088\,4})_{1.015\,9}S_2$
16	F-10-2	晶须	53.09	34.89	3.62	8.40	0.00	100.00	$(Fe_{0.754\,5}Ni_{0.172\,7}Co_{0.074\,1})_{1.001\,3}S_2$
17	F-10-3	晶须	52.34	35.01	4.18	8.26	0.22	100.00	$(Fe_{0.765\,2}Ni_{0.171\,6}Co_{0.086\,5})_{1.023\,3}S_2$
18	F-10-4	晶须	54.02	34.26	3.68	8.05	0.00	100.00	$(Fe_{0.728\,1}Ni_{0.162\,7}Co_{0.074\,0})_{0.964\,8}S_2$
19	F-10-5	晶须	54.31	34.67	2.80	8.04	0.17	100.00	$(Fe_{0.730\,5}Ni_{0.161\,1}Co_{0.055\,9})_{0.947\,7}S_2$

测试单位:北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室,电子探针实验室;仪器型号为 JXA-8100;分析者:舒桂明;分析条件:加速电压 15 kV;束流 1×10^{-8} A;束斑 1 μm;修正方法 PRZ;标准样品美国 SPI 公司 53 种矿物

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



www.cnki.net

图1 重晶石晶体中的多相态包裹体

Fig. 1 Multi-phase inclusions in barite crystal

a. 含多相态包裹体的重晶石晶体;b. 分布于重晶石中心部位的富镍黄铁矿;c. 分布于重晶石边部的晶须和气液包体;d. 晶须加厚成棒状;e. 晶须的二次加厚现象;f. 晶须的三次加厚现象;g. 重晶石晶体中的气液包裹体;h. 重晶石晶体中晶须和气液包裹体

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿中 Fe 的质量分数较低,为 15.21 %～19.25 %;Ni 质量分数较高,为 20.26 %～23.23 %;Co 的质量分数为 7.02 %～9.05 %。较粗晶须中 Fe 的质量分数有所增加,为 18.76 %～26.97 %;Ni 质量分数降低为 16.48 %～19.87 %;但 Co 质量分数不稳定,为 2.80 %～8.71 %。边部晶须中 Fe 的质量分数明显增加,为 34.26 %～35.01 %;Ni 质量分数为 8.04 %～8.51 %;Co 质量分数为2.80 %～4.29 %。这些现象说明,形成富镍黄铁矿时明显亏铁,Ni、Co 替代较强;形成较粗晶须时,Fe 质量分数有所增加, Ni、Co 替代相应减少;而大量晶须形成时,Fe 质量分数明显增高,Ni、Co 替代较少。按照晶体由内向外的生长特点,在重晶石生长过程中,热液中 Fe、Ni、Co 的质量分数出现了规律性变化。即从重晶石生长的早期阶段到晚期阶段,Fe 离子浓度逐渐增高,而 Ni、Co 离子浓度逐渐降低。

3.2　流体包裹体

3.2.1　流体包裹体岩相学特征

重晶石矿物晶体中发育大量的原生流体包裹体,按室温下相态特征,将其划分为如下 3 种类型流体包裹体:

Ⅰ　气相流体包裹体:室温下呈单相或气液两相,后者气液比大于 50 %,多为 70 %～90 %。包裹体形态多为扁椭圆形状、管状,少量为菱形;单个包体大小为 10～65 μm,一般大于 20 μm;呈单相者,包体颜色发暗、壁厚、中心发亮。

Ⅱ　气液两相包裹体:室温下呈气相及液相两相产出,气液比小于 50 %,多为 5 %～15 %,少量 30 %～45 %;该类包体形态以菱形、椭圆形为主,少量呈长管状,单体大小 9～75 μm,多数大于 20 μm。

Ⅲ　单液相包裹体:室温下呈单一液相,无色,该类包体形态多样,常见椭圆形、菱形、管状,包体大小 5～70 μm,常与 Ⅱ型包裹体成群发育。

包体成分激光拉曼光谱分析表明,成矿流体气相主要以 H_2O 为主,同时亦检测出少量 CO_2,其余成分含量甚微。液相成分亦主要为 H_2O(图 2),反映成矿流体成分较简单的特征。

3.2.2　流体包裹体显微测温研究

选择形态规则、无明显后期破裂的原生气液两相及富气相包裹体进行了显微冷冻、均一法测温研究。结果表明,原生气液两相包裹体冰点温度为 - 0.6～ - 2.3 ℃,对应热液的 w(NaCl)为 1.0 %～

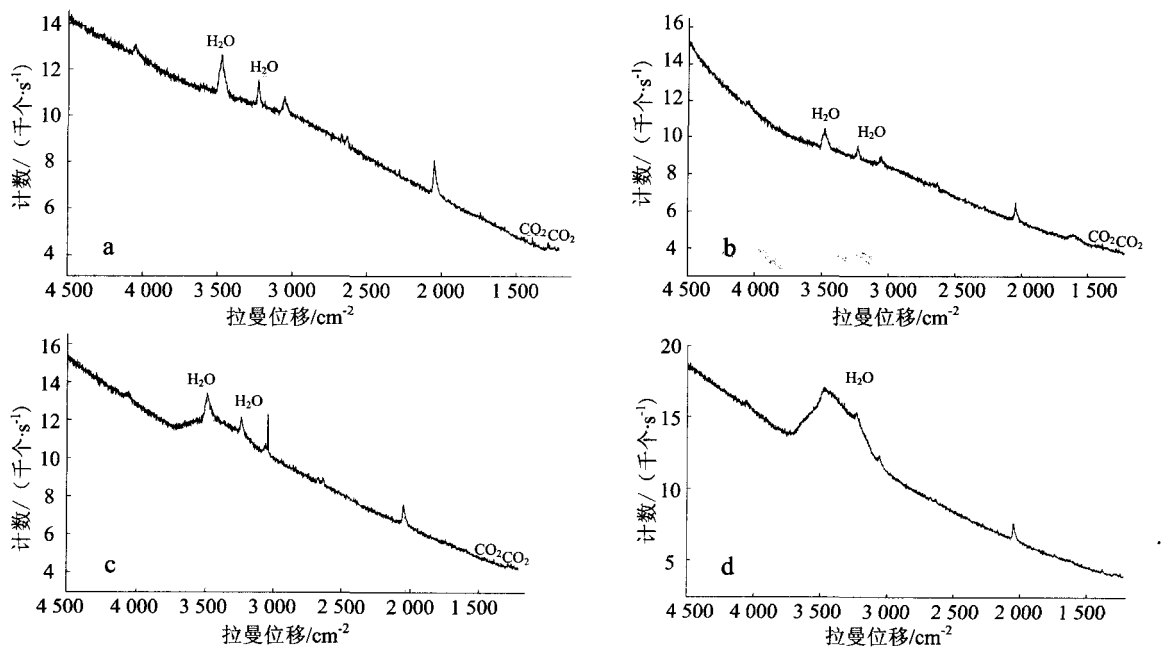


图 2　激光拉曼光谱分析谱图

Fig. 2　Result of Laser Roman spectrum

a. 气相包体(100 %);b. 富气相包体(80 %);c. 气液两相(25 %)之气相;d. 液相包体

测试条件:514.5 nmAr + 离子型激光器;扫描范围:4 500～1 000 cm^{-1};积分时间:120 s;狭缝宽度:20 μm;精度:1 cm^{-1};测试单位:吉林大学地球科学学院地质流体实验室;仪器:英国 Renishaw system－1000 型激光拉曼光谱仪

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.8%。包裹体均一温度变化范围较大,为134.7～269.5 ℃,并出现3个均一温度峰值,即150～170 ℃、180～190 ℃及250～270 ℃(图3);富气相包裹体发育数量较少,其均一温度多为233.4～287.9 ℃,个别较低,为175.4～190.4 ℃;均一温度峰值在250～270 ℃。根据气液两相包体均一温度、盐度值,估算流体密度为0.79～0.95 g/cm^3。

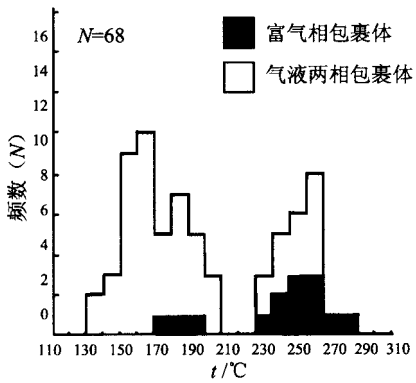


图3 重晶石包裹体均一温度频数分布直方图

Fig. 3 Histograms of temperature of fluid inclusions in barite

4 讨 论

耿庄金矿是燕山期中酸性次火山岩岩浆期后中—低温热液矿床[5]。花岗岩体初始锶比值为0.706 4,小于0.710,应属于同熔型花岗岩[6]。形成年龄为167.4 Ma,相当于燕山早期。

角砾岩和矿石中黄铁矿的硫同位素δ^{34}S为0.2‰～3.7‰,平均2.5‰,变化范围小,塔式效益明显,硫的分馏较好,反映出幔源特点。

按照矿物组合、矿石类型及矿脉间的穿切关系,耿庄金矿的蚀变与矿化作用可分为成矿前、成矿期和成矿后3个阶段。其特点是:成矿前以黄铁矿化为主,伴有硅化、绢云母化,波及整个隐爆火山机构及部分五台超群地层;成矿期形成黄铁矿与金属矿物伴生的块状及稠密浸染状矿体,主要有硅化、黄铁矿化组合出现;成矿后热液活动阶段为碳酸盐化和重晶石化,且分布较为普遍。

天然矿物形态的变化受其化学成分、晶体结构和生长时外界环境的控制,而这些因素是互相制约的。实验表明,结晶速度较慢或过饱和度较低的条件下生长的矿物晶体形态完整性好。晶体生长实践还证实,晶体在适宜的浓度、温度条件下结晶时,物质体系中都会发生非均匀成核,要获得大的单晶体,为了提高体系的稳定性,常采用过热处理的方法,使其溶液过热,以消除杂质表面的活性,这样已经存在的成核中心就被破坏,从而消除促使成核的作用[7]。

耿庄重晶石晶体巨大、均匀、纯净,反映出晶洞作为一个相对封闭的结晶环境,围岩的保温条件好,使贯入热液中晶体生长持续了较长时间,热液体系稳定,物质成分比较简单等特点。张德会提出[1],重晶石等矿物的出现可作为确定混合作用的标志。可见,耿庄成矿后热液发生了强烈的混合作用。

从耿庄重晶石和所含固体包裹体的分布情况和总体特征来看,重晶石结晶过程中均有FeS_2—$Fe(Ni,Co)S_2$固溶体系列矿物形成,其物理性质和总体化学成分也基本相似。然而,在不同阶段形成的FeS_2—$Fe(Ni,Co)S_2$固溶体系列矿物,结晶形态、化学成分等却有明显差异。这与其形成时溶液中的物质浓度、结晶速度和环境条件密切相关。

Burton提出晶须生长时的饱和度必须总是低于临界过饱和度比率——$(p/p_e)_{crit}$[8],否则过生长将导致大晶体的迅速生长。

FeS_2—$Fe(Ni,Co)S_2$系列矿物成分特征的一致性和规律变化特点,反映出矿物生长条件和热液活动的连续性和阶段性。在重晶石生长早期阶段的热液中Fe、Ni、Co离子浓度较高,形成了富镍黄铁矿晶体包裹体,但明显亏Fe,Ni、Co替代较多;中期阶段Fe、Ni、Co离子过饱和度明显降低,且小于$(p/p_e)_{crit}$,主要形成了FeS_2—$Fe(Ni,Co)S_2$晶须,但Fe离子浓度有所增加,Ni、Co替代相对减少;晚期阶段过饱和度则始终保持了小于$(p/p_e)_{crit}$,形成了密集生长的晶须环带,此时热液中Ni、Co离子浓度则明显减少。

无论是重晶石,还是包裹体中的富镍黄铁矿、晶须等矿物,自形程度极高,说明形成时环境相对稳定,使其中包裹体矿物获得充分生长的空间和时间,形成了完善的自形晶体。许多晶须出现了二次或三次加厚现象,说明晶须生长具有继承性和叠加特点。

重晶石晶体中常见富气相、气液两相及单液相3种类型流体包裹体。在空间上,气液两相、单液相及富气相包体成群发育,测温结果显示,后者均一温度多为233.4～287.9 ℃,并以均一至气相方式为主;与其共存的气液两相包体均一温度存在3个温度高峰区间,分别为250～270 ℃、180～190 ℃及150～170 ℃,前者与富气相包体均一温度相近。这一特

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

点表明,重晶石结晶过程中存在 3 次热液活动事件,其中早期相对较高温流体活动时曾发生过沸腾作用,可能与突然发生脉动减压地质事件相关。气液两相包体盐度偏低,w(NaCl)为 1.0%～3.8%,表明热液为低盐度流体,其成分主要为 H_2O,含少量 CO_2,其总体密度为 0.79～0.95 g/cm^3。

根据包体研究所反映的成矿过程中流体存在沸腾作用特征,取沸腾流体温度为 265 ℃,流体 w(NaCl)平均为 3%,按 Hass 提供的流体沸腾温度-深度图解,估算流体捕获时深度为 0.7～0.8 km,表明浅成热液成矿特征。但根据邵洁涟的经验公式,利用包裹体温度及相应盐度值,估算成矿深度最大值为 2.2 km。

综合分析重晶石及其中多相态包裹体特征,可简析出该区重晶石形成时期热液的作用方式、成分特点和演化时的相关地质条件如下:

(1)耿庄金矿的成矿热液是岩浆期后中-低温热液,在重晶石形成时期,热液发生了强烈的混合作用和沸腾作用,且持续时间较长。后期发生的热液活动还具有原位叠加特点。

(2)该期热液的成分相对简单,以低盐度、低密度为特点,形成了成分稳定、杂质含量低的重晶石晶体。

(3)重晶石化过程中,还存在硫化物活动,使 FeS_2— Fe(Ni,Co)S_2 系列矿物晶体和晶须结晶出来,并且 Fe、Ni、Co 元素演变规律明显。

(4)晶洞的空间和热液的持续活动为矿物提供了良好的生长条件,矿物生长温度介于 134.7～269.5 ℃;形成深度最大值为 2.2 km。

耿庄角砾岩筒内多阶段岩浆活动、多期隐爆和多期成矿作用是一个三者互为关联的连续发展过程。本研究揭示出重晶石形成时期的热液活动特征,为认识该区成矿热液活动方式提供了新信息。

参考文献(References):

[1] 张德会.流体的沸腾和混合在热液成矿中的意义[J].地球科学进展,1997,**12**(6):546-552.
ZHANG De-hui. Some new advances in ore-forming fluid geochemistry on boiling and mixing of fluids during the processes of hydrothermal deposits[J]. Advance in Earth Sciences,1997,**12**(6):546-552.

[2] 黄菲,金成洙,边为民,等.山西耿庄金矿 FeS_2 - Fe(Ni、Co)S_2 晶须的发现及成因探讨[J].矿物学报,2004,**24**(4):300-306.
HUANG Fei, JIN Cheng-zhu, BIAN Wei-min, et al. The discovery and metallogeny of FeS_2 - Fe(Ni、Co)S_2 whiskers of Gengzhuang gold deposit, Shanxi Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2004, **24**(4):300-306.

[3] 王濮,潘兆橹,翁玲宝,等.系统矿物学:下册[M].北京:地质出版社,1982:275.
WANG Pu, PAN Zhao-lu, WENG Ling-bao, et al. Systemic mineralogy[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982:275.

[4] 潘兆橹,赵爱醒,潘铁红.结晶学及矿物学:下册[M].北京:地质出版社,1998:236.
PAN Zhao-lu, ZHAO Ai-xing, PAN Tie-hong. Crystallography and mineralogy[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998:236.

[5] 李生元.耿庄次火山热液金矿的特征与成因[J].地质与勘探,1988,(5):1-7.
LI Sheng-yuan. Characteristics and metallogeny of Gengzhuang sub-volcanic hydrothermal gold deposit [J]. Geology and Prospecting, 1988,(5):1-7.

[6] 林建阳.耿庄金银矿区稀土元素及同位素地球化学特征[J].山西冶金地质,1989,(18):58-71.
LIN Jian-yang. REE and isotopic geochemical characteristics of Gengzhuang Au - Ag ore district [J]. Shanxi Metallurgy Geology, 1989,(18):58-71.

[7] 陈敬中.现代晶体化学——理论与方法[M].北京:高等教育出版社,2001:130.
CHEN Jing-zhong. Modern crystal chemistry —— theories and technique[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001:130.

[8] Burton W K, Cabrera N, Frank F C. The growth of crystals and the equilibrium structure of their urfaces [J]. Phil Tran Royal Soc, 1950, **243**: 299-358.

[9] 陈尔凡,田雅娟,周本廉.晶须增强体及其复合材料研究进展[J].高分子材料科学与工程,2002,**18**(4):1-9.
CHEN Er-fan, TIAN Ya-juan, ZHOU Ben-lian. Development of the researches on whiskers and the composites[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2002, **18**(4):1-9.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net