

广东官田含铜碲黄铁矿矿床中的 硫盐矿物及矿床成因

夏学惠 闫 飞 刘昌涛 黄富荣

(化工部地质研究院, 涿州 072754)

主题词 硫盐矿物 矿石特征 矿床成因 广东陆丰

提 要 对广东官田黄铁矿矿床研究过程中, 在该区首次发现多种硫盐矿物, 文章对硫盐矿物进行了系统阐述, 对矿石组构, 主、微量元素特征, 矿化期、次进行了研究。通过硫、氢氧同位素、流体包裹体成分等几方面的研究, 进而探讨了矿床成因。研究认为, 矿床的形成以火山-岩浆期后气液为主, 并有大气降水混合的中-低温热液交代脉状矿床。

广东官田大型硫铁矿床自 1958 年建矿以来, 一直作为单独硫铁矿开采。我们在对该矿床研究过程中, 在该区首次发现碲、铋与多种硫盐矿物。特别是 Cu、Te、Bi、Au 含量已达综合利用品位, 具有较高的经济价值^[1]。

1 矿床地质概况

陆丰官田含铜碲黄铁矿矿床位于东南沿海多金属成矿带的中部、莲花山构造带的东南侧, 处于东南沿海中生代侵入杂岩带粤东构造-岩浆活动区, 矿床受构造带的次级断裂控制。区内出露地层主要为侏罗系金鸡群和漳平群碎屑岩、高鸡坪群酸性凝灰质熔岩与凝灰岩。区内分布较广的是燕山期黑云母花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩与闪长玢岩等。

矿体主要呈脉状受断裂带控制, 断裂在平面上组成向南撒开的帚状(见图 1)。矿区控制长度约 6 km。

矿体主要产于构造破碎带内的黄铁绢英岩中。矿体产状与断裂一致, 主矿体平均厚度约 6.06m。沿断裂方向矿物组合分带现象明显。自南而北由含铜碲黄铁矿过渡到铅锌黄铁矿。

2 矿石矿物成分

矿石的矿物成分相当复杂, 已查明金属矿物 30 余种。非金属矿物 10 多种(见表 1)。主要矿石矿物为黄铁矿, 次要矿物为黄铜矿, 其它均为少量与微量矿物。矿石矿物分布具有

一定规律性,向深部黄铜矿含量增高,向浅部硫盐矿物含量增高。自然元素金在-200m标高以上明显富集。

3 硫盐矿物的矿物学特征

对官田硫铁矿矿床物质组份研究过程中,在该区首次发现多种硫盐矿物,现分别阐述如下:

硫铋铜矿 呈他形粒状嵌布在黄铁矿中,粒度一般在0.05—0.09mm。镜下反射色为灰白色,弱非均质性,无内反射。电子探针成分分析见表2。计算硫铋铜矿的化学式为: $(\text{Cu}_{2.872}\text{Fe}_{0.2196})_{3.0916}\text{Bi}_{1.0424}\text{S}_{2.999}$ 。

硫铜铋矿 呈他形粒状嵌布在黄铁矿中(照片1)。反射色为乳白色,弱非均质性,无内反射。粒径一般在0.03—0.05mm,采用PHILIPS 500-X扫描电子显微镜对主要元素面分析,可见Cu、Bi、S元素在扫描图象上分布均匀(照片2)。(电子探针成分分析见表2,其中Bi含量高达63.15%。计算矿物化学式: $(\text{Cu}_{0.99}\text{Pb}_{0.01})_{1.00}(\text{Bi}_{1.05}\text{As}_{0.01})_{1.06}\text{S}_2$ 。

硫砷铜矿 该矿物与黄铜矿、砷黝铜矿共生,呈他形粒状嵌布在黄铁矿中。粒径一般在0.05—0.1mm。电子探针成分分析见表2,从表中可见,本区的硫砷铜矿Cu与As含量变化较大,Cu含量在40.06%—51.63%,As含量在13.04%—28.85%。计算硫砷铜矿的化学式: $(\text{Cu}_{2.5086}\text{Fe}_{0.3249}\text{Zn}_{0.152}\text{Ag}_{0.0169})_{3.0024}\text{As}_{0.7701}\text{S}_4$ 。

针硫铋铅矿 呈不规则状嵌布在黄铁矿中,常与黄铜矿、铋砷黝铜矿共生(照片3)。反射色为乳白色,非均质性。粒径一般在

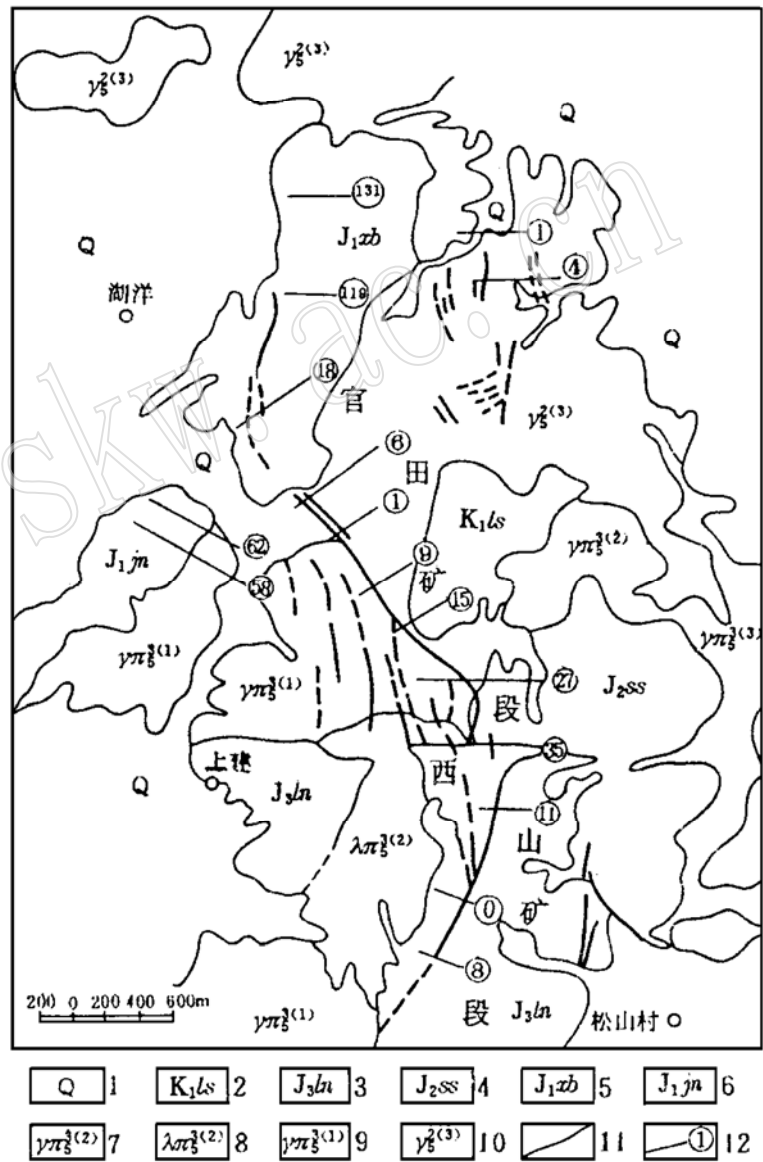


图1 官田含铜砷黄铁矿矿区地质略图

Fig. 1 Schematic geological map of the Guantian pyrite deposit
1—第四系; 2—白垩系官草湖群; 3—侏罗系高基坪群晶屑凝灰岩; 4—侏罗系漳坪群石英砂岩; 5—侏罗系金鸡群板岩 6—金鸡群石英砂岩; 7—花岗斑岩; 8—石英斑岩; 9—黑云母花岗岩; 10—中粗粒斑状花岗岩; 11—矿体; 12—勘探线及编号

0.05mm—0.08mm。在莱茨 MPV— II型光栅光度计上测得反射率(见表 3)。扫描电子显微镜对主要元素面分析, Cu、S、Pb、Bi 等元素分布均匀(照片 4 5)。电子探针成分分析见表 2, 计算针硫铋铅矿化学式为: $Cu_{1.08-1.15}Fe_{0.14-1.22}(Pb_{0.98}Zn_{0.01})_{0.99-1.00}Bi_{1.06-1.23}S_3$ 。

硫铋铅银矿($Ag_{25}Pb_{30}Bi_{41}S_{104}$) 是一种罕见的硫盐矿物, 1977 年发现于美国科罗拉多州的方铅矿矿床的细粒基质中, 在我国尚属首次发现。

表 1 官田矿床矿石的矿物成分

Table 1 Mineral composition of ores from the Guantian deposit

	矿 石 矿 物	脉石矿物
硫化物	黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、磁黄铁矿、铜蓝、螺状硫银矿	石英、绢云母、正长石、钠长石、方解石、绿泥石、高岭石、金红石、绿帘石、萤石、黑云母、白云母、白云石、磷灰石、锆石等
硫盐矿物	硫铜铋矿、硫铋铜矿、硫砷铜矿、针硫铋铅矿、硫铋铅银矿、黝铜矿、锌黝铜矿、砷黝铜矿、锌砷黝铜矿、铋砷黝铜矿、碲砷黝铜矿	
自然元素与碲化物等	自然金、自然银、自然铅、碲铋矿、铜锌合金、铁镍合金、磁铁矿、褐铁矿	

表 3 几种矿物反射率

Table 3 Reflectance values of some minerals

矿物	430	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660
硫铋铅银矿	36.25	38.06	39.21	37.08	40.52	39.64	39.98	40.10	41.04	39.78	42.66	41.48	41.61
针硫铋铅矿	43.50	41.14	39.21	38.88	40.30	39.91	40.53	41.22	41.04	40.74	40.57	41.48	41.77
锌黝铜矿	23.56	19.54	19.85	19.29	21.42	20.19	21.09	20.61	19.79	19.76	21.07	20.96	22.90
锌砷黝铜矿	32.63	28.80	29.53	28.84	32.24	30.59	31.30	31.37	31.03	29.43	29.43	29.51	27.58
铋砷黝铜矿	30.81	27.77	26.63	26.53	29.06	27.90	28.01	28.12	28.58	28.07	28.56	28.65	29.35
碲砷黝铜矿	27.19	26.74	26.63	25.32	28.06	28.02	28.34	27.45	28.34	27.11	27.51	29.51	29.03

注: 反射率由中国地质大学(北京)能源系周怡测定, 标准 SiC

硫铋铅银矿呈板状嵌布在黄铁矿中(照片 6), 粒径长 0.13mm, 宽 0.03mm。反射色为灰白色微带褐色色调, 非均质性, 在空气中反射率见表 3。扫描电镜对 S、Pb、Ag、Bi 元素面分布分析见照片 7。电子探针成分分析见表 2。将化学成分与美国硫铋铅银矿进行对比可以看出, 二者成分接近(表 4)。计算化学式: $Ag_{28.11}(Pb_{16.19}Ag_{13.81})_{30}(Bi_{38.57}Ag_{2.43})_{41}S_{104}$ 。

表 4 硫铋铅银矿成分对比(%)

Table 4 Chemical composition of ourayites

样号	矿物名称	S	Bi	Pb	Ag	Cu	Zn	Co	As	Te	Sb	合计
Gm-34	硫铋铅银矿	17.06	41.10	17.11	24.40	0.17	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	100.00
*	硫铋铅银矿	16.00	41.40	29.50	12.50	0.50	-	-	-	-	0.20	100.10

* 据王 濮等, 系统矿物学(下册)^[2]

表2 硫酸盐矿物化学成分表 (wt%)
Table 2 Electron microprobe analyses of sulfate minerals (wt%)

样号	矿物名称	S	Cu	Fe	As	Bi	Pb	Zn	Te	Sb	Ag	Au	Co	Ni	总计
GM-36	硫酸铜矿	18.83	35.73	2.42	0.00	42.66	0.00	0.05	0.00	0.00	1.01	0.27	0.00	0.19	101.16
GM-33	硫酸铋矿	18.50	18.27	0.00	0.11	63.15	0.40	0.09	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	100.65
GM-34	硫酸铜矿	34.13	42.43	4.83	15.36	0.00	0.00	2.66	0.00	0.00	0.48	0.41	0.04	0.26	100.60
GM-12	硫酸铜矿	25.31	40.06	3.49	28.85	0.00	0.00	1.60	0.19	0.72	0.46	0.13	0.00	0.05	100.86
GM-61	硫酸铜矿	29.59	51.63	3.02	13.04	0.00	0.00	0.05	0.04	0.39	0.00	0.00	0.00	0.02	97.78
GM168	针硫铋铅矿	16.39	10.38	0.14	0.00	39.22	32.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00		98.76
GM-33	针硫铋铅矿	15.35	10.97	1.50	0.00	41.05	32.56	0.06	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.09	101.65
GM-36	针硫铋铅矿	17.98	10.28	3.16	0.00	36.43	31.06	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	99.07
GM-12	黝铜矿	24.60	43.30	1.75	8.90	0.00	0.00	4.48	0.00	17.10	0.00	0.25	0.00	0.03	100.41
GM-33	黝铜矿	25.72	42.89	6.40	11.67	0.00	0.00	0.70	0.00	12.70	0.28	0.24	0.00	0.02	100.62
GM-61	黝铜矿	27.01	33.12	2.04	11.97	0.00	0.00	4.78	0.00	20.70	0.05	0.37	0.00	0.06	100.10
GM-70	砷黝铜矿	25.92	45.94	4.99	22.90	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	100.78
GM-12-5	锌黝铜矿	26.04	35.10	2.87	0.00	0.00	0.00	6.67	0.00	28.10	1.25	0.25	0.00	0.06	100.34
GM-32	砷黝铜矿	26.03	41.60	0.00	10.75	0.00	0.00	6.28	0.00	14.59	0.14	0.00	0.00	0.01	99.40
GM-125	砷黝铜矿	23.83	45.48	1.37	8.78	0.00	0.00	8.19	0.00	12.36	0.00	0.00	0.00		98.01
GM-168-1	砷黝铜矿	24.63	38.87	1.94	10.60	16.47	0.00	2.85	3.73	1.22	0.00	0.00	0.00		100.31
GM-168-2	砷黝铜矿	24.14	38.85	2.26	12.40	19.09	0.00	2.26	0.56	0.13	0.00	0.00	0.00		99.69
GM-168-3	砷黝铜矿	23.65	38.67	2.14	15.58	15.49	0.00	3.90	0.45	0.11	0.00	0.00	0.00		99.99
GM-168-4	砷黝铜矿	26.17	36.59	2.19	13.53	20.27	0.00	0.56	1.14	0.45	0.00	0.00	0.00		100.90
GM-32-3	砷黝铜矿	23.92	42.00	2.04	9.40	0.00	0.00	0.10	18.93	3.52	0.05	0.03	0.00	0.09	100.08
GM-52-6	砷黝铜矿	25.18	40.12	2.95	10.35	0.00	0.00	0.12	17.64	3.64	0.01	0.00	0.00	0.00	100.01
GM-34	硫酸铅矿	17.06	0.17	0.00	0.00	41.10	17.11	0.08	0.00	0.00	24.40	0.00	0.08	0.00	100.00

注: 电子探针分析由中国地质科学院矿床所陈克槐完成; 仪器: JCA-733型。

黝铜矿族矿物 对官田矿床物质组份研究过程中,在该区首次发现一系列黝铜矿族矿物。其中有黝铜矿、砷黝铜矿、锌黝铜矿、锌砷黝铜矿、碲砷黝铜矿^[4]和铋砷黝铜矿。

黝铜矿族矿物主要呈铅灰色、钢灰色、金属光泽。多呈不规则粒状嵌布在黄铁矿中。粒径变化在0.02mm—0.22mm之间。采用莱茨自动显微硬度计测得铋砷黝铜矿Hv= 295.5 kg/mm²,碲砷黝铜矿Hv= 269.3 kg/mm²,锌砷黝铜矿Hv= 266.6 kg/mm²。显微镜下观察,黝铜矿主要呈灰色;铋砷黝铜矿呈灰色微带蓝色;碲砷黝铜矿呈灰色微带棕色;锌砷黝铜矿呈灰色微带蓝绿色色调。均质性,有的可见微弱内反射。采用莱茨MPV-3型光度计测得不同矿物的反射率见表3。

黝铜矿族矿物的化学成分系在光片上挑选不同颗粒在JXA-733型电子探针仪上测得,其化学成分见表2。从表中可以看出黝铜矿族矿物不同变种成分差异明显,各自形成了独立变种。其中砷黝铜矿含As 22.9%,Sb 0.00%,Zn 0.94%;锌黝铜矿含Zn 6.67%,Sb 28.10%,As 0.00%;锌砷黝铜矿含Zn 6.28%—8.19%,As 8.87%—10.75%,Sb 12.36%—14.59%;铋砷黝铜矿含Bi 15.49%—20.27%,As 10.60%—15.58%,Sb 0.11%—1.22%;碲砷黝铜矿含Te 17.64%—18.93%,As 9.40%—10.35%,Sb 3.52%—3.64%。

对铋砷黝铜矿、碲砷黝铜矿、锌砷黝铜矿的主要元素分布状态进行扫描电镜元素面分布测定,在不同矿物中S、Cu、As、Sb、Bi、Te、Zn元素分布均匀^[4]。铋砷黝铜矿、碲砷黝铜矿X射线衍射分析的主要谱线清楚^[3]。

4 矿石特征

官田矿区矿石工业类型主要有单硫型、铜硫型和铅锌型三类。不同类型矿石变化规律明显。自下而上矿石类型由铜硫型变为单硫型;自南而北则由单硫型变为铅锌型。这种变化从矿体产出部位分析,它们与斑岩岩体有一定关系。远离岩体则形成了铅锌矿床。

4.1 矿石结构构造

矿石构造主要有块状、浸染状、脉状和角砾状构造。矿石构造反映了充填作用、交代作用与动力作用几种不同成矿作用的结果。

矿石结构主要有自型—半自形结构、包含结构、生长环带结构、交代溶蚀结构、碎裂结构等。特别是生长环带结构,它主要由细小的硫盐矿物(硫盐矿物主要为硫铋铜矿与针硫铋铅矿)组成环带(照片8),反映了成矿物质的脉动性与间歇性变化的特点。

4.2 矿石主、微量元素特征

对不同类型矿石进行微量元素定量分析结果见表5。黄铁矿矿石与含铜黄铁矿矿石其元素含量变化较大。其中黄铁矿矿石含Cu 191×10^{-6} — 960×10^{-6} ,平均 452.4×10^{-6} 。Te 1.22×10^{-6} — 10×10^{-6} ,平均 4.55×10^{-6} 。Au 0.25×10^{-6} — 1.61×10^{-6} ,平均 0.79×10^{-6} 。Se 平均 5.3×10^{-6} ,Co 平均 14.82×10^{-6} ,S 11.94%—47.44%。从上述分析可以看出黄铁矿矿石中Cu、Te、Au含量相对较高。

含铜黄铁矿矿石,Cu $(980—1700) \times 10^{-6}$,平均 1336×10^{-6} ,Te $(4.26—30) \times 10^{-6}$,平均 13.40×10^{-6} 。

表5 不同类型矿石化学分析(10^{-6})
Table 5 Chemical composition of various types of ores (10^{-6})

样号	矿石名称	S%	Fe%	Cu	Pb	Zn	Te	Bi	Au	Ag	Co	Ni	As	Se	Sb
GK-169	黄铁矿矿石	43.83	39.44	469	13	14	5	0.5	0.5	2.5	13	8.5	14	6.5	4.1
GM-18	黄铁矿矿石	38.82	34.71	960	180	120	4.05	5.7	1.21	1.8	24	24	49	6.8	442
GM-26	黄铁矿矿石	38.00	33.95	200	240	120	2.01	1.3	0.28	0.52	18	26	18	12.9	4.7
GM14	黄铁矿矿石	47.44	40.98	290	140	32	5.94	7.2	1.44	0.21			68	9.15	3.2
GM-9	黄铁矿矿石	11.94	11.06	290	180	100	0.73	4.1	0.18	0.11	9.9	2.4	38	1.3	6.1
GM-8	黄铁矿矿石	16.13	14.45	210	320	120	1.51	4.6	0.25	0.38	21	32	18	3.8	3.2
GK-162	黄铁矿矿石	35.94	32.29	764	288	139	10	210	1.4	58	4.9	5.5	850	3.8	14
GK-168	黄铁矿矿石	12.56	11.36	399	65	106	5	0.5	0.5	12	7.1	7.7	159	1.7	16
GM-6	黄铁矿矿石	24.61	22.26	760	230	140	1.22	18.3	1.61	4.35	42	32	270	4.3	79.2
GK-165	黄铁矿矿石	11.95	10.79	191	7	22	5	0.5	0.5	47	5.4	6.2	3	2.7	0.5
GM-12	含铜黄铁矿矿石	31.24	27.48	980	300	100	17.59	105	2.61	22.7			380	0.36	24
GK-163	含铜黄铁矿矿石	46.00	41.19	1100	36	40	30	129	0.9	41	2.9	5.4	139	3.8	41
GK-157	含铜黄铁矿矿石	20.28	17.89	1300	26	61	5	14	0.5	29	5.2	3.5	130	2.8	30
GK-32	含铜黄铁矿矿石	39.86	35.34	1600	310	140	10.14	82.7	1.71	3.9	16	26	290	6.9	90
GK-24	含铜黄铁矿矿石	30.40	27.39	1700	200	120	4.26	9.1	0.71	1.6	10	25	34	6.1	36

注:微量元素分析由国家地质试验测试中心分析,常量元素由化工部地质测试中心分析。

黄铁矿单矿物微量元素分析结果见表6。从中可以看出, Te、Bi、Cu、Au含量很高, 根据元素赋存状态研究^[1], 它们主要呈细小的独立矿物嵌布在黄铁矿中。其中, Te、Bi赋存于碲铋矿、碲砷黝铜矿、硫铜铋矿中; Cu主要赋存在黄铜矿中, 其次在铜的硫盐矿物中; 金主要以次显微状态赋存在黄铁矿中。

黄铁矿中Te最高含量达0.23%, Bi含量最高达0.32%。Co含量一般大于Ni, Co/Ni比值变化在1.36—3.36间, Se含量变化在 $(11.2—3.9) \times 10^{-6}$ 。在Co—Ni—Se三角图中, 官田矿床黄铁矿属Co—Ni—Se系列, Se原子百分比均大于10%, 反映矿床物质来源具有火山热液的特点。

表6 黄铁矿微量元素分析(10^{-6})

Table 6 Minor element analyses of pyrite

样品号	矿物名称	Cu	Pb	Zn	Te	Bi	Au	Ag	Sb	Se	Co	Ni	As	Ge
GM-24	黄铁矿	0.14%	28	95	0.23%	0.36%	0.72	6	66	8.8	37	11	139	7
GM-9	黄铁矿	0.12%	198	121	0.14%	0.20%	0.68	2	4	3.9	3	7	433	8
GM-18	黄铁矿	0.18%	20	100	0.12%	0.16%	1.67	4	169	9.0	20	9.0	52	5
GM-8	黄铁矿	0.11%	21	96	291	518	0.52	3	61	8.9	26	17	41	7
GM-26	黄铁矿	412	< 10	90	53	35	0.72	< 1	4	11.2	15	11	10	7
GM-32	黄铁矿	0.19%	60	105	358	738	1.30	3	48	4.8	2	9	432	6
GM-6	黄铁矿	972	23	95	62	135	0.38	< 1	20	7.2	7	5	47	7

注: 微量元素分析由国家地质试验测试中心谭元媛等分析

5 矿化阶段与矿物生成顺序

官田矿床矿石矿物形成具有多阶段和不同时代的特点。按矿石组构与矿物成分变化特征及矿物相互关系, 可将该矿床划分为两个成矿期和三个成矿阶段。

5.1 黄铁绢英岩化成矿期

此成矿期主要表现在花岗斑岩与黑云母花岗岩侵入过程中沿断裂构造薄弱地段产生热液交代作用, 而形成沿断裂带展布的黄铁绢英岩含矿建造。

Mo、Au—黄铁矿矿化阶段: 在此成矿作用过程中, 形成了大量微细粒的黄铁矿。它们主要呈星散状分布在黄铁绢英岩中。在热液交代过程中暗色矿物分解释放出大量 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子, 这些离子向热液活动中心转移。 Fe^{2+} 在含硫化物的溶液中活动性极小, 当岩石进一步发生绢云母化、硅化时, 消耗了含矿热液中大量的 H^+ 、 HCO_3^- 、 K^+ 等离子, 使溶液pH值发生变化, 造成络合物稳定性降低, 硫与热液中的 Fe^{2+} 结合形成黄铁矿, 同时, 金也随之沉淀^[5]。在此成矿过程中Au、Mo等元素得到了富集, 形成了黄铁矿内的次显微金, 其中Mo在交代过程中形成辉钼矿沉淀。

5.2 低温热液成矿期

此期是形成工业矿体的主要成矿期。在低温热液作用过程中, 可能有多次矿化阶段的叠加, 较明显的可分为两个阶段:

(1) Te、Bi、Cu—黄铁矿矿化阶段: 这一成矿阶段, 黄铁矿进一步富集。形成以自形—半自形为主的块状黄铁矿矿石。黄铁矿再生长与生长环带结构发育, 从这些现象看, 此阶段

成矿热液具有脉动性的特点。

此次矿化主要叠加在第一期黄铁绢英岩化之上,形成一些角砾状、碎裂状矿石,从黄铁矿生长环带包裹矿物分析,热液活动带来的Cu、Te、Bi、As、Sb等元素,在脉动过程中,随着S活度的降低与物化条件的改变,形成了一系列硫盐矿物嵌晶。

(2)Pb、Zn、Ag-黄铜矿矿化阶段:此阶段形成的矿脉明显穿切了前两期矿石。在不同类型矿石中,可见黄铜矿呈脉状穿插在黄铁矿矿石中。方铅矿、闪锌矿与黄铁矿构成细脉穿插在矿石或黄铁绢英岩中。伴随Pb-Zn矿化作用,Ag在此阶段明显富集,形成了自然银和螺状硫银矿。

6 矿床成因

成矿作用与燕山期火山-侵入杂岩的关系 官田含铜碲黄铁矿矿床产于侏罗系火山岩与燕山期黑云母花岗岩的接触构造破碎带。矿化受SW方向断裂带控制。矿床硫的来源与岩浆活动有一定关系,黄铁矿微量元素成因分析,Co/Ni大于1,Se平均含量为 7.69×10^{-6} 。

硫同位素组成 官田矿床黄铁矿硫同位素分析, $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围在1.3‰—4.6‰,接近深源硫。反映硫源具有较均一的深源特点。

氢氧同位素组成 官田矿床石英流体包裹体氢氧同位素分析结果见表7。 δD 为-50‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化范围为-11.22‰—+7.52‰。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图解中,大部分与黄铁矿共生的石英投影点均分布在大气降水线附近,说明成矿热液中有大气降水的混入。个别黄铁绢英岩中的残留石英斑晶 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值落入再平衡岩浆水区。

表7 官田矿床氢氧同位素组成

Table 7 Hydrogen and oxygen isotopic composition of the Guantian deposit

样号	矿物	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	均一温度(℃)	岩(矿)石类型
GK41	石英(斑晶)	10.1	-50	-4.23—+7.52	173—520	黄铁绢英岩(早期)
GK83	石英(新生)	8.6		-9.19—+2.48	134—344	黄铁绢英岩
GM16	石英(新生)	10.2		-2.89—-2.55	190—195	黄铁矿矿石
GM14	石英(新生)	12.2	-50	-4.51—+2.46	145—248	黄铁绢英岩
GM18	石英(新生)	10.5		-11.22—-1.60	100—205	黄铁矿矿石

注:同位素测定由中国地质科学院矿床所万德芳、姚晓梅等完成,均一温度由李荫清完成。

计算公式: $1000\ln X_{\text{石英-水}} = 3.42 \times 10^{-6}T^{-2} - 2.86$

流体包裹体特征 ①均一温度:与黄铁矿共生的石英中流体包裹体均一温度变化范围在100—344℃。其中黄铁绢英岩中个别残余石英斑晶均一温度达520℃。黄铁绢英岩中的新生石英均一温度134—344℃,黄铁矿矿石中石英均一温度100—205℃。这些温度反映了随成矿作用的进行,由早期到晚期温度逐渐降低。②成矿流体成分:成矿流体气液相成分见表8。从表中可以看出本区流体包裹体液相成分主要是 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Ca^{2+} ,气相成分主要是 H_2O 和 CO_2 。 Na^+/K^+ 比值小于1。溶液的离子百分含量相对丰度为 $\text{SO}_4^{2-} \gg \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+}$ 。早期成矿热液可能来源于火山-岩浆期后气液,含矿热液在运移过程中与大气降水混合。这种含矿热液沿断裂构造运移并发生黄铁绢英岩交代作用,在

交代作用过程中岩石体积发生变化, 导致大量微裂隙的形成, 使交代矿物充填其中。造成了叠加在黄铁绢英岩之上的石英黄铁矿化, 形成工业矿体。随着含矿热液沿构造运移, 温度下降, 当含矿热液进入北部金鸡群地层时萃取了板岩中的 Pb Zn Ag 等元素, 因而在矿区北部形成铅锌矿体, 产生了成矿元素自南而北的水平分带现象。

表 8 官田矿床气液包裹体成分(10^{-6})

Table 8 Chemical composition of gas and liquid inclusions in the Guantian ore deposit

液相成分	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺
	922.40	14.04	1.02	135.9	99.16	16.16	11.54
气相成分	H ₂ O	CO ₂	CH ₄	CO	N ₂	H ₂	O ₂
	814.97	134.63	0.24	6.50	0.00	0.00	0.00

注: 包体成分分析由中国地质科学院矿床所陶恭益、陈伟十完成。

官田铜碲黄铁矿矿床的成因以黄铁绢英岩交代作用为主, 由于热液脉动作用产生多次矿化叠加。交代建造中的硫主要来源于火山- 岩浆期后气液, 在交代作用晚期有大气降水参与。在大气降水参与下, 热液产生多期脉动作用, 形成本区硫盐矿物。

参 考 文 献

- 1 夏学惠等. 广东陆丰硫铁矿床中铜、金、银、碲、铋赋存状态研究, 化工矿产地质, 1996, 18(2): 82—91.
- 2 王 濮等. 系统矿物学(下册). 1984, 北京: 地质出版社.
- 3 夏学惠等. 广东陆丰硫铁矿床中黝铜矿系列矿物的发现及研究. 化工矿产地质, 1996, 18(3): 186—190.
- 4 夏学惠等. 碲砷黝铜矿在我国的首次发现及其找矿意义. 岩石矿物学杂志, 1995, 14(4): 360—364.
- 5 赵一鸣等. 交代成矿作用及其找矿意义. 北京: 北京科学技术出版社, 1992, 10.

Genesis of the Guantian Cupriferous and Te-bearing Pyrite Deposit in Guangdong with Reference to Other Sulfate Minerals

Xia Xuehui Yan Fei Liu Changtao Huang Furong
(Geological Institute for Chemical Minerals, MCI, Zhuozhou 072754)

Key words: sulfate mineral; characteristics of ores; genesis of ore deposit; Lufeng of Guangdong

Abstract

Research on the Guantian pyrite deposit in Guangdong led to the discovery of many sulfate minerals besides pyrite, such as emplectite, aikinite, ourayite, and enargite, totally in excess of ten species. All these species were described with respect to their mineralogical characteristics, and the mineralizing activities in the deposit were grouped into three phases following a comprehensive review of the ore textures as well as features of common and trace elements. Further studies were focused on the genesis of the deposit based on S, H and O isotopes, inclusion homogenization temperatures and other features. It is consequently concluded that the Guantian deposit should owe its formation to the metasomatism at low to intermediate temperatures by the postmagmatic hydrothermal solution along with less meteoric water, suggesting the deposit is a hydrothermal metasomatic vein type one.

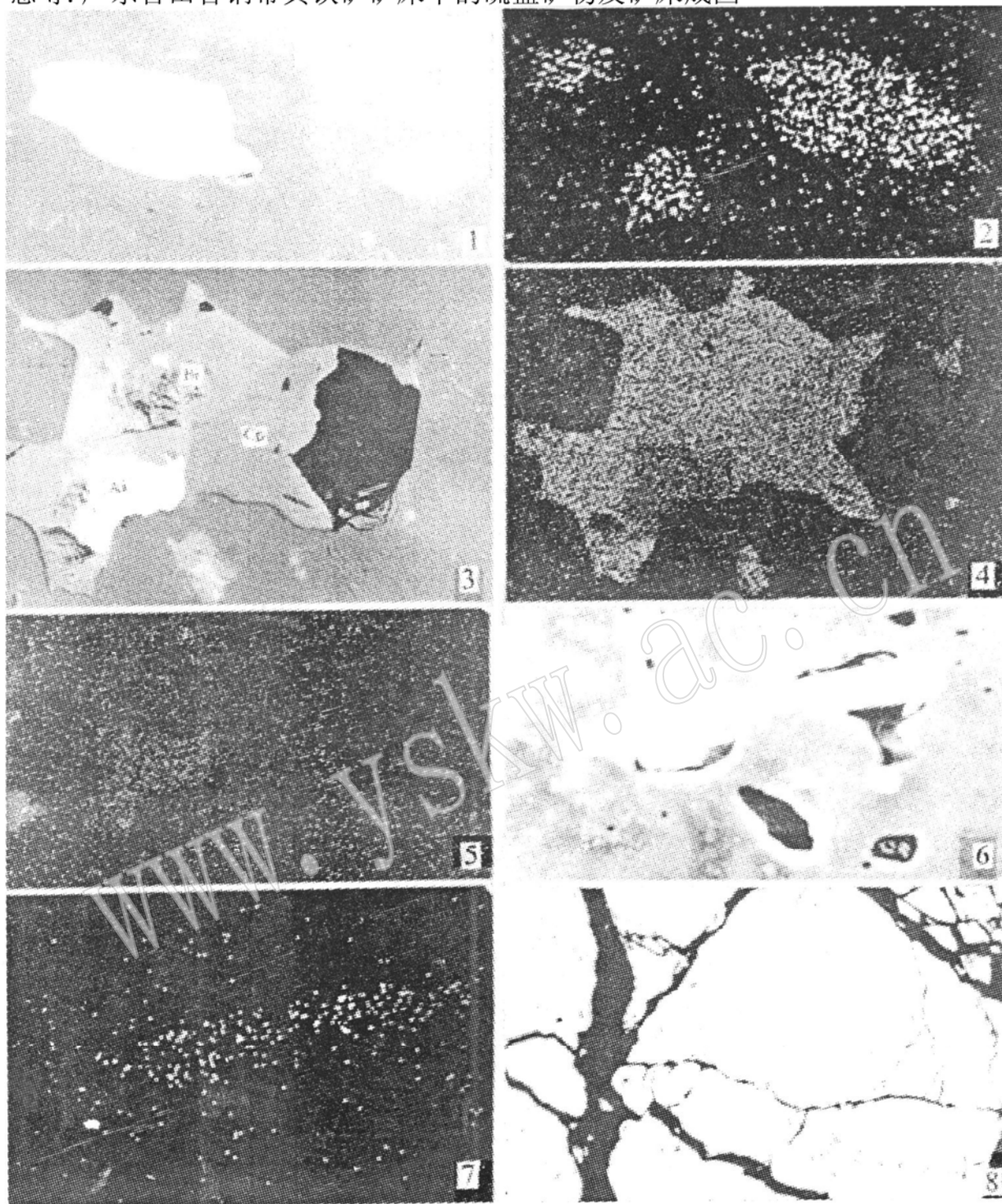


图 版 说 明

- 照片 1 硫铜铋矿(白色)嵌布在黄铁矿中,扫描电镜二次电子象 832
- 照片 2 硫铜铋矿 Cu 元素面分布象 × 832
- 照片 3 针硫铋铅矿(AiP 与黄铜矿(CpP)、铋砷黝铜矿(Bi)共生,嵌布在黄铁矿中,扫描电镜背散射电子象 × 252
- 照片 4 针硫铋铅矿 Cu 元素面分布象 × 252
- 照片 5 针硫铋铅矿 Pb 元素面分布象 × 252
- 照片 6 针硫铋银矿(白色)嵌布在黄铁矿中,扫描电镜二次电子象 × 1250
- 照片 7 针硫铋银矿 Bi 元素面分布象 × 1250
- 照片 8 黄铁矿生长环带,环带由细小的盐矿物组成,硫盐矿物为硫铋铜矿与针铋铅矿,反射光 × 50