地质找矿论丛

Ì

# 玲珑金矿床黄铁矿成因矿物学研究 及找矿远景的确定

#### 刘星

(昆明工学院)

**摘 要** 根据对主要矿石矿物黄铁矿之产状、形态、成分、物性的综合研究,发现东山矿区具有上部 矿体特征,西山矿区具有下部矿体的特征。成矿后的玲珑断裂将西山下部矿体上推到与东山上部矿 体基本相当的高度,因此东山矿区深部远景将远远大于西山矿区,后来的探矿工程证实了此结论。 总结出利用黄铁矿部分性质作为指示矿床垂直分带的标志。总结出评价石英脉含矿性的黄铁矿的 标型特征。

关键词 金矿 黄铁矿 标型特征 找矿远景

玲珑金矿是我国目前最大、开采历史最久的含金石英脉型金矿。本文对其中最重要的矿石 矿物──黄铁矿进行了较为系统的研究,为解决这个老矿山东山和西山两矿区的找矿远景和 那些尚未勘探的石英脉的含矿性评价提供有用信息。

1 矿山地质背景及黄铁矿的产状分布

玲珑金矿产于燕山期的玲珑花岗岩中。其成矿作用分为五个阶段: I 钾长石-石英阶段; I 白云母一石英阶段; I 早期硫化物阶段; IV 多金属硫化物阶段; V 石英一碳酸盐阶段。其 中 II、IV 为主要成矿阶段。

黄铁矿主要在第■阶段大量产出,是含金矿脉的重要矿石矿物。该阶段的 II 2--3亚阶段在 局部可形成很富的金矿体。各阶段黄铁矿的分布及特点见表1。

走向 NNE 的玲珑断裂将该矿分为东山和西山两矿区,两者沿此断裂发生了相对位移。在 西山矿区,随着磁黄铁矿数量的增加,矿脉品位迅速降低(磁黄铁矿的大量出现,意味着成矿热 液系统的硫逸度较低,对金矿化不利,标志着矿体下部较高温的矿化条件),说明西山矿区具有 下部矿体的特征,又预示着金矿化快要尖灭。

#### 表1 玲珑金矿黄铁矿的一般特征

	đ	x			西	ш					东	ш́		
<u></u> 阶	 段	性质	分布	粒度 mm	主要晶习	微形貌	组合	含矿性	分布	粒度 mm	主要晶习	微形貌	组合	含矿性
ł	炭酸盐	盐(V)	<b>很少</b> 中上 部	0.1	{100}	//〔001〕的 细密条纹	菱铁矿 石英	贫	少量上部	0.1	{100}	//[001] 细密条纹	方 <b>解</b> 石 石英	贫
多	金属 (I	硫化物 ∨)	少量 中下 部	0. 2	{210}+ {100}	//〔001〕 〔002〕 片状层	黄铜矿 方铅矿 闪锌矿	富	少量中部	0.2~ 0.5	{111}+ {100} {111}+ {100}+ {210}	// (001) (011) (012) 片状层	黄铜矿 闪锌矿	富
早期	石 黄 (	ī英— 【鉄矿 〔Ⅱ3)	很多	0. 5	{100}+ {210}	//〔001〕 〔012〕 片状层	石英	宫	很多	<b>0.</b> 5~1	{100}+ {111} {100}+ {210}	//〔001〕 〔011〕〔012〕 片状层	石英	富
勅硫化物(■)	磁黄 黄铁	\$鉄矿— ず(Ⅱ2)	多下部	0. 3	<100}、 {210}、 <sup>•</sup> {hki}、 聚形	//〔001〕 {012〕〔okl〕 片状层	磁黄鉄矿	贫	缺					
	黄 - (	读 <b>铁矿</b> - 石英 〔 <b>Ⅱ</b> 」)	多	5~20	{100}	∥(001) 粗条纹	石英	贫	3	0.5	{100}	//[001] 粗条纹	石英	贫
白云	母—2	石英( <b>Ⅰ</b> )	很少 下部	0.2	{100}		白云母 石英	无	缺					
钾长	石	, 石英(I)	极少 下部	<0.1	{100}		<b>伊</b> 长石 石英	无	缺			,		

Table 1 General features of pyrite in Linglong Gold Mine

在东山矿区, II 阶段的黄铁矿脉中发育有全由黄铁矿晶体组成的晶洞,但在西山矿区未见 这样的晶洞发育。说明东山黄铁矿是在比西山更富挥发组分的上部成矿部位形成的。

根据晶体习性的研究,西山矿区以{100}、{210}习性为主,出现的聚形种类较简单;而东山 矿区以{100}、{111}习性为主,{210}习性次之,聚形种类较复杂。根据热液金矿的一般规律,东 山矿区具有上部矿体的特征。

从含矿性看,当黄铁矿的晶形、微形貌复杂时,含矿性一般均好。

## 2 化学成分

对玲珑金矿的28个黄铁矿样品进行了化学分析。

2.1 主元素特征

玲珑金矿黄铁矿的主成分均值为 S=52.26%, Fe=46.05%, 低于理想成分(S:53.45%, Fe:46.55%), 分子式中 S/Fe 比值绝大部分≤2, 即 S 亏损的特征。

成矿阶段黄铁矿的 S 含量变化有一定规律,从早到晚,S 含量增加;但 Fe 含量没有这个规律(表2)。

		_	_		蚀变图岩			
PUT EX	1	<b>E</b> 1	₩ 23	IV	花岗岩	闪长岩		
样品数	1	6	13	4	3	1		
<u></u> <u> </u>	52.44	52. 50	52.55	53. 38	52.46	52.19		
Fe(%)	45. 91	46.66	46. 09	46. 64	47.04	47.28		

#### 表2 玲珑金矿黄铁矿主元素成分

Table 2 Main elements of pyrite in Linglong Gold Mine

#### 2.2 微量元素特征

#### 2.2.1 不同元素组的特征

对黄铁矿进行了23项微量元素分析,对重要元素组讨论如下:

2.2.1.1 As, Sb, Bi

一般认为它们以 As<sup>3-</sup>、Sb<sup>3-</sup>、Bi<sup>3-</sup>代替 S<sup>2-</sup>进入黄铁矿晶格,并出现空位构造缺陷。这种替 代在低温有利,在高温受限制。

在时间上,本区黄铁矿的 As 从早到晚增加,而 Sb、Bi 则有减少的趋势,As/Sb 比值从早到 晚增大,这实质上说明随着黄铁矿形成温度的降低,As 含量和 As/Sb 比值也增大(表3)。

在空间上,随着标高增大(从下向上),黄铁矿的 As 含量和 As/Sb 比值也有规律地增大(表 4)。

因此, 黄铁矿的 As 含量和 As/Sb 比值可作为形成温度和标高的标志, 对判断矿体的形成 温度、赋存标高和剥蚀程度有一定意义。

两区对比(表4,5),东山黄铁矿的 As、Sb 含量普遍高于西山,反映出东山矿区的成矿位置高于西山,成矿温度低于西山。

2. 2. 1. 2 Se, Te

在热液作用中,Se一般代替S呈类质同象,易于在低温富集;Te主要与Au、Ag等共生。也可少量进入硫化物。

在时间上,本区黄铁矿的 Se、Te 含量无明显变化趋势(表3),但 Se/Te 比值有从早到晚减

小的趋势。在空间上,Se、Te均有从下向上增加的趋势,Se/Te比值的变化则不大规律(表4,5)。

表3 玲珑金矿不同成矿阶段黄铁矿的微量元素含量变化(ppm)

Table 3 Trace elements of pyrite in different stages in Linglong Gold Mine

	阶段	样品数	As	Sb	As/Sb	Bi	Se	Te	Se/Te	Tí	v	Cr
1	IV	3	$\frac{673.6 \sim 2130}{1211.3}$	$\frac{6 \sim 14.7}{10.5}$	115. 4	$\frac{3 \sim 10}{6.5(2)}$	$\frac{1 \sim 3.13}{1.73}$	$\frac{0.2 \sim 45.86}{19.13}$	0. 09	$\frac{2\sim3}{<3}$	$\frac{3\sim60}{22}$	$\frac{2\sim 6}{3.3}$
2	<b>I</b> 2-3	12	$\frac{20 \sim 1648.6}{831.7}$	$\frac{2\sim 35}{12.1}$	68.7	$\frac{1.6 - 23}{7.4(6)}$	$\frac{0.8 \sim 5}{1.85}$	$\frac{0.1 \sim 65}{15.69}$	0. 11	$\frac{2\sim 28}{7.65}$	$\frac{3\sim 80}{13.2}$	$\frac{2\sim7}{3.4}$
3	<b>H</b> 1.	5	$\frac{221 \sim 1200}{833.0}$	$\frac{10 \sim 36.4}{25.4}$	32. 8	$\frac{1.5 \sim 47}{15.2(4)}$	$\frac{1.8 \sim 8.7}{4.04}$	$\frac{2.2 \sim 69}{27.16}$	0. 15	$\frac{3 \sim 42}{12.40}$	$\frac{3\sim 80}{20.0}$	$\frac{2\sim 12}{7.0}$
4	T	1	410	5	82. 00		2	6.4	0. 31	120	60	2

(续表3)

	Co	Ni	Co/Ni	Cu	Рь	Zn	Ag	Au	Ag/Au	Hg
1	$\frac{25 \sim 42}{30.8}$	$\frac{3.4 \sim 25}{13.1}$	2. 35	14.8~13700 4998	$\frac{45 \sim 250}{179}$	$\frac{44 \sim 6500}{2199}$	$\frac{42 \sim 130}{73.3}$	$\frac{13 \sim 102}{47.7}$	1.54	1.7(1)
2	$\frac{7 \sim 529}{115.7}$	$\frac{3 \sim 85}{29.6}$	3. 91	$\frac{82 \sim 20800}{6210}$	$\frac{39 \sim 2400}{465}$	$\frac{43 \sim 10400}{1763}$	$\frac{13 \sim 220}{90.1}$	$\frac{1 \sim 296.7}{66.6}$	1.35	$\frac{0 \sim 9.9}{3.6(6)}$
3	$\frac{140 \sim 532}{241.8}$	$\frac{3 \sim 138}{60.5}$	4.00	$\frac{1.3 \sim 500}{236}$	$\frac{38 - 260}{86}$	$\frac{35 \sim 240}{85}$	$\frac{8 \sim 45}{33.1}$	$\frac{2.2 \sim 158.4}{43.2}$	0.77	0.2(1)
4	220	60	3.7	20	90	30	6	5.5	1.09	3. 2

横线上为元素变化范围,横线下为平均值,括号内为样品数。

#### 表4 玲珑金矿东山矿区不同标高上黄铁矿的微量元素(ppm)

Table 4 Trace elements of pyrite at different levels in the Eastern Hill District, Linglong Gold Mine (ppm)

\$	示高	样品	S	Fe	As	Sb	As/Sb	Bi	Se	Te	Se/Te	Tì	v
1	375	1	53. 61	46. 85	2130. 5	10.7	199	2. 96	3. 13	9. 44	0. 33	<3	<3
z	325	1	53. 26	46.91	1475. 2	13.4	110	8.51	<1	27.66		<3	<3
3	255	2	51.28~53.20 52.25	46. 25~46. 97 46. 52	673. 6~1648. 6 1161. 1	$\frac{14.7 \sim 36.4}{25.5}$	45.5	$\frac{10 \sim 46.8}{28.38}$	$\frac{1.07 \sim 8.74}{4.91}$	45.86~69.01 57.44	0. 09	< 3	< 3
4	206	4	52. 19~53. 11 52. 79	46.28~46.89 46.50	231.4~1412.9 684.6	$\frac{13.1 \sim 35}{23.8}$	28.8	$\frac{1.81 - 39}{13.05}$	$\frac{1.55 \sim 5.36}{3.44}$	11.95~65.11 36.33	0. 09	<3~6.24	< 3
5	170	3	52.59~52.93 52.76	46.38~46.71 46.53	$\frac{263.6 - 948}{550.9}$	$\frac{13.2 \sim 31.9}{20.2}$	27.3	$\frac{1.51 \sim 22.96}{8.69}$	$\frac{1.75 \sim 5.16}{3.77}$	15. 15~40. 76 24. 85	0.15	<3~5.09	<3 ·
6	130	4	51.73~53.04 52.62	46.89~47.39 47.11	$\frac{221}{52} \frac{841.2}{1.3}$	$\frac{13.1 \sim 35.4}{19.8}$	26. 5	$\frac{1.87 \sim 7.75}{4.35}$	1.46~1.95 1.68	5.98~21.26 15.54	0.11	$\frac{3\sim28.05}{9.81}$	3~3.69 3.17

(续表4)

	Cr	Co	Ni	Co/Ni	Cu	Ръ	Zn	Ag	Au	Ag/Au
1	<2	25.81	3. 42	7.55	1279.6	45. 2	54.0	42. 04	28.17	1.49
2	<2	29. 56	5.95	4. 97	225. 1	51. 1	47.2	53.25	215. 17	0. 25
3	$\frac{2-11.57}{6.80}$	$\frac{24.6 - 346.3}{1.54}$	$\frac{10.8 - 138.3}{74.56}$	2. 49	<u>14.8-380.6</u> 197.7	$\frac{41.4 - 242.8}{142.1}$	<u>35.3-44.2</u> 39.7	44.69-47.89 46.29	$\frac{101.92 - 158.43}{130.18}$	0. 36
4	$\frac{2-24.58}{8.96}$	<u>10</u> ; <u>32</u>	$\frac{13.1-65.6}{36.02}$	6.44	$\frac{1.3-869}{352.0}$	<u>39. 2- 581. 5</u> 181. 0	$\frac{22.9-73.1}{71.9}$	$\frac{30.5 - 41.98}{38.85}$	$\frac{10.61 - 49.53}{24.82}$	1.57
5	$\frac{2-5.89}{3.30}$	$\frac{110.8 - 529.4}{262.6}$	$\frac{3-50.6}{23.9}$	10. 99	$\frac{63.3-390.9}{175.8}$	<u>38.6-151.5</u> 82.4	$\frac{36.6-57.8}{47.0}$	$\frac{40-46.82}{42.29}$	8.57-98.35 61.93	0.68
· ·	$\frac{2-7.74}{3.44}$	<u>49. 2-145. 2</u> 75. 76	$\frac{18.5-35.7}{24.5}$	3.09	<u>28.3-289.5</u> 200.8	$\frac{40.3 - 421.9}{140.0}$	$\frac{30-294.9}{114.2}$	26.09-46.53 36.00	$\frac{20.41 - 296.72}{91.82}$	0. 39

	<b>表</b> 5	玲珑金矿西山矿	区不同标高。	上黄铁矿	的微量元素	(ppm)		
Table 5	Trace elements o	f pyrite in differen	t levels in the	Western	Hill district,	Linglong	Gold Mine	(ppm)

柄	高田	样品数	S(%)	Fe(%)	As	Sb	As/Sb	Se	Те	Se/Te	тı	v	Cr
1	300	2	<u>51.68~52.65</u> 52.17	45. 91~47. 14 46. 52	$\frac{1200 \sim 1400}{1300}$	$\frac{4 \sim 10}{7}$	186	$\frac{1.5 \sim 1.8}{1.65}$	$\frac{1 \sim 2.2}{1.6}$	1. 03	$\frac{10 \sim 41}{25.5}$	<u>80~80</u> 80	$\frac{5\sim7}{6}$
2	260	3	52.18~53.88 53.22	45.88~46.84 46.34	$\frac{620 - 840}{763}$	$\frac{6\sim11}{8}$	95	$\frac{1\sim 8}{3.3}$	$\frac{0.2 \sim 1.6}{0.67}$	4. 93	$\frac{2 \sim 42}{15.3}$	$\frac{10 \sim 60}{26.6}$	$\frac{2 \sim 15}{7.6}$
3	230	3	51.09~52.64 51.68	45.46~46.72 46.95	170~780 450	$\frac{2\sim 8}{5}$	90	$\frac{0.9 \sim 2}{1.3}$	$\frac{0.3 \sim 6.4}{2.4}$	0. 54	$\frac{2 \sim 120}{50}$	$\frac{10 \sim 60}{36.6}$	$\frac{2\sim7}{3.7}$
4	220	1	52. 28	41.60	620	6	103	0. 9	0.1	9	22	10	3
5	190	1	52. 84	46.30	20	11	2	0. 8	0. 2	4	7	20	2

#### (续表5)

	Co	Ni	Co/Ni	Мо	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Ag/Au	Hg
1	140~190 165	$\frac{20 \sim 40}{30}$	5.50	$\frac{1 \sim 2}{1.5}$	$\frac{500 - 20800}{10650}$	250~260 255	$\frac{190 \sim 240}{215}$	$\frac{8 \sim 140}{74}$	$\frac{2 \sim 13}{5.7}$	12. 98	$\frac{0.2 \sim 3}{1.6}$
2	<u>40~48</u> 44	$\frac{25 \sim 180}{76.7}$	0. 56	$\frac{0\sim 5}{3.3}$	800~19500 11330	$\frac{250 \sim 1600}{700}$	$\frac{1200 \sim 10400}{6000}$	$\frac{15 \sim 200}{115}$	$\frac{2\sim 210}{11.6}$	9. 91	$\frac{0.3 \sim 5.7}{2.56}$
3	<u>7~220</u> 109	<u>33~85</u> 59	1.85	$\frac{1\sim 2}{1.3}$	$\frac{20 \sim 21700}{7910}$	<u>90~1500</u> 567	$\frac{30 \sim 1200}{520}$	$\frac{6 \sim 160}{64.67}$	$\frac{5 \sim 34}{14.8}$	4. 37	$\frac{0 \sim 9.9}{4.36}$
4	9	25	0. 36	2	2800	290	2600	110	1	110	0.9
5	19	50	0. 38	1	5600	2400	6200	15	20	0.75	2. 1

横线上为含量变化范围横线下为平均值

两区对比(表4,5),东山黄铁矿的 Se、Te 含量普遍高于西山,也说明东山比西山的成矿位 置高而形成温度低。

2.2.1.3 Ti,V,Cr

在本区黄铁矿中,它们是常见的微量元素,变化范围在 n~n×10(ppm)之间。一般认为 Ti、 V、Cr 都趋于在高温状态时进入黄铁矿。

在时间上,从早阶段到晚阶段,本区黄铁矿中的 Ti、V、Cr 均有减少的趋势(表3)。在空间上,从下向上,Ti 有明显的向上减少的趋势,而 V、Cr 的趋势不明显(表4,5)。

两区对比(表4,5),东山黄铁矿的 Ti、V、Cr 含量普遍小于西山,反映出东山黄铁矿的形成 温度较低,而形成的空间位置较高。

2.2.1.4 Co,Ni

本区黄铁矿中,Co、Ni含量较高。

在时间上,本区黄铁矿的 Co、Ni 含量有从早到晚减少的规律,Co/Ni 比值也有减小的趋势 (表3)。

在空间上,本区黄铁矿的 Co、Ni 含量有从下部向矿体中部增加的趋势,然后从矿体中部向上部又呈减少的趋势。而 Co/Ni 比值则趋于从下向上增大(表4,5)。

两区对比,东山黄铁矿 Co含量平均值大于西山,而 Ni含量平均值小于西山,因而东山的 Co/Ni 比值大于西山,可能也反映出东山成矿位置较高的特点。

2.2.1.5 Cu, Pb, Zn

本区黄铁矿含 Cu、Pb、Zn 较高,含量变化范围很大,这说明在黄铁矿中混入了相当数量的

多金属硫化物的微粒。

在时间上,从早到晚,本区黄铁矿的 Cu、Pb、Zn 含量有增高的趋势,尤其在 Ⅲ<sub>2-3</sub>、Ⅳ 阶段, 黄铁矿的 Cu、Pb、Zn 含量比更早的阶段高出1-2个数量级(表3)。

在空间上,从下向上,本区黄铁矿的 Cu 含量有增高的趋势,而 Pb、Zn 含量有降低的趋势 (表4,5)。这与向矿体下部方铅矿、闪锌矿增多的现象是一致的。

两区对比,西山黄铁矿的 Cu、Pb、Zn 含量普遍大于东山黄铁矿的1-2个数量级,与西山矿 区大量出现多金属硫化物(尤其是闪锌矿、方铅矿)的现象相对应,而在东山矿区也有矿体从上 向下多金属矿化物增多的趋势。如此看来,本区黄铁矿的 Cu、Pb、Zn 含量也反映了东山矿体在 上,西山矿体在下的特征。

2.2.1.6 Au, Ag, Hg

本区黄铁矿的 Au、Ag、Hg 含量在 n~nx100(ppm)之间变化,其中 Au 平均50. 48(ppm)、Ag 平均57(ppm),Hg 平均2. 7(ppm)。

本区黄铁矿的 Au、Ag、Hg 含量与成矿阶段的关系是,Au、Ag 在成矿阶段(Ⅲ、Ⅳ)富集,尤 其是在Ⅲ2-3阶段富集最为明显,Hg 也有类似的情况(表3)。这种情况与Ⅲ2-3阶段黄铁矿中含 较多包体金的现象一致。在空间上,本区黄铁矿的 Au、Ag、Hg 含量与标高没有什么明显的变化 规律(表4,5)。

两区对比,东山黄铁矿Au含量平均值(77.07ppm)比西山的黄铁矿Au平均值(10.59ppm) 高出约7.3倍,而西山黄铁矿Ag含量均值(81ppm)又比东山的(41ppm)高出近一倍。这也间接 说明为什么东山矿区的金储量比西山丰富得多的原因。

2.2.2 **微量元素的标型特**征

2.2.2.1 各阶段黄铁矿的标志元素

从 I → I 1→ I 2-3→ IV 阶段,黄铁矿的微量元素及其有关比值有一定的变化规律,各阶段 有比较特征的标志元素(表6)。

• •

#### 表6 玲珑金矿黄铁矿指示成矿阶段的标志元素

Table 6 Elements indicating mineralizing stages by pyrite in Linglong Gold Mine

阶段		As/Sb	Se/Te	Co/Ni	Ag/Au
IV	As Cu Zn (Au Ag)	115.4	0. 09	2. 35	1. 54
<b>I</b> 2-3	Au Ag Pb (Zn)	68. 7	0.11	3.91	1. 35
Ш і	Sb Bi Te Cr (Co Ni)	32. 8	0.15	4.00	0.77
I	Co Ni Ti V	82.0	0.31	3.70	1.09

2.2.2.2 微量元素的垂直分带

产于不同标高上的黄铁矿,其微量元素的变化是有一定规律的。东山矿区和西山矿区黄铁 矿微量元素的分带情况见表4,表5。 第六卷 第三期

#### 表7 玲珑金矿黄铁矿微量元素的垂直分带

Table 7 Vertical zoning of trace elements of pyrite in Linglong Gold Mine

标高(m)	标志元素	As/Sb	Se/Te	Co/Ni
>300	As Cu Ag Au (Te)	110-199	0. 33	4.97-7.55
300-200	So Bi Se Te Po (Co Ni)	28.8-45.5	0. 09	2. 49-6. 44
<200	Zn Ti V Cr Co Ni	1.8-27.3	0.11-0.15	3.09-10.99

综合整个玲珑金矿的情况,以大于300m 为矿体上部,300-200m 为矿体中部,小于200m 为矿体下部。可以发现,As、Ag、Au、Cu 主要为上部元素;Sb、Bi、Se、Te、Pb 主要为中部元素;Ti、V、Cr、Co di, Zn 主要为下部元素(表7)。

2.2.2.3 微量元素与含矿性

不同产状的黄铁矿,其微量元素含量与含矿性有关,这主要表现在微量元素总量。Cu+Pb +Zn、As+Sb+Se+Te、Ti+V+Cr的量上(表8)。

#### 表8 玲珑金矿黄铁矿微量元素与含矿性

Table 8 Relation between ore Erade and trace elements of pyrite in Linglong Gold Mine

产 状	样品数	微量元素总量(%)	Cu+Pb+Zn(%)	As+Sb+Se+Te(%)	Ti+V+Cr(%)
富矿(Ⅳ)	3	0. 8820	0. 7004	0. 1242	0. 0028
富矿(Ⅲ)	12	1.1084	0. 9245	0. 0890	0. 0026
贫矿(Ⅲ)	5	0. 1910	0. 1016	0. 0627	0. 0035
围岩	4	0.1611	0. 0386	0. 0556	0. 0044
无矿	1	0. 1000	0. 0140	0. 0423	0. 0182

富矿黄铁矿主要在中一低温条件下快速结晶,往往形成较多的结构缺陷,易吸附杂质,因此比贫矿、围岩、无矿的黄铁矿含有更多的微量元素总量。Cu、Pb、Zn、As、Sb、Se、Te等元素常与Au、Ag相亲,所以含矿黄铁矿中富含它们。而Ti、V、Cr一般易在高温条件下进入黄铁矿,而此时对Au成矿却不利,所以含矿黄铁矿贫这些元素。

3 热电系数

对玲珑金矿东山、西山矿区黄铁矿系统测定了热电系数,其中西山1146粒,东山3486粒,共 得数据4632个。

3.1 热电系数与成矿阶段

对应不同的成矿阶段,本区黄铁矿热电系数的+~值有从早到晚增大的趋势;-~~值则有从

早到晚减少的趋势;导型类型的变化趋势则是从早到晚 N 型减少,P 型增加(表9)。

一般认为,在早阶段高温条件下形成的黄铁矿,主要出现电子导型(N型);晚阶段低温条件下形成的黄铁矿,主要出现空穴导型(P型)。早阶段的热电系数值分布比较离散,而晚阶段的比较集中。玲珑金矿的黄铁矿热电系数和导型情况与此规律是基本吻合的。

#### 表9 玲珑金矿东山矿区黄铁矿热电性与成矿阶段

 Table 9
 Relation between thermoelectricity of pyrite and mineralizing stages in the Eastern Hill District, Linglong

 Gold Mine

阶段	样品号	脉号	标高(m)	产状	粒数	+amax	+a <sub>min</sub>	$+\overline{\alpha}$	- amax	-α <sub>min</sub>	-ā	N/(N+P)%
v	N-1	52	130	石英方解石小脉	10	292	14	115				0
v	2-170	2	170	石英方解石小脉	10	569	437	515.1				0
IV	4-350	4	350	晶洞中多金属硫化物	20	459	307	375.4				0
<b>A</b> 2	52-255	52	255	黄铁矿脉	20	190	102	134.8				0
<b>B</b> 2	52-176	52	176	黄铁矿脉	20	433	130	254	85	71	78	10
Щ.,	9-206	9	206	石英脉中浸染状黄铁矿	30	444	211	270	102	17	58.4	26.7
Ш,	9-170	9	170	石英脉中团块状黄铁矿	12	258	92	163	57	43	52	33. 3
1	N11		130	伊长石石英小脉	10	357	232	210	370	185	260	60

#### 表10 玲珑金矿东山矿区黄铁矿热电性与成分

Table 10 Thermoelecticity and composition of pyrite in the Eastern Hill District, Linglong Gold Mine

样品号P5P6P2P1脉号52525252标高(m)375325206170勘探线61457171阶段N $\mathbb{I}_2$ $\mathbb{I}_2$ $\mathbb{I}_2$ S( $^{0}_{1}$ )53.6153.2653.0452.93Fe( $^{6}_{2}$ )46.8546.9146.8946.71系数 S/Fe1.9931.9781.9701.974As(ppm)21301475.21412.9441.1Co(ppm)25.8129.56143.91110.83Ni(ppm)3.425.9513.0718.11+ $\alpha$ $\frac{202 \sim 422^{*}}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$						
脉号52525252标高(m)375325206170勘探线61457171阶段N $II_2$ $II_2$ $II_2$ S(%)53.6153.2653.0452.93Fe(%)46.8546.9146.8946.71系数 S/Fe1.9931.9781.9701.974As(ppm)21301475.21412.9441.1Co(ppm)25.8129.56143.91110.83Ni(ppm)3.425.9513.0718.11+ $\alpha$ $\frac{202 \sim 422^{*}}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	样品号	P5	P6	P2	P1	P7
$\overline{\text{Wrightarrow here}}$ 375325206170 $\overline{\text{B}}$ 61457171 $\overline{\text{Mrg}}$ $\overline{\text{N}}$ $\overline{\text{H}}_2$ $\overline{\text{H}}_2$ $\overline{\text{H}}_2$ $\overline{\text{S}}$ $\overline{\text{V}}$ $\overline{\text{H}}_2$ $\overline{\text{H}}_2$ $\overline{\text{H}}_2$ $\overline{\text{S}}$ $\overline{\text{S}}$ 53.6153.2653.0452.93 $\overline{\text{Fe}}$ $\overline{\text{M}}$ 46.8546.9146.8946.71 $\overline{\text{S}}$ $\overline{\text{S}}$ $\overline{\text{Fe}}$ $\overline{\text{N}}$ $\overline{\text{1.978}}$ $\overline{\text{1.970}}$ $\overline{\text{1.974}}$ $As(\text{ppm})$ 2130 $1475.2$ $1412.9$ $441.1$ $\overline{\text{Co}}(\text{ppm})$ $25.81$ $29.56$ $143.91$ $\overline{110.83}$ $Ni(\text{ppm})$ $\overline{3.42}$ $5.95$ $13.07$ $18.11$ $\overline{4a}$ $\frac{202 \sim 422 \cdot}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	脉号	52	52	52	52	52
勘探线61457171阶段N $II_2$ $II_2$ $II_2$ S( $^{\circ}_0$ )53.6153.2653.0452.93Fe( $^{\circ}_0$ )46.8546.9146.8946.71系数 S/Fe1.9931.9781.9701.974As(ppm)21301475.21412.9441.1Co(ppm)25.8129.56143.91110.83Ni(ppm)3.425.9513.0718.11+a $\frac{202 \sim 422^{+}}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	标高(m)	375	325	206	170	130
阶段NH2H2H2 $S(^{\circ}_{1})$ 53.6153.2653.0452.93Fe(%)46.8546.9146.8946.71系数 S/Fe1.9931.9781.9701.974As(ppm)21301475.21412.9441.1Co(ppm)25.8129.56143.91110.83Ni(ppm)3.425.9513.0718.11 $+\alpha$ $\frac{202 \sim 422}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	勘探线	61	45	71	71	71
$S(\ensuremath{^{\circ}}_{6})$ 53. 6153. 2653. 0452. 93Fe(\ensuremath{^{\circ}}_{6})46. 8546. 9146. 8946. 71 $\Re$ S/Fe1. 9931. 9781. 9701. 974As(ppm)21301475. 21412. 9441. 1Co(ppm)25. 8129. 56143. 91110. 83Ni(ppm)3. 425. 9513. 0718. 11 $+\alpha$ $\frac{202 \sim 422}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	阶段	N	<b>H</b> 2	II 2	<b>II</b> 2	II 1
Fe(%)46.8546.9146.8946.71系数 S/Fe1.9931.9781.9701.974As(ppm)21301475.21412.9441.1Co(ppm)25.8129.56143.91110.83Ni(ppm)3.425.9513.0718.11 $+\alpha$ $\frac{202 \sim 422}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	S( ° 0 )	53.61	53. 26	53.04	52.93	52.93
系数 S/Fe1.9931.9781.9701.974As(ppm)21301475.21412.9441.1Co(ppm)25.8129.56143.91110.83Ni(ppm)3.425.9513.0718.11 $+\alpha$ $\frac{202 \sim 422}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	Fe(%)	46.85	46, 91	46. 89	46.71	47.05
As(ppm)21301475.21412.9441.1Co(ppm)25.8129.56143.91110.83Ni(ppm)3.425.9513.0718.11 $+\alpha$ $\frac{202\sim422}{327.5(20)}$ $\frac{197\sim414}{248(20)}$ $\frac{37\sim318}{170(18)}$ $\frac{32\sim330}{219(30)}$	系数 S/Fe	1.993	1.978	1. 970	1.974	1.960
Co(ppm)25.8129.56143.91110.83Ni(ppm)3.425.9513.0718.11 $+\alpha$ $\frac{202 \sim 422}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	As(ppm)	2130	1475.2	1412.9	441.1	221.6
Ni(ppm) $3.42$ $5.95$ $13.07$ $18.11$ $+\alpha$ $\frac{202 \sim 422}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	Co(ppm)	25.81	29. 56	143. 91	110. 83	145. 19
+ $\alpha$ $\frac{202 \sim 422}{327.5(20)}$ $\frac{197 \sim 414}{248(20)}$ $\frac{37 \sim 318}{170(18)}$ $\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	Ni(ppm)	3. 42	5. 95	13. 07	18.11	18.54
	+α	$\frac{02 - 422}{27.5(20)}$	$\frac{197 \sim 414}{248(20)}$	$\frac{37 \sim 318}{170(18)}$	$\frac{32 \sim 330}{219(30)}$	$\frac{35 \sim 359}{141(14)}$
$-\alpha \qquad \qquad \frac{31 \sim 39}{35(2)} \qquad \frac{71 \sim 126}{103(6)}$	α			$\frac{31 \sim 39}{35(2)}$	$\frac{71 \sim 126}{103(6)}$	$\frac{75 \sim 211}{149(6)}$
N/(N+P)% 0 0 10 16.7	i/(N+P)%	0	0	10	16.7	30

\* 线上为 u 值变化范围,线下为 u 平均值,括号内为粒数。

1 11 -

#### 3.2 热电系数与成分

通过黄铁矿热电系数与成分的对应研究发现:当黄铁矿的 S 含量、As 含量、系数 S/Fe 比 值增大时,热电系数的+α值增大,-α值减小、N 型数量减少;当黄铁矿的 Co、Ni 含量增大时, 热电系数的-α值增大、N 型数量增多(表10)。

这说明当黄铁矿含 S、As 较高时,易于形成空穴型(P型)导型,并且+α 值较大;当含 Co、 Ni 较高时,易于形成电子型(N型)导型,并且-α 值较大。与 Shuey(1975)的认识是一致的。

#### 3.3 热电系数与标高

黄铁矿热电系数和导型不仅与成矿阶段和成分有关,而且与黄铁矿的形成标高有关。通过 对同一条矿脉不同标高(中段)的黄铁矿热电性的研究发现,黄铁矿导型具有很好的空间分带 性(表11,12),空间从上向下,N导型含量有规律增加。而黄铁矿热电系数均值的空间变化情况 则较复杂,在东山从上向下,+~~值减小,-~~值增大;但在西山则无此变化趋势。

表11 玲珑金矿东山矿区52<sup>#</sup>矿脉黄铁矿的热电性 Table 11 Thermoelectricity of pyrite in 52<sup>#</sup> vein in the Eastern Hill District, Linglong gold Mine

—————————————————————————————————————	样品数	+α <sub>max</sub>	+ a <sub>min</sub>	+ā	- amex	- α <sub>min</sub>	α	N型%
350	(10×4)	494	58	301.3	234	35	139	10.0
225	(10×22)	438	34	222.6	221	32	163	13. 2
206	(10×24)	560	22	214.02	259	13	1 <b>87</b>	15.0
170	(10×33)	569	22	237	337	35	180	17.9
130	(10×13)	536	14	196.4	474	15	203	22.3

#### 表12 玲珑金矿西山矿区黄铁矿的热电性

Table 12 Thermoelectricity of pyrite in the Western Hill District, Linglong Gold Mine

脉号	标高 m	样品数	+a <sub>max</sub>	$+\alpha_{min}$	+ a	-a <sub>max</sub>	- a <sub>min</sub>	- <del>a</del>	N型%
56	230	123	566	7	250. 5	392	12	162	54.5
58	230	. 32	374	19	146.5	471	15	120	47.0
55	230	89	615	12	223. 2	812	12	240	36.0
55	190	222	731	11	205	708	9	157.4	37.4
108	230	53	377	17	155. 4	223	11	119. 3	35.9
108	190	54	386	18	187.5	173	17	97.6	37.0

东山、西山矿区对比,二者黄铁矿热电性的最大差别在于导型的百分数(表13)。东山的 N 型少而西山的 N 型多,这说明东山黄铁矿的形成部位高于西山。

#### 表13 玲珑金矿黄铁矿的导型

Table 13 Conduction type of pyrite in Linglong Gold Mine

Ø Z	粒数	· N型%	P型%
东山	1743	22. 6	77.4
西山	573	41.2	58.8
全矿	2316	27. 2	72.8

### 4 黄铁矿谱学特征

对12个黄铁矿样品测定了穆斯鲍尔(M.S)谱(表14)。结果表明谱参数δ值和Q值均很接近,但是东山黄铁矿的δ值普遍略大于西山,而Q值略小于西山。

根据马尔富宁(1975),在外部其他条件相同时,温度降低会使硫化物的δ值略为增大,而 压力增加会使硫化物的Q值略为增大。

因此,玲珑金矿东山矿区和西山矿区黄铁矿的δ、Q值特征,可能反映了东山矿区成矿温 度、压力均小于西山矿区。

•	西		Щ					东	;	山			
	њя.	δ*	Q٠	2	Au	Es/S	₩ F B.	84.8	δ*	Q.	2	Au	Es /C
件如步	脉写	(mr	n/s)	x-	(ppm)	F6/3	作曲写	MA 75 	(mr	n/s)	X-	(ppm)	F6/3
230-1-2	108	0. 300	0.617	43	5.0	0.810	52-3	52	0. 307	0.616	119	10.6	0. 879
190-2-3	108	0. 300	0.612	1 <b>03</b>			93	9	0. 308	0.614	88		0.874
220-3-7	108	0. 304	0.615	110	1.0	0. 796	52-2	52	0. 308	0.618	113	16.3	0. 884
300-5-7	108	0. 305	0. 624	71	2. 2	0. 895	9-2	9	0. 309	0.619	127	22. 9	0. 893
		0.305	0.617	68	5.5	0. 872	<b>52</b> -1	52	0.311	0.617	1 <b>29</b>	78.9	0. 884
260-1-23	108	0.306	0.618	51	22. 0	0. 879	9-1	9	0.310	0.615	<b>9</b> 1		0. 883

表14 玲珑金矿黄铁矿的穆斯鲍尔谱参数

Table 14 Mössbauer spectrum parameters of pyrite in Linglong Gold Mine

中国地质大学(北京)物理室测谱,1984。 \* δ 同质异能位移,Q 四极分裂

此外,黄铁矿的 δ、Q 值还与其 Au 含量及 Fe/S 值有关。Au 含量增加,δ 值增大;Fe/S 值减 小,Q 也减小。说明硫亏损与 Q 值变化有关。 5 结论

86

a. 玲珑金矿两矿区的远景

根据以上对玲珑金矿黄铁矿的产状、形态、成分、物性等方面的综合研究,发现东山矿区的 初始成矿位置比西山矿区高,其成矿时的温度、压力较低而挥发组分较高。东山矿区具上部矿 体的特征,西山矿区具下部矿体的特征。

成矿后,玲珑断裂将一个完整的矿床切割为二,并把西山上推,使西山下部矿体升高到与 东山上部矿体基本相当的高度。在以后的地质历史过程中,西山矿区经历了比东山更多的剥 蚀,而东山矿区深部还保有很多矿量。结论是:东山矿区的深部远景远远大于西山矿区。

令人欣喜的是,新近的一系列钻探、坑探工程不断证实了上述结论是正确的。

b. 指示矿床垂直分带的黄铁矿标志

玲珑金矿黄铁矿的部分性质可作为指示矿床垂直分带的很好的标志。空间上从上向下,黄铁矿的{111}(八面体)习性减少,S、As 含量和 As/Sb 比值降低,Ti、V、Cr 含量增加,热电导型 P 型减少。利用这些特性可对矿床的剥蚀程度进行估计。

c. 评价石英脉含矿性的标型特征

结合石英脉的含矿性特点,总结出利用黄铁矿来评价石英脉含矿性的标型特征(表15)。在 实际工作中,可根据表中的几项标型同时对未勘探的石英脉进行评价。

标型特征	富矿	贫矿	无矿	
晶洞	发育	弱发育	不发育	
含{111}、(210)形态	很发育	弱发育	不发育	
更复杂聚形	发育	躬发育	不发育	
晶面生长层	发育	弱发育	不发育	
微量元素总量(%)	>0.8	0.8~0.1	<0.1	
Cu+Pb+Zn (%)	>0.7	0. 7~0. 1	. <0. 1	
As+Sb+Se+Te (ppm)	>800	800~600	<600	
Ti+V+Cr (ppm)	<30	30~40	>40	

表15 玲珑金矿黄铁矿的标型特征 Table 15 Typomorphic features of pyrite in Linglong Gold Mine

本次研究得到了陈光远教授、孙岱生教授的指导和山东招远金矿地测处许多同志的大力 帮助,谨致诚挚谢意。

#### 参考文献

1 马尔富宁,《矿物的谱学》,发光和辐射中心,科学出版社,1984

2 陈光远,《胶东金矿成因矿物学与找矿》,重庆出版社,1989

3 Shuey R T , Semiconducting ore minerals, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1975

# GENETIC MINERALOGY OF PYRITE AND PROSPECTING FUTURE IN LINGLONG GOLD MINE

#### Liu Xing

(Kumming Institute of Technology)

#### Abstract

Linglong is one of the oldest gold mines in China. It now faces urgent crisis and r.seds to assess the future of it, two Districts and quartz veins that haven't been prospected. Based on the research of occurence, crystal habits, chemical compositions, physical features of pyrite, it is discovered that ore of the Western Hill district belongs to the lower ore-body and ore of the Eastern Hill district is the upper ore-body. Linglong fault had lifted the lower ore-body of the Western Hill district to the level of the upper ore-body of the Eastern Hill district. Surely, more ore can be preserved down below in the depth of the Eastern Hill District. This conclusion has been proved by exploration. The typomorphic features of pyrite for assessing ore grade of quartz veins also are given.