

玲珑金矿床的矿化垂直分带

刘 星

(昆明工学院)

内容提要: 作者用成因矿物学方法深入研究了玲珑金矿(典型的石英脉型)至关重要的问题——矿床的矿化垂直分带问题。研究结果认为:过去一些认为“上有石英脉型,下有蚀变岩型”的金矿化空间分带模式是值得探讨的。在玲珑金矿中,著者认为正确的矿化分带应为:“上有蚀变岩型矿体,下有石英脉型矿体”。确定玲珑断裂将西山矿区(典型石英脉型)相对于东山矿区(过渡型)上推了至少300m,故东山矿区的深部远景将远远大于西山矿区。研究结果已被新近的探矿工程所证实。

主题词: 金矿床 成因矿物学 矿化垂直分带

前 言

玲珑金矿赋存于燕山期的玲珑花岗岩中,有数以百计的含金矿脉,矿脉充填在NE—NEE走向的裂隙系统中。热液成矿作用分为五个阶段:Ⅰ.无水硅酸盐阶段;Ⅱ.含水硅酸盐阶段;Ⅲ.早期硫化物阶段;Ⅳ.多金属硫化物阶段;Ⅴ.碳酸盐阶段。其中Ⅲ、Ⅳ为主要成矿阶段。走向NNE的玲珑断裂从中部将矿床分割为二个部分——西山矿区和东山矿区。

一、玲珑金矿的矿化垂直分带问题

过去认为的该矿床的矿化空间分带是“上有石英脉型,下有蚀变岩型”^①。由于西山矿区最高海拔标高为756m,且为典型的石英脉型;东山矿区最高海拔标高为630m,且除石英脉型以外,还有居于石英脉型和蚀变岩型之间的过渡类型。由于目前在东山矿区还保有较丰富的储量,而西山矿区已经面临紧迫的储量危机了。根据上述的分带认识,自然容易使人们预测玲珑断裂的作用是:把东山上推(东山为上升盘),使西山下降(西山为下降盘),西山深部将会转化出(东山那样丰富储量的)蚀变岩型矿体。但是这种预测与西山深部的探矿检验不相符合。

由于玲珑断裂是一条多期次的宽达100—200m的大破碎带,大部分为第四系覆盖的山谷,两侧为玲珑花岗岩,两侧花岗岩中均为石英脉,石英脉主要组成矿物均为石英、黄铁矿,缺乏可直接对比的明显标志,因而西山、东山相对升降问题长期难以解决。

按照成因矿物学理论,同一作用同一时空中同种矿物的矿物标型相似或相同,反之其形

① 根据生产单位地质人员的一种流行说法,1983

成的物理化学条件有差异,矿物标型也有差异^①。因此,可根据矿物标型的共同性和差异性来揭示矿床的矿化原始垂直分带与成矿后的相对错动。

二、矿化垂直分带的成因矿物学依据

(一) 自然金

玲珑金矿出现的自然金矿物族的类质同象系列为自然金-银金矿-金银矿,以前二种为主,后者只有少量出现。它们以包体金、晶隙金、裂隙金状态出现,它们的分布如表1。

根据晶体生长理论和热液金矿床的自然金产出状态的一般规律,矿体下部多包体金,中部多晶隙金,上部多裂隙金。从玲珑西山、东山均可见包体金向下部增加,裂隙金向上部增加,与一般规律相符。但在西山与东山,包体金、晶隙金、裂隙金三者各自的含量及它们的比例各不相同,显示自然金的产出状态(即产状标型)在西山与东山间出现间断,说明两者间被成矿后构造(即玲珑断裂)错断。它在相邻标高上显示得更为明显,如在260—255m与206—190m,西山包体金分别为东山的3.8与4.5倍,说明西山以包体金为主,具有下部矿体特征;东山与之相反,具上部矿体特征。

根据自然金的产状标型进行对比(表2),可见胶东三山岛蚀变岩型金矿属浅部矿床,玲珑石英脉型金矿属深部矿床,而罗峰金矿则处于两者之间。

从自然金的粒度分布(表3)情况看,玲珑西山金粒度较细,而东山金粒度较粗。由于

表1 玲珑金矿自然金的标高和赋存状态(%)

Table 1. Occurrence state and elevation of native gold in the Linglong gold deposit

西 山				东 山			
标高m	包体金	晶隙金	裂隙金	标高m	包体金	晶隙金	裂隙金
310	25(1)①	50(2)	25(1)	255	13.04(3)	60.87(14)	26.09(6)
300	33.33(2)	50(3)	16.67(1)	206	19.23(5)	57.69(15)	23.08(6)
260	50(3)	33.33(2)	16.67(1)	170	20.09(18)	53.62(37)	20.29(14)
230	66.67(6)	22.22(2)	11.11(1)	130	29.41(5)	52.94(9)	17.65(3)
190	86.21(25)	13.79(3)	0				
Σ	68.52(37)	20.67(13)	7.41(4)	Σ	22.96(31)	55.56(75)	21.48(29)

① 括号内为粒数;西山据58块光片统计,东山据52块光片统计

表2 胶东金矿床的自然金产状特征(%)

Table 2. Mode of occurrence of native gold in gold deposits of eastern Shandong

类 型	粒 数	包体金	晶隙金	裂隙金
三山岛蚀变岩型金矿 ^①	411	9.2	30.6	60.2
罗峰蚀变岩型金矿 ^②	267	33.33	42.20	22.47
玲珑石英脉型金矿	180	35.98	45.42	17.46

① 据山东地矿局807队,1983;② 据烟台市黄金研究设计院,1986

① 刘星,1988,山东玲珑金矿成因矿物学及找矿矿物学,中国地质大学(北京)博士论文

表3 玲珑金矿自然金的粒度分布
Table 3. Grain size distribution of native gold in the Linglong gold deposit

	粒径(mm)	0.0025—0.0125	0.0125—0.025	0.025—0.05	0.05—0.10	>0.10	总计
东 山	粒数	14	37	31	45	8	135
	(%)	10.37	27.41	22.96	33.33	5.93	100
西 山	粒数	174	24	39	18		255
	(%)	68.24	9.41	15.30	7.05		100
全 矿	粒数	188	61	70	63	8	390
	(%)	48.21	15.64	17.95	16.15	2.05	100

表4 玲珑金矿黄铁矿的晶体形态
Table 4. Crystal forms of pyrite from the Linglong gold deposit

类 型	{缺}	西 山		东 山	
		粒数	(%)	粒数	(%)
单 形 晶	{111}	0	0	3	3.6
	{210}	2	3.3	0	
	{100}	26	42.6	49	58.3
二 形 晶	{111} + {100}	0	0	1	1.2
	{100} + {111}	4	6.6	11	13.0
	{100} + {210}	14	23.0	4	4.8
三 形 晶	{111} + {100} + {221}	0	0	1	1.2
	{111} + {100} + {211}	0	0	1	1.2
	{100} + {111} + {210}	0	0	5	6.0
	{100} + {210} + {111}	5	8.2	0	0
	{100} + {210} + {552}	1	1.6	1	1.2
	{100} + {210} + {211}	0	0	1	1.2
	{100} + {210} + {110}	0	0	1	1.2
	{210} + {321} + {111}	1	1.6	0	0
{211} + {210} + {100}	1	1.6	0	0	
四 形 晶	{100} + {111} + {210} + {110}	0	0	1	1.2
	{100} + {110} + {210} + {551}	0	0	1	1.2
	{100} + {221} + {552} + {750}	0	0	1	1.2
	{210} + {111} + {100} + {321}	5	8.2	0	0
	{321} + {111} + {100} + {421}	1	1.6	0	0
五 形 晶	{100} + {111} + {110} + {221} + {321}	0	0	1	1.2
	{100} + {111} + {110} + {221} + {17,7,1}	0	0	1	1.2
六 形 晶	{100} + {111} + {110} + {210} + {211} + {310}	0	0	1	1.2
七 形 晶	{100} + {210} + {321} + {111} + {410} + {521} + {733}	1	1.6	0	0
总 计		61	100	84	100

根据晶体测量, 单形顺序按发育程度排列, 从第四位开始肉眼难以分辨; 包含二种单形的聚形晶简称二形晶, 其它依此类推

挥发组分向上富集, 热液金矿床的一般规律是矿体下部金粒度细而上部金粒度粗, 因此从金粒度的分布特点也可看出, 西山矿区具有下部矿体特征, 而东山矿区具有上部矿体的特征。

(二) 黄铁矿

黄铁矿是玲珑金矿的主要矿石矿物, 也是贯通矿物之一。

1. 晶体形态

根据晶体测量 (表4.6), 东山矿区有单形13种, 晶体形态17种, 且出现{111}习性; 而西山矿区有单形9种, 晶体形态11种, 未出现{111}习性晶体。在苏联远东许多金矿床中, 矿体上部出现较多成 $o\{111\}$ 晶习的黄铁矿, 且聚形晶种类复杂; 而矿体下部出现较多成 $e\{210\}$ 晶习的黄铁矿, 且聚形晶种类较简单 (叶夫济科娃, 1984)。

表5 玲珑金矿黄铁矿晶体形态比值与标高 $\left[X = \frac{a + (a + o)}{a + (a + e)} \right]$

Table 5. Variations in X ratios with depth in the Linglong gold deposit

矿 区	脉 号	标 高 (m)	样 品 数	粒 数	X_{max}	X_{min}	\bar{X}
东 山	52	350	1	16	1.70	1.70	1.70
	52	325	1	17	1.60	1.60	1.60
	52	255	16	345	4.00	1.15	1.49
	52	206	31	802	2.20	1.00	1.29
	52	170	28	589	1.80	0.75	1.12
	52	130	8	152	1.64	0.75	1.08
西 山	108	230	10	203	0.79	0.42	0.54
	108	190	9	168	0.65	0.16	0.42
	55	230	19	342	0.69	0.33	0.54
	55	190	25	440	0.60	0.21	0.43

黄铁矿晶体形态比值 $X = \frac{a + (a + o)}{a + (a + e)}$ 在玲珑西山和东山都有从下向上增大的趋势 (表5), 显示向上 $o\{111\}$ 频率增加, 向下 $e\{210\}$ 频率增加, 与苏联远东金矿黄铁矿晶体形态的垂直分带一致。但西山黄铁矿的X值又远小于东山 (表5), 且聚形晶种类西山只有9种, 而东山却有15种 (表6), 也显示西山具有下部矿体的特征, 东山具有上部矿体的特征。故根据黄铁矿晶形的垂直分带, 西山具有下部矿体的特征, 而东山则具有上部矿体的特征。

2. 化学成分

玲珑金矿黄铁矿的化学分析表明, 其微量元素能较好地反映出空间垂直分带, 这主要表现为矿体从下向上, 黄铁矿的As、Sb、Se等含量增加, 而Ti、V、Cr等含量减少。根据热液成矿作用的一般规律, Ti、V、Cr等元素易在早期高温阶段和矿体下部富集, 而As、Sb、Se等易在晚期低温阶段和矿体上部富集。

在玲珑金矿, 东山黄铁矿的As、Sb、Se含量普遍大于西山黄铁矿, 而Ti、V、Cr含量又普遍小于西山黄铁矿。这说明东山黄铁矿的形成位置要高于西山 (表7)。

从表7中以玲珑与三山岛相比, 可见从玲珑西山经玲珑东山到罗峰, As、Sb含量不断升高, 但As/Sb值不断降低, 说明As增值绝对值大, 三山岛As增值绝对值和As/Sb值为最

表6 玲珑金矿黄铁矿晶体形态对比
Table 6. Comparison of various crystal forms of pyrite from the Linglong gold deposit

类 型	种 数		粒 数		
	西山	东山	西山	东山	
单形晶	2	2	28	52	
聚形晶	二形晶	2	3	18	16
	三形晶	4	6	8	10
	四形晶	2	3	6	3
	五形晶	0	2	0	2
	六形晶	0	1	0	1
	七形晶	1	0	1	0
	合 计	9	15	33	32
总 计	11	17	61	84	

大, 说明在上述矿床中, 三山岛成矿最浅。

3. 热电系数

对玲珑金矿黄铁矿热电系数进行了系统研究, 发现它与黄铁矿的形成标高密切相关, 矿体从下向上, $+\alpha$ 值加大, P 导型增加; $-\alpha$ 值减小, N 导型减小(表8、9), 规律十分明显。

黄铁矿导型与As含量有关, 西山黄铁矿因As含量较低, 故 P 型较少, N 型较多; 东山黄铁矿因As含量较高, 故 P 型较多, N 型较少(表10)。显示西山具有下部矿体特征, 而东山具有上部矿体特征。

从表10可见, 在玲珑矿田按西山—东山—罗锋的顺序, 黄铁矿 N 型递减, P 型递增, 显示深度递减, 至三山岛更浅, 与黄铁

表7 胶东部分金矿床黄铁矿的微量元素(ppm)

Table 7. Minor element contents of some gold deposits in eastern Shandong

	As	Sb	As/Sb	Se	Ti	V	Cr
三山岛金矿①	1547-47249 7536.6(10)	15.7-72.1 31.8(10)	237	< 1	< 3	< 3	11.2-21.6 16.6(10)
罗锋金矿②	225.3-2910.5 1187.7(13)	30.5-43.9 35.1(13)	33.8	1-3.01 1.5(13)	-	-	-
玲珑(东山)	231-2130 872(15)	13-41 23(15)	37.9	1-8.7 3(15)	2-28 9.4(15)	3-5.7 5(15)	2-15 4.5(15)
玲珑(西山)	20-1100 690(10)	2-11 7(10)	98.6	0.8-2 1.7(10)	2-120 28(10)	10-80 38(10)	2-50 5(10)
玲珑全矿	20-2130 799(25)	2-41 15.4(25)	51.9	0.8-8.7 2.5(25)	2-120 16.8(25)	3-80 18.2(25)	2-25 4.7(25)

线上为元素值变化范围, 线下为均值, 括号内为样品数

①据鲁安怀, 1987; ②据崔天顺, 1988

表8 玲珑金矿东山矿区52号脉黄铁矿热电系数及导型

Table 8. Thermoelectricity of pyrite from No. 52 vein of the Dongshan ore district, Linglong gold deposit

标高m	样品数	$+\alpha_{max}$	$+\alpha_{min}$	$+\alpha$	$-\alpha_{max}$	$-\alpha_{min}$	$-\alpha$	N型(%)
350	(10×4)	494	58	301.3	234	35	139	10.0
255	(10×22)	438	31	222.6	221	32	163	13.2
206	(10×24)	560	22	214.02	259	13	187	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 9 玲珑金矿西山矿区黄铁矿热电系数及导型

Table 9. Thermoelectricity of pyrite from the Xishan ore district in the Linglong gold deposit

脉号	标高m	样品数	$+\alpha_{max}$	$+\alpha_{min}$	$+\alpha$	$-\alpha_{max}$	$-\alpha_{min}$	$-\alpha$	N型(%)
56	230	123	566	7	259.5	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	127.5	173	17	97.6	27.0

矿As、Sb含量变化趋势一致(表7)。但它还与矿床规模有关,如栖霞、大流口金矿的黄铁矿N导型均较高,P导型均较低,可能说明矿体快尖灭了。

表 10 胶东部分金矿黄铁矿导型(%)

Table 10. Conduction type of pyrite from some gold deposits in eastern Shandong (in percentage)

成因类型		N型	P型
交代型	天山岛①	0	100
过渡型	罗 锋②	2.9	97.1
充填型	玲珑东山	22.6	77.4
	玲珑西山	41.2	58.8
	栖霞(盘马)③	64.7	35.3
	大流口④	81.2	18.8

①据鲁安怀, 1987

②据崔天顺, 1988

③据王健, 1986

④据钟正纳, 1988

(三) 石英

石英是玲珑金矿的主要脉石矿物,是贯通矿物之一,构成含金石英脉主体。

1. 晶体形态与微形貌

首先,西山和东山石英晶洞发育情况不同(表11),西山单位面积内晶洞数远少于东山,说明西山具有下部矿体特征,东山具有上部矿体特征。但同一标高晶洞数也不同,说明成矿时挥发组分分布不均匀。

其次,西山和东山晶洞石英晶体习性也不同,前者显示假六方特征,后者显示三方

特征。西山石英呈短柱状,柱面 $m\{1010\}$ 长宽比1.5—2.5,菱面呈假六方锥, $R\{1011\}/r\{0111\}$

表 11 玲珑金矿石英脉晶洞(cm级)分布情况

Table 11. Distribution of quartz miarolitic cavities in the Linglong gold deposit

矿区	脉号	标高(m)	勘探线	计数面积 m^2	晶洞数(个)	比值(个/ m^2)
东 山	51	262	145	30.8	11	0.36
	51	206	145	24.2	8	0.33
	9	206	76	32	12	0.38
	Σ			87	31	0.36
西 山	55	230	590	9.6	3	0.31
	56	230	K.420	22.4	5	0.22
	56	230	K.429	16.2	4	0.25
	108	230	587	4.8	1	0.21
	108	230	589	4.4	0	0.0
	108	230	595	3.5	1	0.28
Σ				61	14	0.23

为1—1.5；东山石英呈长柱状，柱面长宽比3—6，菱面呈三方锥， R/r 为2—3。反映出西山石英晶体在相对高温条件下形成。

石英菱面 $R\{10\bar{1}1\}$ 、 $r\{01\bar{1}1\}$ 在西山为均匀层状生长，在东山为岛状生长。柱面 $m\{1010\}$ 在西山为均匀层状生长，在东山为岛状生长；二者阶梯面发育也不同，西山仅有二种，而东山有5种（表12）。

表 12 玲珑金矿晶洞石英的晶体形态

Table 12. Crystal forms of miarolitic quartz from the Linglong gold deposit

矿 区		西 山	东 山
脉 号		108	51
标高(m)		230	262
R 面 (r)	R (面积)/ r (面积)	1—1.5	2—3
	微 形 貌	不规则圆形生长丘	平整生长层
m面	长 宽 比	1.5—2.5	3—6
	阶梯面指数种类	2种	5种
	阶梯面指数	{2201} {5501}	{2201} {3301} {3302} {5501} {7701}

2. 化学成分

玲珑金矿脉石英的部分元素也显示出较好的垂直分带性（表13），表现为Ag、Cu、Sr、Ba等有从下向上增加的趋势，而Ti、Li、Zn等则相反，有从下向上减少的趋势。西山与东

表 13 玲珑金矿石英部分微量元素平均值与空间分带

Table 13. Average values and vertical zoning of some minor elements in quartz of the Linglong gold deposit

标高(m)	Ag(ppm)		Cu(ppm)		Al(%)		Sr(ppm)		Ba(ppm)	
	西 山	东 山	西 山	东 山	西 山	东 山	西 山	东 山	西 山	东 山
>300	0.58(1)		17(2)		0.28(2)		1.5(2)		20(2)	
250—300	2.7(4)	8(1)	7.7(4)	43(1)	0.30(4)	0.34(1)	3.2(1)	30(1)	18(4)	59(1)
200—250	0.77(4)	3.4(5)	5(3)	95(5)	0.28(5)	0.26(5)	2.5(4)	6(2)	13.5(4)	28.6(5)
<200	2.5(1)	3(1)	9(2)	35(1)	0.22(2)	0.60(1)	1(2)	4(1)	12(1)	4(1)
标高(m)	Ti(ppm)		Li(ppm)		K(%)		Rb(ppm)		Zn(ppm)	
	西 山	东 山	西 山	东 山	西 山	东 山	西 山	东 山	西 山	东 山
>300	17(2)		10.5(2)				8(2)		3(2)	
250—300	23(1)	39(1)	10(4)	1(1)	0.23(2)	0.21(1)	9.5(4)	6(1)	10.5(4)	17(1)
200—250	32(5)	16(5)	11(2)	3.4(5)	0.44(1)	0.28(2)	11(4)	7.8(5)	8.5(4)	15.6(5)
<200	39(2)	50(1)	16(1)	3(1)		0.29(1)	6(1)	14(1)	27(2)	25(1)

括号内为样品数

表 14 玲珑金矿石英包裹体气相成分(mol%)

Table 14. Gas-phase composition of inclusions in quartz from the Linglong gold deposit

阶 段	西 山				东 山			
	II	III	IV	V	III	III	IV	IV
样 品 号	玲-1	300-5-2	260-1-23	260-1-24	Q9-1	Q5-2	52-255	Q9-2
分 析 号	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上
元素								
H ₂	0.00	0.03	0.10	0.08	0.12	0.80	0.11	0.07
O ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N ₂	0.37	0.27	0.43	0.07	0.26	0.44	0.21	0.18
CH ₄	0.00	0.02	0.00	0.03	0.15	0.52	0.36	0.13
CO ₂	1.67	3.70	5.16	5.05	8.30	8.70	11.63	11.37
H ₂ O	97.96	95.99	94.48	94.77	91.18	89.51	87.20	88.25

北京冶金地质研究所, 1984

表 15 玲珑金矿石英包裹体液相成分(mol数)

Table 15. Liquid-phase composition of inclusions in quartz from the Linglong gold deposit

阶 段	西 山					东 山			
	I	II	III	IV	V	III	III	IV	IV
样 品 号	金-1	玲-1	300-5-2	260-1-23	260-1-24	Q9-1	Q5-2	52-255	Q9-2
元素									
F ⁻	3.60	0.07	0.03	0.27	0.04	0.42	8.95	0.56	0.28
Cl ⁻	4.95	0.28	0.09	0.16	0.11	0.51	0.51	0.55	0.46
NO ₃ ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01
SO ₄ ²⁻	1.84	0.10	0.01	0.06	0.01	0.08	0.15	0.06	0.48
Na ⁺	3.12	0.37	0.09	0.36	0.13	0.80	0.50	0.38	0.59
K ⁺	1.04	0.07	0.01	0.09	0.03	0.27	0.12	0.14	0.24
Mg ²⁺	0.40	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.07	0.38	0.01
Ca ²⁺	1.12	0.03	0.01	0.04	0.01	2.06	5.39	0.53	3.36

北京冶金地质研究所, 1984

山对比, 西山脉石英的Ag、Cu、Sr、Ba的含量均远小于东山, 而Ti+Li总量大于东山, 说明西山具有下部矿体的特征, 东山具有上部矿体特征。

3. 气液包裹体

从玲珑金矿脉石英包裹体气相、液相成分对比(表14、15), 可以明显看出西山石英包裹体气相成分浓度普遍小于东山石英; 在液相成分中, 活动性很强的F⁻离子浓度, 也是西山普遍小于东山。这说明西山具有下部矿体的特征, 东山具有上部矿体的特征。

4. 热发光

玲珑金矿脉石英的天然热发光研究表明, 热发光积分强度从下向上减少, 规律很明显。西山与东山对比, 西山脉石英的积分强度一般大于东山石英(表16、17), 说明西山具有下部矿体特征, 东山具有上部矿体特征。

表 16 玲珑东山52号脉石英成分与热发光特征

Table 16. Composition and thermoluminescence of quartz from No. 52 vein of Dongshan ore district, Linglong ore deposit

样 品 号	52-1	52-2	52-3	Q-1
标高(m)	255	206	170	130
勘探线号	71	71	71	71
Al(%)	0.84	0.72	0.60	0.12
K(%)	0.21	0.37	0.29	0.21
Na(%)	0.07	<0.05	<0.05	<0.05
Ti(%)	0.0039	0.0042	0.0080	0.0094
Li(%)	0.0001	0.0003	0.0003	0.0015
主峰温度(°C)	295	300	310	310
160—220(°C)	小峰	小峰	肩	肩
热发光积分强度(100—400°C)	0.9(R)	1.6(R)	1.9(R)	2.3(R)

积分强度单位为伦琴(R)

表 17 玲珑金矿脉石英热发光积分强度对比 (单位: 伦琴)

Table 17. Integral intensity of thermoluminescence of veined quartz from the Linglong gold deposit(in roentgen)

西 山				东 山			
标高(m)	样品数	变化范围	平均值	标高(m)	样品数	变化范围	平均值
230	10	1.30—3.47	2.47	255	22	0.45—3.00	1.52
190	11	1.42—4.83	2.75	206	27	0.44—3.30	1.66
				170	34	0.62—3.20	1.76

三、矿化垂直分带的矿体、矿物学依据

1. 矿脉形态

在玲珑西山矿区, 矿脉主要为单脉和大脉, 分枝复合现象不显著, 单位面积脉数较少, 最大脉长达5.3km; 而东山矿区矿脉形态复杂, 分枝复合现象显著, 往往形成复脉, 单位面积脉数较多, 最大脉长只有4.2km。与赣南钨矿床矿脉垂直分带的三层(或五层)楼模式比较, 西山矿脉形态相当于三层(或五层)楼的下部, 东山则相当于上部。

2. 矿化阶段

西山矿区的早期高温矿化阶段发育强烈, 而东山矿区晚期低温矿化阶段(碳酸盐阶段)发育强烈。故西山具有下部或中下部矿体特征, 东山具有上部矿体特征。

3. 矿物组合

除了黄铁矿、石英这两个贯通矿物之外, 在西山矿区, 出现铁闪锌矿, 低硫硫化物(如磁黄铁矿等)大量出现, 甚至出现以磁黄铁矿为主的黄铁矿-磁黄铁矿脉, 脉幅宽可达

40cm；而东山矿区未见铁闪锌矿，也未见磁黄铁矿发育。西山矿区的碳酸盐以菱铁矿为主，东山矿区则以方解石为主。这些情况说明西山成矿温度比东山高，位于矿床下部；而东山的 f_{S_2} 和挥发组分比西山高，位于矿床上部。

4. 围岩蚀变

西山矿区高温钾长石化较强，发育有幅宽80—250cm的钾长石石英脉，东山矿区钾长石化较弱，钾长石石英脉幅宽仅2—10cm。西山围岩中以白云母、绢云母化蚀变为主，东山则以绢云母、水白云母化蚀变为主。西山的碳酸盐化发育微弱，菱铁矿细脉宽小于5mm，且很少出现，而东山碳酸盐化作用强烈，白色石英方解石脉（脉宽2—10cm）到处穿插，方解石晶粒大至1—3cm，在方解石脉中局部还出现0.5—2mm宽5—10cm长的断断续续的自然金小脉。这也说明东山矿区的低温蚀变和挥发性组分活动比西山矿区强烈，反映出西山具有下部矿体特征，东山具有上部矿体特征。

5. 石英中包裹体测温

对比玲珑西山、东山相同阶段的脉石英在相近标高上的包裹体测温结果（表18），可以明显看出西山脉石英的形成温度高于东山。

表 18 玲珑金矿脉石英包裹体测温（℃）

Table 18. Inclusion thermometry of veined quartz from the Linglong gold deposit

矿 区	西 山			东 山		
	脉 号	108		52		
标 高	220m			206m		
阶 段	样品数	均一温度	平均	样品数	均一温度	平均
IV	10	290—260	275	14	260—240	250
III	11	325—310	317	12	320—280	300

6. 稳定同位素

玲珑金矿的黄铁矿硫同位素 $\delta^{34}S$ 平均值，有从西山向东山逐渐增大的趋势（表19），反

表 19 玲珑金矿黄铁矿硫同位素组成

Table 19. Sulfur isotope composition of pyrite from the Linglong gold deposit

	西 山				东 山				
	脉 号	108 ^①	55 ^①	56	9	47 ^①	52 ^①	45	48 ^①
标高(海拔m)	340—190	220	190	206	255—206	206	206	206	170
阶 段	III、IV	III、IV	III、IV	III、IV	III、IV	III、IV	III	III	III、IV
样品数	19	12	8	3	12	10	1	9	
平均 $\delta^{34}S(\text{‰})$	6.48	6.33	6.76	7.07	7.11	7.15	8.00	8.15	
极 差	2.0	1.2	0.6	0.5	1.3	1.2	0	0.7	

①其中有40个数据引自朱奉三（1979）^①，其余由核工业部三所分析，1984，1985

① 朱奉三，1979，中国东北部金矿主要类型和找矿方向，第一集

映出西山是在较高温度下发生的硫同位素分馏。这也说明西山具有下部矿体的硫同位素特征，东山具有上部矿体的硫同位素特征。

玲珑金矿石英、方解石的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 组成 (表 20)，换算后的热液氧同位素平均值是西山大于东山。一般在热液成矿作用中，当热液温度越低，越接近地表 (因天水混入)，热液的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值越小。因此西山具有下部矿体的氧同位素特征，东山具有上部矿体的氧同位素特征。

表 20 玲珑金矿成矿热液氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ (‰) 数据

Table 20. Oxygen isotope composition of ore fluids in the Linglong gold deposit

阶 段	西 山				东 山			
	样 品 号	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$	温度(°C)	样 品 号	$\delta^{18}\text{O}_{\text{方解石}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$	温度(°C)
V					9-206-7	9.58	2.81	200
IV	260-1-21	14.14	7.60	310	14-206	11.81	5.04	250
III	260-1-23	14.20	7.66	310	51-262	11.46	6.38	300
					52-255	11.80	6.72	300
					9-206	11.93	6.85	300
II	玲-1	13.49	7.75	335				
I	220-P(1)	9.00	3.69	350				
平 均			6.68				5.56	

核工业部三所分析, 1985

四、玲珑金矿的矿化垂直分带模式

根据以上的成因矿物学和矿床矿物学研究, 说明玲珑金矿东山矿区的原始成矿位置比西山矿区高, 其成矿时的温度、静压力较低, f_{O_2} 和挥发性组分较高, 矿物结晶时的过冷却度更大。玲珑金矿成矿时西山、东山的相对物理化学条件对比见表 21、22。

成矿后, 玲珑断裂将一个完整的矿床分割为二, 并把西山上推, 使西山原居下部的石英脉型矿体升高到与东山 (兼具石英脉型和蚀变岩型) 矿体基本相当甚至更高的高度。因此西山现有矿体 (石英脉型) 之下不可能转变出东山类型的矿体, 向下石英脉将逐渐尖灭, 矿化将逐渐消失。而东山现有矿体之下很可能转变出类似西山石英脉型的矿体, 远景还很大。

因此, 在玲珑“上有 (西山) 石英脉型矿体, 下有 (东山) 蚀变岩型矿体”的矿化垂直分带模式难以成立。

东山 52 号矿脉从上往下, 在海拔 375m 左右为网脉 (浸染) 状矿体, 矿脉脉幅宽只有 1—5 cm; 在海拔 255m 左右转变为复细脉状矿体, 由 2—3 条幅宽 5—20cm 的细脉组成; 在海拔 130m 左右又转变为以单脉状矿体为主, 脉幅宽 30—80cm, 应属石英单脉型矿体。类似情况在东山矿区东南部的 4 号、13 号、17 号、18 号矿脉也很明显。都与赣南钨矿脉三层楼或五层楼发育的裂隙系统一致。

相反, 不论在西山还是东山, 均未发现一条石英脉型矿体向下转变为向蚀变岩型矿体过

表 21 玲珑金矿热液阶段成矿物理化学条件宏观标志
Table 21. Macrocriteria of hydrothermal ore-forming physicochemical conditions in the Linglong gold deposit

对比物		西山	东山	东山成矿条件
矿脉形态	单位面积脉数(条/km ²)	1.65	5.88	P↓
	单位面积脉长(m/km ²)	2520	4770	P↓
	分枝复合	弱	强	P↓
	冰长石石英脉幅宽	0.8—2.5m	0.02—0.1m	T↓ P↓
矿化阶段	冰长石石英阶段	强	弱	T↓
	石英方解石阶段	弱	强	T↓
	矿化亚阶段数(个)	11	7	
矿物组合	铁闪锌矿 磁黄铁矿 碳酸盐 多金属硫化物 (方铅矿、闪锌矿、黄铜矿)	发育 发育 菱铁矿为主 大量发育	缺失 缺失 方解石为主 少见,几乎全为黄铁矿	T↓ T↓ f _{s2} ↑ f _{o2} ↑ C _a ↑ f _{s2} ↑ f _{o2} ↑
	围岩蚀变矿物	白云母-绢云母化为主 无水白云母 碳酸盐化弱 钾长石化强	绢云母-水白云母化为主 碳酸盐化强 钾长石化弱	T↓ C _a ↑ T↓
黄铁矿	粉晶状黄铁矿	极少发育	大量发育	T↓
	晶体习性	{100}, {100} + {210}	{100} + {111}	T↓ C _a ↑
	聚形晶种类	9种	14种	C _a ↑ f _{s2} ↑
石英	晶洞	少	多	P↑ C _a ↑
	烟灰色细粒石英	极少发育	大量发育	过冷度大
	方解石晶洞及晶形	缺失	发育 {0112}	P↓ C _a ↑

表 22 玲珑金矿热液阶段成矿物理化学条件微观标志
Table 22. Micro-criteria of hydrothermal ore-forming physicochemical condition in the Linglong gold deposit

对比物		西山	东山	东山成矿条件
金矿物	赋存状态	包体金、晶隙金为主	晶隙金、裂隙金为主	T↓ P↓
	粒度>0.01mm	31.76%	89.63%	T↓
黄铁矿	S含量(%) (样品数)	52.20(8)	52.86(14)	f _{s2} ↑
	微量元素	Ni, Y, Ti, Mo, Zn较多	As, Sb, Sc, Te, Au较多	P↓
	N导型(%) (样品数)	41.2(573)	22.6(1743)	T↓ C _a ↑
石英	R面微形貌	层状生长	岛状生长	过冷度大
	m面阶梯邻接面指数	简单	复杂	过冷度大
	微量元素	Ti, Li, Zn较多	Ag, Al, Rb, Sr, Ba较多	T↓ P↓
	包体气相浓度(mol%)	2.1—6.3 平均4.68	8.8—12.8 平均10.97	C _a ↑
	包体气液比变化率	30—40	20—70	P↓
天然热发光积分强度(平均)	2.62(R)(21)	1.66(R)(83)	T↓	
同位素	平均δ ³⁴ S(‰) (样品数)	6.5(39)	7.8(37)	T↓
	平均δ ¹⁸ O _w (‰) (样品数)	6.68(4)	5.56(5)	T↓

表21、22中T↓P↓表示东山成矿温压比西山降低, C_a↑, f_{s2}↑, f_{o2}↑表示东山成矿时挥发组份浓度、硫、氧逸度比西山升高

渡的情况。故玲珑金矿的矿化垂直分带模式应为上有蚀变岩型矿体，下有石英脉型矿体。

五、玲珑金矿西山、东山的相对升降幅度

由于西山、东山的围岩、矿脉很相似，没有直观的标志层，无法直接确定垂向上的断距（亦即玲珑断裂垂向上的断距）。但是利用东山、西山矿区矿脉中均有的遍及整个空间的贯通矿物（石英、黄铁矿），系统地研究它们的物性标型在空间上的变化规律，选取在空间上变化最有规律的物性标型特征，再根据这些物性标型的特征参数在东山和西山确定标高上的数据，进行对比，可确定空间位置变化的定量关系。

通过仔细的成因矿物学研究后，从多项物性标型特征中选出三项，即黄铁矿形态参数（ \bar{X} ）、黄铁矿热电导型（ \bar{N} ）和石英热发光积分强度（ \bar{R} ）。选取它们的依据是，都有系统大量的测试数据，它们在东山、西山矿区的空间上均有相近的变化梯度参数（即这些物性标型特征参数在东山、西山不仅变化趋势一样，而且变化程度也相近）。

以东山52号脉为基准参照系，因该脉为过渡型矿脉，又居于矿区中部，在空间分带位置上也属于中部矿体性质，又是东山矿区的主要生产矿脉。其有关物性标型特征对标高的变化梯度见表23。

表 23 玲珑金矿东山矿区52号脉矿物物性变化梯度

Table 23. Variation gradient of physical parameters of minerals in No. 52 vein of the Dongshan ore district in Linglong gold deposit

物 性 参 数	变化梯度(1/m)	对标高(x)的线性回归方程	相关系数
黄铁矿形态参数 (\bar{X})	0.0029	$\bar{X} = 0.69 + 0.0029x$	$r = 0.986$
黄铁矿导型 (\bar{N})	-0.053	$Y_N = 29.5 - 0.053x$	$r = 0.957$
石英热发光积分强度 (\bar{R})	-0.0028	$Y_R = 2.24 - 0.0028x$	$r = 0.988$

以西山矿区有代表性的108号、55号矿脉的对应物性标型参数在+230m、+190m中段上的数据为对照，利用表23中的线性回归方程计算得知，东山矿区52号脉的 \bar{X} 值向深部减小，直到-90m时才能达到西山矿区+190m的标准，两者绝对相差280m左右； Y_N 值向深部增加，直到-140m时才能达到西山+190m的标准，两者绝对相差330m左右； Y_R 值向深部增大，直到-80m时才能达到西山+230m的标准，两者绝对相差310m左右。

综合估计，玲珑断裂的作用将西山相对于东山至少上推了300m。由此推测，东山52号脉到深部-110m左右时，可能转变成西山108号、55号脉在+190m水平左右的矿化类型，所以东山矿区远景还很大。

结 束 语

上述内容是利用成因矿物学理论和方法来解决矿山地质难题的例子，它说明，系统的成因矿物学研究可以有效地解决其他地质研究方法不易解决的问题。令人欣慰的是，新近的坑

探和钻探已证实了本文提出的矿化垂直分带模式和东山矿区远景很大的结论。

本次研究得到了导师陈光远教授、孙岱生教授和邵伟副教授的悉心指导，得到山东招远金矿地测处很多同志的大力帮助，在此一并致以诚挚的谢意。

参 考 文 献

- (1) II·3·叶夫济科娃 1984 黄铁矿和金的晶体形态演化问题 找矿矿物学与矿物学填图 地质矿产部情报研究所编译 1987 福建科学技术出版社 第121--139页
- (2) Chen, G.Y., Liu, X. and Zhang, L., 1988, Linglong gold deposit in eastern Shandong province with emphasis on the nature of Linglong Fault, Bicentennial Gold 88, Ext. Abst., Poster Prog., Vol. 1.

VERTICAL MINERALIZATION ZONING OF THE LINGLONG GOLD DEPOSIT

Liu Xing

(*Kunming Institute of Technology, Kunming, Yunnan*)

Abstract

Having been mined for about 1,000 years, the Linglong gold deposit is faced with the urgent demand of expanding prospective reserves. The future of its two ore districts (Dongshan and Xishan) depends on their respective positions in the vertical mineralization zoning of the ore deposit. As the geologic environment of the ore deposit is quite unique, this problem remained unsettled. Over the past six years, the author has tried to solve this problem by means of genetic mineralogy. Studies show that: (1) native gold in the Dongshan ore district is mainly interstitial gold and fissure gold characterized by comparatively coarse grains (those with grain size $>0.025\text{mm}$ make up 62.22%), whereas the Xishan ore district contains mainly inclusion gold with smaller granularity (grains with sizes $>0.025\text{mm}$ only make up 22.35%); (2) in the Dongshan ore district, pyrite shows rather complicated forms, commonly assuming {111} crystal habit, and is rich in As, Sb, Se and Te with thermoelectronic P-type pyrite up to 77.4%, while in the Xishan ore district, pyrite is rather simple in crystal form ({111} crystal habit is rarely seen), and contains abundant Ti, V, Cr and Ni, with P-type pyrite only 58.8%; (3) in the Dongshan ore district, quartz drusy is quite developed and shows rather complicated micromorphological features, noted for the enrichment in Al, K, Rb and Sr; in the Xishan ore district, quartz drusy is less observed and assumes simple micromorphological features, characterized by the richness in

(下接286页 to be continued on p. 286)

With the emplacement of kimberlitic and potash-magnesian lamprophyric magma, diamond was brought into the upper crust, forming diamond deposits. In carbon-rich areas, ultrabasic rocks-alkalic rocks-carbonate phosphorus-rich complexes as well as supergiant and large-sized phosphorite deposits were also formed besides diamond deposits. The phosphorus-rich complexes provided not only mineralogical materials for the formation of supergiant phosphorite deposits, but also mineral nutrients for the propagation of oil-forming biota, thus creating material prerequisite for the formation of supergiant oil-gas and oil shale deposits. Under the condition of high temperatures the organic substances in carbonaceous chondrite were combined into oil and gases, which were confined to the upper mantle but entered oil-bearing structures wherever the structural conditions were favorable, hence stimulating the formation of giant oil-gas fields. The presence of supergiant ore deposits is a manifestation of lateral non-uniformity of ore-forming materials in the lithosphere.

~~~~~  
(上接256页 continued from p. 256)

Tl and Zn; (4) ore-forming temperature, as shown by thermometry of quartz inclusions of 3rd stage, is 250—300°C at 206m level of the Dongshan ore district, and 310—350°C at 220m level of the Xishan ore district. These data of genetic mineralogy indicate that the Dongshan ore district shows characteristics of an upper orebody whereas the Xishan ore district displays features of a lower orebody. The results obtained in other aspects such as shapes of ore veins, mineralization stages, mineral assemblages and wall rock alterations all support this conclusion.

The quantitative analysis based on variation gradient of some physical parameters of pyrite and quartz suggests that the Linglong fault has lifted the Xishan ore district at least 300m relative to the Dongshan ore district. Therefore, the prospective reserves at the depth of the Dongshan ore district might be much greater than the reserves of the Xishan ore district, and this conclusion has been substantiated by recent exploration.