维普资讯 http://www.cqvip.com

第26卷 第2期
1999年4月

成都理工学院学报
JOURNAL OF CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Vol. 26 No. 2
Apr. 1999

[文章编号] 1005-9539(1999)02-0113-06

113-118

中国首例金(银)-萤石矿床的成矿期与成矿阶段发育特征

P619.215

P618.510.5

张寿庭 徐旃章 沈军辉
(成都理工学院地质学系，成都 610059)

[摘要] 浙江武义金(银)-萤石矿床，属燕山晚—末期成矿作用的产物。成矿期构造活动的多期次脉动特征，导致了成矿的多期、多阶段性的演变特征与规律。这一新类型金(银)矿的发现与研究，对指导金(银)-萤石矿床的找矿实践和矿产的综合开发利用具有重要的现实意义。

[关键词] 武义盆地；金(银)-萤石矿床；成矿期与成矿阶段
[分类号] P618.51，P619.215 [文献标识码] A

本文讨论的金(银)-萤石矿床产于浙江省金(银)矿和萤石矿集中发育的上虞—龙泉变质基底隆起带中南段的武义盆地。

研究表明，武义盆地萤石矿化均属于燕山晚—末期热液成矿的产物，伴(共)生的金(银)矿化与其密切的时空联系揭示两者属同源、同构造但在不同矿化期次所形成。由于成矿期控矿构造的多期次脉动性活动，导致成矿明显具有多期多阶段性演变的特点。根据矿区金(银)-萤石矿床的矿石组构、矿物组合及生成顺序、矿脉相互关系和控矿构造的时、空演变规律等，可将其成矿过程概略划分为三期：热液成矿期、构造动力改造富集期和表生氧化期(表1)。

1 热液成矿期

热液成矿期是本区金(银)-萤石矿床形成的主成矿期，其又可划分为三个成矿阶段：金(银)-硫化物-石英-萤石阶段(Ⅰ)、萤石-石英阶段(Ⅱ)、碳酸盐阶段(Ⅲ)。

1.1 金(银)-硫化物-石英-萤石阶段(Ⅰ)

该成矿阶段形成了研究区萤石矿的主矿体，也是金(银)的主成矿阶段。CaF_2 含量可达65%～95%，SiO_2 含量通常为10%～20%，金、银含量分别达 $n\times10^{-5}$ 和 $n\times10^{-4}$。矿石见萤石、银金矿等，伴有多种金属硫化物矿化。该成矿阶段的载金矿物——黄铁矿的标型特征与晚阶段(Ⅱ)的黄铁矿差异明显，是寻找金(银)矿的重要矿物学标志(表2)。

本阶段的萤石多呈自形—半自形结构，石英以隐—细晶质结构为主。矿石构造如块状、条带状、梳状、角砾状、网脉状等均有发育。萤石包裹体均一温度为124.6～200.2℃；包裹体形态多呈浑圆形和不规则形两种，以气液包裹体为主，气液比为2%～10%之间(表3)。围岩蚀变以硅化、绢云母化、绿泥石化为主，黄铁矿化、高岭石化次之。

该阶段控矿构造活动相对较频繁，间歇明显，总体持续时间较长，结晶环境稳定，矿液结晶分异现象明显。按矿物的生成顺序及脉体穿插、胶结关系，可将该阶段进一步分为四个亚阶段：金(银)-硫化物-石英亚阶段(I_1)、深色粗晶萤石亚阶段(I_2)、浅色细晶萤石亚阶段(I_3)、萤石-石英细脉亚阶段(I_4)。

1.1.1 金(银)-硫化物-石英亚阶段(I_1)

为金(银)-萤石型金矿床工业矿体的主要形成阶段。矿物组合以石英、蛋白石为主，黄铁矿、银金矿、辉银矿、自然银等其次；含少量方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、萤石、绢云母和绿泥石等。

矿石结构有结晶作用形成的自形—他形粒状结构，固溶体分离作用形成的乳浊状结构、次结状结构、次文象结构，交代、溶蚀、置换作用形成的残余结构、骸晶状结构和筛孔状结构等。矿石构造有角砾状构造、梳状构造、条带状构造和黄铁矿的稀疏浸染状

[收稿日期] 1998-12-19
[作者简介] 张寿庭，男，1964年生，博士生，副教授，矿田构造学专业。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表1 武义盆地金(银)-萤石矿成矿期成矿阶段划分一览表

Table 1 Metallizing stages of the Au(Ag)-fluorite ore deposit

矿化主要特征	成矿期	热液成矿期						动力就地压溶改造富集期	表生期
	成矿亚阶段	Au,Ag-硫化物-石英-萤石阶段(Ⅰ)				萤石-石英阶段(Ⅱ)	碳酸盐阶段(Ⅲ)	构造富集阶段	次生氧化阶段
		金(银)-硫化物-石英亚阶段(Ⅰ)(I_1)	深色粗晶萤石亚阶段(I_2)	浅色细晶萤石亚阶段(I_3)	萤石-石英细脉亚阶段(I_4)				
矿物组合及生成顺序	石英	+−++	++	+	+−	+++	+	++	
	黄铁矿	++	+			+		+	
	黄铜矿	+							
	闪锌矿	+							
	银金矿	++						+	
	自然银	−						−	
	辉银矿	−							
	白铁矿	−							
	硫盐	−							
	方铅矿	+							
	萤石	+	++++−	+++	+	−+	+		+
	蛋白石	+							
	针铁矿								+
	纤铁矿								+
	铜蓝								+
	绿泥石	+	−+	−		++			
	绢云母	+	++	+		+			
	高岭石		+						
	方解石						+++		
元素组合		Au,Ag,Fe,Cu,Pb,Zn,Se,S,Si等	Ca,F(Si,O)	Ca,F(Si,O)	Si,O(Ca,F)	Si,O,Ca,F,Fe,S等	$CaCO_3$,(Si,O,Ca,F)	Si,Au,Ag,Fe,S等	Au,Ag,Cu,Fe,Pb,Zn等
矿石结构		自形—他形晶,筛状,乳浊状,次结状,次文象,残余;骸晶状,压碎	粗晶自形—半自形	中—细晶他形—半自形	他形粒状	他形粒状、碎斑状、溶蚀交代—残余状	他形—粗晶自形	隐晶—细晶、压碎、(揉皱)、筛子状	假像胶状
矿石构造		网脉状、梳状、条带状、角砾状、浸染状、星点状	块状、纯条带状、负角砾状	纯角砾状、网脉状、混角砾状	细网脉状	(负、正、混)角砾状、似斑点状、细网脉状	细脉状、斑点状	透镜状、条带状、星点状、团块状、浸染状	多孔状,空洞状、皮壳状
围岩蚀变		硅化、黄铁矿化,少量绿泥石化和绢云母化——→硅化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化、高岭石化——→碳酸盐化,少量硅化						硅化	
包裹体	气液比/%	2～10				2～5			
	$t_{均}$/℃	100～260	91～180			108.7～135.5	<135		
控矿构造活动特征		脉动频繁、间歇清晰、构造活动强度相对较弱、结晶环境稳定、活动延续时间长、活动强度自早至晚逐渐有减弱趋势				活动强度大、延续时间短但由早至晚活动强度显有减弱趋势		控矿断裂带内强烈压扭性活动	

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 2　热液成矿期不同成矿阶段载金矿物——黄铁矿的标型特征
Table 2　Typomorphic characteristics of pyrites in different metallizing stages

标型特征	金(银)-硫化物-石英-萤石阶段(Ⅰ)	萤石-石英阶段(Ⅱ)
①晶形标型特征	以五角十二面体为主，切面为五边形、六边形、四边形等	以立方体为主，切面呈四边形
②粒度标型特征	晶粒粗大，大于 3 mm 为主，最大达 1 cm 左右	晶粒细小，以小于 3 mm 者常见
③结构标型特征	以自形、半自形晶、他形晶及其压碎结构等为主	以自形晶为主，浸染状分布于Ⅱ阶段萤石主矿体两侧的强硅化带中
④含金性特征	黄铁矿晶体中，常含多量银、金矿颗粒，是主要载金矿物	未发现显微金粒，分析含金为 0.08～0.96 g/t
⑤微量元素标型特征	以含 Se 为特征， 含 Se 0.10%～0.21%，平均 0.19%； 含 Cu 0.02%～0.03%，平均 0.024%； 含 Ni 0.03%～0.07%，平均 0.034%； 含 Te 0.04%～0.10%，平均 0.062%	含 As 0.42%～0.78%，平均 0.60%； 含 Cu 0.05%～0.13%，平均 0.093%； 含 Ni 0.01%～0.02%，平均 0.013%； 含 Fe 0.2%～0.6%，平均 0.026%
⑥矿物共生组合特征	黄铁矿与银金矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、辉银矿等共生	黄铁矿单一存在，未见矿物共生组合现象
⑦成因标型特征	成矿早阶段热液成因	成矿晚阶段热液成因

表 3　研究区不同阶段萤石包裹体特征一览表
Table 3　Characteristics of the fluid inclusions of fluorites in different metallizing stages

矿床(体)	成矿阶段	主矿物	包体特征			均一温度/℃	
			形　状	大小/μm	气液比/%	测定数	平均值
荷叶塘	Ⅰ	石英	浑圆、椭圆形	6～12	2～10	15	174.3
		萤石	椭圆、浑圆形	8～50	2～8	50	124.6
剥刀畈	Ⅰ	石英	浑圆、不规则	8～30	8～10	6	200.2
		萤石	椭圆、不规则	8～40	2～8	20	126.9
荷叶塘	Ⅱ	石英	多边形、长条形	6～9	2～3	3	108.7
		萤石	不规则、长条形	12～15	2～3	2	115.0
剥刀畈	Ⅱ	石英	不规则、菱形	5～30	2～5	13	135.5
		萤石	长条形、三角形	10～36	2～5	7	110.4

表 4　研究区部分萤石矿硅质顶盖石英脉 Au，Ag 含量/10^{-6}
Table 4　Au and Ag contents of the quartz veins from the silica-top of the Au(Ag)-fluorite ore deposit

	顶部—上部		中　部				下　部	
样品编号	A_{2-1}	A_4	A_{1-7}	A_{1-3}	C_{5-1}	C_{15}	C_{2-3}	C_{11}
Au	0.108	0.030	12.27	11.70	2.79	26.24	38.2	24.4
Ag	<0.05	0.40	13.90	13.20	7.20	359.0	120.0	124.0
样品编号	A_{2-2}	A_{1-2}	C_{8-1}	A_{1-4}	C_{31}		C_{12}	$C_{8_{15-1}}$
Au	0.117	1.75	5.56	6.68	0.17		7.41	7.71
Ag	<0.05	<0.05	20.40	4.60	0.27		6.46	142.40

构造等。矿脉(体)沿控矿断裂带在地表—近地表浅部产出，属矿液演化的先期产物。由于成矿系统物理化学条件的改变，矿液中的 SiO_2 组分先趋饱和而沉淀，从而形成萤石矿体附近围岩和裂隙带内岩石的普遍硅化，并相应形成萤石矿体的硅质顶盖。在该亚阶段早期，主要形成一些结晶程度较差的石英、蛋白石等，组成硅盖的顶—上部；但金(银)矿化发育较差，多表现为一些矿化异常(表 4)。金(银)矿化主要发育于硅质顶盖的中—下部以及矿体两侧强硅化带内(图 1)，且含金(银)黄铁矿的发育程度与梳状石英脉的发育密切相关，是区内金(银)-萤石型矿床中金(银)矿化富集的重要标志。

1.1.2　深色粗晶萤石亚阶段(I_2)

矿石以深绿、浅绿、紫红等色的粗晶半自形—自形萤石为主，组成萤石矿体的主体。矿石构造以块状、条带状为主，角砾状、网脉状其次；围岩蚀变以绿

维普资讯 http://www.cqvip.com

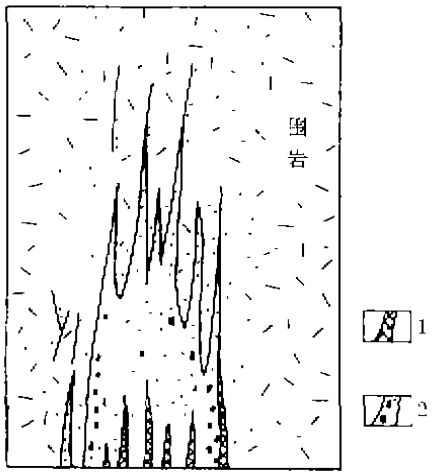


图1 矿体硅质顶盖金(银)矿化特征
Fig. 1 Metallization characteristics of electrum in the silica-top of the Au(Ag)-fluorite ore deposit
1. 萤石矿;2. 金(银)矿化石英脉

泥石化、绢云母化和硅化为主、高岭石化和黄铁矿化次之。该亚阶段虽然以萤石为主、石英等含量很低;但从矿液演化和矿物沉淀结晶分异特征看,总体具有先石英后萤石,或呈石英-萤石-石英-萤石的韵律式正条带状,石英的形成略早于萤石(图2)。

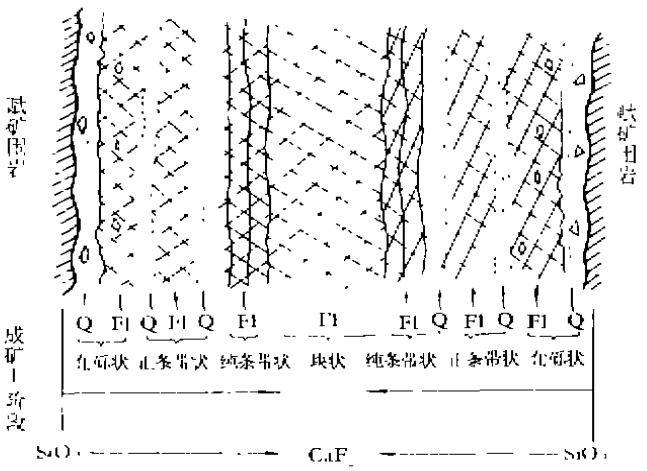


图2 成矿 I_2 阶段石英-萤石结晶分异特征示意图
Fig. 2 Differentiation by crystallization of quartz and fluorite in Stage I_2

1.1.3 浅色细晶萤石亚阶段(I_3)

矿物以浅色细晶萤石为主、石英少量,矿石品位较高,其发育与否主要取决于此亚阶段控矿构造的活动强度,研究区内以陈岗NNW向矿带(体)中最发育。萤石以乳白色、白色、浅黄色半自形—他形细晶粒状结构为主、多呈细脉状、网脉状发育,并穿切、胶结先阶段深色粗晶萤石及围岩角砾,形成网脉状、纯角砾状、负角砾状和混角砾状构造(图3)。此亚阶段与 I_2 亚阶段萤石在颜色、结构、构造、脉体及发育部位等方面存在明显差异(表5)。

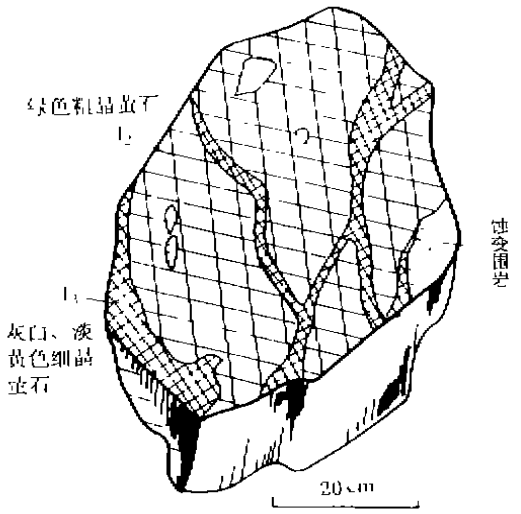


图3 成矿 I_3 阶段浅色细晶萤石穿插 I_2 阶段深色粗晶萤石
Fig. 3 Map showing the characteristics of the fluorite in Stage I_3 intercalated by the fluorite in Stage I_2

表5 研究区不同阶段萤石矿的特征差异
Table 5 Characteristics of fluorites for different metallization stages

成矿(亚)阶段	I_2	I_3
颜色	绿色,紫红色为主,淡绿—白色次之	白色、浅绿色为主
结构	自形—半自形为主,他形粒状次之	他形粒状为主,半自形次之
构造	块状为主,细网脉状、负角砾状次之	细网脉状,(纯、负、混)角砾状为主
脉体	粗—细网脉带,主脉体脉壁较规整	多呈不规则细脉状发育
矿体部位	发育于硅质顶盖以下,构成萤石矿的工业主矿体	主要发育于萤石主矿体中—下部,并直接穿插萤石主矿体

1.1.4 萤石-石英细脉亚阶段(I_4)

石英、萤石呈他形粒状析出,以石英为主,萤石其次。常呈细、网脉状穿切成矿早阶段产物,但发育规模小、对先成萤石主矿体未造成破坏。主要发育于萤石矿体中—中下部,属石英-萤石阶段近尾声控矿构造脉动和矿液分异的产物。

1.2 萤石-石英阶段(I)

继金(银)-萤石矿形成之后,矿液经过演化形成了以含矿(CaF_2)石英脉为主的低品位矿石。其中的萤石和石英以他形粒状结构为主,普遍发育脉体穿插、胶结和溶蚀残余结构。矿石构造主要为似斑点状、角砾状和网脉状,发育于矿体深部及其近顶、底板两侧(图4)。成矿温度(萤石包裹体均一温度)通常在108~135℃之间,低于萤石主成矿阶段的形成

维普资讯 http://www.cqvip.com

温度(140～150℃)。该阶段微量元素的平均含量也低于成矿早阶段(表 6)。围岩蚀变以硅化为主，黄铁矿化次之，并见少量绿泥石化、绢云母化和碳酸盐化。研究表明，此阶段金(银)矿化不发育。该阶段发育强弱取决于此阶段控矿构造的活动规模和强度，常常是因为控矿构造短促而强烈的活动，促使含矿(CaF$_2$)SiO$_2$溶液沿萤石矿体与顶、底板围岩接触界面之间的构造薄弱地带，以及主矿体破裂部位上侵、充填后形成混角砾或正角砾状构造。

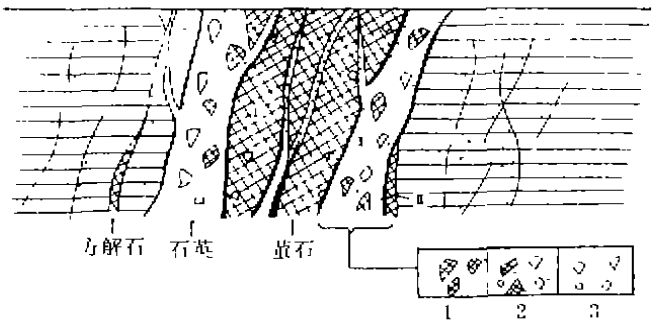


图 4　中下部矿体成矿特征示意图

Fig. 4　Metallization characteristics of the lower-middle fluorite ore bodies

1. 正角砾状构造；2. 混角砾状构造；3. 负角砾状构造

表 6　研究区不同阶段萤石矿的微量元素平均含量/%

Table 6　Microelement contents of fluorites in different metallization stages

	成矿一阶段 萤石脉	成矿二阶段 含矿石英脉
Fe	0.8	0.3
Al	1.8	0.8
Mg	0.3	0.1
Ba	0.052	0.027
Mn	0.021	0.013
Ti	0.03	0.01
Pb	0.003 4	0.057 0
Mo	0.001 3	0.001 0
V	0.002 5	0.001 0
Cu	0.001 42	≤0.001

1.3　碳酸盐阶段(Ⅱ)

该阶段产物以方解石为主，含少量石英和萤石。方解石具他形—自形粒状结构，以脉状、团块状、斑点状发育，主要见于深部矿体(中下部—尾部)及近顶、底板两侧围岩破碎带中，穿切、胶结成矿早阶段产物(图 5)。其大量出现通常标志热液成矿过程进入尾声。

2　构造动力压溶改造富集期

前述已知，研究区金(银)矿与萤石矿实属矿液

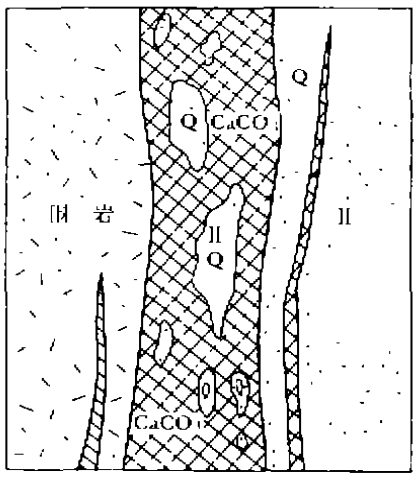


图 5　方解石脉(Ⅰ)穿插胶结含矿石英脉角砾(Ⅱ)

Fig. 5　Map showing the quartz in Stage Ⅰ intercalated by the calcite in Stage Ⅱ calcite

演化同一阶段不同亚阶段的产物。金(银)矿主要富集于萤石矿体的硅质顶盖及其近顶、底板围岩(硅化破碎带)内侧的梳状石英脉带中。金(银)矿以含金(银)黄铁矿(次生产物为褐铁矿)-石英脉型产出。

研究表明，上述含金(银)黄铁矿化石英脉为断裂脆性变形启张阶段矿液充填、结晶分异所形成，属金(银)矿化的主成矿期。其后，由于控矿断裂带内部压扭性环境的影响，构造动力压溶改造促使金、银等成矿物质局部再度活化、迁移并富集成矿。

该期形成的含金(银)黄铁矿主要赋存于浅灰色透镜状、团块状硅质细脉体中，它们主要沿强硅化围岩与梳状石英脉之间的构造薄弱带充填发育，并明显穿切热液期成矿早阶段(I_1)所形成的含金(银)黄铁矿化梳状石英脉(图 6)。另外，此期矿化硅质细脉体以单斜对称型透镜体左列展布，并且在透镜体内的含(Ag)Au 黄铁矿化呈星点状、团块状不均匀分布，矿化富集区呈单斜对称式交替斜列分布，它们均为构造动力挤压(压扭)作用下物质再分异、富集的产物。共同反映了其形成时控矿构造的压扭性活动特征。

显微镜下观察还表明，本区先期形成的矿化梳状石英脉明显经历了后期压溶再改造的特征，在梳状石英脉中的梳齿相接部位，常见发育石英的压溶重结晶的现象(图 7)。

上述事实说明在热液成矿期金(银)矿化的基础上，区内金(银)矿经历过一次就地动力压溶改造再富集的过程。

3　表生风化期

金(银)-萤石矿床形成以后，由于后期断裂构造

维普资讯 http://www.cqvip.com

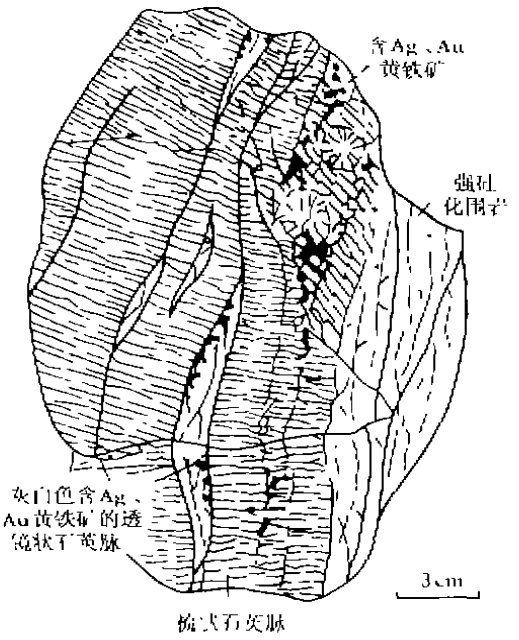


图6 晚期灰色含(Ag)Au黄铁矿化石英脉的产出特征
Fig. 6 Characteristics of the auriferous quartz in the late stage

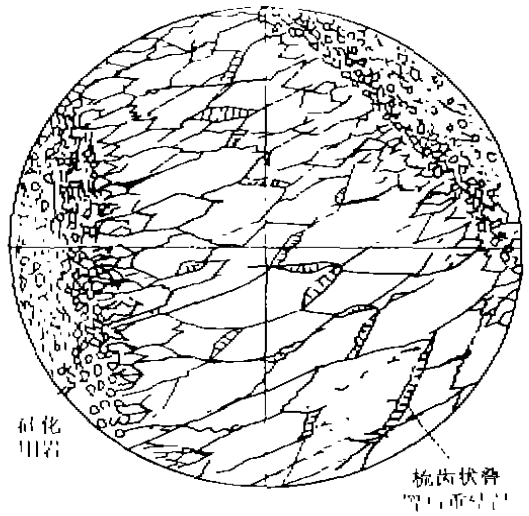


图7 梳状石英压溶重结晶现象(显微素描)
Fig. 7 Pressolved recrystallization of the comby quartz

活动影响及富氧天水下渗,促使黄铁矿局部氧化,形成具胶状结构的纤铁矿、针铁矿(假像褐铁矿)等;同时,萤石矿也发生了大量次生淋滤作用,并形成部分萤石质钟乳和不规则球状体。

综上可见,本区金(银)-萤石矿床中金(银)矿实属成矿早阶段矿液演化分异的产物,在空间上主要发育于萤石主矿体的硅质顶盖及其近顶、底板两侧矿化蚀变带(硅化、黄铁矿化)内。热液成矿期后,控矿断裂带内应力环境的调整,金(银)矿化又明显经历了一次构造动力就地压溶改造再富集的过程,从而奠定区内金(银)-萤石型矿床的形成、分布格局与金(银)矿化富集的基本规律。

[参 考 文 献]

[1] 徐旃章,吴志俊,等.浙江省萤石矿成矿规律与成矿预测[M].成都:四川科学技术出版社,1991.
[2] 徐旃章,张寿庭,等.浙江省武义地区萤石矿成矿规律与隐伏一半隐伏矿体预测[M].成都:四川科学技术出版社,1995.
[3] 徐旃章,张寿庭,等.浙江省武义盆地萤石矿伴生金(银)矿成矿规律与成矿预测[R].成都理工学院地质学系,1996.
[4] 徐旃章,张寿庭,沈军辉.浙江武义萤石矿田金(银)-萤石矿控矿构造型式[J].成都理工学院学报,1998,26(2):107~112.
[5] 陈南山,何德文,陈文蔚.浙江武义盆地萤石矿田氟的地化环境[J].成都理工学院学报,1995,22(1):83~88.
[6] 章永加.浙江武义白垩纪盆地萤石矿矿液运移趋势与规律[J].成都理工学院学报,1995,22(3):86~90.
[7] 韩文彬,等.萤石矿床地质及地球化学特征[M].北京:地质出版社,1991.
[8] 徐旃章,张寿庭.矿床资源调查与评价[M].成都:成都科技大学出版社,1993.
[9] 李培铮.浙江金矿及其形成机制[M].北京:地质出版社,1990.
[10] 刘英俊,等.浙江绍兴—龙泉隆起带中金矿床的成矿地球化学研究[J].地球化学,1987,16(1):10~21.
[11] 杨开庆.动力成矿理论的研究内容和方向[C].见:地质力学研究所所刊第七号.北京:地质出版社,1986.
[12] 郑人来,等.浙江绍兴—龙泉一带金矿成矿规律[C].见:中国东部沿海火山地质与矿产论文集(第二辑).北京:地质出版社,1992.

CHARACTERISTICS OF METALLIZING STAGES OF THE FIRST Au(Ag)-FLUORITE ORE DEPOSIT IN CHINA

Zhang Shouting, Xu Zhanzhang, Sheng Junhui
(*Chengdu University of Technology, China*)

Abstract: The characteristics of multistage metallization is decided by the multiperiodic activity of ore-controling structure. Studies show that the Au(Ag)-fluorite ore deposit, a new type of gold deposits, was formed in the late stage of Yanshan and has been hosted in the Wuyi fluorite ore field. There are three metallogenic epoches and eight mineralization (sub-)stages for its ore-forming process and evolution.

Key words: Wuyi Basin; Au(Ag)-fluorite ore deposit; metallization epoches and mineralization stages