



李家沟金矿地质特征及成矿控制因素

西北冶金地质711队综合研究组

李家沟金矿位于摩天岭褶皱带东缘,秧田坝复式背斜南翼之次级向斜中。区内地层以震旦系为主,零星分布有泥盆系、石炭系及二迭系。

矿区地质概述

1. 地质 金矿床赋存于中震旦统九道拐组($Z_2^{j_1}$)地层中,该层不整合于下震旦统接官亭组($Z_1^{j_1}$)之上。矿区地层岩性由老至新为:

(1) 接官亭组($Z_1^{j_1}$) 下部是一套中基性火山喷发岩,由强钠化帘石化钠长绿帘岩、绿帘透闪岩、绿帘绿泥岩、透辉透闪岩等组成,枕状、杏仁状构造明显。中部是结晶粗大、片理发育的石英角斑岩、角斑质凝灰岩。上部是凝灰质千枚岩、板岩夹少量薄层灰岩、石英砂岩及细碧岩。

(2) 九道拐组($Z_2^{j_1}$) 以一层厚度变化较大的含砾绢云母石英片岩与接官亭组分界。自下而上的三个岩性段是:①含砾绢云母石英片岩段($Z_2^{j_1}$)。主要由绢云母石英片岩和千枚岩组成,具一定层位,沿走向、倾向有相变,厚数至百余米。砾石由西向东减少,变小;砾石成分有花岗岩、石英钠长岩、闪长岩和角斑岩等;砾石磨圆度好,分选性差。胶结物为火山碎屑及陆源碎屑;基底式胶结。②千枚岩、板岩段($Z_2^{j_2}$),与 $Z_2^{j_1}$ 整合,沿走向常相变为炭质千枚岩或炭质板岩,普遍含炭质是一特征。层间夹透镜状白云质灰岩、石英砂岩,未见火山熔岩,显示大规模火山活动已结束,与区域火山喷发活动一致。③硅质白云岩段($Z_2^{j_3}$),与 $Z_2^{j_2}$ 整合,呈巨厚层状,主要矿体均产于此层;中上部夹泥砂质千枚岩和炭质板岩。

2. 构造 矿区处于鸡公石向斜南翼,岩层呈向北西倾斜的单斜层,倾角 $45\sim 75^\circ$,走向北东 $20\sim 40^\circ$ 。区内断裂发育,较大者有三组:

(1) 北东—南西组断裂 由数条较大的近于平行的压扭性逆断层组成,走向 $50\sim 70^\circ$,倾向北

西,倾角 $30\sim 70^\circ$ 。断层面平直光滑,见构造角砾岩及糜棱岩。断裂中常有辉绿岩、辉长辉绿岩充填。 F_2 断裂属此组。 $Z_2^{j_2}$ 与 $Z_2^{j_3}$ 界面附近的 F_2 是金矿化的主控断裂,绝大多数矿体赋存于其中。

(2) 北西组断裂 多为北东向断裂的次级裂隙,两者呈“入”字形接触;为延伸不远的张裂隙。走向北西,倾向北东 65° 。有金矿体赋存。

(3) 北北东和北北西向扭性断裂 走向 $310\sim 20^\circ$,倾向北东或北西,倾角 $25\sim 40^\circ$,部分矿体产于其中。

3. 侵入岩 该区从超基性岩至酸性岩均有发育。主要有蛇纹岩、辉绿岩、闪长(钠长)玢岩等。多呈脉状沿断裂分布,规模小,数量多。

矿床地质特征

李家沟矿床由十余个矿体组成,分布在东西长1600米,南北宽80~120米的范围内(图1)。主要含矿部位在千枚岩与硅质白云岩界面北侧的硅质白云岩中。

1. 矿体 据矿石类型及有用组分本区矿体可分为两类:

(1) 碳酸盐岩型金矿体 以7、9、11号矿体为代表,是远景较大的类型。矿体受北东向压扭性逆断层控制,一般单体长70~150米,厚1~16米。矿石呈细脉浸染状,含金1~42.3克/吨。

(2) 石英脉型矿体 以15、4、12号矿体为代表,含金石英脉沿断裂分布,常见分枝复合、尖灭再现。一般矿脉长20~100米,厚0.6~2米,含金5~20克/吨,品位变化小。矿石常伴生铜($0.8\sim 2.35\%$),可综合利用。含金石英脉两侧的角砾状白云岩常形成1~3米厚的细脉浸染状金(化)体,品位1~5克/吨。

2. 矿石类型 根据主要有用组分、伴生组分、围岩性质及产出特征,矿石可分为:

(1) 脉状矿石 又可分为铜金石英脉亚型和

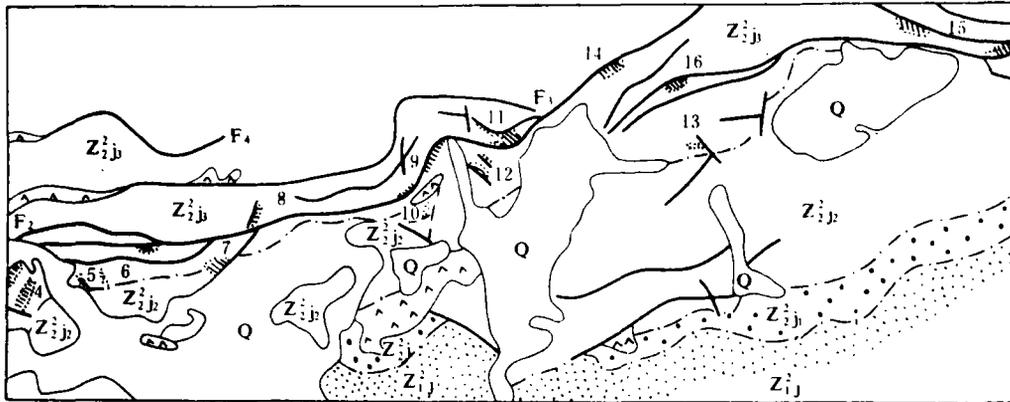


图1 李家沟金矿区地质略图

Q—第四系；Z_{1j1}—中震旦统九道拐组下部；Z_{1j2}—中震旦统九道拐组上部；

Z_{1j3}—下震旦统接官亭组；β—辉绿岩；斜线示矿体位置及编号；F₁—断层及其编号

金石英脉亚型两类。主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、自然铜和自然金；非金属矿物主要为石英和方解石。自然金呈0.01~0.05毫米大小的颗粒分布于石英集合体中或石英脉内黄铁矿边缘。常见块状、角砾状、细脉浸染状、多孔状及胶状构造。金铜含量常呈正消长；黄铁矿含量多寡直接影响金品位高低（图2）。金石英脉亚型矿石中未见铜矿物（含铜0.02%_n）。

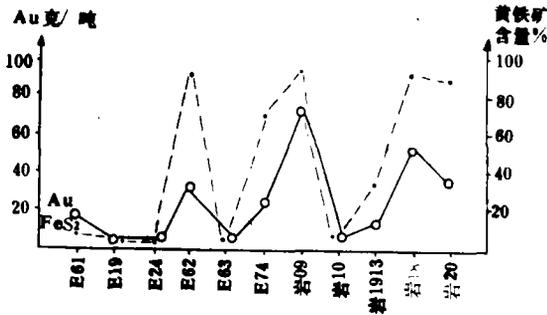


图2 铜金石英脉亚型矿石中金与黄铁矿含量变化曲线图

(2) 细脉浸染（角砾状碳酸盐岩）型矿石为矿区主要矿石类型。角砾由棱角状或糜棱岩化硅质白云岩组成，为暗褐色铁方解石脉和石英脉交代充填，呈细脉浸染状。主要矿物有自然金、黄铁矿、石英、方解石及白云石。自然金粒度为0.01~0.08毫米，分布于黄铁矿晶粒间。黄铁矿呈自形-半自形细粒浸染于细脉中；细脉密度越

大，金品位越高。

3. 金的赋存状态 据电子探针分析(表1)。

电子探针分析(%) 表1

样品	矿物定名	Au	Ag	Fe	产状
09	自然金	96.0	3.2	1.0	黄铁矿中
06	"	94.0	4.9	微量	"

据西北冶金地质研究所资料。

金主要呈含银自然金形式产出。多为细小、不规则状、丝状及长条状。溶解实验表明，矿石中Sb、Bi、S含量低，它们及Fe、As与金关系均不密切。光薄片观察金主要的赋存状态是：1包裹状。金呈不规则微粒包裹五角十二面体的黄铁矿中（图3a）；2附着状。附着于半自形-他形粒状黄铁矿晶粒边缘，对黄铁矿有溶蚀。自然金粒径0.01~0.05毫米（图3b）；3嵌布状。金呈细粒星散状嵌布于石英晶粒间，粒径0.01~0.03毫米（图3c）。①自然金呈0.01~0.06毫米大小赋存于石英脉内褐铁矿集合体中（图3d）。

总之，矿床内95%的自然金与黄（褐）铁矿共生和连生，而在黄铁矿集合体或脉体交汇或拐弯膨大处富集，少数与石英、黄铜矿共生。

4. 矿石的物质组成及其与金的关系 矿石矿物成分简单，主要为自然金、黄铁矿和褐铁矿，见少量磁黄铁矿；黄铜矿、辉铜矿、自然铜、铜蓝、孔雀石见于铜金矿体。非金属矿物主要为石

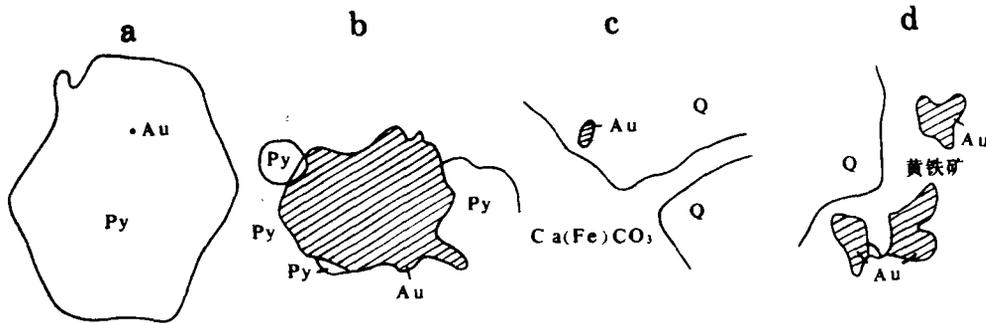


图3 金的赋存状态

a—五角十二面体黄铁矿中包裹的自然金；b—金对黄铁矿边缘的溶蚀与包裹；
c—产于石英脉中的细粒包裹金；d—褐铁矿中的嵌生金

李家沟矿石多元素分析 (%) * 表2

样号	矿石名称	产地	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	SO ₂	P ₂ O ₅	Cu	Au g/t	Ag g/t	As g/t
Q35	黄铁矿石英角砾岩	PD451沿脉	64.14	2.55	21.25	0.72	0.16	0.44	0.057	0.634	0.0344	0.012	78.00	9.0	15.0
Q37	黄铁矿石英脉	6号老洞4号矿体	54.91	1.43	25.94	0.61	0.24	0.32	0.057	4.126	0.0412	0.515	34.20	20.0	16.0
Q38	黄铁矿石英脉	7号老洞4号矿体	49.21	2.29	25.11	2.71	0.20	0.18	0.028	0.74	0.016	1.28	14.45	15.0	13.0
Q39	金矿白云岩	PD38穿脉	9.14	1.27	4.98	31.40	11.62	0.36	0.085	0.24	0.0458	0.022	0.74	2.0	16.0
Q40	金矿白云岩	TC449号矿体	33.53	1.22	6.98	24.37	6.13	0.18	0.085	0.18	0.0229	0.004	5.11	2.0	13.0

* 本队化验室分析；因含金方解石细脉作用，有的CaO含量偏高；白云石0.0229
中有部分Mg为Fe取代，使MgO含量降低。

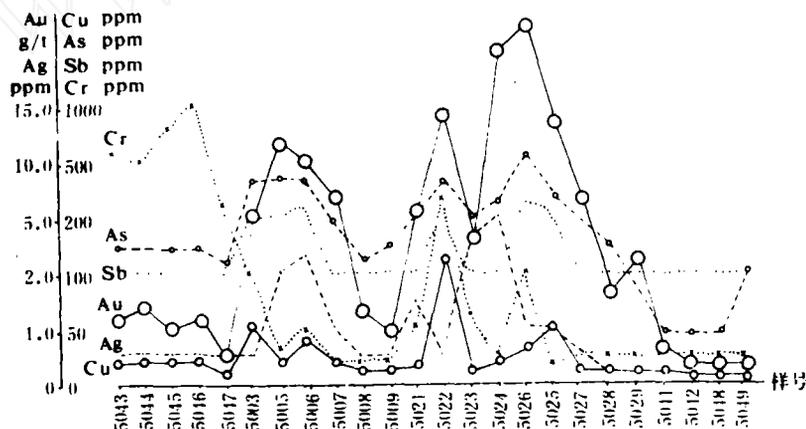


图4 金与Cu、Ag、Sb、As、Cr元素的变化曲线

英、方解石、白云石。化学成份见表2。

据24个样光谱分析结果(图4)，金含量与Cu、Ag、As、Sb成正相关，Cr成反消长。通过对火山岩、侵入岩、围岩及矿石中黄铁矿的单矿物分析(表3)表明，火山岩、侵入岩脉及围岩中的黄铁矿单矿物含金量一般<1.0克/吨，这种黄铁矿多呈细粒五角十二面体，粒径0.1~0.2

毫米。自然金主要赋存于角砾状白云岩中的方解石和石英细脉内，黄铁矿一般呈中—粗粒，他形，显碎裂构造。

5. 围岩蚀变 与矿化作用有关的蚀变主要有硅化、碳酸盐化和黄铁矿化。

硅化 分成矿前、成矿期和成矿后三种。成矿前的硅化局限于控矿断裂旁侧的白云岩中，并

表 3

样号	采样地点	岩类	岩(矿)石名称	金含量, g/t		岩(矿)石特征
				岩(矿)石	黄铁矿单矿物	
菜 3	菜坝沟	火山岩	糜棱岩化细碧岩		0.70	
362-8	李家沟	侵入岩脉	变辉绿岩	0.80	1.00	
362-7	"	"	"	0.29	1.00	
362-6	"	"	蚀变闪长玢岩	0.16	0.70	
38-2	"	"	钠长斑岩		1.10	
8-1	板庙沟	围岩	糜棱岩化板岩	0.42	0.70	
38-3	李家沟	矿石	黄铁矿硅化白云岩	56.00	74.00	铁白云石、石英呈细脉浸染状, 黄铁矿在脉中呈浸染状或团块
441-4	"	"	黄铁矿碎裂白云岩	3.95	74.00	
441-3	"	"	铁白云石化角砾状白云岩	28.75	162.30	
441-1	"	"	铁白云岩		18.00	
4-1	"	近矿围岩	褐铁矿化石英黄铁矿	70.20	1130.00	富黄铁矿石英脉, 黄铁矿>80%
12-1	"	矿石	"	57.60	99.00	黄铁矿石英脉, 黄铁矿15%
10-1	"	"	"		92.00	
362-3	"	下盘围岩	铁白云石化板岩	0.11	0.70	

伴有褪色现象。成矿期的硅化有充填于断裂中的含金石英脉(由他形、不等粒、油脂状石英组成, 含金2~10克/吨)和角砾状白云岩内的含金石英细脉(自然金赋存于脉中的黄铁矿或石英集合体中)。成矿后的硅化为纯净、白—乳白色石英脉, 常切穿上述各矿物, 脉中未见金属矿物, 含金<0.1克/。

碳酸盐化 指角砾状白云岩中的细脉浸染方解石化和白云石化, 形成较晚, 常切穿其他蚀变矿物。

黄铁矿化 有两种黄铁矿。一是分布于石英和方解石脉中的浸染状、团块状、半自形—他形黄铁矿, 常具压碎构造, 粒间含自然金; 一是较晚的硫化物脉, 脉中黄铁矿呈中—细粒状, 含金量变化较大(0.5~4.0克/吨)。

成矿控制因素

1. **地层岩性** 区内下震旦统官亭组火山岩含金0.05~0.1克/吨, 平均0.0823克/吨。震旦纪中期沉积了一套含陆源碎屑的泥砂质岩和化学沉积的硅质白云岩, 含金达0.1~0.15克/吨。在鸡公石向斜南翼, 同一层位、同种岩石中, 除李

家沟金矿外, 自西而东, 还有二郎庙、山金寺、铜厂坪、铜洞湾等金矿点, 矿化特征相同, 构成长达十余公里的北东向金矿化带。

2. **断裂构造** 矿床受区域大断裂的次级断裂控制。区内主要金矿体都赋存于北东向压扭性逆断层中。赋矿断裂破碎带明显, 角砾状构造和糜棱岩化清楚。断裂破碎带走向上呈舒缓波状, 反映不同地段应力作用强度的不均一性。金矿体往往分布在断裂构造转弯、倾角变缓处, 即压扭性断裂局部显张性的部位(见图1)。9号矿体1076米水平、44线附近, 两组断裂交汇, 破碎带宽, 糜棱岩化强, 矿体厚度增至20米以上。矿石平均品位很富。可见赋矿断裂规模及其发育程度对金矿化强度有很大影响; 复合构造是寻找大矿、富矿的有利部位。

3. **侵入岩** 区内侵入岩种类较多, 但规模均甚小, 它对矿化的影响主要表现在再生富集作用和矿体连续性的破坏两个方面。

30线4号矿体南侧有闪长玢岩侵入, 使板岩和邻近的白云岩含金量增加。但这种影响范围十分有限。矿区可见闪长玢岩切穿矿体, 辉绿岩脉充填赋矿断裂的某些地段, 切断了矿体的连续性。

矿床成因

李家沟金矿自发现以来,许多单位做过不少研究,取得了丰富的、可贵的地质资料和认识。对矿床成因,提出了“热水溶滤(卡林)型”、“变质热液型”、“岩浆热液型”等观点。我组通过多年工作,根据大量野外观察、硫同位素和矿物包裹体测试,以及成矿机理分析等,认为该矿床属沉积—变质热液型金矿。

1. 成矿物质来源 在吉林冶金地质研究所和西北冶金地质研究所的帮助下,对该矿床作了硫同位素分析和点群分析(表4,图5、6)。从图5可见,按0.4相似水平,与基性火山岩有关的Cr、V、Ga为一群,与热液活动有关的Zn、Pb、Cu(Ni、Co)为一群,成矿元素Au(Ag)

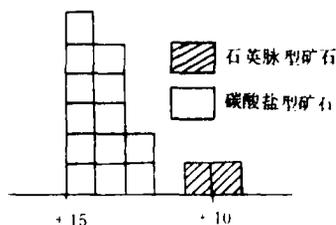


图6 李家沟金矿矿石硫同位素组成图

为一群;在0.1相似水平上,三群合而为一;表明Cr、V(Ga)主要富集于基性(火山)岩中,Au(Ag)由成矿热液作用富集;Au同热液活动有关的Zn、Mo、Pb、Cu等元素与Cr、V的相关性显示成矿热液作用发生于基性火山岩中。结合地层岩性对矿化的控制作用,认为具高含量金的中基性火山岩是初始矿源层。矿区内九道拐组正常沉积的千枚岩、板岩和碳酸盐岩中,富含重硫($\delta S^{34} = +3 \sim +10.5\%$),与地层硫同位素背景值一致(见表4),表明该组岩层中硫来自下部海底火山喷发岩。变质作用硫同位素均一化局限于单层内。在九道拐组沉积岩中金的再度富集,形成矿源层。

2. 成矿条件 区域大断裂的长期多次活动使区内岩石经受了动力变质作用。这种作用促使矿源层中的金活化、转移并富集形成含金热液。在碳酸盐岩中派生的一系列北东向次级断裂和裂隙——低温低压扩容带,为含金热液的交代充填创造了有利条件。

3. 矿床成因 对矿床中黄铁矿的单矿物分析(表5)表明,黄铁矿中 $Co/Ni = 1.24$,含Se $0.0001 \sim 0.0004\%$,不显典型岩浆热液成因;Co、Se含量低, $Co/Ni \ll 5$,亦不显典型火山热液成因; $S/Se = 164200$,介于岩浆矿床($S/Se = 9000 \sim 13000$)和沉积矿床($S/Se = 250000 \sim 500000$)之间。

矿物包裹体测温(表6)结果,黄铁矿爆裂温度在 $400^{\circ}C$ 左右(未校正),呈单宽峰正态曲线,与典型沉积矿床不同。从表4可见,随矿石类型的不同, δS^{34} 均值有所变化,碳酸盐岩型矿石 $x = +13.8$,石英脉型矿石 $+10.3$ 。矿石 δS^{34} 远远偏离陨石值,极差在 $10 \sim 2.5$ 之间。

岩(矿)石类型	样品数	δS^{34} 平均值 (x, ‰)	变化范围 (‰)	极差 (R)
碳酸盐岩型	12	+13.8	+12.5 ~ +15.0	2.5
石英岩脉	2	+10.3	+9.8 ~ +10.8	1.0
辉绿岩	2	+6.5	+6.4 ~ +6.7	0.3
闪长玢岩	3	+12.0	+11.0 ~ +13.1	2.1
炭质板岩	2	+5.6	+3.0 ~ +8.3	5.3
白云岩	3	+9.6	+8.7 ~ +10.5	1.8
细碧(凝灰)岩	1	-2.1		-2.1
美国卡林矿床	10	+30.1	+27.8 ~ 31.7	3.9

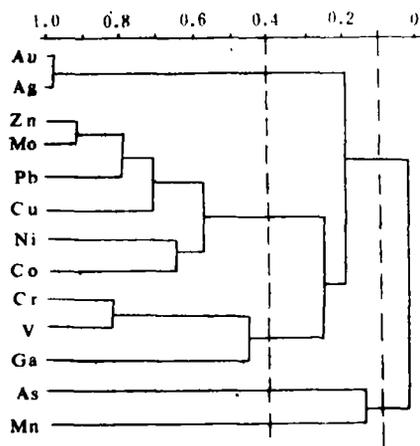


图5 李家沟金矿地球化学元素谱系图
(据西北冶金地质研究所资料)

黄铁矿单矿物标型元素含量* (%)

表 5

样号	产 状	S	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Au g/t	Ag g/t	Se	Te	Ga
6298	硅质白云岩中	47.84	0.420	0.0013	0.0011	0.0216	0.033	0.0076	0.0037	0.0133	5.5	2.1	0.0001	0.0001	0.0001
3126	闪长玢岩中	49.65	0.370	0.0010	0.0006	0.0323	0.024	0.0072	0.0343	0.0132	86.4	4.0	0.0004	0.0001	0.0001
5818	黄铁矿团块	49.92	0.345	0.0007	0.0005	0.0573	0.0024	0.0074	0.0197	0.0155	111.7	3.2	0.0004	0.0001	0.0001
5950	黄铁石英角砾岩	49.66	0.570	0.0005	0.000	0.0230	0.0026	0.0088	0.0252	0.0250	42.2	2.0	0.0003	0.0001	0.0001

* 据西北冶金地质研究所。

爆裂法矿物测温结果

表 6

样号	测定矿物	产 状	样重 (克)	粒径 (目)	起爆温度 (℃)	爆裂温度 (℃)	爆裂特征	爆裂强度 (mv)	测定 次数
6528	黄铁矿	板岩中含金石英脉	1	80	180	360	平缓单峰	1600	1
6298	"	黄铁矿团块	1	"	260	380	陡直单峰	4850	1
5950-1	"	石英脉	1	"	180	410	平缓单峰	1800	1
5950	石英	"	1	"	120	-	爆裂微弱	-	1
5818-2	黄铁矿	含金石英脉	1	"	160	420	平缓单峰	1100	1
3126	"	"	1	"	120	410	"	2400	1

综上所述,我们认为该矿床是产于震旦系碳酸盐岩层中的层控型沉积—变质热液矿床。

4. 成矿机理 在下震旦世中期,区域范围内遭受广泛海侵,地壳十分动荡,海底火山喷发强烈,沉积了以中基性火山岩为主的火山喷发沉积岩。岩石中金的丰度高达0.05~0.1克/吨。下震旦世末至中震旦世早期,该区上升隆起,岩石遭受风化剥蚀;中期鸡公石一带下沉,接受了凝灰质千枚岩、板岩和碳酸盐岩沉积。由于沉积物源主要来自火山岩,岩层富重硫,并使金进一步富集(达0.01~0.2克/吨)。中震旦世后,地壳相对稳定,但区域断裂的长期活动,使岩层遭受区域变质和动力变质作用。在深部岩石变质升温过程中,富钠火山岩内形成碱性溶液。火山岩中铝、硅的大量存在,溶液迁移中易于摄取围岩中高丰度的金,形成 NaH_2AuO_3 和 Na_3AuO_3 等易溶金酸盐迁移。随Au浓度的增加和S的大量加入,平衡破坏,上述金酸盐分解为 $[\text{H}_2\text{AuO}_3]^{1-}$ 和 $[\text{AuO}_3]^{2-}$ 。当含金热液迁移到低温低压的白云岩断裂破碎带时,温度、压力、pH值发生急剧变化,引起金的络合物再度分解,溶解度降低,使金沉淀富集。当然,这种成矿富集作用是多次、

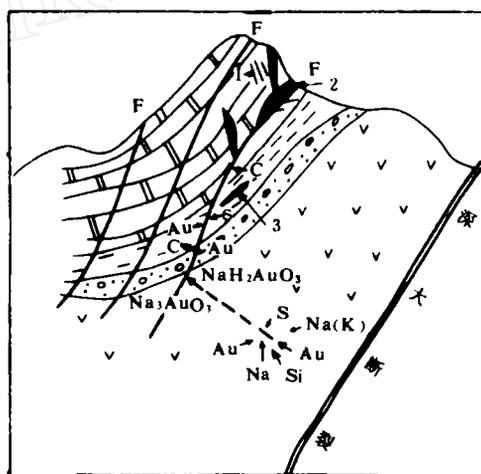


图 7 李家沟金矿成矿模式图

1—含金石英脉; 2—碳酸盐岩型金矿;

3—板岩中的含金硫化物脉

长期作用的结果。现试将其成矿模式概括为图 7。

本文是集体研究的成果,在此向各有关单位致谢。

(执笔人: 李永琨、赵 华)