

http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx

五台山区金矿床的多金源 多期次多成因多类型叠加成矿特征

徐俊

(山西省地质科学研究所, 太原)



五台山区的金矿床都是叠加成因的矿床。金源层的微量分散金, 被构造热事件所活化, 迁移到容矿构造中重新就位, 同一容矿构造多次活动和成矿, 致使金品位逐次升高, 形成矿床。这些金矿床具多源性、多期性、多成因和多类型叠加之特征。

关键词 山西省五台山 金矿床 多源多期次多成因多类型叠加成矿

五台山区为我国较为典型的晚太古代花岗-绿岩带, 其上叠置早元古代溱沱群、中元古代城系、蓟县系和古生代寒武系、奥陶系沉积盖层。中生代裂陷盆地型火山-沉积岩系成带分布。五台期、溱沱期、中晚元古代、燕山期多期构造活动, 产生北东向、北西向、东西向、南北向的

表1 山西省五台山金矿分类表

Table 1 The classification of gold deposits in Wutai Mountain

金矿系列	金 矿 成 因 类 型														
	金源层	成矿期	活化因素	容矿构造	成 矿 建 造	实 例									
绿岩带金矿系列	准同生层控型	含铁建造	五台期	深断裂及裂隙伸展	花岗岩区域变质作用	顺层	中温含金绢(白)云母石英片岩	鹿沟							
						剪切带	中低温铁-金矿	盘道沟							
	后生脉状矿型	花岗岩带	深源	基性岩活化	浆活动	次火山岩浆活动	韧性剪切带	中温含金硅化岩	马家岔						
								中温含金硫化物矿石							
							脆性剪切带	中温含金蚀变岩	高凡						
								中温含金石英脉							
							剪切交叉断裂组	中温含金石英脉	义兴寨						
								中低温含金蚀变岩	耿庄						
							后生碳酸盐岩层控型	长城系碳酸盐岩	中晚元古代	中生代	收缩挤压构造	地表渗滤溶液	层间剪切带	中低温含金(银)蚀变角砾岩	贵人关
														低温含金、银白云岩 低温含金、银黑色页岩	水系沟

深断裂带、区域性大断裂、韧性剪切带、脆性剪切带、剪切交叉断裂组, 同时产生多期花岗岩、次火山岩和基性岩浆活动。上述构造热事件, 既提供多种金源, 又提供多种活化因素和容矿构造, 在多期活动的构造带内, 形成一系列金矿床 (表 1), 本文对此复杂的成矿过程和特征作粗略介绍和探讨。

1 多种金源及活化作用

金矿对所赋存的围岩没有选择性^[1,2], 含金高者可提供较多金源, 但关键在于其中分散金能否活化游离。

五台花岗-绿岩带是本区基底构造层, 含金 1.9 ppb (表 2)。国内外著名产金绿岩带的金丰度一般低于 4 ppb, 很多不到 2 ppb^[3,4], 从表 2 可见, 由绿片岩相→角闪岩相→麻粒岩相和深成花岗岩, 金丰度逐次按 1 ppb± 的梯度降低, 变质作用的加深释放出大量金, 而且基性火山岩类、碳酸盐岩、磁铁石英岩等对变质作用更为灵敏, 金丰度下降幅度是中酸性火山岩类的 2—7 倍, 释放出更多的金, 作为金源层的条件更为成熟。

溥沱群四集庄组为裂陷槽初期的碎屑沉积, 基底构造层中经表生作用转移来的金, 主要聚集于变质砾岩中, 其金丰度为变质砂岩、泥岩的 4 倍 (表 2)。所采 722 个试金样的 51.1% 低于 0.01 g/t^①, 37.7% 样品含金 0.01—0.1 g/t, 11.2% 样品含金 0.1—3.98 g/t, 已显活化成矿之趋势, 亦为后期脉状矿 (高凡金矿) 提供了金源, 为本区第二代金源层。

长城系高于庄组为裂陷海槽边缘的沉积建造, 随层位升高, 海水加深, 陆源碎屑减少, 含金量逐步降低 (表 2), 沉积分选和有机炭吸附作用使金聚集在碎屑岩、碎屑白云岩、叠层石白云岩和黑色页岩中, 经后期构造活化已出现矿(化)层, 应为第三代金源层。

早元古代幔源基性岩除赋存于溥沱群中的玄武岩外, 更广泛的是以岩床、岩脉产于韧性剪切带内, 平均含金 0.9 ppb。中晚元古代辉绿岩墙成群的贯入于北西向断裂内, 平均含金 0.7 ppb。上地幔局部熔融时金率先进入熔浆, 基性、超基性岩的初始金丰度应高于上地幔金丰度 (5 ppb), 如苏联雅库特金伯利岩 (地幔岩) 含金仅 1.2—4.5 ppb, 而通古斯拉斑玄武岩含金 8 ppb^[2], 津巴布韦贝林圭橄榄柯马堤岩含金 7 ppb, 玄武柯马堤岩 9 ppb^[5], 本区基性岩含金如此之低, 其原因可能是所含的金已散失到围岩或构造带去了, 马家岔基性岩脉两侧的金矿脉 $\delta^{34}\text{S} = +1.2\% - +2.9\%$, 南沟辉绿岩墙旁的含金硅化角砾岩 $\delta^{34}\text{S} = +0.9\% - +3.0\%$, 而辉绿岩黄铁矿 $\delta^{34}\text{S} = +3.0\% - +4.0\%$, 证明具同源性。基性岩能够提供巨量的幔源金。

中生代深源同熔型次火山岩金丰度是浅壳重熔型花岗岩的 4.6 倍 (表 2), 由闪长岩 1.2 ppb^b 至长石斑岩 9.2 ppb, 岩浆分异使金富集于晚期富钾质岩浆中, 此类岩体不论规模大小, 其内外接触带均有金矿脉出现, 而规模较大的壳源花岗岩则无金矿, 显见深源岩浆提供了较多的金源, 而且后期蚀变越强, 成矿越好, 蚀变作用使分散金迁移到矿脉中。

金矿床铅同位素组成图解表明 (图 1)^[6], 前寒武纪金矿 (马家岔、金洞岔、金厂峪), 投影于左下方, 中生代的金矿 (安徽马山) 位于右上方。值得注意的是, 大部分金矿的投影区跨越两种以上铅源演化曲线, 小秦岭、张家口、胶东等地尤为明显, 表明有多种金源。本区金矿金源有: 绿岩带变基性火山岩的初始幔源和变长石石英砂岩及中生代渗滤溶液的上地壳源 (鹿沟, A₁); 花岗-绿岩带源和基性岩源 (马家岔, A₂); 花岗-绿岩带源、基性岩和石英斑岩源 (高凡, A₃); 次火山源、花岗-绿岩带和沉积盖层源 (义兴寨, A₄); 和次火山岩及花岗-绿岩带源 (耿庄, A₅)。

① 山西省地质矿产局 217 地质队、东北地质科学研究所 1967 年资料。

表 2 山西省五台山各类地质体金丰度 (ppb)

Table 2 The gold contents (ppb) in a variety of geologic body in Wutai Mountain, Shanxi

时 代	地质体		沉 积 相 变 质 相 岩 浆 类 型	岩 石 类 型	样 数 n	均 值 \bar{X}	均 方 差 s	极 限 值		测 试 单 位		
								max	min			
中太古代	恒山群		角闪岩相 麻粒岩相	片麻岩、混合岩、麻粒岩	189	0.9	1.24	5.1	0.3	河南省岩石矿物测试中心, 化学光谱法, 报出限 0.1 ppb		
晚 太 古 代	花 岗 - 绿 岩 带	五 台 群	五台群平均值		1329	1.9	4.29	46.5	0.2			
			石 咀 亚 群	角 闪 岩 相	亚群平均值		580	1.5	3.17		37.0	0.2
					中酸性火山岩类		276	1.7	3.84		37.0	0.2
					基性火山岩类		150	1.2	1.94		17.0	0.2
					碎屑岩、碳酸盐岩		60	1.3	2.77		20.6	0.2
		磁铁石英岩			26	1.1	0.68	8.3	0.3			
		台 怀 亚 群	绿 片 岩 相	亚群平均值		660	2.5	5.70	46.5		0.2	
				中酸性火山岩类		142	2.1	5.66	46.5		0.3	
				基性火山岩类		240	2.0	3.62	25.7		0.3	
				长英质火山碎屑岩		33	3.1	6.56	30.5		0.3	
碳酸盐岩				58	3.9	7.63	40.0	0.2				
磁铁石英岩		84	3.8	7.33	42.0	0.3						
高 凡 亚 群	次 绿 片 岩 相	石英岩、千枚岩		55	1.1	1.44	8.6	0.2				
		深 成 岩	绿 片 岩-角 闪 岩 相	变超基性岩		28	2.3	6.04	32.0		0.2	
变花岗岩类				123	0.8	0.86	5.7	0.2				
早 元 古 代	溇 沱 群 四 集 庄 组		次 绿 片 岩 相	变质砾岩、砂岩、页岩		68	1.8	3.73	19.0		0.2	
				变质砾岩		43	2.5	4.59	19.0		0.2	
				变质砂岩、页岩		25	0.6	0.55	2.7		0.3	
中 晚 元 古 代	深 成 岩		幔 源 岩 浆	变辉长岩、变辉绿岩		50	0.9	0.67	3.2		0.3	
				辉绿岩墙		12	0.7	0.20	0.9		0.2	
	长 城 系 高 于 庄 组	底 部 第 一 段 第 二 段 第 三 段	近 陆 浅 滩 相 浅 滩、潮 坪 相 泻 湖 相 浅 滩、台 地 相	全组平均值		92	2.2	4.42	40.4		0.4	
				石英砂岩		13	3.7	3.95	12.9		1.1	
				碎屑白云岩、燧石白云岩		58	2.1	5.25	40.4	0.4		
黑色页岩、白云质页岩				11	1.5	0.92	3.5	0.4				
厚层白云岩		10	1.4	0.34	1.9	1.0						
中 生 代	深 源 岩 体	次 火 山 岩 群	深 源 同 熔 型	岩群平均值		43	3.7	3.65	36.8	0.2		
				闪长岩		11	1.2	0.78	3.2	0.5		
				花岗闪长(斑)岩		5	1.1	0.83	2.3	0.2		
				花岗(斑)岩		9	3.0	2.87	8.3	0.7		
				石英斑岩		6	3.0	3.22	9.0	0.5		
				长石斑岩		12	9.2	10.55	36.8	1.1		
	石英长石斑岩		20	0.8	0.59	3.0	0.2					
岩 脉	基性岩		8	2.1	2.81	8.1	0.3					
	壳 源 岩 体	壳 源 重 熔 型	黑云母花岗岩		28	0.8	0.62	2.2	0.2			

综合上述, 花岗-绿岩带为各类金矿提供初始幔源金, 基性岩为剪切带脉状金矿提供补充幔源金, 溇沱群砾岩和长城系提供壳源金, 次火山岩类提供深源岩浆金, 以初始幔源金为主要金源, 故本

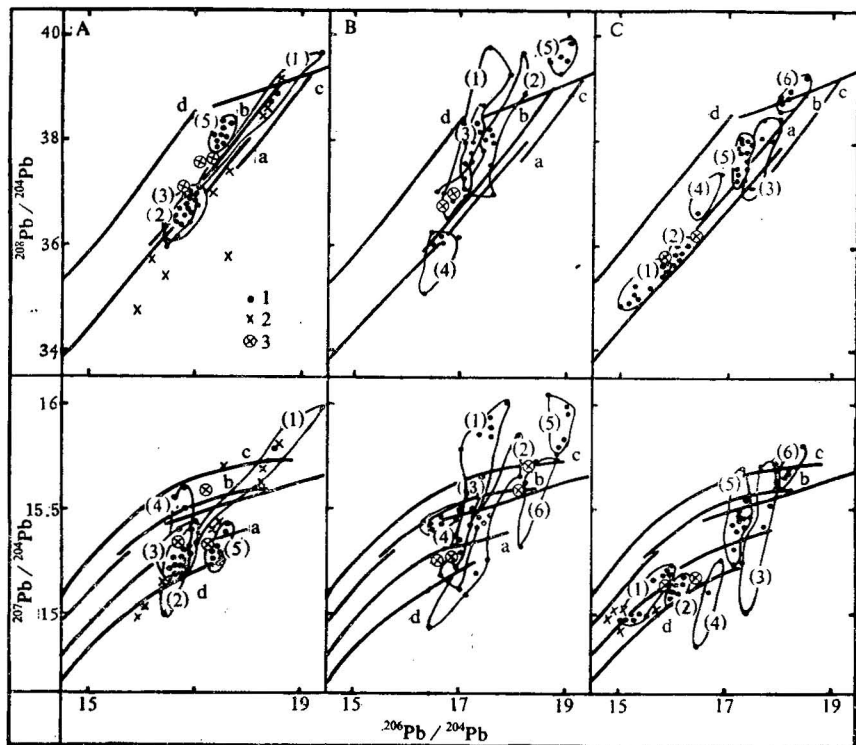


图 1 金矿床铅同位素组成图解 (采用 B. R. Doe 模式)

Fig. 1 The diagram showing lead isotope composition of gold deposits (with B. R. Doe and Zartmaus model)

铅演化曲线: a—地幔源; b—造山带源; c—上地壳源; d—下地壳源

样品: •—矿石; x—前寒武纪变质岩; ⊙—显生宙岩浆岩

资料来源: A: (1) 鹿沟; (2) 马家岔; (3) 高凡; (4) 义兴寨; (5) 耿庄 (以上为本文资料)。B: 小秦岭 (1) 文峪; (2) 桐峪; (3) 金洞岔、潼关 (据林宝钦、晁授, 1989); (4) 猫岭 (戴立军, 1988); (5) 广东新洲 (涂绍雄, 1990); (6) 安徽马山 (王义文, 1984)。C: (1) 金厂峪; (2) 峪耳崖 (余昌涛, 1989); (3) 张家口小营盘; (4) 张全庄 (宋瑞先, 1983); (5) 胶东 (李士先等, 1983); (6) 浙江遂昌、福建永安 (胡桂明, 1985)

lead isotope evolution curves; a—mantle; b—orogenic belt; c—upper crust; d—under crust

samples; •—ore x—metamorphic rock (AnE) ⊙—magma rock (Phanerozoic Eon)

information; A: 1—Lugou; 2—Majiacha; 3—Gaofan; 4—Yixinzai; 5—Geng-zhuang, Shaxi (1—5 from this paper). B: 1—Wenyu; 2—Tongyu; 3—Jintongcha; and Tongguan, Xiaoginling, Henan (from Ling Baoqin and Zhao Yuan, 1989); 4—Maoling, Liaoning (from Dai Lijun, 1989); 5—Xingzhou, Guangdong (from Tu Shaoxiong, 1990); 6—Mashan Anhui (from Wang Yiwen, 1984). C: 1—Jinchangyu and 2—Yuerya of Hebei (from Yu Chantao, 1989); 3—Xiaoyingpan and 4—Zhangquan zhuang, Hebei (from Shan Yuixian, 1983); 5—Jiaodong, Shandong (from Li Shixian etc., 1983); 6—Suichang, Zhejiang and Yongan, Fujian (from Hu Guiming, 1985)

文将本区金(银)矿都置于绿岩带金矿系列(表 1)。

2 多期成矿作用与控矿因素

金的地球化学性质相当活泼, 地质构造和地球化学环境一有改变, 金源层中金即发生活化迁移, 总的趋势是由上地幔及下地壳向地表转移, 由高温、高压环境向低温、低压环境转移, 由分散趋向集中而成矿。金的活化需要构造热事件提供能量, 因而金的活化高潮期(成矿期)与地质构造期相随出现, 也具旋回性, 本区 4 次裂隙构造旋回, 相应地有 4 次成矿期。

2.1 五台成矿期

表 3 所列资料证实, 由区域变质作用和花岗岩化释放出的金, “没有富集在伟晶岩里, 而是

表 3 五台山区各类构造带含金及矿化情况

Table 3 The gold contents(ppb)and mineralization in variety fult belts of Wutai Mountain area

成矿期	构造带	蚀变岩	含金情况(ppb)				矿化情况
			样数 (n)	均值 (x)	地区 背景	富集比	
五台期	雁门关剪切带	片麻状糜棱岩	5	3.9	1.3	3	灵丘北山矿化构造带长15km,宽数十米至百余米,平均含金117ppb(n=1314),其中0.3g/t边界的矿化体30余个,低品位金矿体10余个,阳坡道-盘道沟矿化带长1000m,小矿体10余个,呈雁行式排列
	灵丘北山剪切带	绢(白)云母石英片岩	4	7.2	2.0	3.6	
	阳坡道深断裂带	磁铁绿泥绢云片岩	8	6.6	2.5	2.6	
	康家沟深断裂带	磁铁绿泥绢云片岩	10	7.8	2.4	3.3	
	宽滩深断裂带	磁铁绿泥绢云片岩	20	8.6	2.7	3.2	
滹沱期	马家岔韧性剪切带	绢英片岩	77	25.0	0.8	31.3	马家岔矿化带宽100余米,延展数10km,矿体断续出现 磨峪沟数条矿化带长数公里,宽十余米,局部有矿体 高凡矿化带长数公里,宽数十米,局部有矿体
	同上	蚀变碎裂岩	60	25.7	0.8	32.1	
	磨峪沟脆性剪切带	绢英片岩	56	35.7	1.5	23.8	
	同上	蚀变角砾岩	51	23.5	1.5	15.7	
	高凡脆性剪切带	蚀变岩	46	237	1.8	131.7	
中晚元古代	南沟区域性大断裂	黄铁绢英片岩	22	29.0	0.8	36.3	矿化带长数公里,宽数米,其中有小型低品位矿体
	同上	硅化角砾岩	35	127.0	0.8	159.8	
中生代	南沟区域性大断裂	含砾糜棱岩	28	40	0.8	50.0	矿化带长数公里,宽数米至十余米,其中有小型矿体
		含矿糜棱岩	21	169	0.8	211.3	
		蚀变断层泥	8	137	0.8	171.3	

在各种构造带、蚀变带里富集起来,形成各种矿脉”^[2]。灵丘北山的鹿沟金矿与五台山主峰南坡的盘道沟金矿,分别位于两条五台期深断裂南侧硅铁岩系的顺层剪切带内,具韧性剪切带特征,两金矿的矿化带均被早元古代和中晚元古代两期基性岩脉切断位移,确系五台期矿化带。

2.2 滹沱成矿期

深层次的韧性剪切带、花岗岩化、基性岩浆活动,使花岗-绿岩带的分散金再次活化迁移,马家岔含矿构造带的韧性剪切特征发育,与金矿脉共生的基性岩脉年龄值1700—1800 Ma^①高凡、磨峪沟含矿构造带具较深层次的韧—脆性剪切特征,上述三矿带均被北西向1500—540 Ma的辉绿岩墙切割位移,均系早元古代开始出现的矿带。

2.3 中晚元古代成矿期

深层次的裂隙伸展构造产生北西向和南北向剪切断裂及基性岩浆贯入,沉积盖层则发生层间剪切带,深源热液和渗滤溶液使金活化迁移,分别就位而形成层状矿(层间带)、脉状矿(小型断裂)和规模巨大的含金硅化角砾岩带,与之共生的辉绿岩墙(南沟)年龄值为778.1 Ma,层状矿被辉绿岩墙切割但不错位,均系中晚元古代的矿化产物。本期构造成矿作用使前期剪切带矿脉破碎再胶结(脆性特征),矿脉两侧形成高品位矿体,矿脉之外的黄铁绢英岩年龄值为500—1200 Ma,证明本期的矿化叠加作用颇为强烈。

2.4 中生代成矿期

深部构造和岩浆活动使前三期金源层、矿(化)体及本期次火山岩的金活化迁移,叠加于前三期矿(化)带,亦形成新的矿脉。本期第一次矿化的含砾糜棱岩含金较低(表3),随后次火山岩及石英斑岩脉侵位159.8—129.5 Ma,第二次在次火山岩内外及前期矿(化)带两侧的剪切交叉断

① 本文所引同位素年龄资料,均系钾—氩法测定,本所采样,北京铀矿地质研究所测试。后文不再说明。

裂组中成矿较好, 形成矿体, 其后煌斑岩侵位 (77—76 Ma), 第三次矿化使所有前期矿(化)脉破碎, 沿裂隙充填, 并导致品位提高。

多期成矿作用普遍存在于国内外各大产金区, 我国黔西南^[4]、湘西^[7]、胶东^[8]、辽南^[4]、西澳大利亚^[9]等地都有三期以上的成矿作用。五台山各期构造层和岩脉的穿切关系, 加上大量同位素年龄资料, 为确定不同期次的成矿建造, 划分成矿期次提供了坚实的依据。涂光炽等专家指出, 中国金矿床与其金源层的生成时代有较长的时间差, 可长达 1 000 Ma 以上^[1,10]。在此时限内, 很多金矿床都经历了多次强烈的构造活动, 成矿作用也显示了多期叠加发展过程: 本区马家岔金矿, 溱沱期韧性剪切带矿脉之中央为低品位矿石(或基性岩), 两侧为叠加期碎裂结构的富硫化物金矿, 更外侧为中生代含金高岭土化糜棱岩; 高凡金矿, 脆性剪切带矿脉之中央为含金蚀变岩, 两侧为叠加期压碎结构富石英脉, 其外亦有高岭土岩; 义兴寨含金品位高的石英脉呈单脉式或复脉式穿插在前期含金品位低的蚀变岩中, 又有晚期碳酸盐石英细脉叠加; 耿庄蚀变岩型金矿脉内有成组的富硫化物细脉叠加, 又有晚期碳酸盐石英脉穿插; 茶坊水系沟层控型矿层内后期交叉细脉很发育, 而脉状矿出现在含矿构造一侧, 其构造角砾已经二次磨圆, 矿脉边部又有更晚的构造岩。

上述现象表明, 早期成矿作用沿控矿构造带形成较宽的矿化蚀变带, 叠加成矿主要沿二次复活的构造面进行, 金的品位提高而矿脉厚度减小, 更晚期矿化沿破碎裂隙充填。这种发展过程普遍见于国内外著名矿床, 我国玲珑金矿 51 号大脉, 由含金品位低的石英脉 (I 与 II 期) 和富金硫化物石英脉 (III 期), 及更晚的含金品位低的方解石石英脉 (IV 期) 组成。加拿大赫姆洛、澳大利亚卡尔古利、我国小秦岭的主要矿床亦为如此。本区鹿沟金矿有两期成矿作用, 但矿(化)体呈层状, 石英微脉顺片理产出, 矿石矿物组合和结构构造单一, 叠加特征不显著, 正因如此, 其矿化体规模大而金品位低, 矿体小, 工业价值小, 可见叠加作用的强弱至关重要。

3 多种成矿溶液和多种矿石建造

多期成矿作用叠加成因的矿床, 其最显著的特点就是不同类型的矿石建造叠加出现。本区主要矿床的矿物组合、结构构造、围岩蚀变、成矿温度等各有不同 (表 4), 虽然 4 期成矿作用在各个矿床中发育程度不等, 多数仅有 2—3 期, 且有主次之分, 但它们充分反映金矿床各期成矿因素和就位环境的改变, 导致成矿溶液的成分性质的显著变化, 超越了由一种含矿溶液连续演变而形成连续成矿序列的模式。借助金矿床的石英气液包裹体成分类型 (图 2), 硫、氧同位素组成 (图 3, 4) 所提供的信息, 可以更深入地讨论多种成矿溶液叠加的成矿过程 (表 5)。马家岔金矿首次成矿在深层次封闭环境进行 ($\delta^{34}\text{S} = -1\% \sim +3\%$), 重氧组成表明流体主要来自花岗质变质岩 (围岩), 在 300℃ 以上条件下均衡而具深成水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 特点^[11,12]。钾长石、磁铁矿的分解使溶液呈弱碱性和较高氧化度, 包裹体类型为 $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2-\text{Ca}, \text{K}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^-$, 矿化度较低; 叠加成矿的就位环境变化不大, 但大量基性岩浆水的加入使 $\delta^{18}\text{O}$ 值增高, 氧化度和 SO_4^{2-} 降低, 碱性度、矿化度和 Cl^- 浓度显著高提; 第三期矿化在浅层次开放体系氧化环境进行, 多源含矿溶液富 F^- 和 HCO_3^- , 近中性, 矿化度很低。高凡金矿首次成矿在较深层次封闭体系进行, 流体来自绿岩建岩和基性岩, 包裹体类型 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{Ca}^{++}-\text{Cl}^-$, 酸性度和矿化度较高; 叠加成矿就位环境变浅, 石英斑岩侵位带入温度较高流体, 富 H_2 , K^+ , Na^+ , 矿化度下降; 第三次矿化处于开放体系, 浅层围岩源流体富 CO_2 , Ca^{++} 和轻硫, 呈弱酸性。义兴寨金矿前二次成矿均在较深层次封闭体系进行, $\delta^{34}\text{S}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 组成相似, 流体分别来自花岗质变质岩 (围岩) 和次火山岩, 后者富 H_2 , 酸性度和矿化度较高; 第三次矿化处于开放体系, 渗滤溶液贯入使重氧稀释, CO_2 和 Na^+ 大为增高。鹿沟金矿的两种流体系由两种不同矿化围岩所致。河南小秦岭元古宙第一次成矿在封闭体系进行

表 4 五台山区叠加金矿床特征
Table 4 The characters of telescoped gold deposit in Wutai Mountain area

矿床类型及实例		薄花期剪切带脉状金矿		中生代次火山岩内外脉状金矿		中晚元古代层控型金-银矿	
		韧性剪切带	脆性剪切带	含金石英脉型	含金蚀变岩型	层状矿	脉状矿
		马家岔	高 凡	义兴寨	耿 庄	茶 坊 水 系 沟	
成矿建造	一期	含金硅化蚀变岩	含金绢英片岩 含金蚀变角砾岩	含金硅化角砾岩	含金硅化角砾岩	含金(银)白云岩、页岩	含金(银)角砾岩
	二期	含金多金属硫化物	含金石英脉	含金石英脉及蚀变岩	含金蚀变岩及石英脉	高岭土硫化物网脉	多金属硫化物脉
	三期	含金含碳质高岭土脉、方解石石英脉					
矿 石 结 构 构 造	一期	晶粒、熔圆、交代结构 斑杂状、细脉状构造	晶粒、交代结构、角砾 状、条带状、片状构造	压碎、交代结构 角砾状、浸染状构造	压碎、交代结构 角砾状、浸染状构造	交代、晶粒结构	压碎、交代结构
	二期	碎裂、交代、固溶体分解 结构,角砾状、条带状构造	晶粒、交代结构,脉 状、块状构造	晶粒、交代结构,脉 状、细脉状、网脉状、梳 状构造	晶粒、交代、出溶结 构、细脉状、角砾状浸染 状构造	星散状、细脉浸染状、角砾状、条带状构造	
	三期	压碎、交代、晶粒结构、脉状、细脉状、条带状、碎裂构造					
矿 物 组 合、 蚀 变 类 型	一期	金-黄铁矿-石英 黄铁绢英岩化	金银矿-多金属硫化物 -石英、绢云母 绢云母化、硅化	金-黄铁矿-石英 硅化、绢云母化	金-黄铁矿-毒砂-石英 硅化、绢云母化	金银矿物-黄铁矿、磁 铁矿-白云石、粘土矿物	金银矿物-粘 土矿物-碳酸盐 矿物
	二期	银金矿-多金属硫化物-石 英 硅化、碳酸盐矿	银金矿-多金属硫化 物-石英、高岭土 高岭土化、硅化	金-多金属硫化物-石英、 方解石 硅化、绢云母化、绿泥 石化	金银矿-多金属硫化物- 石英、高岭土 高岭土化、硅化	金银矿物-多金属硫化物-高岭土、石英、 方解石 高岭土化、硅化、碳酸盐化	
	三期	金银矿-黄铁矿-高岭土、碳酸盐、石英 高岭土化、碳酸盐化、硅化	金-多金属硫化物-方解 石 碳酸盐化	金-黄铁矿-石英、碳酸 盐矿物 碳酸盐化、硅化	金-黄铁矿-石英、碳酸 盐矿物 碳酸盐化、硅化	金银矿物-重晶石、白云石、方解石、石英 碳酸盐化	
成矿温度	一期	385—285℃	300—240℃	403—300℃	345—290℃	200—150℃ (未测到确切数据)	
	二期	300—207.5℃	340—320℃	310—210℃	260—192℃		
	三期	145—138℃	<200℃	<200℃	140—116℃		

测温资料: 马家岔、高凡、义兴寨用均一法, 中国地质大学(武汉)测试; 耿庄用爆裂法, 北京轴矿研究所测定

表 5 五台山区主要金矿床各期成矿溶液特征
Table 5 The characters of metallogenic solution of various epoch in main gold deposit of Wutai Mountain area

矿床	成矿期	矿石建造	石英气液包裹体类型 (图 2 中编号)	成矿温度 (°C)	含矿溶液性质及测定参数	成矿就位环境
鹿沟	五台期	含金绢英片岩	H ₂ O-CO ₂ -H ₂ -Na ⁺ , K ⁺ -Cl ⁻ <1>	350	弱碱性	深层次还原条件
		含金磁铁矿石英岩	H ₂ O-CO ₂ -Na ⁺ , Ca ⁺⁺ -SO ₄ ²⁻ <2>	350	弱酸性 pH=6.1	深层次氧化条件 (因磁铁矿分解)
盘道沟	五台期	铁-金矿	H ₂ O-CO ₂ -Ca ⁺⁺ , Na ⁺ -Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ (3-1)	332	弱酸性	较浅层次氧化条件
	未查明	含硫化物铁-金矿	H ₂ O-H ₂ -Ca ⁺⁺ , Na ⁺ -Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ (3-2)	274	弱碱性 δ ¹⁸ O = 1.5‰ δD = -22.6‰	较浅层次还原条件
	未查明	碳酸盐铁-金矿	H ₂ O-CO ₂ -Ca ⁺⁺ , Na ⁺ -Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ (3-3)	107	近中性 δ ¹⁸ O = -8.4‰ δD = -61.8‰	较浅层次氧化条件
	薄沱期	含金硅化岩	H ₂ O-H ₂ -Ca ⁺⁺ , K ⁺ -SO ₄ ²⁻ -HCO ₃ ⁻ <4-1>	314	弱碱性 δ ¹⁸ O = 6.8‰	深层次弱氧化条件
马家岔	中晚元古代	含金多金属矿石	H ₂ O-CO ₂ -Ca ⁺⁺ , K ⁺ -Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ <4-2>	262	弱碱性 δ ¹⁸ O = 7.3‰	深层次还原条件
	中生代	含金高岭土岩	H ₂ O-CO ₂ -Ca ⁺⁺ , K ⁺ -F ⁻ -HCO ₃ ⁻ <4-3>	142	近中性	浅层次氧化条件
高凡	薄沱期	含金蚀变岩	H ₂ O-CO ₂ -Ca ⁺⁺ - -Cl ⁻ (5-1)	303	酸性 pH=4.6 Eh = -0.52	较深层次还原条件
	中生代	含金石英脉	H ₂ O-H ₂ -K ⁺ , Na ⁺ - -Cl ⁻ (5-2)	313	酸性 pH=3.3 δ ¹⁸ O = 6.8 δD = -79.8‰	较深层次还原条件
	中生代末	含金方解石高岭土岩	H ₂ O-CO ₂ -Ca ⁺⁺ - -Cl ⁻ (5-3)	<180	弱酸性	浅层次氧化条件
义兴寨	中生代	一次	H ₂ O-CO ₂ -Ca ⁺⁺ , K ⁺ -Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ (6-1)	302	弱酸性 pH=6.4	较深层次还原条件
		二次	H ₂ O-CO ₂ , H ₂ -Ca ⁺⁺ , K ⁺ -Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ (6-2)	267	酸性	较深层次还原条件
		三次	H ₂ O-CO ₂ -Ca ⁺⁺ , Na ⁺ -Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ (6-3)	159	弱酸性	浅层次氧化条件
马桥	中生代	含金蚀变岩	CH ₄ -CH ₄ -Ca ⁺⁺ - -Cl ⁻ <7>	240	酸性 pH=1.3 δD = -66.5‰	浅层次还原条件

测温资料: 马家岔、高凡、马桥、义兴寨—同表 4; 盘道沟—均一法, 爆裂法, 北京铀矿研究所; 鹿沟—均一法, 桂林冶金地质研究所。

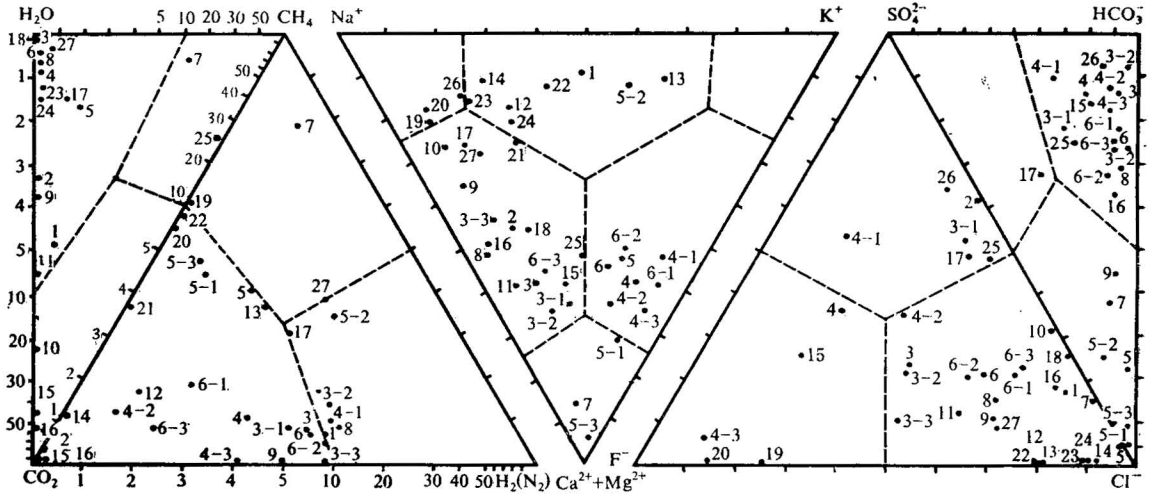


图 2 金矿床石英包裹体气液成分图解
(采用当量浓度比值绘制)

Fig. 2 Diagram showing the gas and liquid composition of quartz inclusions of the gold deposits
(with the ratio of equivalent concentration)

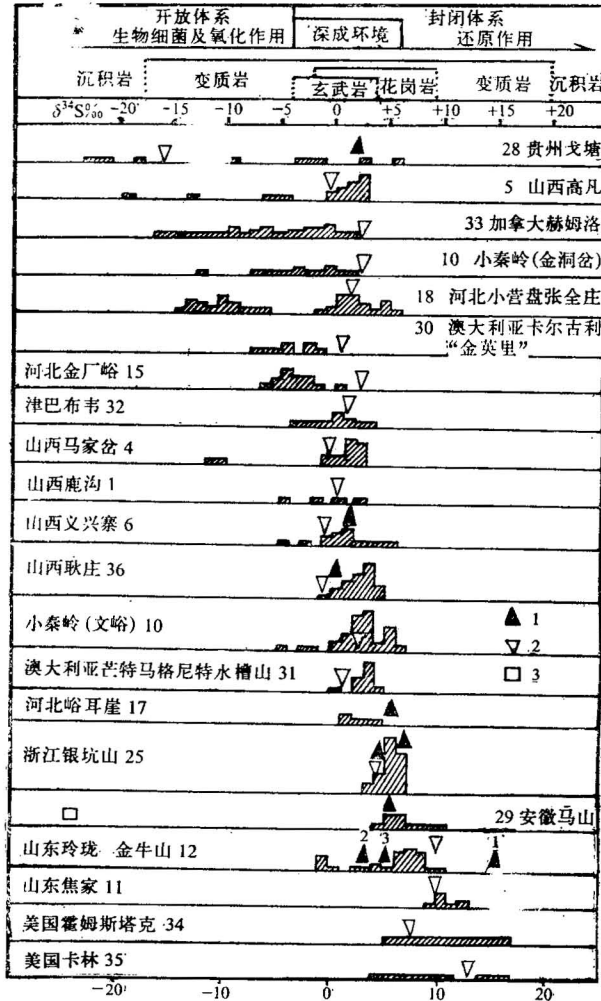


图 3 金矿床硫同位素组成图解

Fig. 3 Diagram showing sulfur isotope composition of the gold deposits

▲—岩浆岩 $\delta^{34}\text{S}$ 均值, ▽—变质围岩 $\delta^{34}\text{S}$ 均值,
□—沉积围岩 $\delta^{34}\text{S}$ 均值
▲—mean $\delta^{34}\text{S}$ of magma rock, ▽—mean $\delta^{34}\text{S}$ of metamorphic rock, □— $\delta^{34}\text{S}$ of sedimentary rock

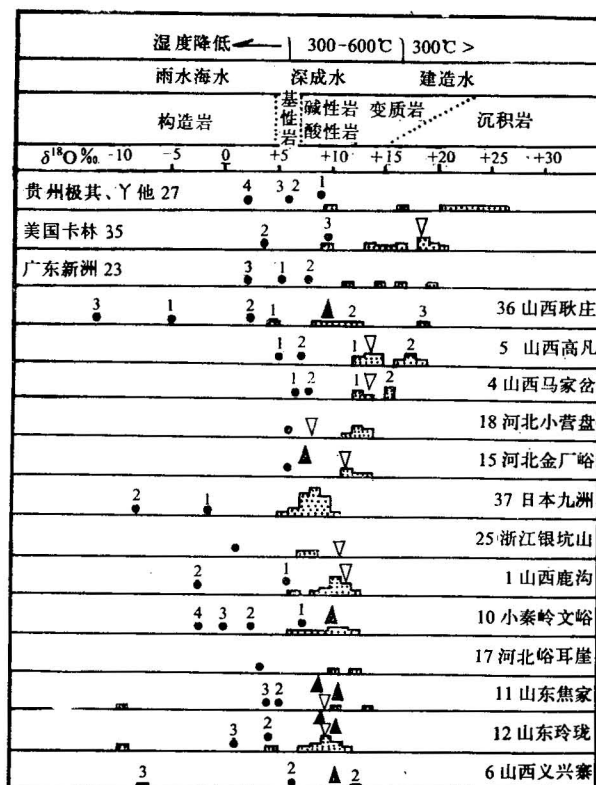


图 4 金矿床氧同位素组成图解

Fig. 4 Diagram showing oxygen isotope composition of the gold deposits

▲—岩浆岩 $\delta^{18}\text{O}$ 石英均值, ▽—变质围岩 $\delta^{18}\text{O}$ 石英均值, •—成矿期 $\delta^{18}\text{O}$ 水均值 (按 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SiO}_2} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.26 \times 10^6 \text{T}^{-2} - 2.98$ 计算)

▲—Mean $\delta^{18}\text{O}_{\text{SiO}_2}$ of magma rock, ▽—mean $\delta^{18}\text{O}_{\text{SiO}_2}$ of metamorphic rock, •—mean $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ of metallogenic epoch (after $\delta^{18}\text{O}_{\text{SiO}_2} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.26 \times 10^6 \text{T}^{-2} - 2.98$)

图 2, 3, 4 的资料来源: 中国: 山西: 1, 2—鹿沟, 3—盘道沟, 4—马家岔, 5—高凡, 6—义兴寨, 7—耿庄 (以上为本文资料)。河南: 8, 9, 10—小秦岭 (晁掇, 1989; 王亨洽、栾世伟等, 1984)。山东: 11—焦家 (李士先等, 1983), 12, 13, 14—玲珑、金牛山 (安家桐等, 1989)。河北: 15—金厂峪, 16—三家, 17—峪耳崖 (孙大中、余昌涛等, 1989; 高德玉、杨连生等, 1985), 18—小营盘 (宋瑞先等, 1983)。辽宁: 19, 20—隈子, 21, 22—孙家沟 (王孔海等, 1988)。广东: 23, 24—新洲 (涂绍雄, 1990)。浙江: 25, 26—银坑山 (梁子豪, 1985; 罗镇宽, 1984)。贵州: 27—板其和 28—戈塘 (李文元等, 1989)。安徽: 29—马山 (王秉衡, 1984)。澳大利亚: 30—卡尔古利“金英里”、31—芒特马格尼特和津巴布韦的 BIF—32 (I. B. Lambert 等, 1984)。加拿大: 33—赫姆洛和美国: 34—霍姆斯塔克 (K. Hattori, 1987)、35—卡林 (A. S. Radtke, 1985)。日本九州 kushikino (Y. Matsukisa 等, 1985)。

Informations of Fig. 2, 3, 4: China: Shanxi, 1, 2—Lugou, 3—Pandaogou, 4—Majiacha, 5—Gaofan, 6—Yixinzai, 7—Magiao, 36—Gengzhuang (1—7, 36 from this paper). Henan, 8, 9, 10—Xiaoginlin (from Zhao Yuan 1989, Wang Hengzhi, Luan Shiwe etc. 1984). Shandong, 11—Jiaojia (from Li Shixian etc. 1983), 12, 13, 14—Linglong, Jinnushan (from An Jiatong etc. 1989). Hebei, 15—Jinchayu, 16—Shanjia, 17—Yureya (from Sun Dazhong, Yu Changtao 1989, Gao Deiyu, Yang Lingsheng etc. 1985), 18—Xiaoyingpan (from Shing Yuixian etc. 1985). Liaoning, 19, 20—Weizi, 21, 22—Sunjiagou (from Wang Konghai etc. 1989). Guangdong, 23, 24—Xingzhou (from Tu Shaoming 1990). Zhejiang, 25, 26—Xingkengshan (from Liang Zihao 1985, Luo Zhenkuan 1984). Guizhou, 27—Bangji, 28—Getang (from Li Wenkang etc. 1989). Anhui, 29—Mashan (from Wang Bingheng 1984). Australia, 30—Golden Mile, Kalgoorlie, 31—Mt magnet and Zimbabwe's BIF—32 (from I. B. Lambert etc. 1984). Canadian, 33—Hewlo and U. S. A.: 34—Homestake (from K. Hattori, 1987). 35—Carlin (from A. S. Radtke 1985). Japan: 37—Kushikino (from Y. Matsukisa etc. 1985)

($\delta^{34}\text{S}=1\%—5\%$), 流体主要来自变质的围岩(绿岩带), 弱酸性($\text{pH}=6.3\pm$)^[4], 包裹体类型 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{Na}^+, \text{Ca}^{++}-\text{Cl}^-$; 中生代第二次成矿时, 金同盆金矿处于开放体系, 重硫组成下降。文峪金矿仍处于封闭体系, 花岗质岩浆侵位带入大量流体, 重硫、重氧组成增高出现第二峰值区(图3, 4), 包裹体类型 $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2-\text{Ca}^{++}, \text{Na}^+-\text{Cl}^--\text{HCO}_3^-$, 酸性度低降($\text{pH}=7.25$); 第三次成矿紧随第二次发生, 就位环境变化不大, 但流体来自围岩为 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{Na}^+, \text{Ca}^{++}-\text{Cl}^-$ 型, $\text{pH}=6.04$; 第四次矿化时矿床处于开放体系, 渗滤溶液含较多雨水和 CO_2 , Ca , $\text{pH}=6.3\pm$ 。详细分析国内外大型金矿形成过程, 与当地区域构造发展相对照, 就会发现, 每经历一次构造活动期, 尤其在强烈岩浆活动后, 成矿溶液的成分性质就有重大改变, 以致形成新的矿石建造类型。在同一构造期内, 控矿因素有显著改变, 也能产生不同类型的含矿溶液和矿石建造。因而多源性、多期性、多成因、多类型叠加的成矿机制, 普遍存在于各大型金矿床。兼收各种金源, 经多次活化迁移, 积少成多, 由贫变富, 乃是地壳丰度极低的金, 其矿床分布却很广的根本原因。

参 考 文 献

- 1 涂光炽. 中国金矿床若干特征. 黄金, 1989, 10(6): 2—5.
- 2 博伊尔, R. W. 金的地球化学及金矿床. 马万钧等译. 北京: 地质出版社, 1976.
- 3 刘静兰. 前寒武系变质岩的含金性及其研究意义. 地质论评, 1988, 34(4): 311—321.
- 4 沈阳地质矿产研究所编. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集. 北京: 地质出版社, 1989.
- 5 Meyer M, Saager R. The gold content of some Archaean rocks and their possible relationship to epigenetic gold-quartz vein deposits. Mineralium Deposita. 1985, 20(4): 284—289.
- 6 张理刚. 长石铅和矿石铅同位素组成及其地质意义. 矿床地质, 1988, 7(2): 55—64.
- 7 何谷先. 湘西雪峰地区金矿床地质特征及其分布规律. 黄金, 1989, 10(5): 2—6.
- 8 周明宝. 招掖金矿带成矿模型的研究. 黄金, 1989, 10(7): 5—9.
- 9 Groues D I, Barley M E, Ho S E, Vearncombe J R. 西澳太古代中温热液金矿床的成因模式及区域控制. 韩桂春译. 黄金, 1989, 10(6): 20—23.
- 10 朱奉三. 中国金矿床成因类型的划分及特征研究. 黄金, 1989, 10(6): 11—19.
- 11 丁梯平. 氢氧同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1980.
- 12 良一杉崎, 詹森 M L. 与热液矿床有关的硅酸盐矿物的氧同位素研究. 稳定同位素地质译文集. 丁梯平译. 北京: 地质出版社, 1971. 129—144页.

FEATURES OF MULTI-SOURCE, POLY-PERIOD, POLY-GENETIC AND-POLY-TYPE SUPERPOSITIONAL MINERALIZATION OF GOLD DAEOSITS IN THE WUTAI MOUNTAIN, SHANXI

Xu Jun

(Shanxi Institute of Geological Science, Taiyuan)

Abstract

The Wutai Mountain area is one of the gold-producing districts in China, where there occur Wutaian parasyngenetic stratabound gold deposits, vein gold deposits in Proterozoic-Mesozoic ductile and brittle shear zones and Proterozoic carbonate stratabound gold deposits. The gold is believed to be mainly derived from granite-greenstone belts and less commonly from conglomerate at the base of the Hutuo Group, carbonate rocks of the Changchen System, Proterozoic to Mesozoic basic

dykes and granitic plutons. During the wutaian, Hutuoan, middle-late Proterozoic and Yanshanian multiple taphrogenic and extensional activities, influenced by deep faults, regional metamorphism, magmatism and infiltrating fluids, scattered gold migrated to ore-hosted structures such as bedding shear zones, ductile shear zones, brittle shear zones, interlayer shear zones and shear intersecting fracture sets. Gold deposits were formed by superimposition of a variety of gold ore formations such as gold-bearing sericite schist, sulphide-bearing BIF, silicified rocks, polymetallic sulphide ores, quartz veins and altered rocks by various types of ore solutions such as the H_2O-CO_2 , H_2-Na^+ , K^+-Cl^- -type, $H_2O-H_2-Ca^{++}$, $Na^+-Cl^-HCO_3^-$ type, $H_2O-H_2-Ca^{++}$, $K^+-SO_4^{4-}-HCO_3^-$ type, $H_2O-CO_2-Ca^{++}$, $K^+-Cl^-HCO_3^-$ type, $CH_4-CH_4-Ca^{++}-Cl^-$ type and $H_2O-CO_2-Ca^{++}$, $K^+-F^-HCO_3^-$ type in various structural environments, e.g. at deep levels, relatively deep levels, shallow levels and ground surface. Each deposit underwent mineralization 2 or 3 times and shows the features of multi-source, poly-period, poly-genetic and poly-type superpositional mineralization. Most of the gold deposits in the world also have such features.

Key Word: Wutai Mountain, Shanxi, gold deposits, multi-source, poly-period, poly-genetic and poly-type superpositional mineralization

作者简介

徐俊, 生于 1937 年 8 月, 籍贯江苏, 1957 年毕业于地质部南京地质学校矿产地质专业, 现任山西省地质科学研究所高级工程师。多年来从事矿产地质、构造地质研究。通讯处: 山西省太原市学府街 4 号, 邮政编码: 030006。