

湖南黄金洞元古界浊积岩型 金矿床的地质地球化学特征^①

刘英俊 季峻峰

孙承轅 崔卫东

(南京大学地球科学系)

提 要 黄金洞金矿床产于中元古界冷家溪群浊积岩建造中,为典型的浊积岩型金矿床。冷家溪群浊积岩建造初始富集金等成矿元素,为黄金洞金矿的形成提供了物质来源;矿床属于 Au—As 元素组合型金矿床,金主要与毒砂、黄铁矿和条带状石英等矿物相伴生;矿床形成于中偏高温、中压、较高氧逸度和 PH 值条件下;成矿流体为富含 CO₂ 的 Mg—Ca—Na 质含硫热水溶液,其主要源于变质热液;金呈 Au—As—S 型络合物迁移,在扩容带中沉淀富集成矿。

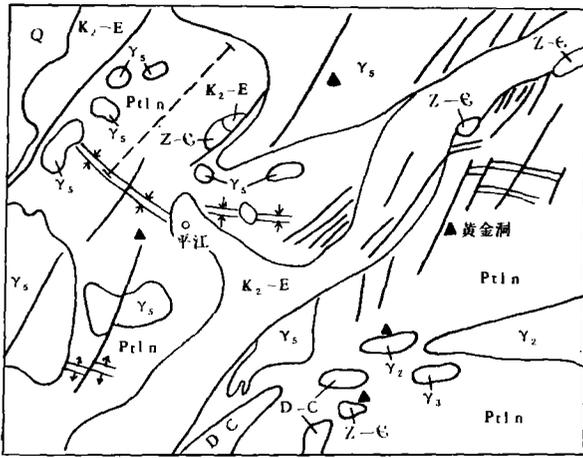
关键词 金矿床 浊积岩 地质地球化学 黄金洞

浊积岩型金矿床是八十年代中期国际上提出的新的金矿类型,为元古代—古生代时期的重要金矿类型之一。它以浊积岩(杂砂岩—页岩组合)及其伴生的沉积岩为容矿岩石。近年来,国际上相当重视该类金矿床的研究,曾先后召开过两次以浊积岩型金矿床为主要议题的讨论会。我国各时代浊积岩建造分布广泛,相对于其它类型金矿,浊积岩型金矿成矿条件较为优越,具有形成大、中型金矿的地质背景。就目前所知,湖南黄金洞金矿是我国浊积岩型金矿床的典型范例,它赋存于中元古界冷家溪群浊积岩建造中。本文通过对黄金洞金矿床系统的地质和地球化学特征的研究,阐明浊积岩型金矿的矿化特征及形成机制,以进一步推动我国浊积岩型金矿床的理论研究和找矿工作。

1 浊积岩建造及区域成矿地质背景

湖南黄金洞金矿在区域上位于江南古岛弧带中段,九岭次级隆起西南端。区域内出露地层从老到新依次为中元古界冷家溪群板岩、杂砂岩,震旦系硅质岩、碳质板岩,古生界灰岩、泥灰岩、粉砂岩及中生界砂砾岩。其中以中元古界冷家溪群最为发育,构成基底建造(图 1),它为东安运动不整合面以下的一套浅变质岩系,在本区自下而上可分为五大岩性组(湖南省地矿局四

^① 国家自然科学基金资助项目

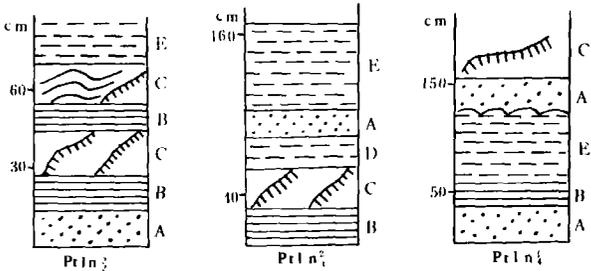


- 1 Q
- 2 K₂-E
- 3 D-C
- 4 Z-C
- 5 Ptl n
- 6 Y₂
- 7 Y₃
- 8 Y_s
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13

- 图例说明:
1. 第四系;
 2. 上白垩—下第三系;
 3. 石炭—泥盆系;
 4. 震旦—寒武系;
 5. 元古界冷家溪群;
 6. 雪峰期花岗岩;
 7. 加里东期花岗岩;
 8. 燕山期花岗岩;
 9. 背斜;
 10. 向斜;
 11. 断层;
 12. 金矿床(点);
 13. 板江—张市剖面。

图 1 黄金洞金矿区域地质简图

Fig. 1 Schematic geological map of Huangjindong Region



- 图例说明:
- A. 粒序层(杂砂岩); B. 平行纹层(粉砂质); C. 变形纹层(粉砂质); D. 平行纹层(泥质); E. 无纹层泥质层; Ptl n₂—岩性组、段代号

图 2 冷家溪群沉积层序模式

Fig. 2 Model of the sedimentary sequence of Lengjiaxi Group

○二队区调分队, 1987)。

据笔者对平江县板江—张市冷家溪群典型剖面的野外观察,冷家溪群由一套巨厚的韵律层岩系组成。它在沉积构造层序(图 2)上具典型的鲍马层序特点:a. 就发育较为完整的韵律层而言,岩性层序自下而上为砂岩、粉砂质板岩至泥质板岩,其中泥质板岩中普遍含有黄铁矿。b. 粒序性,整个韵律层表现出从下至上粒度减小的递变特征,并且在韵律层单元(砂岩或粉砂质板岩)中也有明显的粒度递变现象。c. 发育波痕纹层及包卷层理。d. 韵律层砂岩的底部可见沟漠等构造。冷家溪群杂砂岩在化学成分上表现出富含 Al₂O₃、FeO+Fe₂O₃、MgO+CaO,以及 FeO > Fe₂O₃, MgO > CaO 等特征(表 1),与世界典型浊积岩中杂砂岩类似。冷家溪群板岩也具有 MgO > CaO 的特征,但与杂砂岩不同的是,Fe₂O₃ > FeO, K₂O >> Na₂O。根据冷家溪群杂砂岩中富含火山石英和长石以及火山岩岩屑等物质、石英(17—32%)和 SiO₂(68—75%)的含量特征以及 K₂O/Na₂O(0.72—1.50)比值大小,确定冷家溪群浊积岩成岩物质既有火山岩来源,又有沉

积岩来源,形成于活动大陆边缘(克鲁克,1970)。以上所述表明,中元古界冷家溪群为沉积于活动大陆边缘构造环境下的一套浊积岩建造。需要进一步说明的是,在黄金洞金矿区,冷家溪群浊积岩岩层变薄,递变层比较发育,粒度很细,水平纹层构造常见,近似于典型的末梢相浊积岩。黄金洞金矿床赋存于浊积扇的外部扇。

表1 冷家溪群浊积岩的化学成分

Table 1 Chemical composition of turbidite of Lengjiayi Group

岩性	化 学 成 分(wt%)													比 值		
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量	K ₂ O/Na ₂ O	MgO/CaO	Fe ₂ O ₃ /FeO
杂砂岩	71.62	0.67	13.44	1.70	3.43	0.07	1.25	0.22	2.05	2.48	0.16	2.79	99.89	1.20	5.68	0.50
板 岩	62.45	0.74	17.95	5.87	1.98	0.07	1.54	0.18	0.67	4.35	0.18	4.17	100.17	6.49	8.56	2.96

* 南京大学地球科学系中心实验室分析,样品数为6。

表2 冷家溪群浊积岩建造中微量元素含量

Table 2 Contents of trace elements in turbidite formation, Lengjiayi Group

岩性	元 素 含 量															
	Au	Ag	As	Sb	W	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Hg	Sr	Ba	
杂砂岩	$\frac{1.0 \sim 7.8}{3.6}$	$\frac{0.03 \sim 0.29}{0.07}$	$\frac{4.2 \sim 48.1}{17.1}$	$\frac{0.1 \sim 9.4}{1.62}$	$\frac{3.6 \sim 7.0}{5.2}$	72	1116	17	17	27	39	128	9	77	358	
板 岩	$\frac{0.6 \sim 19.2}{3.8}$	$\frac{0.03 \sim 0.09}{0.046}$	$\frac{1.6 \sim 39.3}{17.6}$	$\frac{0.1 \sim 3.6}{0.93}$	$\frac{3.3 \sim 7.0}{4.9}$	111	703	21	32	35	35	154	8	64	453	

* 由华东冶金勘探公司814队化验室分析,单位:Au、Hg为PPb,其余为ppm;样品数:杂砂岩为11;板岩为25。

** $\frac{\text{最小值} - \text{最大值}}{\text{平均值}}$

表2表明,在冷家溪群浊积岩建造中,Au、As、Sb和W等成矿元素具有明显的初始富集。这很可能与浊流携带了大量富含金等成矿元素的火山碎屑物质有成因联系。冷家溪群浊积岩建造为Au-As-Sb-W组合型含金建造,并以Au、As密切相关,富Cr、Mn、Pb和Zn,贫Ag、Cu、Sr、Ba和Hg等元素为特征。由于冷家溪群是浊流沉积形成的,从而一些比重较大的成矿元素(如Ag、W和Sb等)更趋向于在杂砂岩中富集。冷家溪群浊积岩建造中金主要富集于黄铁矿等硫化物中和呈碎屑成因的自然金形式出现。笔者认为,金等成矿元素在活动大陆边缘构造环境下沉积的浊积岩建造中有明显的初始富集,并且呈易活化形式存在,为浊积岩建造中金矿床的形成提供了充足的物质来源。

区域内主要构造带为东西向构造带和北北东向构造带(图1)。东西向构造带控制着区内中元古界和震旦-寒武系地层以及雪峰期花岗岩体的分布,它成生时代较早并具有多期多次活动的特点(从东安运动期至加里东早期),是区域内金矿的主要控矿构造。北北东向构造带控制着区内隆起带和拗陷带及其伴生断裂带的展布,常切割金矿脉。

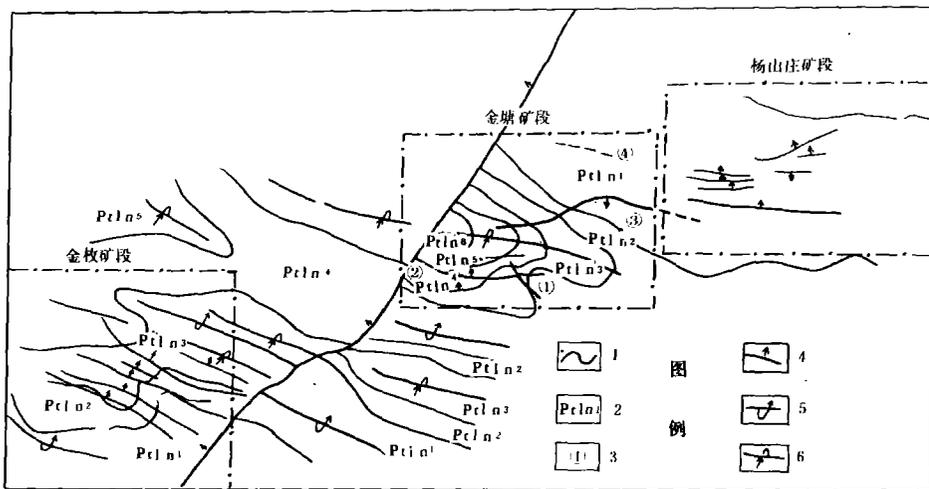
区域内岩浆岩较为发育,有关的矿产主要为稀有元素和有色金属矿床。

2 矿床地质特征

黄金洞金矿床赋存于冷家溪群浊积岩建造第三岩性组条带状板岩、粉砂质板岩及杂砂岩中。在金矿区范围内无岩体出露。黄金洞金矿床具有与国外典型浊积岩型金矿床相类似的地质特征。

2.1 矿脉带与矿体地质

黄金洞金矿床含金矿脉带的产出强烈受近东西向的一系列倒转背向斜及其伴生断裂带控



图例说明: 1. 地层界线; 2. 地层代号; 3. 矿化带及编号; 4. 断层或破碎带; 5. 倒转背斜; 6. 倒转向斜

图 3 黄金洞金矿地质示意图

Fig. 3 Sketch geological map of Huangjindong Gold Deposit

制(图 3)。矿脉带在空间分布上具有成群、成带、平行展布和分段富集的特点。按脉群的分布状况,可分为金塘、金枚和杨山庄三个矿段。矿脉带主要由破碎蚀变板岩、断层泥和石英脉组成。矿脉一般长 1000 米左右,宽 1~2 米;倾向多数向北,倾角 $40^{\circ}\sim 75^{\circ}$,少数向南,倾角 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。金矿体在矿脉带内断续出现,主要赋存于断裂带中的扩容地段,如断裂的分支交汇部位、断裂带内强烈破碎和由窄变宽的地段、以及断裂带的走向或倾向由陡变缓处。矿体形态多为透镜状、不规则块状及豆荚状。矿石主要类型为含金石英脉和含金蚀变板岩。矿石金品位比较稳定,一般是 $5\sim 9\text{g/t}$ 。

因此,黄金洞金矿床矿脉带和矿体强烈地受变形期间形成的倒转褶皱和伴生的断裂带所控制,金的富集与扩张构造有关。这与国外大多数浊积岩型金矿床矿脉和矿体强烈地受变形期

间形成的扩容带控制的特征相类似。

2.2 矿物学特征

黄金洞金矿床的显著特征之一是金主要与毒砂和条带状石英相伴生,具有与国外浊积岩型金矿床相类似的矿物学特点。在金矿矿石矿物中,最常见的矿物是毒砂和黄铁矿。自然金、黄铜矿、磁黄铁矿、辉锑矿、车轮矿、白钨矿、闪锌矿、方铅矿等矿物仅少量分布。脉石矿物大量出现的是石英、白云石和绢云母,其次为方解石、绿泥石等。斜长石、电气石和白云母等仅少量。以上各矿物的生成顺序及金的矿化阶段见图4。金主要在矿化第一阶段呈分散状析出,赋存于毒砂之中,与砷伴生;少量金作为独立矿物(自然金)在矿化第二阶段析出,并与铜、铅、锌、锑硫化物共生。

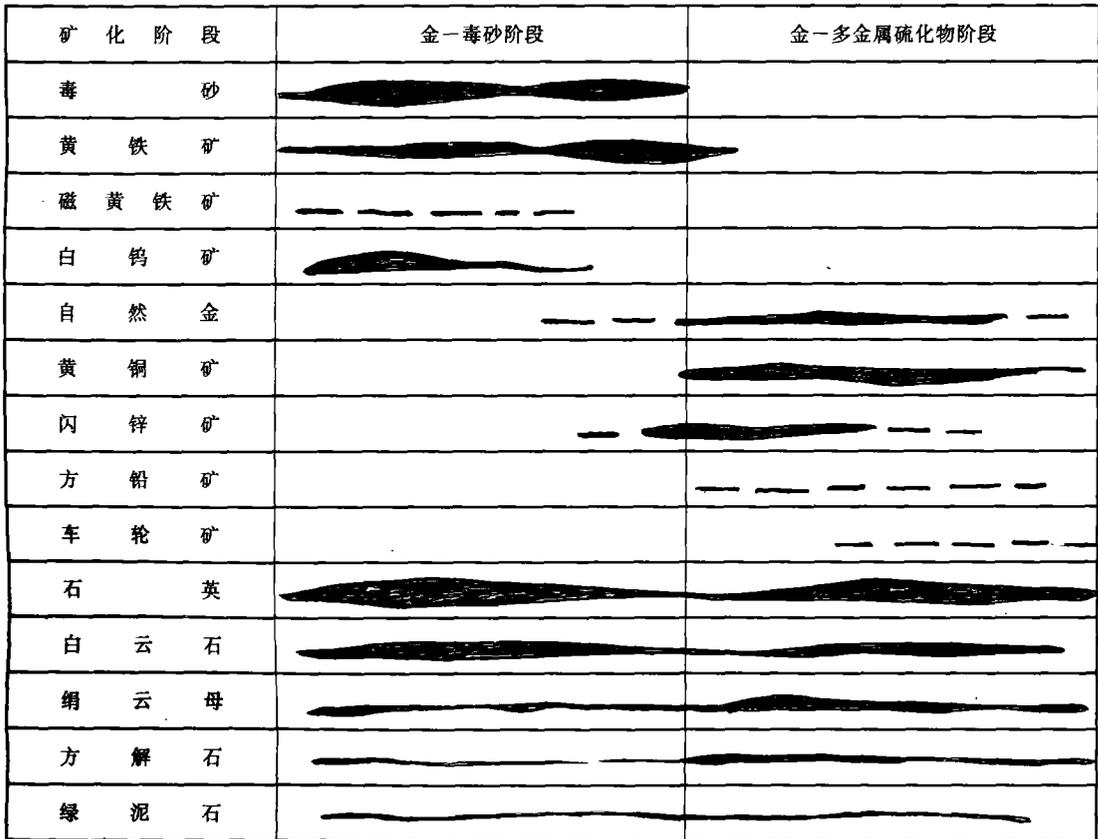


图4 黄金洞金矿矿化阶段及矿物生成顺序

Fig. 4 Mineralization stages and mineral formation sequence of Huangjindong Gold Deposit

毒砂作为矿床中分布最广的硫化物矿物,在石英脉内和近矿蚀变围岩中都有产出,具有两个形成世代。第一世代毒砂呈细粒半自形-它形,充填于石英脉内。该世代毒砂碎裂及碎粒结构较为发育,表现出后期受过较强烈的变形作用的特征。第二世代毒砂为自形菱柱状,粒径较大,一般都在几毫米左右,大者可达1厘米,呈星点状或团块状浸染于蚀变围岩中。该世代毒砂

晶体两端或两侧常有纤状石英垂直生长,构成压力影构造。黄铁矿作为与毒砂密切共生的矿物,也具两个世代,其结构和产出特点与毒砂基本相同。

金矿床毒砂和黄铁矿中微量元素的含量列于表3中。从表3中可以发现,金矿中毒砂和黄铁矿的金含量都很高,是金的富集矿物。含金毒砂具有高Sb、贫Mn的特征,含金黄铁矿以Cu高、Ti低为特征。黄金洞金矿毒砂和黄铁矿的高Au/Ag值、低Sr/Ba值以及(下文将提到的)自然金的高成色,与冷家溪群含金浊积岩建造高Au/Ag值和低Sr/Ba值的特征相一致。很显然,含金浊积岩建造的化学组成是金矿床矿物中元素组合的主要控制因素之一。

表3 黄金洞金矿毒砂和黄铁矿中微量元素含量(ppm)

Table 3 Trace elements contents of arsenopyrite and pyrite in Huangjindong Gold Deposit

矿物	元 素 含 量(ppm)														比 值			
	Au	Ag	Sb	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Mn	Ti	Cr	V	Sr	Ba	Au/Ag	Co/Ni	Sr/Ba	S/As
毒砂	62~ 173	0.17~ 1.12	90~ 324	33~ 161	60~ 190	121~ 374	50~ 191	82~ 702	15~ 30	293~ 679	7~ 10	13~ 17	8~ 14	11~ 28	74~ 365	0.23~0.61	0.45~0.73	1.23~1.30
黄铁矿	12~ 82	0.93	n. d	189~ 380	400~ 474	158~ 203	95~ 140	68~ 138	25 ~27	481~ 614	16~ 21	19~ 20	8~ 10	21~ 30	25	1.01~1.40	0.20~0.38	

矿床中金矿物皆为自然金,且金的成色很高,达985%(表4)。金矿中的自然金按粒度大小可分为明金(70.2 μ m)和显微金(>0.5 μ m)。它们一般呈细粒状、片状和薄膜状产出。明金常赋存于板岩碎块与石英脉接触处的裂隙中,与黄铜矿、车轮矿、闪锌矿和方铅矿等矿物共生。显微金一般沿毒砂和黄铁矿的裂隙交代产出。

表4 自然金中元素含量(%)

Table 4 Element contents of native gold in the gold deposit

Au	Ag	As	Hg	S	Au/(Au+Ag)	Au/ Σ
98.95	0.35	0.03	1.08	0.05	0.996	0.985
99.03	0.34	0.01	1.06	0.06	0.997	0.985

石英是金矿床中分布量最大的矿物,主要呈脉状分布。金矿床含金石英多具条带状构造和糜棱结构。条带是由细小的蚀变板岩、细粒毒砂和黄铁矿以及其它硫化物所组成。具条带状构造的含金石英,常见于全世界的石英脉型金矿床中,尤其是一些浊积岩型金矿床中(Boyle, R. W. 1979, 1986)。这很可能是因为浊积岩的层理及平行纹层理极为发育,在扩张作用力下,很易沿这些层理面张裂而充填形成条带状石英脉。

2.3 围岩蚀变

由于成矿热液作用的结果,沿矿脉带两侧发育有蚀变带。蚀变带宽一般3~50米,产状与断裂破碎带一致,与正常围岩呈渐变关系。围岩蚀变比较简单,主要的种类有硅化、绢云母化、毒砂—黄铁矿化、碳酸盐化和绿泥石化。其中硅化、绢云母化和毒砂—黄铁矿化,与金矿化关系

密切。碳酸盐化主要为白云石化,而不是方解石化。这可能主要是由赋矿围岩——浊积岩的化学成分特点(冷家溪群浊积岩 $MgO/CaO > 1$)所控制的。实际上,在国外的一些重要浊积岩型金矿床中,碳酸盐化也多以铁白云石化、白云石化为常见。

3 元素的地球化学分布特征

黄金洞金矿床的成矿元素为金,特征伴生元素为砷、锑和钨。金矿床中还富含铬,但贫银、汞、钼以及铜、铅和锌等贱金属元素。

3.1 成矿元素

成矿元素金在各矿石主要矿物中的含量及分配特征(表5)表明,80%以上的金分布于毒砂、黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿等硫化物中,并且主要分布于毒砂之中,显示毒砂是金的主要载体矿物。在密切共生的毒砂和黄铁矿中,金在毒砂中含量显著地高于黄铁矿中,反映了金、砷之间密切的伴生关系。

表5 金矿床矿石主要矿物中金的含量及分配

Table 5 Gold content and distribution in the main minerals of the ore

矿物	硫化物				石英	绢云母及其它
	毒砂	黄铁矿	黄铜矿	闪锌矿		
矿物中金含量(ppm)	130	51	350	100	0.7	1.0
矿物重量百分比(%)	2.32	1.40	0.04	0.02	50.10	46.12
金在矿物中的分布率(%)	64.3	15.1	3.0	0.4	7.4	9.8
	82.8					

金在区域冷家溪群浊积岩建造中的平均含量为 3.7ppb。而由图5可知,在矿脉带下盘围岩中,随着接近矿脉带,金含量显著降低。显示出下盘围岩中金被成矿热液活化而大量迁出成矿。

3.2 特征伴生元素

区域冷家溪群为 Au-As-Sb-W 组合型含金浊积岩建造,而黄金洞金矿床的特征伴生元素为 As、Sb 和 W,反映了金矿床元素组合特征与含金浊积岩建造有密切的联系。

表6为金矿床矿石中各种微量元素的平均含量。从表6中可以看出,As、Sb 和 W 在矿石中明显富集,并且富集程度高低顺序为 $As \gg Sb > W$ 。砷在两类矿石中都具有非常高的含量,反映出该金矿所具有的 Au-As 元素组合特征,以及金主要赋存于毒砂中的特点。在矿床中,砷显然主要存在于毒砂之中。锑的主要富集矿物为毒砂、辉锑矿和车轮矿。而钨主要以白钨矿形式富集产出。砷和锑在矿脉带下盘围岩中也存在明显的“负异常带”(图6),表明矿床中砷、锑和

金一样,都主要源于赋矿围岩本身。再考虑到矿床中金、砷都主要富集于毒砂之中,金、砷具有密切相关性的特点,可以认为,在成矿过程中金、砷是共同迁移和富集的。钨在矿床围岩中含量与背景值相当,没有发生明显的活化转移。因而钨在矿石中仅富集了6倍以上,富集程度相对较低。

3.3 其它伴生微量元素

前已述及,冷家溪群浊积岩建造中铬含量较高。在金矿床矿石中,尤其是含金石英脉中,铬也具有比较明显的高含量。而银、铜、铅和锌等元素在含金蚀变板岩中的含量(表6),与冷家溪群板岩中这些元素的含量值相当。因此,金矿床是贫银、铜、铅和锌等元素的。Hg、Ba等元素在矿石中的含量与区域浊积岩建造背景值一样,也都是很低的。而它们在成矿时代较新的矿床类型中则是比较常见的富集元素。

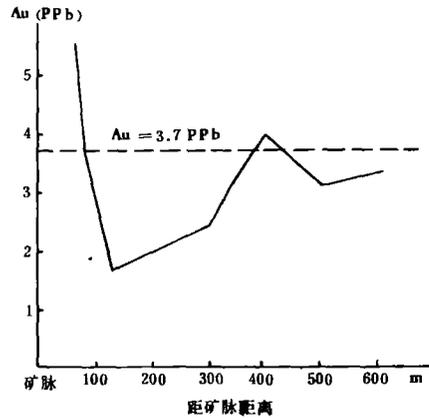


图5 金在矿脉带下盘围岩中的含量分布

Fig. 5 Gold distribution of the lower plate wall rocks of gold-bearing vein.

表6 黄金洞金矿矿石中微量元素含量(ppm)

Table 6 Trace elements contents of the ore, Hangjiodong Gold Deposit

元素	含金石英脉(N=11)			含金蚀变板岩(N=12)		
	含量区间	均值	变异系数	含量区间	均值	变异系数
Ti	321~3200	1091	0.84	1214~4401	3211	0.32
V	19~83	40	0.63	85~272	150	0.36
Cr	25~435	183	0.74	64~264	132	0.47
Mn	154~1255	651	0.65	68~2293	974	0.60
Co	1~16	7	0.69	11~30	23	0.25
Ni	8~25	15	0.36	13~49	34	0.34
Cu	11~1263	139	2.68	15~68	38	0.45
Pb	13~>2000	>230	2.56	15~104	36	0.64
Zn	37~985	156	1.78	47~189	140	0.20
Ag	0.03~2.65	0.275	2.86	0.03~0.08	0.046	0.30
Hg	0.005~0.012	0.008	0.24	0.005~0.012	0.009	0.24
Sr	18~211	86	0.69	63~162	86	0.32
Ba	27~241	110	0.66	207~603	438	0.38
As		>200			>200	
Sb	1.7~>100	>29.6	1.19	1.5~57.1	19.1	1.55
W	4~>200	>35	1.90	9.0~117	30	1.19
Co/Ni	0.13~0.68	0.43	0.45	0.43~1.08	0.71	0.31
Sr/Ba	0.28~3.06	1.04	0.87	0.1~0.48	0.22	0.46

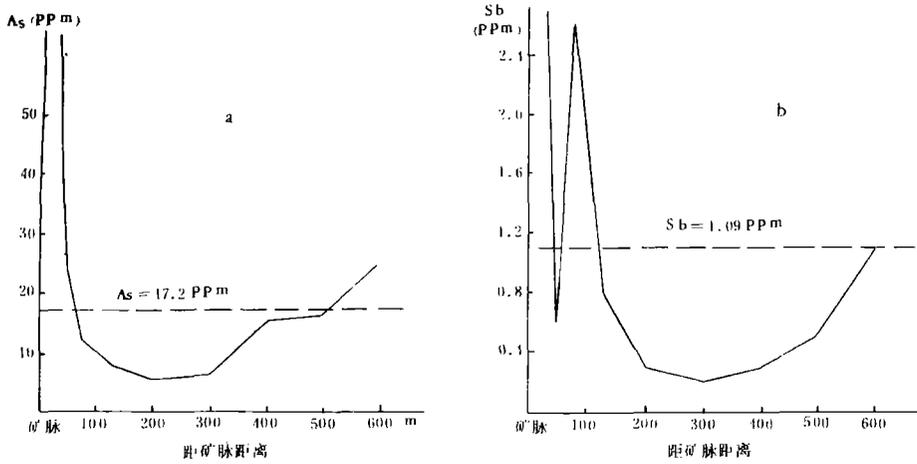


图 6 砷和锑在矿脉带下盘围岩中约含量分布

Fig. 6 Arsenic and antimony distribution of the lower plate wallrocks of gold-bearing vein.

值得指出的是,在大多数浊积岩型金矿床中,出现频率高的元素是 As、Au、Sb、W、Cr、Mn、B、Ag、Cu、Pb 和 Zn 等,尤其是 As(以毒砂形式出现);出现频率低到极低的元素是 Hg、Ba、Bi、Mo、Se、Te 和 Tl 等。在黄金洞金矿床中,除 Ag、Cu、Pb 和 Zn 等元素的含量比较低外,其它元素的分布特征与此非常相似。这表明以浊积岩为容矿岩石的金矿床都具有比较相似的元素组合特征,黄金洞金矿床具有浊积岩型金矿床独特的元素组合特征。

4 成矿的物理化学条件

黄金洞金矿床形成时的物理化学条件,是根据石英中流体包裹体的成分和毒砂的成分测定结果来确定的,其主要结果综合列表 7。包裹体的气、液相成分为爆裂—萃取法直接测定,其中 ΣS 和 ΣFe 分别为 SO_4^{2-} 和 $(Fe^{2+} + Fe^{3+})$ 的实测值;温度数据系根据毒砂成分地质温度计 (Kretsschmar 和 Scott, 1976) 的估算结果和石英包裹体均一温度的测定结果所获得的;成矿压力是利用成矿温度和包裹体中 CO_2 重量百分比得出的;PH 值为包裹体提取液的直接测定结果; fO_2 为包裹体中 CH_4/CO_2 平衡反应的计算结果。

表 7 黄金洞金矿成矿的物理化学参数

Table 7 Ore-forming physicochemical parameters of Huangjindong Gold Deposit

测定矿物		含金石英	非含金石英	
样品数		14	2	
包裹体成分	气体含量 (mol/kgH ₂ O)	CO ₂	4.96	4.72
		CH ₄	0.77	0.47
	阳离子浓度 (mol/kgH ₂ O)	K ⁺	0.03	0.01
		Na ⁺	0.55	0.24
		Ca ²⁺	0.61	0.12
		Mg ²⁺	0.79	0.12
		ΣFe	0.04	0.02
		Σ	2.02	0.51
	阴离子浓度 (mol/kgH ₂ O)	ΣS	0.27	0.18
		F ⁻	0.16	0.19
Cl ⁻		0.05	0.04	
Σ		0.48	0.41	
T(°C)		300~400		
P(Pa)		1013×10 ⁵		
fO ₂ (Pa)		10 ^{-25.8} ~10 ^{-29.5}		
PH		5.8~7.2		

从表 7 中可以看出,金矿床的形成温度范围较宽(300—400°),与围岩的变质温度(绿片岩相)相当。通过对比不同成分毒砂在矿石中所占有的数量,确定金矿床最主要的成矿温度为 350°C。包裹体提取液的 PH 值为 5.8~7.2,平均值为 6.6,而所用去离子水的 PH 值为 6.0,说明成矿时溶液的性质为弱碱性。表 7 表明,成矿时的氧逸度 fO₂ 为 10^{-25.8}~10^{-29.5}Pa,属弱氧化环境,决定矿石中多出现 Fe³⁺的矿物(毒砂)。

从表 7 所列含金石英中包裹体成分的测试数据可知,成矿流体在组成上具有 H₂O>>CO₂>CH₄、ΣS>F⁻>Cl⁻以及 Mg²⁺>Ca²⁺>Na⁺>>ΣFe>K⁺的特点,镁、钙和钠质组分占溶液全部总盐量的 90%以上。这些特征说明,金矿成矿流体为富 CO₂的、以 Mg²⁺、Ca²⁺和 Na⁺为主要成分

的含硫热水溶液。成矿流体 Cl^- 含量很低,而碳酸盐含量很高,表现出变质热液来源的特征,而不像是岩浆热液,更不可能是再循环的海水(Roberty, R. G. 1987)。通常认为 F^- 是钨的主要矿化剂,而 Cl^- 是贱金属元素(Cu、Pb、Zn 等)的主要搬运剂。金矿成矿流体 F^- 稍高, Cl^- 很低, $\text{F}^-/\text{Cl}^- > 1$ 的特点,很可能是金矿床钨稍富集,而贫贱金属元素的重要原因。

表 7 还表明,含金石英与非含金石英在包裹体成分特征上的差别主要表现为前者明显较后者具有较高的 ΣS 、总盐度、以及 $\Sigma\text{S}/(\text{F}^- + \text{Cl}^-)$ 值。因此,较高的 S 含量和总盐度有利于金的迁移富集。再注意到矿床中金主要赋存于毒砂之中,金与砷具有共同迁移和富集的特征,可以初步认为,金—砷—硫型络合物是金的主要迁移形式。

石英中包裹体的 C、H 同位素组成进一步表明,成矿流体主要是源于变质热液(表 8)。由于成矿流体是富含 CO_2 的,而且通常认为,C 同位素成分比 O 同位素成分更不易因晚期流体与主矿物发生反应而变化。因此,矿床石英中包裹体的碳同位素成分具有特别重要的意义。表 8 表明,成矿流体的总碳同位素组成为 $-12.5 \sim -18.6\%$,如此低的碳同位素组成说明,金矿成矿流体不可能主要源于岩浆热液($-7 \pm 3\%$)或初生流体(-7%),也不可能是再循环的大气降水(通常 $0 \sim 9\%$)。而成矿流体中水的 δD 在 $-59.1 \sim -73.1\%$ 之间,具有变质热液与少量大气降水相混合的特点。因此,可以认为,黄金洞金矿床的成矿流体系主要源于浊积岩中的变质同生水,区域浅变质作用是导致含金浊积岩建造中的金活化转移而富集成矿的主要因素之一。

表 8 含金石英中包裹体的碳、氢同位素组成

Table 8 Carbon and hydrogen isotopic composition of inclusions in gold-bearing quartz

样号	HJ89	HY21	HJ24	HJ85
$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	-12.5	-18.6	n. d	n. d
$\delta\text{D}(\text{‰})$	-62	-73	-62	-59

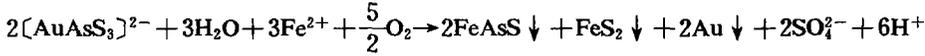
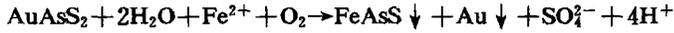
5 矿床成因

近年来的发现证实,世界上许多地区都存在以浊积岩为容矿岩石的金矿床,即浊积岩型金矿床。国外现知一些大型以及特大型金矿床(如加拿大新斯科舍地区和澳大利亚维多利亚地区的金矿床)均属于此类,它们与浊积岩建造有密切的时空和成因的关系,具有一系列独特的矿化特征。但目前关于这类金矿床的成因研究还很薄弱,尚未形成统一的模式。

黄金洞金矿床直接赋存于浅变质浊积岩系中,具有浊积岩型金矿床的许多矿化特征,属于典型的浊积岩型金矿床。对黄金洞浊积岩型金矿床的地质和地球化学特征的综合研究,认为该矿床的形成过程如下:

中元古界冷家溪群浊积岩建造中富含的金等成矿元素,在浊积岩建造发生变质和褶皱变形作用过程中,发生活化,形成含矿变质热液,并由高压区向低压区侧向运移,进入断裂带中扩

容地段形成金矿体。成矿介质为富含 CO_2 的 Mg-Ca-Na 质含硫热水溶液,金主要呈金-砷-硫络合物形式 (AuAsS_2 、 $[\text{AuAsS}_3]^{2-}$) 进行迁移。在扩容带内,由于压力显著降低和氧逸度增高,含矿热液与围岩发生如下化学反应:



引起含金络合物解体,沉淀出自然金、毒砂和黄铁矿等矿石矿物组合。压力降低促进矿石矿物沉淀的反应机制是:压力降低引起成矿热液中 CO_2 大量逸失(使围岩发生了碳酸盐化),从而导致成矿热液的 PH 值升高($\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$),使反应向沉淀出矿石矿物的方向进行。因此,PH 值和氧逸度增高是有利的储矿条件,而黄金洞金矿床也正是形成于弱碱性和弱氧化环境下的。国外许多浊积岩型金矿床的储存无不与扩容带有关,形成典型的鞍状脉和层间脉。

因此,笔者认为,浊积岩型金矿床的成矿过程可以初步概括为:“浊流沉积初始富集—变质热液活化转移—扩容带沉淀成矿”的模式。

6 主要结论

a. 沉积于活动大陆边缘构造环境下的冷家溪群浊积岩建造,初始富集金、砷、锑和钨等成矿元素,为区内浊积岩型金矿床的形成提供了充足的物质来源。

b. 黄金洞金矿床含金矿脉带的产出强烈受近东西向褶皱及其伴生断裂带所控制,金的沉淀富集与扩张构造有关。金矿近矿围岩蚀变简单。金主要与毒砂、黄铁矿和石英(往往具条带状构造)等矿物相伴生。毒砂是金的主要载体矿物,以 Au、Sb 含量高,Au/Ag 值大为特征。

c. 黄金洞金矿为 Au-As 元素组合型金矿床,矿床中还富含 Sb 和 W,Cr 含量也较高,但贫 Ag、Cu、Pb、Zn、Hg 和 Ba 等元素。这些元素在金矿床中的分布特征与含金浊积岩建造有着密切的成因联系,它们明显直接来源于容矿围岩——浊积岩本身。

d. 金矿床形成于中温(最主要成矿温度为 350°)、压力 $1013 \times 10^5 \text{Pa}$ 、弱碱性和弱氧化环境。成矿流体是富含 CO_2 的 Mg-Ca-Na 质含硫热水溶液。成矿流体的 C、H 同位素组成特点以及低 Cl^- 和高 CO_2 的成分特征表明其主要源于变质热液。

e. 黄金洞金矿床是典型的浊积岩型金矿床。浊积岩型金矿床具有“成矿物质浊流沉积初始富集—变质热液活化运移—扩容带沉淀成矿”的统一成矿模式。以沉积于活动大陆边缘的元古界—下古生界含金浊积岩建造为对象,无疑有利于这一很有远景的金矿类型的寻找。

本文野外工作过程中,得到湖南省黄金公司、四〇二地质队和黄金洞金矿等单位的大力支持和帮助,在此深表谢意。

参考文献

- [1]博伊尔, R. W., 浊积岩系中的金矿地质、地球化学和成因理论历史, 国外地质科技(3)1988, 76~90
- [2]刘英俊等, 湘东北中元古界冷家溪群中金等微量元素的分布特征, 南京大学学报(地球科学版), (4)1989, 1~9
- [3]刘英俊等, 湖南黄金洞金矿床毒砂中金的赋存状态的研究, 地质找矿论丛, (3)1989, 42~48
- [4]罗献林, 论湖南黄金洞金矿床的成因及成矿模式, 桂林冶金地质学院学报, (3)1988, 225~239
- [5]Boyle, R. W., the geochemistry of gold and its deposits, Canada Geological Survey, Bulletin, 280, 1979
- [6]Annels, A. E., and Roberts, D. E., trubidite—hosted gold mineralization at the Dolaucothi Gold Mines, Dyfed Wales, United Kingdom, Econ. Geol. 84, 1989, 1293~1314
- [7]Robertz, R. G., ore deposit mode #11, Archean lode gold deposits, Geoscience Cana, 14(1)1987

**GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL
CHARACTERISTICS OF HUANGJINDONG TURBIDITE—HOSTED
GOLD DEPOSIT, HUNAN PROVINCE**

Liu Yingjun Ji Junfeng Sun Chengyuan Cui Meidong

(Department of Earth Sciences, Nanjing University)

Abstract

Huangjindong gold deposit is a typical turbidite gold deposit occurring in Proterozoic Lengjiayi Group of turbidite formation. Lengjiayi Group is initially riched in gold metallogenic elements which make a basis for the formation of Huangjindong gold deposit. Au is correlated with As and ore grade is controlled by the content of arsenopyrite, pyrite and stripped quartz. The ore is formed at 300°—400°C and about $10^{13} \times 10^5 \text{pa}$ with PH value of 5.8—7.2 and f_{O_2} of $10^{-25.8}$ — $10^{29.5}$. The ore—forming fluid is the metamorphic Mg—Ca—Na hot sulfur—bearing fluid enriched with CO_2 . Gold is transported as Au—As—S complexes and deposited in dilatant fractures.