

湖南黄金洞金矿床的稀土与微量元素地球化学——矿石成因证据

张 乾 曹裕波 张宝贵 潘家永

(中国科学院地球化学研究所·贵阳市)

矿床的矿石与围岩具有相同的稀土元素组成, 稀土参数和稀土模式也非常接近, 且有一致的微量元素比值和分布形式, 冷家溪群地层为金的矿源层, 金从围岩中被活化和迁移出来, 沉淀于断裂破碎带中, 形成沉积改造金矿床。

关键词: 湖南省; 黄金洞金矿床; 稀土元素; 微量元素; 矿床成因

矿床地质特征

黄金洞金矿床位于江南古陆中段, 九岭次级隆起西南端。区域内出露地层从老到新有中元古界冷家溪群浅变质板岩、杂砂岩、震旦系板岩, 古生界碳酸盐岩、粉砂岩及中生界砂砾岩。中元古界冷家溪群最发育, 厚度大, 分布广, 为该区古老基底地层。据刘

英俊等(1991)的研究, 该套地层为沉积于活动大陆边缘构造环境的一套浊积岩建造^[1]。

矿区出露地层为中元古界冷家溪群浅变质岩, 岩性为板岩、千枚状板岩、条带状板岩、砂质板岩及杂砂岩, 共分6个岩性段。矿体对岩性无选择性, 常穿越几个不同的岩性段(图1)。矿区内无岩浆岩出露。

区域上有两种构造形迹。一为东西向构

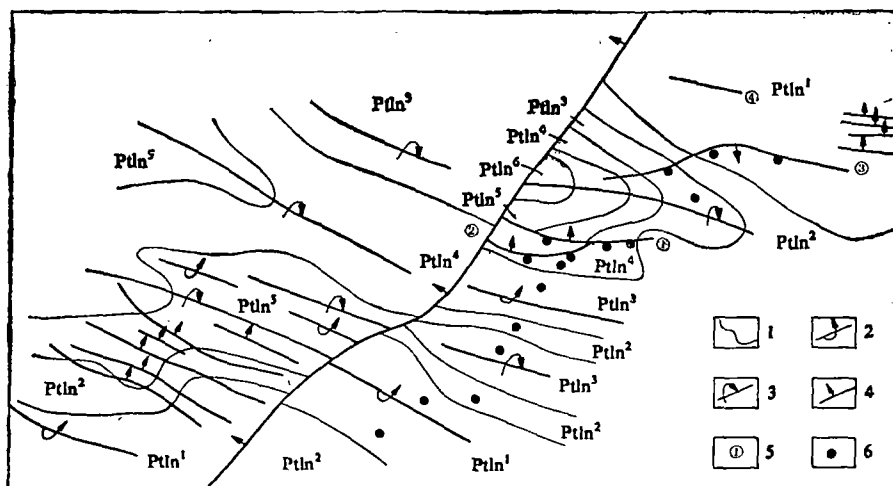


图1 黄金洞金矿床地质简图

Ptln¹-⁶—冷家溪群6个岩性段: Ptln¹—千枚状板岩; Ptln²—条带状板岩; Ptln³—条带状板岩、粉砂质板岩; Ptln⁴—条带状板岩、杂砂岩; Ptln⁵—砂质板岩、条带状板岩; Ptln⁶—砂质板岩; 1—地层界线; 2—倒转背斜; 3—倒转向斜; 4—断层或破碎带; 5—矿脉及编号; 6—采样点

造带, 东安运动—加里东运动多次活动, 以褶皱隆起为特征, 控制着区域地层的展布格局; 二为北北东—北东向构造, 以构造断裂为特征, 主要形成于燕山期, 切割东西向构造, 控制着区内坳陷带及中生代地层的展布。矿区构造与区域构造一致, 黄金洞—胆坑复式向斜中一系列大致平行的倒转褶皱呈东西向或近东西向展布, 与倒转褶皱轴线近于平行的断裂带为主要控矿构造。北东向断裂切割褶皱和矿体。

矿脉在空间上成群、成带、平行展布, 分段集中于金塘、金枚和杨山庄3个矿段。本研究主要为金塘矿段。矿脉产于破碎带中, 由蚀变破碎板岩和石英脉组成。工业矿体产于断裂产状变化处及断裂分枝交汇部位等破碎带的扩容地段, 形态呈脉状、透镜状及不规则状, 产状与断裂带一致。矿石以含金石英脉为主, 局部有具工业价值的含金蚀变破碎板岩。

最常见的矿石矿物为毒砂和黄铁矿, 有少量的自然金、黄铜矿、磁黄铁矿、辉锑矿、白钨矿、方铅矿和闪锌矿等。矿石含金量稳定, 为Au—As组合, Cu、Pb、Zn、Ag不具工业意义, 局部地段含钨较高。脉石矿物以石英为主, 绢云母、方解石、白云石、绿泥石次之。含金蚀变破碎板岩型矿石内毒砂呈浸染状分布。

金以自然金形式存在, 分可见金(粒度 $>50\mu\text{m}$)和分散显微金(粒度 $<50\mu\text{m}$)。可见金呈粒状、片状、树枝状及薄膜状分布于石英间隙、裂隙及蚀变破碎板岩裂隙中; 显微金分布于毒砂、黄铁矿及石英中。早期毒砂呈半自形、他形粒状, 分布于石英脉及蚀变板岩中, 常见碎裂结构, 晚期毒砂呈自形长棱柱状, 分布于石英脉中。石英脉有两种, 一种为条带状, 为条带状板岩强烈硅化后板岩条带的残余构造, 另一种为脉石英, 为扩张性断裂中充填产物。脉状、浸染状、条带状、角砾状构造为最常见的矿石构造。

围岩蚀变限于破碎带及破碎带两侧附近。蚀变范围 $<1\sim 30\text{m}$, 蚀变带产状与破碎带一致, 与围岩呈渐变过渡关系, 向围岩方向逐渐减弱。蚀变类型有硅化、绢云母化、毒砂—黄铁矿化、碳酸盐化和绿泥石化。碳酸盐化和绿泥石化主要限于破碎带内, 硅化、绢云母化和毒砂—黄铁矿化范围较广, 与金矿化关系密切。

成矿温度为 $300\sim 350^\circ\text{C}$, 成矿溶液为弱酸性—弱碱性, pH值为 $5.8\sim 7.2$, 成矿流体主要为变质同生热液^[1]。

稀土元素地球化学

1. 围岩的稀土元素特征

围岩样品采自金塘矿段远离矿体的冷家溪群第一和第二岩性段(PtIn^{1-2})及3号矿体上盘的第三岩性段(PtIn^3)。第一岩性段的千枚状板岩呈千枚状构造, 矿物较板岩略粗, 定向排列, 主要由石英、绢云母、黑云母组成, 有少量绿泥石及细粒暗色组份; 第二岩性段的条带状板岩板理发育, 岩石呈条带状, 矿物粒度细小, 重结晶不明显, 浅色条带以石英、绢云母为主, 暗色条带中黑云母量增多, 偶见细粒黄铁矿; 第三岩性段的砂质板岩, 无重结晶矿物出现, 粉砂级石英、绢云母略具定向性。样品新鲜, 无蚀变, 无矿化现象。围岩样品及后边的矿石样品都在JY—38直读光谱仪上用ICP—AES法测定了15个稀土元素含量(表1), 表2列出了它们的稀土元素特征参数。

从表1可以看出, 不同围岩样品尽管岩性有所差异, 但稀土元素组成十分接近, 不同样品的每一种稀土元素含量都差别不大, ΣREE 为 $176.566\sim 238.324\text{ppm}$, 平均 201.263ppm 。不同岩性的围岩有非常接近的稀土参数。不同样品之间, LREE/HREE 值极差1.17, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值极差1.46, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 值极差0.09, $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 值极差0.04, δEu 值极差0.04。从 LREE 值高出 HREE 值

黄金洞金矿床矿石与围岩的稀土元素组成(ppm)

表 1

序号	样品号	样品名称	采样位置	La	Ce	Pr	Nd	Sm
1	HJ—32	千枚状板岩	远矿围岩, ptln ¹	30.822	63.428	8.186	29.864	5.676
2	HJ—34	条带状板岩	远矿围岩, ptln ²	41.070	86.033	10.808	37.110	8.164
3	HJ—38	砂质板岩	3号矿体上盘, ptln ³	30.960	58.369	8.086	28.765	5.945
4	平均	矿区地层		34.284	69.277	9.027	31.913	6.595
5	HJ37—1	含毒砂石英脉	1°矿体	7.285	14.544	1.952	7.920	1.761
6	HJ37—2	含毒砂石英脉	1°矿体	9.416	18.990	2.274	8.412	1.752
7	HJ—39	含金石英脉	3°矿体	4.954	11.598	1.230	4.543	0.890
8	平均	矿石	1°+3°矿体	7.209	15.044	1.819	6.958	1.468
9	HJ—40	金矿砂	选矿厂送冶产品	35.611	73.108	9.079	32.174	6.433

序号	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE
1	1.234	5.766	0.980	5.310	1.132	3.203	0.547	3.436	0.508	28.802	188.894
2	1.548	7.150	0.999	5.587	1.195	3.614	0.612	3.851	0.550	30.033	238.324
3	1.094	4.981	0.812	4.738	1.015	2.950	0.489	2.990	0.418	24.954	176.566
4	1.292	5.966	0.930	5.212	1.114	3.256	0.549	3.426	0.492	27.930	201.263
5	0.367	1.625	0.237	1.352	0.258	0.809	0.147	1.003	0.116	4.938	44.314
6	0.352	1.569	0.256	1.432	0.298	0.872	0.142	0.887	0.124	7.404	54.180
7	0.187	0.699	0.135	0.837	0.164	0.508	0.085	0.523	0.076	3.210	29.639
8	0.302	1.298	0.209	1.207	0.240	0.730	0.125	0.804	0.105	5.184	42.702
9	1.182	4.715	0.773	3.954	0.827	2.399	0.382	2.375	0.333	20.413	193.758

分析单位: 湖北省地质实验研究所。

黄金洞金矿床稀土元素特征参数

表 2

序号	样品号	LREE	HREE	LREE/HREE	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N	δCe	δEu
1	HJ—32	139.210	20.882	6.67	6.30	3.88	1.33	0.96	0.66
2	HJ—34	184.733	23.558	7.84	7.76	3.80	1.37	0.98	0.62
3	HJ—38	133.219	18.393	7.24	7.69	3.79	1.33	0.89	0.62
4	平均	152.388	20.945	7.28	7.24	3.82	1.35	0.95	0.63
5	HJ37—1	33.829	5.547	6.10	6.50	2.95	1.34	0.93	0.66
6	HJ37—2	41.196	5.580	7.38	7.89	3.91	1.42	0.99	0.65
7	HJ—39	23.402	3.027	7.73	6.77	4.27	1.14	1.13	0.72
8	平均	32.800	4.718	6.95	7.14	3.60	1.33	1.00	0.67
9	HJ—40	157.587	15.758	10.00	11.11	4.19	1.59	0.98	0.66

注: 球粒陨石平均值据王中刚等(1989)资料。

6~8倍、 $(La/Yb)_N$ 值在6.30~7.76之间,以及 $(La/Sm)_N$ 值为 $(Gd/Yb)_N$ 值的近3倍、 δEu 值在0.62~0.66之间等特征来看,该矿床的围岩以富轻稀土及中等Eu亏损为特征。

围岩的稀土元素球粒陨石标准化后,其分布模式为平滑右倾的曲线,不同样品的曲线形态、倾斜度十分接近,曲线近于平行, Eu元素处呈较明显的“V”形(图2)。和澳大利亚太古界黑色页岩相比,黄金洞矿区冷家溪群板岩更富集轻稀土,模式曲线向右倾斜更陡, Eu明显亏损^[2]。无论是稀土元素含量,还是稀土元素特征参数或球粒陨石标准化模式,黄金洞矿床围岩与北美页岩及我国白云鄂博中元古界炭质板岩^[3]非常接近,富集轻稀土、中等Eu亏损和轻微的Ce亏损,反映了中元古代以来地槽型沉积变质岩的共同特征^[4]。

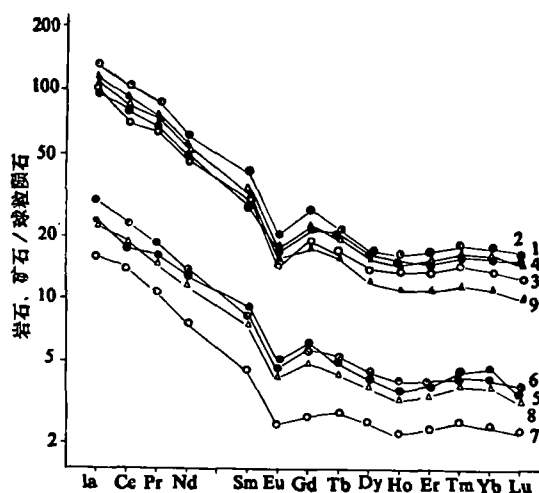


图2 黄金洞金矿床稀土元素球粒陨石标准化模式
(样品序号同表1)

2. 矿石的稀土元素特征

矿石样品采自金塘矿段1号和3号矿体。为了避免蚀变围岩角砾的影响,样品均采用热液充填形成的石英脉型矿石。矿物组成主

要为石英(约95%)、毒砂+黄铁矿(约占3~4%)、绿泥石(约1%),另有少量方铅矿、黄铜矿及绢云母等。矿石的稀土元素含量及特征参数见表1和表2。而金矿砂样品(HJ-40,选矿厂送冶产品, $Au > 70 \text{ ppm}$), 的矿物粒度 $< 0.1 \text{ mm}$,矿物组成较难确定,和原矿相比,石英、绿泥石等非金属矿物,尤其是石英含量大量减少,毒砂、黄铁矿等金属矿物相对富集。

由表1可见,矿石的稀土元素含量明显比围岩低, $\Sigma \text{ REE}$ 为29.639~54.180ppm,平均42.702ppm。相对于围岩,矿石样品之间稀土元素含量变化较大,最高含量为最低含量的近2倍。但从表2可以看出,不同矿石样品之间稀土元素特征参数却很接近,3个样品之间, LREE/HREE值极差1.63, $(La/Yb)_N$ 值极差1.39, $(La/Sm)_N$ 值极差1.32, $(Gd/Yb)_N$ 值极差0.28, δEu 值极差0.07。LREE值大于HREE值, $(La/Yb)_N$ 值为6.50~7.89,属轻稀土富集型, Eu中等亏损。球粒陨石标准化模式为一组平滑右倾、近于平行的曲线(见图2)。

金矿砂的稀土元素含量及Eu亏损程度与围岩相当,但轻稀土富集程度大于围岩及原矿, LREE/HREE值为10, $(La/Yb)_N$ 值为11.11,曲线形态与围岩类似,仅右倾略陡。

金矿砂与原矿稀土元素含量的差异,可能是由于矿物组成变化引起的。原矿稀土元素含量低主要是由于石英的大量存在造成的,因为石英的稀土元素含量一般是很低的。原矿成为金矿砂产品的过程中,大量的石英进入尾砂,因而使金矿砂中石英含量降低,稀土元素含量随之升高。

3. 矿石成因的稀土元素证据

黄金洞金矿的成因,前人已做了不少研究工作,得出了矿质来自地层,变质热液使其在破碎带中沉淀成矿的结论^{[1][5]}。稀土元素能为这一结论提供新的证据。

从表1和表2可以看出, 尽管矿石与围岩稀土元素含量差别很大, 但二者 (无论是单个样品还是平均值) 稀土元素特征参数十分接近。就平均值来说, 二者的LREE/HREE值相差0.33, $(La/Yb)_N$ 值相差0.1, $(La/Sm)_N$ 值相差0.22, $(Gd/Yb)_N$ 值相差0.02, δEu 值相差0.04, 稀土元素球粒陨石标准化模式是两组近于平行的曲线 (见图2)。将矿石及围岩的稀土元素投入 $La/Yb-\Sigma REE$ 图中 (图3), 围岩与矿石都落于沉积岩区域内。所不同的是, 围岩位于沉积岩与玄武岩的重叠区域。据刘英俊等 (1991) 的研究, 冷家溪群沉积变质岩的物源既有火山岩源又有沉积岩源^[1]。围岩在图3中的位置也正好印证了这一点。含金石英脉是含矿热液沿断裂破碎带充填沉淀的产物, 并非沉积岩。因此, 矿石与围岩接近的稀土参数及一致的稀土模式可用矿石的稀土元素来自围岩来解释, 也就是说, 矿石同步地继承了围岩的稀土元素组成。从这一点来说, 围岩中的稀土元素在迁移进入矿石的过程中未发生明显的分馏, 只是其含量明显降低。该矿床的成矿条件为弱还原—弱氧化环境, 在这样的环境中, 即使活动性较强的变价元素 Ce 和 Eu, 也得不到充分的氧化和还原, 仍保持稳定状态, 这很可能就是稀土元素未发生明显分馏的原因之一。

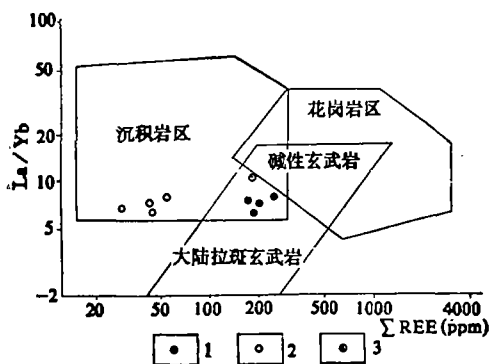


图3 黄金洞金矿床稀土元素 $La/Yb-\Sigma REE$ 图

1—围岩; 2—矿石; 3—金矿砂

类似的例子绝非仅有。在许多不同类型的矿床中, 矿石与其有成因联系的岩石的稀土元素都存在与黄金洞矿床类似的情况。例如吉林山门银矿床矿石与成矿母岩间有着一致的稀土元素组成^[6]; 秦岭凤太矿田产于热水沉积硅质岩中的石英脉与硅质岩稀土元素组成一致^[7]; 江西留龙金矿含金毒砂黄铁矿石英脉与震旦系上施组变沉积灰岩稀土元素组成一致^[8], 等等。而矿石与其无成因联系的岩石之间, 稀土元素组成变化很大。因此可以认为, 矿石与围岩之间稀土组成的一致性, 直观地反映了二者之间的成因联系。

微量元素地球化学

黄金洞金矿床为 Au—As 组合矿床, 伴生的 Ag、Cu、Pb、Zn 等不具工业意义。从对矿石和围岩 19 个元素含量 (表3) 可以看出, 常见的成矿元素如 Cu、Pb、Zn、W、Ag 等在矿石中都有不同程度的富集, 而 Rb、Sr、Ba、Zr、V 等元素的含量低于围岩。成矿元素在围岩中含量高者 (与地壳克拉克值比较), 在矿石中的富集程度较高。矿区围岩含金 0.011~0.035 ppm, 平均 0.021 ppm 比地壳克拉克值高出 7 倍。据我们研究, 华南元古代地层金平均含量与克拉克值接近, 与地层有关的金矿大都产于金的局部富集地段^①。黄金洞矿床就属于这种情况。

从表3可以看出。矿石与围岩的许多元素含量 (如 Au、Ag、W、Cu、Pb、Zn、Rb、Ba、Ni、Zr、V、Cr 等) 差别较大, 但将地球化学行为相近的元素计算其比值 (见表3), 其结果是非常接近的。这可能预示着矿石具有与围岩一致的微量元素组成。

将表3中 19 种元素平均含量以其地壳克拉克值标准化后作图 (图4)。可以看出, 矿石曲线的形态变化与围岩曲线完全一致。

① 涂光炽等, 1990, 华南元古界基底演化及成矿作用, 科学出版社 (待版)。

矿石与围岩微量元素含量(ppm) 表 3

元素	矿石 (样品数5)		岩石 (样品数8)		地壳 克拉克 克值*
	含量范围	平均	含量范围	平均	
Au		>1	0.011~0.035	0.021	0.003
Ag	0.06~1.36	0.37	0.04~0.11	0.09	0.07
W	4.6~15	9	3.8~6	4.4	1.3
Sn	3~5	4	2~4	2.5	2.5
Cu	34~123	75	28~78	42	47
Pb	17~108	77	19~49	31	16
Zn	65~318	192	114~147	133	83
U	2.4~3.6	2.7	1.2~3.3	2.4	2.5
Th	12~15	13.4	4.5~14.5	10.8	13
Nb	8.4~12.7	9.6	5.2~12.4	8.2	20
Ta	0.16~1.11	0.64	0.65~1.45	1.0	2.5
Co	11~25	18	15~23	19	18
Ni	16~45	30	37~55	47	58
Rb	52~239	115	191~211	198	150
Sr	22~76	52	48~69	61	340
Ba	103~513	245	444~485	462	650
Zr	44~221	152	179~204	190	170
V	44~186	92	160~180	171	90
Cr	42~134	75	108~127	116	83
Ag/Pb	0.003~0.013	0.005	0.002~0.004	0.003	
Cu/ (Pb+ Zn)	0.20~0.39	0.28	0.21~0.40	0.26	
W/Sn	1.5~3.0	2.25	1.50~2.00	1.80	
U/Th	0.18~0.24	0.20	0.20~0.26	0.22	
Rb/Sr	1.61~3.14	2.21	2.80~4.40	3.25	
Sr/Ba	0.15~0.25	0.21	0.10~0.15	0.13	
Co/Ni	0.41~0.68	0.6	0.29~0.47	0.4	
Cr/V	0.72~1.13	0.82	0.67~0.75	0.70	

* 维尔纳茨基, 1963。

Nb之前的元素主要为亲硫(亲铜)元素,在热液成矿作用过程中地球化学性质较活泼,易于迁移和重新富集,因此,它们在矿石中的含量高于围岩;Ta后边的元素主要为亲石和亲铁元素,在热液作用中惰性较强,迁移能力较低,因而在矿石中的含量低于围岩,位于围岩曲线之下。亲石元素U、Th、Nb虽位于围岩曲线之上,但从表3可知,它们在矿石中的含量与围岩相差无几。尽管图3中元素的排列顺序是随机的,不象稀土元素那样有规律,但无论将元素排列的先后顺序如何打

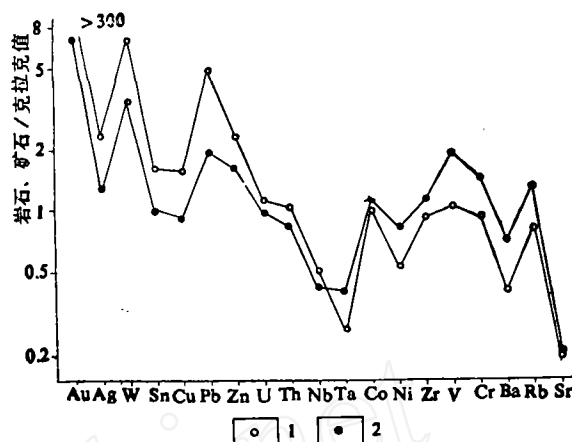


图 4 矿石与围岩微量元素克拉克值
标准化图解

1—矿石 (5个样品平均值); 2—岩石 (8个样品平均值)

乱,矿石与围岩曲线形态的一致性基本不变。笔者在江西留龙金矿也发现了同样的规律性[8]。然而这种规律性在许多矿床的矿石与其成因关系的岩石之间并不存在。

矿石与围岩接近的元素比值及一致的微量元素分布形式,表明二者具有相似的微量元素组成。这种一致性关系如同该矿床的稀土元素一样,也可作为矿质来自地层的证据。这一点可以从刘英俊等(1991)的研究中得到证实[1]。Au、As、Sb是该矿床主要和次要的成矿元素,它们在破碎带富集成矿,在矿体下盘600m范围内的围岩中形成一明显的Au、As、Sb负异常带,含量低于区域冷家溪群平均含量,600m以外的围岩Au、As、Sb含量升高。另外,该矿床硫、铅、氢、氧同位素研究也得出了矿质来自地层的结论。

结 论

1. 黄金洞金矿为产于华南中元古界冷家溪群沉积变质岩中的蚀变破碎带型及含金石英脉型矿床,矿体受东西向褶皱及其伴生的断裂带严格控制,围岩蚀变简单,金与毒砂关系密切,成矿与岩浆活动无关。

(下转第61页)

质,较高的技术水平与管理能力。

9. 根据福建省建筑设计院对3根静压测试桩的测试结果,质量全优,其结论是: $\phi 1.4\text{ m}$ 桩在最大加荷载22000kN作用下,均未达到极限状态,最大变形量19mm,回弹后残余变形量最大1.9mm;根据加载应力片测试,在最大加荷作用下,桩端阻力为6449.5kN,约占桩顶荷载量的29.3%,2#桩

中等风化岩桩侧摩阻力为6900kN,约占桩顶总荷载量的31.37%;各土层桩周摩阻力极限值分别为:淤泥与页片状淤泥混合层 $f_u=13\sim 14\text{ kPa}$,淤泥质土夹粉砂与含泥中砂夹淤泥质土混合层 $f_u=43\sim 44\text{ kPa}$,中砂层 $f_u=73\sim 75\text{ kPa}$,粉质粘土夹中砂与含碎卵石砂质粘土混合层 $f_u=83\text{ kPa}$,中等风化石英正长斑岩 $f_u>460\text{ kPa}$ 。

Completion Technology of Large Diameter Pile Inserting

Zhou Anquan

High building constructions usually require their supporting piles to have a greater bearing capacity. The economic and reasonable measure is using large diameter piles and hammering them into the rock formation down to a given depth. In addition to the bearing capacity of each pile, the inserting depth is also depended upon the property, mode of occurrence and degree of weathering of rock formation. In this paper the whole process of completion technology of large diameter piling is described and discussed from a theoretical view.

(上接第17页)

2. 矿石与围岩具有相似的稀土元素组成,二者的稀土参数及稀土模式一致,反映出矿石对围岩稀土元素的同步继承性。

3. 矿石的微量元素比值与围岩非常接近,二者在微量元素图解中有着一致的变化形态,矿石中富集的元素通常是围岩中含量较高(与地壳平均值比较),且易于活化转移的元素。

4. 该矿床矿石与围岩稀土及微量元素组成的一致性,表明矿质来自地层,这与矿床地质特征及同位素等方面的研究结论一致,并且更为直观。说明矿体首先富集于地层中,经由热液活化转移,在断裂破碎带中充填沉淀成矿,形成典型沉积改造型金矿床。

参考文献

- [1] 刘英俊等,地质找矿论丛,1991,第6卷,第1期,1—13页。
- [2] Bavinton, O. A. and Taylor, S. R., *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, Vol. 44, No. 5, p. 639—648.
- [3] 王中刚等,《稀土元素地球化学》,科学出版社,1989年,第279—291页。
- [4] 涂光炽等,《地球化学》,上海科学技术出版社,1984年。
- [5] 罗献林,桂林冶金地质学院学报,1988,第3期,第225—239页。
- [6] 田维盛、邵俭波,矿床地质,1991,第10卷,第2期,第152—160页。
- [7] 隗合明,矿床地质,1991年,第10卷,第4期,第300—312页。
- [8] 张乾等,《中国科学院矿床地球化学开放研究室90年报》,贵州科技出版社,1991年,第279—289页。

REE and Trace Element Geochemistry of the

Huangjindong Au-deposit, Hunan Province:

The Evidence of Ore Genesis

Zhang Qian, Cao Yubo, Zhang Baogui, Pan Jiayong

The Huangjindong gold deposit occurs in Middle Proterozoic Lengjiaxi Group the source bed and is controlled by a fractured zone, with its REE compositions in ores as same as those in its country rocks, and with the very same rare earth parameter and pattern. In addition, the ratios and distribution patterns of microelements for the ores and country rocks of the deposit are also about the same. The gold mineralizations were activated, and migrated from the country rocks and deposited in the fractured zone to form this sedimentary-reformed type gold deposit.