

华北陆台北缘金矿床的地球化学特征^①

李宏臣 王守伦

(冶金部天津地质研究院)

提 要 据金矿床(点)的稀土元素和微量元素地球化学特征,结合金矿产出的地质构造特点,可将华北陆台北缘金矿床(岩金)划分为十种赋矿类型;运用金矿石及岩石铅同位素进行分区,为地体划分提供了佐证。

关键词 金矿 赋矿类型 地球化学 地体

华北陆台北缘金矿床多与活化(或复活的)韧性剪切作用(岩石糜棱岩化)有关,它是本区金矿的主体,其次是同生层状金矿、花岗岩型或火山岩型金矿。许多大型、中型金矿床,都在韧性剪切带内,都居于地体边缘或地体拼贴界线处,都是韧性剪切作用的结果。按金矿床(点)赋存部位(糜棱岩中、糜棱岩带中、变质岩中、花岗岩中、硅铁建造中、偏碱性岩中、火山岩中或其复合类型中)可把本区岩金金矿床划分十个类型。本文对本区各赋矿类型金矿的地球化学特征进行了系统论述。

1 稀土元素

选择了若干地体的不同成因类型典型金矿床(点),与有关岩石稀土元素进行了对比,结果表明:不同赋矿部位的金矿床有不同的稀土元素地球化学特征(表1),分述于下:

1.1 太古代硅铁建造同生金矿

以花桥金矿为代表,该类金矿只见于绿片岩相的变质地体中(只见于五台地体)。矿体发育于条带状铁石英岩层的下部,具层控性,伴见的有硅质岩或钙硅质岩。石英或含黄铁矿石英集合体呈定向纹带状与硅铁条带协同褶曲,金即产于黄铁矿中或石英粒间,无明显蚀变。选择了金矿石、条带状硅铁矿、糜棱岩化变质岩的稀土元素进行对比(图1)。从稀土元素配分图式看,金矿石与条带状硅铁矿的图式相似,且均具轻稀土富集特点;La/Yb 比值高,分别为 20 和 10.83;稀土总量高,分别为 119.7×10^{-6} 和 75.39×10^{-6} ;均具正 Eu 异常,Ce 亏损。糜棱岩的稀土元素配分图式呈平缓状,与金矿石和条带状硅铁矿有差异;稀土总量低(35.05×10^{-6}),La/Yb 比值低(2)。虽然糜棱岩带通过含金矿化带,但其稀土元素特征仍表现出了无明显分异的原变质岩的特点。因此,地质特征和稀土元素特征均反映出铁矿与含金石英脉的同生特征。

① 收稿日期 1995.6.19 改回日期 1995.9.13

1.2 糜棱岩型金矿

以八亩地金矿为代表,金矿位居滦平地区,局限在糜棱岩内,矿体呈透镜状,其中含金集合体呈纹带状浸染于糜棱岩中,成为糜棱岩面理的一个组成部分,含金纹带状集合体主要由细粒石英和黄铁矿组成,蚀变主要是绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化。选择了金矿石和片理化长石斑岩样品(图2)。稀土元素配分图式显示片理化长石斑岩具平缓图式,La/Yb 比值低,为 1.67,轻稀土分馏不明显,Eu 为正异常(1.14),Ce 具弱亏损(0.99),基本反映了该区原岩特征。金矿石图式显示轻稀土富集,但基本上是平缓型;La/Yb 比值为 6,Eu 富集(1.72),Ce 弱亏损(0.89),稀土总量低(8.73×10^{-6})。从图式上看,金矿石与片理化长石斑岩图式基本相似,表明金矿成因与片理化长石斑岩密切相关。

表 1 华北陆台北缘金矿石、岩石稀土元素表

Table 1 REE Content of Au ore and rocks in north margin of the North China Continental Table

野外编号	岩、矿石名称	地点	稀 土 分 量($\times 10^{-6}$)														Σ REE				Eu/ Ce*	Ce/ Ce*	La/ Yb	资料来源
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	$\times 10^{-6}$	Eu*	Ce*	Yb			
S93-69	金矿石	花桥	22	42	5.3	24	3.9	1.5	4.6	0.59	1.9	0.29	1.0	0.29	1.1	0.23	11	119.7	1.20	0.85	20	本文		
S93-67	条带状磁铁矿	花桥	13	22	2.1	10	1.0	1.2	3.1	0.46	2.0	0.46	1.4	0.26	1.2	0.21	17	75.39	2.15	0.60	10.83			
S93-65	糜棱岩	花桥	3.9	8.6	1.1	3.0	0.58	0.49	2.0	0.19	1.6	0.46	1.3	0.34	1.3	0.19	10	35.05	1.40	0.92	3			
H93-64	金矿石	八亩地	1.5	2.8	0.3	1.0	0.2	0.09	0.14	0.05	0.22	0.09	0.30	0.17	0.25	0.02	1.6	8.73	1.72	0.89	6			
H93-65	片理化长石斑岩	八亩地	3.0	6.4	0.64	2.7	0.58	0.44	2.3	0.17	2.5	0.71	1.9	0.30	1.8	0.29	18	41.73	1.14	0.99	1.67			
92-347	金矿石	金厂峪	1.6	3.5	0.3	1.5	0.25	0.28	0.75	0.12	0.77	0.17	0.67	0.20	0.58	0.075	5	16.065	2.05	1.07	2.76	张祥,88		
92-345	糜棱岩	金厂峪	22	43	5.7	22	4.1	1.0	4.3	0.39	2.5	0.57	1.3	0.27	1.2	0.19	16	124.52	0.80	0.85	18.33			
上-10	斜长角闪岩	金厂峪	28.67	73.45		36.09	6.49	2.1	4.99		3.41		1.64		1.48	0.22		158.54	1.19		19.37			
	黑云母长花岗岩	金厂峪	4.4	9	1.5	2.7	0.95	0.28	0.54	0.52	0.33	0.18	0.43	0.05	0.16	0.05	1.6	22.69	1.20	0.79	27.5			
Z01	金矿石	张全庄	2.75	4.96		2.42	0.59	0.14	0.61		0.5		0.23		0.32	0.1	2.91	15.53	0.49		8.59	胡小雄,90		
Z11	角闪斜长二辉麻粒岩	张全庄	6.77	14.43		8.87	2.06	0.81	2.21		2.02		1.15		1.13	0.16	10.83	50.37	1.27		5.99			
Z04-2	角闪透辉麻粒岩	张全庄	2.86	5.08		2.69	0.57	0.15	0.71		0.49		0.25		0.29	0.1	2.82	16.01	0.80		9.86			
Z04-1	混合岩	张全庄	36.11	61.95		31.34	4.82	1.36	4.79		2.88		1.77		1.90	0.45	12.82	160.19	0.94		19.01			
Z17	花岗岩	张全庄	70.04	130		54.40	8.65	2.10	7.16		5.57		3.28		3.13	0.56	28.50	313.39	0.67		22.38			
90-164	石英脉型金矿石	东坪	0.52	1	0.5	0.5	0.1	0.01	0.03	0.03	0.05	0.03	0.1	0.03	0.03	0.02	0.18	3.22	0.44	0.40	17.33	蒋心明,92		
89-172	石英脉型金矿石	东坪	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.01	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.005	0.02	0.15	1.375	0.44	0.24	20			
89-161	正长岩	东坪	6.9	18	2	13	2.5	0.86	2.7	0.61	1.7	0.57	1.2	0.3	1.2	0.15	11	62.69	1.11	1.08	5.75			
92-407	金矿石	温杖子	1.3	1.9	0.20	1.1	0.2	0.079	0.18	0.14	0.15	0.10	0.10	0.13	0.11	0.12	1.7	7.409	1.38	0.75	11.82			
92-411	花岗闪长岩	温杖子	38	67	7.8	27	4.1	1.1	3.2	0.36	1.6	0.35	0.98	0.20	0.90	0.16	11	163.75	0.98	0.83	42.22			
92-410	安山质流纹岩	温杖子	32	59	6.2	27	4.5	1.4	3.9	0.54	2.3	0.13	1.3	0.20	1.4	0.25	16	156.22	1.08	0.89	22.86	本文		
H93-07	金矿石	两家庄	3.9	5.6	0.53	1.6	0.2	0.11	0.23	0.05	0.45	0.05	0.30	0.05	0.22	0.05	3.8	17.14	1.73	0.76	17.72			
H93-05	绢云母化黑云母岩	两家庄	33	66	8.2	35	5.6	1.7	4.6	0.55	3.6	0.64	2.4	0.40	3.1	0.48	23	188.27	1.09	0.88	10.65			
92-514	金矿石	小塔子	6.9	12	1.7	5.0	0.5	0.28	0.34	0.14	0.27	0.05	0.12	0.10	0.21	0.02	1.9	29.53	2.15	0.77	32.85			
92-507	熔结凝灰岩	小塔子	17	36	3.2	16	2.0	0.94	2.2	0.45	1.2	0.14	0.60	0.10	0.79	0.14	8.1	88.87	1.51	1.03	21.52			
92-497	金矿石	长在营子大石坝	2.5	4.3	0.45	1.6	0.2	0.079	0.23	0.12	0.4	0.05	0.1	0.11	0.095	0.05	1.1	11.384	1.24	0.85	26.32	张东旭,93		
92-498	玉髓(硅质岩)	长在营子大石坝	1.1	2.3	0.38	1.1	0.2	0.05	0.5	0.21	0.63	0.1	0.15	0.17	0.15	0.05	1.2	8.29	0.52	0.80	7.33			
M1140-18	金矿石	茅山	2.9	5.8	0.66	2.5	0.33	0.11	0.46	0.1	0.48	0.18	0.37	0.2	0.48	0.07	3.7	18.34	0.96	0.91	6.04			
M1140-18	金矿石	茅山	1.9	3.8	0.54	2.0	0.3	0.06	0.35	0.15	0.48	0.17	0.41	0.17	0.39	0.04	2.8	13.56	0.62	0.83	4.87			
M1110-48	金矿石	茅山	2.5	6	0.8	2.8	0.68	0.1	0.31		0.3	0.22	0.45	0.34	0.19	0.035	1.5	16.225	0.63	0.95	13.15			
Mjr-1b	钾化花岗岩	茅山	16	31	3.5	15	2.9	0.52	2.9	0.25	2.7	0.6	2.1	0.42	2.4	0.34	2.1	82.73	0.60	0.89	6.67	张东旭,93		
Mr-1b	二长花岗岩	茅山	20	40	3.9	19	2.4	0.6	3.5	1	3.2	0.81	2.5	0.53	3.0	0.42	26	126.86	0.70	0.96	6.67			
P-1	黑云母斜长片麻岩	茅山附近	28	57	5.5	26	3.4	1.4	3.1	0.16	1.8	0.31	1	0.23	0.83	0.11	9.1	137.94	1.43	0.98	33.7			
Zh-2	黑云母斜长片麻岩	茅山附近	18	36	3.5	21	2.8	1.3	3.2	0.54	2.4	0.55	1.6	0.34	1.2	0.18	14	106.6	1.46	0.96	15			

1.3 糜棱岩中石英脉型金矿

以金厂峪金矿为代表,该矿位居两地体的活动界面处,出露斜长角闪岩和 TTG 系列岩石,含磁铁矿石岩,原岩以铁镁质火山岩为主,糜棱岩带呈 NNE 向展布,由若干定向糜棱岩带分叉、复合、交织成宽达 1km 的带群,其中残存有许多大小不一的斜长角闪岩定向透镜体,糜棱岩中有含金钠长石-石英脉和含金黄铁石英脉。选择了金矿石、糜棱岩、斜长角闪岩和黑云钾长花岗岩样品(图 3)。从稀土元素配分图式看,金矿石图式具平缓型。 La/Yb 比值低,为 2.76,轻重稀土分馏不明显,稀土总量低(16.065×10^{-6}),Eu、Ce 均为正异常(分别为 2.05 和 1.07)。其余三个岩石样品图式相似,轻稀土富集,稀土总量均比矿石高, La/Yb 比值高(18.33~27.5)。金矿石和花岗岩均继承了斜长角闪岩特点,均具正 Eu 异常。而金矿石也反映出了糜棱岩中金矿的轻稀土分馏不明显特点。三个岩石样品图式相似表明三者成因上有联系,糜棱岩和黑云钾长花岗岩均继承了斜长角闪岩的稀土特点,是斜长角闪岩的派生物。而金矿石则是糜棱岩化作用的产物。

1.4 糜棱岩带中石英脉型金矿

以张全庄金矿为代表,位居张宣地区,矿区出露辉石麻粒岩、斜长辉石岩、斜长角闪岩和 TTG 系列,发育有窄的糜棱岩带,糜棱岩主要发育于偏酸性的“混合岩化”岩石中,矿体主要见于走向北西的裂隙中,矿石组分以含金黄铁矿和石英为主,另见少许方铅矿和黄铜矿,围岩蚀变较简单,除绢云母化、绿泥石化外,见有碳酸盐化。选择了矿区金矿石、麻粒岩、混合岩及邻近的花岗岩^[1]五个样品(图 4)。从稀土元素配分图式看,五个样品图式相似,均具轻稀土富集特点;但金矿石与麻粒岩类相似或几乎相同,轻稀土富集相对低些, La/Yb 比值为 5.99~9.86;而混合岩和花岗岩轻稀土富集相对高些, La/Yb 比值为 19.01~22.38,稀土总量相对也较高。这表明,处在糜棱岩带中的金矿石,继承了老地层的稀土特点,但又不象典型糜棱岩中的金矿石图式平缓, La/Yb 比值相对略高些,轻稀土富集相对略强些。

1.5 糜棱岩带中偏碱性岩型金矿

以东坪金矿床为代表,位居张宣地区,矿床所在的水泉沟偏碱性杂岩体北靠崇礼-赤城脆性剪切带,岩体顺该糜棱岩带呈东西向展布,由正长岩系列岩石组成,矿体发育于岩体南部近边缘处,充填于 NNE 和 NW 向两组共轭剪切裂隙中,矿体以石英脉型为主,钾长石蚀变型次之,围岩蚀变以强钾长石化为特征,硅化、绢云母化次之。选择了金矿石、霓辉钠闪正长岩三个样品(图 5)。金矿石与碱性岩的稀土元素配分图式相似,轻稀土富集。金矿石 La/Yb 比值高(17.33~20),碱性岩的为 5.75,相对较低。同时,碱性岩的图式与该区麻粒岩的图式相似。金矿石的典型特点是 Ce 强亏损(0.24~0.40), La/Yb 比值高,稀土总量低($1.285 \times 10^{-6} \sim 3.13 \times 10^{-6}$)。这反映了糜棱岩带中偏碱性岩型金矿石和碱性岩都继承了老地层的稀土特点(见前述张全庄金矿),同时该类型金矿石又区别于其他糜棱岩类型中的金矿石。

1.6 糜棱岩带中花岗岩型金矿

以温杖子金矿为代表,位居辽西地区,矿区出露主要岩石是安山质凝灰岩,位于凌源-喜峰口脆韧性剪切带中,矿石产于花岗(类)岩体中,除石英脉型以外,同时出现大量的细脉浸染型脉带。围岩蚀变为绢云母化、硅化、钾化、钠化。选择了金矿石、花岗(闪长)岩和安山质凝灰岩三个样品(图 6)。花岗(闪长)岩和安山质凝灰岩的图式相似,轻稀土富集, La/Yb 比值高(22.86~42.22),稀土总量高。而金矿石的图式具弱轻稀土富集, La/Yb 比值中等(11.82),稀

土总量低(7.409×10^{-6}),Eu 具正异常(1.38),这些特征又反映了糜棱岩带金矿石的稀土特点,因而该矿应为糜棱岩化作用改造的花岗岩型金矿床。

1.7 糜棱岩带中火山岩型金矿

以两家金矿为代表,居于承德地区,地处糜棱岩带中,矿体围岩是片麻岩,矿石赋存于绢云母化霏细斑岩(次火山岩)中。选择了金矿石和绢云母化霏细斑岩两个样品(图7)。金矿石与绢云母化霏细斑岩的图式相似,轻稀土富集,均具 Eu 正异常(分别为 1.73 和 1.09)和 Ce 负异常,La/Yb 比值中等(17.72~10.65)。尽管该矿地处糜棱岩带中,但稀土特征更接近火山岩围岩(霏细斑岩)的特征,不象前述糜棱岩带中的花岗岩型、石英脉型、偏碱性岩型金矿的稀土图式那么平缓。

1.8 火山岩型金矿

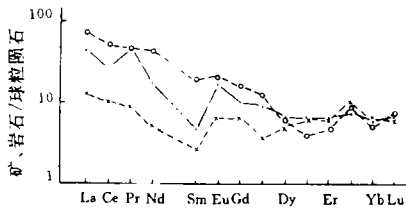
以小塔子金矿点为代表,位处阜新火山岩盆地东北部,产出于安山质熔岩、熔结凝灰角砾岩中,硅化、高岭土化破碎带成群出现。矿石主要为含金石英脉型。选择了金矿石和熔结凝灰岩(图8)两个样品,两者图式相似,特点是矿石和岩石均具 Eu 正异常(分别为 2.15 和 1.51),轻稀土富集,La/Yb 比值高(分别为 32.85 和 21.52)。二者的相似性表明矿石和火山岩有成因联系。

1.9 元古代钙硅质岩共生金矿

以长在营子大石坝金矿为代表,位居辽西地区,在雾迷山组硅质条带白云岩中,发育由髓石组成的层状硅质岩,硅质岩上部发育一层 0.6m 厚含黄铁矿硅质岩,其中含金可达 5.4g/t。选择了金矿石和硅质岩两个样品(图9),两者图式相似,特别是轻稀土富集,稀土总量低(矿石为 11.384×10^{-6} ,硅质岩为 8.29×10^{-6}),金矿石具 Eu 正异常(1.24)。这些特点表明该金矿石与硅质岩在成因上密切相关。

1.10 花岗岩型金矿

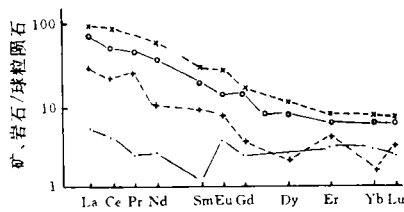
以茅山金矿为代表,位居遵化县,矿床产于燕山期中粒二长花岗岩内,矿体主要就位于北东向蚀变带内,蚀变带由内向外依次为硅化、绢英岩化、钾化。选择了茅山的金矿石、花岗岩和黑云斜长片麻岩等七个样品(图10)。从图式上看,金矿石与花岗岩及钾长花岗岩的图式相似,轻稀土弱富集,La/Yb 比值在 6 左右;而黑云斜长片麻岩图式轻重稀土分馏相对明显,La/Yb 比值高(15~33.7)。金矿石和花岗岩 Eu 亏损(0.6~0.96),而黑云斜长片麻岩 Eu 富集(1.43~1.46)。表明金矿石是与花岗岩有关的产物。



• S93-69 金矿石 • S93-67 条带状硅铁矿 × S93-65 糜棱岩

图1 花桥金矿岩(矿)石稀土元素配分图式

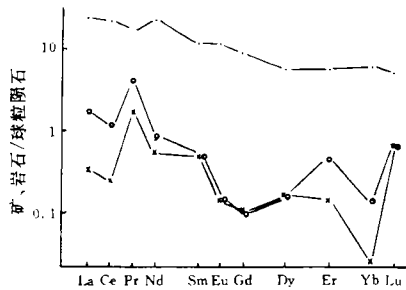
Fig. 1 REE pattern of ore and rock from Huaqiao Au Mine



• 92-347 金矿石 • 92-345 糜棱岩 × 上-10 斜长角闪岩 + 黑云钾长花岗岩

图3 金厂峪金矿岩、矿石稀土元素配分图式

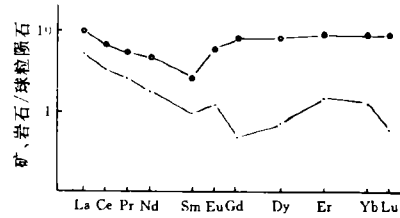
Fig. 3 REE Pattern of ore and rock from Jinchangyu Au Mine



• 90-164 石英脉型金矿石 × 89-172 石英脉型金矿石 • 89-161 正长岩

图5 碱性岩(东坪矿区)及相关金矿石稀土元素配分图式

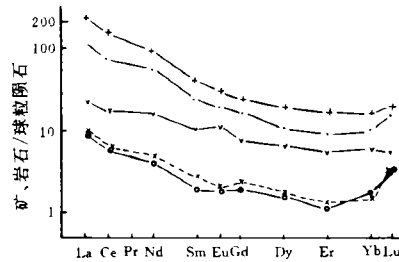
Fig. 5 REE pattern of alkali rock (Dongping Au Mine) and the related gold Ores



• H93-64 金矿石 • H93-65 片理化长石斑岩

图2 八亩地金矿岩、矿石稀土元素配分图式

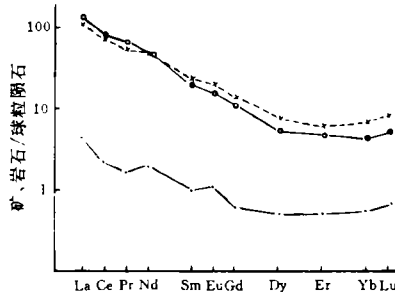
Fig. 2 REE pattern of ore and rock from Bamudi Au Mine



• Z01 金矿石 v Z11 角闪斜长二辉麻粒岩 × Z04-2 角闪透辉麻粒岩 • Z04-1 混合岩 + Z17 混合花岗岩

图4 张全庄金矿岩、矿石稀土元素配分图式

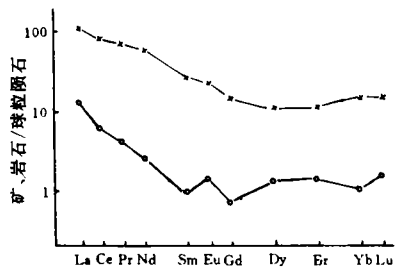
Fig. 4 REE Pattern of ore and rock from Zhangquanzhuang Au Mine



• 92-407 金矿石 • 92-411 花岗闪长岩 × 92-410 安山质凝灰岩

图6 温杖子金矿岩、矿石稀土元素配分图式

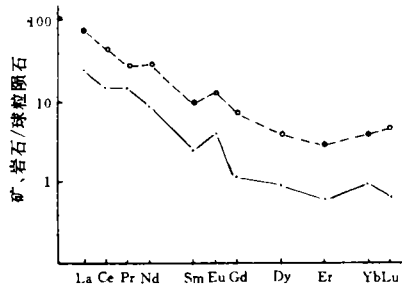
Fig. 6 REE pattern of ore and rock from Wunzhangzi Au Mine



• H93-07 金矿石 • H93-05 绢云母化细斑岩

图 7 两家金矿岩、矿石稀土元素配分图式

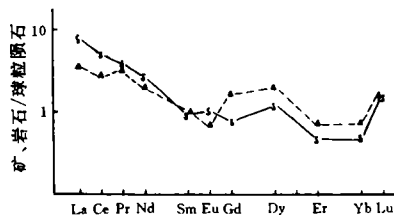
Fig. 7 REE pattern of ore and rock from Liangjia Au Mine



• 92-514 金矿石 • 92-507 熔结凝灰岩

图 8 小塔子金矿岩、矿石稀土元素配分图

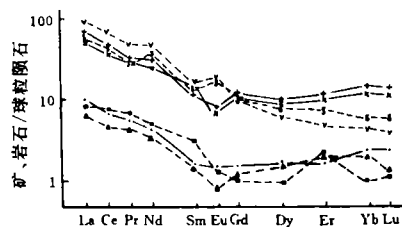
Fig. 8 REE pattern of ore and rock from Xiaohaotazi Au Mine



S92-497 金矿石 △92-498 硅质岩

图 9 长在营子大石坝金矿岩、矿石稀土元素配分图式

Fig. 9 REE Pattern of ore and rock from Dashiba Au Mine



• M140-1b 金矿石 △M140-2b 金矿石 • M110-4b 金矿石

×Mjr-1b 钾化二长花岗岩 +Mr-1b 二长花岗岩

vP-1 黑云斜长片麻岩 sZh-2 黑云斜长片麻岩

图 10 茅山金矿岩、矿石稀土元素配分图式

Fig. 10 REE pattern of ore and rock from Maoshan Au Mine

2 微量元素

对所化验样品的微量元素分析结果(表 2)进行了对比,并按金矿赋矿类型进行了分类对比,反映出各赋矿类型金矿有其独特的微量元素特征,分述如下:

2.1 Co、Ni 和 Co/Ni

金矿石和其围岩的 Co、Ni 含量基本相似,而且各金矿体之间的岩、矿石 Co、Ni 含量也没多大差异。但从金矿石 Co/Ni 比值来对比,就可以显示出不同赋矿类型金矿的特点来。

太古代硅铁建造同生金矿石(花桥, Co/Ni 为 0.41)、元古代钙硅质岩同生金矿石(大石

坝,Co/Ni 为 0.59)、糜棱岩型金矿石(排山楼,Co/Ni 为 0.47;八亩地,Co/Ni 为 0.85)、糜棱岩中石英脉型金矿石(金厂峪,Co/Ni 为 0.56)。这些类型金矿石 Co/Ni 比值一般均小于 1 而区别于其他类型金矿。

表 2 金矿石及有关岩石微量元素
Table 2 Micro-element content of Au ore

顺序号	野外编号	岩(矿)石名称	地点	微量元素含量(×10 ⁻⁶)及比值													资料来源
				Co	Ni	Co/Ni	Cu	Pb	Zn	Sb	As	Bi	Hg	Mo	Sn	Se	
1	S93—69	金矿石	花桥	16	39	0.41	25	132	87	1.2	25	0.21	0.005	1.8	5	0.08	本文
2	S93—67	条带状硅铁矿	花桥	58	26	2.23	1.26	54	49	1.1	10	1.4	0.02	1.9	4	0.84	
3	S93—65	糜棱岩	花桥	94	80	1.18	41	28	173	0.84	3.4	0.13	0.02	2	63	0.17	
4	92—497	金矿石	长在营子	42	71	0.59	519	5720	3180	136	85	0.89	0.48	60	45	4.1	
5	92—498	硅质岩	长在营子	16	18	0.89	55	140	61	3.9	16	4	0.05	6.5	3	0.67	
6	92—124	金矿石	排山楼	41	88	0.47											
7	92—123	含硫化物糜棱岩	排山楼	90	178	0.51	100	40	168	0.34	4.4	0.01	0.02	2	6	0.14	
8	92—133	糜棱岩	排山楼	50	83	0.60	418	56	84	0.41	4.4	0.21	0.02	22	5	0.22	
9	H93—64	金矿石	八亩地	44	52	0.85	8	176	22	0.62	5.2	1.6	0.005	2	3	0.85	
10	H93—65	片理化长石斑岩	八亩地	42	75	0.56	34	88	68	0.80	2.9	0.51	0.01	3.3	3	0.22	
11	92—347	金矿石	金厂峪	44	79	0.56	10	36	40	0.65	10	0.46	0.005	1.4	3	0.30	
12	92—345	糜棱岩	金厂峪	100	71	1.41	25	40	92	0.07	2.8	0.16	0.02	0.8	15	0.05	胡小蝶,90
13	Z01	金矿石	张全庄	20	15	1.33	10	320	50								
14	89—172	金矿石	东坪	3	3	1	14	180000	412	19	1.9	0.62	0.03			0.5	蒋心明,92
15	89—155	金矿石	东坪	3	3	1	14	67	29	0.05	1.8	0.15	0.03			0.3	
16	89—171	金矿石	东坪	4.9	12	0.41	39	74	76	38	1.1	0.84	0.002			0.5	
17	89—191	金矿石	东坪	3	3	1	20	34	11	0.05	1.5	0.11	0.03			0.3	
18	89—196	金矿石	东坪	4.2	3.9	1.08	30	28	15	22	0.8	0.55	0.01			0.7	
19	92—568	金矿石	河坎子	31	24	1.29	652	512	505	340	63	1.3	0.73	4	26	0.06	本文
20	92—571	震石正长岩	河坎子	34	43	0.79	69	268	101	2.7	2.2	0.85	0.04	13	3	0.06	
21	92—580	金矿石	柏杖子	41	40	1.03	8460	81600	44	25	124	324	0.09	1	12	4.2	
22	92—585	花岗岩	柏杖子	19	14	1.36	632	592	60	1.2	20	3.7	0.005	25	14	0.87	
23	92—576	云煌岩	柏杖子	19	15	1.27	165	140	312	6	24	0.58	0.005	14	14	0.3	
24	92—581	凝灰质砂岩	柏杖子	41	279	0.15	55	128	498	2.3	130	0.45	0.01	1.6	5	0.08	
25	92—407	金矿石	温杖子	65	30	2.17	31200	6990	130	134	340	1010	2.12	160	94	4.4	
26	92—411	花岗闪长岩	温杖子	37	53	1.12	50	48	127	2.0	3.8	3.8	0.02	1.7	3	0.06	
27	92—410	安山质凝灰岩	温杖子	53	47	1.13	362	156	257	34	200	77	0.22	2	5	0.16	
28	S93—22	金矿石	耿庄	64	33	1.94	439	25800	98700	170	6.4	7.5	0.24	30	177	0.8	
29	S93—36	花岗岩	耿庄	19	26	0.73	25	176	431	1.9	127	0.24	0.02	1	11	1.1	
30	H93—07	金矿石	两家	72	21	3.43	24900	27300	187000	346	1870	102	0.75	5.5	48	0.63	张敬陆
31	H93—05	绢云母化辉绿岩	两家	22	24	0.92	229	392	1710	3.8	15	1.9	0.02	7.3	11	0.08	
32		金矿石	二道沟				30700	10100	4900	1600	3900						本文
33	92—514	金矿石	小塔子	28	18	1.56	156	48	235	210	384	2.3	0.86	2.5	6	0.06	
34	92—507	熔结凝灰岩	小塔子	28	20	1.4	90	62	502	5.8	74	0.98	0.28	1.6	4	0.08	张东旭,93
35	M I 140—1b	金矿石	茅山	7.5	8.3	0.90	25	156	73	1.9	41.5	3.9	0.005	1	1.2		
36	M I 140—2b	金矿石	茅山	9.7	6.5	1.49	63	351	407	1	20.2	11.4	0.09	14	0.5		
37	M I 110—1b	金矿石	茅山	13	7.2	1.81	634	694	34	1	18.5	137	0.998	1.4	0.5		

糜棱岩带中石英脉型金矿石(张全庄,Co/Ni 为 1.33)、糜棱岩带中偏碱性岩型金矿石(东坪,Co/Ni 为 0.41~1.08;河坎子,Co/Ni 为 1.29)、糜棱岩带中花岗岩型金矿石(柏杖子、温杖子和耿庄,Co/Ni 分别为 1.03、2.17 和 1.94)、糜棱岩带中火山岩型金矿石(两家,Co/Ni 为 3.43)、火山岩型金矿石(小塔子,Co/Ni 为 1.56)和花岗岩型金矿石(茅山,Co/Ni 为 0.9~1.81),Co/Ni 比值均大于 1,比值最高者为与火山岩有关的金矿石。

2.2 Cu、Pb 和 Zn

从分析结果看,所有金矿石都比围岩富含 Cu、Pb、Zn;不同类型金矿石又显示出 Cu、Pb、Zn 的含量差异,按含量可把本区金矿石分为四类:

(1)含 Cu、Pb、Zn 极高:有糜棱岩带中火山岩型金矿(两家、二道沟)、糜棱岩带中花岗岩型金矿(柏杖子、温杖子、耿庄),Cu、Pb、Zn 含量达几万~十几万 $\times 10^{-6}$ 。

(2)含 Cu、Pb、Zn 较高:有元古代钙硅质岩同生金矿(长在营子大石坝),Cu、Pb、Zn 含量达几千 $\times 10^{-6}$ 。

(3)含 Cu、Pb、Zn 较低:有糜棱岩带中偏碱性岩型金矿(河坎子、东坪)、火山岩型金矿(小塔子)和花岗岩型金矿(茅山),Cu、Pb、Zn 含量 200×10^{-6} 。

(4)含 Cu、Pb、Zn 低:有太古代硅铁建造同生金矿(花桥)、糜棱岩型金矿(八亩地)、糜棱岩中石英脉型金矿(金厂峪)、糜棱岩带中石英脉型金矿(张全庄),Cu、Pb、Zn 含量相对最低,多为十几 $\times 10^{-6}$ 。

2.3 Sb 和 As

金矿石的 Sb、As 含量高于围岩,按金矿石的 Sb、As 含量由高至低,可反映各类型金矿石 Sb、As 含量特点:

(1)高 Sb、As:有糜棱岩带中火山岩型金矿(两家、二道沟),Sb、As 含量达数千 $\times 10^{-6}$ 。

(2)较高 Sb、As:有火山岩型金矿(小塔子)、糜棱岩带中花岗岩型金矿(柏杖子、温杖子、耿庄)、糜棱岩带中偏碱性岩型金矿(东坪、河坎子),Sb、As 含量几百 $\times 10^{-6}$ 。

(3)较低 Sb、As:有元古代钙硅质岩同生金矿(长在营子大石坝),Sb、As 含量 100×10^{-6} 左右。

(4)低 Sb、As:有糜棱岩型金矿(八亩地)、糜棱岩中石英脉型金矿(金厂峪)、太古代硅铁建造同生金矿(花桥)和花岗岩型金矿(茅山),Sb、As 含量在 25×10^{-6} 左右或以下。

2.4 Bi 和 Hg

金矿石按 Bi、Hg 含量分为三类:

(1)高 Bi、Hg 金矿:有糜棱岩中花岗岩型金矿(柏杖子、温杖子、耿庄)、糜棱岩带中火山岩型金矿(两家)和花岗岩型金矿(茅山)。

(2)中等 Bi、Hg:有火山岩型金矿(小塔子)、糜棱岩带中偏碱性岩型金矿(河坎子、东坪)、元古代钙硅质岩同生金矿(大石坝)。

(3)低 Bi、Hg:有糜棱岩型金矿(八亩地)、糜棱岩中石英脉型金矿(金厂峪)和太古代硅铁建造同生金矿(花桥)。

2.5 Mo、Sn 和 Se

按金矿石的 Mo、Sn 和 Se 含量,可分为两大类:

(1)高 Mo、Sn、Se:有元古代钙硅质岩同生金矿(大石坝)、糜棱岩带中花岗岩型金矿(柏杖子、温杖子和耿庄)、糜棱岩带中火山岩型金矿(两家)。

(2)低 Mo、Sn、Se:有火山岩型金矿(小塔子)、花岗岩型金矿(茅山)、糜棱岩带中偏碱性岩型金矿(河坎子)、糜棱岩中石英脉型金矿(金厂峪)、糜棱岩型金矿(八亩地)和太古代硅铁建造同生金矿(花桥)。

综合以上分析,各赋矿类型微量元素相对特点是:

(1)太古代硅铁建造同生金矿:Co/Ni 小于 1,Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、Mo、Sn 和 Se 含量低。

(2)元古代钙硅质岩同生金矿:Co/Ni 小于 1,富含 Cu、Pb、Zn、Mo、Sn、Hg 和 Se,Sb、As 含量中等,Bi 含量低。

(3)糜棱岩型金矿:Co/Ni 小于 1,Cu、Pb、Zn、Sb、As、Bi、Hg、Mo、Sn 和 Se 含量低。

(4)糜棱岩中石英脉型金矿:Co/Ni 小于 1,Cu、Pb、Zn、Sb、As、Bi、Hg、Mo、Sn 和 Se 含量低。

(5)糜棱岩带中石英脉型金矿:Cu、Pb、Zn 含量低。

(6)糜棱岩带中偏碱性岩型金矿:Co/Ni 大于 1,Cu、Pb、Zn、Sn、Sb、Hg 含量中等,As、Bi、Mo、Se 含量低。

(7)糜棱岩带中花岗岩型金矿:Co/Ni 大于 1,Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Sn 含量极高,As、Sb、Hg、Se 含量高。

(8)糜棱岩带中火山岩型金矿:Co/Ni 大于 1,Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi 含量极高,富含 Sn 和 Hg、Mo、Se 含量低。

(9)火山岩型金矿:Co/Ni 大于 1,Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg 含量中等,Mo、Sn、Se 含量低。

(10)花岗岩型金矿:Co/Ni 大于 1,Cu、Pb、Zn 含量中等,As、Sb、Hg、Mo、Sn 含量低,Bi 含量高。

3 铅同位素的地体特征分析

3.1 不同地体金矿石同位素分区特征

共选择了七个地体进行分区对比,从分区上看,可以明显地将七个地体区分开来。这说明七个地体在地质演化过程中,各地体(图 11、表 3)的成生特点(时代、构造、岩浆活动、成矿)各自不同,因而造成了矿石中铅的含量差异。

3.2 不同地体花岗岩中金矿石铅同位素分区特征

从五个地体矿石铅分区看(图 12),尽管赋矿类型相似,但是其分区位置不同,综前所述,矿石中铅源除来自岩浆岩外,但其主要来自于古地层岩石中,花岗类岩石铅源也应主要来自古地层岩石。

表 3 岩石及金矿石铅同位素特征表

Table 3 Pb isotopic-composition of Au ore and rocks

地体名称	岩石、矿石名称	样品数	采样地点	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	H·H 法单阶段模式年龄 (Ma)	μ 值	资料来源
浑北地区	金铜矿、含金硫铁矿	6	红透山、大荒沟	13.6~14.19	14.56~15.07	33.41~34.89	2636~2692	9.40~10.11	卡伟国,91
	金矿石	4	线金厂、西井家沟、朱家沟、五狗头	16.98~17.50	15.28~15.61	37.42~38.68	776~1419	9.01~10.40	
张宣地体	斜长角闪岩、混合岩	3	小营盘	14.32~14.70	14.79~14.94	34.09~36.19	2159~2328	8.85~9.14	胡小雄, ^{96[1]} 蒋心明, ⁹² 张齐道, ⁹¹
	正长岩、花岗岩	6	东坪、后沟、响水沟、营盘地、下双台	16.07~17.39	14.41~15.47	34.82~37.39	440~1195	7.38~9.34	
	变质岩中金矿石	40	小营盘、张金庄、韩家沟、金家庄、大青山	16.44~17.98	14.85~15.72	34.34~38.51	257~1161	8.49~9.77	
	岩体中金矿石	15	东坪、后沟、溪水沟、中山沟、小赵家沟	16.52~17.69	15.11~15.53	36.46~37.79	501~1069	8.64~9.47	
五台地体	斜长角闪岩、片岩	7	义兴寨、马家岔、鹿沟、五台县	16.64~18.31	15.21~15.69	35.80~38.62	296~1115	8.93~9.76	田永清, ^{91[2]} 郭有录, ⁹⁴
	花岗岩、石英斑岩、花岗伟晶岩	5	耿庄、高凡、义兴寨	16.65~17.47	15.23~15.61	34.09~38.1	580~1159	8.90~9.66	
	变质岩中金矿石	6	鹿沟、高凡、马桥、马家岔、义兴寨、磨峪沟	16.40~18.44	14.97~15.78	35.85~38.87	312~1205	8.47~9.88	
	花岗岩中金矿石	1	耿庄	17.47	15.38	38.1	580	9.13	
阜平地体	斜长角闪岩、绿泥石岩、绢英岩	5	土石、双园、大石峪	15.56~16.59	14.95~15.29	36.29~38.87	806~1529	8.52~9.06	李义, ⁹¹ 李高山, ⁹⁰
	花岗岩、花岗岩、花岗岩闪长岩、闪长玢岩	7	土石、双园、大石峪	16.17~16.78	15.13~15.67	36.55~37.86	1233~1351	8.68~9.91	
	变质岩中金矿石	13	土石、双园、大石峪	16.14~18.10	15.10~15.53	36.53~37.86	309~1341	8.83~9.53	
遵化地体	斜长角闪岩、混合岩	7	金长峪、黄槐峪、磨户寨、水峪沟、涟水峪	14.45~15.99	14.88~15.24	34.75~35.85	1500~2289	8.84~9.21	林尔为, ⁸⁵ 余昌涛, ^{89[3]} 孙大中, ⁸⁶ 于桐林, ⁹¹ 张永耀, ⁹³
	花岗岩	7	峪耳岩、牛心山、茅山、青山口	15.88~17.47	15.11~15.51	35.72~37.45	734~1484	8.86~9.40	
	变质岩中金矿石	42	金厂峪	15.04~16.18	14.91~15.49	34.93~36.30	1421~1943	8.67~9.72	
	花岗岩中金矿石	24	峪耳崖、桦尖、牛心山、葫芦峪、茅山	15.74~16.71	15.02~15.48	35.70~37.76	980~1639	8.72~9.73	
辽西地体	角闪斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩	4	金厂西壑	15.96~16.63	15.07~15.31	35.83~36.65	1114~1436	8.77~9.16	内蒙地质三队 刘刚, ⁹¹ 林宝敏, ⁹¹ 张立东
	花岗岩、花岗岩闪长岩	4	金厂西壑	17.18~17.65	15.29~15.43	37.4~38.08	422~689	9.00~9.24	
	变质岩中金矿石	23	金厂西壑、东五家子、沙金沟、迷力营子、小塔子沟	15.08~17.40	15.02~15.65	35.15~37.43	665~1947	8.90~9.69	
	火山岩中金矿石	3	二道沟	17.05~17.27	15.32~15.53	37.16~37.34	821~910	9.08~9.52	
冀北地体	片麻岩、蚀变岩	5	热水、大吕沟	17.19~17.50	15.36~15.57	37.42~38.04	517~826	8.93~9.53	曹玖音, ⁹³
	花岗岩	1	金毛沟	17.48	15.43	37.68	636	9.24	
	变质岩中金矿石	2	热水	16.57~17.26	15.21~15.42	36.55~37.55	784~1045	8.94~9.26	
	花岗岩中金矿石	4	南大洼	17.18~17.34	15.40~15.49	37.51~37.79	805~849	9.22~9.40	
抚南地体	花岗岩	1	猫岭	18.27	15.62	38.86	285	9.51	余昌涛, ⁹² 卡伟国, ⁹¹
	花岗岩中金矿石	13	猫岭、暖泉子	15.87~16.88	15.29~16.08	35.31~38.45	1474~1720	9.36~10.66	

3.3 不同地体变质岩中金矿石铅同位素分区特征

从七个地体矿石分区看(图 13),尽管围岩相似,但其分区又自成一体,也证明分区反映了各地体的成岩成矿背景不同,即继承了不同地质背景的古地层铅特点。

3.4 不同地体斜长角闪岩类岩石铅同位素分区特征

从五个地体岩石铅分区看(图 14),不同地体斜长角闪岩类分区不同,证明其成岩地质背景不同,因而在此背景之下,造成了成矿背景、成矿特征的差异。

从该类岩石铅同位素年龄值和 μ 值看,也反映出了各地体的差异:

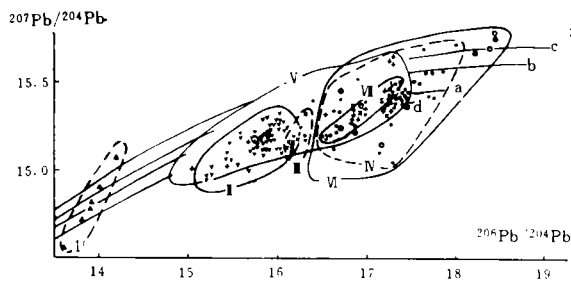
张宣地体	2188~2328(Ma)	8.86~9.07(μ)
遵化地体	1537~2042(Ma)	8.84~9.15(μ)
辽西地体	1114~1436(Ma)	9.07~9.16(μ)
阜平地体	806~1336(Ma)	8.52~8.74(μ)
五台地体	296~311(Ma)	9.51~9.53(μ)

3.5 小结

(1) 铅同位素分区是不同地区分散, 相同地区集中, 反映出华北陆台北缘不同地区建造-构造差别, 用此可以为区分出地体提供佐证。

(2) 同一地体内, 不论什么成因的金矿床, 矿石铅同位素比值、 μ 值和模式年龄的大范围是一致的 (详解从略), 有共同的构造背景, 统一的铅源。

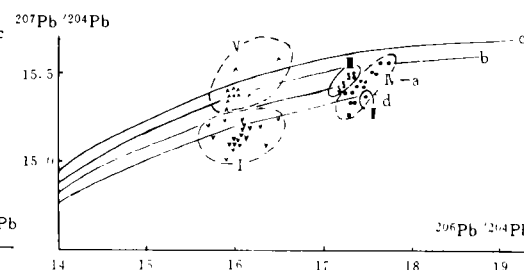
(3) 同一地体中, 金矿石铅同位素有差异, 即变质岩中矿石铅同位素比值低, 矿石年龄大; 岩体中矿石铅同位素比值高, 年龄小。虽然模式年龄并不代表金矿石的真实年龄, 但其反映了不同地体 (构造区) 的金矿石的差异特点。



I. 浑北地体 II. 遵化地体 III. 阜平地体 IV. 张宣地体 V. 辽西地体 VI. 五台地体 VII. 冀北地体

图 11 不同地体金矿石铅同位素分区

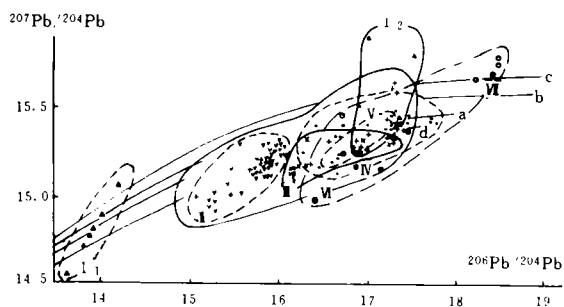
Fig. 11 Pb isotope composition for Au ore from different terranes



I. 遵化地体 II. 五台地体 III. 冀北地体 IV. 张宣地体 V. 抚南地体

图 12 不同地体花岗岩中金矿石铅同位素分区

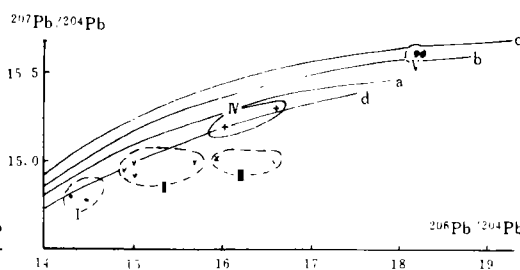
Fig. 12 pb isotopre composition of Au ore in granites of terranes



I₁. 浑北地体 I₂. 浑北地体 II. 遵化地体 III. 阜平地体 IV. 张宣地体 V. 冀北地体 VI. 辽西地体 VII. 五台地体

图 13 不同地体变质岩中金矿石铅同位素分区

Fig. 13 Au gore pb isotopes in metamorphic rocks of terranes



I. 张宣地体 II. 遵化地体 III. 阜平地体 IV. 辽西地体 V. 五台地体

图 14 不同地体斜长角闪岩类铅同位素分区

Fig. 14 Au ore pb isotopes in plagioclase amphibolite of terranes

参考文献

- 1 胡小蝶. 张宣地区太古代变质岩中脉金的成矿作用. 天津地质矿产研究所所刊, 1990
- 2 田永清. 五台山-恒山绿岩带地质及金的成矿作用. 山西科学技术出版社, 1991
- 3 余昌涛. 冀东主要类型金矿床的成因及形成机理研究. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集(冀东地区), 地质出版社, 1989

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GOLD DEPOSITS AT NORTH MARGIN OF THE NORTH CHINA CONTINENTAL TABLE, CHINA

Li Hongchen Wang Shoulun

(Tianjin Geological Academy MMI)

Abstract

In north margin of the North China Table Primary gold deposits Occur in ten types of host rocks. Each type is characterized by its own geochemistry which provides evidence for terrane division in the area.