胶东地区含金硫化物矿物

微量元素分布规律

李兆龙 许文斗 庞文忠^①

提 要 通过对胶东地区金矿床矿石矿物和脉石矿物微量元素地球化学的研究,确定了金矿床、主成矿阶段矿物中微量元素的分布特征。揭示了温度、压力(深度)、围岩蚀变作用等对成矿作用的影响和矿床间成矿物理化学条件的差异,指示了微量元素的找矿信息。

关键词 胶东 金矿 硫化物矿物 微量元素

胶东地区是我国金矿重要产地之一。这里分布着破碎蚀变岩型和含金石英脉型特大型金 矿床及一些中小型金矿。近年来,各家对区内金矿床的地质特征和成因进行了大量研究,但对 微量元素地球化学的研究则嫌不足和零散。本文试图通过对本区代表性金矿床硫化物矿物微 量元素分布特征的对比,研究金矿床成因和不同类型金矿床间成矿物理化学条件的差异,揭示 微量元素寻找金矿的指示信息。

一、成矿地质背景

胶东地区位于沂沭断裂带东侧,东部受中生代板块俯冲带控制。区内出露地层主要为晚 太古界~下元古界胶东群变质岩、原岩属基性火山岩夹泥砂质沉积建造。元古界粉子山群,为 一套碳酸盐~泥砂质沉积建造。二者均普遍经受了绿片岩相~绿帘角闪岩相的变质作用。区 内大面积分布有花岗岩、花岗闪长岩体,如玲珑花岗岩、昆嵛山花岗岩、郭家岭花岗闪长岩及滦 家河花岗岩。这些岩体与胶东群地层呈侵入接触或为交代过渡关系。金矿就分布在胶东群地 层及花岗岩发育地区,金矿呈带状分布,自西至东为新城~焦家成矿带(I)、招~平成矿带(II)、 臧各庄~栖霞成矿带(III)、牟平~乳山成矿带(IV)(图 1)。金矿床主要类型有:破碎蚀变岩型、 含金石英脉型、多金属硫化物石英脉型、细脉浸染型及胶东群变质岩为围岩的石英脉型等。

矿床中主要矿石矿物是黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂、磁黄铁矿、其次有磁铁矿、 白铁矿、镜铁矿、赤铁矿、辉铜矿、黝铜矿、斜方辉铅铋矿。所有矿床中黄铁矿是主要矿石矿物。 不同矿床类型的矿物组合有所差异。本区的 Au、Ag 矿物只局限于自然金,银金矿和金银矿, 生成较晚。

矿石中脉石矿物组合以石英和绢云母为主,在蚀变岩型矿床中钾长石、斜长石发育。其次



图 1 山东胶东半岛金矿区分布略图

Fig. 1 Distribution of Au-metallogenic belts in the East Shandong Province

是方解石、菱铁矿、铁白云石。

经显微镜研究,按矿物生成顺序可分为四个成矿阶段:①乳白色石英阶段,②黄铁矿一石 英阶段,③多金属硫化物石英阶段,④石英一碳酸盐阶段。第②③是金的主要成矿阶段,第① ④矿化阶段矿化强度较弱。

该区主要金矿石类型有:石英金矿石、黄铁矿石英金矿石、硫化物金矿石、黄铁绢英岩金矿 石、碳酸盐金矿石。最后一类金矿石只在玲珑东山发育。

二、微量元素在含金硫化物中的分布规律

黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和闪锌矿微量元素原子吸收及光谱定量分析结果见表

1,元素检测限度均小于 1ppm。同时计算了 Co/Ni、Ag/Au、Au/Te 和 Ag/Te 比值及矿物元素含量平均值和标准差。这些硫化物矿物主要采自黄铁矿~石英阶段和多金属硫化物阶段的黄铁矿石英金矿石、硫化物金矿石和黄铁绢英岩金矿石。

1、金:由表1可以看出,不同矿床间的同一种矿物金的含量不同。玲珑金矿黄铁矿平均含金量为50.78ppm,焦家金矿为224.3ppm,新城金矿为84.99ppm,三山岛金矿为8.90ppm。焦家、玲珑、新城黄铁矿含金量高,三山岛黄铁矿含金量稍低。玲珑金矿不同成矿阶段的黄铁矿含金量不同,其含量顺序为:黄铁矿(III)>黄铁矿(II)>黄铁矿(IV)>黄铁矿(I),即第 III 矿化阶段多金属硫化物阶段的黄铁矿含金最高,第1 矿化阶段黄铁矿含金最低,这与矿山开采实际情况一致,也反映了金包体常与第 II、III 矿化阶段的黄铁矿共生这一事实。

玲珑金矿多金属硫化物阶段的硫化物中,以黄铁矿含金最高,黄铜矿、方铅矿和闪锌矿含 金基本相同,都低于黄铁矿,磁黄铁矿含金最低,这反映出黄铁矿(与黄铜矿、方铅矿和闪锌矿 相比)是金的最佳载体。磁黄铁矿含金量较低,这与显微镜下所见到金包体少的事实一致。

三山岛金矿的黄铁矿含金量较低,可能与毒砂发育有关。

金在不同成矿阶段中的连续性和阶段性沉淀,说明在整个矿化期中,金是通过热液迁移和 沉淀的。

2、银:银与金不同,从早期黄铁矿(27ppm)到晚期的黄铁矿(545ppm)、方铅矿(662ppm)银的平均含量明显增加。银含量高一般是方铅矿的典型特征⁽³⁾。黄铁矿中的银含量随生成阶段的不同而有差异,如玲珑金矿第II 矿化阶段黄铁矿含银为 27ppm,而第III 矿化阶段的黄铁矿为 342ppm。同一成矿阶段不同硫化物中银含量不同,如第三成矿阶段的多金属硫化物中以方铅矿最高(662ppm),次为黄铜矿(545.3ppm)和闪锌矿(183ppm),磁黄铁矿含银最低(25ppm)。与黄铜矿、方铅矿和闪锌矿共生和伴生的金为淡黄色的银金矿,已被电子探针分析所证实。

3、碲:由该区金矿硫化物及金、银矿物分析得知,一般含碲均较低,仅焦家金矿含碲稍高 (119ppm),其次是新城金矿,石英脉型金矿相对较低。在石英脉型金矿中,以晚期方铅矿、闪 锌矿含碲较高,早期矿物含碲稍低。

在乳山金矿,Te 与 Au、Ag 结合形成碲银矿、碲金银矿及碲铅矿、碲铋矿等。乳山金矿床中 镜下所见碲银矿、碲金银矿系列矿物分布于粗晶、中细粒五角十二面体黄铁矿中,沿黄铁矿晶 隙穿插,并沿黄铁矿环带交代。因此,碲化物晚于黄铁矿形成。碲金银矿中包有岛状、细粒状、 长条状的自然金。

硫化物中碲可以置换硫,但是大的碲离子半径限制了这种置换,因而碲化物形成于矿物系 列的晚期。乳山金矿就是这种特点,表1中一些矿床晚期硫化物碲含量较高也反映了 Te 的上 述地球化学行为。

4、Ag/Au、Au/Te 及 Ag/Te 比值: 各矿化阶段中金和银之间的关系见图 2。从图中可以看出,在玲珑金矿区,第Ⅱ矿化阶段的黄铁矿与第Ⅲ 矿化阶段的黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和闪锌矿分开。这是由于第Ⅱ 到第Ⅲ 矿化阶段,Ag/Au 比值连续性增加,如黄铁矿(Ⅱ)为 2.15,黄铁矿(Ⅲ)为 23.37;第Ⅲ 矿化阶段的黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和黄铜矿中 Ag/Au 比值猛增,它们分别是 23.37、35.65、140.03 和 138.75。在第Ⅳ 矿化阶段即碳酸盐一石英阶段银含量减少

Table 1. Average values of the analyzed suitides in the north part of the East Shandong Province																
序号	矿物名称	产出位置	矿化阶段	元 素 含 量(ppm)								A /T.	A = /T+			
				Au	Ag	As	Sb	Bi	Cd	Te	Co	Ni	Ag/Au	Au/ Ie	Ag/1e	
1	黄铁矿(22) *	玲珑金矿		50.78	138.18	851.93	5.17	17.38	8.15	5. 78	130. 33	44.76	11.14	9.39	46.69	2. 91
	黄铁矿(10)		П	34.20	27.02	1130.6	9 3.7	7.5	2.4	6.62	174.9	37.6	2.15	6.74	6.63	3.93
	黄铁矿(7)		ш	88. 02	342. 33	631.44	7.78	35.14	17.17	6. 03	58. 29	40.29	23. 37	14.28	112.74	1.45
	黄铁矿(4)		IV	27.06	58.80	540.90	4. 27	7.5	0.75	3. 25	20	30.67	12.15	7.46	33.06	0.65
	磁黄铁矿(6)		ш	2.43	25.74	40.00	3.60	5.9	1.76	262	22. 4	27.4	27.90	0.92	9. 02	0.82
	黄铜矿(3)		ш	5.35	545.3	81.53	5.08	6.0	73.67	3.4	14.67	6.33	138.75	1.47	164.9	2.32
	方铅矿(3)		ш	8.73	662	50. 33	436.67	920	175.67	13	7	2.67	140.03	0.58	68.09	2.62
	闪锌矿(3)		ш	5.73	183. 18	148. 23	48.56	28. 38	1333. 3	7.23	6.67	10	35.65	4.96	91. 98	0.67
	方解石(2)		IV	0.24	0.5	125	1250	3.5	1.5	0.3	1	20	4. 23	0.94	2.5	0.05
2	黄铁矿(3)	焦家金矿		224. 3	335.97	59	8	246.67	1.3	119	31. 33	37	2. 27	1.78	3.12	0.85
3	黄铁矿(22)	新城金矿		84.99	94.15	505	11.63	28.24	1.0	16.5	58.0	40.92	6.28	9.49	7.35	1.42
4	黄铁矿(10)	三山岛金矿		8.90	140. 31	10400	170.5	8.5	15.1	2.55	11.9	20. 2	32.13	3.66	53. 80	0.77
	方铅矿(2)			9.58	519.3	18800	745	1	43	2.6	1	2.	56. 53	3. 73	195. 77	0.5
	闪锌矿(1)			3.18	175.7	3452	32.5	29.76	3300	0.6	1	13	55.25	5.3	29. 28	0. 08
5	黄铁矿(9)	河东金矿			112.78	122. 22	7.98	65.97			162.11	57.78				2.81
6	黄铁矿(2)	玲珑花岗岩		3.64	4.19	350	2.80	4.0			740	210	1.15			3. 52

胶北地区金矿硫化物矿物分析结果平均值

分析矿物个数;本院分析室分析



如 黄 铁 矿 (IV) 的 Ag / An 比 值 为 12.15,表明已不是主要成矿阶段。

图 3 的 Au-Ag-Te 三元关系图 看出,各矿化阶段中 Au/Te 比值变化 不大。第 III 矿化阶段,方铅矿、闪锌 矿、黄铜矿的 Ag 和 Te 含量增高,但 Ag 的增高更为明显,因而 Ag/Te 比值 增加亦明显。由图反映的趋势表明, 第 II 矿化阶段硫化物中 Te 没有明显 的聚集现象,而是在热液中聚集,到第 III 矿化阶段才进入硫化物结构中。

5、钴、镍:从五个矿床黄铁矿、磁 黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和脉 石矿物的微量元素及部分常量元素定 量化学分析结果(表1)看出,黄铁矿 较其他硫化物富 Co、Ni, 而磁黄铁矿 中更易富集镍。铜主要富集在闪锌矿



和方铅矿中,这与镜下见到闪锌矿中包有黄铜矿乳滴状包体事实相符。方铅矿中含 Cu 量较

高,可能与方铅矿和黄铜矿 的联生体有关。

(1) 黄铁矿中 Co 和 Ni
含量及 Co/Ni 比值

图 4 为胶东地区金矿床 中 黄 铁 矿 的 Co(X%) 和 Ni(X%) 含量二元图解。每 一个点代表一个样品化验平 均值。

X% 和 X% 含量变化较 大,如黄铁矿中 Co 含量为 8~520ppm,Ni 含量变化在 5~190ppm,多数 X%/X% 值 在 0.23~10 间变化。可见 黄铁矿中是相对富 Co 的。 但黄铁矿中 Co、Ni 平均含量 较日本、南朝鲜的浅成低温 热液金银矿床的低⁽⁴⁾。

产在玲珑花岗岩中的含

金石英脉型金矿 21 个黄铁矿样品中有 15 个 Co/Ni > 1,最高值是 10。Co/Ni 比值小于 1 的 六个样品主要是晚期即第 III、IV 矿化阶段的黄铁矿。

图 3 玲珑金矿田硫化物的 Au-Ag-Te 三角关系图

1、黄铁矿(11、111) 2、黄铜矿 3、方铅矿 4、闪锌矿

Fig. 3 Au-Ag-Te plot of sulfides from Linglong Gold Field

玲珑金矿不同矿化阶段的黄铁矿的 X‰ / X‰ 比值表现出明显的不同,从早期黄铁矿一石 英阶段,经多金属硫化物一石英阶段,到晚期碳酸盐阶段,黄铁矿的 Co/Ni 比值逐渐降低,即平 均值分别是 3.9 (II) → 1.5 (III) → 0.65 (IV)。Co 的平均含量有降低趋势,三个矿化阶段黄铁 矿 Co 含量的平均值分别是 174.9 (II) → 58.3 (III) → 20 (IV)。而 Ni 的含量有所升高,各矿化 阶段分别是 38 (II) → 40 (III) → 31 (IV)。

破碎蚀变岩型焦家金矿 3 个黄铁矿样品的 Co、Ni 平均含量分别为 31ppm 和 37ppm, Co/Ni 比值为 0.85。,新城金矿主成矿阶段黄铁矿的 22 个样品中, Co、Ni 含量平均值分别为 58ppm 和 41ppm, Co/Ni 比值平均为 1.42。若根据黄铁矿的标型晶型将矿体垂向上分为矿头、矿中、 矿尾三部分,即上、中、下三部分,自上至下其黄铁矿 Co平均含量逐渐减少, Ni 的平均含量逐 渐增加,因而 Co/Ni 比值亦逐渐减小(表 2)。在矿体中部 9 个黄铁矿 Co/Ni 比值,其中 4 个样 品小于 1,5 个样品大于 1。表现了矿体中部 Co、Ni 比值的变化与矿头和矿尾呈过渡关系。在 矿头部位的黄铁矿 Co/Ni 比值均大于 1,矿尾的黄铁矿 Co/Ni 比值小于 1。

河东金矿产在黑云母花岗闪长岩内的望儿山断裂中,属破碎蚀变岩型金矿,与新城金矿相邻。测定的9个黄铁矿样品,Co含量变化在59~310ppm间,平均为162ppm,Ni含量在26~110ppm间,平均为58ppm。Co/Ni比值平均为2.81。9个样品中有8个Co/Ni>1,仅有一个样品Co/Ni比值小于1,为0.92。该矿床中Co、Ni在不同深度上的变化表现出明显的规律性。



随深度的增加,黄铁矿 中 Co 的含量减少,Ni 的含量在增加,Co/Ni 比值也随之逐渐减小 (表 2、图 4)。河东金矿 在该区破碎蚀变岩型金 矿类型中,Co、Ni 含量 及 Co/Ni 比值是相对较 高的,其数据特征与玲 珑金矿非常相似,可能 系岩体影响所致。

三山岛金矿位于玲 珑花岗岩与胶东群地层 接触带岩体一侧的断裂 带中,属破碎蚀变岩型 金矿。测定的10个黄 铁矿样品为黄铁绢英岩 中的黄铁矿,并与黄铜 矿、方铅矿和闪锌矿伴 生。其特征是黄铁矿中 的 Co、Ni 含量和 Co/Ni



图 4 胶东地区金矿中黄铁矿的 Co和 Ni分布 1、玲珑金矿 2、三山岛金矿 3、新城金矿 4、焦家金矿 5、河东金矿

Fig. 4 Co, Ni distribution in pyrite from the East Shandong Province

黄铁矿 Co、Ni 含量表

Table 2. Co, Ni. content in pyrite

表 2

样 品	矿区	位 置	Co (ppm)	Ni (ppm)	Co/Ni	
		矿头(5)	125	51	2. 9	
黄铁矿	新城	矿中(9)	44. 4	60	2.7	
		矿尾(5)	74.4	80.6	0.72	
		矿头(4)	192.5	48	4.6	
黄铁矿	河 东 *	矿中(3)	173. 3	51.3	3. 5	
		 矿尾(2)	84.5	87	0.9	

* 据王存昌资料

比值均低,且变化范围很窄。黄铁矿中 Co 含量为 8~15ppm,平均值为 10.6ppm,Ni 含量为 8~56ppm,平均值为 20.2ppm。黄铁矿的 10 个样品中有 8 个样品 Co/No < 1,有两个样品大于 1,均为 1.25。在黄铁矿 Co、Ni 分布图上相对集中在图的左下部,充分显示了 Co、Ni 含量低 及变化范围窄这一特点(图 4)。

关于黄铁矿的 Co/Ni 比值,前人已进行过深入研究、可作为矿床成因的地球化学标志。是



1、磁黄铁矿 2、黄铜矿 3、闪锌矿 4、方铅矿 Fig. 5 Co-Ni Plot of pyrite from Linglong Au-deposit

矿床形成环境、物质来源和变质程度的 指示。 1972 年 Price ^[2] 指出, 沉积形成 的黄铁矿,通常 Co、Ni 含量低,并主要是 Co/Ni 比值低(平均值 0.63)。热液脉状 黄铁矿显示 Co、Ni 含量及 Co/Ni 比值高 且变化大,Co/Ni平均值约为1.17,并且 单一矿床的平均值一般小于 5。火山一 喷气矿床,黄铁矿 Co/Ni 比值界于 5~ 50 间, Co 通常大于 100ppm, Ni 通常小 于100ppm。胶东金矿黄铁矿 Co、Ni 含 量及 Co/Ni 比值表现了热液脉状黄铁矿 的特征^[3],这与黄铁矿的地质产状是一 致的。焦家金矿和三山岛金矿,尤其后 者表现的 Co、Ni 含量低及 Co/Ni 比值小 于1的特点,反映了成矿热液在运移、聚 集和交代过程中受了胶东群地层斜长角 闪片麻岩的影响,并在交代蚀变作用中,

岩体中的角闪石、黑云母等富 Fe、Mg 矿物被绢云母交代时,使 Fe、Mg、Ni 转入溶液,影响了由成矿溶液析出的黄铁矿的 Co/Ni 比值。

Goldschmidt (1954) 提出 黄铁矿 Co 含量与矿床形成温 度之间的关系。玲珑金矿由第 II 成矿阶段到第 IV 成矿阶段, 表现为黄铁矿 Co 含量在降 低,Ni 含量增加,Co/Ni 比值减 小的规律,正是成矿温度由中 温向低温逐渐降低的过程,是 受温度制约的。

新城金矿,河东金矿随深度的增加,黄铁矿 Co 含量降低,Ni 含量增加,Co/Ni 比值减小的变化规律与 Hawley (1952)报导的加拿大东部一些金矿床的黄铁矿 Co 和 Ni 含量与深度有关的资料是相似的⁽³⁾。据 Kaneda 等(1986)报导,



朝鲜同一类型金银矿床的 Co/Ni 比值变化接近一致 ⁶⁴,这与胶东地区金矿床 Co/Ni 比值变化

是不同的。

(2)磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和闪锌矿中的 Co、Ni 分布

玲珑金矿 5 个与黄铁矿共生的磁黄铁矿样品微量元素分析结果见表 1。钴和镍含量均较低,变化范围窄。钴含量变化在 20~37 ppm 间,镍含量变化在 16~72 ppm 间,Co、Ni 平均值分别为 22 ppm 和 27 ppm。Co/Ni 比值多大于 1 或接近于 1。 86LC-129 号样 Co/Ni 比值最低, 仅 0.39,该样取自玲珑 108 号矿脉多金属硫化物中的磁黄铁矿团块,可能为晚期阶段的产物。

硫化物矿物 Co 对 Ni 图解(图 5)看出,磁黄铁矿 Co、Ni 含量较黄铁矿的低,而较黄铜矿、 方铅矿和闪锌矿为高。在结构方面,磁黄铁矿更利于镍的富集而较不利于钴的进入。

玲珑矿区的三个黄铜矿均采自第Ⅲ矿化阶段多金属硫化物阶段的矿脉中。钴含量变化 在 3~29ppm 间,Ni 含量变化在 0~19ppm 间。平均值分别为 14.6ppm 和 6.3ppm。



图 7 石英中 Co、Ni 的分布 Fig. 7 Co、Ni distribution in quartz

1,一个样品大于1。

(3) 黄铁矿和磁黄铁矿间 Co 和 Ni 的分布关系

共生矿物对黄铁矿和磁黄铁矿中 Co 和 Ni 的分布表示在图 6 中。 X²⁰ 对 X²⁰ (图 6—A)显示为平滑的线性变化,表明了矿物相对处于平衡状态,应服从亨利定律,成矿溶液中溶质和溶剂间的取代变化甚少。直线缓倾斜地沿 X²⁰ 座标延伸,表明了当黄铁矿和磁黄铁矿共生时,在黄铁矿中 Co 的富集程度大于 Ni,而在磁黄铁矿中 Ni 的富集大于 Co (图 6—B)。这是由于黄铁矿中较大晶体场稳定能的 C³⁺ 是低旋的,而相反,高旋的 Ni²⁺ 更易进入磁黄铁矿的晶格。

(4) 石英中的 Co 和 Ni 及 Au 和 Ag

测定了金矿脉中 20 个石英样品的 Ni 和 Co 含量及 Au 和 Ag 含量。Co 和 Ni 均在较窄的 区间变化。Co 含量在 1~7ppm 间, Ni 含量在 5~13ppm 间。石英中 Ni 和 Co 图解表明, 其值 落在 0.125~1 的 Co/Ni 比值区(图 7)。即 Co/Ni 比值均小于 1。石英中金与银的含量分别为

玲珑矿区及三山岛矿区的五 个方铅矿样品,表现出了该区各 种硫化物中 Co、Ni 的最低含量。 玲珑矿区三个样品 Co 含量在 4~10ppm,Ni 含量在 0~4ppm 间,平均值分别为 7ppm 和 3ppm。Co/Ni > 1。三山岛金矿 二个方铅矿样品 Co 和 Ni 的含量 均分别是 1 和 2ppm,Co/Ni < 1。

四个闪锌矿的微量元素含量 见表1及图5。总的特征是Co、 Ni含量均低,而Ni含量略高于 Co含量。Co含量在1~8ppm间 变化,Ni含量在3~15ppm间变 化。平均值分别为5ppm和 11ppm,Co/Ni比值三个样品小于 0.005~10ppm 和 0.16~43ppm,其变化范围较宽。蚀变岩型金矿床,如焦家、新城金矿的石英 中较脉状石英含银高。Au/Ag 比值变化范围在 0.003~1.55 之间,这可能是石英中微细粒包 体金引起的。

(5) 黄铁矿及石英之间 Ni/Co 的关系

有关硫化物和硅酸盐溶液及硫化物 和硅酸盐矿物之间,微量金属元素的分 布已作过研究,对于 Ni 和 Co 分布习性 有过报导。Rajamani 和 Noldrett (1978) 测定了不混溶硫化物和玄武质熔融体中 Ni 和 Co 的分布系数。Rajamani (1976) 估算了单一硫化物固态熔融体的 Ni/Co 比值与斜方辉石的 Ni/Co 比值在 900℃ 时为 48⁽⁶⁾。

总之前人研究认为,无论在固态或 液态条件下,随着温度的增加,Ni趋于 在硫化物中富集。而 Co 随温度的降 低,趋于在岩石中富集。

胶东地区金矿成矿作用与硫化物和 石英关系密切,这里只进行初步讨论。

从胶东地区金矿床的 (Ni/Co)₁₉ - (Ni/Co)₂ 图解看出,其值投影在低于

900 C 温度线 (据 Rajamani1976) 以下区域, (Ni/Co)₁₉ / (Ni/Co)₂ 比值在 1.20~0.025 间 (图 8)。按其 (Ni/Co)₁₉ / (Ni/Co)₂ 比值, 划分为两组, 即(A) 0.4~1.20, (B) 0.2~0.025。如上所 述, A 组样品主要取自新城、焦家、三山岛破碎蚀变岩型金矿床, 形成温度稍高; B 组样品取自 玲珑含金石英脉中, 形成温度稍低, 这与矿床的测温结果是一致的。同时也是矿床生成环境不 同所致, 是区分矿床类型的一个标志。

(6)黄铁矿和石英中 Co/Ni 与 Au/Ag 之间的关系

据 Hawley (1952)和 Keays 及 Kirkland (1972)报导,正岩浆矿床 (Au/Ag)_{脉石} 变化和 Ni 含量或矿石 (Ni/Co)比值呈线性关系^[7]。而 Kaneda 等 (1986)研究朝鲜金银矿床揭示黄铁矿一脉石地质温度计并非反映在矿石中 Au/Ag 比值的变化上。Au/Ag 矿化作用是与毒砂的 Ni 和 Co 分布有密切关系。

对胶东地区部分蚀变岩型金矿和石英脉型金矿的石英进行了研究,石英的 Au/Ag 与 Co/ Ni 比值呈线性关系(图 9),表明了(Au/Ag) 矿化作用与石英中 Co、Ni 的分布有密切关系。图 10 表示了黄铁矿中 Co/Ni 与 Au/Ag 比值间关系。在玲珑金矿石英脉中黄铁矿的 Co/Ni 与 Au/Ag 间相对来说呈线性分布,表明 Au/Ag 矿化作用与 Co、Ni 分布密切有关。而在新城、焦 家、三山岛蚀变岩型金矿中,黄铁矿的 Au/Ag 和 Co/Ni 间没有明显的依赖关系。所以认为在



图8 黄铁矿和石英 Ni/Co 比值关系图
粗线是假设 900℃线(据 Rajamani, 1976)、圆括弧内数字
代表(Ni/Co)黄铁矿/(Ni/Co)石英的比值 ×破碎蚀变岩
型金矿 ・石英脉型金矿



44



含金石英脉型金矿中, Au/Ag 矿化作用与黄铁矿、石英中的 Co、Ni 分布有密切关系, 矿化作用随 Co/Ni 比值的增大 而增强。在破碎蚀变岩型金矿中, Au/Ag 矿化作用与石英 中的 Co、Ni 分布有关, 而与黄铁矿中的 Co、Ni 分布关系不 明显。这一特点与朝鲜的金银矿床并不一致。

三、结论

1、胶东地区金矿矿石显微镜下研究,揭示了矿物共生 次序,据此划分为四个成矿阶段,从早到晚为:乳白色石英 阶段(1)、黄铁矿一石英阶段(II),多金属硫化物一石英阶段 (III)、碳酸盐一石英阶段(IV)。金在四个矿化阶段是重复沉 淀的。第 II、III 为主成矿阶段,是连续演化的热液沉淀过 程。

2、不同硫化物中的 Ag/Au 比值不同。黄铁矿中的 Ag/Au 比值较低,伴生金的成色较高;黄铜矿、闪锌矿和方 铅矿的 Ag/Au 比值较高,伴生金的成色则较低。

quartz in gold deposits 不同成矿阶段硫化物的 Au、Ag 含量不同,硫化物 Au、Ag 的最高含量与矿物生成的主矿化阶段相一致。

3、含金石英脉型金矿,不同矿化阶段的黄铁矿 Co/Ni 比值不同,多大于1。从早到晚,随 着成矿温度的降低,黄铁矿中 Co 的含量降低,Ni 含量增加,Co/Ni 比值逐渐降低。

破碎蚀变岩型金矿中,三山岛、焦家金矿黄铁矿的 Co/Ni 比值小于 1。是胶东群地层和岩体中角闪石、黑云母的 Fe、Mg 和 Ni 在交代蚀变作用中进入成矿溶液引起的。新城、河东金矿黄铁矿的 Co/Ni 比值大于 1。随着深度的增加,黄铁矿中 Co 含量降低,Ni 含量增高,Co/Ni 比值逐渐减少。在新城并有:矿头部位黄铁矿的 Co/Ni > 1,矿体中部 Co/Ni ≃ 1,矿尾 Co/Ni < 1 的规律。

该区主要黄铁矿的 Co/Ni 比值在 0.7~3.9 之间,多大于 1,表明了矿床的热液成因。不同类型金矿中 Co/Ni 比值不同,是成矿物理化学条件差异所致。也是寻找不同类型金矿的指示标志。

4、在共生硫化物对间微量元素的分布,由于交代蚀变作用的影响,引起了偏离亨利定律。 但黄铁矿一磁黄铁矿矿物对为平衡状态的组合,黄铁矿中 Co 的富集程度大于 Ni,而在磁黄铁 矿中 Ni 的富集大于 Co。

5、石英中 Co 和 Ni 值均在较窄的范围内, Co 含量在 1~7ppm, Ni 含量为 5~13ppm, Co/Ni 比值在 1~0.125 间。(Ni/Co)_{黄铁矿}/(Ni/Co)_{石英}比值为 0.025~1.20。根据本文研究,其比值 是随成矿温度的增加而增加,据此提出,胶东金矿形成温度有自蚀变岩型向石英脉型不断下降 的趋势。





6、从石英及黄铁矿的 Au/Ag-Co/Ni 图解得知,在含金石英脉金矿中,相对呈线性关系,可认为金银矿化作用是和黄铁矿、石英中的 Co、Ni 分布有密切关系。在蚀变岩型金矿中,金银 矿化作用与石英的 Co、Ni 分布有关,而与黄铁矿中的 Co、Ni 分布无关。

7、Ag/Au及 Co/Ni 比值是寻找不同类型金矿的地球化学标志, Co/Ni 比值亦是金矿体深 部找矿的地球化学标志。

个别微量元素的高含量(如闪锌矿中的镉)为矿石矿物的综合利用提供了信息。

文 献

- (1) E1-Bouseily, A. M., E1-Danhar, M. A. et al., Ore-microscopic and geochemical characteristics of gold-bearing sulfide mineral, E1 Sid Gold Mine, Eastern, Desert, Egypt, Mineralium Deposita, (20) 1985
- (2) Price, B. G., Minor elements in pyrites from the Smithers Map area, B. C. and exploration applications of minor elements studies, Thesis Univ. of British Columbia, 1972, 270
- (3) Mookherjce, A., and Philip, R, Distribution of copper, cobalt and nickel in ores and host-rocks, Mineral Deposita (Berl), (14) 1979
- (4) Kaneda, H., Shimazaki, H., et al., Mineralogy and geochemistry of the Au-Ag ore deposits of the South Korean Peninsula, Mineral, Deposita, (21) 1986
- [5] Hawley, J. E., Spectrographic studies of pyrite in some eastern Canadian gold mines, Econ. Geol. (27) 1952
- (6) Keays, R. R. , Kirkland, M. C. , Hydrothermal mobilization of gold from copper-nickel sulfides and ore genesis at the Thompson

River copper mine, Victoria, Australia, Econ. Geol. (67) 1972, 1263~ 1275

Rajamani, V. Distribution of iron, cobalt, and nickel between Synthetic sulfide and orthopyroxene at 900°C Econ. Geol. (71) 1976, 795~802

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF MICROELEMENTS IN THE Au-BEARING SULFIDES FROM THE GOLD ORE DEPOSITS IN EAST SHANDONG PROVINCE

Li Zhaolong Xu Wendou Pang Wenzhong

Abstract

The East Shandong Province is a main gold — producing area in China. This paper presents a systematic study about the distribution chracteristics of sulfide and gangue minerals of the deposits. It is revealed that temperature, pressure (depth) and wall rock alteration are of influential factors on gold mineralization and that individual gold deposits are different in their physico — chemical conditions.

Different sulfide has different ratio of Au and Ag. Low ratio are with pyrite. Au, Ag content of sulfides is different with their forming stages. Maximum of Au and Ag is coincided with the main mineralization stage.

Pyrite from the gold bearing vein — type deposit has Co/Ni ratios > 1 and Co content is decreased, Ni content increased with the decrease of ore—forming temperature.

Pyrite from the fractured—altered rock type of Sanshandao and Jaojia gold deposits has Co/Ni ratios < 1, This ratio may be resulted from metasomatism of the wall rock during which Fe, Mg, Ni of biotite merged into ore — forming fluid. Pyrite of Xincheng and Hedong gold deposit has decreased Co values and increased Ni values with increasing depth.

Co values of quartz is 1-7 ppm; Ni, 5-13 ppm. Co/Ni ratio is 1-0.125. Au-Ag-Co/Ni. Plot of quartz and pyrite illustrates a linear correlation for gold — bearing vein type deposit. Gold and silver mineralization is closely related to the distribution of Co and Ni in pyrite and quartz. For fractured—altered rock type gold deposits, it is related to Co, Ni distribution in quartz, not related to that in pyrite.