

黄铁矿的环带结构与金矿源的关系

——以皖南东至金矿化区为例^①

杨书桐

(南京大学地球科学系)

提 要 本文通过对产于中元古界木坑组地层中的含金黄铁矿的矿物学成分研究,发现不少黄铁矿具有双重环带特征。含金黄铁矿在沉积成岩及后生作用过程中,其边缘由于处在相对开放体系里直接与粒间流体接触,从而受到流体的交代作用,使得一部分金被释放出来作为新的矿源被吸附富集在上部的炭硅泥建造里,同时黄铁矿颗粒边缘演变为沉积型特点;其核部由于封闭效应,使得金难以释放出来,成因上仍保留原始物源区成因特征。因此,黄铁矿边缘和核部造成的成分差和成因差就组成了双重环带结构即成分环带和成因环带。另外本文也进一步说明了含金黄铁矿的成分环带结构是金矿源得以活化转移的有利条件。

关键词 双重环带结构 金矿源 成岩后生作用 东至金矿化区

1 皖南东至金矿化区的沉积建造特征

本区出露地层主要为中元古界的木坑组至志留系的高家边组。向北地层年代逐渐变新,从底到顶地层岩相特点变化明显,可分出三个沉积建造,从老到新依次为浊积岩建造、炭硅泥建造及钙泥质建造(杨书桐,1989)。所有建造产在两边受北北东向断裂控制的次级盆地里(图1)。盆地长约80km,宽30km,断裂两边沉积相变明显,其特点与加拿大育空地区的 Selwyn 盆地相似(Large,1985),内部建造特点如下:

浊积岩建造以中元古界的木坑组和牛屋组为代表,岩性以凝灰质杂砂岩、粉砂岩和泥质板岩为主,长英质矿物火山晶屑仍保留,说明其蚀源区具有中酸性火山岩。另外,此建造中浸染状黄铁矿普遍发育,尤其是在成熟度较低的硬砂岩里更是如此。黄铁矿含量为2~3%,多者达6%,不少黄铁矿都具有成分环带特征。

炭硅泥建造不整合覆盖于浊积岩建造之上,以震旦系兰田组,皮园村组和下寒武统黄柏岭组为代表,受轻微变质作用,岩石类型以炭质板岩、粘土质板岩和硅质岩为主,系一套海盆相还

^① 本文为国家七·五攻关项目子课题

(收稿:1992. 4. 17)

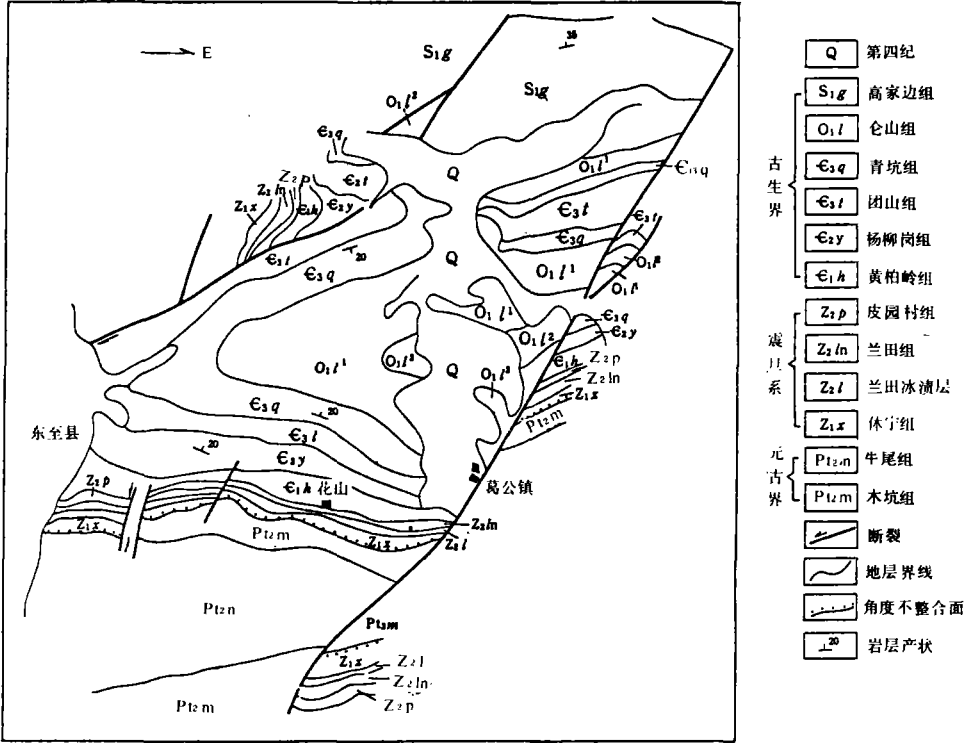


图1 皖南东至金矿化区沉积盆地地质平面图

Fig. 1 Geological map of sedimentary subbasin in Dongzhi gold metallogenic field, Southern Anhui.

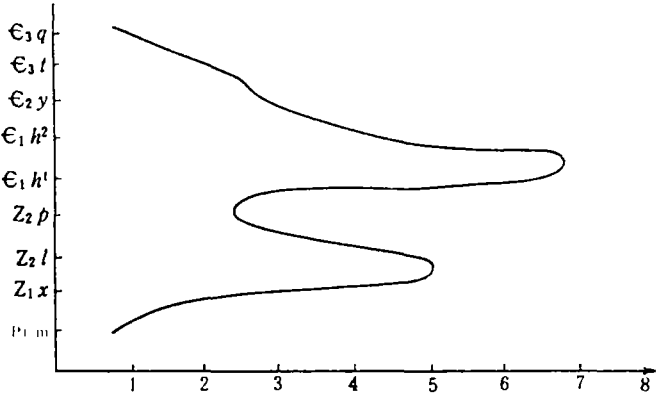


图2 各时代地层的金背景值与克拉克值比值示意图

Fig. 2 Ratio pattern of Au background value to Clarkey value

原条件下的沉积物,具少量金矿化,如柴山金矿就产于此建造里。

钙泥质建造整合覆盖于炭硅泥建造之上,以中寒武统杨柳岗组、上寒武统团山组、青坑组和奥陶系下统仑山组为代表,岩性以泥灰岩和白云岩为主,金矿化高度发育,如本区最好的花山金矿即位于此建造的底部。

从上述三建造的含金背景值来看,炭硅泥建造最高,为 $5.1 \sim 12 \times 10^{-9}$ ^①,浊积岩建造为 $1.2 \sim 4.0 \times 10^{-9}$,钙泥质建造为 $3 \sim 5 \times 10^{-9}$,和同类岩性的克拉克值相比,其中以炭硅泥建造中的兰田组和黄柏岭组含量最高(图2)。由于炭硅泥建造有机炭含量达 $0.2 \sim 0.3 \text{wt}\%$ ^②,其它两建造有机炭含量接近于零,另外其孔隙度较小为 1.41% ,渗透率为 0.15md ,沉积物粒度细比表面积大、因此炭硅泥建造是金的高度吸附富集层。关于地层背景中的Au含量与有机炭的关系,A. S. Radtke 和 B. Z. Scheiner(1987)研究表明,在含有机炭为 $0.3 \text{wt}\%$ 或更高的岩石中金含量将明显增加,他们同样认为炭质页岩、硅质岩粒度细比表面积大更有利于对金的吸附。

然而钙泥质建造其孔隙度较大为 5.29% ,渗透率为 0.25md (嵇复元等,1988),是易溶岩,与底部的炭硅泥建造组成天然的双层结构,在含矿热液的对流循环作用下,底部炭硅泥建造吸附的矿质极容易被活化转移出来在钙泥质建造中高度富集如花山金矿化即为一例,这已得到C、H、O、S同位素的证实(杨书桐,1989硕士论文)。

为了研究盆地系统内沉积物演化的衍生关系,作者对一部分HFSE及LILE微量元素作了系统的分析。同内生作用如岩浆分异结晶作用过程中微量元素的演化特点相似,一个盆地里的外生沉积分异作用过程中,不同时代沉积物里的一些微量元素组成及含量也具有一定的相关关系,为此我们对各个时代地层作了11个元素的XRFS分析(表1),我们发现HFSE元素中 $\text{lgZr}-\text{Nb}$ 其线性关系相当明显(图3),反映了盆地中不同时代的沉积物虽然沉积环境不同,但它们仍具有有机的联系,这可能是同一物源于不同阶段在不同沉积环境中衍生的产物;另外在LILE元素中 Sr/Ba 比值有从老到新逐渐增大, Rb/Sr 比值逐渐减小之势。

综上所述,这三个沉积建造是相互关联的,对整个金矿化系统过程来讲,各自起不同的作用:浊积岩建造因含有含金环带状黄铁矿,而成为金矿源的释放体,这点后面将有论述;炭硅泥建造则起高度吸附矿质的作用,把下部浊积岩建造中释放的矿质有利地聚集起来;钙泥质建造因容矿岩石较活泼,本身孔隙度较大,因此对矿化最终就位并高度富集起重要的作用。简言之,三建造之间的关系分别为‘源’、‘存’、‘储’的关系。

2 环带状黄铁矿的产出背景

前已述及,浊积岩建造木坑组地层中环带状黄铁矿较发育,有的呈浑圆状,有的呈半自形,少量呈自形晶产出,自形者形态多为立方体,边长大的为 1cm ,小的为 0.02cm 。

通过对黄铁矿的含金量分析,发现这种黄铁矿中普遍含金,高者达 $1.2 \text{wt}\%$;另外对含金黄

① 南京大学地科系中心实验室于振凡测试

② 南京大学现代分析中心元素分析仪室测试

铁矿通过电子探针、SEM、TEM、EPR 及 Mössbauer 谱的研究,发现大部分金以 Au^{+1} 的晶格金方式赋存在黄铁矿中^[1]。这种金的赋存状态特点和法国的莱卡特耐特金矿(X. wu et al, 1990)^[5]以及津巴布韦的布罗斯托克金矿(T. Oberthür, 1990; R. Saager, 1990)^[3]相似,反映了硫化物的非平衡性特点(Ph. Marion, 1989, 杨书桐, 1991。^[5]

表1 各地层样品 XRFS 分析数据表* (ppm)

Table 1 XRFS analytical data of the samples in different rock units(ppm)

样号	Ba	Nb	Zr	Sr	Rb	Sr/Ba	Rb/Sr
Y ₀₀₁ Pt ₂ m 板岩	589.7	12.78	192.13	42	116	0.07	2.76
Y ₀₀₃ Pt ₂ m 砂砾岩	613.8	12.70	224.01	32.79	116.66	0.05	2.76
Y ₀₀₅ Pt ₂ m 板岩	425.67	9.86	141.76	56.65	70.51	0.13	1.24
Y ₀₀₇ Z ₁ X 粉砂岩	1669	13.87	335.71	448.1	143.3	0.26	3.56
Y ₀₁₀ Z ₂ l 泥砾岩	1244	17.50	202.91	12.15	132.7	0.01	10.92
Y ₀₁₁ Z ₂ l 泥砾岩	1125	16.87	209.70	20.94	125.9	0.019	6.01
Y ₀₁₃ Z ₂ ln 条带状硅质岩	1050	6.78	49.37	5.26	52.72	0.005	10.41
Y ₀₁₅ Z ₂ P 硅质岩	130.37	3.59	12.46	5.12	4.15	0.03	0.81
Y ₀₁₆ Z ₂ P 炭质硅质岩	98.77	2.58	14.99	4.08	2.62	0.05	0.65
Y ₀₃₃ ∈ _{3q} 泥灰岩	1032.8	10.74	99.29	24.06	21.11	0.32	0.24
Y ₀₃₅ ∈ _{1h} ² 粉砂岩	66.89	2.49	45.23	6.9	6	0.10	0.87
Y ₀₄₀ ∈ _{3q} 灰岩	1244	5.79	59.77	666	46.9	0.53	0.07
Y ₀₄₁ ∈ _{2Y} 灰岩	995	15.37	147.01	188	149	0.19	0.79
Y ₀₇₉ ∈ _{3q} 白云岩	328.20	3.52	19.57	329.60	1.72	0.03	0.81

* 南京大学现代分析中心 X—荧光分析室测试

3 含金黄铁矿的环带结构特征

3.1 黄铁矿的成因环带

Ramdohr (1975) 在研究南非金矿时,发现了金矿物颗粒的“薄银边”环带,他认为是沉积分异及成岩作用的结果。与此类似,作者在对浊积岩建造中的黄铁矿进行 Co、Ni 等微量元素进行分析时,发现其中也存在成因环带。为了判别黄铁矿的成因特点,我们选取了 Co—Ni 二元素成因判别图,因为它比单纯的 Co/Ni 比值更准确(scott, 1987)。通过电子探针分析,具体结果如表 2 所示,在图 4 中可以看,黄铁矿一部分位于沉积成因区,另一部分位于火山成因区或岩浆分异区与沉积成因区的过渡区,后者显示了原始物源区的特征。

另外,对同一黄铁矿颗粒,发现其边缘已转化为沉积成因如点 2,中心为岩浆分异区与沉积成因之间的过渡区如点 1;另一颗粒,边缘为沉积成因区如点 3,中心为火山成因区如点 4,这一现象在含金黄铁矿中相当普遍。

最后,我们对环带状黄铁矿的成分进行了电镜研究。在放大倍数为 3.7 万倍下,黄铁矿核部

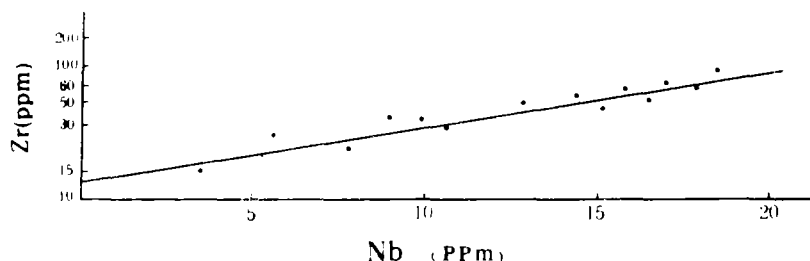
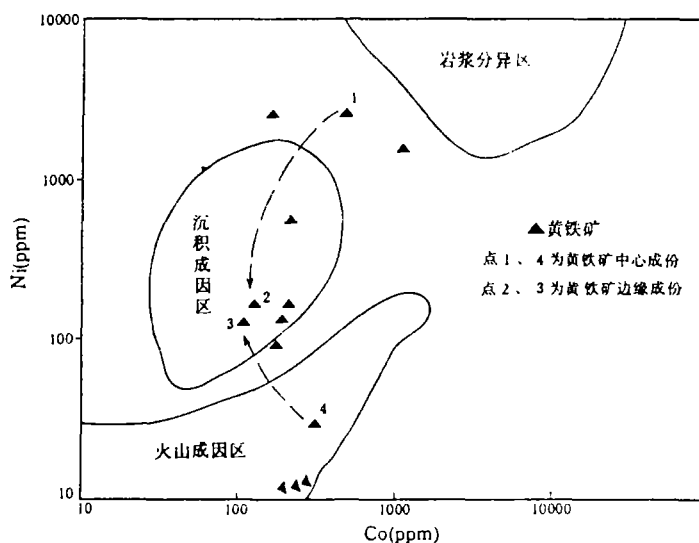


图3 各地层中 lgZr—Nb 图

Fig. 3 lgZr VS. Nb in different samples of particular ages



(Co, Ni 二元素由马鞍山钢院电探室测试)

图4 黄铁矿的 Co—Ni 元素成因判别图

Fig. 4 Co Versus Ni diagram for the differentiation of pyritic genesis.

的成分除含 Au 外,其它与标准的黄铁矿成分差不多(图5);相反,在对黄铁矿边缘的能谱分析图中(图6),除含极少量金外(有的不含金),在放大倍数为1万倍条件下,黄铁矿中杂质较多,如在硫峰的左边有硅及钠等,这说明黄铁矿的边缘遭受了溶液的交代作用,从而由于流体的交代作用,使得边缘的 Au 被活化转移出来了。

上述这些现象说明了黄铁矿的边缘处在相对开放的体系里,在沉积成岩后生作用过程中,由于受流体的交代作用影响,其边缘本身已被转化为沉积成因的颗粒;相反,核心由于处在更封闭的体系里,流体中阴、阳离子在黄铁矿固体中的渗透扩散速度很慢,因而得到了不受外界影响的保护,结果仍保留了原始物源区的特点,即火山或岩浆成因的特点。

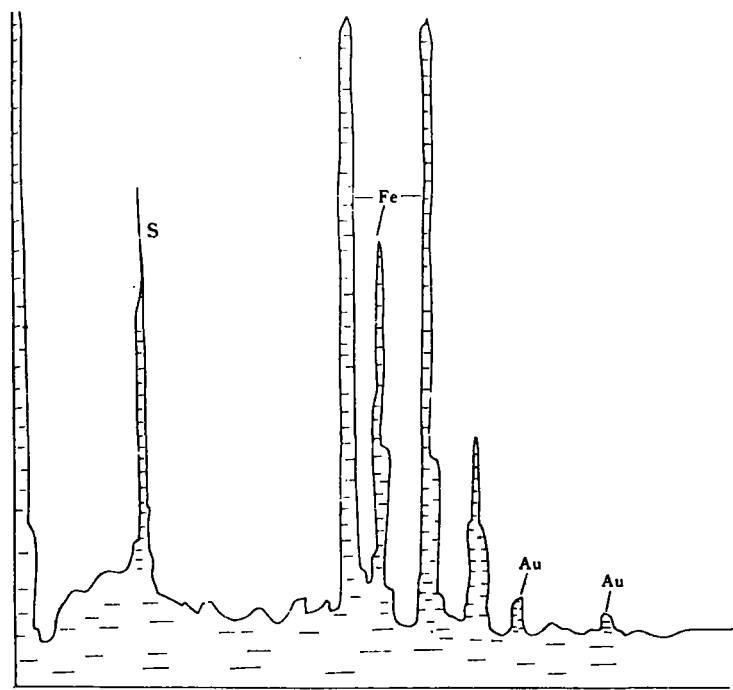


图5 黄铁矿核心的能谱峰

Fig. 5 The EDS peaks of pyritic core in TEM

(南京大学现代分析中心电镜室测试)

3.2 黄铁矿的成分环带特征

作者在发现黄铁矿具有成因环带的基础上,相应地又发现了成分环带的特征。具体体现在 Au、As、Sb 等成矿元素的含量上,从核心到边缘出现浓度梯度。黄铁矿的中心部位由于受影响较小,Au 等元素含量较高,而边缘由于受到流体的交代作用使得一些不稳定的晶格金得以释放出来转化为新的矿源。通过对黄铁矿中心和边缘部位的电子探针分析,测得了大量的 Au、As、Sb 元素的含量,换算成平均值如表2所示。

表2 黄铁矿成分环带中各元素含量的平均值*(wt%)

Table 2 The mean value of elemental distribution in zonal pyrites(wt%)

元素含量 位 置	Au	As	Sb	Ag
黄铁矿中心	0.0738	0.0951	0.0863	0.2610
黄铁矿边缘	0.0012	0.0391	0.0640	0.2022

* 马鞍山钢院电探室测试

我们发现:Au 元素含量从中心到边缘普遍降低了很多,这种成分环带所造成的差额将释

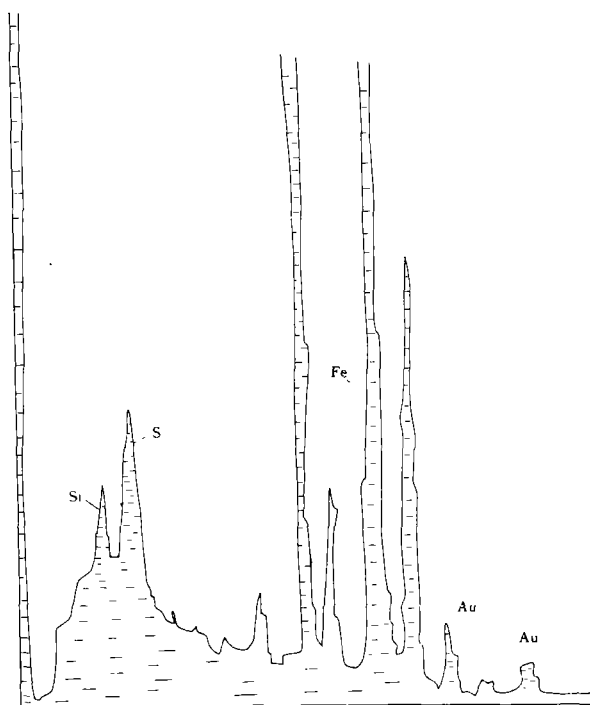


图6 黄铁矿边缘的能谱峰

Fig. 6 The EDS peaks of pyritic rim in TEM

放出来成为潜在的矿源。作者为了估算所释放出的矿源,参考表3,从中心到边缘 Au 含量减少了726ppm,而这种黄铁矿在木坑组地层中有时多达5%,因此可以估算出1千吨岩石中就可以释放出约40kg 的金,这个数量还是相当可观的。前已述及,此浊积岩建造中黄铁矿释放出来的金矿源不少被吸附富集在上部的炭硅泥建造里。其它如 As、Sb 也有相似的情况,因此通过含金黄铁矿的矿物学研究可以揭示出金矿源的衍生性,也说明了沉积成岩分异过程中,含金黄铁矿由于受到古流体的交代作用,产生了金的再分配和活化转移现象,这样使得这种圈闭在晶格里的金成为有效的易释放金,从而为后期成矿提供了大量的物质基础。

4 结论

(1) 浊积岩建造、炭硅泥建造、钙泥质建造在东至金矿化盆地内的依次出现反映了沉积环境的系统演变规律,金矿化作用过程也是此系统演变的一个组成部分,其中浊积岩建造起到提

供矿源的作用,本身并不出现重要的矿化;炭硅泥建造起吸附聚集金矿源的作用;钙泥质建造才是矿化的最终有利富集层和矿化就位层。

(2)浊积岩建造中木坑组地层里的含金黄铁矿由于受到古流体的交代作用,其边缘不少不稳定的晶格金被优先释放出来,在后期的风化、沉积成岩过程中被吸附在上部的炭硅泥建造里成为新的衍生矿源层,从而使得黄铁矿具环带结构特征。

(3)由于黄铁矿的核心和边缘处于不同的体系里,核心由于受到保护作用,在成因上继承了物源区成因的特点;相反,黄铁矿的边缘由于在流体搬运、沉积成岩过程中,长期与外界相互作用,从而在成因特点上转化为沉积成因的特点,这已得到 Co、Ni 等微量元素特点的证实。

本文是在导师徐克勤教授的直接指导,博士论文导师胡受奚教授的鼓励和启发下完成的,同时刘英俊教授作为课题负责人也给予了很大的帮助;另外安徽地科所的嵇复元工程师也给予了很大支持,作者在此一并致谢!

参考文献

- 1 杨书桐. 皖南东至金矿化区金的赋存状态系统研究. 南京大学学报(黄金专辑), 1992, (3)
- 2 胡受奚, 等. 矿床学. 地质出版社, 1981
- 3 Oberthür T and Saager R et al. Geological, mineralogical and geochemical aspects of Archean Banded Iron—Formation—hosted gold deposits; some examples from southern Africa. *Mineral. Deposita* 25, 1990
- 4 Romberger S B. Ore deposits # 9: Disseminated gold deposits. *Geoscience Canada*, 1986, 13(1)
- 5 Wu X and Delbove F et al. Conditions of formation of gold—bearing arsenopyrite; a comparison of synthetic crystals with samples from le Châtlet gold deposit, Creuse, France. *Mineral. Deposita*, 25, S8—12, 1990
- 6 Yang Shutong and Hu lunchi. The geneses of elemental assemblage variation in a Linear Subbasin—controlled gold belt of Southern china. *Brasil Gold* 91, 1991

IMPLICATION OF THE ZONAL TEXTURE OF GOLD—BEARING PYRITES ON GOLD SOURCE; AN EXAMPLE FROM DONGZHI GOLD METALLOGENIC FIELD, SOUTHERN ANHUI

Yang Shutong

(Dept. of geosciences, Nanjing Univ.)

Abstract

Based on the study of sedimentary disseminated pyrites in Late Mid—Proterozoic Mukeng formation, the paper has demonstrated that double zonal texture, i. e. compositional and genetic zonation existed in gold—bearing pyrites. Its rim, subject to the reworking of fluids and reequilibrium, genetically proved sedimentary and also released a large amount of gold which turned to be potential sources; In a contrary, its core stayed unchanged because of closed protection effect. The zonal texture within pyrites shows great importance on gold prospecting and exploration.