

西秦岭礼岷金矿带李坝群含金 浊积岩建造地球化学特征^①

¹ 孙省利 ² 宋春晖 ² 武安斌 ¹ 袁明坤 ¹ 高北奎

¹ (甘肃有色地质研究所, 兰州 730000)

² (兰州大学, 兰州 730000)

提 要 本文通过对李坝群含金浊积岩建造中金及其它微量元素分布、地球化学特征及与金矿成因的关系研究, 结果表明, 李坝群含金浊积岩建造明显富集 Au、As、Sb、Bi 和铁族元素 Co、Ni、Cr、V, 且具有较高的 Au/Ag 比值。李坝群含金浊积岩建造是衍生含金建造, 对于金成矿来说, 并非是主要的矿源层, 而是赋矿岩系。

关键词 含金浊积岩建造 地球化学特征 衍生含金建造 矿源层

第一作者简介 孙省利 男 32岁 硕士 工程师 矿床沉积学

浊积岩系金矿床(Turbidite-hosted gold deposits)是加拿大地质学家1984年提出的, 确切地说, 是赋存于浊积岩系或与浊积岩系时空关系密切的沉积岩中金矿床。浊积岩系属重要的三大金成矿背景建造之一(毛德宝, 1992)^①。目前世界上有很多金矿赋存于浊积岩系中, 其导致人们推断浊积系可能为金的矿源岩(Boyle R. W., 1986)^②, 金是通过后期地质作用活化迁移而富集成矿的认识。

到目前为止, 礼岷金矿带所发现的微细粒浸染型金矿, 绝大多数产于浊积岩系中。因而研究礼岷金矿带李坝群^②含金浊积岩建造的地球化学特征, 特别是 Au 及其它微量元素在浊积岩建造中的丰度和变化规律, 对了解礼岷金矿带金的成矿地球化学背景和金成矿的控制机制具有重要的理论意义, 并能指导进一步的找矿实践。

1 李坝群含金浊积岩建造地质特征

西秦岭礼岷金矿带泥盆系李坝群分布于甘肃省天水南部一徽县、两当、礼县及岷县东部一带, 且均位于山阳—白云—高桥—礼县深大断裂的北侧。笔者将研究区内原舒家坝组分为李坝群(D₂Lb)和李子园群(P_{z1}L), 两者呈断裂接触, 其中李子园群相当于陕西的丹凤群。

李子园群分布于李坝群的北侧, 属李坝群下伏地层。李子园群下部为变基性火山岩, 主

① 甘肃省自然科学基金资助项目

② 孙省利, 袁明坤, 1993, 西秦岭北带泥盆系特征及含矿性研究, 甘肃有色金属地质研究所。

要由钠长阳起片岩、变粒岩和斜长角闪片岩组成,厚度大于 500m;中部以变中性、中酸性火山岩为主,主要为绢云钠长片岩、绿泥钠长片岩和绢云石英片岩等,厚约 370m;上部为变碎屑岩夹碳酸盐,主要由变长石石英砂岩、绢云石英片岩夹大理岩。变质相达绿片岩相。李子园群火山岩总体上以基性玄武岩为主,具从基性→中性→酸性的岛弧火山岩演化模式特征(梁自兴,1994⁽²⁾)。

根据遗迹化石产出层位、岩性、岩石组合特征、岩相特征及前人的部分孢粉化石资料,可将李坝群划分为四个岩性段,自上而下各岩性段特征如下:

D₂Lb⁴ 岩性段 底部为灰色—灰黑色泥灰岩夹钙质板岩;中上部为浅灰色—灰黑色条带状泥灰岩、泥晶灰岩、砂屑灰岩及结晶灰岩。灰岩中有灰黑色的泥质条带,泥质条带厚一般为 0.2cm~0.9cm。该组未见顶,厚度大于 512m。属水体较深的静水环境产物。

D₂Lb³ 岩性段 主要为灰—灰黑色板岩或粉砂质板岩。底部多为粉砂质板岩夹细砂岩,向上砂质逐渐减少,而泥质和钙质成分逐渐增多;上部是板岩夹砂岩细层。厚度为 723.75m。该组中见有大量深水遗迹化石和槽模、砂纹交错层理和平行层理等浊流沉积构造,其鲍马序列主要由 Tcde 和 Tde 组成。

D₂Lb² 岩性段 总体上由灰—灰绿色中细粒薄—中层砂岩、粉砂质板岩和板岩组成。下部为灰色—灰绿色中细粒砂岩、粉砂岩夹粉砂质板岩或板岩。砂岩单层厚 10cm~30cm。向上逐渐变薄。砂岩中见粒序层理、砂纹层理、波状交错层理及平行层理,底面存在槽模、工具模等冲刷构造;中部为灰—灰绿色砂、板岩互层。砂岩单层厚 4cm~20cm,其中可见波状交错层理、平行层理、槽模等沉积构造。板岩顶面多见深水遗迹化石;上部为灰绿色板岩夹砂岩。砂岩单层厚 2cm~15cm,其中可见砂纹层理和平行层理等。板岩中有丰富的深水遗迹化石(李育慈等,1993)⁽³⁾和底模构造。厚度为 698.08m。该岩组中常见的浊流沉积序列有 Tce、Tbce、Tde 和 Tcd,个别砂岩层中可见完整的浊流沉积序列 Tabcde 结构。

D₂Lb¹ 岩性段 主要由灰色—灰绿色厚层砂岩组成。砂岩单层厚度一般大于 30cm,最厚可达 350cm,具粗糙的粒序层、小型砂纹斜层理、小型交错层理、爬升波状层理等,以及槽模和沟模等冲刷构造。该段厚度大于 489.31m(未见底),常见的浊流沉积序为 Tabe、Tae、Tace、和 Tcde(图 1)。

根据岩相变化、砂/页比和古流向等资料研究认为,李坝群浊流沉积具无扇纵向搬运浊流沉积的特征。

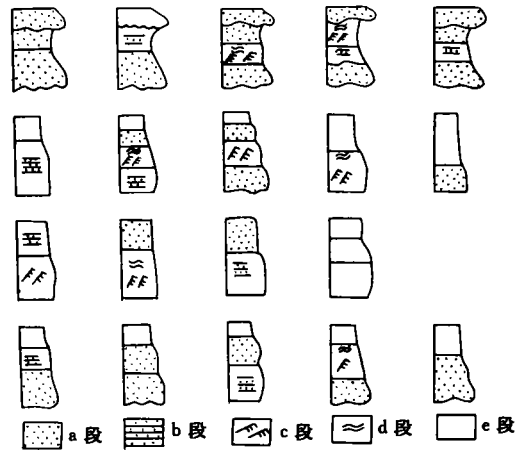


图 1 李坝群浊积岩序列组合特征
Fig. 1 Association Features of turbidite sequence in Liba Group

2 李坝群浊积岩中金的分布特征

通过对研究区两条主干代表性剖面及若条小剖面进行金的分析(表 1),结果表明,李坝群含金浊积岩建造含金最低的岩性段平均丰度为 4×10^{-9} ,与上部大陆壳金的丰度(1.8×10^{-9} , Taylor, 1985)相比,呈现明显的富集特征,李子园群金的平均丰度为 9×10^{-9} ,其中最高可达 45×10^3 ,且高值点均在基性火山岩—玄武岩中。

表 1 地层中金的丰度表

Table 1 Abundance of gold in strata

地 层	样品数	Au ($\times 10^{-9}$)			
		变化范围	平均丰度	变异系数*	富集系数**
Pz ₁ L	68	2~45	9.0	89%	5.00
D ₂ Lb ¹	20	2~15	8.0	63%	4.44
D ₂ Lb ²	76	4~12	5.0	57%	2.78
D ₂ Lb ³	35	2~27	4.0	45%	2.22
D ₂ Lb ⁴	50	2~9	4.0	50%	2.22

* 变异系数 = $\frac{6}{X} \times 100\%$

** 富集系数 = 元素丰度 / 上部陆壳元素平均丰度 (Taylor, 1985)

在李坝群三个浊积成因的岩性段中, D₂Lb¹ 金的丰度最高, 平均为 8×10^9 , 变化范围在 $2 \sim 15 \times 10^9$ 间。该段板岩和粉砂质板岩中金的丰度大多数大于 8×10^9 , 而砂岩中金的丰度均小于 4×10^9 ; D₂Lb² 金的平均丰度为 5×10^9 , 其中金在板岩及粉砂质板岩中的丰度较高, 最高可达 12×10^9 ; D₂Lb³ 中金的丰度最低为 4×10^9 。

通过对浊积成因的细碎屑岩中金的丰度统计对比, 发现金的丰度呈明显规律性变化, 即中粗粒砂岩 → 细砂岩 → 粉砂岩 → 粉砂质板岩和板岩, 金的丰度随碎屑粒度的减小而逐渐增高。

D₂Lb¹ 和 D₂Lb² 两岩段砂质含量较高, 金的富集度分别为 4.44 和 2.78, 变异系数为 63% 和 57%, 而 D₂Lb³ 金的富集(2.22)和变异系数(45%)均明显的小于 D₂Lb¹ 和 D₂Lb²。D₂Lb¹ 和 D₂Lb² 两岩段金的变异系数较大(>57%), 表明金在其中分布不均匀, 利于活化迁移成矿。现有资料研究表明, 地层中金的变异系数大, 与岩石中有相当一部分金呈易活化状态(存在于硫化物中或呈微细粒自然金形式)存在很大的关系(刘英俊等, 1987)⁽⁴⁾。这两段 Fe³⁺/Fe < 0.4, 属还原环境, 易形成黄铁矿、毒砂等金属硫化物, 且呈稀疏浸染或呈点状分布于细砂岩—板岩中。这可能是导致金分布不稳定和变异系数增大的主要原因。本区已发现金矿(化)点中 96% 产于 D₂Lb² 的中上部, 均为微细粒浸染型金矿, 其余产于 D₂Lb¹ 的上部, 属含 Cu 石英脉型金矿。这一特征说明 D₂Lb¹ 和 D₂Lb² 既是金的原始富集层位, 亦是金矿的赋存层位。

李子园群 Pz₁L 是以基性火山岩为主的火山岩夹碎屑岩及碳酸盐岩建造, 金的富集度为 5.0, 变异系数为 89%, 表明金的富集程度高, 同时这套老地层中金矿化异常发育, 且有柴

表2 李子园群及李坝群中微量元素的含量特征($\times 10^{-6}$)

Table 2 Trace element contents(ppm) in Liziyuan and Liba Groups

地层特征值 元素	P _{z1} L		D ₂ lb ¹		D ₂ lb ²		D ₂ lb ³		D ₂ lb ⁴	
	X	F	X	F	X	F	X	F	X	F
Ag	0.13	2.60	0.06	1.2	0.06	1.20	0.05	1	0.06	1.20
As	43.32	28.90	12.64	8.40	12.40	8.2	9.33	6.20	7.98	5.30
Sb	2.8	14	3.0	15	3.8	19	15.6	78	11.5	57.5
Bi	0.37	1.90	0.39	2.10	0.48	2.50	0.53	2.80	0.47	2.40
Hg	0.05	0.62	0.05	0.62	0.07	0.87	0.06	0.75	0.08	1
Fe	1.6×10^4	0.32	3.2×10^4	0.64	3.0×10^4	0.60	4.0×10^4	0.80	3.7×10^4	0.72
Cu	30.9	1.23	31.0	1.24	30.4	1.22	41.2	1.65	28.3	1.13
Pb	56.8	2.79	18.0	0.9	25.2	1.26	26.4	1.32	34.3	1.71
Zn	169.1	2.38	116.2	1.64	100.1	1.41	122.9	1.73	75.9	1.06
Ni	34.1	1.71	80.6	4.03	45.8	2.29	41.1	2.06	43.1	2.16
Co	13.8	1.38	15.6	1.56	15.6	1.56	16.7	1.67	22.5	2.25
Mn	823	1.37	672	1.12	665	1.10	578	1.96	506	0.84
Ti	2454	0.82	3450	1.15	3262	1.09	3107	1.02	2952	0.98
Cr	107.0	3.06	123.1	3.52	105.2	3.01	96.1	2.75	110.3	3.15
Ba	433	0.97	360	0.65	365	0.66	602	1.09	461	0.84
V	94.1	1.52	123.0	1.98	100.4	1.62	108.5	1.76	87.6	1.41
Sr	169.4	0.48	67.4	0.19	67.4	0.19	128.1	0.37	315.3	0.90
As/Sb	15.46		4.21		3.26		0.89		0.69	
Co/Ni	0.4		0.2		0.3		0.4		0.5	
Sr/Ba	0.4		0.2		0.2		0.2		0.7	
Au/Ag	690×10^{-3}		133.3×10^{-3}		83.3×10^{-3}		80×10^{-3}		66.7×10^{-3}	
Au/As	0.21×10^{-3}		0.63×10^{-3}		0.40×10^{-3}		0.43×10^{-3}		0.5×10^{-3}	
Cr/Ni	3.1		1.5		2.3		2.3		2.6	
Sb+Bi+Hg	3.22		3.44		4.35		16.19		12.05	
Cu+Pb+Zn	255.8		165.2		155.7		190.5		138.8	
样品数	68		20		76		35		50	

X. 平均含量 F. 相对于上部大陆壳(Taylor, 1985)的富集度

家庄、木皮沟梁、沈家沟等石英脉型和构造破碎蚀变带型金矿赋存其内。

3 李坝群浊积岩中微量元素的分布特征

研究微量元素及其组合特征目的在于确定李坝群含金浊积建造的成因和物质源以及其所经历的后期构造—热事件的变化。礼岷金矿带李坝群浊积岩剖面、李坝金矿含矿断裂及李子园群中微量元素测试结果(表2)显示,与上部大陆壳元素丰度相比,李坝群含金浊积岩建造各岩性段具有富集 Au、As、Sb、Bi、Ni、Co、Cr 和 V, 而贫 Hg、Fe、Sr、Ba 的特点(表

3)。在富集元素中 Au、As、Sb、Bi 的富集度最高,为上部大陆壳丰度的 2.1~78 倍,而 Au、As、Sb、Bi 则是研究区内最重要的成矿元素和成矿指示元素。李坝群含金浊积建造中富集元素(富集度 >1.5)组合代表和决定着该建造中的矿种及组合,反映其物源区以富铁族元的基性岩或基性火山岩为主,同时亦表明该建造为金成矿提供物质来源。李坝群含金浊积岩建造与下伏李子园群在富集 Au 及其微量元素方面有着明显的相似性。

表 3 地层中微量元素的富集特征

Fig. 3 Enrichment features of trace elements in strata

地 层	富集元素(富集度 >1.5)	较富集元素(富集度 $=1\sim1.5$)	贫化元素(富集度 <1)
P _z L	Au, As, Sb, Bi, Pb, Zn, Ag, Cr, Ni, V	Cu, Co, Mn	Hg, Fe, Ti, Sr, Ba
D ₂ Lb ¹	Au, As, Sb, Bi, Zn, Ni, Co, Cr, V	Ag, Cu, Mn, Ti	Hg, Fe, Pb, Sr, Ba
D ₂ Lb ²	Au, As, Sb, Bi, Ni, Co, Cr, V	Ag, Cu, Pb, Zn, Mn, Ti	Hg, Fe, Sr, Ba
D ₂ Lb ³	Au, As, Sb, Bi, Cu, Zn, Ni, Co, Mn, Cr, V	Ag, Pb, Ti, Ba	Hg, Fe, Sr
D ₂ Lb ⁴	Au, As, Sb, Bi, Pb, Ni, Co, Cr	Ag, Hg, Cu, Zn, V	Fe, Mn, Ti, Bi, Sr

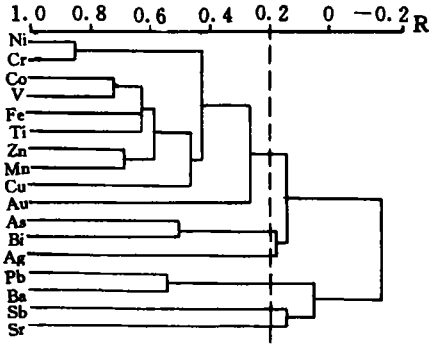
比较微量元素在砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩和板岩中的丰度发现,多数微量元素的丰度随着沉积物粒度的减小而增高。元素 As、Bi、Ni、Mn、Ti、Cr、V 的丰度从 D₂Lb¹→D₂Lb³ 逐渐降低,而 Sb 则相反。As/Sb、Au/Ag 和 Au/As 比值从 D₂Lb¹→D₂Lb³ 逐渐减小,而 Co/Ni、Cr/Ni 和 Sb+Bi+Hg 值则逐渐增大。这一特征变化直接与 D₂Lb¹→D₂Lb³ 泥质含量逐渐增加有关。Au/Ag 在 D₂Lb¹ 至 D₂Lb³ 地层中较高,尤以 D₂Lb¹ 最高(133.3×10^{-3}),而李子园群中该值高达 690×10^{-3} ,这是导致礼岷金矿带金成色比较底(李坝金矿金的成色为 834)的因素。

李坝群浊积岩建造剖面、李坝金矿含矿断裂及李子园群中微量元素的 R 型聚类分析表明(图 2),三者之间既有差别,亦有明显的相似性。在 $r_{0.05}=0.2$ 显著性检验条件下,李坝群浊积岩建造中主要存在三种微量元素组合:1) Au-Bi-Co-Fe; 2) Ag-Pb-As; 3) Ti-Cr-V-Ni-Ba-Sr。李坝金矿含矿断裂在 $r_{0.05}=0.3$ 显著检验条件下,存在三个显著的相关体系:1) Au-As-Bi-Pb-Ag-Zn-Cu-Hg-Sb; 2) Cr-V-Ti-Ni-Co-Ba 和 3) Mn-Sr。其中金与铋的关系最密切。Au-As-Bi-Sb-Ag-Pb-Zn-Cu-Hg 组合属成矿热液活动中的成矿元素组合,这与李坝金矿中的金属矿物组合—黄铁矿、毒砂、黄铜矿和磁黄铁矿基本吻合。

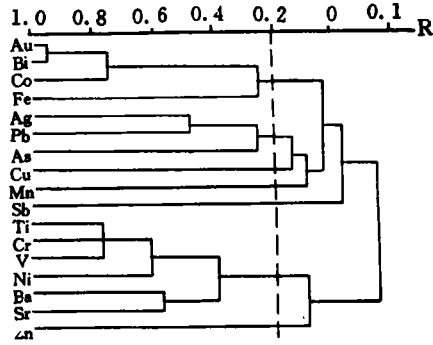
对李坝群浊积岩建造中 Au-Bi-Co-Fe 组合统计分析表明,其在板岩中含量最高,粉砂质板岩次之,砂岩最低。Au-Bi-Co-Fe 组合可能暗示着 Au 主要以微细粒自然金形被粘土矿物吸附或赋存于黄铁矿等硫化物中。

李子园群微量元素 R 型聚类分析与上述两种分析相比,它们都有一组亲 Fe 元素组合,反映了它们物质成分上的相似性。Au 在李子园群中与其它微量元素相关性弱,独立性较强。研究表明 Au 在李子园群中主要呈微细粒自然金形式存在。

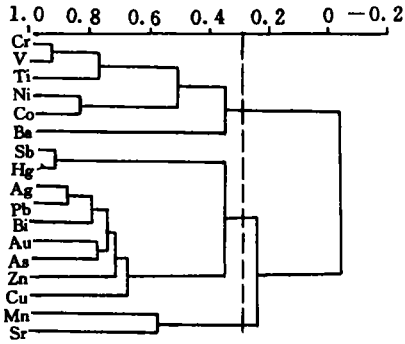
以上特征表明李坝群含金浊积岩建造属一套衍生含金建造,金及其微量元素是从原生含金建造李子园群中,经过各种地质作用转移而来。无论是李子园群原生含金建造,还是李坝群衍生含金建造,二者都为研究区金成矿提供物质,但成矿物质主要来自李子园群。



a. 李子园群(N=68 r=0.2)



b. 李坝群浊积岩(N=131 r=0.2)



c. 李坝矿区含矿断裂(N=20 r=0.3)
(柳森等,1992)

图2 李子园群和李坝群浊积岩建造中微量元素R型聚类谱系图
Fig. 2 R-type cluster analysis of trace elements in Liziyuan Group and turbidite formation of Liba Group

4 李坝群含金浊积建造与金矿成因的关系

截止目前,研究区内产于李坝群中的微细粒浸染型金矿,均赋存于D₂Lb²的中上部,其中75%的金矿体赋存在粉砂质千枚岩(板岩)—千板岩(板岩)中;25%产于变粉砂岩中^①。区内最大的金矿床—李坝微细粒浸染型金矿矿体产于粉砂质千枚岩(板岩)中占78%,变砂岩与千枚岩互层中占20%,仅2%产于变(粉)砂岩中。对李坝金矿矿石光片中金矿物分布状况统计结果表明,金矿物在粉砂质千枚岩和千枚岩中最高,占81.22%。研究区金矿体主要受层间破碎带、节理裂隙带和剪切断层控制。产于D₂Lb¹上部的含Cu石英脉型金矿,主要赋存于砂岩夹板岩中,受层间破碎带和断层控制。

① 柳森等,1992,甘南主要金矿区(礼岷金矿带东部)找矿预测,甘肃有色金属地质研究所。

李坝群浊积岩建造中含大量的有机质、硫质和粘土质,其使金易呈络合物或被粘土吸附的形成迁移。在深水浊积盆地强还原条件下,这些络合物失去稳定性而使 Au 沉积下来,赋存在粘土矿物或黄铁矿等硫化物中,从而形成了矿源层。通过微量元素分析及李坝金矿成矿作用的研究,认为李坝群浊积建造并非该金矿集中区的主要矿源层(矿质主要来源于下伏绿岩带—李子园群原生含金建造),而应为容矿建造。

李坝群浊积盆地具裂隙槽性质,受基底的深大断裂带控制。同时,深大断裂的存在也标志着盆地处于地热异常区。后期浊积盆地快速沉降,使基底的原生含金建造—李子园群和李坝群浊积建造中层间水得以加热,并使层间水能更充分地活化和萃取地层中的金。在印支—燕山期构造—岩浆活动作用下,使含金建造中的含矿热卤水沿着基底先存断裂和成矿期断裂运移到减压扩容带沉淀成矿。

李坝群浊积岩建造 D_2Lb^2 中上部,是“砂岩+板岩+砂岩”软硬相间的“三明治”地层结构,在构造挤压过程中,由于它们物理化学性质差异明显,容易形成有利于矿质沉淀的层间破碎带及节理裂隙带。当含矿溶液从导矿构造运移至这种容矿构造时,由于温度、压力及含矿溶液系统物化条件的改变,使金不能在粉砂岩、粉砂质板岩和板岩中很快聚集沉淀,而呈微细粒、浸染状分布,被载体矿物吸附或包裹。

收稿日期:1994年12月2日

参 考 文 献

- [1] 毛德宝, 1992, 论金矿床的成矿建造及成矿序列, 黄金地质科技, (2): 1~8。
- [2] 梁自兴, 1994, 甘肃天水地区丹凤群变质火山岩地质地球化学特征及其构造环境研究, 甘肃地质学报, 3(1): 71~78。
- [3] 李育慈, 晋慧娟, 1993, 西秦岭北带泥盆系中的遗迹化石及其环境意义, 中国科学(B辑), 23(12): 1322~1328。
- [4] 刘英俊, 马东升, 1987, 华南含金建造的地球化学特征, 质找矿论丛, 2(4): 1~14。
- [5] Royle R. W., 1986, Gold deposits in turbidite sequence: their geology, geochemistry and history of theories of their origin in ed. by K. J. Duncan *et al.*, Turbidite-hosted gold deposits, Geological Association of Canada.

Geochemical Characteristics of Liba Group Gold-Bearing Turbidite Formation in Lixian-Minxian Gold Mineralized Zone, West Qinling, Gansu Province

¹*Sun Xingli* ²*Song Chunhui* ²*Wu Anbin* ¹*Yuan Mingkuen*
and ¹*Gao Beikui*

¹ (Gansu Institute of Geology for Nonferrous Metals)

² (Department of Geology, Lanzhou University)

Abstract

The distribution of gold, geochemical features of trace elements in the Liba group gold-bearing turbidite formation and their relationship with gold metalization have been studied in detail. The results show that Liba group gold-bearing turbidite formation is rich in Au, As, Sb, Bi and Cr, Ni, Co and V, and has high ratios of Au/Ag and Au/As, but it is depleted in Hg, Sr and Ba. Contents of As, Bi, Ni, Mn, Ti, Cr, V and ratios of Au/Ag, Au/As and As/Sb gradually increase from D₂Lb¹ to D₂Lb³, on the contrary, contents of Sb, Sb+Bi+Hg and ratios of Co/Ni and Cr/Ni reduce by degrees. R-type cluster analysis of trace elements in Liziyuan group, gold-bearing turbidite formation and Liba ore-bearing faults indicates that they have common elements association which are Ni, Co, Cr and V, and ore-forming elements in the Liba gold mine inherit obviously components in the Liba gold-bearing turbidite formation and Liziyuan group. The Liziyuan group is the primary gold-bearing formation which consists mainly of basic volcanic rocks with high gold abundance. The Liba group gold-bearing turbidite formation is a derivative gold-bearing formation. The Liba group gold-bearing formation is not main gold source rocks, but gold host rocks.