

山西省代县高凡水系沉积物 金异常及验证效果

桑华文

(山西省地质矿产局区域地质调查队)

提 要 高凡 Au 异常受控于 NW 向和 NE 向断裂构造交汇部位的特征,打破了前人局限于燕山期中酸性斑岩体内外接触带找 Au—Ag 矿的常规,为晋东北构造蚀变岩型 Au—Ag 矿的寻找提供了先例。另外,各种地球化学参数表明,高凡矿区 Ag 矿远景比 Au 矿更大。

关键词 高凡 地球化学特征 构造蚀变岩型 Au、Ag 矿

一、高凡金异常验证始末

该异常系我队 1983 年 1:5 万水系沉积物测量中发现。同期又在高凡——滩上之间 NW 向断裂构造破碎带上进行了面积 3 km²、网度 200m×50m 的土壤测量,二者有着相似的 Au、Ag、Pb、Zn、Cu、Mo 迭加异常。破碎带槽探工程中化学比色样结果表明,该区存在着和破碎带走向一致的 Au ($\geq 100\text{ppb}$)、Ag ($\geq 10\text{ppm}$)的矿化带(长 2500m、宽 5—60m)。该异常应为甲类矿致异常无疑。

据此,1985 年 5 月山西地矿局化探会议上,根据区调队建议,决定由省局 212 队和 211 队实施该异常深部工程验证。仅四个月时间,就使该 Au (Ag) 矿(化)点迅速升格为中型 Au、Ag 矿床。被局领导誉为矿点评价和化探异常查证相结合的典型。

二、区域地质概况

高凡金异常位于山西断隆五台山断拱之滩上——张仙堡复向斜核部与王家会——高凡——马桥压扭性断裂构造(中部)的交汇部位(图 1a、b)

该区属温带大陆性气候,地貌特征为中低山区。各种构造作用形成的断裂裂隙、片理、节理系统十分发育,为导矿和容矿提供了良好的空间。

地层为上太古界五台群高凡亚群变质石英砂岩、变质粉砂岩、千枚岩、黑板岩等;下元古界滹沱群豆村亚群底部四集庄组变质砾岩、含砾变质石英砂岩、变质石英砂岩;第三系、第四系阶地及现代河床中砂金矿均较发育。

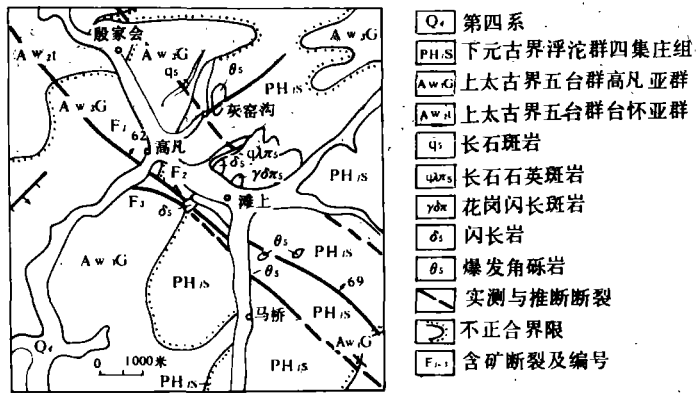


图 1a 高凡金异常区地质简图

Fig. 1a. The simplified geological map of the Au anomaly area, Gao Fan.

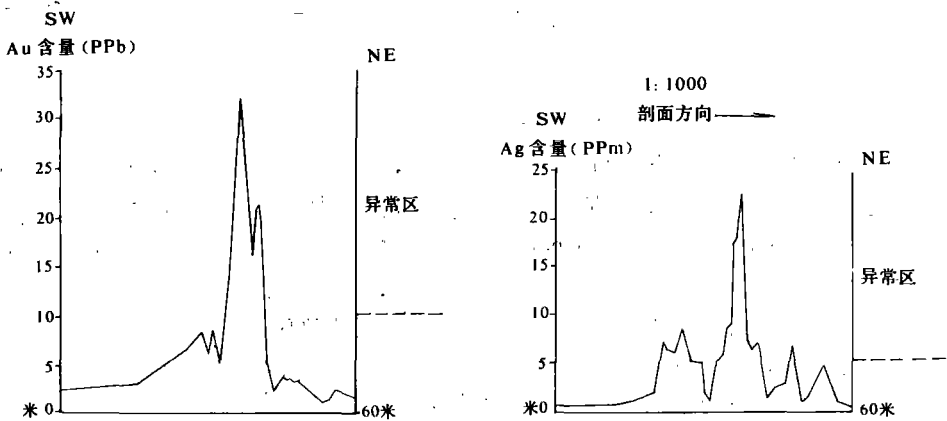


图 1b 地球化学剖面图

Fig. 1b. Geochemical profile.

与矿化关系密切的燕山期中酸性次火山杂岩体，早旋回生成爆发角砾岩、石英斑岩；中旋回序次为闪长岩→花岗闪长斑岩→斑状花岗岩；晚旋回生成一系列脉岩，即闪长玢岩、花岗闪长斑岩、石英斑岩及长石斑岩等。

近矿围岩以硅化、黄铁矿化为主，还有绢云母化、高岭土化、绿泥石化及碳酸盐化等。

三、区域地球化学特征

该区位于晋东北金(银)地球化学省的西带^[1]。1:5万水系(底)沉积物测量成果表明,滩上地区约600 km²基岩露布区内,反映金(银)矿田态势的4ppb以上的Au元素高背景区面积60 km²,占基岩总面积的10%。反映金(银)矿床态势的10ppb以上的Au元素异常区面积27.7 km²,占基岩总面积的4.6%。

应该强调的是尽管Au元素高背景区的成因和滩上燕山期中酸性次火山杂岩体有着千丝万缕的联系,但是呈串珠状展布的Au异常却主要受控于距岩体边界一定距离(0.5—2km左右)的NW向和NE向断裂构造破碎带(尤其是二者交汇部位)。

图1明显看出NW向断裂构造是本区主要导矿构造,而它的次级断裂及与NE向构造的交汇部位则是主要的容矿构造。

导矿构造上Au以宽2.5—7.5km、长15—17km的带状高背景分布为主,主成矿元素Au、Ag异常强度高。但是总的来看,异常元素组合较简单,组份分带不明显。Au异常呈串珠状分布,而其伴生元素异常却无此分布规律。

在主要容矿构造上(如高凡),主成矿元素Au(Ag)异常面积大、强度高、三级浓度分带显著,异常元素组合复杂,组份分带现象明显(图2a—f)由滩上杂岩体外接触带附近开始,处于高凡—滩上断裂构造破碎带上的综合异常由SE→NW方向呈侧向水平分带,依次发育着Mo→Cu→Pb→Au→Ag→As(图2)异常。从图3亦可看出滩上村的北西部Ag+Pb+Zn/Cu+Mo垒加比值异常范围大,强度高,表明中低温热液元素发育,相对剥蚀程度浅;而滩上村南部该比值异常范围小,强度低,表明中高温热液元素Cu、Mo发育,相对剥蚀程度较深。这些都从侧面证实了矿液运移方向可能是由东南向西北进行的,因而造成了上述异常侧向水平分带等现象。这种矿致(Au、Ag)异常的组份(Mo→Cu→Zn→Au→Pb→Ag)侧向水平分带模式在晋东北断裂构造破碎带(不同方向的)均有相似表现(例如繁峙县义兴寨、伯强耿庄、浑源县岔口等)。

四、高凡Au、Ag矿床的地球化学特征

1:5万聂营——滩上幅的17个Au元素异常中,高凡Au异常在多因素总评序中名列第二,按找矿意义划为甲类异常。该异常具以下主要特征:

1、是本区(指1:5万聂营——滩上幅)异常重合与元素组合最复杂的As—Ag—Pb—Zn—Au—Cu—Mo—Be综合异常。Au、Ag两主成矿元素异常及前缘元素Pb异常的长轴展布方向和受NW向断裂构造破碎带严格控制的Au、Ag矿化带走向基本相似(图2、图4),它一举打破了前人局限于燕山期中酸性斑岩体内外接触蚀变带寻找Au、Ag矿的常规,为在晋东北寻找构造破碎带蚀变岩型(焦家式)Au、Ag矿提供了可靠的地球化学依据。

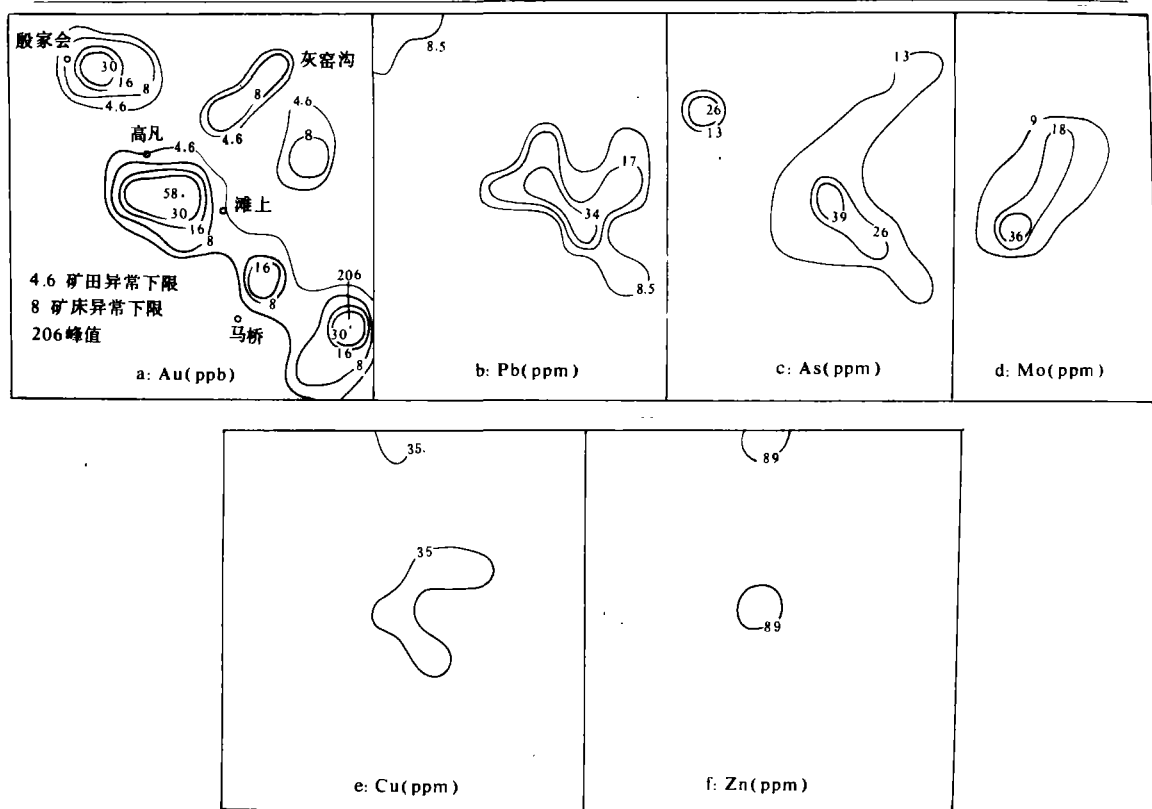


图 2a—f 高凡水系沉积物异常平面图

Fig. 2a—f. The plan of the stream sediment anomaly of Gao Fan.

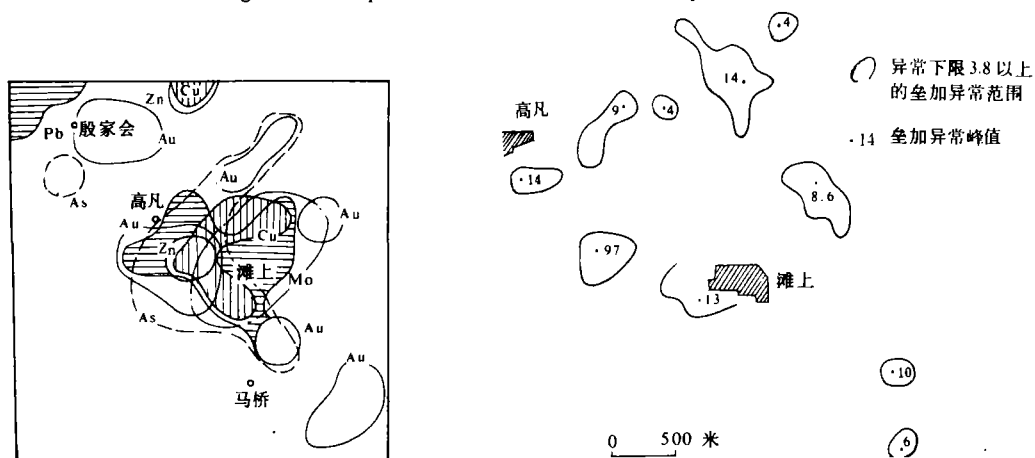


图 2 高凡水系沉积物异常综合平面图

Fig. 2. The comprehensive plan of the stream sediment anomalies, Gao Fan.

图 3 高凡—滩上岩石测量 $\frac{Ag + Pb + Zn}{Cu + Mo}$ 叠加比值略图 (据 1979 年山西地矿局资料拟编)

Fig. 3. The scheme of $\frac{Ag + Pb + Zn}{Cu + Mo}$ accumulated ratio of petrological measurement at Gao Fan-Tan Shang.

2、高凡矿区 Au、Ag 元素的浓度势^[2]均高于 Cu、Pb、Zn、Mo 等元素。其中 Au 为 100—5700, Ag 35—176, Mo 为 10—460, Pb 为 5—625, Zn 为 3—100, Cu 为 1—100。据此可认为主成矿元素的浓度势往往高于次要成矿元素及其伴生元素。

3、Au 异常面积为 4.8 km², 异常下限 8PPb, 平均异常强度 3.5PPb, 衬度 4.38, 网格化数据极大值 58PPb, 清晰度 7.75, 单点样峰值 190PPb, 规格化面金属量(NAP 值)为 16.56。异常形态呈环带状, 比较规整, 长轴呈 NW 向, 和断裂构造破碎带走向基本一致。具显著的三级浓度分带: 8PPb 以上的外带面积 1.8 km², 15PPb 以上的中带面积 1 km², 30PPb 以上的内带面积 2 km² (图 1a、图 2a)。

Au 的前缘元素 Pb、Ag、As 异常面积明显大于尾部元素 Mo、Cu 异常, 三级浓度分带显著 (图 2b—f)。其中 Pb 异常外带强度 > 8.5ppm, 面积 2.32 km², 中带强度 > 17ppm, 面积 1.22 km², 内带强度 > 36ppm, 面积 1.18 km²; Ag (土壤) 异常外带强度 > 1PPm 者面积 0.15—0.32 km², 中带强度 2ppm, 面积 0.05—0.06 km², 内带强度 > 3ppm, 面积 0.04—0.05 km²; As 异常外带强度 > 13.7ppm, 面积 7.73 km², 中带强度 > 27.4ppm, 面积 1.17 km², 内带强度 > 54.8ppm, 面积 0.25 km²。

另外值得一提的是, 高凡 Au 的尾部元素 Mo、Cu (土壤) 异常虽也有三级浓度分带现象, 但 Be 元素异常却极不发育 (面积小, 呈碎片状分布, 强度很低, 无浓度分带现象)。这表明该 Au 异常已遭到初级—中级程度的剥蚀, 但还未剥蚀到根部。

4、按戈里高梁—别乌斯法计算该矿区 3 号矿带 1 号矿体 (0 线 1325 米中段、1235 米中段、1145 米中段和 1020 米中段) 元素轴向分带序列 (由前缘—尾部) 为: Sr—Ba—Ag—Cu—Zn—Pb—Co—Au—Mo—Be。

5、分带评价值 Ag·As·Au/Co·Mo: 矿体头部为 493, 矿体中部为 108—113, 矿体尾部仅 5 左右。

Ag/Mo 比值: 矿体头部为 127—190, 矿体中部 13—55, 矿体尾部 4—7。

五、金银矿源及成矿温度

本区成矿物质具有多源特征。Au、Ag 的矿源岩则具有多期性特征, 尤以燕山期中酸性次火山岩表现显著。它们的多次矿液迭加, 形成了本区 Au、Ag 矿的富集, 其主要证据是:

1、由上太古界五台群下部石咀亚群开始→台怀亚群→高凡亚群→下元古界滹沱群豆村亚群四集庄组, Ag 元素浓集克拉克值依次为 14→53→25→34。说明各时代地层中都有着不同程度的 Ag 元素富集。其中尤以台怀亚群鸿门岩组绿泥片岩中 Ag 的浓集克拉克值最高, 达 125, 均值为 9.4ppm; 高凡亚群石英岩和石咀亚群含兰晶石榴二云石英片岩、绿泥角闪片岩 Ag 的浓集克拉克值最低, 为 6.7, 均值 0.5ppm 它们足以构成 Ag 的省级地球化学异常。这是本区 Ag 矿源的先天优势, 亦是本区 Ag 的本底。

2、上太古界五台群 Au 元素浓集克拉克值大于 1 者仅为台怀亚群柏枝岩组磁铁石英岩 (2.71), 绢英片岩 (1.07); 高凡亚群磨河组千枚岩 (1.28), 鹁口前组千枚状变粉砂岩 (1.4)、变

基性火山岩(1.66)等。

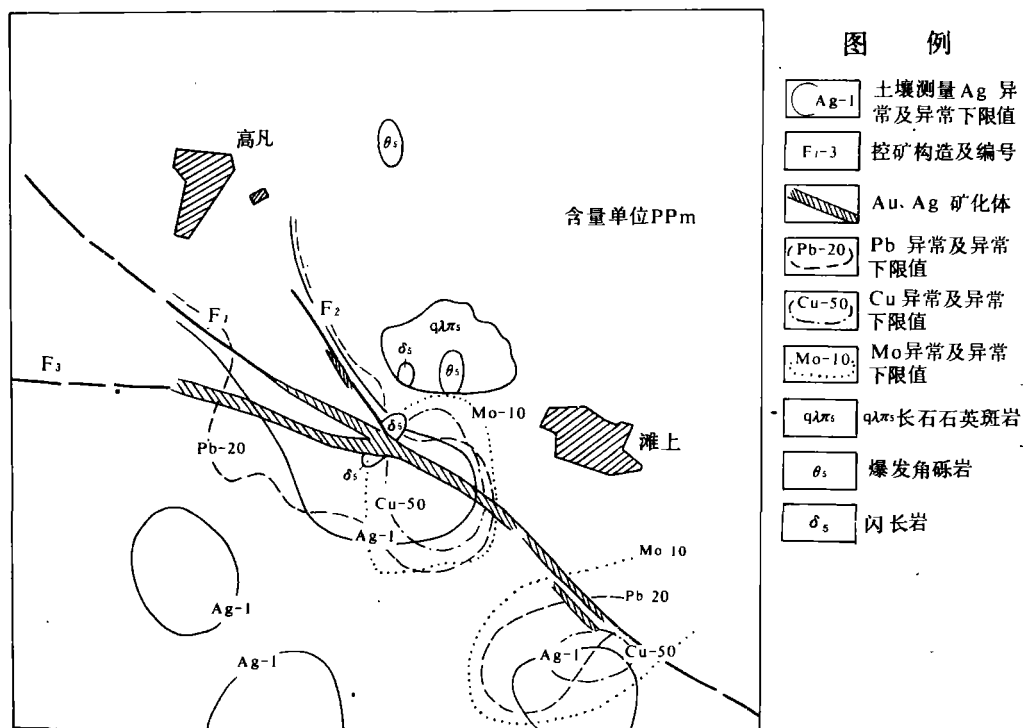


图 4 高凡土壤测量 Ag、Pb、Cu、Mo 异常与 Au、Ag 矿化体复合略图

Fig. 4 The complex scheme of Ag, Pb, Cu, Mo anomaly and Au-Ag mineralization bodies of the soil survey, Gao Fan

查其原岩都是和海底火山—基性、中基性、酸性、火山凝灰质—喷发活动有关的岩石。

下元古界溥沱群豆村亚群四集庄组仅变质砾岩的 Au 浓度克拉克值达到 1.29, 而变质砾岩的砾石成份中又有相当一部分是磁铁石英岩和热液脉石英(均为含 Au 量较高者)应该是 Au 历史地球化学演绎中的继承性表现。

与 Ag 相比, 本区 Au 一般只能构成区域性或局部性地球化学异常, 而达不到省级异常标准。

3、由各时代岩浆岩元素浓集比率^[3](CR)简表(表 1—2)可知:

Au 元素的最重要矿源岩为燕山早期含角砾石英斑岩 ($\bar{Au} X = 8\text{ppb}$, 平均值, 下同)、爆发角砾岩 ($\bar{Au} X = 6.94\text{ppb}$), 其次为燕山晚期石英斑岩 ($\bar{Au} X = 5.04\text{ppb}$)、长石英斑岩 ($\bar{Au} X$

= 3.97ppb)。

Ag 元素最重要的矿源岩为燕山早期含角砾石英斑岩 ($\bar{X} = 7.9\text{ppm}$)、燕山中期闪长岩 ($\bar{X} = 2.78\text{ppm}$)、隐爆角砾岩 ($\bar{X} = 6.6\text{ppm}$)、燕山晚期长石石英斑岩 ($\bar{X} = 6.24\text{ppm}$)、石英斑岩 ($\bar{X} = 4.63\text{ppm}$)。

岩浆岩元素累加浓集比率(ΣCR)和累乘浓集比率(ΠCR)对比表

表 1

Tab. 1. The comparasion between the accumulated concentration

ratio (ΣCR) and the product of multiplication (ΠCR) of the magmatic elements

岩 浆 岩 期 次	岩 类	ΣCR_1 (Cu+Pb +Zn+Au+Ag +Ba+Sr)	ΣCR_2 (Mo+Be +Zr+Y+Co)	$\Sigma\text{CR}_1/\Sigma\text{CR}_2$	ΠCR_1 (Cu·Pb ·Zn·Au·Ag· Ba·Sr)	ΠCR_2 (Mo· Be·Zr·Y·Co)	$\Pi\text{CR}_1/\Pi\text{CR}_2$	Au CR	Ag CR
燕 山 晚 期	石英斑岩	87.53	4.93	17.75	51.23	0.05	1024.60	1.68	80.6
	长石石英斑岩	138.72	3.78	36.70	3957.51	0.02	197875.50	1.32	124.8
	花岗闪长斑岩	22.66	16.49	1.37	94.93	58.58	1.62	0.48	9.5
	中酸性岩	495.84	8.31	59.67	4078.77	3.91	1043.16	1.13	485
燕 山 中 期	花岗斑岩	103.31	4.84	21.35	1.21	0.08	15.13	0.66	99.6
	花岗闪长斑岩	17.99	10.32	1.74	1.14	0.33	3.45	0.50	11.4
	闪长岩	749.89	27.75	27.02	18326.41	221.88	82.60	0.23	717.9
	中酸性岩	322.45	11.05	29.18	1860.68	2.15	865.43	0.45	310
燕 山 早 期	爆发角砾岩	85.52	30.60	2.80	1642.40	3.44	477.44	2.31	69.8
	含角砾石英斑岩	165.11	13.98	11.81	58.55	0.46	127.28	2.67	158
	中酸性岩	105.62	19.95	5.29	410.92	0.82	501.12	2.41	95
燕山期中酸性次火山杂岩		235.44	12.95	18.18	11308.51	2.04	5543.39	1.48	223
五台期中酸性岩		17.79	7.55	2.36	2.67	1.94	1.38	1.09	12.6

岩浆岩元素浓集比率(CR)简表

表 2

Tab. 2. The concentration ratio (CR) of the magmatic elements.

岩浆岩期次及岩类		CR > 5 的主要 富集元素	CR ≥ 2-5 的 伴生元素	CR 1-2 的 一般元素	CR < 1 的贫化元素
中 酸 性 次 火 山 岩	燕山晚期	Ag (81)	Mo·Pb·Zn	Co·Cr·Cu·Au	Ti·Mn·Sr·Ba·Zr·V·Ni·Y·B·Ga·Be
	燕山中期	Ag(310)—Mo(8)—Pb(6)	Zn	Cu·Co·Sr	Ti·Mn·Cr·Ba·Zr·V·Ni·Y·B·Ga·Be·Au
	燕山早期	Ag (95)—Mo (18)	Pb·Zn·Au	Cu	Ti·Mn·Sr·Ba·Zr·V·Ni·Y·B·Ga·Be·Co·Cr
燕山期中酸性次火山杂岩		Ag (223)—Mo (9)	Pb·Zn·Cu·Co	Au·Sr·Cr	Zr·Y·B·Ga·Be
五台期中酸性岩		Ag (13)	Mo	Ni·Co·V·Zr·Cu·Zn·Ti·Au·Y	Mn·Sr·Ba·B·Ga·Be·Pb·Cr

燕山各期中酸性次火山岩 Ag 元素浓集比率极值为 9.5—717.9, 远远大于 Au 元素的浓集比率极值 0.23—2.67。说明 Ag 的矿源要比 Au 充足。

从燕山早期→晚期中酸性次火山岩 $\Sigma\text{CR}_1/\Sigma\text{CR}_2$ 和 $\Pi\text{CR}_1/\Pi\text{CR}_2$ (表 1、表 2) 比值的递增

规律说明,随着成岩成矿温度的递减,岩浆期后高温热液元素为主的组合逐渐被低温热液亲硫元素为主的组合取而代之。这给 Ag 和 Au 的大量沉淀富集提供了地球化学前提。

岩浆岩的元素组合特征见图 5 至 9。其中燕山早、中期矿源岩中 Au、Ag 的相关性大于晚期矿源岩。

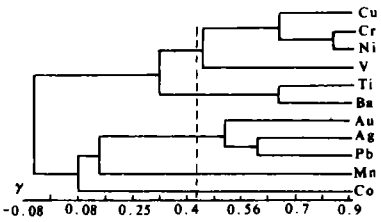


图 5. 燕山早期爆发角砾岩微量元素 R 型聚类谱系图

Fig. 5. The R pattern group pedigree of the trace element in the explosion breccia of the Early Yanshan Period.

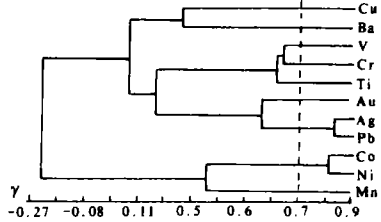


图 6. 燕山早期角砾状石英斑岩微量元素 R 型聚类谱系图

Fig. 6. The R pattern group pedigree of the trace element in the breccia quartz porphyrite of the Early Yanshan Period.

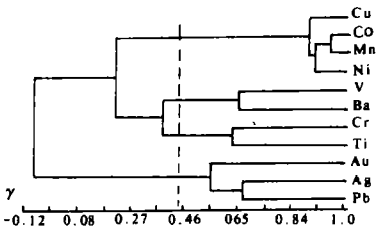


图 7. 燕山中中期花岗斑岩微量元素 R 型聚类谱系图

Fig. 7 The R pattern group pedigree of the trace element in the granitic porphyrite of the Middle Yanshan Period.

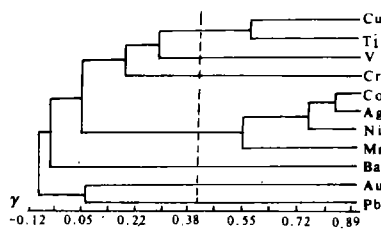


图 8. 燕山晚期石英斑岩微量元素 R 型聚类谱系图

Fig. 8 The R pattern group pedigree of the trace element in the quartz pophtrite of the Late Yanshan Period.

4、由高凡测区石英包体气相成分普遍含 CH_4 (含量 $0.1228\text{—}0.3713\text{mg}/100\text{g}$) 和 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比值大的特点(极值为 $0.3\text{—}193.9$, 均值为 44.9) 来判断, 地层和 Au、Ag 矿原层的成分构成了 Au、Ag 矿液的一大来源。否则有机质成分 CH_4 是不会自行进入石英包体中去的。

综上所述可以推论, 本区矿质来源大体经历了三个阶段: (1) 上太古代初始富集阶段; (2) 上太古代→中生代的活化迁移阶段; (3) 中生代侏罗纪—白垩纪燕山期中酸性次火山岩浆期后矿液活动的叠加阶段。

关于成矿温度, 据本区燕山期中酸性次火山杂岩的 Mo/Ag 比值为 0.84 , 明显低于五台期中酸性花岗岩类的 Mo/Ag 比值 5.4 。从元素自然择温沉淀序列观点分析, 前者的成岩成矿温度显著低于后者。众所周知, 一般来说, 中高温阶段有利于 Au 的大量沉淀, 中低温阶段有利 Ag 的大量沉淀。上述燕山期岩浆岩的较低成岩成矿温度, 显然十分有利于 Ag 的大量沉淀。这又从另一个侧面为本区 Ag 远景大于 Au 矿提供了佐证。

根据部分 Au、Ag 矿石中 $\text{Zn}/\text{Cd} = 200\text{—}233$ 看来, 比义兴寨 Au、Ag 矿的 $\text{Zn}/\text{Cd} = 164$ 稍高, 表明高凡 Au、Ag 矿应属中温热液型。

另外根据 10 个石英包体爆裂测温结果, 起爆点在 $300^\circ\text{C}\text{—}350^\circ\text{C}$ 之间, 一般为 $320^\circ\text{C}\text{—}330^\circ\text{C}$, 高峰范围在 $400^\circ\text{C}\text{—}545^\circ\text{C}$ 之间, 一般 $420^\circ\text{C}\text{—}440^\circ\text{C}$ 。与 Zn/Cd 比值结论(中温热液型)基本一致。

六、高凡构造破碎带蚀变岩型 Au、Ag 矿的地质依据

1、高凡金银矿的主要赋矿构造 F_1 和 F_2 (其次为 F_3) 位于滩上中酸性杂岩体的西南部, 距岩体边界一般在 $0.5\text{—}2$ 公里。

断层破碎带延长数十公里, 宽 $60\text{—}200\text{m}$, 次级断裂及裂隙十分发育, 具压扭性和多次活动特征, Au、Ag 矿化带之间压性透镜体发育, Au、Ag 化探异常和 Au、Ag 矿化带的延伸方向和 NW 向断裂构造破碎带基本一致。

2、Au、Ag 矿体多呈透镜状、串珠状及脉状、网脉状。含矿热液沿断层泥、断层角砾的空隙及角砾之间充填贯入、胶结, 从而形成含硫化物的蚀变岩、蚀变角砾岩与细小的硅化脉及网脉。矿体的贫富、形态与破碎带的发育程度、热液的充填程度有关, 而与围岩的岩性关系不明显。矿体产状与断裂破碎带产状一致。走向多为北西、倾向北东、倾角 $45^\circ\text{—}70^\circ$ 。

3、矿石结构主要为晶粒状结构、压碎结构、填隙结构及交代结构等。矿区构造以角砾状、脉状、细脉浸染状、网脉状及蜂窝状构造为主。

4、矿化仅见于破碎带蚀变岩石中(包括蚀变粉砂岩及千枚状板岩、蚀变闪长岩等), 而未蚀变的上述各类岩石则不含矿或含矿极微。

主要蚀变类型为硅化、黄铁矿化、绢云母化、高岭土化、碳酸盐化和绿泥石化等。

5、金属矿物以黄铁矿、方铅矿、自然金为主, 次为黄铜矿、角银矿、自然银、辉银矿及少量自然铅、自然锌、自然锡等。脉石矿物往往与矿体的围岩原岩有直接关系, 主要有石英、绢云母、

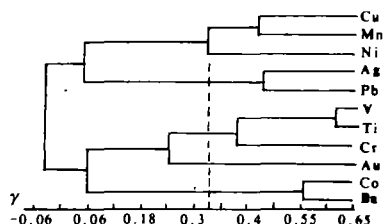


图 9 燕山晚期长石石英斑岩微量元素 R 型聚类谱系图

Fig. 9 The R pattern group pedigree of the trace element in the feldspar quartz porphyrite of the Late Yanshan Period.

长石、高岭土、方解石和绿泥石等。

高凡金银矿床的上述地质特征与胶东地区焦家式金矿的特征类似^[4]，并经深部验证证实达中型矿床规模。

从这一矿床的发现到证实说明：(1)在本区北西向构造破碎带上，藉化探圈定的异常，结合当地地质条件(断裂构造交汇部位、岩浆活动和围岩蚀变等)进行综合分析判别，可以有效地圈定找矿靶区；(2)突破了前人于燕山期中酸性岩体内外接触带找矿的局限，扩大了本区找矿类型，为在山西寻找构造破碎带蚀变岩型金矿床提供了先例。显然，高凡矿床的经验，对正确评价滩上一高凡断裂破碎带南部的屋茨沟和二甲岩金银矿是有指导意义的。

本文成文过程中，刘支奇、刘坤藻、杨士臣、林巧荣、张素珍等同志曾给予资料和绘图方面的帮助，谨表谢意。

参考文献

- [1] 桑华文：晋东北金银地球化学省浅析，《地质与勘探》，1985年，第12期
- [2] 谢学锦：《区域化探》，地质出版社，1979年
- [3] 张 洪：区域化探资料在调填图中的应用，《河南地质》，1985年，1期
- [4] 张温璞、文子中：《山东焦家式金矿地质》，山东地矿局综合队出版，1983年

TEST AND VERIFICATION OF GAO FAN RIVER SEDIMENT Au-ANOMALY IN DAIXIAN COUNTY, SHANXI PROVINCE

Sang Huawen

*(Regional Geological Survey Team Of Shanxi Bureau Of
Geology and Mineral Resources)*

Abstract

Gao Fan Au-anomaly is controlled by the intersections of NW-trending fractures and NE-trending fractures. This makes a breakthrough in the prospecting of Jiaojiaa-type, i. e. fractured-altered-rock type gold deposits in Shanxi province. Prior to this discovery, Au, Ag exploration is confined to the inner and outer contact zone of intermediate-acidic porphyritic rock bodies.

The NW-trending fractures controlling the string-bead-distributed Au-anomaly (away from the rock body about 0.5—2 km) are conduits for transporting ore-forming fluid and the sub-fractures derived from them and the intersection of NW—trending and NE-trending fractures locate Au-ore deposits in spite of that the background area of high gold value is closely related to Tanshang intermediate--acidic subvolcanic complex in their genesis.

Ore-fluid were transported from SE-NW along fracture zone that leads to lateral element zonation in Gao Fan Au-anomaly which is caused by mineralization. Element zonation model is of certain representation in northeast Shanxi province.

Concentration limit value of Ag in the intermediate--acidic sub-volcanic rocks of Early, Middle and Late Yanshanian Stage is 9.5--717.9, much more than that of Au (0.23--2.76) indicating that Ag prospecting is more potential than Au in this area.

Test and verification of Gao Fan Au-anomaly prove a medium-sized Au-deposit. And a Au-anomaly in the south of Gao Fan anomaly is under test and verification now.