晋北后所金矿床地质特征及矿床成因^①

姚克明 温常贵 景俊强 乔红

(冶金部第三地质勘查局,山西太原,030002)

提 要 后所金矿是产在五台群变质岩中的金矿床,有含金黄铁矿石英脉型和蚀变岩型两种矿化 类型。本文论述了后所金矿的地质特征、矿物组成、微量元素、稳定同位素地球化学和矿物包体学特征,探讨了金矿的物质来源和金矿成因,指出了金矿的演化和最后定位于燕山中晚期。

关键词 晋北后所 金矿床 地球化学 矿物包体学

晋东北地区后所金矿床位于山西省繁峙县境内,是冶金部第三地质勘查局新近发现和查明的一个金矿床。在找矿勘探中积累了一些地质资料。本文试图通过矿床地质及地球化学特征的研究,探讨金矿床的成因。

1 区域地质背景

后所金矿处于山西隆起五台山断拱东北缘与广灵断陷接壤地带。区内出露地层为五台群 下部石咀亚群金刚库组及新生界第四系。其为五台山绿岩带的重要组成部分。绿岩带地层主 要是分布在五台群中的一套中一低级变质火山-沉积岩系。石咀亚群主要由镁铁质火山岩组 成,下部夹镁铁质-安山质火山凝灰岩和超镁铁质岩,中部夹长英质火山凝灰岩,上部夹铁建 造。区内岩石主要由斜长角闪片岩、黑云斜长片岩、黑云变粒岩、绢云片岩和磁铁石英岩等组 成。岩石经过了低角闪一绿片岩相变质作用。金刚库组 Sm-Nd 等时线年龄为 2599Ma,说明五 台群形成于晚太古代。区域北部与西部被黄土覆盖。

区内断裂构造十分发育,主要有北东东向、北北西向和北北东向三组,其中前者多为韧性 断层,后二者为张扭性断裂。NEE 和 NNE 向断裂是区内的两组主要控矿构造。NEE 向韧性剪 切带横贯矿区,倾向 NNW,倾角 35°~55°,最大宽度 360m,最窄 54m。由长英质、绢英岩质糜棱 岩、构造片岩等组成。自中间向两侧由纹状超糜棱岩-糜棱岩、粗糜棱岩-糜棱岩化片岩,过渡到 正常片岩。在剪切带中充填有燕山期石英斑岩脉及金矿脉。NNE 向张扭性断裂,倾向 NW,倾 角 50°~70°,长 200~500m,宽 3~5m。7 号、9 号金矿体产于其中。

燕山期石英斑岩和花岗斑岩脉沿 NEE 向韧性剪切带贯入。石英斑岩脉长近千米,宽6米。 其下部与构造岩接触部位有一条强硅化、黄铁矿化蚀变带。并赋存有(2)--1号金矿体(图1)。

① 收稿日期:1997-01-07

花岗斑岩仅在钻孔中见到。



1. 第四系 2. 金岗库组变粒岩 3. 金岗库组斜长角闪(片)岩 4. 金岗库组绢英片岩 5. 金岗库组石英岩 6. 混合 岩 7. 燕山期石英斑岩 8. 张扭性断裂及编号 9. 韧性剪切带 10. 金矿体及编号

图 1 后所金矿床地质略图



2 矿床地质特征

后所金矿是以金为主,伴生银、铅、锌等多种有用组分的金矿床。金矿产于五台群变质岩系 中发育的 NEE 向韧性剪切带和 NNE 向张扭性断裂中。共圈出金矿体 12 个,其中(2)--1、 (2)—2、(8)等金矿体产在 NEE 向韧性剪切带中,(7)、(9)号矿体产在 NNE 向张扭性断裂中。 围岩为斜长角闪片岩和绢英片岩。其中以(2)—1 号矿体规模最大(图 1)。

2.1 矿体特征

(2)—1 号矿体产于 NEE 向韧性剪切带内石英斑岩脉下盘,其由含金石英脉和破碎蚀变 岩组成,矿化的破碎蚀变岩主要有黄铁矿化绢英岩、硅化绢英岩、硅化破碎绢英片岩。破碎蚀变 岩型矿体界线由化验品位圈定。矿体呈脉状产出,沿走向局部出现分枝复合、尖灭再现现象。矿 体与断层产状基本一致,走向 NE—NEE,倾角 NW,倾角 30°~55°,走向长 500m,倾向延深已 控制 300m。矿体最大厚度 1.27m,最小厚度 0.23m,平均厚 0.65m。金品位一般 1.4~18.3g/ t,平均品位 5.9g/t。金矿在垂深上有浅部较富,深部变贫的趋势。沿走向西段较富,东段品位变 低。矿体中伴生有益组分,Ag、Pb、Zn 含量较高,Ag 平均品位 83.6g/t,可综合回收。

2.2 金矿床矿石特征及成矿阶段划分

后所金矿床主要金属矿物有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿,次为黝铜矿、斑铜矿、磁铁矿 等。金矿物以银金矿、金银矿为主,其次为硫金银矿、含金自然银、自然银和黝锑银矿、含银黝铜 矿等。表生金属矿物有褐铁矿、菱锌矿、白铅矿、赤铁矿、铜蓝、辉铜矿和孔雀石等。脉石矿物主 要有石英、绢云母、斜长石、方解石,次为白云母、绿泥石、绿帘石及少量高岭石等。

矿石结构主要发育有黄铁矿的自形-半自形粒状结构、碎裂结构,方铅矿、闪锌矿、黄铜矿 的他形粒状结构,黄铜矿在闪锌矿中乳滴状结构,黄铁矿被黄铜矿、闪锌矿、方铅矿交代港湾结 构等。

矿石的构造有稀疏浸染状构造、角砾状构造、细脉网脉状构造、条带状构造、块状构造和蜂 房状构造等。网脉状构造者多为富矿石。

根据矿石的矿物组成和结构构造,将矿石分为如下类型:稀疏浸染状矿石、细脉-网脉状矿 石和网脉状矿石。考虑到脉石矿物的种类,又可分为含多金属硫化物的硅质岩型矿石、含金黄 铁绢英岩型矿石、含金多金属硫化物石英矿石。

根据矿石金属矿物、脉石矿物组合及生成温度,将后所金矿床成矿期次划分为热液成矿期 和表生期。其热液成矿期又划分为三个成矿阶段:I.金-黄铁矿-石英阶段,石英呈乳白色,它 形,少数为半自形晶。黄铁矿晶粒粗大,裂纹发育,普遍压碎。金以少量银金矿析出,成色相对 较高,金被包在石英或黄铁矿裂缝中。I.金-多金属硫化物-石英阶段,方铅矿、闪锌矿、黄铜 矿、黄铁矿发育,呈脉状或网脉状分布在脉石矿物间。金多呈银金矿、金银矿等产于硫化物细脉 中。是金的主成矿阶段。I.金-碳酸盐阶段,以形成含少量石英的方解石脉团块为特征。含少 量硫化物。

后所金矿床矿物生成顺序和成矿阶段划分列于表1中。

2.3 金银的赋存状态及金银矿物

显微镜下观察矿石光片过程中,发现了大量金银矿物颗粒。有银金矿、金银矿、自然银、硫 金银矿、含金自然银、黝锑银矿、含银黝铜矿等。与该区耿庄、义兴寨等金矿相比,其银矿物明显 较多。自然金的成色明显较低。矿石中金主要以金银矿、银金矿和硫金银矿为主,其成份见表 2。形态一般为浑园状、不规则粒状和树枝状等。粒径在 0.005~0.07mm 之间,一般为 0.03~ 0.06mm 间。金银矿物产出状态有三种:1)充填在黄铁矿、方铅矿裂隙中;2)分布于方铅矿、闪 锌矿和石英的晶体间;3)显微粒金被包于石英、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿中。相对含量的比率见表 3。

表 1 后所金矿矿物生成顺序表

Table 1 Mineral succession of Houshuo Au-deposit

The Adm		長 止 姫		
· 19 · 170	黄铁矿-石英 阶段	硫化物一石英阶段	金一碳酸盐阶段	1(工 79)
黄铁矿				
闪锌矿				
方铅矿				
黄铜矿				
黝铜矿				
斑铜矿				1
银金矿				
金银矿	-			
硫金银矿				
自然银				
黝锑银矿				1
菱锌矿				
白铅矿	· .			
铜蓝				
辉铜矿				
孔雀石				
褐铁矿				
赤铁矿				
方解石				
石英				
绢云母			· ·	
绿泥石				
高岭石				

2.4 围岩蚀变与成矿的关系

该矿床围岩蚀变强烈,主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化和绿泥石化,偶见高岭

土化。蚀变带宽一般 5~10m,最宽 30m。

后所金矿围岩蚀变在平面上有分带性,自矿体向外依次为硅化、碳酸盐化、绢英岩化、黄铁 矿化、绿泥石化。不同矿化类型其蚀变分带有所差异。如含金石脉型矿化,石英脉两侧主要为 绢英岩化和绿泥石化等。破碎蚀变岩型矿化,则以黄铁绢英岩为矿石,即矿体部位发育强烈的 黄铁矿化、绢云母化、硅化较普遍,绿泥石化在外侧较发育。

表 2 后所金矿床金银矿物电子探针分析结果*

		分析结果表(%)												矿施合友	
ተተማ	Au	Ag	Cu	РЬ	Zn	s	As	Te	Sb	Fe	Co.	Cr	ᇞᅖ	9 初定名	
1	46.88	53.13	0	0.18	0	0.40	0	0	0	0.02	0.02	0.1	469	金银矿	
2	45.43	5 3. 03	0.02	0	0.07	0.13	0	0.04	0	0	0	0.04	461	金银矿	
4	32.03	53.29	0.27	2.97	0.03	9.60	0.01	0.07	0	0.01				硫金银矿	
7	27.75	59.37	0.29	0.57	0.09	9.87	0.04	0.01	0	0				硫金银矿	
9	31.73	68.27											317	金银矿	
10	60.17	40.51	0.08	0.16	0.09	0.13	0	0	0	6.15	0.02	0	597	银金矿	
12	66.99	30.45	0	0	0	0.16	0.01	0.10	0	0.11		•	688	银金矿	
15	14.73	77.36	0.13	1.64	2.75	1.51	0.20	0.12	0	0.03			150	含金自然银	
16	18.93	75.59	0.33	0.30	0.24	1.44	0	0.16	0	0.12			200	含金自然银	
19	0	21.78	24.00	0	0	24.16	1.98	0	25.35	2.54				黝锑银矿	
20	0.11	7.94	34.12	0	2.72	28.47	15.26	0	6.77	4.68				含银黝铜矿	

Table 2 Electronic probe analysis of Au-Ag-minerals

*天津地质研究院探针室测定

表 3 金银矿物赋存状态

Table 3 Gold occurrance and ore minerals of Houshuo Au deposit

	赋存状态	相对	含量		
	方铅矿、闪锌矿	11: 1			
裂隙金	黄铁矿	15.0	37.2		
	石英	11.1			
粒间金	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿及石英粒间	33.2	33. 2		
	石英	7.4			
包裹金	黄铁矿	7.4	20.2		
	方铅矿	7.4	29.6		
	闪锌矿	7.4			

62

3 金矿床地球化学特征及矿床成因

3.1 矿石中成矿及微量元素含量

工作中测定了矿床中成矿及微量元素含量,其测定结果列在表4中,同时列出了胶东乳山 金矿含金黄铁矿石英矿石和灵山沟含金黄铁绢英岩型矿石的分析结果。金矿床成矿元素及伴 生元素共生组合的研究,对于了解成矿环境、成矿物质来源,确定金矿类型和选择指示元素指 导找矿具有重要意义。由表4看出,后所金矿床中Au、Ag、Pb、Zn、Cu、Mo和W含量均高,Mn 含量有高有低,Ni、V、Ti、Cr及Sr、Ba含量均低,,F含量高出地壳克拉克值3~11倍。与胶东 地区的乳山和灵山沟金矿比较,成矿贱金属Cu、Pb、Zn含量明显偏高。具多金属中低温热液成 矿的特点。

							•									
元 <u>素</u> 样 号	Au	Ag	РЪ	Zn	Cu	Мо	Co	Ni	Mn	w	v	Ti	Cr	Sr	Ba	F
QF6	8.95	51	17000	11500	797	16.1	37	47	420	62	128	2050	113	7	209	2900
QF7	14.8	78	12800	1400	981	15.7	22	37	960	27.8	67	1490	126	20	251	1490
QF8	7.2	85	21000	1500	976	14.5	40	28	1420	42.5	81	1700	116	36	284	2300
QF 10	1.3	36	4900	8700	390	14.5	23	29	2950	6.0	13	500	109	48	113	1350
QF24	1.0	208	15300	96 00	831	28.7	39	28	1130	40	37	312	66	50	310	3200
QF28	2.12	16	2300	1100	182	12.9	37	76	1540	32.5	38	1430	88	50	408	2650
Q F31	1.19	95	11000	1400	245	18.0	31	44	639	33. 1	89	1370	110	28	293	3750
QF32	1.17	5	.300	300	291	27.0	65	53	2800	30.6	1 6 5	2210	62	50	356	3550
QF33	1.30	3.2	100	100	126	18.0	30	22	694	20.3	67	1920	53	47	402	4800
QF44	46-29	8.9	700	300	74	14.8	49	54	1160	13.0	84	2200	58	40	392	4400
J—022 *	10.09	33.54	180	2600	1660		20	5.2	1092		22			14	320	
J196 *	18.22	61.94	177	287	138	5.0	47	76	1072							
地壳克拉克值 (黎彩,1976)	0. 0035	0. 075	12	94	63	1.3	25	89	1300	1.1	140	6400	110	480	390	450

表4 矿石微量元素含量表(×10⁻⁶)

Table 4 Micro-element analysis of ore from Houshuo Au deposit

* J-022 为乳山金矿含金黄铁矿石英矿石; J196 为灵山沟金矿黄铁绢英岩型矿石。

3.2 铅同位素特征

为研究成矿物质的来源,测定了后所金矿矿石铅同位素组成,同时测定了区内与成矿有关的石英斑岩、花岗斑岩和白云岩的铅同位素,以便进行对比,其测定结果列在表5中。该矿床铅同位素组成有以下特征:

(1) 总体看,铅同位素组成相对稳定,变化较小,²⁰⁶ Pb/²⁰⁴ Pb 为 16.7649~16.8867, ²⁰⁷ Pb/²⁰⁴ Pb为 15.1610~15.2189,²⁰⁸ Pb/²⁰⁴ Pb 为 36.3447~36.5571,后者变化相对明显。在构 造铅环境分布图中(Doe, B.R 和 Zatman, R.E)(图 2),矿石铅落在下地壳铅和地幔铅平均演 化线附近,与区内分布的花岗斑岩和高于庄组白云岩相似。指明了成矿物质与花岗斑岩和高于 庄组白云岩有关,为地壳和幔源两种来源。石英斑岩的铅同位素组成,与矿石铅同位素明显不 同,显示了造山带铅同位素特点。

		N H		4	沿同位素组成	戈		源区特征值**				
序号 样号	│ 样品 │ │ 名称	样品位置	²⁰⁶ РЬ ²⁰⁴ РЬ	²⁰⁷ РЬ ²⁰⁴ РЬ	²⁰⁸ РЬ ²⁰⁴ РЬ	模式年龄 (Ma)	μ	ω	Th/U			
1	YG2	方铅矿	后所金矿	16.7661	15.1610	36. 5556	858	8.27	34.00	3.96		
2	YG6	方铅矿	后所金矿	16.7649	15.1780	36.5552	879	8.30	34.03	3.97		
3	YG10	方铅矿	后所金矿	16.8867	15.2189	36.3447	831	8.36	32.63	3.77		
4	YG41	方铅矿	后所金矿	16.7703	15.1889	36.5571	887	8. 32	34.11	3.97		
5	T—3	石英斑岩	区内	16.9848	15.5002	36.5475	1059	9.06	35.59	3.81		
6	T—44	白云岩	高于庄组	16.8616	15.3179	36.9934	954	8.72	36.81	4.07		
7	D—67	花岗斑岩	区内	16.920	15.239	36. 887	924	8.7	36.0	4.0		
8		变质岩(3)	五台群	16.71	15.35	36.68	903	8.46	34.92	3.99		

表 5 后所金矿床铅同位素组成及源区特征值· Table 5 Pb isotope data of Houshuo gold mine

*:天津地质研究院同位素室测定

* * $\mu = {}^{238}U/{}^{204}Pb, \omega = {}^{232}Th/{}^{204}Pb$

2)后所金矿床铅源区特征值 $\mu, \omega, Th/U, 与相应的地球正常值(\mu=9.58, \omega=36.50, Th/U = 3.8)比较, <math>\mu, \omega$ 值偏低, 成矿物质来自铀亏损型源区, 根据 $\mu, \omega, Th/U$ 等数据判断, 这个源区 五台群变质岩和中元古界高于庄组白云岩相似, 同样指示了成矿物质可能来自下地壳和部分 上地幔双重来源。该矿区同位素资料与布郎给出的区分古代铅、现代铅以及异常铅特征相比 较, 该区具古代铅特征(古代铅(前寒武纪)²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb<17.00,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb<16.00,²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb <37.00), 亦说明了成矿物质来源于前寒武纪古老地层。

3.3 矿床形成温度、成矿溶液性质

后所金矿矿石中石英包裹体按特征、组分可分液相包裹体和含液体 CO₂ 包裹体两种。液 相包裹体形态呈长条状、不规则状,大小在 2.5×3.6~5.4×7.2(μ m²)。含 CO₂ 包裹体中,含 CO₂ 一般 20%~40%,个别含 CO₂ 多达 75%~80%。

1)成矿温度测定 根据 102 个包裹体均一测温数据,将温度分为三组,120~180℃,190~ 310℃,310~360℃(图 3)。由显微镜下观察及矿物共生组合关系,120~180℃这组温度,在 100℃左右有成矿后的次生包体,在 120~180℃间可能与金-碳酸盐成矿阶段对应,190~ 310℃为主要成矿温度,可能与多金属硫化物-石英阶段相当。310~360℃这组温度可能是含金 黄铁矿-石英沉淀阶段的温度。反映出矿床形成温度为中一低温范畴。 2)成矿溶液盐度
由含 CO2 包裹体
测得原生成矿流体盐
度为 8.35wt%,比刁
泉砂卡岩铜金银矿
(40wt%~ 46wt%)
的盐度低,比支家地
银 矿 的 盐 度
(0.97wt%)高。具中
低温热液成矿特点。

成矿压力是粗略 估算的,后所金矿成 矿压力在 11.6×10⁶ ~35.0×10⁶Pa。可能 与金矿主要在断裂、 裂隙等压力释放和消 减带成矿有关。

3)成矿溶液性质

选取了含金黄铁 矿石英阶段和多金属 硫化物石英阶段的石 英,测定了包裹体的 化学成分(表 6)。气 液包裹体主要含有 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 、 CH_4 和 H_2O ,其



央,测定 J 包表 14 的 a. 地幔铅同位素演化曲线 b. 造山带铅同位素演化曲线 c. 上地壳铅同位素演化曲线 d. 化学成分(表 6)。 气 下地壳铅同位素演化曲线

液包裹体主要含有 1.后所矿石铅同位素组成 2.石英斑岩铅同位素组成 3.高于庄组白云岩铅同位素组成 K^+ Na⁺ Ca²⁺ 4.花岗斑岩铅同位素组成

图 2 后所金矿床铅同位素组成分布图

Fig. 2 The Pb isotopic distribution diagram of Houshuo Au deposit

中 Na⁺、Ca²⁺、K⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、CO₂ 和 H₂O 含量较高。阳离子 Na⁺/K⁺比值在 0.7~4 之间。

成矿溶液所含阴离子顺序为 $Cl^->SO_4^{2-}>F^-$,以 Cl^- 占优势。经计算成矿溶液的 PH= 6.8, Eh=-0.67, 属弱酸性、弱还原环境下成矿。成矿溶液主要是 $Na^+-K^+-Ca^{2+}$ 和 $Cl^--SO_4^{2-}-F^-$ 型弱酸性溶液。

气液包裹体中微量气体分析表明,包裹体中含有 CO_2 、 H_2O 、 CH_4 、 H_2 、CO,以 CO_2 、 H_2O 为 主。在成矿末期有碳酸盐矿物生成,故推测应含有 CO_3^{2-} 络阴离子。 CO_3^{2-} 、 HCO_3^{-} 应是成矿溶 液的组成成分。



4 矿床成因

后所金矿是赋存 在太古界五台群变质 岩系中的石英脉和蚀 变岩型金矿床。矿脉 明显受 NNE 及 NEE 向断裂构造控制,在 时空上与燕山期岩浆 活动密切相关。

太古代五台群变 质岩具有较高的金丰



度值,绿泥片岩、碳酸盐岩、变质砾岩等金丰度在 2.91×10⁻⁹~4.05×10⁻⁹间(据田永清等, 1991),为矿床提供了成矿物质来源。铅稳定同位素的研究,也同样指明了古老变质岩和地幔成 矿物质的双重来源。石英斑岩、花岗斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄为150Ma。矿体中微量元素特征 具变质热液和岩浆热液双重特点。石英包裹体均一温度、盐度、溶液成分和性质标明是中一低 温条件,低盐度弱酸性、弱还原条件等。

矿物	成分。	号型	HD—1	HD—4
		CO2	20942	30599
	气	CH₁	433	186
T	相 成 分	CO	0.001	0.001
		H ₂	83	225
		O ₂	0.00	0
าม	$ imes 10^{-6}$	N ₂	0.00	0
		H ₂ O	1782	1036
	液相成、	K ⁺	2526	8684
		Na ⁺	10299	5905
英		Ca ²⁺	11685	18902
		Mg ²⁺	1055	1206*
	Я	SO_4^{2-}	3794	1303
		F -	892	1785
	$\times 10^{-6}$	Cl-	16399	11694

表 6 矿物包裹体成分测试结果(×10⁻⁶) Table 6 Analysis of inclusion

由上可知,后所金矿是晋北五台群地质体中成矿物质经区域变质作用,后经燕山期构造-岩浆作用(带入幔源成分),多次活化、迁移、富集,最后在断裂构造部位成矿的。故具有下地壳 和上地幔两种物质来源,是在燕山期构造-岩浆作用下,所形成的中低温热液金矿床。

参考文献

黎彤,倪守彬.地球和地壳的化学元素丰度.北京;地质出版社,1990
李兆龙,杨敏之.胶东金矿床地质地球化学.天津科学技术出版社,1993
李兆龙,唐耀林,等.山西支家地银矿地质特征及矿床成因.矿床地质,1992,11(4)
李兆龙,张连营.晋北火山岩型金银矿床同位素地球化学特征.地球学报,1994,1~2
田永清,等.五台山一恒山绿岩带地质及金的成矿作用.山西科学技术出版社,1991
沈保丰,等.华北陆台太古宙绿岩带地质及成矿.北京;地质出版社,1994

GEOLOGICAL CHARACTERS AND GENESIS OF HOUSHUO AU-DEPOSIT IN NORTH SHANXI PROVINCE

Yao Keming Wen Changgui Jing Junqang Qiaohong (The third geological bureau, M. M. I, Shanxi, 030002)

Abstract

There are a large number of Au-Ag epithermal deposits which are closely related to Yanshanian volcanic and sub-volcanic rocks in northern Shanxi province. Houshuo Au deposit is one of them. It occurs in the ductile shear zone locatecl in Wutai Group with two mineralized types, Au — bearing pyrite — quartz vein and altered one. The mineral association consists, mainly of kustelite and electrum. The country rocks were strongly altered by silicification, sericitization and carbouatization.

The Pb isotope composition of ore is similar to that of the metamorphic rocks of wutai Group and the dolomite of Gaoyuzhuang Formation. indicating that the ore-forming material derived from the Pre-Cambrian strata.

The geochemistry study of the inclusion of mineral indicates that the ore-forming tempeature is 190~310°C. The salinity of the ore-forming fluid is 8. 35wt %, with high Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻ and SO₄²⁻. It is concluded that epithermal Au-deposit was formed in the process of Yanshanian tectonic-magmatism.

Key words Houshuo in north Shanxi province Au deposit geochemistry mineral inclution