doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2024.02.004

山西省繁峙县茶坊金矿地质特征及成因探讨

黄红国,李振,刘晓磊,张春岗,刘璐琦(中晋环境科技有限公司,太原030032)

摘要: 山西省茶坊金矿床产于新太古代奥长花岗岩(黑云斜长片麻岩)缓倾斜构造破碎带中。该矿区内断裂发育,其周边有燕山晚期石英斑岩、花岗闪长斑岩和辉石闪长岩呈脉状和小岩株状侵人。通过对茶坊金矿的矿床地质特征和矿床地球化学特征进行综合研究,认为茶坊金矿属于与燕山晚期次火山岩浆活动有关的中低温热液型金矿。

关键词: 茶坊金矿;地质特征;矿床成因;次火山斑岩成矿系统;中低温热液金矿;繁峙县;山西省中图分类号: P618.51 文献标识码: A

0 引言

山西省茶坊金矿地处晋东北伯强次火山岩型金 多金属矿田内。该区周边古采遗迹多见,其勘查探 掘历史悠久。其正规的地质勘查工作始于 20 世纪 50年代。1952年,北京大学地质系实习队在伯强一 岭底一带开展 1:5 万地质测量;1963—1965 年,山 西省地矿局区调队开展平型关幅 1:20 万区域地质 测量:1967-1968年,山西省地矿局 211 地质队在 该区开展普查找矿工作;1979-1981年,山西省地 矿局区调队进行伯强测区 1 : 5 万区调;1986 年山 西省冶金地质研究所在茶坊一带进行综合化探工 作;1998-2000年,冶金地质总局三局地质勘查研 究院和冶金部天津地质研究院合作开展"晋东北陆 相次火山岩型银(锰、金)矿勘查系统工程"科技项目 研究;2013年,中国冶金地质勘查总局第三地质勘 查院提交"山西省繁峙县茶坊矿业开发有限公司金 矿详查"地质报告,查明金矿石资源量 22.13×10⁴ t,金属金储量 840.94 kg;银矿石资源量 22.13×10⁴ t,金属银储量 36459.86 kg;铜矿石资源量 22.01× 10⁴ t,金属铜储量 691.13 t;铅矿石资源量 22.01× 10⁴ t,金属铅储量 4278.44 t;锌矿石资源量 22.01× 10⁴ t,金属锌储量 5189.86 t。

多年来,许多地质学者对耿庄—伯强地区金多金属矿产进行了研究和探讨^[1-15]。对于茶坊金矿床的成因,前人主要有2种认识,一是认为金矿与太古代花岗-绿岩带有成因联系,二是认为成矿与燕山期火山-岩浆活动关系密切。本文试图通过对其矿床地质特征的阐述,结合部分矿床地球化学研究资料,力图探讨金矿床的成因。

1 成矿地质背景

繁峙县茶坊金矿区地处华北断块(II级)吕梁一太行断块(II级)五台山块隆(IV级)中北部的义兴寨一伯强构造岩浆成矿带^[1],以滹沱河新构造带为界,其北部为义兴寨金铁多金属矿田,其南部为伯强金-银-多金属矿田。

伯强金-银-多金属矿田(图 1)内出露地层主要为中元古界长城系、下古生界寒武系和奥陶系。区域 NNW 向的南峪口一红安张扭性断裂纵贯全区,次级断裂十分发育^[2-3]。新太古代岩浆岩为 TTG (花岗闪长岩-奥长花岗岩-英云闪长岩)岩系,伯强矿田产出的新太古代岩体为车厂—北台花岗岩的一部分,主要为奥长花岗岩,多已变质-变形为花岗片

收稿日期: 2023-11-05; **改回日期:** 2024-06-02; **责任编辑:** 余和勇

作者简介: 黄红国(1968—),男,高级工程师,硕士,1991年毕业于成都地质学院,从事地质勘查工作。通信地址:山西省太原市龙城大街 107号,中国冶金地质总局三局科研楼中晋环境科技有限公司;邮政编码:030032;E-mail:615995949@qq.com

麻岩,构成本区的基底,岩体的侵位时代为2560 Ma~ 2540 Ma^[3-4]。燕山期侵入岩在后峪、伯强、茶坊、耿 庄等地发育,中酸性小岩株和岩脉多侵入到奥长花 岗岩、长城系和寒武系中,岩性为闪长岩、花岗闪长 岩、二长花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩和辉绿岩,岩体 呈多阶段侵入,同时伴有隐爆角砾岩,体现本区燕山 期岩浆活动呈浅成-超浅成侵位的特点。区内与燕 山期岩浆热液有关的金银及多金属成矿作用强烈, 金银多金属矿体的围岩有奥长花岗岩、碳酸盐岩和 隐爆角砾岩等;控矿构造有张扭性断裂破碎带、燕山 期岩体接触带、与侵入岩体、火山机构(包括隐爆角 砾岩筒)有关的断裂系统等;金(银)矿石亦可分为构 造蚀变岩型、石英-方解石脉型、隐爆角砾岩型和矽 卡岩型等类型;成矿元素有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、 Mo、FeS₂等;各种矿产或独立成矿,或呈共(伴)生 关系。并以后峪村为中心呈现 Au → Mo-Au → Ag → Pb → Zn 的元素地球化学分带现象。矿田总面 积约 80 km²,各类矿床(点)达 10 余处^[2]。

2 矿区地质特征

2.1 地层

茶坊金矿区内地层出露良好,自下而上出露有 长城系高于庄组、寒武系中统馒头组、张夏组以及第 四系(图 2)。

- (1)长城系高于庄组(Chg)。在矿区北部和南部的山脊处呈单斜产出,倾向多近320°,倾角15°~20°。岩性为一套含燧石条带结核白云岩、含锰白云岩夹页岩及巨厚层状白云岩。不整合覆盖于新太古代奥长花岗岩之上。
- (2)中寒武统馒头组($\in_2 m$)。主要产于矿区北部山脊处,呈单斜构造状,倾向约为 300°,倾角 15° \sim 20°。下部岩性为粉红色白云质页岩、粉细晶白云岩、含砾长石石英钙质砂岩;上部为暗紫色粉砂质页岩夹薄-中层状粉砂岩、细砂岩及生物碎屑灰岩。
- (3)中寒武统张夏组($\in_2 z$)。主要分布于矿区 北部的山脊处,呈单斜构造状,倾向一般为 300°左 右,倾角 15°~20°。下部岩性为薄层状泥晶灰岩、中 层状鲕粒灰岩夹钙质泥岩、生物礁灰岩和页岩;上部 为砂砾屑白云岩夹粉细晶白云岩、白云质灰岩。
- (4)第四系沱阳组(Qht)。主要分布于矿区羊 眼河(即伯强沟)和大麻花沟之中,为现代河床、河漫 滩堆积,由冲洪积砂砾石、砂、粉砂土、淤泥层等组成。

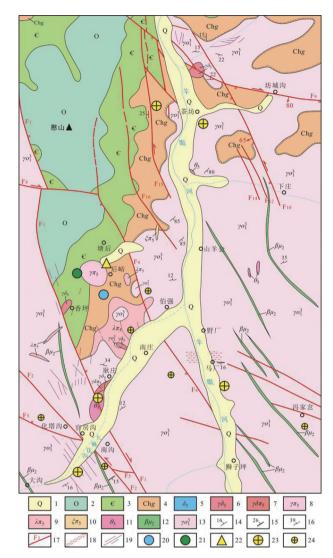


图 1 伯强金矿田地质矿产略图

(据文献[2],修编)

Fig. 1 Geological and mineral resources sketch of Boqiang gold field

- 1. 第四系; 2. 奥陶系; 3. 寒武系; 4. 长城系高于庄组; 5. 闪长岩; 6. 花岗闪长岩; 7. 花岗闪长斑岩; 8. 花岗斑岩; 9. 石英斑岩;
- 10. 正长斑岩;11. 隐爆角砾岩筒;12. 变辉绿岩;13. 奥长花岗岩; 14. 地层产状;15. 片理产状;16. 片麻理产状;17. 断裂及编号;
 - 18. 糜棱岩带;19. 含金石英硫化物脉;20. 钼矿床;
 - 21. 铜矿床;22. 黄铁矿床;23. 金矿床;24. 图 2 位置

2.2 导矿-容矿构造

区内构造以断裂为主,矿区内发育有3条断裂和1条构造破碎带。

 F_1 断裂。即坊城沟断裂,为燕山期区域性压性断裂,呈 NWW-NW 向斜贯矿区,北东盘上冲,倾角为 80° 。

 F_2 断裂。为性质不明的断裂,呈 NNW 向,被 坊城沟断裂(F_1)切错。

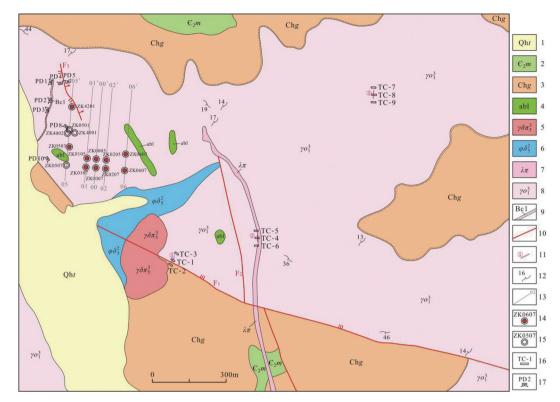


图 2 茶坊金矿区地质略图

Fig. 2 Geological map of Chafang gold deposit

- 1. 全新统沱阳组:现代河床、河漫滩砂砾岩堆积; 2. 中寒武统馒头组:砖红色页岩、泥灰岩;
 - 3. 长城系高于庄组: 含燧石条带结核白云岩,白云岩夹页岩,巨厚层状白云岩;
 - 4. 斜长角闪岩; 5. 白垩纪: 花岗闪长斑岩; 6. 侏罗纪:辉石闪长岩; 7. 石英斑岩脉;
 - 8. 新太古代: 奥长花岗岩;9. 韧脆性构造破碎带;10. 断裂;
 - 11. 金矿化脉;12. 片麻理产状;13. 勘探线及编号;
 - 14. 见矿钻孔及编号;15. 未见矿钻孔及编号;16. 探槽及编号;17. 平硐及编号

 F_8 断裂。断裂走向 NNW,倾向 NEE,倾角 80° ;长 250 m,宽约 $1\sim2$ m,断距约 10 m,断裂性质为逆断层,并与金矿体斜交。

Bc1 破碎带。为缓倾斜的构造破碎带。破碎带的围岩均为新太古代奥长花岗岩(黑云斜长片麻岩),破碎带走向近 EW,倾向 S,倾角约为 25°;破碎带长度>280 m,延深>360 m,宽度 0.4~1.6 m。破碎带中出现明显的围岩蚀变,蚀变的主要类型有绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、硅化和方解石化等。

研究认为,燕山期岩浆活动晚期,含矿热液沿断裂迁移到缓倾斜的构造破碎带中,在适宜的环境条件下富集成矿。区内断裂为导矿构造,缓斜的构造破碎带为容矿构造。

2.3 岩浆岩

矿区大部分地段均为新太古代北台岩体(奥长花岗岩)所占据,在中西部见有燕山期花岗闪长斑岩和辉石闪长岩呈小岩株侵入,出露面积约为 0.1

 km^2 。在中部还有燕山期石英斑岩脉产出,岩脉走向 NNW,长 1300 m,宽 $10\sim20 m$ 。从岩浆岩产出的部位及蚀变带的分布规律分析,燕山期的岩浆活动与金属矿化有密切的联系。

2.3.1 新太古代奥长花岗岩(γο³)

奥长花岗岩在矿区中大面积产出,经太古代晚期的区域变质作用,原有的花岗岩已经变质变形,形成以黑云斜长片麻岩为代表的花岗片麻岩类岩石。岩石以黑云斜长片麻岩为主体,另有少量白云斜长片麻岩、斜长角闪岩和绢荚片岩等,片麻理产状一般为 270°~340°。在片麻岩的破碎带中有金矿化产出。主要岩石类型的岩石学特征如下。

(1)黑云斜长片麻岩。灰绿色,鳞片粒状变晶结构,片麻状构造。主要矿物为斜长石和石英,斜长石呈粒状,粒径 $0.2\sim1~\text{mm}$,含量 $40\%\sim55\%$;石英呈粒状或拉长粒状,粒径 $0.05\sim1.22~\text{mm}$,含量 $25\%\sim32\%$;次要矿物为黑云母,呈片状,片径 $0.1\sim$

0.75 mm,含量 5%~10%;另有少量的白云母、绿泥石和方解石;副矿物为磷灰石和金属矿物。

(2)白云斜长片麻岩。肉红色,鳞片粒状变晶结构,片麻状构造。主要矿物有斜长石和石英,斜长石呈粒状,粒径 $0.15\sim1.5~mm$,含量 $40\%\sim55\%$;石英呈粒状,粒径 $0.1\sim0.7~mm$,含量 $25\%\sim32\%$;次要矿物为白云母,片状,片径 $0.15\sim2.07~mm$,含量 $5\%\sim10\%$;副矿物为磷灰石及铁质。

(3)斜长角闪岩。灰黑色,细粒粒状柱状变晶结构,片状构造。主要矿物为普通角闪石和斜长石,普通角闪石呈柱状,粒径 $0.15\sim0.85$ mm,含量 $45\%\sim50\%$;斜长石呈粒状,粒径 $0.1\sim0.9$ mm,含量 $30\%\sim35\%$;次要矿物有石英和黑云母,石英呈粒状,粒径 $0.03\sim0.4$ mm,含量 $5\%\sim10\%$;黑云母呈片状,片径 $0.03\sim0.4$ mm,含量 $2\%\sim5\%$;副矿物为榍石和金属矿物。

(4)绢英片岩。灰褐色,鳞片粒状变晶结构,片状构造。主要矿物有石英和绢云母,石英呈拉长粒状,粒径 $0.05\sim1.6~\mathrm{mm}$,含量 $45\%\sim50\%$;绢云母呈细鳞片状,片径多 $<0.3~\mathrm{mm}$,含量 $40\%\sim45\%$;次要矿物为白云母,片状,片径 $0.15\sim0.9~\mathrm{mm}$,含量 $5\%\sim10\%$;另有少量铁质矿物。

2.3.2 燕山期辉石闪长岩($\varphi\delta_5^2$)

辉石闪长岩是矿区燕山期较早侵入的中酸性岩体,侵入的地层为长城系高于庄组,并被后期的花岗闪长斑岩侵入。

该岩石呈灰色,半自形粒状结构,块状构造。岩石的主要矿物为斜长石、普通辉石、普通角闪石和黑云母,副矿物为磷灰石与金属矿物。斜长石呈半自形板状,粒径 $0.1\sim0.4$ mm,含量 $60\%\sim65\%$;普通辉石呈短柱状,粒径 $0.05\sim0.45$ mm,含量约为 10%;普通角闪石呈柱状、粒状,粒径 $0.2\sim0.7$ mm,含量约为 10%;黑云母呈片状,片径 $0.1\sim0.4$ mm,含量约为 5%;其它矿物约占 5%。

2.3.3 燕山期花岗闪长斑岩 $(\gamma\delta\pi_5^3)$

茶坊花岗闪长斑岩体具有明显的浅成-超浅成侵入岩的特征,岩体附近有隐爆角砾岩产出,鉴于距茶坊同一矿田的耿庄、后峪一带亦有次火山岩体出露,因此茶坊花岗闪长斑岩也属于燕山期侵入的次火山岩体。

岩石呈灰色-灰白色,斑状、似斑状结构,块状构造。岩石组成矿物主要为斜长石、石英与普通角闪石,次为白云母与方解石。蚀变类型为绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化,副矿物为金属矿物。斑晶多由

斜长石组成。斜长石呈板状、粒状,粒径 $0.1 \sim 1$ mm,晶体中有大量细小裂纹,沿裂纹绢云母化强烈,斑晶含量 $50\% \sim 55\%$;石英呈粒状,粒径 $0.03 \sim 0.9$ mm,含量 $20\% \sim 25\%$;普通角闪石呈柱状,粒径 $0.1 \sim 0.7$ mm,含量约 10%。其它矿物含量占5%左右。

2.3.4 燕山期石英斑岩(λπ。)

石英斑岩呈脉状,侵位于晚太古代变奥长花岗岩、长城系高于庄组和中寒武统馒头组中,是矿区形成较晚的侵入岩。岩脉呈 NNW 向产出,在花岗闪长斑岩外围呈弧形弯曲。

岩石呈浅灰色,斑状结构,块状构造。岩石由斑晶和基质组成,斑晶成分为石英,粒径 0.2~0.9 mm,含量 4%左右;基质主要为球粒状的石英、透长石(约 25%)和细粒状的石英+长石(约 60%)组成;另有少量的黑云母和方解石。

3 金矿体地质特征

3.1 金矿体特征

茶坊金矿的金矿体主要受构造破碎带 Bc1 的控制,发育于奥长花岗岩(黑云斜长片麻岩)中;在矿区的中西部,已经探明金矿体 2 个,编号为 I 号和 II 号 (图 3)。另外,在矿区南部和东部发现金矿化体 3 条,编号为①号、②号和③号(见图 2)。矿区中金矿体的金品位大多在 1×10^{-6} 左右,个别样品达 20×10^{-6} 以上,同时含 Ag、Cu、Pb、Zn,属金银多金属硫化物矿床(表 1)。

(1) I 号金矿体。矿体走向总体呈近 EW 向,多为舒缓波状延伸,呈脉状产出,倾向 S,上部倾角 $15^{\circ} \sim 23^{\circ}$,下部倾角 $23^{\circ} \sim 28^{\circ}$,平均 25° 。矿体长 280 m,延深 360 m,厚 $0.37 \sim 1.61$ m,平均厚度 0.89 m,厚度变化系数 35.23%。赋存标高 $1280 \sim 1418$ m。矿体由 7 个坑道 (PD1、PD2、PD3、PD4、PD5、PD8 和 PD10) 和 10 个钻孔 (ZK4201、ZK0005、ZK0007、ZK0105、ZK0107、ZK0205、ZK0207、ZK0503、ZK0603 和 ZK0607)控制。矿石品位: $w(Au) = 0.86 \times 10^{-6} \sim 5.24 \times 10^{-6}$,最高 28×10^{-6} ,平均 3.92×10^{-6} ,品位变化系数 54.52%。其件生矿产的平均品位: $w(Ag) = 166.48 \times 10^{-6}$,品位变化系数 48.03%;w(Cu) = 0.31%,品位变化系数 72.41%;w(Pb) = 1.93%,品位变化系数 68.44%。

表 1 茶坊金矿床金矿体特征

OD 11 1	O1	C 11	1 1	. (31 (111 1 .
Table 1	Characteristics	of gold	ore body	in Chatang	gold deposit

矿体规模/m			→~ J.b. /				7	均品位	立		储量(金属量)					
矿体 编号		产状/ (°)	高程/m	埋深/m	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Cu	Pb	Zn		
-710 J	严人	延休	序	()			$w_{\rm B}/1$	$w_{\rm B}/10^{-6}$		$w_{\rm B}/\%$		kg	t			
I	280	360	0.89	$175 \angle 25$	1280~1418	90~260	3.92	166.48	0.31	1.93	2.34	838.97	36.25	691.13	4278	5189
Π	40	40	0.45	$175\angle 25$	$1270 \sim 1295$	$160 \sim 175$	1.67	10.6				1.97	0.2			

(2) II 号金矿体。赋存于 I 号金矿体的下部,相对高差 11.32 m,仅由 1 个钻孔(ZK0107 孔)控制,II 号矿体与 I 号矿体产状一致,矿体总体走向近 EW 向,呈脉状产出,倾向 S,倾角 23°;矿体长 40 m,延深 40 m,厚 0.45 m;赋存标高 1270~1295 m。矿体品位 $w(Au)=1.67\times10^{-6}$,伴生银品位 $w(Ag)=10.60\times10^{-6}$,Cu,Pb 和 Zn 元素含量较低。

(3)①号金矿化体。分布在矿区南部,矿化体走向 NNW,倾向 82°,倾角 40°,长度 25 m,厚度 0.47 m。矿化体由 3 个探槽 (TC-1、TC-2 和 TC-3) 控制。矿石品位: $w(Au)=0.78\times10^{-6}$, $w(Ag)=5.21\times10^{-6}$,w(Cu)=0.036%,w(Pb)=0.018%,w(Zn)=0.055%。

(4)②号金矿化体。分布在矿区南部,矿化体走向 NNW,倾向 82°,倾角 75°,长度 30 m,厚度 0.5 m。矿化体由 3 个探槽 (TC-4、TC-5 和 TC-6) 控制。矿石品位: $w(Au)=0.87\times10^{-6}$, $w(Ag)=58.3\times10^{-6}$ 、w(Cu)=0.01%,w(Pb)=0.29%,w(Zn)=0.158%。

(5)③号金矿化体。分布在矿区的东部,矿化体 走向 NNW,倾向 85°,倾角 55°,长度 30 m,厚度 0.5 m。矿化体由 3 个探槽 (TC - 7、TC - 8 和 TC - 9) 控制。矿石品位: $w(Au) = 0.72 \times 10^{-6}$, $w(Ag) = 47.7 \times 10^{-6}$,w(Cu) = 0.026%,w(Pb) = 0.529%,w(Zn) = 0.33%。

3.2 矿石特征

3.2.1 矿石组成

金矿石主要由多金属硫化物矿石组成。矿石中的金属矿物主要为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿,次要矿物有黄铜矿、毒砂、赤铁矿和辉铜矿,氧化矿物为褐铁矿和铜蓝;脉石矿物主要为石英、碳酸盐矿物和绢云母等,偶见绿帘石。

方铅矿:呈他形粒状,与黄铜矿、闪锌矿共生,也可沿黄铁矿晶隙、裂隙呈网脉状填充。

黄铁矿:呈团块状、似脉状分布于其它矿物之中,多呈半自形晶,单体粒径为 $0.5\sim2~mm$,一般为 $0.1\sim0.3~mm$,为矿石中结晶较早的矿物,具碎裂结

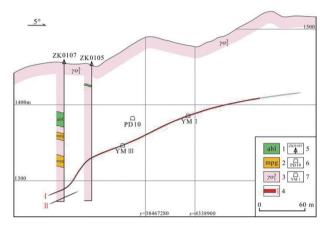


图 3 茶坊金矿区 01 勘探线剖面图

Fig. 3 Section of exploration line 01 of Chafang gold deposit

- 1. 斜长角闪岩; 2. 白云斜长片麻岩;
- 3. 新太古代变奥长花岗岩;4. 金矿体;
- 5. 钻孔及编号;6. 平硐及编号;7. 沿脉坑道及编号

构,常被方铅锌、黄铁矿、闪锌矿交代,呈交代残余状。

闪锌矿:呈团块状分布,在脉石矿物中普遍与黄铜矿构成固溶体结构,黄铜矿在固溶体中呈液滴状或叶片状分布。

黄铜矿:他形集合体状,常分布在黄铁矿或脉石矿物的晶隙或裂隙中,颗粒边缘有时氧化为铜蓝。

毒砂:常与黄铁矿共生,一般呈半自形-自形晶, 粒径为 0.1~0.3 mm。

赤铁矿:呈团块状或脉状分布在脉石矿物之中。 辉铜矿:少量呈他形粒状,与黄铜矿共生。

褐铁矿:少量,填充于黄铁矿裂隙之中。

铜蓝:少量,分布在黄铜矿边缘。

金矿物:主要为银金矿,少量为自然金。多呈细粒-微粒的单体包裹于黄铁矿中,或呈裂隙金、晶隙金赋存于黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿相接触部位,或脉石矿物中;金矿物的形态有粒状、不规则状、树枝状、骨骼状、圆球状,少数呈棒状、片状和完好的立方体晶形。粒度为 0.01~ 0.06 mm,少数 0.1~1 mm,个别大于 1 mm。

石英:可形成于 2 个阶段,第一阶段为粗粒石英,结晶较好,粒径平均大于 0.1 mm;第二阶段石英颗粒较细,呈集合体状与绢云母共生,结晶程度较差,并伴有少量的金属矿化。

碳酸盐:也分为两个阶段,第一阶段为粗粒,粒晶结构,粒径 0.1 mm 以上,常与黄铁矿相伴生;第二阶段碳酸盐含量较少,与绢云母共生,伴生金属矿物为铜、铅等。

3.2.2 矿石结构构造

矿石结构以半自形一它形粒状结构为主,其次 有碎裂结构、固溶体结构等,矿石多呈团块状、脉状、 稠密-稀疏浸染状和细脉浸染状等构造。

3.2.3 矿石化学组分

矿石化学全分析结果显示,矿床可利用组分为Au、Ag、Cu、Pb和Zn;有害组分为As、Hg、C、S、Mo;其它元素因含量较少或无,故无利用价值。

本区矿石的工业类型为富金银黄铁矿-多金属混合型矿石。

3.3 围岩蚀变

金矿体围岩广泛发育绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化等蚀变。

4 矿床成因讨论

4.1 金矿成矿系统

茶坊金矿床位于伯强一耿庄矿田的北东部,主要控矿因素有三:①中生代燕山晚期辉石闪长岩、花岗闪长斑岩和石英斑岩;②向 S 缓倾斜的断裂破碎带和陡倾斜的 NW 向-NNE 向断裂裂隙带;③新上太古代(五台期)变质变形奥长花岗岩。三者共同构建了茶坊以金为主的金-银-多金属矿成矿系统。

金矿化主要发生在花岗闪长斑岩外围和石英斑岩旁侧的断裂、裂隙中,早期的韧性构造和晚期形成的各种断裂、裂隙均成为金矿化的有利容矿空间,而在斑岩体中和接触带附近则出现钼多金属矿化^[3,15],这不仅与耿庄、后峪一带的矿化分带规律一致,也符合次火山岩型(斑岩型)矿床的成矿规律。

4.2 金矿成矿时代

耿庄—伯强地区同位素地质年龄数据较少,且 多为 20 世纪 80—90 年代测得。据山西冶金地质 311 队资料,耿庄钾长花岗斑岩全岩 K-Ar 年龄为 105 Ma,钾钠花岗斑岩全岩 K-Ar 年龄 102 Ma^[2], 花岗斑岩 Rb-Sr 等时线年龄 167.4 Ma^[4],茶坊正长 闪长岩的角闪石 K-Ar 年龄为 130. 8~131. 3 $Ma^{[2]}$, 茶坊岩体全岩 K-Ar 年龄为 134 $Ma^{[4]}$ 。

近年,与耿庄一伯强地区相邻的义兴寨一辛庄 金矿田地质找矿和同位素年代学研究获得进 展[16-20]。钱塘洞角砾岩筒中石英斑岩脉的锆 石²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 的加权平均年龄为(140±2) Ma, 矽卡 岩化角砾岩中石榴石的²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 年龄加权平均值 为(141±1) Ma^[19]:河湾蚀变石英斑岩中锆石的 U-Pb 协和图交点年龄值与206 Pb/238 U 加权平均年龄值 完全一致,均为(141±1) Ma^[20];对河湾石英斑岩中 辉钼矿-石英脉进行的 Re-OS 同位素定年结果为 (141±4) Ma^[19-20]。对河湾金矿区绢云母的⁴⁰Ar/ 39 Ar 测年结果表明,斑岩型金矿的绢云母坪年龄为 (139.16±1.37) Ma, 石英脉型金矿的绢云母坪年 龄为(138.94±1.38) Ma,2 个成矿年龄值非常接 近,且与野外地质体的穿插关系相吻合[18]。这几种 测年方法为目前同位素地质测年的主流技术手段, 获得的数据一致性强,因此数据的可信度较高。

鉴于义兴寨金矿与伯强地区金矿具有区域可比性,推测是在类似的地质环境下形成。所以,取 141 Ma(相当于早白垩世早期)作为花岗闪长斑岩-石英斑岩次火山岩组合的侵位时间和围岩蚀变的早期阶段时间是合理的,因为石榴石和辉钼矿均为岩浆热液高温阶段产物,数值上可能更靠近次火山岩(隐爆角砾岩)的侵位时间,同时也与华北断块北部早白垩世火山活动的时间相吻合;金、铜多金属矿化则形成于岩浆热液的中低温阶段,时间略晚,推测成矿事件的结束时间在 131 Ma 左右,成矿作用持续了大约10 Ma。茶坊岩体的 K-Ar 年龄值(130 Ma~134 Ma)可能记录的是成矿事件结束的时间。

4.3 成矿温度

根据矿石矿物相互间的穿插关系和金属矿物共生组合,将矿床的热液成矿期划分为 5 个阶段: 黄铁绢英岩化阶段(II)、黄铁矿-石英阶段(II)、石英-黄铁矿阶段(III)、石英-多金属硫化物阶段(IV)和多金属-碳酸盐阶段(V)。矿物测温结果表明,黄铁矿-石英阶段(III)形成温度较高,一般为 350°C; Au 的主要矿化阶段为石英-黄铁矿阶段(III),成矿温度为 $270\sim350$ °C; 石英-多金属硫化物阶段(IV)的温度为 $200\sim250$ °C; 多金属-碳酸盐阶段(V)的温度 < 200°C。

对比分析各成矿阶段温度,金矿的形成温度主要集中于 $270\sim350$ °、银多金属矿的形成温度主要集中在 $200\sim250$ °。

表 2 茶坊金矿金矿石中石英气液包裹体成分

Table 2 Composition of quartz gas-liquid inclusions in gold ore of Chafang gold deposit

样号 气相/10 ⁻⁶								液相/10-6									
11十 分	H_2	O_2	N_2	CH_4	C_2H_6	CO	CO_2	H ₂ O	F^{-}	Cl ⁻	SO_4^{2-}	K^+	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg^{2+}	HCO ₃	
GrZ001	0.14	0.00	20.00	0.89	0.00	0.00	177.80	1580.00	0.16	5.45	1.04	1.06	7.78	2.23	0.18	20.11	
GrZ004	0.14	0.00	26.00	0.89	0.00	0.00	84.00	1120.00	0.14	3.17	2.35	0.80	4.55	1.25	0.00	7.61	

注:数据资料来自文献[2]。

表 3 茶坊金矿金矿石中石英包裹体物理化学数值

Table 3 Physical and chemical values of quartz inclusions in gold ore of Chafang gold deposit

样号	爆裂 T/ 压力/ ℃ 10 ₅ Pa	盐度	矿化度/	"U	Eh	D	逸度 log fB H ₂ CH ₄ CO CO ₂ O ₂					Na/K	Na/ (Ca+	CO ₂ /	F/Cl	 备注	
		$10_5 \mathrm{Pa}$	eqv)/%	$(g \cdot L^{-1})$	рп	ĿП	K	H_2	CH_4	CO	CO_2	${\rm O}_2$	Na/ K	Mg)	H_2 O	r/CI	軍任
GrZ001	286	700	0.57	38.91	5.66	-0.55	0.08	-0.23	-0.34	-2.51	1.45	-31.93	8.73	5.42	0.05	0.05	右
GrZ004	285	700	0.46	20.37	5.41	-0.53	0.07	-0.08	-0.18	-2.36	1.28	-32.09	9.64	6.83	0.03	0.08	有沸腾

注:数据资料来自文献[2]。

4.4 成矿物质来源

(1)对耿庄矿区 57 件硫化物进行硫同位素测定^[2]数据统计表明, δ (³⁴S)的分布范围为 $-2.27 \times 10^{-3} \sim 6.89 \times 10^{-3}$,并在 $0 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$ 的范围内频数较高。其中,黄铁矿 δ (³⁴S)的分布范围为 $0.5 \times 10^{-3} \sim 6.89 \times 10^{-3}$,平均值为 2.40×10^{-3} 。 δ (³⁴S)数值在硫同位素直方图中呈靠近 0 值的塔式分布,表明金矿石中的硫质主要来源于地壳深部。

(2) 茶坊金矿石英包裹体的 $\delta(^{18}O) = -7.1 \times 10^{-3}$, $\delta D = -84.0 \times 10^{-3}$ 。将数据投于 $\delta D - \delta(^{18}O)$ 图中,数据投于岩浆水范围左侧接近大气降水线的位置,说明成矿溶液中的水部分来自大气降水。

4.5 成矿流体成分及成矿环境

茶坊金矿区气液包裹体成分和成矿物理化学数 值列于表 2 和表 3。

从表 2 可见,成矿溶液中富含 K^+ 、 Na^+ 、 F^- 、 Cl^- 、 H_2O 和 CO_2 ;溶液中的 SO_4^{2-} > F^- , HCO_3^- > Cl^- , Ca^{2+} > Mg^{2+} ,说 明 成 矿 溶 液 中 以 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 为主。在气相成分中, CO_2 和 N_2 含量较高。

表3显示,成矿物理化学环境特点是,高压、中低温、弱酸性、低氧逸度,成矿热液为低盐度、低矿化度的气水溶液,热液中的水是岩浆水与大气降水的混合水,矿石中的硫质来源于深部岩浆。基于盐度数值,按邵洁涟(1988)深度、压力的经验公式,计算出茶坊金矿的成矿深度为1.70~1.81 km,为浅成-超浅成的深度范围。

4.6 金矿床类型

根据上述讨论,茶坊金矿的成矿与早白垩世早期的次火山斑岩侵入有成因联系,是茶坊次火山斑

岩成矿系统的组成部分,矿床属于构造蚀变岩中低温热液型金矿。

参考文献:

- [1] 李俊建,党智财,付超,等.华北陆块晋冀 Al-Fe-Au-Pb-Zn-Ag-Cu-煤成矿带主要地质成矿特征及潜力分析[J].地质学报,2016,90(7):1482-1503.
- [2] 李生元,李兆龙,林建阳,等.晋东北次火山岩型银锰金矿[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2000.
- [3] 田永清,王安建,余克忍,等.山西省五台山—恒山地区脉状金 矿成矿的地球动力学[J].华北地质矿产杂志,1998,13(4):301-456.
- [4] 林建阳. 山西佰强金-多金属矿田同位素地质特征及其意义 [J]. 地质找矿论丛,1992,7(2):75-84.
- [5] 李兆龙,张连营,骆华宝.晋东北地区中生代次火山岩及金银成 矿作用地球化学[J].地质找矿论丛,1995,10(1):1-6.
- [6] 李生元. 耿庄次火山热液型金矿的特征与成因[J]. 地质与勘探,1988(5):3-9.
- [7] 姚玉增,黄菲,彭艳东,等. 山西耿庄金矿隐爆成矿作用的脉动性分析[J]. 矿物学报,2012(S1):66-67.
- [8] 姚玉增,黄菲,彭艳东,等.山西耿庄金矿床流体包裹体特征及 矿床成因[J].吉林大学学报:地球科学版,2013,43(1):93-
- [9] 刘邦涛,李生元,马小兵.五台—恒山地区地壳中金的活化史和成矿作用[J].地质与勘探,2000,36(1):3-5.
- [10] 杜佩峰,刘建章,李昭辉. 耿庄金矿矿床特征及成因浅析[J]. 华北国土资源,2009(1):3-4+12.
- [11] 王元平. 论繁峙县后峪铜钼矿矿床成因及找矿标志[J]. 华北国土资源,2013(5):72-73+113.
- [12] 霍卫民,崔建华.山西省繁峙县大麻花沟金矿地质地球化学特征[J].黑龙江科技信息,2011(22):11.
- [13] 刘凤岐,真允庆.晋东北"金三角"地区金、银矿床成矿构造环境[J]. 地质找矿论丛,1994,9(1):27-38.
- [14] 葛良胜,王治华,杨贵才,等.晋东北燕山期岩浆活动与金多金 属成矿作用动力学[J].岩石学报,2012,28(2):619-636.

- [15] 张文亮. 五台山区燕山期侵入岩特征及控矿作用[J]. 地质找矿论丛,2005,20(S1):49-52.
- [16] 赵晓霞. 山西辛庄金矿床地质地球化学特征及成因研究[D]. 长沙:中南大学,2013.
- [17] 杨生平. 对山西省繁峙县辛庄—松涧金矿矿床地质特征和成 因的研究[J]. 华北国土资源, 2014(2):120-121.
- [18] 刘效广. 山西繁峙县义兴寨金矿床地质特征及成因探讨[J].
- 矿产与地质,2022,36(2):299-309.
- [19] 张立中,陈蕾,王国平,等.石榴石 U-Pb 定年对山西义兴寨金 矿床角砾岩筒时间的限制和金矿成因的指示[J]. 地球科学, 2020,45(1):108-117.
- [20] 张中立. 山西省繁峙义兴寨金矿新发现蚀变斑岩型金矿体的 地质地球化学特征与成矿时代[J]. 华南地质与矿产,2018,34 (2):134-141.

Geological characteristics and genesis of Chafang gold deposit in Fanshi County, Shanxi Province

HUANG Hongguo, LI Zhen, LIU Xiaolei, ZHANG Chungang, LIU Luqi

(Zhongjin Environmental Technology Co., LTD, Taiyuan 030032, Shanxi, China)

Abstract: Chafang gold deposit in Shanxi Province occurs in a gently inclined tectonic fracture zone of Neoarchean trondjemite (biotite plagioclase gneiss) with faults, dykes and small stocks of Late Yanshanian quartz porphyry, granodiorite porphyry and pyroxene diorite developed. This paper deals with geological and geochemical characteristics of the gold deposit and genesis on basis of geological and geochemical data available now. It is considered that the deposit is a meso-epithermal gold deposit related to Late Yanshan subvolcanic magmatic activity.

Key Words: Chafang gold deposit; Subvolcanic hydrothermal gold deposit; Geological characteristics; Genesis of deposit; Fanshi County; Shanxi Province