

# 山西右玉金矿床地质成因认识及找矿方向

黄晋荣, 陈志方, 姜宇

(山西省地质调查院, 太原 030006)

**摘要:**山西右玉金矿主要产于韧(脆)性剪切带强变形域,由新太古界集宁岩群片麻岩和新太古-古元古代变质石榴花岗岩等构成的含矿岩系。矿床严格受剪切带构造控制,剪切构造既是有利的导矿构造,也是良好的容矿构造。受五台、吕梁期以及后期多期次、多级区域构造活动影响,金的成矿作用也伴随剪切构造带经历了从韧性、脆-韧性到脆性的构造演化叠加过程。成矿流体主要来自变质热液,金的成矿作用主要分为四个阶段,黄铁矿为金的主要伴随金属矿物,对金矿化具有重要的指示意义。研究认为矿床成因是与脆-韧性剪切带构造密切相关的变质-热液型金矿床。本次研究提出找矿方向,为矿区及外围进一步开展金矿地质找矿工作提供参考。

**关键词:**韧(脆)性剪切带;含矿岩系;黄铁矿;成矿流体;找矿标志

**中图分类号:** P618.51

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-4135(2019)03-0185-09

山西右玉金矿床位于山西省右玉县杨千河乡后窑子-火烧滩村一带,为近十年来晋西北地区新发现的属于省内一种产于变质岩区的构造剪切带型金矿床。矿床产于由新太古界集宁岩群片麻(杂)岩和新太古-古元古代变质石榴花岗岩类组成的并经受五台、吕梁期等多期次构造强烈变形作用改造形成的韧(脆)性剪切带中,矿床产出受剪切带构造控制<sup>[1-2]</sup>。

研究区以往地质工作程度较低,在上世纪开展的多为区域性的中小比例尺(1/20万—1/50万)区域地质、地球化学等测量,矿产地质工作相对薄弱,虽曾有地勘单位进行过金矿地质找矿工作,但尚未找到原生金矿。从本世纪初的2003年开始,山西省地质调查院在该区开展了十几年的金矿地质找矿工作。工作大致分为三个阶段:第一阶段从2003年开始,首先在后窑子-火烧滩一带开展大面积的1/5万加密水系沉积物测量并利用其测量成果,初步追索和发现了后窑子和火烧滩金异常和金矿化带,为该区域后续进一步开展的矿床地质勘查工作奠定了基础。第二阶段是从2006年开始,重点在后窑子矿(带)区周围开展地质普查工作,大致查明矿床地质背景、矿体形态、矿石质量等特征。第三阶段是从2010年开始到现在,主要在火烧滩矿(带)区周围开展金矿地质普查-详查工作,重点查明火烧滩金矿床

(体)延伸范围及分布特征。为了有效地提高金矿床地质工作研究程度,更好地服务于地质找矿工作实践,在以往尚未进行矿床专题研究的情况下,利用该矿床近年来最新勘查成果资料<sup>[2]</sup>并参照近年来国内外金矿床研究的新理论新成果<sup>[3-11]</sup>,对山西右玉金矿成矿规律等进行探索研究总结,提出找矿新认识。

## 1 区域地质背景

研究区大地构造位置位于华北板块(I)华北北缘板内活动带(II)和林格尔-丰镇板隆(III)之右玉块凹(IV)。区域大致轮廓:西部为古老变质结晶基底,主要由新太古界集宁岩群片麻(杂)岩和新太古-古元古代变质石榴花岗岩类等组成;东部主要为新生界第四系及少量古生界沉积盖层组成。岩层走向大致呈NE-SW向展布。

### 1.1 地层

区域地层主要包括变质表壳岩和沉积盖层两部分。其中变质表壳岩主要为新太古界集宁岩群黄土窑岩组,出露于晋蒙后窑子-梨树沟一带;岩性主要为黑云石榴二长片麻岩、含矽线石榴黑云斜长片麻岩、含黑云矽线石榴钾长片麻岩、浅粒岩、含榴二长浅粒岩、石榴黑云二长变粒岩、辉石斜长变粒岩、含石英黑云斜长二辉麻粒岩、长石石英岩等。岩石经

收稿日期:2019-05-28

资助项目:山西省国土资源厅、山西省财政厅矿业权价款项目:“山西右玉后窑子金矿及外围地质普查项目(晋国土资办发[2010]15号)、山西右玉后窑子-火烧滩金矿地质详查项目(晋国土资函[2013]1087号)”

作者简介:黄晋荣(1963-),男,高级工程师,本科,毕业于长春地质学院地质矿产调查专业,主要从事矿产地质勘查与研究工作, E-mail:2393745340@qq.com。

历了高角闪岩相变质作用,局部可达麻粒岩相;后期经历了强烈的混合岩化作用,同时也经历了多期次构造变形作用。沉积盖层包括古生界寒武系及新生界新近系、第四系。古生界寒武系馒头组仅在区域西南角零星出露,角度不整合在变质岩系之上;新生界新近系为中-上新统一套火山及陆源碎屑岩红色建造;第四系分布面积广,由各类松散堆积物组成。

### 1.2 岩浆岩

区域岩浆岩发育,主要为新太古代(晚期)-古元古代(早期)深熔变质再造花岗质侵入岩,为集宁岩群的一套富铝质岩石经深熔作用而形成的变质深成侵入岩类。岩石类型复杂多变,岩性主要有片麻状变质花岗闪长岩、片麻状变质石榴二长花岗岩、片麻状变斑状二长花岗岩、变质石榴白岗岩、花岗伟晶岩脉等。这些侵入岩多发生高角闪岩相-麻粒岩相变质作用,与集宁岩群呈侵入接触关系。

### 1.3 构造

区域构造轮廓清晰,受中-新生代构造控制,构造线总体呈NE-SW向展布。西部基底主要为新太古代界集宁岩群片麻(杂)岩和新太古代-古元古代变质石榴花岗岩类组成,为华北克拉通北缘的重要组成部分。早期形成的集宁岩群片麻(杂)岩,在五台期经历了强烈的变形、变质且部分经过混合岩化改造,岩层常显示深部构造层次下的塑性变形特征。在吕梁期构造运动得到延续,不仅对塑性变形的早期片麻(杂)岩继续进行强变形作用叠加,而且也对后期深熔变质作用形成的变质石榴花岗岩类进行强烈的变形改造,在基底岩石中形成具有强烈塑性流变特征的韧(脆)性线状高应变带。区内大的区域性韧(脆)性剪切带主要有2条:即位于中西部的崞县窑-后窑子韧(脆)性剪切带和南部的云石堡韧(脆)性剪切带。与山西右玉后窑子-火烧滩金矿化密切相关的为崞县窑-后窑子韧(脆)性剪切带,该带长约20 km,宽200~400 m,总体呈NE-SW向展布,西

端穿越集宁岩群片麻(杂)岩和新太古代-古元古代变质石榴花岗岩类,东端被第四系更新统黄土不整合覆盖<sup>[2]</sup>(图1)。

盖层构造变形主要表现为拉张构造体制下,形成的张性断裂及断裂组合,大的区域性断裂羊山-朱家窑断层,呈NE向展布,长约28 km;东西两侧均被第四系覆盖,断层两盘岩层主要由集宁岩群片麻(杂)岩和新太古代-古元古代变质花岗岩类等构成。该断层切割的最新地层为第四系上更新统马兰组,推测断层形成时代为喜山期新构造,与金矿化无关。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 地层

矿区内地层简单,主要出露岩层为新太古代界集宁岩群片麻(杂)岩类,新生界第四系覆盖其上。集宁岩群片麻(杂)岩性特征类同区域地层,主要包括有黑云石榴二长片麻岩、含石榴黑云斜长片麻岩以及石榴正长石英(片)岩、黑云斜长变粒岩、麻粒岩等组合,与矿化密切的多数为黑云石榴二长片麻岩和含石榴黑云斜长片麻岩。①黑云石榴二长片麻岩:

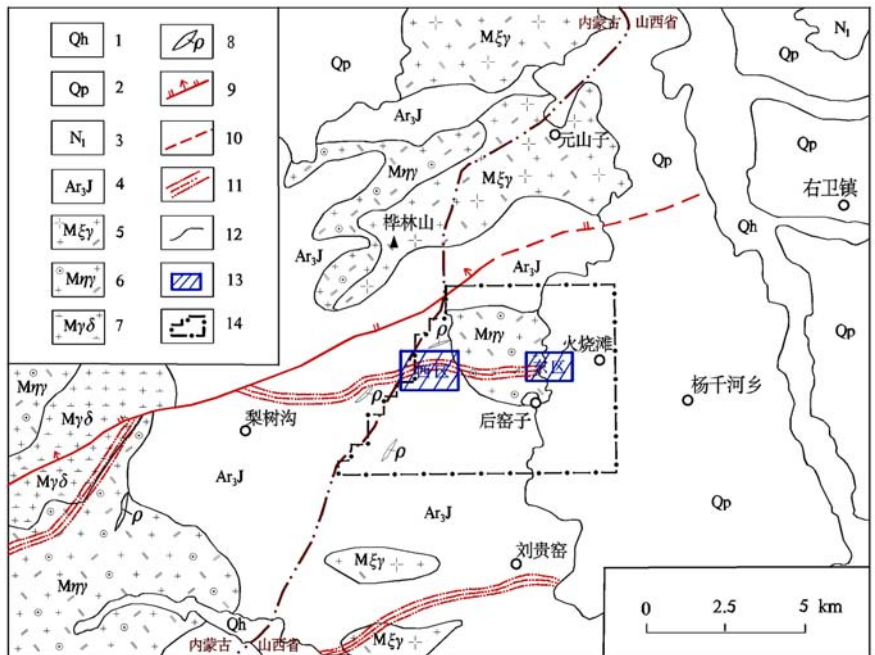


图1 右玉后窑子-火烧滩金矿区域地质简图(据参考文献[2]修编)

Fig.1 Sketch regional geological map of the Houyaozi-Huoshatan gold deposit in Youyu County

1. 第四系全新统;2. 第四系上更新统;3. 新近系中新统;4. 新太古代界集宁岩群片麻(杂)岩;5. 片麻状变斑状二长花岗岩;6. 片麻状变质石榴二长花岗岩;7. 片麻状变质花岗闪长岩;8. 花岗伟晶岩脉;9. 区域性正断层;10. 推测断层;11. 韧(脆)性剪切带;12. 地质界线;13. 主矿区;14. 工作区范围

呈灰白-灰色,主要由粒状变晶矿物石英(40%±)、斜长石(25%±)、钾长石(20%)、石榴石(10%),片状变晶矿物黑云母(<5%)以及微量金属矿物等组成;片状粒状变晶结构,条纹状片麻状构造。②含石榴黑云斜长片麻岩:呈灰-深灰色,主要由粒状变晶矿物石英(35%±)、斜长石(40%±)、石榴石(<5%),片状变晶矿物黑云母(15%),少量针柱状矿物矽线石(<3%)以及微量金属矿物等组成;片状粒状变晶结构,条纹状片麻状构造。

## 2.2 岩浆岩

矿区内岩浆岩发育,主要为新太古代(晚期)五台期变质石榴花岗岩和古元古代(早期)吕梁期变质石榴花岗岩类以及后期侵入岩脉。①五台期变质石榴花岗岩:分布较广,岩性主要为中粗粒石榴黑云二长片麻岩,呈浅肉红或灰白色,中粗粒鳞片粒状变晶结构,片麻状、条带状构造;主要矿物:石英(25%~35%)、钾长石(20%~30%)、斜长石(25%~35%)、石榴石(5%)、黑云母(5%~10%)以及微量金属矿物(1%)。②五台期片麻状混合花岗岩:大面积分布,形成晚于五台期变质石榴花岗岩,岩性较为混杂,主体为条带状石榴二长片麻岩(>60%);其它主要为黑云斜长片麻岩,黑云斜长变粒岩,变质花岗岩等(<40%);岩体中多见黑云斜长片麻岩、黑云斜长变粒岩,变质花岗岩等夹层、包体及残影体。③吕梁期变质石榴白岗岩:出露普遍,呈灰白色,粒状变晶结构,块状构造;岩石主要由钾长石(60%±)、斜长石(<10%)、石英(20%~25%)、石榴石(10%±)等组成;钾长石较粗大,斜长石、石英和石榴石多呈不规则小粒状分布于钾长石间。吕梁期侵入岩体多呈岩株状、脉状侵入早期形成的各类片麻岩中,侵入接触关系清楚。

## 2.3 构造

矿区构造较为简单,区域性的崞县窑-后窑子韧(脆)剪切带贯穿右玉后窑子-火烧滩金矿(带)区东西两侧;矿区普查-详查成果显示,在后窑子和火烧滩矿(带)区主要成矿区段共圈定6条韧(脆)性剪切带,其广泛分布于新太古界集宁岩群片麻(杂)岩和新太古-古元古代变质石榴花岗岩类中,延伸长度可达数百米;剪切带构造既为区内主要成矿构造,亦是良好容矿构造,控制着金矿化带的空间展布;其中剪切带Ds(1)、Ds(2)、Ds(3)、Ds(5)和Ds(6)分布于后窑子矿(带)区内,Ds(4)分布在火烧滩矿(带)区。①后窑

子矿(带)区韧(脆)性剪切带:总体走向NE60~75°,倾向NW320~350°,倾角60~80°,呈带状产出;与金矿化密切的主要为剪切带Ds(3),已知的I、II号矿体分布于该带上,带长约700m,宽约10m;其它剪切带如:Ds(1)和Ds(2)规模也较大,长达400m,但矿化较弱;Ds(5)和Ds(6)虽有矿化,但规模较小。②火烧滩矿(带)区韧(脆)性剪切带:主要为Ds(4),在基岩出露区长约400m,宽度10~50m,大致呈NWW或近EW走向,倾向NNE或N,倾角50~80°;该带东端延入第四系黄土覆盖层中,控制着基岩出露区III、IV号和覆盖区IV-1、IV-2号矿体展布。剪切带岩石类型大致同围岩,只是叠加了后期的韧(脆)剪切构造痕迹,在宏观上常形成多级次的不对称褶皱、片内褶皱、揉流褶皱及紧闭同斜褶皱等;微观上常有不同程度的糜棱岩化和碎裂化岩石矿物变形排列特征,与矿化密切相关的构造岩石主要有糜棱化石榴二长片麻岩、糜棱岩化碎裂石榴钾长片麻岩、糜棱岩化黑云斜长片麻岩、碎裂变质石榴花岗岩、碎裂变质石榴白岗岩等。

另外,火烧滩矿区西部分布的NNE向张性断层(F<sub>1</sub>):阻断了Ds(4)剪切带和金矿体向西的延伸;断层呈NNE-SSW向展布,倾向107°,倾角63°,出露长度约280m;断层上下盘岩性多为变质花岗岩类,依断面产状、擦痕以及两盘岩性对应关系推测为正断层,该断层为金矿化(带)体成矿的后期构造。

## 2.4 地球化学特征

山西省已有1/20万地球化学测量成果资料显示,本区属全省V级右玉县元山子-丁家窑金、银远景区范围(编号C<sub>1</sub>),分布有较重要的金、多金属异常,分布面积约25km<sup>2</sup>,金异常下限平均值2.94×10<sup>-9</sup>。研究区1/5万加密水系沉积物测量成果显示,圈定的16个Au异常中,达到异常三级浓度分带对成矿有利的为Au8、Au5、Au9;其中火烧滩矿(带)体分布于Au8异常区内,面积0.45km<sup>2</sup>,Au异常最大值87.3×10<sup>-9</sup>,平均值40.41×10<sup>-9</sup>。后窑子主矿(带)体主要分布于Au5异常区内,面积0.31km<sup>2</sup>,Au最大值20.8×10<sup>-9</sup>,平均值12.52×10<sup>-9</sup>。

## 2.5 矿体地质特征

山西右玉金矿包括后窑子和火烧滩2个矿(带)区。2矿(带)区共圈定9条金矿(化)体,其中后窑子矿(带)区5条矿体,主矿体为I、II号矿体,其余为规模较小的矿化体;火烧滩矿(带)区4条矿体,主矿体为



IV、IV-1、IV-2号矿体。各矿体产于各自依附的韧(脆)剪切带中,矿体形态、产状及空间分布严格受剪切带构造控制。

(1)后窑子矿(带)区:主矿体为I、II号,分布于编号Ds(3)剪切构造带上,矿体总体走向呈NE-SW向。控制总延长470 m,延深150 m;矿体厚度1.03~9.98 m,平均2.97 m;矿体主要以脉状或透镜体状产出,矿体倾向335~350°,倾角为60~75°;矿石品位1.00~13.94 g/t,平均2.26 g/t<sup>[1]</sup>(图2)。

(2)火烧滩矿(带)区:主矿体为IV号,其IV-1、IV-2号为IV号主矿体东部黄土覆盖区延伸附属段,均产于编号Ds(4)剪切构造带内,矿体总体走向呈近东西向。现工程控制总延长880 m,延深330 m,厚度0.89~39.47 m,平均15.41 m;矿体主要呈脉状或透镜状产出,多有分支,含夹石多;倾向350~10°;倾角总体浅部较陡(60°)深部变缓。矿石品位1.00~27.12 g/t,平均为1.89 g/t<sup>[2]</sup>。(图3)。

2.6 矿石特征

组成矿体的含矿岩石(矿石),主要为韧(脆)性剪切带强变形域内由集宁岩群片麻(杂)岩和新太古-古元古代变质石榴二长花岗岩类等构成的变形-破碎-蚀变岩石;矿石与围岩、脉石之间没有明显岩性划分界线,只要含金品位达到矿体圈定技术相关要求即可圈为矿石。矿石常显示剪切强变形后的糜棱岩化、片理化、碎裂变形特征。矿石常见岩性有:糜棱

岩化含砷线黑云石榴二长片麻岩、碎裂石榴钾长片麻岩、糜棱岩化含砷线黑云斜长片麻岩、碎裂变质石

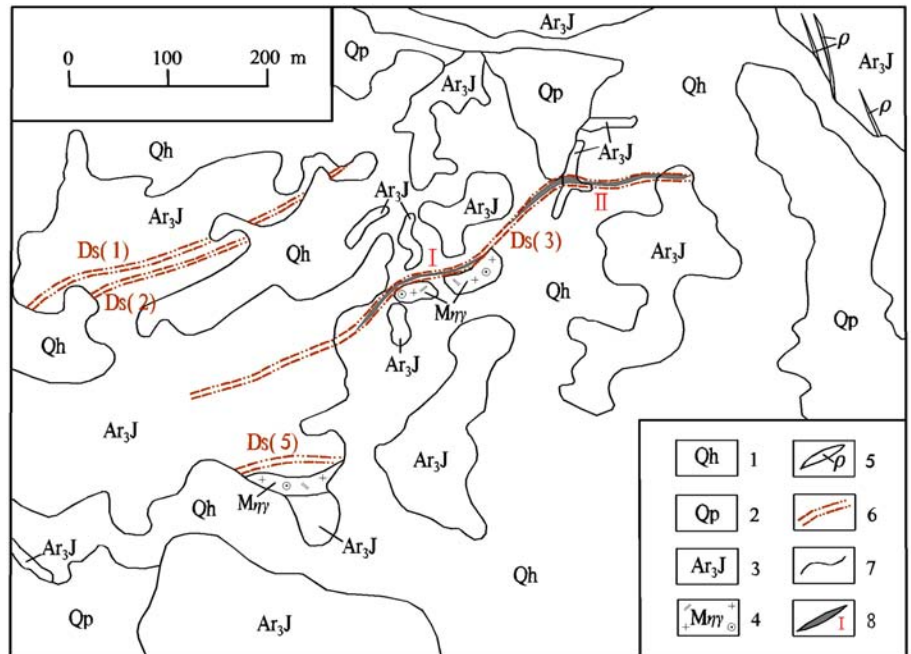


图2 右玉后窑子金矿区地质简图(据参考文献[1]修编)

Fig.2 Sketch geological map of Houyaozi gold mining area in Youyu County

1. 第四系全新统松散层;2. 第四系更新统黄土层;3. 集宁岩群黑云石榴二长片麻岩;
4. 片麻状变质黑云石榴二长花岗岩;5. 花岗岩伟晶岩脉;6. 韧(脆)性剪切带;7. 地质界线;
8. 金矿体

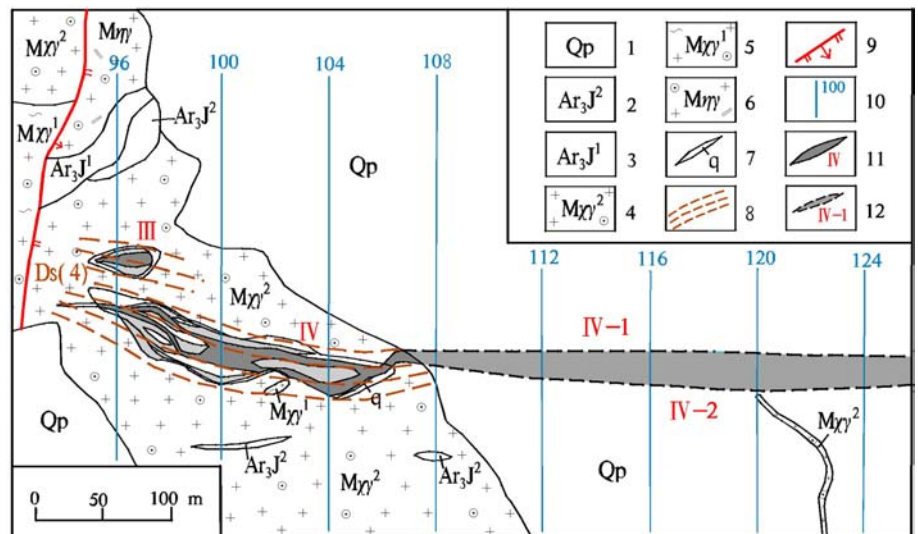


图3 右玉火烧滩金矿带地质简图(据参考文献[2]修编)

Fig.3 Sketch geological map of Huoshatan gold mining area in Youyu County

1. 第四系更新统黄土层;2. 集宁岩群含石榴黑云二长片麻岩;3. 集宁岩群黑云斜长片麻岩;
4. 条带状变质石榴白岗岩;5. 变质石榴白岗岩;6. 变质黑云石榴二长花岗岩;7. 石英脉;
8. 韧(脆)性剪切带;9. 正断层;10. 勘探线及编号;11. 金矿体;12. 推测埋深金矿体

榴花岗岩、碎裂变质石榴白岗岩、糜棱岩化含矽线正长石英片岩、碎裂石英岩(脉)等。金属矿物主要为自然金、黄铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、褐铁矿、黄铜矿等;非金属矿物主要有石英、长石、石榴石、黑云母、矽线石、辉石、石墨等。矿石结构为不规则、它形粒状结构、半自形粒状结构;矿石构造为浸染状、细脉浸染状、块状构造。自然金呈金黄色,不规则状、片状、

棱角次棱角状、港湾状、树枝状、扁粒状,不透明,强金属光泽,低硬度,粒径0.01~1.0 mm,粒级范围细粒-巨粒级;金的赋存形态主要为裂隙金和晶隙金。矿石主要化学成分为SiO<sub>2</sub>和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,二者含量达76.28%~92.14%,其他成分Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、TiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、CaO、MgO、MnO等见表1。

矿区岩矿石属韧(脆)性剪切带变形-破碎-蚀变

表1 岩矿石化学成分全分析结果表(据参考文献[1])

Tab.1 Total analysis results of rock and ore chemical composition

样品 编号	化学成分(%)													
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	LOI
09D1202	65.36	15.30	3.59	3.97	0.62	2.30	1.38	2.65	1.780	0.066	0.060	1.90	0.42	2.14
09D1203	69.11	15.36	2.18	3.56	0.40	1.38	1.05	2.62	2.120	0.059	0.050	0.94	0.16	1.02
09D1204	66.11	16.68	4.43	2.93	0.70	0.77	1.05	3.01	1.520	0.058	0.070	1.90	0.095	2.05
09D16348	68.18	16.13	0.28	5.08	0.70	0.86	2.65	2.74	1.490	0.056	0.050	0.89	0.14	0.94
11D09773	73.62	12.46	1.66	0.22	1.91	0.66	2.49	1.60	0.090	4.020	0.062	0.06	0.45	0.62
11D09774	64.25	18.52	4.69	0.81	0.94	0.59	2.95	0.80	0.062	2.320	0.080	1.10	3.64	3.80
11D09775	67.90	16.40	3.65	0.72	0.76	0.72	3.00	0.76	0.056	2.450	0.078	1.33	3.29	3.42
11D09776	66.88	12.65	3.06	0.74	3.97	1.54	3.21	2.43	0.130	2.480	0.240	0.15	1.63	2.78
11D09777	63.82	18.18	4.96	0.63	0.47	0.72	4.26	0.20	0.06	2.250	0.120	0.10	3.15	3.94

注:测试单位为国土资源部太原矿产资源监督检测中心

产物,多含黄铁矿等金属硫化物,原生矿石类型主要为黄铁矿型金矿石,即自然金-黄铁矿-磁黄铁矿-黄铜矿型组合;原生矿石在地表风氧化破碎强烈,黄铁矿等含铁硫化物常被氧化成褐铁矿等氧化物,显示氧化矿石特征,矿石类型为褐铁矿型金矿石。矿区硃探和钻探工程显示:地表岩矿石氧化带深度10~40 m不等,其中在山顶氧化带深度达40 m,但沟底氧化带深度一般10 m左右。金化学性质稳定,矿石赋存金主要以自然金的形式存在,基本不受风氧化的影响。

## 2.7 围岩蚀变

矿体与近矿围岩大多均位于同一韧(脆)性剪切带内,岩性类型也大致相同,矿体与围岩呈渐变关系,肉眼不易区分,界线往往需要根据金测试分析数据来划定。矿体和近矿围岩常具有多种蚀变现象,在垂向上一般深部多显示硅化、黄铁矿化、碳酸盐化和绿泥石化蚀变,地表或近地表多有褐铁矿化、高岭土化蚀变。在横向上也常形成一定的蚀变分带特征,即从矿体中心部位到两侧近矿围岩依次出现:硅化-黄铁矿化-碳酸盐化-绿泥石化;这些特征反映出矿体和围岩之间存在蚀变强度差异,金矿化一般多与硅化和硫化物黄铁矿化蚀变关系密切,近矿围岩蚀变多以碳酸盐化、绿泥石化、高岭土化等为主;蚀变强度明显弱于矿体。另外,构造多期次叠加使蚀变加强有利于成矿。

## 2.8 综合评价

矿区ZK104-2钻孔岩心地球化学特征试验显示,样品Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、Bi、Sb、As、Hg等10种元素岩化分析数据聚类分析,得出Au、Bi相关性高,相关系数约为0.75;Pb、Zn的相关性大于0.7;Cu、Mo相关性大于0.65;Sb、As相关系数约为0.55。另外钻孔垂向剖面试验显示,在一定深度范围内Au含量高值时,对应的Ag、As、Bi、Sb含量也相对较高,表现出良好的一致性<sup>[2]</sup>。

矿区选矿试验样品综合分析数据显示,金矿石样品中铜、铅、锌、钨、铋、钼、砷、碳、硫、钴等含量均未达到《岩金矿地质勘查规范》规定的综合评价指标,无综合利用价值,矿床属单一的金矿床。

## 3 矿床成因

参照近年来省内典型金矿床以及国内一些剪切带型金矿床研究的成果资料<sup>[12-22]</sup>,综合研究区地质背景和成矿地质条件分析认为,山西右玉后窑子-火烧滩金矿床属典型的变质岩中的剪切构造类型金矿床;金矿床的形成和分布,主要与区内广泛分布的新太古-古元古老变质岩类组成的围岩含金特性(矿质来源),区域性发育的韧(脆)性剪切带构造形成和演化(运移储矿),以及多期次多元性的区域变质、深熔再造、混合岩化等变质作用产生的成矿流体热液活动

(渗透交代)等成矿要素密切相关。

### 3.1 围岩特性

剪切带型金矿床成矿元素金一般对围岩没有选择性,几乎可以产在所有的岩石类中<sup>[4]</sup>,国内外金矿研究资料显示,基底片麻岩和花岗岩类分布区一般显示较高的含金丰度值。研究区金矿床围岩主要由新太古界集宁岩群片麻(杂)岩和新太古-古元古代变质石榴花岗岩类等组成,矿体与围岩没有明显岩性差异,大致属于同类型岩石。山西省1/20万地球化学测量成果资料显示,本区属全省V级右玉县元山子-丁家窑金、银远景区范围(编号C<sub>1</sub>),分布有较重要的金、多金属异常,异常分布面积约25 km<sup>2</sup>。研究区1/5万水系沉积物加密测量成果显示,后窑子I、II号主矿体分布于Au5异常区内,Au平均值 $12.52 \times 10^{-9}$ ,面积0.31 km<sup>2</sup>;火烧滩IV号主矿体分布于Au8异常区,Au平均值 $40.41 \times 10^{-9}$ ,面积0.45 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。因此,研究区良好的金地球化学背景和有利的含矿围岩特性,为成矿作用提供丰富的金矿质来源。

### 3.2 剪切带构造

剪切带是地壳岩石中一种狭长的板状、席状、面状或曲面状,由高应变岩石组成的线性高应变构造带。在剪切高应变构造带内,岩石变形常出现不同强度层次的构造变形特征,即韧性、脆性以及二者的复合脆-韧性变形。研究区内剪切带岩石在横向上常显示出一定的变形强度分带特征,其相应的变形岩石由剪切带中心部位向两侧渐进分布为:碎裂岩-碎裂糜棱岩-超糜棱岩-糜棱岩-初糜棱岩-糜棱岩化岩石<sup>[3]</sup>。另外在纵向上也大致显示深部主要表现为韧性变形,地表浅部主要表现为脆性变形。剪切带中变形岩石形成的蚀变产物在横向上也常显示一定的分带性,即从内带中心部位(含矿岩段)到外带两侧(近矿围岩)依次出现:硅化-硫化物(常见黄铁矿)化-碳酸盐化-绿泥石化<sup>[3]</sup>;这些特征反映出剪切带内变形强度和蚀变程度存在差异,内带中心部位要强于外带两侧。研究区内已知含矿岩石多由“糜棱岩化”和“碎裂化”的片麻岩类和变质花岗岩类构成,即有“不破不碎不成矿”的特征,含矿岩石就是剪切带内构造强变形蚀变产物,金矿化也多与硅化和硫化物黄铁矿化蚀变关系密切,含金较好部位多为剪切带脆-韧性构造变形复合部位。

另外从剪切带构造形成、发展演化来看,经历了多期、多级次的构造活动演化叠加,使其在不同期次

的构造变形也发生叠加,成为各期次成矿作用良好的运移通道和储矿空间。五台期构造变形主要表现为强韧性变形,形成的层理和剪切面理主要作为金矿质运移通道(导矿构造);吕梁期构造变形主要表现为脆-韧性复合变形;晋宁期及后期则为弱脆性变形;剪切构造在有脆性变形过程中所形成的裂隙系统往往成为金矿重要的赋矿场所(容矿构造)。

以往研究资料表明,太古代剪切带型金矿床一般剪切构造应变强,具有多层次、多级次和多期次活动叠加特点,一般可形成规模较大的金矿床<sup>[3]</sup>。研究区后窑子-火烧滩金矿床产于区域性的崞县窑-后窑子韧(脆)性剪切带上,该剪切带规模大,剪切应变演化时间长,从五台期就已形成强韧性剪切变形,并经历了吕梁期、晋宁期以及后期脆-韧性、脆性变形的多层次、多级次和多期次叠加;因此推测也可形成规模较大的金矿床,目前已探明达到中型。

### 3.3 成矿流体

剪切带型金矿床成矿流体常为多源含矿流体,即变质热液、岩浆热液、以及大气降水等。综合成矿地质背景、构造演化和成矿地质条件分析,研究区内成矿作用形成的流体热液主要以变质热液为主导,岩浆热液为次要;在形成时代上主要由五台期和吕梁期区域变质、深熔再造、混合岩化等变质作用形成。对火烧滩矿区主矿段选取的有代表性样品进行成矿流体包裹体中水的氢氧同位素分析得知, $\delta D$ 变化范围为-99.6‰~-102‰,平均值为-100.8‰;石英氧同位素 $\delta^{18}O_{Q-SMOW}$ 值变化范围为14.0‰~15.1‰,平均值为14.55‰。流体包裹体中水的氧同位素利用石英与水的氧同位素平衡分馏方程式换算获取;其中 $\delta^{18}O_w$ 为流体包裹体中水的氧同位素组成, $\delta^{18}O_Q$ 为石英的氧同位素组成,T为流体包裹体均一温度(绝对温度),温度采用1/5万区调资料麻粒岩相的变质温度500℃,换算结果为 $\delta^{18}O_{W-SMOW}$ 11.8‰~12.9‰,平均值为12.36‰。将测试的氢氧同位素值投到成矿流体 $\delta D$ - $\delta^{18}O$ 关系图解上,由二者建立的成矿流体 $\delta D$ - $\delta^{18}O$ 关系图显示,成矿流体氢氧同位素值投影在变质水和岩浆水范围下方区域,但 $\delta^{18}O_{W-SMOW}$ 明显较岩浆水为大,偏离岩浆水范围,更靠近变质水范围,因此成矿流体水可能主要来自变质热液, $\delta D$ 值偏小可能由于后期有大气降水混入导致<sup>[2]</sup>(图4)。

另外,研究区内成矿流体运移方式在不同时期、不同剪切变形域中有不同的表现方式,早期阶段韧



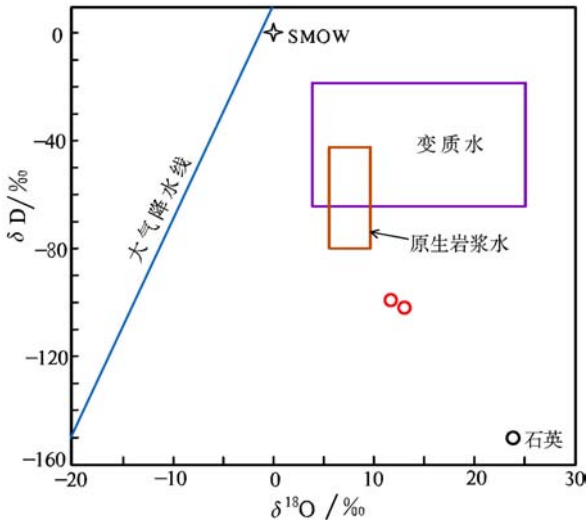


图4 成矿流体水氢-氧同位素组成图

Fig.4 Isotopic composition of hydrogen-oxygen in the ore-forming fluid

性剪切变形域中以渗透交代为主,多形成糜棱岩型矿化类型,剪切变形以韧性为主,岩石主要呈浸染状、细脉浸染状,主要形成硫化物晶格内的不可见金;中期阶段以脆-韧性复合变形作用为主,并且前期韧性占主导,后期脆性占主导。流体运移方式多为渗透交代+充填方式,可形成微细粒金,为区内主要成矿期;晚期阶段剪切变形以脆性为主,流体运移

方式主要以充填方式为主,多形成碎裂岩型矿化类型,含矿岩石在大量张性裂隙中可形成较为粗大的石英脉体,局部可形成粒度较粗的粗粒金(表2)。

表2 成矿流体运移方式及金的成矿特征表

Tab.2 Metallogenic fluid migration mode and metallogenic characteristics of the gold

剪切带变形域	成矿阶段	流体运移方式	金属硫化物	含矿岩石特征	金赋存状态
韧性变形	早期	渗透交代	磁黄铁矿	细脉浸染状	不可见金
脆性+韧性变形	中期	渗透交代+充填	黄铁矿	网脉状、脉状	微细粒金
脆性变形	晚期	充填	黄铜矿	石英(粗)脉状	粗粒金

在成矿作用过程中,黄铁矿为矿石中含量最多的金属矿物,具有标型指示特征<sup>[16-17]</sup>,其分布特征对金矿化及形成期次有一定的指示意义。区内黄铁矿主要显示有4个形成期次(图5)<sup>[2]</sup>:第一期黄铁矿随早期成矿热液呈星点状分布,不规则它形粒状,部分顺围岩片麻理充填,但硅化较弱,含矿性差;第二期黄铁矿随含矿热液顺围岩片麻理充填,具片麻状构造,黄铁矿呈浸染状;第三期黄铁矿与其它金属硫化物(黄铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿等)沿矿石微裂隙及早期形成的片麻理继续矿化蚀变,可见其穿插第二期顺片麻理充填的黄铁矿,为主成矿期,形成的矿石品位较高;第四期黄铁矿随碳酸盐脉一同形成的脉较宽

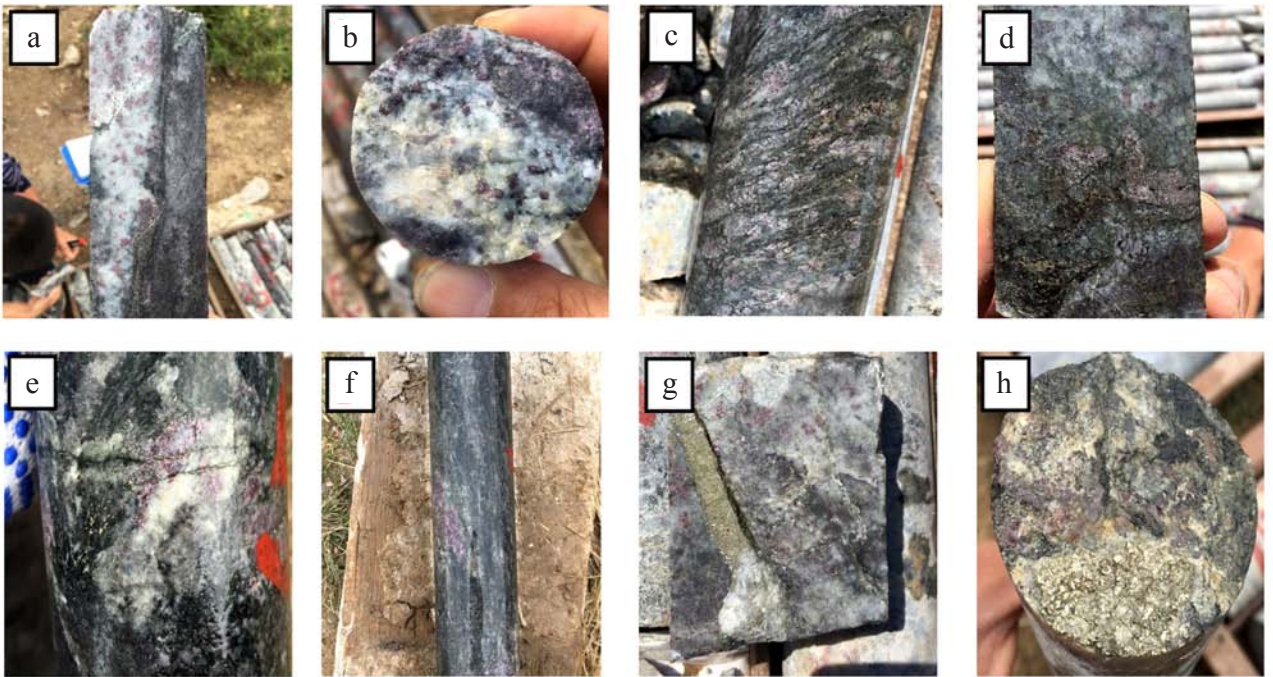


图5 金矿化与黄铁矿形成期次分布图

Fig.5 Distribution of the gold mineralization and pyrite formation stages

a. 热液活动与原岩的接触关系;b. 第一期黄铁矿;c. 第二期黄铁矿;d, e, f. 第三期黄铁矿;g, h 第四期黄铁矿

约0.2~1 cm,黄铁矿晶体较粗大、晶型完整,呈立方体形状,为成矿末期。

总的来讲,研究区金的成矿作用贯穿于整个韧-脆性剪切带构造发展演化过程,但成矿作用滞后于剪切作用,二者存在时差。剪切作用本身不能成矿,主要创造成矿空间,提供运移通道和容矿空间,然后在区域变质、深熔再造、混合岩化等变质热液作用下,围岩中的成矿物质(Au)被热液流体活化、迁移并以渗透交代的运移方式,在韧(脆)性剪切带及派生的次生脆性构造适宜容矿空间沉淀富集成矿。因此认为研究区金矿床地质成因主要为:与韧(脆)性剪切带构造密切相关的变质热液型金矿床。

### 4 找矿方向

#### 4.1 找矿标志

研究区金矿化主要产于韧(脆)剪切带强变形的

变质岩类中,常显示以下直观找矿标志:①构造变形标志:高应变的韧(脆)性剪切带及其派生的次生脆性破碎构造是找矿的宏观标志,其岩层中心部位一般片理化发育,矿物重熔、拉伸等变形作用强烈,岩(矿)石较为破碎。②围岩蚀变标志:含矿岩石具硅化、黄铁矿化、碳酸盐化等蚀变,在地表常氧化形成褐铁矿化、高岭土化等蚀变产物,地表含矿岩石多呈醒目的黄褐-红褐色,主要为含金属硫化物岩(矿)石风氧化而成(图6、7)。

#### 4.2 找矿方向

山西右玉后窑子-火烧滩金矿为近十年来山西晋西北地区老变质岩中新发现的剪切构造类型金矿床,其主要成矿要素与区内发育的剪切带构造和广泛分布的新太古和古元古老变质岩系密切相关。因此研究区重点找矿方向还是选择在老变质岩系分布的区域性剪切构造带上开展。



图6 矿化体变形破碎和硅化蚀变标志

Fig.6 Signs of mineralized body deformation breakage and silicification alteration



图7 矿化体褐铁矿化蚀变标志与围岩分界

Fig.7 Boundary between mineralized limonite alteration marker and surrounding rock

(1)近期找矿方向:主要针对已知矿体两侧开展延续找矿工作。后窑子-火烧滩金矿虽然经过了十几年的地质勘查工作,找矿成果突出,实现了该区地质找矿的重大发现和重大突破,目前探明金矿资源量已达中型以上,但仍存在着一些尚未解决的问题,在矿区内已圈定的矿体中,还存在一些矿体延伸边界尚未形成完整控制,如:火烧滩矿区主矿体IV号,延伸长、沿深深、厚度大、矿体连续性较好;在西部基岩区矿体已查明控制的情况下,在东部124勘探线以东的黄土覆盖区矿体延伸部分尚未探知,需要继续给予查明控制,另外矿体的延深也要给予探明控制。

(2)远期找矿方向:主要进一步查清后窑子矿带

和火烧滩矿带之间的关系。二者在区域上同处崞县窑-后窑子韧(脆)性剪切构造带,具有相同的成矿地质背景和成矿地质条件,应该具有一定的相关性;鉴于二者之间属老变质区地质情况复杂,再加上大面积黄土覆盖,研究难度加大。国内外大量研究资料证实,一个较大规模的矿床其形成和成矿演化过程绝不是一个孤立的地质事件,往往和区域性的一系列地质事件紧密相联。因此通过研究已知矿(床)体地质特征,总结成矿规律,建立成矿模式,不断丰富地质资料,遵循“从已知到未知,由简单到复杂”的原则,去应用指导后窑子矿带和火烧滩矿带之间的未知区地质找矿工作。另外,在研究区南部已划定的



云石堡区域性韧(脆)性剪切带上查明与金矿化的关系也是必要的。

## 5 结论

综上所述,将山西右玉金矿地质成因特征归纳如下:

(1)金矿床产于韧(脆)性剪切带上,矿体严格受剪切构造控制,剪切构造既是有利的导矿构造,也是良好的容矿构造。含矿岩系主要为剪切带强变形域内由新太古-古元古变质岩类构成的变形蚀变岩石;在剪切带横向和纵向上有不同的韧-脆性变形、蚀变分带特征。

(2)矿体与近矿围岩一般位于同一韧(脆)性剪切带内,岩性类型也大致相同,矿体与围岩呈渐变关系。研究区地球化学测量成果资料显示,良好的金地球化学背景和有利的含矿围岩条件,为成矿作用提供了丰富的金矿质来源。

(3)成矿流体以变质热液流体占主导,主要由五台、吕梁期区域变质、深熔再造、混合岩化等变质作用形成。成矿流体运移在早期韧性剪切变形阶段以渗透交代为主,中期在脆-韧性变形阶段主要为渗透交代+充填方式为主,晚期在脆性变形阶段主要以充填方式为主。

(4)金的成矿作用贯穿于整个剪切带构造发展演化过程,成矿作用滞后于剪切作用,二者存在时差。剪切作用本身不能成矿,主要创造成矿空间,在区域变质、深熔再造、混合岩化等变质热液作用下,成矿物质(Au)被热液流体活化、迁移并在韧(脆)性剪切带及派生的次生脆性构造适宜容矿空间沉淀富集成矿。因此认为金矿床地质成因主要为:与韧(脆)性剪切带构造密切相关的变质热液型金矿床。

(5)金矿化主要分布于剪切带强变形的变质岩石中。岩石强烈变形破碎,硅化、黄铁矿化蚀变,以及地表岩石多氧化为褐铁矿化等显要标志,为重要的直观找矿标志。

总之,山西右玉金矿资源潜力前景看好,现已查明金矿产资源量规模已达中型,通过进一步的地质勘查工作,有望实现更大的突破。

### 参考文献:

[1] 黄晋荣,侯占国,李亮玉,等.山西省右玉县杨千河乡后窑

子金矿及外围普查地质报告[R].山西省地质调查院,2014.

- [2] 陈志方,侯占国,李亮玉,等.山西省右玉县杨千河乡后窑子-火烧滩金矿详查地质报告[R].山西省地质调查院,2018.
- [3] 李德威.剪切带型金矿床的成因[J].黄金科技动态,1993,(6):3-7
- [4] 王义天,毛景文,李晓锋,等.与剪切带相关的金成矿作用[J].地学前缘,2004,11(2):393-398.
- [5] 刘忠明.剪切带流体与蚀变和金矿成矿作用[J].地学前缘,2001,8(4):271-275.
- [6] 马桂霞.剪切带型金矿床研究进展[J].长春工程学院学报(自然科学版),2005,6(2):38-41.
- [7] 高帮飞,王庆飞,覃修平.剪切带型金矿床研究新进展[S].第八届全国矿床会议论文集,2006:431-434.
- [8] 蔡晓荻,张元厚,韩以贵.含金剪切带型金矿床研究进展[J].中国矿业,2008,17(6):62-69
- [9] 路彦明,张玉杰,张栋,等.剪切带与金矿成矿研究进展[J].黄金科学技术,2008,16(5):01-06.
- [10] 沈保丰,翟安民,杨春亮.古元古代-中国重要的成矿期[J].地质调查与研究,2010,33(4):241-256.
- [11] 王成辉,王登红,黄凡,等.中国金矿集区及其资源潜力探讨[J].中国地质,2012,39(5):1125-1142.
- [12] 黄晋荣.山西右玉金矿剪切带成矿地质作用研究探讨[J].华北国土资源,2018,86(5):26-30.
- [13] 李成禄,李胜荣,罗军燕,等.山西繁峙义兴寨金矿床金矿物特征研究[J].中国地质,2011,38(1):119-128.
- [14] 陈飞,张弘,王夏杰,等.山西省夏县涧沟金矿地质特征[J].地质调查与研究,2016,39(3):210-214.
- [15] 杨萌萌.山西省曲沃县哈蛙沟金矿床地质特征及成矿规律浅析[J].地质调查与研究,2018,41(02):102-107.
- [16] 李红兵,曾凡治.金矿中的黄铁矿标型特征[J].地质找矿论丛,2005,20(3):199-203.
- [17] 李娟,李晓鹏,仲星,等.马鞍桥金矿床黄铁矿标型特征及金矿化[J].勘察测绘,2014,(4):33.
- [18] 魏博,裴先治,刘成军,等.西秦岭天水地区新阳-元龙韧性剪切带构造变形特征及其地质意义[J].中国地质,2015,42(1):51-70.
- [19] 寇林林,张森,钟康惠,等.东昆仑五龙沟金矿集区韧性剪切带构造变形特点研究[J].中国地质,2015,42(2):495-503.
- [20] 刘华南,刘家军,代鸿章,等.内蒙古新地沟金矿床中金矿的赋存状态研究[J].中国地质,2016,43(1):261-274.
- [21] 雷凤至,孙景贵,徐智涛,等.福建德化地区东洋浅成热液金矿床成矿作用与成因研究[J].世界地质,2019,38(2):339-353.
- [22] 朱平平,成秋明,武国朋.地壳厚度对中国金矿床空间分布规律的制约[J].矿床地质,2019,38(3):479-490.