

DOI: 10.12401/j.nwg.2023138

新疆和静县红柳沟金矿床地质特征及成因分析

赵琳雁¹, 张旗², 庞军刚¹, 王峰²

(1. 西安石油大学地球科学与工程学院 / 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安 710065; 2. 中国冶金地质总局西北地质勘查院, 陕西 西安 710119)

摘要: 新疆和静县红柳沟金矿在区域上位于哈萨克斯坦板块与塔里木板块北缘构造活动带接触碰撞部位, 属西天山造山带东段哈尔克-萨阿尔明晚古生代沟弧带, 处在萨恨托亥-大山口脆韧性剪切变形带中, 断裂、褶皱构造发育, 总体构造线呈 NW 向。上志留统—下泥盆统大山口组浅变质细碎屑岩系为区内重要的含金地层。矿体主要产于闪长岩与砂质板岩接触部位附近, EW 向 (100°~110°) 韧性剪切带控制本区金矿化产出, 其间多充填石英细脉、网脉, 并具有较强的硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、绢云母化等蚀变。含矿热液通过韧性剪切带内密集的裂隙充填交代形成金矿带, 初步认为该矿床为蚀变岩型金矿。笔者总结了地层标志、强韧性变形带构造标志、强糜棱岩化闪长岩的岩浆岩标志、黄铁矿化和硅化等围岩蚀变特征及化探异常 5 大找矿标志。

关键词: 红柳沟金矿床; 构造-热液型金矿床; 晚古生代沟弧带; 新疆

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)06-0301-13

Geological Characteristics and Genesis Analysis of Hongliugou Gold Deposit in Hejing County, Xinjiang

ZHAO Linyan¹, ZHANG Qi², PANG Jungang¹, WANG Feng²

(1. School of Earth Science and Engineering, Xi'an Shiyou University / Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an 710065, Shaanxi, China; 2. Northwest Geological Research Institute, Bureau of Metallurgy Geology Exploration and Engineering, Xi'an 710119, Shaanxi, China)

Abstract: Hongliugou gold deposit in Hejing County, Xinjiang Province is located in the contact and collision place between the Kazakhstan plate and the tectonic active belt on the northern margin of Tarim plate. It belongs to Halik-Saarmin Late Paleozoic trench-arc zone in the eastern part of the western Tianshan orogenic belt. It is located in the Sahentuohai-Dashankou brittle ductile shear deformation belt. The shallow metamorphic fine clastic rock series from Upper Silurian to Lower Devonian Dashankou Formation is an important gold-bearing formation in the area. The ore body is mainly produced near the contact point between diorite and sandy slates. The gold mineralization in this area is controlled by the east-west (100°~110°) trending ductile shear zone, which is filled with quartz veins and mesh veins and has strong alteration such as silicification, carbonation, pyritization and sericite. The ore-bearing hydrothermal fluid is filled and metasomatized through the dense fissure in the ductile shear zone to form a gold deposit, which is preliminarily considered as an altered rock type

收稿日期: 2023-05-21; 修回日期: 2023-06-18; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目: 中国冶金地质总局西北地质勘查院项目“新疆和静县红柳沟金矿普查”, 西安石油大学研究生创新与实践能力的培养 (YCS22112049) 联合资助。

作者简介: 赵琳雁 (1996-), 女, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: 993021507@qq.com。

gold deposit. The stratigraphic mark, the tectonic mark of strong ductile deformation zone, the magmatic mark of strong mylonitic diorite, the alteration characteristics of surrounding rock such as pyrite and silicification, and the five prospecting marks of geochemical anomaly are summarized.

Keywords: Hongliugou gold deposit; tectonic–hydrothermal gold deposit; late Paleozoic trench arc zone; Xinjiang

黄金是中国重要的战略资源和稀缺矿种之一(汪在聪等, 2021), 新疆西南天山金矿点众多, 具成带分布特点, 找矿潜力巨大(杨富全等, 1999; 林乐等, 2018), 自 20 世纪 50 年代开始就成为中国重要的金和有色金属矿产远景区, 掀起了该地的“找金热”(杜亚龙等, 2016)。

新疆和静县红柳沟金矿即处于世界上最著名的金成矿带之一的中亚西南天山金–锑–锡–汞成矿带中的萨恨托亥–大山口金矿成矿亚带内(杨富全等, 1999, 杨富全等, 2007)。近年来, 前人已在该带取得较大找矿成果, 如大山口金矿(鲍庆中等, 2003; 董新丰等, 2011)、萨恨托亥金矿(王宏等, 2002)、乌兰赛尔金矿(刘铭峰等, 2011; 吴兴城等, 2020), 具有较好的成矿潜力。此次中国冶金地质总局西北地质勘查院通过 1: 50 000 化探异常查证新发现了西天山的红柳沟金矿。红柳沟金矿矿区共施工了槽探 4 140.43 m³, 钻探 3 318.2 m, 资源潜力较大。目前, 已有少量文献介绍化探应用效果(丁兆举等, 2008)。笔者结合本次研究, 系统论

述该矿床地质特征, 总结找矿标志, 并对矿床成因进行了分析。

1 成矿地质背景

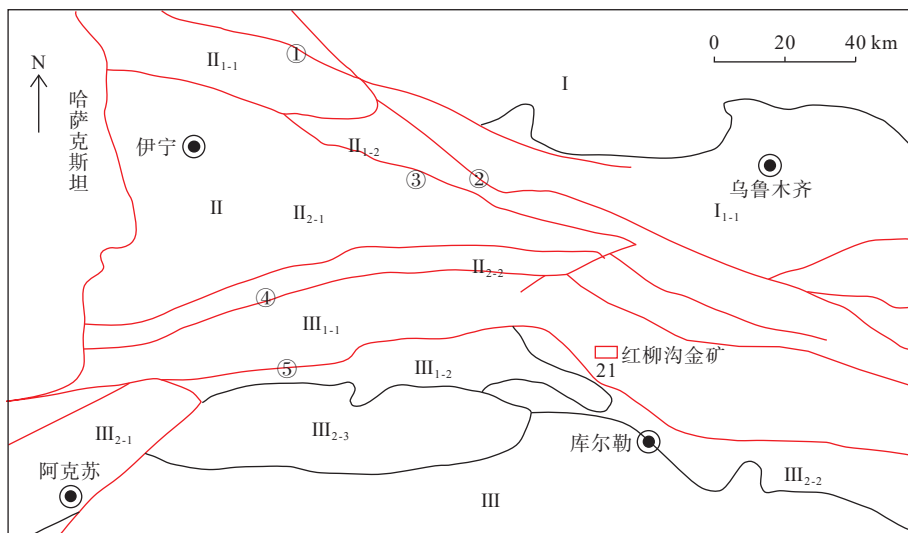
1.1 大地构造位置

矿区在区域上位于哈萨克斯坦板块与塔里木板块北缘构造活动带接触碰撞部位, 属西天山造山带东段哈尔克–萨阿尔明晚古生代沟弧带, 处在萨恨托亥–大山口脆韧性剪切变形带中(图 1)。

成矿带内金矿多赋存在大山口组浊积岩系内, 主要金矿有大山口金矿、萨恨托亥金矿等。矿化发生在韧性剪切带内, 矿体呈脉状、透镜体状、似层状, 产状与剪切带一致。

1.2 矿区地层

勘查区处于天山–兴安岭地层区西段的南天山地层分区中的萨阿尔明地层小区内, 区域上地层发育齐全。从元古宇到第四系均有出露, 其中志留系

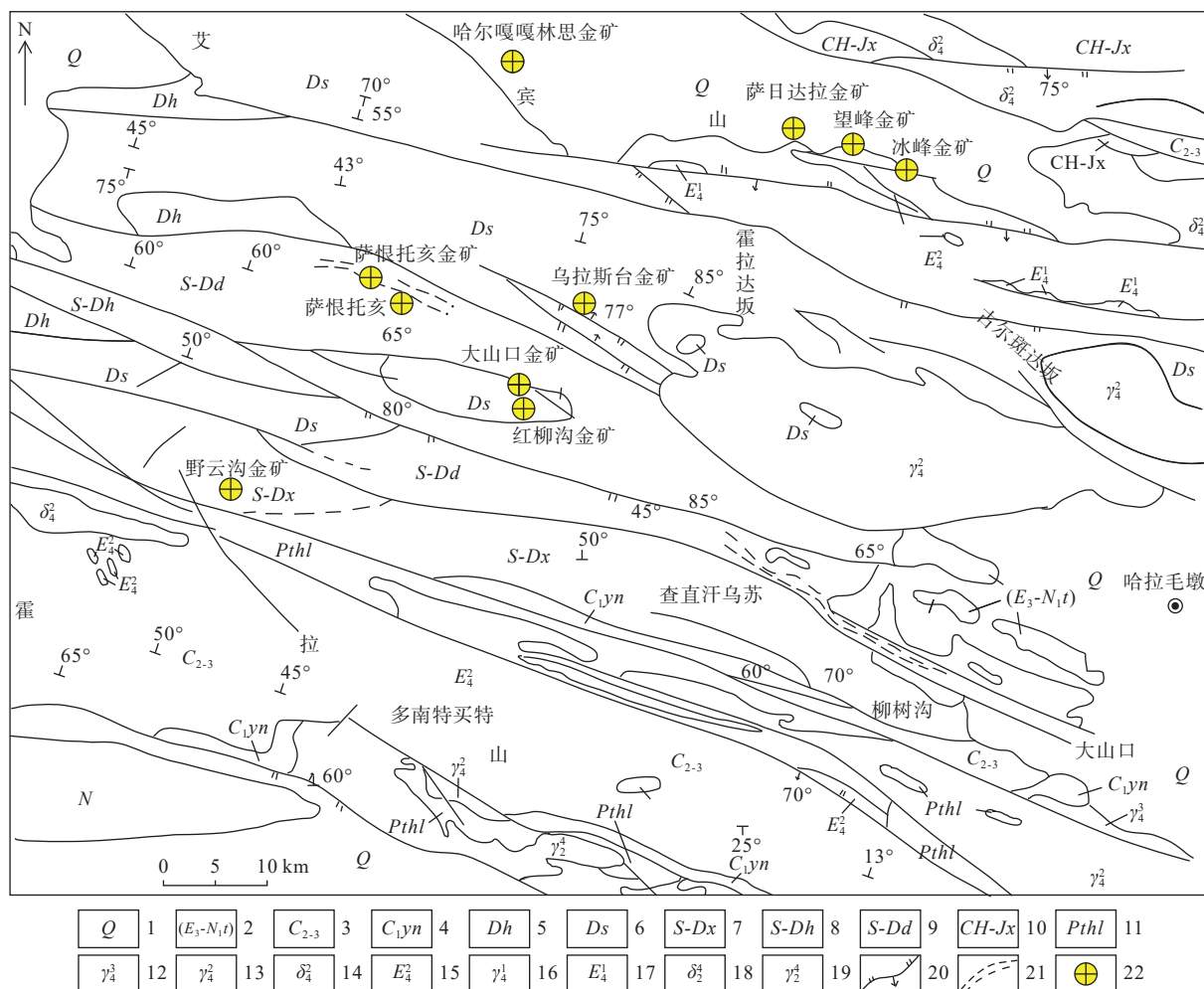


①. 温泉–星星峡断裂; ②. 艾比湖断裂; ③. 科古尔琴山南坡断裂; ④. 那拉提断裂; ⑤. 哈尔克断裂; I. 准噶尔板块; I_{1.1}. 依连哈比尔尕晚古生代裂陷槽; II. 伊犁板块; II_{1.1}. 赛里木地块; II_{1.2}. 博罗科努早古生代岛弧带; II_{2.1}. 伊犁晚古生代裂谷; II_{2.2}. 那拉提早古生代岛弧带; III. 塔里木板块; III_{1.1}. 哈尔克–萨阿尔明晚古生代沟弧带; III_{1.2}. 霍拉山晚古生代陆缘盆地; III_{2.1}. 木扎尔特地块; III_{2.2}. 库鲁克塔格中间地块; III_{2.3}. 库车中新生代拗陷

图 1 新疆西天山一带大地构造简图

Fig. 1 Schematic map of geotectonic structure in the West Tianshan Mountains of Xinjiang

(S)、泥盆系(D)和石炭系(C)广泛分布(沙德铭等, 2003)。上志留统一泥盆统大山口组浅变质细碎屑岩系为区内重要的含 Au 地层(孟祥金等, 2000a, 2000b)(图2)。



1. 第四系; 2. 渐新统一中新统桃园组; 3. 中上石炭统卡拉达坂群; 4. 下石炭统野云沟组; 5. 泥盆系哈改尔布拉克组; 6. 泥盆系萨阿尔明组; 7. 志留系—泥盆系夏哈勒恩郭勒组; 8. 志留系—泥盆系呼斯坦希力组; 9. 志留系—泥盆系大山口组; 10. 长城系—蓟县系; 11. 元古宙霍拉山群; 12. 华力西晚期花岗岩; 13. 华力西中期花岗岩; 14. 华力西中期闪长岩; 15. 华力西中期超基性岩; 16. 华力西早期花岗岩; 17. 华力西早期超基性岩; 18. 元古宙闪长岩; 19. 元古宙花岗岩; 20. 断层; 21. 韧性剪切带; 22. 金矿床

图2 新疆西天山一带区域地质矿产图

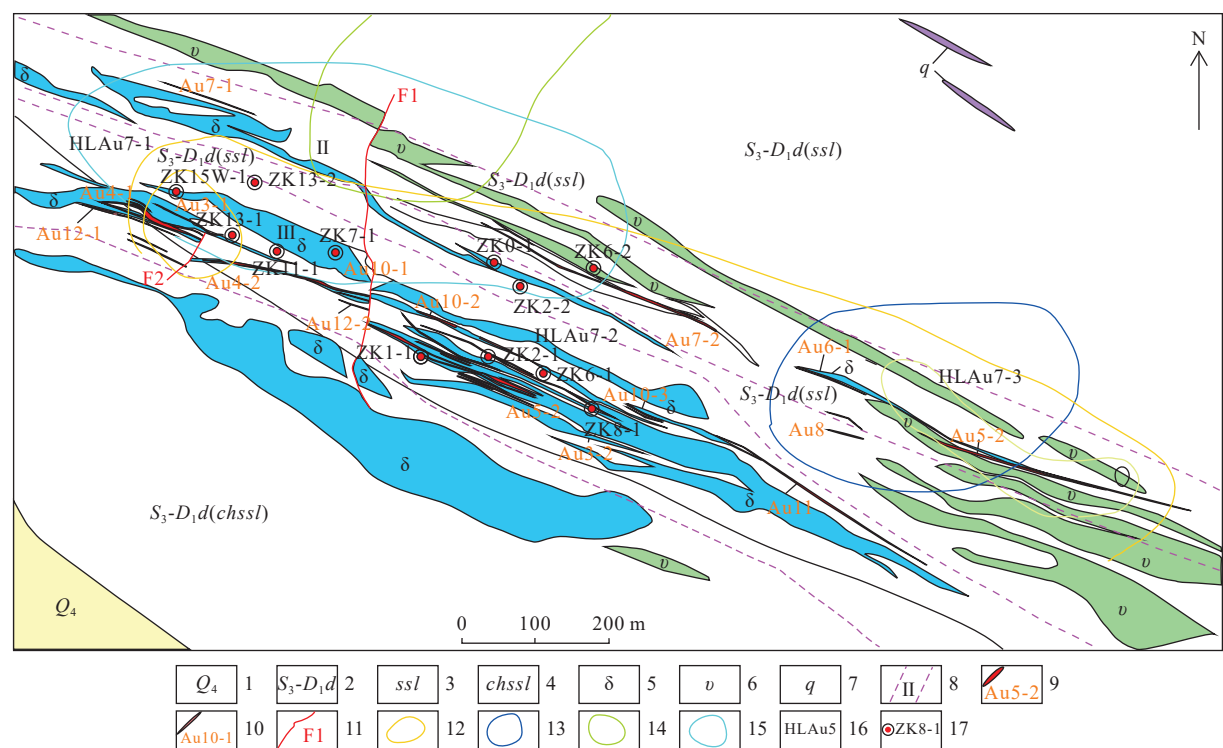
Fig. 2 Regional geology and mineral resources map of the West Tianshan Mountains in Xinjiang

矿区主要出露上志留统一泥盆统大山口组($S_3 \sim D_1d$), 为一套浅变质碎屑岩。岩层呈 NWW 向带状分布于区域中部。岩性主要为灰—浅灰黑色砂质板岩、砂质板岩组成的互层状岩石。为含矿层位。矿化带岩石为变形强烈的砂质板岩, 蚀变特征明显, 石英碳酸盐细脉明显增多, 矿区内出露岩性简单, 且相互交替出现(图3)。

依据变形强度和蚀变强度, 将矿区砂质板岩分为 6 类, 其产状与区内韧性剪切带、矿化带一致(表1)。

1.3 矿区构造

区域构造线总体为 NW 向, 褶皱构造主要为萨阿尔明复背斜和霍拉山复向斜。断裂构造发育, 主要断裂构造有哈尔克断裂(乌瓦门—包尔图断裂)、那拉提断裂, 萨根托亥断裂、可肯达坂断裂、大山口断裂、霍拉山断裂等大断裂及其次级断裂; 矿区位于大山口断裂和可肯达坂断裂夹持之间, 属萨阿尔明复背斜中大山口倒转向斜, 并在向斜北翼出现韧性剪切带。它们对区内金矿的形成和分布起着重要的控制作用。



1. 第四系；2. 上志留至下泥盆系大山口组；3. 砂质板岩；4. 绿泥石化砂质板岩；5. 闪长岩；6. 辉长岩；7. 石英脉；8. 矿化带编号；
9. 金矿体；10. 金矿化体；11. 实测断层；12. 金异常；13. 砷异常；14. 铋异常；15. 钼异常；16. 金异常编号；17. 见矿钻孔

图3 新疆和静县红柳沟金矿区综合地质简图

Fig. 3 Comprehensive geological map of Hongliugou Gold mining area, Hejing County, Xinjiang

表1 红柳沟金矿砂质板岩含矿性一览表

Tab. 1 Ore-bearing properties of sandy slate in Hongliugou gold deposit

砂质板岩特征	变形强度	蚀变特征	矿化特征
碳黑色	劈理发育	—	无矿化
浅灰色	劈理弱发育	—	矿化较弱
风化面浅灰白色，新鲜面浅灰色	劈理发育，板劈理厚度0.5~1.5 mm，变形较强	具强的高岭土化，碳酸盐化、绢云母化	有矿化显示
浅黄绿色-浅灰白色	—	绿帘石化较强，弱硅化，变形强烈，石英细脉、硅质条带较少，见少量细粒黄铁矿	局部具有金矿化
青灰色、浅灰红色、黄绿色	—	硅化较强、褪色蚀变，变形强烈，石英细脉、硅质条带发育，黄铁矿发育	基本为金矿石特征
青灰白色-青白色，黄白色	变形十分强烈	钠化、铁白云石化、褐铁矿化较强，褪色蚀变，石英条带密集发育，见大量细粒黄铁矿，局部富集呈细脉状	基本为金矿石特征

矿区内发现F1(大山口断裂)、F2、F3等3条断层。

F1(大山口断裂)为继承性活动逆断裂，产状为20°~35°∠55°~60°，区域上长度大于40 km，是大山口组与中泥盆统及第三系的边界断裂。局部可见大山口组沿此断裂逆冲在第三系之上。分布于矿区南部，在矿区内长约为1.8 km，为大山口组与第三系的边界断层。

F2断层走向为NNE-SSW向，长约为500 m，推断为右型逆冲断层，断距约为20 m。平面上将矿体错

断，对矿体起破坏作用。

F3断层走向为NNE-SSW向，长约为100 m，推断为右型逆冲断层，断距约为20 m。平面上将矿体错断，对矿体起破坏作用。

矿区内见有南、北2条韧性剪切带，具有明显的强变形域与弱变形域之分，北带长约为2 600 m，宽为300~530 m，南带长约为4 300 m，宽为280~370 m。

矿区内金矿化体主要位于南带韧性剪切带，剪切带内岩石有明显的糜棱岩化特征，岩石组成主要分为

长英质糜棱岩与花岗质糜棱岩两大类,岩石包含糜棱岩化蚀变砂质板岩、糜棱岩化蚀变闪长岩、糜棱岩化花岗闪长岩、长英质糜棱岩、花岗质糜棱岩等。

韧性剪切带内的宏观构造为金成矿提供了空间。剪切裂隙、剪切褶皱虚脱部位与脆性断裂构造均成为金矿体的就位空间,韧性剪切带内岩石强烈的片理化和大量的剪切裂隙及揉皱有利于成矿流体的运移,糜棱岩的易渗透性使得流体与其流经的围岩发生各种化学反应,引起物理化学环境的改变,导致金的沉积。糜棱岩本身也因含金流体的渗透交代而成为金矿体。韧性剪切带内金矿体形态产状因其赋矿的构造形态、空间展布特征不同而呈脉状、透镜状、似层状、鞍状等,空间上表现为平行、斜列、尖灭再现、尖灭侧现等特点。韧性剪切带的构造几何特征决定了金矿的产状。

1.4 侵入岩

华力西期岩浆岩在区域内广泛出露,主要有华力西中期的花岗岩(γ_4^2)和闪长岩(δ_4^2)分布最为广泛,其总体展布方向与区域构造线方向一致(孟祥金等, 2000a, 2000b)。

矿区内出露的侵入岩主要有辉长岩、闪长岩、花岗闪长岩。其中闪长岩与矿区总体构造线方向一致,呈 NWW-SEE 向细长脉状平行排列,出露宽度为 10~110 m,出露长度为 200~800 m,岩石主要呈中细粒-中粗粒状结构,块状构造,普遍具强弱不等的硅化、片理化、褐铁矿化,局部见少量的立方体黄铁矿。该岩体(脉)与区内矿化密切相关;其中韧性剪切变形强烈的糜棱岩化蚀变闪长岩与 Au 矿化关系密切,该闪长岩与围岩界线相对清楚经韧性剪切变形改造后变形严重(图 4、图 5)。



图 4 闪长岩与砂质板岩宏观接触关系图

Fig. 4 Macroscopic contact relationship between diorite and sandy slate



图 5 砂质板岩中不对称剪切褶皱构造图

Fig. 5 Asymmetric shear fold structure in sandy slate

1.5 化探异常

(1) 矿床元素组合特征

确定矿体元素组合的标准是以各元素的衬值(矿体中元素含量/围岩背景含量)大于 1,即能形成异常,可作为具有指示意义的成矿元素组合。据此得出矿体元素组合。

①含 Au 地质体 $0.1 \times 10^{-6} \leq \text{Au} \leq 0.5 \times 10^{-6}$ 元素组合: Au、Zn、Ni、Cr。②矿化体 $0.5 \times 10^{-6} \leq \text{Au} \leq 1.0 \times 10^{-6}$ 元素组合: Au、Hg、Cu、Pb、Zn、W、Mo。③矿体 $1.0 \times 10^{-6} \leq \text{Au} \leq 3.0 \times 10^{-6}$ 元素组合: Au、Ag、Hg、As、Cu、Pb、W、Mn。④矿体 $3.0 \times 10^{-6} \leq \text{Au} \leq 5.0 \times 10^{-6}$ 元素组合: Au、Ag、Hg、Cu、Pb、W、Sn、Mn。⑤矿体 $\geq 5.0 \times 10^{-6}$ 元素组合: Au、Ag、Hg、As、Sb、Co、Ni、W、Cr、Sn; 红柳沟金矿床元素组合差别较大,含 Au 地质体 $0.1 \times 10^{-6} \leq \text{Au} \leq 0.5 \times 10^{-6}$ 成矿元素组合较少,矿化体 $0.5 \times 10^{-6} \leq \text{Au} \leq 1.0 \times 10^{-6}$ 成矿元素组合增多,矿体 ($1.0 \times 10^{-6} \leq \text{Au} \leq 3.0 \times 10^{-6}$)、矿体 ($3.0 \times 10^{-6} \leq \text{Au} \leq 5.0 \times 10^{-6}$) 与矿体 ($\geq 5.0 \times 10^{-6}$) 成矿元素组合大致相同,个别元素不一样(表 2)。

红柳沟金矿床元素组合特征与 Au 含量密切相关, Au 含量越高,成矿元素组合越趋于稳定。这与热液同化混染围岩相关,混染越强,围岩成分带入越多,成矿元素组合特征越不稳定,越不具有代表性。

(2) 综合异常特征

1:10 000 岩屑地球化学测量在矿区内圈定出以 Au 为主,伴有 As、Sb、Mo 异常的综合异常 7 个。Au 综合异常构成了北西向展布的 2 条异常带。北异常带包括 HLAu4、HLAu5、HLAu6 异常,伴有 As、Sb、Mo 异常,异常带分布较为连续,规模较大;南异常带包括 HLAu1、HLAu2、HLAu3、HLAu7 异常,伴有 As、Sb 异常, Au7 异常还伴随有 Mo 异常。这 2 个异常带所处位置与矿区南北 2 条韧性剪切带在空间上较吻

表 2 不同品位矿(化)体的均值及衬值表

Tab. 2 Mean value and contrast value of different grade ore (mineralized) bodies

品位(10^{-6})	0.1~0.5		0.5~1		1~3		3~5		≥ 5		蚀变带
元素	均值	衬值	均值	衬值	均值	衬值	均值	衬值	均值	衬值	均值
Au	282.31	1.16	524.8	2.16	536.62	0.78	685.07	2.83	730.12	3.01	242.43
Ag	118.60	0.61	210.89	1.09	368.44	1.60	230.92	1.19	224.05	1.16	193.69
Hg	8.69	0.94	7.56	0.82	9.98	0.80	12.45	1.35	9.47	1.03	9.23
As	33.81	0.63	25.96	0.48	57.5	1.30	44.26	0.82	140.25	2.60	53.90
Sb	1.85	0.98	1.33	0.70	1.46	1.15	1.27	0.67	3.39	1.79	1.89
Bi	0.26	0.80	0.43	1.31	0.31	0.96	0.33	1.00	0.30	0.90	0.33
Cu	21.48	0.65	32.97	0.99	40.16	0.95	42.20	1.27	18.35	0.55	33.14
Pb	6.01	0.82	15.89	2.17	7.99	0.94	8.47	1.16	7.17	0.98	7.33
Zn	41.69	1.20	57.15	1.64	29.59	1.00	29.73	0.85	27.07	0.78	34.87
Co	12.18	0.88	16.03	1.16	13.38	1.15	11.68	0.84	14.60	1.05	13.86
Ni	27.20	1.04	25.93	0.99	24.04	0.95	25.19	0.96	28.71	1.10	26.15
W	4.69	0.96	6.64	1.36	5.09	0.79	6.47	1.32	5.78	1.18	4.89
Mo	3.68	0.29	151.90	12.14	4.92	0.73	6.70	0.54	7.58	0.61	12.51
Sn	1.66	0.99	1.78	1.07	1.55	0.89	1.75	1.05	1.80	1.08	1.67
Cr	59.10	1.02	61.61	1.06	54.40	1.02	53.39	0.92	58.37	1.01	58.08
Mn	635.36	0.99	569.34	0.89	714.82	0.95	750.31	1.17	550.55	0.86	642.09
V	90.47	0.90	111.54	1.10	95.48	1.01	94.74	0.94	94.87	0.94	100.98
Ba	577.8	0.95	589.51	0.97	560.57	1.08	519.11	0.86	500.73	0.83	606.52
Ti	1 541.29	0.94	1 623.91	0.99	1 392.28	0.91	1 537.57	0.94	1 619.53	0.99	1 635.2

注：均值=算术均值；衬值=算术/矿区地层；Au、Ag、Hg元素含量为 10^{-9} ，其余元素含量为 10^{-6} 。

合(图 3, 表 3)。

所有的矿化体与化探异常对应较好,且矿化体规模、品位与化探异常范围、异常值为正相关关系。

2 矿床地质特征

2.1 矿体规模、形态、产状

矿区初步将 23 勘查线以东定为东矿段、以西定为西矿段。东矿段圈定 I 号、II 号、III 号共 3 条矿化带,西矿段圈定 2 条石英复脉带(图 3)。

2.1.1 东矿段

(1) I 号矿化带:位于矿区北部,出露长约为 600 m,宽为 30 m,总体走向为 100° ,主要岩性组合为石英脉碎块,泥钙质板岩夹薄层辉长岩岩细脉,圈定 2 条金矿体 Au1、Au2。

(2) II 号矿化带:位于矿区中部,长约为 1.6 km,宽为 30~60 m,主要岩性组合为闪长岩、泥钙质板岩、少量含碳质石英千枚岩,共圈定 4 条金矿体(Au6-1、Au6-2、Au7-2、Au16),3 条金矿化体(Au7-1、Au7-3、Au8),均为蚀变岩型金矿体。

(3) III 号矿化带:位于矿区南部,长约为 1.8 km,宽为 100~200 m,为闪长岩夹砂质板岩破碎带。带内圈定金矿体 18 条(Au3-1、Au3-2、Au4-1、Au4-2、Au4-3、Au4-4、Au5-2、Au5-3、Au5-4、Au10-2、Au10-3、

Au11、Au12-2、Au13、Au14、Au15、Au16、Au17),其中 Au13、Au14、Au15 为 3 条隐伏矿体,北距 Au7-2 矿体约为 60~70 m。金矿化体 9 条(Au4-5、Au4-6、Au5-1、Au5-5、Au5-6、Au5-7、Au10-1、Au10-4、Au12-1)。

2.1.2 西矿段

西矿段圈定南北 2 条石英复脉带。南带宽为 20~140 m,整体走向约为 100° ,沿走向长为 1 750 m,圈定 1 条石英脉型金矿化体 Au9,该带空间上与 III 号矿化带对应;北带宽为 15~120 m,整体走向约为 110° ,沿走向长为 1 250 m,该带空间上与 II 号矿化带对应。

矿区共圈定 22 条金矿体,其中隐伏矿体 3 条,19 条金矿化体,金矿(化)体分为蚀变岩型和石英脉型,其中蚀变岩型金矿为主要类型。控制矿体斜深为 35~577 m,矿体一般长为 35~370 m,厚度为 0.30~3.49 m,平均品位为 $1.34 \times 10^{-6} \sim 4.91 \times 10^{-6}$ 。其中 Au3-2、Au4-1、Au4-2、Au5-2、Au7-2 为主要金矿体(表 4)。

(1) Au3-2 矿体,位于 III 号矿化带中部,矿体与总体构造线方向一致呈似层状产出,地表出露长度为 220 m,向西为矿化体,长约为 80 m。矿体单工程平均厚度为 0.7~2.07 m,主要为 0.5~1.50 m,平均厚度为 1.30 m,变化系数为 40.31%,矿体厚度变化稳定。矿体由 6 个槽探、1 个剥土工程控制,深部由 4 个钻孔控制,沿倾向控制斜深为 508 m。矿体产状为 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \angle 78^{\circ} \sim 88^{\circ}$ (图 6)。

表 3 化探综合异常含矿性一览表

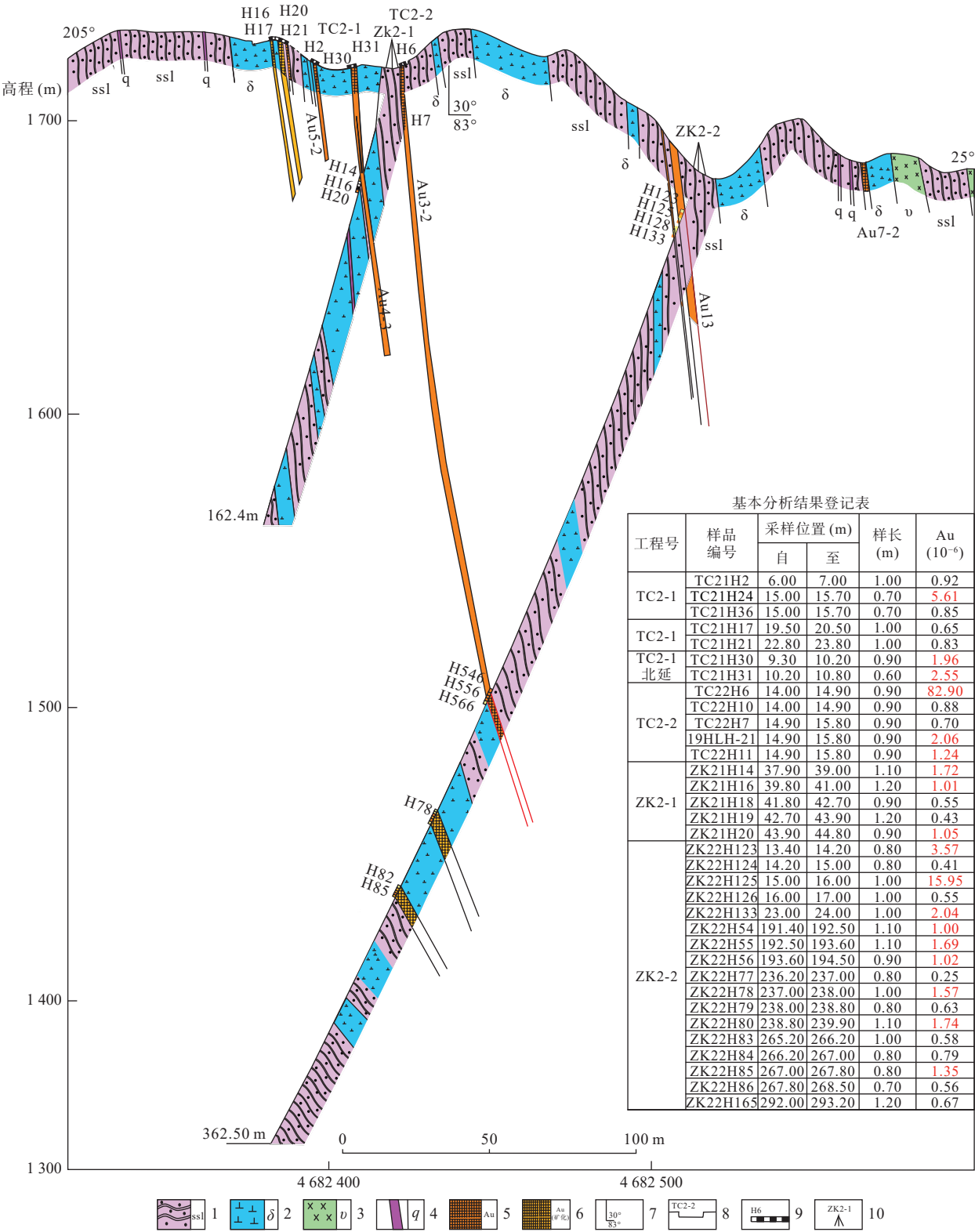
Tab. 3 Comprehensive geochemical anomaly list

异常带号	异常编号	异常规模		异常特征	含矿性
		长(m)	宽(m)		
北带	HLAu4	1 600	400	Au极大值为 $1\,100\times 10^{-9}$, 与As、Mo异常较为吻合, As、Mo极大值分别为 293×10^{-6} 、 13.4×10^{-6} ; 与Sb部分吻合, Sb极大值为 4.3×10^{-9} 。综合异常范围内见有长大于1 600 m, 宽15~60 m的构造破碎蚀变带。金矿(化)体赋存于破碎蚀变带中, 为破碎蚀变岩夹含金石英脉型	发现金矿(化)体2条, Au品位 $0.50\times 10^{-6}\sim 4.85\times 10^{-6}$
	HLAu5	1 000	400	Au极大值为 $44\,000\times 10^{-9}$, 与Mo、Sb异常部分吻合, 与东侧As有近120 m距离。Au5综合异常地质背景与Au4类似, 发育有3~4条宽4~10 m, 近于平行的黄褐-红褐色构造破碎蚀变带	发现金矿(化)体2条, Au品位 $0.66\times 10^{-6}\sim 4.44\times 10^{-6}$
	HLAu6	规模小	—	异常弱	不含矿
南带	HLAu1	800	400	Au极大值为 $6\,000\times 10^{-9}$, 与As、Sb异常部分吻合, As、Sb极大值分别为 $3\,040\times 10^{-6}$ 、 15.7×10^{-6} 。综合异常范围内见有长大于800 m, 宽85~100 m的构造破碎蚀变带	发现金矿化体1条(Au9), Au品位 2.24×10^{-6} , 显示前缘晕特征
	HLAu2、Au3	规模小	—	异常弱	推测深部与HLAu1、HLAu7为同一矿带
	HLAu7	1 600	400	表现为3个浓集中心(编号为HLAu7-1、HLAu7-2、HLAu7-3), 长近1 600 m, 宽约为400 m, Au极大值达 300×10^{-9} 。Au异常与As、Sb、Mo异常部分吻合, As、Sb、Mo极大值分别为 216.0×10^{-6} 、 35.00×10^{-6} 、 22.6×10^{-6} 。综合异常范围内见有长大于1 600 m, 宽10~120 m的构造破碎蚀变带	发现金矿体20条, 金矿化体9条, Au品位 $1.06\times 10^{-6}\sim 8.93\times 10^{-6}$

表 4 红柳沟金矿床矿体特征一览表

Tab. 4 Orebody characteristics of Hongliugou gold deposit

矿体编号	控制长度(m)	平均真厚度(m)	控制斜深(m)	平均品位(10^{-6})	最高品位(10^{-6})	矿体类型	所属矿化带
Au3-1	100	0.86	63	2.80	4.22	蚀变岩性+石英脉型	Ⅲ
Au3-2	220	1.40	508	2.38	22.89	蚀变岩性	Ⅲ
Au4-1	115	2.89	114	3.11	8.93	蚀变岩型	Ⅲ
Au4-2	220	1.25	236	2.48	5.93	蚀变岩型	Ⅲ
Au4-3	45	1.32	40	2.21	2.41	蚀变岩型	Ⅲ
Au4-4	80	2.49	35	1.90	3.28	蚀变岩型	Ⅲ
Au5-2	265	1.17	555	2.40	6.48	蚀变岩型	Ⅲ
Au5-3	45	0.52	/	1.53	1.53	蚀变岩型	Ⅲ
Au5-4	70	0.85	577	2.97	5.61	蚀变岩型	Ⅲ
Au6-1	85	1.39	/	1.58	1.58	蚀变岩型	Ⅱ
Au6-2	275	1.78	/	1.36	2.20	蚀变岩型	Ⅱ
Au7-2	370	1.12	138	2.74	31.05	蚀变岩+石英脉型	Ⅱ
Au8	80	1.08	/	3.98	3.98	蚀变岩型	Ⅱ
Au10-2	65	1.36	151	2.27	6.17	蚀变岩型	Ⅲ
Au10-3	60	3.49	/	1.36	3.08	蚀变岩型	Ⅲ
Au11	350	1.13	/	1.34	3.02	蚀变岩型	Ⅲ
Au12-2	50	0.43	/	1.72	2.79	蚀变岩型	Ⅲ
Au13	/	5.30	25	2.28	15.95	蚀变岩型	盲矿体
Au14	/	0.21	70	1.96	1.96	蚀变岩型	盲矿体
Au15	/	0.61	78	1.54	2.00	蚀变岩型	盲矿体
Au16	60	0.98	/	17.5	17.50	蚀变岩型	Ⅲ
Au17	60	0.92	/	1.17	1.17	蚀变岩型	Ⅲ



1. 砂质板岩; 2. 闪长岩; 3. 辉长岩; 4. 石英脉; 5. 金矿体(Au品位>0.80); 6. 金矿化体(0.35<Au品位<0.80);
7. 产状; 8. 探槽位置及编号; 9. 样品采集位置及编号; 10. 钻孔位置及编号

图6 红柳沟金矿2勘查线剖面图
Fig. 6 Profile of Hongliugou Gold Deposit 2 exploration line

(2) Au4-1 矿体, 位于Ⅲ号矿化带西段中部, 矿体与总体构造线方向一致, 呈似层状、透镜状产出, 有分支现象, 地表出露长度为 430 m, 东侧被推测断层截断。矿体单工程平均厚度一般为 2.00~5.41 m, 平均厚度为 3.22 m, 在 15W 线呈现厚大部位, 厚度为 5.41 m, 变化系数为 58.89%, 厚度变化稳定。矿体地表由 4 个槽探工程控制, 深部由 1 个钻孔控制, 深部未见矿, 控制斜深为 114 m, 深部 Au 品位为 0.1×10^{-6} ~ 0.4×10^{-6} 。矿体产状为 $208 \sim 28^\circ \angle 78^\circ \sim 90^\circ$ 。

(3) Au4-2 矿体, 位于Ⅲ号矿化带中段中部, 矿体与总体构造线方向一致呈似层状产出, 7 线附近部稍有扭曲, 厚度变厚, 地表出露长度为 220 m。矿体厚度为 0.5~1.50 m, 地表面工程厚度一般为 0.44~4.02 m, 钻孔单工程厚度为 0.48~2.77 m, 平均厚度为 1.93 m, 变化系数为 87.30%, 厚度变化较稳定。矿体由探槽 5 个槽探工程控制, 深部由 4 个钻孔控制, 控制斜深为 236 m。矿体产状为 $20 \sim 30^\circ \angle 70^\circ \sim 85^\circ$ 。

(4) Au5-2 矿体, 位于Ⅲ号矿化带中东段南部, 地表出露长度为 45 m, 矿体与总体构造线方向一致呈似层状产出, 地表局部变厚, 向西延伸被断层 F1 截断。矿体单工程厚度为 0.39~3.86 m, 平均厚度为 1.58 m, 主要为 0.5~1.0 m, 其次为 3.5~4.0 m, 变化系数为 83.23%, 厚度变化较稳定。矿体地表由 6 个槽探工程控制; 深部由 2 个钻孔控制, 控制斜深为 535 m。矿体产状为 $20^\circ \sim 30^\circ \angle 80^\circ \sim 88^\circ$ 。

(5) Au7-2 矿体, 位于Ⅱ号矿化带中东段北部, 矿体与总体构造线方向一致呈似层状产出, 地表出露长度为 370 m。矿体单工程厚度为 0.69~1.91 m, 平均厚度为 1.12 m, 主要为 0.5~1.0 m, 其次为 1.5~2.0 m, 变化系数 50.00%, 厚度变化稳定。地表由 5 个探槽工程控制; 深部由 1 个钻孔控制, 控制斜深为 138 m。矿体产状为 $20 \sim 30^\circ \angle 80^\circ \sim 90^\circ$ 。

2.2 矿石结构

矿石结构主要有粒状变晶结构、交代残留结构等。矿石构造主要有块状构造、条带状、浸染状构造。石英脉型高品位矿石主要以块状构造为主, 条带状构造主要存在于蚀变岩型金矿中, 浸染状构造主要存在于蚀变岩型金矿中。

2.3 矿石成分

Au 为主要元素, 有害元素 As 含量很低。

Au3-2 矿体: 矿体单样品品位为 0.50×10^{-6} ~ 22.89×10^{-6} , 主要介于 0.5×10^{-6} ~ 1.5×10^{-6} , 其次为 3.5×10^{-6} ~

4.0×10^{-6} 与 1.5×10^{-6} ~ 2.0×10^{-6} , 矿体单工程 Au 品位为 1.07×10^{-6} ~ 10.94×10^{-6} , 主要为 1×10^{-6} ~ 1.5×10^{-6} , 平均品位为 2.20×10^{-6} , 变化系数为 100.04%, 有用组分分布较均匀。

Au4-1 矿体: 矿体单样品品位为 0.29×10^{-6} ~ 11.12×10^{-6} , 主要介于 0.0×10^{-6} ~ 1.5×10^{-6} , 其次为 5.5×10^{-6} ~ 6.0×10^{-6} , 矿体单工程 Au 品位为 1.23×10^{-6} ~ 10.02×10^{-6} , 平均品位为 3.93×10^{-6} , 变化系数为 103.81%, 有用组分分布较均匀。

Au4-2 矿体: 矿体单样品品位为 0.63×10^{-6} ~ 5.93×10^{-6} , 主要介于 1.0×10^{-6} ~ 1.5×10^{-6} , 其次为 0.5×10^{-6} ~ 3.5×10^{-6} 之间分布较为均匀, 矿体单工程 Au 品位为 1.06×10^{-6} ~ 5.56×10^{-6} , 平均品位为 2.20×10^{-6} , 变化系数为 72.87%, 有用组分分布较均匀。

Au5-2 矿体: 矿体单样品品位为 0.39×10^{-6} ~ 6.48×10^{-6} , 主要介于 1.0×10^{-6} ~ 1.5×10^{-6} , 其次为 0.5×10^{-6} ~ 3.5×10^{-6} 分布较为均匀, 矿体单工程 Au 品位为 1.01×10^{-6} ~ 4.95×10^{-6} , 平均品位为 1.84×10^{-6} , 变化系数为 86.42%, 有用组分分布较均匀。

Au7-2 矿体: 矿体单样品品位为 0.61×10^{-6} ~ 4.11×10^{-6} , 主要介于 0.5×10^{-6} ~ 3.0×10^{-6} , 矿体单工程 Au 品位变化在 1.26×10^{-6} ~ 11.73×10^{-6} , 以 1.5×10^{-6} ~ 2.0×10^{-6} 之间矿体占主体, 平均品位为 2.74×10^{-6} , 变化系数为 56.58%, 有用组份分布均匀。

2.4 围岩蚀变

蚀变岩型矿体主要赋存于蚀变糜棱岩化闪长岩、蚀变闪长质糜棱岩、蚀变糜棱岩化砂质板岩、方解绢云石英千枚岩以及黄钾铁钒化小构造破碎带, 围岩与矿体岩性大致相同, 韧性构造变形程度略有差异。围岩蚀变主要为硅化、绢云母化、黄铁矿化, 变形较弱, 矿石具明显的强蚀变及强韧性构造变形特征。

石英脉型矿体赋存于石英脉中, 围岩为闪长岩、砂质板岩、黄钾铁钒化小构造破碎带与矿体界线清晰。围岩蚀变强多较破碎, 多为晚期的石英网脉或大脉, 多具绢云母化、黄铁矿化。

3 矿床成因

3.1 成矿要素分析

(1) 金物质来源分析

已有 306 组地层岩石地球化学数据表明: 泥盆系

地层中金的丰度为 19.72×10^{-9} , 为地壳丰度值 3.5×10^{-9} (黎彤, 1976) 的 5.63 倍, 略高于地壳金元素丰度, 可作为 Au 的初步矿源层。

已有 136 件闪长岩岩石地球化学数据表明: 闪长岩中金的丰度为 53.94×10^{-9} , 为地壳丰度值 3.5×10^{-9} (黎彤, 1976) 的 15.41 倍, Au 丰度相对较高, 可认为 Au 主要来自热液。

已有 12 组辉长岩岩石地球化学数据表明: 辉长岩中金的丰度为 15.26×10^{-9} , 为地壳丰度值 3.5×10^{-9} (黎彤, 1976) 的 4.36 倍, Au 丰度相对较低, 难以作为

主要物质来源。

已有 34 组石英脉及构造破碎带岩石地球化学数据表明: 石英脉及破碎带中金的丰度为 24.02×10^{-9} , 为地壳丰度值 3.5×10^{-9} 的 6.86 倍 (黎彤, 1976)。总体而言后期构造热液 Au 丰度低, 难以作为 Au 主要物质来源。

综合分析认为红柳沟金矿区金矿的主要 Au 物质来源为闪长岩, 辉长岩与后期构造热液含有一定的 Au, 相对较低, 作为主要物质来源的可能性较小 (表 5)。

表 5 各岩性单元含 Au 量分析表

Tab. 5 Analysis of Au content in each lithologic unit

序号	对象	件数	中位数 (10^{-9})	平均值 (10^{-9})	标准离差 (10^{-9})
1	板岩	306	14.92	19.72	16.00
2	闪长岩	136	46.13	53.94	34.12
3	辉长岩	12	13.45	15.26	9.14
4	后期构造热液	34	20.12	24.02	61.02

(2) 围岩蚀变过程分析

只有岩石中的 Au 以易活化态存在时, 才能被热液 (流体) 萃取出来, 形成含 Au 流体, 随后在适当的条件下以某种成矿方式成矿。

矿体的主要围岩为深灰色砂质板岩, 受蚀变强弱从颜色上看表现为褪色, 蚀变由弱→强, 岩石褪色为深灰色→灰色至浅灰色, 蚀变类型主要是钠长石化、硅化、方解石化和含铁白云石化等。韧性剪切变形过程中伴随有物质成分的重新调整和再分配, 宏观表现为矿物组合的变化, 微观体现为矿物组分和微量元素的迁移、富集或离散。对大山口和红柳沟两地剪切带

内变形岩石进行岩石组分分析 (表 6), 两地具有明显的相似性, 但 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 含量具有一定的差异性, 分析认为与大山口金矿后期热液影响有关。从韧性剪切带围岩到强变形的糜棱岩, 物质组分变化明显且复杂。利用质量平衡法对剪切带岩石主要组分迁移情况进行判别 (张雪亭, 1996), 从围岩到糜棱岩总体上有 FeO 、 MgO 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 SO_2 、 CaO 迁出的特点。含矿糜棱岩 SiO_2 、 SO_2 、 Fe_2O_3 等为强迁入组分。

区域韧性剪切变形过程产生大量的流体以及深部热液, 发生了流体的运移, 使得强变形地段矿物组合简单化, 形成石英-绢云母-铁白云石-方解石组合。

表 6 红柳沟-大山口一带韧性剪切带岩石化学成分表 (%)

Tab. 6 Chemical composition of rocks in the ductile shear zone of Hongliugou-Dashankou area (%)

样号	岩性	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	MnO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
围岩	砂质板岩	55.19	0.57	15.53	2.45	4.00	3.93	0.32	4.12	5.08	1.14	0.31
IDB14	糜棱岩化砂质板岩	55.58	1.01	20.91	2.11	5.19	3.17	0.05	0.44	1.97	4.51	0.23
IDB10	弱糜棱岩化闪长岩	73.16	0.65	12.28	2.72	1.20	1.30	0.06	0.78	1.68	2.34	0.18
IDB12	糜棱岩化闪长岩	57.39	0.47	13.81	2.12	2.05	2.71	0.10	5.33	4.31	1.99	0.14
IDB11	矿体 (闪长岩)	41.78	0.19	3.50	1.67	24.63	4.84	1.01	0.69	0.11	1.09	0.06
HYQ-3	矿体 (砂质板岩)	68.62	0.29	12.30	2.27	2.27	2.01	0.063	3.00	1.60	2.26	0.17
HYQ-4	矿体 (砂质板岩)	64.57	0.28	12.42	1.91	1.91	1.96	0.049	4.02	2.81	1.85	0.20
HYQ-7	矿体 (砂质板岩)	64.07	0.17	11.90	2.05	2.05	2.59	0.058	4.11	0.64	3.62	0.08

注: 围岩、IDB14、IDB10、IDB12、IDB11 数据 (据孟祥金, 2000b)

同时产生铁白云石化、硅化和绢云母化蚀变。 FeO 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 SO_2 等物质的迁入得以形成富石英含黄铁矿的糜棱岩从而在变形较强地段形成大量的烟灰色石英微细条带。 CaO 迁出导致碳酸盐化(铁白云石化、方解石化)发育,并在适当条件下沉淀为碳酸盐脉和石英细脉以及大脉。这个过程形成的富硅流体吸纳大量的成矿元素如 Cu 、 As 、 Sb 、 Au 、 Bi 、 Ag 等而成为成矿流体的一部分,同时大山口组内岩石C质为 Au 提供了活化剂,有利于 Au 的溶出与迁出,加入到活动流体中运移,大山口组中的S质进入溶液成为 Au 的良好载体,这些金属矿物以及S质、C质成岩过程中与含矿物质一起沉淀。因此,矿化部位多在糜棱岩带、剪切裂隙带和脆性构造中,形成相应的糜棱岩化矿体和石英脉型矿体。

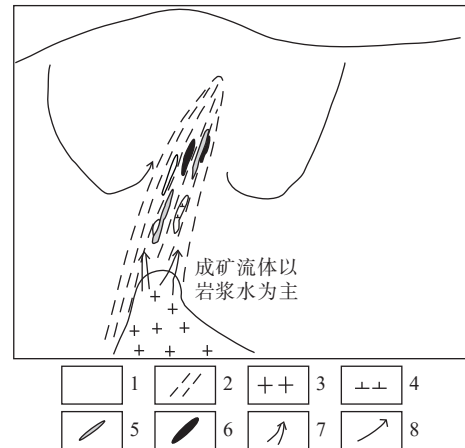
(3) 韧性剪切带控制作用。

①金矿赋存于上志留统一下泥盆统大山口组岩性主要为粉砂岩、粉砂板岩、薄层泥岩等一套沉积岩建造中,经后期的韧性剪切变形,为金矿的形成和富集提供了良好的空间和运移通道。②矿体受韧性剪切带控制特征明显,与韧性剪切带的形成和演化密切相关(Bonnemaïson et al., 1990; 汪劲草, 2020)。矿体呈似层状、条带状、透镜状呈NWW—近EW走向基本与主构造线一致,矿石宏观上具有明显的褶皱理构造、局部见不明显的拉伸线理构造,微观上矿物具有拉长扭曲变形,与围岩具有较明显蚀变强弱和构造发育程度不同之分。③矿石矿物基础成份与围岩矿物成份基本一致,同属构造蚀变变质矿物特征。④矿体及其附近围岩具不同程度的蚀变作用,发生构造变形而形成不同程度的糜棱岩化带和劈理化带,同时有较多的硫化物相伴产出,显示后期阶段有热液交代、接触变质作用。

综合分析认为,含 Au 的中酸性热液在侵位过程中形成了 Au 含量较高的闪长岩岩体或脉体,在韧性剪切作用过程中后期构造热液在沿构造薄弱面(闪长岩与砂质板岩接触面)上升时活化了闪长岩的含矿物质,并在通道周边迁移过程中聚集,在上升过程中随着温压的降低而富集成矿(图7)。

(4) 成矿时代

根据大山口金矿中石英 ^{40}Ar — ^{39}Ar 同位素分析所得到的坪年龄 $(207.16 \pm 0.85) \sim (212.59 \pm 0.68)$ Ma、最小视年龄 $(205.54 \pm 6.56) \sim (210.78 \pm 6.79)$ Ma和等时线年龄 $(205.67 \pm 1.68) \sim (212.43 \pm 2.42)$ Ma均十分接近,也



1. 上志留统一下泥盆统细碎屑岩; 2. 韧性剪切带; 3. 闪长岩或花岗闪长岩; 4. 闪长玢岩脉; 5. 英安斑岩脉; 6. 金矿体; 7. 岩浆热液; 8. 大气降水

图7 红柳沟金矿成矿模式图

Fig. 7 Metallogenic model of Hongliugou gold deposit

与西南天山区域内一些典型金矿床的成矿作用时间(如萨瓦亚尔顿金矿床的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 (210.59 ± 0.99) Ma)以及区域岩浆活动形成的一期辉绿岩脉发生的时间(K—Ar 年龄为 $(207.5 \pm 4.2) \sim (187 \pm 18)$ Ma)基本吻合,代表了大山口金矿床的成矿时代即该矿床形成于印支晚期,红柳沟金矿处在大山口金矿成矿带上,且紧邻大山口金矿。因此,可以认为红柳沟金矿形成于印支晚期(刘家军, 2004)。

综上所述,红柳沟金矿区金矿的形成受韧性剪切带控制,大山口组富金地层为金矿化形成提供主要物质来源,闪长岩为其提供了热液活化与运移,区域韧性剪切带控制了区内金矿化的空间分布,在韧性剪切带内的强变形带内形成金矿化,红柳沟金矿成因类型为构造—热液型金矿床。

3.2 成矿过程解释

推断成矿过程如下:剪切带最初的韧性变形发生于中深构造层次,在变形过程中可能以渗滤交代方式形成少量含金蚀变糜棱岩。随后剪切带随地壳抬升发生引张,中酸性岩脉侵入岩、并携带了大量深源流体和成矿物质。在中浅构造层次剪切带发生脆—韧性变形叠加在早期韧性变形之上,形成以剪切裂隙为主要形式的扩容空间,成矿流体以充填方式形成含金石英脉和石英网脉,同时成矿流体使早期形成的含金蚀变糜棱岩进一步富集。晚期的脆性变形可形成次生富集(王义天等, 2004)。

4 找矿标志

(1)地层标志:志留系大山口组浅变质碎屑岩(砂板岩)为区内地层中主要的含矿地层,发育密集的铁白云石条带。

(2)岩浆岩标志:强糜棱岩化闪长岩为区内主要的岩浆岩找矿标志,发育密集石英条带、铁白云石条带。

(3)构造标志:强韧性变形带为最主要最直接构造找矿标志,发育强烈的强直性糜棱面理,拔丝状石英条带。后期具有褐铁矿化和黄铜矿化的石英细脉、网脉带也是寻找石英脉型金矿化体的最直接标志。

(4)蚀变特征:黄铁矿化、硅化、绢云母化、褐铁矿化、少量黄铜矿化、黄钾铁矾化等与金矿关系密切。

(5)地球化学标志:金异常是最直接化探找矿标志,地表分析大于 50×10^{-9} , 深部分析大于 100×10^{-9} Au 的地球化学异常指示金矿化的存在。

综上所述,闪长岩与板岩接触部位+强韧性剪切变形标志是寻找金矿的最有利部位。Au 异常是比较有效的化探找矿标志。

5 结论

(1)红柳沟金矿在区域上位于伊利地块南缘活动陆缘带与塔里木板块北缘构造活动带接触碰撞部位,区域构造线总体为 NW 向,断裂构造发育,赋矿层位为上志留统一下泥盆统大山口组。

(2)红柳沟金矿成因类型为构造-热液型金矿床,属破碎带蚀变岩型金矿。主要产于中酸性花岗岩外带韧性剪切带内。韧性剪切带的形成和演化为岩浆上升、岩脉侵位、成矿流体的运移和沉淀提供了通道和空间。

(3)找矿时可遵循闪长岩与板岩接触部位+强韧性剪切变形标志是寻找金矿的最有利部位。铁白云石化、钠化、硅化、黄铁矿化等蚀变与金矿关系密切以及地球化学异常指示金矿化的存在。

参考文献(References):

鲍庆中,王宏,沙德铭,等.新疆和静县大山口金矿床成矿流体地球化学特征研究[J].西北地质,2003,36(2):43-49.

BAO Qingzhong, WANG Hong, SHA Demin, et al. Study on the geochemical characteristics of ore-forming fluid inclusion of Dashankou gold deposit in Xinjiang[J]. Northwestern Geology, 2003, 36(2): 43-49.

董新丰,薛春纪,石福品.新疆西天山大山口金矿地质及成矿流体包裹体地球化学[J].地学前缘,2011,18(5):172-181.

DONG Xinfeng, XUE Chunji, SHI Fupin. Geology and geochemistry of ore-forming fluid inclusions in Shanshankou gold deposit, Xitianshan, Xinjiang[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(5): 172-181.

丁兆举,张国成,刘永红.新疆和静县红柳沟金矿区地球化学特征及找矿方向[C].中国金属学会冶金地质分会,2008.

杜亚龙,李智明,姜寒冰,等.新疆地区金矿分布特征及找矿潜力分析[J].西北地质,2016,49(1):121-134.

DU Yalong, LI Zhiming, JIANG Hanbing, et al. Analysis on the distribution and ore potentials of gold deposits in Xiinjiang[J]. Northwestern Geology, 2016, 49(1): 121-134.

黎彤.金的地球化学特征[J].地质与勘探,1976,12(4):13-18.

LI Tong. Geochemical characteristics of gold[J]. Geology and Prospecting, 1976, 12(4): 13-18.

林乐,李通,侯鹏.西天山金矿成矿类型探讨[J].中国金属通报,2018,(8):31-32.

LIN Le, LI Tong, HOU Peng. Discussion on metallogenic types of gold deposits in western Tianshan mountains[J]. China Metal Bulletin, 2018, (8): 31-32.

刘家军,李恩东,龙训荣,等.西南天山大山口金矿床中石英⁴⁰Ar-³⁹Ar快中子活化年龄及其意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2004,34(1):37-43.

LIU Jiajun, LI Endong, LONG Xunrong, et al. ⁴⁰Ar-³⁹Ar fast Neutron activation age of quartz and its significance in Dashankou gold deposit, Tianshan, southwest China[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2004, 34(1): 37-43.

刘铭峰,张海军,杜金花.新疆和静县乌兰赛尔达坂东金矿床地质特征[J].西部探矿工程,2011,23(7):133-136.

LIU Minfeng, ZHANG Haijun, DU Jinhua. Geological characteristics of wulansaerdabandadong gold deposit, Hejing County, Xinjiang[J]. West-China Exploration Engineering, 2011, 23(7): 133-136.

孟祥金,叶锦华,王立本.中国南天山萨根托亥-大山口成矿带韧性剪切带与金成矿作用[J].贵金属地质,2000a,9(1):20-26.

MENG Xiangjin, YE Jinhua, WANG Liben. Ductile shear zone and gold metallization in the Sahentuihai-Dashankou metallogenic belt, southern Tianshan, China[J]. Precious Metal Geology, 2000a, 9(1): 20-26.

孟祥金,叶锦华,王立本.南天山萨根托亥-大山口一带穆龙套型金矿床地质及地球化学特征[J].地球学报,2000b,21(4):379-388.

- MENG Xiangjin, YE Jinhua, WANG Liben. Geology and Geochemistry of the Muruntao Type Gold Deposits in the Sahentuohai Dashankou Metallogenic Province South Tianshan Mountains China[J]. *Journal of Earth Science*, 2000b, 21(4): 379–388.
- 沙德铭, 董连慧, 鲍庆中, 等. 西天山地区金矿床主要成因类型及找矿方向[J]. *新疆地质*, 2003, 21(4): 419–425.
- SHA Demin, DONG Lianhui, BAO Qingzhong, et al. The genetic types of gold deposits and their prospecting in West Tianshan Mountains[J]. *Xinjiang Geology*, 2003, 21(4): 419–425.
- 汪劲草, 李帅, 余何, 等. 韧性剪切带型金矿三阶段构造成矿模式——以广东河台金矿床为例[J]. *大地构造与成矿学*, 2020, 44(01): 20–29.
- WANG Jincao, LI Shuai, YU He, et al. Three-stage structural mineralization model for ductile shear zone related gold deposits: a case study of the Hetai gold deposit, Guangdong, south China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2020, 44(01): 20–29.
- 汪在聪, 王焰, 汪翔, 等. 交代岩石圈地幔与金成矿作用[J]. *地球科学*, 2021, 46(12): 4197–4229.
- WANG Zaicong, WANG Yan, WANG Xiang, et al. Metasomatized lithospheric mantle and gold mineralization[J]. *Earth Science*, 2021, 46(12): 4197–4229.
- 王宏, 鲍庆忠, 沙德铭, 等. 萨恨托亥金矿床的地球化学异常特征[J]. *地质与资源*, 2002, 11(01): 23–28.
- WANG Hong, BAO Qingzhong, SHA Demin, et al. Geochemical anomaly of Sahentuohai gold deposit in Xinjiang, China[J]. *Geology and Resources*, 2002, 11(01): 23–28.
- 王义天, 毛景文, 李晓峰, 等. 与剪切带相关的金成矿作用[J]. *地学前缘*, 2004, 11(2): 393–400.
- WANG Yitian, MAO Jingwen, LI Xiaofeng, et al. Gold mineralization related to the shear zone[J]. *Earth Science Frontier*, 2004, 11(2): 393–400.
- 吴兴城, 赵海波, 冯宝童. 新疆和静县乌兰赛尔达坂东金矿床地质特征[J]. *世界有色金属*, 2020, 547(7): 155–156.
- WU Xingcheng, ZHAO Haibo, FENG Baotong. Geological characteristics of wulansaerdabandadong gold deposit, Hejing County, Xinjiang[J]. *World Nonferrous Metals*, 2020, 547(7): 155–156.
- 杨富全, 毛景文, 王义天, 等. 新疆西南天山金矿床主要类型、特征及成矿作用[J]. *矿床地质*, 2007, 26(4): 361–379.
- YANG Fuquan, MAO Jingwen, WANG Tianyi, et al. Major types characteristics and metallogenesis of gold deposits in southwest Tianshan Mountains Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26(4): 361–379.
- 杨富全, 叶庆同, 傅旭杰, 等. 新疆西南天山金矿分布、类型和成矿条件[J]. *新疆地质*, 1999, 17(2): 34–41.
- YANG Fuquan, YE Qingtong, FU Xujie, et al. Distribution and metallogenic conditions of gold deposits in southwest Tianshan Mountains[J]. *Xinjiang Geology*, 1999, 17(2): 34–41.
- 张雪亭. 韧性剪切带构造岩类质量平衡分析[J]. *青海地质*, 1996, (2): 54–59.
- ZHANG Xueting. Mass balance analysis of tectonites in ductile shear belt[J]. *Qinghai Geology*, 1996, (2): 54–59.
- Bonnemaison M, Marcoux E. Auriferous mineralization in some shear zone: A three-stage mode of metallogenesis[J]. *Mineralium Deposita*, 1990, 25(2): 96–104.