

DOI: 10.12401/j.nwg.2022038

小秦岭西峪-桐峪金矿矿床物质组分及 金赋存状态研究

范东旭¹, 夏元鹏^{2,*}

(1. 云南大学 地球科学学院, 云南 昆明 650504; 2. 夏元鹏 陕西矿业开发工贸有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要: 在野外工作的基础上, 笔者通过对小秦岭金矿田中西峪-桐峪金矿光薄片鉴定、化学成分分析、电子探针分析等, 查明了该矿(带)共有 11 条含金构造带, 主要赋存于太华群大月坪组 and 于洞沟组, 矿床赋矿岩性为黄铁矿-多金属硫化物石英脉、多金属硫化物铁白云石石英脉和蚀变岩, 矿石构造主要为团块状、浸染状、脉状、网脉状、星散(星点状)状、条带状构造。载金矿物主要为黄铁矿, 次为黄铜矿、方铅矿和磁黄铁矿, 脉石矿物主要为石英, 其次为绢云母。金矿物以独立矿物形式存在, 以粒间-裂隙金为主, 粒度大多为 0.16~0.32 mm, 矿石的结构构造有利于矿物的解离。本区金矿成矿作用主要为热液成矿期, 可分为金-黄铁矿-石英阶段、金-黄铁矿-多金属硫化物-石英阶段和黄铁矿-磁黄铁矿-碳酸盐阶段。

关键词: 物质组分; 金赋存状态; 西峪-桐峪金矿矿床; 小秦岭; 陕西

中图分类号: P61

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)01-0254-12

Material Components and Occurrence States of Gold and Silver in the Xiyu-Tongyu Gold Deposit, Xiaoqinling, Shaanxi Province

FAN Dongxu¹, XIA Yuanpeng^{2,*}

(1. School of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650504, Yunnan, China; 2. Shaanxi Mining Industry and Trade Co. Ltd., Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The Xiyu-Tongyu gold deposit locates in the north of the Xiaoqinling gold field. Based on the geological field work, through the identification of thin sections, chemical composition and electron probe analysis, it is found that there are 11 gold-bearing structural zones in the deposit, which occur mainly in the Dayueping and Yudonggou Formations of the Taihua Group. The ore-hosting lithology of the deposit is pyrite polymetallic sulfide quartz vein, polymetallic sulfide ferrite quartz vein and altered rock. The ore structure is mainly massive, disseminated, veined, net veined, scattered (starpoint) and banded. The main gold-bearing minerals are pyrite, followed by chalcopyrite, galena and pyrrhotite. The main gangue minerals are quartz, followed by sericite. Gold minerals exist in the form of independent minerals, mainly intergranular and fissure gold, with the particle size concentrated in 0.16~0.32 mm. The structure of the ore is conducive to mineral dissociation. Gold mineralization in this area mainly belongs to hydrothermal mineralization stage, which can be divided into gold-pyrite-quartz stage, gold-pyrite-polymetallic sulfide-quartz stage and pyrite-pyrrhotite-carbonate stage.

收稿日期: 2022-06-17; 修回日期: 2022-09-20; 责任编辑: 姜寒冰

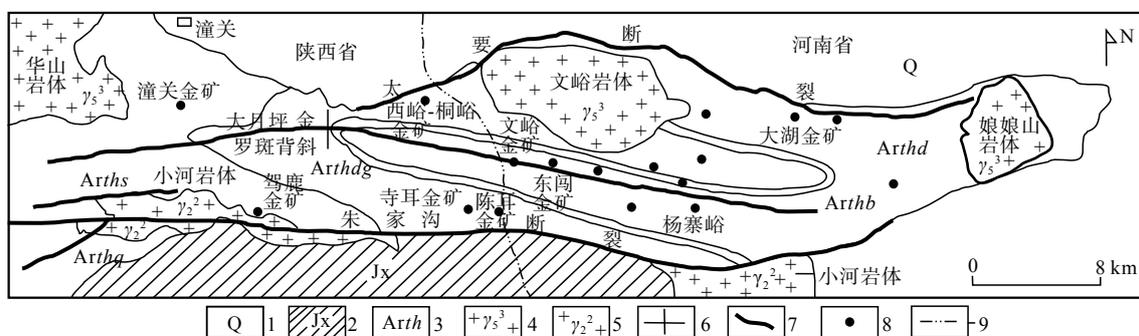
作者简介: 范东旭(1997-), 女, 硕士研究生, 主要从事矿床学和矿产勘查研究工作。E-mail: fdx312@126.com。

* 通讯作者: 夏元鹏(1966-), 男, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查与开发。E-mail: 962127776@qq.com。

Keywords: material component; gold occurrence state; Xiyu-Tongyu gold deposit; Xiaoqinling; Shaanxi

小秦岭金矿田处于华北地台南缘,是中国第二大金矿区,该区金矿多呈脉状或带状分布。前人对区域金矿成矿时代、构造背景和成因类型等开展过许多研究工作,取得了丰富的成果(胡正国等,1993;陈衍景等,1993;贾建业,1996;徐启东等,1997;黄建军,1997;宫同伦,1997;徐启东等,1998;卢欣祥等,1999;范宏瑞等,2000;聂凤军等,2001;高珍权等,2001;王义天等,2002;李强之等,2002;陈莉,2006;蒋少涌等,2009;冯建之,2009;陈衍景,2010;方桂聪等,2011;刘云华,

2015;郭海涛,2017;朱桂繁,2018;王晋定等,2018;杨海等,2019;李铁刚等,2020;Yang et al.,2020;Liu et al.,2020;陈虹等,2021)。西峪-桐峪金矿位于小秦岭金矿田中部偏北(图1),是小秦岭地区具有代表性的金矿床之一,区域矿石类型复杂,目前对西峪-桐峪金矿的研究还很薄弱(郭海涛,2017;陈虹等,2021)。通过对西峪-桐峪金矿矿床地质特征和矿石光薄片的观察,结合测试分析成果,深化对矿石的物质组成和成矿作用的认识,为进一步提高矿产综合利用提供详实资料。



1. 第四系沉积物; 2. 中元古界碎屑岩和碳酸盐岩; 3. 太古宙太华群变质岩(Arthd.大月坪组; Arthb. 板石山组; Arthdg. 洞沟组; Arths. 三关庙组; Arthq. 秦仓沟组); 4. 早白垩世花岗岩; 5. 中元古代花岗岩; 6. 背斜; 7. 断裂带; 8. 金矿床; 9. 省界

图1 小秦岭地区金矿床分布及地质简图(底图据聂凤军等, 2001)

Fig. 1 Geological sketch map of gold fields in the Xiaoqinling region

1 矿床地质概况

研究区出露的地层主要有太古界太华群大月坪组、板石山组和洞沟组。其中,大月坪组岩性主要为黑云斜长片麻岩夹角闪黑云斜长片麻岩,局部夹斜长角闪岩,上、下部可见较强的混合岩化,形成厚度不一的条带状混合岩、条痕状混合岩等;板石山组岩性主要为石英岩、长石石英岩及黑云(角闪)斜长片麻岩夹斜长角闪岩,局部发育蛇纹石化大理岩及石墨绢云石英片岩、蛭石化透闪片岩等,局部岩石有较弱的混合岩化;洞沟组岩性主要为黑云斜长片麻岩、灰黑色角闪黑云斜长片麻岩,局部夹斜长角闪岩透镜体及磁铁石英岩透镜体。

研究区位于大月坪-金罗斑复式背斜南翼,由北向南依次出露地层为大月坪组、板石山组和洞沟组,地层总体北西西向展布,呈单斜产出。北部地层(主

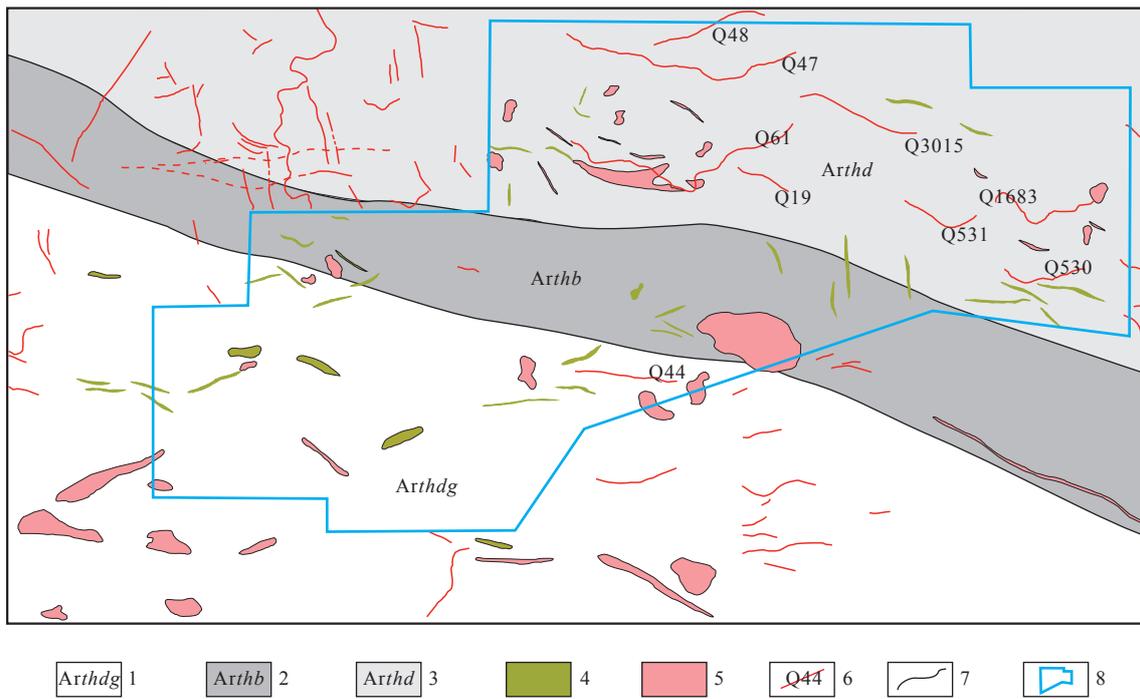
要为大月坪组)向南倾斜,自北而南,倾角逐渐有中等变为陡倾斜,产状为 $145^{\circ}\sim 192^{\circ}\angle 52^{\circ}\sim 82^{\circ}$;南部地层(包括板石山组和洞沟组下段)逐渐发生倒转,向北陡倾,产状为 $0^{\circ}\sim 22^{\circ}\angle 65^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。区内次级褶皱发育,且常见一些露头尺度的揉皱、挠曲现象。

勘探区范围内共圈定出11条含金构造带,其中2条为隐伏含金构造带(表1,图2)。含金构造带主要赋存于太华群大月坪组地层,共8条;其次位于洞沟组,共3条;其余地层基本未见。所有含金构造带均为近东西向走向、向南缓倾或中等倾斜,倾角为 $28^{\circ}\sim 66^{\circ}$,主要由含金石英脉及绢云石英片岩、糜棱岩、黄铁绢英岩、蚀变岩组成,少量为绢云绿泥片岩、绿泥片岩,片理化发育,可见黄铁矿、方铅矿、黄铁矿、闪锌矿等矿化。各条含金构造带结构面多呈舒缓波状,具多期活动的特点,主构造期多具压性局部兼扭性的特征。

表1 勘探区内含金构造带特征表

Tab. 1 Characteristic of gold-bearing structural belt in exploration area

编号	产状(°)		规模(m)		岩石组成及蚀变	矿化特征	含金性
	倾向	倾角	长	厚			
Q61	180~220	26~56	1100	0.13~2.09	由绢云石英片岩、片理化辉绿岩、蚀变岩、碎裂岩及石英脉组成,具绢英岩化、绿泥石化蚀变,局部碳酸盐化	黄铁矿为主,方铅矿、黄铜矿、闪锌矿次之	圈出3条矿体,平均品位4.85 g/t
Q1683	168~210	32~47	475	0.14~1.55	由构造片岩、蚀变岩、构造角砾岩及石英脉组成,具绢英岩化、绿泥石化、碳酸盐化蚀变	黄铁矿为主,次为方铅矿、黄铜矿	圈出1条矿体,平均品位3.98 g/t
Q1588	165~218	32~63	560	0.04~2.31	由糜棱岩、千糜岩、绢云石英片岩、片理化辉绿岩、石英脉组成,具绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、硅化、碳酸盐化蚀变	黄铁矿化、方铅矿化	地表未见出露,为一构造带;圈出1条矿体,平均品位为5.00 g/t
Q1511	173~205	42~56	200	0.28~1.41	主要由绢云石英片岩、石英脉组成,局部见片理化辉绿岩,具绿泥石、绢云母、硅化等蚀变	黄铁矿化、方铅矿化,偶见黄铜矿化	地表未见出露,为一隐伏矿体,平均品位为5.58 g/t
Q530	185~190	63~66	392	平均1.30	由绿泥绢云石英片岩及石英脉组成,具弱的绢云母、绿泥石化、绿帘石化蚀变	单一黄铁矿化	地表小于1 g/t,深部个别大于1 g/t,最高为2.3 g/t
Q47	200	52	1100	平均1.15	由石英脉和绿泥石英片岩组成,具绢云母、绿泥石化蚀变	主要为黄铁矿化,次为方铅矿化	圈出1条低品位矿体,平均品位为2.03
Q48	200	45	558	平均1.42	由绢云石英片岩夹石英脉或石英细脉组成,具绢云母、绿泥石化蚀变	星点状多金属硫化物,局部镜铁矿化	多小于1 g/t,个别样品大于1 g/t,最高2.64 g/t
Q3015	210	48	595	平均1.31	由绿泥绢云石英片岩石英脉或石英细脉组成,具绢云母、绿泥石化蚀变	细小的星点状多金属硫化物	多小于1 g/t,个别大于1 g/t
Q44	210	55	493	平均0.95	由绿泥绢云石英片岩石英脉或石英细脉组成,具绢云母、绿泥石化蚀变	星点状多金属硫化物	均小于1 g/t,最高品位为0.29 g/t
Q19	180~201	28~41	270	0.10~1.21	由构造片岩和石英脉组成,具碎裂岩化,绢云母化蚀变	星点状黄铁矿化	均小于1 g/t
Q531	160~185	35~48	1400	0.10~3.00	绿泥绢云石英片岩夹石英脉组成,具绢云母、绿泥石化蚀变	黄铁矿化为主,次为方铅矿、闪锌矿	圈出2条工业体



1.太华群洞沟组; 2.太华群板石山组; 3.太华群大月坪组; 4.辉绿岩; 5.花岗岩; 6.金矿脉; 7.地质界线; 8.勘探矿权范围

图2 西峪-桐峪金矿地质图

Fig. 2 Geological map of Xiyu-Tongyu gold deposit

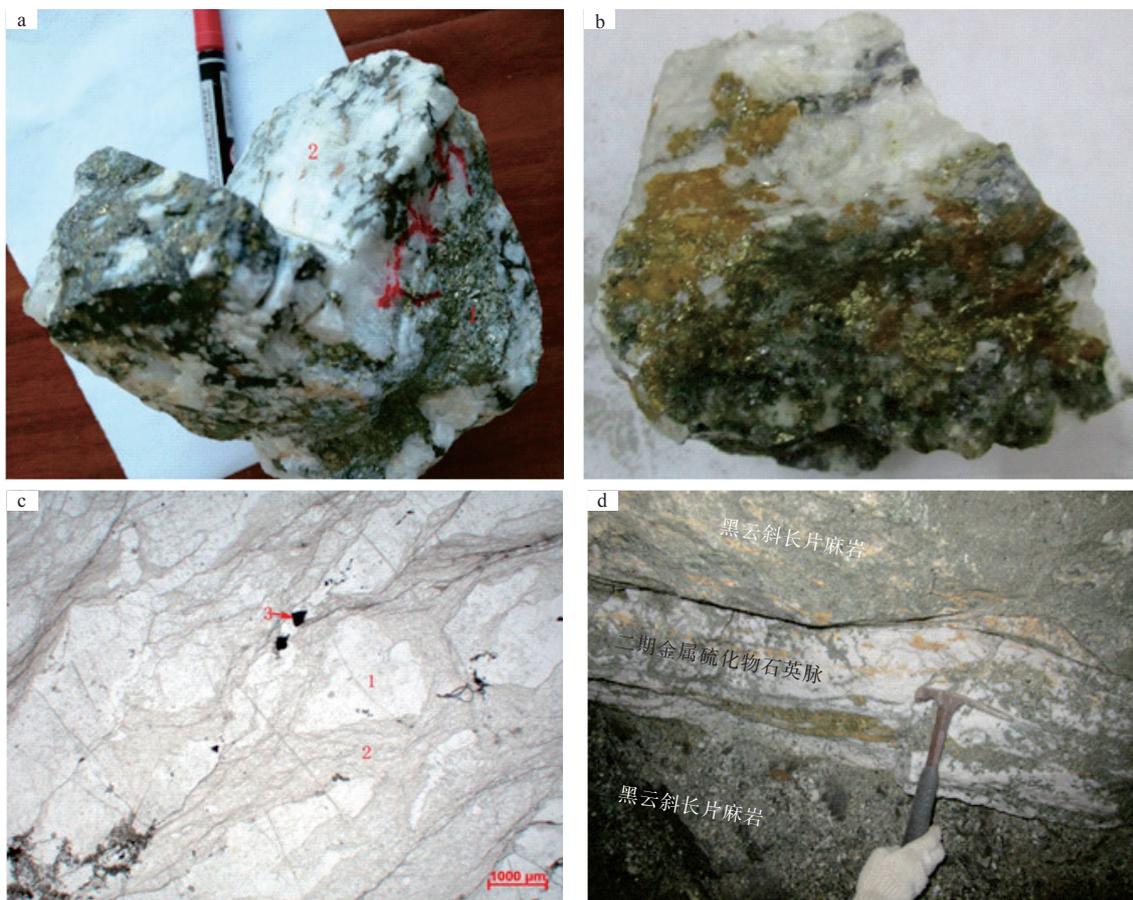
2 矿石结构构造

矿石赋矿岩性主要为黄铁矿-多金属硫化物石英脉,其次为多金属硫化物铁白云石石英脉和蚀变岩(主要为绢英岩)(图3)。

黄铁矿-多金属硫化物石英脉主要由半自形-他形粒状石英组成,金属矿物呈团块状、浸染状、脉状、网脉状、星散(星点状)状等分布于石英粒间及岩石裂隙中。

多金属矿物铁白云石石英脉主要由石英组成,其次由铁白云石和多金属矿物硫化物,金属矿物呈团块状、浸染状、脉状、网脉状、星散(星点状)状分布,白云石呈脉状、网脉状分布于石英脉裂隙或呈星散状分布于石英粒间,比石英脉形成晚,与金成矿关系比较密切。

蚀变岩(主要为绢英岩)主要由绢云母、石英组成,部分片状矿物定向分布,形成条带,金属矿物多呈星散状、浸染状、条带状等分布。



a.金属矿物硫化物石英脉型矿石标本,硫化物呈团块状、浸染状分布(1.金属硫化物;2.石英);b.多金属硫化物铁白云石石英脉型矿石标本;c.蚀变岩型金矿石(绢英岩)显微特征(1.石英;2.绢云母;3.金属矿物);d.二期石英脉独立分布于构造带内

图3 西峪-桐峪金矿矿石标本及显微照片

Fig. 3 Ore specimens and micrographs of the Xiyu-Tongyu gold deposit

3 矿石化学成分

矿区不同矿石类型样品主要化学分析结果见表2。从表中可以看出,本矿区矿石中金银品位变化较大,蚀变岩型矿石中金含量为12~21.5 g/t,银含量为8.5~10.3 g/t,石英脉型矿石金含量为6.09~18.7 g/t,

银含量为5.3~8.7 g/t。矿石中有害元素As的含量较低,对金银选矿影响较小。

4 主要金属矿物特征

矿石中金属矿物主要为黄铁矿,其次有磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等,少量磁铁矿、自然金、自然铋、辉

表2 西峪-桐峪金矿矿石化学全分析统计表

Tab. 2 Ore chemistry analysis results of the Xiyu-Tongyu gold deposit

样品编号	QH1	QH2	QH3	QH4	QH5	QH6
样品位置	Q61	Q61	Q61	Q1588	Q1683	Q1511
矿石类型	石英脉	蚀变岩	蚀变岩	石英脉	石英脉	石英脉
Au	18.7	12	21.5	16.3	6.09	13.4
Ag	8.7	8.5	10.3	6.25	5.6	6.3
As	15.4	19.6	33.9	10.2	10.6	10.9
Cu	0.17	0.18	0.2	0.13	0.12	0.11
Pb	0.54	0.65	0.68	0.44	0.52	0.31
S	3.12	3.31	3.61	2.21	2.21	2.02
Zn	0.012	0.017	0.033	0.01	0.012	0.01
TFe	5.79	6.16	6.05	4.49	4.53	3.85
SiO ₂	86.85	86.14	85.68	89.17	89.39	90.1
Al ₂ O ₃	1.67	1.67	1.58	1.51	1.57	1.6
CaO	0.69	0.73	0.95	0.62	0.59	0.66
Cr ₂ O ₃	0.013	0.016	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
K ₂ O	0.52	0.5	0.49	0.49	0.44	0.44
MgO	0.22	0.27	0.34	0.17	0.15	0.21
MnO	0.054	0.059	0.058	0.049	0.047	0.041
Na ₂ O	0.23	0.25	0.26	0.26	0.23	0.31
P ₂ O ₅	0.032	0.03	0.034	0.035	0.04	0.042
TiO ₂	0.053	0.054	0.052	0.057	0.059	0.056
灼失	1.92	2.34	1.87	1.44	1.5	1.48

注：样品由中陕核工业集团分析测试有限公司测试，含量单位Au、Ag、As为g/t，其余为%。

铅铋矿、碲铋矿等。非金属矿物主要为石英，其次为绢云母、长石、铁白云石、绿泥石、角闪石，少量磷灰石、金红石等，其中绢云母、绿泥石主要分布于蚀变岩型金矿中或矿石近矿围岩中，长石主要分布于近矿围岩中。

4.1 黄铁矿

黄铁矿化学成分见表3，由表中可知，其主要成分含量与理论值接近，含微量分散金、银，可能是以微细粒颗粒金形式分布于黄铁矿晶格中，与黄铁矿不能机械解离。

表3 主要金属矿物成分统计表

Tab. 3 Main metallic mineral composition

样品编号	矿物种属	Fe	Cu	Pb	Zn	S	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cd
TY-06-6	黄铁矿	45.46	0	0	0	52.79	0.49	0.26	0.18	0.17	0.65	0
TY-17-1	黄铁矿	45.87	0	0	0	53	0.29	0.15	0.15	0.13	0.43	0
TY-06-6	黄铜矿	30.56	32.68	0	0	35.37	0.32	0.2	0.12	0.2	0.55	0
TY-32-9	黄铜矿	30.47	32.89	0	0	35.26	0.31	0.16	0.21	0.2	0.5	0
TY-13-1	方铅矿	0	0	86.44	0	12.46	0.4	0.6	0.1	0	0	0
TY-32-9	闪锌矿	7.91	0	0	56.09	33.83	0	0.16	0.09	0.12	0.98	0.82
TY-25-1	闪锌矿	1.9	0	0	61.72	33.03	0	0.13	0.16	0.22	1.38	1.46
TY-06-8	磁黄铁矿	59.84	0	0	0	39.71	0	0.17	0	0.18	0.09	0
TY-32-1f	磁黄铁矿	59.35	0	0	0	39.43	0.42	0	0.19	0	0.6	0
B48	自然铋	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	99.9	0
TY-06-2	辉铅铋矿	0	0	32.44	0	16.07	0	0	0	0	51.49	0

注：样品由中陕核工业集团分析测试有限公司测试，含量单位为%。

黄铁矿为矿石最主要的金属矿物,含量多为 1% 左右,局部高达 3%~10%。粒度大小约 0.02~2.0 mm,淡黄色,均质,呈半自形-自形粒状,主要呈团块、条带状、细脉状、网脉状、浸染状、星散(星点)状分布。根据其分布特征、晶体形态、交代关系、破碎程度等特点,黄铁矿分为早、晚 2 期。

①早期黄铁:早期黄铁矿粒度较小,粒径大小约 0.01~0.30 mm,呈自形-半自形粒状结构,自形程度较高,主要以立方体晶形、五角十二面体为主(图 4a),呈星散(星点)状、稀疏浸染状分布于石英脉或蚀变岩中。黄铁矿中裂隙发育,常被方铅矿、磁黄铁矿、黄铜矿等矿物交代、溶蚀(图 4b),该期黄铁矿与金成矿关系不太密切。

②晚期黄铁:晚期黄铁矿粒度较大,粒径大小约为 0.1~3.0 mm,呈半自形粒状,晶形不佳,主要呈团块状(图 4c)、浸染状、细脉状、网脉状、条带状分布于石英脉或蚀变岩中。晚期黄铁矿裂隙发育,其晶粒间或裂隙中分布有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、辉铅铋矿、自然金、自然铋等矿物(图 4d),该期黄铁矿与金成矿关系较为密切,自然金主要分布于黄铁矿裂隙或粒间,形成裂隙金、粒间-裂隙金、粒间金等(图 4e~图 4f)。

4.2 方铅矿

方铅矿化学成分与理论值基本接近(表 3),其中含有少量的分散金、银。

方铅矿粒度较大,以中-粗粒为主,粒度大小约为 0.017~12.23 mm,一般多为 0.1~2.0 mm,主要呈团块状、稀疏浸染状、脉状分布,可以分为 5 类:

①方铅矿呈团块状分布,以中-粗粒为主,粒度大小约 0.28~2.23 mm(手标本中方铅矿团块粒度大小约 5~8 mm,由单晶矿物集合体组成),主要与黄铁矿、石英分布在一起,与黄铁矿、石英呈半规则-规则连生,比较容易解离(图 4b)。

②方铅矿呈浸染状-稀疏浸染状分布,粒度较细,大小约 0.05~1.3 mm,有 2 种:其一是呈浸染状-稀疏浸染状分布于黄铁矿粒,自形-半自形黄铁矿包裹-半包裹于方铅矿结合体中,二者呈规则-半规则连生(图 4g)。其二是呈浸染状-稀疏浸染状分布于石英脉中,与石英及其他非金属矿物呈规则-半规则连生。方铅矿较容易解离。

③方铅矿呈脉状、网脉状分布,分 2 种情况:其一是方铅矿呈细脉状、网脉状分布于黄铁矿裂隙中,一

般粒度大小 0.01~0.40 mm,方铅矿细脉与黄铁矿呈规则-半规则连生,或与黄铜矿、磁黄铁矿等连生,分布于黄铁矿裂隙及粒间(图 4h~图 4i)。脉体宽的比较容易解离,脉体窄的解离较难;其二是方铅矿呈细脉状分布于石英脉中,粒度大小约 0.05~0.20 mm,呈半自形-他形粒状、线状等,与石英呈半规则连生,有的与自然金连生(图 4j),在矿石中较少。

④方铅矿呈乳滴状、蠕虫状等交代黄铁矿包裹于黄铁矿中,形成交代结构(图 4b),粒度大小<0.10 mm,与黄铁矿难解离,但在矿石中含量低,对选矿影响不大。

⑤方铅矿与自然金有一定的连生关系:与自然金连生于黄铁矿粒间(图 4k);自然金位于方铅矿与石英粒间(图 4j);自然金呈角粒状包裹于方铅矿中及方铅矿与非金属矿物粒间(图 5i)。

4.3 黄铜矿

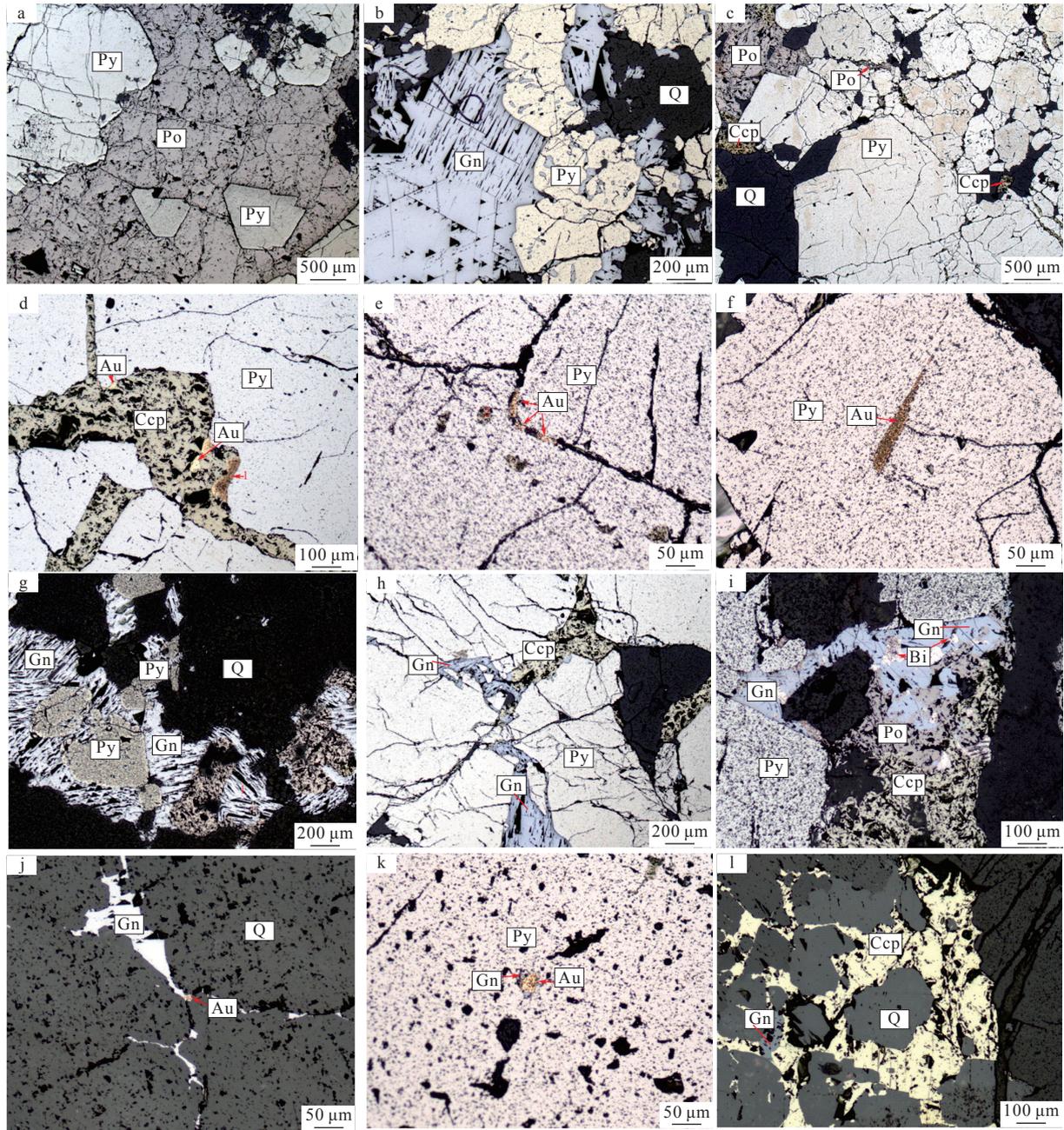
黄铜矿化学成分与理论值基本相近,部分黄铜矿中含微量 Au、Ag(表 3)。这部分 Au、Ag 以类质同相形式存在。黄铜矿以中-粗粒为主,粒度大小约为 0.01~0.90 mm,与黄铁矿关系最为密切,其次是磁黄铁矿、闪锌矿、辉铅铋矿、自然金等。

①铜矿呈浸染状-稀疏浸染状分布。黄铜矿粒度大小约为 0.01~0.90 mm,呈他形粒状,呈浸染状-稀疏浸染状分布于岩石中,可见其与非金属矿物呈半规则连生(图 4l),与辉铅铋矿、非金属矿物呈半规则连生(图 5a)。

②黄铜矿呈网脉状、细脉状分布及与自然金的关系。黄铜矿呈细脉、网脉状分布,在矿石中较普遍,分 2 种情况:其一是黄铜矿呈网脉状分布于黄铁矿裂隙中,部分黄铁矿破碎形成角砾,包裹于黄铜矿集合体中;其二是黄铜矿呈细脉状分布于黄铁矿裂隙中,与自然金关系密切,主要为黄铜矿与自然金连生位于黄铁矿裂隙中,有的自然金位于黄铜矿粒间及包裹于黄铜矿中(图 5b、图 5c)。黄铜矿粒度大小与脉体宽窄有关,一般粒度大小约为 0.02~0.60 mm,差别较大,黄铜矿细脉主要与黄铁矿呈规则-半规则连生,脉体宽的部分比较容易解离,脉体窄的部分解离较难。部分黄铜矿与闪锌矿、辉铅铋矿等连生,分布于黄铁矿裂隙中(图 5c),部分黄铜矿与磁黄铁矿呈半规则连生。

4.4 闪锌矿

闪锌矿中含有 Fe,其次含 Ag、Cd 等,无 Au(表 3)。



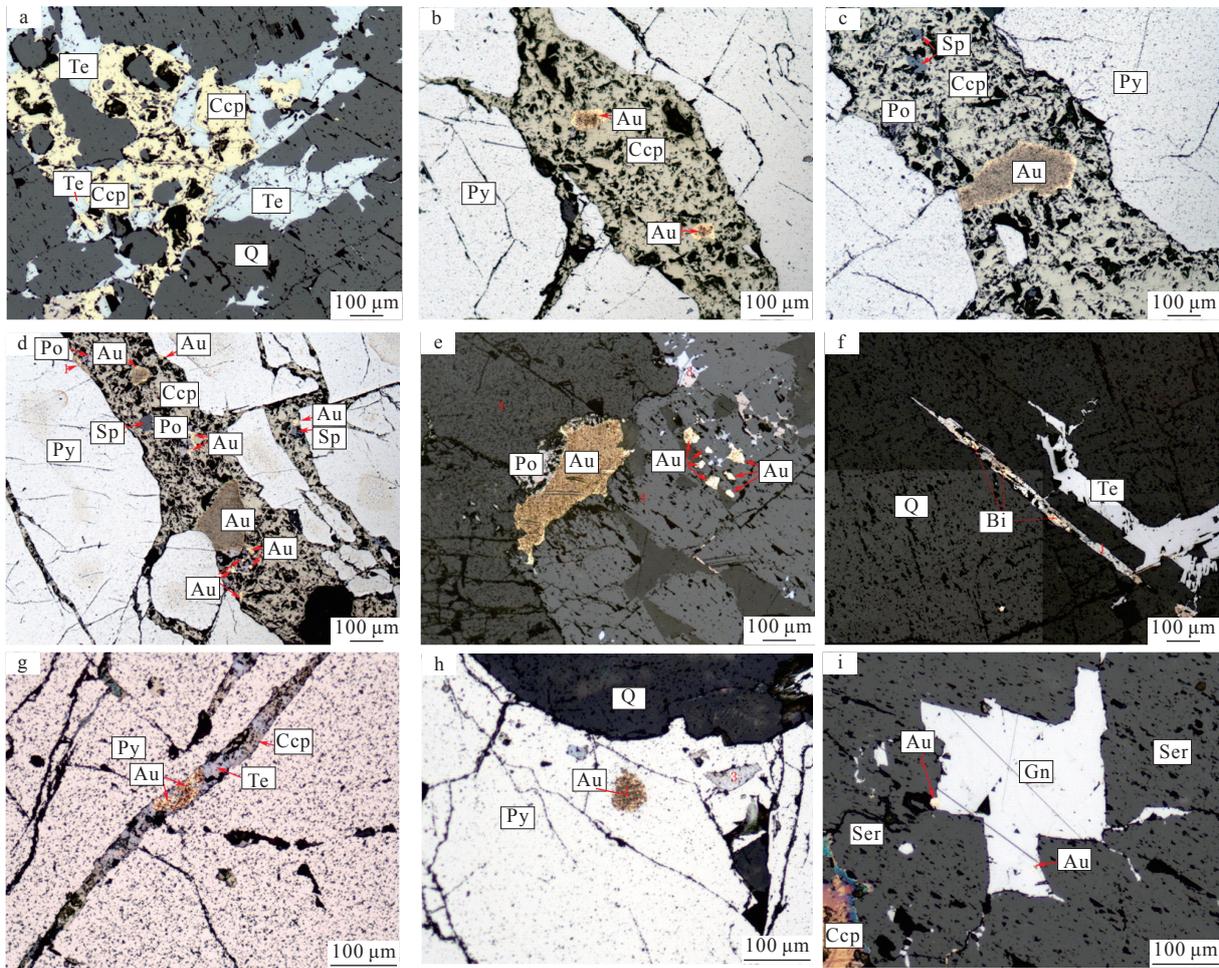
a. 早期黄铁矿包裹于团块状磁黄铁矿中; b. 早期黄铁矿与方铅矿的交代关系, 方铅矿呈团块状分布, 少量方铅矿呈线状分布于黄铁矿裂隙中, 部分方铅矿呈乳滴状、蠕虫状等沿黄铁矿边部及裂隙; 有的位于黄铁矿中心交代包裹于黄铁矿中, 形成交代结构; c. 黄铁矿呈团块状分布, 磁黄铁矿与黄铜矿分布于黄铁矿粒间、裂隙中; d. 黄铁矿裂隙中分布的黄铜矿、自然金等矿物; e. 自形-半自形粒状黄铁矿呈团块状分布, 自然金呈线状、角粒状分布; f. 自然金呈针状分布于黄铁矿裂隙中; g. 方铅矿分布于早期黄铁矿周围及粒间, 与黄铁矿呈规则-半规则连生; h. 黄铜矿与方铅矿呈细脉状分布于黄铁矿裂隙中; i. 方铅矿与自然铋、磁黄铁矿分布在一起, 部分位于黄铁矿裂隙中; j. 方铅矿呈细脉状石英脉裂隙中, 角粒状自然金位于方铅矿与石英粒间; k. 自然金呈角粒状与方铅矿连生位于黄铁矿粒间; l. 半自形-他形粒状浸染状黄铜矿与其他矿物连生关系

图4 黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等金属矿物显微照片

Fig. 4 Micrographs of pyrite, chalcopyrite, galena and other metallic minerals

闪锌矿在矿石中含量低, 粒度大小约为 0.02~0.20 mm, 呈半自形-他形粒状, 主要与黄铜矿分布在一起, 位于黄铁矿裂隙中(图 5c), 与自然金连生较少,

仅在个别样品中见到自然金与闪锌矿连生(图 5d), 少量闪锌矿分布于磁黄铁矿粒间及裂隙中, 闪锌矿与黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿等属同期产物。



a.黄铜矿与辉铅铋矿连生关系; b.黄铁矿裂隙中自然金呈角粒状位于黄铜矿粒间; c.黄铁矿裂隙中自然金呈角粒状位于黄铜矿粒间, 闪锌矿与黄铜矿共生; d.角粒状自然金与黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿细脉分布于黄铁矿裂隙中; e.自然金呈枝杈状位于磁黄铁矿与非金属矿物粒间呈角粒状分布于非金属矿物粒间; f.辉铅铋矿及辉铅铋矿与自然铋的固溶体分布于石英脉裂隙中; g.自然金与辉铅铋矿及磁黄铁矿一起分布于黄铁矿裂隙中; h.碲铋矿分布于黄铁矿裂隙中、自然金呈角粒状包裹于黄铁矿中; i.自然金与方铅矿、非金属矿物的连生关系

图 5 黄铁矿、磁黄铁矿等金属矿物显微照片

Fig. 5 Micrographs of pyrite, pyrrhotite and other metallic minerals

4.5 磁黄铁矿

能谱分析结果显示(表 3),磁黄铁矿含少量分散金、分散银。磁黄铁矿粒度大小约为 0.02~0.70 mm,具非均质性,半自形粒状,呈团块状、脉状等分布。团块状磁黄铁矿粒间及裂隙中有少量闪锌矿分布,部分团块状磁黄铁矿中包裹有早期黄铁矿((图 4a),少部分磁黄铁矿分布于碎斑岩基质中。磁黄铁矿与黄铜矿、辉铅铋矿等在一起,呈细脉状,分布于黄铁矿裂隙中(图 4c)。磁黄铁矿与自然金关系较密切,在磁黄铁矿及石英粒间有自然金赋存(图 5e)。

4.6 自然铋

能谱分析结果显示(表 3),自然铋中有少量分散

银。自然铋粒度大小约为 0.002~0.15 mm,自然铋呈他形-半自形粒状,与方铅矿、磁黄铁矿、黄铜矿一起分布于黄铁矿裂隙中(图 4i),与辉铅铋矿一起分布于岩石裂隙中,二者呈固溶体分离状(图 5f)。未见到铋的矿物与金的矿物有直接连生关系。

4.7 辉铅铋矿

辉铅铋矿化学成分见表 3。辉铅铋矿在矿石中含量低,粒度大小约为 0.01~0.20 mm,在矿石中分布较少,仅在几个样品中见到。

辉铅铋矿与黄铜矿分布在一起,二者呈半规则-规则连生,少量辉铅铋矿呈星散状分布于非金属矿物粒间,与非金属矿物呈半规则连生,少量辉铅铋矿与

黄铜矿一起呈细脉状分布于黄铜矿裂隙中(图 5g); 辉铅铋矿与自然铋一起分布于岩石裂隙中, 二者呈固溶体分离状(图 5f); 辉铅铋矿与自然金有一定的连生关系, 可见自然金与辉铅铋矿连生分布于黄铁矿裂隙中(图 5g)。

4.8 碲铋矿

碲铋矿在矿石中很少, 粒度大小约为 0.02~0.1 mm, 仅在个别光片中见到呈半自形粒状分布于黄铁矿裂隙中(图 5h)。

5 金的赋存状态

5.1 金的成色与粒度大小

根据显微镜下详细鉴定及能谱分析, 金元素主要赋存于自然金中。从金矿物能谱分析结果(表 4)可知, 本区矿石金矿物 Au 含量为 87.28%~95.64%, 平均为 91.00%; Ag 含量为 4.36%~12.72%, 平均为 9.00%。金的成色平均为 910.0%, 说明金矿物为自然金。矿石中自然金的粒度变化较大, 粒度 0.001 mm×0.001 mm~0.30 mm×0.34 mm。将本次工艺矿物学研究所见金矿物粒(共 145 粒)用面积法做了粒度统计分析(以短径进行统计), 统计结果表明: 矿石中自然金粒度在 0.16~0.32 mm 粒级含最高, 为 49.96%, 其次是 0.08~0.16 mm, 含量为 21.85%, 再次是 0.04~0.08 mm 和 0.02~0.04 mm, 含量分别为 17.95% 和 8.00%, 其他均小于 2%。自然金粒度主要以粗粒金为主, 含量为 59.32%, 其次是中粒金, 含量为 17.95%, 再次是巨粒金和细粒金, 含量分别为 12.49% 和 9.95%, 微粒金少, 含量仅为 0.29%。

表 4 金矿物化学成分能谱分析结果表(%)
Tab. 4 Chemical composition of gold minerals (%)

样号	矿物	Au	Ag	As	Bi
TY-06-2	自然金	89.70	10.30	0.00	0.00
TY-06-8	自然金	88.83	11.17	0.00	0.00
TY21-1	自然金	87.28	12.72	0.00	0.00
TY07-4	自然金	90.68	9.32	0.00	0.00
TY-32-9	自然金	89.50	10.50	0.00	0.00
TY-11-1	自然金	95.36	4.64	0.00	0.00
TY-17-1	自然金	95.64	4.36	0.00	0.00

注: 样品由中陕核工业集团分析测试有限公司测试, 含量单位为%。

5.2 金的赋存状态

对显微镜下详细扫面观察到的 145 粒自然金的嵌布特征进行了统计分析, 结果表明自然金赋存状态有 4 种: 粒间金, 裂隙金, 粒间-裂隙金和包裹金, 以粒间-裂隙金为主, 含量为 52.96%, 其次是粒间金, 含量为 34.02%, 再次是裂隙金, 含量为 9.65%, 包裹金少, 含量仅为 3.37%, 对选矿影响不大。

(1) 粒间金

粒间金多呈角粒状或枝杈状等形态, 有以下 10 种嵌布特征: ①自然金呈角粒状、线状等分布于黄铁矿粒间。②自然金呈角粒状与方铅矿一起位于黄铁矿粒间。③自然金呈角粒状分布于黄铁矿与黄铜矿粒间。④自然金呈长角粒状分布于黄铁矿与石英粒间。⑤自然金呈角粒状位于黄铜矿与非金属矿物粒间。⑥自然金呈角粒状位于黄铜矿粒间, 它们均位于黄铁矿裂隙中。⑦自然金呈角粒状位于磁黄铁矿与非金属矿物粒间。⑧自然金呈枝杈状分布于磁黄铁矿与黄铜矿及石英粒间。⑨自然金呈枝杈状、角粒状与磁黄铁矿连生, 位于非金属矿物粒间。⑩自然金呈角粒状位于方铅矿与石英粒间。

(2) 粒间-裂隙金

粒间-裂隙金为粒间金和裂隙金的过渡类型。矿石中粒间-裂隙金主要为: ①自然金呈角粒状、长角粒状、线状、叶片状、尖角粒状等, 分布于黄铜矿脉体粒间、黄铜矿与黄铁矿粒间等, 自然金与黄铜矿为同期产物, 它们均位于黄铁矿裂隙中, 比黄铁矿形成晚。②自然金呈枝杈状、角粒状等与辉铅铋矿及磁黄铁矿一起分布于黄铁矿裂隙中。③自然金呈尖角粒状分布于黄铜矿与非金属矿物粒间, 它们均位于黄铁矿裂隙中。

(3) 裂隙金

自然金呈针状、长角粒状、角粒状等分布于黄铁矿裂隙; 自然金呈尖角粒状位于石英脉裂隙中。

(4) 包裹金

包裹金在矿石中含量较少, 对金的解离、回收影响不大。可见自然金呈角粒状包裹于黄铁矿中、自然金呈浑圆粒状包裹于辉铅铋矿中, 它们均位于黄铁矿裂隙中; 自然金呈角粒状包裹于方铅矿中。根据金的嵌布特征分析, 区内自然金比较容易解离, 有利回收。

6 矿化期次和矿化阶段的划分

根据野外观测的矿脉体间的穿切关系, 结合室内

镜下主要矿物间的相互穿插交代关系及矿物共生组合特征,本勘查区金矿成矿作用主要为热液成矿期,其次为次生氧化期,其中热液成矿期又可大致划分为3个阶段。

6.1 热液成矿期

(1)金-黄铁矿-石英阶段

区内最早的成矿作用阶段,早期成矿热液沿成矿期张性、张扭性构造裂隙贯入,沉淀生成第一期石英脉,同时伴随生成早期黄铁矿、少量方铅矿、黄铜矿等金属硫化物和微量金矿物(自然金)等。脉体规模较大,但含金性较差,个别地段可形成工业矿体,为成矿阶段之一。

此阶段形成的石英以粗粒为主,少部分中粒,粒径多为0.5~6 mm,最粗接近10 mm,呈他形粒状、不规则粒状,具明显的亚晶粒化、波状消光、变形纹、显微裂纹等特征,边缘多呈锯齿状或缝合线状;黄铁矿粒度较小,粒径大小约0.01~0.30 mm,呈自形-半自形粒状结构,自形程度较高,主要以立方体晶形、五角十二面体为主,呈星散(星点)状、稀疏浸染状分布于石英脉或蚀变岩中。黄铁矿中裂隙发育,晚期形成的金属硫化物沿裂隙分布,可见晚期方铅矿呈乳滴状、蠕虫状等沿黄铁矿边部及裂隙交代早期黄铁矿的现象,早期黄铁矿包裹于团磁黄铁矿或黄铜矿中。

(2)金-黄铁矿-多金属硫化物-石英阶段

含矿热液主要沿成矿期张性、张扭性构造裂隙继续贯入,沉积形成第二期石英脉,其次沿裂隙充填于第一期石英脉之中。该期石英脉主要呈脉状、网脉状分布于含金构造带内,可独立存在,在有些地段占据构造带整个空间,或分布于一期石英脉内部及顶底板附近。伴随第二期石英脉,生成晚期黄铁矿以及方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、辉铅铋矿、自然铋等多金属硫化物,微量自然金。第二期石英脉分布规模稍次于第一期石英脉,含金性较好,构成区内金矿体的主体,且对第一期石英脉有叠加改造作用,使区内矿化更为强化和富集。

第二期石英脉中的石英呈白色-烟灰色,自形晶粒状,粒度较细,粒径多为0.2~0.5 mm;晶体表面较干净,边缘平直,紧密镶嵌。该期石英与晚期黄铁矿、多金属硫化物共生,呈细脉状或网脉状分布,也可沿早期中粗粒石英粒间或裂隙充填。该期石英与金成矿关系密切,自然金赋存于石英与黄铁矿粒间、黄铜矿与石英粒间、石英裂隙及粒间等。

黄铁矿-多金属硫化物主要呈团块状、浸染状、条带状、脉状或细脉状、网脉状分布。晚期黄铁矿粒度较大,粒径大小约为0.1~3.0 mm,呈半自形粒状,晶形不佳,主要呈团块状、浸染状、细脉状、网脉状、条带状分布于石英脉或蚀变岩中。

黄铁矿粒度较大,粒径大小约为0.1~3.0 mm,呈半自形粒状,晶形不佳,主要呈团块状、浸染状、细脉状、网脉状、条带状分布于石英脉或蚀变岩中。黄铁矿裂隙发育,其晶粒间或裂隙中分布有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、辉铅铋矿、自然金、自然铋等矿物。这期黄铁矿与金成矿关系较为密切,自然金主要分布于黄铁矿裂隙或粒间,形成裂隙金、粒间-裂隙金、粒间金等。

多金属硫化物主要为黄铜矿、方铅矿,其次为闪锌矿、磁黄铁矿,少量辉铅铋矿、自然铋等,基本同时形成,彼此之间主要呈共生关系,部分形成固溶体分离结构,比该期黄铁矿形成稍晚。方铅矿、黄铜矿、磁黄铁矿等与金矿物有连生关系比较密切。

(3)黄铁矿-磁黄铁矿-碳酸盐阶段

富含碳酸盐成分的含矿热液呈细脉状或显微细脉充填于前两期石英脉的裂隙中,形成多金属矿物铁白云石石英脉。主要由石英组成,其次由铁白云石和多金属硫化物,金属矿物呈团块状、浸染状、脉状、网脉状、星散(星点)状分布,铁白云石呈脉状、网脉状分布于石英脉裂隙或呈星散状分布于石英粒间,比石英脉形成晚,与金成矿关系比较密切。该成矿阶段仅在局部地段发育,且规模较小、金矿化较弱,标志着成矿热液活动已接近尾声。

铁白云石粒度大小约为0.1~0.22 mm,半自形粒状,呈脉状或团块状分布,主要分布于石英脉裂隙及岩石裂隙中,与自然金有一定的连生关系。

6.2 次生氧化期

热液成矿期结束后,本区矿床基本就位,形成硫化金矿石。由于埋藏较深,矿石至今基本仍为原生硫化矿石,仅在局部矿石发生微弱的氧化,表现为少量矿石中黄铁矿具褐铁矿化,黄铜矿具斑铜矿化、铜蓝化。

7 结论

(1)该区具有黄铁矿-多金属硫化物石英脉、多金属硫化物铁白云石石英脉和蚀变岩3种金矿石类型,矿石主要以团块状、浸染状、脉状、网脉状、星散(星

点状)状、条带状构造为主。

(2)矿石中金矿物以独立矿物为主,以粒-间-裂隙金为主,金粒度大多为0.16~0.32 mm。

(3)本区金矿成矿作用主要为热液成矿期,可分为金-黄铁矿-石英阶段、金-黄铁矿-多金属硫化物-石英阶段和黄铁矿-磁黄铁矿-碳酸盐阶段。

参考文献(References):

- 陈虹,牟培吉,张欢欢,等.小秦岭NNE向金矿脉构造变形特征与成矿关系[J].地球科学与环境学报,2021,43(2):291-314.
- CHEN Hong, MU Peiji, ZHANG Huanhuan, et al. Structural Deformation and Mineralization of NNE-striking Gold-bearing Veins in Xiaolinling Area, Central China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2021, 43(2): 291-314.
- 陈莉.小秦岭大湖金矿床成矿流体特征及矿床成因探讨[D].北京:中国地质大学,2006.
- CHEN Li. Characteristics of ore-forming fluid and ore genesis of Dahu gold deposit, in Xinqinling gold are[D]. Beijing: China University Of Geology, 2006.
- 陈衍景,王亨治,张玫玫,等.小秦岭石英脉型金矿的地质地球化学特征和成矿模式[J].河北地质学院学报,1993,16(6):594-604.
- CHEN Yanjing, WANG Hengzhi, ZHANG Meimei, et al. Geological and geochemical characteristics and mineralization model of quartz vein type gold deposits of xiaoqinling area[J]. Journal of Hebei GEO University, 1993, 16(6): 594-604.
- 陈衍景.秦岭印支期构造背景,岩浆活动及成矿作用[J].中国地质,2010,37(4):854-865.
- CHEN Yanjing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China[J]. Geological in China, 2010, 37(4): 854-865.
- 范宏瑞,谢奕汉,赵瑞,等.小秦岭含金石英脉复式成因的流体包裹体证据[J].科学通报,2000,45(5):537-542.
- FAN Hongrui, XIE Yihan, ZHAO Rui, et al. The evidence of multiple causes fluid inclusions in auriferous quartz veins, xiao qinling[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(5): 537-542.
- 方桂聪,陈远荣,蒋宗林,等.陕西洛南寺耳金矿成矿规律与成矿预测[J].地质与勘探,2011,47(6):1091-1099.
- FANG Guicong, CHEN Yuanrong, JIANG Zonglin, et al. Ore-forming Regularities and Mineralization Forecast of the Si'er Gold Deposit in Luonan, Shanxi Province[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(6): 1091-1099.
- 冯建之.河南小秦岭金矿构造控矿规律及控矿模式[J].矿产与地质,2009,23(4):302-307.
- FENG Jianzhi. Ore-controlling structure and model in Xiaolinling gold deposit, Henan[J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23(4): 302-307.
- 高珍权,刘继顺,陈德兴.浅析小秦岭西段驾鹿金矿田构造与成矿的关系[J].大地构造与成矿学,2001,25(4):439-445.
- GAO Zhenquan, LIU Jishun, CHEN Dexing. Structure and gold metallogenesis of Jialu gold orefield in western Xiaolinling[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2001, 25(4): 439-445.
- 宫同伦.小秦岭金矿田成矿地质条件分析[J].西安地质学院学报,1997,19(2):14-20.
- GONG Tonglun. Analysis to the ore-forming geological conditions on xiao qinling gold ore field[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 1997, 19(2): 14-20.
- 郭海涛.陕西省潼关县桐峪-西峪金矿床地质特征及成因探讨[J].世界有色金属,2017,(14):297-298.
- GUO Haitao. Geological characteristics and genesis of the Tongyu Xiyu gold deposit in Tongguan County, Shaanxi Province[J]. World Nonferrous Metals, 2017, (14): 297-298.
- 胡正国,钱壮志.小秦岭区域地质构造特征及金矿的形成作用[J].黄金科技动态,1993,6:8-14.
- 黄建军.小秦岭后生金矿的发现及其找矿意义[J].黄金科学技术,1997,5(1):14-21.
- 贾建业.小秦岭胭脂河金矿床黄铁矿产出的地质背景[J].西北地质,1996,17(3):1-6.
- 蒋少涌,戴宝章,姜耀辉,等.胶东和小秦岭:两类不同构造环境中的造山型金矿省[J].岩石学报,2009,25(11):2727-2738.
- JIANG Shaoyong, DAI Baozhang, JIANG Yaohui, et al. Jiaodong and xiao Qinling two orogenic gold province formed in different tectonic setting[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(11): 2727-2738.
- 李强之,陈衍景,钟增球,等.小秦岭东闯金矿成矿作用的⁴⁰Ar-³⁹Ar年代学研究[J].地质论评,2002,(S1):122-126.
- LI Qiangzhi, CHEN Yanjing, ZHONG Zengqiu, et al. ⁴⁰Ar-³⁹Ar ages of the ore-forming processes of the dongchuang gold deposits in the xiaoqinling district, China[J]. Geological Review, 2002, (S1): 122-126.
- 李铁刚,武广,陈公正,等.华北克拉通南缘小秦岭矿集区灵湖金矿床成因:流体包裹体和HO, S-Pb同位素证据[J].地球科学与环境学报,2020,42(5):569-583.

- LI Tiegang, WU Guang, CHEN Gongzheng, et al. Genesis of Linghu Gold Deposit in Xiaqingling Ore District, the Southern Margin of North China Craton, China: Evidence from the Fluid Inclusions, H-O and S-Pb Isotopic Compositions[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2020, 42(5): 569–583.
- 刘云华, 戚新世, 李宗会, 等. 陕西洛南陈耳金矿床地质特征及成因探讨[J]. *西北地质*, 2015, 48(2): 186–195.
- LIU Yunhua, QI Xinshi, LI Zonghui. Geological Characteristics and Genesis of Chener Gold Deposit in Shaanxi Province[J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(2): 186–195.
- 卢欣祥, 尉向东, 董有, 等. 小秦岭—熊耳山地区金矿时代[J]. *黄金地质*, 1999, 5(1): 11–16.
- LU Xinxiang, WEI Xiangdong, DONG You, et al. The metallogenetic epoch of gold deposits in Xiaqingling-Xiongershan region[J]. *Gold Geology*, 1999, 5(1): 11–16.
- 聂凤军, 江思宏, 赵月明. 小秦岭地区文峪和东闯石英脉型金矿床铅及硫同位素研究[J]. *矿床地质*, 2001, 20(2): 163–173.
- NIE Fengjun, JIANG Sihong, ZHAO Yueming. Lead and Sulfur Isotopic Studies of the Wenyu and the Dongchuang Quartz Vein Type Gold Deposits in Xiaqingling Area, Henan and Shaanxi Provinces, Central China[J]. *Mineral Deposits*, 2001, 20(2): 163–173.
- 王晋定, 王大钊, 詹小飞, 等. 小秦岭金成矿区南矿带构造控矿规律和矿床定位样式[J]. *大地构造与成矿学*, 2018, 42(6): 1064–1077.
- WANG Jinding, WANG Dazhao, ZHAN Xiaofei, et al. Structural Controls on Mineralization and Distribution of Orebodies in the Southern Ore Belt of the Xiaqingling District[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2018, 42(6): 1064–1077.
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥, 等. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉中深部矿化蚀变岩的⁴⁰Ar—³⁹Ar 年龄及其意义[J]. *科学通报*, 2002, 47(18): 1427–1431.
- 徐启东, 钟增球, 周汉文, 等. 小秦岭东闯金矿区花岗岩浆活动的性质[J]. *黄金地质*, 1997, 3(3): 19–24.
- XU Qidong, ZHONG Zengqiu, ZHOU Hanwen, et al. Natures of granitic magma and its relation with gold mineralization in Dongchuang gold field, Xiaqingling[J]. *Gold Geology*, 1997, 3(3): 19–24.
- 徐启东, 钟增球, 周汉文, 等. 小秦岭地区金矿化与花岗岩浆活动的关系——流体标型特征提供的依据[J]. *大地构造与成矿学*, 1998, 22(1): 35–44.
- XU Qidong, ZHONG Zengqiu, Zhou Hanwen, et al. Relationship between gold mineralization and activity of granitic magma in xiaqingling area: evidences from typomorphic peculiarities of fluids[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1998, 22(1): 35–44.
- 杨海, 王飞, 汪佩佩. 小秦岭 Q315 金矿床原生晕及深部成矿潜力[J]. *西北地质*, 2019, 52(1): 195–205.
- YANG Hai, WANG Fei, WANG Peipei. Primary Halo and Deep Metallogenic Potential of the Q315 Gold Deposit in Xiaqingling[J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(1): 195–205.
- 朱桂繁. 陕西小秦岭金矿区近东西向矿脉构造与成矿特征研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2018.
- ZHU Guifan. Structural and Mineralization Characteristics of Near East-West Trending Veins in Xiaqingling Gold Field, Shaanxi Province[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2018.
- Liu J C, Wang Y T, Hu Q Q, et al. Ore genesis of the Fancha gold deposit, Xiaqingling Goldfield, Southern Margin of the North China Craton: Constraints from pyrite Re-Os geochronology and He-Ar, In-situ S-Pb isotopes[J]. *Ore Geology Reviews*, 2020, 119: 103373.
- Yang Y Z, Wang Y, Siebel W, et al. Zircon U-Pb-Hf, geochemical and Sr-Nd-Pb isotope systematics of late Mesozoic granitoids in the Lantian-Xiao-qinling Region: implications for tectonic setting and petrogenesis[J]. *Lithos*, 2020, 374/375: 105709.