

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.02.011

陕西商洛杨斜金矿床地质特征与控矿因素探讨

马承,葛战林,郑艳荣,郝迪,李晓东,王元伟

(中国地质调查局西安矿产资源调查中心,陕西 西安 710100)

摘要:陕西杨斜金矿床为东秦岭杨斜-丰北河金钨成矿带东段的一中型金矿床。金矿体主要为热液石英脉型,赋存于商丹断裂带内北东—北北东与北西—北北西向次级断裂中,赋矿围岩为新元古代杨斜片麻岩套。矿石金属矿物为黄铁矿-自然金-黄铜矿-黝铜矿-闪锌矿-方铅矿等中低温组合;热液成矿过程可划分钾长石-石英、石英-粗粒黄铁矿-自然金、石英-细粒黄铁矿-自然金-多金属硫化物和碳酸盐4个阶段;近矿围岩蚀变以钾化、硅化及黄铁矿化为特征,远矿蚀变主要为绿泥石化和碳酸盐化。金矿床主要受断裂、围岩及岩体(脉)控制,成矿时代不早于晚三叠世。

关键词:地质特征;控矿因素;矿床成因;杨斜金矿床;陕西

中图分类号:P618.51

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2021)02-0137-12

Discussion on Geological Characteristics and Ore-controlling Factors of the Yangxie Gold Deposit in Shangluo, Shaanxi Province

MA Cheng, GE Zhanlin, ZHENG Yanrong, HAO Di, LI Xiaodong, WANG Yuanwei

(Xi'an Center of Mineral Resources Survey, China Geological Survey, Xi'an 710100, Shaanxi, China)

Abstract: Yangxie gold deposit is a medium-sized one located in the eastern section of the Yangxie-Fengbeihe Au-W metallogenic belt, East Qinling. The gold orebodies are mainly composed of gold-bearing quartz veins controlled by NE-NNE and NW-NNW trending faults and hosted in the Neoproterozoic Yangxie gneiss suite in Shangdan fault. Metal minerals in the ore are medium-low temperature mineral associations, and mainly consist of pyrite, native gold, chalcopyrite, tetrahedrite, sphalerite and galena. The process of the hydrothermal ore-forming can be divided into four metallogenic stages: the potassium feldspar-quartz stage, the quartz-coarse grained pyrite-native gold stage, the quartz-fine grained pyrite-native gold-polymetallic sulfide stage and the carbonate stage. The proximal wall-rock alterations are characterized by potassic alteration, silification and pyritization, while the distal alterations are dominated by chloritization and carbonation. The Yangxie gold deposit is mainly controlled by the faults, the wall-rock and the Indosinian granite; its metallogenic age is no earlier than the Late Triassic.

Keywords: geological characteristics; ore-forming factor; genesis, Yangxie gold deposit; Shaanxi

秦岭造山带长期复杂的大陆动力学机制主导成矿系统与造山事件耦合,使其成为中国金、银、铜、

收稿日期:2020-10-23;修回日期:2020-11-20

基金项目:中国地质调查局“陕南柞水-商南地区金多金属矿产地质调查”项目(DD20191013)。

作者简介:马承(1981-),男,工程师,主要从事矿产勘查工作。E-mail: 292834194@qq.com。

铅锌等金属矿产资源基地之一(陈毓川等,1994;姚书振等,2002;张国伟等,2019)。迄今,秦岭造山带已知的金属矿床多达 400 余处,且不同矿床类型的空间分布存在显著差异。西秦岭以卡林-类卡林型、造山型金矿床和 SEDEX 型铅锌矿床为主,东秦岭则主要为斑岩-矽卡岩型钼(钨)矿床、岩浆热液脉型金矿床和 VMS 型铜多金属矿床等高中温热液矿床(毛景文,2001;张复新等,2004;朱赖民等,2008;陈衍景,2010)。杨斜-丰北河金钨成矿带即产于东秦岭商丹断裂带中,是陕南地区重要的中高温石英脉型金、钨多金属成矿带之一,带内大小金、钨矿床(点)多达 10 余处。典型矿床包括丰北河、杨斜金矿床和大蛇沟钨矿床等。

杨斜金矿床位于陕西省商洛市杨斜地区,中心地理坐标为 $109^{\circ}39'30.77''\text{E}$, $33^{\circ}49'4.81''\text{N}$ 。1981 年,陕西区调队在该区发现金矿化点,至今累计探明金资源量 9 余吨,已达到中型金矿床规模。受找矿勘查与科研手段的制约,前人仅对区域成矿带的控矿构造与矿床地球化学等略有研究(罗旭,1991;王宗乾,1994),该矿床详实的地质特征与控矿因素研究未见报道。笔者通过对杨斜金矿床成矿地质背景、矿体与矿石特征、围岩蚀变与成矿期次等系统研究,探讨了金成矿的主控因素,阐述了找矿标志,以期为本区金矿找矿勘查提供有力支撑,促进找矿突破。

1 区域地质背景

研究区以丰北河-杨斜深大断裂(商丹断裂北界)为主干断裂,其北部为北秦岭叠瓦逆冲推覆构造带(图 1A),主要为古元古代结晶基底;南部为绿片岩相-低角闪岩相变质的商丹带主要地质实体(图 1B)(张国伟等,2001)。

区域地层以主干断裂北侧的古元古界,南部的下古生界和泥盆系为主,局部夹石炭系。其中,秦岭岩群(Pt_1Q)为一套典型中深变质孔兹岩系,主要由上(片麻岩-变粒岩-石英片岩)、下(片麻岩-斜长角闪岩-石墨大理岩)2 个构造岩系和钙硅酸盐岩组成(黄倩雯等,2019),其形成年龄约为 2 000 Ma,且下限不超过 2 226 Ma(张宗清等,1994)。丹凤岩群(Pz_1D)主要为绿片岩相-低角闪岩相变质火山-沉积岩,属古火山岛弧构造环境(裴先治等,1997;

Dong et al., 2011;陕西省地质调查院,2017;赵东宏等,2019)。罗汉寺组(Pz_1L)为浅变质火山岩夹碎屑岩组合,系华北板块南部活动大陆边缘弧前盆地沉积。泥盆系青石垭组(D_{2-3}q)与桐峪寺组(D_3ty)主要为千枚岩、砂板岩夹灰岩的碎屑岩-碳酸盐组合,属滨浅海沉积相(刘凯等,2014)。

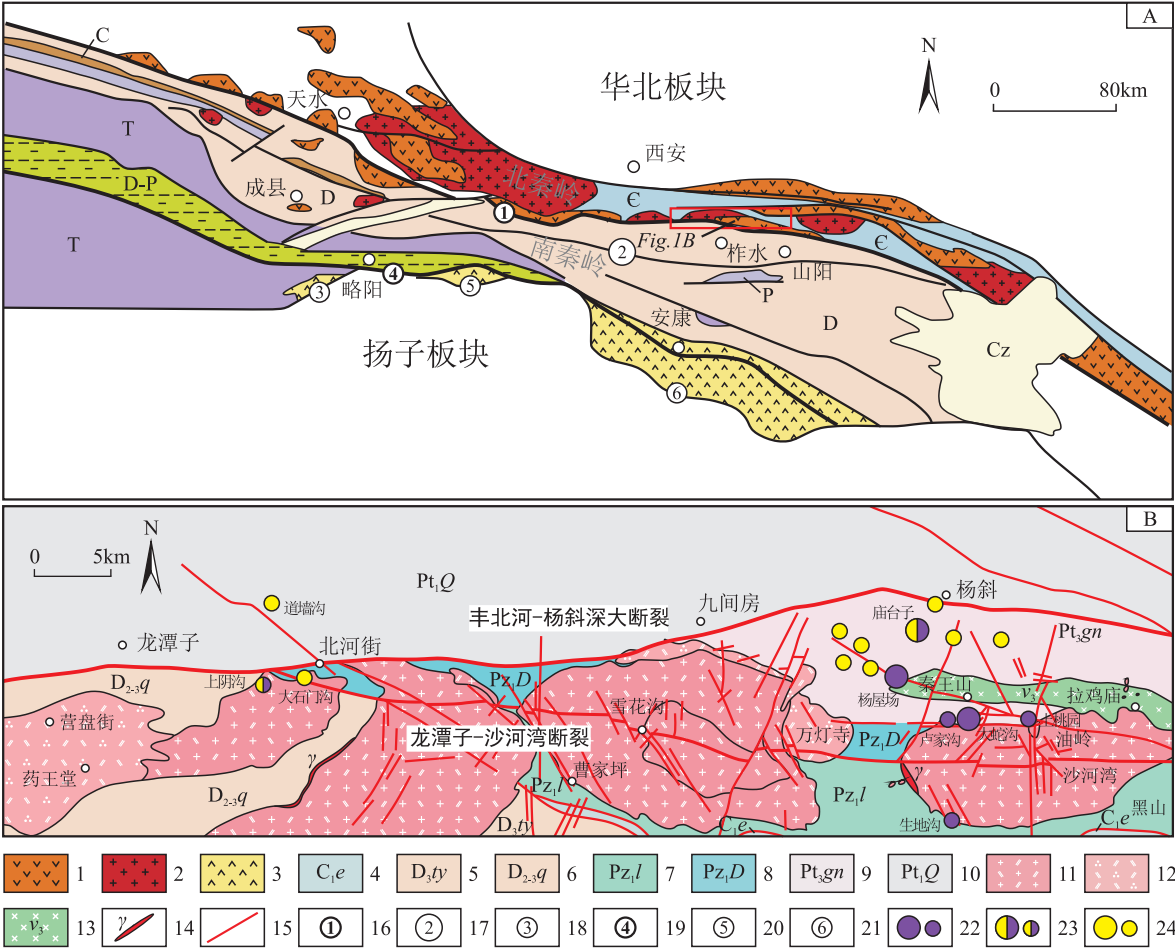
杨斜-丰北河地区岩浆活动强烈,集中侵位于晋宁期、加里东期及印支期,以印支期岩浆岩分布最为广泛。杨斜片麻岩套(Pt_3gn)为秦岭岩群中解体的最古老变质侵入体,属于典型的钙碱性 I 型花岗岩,对比德河岩体特征将其时代归为早晋宁期(李万生,1996)。加里东期秦山王镁铁质杂岩体呈东西向延长的豆荚状展布于区域中部,主要为中粒辉长岩,成岩年龄为 $(402.6 \pm 17.4) \sim (422 \pm 7) \text{ Ma}$ (李曙光等,1993;刘军锋等,2009)。印支期花岗岩带由东江口、柞水、曹坪和沙河湾岩体组成,成岩年龄集中于 $230 \sim 210 \text{ Ma}$ (胡健民等,2004;弓虎军等,2009;杨恺等,2009;刘春花等,2014),略晚于秦岭主造山期(张国伟等,2004)。

研究区以近东西向商丹断裂为主要构造格架,后期叠加有晚三叠世韧性剪切与白垩纪脆性断层(Dong et al., 2016)。丰北河-杨斜深大断裂为商丹断裂北界,呈东西向延伸约 70 km,破碎带宽数十米至百余米,断面向北倾伏,倾角为 $50^{\circ} \sim 78^{\circ}$,具多期活动特征。龙潭子-沙河湾断裂呈近东西向延伸,大于 50 km,切穿早期印支期花岗岩与岩脉。此外,区域北东与北西-北北西向断裂亦较为发育,其次级断裂为本区主要的控-容矿构造(罗旭,1991)。

杨斜-丰北河成矿带中金、钨矿床(点)集中分布于丰北河-杨斜断裂南侧,矿脉(体)受主干断裂及其次级断裂所控制,具成群成带展布特征,杨斜金矿床即产于该成矿带东段。

2 矿区地质特征

杨斜金矿区南距沙河湾岩体外接触带大蛇沟钨矿床约 4 km,中部为杨屋场-庙台子钨(金)矿床。因区内金矿脉(体)多且分布极散,为了便于研究,笔者大致以石道峪-西牛槽为界,将原杨斜金矿整合区划分为东、西 2 个矿区(图 2)。其中,东矿区包括贾沟、寺沟和大水岔矿点,西矿区主要为郭安沟、小西沟、庙沟及神凹等矿点。



1. 火山岛弧; 2. 岩浆弧; 3. 岛弧—弧后盆地; 4. 下石炭统二峪河组; 5. 上泥盆统桐峪寺组; 6. 中—上泥盆统青石垭组; 7. 下古生界罗汉寺组; 8. 下古生界丹凤岩群; 9. 新元古代杨斜片麻岩套; 10. 古元古界秦岭岩群; 11. 二长花岗岩; 12. 石英二长岩; 13. 辉长岩; 14. 花岗岩脉; 15. 断层; 16. 商丹断裂; 17. 山阳—凤镇断裂; 18. 青川断裂; 19. 勉略断裂; 20. 茶镇断裂; 21. 中坝—毛坝断裂; 22. 钨矿床及矿点; 23. 金钨矿床及矿点; 24. 金矿床及矿点

图 1 (A)秦岭造山带大地构造地质简图(据 Yan et al., 2006; 王宗起等, 2009)和 (B)杨斜-丰北河区域地质简图(据陕西省地质矿产局第十三地质队, 1989)

Fig. 1 (A)Tectonic framework of the Qinling Orogen and (B)geological sketch map of the Yangxie-Fenbeihe area

2.1 地层

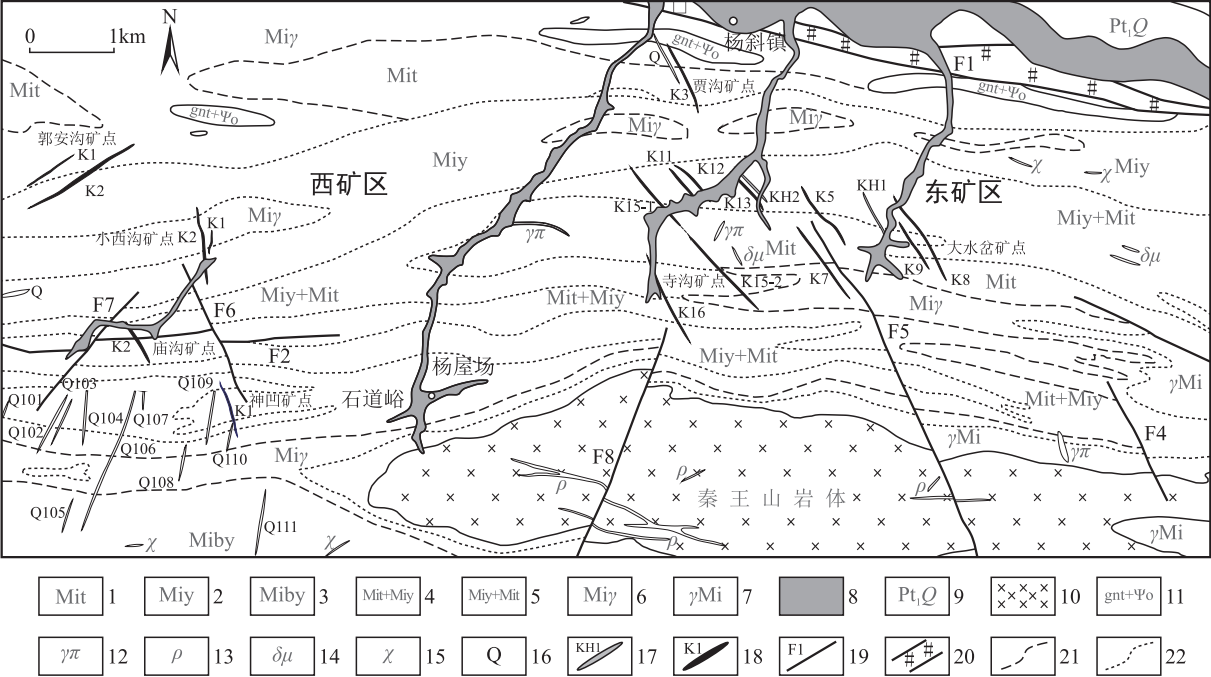
矿区出露地层为古元古界秦岭岩群(Pt_1Q)、新元古代杨斜片麻岩套(Pt_3gn)和第四系。其中,秦岭岩群仅少量出露于矿区 F1 断裂以北,岩性为黑云二长花岗片麻岩。杨斜片麻岩套是矿区的主要赋矿围岩,但关于其填图单位的确定仍存在不同认识,笔者暂且沿用 1984 年陕西区调队的区域地质调查成果(赵峰等, 1984),即主要由条痕状混合片麻岩(Mit)、眼球状混合片麻岩(Miy)、含斑眼球状夹条痕状混合片麻岩(Miby)、条痕状夹眼球状混合片麻岩(Mit+Miy)、眼球状夹条痕状混合片麻岩(Miy+

Mit)、花岗质混合片麻岩(Mi γ)及混合花岗岩(γ Mi)组成,局部夹斜长角闪岩,不同岩相之间呈渐变关系,片麻理多北倾,倾角为 $55^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。

2.2 构造

区内断裂构造极为发育,主要有近东西、北东—北北东与北西—北北西向 3 组(图 2)。

近东西向断裂:矿区仅出露 F1 与 F2。F1 为丰北河-杨斜深大断裂,展布于矿区北东部,近东西向延伸约 6 km,宽 20~200 m,断面北倾且倾角为 $50^{\circ}\sim 78^{\circ}$,带内主要由构造透镜体、角砾岩、糜棱岩和断层泥组成,具明显的控岩控矿特征;F2 展布于西矿区



1. 条痕状混合片麻岩;2. 眼球状混合片麻岩;3. 含斑眼球夹条痕状混合片麻岩;4. 条痕状夹眼球状混合片麻岩;5. 眼球状夹条痕状混合片麻岩;6. 花岗质混合片麻岩;7. 混合花岗岩;8. 第四系;9. 秦岭岩群;10. 辉长岩;11. 斜长角闪岩;12. 花岗斑岩脉;13. 伟晶岩脉;14. 闪长玢岩脉;15. 云煌斑岩脉;16. 石英脉;17. 矿化体;18. 矿体;19. 断层;20. 构造破碎带;21. 混合带界线;22. 岩相界线

图 2 杨斜金矿床地质图

Fig. 2 Geological map of the Yangxie gold deposit

庙沟一带,断裂带宽 2~30 m,向北陡倾,被后期断裂交错。

北东—北北东向断裂:主要包括 F7、F8 及西矿区部分控矿断裂。F7 与 F8 分别位于庙沟与秦王山岩体一带,走向 20°~45°,倾向北西且倾角为 40°~45°,断裂带宽 1~2 m,由糜棱岩、断层角砾岩和断层泥组成。西矿区控矿断裂具张扭性特征,一般长 150~400 m,宽 0.5~2.0 m,向南或北陡倾,带内主要充填含金石英脉和石英-方解石脉等。

北西—北北西向断裂:在矿区内广泛分布,主要包括 F4、F5、F6 及东矿区控矿断裂。F4、F5 与 F6 分别位于秦王山岩体、庙沟北部,系区内最晚期次的断裂构造,宽 1~3 m,南西向陡倾,切错近东西向断裂。东矿区控矿断裂以张扭性为主,少数兼具压扭性特征,长 100~400 m,宽 0.2~3 m,倾向北东,倾角为 70°~85°,多充填含金石英脉及脉岩。

2.3 岩浆岩

矿区岩浆岩主要为秦王山镁铁质杂岩体及岩脉。秦王山岩体呈东西向展布于矿区南部,岩性以

辉长岩为主,岩脉主要为花岗斑岩脉、伟晶岩脉、闪长玢岩脉和云煌斑岩脉等。其中,中基性岩脉与本区金矿化的空间分布关系密切。

3 矿床地质特征

3.1 矿体形态及规模

杨斜金矿床矿体以石英脉型为主,蚀变岩型次之,受控于北东—北北东与北西—北北西向张扭性断裂破碎带。目前,共圈出工业矿体 18 个、矿化体 2 个,东、西矿区矿体规模形态与矿化特征存在一定差异,现将其矿体特征分述如下。

3.1.1 东矿区矿体特征

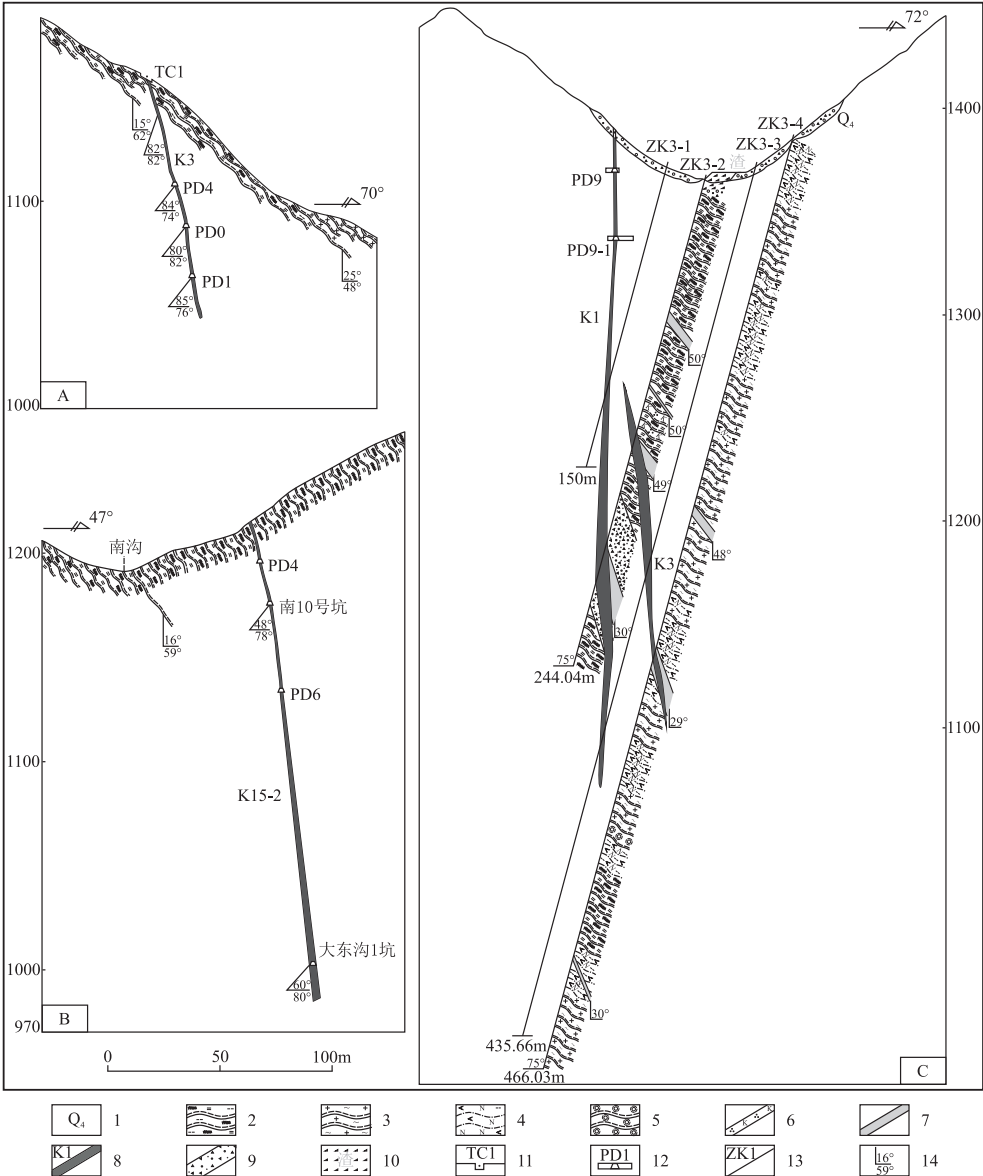
共圈定金矿体 11 个,金矿化体 2 个,包括贾沟金矿点 K3,大水岔金矿点 K5、K7、K8、K9、KH1 和寺沟金矿点 K11、K12、K13、K15-1、K15-2、K16、KH2。矿体形态呈脉状,赋存于北西—北北西向断裂破碎带中,主体显示右行侧列特征;出露标高为 951~1 340 m,单矿体一般长 115~300 m,最长 405

m,平均厚度为 0.48~1.25 m,垂直延伸 40~312 m,总体产状为北东—北东东 $\angle 72^{\circ}\sim 88^{\circ}$ 。其中,以 K3、K15-2 矿体规模较大,矿化特征最为明显。

K3 矿体为热液石英脉型,受北西向断裂破碎带控制。赋存标高为 1 000~1 171 m,倾向延深约 153 m,北东东倾向 70° ,倾角为 $76^{\circ}\sim 80^{\circ}$ (图 3A);矿体长 250 m,厚 0.54~1.38 m,Au 品位为 $3.87\times 10^{-6}\sim 9.10\times 10^{-6}$ 。含金石英脉切穿断裂带中的煌斑岩脉,见晚期碳酸盐细脉穿插主矿脉(图 4A、图

4F)。

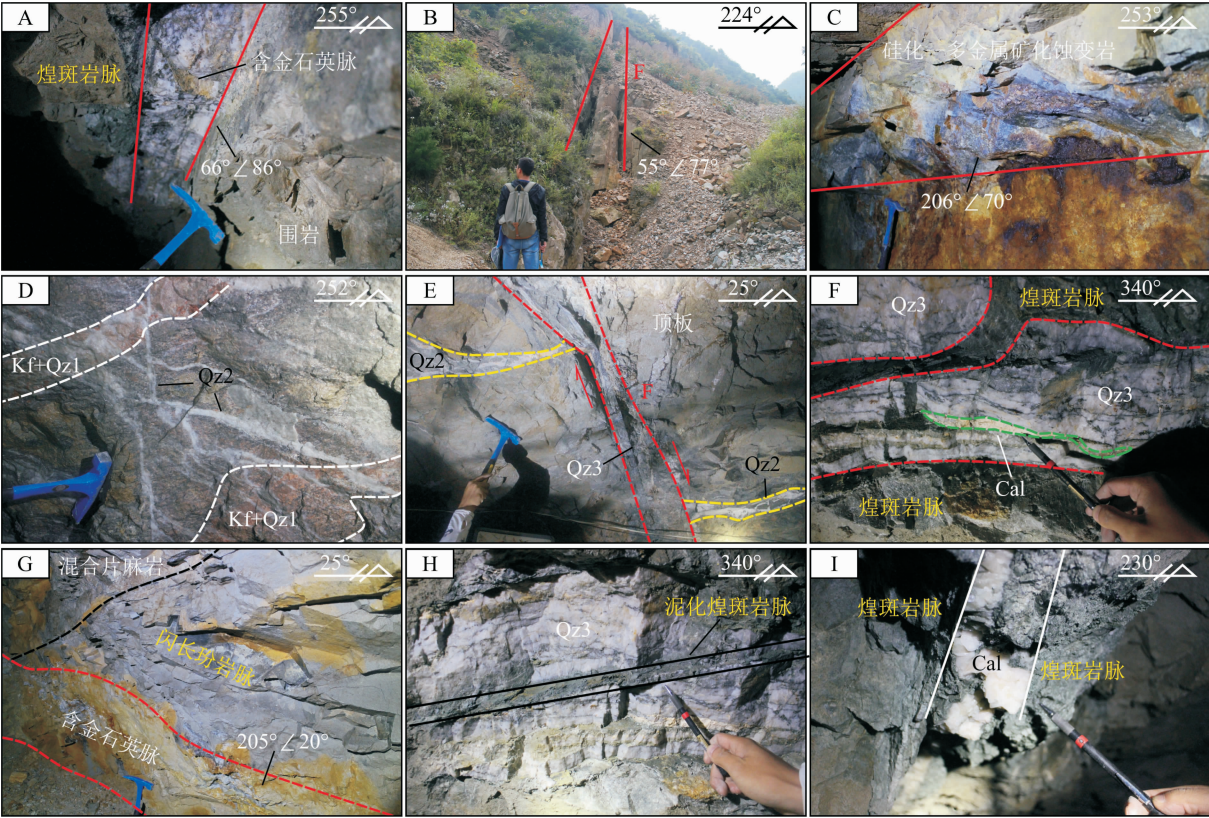
K15-2 矿体为构造蚀变岩型,产于北西向张扭性断裂破碎带中,区内长英质脉与闪长玢岩脉极为发育(图 4B)。赋存标高为 978~1 287 m,倾向延深 243 m,北东倾向 48° ,倾角为 $72^{\circ}\sim 82^{\circ}$ (图 3B);其长 300 m,厚 0.55~0.97 m,Au 品位为 $3.96\times 10^{-6}\sim 8.65\times 10^{-6}$ 。破碎带主要矿化组合为硅化-黄铁矿化-黄铜矿化-孔雀石化(图 4C),局部被晚期无矿化的东西向断裂所切穿。



1. 第四系;2. 条痕状混合片麻岩;3. 花岗质混合片麻岩;4. 黑云角闪斜长变粒岩;5. 硅化蚀变岩;6. 钾长石-石英脉;7. 含金石英脉;8. 矿体及编号;9. 构造破碎带;10. 渣堆;11. 探槽及编号;12. 平洞及编号;13. 钻孔及编号;14. 产状

图 3 (A)杨斜金矿床贾沟矿段、(B)寺沟矿段和(C)神凹矿段勘探线剖面图

Fig. 3 (A) Profiles of Jiagou, (B) Sigou and (C) Shen'ao mining sections in the Yangxie gold deposit



A. 石英脉型矿体;B, C. 蚀变岩型矿体;D. 灰白色含金石英脉(Qz2)切穿钾长石-石英脉(Kf+Qz1);E. 烟灰色含金石英脉(Qz3)左行切穿灰白色石英脉(Qz2);F. 烟灰色石英脉(Qz3)充填于煌斑岩脉中,且被晚期方解石细脉(Cal)切穿;G. 石英脉截切闪长玢岩脉;H. 主矿脉夹泥化的煌斑岩脉;I. 方解石脉充填于煌斑岩脉中;Kf. 钾长石;Qz. 石英;Cal. 方解石

图 4 杨斜金矿床的矿体特征与成矿阶段图

Fig. 4 The characteristics of orebodies and metallogenic stages in the Yangxie gold deposit

3.1.2 西矿区矿体特征

目前,圈定金矿体 7 个,包括郭安沟金矿点 K1、K2,小西沟金矿点 K1、K2,庙沟金矿点 K2 和神凹金矿点 K1、K3(盲)。矿体为陡倾的含金石英单脉,充填于北西—北西西或北东向张扭性断裂中,赋存标高为 966~1 470 m,单矿体一般长 160~500 m,最长 641 m,平均厚度为 0.64~1.10 m。以神凹 K1、郭安沟 K2 矿体最具代表性。

神凹 K1 矿体受控于北西向断裂破碎带,地表无工程,深部由平硐和 7 个钻孔控制;赋存标高为 1 175~1 470 m,倾向延深 295 m,南西西倾向 252°,倾角为 70°~88°(图 3C);矿体长 504 m,厚 0.65~1.20 m,Au 品位为 $0.28 \times 10^{-6} \sim 50 \times 10^{-6}$ 。

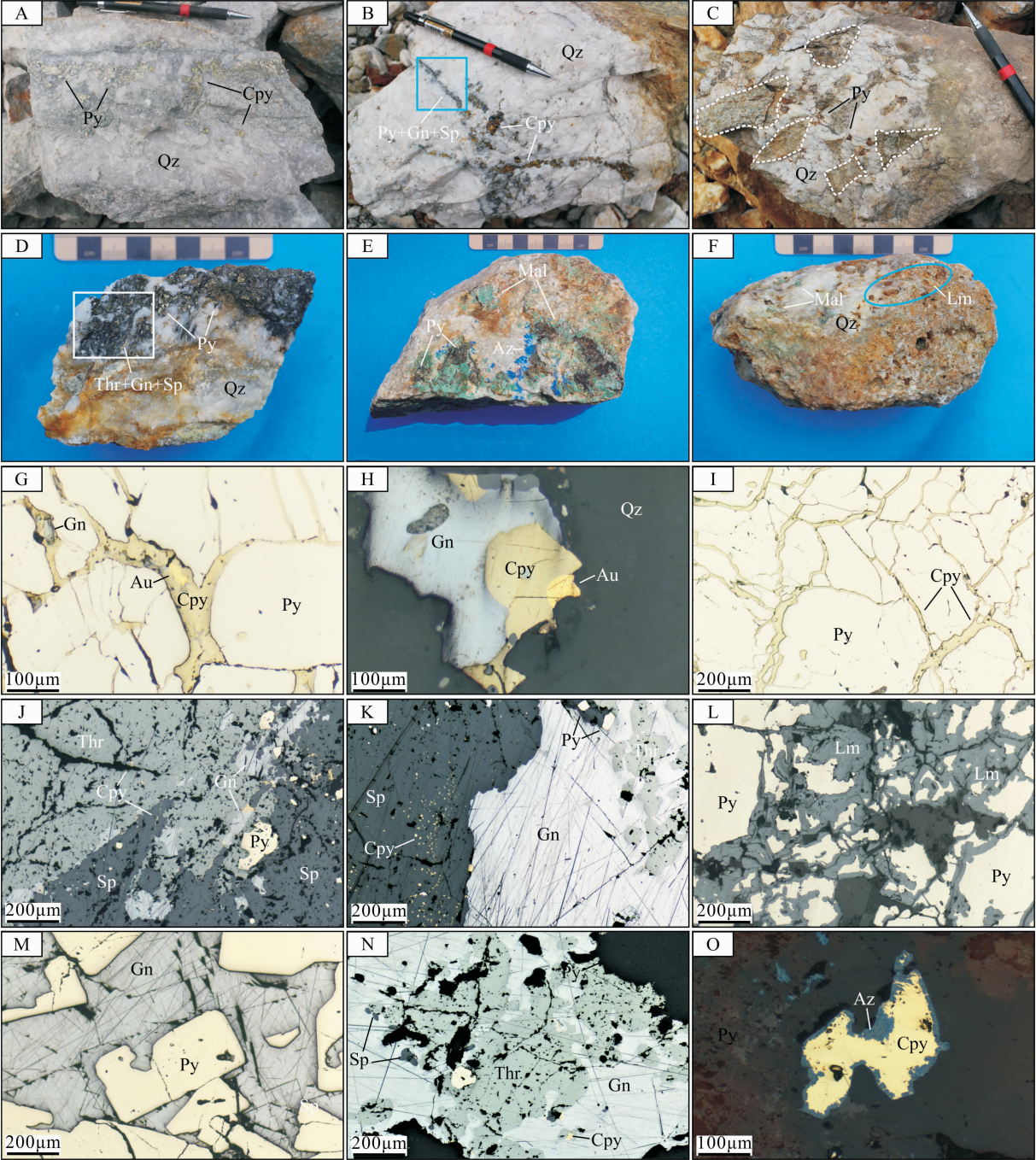
郭安沟 K2 矿体产于北东向断裂中,深部由坑探工程和 5 个钻孔控制;赋存标高为 1 163~1 377 m,倾向延深 214 m,北西倾向 330°,倾角为 75°~89°;矿体长 641 m,厚 0.65~1.20 m,Au 品位为

$0.28 \times 10^{-6} \sim 7.32 \times 10^{-6}$ 。主矿脉具明显的分支复合现象,局部受强应力作用破碎呈角砾状。

杨斜金矿床的矿体与中基性岩脉关系密切。矿区见多条含金石英脉与闪长玢岩脉、煌斑岩脉赋存于同一构造破碎带,且切穿岩脉,指示成矿作用晚于闪长玢岩脉和煌斑岩脉的侵位时代(图 4A、图 4G)。

3.2 矿石特征

依据矿化组合特征,杨斜金矿床矿石类型可划分为 2 种,即石英脉型(图 5A、图 5B、图 5C、图 5D)和蚀变岩型(图 5E),以前者为主。其中,石英脉型矿石中金属矿物主要为黄铁矿(5%~30%)、黄铜矿(1%~3%)及闪锌矿(1%~3%),次为方铅矿(1%~2%)和黝铜矿,含少量自然金和斑铜矿;非金属矿物以石英(50%~70%)、钾长石(5%~15%)和绢云母(2%~5%)为主,见绿泥石与少量方解石。蚀变岩型矿石中金属矿物含量低于前者,以黄铁矿为主,其他金属硫化矿物少见,多次生氧化为褐铁矿、孔雀石及蓝铜矿。



A—D. 石英脉型金矿石: A. 脉状构造; B. 细脉-网脉状构造; C. 角砾状构造; D. 斑杂状构造; E. 蚀变岩型金矿石; F. 多孔状构造; G. 裂隙金, 早世代细脉状黄铜矿交代黄铁矿; H. 包体金; I. 交代网纹结构; J. 交代结构, 闪锌矿交代黝铜矿, 方铅矿沿边部或裂隙浸蚀闪锌矿; K. 浸(溶)蚀结构、固溶体分离结构, 方铅矿交代闪锌矿与晚世代固溶体黄铜矿; L. 反应边结构、交代残余结构; M. 包含结构、交代结构, 方铅矿包含或交代自形黄铁矿; N. 交代残余结构, 方铅矿交代黝铜矿呈港湾状; O. 反应边结构, 蓝铜矿沿边部交代黄铜矿; Au. 自然金; Py. 黄铁矿; Cpy. 黄铜矿; Thr. 黝铜矿; Sp. 闪锌矿; Gn. 方铅矿; Mal. 孔雀石; Az. 蓝铜矿; Lm. 褐铁矿; Qz. 石英

图 5 杨斜金矿床的矿石类型与典型组构照片

Fig. 5 Photographs of ore types and typical ore fabrics in the Yangxie gold deposit

黄铁矿是最主要的载金矿物,多呈自形-半自形立方体状,粒径为 0.05~1.10 mm,裂纹极为发育,局部受应力破碎呈压碎结构。见黄铜矿、闪锌矿和方铅矿沿其裂纹交代充填,构成交错结构(图 5G)和交代网状结构(图 5I);次生氧化褐铁矿多沿黄铁矿边部或内部交代,形成反应边结构、交代残余结构和假象结构(图 5L),蜂窝状和多孔状构造(图 5F)。

自然金呈不规则状、棒状或椭圆状颗粒,以高反射率和金黄反射色为鉴定特征,粒径为 30~100 μm ,主要以裂隙金赋存于黄铁矿裂纹中(图 5G),次以包体金形式包裹于黄铜矿中(图 5H),脉石石英中含 Au 量较少。

矿石构造主要为脉状(图 5A)、细脉-网脉状(图 5B)、浸染状、斑杂状(图 5D)和角砾状构造(图 5C),可见晶簇状、梳状及多孔状构造(图 5F)等。矿石结构包括自形-半自形晶结构、他形晶结构(图 5H)、固溶体分离结构(图 5K)、交错结构(图 5G)、交代网状结构(图 5I)、浸(溶)蚀结构(图 5K)、反应边结构(图 5O)、交代残余结构(图 5L、N)和包含结构(图 5M)。此外,假象结构、压碎结构亦可见。

3.3 围岩蚀变与成矿期次

杨斜金矿床围岩蚀变强烈,主要包括钾化、硅化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化和绿泥石化。其中,钾化、硅化及黄铁矿化为主要近矿蚀变类型,与金成矿关系最为密切。围岩蚀变水平分带明显,以含金石英脉为中心,向外依次为钾化带→硅化-黄铁矿化-绢云母化带(近矿蚀变带)→绢云母化-碳酸盐化-绿泥石化带(远矿蚀变带)。围岩蚀变带可作为本区关键的找矿标志,尤其是钾化带和硅化-黄铁矿化带。

根据不同脉体的穿切关系及矿物共生组合,可将杨斜金矿床成矿过程划分为热液成矿期与表生氧化期,前者可进一步划分为 4 个成矿阶段。

I:钾长石-石英阶段(Kf+Qz1),由钾长石-石英脉及浸染状黄铁矿组成。脉体呈浅肉红色,宽 5~10 cm,局部可膨大至 20 cm,主要分布于矿脉两侧,见灰白色石英脉切穿钾长石-石英脉(图 4D)。该阶段仅见少量黄铁矿,金矿化极弱。

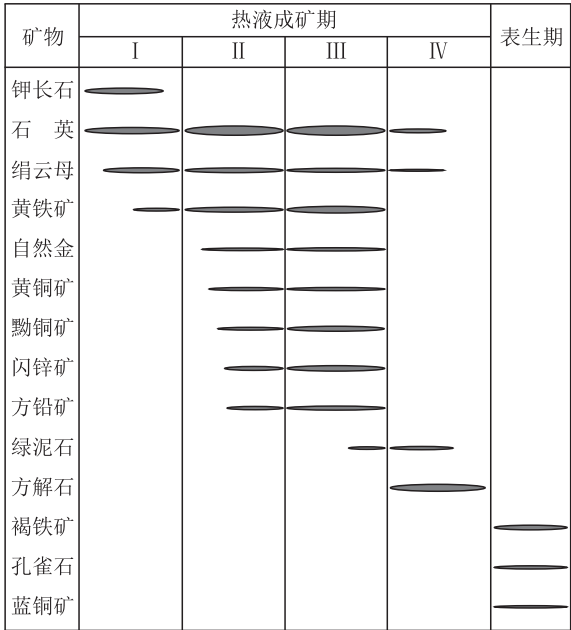
II:石英-粗粒黄铁矿-自然金阶段(Qz2),为金的主成矿阶段之一。脉宽为 20~60 cm,走向延伸一般大于 100 m,具明显分支复合现象。石英呈灰白色,粗粒黄铁矿呈稀疏浸染状分布,含量约为 5%

~10%;自然金以裂隙金为主,局部富矿段可见明金。见其切穿钾长石-石英脉,且被烟灰色石英脉所错动(图 4E)。

III:石英-细粒黄铁矿-自然金-多金属硫化物阶段(Qz3),为金的主成矿阶段。脉宽为 0.1~1.2 m,赋存于北西-北北西向陡倾断裂中,局部显示左行走滑特征。其中,石英呈烟灰色角砾状或弥散状,细粒黄铁矿等多金属硫化物呈浸染状、脉状-网脉状或团斑状分布于脉体中,含量约为 10%~20%;自然金主要呈包体金形式赋存于硫化物中。其切穿灰白色含金石英脉,且被晚期方解石细脉所穿插(图 4F)。

IV:碳酸盐阶段(Cal),热液成矿期的最晚阶段,以方解石细脉-网脉为主。脉体主要赋存于远离矿体的围岩中,宽 3~5 cm,无矿化显示。见其充填于烟灰色石英脉与煌斑岩脉中(图 4F、图 4I)。

表生氧化期主要为近地表环境中,原生硫化物经氧化淋滤而发生次生蚀变,黄铁矿-黄铜矿-多金属硫化物组合次生蚀变为褐铁矿、孔雀石和蓝铜矿。矿石多具交代残余结构、骸晶结构或假象结构(图 5L、图 5O),常见多孔状、蜂窝状构造(图 5F)。主要矿物的生成顺序见图 6。



I. 钾长石-石英阶段; II. 石英-粗粒黄铁矿-自然金阶段; III. 石英-细粒黄铁矿-自然金-多金属硫化物阶段; IV. 碳酸盐阶段

图 6 杨斜金矿床的矿物生成顺序图

Fig. 6 Mineral paragenesis of the Yangxie gold deposit

4 控矿因素探讨

综上所述,根据区域成矿地质背景、矿区及矿床地质特征,可知杨斜金矿床主要受断裂、围岩、岩体及岩脉的控制。各要素与成矿关系探讨如下。

4.1 断裂对成矿流体的控制

主要表现为限制成矿流体运移与提供容矿空间。丰北河-杨斜断裂为区域规模最大的断裂构造,对成矿流体向北运移具有明显的屏蔽作用,成矿带内已知金、钨矿床(点)大多数分布于该断裂的南部(图1B)。北东-北北东与北西-北北西向的次级断裂为杨斜金矿床的主要容矿构造,控制着矿体的空间展布及形态特征。控矿断裂面光滑平直,陡倾斜(倾角 70° 以上),呈直线延伸,显示以扭为主,兼具压性、张性特征(罗旭,1991)。其多次力学性质的转换与金成矿关系密切,早期以扭张为主形成断裂面及构造岩,中期转换为张扭引发含金石英脉充填贯入,晚期显压扭致使石英-多金属硫化物脉破碎,故形成复杂的矿石组构,如晶洞状、细脉-网脉状及角砾状构造和压碎结构等(图5A、图5B、图5C)。控矿断裂对矿化蚀变分带具有控制作用,即两侧主要为较高温的钾硅化-黄铁矿化,向内为略低温的黄铁矿-自然金-多金属矿化。断裂的多次开合与成矿流体充填交代为成矿物质富集提供了有利条件,不同力学性质的转换导致成矿的多阶段性。

4.2 围岩对矿体赋存的控制

新元古代杨斜片麻岩套(Pt_3gn)为矿区主要的赋矿层位,金、钨矿脉(体)全部产于其北东-北北东或北西-北北西向张扭性与压扭性断裂中。中国地质调查局西安矿产资源调查中心2019年化探分析结果显示,杨斜片麻岩套Au元素的富集系数(K)为2.06,成矿有利度系数(Ma)为9.11,变异系数(Cv)为4.43,三级异常浓度分带明显,其成矿条件远优于其他地层单元,暗示金成矿与杨斜片麻岩套关系密切。围岩蚀变主要为钾化、硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化,虽不构成工业矿体,但近矿蚀变仍具弱金矿化显示,且其与中基性岩脉的侵入接触面是重要的成矿结构面(图4A、图4G)。

4.3 岩体对矿化分带的控制

杨斜地区金、钨(金)及钨矿床(点)的空间展布

受控于印支期沙河湾花岗岩(图7)(葛战林等,2020)。距岩体2 km的内部和接触带边部为钼、钨矿化(大蛇沟一带钨矿床、生地沟钨(钼)矿点),矿物组合为辉钼矿-黑钨矿-白钨矿-黄铁矿等中高温组合;距岩体2~6 km的外接触带以钨、金、银矿化为主(杨屋场-庙台子钨金矿床),钨、钼矿化减弱,主要为白钨矿-少量黑钨矿-黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿-方铅矿-黝铜矿等中温矿物组合;远离岩体达6 km以外地段为金、银、铅、锌矿化(杨斜金矿床),无钨、钼矿化,主要为黄铁矿-自然金-黄铜矿-黝铜矿-方铅矿-闪锌矿的中低温矿物组合(图5)。矿化类型与矿物组合的空间分带性暗示成矿流体可能源于岩浆热液。

4.4 岩脉对成矿时代的限定

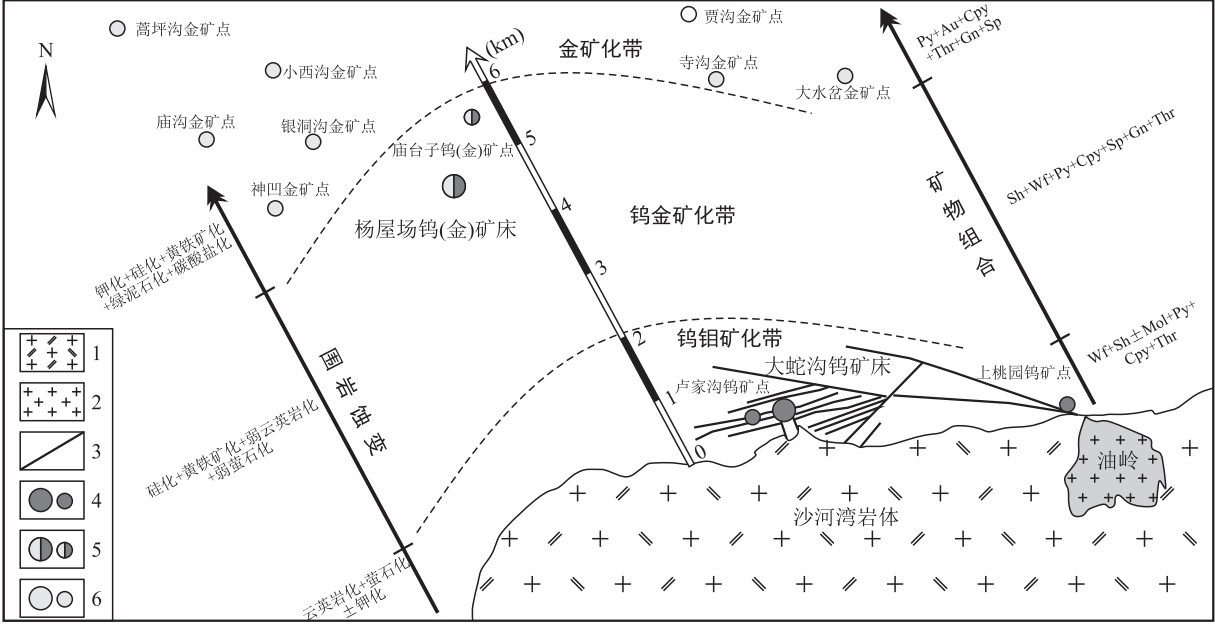
矿区酸性至基性岩脉极为发育,以闪长玢岩脉、煌斑岩脉与金成矿关系最为密切,多处矿脉赋存于其与围岩的侵入接触面,且截切岩脉。前人对本区岩脉的研究结果表明,煌斑岩脉黑云母的 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 年龄为 (219 ± 2) Ma(Wang et al., 2007),闪长质岩脉锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄为 (211.4 ± 2.0) Ma(张成立等,2009),中基性岩浆主要来源于深部略富集地幔的部分熔融,形成于南北秦岭碰撞造山后的伸展环境。由此限定,杨斜金矿床的成矿时代应不早于晚三叠世。

5 找矿标志

对矿床地质特征与控矿因素的探讨对本区金矿找矿勘查具有重要指导作用。杨斜地区金矿主要找矿标志包括:①构造标志,北东-北北东与北西-北北西向含Au脉断裂破碎带。②围岩蚀变标志,钾化、硅化及黄铁矿化为近矿蚀变标志,绿泥石与碳酸盐化为远矿蚀变标志。③矿化标志,黄铁矿-多金属硫化物石英脉为直接找矿标志。④脉岩标志,闪长玢岩脉、煌斑岩脉可作为间接找矿标志之一。

6 结论

综上所述,根据成矿地质背景、矿体产出特征、矿物共生组合、围岩蚀变及成矿期次等特征,笔者认为杨斜金矿床的成因类型属于中-低温热液矿床,成矿时代不早于晚三叠世。



1. 二长花岗岩;2. 花岗岩;3. 断层;4. 钨矿床及矿点;5. 钨(金)矿床及矿点;6. 金矿床及矿点;Mol. 辉钼矿;Wf. 黑钨矿;Sh. 白钨矿;Au. 自然金;Py. 黄铁矿;Cpy. 黄铜矿;Thr. 黝铜矿;Sp. 闪锌矿;Gn. 方铅矿

图 7 杨斜地区金钨成矿分带示意图

Fig. 7 Schematic diagram of Au - W metallogenetic zoning in Yangxie area

区域丰北河-杨斜深大断裂对含 Au 成矿流体向北运移起屏蔽作用,而矿区内的北东-北东东与北西-北西西向次级断裂是主要的控矿及容矿构造。新元古代杨斜片麻岩套(Pt₃gn)是金矿体的主要赋矿围岩,但金成矿对其内部不同岩相并无明显的选择性。近矿围岩蚀变的钾化、硅化、黄铁矿化,顺次级断裂产出的黄铁矿-多金属矿化石英脉是杨斜地区金矿找矿的主要标志。距印支期沙河湾岩体 6 km 外的杨斜金矿勘查区外围仍具有良好的成矿条件与找矿潜力。

参考文献(References):

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]. Geology in China, 2010, 37(4): 854-865.

陈毓川, 王平安, 秦克令, 等. 秦岭地区主要金属矿床成矿系列的划分及区域成矿规律探讨[J]. 矿床地质, 1994, 13(4): 289-298.

CHEN Yuchuan, WANG Ping'an, QIN Keling, et al. Met-

allogenic series of main ore deposits and regional metallogeny in the Qinling area[J]. Mineral Deposits, 1994, 13(4): 289-298.

葛战林, 郑艳荣, 郝迪, 等. 东秦岭杨斜-丰北河成矿带杨屋场钨(金)矿床地质特征及成因探讨[J]. 西北地质, 2020, 53(3): 140-152.

GE Zhanlin, ZHENG Yanrong, HAO Di, et al. On the geological characteristics and genesis of Yangwuchang tungsten(gold) deposit in the Yangxie-Fengbeihe metallogenetic belt, East Qinling[J]. Northwestern Geology, 2020, 53(3): 140-152.

弓虎军, 朱赖民, 孙博亚, 等. 南秦岭沙河湾、曹坪和柞水岩体锆石 U - Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(2): 248-264.

GONG Hujun, ZHU Laimin, SUN Boya, et al. Zircon U - Pb ages and Hf isotope characteristics and their geological significance of the Shahewan, Caoping and Zhashui granitic plutons in the South Qinling orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(2): 248-264.

胡健民, 崔建堂, 孟庆任, 等. 秦岭柞水岩体锆石 U - Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质评论, 2004, 50(3): 323-329.

HU Jianmin, CUI Jiantang, MENG Qingren, et al. The U - Pb age of zircons separated from the Zhashui granite in Qinling orogen and its significance[J]. Geological Re-

- view, 2004, 50(3): 323-329.
- 黄倩雯, 时毓, 覃康乐, 等. 秦岭岩群(杂岩)侵入体的年代学、地球化学特征及其对古生代构造运动的指示[J]. 地质与勘探, 2019, 55(5): 1185-1201.
- HUANG Qianwen, SHI Yu, QIN Kangle, et al. Geochronology and geochemistry of intrusions in the Qinling Complex: Implications for the Paleozoic tectonic evolution[J]. *Geology and Exploration*, 2019, 55(5): 1185-1201.
- 李曙光, 陈移之, 张宗清, 等. 北秦岭拉圾庙苏长辉长岩的痕量元素和 Sr, Nd 同位素地球化学[J]. 地质学报, 1993, 67(4): 310-322.
- LI Shuguang, CHEN Yizhi, ZHANG Zongqing, et al. Trace elements and Sr, Nd isotopic geochemistry of the Lajimiao norite-gabbro from the north Qinling belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1993, 67(4): 310-322.
- 李万生. 杨斜断裂以南元古代古侵入体的厘定及其地质意义[J]. 陕西地质, 1996, 14(2): 22-32.
- LI Wansheng. Metamorphosed intrusives to the south of Yangxie fracture and the significance in geology[J]. *Geology of Shaanxi*, 1996, 14(2): 22-32.
- 刘春花, 吴才来, 郜源红, 等. 南秦岭东江口、柞水和梨园堂花岗岩类锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学与锆石 Lu-Hf 同位素组成[J]. 岩石学报, 2014, 30(8): 2402-2420.
- LIU Chunhua, WU Cailai, GAO Yuanhong, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and Lu-Hf isotopic system of Dongjiangkou, Zhashui, and Liyuantang granitoid intrusions, South Qinling belt, central China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(8): 2402-2420.
- 刘军锋, 孙勇, 孙卫东. 秦岭拉鸡庙镁铁质岩体锆石 LA-ICP-MS 年代学研究[J]. 岩石学报, 2009, 25(2): 320-330.
- LIU Junfeng, SUN Yong, SUN Weidong. LA-ICP-MS zircon dating from the Lajimiao mafic complex in the Qinling orogenic belt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(2): 320-330.
- 刘凯, 任涛, 孟德明, 等. 秦岭造山带柞水-山阳矿集区斑岩型铜矿成矿规律及找矿方向分析[J]. 地质与勘探, 2014, 50(6): 1096-1108.
- LIU Kai, REN Tao, MENG Deming, et al. Metallogenic regularities of porphyry copper deposits and prospecting direction in the Zhashui-Shanyang ore concentration area, Qin Ling Orogenic Belt[J]. *Geology and Exploration*, 2014, 50(6): 1096-1108.
- 罗旭. 陕西杨斜-丰北河地区金钨矿控脉(矿)断裂构造特征及演化与成矿关系分析[J]. 陕西地质, 1991, 9(1): 1-9.
- LUO Xu. The characteristics of the fracture tectonic controlling veins(ores) and the relationship between the tectonic evolution and ore-forming in the gold-wolfram deposit in the Yangxie-Fengbeihe area in Shaanxi[J]. *Geology of Shaanxi*, 1991, 9(1): 1-9.
- 毛景文. 西秦岭地区造山型与卡林型金矿床[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(1): 11-13.
- MAO Jingwen. Geology, distribution and classification of gold deposits in the western Qinling belt, Central China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(1): 11-13.
- 裴先治, 李厚民, 李国光, 等. 东秦岭商丹构造带主要地质体的同位素年龄及其构造意义[J]. 地球学报, 1997, 18(S): 40-42.
- PEI Xianzhi, LI Houmin, LI Guoguang, et al. Isotopic geochronology of the major geological units in the Shangdan structural zone for East Qinling and its tectonic implication[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1997, 18(S): 40-42.
- 陕西省地质调查院. 中国区域地质志·陕西志[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- Shaanxi Institute of Geological Survey. The Regional Geology of China, Shaanxi Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- 王宗起, 闫全人, 闫臻, 等. 秦岭造山带主要大地构造单元的新划分[J]. 地质学报, 2009, 83(11): 1527-1546.
- WANG Zongqi, YAN Quanren, YAN Zhen, et al. New Division of the main tectonic units of the Qinling orogenic belt, Central China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(11): 1527-1546.
- 王宗乾. 商州市杨斜钨金矿地球化学特征及成因分析[J]. 陕西地质, 1994, 12(2): 14-21.
- WANG Zongqian. Genetic analysis for W-Au deposit in Yangxie, Shangzhou[J]. *Geology of Shaanxi*, 1994, 12(2): 14-21.
- 杨恺, 刘树文, 李秋根, 等. 秦岭柞水岩体和东江口岩体的锆石 U-Pb 年代学及其意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 45(5): 841-847.
- YANG Kai, LIU Shuwen, LI Qiugen, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology and geological significance of Zhashui granitoids and Dongjiangkou granitoids from Qinling, Central China[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2009, 45(5): 841-847.
- 姚书振, 丁振举, 周宗桂, 等. 秦岭造山带金属成矿系统[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2002, 27(5): 599-604.

- YAO Shuzhen, DING Zhenju, ZHOU Zonggui, et al. Metallogenic system of Qinling orogen[J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(5): 599-604.
- 张成立, 王晓霞, 王涛, 等. 东秦岭沙河湾岩体成因—来自锆石 U-Pb 定年及其 Hf 同位素的证据[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 453-465.
- ZHANG Chengli, WANG Xiaoxia, WANG Tao, et al. Origin of Shahewan granite intrusion in Eastern Qinling: evidences from zircon U-Pb dating and Hf isotopes[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2009, 39(3): 453-465.
- 张复新, 肖丽, 齐亚林. 卡林型-类卡林型金矿勘查与研究回顾及展望[J]. 中国地质, 2004, 31(4): 406-412.
- ZHANG Fuxin, XIAO Li, QI Yalin. Exploration and study of Carlin and Carlin-like type gold deposits: review and prospect[J]. Geology in China, 2004, 31(4): 406-412.
- 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 秦岭-大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识: 兼论中国大陆主体的拼合[J]. 地质通报, 2004, 23(9-10): 846-853.
- ZHANG Guowei, CHENG Shunyou, GUO Anlin, et al. Mianlue pale-suture on the southern margin of the Central Orogenic System in Qinling-Dabie — with a discussion of the assembly of the main part of the continent of China[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9-10): 846-853.
- 张国伟, 郭安林, 董云鹏, 等. 关于秦岭造山带[J]. 地质力学学报, 2019, 25(5): 746-768.
- ZHANG Guowei, GUO Anlin, DONG Yunpeng, et al. Rethinking of the Qinling orogen[J]. Journal of Geomechanics, 2019, 25(5): 746-768.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng, et al. Qinling orogenic belt and continental dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001.
- 张宗清, 刘敦一, 付国民. 北秦岭变质地层同位素年代研究[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- ZHANG Zongqing, LIU Dunyi, FU Guomin. Isotopic dating of metamorphic strata in North Qinling, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994.
- 赵东宏, 杨忠堂, 李宗会, 等. 秦岭成矿带成矿地质背景及优势矿产成矿规律[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- ZHAO Donghong, YANG Zhongtang, LI Zonghui, et al. Metallogenic geological background and metallogenic regularity of dominant minerals in Qinling metallogenic belt[M]. Beijing: Science Press, 2019.
- 赵峰, 曹泽高, 王延华, 等. 曹家坪幅 I-49-75-D 红岩寺幅 I-49-76-C 1/5 万区域地质调查报告[R]. 陕西: 陕西省地矿局区域地质调查队, 1984.
- 朱赖民, 张国伟, 李森, 等. 秦岭造山带重大地质事件、矿床类型和成矿大陆动力学背景[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(4): 384-390.
- ZHU Laimin, ZHANG Guowei, LI Ben, et al. Main geological events, genetic types of Metallic Deposits and their geodynamical setting in the Qinling orogenic belt [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27(4): 384-390.
- Dong Yunpeng, Santosh M. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China [J]. Gondwana Research, 2016, 29(01): 1-40.
- Dong Yunpeng, Zhang Guowei, Franz N, et al. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 41(03): 213-237.
- Wang Xiaoxia, Wang Tao, Jahn Bor-ming, et al. Tectonic significance of the Late Triassic post-collisional lamprophyre dykes from the Qinling Mountains (China) [J]. Geological Magazine, 2007, 144(5): 837-848.
- Yan Zhen, Wang Zongqi, Yan Quanren, et al. Devonian sedimentary environments and provenances of the Qinling orogen: Constraints on Late Paleozoic southward accretion of the North China Craton[J]. International Geology Review, 2006, 48: 585-618.