

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.03.012

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

葛战林,郑艳荣,郝迪,张晓星,李晓东,华利鹏,景永康

(中国地质调查局西安矿产资源调查中心(中国人民武装警察部队黄金第五支队),陕西 西安 710100)

摘 要:杨屋场小型钨(金)矿床位于东秦岭杨斜-丰北河金钨成矿带东段。通过野外调查、岩矿鉴定及综合研究,查明了该矿床的地质特征与控矿因素,探讨了矿床成因,初步建立其“三位一体”找矿预测模型,可为杨斜地区钨金找矿提供一定的借鉴。研究表明,矿体赋存于商丹断裂带内北东—北北东走向的缓倾断裂,围岩为新元古代杨斜片麻岩套。矿石金属矿物为黄铁矿、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿及黝铜矿等中-高温组合。成矿过程包括热液成矿期与表生期,前者可划分为石英-细粒黄铁矿、石英-黑钨矿-白钨矿-多金属硫化物和石英-方解石-绢云母 3 个成矿阶段,围岩蚀变以硅化、黄铁矿化和白云母化为主。矿床的成矿作用受印支期花岗岩、断裂构造及围岩控制,成因应属于岩浆期后热液矿床。

关键词:地质特征;矿床成因;“三位一体”找矿预测;杨屋场钨(金)矿床;东秦岭

中图分类号:P618.67

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2020)03-0140-13

On the Geological Characteristics and Genesis of Yangwuchang Tungsten (Gold) Deposit in the Yangxie-Fengbeihe Metallogenetic Belt, East Qinling

GE Zhanlin, ZHENG Yanrong, HAO Di, ZHANG Xiaoxing, LI Xiaodong,
HUA Lipeng, JING Yongkang

(Xi'an Center of Mineral Resources Survey, China Geological Survey (No. 5 Gold Geological Party of PAPF),
Xi'an 710100, Shaanxi, China)

Abstract: The Yangwuchang tungsten (gold) deposit is located in the eastern part of the Yangxie-Fengbeihe gold-tungsten metallogenetic belt, east Qinling. Through field survey, ore identification and comprehensive studies, this paper clarified the geological characteristics and ore-controlling factors of the deposit, discussed genesis of ore deposit, and preliminarily established the trinity prospecting prediction model, which provides a direction for further W-Au prospecting in Yangxie area. The results show that the ore bodies occur in the NE-NEE faults in the Shangdan fault zone, and are hosted in the Neoproterozoic Yangxie gneiss suite. The metal minerals are medium-high temperature mineral assemblages of pyrite, wolframite, scheelite, chalcopyrite, sphalerite, galena and tetrahedrite. Ore-forming process in-

收稿日期:2019-12-02;修回日期:2020-05-11

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:葛战林(1992-),男,硕士研究生,助理工程师,矿物学、岩石学、矿床学专业,主要从事矿床学及矿床地球化学研究。

E-mail:gezhanlin@163.com

cludes hydrothermal mineralization and supergene periods. The former can be divided into three metallogenic stages: quartz-fine-grained pyrite stage, quartz-wolframite-scheelite-polymetallic sulfide stage and quartz-calcite-sericite stage. Wall-rock alteration is mainly silicification, pyritization and muscovitization. The genesis of this deposit is considered to be a post-magmatic hydrothermal deposit, controlled by the Indosinian granite, faults and wall rock.

Keywords: geological characteristics; genesis of ore deposit; trinity prospecting prediction model; Yangwuchang tungsten (gold) deposit; East Qinling

秦岭造山带位于中央造山带的核心地段,是经历长期多次不同构造体制演化且长期分隔中国华北与扬子两陆块的复合型大陆造山带(图1A),在中国大陆的形成与演化中占有重要地位(张国伟等,1995,1996,2001)。迄今,研究表明,秦岭造山带主要构造单元由商丹、勉略2条主缝合带(蛇绿构造混杂岩带),可划分为华北板块南部、扬子板块北缘及其间的秦岭微板块(图1B)(ZHANG, et al., 1995; 张国伟等,2003; MENG, et al., 2000)。其在形成及演化过程中存在多期构造复合活动、壳-幔物质交换,长期复杂的地表-深部地质作用、构造-岩浆-流体活动主导成矿系统与造山作用耦合,形成了该区独具特色的矿产资源和矿床分布格局(陈毓川等,1994;朱赖民等,2009;丁坤等,2018)。目前,在秦岭造山带内已发现金属矿床400余处,以金、铅、锌、银、铜、汞、锑等为主要优势矿种,且矿床类型在空间分布上存在明显差异,西秦岭主要为SEDEX和卡林-类卡林型矿床,东秦岭则以斑岩-矽卡岩型钼(钨)矿床、VMS矿床和岩浆热液脉型金等高中温热液矿床为主(姚书振等,2002;朱赖民等,2008;陈国忠等,2017)。杨斜-丰北河金钨成矿带即产于东秦岭地区的商丹断裂带内。

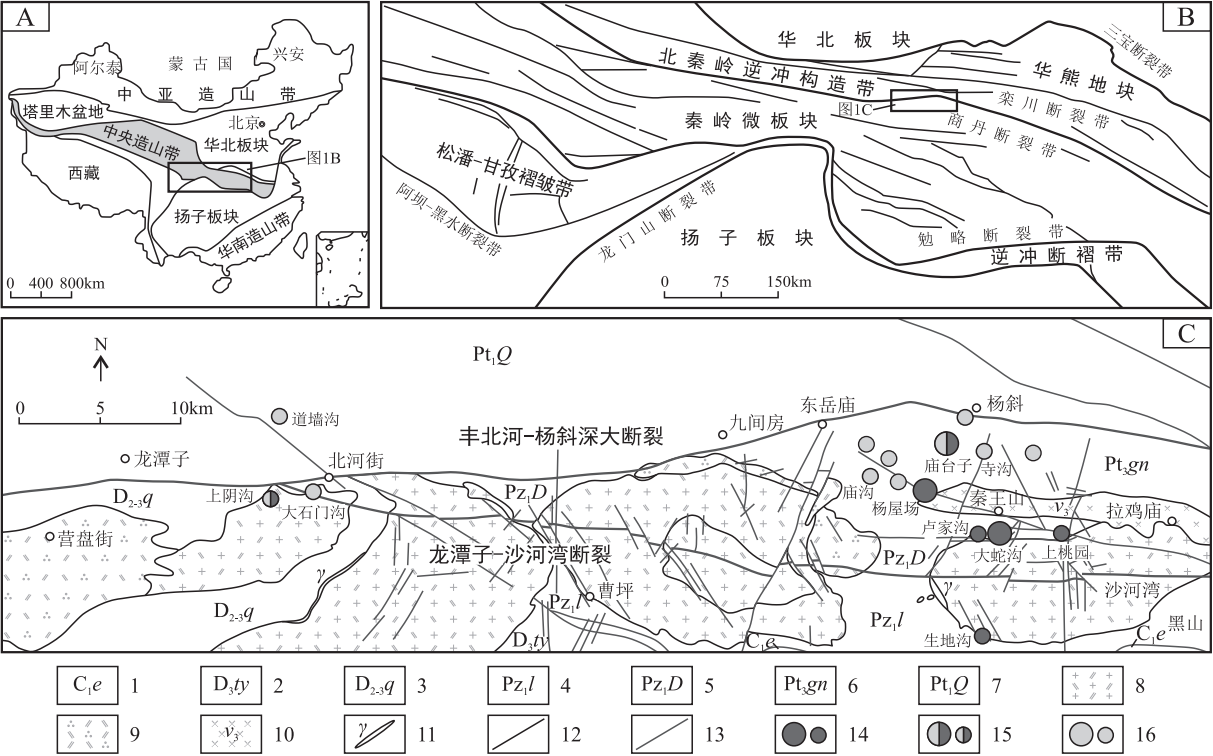
杨斜-丰北河金钨成矿带是陕南重要的金、钨及多金属成矿带之一,带内大小金、钨矿床(点)多达10余处,典型矿床包括丰北河金矿床、大蛇沟钨矿床和杨屋场钨(金)矿床等。杨屋场小型钨(金)矿床位于陕西省商洛市商州区杨斜镇石道峪内,地理坐标为东经 $109^{\circ}37'40''\sim 109^{\circ}38'37''$,北纬 $33^{\circ}48'38''\sim 33^{\circ}49'11''$,1989年由陕西省地质矿产局第十三地质队在矿产普查中所发现,至今累计探明钨(WO_3)工业储量6 028余t(丰源矿业有限公司)。该矿床以钨矿为主,伴生金、银矿化,是杨斜地区成矿作用由钨转换至金的关键成矿期的典型代表,但前人的研究仅聚焦于杨斜-丰北河金钨成矿带的控矿

构造特征与区域成矿规律(罗旭,1991;王宗乾,1994),对该矿床的地质特征、成矿规律和控矿因素等基础研究未见报道。笔者通过对杨屋场钨(金)矿床成矿地质背景、矿体特征、成矿期次、围岩蚀变特征及矿物生成顺序的综合研究,系统阐述了矿床地质特征与主要控矿因素,探讨了矿床成因,初步建立了其“三位一体”找矿预测模型,以期为该区金钨找矿提供一定依据,丰富对区域成矿过程与成矿规律的认识。

1 区域地质背景

东秦岭杨斜—丰北河地区处于华北板块与秦岭微板块俯冲碰撞的商丹断裂带中。商丹断裂带远非单一东西向横贯秦岭、分割南北的深大断裂,而是以板块俯冲、碰撞界面为主导,以多期复合断裂为骨架的具有复杂构成和长期演化历史与重要分划性的边界地质体(张国伟等,2001)。研究区以丰北河-杨斜大断裂(区域商丹断裂)为界,其北为华北陆块南缘活动陆缘区的北秦岭逆冲构造带,以南为商丹结合带主要地质实体(图1C)。

区域出露地层主要为丰北河-杨斜断裂北侧的古元古界秦岭岩群(Pt_1Q),南侧的下古生界丹凤岩群(Pz_1D)、下古生界罗汉寺组(Pz_1I)和泥盆-石炭系(D—C)。其中,秦岭岩群为一套变质程度达角闪岩相的中深变质岩系,原岩为陆源碎屑岩-碳酸岩盐建造,岩性主要为黑云更长片麻岩、角闪斜长片麻岩、石榴子石夕线石云斜片麻岩、斜长角闪片岩和石墨大理岩等。丹凤岩群呈东西向展布于龙潭子-沙河湾断裂与丰北河-杨斜大断裂之间,以变中基性火山岩为主,具类蛇绿岩套特征,属古火山岛弧环境,岩性包括黑云斜长片岩、斜长角闪片岩、绿帘透闪石片岩等。罗汉寺组为一套浅变质、强变形有层无序的火山-沉积岩系,岩性以变砂岩为主夹绿泥绢云千



1. 下石炭统二峪河组; 2. 上泥盆统桐峪寺组; 3. 中上泥盆统青石垭组; 4. 下古生界罗汉寺组; 5. 下古生界丹凤岩群; 6. 新元古代杨斜片麻岩套; 7. 古元古界秦岭岩群; 8. 二长花岗岩; 9. 石英二长岩; 10. 辉长岩; 11. 花岗岩脉; 12. 地质界线; 13. 断层; 14. 钨矿床及矿点; 15. 金钨矿床及矿点; 16. 金矿床及矿点

图 1 (A)中国构造单元区划、(B)秦岭造山带主要构造单元(据 ZHOU,et al. , 2014)和(C)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 subdivisions of China, showing the location of the Qinling Orogen, (B)tectonic subdivision of the Qinling Orogen, showing the location of the Yangxie-Fengbeihe metallogenetic belt and(C) geological sketch map of the Yangxie-Fenbeihe area

枚岩、黑云斜长片岩、石英岩等,属弧前盆地沉积(陕西省地质调查院,2017)。泥盆—石炭系仅在龙潭—沙河湾断裂以南、花岗岩体之间或边部零星出露,主要包括青石垭组($D_{2-3}q$)、桐峪寺组(D_3ty)及二峪河组(C_1e),岩性以砂岩、粉砂岩、板岩、千枚岩为主夹灰岩、白云岩组合。

杨斜-丰北河地区岩浆活动强烈,岩体侵入集中于晋宁期、加里东期和印支期 3 个时期,以印支期岩浆活动最为强烈,分布最为广泛。其中,晋宁期杨斜片麻岩套(Pt_3gn)为秦岭岩群解体出的最古老变质侵入体,原岩恢复属于典型的钙碱性 I 型花岗岩,形成于古秦岭洋板块向北秦岭活动陆缘俯冲的火山弧环境(李万生,1996)。加里东期秦王山镁铁质杂岩体呈东西向延长的豆荚状,长约 30 km,宽 1~2 km,苏长辉长岩 Sm-Nd 等时线、闪长岩 LA-

ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及 Sr-Nd 同位素研究表明,岩体成岩年龄为 $(402.6 \pm 17.4) \sim (422 \pm 7)$ Ma,属于岛弧环境的产物(李曙光等,1989,1993;张稳胜等,1990;刘军锋等,2009)。印支期花岗岩带包括东江口岩体(246.8~209 Ma)(孙卫东等,2000;弓虎军等,2009a;杨恺等,2009;刘春花等,2014)、柞水岩体(233.6~199 Ma)(胡健民等,2004;杨恺等,2009;刘春花等,2014)、曹坪岩体(224.1~220 Ma)(弓虎军等,2009b;JIANG, et al. , 2010)和沙河湾环斑花岗岩(240.6~212 Ma)(张宗清等,1999;卢欣祥等,1999;刘春花等,2013),主体属于准铝质-过铝质钙碱性或高钾钙碱性 I 型花岗岩,成岩年龄集中于 230~210 Ma,略晚于秦岭造山带主造山期 (242 ± 21) Ma(张国伟等,2004)。

研究区断裂构造发育,以区域东西向展布的主干

断裂为主要构造格架。其中,丰北河-杨斜深大断裂属于商丹带北界的一段,呈东西向延伸约 70 km,断裂破碎带宽数十米至百余米,断面多向北倾伏,倾角 $50^{\circ}\sim 78^{\circ}$,该断裂具多期活动特征,韧性推覆剪切主要发生于加里东期,脆、韧-脆性剪切走滑发生于印支期及其以后,新生代以脆性变形为主(赵东宏等,2019)。龙潭子-沙河湾断裂呈东西向舒缓波状延伸大于 50 km(走向 100°),宽 2~20 m,断面北倾,倾角 $60^{\circ}\sim 85^{\circ}$,切穿早期岩脉及印支期花岗岩体。此外,区域性北东与北西-北西西系向断裂构造亦较为发育,其次级断裂为本区主要的控矿构造(罗旭,1991)。

杨斜-丰北河金钨成矿带中的矿床(点)集中分布于丰北河-杨斜断裂南侧,矿脉(体)主要受区域主干断裂及其次级断裂所控制,具成群成带展布特征,杨屋场钨(金)矿床即产出于该成矿带的东段。

2 矿区地质特征

杨屋场钨(金)矿床位于商洛市商州区石道峪

内,属于杨斜-丰北河金钨成矿带东段,矿区东侧紧邻加里东期秦王山镁铁质基性杂岩体,南距印支期沙河湾斑花岗岩体约 4 km。矿脉(体)产于混合岩化的黑云斜长片麻岩套中,受商丹断裂带内的北东-北东东向次级张扭性断层所控制。

2.1 地层

矿区出露的地层为新元古代杨斜片麻岩套(Pt_3gn)、混合岩及第四系(图 2)。杨斜片麻岩套(晋宁期古变质侵入体)于 1996 年被解体为 4 个单元,即任家院角闪斜长片麻岩单元(Rgn)、蒿坪沟黑云角闪斜长片麻岩单元(Hgn)、石道峪黑云斜长片麻岩单元($Sdgn$)和大水岔二长片麻岩单元(Dgn)(李万生,1996)。其中,石道峪黑云斜长片麻岩单元为杨屋场钨(金)矿体的主要赋矿岩系,包括眼球状黑云斜长片麻岩(Ygn)、眼球状夹条痕状黑云斜长片麻岩($Ygn+Tgn$)、条痕状夹眼球状黑云斜长片麻岩($Tgn+Ygn$)及矿区南东部的少量花岗片麻岩(Ggn),各岩相之间呈渐变过渡关系,片麻理倾向北西-北东,倾角 $55^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。

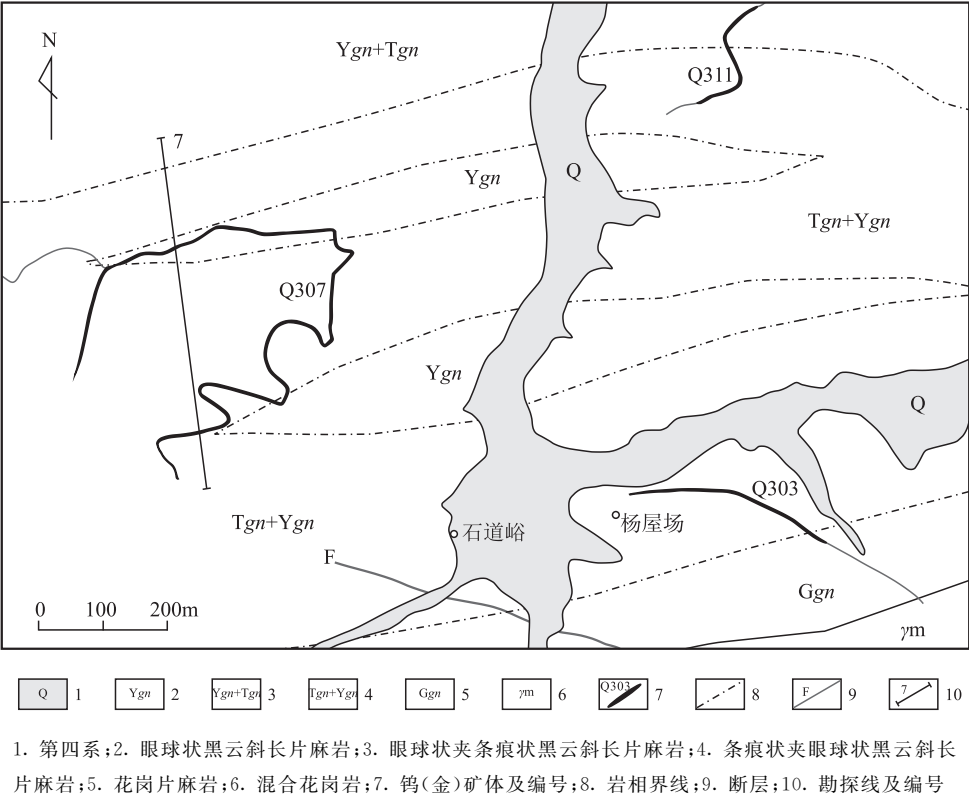


图 2 杨屋场钨(金)矿床地质图(据陕西冶金设计研究院有限公司,2013)

Fig. 2 Geological map of the Yangwuchang tungsten(gold) deposit

混合花岗岩仅在矿区南东部有少量出露。第四系多分布于矿区中部沟谷发育处,主要为冲、洪积物与残坡积物。

2.2 构造

区内构造相对单一,以丰北河-杨斜深大断裂的次级北东—北东东向张扭性断裂为主,次为北西西向断裂,局部可见规模较小的近南北向断裂破碎带。目前,矿区主要出露 4 条断裂构造,北东—北东东向低角度缓倾断层为杨屋场钨(金)矿床的主要控矿构造,倾向南东,倾角 $20^{\circ}\sim45^{\circ}$,分别控制着矿体(脉)的空间展布及形态;位于矿区南侧的 F 断裂则呈北西西向切穿赋矿岩系,未见明显矿化蚀变(图 2)。

2.3 岩浆岩

矿区东侧为秦王山镁铁质杂岩体,南东与南西分别为沙河湾和曹坪花岗岩体。区内仅发育大

量中、酸性岩脉,包括花岗伟晶岩脉、花岗细晶岩脉及闪长玢岩脉等,主要受北东或北西向节理裂隙与断裂控制,多呈脉群集中产出于杨斜片麻岩套中。

3 矿床地质

3.1 矿体特征

杨屋场钨(金)矿床的矿体属于热液石英脉型,受控于北东—北东东向张扭性断裂,局部产状变化较大,以“倾角较缓、钨金共存”为主要特征(表 1)。共圈出 3 个矿体,即 Q303、Q307 和 Q311 矿体,因其倾角小于山体坡角,地表工程控制与“V”字形法则圈连的矿体形态多呈不规则脉状(图 2)。现将其特征分述如下。

表 1 杨屋场钨(金)矿床矿体特征一览表
Tab. 1 Ore-body characteristics of the Yangwuchang tungsten(gold) deposit

矿体 编号	矿体规模(m)		产状($^{\circ}$)	地表工程 控制形态	$\text{WO}_3(10^{-2})$	$\text{Au}(10^{-6})$	$\text{Ag}(10^{-6})$
	长	厚					
Q303	315	1.20	$145\sim176\angle20\sim40$	弓形	0.19	32.8	53.0
Q307	360	1.03	$138\sim175\angle25\sim27$	不规则状	0.74	$0.59\sim1.36$	$20.5\sim31.4$
Q311	140	1.17	$110\angle37$	“S”形	0.51	—	—

Q303 矿体位于杨屋场棋盘沟南,地表出露线呈弓形,出露长度为 315 m,赋存标高为 1 292.4~1 393.0 m。主体呈北东—北东东向舒缓波状展布,沿走向具膨大缩小特征,厚度变化于 1.0~1.6 m,局部减薄为 0.5~0.8 m,实测产状为 $165^{\circ}\angle21^{\circ}$ (图 3B)。矿体明显受断裂控制,含钨(金)石英脉呈灰白色-烟灰色,局部受应力强烈破碎,晚期的宽 1~2 cm 的石英-方解石细脉充填于主矿脉中(图 3H、图 3I)。矿体 WO_3 品位为 0.12%~0.45%,平均品位为 0.19%,伴生 Au 品位可达 32.8×10^{-6} ,Ag 品位为 53.0×10^{-6} 。

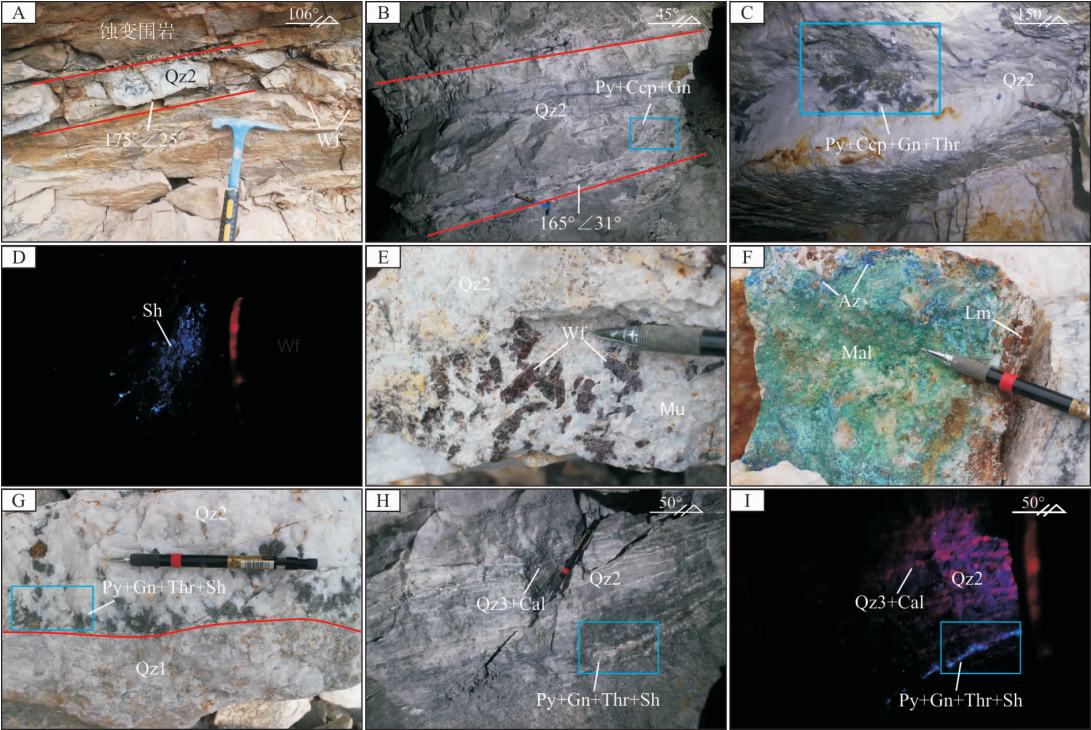
Q307 矿体为矿区规模最大的钨(金)矿体,总体走向为近东西向,呈脉状沿缓倾断裂产出,矿体赋存标高为 1 365.8~1 502.0 m(图 4)。工程控制长度为 360 m,控制斜深为 500 m,厚 0.30~3.33 m,沿倾向具明显的膨大缩小、分枝复合特征,局部膨大处可达 4~5 m 厚,矿脉局部产状变化较大,实测产状为 $175^{\circ}\angle25^{\circ}$,地表可见主矿脉露头(图 3A)。矿体 WO_3 品位为 0.12%~3.12%,平均品位为

0.74%,伴生 Au 品位为 $0.59\times10^{-6}\sim1.36\times10^{-6}$,Ag 品位为 $20.5\times10^{-6}\sim31.4\times10^{-6}$ 。

Q311 矿体位于杨屋场学堂沟北,地表呈近“S”型展布,出露长度为 140 m,矿体赋存标高 1 265.93~1 362.0 m。矿脉(体)总体倾向 110° ,平均倾角 37° ,矿体厚 0.40~2.00 m,平均厚度为 1.17 m。矿体 WO_3 品位 0.15%~1.63%,平均品位为 0.51%。

3.2 矿石特征

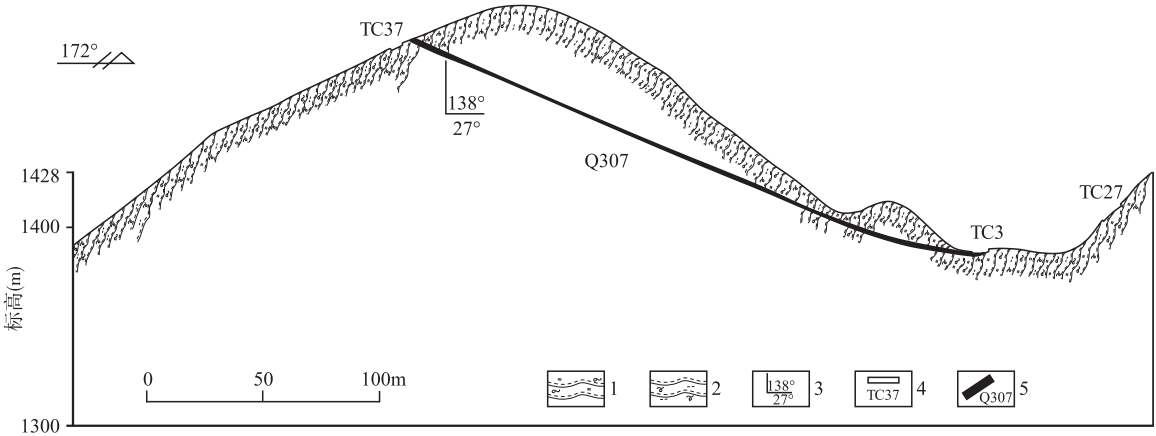
按照矿化特征及矿物共生组合,可将钨(金)矿石划分为硫化物-黑钨矿-白钨矿型(图 3E、图 3G)和次生氧化型(图 3F),以前者钨、金矿化最佳。矿石中金属矿物含量较少为 5%~8%,以黄铁矿、方铅矿、黄铜矿和闪锌矿为主,次为黑钨矿、白钨矿,含少量黝铜矿和钨华;其中,黑钨矿、白钨矿等矿石矿物粒径大小为 0.08~0.78 mm,主要呈细脉状、斑点状或稀疏浸染状分布于石英脉中;次生氧化型矿石中可见孔雀石、蓝铜矿和褐铁矿等表生矿物。非金属矿物主要为石英,次为白云母和方解石。



A. Q307 主矿脉(Qz2)地表露头,与围岩接触部位可见少量黑钨矿化;B. Q303 主矿脉(Qz2),金属硫化物与石英共生且呈细脉状分布;C. Q307 主矿脉(Qz2),局部含团斑状金属硫化物;D. 白钨矿呈细粒状集合体分布于石英脉中,稀疏浸染状构造;E. 石英脉型钨(金)矿石,黑钨呈斑杂状分布于石英脉中,斑杂状构造;F. 次生氧化型矿石,原生金属矿物表生氧化为孔雀石、蓝铜矿及褐铁矿;G. 石英脉型钨(金)矿石,金属硫化物呈细脉状分布于主成矿阶段石英脉中(Qz2),与早阶段石英脉(Qz1)界线明显,细脉状构造;H. 白色石英-方解石细脉(Qz3)切穿主成矿阶段灰白色-烟灰色石英脉(Qz2);I. 白钨矿(蓝白色)与方解石(橘红色)的荧光反应,二者均呈细脉状分布;Wf. 黑钨矿;Sh. 白钨矿;Py. 黄铁矿;Ccp. 黄铜矿;Thr. 黝铜矿;Gn. 方铅矿;Lm. 褐铁矿;Az. 蓝铜矿;Mal. 孔雀石;Cal. 方解石;Qz. 石英

图 3 杨屋场钨(金)矿床矿体、矿石特征与成矿阶段图

Fig. 3 The characteristics of orebodies, ore types and metallogenic stages in the Yangwuchang tungsten (gold) deposit



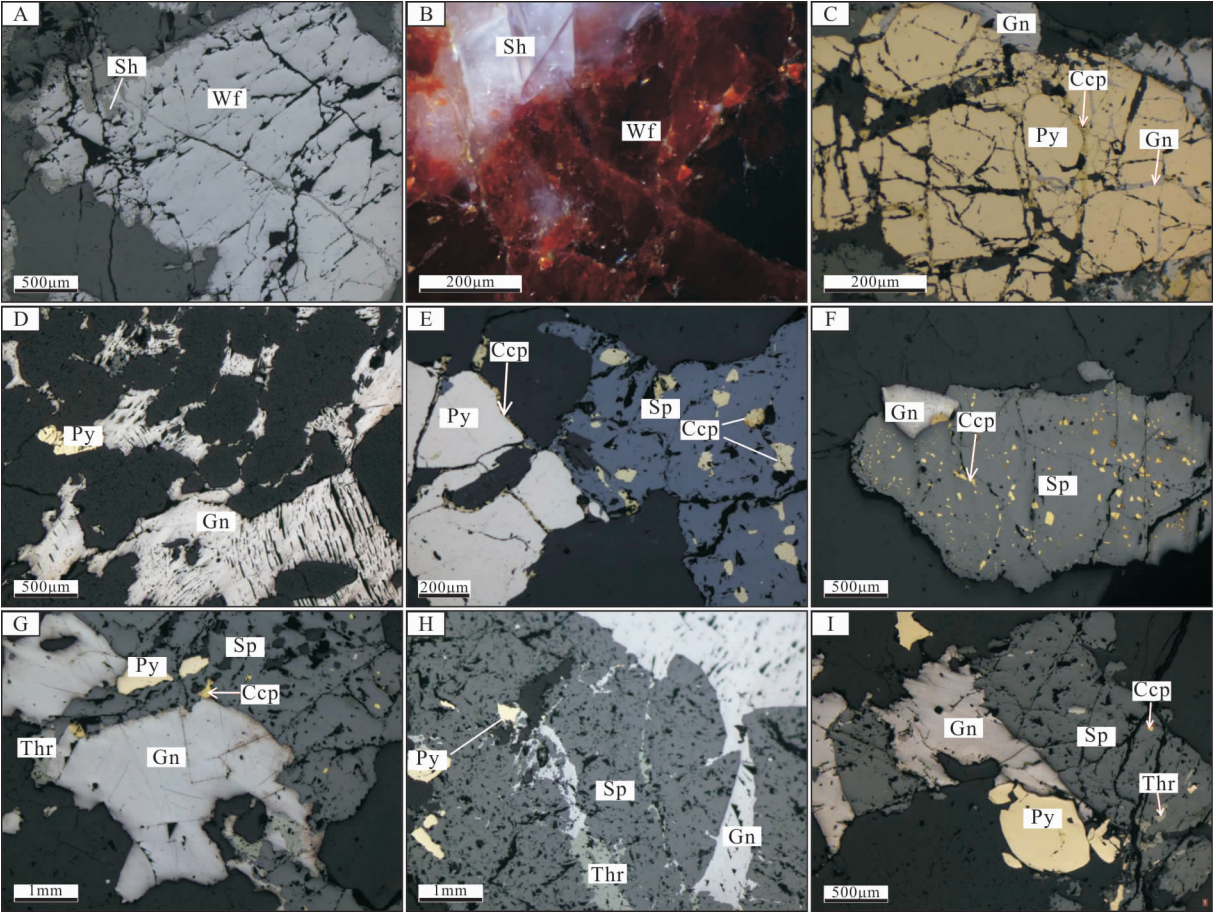
1. 条痕状黑云斜长片麻岩;2. 眼球状黑云斜长片麻岩;3. 矿体产状;4. 探槽及编号;5. 矿体及编号

图 4 杨屋场钨(金)矿床 Q307 矿体 7 号线勘探线剖面图

Fig. 4 No. 7 exploratory section of Q307 orebody in the Yangwuchang tungsten(gold) deposit

矿石构造以充填成因构造为主,主要包括细脉状-网脉状构造(图 3I)、稀疏浸染状构造(图 3D)、斑点或斑杂状构造(图 3E),可见晶簇状构造及表生淋滤形成的多孔状、蜂窝状构造等。矿石结构主要为自形-半自形晶结构(图 5A、图 5B、

图 5D)、他形晶结构(图 5F)、交代残余结构(图 5G、图 5I)和固溶体分离结构等(图 5F),其次为压碎结构(图 5C)、交错结构(图 5C)和反应边结构(图 5E),骸晶结构、假象结构多见于次生氧化型矿石。



A. 自形晶结构、交代结构,黑钨矿呈板状自形晶,白钨矿沿边部或裂纹交代黑钨矿,反射光(-);B. 黑钨矿内反射呈红棕色,白钨矿内反射色呈白色,反射光(+);C. 压碎结构、交错结构,黄铁矿受应力作用发生破碎,黄铜矿与方铅矿呈交错网脉状交代黄铁矿,反射光(-);D. 半自形晶结构,方铅矿呈半自形晶结构,具特征的三角孔结构,反射光(-);E. 反应边结构、固溶体分离结构,黄铜矿沿边部交代黄铁矿呈反应边结构,且呈叶片状分布于闪锌矿中,反射光(-);F. 他形晶结构、固溶体分离结构,黄铜矿呈乳滴状或叶片状分布于他形闪锌矿中,反射光(-);G. 交代残余结构,方铅矿交代闪锌矿呈港湾状,反射光(-);H. 浸(溶)蚀结构,方铅矿、黝铜矿沿裂隙交代闪锌矿,反射光(-);I. 半自形晶结构、交代残余结构,方铅矿沿边部交代半自形黄铁矿与闪锌矿,黝铜矿从内部交代闪锌矿,反射光(-);Wf. 黑钨矿;Sh. 白钨矿;Py. 黄铁矿;Ccp. 黄铜矿;Thr. 黝铜矿;Gn. 方铅矿;Sp. 闪锌矿

图 5 杨屋场钨(金)矿床典型矿石结构及矿物共生组合图

Fig. 5 Typical ore texture and mineral associations in the Yangwuchang tungsten(gold) deposit

3.3 成矿期次与围岩蚀变

综合矿体产出特征、矿化蚀变、矿石组构及矿物成分等特征,杨屋场钨(金)矿床至少经历了 2 期成矿过程,即热液成矿期和表生期。

热液成矿期:根据矿石组构、矿物共生组合特征

及不同脉体之间的穿切限制关系,可化分为 3 个成矿阶段,即Ⅰ. 石英-细粒黄铁矿阶段(早阶段)、Ⅱ. 石英-黑钨矿-白钨矿-多金属硫化物阶段(主成矿阶段)和Ⅲ. 石英-方解石-绢云母阶段(晚阶段)。各成矿阶段特征分述如下。

I. 石英-细粒黄铁矿阶段:成矿早阶段,石英脉产于早期断裂破碎带中。断裂破碎带宽 2~3 m,走向 355°,断面产状:70°/75°,主要由石英脉及两侧蚀变岩组成,其对主矿脉具明显地限制作用。早阶段石英脉呈灰白色,脉宽 0.2~1.0 m,金属硫化物含量少于 5%,以细粒黄铁矿为主,含少量方铅矿、黄铜矿,主要呈星散状分布于脉体中,局部可见少量孔雀石化。与主成矿阶段石英-多金属硫化物脉界线清楚(图 3G)。

II. 石英-黑钨矿-白钨矿-多金属硫化物阶段:主成矿阶段,矿脉受北东-北东东向缓倾断裂所控制(图 3A)。石英脉呈烟灰色-灰白色,宽 8~10 m,金属矿物含量为 5%~10%,以粗粒黄铁矿、方铅矿、黄铜矿和闪锌矿为主,次为黝铜矿、黑钨矿和白钨矿等(图 3C、图 3G)。硫化物集合体呈细脉状、团块状、斑杂状或稀疏浸染状分布于石英脉中,局部呈稠密浸染状(图 3B、图 3D);白钨矿与黑钨矿紧密共生,二者含量比值约为 93:5,集合体呈细脉浸染状、星散状、斑点状或斑杂状分布于石英脉中(图 3E),矿脉孔雀石化、白云母化极为明显,主矿脉产状:110°~176°/20°~40°。

III. 石英-方解石-绢云母阶段:成矿晚阶段,石英-方解石细脉呈白色,宽 2~20 cm,矿区见多条脉体充填于围岩裂隙或节理中,含少量细粒黄铁矿、黝铜矿。石英-方解石脉两壁与围岩接触部分具强褐铁矿化,局部夹绢云母,见其切穿闪长玢岩脉,受后期构造作用而发生强破碎。此外,可见宽约 2 cm 的石英-方解石细脉群近平行充填于石英-黑钨矿-白钨矿-多金属硫化物主矿脉中(图 3H、图 3I)。

表生期:主要表现为近地表条件下,热液成因的原生金属硫化物黄铁矿、黄铜矿,或钨酸盐矿物白钨矿、黑钨矿等次生氧化蚀变为孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿及钨华(图 3F)。矿石多具假象结构、交代残余结构或骸晶结构,矿石常见经表生淋滤作用而形成的多孔状构造。

矿床的围岩蚀变较强,但蚀变带较窄,一般宽 5~20 cm。近矿围岩蚀变以硅化、黄铁矿化和白云母化为主,可见弱绿泥石化,局部蚀变带中见少量孔雀石化、蓝铜矿化。蚀变带与围岩界线较为清楚,且钨、金矿化极弱,基本不具有工业价值。主要矿物生成顺序如图 6 所示。

4 讨论

4.1 矿床成因探讨

新元古代—中三叠世(Pt₃—T₂)是秦岭造山带形成与演化的主造山期,包括秦岭板块的扩张期、扬子板块向华北板块之下俯冲收敛期和碰撞造山期(张国伟等,1996,1997)。早—中三叠世(T₁₋₂)全面陆-陆碰撞造山,扬子板块、秦岭微板块与华北板块依次沿勉略、商丹缝合带向北俯冲碰撞。中生代是秦岭造山带陆-陆碰撞和陆内构造演化的关键期,也是秦岭重要的构造-岩浆-成矿期(姚书振等,2002)。秦岭造山带印支期晚期构造体制由挤压向伸展转变(224~210 Ma),岩石圈的拆沉作用致使地幔软流圈物质上涌,底侵于下地壳诱发地壳物质的部分熔融,在商丹断裂与凤镇-山阳断裂之间形成以东江口-柞水-曹坪-沙河湾岩体为代表的南秦岭北亚带钙碱性花岗岩带(弓虎军等,2009;刘树文等,2011)。与秦岭造山带有关的成矿事件主要集中于 245~200 Ma,主要包括浅成热液型金银矿床、造山型金矿床、斑岩-爆破角砾岩型金矿床及碳酸盐型钨多金属矿床等(卢欣祥等,2008;陈衍景,2010)。

杨斜-丰北河成矿带金钨成矿与印支期花岗岩关系密切。王宗乾(1994)通过对该成矿带金钨矿地球化学特征研究表明,金、钨成矿温度集中于 175~330 °C,金矿化集中于 180~246 °C,属于中低温成矿;H-O-S-Pb 同位素结果显示,杨斜地区金、钨矿床(点)的成矿热液主要为大气降水,成矿元素来源于印支期沙河湾岩体。杨屋场钨(金)矿床的矿石矿物组合为石英-黑钨矿-白钨矿-黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿-方铅矿,属于典型的中高温还原性岩浆期后热液成矿(200~350 °C)。矿石组构中可见白钨矿交代黑钨矿(图 5A),表明成矿过程中存在成矿流体由弱酸性向碱性的转变(顾雪祥等,2019),该变化可能是导致杨屋场钨矿体含 Au 的重要因素,金成矿元素主要来源于成矿流体运移过程中对围岩的萃取。此外,矿石中黄铁矿的压碎结构(图 5C)暗示成矿后存在晚期压性构造的叠加改造。以上证据表明,杨屋场钨(金)矿床形成于秦岭造山带构造体制由挤压向伸展转换的动力学背景,其成因属于与印支期沙河湾岩体有关的岩浆期后热液矿床。

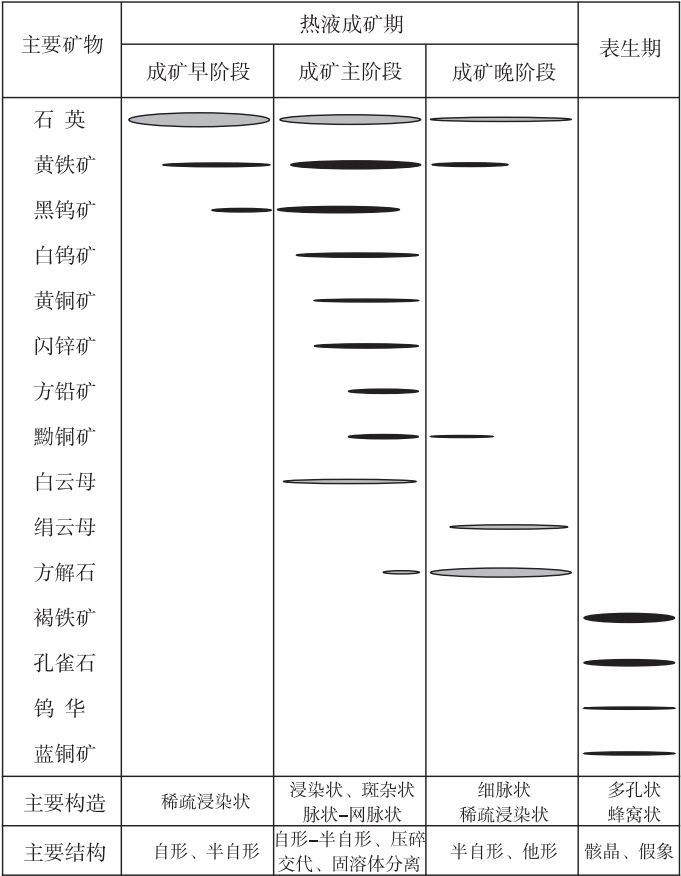


图 6 杨屋场钨(金)矿床主要矿物生成顺序图

Fig. 6 Paragenetic sequence of minerals from the Yangwuchang tungsten(gold) deposit

4.2 控矿要素

(1)岩体对成矿源区的控制。杨斜地区金、钨矿床(点)的空间分布主要受控于印支期沙河湾斑花岗岩,由岩体向外矿化类型与矿物组合具有典型的空分带性(图 1C)。距岩体 2 km 的内部和接触带边部为钨、钼矿化(生地沟钨(钼)矿点、卢家沟钨矿点、大蛇沟钨矿床和上桃园钨矿点),主要为石英-辉钼矿-黑钨矿-白钨矿-白云母-萤石-黄铁矿-黄铜矿的中高温矿物组合;距岩体 2~6 km 的外接触带,以钨、金矿化为主,钨(钼)矿化相对减弱(杨屋场、庙台子等石英大脉型钨金矿床),矿物组合为石英-黑钨矿-白钨矿-黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿-方铅矿-黝铜矿的中高温组合;远离岩体达 6 km 以外地段,矿化类型则以金、银、铅、锌为主,无钨(钼)矿化(杨斜金矿床),主要为石英-自然金-黄铁矿-黄铜矿-黝铜矿-方铅矿-闪锌矿-方解石的中低温矿物组合。

据区域 1:5 万水系沉积物测量成果,沙河湾岩

体内部及外接触带是本区 W 异常主要浓集区,但基本无 Au 异常显示(内部资料)。由此认为,印支期沙河岩体为杨屋场钨(金)矿床的主要成矿地质体,其岩浆期后热液为本区主要的钨成矿流体源区,金成矿物质可能与岩浆热液萃取围岩相关。

(2)构造对流体运移的控制。主要表现为限制成矿流体运移与提供容矿空间。丰北河-杨斜深大断裂为区域规模最大的断裂,对本区成矿流体运移具有明显的屏蔽限制作用,已知金钨矿床(点)基本未越“雷池”,大多数分布于该断裂的南部。北东—北东东向缓倾张扭性断裂为杨屋场钨(金)矿床的主要成矿构造,控制着矿体的空间展布及形态,但其明显受早期北北东向陡倾张扭性断裂所限制。

(3)围岩对成矿储藏的控制。新元古代杨斜片麻岩套(Pt₃gn)为杨斜地区主要的赋矿层位,几乎全部的钨、金矿体均产出于其内的北西—北北西、北东—北东东向张扭性或压扭性断裂中。围岩蚀变与

金钨成矿具有一定的成生联系,岩体内或接触带边部的钨(钼)矿化以云英岩化蚀变为主;外接触带钨金矿的围岩蚀变主要为硅化、黄铁矿化、弱云英岩化;远离岩体的金、银、铅、锌矿化的围岩蚀变以钾硅化为主要特征。围岩由云英岩化→硅化、黄铁矿化、弱云英岩化→钾硅化的蚀变序列,显示成矿流体运移过程中可能存在含 W 弱酸性溶液向含 Au 弱碱性溶液的演化。

4.3 “三位一体”找矿预测

综合杨屋场钨(金)矿床的地质特征及控矿因素,笔者总结了杨斜地区石英脉型钨金矿床“三位一体”找矿预测模型要素表(表 2),认为印支期沙河湾

花岗岩是区内的主要成矿地质体,其北侧 2~6 km 范围内的斜长片麻岩套是钨金矿脉的富集地段。成矿结构面是区内北东—北东东向的张扭性控矿断裂,以构造蚀变带大者,矿体规模最大及含矿性最好;走向上压张同空间叠加部位对成矿最为有利。成矿作用的宏观特征标志主要表现为 2 个方面,即矿化标志——多金属矿化组合好者,钨金矿化较好;黄铁矿、黄铜矿等金属硫化物多者,金矿化较好;蚀变标志为硅化、黄铁矿化、白钨矿化、绢云母矿化与孔雀石化组合,蚀变强者含钨金性较好。通过上述研究,初步建立了研究区石英脉型钨金矿床的“三位一体”找矿预测地质模型(图 7)。

表 2 杨斜地区石英脉型钨金矿床“三位一体”找矿预测模型要素表
Tab. 2 Elements of “trinity” prospecting prediction model for quartz vein type tungsten-gold deposits in Yangxie area, east Qinling orogen

成矿地质体	印支期沙河湾岩体(北侧 2~6 km 范围是成矿富集地段)
成矿构造	北东—北东东向缓倾张扭性断裂构造(倾角 20°~40°)
成矿结构面	成矿结构面主要是断裂构造 (1)北东东向断裂含矿性较好;构造蚀变带大者,矿体规模较大,含矿性较好 (2)结构面充填的物质成分为蚀变斜长片麻岩、断层角砾岩与石英脉,含脉率高者,含矿性相对较好 (3)结构面为张扭性,矿体倾向延伸大于走向延伸 (4)结构面平直,局部呈舒缓波状
成矿作用的特征标志	宏观标志 (1)矿化标志-多金属矿化组合好者,金钨矿化较好;黄铁矿-黄铜矿等金属硫化物多者,金矿化较好 (2)蚀变标志-硅化、黄铁矿化、白钨矿化、绢云母矿化与孔雀石化组合

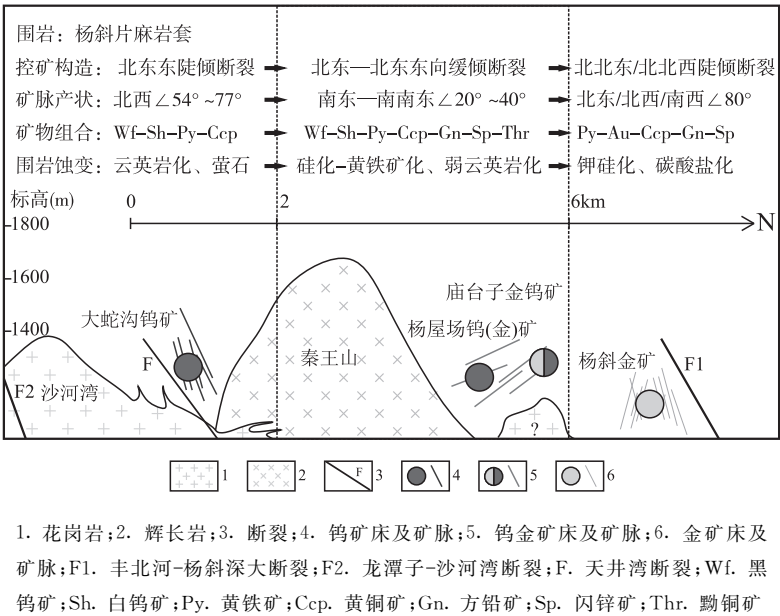


图 7 杨斜地区石英脉型钨金矿床找矿预测地质模型图

Fig. 7 Geological model of the “trinity” prospecting prediction of quartz vein type tungsten-gold deposits in Yangxie area

5 结论

(1)杨屋场钨(金)矿床位于杨斜-丰北河成矿带东段,矿体主要受北东-北东东向断裂构造所控制。矿石类型包括原生硫化物-黑钨矿-白钨矿型和次生氧化型。热液成矿期可划分为3个成矿阶段,即Ⅰ. 石英-细粒黄铁矿阶段、Ⅱ. 石英-黑钨矿-白钨矿-多金属硫化物阶段和Ⅲ. 石英-方解石-绢云母阶段。围岩蚀变以硅化、黄铁矿化和白云母化为主。

(2)矿床形成于秦岭造山带构造体制由挤压向伸展转换的动力学背景,属于与印支期沙河湾岩体有关的岩浆期后热液矿床;成矿流体属于中高温还原性的岩浆热液,且存在由早期弱酸性向晚期弱碱性的转变。

(3)印支期沙河湾岩体、北东-北东东向断裂构造和新元古代杨斜片麻岩套对本区成矿流体的“源、运、储”具有重要的控制作用,金、钨成矿的关键在于三者有机耦合。“三位一体”找矿预测模型的初步建立为杨斜地区石英脉型钨金找矿提供了必要依据和有利线索。

致谢:野外调查工作得到了西北有色地质勘查局七一二总队曹广杰高级工程师的倾心指导与大力帮助,室内成文过程中得到了武警黄金第五支队郑鹏鹏、武海文和王元伟等同志的协助,在此表达最真挚的感谢!

参考文献(References):

陈国忠,龚全胜,梁志录,等. 西秦岭甘肃段特大型金矿床的地质地球化学特征及其成岩成矿年龄[J]. 西北地质, 2017, 50(4): 91-104.

CHEN Guozhong, GONG Quansheng, LIANG Zhilu, et al. Geological, geochemical characteristics and diagenetic age of the super-large gold deposits in Western Qinling, Gansu province[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(4): 91-104.

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

丁坤,梁婷,王瑞廷,等. 陕南勉略阳地区陈家坝铜铅锌多金属矿床稀土元素地球化学特征[J]. 西北地质, 2018, 51(3): 93-104.

DING Kun, LIANG Ting, WANG Ruiting, et al. REE characteristics of the Chenjiaba Cu-Pb-Zn polymetallic deposit in Mian-Lue-Yang area, Southern Shaanxi province[J]. Northwestern Geology, 2018, 51(3): 93-104.

弓虎军,朱赖民,孙博亚,等. 南秦岭地体东江口花岗岩及其基性包体的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成[J]. 岩石学报, 2009a, 25(11): 3029-3042.

GONG Hujun, ZHU Laimin, SUN Boya, et al. Zircon U-Pb ages and Hf isotopic composition of the Dongjankou granitic pluton and its mafic enclaves in the South Qinling terrain[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009a, 25(11): 3029-3042.

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, 2009b, 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, 2009b, 25(2): 248-264.

顾雪祥,李葆华,章永梅,等. 矿床学研究方法及应用[M]. 北京:地质出版社, 2019: 1-815.

GU Xuexiang, LI Baohua, ZHANG Yongmei, et al. Research methods of ore geology and their applications[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2019.

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 Review, 2004, 50(3): 323-329.

李曙光, HART SR, 郑双根,等. 中国华北-华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据[J]. 中国科学(B辑), 1989, (3): 312-319.

LI Shuguang, HART SR, ZHENG Shuanggen, et al. The collision time of North China Plate and South China Plate: evidence from Sm-Nd ages[J]. Science in China (Series B), 1989, (3): 312-319.

李曙光,陈移之,张宗清,等. 北秦岭拉拔庙苏长辉长岩的

- 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. Determination of the Proterozoic metamorphosed intrusives to the south of the 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.
- 刘春花, 吴才来, 郜源红, 等. 南秦岭麻池河乡和沙河湾花岗岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及 Lu-Hf 同位素组成[J]. 地学前缘, 2013, 20(5): 36-56.
- LIU Chunhua, WU Cailai, GAO Yuanhong, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and Lu-Hf isotopic system of Machihe country and Shahewan granitoid rock masses, South Qinling belt, central China[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(5): 36-56.
- 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.
- 刘树文, 杨朋涛, 李秋根, 等. 秦岭中段印支期花岗质岩浆作用与造山过程[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(6): 1928-1943.
- LIU Shuwen, YANG Pengtao, LI Qiugen, et al. Indosinian granitoids and orogenic processes in the middle segment of the Qinling orogen, China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41(6): 1928-1943.
- 卢欣祥, 李明立, 王卫, 等. 秦岭造山带的印支运动及印支期成矿作用[J]. 矿床地质, 2008, 27(6): 762-773.
- LU Xinxiang, LI Mingli, WANG Wei, et al. Indosinian movement and metallogenesis in Qinling orogenic belt[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(6): 762-773.
- 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉, 等. 秦岭环斑花岗岩的年代学研究及其意义[J]. 高校地质学报, 1999, 5(4): 372-377.
- LU Xinxiang, WEI Xiangdong, XIAO Qinghui, et al. Geochronological studies of rapakivi granites in Qinling and its geological implications[J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(4): 372-377.
- 罗旭, 王宗田. 陕西省杨斜-丰北河地区金、钨控矿构造特征及找矿方向研究报告[R]. 商洛: 陕西地质矿产局第十三地质队, 1989.
- 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+94.
- 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+94.
- 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.
- 孙卫东, 李曙光, 陈亚东, 等. 南秦岭花岗岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 209-216.
- SUN Weidong, LI Shuguang, CHEN Yadong, et al. Zircon U-Pb dating of granitoids from South Qinling, Central China and their geological significance[J]. Geochimica, 2000, 29(3): 209-216.
- 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. The geochemistry characteristics and 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 paleo-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, 董云鹏, 赖绍聪, 等. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(12): 1121-1135.
- ZHANG Guowei, DONG Yunpeng, LAI Shaocong, et al. Mianlue tectonic zone and Mianlue suture zone on southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt[J]. Science in China(Series D), 2003, 33(12): 1121-1135.
- 张国伟, 董云鹏, 姚安平. 秦岭造山带基本组成与结构及其构造演化[J]. 陕西地质, 1997, 15(2): 1-14.
- ZHANG Guowei, DONG Yunpeng, YAO Anping. The crustal compositions, structures and tectonic evolution of the Qinling orogenic belt[J]. Geology of Shaanxi, 1997, 15(2): 1-14.
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 193-200.
- ZHANG Guowei, MENG Qingren, YU Zaiping, et al. Orogenic process of Qinling orogenic belt and its dynamics characteristics[J]. Science in China(Series D), 1996, 26(3): 193-200.
- 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.
- 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 1995, 11(2): 101-114.
- ZHANG Guowei, ZHANG Zongqing, DONG Yunpeng. Nature of main tectono-lithostratigraphic units of the Qinling orogen: implications for the tectonic evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 1995, 11(2): 101-114.
- 张稳胜, 安三元. 陕西商县秦王山镁铁质岩体的特征及成因[J]. 岩石学报, 1990, (4): 59-66.
- ZHANG Wensheng, AN Shanyue. Characteristics and origin of the Qingwanshan mafic body[J]. Acta Petrologica Sinica, 1990, (4): 59-66.
- 张宗清, 张国伟, 唐索寒, 等. 秦岭沙河湾奥长环斑花岗岩的年龄及其对秦岭造山带主造山期结束时间的限制[J]. 科学通报, 1999, 44(9): 981-984.
- ZHANG Zongqing, ZHANG Guowei, TANG Suohan, et al. Age of the Shahewan rapakivi granite in the Qinling Orogen, China, and its constraints on the end time of the main orogenic stage of this orogen[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(9): 981-984.
- 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 law of dominant minerals in Qinling Metallogenic Belt[M]. Beijing: Science Press, 2019.
- 朱赖民, 张国伟, 李彝, 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.
- 朱赖民, 张国伟, 李彝, 等. 与秦岭造山带有关的几个关键成矿事件及其矿床实例[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 381-391.
- ZHU Laimin, ZHANG Guowei, LI Ben, et al. Some key metallogenetic events of Qinling orogenic belt and their deposit examples[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2009, 39(3): 381-391.
- JIANG Yaohui, JIN Guodong, LIAO Shiyong, et al. Geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the origin of Late Triassic granitoids from the Qinling orogen, central China: Implications for a continental arc to continent-continent collision[J]. Lithos, 117(1-4): 183-197.
- MENG Qingren, ZHANG Guowei. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, central China[J]. Tectonophysics, 2000, 323: 183-196.
- ZHANG Guowei, MENG Qingren, LAI Shaocong. Tectonics and Structure of Qinling Orogenic Belt[J]. Science in China (Series B), 1995, 38(11): 1379-1394.
- ZHOU Zhenju, CHEN Yanjing, JIANG Shaoyong, et al. Geology, geochemistry and ore genesis of the Wenyu gold deposit, Xiaolinling gold field, Qinling Orogen, southern margin of North China Craton[J]. Ore Geology Reviews, 2014, 59: 1-20.