

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.03.010

# 陕西南秦岭东阳大型钨矿床地质特征及成因探讨

段湘益<sup>1</sup>,董王仓<sup>2</sup>

(1. 自然资源陕西省卫星应用技术中心,陕西 西安 710100;2. 陕西省矿产地质调查中心,陕西 西安 710068)

**摘要:** 东阳大型钨矿床是近年陕西南秦岭地区地质找矿的重大发现。该矿床与燕山期中酸性侵入体有密切关系,其地质特征具有“一矿三型”特点,即接触交代型、岩浆热液(石英脉)型和残坡积型等3种成因类型共存一体。接触交代型钨矿体受控于燕山期黑云二长花岗岩与白云岩、白云石大理岩接触带及附近断裂带,与矽卡岩化关系密切;岩浆热液(石英脉)型钨矿体则主要沿近南北向及北北东向的断裂带充填;残坡积型钨矿体主要由矽卡岩型钨矿体地表风化、就近堆积而成。该矿床的发现,不仅对陕西南秦岭乃至整个秦岭造山带钨矿勘查工作具有现实意义,而且对深化中国“南钨北扩,东钨西扩”认识,也具有一定的理论价值。

**关键词:** 钨矿;花岗岩;地质特征;矿床成因;南秦岭

**中图分类号:** P618.67      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1009-6248(2021)03-0131-11

## Geological Characteristics and Genesis of Dongyang Large Tungsten Deposit in South Qinling, Shaanxi Province

DUAN Xiangyi<sup>1</sup>, DONG Wangcang<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Satellite Application Technology Center for Natural resources, Xi'an 710100, Shaanxi, China;  
2. Shanaxi Center of Mineral Resources and Geological Survey, Xi'an 710068, Shaanxi, China)

**Abstract:** Dongyang large tungsten deposit in south Qinling of Shaanxi province, is an important discovery of geological prospecting in recent years. The deposit is closely related to the Yanshanian intermediate acid intrusive body, having the geological characteristics of “one ore and three types” i. e. contacting metasomatic type, magmatic hydrothermal (quartz vein) type and residual deluvial type. The contacting metasomatic tungsten ore body is controlled by the Yanshanian biotite monzogranite dolomite marble contact zone and the nearby fault zone, which is closely related to skarnization; the magmatic hydrothermal (quartz vein) type tungsten ore body is mainly filled along the nearly north-south and north-north-east fault zone; the residual deluvial type tungsten ore body mainly formed by the surface weathering and nearby accumulation of skarn type tungsten ore body. The discovery of the deposit is of practical significance for the exploration of tungsten deposits in south Qinling and in Qinling orogenic belt, which deepens the understanding that the regions of the prospecting and exploration of tungsten deposits have been

收稿日期:2020-05-12;修回日期:2021-02-28

基金项目:中国地质调查局中国矿产地质志项目(DD20160346、DD20190379)、中国地质调查局中国矿产地质志·陕西卷(12120114058301)。

作者简介:段湘益(1974-),女,高级工程师,从事地质矿产勘查工作。E-mail:757193996@qq.com。

expanded in the whole nation.

**Keywords:** tungsten deposit; granite; geological characteristics; genesis of the deposit; south Qinling

为了提高资源安全供应能力和开发利用水平,中国、美国、欧盟、日本等国家和地区,将钨列入战略性矿产资源目录(彭齐鸣,2017)。同时,钨也是中国西北地区的重要矿产之一(杨合群,2017)。中华人民共和国成立前,陕西省未见发现钨矿的资料记载。新中国成立后,曾开展了钨的找矿工作,但一直无重大突破,发现的钨矿规模小,且以伴生矿为主,钨矿的研究成果也较少。2000年地质大调查以来,陕西省矿产地质调查中心、陕西省地质调查院等十多家单位先后在南秦岭镇安西部开展钨钼等多金属矿勘查与评价,2016年发现了陕西省首个大型钨矿床—镇安县东阳钨矿(陕西省国土资源厅,2018)。该矿床具有接触交代型、岩浆热液(石英)脉型和残坡积型“一矿三型”的成矿特点,即3种矿床类型共存于同一矿床,残坡积型钨矿在陕西属首次发现,在全国也比较少见。笔者论述陕西省镇安县东阳大型钨矿床地质特征,并进行成因探讨,希望能为南秦岭成矿带及其他地区的钨矿勘查,以及研究中国“南钨北扩”等相关工作提供参考资料和有益启示。

## 1 区域地质背景

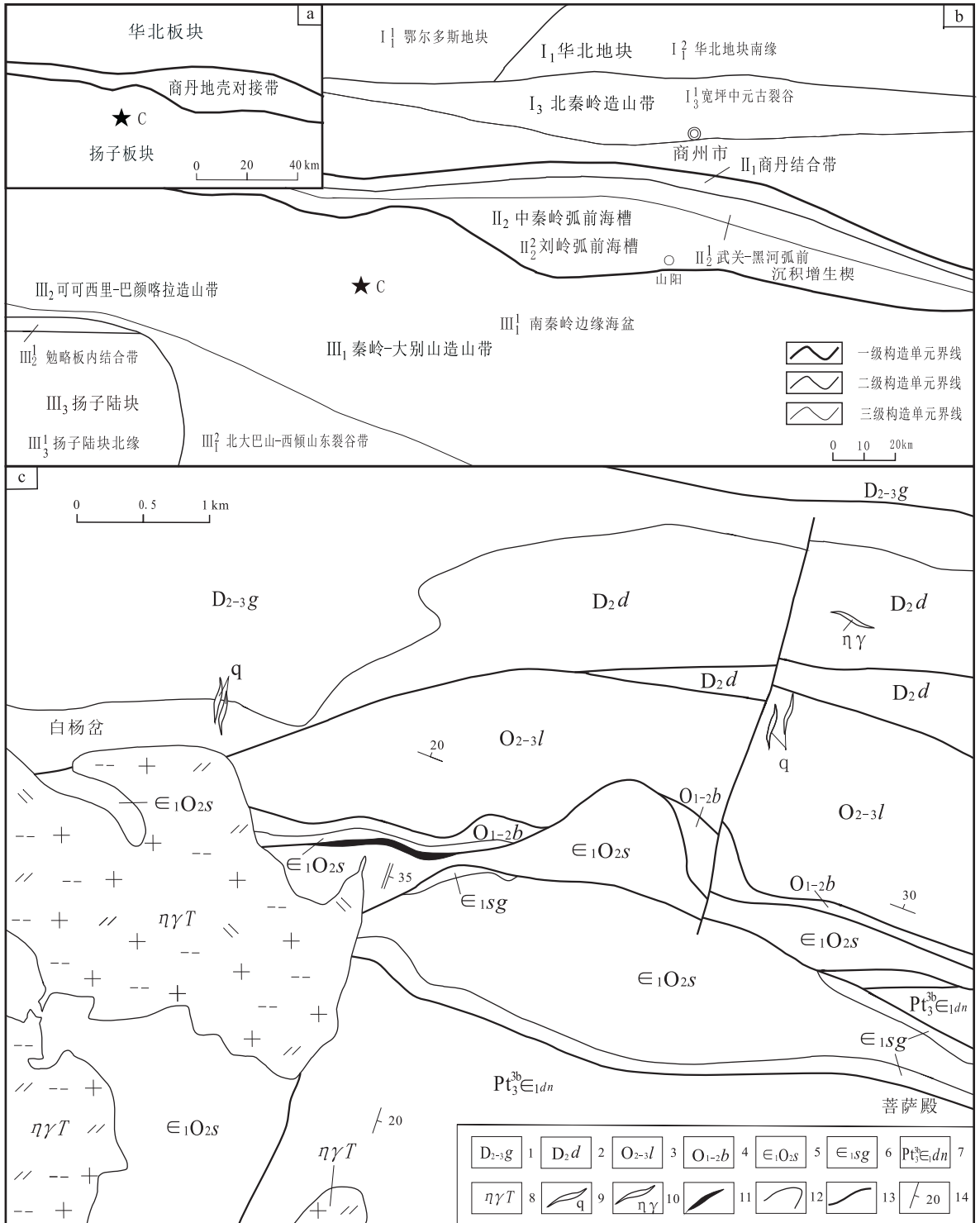
镇安县东阳钨矿床位于陕西南部南秦岭地区,大地构造位置隶属于扬子板块秦岭—大别造山带(Ⅲ<sub>1</sub>)(图1a)南秦岭边缘海盆(Ⅲ<sub>1</sub>)(陕西省地质调查院,2017)(图1b)。区域上出露古元古界陡岭岩群(Ar<sub>3</sub>Pt<sub>1</sub>D)中深变质岩、新元古界耀岭河群(Pt<sub>3</sub><sup>1-2</sup>y)中基性变火山沉积岩和新元古界震旦系—晚古生界泥盆系(Pt<sub>3</sub><sup>3</sup>—D)海相碳酸盐岩—碎屑岩建造(陕西省地质调查院,2017),发育凤县—镇安近东西向复式褶皱和以镇安—板岩镇断裂为主的近东西向断裂构造北东向、北北东向次级断裂裂隙。印支—燕山期中酸性岩浆活动强烈,有东江口壳幔混熔型复式岩体(219±2)~(209±2)Ma(杨恺等,2009;王登红等,2014),胭脂坝地壳熔融型复式岩体(201.6±1.2)Ma(Dong Yunpeng,2012)、懒板凳岩株(206~197)Ma(刘茜,2013)、(209±2.0)Ma(朱伟等,2019)、(166.4±2.8)Ma(郭岐明等,2018)及四海坪岩株(168.2±1.1)Ma(陈清敏,

2017)等中酸性岩体侵入(图1)。据地球化学区数据分析(樊会民等,2018),秦岭造山带南秦岭地区钨分异性较明显,钨成矿主要与岩浆期后热液及断裂活动有关。区域上形成了以钨、钨、铅、锌、金为主的矿床(点)数十处,其代表性矿床(点)有镇安县东阳钨矿床、镇安县漆树凹—桂林沟钨多金属矿床、宁陕县月河坪钨矿床、宁陕县丰富东沟金矿床和宁陕县大构园沟铅锌多金属矿床、镇安县核桃坪钨矿点等。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 矿区地质

矿区出露新元古界震旦系灯影组(Pt<sub>3</sub><sup>3b</sup>∈<sub>1</sub>dn)白云岩、下古生界寒武系水沟口组(∈<sub>1</sub>sg)碳质页岩、寒武—奥陶系石瓮子组(∈<sub>1</sub>O<sub>2</sub>s)白云岩及白云石大理岩、奥陶系白龙洞组(O<sub>1-2</sub>bl)大理岩和新生界第四系残坡积物(图1c)。发育红崖头—东阳背斜以及近东西向、北东向和北北东向断裂构造。其中,近东西向断裂以韧性剪切为主,与地层产状基本一致;北东向断裂为平移走滑断层,具压扭性;北北东向断裂主要由剪切断裂裂隙组成。岩浆活动强烈,出露懒板凳花岗岩体和直沟岩枝。其中,懒板凳岩体为一多期次侵入的复式岩体,呈不规则状产出,岩性为中细粒白云二长花岗岩、中细粒黑云二长花岗岩、中粒二长花岗岩等,主要由石英、钾长石、斜长石组成,次之为白云母、黑云母、绢云母,微量磷灰石、绿泥石、锆石,属高钾钙碱性过铝质S型花岗岩(路永安等,2016);岩体中富集Rb、Th、K、Nd等微量元素,贫Ba、Nb、Ta、La、P等,并具有显著的负Eu异常,Th、U含量高,Ba、Sr含量低,稀土总量(∑REE)平均值为97.68×10<sup>-6</sup>(郭岐明等,2018;刘文建等,2020),比地壳岩浆平均值(164×10<sup>-6</sup>)低,说明在岩浆作用过程中轻重稀土之间发生了明显的分异作用。直沟岩枝位于懒板凳岩体东部约600m处,出露面积约0.025km<sup>2</sup>(路永安等,2016),与懒板凳岩体的岩性、岩相与矿物成分有一定的相似性,推测其可能为懒板凳岩体不同期次下的活动产物,也有可能二者在深部相连为一个岩体。另外,石英脉发育,主要有南北向及北东东向2组,与构造线一致,长度



1. 泥盆系古道岭组灰岩、钙质绢云母板岩,大理岩;2. 泥盆系大枫沟组长石英杂砂岩,石英岩,二云方解石英片岩;3. 奥陶系两岔口组二云方解石英片岩;4. 奥陶系白龙洞组大理岩;5. 寒武、奥陶系石瓮子组白云岩、白云石大理岩;6. 寒武系水沟口组硅质岩、碳质页岩;7. 震旦系灯影组白云岩、白云石大理岩;8. 燕山期黑云二长花岗岩;9. 石英脉;10. 二长花岗岩脉;11. 含钨矽卡岩化带;12. 实测地质界线;13. 断层;14. 地层产状

图1 (a) 区域大地构造位置、(b)构造单元划分与(c)矿区地质略图  
(据陕西省地质调查院,2017;路永安等,2016,有修改)

Fig. 1 (a) Regional geotectonic location (b) structural unit division and (c) geological sketch of mining area

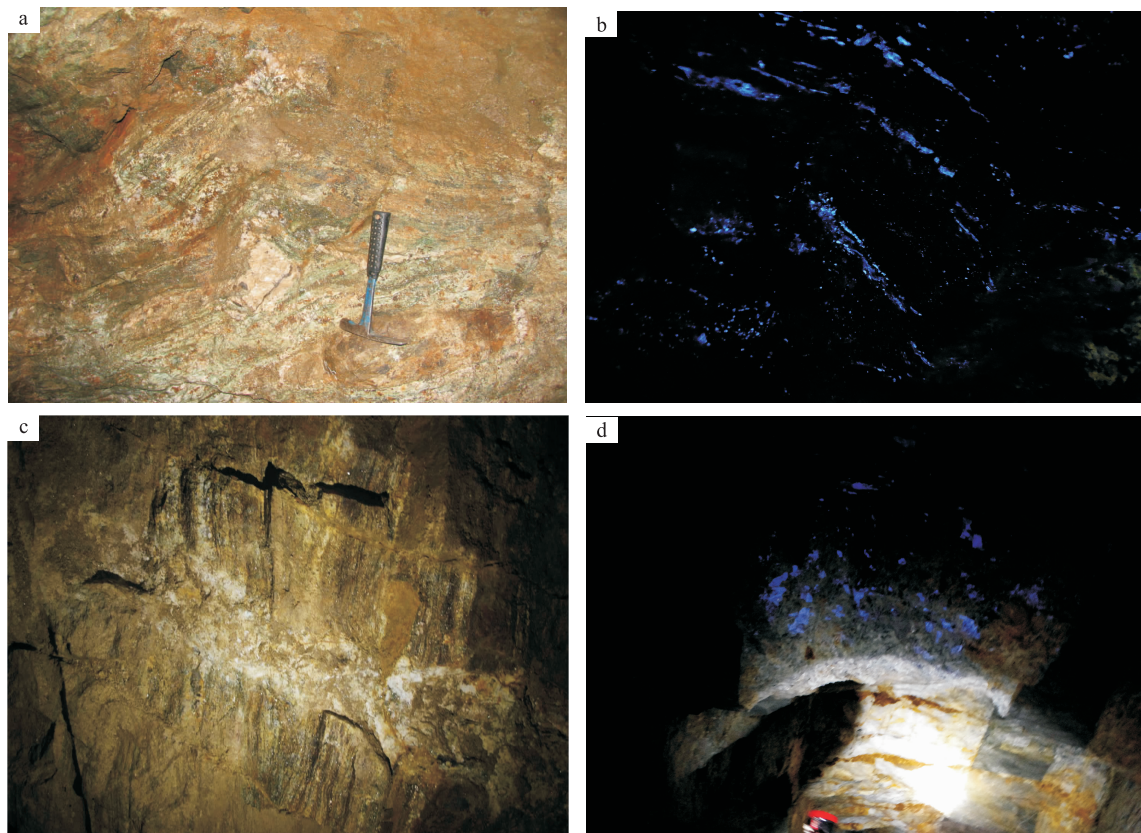
一般十几米至百余米,部分石英脉中有钨矿化。矿区围岩蚀变发育,如黄铁矿化、硅化、透闪石化、透辉石化、石榴子石化、绢云母化、金云母化、萤石化等,矽卡岩化、硅化与钨矿化关系密切。其中,沿近东西向断裂带常发育层状、似层状镁质矽卡岩化及钨矿化,形成层状、似层状接触交代型钨矿体;沿北东向和北北东向断裂裂隙,常充填长度十几米至百余米的石英脉、碳酸盐脉,形成岩浆热液(石英)脉型钨矿体。据1:2.5万~1:5万水系沉积物测量结果表明,岩体内外接触带及断裂带等分布W、Mo、Bi等化探异常。其中,W异常的内、中、外三带齐全、浓集中心明显,W含量一般为 $16.36 \times 10^{-6} \sim 47.20 \times 10^{-6}$ ,最大值为 $5865 \times 10^{-6}$ (王洁明等,2016)。W异常的分布范围与主要钨矿体分布范围基本一致,构成重要的地球化学找矿标志。

## 2.2 矿体特征

矿区已圈定7条钨矿体和10条钨矿化体,有接触交代型、岩浆热液(石英)脉型和残坡积型3种矿

化类型。其中,接触交代型和残坡积型钨矿体规模较大,岩浆热液(石英)脉型钨矿体规模较小。矿区已查明钨资源储量( $WO_3$ )52 630 t(陕西省国土资源厅,2018;路永安等,2016), $WO_3$ 平均品位为1.185%;伴生银资源储量7.2 t,Ag平均品位为 $1.618 \times 10^{-6}$ ;镓资源储量77.9 t,Ga平均品位为0.0018%。

接触交代型钨矿体产于懒板凳岩体、直沟岩枝与石瓮子组( $\epsilon_1 O_2 s$ )外接触带的层间构造蚀变带和层状矽卡岩化带上,矿体顶、底板围岩为石瓮子组( $\epsilon_1 O_2 S$ )白云岩、白云石大理岩(图2a、图2b)。矿体呈似层状、透镜状产出,产状为 $80^\circ \sim 100^\circ \angle 45^\circ \sim 72^\circ$ ,地表出露长度大于1 000 m,控制最大斜深300 m,最大厚度超过15 m(图3)。矿体品位 $WO_3$ 为0.285%~1.745%,伴生银平均品位Ag $1.57 \times 10^{-6}$ ,伴生镓平均品位Ga 0.0018%,查明钨资源储量超过4万t(路永安等,2016),伴生银资源储量大于5 t,伴生镓资源储量大于60 t。



a、c. 自然光;b、d. 紫外灯照射

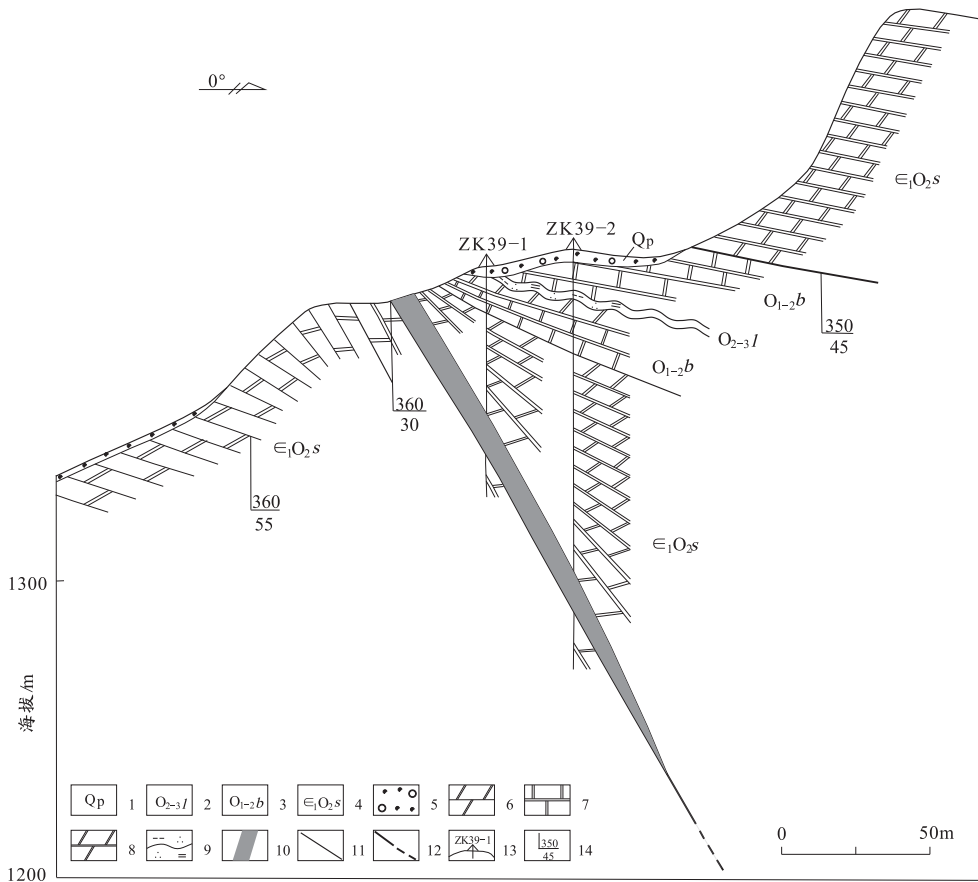
图2 野外矿体照片(据王洁明,2015)

Fig. 2 Photos of field ore body



岩浆热液(石英)脉型钨矿体(图 2c、图 2d)产于接触交代型钨矿体及其附近断裂裂隙,受石英脉控制。容矿围岩为石瓮子组( $\epsilon_1 O_2 s$ )白云岩、两岔口组( $O_{2-3} l$ )及大枫沟组( $D_2 d$ )二云方解石英片

岩。矿体呈透镜状产出,产状为  $10^\circ \sim 74^\circ \angle 33^\circ \sim 73^\circ$ ,地表出露最大长度 150 m,控制最大斜深 40 m 左右,厚度 1.0 m 左右,矿体品位  $WO_3$  为  $0.098\% \sim 1.170\%$ 。



1. 第四系;2. 两岔口组;3. 白龙洞组;4. 石瓮子组;5. 坡积物;6. 白云岩;7. 大理岩;8. 白云石大理岩;9. 二云方解石英片岩;10. 钨矿体;11. 地层分界线;12. 实测、推测断层;13. 钻孔位置及编号;14. 产状

图3 39号勘探线剖面示意图(据路永安等,2016,有修改)

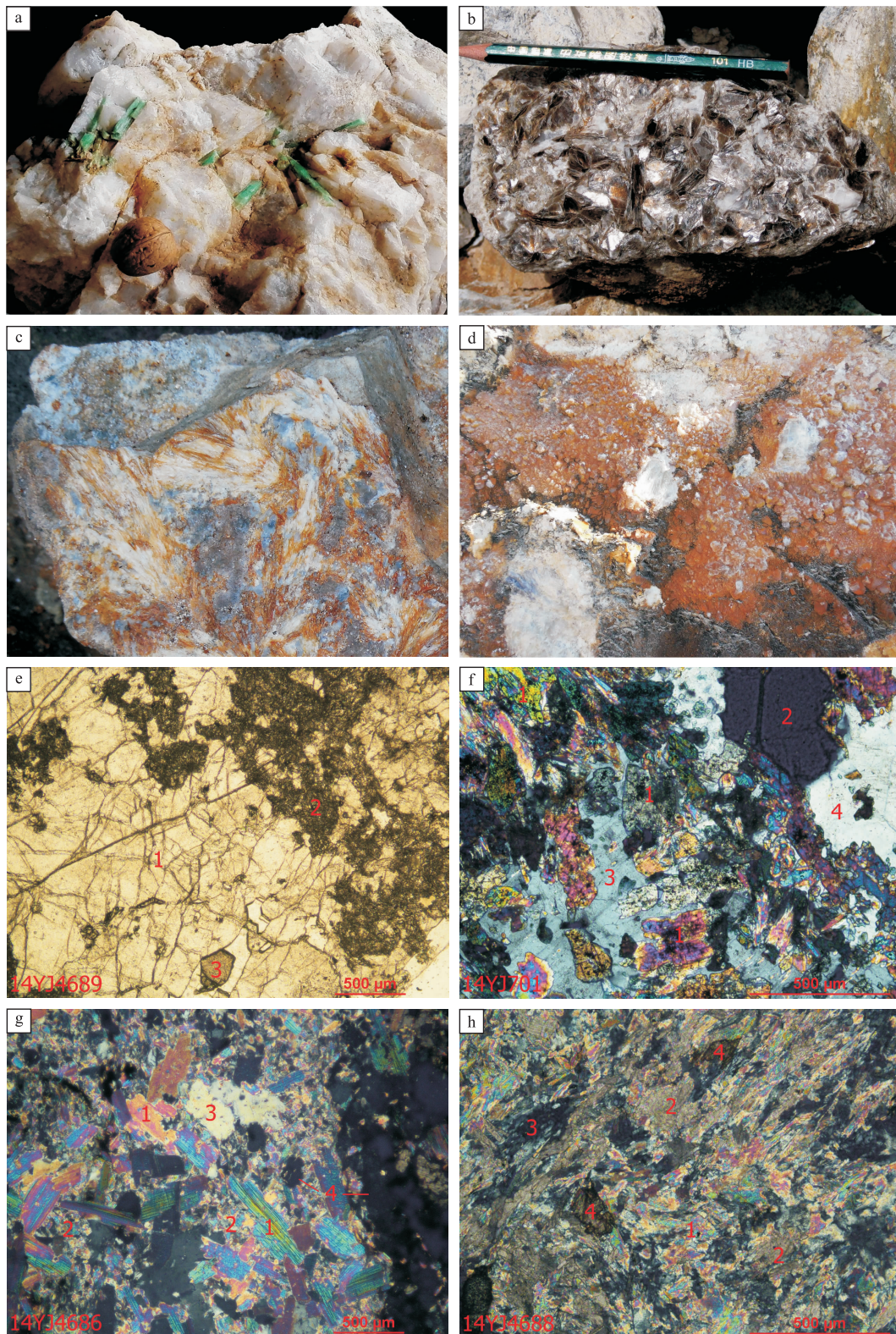
Fig. 3 Profile of exploration line 39

残坡积型钨矿体位于接触交代型钨矿体南侧(下游)数百米由陡变缓的山坡,整体沿丘陵地形呈面状分布,系接触交代型矿体在形成过程中经地表风化破碎、近距离搬运、就近堆积而成。矿体赋存于第四系坡积物中下部的砂砾层、砾石层中,矿层上部为泥砂层、黏土层及砾石层,矿层下部为泥砂层、白云岩及白云质大理岩。地表出露长度约 70 m,宽度约 25 m。控制矿体长度约 500 m,宽度约 300 m,最大厚度约 14 m。矿体呈似层状、透镜状产出,受底板基岩面起伏影响,沿走向及倾向具波状起伏、膨大狭缩现象。矿体品位  $WO_3$  为  $0.120\% \sim 6.323\%$ ,已查明钨资源储量超过 1.2 万 t(路永安等,2016),伴

生银资源储量约 2 t,伴生镓资源储量约 16 t。

### 2.3 矿石矿物成分

接触交代型钨矿、残坡积型钨矿二者的矿石矿物成分基本相同,矿石矿物主要为白钨矿,其次为黄铁矿、黄铜矿和黑钨矿。次生矿物主要为褐铁矿、钨华;脉石矿物主要为金云母、白云母、斜长石、钠长石、透闪石,其次为石英、钼冰长石、铬云母、楣石、石榴子石、磷灰石、透辉石、方解石、萤石,少量方柱石、方铅矿、磷钼矿。岩浆热液脉型钨矿的矿石矿物主要为白钨矿,黄铁矿、辉钼矿、黑钨矿和绿柱石次之;脉石矿物为石英、方解石、绢云母、白云母、萤石、绿泥石等。主要矿石矿物及显微镜下特征见图 4。



a. 绿柱石;b. 金云母;c. 透闪石;d. 萤石;e(1. 符山石;2. 透辉石;3. 白钨矿);f(1. 透辉石;2. 萤石;3. 斜长石;4. 石英);g(1. 白云母;2. 绢云母;3. 石英;4. 石榴子石);h(1. 绢云母;2. 方解石;3. 长石;4. 楣石)

图4 矿石野外和显微照片(据王洁明,2014,2015)

Fig. 4 Field and micrograph of ore



## 2.4 矿石化学成分

据原矿钨物相分析结果(表 1), 矿石中有益组分主要为  $WO_3$ , 且主要赋存于白钨矿中。据原生矿石组合分析结果(路永安等, 2016), 接触交代型、岩浆热液(石英)脉型、残坡积型 3 种矿床类型的矿石中均伴生有 Au、Ag、Ga。其中, Au 在 3 种类型中的平均含量均低于伴生有益组分综合评价指标  $0.1 \times 10^{-6}$ , Ag 在 3 种类型中的平均含量依次为  $1.57 \times 10^{-6}$ 、 $1.82 \times 10^{-6}$  和  $1.79 \times 10^{-6}$ , 高于综合评价指标  $1.0 \times 10^{-6}$ 。金、银在钨精矿中的富集比特别低, 说明二者可能来源于其他矿物。Ga 在 3 种类型中的平均含量依次为 0.001 8%、0.001 3% 和 0.001 6%, 稍高于综合评价指标值。矿石中有害组分硫、磷含量稍高, 但二者可在选矿过程中予以脱离, 其他有害元素的含量低微。

表 1 原矿钨物相分析结果(%)

Tab. 1 Results of tungsten phase analysis from raw ore(%)

项目	白钨矿中	钨华中	黑钨矿中
	$WO_3$	$WO_3$	$WO_3$
接触交代型钨矿体	81.22	17.17	1.61
残坡积型钨矿体	89.40	6.12	4.48

注: 数据来源: 陕西城安矿业发展有限公司, 2016。

## 2.5 矿石结构、构造

接触交代型钨矿: 矿石结构主要为半自形粒状结构-他形粒状结构、交代残余结构, 其次为包含结构; 矿石构造主要以浸染状、透镜状、土状构造为主, 次为条带状构造。

岩浆热液(石英)脉型钨矿: 矿石具粒状结构, 块状、浸染状构造。

残坡积型钨矿: 矿石具半自形粒状、不规则粒状、交代残余、变晶和包含结构, 浸染状、透镜状、条带状、砾状和胶结状构造。

## 3 矿床成因及成矿模式

### 3.1 成矿地质构造环境

陕西秦岭造山带经历了地壳早期(新太古代—新元古代青白口纪)、板块构造(新元古代南华纪—中生代晚三叠世)和陆内造山(中生代晚三叠世—新生代第四纪)等三大地质构造发展演化阶段。印支

晚期—燕山期以来, 受特提斯和滨太平洋两大构造域交替作用或联合控制, 在深部热动力影响下, 中下地壳部分熔融, 继之伸展减薄, 包括本区在内的南秦岭发生大规模、多期次构造—岩浆侵入为特征的陆内造山作用, 形成东江口和胭脂坝为主的复式岩体, 以及懒板凳岩体、四海坪和直沟等小规模二长花岗岩岩枝(株)。上述中酸性岩浆侵入作用, 不仅是已有成矿物质再富集的控制因素之一, 也是重要的成矿物质来源(赵东宏等, 2019), 从而为钨钼多金属矿产的形成与分布创造了有利的成矿地质构造环境。

### 3.2 成矿流体性质

据矿区矿物流体包裹体测温显示(刘茜, 2013), 矽卡岩化成矿期的均一温度为  $220 \sim 300^\circ\text{C}$ , 平均为  $259.5^\circ\text{C}$ , 盐度  $\omega(\text{NaCl}_{\text{eqv}})$  为  $4.96\% \sim 11.93\%$ , 平均为  $6.9\%$ ; 热液成矿期的温度主要集中在  $220 \sim 280^\circ\text{C}$ , 盐度  $\omega(\text{NaCl}_{\text{eqv}})$  为  $3.32\% \sim 12.05\%$ , 平均为  $8.42\%$ 。总体说明成矿期的流体属中温、中低盐度热流体。流体包裹体的气相成分以  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  为主, 液相成分主要为  $\text{H}_2\text{O}$ ; 石英中流体包裹体气相成分以  $\text{CO}_2$  为主, 液相成分以  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  为主; 白云母 H-O 同位素组成  $\delta\text{Dv} - \text{smow}$  为  $-76.4\% \sim -75.9\%$ ,  $\delta^{18}\text{Ov} - \text{smow}$  为  $12\% \sim 13.8\%$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  为  $9.6\% \sim 11.4\%$ , 显示成矿流体为岩浆水, 有少量大气降水加入。

### 3.3 成矿物质来源

通过对懒板凳岩体地球化学特征进行分析, 该岩体属强酸高钾过铝质 S 型花岗岩, 形成于板内环境, 岩浆可能来源于中深部地壳熔融。岩体中镁指数  $\text{Mg}^{2+} / [\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+} (\text{全铁})] \times 100 = 9.15 \sim 31.01$ , 平均值为 20.4, 低于 45 (Rapp R P et al., 1995), 说明岩浆主要来源于地壳熔融。有学者通过分析研究矿区内 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 与  $\xi_{\text{Nd}(t)}$  值的相互关系, 并结合铝饱和指数, 推测岩浆为壳源熔融的产物, 也可能由岩石圈地幔岩浆演化而来(刘茜, 2013)。近年来, 也有学者提出 Eu 异常  $\delta(\text{Eu})$  是判断成矿物质来源及成矿地质作用的重要地球化学参数(刘敬党等, 2005), 壳源岩浆  $\delta(\text{Eu})$  值较小(约 0.45), 幔源岩浆接近 1.0, 壳幔岩浆  $\delta(\text{Eu})$  值为  $0.45 \sim 1.0$  (朱赖民等, 2008)。而懒板凳岩体的 Th/U 值高, 轻、重稀土分异明显,  $\delta(\text{Eu})$  值为  $0.08 \sim 0.50$  (标准化球粒陨石 REE 丰度值来源于 Taylor 等, 1985), 平均值为 0.23, 表现为强负 Eu 异常, 斜长石分离结晶程

度高,暗示岩浆源区为地壳。又据近年来邻区核桃坪钨矿研究资料,在氧化物早期阶段,钨、铍等成矿物质以深源酸性岩浆为主;在氧化物晚期阶段,Ca、Mg等来自地层的成矿物质逐渐增多,表明岩浆来自壳源的可能性大,即有岩浆分异来源也有地层的来源(代鸿章等,2019)。东阳钨矿床与核桃坪钨矿相距约15 km,且处于同一成矿带,二者成矿地质条件基本相同,推测2个地区的成矿物质来源也大致相同。综上所述,东阳钨矿床的成矿物质主要来源于地壳,同时有地层的带入。

### 3.4 成矿期次及矿化阶段

据前人资料总结(江磊等,2012;刘茜,2013),并结合矿物共生组合、矿石结构构造、围岩蚀变、脉体穿切关系等因素,将钨矿床形成过程划分为3个成矿期:矽卡岩化成矿期、热液成矿期和表生成矿期。

(1)矽卡岩化成矿期,形成接触交代型钨矿体,可进一步划分3个成矿阶段。

第一阶段——干矽卡岩阶段,形成以石榴子石、透辉石为代表的无水硅酸盐矿物,其受后期热液溶蚀,矿物自形程度较差,颗粒较小。

第二阶段——湿矽卡岩阶段,形成大量含水硅酸盐矿物,如阳起石、透闪石、绿帘石等,白钨矿开始形成。阳起石、金云母呈放射集合体产出,透闪石呈柱状产出,绿帘石自形程度较高,多以粒状集合体产出。

第三阶段——氧化物阶段,为钨的主要成矿阶段。主要形成白钨矿、磁铁矿、石英、酸性斜长石、云母类矿物及萤石等矿物。

(2)热液成矿期,形成石英脉型钨矿体。主要矿物有石英、白钨矿、斜长石、黄铁矿、磁黄铁矿、绿泥石、云母、方解石等。

(3)表生成矿期,形成残坡积型钨矿体。原生接触交代型及石英脉型钨矿体,在地表及近地表遭受风化、剥蚀和重力作用影响,在矿体附近有利地形地貌条件下,聚集形成残坡积型钨矿。

### 3.5 成矿时代

区内接触交代型与石英脉型钨矿的形成主要与印支晚期—燕山早期的岩浆活动密切相关,矿化主要发生在懒板凳、直沟岩体的外接触带及围岩中。根据懒板凳岩体锆石年龄值(206~197) Ma、(200±4.0) Ma、(166.4±2.8) Ma,以及矿区似层状接

触交代型钨矿体中辉钼矿 Re-Os 同位素年龄值(198±2.7) Ma(刘茜,2013),推测接触交代型与石英脉型钨矿的成矿时代为燕山期(早侏罗世)。残坡积型砂钨矿的形成主要与新生代的表生地质作用有关,其成矿时代为喜马拉雅期。

### 3.6 矿床成因类型

由东阳钨矿床的地质特征、成矿期次及成矿时代可以看出,该矿床的形成经历了先期岩浆作用和后期表生作用先后2期成矿作用,包含接触交代型、岩浆热液脉(石英脉)型和残坡积型等3种成因类型。

岩浆成矿作用,是区内钨矿的主要成矿作用,又可分出早期岩浆热液交代成矿作用和晚期岩浆热液充填成矿作用。岩浆热液交代成矿作用,主要发育于燕山期懒板凳、直沟黑云二长花岗岩与石瓮子组白云岩、白云石大理岩外接触带附近,岩浆热液使围岩发生强烈接触交代变质作用,形成金云母-透辉石镁矽卡岩化及似层状、层状钨矿体,此类钨矿的成因类型属典型的接触交代型矿床;岩浆热液充填成矿作用,主要发育于懒板凳、直沟黑云二长花岗岩体顶部、外接触带及围岩中,含矿热液沿断裂、节理裂隙发生充填作用,形成脉状钨矿体(含白钨矿石英脉)。此类钨矿的成因类型属典型的岩浆热液(石英)脉型矿床。

表生成矿作用,在区内钨矿床的形成中占有较重要地位,它是接触交代型钨矿体在形成过程中发生的一种次生富集成矿作用。其主要发生于接触交代型钨矿体下游附近低缓山丘地带,系原生钨矿体(石)受物理风化作用及重力作用影响,沿山坡向下游发生崩塌、运移、就近堆积而成。

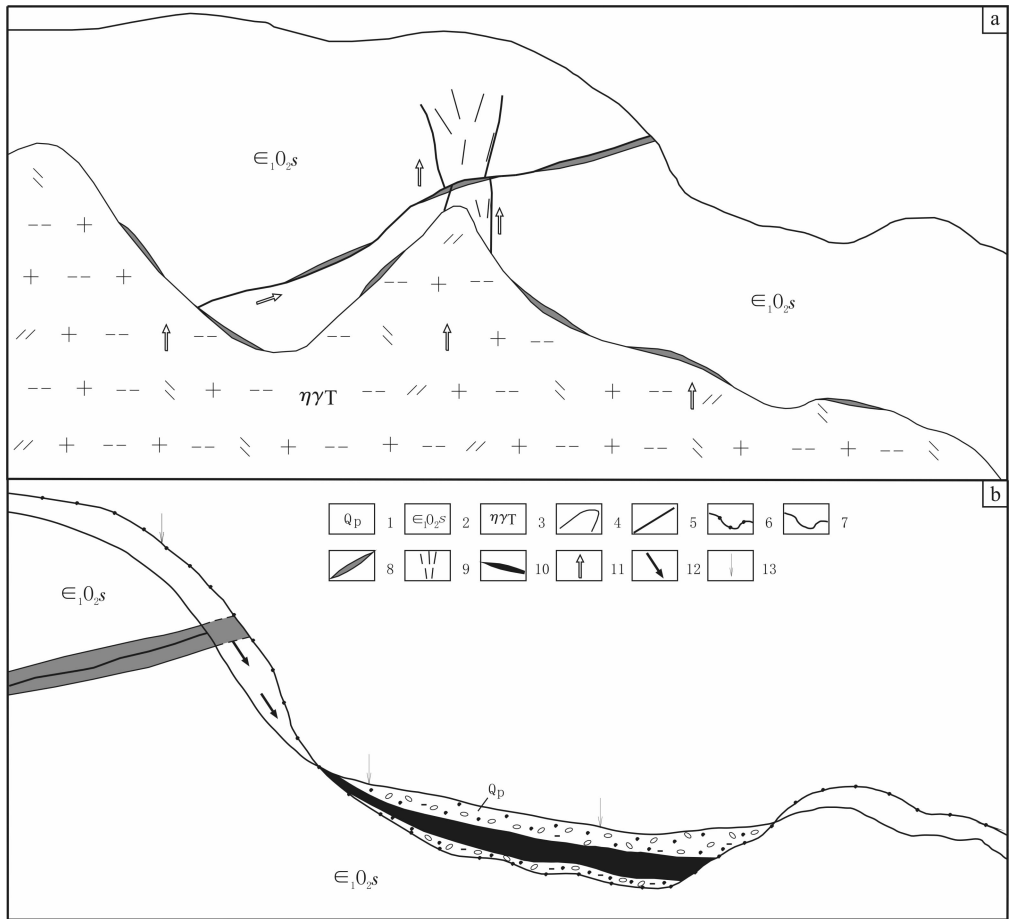
此类钨矿的成因类型属典型的风化残坡积型矿床。

### 3.7 成矿模式

印支晚期,伴随华北板块与扬子板块的俯冲碰撞,区内发生了大规模地壳熔融及中酸性岩浆侵入作用,形成胭脂坝花岗岩基和懒板凳花岗岩体等侵入体;燕山期,岩浆持续侵入,并分异出高温气化热液,其沿着近东西向构造裂隙运移,在岩体与碳酸盐岩接触带发生热液交代作用,形成层状、似层状矽卡岩及钨矿体(图5a)。随着物理化学条件的改变及大气降水的加入,含矿热液沿矽卡岩带及围岩中的近南北向、北东向和北东东向断裂及节理、裂隙发生

热液充填成矿作用,形成岩浆热液脉(石英脉)型钨矿体(图 5a);喜马拉雅期,出露地表的钨矿体在表

生地质作用影响下,发生机械破碎、重力坍塌、近距离搬运及堆积,形成残坡积型钨矿体(图 5b)。



1. 第四系(Qp); 2. 石瓮子组大理岩( $\in_1O_2s$ ); 3. 燕山期黑云二长花岗岩( $\eta\gamma T$ ); 4. 地质界线; 5. 断层; 6. 古风化面; 7. 近代风化面; 8. 接触交代型矿体; 9. 石英脉型矿体; 10. 残坡积型矿体; 11. 矿液流动方向; 12. 岩块、矿块剥蚀搬运方向; 13. 大气降水; a. 燕山期花岗岩体侵入成矿; b. 喜山期表生风化-残坡积成矿

图 5 东阳钨矿床成矿模式图

Fig. 5 Metallogenic model of Dongyang tungsten deposit

### 4 结论

(1) 东阳大型钨矿床是近年来陕西南秦岭地区地质找矿的重大发现。该矿床的形成与南秦岭陆内造山阶段燕山期构造-岩浆作用关系密切,其经历了先期岩浆成矿作用和后期表生成矿作用两大成矿期,具有接触交代型、岩浆热液(石英)脉型和残坡积型等 3 种成因类型共存一体的“一矿三型”成矿特点。其中,接触交代型矿体产于岩体与碳酸盐岩地

层接触带附近的近东西向砂卡岩带中,岩浆热液(石英)脉型矿体则主要赋存于岩体外接触带北东向、北北东向断裂裂隙中,残坡积型矿体主要分布于接触交代型钨矿体下游附近低缓山丘地带。该矿床的发现,对于促进陕西南秦岭乃至整个秦岭造山带的钨矿勘查工作均具有重要的现实意义和引领作用。

(2) 中国以往发现的钨矿床(点)主要集中在分布于中国南部和东部地区,大部分钨矿以白钨矿为主,优质易采选的黑钨矿资源比较紧缺,而且主要产于南岭地区。此次在陕西南秦岭地区的东阳钨矿床中



发现了一定占比的黑钨矿,而且在该矿床及周边地耳沟、核桃坪、金盆等地的石英脉型钨矿体中还发现有绿柱石与其伴生,与赣南、粤北地区的情况相似。进一步说明黑钨矿已经跨过长江到达秦岭地区(代鸿章等,2017),是“南钨北扩,东钨西扩”的重要标志之一(王登红等,2012)。因此,通过该矿床的研究,对于深化中国“南钨北扩,东钨西扩”认识,以及在中国北方和西部地区开展钨矿找矿工作具有一定的理论价值和实践意义。

致谢:在成文过程中得到了陕西省矿产地质调查中心王洁明高级工程师、郭岐明高级工程师的大力帮助,在此致以衷心的感谢。

## 参考文献(References):

彭齐鸣. 提高战略性矿产供应能力,推动新兴产业快速发展—在“战略性矿产供需形势分析研讨会”上的讲话[J]. 国土资源情报(矿产供应与需求),2017,18(1):1-3+41.

PENG Qiming. Improve strategic mineral supply capacity and promote rapid development of emerging industries—Speech at “Symposium on supply and demand situation analysis of strategic minerals”[J]. Land and Resources Information; Mineral Supply and Demand, 2017, 18(1): 1-3+41.

杨合群,姜寒冰,谭文娟,等. 西北地区重要矿产概论[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2017.

YANG Hequn, JIANG Hanbing, TAN Wenjuan, et al. Introduction to the introduction of important minerals in Northwest China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2017.

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.

Geological Survey Institute of Shaanxi Province. Regional geological records of China·Shaanxi records[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.

王登红,李华芹,屈文俊,等. 全国成岩成矿年代谱系[M]. 北京:地质出版社,2014.

WANG Denghong, LI Huaqin, QU Wenjun, et al. chronology of diagenesis and mineralization in China [M]. Beijing: Geological Press, 2014.

陈清敏,郭岐明,王强,等. 陕西南秦岭四海坪岩体锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 西北地质,2017,50(3):65-73.

CHEN Qingmin, GUO Qiming, WANG Qiang, et al. Zircon U-Pb age and geological significance of sihaiping pluton from Southern Qinling orogenic belt in Shaanxi [J]. Northwestern Geology, 2017, 50(3): 65-73.

樊会民,张嘉升,柏千惠,等. 陕西秦巴地区地球化学分区及找矿意义[J]. 西北地质,2018,51(2):75-82.

FAN Huimin, ZHANG Jiasheng, BAI Qianhui, et al. Geochemical zoning and prospecting significance of Qinba area in Shaanxi [J]. Northwestern Geology, 2018, 51(2): 75-82.

刘茜. 陕西省镇安钨矿床特征及成因研究[D]. 北京:中国地质大学,2013:1-65.

LIU Xi. Characteristics and genesis of Zhen'an tungsten deposit in Shaanxi Province [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013: 1-65.

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.

江磊,王若梅,李智明. 矽卡岩型矿床特征概述[J]. 西北地质,2012,45(增刊):167-169.

JIANG Lei, WANG Ruomei, LI Zhiming. Characteristics of skarn deposits [J]. Northwestern Geology, 2012, 45 (Suppl.): 167-169.

刘敬尧,肖荣阁,王翠芝,等. 辽宁大石桥花岗岩质石成因分析及其在硼矿勘查中的意义[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2005,35(6):714-719.

LIU Jingdang, XIAO Rongge, WANG Cuizhi, et al. Genesis analysis of Dashiqiao granite in Liaoning Province and its significance in boron exploration [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2005, 35(6): 714-719.

朱赖民,张国伟,郭波,等. 东秦岭金堆城大型斑岩钼矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成矿动力学背景[J]. 地质学报,2008,82(2):204-220.

ZHU Laimin, ZHANG Guowei, GUO Bo, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and metallogenic dynamics of Jinduiheng large porphyry molybdenum deposit from Eastern Qinling [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(2):

- 204-220.
- 代鸿章,王登红,刘丽君,等. 南秦岭镇安核桃坪钨铍矿床成矿时代及成矿模式探讨[J]. 地质学报, 2019, 93(6): 1342-1356.
- DAI Hongzhang, WANG Denghong, LIU Lijun, et al. Metallogenic age and metallogenic model of Hetaoping tungsten beryllium deposit in Zhen'an, South Qinling belt [J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(6): 1342-1356.
- 代鸿章,王登红,王成辉,等. 中央造山带秦巴地区发现石英脉型黑钨矿[J]. 岩矿测试, 2017, 36(5): 559-560.
- DAI Hongzhang, WANG Denghong, WANG Chenghui, et al. Discovery of quartz vein wolframite in Qinba area of Central Orogenic Belt [J]. Rock and Mineral Analysis, 2017, 36(5): 559-560.
- 王登红,陈郑辉,黄国成,等. 华南“南钨北扩”、“东钨西扩”及其找矿方向探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(3): 322-329.
- WANG Denghong, CHEN Zhenghui, HUANG Guocheng, et al. Discussion on “south to North tungsten expansion” and “east to West tungsten expansion” in South China along with its prospecting direction [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(3): 322-329.
- 刘文建,汪佩佩,张凯,等. 秦岭造山带南秦岭地区发现石英脉型黑钨矿点[J]. 中国地质, 2020, 47(2): 546-547.
- LIU Wenjian, WANG Peipei, ZHANG Kai, WANG Juli, et al. New discovery of quartz vein-type of wolframite ore occurrences in southern Qinling, Qinling orogenic belt [J]. Geology in China, 2020, 47(2): 546-547 (in Chinese with English abstract).
- 郭岐明,陈清敏,王强,等. 陕西秦岭造山带中生代构造体制与成矿作用研究成果报告[R]. 陕西省地质调查中心, 2018.
- GUO Qi Ming, CHEN Qing min, WANG Qiang, et al. Report on Mesozoic tectonic system and mineralization of Qinling orogenic belt in Shaanxi Province [R]. Shaanxi Center of Geological Survey, 2018.
- 王洁明,杜少喜,曹宏远,等. 陕西省宁陕县江口-太山庙一带钨钼多金属矿产调查评价成果报告[R]. 陕西省地质调查中心, 2016.
- WANG Jieming, DU Shaoxi, CAO Hongyuan, et al. Report on the investigation and evaluation of tungsten and molybdenum polymetallic minerals from Jiangkou to Taishanmiao area of Ningshan County, Shaanxi Province [R]. Shaanxi Center of Geological Survey, 2016.
- 陕西省国土资源厅. 陕西省非油气矿产资源储量表(截止2017年底)[Z], 2018.
- Department of land and resources of Shaanxi Province. Reserves of non oil and gas mineral resources in Shaanxi Province in 2017 [Z], 2018.
- 路永安,和威,袁钊,等. 陕西省镇安县东阳钨矿勘探报告[R]. 陕西长安矿业发展有限公司, 2016.
- LU Yong'an, HE Wei, YUAN Zhao, et al. Exploration report of Dongyang tungsten deposit in Zhen'an County in Shaanxi Province [R]. Shaanxi Cheng'an Mining Development Co., Ltd, 2016.
- 董王仓,李维成,周小康,等. 中国矿产地质志·陕西卷·金属矿产[R]. 陕西省地质调查院, 2020.
- DONG Wangcang, LI Weicheng, ZHOU Xiaokang, et al. Mineral geology of China, volume of Shaanxi, metallic mineral resources [R]. Geological Survey Institute of Shaanxi Province, 2020.
- RAPP R P, Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8-32 kbar: implications for continental melon and crust-mantle recycling [J]. Journal of Petrology, 1995, 36: 891-931.
- Dong Yunpeng, Liu Xiaoming, Zhang Guowei, et al. Triassic diorites and granitoids in the foping area: Constraints on the conversion from subduction to collision in the Qinling orogen, China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 47: 123-142.