

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.01.010

# 甘肃寨上超大型钨、金(锑)多金属矿床成因研究

杨瀚文<sup>1</sup>, 王建中<sup>1,2\*</sup>, 魏立勇<sup>1</sup>, 赵军<sup>2,3</sup>, 马承<sup>1</sup>, 刘明<sup>1</sup>, 孙彪<sup>1</sup>, 魏文昊<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心, 陕西 西安 710100; 2. 西北政法大学, 陕西 西安 710122;  
3. 中国地质调查局乌鲁木齐自然资源综合调查中心, 新疆 乌鲁木齐 830057)

**摘要:**甘肃寨上超大型钨、金(锑)多金属矿床位于西秦岭-礼成矿带西段, 属于复合矿床, 具有显著的多期次、多物源和多成因特点。年代学结果表明, 矿区至少存在早期钨矿化(220 Ma)和晚期金矿化(140~120 Ma)两期成矿作用。钨矿为破碎蚀变岩型, 矿质主要来源于岩浆热液, 在时空和成因上与同时代富钨的闪长玢岩脉(220~210 Ma)关系密切, 属于岩浆成矿系统的铜-钨-钼中高温成矿系列; 金成矿作用的物质来源主要是泥盆纪地层, 矿化与闪长玢岩脉没有时空关联, 成矿时代为燕山期(140~120 Ma), 与西秦岭地区燕山期构造岩浆活动具有一致性。金矿类型介于卡林型金矿床和造山型金矿床的过渡类型, 属锑-汞-铅-锌中低温成矿系列。笔者认为, 寨上超大型多金属矿床成因是中生代陆内造山体制下与构造-岩浆活动有关的成矿系统之2个成矿系列叠加的结果, 尚有巨大的找矿潜力。

**关键词:**多金属矿床; 叠加成矿; 成矿系列; 多期次; 甘肃寨上

**中图分类号:** P618.67; P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-6248(2021)01-0125-14

## Genesis of the Super-large Tungsten, Gold (Antimony) Polymetallic Deposit in Zhaishang, Gansu Province

YANG Hanwen<sup>1</sup>, WANG Jianzhong<sup>1,2\*</sup>, WEI Liyong<sup>1</sup>, ZHAO Jun<sup>2,3</sup>,  
MA Cheng<sup>1</sup>, LIU Ming<sup>1</sup>, SUN Biao<sup>1</sup>, WEI Wenhao<sup>1</sup>

(1. Xi'an Center of Mineral Resources Survey, China Geological Survey, Xi'an 710100, Shaanxi, China; 2. Northwest University of Political Science and Law, Xi'an 710122, Shaanxi, China; 3. Urumqi Natural Resources Survey Center, China Geological Survey, Urumqi 830057, Xinjiang, China)

**Abstract:** The super-large tungsten, gold (antimony) polymetallic deposit in zhaishang, Gansu province is located in the western part of the Min-Li metallogenic belt, West Qinling. It belongs to the compound deposit characterized by the multiple stages, multi-source and multi-genesis. The chronological results show that it has experienced two metallogenic stages: the early stage (220Ma) of tungsten mineralization and the late stage (140~120Ma) of gold mineralization. The W deposit belongs to the broken alteration rock type of the Cu - W - Mo intermediate-high temperature metallogenic series. The ore-forming material is from hydrothermal fluid, which is close-

收稿日期:2020-08-02;修回日期:2020-09-25

基金项目:中国地质调查局项目“甘肃寨上金矿岩金普查”(DD20191018)

作者简介:杨瀚文(1992-),男,硕士,从事地质矿产调查工作。E-mail:306134832@qq.com

\* 通讯作者:王建中(1978-),男,博士,从事矿产勘查及矿床学研究。E-mail:zhong\_jw2004@163.com

ly associated with the magmatism of the w-rich diorite porphyrite (220~210 Ma) in terms of time and space. The Au-forming material mainly derived from the Devonian strata, its mineralization has no direct relation with diorite porphyrite in terms of time and space. The mineralization occurred during the Yanshanian period (140~120Ma), which was in consistent with the Yanshanian tectonic-magmatic activities in West Qinling. The Au deposit belongs to transitional deposit between the carlin deposit and the orogenic deposit, being the Sb-Hg-Pb-Zn intermediate-low metallogenic series. The authors propose that Zhaishang super-large polymetallic deposit is superimposed metallogenic series related to the tectonic-magmatic activities in the mesozoic metallogenic system and has huge prospecting potential.

**Keywords:** polymetallic deposit; superimposed mineralization; metallogenic series; multi-stage; Zhaishang in Gansu province

秦岭复合造山带以宝成铁路为界,大致分为东秦岭和西秦岭。该造山带构造复杂,成矿地质条件优越,各种金属矿产丰富,且分布广泛,类型多样(姚书振等,2002,2006;陈衍景,2010)。已有研究表明,该区金、汞、锑、铅、锌等中低温热液矿床(陈衍景,2004),与铜、钨、钼等高温岩浆热液矿床构成 18 个主要成矿系列,受 7 大主要成矿系统控制(姚书振等,2006),是中国重要的多金属成矿带。目前看来,西秦岭地区也是中国面积最大的卡林-类卡林型金成矿区带(陈衍景,2004;毛景文,2001;刘学飞等,2008;刘春先等,2011),或中国重要的造山型金成矿带之一(LIU et al.,2015;李建威等,2019)。

岷-礼成矿带是铅-锌-银-金的重要找矿远景区和钨的首选靶区(卢杰,2015;王建中等,2016),寨上钨-金(锑)多金属矿床位于该成矿带西段(吕喜旺,2017),是近 20 年来西秦岭地区探获的重要超(特)大型矿床之一(刘新会等,2009,2010;陈国忠等,2017;刘家军等,2019)。前人对于该矿床的研究多集中在金的成矿规律和找矿方面,而且比较深入,却往往把钨作为金的有益伴生组分(刘家军等,2008;余超等,2015;郑卫军等,2010),其研究程度也较浅显。实际上关于金的成因认识也仍然没有形成共识,比如金的成因类型还存在微细浸染型(马星华等,2008;刘家军等,2010;LIU et al.,2015)、卡林型-类卡林型(刘新会等,2005;路彦明等,2006)、卡林-造山复合型(陈国忠等,2017)、沉积变质-构造热液叠加型(刘新会等,2005),及与侵入体有关的热液型(LIU et al.,2015)等不同的观点。这些分歧的焦点集中在矿床与岩浆活动的时空和成因的关系上,主要表现在如下 3 个方面:一是矿床是否存在多期次

成矿作用;二是钨金矿化是否属于同一成矿系统;三是金矿床的成因到底属于什么类型。除了上述争议外,对寨上多金属矿床之钨金矿化的综合对比研究还远远不够。所以,笔者将系统总结矿床的地质特征,分析其成岩成矿时代、成矿物质来源和成矿流体性质,深入剖析矿床与岩浆作用之间的关系,为该区进一步找矿提供理论依据(刘家军等,2010)。

## 1 区域地质背景

岷-礼成矿带东起甘肃礼县,西至岷县,是重要的钨、金成矿集中区,成矿地质条件十分优越。区内出露地层主要为中泥盆统李坝群,表现为由深水浊流沉积而成的一套以细碎屑岩为主的类复理石建造,主要岩性为变质石英砂岩、薄层板岩及斑点板岩。该区岩浆活动强烈,且具有多旋回、多期次特征,其中中生代印支期和燕山期中酸性侵入岩最为发育,以“五朵金花”最具代表性。此外,宕昌簸箕、好梯附近零星分布有少量中-新生代酸性、碱性火山岩(喻学惠等,2001;黄雄飞,2013),煌斑岩、辉绿岩等脉岩也十分发育(图 1)。该区构造主要由褶皱与断裂组成,夏河-合作-岷县深大断裂从成矿带的西南部穿过,其分支断裂高桥-礼县大断裂横贯全区,是主要导矿和控矿构造。次级断裂为主要的容矿断裂,已知矿床的空间分布与断裂关系十分密切(喻万强等,2015)。金、钨、铅、锌、钼矿床围绕“五朵金花”岩体群密集分布,东部有李坝、马坞、锁龙等金矿床,中部有寨上、鹿尔坝金矿床、寨上小型钨矿床、半沟铅锌矿床,北部地区则有温泉斑岩型钼矿床。

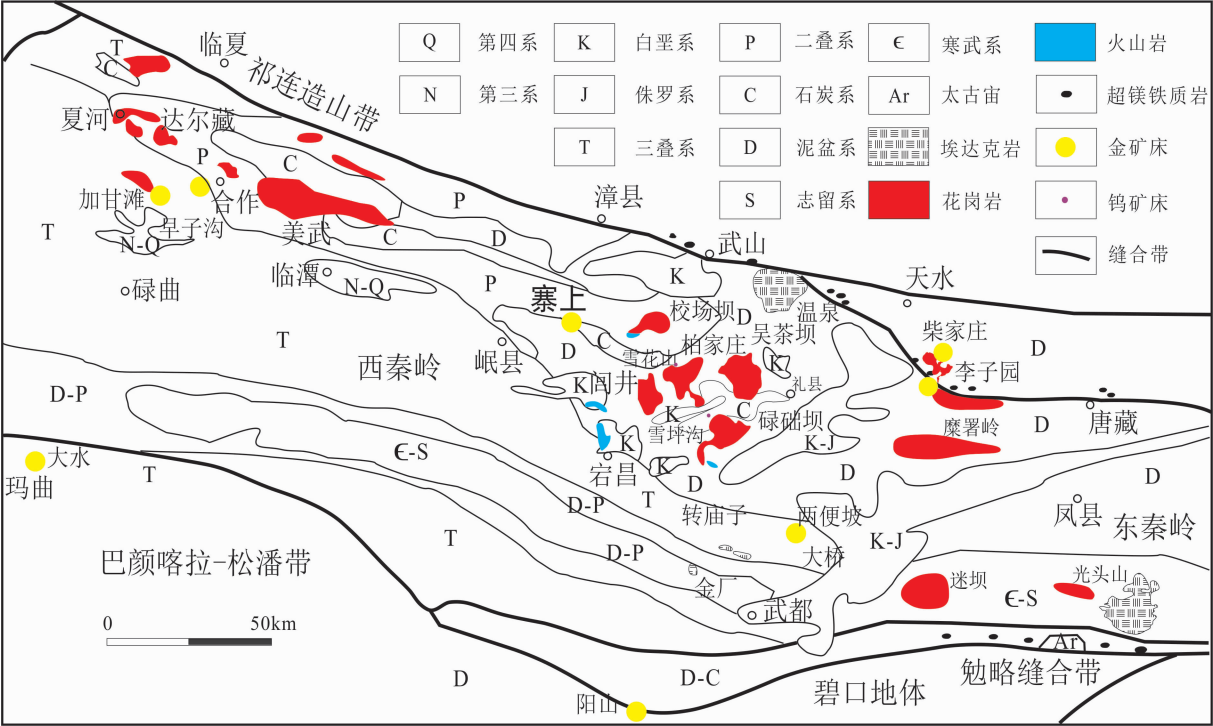


图 1 西秦岭地区地质简图

Fig. 1 Regional geologic sketch map of the West Qinling area

2 矿床地质特征

寨上钨-金(锑)多金属矿床赋存于中泥盆统(南矿带)、下二叠统(北矿带)浊积岩建造中,岩性为石英砂岩、粉砂岩、板岩和灰岩(图 2a)。矿区断裂十分发育,总体展布方向为 NWW 和 NW 向,与区域构造及背斜走向一致。断裂一般沿不同岩性界面发育,往往是岩性组/段之间的分界线,多表现为负地形,并有断层泉、构造角砾岩和断层泥发育。所有矿体均赋存于层间或顺层构造破碎带内,明显受卓落-国营牧场背斜及 NWW—NW 向断裂的联合控制(余超,2015;喻万强,2015;王增涛等,2015)。赋矿岩石均富含钙质、铁质,岩性为碳质板岩、钙质板岩、细砂岩和灰岩,钙质板岩中含有较多的腕足类化石,且其边缘被黄铁矿交代(刘家军等,2008)。

调查表明,矿体受地层、构造(褶皱和断裂)控制。钨矿体与金矿体均充填于构造破碎带,严格受 NWW 向破碎带控制,其中钨矿体呈透镜状或似板状,产状相对稳定,多个平行矿体组成矿脉群。金矿

体多呈层状、似层状和透镜状产出,与围岩界线不清楚,矿体的边界须依赖化学成分加以圈定。值得说明的是,该矿床的钨矿体/矿化与金矿体/矿化在空间上或呈重合叠加(不过钨矿体/钨矿化厚度明显小于金矿体/金矿化),或呈独立分离(图 2b),但多数情况下钨矿体位于岩脉的上盘。矿石共生矿物有简单硫化物及硫酸盐矿物、氧化物、氢氧化物、碲化物、含氧酸盐以及金属互化物等。

矿脉及两侧普遍发育围岩蚀变,蚀变较强烈地段金属硫化物也较发育,矿化较好。蚀变类型以硅化、碳酸盐化最为显著,次为黄铁矿化、白钨矿化、毒砂矿化,少量辉锑矿化、黝铜矿化,也可见褐铁矿化、高岭土化等。

与矿化关系密切的是硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、毒砂化和白钨矿化。其中,硅化可分出早、中、晚 3 个期次,早期多为脉状、薄板状平行或穿插岩层,充填于各种矿化或矿石角砾之间,与矿化关系不明显;中期则为细脉状沿岩石或矿石微裂隙充填;晚期为细脉状、网脉状或小团块状分布于破碎带内,与钨金矿化成正相关关系。碳酸盐化发育在成矿晚期,多以方解石、铁白云石等矿物出现。铁白云石具有

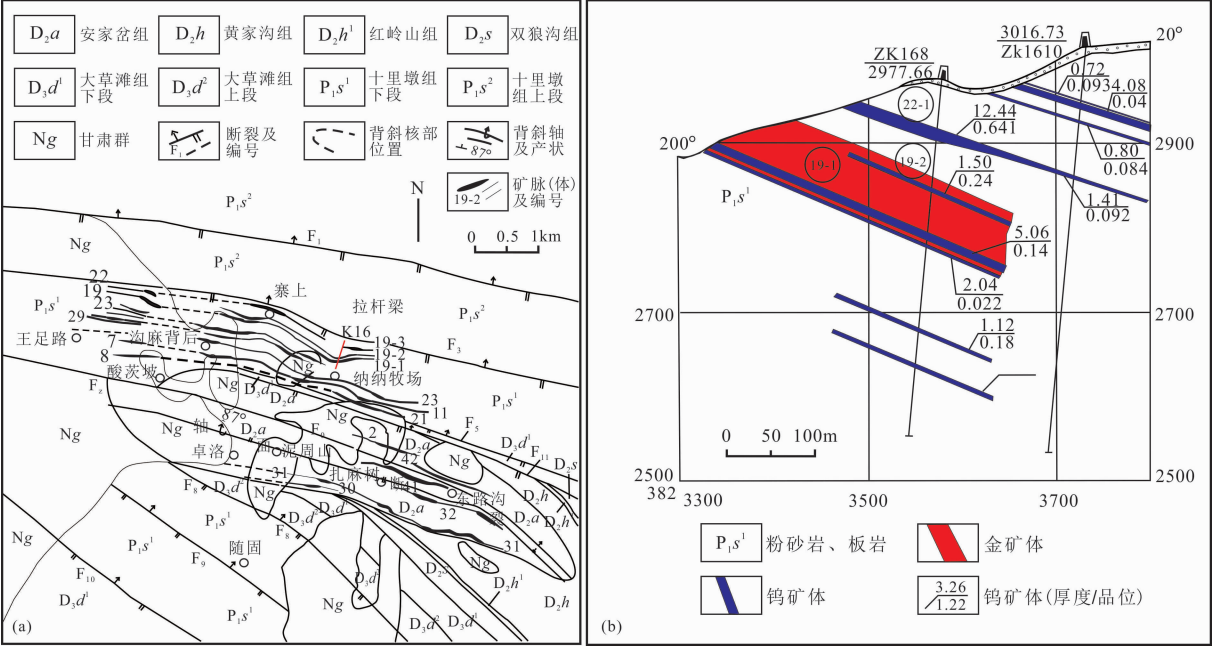


图 2 (a)寨上矿区地质简图和(b)16 线勘探线剖面图

Fig. 2 (a)Simplified geological map of Zhaishang mining area,(b)The section map of Line 16 of the Zhaishang deposit district

明显的环带构造,方解石化作用时间长,分布广,单独的方解石化不含金,与硅化伴生的方解石化多出现金矿化,方解石多为细脉,部分与石英细脉伴生,有的形成石英方解石细脉或方解石石英细脉,常与自然金颗粒连生在一起,与钨金矿化关系也很密切。黄铁矿化普遍发育,呈浸染状、细脉状和团块状分布,与金矿化关系最为密切。毒砂化主要发育于矿化蚀变碎裂岩中,呈微细-细粒针状,零乱分布,与金矿化关系密切。辉锑矿化多呈团块状,可形成锑金矿石。一般来说,矿化和蚀变程度与构造变形密切相关,即蚀变作用和岩石破碎强烈,那么矿化一般较强,矿石品位较高,反之则矿石品位较低。钨金矿化较强地段,多明显出现白钨矿和细粒浸染状黄铁矿组合,其含量与矿化品味成正相关关系(余超,2015)。

矿区矿物成分复杂,种类繁多,既有自然元素及其金属互化物,又有硫化物、碲化物及硫盐、氧化物、氢氧化物及含氧酸盐类。其中,多金属互化物及其S的多元合金矿物,生成条件独特,形成于缺氧、低硫的强还原环境(刘家军等,2008)。矿石矿物主要

有黄铁矿、毒砂、白钨矿、辉锑矿和黝铜矿等。脉石矿物主要有石英、方解石、高岭石、绢云母、铁白云石、重晶石等(图 3a)。

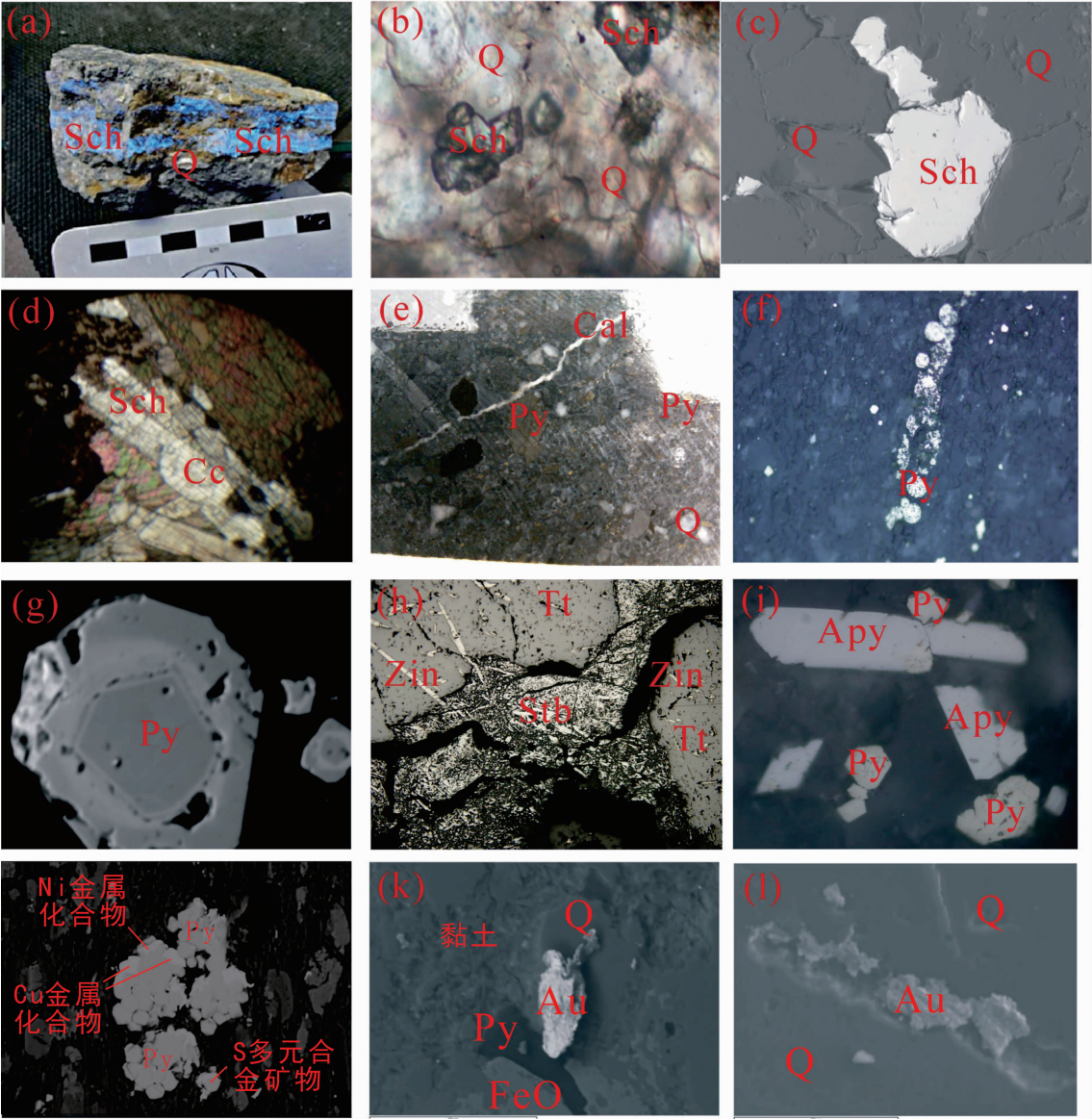
钨矿物以白钨矿为主,黑钨矿极少;白钨矿多呈黄褐色、灰白色,紫外线下显示浅蓝色荧光效应(图 3a),呈脉状、细脉状分布在石英细脉或石英团块中;显微镜下多呈自形四方双锥状、他形粒状(图 3b—图 3d),个别颗粒呈港湾状和环带结构,热液充填和交代特征显著(刘家军等,2008)。共生矿物主要有石英、方解石,次为重晶石、辉锑矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、铁白云石等(图 3c—图 3d),即在显微镜下,部分白钨矿与辉锑矿、闪锌矿紧密连生在一起,但自然金、银金矿一般产于硫化物-石英脉裂隙中,未见金矿物与白钨矿连生在一起的现象(刘家军等,2008)。矿物共生组合为早期粗粒他形白钨矿+石英、晚期细粒白钨矿+碳酸盐(碱性)和细粒白钨矿+硫酸盐(余超,2015)。矿石结构主要有自形粒状、半自形粒状、他形结构等;矿石构造有块状和细脉状构造等(郑卫军等,2010)。

黄铁矿以细粒、微细粒为主,晶形包括立方体、

草莓状、五角十二面体、他形粒状等。其中,五角十二面体、他形粒状黄铁矿形成于热液成矿期,大多具有增生环带结构(图 3e—图 3g)。共生矿物主要有各种硫化物、石英、方解石、金属互化物和碲化物等(图 3h—图 3j)。黄铁矿是最主要的载金矿物之一,石英、辉铜矿和褐铁矿是次要的载金矿物,方解石、菱铁矿、重晶石等不含金(刘新会等,2009,2010),金矿物主要以显微自然金的形式产出,其次为次显微金,主要有自然金、碲金银矿和板碲金银矿(刘新会

等,2011),以晶格金、裂隙金以及粒间金三种状态存在(图 3k—图 3l),金矿物与各种硫化物、石英及碲化物共生。

矿石结构主要有自形粒状结构、他形粒状结构、固溶分解结构、交代结构、胶状结构、草莓状结构、环带结构、碎裂结构等。矿石构造主要有脉状构造、浸染状构造、团块状构造、碎裂状构造、斑点状构造、团块状构造、放射状构造、块状构造、晶簇状构造等。



Sch. 白钨矿;Py. 黄铁矿;Stb. 辉锑矿;Au. 自然金;Q. 石英;Apy. 毒砂;Tt. 黝铜矿;zin. 辉锑铅矿;Cal. 方解石;Cc. 重晶石

图 3 寨上矿床主要金属矿物

Fig. 3 Main metal minerals in Zhaishang deposit

3 矿床成因研究

3.1 成岩成矿时代

同位素定年为在成矿作用与其他地质过程和地质事件之间搭起成因联系的桥梁提供了关键资料(李建威等,2019)。精确的成岩、成矿年代学研究是分析矿床成因、阐明成矿规律和理解成矿作用与地球动力学背景的关键。

喻万强(2015)对寨上岩脉进行全岩<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar定年,总气体年龄(*T<sub>i</sub>*)为221.5 Ma和221.6 Ma,分别小于其坪年龄236.3 Ma和228.6 Ma。总体上看,总气体年龄、坪年龄和最大概率年龄(223.2 Ma)较为接近(图4),表明寨上矿区岩脉侵位时代大约在221Ma(吕喜旺等,2017)。

寨上白钨矿的Sm和Nd含量变化范围大,适于Sm-Nd同位素体系定年。余超(2015)对寨上多金属矿床的白钨矿和方解石进行了Sm-Nd同位素测年结果显示,白钨矿的等时线年龄为222.6

Ma,MSWD=3.0,代表了白钨矿的结晶年龄为222.6 Ma,说明钨成矿作用发生于印支晚期,属于秦岭造山带主造山期(242~221 Ma)的晚期(余超,2015)。

方解石的的等时线年龄为144.1 Ma,MSWD=3.0,代表方解石的结晶年龄为144.1 Ma,属于燕山晚期。另外,矿区第11和第9号矿脉的蚀变矿物石英和绢云母的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄分别为130 Ma和125 Ma。由于石英含有极少量的过剩Ar,绢云母在低温阶段发生极少量的氩丢失(2.2%),说明这2个年龄值分别代表蚀变年龄的上限和下限(路彦明等,2006),结合方解石的结晶年龄为144.1 Ma,认为成矿时代为144~125 Ma。

综合以上年代学数据,推测寨上多金属矿床具有两期矿化,即印支晚期约为222 Ma伴随中酸性脉岩侵位发生了钨矿化,早白垩世140~125 Ma则发生了金矿化(陈国忠等,2017),130 Ma是金矿化的峰期。

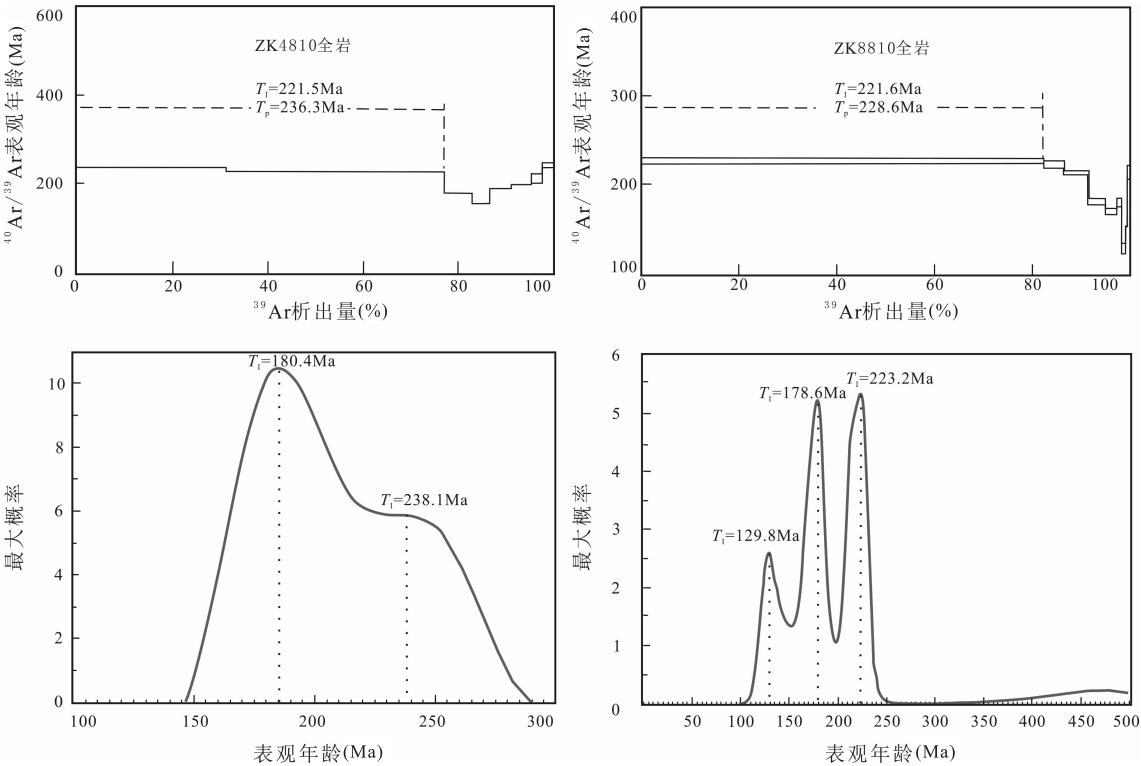


图4 寨上矿区闪长玢岩脉全岩<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄图谱

Fig.4 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age map of diorite porphyrite dike in Zhaishang mining area

### 3.2 成矿物质来源

谢家荣(1963)提出将成矿物质来源作为矿床成因分类的基本要素,强调不仅要研究矿床的工业类型,而且要研究矿床的成因类型。寨上多金属矿床的钨可能来源于寨上闪长玢岩脉,钙则来自围岩地层(吕喜旺等,2017),而关于金矿的物质来源的观点目前尚不一致。从寨上矿床石英氢-氧同位素测试结果看,成矿流体水具有多来源特征,即以大气降水为主,可能有少量深部流体参与成矿。方解石的碳-氧同位素组成特征也显示,碳主要来源于海相沉积碳酸盐岩的溶解,并有花岗岩岩浆热液的混入。硫同位素测试结果表明,其重硫同位素组成变化范围较大(1.35‰~10.32‰),显示兼具幔源硫和壳源硫特征(陈国忠等,2017;路彦明等,2006;刘家军等,2010)。铅同位素组成较为稳定且变化范围较小,反映铅主要来源于含矿地层本身及其下伏地层,同时深源铅也参与了成矿作用(喻万强,2015)。

从质量迁移的角度看,寨上矿区所在区域的中、上泥盆统具有高的金背景值,而矿区则金为负异常,暗示地层中的 Au 被淋滤迁移到成矿溶液中,而且中泥盆统中金的迁出程度强于上泥盆统,佐证了赋矿围岩为金矿床的形成提供了成矿物质的观点(喻万强,2015)。

### 3.3 成矿流体性质

寨上矿床的流体包裹体多呈不规则状产出,寄主矿物主要为白钨矿、石英和方解石,次为重晶石和铁白云石(LIU et al., 2015; 余超, 2015; 马星华等, 2008; 路彦明等, 2006)。白钨矿流体包裹体中液相和气相共存,成分均为  $H_2O$ , 未见矿物子晶。均一温度为  $132\sim 252\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 平均温度为  $202\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 盐度为  $3.55\%\sim 11.22\%$ , 平均盐度为  $7.84\%$ , 密度为  $0.80\sim 0.99\text{ g/cm}^3$ , 属于中温、低密度、低盐度热液流体(余超, 2015), 与典型的石英脉型钨矿的成矿流体特征具有一定的相似性和可比性(祝新友等, 2015), 没有发生明显的沸腾和系统的降温过程, 成矿环境偏碱性(吕喜旺等, 2017)。

在其他寄主矿物的流体包裹体中,发现一个包裹体中有疑似食盐矿物子晶(余超, 2015), 重晶石流体包裹体中存在烃类有机质(马星华等, 2008), 在化学组成上与滇-黔-桂地区的卡林型金矿床的成矿流体类似, 具有含有机质、富硫化氢、高砷、铋、金, 低铁等特点(李建威等, 2019)。包裹体中液相和气相

共存,液相成分主要为  $H_2O$ , 气相成分以  $H_2O$  为主外, 还有  $CO_2$ 、 $N_2$  及  $CH_4$  等还原性气体; 均一温度为  $103.2\sim 371.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 总体上温度有先升后降的趋势。盐度为  $1.29\%\sim 17.56\%$ , 密度为  $0.71\sim 1.09\text{ g/cm}^3$ , 属于中低温、低密度、低盐度流体(马星华等, 2008)。流体中  $Na^+/K^+$  值为  $1.2\sim 5.4$ ,  $1 < Na^+/(Ca^{2+} + Mg^{2+}) < 10$ , 且  $F^-$  远大于  $Cl^-$ , 反映成矿流体可能不是典型的岩浆热液或变质热液, 也不可能是典型的地下热水, 因此推测其具有多源性, 可能属于有深源流体或其他成因流体参与的混合流体。进一步推断含矿流体在金成矿的过程中很可能局部发生过沸腾作用或者是相分离(路彦明等, 2006)。

### 3.4 岩浆作用与成矿作用的关系

秦岭造山带中生代花岗岩类非常发育, 2 次主要的构造-岩浆事件发生在晚奥陶世(约 450 Ma)和晚三叠世(约 220 Ma)(刘家军等, 2008)。西秦岭地区主要发育印支期(245~200 Ma)花岗岩类, 侵位时间集中于早一中三叠世(245~234 Ma)和晚三叠世(225~200 Ma)2 个阶段, 并伴有少量同期次火山岩(黄雄飞等, 2013), 是造山带印支期碰撞造山过程的重要物质响应。还有一部分 230~210 Ma 花岗岩侵位事件应该与勉略构造带洋盆的闭合(230~210 Ma)及随后的造山带迅速褶皱、隆升以及苏鲁-大别超高压岩石板片快速折返(240~225 Ma)等一系列地质事件相对应, 可能形成于同碰撞-后碰撞的挤压-松弛转折期。花岗岩以准铝质高钾钙碱性系列占绝对优势, 类型以 S 型为主, 次为 I 型和 M 型, 并有少量  $A_2$  型花岗岩(王银川, 2013; 徐通等, 2017)。特别是晚三叠世(225~200 Ma)花岗岩大部分具有不同程度的埃达克岩属性(金维浚等, 2005; 秦江峰等, 2011; 王建中等, 2014; 李注苍等, 2014), 部分花岗岩为“C”埃达克岩(王建中等, 2016; 张宏飞等, 2007)或喜马拉雅型花岗岩(张旗等, 2009; 徐学义等, 2014), 岩浆作用与同时代钨、钼、铜等岩浆热液矿床具有密切的时空、成因联系, 形成中生代与陆内造山体制构造-岩浆活动有关的成矿系统(姚书振等, 2006)。

甘肃礼县雪坪沟砂卡岩型钨矿矿化时间(208.4 Ma)与碌础坝黑云母二长花岗岩的侵位时间(215.2 Ma)相近, 说明钨矿化与岩浆活动存在密切时空、成因联系, 雪坪沟钨矿床应为岩浆热液矿床(丁振举等, 2012; 杨阳等, 2015)。甘肃武山温泉岩体钼矿化

主要发育在第Ⅱ、Ⅲ序次准铝质、钾玄质花岗岩中(张宏飞等,2005;朱赖民等,2009),相对氧逸度高(于皓承等,2019);Ⅱ和Ⅲ单元分别侵位于~223 Ma和~217 Ma,持续约8 Myr(于皓承等,2019),与辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(219 Ma)比较一致,钼矿化发生于晚三叠世(邱昆峰等,2014;宋史刚等,2008;何谋春,2012;熊潇,2017),表明晚三叠世花岗质岩浆作用与钼成矿作用具有密切时空、成因关系。青海同仁县江里沟岩体主要岩性为斑状花岗岩,属弱过铝质花岗岩,具埃达克岩性质(何谋春,2012),兼具喜马拉雅型花岗岩的地球化学特点(徐学义等,2012),与后碰撞花岗岩相似。江里沟钨铜钼矿矿床为典型的斑岩型-矽卡岩型矿床,辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为218.1 Ma,为晚三叠世江里沟岩浆成岩作用和成矿作用的产物(何谋春,2012)。甘肃武都金厂石英闪长岩岩体内含有大量镁铁质暗色微粒包体,石英闪长岩发育矽卡岩型铜金矿,微粒包体和寄主岩的锆石 U-Pb 年龄分别为215 Ma和212 Ma,代表岩体的成岩年龄和成矿年龄,表明金厂石英闪长岩在晚三叠世侵位,成岩成矿作用发生于造山后伸展环境(刘志鹏等,2012)。

东秦岭地区在燕山期晚侏罗世至早白垩世期间,大量发育晚侏罗世和早白垩世花岗岩类(陈衍景等,2004),存在与同期次花岗质岩石相关的铜、钼、钨成矿事件(熊潇,2017)。主体花岗岩(150~138 Ma)成岩事件(140 Ma)发生于板内伸展构造体制,与陆-陆碰撞带加厚岩石圈的垮塌作用有关,属于后造山期挤压向伸展转变的环境(朱赖民等,2009)。小河口岩体主要由花岗闪长玢岩和花岗斑岩组成,花岗斑岩发育铜矿化,岩石为准铝质-弱过铝质 I 型花岗岩,岩体锆石 U-Pb 年龄为141.3~138.1 Ma,代表小河口岩体的侵位年龄和小河口矽卡岩铜矿床的成矿年龄,与金堆城含钼矿斑岩(含矿)的锆石 U-Pb 年龄(141 Ma)一致,形成于侏罗纪-白垩纪之交的挤压向伸展转变期(熊潇,2017)。在140~138 Ma,开始受伸展构造应力场的制约,加厚岩石圈垮塌,下地壳和岩石圈地幔受热发生部分熔融和壳-幔相互作用,形成花岗质富铜、钼、钨岩浆及其有关的斑岩-矽卡岩型矿床(熊潇,2017)。相比之下,在西秦岭地区140 Ma前后的岩浆岩不发育,仅在少数矿区发育规模较小的中酸性岩脉或脉岩(李建威等,2019),但该区存在燕山期(140~120 Ma)区

域性快速冷却事件,构造活动可能与西秦岭北缘隆升有直接关系(郑德文等,2004),与金矿化的峰期(130~100 Ma)相对应。

西秦岭地区经历了多期、多阶段的构造作用,强烈的构造-岩浆活动造成多期构造-热事件的发生,使得不同时代、不同类型的岩浆岩在区内广泛分布,伴随着构造-岩浆作用,形成了大量不同类型的内生金属矿床。晚三叠世(230~210 Ma),秦岭洋(勉略洋)闭合,西秦岭地区进入后碰撞造山和陆内逆冲推覆造山阶段,构造体制由挤压向伸展过渡逐渐转变为伸展环境,造山带在此特殊环境条件下减压增温,特别有利于下地壳物质的部分熔融、流体不混溶、相分离和壳-幔相互作用的发生。下地壳物质减压熔融形成花岗质岩浆,并诱发强烈的壳-幔相互作用,形成富含钨、钼、铜等金属元素的花岗质岩浆,花岗质岩浆沿构造薄弱带上升侵位,伴随着岩浆结晶分异,发生流体不混溶和相分离作用,导致成矿流体从岩浆中出溶,流体不混溶作用更加促进成矿作用的发生,进而形成强烈的流体作用和富水、高氧逸度的含矿岩浆(熊潇,2017),最终形成晚三叠世花岗岩类及其 W、Mo、Cu 等矿床(伴生金),构成中生代钨、钼、铜中高温矿床成矿系列(姚书振,2002,2006;何谋春,2012)。

### 3.5 矿床成因分析

寨上闪长玢岩脉具有重熔型花岗岩的特征,属于准铝质高钾钙碱性花岗岩类(喻万强,2015),其分异程度稍高,氧化性中等,属于富钨花岗岩,有利于钨矿化。初步研究认为寨上白钨矿可能为岩浆热液成因,形成于中温、弱碱性、氧化条件,其成矿年龄为222 Ma,与同时代(221 Ma)的闪长玢岩岩浆活动具有同时性(吕喜旺等,2017)。对比研究发现,寨上钨矿床属于破碎蚀变岩型钨矿或赋存在破碎蚀变带中的石英脉型钨矿,与赣南八仙脑钨矿具有一定的相似性和可比性(王建中等,2016),而八仙脑钨矿 Re-Os 等时线年龄为157.9 Ma,成矿与同期次的157.2 Ma 侵位的黑云母花岗岩关系密切,为浆热液成因钨矿(丰成友等,2012)。处在同一成矿带上的雪坪沟矽卡岩型钨矿与碌础坝岩体密切相关,矿化与215.2 Ma 黑云母二长花岗岩岩浆作用存在密切时空、成因联系,为岩浆热液矿床(丁振举等,2012;何谋春,2012;杨阳等,2015)。所以,寨上钨矿床为典型的岩浆热液矿床,与同时代的岩(脉)体具有密

切的时空、成因联系,是晚三叠世(225~200 Ma)岩浆作用及其过程的产物,应是西秦岭晚三叠世钨、钼、铜成矿系列的组成部分。钨为中等不相容元素,优先进入岩浆熔体,随着岩浆的演化,更倾向于进入岩浆期后热液富集,形成含钨成矿热液(刘家军等,2019)。钨以杂多酸络合物的形式随含矿热液迁移,在沿断裂等构造迁移的过程中,热液与途经的围岩地层充分进行水岩反应,选择性交代围岩中的钙质,导致含钨热液 pH 值升高(余超,2015)。由于温度降低、pH 值升高等物化条件发生改变,造成钨的杂多酸络合物变得不稳定而分解,促使钨在有利构造部位沉淀、富集成矿。

西秦岭地区金的成矿作用发生于 220~40 Ma,其中 220~170 Ma 和 130 Ma 左右的 2 个峰区集中了大多数矿床,包括造山型、卡林型和类卡林矿床(刘家军等,2019)。卡林型金矿是一类后生矿床,矿床与岩浆岩没有肯定的直接成因关系,促使金迁移和富集的是非岩浆来源的在地壳中循环的流体。金矿的形成常与区域内年代较新的构造和热事件有关(薛春纪等,2007)。由于卡林型金矿周围不同程度地发育一些规模不大的岩浆岩(小岩墙、小岩株、小岩脉),而岩脉的年龄与金矿往往存在一致性,所以,有学者提出卡林型金矿可能与深部岩体有关(Ressel, et al., 2006)。Simon et al(2016)通过对流体包裹体成分(微量元素)进行分析,并将美国内华达州 Carlin trend 的 Quarry 卡林型金矿与临近(Canyon)矿区的 Chukar 斑岩铜矿进行对比研究,认为二者的成矿时代相近,为同一个成矿系统不同阶段的产物。寨上多金属矿床围岩地层岩石和矿石稀土元素特征、稳定同位素研究表明,金主要来自深部下地壳和围岩地层,同时期的岩浆活动可能参与了成矿作用(刘家军等,2019)。这些测试数据均来自全岩分析或整体分析,分析结果非常复杂,通常为混合信息,难以反映精确的物质来源和矿床成因;钨矿的成岩成矿时代约为 220 Ma,而金矿化则发生在 140~120 Ma,两期成矿作用至少存在 80 Ma 的时差,此时,规模较小的闪长玢岩脉早已结晶固化,岩脉不足以金矿化提供足够的成矿物质(金)和热量,目前寨上矿区尚未发现与金矿化同时代的岩浆岩,所以,笔者认为金矿化与闪长玢岩脉没有必然的成因联系。前人的研究多往往把钨作为金的有益伴生组分,没有严格区分矿化期次,金矿化中含有岩浆

活动参与成矿的印记,恰恰说明寨上矿区存在早期岩浆成矿作用和晚期构造-改造(溶滤)成矿作用的叠加。西秦岭地区在 130 Ma 处于造山后伸展构造背景,深部流体在构造热效应和地热梯度的驱动下向上运移,其携带的热及还原性流体促进金属等物质活化、迁移,并和浅部流体混合(马星华等,2008;刘家军等,2010)。随着混合流体的渗透运移,不断与围岩发生反应,使金等易活化元素进一步从围岩中萃取出来并富集于流体,形成含金络合物较高的含矿热液。热液沿断裂构造运移到裂隙、节理、劈理等构造发育部位,与围岩发生水岩反应,造成围岩中含 Fe 碳酸盐矿物溶解,并释放 Fe 元素和形成大量硫化物,导致成矿流体 pH 值增大。同时,随着  $f(S_2)$  降低、 $f(O_2)$  升高、温度降低、压力突变等因素的改变, $[Au(HS)_2]^-$  的稳定性被破坏,金达到过饱和,最终导致大规模金等物质沉淀、聚集而形成寨上金矿(马星华等,2008;刘家军等,2010)。

### 3.6 综合对比研究

寨上多金属矿床钨、金矿化在元素组合、矿物共生组合、成矿流体性质(成矿温度、流体成分、氧化还原条件)、成矿物质来源、成矿时代、赋矿围岩地层、成因类型和控矿因素等诸多方面存在明显差异(表 1),说明钨矿化和金矿化之间没有必然的成因联系,与 R 型聚类分析相一致:W、Sb、Zn、S 元素仅在距离系数为 0.175 时,才与 Au、Se、Te 等元素聚为一类(刘家军等,2008),应该为不同成矿期次、不同成矿系统、不同成矿作用和成矿过程的产物。

从表 1 不难看出,寨上钨矿体赋存于破碎带中,围岩岩性为碳质板岩和灰岩,白钨矿形成于含氟的中高温、弱碱性的氧化条件,其成矿时代(221 Ma)和寨上闪长玢岩脉的侵位年龄相当(223 Ma),也与 220 Ma 区域性岩浆作用十分吻合,为岩浆热液矿床,属于晚三叠世钨、钼、铜成矿系列。而金矿体同样赋存于破碎带中,赋矿岩性主要为钙质板岩和细砂岩,矿化发生在 141~125 Ma,成矿与闪长玢岩岩浆活动没有直接的联系,含矿热液为中低温、弱酸性的还原流体,成矿物质主要来自地壳,受构造和岩性的联合控制(卢杰,2015),构造(断层、褶皱)运动形成的破碎带为主要的控矿因素;在围岩蚀变、矿石矿物组合及成矿元素组合等地质特征方面和卡林型金矿比较一致(陈国忠等,2017),但成矿流体特征、成矿构造背景、控矿构造、金的赋存状态等方面则显示

出兼有卡林型和造山型金矿的特征(陈国忠等, 2017;刘家军等,2019),矿床类型可能属于卡林型金矿床与造山型金矿床的过渡类型(李建威等,2019),属于沉积成矿系统的锑汞、铅锌中低温矿床成矿系列(陈衍景等,2004)。

综上所述,寨上多金属矿床属于复合叠加矿床,具有多期次、多来源和多成因的显著特点,钨、金矿

化分别为不同期次、不同成矿系统和不同成矿作用产物,可能经历了不同的成矿过程。钨矿化(221 Ma)与闪长玢岩的形成时代(223 Ma)比较一致,说明钨矿化可能与晚三叠世后碰撞挤压-伸展转换阶段岩浆事件密切相关,而金矿化更可能出现在140~125 Ma,与西秦岭地区早白垩世(140~120 Ma)造山后伸展地球动力学背景下的区域性构造活动有关。

表 1 寨上多金属矿床钨、金矿化异同对比表  
Tab. 1 Similarities and differences of tungsten and gold mineralization in Zhaishang polymetallic deposit

| 对比内容     |                        | 钨矿                   | 金矿                                       |
|----------|------------------------|----------------------|------------------------------------------|
| 元素组合     |                        | W、Mo、Sb、Zn、S         | Se、Te、Au、Ag、Hg                           |
| 矿物共生组合   |                        | 白钨矿、石英、碳酸盐和少量辉锑矿、闪锌矿 | 硫化物、碲化物、硫酸矿物甚至金属互化物                      |
| 成矿流体特征   | 温度(℃)                  | 160~240              | 142~252                                  |
|          | 盐度(%)                  | 1.8~2.8              | 3.55~11.22                               |
|          | 密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.725~0.75           | 0.75~0.99                                |
|          | 压力(MPa)                | 20.4                 | 20.6                                     |
|          | 成分                     | H <sub>2</sub> O-F体系 | H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> -NaCl体系 |
|          | 性质                     | 氧化、弱碱性               | 还原、弱酸性                                   |
| 有无沸腾作用发生 |                        | 无明显沸腾作用              | 局部发生沸腾作用                                 |
| 物质来源(主要) |                        | 岩浆                   | 地层                                       |
| 成矿时代(Ma) |                        | 221                  | 140~120                                  |
| 赋矿围岩地层   |                        | 构造蚀变岩(碳质板岩、灰岩)       | 构造蚀变岩(钙质板岩、细砂岩)                          |
| 工业类型     |                        | 石英脉型                 | 构造蚀变岩型                                   |
| 成因类型     |                        | 岩浆热液                 | 卡林-造山过渡型                                 |
| 成矿系统     |                        | 岩浆成矿系统               | 沉积成矿系统                                   |
| 成矿系列     |                        | 铜、钼、钨                | 金、锑、汞、铅、锌                                |
| 控矿因素     | 主要                     | 岩体/岩脉                | (断裂、背斜)破碎带                               |
|          | 次要                     | (断裂)破碎带              | 岩性                                       |

## 4 结论

寨上超大型钨-金(锑)多金属矿床为复合叠加矿床,是地层、构造和岩浆岩综合作用的产物,至少存在晚三叠世和早白垩世两期成矿作用,早期钨矿化发生在 220 Ma 左右,晚期金矿化时间可能为 140~120 Ma,晚期金矿化叠加早期钨矿化。

钨矿为破碎蚀变岩型,矿质来源于岩浆期后热液,在时空和成因上与同时代(220~210 Ma)富钨的闪长玢岩脉关系密切,属于岩浆岩成矿系统的铜、钨、钼成矿系列。

金矿的成矿物质主要来自地层,矿化与闪长玢岩脉没有必然的成因联系,成矿时代为燕山期(140~120 Ma),与西秦岭地区燕山期(140~120 Ma)区域性构造活动有关。矿床类型可能属于典型卡林型金矿床与造山型金矿床的过渡类型,属沉积岩成矿系统的锑汞、铅锌中低温矿床成矿系列。

## 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(04):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]. *Chinese Geology*, 2010, 37(4):854-865.
- 陈衍景, 张静, 张复新, 等. 西秦岭地区卡林-类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式[J]. *地质论评*, 2004, 50(2):134-152.
- CHEN Yanjing, ZHANG Jing, ZHANG Fuxin, et al. Carlin and Carlin-like Gold Deposits in Western Qinling Mountains and Their Metallogenic Time, Tectonic Setting and Model[J]. *Geological Review*, 2004, 50(2):134-152.
- 丁振举, 姚书振, 周宗桂, 等. 甘肃礼县雪坪沟钨矿床成因: 花岗岩锆石 U-Pb 与白云母 Ar-Ar 年龄证据[J]. *矿床地质*, 2012, 31(S1):537-538.
- 丰成友, 王松, 曾载淋, 等. 赣南八仙脑破碎带型钨锡多金属矿床成矿流体和年代学研究[J]. *岩石学报*, 2012, 28(1):52-64.
- FENG ChengYou, WANG Song, ZENG ZaiLin, et al. Fluid inclusion and chronology studies of Baxiannao mineralized fractured zone-type tungsten polymetallic deposit, southern Jiangxi Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(1):52-64.
- 何谋春. 西秦岭地区与中生代花岗岩有关的钨钼铜成矿系统[D]. 武汉: 中国地质大学, 2012.
- HE MuChun. Mo-W-Cu Metallogenic System Related to Mesozoic Granite in West Qinling Region[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2012.
- 黄雄飞, 莫宣学, 喻学惠, 等. 西秦岭宕昌地区晚三叠世酸性火山岩的锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2013, 29(11):3968-3980.
- HUANG Xiongfei, MO Xuanxue, YU Xuehui, et al. Zircon U-Pb chronology, geochemistry of the Late Triassic acid volcanic rocks in Tanchang area, West Qinling and their geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(11):3968-3980.
- 金维浚, 张旗, 何登发, 等. 西秦岭埃达克岩的 SHRIMP 定年及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2005, 21(3):959-966.
- JIN Weijun, ZHANG Qi, HE Dengfa, et al. SHRIMP dating of adakites in western Qinling and their implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(3):959-966.
- 李注苍, 李永军, 杨志勇, 等. 甘肃大水金矿田埃达克岩特征及成矿物质来源[J]. *新疆地质*, 2014, 32(02):250-254.
- LI Zhucang, LI Yongjun, YANG Zhiyong, et al. The Geochemical Characteristics of Adakite Rock and the Source of Metallogenic Material in Dashui Goldfield of Gansu Province[J]. *Xinjiang Geology*, 2014, 32(02):250-254.
- 刘春先, 李亮, 隋吉祥. 甘肃枣子沟金矿的矿化特征及矿床成因[J]. *地质科技情报*, 2011, 30(6):66-74.
- LIU Chunxian, LI Liang, SUI Jixiang. Mineralization Characteristics and Ore Genesis of the Zaozigou Gold Deposit, Gansu Province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2011, 30(6):66-74.
- 李建威, 赵新福, 邓晓东, 等. 新中国成立以来中国矿床学研究若干重要进展[J]. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(11):1720-1771.
- LI Jianwei, ZHAO Xinfu, DENG Xiaodong, et al. An overview of the advance on the study of China's ore deposits during the last seventy years (in Chinese)[J]. *Scientia Sinica Terrae*, 2019, 49(11):1720-1771.
- 刘家军, 刘冲昊, 王建平, 等. 西秦岭地区金矿类型及其成矿作用[J]. *地学前缘*, 2019, 26(05):1-16.
- LIU Jiajun, LIU Chonghao, WANG Jianping, et al. Classification and mineralization of the gold deposits in the western Qinling region, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(5):1-16.
- 刘家军, 刘光智, 廖延福, 等. 甘肃寨上金矿床中白钨矿矿体的发现及其特征[J]. *中国地质*, 2008, 35(6):1113-1120.
- LIU Jiajun, LIU Guangzhi, LIAO Yanfu, et al. Discovery and significance of scheelite orebodies in the Zhaishang gold deposit, southern Gansu[J]. *Chinese Geology*, 2008, 35(6):1113-1120.
- 刘家军, 毛光剑, 吴胜华, 等. 甘肃寨上金矿床矿物组成特征与矿质沉淀机理[J]. *中国地质*, 2010, 37(2):453-462.
- LIU Jiajun, MAO Guangjian, WU Shenghu, et al. Characteristics of mineral association and mechanism of Au precipitation in the Zhaishang gold deposit, southern Gansu[J]. *Chinese Geology*, 2010, 37(2):453-462.
- 刘家军, 毛光剑, 马星华, 等. 甘肃寨上金矿床中 Cu-Ni-Zn-Sn-Fe 多金属互化物、S 合金矿物的发现及其地质意义[J]. *中国科学 D 辑*, 2008, 38(4):414-423.
- 刘家军, 毛光剑, 吴胜华, 等. 甘肃寨上金矿床成矿特征与形成机理[J]. *矿床地质*, 2010, 29(1):85-100.
- LIU Jialun, MAO Guangjian, WU ShengHua, et al. Metallogenic characteristics and formation mechanism of Zhaishang gold deposit, southern Gansu Province[J]. *Mineral Deposits*, 2010, 29(1):85-100.
- 刘新会, 冯明伸, 刘家军, 等. 西秦岭寨上特大型金矿床碲化物与金矿物共生关系研究[J]. *黄金科学技术*, 2011, 19

(4):6-12.

LIU Xinhui, FENG Mingshen, LIU Jiajun, et al. Reserch on the Paragenetic Relationship between Tellurium and Gold Minerals in Zhaishang Gold Deposit, West Qinling [J]. Gold Science and Technology, 2011, 19(4): 6-12.

刘新会, 刘光智, 王淑娟, 等. 甘肃岷县寨上特大型金矿次显微金的赋存状态研究[J]. 西北地质, 2009, 42(3): 47-55.

LIU Xinhui, LIU Guangzhi, WANG Shujun, et al. Occurrence of Submicro Gold in a Super-Large-Sized Gold Deposit in Zhaishang of Min County, Gansu Province [J]. Northwestern Geology, 2009, 42(3): 47-55.

刘新会, 刘家军, 陈彩华. 西秦岭寨上特大型金矿床硫盐矿物特征及其成因意义[J]. 黄金科学技术, 2010, 18(4): 6-11.

LIU Xinhui, LIU Jiajun, CHEN Caihua. Mineralogy Characteristics and Genetic Significance of Tennantite-tetrahedrite from Zhaishang Gold Deposit in West Qinling [J]. Gold Science and Technology, 2010, 18(4): 6-11.

刘新会, 刘家军, 张争京, 等. 西秦岭寨上特大型金矿床成矿作用及成矿模式研究[J]. 黄金科学技术, 2010, 18(3): 20-27.

LIU Xinhui, LIU Jiajun, ZHANG Zhengjing, et al. Study on the Metallogenesis and Mineralization Model of Supergiant Zhaishang Gold Deposit in West Qinling [J]. Gold Science and Technology, 2010, 18(3): 20-27.

刘新会, 张永文, 刘民武. 西秦岭寨上特大型金矿金的赋存状态研究[J]. 黄金科学技术, 2010, 18(5): 16-19.

LIU Xinhui, ZHANG Yongwen, LIU Mingwu. Study on Gold Occurrence in Zhaishang Large Type Gold Deposit in West Qinling [J]. Gold Science and Technology, 2010, 18(5): 16-19.

刘新会, 于岚, 张复新, 等. 甘肃岷县寨上金矿床地质特征及成因初探[J]. 西北地质, 2005, 38(4): 45-53.

LIU Xin-hui, YU Lan, ZHANG Fu-xin, et al. Geological features and genetic analysis of Zhaishang gold deposit, Min county, Gansu [J]. Northwestern Geology, 2005, 38(4): 45-53.

刘学飞, 王庆飞, 杨立强, 等. 秦岭与滇黔桂地区卡林型金矿地质与地球化学特征[J]. 地质科技情报, 2008, 27(3): 51-60.

LIU Xuefei, WANG Qingfei, YANG Liqiang, et al. Geological and Metallogenic Features of Carlin-Type Gold Deposits in Qinling and Dianqiangui Areas, China [J]. Geological Science and Technology Information, 2008, 27(3): 51-60.

刘志鹏, 李建威. 西秦岭金厂石英闪长岩的岩浆混合成因: 岩相学和锆石 U-Pb 年代学证据及其构造意义[J]. 地

质学报, 2012, 86(7): 1077-1090.

LIU Zhipeng, LI Jianwei. Magma mixing in the formation of the Jinchang quartz diorite, Western Qinling orogen, western China: petrographical and geochronological constraints and tectonic implications [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(7): 1077-1090.

卢杰. 甘肃西秦岭金矿资源特征及赋矿规律研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.

LU Jie. Study on Characteristics and Ore-host Regularity of Gold Mineral in the Western Qinling Region, Gansu Province [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016.

路彦明, 李汉光, 陈勇敢, 等. 甘肃岷县寨上金矿地质地球化学特征及成因[J]. 地质与勘探, 2006, 42(4): 25-31.

LU Yanming, LI Hanguang, CHEN Yonggan, et al. Geological and geochemical features and origin of zhaishang gold deposit in the minxian county, gansu [J]. Geology and Prospecting, 2006, 42(4): 25-31.

路彦明, 李汉光, 陈勇敢, 等. 西秦岭寨上金矿床中石英和绢云母  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  定年 [J]. 矿床地质, 2006, 25(5): 590-597.

LU YanMing, LI HanGuang, CHEN YongGan, et al. Dating of alteration minerals from Zhaishang gold deposit in Minxian County, Gansu Province, and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 2006, 25(5): 590-597.

吕喜旺, 王建中, 郑卫军, 等. 甘肃省岷县寨上金矿床白钨矿成因及找矿潜力[J]. 西北地质, 2017, 50(02): 156-166.

LV Xiwang, WANG Jianzhong, ZHENG Weijun, et al. Genesis and Prospecting Potential of Scheelite in the Zhaishang Gold Deposit, Minxian County, Gansu Province [J]. Northwestern Geology, 2017, 50(2): 156-166.

马星华, 刘家军, 李立兴, 等. 甘肃寨上金矿床成矿流体性质与成矿作用探讨[J]. 岩石学报, 2008, 24(9): 2069-2078.

MA Xinghu, LIU Jiajun, LI Lixing, et al. Zhaishang gold deposit in Gansu Province: Characteristics, evolution of ore-forming fluids and their metallogenic implications. [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(9): 2069-2078.

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.

秦江峰, 赖绍聪. 秦岭造山带晚三叠世花岗岩成因与深部动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.

QIN Jiangfeng, LAI Shaocong. Petrogenesis and Geodynamic Implications of the Late-Triassic Granitoids from the Qinling Orogenic Belt [M]. Beijing: Science Press, 2011.

- 邱昆峰,李楠,Ryan D TAYLOR,等. 西秦岭温泉钼矿床成矿作用时限及其对斑岩型钼矿床系统分类制约[J]. 岩石学报,2014,30(9):2631-2643.
- QIU Kunfeng,LI Nan,Ryan D T,et al. Timing and duration of metallogeny of the Wenquan deposit in the West Qinling, and its constrain on a proposed classification for porphyry molybdenum deposits [J]. Acta Petrologica Sinica,2014,30(9):2631-2643.
- 宋史刚,丁振举,姚书振,等. 甘肃武山温泉辉钼矿 Re - Os 同位素定年及其成矿意义[J]. 西北地质,2008,41(1):67-73.
- SONG Shigang,DING Zhenju,YAO Shuzhen,et al. Re - Os Isotopic Dating of Molybdenite and Its Implication for Molybdenum Mineralization of Wenquan Porphyry Wushan Gansu Province[J]. Northwestern Geology,2008,41(1):67-73.
- 王建中,钱壮志,姜超,等. 南秦岭白马山金矿区石英闪长岩地球化学特征及其构造意义[J]. 黄金科学技术,2014,22(5):30-38.
- WANG Jianzhong,QIAN Zhuangzhi,JIANG Chao,et al. Geochemical Characteristics and its Tectonic Significance of Quartz Diorite in Baimashan Gold Field, Southern Qinling Mountains[J]. Gold Science and Technology,2014,22(5):30-38.
- 王建中,钱壮志,徐刚,等. 西秦岭白马山“C”型埃达克岩成因:地球化学、Sr - Nd - Pb 同位素制约[J]. 华东地质,2016,37(3):174-181.
- WANG Jianzhong,QIAN Zhuangzhi,XU Gang,et al. Petrogenesis of the Baimashan C-type adakite in Western Qinling: Constraints from their geochemistry and Sr - Nd - Pb isotopic compositions[J]. East China Geology,2016,37(3):174-181.
- 王建中,赵玉梅,钱壮志,等. 甘肃岷一礼成矿带钨矿地质特征及找矿方向[J]. 华东地质,2017,38(4):296-305.
- WANG Jianzhong,ZHAO Yumei,QIAN Zhuangzhi,et al. Geological features and prospecting direction of Tungsten deposits in the Min-Li metallogenic belt, Gansu Province[J]. East China Geology,2017,38(4):296-305.
- 王银川. 秦祁结合部位加里东期碰撞-后碰撞型花岗岩地质特征及构造意义[D]. 西安:长安大学,2013.
- WANG Yinchuan. Geological characteristics and Tectonic significance of Caledonian collision-post collision type granite at the conjunction of Qinling and Qilian[D]. Xi'an: Chang'an University,2013.
- 王增涛,王建中. 甘肃省岷县寨上金矿床构造序列及控矿模式初探[J]. 陕西地质,2015,33(1):9-17
- WANG Zengtao,WANG Jianzhong. Ore controlling mode and structures of zhaishang gold deposit in minxian, gansu province[J]. Geology of Shaanxi,2015,33(1):9-17.
- 谢家荣. 论矿床的分类[A]. 矿床学论文集[C]. 北京:科学出版社,1963:9-28.
- 熊潇. 秦岭造山带典型矿床地质-地球化学及其对关键造山事件的指示-以铜峪铜矿床、温泉钼矿床和小河口铜矿床为例[D]. 西安:西北大学,2017.
- XIONG Xiao. Geology and geochemistry of typical ore deposits from the Qinling Orogen and their indications for the key orogenic events: Case studies of Tongyu copper deposit, Wenquan molybdenum deposit and Xiaohekou copper deposit[D]. Xi'an:Northwest University,2017.
- 徐通,陈清敏,郭岐明,等. 秦祁结合部位宝鸡地区早泥盆世香泉 A 型正长花岗岩年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质通报,2017,36(7):1118-1128.
- XU Tong,CHEN Qingmin,GUO Qiming,et al. Age and geochemical features of the Early Devonian Xiangquan A-type syenogranites from Baoji area at the conjunction of Qinling and Qilian Orogen and their tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China,2017,36(7):1118-1128.
- 徐学义,陈隽璐,高婷,等. 西秦岭北缘花岗质岩浆作用及构造演化[J]. 岩石学报,2014,30(2):371-389.
- XU Xueyi,CHEN Junlu,GAO Ting,et al. Granitoid magmatism and tectonic evolution in northern edge of the Western Qinling terrane, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica,2014,30(2):371-389.
- 徐学义,李婷,陈隽璐,等. 西秦岭西段花岗岩浆作用与成矿[J]. 西北地质,2012,45(4):76-82.
- XU Xueyi,LI Ting,CHEN Junlu,et al. The Granitoids Magmatism and Mineralization in West Section of the Western Qinling, NW China[J]. Northwestern Geology,2012,45(4):76-82.
- 薛春纪,祁思敬,魄合明,等. 基础矿床学[M]. 北京:地质出版社,2007.
- 杨阳,王晓霞,柯昌辉,等. 西秦岭碌础坝岩体的锆石 U - Pb 年龄、岩石成因及其地质意义[J]. 地质学报,2015,89(10):1735-1761.
- YANG Yang,WANG Xiaoxia,KE Changhui,et al. Zircon U - Pb Ages and Petrogenesis of the Luchuba Pluton in West Qinling, and Its geological Significance[J]. Acta geologica sinica,2015,89(10):1735-1761.
- 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,2002,27(5):599-604.
- YAO Shuzhen,DING Zhenju,ZHOU Zonggui,et al. Metallogenic Systems of Qinling Orogen[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences,2002,27(5):599-604.

- 姚书振,周宗桂,吕新彪,等. 秦岭成矿带成矿特征和找矿方向[J]. 西北地质, 2006, 39(2): 156-178.
- YAO Shuzhen, ZHOU Zonggui, LV Xinbiao, et al. Mineralization Characteristics and Prospecting Potential in the Qinling Metallogenic Belt[J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39(2): 156-178.
- 余超. 西秦岭寨上金矿床成矿特征与非线性成矿动力学研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- YU Chao. Research on Metallogenic Character and Nonlinear Metallogenic Dynamics at the Zhaishang Gold Deposit, Western Qinling Mountains, China[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2015.
- 于皓丞, 邱昆峰, 庞瑶, 等. 西秦岭温泉斑岩钼矿床复式岩体岩浆氧逸度对成矿的制约[J]. 地学前缘, 2019, 26(05): 255-269.
- YU Haocheng, QIU Kunfeng, PANG Yao, et al. Constraints of magmatic oxidation state on mineralization in the Wenquan porphyry molybdenum deposit, West Qinling, China, *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(5): 255-269.
- 喻万强. 西秦岭寨上金矿床成矿作用空间结构[D]. 北京: 中国地质大学, 2015.
- YU Wanqiang. The spatial structure of metallogenic in Zhaishang gold deposit, Western Qinling[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2015.
- 喻学惠, 莫宣学, Martin FLOWER, 等. 甘肃西秦岭新生代钾霞橄黄长岩火山作用及其构造含义[J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 366-377.
- YU Xuehui, MO Xuanxue, Martin F, et al. China University of Geosciences, Beijing, China. Cenozoic kamafugite volcanism and tectonic meaning in west Qinling area, Gansu province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17(3): 366-377.
- 张宏飞, 肖龙, 张利, 等. 扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成: 限制岩石成因及其动力学背景[J]. 中国科学 D 辑, 2007, 37(4): 460-470.
- 张宏飞, 靳兰兰, 张利, 等. 西秦岭花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成对基底性质及其构造属性的限制[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2005, (10): 10-22.
- 张旗, 殷先明, 殷勇, 等. 西秦岭与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关的金铜成矿及找矿问题[J]. 岩石学报, 2009, 25(12): 3103-3122.
- ZHANG Qi, YIN Xianming, YIN Yong, et al. Issues on metallogenesis and prospecting of gold and copper deposits related to adakite and Himalayan type granite in west Qinling[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(12): 3103-3122.
- 郑德文, 张培震, 万景林, 等. 西秦岭北缘中生代构造活动的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 、FT 热年代学证据[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 697-706.
- ZHENG Dewen, ZHANG Peizhen, WAN Jinglin, et al. The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , fission track evidence of Mesozoic tectonic in northern margin of west Qinling mountain[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(3): 697-706.
- 郑卫军, 刘新会, 陈彩华, 等. 甘肃岷县寨上金钨矿床中钨矿特征及找矿标志[J]. 西北地质, 2010, 43(3): 85-92.
- ZHENG Weijun, LIU Xinhui, CHEN Caihua, et al. Geological Characteristics and Prospecting Marks of Tungsten Deposit in Zhaishang Gold-Tungsten Deposit, Minxian County, Gansu Province[J]. *Northwestern Geology*, 2010, 43(3): 85-92.
- 刘家军, 毛光剑, 吴胜华, 等. 甘肃寨上金矿床矿物组成特征与矿质沉淀机理[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 453-462.
- LIU Jiajun, MAO Guangjian, WU Shenghua, et al. Characteristics of mineral association and mechanism of Au precipitation in the Zhaishang gold deposit, southern Gansu[J]. *Geology in China*, 2010, 37(2): 453-462 (in Chinese with English abstract).
- 朱赖民, 丁振举, 姚书振, 等. 西秦岭甘肃温泉钼矿床成矿地质事件及其成矿构造背景[J]. 科学通报, 2009, 54(16): 2337-2347.
- ZHU Laimin, DING Zhenjv, YAO Shuzhen, et al. Ore-forming event and geodynamic setting of molybdenum deposit at Wenquan in Gansu Province, Western Qinling[J]. *Chinese Sci Bull*, 2009, 54(16): 2337-2347.
- 祝新友, 王京彬, 王艳丽, 等. 论石英脉型与矽卡岩型钨矿床成矿流体的差异性[J]. 岩石学报, 2015, 31(4): 941-953.
- ZHU Xinyou, WANG Jingbin, WANG Yanli, et al. The differences of the ore-forming fluid between the vein-type and skarn type tungsten deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(4): 941-953.
- Liu J J, Dai H Z, Zhai D G, et al. Geological and geochemical characteristics and formation mechanisms of the Zhaishang Carlin-like type gold deposit, western Qinling Mountains, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 64: 273-298.
- Ressel M W and Henry C D. Igneous geology of the Carlin Trend, Nevada: Development of the Eocene plutonic complex and significance for Carlin-type gold deposits[J]. *Economic Geology*, 2006, 101: 347-383.
- Simon J E L, Edine Y N B, Philipp W, et al. Trace elements in fluid inclusions of sediment-hosted gold deposits indicate a magmatic-hydrothermal origin of the Carlin ore-trend[J]. *Geology*, 2016, 44(12): 1015-1018.