

甘肃省岷县寨上金矿床白钨矿成因及找矿潜力

吕喜旺¹, 王建中², 郑卫军², 马永兵²

(1. 中国人民武装警察部队黄金第二总队, 河北 廊坊 065000; 2. 中国人民武装警察部队黄金第五支队, 陕西 西安 710100)

摘要: 寨上钨金多金属矿床位于西秦岭岷-礼成矿带西部, 钨矿体产于北西向破碎带内, 钨矿物以白钨矿为主, 呈细脉状、团块状与石英、方解石和少量硫化物共生。钨矿床工业类型为石英脉型, 根据矿物学、年代学、岩石地球化学研究, 表明晚三叠世闪长玢岩脉属于分异程度稍高、氧化性中等的富钨的S型花岗岩, 其为钨的矿化提供了成矿流体和物质来源。白钨矿为岩浆热液成因, 形成于含氟的中温、弱碱性、氧化环境, 其形成时代(222Ma前后)和岩脉活动时代相当, 也与区域性岩浆作用十分吻合, 寨上钨矿与闪长玢岩脉具有紧密的时空、成因联系, 为岩浆热液矿床。

关键词: 晚三叠世; 白钨矿; 找矿潜力; 寨上金矿床; 岷县; 甘肃省

中图分类号: P618.67

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2017)02-0156-11

Genesis and Prospecting Potential of Scheelite in the Zhaishang Gold Deposit, Minxian County, Gansu Province

LÜ Xiwang¹, WANG Jianzhong², ZHENG Weijun², MA Yongbing²

(1. The 2nd Gold Geological Brigade of Chinese People's Armed Police Force, Langfang 065000, Hebei, China;

2. No. 5 Gold Geological Party of Chinese People's Armed Police Force, Xi'an 710100, Shaanxi, China)

Abstract: The Zhaishang tungsten gold poly-metal deposit is located in the western part of the Min-Li ore-forming belt, West Qinling. Tungsten ore bodies are occurred as fine veins or stock works, which are developed in the NW-trending broken belt and are mainly composed of scheelite with quartz and rare sulfides, such as pyrite. The tungsten deposit belongs to the quartz vein type in industry. The chronology and geochemistry results of diorite porphyrite dike display that, the diorite porphyrite belong to the S-type granite, they are rich in tungsten element with high fractionation and middle degree oxidation, which were intruded into the wall rocks and provided the matters and fluids for the tungsten mineralization at late Triassic (221Ma). Scheelite mineralogy show that it was derived from the middle temperature, inferior alkali and oxygen magmatic hydrothermal fluid, it formed at the similar age with the syn-chronology dike (about 222Ma), which is consistent with the age of regional magmatism. All these mentioned above indicate that the Zhaishang tungsten deposit belongs to a magmatic hydrothermal deposit, having the intense temporal, spatial and genesis relationship to the diorite porphyrite dike.

Keywords: late Triassic; scheelite; prospecting potential; Zhaishang gold deposit; Minxian County; Gansu Province

收稿日期: 2016-11-30; 修回日期: 2017-02-26

项目基金: 国家黄金工作专项业务费项目“甘肃省岷县寨上矿区金及多金属勘查”(2015-2016)

作者简介: 吕喜旺(1967-), 男, 高级工程师, 主要从事区域地质调查和矿产勘查。E-mail: wjhjlvxiwang@sina.com

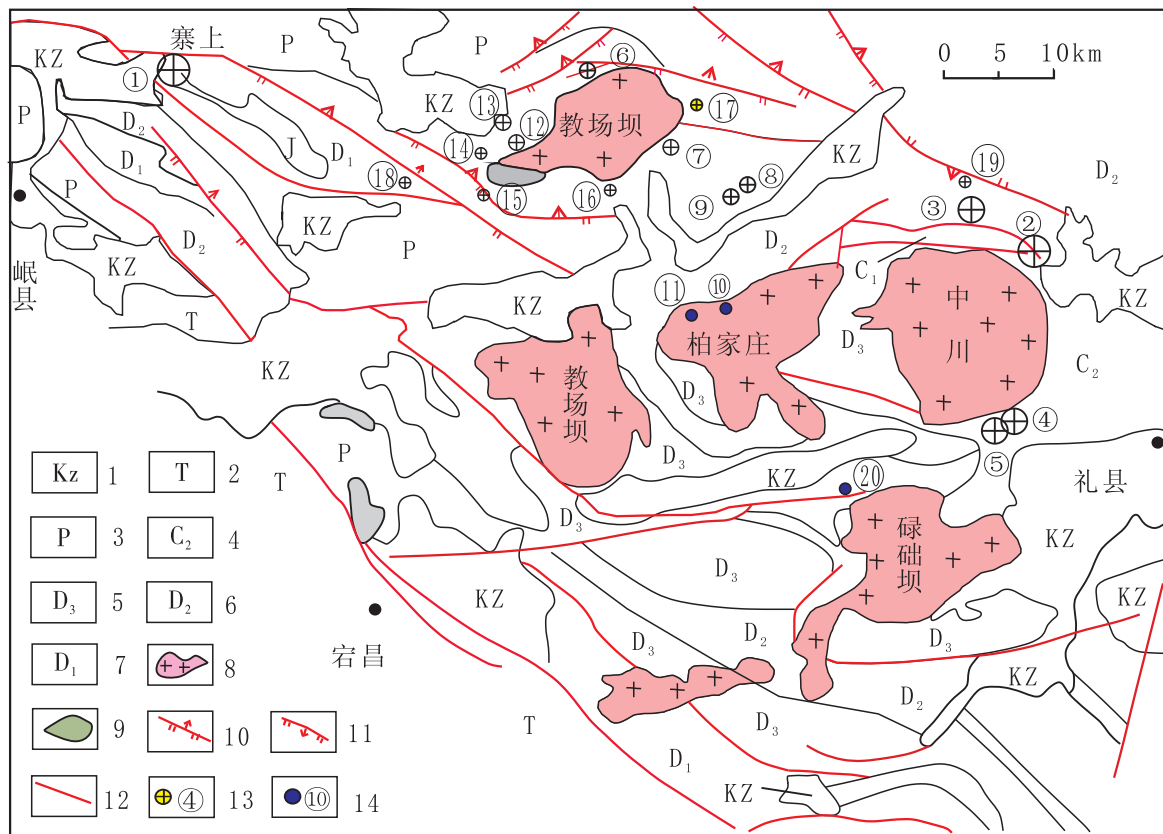
钨是具有重要军事用途的一种金属,在金矿中分析和评价钨等有用组分,对提高金矿的综合利用价值十分重要。经过近年来的工作,在寨上大型钨金多金属矿床中已探获金资源量近百吨(马永兵等, 2015;余超, 2015),伴生钨资源量近 8 000t^①。目前,对寨上矿区的金矿床研究比较深入(路彦明等, 2006;吕喜旺等, 2007;马星华等, 2008;刘新会等, 2010;刘家军等, 2010;喻万强等, 2010;余超, 2015;喻万强, 2015),但对钨矿体的分布、规模及与脉岩的时空、成因关系缺乏研究,影响了矿区钨矿勘探的突破。

笔者在前人研究成果的基础上,讨论岩脉、白钨

矿成因,探讨二者之间的联系,分析钨矿成矿潜力,以期钨矿勘探提供指导。

1 矿床概况

寨上钨金多金属矿床位于西秦岭岷-礼成矿带西部(图 1),东邻著名的“五朵金花”岩体群,成矿带内金矿床广泛分布,主要有李坝、鹿儿坝、马坞、金山、马泉、曹家沟、锁龙、寺儿沟等金矿床(点),矿区东部碌础坝岩体外接触带有雪坪沟钨矿,柏家庄岩体内发现有雪花山、扎格那 2 个小型钨矿床^②,区域成矿条件优越。



1. 新生界;2. 三叠系;3. 二叠系;4. 中石炭统;5. 上泥盆统;6. 中泥盆统 7. 下泥盆统;8. 花岗岩;9. 火山岩;10. 压性断层;11. 张性断层;12. 性质不明断层;13. 金矿床(点)及编号;14. 钨矿床(点)及编号;矿床编号:①寨上;②李坝;③. 马坞;④金山;⑤马泉;⑥曹家沟;⑦锁龙;⑧更元地;⑨寺儿沟;⑩雪花山;⑪扎格那;⑫磨沟;⑬磨沟西;⑭亮鱼沟;⑮大池沟;⑯潘白坡;⑰17 熊沟;⑱刘家沟;⑲竹子沟;⑳雪坪沟

图 1 甘肃省岷-礼地区构造纲要及花岗岩体分布略图

Fig. 1 Tectonic outline and granitoid distribution of Min-Li regime in Gansu province

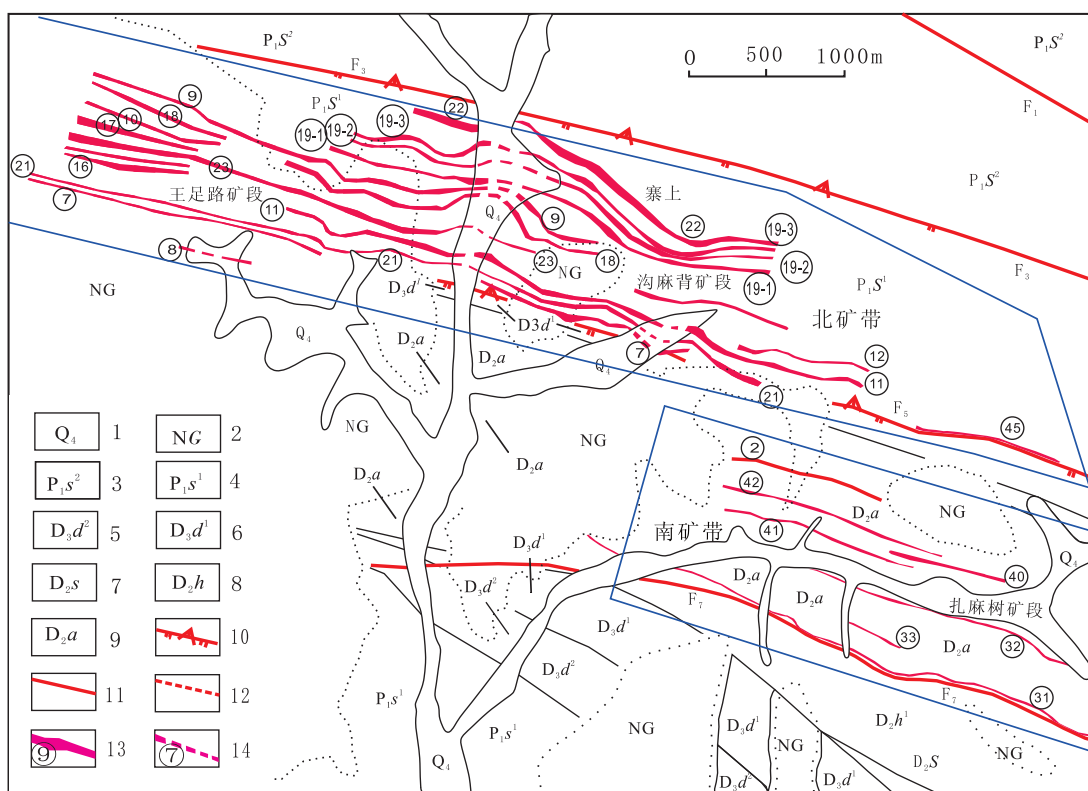
① 杨拴海,廖延福,王增涛,等. 甘肃省岷县寨上矿区沟麻背金矿普查报告. 武警黄金第五支队, 2012.

② 肖力,喻万强,李福生,等. 寨上一马坞地区金矿整装勘查区金矿调查评价报告. 武警黄金地质研究所, 2014.

矿区位于教场坝岩体西约 26km, 总体处于卓落-国营牛场背斜中, 区内地层、构造、矿脉总体呈北北西向展布(图 2)。金、钨矿脉均赋存于中泥盆统(南矿带)、下二叠统(北矿带)浊积岩建造中, 主要为石英砂岩、粉砂岩、板岩和灰岩, 区内仅有少量闪长玢岩脉出露。矿区钨、金矿脉明显受 NWW—NW 向断裂控制, 赋存于容矿层中的构造破碎带内(刘家军等, 2008; 郑卫军等, 2010)。钨矿脉多呈平行脉群产出, 分布范围与金矿脉分布范围基本一致或略狭窄, 北矿带集中分布于 19、21 号矿脉中, 其次为 9、20、22 号矿脉; 南矿带集中分布于 31、41 号矿脉中。目前仅在已提交金矿普查报告的沟麻背矿段(占矿区四分之一面积)进行了钨(WO_3)基本分析并估算了资源量, 圈出的 15 条钨矿体全部由钻孔控制。钨矿体呈透镜状或似板状, 产状相对稳定(郑卫军等, 2010), 与金矿体在空间上既有重合, 也有分离(图 3), 但钨矿体或钨矿化厚度明显小于金矿体或

金矿化厚度, 空间上与岩脉关系密切。

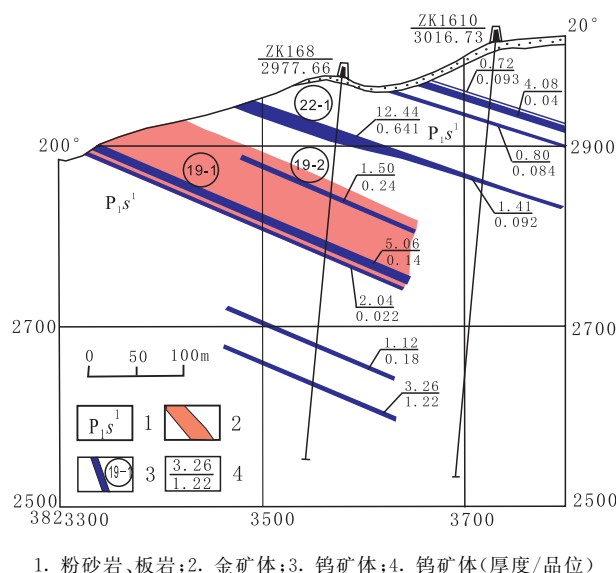
钨矿石主要为蚀变碳质板岩和灰岩, 矿物成分以白钨矿为主, 黑钨矿极少见。白钨矿多呈黄褐色、灰白色, 紫外线下显示浅蓝色荧光效应, 呈脉状、细脉状分布在石英细脉或团块中, 与江西崇义八仙埭钨矿(许建祥等, 2008; 王登红等, 2010)类似; 显微镜下多呈他形粒状、自形四方双锥状(切面形态为菱形)产出, 个别颗粒呈港湾状(刘家军等, 2008; 郑卫军等, 2010)和环带结构(余超, 2015), 与其共生的矿物有石英、方解石和少量黄铁矿、辉锑矿、重晶石、铁白云石等, 热液交代和充填的特征显著。矿石结构主要有半自形粒状、自形晶结构、不等粒结构等; 矿石构造主要有块状构造和细脉状构造等(郑卫军等, 2010)。根据矿石、蚀变岩石与岩石微量元素 R 聚类分析(刘家军等, 2008), 表明 Au、Se、Te 元素与 W、Sb、Zn 等元素仅在距离系数 0.175 时聚为一类, 说明 W 的富集与 Au 的富集没有直接联系。



1. 第四系; 2. 新近纪甘肃群; 3. 早二叠世十里墩组上段; 4. 早二叠世十里墩组下段; 5. 晚泥盆世大草滩组上段;
6. 晚泥盆世大草滩组下段; 7. 泥盆纪双狼组; 8. 中泥盆世黄家沟组; 9. 中泥盆世安家岔组; 10. 逆断层;
11. 性质不明断层; 12. 推测、隐伏断层; 13. 矿脉及编号; 14. 压覆矿脉及编号

图 2 寨上矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Zhaishang ore district



1. 粉砂岩、板岩; 2. 金矿体; 3. 钨矿体; 4. 钨矿体(厚度/品位)

图3 寨上矿区16线勘探线剖面图

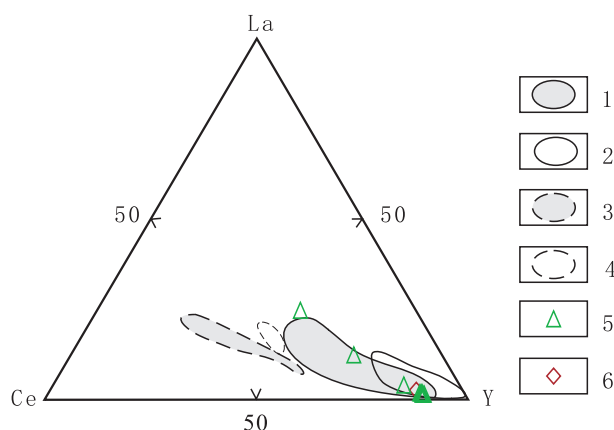
Fig. 3 Section map of Line 16 in Zhaishang ore district

2 白钨矿成因

根据白钨矿电子探针研究结果(刘家军等, 2008; 郑卫军等, 2010), 显示其中杂质较少, 成分较纯。主要成分 WO_3 为 76.29%~80.93%, 平均含量为 79.72%, 相对理论值 80.6% 略低; CaO 为 19.21%~20.00%, 平均含量为 19.68%, 相对理论值 19.4% 略高(刘家军等, 2008; 郑卫军等, 2010)。白钨矿电子探针单点金含量为 0.123%~1.35%, 平均为 0.68%, 他形粗粒白钨矿含金性较好, 自形细粒白钨矿含金性较差。 WO_3 与 CaO 呈相互消长关系, WO_3 与 Au_2O 呈负相关关系, 进一步说明钨、金富集没有直接联系, 可能为不同成矿期次和不同成矿系列的产物。经对环带白钨矿的微量元素、稀土元素进行了微区原位分析(余超, 2015), 各个环带的化学成分具有震荡变化特征(表1)。微量元素、稀土元素含量和配分型式存在明显差异, 证明矿物内部稀土元素分布不均匀。

白钨矿 La-Ce-Y 配分三角图解(图4)中, 寨上钨矿样品全部落入石英脉型白钨矿区域中, 显示矿床为石英脉型, 与其白钨矿、石英、方解石矿物组合比较吻合, 对比江西崇义八仙塢钨矿, 二者具有相似性, 属于钨矿“五层楼+地下室”成矿模型中群楼的一部分(许建祥等, 2008), 成因上与花岗岩关系密切。

白钨矿晶格中, Ca^{2+} 与 W^{6+} 呈 8 次配位, REE^{3+} 呈类质同像代替 Ca^{2+} 。由于 8 次配位时, Ca^{2+} 的离子半径为 0.118nm, REE^{3+} 平均离子半径约为 0.106nm 时最适合, 因此, 离子半径最接近的中稀土离子更易进入白钨矿的 Ca^{2+} 的晶格空位, 而离子半径越偏离的其他稀土离子则越不易进入, 相对流体而言, 在白钨矿中要重新分配, 配分曲线呈现选择明显的配分型式(张玉学等, 1990; 曾志刚等, 1998)。



1. 石英脉型白钨矿; 2. 石英脉型黑钨矿; 3. 斑岩型白钨矿; 4. 斑岩型黑钨矿; 5. 寨上白钨矿环带; 6. 寨上环带白钨矿

图4 寨上环带钨矿 La-Ce-Y 配分三角图解
(据张玉学等, 1990)

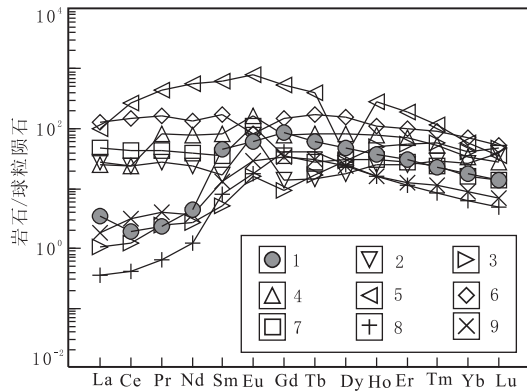
Fig. 4 Ternary diagram of La-Ce-Y of zonal scheelite in Zhaishang ore district

寨上白钨矿球粒陨石标准化配分曲线(图5)呈向上拱曲的形状, Eu 正异常较明显, 曲线不具有“四重效应”, 为明显的中稀土(钐、铈、钐、铈和镨)富集型式, 这种分布模式被认为是热液成因白钨矿的典型特征, 其形成于富钠的弱碱性、氧化热液。随着白钨矿结晶, 晶体中重稀土元素相对于流体发生富集, 残余流体中重稀土含量则减少, 这表明寨上白钨矿中的 LREE/HREE 值将小于原始流体。配分曲线明显不同于云南大坪白钨矿、四川雪宝顶白钨矿、滇东南南秧田砂卡岩白钨矿、甘肃后长川白钨矿和辽宁杨金沟石英脉型白钨矿, 稀土含量也低; 而与湘西沃溪钨(金铍)矿床中白钨矿、滇东南南秧田石英脉型白钨矿类似, 已有资料显示所有这些钨矿床均为岩浆热液矿床, 暗示寨上白钨矿也可能源于岩浆热液。

表 1 环带白钨矿的微量元素、稀土元素及稀土元素参数表(10^{-6})
Tab. 1 Trace elements REE and parameters of REE of zonal scheelite(10^{-6})

样号	633-10	633-9	633-8	633-7	633-6	633-1	633-2	633-3	633-4	633-5	633
位置	四环边	四环	三环	二环	一环	核部	一环	二环	三环	四环	整体
Sr	856.6	813.4	1 010	848.9	1 194	843.3	1 435	1 171	762.9	960.8	989.59
Mo	4.56	14.62	39.83	51.13	3.29	7.19	1.85	17.78	16.3	7.07	16.36
Zr	10.07	9.7	9.58	7.83	8.41	6.85	8.43	10.32	8.11	8.39	8.77
Nb	1.04	1.23	1.19	1.19	1.07	1.02	0.85	1	1.24	1.08	1.09
Sn	0.17	—	0.25	0.38	0.46	0.44	0.03	0.93	0.22	0.37	0.36
Ba	1.88	15.6	1.14	0.64	0.26	—	—	0.16	1.02	1.47	2.77
Hf	0.22	0.75	0.54	0.82	0.23	0.39	0.68	0.75	0.52	0.73	0.56
Ta	3.42	3.16	3.54	3.79	3.34	3.02	3.3	3.44	3.25	3.33	3.36
Pb	9.3	20.4	24.59	25.08	1.01	6.95	0.56	6.41	9.03	48.09	15.14
Bi	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05	0.02	0	0.03	0.03	0.02	0.03
Th	0.64	0.77	0.98	0.99	5.22	1.07	1.31	0.89	0.94	0.69	1.35
U	8.44	28.26	57.52	47.94	24.87	69.41	19.63	66.38	22.64	14.31	35.94
La	0.10	0.22	0.24	0.16	9.29	0.19	1.56	0.91	0.13	0.01	1.28
Ce	0.42	0.91	1.37	0.53	9.12	0.79	2.03	1.58	1.65	0.22	1.86
Pr	0.17	0.29	0.34	0.11	0.94	0.22	0.23	0.21	0.58	0.14	0.32
Nd	3.17	3.58	4.45	0.66	4.48	2.57	1.33	0.91	8.06	2.64	3.19
Sm	22.20	12.34	16.76	2.79	2.60	6.29	0.75	2.27	21.63	17.35	10.50
Eu	12.11	6.28	7.78	1.62	0.81	2.63	0.32	1.54	9.70	9.83	5.26
Gd	67.25	32.79	34.61	8.14	3.82	14.81	1.17	6.76	41.31	53.29	26.40
Tb	9.47	4.37	4.59	1.07	0.41	1.83	0.10	0.89	5.40	7.11	3.52
Dy	48.37	22.47	24.48	6.16	2.09	8.94	0.59	4.63	30.37	37.00	18.51
Ho	7.11	3.71	4.69	1.26	0.52	1.49	0.18	0.81	5.57	6.12	3.15
Er	14.87	9.36	11.23	3.45	1.39	3.58	0.47	1.95	13.58	15.10	7.50
Tm	1.44	0.98	1.33	0.41	0.06	0.38	0.03	0.21	1.71	1.56	0.81
Yb	6.99	5.28	6.16	2.19	0.92	1.74	0.25	0.92	11.31	7.77	4.35
Lu	0.79	0.79	0.82	0.17	0.17	0.18	0.03	0.13	1.11	0.98	0.52
Y	166.70	120.20	212.80	99.29	21.74	62.60	10.93	32.92	232.50	199.60	115.93
Σ REE	194.46	103.37	118.85	28.72	36.62	45.64	9.04	23.72	152.11	159.12	87.17
Σ REE+Y	361.16	223.57	331.65	128.01	58.36	108.24	19.97	56.64	384.61	358.72	203.09
Σ LREE	38.17	23.62	30.94	5.87	27.24	12.69	6.22	7.42	41.75	30.19	22.41
Σ HREE	156.29	79.75	87.91	22.85	9.38	32.95	2.82	16.30	110.36	128.93	64.75
Σ LREE/HREE	0.24	0.30	0.35	0.26	2.90	0.39	2.21	0.46	0.38	0.23	0.77
δ Eu	0.96	0.95	0.99	1.04	0.78	0.83	1.04	1.20	0.99	0.99	0.98
δ Ce	0.80	0.88	1.17	1.00	0.76	0.96	0.84	0.88	1.45	1.74	1.05
Sm/Nd	7.00	3.45	3.77	4.23	0.58	2.45	0.56	2.49	2.68	6.57	3.30

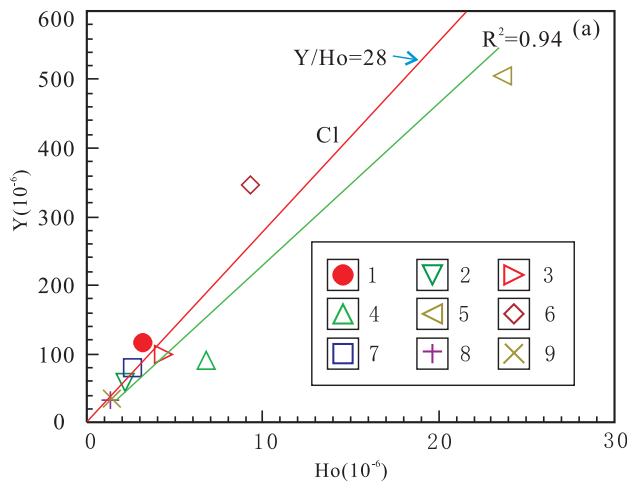
注:原始数据来自余超,2015。



1. 寨上环带白钨矿; 2. 南秧田砂卡岩型; 3. 南秧田石英脉型;
4. 后长川; 5. 大坪; 6. 雪宝顶; 7. 杨金沟石英脉; 8. 沃溪斑岩型;
9. 沃溪石英脉型

图5 寨上环带白钨矿的球粒陨石标准化
稀土元素配分模式与国内钨矿对比图

Fig. 5 Chondrite-normalization REE distribution model
of scheelite in Zhaishang ore district

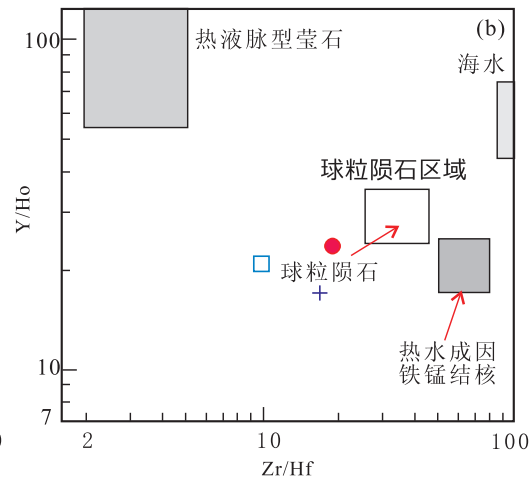


1. 寨上; 2. 南秧田砂卡岩型; 3. 南秧田石英脉型; 4. 后长川; 5. 大坪; 6. 雪宝顶; 7. 杨金沟石英脉; 8. 沃溪斑岩型; 9. 沃溪石英脉型

图6 寨上矿区白钨矿 Y-Ho 和 Y/Ho-Zr/Hf 关系图解

Fig. 6 Relation diagrams of Y-Ho and Y/Ho-Zr/Hf of scheelite in Zhaishang ore district

在白钨矿的 Y-Ho 关系图上(图 6a), Y 和 Ho 具有强烈的正相关关系, $R^2=0.94$, 说明 Y 元素和 Ho 元素关系密切, 地球化学性质和行为相似。笔者研究证实水-岩作用过程不可能是导致 Y、Ho 分异的主导因素, 两者之间的分异更有可能与流体自身成分组成有关, 因为 Y 和 Ho 在流体与围岩反应过程中通常按球粒陨石 Cl 线(球粒陨石中的比例)进行迁移(BAU M, et al., 1995)。当体系中 Y 与 REE 以 F 络合物为主时, $Y/Ho > 28$; 而以 CO_3^{2-} (HCO_3^-) 络合物为主时, $Y/Ho < 28$ 。寨上白钨矿落在球粒陨石 Cl 线之上(图 6b), 其 $Y/Ho > 28$, 揭示寨上白钨矿的成矿流体可能是一种以 F 络合物为主的体系有关。在图 6b 上, 寨上白钨矿远离热液脉型萤石和海水区域外, 落在球粒陨石和热液成因铁锰结壳范围之外, 更靠近球粒陨石区域, 进一步说明寨上白钨矿可能形成于含氟的岩浆热液。



寨上白钨矿富集 Sm 和 Nd, Sm/Nd 值(0.56~7.00)变化范围大(表 1), 适合于 Sm-Nd 同位素体系定年。钐-钕同位素测年结果表明(余超, 2015), 白钨矿等时线年龄为 (222.6 ± 6.9) Ma, MSWD=3.0, 代表白钨矿的结晶年龄, 略晚于秦岭造山带主造山期(242~221Ma), 明显早于金的成矿时代(130~125Ma)(路彦明等, 2006)。该年龄与矿区岩脉的成岩年龄(221Ma)比较接近, 也同邻区“五朵金花”岩体群的成岩年龄比较一致, 结

合区域地质背景, 说明寨上白钨矿形成于晚三叠世, 可能与 220Ma 左右的岩浆热事件(岩浆活动和岩浆成矿作用)密切相关, 对应于区域挤压隆升的高峰期。

3 岩脉成矿潜力评价

寨上矿区的王足路、沟麻背一带地表零星出露闪长玢岩脉, 部分钻孔(如 ZK4810、ZK8810、

ZK6808、ZK648、ZK766、ZK922、ZK4812) 及平硐 PD74-1 中见(隐伏)岩脉,岩脉顺层侵入到下二叠统围岩地层中,上、下盘围岩为碳质板岩,岩脉通常厚为 2~4m,风化面呈灰白色,含砂岩捕虏体。斑状结构,块状构造。主要成分为长石、角闪石和石英,由 30%~40%的斑晶和基质组成。其中,石英斑晶(50%)呈短柱状,晶体粒径为 1~3mm;角闪石(20%)呈短柱状,多蚀变为绿泥石和阳起石;长石斑晶呈长柱状,晶体粒径为 4~5mm,基质主要为石英,少量长石粒度小于 0.2mm。遭受后期热液蚀变,为绢云母化、绿泥石化和黏土化。

3.1 岩石化学特征

主量元素 SiO₂ 含量为 50% 左右,Al₂O₃ 为 12.52%~13.52%;K₂O、Na₂O 含量比较低,K₂O>Na₂O,为 0.34%~33.00%,平均值为 11.89%;CaO 为 5.41%~6.91%(喻万强,2015)。ALK=1.23~3.25,平均值为 1.81;Fe₂O₃/FeO 值为 0.42~0.51,平均值为 0.49;A/CNK 值多小于 1.1,范围为 0.85~1.18,平均值为 1.03;里特曼指数 σ=0.24~1.70,平均值为 0.57(表 2)。岩石属于高钾钙碱性-钙碱性系列,为 S 型花岗岩(图 7)。

表 2 寨上矿区闪长玢岩主量元素及其特征值表(%)
Tab. 2 Major elements and their feature values of diorite porphyrites in Zhaishang ore district(%)

样品	ZK4810	ZK8810	11ZSB86	11ZSB89	12ZS95(3)	12ZS117-4	平均值
SiO ₂	49.20	48.97	50.16	50.72	49.90	51.08	50.01
Al ₂ O ₃	12.52	12.78	13.30	13.11	13.08	13.52	13.05
TFe ₂ O ₃	5.65	6.27	6.52	6.98	6.52	6.09	6.34
MgO	4.95	4.83	4.13	4.77	5.22	4.99	4.82
CaO	5.41	5.52	6.91	5.43	5.85	5.45	5.76
Na ₂ O	2.42	0.12	0.09	0.04	0.35	0.28	0.55
K ₂ O	0.83	1.48	1.66	1.32	1.34	0.95	1.26
TiO ₂	0.73	0.73	0.74	0.76	0.73	0.74	0.74
P ₂ O ₅	0.19	0.21	0.20	0.22	0.20	0.21	0.21
MnO	0.08	0.16	0.13	0.18	0.18	0.15	0.15
Total	81.98	81.07	83.84	83.53	83.37	83.46	82.88
K ₂ O/Na ₂ O	0.34	12.33	18.44	33.00	3.83	3.39	11.89
Fe ₂ O ₃ /FeO	0.58	0.49	0.46	0.42	0.46	0.51	0.49
ALK	3.25	1.60	1.75	1.36	1.69	1.23	1.81
A/CNK	0.85	1.08	0.92	1.15	1.03	1.18	1.03
A/NK	2.56	7.09	6.82	8.75	6.44	9.06	6.79
σ	1.70	0.43	0.43	0.24	0.41	0.19	0.57

注:表 2 中未列出样品的烧失量。

各样品的稀土配分曲线向右倾斜且近于平行,轻稀土富集,重稀土亏损,表现为轻稀土富集型配分模式(图 8a)。微量元素原始地幔标准化蛛网明显右倾,Cs、Rb、Ba、U、Th、Pb、Sr 正异常和 Nb、Ta、Ti 负异常

明显,整体表现出大离子亲石元素(LILE)和过渡族富集,高场强元素(HFSE)亏损的特征(图 8b),显示其物质来源可能与源区中轻稀土富集有关。Rb/Sr 值为 0.12~0.18,平均值为 0.14,分异程度稍高。

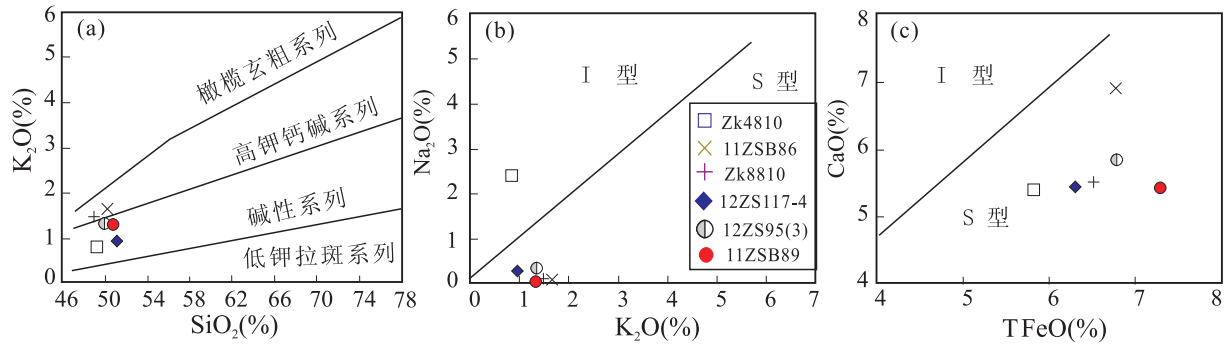


图7 寨上闪长玢岩 SiO_2 - K_2O 、 K_2O - Na_2O 和 TFeO - CaO 图解 (据 CHAPPELL B, et al., 2001)

Fig. 7 Diagrams of SiO_2 - K_2O , K_2O - Na_2O and TFeO - CaO in Zhaishang ore district

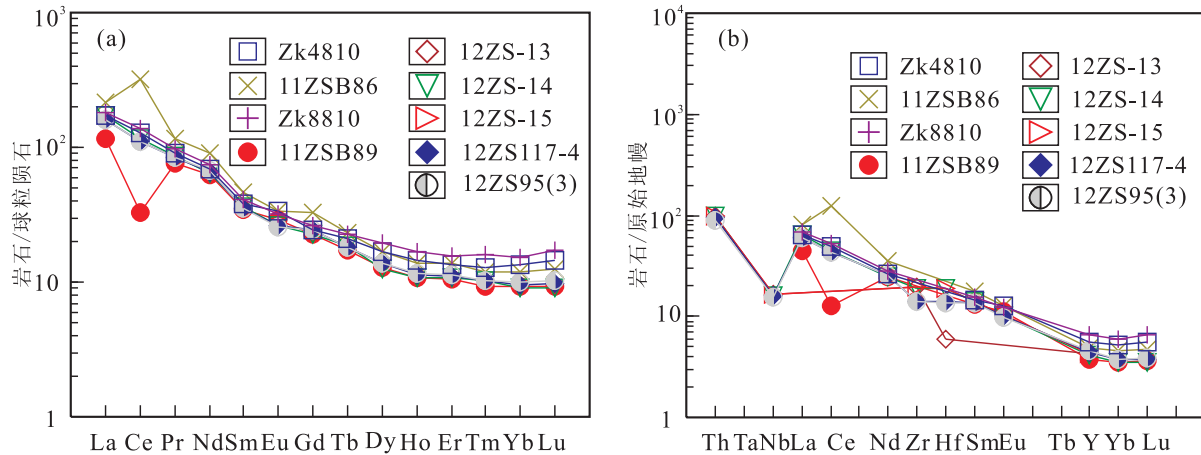


图8 寨上矿区闪长玢岩稀土元素型式图和微量元素蛛网图

Fig. 8 Distribution diagram of REE and spider diagram of dikes in Zhaishang ore district

可以看出,寨上闪长玢岩脉相对富集 SiO_2 、 K_2O 和亏损 Na_2O ; 样品 A/CNK 值为 1.03, 属于准铝质花岗岩范畴; 富集 Cs、Rb 等大离子亲石元素, 相对亏损 Th、U、Pb 等高场强元素; 具有弱的 Eu 亏损, 具有重熔型花岗岩的典型特征。上述特征表明寨上闪长玢岩脉属于典型的“S”型花岗岩, 岩浆可能来自成熟中上地壳砂岩(或变砂岩)的部分熔融(焦永玲等, 2014)。

3.2 成岩时代

全岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年结果揭示, 寨上闪长玢岩脉的总气体年龄、坪年龄和最大概率年龄分别为 221.5Ma、236.3Ma、238.6Ma 和 221.6Ma、228.6Ma、223.2Ma, 显而易见, 2 个总气体年龄小于其对应的坪年龄(余超, 2015), 且 2 个年龄非常接近, 反映测试结果比较可靠。三者误差范围内比较吻合, 说明数据精度较高, 表明寨上矿区岩脉大约在 221Ma 前后侵位。郑德文(2004)利用钾长石多

重扩散域方法(MDD)和磷灰石裂变迹研究, 表明秦岭北缘地区存在约 230~210Ma 和约 140~120Ma 两次快速冷却事件。230~210Ma 的快速冷却事件反映秦岭洋(勉略洋)于印支期(晚三叠世)闭合, 发生了大规模的岩浆侵入, 以及随后造山带迅速褶皱、隆升事件; 140~120Ma 的快速冷却事件可能与西秦岭北缘隆升有直接关系, 西秦岭地区在燕山期有一次区域性构造活动(郑德文等, 2004)。所以, 寨上闪长玢岩脉于 221Ma 前后侵位, 与西秦岭三叠纪花岗岩(230~210Ma)(秦江峰等, 2011; 孙卫东等, 2000)、勉略构造带洋盆的闭合(242~221Ma)以及苏鲁-大别超高压岩石板片快速折返(240~225Ma)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(张国伟等, 2001; 王健中等, 2014, 2016)。

3.3 钨矿潜力评价

区域、寨上矿区岩石的 W 含量分别为 2.7×

10^{-6} 和 2.3×10^{-6} , 为地壳 (1.1×10^{-6}) 的 W 含量的 2 倍 (表 3), 而寨上闪长玢岩脉的 W 含量介于 $16.25 \times 10^{-6} \sim 390 \times 10^{-6}$, 平均含量为 83.03×10^{-6} (喻万强, 2015), 远远高于区域和矿区岩石的 W 含量, 明显高于世界花岗岩的 W 含量 (2×10^{-6}), 同时又远远高于广西含钨岩体中的 W 含量

(5×10^{-6}) (廖庆康, 1989), 属于较富 W 的岩体, 可为钨矿提供重要的物质来源和热动力。

研究表明, 与钨矿床形成有关的成矿流体主要来自附近的花岗岩体 (华仁民等, 2010), 花岗岩具有成矿专属性 (表 4), 富含成矿流体的花岗岩岩浆, 则对钨 (不相容元素) 的富集比较有利。寨上闪长玢岩

表 3 寨上矿区及邻区微量元素含量表 (10^{-6})

Tab. 3 Trace element values of Zhaishang and zones around Zhaishang ore districts (10^{-6})

名称	Hg	As	Sb	Ag	Pb	Zn	Cu	Cd	W	Sn	Mo	Bi	Au (10^{-9})	来源
区域岩石	50	10.2	3.4	90	32.3	75.9	39.9	130	2.7	10.6	0.8	0.41	4.4	1
水系沉积物	985	16	41	115	32.6	102	27.1	210	2.3	32	0.4	0.7	2.3	2
闪长玢岩脉	174	215.71	76.54	1.58	124.46	1586.04	2343.21	0.23	83.03	27.24	1.39	0.57	42.33	3
地壳	89	2.2	0.6	0.08	12	94	63	0.2	1.1	1.7	1.3	0.004	4	4

注: 资料来源: 1. 甘肃综合地质大队. 甘肃省天水—武都一带地质特征初步总结, 1964; 2. 区域 1: 20 万水系沉积物; 3. 喻万强, 2015; 4. 黎彤, 1976。

表 4 花岗岩成矿专属性列表

Tab. 4 Lists of metallogenic relation of granites in Zhaishang ore district

矿种	分异程度		氧化还原条件		岩石类型
	Rb/Sr 值	分异程度	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 值	氧化还原性质	
铜	0.01~0.1	较低	0.5~5	较氧化性	I 型为主
钨	0.1~10	稍高	0.1~2.0	氧化性中等	S 型为主, 次为 I 型、A 型
锡	1~100	高	0.01~0.5	相对还原性	A 型为主, 次为 S 型、I 型

注: 数据来源 BLEVIN P L, et al., 1992; BLEVIN P L, et al., 1995。

W 含量高, 分异程度稍高 ($\text{Rb}/\text{Sr} \approx 0.14$), 氧化性中等 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} \approx 0.49$), 为与钨矿床关系密切的花岗质侵入体, 可能为寨上钨矿的成矿母岩, 遥感、航磁等资料显示寨上矿区存在隐伏岩体^①, 有利于钨矿化; 预示寨上矿区具有较好的钨矿成矿潜力。与寨上矿区地质情况类似的青海省同德县加吾金矿在金矿勘查完毕后, 经检查 1:5 万水系沉积物钨异常, 又在矿区花岗斑岩脉 ($233.4 \pm 4.3\text{Ma}$) 附近发现了独立钨矿床, 遥感资料显示其下部也存在隐伏岩体^②; 经钻孔验证, 已圈出的 2 个钨矿体, 估算钨资源量 (333) 5 万余吨, 具有较好的找矿远景。因此, 对寨上矿区以往 1:5 万水系沉积物测量、1:1 万土壤测量样品进行 W 元素分析, 对圈定出的异常进行查证, 并对南矿带 (扎麻树矿段)、北矿带西段 (王足路

矿段) 以往施工的钻孔样品进行钨矿 (WO_3) 基本分析, 可进一步扩大钨矿规模。

4 结论

综上所述, 寨上金多金属矿床的钨、金矿为不同时代成矿作用的产物, 后期金矿化 ($130 \sim 120\text{Ma}$) 叠加在早期钨矿化 (222Ma 前后) 之上, 导致钨、金矿体的重合或分离。闪长玢岩脉属于分异程度稍高、氧化性中等的富钨的“S”型花岗岩。寨上矿区钨矿为发育于构造破碎带中的石英脉型钨矿床, 白钨矿来源于岩浆热液, 形成于含氟的中温、弱碱性、氧化条件, 与同时代的岩脉在时空、成因上关系密切, 也和晚三叠世区域性岩浆活动十分同步。

① 葛良胜, 柳世强. 甘肃省岷县梅川—申都地区遥感解译工作报告. 武警黄金第五支队, 2007.
② 李学虎, 李文良, 张栋, 等. 青海省都兰—同德—甘德地区金多金属矿产资源调查评价报告. 武警黄金第六支队, 2016.

参考文献(References):

- 华仁民,李光来,张文兰,等. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 9-23.
- HUA RenMin, LI GuangLai, ZHANG WenLan, et al. A tentative discussion on differences between large-scale tungsten and tin mineralization in South China[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(1): 9-23.
- 焦永玲,汪洋. 岩浆热液的软硬酸碱性质与成矿专属性的关系[J]. 地球科学与环境学报, 2014, 36(3): 83-93.
- JIAOYongling, WANGYang. Relationship Between the Hard-soft Acid-base Properties of Magmatic Hydrothermal and the Metal Metallogenic Specificity[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2014, 36(3): 83-93.
- 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]. Geology in China, 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 Shenghua, et al. Characteristics of mineral association and mechanism of Au precipitation in the Zhaishang gold deposit, Gansu [J]. Geology in China, 2010, 37(2): 453-462.
- 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, 24(9): 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, 24(9): 20-27.
- 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 Exploration, 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. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 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,刘新会,于岚,等. 西秦岭寨上金矿床稀土元素和微量元素特征[J]. 地质找矿论丛, 2007, 22(3): 201-223.
- LÜ Xiwang, LIU Xinhui, YU lan, et al. REE composition and trace element features of Zhaishang gold deposit, West Qinling[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2007, 22(3): 201-223.
- 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.
- MAXinhua, LIU Jiajun, LI Lixing, et al. The 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.
- 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 (In Chinese).
- 孙卫东,李曙光,CHEN Yadong,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.
- 王登红,陈富文,张永忠,等. 南岭有色—贵金属成矿潜力及综合探测技术研究[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- WANG Denghong, CHEN Fuweng, ZHANG Yongzhong, et al. Study on Nanling nonferrous and precious metal mineralization potential and comprehensive detection technology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010 (In Chinese).
- 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. 南秦岭白马山“C”型埃达克岩成因: 地球化学、Sr、Nd、Pb 同位素组成制约[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 Qin-

- ling: Constraints from their geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopic compositions[J]. *East China Geology*, 2016, 37(3): 174-181.
- 许建祥, 曾载淋, 王登红, 等. 赣南钨矿新类型及“五层楼+地下室”找矿模型[J]. *地质学报*, 2008, 82(7): 880-887.
- XU Jianxiang, ZENG Zailin, WANG Denghong, et al. A new type of tungsten deposit in southern Jiangxi and the new model of “Five Floors + Basement” for prospecting[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(7): 880-887.
- 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, 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, 2015.
- 喻万强, 刘纲, 王晓军, 等. 甘肃寨上金矿床的控矿因素[J]. *黄金科学技术*, 2010, 18(3): 46-50.
- YU Wanqiang, LIU Gang, WANG Xiaojun, et al. Discussion on the Ore-controlling Factors of the Zhaishang Gold Deposit in Gansu Province[J]. *Gold Science and Technology*, 2010, 18(3): 46-50.
- 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, 2015.
- 曾志刚, 李朝阳, 刘玉平, 等. 滇东南南秧田两种不同成因类型白钨矿的稀土元素地球化学特征[J]. *地质地球化学*, 1998, 26(2): 34-38.
- ZENG Zhigang, LI Chaoyang, LU Yuping, et al. REE geochemistry of two genetic types from Nanyangtian, Southeastern Yunnan[J]. *Geology Geochemistry*, 1998, 26(2): 34-38.
- 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.
- ZHANGG W, ZHANG B R, YUAN X C, et al. Qinling Mountains orogenic belt and continental dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2002(in chinese).
- 张玉学, 刘义茂, 高思登, 等. 钨矿物的稀土地球化学特征—矿床成因类型的判别标志[J]. *地球化学*, 1990, (1): 11-20.
- ZHANG Yuxue, LIU Yimao, GAO Sideng, et al. REE geochemical characteristics of tungsten minerals as a discriminant indicator of the ore deposits[J]. *Geochimica*, 1990, (1): 11-20.
- 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 D W, ZHANG P Z, WANG J L, 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*, 2004, 20(3): 697-706.
- 郑卫军, 刘新会, 吕喜旺, 等. 甘肃省岷县寨上矿区钨矿地质特征及找矿潜力评价[J]. *西北地质*, 2010, 43(3): 85-92.
- ZHENG Weijun, LIU Xinhui, LÜ Xiwang, 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.
- BAU M, DULSKI P. Comparative study of yttrium and rare-earth element behaviours in fluorine-rich hydrothermal fluids [J]. *Contribution Mineralogy Petrology*, 1995, 119(2/3): 213-223.
- BLEVIN P L and CHAPPELL B W. The role of magma sources, oxidation states and fractionation in determining the granite metallogeny of eastern Australia [J]. *Earth Sciences*, 1992, 83: 305-316.
- BLEVIN P L and CHAPPELL B W. Chemistry, origin, and evolution of mineralized granites in the Lachlan fold belt, Australia: The metallogeny of I- and S-type granites[J]. *Economic Geology*, 1995, 90(6): 1604-1619.
- CHAPPELL B, WHITE A J R. Two contrasting granite types: 25 years later[J]. *Australian Journal of Earth Science*, 2001, 48(4): 489-499.