

# 甘肃寨上金矿床中白钨矿矿体的发现及其特征

刘家军<sup>1,2</sup> 刘光智<sup>3</sup> 廖延福<sup>3</sup> 郑卫军<sup>3</sup> 岳连雄<sup>3</sup>

华曙光<sup>3</sup> 毛光剑<sup>1,2</sup> 吴胜华<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国地质大学 岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 中国人民武装警察部队黄金第五支队, 陕西 西安 710100)

**摘要:**位于西秦岭礼(县)—岷(县)成矿带西段的寨上金矿床,是近年发现的一个大型微细浸染型金矿。在研究甘肃寨上金矿床物质组分的过程中,笔者通过对岩矿石的等离子质谱分析和对矿物的反光显微镜下观察、电子探针分析,发现寨上金矿床存在白钨矿的富集体。根据化学成分圈定出了独立的白钨矿矿体,确认该矿床为金—钨—铋(自然金—白钨矿—辉铋矿)建造矿床。其与四川西北部马脑壳金—钨—铋矿床在地质背景、含矿岩石、矿化形式、矿物组合、元素组合和成矿过程相似。鉴于在川甘陕三角地带泥盆系—三叠系中类似寨上的金矿床、矿点众多,注意在此类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是十分重要的。

**关键词:**金矿床;白钨矿矿体;金—钨—铋建造;寨上

**中图分类号:**P618.67 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)06-1113-08

在卡林型或类卡林型金矿床中,金常与汞、铋、砷矿床共生在一起。但其与钨共同富集的矿床实例相当罕见。目前仅在四川马脑壳金矿床中有白钨矿矿体存在。最近,笔者在对甘肃寨上金矿床的研究中,发现钨在金矿石中相当富集,局部可圈出白钨矿矿体。这对提高金矿的综合利用价值十分重要。

## 1 矿床基本特征

位于岷—礼成矿带西部的寨上金矿床,是近年来在西秦岭地区发现的一个十分重要的大型微细粒浸染型金矿床<sup>[1,2]</sup>,Au 储量已超过 70 t。该矿床赋存于中泥盆统 e 组(南矿带)、下二叠统 b 组(北矿带)中,其为一套由石英砂岩、粉砂岩、板岩和灰岩组成浊积岩建造。金矿体明显受 NWW—NW 向断裂构造的控制(图 1)。已发现的金矿体无一例外地赋存于容矿层中的构造破碎带内。

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。但矿体的围岩蚀变较显著,以硅化和碳酸盐化最为普遍。在围岩蚀变较强烈的地段,金属硫化物发育,矿化较好。

根据赋矿原岩特点,可将金矿石划分为细砂岩型、钙质板岩型 2 种类型<sup>[1,2]</sup>。组成金矿石中的主要硫化物矿物,除已知的黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、毒砂、辉铋矿、方铅矿、闪锌矿外,笔者又鉴定出辉钼矿、车轮矿、硫铜铋矿、辉铋铅矿、铜蓝、碲汞矿以及 Cu—Ni—Zn—Sn—Fe 金属互化物及其硫的多元合金矿物<sup>[3]</sup>。金矿石中也存在一些氧化物、碳酸盐、硫酸盐等含氧矿物。矿石中的金,在显微镜下偶尔能见到自然金颗粒,但主要以不可见金形式存在。

矿石结构主要有自形、半自形、他形、草莓状、交代、环带、碎裂等结构。矿石构造有脉状—网脉状、角砾状、浸染状、斑点状、团块状、放射状、块状、晶簇状等构造。

收稿日期:2008-10-30;改回日期:2008-11-03

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403500)、国家自然科学基金项目(40773036)、高等学校学科创新引智计划项目(B07011)、教育部长江学者和创新团队、中国人民武装警察部队黄金指挥部勘查项目资助。

作者简介:刘家军,男,1963 年生,教授,博士生导师,主要从事矿床地球化学的教学与科研工作;E-mail:liujiajun@cugb.edu.cn。

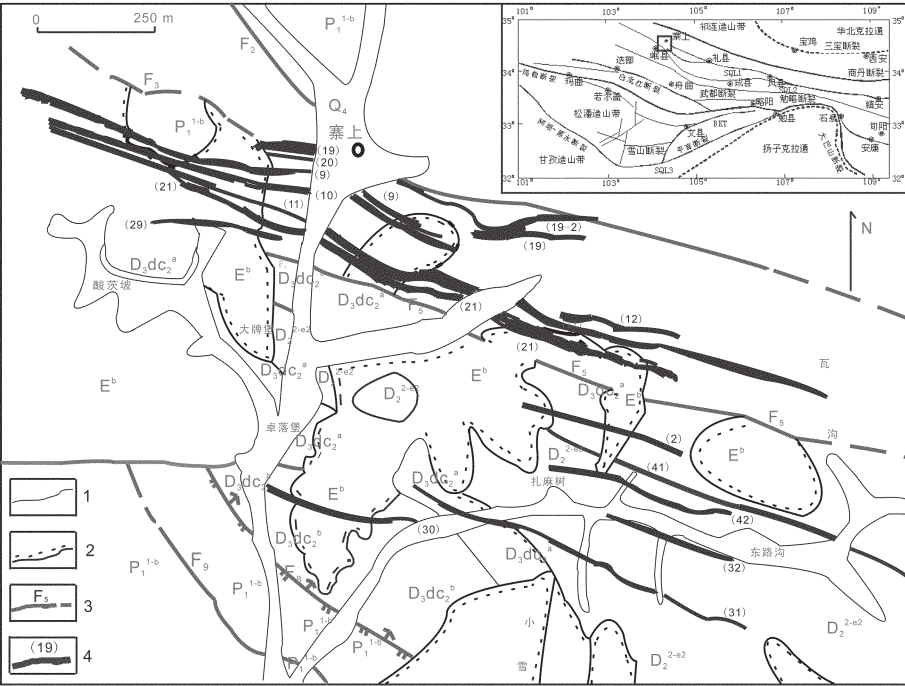


图1 寨上金矿床矿区地质略图(武警黄金部队第五支队提供,2006)

$Q_4$ —第四系;  $E^b$ —古近系砾岩;  $P_1^{1-b}$ —下二叠统含炭质板岩;  $D_3dc_2^a$ —上泥盆统大草滩群 A 组粉砂质板岩夹石英砂岩;  $D_3dc_2^b$ —上泥盆统大草滩群 B 组粉砂质板岩; 1—地层界线; 2—角度不整合; 3—断层及编号; 4—金矿体及编号

Fig.1 Geological sketch of the Zhaishan gold deposit (modified from CAPF, 2006)

$Q_4$ —Quaternary;  $E^b$ —Palaeogene conglomerate;  $P_1^{1-b}$ —Carbonaceous slate of low Permian;  $D_3dc_2^a$ —Interbedded quartz sandstone in Silt sandy slate of A formation in up Devonian Dacota Group;  $D_3dc_2^b$ —Silt sandy slate of B formation in up Devonian Dacota Group; 1— Boundary line of strata; 2—angle unconformity; 3— Fault and No.; 4—Gold orebody and nomencl

根据热液矿脉的穿插关系与矿物共生组合等特点,可将寨上金矿床的成矿作用划分为 3 个成矿期<sup>[3,4]</sup>: 沉积—成岩期、中低温热液期及表生氧化期。中低温热液期又可以划分为 4 个成矿阶段: 少硫化物—石英早阶段(Ⅰ)、含  $As$  黄铁矿—毒砂—石英主阶段(Ⅱ)、多金属硫化物—石英—碳酸盐主阶段(Ⅲ)及碳酸盐晚阶段(Ⅳ)。

## 2 钨的矿化特征

### 2.1 钨的分布规律

在寨上金矿区的南、北矿带,通过探槽、钻孔工程控制的大小不等的金矿体 15 个,主要金矿体有 9、10、11、12、19-1、19-2、21、31、32、41 号。主要金矿体的长度为 212~1085 m,厚度为 0.43~19.74 m,最

大斜深达 285 m。

通过对金矿区探槽、钻孔工程进行的 454 件探槽、岩心取样的化学分析结果显示,金矿区内钨矿化现象较普遍,有近半数的分析样品  $WO_3$  含量大于 0.02%,最高含量达 3.26%。若按工业要求统计<sup>①</sup>,  $WO_3$  含量大于 0.05%者<sup>②</sup>达 47 件,约占分析样品总数的 10.4%。其中  $WO_3$  含量大于 0.10%者<sup>③</sup>共 30 件,约占分析样品总数的 6.6%。

从武警黄金部队第五支队现已圈定的白钨矿体来看,白钨矿体与北矿带的 19 号矿脉吻合较好,在北矿带的 9 号、21 号及南矿带的 31 号矿脉中,也有钨的矿化。说明在金富集的某些地段,钨也相当富集,甚至在局部地段可圈定出独立的钨矿体(图 2)。钨矿体的厚度为 0.30~5.94 m,长度为 15~160 m。

①金矿床中  $WO_3$  综合利用的最低含量。  
②独立层控钨矿床的一般边界品。

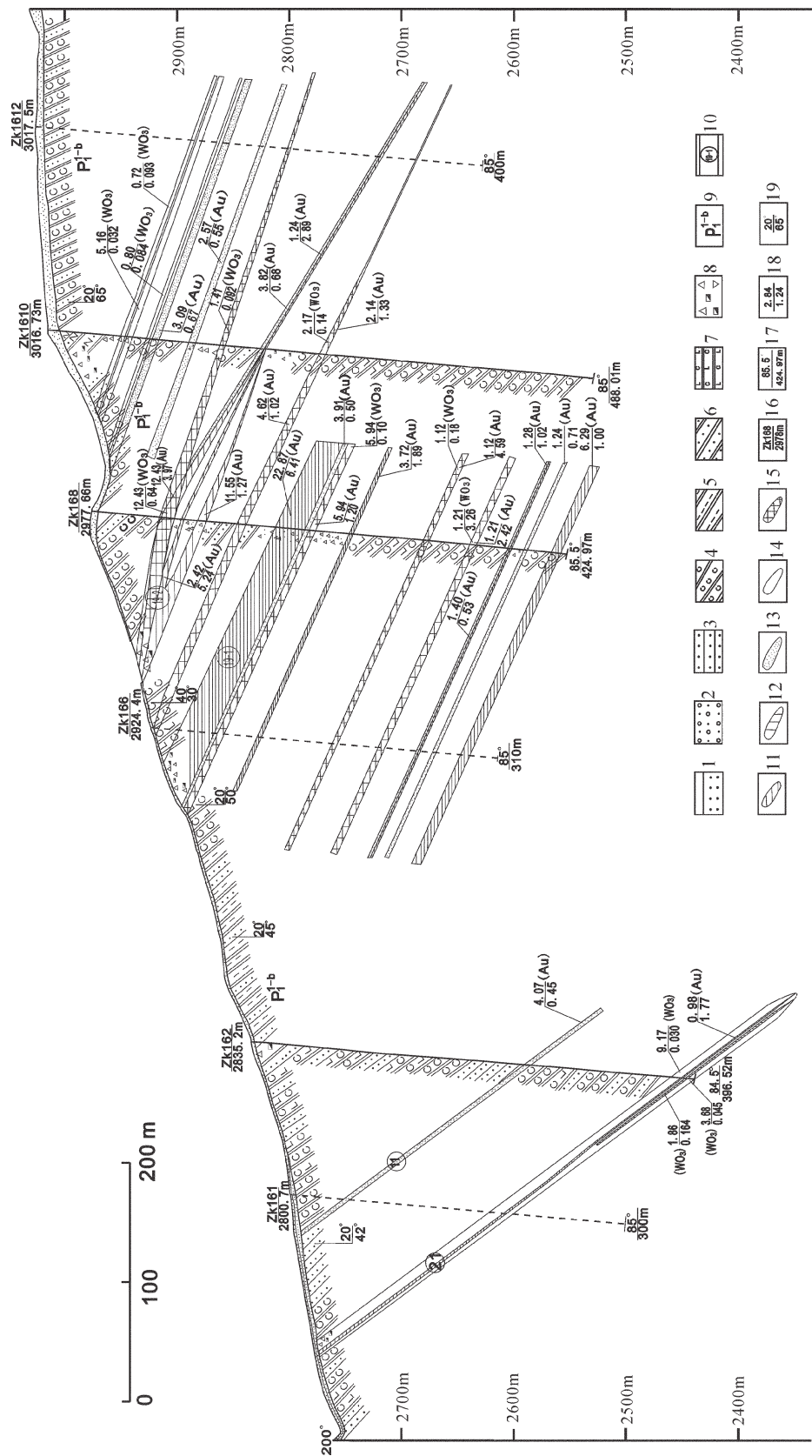


图 2 寨上金矿床 16 勘探线地质剖面图(武警黄金部队第五支队提供, 2008, 略有修编)

1—残坡积砂粘土; 2—砂砾石; 3—砂岩; 4—炭质板岩; 5—钙质板岩; 6—砂质板岩; 7—炭质硅板岩; 8—碎裂板岩; 9—地层编号; 10—矿体编号; 11—金矿体; 12—钨矿体; 13—金矿体; 14—钨矿体; 15—金-钨矿体; 16—钻孔号/标高(m); 17—钻孔倾角/孔深(m); 18—厚度(m)/品位(10<sup>-6</sup>); 19—地层产状

Fig.2 Geochemical sections on prospect line 16 in the Zhaishang gold deposit (modified from CAPE, 2008)

1—Residual soil; 2—Gravel soil; 3—Sandstone; 4—Carbonaceous slate; 5—Calcareous slate; 6—Sandy slate; 7—Carbonaceous silica slate; 8—Cataclastic rock; 9—Symbol of the strata; 10—No. of the orebody; 11—Gold orebody with grade higher than 1 × 10<sup>-6</sup>; 12—Tungsten orebody with WO<sub>3</sub> grade higher than 0.05%; 13—Gold mineralization orebody with grade ranging from 0.5 × 10<sup>-6</sup> to 1 × 10<sup>-6</sup>; 14—Tungsten mineralization orebody with WO<sub>3</sub> grade ranging from 0.02% to 0.5%; 15—Gold-tungsten orebody; 16—No. of drill hole/elevation (m); 17—Inclination of drill hole/depth (m); 18—Thickness (m)/ grade; 19—Stratal occurrence

为了揭示矿石、蚀变岩石与岩石中 Au、Sb、W、As、Hg 等元素之间的联系,对矿区 32 件岩、矿石样品进行了等离子质谱分析。对其结果进行的相关分析、R 型聚类分析(图 3)表明,W 与 Sb、Zn、S 呈正相关关系,相关系数分别为  $r=0.96,0.83$  和  $0.88$ ,说明钨的富集与辉锑矿、闪锌矿密切相关。在图 3 中,当距离系数大于 0.880 时,W、Sb、Zn、S 聚为一类,Cu、Bi、Ag、Hg、Co 另聚为一类,而 Au 在距离系数为 0.432 时与 Se、Te 聚为一类,明显与 W、Sb、Zn 等元素分为两群,仅在距离系数为 0.175 时它们才聚为一类,说明 W 的富集与 Au 的富集没有直接联系。图 3 显示的是 19 号金矿体及其两侧矿化岩石、原岩中有关元素含量的变化情况。尽管 Au、Sb、W 都富集于金矿石中,但在 Au 含量最富集的部位,W、Sb、Zn、Pb、As 并不一定最富集。该特点已为显微镜下观察到的现象所证实。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。实际情况也显示,凡  $WO_3$  高含量的样品,一般均与金矿体中的高锑含量呈同步消长的关系。据分析数据

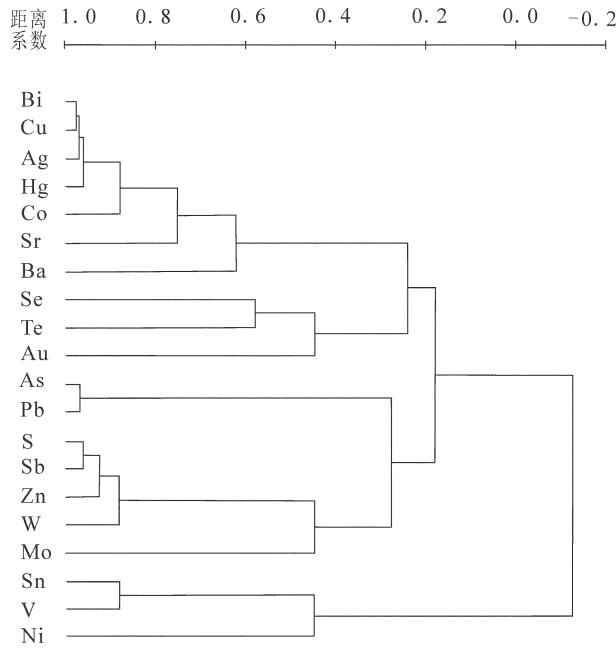


图 3 岩石、蚀变岩石与矿石微量元素 R 型谱系图  
Fig. 3 R-cluster analysis of ores, altered rocks and wall rocks

按边界品位的要求所圈定出的钨矿体,有的与金矿体重合,有的则在金矿体范围之外。换言之,金矿体、钨矿体在空间上既有重合、又有分离的现象(图 4),致使 W 与 Au 的相关性不明显。

2.2 钨矿物特征

根据对矿石标本和偏反光显微镜下的矿相学研究获知,矿区中钨的矿化是以白钨矿的产出为主要特征。矿石中白钨矿呈浅黄色、灰白色,颗粒细小,粒径 0.05~0.6 mm,主要以浸染状、细脉状的形式产于炭质板岩型金-锑矿石、石英-硫化物细脉中。在紫外线照射下发浅蓝色荧光。与其共生的矿物有石英、黄铁矿、辉锑矿、闪锌矿、方铅矿、方解石和重晶石。热液交代和充填的特征显著。

在反光镜下,白钨矿的切面形态为菱形、他形粒状,反射色呈灰白色,反射率很低(但高于石英、方解石),非均性与反射多色性不明显,具有明显的乳白

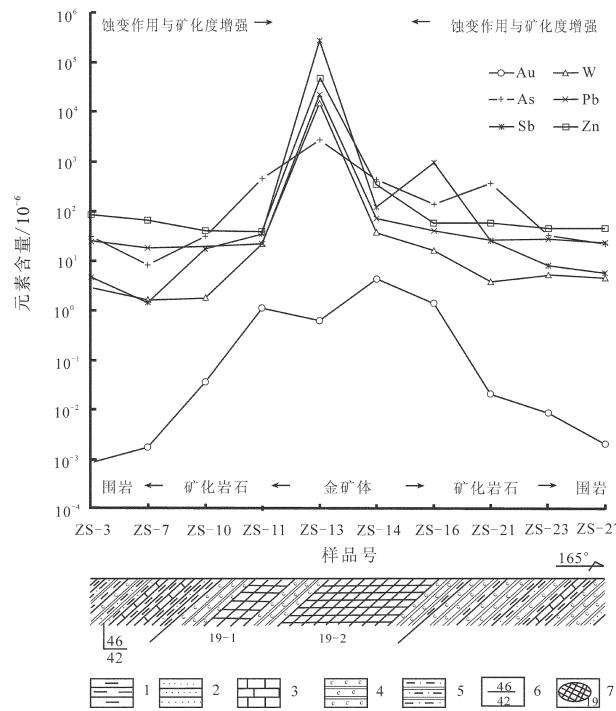


图 4 金矿床中 19 号矿体围岩、矿化岩石、矿石中 Au, W, Sb, As, Zn, Pb 含量变化及其与热液蚀变强度的关系  
1—钙质板岩;2—粉砂岩;3—灰岩;4—炭质板岩;5—粉砂质板岩;  
6—地层产状;7—金矿体及编号  
Fig.4 Variation of Au, W, Sb, As, Zn, Pb contents in ores, altered rocks and wall rocks as well as their correlation to alteration intensity  
1—Calcareous slate;2—Silt sandstone;3—Limestone;4—Carbonaceous slate;5—Silty slate; 6—Stratal attitude; 7—Gold orebody and No



色内反射。

3 个白钨矿颗粒在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针室进行了电子探针分析 (表 1) (EPMA)。使用仪器型号: CAMEBAX—SX51; 工作条件: 加速电压 20 kV, 探针电流  $20\times10^{-8}$  A, 电子束斑直径  $3\text{ }\mu\text{m}$ ; 分析采用氧化物标样, W—白钨矿。对分析数据的处理采用 ZAF 修正法。测试结果见表 1。从表 1 中可以看出, 白钨矿的主要成分含量变化范围为:  $\text{WO}_3$  78.48%~80.91% (平均 80.05%),  $\text{CaO}$  19.35%~20.33% (平均 19.75%)。矿物中含微量的  $\text{MgO}$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}$  等。根据对白钨矿的电子探针分析结果的平均值, 按矿物通式中 2 个阳离子和考虑电价平衡, 以  $\text{O}=4$  为基准计算, 求得白钨矿的化学分子式为  $\text{Ca}_{1.00}[\text{W}_{0.98}\text{O}_{4.00}]$ 。

对挑选的 3 件白钨矿样品在中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心进行了 X 射线衍射分析 (表 2)。使用仪器型号为日本理学电机公司 (Rigaku) 的 D/Max-2500 型。实验条件为  $\text{CuK}\alpha 1$

表 1 寨上金矿床中白钨矿电子探针分析/%  
Table 1 Electron-probe data of scheelite of the Zhaishang gold deposit (in percentage)

序号	样号	WO <sub>3</sub>	CaO	FeO	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	MgO	MoO <sub>3</sub>	合计
1	06ZS-13	79.57	19.67	0.09	0.05	0.03	0.45	0.04	99.89
2	06ZS-13	80.28	20.33	0.13	0.03	0.01	0.34	0.07	101.19
3	06ZS-13	80.51	19.59	0.07	0.03	0.04	0.76	0.00	101.00
4	06ZS-13	78.48	20.12	0.11	0.05	0.04	0.99	0.13	99.92
5	06ZS-38	80.53	19.46	0.09	0.04	0.11	0.54	0.11	100.88
6	06ZS-38	80.91	19.35	0.09	0.04	0.07	1.12	0.00	101.58
	平均值	80.05	19.75	0.10	0.04	0.05	0.70	0.06	100.75

表 2 白钨矿的 X 射线衍射分析  
Table 2 X-ray powder diffraction data on the scheelite

样号	08Zs-8		08ZS-17		08Zs-29		标准 <sup>[16]</sup>	
hkl	I/I <sub>0</sub>	d(nm)	I/I <sub>0</sub>	d(nm)	I/I <sub>0</sub>	d(nm)	I/I <sub>0</sub>	d(nm)
101	65.7	0.4769	64.1	0.4766	79.4	0.4768	62.6	0.4760
112	100	0.3110	100.0	0.3108	100.0	0.3108	100.0	0.3105
103	24.3	0.3076	23.5	0.3074	25.3	0.3075	22.8	0.3071
004	32.6	0.2847	29.3	0.2846	46.1	0.2846	13.1	0.2842
200	15.4	0.2625	15.1	0.2623	16.7	0.2624	18.9	0.2621
202							0.4	0.2380
211	15.4	0.2299	13.8	0.2298	12.3	0.2298	13.9	0.2296
114	2	0.2259	1.9	0.2259	1.5	0.2258	1.6	0.2255
105	4.2	0.2089	3.7	0.2088	3.7	0.2088	3.1	0.2086
123	7.2	0.1996	7.0	0.1995	6.9	0.1995	7.3	0.1993
204	26.7	0.1929	28.3	0.1928	28.3	0.1929	26.5	0.1927
220	10.8	0.1855	9.9	0.1855	9.7	0.1855	11.1	0.1853
222							0.1	0.1762
301	2.4	0.1728	2.0	0.1728	1.6	0.1729	2.2	0.1727
116	13.1	0.1689	13.8	0.1689	13.0	0.1689	13.3	0.1687
125	5.4	0.1634	5.4	0.1633	5.1	0.1634	6.0	0.1632
312	19.1	0.1593	19.4	0.1592	17.4	0.1593	21.3	0.1591
303							12.6	0.1587
107	8.9	0.1554	8.5	0.1554	8.2	0.1554	9.6	0.1552
224							9.6	0.1552
321	3.7	0.1443	3.1	0.1443	2.9	0.1443	3.6	0.1442
134							0.1	0.1432
008	2.9	0.1422	2.5	0.1422	4.2	0.1423	1.4	0.1421
305	1.8	0.1386	1.6	0.1386	1.9	0.1384	1.9	0.1385
233	2.6	0.1358	2.6	0.1358	2.5	0.1359	3.1	0.1357

靶,石墨单色器,扫描速度 20/min,管电压 40 kV,管电流为 100mA,狭缝系统:DS=SS=1°,RS=0.3mm,扫描范围为 2.6°~70°(2θ),重复扫描 2 次。可以看出,矿物衍射最强峰 0.3108~0.3110nm,次强峰 0.4766~0.4769 nm,还有其他一些衍射较强的峰。这些衍射峰值与标准白钨矿的衍射特征值<sup>[6]</sup>相吻合。

数据经最小二乘法计算,得到矿物的晶胞参数为:a=0.5239~0.5244 nm,c=1.1371~1.1401 nm,与白钨矿的理论值(a=0.5242 nm,c=1.1372 nm)<sup>[6]</sup>基本一致。

### 3 讨 论

W 位于元素周期表中第六周期 VI 副族,属于第三过渡系列元素。其在戈尔德施密特的地球化学分类中属于亲铁元素<sup>[7]</sup>,在自然界中呈强烈的亲氧性,几乎不形成硫化物。钨与花岗岩具有密切的成矿专属性,是气成-热液中十分活泼的金属元素。国外已发现的与钨矿床共生的金矿床,大都以金-铋-钨-砷组合为特征<sup>[8]</sup>。如美国阿拉斯加 Fort Knox 矿床<sup>[9]</sup>、捷克 Mokrsko 矿床<sup>[10]</sup>、西班牙 Salave 矿床<sup>[11]</sup>、哈萨克斯坦 Vasilkovskoe 矿床<sup>[12]</sup>、澳大利亚 Timbarra 矿床<sup>[13]</sup>、澳大利亚昆士南 Kidston 矿床<sup>[14]</sup>、玻利维亚 Kori Kollo 矿床<sup>[15]</sup>等即为典型实例。这些矿床大都与高钾的钙碱性至弱碱性花岗岩类有成因联系<sup>[8,16]</sup>。但也有一些矿床是高温变质再造作用的产物,如新西兰 Macraes 石墨化片岩中的 Au-W 矿床<sup>[17]</sup>。白钨矿是某些类型金矿床中的常见矿物,从矽卡岩型到变质岩型和中-高温热液金矿脉中均可出现<sup>[18]</sup>。

一般认为,钨是高温热液成矿元素,而 Sb、As、Hg 及 Carlin 型金矿床中的 Au 则是典型的中-低温成矿元素<sup>[19,20]</sup>。但在自然界中常见 W-Sb-Au-(As)、W-Sb-Hg、W-Au、W-Sb 成矿元素共生组合的热液矿床在时间与空间上重复稳定产出<sup>[19,20]</sup>。这类矿床多呈层状、似层状、脉状赋存于复理石、类复理石碎屑沉积变质建造中。在此类矿床中,大多数矿床都具有浅成低温的成矿特征。如在危地马拉 Ixtahuacan Au-Sb-W 矿床<sup>[21]</sup>、泰国西部一些 Sb-W 矿床<sup>[22]</sup>、中欧-南欧古生界地层中众多层控 W-Sb-Hg 矿床及 W-Sb-Au 矿床<sup>[19]</sup>以及中国湖南沃溪 W-Sb-Au 矿床<sup>[20]</sup>、四川马脑壳 Au-Sb-W-As 矿床<sup>[19,23]</sup>中,Au、Sb、W、Hg、As 等成矿元素能紧密共生。究其原因,这主要与成矿热液中的钨以杂多酸的形式进行迁移有关<sup>[19]</sup>。根据对杂多酸的稳定域与热液矿床中矿物的共生组合

研究表明,钨杂多酸是热液(尤其在中-低温热液)中钨的重要迁移形式<sup>[19,24]</sup>。构成杂多酸络合物中杂多离子的各种金属和非金属阳离子包括 Au、Sb、As、Si 等。因此,W、Sb、As、Hg、Au 这些亲氧性和亲硫性不相同的元素,在相对酸性、贫氟、中-低盐度、中-低温度的热液中,钨主要呈各种杂多酸络合物的形式存在<sup>[19]</sup>,而金除了以硫-金络合物形式迁移外,还可能以硫-砷络合物、硫-锑络合物的形式进行迁移的<sup>[25,26]</sup>。随着成矿热液的碱化与降温、降压等物理化学条件的变化,这些络合物,尤其是杂多酸络合物变得不稳定而发生分解,从而导致 W 这一高温热液成矿元素与 Au、Sb、As、Hg 低温成矿元素在一些中低温热液矿床中稳定共生在一起。

在寨上金矿床中,无论是北矿带还是南矿带,赋矿岩石均富含钙质、铁质<sup>[3]</sup>。而含钙质岩石的存在是钨成矿的重要条件之一<sup>[20]</sup>。杂多酸络合物作为 W、Sb、Au 等成矿元素的共同载体而使它们一起进入热液地球化学体系迁移,是 W、Sb、Au 元素发生共同富集的重要形成机制<sup>[19]</sup>。

寨上金矿床为一金-钨-锑(自然金-白钨矿-辉锑矿)建造矿床,其与四川西北部的马脑壳金-钨-锑矿床在地质背景、含矿岩石、矿化形式、矿物组合、元素组合和成矿过程极为相似。鉴于在川甘陕三角地带泥盆系—三叠系中类似寨上和马脑壳的金矿床、矿点众多,故注意在此类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是十分重要的。

### 4 结 论

寨上金矿床为一金-钨-锑(自然金-白钨矿-辉锑矿)建造矿床。钨的矿化是以白钨矿的产出为主要特征。W 与 Sb、Zn 等元素呈密切的正相关关系,而与 Au 的相关性不明显。热液中钨杂多酸络合物的存在,是导致 W 这一高温热液成矿元素与 Au、Sb、As、Hg 低温成矿元素在一些中低温热液矿床中稳定共生在一起的关键因素。

致谢:谨以此文祝贺胡受奚教授 80 华诞,衷心祝愿老人家健康长寿,继续带领我们后辈学者不断创新!

### 参考文献(References):

- [1] 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 Xinhui, Yu Lan, Zhang Fuxin, et al. Geogogical features and genetic analysis of Zhaishang gold deposit, Minxian county, Gansu [J]. Northwestern Geology, 2005, 38 (4):45–53 (in Chinese with English abstract).
- [2] 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. Geogogical and geochemical features and origin of Zhaishang gold deposit in the Minxian county, Gansu [J]. Geolgy and Prospecting, 2006, 42(4): 25–31(in Chinese with English abstract).
- [3] 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.
- Liu Jiajun, Mao Guangjian, Ma Xinghua, et al. Discovery of Cu–Ni–Zn–Sn–Fe intermetallic compound and S-bearing alloy in the Zhaishang gold deposit, southern Gansu Province and its geological significance [J]. Science in China (D series), 2008, 51(6):769–777(in Chinese with English abstract).
- [4] 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 Xinhua, Liu Jiajun, Li Lixinf, 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(in Chinese with English abstract).
- [5] 全国矿产储量委员会主编. 矿产工业要求参考手册[M]. 北京:地质出版社, 1987:83–91, 119–125.
- The Committee of the National Mineral Reserve. The Handbook of Mineral Commercial Utilization [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1987:83–91, 119–125(in Chinese).
- [6] JCPDS. Powder DiffractionFile[M]. International center for diffraction data, 1988.
- [7] White W M. Geochemistry [M]. Maryland:John–Hopkins University Press, 2007:260–271.
- [8] Thompson J F H, Sillitoe R H, Baker T, et al. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces [J]. Mineralum Deposita. 1999, 34:323–334.
- [9] Scales M. How to get gold out of Fort Knox; the Alaskan wilderness sets the stage for one of Kinross' flagship operations [J]. Canadian Mining Journal, 2003, 124(4):20–24.
- [10] Moravek P, Janatka J, Pertoldova J, et al. The Mokrsko gold deposit; the largest gold accumulation in the Bohemian Massif, Czechoslovakia[J]. Economic Geology Monographs, 1989, 6:252–259.
- [11] Harris M. Gold mineralization at Salave gold prospect, Northwest Spain. Transactions – Institution of Mining and Metallurgy [J]. Applied Earth Science, 1980, 89:1–4.
- [12] Burshtein E F. Genetic types of granite-related mineral deposits and regular patterns of their distribution in central Kazakhstan[C]// Shatov V, Seltmann R, Kremenetsky A, et al (eds.). Granite – related Ore Deposits of Central Kazakhstan and Adjacent Areas. Glagol Publishing House, St. Petersburg, 1996, 83–91.
- [13] Mustard R. Granite –hosted gold mineralization at Timbarra, northern New South Wales, Australia [J]. Mineralium Deposita, 2001, 36(6):542–562.
- [14] Baker E M, Andrew A S. Geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies of the gold –bearing breccia pipe at Kidston, Queensland, Australia[J]. Economic Geology, 1991, 86:810–830.
- [15] Rice C M, Darke K E, Still J W, et al. Tungsten-bearing rutile from the Kori Kollo gold mine, Bolivia[J]. Mineralogical Magazine, 1998, 62:421–429.
- [16] 谭运金. 与钨矿床共生的金矿床及其找矿 [J]. 中国钨业, 2001, 16(2):18–21.
- Tan Yunjin. The gold deposits associated with tungsten deposits and their exploration[J]. ChinaTungsten Industry, 2001, 16(2):18–21(in Chinese).
- [17] Mckeag S A, Craw D, Norris R J. Origin and deposition of a graphitic schist –hosted metamorphogenic Au–W deposit, Macraes, East Otago, New Zealand[J]. Mineral. Deposita, 1989, 24:124–131.
- [18] Brugger J, Lahaye Y, Costa S, et al. Inhomogeneous distribution of REE in scheelite and dynamics of Archean hydrothermal systems (Mt Charlotte and Drysdale gold deposits, Western Australia) [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2000, 139:251–264.
- [19] 刘建明, 周渝峰, 付仁平, 等. 杂多酸络合物及其与热液成矿元素组合的关系[J]. 矿物岩石, 1994, 14 (4):76–84.
- Liu Jianming, Zhou Yufeng, Fu Renping, et al. Heteropoly acid complexes in relationship to hydrothermal paragenesis of ore elements [J]. Journal of Mineral and Petrology, 1994, 14 (4):76–84 (in Chinese with English abstract).
- [20] 陈明辉, 杨洪超, 娄亚利, 等. 湘西沃溪钨锡金矿床成矿的独特[J]. 地质找矿论丛, 2008, 23(1):32–42
- Chen Minghui, Yang Hongchao, Lou Yali, et al. Minerogenic particularity of Woxi W–Sb–Au deposit in West Hunan [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2008, 23(1):32–42(in Chinese with English abstract).
- [21] Guillemette N, Williams–Jones A E. Genesis of the Sb–W–Au deposits at Ixtahuacan, Guatemala: evidence from fluid inclusions and stable isotopes[J]. Mineral. Deposita, 1993, 28, 167–180.
- [22] Dill H G, Melcher F, Botz R. Meso- to epithermal W-bearing Sb vein-type deposits in calcareous rocks in western Thailand; with special reference to their metallogenic position in SE Asia[J]. Ore Geology Reviews, 2008, 34:242–262.
- [23] 郑明华, 张斌, 刘建明, 等. 四川马脑壳金矿床中白钨矿矿体的发现及其意义[J]. 成都地质学院学报, 1993, 16(2):18–21.
- Zheng Minghua, Zhang Bin, Liu Jianming, et al. Significance of the discovery of Scheelite ore-bodies in a gold deposit in Sichuan [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1993, 16(2):18–21(in Chinese with English abstract).
- [24] 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学导论 [M]. 北京:地质出版社, 1987:9–25.
- Liu Yingjun, Cao Liming. Elemental Geochemistry (in Chinese)

- [M]. Beijing: Geological Published House, 1987: 9–25 (in Chinese).
- [25] Akhmedzhanova G M, et al. Solubility of gold in sulfide–arsenide solutions at 200–300°C [J]. Doklady Akademii Nauk SSSR, 1989, 300: 189–191.
- [26] Grigoryeva T A, Sukneva L S. Effects of sulfur and of antimony and arsenic sulfide on the solubility of gold [J]. Geochimica et Cosmochimica, 1981, 18: 153–158.

## Discovery and significance of scheelite orebodies in the Zhaishang gold deposit, southern Gansu

LIU Jia-jun<sup>1,2</sup>, LIU Guang-zhi<sup>3</sup>, LIAO Yan-fu<sup>3</sup>, ZHENG Wei-jun<sup>3</sup>,  
YUE Lian-xiong<sup>3</sup>, HUA Shu-guang<sup>3</sup>, MAO Guang-jian<sup>1,2</sup>, WU Sheng-hua<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;  
2. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobe Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. No.5 Gold Geological Party of Chinese Armed Police Force, Xi'an 710100, Shanxi, China)

**Abstract:** Located in the western part of the Min–Li metallogenic belt, western Qinling Mountains, the Zhaishang gold deposit is a recently discovered large Carlin–type disseminated gold deposit. Examination of ores by optical microscope, EPMA and ICP–MS from the deposit, has revealed a scheelite enrichment. On the basis of chemical–analytical data, several independent scheelite orebodies are located. It belongs to Au–Sb–W deposit association of gold–scheelite–stibnite. In some ways, it can be compared with the Manaoke gold deposit in Sichuan with respect to geological setting, host lithology, mineralization style, mineral assemblages, geochemical association and metallogenic processes involved. Since in the Devonian and Triassic strata in the triangular border region of Sichuan, Gansu and Shaanxi provinces, as so–called gold triangle, with many gold deposits or occurrences similar to the Zhaishang deposit, it is obviously of great importance to evaluate the value of tungsten and other elements in these gold deposits.

**Key words:** Zhaishang; Gold deposit; Scheelite ore–bodies; Au–W–Sb–As association, Gansu

---

**About the first author:** LIU Jia-jun, male, born in 1963, Professor and Director of Ph.D Students, engages in studies of ore deposit geochemistry; E–mail: liujiajun@cugb.edu.cn.