

# 西秦岭寨上特大型金矿首次发现显微可见金及其地质意义

刘新会<sup>1</sup>，刘光智<sup>1</sup>，刘民武<sup>2</sup>，耿宏<sup>1</sup>

(1 中国人民武装警察部队黄金第五支队实验室，陕西 西安 710100；2 长安大学地球科学与资源学院，陕西 西安 710054)

**摘要** 过去一直认为寨上金矿是微细浸染型金矿床。文章在寨上金矿金的赋存状态查定过程中，不仅观测到了以类质同象形式存在的超显微金成分，而且在碎屑粒间和后期石英方解石细脉中还发现了显微可见金（粒径 $>0.2\ \mu\text{m}$ ）。通过研究显微可见金矿物的颜色、粒度、表面特征、成色、重砂矿物组合、赋存的岩石学、岩相学特征，以及与莱州东部界河滨海相砂金矿中金矿物进行对比，得出寨上金矿金的赋存状态有3种（2种？）：金以类质同象存在于金属硫化物和石英等载金矿物中、以显微可见金的独立金矿物形式存在于碎屑粒间或后期石英方解石细脉中。以此为据，作者认为寨上金矿床可能为沉积变质-构造热液叠加型金矿床。

**关键词** 地质学；赋存状态；显微可见金；寨上金矿；甘肃省

关于微细浸染型金矿床中“不可见金”究竟以何种形式存在于矿物中，一直是国际矿物学界公认的一个难题（叶先贤，1991）。目前较为流行的认识有3种：① 金呈次显微状（微米级）游离金存在于砷硫化物晶格缺陷、晶体结晶环带及显微裂隙和孔洞中；② 金以类质同象替代的原子形式存在，或以化合物状态分散分布于含砷硫化物晶格中。③ 矿石沉淀后从亚稳定状态的砷硫化物出溶形成的（毛水和，1990）。

利用显微测试技术研究次显微金，国内外有关专家做了大量的研究工作并取得了一定的成绩。Wells等（1973）利用EPMA研究Cortez和Carlin 2种类型的原生矿石发现金呈现在细微的含砷黄铁矿中，以及在较大的黄铁矿颗粒富砷边缘；Hausen等（1983）利用SEM研究得出：在15 000倍下，未发现独立金颗粒，认为金以固溶体形式存在于黄铁矿之中或可能小于 $200\ \text{\AA}$ 。在Carlin型矿石中，含金量较高的黄铁矿主要是微米级的球形晶体。Hausen等（1987）利用EPMA+SEM在碳酸盐样品中发现金主要以颗粒金出现在伊利石粘土聚体中，大多数金颗粒为 $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 。Bakken（1989）利用TEM/EDX研究Carlin型金矿中，黄铁矿、辰砂、石英中观察到 $50\sim 200\ \text{\AA}$ 的自然金颗粒，伊利石聚集体中观察到 $200\sim 1\ 000\ \text{\AA}$ 的自然金颗粒，并作出了电子衍射数据及形貌照片。叶先贤等（1989）利用SEM/EDX在湖北某地金矿中发现金以独立矿物颗粒存在于黄铁矿之中，金矿物颗粒大小在 $100\sim 10\ 000\ \text{\AA}$ 范围。毛水和（1990）用EPMA在中国西南某地卡林型金矿中发现金主要富集在粒径小于 $10\ \mu\text{m}$ 黄铁矿及大于 $10\ \mu\text{m}$ 的他形黄铁矿边缘，黄铁矿中的金少量呈固溶体形式存在，绝大多数呈包体超显微形式，毒砂、石英、方解石、重晶石都不是载金矿物。

寨上特大型金矿床是微细浸染型金矿（刘新会等，2008）。在查定金的赋存状态过程中，利用电子探针在载金矿物黄铁矿、毒砂、石英、白钨矿、黄铜矿、黝铜矿等矿物中测出了金成分，但电子探针、扫描电镜在常见载金矿物中均未发现独立金矿物颗粒。在电子探针测试过程中发现了磷钇矿、独居石、锆石、磷灰石、金红石等大量重砂矿物，随后也发现了显微可见金（粒径 $>0.2\ \mu\text{m}$ ）。显微可见金分布在碎屑颗粒间或裂隙孔洞中。通过研究显微可见金的矿物特征，结合其就位的岩石学特征、岩相学特征，笔者得出：

寨上金矿区显微可见金有2种赋存状态,一是金呈独立金矿物分布在碎屑粒间;二是金矿物分布在石英裂隙孔洞中<sup>①</sup>。笔者就发现的独立金矿物特征及其地质意义进行论述。

## 1 矿区概况

寨上金矿大地构造位置处于西秦岭中带(刘新会等,2008),西成-凤太-镇旬拉张裂陷盆地沉积环境(杨书恒等,1996),临潭-天水褶皱带(III),新寺-大草滩复背斜(IV)西部(张复新等,1998)的岷-礼多金

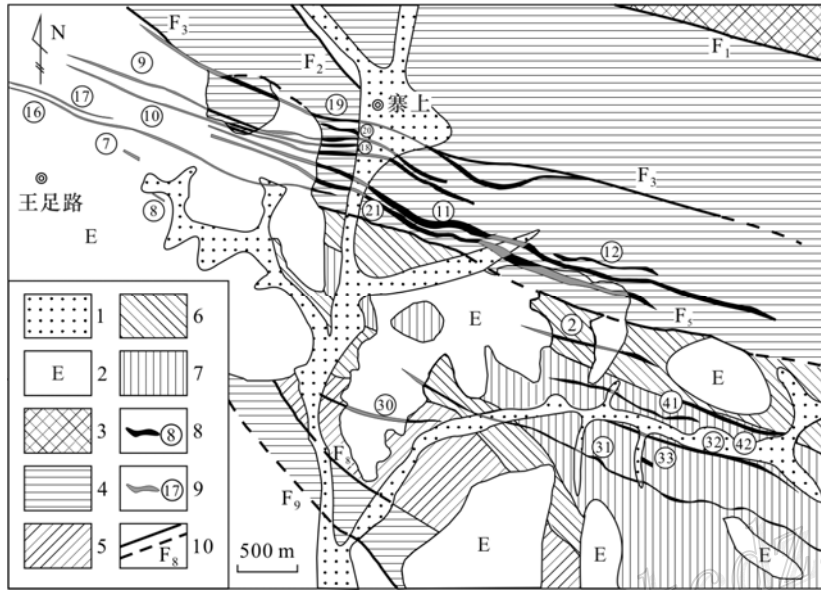


图1 寨上矿区地质简图(武警黄金第五支队,2008)

1—第四系;2—老第三系;3—下二叠统c组( $P_{1c}$ );4—下二叠统b组( $P_{1b}$ );5—上泥盆统大草滩群b组( $D_{3dc}^b$ );6—上泥盆统大草滩群a组( $D_{3dc}^a$ );7—中泥盆统e组( $D_{2e}$ );8—矿脉及编号;  
9—隐伏矿脉及编号;10—实测和推测断层及编号

属成矿带西部(张复新等,2000;卢纪英等,2001;钱壮志,2003)。成矿走向总体呈NW向,东部向南凸呈弧形,长逾400 km,宽50~90 km。区内出露地层为晚古生代地层,主要有泥盆系、二叠系、三叠系。岩浆活动以中川地区的碌础坝、吴茶坝、柏家庄、正沟、教场坝5个中酸性岩体组成。区内构造以NW向和NWW向为主,其中NWW向顺层剪切带为矿区的主要控矿断裂带(图1)。矿区矿石为碎裂状含金“碳泥硅”质板岩为主。寨上金矿目前金资源量已达80余吨,而且钨矿资源量已达8000余吨。金矿石中常见的金属矿物有黄铁矿、毒砂、辉锑矿、黄铜矿、黝铜矿;钨矿石中主要矿物为白钨矿。

## 2 金矿物特征及其赋存状态

样品采自寨上金矿19号脉。B809、B810号样品分别采自钻孔ZK168号的84~90 m和94 m。shag02号样品为19号脉体矿石组合而成的重砂样品。将野外采集的矿石样品送至磨片室制作光片、薄片、砂光片,在偏反两用显微镜下进行系统观察,对金矿物进行圈定,送至长安大学地球科学与资源学院大陆动力实验室电子探针室进行测试。

显微镜下金矿物呈金黄色、黄色、暗金黄色,板片状、棒状,分布在碎屑粒间。

电子探针下金矿物特征:(1)金矿物形态、表面特征:表面常有凹凸不平的压坑、麻点(图2a、b),边缘有卷曲、显微裂纹、表面粗糙(图2c)。形态有薄片状、麦粒状、棒状、树枝状,不规则状。颗粒磨圆较好,呈棱角状、次棱角状、次园状。(2)显微可见金粒度微细,粒径在1~100  $\mu\text{m}$ 之间,粒间金一般较大在10~30  $\mu\text{m}$ 之间,包体金颗粒较小,一般为1~2  $\mu\text{m}$ 。按照自然金粒度划分从大到小均有,一般以中粒金为主,唯有包裹金为微细粒金。(3)成分比较复杂,主要有以下3种状态:①自然金、汞金,金矿物中

<sup>①</sup>中国人民武装警察部队黄金第五支队.2008.甘肃省岷县寨上金矿床金矿物赋存状态查定(科研报告)。

含有 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、F、Cl、Na、Ca、 $\text{TiO}_2$ 、N等成分， $w_{\text{Au}}$ 可达 74.14%~96.35%；汞金中包含有 $\text{SiO}_2$ ；② 粘土中吸附有金， $w_{\text{Au}}$ 达 4.91%~8.49%；③ 金与 $\text{SiO}_2$ 、粘土、NaCl等共生， $w_{\text{Au}}$ 达 8.49%（表 1）。(4) 金的成色变化较大，在同一颗粒不同部位金的成色变化较大，如照片 5 棒状金颗粒的 3 个部位 $w_{\text{Au}}$ 分别为 89.38%、54.56%和 18.07%。成分复杂与成色变化大可能为成岩作用、后期构造作用、热液作用所致。(5) 金的赋存状态按照金与载金矿物之间的镶嵌关系可划分：粒间金、表面吸附金、裂隙金、包体金等 4 种。粒间金呈显微可见金的形式分布在石英与石英、石英与粘土矿物粒间（图 2c、d）；裂隙金呈显微可见金形式充填在石英晶洞中（图 2e）；表面吸附金吸附在粘土矿物、石英、石膏上（图 2a、b）；包体金呈微细粒显微可见金的形式包裹于石英中（图 2f）。(6) 与显微可见金共生的重砂矿物：黑钨矿、白钨矿、石英、磷钇矿、磁铁矿、独居石、锆石、磷灰石、金红石等。

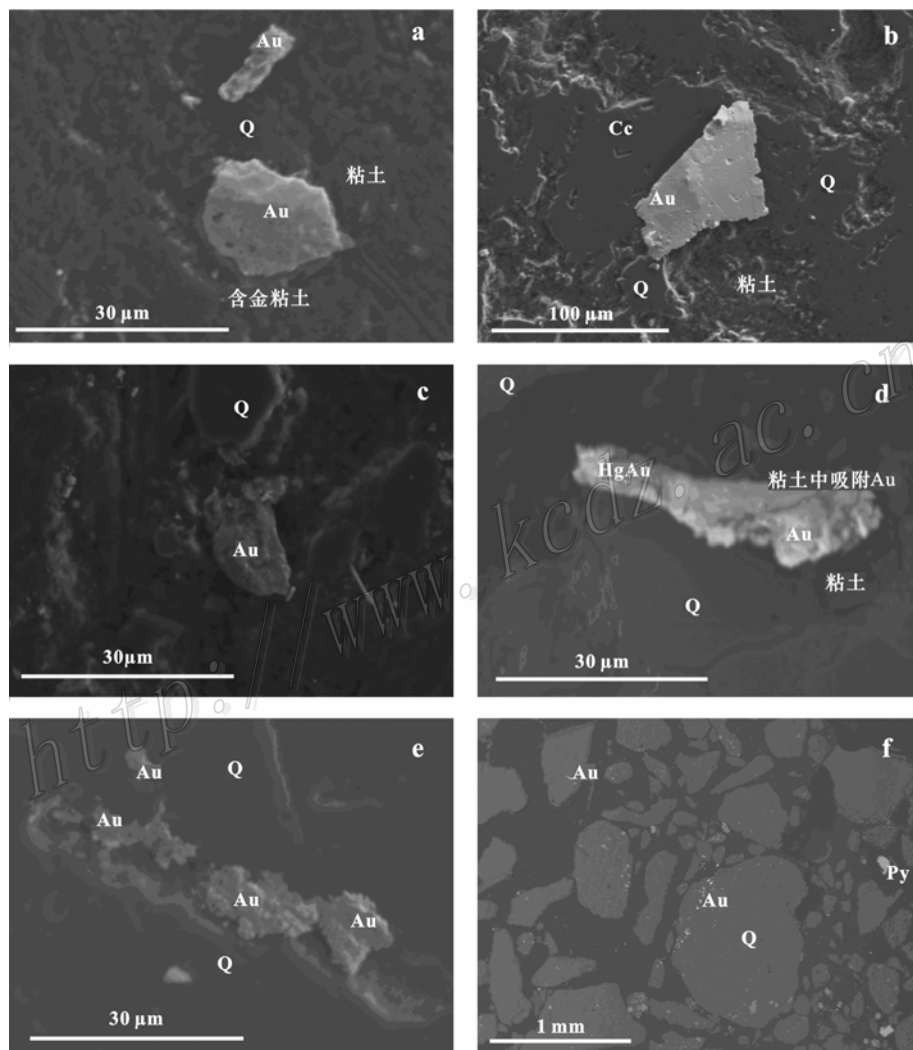


图 2 金矿物电子探针照片

a. B810 园板状、棒状，左上角有生长阶梯结构，有压坑，次棱角状，吸附在粘土矿物上，表面吸附金；b. B810 薄片状，具有珠滴状生长结构，棱角状，表面有压坑、麻点，边部有撞击痕，分布在方解石、石英、粘土矿物粒间，粒间金；c. B809 麦粒状，粒间金，堤状生长结构，有卷曲现象，分布在石英粒间；d. B810 棒状，成分不均匀，分布在石英、粘土矿物粒间，粒间金；e. shag02 树枝状、脉状，分布在石英晶洞中，粗糙不平，裂隙金；f. shag02 次园状，微细粒，包裹金

表1 寨上金矿显微可见金的特征

序号	样品号	金矿物特征
1	shag02	金矿物赋存在石英、粘土矿物中, 呈包裹金。金呈近似圆球状, 粒径 1~2 $\mu\text{m}$ , 金矿物中含有 $\text{CO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{F}$ 等成分, 金含量达 38.54%; 粘土中吸附有金, 金含量达 4.91%。图 2f
2	B809	金矿物赋存在石英粒间, 粒间金; 似椭球状, 10 $\times$ 16 $\mu\text{m}$ , 金矿物中含有 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 等成分。图 2c
3	B810	金赋存在粘土矿物颗粒之间胶结物中; 不规则状, 粒径 2~30 $\mu\text{m}$ , 金矿物含有 $\text{SiO}_2$ , 金含量达 75.23%~78.46%; 金矿物含有 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 等, 金含量达 28.99%~55.33%
4	B809	金矿物赋存在碎屑颗粒之间, 呈粒间金。不规则状, 12 $\times$ 25 $\mu\text{m}$ , 金矿物中含有 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等成分
5	B810	金吸附在粘土矿物上, 表面吸附金, 近似圆形, 17 $\times$ 16 $\mu\text{m}$ ; 长条形, 3 $\times$ 13 $\mu\text{m}$ , 金矿物中含有 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{F}$ 等成分, 金含量高达 74.14%~77.81%; 金中与金红石 ( $\text{TiO}_2$ )、粘土矿物共生, 金含量达 30.96%~33.12%; 石英与金共生, 金含量 17.50%; 粘土中吸附有金, 金含量 6%~8.49%。图 2a
6	B810	金赋存在铁方解石与石英、粘土粒间, 呈粒间金。不规则的四边形、片状, 55 $\times$ 100 $\mu\text{m}$ , 金矿物中含有 $\text{N}$ 、 $\text{O}$ 、 $\text{Al}$ 等成分, 金的含量达到 93.56%~96.35% 以上。图 2b
7	B810	金矿物赋存在石英与粘土粒间, 呈粒间金; 片状、长条状 45 $\times$ 10 $\mu\text{m}$ , 金矿物含有 $\text{N}$ , 汞金中含有 $\text{SiO}_2$ 成分, 金含量达 54.56%, 粘土中吸附有 $\text{Au}$ 。图 2d
8	shag02	金矿物赋存在石英晶洞中, 呈裂隙金; 片状、不规则状, 10 $\times$ 28 $\mu\text{m}$ , 金矿物较纯, 部分含有 $\text{SiO}_2$ 。图 2e
9	B809	金矿物粘在石英上, 表面吸附金, 成分较纯为自然金; 近似椭球状, 8 $\times$ 22 $\mu\text{m}$ , 金矿物中含有 $\text{NaCl}$ 、 $\text{KCl}$ 、 $\text{SiO}_2$ , 说明金形成在高盐度的环境中, 金中含有粘土成分, $\text{SiO}_2$ 中含有 $\text{Au}$
10	B809	金吸附在粘土、石膏上呈表面吸附金。近似椭球状, 12 $\times$ 14 $\mu\text{m}$ , 金矿物中含有 $\text{F}$ 、 $\text{Cl}$ 等卤素元素, 金中含有粘土矿物、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{NaF}$ 、 $\text{CaF}_2$ 等成分

寨上矿区金的赋存状态有 3 种类型: 一是呈微细粒片状分布在粘土矿物、石英等碎屑粒间; 二是金呈类质同象形式存在金属硫化物或石英中; 三是呈不规则状分布在石英裂隙中。

### 3 显微可见金成因研究

关于发现的显微可见金成因问题有四种认识: ①笔者认为显微可见金可能为沉积形成的, 经换算金品位介于  $(1.5\sim 2.0) \times (10\sim 6)$ , 寨上金矿可能为沉积变质—构造热液叠加型金矿床。②显微可见金可能为风化作用形成的, 寨上金矿可能为风化壳型金矿床。③显微可见金为次生作用形成的 (刘光智, 2009)。④显微可见金为含矿层位中金的局部富集。那么寨上矿区在晚古生代有没有形成富含显微可见金的条件呢? 下面从构造演化、含金层位的岩石学及岩相学特征进行分析, 并与现代滨海砂金矿金矿物进行对比, 探讨所发现的显微可见金的成因。

#### 3.1 西秦岭构造演化过程与显微可见金形成可能性研究

秦岭造山带是经历长期多次不同造山作用而形成的复合型大陆造山带 (张国伟, 1996), 在中国大陆的形成与演化中占有重要的地位, 其构造演化经历了如下几个阶段的发展过程: ①新元古代青白口纪—早震旦世 (约 850 Ma) 的晋宁造山运动, 华北与扬子古陆对接, 形成统一古中国大陆—欧亚联合古大陆。之后进入古克拉通化的稳定抬升阶段。②寒武纪—三叠纪 (古生代—三叠纪) 时期, 联合古陆裂解, 形成东西向裂陷海槽 (再生海槽), 即古特提斯海域, 从此开始了特提斯构造的长期演化历史, 从而进入西秦岭造山带的演化阶段。根据受构造控制的沉积建造特征, 这一时期又可分为 4 个构造阶段: a. 早古生代时期, 产生东西向裂陷海槽, 形成了一套海相复理石沉积建造; b. 早古生代末的加里东运动, 使南北陆块再次拼接, 从此进入较长时期且相对稳定的滨海—浅海台地沉积阶段; c. 晚古生代—中三叠世早期, 在相对稳定的滨海—浅海台地沉积环境中, 形成一套次稳定—稳定的以台地相碳酸盐岩为主的沉积建造; d. 中三叠世晚期—晚三叠世, 地壳又转为活动状态, 再度发生裂陷作用, 形成活动性很强的一系列东西向裂陷槽, 特提斯海侵进入西秦岭, 造就了一套数千米厚的深海—半深海浊流复理石碎屑沉积建造。③三叠纪末的印支运动, 南北大陆俯冲碰撞造山作用强烈发生, 致使裂陷槽关闭并褶皱隆起成山系, 同时劳亚联合古大陆形成。伴随造山构造运动有较为发育的岩浆活动和变质作用的普遍发生, 三叠纪及其以前的沉积建造均发生不同程度的区域变质作用。印支造山作用奠定了本区的基本构造格局。④中生代中晚期至新生代时期为燕山—喜马

拉雅期陆内造山运动阶段。以古亚洲构造域为主体,特提斯-喜马拉雅构造域和西滨太平洋构造域对其叠加、改造和复合,西秦岭山系急剧隆升,岩石圈处于强应变状态,构造运动以陆内推覆、走滑剪切和断隆、断拗为主,构成现今构造格局和地质、地貌景观。

从西秦岭构造演化过程来看,岷-礼盆地从早古生代末—中三叠世早期,进入稳定的滨海-浅海台地沉积、次稳定-稳定的以台地相碳酸盐岩为主的沉积建造,根据现代滨海-浅海区域发现多矿种、高储量滨海砂矿的现实,笔者推测在晚古生代岷-礼地区滨海可能会形成滨海相砂金矿,继而在后期的成岩、造山、成矿过程中形成了金矿床。

### 3.2 含金层位的岩石学及岩相学特征

#### 3.2.1 岩石学特征

发现显微可见金的样品为 B809、B810、shag02,其矿物组合特征如下:赋存显微可见金的岩石为含炭粉砂质板岩、细砂质板岩。岩石呈灰白色、灰色,主要矿物成分:石英,15%~35%,次棱角状-次圆状,多数为近等轴状多边形,粒径 0.02~0.15 mm,分选、磨圆中等。高岭石,55%~65%,微晶集合体,已绢云母化;炭质,5%~8.0%,粉尘状或细脉条带状,成层产出。铁白云石,2%~3.0%,菱面体,另星分布。白云母,2%~3.0%,细长片状,略有定向排列。黄铁矿,2%~3.0%,自形五角十二面体、立方体、草莓状。白钨矿,微量,不规则粒状。副矿物,微量,锆石、电气石、磷灰石、黝帘石、磷钇矿、独居石等。岩石具有微晶结构,板状构造。从含显微可见金的矿物组合来看,为远离陆源区沉积形成的滨海相-浅海相沉积岩建造,而且众多重砂矿物的发现指示了形成滨海相-浅海相沉积岩建造,而且众多重砂矿物的发现指示了形成滨海相-浅海相沉积岩建造,而且众多重砂矿物的发现指示了形成滨海相-浅海相沉积岩建造。

#### 3.2.2 岩相学特征

赋存显微可见金的层位为下二叠统下部地层 B 组 (P11-b)。该组底部为厚约 20 m 的灰色巨厚-块状砾岩,下部为 120 m 厚的砾岩、含砾石英砂岩、含炭板岩、砂岩;中部为灰黑色含炭板岩、泥质板岩、粉砂质板岩夹棕灰色、深灰色含石英细砾和岩屑的不等粒含铁质石英砂岩、深灰色角砾状生物碎屑微晶灰岩;上部为灰黑色含炭板岩、泥质板岩夹棕色中厚层含石英砾石、岩屑的不等粒石英砂岩。赋矿地层为下二叠统地层,主要为浅海相有机质泥质建造和浅海相碳酸盐岩建造,其次为滨海相碎屑岩建造。矿区北侧的祁-连古陆及南侧的前隆提供了成矿物质,这种环境有利于显微可见金的形成。

据王治平(1995)研究矿区所在的梅川-红崖一带二叠系地层岩石类型、沉积构造、岩石组合和生物特征,认为二叠系地层主要形成于海底扇体系的内扇和中扇环境,外扇不发育,地层系碎屑流和浊流沉积形成,包括内扇的水和水下天然堤沉积及中扇的网状水道和朵叶体沉积。碎屑流和浊流携带大量碎屑及重砂矿物,有利于滨海环境下形成富金砂层。

### 3.3 寨上金矿金矿物与现代滨海砂金矿金矿物特征对比

海洋地质研究所刘启荣(1996)在研究莱州东部滨海地区砂金矿物特征时发现,由原生金到残坡积、冲洪积、海积型砂金,金矿物具有粒度变细,具体为细粒级颗粒的数量则由多到少再到最多,这是由于越接近海区搬运时间长,距离远,使金颗粒受到较大的破碎和磨蚀,微细粒金(<0.1 mm)很容易被迁移,导致海区中微细粒金增多;形态为由陆到海方向,板、片状增多,不规则状、枝叉状金减少;表面带有铁染的褐色薄膜,擦痕、凹坑、边部卷曲,而且有包裹石英颗粒的金存在;金成色由低变高的变化规律。从寨上金矿金矿物与界河砂金矿金矿物特征对比表(表 2)看,两矿床中显微可见金矿物的形态极为相似,均以板状、片状为主,次有麦粒状、树枝状等;颜色以金黄色为主,次有黄色、暗金黄色;寨上金矿金矿物粒度较细,一般介于 20~30  $\mu\text{m}$ ,界河金矿金矿物粒度介于 63~125  $\mu\text{m}$  之间;金矿物表面形态也极为相似,表面均有撞击形成的凹坑、麻点,边部有卷曲现象;伴生元素有点区别,寨上金矿金矿物中的伴生元素主要有 Si、Al、F、Cl、Na、Ti、N、Hg,界河金矿金矿物的伴生元素主要有 Ag、Zn、Se、Fe、Sb、Te,可能与寨上金矿在沉积之后又有成岩作用、构造热液叠加作用使金属元素随成矿液体迁移有关;重砂矿物组合较为接近。

表2 寨上金矿矿物与界河砂金矿矿物特征对比表

特征	莱州东部滨海地区	寨上金矿区
形态	以板片状为主。次为长粒状，个别为不规则状和枝叉状	园板状、板片状为主，次有麦粒状、棒状、树枝状
颜色	以金黄色为主，个别为褐黄色、褐金黄色	金黄色、黄色、暗金黄色
粒度	金以细粒级 125~63 $\mu\text{m}$ 为主，部分孔见中粗粒金	粒度微细，粒径 1~100 $\mu\text{m}$ ，一般在 20~30 $\mu\text{m}$
表面形态	多数颗粒表面较干净，个别颗粒表面带褐色、褐黑色薄膜，具有撞击的凹坑，板片状金粒边部卷曲，表面具有明显的擦痕	表面有撞击形成的凹坑、麻点，边部有卷曲现象
伴生元素	Ag、Zn、Se、Fe、Sb、Te	Si、Al、F、Cl、Na、Ti、N、Hg
金成色	95.97%	74.14%~96.35%
重砂矿物组合	绿帘石、角闪石、磁铁矿、褐铁矿、锆石、石榴石、榍石、磷灰石、黄铁矿、重晶石。此外含少量的电气石、锐钛矿、金红石、白钛石、符山石等	黑钨矿、白钨矿、石英、磷钼矿、磁铁矿、独居石、锆石、磷灰石、金刚石、金红石等

## 4 显微可见金的发现的地质意义

过去一直认为寨上金矿床类型为微细浸染型金矿床，从目前查定的金的3种赋存状态来看，寨上金矿不单是微细浸染型金矿床那么简单。笔者认为寨上金矿不同类型金的赋存状态代表着不同的成因类型：①寨上金矿区显微可见的粒间金、吸附金可能为经过改造了的古滨海-浅海相沉积环境中形成的金矿物，下二叠统B组地层为富含显微可见金的层位，可能为沉积变质形成的；②分布在石英细脉中的裂隙金、包体金为中低温热液形成的；③赋存在黄铁矿、毒砂、石英、白钨矿等载金矿物中的以类质同像形式存在的金矿物为中低温热液成因的，是典型的微细浸染型金矿床金矿物的赋存形式。从金的赋存状态、寨上金矿形成的构造演化过程、赋矿地层、岩性、岩相学特征来看，寨上金矿的矿床类型应为沉积变质-构造热液叠加型金矿床。

### 参考文献

- 刘光智, 刘家军, 刘新会. 2009. 西秦岭寨上金矿床地球化学特征及成因机制研究[J]. 地质与勘探, 2009(2): 27-37.
- 刘启荣. 1996. 莱州东部滨海地区砂金矿物特征[J]. 现代地质, 9(3): 6-10.
- 刘新会, 于 岚, 张复新, 刘 爽, 华曙光. 2005. 甘肃岷县寨上金矿床地质特征及成因初探[J]. 西北地质, 38(4): 45-53.
- 刘新会, 刘光智, 王淑娟, 刘民武. 2009. 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, 42(3): 47-55.
- 卢纪英, 李作华, 张复新. 2001. 秦岭板块金矿床[M]. 西安: 陕西科学技术出版社. 326-336.
- 毛水利. 1990. 不可见金的赋存状态研究[J]. 矿物学报, 10(1): 66-75.
- 钱壮志. 2003. 秦祁昆成矿域古生代区域成矿规律[J]. 西北地质, 36(1): 34-40.
- 王治平, 陈素华. 1995. 西秦岭岷县地区二叠纪裂陷带斜坡沉积及其构造意义[J]. 现代地质, 9(3): 300-310.
- 杨恒书, 张凤岭, 殷鸿福, 赖旭龙, 杨逢清. 1996. 西秦岭造山带演化与成矿[J]. 四川地质学报, 16(1): 73-79.
- 叶先贤, 孙振亚, 陈 全, 尹京武. 1991. 超微金赋存状态的研究[J]. 黄金, 12(7): 1-5.
- 张复新, 宗静婷, 马建秦. 1998. 秦岭卡林型金矿床及相关问题探讨[J]. 矿床地质, 17(2): 172-184.
- 张复新, 张旺定, 张正兵. 2000. 秦岭造山带金矿床类型与构造背景[J]. 黄金地质, 6(4): 8-2.
- 张国伟, 郭安林, 刘福田, 孟庆任, 肖庆辉. 1996. 秦岭造山带三维结构及其动力学分析[J]. 中国科学(D辑): S(1): 1-6.
- 周 军, 高凤亮, 沈杉平. 2003. 应用 GIS 研究中国原生金矿与砂金矿的关系[J]. 长安大学学报(地球科学版), 24(3): 48-55.
- Bakken B M and Hchella Jr M F. 1989. High-resolution microscopy of glod in unoxkized ore from the Carlin mine, Nevada[J]. Econ. Geol., 84(1): 171-179.
- Hausen D M. 1983. Process mineralogy of auriferous pyrite[M]. Geol. Soc. South Africa Spec. Pub. 7, 261-9.
- Hausen D M. 1987. Particulate gold occurrences[A]. In: Hagno R D, ed. Processn Mineralogy, Vol. VI[C]. Warrendale, Pennsylvania, Metall. Soc. Amer. Inst. Mining Engineers. 193-214.
- Wells J D and Mullens T E. 1973. Gold-bearing arsenian pyrite determined by microprobe analysis, Cortez and Carlin gold mines, Nevada[J]. Econ. Geol., 68: 187-201.