

文章编号 10258-7106 (2009) 03-0345-12

青海大场金矿床地质特征及成因探讨*

赵财胜^{1,2}, 赵俊伟³, 孙丰月⁴, 李向前¹

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;
3 青海地质调查院, 青海 西宁 810001; 4 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘 要 青海大场金矿床位于北巴颜喀拉造山带的中段, 为区域印支造山过程晚期 Au-Sb 成矿作用的产物。该矿床为具有层控性和受断裂构造、隐伏岩浆活动控制的金矿床。矿体主要呈脉状、似脉状和透镜状赋存于三叠系巴颜喀拉群砂岩板岩互层组内, 并严格受断裂破碎带的控制。大场金矿床先后经历了金、锑 2 期矿化, 矿化平均成矿深度分别为 5.9 km 和 6.9 km, 锑矿化深度略浅于金矿化。成矿流体总体属中温、较低盐度、低密度的 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-N}_2\text{-H}_2\text{S-CH}_4 \pm \text{CO} \pm$ 有机碳氢化合物体系。该矿床与造山型金矿具有相似的地质地球化学特征, 其金矿化属造山型金矿的中成矿化, 其锑矿化为造山型金矿的浅成矿化。

关键词 地质学 造山型金矿 中成矿化 浅成锑矿化 成矿模式 大场 青海

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

A discussion on geological characteristics and genesis of Dachang gold deposit in Qinghai Province

ZHAO CaiSheng^{1,2}, ZHAO JunWei⁴, SUN FengYue³ and LI XiangQian¹

(1 Faculty of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 3 Qinghai Geological Survey, Xining 810001, Qinghai, China;

4 College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China)

Abstract

The Dachang gold deposit is located in the North Bayan Har orogenic belt, an important metallogenic belt in Qinghai Province. The ore deposit was formed during the late stage of regional Indosinian orogenic process, with Au-Sb mineralization related closely to the evolution of the Bayan Har Ocean. All the gold ore bodies are hosted in Middle Triassic sandstone interbedded with slate of Bayan Har Mountains Group and controlled strictly by the fracture zone. All the ore bodies are in veined, veinlike and lenticular forms. Mineralization can be divided into two stages, namely, gold mineralization and antimony mineralization. The depth of gold mineralization and that of antimony mineralization are 6.9 km and 5.9 km, respectively, and the antimony mineralization is somewhat shallower than the gold mineralization. The ore-forming fluids belong to $\text{NaCl-H}_2\text{O-CO}_2$ type characterized by rich CO_2 , low-moderate temperature, low salinity, low density and strong reducibility. Geological and geochemical characteristics are similar to those of the standard orogenic deposits, gold mineralization is of the mesozonal orogenic type whereas antimony mineralization is of the epizonal orogenic type. Ore-forming fluids in

* 本文得到中国地质调查局《青海-新疆东昆仑成矿带成矿规律及找矿方向综合研究》(200110200021)、《东昆仑成矿带重大找矿疑难问题研究》(200310200012)、全国危机矿山接替资源找矿项目管理办公室《危机矿山勘查理论、方法与技术总结》(200699105)和《新疆双庆铜矿镍的赋存状态研究》(2-2008-16)的联合资助

第一作者简介 赵财胜, 男, 1976 年生, 博士, 副研究员, 主要从事矿床学及矿产勘查研究。E-mail: zhaocsh@126.com

收稿日期 2009-02-23; 改回日期 2009-05-04。许德煊编辑。

the Dachang gold deposit were mainly derived from the formation water and mixed with a small amount of mantle source magmatic water and meteoric water. Fluid immiscibility and existence of organic matter play an important role in gold mineralizing processes. A geodynamic mineralized model can be concluded in the study.

Key words: geology, orogenic gold deposit, mesozonal orogenic gold mineralization, epizonal orogenic antimony mineralization, mineralization model, Dachang, Qinghai Province

北巴颜喀拉造山带是青海省重要的贵金属成矿带,也是中国找矿潜力巨大的金属成矿带之一。该带内已发现多个大、中型金矿床,如东大滩、大场、加给陇洼(胡正国等,1998;赵俊伟等,2007)、东乘公玛、上红科(范桂忠等,2007)等,主要分布于甘德-玛多区域性深大断裂的两侧,受主断裂派生的次级断裂构造的控制,具有成群成束出现的特点。大场金矿床是1997年由原青海省地质矿产局第四地质队发现的,位于青海省玉树州曲麻莱县境内,其地理坐标为东经 $96^{\circ}14'45''\sim 96^{\circ}18'00''$,北纬 $35^{\circ}15'45''\sim 35^{\circ}19'00''$,现已证实该矿床的规模已达大型,其金资源量约为102吨^①。大场金矿床的发现和开发,对在北巴颜喀拉成矿带开展金矿地质理论研究和找矿勘查都具有重要意义。

已有一些学者对大场金矿床进行过研究,重点集中在区域金成矿作用、矿床地质地球化学、流体包裹体及矿床类型等方面,取得颇多成果(张德全等,2001;2005;2007;包存义等,2003;丰成友等,2004;赵财胜,2004;赵财胜等,2005;王渭清等,2005;党兴彦等,2006;韩英善等,2006;赵俊伟等,2007),但仍存在明显不足,如,矿床成因类型方面存在分歧,成矿动力学模型方面仍是空白,等等。本文在前人研究的基础上,通过野外调查和室内流体包裹体显微测温、成分测试及同位素分析,研究了矿床的成因,并对其成矿动力学模型进行了探讨。

1 地质背景

大场金矿床的大地构造位置处于松潘-甘孜印支褶皱系北巴颜喀拉造山带,其北部以布青山断裂为界与阿尼玛卿缝合带毗邻(韩英善等,2006)。

矿区内出露地层简单,主要为二叠系布青山群马尔争组(P_{1m})以及三叠系巴颜喀拉群中亚群(T_{by})。二叠系布青山群马尔争组仅少量分布在矿区北东角的甘德-玛多断裂带之间,呈狭长条带状,

出露宽度0.4~2 km,南北两侧与三叠系均为断层接触,其岩性以碳酸盐岩和中基性火山岩为主,碎屑岩次之。火山岩多呈条带状、透镜状,主要为安山岩。碳酸盐岩为粗晶结构,层状构造,组成矿物以方解石为主,矿物重结晶现象明显,岩石节理发育。碳酸盐岩与火山岩间见有薄层火山角砾岩、角砾状结晶灰岩,局部发育硅化灰岩。

三叠系巴颜喀拉群中亚群可划分为2个岩组,即砂岩板岩互层组(T_{by}^a)和砂岩组(T_{by}^b)。砂岩板岩互层组为一套砂岩与板岩互层的组合,沿走向砂岩的厚度及碎屑粒度变化较大,主要由长石石英砂岩、长石砂岩、杂砂岩、粉砂岩与粉砂质板岩、泥钙质板岩和黑色碳质板岩互层组成,是大场金矿床的主要赋矿地层,其中的碳质板岩含金较高。砂岩组又可分为上、下2个岩性段:下岩段主要由中-薄层状杂砂岩、长石石英砂岩、岩屑质砂岩夹粉砂岩及粉砂质板岩、泥钙质板岩组成,发育典型的逆变层理;上岩段以灰色含黄铁矿长石石英砂岩夹含黄铁矿千枚状板岩、粉砂质板岩及碳质板岩为主,局部砂板岩呈互层状产出。砂板岩中见有大量黄铁矿呈星点状分布,反映出其沉积环境应为还原条件。该区的巴颜喀拉群中亚群为一套巨厚的泥砂质沉积,沉积韵律层理强烈发育,显示出典型的浊流沉积特征,属大陆边缘浅海-次深海沉积环境(张以弗,1996)。浊流相沉积发育,其中发育有断续分布的小型浊流扇变韵律层,其岩性主要是以砂岩、粉砂岩、板岩为主的浊积岩,砾岩极为少见,这对该区金矿的形成极为有利。

矿区北邻博卡雷克塔格-阿尼玛卿深大断裂,该断裂倾向南西。甘德-玛多深大断裂从矿区北缘经过,该断裂倾向北东,与博卡雷克塔格-阿尼玛卿断裂平行展布,倾向相对,组成了大型“Y”字型构造组合。区域性深大断裂横贯该区,构成了区内的主体构造骨架,受其影响,两侧地层中次级羽状韧性断裂及褶皱构造较为发育,褶皱、破碎蚀变带与主断裂平行展布,系主断裂派生的次级构造。在区域上,以

①青海省地质调查院. 2005. 青海省曲麻莱县大场金矿评价报告. 内部资料. 1-15.

二叠系地垒断块为核部,三叠系为两翼,构成复式向斜褶皱。

矿区内的一条 NWW 向压性断裂,为甘德 玛多 深大断裂带的组成部分,是区内最重要的控矿构造。该断裂倾向北东,倾角 60°左右,其断裂破碎带宽 20~200 m,破碎带中硅化、黄铁矿化发育,为含矿热液提供了通道。受其影响,其南侧的巴颜喀拉群中亚群的板岩夹砂岩中,次级断裂、褶皱、层间破碎带较发育,据走向可将这些构造分为 2 组。

一组的走向为 280~290°,与主断裂呈小角度相交或大致平行展布,其中构造岩发育,主要为构造角砾岩、碎裂岩、碎斑岩,局部为糜棱岩、构造片岩。其破碎带中发育有网脉状、透镜状石英脉,且硅化、泥

化、绢云母化、高岭石化等蚀变非常强烈,是区内的含矿构造。含矿破碎带厚数米至数十米,一般为层间破碎或与层面小角度相交,金矿化的富集程度与岩石的破碎程度呈正相关关系。破碎带沿走向延伸较长且稳定,如赋存 10 号及 11 号主矿体的破碎带,已揭露的控制长度达 3 000 m 破碎带内围岩蚀变以硅化、绿泥石化、绢云母化为主,局部见高岭土化。矿化在地表以褐铁矿化为主,局部见毒砂矿化及辉锑矿化,钻孔中则以黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂矿化为主。

另一组为 NNE 向走滑断层,与主断裂呈大角度相交,其中的构造岩主要为角砾岩、碎裂岩等,石英脉较发育,但含矿性差。

矿区内未见岩体出露,但区内的矿化作用与岩

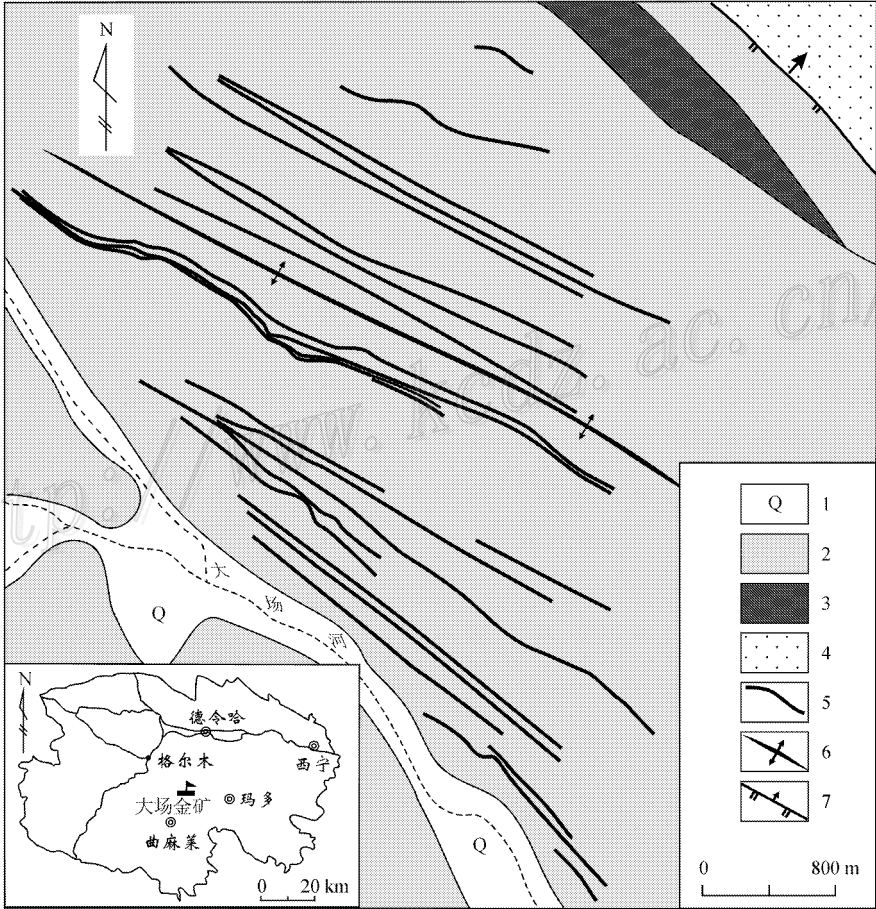


图 1 大场金矿区地质略图(据青海省地质调查院,2005^①修编)

1—第四系;2—三叠系巴颜喀拉群砂岩板岩互层组(Tby^a);3—三叠系巴颜喀拉群砂岩组(Tby^b);
4—二叠系布青山群马尔马组(P_{1m})薄层状砂岩;5—金矿体;6—背斜;7—断裂

Fig. 1 Sketch geological map of the Dachang gold orefield(modified after Qinghai Geological Survey, 2005)
1—Quaternary;2—Triassic sandstone interbedded with state of Bayan Har Group (Tby^a);3—Triassic sandstone of Bayan Har Group (Tby^b);
4—Permian thin-bedded sandstone of Ma'erzheng Formation in Buqingshan Group;5—Gold ore body;6—Anticline;7—Fault

① 青海省地质调查院. 2005. 青海省曲麻莱县大场金矿评价报告. 内部资料. 1-15.

浆侵入活动关系密切,地球物理资料显示,大场金矿区的深部存在中酸性隐伏岩体^①。

2 矿床地质

2.1 矿体特征

迄今,大场矿区内共圈定出 25^② 个金矿体,主要分布在大场河以北长约 5 km、宽 3 km 的范围内(图 1)。矿体长 80~3 240 m,其中,长逾 1 000 m 的矿体占矿体总数的一半以上。矿体在走向上连续性好,厚度一般为 1.4~4.57 m,最厚为 15.64 m,其金含量比较稳定,一般品位为 $(0\sim110)\times10^{-6}$,平均为

5.97×10^{-6} 。

矿体赋存于甘德-玛多主断裂的南西侧(下盘),严格受主断裂派生的次级断裂构造的控制,矿体的规模及品位与破碎蚀变带的规模和蚀变强度呈正相关关系。矿体走向 NW 或 NWW,与主断裂方向基本一致,倾向 SW。矿区中部有一背斜构造,其轴迹与主构造线方向一致,两翼揉皱发育,其北翼向北倾,南翼向南倾,倾角 $30\sim75^\circ$ 。矿体也受该褶皱的控制,随褶皱变形而变形。

金矿体的分布由北向南似具等距性,相间 400~600 m。矿体形态简单,多呈条带状、似层状、豆荚状和透镜状(图 2),沿走向具波状弯曲、膨大缩小、分枝

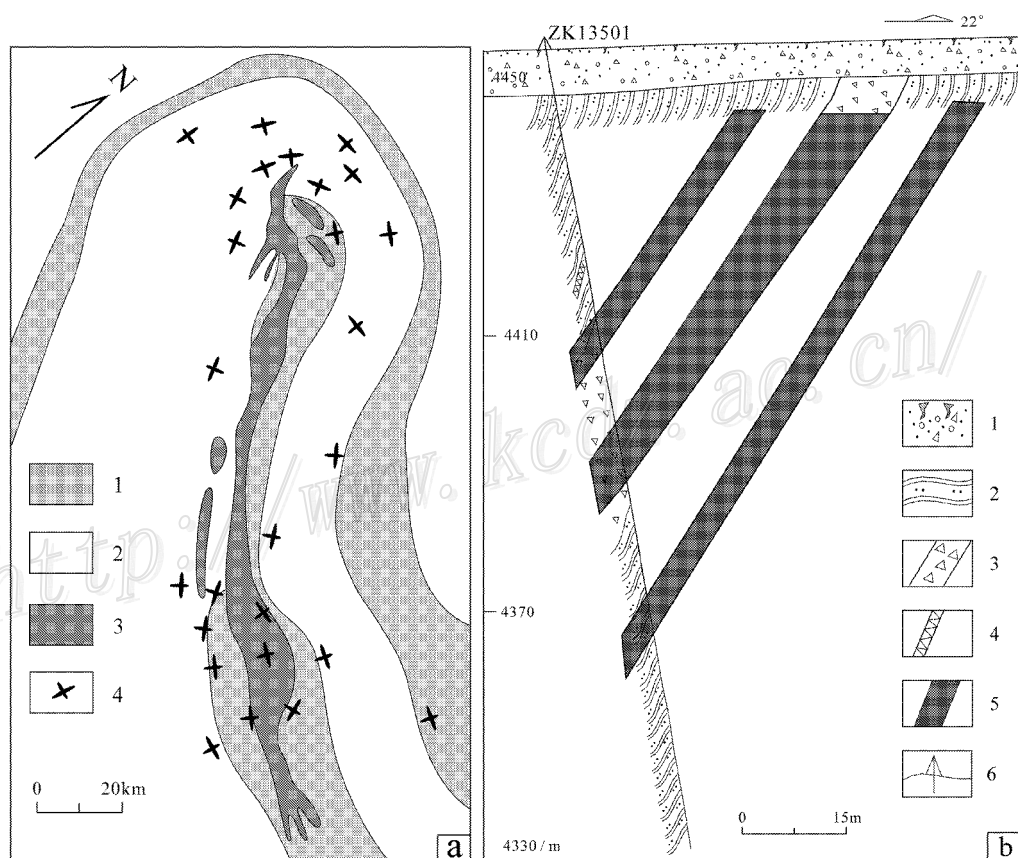


图 2 大场金矿床控矿构造略图

a. 3-18 号矿体褶皱控矿地质平面图(张德全等,2007):1—砂岩;2—板岩;3—金矿体;4—面理。b. 135 号勘探线剖面图(据青海省地质调查院,2005^②修编):1—第四系;2—含碳粉砂质、泥质板岩;3—碎裂岩;4—石英脉;5—矿体;6—钻孔及其编号

Fig. 2 Sketch map of ore-controlling structure in the Dachang gold deposit

a. Geological sketen map of No. 3-18 ore body, showing the ore-controlling fold(Zhang et al., 2007): 1—Sandstone; 2—Slate; 3—Gold ore body; 4—Foliation. b. Schematic geological section along No. 135 exploration line in the Dachang gold deposit(modified after Qinghai Geological Survey, 2005): 1—Quaternary; 2—Carbon-bearing argillaceous and silty slate; 3—Fracture zone; 4—Quartz veins; 5—Ore body; 6—Dill holle and its serial number

① 孙丰月. 2003. 新疆-青海东昆仑成矿规律和找矿方向综合研究. 内部资料. 144-146.

② 青海省地质调查院. 2005. 青海省曲麻莱县大场金矿评价报告. 内部资料. 1-15, 72-75.

复合及尖灭再现的特征,沿倾向的变化规律目前还不太清楚。

2.2 矿石特征

矿石类型以自然金-黄铁矿-毒砂-蚀变岩型及自

然金-辉锑矿-石英脉型为主,有少量块状辉锑矿矿石(图 3a 和 3b)。前一类型是主要矿石类型,分布广,遭受不同程度的硅化、绢云母化、泥化等蚀变。其金属矿物主要为黄铁矿、毒砂和辉锑矿。黄铁矿多呈

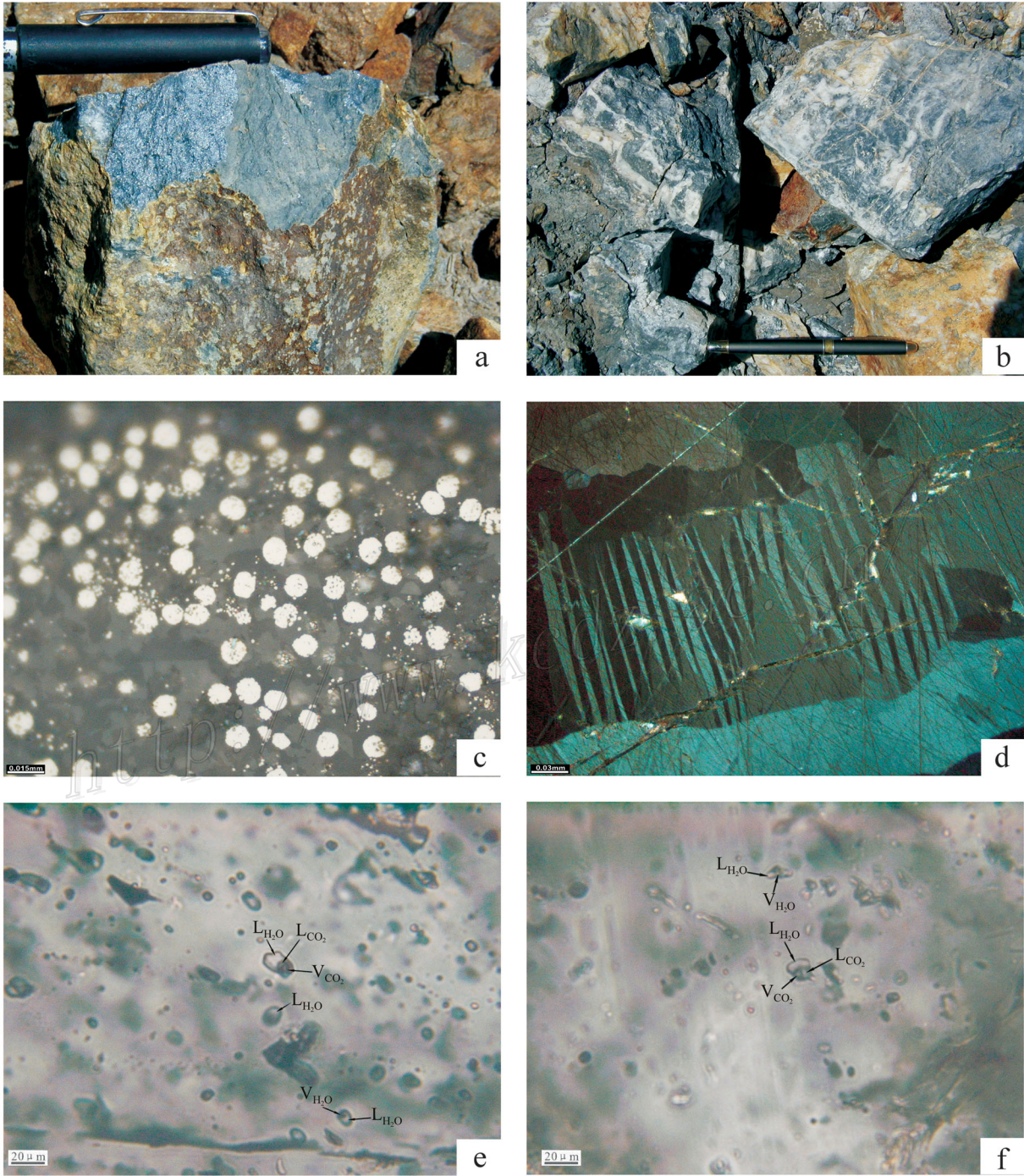


图 3 大场金矿床矿石的野外及镜下照片
a. 块状辉锑矿矿石; b. 硅化块状辉锑矿矿石; c. 草莓状黄铁矿; d. 辉锑矿的聚片双晶;
e, f. 大场金矿床内的流体包裹体

Fig. 3 Photos of ore textures and photomicrographs of typical minerals and fluid inclusion in the Dachang gold deposit
a. Massive stibnite ore; b. Silicified massive stibnite ore; c. Strawberry pyrite; d. Polysynthetic twin of stibnite;
e, f. Typical fluid inclusions in the Dachang gold deposit

草莓状(图 3c)、环带状及不规则他形粒状,粒径约 0.1~1 mm,含量 3%~5%;毒砂呈针状、自形粒状,可见其聚形,大小 1~3 mm,含量 5%~10%;辉锑矿多具聚片双晶(图 3d),粒径约 0.5~1 mm,含量 1%~5%。

后一类型矿石主要见于地表,呈细脉状、网脉状或团块状产出。矿石中石英含量约为 90%~95%;黄铁矿含量一般为 5%~10%,多呈他形粒状,部分呈立方体,粒度为 0.5~2 mm。在氧化带中,黄铁矿已氧化为褐铁矿,在这种矿石中偶见明金。

矿石发育浸染状、层纹状,细脉浸染状、细脉状、角砾状和块状构造,有自形粒状结构、他形一半自形粒状结构、浸蚀交代结构、固溶体结构、包含结构和压碎结构。

矿石中金的赋存状态较复杂。在自然金-黄铁矿-毒砂-蚀变岩型金矿石中,自然金(粒度 0.74~2 mm)约占 21%,小于 0.74 mm 和不可见的金占 79%。在自然金-辉锑矿-石英脉型矿石的光片中,见有大量自然金。单矿物含金性分析表明,黄铁矿的 $w(\text{Au})$ 为 $(40\sim 880)\times 10^{-6}$,毒砂的 $w(\text{Au})$ 为 177×10^{-6} ,辉锑矿的 $w(\text{Au})$ 为 $(2\sim 50)\times 10^{-6}$ 。金主要呈树枝状、片状、粒状及薄膜状赋存于矿物粒间或裂隙中。经人工重砂原样分析,金品位为 11×10^{-6} ,自然金含量为 2.65×10^{-6} ,占总金量的 21%,说明金矿石中有大量的金是以显微、超显微($< 0.02\text{ mm}$)金存在于矿石矿物裂隙及晶格中。金与黄铁矿、毒砂关系甚密。据此可知,金除自然金单体(可见金)外,还有显微包裹体形式(包体金、晶隙金、裂隙金)。因金的含量与黄铁矿、毒砂、辉锑矿等金属矿物关系密切,故不排除晶格金的存在。

2.3 围岩蚀变

矿区内围岩蚀变总体较弱,其强度受控于构造的规模及岩石的碎裂程度。主要的围岩蚀变有硅化、绢云母化和泥化,局部发育高岭土化和碳酸盐化。黄铁矿化、辉锑矿化、绢云母化、硅化与金矿化关系最为密切。

围岩蚀变在空间上也具有一定的分带性,从矿体中心向外依次为硅化、硫化物化-绢云母化、碳酸盐化和高岭土化。

2.4 成矿阶段

根据矿化蚀变特征、穿插关系、矿物共生组合、

矿物生成顺序等,将矿床的形成过程划分为 4 个阶段(表 1)(赵财胜,2004)。

① 石英-黄铁矿阶段 形成区内广泛发育的白色含方解石石英大脉,它们通常沿平行于板岩层理的劈理面产出,并在后期递进变形过程中扭曲成肠状,有的沿顺层揉皱转折端产出,其 Au 含量大于 12.4×10^{-9} ,反映出该期韧性剪切构造活动引起了金的初始富集。

② 金-黄铁矿-毒砂-石英阶段 是金的主要成矿阶段,矿化作用强,形成大量沿倾伏褶皱轴部的断裂-裂隙系统产出的厚大金矿体,明金大量出现, Au 品位最高可达 110×10^{-6} ,构成该矿床的主体。矿石矿物除黄铁矿、毒砂外,还有辉锑矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等,黄铁绢英岩化强。

③ 辉锑矿-金-石英阶段 是锑的主要成矿阶段,金矿化相对较弱,形成辉锑矿-石英脉和稠密浸染状、块状辉锑矿矿石,锑矿化分布较局限,多以脉状形成出现,与石英关系密切, $w(\text{Sb})$ 为 0.01%~0.68%。在大场 Au 1 异常内,已发现含锑石英脉矿石,有的与金矿体共生,有的单独成矿,与金矿体共生时,单样锑品位最高可达 4%(大场金矿 1 号矿体),但以往的工作仅对金矿作了评价,在今后的勘查工作中,也应对锑矿开展综合评价^①。

④ 石英-碳酸盐阶段 形成大量细小的石英-方解石脉,穿插于②和③成矿阶段的产物中,含矿性较差。

3 地球化学特征

3.1 成矿流体特征及来源

关于大场金矿床的流体包裹体特征、显微测温 and 成分分析,笔者曾另文(赵财胜等,2005)做过详细介绍,本文只提及其中的结论。流体包裹体的分析测试均在吉林大学地球科学学院地质流体实验室完成。

依据室温下原生流体包裹体的物理相态和化学组成,可将其分为 3 种类型:气液两相包裹体,含 CO_2 三相包裹体,富 CO_2 包裹体(图 3e 和 3f)。以气液两相包裹体为最多,占所测试样品总量的 77%,其液相为 $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$,气相为 H_2O 。含 CO_2 三相包裹体为 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$ 型,约占包裹体总数的 13%,

① 青海省地质调查院,2002. 青海省曲麻莱县大场金锑矿床勘查项目设计书. 内部资料. 1-100.

表 1 大场金矿床矿物共生组合及生成顺序(据赵财胜,2004)

Table 1 Paragenetic assemblage and sequence of minerals in the Dachang gold deposit(after Zhao, 2004)

主要矿物	石英-黄铁矿阶段	金-黄铁矿-毒砂-石英阶段	辉锑矿-金-石英阶段	石英-碳酸盐阶段
金	—	—	—	—
黄铁矿	—	—	—	—
毒砂		—	—	
辉锑矿			—	—
菱铁矿				—
雄黄				—
雌黄				—
石英	—	—	—	—
绢云母	—	—	—	
方解石				—
白云石				—

表 2 大场金矿床流体包裹体特征(据赵财胜等,2005)

Table 2 Characteristics of fluid inclusions in the Dachang gold deposit(after Zhao et al. , 2005)

成矿阶段	测试 矿物	大小/ μm	$t_{\text{H}}/^\circ\text{C}$		$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$		p/MPa		深度/ km	
			范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均
石英-黄铁矿阶段	石英	7~40	163~324	234	0.2~9.0	5.8	40~83	61.5	5.0~7.5	6.3
金-黄铁矿-毒砂-石英阶段	石英	6~15	224~327	271	6.4~9.5	7.5	61~87	72.6	6.3~7.6	6.9
辉锑矿-金-石英阶段	石英	6~30	174~236	201	4.0~6.6	5.1	47~63	53.7	5.4~6.4	5.9
石英-碳酸盐阶段	方解石	5~15	152~208	178	4.5~8.8	5.6	41~58	48.3	5.1~6.1	5.5

室温下呈三相,由 CO_2 (气相) + CO_2 (液相) + (H_2O + NaCl) (液相) 组成,气相 CO_2 常有晃动现象。富 CO_2 包裹体,约占包裹体总数的 10 %,几乎全由 CO_2 充填,常温下有时呈两相,但降温后为三相。包裹体总体颜色较暗,中心透明。另有少量纯 CO_2 包裹体,常温下多为气液两相,少量为单一的气相或液相,全部均一至气相。

测温结果(表 2)显示,大场金矿床流体包裹体均一温度的变化范围为 163~327 $^\circ\text{C}$ 。其中,金-黄铁矿-毒砂-石英阶段(金的主要成矿阶段)的均一温度范围为 224~327 $^\circ\text{C}$,平均为 271 $^\circ\text{C}$ 辉锑矿-金-石英阶段(锑的主要成矿阶段)的均一温度范围为 174~236 $^\circ\text{C}$,平均为 201 $^\circ\text{C}$ 。锑矿化的形成温度略低于金矿化。包裹体的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 变化范围为 0.2%~9.5% (Hall et al. ,1988 ;Bozzo et al. ,1973)。

根据流体包裹体的均一温度和盐度,求得相应包裹体的流体压力变化范围为 40~87 MPa,平均为 57 MPa,主要集中在 45~75 MPa 之间(邵洁连,1988)。利用孙丰月等(2000)脉状矿床成矿深度公式,计算出成矿深度为 5.0~7.6 km,平均为 6.2 km。其中,金矿化的成矿深度为 6.3~7.6 km,平均为 6.9 km 锑矿化的成矿深度为 5.4~6.4 km,平均

为 5.9 km。锑矿化的成矿深度略浅于金矿化。

激光拉曼光谱分析(赵财胜等,2005 赵俊伟等,2007)表明,大场金矿床的成矿流体系统为中温、低盐度、低密度的 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-N}_2\text{-H}_2\text{S-CH}_4 \pm \text{CO} \pm$ 有机碳氢化合物体系,显示出有机质沉淀物参与了成矿作用,这也与大场金矿床赋矿围岩含碳量相对较高的特点相吻合。热液中有机的存在使热液增强了活化、迁移岩石中金属成矿元素的能力(卢焕章等,2000),对大场金矿床的形成起了重要作用。研究表明,有机质对金的迁移、富集成矿具重要作用,富含有机质的岩层在低级变质环境下发生有机质的分解反应,形成以 N_2 和 CH_4 为主的低级变质流体,当包裹体中 N_2 和 CH_4 的含量增加时,往往出现金的富集(张文淮等,1996)。

关于成矿流体的来源,包存义等(2003)认为,大场金矿床成矿流体中的水主要来自大气降水,碳主要来自围岩。从成矿早阶段到晚阶段,显示出由深源变质热液向浅源大气降水演化的趋势。丰成友等(2004)认为,大场金矿床成矿前的热液主要来源于变质水和地层建造水,进入成矿期,大气降水不断混入并渐占主导地位。有研究认为,流体中 CO_2 和 H_2O 含量高,揭示有幔源流体参与成矿(毛景文等,

表 3 东昆仑造山型金矿床硫化物硫同位素
分析结果(据丰成友等, 2003)

Table 3 Sulfur isotopic compositions of sulfides from
Dachang gold deposits (after Feng et al., 2003)

样品	产状	测试对象	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
DC-11	黄铁矿化蚀变岩	黄铁矿	-3.2
DC-21	变砂岩	黄铁矿	-3.3
DCD-5	碎裂岩金矿石	黄铁矿	-4.7
DCD-5	泥质板岩	黄铁矿	-3.7

1998), C-H-O 组合可能是幔源流体成矿的一种指示(孙丰月等, 1995)。

据以上分析可初步推测: 在大场金矿床的早期成矿流体中, 可能有岩浆水的加入, 但更主要的是, 岩浆作用提供了热源, 驱动了地层建造水的运移, 并不断与围岩反应, 从中萃取成矿物质, 并逐步形成含矿流体。至成矿期, 成矿流体则是以大气降水为主, 并混有建造水及幔源岩浆水的混合流体。这种分析与区内地质特征基本吻合。

3.2 硫铅同位素

大场金矿床的硫同位素分析结果(表 3)显示, 围岩和矿石中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-4.7\text{‰} \sim -3.2\text{‰}$, 平均为 -3.72‰ , 均为负值且变化范围较小, 比陨石硫略富集 ^{32}S , 显示出其有地层硫及再循环地幔硫 2 种硫源, 较酸性和低氧逸度条件也许是造成其比陨石硫略富集 ^{32}S 的原因(包存义等, 2003; 丰成友等, 2003)。

铅同位素作为一种有效的示踪剂, 已被广泛应用于探讨源区特征、形成环境和物质来源等方面。由表 4 可见, 4 件黄铁矿样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为 $18.338 \sim 18.380$, 平均为 18.353 , $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为 $38.180 \sim 38.318$, 平均为 38.252 , 是典型的异常铅(包存义等, 2003)。在 Zartman 等(1988)的铅同位素构造模式图上, 上述数据均集中分布于地幔与造山带演化线之间且靠近造山带演化线一侧。显然,

造山过程中的多次构造热事件, 是使放射性成因铅含量增高的主要原因(丰成友等, 2003)。

4 矿床成因讨论

造山型金矿床是指那些在时空上与造山作用有关的主要受构造控制的金矿床(Groves et al., 1998; Kerrich et al., 2000; Goldfarb et al., 1998)。这类矿床具有相似的地球动力学背景, 且具有相似的地质-地球化学特征, 形成于汇聚板块边缘的增生体以及碰撞造山带的挤压和转换挤压变形环境中(Groves et al., 2000; Goldfarb et al., 2001)。这类矿床可形成于自地表向下 $2 \sim 20\text{ km}$ 的不同深度, 并呈现出组分分带, 从上向下依次为: Hg、Hg-Sb(浅部), Au-Sb(浅成相), Au-As-Te(中成相), Au-As(深成相)。同时, Groves 等(1998)还延用了 Lindgren(1933)的浅成、中成和深成的深度分类方案, 将造山型金矿床划分为 3 个亚型, 即浅成($<6\text{ km}$), 中成($6 \sim 12\text{ km}$)和深成($>12\text{ km}$)。

造山型金矿床是最重要的黄金资源, 在全球超大型金矿床中, 已有 23 个储量大于 500 t 的金矿床属于此类型(Bierlein et al., 2006)。造山型金矿床作为造山带地质演化过程中的重要产物或标志而被广泛研究(Groves et al., 2003; Mao et al., 2004; 陈衍景, 2006), 众多学者对其产区的构造环境、成矿特征、形成时代、成矿流体及成因机制等进行了大量而卓有成效的研究(Bierlein et al., 2001; Wilde et al., 2001; Mao et al., 2002; 毛景文, 2001; 毛景文等, 2002; Chen et al., 2004; 陈衍景等, 2004)。

大场金矿床位于北巴颜喀拉造山带的中段, 是区域印支造山过程晚期 Au-Sb 成矿作用的产物, 先后经历了金、锑 2 期矿化, 矿体严格受断裂的控制。流体包裹体研究表明, 大场金矿床的原生流体包裹体可分为 3 类, 即气液两相包裹体、含 CO_2 三相包裹

表 4 大场金矿床铅同位素分析结果(据丰成友等, 2003)

Table 4 Lead isotopic compositions of the Dachang gold deposit (after Feng et al., 2003)

样号	岩性	测试对象	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
DC-11	黄铁矿化蚀变岩	黄铁矿	18.338	15.567	38.231	0.894	2.085
DC-21	变砂岩	黄铁矿	18.380	15.592	38.318	0.848	2.085
DCD-5	碎裂岩金矿石	黄铁矿	18.338	15.556	38.180	0.848	2.082
DCD-6	泥质板岩	黄铁矿	18.354	15.585	38.278	0.849	2.086

体和富 CO₂ 包裹体,其主成矿期成矿流体的特征是:低盐度[$\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 0.2 % ~ 9.5 %],中温(金的主成矿阶段平均温度为 271 ℃,锑的主成矿阶段平均温度为 201 ℃),富含 CO₂、N₂ 和 CH₄。这些特征与造山型金矿床成矿流体的特征相似(Groves et al., 1998; Kerrich et al., 2000; Hagemann et al., 2000 范宏瑞等, 2003),如西秦岭金矿床(Mao et al., 2002)、南天山金矿床(陈华勇等, 2004; 2007)、上黑龙江盆地金矿床(武广等, 2006)和阿尔泰山绿金矿床(徐九华等, 2007)等。因此,将大场金矿床归为造山型金矿床。该矿床金矿化的成矿深度平均为 6.9 km,锑矿化的成矿深度平均为 5.9 km,据造山型金矿床组分分带与成矿深度的关系(Groves et al., 1998),大场金矿床的金矿化属造山型金矿床中的中成矿化,而锑矿化则属造山型金矿床中的浅成矿化。

5 矿床模型

大场金矿床位于北巴颜喀拉造山带的中段,该造山带的形成和演化与巴颜喀拉洋的演化密不可分,而后的演化对区内的成矿作用产生了重要的影响。大场金矿床的成矿年龄为 $(218.6 \pm 3.2) \text{ Ma}$ (张德全等, 2005),是区域印支造山过程晚期成矿作用的产物。古生物研究成果表明,巴颜喀拉洋形成

于早三叠世,直到晚三叠世晚期才完全闭合成为造山带(张以弗等, 1996)。

早三叠世,巴颜喀拉山北缘为巴颜喀拉洋的弧前盆地,大规模的浊流沉积形成了巴颜喀拉群复理石沉积建造(图 4 中的①)。在区域上,巴颜喀拉群是 Au、Sb 的高背景场,这为后期的金锑成矿提供了最基本的物质基础。

中三叠世,随着巴颜喀拉洋的洋壳向北俯冲,产生了 NS 向的挤压,巴颜喀拉洋由拉张转为收缩,从而逐渐闭合,并发生强烈的构造-岩浆活动。岩浆热液沿断裂构造上侵,从巴颜喀拉群复理石沉积含矿建造中萃取部分成矿物质 Au,同时,发生广泛的天水循环交流,导致成矿物质 Au 在条件适合的构造部位聚集成矿,形成大场金矿床的金矿体(图 4 中的②)。此时,抬升、剥蚀均较弱,成矿深度较大,为造山型的中成(mesozonal)金矿床。

晚三叠世,随着巴颜喀拉洋的最后封闭,巴颜喀拉地块与柴达木地块南缘发生强烈碰撞,形成巴颜喀拉造山带。这一碰撞作用不但使三叠系复理石沉积岩发生低绿片岩相变质作用和褶皱,而且使其被逆冲作用强烈变形,与此同时,还形成了大规模的逆冲-走滑断层、韧性剪切带以及与之配套的低级构造体系,这就为流体的运移和沉淀成矿提供了路径和场所。在此过程中,发生了强烈的壳-幔相互作用,岩石圈拆沉、地幔底侵作用明显,构造体系开始

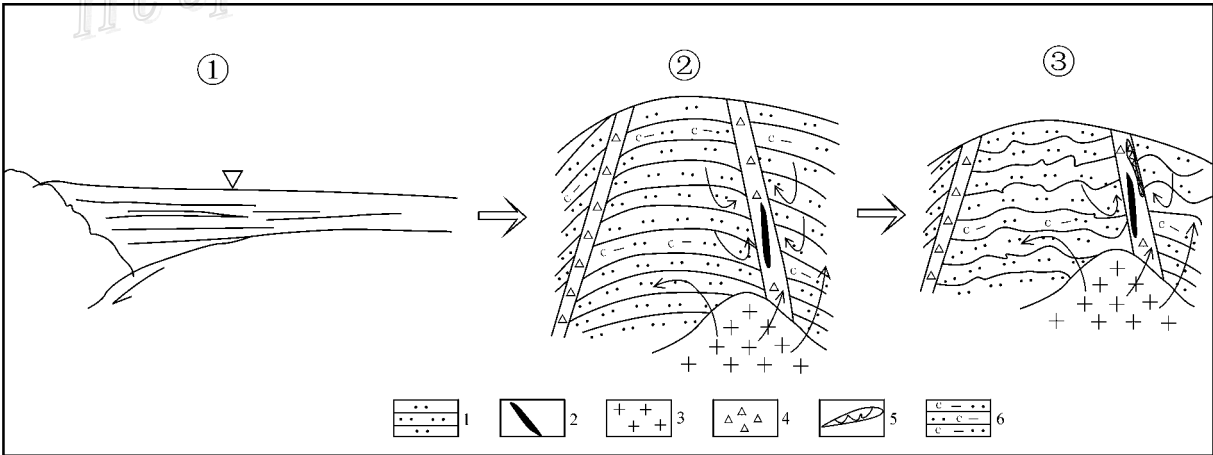


图 4 大场金矿床成矿模式

1—三叠系砂岩; 2—金矿体; 3—中酸性岩体; 4—断裂带; 5—锑矿体; 6—含碳泥质板岩; 图中①、②和③的解释见正文

Fig. 4 Gold and antimony metallogenic model of the Dachang Au-Sb deposit

1—Triassic sandstone; 2—Gold ore body; 3—Intermediate-acid intrusion; 4—Fracture zone; 5—Antimony ore body; 6—Carbon-bearing argillaceous slate

从挤压构造体制向伸展构造体制转化。伴随着地壳的强烈抬升,构造从深层次的韧性剪切向浅层次的脆性破裂转变,构造岩浆活动强烈。岩浆热液沿深大断裂迁移,并与大气水发生循环,从围岩中不断萃取成矿物质 Sb,在构造、物理化学条件适宜的地方聚集成锑矿体,成为造山型金矿床的浅成(epizonal)矿床(图 4 中的③)。

6 结 论

(1)大场金矿床具有层控性和受断裂构造、隐伏岩浆活动控制的特点,矿体主要赋存在三叠系巴颜喀拉群砂岩板岩互层组中,并严格受断裂破碎带的控制。

(2)该矿床的成矿流体属中温、低盐度、低密度的 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-N}_2\text{-H}_2\text{S-CH}_4 \pm \text{CO} \pm$ 有机碳氢化合物体系,有机质沉淀物参与了成矿作用。主成矿期的成矿流体以大气降水为主,混有地层建造水及幔源岩浆水的混合流体。

(3)该矿床为造山型金矿床,先后经历了金、锑 2 期独立矿化,金矿化属造山型金矿的中成矿化,锑矿化为造山型金矿的浅成矿化,锑矿化的成矿深度略浅于金矿化。

志 谢 野外工作得到青海省地质调查院潘彤、李世金和高永旺同志的支持,流体包裹体测试得到吉林大学地球科学学院王力博士的指导,迟效国、李碧乐、陈国华、丁清峰、朱华平和匡俊曾与笔者一起进行野外调查,审稿人审阅了全文并提出宝贵修改意见,在此一并致以热忱谢意!

References

- Bao C Y, Xu G W, Li Y C and Gao Y W. 2003. Analysis of genetic type and metallogenic potential of gold deposit in Dachang Area[J]. Management and Plan for Territory of Qinghai Province, 3 : 17-22 (in Chinese).
- Bierlein F P and Maher S. 2001. Orogenic disseminated gold in Phanerozoic fold belts: Examples from Victoria, Australia and elsewhere[J]. Ore Geology Review, 18(1-2) : 113-148.
- Bierlein F P, Groves D I, Goldfarb R J and Dub B. 2006. Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits[J]. Mineralium Deposita, 40 : 874-886.
- Bozzo A T, Chen J R and Barduhn A J. 1973. The properties of hydrates of chlorine and carbon dioxide [A]. In: Delyannis A and Delyannis E, ed. Fourth international symposium on fresh water the sea [C]. 3 : 437-451.
- Chen H Y, Chen Y J, Ni P and Zhang Z J. 2004. Fluid inclusion study of the Sawayardun Au deposit in southern Tianshan, China: Implication for ore genesis and exploration[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 24(3) : 46-54 (in Chinese with English abstract).
- Chen H Y, Chen Y J, Ni P, Zhang L and Zhang Z J. 2007. Chemical composition of fluid inclusions of the Sawayardun gold deposit, Xinjiang: Implication for ore genesis and predication[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(9) : 2189-2197 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y J, Pirajno F and Sui Y C. 2004. Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, Henan, China: A case study of orogenic silver deposits and related tectonic setting[J]. Mineralium Deposita, 39(5) : 560-575.
- Chen Y J, Li J, Pirajno F, Lin Z J and Wang H H. 2004. Hydrothermal metallogeny of the Shangong gold deposit, east Qinling: Studies on ore geology and fluid inclusion geochemistry[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 24(3) : 1-12 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y J. 2006. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential[J]. Geology in China, 33(6) : 1181-1196 (in Chinese with English abstract).
- Dang X Y, Fan G Z, Li Z M, Fan X H and Gu Y. 2006. Typic deposit analysis in the eastern Kunlun Area, NW China[J]. Northwest Geology, 39(2) : 143-155 (in Chinese with English abstract).
- Fan G Z and Liu Q. 2007. Analysis of the characteristics from orogenic Au-Sb deposit in north Bayan Har orogenic belt [J]. Management and Plan for Territory of Qinghai Province, 3 : 34-37 (in Chinese).
- Fan H R, Xie Y H, Zhai M G and Jin C W. 2003. A three stage fluid flow model for Xiaolinling lode gold metallogenesis in Henan and Shaanxi Provinces, Central China [J]. Acta Petrologica Sinica, 19(2) : 260-266 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Zhang D Q, Li D X and She H Q. 2003. Sulfur and lead isotope geochemistry of the orogenic gold deposits in east Kunlun area, Qinghai Province [J]. Acta Geoscientia Sinica, 24(6) : 593-598 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Zhang D Q, Wang F C, Li D X and She H Q. 2004. Geochemical characteristics of ore-forming fluids from the orogenic Au (and Sb) deposit in the eastern Kunlun area, Qinghai Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 20(4) : 949-960 (in Chinese with English abstract).
- Goldfarb R J, Phillips G N and Nokleberg W J. 1998. Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim [J]. Ore Geology Reviews, 13(1-5) : 185-219.
- Goldfarb R J, Groves D I and Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis [J]. Ore Geology Review, 18(1-2) : 1-75.
- Groves D, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, Hagemann S G and Robert F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types [J]. Ore Geology Reviews, 13(1-5) : 7-27.

- Groves D I, Goldfarb R J, Knox-Robinson C M, Ojala J, Gardoll S, Yun G Y and Holyland P. 2000. Lake-kinematic timing of orogenic gold deposits and significance for computer-based exploration techniques with emphasis on the Yilgarn Black, western Australia [J]. *Ore geology Reviews*, 17(1-2): 1-38.
- Groves D I, Goldfarb R J, Robert F and Hart C J R. 2003. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, feature research and exploration significance [J]. *Econ. Geol.*, 98: 1-29.
- Hagemann S G and Cassidy K F. 2000. Archean orogenic lode Au deposits [J]. *Review Economic Geology*, 13: 9-68.
- Hall D L, Sterner S M and Bodnar R J. 1988. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions [J]. *Econ. Geol.*, 83: 197-202.
- Han Y S, Li J D, Wang W and Zhao L S. 2006. New cognizance of Dachang auriferous mineralization style [J]. *Plateau Earthquake Research*, 18(3): 54-57 (in Chinese with English abstract).
- Hu Z G, Liu J Q, Qian Z Z, Li H M, Sun J D and Su C Q. 1998. Regional minerogenic regularities of East Kunlun-North Bayan Har Mountains and prospecting thought [J]. *Geology of Qinghai Province*, 2: 11-18 (in Chinese with English abstract).
- Kerrick R, Goldfarb R J, Groves D I, Garwin S and Jia Y. 2000. The characteristics, origins and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces [J]. *Science in China (Series D)*, 43 (Supp.): 1-68.
- Lu H Z and Guo D J. 2000. Progress and trends of researches on fluid inclusion [J]. *Geological Review*, 46(4): 385-392 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W. 2001. Geology, distribution and classification of gold deposits in the western Qinling Belt, central China [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 20(1): 11-13 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z H, Yang J M, Zhang Z C, Wang Z L and Ye D J. 1998. Geology and metallogenic geochemistry of the Yingzuishan gold deposit, Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 17(4): 297-305 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Qiu X M, Goldfarb R J, Zhang Z C and Ren F S. 2002. Geology, distribution and classification of gold deposits in the western Qinling belt, central China [J]. *Mineralium Deposita*, 37(3-4): 352-377.
- Mao J W, Wang Y T, Han C M, Yang J M and Wang Z L. 2002. Geological characteristics, metallogenic model and criteria for exploration of the large South Tianshan gold metallogenic belt in Central Asia [J]. *Geological Bulletin of China*, 21(12): 858-868 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Goldfarb R J, Wang Y T, Craig J H, Yang J M and Wang Z L. 2004. Late Paleozoic base and precious metal deposit, east Tianshan, Xinjiang, China: Characteristics and geodynamic setting [J]. *Episodes*, 28: 23-26.
- Shao J L. 1988. Prospecting mineralogy of gold deposit [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 38-45 (in Chinese with English abstract).
- Sun F Y, Shi Z L and Feng B Z. 1995. Gold ore geology, lithogenesis and metallogenesis related to the differentiation of mantle-derived C-H-O fluids in Jiaodong Peninsula, Eastern China [M]. Changchun: Jilin People's Press. 79-119 (in Chinese with English abstract).
- Sun F Y, Jin W, Li B L and Peng X L. 2000. Considerations on the mineralizing depth of hydrothermal lode gold deposits [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 30(Supp.): 27-30 (in Chinese with English abstract).
- Wang W Q, Wang Z S and Li B. 2005. Analyses of controlled structures and regional prospecting significances of Dachang gold deposit, Qumalai County, Qinghai Province [J]. *Management and Plan for Territory of Qinghai Province*, 3: 32-36 (in Chinese).
- Wilde A R, Layer P, Mernagh T and Foster J. 2001. The giant Muruntau gold deposit: Geologic, geochronologic and fluid inclusion constraints on ore genesis [J]. *Econ. Geol.*, 96: 633-644.
- Wu G, Sun F Y, Zhu Q, Li Z T, Ding Q F, Li G Y, Pang Q B and Wang H B. 2006. Geological characteristics and genesis of gold deposits in Upper Heilongjiang Basin [J]. *Mineral Deposits*, 25(3): 215-230 (in Chinese with English abstract).
- Xu J H, Xie Y L, Ding R F, Yin Y J, Dan L H and Zhang G R. 2007. CO₂-CH₄ fluids and gold mineralization: Southern margin of Altay, China and Muruntau of Uzbekistan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 2026-2032 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Feng C Y, Li D X, Xu W Y, Yan S H, She H Q, Dong Y J and Cui Y H. 2001. Orogenic gold deposits in the North Qaidam and east Kunlun orogen, West China [J]. *Mineral Deposits*, 20(2): 137-146 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Dang X Y, She H Q, Li D X, Feng C Y and Li J W. 2005. Ar-Ar dating of orogenic gold deposits in northern margin of Qaidam and East Kunlun Mountains and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 24(2): 87-98 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Zhang H, Feng C Y, She H Q, Li J W and Li D X. 2007. Fluid inclusions in orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin-East Kunlun region [J]. *Geology in China*, 34(5): 843-854 (in Chinese with English abstract).
- Zhang W H, Zhang Z J and Wu G. 1996. Ore-forming fluid and mineralization mechanism [J]. *Earth Science Frontier*, 3(3-4): 245-252 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y F. 1996. Division and evolution of the Hoh Xil-Bayan Har sedimentary basin [J]. *Geology of Qinghai Province*, 5(1): 1-17 (in Chinese with English abstract).
- Zhao C S. 2004. Gold, silver metallogeny in Eastern Kunlun orogenic belt, Qinghai Province (PhD dissertation) [D]. Academic Supervisor: Sun F Y. Changchun: Jilin University. 30-32 (in Chinese with English abstract).
- Zhao C S, Sun F Y, Mao J W, Ding Q F, Zhao J W and Li S J. 2005. Fluid inclusion characteristics of Dachang gold deposit, Qinghai Province and their geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 24(3): 305-316 (in Chinese with English abstract).
- Zhao J W, Sun F Y, Li S J, He A Q, Fan G Z and Ma X L. 2007.

Geological characteristics of Au (Sb) deposits in turbidite sequences in North Bayan Har in Qinghai Province: Examples from gold deposits in Dachang-Jiagelongwa area [J]. Gold, 28(9): 8-13 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 包存义, 许国武, 李玉春, 高永旺. 2003. 大场地区金矿成因类型及成矿潜力分析 [J]. 青海国土经略, 3: 17-22.
- 陈华勇, 陈衍景, 倪培, 张增杰. 2004. 南天山萨瓦亚尔顿金矿流体包裹体研究: 矿床成因和勘探意义 [J]. 矿物岩石, 24(3): 46-54.
- 陈华勇, 陈衍景, 倪培, 张莉, 张增杰. 2007. 新疆萨瓦亚尔顿金矿流体包裹体成分、矿床成因和成矿预测 [J]. 岩石学报, 23(9): 2189-2197.
- 陈衍景, 李晶, Pirajno F, 林治家, 王海华. 2004. 东秦岭上宫金矿流体成矿作用: 矿床地质和包裹体研究 [J]. 矿物岩石, 24(3): 1-12.
- 陈衍景. 2006. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力 [J]. 中国地质, 33(6): 1181-1196.
- 党兴彦, 范桂忠, 李智明, 范晓华, 顾英. 2006. 东昆仑成矿带典型矿床分析 [J]. 西北地质, 39(2): 143-155.
- 范桂忠, 刘启. 2007. 浅析北巴颜喀拉造山型金锑矿特征 [J]. 青海国土经略, 3: 34-37.
- 范宏瑞, 谢奕汉, 翟明国, 金成伟. 2003. 豫陕小秦岭脉状金矿床三期流体运移成矿作用 [J]. 岩石学报, 19(2): 260-266.
- 丰成友, 张德全, 李大新, 余宏全. 2003. 青海东昆仑造山型金矿硫、铅同位素地球化学 [J]. 地球学报, 24(6): 593-598.
- 丰成友, 张德全, 王富春, 李大新, 余宏全. 2004. 青海东昆仑造山型金(锑)矿床成矿流体地球化学研究 [J]. 岩石学报, 20(4): 949-960.
- 韩英善, 李俊德, 王文, 赵林山. 2006. 对大场金矿成因的新认识 [J]. 高原地震, 18(3): 54-57.
- 胡正国, 刘继庆, 钱壮志, 李厚民, 孙继东, 苏春乾. 1998. 东昆仑-北巴颜喀拉区域成矿规律及找矿工作思考 [J]. 青海地质, 2: 11-18.
- 卢焕章, 郭迪江. 2000. 流体包裹体研究的进展和方向 [J]. 地质论评, 46(4): 385-392.
- 毛景文. 2001. 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, 20(1): 11-13.

- 毛景文, 张作衡, 杨建民, 张招崇, 王志良, 叶得金. 1998. 甘肃鹰嘴山金矿床地质和成矿地球化学 [J]. 矿床地质, 17(4): 297-305.
- 毛景文, 王义天, 韩春明, 杨建民, 王志良. 2002. 中亚地区南天山大型金矿带的地质特征、成矿模型和勘查准则 [J]. 地质通报, 21(12): 858-868.
- 邵洁连. 1988. 金矿找矿矿物学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 38-45.
- 孙丰月, 石准立, 冯本智. 1995. 胶东金矿地质及幔源 C-H-O 流体分异成岩成矿 [M]. 长春: 吉林人民出版社. 79-119.
- 孙丰月, 金魏, 李碧乐, 彭晓蕾. 2000. 关于脉状热液金矿床成矿深度的思考 [J]. 长春科技大学学报, 30(增刊): 27-30.
- 王渭清, 王增寿, 李波. 2005. 青海省曲麻莱县大场金矿控矿因素分析及区域找矿意义 [J]. 青海国土经略, 3: 32-36.
- 武广, 孙丰月, 朱群, 李之彤, 丁清峰, 李广远, 庞庆帮, 王宏博. 2006. 上黑龙江盆地金矿床地质特征及成因探讨 [J]. 矿床地质, 25(3): 215-230.
- 徐九华, 谢玉玲, 丁汝福, 阴元军, 单立华, 张国瑞. 2007. CO₂-CH₄ 流体与金成矿作用: 以阿尔泰山南缘和穆龙套金矿为例 [J]. 岩石学报, 23(8): 2026-2032.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 徐文艺, 阎升好, 余宏全, 董英君, 崔艳合. 2001. 柴北缘-东昆仑地区的造山型金矿床 [J]. 矿床地质, 20(2): 137-146.
- 张德全, 党兴彦, 余宏全, 李大新, 丰成友, 李进文. 2005. 柴北缘-东昆仑地区造山型金矿床的 Ar-Ar 测年及其地质意义 [J]. 矿床地质, 24(2): 87-98.
- 张德全, 张慧, 丰成友, 余宏全, 李进文, 李大新. 2007. 柴北缘-东昆仑地区造山型金矿床的流体包裹体研究 [J]. 中国地质, 34(5): 843-854.
- 张文淮, 张志坚, 伍刚. 1996. 成矿流体及成矿机制 [J]. 地学前缘, 3(3-4): 245-252.
- 张以弗. 1996. 可可西里-巴颜喀拉三叠纪沉积盆地的划分及演化 [J]. 青海地质, 5(1): 1-17.
- 赵财胜. 2004. 青海东昆仑造山带金、银成矿作用 (博士论文) [D]. 导师: 孙丰月. 长春: 吉林大学. 30-32.
- 赵财胜, 孙丰月, 毛景文, 丁清峰, 赵俊伟, 李世金. 2005. 青海大场金矿床流体包裹体特征及其地质意义 [J]. 矿床地质, 24(3): 305-316.
- 赵俊伟, 孙丰月, 李世金, 何安全, 范桂忠, 马秀兰. 2007. 青海北巴颜喀拉山地区浊积岩中金(锑)矿成矿地质特征: 以大场-加给陇洼一带为例 [J]. 黄金, 28(9): 8-13.