滇西大坪金矿床地质特征及成因初探*

杨立强[1] 邓军[1] 赵凯[1] 刘江涛[1] 葛良胜[2] 周道卿[1] 李士辉[1] 曹宝宝[1]

YANG LiQiang[1], DENG Jun[1], ZHAO Kai[1], LIU JiangTao[1], GE LiangSheng[2], ZHOU DaoQing[1], LI ShiHui[1] and CAO BaoBao[1]

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. 武警黄金地质研究所,廊坊 065000

1. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources*, *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083, *China*
2. *Gold Geological Institute of CAPF*, *Langfang* 065000, *China*

2011-05-30 收稿, 2011-08-01 改回.

Yang LQ, Deng J, Zhao K, Liu JT, Ge LS, Zhou DQ, Li SH and Cao BB. 2011. Geological characteristics and genetic type of Daping gold deposit in the Ailaoshan orogenic belt, SW China. *Acta Petrologica Sinica*, 27(12):3800 – 3810

Abstract Daping gold deposit, situated in the south section of the Ailaoshan orogenic belt, once considered to be an orogenic gold deposit, displays many distinct geological characteristics which are inconsistent with the classical orogenic gold deposits around the world, but accord with the epithermal gold deposits. The vein type gold, copper, lead, silver deposits commonly develop in close association with intermediate-acidic intrusive and intermediate-basic volcanic rocks regionally. Daping gold deposit was formed in the Neozoic tectonic-magmatic activity, which is 800Ma later than the emplacement of Taojiazhai diorite which is the main host rocks, besides the gold metallogenesis is closely related to the regional structural framework and the transition of tectonic regime. The host faults of main ore-forming period are generally believed as a transtensional normal faults, and ore veins within are abundant (55), thin (0.2 ~ 0.8m), long (200 ~ 1500 m), steep (56° ~ 85°), deeply extensive (700m) and developed in parallel, besides ore bodies in association with Pb, Cu and Ag display high-grade Au (above 10×10^{-6}), low Au/Ag ratio (0.1 ~ 0.5). Textures and structures of filling type as well as mineral assemblages indicate that ore veins formed at a low-temperature and shallow-depth environment, what' more, mineralization-alteration types and the growth of opal and oxidized ores restrict an open and oxidizing environment. The distinguished geological characteristics of Daping gold deposit may be closely related to the complicated tectonic regime and metallogenic evolution, though the deposit is distinguished by its feature of orogenic gold deposits, epithermal gold, copper, lead, silver mineralization is overlapped in the shallow during the late stage of mineralization. The metallogenic characteristics, combined with documented geological information, indicate Daping gold deposit is distinguished by its orogenic in the deep and epithermal in the shallow, besides the metallogenic system is well preserved. Considering all the ores proven now are in the shallow, Daping gold deposit is of great prospecting potentiality in the deep.

Key words Orogenic versus epithermal gold deposit; Genetic model; Daping gold deposit; Ailaoshan orogenic belt

摘 要 大坪金矿床被视为哀牢山造山带南段最典型的造山型金矿,但其诸多地质特征明显不同于国外典型造山型金矿床,而呈现出与浅成低温热液型金矿床的一致性。区域上,脉型金铜铅银矿床的产出与中酸性侵入岩及中基性火山岩密切相关。大坪金矿床形成于主要赋矿的桃家寨闪长岩侵位之后约 800Ma 的新生代构造-岩浆热事件中,金矿床是区域尺度伸展和转换拉伸应力体制的产物;成矿作用过程中,研究区构造动力体制发生了转换,主成矿期容矿断裂带显示为张剪性正断层性质。矿脉多(55 条)、薄(0.2 ~ 0.8m)、长(200 ~ 1500m)、陡(56° ~ 85°)、延深大(约 700m),且近平行成带产出;矿体中 Au 品位高(超过 10×10^{-6}),Au/Ag 低(0.1 ~ 0.5),且伴生 Pb、Cu、Ag。矿石的充填型结构构造和矿物共生组合指示矿脉形成温度低、深度浅;矿化-蚀变样式以及蛋白石和氧化矿的出现表明成矿体系处于开放的氧化环境,成矿后保存良好。大坪金矿床这种特殊的地质特征可能与其复杂的区域构造背景及成矿演化过程密切相关,金矿床虽然具有造山型金矿的基本特征,但在成

* 本文受国家重点基础研究发展规划(2009CB421008)、教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-09-0710)、高等学校学科创新引智计划(B07011)、教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT0755)和中央高校基本科研业务费专项资金(2010ZD11)联合资助.

第一作者简介: 杨立强,男,1971 年生,教授,博士生导师,主要从事矿床学及矿产普查与勘探的教学和科研,E-mail: lqyang@cugb.edu.cn

矿作用晚期，矿床浅部叠加了浅成低温热液型金铜铅银成矿作用。即大坪金矿床属于深部造山型＋浅部低温热液型矿床套叠组合，成矿体系保存完整，现发现的均为浅部矿体，深部找矿潜力巨大。

关键词 造山型；浅成低温热液型；成因模式；大坪金矿；哀牢山造山带

中图法分类号 P618.51

1 引言

大坪金矿床是哀牢山金矿带南段最重要的造山型金矿床，自1956年被发现以来，已探明的黄金资源/储量约70t（云南元阳县华西黄金有限公司，2008①）。长期以来，在该区已实施多轮科技攻关，取得了丰硕的成果，积累了大量有价值的数据资料，为进一步深入研究奠定了坚实基础（徐研非，1989；韩润生和金世昌，1994；韩润生等，1997；应汉龙，1998；毕献武等，1996，1997；胡瑞忠和毕献武，1999；胡瑞忠等，1998；李定谋和李保华，2000）。但是，由于矿区范围大、矿脉多、埋藏深，勘探工程控制局限，且植被覆盖严重、交通又极其不便，这在一定程度上制约了对矿区和矿床地质特征的系统观察与研究。尤其是，区域经历了多期构造动力体制转换和叠加复合，金矿成矿作用与富集机制复杂多变（邓军等，2010a，b；杨立强等，2010，2011；Deng *et al.*，2010），虽然已有研究揭示出大坪金矿床某些地球化学特征与典型造山型金矿一致（孙晓明等，2006a，b，2007a，b；熊德信等，2006a，b，2007 a，b；葛良胜等，2007；Sun *et al.*，2009），但是其基本的地质特征（如矿体形态和产状、矿石类型与结构构造、载金矿物与成矿元素组合、赋矿岩石建造和控矿构造等）却显示出与浅成低温热液型矿床的一致性，不能被现有的成矿理论和成矿模式所涵盖，而这些正是确定矿床类型与成因机制、指导勘查部署最为重要的依据之一。因此，进一步深化对矿床地质特征与成矿规律的认识，厘定正确的成因模式，已成为当务之急。为此，本文基于对区域、矿区和矿床地质的系统研究，通过对比分析大坪金矿床与典型造山型和浅成低温热液型金矿床的异同，探讨可能的成因类型及其对找矿的可能指示意义。

2 区域及矿区地质

2.1 区域成矿背景

哀牢山金矿带可分为北、南两段，习惯上把元江-墨江公路以北称为哀牢山成矿带北段，以南称为哀牢山成矿带南段（胡云中等，1995；李定谋等，1998）。北段又称九甲-老王寨-金厂金矿亚带，主要包括镇源金矿田和金厂金矿床。南段以大坪和长安金矿床为代表，区域构造以北西向的红河、哀牢山和藤条河深大断裂为主体，控制着区内岩浆活动和成矿作用。

红河和哀牢山深大断裂之间的哀牢山深变质带出露地层为元古代哀牢山群，其内发育系列北西向断裂及相间排列的中酸性岩和基性-超基性岩，分别控制了范围广阔的低品位铜和铜镍及钒钛磁铁矿矿床（点）的产出。

藤条河深大断裂南部的绿春未变质区域出露地层为下古生界碎屑岩、中生界碎屑岩和酸性喷出岩（流纹斑岩），发育北西向断裂和褶皱以及孤立型酸性和基性侵入岩，形成与之相关的锡、镍、金矿床。

哀牢山和藤条河深大断裂之间的金平浅变质带区内除发育北西向断裂和褶皱外，北东向断裂也较发育。以北西向的三家河断裂带为界，北东部主要出露晚元古代中酸性闪长岩、燕山期-喜马拉雅期花岗（斑）岩和石英二长（斑）岩及中基性火山岩，控制了相关的脉型金铜铅银矿床的产出。南西部出露地层从北至南，呈现出下奥陶统→中-上志留统→下二叠统的从老至新分布规律，其内基性-超基性辉绿辉长岩和玄武岩及中碱性的（石英）正长（斑）岩发育，分别控制了与之相应的铜镍矿床、金矿床和铜钼矿床。

2.2 矿区地质

大坪金矿床位于哀牢山与藤条河深大断裂夹持的金平块体东北部，严格受北西向的三家河、金子河及金平-大坪断裂带控制。金矿床北起十八塘，南至老金山，东自金坪-大坪断裂以东，西到三家河断裂；长约15km，宽约3.5～5km；从北往南分为毛木树、白沙坡、玛沙迷、马店、金河金矿厂及老金山等6个矿段。三家河及金平-大坪断裂带具边界断裂的特征，其中部发育一条北西向断裂带——金子河断裂带，其两侧广泛发育一系列北西、北北西向次级断裂，它们是本区最重要的容矿构造，已发现的55条矿脉均赋存其中。北东向、北北西向断裂属后期断裂，它们错断北西向控矿断裂和金矿体，属破矿构造（图1）。

控矿断裂带构造形迹和结构面力学性质分析、节理统计以及定向薄片显微分析表明（宋焕斌等，1990；本文），矿区成矿前主压应力方位为NE45°左右，成矿期转变为NW70°左右，成矿后约为SE20°；NW向容矿断裂在成矿前后，发生了3次力学性质转换，即成矿前以压性为主；成矿期转化为张剪性、且以左行剪切为主，表现为正断层性质；成矿后又转变为压剪性，但以右行剪切为主；即成矿作用过程中，研究区构造动力体制发生了转换，主成矿期控矿断裂带显示为张剪性正断层性质。

区内赋矿岩石建造简单，主要为晚元古代桃家寨闪长岩，其次为晚古生代中志留统及中泥盆统海相碎屑岩和碳酸

① 云南元阳县华西黄金有限公司. 2008. 云南省元阳县大坪金矿地质勘查阶段性报告

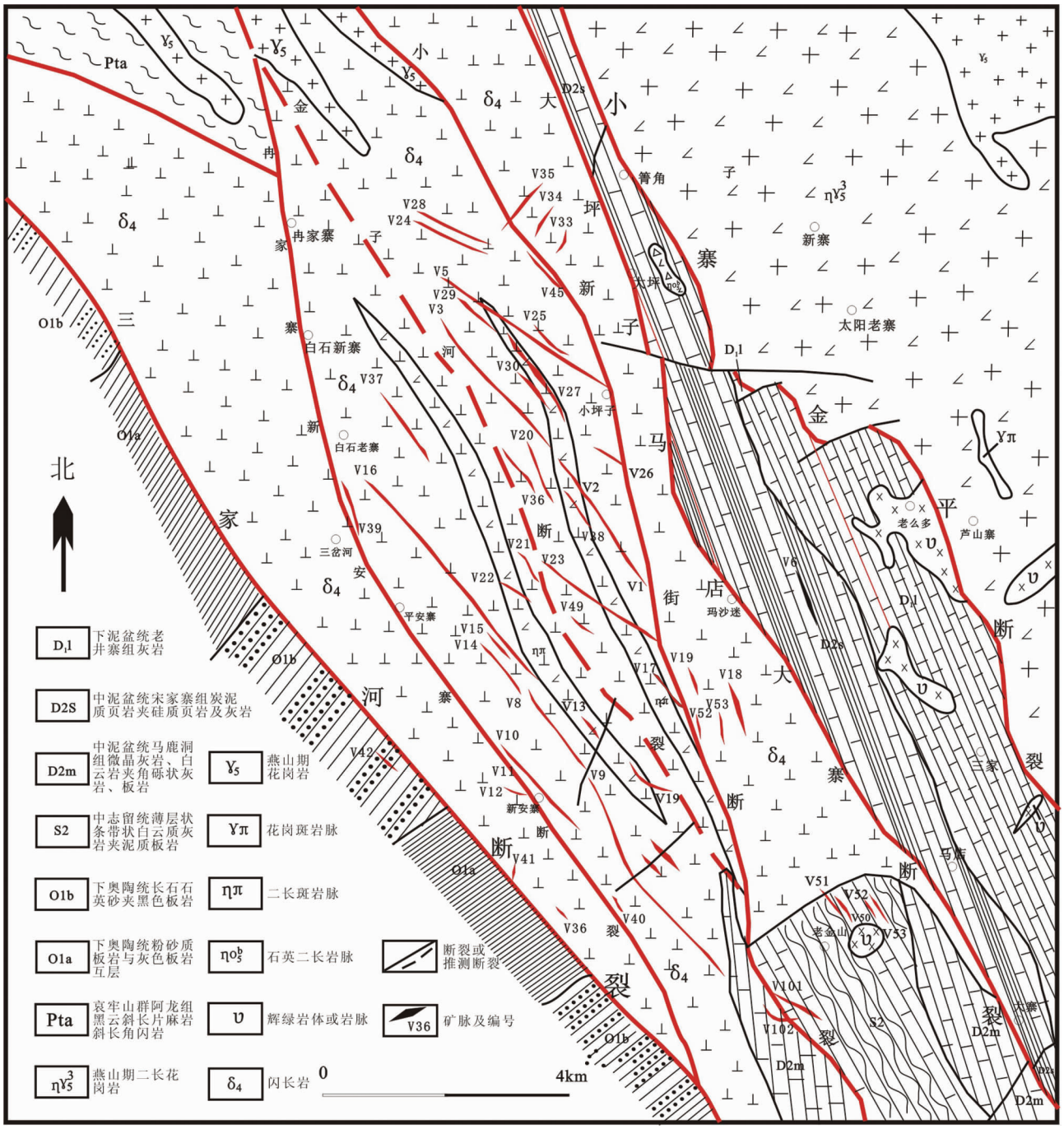


图 1 大坪金矿床地质及矿脉分布图(据葛良胜等,2007)

Fig. 1 Geological sketch showing the distribution of ore-veins in Daping gold deposit (after Ge *et al.*, 2007)

盐岩(图 1)。桃家寨闪长岩体夹持于三家河和小寨-金平断裂之间,呈北西-南东向展布,面积约 76km^2,占据了矿区主体范围。中志留统分布于老金山一带,为灰至深灰色中粒-细晶白云岩和浅灰色细晶白云质灰岩,在老金山附近是重要的赋矿岩系。中泥盆统主要见于矿区东部的老么多至马店及其以南一带,主要为灰色泥质、硅质、钙质页岩和微晶、生物灰岩。

桃家寨闪长岩的主要岩石类型为闪长岩,新鲜面为暗绿色,风化后呈砖红色,具全晶质半自形细-粗粒结构,块状构造。由于受成岩后的多次构造活动影响,岩石还呈现片麻状构造、片状构造等,在大坪街至小坪子一带,闪长岩体以深色闪长岩为主,几乎全部受到不同程度的片理化作用,岩石的暗色矿物呈现明显的定向拉长,形成千枚状或片状构造(或称角闪辉长岩,戚学祥等,2010)。而矿区南部(沙人冲以南)闪长岩体则主要为中色至浅色闪长岩,片理化作用不明显。在小新街断裂通过的地段,断裂带附近的闪长岩出现角砾状

构造，并且以断裂构造为中心，向外出现糜棱岩、千枚状闪长岩、碎斑闪长岩和碎裂闪长岩等。闪长岩的主要矿物成分为斜长石（中长石、更长石）约占 35% ~70%，角闪石约占 10%（深色岩中有的地方角闪石含量高达 50%）。次要矿物，黑云母、碱性长石、石英。初步研究表明，桃家寨闪长岩体形成于晚元古代 761 ~926Ma 左右（韩润生和金世昌，1994；韩润生等，1997；戚学祥等，2010），而金矿化主体形成于约 34Ma，即区域变质作用之后约 800Ma 的新生代构造-岩浆热事件中（孙晓明等，2007b；杨立强等，2010，2011）。

应该指出的是，研究区岩浆活动频繁，除上述桃家寨闪长岩之外，有较多的后期煌斑岩、辉绿岩和石英二长（斑）岩脉侵入其中，北部及东部外围有燕山-喜马拉雅早期的二长花岗（斑）岩和花岗（斑）岩体出露（图 1）。尤其在矿区中部发育两条白色、灰白色呈不规则的石英二长（斑）岩脉，侵入于桃家寨闪长岩体中，延展方向与闪长岩体基本一致或斜交，总体显细粒花岗结构（或称花岗闪长岩，戚学祥等，2010）。野外所见的煌斑岩脉主要有两期，早期的煌斑岩脉通常片理发育，常位于石英脉的旁侧，二者平行展布；后期煌斑岩脉则一般不具片理化现象，与石英脉走向大致相同或小角度斜交，但一般倾向相反，经常切断含矿石英脉。

3 矿床地质

3.1 矿脉及矿体地质特征

到目前为止，整个矿区共发现各种不同规模和类型的矿脉 55 条。这些矿脉主要由含金多金属硫化物石英脉、少部分构造破碎蚀变闪长岩和蚀变破碎灰岩组成，具薄而长的特点，厚度多为 0.2 ~0.8m，一般长约 200 ~1500m，最长 4800m（图 1）。绝大多数矿脉走向北西 30° ~55°，倾向南西，倾角 56° ~85°，局部直立甚至反倾；极少部分矿脉倾角较为平缓。

空间上，矿脉的产出严格受次级断裂带控制，它们往往成带出现，相距不远且呈近平行展布，从北东向南西，具有左行右阶的斜列趋势（宋焕斌等，1990）。矿化石英脉在断裂带中断续分布，呈雁行状尖灭再现或侧现。侧现脉与中轴线夹角很小，一般首尾无重叠现象。尖灭再现脉间的距离（无脉段）一般小于 5m。单脉长度一般 20 ~60m，最长 151.9m，厚度一般 40 ~60cm，最厚可逾 2m。这些断裂带与矿脉群是区域尺度的伸展和转换拉伸应力体制的产物。但在局部地段，断裂有不到几米长的小分支，它们往往表现为脆性的破裂，脉体增厚，或多条脉体近平行出现，构成复脉带。

矿体被发现于陡倾角的脉、脉群、网脉以及不常见的低角度脉中，矿体控制斜深一般大于 300m，且向深部未圈闭，表明其延深较大。如 V1-2-3 矿体出露标高 1356 ~ 647m（32ZK1），最大斜深 655m，矿体往下未圈闭，可能仍有较大延深。矿体中 Au 品位单样最高超过 300×10^{-6}，平均品位超过 10×10^{-6}；且 Pb、Cu、Ag 等伴生有益组分均可综合回收。

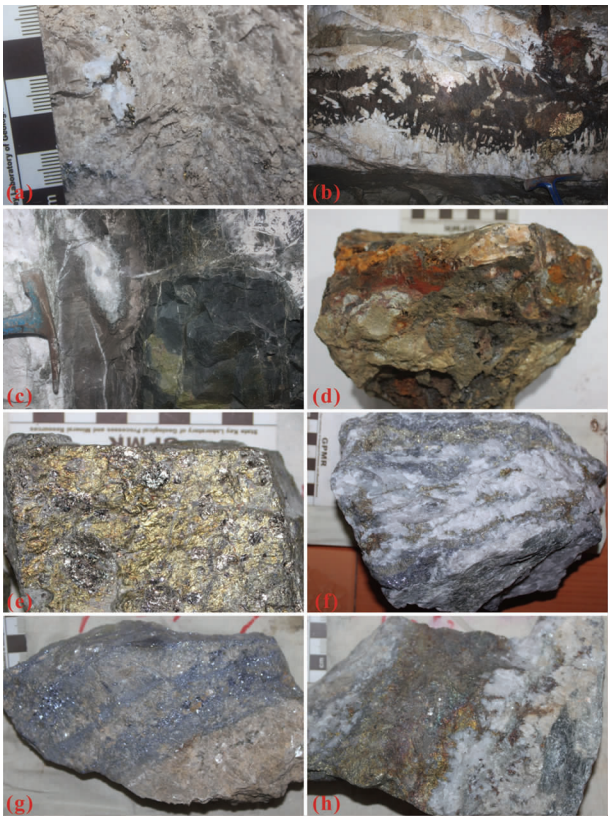


图 2 大坪金矿床的典型矿石结构构造

(a)-叶片状铁白云石中石英晶簇形成的晶洞内的冰长石；(b)-石英形成的梳状构造内黄铁矿呈团块状产出；(c)-玉髓的条带状构造；(d)-气孔-角砾状构造；(e)-致密块状构造；(f)-细脉-网脉状构造；(g)-网脉-层带构造；(h)-梳状-层带构造

Fig. 2 Typical ore structures of Daping gold deposit

3.2 矿石组构与矿化样式

大坪金矿床的矿石结构构造包括充填型和交代型，以充填型为主。矿石普遍具细粒结构，但在某些成矿阶段可以出现较粗粒的矿物，主要结构类型包括：粒状结构、包裹结构、压碎结构、充填-交代结构及格子结构等。典型的矿石构造有晶洞构造、梳状构造、层带构造（crustification）、叶片状构造、角砾状构造、细脉-网脉状构造、块状构造、浸染状构造和团斑状构造（图 2）。

矿床的矿化样式包括脉状、网脉状、角砾状和浸染状等。脉状矿化即金属硫化物-石英脉型，约占整个矿区的 95% 以上。其矿脉两壁界限清楚，矿脉的充填物为热液成因的产物。在典型的硫化物石英脉型矿石中，金属矿物呈半自形或他形的个体以各种形式分布石英脉中，形成石英包裹金属矿物的格局。根据矿石中矿物组合的不同，可以划分为 2 个亚型：金属矿物以黄铁矿为主的称为黄铁矿型，以方铅矿为主者称为方铅矿型。从矿石在矿脉中的垂向分布看，前者多分布在矿脉的浅部，后者则见于在相对深部。在同一条矿脉的同一标高水平上，2 种矿石同时出现时，一般并行产出，并具

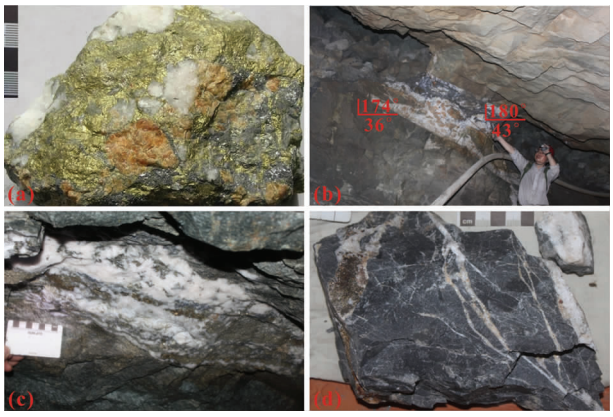


图 3 大坪金矿床的典型矿化样式

(a)-早期形成的石英和白钨矿呈角砾状,晚期形成的方铅矿及黄铜矿沿白钨矿或石英角砾边缘胶结;(b)-张性脉状矿化(白沙坡矿段 6 号矿脉 3 中段);(c)-张性脉状矿化(毛木树矿段 1 号矿体);(d)-细脉-浸染状矿化

Fig. 3 Typical styles of mineralization in the Daping gold deposit

有明显的分界面。此外,也能见到方铅矿型石英脉穿插黄铁矿型石英脉的现象,反映二者并非同期矿化的产物。2 个亚型矿石的共生矿物组合亦有差异。与黄铁矿共生的主要为黄铜矿、银黝铜矿、砷黝铜矿、磁铁矿、白钨矿、锡石、自然金等为主,极少见方铅矿。而与方铅矿共生的则以黄铁矿、闪锌矿、褐铁矿、黄铜矿、砷铅矿及铅钒等为主。在非金属矿物方面,二者共同特点是均以石英为主,约占 70% ~80%,甚至更高。其它是少量的方解石、铁白云石、重晶石、透辉石、云母类和粘土类、绿泥石、绿帘石等,但方铅矿型矿石中铁白云石的含量要高于黄铁矿型矿石,而重晶石则相对少见。网脉状矿化由一系列各种不同方向交织成网状的细脉组成,完全由网脉状矿化组成的矿脉较少,它往往与脉状矿化共存,并且倾向于发育在断裂构造拐弯、交汇及切割脆性岩层的部位(图 3)。

矿脉充填物中往往出现围岩角砾,当角砾所占比例很大时,则形成角砾岩脉。角砾可包括围岩和矿脉物质本身,胶结物为热液成因的矿物。角砾岩型矿石前人少有提及,由于胶结物的致密胶结以及其矿物成分与硫化物石英脉型相似造成两者难于区别,过去将其归属为硫化物石英脉型。矿石中的角砾一般为早期形成的石英和白钨矿,以棱角状出现,其中可见早期形成的金属矿物;而胶结物多为金属硫化物,以致密的团块状黄铁矿、黄铜矿或方铅矿为主,形成金属硫化物包裹石英和白钨矿的格局。

浸染状矿化产于蚀变围岩中,形成蚀变岩型矿石,其矿体与非矿体没有明确的界限,必须靠化学分析来圈定。根据蚀变围岩的不同,可分为蚀变闪长岩型、蚀变灰岩型和构造破碎蚀变岩型。蚀变闪长岩型和蚀变灰岩型多见于石英脉两侧,一般发育宽度不大(小于 1m)。其中金属矿物以黄铁矿为主,其它少见或基本不见,浸染状或细脉状分布,含量约占 5% ~15%。而构造破碎蚀变岩型分布相对广泛,见于矿脉尖灭端的构造延长线上以及尖灭侧(再)现间隔区间内,部分金品位较高,是追踪构造延伸,发现再(侧)现石英脉的主要标志。金属矿物也以黄铁矿为主,呈细粒浸染状或细脉状分布,但含量较低。构造破碎蚀变岩蚀变强烈,除硅化外,还广泛发育其它类型的蚀变产物,如绿泥石化、绿帘石化、铁白云石化、方解石化。

应该特别指出的是,不同矿段的矿化样式及其金属硫化物略有不同,其中,黄铁矿型石英脉分布普遍,是最主要矿化类型;方铅矿型石英脉分布较普遍,是重要的矿化类型;方铅矿黄铜矿黄铁矿石英铁白云石脉在金河金矿厂矿段 V55 号脉,以及 V50、V51 和 V52 号脉的局部地段可见;黄铁矿黄铜矿方铅矿白钨矿石英脉在毛木树矿段的 V1、V2 和 V3 号脉及白沙坡矿段的 V6 号脉的局部地段可见;块状、稠密浸染状金属硫化物金矿脉,在白沙坡矿段的 V6 和 V12 号脉中常见,在白沙坡矿段 V8 号脉和毛木树及妈沙迷矿段的局部地段可见;黄铁矿化夹蚀变闪长岩石英脉在毛木树矿段断裂构造发育地段可见。

3.3 矿物及其共生组合

大坪金矿床的金矿化与石英脉内的硫化物,尤其是黄铁矿关系密切,其金属矿物以黄铁矿为主,次为方铅矿、黄铜矿、自然金和白钨矿,以及少量闪锌矿、磁铁矿、铜蓝和褐铁矿等;非金属矿物以石英、水晶、铁白云石和绢云母为主,次为玉髓和冰长石,以及少量方解石和绿帘石等(图 4)。

矿石中金主要以自然金形式存在,呈自形、半自形及他形粒状、细脉状及不规则粒状等产出。主要载金矿物是黄铁矿,次为石英。自然金主要为显微可见金的粒间金、裂隙金及包裹金,尚有少量明金。其中粒间金嵌布于黄铁矿与石英粒间或产于石英间;裂隙常沿早生成的碎裂状黄铁矿之裂隙或碎块间呈细脉状充填或充填于石英裂隙中,少数分布于天白云石中或与石英呈脉状充填于黄铁矿裂隙中;包裹金呈细粒、微细粒主要包裹于早形成的黄铁矿中。根据穿插交代关系、形成温度、颜色和晶形等,黄铁矿和石英均可分为 3 个世代,其中第二世代为主成矿阶段形成。

根据野外及镜下初步观察,主要矿物共生组合包括:(1)白钨矿-石英组合,主要分布于毛木树及白沙坡矿段矿脉的边部,金属矿物以白钨矿为主,非金属矿物以石英为主;(2)自然金-黄铁矿-石英组合,常见分布于团块状含金金属硫化物-石英组合间,或在矿脉之边部,金属矿物以黄铁矿为主,少量黄铜矿和自然金等,黄铁矿呈细脉浸染状、星散状分布于非金属矿物中,金含量低,非金属矿物主要为石英;(3)自然金-黄铁矿-黄铜矿(方铅矿)-石英组合,主要分布于毛木树和玛沙迷矿段,金属硫化物以黄铁矿为主,次为黄铜矿,少量方铅矿及自然金,常具较强的金矿化,金品位高,非金属矿物主要为石英;(4)自然金-黄铁矿-方铅矿(黄铜矿)-石英组

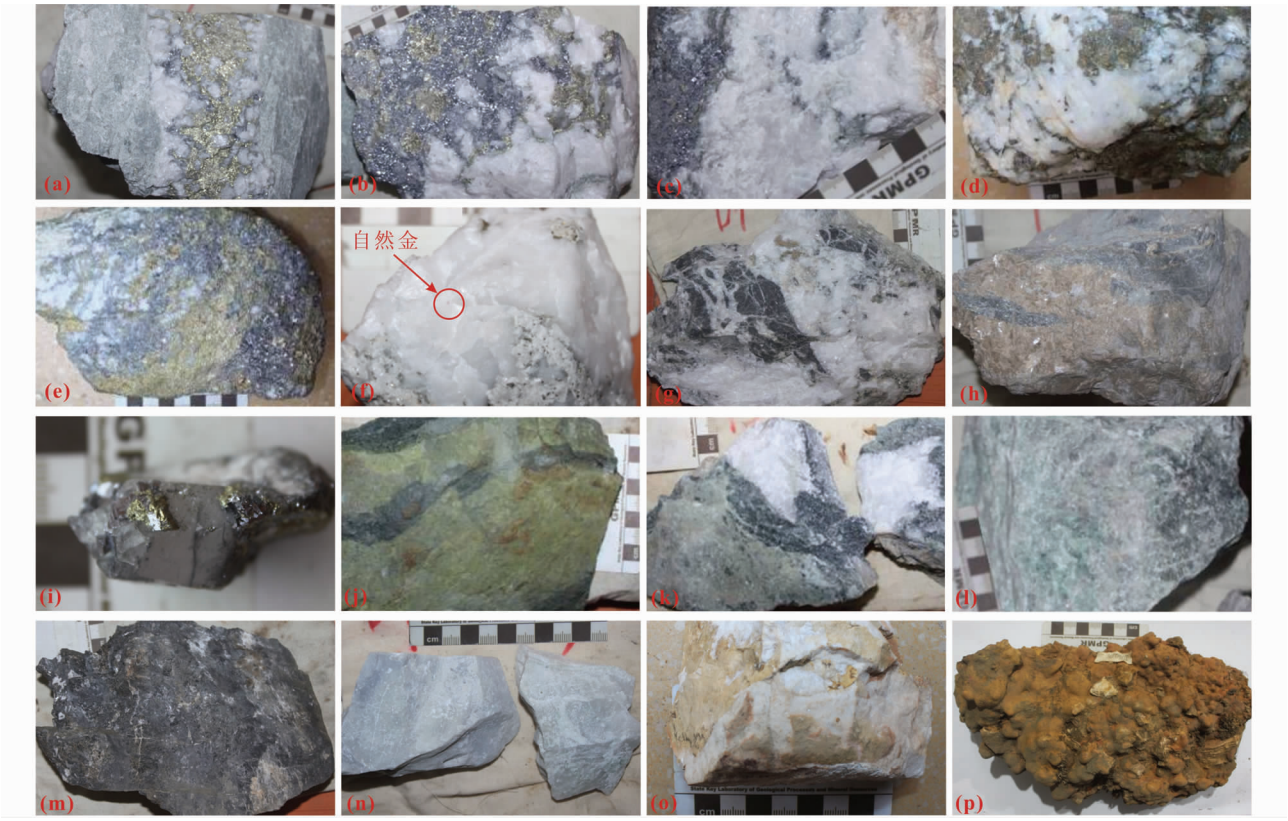


图 4　大坪金矿床主要载金矿物及其共生组合

(a)-黄铁矿-石英;(b)-黄铁矿-方铅矿-石英;(c)-方铅矿-石英;(d)-黄铁矿-黄铜矿-铜蓝-石英;(e)-黄铁矿-黄铜矿-铅矿;(f)-自然金-石英;(g)-石英-方解石;(h)-方铅矿-铁白云石;(i)-水晶-(粗晶)方铅矿;(j)-绢云母;(k)-方解石;(l)-绿帘石;(m)-磁铁矿;(n)-冰长石;(o)-蛋白石;(p)-褐铁矿

Fig. 4　Main gold-bearing minerals and association of Daping gold deposit

合,主要分布于白沙坡矿段,金属矿物以黄铁矿和方铅矿为主,少量黄铜矿及自然金,金矿化较弱,金品位较低;非金属矿物主要为石英;(5)自然金-黄铁矿-铁白云石-石英组合,主要分布于金河金矿厂矿段,矿物以铁白云石为主,次为石英及黄铁矿,矿化较强,金品位较高。

3.4　围岩蚀变类型及分带

总体上看,大坪金矿床围岩蚀变类型多、范围广,但强度较弱、蚀变分带不显著。主要蚀变类型有:硅化、钠长石化、钠黝帘石化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、铁白云石化、大理岩化、方解石化、青磐岩化和绢英岩化等。其中以硅化、黄铁矿化、铁白云石化及绢英岩化与金矿化关系最为密切。其中,硅化可进一步分为脉状硅化、面状硅化、水晶和玉髓4类;碳酸盐化包括脉状方解石化、面状方解石化和铁白云石3类;绢英岩化包括脉状和团块状绢英岩化2类(图5)。

通常在断裂带中部或一侧充填的是金属硫化物石英脉;近脉壁发育冰长石化+硅化(石英、水晶和玉髓)和富铁绿泥石化;往外为绢云母化(包括绢云母和其它云母类矿物,如伊利石和以伊利石层为主的伊利石-蒙脱石混层矿物,还有石英和黄铁矿);其外侧的构造破碎蚀变岩为绿泥石-绿帘石-绢云母化带,含绿帘石、绢云母、次生石英和少量的硫化物;再向外侧,碳酸盐蚀变产物增多,形成碳酸盐化带;最外带为青磐岩化,含次生石英、硫化物、绿泥石、铁白云石、钠长石、冰长石和少量绿帘石等;该带越过断裂破碎带界面并延入碎裂化的围岩中,过渡到围岩的硅化-绢云化-钠长石化带,形成绢云母化闪长岩、钠黝帘石化闪长岩。

应该指出的是,各蚀变带宽度变化不一,几厘米至数十米不等,而相邻蚀变带之间一般为渐变过渡关系。不同脉体周围的蚀变带发育程度也不一致,有些分带较全,有些则不完整;有些石英脉与围岩(闪长岩)呈明显的截然接触部位,几乎不见明显的围岩蚀变现象;甚至同一条脉体的不同地段,蚀变的差异也很明显。这些主要取决于矿脉规模、易于发生反应的围岩、以及围岩孔隙度和渗透性等。

4　讨论

4.1　可能的成因类型

矿床模型在成矿学研究和矿山勘探过程中很重要,但

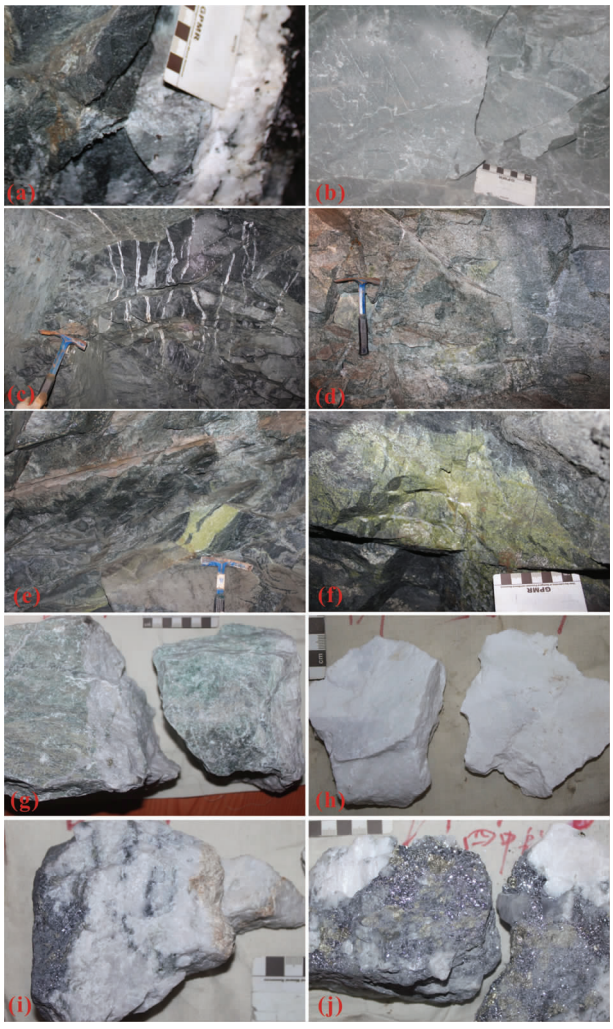


图 5 大坪金矿床主要围岩蚀变类型

(a)-脉状硅化;(b)-面状硅化;(c)-脉状碳酸盐化;(d)-面状碳酸盐化;(e)-脉状绢英岩化;(f)-团块状绢英岩化;(g)-青磐岩化;(h)-大理岩化;(i)-白钨矿-方铅矿-黄铜矿-黄铁矿化;(j)-黄铜矿-黄铁矿-方铅矿化

Fig. 5 Main wall-rock alteration of Daping gold deposit

是,必须以明确的地质背景和控矿因素、矿体(矿石)和围岩特征为基础。矿床地质本质上是一门观察性的科学,要获得确切合理的成因模式,首先必须仔细描述所有观察到的地质现象,并且搞清楚其成矿地质涵义。为此,要去除风化因素(可以改变矿物、结构和成分)、变形因素(可以改变结构)、变质作用(可以改变结构和矿物学)和热液蚀变的影响(可以改变结构,矿物组成和化学成分),进而推断初始岩(矿)石类型、矿物组合、结构、原岩和沉淀成矿环境,厘定矿石和围岩的时间关系。尤其需要注意的是,成矿作用往往非常复杂,各类矿床有很多特征,关键是确定标志性地质特征、厘定主导成矿机制和控矿因素。

已有研究揭示出大坪金矿床具有典型造山型金矿的基本特征(孙晓明等,2006a,b,2007a,b;熊德信等,2006a,b,2007a,b;葛良胜等,2007;Sun *et al.*, 2009):(1)受控于区域性深大断裂带及其次级断裂带;(2)产于区域变质岩中,成矿作用发生于造山作用过程中(可能与区域新生代大规模富碱岩浆活动同步,约 34Ma);(3)矿体就位于局部物理化学条件变化形成的流体圈闭环境;(4)成矿流体中 CO_2 含量高,富集重的氧同位素。因此,大坪金矿床被视为哀牢山造山带南段最典型的造山型金矿(Goldfarb *et al.*,2007)。

但是,如上所述,大坪金矿床的基本地质特征却明显不同于国外典型造山型金矿床,而呈现出与浅成低温热液型金矿床的一致性(表 1)。

(1)区域上,脉型金铜铅银矿床(如大坪金矿床)的产出与中酸性侵入岩及中基性火山岩密切相关,而基性-超基性岩和中碱性岩分别控制了与之相应的铜镍、金和铜钼矿床的分布。

(2)国外典型造山型金矿床的产出主要与洋壳俯冲的陆缘增生背景有关,金矿床形成于区域变质作用之后 20 ~ 200Ma 的构造-岩浆热事件中,与赋矿围岩基本属于同一时代(Goldfarb *et al.*,2001,2005)。而大坪金矿床则截然不同,其主期金成矿作用发生于主要赋矿围岩形成之后约 800Ma 的新生代构造-岩浆热事件中。

(3)国外典型造山型金矿床的形成主要与俯冲挤压构造背景有关,金矿床产出于压剪性构造带之内(Goldfarb *et al.*, 2001,2005;Robert and Poulsen,2001)。而大坪金矿床构造解析和矿脉产出特征均表明,成矿作用过程中,研究区构造动力体制发生了转换,主成矿期容矿断裂带显示为张剪性正断层性质,金矿床是区域尺度的伸展和转换拉伸应力体制的产物。显示出与浅成低温热液型金矿床的类似(Simmons and Christenson,1994; Simmons and Browne, 2000)。

(4)矿脉多(55 条)、薄(0.2 ~ 0.8m)、长(200 ~ 1500m)、陡(56° ~ 85°)、延深大(约 700m),且近平行成带产出;矿体中 Au 品位单样最高超过 300×10^{-6},平均品位超过 10×10^{-6};且 Pb、Cu、Ag 等伴生有益组分均可综合回收,远高于造山型金矿床的 Au 和贱金属含量(Goldfarb *et al.*,2005);而其 Au/Ag 值一般为 0.1 ~ 0.5,远远小于造山型金矿床(Groves *et al.*,1998)。

(4)黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、白钨矿、石英、水晶、铁白云石、绢云母、玉髓、冰长石和方解石等特征的金属矿物和非金属矿物含量及其共生组合,压碎、充填-交代和格子结构(尤其是板状方解石和其假晶),以及晶洞、梳状、层带、叶片状、角砾状和细脉-网脉状构造等指示成矿体系的温度较低、孔隙度大、流体可自由流动,是浅成矿脉中常见的特征(Heald *et al.*, 1987; John, 2001; Einaudi *et al.*, 2003; Sillitoe and Hedenquist,2003);尤其是玉髓的条带状构造、铁白云石的叶片状构造和晶洞中的冰长石往往指示成矿体系可能发生过周期性的流体沸腾作用(Hedenquist and Henley, 1985; Sibson, 1987; Simmons and Christenson, 1994; Wilkinson and Johnston,1996;Simmons and Browne,2000)。

表 1 大坪金矿床与造山型和浅成低温热液型金矿基本特征对比

Table 1 Comparison between the principal characteristics of orogenic, epithermal gold deposits and those of the Daping gold deposit

基本特征	大坪金矿床	浅成低温热液型金矿	造山型金矿
构造背景	哀牢山造山带南段金平推覆体西南部	碰撞带上盘陆缘/岛弧的岩浆弧和弧后岩浆带中偏张性构造环境	碰撞造山带、俯冲增生楔、陆内造山带
成矿时代	33.76 ± 0.65Ma(喜马拉雅期主金成矿作用为 33.76 ~ 36.10Ma)	中-新生代	从中太古代到第三纪,成矿峰期集中于晚太古代、古元古代和显生宙
产出部位	NW 向金子河断裂两侧,三家河断裂和小寨-金平断裂之间	深大断裂旁侧的次级断裂,古火山活动中心附近	区域性深大断裂带旁侧的二、三级断裂
岩浆岩	海西期桃家寨闪长岩,燕山期二长花岗岩和花岗岩	安山岩-流纹英安岩、双峰式流纹岩-玄武岩、钙碱性岩浆岩	从长英质到煌斑岩墙,或大陆边缘岩基
赋矿围岩	晚元古代桃家寨闪长岩体	一般为中-酸性火山机构,火山岩	铁镁质火山岩或侵入岩或浊积岩序列
蚀变特征	硅化、硫化、绢云母化、青磐岩化和碳酸盐化	硅化、高级泥化、中级泥化、青磐岩化、绢云母化	绢云母化、碳酸盐化、硅化、硫化
矿化样式	细脉浸染状石英脉型、脉状、网脉状、角砾状和浸染状	脉状、网脉状、浸染状、交代状、角砾岩型	细脉浸染状石英脉型、脉状、浸染型、交代型
矿体形态	薄脉状,相距不远,平行展布或呈尖灭再现/侧现雁行状	角砾脉状、网脉状	脉状、透镜状和其他不规则状
矿体规模	厚 0.2 ~ 0.8m,一般长 200 ~ 1500m,最长 4800m	大量平行薄脉	厚 1 ~ 100m,一般长几百米
矿石类型	金属硫化物-石英脉型、破碎带蚀变岩型及角砾岩型	脉状、网脉状、浸染型、交代型、角砾岩型	金属硫化物-石英脉型、蚀变岩型、交代型等
金属矿物	黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、白钨矿、闪锌矿、砷黝铜矿等	自然金、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、(砷)黝铜矿、辉锑矿、雌黄、雄黄、辰砂、银金矿等	自然金、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、毒砂、斜方砷铁矿、白钨矿、黑钨矿和少量的辉钼矿、辉铋矿、自然铋、黑铋金矿、铋华、碲铋矿、黄碲矿、辉锑铋矿、方铅矿等
载金矿物	黄铁矿和方铅矿为主	黄铁矿、黄铜矿等典型硫化物为主	毒砂、黄铁矿、斜方砷铁矿、磁黄铁矿、辉锑矿等典型硫化物为主
元素组合	Au + Ag + Cu + Pb	Au + Ag ± As ± Sb ± Se ± Hg ± Pb ± Zn ± Cu ± Bi ± Te ± Ba ± Mn ± Sn	Au + Ag ± As ± B ± Bi ± Te ± W
非金属矿物	石英、铁白云石、冰长石、重晶石等	石英、方解石及少量的萤石、重晶石、绿泥石、白云石等	石英、长石、云母、碳酸盐岩矿物等
成矿流体	主要为 $CO_2 + H_2O$ 变质流体	低盐度 $H_2O + CO_2 + H_2S \pm CH_4$ 体系	低盐度 $H_2O + CO_2 \pm CH_4 \pm N_2$ 体系
成矿温度	300 ~ 400℃	100 ~ 320℃	220 ~ 600℃
成矿深度	5.1 ~ 12.9km	通常 < 1.5km	变化范围大,由浅表到 > 25km 均有产出
探明储量	约 70t	规模巨大,往往 > 100t	储量较低,一般几十 ~ 几百吨
平均品位	14.30×10^{-6}	品位极高,一般 $> 10 \times 10^{-6}$	品位较高,一般 $1 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$

(5)脉状、网脉状、角砾状和浸染状等矿化样式特征,以及由矿脉到远端围岩,金属硫化物石英脉→冰长石化 + 硅化(石英、水晶和玉髓)和富铁绿泥石化→绢云母化→绿泥石-绿帘石-绢云母化带→碳酸盐化→青磐岩化的特征蚀变类型及其分带特征与许多浅成低温热液型金矿床类似(White and Hedenquist,1990;Simmons *et al.*,2005)。

基于上述,根据现代成矿学研究成果,大坪金矿床有 3 种可供选择的成因模式:(1)浅成低温热液型;(2)深部斑岩型 + 浅部低温热液型组合;(3)深部造山型 + 浅部低温热液型组合。然而,众所周知,浅成低温热液型和斑岩型矿床往往产出于碰撞带上盘陆缘/岛弧的岩浆弧和弧后岩浆带中偏张性构造环境的陆相钙碱性火山岩带,矿床的形成取决于深部存在提供成矿热源和成矿组分的侵入体;而且浅成低温热液型产于古火山活动中心附近(如 Sillitoe and Hedenquist,2003;Simmons *et al.*,2005)。而大坪金矿床范围内迄今未发现与成矿作用同期的陆相钙碱性火山岩带,更未见火山机构。因此,这 2 种选择存在明显的缺陷。那么,将大坪金矿床的成因类型归为深部造山型 + 浅部低温热液型组合似乎

成为较为合理的选择,这也很好地解释了为什么大坪金矿床兼具造山型金矿和浅成低温热液型金矿床的基本特征。

大坪金矿床这种特殊的地质特征可能与其复杂的区域构造背景及成矿演化过程密切相关。与 Golden Mile 等金矿床类似(Gosselin and Dube,2005;Weinberg and van der Borgh, 2008),在成矿作用晚期,研究区处于造山后伸展构造环境,张性正断破矿断裂构造发育,先期形成的金矿体被抬升至近地表,接受深循环大气水的叠加改造,发生浅成低温热液型金铜铅银成矿作用,从而使它总体呈现出浅成低温热液型金矿床的基本面貌,即大坪金矿床属于深部造山型 + 浅部低温热液型矿床套叠组合。

4.2 找矿指示意义

通常情况下,浅成低温热液区域覆盖的范围从几到几十平方千米;矿体横向伸展最大尺度达千米,占据的脉宽可能不超过 1 米到几米;垂向上,矿化主要发生≤1km 的范围内(Hedenquist and Henley, 1985)。而造山型金矿床空间产出的最主要的特征之一就是其垂向上的延伸往往大于其水平面上的延长(Groves *et al.*,1998;Goldfarb *et al.*,2005)。

到目前为止,大坪金矿床已发现的 55 条矿脉均被约束在长约 15km,宽约 3.5 ~ 5km 的区域内。矿体控制斜深一般约 300m,最大控制斜深 655m,且矿体向深部未圈闭,表明其仍有较大延深。

此外,大坪金矿床的表层保存了成矿晚期形成的热泉沉淀物:蛋白石,而且近地表存在盖帽状氧化矿带。其中,老金山矿段 V1 和 V1-2 矿体的规模已达小型,其矿石氧化强烈,全为氧化矿,矿石呈黄褐色,松散,呈砂土状、碎块状,金属矿物为褐铁矿,尚有磁铁矿,非金属矿物为石英、辉绿岩等。这些氧化物(如磁铁矿、白钨矿、褐铁矿)的大量出现,可能表明当时成矿体系处于相当开放的氧化环境,这与许多浅成低温热液型金矿床及现代地热系统极为相似(Simmons *et al.*, 2005),可能暗示大坪金矿床形成后所遭受的剥蚀极其微弱,基本保存了成矿时的状态,即成矿体系保存完整。

迄今为止,大坪金矿床的采矿工程均局限于地表往下 200 ~ 300m 范围内,其探矿工程也往往局限于 500 ~ 600m 范围内,最深钻孔(32ZK1)控制的最大斜深也仅 655m。可见,大坪金矿床现在勘探发现的均为其浅部——浅成低温热液型金铜铅银矿,金矿床深部——造山型金矿具有巨大的找矿潜力。

5 结论

大坪金矿床被视为哀牢山造山带南段最典型的造山型金矿,但其诸多地质特征明显不同于国外典型造山型金矿床,而呈现出与浅成低温热液型金矿床的一致性。这种特殊的矿床地质特征可能与其复杂的区域构造背景与成矿演化过程密切相关,不能被现有的成矿理论和成矿模式所涵盖。区域、矿区和矿床地质的系统研究表明,大坪金矿床属于深部造山型 + 浅部低温热液型金铜铅银矿床组合。

论文初步厘定了大坪金矿床的成因类型,但其成矿作用过程与动力学机制,以及这种特殊矿床组合的区域分布规律性和局部差异性仍有待于深入研究;尤其亟需加强对成矿体系时空结构的精细刻画、获取更多具有说服力的高精度地质-地球化学证据。

致谢 论文的完成得益于与 Richard Goldfarb 研究员和王建平副教授及张静副教授的探讨;野外工作得到云南省地质调查局李文昌高级工程师、云南黄金股份有限公司和中华高级工程师、云南华西黄金有限公司谭康华高级工程师、大坪金矿段展高级工程师,张宏党、杨家虎、窦世荣、詹晓勇、杨应强和朱高宝工程师等工作人员的大力支持和帮助;研究生邱昆峰和刘文龙等参与了部分研究工作;谨此致谢。

References

Bi XW, Hu RZ and He MY. 1996. An approach to the metallogenic era and the metallogenic mechanism of Aialaoshan gold belt. Geology-Geochemistry, 24(1): 94 – 97 (in Chinese with English abstract)

Bi XW, Hu RZ and He MY. 1997. Characteristics of ore-forming fluid of three gold deposits in Aialaoshan gold metallogenic belt. Acta Mineralogica Sinica, 17(4): 435 – 441 (in Chinese with English abstract).

Bi XW and Hu RZ. 1999. Mineralizer source and its constrains on gold mineralization of the Daping gold deposit, Yunnan. Acta Mineralogica Sinica, 19(1): 28 – 33 (in Chinese with English abstract)

Deng J, Wang QF, Yang SJ, Liu XF, Zhang QZ, Yang LQ and Yang YH. 2010. Genetic relationship between the Emeishan plume and the bauxite deposits in western Guangxi, China: Constraints from U-Pb and Lu-Hf isotopes of the detrital zircons in bauxite ores. Journal of Asian Earth Sciences, 37(5 – 6): 412 – 424

Deng J, Hou ZQ, Mo XX, Yang LQ, Wang QF and Wang CM. 2010a. Superimposed orogenesis and metallogenesis in Sanjiang Tethys. Mineral Deposits, 29(1): 37 – 42 (in Chinese with English abstract)

Deng J, Yang LQ, Ge LS, Yuan SS, Wang QF, Zhang J, Gong QJ and Wang CM. 2010b. Character and post-ore changes, modifications and preservation of Cenozoic alkali-rich porphyry gold metallogenic system in western Yunnan, China. Acta Petrologica Sinica, 26(6): 1633 – 1645 (in Chinese with English abstract)

Einaudi MT, Hedenquist JW and Inan E. 2003. Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal system: Transitions from porphyry to epithermal environments. Society of Economic Geologists Special Publication, 10: 285 – 314

Ge LS, Deng J, Li HG, Yang LQ, Zhang WZ, Yuan SS and Xing JB. 2007. Superposed mineralization in Daping Au-Cu-Ag-Pb deposit, Yunnan Province: Evidences from geology, fluid inclusions and stable isotopes. Acta Petrolgica Sinica, 23(9): 2131 – 2143 (in Chinese with English abstract)

Goldfarb RJ, Groves DI and Gradoli S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis. Ore Geology Reviews, 18(1 – 2): 1 – 75

Goldfarb RJ, Baker T, Dube B and Groves DI. 2005. Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. Economic Geology 100th Anniversity Volume, 407 – 450

Goldfarb RJ, Hart C, Davis G and Groves D. 2007. East Asian gold: Deciphering the anomaly of Phanerozoic gold in Precambrian cratons.

Economic Geology, 102(3): 341 – 345
Gosselin P and Dube B. 2005. Gold deposits of the world: Distribution, geological paremeters and gold content. Geological Survey of Canada Open File 4895, 271 (CD-ROM)
Groves DJ, Goldfarb RJ, GebreMariam M, Hagemann SG and Robert F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the content of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. Ore Geology Reviews, 13: 7 – 27
Han RS and Jin SC. 1994. Genesis and criteria for ore prospecting in the Yuanyang gold deposit, Yunnan Province. Geological Exploration and Non-ferrous Metals, 3(4): 218 – 222 (in Chinese with English abstract)
Han RS, Jin SC and Lei L. 1997. Geochemistry of ore-forming hydrothermal system of Daping reworked gold deposit, Yuanyang, Yunnan. Acta Mineralogica Sinica, 17(3): 337 – 344 (in Chinese with English abstract)
Heald P, Hayba DO and Foley NK. 1987. Comparative anatomy of volcanic-hostes epithermal deposits: Acid-sulate and adularia-sericite types. Economic Geology, 82: 1 – 26
Hedenquist JW and Henley RW. 1985. Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal system, New Zealand: Their orign, associated breccias and relation to precious metal mineralization. Economic Geology, 80: 1640 – 1668
Hu RZ, Bi XW, He YM, Liu BG, Turner G and Burnard PG. 1998. Mineralizer constraint on gold mineralization of Ailaoshan gold belt. Science in China (Series D), 28 (Suppl.): 24 – 30
Hu RZ and Bi XW. 1999. He and Ar isotope geochemistry of ore-forming fluid in Ailaoshan gold metallogenic belt. Science in China (Series D), 29(4): 321 – 330 (in Chinese)
Hu YZ, Tang SC, Wang HP, Yang YQ and Deng J. 1995. Geology of the Ailaoshan Gold Ore Belt. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 278 (in Chinese)
John DA. 2001. Miocene and Early Pliocene epithermal gold-silver deposits of the northern great basin, Western United States: Characteristics, distribution and relation to magmatism. Economic Geology, 96(8): 1827 – 1853
Li DM, Cao ZM, Qin GJ, He SX, Li BH, Wen CQ and Xu ZM. 1998. The Gold Ore Deposits in Ailaoshan Ophiolitic Melange Belt. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 137 (in Chinese)
Li DM and Li BH. 2000. The mineralization of the gold deposits in the Ailao Mountains, Yunnan. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 20(1): 60 – 77(in Chinese)
Qi XX, Wang XH, Zhu LH, Hu ZC and Li ZQ. 2010. Validation on age of Neoproterozoic intrusions from northeastern margin of Indochina block, western Yunnan and its tectonic implication: Evidence from zircon LA-ICP-M S U-Pb dating and geochemistry. Acta Petrologica Sinica, 26(7): 2141 – 2154 (in Chinese with English abstract)
Robert F and Poulsen KH. 2001. Vein formation and deformation in greenstone gold deposits. Reviews in Society Economic Geologists, 14: 111 – 155
Sibson RH. 1987. Earthquake rupturing as a mineralizing agent in hydrothermal systems. Geology, 15(8): 701 – 704
Sillitoe RH and Hedenquist JW. 2003. Linkages between volcano tectonic settings, ore fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. Society of Economic Geology Special Publication, 10: 315 – 343
Simmons SF and Christenson BW. 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system. American Journal of Science, 294: 361 – 400
Simmons SF and Browne PRL. 2000. Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands-Ohaaki geothermal system: Implications for understanding low-sulfidation epithermal environments. Economic Geology, 95: 971 – 999
Simmons SF, White NC and John DA. 2005. Geological characteristics of epitlhermal precious and base metal deposits. Economic Geology 100th Anniversity Volume, 485 – 522
Song HB, Qi B and Han RS. 1990. The forced mechanism analysis of ore-controlling faults of Daping gold ore deposit, Yunnan. Mineral Resources and Geology, 4(4): 21 – 26 (in Chinese with English abstract)
Sun XM, Xiong DX, Wang SW, Shi GY and Zhai W. 2006a. Noble gases isotopic composition of fluid inclusions in scheelites collected from Daping gold mine, Yunnan Province, China, and its application for ore genesis. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 725 – 732 (in Chinese with English abstract)
Sun XM, Xiong DX, Wang SW, Shi GY and Zhai W. 2006b. Crust-mantle interaction in the Ailaoshan gold belt and its contribution to gold mineralization: A case study of Daping gold mine in Yunnan Province, China. In: Geology and Geochemistry Research-Wang Dezi Academy is Committed to Celebrating the Sixtieth Anniversary of Geological Sciences and the 80th Birthday. Nanjing: Nanjing University Press, 269 – 279 (in Chinese with English abstract)
Sun XM, Shi GY, Xiong DX, Wang SW, Zhai W, Qu WJ and Du AD. 2007a. Platinum group elements geochemistry and Re-Os isotopic compositions of Daping gold deposit in Ailaoshan gold belt, Yunnan Province, China and their metallogenic implications. Acta Geologica Sinica, 81(3): 394 – 404 (in Chinese with English abstract)
Sun XM, Xiong DX, Shi GY, Wang SW and Zhai W. 2007b. ^{39}Ar-^{40}Ar dating of Daping ductile shear zone hosted gold deposit, Yunnan Province, China. Acta Geologica Sinica, 81(1): 88 – 92 (in Chinese with English abstract)
Sun XM, Zhang Y, Xiong DX, Sun WD, Shi GY, Zhai W and Wang SW. 2009. Crust and mantle contributions to gold-forming process at the Daping deposit, Ailaoshan gold belt, Yunnan, China. Ore Geology Reviews, 36 (1 – 3): 235 – 249
Weinberg RF and van der Borgh P. 2008. Extension and gold mineralization in the Archean Kalgoorile terrane, Yilgarn Carton. Precambrian Research, 161: 77 – 88
White NC and Hedenquist John DA. 1990. G Epithermal environments and styles of mineralization: Variations and their causes, and guidelines for exploration. Journal of Geochemical Exploration, 36: 445 – 474
Wilkinson JJ and Johnston JD. 1996. Pressure fluctuations, phase separation and gold precipitation during seismic fracture propagation. Geology, 24: 395 – 398
Xiong DX, Sun XM, Shi GY, Wang SW, Gao JF and Xue T. 2006a. Trace elements, rare earth elements (REE) and Nd-Sr isotopic compositions in scheelites and their implications for the mineralization in Daping gold mine in Yunnan Province, China. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 733 – 741(in Chinese with English abstract)
Xiong DX, Sun XM, Zhai W, Shi GY and Wang SW. 2006b. Graphite inclusions with high crystallinity in the auriferous quartz veins from Daping gold deposit in Yunnan Province, China: Evidence for involvement of metamorphic fluid from granulite-facies lower crust in the mineralization. Acta Geologica Sinica, 80(9): 1448 – 1456 (in Chinese with English abstract)
Xiong DX, Sun XM, Zhai W, Shi GY and Wang SW. 2007a. CO_2-rich fluid inclusions in auriferous quartz veins from the Daping ductile shear zone hosted gold deposit in Yunnan Province, China, and its implications for gold mineralization. Acta Geologica Sinica, 81(4): 640 – 653 (in Chinese with English abstract)
Xiong DX, Sun XM and Shi GY. 2007b. Geochemistry and Metallogenic Model of Ailaoshan Cenozoic Orogenic Gold Belt in Yunnan Province, China. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 144 (in Chinese with English abstract)
Xu YF. 1989. Geological features of quartz vein type gold deposits in Yuanyang Daping. Yunnan Geology, 8(2): 171 – 177 (in Chinese with English abstract)
Yang LQ, Liu JT, Zhang C, Wang QF, Ge LS, Wang ZL, Zhang J and Gong QJ. 2010. Superimposed orogenesis and metallogenesis: An example from the orogenic gold deposits in Ailaoshan gold belt, Southwest China. Acta Petrologica Sinica, 26(6): 1723 – 1739 (in Chinese with English abstract).
Yang LQ, Deng J, Zhao K and Liu JT. 2011. Tectono-thermochronology and gold mineralization events of orogenic gold deposits in Ailaoshan orogenic belt, Southwest China: Geochronological constraints. Acta

Petrologica Sinica, 27(9):2519 – 2532 (in Chinese with English abstract)

Ying HL. 1998. The geochemistry characteristics of wallrock alteration and isotopes of the Daping gold deposit. Gold Science and Technology, 6(4): 14 – 23(in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

毕献武, 胡瑞忠, 何明友. 1996. 哀牢山金矿带的成矿时代及其成矿机制探讨. 地质地球化学, 24(1): 94 – 97

毕献武, 胡瑞忠, 何明友. 1997. 哀牢山金矿带主要金矿床成矿流体特征. 矿物学报, 17(4): 435 – 441

毕献武, 胡瑞忠. 1999. 云南大坪金矿床矿化剂来源及其对金成矿的制约. 矿物学报, 19(1): 28 – 33

邓军, 侯增谦, 莫宣学, 杨立强, 王庆飞, 王长明. 2010a. 三江特提斯复合造山与成矿作用. 矿床地质, 29(1):37 – 42

邓军, 杨立强, 葛良胜, 袁士松, 王庆飞, 张静, 龚庆杰, 王长明. 2010b. 滇西富碱斑岩型金成矿系统:基本特征及其变化与保存. 岩石学报, 26(6): 1633 – 1645

葛良胜, 邓军, 李汉光, 杨立强, 张文钊, 袁士松, 邢俊兵. 2007. 云南大坪大型金多金属矿床叠加成矿作用:地质、流体包裹体和稳定同位素证据. 岩石学报, 23(9): 2131 – 2143

韩润生, 金世昌. 1994. 云南元阳金矿床成因及找矿标志. 有色金属矿产与勘查, 3(4): 218 – 222

韩润生, 金世昌, 雷丽. 1997. 云南元阳大坪改造型金矿床的成矿热液系统地球化学. 矿物学报, 17(3): 337 – 344

胡瑞忠, 毕献武, 何明友, 刘秉光, Turner G, Burnard PG. 1998. 哀牢山金矿带矿化剂对金成矿的制约. 中国科学(D 辑), 28(增): 24 – 30

胡瑞忠, 毕献武. 1999. 哀牢山成矿带成矿流体的 He 和 Ar 同位素地球化学. 中国科学(D 辑), 29(4): 321 – 330

胡云中, 唐尚鹑, 王海平, 杨岳清, 邓坚. 1995. 哀牢山金矿地质. 北京:地质出版社, 1 – 278

李定谋, 曹志敏, 覃功炯, 何叔欣, 李保华, 温春齐, 徐则民. 1998. 哀牢山蛇绿混杂岩带金矿床. 北京:地质出版社, 1 – 137

李定谋, 李保华. 2000. 云南哀牢山金矿床的成矿条件. 沉积与特提斯地质, 20(1): 60 – 77

戚学祥, 王秀华, 朱路华, 胡兆初, 李志群. 2010. 滇西印支地块东北缘新元古代侵入岩形成时代的厘定及其构造意义:锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及地球化学证据. 岩石学报, 26(7): 2141 – 2154

宋焕斌, 祁斌, 韩润生. 1990. 云南大坪金矿床控矿断裂受力机制分析. 矿产与地质, 4(4):21 – 26

孙晓明, 熊德信, 石贵勇, 王生伟, 翟伟. 2006a. 云南大坪金矿白钨矿惰性气体同位素组成特征及其成矿意义. 岩石学报, 22(3): 725 – 732

孙晓明, 熊德信, 王生伟, 石贵勇, 翟伟. 2006b. 壳幔相互作用及其对哀牢山金矿带金成矿的贡献: 以云南大坪金矿为例. 见:地质地球化学研究进展-庆贺王德滋院士致力于地质科学六十周年暨 80 华诞. 南京: 南京大学出版社, 269 – 279

孙晓明, 石贵勇, 熊德信, 王生伟, 翟伟, 屈文俊, 杜安道. 2007a. 云南哀牢山金矿带大坪金矿铂族元素(PGE)和 Re-Os 同位素地球化学及其矿床成因意义. 地质学报, 81(3): 394 – 404

孙晓明, 熊德信, 石贵勇, 王生伟, 翟伟. 2007b. 云南哀牢山金矿带大坪剪切带型金矿成矿$^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年. 地质学报, 81(1): 88 – 92

熊德信, 孙晓明, 石贵勇, 王生伟, 高剑锋, 薛婷. 2006a. 云南大坪金矿白钨矿微量元素、稀土元素和 Sr-Nd 同位素组成特征及其意义. 岩石学报, 22(3): 733 – 741

熊德信, 孙晓明, 翟伟, 石贵勇, 王生伟. 2006b. 云南大坪金矿含金石英脉中高结晶度石墨包裹体: 下地壳麻粒岩相变质流体参与成矿的证据. 地质学报, 80(9): 1448 – 1456

熊德信, 孙晓明, 翟伟, 石贵勇, 王生伟. 2007a. 云南大坪韧性剪切带型金矿富 CO_2 流体包裹体及其成矿意义. 地质学报, 81(4): 640 – 653

熊德信, 孙晓明, 石贵勇. 2007b. 云南哀牢山喜马拉雅期造山型金矿带矿床地球化学及成矿模式. 北京: 地质出版社, 1 – 144

徐研非. 1989. 元阳大坪石英脉型金矿床地质特征. 云南地质, 8(2): 171 – 177

杨立强, 刘江涛, 张闯, 王庆飞, 葛良胜, 王中亮, 张静, 龚庆杰. 2010. 哀牢山造山型金成矿系统:复合造山构造演化与成矿作用初探. 岩石学报, 26(6):1723 – 1739

杨立强,邓军,赵凯,刘江涛. 2011. 哀牢山造山型金矿的成矿时序及其动力学背景探讨. 岩石学报, 27(9):2519 – 2532

应汉龙. 1998. 云南大坪金矿床围岩蚀变和同位素地球化学特征. 黄金科学技术, 6(4): 14 – 23