

陈耀煌, 姚书振, 赵疆, 等. 大坪金矿构造矿体空间分布特征与构造控矿规律[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1539-1553.

Chen Yaohuang, Yao Shuzhen, Zhao Jiang, et al. Spatial distribution of faults and structural ore-control regularity in the Daping gold deposit, Yunan Province[J]. *Geology in China*, 2014, 41(5): 1539-1553(in Chinese with English abstract).

大坪金矿构造矿体空间分布特征与构造控矿规律

陈耀煌¹ 姚书振¹ 赵疆¹ 李守业² 陈景河³ 张惠丽³ 曾国平¹

(1. 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 元阳县华西黄金有限公司, 云南 元阳 662406;
3. 福建省紫金矿业集团股份有限公司, 福建 上杭 364200)

摘要:大坪金矿是哀牢山造山型金矿的典型代表。矿床明显受到了红河—哀牢山断裂、小新街断裂以及小新街断裂的次级断裂的控制。研究断裂构造与矿体的空间分布特征以及新生代(58 Ma)以来研究区内发生的多次构造动力机制的转变对成矿的影响具有重要的理论价值和找矿意义。新生代以来, 印度板块与欧亚板块发生汇聚碰撞, 形成 NW 向的三级断裂构造系统; 汇聚过程中, 印度板块发生四次旋转方向的转变引发区内构造动力机制的四次转换, 构造动力机制的转换与哀牢山造山带的大规模成矿作用具有重要关系, 成矿物质主要来源于下地壳或上地幔, 受壳—幔相互作用影响。红河—哀牢山断裂控制了区内造山型金矿的分布, 小新街断裂是大坪金矿的导矿构造, 次级断裂带构成了大坪金矿的容矿构造, 断裂带中构造应力引张部位为金矿的矿化富集带。研究成果为大坪金矿成矿机制研究和深部找矿预测提供了重要的依据, 对区内其他造山型金矿的研究也具有重要的参考意义。

关键词:构造演化; 构造控矿; 成矿规律; 哀牢山金矿

中图分类号: P612; P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)05-1539-15

哀牢山金矿成矿带是中国重要的区域构造成矿带^[1, 2], 大坪金矿是哀牢山成矿带内造山型金矿的典型代表。近 20 年来, 众多专家学者对该矿床的地质地球化学特征、成因等进行了研究, 对矿床的控矿构造也提出了一些认识, 为进一步开展研究工作奠定了坚实的基础^[3-9]。矿区出露的地层主要为泥盆系灰岩、板岩, 志留系白云岩, 以及奥陶系石英砂岩。岩浆岩主要为华力西期闪长岩(δ_4^3), 还有大量燕山期岩脉、岩墙等零星分布在闪长岩体中, 如辉绿岩、黑云二长花岗岩、英云闪长岩、黑云石英二长岩(图 1)。

矿床明显受构造控制, 矿体主要赋存于小新街断裂的次级断裂中, 蚀变大多对称分布在矿脉两侧, 有硅化、钠长石化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、大理岩化等。但由于矿区范围大, 矿脉分布多, 矿体埋藏深, 地表植被覆盖严重, 矿区交通条件较为落后, 尤其是区域上经历过多次构造动力体制转换和叠加复合的金矿成矿作用, 以及金矿床复杂多变的矿化富集机制^[4, 10], 前人对大坪金矿的控矿构造体系、控矿构造应力机制, 以及新生代以来红河断裂的多期左行走滑与右行走滑的构造变换, 对区域构造动力机制的转换和矿区多级次断裂

收稿日期: 2013-09-04 ; 改回日期: 2014-04-21

基金项目: 中国地质调查局项目(12120113094200)资助。

作者简介: 陈耀煌, 男, 1985 年生, 博士生, 主要从事成矿规律与成矿预测的研究; E-mail: chenyaohuang888@gmail.com。

通讯作者: 姚书振, 男, 1947 年生, 教授, 博士生导师, 从事矿床学及矿田构造学的研究; E-mail: szyao@cug.edu.cn。

带的影响等研究较浅薄。

本文在研究前人资料的基础上,发现大坪金矿的断裂带与矿体具有一定的分布规律,矿体的分布与矿区三级断裂带之间存在密切联系,因而研究新生代红河断裂构造演化对区域构造应力转换的影响,查明断裂带与矿体的空间分布规律以及它们之间的相互关系,对矿床研究具有重要的理论价值与找矿意义。

1 断裂构造分布规律

大坪金矿主要受三个级别的断裂构造控制,第一级为哀牢山—红河超岩石圈深大断裂构造;第二级为小新街断裂;第三级为小新街断裂两侧呈羽状、雁列状分布的次级断裂构造。

(1)红河—哀牢山断裂,在中国境内呈北西向延伸1000 km以上,由哀牢山、点苍山和雪龙山三个变质地体及其间的脆性断层组成。构造带北西段走向 $310^{\circ}\sim 325^{\circ}$,南东段走向 $285^{\circ}\sim 300^{\circ}$,倾向NE,倾角 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。它是东南亚最重要的构造带之一,为印支与扬子地块的界线^[12,13]。哀牢山变质带位于北西向的红河深大断裂与阿墨江深大断裂之间,北起弥渡,向南延伸进入越南,呈扫帚状展布,其东为扬子地块,西为中甸地块,包括红河深大断裂、哀牢山深大断裂、九甲—安定深大断裂和阿墨江深大断裂4条大型走滑断裂(图1)。哀牢山深大断裂将该带一分为二:即东边出露地层为元古宙哀牢山群,西边为显生宙浅变质岩带。

(2)小新街断裂(F2),呈NNW向展布,出露长度约12.3 km,发育在华力西期闪长岩中,走向 $330^{\circ}\sim 340^{\circ}$,断层倾向NE,倾角 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$,沿断裂带可见宽约500 m的糜棱岩带。

(3)小寨—金平断裂(F1),呈NNW向贯穿矿区,长约15.8 km,断裂由宽1 km的糜棱岩化带和劈理化带组成,断裂走向 $315^{\circ}\sim 350^{\circ}$,倾向NE。该断裂是华力西期闪长岩与泥盆系的分界线,控制了矿床的东部边界。

(4)三家河断裂(F3),出现在矿区西南部,出露长约7 km,走向主要为NNW向,局部地区NW向,中间被明子坡断裂右行错移,断裂倾向NE,倾角约为 60° ,其南西盘为下奥陶统海东组和向阳组碎屑岩,北东盘为华力西期闪长岩,沿断裂发育宽50~

600 m不等的韧性剪切带。

(5)小新街断裂的次级断裂,分布于小新街断裂两侧,呈羽状、雁列状近平行分布,赋存于小寨—金平断裂与三家河断裂之间的华力西期闪长岩体中。断裂呈平行脉状分布,走向NNW—NW,倾向SW。东部断裂带总体走向 $300^{\circ}\sim 310^{\circ}$,倾向SW,倾角 $67^{\circ}\sim 80^{\circ}$;西部断裂带总体走向 $320^{\circ}\sim 330^{\circ}$,倾向SW,倾角较陡,为 $56^{\circ}\sim 85^{\circ}$,局部近于直立。

研究区内三级控矿构造走向均为NW—SE方向,大型构造带如哀牢山—红河深大断裂,小新街断裂,小寨—金平断裂与三家河断裂倾向北东方向,与新生代印度—亚欧板块持续汇聚过程对区域上构造演化产生的影响有关,形成大规模逆冲推覆构造^[14]。小新街断裂的次级断裂则主要倾向南西方向,与矿区构造应力场有关。

2 矿体分布规律

大坪金矿目前揭露的矿脉共有50多条,主要分布在小新街断裂两侧,成群产出,包括东矿段与西矿段2个矿区(图1,表1)。

(1) 东矿段

东矿段位于小新街断裂带东侧,构造上处于小新街断裂上盘,整个矿化带长约15 km,宽1.6~3.0 km,呈NW—SE向沿小新街断裂展布,根据空间产出位置可分为北部毛木树与南部玛沙迷2个脉群。矿脉走向 $300^{\circ}\sim 315^{\circ}$,与小街断裂有 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 夹角,倾向SW,呈陡倾斜薄脉状,倾角为 $67^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。矿脉长700~4000 m不等,最大控制延深达660 m,厚度为0.05~2 m,以0.2~0.3 m居多,矿体平均厚度0.23 m。呈脉状、薄板状、席状,具尖灭再现特征。

(2) 西矿段

西矿段位于小新街断裂下盘,矿脉群控制长约16 km,宽2~3.5 km,矿体形态较规则,主要呈脉状、岩墙状、薄板状,矿体长度一般600~5000 m,厚0.04~1.72 m,主要厚度分布在0.2~0.3 m,目前工程控制最大为延深约600 m。矿体在空间中有明显分布规律,矿体总体走向 $320^{\circ}\sim 325^{\circ}$,与小新街断裂夹角较小,部分矿脉与小新街断裂平行产出,倾向SW,倾角较陡($56^{\circ}\sim 85^{\circ}$),局部甚至反转,倾向SE。

大坪金矿断裂带与主要矿体形态与分布特征如表1所示。

表 1 大坪金矿断裂带、矿体形态和分布特征

Table 1 Characteristics and distribution of fault belts and gold veins in the Daping gold deposit, Yunnan

类别	级次	名称	形态与分布特征	总体特征
断裂构造	一级	哀牢山—红河断裂	长大于 1000 km, 走向 NW—NWW, 倾向 NE, 倾角 30° ~ 70°	超岩石圈走滑断层, 在哀牢山金矿带走向 NW 向, 倾向 NE, 先左行走滑后右行正断 ^[12]
	二级	小寨—金平断裂 (F1)	出露长约 15.8 km, 宽约 1 km, 走向 NW—NNW, 倾向 NE	
	三级	小新街断裂 (F2) 三家河断裂 (F3)	出露长约 12.3 km, 走向 NNW, 倾向 NE, 倾角 60° ~ 75° 出露长约 7 km, 走向 NNW, 倾向 NE, 倾角约 60°	总体走向 NNW 向, 倾向 NE, 倾角陡, 为逆冲走滑断层, 受多期构造运动改造
断裂构造	三级	雁行列状次级断裂	夹持于 F1 与 F3 之间, 分布在 F2 两侧, 走向 NW—NWW 向, 倾向 SW, 倾角 60° ~ 85°	总体走向 NW—NWW 向, 倾向 SW, 呈陡倾斜状, 群状分布的压扭性断裂带
矿体	东矿段	V1-2-3	控制矿体长约 4000 m, 斜深约 660 m, 平均厚度 0.35 m, 矿体走向 NW 向, 倾向 SW, 倾角 52° ~ 80°, 呈尖灭再现状	
		V5	控制矿体长约 2000 m, 斜深约 600 m, 平均厚度 0.23 m, 矿体走向 NW 向, 倾向 SW, 倾角 70° ~ 83°	
		V5-2	控制矿体长约 800 m, 斜深约 500 m, 平均厚度 0.13 m, 矿体走向 NW, 倾向 SW, 倾角 50° ~ 88°	总体走向 NW—NNW 向, 倾向 SW, 矿体呈陡倾斜状, 平均倾角 72°, 倾角较陡, 局部倾向反转为倾向 NE, 受压扭性断裂控制, 呈脉状、薄板状, 具尖灭再现实特征
		V24、V28、V57	为三条平行脉, 控制矿体长约 800 m, 斜深约 500 m, 平均厚度 0.50 m, 矿体走向 NWW 向, 倾向 SW, 倾角 56° ~ 88°, 呈蛇曲状延伸	
		V27	控制矿体长约 700 m, 斜深约 400 m, 平均厚度 0.41 m, 矿体走向 NW 向, 倾向 SW, 倾角 64° ~ 89°	
	西矿段	V23	控制矿体长约 2300 m, 斜深约 300 m, 平均厚度 0.44 m, 矿体走向 NWW 向, 倾向 SW, 倾角 64° ~ 85°	
		V8-9-14	控制矿体长约 5000 m, 斜深约 600 m, 平均厚度 0.39 m, 矿体走向 NNW 向, 倾向 SW, 倾角 62° ~ 88°	
		V6	控制矿体长约 600 m, 斜深约 300 m, 平均厚度 0.26 m, 矿体走向近 EW 向, 倾向 S, 呈缓倾斜状, 倾角 20° ~ 55°	总体走向 NNW 向, 倾向 SW, 倾角较陡, 大多在 70° ~ 80°, 矿体呈脉状、薄板状, 具尖灭再现实、侧现等特征。但 V6 与 V12 号矿脉走向近 EW 向, 倾向 S, 倾角中等—缓 (29° ~ 44°), 受压扭性断裂控制
		V12	控制矿体长约 700 m, 斜深约 350 m, 平均厚度 0.22 m, 矿体走向近 EW 向, 倾向 S, 倾角 28° ~ 63°	
		V16	控制矿体长约 4600 m, 斜深约 450 m, 平均厚度 0.52 m, 矿体走向 NWW 向, 倾向 SW, 倾角 60° ~ 86°	
		V10	控制矿体长约 3800 m, 斜深约 500 m, 矿体走向 NNW, 倾向 SW	

3 构造控矿规律

三级断裂构造直接控制了矿床的空间分布,矿体的赋存状态与矿化富集规律。通过对不同方向断裂结构面力学性质的鉴定,划分构造期次,结合区内构造演化历史,可知自始新世以来,区内经历了四次构造应力机制的变迁。金矿成矿作用始于44~36 Ma之间^[4,10],板块碰撞由陆-弧碰撞转入陆-陆碰撞阶段,受控于青藏高原物质东向逃逸与印支地块往南挤出,红河断裂发生左行走滑,区域上构造应力机制的转换导致大规模金矿成矿事件发生;其后,在36~21 Ma之间,受板块碰撞后的岩石圈伸展作用,区内形成碰撞后转换拉张的构造环境,有利于成矿流体与区域上富钾岩浆岩上升^[15],形成金矿的多期次叠加成矿。

在矿区范围内,矿化分布基本受到矿区构造格局控制,在相对挤压构造环境中,矿化较弱;在相对张开构造环境中,矿化较好。

3.1 不同方向断裂力学性质鉴定

矿区主要发育NNW向、NW向、NWW向与近EW向构造。

3.1.1 NNW向(走向325°左右)断裂组

区域上最为发育,该构造带控制了大坪金矿的空间产出位置与矿体的空间分布规律,受多期构造运动影响,具叠加改造特征。其中

(1)红河—哀牢山断裂北段,断裂延伸长约300

km,宽约20 km,走向NNW向,倾向NE,自古新世以来经历了多期复杂的力学性质转变:多期左行走滑与右行正断。

(2)小寨—金平断裂(F1)与三家河断裂(F3)控制了矿区的东西部边界。小新街断裂(F2)为大坪金矿的导矿构造,将大坪金矿分为东矿段与西矿段两个矿段。三大断裂均为逆冲推覆构造,研究区内从NW至SE方向出露长约12 km,宽500~1000 m,三大断裂带走向NNW向,倾向NE,为矿区的限矿和导矿构造。这些断裂带都受成矿期后断裂构造的影响,由图1可见,F1被走向近EW向的F23右行错断,走向NW向的F5左行错断F2,而F3被走向NWW向断层右行错断。图2为西矿段PD740小新街断裂下盘断裂擦痕照片与素描图,可见第①组断裂擦痕被第②组断裂擦痕所覆盖,表明小新街断裂经历过右行逆冲走滑—左行走滑两期构造运动。

(3)小新街断裂西侧雁行列状次级断裂,呈平行带状分布,具尖灭再现、侧现特征,断裂组走向NNW向,长600~5000 m不等,断裂宽度小,0.05~2.5 m不等,一般宽0.2~0.3 m,倾向SW,呈陡倾斜状。该断裂群组为西矿段容矿储矿构造。

图3为大坪金矿西矿段大斜井V14号脉断裂顶板照片与素描图,由图中构造裂隙与构造角砾岩可知,V14号脉的控矿断裂构造经历过①右行压扭—②左行压扭两期构造运动。根据西矿段规模最大的断裂构造V8-9-14号构造张性段矿脉顶板(图4),由绢

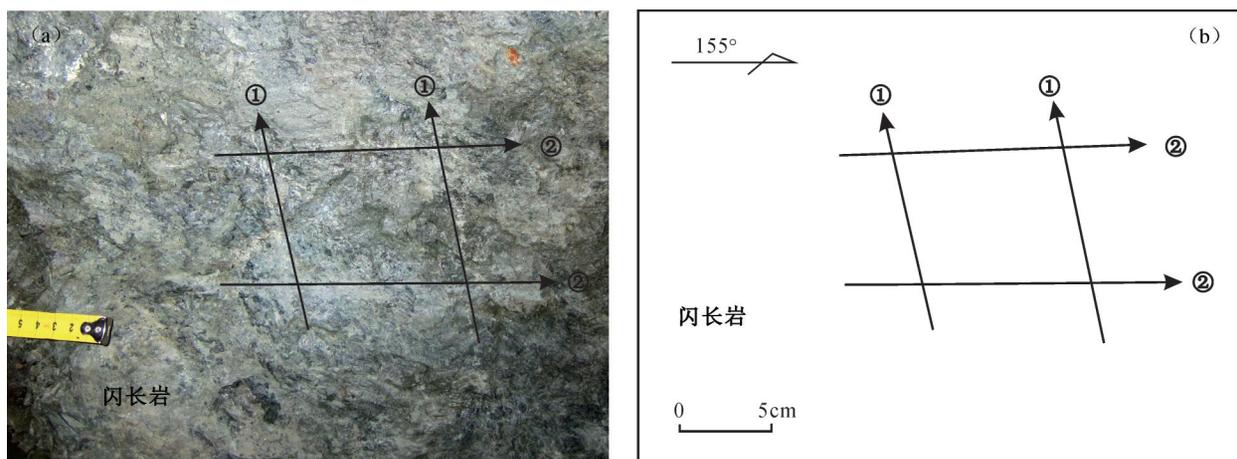


图2 大坪金矿 PD740 小新街断裂擦痕野外照片(a)与素描图(b)(图中①为断层面上早期右行逆冲走滑擦痕;②为断层面上晚期左行走滑擦痕)

Fig.2 Field photograph (a) and sketch (b) of scratches of the Xiaoxinjie fault in PD740, western part of the Daping gold deposit (① shows the scratches of dextral thrust slip of the early stage, ② shows the scratches of sinistral slip of the late stage)

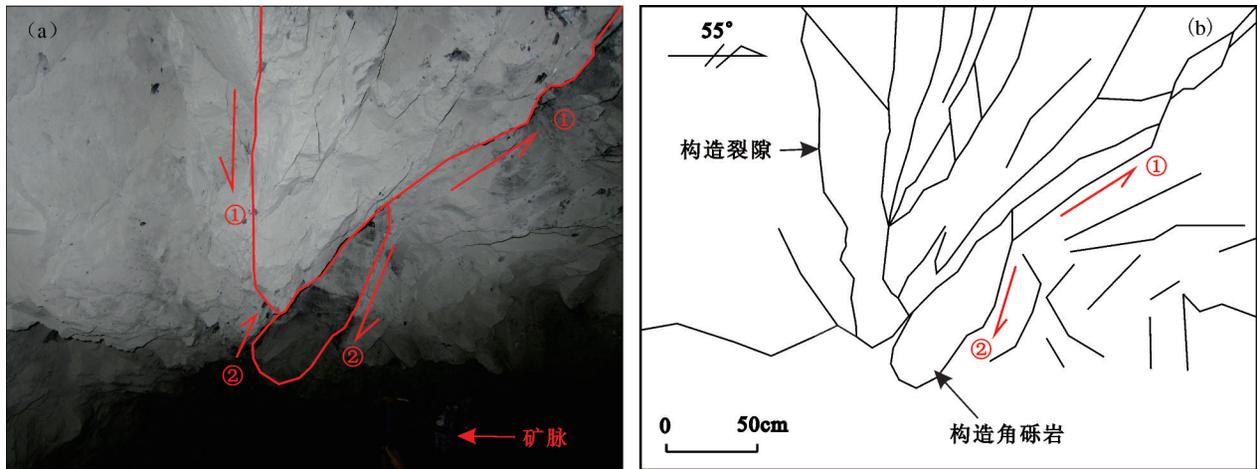


图3 大坪金矿西矿段次级断裂顶板野外照片(a)与素描图(b)(①方向所示为早期右行压扭构造;②方向所示晚期左行压扭构造)
Fig.3 Field photograph (a) and sketch (b) of roof picture in the west of the Daping gold deposit, ① illustrates dextral compresso-shear structure of the early stage, ② illustrates sinistral compresso-shear structure of the late stage

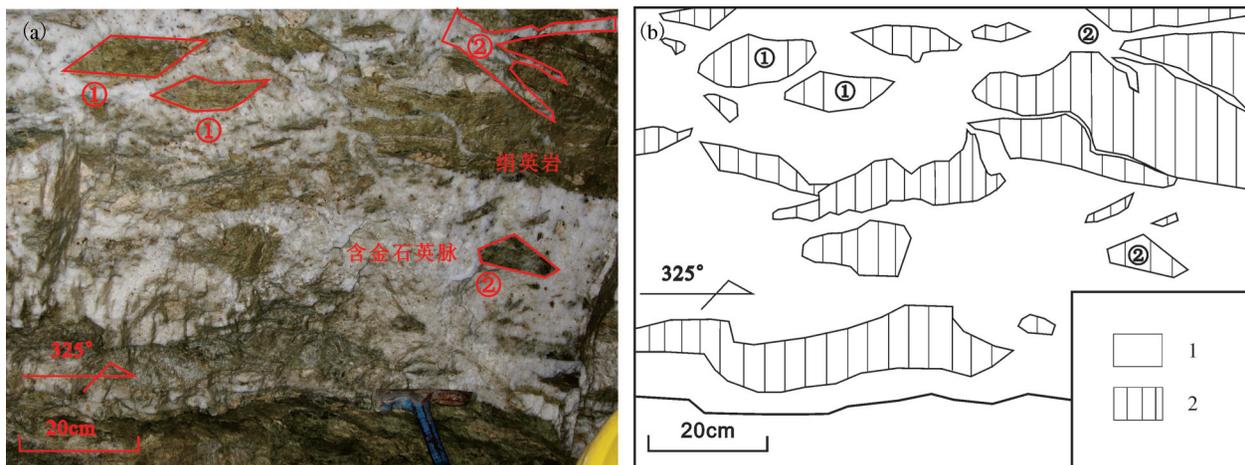


图4 大坪金矿西矿段V8-9-14号矿脉顶板照片(a)与素描图(b)
1—含金石英脉; 2—绢英岩化角砾岩; ①剪应力形成的角砾岩; ②张应力形成的角砾岩与脉岩;
Fig.4 Field photograph (a) and sketch (b) of roof picture of the gold-bearing quartz vein V8-9-14 in the Daping gold deposit
1-Gold-bearing quartz vein; 2-Sericite-quartz breccia; ① Sericite-quartz breccia formed by shear stress; ② Sericite-quartz breccias and gold-bearing quartz veins formed by tensile stress

英岩化角砾岩与含石英脉的穿插关系可见, V8-9-14号矿脉在构造成矿晚期经历了剪应力至张应力的构造应力作用, 结合图3可知, 西矿段矿体经历过右行压扭—左行压扭—张性3个期次的构造改造。该组雁列状断裂晚期又受到成矿期后断裂构造的改造, 如图1所示, F6右行错断了V8-9-14号脉, F8右行错断了V7号脉, 整组断裂经历了右行压扭—左行压扭—张性的构造力学性质的转变。

3.1.2 NWW向(走向308°左右)断裂组

NWW向断裂区域上充分发育, 仅次于NNW向断裂, 该断裂组主要为东矿段的容矿、储矿断裂, 但部分断裂对早期形成的NNW向断裂有改造, 造成矿脉的位移。

(1)该断裂组主要为小新街断裂东部的雁行列状压扭性断裂群, 控制了东矿段金矿脉的分布。断裂沿走向方向延伸700~4000 m, 宽0.1~2.5 m, 走向

NWW,倾向SW,倾角较陡,平均倾角为72°,呈平行脉状、雁列状、叠瓦状、群状分布。空间上分为北部毛木树与南部玛沙迷两组,该控矿断裂带经历了左行压扭—右行压扭—张扭的力学性质的转变。

(2)此外,走向NWW向逆断层F5左行错断了小新街断裂(F2),断裂走向延伸约1.5 km,宽0~10 m,倾向SW,倾角较陡(72°~80°)。

3.1.3 其他方向的断裂组

(1)近EW向断裂组:该组断裂区内出露较少,主要是白沙坡矿段的V6与V12的左行压扭性控矿断裂,断裂走向近EW向,走向延长600~700 m,倾向S,倾角较缓(20°~60°)。

(2)NS向断裂:矿区出露少,F9左行错断了NNW向V9号矿脉控矿断裂;以及V39号矿脉的控矿断裂,位于白石老寨附近。

(3)NNE向断裂(走向17°左右):矿区出露较少,主要为F6,走向17°,沿走向长约1.4 km,陡倾斜状,在矿区内右行错断了V8-9-14号矿脉。

(4)NEE向断裂:在矿区西南部,断裂走向约60°,右行错断了三家河断裂(F3),也是奥陶系下奥陶统向阳组(O_{1x})与海东组(O_{1h})的分界线。此外,在矿区北东部有一组走向NEE向的平行分布的小矿脉V33、V34、V35,规模较小。

(5)NE向断裂(走向35°左右):矿区出露较少,比较明显的是F8断裂,右行错断了NNW向的V7矿脉。

3.2 构造演化特征

扬子陆块西缘晚生代经历了古特提斯洋闭合与消亡过程,形成“三江”哀牢山蛇绿混杂岩带^[16-18]。新生代印度板块与亚欧板块碰撞使扬子陆块西缘蛇绿岩带重新活化,在板块碰撞及其持续汇聚过程中,发生了藏东南三江—印支地区下地壳物质流动及表层地壳物质南东向的逃逸与地块旋转。大坪金矿床的成矿期主要为喜马拉雅期早期^[19-21],反映了这一特定的地质历史时期在板块俯冲碰撞、滑移与造山运动的地质构造背景下,形成的一系列构造—成矿事件(图5)。

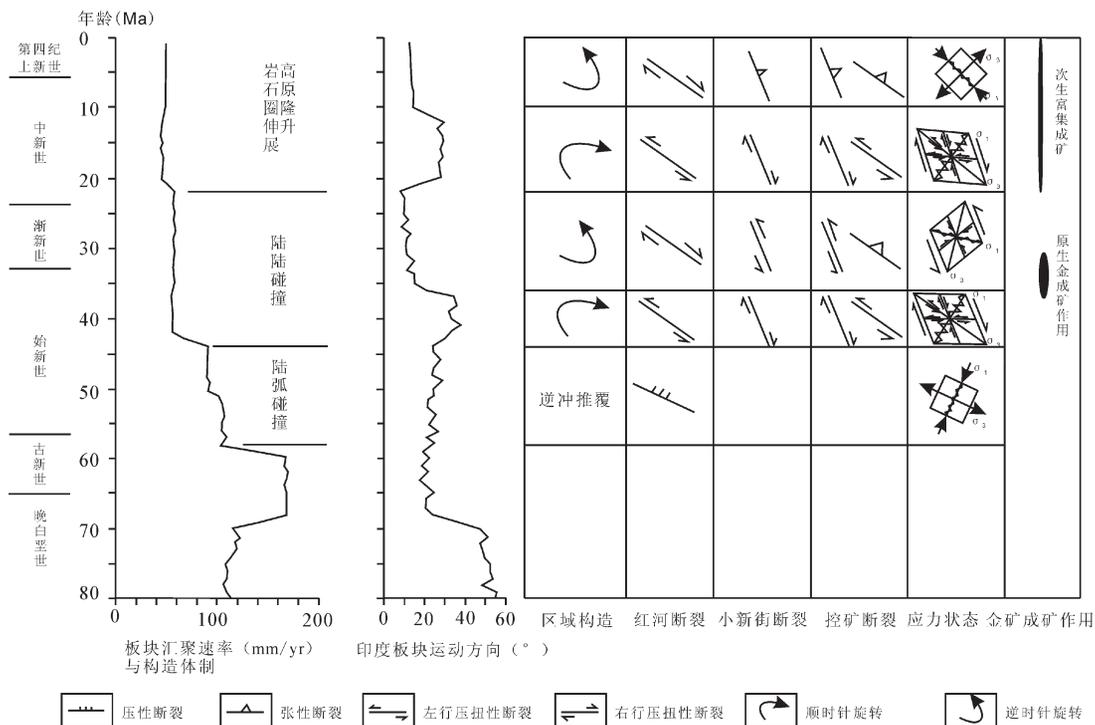


图5 区域新生代构造—成矿演化系列
(板块汇聚速率和印度板块运动方向据Lee and Lawver, 1995^[13]; 金矿成矿作用据邓军等, 2010^[10])
Fig.5 Cenozoic regional tectonometallogenic sequence
Rate and angle of convergence between India and Eurasia plates after [13]; metallogenic sequence after [10]

印度板块与欧亚板块的初始碰撞始于 58 Ma 前后。据 Lee et al.^[22]关于新生代印度—欧亚大陆碰撞演化过程的研究,通过分析中国南海、菲律宾西海等地的海洋磁异常,得出早古新世时期印度板块与欧亚板块汇聚的速率为 170 mm/a,方向为 NNE (18°~25°)向。自 58 Ma 以来板块汇聚速率急剧降低至 110 mm/a,但汇聚方向未发生改变,表明了陆弧碰撞的开始。在此构造变动期,从冈瓦纳大陆分离出来的印度板块在印度洋壳推挤下不断朝北运动,欧亚板块则南下推挤,这一时期为印度板块与欧亚板块正向碰撞时期,形成大规模的挤压与逆冲推覆构造,由于二者的运动方向矢量不在同一直线,形成主要应力 NNE 向对挤的力偶,随着挤压应力的持续作用,NNW 向线性构造系统生成,主要包括红河断裂与实皆断裂,以及哀牢山断裂(F₂)、九甲—安定断裂(F₃)与阿墨江断裂(F₄)。NNE 向压应力使区内线性构造带表现出强烈的压性特征,在断裂带深部发育着强烈的变质岩相组合,后期随着变质核杂岩抬升,并受地表剥蚀作用,促使了哀牢山双变质带的形成(图 6-a)。

从中始新世(约 44 Ma)以来,板块汇聚速率降低至 60 mm/a,成为构造转换的重要时期,印度板块

发生顺时针旋转,并在 41 Ma 达到最大偏离方向(约 NE38°),期间发生过小角度的旋转方向转变,大角度斜向碰撞(NE30°~38°)一直持续到始新世晚期(约 36 Ma)。

随着印度板块运动方向的转变,在青藏高原形成压缩区导致青藏高原的抬升,藏东南三江—印支地区下地壳物质流动及表层地壳物质南东向逃逸与地块旋转,印支地块被挤出,红河断裂带发生左行走滑,该走滑还导致了南海的打开^[24, 25]。在红河断裂与实皆断裂之间形成伸展区,受到板块斜向碰撞的 NE 向主压应力以及板块旋转力偶的作用,印支地块发生顺时针旋转(图 6-b)。在 NE 向主压应力场作用下,研究区内形成了 NNW 的右行压扭性断裂构造系统,该构造系统为深源流体上行提供通道,使小新街断裂成为了大坪金矿的导矿构造,小新街断裂的次级断裂受其右行逆冲走滑影响,呈雁列状排列,为矿区容矿构造。西矿段次级断裂大多与小新街断裂平行或近平行产出,东矿段次级断裂与小新街断裂有较小的交角,其平面受力情况如图 6-d 所示,受小新街断裂右行走滑的影响,主压应力在 NE 方向,构成右行走滑的 NNW 向与左行走滑的 NEE 向共轭剪节理,分别形成西矿段 NNW 右行压

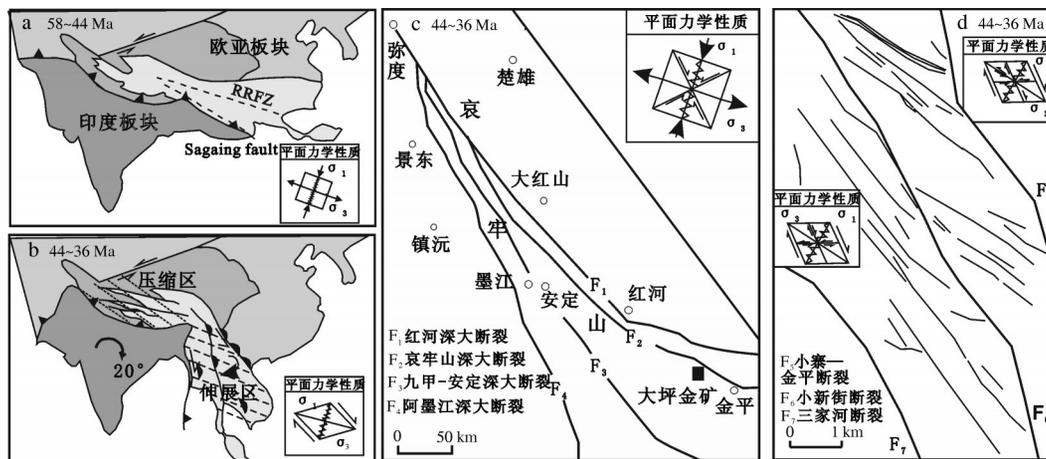


图 6 始新世红河—哀牢山地区与大坪金矿区构造应力机制图

图 a, b 据刘俊来等, 2006^[23]修改; 图 c 据胡瑞忠等, 1998^[11]修改
a—印度板块与欧亚板块的正向碰撞, 早期阶段收缩构造的形成与深部红河—哀牢山断裂带(RRFZ)发育; b—印度板块的顺时针旋转诱发藏东地区发生低速率伸展, 印支地块往南东方向挤出, 红河断裂左行走滑

Fig.6 Structural mechanism in the Red River fault zone and the Daping gold deposit during Eocene

Fig.a & b modified after[23]; Fig. c modified after[11]

a—The formation of the Ailao-Mountain-Red River fault zone accompanied by the India-Eurasia collision; b—The clockwise rotation of the India Block caused the southeast extrusion of the Indochina block and left lateral movement of the Red River fault, whereas the extensional tectonic occurred in the eastern Tibetan Plateau

扭次级断裂与近EW左行压扭性向次级断裂。同时形成东矿段NW向雁列状断裂带,其力学性质属于左行压扭性。

在板块碰撞期间,受藏东地区岩石圈地块的旋转与下地壳岩石圈调整作用,印度板块在36~21 Ma发生了逆时针旋转,陆陆碰撞方向由NE20°旋转至近NS方向约8°,红河—哀牢山断裂带发生右行走滑,区域上构造应力体制发生逆转,受左旋运动产生近EW向的压应力分量作用,矿区范围内各断裂发生了反方向位移,小新街断裂与西矿段次级断裂发生了左行走滑,东矿段的控矿断裂则发生右行走滑(图6)。

红河断裂再次发生构造转换时间在20 Ma左右^[25],在中新世早期(约21 Ma)板块汇聚的速率再次下降至45 mm/a,在21~10 Ma时期印度板块发生顺时针旋转,伴随着藏东三江地区斜向俯冲与侧向碰撞,红河断裂再次发生左行走滑,区内的构造叠加具有继承性与发展性,小新街断裂与西矿段次级断裂表现出右行逆冲走滑特征;东矿段次级控矿断裂带则表现为左行逆冲走滑特征。

自中新世晚期(约10 Ma)以来,印度板块向欧亚板块汇聚的速率提高到50 mm/a,汇聚方向向北偏移至约NNE12°,伴随着岩石圈伸展作用与西藏高原的加速隆升,红河断裂表现为右旋正断特征。向宏发等(2006)^[26]根据红河断裂段内与断裂右旋剪切活动相关的样品进行磷灰石裂变径迹测年结果表明,红河断裂带在5.5 Ma与2.1 Ma有过2次明显的断层剪切错动。这与印度板块延续至今的逆时针旋转有关,与印度板块在36~21 Ma发生的逆时针旋转不同的是,区域上构造应力主要以NE向张应力为主(图5)。红河断裂的右旋正断与斜向俯冲碰撞后印度板块的回退效应有关,其导致印支地块发生大规模的区域性伸展过程,点苍山、哀牢山等下地壳深变质岩剥露、变质核杂岩的发育和钙碱性岩浆活动是此间发生的主要地质作用过程^[23],持续的旋转与回退,促使上覆岩石圈板块受到强烈的伸展,导致地堑与半地堑伸展构造体系的形成。期间哀牢山金矿成矿带发生大规模的伸展过程,小新街断裂与次级控矿断裂带普遍受到张应力作用,形成后期的右行张性断裂与正断层构造。

3.3 构造控矿特征

大坪金矿受红河—哀牢山断裂带中三级断裂

构造的控制,研究区内新生代以来构造演化与各级断裂平面分布特征同金矿体空间分布特征不仅是研究矿体赋存规律的重点,而且为成矿预测提供了重要依据。

研究认为,古新世以来的印度板块与欧亚板块碰撞,位于印支地块与扬子地块之间的红河—哀牢山构造带受印度与欧亚大陆汇聚过程中印地块的挤出作用而发生大规模的左行走滑,在44~36 Ma与21~10 Ma时期区域构造动力机体发生2次大规模转换,印度板块旋转方向改变为逆时针旋转,红河—哀牢山断裂带发生左行剪切走滑。随后,红河断裂主要表现为右行正断特征,并延续至今。受印度板块与欧亚板块汇聚碰撞,以及印度板块持续性的顺时针挤压旋转到逆时针旋转变化的影响,研究区内构造应力场发生多次变化,形成以哀牢山—红河断裂带为一级区域控矿构造,小新街断裂为二级导矿构造,小新街断裂两侧次级断裂为三级容矿构造的大坪金矿控矿体系。

哀牢山地区NW方向三级断裂构造体系是在特定的成矿地质背景和大地构造环境中形成的;与此同时,受成矿构造控制的次级断裂带具有特定的分布规律,其分布也决定了大坪金矿矿体的空间分布规律。

(1)红河深大断裂为印支地块与扬子地块两大构造单元的交界处,控制了整个哀牢山造山型金矿成矿带的空间分布,墨江金厂金矿、镇沅老王寨金矿、大坪金矿等世界闻名的造山型金矿床分布在断裂带浅变质岩带中,呈北西—南东方向展布。

(2)NNW向区域大断裂为大坪金矿区的限矿构造与导矿构造。受研究区出露地层岩性差别的影响,成矿流体容易沿闪长岩的断裂裂隙中上升、运移、沉淀、富集、成矿;而小寨—金平断裂以东以及三家河断裂以西的沉积岩与浅变质岩,则不利于流体的渗透与运移。因而,小寨—金平断裂与三家河断裂构成了大坪金矿的限矿构造;小新街断裂则成为大坪金矿的导矿构造,并将大坪金矿分为东矿段与西矿段两部分。

(3)小新街断裂西侧NNW向与东侧NNW向分布的雁行列状压扭性断层为大坪金矿的主要容矿构造,断裂带呈羽状、雁行列状近平行分布。含矿热液从深部上移到近地表时,受次级断裂中物

理、化学条件变化影响,流体发生减压、降温,金属成矿物质便在次级断裂中的有利位置沉淀下来、富集成矿。含金石英矿脉赋存在羽状断裂带中,呈薄板状、带状、舒缓波状顺压扭性断裂带展布(图7)。

(4)在同一构造应力作用下,断裂带的不同部位受力情况不同,断裂带中应力张开的部位为成矿有利地段,而断裂带中应力闭合的部位矿化情况往往较差。在大规模成矿时期,小新街断裂的次级控矿断裂带在西矿段主要受到右行压扭性构造应力作用,在东矿段主要受到左行压扭性构造应力作用(图6)。

从大坪金矿西矿段矿脉的发展情况(图7)可以看出:①断裂张开的部位矿化较好,含金石英脉受右行压扭性断裂的控制,平面上产生NNE-SWW方向的挤压应力与NWW-SEE方向的张应力,受应力差影响,NWW-SEE方向断裂张开的位置可为成矿流体的停留、积聚,含金硫化物的沉淀、富集提供足够的空间,成为有利的赋矿场所,矿体厚度变大、品位增高;②③断裂闭合的部位矿化较差,含金石英脉主要受到NE-SW向挤压应力的作用,主压应力较大,断裂带在此闭合,容矿空间不足,矿脉厚度变薄,品位降低,局部地区出矿脉尖灭、再现。

(5)大规模成矿期后,区域上继续经受多次构

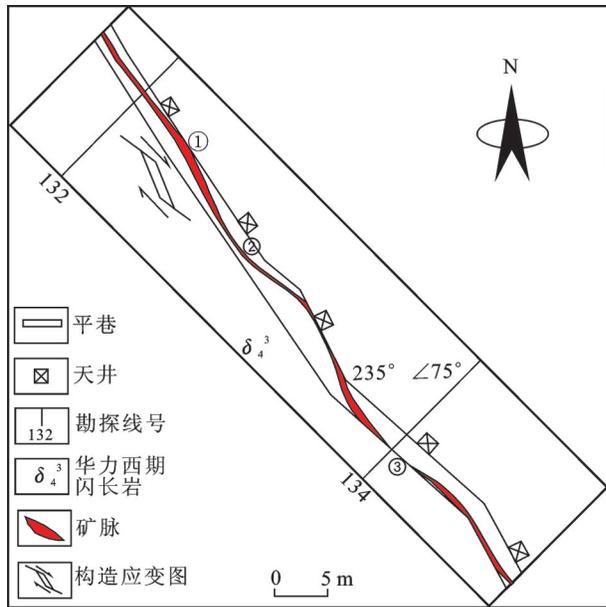


图7 大坪金矿西矿段V8号矿脉740中段素描图
Fig.7 Sketch of No. V8 gold vein at the 740 level of the western part of the Daping gold deposit

造运动的变迁,形成的NE-SW走向与NW-SE走向陡倾斜平移正断层,以及近NS向与近EW向的平移断层,对金矿脉具有改造作用,导致矿脉的位移错动,移动距离一般为1~8 m,厘清成矿后断裂的性质、规模、产状(表2),对矿区指导找矿具有重要的意义。

成矿期后断裂构造主要有4个方向:①NW向断裂,主要为右行走滑断裂及张性断裂;②近NS向断裂,包括张性、右行走滑、左行走滑断裂;③NE向断裂,为左行走滑断裂;④近EW向断裂,包括左行走滑与右行走滑断裂。根据大坪金矿区成矿期后断裂性质与构造特征,通过构造筛分和配套法,将矿区的构造划分为三种构造组合,代表成矿期后三种不同的构造体系,反映其三阶段的构造演化(图8)。

表2 大坪金矿主要成矿期后断裂构造特征一览
Table 2 Characteristics of main faults formed after the main ore-forming stage

矿区	矿段	矿脉号	勘探线号	坑道	断裂走向	断裂性质	错距/m	示意图
东矿区	毛木树矿段	V1-2-3	3	PD999	NE-SW	左行	6	
			9		近SN	左行	4	
		45	PD951	近EW	右行	3		
		20	PD900	NNE	右行	2		
		37	PD951	NNW	张性	1		
		27		近SN	张性	1		
		41		近EW	右行	2		
		39	1180	NWW	左行	6		
		59	XK55-2	NE-SW	右行	6		
		20	XK20-1	NNE	左行	8		
西矿区	白沙坡	V8-9-14	100	PD780	NNE	左行	8	
			202	PD740	NNE	左行	2	
		84		SN	左行	1		
		108	PD868	NNE	右行	1		
		120		EW	左行	1		
		3	PD1000	NEE	右行	0.5		
		5		NE	左行	2		
		12	PD1098	NW	右行	1		
118	PD800	NEE	左行	1				

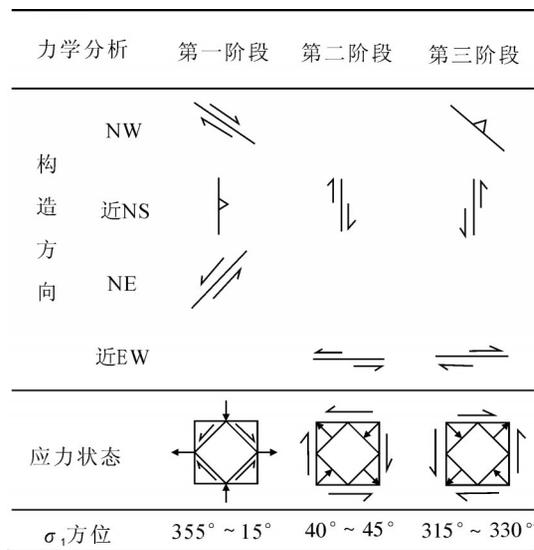


图8 大坪金矿主要成矿期后构造三阶段演化过程
Fig.8 Evolution stages of main faults formed after mineralization

第一阶段受主压应力方位为355°~15°,渐新世以来青藏高原加速隆升,藏东南三江一印支地区表层地壳物质南东向逃逸,产出近NS方向的主压应力,导致研究区内产生NW方向与NE方向的共轭剪应力,同时近NS向形成张性断裂构造;第二阶段的主压应力方位NE方向约40°~45°,形成于印度板块与欧亚板块的斜向俯冲碰撞,区内地块发生顺时针旋转,形成了近NS向右行走滑的断裂与近EW向左行走滑断裂;第三阶段受印度板块斜向俯冲碰撞后回退效应及岩石圈的强烈伸展影响,在研究区内形成大规模的拆离断层,主压力为NE方向张应力。

4 成矿模式

据翟裕生等(2002)^[27],在制约成矿临界转换的多种参数中,构造应力场的转换可能起着根本作用。构造动力转换能诱发地质事件,而这突发事件又为构造有利成矿的环境和条件^[27]。印度板块多次旋转方向转换与区域构造动力机制的转变是哀牢山金矿成矿作用的关键,构造应力场转换表现为不同层次的构造叠加作用和韧-脆性变形的转换,以及同一构造层次不同时期、不同构造部位应力的转换,而矿化的富集作用往往与构造应力场转换关系密切^[30, 31]。哀牢山地区处于板块俯冲造山带上,在

喜马拉雅期经历了岩石圈减薄、软流圈上涌^[32],这一时期不仅有大量幔源岩浆升至地表,还伴有大规模的变质作用和地幔去气;同时,地幔流体携带大量成矿物质及流体沿红河-哀牢山超岩石圈深大断裂向上运移,激发、活化地壳中的矿质^[5]。

弧-陆碰撞转变为陆-陆碰撞的构造转换时期为哀牢山金矿大规模成矿时期,深源流体在上升过程中,超岩石圈深大断裂可为地幔流体上行提供有利条件,小新街断裂为成矿物质与成矿流体运移提供有利通道,流体上升运移到时空中一定的临界转换处(即在小新街断裂两侧的次级羽状断裂带中,往往为各种物理化学环境的急变带,其岩性、温度、压力、pH、Eh等差异形成地球物理、地球化学障^[27]),使水-岩系统物理化学性质突变而导致矿质迅速大量沉淀,据孙晓明等(2006)^[29]研究表明,大坪金矿深源流体上升与华力西期闪长岩发生水-岩反应与沸腾作用导致矿质沉淀是矿床形成的主要原因(图9)。

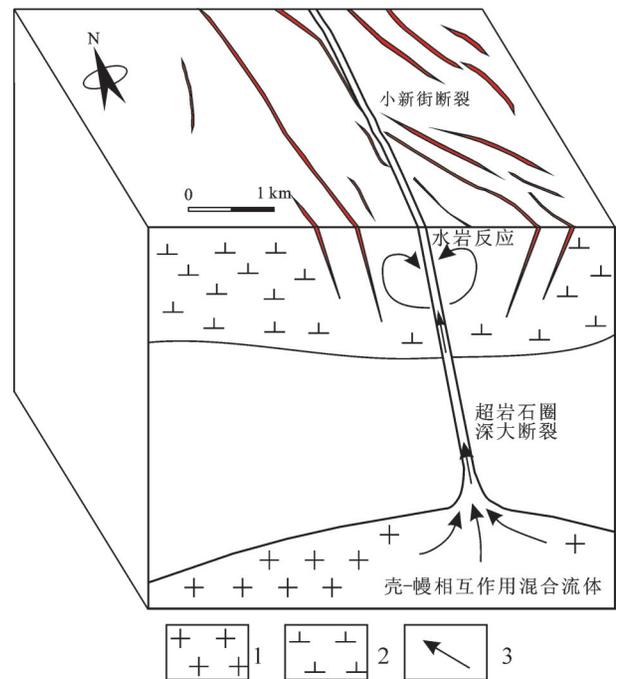


图9 大坪金矿成矿模式图
1-受软流圈物质与岩石圈地幔交代形成的壳-幔相互作用深熔岩体;2-闪长岩;3-成矿流体
Fig.9 Metallogenic model of the Daping gold deposit
1-Metasomatism from asthenosphere and lithospheric mantle;
2-Diorite; 3-Gold-bearing fluids

5 结 论

(1)大坪金矿是新生代印度板块与亚欧板块汇聚,红河—哀牢山地区发生多次构造动力机制转换的特殊成矿地质背景和特定的大地构造环境下形成的,是哀牢山造山型金矿的典型代表。区内断裂构造和金矿体在空间上具有一定的分布规律,通过对大坪金矿的断裂构造的性质特征和金矿赋存情况进行综合研究,三级断裂构造控制了矿床的空间分布与矿体的产出状况:第一级构造为红河—哀牢山深大断裂,决定了区域上造山型金矿成矿带的空间分布;第二级构造为小新街断裂,是大坪金矿的导矿构造;小寨—金平断裂和三家河断裂为大坪金矿区的限矿构造。第三级构造为小新街断裂两侧NNW向与NWW向羽状、雁行列状次级断裂构造,它们构成了大坪金矿的容矿构造,控制了矿体产出的空间位置,同时次级断裂带中应力分布规律还控制了金矿脉的富集变化规律。

(2)印度板块与欧亚板块的汇聚碰撞从始新世开始,红河—哀牢山地区经历过四次大规模的构造动力机制的转换:

第一期构造动力机制的转变发生在44~36 Ma,印度板块与欧亚板块由正向碰撞转变为顺时针旋转,红河断裂发生大规模左行走滑。构造动力机制的转变导致了哀牢山地区发生大规模的金矿成矿作用,上地幔的深源流体沿深大断裂上涌,与围岩发生强烈的水岩反应和与地壳流体混合,通过水岩反应和流体混合作用在次级断裂带中卸载成矿。

第二期构造动力机制的转变发生在36~21 Ma,印度板块发生逆时针旋转,红河断裂产生大规模右行走滑。构造动力机制的转变导致矿区内次级控矿断裂构造运动方向发生逆转,对金矿成矿具有叠加改造的作用。

第三期构造动力机制的转变发生在21~10 Ma,印度板块的快速顺时针旋转是岩石圈板块相互作用的重要转换时期。同时,构造动力机制的转变在研究区内形成一些成矿期后断裂,具有一定的破矿作用,但金矿的次生富集作用逐渐开始形成。

第四期构造动力机制的转变发生在10 Ma以后,印度板块发生逆时针逆转并延续至今,红河断裂发生两期右旋正断构造运动,形成大量拆离断裂等伸展构

造,在矿区范围形成张性正断层破矿构造。

(3)大坪金矿羽状、雁列状次级断裂带与矿体的分布在空间上存在密切联系。断裂构造的连续性与矿体在空间中断续分布有关。容矿断裂中构造应力的变化引起了结构面局部的张开与闭合,导致含矿石英脉呈舒缓波状、尖灭再现特征,控制了矿体的富集与贫化。对大坪金矿构造控矿规律的研究具有重要的理论意义与实践价值。

致谢:在野外工作过程中得到了元阳县华西黄金有限公司的邓华李总工程师与窦世荣、朱高宝等技术人员的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢。

参考文献(Reference):

- [1] 葛肖虹, 马文璞, 刘俊来, 等. 中国区域大地构造学的研究展望[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 61-73.
Ge Xiaohong, Ma Wenpu, Liu Junlai, et al. Prospect of researches on regional tectonics of China[J]. Geology in China, 2013, 40(1): 61-73(in Chinese with English abstract).
- [2] 裴荣富, 梅燕雄, 瞿泓滢, 等. 矿床类型模型的地质构造背景、成矿环境和容矿岩石组合[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 31-42.
Pei Rongfu, Mei Yanxiong, Qu Hongying, et al. Geological tectonic settings, depositional environments and ore-hosting rock assemblages for mineral deposits model with universality[J]. Geology in China, 2013, 40(1): 31-42(in Chinese with English abstract).
- [3] 杨家虎, 王桂芬. 大坪金矿的构造控矿[J]. 中国科技信息, 2011, (06): 28-31.
Yang Jiahu, Wang Guifen. Structural ore-control in Daping gold deposit[J]. China Science and Technology Information, 2011, 06: 28-31(in Chinese with English abstract).
- [4] 杨立强, 邓军, 赵凯, 等. 滇西大坪金矿床地质特征及成因初探[J]. 岩石学报, 2011, 27(12): 3800-3810.
Yang Liqiang, Deng Jun, Zhao Kai, et al. Geological characteristics and genetic type of Daping gold deposit in the Ailaoshan orogenic belt, SW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(12): 3800-3810(in Chinese with English abstract).
- [5] 袁士松, 葛良胜, 路彦明, 等. 哀牢山成矿带壳幔相互作用与金成矿关系探讨——以元阳大坪金矿床为例[J]. 矿床地质, 2010, 29(2): 253-264.
Yuan Shisong, Ge Liangsheng, Lu Yanming, et al. Relationship between crust-mantle reaction and gold mineralization Ailaoshan metallogenic belt: A case study of Daping gold deposit in Yuanyang[J]. Mineral Deposit, 2010, 29(2): 253-264(in Chinese with English abstract).
- [6] 葛良胜, 邓军, 李汉光, 等. 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[J]. 岩石学报, 2007, 23(09): 2131-2143.

- Ge Liangsheng, Deng Jun, Li Hanguang, et al. Superposed mineralization in Daping Au- Cu- Ag- Pb deposit, Yunnan Province: Evidences from geology, fluid inclusions and stable isotopes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(09):2131- 2143(in Chinese with English abstract).
- [7] 熊德信, 孙晓明, 石贵勇, 等. 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[J]. *岩石学报*, 2006, 22(03): 733-741.
- Xiong Dexin, Sun Xiaoming, Shi Guiyong, et al. 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[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(03): 733-741(in Chinese with English abstract).
- [8] 周跃飞, 刘星, 亓春英. 大坪金矿石英标型特征及其找矿意义[J]. *云南地质*, 2003, 22(03): 288-294.
- Zhou Yuefei, Liu Xing, Qi Chunying. The typomorphic characteristic of quartz in Daping gold deposit and their ore-prospecting significance[J]. *Yunnan Geology*, 2003, 22(03): 288-294(in Chinese with English abstract).
- [9] 韩润生, 金世昌, 雷丽. 云南元阳大坪改造型金矿床的成矿热液系统地球化学[J]. *矿物学报*, 1997, 17(03): 337-344.
- Han Yunsheng, Jin Shichang, Lei Li. Geochemistry of ore-forming hydrothermal system of daping reworked gold deposit, Yuanyang, Yunnan[J]. *Acta Mineralization Sinica*, 1997, 17(03): 337-344(in Chinese with English abstract).
- [10] 邓军, 杨立强, 葛良胜, 等. 滇西富碱斑岩型金成矿系统特征与变化保存[J]. *岩石学报*, 2010, 26(06): 1633-1645.
- Deng Jun, Yang Liqiang, Ge Liangsheng, et al. Character and post- ore changes, modifications and preservation of Cenozoic alkali- rich porphyry gold metallogenic system in western Yunnan, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(06): 1633-1645(in Chinese with English abstract).
- [11] 胡瑞忠, 毕献武, 何明友, 等. 哀牢山金矿带矿化剂对金成矿的制约[J]. *中国科学(D辑)*, 1998, 28(S2): 24-30.
- Hu Ruizhong, Bi Xianwu, He Mingyou, et al. The Ailaoshan gold ore belt mineralizer restrict mineralization of gold[J]. *Science in China(Series D)*, 1998, 28(S2): 24-30(in Chinese with English abstract).
- [12] 张进江, 钟大赉, 桑海清, 等. 哀牢山—红河构造带古新世以来多期活动的构造、年代学证据[J]. *地质科学*, 2006, 41(2): 291-310.
- Zhang Jinjiang, Zhong Dalai, Sang Haiqing, et al. Evidence of tectonics, chronology for multi-period activity since Paleocene in the Ailaoshan- Red River structural belt[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2006, 41(2): 291-310 (in Chinese with English abstract).
- [13] Lee T, Lawver L A. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia[J]. *Tectonophysics*, 1995, 251(1-4): 85-138.
- [14] 唐渊, 刘俊来, TRAN My Dung, 等. 莫边府走滑断裂带的构造特征、遥感解译及其区域构造意义[J]. *地质学报*, 2009, 83(10): 1401-1414.
- Tang Yuan, Liu Junlai, TRAN My Dung, et al. Structural characteristics of the Dien Bien Phu strike slip fault zone and its regional tectonic implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(10): 1401-1414(in Chinese with English abstract).
- [15] Lu Y, Kerrich R, Kemp A I, et al. Intracontinental Eocene-Oligocene porphyry Cu mineral systems of Uunnan, western Yangtze Craton, China: Compositional characteristics, sources, and implications for Continental collision metallogeny[J]. *Economic Geology*, 2013, 108(7): 1541-1576.
- [16] 韩吟文, 陈北岳, 柳建华, 等. 扬子陆块西缘晚古生代玄武岩浆的性质和演化——玄武岩、辉绿玢岩稀土元素、微量元素地球化学研究[J]. *地球科学*, 1999(03): 19-24.
- Han Yinwen, Chen Beiyue, Liu Jianhua. Nature and evolution of late Paleozoic basaltic magmas along western margin of Yangtze Craton: geochemical study of REE and trace elements[J]. *Earth Science*, 1999, 24(3): 234-239(in Chinese with English abstract).
- [17] 刘飞, 杨经绥, 陈松永, 等. 雅鲁藏布江缝合带西段基性岩地球化学和Sr - Nd - Pb同位素特征: 新特提斯洋内俯冲的证据[J]. *中国地质*, 2013, 40(3): 742 - 755.
- Liu Fei, Yang Jingsui, Chen Songyong, et al. Geochemistry and Sr - Nd - Pb isotopic composition of mafic rocks in the western part of Yarlung Zangbo suture zone: Evidence for intra- oceanic supra- subduction within the Neo- Tethys[J]. *Geology in China*, 2013, 40(3): 742 - 755(in Chinese with English abstract).
- [18] 牛晓露, 杨经绥, 陈松永, 等. 雅鲁藏布江西段东波超镁铁岩体经历了俯冲带流体的改造: 来自铅族元素的证据[J]. *中国地质*, 2013, 40(3): 756 - 766.
- Niu Xiaolu, Yang Jingsui, Chen Songyong, et al. The reformation of the Dongbo ultramafic rock mass in the western part of the Yarlung Zangbo suture zone by subduction - related fluids: Evidence from the platinum-group elements(PGE)[J]. *Geology in China*, 2013, 40(3): 756 - 766(in Chinese with English abstract).
- [19] 李汉光. 云南宝兴厂富碱斑岩型铜铅金多金属矿床构造-岩浆-成矿时空结构[D]. 中国地质大学(北京), 2009.
- Li Hanguang. Space- Time Framework of Structure- Magma- Mineralization of Alkali- Rich Porphyry Mo- Cu- Au Polymetallic Deposit in Boxingchang, Yunnan Province[D]. China University of Geoscience(Beijing), 2009 (in Chinese with English abstract).
- [20] 毕献武, 胡瑞忠, 何明友. 哀牢山金矿带ESR年龄及其地质意义[J]. *科学通报*, 1996, 41(14): 1301-1303.
- Bi Xianwu, Hu Ruizhong, He Mingyou. ESR age of Ailaoshan gold deposit belt and its geological significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1996, 41(14): 1301-1303(in Chinese).
- [21] 孙晓明, 熊德信, 石贵勇, 等. 云南哀牢山金矿带大坪韧性剪切带型金矿⁴⁰Ar-³⁹Ar定年[J]. *地质学报*, 2007, 81(01): 88-92.
- Sun Xiaoming, Xiong Dexin, Shi Guiyong, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of gold deposit hosted in the Daping ductile shear zone in the

- Ailaoshan gold belt, Yunnan Province, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(01): 88–92(in Chinese with English abstract).
- [22] Lee T, Lawver L A. Cenozoic plate reconstruction of the South China Sea region[J]. *Tectonophysics*, 1994, 235(1–2): 149–180.
- [23] 刘俊来, 宋志杰, 曹淑云, 等. 印度—欧亚侧向碰撞带构造—岩浆演化的动力学背景与过程——以藏东三江地区构造演化为例[J]. *岩石学报*, 2006, 22(04): 775–786.
- Liu Junlai, Song Zhijie, Cao Shuyun, et al. The dynamic setting and processes of tectonic and magmatic evolution of the oblique collision zone between Indian and Eurasian plates: exemplified by the tectonic evolution of the three river region, eastern Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(04): 775–786(in Chinese with English abstract).
- [24] Gilley L D, Harrison T M, Leloup P H, et al. Direct dating of left–lateral deformation along the Red River shear zone, China and Vietnam [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108(B2): 2127.
- [25] Harrison T M, Wenji C, Leloup P H, et al. An early Miocene transition in deformation regime within the Red River fault zone, Yunnan, and its significance for Indo–Asian tectonics[J]. *Journal of Geophysical Research*. 1992, 97(B5): 7159–7182.
- [26] 向宏发, 万景林, 韩竹军, 等. 红河断裂带大型右旋走滑运动发生时代的地质分析与FT测年[J]. *中国科学(D辑)*, 2006, 36(11): 977–987.
- Xiang Hongfa, Wan Jinglin, Han Zhujun, et al. Geology analysis and FT dating of Red River fault large scale dextral strike–slip movement[J]. *Science China (Series D)*, 2006, 36(11): 977–987 (in Chinese with English abstract).
- [27] 翟裕生, 吕古贤. 构造动力体制转换与成矿作用[J]. *地球学报*, 2002, 23(02): 97–102.
- Zhai Yusheng, Lv Guxian. Transition of tectonic and dynamic regime and mineralization[J]. *Acta Geosciencia Sinica*, 2002, 23(02): 97–102(in Chinese with English abstract).
- [28] 吕古贤, 林文蔚, 郭涛, 等. 金矿成矿过程中构造应力场转变与热液浓缩—稀释作用[J]. *地学前缘*, 2001, 8(04): 253–264.
- Lv Guxian, Lin Wenwei, Guo Tao, et al. Transition of structural stress field and inspissation–dilution of hydrothermal fluid in gold mineralization[J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8(04): 253–264(in Chinese with English abstract).
- [29] 孙晓明, 熊德信, 王生伟, 等. 云南大坪金矿白钨矿惰性气体同位素组成及其成矿意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(03): 725–732.
- Sun Xiaoming, Xiong Dexin, Wang Shengwei, et al. Noble gases isotopic composition of fluid inclusions in scheelites collected from Daping gold mine, Yunnan Province, China, and its application for ore genesis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(03): 725–732(in Chinese with English abstract).
- [30] Sibson R H, Robert F, Poulsen K H. High–angle reverse faults, fluid–pressure cycling, and mesothermal gold–quartz deposits[J]. *Geology*, 1988, 16(6): 551–555.
- [31] 邓军, 吕古贤, 杨立强, 等. 构造应力场转换与界面成矿[J]. *地球学报*, 1998, 19(03): 21–27.
- Deng Jun, Lv Guxian, Yang Liqiang, et al. The transformation of tectonic stress field and interfacial metallogenesis[J]. *Acta Geosciencia Sinica*, 1998, 19(03): 21–27(in Chinese with English abstract).
- [32] 从柏林, 吴根耀, 张旗, 等. 中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化[J]. *中国科学(B辑)*, 1993, 23(11): 1201–1207.
- Cong Bolin, Wu Genyao, Zhang Qi, et al. Rocks and geotectonic evolution in Paleo–Tethyan belts, western Yunnan, China[J]. *Science in China(Series B)*, 1993, 23(11): 1201–1207(in Chinese).

Spatial distribution of faults and structural ore-control regularity in the Daping gold deposit, Yunan Province

CHEN Yao-huang¹, YAO Shu-zhen¹, ZHAO Jiang¹, LI Shou-ye²,
CHEN Jing-he², ZHANG Hui-li³, ZENG Guo-ping¹

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Huaxia Gold mining Co., Ltd., Yuanyang 662406, Yunnan, China; 3. Zijin Mining Group Co., Ltd., Shanghang 364200, Fujian, China)

Abstract: The Daping gold deposit is a typical orogenic gold deposit in the Ailao Shan–Red River (ASRR) metamorphic belt. Auriferous veins are controlled by ASRR fault, Xiaoxinjie fault and its secondary faults. In this study, the authors analyzed regional structures and distribution of auriferous veins in the ASRR metamorphic belt during several times of changes of structural dynamic mechanism which have had great influence on the mineralization of the Daping gold deposit since 58 Ma. The results achieved by the authors are valuable for theoretical research and gold exploration. There are three grades of northwest structural faults in the ASRR belt which resulted from convergence between India and Eurasia that led to four times of changes of regional structural dynamic mechanism due to the four times of change of the convergence direction since 58 Ma. Intense mineralization in ASRR orogenic belt had close relationship with changes of structural dynamic mechanism, and the metallogenic substance mainly came from the lower crustal layers and the upper mantle. The left- and right-lateral shears were responsible for the formation of gold deposits in the ASRR orogenic belt. The ASRR fault corresponds to the distribution of the ASRR gold belt, whereas the Xiaoxinjie fault and its secondary faults serve as the mineral transfer and mineral deposition structure. It is also demonstrated that extensive part of the secondary fracture in auriferous veins formed by tensile stress indicates the deposition of bonanza. This study plays an important role in the metallogenic mechanism research and the exploration prediction of the Daping gold deposit and is also useful for the study of other orogenic gold deposits along the ASRR orogenic belt.

Key words: Ailao Shan–Red River gold deposit; structure evolution; ore-controlling structure; metallogenic regularity

About the first author: CHEN Yao-huang, male, born in 1985, doctor candidate, mainly majors in metallogenic regularity and metallogenic prediction; E-mail: chenyaohuang888@gmail.com.