陕西凤太拉分盆地构造变形样式与动力学及金–多金属成矿

方维萱[1,2] 黄转盈[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.中色地科矿产勘查股份有限公司,北京 100012)

提要:陆–陆斜向碰撞过程中形成的拉分盆地及构造变形史、变形样式及动力学、流体大规模运移与构造岩相学记录等是值得重视的大陆动力学问题,也有助于对西秦岭卡林型–类卡林型金矿和多金属矿成矿规律的深入研究。西秦岭陕西凤县—太白县晚古生代拉分盆地是热水沉积–改造型多金属矿床和金矿集中区。本文采用构造–岩相学研究方法,对该拉分盆地的构造–热流体变形历史、变形样式及动力学、盆地流体驱动力等进行了研究,认为该拉分盆地构造变形史复杂,构造变形序列为:(1)石炭纪—中三叠世构造反转与热流体叠加改造期(DS1)。(2)印支期陆–陆全面斜向碰撞挤压体制下拉分盆地发生挤压收缩变形、断裂–褶皱作用、岩浆侵位形成热叠加改造和脆韧性剪切变形(DS2)。(3)燕山期陆内造山期构造断陷、岩浆侵位形成热叠加改造与脆性变形(DS3)。石炭纪—中三叠世反转构造样式为泥盆系发生分层剪切流变构造、热流体角砾岩化叠加构造岩相和南部温江寺—留凤关拉分断陷盆地。印支期—燕山期,该盆地内部构造变形样式有复式褶皱与压扭性断裂构造、脆韧性剪切带、逆冲推覆构造、反冲构造与冲起构造。在该盆地南北缘形成了对冲式逆冲推覆构造。盆地流体运移受构造变形驱动,在该盆地东部,印支期西坝复式中–酸性岩浆侵入提供了区域性热流体叠加改造的稳定热源场。研究认为"M–W"型复式背斜和断裂带控制了多金属矿床后期改造富集和矿体定位。反冲构造与冲起构造控制了金矿和多金属成矿分带。"W–M"型复式向斜和脆韧性断裂带控制了卡林型–类卡林型金矿的形成,其中,倒转向斜和脆韧性剪切带对于八卦庙类卡林型金矿多期多阶段富集成矿具有显著控制作用,温江寺卡林型金矿受复式向斜和脆性断裂带控制。

关 键 词:拉分盆地;卡林型–类卡林型金矿;盆地变形序列;盆地变形样式;构造变形动力学

中图分类号:P618.51 **文献标志码**:A **文章编号**:1000–3657(2012)05–1211–18

秦岭复合造山带具有独特和复杂演化历史,是铅锌和金矿成矿带,也是大陆造山与流体大规模运移的实验场,已取得了显著成果[1–10],大陆板块在陆–陆斜向碰撞过程中形成了拉分盆地,但其构造变形历史、变形样式及动力学、流体大规模运移与构造岩相学记录等科学问题尚需深化。前人对卡林型–类卡林型金矿[11,12]和造山带型金矿[13,14]强调了大陆造山过程中动力学特征与流体成岩成矿作用,但对盆地构造变形样式、动力学与卡林型–类卡林型金矿和铅锌矿床间关系,仍需深入研究。

陕西凤县—太白县晚古生代拉分盆地是热水沉积–改造型多金属矿床[15–21]和金矿集中区[22–30]。金和多金属矿床在成矿集中区、矿床和矿体尺度上均有成矿分带,对卡林型–类卡林型金矿与盆地构造变形样式及动力学之间关系研究不足,它们的主控因素是什么?深化对问题认识,有助于对卡林型和类卡林型金矿大陆动力学背景认识,以及对陆–陆(华北板块–扬子板块)碰撞过程与造山带流体大规模运移研究亦有启迪意义。在陕西凤太晚古生代拉分盆地中,铅硐山大型铅锌矿床,手搬崖、银洞梁、峰崖和

收稿日期:2012–02–04;**改回日期**:2012–05–14

基金项目:国家自然科学重点基金资助项目(41030423)和科技部转制科研院所专项资金项目(2011EG115022)联合资助。

作者简介:方维萱,男,1961 年生,博士生导师,主要从事矿产普查与勘探、产业经济学与生态环境学研究;E–mail:fangweixuan@tom.com。

银母寺等中型铅锌矿床产于西部凤县二级盆地中。在该盆地中北部青崖沟—八卦庙—双王钠长石角砾岩-钠长岩带,已探明了双王大型金矿、八卦庙超大型金矿和丝毛岭中型金矿,一批金矿点深部有找矿前景。在凤太晚古生代拉分盆地内,构造变形样式为NWW-EW向复式褶皱和断裂带相间排列。局部发育NE向断裂并充填中酸性脉岩;沿NWW岩石圈构造带产出有两条钠长石角砾岩-碳酸质钠长石角砾岩带。

本文采用构造-岩相学研究新方法,对凤太晚古生代拉分盆地内部和周边部的后期构造变形样式及构造动力学进行研究,在沉积盆地后期构造变形尺度上,深入探讨陆-陆碰撞过程中,盆地构造变形期次、构造样式及几何学、动力学和运动学、与卡林型-类卡林型金矿之间关系,以八卦庙超大型金矿与脆-韧性剪切带关系为实例,探索多期递进叠加构造变形与金矿成矿关系。

1 盆地伸展变形与热流体叠加岩相的构造耦合分析

凤太晚古生代拉分盆地位于西秦岭凤县—太白县,沉积充填体主体为泥盆系(图1)。在该盆地东部、西部和南部边缘地带,沉积充填有石炭系、二叠系和下三叠统,在北和西部分布有下白垩统东河群(图1)。从构造-岩相学研究角度看,石炭系与下伏泥盆系和上覆二叠系之间多为断层接触,与上覆二叠系十里墩组可见平行不整合接触关系,说明海西晚期曾发生了垂向抬升运动;区域上和研究区内石炭系出露有限,暗示石炭纪具有沉积范围大面积萎缩的特征。二叠系和下三叠统滑塌构造岩块和滑塌角砾岩相发育,早三叠世沉积水体迅速向上变浅,沉积盆地封闭。泥盆系—下三叠统共同构成了本区NWW向褶皱。侏罗纪陆相磨拉石和粗碎屑岩相超覆于前泥盆系—下三叠统之上,揭示早期挤压收缩构造体制形成于中—晚三叠世。但在区内仅见下白垩世陆相磨拉石相和粗碎屑岩相,呈角度不整合超覆于前泥盆系—三叠系之上,揭示中期挤压收缩构造体制形成于三叠纪末—侏罗纪早期。在侏罗纪末期,NE向和EW向断裂发生构造断陷-隆升,形成了白垩纪山间盆地(洼地),具有构造断陷沉积体制。在白垩纪磨拉石相和粗碎屑岩相中形成的宽阔向斜可能形成于白垩纪末或之后。因此,结合区域构造特征,研究区构造-岩相学变形史,构造变形序列可恢复重建为3期:(1)石炭纪—中三叠世构造反转与热流体叠加改造期(DS1);(2)印支期陆-陆斜向碰撞挤压体制下,拉分盆地挤压收缩变形与断裂-褶皱作用、岩浆侵位构造与脆韧性剪切变形(DS2);(3)燕山期陆内造山期伸展断陷(DS3a)与挤压收缩变形(DS3b)。

1.1 泥盆系伸展构造变形样式[DS1a]

从构造-岩相学角度看,石炭纪—中三叠世构造反转样式为泥盆系发生分层剪切流变构造[DS1(D-S_0//S_1)]、热流体角砾岩化构造带[DS1(FB-D_3j+D_3x)-S_0//S_1]、热流体叠加构造岩相[DS1(FB-D_3j+D_3x)]和南部温江寺—留凤关二叠纪—中三叠世拉分断陷盆地(图1,图2中DS1a和b)。

在该盆地东南端江口断裂-柘梨园,泥盆系发生分层剪切流变构造[DS1(D-S_0//S_1)]。泥质岩和碳酸盐岩层中不等厚互层内,发育大致沿层理发生的构造面理置换(S_0//S_1),构造样式有粘滞性剪切滑移构造、石香肠构造、顺层流劈理及拉伸线理、顺层掩卧褶皱群落(包括倒向一致的层间褶皱系、平卧褶皱、无根褶皱、鞘褶皱)。它们形成于温压较高环境下,与中深构造层次的变形样式一致,推测是在伸展体制下因岩石能干性差而发生分层剪切所致,这种构造变形样式(图2中DS1a)代表了该沉积盆地第一期构造变形事件[DS1(D-S_0//S_1)],推测形成于石炭纪。在八卦庙—八方山泥盆系泥质岩层中,发育近水平分层剪切变形,构造样式[DS1(D-S_0//S_1)]为拉伸线理、面理置换、顺层剪切流变构造、近水平固态流变褶皱、顺层石英细脉、粘滞剪切滑移构造和顺层掩卧褶皱。

这些限定在泥盆系特定层位和岩性层之中的构造-岩相学变形特征和样式,一般在其上下层位因岩性不同和岩石能干性差异甚大,构造变形特征和样式差异很大,一般多限于泥质岩层之中,碳酸盐岩和白云岩中未见这种构造变形特征和样式,显示了准同生变形特征。

1.2 碱性热液角砾岩带(体)与热流体叠加构造岩相

在凤太青崖沟、八方山—八卦庙和王家楞—王家坪产出3个大致平行、右行排列的碱性铁碳酸盐质钠长石角砾岩-钠长石铁碳酸盐质角砾岩带:(1)在凤太盆地青崖沟(图1,图2-a和图3),形成了NWW向碱性铁白云石钠长石角砾岩-钠长石铁碳

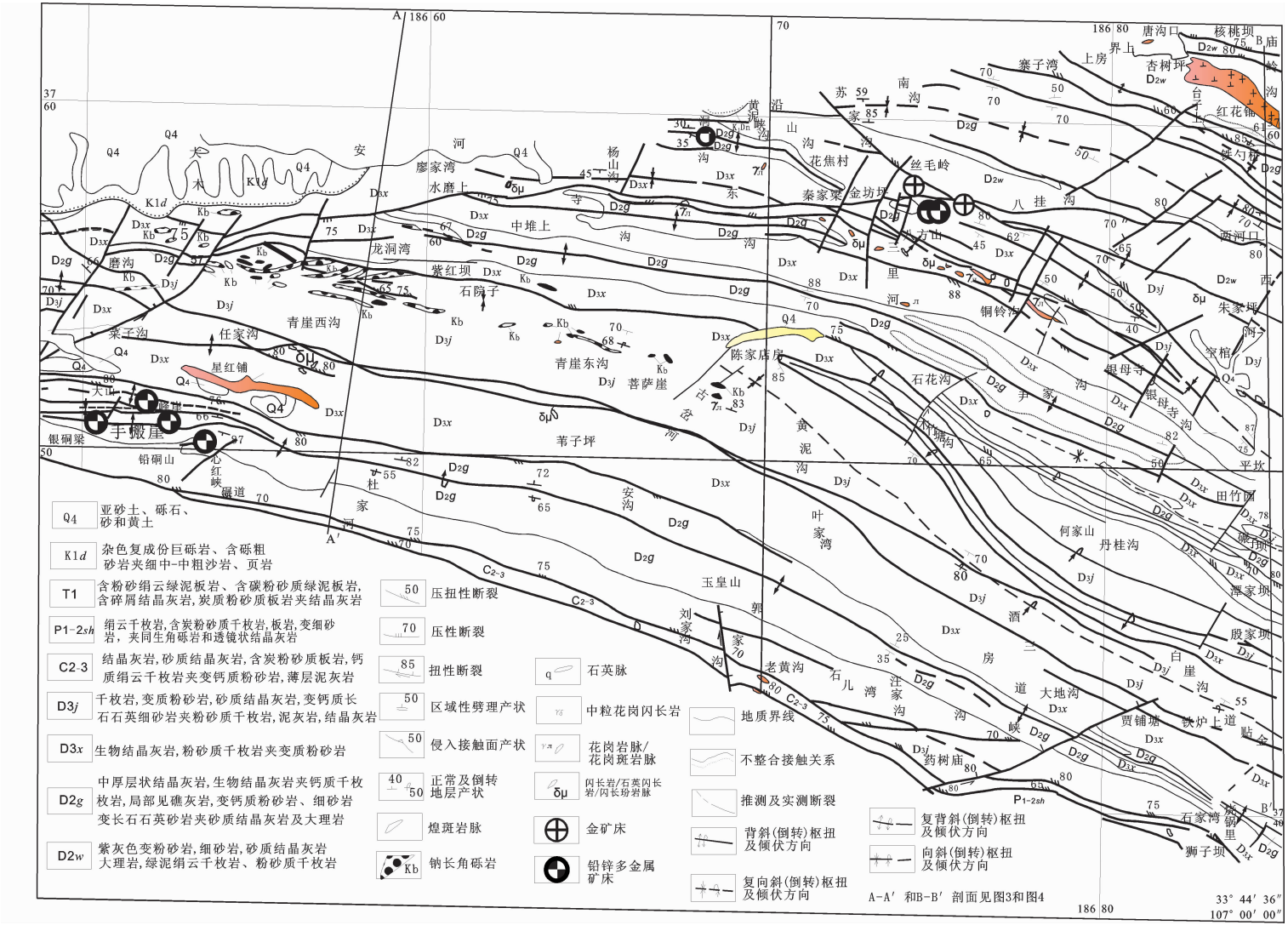


图 1　陕西凤太晚古生代拉分盆地构造纲要图(据文献❶修改)

Fig.1　Structural outline map of Fengxian-Taibai late Paleozoic apart-pull basin, Shaanxi (after Xiao Xinyuan et al., 1992)

❶肖新元,刘生辉. 区域地质调查报告(1:5 万比例尺,凤县幅、河口幅、南星幅、枣木栏幅),陕西省地质矿产局,1992.

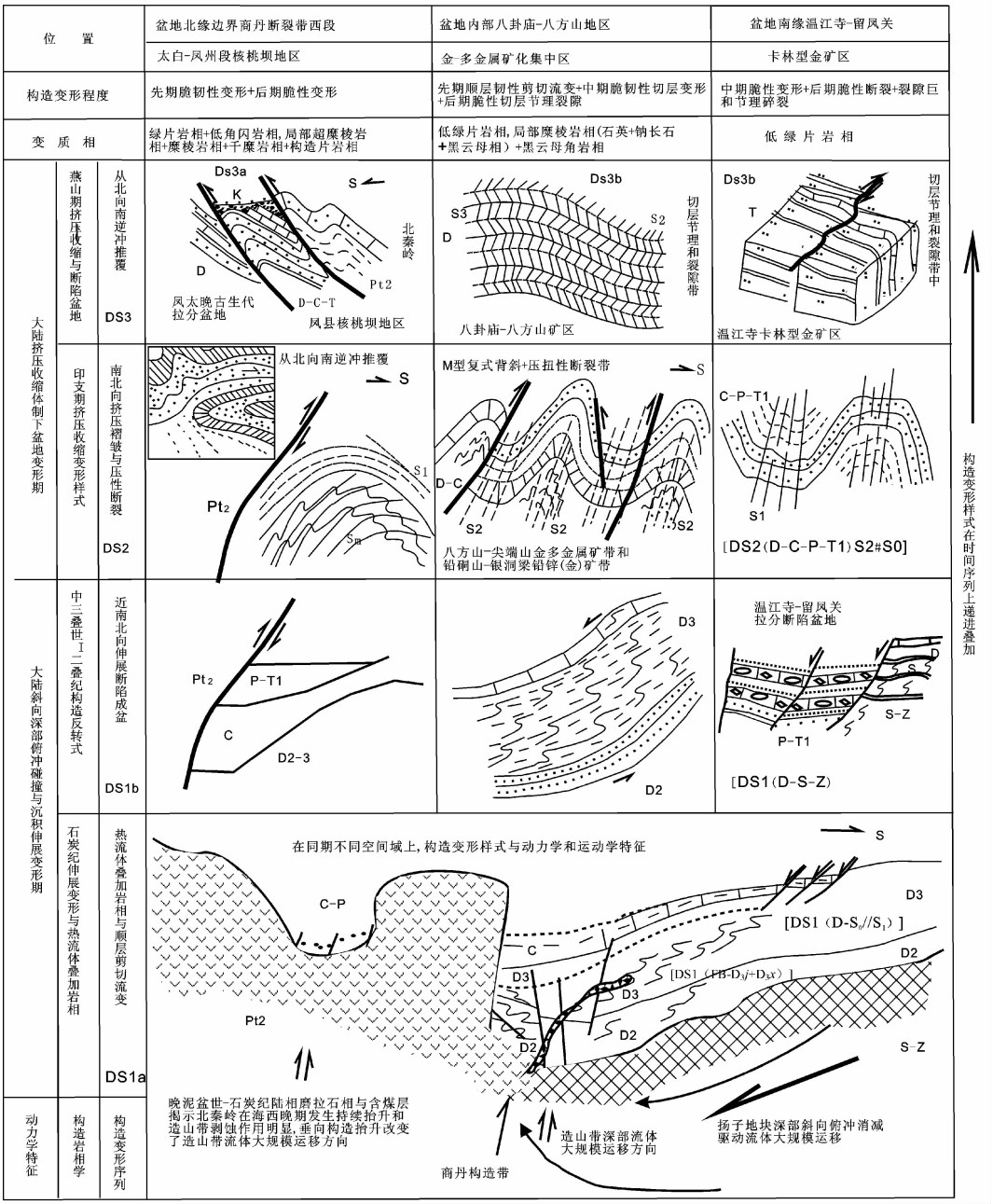


图 2 凤太晚古生代拉分盆地构造变形序列、构造变形样式与动力学和运动学特征

Fig.2 Sequence, styles, dynamics, and kinematics of tectonic deformation for Fengxian-Taibai late Paleozoic apart-pull basin

酸盐质角砾岩带 [DS1 (FB-D_3j+D_3x)-S0//S1], 在磨沟-青崖沟-古岔河-菩萨崖一带 NWW 向长 21 km, 宽 1 100 m。由似层状和透镜状,局部为脉状等不同形态的 40 个碱性铁碳酸盐钠长石角砾岩体群组成[DS1 (FB-D_3j+D_3x)]。单个碱性铁碳酸盐质钠长石角砾岩体最长 3 910 m,宽 10~50 m,最宽 120 m。(图 1 和 2)。

从构造-岩相学角度, 对碱性热流体隐爆角砾岩叠加相的叠加期次为:(1) 在青崖沟和八卦庙金矿区,星红铺组中产出有层状钠长石白云岩、黑云母钠长石岩、钠长石黑云母岩、钠长石碳质粉砂岩及钠长石炭质泥岩(千枚岩),并与地层发生同步褶皱,显示了形成于晚泥盆世,具有热水沉积作用,在封闭、滞流的还原盆地中,形成了钠长石热水浊积岩。沿铅硐山-青崖沟同生断裂北段, 上升进入青崖沟三级热

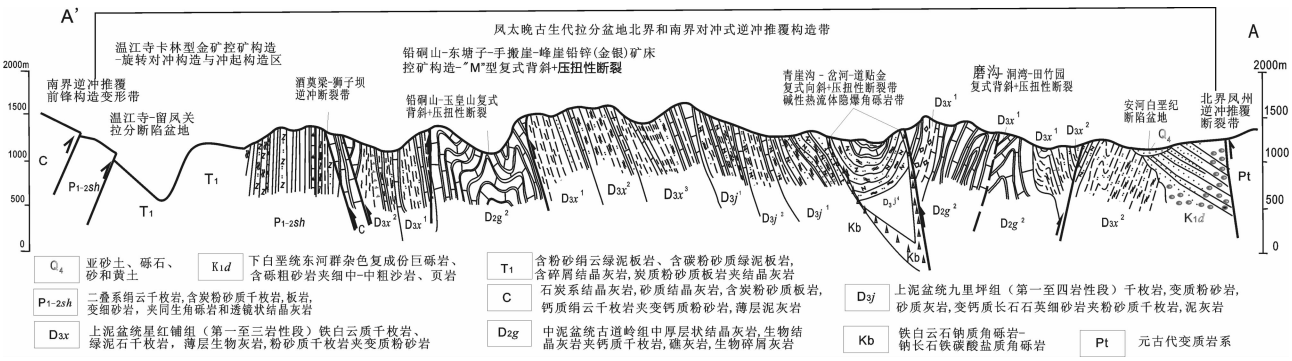


图 3　陕西凤太晚古生代拉分盆地南北边界与盆地内部构造变形样式与构造组合(图 1 中 A-A′剖面)

Fig.3　Styles and associations of tectonic deformation on both sides of and within Fengxian-Taibai late Paleozoic apart-pull basin (position of this profile as for A-A′profile in Fig.1)

水沉积盆地之中。(2)碱性铁碳酸质钠长石角砾岩体侵入地层主要为上泥盆统九里坪组和星红铺组,受北东向和近东西断裂带控制。上泥盆统主体走向为近东西向,北东向碱性热流体角砾岩体具有切割地层特征,揭示其形成于晚泥盆世后。在九里坪组和星红铺组中,大致顺层的裂隙带控制了铁碳酸盐-钠长石细脉带 [DS1-S_0//S_1],也显示形成于晚泥盆世后。(3)九里坪组中蚀变岩为钠长石化板岩和钠长石化灰岩,一般蚀变带宽数十厘米,局部可见到原岩残留体。以钠长石角砾岩为主,其次铁白云石钠长石角砾岩,少量复成分角砾[DS1(FB-D_3j+D_3x)-S_0//S_1],原岩残留体和钠长石化蚀变相揭示碱性热流体角砾岩形成于晚泥盆世之后。(4)沿凤县—山阳—商南岩石圈断裂带西段 (本区双王—修石岩—青崖沟),在泥盆系中产出稳定分布的钠长石角砾岩、铁碳酸盐质角砾岩及复成分角砾岩带。在八方山铜铅锌和八卦庙金矿区,发育铁白云石钠长石岩脉。碱性热流体角砾岩带附近伴有钠长石化细脉、铁碳酸盐化细脉及钠长石岩脉。总体展布方向为大致顺层发育的 NWW 向,局部有穿层现象。(5)八卦庙超大型金矿产于脆韧性剪切带内,该带 NWW 向长约 50 km。与钠长石共生的 NWW 向无根状石英脉,属于韧性剪切变形过程中形成的典型产物,其形成时代为(232.58±1.58)Ma(Ar-Ar 坪年龄)[23],说明该带形成于中三叠世晚期 (印支运动早期,DS2 与 DS1 之间),这与本区南部在中三叠世拉丁期,早三叠世温江寺—留凤关拉分断陷盆地封闭与构造反转过程一致。可以看出,碱性热流体角砾岩具有多期多阶段的构造岩相学记录。

在凤太东部王家楞—王家坪一带,碱性热流体隐爆角砾岩也具有多期叠加历史[25,26]。(1)双王北西向含金钠长石角砾岩带断续长 11.5 km。5 个钠长石角砾岩体长 550~3 600 m,宽 2~500 m,已控制延深达 700 m。(2)单个钠长石角砾岩体呈带状、透镜体状、分枝状及不规则状等,总体向北东陡倾,局部有反倾现象,呈现反"S"形态。陡倾的糜棱岩化板岩(糜棱岩化相) 呈顺层产出,部分地段为低角度斜切地层。钠长石角砾岩与上、下盘围岩之间的接触关系比较清楚或呈渐变过渡,钠长石角砾岩体两侧常见平行产出的较小角砾岩体。东和西矿段已发现 14 个金矿体,金矿体赋存在碱性铁白云石钠长石角砾岩筒中。(3)碱性钠长石角砾岩-钠长石铁碳酸盐质角砾岩带初期形成于张性环境中 (张性角砾岩相),有多期构造改造特点;受印支期近南北向挤压应力作用而形成碎裂岩化,碎裂岩相一般多发育在碱性角砾岩带边部的挤压破碎带中,在双王和青崖沟中均可见到。(4)在燕山期近东西向挤压和南北向张剪应力场中,形成了巨大角砾岩块中"之"字型扭动(张剪性角砾岩相)和平卧褶皱,这说明碱性角砾岩带在印支期主造山期前已经形成。在 EW、NE 和 NW 向断裂交汇处碱性角砾岩筒,可能在燕山期发生了深部流体叠加改造作用。总之,双王碱性热流体隐爆角砾岩带,具有多期多阶段叠加构造变形-热流体叠加特征,石炭—二叠纪为张性角砾岩相+糜棱岩化钠长石化板岩[DS1(FB-D_3j+D_3x)-S_0//S_1],印支期形成了碎裂岩化相叠加,燕山期形成了张剪性角砾岩化相叠加。

1.4　温江寺—留凤关拉分断陷盆地[DS1b]

凤县留凤关二叠系十里墩群由一套深灰至黑色

砂、板岩及塌积同生角砾岩组成,形成于陆棚边缘斜坡环境和槽盆中心环境。早三叠世构造反转主要为凤太拉分盆地中部基底构造层相对快速抬升,导致沉积盆地中斜坡角度增加,而形成重力流沉积与同生滑移褶皱,断块式抬升在同生断裂带附近形成泥石流-滑塌沉积,浊积岩系中热水硅质岩相和层状英安质凝灰岩是卡林型金矿重要赋矿层位。酒奠梁—镇安—板岩镇同生断裂带(西段)在二叠纪—早三叠世发生走滑断陷作用,在瓦房坝—温江寺形成走滑拉分断陷作用强烈,这是瓦房坝—温江寺—留凤关二级拉分断陷盆地主成盆过程[32]。

1.5 热流体叠加构造岩相与泥盆系伸展变形耦合关系分析

研究区热流体叠加构造岩相 [DS1(FB-D_3j+D_3x)-S_0//S_1]与泥盆系伸展变形[DS1(D-S_0//S_1)]间,可能有深刻的内在耦合关系。凤太晚古生代拉分盆地在石炭纪—早三叠世初经历了伸展变形和强烈的碱性热流体叠加改造热事件,这是继秦岭早古生代陆-弧碰撞在北秦岭形成岛弧造山作用后,北秦岭岛弧造山带拼接在华北地块南缘活动大陆边缘上。由于陆-陆碰撞是先发生点碰撞[1],在刚性地块发生点碰撞之后,必然发生刚性体间反向构造阻力,这是陆-陆(华北地块—扬子地块)斜向碰撞过程的必然结果。在泥盆—石炭纪,勉略有限洋盆在深部地幔柱上涌作用下打开,同时耦合了西秦岭特提斯构造域岩石圈伸展体制,虽然这些多种构造体制耦合,导致了北秦岭加里东岛弧造山带与中秦岭地区在陆壳浅部发生盆-山耦合,秦岭岩石圈深部俯冲消减速度总体减缓了。但推测由于扬子地块岩石圈深部俯冲强大惯性依然持续,在泥盆纪期间,秦岭微地块岩石圈改变为垂向上涌作用增强,形成了秦岭式第三类伸展构造体制。秦岭微地块北缘中秦岭地区是斜向碰撞大陆边缘,在岩石圈垂向上涌作用下形成了三种构造驱动和耦合作用下的走滑-拉分体制,之后在石炭纪开始发生构造反转作用,对这种构造体制耦合转换与构造反转的大陆动力学分析如下。

(1)晚泥盆世—石炭纪是秦岭造山带陆-陆碰撞的转折时期[1],石炭纪初本区曾经历了短暂抬升,石炭系与泥盆系之间为平行不整合关系,凤太拉分盆地范围强烈缩小,石炭纪沉积中心向该盆地的西侧、东侧、南侧和北侧等盆地周缘迁移,揭示了拉分盆地萎缩封闭进程[31]。扬子地块向北俯冲碰撞具有顺时针旋转特征[1],由于西秦岭受古特斯构造域控制而处于大陆斜向俯冲作用下,形成了陆壳浅部走滑拉分与构造断陷作用。为早三叠世拉分断陷盆地(C-T_2)形成提供了大陆动力学条件,同时,也导致了泥盆纪地层体发生分层的顺层伸展变形和顺层剪切流变作用。

(2)不协调热变质作用在西河—太白河地区发育,泥盆系变质程度浅,局部石炭系变质程度深,三叠系系变质则浅。如江口断裂北侧石炭系界河岩组中,部分碳酸盐岩及泥质岩变质程度深,变质矿物组合为透辉石-透闪石-硅灰石-黑云母等温度较高的矿物组合,揭示石炭纪曾有构造-热事件发生,这是区域构造体制转换的构造岩相学记录。

(3)从石炭纪开始,在地幔深部构造体制转换中也发生了重大的调整,在深部岩石圈尺度上近南北向缓慢收缩动力学系统中,深部热物质被驱动向陆壳浅部构造脆弱部位上涌运移,形成了白水江垂向基底隆起带中柳川—留坝基性岩体,形成了具幔源特征的闪长岩体(群)及基性-超基性岩墙群。而这种地幔深部化学作用引起的热物质上涌导致了区域性热流值升高,使石炭系岩石遭受以高温为特征的热改造,形成了泥盆系与石炭系—二叠系不协调变质。

(4)柳川—留坝基性岩体及脉岩以留坝楼房沟超基性岩体代表了深部热物质侵位的位置。该岩体群为海西期(C-P)闪长岩体,内部发育基性、超基性岩脉。闪长岩体内包体较多,同源包体多呈黑色,等轴团块状,成分为次闪石化辉石岩、辉石角闪岩、角闪岩和云斜煌斑岩等。脉岩主要为斜长角闪岩、强次闪石化细粒斜长单斜辉石岩、次闪石化微粒辉长岩、次闪石化中粒斜长辉石岩。这些岩体和脉岩与围岩之间,呈明显的侵入关系;走向为 NNW 向,呈岩墙产出为断层接触。形成于海西期末,受区域海西期伸展构造影响,本区陆表海域发育陆内断块裂陷,深源偏碱性热物质上涌侵位,柳川—留坝闪长岩体及中基性-起基性墙群是海西期陆内裂陷的有力佐证❶。西坝复式岩体与此同源同期开始形成,但西坝复式岩体主体形成于印支期—燕山早期❶。

(5)凤县温江寺—留凤关早三叠世拉分断陷盆地

❶李荣社.区域地质调查报告(1:5 万比例尺,靖口关幅、江口镇幅),陕西省地质矿产局,1992.

可能是深部构造扩展作用形成的结果，由于这种构造扩展作用是构造断陷-构造隆升相依存，被抬升的泥盆纪沉积盆地因物质重力均衡作用而发生了分层的顺层伸展变形。

(6)石炭—二叠纪和印支期—燕山期,深部地幔柱化学作用所衍生的深源碱性热流体沿凤县—凤镇-山阳幔型断裂(西段)侵位[32],在该断裂及分枝断裂带形成了碱性热流体角砾岩带及广泛的碱性热流体交代作用。具有较多地幔物质成矿信息,如在八卦庙金矿中发现了 PGE 的独立矿物自然钌和钨钌矿,其他矿物有含钌黄铁矿、铁镍矿、锌铋矿和硫砷钴镍矿等[33]。在双王金矿和八卦庙金矿主成矿阶段石英和含铁白云石中，发现了富含高盐度和含子矿物的流体包裹体,子矿物主要为黄铁矿、铁白云石、石盐、毒砂及一些成分复杂的子矿物,说明成矿流体具有地幔源区特征[33,34]。揭示双王和青崖沟碱性热流体隐爆角砾岩带、八卦庙—八方山铁白云石钠长石岩脉等地区，具有形成超大型金矿床的造山带流体动力学背景。本区这种构造体制转换初期的构造岩相学记录，与来自于地幔的鄂西竹山钙霞正长岩-碳酸岩杂岩体的侵位开始时间[35]相吻合,该碱性热流体角砾岩带东端商南县丹江钠长岩-钠长角砾状岩形成时代为(364.9±10.9)Ma[36]。说明秦岭地区在石炭纪确实有一次深部地幔源区岩浆上涌过程，并可能一直延续到印支期初期。

2　印支期挤压收缩构造变形样式[DS2]与动力学

盆地构造变形动力学机制有垂向升降、横向收缩、岩浆-构造热动力改造和深部地质作用等[37],从而导致盆地流体大规模运移与成岩成矿作用发生[38]。在印支期陆-陆斜向碰撞过程中，形成了沉积盆地横向收缩变形,泥盆系—下三叠统发生同步褶皱。该拉分盆地北缘受到冲断褶皱作用强烈，在石炭系和下三叠统形成断褶带,主构造变形期为印支期。下白垩统东河群在区内呈北东东和近东西向展布，与泥盆—石炭系和下三叠统呈角度不整合关系。白垩系中形成了宽缓向斜,并叠加了沉积盆地垂向升降、岩浆-构造热动力改造和深部地质作用。横向挤压收缩变形主体为印支期和燕山期。

印支期—燕山期构造变形动力学、几何学与运动学为自北向南和自南向北、近东西向对冲式逆冲推覆挤压收缩与盆地边缘变形,伴随 NWW 向褶皱与压扭性断裂作用。对冲旋转作用造成了盆地内部变形,并成为盆地流体圈闭构造。

(1)商丹带西段(太白—凤州段)具有多期活动和不同构造层次共存、近东西向韧性-脆韧性剪切带，在太白—凤州段以前白垩纪地层自北向南以中低角度逆冲推覆到下白垩统东河群之上。

(2)在留坝县自南向北,白水江逆冲推覆构造体以志留系为主体、紫柏山逆冲推覆构造以泥盆—石炭系为主体、留凤关逆冲推覆前锋构造变形带以二叠—三叠系为主体,形成于印支期碰撞造山过程中,运动学构造指向为从南至北形成了一系列逆冲推覆体[1]。

(3)在凤太晚古生代拉分盆地内部,受对冲旋转区域动力学控制，形成了一系列 NWW 向“W-M”型复式褶皱与压扭性断裂带相间排列(图 1~4)。这种盆地南北两侧边缘发育对冲推覆构造体，为盆地流体大规模运移的构造驱动力，也限制了在印支—燕山期深部岩浆驱动的区域热流体场外泄散失，导致盆地内部流体发生大规模运移并聚集于构造圈闭中。

2.1　盆地北边界商丹带西段(太白—凤州段)逆冲推覆构造变形样式

太白—凤州段是具有多期活动和不同构造层次构造共存特征、近东西向韧性-脆韧性剪切带。构造变形时代与动力学、几何学和运动学特征为:(1)海西期陆-陆点碰撞不断递进发展，北秦岭和中秦岭呈现盆山耦合与转换格局。太白—凤州段以北,北秦岭加里东岛弧造山带转变为厚皮逆冲推覆构造[1]。太白—凤州段在海西期右行平移走滑(301~317 Ma)[31],在前泥盆纪地层中形成了韧性剪切带，发育弥漫性构造面理置换。(2)在印支期陆-陆全面碰撞挤压造山过程，东西向商丹剪切带具有左行斜冲走滑剪切变形,表现为自北向南逆冲推覆[1]。在本区核桃坝地区泥盆—石炭系中,发育斜冲走滑断褶皱带(图 1~4),属于商丹剪切带南部脆韧性构造变形域。泥盆—石炭系和下三叠统呈构造岩片形式产出，断裂带内碎裂岩-糜棱岩相带宽约 1 000 m。(3)燕山早期,发生近南北向逆冲推覆构造作用(至侏罗纪初),形成了自北向南逆冲推覆构造;燕山晚期,造山期后伸展垮塌形成了早白垩世山间断陷盆地，呈现盆地垂直升降的改造样式。(4)该断裂带内,海西期、印支期和

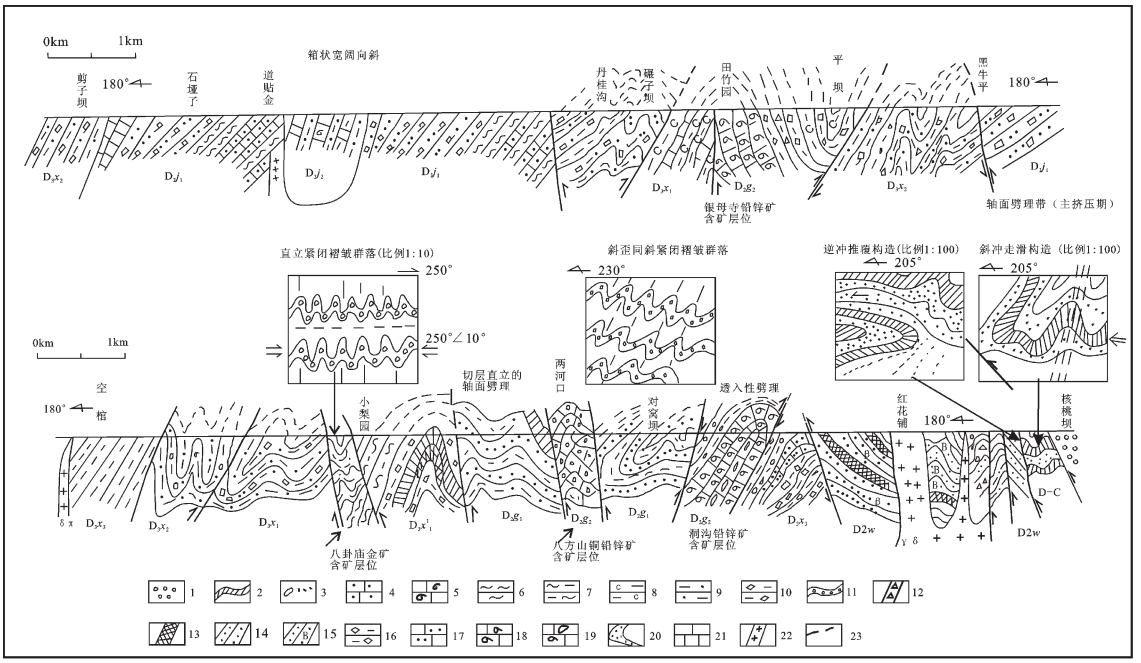


图 4 陕西凤县西河实测构造-岩石地层剖面与构造变形样式(图 1 中 B-B′剖面位置)

1—下白垩统东河群(K_1d)山间磨拉石相;2—上泥盆统-石炭系(D-C),深海槽盆粉砂质浊积岩相(含炭硅质岩相),上泥盆统九里坪组;3—铁白云质砂板岩夹铁白云质粉砂岩;4—薄层结晶灰岩及泥质灰岩;5—生物灰岩;6—绿泥石绢云母千枚岩,上泥盆统星红铺组;7—绿泥石千枚岩;8—含炭千枚岩及炭质泥质板岩;9—绢云母粉砂质千枚岩;10—铁白云质粉砂千枚岩;11—具钙质流失孔同斜紧闭褶皱群、直立紧闭褶皱;12—含砾板岩(同生角砾岩);13—热水浊积岩;14—泥砂质浊积岩;15—黑云母、钠长黑云母岩;16—含炭铁白云质岩/千枚岩;中泥盆统古道岭组:17—砂屑灰岩;18—生物灰岩、生物焦灰岩;19—砾屑生物灰岩(含同生角砾岩层);20—钙屑泥砂质板岩(发育平卧、斜卧褶皱层);21—中厚层结晶灰岩;22—燕山-印支期黑云母花岗岩($\gamma\delta$),黑云母斜长岩;23—实测及推测断层;D_2w—中泥盆统王家楞组;D_2g—中泥盆统古道岭组;D_3x—上泥盆统星红铺组;D_3j—上泥盆统九里坪组;D-C—泥盆系-石炭系

Fig.4 Measured tectonic-stratigraphic section showing styles of tectonic deformation in Xihe of Fengxian (position of this section as for B-B′ profile in Fig. 1)

1-Intermountain molasse facies in the Donghe Group(K_1d)of Lower Cretaceous system. 2-Silty turbidite facies or carbonaceous silicalite facies of abyssal sea trough-basin in the Upper Devonian-Carboniferous Period(D-C). The Upper Devonian Jiuliping Group, 3-Ferrodolomite sandy slate interlayer with ferrodolomite siltstone; 4-Thin-bedded crystalline limestone and argillaceous limestone; 5-Biolithite. The Upper Devonian Xinghongpu Group, 7-Chlorite phyllite; 8-Carbonaceous phyllite and carbonaceous-argillaceous slate; 9-Sericite silty phyllite; 10-Ferrodolomite silty phyllite; 11-Isoclinal tight folds and upright tight folds with calcareous erosion cave,12-Gravel-bearing slate(autobreccia); 13-hydrothermal turbidite; 14-Argillaceous silty turbidite;15-Biotitite and albite biotitite;16-Carbonaceous ferrodolomitite or ferrodolomite phyllite. The Middle Devonian Gudaoling Group, 17-Calcarenite,18-Biolithite and reef limestone;19-Biocalcirudite (autobreccia layer); 20-Calcareous muddy-sandy slate with recumbent fold and oblique fold;21-Medium-bedded crystalline limestone;22-Granitite in the Yenshan-IndoChinese epoch($\gamma\delta$),biotite anorthosite. 23-Surveyed and inferred fault. D_2w-The Middle Devonian Wangjialeng Group. D_2g-The Middle Devonian Gudaoling Group. D_3x- The Upper Devonian Xinghongpu Group. D_3j- The Upper Devonian Jiuliping Group. D-C-The Upper Devonian-Carboniferous Period

燕山期花岗岩侵入体呈线状和带状展布。

2.2 盆地南边界逆冲推覆构造变形特征及动力学

在该拉分盆地东南部,前泥盆系(志留系)中发育褶叠层,构造样式有顺层掩卧褶皱、顺层韧性剪切面状构造、拉伸线理和顺层流劈理及构造岩。主要与龙王沟剥离断层带在泥盆纪期间发生伸展变形有关,形成了志留系层间剪切流变构造。

在中三叠世以后,由于扬子板块、秦岭微板块与华北板块发生全面陆-陆碰撞造山, 该拉分盆地南缘最终发生构造反转,印支期碰撞造山过程中,运动学构造指向为从南至北发生逆冲推覆[1]。从留坝县自南向北分别为: 白水江推覆构造带以志留系为主体,紫柏山逆冲推覆构造以泥盆—石炭系为主体,留凤关逆冲推覆前锋构造变形带以二叠—三叠系为主体,发生构造变形最新地层为下三叠统。留凤关石炭纪—早三叠世沉积充填体形成于拉分断陷过程,在中三叠世发生构造反转作用。在凤太拉分盆地南界和北界,分别形成了厚皮式逆冲推覆构造[1]。这种对

冲式、厚皮逆冲推覆构造作用下,在温江寺—留凤关形成了对冲旋转及反冲构造,复式向斜北翼发生倒转,与逆冲断层北盘向南逆冲配套。志留系逆冲推覆于复式向斜南翼下三叠统之上。在南部温江寺—留凤关二级拉分断陷盆地中,对冲构造形成了盆地流体的构造圈闭,对卡林型金矿成矿带形成和保存十分有利。在凤县温江寺金矿区三叠系中,与逆冲推覆构造相伴,发育次级断裂、密集节理和裂隙等低序次小型构造,它们含金脉带和含金蚀变脉带的储矿空间,多充填有含金高岭石脉、含金石英脉和含金硅化蚀变岩等。

2.3 沉积盆地内部复式褶皱与压扭性断裂构造组合样式

在凤太拉分盆地内部,印支期挤压收缩变形体制下,构造变形组合样式[(DS2(D-C-T_1)]为 NWW 向复式褶皱+NWW 向压扭性断裂。在现今凤太地区分布有一系列轴向为 NWW 向复式褶皱和压扭性断裂,从北到南(图 1),分布有 NWW 向苏家沟—两河口—双王复式背斜+压扭性断裂带—>NWW 向八方山—平坎滩复式向斜+压扭性断裂带—>NWW 向磨沟—龙洞湾-田竹园复式背斜+压扭性断裂带—>NWW 向青崖沟—古岔河—道贴金复式向斜+压扭性断裂带[DS1(FB-D_3j+D_3x)]—>NWW 向铅硐山—玉皇山复式背斜+压扭性断裂带—>NWW 留凤关—温江寺—江口复式向斜+压扭性断裂带。

构造变形样式及构造组合不同,对于金-多金属成矿分带和矿体定位具有显著的控制作用(图 1)。(1)“W”型复式向斜叠加脆性-脆韧性断裂带控制了金成矿带。NWW 向青崖沟—古岔河—道贴金复式向斜中,压扭性断裂带[DS1(FB-D_3j+D_3x)]控制了碱性铁白云石钠长石角砾岩-钠长石铁碳酸盐质角砾岩带(金矿化带)。向斜构造、叠加的脆韧性剪切带和隐伏深部岩体共同控制了类卡林型金矿定位。留凤关—温江寺复式向斜+脆性断裂带控制了温江寺卡林型金矿,其化探异常为典型的低温相元素组合(Au-Sb-Hg-As 型)。(2)“M”型复式背斜核部和两翼控制了多金属矿。在八方山—平坎滩复式向斜+压扭性断裂带中,“M” 型复式背斜构造控制了八方山—尖端山铜铅锌矿带,“M” 型背斜核部和向东倾伏端控制了二里河铅锌矿床。在铅硐山—水柏沟复式背斜中,“M”型复式背斜控制了铅硐山、东塘子和手搬崖铅锌矿床,银洞梁和峰崖复式背斜控制了银洞梁和峰崖中型铅锌矿床。

2.3.1 “W-M”型八方山—平坎滩复式向斜+压扭性断裂带

NWW 向八方山—平坎滩“W”型复式向斜+压扭性断裂带控制了八方山—二里河—八卦庙金多金属成矿带(图 1、3 和 4),该复式向斜总体形态为“W”型构造样式,核部为八方山—尖端山复式背斜,两侧为倒转向斜。八方山—尖端山背斜长 19 km,宽约 1 km,长宽比大于 19:1,属于线性背斜,具有“M”型背斜特征,本文将这种构造组合称为“W-M”型褶皱。八方山—尖端山“M”型复式背斜核部为中泥盆统古道岭组结晶灰岩和重结晶生物碎屑灰岩,局部大理岩化强烈。该“M”型复式背斜两翼为上泥盆统星红铺组第一至三岩性层。北翼产状 15°~ 30°∠70°~ 85°,南翼产状 195°~ 215°∠60°~ 70°,轴面产状为 359°∠88°,枢纽产状为 272°∠7°。该背斜脊线呈鱼脊状,在八方山铜铅锌矿区 1~46 线中部拱起,“M”型复式背斜地表出露形态呈不规则椭圆状,从八方山向东端二里河铅锌矿区和西端尖端山铅锌矿区,向深部倾伏,倾伏角为 15°~ 30°,属于直立缓倾伏紧闭褶皱。与该“M”型复式背斜构造相配套,发育两组倾向相反的区域性切层劈理和断裂组,构造变形强烈,花岗斑岩、闪长玢岩、钠长斑岩、钠长岩和铁白云石钠长岩等脉岩沿 NWW、SE 和 SN 向断裂侵入。

八方山—尖端山多金属成矿带受“M”型复式背斜核部和两翼控制,主要多金属矿体分布在背斜核部和鞍部,其次在两翼。南翼局部倒转而控矿作用明显优于未倒转的北翼,背斜和多金属矿体向 SEE 向侧伏,铅锌矿体规模较大;向 NWW 向扬起,多金属矿体消失。“M”型复式背斜的鞍部自西向东由宽变窄,向东南 110°方向侧伏,侧伏角在 14°~ 25°;二里河隐伏铅锌矿体主要位于该区域,推测该隐伏背斜向东延伸到西河,长度约 10 km[39]。在剖面上,该背斜鞍部的矿体受次级褶皱控制明显,其构造包络线具有多个“M”型特征,在走向上西宽东窄,西高东低。八卦庙—丝毛岭—小梨园金成矿带产于倒转向斜+脆韧性剪切带中,倒转向斜向 SEE 向侧伏,向 NWW 向扬起。

2.3.2 “M-W”型铅硐山—玉皇山复式背斜+压扭性断裂带

北西西向“M-W ”型铅硐山—玉皇山复式背斜

位于南部(图 1),长度 37 km,中部最宽达 5.2 km,向西部最宽收缩 2.4 km,向东部最宽为 3 km,长宽比大于约 10:1,属于线性背斜。该复式背斜核部为古道岭组(D_2g^2),两翼为星红铺组(D_3x)。北翼产状 15°∠55°~70°,南翼倒转,产状 10°~20°∠45°~70°。其核部次级褶皱发育,由三个次级背斜和两个次级向斜组成了总体"W"型构造样式,次级背斜向 NWW 倾伏,向斜向 SEE 翘起,属紧闭线性褶皱。

铅硐山—东塘子、银洞梁—手搬崖和峰崖 3 个次级背斜为铅锌矿床主要定位构造,控制了铅硐山、东塘子、银洞梁、手搬崖和峰崖 5 个铅锌(金银)矿床。铅铜山—东塘子背斜北翼正常,产状 8°~12°∠60°~70°;南翼东段倒转或直立,西段趋于正常,产状在 210°∠70°~84°;总体为一轴面近于直立,向西倾伏的"M"型复式背斜。在北枝背斜南翼,赋存铅硐山铅锌矿床的Ⅰ号矿体,向西倾伏于银洞梁—手搬崖背斜南侧,局部形成了铅锌(金银)矿体。在南枝背斜南翼及鞍部,赋存铅硐山铅锌矿床Ⅱ号主矿体,向西倾伏于东塘子铅锌矿区深部。在北枝和南枝背斜之间,次级向斜核部未发现矿体,铅硐山—东塘子复式背斜呈现"M"型样式,背斜鞍部和两翼属铅锌矿体储矿构造。

任家沟 NWW 向压扭性走向断层(逆冲断层)分布于铅硐山—玉皇山"M-W"型复式背斜北翼,向西逐步覆于铅铜山背斜上部。控制长 3 km,断层破碎带宽 1.0~2.0 m,由断层角砾岩化灰岩、断层泥和方解石石英脉构成。在断层上盘沿古道岭组灰岩断面溶洞发育,断层下盘星红铺组千枚岩泥化强烈,局部发育强烈的构造面理置换。断层产状 30°∠80°~85°,局部充填有铁白云石闪长玢岩脉。星红铺—苇子坪安沟口压扭性断裂位于该"M-W"型复式背斜南翼,断裂长 22 km,产状 190°~200°∠75°~80°,属具有顺时针扭动的压扭性正断层。这两组压扭性断层与该"M-W"型复式背斜属共生构造组合样式。北北东向断层长 2 km,充填有闪长玢岩脉,破坏铅锌矿体、错断走向断层和复式褶皱,形成于印支晚期—燕山期。

2.4 酒奠梁—狮子坝压扭性断裂(岷县—两当—镇安岩石圈断裂带)

酒奠梁—狮子坝压扭性断裂属于岷县—两当—镇安岩石圈断裂带的组成部分,在区内长 37 km 以上,两端向东西两侧均持续延伸,断裂破碎带宽 15~50 m,构造片理化带、糜棱岩化带和碳化十分强烈,揉皱发育。平面上呈现舒缓波状、分枝复合,总体产状 20°∠75°~80°。由于该压扭性断裂的破坏,在研究区南部上泥盆统和下石炭统缺失。沿该断裂带充填有闪长玢岩和花岗斑岩脉、石英脉和方解石石英脉等,主体为压扭性断裂且具有明显的多期活动历史。断裂带北盘地层(泥盆-石炭-二叠系)具有向南逆冲推覆特征。

该盆地南侧瓦房坝—江口东西向断裂带,属于成县—江口东西向岩石圈断裂带组成部分,其北部为温江寺三叠系中卡林型金矿成矿区。自该断裂带南部到北部,志留纪、泥盆纪、石炭纪和二叠纪地层体具有从南至北发生逆冲推覆,先后叠置于三叠系等新地层之上。总体上,在温江寺—留凤关复式向斜是在二叠纪—早三叠世拉分断陷盆地基础上演进的,它也是对冲式逆冲推覆构造体系核部和构造应力场中和区,属于盆地流体构造圈闭区。该区岩相、岩性和脆性构造域与盆地流体多重耦合,温江寺卡林型金矿[40]具有较大的找矿潜力。

总体上看,凤太晚古生代拉分盆地内部发育一系列 NWW 向"M-W"型复式褶皱+压扭性断裂带,揭示了扬子板块和秦岭微板块在印支期,自南向北斜向俯冲到全面碰撞造山过程中;同时,扬子地块发生逆时针旋转,形成了 NWW 向复式褶皱+压扭性断裂带构造格架。在印支期陆-陆全面碰撞过程中,该沉积盆地发生了强烈的横向收缩变形。在燕山期最终形成了盆地南北边界对冲式逆冲推覆,对于盆地流体大规模运移不但形成了构造驱动,而且也形成了构造圈闭。褶皱过程是岩层的纵弯压缩过程,"M"型复式背斜鞍部、核部和两翼岩性层是盆地流体圈闭构造和岩性圈闭,在不同岩(矿)层和矿物中形成了不同动力学响应和构造变形样式,(1)赋存于泥盆系碳酸盐岩与细碎屑岩之间的多金属矿层,由于三者能干性不同发生了物质分异,具有塑性流动特征的多金属矿层向背斜两翼及核部的虚脱空间运移,形成了富矿段,使矿体的厚度增加(图 5)。(2)与褶皱发育过程中常伴有同期形成的断裂,对多金属矿层富化是十分有利的构造空间,多金属矿层与上、下盘围岩之间发育的走向断裂,因三者岩石能干性不同,在断裂之间形成了因不同步运动产生的构造扩容空间,从而导致反 S 形的多金属矿体透镜化现象(图 5),如八方山 129 线构造扩容空间部位,多金属矿体厚度最大,品位变富,T13T129N 中,Zn 品位

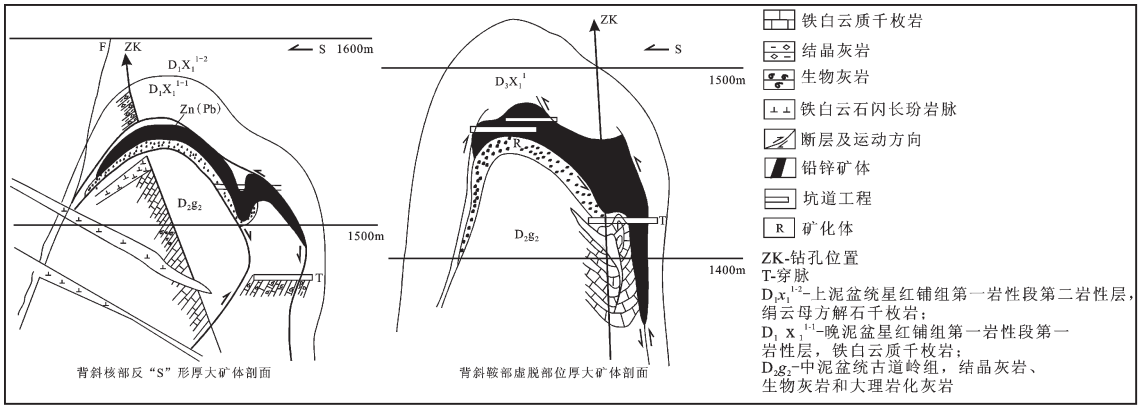


图 5　凤县八方山矿床多金属矿体剖面与褶皱形态图

Fig.5　Exploration section and shape of folds in the Bafangshan polymetallic deposit of Fengxian County

为 11.52%,矿体厚度为 22.90 m。(3)当受到挤压应力增加,发生递进变形,形成了反 S 形多金属矿体,矿体厚度增大和品位升高,如 121 线 T14 坑中。这种层间褶皱具有顺层剪切流变的动力学特征。(4)在矿层中，金属矿物对于挤压纵弯收缩动力学系统有不同响应,方铅矿具有高塑性,在受到压扭应力时形成了细粒化条带，而在构造扩容空间形成了团块状和粗晶条带状方铅矿，方铅矿中三角孔穴多发生旋转变形,显示受到压扭性应力作用的特征。闪锌矿因刚性较强常发育折射劈理,在闪锌矿–石英–方铅矿组合中,显示了闪锌矿石发生了脆性变形,劈理密度为 50 条/m,而共生的方铅矿中无劈理,石英中劈理与闪锌矿中劈理产状差异明显。黄铁矿常被错碎,形成金属镜面构造。这是纵弯褶皱过程中因矿物能干性不同形成了同体脆–韧性剪切差异变形特征。

3　反冲构造和冲起构造与金–多金属成矿分带

从图 4 看,自凤县核桃坝向南到洞沟,压扭性断裂上盘发生逆冲推覆，在核桃坝泥盆—石炭系中形成断褶构造带,构造运动学指向为 NE70°→260°,具有斜冲走滑特征，形成了高角度逆冲推覆与断褶构造作用。在红花铺发生燕山期花岗闪长岩枝侵位(图 4)，揭示在凤太盆地内部构造变形动力学与北界太白—凤州段不同(构造指向自北向南)。在盆地北界和南界，两条区域性近南北向逆冲推覆构造作用下形成了构造旋转应力场，这是区域构造应力相互协调的结果。在三向区域构造–岩浆侵入耦合应力场中，盆地内部扭张性构造应力场有利于盆地流体的运移和排泄。洞沟小型铅银矿和长沟多金属矿床赋存在向斜核部,盆地流体聚集在次级背斜核部古道岭组(D_2g^2)顶部结晶灰岩–铁白云岩系中。在太白县二级盆地中,双王背斜和王家楞压扭性断裂带是 NWW 向苏家河—两河口—双王复式背斜+压扭性断裂带南东段,控制了星红铺组含金钠长石角砾岩带。

反冲构造表现形式为多组产状相反、断裂上盘共同在褶皱两翼相反上升，两组产状相反断裂之间形成了层间滑动–扩容带和切层断裂构造扩容空间,在构造动力和深部岩浆侵位双重因素驱动下,盆地流体向这些构造扩容空间运移和聚集(图 4)。(1)从八方山—水磨沟断裂产状变化为倾向北，显示了压扭性特点,挤压破碎带明显。沿断裂带有闪长岩脉侵入,片理化、炭化及 S–L 构造透镜体发育。八卦庙金矿床位于该断裂带上，在八卦庙金矿区内被称为 F_3 断裂组。其北部有两组压性断裂,唐沟口—庙岭沟断裂使三叠系(T)直接与泥盆系王家楞组接触,缺失二叠系和石炭系。断裂带宽 40~50 m,构造角砾岩、糜棱岩化和碳化明显,产状 15°∠75°;杏树坪压性断裂破碎带宽 50 m 左右，构造角砾岩、糜棱岩化、片理化发育，构造透镜体和炭化产状 10°~25°∠65°~80°,沿断裂带有花岗闪长岩脉及闪长岩脉侵入。其南部有两组压扭性断裂,苏家沟—空棺压扭性断裂在平面上呈舒缓波状,断裂破碎带宽 10~20 m,破碎带、片理化带和揉皱发育,产状 31°~36°∠62°~65°。沿断裂带有花岗岩斑岩脉侵入。该断裂规模大,使 D_2g、D_3x 全部及部分 D_3j 地层缺失。碾道—狮子坝压扭性断裂,总体产状 20°∠75°~80°,断裂破碎带宽 20~30 m,糜棱岩化和炭化普遍,岩石破碎,沿断

裂带有中酸性岩脉侵入,断裂带内揉皱发育,石英细脉较多,具有多期活动的特点。总体上,在两河口—八卦庙—八方山反冲断裂南北两侧的断裂,显示了由北向南逆冲推覆,使地层缺失较大,沿断裂带均有中酸性岩脉侵入,显示了断裂切割深度可达大陆地壳的中深构造层。

(2)在凤太晚古生代拉分盆地内,银母寺—八卦庙—八方山断裂带的断裂破碎宽 2~15 m,,总体产状为 180°∠70°~80°。在两河口—八卦庙—八方山一带,显示了自南向北的反冲构造作用。这种反冲构造在八方山矿区的坑道内均可直接观察到,泥盆系古道岭组灰岩向北发生了高角度逆冲,八方山背斜南翼星红铺组高角度逆冲推覆(图 5)。反冲构造与深部热侵入构造耦合,深部岩浆侵位加热了盆地流体并构成了垂向热流体驱动力,泥盆系古道岭组被构造动热和盆地热流体垂向运移作用顶起,形成穿刺背斜、黑云母化、电气石化、硅化和钠长石化等斑点状热流体交代蚀变岩相、大理岩化和重结晶灰岩等热变质相,实际上,这是冲起构造、倒转向斜、深部热侵入构造和盆地流体耦合作用形成的构造岩相学特征。伴随发育正扇形区域性切层劈理和构造面理置换(S_0#S_2),产状分别为 20°∠61°和 190°∠60°。该区域内脆韧性剪切带、蚀变糜棱岩相、蚀变千糜岩相和蚀变糜棱岩化相是构造扩容空间的构造岩相学记录,也是类卡林型金矿体定位的构造空间。

(3)反冲构造及冲起构造作用,使从石炭纪开始发育的分层韧性剪切带发生了递进变形(S_1#S_2),为八卦庙脆-韧性剪切带型金矿提供了良好的区域构造动力学背景、成矿流体发生金矿成矿物质卸载沉淀的构造空间。八卦庙倒转向斜中发育反扇形轴面劈理(S_0#S_2),它们构成了含金成矿流体的构造扩容与流体系统封闭作用。

(4)因泥盆系细碎屑岩、多金属矿层及碳酸盐岩能干性差异,在递进变形中发育顺层逆冲推覆,构造应力较强时,逆冲推覆构造切层发育。当矿体位于逆冲推覆断层上盘时,产生了张扭性扩容空间,形成了褶皱-推覆体的倒转翼发育透镜状富矿体;逆冲推覆构造也可造成层状矿体被错断、破坏。

总之,反冲构造叠加耦合岩浆侵位形成的垂向热驱动力,改变了盆地流体大规模侧向运移方向,冲起构造为盆地流体大规模垂向运移和聚集提供了构造圈闭条件,背斜核部成为含铅锌成矿流体圈闭构造,为多金属矿层改造富化提供了构造条件。在构造驱动下,盆地流体不断循环对流萃取地层中金成矿物质,沿向斜构造发育切层的脆韧性剪切带排泄聚集,并发生类卡林型金矿成岩成矿作用。

(5)在凤太晚古生代拉分盆地中-北部,形成了 NWW 向碱性铁白云石钠长石角砾岩-钠长石铁碳酸盐质角砾岩等构造-热流体岩相叠加与侵位,对于八卦庙超大型金矿、双王大型金矿、丝毛岭中型金矿和金矿点等金成矿带形成具有明显的控制作用。

从印支运动开始,凤太晚古生代拉分盆地中缺失中—上三叠统和侏罗系,揭示了该时期曾经历了陆-陆全面碰撞形成的横向挤压收缩与隆升造山抬升过程,构造岩相学研究揭示为大陆侧向挤压收缩大陆动力学体制下发生盆地横向收缩和构造叠置变形作用,为盆地流体大规模运移与聚集成矿提供了构造驱动力。西坝复式岩体主体形成于印支期,第一期石英二长闪长岩和花岗闪长岩侵入体的形成时代为 218~219 Ma,第二期似斑状二长花岗岩侵入体的形成时代为(214.9±1.1) Ma[41]。以中三叠统安尼阶(245.9 Ma)为印支运动开始,上三叠统瑞替阶结束时间(199.6±0.6)Ma 为印支运动结束期,在印支运动(晚三叠世—侏罗纪,(199.6±0.6)Ma~(145.5±4) Ma)期间,该拉分盆地构造变形大陆动力学特征为大陆侧向挤压收缩和垂向抬升,并叠加耦合了岩浆侵位形成的垂向热驱动力,在构造侧向驱动和岩浆侵位垂向热驱动力联合作用下形成了盆地流体场。在这种构造侧向驱动和岩浆侵位垂向热驱动力的双向驱动作用下,盆地流体必然发生大规模运移。反冲构造和冲起构造区为盆地流体提供了良好的构造与岩性圈闭空间。在冲起构造空间域内,切层脆韧性剪切带与冲起构造区呈交切关系的拓扑学结构,这种构造样式与构造组合就成为盆地流体释压排泄的构造通道,八卦庙含金脆韧性剪切带中顺层无根肠状石英脉(232.58±1.58 Ma) [23]就形成于这一过程中。

3 燕山期构造断陷与脆性构造变形样式[DS3]

3.1 白垩纪 NEE-EW 山间断陷盆地与构造断陷伸展变形[DS3a]

在晚三叠世—侏罗纪本区发生造山抬升之后,北东东向和东西向断裂作用在凤太晚古生代拉分盆地内部和边缘形成了一系列山间断陷洼地[DS3a],

为白垩纪磨拉石相充填提供了构造动力学条件和沉积容纳空间。在凤县—成县—龙门山北东方向,晚侏罗世—早白垩世构造阶段的岩石组合以深紫红色-灰色砾岩和砂岩为主,黑色页岩和煤层揭示了还原、滞留、静水环境下形成的山间-山前盆地沉积体系。构造变形样式为北东东向褶皱和断裂带,揭示了发生于早白垩世末期的晚燕山运动,陆内构造变形动力学为北西-南东向挤压收缩体制,可能与扬子板块与华北板块陆内斜向汇聚有关[42]。

本区下白垩统东河群下部为山前洪积相灰紫色复成分巨砾岩和中粗砾岩,向上相变为含砾粗砂岩和粗砂岩,黄绿色泥质粉砂岩、杂色泥岩和深灰色泥岩,局部夹薄层煤线,显示沉积水体逐渐加深,形成了山间湖盆。东河群灰紫色杂砾岩主要来源于相邻山体剥蚀形成的蚀源岩区,砾石成分混杂,主要有变粉砂岩、泥质板岩、含炭板岩、灰岩和花岗岩等。砾石多为棱角状和次棱角状,显示了近源快速堆积特征,属于典型的磨拉石相,代表了相邻山体已经发生了抬升后造山侵蚀的标志。在东河群中形成了砂金含矿层。东河群以角度不整合超覆在前泥盆系、石炭系、二叠系—下三叠统之上,白垩纪—古近纪本区主要经历了大陆地壳伸展构造变形和构造断陷作用,形成了凤县北东东向和凤县—太白东西向山间断陷盆地。白垩系发育轴向为 EW 向和 NW 向宽缓褶皱,属于古近纪末期的构造变形过程中形成的盆地构造变形样式,与现今北西向构造线一致的宽缓褶皱和断裂构造变形为特征,指示了新生代初印度板块和亚洲板块碰撞的构造动力作用第一次的远程构造响应[42]。

3.2 NE 向隆起和凹陷、岩浆侵位形成热叠加改造与张剪性断裂[DS3b]

NE 向构造叠加改造样式主要为 NE 向隆起、凹陷与压扭性断裂[DS3b],它们叠加在早期和中期 NWW 向褶皱-断裂带之上。NE 向石家湾—太平凹陷带叠加造成了磨沟—田竹园和铅硐山—玉皇山复式背斜发生同步凹陷。NE 向银母寺—雷家老庄隆起带叠加于磨沟—田竹园和苏家河—两河口复式背斜之上,横跨复合叠加褶皱同步隆起形成了雷家老庄和银母寺短轴背斜,控制了银母寺铅锌矿床和铜牌沟铜矿定位。推测是在燕山运动过程中,该沉积盆地北东向基底断层和同生断裂再度复活,本区形成了燕山期 NE 向隆起、凹陷与压扭性断裂,这是本区 NE 向节理和裂隙带发育的区域构造动力学背景。

凤县侵入岩和脉岩(图 1 和 4)形成顺序为石英闪长玢岩和中性岩脉→红花铺燕山期花岗闪长岩枝→花岗斑岩和花岗岩脉,侵位时代为印支晚期—燕山期❶,八方山—二里河的闪长玢岩脉群((214±2)Ma)和花岗斑岩脉群((217.9±4.5)Ma)为印支晚期[44]。它们为盆地流体形成和垂向热驱动提供了良好的基础。考虑到沿该方向断裂有一系列岩脉充填,揭示它们切割深度有一定规模,也是沉积盆地具有稳定垂向热流驱动源的直接证据。这种 NNE 向隆起、凹陷、压扭性断裂、节理和裂隙带构造样式[DS3b] 不仅与印支期 NWW-EW 褶皱-断裂带主体构造格局形成反接和斜接等交切拓扑学结构,将该沉积盆地切割为一系列菱形断块;而且,这种 NE 向构造样式具有一定切割深度,盆地流体在在印支期—燕山期挤压收缩构造驱动力和岩浆底部侵位形成的垂向热驱动力联合作用下,在该沉积盆地内经褶皱和岩性圈闭后,发生了盆地成矿流体大规模聚集,这种 NE 向构造样式形成了反接和斜接等交切拓扑学结构,它们成为盆地成矿流体的释压排泄与成矿物质卸载成矿的构造通道,这种构造通道也是十分良好金叠加成矿的储矿构造类型之一。

4 含金脆韧性剪切带的递进构造变形样式与类卡林型金矿

盆地流体在印支期—燕山期挤压收缩构造驱动力和岩浆底部侵位形成的垂向热驱动力联合作用下,在该沉积盆地内经褶皱、冲起构造和岩性圈闭后,发生了盆地成矿流体大规模聚集。现以八卦庙含金脆-韧性剪切带的形成与演化为例,从构造-岩相学角度论述顺层韧性剪切带、切层脆韧性剪切带与 NE 向节理和裂隙带多期叠加递进构造变形历史与八卦庙超大型类卡林型金矿成岩成矿演化。

4.1 石炭纪—早三叠世顺层伸展的韧性剪切变形构造样式

银母寺—八卦庙—八方山三级热水沉积盆地于晚泥盆世末期开始萎缩。从石炭纪开始,沉积中心向东部迁移,在东部浑水沟—童家沟一带形成了拉分

❶肖新元,刘生辉. 区域地质调查报告(1:5 万比例尺,凤县幅、河口幅、南星幅、枣木栏幅),陕西省地质矿产局,1992.

裂陷沉积。因扬子地块与秦岭微板块斜向俯冲作用造成了左行剪切分量具有透入性、弥漫型近水平分层剪切作用,在这种区域动力学体制下,八卦庙—八方山地区泥盆系开始发育近水平分层剪切变形,在泥盆系泥质岩层中主要构造样式[DS1(D−S_0//S_1)]有拉伸线理、面理置换、长石旋转碎斑及高角度破裂面、顺层剪切流变构造、近水平固态流变褶皱、粘滞剪切滑移褶皱和顺层掩卧褶皱 [DS1−f1 (D)−(D−S_0//S_1)]。这种构造岩相学特征(图 2)揭示晚古生代沉积盆地在顺层剪切伸展变形过程中已发生了层间流体排泄。

4.2 印支期挤压收缩体制切层的韧性剪切变形构造样式与金矿富集成矿

从早三叠世开始, 随秦岭造山带进入陆−陆碰撞体制, 本区形成了切层的递进脆−韧性挤压剪切变形。印支期挤压收缩体制下切层的脆韧性剪切变形样式与海西晚期顺层伸展剪切流变样式有较大的差异, 由断裂−褶皱带 [DS2− FZ# (D−C−T1)− f2 (D−C−T1)−S_0//S_1#S_2)] 和切层韧性剪切带 [DS2−(D−C−T1, S_0//S_1#S_2−Sc)]组成的构造样式,总体上显示挤压收缩体制下的构造变形动力学特征。褶皱构造由一系列轴向为 SE 向的斜列式褶皱、纵向断裂组、以大角度切层发育的各种脆韧性剪切构造带为特征, 形成了糜棱岩为变形中心的构造−岩相学分带规律,多级小型褶皱、“S”形及“Z”形剪切流变褶皱发育在主造山期晚期形成的糜棱岩化带中[27],绢云母糜棱岩中“Z”形褶皱显示了左行剪切作用特点。早期顺层发育的石英细脉形成“S”褶皱变形,并同构造期共生有层间直立紧闭褶皱及层间斜歪紧闭褶皱[DS2−f2(D)−S_0//S_1#S_2−Sc)]。在流变褶皱[DS2−f2(D)−S_0//S_1#S_2−Sc)]中黑云母和铁云母发生绿泥石化,绿泥石与含金黄铁矿−含金磁黄铁矿密切共生,绿泥石是八卦庙金矿床主成矿期热液蚀变的产物之一,形成温度为 278.6~399.9℃[30,39]。按地温梯度每 1 000 m 增温 25 ℃估算,采用绿泥石矿物温度计推算本区流变褶皱形成深度在 11~16 km。

在印支期陆−陆全面碰撞的主造山期晚期是脆−韧性剪切带的发育时期,在韧性剪切带中挤压剪切面理置换[S_0−S_1#S_2−Sc]十分强烈,在韧性剪切带内发育糜棱岩、初糜棱岩、糜棱岩化绢云母岩、绢英岩及绢云岩,偶见超糜棱岩、糜棱片岩及千糜岩[27]。在脆−韧性剪切带中, 发育构造透镜体和无根石英脉等 [S_0−S_1#S_2−Sc+S_2−L],构造透镜体化[S_0−S_1#S_2−Sc+S_2−L]是脆−韧性剪切变形的典型构造样式。当钠长石化和硅化(无根石英脉)强烈时,金矿化增强。在脆−韧性剪切过程中形成了 NWW 向顺层无根揉皱状含金石英脉中含金 1~4 g/t, 形成时代为印支期早期((232.58±1.9)Ma)[23]。印支晚期闪长玢岩((214±2)Ma)和花岗斑岩((217.9±4.5)Ma)[44]等岩体(脉岩群)侵入构造形成了垂向热流体驱动和叠加耦合, 提供了稳定的热源场。

4.3 燕山期切层的脆性构造变形叠加样式与金叠加富集成矿

NE 斜向断裂组属燕山期形成的剪切断裂组,它们切割了早期印支期纵向断层组, 对金矿叠加富集成矿形成十分有利。燕山早期近南北向和北东向构造断陷作用、燕山晚期 NE 向挤压等断陷−挤压构造转换过程中, 使八卦庙 EW−NWW 向脆−韧性剪切带叠加了 NE 向脆性节理和裂隙带, 常表现为 NE 向张剪性节理及裂隙带(图 2)。当它们叠加密度在 3~5 条/m 时,常是金矿化体。而这种脆性小型构造及显微构造密度在 5 条/m 以上, 叠加在 NWW 向早期韧性剪切变形和中期压扭性脆−韧性剪切变形构造上,常形成金富矿段。充填于 NE 向节理石英脉平均含金 11.87 g/t (n=20),Bi 为 16.06×10^{-6}[13],Bi 异常由碲铋矿−自然铋所引起, Bi 和 B(指示电气石化等强酸性流体存在) 综合异常暗示八卦庙金矿床与深部岩浆活动有内在联系。燕山早期,在中深层次下形成的脆韧性剪切带被构造垂向抬升进入地壳浅层次,叠加了 NE 脆性剪性变形和 NE 向裂隙带,在热液作用下形成了 NE 向切层石英细脉和网脉脉含金>4 g/t,形成时代为(131.91±0.89)Ma(Ar−Ar 坪年龄)[23,24]。

5 结 论

研究区沉积盆地构造变形序列主要有 3 期,各期构造变形样式和动力学特征为:

(1)在秦岭陆−陆面式碰撞造山过程中,研究区石炭纪−中三叠世反转构造样式为泥盆系发生分层剪切流变构造、热流体角砾岩化带、热流体叠加构造岩相和南部温江寺—留凤关拉分断陷盆地。

(2)印支期陆−陆全面碰撞的主造山期,盆地内部泥盆系构造变形样式有“M−W”型复式背斜和压扭性断裂带、“W−M”型复式向斜与压扭性断裂带、

脆韧性剪切带、反冲构造与冲起构造。在盆地南北两侧边界形成了对冲式逆冲推覆构造。上述构造样式叠加耦合了岩浆侵位形成的垂向热驱动力，对于盆地流体具有构造驱动力和构造圈闭作用。反冲构造与冲起构造为类卡林型金矿形成提供了构造扩容空间，具有韧-脆性递进剪切变形的斑点状热流体交代蚀变岩相是类卡林型金矿成岩成矿的构造岩相学记录和勘查标志。产于三叠系中温江寺卡林型金矿构造-岩相学特征主要为脆性断裂、裂隙和节理中充填含金蚀变脉带。

(3)燕山期主要为构造断陷成盆、NE 向隆起、凹陷与张剪性断裂等浅层次脆性节理和裂隙带叠加,这些构造与盆地基底构造有密切关系,NE 向断裂、节理和裂隙带是八卦庙类卡林型金矿发生叠加富化成矿的主要储矿构造；同时也是温江寺卡林型金矿的主要储矿构造。

不同构造变形样式对于金-多金属矿床定位控制明显,“M-W”型复式背斜和断裂带控制了多金属矿床后期改造富集和矿体定位。反冲构造与冲起构造控制了金矿和多金属成矿分带。“W-M”型复式向斜和脆-韧性剪切带控制了卡林型-类卡林型金矿,其中,脆-韧性剪切带对于八卦庙类卡林型金矿多期多阶段富集成矿具有显著控制作用，温江寺卡林型金矿受复式向斜和脆性断裂带控制。

参考文献(References):

[1] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京：科学出版社, 2001:855.
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing:Science Press, 2001:1-855 (in Chinese with English abstract).

[2] 张本仁, 高山, 张宏飞,等. 秦岭造山带地球化学[M]. 北京：科学出版社, 2002:187.
Zhang Benren, Gao Shan, Zhang Hongfei, et al. Geochemistry of Qinling Orogen [M]. Beijing:Science Press, 2002: 187 (in Chinese with English abstract).

[3] 陈衍景:秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. 中国地质, 2010, 37(4):854-865.
Chen Yanjing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China [J]. Geology in China, 2010, 37(4):854-865(in Chinese with English abstract).

[4] 王瑞廷, 李剑斌, 任涛, 等. 柞水—山阳多金属矿集区成矿条件及找矿潜力分析[J]. 中国地质, 2008, 35(6):1291-1298.
Wang Ruiting, Li Jianbin, Ren Tao, et al. Metallogenic conditions and prospecting potential of the Zhashui-Shanyang poly-metal ore cluster [J]. Geology in China, 2008, 35(6):1291-1298 (in Chinese with English abstract).

[5] 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, 等. 东秦岭复合山链的形成—变形、演化及板块动力学[M]. 北京:环境科学出版社, 1988:137-149.
Xu Zhiqin, Lu Yilun, Tang Yaoqing, et al. Formation of the Composite Eastern Qinglin Chains [M]. Beijing:Environmental Science Press, 1988:137-149(in Chinese with English abstract).

[6] 杨经绥, 许志琴, 马昌前, 等. 复合造山作用和中国中央造山带的科学问题[J]. 中国地质, 2010, 37(1):1-11.
Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Ma Changqian, et al. Compound orogeny and scientific problems concerning the central orogenic belt of China [J]. Geology in China, 2010, 37 (1):1-11 (in Chinese with English abstract).

[7] 袁学诚, 李廷栋. 中国岩石圈三维结构雏形 [J]. 中国地质, 2009, 36(1):29-52.
Yuan Xuecheng, Li Tingdong. A preliminary 3D model of lithospheric structure in China [J]. Geology in China, 2009, 36(1): 29-52(in Chinese with English abstract).

[8] 刘家军, 冯彩霞, 刘建明, 等. 西秦岭南亚带层控金-硒矿床的赋矿地层时代与成矿时代[J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 435-443.
Liu Jiajun, Feng Caixia, Liu Jianming, et al. Reidentification of the ore-hosted strata age and metallogenic age of the stratabound Au-Se deposits, the Western Qinling Mountains [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(2):435-443(in Chinese with English abstract).

[9] 刘家军, 郑明华, 刘建明, 等. 西秦岭大地构造演化与金成矿带的分布[J]. 大地构造与成矿学, 1997, 21(4):307-314.
Liu Jiajun, Zheng Minghua, Liu Jianming, et al. Geotectonic evolution and mineralization zone of gold deposits in Western Qinling [J]. Geotectonic et Metallogenia, 1997, 21(4):307-314 (in Chinese with English abstract).

[10] 刘家军, 刘光智, 廖延福, 等 甘肃寨上金矿床中白钨矿体的发现及地质特征[J]. 中国地质, 2008, 35(6):1057-1064.
Liu Jiajun, Liu Guangzhi, Liao Yanfu, et al. Discovery and significance of scheelite orebodies in the Zhaishang gold deposit, southern Gansu[J]. Geology in China, 2008, 35(6):1057-1064 (in Chinese with English abstract).

[11] 陈衍景, 张静, 张复新, 等. 西秦岭地区卡林—类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式 [J]. 地质论评, 2004, 50:134-152.
Chen Yanjing, Zhang Jing, Zhang Fuxin, et al. Carlin and Carlin-Like gold deposits in Western Qinling Mountains and their metallogenic time, tectonic setting and model [J]. Geological Reviews, 2004, 50(2): 134-152(in Chinese with English abstract).

[12] 张复新, 肖丽, 齐亚林. 卡林型-类卡林型金矿床勘查研究回顾及展望[J]. 中国地质, 2004, 31(4):406-412.
Zhang Fuxin, Xiao Li, Qi Yalin. Exploration and study of Carlin and Carlin-like type gold depsoits:review and prospect[J]. Geology in China, 2004, 31(4):406-412(in Chinese with English abstract).

[13] Mao J W, Qiu Y M, Goldfarb R J, et al. Geology, distribution and classification of gold deposits in the western Qinling belt, central

China[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37:352-377.

[14] 毛景文. 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, 2001, 20(1):11-13.
Mao Jingwen. Geology, distribution and classification of gold deposits in the western Qinling belt, Central China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2001, 20 (1):11-13 (in Chinese with English abstract).

[15] 李忠, 刘嘉庆. 沉积盆地成岩作用的动力机制与时空分布研究若干问题及趋向[J]. 沉积学报, 2009, 27(5):837-848.
Li Zhong, Liu Jiaqing. Key problems and research trend of diagenetic geodynamic mechanism and spatio-temporal distribution in sedimentary basins [J].Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27 (5): 837-848 (in Chinese with English abstract).

[16] 解习农, 成建梅, 孟元林. 沉积盆地流体活动及其成岩响应[J]. 沉积学报, 2009, 27(5):863-871.
Xie Xinong, Cheng Jianmei, Meng Yuanlin. Basin fluid flow and associated diagenetic processes [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5):863-871(in Chinese with English abstract).

[17] 唐永忠, 齐文, 刘淑文, 等. 南秦岭古生代热水沉积盆地与热水沉积成矿[J]. 中国地质, 2007, 34(6):1091-1100.
Tang Yongzhong, Qi Wen, Liu Shuwen, et al. Paleozoic hydrothermal sedimentary basin and hydrothermal sedimentary mineralization in the Southern Qinling[J]. Geology in China, 2007, 34(6):1091-1100 (in Chinese with English abstract).

[18] 李强, 王兵岐, 马治国, 等.南秦岭凤太盆地金矿与铅锌矿的成矿模式[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(1):15-21.
Li Qiang, Wang Bingqi, Ma Zhiguo, et al. Space-time relationship of gold deposit to lead-zinc deposit in Fengtai ore field in South Qinling [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2007, 29 (1):15-21 (in Chinese with English abstract).

[19] 李强, 薛春纪, 刘淑文, 等. 南秦岭凤县八方山—八卦庙 Pb-Zn 与 Au 矿化的共生/共存关系研究[J]. 地质论评, 2007, 53(1):65-74.
Li Qiang, Xue Chunji, Liu Shuwen, et al. Research on the paragenesis (coexist) relationship of lead -znic and gold mineralization in the Bafangshan—Baguamiao deposit, Fengxian County, Southern Qinglin Mountains [J]. Geological Review, 2007, 53(1):65-74 (in Chinese with English abstract).

[20] 李强. 凤太盆地硅质岩系地球化学特征及热水成矿效应[J]. 岩石矿物学杂志, 2009, 28(3):243-250.
Li Qiang. Geochemistry siliceous rocks and effect of hydrothermal mineralization in Fengxian-Taibai basin, Shaanxi Province [J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 2009, 28 (3):243-250 (in Chinese with English abstract).

[21] 曾荣, 刘淑文, 薛春纪,等. 南秦岭古生代盆地演化中幕式流体过程及成岩成矿效应[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(3):234-239.
Zeng Rong, Liu Shuwen, Xue Chunji, et al. Episodic fluid process and effect of diagenesis and mineralization in evolution of Paleozoic basins in South Qinling [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2007, 29 (3):234-239 (in Chinese with English abstract).

[22] 冯建忠, 邵世才, 汪东波, 等. 陕西八卦庙金矿脆-韧性剪切带控矿特征及成矿构造动力学机制[J]. 中国地质, 2002, 29(1):48-66.
Feng Jianzhong, Shao Shicai, Wang Dongbo, et al. Baguamiao superlarge gold deposit in Qinling orogen: the characteristics of its control by the brittle-ductile shear zone and dynamic mechanism for ore-forming structure[J]. Geology in China, 2002, 29(1):48-66 (in Chinese with English abstract).

[23] 冯建忠, 汪东波, 王学明,等. 陕西凤县八卦庙超大型金矿床成矿地质特征及成矿作用. 地质学报, 2003, 77(3):387-397.
Feng Jianzhong, Wang Dongbo, Wang Xueming, et al. Geological and metallogensis of the Baguamiao giant gold deposit in Fengxian, Shaanxi Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(3):387-397 (in Chinese with English abstract).

[24] 邵世才,汪东波. 南秦岭三个金矿床的 $^{39}Ar-^{40}Ar$ 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2001, 75(1):106-110.
Shao Shicai, Wang Dongbo. $^{39}Ar-^{40}Ar$ dating of the three typical gold deposits and its geological significance in the Southern Qinling region [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75 (1):106-110 (in Chinese with English abstract).

[25] 腾道鹏. 陕西双王金矿床韧脆性剪切变形控矿特征 [J]. 黄金学报, 2001, 3(1):14-18.
Teng Daopeng. Study on the control ore characteristics with tenacity and brittleness shearing deformation of Shaanxi Shuangwang gold ore deposit [J]. Gold Journal, 2001, 3(1):14-18 (in Chinese with English abstract).

[26] 梁华英, 王秀璋, 程景平. 陕西双王钠长石岩特征及金矿床形成期次分析[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(4):350-356.
Liang Huaying, Wang Xiuzhang, Cheng Jingping. Characteristics of gold -hosted stratabound albitite and forming stages of Shuangwang gold deposit in Shaanxi Province [J]. Geotectonic et Metallogenia, 2000, 24 (4):350-356 (in Chinese with English abstract).

[27] 钟建华.八卦庙金矿控矿构造研究[J]. 大地构造与成矿学, 1997, 21(1):76-82.
Zhong Jianhua. Study on the ore -control structures of the Baguamiao gold deposit [J]. Geotectonic et Metallogenia, 1997, 21 (1):76-82 (in Chinese with English abstract).

[28] 谢玉玲, 钱大益, 徐九华. 南秦岭泥盆系典型金矿床高盐度流体及其深源特征[J]. 岩石学报, 2000, 16(4):655-660.
Xie Yuling, Qian Dayi, Xu Jiuhua. Study on high saline ore-forming fluid and its deep- source characteristics of typical gold deposits in Devonian, south Qinling, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16 (4):655-660(in Chinese with English abstract).

[29] 王国富, 孙振家, 彭恩生, 等. 陕西双王金矿床角砾岩动力学成因探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(1):81-85.
Wang Guofu, Sun Zhenjia, Peng Ensheng, et al. A discussion on dynamic genesis of the breccia developed in the Shuangwang gold deposit in Shaanxi Province, China[J]. Geotectonic et Metallogenia,

2002, 26(1):81-85(in Chinese with English abstract).

[30] 郑作平, 陈繁荣, 于学元. 八卦庙金矿床的绿泥石特征及成岩成矿意义[J]. 矿物学报, 1997, 17(1):100-106.
Zheng Zuopng, Chen Fanrong, Yu Xueyuan. Characteristics of chlorite in Baguamiao gold deposit and their geological significance [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1997, 17 (1):100-106 (in Chinese with English abstract).

[31] 方维萱, 黄转盈. 陕西凤太晚古生代拉分盆地动力学与金-多金属成矿[J]. 沉积学报, 2012, 30(2):13-29.
Fang Weixuan, Huang Zhuanying. Dynamics of the Late Paleozoic Apart-pull basin and its relationship with Mineralization of gold-polymetallic deposits in Fengxian -Taibai Counties, Shaanxi Province, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica2012, 30(2):13-29(in Chinese with English abstract).

[32] 方维萱, 张国伟, 胡瑞忠, 等. 陕西二台子铜金矿钠长石碳酸(角砾)岩类特征及形成构造背景分析 [J]. 岩石学报, 2000, 16(3):392-400.
Fang Weixuan, Zhang Guowei, Hu Ruizhong,et al. Analysis on tectonic background of formation and characteristics of albite carbonate brecciaite from Ertaizi Cu-Au deposits in the Qinling orogeny [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16 (3):392-400 (in Chinese with English abstract).

[33] 苏瑞侠, 刘平, 郭健. 秦岭八卦庙金矿金的矿化与铂族金属的富集[J]. 地质找矿论丛, 2001, 16(1):12-18.
Su Ruixia, Liu Ping, Guo Jan. The gold mineralization and PGE concentration of Baguamiao gold deposit in Qinling tectonic belt[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2001, 16(1):12-18(in Chinese with English abstract).

[34] 谢玉玲, 钱大益, 徐九华. 南秦岭泥盆系典型金矿床高盐度流体及其深源特征[J]. 岩石学报, 2000, 16 (4):655-660.
Xie Yul ing, Qian Day i and Xu J iuhua. Study on high saline ore-forming fluid and its deep- source character istics of typical gold deposits in Devonian, south Qinl ing, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16 (4):655- 660(in Chinese with English abstract).

[35] 李石. 湖北省海西—印支期岩浆岩的发现及其地质意义[J]. 湖北地质, 1989, 3(1):57-63.
Li Shi. Discovery of Hercynian-Indosinian magmateites in Hubei Province and its geological significance [J]. Hubei Geology, 1989, 3 (1):57-63(in Chinese with English abstract).

[36] 李勇, 苏春乾, 刘继庆. 东秦岭造山带钠长岩的特征、成因及时代[J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(2):121-127.
Li Yong, Su Chunqian, Liu Jiqing. Characteristics and genesis of the albitite in the East Qinling Orogenic Belt [J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 1999, 18 (2):121-127 (in Chinese with English abstract).

[37] 方维萱. 论流体与成矿作用 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(2):65-73.
Fang Weixuan. On fluid and mineralization [J]. Geological Exploration for Nonferrous Metals, 1999, 8(2):65-73(in Chinese with English abstract).

[38] 方维萱. 柞山泥盆纪沉积盆地成矿动力学分析 [J]. 矿产与地质, 1999, 13(3):141-147.
Fang Weixuan. Research on geodynamics of Zhashan sedimentary basin[J]. Mineral Resource & Geology, 1999, 13(3):141-147

[39] 田民民, 袁旭东, 张永让, 等. 凤县二里河铅锌矿床后续地质找矿探讨[J]. 矿产与地质, 2004, 18(2):134-138.
Tian Minmin, Yuan Xudong, Zhang Yongrang, et al. Discussion of geological prospecting in Erlihe Pb-Zn deposit, Fengxian [J]. Mineral Resource and Geology, 2004, 18(2):134-138(in Chinese with English abstract).

[40] 代军治, 袁旭东, 陈少迅, 等. 陕西省凤县温江寺金矿地质地球化学特征及找矿[J]. 中国地质, 2011, 38(3):692-700.
Dai Junzhi, Yuan Xudong, Chen Shaoxun, et al. Geological and geochemical characteristics and prospecting work of the Wenjiangsi gold deposit, Fengxian County, Shaanxi Province [J]. Geology in China, 2011, 38(3):692-700(in Chinese with English abstract).

[41] 汪欢, 王建平, 刘必政, 等. 南秦岭西坝岩体的壳-幔相互作用:岩相学和锆石饱和温度计制约 [J]. 矿物学报, 2011, 31 (增刊), 401-402 (in Chinese) .

[42] 郭进京, 韩文峰. 西秦岭晚中生代-新生代构造层划分及其构造演化过程[J]. 地质调查与研究, 2008, 31(4):285-290.
Guo Jinjing, Han Wenfeng. Division of the tectonic sequences and tectonic evolution of Late Mesozoic-Cenozoic in Western Qinling [J].Geological Survey and Research, 2008, 31 (4):285 -290 (in Chinese with English abstract).

[43] 方维萱, 黄转莹, 刘方杰. 八卦庙超大型金矿床构造-矿物-地球化学[J]. 矿物学报, 2000, 20 (2):121-127.
Fang Weixuan, Huang Zhuanyin, Liu Fangjie. Research on tectonics -mineral -geochemistry of superlarge Baguamiao gold deposit, Fengxian County, Shaanxi [J]. Aata Mineralogica Sinica, 2000, 20 (2):121-127(in Chinese with English abstract).

[44] 王瑞廷, 李芳林, 陈二虎, 等. 陕西凤县八方山—二里河大型铅锌矿床地球化学特征及找矿预测[J]. 岩石学报, 2011, 27(3):779-793.
Wang Ruiting, Li Fanglin, Chen Erhu, et al. Geochemical characteristics and prospecting prediction of the Bafangshan-Erlihe large lead-zinc ore deposit, Feng County, Shaanxi Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica,2011, 27(3):779-793(in Chinese with English abstract).

Tectonic deformation styles and dynamics of gold-polymetallic deposits in Fengtai apart-pull basin of Shaanxi Province in relation to gold mineralization

FANG Wei-xuan[1,2], HUANG Zhuan-ying[1]

(1. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China;*
2. *Sino-Tech Mineral Exploration Joint-stock Company, Beijing* 100012, *China*)

Abstract: The studied apart-pull basin was formed during the oblique-direction subduction and collision of the Huabei and Yangtze Plates. The tectonic deformation history, styles, dynamics, records of tectonic lithofacies and large-scale migration of fluids in the apart-pull basin constitute some of the most important problems in the continental dynamics, and the study of these problems are helpful to the detailed investigation of the mineralization regularity and the controlling factors of polymetallic deposits, Carlin-type gold deposits and similar ore deposits in the West Qinling orogeny. The Late Paleozoic apart-pull basin in Shaanxi is the high-density area which hosts not only Sedex-type polymetallic deposits but also Carlin-type gold deposits and similar deposits. Tectonic deformation history, styles and dynamics of the Fengxian-Taibai apart-pull basin and the driving factors of fluid migration in the basin were studied by the authors based on the tectonic lithofacies. Sequences of tectonic deformation for the apart-pull basin have been classified into three main deformation stages although it has more complicated tectonic deformation history. The first stage was tectonic inversion and superimposition of hydrothermal fluid in Carboniferous-Middle Triassic period (DS1), the second stage was compressive and shrinking deformation of the basin, faulting and folding, hydrothermal superimposition by magmatic intrusion, and brittle-ductile shear deformation (DS2) during the Indo-China main orogeny resulting from the full-scale continent-continent collusion, and the third stage was tectonic taphrogeny and brittle compressed deformation of the basin during the Yanshanian intracontinent orogeny (DS3).

Styles of tectonic inversion and superimposition of hydrothermal fluids during the Carboniferous-Middle Triassic period (DS1) included layering shear rheology tectonics, zone of hydrothermal brecciation, and hydrothermal fluid superimposed lithofacies in the Devonian fill-up of the basin. At the same time, Wenjiangsi-Liufengguan apart-pull and taphrogeny basin of the second-order was formed in the southern part of the basin. Inside the apart-pull basin, associations of tectonic styles are composed of multiple folds and compression-shear faults, brittle-ductile shear zone, thrusting-napping structure, recoil faults and up-recoil-ramp fault. However, thrusting-napping fault zones with the ramp-faulting style in conversion direction were formed on both sides of the apart-pull basin. These deformation tectonic associations resulted in driving force for the basin fluid in the apart-pull basin, and coupled with regional hydrothermal fluid superimposition with stable hydrothermal field supported by Xiba compound medium-acidic magmatic intrusion in the eastern part of the apart-pull basin.

Different styles of tectonic deformation might have had different controlling roles in localization of gold and polymetallic deposits in the apart-pull basin. Polymetallic deposits were probably mainly controlled by "M-W"- type multiple anticline-fault associations. However, zonation of gold and polymetallic deposits was controlled by the ramp-faulting area of up-ramp-faulting style. The Carlin-type and similar gold deposits were controlled by "W-M"-type multiple syncline plus brittle-ductile shear zone. Moreover, the Baguamiao gold deposit characterized by multiple stages of gold mineralization, a deposit similar to Carlin-type gold deposit, was controlled by overturned syncline and brittle-ductile shear zone, while the Wenjiangsi gold deposit, a Carlin-type gold deposit, was controlled by syncline and brittle fault zone.

Key words: apart-pull basin; Carlin-type gold deposit; deposit similar to Carlin-type gold deposit; sequence of tectonic deformation for basin; style of basin deformation; dynamics of tectonic deformation

---

About the first author: FANG Wei-xuan, male, born in 1961, doctor supervisor, mainly engages in mineral resources exploration and study of industrial dynamics and ecological economics; E-mail: fangweixuan@163.com.