

文章编号: 1000-0550(2012)03-0405-17

陕西凤太晚古生代拉分盆地动力学与金—多金属成矿^①

方维萱^{1 2 3} 黄转盈²

(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; 3. 北京矿产地质研究院 北京 100012)

摘要 采用沉积盆地构造—古地理位置恢复重建和构造—岩相学等新方法研究认为, 凤太晚古生代沉积盆地属于受板块斜向俯冲碰撞动力学控制下的拉分盆地。在中泥盆世初期, 凤太沉积盆地被周缘垂向基底隆起分隔, 其成盆构造动力学主要受四组同生断层、晚古生代沉降中心和沉积中心不断发生迁移。中泥盆世中期在盆地北部形成了北西向沉降中心和沉积中心, 晚泥盆世末期沉积盆地萎缩, 沉降中心和沉积中心收缩于沉积盆地中心。石炭纪沉降中心和沉积中心从盆地中心迁移到盆地四周边缘的同生断裂带附近, 在沉积盆地北侧边缘商丹带南侧, 形成了石炭纪—早三叠世与俯冲消减带有关的楔状沉积充填体。在凤太拉分盆地中形成的近东西向、北北东向、近南北向和北西向网状同生断裂带系统共同控制了凤太泥盆纪拉分盆地形成与演化过程。其中, 商丹带(西段)、礼县—凤县—凤镇—山阳同生断裂带(中段)和酒奠梁—镇安—板岩镇同生断裂带(西段)三个主控同生断裂带不但在泥盆纪期间对于凤太泥盆纪拉分盆地形成具有显著控制作用, 而且石炭纪—早三叠世拉分盆地演化过程也具有十分重要的控制作用, 石炭纪—早三叠世同生断裂带发生构造反转并控制了沉降中心和沉积中心。采用沉积盆地动力学和构造—岩相学等新方法研究认为, 在凤太晚古生代拉分盆地具有分级特征, 西部凤县二级盆地为金—多金属成矿集中区, 东部太白二级盆地为金矿成矿集中区。在八方山—银母寺三级拉分盆地中, 八方山和银母寺等多金属矿床与八卦庙超大型金矿床具有矿田尺度上成矿分带, 主要由于三级盆地、同生断裂、热水沉积岩相和构造热流体叠加岩相控制了矿田和矿床尺度上金与多金属成矿分带。凤太拉分盆地北部和东部金矿源层和初步富集成矿形成主要与泥盆纪钠长岩相和钠质热水沉积岩相有关, 并受钠长碳酸盐角砾岩—铁白云石钠长石角砾岩等石炭纪构造—热流体岩相叠加; 凤太拉分盆地南部温江寺三叠系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; 凤太拉分盆地中部热水沉积—改造型铅锌矿主要与硅质岩相和菱铁矿白云岩相等热水沉积相密切相关。

关键词 拉分盆地 盆地动力学 构造—岩相学 热水沉积岩相 构造—热流体叠加岩相

第一作者简介 方维萱 男 1961年出生 理学博士 博士生导师 矿产普查与勘探 E-mail: fangweixuan@tom.com

中图分类号 P512.2 文献标识码 A

0 引言

近年来研究揭示^[1-5], 由于板块斜向俯冲碰撞形成造山带同时伴随大致平行于主造山带方向发育规模巨大的斜冲走滑作用和斜冲走滑断裂带, 并控制了大陆侧向挤压收缩体制下, 斜冲走滑断裂带控制的局部走滑伸展作用和拉分盆地, 如纳兹板块(Nazca Slab)斜向俯冲于南美板块之下, 在深部软流圈上涌导致岩石圈碎裂, 深成岩浆弧上涌强烈侵位, 在智利—秘鲁与阿根廷—玻利维亚之间形成了近南北向安第斯冲断褶皱造山带^[1-4], 智利阿塔卡玛(Atacama)和多明科(Domeyko)斜冲走滑断裂系统平行于主造山带, 南北向延伸1 000 km以上, 控制了走滑伸

展作用和拉分盆地。由于南美板块具有太古代—元古代克拉通化岩石圈结构, 岩石圈相对稳定, 在阿根廷东部与巴西之间形成了东科迪勒拉(Eastern Cordillera)冲断造山带与前陆盆地。据沉积盆地而言, 从智利(西部)向阿根廷(东部)沉积盆地系列为, 智利—秘鲁海沟盆地→弧前盆地→弧内盆地→弧后盆地; 发育在岛弧带上沉积盆地主体受岛弧带和大致平行于造山带的斜冲走滑断裂带及次级断裂多重作用控制。近南北向安第斯冲断褶皱造山带与东科迪勒拉(Eastern Cordillera)冲断造山带之间地带(阿根廷—玻利维亚)属于弧后造山带, 这种盆山地带的沉积盆地主体受深成岩浆弧和大陆斜冲走滑作用双重作用控制更为明显。造山带、斜冲走滑断裂系统(平

^①国家自然科学基金重点基金资助项目(批准号: 41030423)和科技部转制科研院所专项资金项目联合资助(批准号: 2011EG115022)资助。
收稿日期: 2011-03-20; 收修改稿日期: 2011-06-28

行于主造山带)及拉分盆地之间相互耦合与转换关系成为地球科学关注和研究的热点问题之一^[1~4]。

拉分盆地是走滑断裂系中一种特殊走滑伸展构造^[6,7],在几何形态学上具有为菱形凹陷,其长度与宽度在3:1左右,盆地边界走断裂和边界正断层,盆地内部发育张性或张剪性断裂,它可以在板块边界和板块内部不同走滑构造环境中。秦岭复合型大陆造山带在石炭纪具有斜向俯冲碰撞特征^[8],这种区域构造动力学必然对秦岭泥盆—石炭纪构造沉积具有控制作用,在泥盆—石炭纪期间,北秦岭具有大陆侧向收缩体制下构造—沉积特征^[8~10],南秦岭具有伸展体制下构造—沉积特征^[11~14],在南秦岭北部是否存在与板块斜向俯冲碰撞区域动力学一致的沉积盆地,且与走滑断裂带密切相关的拉分盆地是一个值得深入研究的问题。作为盆山转换与耦合过程^[15,16]中构造—沉积学响应和记录,拉分盆地可形成于板块边界和板块内部不同的构造—古地理位置(走滑构造动力学环境中),因此深入研究秦岭造山带古生代沉积盆地动力学过程,对于深化造山带—沉积盆地耦合与转换过程有非常重要的启迪作用。

秦岭造山带晚古生代沉积盆地与金属成矿具有十分重要意义,不断研究取得了深入认识^[17~29]。但长期以来,对秦岭泥盆纪沉积盆地动力学类型与不同矿种成矿之间关系的认识依然存在不足。以陕西凤县—太白县晚古生代沉积盆地为例,从北到南,金—多金属成矿带具有明显区域成矿分带,该沉积盆地北部凤县青涯沟—八卦庙—王家楞一带,碳酸盐钠长角砾岩—铁白云石钠长岩带发育,主要以金矿为主,局部与铅锌矿床有明显矿田尺度上的区域成矿分带性;该盆地中部主体为热水沉积—改造型铅锌矿床,局部共生铜矿体,普遍伴生银矿,在局部伴生金矿;其南侧三叠系中具有卡林型金矿找矿前景,化探异常元素组合为Au—Sb—Hg—As,金和锑矿明显受三叠系层位控制。以西河为界从东部到西部金与金—多金属成矿集中区具有区域成矿分带,西河以东为太白县金成矿集中区,西河以西属于金—多金属成矿集中区为主。这种金与多金属区域成矿分带和矿田尺度上金—多金属矿床成矿分带与沉积盆地动力学之间关系如何?前人尚未进行过系统探讨。这一科学问题对于深入研究西秦岭地区卡林型—类卡林型金矿成矿大陆动力学过程具有十分重要的价值,也对于今后区域找矿勘查和隐伏矿体找矿预测具有较大指导意义,尤其是东秦岭和西秦岭卡林型和类卡林型金矿发

育,他们二者之间是否存在沉积盆地动力学尺度异同,这是一个值得深入探讨的大陆动力学课题。

本文从陕西凤太晚古生代沉积盆地形成与演化角度,用沉积盆地构造—古地理位置恢复重建、沉积盆地动力学分析、构造—岩相学等方法,对凤太晚古生代沉积盆地边界和盆地内部同生断裂特征、受同生断裂带控制的沉降和沉积中心迁移特征、次级构造盆地与金—多金属成矿、盆地动力学过程与构造—岩相学特征等进行讨论分析,筛分成矿分带的主控因素。

1 凤太泥盆纪同生断裂、岛屿构造与基底特征

1.1 盆地基底构造与构造—古地理位置恢复重建

凤太泥盆纪沉积盆地北部基底构造主要有两类,前寒武纪褶皱变质基底构造层为新元古代丹凤群岩群岛弧型火山—沉积岩系,由一套富 Na_2O 、Cu和Au等变质中基性火山岩组成,在凤太拉分盆地北侧和东侧直接出露。丹凤群岩群岛弧型火山—沉积岩系变质程度为绿片岩—低角闪岩相变质,主要岩石组合为绿片岩、变粒岩、斜长角闪岩夹大理岩,局部有岛弧型蛇绿岩;构造变形强烈,形成了韧性动力变质岩类,如初糜棱岩、糜棱岩、超糜棱岩、干枚岩。构造—古地理位置为新元古代扬子地块北缘与华北地块南缘对接地带。

商丹—凤县对接带以南为南秦岭分区,以北(图1)属于北秦岭分区。北秦岭太白县一带在晚震旦—早寒武世属岛弧带火山—碎屑岩相。奥陶纪产生了不同性质的沉积体系,岛弧型弧前盆地沉积环境中,火山岩系主要由镁铁质、超镁铁质岩、中基性层状熔岩、枕状熔岩及一些辉绿岩组成,沿商丹断裂北缘出露。沉积岩以长石石英杂砂岩为主夹有一定量的石英砂岩、火山熔岩、火山碎屑岩及泥质岩、薄层碳酸盐的复理石建造。

志留纪沉积格局发生了较大变化,其主要表现为:①北秦岭上升成陆块,缺失志留纪沉积;②南秦岭裂隙海盆由扩张体制转向收缩体制,早—中志留世海域北缘没有超过镇安以北,而被山阳—凤镇断裂限定。晚志留世海域范围进一步收缩到紫阳—旬阳一带;③沉积盆地沉降中心逐渐向北迁移,寒武—奥陶纪时沉降中心位于岚皋—安康一带,志留纪迁移至安康—旬阳一带;④泥质及碎屑成分明显增多,火山活动相对减弱。在凤太拉分盆地以南,留坝一带形成深

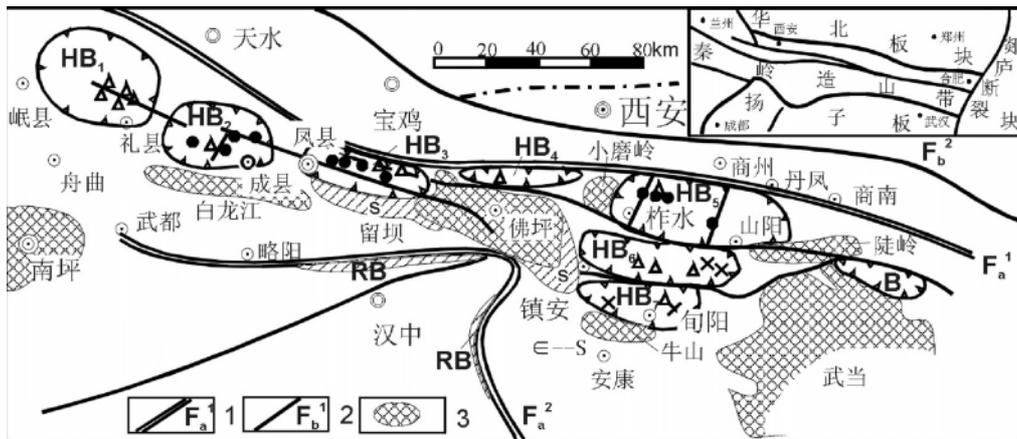


图 1 秦岭造山带泥盆纪盆地格局与金属矿床分布略图

1. 板块缝合带 (F_{a1} 商丹带, F_{a2} 勉略带); 2. 区域大断裂及编号; 3. 垂向基底隆起构造区 (大陆热点区); HB_1 - 岷礼一级拉分盆地 (秦岭微板块北缘); HB_2 - 西成一级拉分盆地 (秦岭微板块内); HB_3 - 凤太一级拉分盆地 (秦岭微板块内); HB_4 - 板沙拉分盆地 (秦岭微板块北缘); HB_5 - 柞山断陷盆地 (秦岭微板块北缘); HB_6 - 镇安半地堑式盆地 (秦岭微板块内); HB_7 - 旬阳半地堑式盆地 (秦岭微板块内); B - 浙川半地堑式盆地; RB - 勉略 - 高川裂谷盆地 (有限洋盆); $\in \sim S$ - 早古生代隆起区; (- 铅锌 (铜) 矿床; Δ - 金矿床; (- 汞锑矿床 (据方维萱 2001)

Fig. 1 Locations of metal deposits and Devonian basins in Qinling orogeny belt

水台盆硅泥质碳酸盐相,发育黑色碳硅质碎屑岩相,形成于滞流、缺氧环境中,构成了凤太泥盆纪沉积盆地南部基底和温江寺—瓦房坝三叠纪沉积盆地基底。由于挤压收缩作用持续发展,沉降中心向北偏移,海盆的规模逐渐缩小,至志留纪末完全封闭成陆地。秦岭泥盆纪沉积盆地基底构造及地层全部形成。盆地南部基底为寒武—志留系火山—沉积岩系,普遍发育一套深水盆地相黑色碳硅质岩,富集 Ag、Au、Cu、Zn、Ni、V、Mo 等元素。

志留系庙坪岩组 ($S_{1-2}m$) 是一套片岩类 (二云斜长石英片岩、二云石英片岩、含碳绢云石英岩等)、大理岩、石英岩及变粒岩,流变构造、褶皱层、拉伸线理、流劈理发育。局部形成韧性动力变质岩类,如初糜棱岩、糜棱岩、千枚岩、构造片岩,在凤太泥盆纪盆地东南缘志留系—泥盆系之间发育基底剥离断层带。凤太泥盆纪沉积盆地构造—古地理位置为秦岭微板块北缘板内沉积盆地,平面形态学为总体东西长、南北宽的菱形状沉积盆地,与拉分盆地具有类似的形态学特征。

1.2 岛屿构造与沉积盆地

白龙江和佛坪等垂向基底起隆构成了泥盆纪陆表海域内一系列岛屿构造,属于第三类伸展构造,即秦岭式伸展构造重要特征之一^[33]。在泥盆纪陆表海域中分布着一系列沉积盆地和垂向基底隆起 (图 1),从南向北依次为勉略裂谷盆地→旬阳—留坝晚古生

代隆起带→旬阳和镇安半地堑式沉积盆地→垂向基底隆起岛屿群 (小磨岭、陡岭、佛坪、白龙江海岛)→柞山断陷盆地→商丹带中黑河弧前盆地→北秦岭造山带 (古陆)。从西到东为西成拉分盆地→白龙江海岛 (垂向基底隆起)→凤太拉分盆地→佛坪海岛 (垂向基底隆起)→板沙拉分盆地→小磨岭海岛 (垂向基底隆起)→柞山断陷盆地→陡岭海岛 (垂向基底隆起)→浙川沉积盆地→武当海岛 (垂向基底隆起)。

其中凤太拉分盆地被周缘垂向基底隆起分隔,其西南侧为白龙江垂向基底隆起,分隔了甘肃西成与凤太泥盆纪沉积盆地;东侧和东南侧为佛坪垂向基底隆起,分隔了镇安与凤太泥盆纪沉积盆地。

1.3 凤太泥盆纪沉积盆地与同生断裂带

1) 商丹断裂带—控制沉积盆地的北部边界同生断裂带

在泥盆纪期间,陕西凤 (县)—太 (白县) 沉积盆地秦岭微板块中部北缘 (图 1),该沉积盆地北部边界同生断层为凤州—靖口关断裂 (商丹断裂带西段,图 2),商丹断裂带属于扬子地块与华北地块之间缝合带^[7]。从北向南,在商丹断裂带以北总体属于大陆侧向挤压收缩体制,并且从奥陶纪开始,到泥盆纪至石炭纪不断增强,扬子地块北缘在深部持续发生缓慢向北俯冲消减,依据为: (1) 北秦岭东部二郎坪弧后盆地在泥盆纪—石炭纪期间,双向消减揭示了侧向挤压收缩动力学机制不断增强^[9];北秦岭发生弧后

盆地萎缩封闭; (2) 北秦岭南缘发育与晚奥陶世—泥盆纪岩浆岛弧及俯冲作用有关的岛弧火山岩以及弧前沉积体^[8], 局部泥盆纪弧前盆地发育; (3) 新太古代丹凤岩群和震旦—奥陶纪丹凤群在加里东期—华力西期经历韧性剪切变形、花岗岩侵位和区域热变质事件等强烈的构造热事件改造^[10] 揭示在北秦岭大陆造山作用在持续发展。北秦岭加里东期—华西期造山过程中发生的区域热变质事件(452 ~ 345 Ma)、基性—超基性岩构造侵位和韧性糜棱岩化带。商丹断裂带在奥陶纪—石炭纪期间, 具有斜向近水平剪切作用强烈。(4) 商丹断裂带为凤太晚古生代沉积盆地的北部边界断层带, 商丹断裂带以北主体由前泥盆系变质火山岩系组成, 在泥盆—石炭纪期间古地貌形态为高耸的山地, 发生斜向近水平剪切作用, 未接受泥盆—石炭纪沉积; 南侧凤太晚古生代内部, 泥盆—石炭纪地层最大累计厚度可达6 579 m以上, 两侧泥盆—石炭纪地层厚度证明商丹断裂带属于控制凤太晚古生代沉积盆地的北部边界同生断裂带。

2) 留坝基底剥离断裂—控制沉积盆地的南部边界同生断层带

与商丹断裂带以北相比, 在商丹断裂带以南的南秦岭地区总体上属于构造转换区域, 在陆壳浅部凤太地区发生构造反转, 形成了近南北向伸展作用; 由于东侧佛坪垂向基底和南侧白龙江垂向基底^[31, 32] 缓慢抬升, 同时在陆表海域中也构成了对于凤太晚古生代沉积盆地分隔, 其南部边界同生断层为留坝基底剥离断裂(图2), 该同生断裂带具有低角度拆离断层特

点, 其中, 留坝基底剥离断裂在龙王沟段沿志留系庙平岩组与泥盆系大枫沟组之间发育, 庙平岩组中发育褶皱层、糜棱岩、分层剪切流变构造、顺层流变褶皱群落和拉伸线理等中深构造层次下形成的伸展构造变形样式, 在极密图上反映出拉伸方向为 $290^{\circ} \sim 310^{\circ} \rightarrow 110^{\circ} \sim 130^{\circ}$ 方向^[31], 该基底剥离断层属于控制凤太晚古生代沉积盆地的南部边界同生断裂带, 其东侧佛坪垂向基底和南侧白龙江垂向基底之上基本没有接受泥盆—石炭纪沉积。

这两条边界同生断裂控制了凤太泥盆纪沉积盆地形成与演化, 由于扬子地块在泥盆纪依然具有深部持续斜向缓慢俯冲的区域动力学格局, 在这种大陆动力学背景和凤县—太白县区域构造动力学格局下, 为凤太泥盆纪沉积盆地形成与演化提供了斜冲走滑区域构造动力学背景。

2 构造—沉积体系演化与盆地动力学分析

2.1 盆地发育期与沉积体系

在早泥盆世初期, 凤太地区古地理特征为广阔山间洼地。其北侧唐藏—靖口关—厚珍子一线为北秦岭加里东期造山带形成的山地, 南侧为留坝晚古生代隆起带构成的山地分隔, 东侧佛坪垂向基底隆起(太古代—元古代)古陆分隔^[7, 30, 31], 凤太地区继承了加里东期所形成的古地理格局, 具有东区狭窄、西区宽阔(向宝成线以西)的广阔山间洼地特征, 但尚未接受沉积。

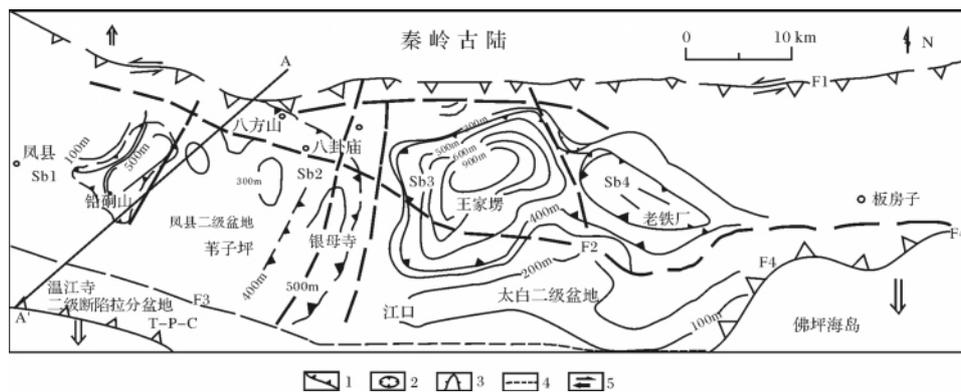


图2 凤太中泥盆统古道岭组上岩段等厚线与盆地分级示意图

1. 古陆块边缘; 2. 三级盆地; 3. 古海底隆起; 4. 构造应力场及运动方向; 5. 推测同生断裂; SB1—铅硐山—双石铺三级复合断陷型热水沉积成矿盆地; SB2—银母寺—八卦庙—八方山三级拉分式热水沉积成矿盆地; SB3—双王三级拉分式热水台盆; SB4—老铁厂三级单断型热水台盆; F1—商丹断裂带(西段); F2—礼县—凤县—凤镇—山阳同生断裂带(中段); F3—酒奠梁—镇安—板桥镇同生断裂带(西段); F4—留坝剥离断层。[中泥盆统古道岭组上岩段等厚线据杨锦源等(1985), 文献14]

Fig. 2 Isopach map for the upper lithologic unit of Gudaoling Formation in Devonian and basin order in Fengxian-Tai bai area

从中泥盆世早期开始发育陆源碎屑沉积体系,从东向西的沉积相横向相分带揭示最初物源区在沉积盆地东侧,佛坪垂向基底隆起区为主要蚀源岩区。其凤太盆地东缘古迹马槽沟砂岩(D_2m)下部为一套巨厚—中厚层长石石英杂砂岩夹含砾细—粉砂岩,以发育大型单向斜层理和冲刷充填构造为特征,具有河口—三角洲相沉积特点;上部为中薄层长石石英杂砂岩夹含钙石英粉砂岩、泥质砂岩,波状砂纹层理、透镜状层理和滑塌构造发育,具有浅海滨岸相特征。从下到上在剖面结构上,碎屑粒度由粗变细,砾石成分从有到无,泥钙质由少增多,单层厚度由大变小,显示了沉积水体逐渐加深的海进沉积序列。

在横向上,从盆地东缘向西到荒草沟—王家愣一带,岩性组合主要为灰紫色中厚层变长石石英粉砂岩、变细粒石英砂岩夹含生物碎屑粉砂质粉晶灰岩,发育大型低角度冲刷层理;在剖面结构上,由下而上依次为变细砂岩→变粉砂岩→粉砂质千枚岩→泥质条带微晶灰岩,构成了一个明显的韵律层,在西河一带出露较好,沿走向厚度变化不大。但从西河向西,碎屑岩粒度变细,泥质成分递减,钙质成分递增。到八方山—八卦庙一带西侧,夹有深灰色含碳千枚岩,原始沉积构造仅在下部长石石英粉砂岩中见有槽状交错层理及板状交错层理。这种横向变化,揭示在中泥盆世初期已出现了横向岩相分异,从东向西依次为:河口—三角洲(古迹—云镇)→三角洲—潮坪相(王家愣)→潮坪/砂坝相(西河)→局限海湾—泻湖相(八卦庙—八方山),揭示出凤太盆地东侧佛坪古陆是盆地主要物源区之一。

王家愣组第一岩性段(D_2wa)在西河地段从北向南,粒度由细→粗,泥质成分由少→多,碳酸盐岩由多→少,总体上形成北部碳酸盐岩厚度大而稳定,南部碎屑岩厚度大而稳定,而中部泥质岩夹层增多的特点。第二岩性段(D_2wb)从北向南厚度由最大→较小→中等,碎屑岩粒度由粗→细,泥质成分由少→多,钙质成分由多→少,南部荒草沟以南变质砂岩中见有海底滑坡型卷曲层理,局部有粒序层理。第三岩性段(D_2wc)在西河地段从北向南,其厚度变化不大,北部钙质成分增多,泥质含量相对减少,微(细)晶灰岩中普遍含有少量珊瑚碎片和腕足类化石,砂质和钙质成分组成的条带状构造和互层特别发育,普遍具有角岩化。南部由变长石石英砂岩、变长石石英粉砂岩、粉砂质千枚岩和方解石千枚岩组成的韵律层发育,相对泥质成分增高,钙质夹层少见。中部变钙质长石石英

细砂岩中海底滑坡型卷曲层理和粒序层理发育。可以看出,当时在西河南北两侧均可能存在着地相邻的构造高地,为凤太盆地供给了碎屑物质。

在王家愣组第一岩性段沉积时,西河以北盆地基底沉降幅度较大,与凤县—山阳—商县同沉积断层西部南盘大致相当,该同沉积断层南盘快速沉降导致了盆基下沉,自下而上,剖面结构依次为变细砂岩→变粉砂岩→粉砂质千枚岩→泥质条带微晶灰岩,显示沉积水体向上逐渐加深,具有伸展裂陷沉积充填沉积序列特征。从北至南碎屑粒度变粗指示了沉积物来自盆地南缘,供给物源区可能是南邻古陆志留系,化学成熟度和粒度成熟度较好,揭示碎屑物质经过了一定距离搬运。在第二岩性段沉积时,凤县—山阳—商南同沉积断层在侧向上分枝同生断层活动已开始,并导致了海底滑坡和粒序层理。碎屑物粒度、泥质及钙质成分变化均指示了北秦岭造山带为凤太盆地供给了物源。

总之,盆地发育期沉积体系、沉积相与垂向相序结构和横向相变揭示在沉积盆地东侧、南侧和北侧均存在蚀源岩区(古隆起或古陆),揭示沉积盆地三个方向被古隆起或古陆分割,十分丰富的沉积物质供给与拉分盆地迅速补偿沉积特征类似。

2.2 盆地成盆期与沉积中心和沉积体系

商丹带在海西期进入走滑阶段,并延续到印支期,统计结果是以左行走滑标志最多,右行走滑标志次之,商丹带在盆地北部产生了右行走滑运动,由于印支期南秦岭挤压造山作用产生的左行走滑形成了巨大的韧性剪切带,对前期构造和构造岩改造强烈,导致右行走滑运动标志残存甚少^[31]。在走滑拉分—伸展体制下,凤太地区发生拉分裂陷成盆过程,凤县—山阳穿盆基底沉积断层在右行走滑分量作用下,北西—南东向拉分断陷作用形成了北西向沉降中心,在肖梨园—王家愣一带成为沉积中心。凤县—山阳—商南同沉积断层继续控制着盆地基底的局部沉降,同时也诱导了近北北东向同生断层形成,这种网状同生断裂控制了盆地内部岩相古地理发生明显分异,在次级同生断裂作用下,三级构造盆地开始发育,次级同生断裂和三级构造盆地中形成了不同沉降和沉积中心,在拉分盆地内,构造沉降中心与沉积中心一致是拉分盆地构造—沉积特征,凤太中泥盆统古道岭组上岩段等厚线揭示凤太沉积盆地已经具有拉分盆地特点(图2和3),王家愣一带古道岭组上岩段厚度达1 000 m以上,而在银母寺一带,沉积厚度仅有

400~500 m,揭示在西河一带可能发育近南北向的同生断裂带(图2)。

作为对于同生断裂引起沉降作用的沉积学响应,构造—岩相学特征对于沉积盆地内部同生断裂活动历史和次级盆地形成与演化进程的物质记录,在中泥盆世晚期,本区从陆源碎屑沉积体系向浅水碳酸盐岩沉积体系演进,揭示了整体发生构造沉降特征。银母寺—八方山三级构造盆地开始发育,古道岭组下岩段(D_2g^1)开始沉积,从西到东,西部青崖沟—星红铺剖面上未见古道岭组下岩段;中部西河剖面及附近有厚度较大的陆源碎屑沉积体系发育,局部夹泥质和钙质沉积;东部王家塆一带亦有露,沿走向厚度变化较大,从东向西的厚度(图2)由小→中等→大→小,粒度由粗变细,泥质含量增加,钙质夹层减少,泥质岩中含铁白云石,沉积相为浅海粉砂泥质陆棚相。在磨沟—田竹园背斜核部偏南可见含砾长石石英砂岩,砾石粒径为5 cm×10 cm,最大为10 cm×15 cm,略具定向排列,长轴方向与层理有一定的夹角,砾石成分为微晶灰岩和粉砂岩,与上和下岩性层成分基本一致,属层间同生砾岩。从下往上,在剖面结构中碎屑物质粒度由粗→细,碎屑含量由多至少,钙质成分由少至多,上部为内碎屑和鲕粒碳酸盐岩,泥质夹层较多;揭示此时由于同沉积断层活动引起盆地基底仍不断下降,沉积充填中心主要位于西河—银母寺铅锌矿区尹家沟一带。

中泥盆统古道岭组浅水碳酸盐岩沉积体系向深水碳酸盐岩沉积体系演进具有伸展裂陷沉积充填序列特征,揭示构造沉降作用进一步加强,明显受同生断裂控制的构造—沉积岩相发育。中泥盆统古道岭组上岩段沉积时,凤太盆地拉分裂陷程度最大,普遍接受了古道岭组上岩段沉积,其底部含砾泥质微晶灰岩中砾石为微晶灰岩、以及含同沉积微晶灰岩砾石的粉砂质绢云母千枚岩等,同生角砾在局部发育反映了因同生断裂活动造成盆地进一步加深沉降,古道岭下岩段下部主要为一套含泥砂质较高的复理石碳酸盐岩,指示了盆地快速沉降过程中物源供给充足,中部为一套深水斜相碳酸盐岩。古道岭下岩段上部生物化石含量增多,形成生物碎屑灰岩、生物灰岩和生物礁灰岩,沉积环境稳定时发育生物礁(滩)相;同生断裂活动强烈时形成了同生角砾岩和砾屑灰岩,并伴有正粒序结构的浊积岩,发育同沉积变形构造。总体上沉积环境比较稳定,但在三级盆地内由于同生断裂活动,并导致小规模热水喷溢,使古道岭组上岩段未

固结的沉积物软泥发生了变形,产生了陷落沉积作用,后期成岩为具有砂球—砂枕同生沉积变形构造的碳酸盐岩,构成了沿同生断裂分布的地震岩席。中泥盆世晚期,凤太盆地在总体伸展体制下继续裂陷沉降,除原有的陆源碎屑沉积物供给格局外,三级盆地开始发育,内源碳酸盐沉积物供给增强,沿同生断裂上升的热水带来了大量成矿物质,在三级热水沉积盆地内形成了古道岭上岩段顶部的热水沉积体系,热水沉积岩相发育并形成了铅锌矿大规模的成岩成矿作用^[27~29],在铅硐山—双石铺一带(图2和3),星红铺—青崖沟北东向同生断裂活动强烈,北西盘强烈沉降,形成了三级箕状热水沉积盆地。在八方山—银母寺北西向沉降中心形成受凤县—山阳—商南同沉积断层的控制,由于在总体伸展体制下,受北西—南东向拉伸产生了右行走滑作用,沿该同沉积断裂带走向形成了纺锤状拉分盆地,大规模热水沉积岩相和多金属矿层形成使其成为三级拉分式热水盆地(图2)。

上泥盆统星红铺组在研究内广泛分布,热水沉积体系、深水浊流热水沉积体系、等深流热水沉积体系和热水沉积岩相在星红铺组普遍发育^[27~29],这是本区金矿形成的初始矿源层主要形成过程。在在凤县二级盆地内从南到北,北部南山—八卦庙—平坎主要分布于洞沟—八方山背斜两翼,银母寺—八方山三级热水盆地在其分布范围内。星红铺组第一岩性段(D_3x^1)下部为细碎屑岩及含碎屑泥质岩,中—上部泥质岩夹碳酸盐岩薄层,上部为薄层泥质碳酸盐岩,组成一个完整的韵律层,底部含有丰富腕足类化石。下部泥质细碎屑岩具有低速沉积特征,但在三级热水盆地内仍较强地热水活动,形成了硅质铁白云岩相、钠质铁白云石细碎屑岩相,局部发育深水体系中形成细碎屑岩相。星红铺第二岩性段(D_3x^2)总体上以泥质成分为主,属一套粉砂质泥岩,粉砂质、钙质增高时形成了钙屑泥砂质冲积岩。星红铺第三岩性段(D_3x^3)在北部不甚发育,为粉砂质泥岩夹钙屑沉积,星红铺组是盆地内八卦庙金矿的主要赋矿层位,发育热水钠质浊积岩相为特征,盆地中央部位地势平坦,出现等深流沉积。中部星红铺—苇子坪—西河庙坪主要分由于铅硐山—玉皇山复背斜北翼,星红铺组第一岩性段(D_3x^1)以泥质成分为主,上部为薄层微晶灰岩,沉积厚度在铅硐山—双石铺三级箕状热水盆地东侧心红峡一带最大,并发育热水浊积岩相,向西进入三级热水盆地内,有较强的热水沉积岩相。星红铺组第二、三性段在心红峡一带发育比较齐全,沉积厚度大。

南部碾道—烧锅里,分布于铅铜山—玉皇庙复北背斜的南翼,与中部大致相同。

在太白二级盆地双王一带,星红铺组第一岩性段为双王金矿矿床的赋矿层位,在凤县二级盆地内星红铺组第一岩性段为八卦庙金矿的赋矿层位,在银铜梁—手搬崖多金属矿带为的铅锌矿次要赋矿层位,伴生金矿主要赋存层位。在青崖沟一带赋存着钠长碳

酸质角砾岩,地层普遍有钠化现象。晚泥盆世早期,已形成的三级热水盆地内,星红铺组沉积厚度均较大,伴有热水活动,三级盆地主要受控于同生断层。

从总体上看,从古道岭组顶部到星红铺组(图 3、4 和 5),三级构造盆地中沉积体系演化分异作用明显,热水沉积体系也发生较大变化,主体由含铅锌热水沉积岩相向含金热水浊积岩相体发生垂向相体变化。

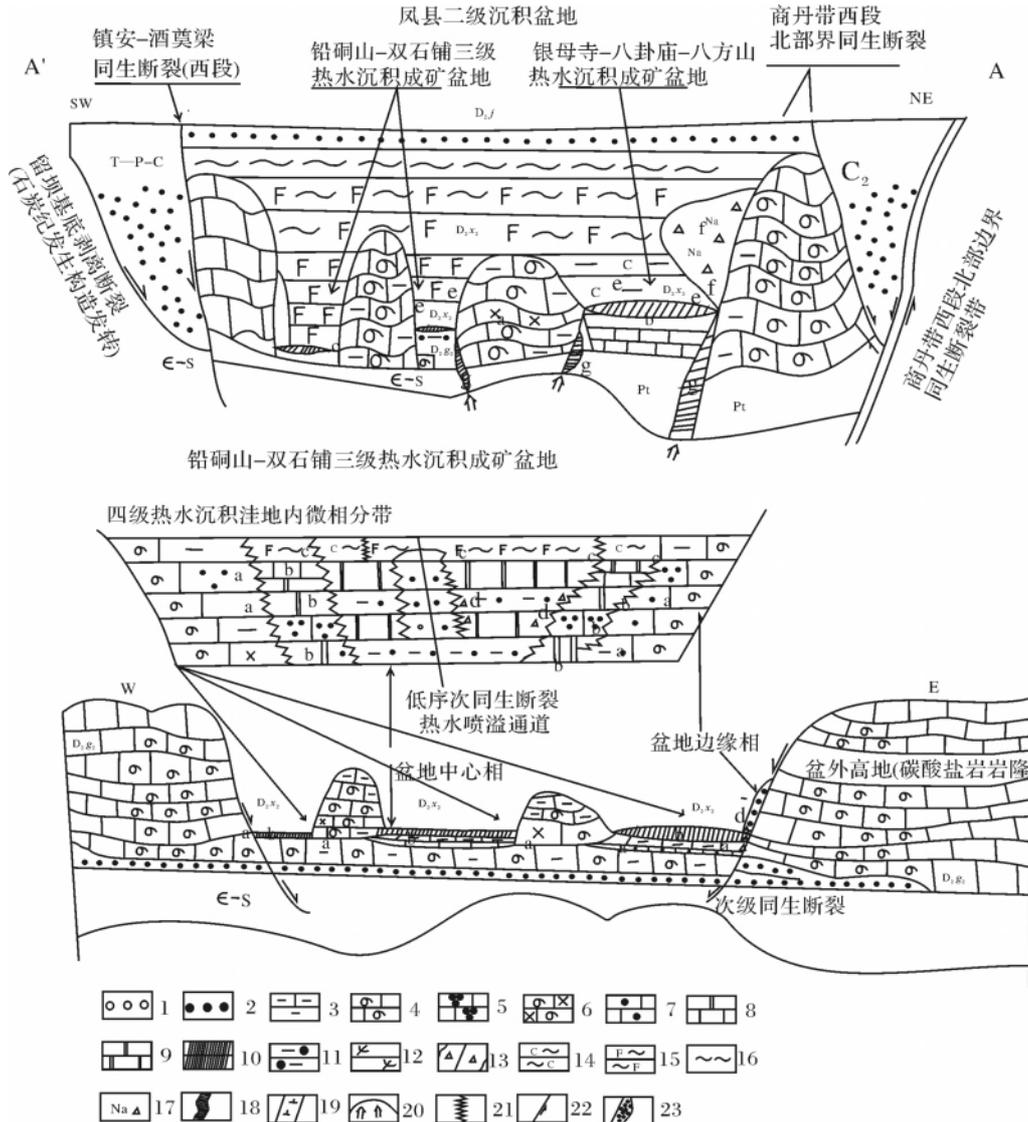


图 3 凤太晚古生代盆地分级与构造—热水沉积岩相时空分布与演化示意图

1. 含砾砂岩; 2. 泥质粉砂岩; 3. 含炭生物灰岩; 4. 生物(礁)灰岩。a - 热水同生交代微相; 5. 铁白云质灰岩; 6. 硅化铁白云石化生物灰岩; 7. 硅质灰岩。b - 热水混合同生沉积微相; 8. 铁白云质硅质岩; 9. 硅质铁白云岩; 10. 硫化物岩微相(含矿硅质铁白云岩—含矿菱铁矿铁白云岩)。c - 热水同生沉积微相; 11. 硅质岩; 12. 铁白云质泥岩(千枚岩)—铁白云岩。d - 热水水压致裂微相; 13. 含矿硅质角砾岩—含矿硅质铁白云石角砾岩。e - 封闭、滞水盆地相(矿体覆盖保存层); 14. 炭质泥岩(千枚岩); 15. (含炭)铁白云质泥岩(千枚岩); 16. 绿泥石泥岩(千枚岩)。f - 热流体隐爆岩相; 17. 钠长石碳酸(角砾)岩—铁白云石钠长石(角砾)岩。g - 热流体充填岩相; 18. 钠长石碳酸岩脉; 19. 基性岩脉—闪长玢岩脉; 20. 盆地地下热源区; 21. 微相相变界线; 22. 同生断层及运动方向; 23. 浊积岩层序; C₂ - 中石炭统; T₂-P-C₂ - 中三叠统一二叠系—中石炭统; D_{2j} - 上泥盆统九里坪组; D_{2x2} - 上泥盆统星红铺第二岩性段; D_{3x1} - 上泥盆统星红铺组第一岩性段; D_{2g2} - 中泥盆统古道岭组第二岩性段; D_{2g1} - 中泥盆统古道岭组第一岩性段; ε-S - 泥盆纪沉积盆地地下伏寒武—志留系; Pt - 元古代富钠火山岩。

Fig. 3 Re-constructed profile for time-space distribution and evolution of syntectonic-hydrothermal sedimentary lithofacies and basin order in the Late Paleozoic basin in Fengxian-Taibai area

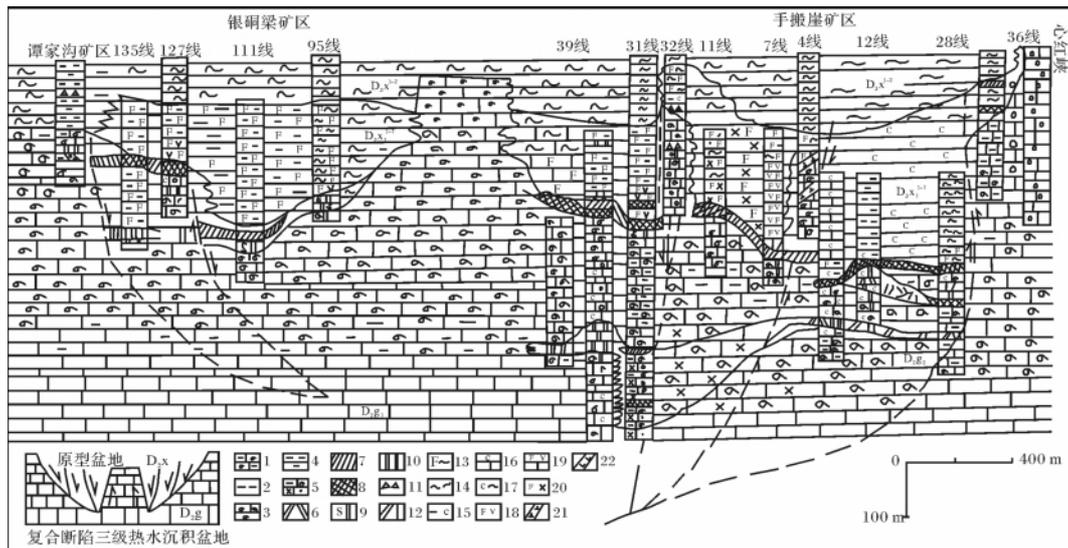


图4 银铜梁—手搬崖铅锌矿带构造—热水沉积岩相柱状对比图与三级盆地恢复重建

1. 含碳生物灰岩; 2. 钙质千枚岩; 3. 生物灰岩; 4. 碳质灰岩; 5. 硅化铁白云石化含碳生物灰岩; 6. 石英铁方解石岩; 7. 铅锌矿化层; 8. 铅锌矿层; 9. 硅质灰岩; 10. 硅质铁白云岩(Mn 原生异常指示热水沉积岩相); 11. 构造角砾岩(改造期形成的构造角砾岩相); 12. 黄铁矿化铁白云质灰岩(As 和原生 Cu 异常指示热水沉积岩相); 13. 铁白云质千枚岩; 14. 绿泥绢云母千枚岩; 15. 含碳绢云母千枚岩; 16. 碳质千枚岩夹薄层灰岩; 17. 碳质千枚岩; 18. 铁白云质绢云母千枚岩(具有 As 和 B 原生异常 指示热水喷气沉积作用存在); 19. 铁白云质千枚岩夹薄层灰岩(具有 Ag 和 B 原生异常 指示热水喷气沉积作用存在); 20. 铁白云质千枚岩(具有 B、Mn 和 As 原生异常 指示热水喷气沉积作用存在); 21. 闪长玢岩; 基性岩脉

Fig. 4 Column map of syntectonic-hydrothermal sedimentary lithofacies and the three-order basin reconstructed in Yindongliang-Shoubanyan Pb-Zn ore zones

(1) 三级盆地开始明显分异并开始相对独立演化, 在星红铺组第一、二岩段中, 均发育三级盆地断陷加深过程中形成了同生角砾岩、浊积岩系、含砾同成分角砾岩, 伴有沉积物软变形, 反映了三级盆地受同生断裂的活动控制明显, 幕式快速沉降导致了三级盆地快速加深和沉积充填, 这种幕式活动从古道岭组二段(D_{2g}^2) 沉积时就已经开始, 是三级盆地形成的地层记录显著特点。铅铜山—双石铺复合断陷三级构造热水沉积盆地之中, 沉积体系演替结构在垂向相序表现(从下到上) 为: 古道岭组浅水碳酸盐岩沉积体系厚层生物(礁) 灰岩相→热水沉积体系(同生断裂附近发育热水沉积岩相, 包括硅质生物灰岩、硅质铁白云岩、铁白云岩、硅质岩、硫化物岩等) →生物礁灰岩相→硅质热水幕→半深水生物碎屑灰岩/碳质灰岩相→铁镁碳酸质—硅质热水幕/铅锌矿层→铁白云质碎屑岩相→薄层灰岩夹铁白云质碎屑岩/含矿硅质白云岩/铁白云质泥岩相→绿泥石(绢云母) 泥岩。

(2) 一级、二级和三级盆地内, 沉积相在走向上和横向上不对称, 反映拉分盆地沉积体系和沉积相具有不对称发育特点, 这也是拉分盆地动力学特征的构造—岩相学记录。在凤太一级拉分盆地中, 中泥盆世

在八方山—八卦庙—双王一带形成了北西向沉降中心和沉积中心, 沉积厚度最大; 而到晚泥盆地早期沉积中心南迁到铅铜山—狮子坝, 形成了北西向沉降中心, 沉积厚度最大, 晚泥盆世晚期沉积中心北侧于二者之间。这种沉积中心随时间迁移的特点是在总体伸展扩张背景下的, 盆地基地中走滑变形的地层记录, 可解释为走滑断层可以在相当长的距离中存在, 也可出现局部的受阻弯曲和分离弯曲、断层交汇及侧接。分离弯曲使本区的三级盆地进一步形成。

(3) 在凤太一级盆地内, 三级盆地在层厚度、沉积相组合和几何形态等方面显著不同。银母寺—八卦庙—八方山拉分式三级构造热水沉积盆地之中, 八方山多金属矿区沉积体系演替结构在垂向相序表现(从下到上) 为: 浅水碳酸盐岩台地相→生物滩(礁) 相→半深水滞留还原热水混合沉积硅质岩亚相(含灰岩角砾的浅灰色硅质岩、浅灰色—深灰色硅质岩层、铅锌矿层、含碳硅质岩) →半深水偏碱性碳酸盐型热水液致裂隐爆微相(含铜硅质铁白云石角砾岩、含铜黄铁矿硅质白云石角砾岩) →浅水—半深水热水钙屑浊积岩相(铁白云质泥岩、铁白云质钙屑浊积岩、含碳生物碎屑灰岩) →浅水钙屑泥岩相(钙

屑泥岩、钙屑浊积岩、薄层砂屑灰岩)。

八方山多金属矿区含铜硅质铁白云岩亚相处于偏还原环境,形成了铜富集成矿;而在铅硐山铅锌矿区,硅质铁白云岩—硅质菱铁矿铁白云岩处于强还原环境,主体以铅锌富集成矿为主,仅有少量黄铜矿形成。在银母寺铅锌矿区,含铜硅质铁白云岩亚相受同生断裂带控制明显,在同生砾屑灰岩层之上含铜硅质铁白云岩亚相,向上逐渐减弱,以含铅锌硅质岩亚相为主体,具有沿同生断裂带产出有脉状含铜硅质铁白云岩亚相。在热水钙屑浊积岩相在八卦庙金矿区属于金矿主要赋存岩相。可以看出,三级热水沉积盆地、热水场类型及同生断裂活动方式不同,构造—热水沉积岩相与成矿特点具有较大差异,这是本区金—多金属矿在矿床和矿体尺度上形成矿化分带规律的内在控制因素。

(4) 从北到南(图2),北部边界同生断裂带(商丹断裂带西段)与礼县—凤县—凤镇—山阳同生断裂带(中段)之间形成了沉降和沉积中心,控制了老铁厂三级构造盆地;礼县—凤县—凤镇—山阳同生断裂带(中段)在老铁厂附近形成两个分枝同生断裂带,它们之间形成的拉分断陷区形成了沉降和沉积中心,控制了王家楞—双王三级构造热水沉积盆地。

(5) 在凤太一级盆地中部西河北东向或近南北向发育同生断裂带,它和礼县—凤县—凤镇—山阳同生断裂带(中段)共同控制了苇子坪—八方山—银母寺—铅硐山一带半环形碳酸盐岩台地,生物礁灰岩和生物滩灰岩相发育,在西部凤县二级盆地内形成了水下隆起,并在该水下隆起北东部位形成了银母寺—八卦庙—八方山三级拉分式热水沉积盆地,以发育钠长岩亚相和钠质热水沉积岩相为特征。

在心红峡—青崖沟发育北北东向同生断裂带,形成了铅硐山—银洞梁—手搬崖复合断陷三级热水沉积盆地(图2、3和4),成为热水沉积—改造型(银)铅锌矿床,局部伴生金矿,在谭家沟一带发现了小型金矿,以发育硅质岩亚相—菱铁矿铁白云岩亚相为特征,未见典型钠长岩亚相和钠质热水沉积岩相,局部可见后期闪长岩岩脉。

以上分析表明,在中泥盆世开始,凤太沉积盆地具有受走滑断裂带控制下形成的同生构造—岩相学特征,盆地沉降中心受区域性同生断裂带控制,也是盆地沉积中心。构造—岩相学特征表明次级盆地发育受低序次北西向、近南北向和北北东向网状同生断裂带控制,这些同生断裂不但是次级盆地形成主控因

素,也是热水喷流沉积成矿的构造通道(图3和4)。

2.3 盆地萎缩期与沉积中心

在晚泥盆世晚期九里坪阶,凤太泥盆纪沉积盆地开始萎缩,沉降中心迁移收缩到盆地中心,三级构造盆地已经基本萎缩封闭;在青崖沟—倒贴金形成了北西向沉积中心,以青崖沟一带厚度最大(1 737 m)。从西向东,从北向南显示了砂质成分增高,泥质减少,暗示了物源区为盆地东侧及南侧相邻的构造高地。上泥盆统九里坪组第一岩性段(D_3j^1)中下部为变中细粒长石石英砂岩夹砂质微晶灰岩,中上部为千枚岩—微晶灰岩,顶部为砂质微晶灰岩,具有复理石沉积特征,常由变砂岩—千枚岩—微晶灰岩组成不等厚的韵律式沉积。第二岩性段(D_3j^2)下部为变砂岩,中部千枚岩,上部粉砂质微晶灰岩,为一完整的韵律式沉积。第三岩性段(D_3j^3)由变长石石英砂岩、粉砂质千枚岩及粉砂质微晶灰岩组成的韵律式沉积,具有复理石沉积特征。第四岩性段(D_3j^4)下部为长石石英砂岩夹粉质微晶灰岩,中部为变砂岩夹粉砂质千枚岩,上部为粉质千枚岩夹薄层云母砂岩。从沉积环境看,全区处于种不稳定的动荡环境,类复理石沉积特别发育。九里坪组在凤太泥盆纪沉积盆地中央部位(青崖沟—倒贴金)厚度最大,向四周厚度逐渐变薄,此时,盆地基底略有抬升,造成了海水变浅,沉积中心形成是盆地内充填沉积物因负载作用下沉,并压实成岩,晚泥盆世晚期,秦岭地块在区域上东部已开始初始接触碰撞^[7],本区也从南北向扩张为主的伸展构造体制,逐渐变为斜向穿时碰撞的侧向挤压收缩体制,因而使九里坪组具有退积型海退序列,盆地已开始进入萎缩期,其后逐渐发生构造反转作用。

总之,晚泥盆世晚期九里坪阶向上变浅加粗的沉积相序揭示了凤太泥盆纪沉积盆地发生的盆地萎缩进程,沉积中心继承了原有的盆地沉积中心,在该盆地中央部位主体呈北西向延伸,沉积范围明显萎缩。

2.4 石炭纪构造反转与沉积体系和沉积中心

凤太晚古生代沉积盆地的构造变形历史比较复杂,大致可分为四期:①石炭纪—中三叠世构造反转与热流体叠加改造期(D_1);②印支期斜向碰撞挤压体制下,盆地收缩变形与褶皱作用、岩浆侵位与热构造—脆韧性剪切变形(D_2);③晚印支期—燕山早期逆冲推覆改造变形(D_3);④晚燕山期陆内造山期伸展变形(D_4)。限于论文篇幅,本文仅对石炭纪—中三叠世构造反转与热流体叠加改造期(D_1)进行论述,构造反转主要表现为泥盆纪走滑拉分—伸展构造

作用向中三叠世末期斜向挤压收缩构造体制转换过程,这两期构造反转对于金矿形成与演化具有十分深刻的大陆动力学背景。

酒奠梁—镇安—板岩镇同生断裂带(西段)在石炭纪初发生构造反转(图3),其南侧形成断陷沉降中心,为其二叠纪—早三叠世温江寺断陷沉降中心提供了同生构造动力学背景,凤太晚古生代沉积盆地南部边界基底离断层以南,留坝县(白龙江隆起东部)早古生代地层在泥盆—三叠纪世期间一直处于缓慢抬升状态。

石炭系分布主要限于凤太晚古生代沉积盆地南侧和北侧、西部及东部局部地区,这是由于构造反转作用使该盆地中央由原来显著伸展沉降中心(凤太拉分盆地中央部位)受到断块构造作用发生抬升,凤太晚古生代沉积盆地中央部位转变为相对主体抬升区域,该盆地南侧和北侧同生构造断陷增强,西缘和东缘同生断裂带附近也是沉积中心,因此在该盆地周缘同生断裂带附近形成了局部构造断陷—沉积中心,石炭纪海域面积大规模缩小揭示沉积盆地萎缩强烈,这种构造断陷沉降中心和沉积中心迁移与一般拉分盆地具有十分类型特征。石炭系以硅碳质细碎屑岩为主,局部发育碳酸盐岩,指示了一种缺氧、强还原、水体停滞的沉积环境。

据崔智林等^[34]研究,在凤县核桃坝一带,石炭系下部为浅海陆棚相粉砂岩、泥灰岩和灰岩,中、上部以重力流沉积为主,在中部浊积岩中产遗迹化石;沉积和古生物证据表明晚石炭世中期以前,本区沉积盆地的基底较为平缓,水体较浅,与南秦岭其它地区的古海水连通性较好;但晚石炭世中期以后,浊流和块状重力搬运沉积特征证明该沉积盆地基底变陡斜。石炭系上部砾石排列状态大体显示出物源区在南侧,因此该沉积盆地的基底地形具有南高北低特征,南面水体较浅,北面水体较深,这种盆地基底变化和物源区特征揭示石炭纪发生了构造反转,也说明凤太晚古生代沉积盆地中央部位发生构造抬升,该盆地北缘发生的构造沉降强烈。

在石炭纪,秦岭造山带已经在东部发生点碰撞且逐步从东到西发展,从点碰撞到全面碰撞过程发展^[7],北秦岭造山带此时挤压造山作用和构造抬升也不断增强,凤太晚古生代沉积盆地发生构造反转作用与秦岭造山带区域动力学过程一致。该沉积盆地北缘和东北缘接近商丹带,这种沉积体系从浅水→半深水→深水沉积体系演进属于近南北向斜向俯冲碰

撞体制下,在商丹带南侧形成的增生楔状体^[33],也证明在石炭纪期间,商丹带依然是控制凤太晚古生代沉积盆地的北部边界同生断裂带。印支期造山作用过程中仅接受了早三叠世沉积,暗示在中三叠世该沉积盆地北缘已经发生完全封闭。

石炭纪增生楔状体的构造—沉积体系特征揭示该沉积盆地北部基底断块发生“北侧沉降,南侧挑升”的构造反转作用;构造反转作用的另一表现为沿凤县—山阳穿盆基底沉积断层附近发生幔源热物质上涌侵位,沿礼县—凤县—凤镇—山阳同生断裂带形成了区域性钠长碳酸质角砾岩—铁白云石钠长石角砾岩等构造—热流体岩相侵位叠加,钠长碳酸质角砾岩—铁白云石钠长石角砾岩大致沿层侵位于中泥盆统星红铺组 and 上泥盆统九里坪组中,这种热流体角砾岩带和相关构造—岩相学带随泥盆纪地层在印支期发生褶皱和构造变形。这种碱性深源热流体叠加及相关构造—岩相学特征表明可能属于石炭纪形成的产物,对于凤太晚古生代沉积盆地北部金矿带形成具有十分重要作用,并间断延续到印支期。

2.5 二叠纪—早三叠世构造反转与沉积体系和沉积中心

二叠系第一岩性段为一套浅海相复理石沉积,由粗砂岩—细(粉)砂岩—泥岩—碳酸盐岩组成的若干个沉积韵律,递变粒序为层理发育,与上泥盆统、中上石炭统均为断层接触,与上覆岩性为整合接触。底部有同生砾岩、生物碎屑砾状微晶灰岩透镜体、含生物碎屑角砾状灰岩,显示了伸展裂陷发展初期在快速同生构造断陷作用下,形成的构造沉降并快速沉积充填,迅速变为浅海相。第二岩性段主要为浅海相变细碎屑岩—泥质沉积物组成,水平层理发育,反映了沉积环境较为稳定。

在瓦房坝—温江寺上三叠统中有砾屑灰岩,以砾状、大透镜状或巨大岩块(可达 $0.7\text{ m} \times 3\text{ m}$)存在于砂板岩组成的浊流沉积相中,普遍具有化石混杂现象,即砾屑中的筴及其它化石分属石炭—二叠纪,少数为泥盆纪。在同生构造断陷作用形成的滑塌沉积环境中,构造滑塌沉积相带及同沉积软变形构造显示了次级盆地的快速断陷成盆过程,并使二级盆地迅速变为深海沉积环境。构造—滑塌沉积体系与深水浊流沉积体系相共生,主体水流流向由北至南,揭示凤太晚古生代沉积盆地因构造反转作用造成水体流向发生了格局性改变。上三叠统任家沟组和西坡组总厚度在 $4\ 567\text{ m}$ ^[37],其南侧留坝县大部分缺失上三叠

统,揭示瓦房坝—温江寺和南侧留坝县(白龙江隆起)之间发育断块构造。仅在镇安西口和镇平一带,扬子地块北缘局部山间盆地中接受上三叠统沉积,已经演化为局限咸化潟湖相。

温江寺二叠纪—早三叠世三级盆地内,早三叠世沉积了一套深海浊积岩系、滑塌沉积体系,形成浊积岩系中热水硅质岩相和层状英安质凝灰岩等,富含Au、Sb、Hg、As,该岩相是瓦房坝—温江寺卡林型金矿重要赋矿层位,穿层钾长花岗岩脉侵位于上述层位之中,这是南部温江寺一带卡林型金矿与北部八卦庙金矿具有显著不同特征。早三叠世构造反转主要由于凤太晚古生代沉积盆地南部基底剥离断层发生构造极性改变,由低角度剥离断层转变为垂向构造断块作用,导致留坝县(白龙江隆起东部)早古生代基底发生快速垂向抬升,早三叠世以后本区没有接受沉积作用。沉积盆地基底因斜坡角度逐渐增大,形成沉积物失稳而发生水下重力流沉积和同生滑移褶皱,同生断裂作用强烈而且引发泥石流沉积和滑塌沉积等,这与早三叠世晚期盆地萎缩封闭构造动力学转换机制向吻合。

总之,在二叠纪—早三叠世期间,凤太晚古生代沉积盆地西南部温江寺—狮子坝发生迅速的同生构造断陷成盆,这种构造断陷—沉积体系主要与古特提斯域有密切的关系,同生构造断陷中心成为该盆地的沉积中心。本区主体缺失晚—中三叠世沉积,沉积范围向西收缩到甘肃省境内^[35-37],说明凤太晚古生代盆地在中三叠世完全封闭。

3 凤太晚古生代拉分盆地、盆地分级与金—多金属成矿

3.1 凤太晚古生代拉分盆地与同生断裂带

在凤太晚古生代沉积盆地形成与演化过程中,扬子地块在岩石圈尺度上一直处于深部向北缓慢消减过程,商丹带是扬子地块与华北地块之间斜向缓慢俯冲消减带,商丹带以北,北秦岭处于隆升造山与近水平剪切过程;由于勉略泥盆—石炭纪有限洋盆打开过程中减缓了深部岩石圈向北俯冲消减的速度^[7]。在大陆地壳尺度上,形成了一系列垂向基底隆起在陆表海域中形成了海岛群,在本区南邻佛坪和南邻白龙江海岛构造不断缓慢垂向抬升,它们共同导致了陆壳浅部发生走滑拉分断陷和伸展裂陷作用。前述研究表明凤太晚古生代沉积盆地北部边界同生断裂带(商丹带西段)和南部边界留坝基底剥离断层对该拉分

盆地形成与演化具有主控构造作用,形成了 $290^{\circ} \sim 310^{\circ} \rightarrow 110^{\circ} \sim 130^{\circ}$ 构造拉伸作用和近南北向构造扩张,形成了该拉分盆地区域构造动力学背景。

在凤太晚古生代沉积盆地中,礼县—凤县—凤镇—山阳同生断裂带(中段)和酒奠梁—镇安—板岩镇同生断裂带(西段)两个穿盆同生断裂带不但在泥盆纪期间对于凤太泥盆纪沉积盆地形成具有显著控制作用,而且在石炭纪—早三叠世发生构造反转,并控制了构造沉降中心和沉积中心,构造反转作用对凤太晚古生代盆地演化进程具有十分重要的控制作用,这是本区晚古生代沉积盆地形成与演化构造动力学的深刻背景所在。

沉积盆地内部穿盆同生断裂带可能是控制盆地分级和次级盆地形成的主要构造动力学因素。凤县—凤镇—山阳(西段)及酒奠梁—镇安—板岩镇(西段)两条同生断裂分别从凤太沉积盆地内北部和南部穿过,属于穿盆基底同生断裂带,其低序次同生断裂带主要呈北西向、近南北向和北北东向(图2、3和4),这些沉积盆地内部同生断裂是控制次级盆地和盆地分级的主要控制因素。在凤太晚古生代沉积盆地中部,西河一带近南北向上,中泥盆统古道岭组上岩段等厚线差异甚大,揭示发育近南北向同生断裂带^[27-29,33],西河近南北向水下隆起将其分割成西部凤县二级盆地和东部太白二级盆地。酒奠梁—镇安—板岩镇同生断裂带(西段)在石炭纪发生构造反转,控制了西南部瓦房坝—温江寺二级断陷盆地(图2和3)。

总之,穿盆同生断裂带及后期构造反转作用、低序次北西向、北北东向和近南北向同生断裂控制了凤太一级拉分盆地产生了盆地分级,构造—热水沉积岩相和构造—热流体叠加岩相不同控制了金和多金属成矿分带规律。

3.2 凤太拉分盆地分级与金—多金属成矿规律

总体上,凤太一级拉分盆地可划分为三个二级盆地。在凤县西河近南北向同生断裂作用下,该一级拉分盆地分隔为西部凤太二级盆地和东部太白二级盆地,在南部酒奠梁—镇安—板岩镇和留坝基底剥离断层构造反转与构造极性反转作用下,凤太拉分盆地西南部形成了瓦房坝—温江寺二级拉分断陷盆地。

1) 东部太白二级盆地中部双王三级台盆内已探明双王大型金矿床,东部太白二级盆地南缘的老铁厂单断形三级盆地内已发现小型金矿及一些金矿点。

2) 凤县二级盆地东北缘(图2、3、5、6和7),银

母寺—八卦庙—八方山拉分式三级构造热水沉积盆地中, 赋存八方山大型铅锌矿床及八卦庙超大型金矿床(图6和7), 在这两个矿床之间, 近期发现了丝毛岭中型金矿^[38]。凤县二级盆地西南缘(图2、3和4), 铅硐山和东塘子2个大型铅锌矿床, 银硐梁、手

搬崖及峰崖3个中型铅锌矿床赋存于铅硐山—双石铺复合断陷型三级构造热水沉积盆地之中。

3) 在西南部瓦房坝—温江寺二级拉分断陷盆地中, 主要为锑矿和卡林型金矿成矿集中区。

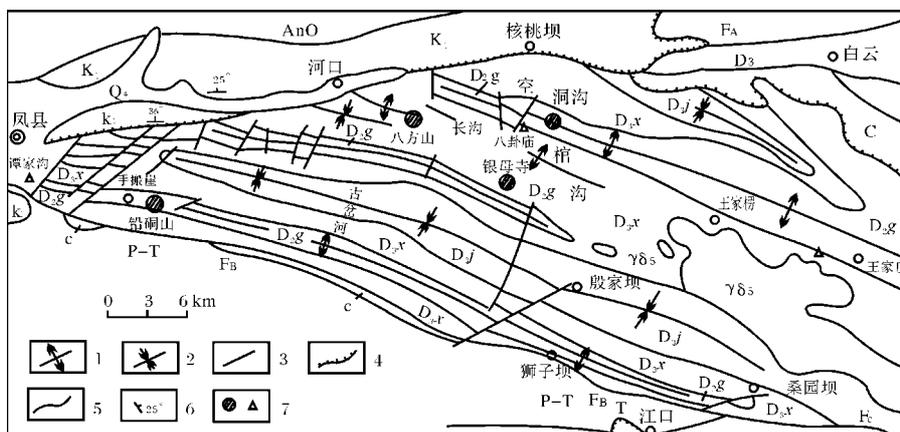


图5 凤太金—多金属矿床区域地质简图(据西北有色717总队资料简化)

1. 背斜轴; 2. 向斜轴; 3. 区域断裂带(F_A—商丹断裂带西段凤州—靖口关断裂, F_B—酒奠梁—镇安—板岩镇西段, F_C—凤县—凤镇—山阳西段); 4. 断陷盆地界线; 5. 地质界线; 6. 岩层产状; 7. 铅锌矿床、金矿床; Q₄. 第四系; K₁. 下白垩统东河群; J. 侏罗系; P-T. 二叠至三叠系; C. 石炭系; D_{3j}. 上泥盆统九里坪组; D_{3x} 上泥盆统星红铺组; D_{2g}. 中泥盆统古道岭组; AnO. 前奥陶系; Yδ₅. 燕山期花岗岩闪长岩

Fig. 5 Regional geologic map of gold-polymetallic deposits in Fengxian-Taibai Counties

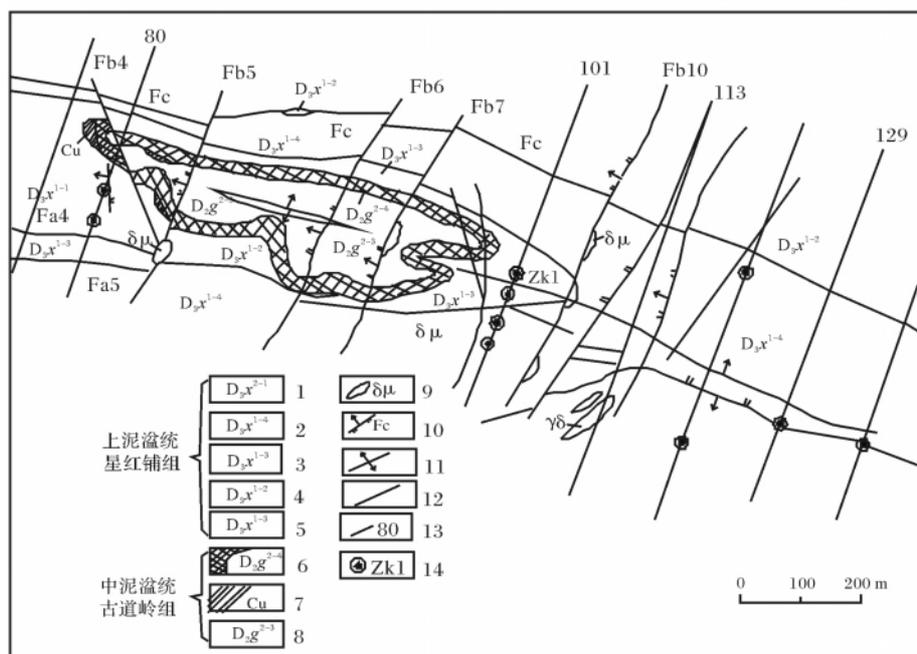


图6 凤县八方山—二里河铅锌矿地质简图(据西北有色717总队资料简化)

1. 绿泥绢云千枚岩; 2. 含黄铁矿绢云方解千枚岩; 3. 绢云方解千枚岩; 4. 碳质千枚岩; 5. 绢云方解千枚岩; 6. 含矿硅质岩; 7. 铜矿体; 8. 生物碎屑灰岩; 9. 闪长玢岩; 10. 断层及编号; 11. 背斜轴; 12. 推断裂; 13. 勘探线及编号; 14. 钻孔及编号

Fig. 6 Geologic map of Bafangshan-Erlihe Pb-Zn deposits in Fengxian County

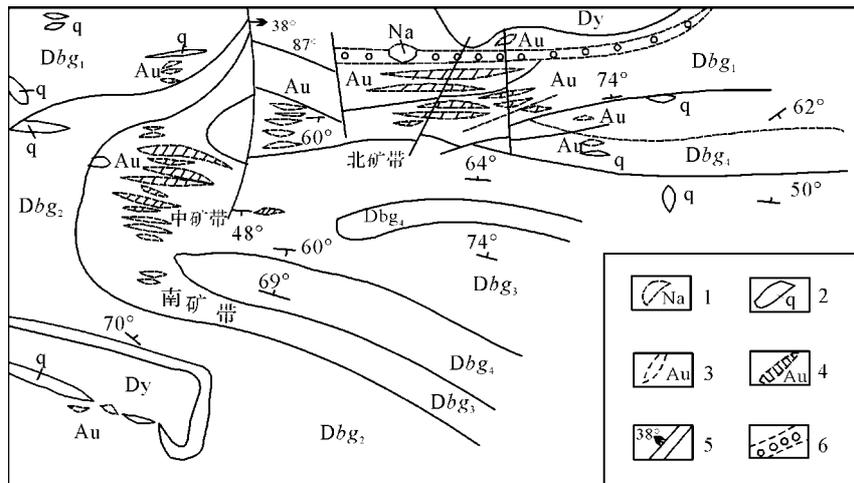


图7 凤县八卦庙金矿地质图

1. 钠长细晶岩; 2. 石英岩; 3. 金矿化体; 4. 金矿体; 5. 断裂及性质不明断裂; 6. 破碎带; Dbg_4 - 八卦庙组第四层, Dbg_3 - 八卦庙组第三层, Dbg_2 - 八卦庙组第二层, Dbg_1 - 八卦庙组第一层, Dy - 银母寺组

Fig. 7 Geologic map of Baguamiao gold deposit in Fengxian County

总体上看, SEDEX 型铅锌(铜)矿主要受三级构造热水盆地、热水沉积岩相(硅质岩亚相、菱铁矿白云岩亚相、铁白云质亚相等)、同生断裂和后期褶皱变形构造控制定位, 主要分布于凤太晚古生代拉分盆地中部。金矿受三级构造热水盆地、同生断裂、热水浊流沉积岩相(钠质热水岩亚相、凝灰质岩相)和后期钠质碳酸质热流体叠加岩相、脆韧性构造变形带(糜棱岩相、糜棱岩化)等复合因素控制定位, 主要分布于凤太晚古生代拉分盆地北部和东北、南部瓦房坝—温江寺。热水沉积岩相不同亚相组合和相序结构、同生断裂及盆地分级特征是控制金—多金属矿床集中区的共同规律, 与 SEDEX 型铅锌矿比较而言, 金矿明显受沉积盆地后期构造—热流体叠加改造变形强烈, 这是金矿与铅锌矿成矿之间的差异。

4 结论

凤太晚古生代拉分盆地总体上受板块斜向俯冲碰撞过程控制, 在中泥盆世, 凤太拉分盆地被周缘垂向基底隆起分隔, 其西南侧为白龙江垂向基底隆起, 分隔了甘肃西成与凤太泥盆纪沉积盆地; 东侧和东南侧为佛坪垂向基底隆起, 分隔了镇安与凤太泥盆纪沉积盆地。凤太泥盆纪沉积盆地构造—古地理位置为秦岭微板块北缘板内沉积盆地, 平面形态学为总体东西长、南北宽的菱形状拉分盆地。凤太晚古生代拉分盆地动力学演化过程与金—多金属成矿关系主要为以下五个方面。

(1) 凤太晚古生代拉分盆地受四组同生断裂带控制, 北部边界同时断裂带(商丹带)、南部边界同生断裂带留坝基底剥离断层、两条穿盆同生断裂带共同控制了该拉分盆地的形成与演化。受同生断裂带控制的沉降中心和沉积中心不断发生迁移。中泥盆世初期, 浅水陆源碎屑沉积系统主要发育在该盆地东部, 属于沉降中心和沉积中心; 随着走滑拉分—伸展作用不断增强, 中泥盆世中期在盆地北部形成了北西向沉降中心和沉积中心, 晚泥盆地早期沉积中心南迁到铅硐山—狮子坝, 形成了北西向沉降中心。九里坪组在凤太盆地中央部位(青崖沟—倒贴金)厚度最大, 属于沉积中心。晚泥盆世末期沉积盆地萎缩, 中部发生抬升, 沉积中心因构造反转不断增强, 沉降中心和沉积中心相拉分盆地两侧迁移。

(2) 在凤太拉分盆地形成过程中, 扬子地块在岩石圈尺度上一直处于深部向北缓慢消减过程, 商丹带是它们之间斜向缓慢俯冲消减带, 因此商丹带以北北秦岭处于造山与近水平剪切过程。由于勉略泥盆—石炭纪有限洋盆打开过程中减缓了深部岩石圈向北俯冲消减的速度, 在大陆地壳尺度上, 形成了一系列垂向基底隆起在陆表海域中形成了海岛群, 在本区南邻佛坪和南邻白龙江海岛构造不断缓慢垂向抬升, 它们共同导致了陆壳浅部发生走滑拉分断陷和伸展裂陷作用, 在凤太拉分盆地内部, 近东西向、北北东向、近南北向和北西向网状同生断裂带系统, 它们共同控制了凤太泥盆纪一级拉分盆地形成了盆地分级演化。

其中,商丹带、礼县—凤县—凤镇—山阳同生断裂带(中段)和酒奠梁—镇安—板岩镇同生断裂带(西段)三个主控同生断裂带不但在泥盆纪期间对于凤太泥盆纪拉分盆地形成具有显著控制作用,而且在石炭纪—早三叠世发生构造反转,且控制了沉降中心和沉积中心,对凤太晚古生代拉分盆地演化过程也具有十分重要的控制作用。

(3) 凤太泥盆纪拉分盆地在石炭纪构造反转,其特征为在凤太拉分盆地北侧发生“北侧沉降、南侧挑升”的基底断块沉降,沿礼县—凤县—凤镇—山阳同生断裂带形成了区域性钠长碳酸质角砾岩—铁白云石钠长石角砾岩等构造—热流体岩相侵位叠加,对于青崖沟—八卦庙—双王金成矿带具有十分重要的作用。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,形成了瓦房坝—温江寺二级拉分断陷盆地。

(4) 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,断块式抬升过程中同生断裂带附近形成泥石流沉积和滑塌沉积,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。

(5) 在凤太晚古生代拉分盆地具有分级特征,该一级盆地属于金—多金属成矿集中区,西部凤县二级盆地为金—多金属成矿集中区,东部太白二级盆地为金矿成矿集中区。在西部凤县二级盆地银母寺—八卦庙—八方山拉分式三级构造热水沉积盆地中,八方山、银母寺、长沟、硐沟等多金属矿床与八卦庙超大型金矿床具有矿田尺度上成矿分带,主要由于三级盆地、同生断裂和热水沉积岩相等不同控制,在平面上具有水平分带,在剖面上属于上下成矿序列结构。金矿矿源层和初步富集成矿形成主要与钠长岩亚相、钠质热水沉积岩相、钠长碳酸质角砾岩—铁白云石钠长石角砾岩等石炭纪构造—热流体岩相侵位叠加有密切关系。热水沉积—改造型铅锌矿主要与硅质岩亚相、菱铁矿铁白云岩亚相等热水沉积岩密切相关。

在凤太晚古生代拉分盆地西南部瓦房坝—温江寺二级拉分断陷盆地中,主要为锑矿和卡林型金矿成矿集中区,三叠系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。

参考文献(References)

1 Nadine McQuarrie, Brian K. Horton, George Zandt, *et al.* Lithospher-

- ic evolution of the Andean fold-thrust belt, Bolivia, and the origin of the central Andean plateau[J]. *Tectonophysics*, 2005, 99: 15-37
- 2 Zapata T & Folguera A. Tectonic evolution of the Andean Fold and Thrust Belt of the southern Neuque'n Basin, Argentina[C]//Veiga G D, Spalletti L A, Howell J A & Schwarz E, eds. *The Neuque'n Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics* [M]. Geological Society, London, Special Publications, 2005, 252: 37-56
- 3 Hyndman R D, Currie C A, Mazzotti S P. Subduction zone backarc, mobile belts, and orogenic heat[J]. *GSA Today*, 2005, 15(2): 4-10
- 4 Alfonso Encinas, Kenneth L Finger, Sven N Nielsenc, *et al.* Rapid and major coastal subsidence during the late Miocene in south-central Chile[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2008, 25: 157-175
- 5 Dooley T & McClay K. Analog modeling of pull-apart basins [J]. *AAPG Bulletin*, 1997, 81(11): 1804-1826
- 6 Alper Gürbüz. Geometric characteristics of pull-apart basins [J]. *Lithosphere*, 2010, 2(3): 199-206
- 7 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: 1-855 [Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, *et al.* *Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics* [M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-855]
- 8 孟庆任, 于在平, 梅志超. 北秦岭南缘弧前盆地沉积作用及盆地发展[J]. *地质科学*, 1997, 32(2): 136-145 [Meng Qingren, Yu Zaiping, Mei Zhichao. Sedimentary and development of the forearc basin at southern margin of North Qinling[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1997, 32(2): 136-145]
- 9 李亚林, 张国伟, 宋传中. 东秦岭二郎坪弧后盆地双向式俯冲特征[J]. *高校地质学报*, 1998, 4(3): 286-293 [Li Yalin, Zhang Guowei, Song Chuansong. Characteristics of bidirectional subduction of Erlanping backarc basin in the east Qinling[J]. *Geological Journal of China Universities*, 1998, 4(3): 286-293]
- 10 裴先治, 李厚民, 李国光. 东秦岭丹凤岩群的形成时代和构造属性[J]. *岩石矿物学杂志*, 2001, 20(2): 180-188 [Pei Xianzhi, Li Houmin, Li Guoguang. A study of formation epoch and tectonic attribute of the Danfeng Group complex in east Qinling mountains [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2001, 20(2): 180-188]
- 11 孟庆任, 梅志超, 于在平, 等. 秦岭北缘一个消失了的泥盆纪古陆[J]. *科学通报*, 1995, 40(3): 254-256 [Meng Qingren, Mei Zhichao, Yu Zhiping, *et al.* A lost Devonian old land on the northern margin of Qinling Plate [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 47(17): 1456-1460]
- 12 孟庆任, 梅志超, 于在平, 等. 南秦岭北缘镇安盆地晚泥盆世浊积岩系及盆地发展[J]. *沉积学报*, 1996, 14(增刊): 25-32 [Meng Qingren, Mei Zhichao, Yu Zaiping, *et al.* Late Devonian turbidite system and tectonics of Zhen'an basin at northern margin of Southern Qinling [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(Suppl.): 25-32]
- 12 唐永忠, 朱迎堂. 南秦岭古生代沉积盆地构造活动—海平面变化与沉积响应[J]. *沉积学报*, 2007, 25(5): 653-662 [Tang Yongzhong, Zhu Yingtang. Tectonic activity—sea level change and sediment-

- tary response of Paleozoic basins in South Qinling Mountains [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(5): 653-662
- 13 刘宝珺, 许效松, 徐强, 等. 东秦岭柞水—镇安地区泥盆纪沉积环境和沉积盆地演化[J]. *沉积学报*, 1990, 8(4): 3-12 [Liu Baojun, Xu Xiaosong, Xu Qiang, *et al.* Devonian sedimentary environments and basin evolution in Zhashan-Zhengan district, Eastern Qinling, China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 8(4): 3-12]
 - 14 杨锦源, 张四喜. 秦岭凤太矿田层控铅锌矿床的岩相古地理环境[J]. *沉积学报*, 1985, 3(1): 54-63 [Yang Jinyuan, Zhang Sixi. Lithofacies and paleogeography environment of strata-bound Pb-Zn ore deposits Fengxian-Taibai Counties, Shaanxi Province[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1985, 3(1): 54-63]
 - 15 杨志华, 张传林, 朱立华. 大陆造山带盆地转换的类型及阶段—以秦岭造山带为例[J]. *地质前缘*, 1999, 6(4): 273-282 [Yang Zhihua, Zhang Chuanlin, Zhu Lihua, Deng Yating. The type and stage of basin-mountain transformation in continental orogeny: taking Qinling as an example[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4): 273-282]
 - 16 王清晨, 李忠. 盆地耦合与沉积盆地成因[J]. *沉积学报*, 2003, 21(1): 24-30 [Wang Qingchen, Li Zhong. Basin-orogen coupling and origin of sedimentary basins [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(1): 24-30]
 - 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]
 - 18 端木合顺. 沉积喷流型矿床热水沉积旋回及其地球化学特征[J]. *西安: 西安科技学院学报*, 2003, 23(2): 151-155 [Duanmu Heshun. Geochemical characteristics and hydrothermal deposit cycling of sedimentary eruption ore deposits [J]. Xi'an: *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2003, 23(2): 151-155]
 - 19 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]
 - 20 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, Wang Xiaohu. Research on the paragenesis (coexist) relationship of lead-zinc and gold mineralization in the Bafangshan—Baguamiao deposit, Fengxian County, Southern Qinling Mountains [J]. *Geological Review*, 2007, 53(1): 65-74]
 - 21 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]
 - 22 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]
 - 23 刘家军, 毛光剑, 马星华, 等. 甘肃寨上金矿床中 Cu-Ni-Zn-Sn-Fe 多金属互化物、S 合金矿物的发现及其地质意义[J]. *中国科学: D 辑*, 2008, 38(4): 414-423 [Liu Jiajun, Mao Guangjian, Ma Xinghua, *et al.* Discovery of Cu-Ni-Zn-Sn-Fe and sulfide mineral aggregate from the gold deposit (zaishang, Gansu) and its significance [J]. *Science in China: Series D*, 2008, 38(4): 414-423]
 - 24 刘家军, 刘建明, 周德安, 等. 西秦岭隆起地区金、铀矿床成矿年代学研究[J]. *地质科学*, 1998, 33(3): 300-309 [Liu Jiajun, Liu Jianming, Zhou Dean, *et al.* Comparative chronological study on the gold and uranium deposits in Jiangzha, Western Qinling Mountains, China [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1998, 33(3): 300-309]
 - 25 刘家军, 冯彩霞, 刘建明, 等. 西秦岭南亚热带层控金—铀矿床的赋矿地层时代与成矿时代[J]. *地质前缘*, 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]
 - 26 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 Minhua, Liu Jianming, *et al.* Geotectonic evolution and mineralization zone of gold deposits in Western Qinling [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1997, 21(4): 307-314]
 - 27 方维萱. 陕西铅铜山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征[J]. *沉积学报*, 1999, 17(1): 44-50 [Fang Weixuan. Characteristics of sedimentary facies of hydrothermal for Qiangongshan giant lead-zinc ore deposit, Feng County, Shaanxi Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(1): 44-50]
 - 28 方维萱, 张国伟, 胡瑞忠, 等. 秦岭造山带泥盆系热水沉积岩相应应用研究及实例[J]. *沉积学报*, 2001, 19(1): 48-54 [Fang Weixuan, Zhang Guowei, Hu Ruizhong, *et al.* On implications of the Devonian hydrothermal sedimentary facies in the Qinling Orogen [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(1): 48-54]
 - 29 方维萱, 刘方杰, 胡瑞忠, 等. 八方山大型多金属矿床热水沉积岩相特征与矿化剂组分关系[J]. *矿物学报*, 2003, 23(1): 75-81 [Fang Weixuan, Liu Fangjie, Hu Ruizhong, *et al.* Characteristics of hydrothermal sedimentary facies in relation with mineralizer in Bafangshan polymetallic deposit [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2003, 23(1): 75-81]
 - 30 方维萱, 胡瑞忠. 秦岭造山带泥盆纪三级构造热水沉积成矿盆地主控因素—大型—超大型矿床集中区研究 (I) [J]. *大地构造与成矿学*, 2001, 25(1): 27-35 [Fang Weixuan, Hu Ruizhong. Key controls of Devonian three-order hydrothermal sedimentary basin with mineralizer in the Qinling orogeny, China—Research on accumulation district of large-superlarge ore deposits (Part I), *Geotectonica et Metallogenia*, 2001, 25(1): 27-35]

- 31 李荣社. 区域地质调查报告(1:5万 靖口关幅、江口镇幅) [R]. 陕西省地质矿产局, 1992 [Li Rongshe. Report of regional geological survey (1:50000, Jingkouguan and Jiangkou Sheets) [R]. Shaanxi Geology and Mineral Bureau, 1992]
- 32 校培喜, 张俊雅, 王洪亮. 陕西凤太泥盆纪盆地东缘发现古老结晶基底 [J]. 西北地质科学, 1999, 20 (1): 4-9 [Xiao Peixi, Zhang Junya, Wang Hongliang. Discovery of the ancient crystallization basement in the eastern margin of the Devonian Fengxian-Taibai basin, Shaanxi [J]. Northwest Geoscience, 1999, 20(1): 4-9]
- 33 方维萱, 张国伟, 李亚林. 南秦岭晚古生代伸展构造特征与意义 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2001, 31(3): 235-240 [Fang Weixuan, Zhang Guowei, Li Yalin. Characteristics and implications of extensional tectonics in the Upper Palaeozoic in the Qinling orogenic belt [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2001, 31(3): 235-240]
- 34 崔智林, 于在平, 梅志超, 等. 秦岭核桃坝石炭系深水相遗迹化石、沉积环境和古地理分析 [J]. 地质论评, 1996, 42(2): 116-123 [Cui Zhilin, Yu Zaiping, Mei Zhichao, et al. Carboniferous deep-water trace fossils, sedimentary environments and paleogeography at Hetaoba in the Qinling mountains [J]. Geological Review, 1996, 42(2): 116-123]
- 35 何海清. 西秦岭早三叠世沉积特征及其构造控制作用 [J]. 沉积学报, 1996, 14(1): 86-92 [He Haiqing. Early Triassic sediments and their tectonic controlling factors, Western Qinling [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(1): 86-92]
- 36 李永军, 赵仁夫, 刘志武, 等. 西秦岭三叠纪沉积盆地演化 [J]. 中国地质, 2003, 30(3): 268-273 [Li Yongjun, Zhao Renfu, Liu Zhiwu, et al. Triassic sedimentation and basin evolution in the Western Qinling [J]. Geology in China, 2003, 30(3): 268-273]
- 37 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991: 196-215 [Bureau of Shaanxi Geology and Mineral. Regional geology of Shaanxi Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 196-215]
- 38 李霞, 王义天, 王瑞廷, 等. 西秦岭凤太矿集区丝毛岭金矿床地质地球化学特征 [J]. 岩石学报, 2010, 26(3): 717-728 [Li Xia, Wang Yitian, Wang Ruiting, et al. Geology and geochemistry of the Simaoling gold deposit in the Fengtai ore concentration area, western Qinling, central China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(3): 717-728]

Dynamics of Late Paleozoic Pull-apart Basin and Its Relationship with Mineralization of Gold-polymetallic Deposits in Fengxian-Taibai Counties, Shaanxi Province, China

FANG Wei-xuan^{1 2 3} HUANG Zhuan-ying^{1 2}

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083;

2. Sino-Tech Mineral Exploration Joint-stock Company Beijing 100012;

3. Beijing Mineral and Geology Institute, Beijing 100012)

Abstract: Fengxian-Taibai sedimentary basin could be the Paleozoic pull-apart basin which might be controlled by oblique-directed subduction and collision of the Qinling and Yangtze Plates based on new research methods, i. e., reconstruction and restoration of geotectonic-paleogeographic position and tectonic lithofacies. During the initial stage of the Middle Devonian period, Fengxian-Taibai sedimentary basin was enclosed and separated by marginal vertical base-uplifting, and dynamics of basin was controlled by four groups of synsedimentary faults, resulted in continual migrations of subsidence and sedimentary centers in the Late Paleozoic basin. During the middle stage of the Middle Devonian period, subsidence and sedimentary centers trending north-west-directed might be located in north part of Fengxian-Taibai basin while subsidence and sedimentary centers trending north-west-directed shrink in the center part of Fengxian-Taibai pull-apart basin during the Late Devonian period. However, the Carboniferous subsidence and sedimentary centers were migrated from the center to the zones of marginal syn-faults of Fengxian-Taibai pull-apart basin, and the Carboniferous to the Early Triassic wedge-shaped sediment-filling bodies related to zone of the plate subduction and collision was located at the southern part the Shangdan suture in the northern margin of Fengxian-Taibai pull-apart basin. Finally, formation and evolution of Fengxian-Taibai pull-apart basin might have been controlled by the NW-, NNE-, NS- and NW-trending synsedimentary faults in the Fengxian-Taibai Devonian pull-apart basin. The west part of Shangdan, the middle part of Lixian-Fengxian-Fengzhen-Shanyang, and the west part of Jiujiangliang-Zhenan-Banyanzhen synsedimentary faults were of most important controls not only in the formation of the Fengxian-Taibai De-

vonian pull-apart basin but also in the evolution of the Carboniferous period to the Early Triassic pull-apart basin. Tectonic inversion of synsedimentary faults controlled subsidence and sedimentary centers during the evolution of the basin from the Carboniferous period to the Early Triassic period.

The Fengxian-Taibai Paleozoic pull-apart basin can be divided into three different level basin based on the study of basin dynamics and tectonic lithofacies. The second-level, Fengxian basin is mineralization concentrated area of gold-polymetallic deposits in the west part of Fengxian-Taibai pull-apart basin while the second-level, Taibai basin is mineralization concentrated area of gold deposits in the west part of Fengxian-Taibai pull-apart basin. In the third-level, Bafangshan-Yinmushi basin, Bafangshan and Yinmushi polymetallic deposits and Baguamiao gold are the mineralization zoning at the scale of ore-field and of deposits, which might be controlled by three-level basin, synsedimentary faults, hydrothermal sedimentary lithofacies, and superimposed lithofacies of tectonic hydrothermal fluids. In the north and east part of the Paleozoic pull-apart basin, formation of gold source beds and preliminary enrichment might be related to albiteite lithofacies and albite-hydrothermal sedimentary lithofacies, and they may be superimposed by albite-carbonate breccia and Fe-dolomite-albite breccia formed by the Carboniferous tectonic hydrothermal fluids while the Triassic hydrothermal cherts and layered dacitic tuffs hosted Carlin-type gold deposits in Wenjiangsi area in the south part of the Paleozoic pull-apart basin. SEDEX-type lead-zinc deposits may mainly related to chertic lithofacies and siderite-ferrodolomite lithofacies.

Key words: pull-apart basin; basin dynamics; tectonic lithofacies; hydrothermal sedimentary lithofacies; superimposed lithofacies of tectonic hydrothermal fluids