中国科学: 地球科学 2013 年 第 43 卷 第 5 期: 730 ~ 744
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

西秦岭徽成盆地沉积充填过程及其对中生代陆内构造演化的制约

李玮[①*], 董云鹏[①], 郭安林[①], 柳小明[①], 柳益群[①], 查显锋[②], 张快乐[①]

① 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 西安 710069;
② 中国地质调查局西安地质调查中心, 西安 710054
* E-mail: liwei@nwu.edu.cn

收稿日期: 2012-03-29; 接受日期: 2012-08-27; 网络版发表日期: 2013-04-19
国家自然科学基金(批准号: 40802051, 41190074)和西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项经费资助

摘要 秦岭造山带通常以凤县-太白走滑剪切断裂带和徽成盆地为界, 分为东秦岭和西秦岭. 东、西秦岭在造山后表现出多个方面的显著差异, 而地处东、西秦岭分界处的凤县-太白断裂带和中生代、新生代徽成盆地为研究秦岭造山带内部中生代以来的陆内构造演化提供了有利的构造分析和沉积学研究的天然实验场所. 以东、西秦岭分界处的徽成盆地和周边各主要断裂带为研究对象, 通过西秦岭各个区块之间断裂带的几何学、运动学研究和徽成盆地的沉积充填过程来解释徽成盆地形成的动力学背景, 揭示东、西秦岭交接部位造山后阶段的构造演化. 研究结果表明: (1) 秦岭造山带自晚三叠世碰撞造山以来, 于早-中侏罗世发生造山之后的伸展垮塌, 并形成一系列断陷盆地. (2) 晚侏罗-早白垩世, 在北东南西向挤压应力场下, 由于秦岭造山带内部发育的大规模的左行走滑运动, 使得在东、西秦岭交界部位发生陆内逃逸构造, 东秦岭微板块向东有限逃逸, 碧口地体侧向向西南逃逸, 同时在左行剪切断裂带内沿徽成断裂南缘形成了与走滑伸展有关的呈右阶雁行排列的早白垩世沉积盆地. (3) 中生代以来, 徽成盆地及邻区经历了四期构造演化阶段: ① 早-中侏罗世的伸展断陷盆地发育阶段, ② 晚侏罗世强烈挤压隆升阶段, ③ 早白垩世的走滑伸展盆地形成阶段, ④ 晚白垩世挤压隆升阶段.

关键词
秦岭造山带
西秦岭
徽成盆地
沉积充填
构造演化
逃逸构造

自中晚三叠世勉略洋的最终关闭[1,2], 华北与华南板块完全拼接在一起, 秦岭造山带已进入陆内构造演化阶段. 目前, 对于秦岭造山带前中生代形成演化已有了大量的研究, 并在秦岭造山带三维结构与造山过程及其动力学机制诸方面取得了重要的成果[2~15]. 然而, 对于秦岭造山带中生代、新生代以来的陆内构造演化研究甚少[16]. 有幸的是, 东、西秦岭分界处的中生代、新生代徽成盆地及其周边断裂带为研究中生代以来的陆内构造演化提供了良好的天然实验场所, 对揭示秦岭地区中生代陆内构造演化具有重要启示意义.

基于此, 本文以徽成盆地和盆地周边断裂带为研究对象, 通过徽成盆地的沉积演化过程和邻区断裂带的研究, 来探讨秦岭造山带中生代以来的构造

中文引用格式: 李玮, 董云鹏, 郭安林, 等. 西秦岭徽成盆地沉积充填过程及其对中生代陆内构造演化的制约. 中国科学: 地球科学, 2013, 43: 730–744
英文引用格式: Li W, Dong Y P, Guo A L, et al. Sedimentary fill history of the Huicheng Basin in the West Qinling Mountains and associated constraints on Mesozoic intracontinental tectonic evolution. Science China: Earth Sciences, 2013, doi: 10.1007/s11430-013-4607-4

演化过程.

1　区域地质背景

秦岭造山带东西向横亘于中国大陆中部, 分隔了中国华北与扬子两大板块, 向东收敛为大别造山带, 西延撒开分两支, 分别与祁连、昆仑造山带相连.

秦岭造山带经历了长期多次不同造山作用形成了复合型的大陆造山带[17], 自形成以来主要经历了 3 个主要构造演化阶段[18]: (1) 新太古代-古元古代造山带前寒武纪基底的形成演化; (2) 新元古代至中三叠世的板块构造演化; (3) 中、新生代陆内造山作用与构造演化. 秦岭造山带沿商丹和勉略两个缝合带可划分出华北、扬子板块和其间的秦岭微板块 3 个主要构造单元[18].

一般以凤县-太白走滑剪切断裂带和徽成盆地为界, 将秦岭造山带分为东秦岭和西秦岭[19]. 中国贺兰-川滇南北构造带[20,21]与秦岭造山带结合部位正好处于东、西秦岭分界处, 该带两侧在地壳结构、重力异常、沉积建造以及地貌特征方面存在显著差异[22~24].

徽成盆地是发育在古生界和三叠系褶皱基底之上的陆内山间盆地, 呈北东东-南西西向展布, 东窄西宽, 东西长约 210 km, 南北宽约 40 km(图 1).

2　徽成盆地沉积充填特征

徽成盆地中生界由中侏罗统龙家沟组(J_2l)、下白垩统东河群(K_1D)组成. 龙家沟组产丰富的中侏罗世双壳类、叶肢介动物化石和植物化石; 东河群含丰富的早白垩世动、植物化石.

2.1　龙家沟组沉积特征

龙家沟组分布在徽成盆地中北部江洛镇、东部两当县茨坝一带(图 1). 在盆地北侧江洛一带, 龙家沟

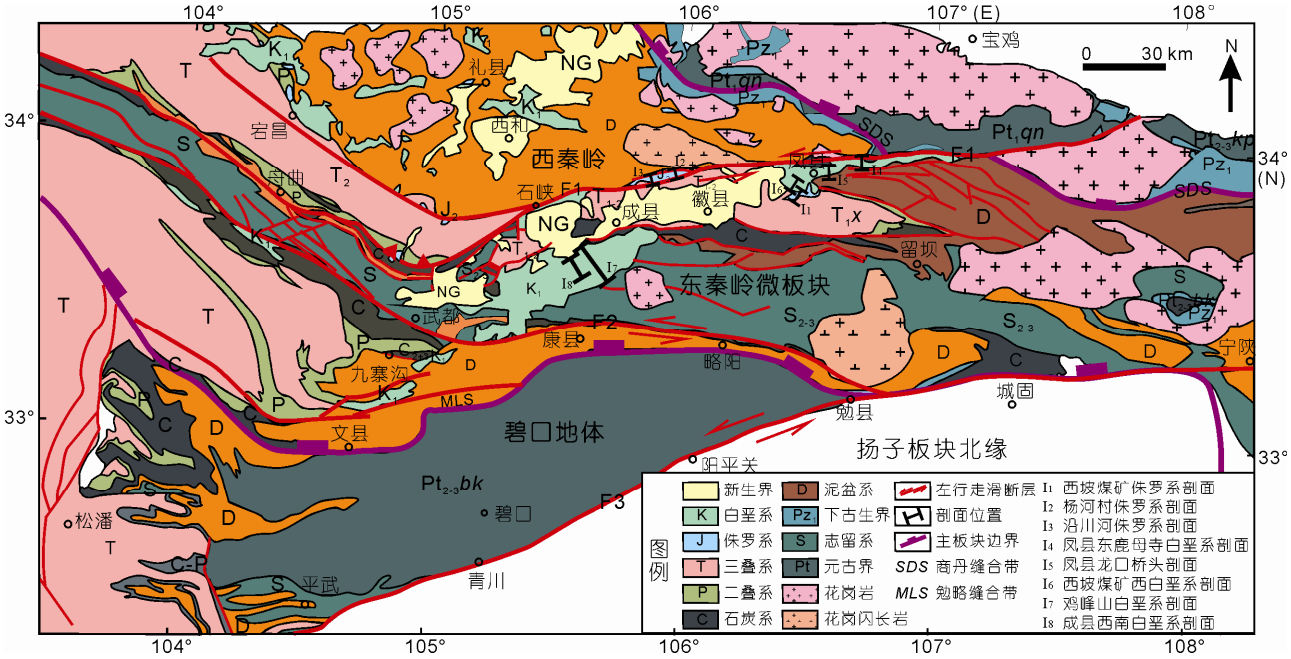


图 1　徽成盆地及邻区地质构造简图

据文献[25, 26]和资料 1)~4)改编

1) 陕西省地质调查院. 汉中市幅 1:250000 区域地质调查报告及地质图. 2004

2) 长安大学地质调查研究院, 甘肃省地质调查研究院. 天水市幅 1:250000 区域地质调查成果报告及地质图. 2004

3) 陕西省地质调查院. 宝鸡市幅 1:250000 区域地质调查报告及地质图. 2003

4) 陕西省地质调查研究院. 略阳县幅 1:250000 区域地质调查成果报告及地质图. 2007

组与北侧糜署岭岩体呈断层接触, 在盆地东部南侧茨坝一带, 龙家沟组与下伏三叠系呈角度不整合接触.

龙家沟组岩性主要为黄褐、灰、紫红色砾岩, 灰色含砾砂岩, 粗砂岩夹页岩和煤层. 通过对徽成盆地东部两当县茨坝西坡煤矿剖面、盆地中部徽县伏镇榆树乡杨河村剖面和徽县江洛镇沿川河剖面实测, 获得了盆地内部较为完整的龙家沟组剖面(图 2).

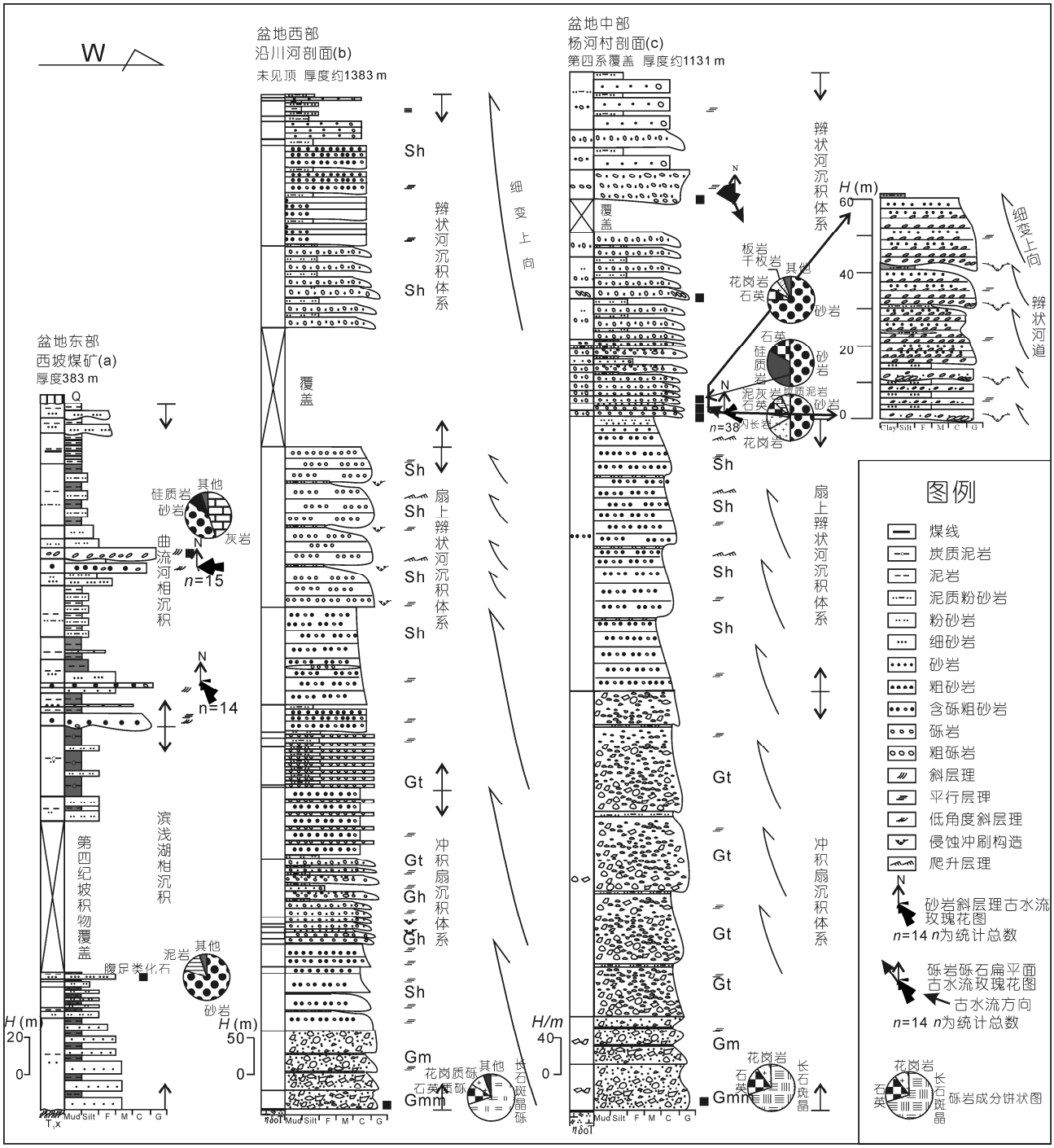


图 2　徽成盆地侏罗系沉积层序和沉积环境解释

盆地东部西坡煤矿一带龙家沟组厚约 383 m. 以西坡煤矿剖面为例(图 2(a)), 龙家沟组与下伏下三叠统西坡组(T_1x)不整合接触, 下伏地层岩性为灰绿色薄层状灰岩夹薄层状钙质粉砂岩、钙质板岩, 强烈褶皱变形. 龙家沟组下部为深灰色薄层泥岩与薄层细砂岩互层, 夹深灰色薄层泥灰岩, 在泥灰岩层面中见大量双壳类费尔干蚌(*Ferganoconcha*)化石(图 3(d)). 向上炭质泥岩增多, 薄层粉砂岩中可见磷铁矿结核, 层面见大量植物叶片化石, 泥岩中发育水平层理. 龙家沟组下部可解释为滨浅湖相沉积环境. 上部由浅



图 3　徽成盆地中生代碎屑岩照片

(a) 徽县伏镇龙家沟组底部块状砾岩, 镜头盖(45 mm); (b) 龙家沟组块状颗粒支撑细砾岩, 镜头盖(55 mm); (c) 西坡煤矿龙家沟组薄层泥灰岩与泥质粉砂岩互层; (d) 龙家沟组泥灰岩层面上的双壳类生物化石, 硬币(20 mm); (e) 白垩系田家坝组与下伏舟曲组不整合接触; 地质锤(35 cm); (f) 凤县消灾寺田家坝组与下伏石炭系不整合接触, 视域范围约 50 m 高, 70 m 长

灰色含砾粗砂岩、中厚层细砂岩与紫灰色薄层泥岩组成的单层由厚变薄, 粒度由粗变细的多个沉积旋回, 在上部泥岩段多夹灰黑色薄层炭质泥岩、劣质煤层, 解释为曲流河沉积环境. 粗砂岩与下伏泥岩之间呈侵蚀冲刷充填, 砂岩中发育低角度斜层理, 底部砂岩段解释为河道砂坝, 上部薄层状泥岩段解释为河漫滩沉积.

盆地中北部龙家沟组厚约 1131~1383 m. 以徽县伏镇杨河村剖面(图 2(c))为例, 龙家沟组以断层与下伏糜署岭花岗闪长岩接触, 底部岩性为砾岩夹含砾粗砂岩, 砾岩多为块状, 层理不显. 砾石分选差, 呈次棱角-棱角状, 基质支撑, 基质为粗砂岩(图 3(a)). 砾石砾径 0.5~2 cm, 最大可见 6 cm×4 cm, 砾石成分以钾长石斑晶、石英质砾和花岗质砾为主, 砾石成分为下伏花岗闪长岩风化产物, 有时可见较大花岗质砾呈悬浮状充填于砾岩之中, 该底部砾岩层解释为山前风化碎屑物快速堆积产物, 为泥石流沉积环境[27]. 下部岩性整体表现为灰紫色厚层-块状砾岩夹紫红色粉砂质泥岩条带, 砾石呈次棱角-棱角状, 基质支撑, 基质为砂岩, 具平行层理, 解释为冲积扇相泥石流沉积类型. 向上中部逐渐变为浅灰色中-厚层砾岩与紫红色中-薄层砂岩互层, 砾岩层多具透镜状, 砾石呈次圆状, 颗粒支撑, 具叠瓦状定向排列. 砾石层厚度一般 1.5~2.0 m, 砾石层之上为含砾砂岩与泥质粉砂岩互层. 该砾石层可解释为扇上砾质辫状河道沉积, 上部的含砾粗砂岩可解释为河道砂坝沉积. 上部岩性组合为中薄层砾岩与薄层粉砂岩互层, 砾岩与下伏砂岩呈侵蚀接触, 多见冲刷面, 砾岩层多呈透镜状, 砾石多呈叠瓦状排列, 平行层理发育, 解释为辫状河道沉积. 顶部多夹薄层泥质粉砂岩, 解释为洪泛平原沉积.

徽成盆地不同地区侏罗系剖面的相组合和沉积环境分析表明(图 2), 中侏罗统龙家沟组在盆地西部由下部的块状砾岩相过渡到上部的中薄层砂砾岩组合, 平面上由北向南沉积物粒度由粗变细, 沉积相由冲积扇过渡到辫状河相, 靠近盆地物源区; 盆地东部, 沉积物粒度细, 为由下部的滨浅湖相过渡到顶部的曲流河相, 显示可能为当时盆地的中心. 其沉积相带的展布特征可能表明受边界断裂构造的控制[28].

2.2 东河群沉积特征

东河群在盆地全区均有出露, 本次在盆地东部凤县、两当县及盆地西部成县、康县一带(图 1)进行了剖面实测研究. 东河群依据古生物组合、岩性组合及沉积特征自下而上划分为田家坝组(K_1t)、周家湾组(K_1z)和鸡山组(K_1j)[29]. 东河群与下伏不同时代地层不整合或断层接触, 在盆地东北缘凤县龙口镇, 田家坝组与下伏石炭系四峡口组($C_{2\text{-}3}s$)不整合接触(图 3(f)); 在两当县西坡煤矿, 田家坝组与下伏三叠系西坡组(T_1x)不整合接触, 在盆地西南与下伏志留系不整合接触(图 3(e)); 东河群与上覆新近纪甘肃群不整合接触. 东河群以盆地北侧徽成断层为盆地北部边界.

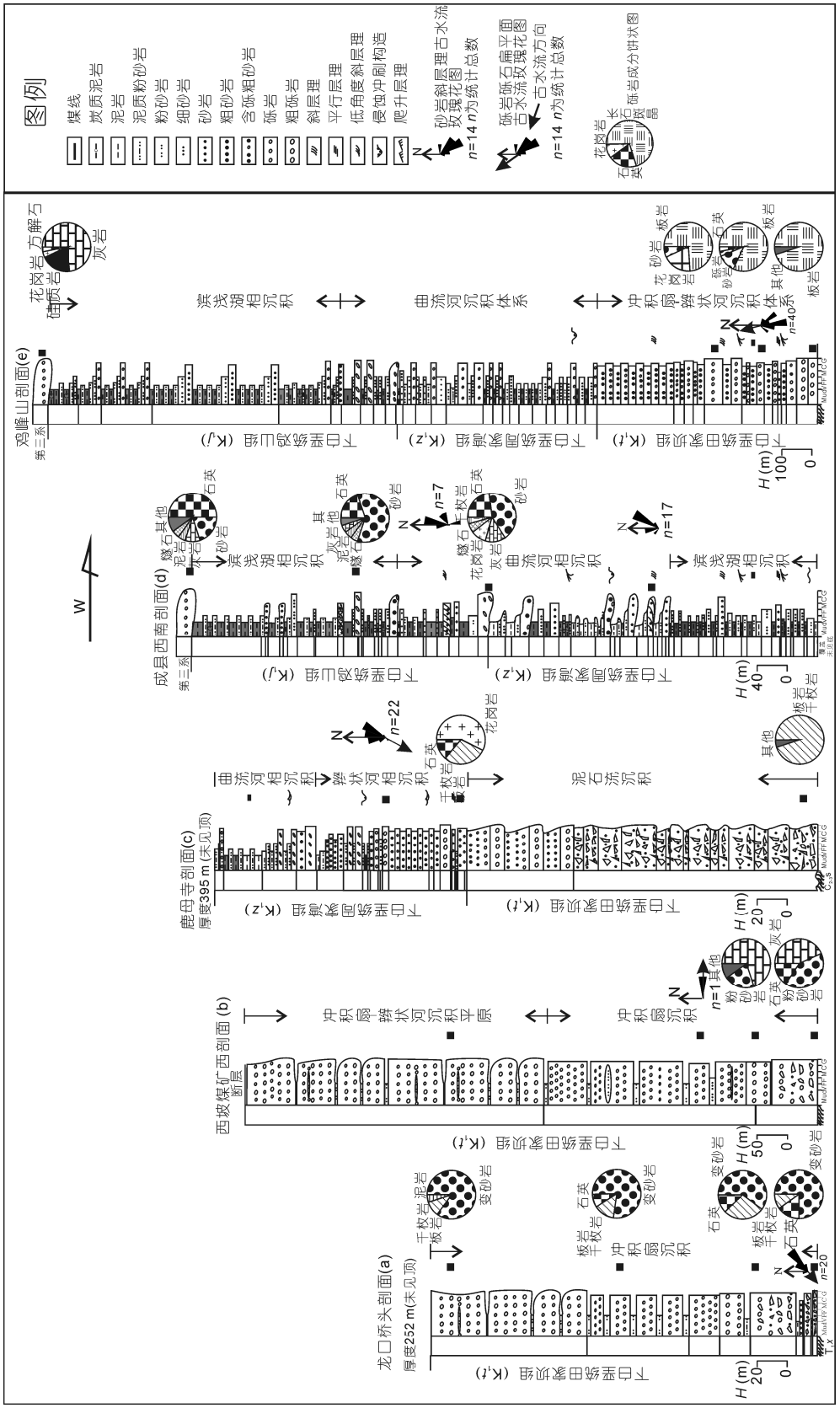
2.2.1 田家坝组

田家坝组为一套紫红色巨厚层状砾岩, 在盆地东部该组厚约 240~925 m, 盆地西南鸡峰山剖面该组厚约 727 m. 盆地东北部以凤县两河镇杨家庄鹿母寺剖面和凤县桥头剖面为例(图 4(a)和(c)), 田家坝组与下伏石炭系四峡口组($C_{1\text{-}2}s$)炭质板岩不整合接触. 田家坝组为紫红色块状角砾岩, 砾石呈棱角状、板片状, 大小混杂, 最大可见 30 cm×40 cm×60 cm, 泥质胶结, 基质支撑, 不显层理, 砾石成分单一, 为灰黑色炭质板岩, 根据沉积构造及岩性组合解释为泥石流沉积. 该组在凤县龙口镇桥头, 岩性为紫红色厚层-块状砾岩, 砾石呈次棱角-棱角状, 分选差, 基质支撑, 略显层理, 砾石成分以粉砂质板岩、千枚岩为主(图 5(a)和(c)), 局部可见砾石叠瓦状构造, 向上砾石呈次棱角-次圆状, 夹泥岩透镜体, 解释为泥石流沉积.

盆地西部以成县西南鸡峰山剖面为例(图 4(e)), 田家坝组与下伏中志留统舟曲组(S_2z)角度不整合接触(图 3(f)), 下伏地层岩性为灰绿色薄层状板岩、千枚岩. 不整合面之上田家坝组为块状砂砾岩, 接触面上发育侵蚀充填构造, 不整合面之上砾岩砾石略有磨圆, 呈次圆-次棱角状, 成分以板岩、千枚岩为主, 基质支撑, 基质为紫红色砂岩, 砾石分选差, 最大可见 10 cm×15 cm, 一般 4~6 cm. 该组下部为厚层-块状砾岩、砂砾岩夹泥岩、砂岩透镜体, 砾岩略具层理, 砾岩局部具叠瓦状构造, 解释为冲积扇相泥石流沉积. 上部为紫红色中厚层砂砾岩与砂岩互层, 砂岩中发育平行层理和交错层理, 解释为冲积扇扇端-辫状河沉积.

2.2.2 周家湾组(K_1z)

周家湾组与下伏地层和上覆地层均为整合接触.


图例
煤线
炭质泥岩
泥岩
泥质粉砂岩
粉砂岩
细砂岩
砂岩
粗砂岩
含砾粗砂岩
砾岩
斜层理
平行层理
低角度斜层理
侵蚀冲刷构造
爬升层理
砂岩斜层理古水流玫瑰花图 n=14 n为统计总数
砾岩砾石扁平面古水流玫瑰花图 古水流方向 n=14 n为统计总数
花岗岩 长石 石英 斑晶
花岗岩 石英 碎裂结构
花岗岩 石英 碎裂结构
花岗岩 石英 碎裂结构

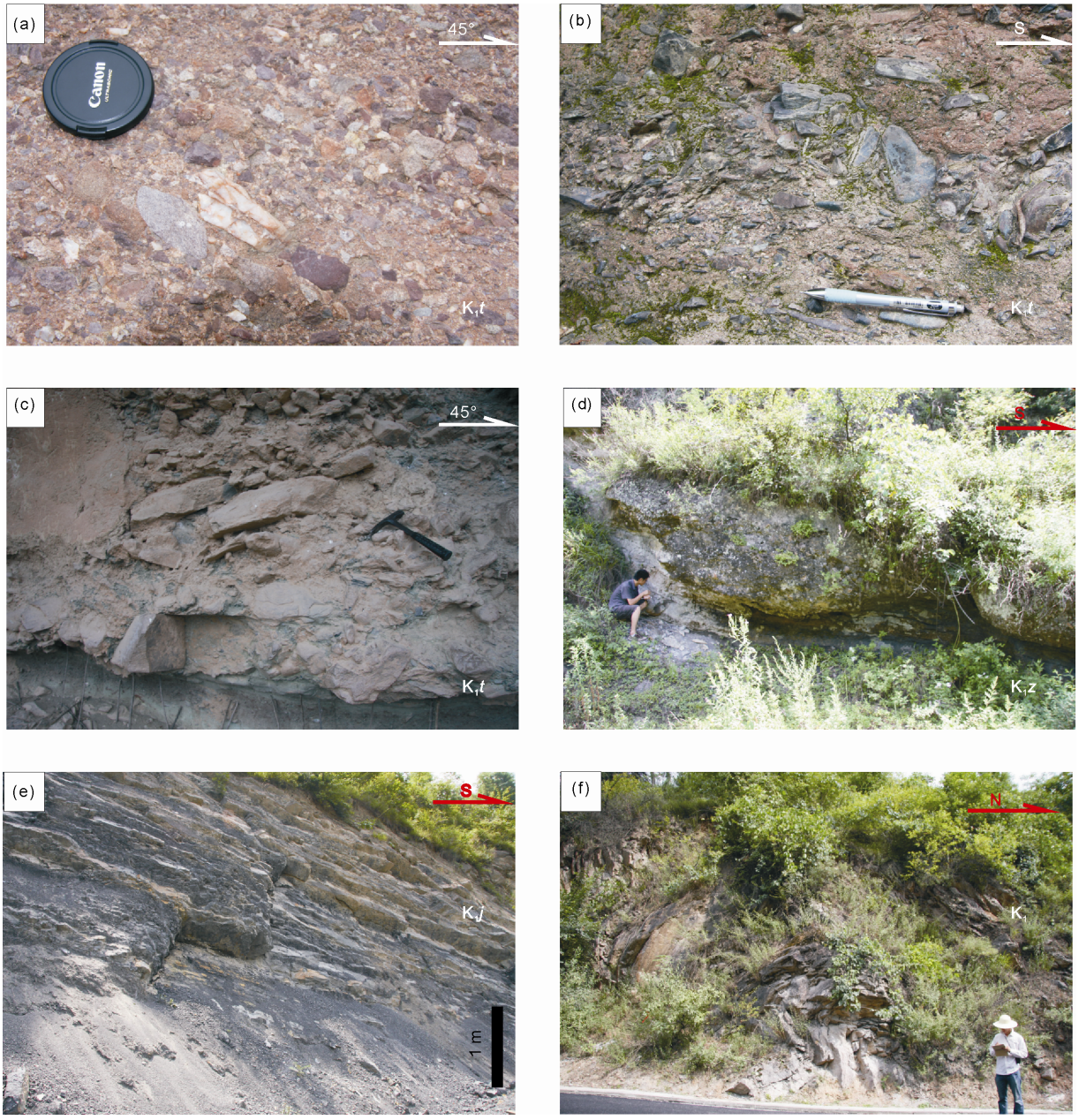


图 5　白垩系碎屑岩沉积构造和构造变形照片

(a) 消灾寺田家坝组泥石流沉积, 镜头盖 55 mm; (b) 镡河田家坝组中部叠瓦状沉积砾岩, 自动铅笔长 12 cm; (c) 消灾寺田家坝组块状颗粒支撑砾岩, 砾石具叠瓦状构造, 地质锤 35 cm; (d) 鹿母寺下白垩统周家湾组河道冲刷充填构造; (e) 鸡峰山下白垩统鸡山组灰色薄层泥岩与粉砂岩互层; (f) 黑河板房子下白垩统砂岩褶皱变形, 不对称褶皱, 枢纽近水平, 轴面倾向北, 倾角较缓

盆地东部凤县一带周家湾组厚约 155 m. 以凤县两河镇杨家庄鹿母寺剖面为例(图 4(c)), 下部为中-厚层细砾岩、含砾粗砂岩、砂岩夹薄层含砾粉砂岩、泥岩, 砾岩砾石一般 0.5~2 cm, 砾石呈次圆状, 呈颗粒-基质支撑, 基质为砂质. 可见砾石叠瓦状构造, 发育平行层理, 砾岩底部多见冲刷充填构造(图 5(d)), 细砂岩中发育槽状交错层理, 解释为砾质辫状河道沉积, 砾岩上部的薄层粉砂岩、泥岩解释为泛滥平原沉积. 上部为由中层状含砾砂岩、细砂岩和粉砂岩、泥岩组成的由粗变细的多个沉积旋回, 每个沉积旋回底部的砂岩与下伏泥岩具冲刷面, 旋回的下部砂岩中多发育槽状交错层理, 上部粉砂岩与泥岩互层, 泥岩中发育水平层

理, 具明显的二元沉积结构, 解释为曲流河沉积.

盆地西部成县西南鸡峰山剖面周家湾组厚约 638 m, 鸡峰山剖面发育全(图 4(e)), 以其为例, 解释其沉积作用. 该组岩性为灰紫色中厚层砂砾岩、砂岩与灰色中薄层粉砂岩、含钙质结核泥岩互层, 自下而上由砂砾岩、砂岩和粉砂岩、泥岩组成多个由粗变细的沉积旋回. 砂砾岩与下伏泥岩之间发育冲刷充填构造, 砾岩砾石呈次圆-圆状, 基质-颗粒支撑, 砂岩中发育槽状交错层理, 单个旋回上部粉砂岩中发育砂纹交错层理, 泥岩中发育水平层理, 该沉积旋回二元结构清楚, 根据沉积组合和沉积构造解释为曲流河沉积.

2.2.3 鸡山组

鸡山组与下伏周家湾组整合接触, 与上覆甘肃群褐红色砂砾岩、泥岩不整合接触. 鸡山组在盆地东部缺失, 现分布在盆地西部南北两侧, 在盆地西部南侧厚约 1190 m. 以鸡峰山剖面为例(图 4(e)), 该组总体岩石组合为黑灰、灰绿色泥岩、(泥质)粉砂岩夹砂岩、砾岩、炭质页岩、煤层和灰岩. 该组以色调较深、发育泥岩和泥质粉砂岩, 夹煤层和灰岩为特征, 泥岩、粉砂岩中多发育水平层理. 以上特征显示鸡山组以湖相沉积为主. 在盆地西部成县北侧石峡-二郎庙一带, 鸡山组与下伏下三叠统西坡组(T_1x)薄层状灰岩角度不整合接触, 鸡山组岩性为紫红色厚层块状砾岩, 砾石呈次棱角状, 分选差, 大小混杂, 成分以灰岩砾为主, 基质支撑, 砂泥质胶结, 解释为冲积扇相泥石流沉积, 边缘相沉积表明盆地北部靠近物源区.

东河群在盆地东部, 由田家坝组厚层-块状砾岩过渡到周家湾组河流相砂岩、泥岩组合; 在盆地西部, 由下部田家坝组块状砾岩相过渡到周家湾组河流相沉积和鸡山组的湖泊相沉积, 平面上由南向北沉积物粒度由粗变细, 沉积相由冲积扇过渡到湖泊相; 白垩纪沉积相带明显不对称, 盆地东部为冲积扇相, 盆地西部由冲积扇相过渡到湖泊相, 盆地沉积中心自下而上有由东向西迁移的特点.

3 沉积物物源分析

盆地沉积物是连接盆地与山脉的纽带, 通过盆地沉积物物源分析, 可有效地揭示蚀源区山脉剥露过程和构造隆升事件[30]. 在盆地物源分析中, 根据砾岩中扁平砾石叠瓦状构造和砂岩中斜层理恢复古流向和对砾岩中砾石成分的统计是盆地沉积物源分析直接而有效的方法[31,32]. 本次在测量和收集古水流数据时, 每个观测点一般收集 20~30 个数据, 并进行相应的水平校正. 砾石成分的统计方法则是选择 1~2 m^2 较好的砾岩露头, 以 10 cm 间距划分方格, 对砾径大于 2 cm 砾石成分进行投点统计.

3.1 盆地古水流分析

徽成盆地中部北侧江洛一带龙家沟组主要为粗碎屑的砾岩、砂砾岩和砂岩沉积, 沿北侧边界龙家沟组底部砾岩呈东西向带状分布. 通过对龙家沟组砾岩的叠瓦状排列的砾石扁平面测量和中上部砂岩中发育的斜层理进行古流向恢复显示, 侏罗纪徽成盆地北缘古流向由北向南或由东向西, 盆地东缘古流向为由北北西向南南东或由西向东(图 6). 徽成盆地侏罗纪砾岩古流向显示早期物源来自盆地北部, 盆地中部河流-湖泊相古流向显示物源来自盆地北部和西部.

徽成盆地白垩纪古水流在东北缘为自北北东向南南西, 盆地西南缘古流向为自南向北, 表明白垩纪盆地在形成过程中, 沉积物物源来自盆地南北两侧(图 7).

3.2 砾岩成分统计

砾岩中的砾石成分为揭示沉积物物源和源区隆升、剥露过程提供了重要证据[33], 同时也是对古水流分析的有利辅佐. 作者在进行剖面实测研究过程中, 对徽成盆地不同地区不同层位砾岩的砾石成分进行了系统的统计和分析, 以确定物源和时空变化.

侏罗纪, 盆地北缘龙家沟组底部砾岩段的砾石成分以长石斑晶, 石英斑晶和花岗质砾为主, 砾岩砾石成分与下伏糜署岭花岗闪长岩成分接近, 砾石成分在剖面上自下而上显示, 长石斑晶和石英斑晶逐渐减少, 砂岩砾增多(图 6), 表明随着盆地的发育和远离物源区, 有来自盆地内部的砂岩成分. 在盆地东缘西坡煤矿一带, 龙家沟组与下伏下三叠统西坡组不整合接触, 底部砾岩砾石成分以灰岩、砂岩和泥岩为主(图 6), 灰岩成分与下伏下三叠统西坡组地层岩性相同, 表明物源来自下伏三叠系西坡组. 结合古流向分析表明, 侏罗纪沉积物物源来自盆地西北部和南部, 北侧的糜署岭岩体为龙家沟组下部砾岩的

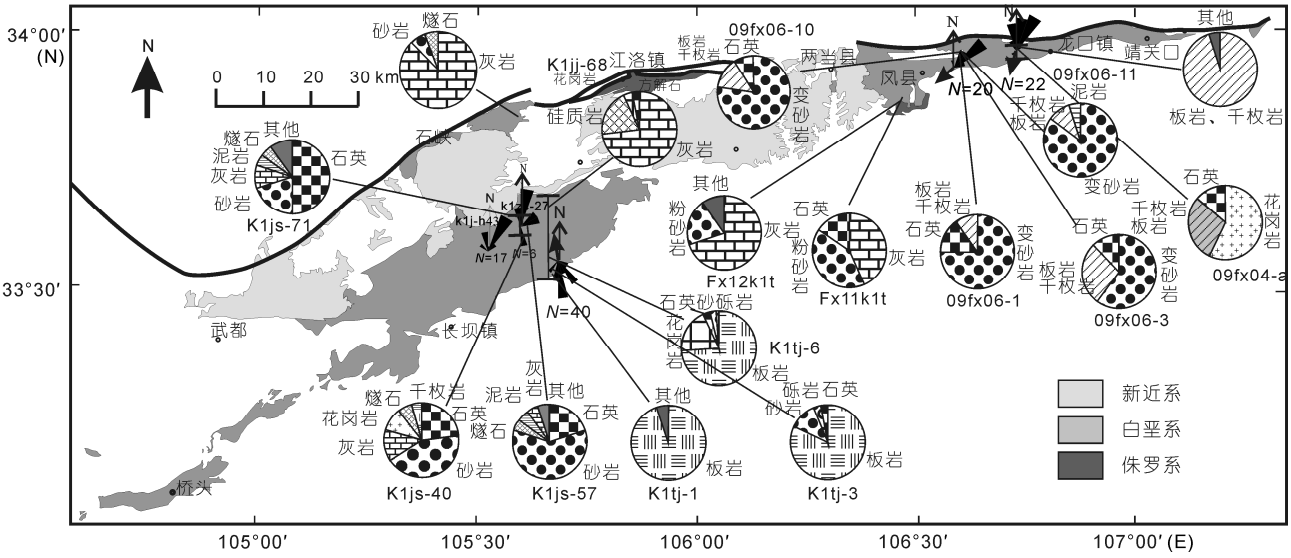


图 6　徽成盆地侏罗系分布、古流方向和砾石成分统计

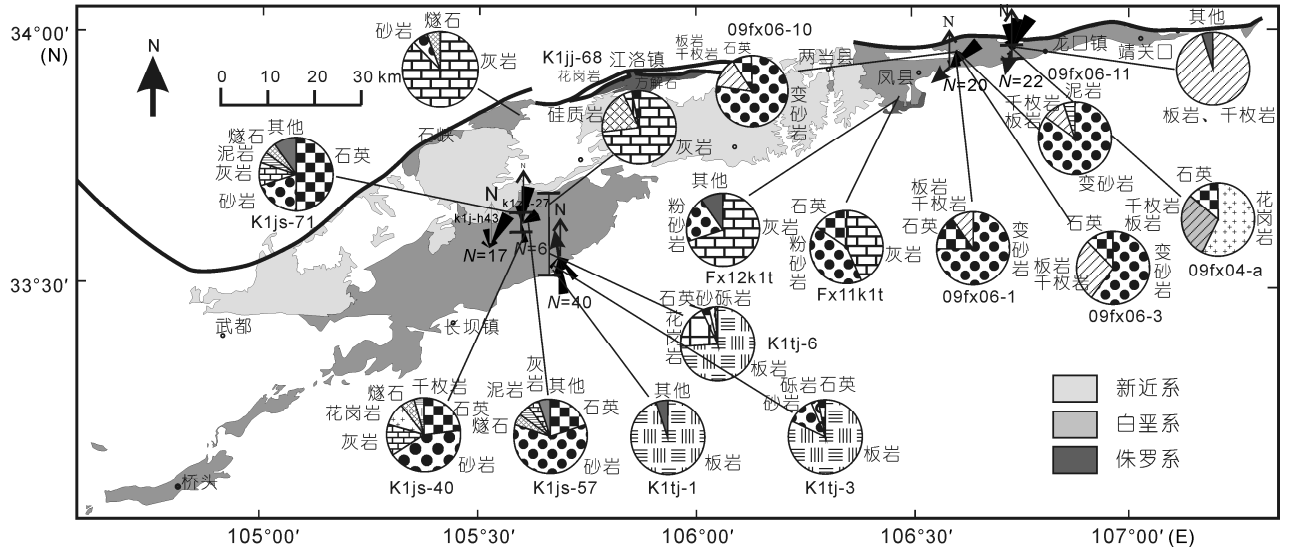


图 7　徽成盆地白垩系分布、古流方向和砾石成分统计

主要物源区.

白垩纪, 在盆地东部偏北凤县龙口、两河镇鹿母寺一带, 东河群下部田家坝组砾岩砾石成分主要为板岩、千枚岩、泥岩, 其成分与盆地北侧的石炭系四峡口组板岩、千枚岩的成分一致. 盆地东部偏南两当县西坡煤矿地区, 田家坝组砾石成分主要为灰岩和粉砂岩, 与下伏三叠系西坡组成分一致. 砾石成分统计表明, 盆地东部物源来自北侧的石炭系变质岩系和盆地南部三叠系.

盆地西部北侧二郎庙鸡山组砾岩成分主要为灰岩、砂岩和燧石, 其成分与北侧下三叠统西坡组地层岩性相同, 结合古流向恢复表明物源来自盆地北部. 盆地西部南缘鐔坝一带田家坝组砾岩砾石成分主要为板岩, 其砾石成分与南侧中志留统舟曲组(S_2z)岩石组合类型相同, 结合古流向恢复、碎屑锆石物源示踪[34], 表明物源来自南部.

从盆地东西部南北两侧砾岩砾石成分统计对比看, 徽成盆地白垩纪沉积物物源来自盆地南北两侧,

与古流向恢复相一致.

4 徽成盆地成因分析

4.1 盆地周缘及邻区断裂分析

4.1.1 徽县-成县断裂(F1)

徽县-成县断裂沿太白县、凤县、两当、徽县、成县呈北东东向展布, 在西部武都向南南西呈弧形弯曲, 最终向西北延伸至舟曲、文县一带. 该断裂在东段分割了太白岩体和宝鸡岩体, 在中段凤县、徽县和成县一带为中生代盆地的北界断裂, 西段断裂被 25 万略阳幅地质调查报告称之为喜家集-左家坪断裂, 形成于东昆仑-秦岭造山带的主造山期(印支期)[4], 之后又发生多次继承性活动.

4.1.2 勉略断裂带(F2)

勉略断裂带是指介于北界状元碑断裂与南界康县-略阳断裂带之间的一系列断裂, 该断裂带自勉略向西经文县、玛曲、花石峡连接南昆仑构造带, 向东经石泉、高川, 沿巴山弧直至大别南缘[18]. 该断裂带具多期活动性[35,36], 最早一期为南北向逆冲型韧性剪切变形, 反映印支期秦岭造山带俯冲碰撞引起的构造变形, 然后是碰撞之后的中晚三叠世的陆内左行韧性剪切变形, 并叠加了后期的脆性左行剪切变形, 最晚期为脆性右行走滑变形, 切割了早期构造变形.

4.1.3 阳平关-宁陕断裂带(F3)

阳平关-宁陕断裂带由西部的青川-阳平关断裂和东部的宁陕断裂组成, 走向近东西向, 向西及西南方向与青川-阳平关断裂相连, 向东并入到山阳-凤镇断裂, 再向东在西峡一带并入商丹断裂带[25]. 宁陕断裂带形成于中生代, 具多期活动性, 早期中晚侏罗世为左行韧性剪切, 晚期早白垩世为左行脆性走滑[37]. 青川-阳平关断裂西起平武、向东经青川、阳平关延伸至勉县, 并入勉略断裂带. 断裂长约 250 km, 断裂带宽度一般 500~700 m, 断裂总体走向北东 60°~65°, 倾向北西, 倾角一般 60°~70°, 该断裂形成于中晚三叠世, 之后发生多期构造活动[9,38,39].

4.2 徽成盆地成因讨论

本次研究中, 作者试图通过徽成盆地沉积作用及充填过程的研究和盆地周缘及邻区主要边界断裂的几何学、运动学、年代学分析, 结合区域地质背景综合解释盆地的成因. 由于侏罗纪地层与上下地层均为不整合接触, 并且侏罗系与白垩系分属不同的沉积旋回, 因而将盆地成因分期讨论如下.

4.2.1 侏罗纪徽成盆地成因分析

在盆地北侧徽县江洛-游龙川一带, 龙家沟组底部砾岩与下伏糜署岭岩体以正断层接触, 杨河村龙家沟组剖面上, 中侏罗统龙家沟组底部砾岩与北侧糜署岭岩体呈断层接触, 断层带宽约 0.5~1 m, 断层向南陡倾, 产状 195°∠76°, 断层下盘为糜署岭浅灰色块状石英闪长岩, 中-粗粒结构, 可见钾长石斑晶, 下盘地貌上呈陡立的正地形, 并显示断层崖特征. 断层上盘为龙家沟组底部砾岩, 砾石成分以长石斑晶、石英斑晶和闪长岩砾石为主, 为断层下盘岩体风化产物的近缘快速堆积. 断面上可见倾向盆地的陡倾擦痕线理和阶步, 镜面特征明显, 根据断面上擦痕、阶步及其地貌特征以及两侧地质体新老关系判断为陡倾正断层. 同时, 沿断裂走向追踪观察, 在其西侧沿川河上游李寺剖面北界亦观察到龙家沟组底部砾岩与北侧岩体以正断层接触, 产状: 175°∠72°, 根据多处不同位置断层点断层擦痕和断面数据恢复古应力状态显示: 主压应力 σ_1 为近直立(平均 σ_1=29°∠76°), σ_2 水平(平均 274°∠06°), 与断层走向一致, σ_3 近水平(平均 183°∠13°), 与断层倾向近一致(图 8).

边界断裂古应力场恢复显示中侏罗世为近南北向伸展, 依据盆地北侧断层性质和盆地内部同沉积正断层以及侏罗纪沉积相的空间分布、物源变化等分析认为, 侏罗纪徽成盆地为受北侧向南南东陡倾的正断层的控制形成的山间断陷盆地. 靠近盆地北侧断层为横向冲积扇相沉积, 中部横向辫状河沉积, 远端为滨浅湖相含煤沉积, 其沉积充填模式(图 9)类似于 A D Miall 的冲积盆地充填模式 1[40].

4.2.2 白垩纪徽成盆地成因分析

徽成盆地北侧徽县-成县断裂更多的保留了晚期的左行剪切变形, 断层近直立, 擦痕近水平, 倾伏角一般小于 30°, 在武都县北大板坪一带, 断裂走向发生变化, 呈凸向南西方向的弧形弯曲, 向北东方向延伸, 在断裂转折端及西南侧, 断裂向北陡倾, 断层上盘向南西方向斜冲. 由于脆性断层缺乏测年的

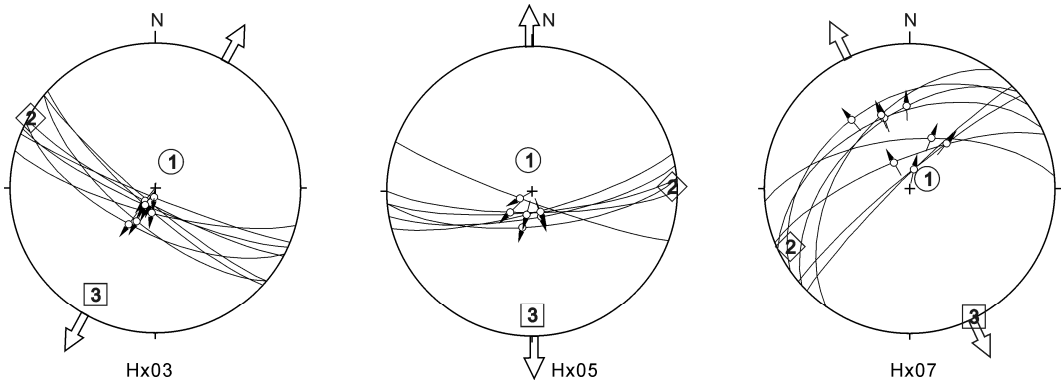


图 8　中侏罗世构造应力场恢复(下半球赤平投影)

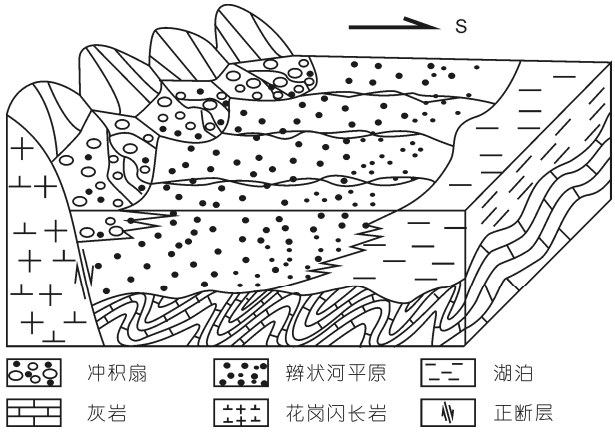


图 9　中侏罗世盆地充填模式(据文献[40]改编)

变形矿物, 所以其脆性断层活动的时限根据地质体的切割关系来判断. 该断裂在北侧江洛一带, 左行走滑剪切变形切穿了中侏罗统和三叠系地层, 并且控制了徽成盆地早白垩世的沉积, 因而认为盆地北侧断裂的左行走滑应发生在早白垩世.

早白垩世, 盆地北缘徽县-成县断裂带与东秦岭微板块南缘的阳平关-宁陕断裂[26,37]组成了一个巨大的左行走滑断裂系. 尽管断层活动性具有多期性, 但是在同一应力场下形成的断层具有一定的匹配关系. 通过对两条断裂带内断层面上线理和断面数据统计以及古应力恢复计算, 表明两条断裂带的左行走滑断裂形成的主应力均显示为北东-南西向挤压(图 10), 与早白垩世秦岭地区北北东-南南西向的强烈挤压构造背景一致[41,42]. 在此应力场下, 两条北东东-南西西向左行走滑断裂内部必然形成一系列北东-南西向的张裂空间. 同时, 东、西秦岭交界处各个块体沿块体边界断裂带发生差异性的相对运动来调整北东-南西向挤压引起的缩短变形. 由于扬子板块北缘北东向挤入秦岭造山带并发生顺时针旋转, 导致碧口地体侧向向南西方向逃逸, 而东秦岭微板块由于南北稳定块体的限制, 相对西秦岭则向东有限逃逸[35](图 10).

早白垩世徽成盆地呈近北东东向狭长带状展布, 东窄西宽, 其盆地展布方向与区域北东-南西向挤压构造应力场一致, 即沿该巨大走滑断裂带内张裂隙方向分布. 由于东秦岭微板块沿徽县-成县断裂东向逃逸, 在块体逃逸后缘产生了伸展空间, 于是形成了早白垩世西宽东窄的沉积盆地. 盆地沉积相带由东部砾岩相向西部湖相变化的分布特征和沉积中心由东向西的迁移规律亦显示了边界断裂的左行走滑对沉积相和沉积中心的控制.

5　区域构造演化讨论

前文所述, 秦岭地区自晚三叠世已进入了板内构造演化阶段. 侏罗纪以来, 秦岭造山带内部及其南北两侧沉积地层(表 1)详细的记录了盆山演化的有关地质信息.

侏罗纪, 在秦岭造山带北侧鄂尔多斯盆地南缘沉积了下侏罗统富县组、中统直罗组、安定组、上统芬芳河组. 下侏罗统与下伏三叠系平行不整合接触. 盆地分析与古地理重建结果表明, 早中侏罗世沉积不仅仅限于鄂尔多斯盆地本身, 而是扩展到东部和西部[44,45]. 早中侏罗世, 在中国北方形成了一个巨大的南北走向的沉积洼陷, 更多的证据显示这个时期存在弱的近南北向到北北东-南南西向区域伸展构造背景[46].

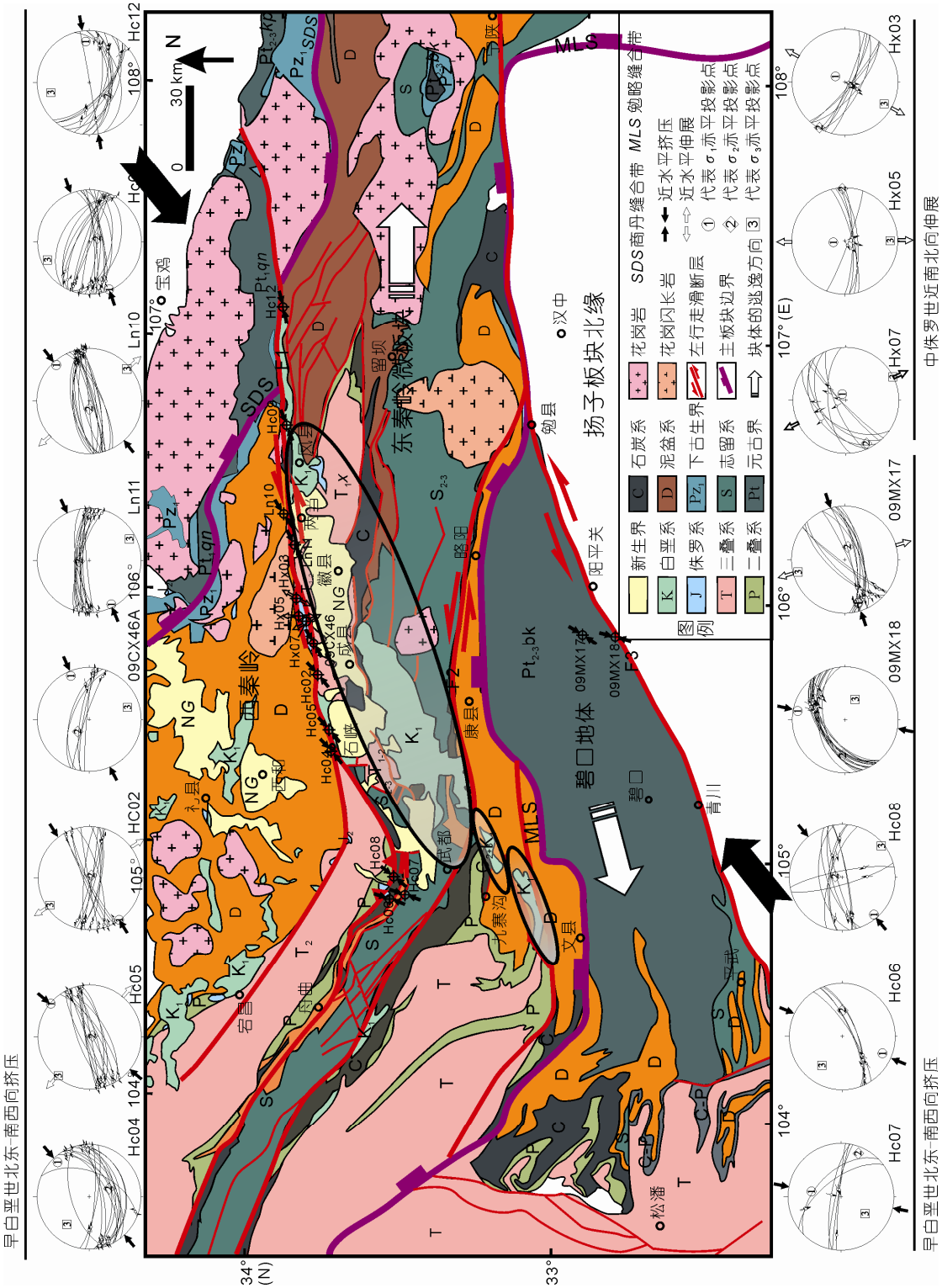


图 10　徽成盆地及邻区脆性断裂构造应力分析及白垩纪盆地成因分析

表 1　中生代秦岭造山带和相邻地区地层格架及其构造演化

<table>
<tr><td rowspan="2">地层层位</td><td colspan="3">发育位置</td><td colspan="2" rowspan="2">秦岭造山带构造演化</td></tr>
<tr><td>鄂尔多斯盆地南缘</td><td>四川盆地西北缘</td><td>秦岭造山带内部</td></tr>
<tr><td>上白垩统</td><td>缺失</td><td>缺失</td><td>缺失</td><td rowspan="5">陆内构造演化阶段</td><td>挤压隆升</td></tr>
<tr><td>下白垩统</td><td>志丹群/
六盘山群</td><td>城墙岩群</td><td>东河群</td><td rowspan="2">挤压走滑——
走滑有关伸展盆地</td></tr>
<tr><td>上侏罗统</td><td>芬芳河组</td><td>莲花沟组
遂宁组</td><td>缺失</td></tr>
<tr><td>中侏罗统</td><td>直罗组
安定组</td><td>砂溪庙组
千佛岩组</td><td>龙家沟组</td><td rowspan="2">造山之后的伸
展——断陷盆地</td></tr>
<tr><td>下侏罗统</td><td>富县组</td><td>白田坝组</td><td>缺失</td></tr>
<tr><td>下伏地层</td><td>三叠系</td><td>三叠系</td><td>糜署岭岩体/
下三叠统</td><td>造山作用结束
215~200 Ma[2]</td><td>糜署岭岩体年龄
(213±3) Ma[43]</td></tr>
</table>

秦岭造山带内部除了徽成盆地内中侏罗统龙家沟组沉积记录外, 在其北侧天水地区亦有分布, 沉积了下-中侏罗统炭里和组、中侏罗统陈家庄组和火麦地组, 由下部的粗碎屑砾岩相过渡到上部陆相中酸性火山岩-沉积碎屑岩, 夹煤线, 为一套山间断陷盆地山麓-湖相沉积, 与下伏地层角度不整合接触[2)]. 在勉略构造带以北的南秦岭勉县、留坝县等地区, 沿勉略断裂、江口断裂、酒奠梁断裂等断裂带零星. 沉积了中下侏罗统白田坝组、千佛崖组和洪水沟组, 与下伏地层呈角度不整合接触. 侏罗系沉积物自下部的冲积扇-河流相粗碎屑沉积物向上逐渐过渡到上部的湖泊-三角洲相的细粒沉积物夹煤线[1)]的沉积序列, 均显示侏罗纪盆地为伸展背景的断陷盆地. 徽成盆地侏罗系沉积过程更是显示为近缘堆积的断陷盆地. 根据龙家沟组下部砾岩成分统计显示, 其物源来自北侧糜署岭岩体, 而其岩体年龄为(213±3) Ma[43], 表明秦岭造山带在侏罗系沉积之前已隆升成山, 并分割了秦岭南北两侧. 在早-中侏罗世, 秦岭及周边地区处于区域性伸展背景, 秦岭造山带内部垮塌, 并在内部沿早期断裂带附近形成了一系列断陷盆地.

晚侏罗世, 秦岭造山带北侧的鄂尔多斯盆地沉积了上侏罗统芬芳河组, 与下伏中侏罗统平行不整合接触[3)], 根据构造变形和沉积学分析, 表明鄂尔多斯盆地处于强烈的多向挤压应力作用, 周缘山区为其提供物源[46,47]. 秦岭造山带南侧的四川盆地北部物源来自其北侧汉南-米仓山和东部大巴山[48], 四川盆地此时亦是受到多向挤压汇聚作用[49], 秦岭造山带内部缺失晚侏罗世沉积, 下白垩统不整合于下伏不同时代地层之上, 结合秦岭造山带内部晚侏罗世的构造变形研究[41,42,50], 表明晚侏罗世秦岭地区强烈挤压隆升, 并可能成为分隔秦岭南北的陆内造山带.

早白垩世, 秦岭造山带北侧及内部下白垩统志丹群、六盘山群及东河群均与下伏地层角度不整合接触. 在鄂尔多斯盆地西南缘和西部边缘地带发育一系列断陷盆地[51], 在秦岭造山带内部, 早白垩世沉积盆地多沿早期断裂展布. 在秦岭造山带内部, 发育了一系列的左行走滑断层, 形成一个巨大的北东东-南西西向的左行走滑剪切系, 在北东-南西向挤压应力场下发生挤压走滑, 在剪切带内形成了一系列与左行走滑相关的雁列式白垩世沉积盆地.

晚白垩世, 东、西秦岭地区发生快速隆升[52,53], 在秦岭造山带内部黑河板房子地区早白垩世地层发生强烈褶皱(图 4(f))和逆冲推覆, 秦岭地区普遍缺失上白垩统, 新生代地层不整合于下伏下白垩统和不同时代地层之上, 表明该时期, 秦岭地区处于挤压隆升时期.

6　结论

通过对徽成盆地中、新生代沉积记录及其周缘断裂带的研究, 得到如下 3 点结论.

(1) 秦岭造山带自晚三叠世碰撞造山以来, 于早-中侏罗世发生造山之后的伸展垮塌, 并形成一系列断陷盆地.

(2) 晚侏罗-早白垩世, 在北东-南西向挤压应力场下, 由于秦岭造山带内部大规模的左行走滑断层的发育, 在东、西秦岭交界处发生陆内逃逸构造, 东秦岭微板块向东有限逃逸, 碧口地体向西南逃逸; 同时, 在左行走滑断裂带内形成了与走滑伸展有关的呈右阶雁行排列的早白垩世沉积盆地.

(3) 中生代以来, 徽成盆地及邻区经历了四期构造演化阶段: ① 早-中侏罗世的伸展断陷盆地发育阶段, ② 晚侏罗世强烈挤压隆升阶段, ③ 早白垩世的走滑伸展盆地形成阶段, ④ 晚白垩世挤压隆升阶段.

致谢 衷心感谢西北大学刘洪福教授和陕西区域地质矿产研究院李海平高工在野外工作中给予热心帮助, 感谢两位匿名评审人的细心评审和有益的建议.

参考文献

1 张国伟, 董云鹏, 赖少聪, 等. 秦岭-大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33: 1121–1135
2 Dong Y P, Zhang G W, Franz N, et al. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis. J Asian Earth Sci, 2011, 41: 213–237
3 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. 北京: 中国环境科学出版社, 1988. 1–160
4 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 2001. 286–303
5 Gao S, Zhang B R, Wang D P, et al. Geochemical evidence for the Proterozoic tectonic evolution of the Qinling orogenic belt and its adjacent margins of the North China and Yangtze cratons. Precambrian Res, 1996, 80: 23–48
6 高山, 张本仁, 金振民. 秦岭-大别造山带下地壳拆沉作用. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1999, 29: 532–541
7 张宏飞, 张本仁, 赵志丹, 等. 东秦岭商丹构造带陆壳俯冲碰撞——花岗质岩浆源区同位素示踪证据. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1996, 26: 231–236
8 Meng Q R, Zhang G W. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, central China. Tectonophysics, 2000, 323: 183–196
9 王二七, 孟庆任, 陈智樑, 等. 龙门山断裂带印支期左旋走滑运动及其大地构造成因. 地学前缘, 2001, 8: 375–384
10 Ratschbacher L, Hacker B R, Calvert A, et al. Tectonics of the Qinling (central China): Ectonostratigraphy, geochronology, and deformation history. Tectonophysics, 2003, 366: 1–53
11 Liu S F, Ronald S, Zhang G W. Mesozoic sedimentary basin development and tectonic implication, northern Yangtze block, eastern China: Record of continent-continent collision. J Asian Earth Sci, 2005, 25: 9–27
12 Li S Z, Kusky T M, Wang L, et al. Collision leading to multiple-stage large-scale extrusion in the Qinling orogen: Insights from the Mianlue suture. Gondwana Res, 2007, 12: 121–143
13 Faure M, Wei Lin, Monié P, et al. Palaeozoic collision between the north and south China blocks, Triassic intracontinental tectonics, and the problem of the ultrahigh-pressure metamorphism. C R Geosci, 2008, 340: 139–150
14 Xu, J F, Zhang B R, Han Y W, et al. Geochemistry of the Mian-Lue ophiolites in the Qinling mountains, central China: Constraints on the evolution of the Qinling orogenic belt and collision of the north and south China cratons. J Asian Earth Sci. 2008, 32: 336–347
15 Zhen Y, Zong Q W, Quan R Y, et al. Geochemical constrains on the provenance and depositional setting of the Devonian Liuling group, east Qinling mountanis, central China: Implications for the tectonic evolution of the Qinling orogenic belt. J Sediment Res, 2012, 82: 9–24
16 Meng Q R, Wang E C, Hu J M, Mesozoic sedimentary evolution of the northwest Sichuan basin: Implication for continued clockwise rotation of the south China block. Geol Soc Am Bull, 2005, 117: 396–410
17 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1996, 26: 193–200
18 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造. 中国科学 B 辑, 1995, 25: 994–1003
19 张国伟, 郭安林, 姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭-松潘大陆构造结. 地学前缘, 2004, 11: 23–32
20 马杏垣. 中国岩石圈动力学纲要. 1∶400 万中国及邻近海域岩石圈动力学图说明书. 北京: 地质出版社, 1987. 1–76
21 张国伟, 郭安林, 董云鹏, 等. 中国大陆贺兰-川滇南北构造带与青藏高原东部边界关系与动力学. 见: 吴福元, 范宏瑞, 陈福坤, 编. 全国岩石学与地球动力学研讨会. 杭州, 2005. 4–6
22 袁学诚, 徐明才, 唐文榜, 等. 东秦岭陆壳反射地震剖面. 地球物理学报, 1994, 37: 749–758
23 张国伟, 郭安林, 刘福田, 等. 秦岭造山带三维结构及其动力学分析. 1996, 中国科学 D 辑: 地球科学, 26(增刊): 1–6
24 杨志华, 郭俊锋, 苏生瑞, 等. 秦岭造山带基础地质研究新进展. 中国地质, 2002, 29: 246–256
25 张二朋. 主编. 秦岭-大巴山及邻区 1∶100 万地质图. 北京: 地质出版社, 1992
26 张国伟, 陈家义. 主编. 秦岭造山带构造地质图(1∶1000000). 北京: 科学出版社, 1996
27 Stanley A S, Victor R B, Margaret F B, et al. Alluvial Fan flooding. Washington D C: National Academy Press, 1996, 1–182
28 Mack G H, Seager W R. Tectonic control on facies distribution of the camp rice and palomas formations (Pliocene-Pleistocene) in the

southern Rio Grande rift. Geol Soc Am Bull, 1990, 102: 45–53
29 齐骅, 刘子进, 张子福, 等. 徽成盆地早白垩世地层. 西北地质, 1979, 4: 86–100
30 刘少峰, 张国伟. 盆山关系研究的基本思路、内容和方法. 地学前缘, 2005, 12: 101–111
31 Rust B R. Pebble orientation in fluvial sediments. J Sediment Petrol, 1972, 42: 384–388
32 Allen P A, Allen J R. Basin analysis: Principles and Applications. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science, 2005. 219–348
33 Hendrix M S, Graham S A, Amory J Y, et al. Noyon Uul (King Mountain)Syncline, southern Mongolia: Lower mesozoic sedimentary record of the tectonic amalgamation of central Asia. Geol Soc Am Bull, 1996, 108: 1256–1274
34 张英利, 王宗起. 西秦岭造山带徽县-成县盆地早白垩世沉积物源分析——锆石LA-ICP-MS U-Pb年代学的约束. 地质通报, 2011, 30: 37–50
35 李三忠, 张国伟, 李亚林, 等. 秦岭造山带勉略缝合带构造变形与造山过程. 地质学报, 2002, 76: 469–483
36 陈虹, 胡健民, 武国利, 等. 西秦岭勉略带陆内构造变形研究. 岩石学报, 2010, 26: 1277–1288
37 胡健民, 孟庆仁, 陈虹, 等. 秦岭造山带内宁陕断裂带构造演化及其意义. 岩石学报, 2011, 27: 657–671
38 王全伟, 梁斌, 谢启兴, 等. 青川地区青川断裂带的显微构造及其变形条件研究. 矿物岩石, 2000, 20: 87–90
39 李勇, 周荣军, Densmore A L, 等. 龙门山断裂带走滑方向的反转及其沉积与地貌标志. 矿物岩石, 2006, 26: 26–34
40 Miall A D. Alluvial sedimentary basins: Tectonic setting and basin architecture. In: Miall A D, ed. Sedimentation and Tectonics in Alluvial Basins. Geol Assoc Can Spec Paper, 1981, 23: 1–33
41 董树文, 施玮, 张岳桥, 等. 大巴山晚中生代陆内造山构造应力场. 地球学报, 2010, 31: 769–780
42 董树文, 张岳桥, 陈宣华, 等. 晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征. 地球学报, 2008, 29: 306–317
43 Qin J F, Lai S C, Grapes R, et al. Geochemical evidence for origin of magma mixing for the Triassic monzonitic granite and its enclaves at Mishuling in the Qinling orogen (central China). Lithos, 2009, 112: 259–276
44 刘池洋, 赵红格, 王峰, 等. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性. 地质学报, 2005, 79: 737–747
45 Cheng S T, Huang Y Q, Fu X H. Paleogeography reconstruction of the Early-Middle Jurassic large Ordos basin and development and evolution of continental downwarping. Acta Sedimentol Sin, 1997, 4: 43–49
46 张岳桥, 廖昌珍, 施炜, 等. 论鄂尔多斯盆地及其周缘侏罗纪变形. 地学前缘, 2007, 14: 182–196
47 董树文, 李廷栋, 钟大赉, 等. 侏罗纪/白垩纪之交东亚板块汇聚的研究进展和展望. 中国科学基金, 2009, 5: 281–286
48 刘云生, 郭战峰, 梁西文, 等. 中上扬子地区晚三叠世-侏罗纪砂岩构造意义及盆山耦合关系. 石油实验地质, 2006, 28: 201–205
49 张岳桥, 董树文, 李建华, 等. 中生代多向挤压构造作用与四川盆地的形成和改造. 中国地质, 2011, 38: 233–250
50 胡健民, 施炜, 渠洪杰, 等. 秦岭造山带大巴山弧形构造带中生代构造变形. 地学前缘, 2009, 16: 49–68
51 张岳桥, 施炜, 廖昌珍, 等. 鄂尔多斯盆地周边断裂运动学分析与晚中生代构造应力体制转换. 地质学报, 2006, 80: 639–647
52 Guo J J, Han W F, Li X F. The cenozoic tectonic evolution of the west Qinling: Constraints on the uplift and deformation of the Qinghai-Tibet Plateau. Earth Sci Front, 2009, 16: 215–225
53 万景林, 王瑜, 李齐, 等. 太白山中新生代抬升的裂变径迹年代学研究. 核技术, 2005, 28: 712–716