

文章编号: 1000-0550(2013)06-0939-15

秦岭造山带与鄂尔多斯盆地印支期构造事件年代学对比^①

邓秀芹 罗安湘 张忠义 刘鑫

(中国石油长庆油田分公司 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室 西安 710018)

摘要 秦岭和鄂尔多斯盆地相互毗邻,秦岭的造山作用和鄂尔多斯盆地内陆湖盆的发展演化之间存在有机的联系,构成了山—盆耦合体系。印支构造活动具有多旋回演化的特征,它是秦岭全面造山的关键时期,可划分230~238 Ma、210~224 Ma和198~206 Ma三个重要构造演化阶段,其中中期构造活动留下的地质记录最丰富。本次研究采用LA-ICP-MS锆石原位U-Pb年龄分析技术,获得了延长组长7中上部和底部凝灰岩的年龄分别为 221.8 ± 2.0 Ma和 228.2 ± 2.0 Ma,通过对鄂尔多斯盆地三叠系延长组凝灰岩年龄的界定、分析,推算延长组顶部不整合面的年龄分别为199.6 Ma和237 Ma。长7中上部和长6厚层重力流砂体的形成时间为215~224 Ma。提出延长组底部和顶部的两个沉积间断面分别对应于秦岭造山带印支早期和晚期构造活动开始或结束阶段,并在盆地内识别出了中期构造事件,该事件造成盆地快速沉降,大面积分布的长7油层组底部凝灰岩和长7油层组中上部—长6油层组中下部的厚层深水重力流砂岩是该期构造活动的直接产物。因此印支构造活动在鄂尔多斯盆地形成了两个构造层序界面和两套沉积事件地层。此外,文章总结了中期事件在鄂尔多斯盆地的八大沉积耦合效应。

关键词 印支运动 鄂尔多斯盆地 秦岭造山带 山—盆耦合 锆石U-Pb测年 凝灰岩 重力流沉积体

第一作者简介 邓秀芹 女 1972年出生 博士 高级工程师 E-mail: dxq1_cq@petrochina.com.cn

中图分类号 P539.6 **文献标志码** A

印支运动在中国大地构造演化史上具有重要的意义,通过华北板块和扬子板块的汇聚拼接,形成了横亘中国大陆中央的延绵上千公里的秦岭—大别造山带,结束了中国南海北陆的分布格局,之后向东西分异构造格局转变,此时秦岭北侧的华北克拉通逐渐萎缩,进入了鄂尔多斯内陆盆地演化阶段。秦岭造山带与鄂尔多斯盆地是同一动力机制下的、有成因联系的正负构造单元,构成了山—盆耦合体系(图1),其分界西起为渭河地堑北侧的草碧—老龙山—圣人桥逆冲推覆带,向东隐伏于渭河地堑之下,并与东部潼关—宜阳—淮南逆冲推覆带相连^[1]。

山盆耦合分析为地学研究的前沿领域,近年来得到广泛的关注^[2~5]。沉积盆地一般较难获得年代学数据,使得两个不同构造单元年代学对比非常困难,耦合响应关系多解性较强。目前,印支运动的多旋回性在鄂尔多斯盆地的沉积响应特征的研究还比较薄弱,过去主要是强调不整合代表的构造事件分析^[6,7],而在连续沉积的内陆湖盆演化与印支构造旋回的关系方面开展研究较少。本次工作是在前期构造、沉积和地层等的研究基础上^[8,9],通过对三叠系延长组地层中凝灰岩夹层的锆石原位U-Pb年龄测

试和事件地层的识别、追踪,对比分析了秦岭印支构造活动期次和鄂尔多斯盆地中晚三叠世沉积演化史,为延长组地层的定年和进行鄂尔多斯盆地沉积事件与秦岭印支构造旋回对比提供了年代学证据和约束条件,并分析了印支构造运动不同阶段的山—盆演化的耦合特征。

1 秦岭造山带的印支构造运动期次划分

加里东—印支期,华北板块、秦岭微板块、扬子板块相继碰撞,形成了商丹、勉略两条缝合线,每个构造演化阶段地质记录丰富。前人围绕秦岭造山带的印支构造活动特征做了大量的工作,研究成果显示秦岭地区的印支运动主要与勉略带碰撞造山有关^[10,11]。强烈碰撞造山过程中引发板块边缘结合部及两侧早期形成的沉积岩系和火山岩系等遭受较强的变质变形、频发的岩浆活动及显著的成矿作用,构造活动具有多期活动的特征。

1.1 岩浆活动

印支期,是秦岭造山带重要的岩浆作用时期,多期次大岩基花岗岩体主要分布于勉略缝合线以北、东秦岭的西部和西秦岭地区。前人获得了大量的秦岭

^①国家科技重大专项(编号:2011ZX05001-044,2011ZX05044)资助
收稿日期:2012-09-19;收修稿日期:2013-01-18

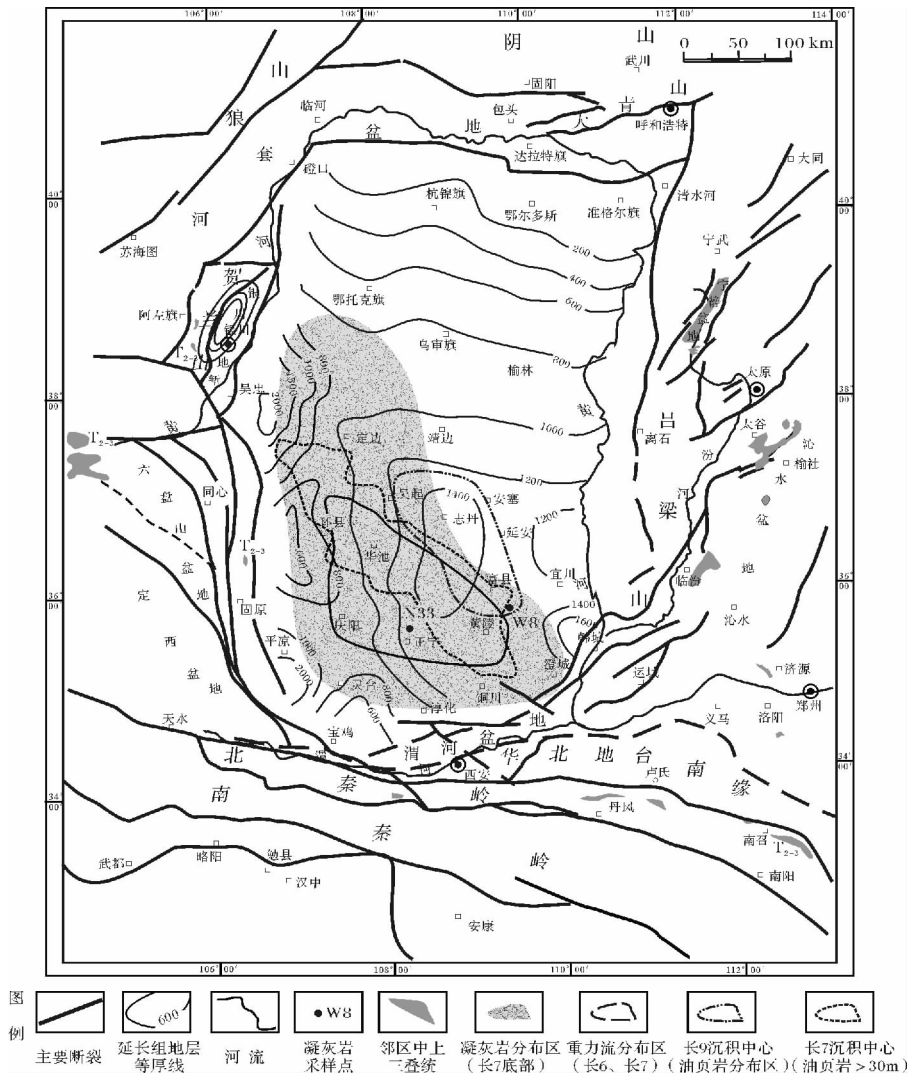


图 1 研究区位置及延长组分布特征

Fig. 1 Location of study area and distribution characteristics of Yanchang Formation

中生代花岗岩同位素数据 统计表明中生界花岗岩活动时期主要为 198 ~ 238 Ma ,大致可划分 230 ~ 238 Ma、210 ~ 224 Ma 和 198 ~ 206 Ma 三个主要阶段。其中形成于 220 ~ 238 Ma 的花岗岩少量分布于南秦岭及扬子北缘,具高 Sr、低 Y 的特征,如糜署岭岩体、罗坝岩体、夏河岩体等碰撞型花岗岩^[12~15]。同位素年龄 210 ~ 224 Ma 的花岗岩在东西秦岭广泛发育^[12,16~26],反应的构造动力背景复杂,其中除了宝鸡岩体、迷坝岩体、新院岩体、张家坝岩体、温泉岩体等正常的花岗岩体外,还有西岔河岩体、阳坝岩体、光头山岩体等埃达克质花岗岩,一些地区还发育环斑花岗岩,如老君山、秦岭梁岩体、柞水岩体、沙河湾等岩体,具后碰撞高钾 I 型花岗岩特征。198 ~ 206 Ma 阶段形成的花岗岩具有高分异富钾和 I-A 型花岗岩的特

征^[13,18,22,27]代表了造山后一种伸展、降压的构造环境,主要分布在南秦岭一带,如东江口岩体、姜家坪岩体、草关岩体、董河岩体。花岗岩的年龄、类型和分布特征指示其形成主要与勉略带南北两侧板块的俯冲碰撞密切相关。经历了印支构造,秦岭地区大规模的俯冲、碰撞的挤压造山基本结束,开始向板内阶段演化。

1.2 变质变形

印支构造旋回,以挤压作用为主,不同地块相互作用导致秦岭—大别构造带不同区段的变质和变形特征存在明显差异,南秦岭地区印支期构造变形最强烈,其北侧的中深变质—岩浆活动—构造变形具自南向北逆冲推覆和大规模走滑剪切的构造组合样式;秦岭中东段和大别山地区发育自北而南的逆冲推覆冲断褶皱;华北地台南缘和北秦岭主要为沿商丹断裂带

的冲断和相伴的褶皱作用,为弱变质变形区,显示出了差异变形变质的特征^[28]。勉略带普遍遭受区域变质和动力变质作用,主要为绿片岩相,个别达到角闪岩相;安子山、桐柏—大别南缘具高压超高压变质和深地壳变形的特征,达到高压蓝片岩相^[29]。

秦岭印支期变形变质年龄为 210 ~ 233.9 Ma^[11, 28~43],可以划为三个阶段:武当高压变质岩和大别港河浅变质岩等记录了秦岭的早期变质作用,同位素年龄分布区间为 232 ~ 234 Ma;黑河的糜棱岩、小秦岭太华群糜棱岩化片麻岩、佛坪变质杂岩麻粒岩等为中期的变形变质作用,同位素年龄分布区间为 211 ~ 221 Ma。镇安东部板岩镇断裂带构造岩、勉略带安子山准高压基性麻粒岩记录了晚期变形变质事件,年龄为 197 ~ 206 Ma。

1.3 成矿作用

受洋盆俯冲、板块碰撞及陆内造山作用的影响,秦岭造山带的中新生代成矿作用表现出叠加改造的后生成矿特征。其中,印支期是秦岭重要的金属矿床成矿期,随着碰撞造山向板内阶段的演化,太古宙—古生代长期以来形成的绿岩带岩系、超镁铁质岩浆杂岩系、沉积岩系等地质体的成矿物质活化、迁移、再富集,形成了金、钼、铅锌、银等多金属矿体。

矿体的同位素年龄一般 206 ~ 242 Ma^[44~53]^①,可划分三个阶段。早期成矿作用的年龄 233 ~ 242 Ma,如小秦岭 15 号含金石英脉、西秦岭八卦庙微小细脉金矿、熊耳山上宫蚀变岩金矿等;中期成矿事件年龄为 211 ~ 222.8 Ma,在碰撞后期伸展背景下岩浆活动和成矿作用更为显著,如熊耳山北岭蚀变金矿、西秦岭温泉斑岩型钼矿、小秦岭黄龙铺钼矿等;206 ~ 208 Ma 为晚成矿期,代表的矿体为东秦岭大河热液型 Sb 矿等。

秦岭造山带的花岗岩、变质岩和多金属矿床的同位素测年数据统计结果显示,印支期中期(Ⅱ期,210 ~ 224 Ma)构造活动记录最丰富,约占所收集的同位素年龄数据的 60%,其次是晚期(Ⅲ期,198 ~ 206 Ma),再次为早期(Ⅰ期,230 ~ 238 Ma)(图 2)。

2 鄂尔多斯盆地的印支构造运动期次划分及表征

受印支运动的影响,三叠纪华北克拉通拗陷盆地向鄂尔多斯盆地发展转化,实现了海相、过渡相向内陆湖盆的转变。鄂尔多斯盆地中上三叠统延长组是夹于两个不整合面之间的河流相、湖泊相及三角洲相碎屑岩沉积,残余地层厚 600 ~ 1 200 m(图 1),根据沉积旋回和凝灰岩、煤层等标志层,可将延长组自上而下划分长 1—长 10 是个油层组(图 3)。除了鄂尔多斯盆缘地区外,盆地腹部整体上构造相对稳定,以整体升降为主,缺少明显的构造变形。由于地形平缓,区域地层分布稳定,地层间以整合、平行不整合、侵蚀不整合接触关系为主。尽管如此,这套稳定的湖泊碎屑岩系内部仍蕴含着丰富的、清晰的印支期构造—沉积响应信息,以两个构造层序界面和两个构造事件层为代表。

2.1 构造层序界面

2.1.1 纸坊组和延长组之间的不整合面

延长组底部的不整合面为早期构造事件的产物。在挤压背景下盆地整体抬升,形成了在纸坊组和延长组之间古暴露面(图 4a)。盆地边缘地区呈现角度不整合,至盆地腹部地区渐变为平行不整合。不整合面上、下沉积面貌差异较大,其中纸坊组以紫红色碎屑岩沉积为主,代表了一套干旱气候条件下的河湖相沉

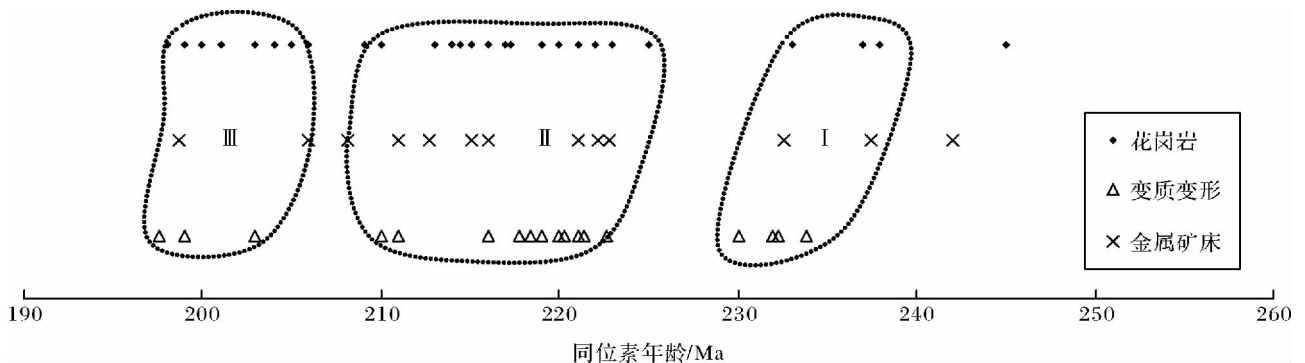


图 2 秦岭造山带印支期花岗岩、变质变形及各种金属矿同位素年龄统计(资料来源于文献[11~27, 29~53])

Fig. 2 Ages of Magmatic, deformation and metamorphism, and polymetallic deposits in Qinling orogeny (the data comes from references [11~27, 29~53])

①钟建华. 陕西秦岭泥盆系区域成矿大地构造演化及八卦庙金矿地质成因与控矿构造的研究[R]. 博士后流动站出站报告. 西安: 西北大学, 1995

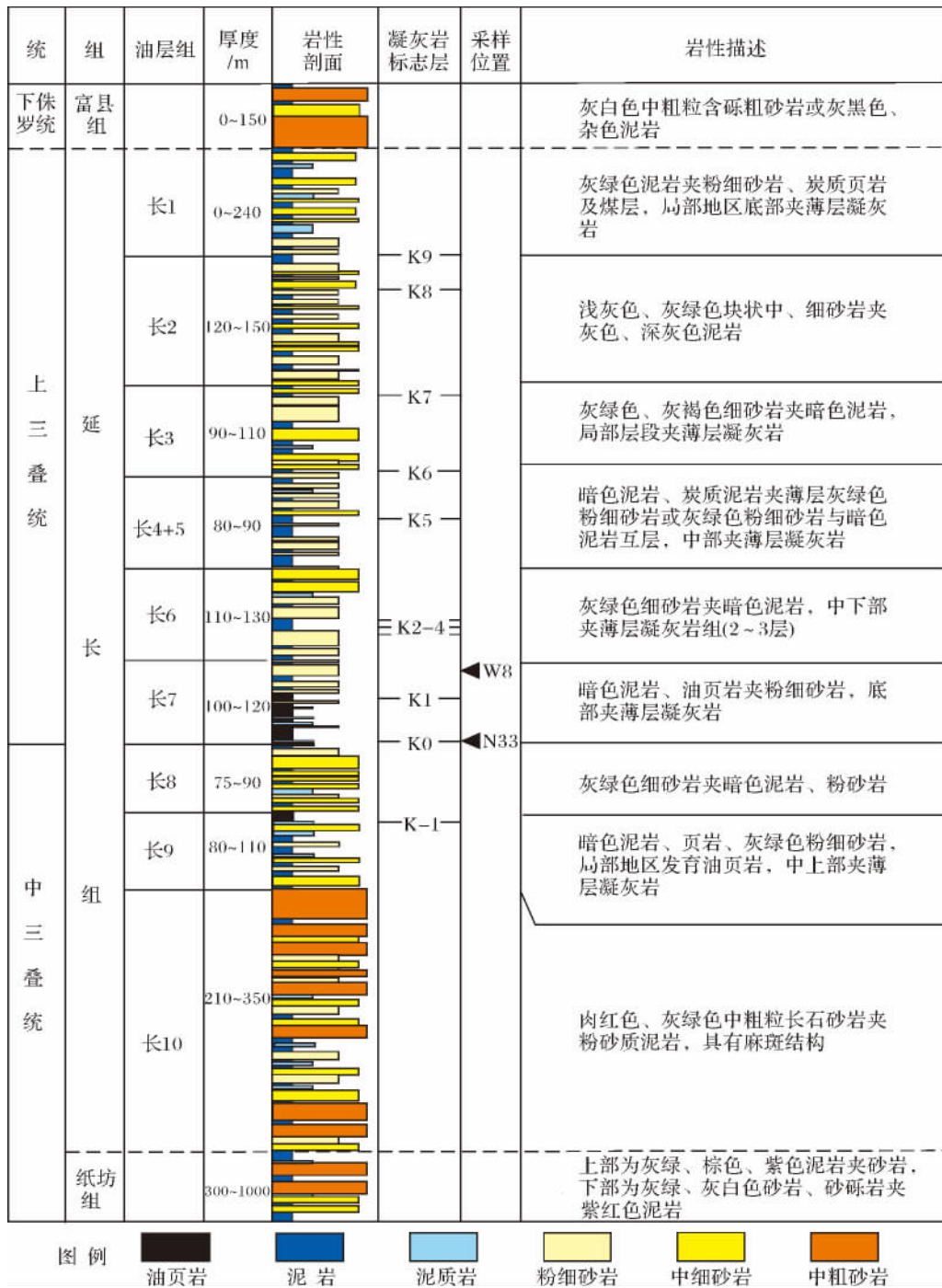


图 3 鄂尔多斯盆地延长组地层综合柱状图

Fig. 3 Synthesis stratigraphic columnar of Yanchang Formation in Ordos Basin

积 延长组为灰绿色砂岩和灰黑色泥岩为主的河流、三角洲和湖泊沉积 指示偏潮湿的气候环境。

2.1.2 三叠系和侏罗系之间的不整合面

位于富县组或延安组与延长组之间(三叠系和侏罗系之间)的不整合面(图 4b)代表晚期事件。这次构造事件造成鄂尔多斯盆地整体抬升,延长组顶部

遭受不同程度的风化剥蚀,西南部剥蚀强烈,环县及其以西地区长 3 甚至长 4 + 5 油层组保存不全,向东及向北延长组上部地层剥蚀程度逐渐减弱,在吴起以东和以北的地区多残留长 1 油层组,指示当时地形具有西高东低的特征。此外,延长组顶面地层还遭受后期古河的侵蚀切割,在古河发育处长 2、长 3 油层组

多残存不全, 甚至有些地区河流下切到长 4 + 5 和长 6 油层组(图 5), 在古河两侧为多级阶地, 形成了沟壑纵横的前侏罗纪古地貌景观。不整合面之下沉积

了灰绿色的中细砂岩和深灰、灰色泥岩, 主要为河流、三角洲、湖泊沉积, 不整合面上部的富县组和延安组的底部均以河流相沉积为主, 发育灰白色砂砾岩沉



图 4 鄂尔多斯盆地湖盆中部构造控制下的延长组深水沉积特征

a. 铜川剖面三叠系延长组与纸坊组界线; b. 延安富县新民砭剖面侏罗系富县组与三叠系延长组界; c. 洛川地区 W8 井, 长 7 凝灰岩; d. 宁县地区 N107 井, 长 7 玻屑凝灰岩; e. 正宁地区 Z9 井, 长 7 玻屑凝灰岩蚀变; f. 正宁地区正 11 井, 长 6 深灰色泥岩中发育砂岩岩脉, 岩脉的长度约 1m; g. 庆阳地区剖 20 井, 长 7 阶梯状正断层, 断面平直, 表明是已固结岩层的错段; h. 华池地区白 246 井, 长 6, 小断层, 错段层面略弯曲, 为半固结岩层的错段; i. 庆阳地区岭 52 井, 长 7 液化卷曲变形, 由于含有凝灰质, 呈棕红色; j. 环县地区里 80 井, 长 7 深灰色灰黑色泥质岩中发育砂岩岩脉; k. 宁县地区宁 36 井, 长 6 泥岩撕裂屑发育, 最大的撕裂屑为泥块, 泥块中水平层理发育, 平直, 已固结后被搬运; l. 庆阳地区西 19 井, 长 7 砂岩岩薄层呈现阶梯状的错段, 断面平直, 表明错断发生于沉积物固结后。

Fig. 4 Feature of deepwater deposit controlled by tectonic event in Yanchang Formation in the sedimentary center of Ordoz Basin

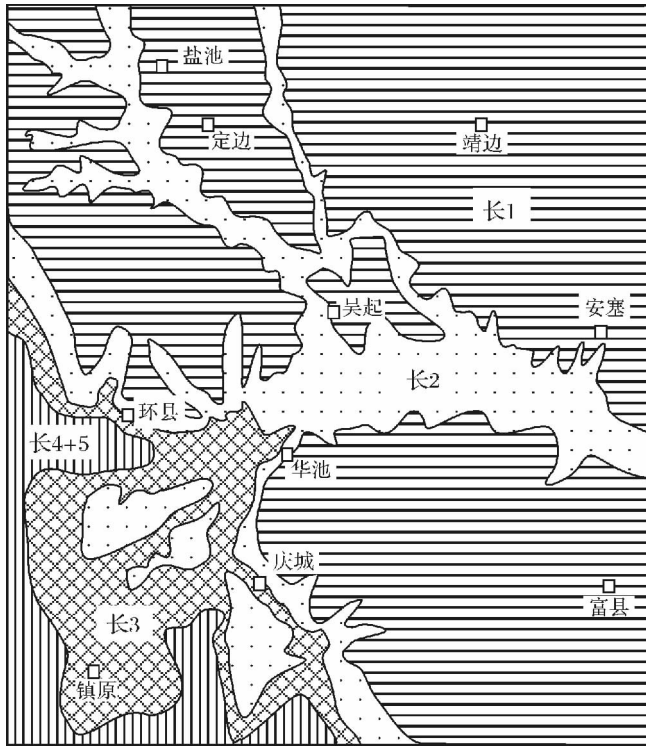


图5 鄂尔多斯盆地前侏罗纪古地质图

Fig. 5 Pre-Jurassic paleogeologic map of Ordos Basin

积,之后发育河流—三角洲体系,仅盆地东部志丹—安塞—富县地区发育浅湖。

2.2 事件层

稳定分布的长7底部凝灰岩和大规模的重力流发生于延长组沉积的中期,为延长组主要的事件层,该事件在鄂尔多斯盆地内引发8大沉积耦合效应。

(1) 长7底部凝灰岩事件层区域分布稳定

延长组凝灰岩薄夹层发育,其中以长7底部凝灰岩分布最稳定,广泛发育在盆地西部和西南部地区(图1、图3),可区域追踪对比,面积超过 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$,而且由西南向东北厚度渐减小至消失,说明凝灰岩来自盆地西南缘和南缘,为同期的火山喷发的产物。以凝灰岩为主,纯凝灰岩较少。薄层状、纹层状产出,一般厚0.1~10 cm,局部可达1~2 m。凝灰岩呈浅黄、灰黄色、灰绿、棕红色等鲜艳色彩(图4c),是盆地西缘、西南缘印支期构造活动最直接的证据^[8,9]。纯凝灰岩主要为玻屑凝灰岩和晶屑凝灰岩(图4-d e)。

(2) 改变了早期缓坡浅水的沉积面貌,盆地急速而强烈地沉降

延长组沉积早期(长10—长8),盆地西部、西南地区主要为辫状河、辫状河三角洲、滨浅湖、沼泽等沉积,以厚层中粗砂岩、细砂岩为主,夹粉砂岩、泥岩、粉

砂质泥岩。大型交错层理发育,富含植物化石、炭屑及炭化植物茎干,泥岩中常见劣质煤线。长8期,即使在湖盆中部的合水、正宁地区也常常看到丰富的垂直虫孔、植物茎干化石,表明仍为滨浅湖沉积。然而仅仅在长7底部几公分或几十公分的凝灰岩薄层之上(即长7初期),就进入湖盆发展的鼎盛阶段,湖盆水体深,在华池—正宁—黄陵地区暗色泥岩、油页岩、重力流砂岩累计厚度一般50~100 m,深水油页岩分布面积超过 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$,因此以凝灰岩为代表的构造事件改变了湖盆长期的地形宽缓、水浅富氧、缓慢演变的状态,造成深湖区广泛分布,使得沉积环境上发生了突变。

(3) 湖盆中部地区重力流事件层大面积分布

长7中晚期—长6早中期处于湖退的早期阶段,但深水区覆盖面积仍较广泛,受盆地周缘频繁的构造活动影响,在湖盆中部长7油层组中上部和长6油层组下部大面积发育重力流沉积,以细砂岩和粉砂岩为主,呈北西—南东向大致平行于相带界线延伸,分布范围超过 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1),重力流沉积中常常夹凝灰岩薄层或纹层,还可以见到大量与地震活动有关的地裂缝、阶梯状正断层、火焰状构造、液化卷曲变形和砂岩岩脉等震积岩沉积构造(图4f-4),指示了沉积过程中时常伴随着频繁的构造活动^[54-56],因此从重力流诱发动力的角度分析,在这套大规模的重力流沉积物中,一部分是震积岩,一些学者也有相关的报道^[57,58]。

(4) 湖盆的不对称性加剧

延长组沉积的早期总体为浅水特征,而且湖盆沉积中心靠近陕北地区,此时湖盆的不对称性不是很显著。中期事件导致盆地发生显著的非均衡沉降作用,随着湖盆沉积中心向西南方向迁移和水体骤然加深,盆地表现出强烈的不对称性,古地理格局呈现出东北和北部高、西南和南部低,水体北浅南深,地形坡度东北和北部缓、西南和南部陡的特征。西南地区沉降、沉积速率明显大于东北地区,造成地层厚度由西南向东北逐渐减薄(图1)。由于西部和西南地区坡度较陡,造成长7中上部和长6重力流沉积与三角洲前缘分布不连续,具有“断根”现象;东部和东北沉积体系由于坡度较缓,重力流沉积常常围绕三角洲前端呈裙状或带状展布。

(5) 湖盆沉积中心逆时针旋转迁移

延长组沉积的早期(长10—长8期),西部和东部沉积体系交汇于志丹—富县一带,其中长9油层

组的顶部发育 5~20 m 的“李家畔”页岩,代表延长组沉积早期发生的短暂的湖侵作用,为当时的沉积中心。长 7 期,以华池—黄陵一带为界,东西两侧岩石组合上存在较大的差异,其中西部体系含有特征重矿物硬绿泥石,含量 0.5~5%,而且超稳定矿物金红石和电气石含量相对较高,碎屑中长石含量一般 15~30%,石英含量一般 30~60%,含少量的白云岩屑;东部体系沉积物中长石含量一般 30~55%,石英含量一般 15~30%,基本不含白云岩岩屑;在华池—长陵一带矿物的成份成熟度较高。而且半深湖、深湖区油页岩厚度较大。矿物组合、深水沉积厚度的分布特征均说明华池—黄陵为长 7 期的沉积中心。因此,以凝灰岩事件层为时间界限,湖盆沉积中心发生了逆时针旋转迁移,在盆地南部迁移距离相对较小,越向北部迁移的距离越大(图 1)。

(6) 沉积体系发生变化

在盆地的西缘和南缘,长 10—长 8 油层组主要为辫状河和辫状河三角洲沉积,未发现冲积扇;长 7 及其沉积期以后,在盆地西缘和南缘地区以崆峒山砾岩、安深 1 井砾岩等为代表的冲积扇的特征开始出现^[8,9,59,60],为紫红色、棕色巨厚层砾岩、砂砾岩及砂岩沉积。发育冲积扇—扇三角洲或冲积扇—辫状河—辫状河三角洲沉积序列。

(7) 碎屑组分差异显著

在盆地西南地区,以长 7 油层组底部凝灰岩为界,上、下地层岩石组分上存在较大差异,其中长 10—长 8 碎屑岩储层中长石、石英含量近等,约 30%,基本不含白云岩屑;长 7 以上地层岩石组具有高石英(44.9~49.7%)、低长石(16.3~17.6%)的特征,由于老山地质体有早古生代海相碳酸盐岩地层的参与,因此在西部、西南和湖盆中部地区碎屑中含有较多白云岩岩屑,含量一般大于 3.5%。

(8) 孢粉组合面貌变化明显。

甘肃省庆阳地区钻井岩芯孢粉分析结果显示,长 10—长 8 暗色泥岩中蕨类植物孢子含量明显高于裸子植物花粉含量(分别占 71.1% 和 28.9%),孢粉分异度相对较低, *Punctatisporites* 占绝对优势,含量可达到 50.5%,其次为 *Verrucosisporites*,占 6.5%。长 7 及其以上地层孢子、花粉含量相近,分别为 49.7% 和 50.3%。 *Punctatisporites* 含量仍最高,但与延长组下部地层相比,含量显著下降,仅占 11.1%。孢子中 *Duplexisporites*、*Laevigatosporites*、*Osmundacidite* 和裸子植物花粉中的 *Piceapollenites*、*Caytonipollenites*、*Pitys-*

porites、*Chordasporites* 平均含量 5.3~6.7%。因此长 7 及其以上地层孢粉分异度高,孢粉中没有明显的优势属种^[9]。

以长 7 底部凝灰岩为界,上下地层中岩石组分、沉积类型、孢粉组合等 8 个方面的骤变,进一步说明了长 7 期与长 8 期之间存在一次显著的构造运动,它对鄂尔多斯盆地演化具有重要的影响。

3 印支期山—盆演化年代学对比

同位素年代地层学是造山带构造活动时限研究的有效方法,然而在沉积盆地由于难以获得准确的沉积岩年龄数据,因此很难进行山—盆演化的等时对比。延长组长 7 凝灰岩事件层具有广布性、等时性、瞬时性的特征,凝灰岩中含有丰富的岩浆锆石,由于锆石常常含有 Th、U,故测定锆石 Th、U 含量及由它们蜕变而成的几种铅同位素的比值,可获得岩石的绝对年龄,从而建立了鄂尔多斯盆地与秦岭造山带印支期构造演化的等时对比的桥梁。

3.1 鄂尔多斯盆地延长组长 7 凝灰岩锆石原位 U-Pb 年龄

3.1.1 样品的采集

延长组发育多个(套)凝灰岩夹层(图 3),颜色鲜艳、层薄,以沉凝灰岩为主,纯凝灰岩较少,其中以长 7 底部凝灰岩分布最稳定,范围最广。盆地腹部延长组深埋于地下,凝灰岩只能通过钻井取芯获取。由于凝灰岩夹层薄,钻井取芯较少,因此凝灰岩取芯率非常低,采样工作十分困难。本次研究在长 7 油层组上部(距离底部凝灰岩 96 m)、长 7 油层组底部各获取一个凝灰岩样品,样品编号分别为 W8 和 N33(图 3)。

3.1.2 分析方法

锆石的激光剥蚀电感耦合等离子质谱(LA-ICP-MS)锆石原位 U-Pb 测年在西北大学大陆动力学国家重点实验室采用 Agilent 公司带有 Shield Torch 的 Agilent 7500a ICP-MS 与德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas200 M 联机测定完成。对采集的 W8、N33 凝灰岩锆石样品进行分析,经 Pb 校正后,绘出锆石年龄谐和图。

3.1.3 凝灰岩锆石特征及测试结果

W8 凝灰岩样品中的锆石多呈棱柱状,少数为短柱状、等轴状,长度一般 50~160 μm,宽度一般 30~60 μm。锆石自形程度高,晶面简单,晶棱锋锐、清晰,CL 图像具有明显震荡环带,环带的宽窄不一,一

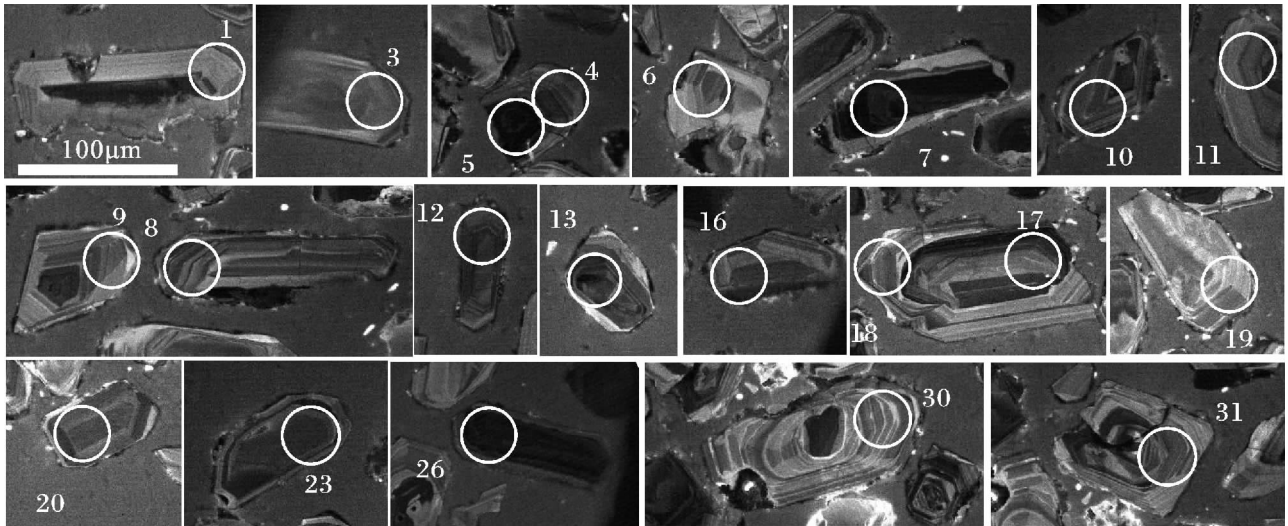


图6 鄂尔多斯盆地 W8 井延长组凝灰岩锆石 CL 图像

Fig.6 CL images of zircons sampled from Yanchang Formation of Well W8 in Ordos Basin

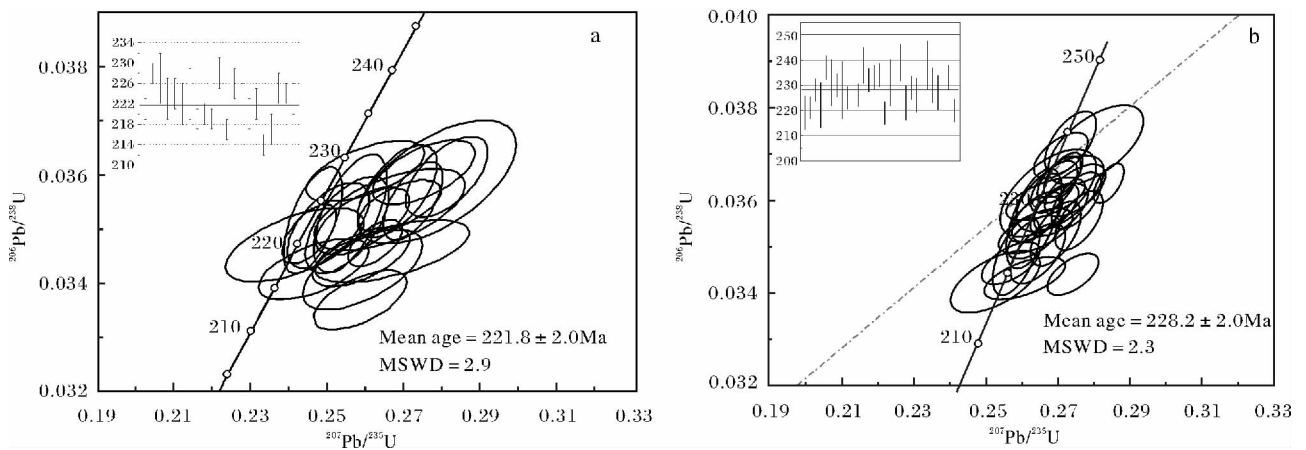


图7 鄂尔多斯盆地延长组长7油层组凝灰岩锆石 U-Pb 谐和曲线

Fig.7 U-Pb ages of zircons sampled from the tuff at the bottom of Ch7 oil-bearing formation of Yanchang Formation in Ordos Basin

些锆石的外边缘呈不规则溶蚀和港湾状(图6)。Th/U一般大于0.4,表明为岩浆成因。锆石有效测试数据点共21个,获得的平均年龄为 221.8 ± 2.0 Ma,谐和程度较高(图7a,表1)。

N33凝灰岩样品中的锆石特征同W8凝灰岩锆石特征,Th/U一般0.31~0.67,环带结构较发育,显示了岩浆成因锆石的特征。有效测试数据点共27个,获得的平均年龄为 228.2 ± 2.0 Ma,谐和程度较高(图7b,表1)。该凝灰岩年龄与中、上三叠统界线年龄相当,即卡尼阶与拉丁阶的界限年龄。

3.2 鄂尔多斯盆地延长组其它构造事件层年龄

3.2.1 延长组与纸坊组界线年龄

长7油层组厚度100~120 m,其下部为油页岩、

暗色泥岩,向上粉细砂岩层逐渐增多,厚度增大;长8油层组为细砂岩夹泥岩、粉砂岩,厚度75~90 m;长9油层组为粉细砂岩,局部地区发育油页岩,厚度80~110 m;长10油层组以粗砂、极粗砂岩为主夹泥质层,地层厚210~350 m。根据长7油层组底部凝灰岩年龄约 228.2 ± 2.0 Ma和长7油层组上部凝灰岩(距底部凝灰岩96 m)年龄 221.8 ± 2.0 Ma,结合地层厚度、沉积速率与颗粒粒径平方成正比的关系(斯托克斯,1850),推算延长组底部的年龄接近中三叠统安尼阶与拉丁阶界线年龄,约237 Ma(国际地层表,2009),相当于秦岭I期构造活动的开始时期。

3.2.2 重力流事件年龄

重力流沉积一般位于长7油层组的中上部和长

表 1 鄂尔多斯盆地延长组凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS dating of zircon U-Pb sampled from the tuff of Yanchang Formation in Ordos Basin

样品编号	同位素比值								同位素年龄 (Ma)								同位素含量 (ppm)			
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th		Pb	Th	U	Th/U
	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ				
N-33-01	0.0499	0.0026	0.2373	0.0119	0.0345	0.0005	0.0109	0.0001	190	121	216	10	219	3	219	2	14.1	111.7	326.2	0.34
N-33-02	0.0561	0.0010	0.2832	0.0042	0.0368	0.0003	0.0135	0.0002	458	18	253	3	233	2	271	5	45.4	279.9	979.3	0.29
N-33-03	0.0525	0.0019	0.2730	0.0092	0.0378	0.0005	0.0119	0.0001	305	84	245	7	239	3	238	2	19.4	143.1	406.8	0.35
N-33-04	0.0519	0.0011	0.2632	0.0058	0.0368	0.0004	0.0119	0.0002	280	33	237	5	233	2	238	5	15.4	111.1	332.2	0.33
N-33-05	0.0541	0.0013	0.2701	0.0065	0.0364	0.0004	0.0118	0.0002	374	33	243	5	230	3	237	5	11.5	144.3	237.3	0.61
N-33-06	0.0513	0.0014	0.2637	0.0071	0.0374	0.0004	0.0122	0.0003	256	44	238	6	237	2	244	5	12.0	96.9	253.8	0.38
N-33-07	0.0519	0.0010	0.2648	0.0053	0.0370	0.0003	0.0116	0.0002	282	29	239	4	234	2	232	5	18.4	138.3	395.7	0.35
N-33-08	0.0532	0.0012	0.2619	0.0069	0.0356	0.0005	0.0112	0.0003	335	35	236	6	226	3	225	6	22.0	199.5	481.3	0.41
N-33-09	0.0533	0.0015	0.2695	0.0082	0.0366	0.0004	0.0109	0.0002	341	49	242	7	232	2	219	5	9.4	106.1	195.9	0.54
N-33-10	0.0554	0.0026	0.2611	0.0125	0.0342	0.0006	0.0093	0.0004	428	75	236	10	217	4	187	7	5.9	58.5	132.5	0.44
N-33-11	0.0513	0.0014	0.2458	0.0063	0.0351	0.0006	0.0109	0.0002	253	31	223	5	222	4	219	5	15.8	131.1	364.9	0.36
N-33-12	0.0510	0.0014	0.2531	0.0069	0.0359	0.0004	0.0111	0.0002	240	45	229	6	228	2	224	5	8.2	110.7	166.1	0.67
N-33-14	0.0516	0.0013	0.2677	0.0069	0.0377	0.0005	0.0114	0.0002	269	37	241	6	238	3	229	5	18.6	133.0	410.4	0.32
N-33-15	0.0516	0.0011	0.2610	0.0062	0.0367	0.0004	0.0110	0.0003	269	35	235	5	232	2	222	5	11.5	79.5	257.8	0.31
N-33-16	0.0536	0.0026	0.2779	0.0127	0.0376	0.0006	0.0118	0.0002	352	112	249	10	238	4	237	3	12.8	103.3	261.3	0.40
N-33-17	0.0514	0.0027	0.2587	0.0129	0.0365	0.0007	0.0115	0.0002	256	124	234	10	231	4	231	4	23.0	214.7	506.4	0.42
N-33-18	0.0513	0.0021	0.2577	0.0105	0.0364	0.0003	0.0115	0.0001	256	98	233	8	230	2	230	2	9.7	72.6	211.0	0.34
N-33-19	0.0506	0.0017	0.2434	0.0078	0.0349	0.0003	0.0110	0.0001	220	79	221	6	221	2	221	2	39.8	273.9	891.8	0.31
N-33-20	0.0547	0.0011	0.2710	0.0063	0.0359	0.0005	0.0115	0.0002	399	30	243	5	227	3	231	5	19.0	106.5	439.2	0.24
N-33-21	0.0523	0.0023	0.2492	0.0109	0.0346	0.0003	0.0109	0.0001	297	105	226	9	219	2	218	1	14.5	105.1	321.0	0.33
N-33-22	0.0563	0.0015	0.2688	0.0069	0.0347	0.0003	0.0127	0.0003	463	41	242	5	220	2	254	6	19.9	143.9	448.2	0.32
N-33-23	0.0530	0.0016	0.2630	0.0076	0.0362	0.0004	0.0113	0.0003	329	46	237	6	229	2	227	6	9.6	80.4	211.8	0.38
N-33-24	0.0515	0.0014	0.2527	0.0069	0.0355	0.0003	0.0110	0.0003	263	45	229	6	225	2	221	5	24.2	290.0	507.2	0.57
N-33-25	0.0516	0.0015	0.2543	0.0067	0.0360	0.0004	0.0122	0.0002	267	41	230	5	228	2	245	4	18.6	163.8	399.7	0.41
N-33-26	0.0523	0.0024	0.2635	0.0116	0.0365	0.0006	0.0115	0.0002	300	109	237	9	231	4	230	3	10.7	85.2	227.0	0.38
N-33-27	0.0525	0.0017	0.2543	0.0074	0.0352	0.0005	0.0110	0.0001	306	74	230	6	223	3	222	2	31.2	257.4	705.3	0.36
N-33-28	0.0524	0.0011	0.2621	0.0059	0.0362	0.0004	0.0113	0.0002	303	34	236	5	229	2	227	5	19.5	144.8	432.7	0.33
N-33-29	0.0516	0.0021	0.2536	0.0100	0.0357	0.0003	0.0112	0.0001	267	95	230	8	226	2	225	2	12.2	95.6	269.4	0.35
N-33-30	0.0514	0.0014	0.2531	0.0073	0.0360	0.0008	0.0115	0.0003	261	32	229	6	228	5	231	7	12.7	126.7	287.7	0.44
W8-001	0.0508	0.0009	0.2449	0.0046	0.0349	0.0004	0.0107	0.0002	231	25	222	4	221	2	215	3	42.5	297.6	1016.3	0.29
W8-003	0.0522	0.0021	0.2595	0.0102	0.0361	0.0004	0.0113	0.0001	293	95	234	8	228	2	228	2	12.5	124.5	275.1	0.45
W8-006	0.0562	0.0030	0.2781	0.0137	0.0359	0.0008	0.0112	0.0002	461	122	249	11	227	5	224	4	18.8	204.7	415.5	0.49
W8-007	0.0507	0.0008	0.2459	0.0050	0.0352	0.0007	0.0109	0.0003	228	21	223	4	223	4	219	6	66.1	492.5	1624.9	0.30
W8-008	0.0545	0.0028	0.2659	0.0129	0.0354	0.0005	0.0110	0.0001	393	117	239	10	224	3	222	2	22.5	222.2	523.1	0.42
W8-009	0.0527	0.0015	0.2547	0.0072	0.0351	0.0006	0.0103	0.0002	318	35	230	6	222	4	206	4	22.1	210.1	512.2	0.41
W8-010	0.0531	0.0015	0.2556	0.0063	0.0353	0.0007	0.0101	0.0002	332	25	231	5	224	5	203	4	22.6	288.4	506.8	0.57
W8-011	0.0559	0.0028	0.2665	0.0132	0.0346	0.0004	0.0108	0.0001	447	116	240	11	219	2	217	2	14.1	124.4	339.3	0.37
W8-012	0.0545	0.0008	0.2620	0.0046	0.0347	0.0003	0.0104	0.0001	393	25	236	4	220	2	209	3	30.3	414.4	695.6	0.60
W8-013	0.0543	0.0019	0.2584	0.0084	0.0345	0.0004	0.0108	0.0001	385	78	233	7	219	2	217	2	34.0	398.8	793.3	0.50
W8-015	0.0562	0.0013	0.2807	0.0071	0.0360	0.0005	0.0113	0.0002	460	32	251	6	228	3	227	3	32.8	463.1	729.9	0.63
W8-016	0.0521	0.0021	0.2460	0.0095	0.0343	0.0004	0.0108	0.0001	289	94	223	8	217	2	216	2	19.5	296.5	446.0	0.66
W8-017	0.0543	0.0016	0.2678	0.0069	0.0357	0.0006	0.0126	0.0002	382	31	241	6	226	3	253	4	35.1	367.6	849.0	0.43
W8-018	0.0553	0.0019	0.2748	0.0088	0.0361	0.0004	0.0112	0.0001	423	77	246	7	228	2	226	2	26.7	312.1	592.4	0.53
W8-019	0.0504	0.0026	0.2411	0.0118	0.0347	0.0005	0.0110	0.0001	212	118	219	10	220	3	220	2	12.8	155.4	306.3	0.51
W8-020	0.0515	0.0017	0.2498	0.0070	0.0351	0.0005	0.0112	0.0002	261	38	226	6	222	3	226	4	23.0	274.0	559.8	0.49
W8-023	0.0556	0.0018	0.2582	0.0080	0.0337	0.0004	0.0105	0.0001	436	74	233	6	214	2	211	2	29.5	373.1	698.6	0.53
W8-025	0.0548	0.0023	0.2588	0.0103	0.0343	0.0005	0.0107	0.0001	405	97	234	8	217	3	215	3	16.2	161.8	377.4	0.43
W8-026	0.0549	0.0008	0.2719	0.0050	0.0355	0.0005	0.0114	0.0001	406	20	244	4	225	3	228	3	79.9	842.1	1830.4	0.46
W8-030	0.0545	0.0014	0.2685	0.0071	0.0354	0.0003	0.0105	0.0002	392	44	241	6	224	2	211	3	24.1	327.0	511.2	0.64
W8-031	0.0530	0.0016	0.2588	0.0080	0.0352	0.0004	0.0097	0.0002	326	49	234	6	223	3	194	3	16.2	196.5	401.2	0.49

6 油层组的中下部,距长 7 油层组底界 30 ~ 150 m。长 7—长 1 油层组地层厚度约 700 m。其中长 7 油层组下部主要为暗色泥岩、油页岩沉积,长 7 油层组中上部和长 6 油层组中下部主要为粉细砂岩和泥岩沉积,长 6 油层组上部至长 1 油层组主要为中细砂岩夹泥质沉积(图 3)。考虑碎屑粒度、沉积速率、地层厚度及三叠系与侏罗系地层界线年龄(199.6 Ma,据 2009 年国际地层表)和长 7 油层组底部年龄(228.2 Ma),推算重力流形成的时间约 215 ~ 224 Ma,与秦岭印支运动第 II 期(210 ~ 224 Ma)频发的构造活动相对应。

3.2.3 延长组与侏罗系界线年龄

根据 2009 年国际地层年表,三叠系与侏罗系的界线年龄为 199.6 Ma,因此不整合面形成时间基本对应于秦岭第 III 期构造活动(198 ~ 206 Ma)的结束时期。

3.3 印支期山—盆演化年代学对比

经历了挤压、伸展、走滑作用的多期叠加和长期演化,秦岭构造带形成了复杂的变形变质、岩浆活动和断裂系统,在加里东—印支构造演化阶段华北板块与扬子板块“剪刀式”拼接过程中^[61, 62],不同构造带的应力场的性质和构造表现形式存在较大差异。印支期,华北地台南缘和北秦岭主要表现为以商丹断裂走滑、逆冲韧性剪切的冲断和次级断层的发育及与之伴生的褶皱作用;在南秦岭地区主要是在挤压作用下

的勉略有限洋盆闭合俯冲碰撞造山作用,总体上具有西部碰撞、东部逆冲推覆和走滑转换的活动特点^[28]。在秦岭造山带的北侧,近东西向走向的大华北盆地逐渐向西萎缩,但在盆地的西南缘局部地区中三叠世仍保存海相沉积的特点^[63],直至中三叠世晚期才彻底与海域分隔,实现了大华北克拉通古生代—中生代初期的海相、过渡相向鄂尔多斯中晚三叠世大型内陆沉积盆地的重大转变,形成了延长组内陆河湖相碎屑岩地层系统。受幕式构造运动的影响,盆地发生多次同造山隆升运动,在该地层系统的顶底形成了沉积间断面。

印支 I 期(230 ~ 238 Ma)是华北板块和扬子板块全面碰撞、汇聚造山的重要时期,中秦岭裂陷海盆闭合^[64, 65],南秦岭和扬子地台的北缘发育埃达克质花岗岩,它们的形成受控于两大板块大规模聚敛与碰撞。在挤压作用下,盆地一侧整体抬升,形成了纸坊组和延长组之间的沉积间断面。鄂尔多斯盆地在印支 I 期经历了长 10 油层组沉积期的初始沉降和长 9、长 8 油层组沉积期的加速扩张阶段(表 2),沉积相类型由早期的河流相为主转化为三角洲、浅湖沉积,气候也由干旱向半干旱乃至潮湿转变。

印支 II 期(210 ~ 224 Ma)是秦岭造山带构造活动异常活跃阶段,变质变形也广泛发育,花岗岩类型多,指示了复杂的构造动力环境。盆地内长 7 油层组

表 2 印支期鄂尔多斯盆地演化与秦岭构造事件对比

Table 2 The correlation between the tectonic events of Qingling and depositional evolution of Ordos Basin during Indosinian epoch

系	统	组	段	油层组	厚度 (m)	凝灰岩锆石 U-Pb 测年 (本次研究)	国际地层年表 (2008)	湖盆演化阶段划分	秦岭印支期构造阶段划分		
三叠系	下统	富县组			0~150						
	上统	延长组	第五段	长 1	0~240			199.6Ma	湖盆消亡	198~206Ma	
			第四段	长 2	120~150						
				长 3	90~110						
			第三段	长 4+5	80~90					逐渐萎缩	210~224Ma
				长 6	110~130						
			长 7	100~120	221.8Ma				强烈拗陷		
	第二段	长 8	75~90	228.2Ma	228.7Ma		湖盆扩张				
		长 9	80~110								
中统	纸坊组	第一段	长 10	210~350			237.0Ma	湖盆形成	230~238Ma		
				300~350							

底部稳定发育凝灰岩,其锆石 U-Pb 同位素年龄为 228.2 Ma 相当于中、上三叠统的界线年龄。这一资料进一步补充证明了笔者早期提出的长 7 油层组底部为中三叠统与上三叠统的界线的认识^[9]。受频繁的构造活动影响,在湖盆中部长 7 油层组中上部—长 6 油层组下部广泛发育重力流沉积,其形成年龄约 215 ~ 224 Ma,与秦岭造山带广泛记录的 210 ~ 224 Ma 的中期地质事件相吻合(表 2)。构造作用还触发盆地内沉积特征突变、地球化学异常、生物种类的更替等现象。

印支 III 期,秦岭造山活动由后碰撞向板内构造作用过渡。花岗岩的类型分析表明在南秦岭表现出伸展环境的构造动力特征,其向南和向北产生了推挤作用。南侧的勉略带仍有陆—陆碰撞的痕迹,盆地一侧不均衡的抬升,在西高东低的地形条件下,延长组顶部剥蚀强度自西向东呈现逐渐减弱的趋势。不整合面上部的富县组和延安组的下部主要为河流相,由于河流强烈下切下伏延长组,造成不同地区延长组顶部差异剥蚀,形成了地貌上显著差异的深切河谷与高地。侏罗系与三叠系地层界线年龄 199.6 Ma,基本对应于秦岭印支构造旋回第 III 期的结束时间(表 2)。

综上所述,印支期扬子与华北最终碰撞导致古特提斯洋北部分支的勉略洋盆在秦岭地区闭合,西秦岭地区造山隆升。鄂尔多斯地区南部受秦岭造山强烈挤压、北部受阿拉善—阴山地块阻挡,基底挠曲,发生拗陷、大幅沉降,盆地沉积速率增高,沉降与沉积中心紧邻秦岭构造带。然而,秦岭造山带是由多个构造块体拼接而成的,拼接过程漫长而复杂,不同时期不同单元的应力场特征和构造表现形式各异,因此不能用局部构造现象或整体的动力背景去解释复杂的山—盆耦合,该项工作尚需要更深入细致的研究。

4 结论

(1) 印支构造运动具有多期活动的特征,统一的构造动力机制控制了秦岭造山和鄂尔多斯成盆作用的时空耦合效应。不同的构造位置变形变质、岩浆活动期次和性质存在显著的差异,显示了秦岭造山带构造活动的复杂性和多旋回演化性。

(2) 印支构造旋回可划分三个演化阶段,分别为 230 ~ 238 Ma、210 ~ 224 Ma 和 198 ~ 206 Ma。其中 230 ~ 238 Ma 处于秦岭的主造山阶段,198 ~ 206 Ma 阶段处于后碰撞向板内演化过渡,在两次构造活动的初期或末期,鄂尔多斯盆地整体抬升,区域上形成了

延长组底部和顶部的沉积间断面;210 ~ 224 Ma 阶段为秦岭地区岩浆活动、变质变形和成矿最活跃的时期,在盆地一侧形成了大范围的深水环境,长 7 油层组底部凝灰岩(228.2 ± 2.0 Ma)和长 7 油层组中上部—长 6 油层组中下部重力流沉积(215 ~ 224 Ma)是中期构造事件的重要表征。该事件还触发沉积特征突变、岩石学与地球化学异常、生物种类的更替等现象。

(3) 长 7 油层组底部凝灰岩锆石 U-Pb 年龄的获得,进一步证实了笔者早期提出的延长组以长 7 底部为界跨中、上三叠统,即长 10—长 8 油层组属于中三叠统,相当于拉丁阶,长 7—长 1 层组属于上三叠统,相当于卡尼阶—瑞替阶。

参考文献(References)

- 1 周鼎武,赵重远,李银德,等. 鄂尔多斯盆地西南缘地质特征及其与秦岭造山带的关系[M]. 北京:地质出版社,1994 [Zhou Dingwu, Zhao Chongyuan, Li Yinde, et al. The Characteristic of Southeastern Ordos Basin and Its Relation with Qingling Orogen [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994]
- 2 王清晨,李忠. 盆地耦合与沉积盆地成因[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 24-31 [Wang Qingchen, Li Zhong. Basin-Orogen coupling and origin of sedimentary basins [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 24-31]
- 3 陈世悦. 华北地块南部晚古生代—三叠纪盆地耦合关系[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(3): 37-43 [Chen Shiyue. The basin-range coupling in southern North China block during the Late Palaeozoic to Triassic [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2000, 20(3): 37-43]
- 4 刘树根,邓宾,李智武,等. 盆地结构与油气分布——以四川盆地为 例[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 621-635 [Liu Shugen, Deng Bin, Li Zhiwu, et al. The texture of sedimentary basin-orogenic belt system and its influence on oil/gas distribution: A case study from Sichuan Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 621-635]
- 5 李继亮,肖文交,闫臻. 盆地耦合与沉积作用[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 52-60 [Li Jiliang, Xiao Wenjiao, Yan Zhen. Basin-Range coupling and its sedimentation [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 52-60]
- 6 孙建博,陈刚,章辉若,等. 鄂尔多斯盆地中生代构造事件的峰值年龄及其沉积响应[J]. 西北地质, 2006, 36(3): 91-96 [Sun Jianbo, Chen Gang, Zhang Huiruo, et al. Peak ages and sedimentary responses of the Mesozoic-Cenozoic tectonic events in Ordos Basin [J]. Northwestern Geology, 2006, 36(3): 91-96]
- 7 杨友运. 印支期秦岭造山活动对鄂尔多斯盆地延长组沉积特征的影响[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(5): 7-9 [Yang Youyun. Influence of Qinling orogenic movements in Indo-Chinese epoch to sedimentary characteristics of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Coal Geology & Exploration, 2004, 32(5): 7-9]

- 8 邓秀芹, 蔺昉晓, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积演化及其与早印支运动关系的探讨[J]. 古地理学报, 2008, 10(2): 159-166 [Deng Xiuqin, Lin Fangxiao, Liu Xianyang, et al. Discussion on relationship between sedimentary evolution of the Triassic Yanchang Formation and the early Indosinian movement in Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(2): 159-166]
- 9 邓秀芹, 李文厚, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地中三叠统与上三叠统地层界线讨论[J]. 地质学报, 2009, 83(8): 1089-1096 [Deng Xiuqin, Li Wenhou, Liu Xinshe, et al. Discussion on the stratigraphic boundary between Middle Triassic and Upper Triassic[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(8): 1089-1096]
- 10 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[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 1996, 26(3): 193-200 [Zhang Guowei, Meng Qingren, Yu Zaiping, et al. The orogenic process and its dynamic characteristics of Qinling orogenic belt[J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 1996, 26(3): 193-200]
- 11 张国伟, 张本仁, 袁学城, 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]
- 12 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉, 等. 西秦岭发现奥长环斑花岗岩带[J]. 地质论评, 1998, 14(5): 535-542 [Lu Xinxiang, Wei Xiangdong, Xiao Qinghui, et al. Rapakivi granites discovered in western Qinling [J]. Geological Review, 1998, 14(5): 535-542]
- 13 李永军, 谢其山, 栾新东, 等. 西秦岭糜署岭岩浆带成因及构造意义[J]. 新疆地质, 2004, 22(4): 374-377 [Li Yongjun, Xie Qishan, Luan Xindong, et al. The origins and tectonic significance of the Mishuling magmazone in west Qinling [J]. Xinjiang Geology, 2004, 22(4): 374-377]
- 14 李永军, 李注苍, 丁仁平, 等. 西秦岭温泉花岗岩体岩石学特征及岩浆混合标志[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 7-12 [Li Yongjun, Li Zhucang, Ding Sanping, et al. Petrology features and magmamingling marks of the Wenquan granite from western Qinling [J]. Journal of Earth Science and Environmental, 2004, 26(3): 7-12]
- 15 金惟浚, 张旗, 何登发, 等. 西秦岭埃达克岩的 SHRIMP 定年及其构造意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 959-966 [Jin Weijun, Zhang Qi, He Dengfa, et al. SHRIMP dating of adakites in western Qinling and their implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(3): 959-966]
- 16 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉, 等. 秦岭环斑花岗岩的年代学研究及其意义[J]. 高校地质学报, 1999, 15(4): 373-377 [Lu Xinxiang, Wei Xiangdong, Xiao Qinghui, et al. Geochronological studies of Rapakivi granites in Qinling and its geological implications [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 15(4): 373-377]
- 17 张宗清, 张国伟, 唐索寒, 等. 秦岭沙河湾奥长环斑花岗岩的年龄及其对秦岭造山带主造山期结束时间的限制[J]. 科学通报, 1999, 44(9): 981-983 [Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan, et al. The age of Shahewan rapakivi granite body in Qinling orogenic belt and its role on confirmation of the termination of main Qinling orogenic episodes [J]. Chinese Sciences Bulletin, 1999, 44(9): 981-983]
- 18 张宗清, 张国伟, 刘敦一. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积石同位素年代学和地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-302 [Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Liu Dunyi. Isotope Chronology and Geochemistry of Ophiolite, Granite and Clastic Sediment in Qinling Orogenic Belt [M]. Beijing: Geological House, 2007: 1-302]
- 19 张成立, 王涛, 王晓霞. 秦岭造山带早中生代花岗岩成因及其构造环境[J]. 高校地质学报, 2008, 14(3): 304-316 [Zhang Chengli, Wang Tao, Wang Xiaoxia. Origin and tectonic setting of the early Mesozoic granitoids in Qinling orogenic belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(3): 304-316]
- 20 胡建民, 崔建堂, 孟庆任, 等. 秦岭柞水岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 2004, 50(3): 323-329 [Hu Jianmin, Cui Jiantang, Meng Qingren, et al. The U-Pb age of zircons separated from the Zhashui granite in Qinling orogen and its significance [J]. Geological Review, 2004, 50(3): 323-329]
- 21 卢欣祥. 秦岭花岗岩大地构造图[M]. 西安: 西安地图出版社, 2000 [Lu Xinxiang. Granite Tectonic Map of Qinling Mountains [M]. Xi'an: Xian Map Publishing House, 2000]
- 22 孙卫东, 李曙光, 叶东, 等. 南秦岭花岗岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 209-216 [Sun Weidong, Li Shuguang, Chen Yadong, et al. Zircon U-Pb dating of granitoids from south Qinling, central China and their geological significance [J]. Geochimica, 2000, 29(3): 209-216]
- 23 秦江峰, 赖绍聪, 李永飞. 扬子板块北缘碧口地区阳坝花岗闪长岩体成因研究及其地质意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 697-710 [Qin Jiangfeng, Lai Shaocong, Li Yongfei. Petrogenesis and geological significance of Yangba granodiorites from Bikou area, northern margin of Yangtze Plate [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(3): 697-710]
- 24 张宏飞, 欧阳建平, 凌文黎, 等. 南秦岭宁陕地区花岗岩类 Pb、Sr、Nd 同位素组成及其深部地质信息[J]. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(1): 22-32 [Zhang Hongfei, Ouyang Jianping, Ling Wenli, et al. Pb, Sr, Nd isotope composition of Ningshan granitoids, south Qinling and their deep geological information [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1997, 16(1): 22-32]
- 25 张宏飞, 肖龙, 张利, 等. 扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成: 限制岩石成因及其动力学背景[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2007, 37(4): 460-470 [Zhang Hongfei, Xiao Long, Zhang Li, et al. Indosinian granitoid geochemistry and isotopic composition of Pb-Sr-Nd in Bikou block, the northwest margin of the Yangtze plate: limitations of Petrogenesis and geodynamic background [J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2007, 37(4): 460-470]
- 26 王娟. 佛坪地区早中生代花岗岩的地球化学研究及研究的地质意义[D]. 西安: 西北大学, 2006 [Wang Juan. A study on geochemistry of granitic rocks in Fuping region of Shanxi province during Early Triassic and its significance [D]. Xi'an: Northwest University, 2006]
- 27 霍福臣, 李永军. 西秦岭造山带的建造与地质演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 1995: 67-120 [Huo Fuchen, Li Yongjun. The Construction and Geological Evolution of West Qinling Orogeny [M].

- Xi'an: Northwest University House, 1995: 67-120]
- 28 周鼎武. 区域综合研究的方法与实践—鄂尔多斯盆地—秦岭造山带地质野外指导书[M]. 北京: 科学出版社, 2002 [Zhou Dingwu. Methods and Practice of Regional Comprehensive Research—Geologic Field Instructor for Ordos Basin-Qinling Orogenic Belt[M]. Beijing: Science Press, 2002]
- 29 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2003, 33(12): 1121-1135 [Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong. Mianlue tectonic zone and Mianlue suture zone at the southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt [J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2003, 33(12): 1121-1135]
- 30 Mattauer M, Matte P H, Malquieville J *et al.* Tectonic of the Qinling belt: Build-up and evolution of eastern Asia [J]. Nature, 1985, 317(10): 496-500
- 31 Reischmann T, Altenberger C, Kroner A, *et al.* Mechanism and time of deformation and metamorphism of mylonitic orthogneisses from the Shagou shear zone, Qinling belt, China [J]. Tectonophysics, 1990, 185: 91-109
- 32 许志琴. 扬子板块北缘的大型深层滑脱构造及动力学分析[J]. 中国区域地质, 1987, 6(4): 289-300 [Xu Zhiqin. The northern Yangtze block large detachment structure and dynamics analysis [J]. Regional Geology of China, 1987, 6(4): 289-300]
- 33 朱新人. 东秦岭武当山晚前寒武纪底层层成岩构造环境及八卦庙金矿地质成因与控矿构造的研究[D]. 北京: 中国科学院地质研究所, 1998 [Zhu Xinren. Rock-forming tectonic settings of the bottom of Upper Precambrian in Wudang Mountains, and geological genesis and ore control structure of Baguamiao gold deposit in east Qinling [D]. Beijing, Institute of Geology of Chinese Academy of Sciences, 1998]
- 34 胡建民, 马国民, 高殿松, 等. 武当地块主要地质事件的年代学研究[J]. 中国区域地质, 2000, 19(3): 318-324 [Hu Jianmin, Ma Guomin, Gao Diansong, *et al.* Chronology of major geological events of the Wudang block in the south Qinling orogen [J]. Regional geology of China, 2000, 19(3): 318-324]
- 35 Ames L, Tilton G R, Zhou G. Timing of collision of Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites [J]. Geology, 1993, 21: 339-342
- 36 Chavagnac V, Jahn B M. Coesite-bearing eclogites from Bixiling complex, Dabie Mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implications [J]. Chemical Geology, 1996, 133: 29-51
- 37 Dong S W, Oberhänsli R, Schmid R, *et al.* Occurrence of metastable rocks in deeply subducted continental crust from the Dabie Mountains, central China [J]. Episodes, 2002, 25(20): 84-89
- 38 Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, *et al.* Exhumation of ultrahigh continental crust in east central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing [J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105(B6): 13339-13364
- 39 Li S G, Xiao Y L, Liu D L, *et al.* Collision of the north China and Yangtze blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes [J]. Chemical Geology, 1993, 109: 89-111
- 40 丛柏林, 王清晨. 大别山—苏鲁超高压变质带研究的最新进展[J]. 科学通报, 1999, 44(11): 1127-1141 [Cong Bolin, Wang Qingchen. Latest Development on Dabie-Sulu ultrahigh-pressure metamorphic belt [J]. Chinese Sciences Bulletin, 1999, 44(11): 1127-1141]
- 41 王秀璋. 中国改造型金矿床地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 10-34 [Wang Xiuzhang. The Geochemistry of Modified Gold Deposit in China [M]. Beijing: Science Press, 1992: 10-34]
- 42 张宗清, 宋彪, 唐索寒, 等. 秦岭佛坪变质结晶岩系年龄和物质组成特征——SHRIMP 锆英石 U-Pb 年代学和全岩 Sm-Nd 年代学数据[J]. 中国地质, 2004, 31(2): 161-168 [Zhang Zongqing, Song Biao, Tang Suohan, *et al.* Age and material composition of the Foping metamorphic crystalline complex in the Qinling Mountains: SHRIMP zircon U-Pb and whole-rock Sm-Nd geochronology [J]. Chinese Geology, 2004, 31(2): 161-168]
- 43 张宗清, 唐索寒, 王进辉, 等. 秦岭勉略带中安子山麻粒岩的年龄[J]. 科学通报, 2002, 47(22): 1751-1755 [Zhang Zongqing, Tang Suohan, Wang Jinhui, *et al.* Anzishan granulite age of Mianlue belt in Qinling [J]. Chinese Sciences Bulletin, 2002, 47(22): 1751-1755]
- 44 卢欣祥, 李明立, 王卫, 等. 秦岭造山带的印支运动及印支期成矿作用[J]. 矿床地质, 2008, 27(6): 762-773 [Lu Xinxiang, Li Mingli, Wang Wei, *et al.* Indosinian movement and metallogenesis in Qinling orogenic belt [J]. Mineral Deposits, 2008, 27(6): 762-773]
- 45 冯建忠, 邵世才, 汪东坡, 等. 陕西八卦庙金矿脆—韧性剪切带控矿特征及成矿构造的动力学机制[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 58-66 [Feng Jianzhong, Zou Shicai, Wang Dongpo, *et al.* Baguamiao superlarge gold deposit in the Qinling orogen: the characteristics of its control by the brittle-ductile shear zone and dynamic mechanism for ore-forming structure [J]. Chinese Geology, 2002, 29(1): 58-66]
- 46 冯建忠, 汪东坡, 王学明, 等. 陕西八卦庙超大型金矿床成矿地质特征及成矿作用[J]. 地质学报, 2003, 77(3): 387-398 [Feng Jianzhong, Wang Dongpo, Wang Xueming, *et al.* Geology and metallogenesis of the Baguamiao giant gold deposit in Fengxian, Shaanxi Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(3): 387-398]
- 47 任福根, 李维明, 李增慧. 熊耳山—崮山地区金矿成矿地质条件和找矿综合评价模型[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 80-90 [Ren Fugen, Li Weiming, Li Zenghui. Minerogenetic Conditions and Comprehensive Evaluation Model on Gold Deposits in Xiongershan-Xiaoshan [M]. Beijing: Geological House, 1996: 80-90]
- 48 黎世美, 翟伦全, 李新民, 等. 熊耳山地区蚀变构造岩型金矿成矿地质条件、富集规律、成矿模式. 秦巴金矿论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1993: 96-132 [Li Shimei, Zhai Lunquan, Li Xinmin, *et al.* Minerogenetic conditions, laws and model of altered tectonite type gold deposits in Xiongershan area. Symposium of Qinba gold deposit [C]. Beijing: Geological House, 1993: 96-132]
- 49 胡正国, 钱壮志, 闫广民. 小秦岭拆离—变质杂岩核构造与金属[M]. 西安: 陕西科学出版社, 1994 [Hu Zhengguo, Qian Zhuangzhi, Yan Guangmin. Core Structure of Detachment-Metamorphic Complex and Metal in Xiaolinling [M]. Xi'an: Shanxi Science Press,

- 1994]
- 50 黄典豪,吴澄宇,杜安道,等. 东秦岭地区钼矿床的铼-钼同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 1994, 13(3): 221-230 [Huang Dianhao, Wu Chengyu, Du Andao, *et al.* Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in east Qinling and their significance [J]. Mineral deposits, 1994, 13(3): 221-230]
- 51 王平安,陈毓川,裴荣富,等. 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造-成矿旋回与演化[M]. 北京:地质出版社, 1998: 81-83 [Wang Ping'an, Chen Yuchuan, Pei Rongfu, *et al.* Regional Metallogenic Series, Tectonic-Mineralization Cycle and Evolution of Qinling Orogenic Belt [M]. Beijing: Geological House, 1998: 81-83]
- 52 宋史刚,丁振举,姚书振,等. 甘肃武山温泉辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其成矿意义[J]. 西北地质, 2008, 44(1): 67-73 [Song Shigang, Ding Zhenju, Yao Shuzhen, *et al.* Re-Os Isotopic dating of Molybdenite and its implication for Molybdenum mineralization of Wenquan Porphyry, Wushan, Gansu province [J]. Northwestern Geology, 2008, 44(1): 67-73]
- 53 毛景文,谢桂青,张作衡,等. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 169-188 [Mao Jingwen, Xie Guiqing, Zhang Zuoheng, *et al.* Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(1): 169-188]
- 54 付锁堂,邓秀芹,庞锦莲. 晚三叠世鄂尔多斯盆地湖盆沉积中心厚层砂体特征及形成机制分析[J]. 沉积学报, 2010, 28(6): 1081-1089 [Fu Suotang, Deng Xiuqin, Pang Jinlian. Characteristics and mechanism of thick sandbody of Yanchang Formation at the centre of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 26(6): 1081-1089]
- 55 邓秀芹,付金华,姚泾利,等. 鄂尔多斯盆地中及上三叠统延长组沉积相与油气勘探的突破[J]. 古地理学报, 2011, 13(4): 443-455 [Deng Xiuqin, Fu Jinhua, Yao Jingli, *et al.* Sedimentary facies of the Middle-Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin and breakthrough in petroleum exploration [J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13(4): 443-455]
- 56 邓秀芹,李文厚,李士祥,等. 鄂尔多斯盆地华庆油田延长组长6油层组深水沉积组合特征[J]. 地质科学, 2010, 45(3): 745-756 [Deng Xiuqin, Li Wenhou, Li Shixiang, *et al.* Deepwater sedimentary association of Chang 6 oil bearing formation, Yanchang Formation of Huaqing oilfield in Ordos Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2010, 45(3): 745-756]
- 57 李元昊,刘池洋,王秀娟. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组震积岩特征研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 772-779 [Li Yuanhao, Liu Chiyang, Wang Xiujuan. Discovery and significance of seismites in Late Tertiary Yanchang Formation of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(5): 772-779]
- 58 夏青松,田景春. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组震积岩的发现及地质意义[J]. 沉积学报, 2007, 25(2): 246-252 [Xia Qingsong, Tian Jingchun. Characteristics and geological significance of seismites of the Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(2): 246-252]
- 59 宋立军,赵靖舟,袁炳强,等. “崆峒山砾岩”形成演化的动力学机制分析[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(4): 508-519 [Song Lijun, Zhao Jingzhou, Yuan Bingqiang, *et al.* Development and genetic mechanism of the Kongtongshan Formation conglomerate [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(4): 508-519]
- 60 刘化清,李相博,白云来,等. 鄂尔多斯盆地“崆峒山砾岩”成因初步分析[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 668-671 [Liu Huaqing, Li Xiangbo, Bai Yunlai, *et al.* Origin analysis of the "Kingtong conglomerate" in Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5): 668-671]
- 61 吴汉宁,常承法,刘椿,等. 依据古地磁资料探讨华北和华南块体运动及其对秦岭造山带构造演化的影响[J]. 地质科学, 1990, 25(3): 201-214 [Wu Hanning, Chang Chengfa, Liu Chun, *et al.* Evolution of the Qinling fold belt and the movement of the North and South China blocks: the evidence of geology and paleomagnetism [J]. Chinese Journal of Geology, 1990, 25(3): 201-214]
- 62 朱日祥,杨振宇,马醒华,等. 中国主要地块中生宙古地磁极移曲线与地块运动[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 1998, 28(增刊2): 1-16 [Zhu Rixiang, Yang Zhenyu, Ma Xinghua, *et al.* Paleomagnetic constraints on the tectonic history of the major blocks of China during the Phanerozoic [J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 1998, 28(Suppl. 2): 1-16]
- 63 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989 [Geology and Mineral Resources Bureau of Shanxi Province. Regional Geology of Shanxi Province [M]. Beijing: Geological House, 1989]
- 64 殷鸿福,张克信. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学, 1998, 23(5): 438-442 [Yin Hongfu, Zhang Kexin. Evolution and characteristics of the central orogenic belt [J]. Earth Science, 1998, 23(5): 438-442]
- 65 孟庆任,渠洪杰,胡健民. 西秦岭和松潘地体三叠系深水沉积[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2007, 37(增刊1): 209-223 [Meng Qingren, Qu Hongjie, Hu Jianmin. The deepwater deposits of Triassic in western Qinling and Songpan terrain [J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2007, 37(Suppl. 1): 209-223]

Geochronological Comparison on Indosinian Tectonic Events Between Qinling Orogeny and Ordos Basin

DENG Xiu-Qin LUO An-xiang ZHANG Zhong-yi LIU Xin

(Changqing Oilfield Company / National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields, Xi'an 710018)

Abstract: Qinling mountain and adjacent Ordos Basin constitute a mountain-basin coupling system. There is a close relation between Qinling uplifting and Ordos Basin forming. Indosinian, a key period of complicated Qingling orogeny, is characterized by the feature of polycyclic evolution. According to isotopic dating, Indosinian movement in Qingling area can be divided into three important stages, i. e., 230 ~ 238 Ma, 210 ~ 224 Ma and 198 ~ 206 Ma. Among them, the geological records in the middle stage are the most abundant.

Geochronological correlation between orogenic belt and basin is difficult to be conducted, for it is difficult to study the age of sedimentary strata accurately. The deposition of tuff at the bottom of Ch7 oil bearing formation, an event layer, is characterized by wide spreading, isochronous and instantaneous. Abundant magmatic zircons are hosted in the tuff bed, and will act as a bridge on the isochronous correlation between Qingling orogenic belt and Ordos Basin. Based on U-Pb dating of zircons by the method of LA-ICP-MS collected from the tuff, the ages of tuff layers at the mid-upper and bottom of Ch7 oil bearing formation in Yanchang Formation are 221.8 ± 2.0 Ma and 228.2 ± 2.0 Ma, separately, respectively other depositional event ages are estimated further. It is put forward that the forming ages of unconformities located at the bottom and top of Yanchang Formation are 237 Ma and 199.6 Ma, respectively, corresponding to the beginning or end of early and late stages of Indosinian tectonic events, and the age of the deepwater sandstone at mid-upper Ch7 and mid-lower Ch6 is formed during 215 ~ 224 Ma. Middle events, represented by tuff layer and mass gravity sand body, are identified in this study. The wide spreading tuff at the bottom of Ch7 oil-bearing formation and the thick deepwater sandstone, which is steadily distributed in depositional central of Ordos Basin, are the direct outcome of the middle event. Therefore, Indosinian movement resulted in two tectonic succession boundaries and two event deposits in Ordos Basin. In addition, eight coupling effects which were triggered by the middle event are uncovered in this paper. Some obvious transformations are revealed in sediment, petrology, geochemistry and biology. (1) The tuff layer at the bottom of Ch7 oil-bearing Formation is widely distributed in the west and southwest of Ordos Basin, covering more than 3×10^4 km². (2) The landform altered from gentle slope and shallow-water to rapid and intense subsidence and wide spreading deep water. (3) Massive gravity sand body is distributed in the central of lacustrine, with some trace of tectonic event. (4) Asymmetry of basin become serious and the bottom shape is featured by western limb steep and the eastern limb gentle since Ch7 depositional period. (5) Compared with Ch10-Ch8 epoch, the basin central migrated counterclockwise since Ch7 epoch. (6) The sedimentary association developed from braided river-braided river delta to alluvial fan-fan delta or alluvial fan-braided river-braided river-delta in the southwest and west of Ordos Basin. (7) Divided by the tuff layer at the bottom of Ch7 oil-bearing formation, there is a big gap in the content of quartz, feldspar, carbonate debris and chloritoid between Ch7-Ch1 sandstone and Ch10-Ch8 sandstone. (8) The sporopollen changed greatly. The sporopollen in Ch10-Ch8 strata is characterized by low diversity and fern spore stands dominant position. The sporopollen in Ch7-Ch1 mudstone is of high diversity and the content of gymnosperm pollen is balance with fern spore.

Therefore, comparison of Indosinian tectonic phases between Qinling orogenic zone and Ordos Basin shows a good agreement. However, process of mountain-basin coupling lasted long and is complicated and further research is needed to be done.

Key words: Indosinian movement; Ordos Basin; Qinling orogeny; mountain-basin coupling system; U-Pb dating of zircons; tuff; deep water sandstone