

川东高陡断褶带构造特征及其演化

邹玉涛¹⁾, 段金宝¹⁾, 赵艳军²⁾, 张新¹⁾, 李让彬¹⁾

1) 中国石油化工股份有限公司勘探分公司研究院, 成都, 610041;

2) 中国地质科学院矿产资源研究所成矿作用与资源评价重点实验室, 北京, 100037

内容提要:在川东地震资料基础上, 结合地质资料, 系统分析了川东高陡构造特征、演化特征及成因机制。川东高陡断褶带经历了由拉张向挤压转变的动力学环境, 主要划分为 4 期构造演化阶段: 弱褶皱阶段(印支期以前)、褶皱雏形阶段(印支期)、褶皱活跃阶段(燕山期)、褶皱定型阶段(喜马拉雅期)。川东高陡断褶带现今构造格局受早期基底断裂控制、晚期多期挤压构造叠加改造, 定型“隔挡式”高陡断褶带排状展布; 受纵向 2 套主要膏盐滑脱层及 1 套次要泥页岩滑脱层影响, 川东断褶带纵向上可划分为 3 个构造变形层, 在多期挤压应力过程中, 各构造层纵向上形成、演化具有差异性, 构造形态截然不同。四川盆地多期挤压构造叠加改造对川东盐类矿床和油气保存产生了重要影响。

关键词: 高陡断褶带; 川东地区; 构造样式; 构造演化

川东高陡断褶带位于四川盆地东部, 因其构造样式特殊, 历来为地学界所关注。地质学者通过薄皮和厚皮构造(郭正吴等, 1996; Yan et al., 2003)、层滑(李本亮等, 1998; 解国爱等, 2013)、递进推移扩展(梅廉夫等, 2010)、递进(衰减)变形(丁道桂等, 2007)和有序变形(冯向阳等, 2003)等模式解释川东高陡断褶带形成机制。但对川东高陡断褶带形成时间存在燕山期和喜马拉雅期的分歧, 构造叠加过程研究不足(李忠权等, 2002; 冯向阳等, 2003; Yan et al., 2003; 徐政语等, 2004; 吕宝凤等, 2005; 徐汀滢等, 2012)。本文以地震资料为基础, 通过川东高陡断褶带构造特征分析, 厘定构造演化阶段, 梳理川东高陡断褶带构造叠加改造过程, 探讨其构造成因, 用以研究区下一步油气勘探评价和选区工作。

1 区域地质概况

川东高陡断褶带西以华蓥山断裂为界与川中隆起相邻, 东至川鄂边境的齐岳山断裂带, 由一系列弧形山脉组成, 区域构造线主体走向 NNE, 向北转变为 NEE 并收敛(图 1)。山体是以二叠系—三叠系为核心的背斜, 两翼极不对称, 一般缓翼地层倾角 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 陡翼地层倾角 $40^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 或地层直立倒转, 山脉之间宽广的谷地是侏罗系组成的向斜(图 1),

构造上和地貌上都呈现典型的隔挡式。

四川盆地经历了早古生代克拉通拗陷、晚古生代克拉通裂陷、中生代前陆拗陷几个演化阶段。后经喜马拉雅期强烈的压扭性断褶活动改造而形成现在的构造格局。期间川东地区沉积厚逾万米的海相和陆相沉积盖层, 受纵向上发育的 2 套主要膏盐滑脱层(寒武系、雷口坡组—嘉陵江组)及 1 套次要泥页岩滑脱层(志留系)影响, 川东地区纵向上构造形成、演化具有差异性, 构造形态截然不同。因此, 多期构造活动复合叠加, 多套滑脱层联合影响, 形成川东复杂的复背斜与复向斜相间排列的隔挡式褶皱面貌。

2 构造特征

研究区在中生代以来经历了多期变形, 构造形成机制复杂, 地表与地下构造不一致。研究区存在的多套滑脱层控制川东构造带变形, 不同形变层构造形态不一致。

2.1 滑脱层与构造形变分层特征

构造作用过程中, 由于塑性岩层的滑脱作用, 往往会造成滑脱层上下岩层发生差异的构造变形。川东发育雷口坡—嘉陵江组膏盐层和寒武系膏盐层等 2 个主要滑脱层。

注: 本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号 2011CB403007)资助成果。

收稿日期: 2015-07-06; 改回日期: 2015-08-21; 责任编辑: 周健。

作者简介: 邹玉涛, 男, 1986 年生。硕士, 助理工程师, 石油地质学专业。Email: zouyt21@163.com。

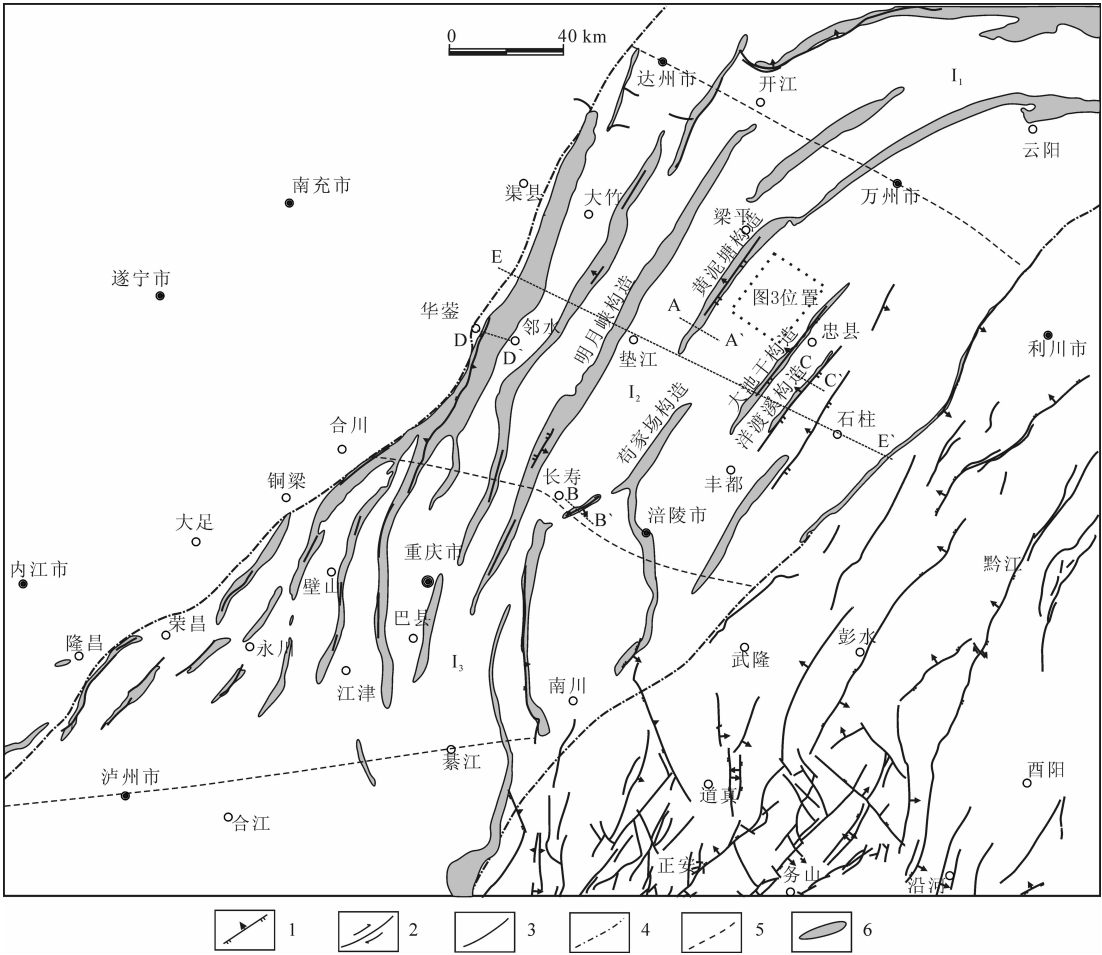


图 1 川东构造分区图

Fig. 1 The tectonic of high and steep fault folding belt in east Sichuan

1—逆断层;2—滑动断层;3—断裂(性质不明);4—基底断裂;5—构造分区线;6—地表背斜;
I—川东弧形褶皱带;I₁—东北部收敛褶皱带;I₂—东部高陡断褶带;I₃—东南部低缓褶皱带

1—Revers fault;2—strike-slip fault;3—fault(unknown nature);4—basement fault;5—partition line of structure;6—surface anticline; I—arc fold belt in east Sichuan; I₁—convergent fold belt in northeast; I₂—high and steep fault folding belt in eastern; I₃—low fold belt in southeast

(1)主要滑脱层特征:早寒武世末—中寒武世的一段时期内中上扬子出现干旱气候,产生了较多的膏盐岩,研究区主体属于盐湖-局限台地相,位于膏岩湖最内层,膏盐岩累计厚度大、单层厚度大。在研究区变形演化过程中主要作为底板滑脱层控制上覆盖层挤压变形,寒武系膏盐层在主体构造深部塑性流动加厚,盐下构造挤压变形相对较弱。四川盆地早、中三叠世蒸发岩极为发育(李辛子等,2013),早三叠世嘉陵江组沉积时期,四川盆地东部地区由开阔海台地演化到局限以至咸化的局限-蒸发台地(张奇等,2009),受印支期抬升剥蚀,雷口坡组—嘉陵江组膏盐层局部地区保存不完整。在研究区变形演化过程中主要作为顶板滑脱层协调和控制研究区构造变形,盐下多发于挤压断层及其相关褶皱组合,盐上多发育挤压性质的紧闭或倒转的断层相关褶皱,是

下伏层系的直接盖层。雷口坡组—嘉陵江组膏盐层在主体构造两翼塑性流动加厚。

(2)构造形变分层:川东过黄泥塘构造南东向地震解释剖面显示两套膏岩滑脱层分隔的地层有着明显的差异构造变形,且变形时期有所差异,划分上、中、下 3 个构造形变层(图 2,位置为图 1 中 A—A')。由于构造的分层性,各构造层在构造样式、褶皱类型等均存在一定的差异。上部构造层侏罗系—中三叠统雷口坡组褶皱变形,向斜区地层平缓,局部发育较小规模断裂。高陡构造带地层高陡,地层倾角大于 40°,甚至直立倒转,背斜核部剥蚀较为严重;中部构造层下三叠统嘉陵江组—寒武系构造复杂,断层极为发育,志留系发育厚层泥页岩作为次级滑脱层,不同时期断层发育具有明显的分层性。下部构造层寒武系以下地层变形相对较弱,构造相对

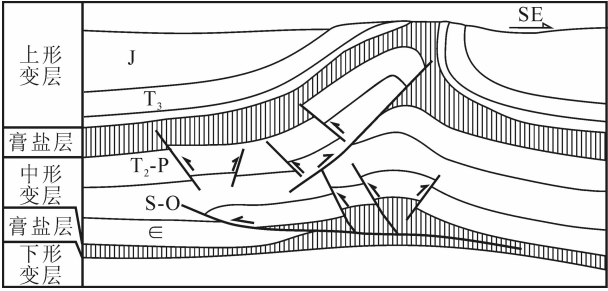


图 2 川东构造形变层划分图

Fig. 2 Division of tectonic deformation layer in east Sichuan

平缓。

2.2 断裂特征

川东地区受多块体相互作用(徐政语等,2004),南北构造不一致,同时研究区断裂发育具有分层性、分期性和继承性的特点,本次以川东断褶带中段为研究重点,研究区发育三组断裂体系,多期变形使不同构造层断裂走向具有差异性,晚期挤压变形使早期断裂继承性活动,断裂早期形态有所改变。

(1)北东向挤压逆断裂:北东向挤压逆断裂主要分布在高陡构造翼部,发育于中形变层,断裂向上断至雷口坡组—嘉陵江组膏盐层,向下断至志留系泥页岩层或寒武系膏盐层,形成于燕山期,主断裂整体向 NNW 向逆冲,受晚期挤压作用影响较小。

(2)北北东向挤压逆断裂:北北东向挤压逆断裂是川东高陡断褶带主体断裂,整体定型于喜马拉雅期。但可分为晚期新生断裂和晚期继承性改造型断裂。新生断裂形成于喜马拉雅期,断裂向上断至地表,向下消失于志留系泥页岩层,多表现为自 NW 向 SE 逆冲,纵向上切割早期断裂,在现今高陡构造主体高部位较为常见(黄泥塘高陡构造、大池干高陡构造);也有形成于晚燕山期,断裂向上断至雷口坡组—嘉陵江组膏盐层,向下断至志留系泥页岩层或寒武系膏盐层;晚期继承性改造型断裂主要是早期断裂(印支期或燕山期),受喜马拉雅期挤压作用,断裂继承性活动,但大部分断裂消失于雷口坡组—嘉陵江组膏盐层,挤压应力被膏盐层吸收,断裂前锋消失区域膏盐层塑性变形较强,此类断裂一直控制构造形态,受喜马拉雅期挤压作用改造定型(明月峡构造)。

(3)北西向挤压逆断裂:北西向逆断裂主要分布在向斜区(图 3),发育于上形变层,断裂断距及延伸较小,断裂向下消失于雷口坡组—嘉陵江组膏盐层,向上断至下侏罗统凉高山组顶部,凉高山组上覆沙溪庙组未受断裂影响,推测断裂形成于中侏罗统沉

积前。李鹏远等(2010)通过变形年代学研究认为北大巴构造带在燕山期进一步逆冲扩展和强烈隆升,表明研究区北西向断裂可能形成于燕山期。

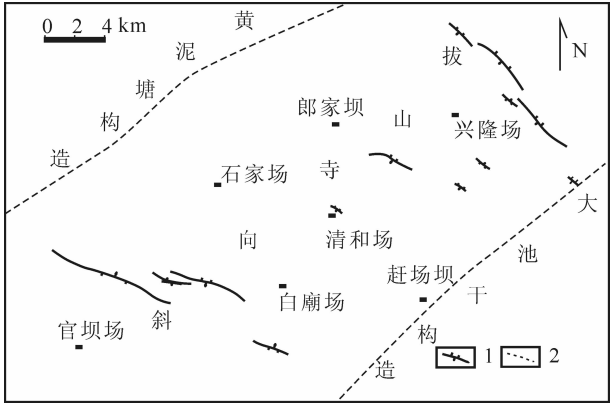


图 3 拔山寺向斜兴隆场地区下侏罗统断裂体系(位置见图 1)

Fig. 3 The lower Jurassic fault system of Bashansi syncline in Xinlongchang (location in fig. 1)

1—逆断层;2—构造带划分线

1—Revers fault;2—division line of structure belt

2.3 构造样式特征

川东高陡断褶带主要发育 7 种构造样式:断展褶皱、断弯褶皱、断滑褶皱、叠瓦冲断褶皱、三角带构造、冲起构造、双重构造等局部构造变形样式。

(1)断展褶皱:当冲断岩席从下滑脱面沿断坡向上爬升时,逆冲断层的滑距逐渐减小,并最终消失于上覆地层内,断层的缩短量被上覆地层通过褶皱作用而吸收,在断层上方发育断展褶皱。如中梁山背斜、沥鼻峡背斜、黄泥塘构造核部(图 4),主断裂向上消失在三叠系膏盐层中,浅部三叠系—侏罗系褶皱作用强烈,背斜倒转,核部地层剥蚀严重。

(2)叠瓦冲断褶皱:叠瓦冲断褶皱,表现为一组

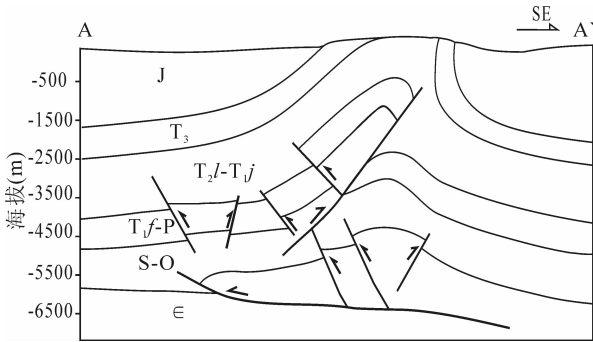


图 4 黄泥塘背斜南部地震地质解释剖面 (A—A'位置见图 1)

Fig. 4 Cross-section for seismo-geologic interpretation in south Huangnitang anticline (A—A' location in fig. 1)

倒向同一方向的逆冲断层具有共同的底板断层,随着挤压应力增强,在先存断层前端产生更低缓的前展断层(前展式叠瓦)或在主断层上发育次级角度较高陡的冲断层(后展式叠瓦),冲断层之间的地层发生褶皱。在研究区寒武系—志留系之间较为常见,如黄泥塘中形变层下部(图 4),寒武系膏盐层塑性滑动形成底板断层,在底板断层前端产生更低缓的前展断层,断至志留系泥页岩层。

(3)断弯褶皱:当冲断岩席沿断坡从下滑脱面爬升到上滑脱面时,在断坡上方形成断弯褶皱,主要发育于中带或者锋带。这类构造在区内石炭系—三叠系断层中相对发育,典型的构造包括茶园坪构造、黄草峡构造、龙驹坝上部等,其中黄草峡构造断坡发育在志留系—三叠系,地层褶皱变形(图 5)。

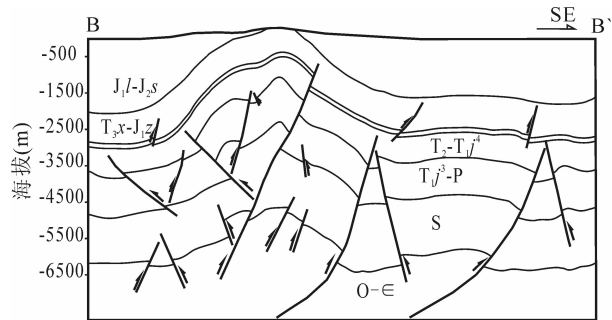


图 5 黄草峡背斜地震地质解释剖面(B—B'位置见图 1)
Fig. 5 Cross-section for seismo-geologic interpretation in Huangcaoxia anticline (B—B' location in fig. 1)

(4)断滑褶皱:滑脱背斜是发育于平行于层面的滑脱面或逆冲断层之上的褶皱,控制滑脱褶皱的逆冲断层只有断坪而无断坡,卷入变形地层仅涉及塑性的下寒武统。

(5)三角带构造:三角带构造主要由两组相反方向逆冲断层围限而成的构造组合,多发育于两组逆冲—褶皱组合锋带交汇处。研究区黄草峡高陡背斜两翼潜伏构造带之间断穿中形变层的逆冲—褶皱组合围限而形成的断凹向斜带(图 5)。

(6)冲起构造:在逆冲作用中,反冲断层与同时形成的逆冲断层围限部位,因强烈挤压而上冲,形成变形强烈的隆起构造,即为冲起构造,较为典型的是洋渡溪构造(图 6)和苟家场主体构造中段。

(7)双重构造:双重构造由多个断坡背斜的垂向叠置,当多个独立的断坡背斜呈前展式向前陆方向运动时,相邻的断坡背斜彼此逐渐靠近,最终叠置在一起,形成双重构造,主要发育在鄂西渝东和华蓥山(图 7)等强变形区域。

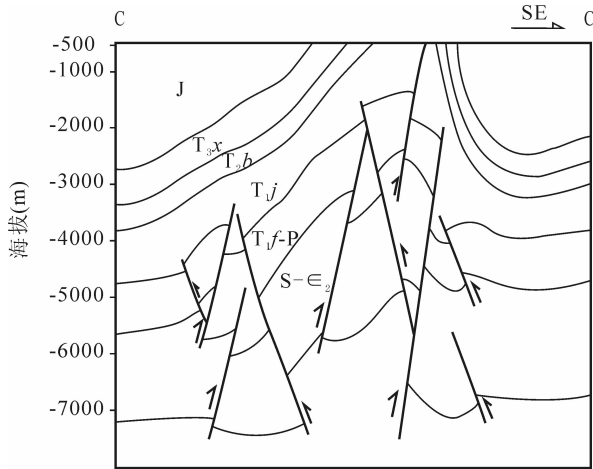


图 6 洋渡溪背斜地震地质解释剖面(C—C'位置见图 1)
Fig. 6 Cross-section for seismo-geologic interpretation in Yangduxi anticline (C—C' location in fig. 1)

3 构造演化

加里东期—海西期,川东处于拉张构造动力学环境。形成了一系列与正断层有关的断层相关褶皱类型(滚动背斜、拖曳向斜),它们在平面上组合形成相对平缓的、位于水面以下的隔槽式褶皱组合样式(李忠权等,2002)。早期断至基底深大断裂的发育,为晚期挤压构造沿构造薄弱带发育定型形成现今隔挡式组合奠定了基础(图 8)。

自中三叠世末华北与华南两大板块沿着秦岭发生碰撞以来,川东地区及鄂西渝东开始进入压性构造环境,这一地区从此受到来自东南方向雪峰—江南古陆、北东方向大巴山和北部米仓山和西部龙门山的持续挤压。该地区主要经历了褶皱雏形阶段、褶皱活跃阶段以及晚期褶皱改造定型阶段。

印支期褶皱雏形阶段:印支期扬子板块北缘与华北板块沿着勉略缝合带发生碰撞,晚三叠世在盆地的西部和北部发生自北而南向扬子前陆不断推进的逆冲推覆山链,从而使四川盆地接受须家河组沉积,进入了前陆盆地的演化阶段。川东地区主要为 SE—NW 向挤压,受早期深大断裂控制,上部沉积盖层褶皱变形,形成 NE 向构造,形成川东挤压褶皱雏形。

燕山期褶皱活跃阶段:华南板块内部发生了大规模的由 SE 向 NW 的推覆作用,从雪峰—江南古陆地区经湘西北至川东,冲断作用的强度逐渐减低。从 SE 到 NW 方向,沿沅麻盆地、湘西北、川东和川中 4 个地区中新生的地层对比也可发现,地层间角度不整合的数量向 NW 方向逐渐减少,层位变新(丘元禧等,1998),也印证了变形作用由 SE 向 NW

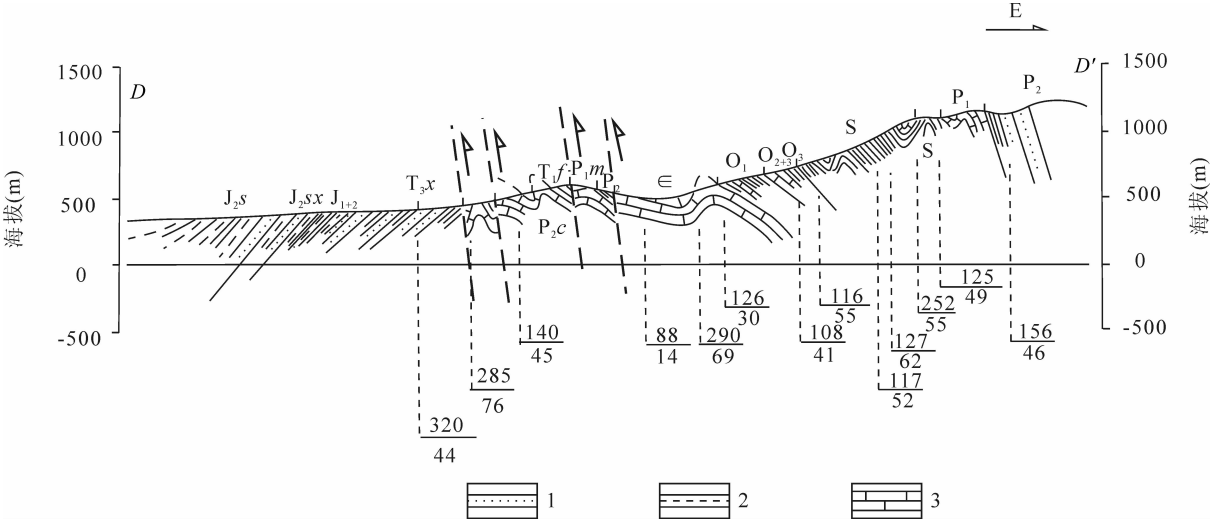


图 7 庆华镇地质构造实测剖面(D—D'位置见图 1)
Fig. 7 The measured profile of geological structure in Qinghua town (D—D' location in fig. 1)
1—砂岩;2—泥岩;3—灰岩
1—Sandstone; 2—mudstone; 3—limestone

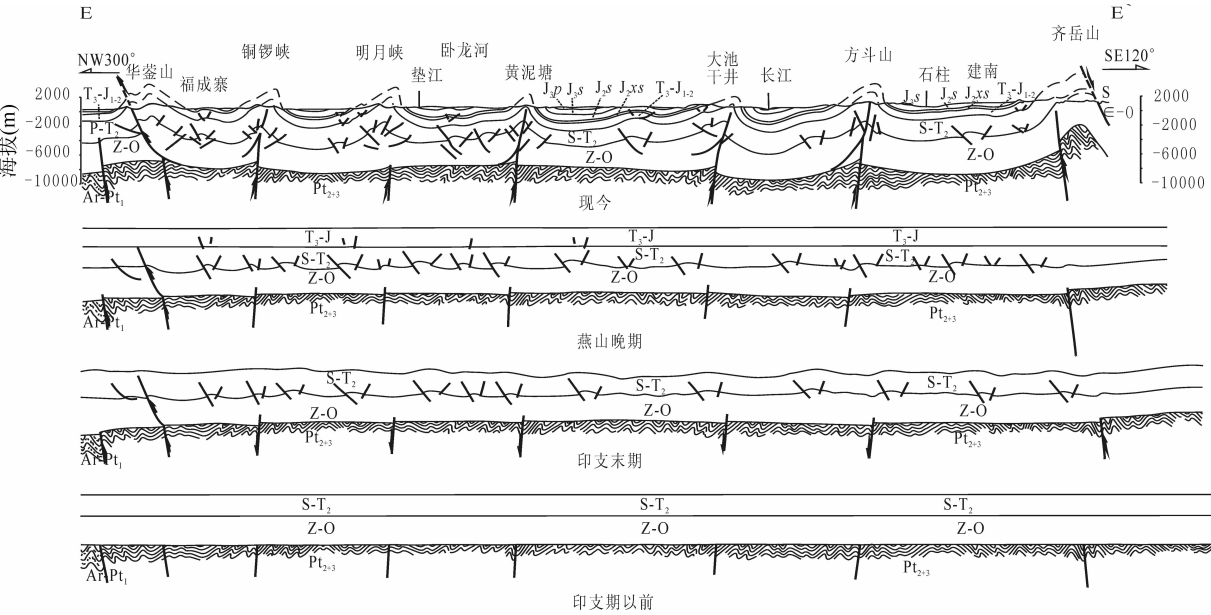


图 8 川东华莹山—齐岳山构造演化图(E—E'位置见图 1)
Fig. 8 The tectonic evolution of Huayingshan-Qiyueshan in east Sichuan (E—E' location in fig. 1)

扩展这一规律。川东地区 NE 向构造发育较多,是川东排状隔挡式构造主要形成时期。同时受北侧的大巴山地区逆冲推覆作用,局部发育 NW 向构造。

喜马拉雅期褶皱改造定型期:受太平洋板块俯冲及印度板块向欧亚板块碰撞挤入双重影响,川东地区整体受 NW-SE 向挤压应力,且有扭动活动,挤压改造形成轴向 NNE 的隔挡式褶皱,在雪峰西缘(都匀—三都一带)白垩系和第三系均卷入褶皱和逆冲作用(丘元禧等,1998)。该期构造活动不但有新构造的发育,且对早期形成的构造起到了改造作用,

使得构造形态隆起的幅度增大(图 8)。

4 成因机制

加里东期—海西期基底断裂发育,为川东断褶皱“隔挡式”构造的形成奠定了基础,印支期—燕山期,由于受江南-雪峰陆内造山作用影响,体现为自盆缘山前向盆地内部发育系列递进扩展逆冲推覆的薄皮构造,挤压应力集中于先存基底断裂构造薄弱带变形释放,发育主体向 NNW 逆冲走向 NE 向断裂,这一时期研究区受北部大巴山逆冲推覆作用局

部发育小规模 NW 走向逆断裂;喜马拉雅期受印度次大陆以及太平洋板块向欧亚大陆碰撞俯冲作用影响,研究区发育自 NW 向 SE 方向逆冲断裂纵向切割早期断裂,构造线走向呈现 NNE 向。研究区构造具体变形过程中不同层次褶皱形态、幅度等存在着差异,表明滑脱层在川东构造带变形中起重要的控制作用(解国爱等,2013)。川东地区多期挤压构造继承性发育,挤压应力一方面由两套膏盐层塑性变形吸收,中形变层在向斜区发育潜伏挤压构造,有断裂发育,而上形变层断裂发育较少,基本不发育大规模断裂,形成宽缓的向斜区;另一方面由高陡断褶带断褶作用所释放,断褶带背斜形态由早起宽缓褶皱逐渐演化形成两翼高角度或倒转褶皱,局部高陡带背斜核部被喜马位雅期形成的断裂破坏,上盘地层高角度冲起,褶皱形态严重破坏,整体背斜区形成演化是逐渐收缩变窄的过程,最终形成现今隔挡式构造格局。

5 结论

(1)四川盆地经历了早古生代克拉通拗陷、晚古生代克拉通裂陷、中生代前陆拗陷几个演化阶段,川东断褶带隶属四川盆地次级单元,其构造演化主要经历了 4 个阶段:印支期以前弱褶皱阶段、印支期褶皱雏形阶段、燕山期褶皱活跃阶段、喜马拉雅期褶皱定型阶段。

(2)川东断褶带受早期基底断裂控制,晚期多期次挤压构造活动复合叠加,多套滑脱层联合影响,形成川东复杂的复背斜与复向斜相间排列的隔挡式褶皱面貌。主要发育断展褶皱、断弯褶皱、断滑褶皱、双重构造、叠瓦冲断褶皱、冲起构造、双重构造等构造变形样式。

(3)两套膏盐滑脱层将研究区纵向分隔为上、中、下 3 套构造层,各构造层在构造样式、褶皱类型等均存在一定的差异。膏盐层在主体构造两翼塑性流动加厚,这对盐类矿床的勘探开发具有重要价值。中形变层断裂较为发育,多形成于印支期—燕山期,部分断裂在喜马拉雅期继承性活动定型。向斜区与高陡断褶带两翼潜伏构造形成时间早,晚期改造强度弱;高陡断褶带核部高陡构造持续活动,构造幅度

大,且构造改造成型时期晚,核部地层剥蚀严重,两翼潜伏构造保存条件明显优于高陡构造带核部

致谢:衷心感谢评审专家的审查并提出的宝贵中肯修改意见,使论文的质量得到了很大的提高。

参 考 文 献

- 丁道桂,刘光祥,吕俊祥,潘文蕾.2007.扬子板块海相中古生界盆地的递进变形改造.地质通报,26(9):1178~1188.
- 冯向阳,孟宪刚,邵兆刚,王建平,朱大岗.2003.华南及邻区有序变形及其动力学初探.地球学报,24(2):115~120.
- 胡召齐,朱光,刘国生,张必龙.2009.川东侏罗山式褶皱带形成时代不整合面的证据.地质论评,55(1):32~42.
- 郭正吾,邓康龄,韩永辉,等.1996.四川盆地形成与演化.北京:地质出版社,48~162.
- 李本亮,孙岩,陈伟.1998.川东层滑系统及其油气地质意义.石油与天然气地质,19(3):244~261.
- 李鹏远,张进江,郭磊,杨雄英.2010.北大巴山逆冲推覆构造带前缘构造特征及变形年代学研究.地学前缘,17(3):191~199.
- 李辛子,刘彬,武晓玲,刘国萍,冯琼,付孝悦.2013.通南巴地区膏盐层分布及其流变学特征.石油与天然气地质,34(4):533~539.
- 李忠权,冉隆辉,陈更生,路中侃,段新国.2002.川东高陡构造成因地质模式与含气性分析.成都理工学院学报,29(6):605~609.
- 吕宝凤,夏斌.2005.川东南“隔挡式构造”的重新认识.天然气地球科学,16(3):278~282.
- 梅廉夫,刘昭茜,汤济广,沈传波,凡元芳.2010.湘鄂西—川东中生代陆内递进扩展变形:来自裂变径迹和平衡剖面的证据.地球科学—中国地质大学学报,35(2):161~174.
- 丘元禧,张渝昌,马文璞.1998.雪峰山陆内造山带的构造特征与演化.高校地质学报,4(4):432~443.
- 解国爱,贾东,张庆龙,吴晓俊,沈礼,吕珊,邹旭.2013.川东侏罗山式褶皱构造带的物理模拟研究.地质学报,87(6):773~788.
- 徐汀滢,季建清,涂继耀,刘志成.2012.川东褶皱带构造发育深度层次与变形样式.地质科学,47(3):788~807.
- 徐政语,林舸.2001.中扬子地区显生宙构造演化及其对油气系统的影响.大地构造与成矿学,25(1):1~8.
- 徐政语,李大成,卢文忠,林舸,刘池阳.2004.渝东构造样式分析与成因解析.大地构造与成矿学,28(1):15~22.
- 张奇,徐亮,金小林,王坛.2009.川东地区嘉陵江组四段膏盐岩分布的沉积环境分析.盐湖研究,17(4):1~5.
- Yan D P, Zhou M F, Song H L, Wang X W, John M. 2003. Origin and tectonic significance of Mesozoic, thin-skinned to thick-skinned multi-layer over-thrust system within the Yangtze Block South China. Tectonophysics, 361:239~254.

Tectonic Characteristics and Evolution of the High and Steep Fault Folding Belt in East Sichuan

ZOU Yutao¹⁾, DUAN Jinbao¹⁾, ZHAO Yanjun²⁾, ZHANG Xin¹⁾, LI Rangbin¹⁾

1) *Research Institute of Exploration Company, SINOPEC, Chengdu, 610041;*
2) *MRL Key Laboratory Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

Abstract

On the basis of the seismic data and geological information, we analyzed the tectonic characteristics, evolution and formation mechanism of high and steep structures in eastern Sichuan. The high and steep fault folding belt experienced the dynamic environment change from extension to compression, and is divided into four tectonic evolution stages: the formation of incompetent folding (The Indosinian before), the formation of embryonic folding (The Indosinian period), the formation of active folding (The Yanshanian period), the formation of fold forming (The Himalayan period). The present tectonic framework of high and steep fault folding belt in eastern Sichuan is controlled by pre-existing structures, and multiple stages of compression tectonic superimposition, finally resulted in the formation of high and steep fault folding belt with is ejective structure. Influenced by two sets of gypsum-salt detachment layer and one set of shale detachment layer, the high and steep fault folding belt in eastern Sichuan can be divided into three tectonic deformation layers. During the multiple stages of extrusion stress, each structural layer shows various structures evolution due to the differences in the longitudinal formation and evolution. There is some guiding significance to the further study on the control of the multi-phase tectonic superimposition on the salt deposits and the oil and gas preservation.

Key words: high and steep fault folding belt; East Sichuan; structural pattern; tectonic evolution