

渝东大焦石坝地区差异构造变形

唐秀松^{1,2}, 陈孔全¹, 罗顺社¹, 汤济广², 张水山³, 刘其军³

[1. 长江大学 非常规油气湖北省协同创新中心, 湖北 武汉 430100; 2. 长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430100;
3. 中国石化 江汉油田分公司物探研究院, 湖北 武汉 430035]

摘要: 在地震资料的基础上, 结合区域地质资料, 对大焦石坝地区进行分层、分带和分期差异构造变形特征研究, 总结了南、北段的差异变形规律, 并探讨了南北向乌江断裂构造变形带和大耳山断裂构造变形带的成因机制。结果表明, 大焦石坝地区纵向上发育4套构造变形层, 平面上由东到西分为冲断褶皱带、逆冲-滑脱褶皱带和滑脱褶皱带, 燕山期以来先后遭受南东-北西向、近东西向和北东-南西向3期挤压应力作用。大焦石坝地区为逆冲推覆构造的前锋带, 主滑脱层由前寒武系向寒武系转变, 自东向西发生前展式递进变形, 同时由于齐岳山断层分段性及前寒武系基底滑脱断层的结构差异, 导致了近南北向大耳山和乌江断裂构造变形带的形成, 使北段、中段和南段自东向西分别表现出冲断作用—压扭作用—断滑作用—滑脱作用、冲断作用—压扭作用—断展作用—滑脱作用和冲断作用—断弯作用—断展作用—滑脱作用的变形规律。

关键词: 前展式递进变形; 差异构造变形; 褶皱带; 大焦石坝地区

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

Differential structural deformation of the Dajiaoshiba area, East Chongqing

Tuo Xiusong^{1,2}, Chen Kongquan¹, Luo Shunshe¹, Tang Jiguang², Zhang Shuishan³, Liu Qijun³

(1. Hubei Cooperative Innovation Center of Unconventional Oil and Gas, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China;

2. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China;

3. Geophysical Prospecting Research Institute of Jiangnan Oilfield Branch Company, SINOPEC, Wuhan, Hubei 430035, China)

Abstract: The structural deformation characteristics of different layers, zones and stages at the Dajiaoshiba area were analyzed based on seismic and regional geological data. Thereafter, we summarized the differential deformation patterns of the north and south sections, and discussed the mechanism for the formation of the S-N oriented Wujiang and Daershan structural fault deformation zones. The results show that four sets of structural deformation layers occur vertically in the Dajiaoshiba area, while horizontally it can be divided into thrust-fold belt, thrust-decollement fold belt and decollement-fold belt from east to west, which have undergone SE-NW-trending, nearly WE-trending and NE-SW-trending compressive stress since the Yanshan Movement. The studied area represents the front belt of the thrust nappe structure, and the major decollement formation shifts from the Precambrian to the Cambrian, which has gone through the piggy-back progressive deformation from east to west. Due to the segmentation of the Qiyueshan fault and the structural difference of the Precambrian basement decollement fault, the composition of east to west deformation zones changes along the trend of the nearly SN-trending Daershan and Wujiang structures, with a deformation pattern of thrusting—compressive-shearing—fault-detaching—decollement in the northern section, thrusting—compressive-shearing—fault-propagation—decollement in the middle section and thrusting—fault-bending—fault-propagation—decollement in the southern section, respectively.

Key words: piggy-back progressive deformation, differential structural deformation, fold belt, Dajiaoshiba area

当前,页岩气已成为全球油气资源勘探开发的新热点,其中川东地区广泛发育的下志留统龙马溪组是

中国页岩气勘探开发最重要的目的层位之一,具有良好的勘探前景。随着涪陵焦石坝页岩气田勘探开发取

收稿日期:2018-09-06;修订日期:2019-05-27。

第一作者简介:唐秀松(1992—),男,博士研究生,矿产普查与勘探。E-mail:2766052886@qq.com。

通讯作者简介:陈孔全(1961—),男,教授,非常规油气。E-mail:30760410@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项(2017ZX05035001);中国石化科技部项目(P16042, P18057)。

得重大进展,中国学者先后对其沉积相、储集层、保存条件、富集因素等方面开展了大量针对性研究,认为页岩品质在平面上分布稳定,不同区块之间页岩气产量差异取决于其保存条件,主要受构造变形差异性的影响^[1-5]。而前期构造变形特征研究主要着眼于局部焦石坝背斜^[6-7],忽略了其在区域构造上的特殊性,缺乏与周缘关系研究。为揭示涪陵及其周缘的大焦石坝地区差异构造变形特征,本文以地震资料为基础,结合区域构造资料,依据断层相关褶皱理论^[8],对其构造特征进行分析,总结了其差异变形规律,并进一步讨论了区内近南北向大耳山和乌江断裂构造变形带的成因机制,为下一步页岩气勘探评价和选区工作提供参考。

1 地质概况

大焦石坝地区位于湘鄂西隔槽式褶皱向川东隔挡式褶皱过渡区,同时也是川东高陡褶皱带与川东南帚状构造带的转换带,其东部为万县复向斜与方斗山背斜、齐岳山背斜交汇处,南部被金佛山构造所限制。受

江南雪峰造山带的陆内控制作用,从湘鄂西到川东构造具有从南东向北西逐步递进扩展的发育过程,区内发育多层次滑脱构造,构造变形具有明显的南东向早北西向晚、南东强北西弱特征^[9-11]。

根据钻井揭示,大焦石坝地区地层发育较全,沉积基底为前震旦系板溪群浅变质岩,其上覆盖除缺失泥盆系、石炭系外震旦纪至侏罗纪地层,其中上二叠统龙潭组与下二叠统茅口组、石炭系黄龙组与上覆二叠系梁山组及下伏志留系韩家店组均为平行不整合接触。大焦石坝地区内受多期构造应力作用影响^[12-13],主要发育北东向和近南北向两组断层,其中焦石坝背斜核部断裂不发育,近南北向断裂主要发育于乌江断层北段和大耳山断层附近,北西向断层仅分布于乌江断层南段和白马向斜南端。主控断裂—齐岳山断层具有明显的走滑特征,在大焦石坝地区内分为3支,呈右阶左行雁列式分布,其中北段位于方斗山以东,中段与大耳山断层相接,位于白马向斜东侧,南段位于平桥构造东侧,其北端消失于自北向南由北东向转为北西向的石门2号断层之下,向南延伸到南川地区(图1)。

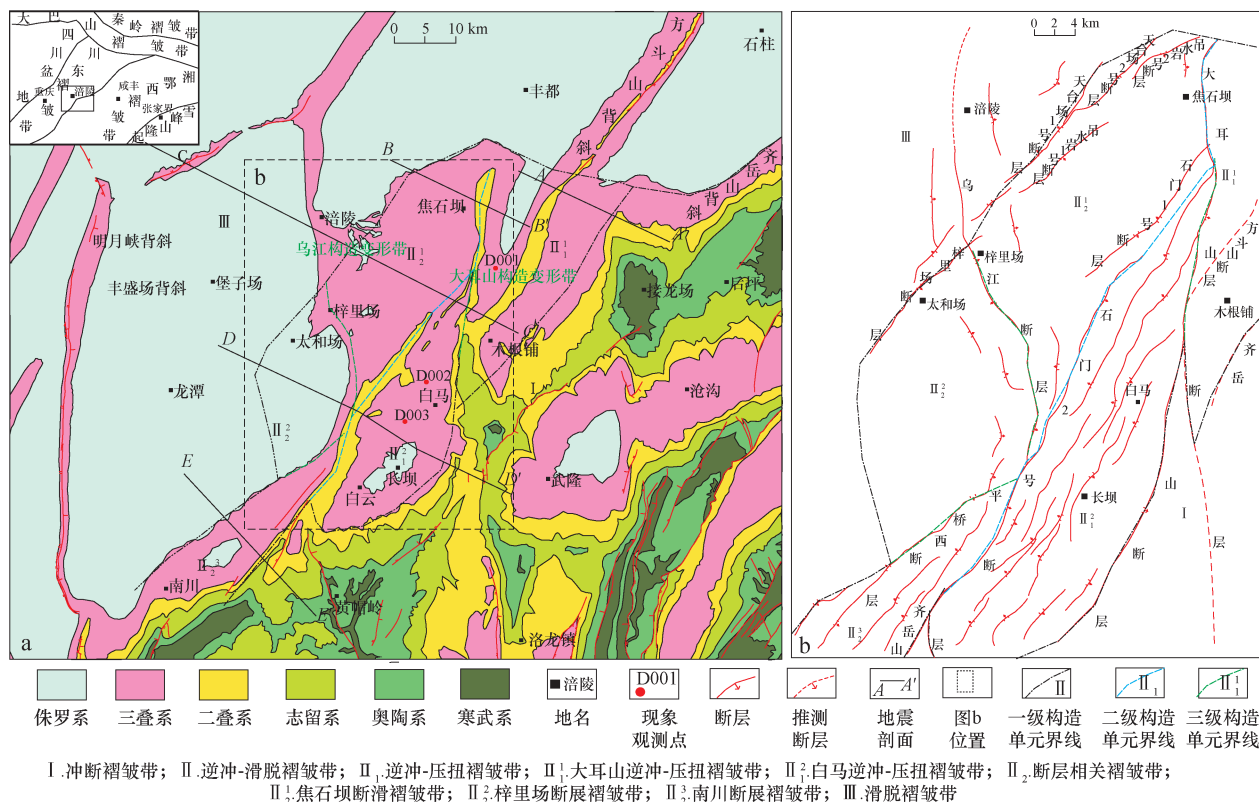


图1 大焦石坝地区地质图及五峰组底界断裂分布

Fig. 1 The geological map and fault distribution in the bottom boundaries of the Wufeng Formation at the Dajiaoshiba area

a. 大焦石坝地区地质图; b. 五峰组底界断裂分布

2 差异构造变形特征

2.1 分层差异变形特征

构造作用过程中,由于塑性岩层的滑脱作用,造成滑脱层上下岩层构造样式、褶皱类型等存在一定的差异。区内分层构造变形主要与前寒武基底滑脱层、中下寒武统膏泥岩、下志留统泥页岩以及三叠系雷口坡组-嘉陵江组膏盐4套区域滑脱层有关,其中前寒武基底滑脱层为中-新元古界板溪群-冷家溪群与中-古元古界之间的岩石密度、物性的转换面^[7,10]。受控于深浅层次四级滑脱层系,大焦石坝地区发生多重滑脱作用,在垂向上表现出明显的构造分异,自下而上分为前寒武系形变层、下形变层、中形变层和上形变层(图2)。

前寒武系形变层从寒武系底部到板溪群-冷家溪群顶面,构造变形强烈,主控断层发生基底滑脱作用,控制了上部盖层的构造变形特征,向西越过齐岳山断层消失于焦石坝-南川背斜底部。

齐岳山以西主要滑脱层由前寒武系转变为寒武系,下形变层发生褶皱作用以及断层相关褶皱作用,主干断层倾向南东,褶皱缓翼常发育反向断裂,断层向上多消失于志留系滑脱层之中,向下消失于寒武系滑脱层中。由于中下寒武统膏盐岩主要分布在川东地区,齐岳山以东地区寒武系滑脱作用微弱。

齐岳山以西中形变层褶皱变形较强烈,除少量断层断穿志留系,大多数断层发育以志留系厚层泥页岩为底界,向上多消失于三叠系滑脱层之中,其翼部断裂发育,且在四川盆地内常发育倾向北西方向轴倾断裂^[14],构造变形与下行变层脱耦。而齐岳山以东地区志留系几乎不起滑脱作用,中形变层与下形变层合为一个形变层。

上形变层由中三叠统雷口坡组以上陆相地层组成的,主要残留于齐岳山以西的向斜内。该形变层变形形态与中形变层基本一致,背斜区地层较陡,向斜区地层平缓,仅发育少量反冲断层。

2.2 分带差异变形特征

根据前陆逆冲推覆构造的构造变形规律,大焦石坝地区位于雪峰逆冲推覆构造西北缘的前锋带,为区域性滑脱层转换带,自东向西区域性滑脱层由前寒武系转换为寒武系,其滑脱层呈阶梯状向上传递位移。根据构造变形方式、断裂与褶皱样式及组合关系,自东向西分为冲断褶皱带、逆冲-滑脱褶皱带和滑脱褶皱带(表1)。

2.2.1 冲断褶皱带

冲断褶皱带位于齐岳山以东,构造变形复杂,主要为以寒武系-志留系为核部的开阔背斜构造和以三叠系、二叠系为核部的紧闭向斜构造,构造形迹以北东向

表1 大焦石坝地区构造分带差异变形特征一览表
Table 1 Characteristics of the differential structural deformation in different segments of the Dajiaoshiba area

一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元	形变层发育	主控滑脱层	构造样式	变形方式	构造形态
冲断褶皱带 I	逆冲-压扭褶皱带 II ₁	大耳山逆冲-压扭褶皱带 II ₁ ¹	前寒武系形变层、中下形变层合并	前寒武系滑脱层	冲断构造、冲起构造	冲断作用	紧闭向斜、宽缓背斜
		白马逆冲-压扭褶皱带 II ₁ ²	前寒武系形变层、中下形变层合并	前寒武系滑脱层	逆冲构造、冲起构造、反冲构造、扭动构造	逆冲-压扭作用	紧闭向斜、较宽缓背斜
		焦石坝断滑褶皱带 II ₂ ¹	前寒武系形变层、下形变层、中形变层	前寒武系滑脱层	断滑褶皱、背冲构造、对冲构造	断滑作用	宽缓背斜、紧闭向斜
	断层相关褶皱带 II ₂	梓里场断展褶皱带 II ₂ ²	前寒武系形变层、下形变层、中形变层	寒武系滑脱层	断展褶皱、反冲构造	断展作用	较紧闭背斜、较宽缓向斜
		南川断展褶皱带 II ₂ ³	前寒武系形变层、下形变层、中形变层	寒武系滑脱层	断展褶皱、对冲构造、背冲构造、冲起构造	断展作用	较紧闭背斜、较紧闭向斜
滑脱褶皱带 III			下形变层、中形变层、上形变层	寒武系滑脱层	反冲构造、冲起构造	滑脱作用	紧闭背斜、宽缓向斜

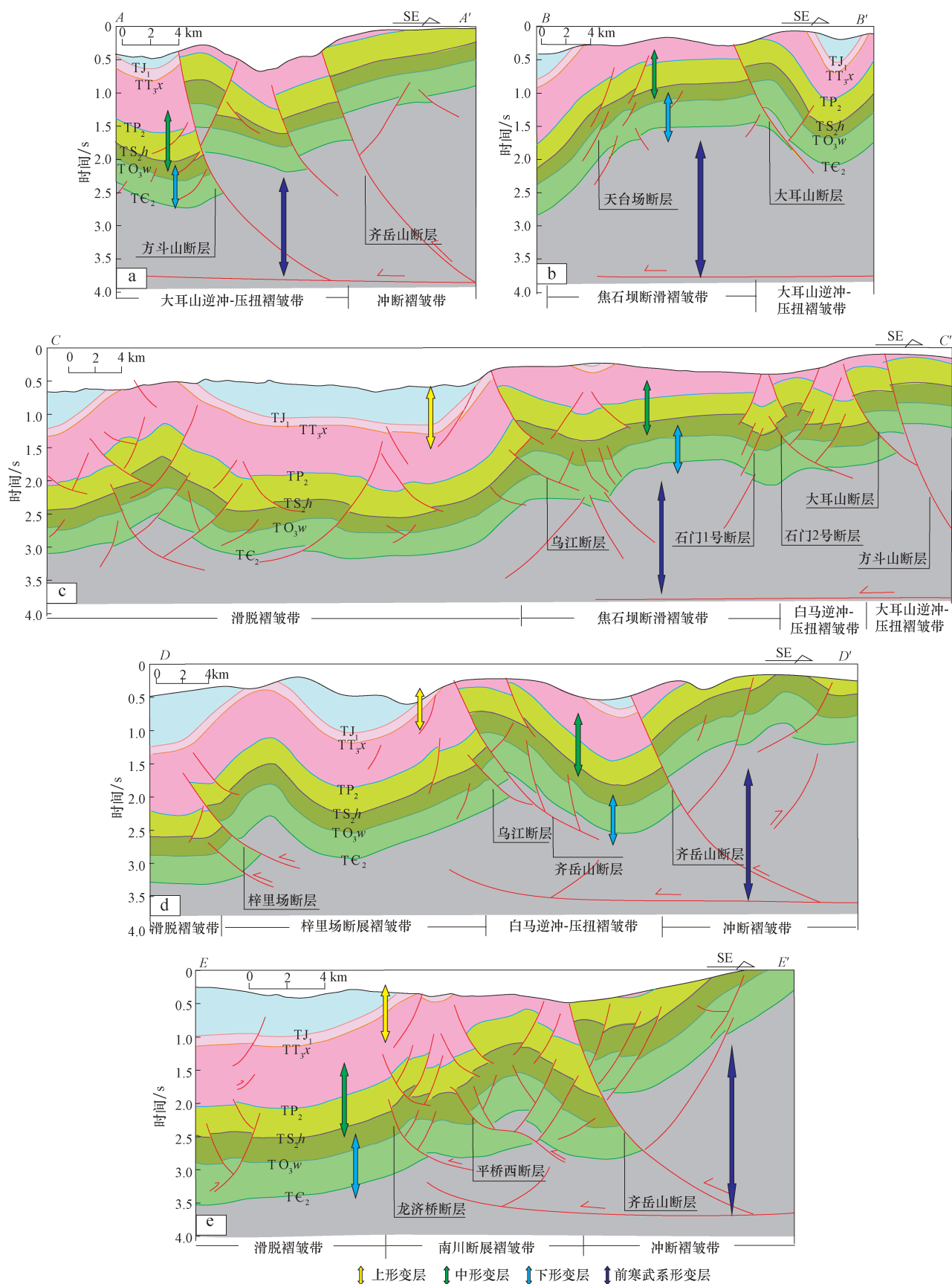


图2 大焦石坝地区地震地质解释剖面(测线位置见图1)

Fig2 The geological interpretation of seismic reflection profiles at the Dajiaoshiba area(see Fig.1 for the location of seismic lines)

a. AA'剖面;b. BB'剖面;c. CC'剖面;d. DD'剖面;e. EE'剖面

为主,可见南北向构造横跨切割或斜接北东向褶皱。地质剖面显示前寒武系变形强烈,发生强烈冲断作用,形成系列断夹块,其中志留系和三叠系不起滑脱作用,下形变层与中形变层合并成一个形变层(图2a)。由于强烈的冲断作用,地层抬升幅度大,上形变层已被剥蚀殆尽,仅在向斜核部出露。

2.2.2 逆冲-滑脱褶皱带

逆冲-滑脱褶皱带内前寒武系滑脱层向西逐渐消亡,前寒武系形变层构造起伏变弱。根据构造变形特征,以石门2号断层和大耳山断层为界又可分为逆冲-压扭褶皱带和断层相关褶皱带。

1) 逆冲-压扭褶皱带

逆冲-压扭褶皱带位于齐岳山断层分段的岩桥区,东侧以齐岳山断层为界,西侧被大耳山断层和石门2号断层分割,具体分为大耳山逆冲-压扭褶皱带和白马逆冲-压扭褶皱带。

大耳山逆冲-压扭褶皱带为石柱向斜与方斗山背斜和齐岳山背斜汇合处,位于焦石坝箱状背斜以东,构造形态为较紧闭背斜夹持紧闭向斜,且向斜向南扬起消失。受齐岳山走滑断层分段和近南北向大耳山断层

的影响,剖面上表现出较强的冲断作用和一定的扭动作用,地表可见近乎直立的走滑破裂带,平缓岩层破碎严重(图3a)。自东向西,冲断作用逐渐减弱,发育冲起构造和反冲构造,其中方斗山断层上盘地层抬升幅度稍低于齐岳山断层上盘,呈台阶状。大耳山断层向下消失于寒武系底部,上盘呈断展褶皱,且与伴生断层形成冲起构造。区内前寒武滑脱层滑脱作用强,寒武系滑脱作用微弱,志留系和三叠系几乎不起滑脱作用,上形变层、中形变层和下形变层可合并为一个形变层。

白马逆冲-压扭褶皱带处于焦石坝箱状背斜以南,石门2号断层与齐岳山断层、大耳山断层之间,南部被金佛山隆起限制。剖面上构造变形表现为沿寒武底滑脱的逆冲作用,并伴随一定的扭动作用,形成较紧闭褶皱和系列断夹块,且自北向南石门2号断层断距逐渐增大,齐岳山断层断距逐渐减小,褶皱带内断层密度逐渐增大,扭动作用逐渐增强,在地表可观察到产状为 $21^{\circ}\angle 82^{\circ}$ 的压扭断层,断面上近乎水平的斜向擦痕和阶步指示该断裂具有左行平移特征(图3b);在龙马溪组层段的岩心上也观察到明显的水平擦痕(图3c),其阶步同样显示出左行滑动特征;同时在褶皱带南部发育左阶雁列式展布断层(图3d)。该褶皱带在北段

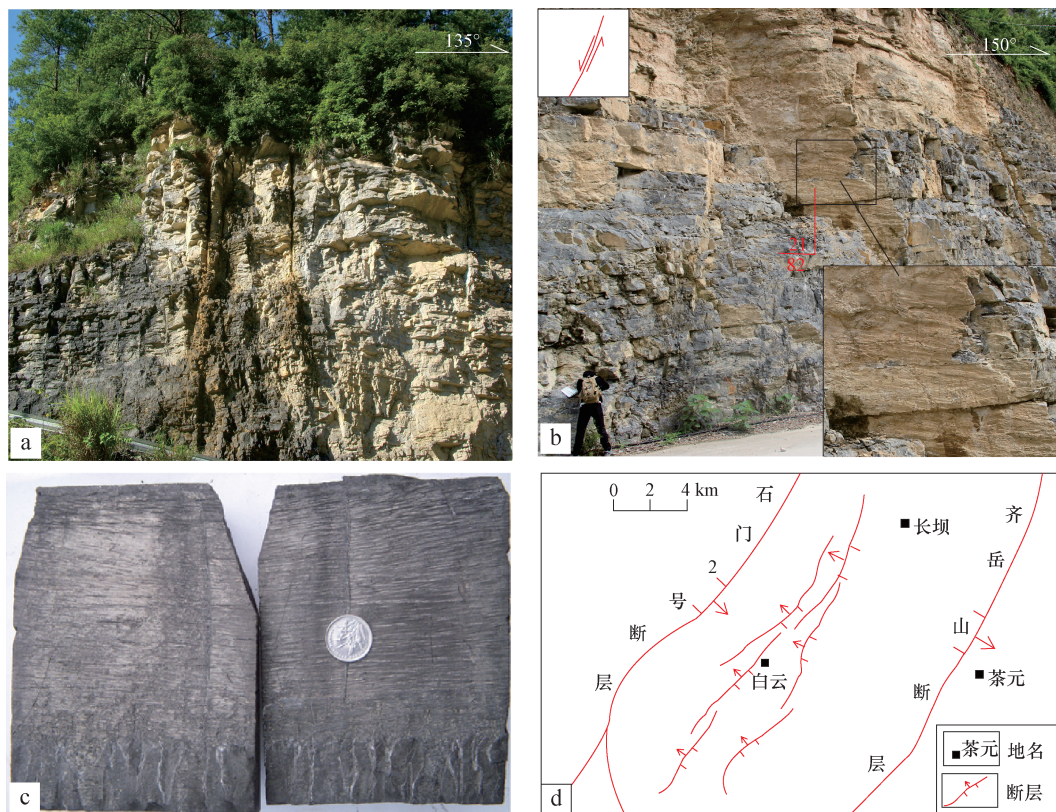


图3 大焦石坝地区发育的走滑构造现象

Fig. 3 The strike-slip structural zones occurring at the Dajiaoshiba area

a. D001 近乎直立的走滑破裂带; b. D002 左行平移断层; c. D003 高角度裂缝及水平擦痕; d. 白马地区左阶雁列式断层

CC剖面上,受基底断层顺层滑脱控制,地层隆升较高,石门2号断层隐冲于二叠系地层内,发育冲起和反冲构造,中形变层断层作用多未直接断开下志留统滑脱层,上形变层被剥蚀殆尽(图2c)。至南段DD剖面,基底断层呈铲形向上逐渐消失,盖层内石门2号断层发生较强的逆冲作用,断层断距增大,底端消失于寒武系底部,上盘形成较紧闭背斜,区内寒武系和志留系滑脱作用较弱,三叠系几乎不起滑脱作用,中、上形变层合并为一个形变层(图2d)。

2) 断层相关褶皱带

断层相关褶皱带中前寒武系滑脱作用减弱,寒武系滑脱作用逐渐增强,构造变形主要受滑脱断层控制,以乌江断层和龙济桥断层为界可细分为焦石坝断滑褶皱带、梓里场断展褶皱带和南川断展褶皱带。

焦石坝断滑褶皱带位于乌江断层以北,石门2号断层与天台场断层之间,前寒武系、寒武系和志留系滑脱层均起滑脱作用,发育明显的“下三层楼构造”,前寒武形变层变形强烈,控制了上部盖层的构造格架,中形变层对下形变层构造特征具有继承性,上形变层剥蚀殆尽。盖层中断层规模较小,仅发生强度较弱的隐冲作用,未突破上下滑脱层,主体构造变形为前寒武基底顺层滑脱断层所形成的箱状褶皱,褶皱形态较完整,背斜核部地层平缓,翼部陡立,在转折部位发育密集的断层(图2b)。在断滑作用过程中,前缘发生反冲,发育西倾的天台场断层,同时箱状背斜东西两侧由于轴面处应力集中,岩石发生破裂,发育相向倾斜的吊水岩断层和石门1号断层,分别形成对冲格局下的向斜构造(图2c)。西南侧构造变形后期受乌江断层改造,上盘发育断展褶皱,与焦石坝背斜以浅凹过渡。

梓里场断展褶皱带位于乌江断层以南,石门2号断层与梓里场断层之间,主体形态为呈北东向展布的紧闭背斜夹开阔向斜。前寒武地层变形较弱,东部由于基底断层呈铲形向上消失的影响,地层褶皱形成较开阔向斜,西侧主控断层—梓里场断层向下切入基底,向上断至三叠系,具典型的坡坪式结构,造成盖层中的断展作用,形成紧闭的梓里场背斜(图2d)。背斜北部变形被乌江断裂构造变形带限制,南端逐渐向下倾伏消失,并使东西两侧向斜连通合并为一个大的开阔向斜(图1a)。区内志留系和三叠系滑脱层滑脱作用较弱,断层密度小,上形变层和中形变层的变形特征受下形变层构造变形控制。

南川断展褶皱带位于龙济桥断层与齐岳山断层之间,构造形态为较紧闭背斜与紧闭向斜相间发育。前寒武系基底断层活动微弱,寒武系和志留系滑脱层作

用较强,具有明显的“下三层楼”构造特征,主控断层沿寒武底呈坡坪式滑脱,形成断弯和断展背斜,且均向北逐渐倾伏消亡(图2e)。中形变层与下形变层构造形态较为一致,断层也未突破上下滑脱层,以对冲、背冲和冲起特征为主。东部上形变层几乎被剥蚀殆尽,西部靠近向斜处部分残留。

2.2.3 滑脱褶皱带

滑脱褶皱带位于逆冲推覆的锋外带,受各滑脱层呈阶梯状向上传递位移作用,主要滑脱层已由前寒武系转为寒武系,发生褶皱作用,构成薄皮构造。构造形态为以侏罗系为核部的开阔向斜夹持以三叠系为核部的紧闭背斜。区内寒武系和志留系滑脱作用强,三叠系滑脱作用较弱,各形变层断层发育复杂,其中下形变层受北西向挤压作用,主干断层倾向南东,而中、上形变层形态较为一致,受自西向东的逆冲作用影响,与下形变层脱耦,主干断层和地表褶皱轴面倾向北西。

2.3 分期差异变形特征

通过精细地质填图,大焦石坝地区内观察到3期褶皱,其中以北东向褶皱为主,轴迹在区域上的总体弯曲形态与江南—雪峰造山带相协调,该期褶皱以齐岳山为界,自东向西褶皱轴面由东倾逐渐转为西倾,反映在受北西向挤压应力场作用进行构造扩展时,华蓥山先存断裂对川东上部变形的阻挡限制作用^[15]。近南北向构造在大焦石坝地区内也较普遍发育,由不对称紧闭褶皱组成,横跨或衔接在北东向的构造上,形成既联合切割又反接或斜接的复合关系,例如近南北向接龙场背斜切割北东向后坪背斜(图4a),近三角状的武隆向斜连接在北东向沧沟向斜的末端(图4b),二者表明北东向构造形成后期叠加发育了近南北向构造。同时,西部近南北向大山场背斜初始隆升时间较晚^[15],其北部同时与北东向黄草峡背斜、北北东向苟家场背斜斜接构成类似“人”型的褶皱(图4c),其成因与南部金佛山菱形构造相似,为在早期北东向和南北向两组基底断裂控制下,由北西向及其派生出的东西向侧压力同时联合作用的结果^[16-17]。北西向构造在大焦石坝地区内发育较少,仅零星可见,主要表现为北西向逆断层和小型褶皱,例如北东向后坪背斜内发育的北西向小型背斜,方斗山背斜、黄草峡背斜两侧小型构造形迹向北西向偏转(图4d)。

褶皱的叠加关系反映了挤压应力场的演化顺序,根据的叠加关系和区域构造背景研究,大焦石坝地区受3期挤压应力场影响。第一期受南东—北西向挤压

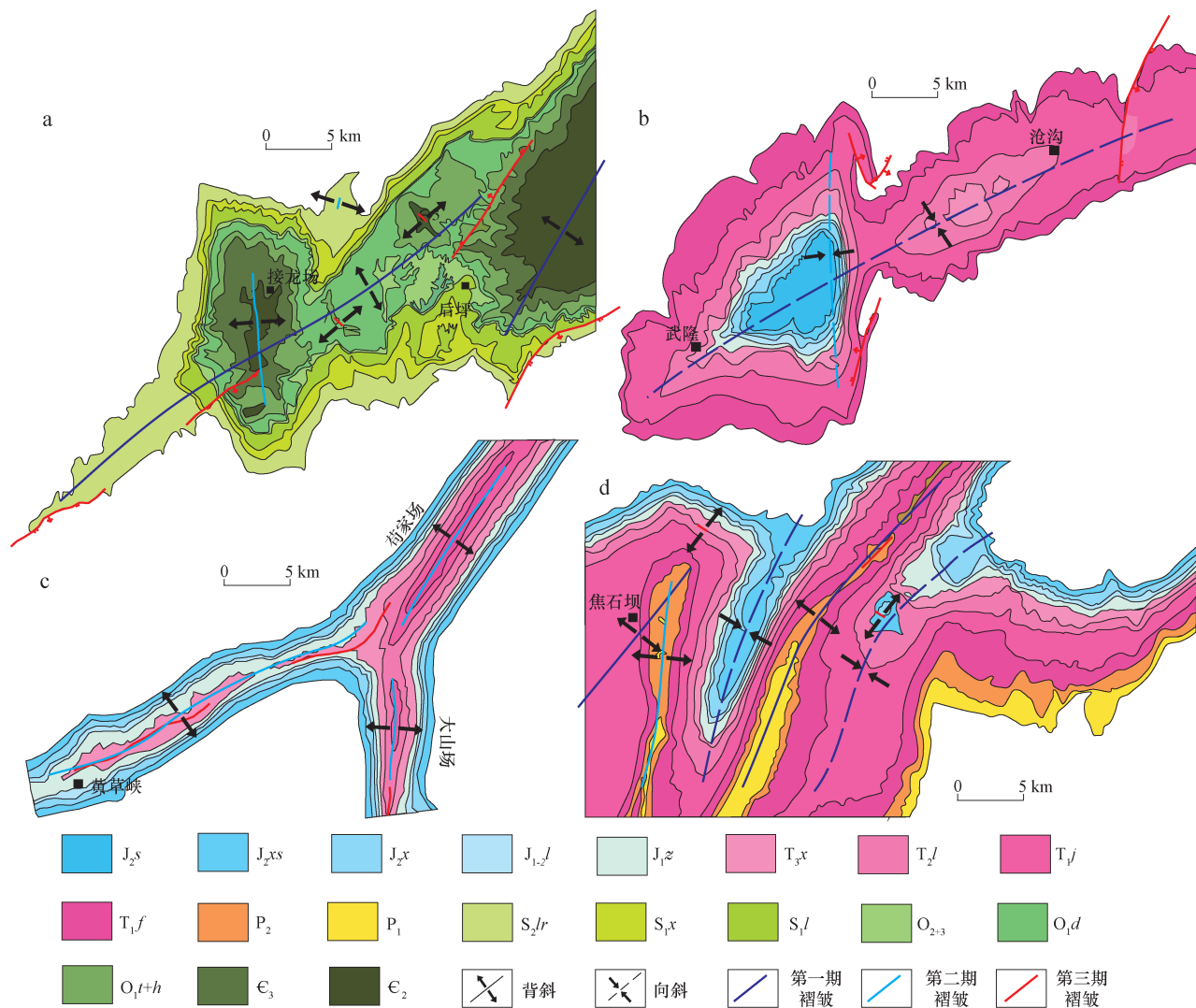


图4 大焦石坝地区三期叠加褶皱实例

Fig. 4 Examples of three-stage superimposed folds at the Dajiaoshiba area

a. 南北向、北西向小背斜叠加在早期北东向背斜上; b. 近三角状的向斜叠加于早期北东向向斜上; c. 近南北向背斜与北东向、北北东向背斜斜接形成“人”型的构造; d. 南北向背斜、北西向小向斜叠加在早期北东向背斜上

应力场形成北东向褶皱,为雪峰陆内造山的北西向推挤作用,持续时间较长,一直到早白垩世末;第二期受近东西向挤压应力场形成近南北向褶皱,推测为受先存近南北向断层的影响而使北西向挤压应力派生出近东西向的挤压作用,发生于早白垩世末—晚白垩世初;第三期受北东—南西向挤压应力场形成北西向褶皱,推测为南大巴山弧形褶皱带形成期的应力场向南传递的结果,形成于晚白垩世初^[12-14]。

3 南北段差异构造变形规律

由于边界齐岳山断层在大焦石坝地区呈现明显的分段性,整体表现出右阶雁列式特征,同时受控于前寒武系基底滑脱断层的结构差异和近南北向断层改造,

导致大焦石坝地区南北段呈现不同的前展式变形规律(图5)。

北段乌江断层以北接龙场—焦石坝一线(图2a—c,图5a),由于方斗山背斜、石柱向斜和齐岳山背斜的汇聚,前寒武系基底断层延伸较远,导致前寒武地层堆积,断滑作用增强,形成受深部变形控制的焦石坝背斜,构造变形自东向西发育冲断作用—压扭作用—断滑作用—滑脱作用,形成“下两层楼”“下三层楼”——“上三层楼”构造。其中齐岳山断层以东发生冲断作用,形成高角度压性断层,以西与天台场断层之间前寒武系顺层滑脱产生强烈的褶皱变形,上部地层形成箱状背斜,且背斜东翼后期被近南北向大耳山断层切割改造。天台场断层以西,前寒武系滑脱断层消亡,主要沿寒武系顺层滑脱发育褶皱作用,形成隔挡式褶皱。

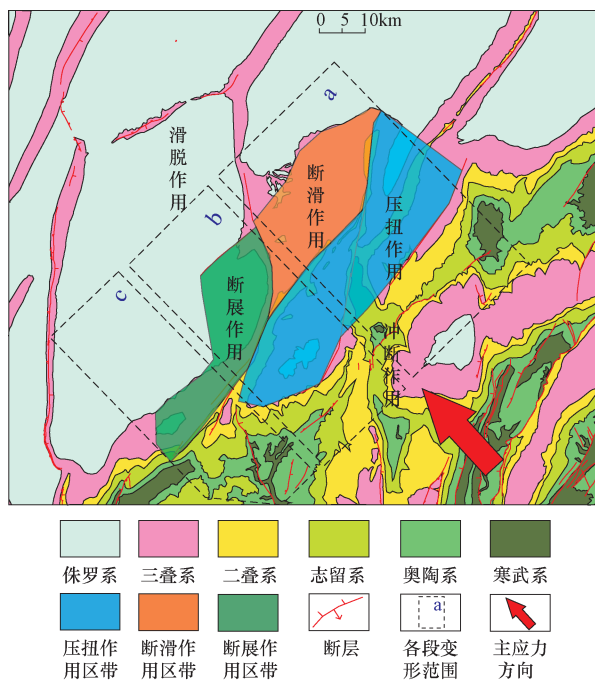


图5 大焦石坝地区构造变形分布

Fig. 5 A map showing the distribution of structural deformation at the Dajiaoshiba area

a. 北段构造变形范围; b. 中段构造变形范围;

c. 南段构造变形范围

中段乌江断层以南白马—梓里场一线(图2d,图5b),由于齐岳山分段性导致构造形变量向前传递,梓里场断层卷入基底,其构造变形自东向西发育冲断作用—压扭作用—断展作用—滑脱作用,形成“下两层楼”—“下三层楼”—“上三层楼”构造。齐岳山断层以东发育高角度基底冲断褶皱,其与石门2号断层之间的岩桥区发育压扭性构造。石门2号断层以西受切入基底的坡坪式断层——梓里场断层的控制,形成紧闭的梓里场断展褶皱。梓里场断层以西则以寒武系为主要滑脱面,仅发生滑脱作用和反冲作用。

南段黄帽岭—南川—龙潭一线(图2e,图5c),由于前寒武系基底断层越过齐岳山不远,呈平缓的铲型消失,而寒武系滑脱作用强烈,自东向西的构造变形为冲断构造—断弯褶皱—断展褶皱—滑脱褶皱,发育“下两层楼”—“下三层楼”—“上三层楼”构造。齐岳山断层以东冲断作用较强,下古生界出露,其与龙济桥断层之间为逆冲作用,沿寒武系底发育坡坪式断层及断层相关褶皱。龙济桥断层以西,递进变形作用减弱,前寒武滑脱断层消亡,呈台阶状向上传递变为沿寒武系发生顺层滑脱作用。

4 讨论

综上所述,大焦石坝地区构造变形主要受齐岳山

断层和基底滑脱断层控制,其分段性则与乌江断层和大耳山断层密切相关。根据区域构造展布特征分析,大焦石坝地区近南北向大耳山和乌江断裂构造变形带的轴向形迹与川东弧形褶皱不一致,同时由于二者剖面特征不同,表明其具有不同的形成机制。

大耳山断层在剖面上表现为逆冲性质,下端沿寒武系底滑脱,恢复其构造形变后,焦石坝背斜构造仍然是一个完整的箱状褶皱,故大耳山断层对焦石坝箱状构造不起控制作用,仅对箱状背斜北部倾伏端有一定的改造作用,这表明大耳山断层的形成时期晚于焦石坝主体构造。同时通过区域地质填图可以发现,大耳山断层为丰都—道真—贵定断裂向北延伸部分^[18],整体形迹与南川—遵义—贵阳构造相协调,二者具有相似的形成机理,为燕山期雪峰造山向西构造扩展过程中,在黔中地区形成近东西向挤压应力场,受黔中隆起阻挡而产生强烈的自东向西逆冲兼左行剪切作用^[19],同时由于右阶走滑的齐岳山断层分段处——岩桥区受推挤隆起形成近南北向调节断层,导致丰都—道真—贵定断裂向北延伸改造焦石坝箱状背斜,从而形成大耳山断裂构造变形带(图6a)。

与大耳山形成机理不同,虽然乌江断层整体走向也为近南北向,但不同段有所变化,表现出由北向南—南东—南的变化过程,最南端消失于石门2号断层之下。剖面上乌江断层呈现“之”形分别滑脱于寒武系和志留系中,发育坡坪式褶皱,断层倾向东北,未卷入基底,不具有走滑断层高角度、上缓下陡、直插基底的典型性质,为横向调节断层晚期受挤压变形的结果^[20-22]。乌江断裂构造变形带北侧为断滑作用形成的焦石坝箱状构造,南侧为断展作用形成的梓里场紧闭背斜,由于两侧基底断层的形态不同,在北西向挤压应力作用下的推挤滑脱过程中,其南、北段收缩变形不均一,产生构造变形量的调节形成调节断层。晚期在北西向的挤压与近南北向乌江断层的联合作用下,引起乌江断层东盘遭受近东西方向的挤压作用,从而在乌江断层上盘形成断展褶皱(图6b)。

5 结论

1) 受控于深浅层次四重滑脱作用,大焦石坝地区发育4套构造形变层。其中前寒武系形变层主要发育基底滑脱和冲断作用,控制了上部盖层的构造形变特征,分布于焦石坝—南川及以东地区。下形变层主要发生断层相关褶皱作用以及伴生构造,中形变层构造变形强度稍弱,与下形变层构造变形脱耦,且在齐岳山

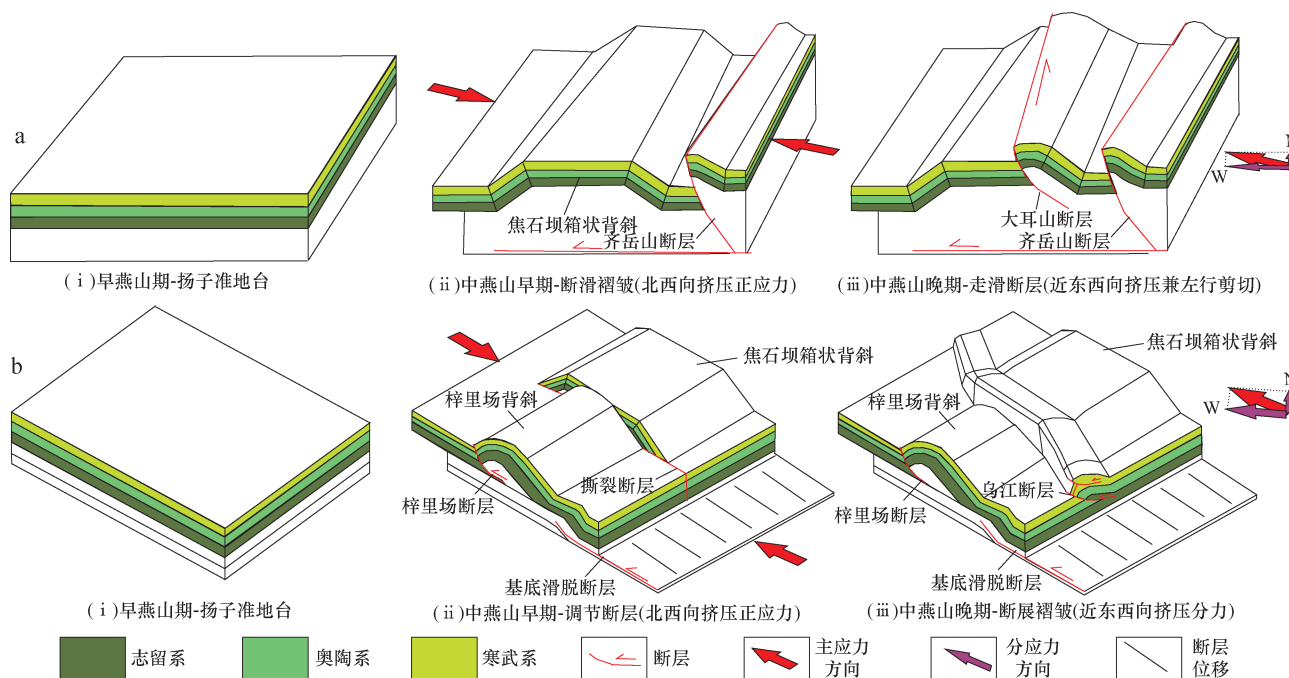


图6 大焦石坝地区近南北向构造形成演化过程

Fig.6 The initiation and evolution processes of the nearly SN-trending structure at the Dajiaoshiba area

a. 大耳山断裂构造变形带演化过程; b. 乌江断裂构造变形带演化过程

以东二者合为一个形变层,以冲断变形为主。上形变层主要残存于川东隔挡式褶皱带内,对中形变层形态具有一定的继承性,构造变形弱,仅发育少量反冲断层。

2) 大焦石坝地区差异构造变形表现为东西分带、南北分段。自东向西分为冲断褶皱带、逆冲-滑脱褶皱带和滑脱褶皱带,主滑脱层由前寒武系变为寒武系,体现了递进式变形强度自南东向北西减弱的时空迁移规律。同时由于前寒武基底断层结构和齐岳山断层分段发育,大焦石坝地区南北段呈现不同的递进变形规律,其中北段构造变形自东向西发育冲断作用—压扭作用—断滑作用—滑脱作用,中段为冲断作用—压扭作用—断展作用—滑脱作用,南段为冲断作用—断弯作用—断展作用—滑脱作用。

3) 大焦石坝地区近南北向大耳山和乌江断裂构造变形带与川东弧形褶皱成因不同,其中大耳山断裂构造变形带是南北向丰都-道真-贵定构造的向北延伸部分,为雪峰造山向西构造扩展时受黔中隆起阻挡,产生自东向西逆冲兼左行剪切作用改造早期箱状褶皱而成。乌江断裂构造变形带则是由于其南北两侧基底断层形态不同,造成不同段收缩变形不均一,产生变形量的调节而形成的调节断层,晚期又受近东西方向的挤压形成断展褶皱。

参考文献

[1] 张春明,张维生,郭英海. 川东南—黔北地区龙马溪组沉积环境

及对烃源岩的影响[J]. 地学前缘,2012,19(1):136-145.

Zhang Chunming, Zhang Weisheng, Guo Yinghai. Sedimentary environment and its effect on hydrocarbon source rocks of Longmaxi Formation in southeast Sichuan and northern Guizhou[J]. Earth Science Frontiers,2012,19(1):136-145.

[2] 张晓明,石万忠,徐清海,等. 四川盆地焦石坝地区页岩气储层特征及控制因素[J]. 石油学报,2015,36(8):926-939,953.

Zhang Xiaoming, Shi Wanzhong, Xu Qinghai, et al. Reservoir characteristics and controlling factors of shale gas in Jiaoshiba area, Sichuan Basin[J]. Acta Petroli Sinica,2015,36(8):926-939,953.

[3] 郭旭升,胡东风,文治东,等. 四川盆地及周缘下古生界海相页岩气富集高产主控因素——以焦石坝地区五峰组—龙马溪组为例[J]. 中国地质,2014,41(3):893-901.

Guo Xusheng, Hu Dongfeng, Wen Zhidong, et al. Major factors controlling the accumulation and high productivity in marine shale gas in the Lower Paleozoic of Sichuan Basin and its periphery: A case study of the Wufeng-Longmaxi Formation of Jiaoshiba area[J]. Geology in China,2014,41(3):893-901.

[4] 郭彤楼,张汉荣. 四川盆地焦石坝页岩气田形成与富集高产模式[J]. 石油勘探与开发,2014,41(1):28-36.

Guo Tonglou, Zhang Hanrong. Formation and enrichment mode of Jiaoshiba shale gas field, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development,2014,41(1):28-36.

[5] 胡明,黄文斌,李加玉. 构造特征对页岩气井产能的影响——以涪陵页岩气田焦石坝区块为例[J]. 天然气工业,2017,37(8):31-39.

Hu Ming, Huang Wenbing, Li Jiayu. Effects of structural characteristics on the productivity of shale gas wells: A case study on the Jiaoshiba block in the Fuling shale gasfield, Sichuan Basin[J]. Natu-

- ral Gas Industry, 2017, 37(8): 31–39.
- [6] 孙健, 罗兵. 四川盆地涪陵页岩气田构造变形特征及对含气性的影响[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(6): 809–818.
Sun Jian, Luo Bing. Structural deformation and its influences on gas storage in Fuling shale gas play, the Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(6): 809–818.
- [7] 余晓宇, 陈洁, 张士万, 等. 焦石坝地区中、古生界构造特征及其页岩气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(6): 828–837.
She Xiaoyu, Chen Jie, Zhang Shiwan, et al. Tectonic characteristics and their shale gas geological significance of the Mesozoic/Paleozoic in Jiaoshiba area, the Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(6): 828–837.
- [8] 何登发, Suppe J, 贾承造. 断层相关褶皱理论与应用研究新进展[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 353–364.
He Dengfa, Suppe John, Jia Chengzao. New advances in theory and application of fault related folding[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4): 353–364.
- [9] 颜丹平, 汪新文, 刘友元. 川鄂湘边区褶皱构造样式及其成因机制分析[J]. 现代地质, 2000, 14(1): 37–43.
Yan Danping, Wang Xinwen, Liu Youyuan. Analysis of fold style and its formation mechanism in the area of boundary among Sichuan, Hubei and Hunan. Geoscience, 2000, 14(1): 37–43.
- [10] 梅廉夫, 刘昭茜, 汤济广, 等. 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[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2010, 35(2): 161–174.
Mei Lianfu, Liu Zhaoqian, Tang Jiguang, et al. Mesozoic intra continental progressive deformation in Western Hunan-Hubei-Eastern Sichuan provinces of China: Evidence from apatite fission track and balanced cross section[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2010, 35(2): 161–174.
- [11] 李本亮, 孙岩, 陈伟. 川东层滑系统及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 244–247+261.
Li Benliang, Sun Yan, Chen Wei. Layer-gliding systems in eastern Sichuan and their significance for petroleum geology[J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(3): 244–247+261.
- [12] 王令占, 田洋, 涂兵, 等. 鄂西利川齐岳山高陡背斜带的古应力分析[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(4): 490–503.
Wang Lingzhan, Tian Yang, Tu Bing, et al. Paleostress analysis of the Qiyue Shan high-angle anticline in the Lichuan Area, Western Hubei Province, China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(4): 490–503.
- [13] 胡召齐, 朱光, 张必龙, 等. 上扬子北部褶皱带的构造应力场演化规律[J]. 地质科学, 2010, 45(2): 361–379.
Hu Zhaoqi, Zhu Guang, Zhang Bilong, et al. Tectonic stress field evolution in fold belts in the Northern Upper Yangtze Region[J]. Chinese Journal of Geology, 2010, 45(2): 361–379.
- [14] 邹玉涛, 段金宝, 赵艳军, 等. 川东高陡断褶带构造特征及其演化[J]. 地质学报, 2015, 89(11): 2046–2052.
Zou Yutao, Duan Jinbao, Zhao Yanjun, et al. Tectonic characteristics and evolution of the high and steep fault folding belt in East Sichuan[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(11): 2046–2052.
- [15] 王平, 刘少峰, 邵璐璐, 等. 川东弧形带三维构造扩展的 AFT 记录[J]. 地球物理学报, 2012, 55(5): 1662–1673.
Wang Ping, Liu Shaofeng, Gao Tangjun, et al. Cretaceous transportation of eastern Sichuan arcuate fold belt in three dimensions: Insights from AFT analysis[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(5): 1662–1673.
- [16] 杨武年, 乐光禹, 杜思清, 等. 金佛山菱形构造格局区域变形场和应力场遥感图像解析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 1994, 21(1): 99–106.
Yang Wunian, Yue Guangyu, Du Siqing, et al. Remote sensing image analysis for deformative field and stress fields of the jianfoshan rhomb-structure-pattern in the contiguous zone of eastern sichuan and northern guizhou[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 1994, 21(1): 99–106.
- [17] 孙东, 刘树根, 邓宾, 等. 米仓山与龙门山接合部叠加褶皱特征及构造演化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011, 38(2): 156–168.
Sun Dong, Liu Shugen, Deng Bin, et al. Superposed fold characteristics and structural evolution in the junction area of Longmenshan Mountains and Micangshan Mountains in the southwest of China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2011, 38(2): 156–168.
- [18] 黄继钧. 川黔南北向构造带古构造特征[J]. 地质力学学报, 1998, 4(1): 19–24.
Huang Jijun. Palaeotectonic features of Sichuan-Guizhou N-S-trending structural belt[J]. Journal of Geomechanics, 1998, 4(1): 19–24.
- [19] 邓新, 杨坤光, 刘彦良. 遵义断裂带变形特点及其演化历史探讨[J]. 贵州地质, 2010, 27(3): 161–167.
Deng Xin, Yang Kunguang, Liu Yanliang. Discussion about deformation characters and its evolution history of Zunyi fracture zone[J]. Guizhou Geology, 2010, 27(3): 161–167.
- [20] 燕守勋, 蔺启忠, 黄晓霞, 等. 谈调整构造[J]. 地质科学, 1997, 32(2): 146–155.
Yan Shouxun, Lin Qizhong, Huang Xiaoxia, et al. On adjustment structure[J]. Scientia Geologica Sinica, 1997, 32(2): 146–155.
- [21] 何登发, 尹成, 杜社宽, 等. 前陆冲断带构造分段特征——以准噶尔盆地西北缘断裂构造带为例[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 91–101.
He Dengfa, Yin Cheng, Du Shekuan, et al. Characteristics of structural segmentation of foreland thrust belts: a case study of the fault belts in the northwestern margin of Junggar Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 91–101.
- [22] 蔡俊, 吕修祥, 李博媛. 横向断层及其控油气作用[J]. 地质科技情报, 2016, 35(1): 107–113.
Cai Jun, Lu Xiuxiang, Li Boyuan. Transverse fault and its control on hydrocarbon accumulation[J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(1): 107–113.