

垭紫罗断裂带深部构造分段特征及构造变换作用

汪新伟¹, 郭彤楼², 沃玉进¹, 周雁¹, 吴莉芝³, 张荣强¹, 李双建¹(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石化南方勘探开发分公司, 四川 成都 610041;
3. 中国石化中原油田分公司勘探开发研究院, 河南 濮阳 457001)

摘要: 垭紫罗断裂带深部构造分段特征及构造变换的研究对其两侧盆地的构造演化、沉积充填、油气成藏的差异分析均有重要意义。运用重、磁、电、震等资料的综合分析表明, 垭紫罗断裂带走向上可分为3段, 具有由西北段(威宁段)的4条深断层转换为中段(关岭段)2条深断层、至东南段(紫云段)时演变为1条深断层的构造变换特征, 且正断层的主体倾向亦由WS倾变换为NE倾; 同时, 该断裂带对古生代沉积具有由西北段向东南段迁移的控制作用, 即西北段控制了志留纪槽盆的沉积范围, 西北段至中段则限制了泥盆系向黔中隆起的超覆边界与石炭纪深水槽盆沉积区, 东南段则为二叠纪深水沉积带。垭紫罗断裂带中段(关岭段)的构造演化经历了泥盆纪初始伸展期、石炭纪断陷期、二叠纪裂谷期、三叠纪构造反转期和侏罗纪以来的陆内收缩期等5个阶段, 其变形样式表现为晚古生代地堑的边界断层发生反转而形成的扇形背冲结构, 构造剖面的缩短率高达51.68%。

关键词: 分段特征; 构造变换; 深部构造; 垭紫罗断裂带

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

Characteristics of deep structural segmentation and transformation of the Yaziluo fault zone

Wang Xinwei¹, Guo Tonglou², Wo Yujin¹, Zhou Yan¹, Wu Lizhi³, Zhang Rongqiang¹, Li Shuangjian¹

(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China; 2. Southern Exploration Division Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610041, China; 3. Exploration & Production Research Institute, Zhongyuan Oilfield Branch, SINOPEC, Puyang, Henan 457001, China)

Abstract: The study on deep structural segmentation and transformation of the Yaziluo fault zone is of great significance for understanding the tectonic evolution, sedimentation and hydrocarbon accumulation of the basins on its two sides. Based on comprehensive analyses of gravity, magnetic, electric and seismic data, this paper divided the Yaziluo fault zone into three segments along its strike. The structural transformation is characterized by four deep faults in the northwest segment (Weining segment), two deep faults in the middle segment (Guanling segment), and one deep fault in the southeast segment (Ziyun segment). The major dip direction of the normal faults changes from southwestward to northeastward. Meanwhile, the Yaziluo fault zone controls the migration of the Paleozoic deposits from the northwest segment to the southeast segment, i. e. the northwest segment controls the limit of the Silurian deposition, the northwest to the middle segments control the Devonian onlap boundary to the Qianzhong uplift and the Carboniferous deep basin sedimentation, and the southeast segment controls the Permian deep-water sedimentary belt. The tectonic evolution of the middle segment (Guanling segment) of the Yaziluo fault zone experienced five stages, namely the initial extension during the Devonian, the extensional faulting during the Carboniferous, the rifting during the Permian, the tectonic inversion during the Triassic and the inland contraction since the Jurassic. Its deformation style is characterized by a fan-shaped back thrusting structure resulted from reversing of the boundary faults of the Late Paleozoic graben. The shortening rate of structural profile is up to 51.68%.

Key words: segmentation characteristics, structural transformation, deep structure, Yaziluo fault zone

垭紫罗断裂带(即垭都-紫云-罗甸断裂带,下同)是扬子板块南部的一条重要的北西向构造带,长约400 km、宽10~80 km,分隔了两侧的黔西北坳陷、黔

中隆起、黔南坳陷与滇东北冲断褶皱区、黔西南坳陷、南盘江坳陷等(图1)。前人对该断裂带的沉积充填、构造变形、成矿作用等方面均作了较好的研究^[1-6],

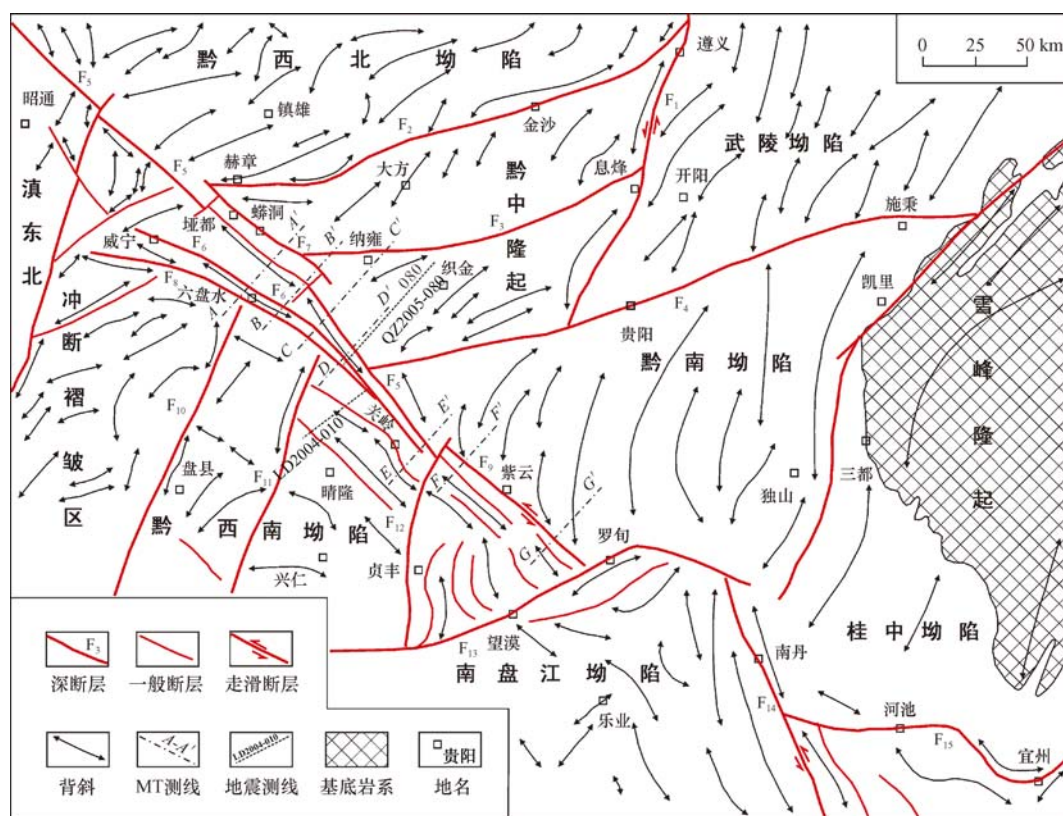


图1 垭紫罗断裂带及邻区构造纲要

Fig. 1 Structural outline map of the Yaziluo fault zone and its adjacent area

F₁. 遵义断层; F₂. 赫章-金沙断层; F₃. 纳雍-息峰断层; F₄. 贵阳-施秉断层; F₅. 六盘水北断层; F₆. 威宁断层; F₇. 垭都-蟒洞断层; F₈. 六盘水断层; F₉. 紫云-罗甸断层; F₁₀. 块泽河断层; F₁₁. 兴仁西断层; F₁₂. 贞丰断层; F₁₃. 南盘江断层; F₁₄. 南丹断层; F₁₅. 河池-宜州断层

但由于勘探程度的限制,这些成果均依据于地表露头,缺少地球物理资料所反映的深部构造对地表地质的约束。为此,本文在前人地球物理成果的基础上^{[7]①},通过对研究区现有的重、磁、电、地震等资料的分析、对比,剖析了垭紫罗断裂带深部构造的分段特征及构造演化的差异性,并讨论了深部构造的变换特征。这对垭紫罗断裂带两侧盆地的构造演化、沉积充填、油气成藏的研究均有重要意义^[8-13]。

1 重力特征

重力异常是地下各种地质体密度差异所引起的重力效应之和,反映了地表至地下深处横向间的密度差异,是一个叠加异常^[14-15]。深断裂在重力异常图上一一般表现为重力梯度带、线性异常、异常错断、扭曲及变形、相邻异常的轴向改变及不同场的分界线等^[16]。垭紫罗断裂带在区域布格重力异常图上显示不明显。该区的布格重力异常图整体呈现东高西低之特征,异常值分布于东、西两侧,以北东东向或南北向为主,中部异常等值线由西向东突出为三角形;最高异常值在东

部达 $-70 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,最低在西部超过 $-230 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。布格重力异常东高西低的趋势可能反映了东部邻区雪峰山陆内前陆盆地系统于印支晚期开始逐步向西递进变形,并于燕山晚期—喜马拉雅期定形所造成的东部致密基岩更接近地表的结果^[17]。

布格重力异常的水平方向导数因弱化构造了叠加的影响、突出特定方向的异常特征,可以用来识别隐伏断裂;同时,向上延拓一定的高度以消除浅层干扰后,再求不同方位上的水平方向导数,可以突出断裂构造的深部信息^[14]。垭紫罗断裂带在布格重异常 45° 方向水平导数非常明显,总体走向北西向,具分段、分支特征(图2)。具体特征可归纳为:1)垭紫罗断裂带分别以近南北向的兴仁西断裂、贞丰断裂为界分3段,与地表构造基本对应^[6]。其中,西北段指威宁段,由北、中、南3支深断层组成,呈喇叭型由北西向南东交汇;中段为关岭段,因威宁段的南侧深断层即六盘水断层(图1)已消失,故只存在两条深断层;东南段为紫云段,只发育了一条深断层即紫云断层。2)兴仁西断裂只对垭紫罗断裂带的南支六盘水断层的南东向延伸范围产生了影响,而贞丰断裂则在深部切割了垭紫罗断裂带,并

① 王家林,吴健生,于鹏,等. 2004 年度黔中隆起及其周缘 MT 资料处理与解释成果报告[R]. 上海:同济大学海洋与地球科学学院地球物理系, 2005.

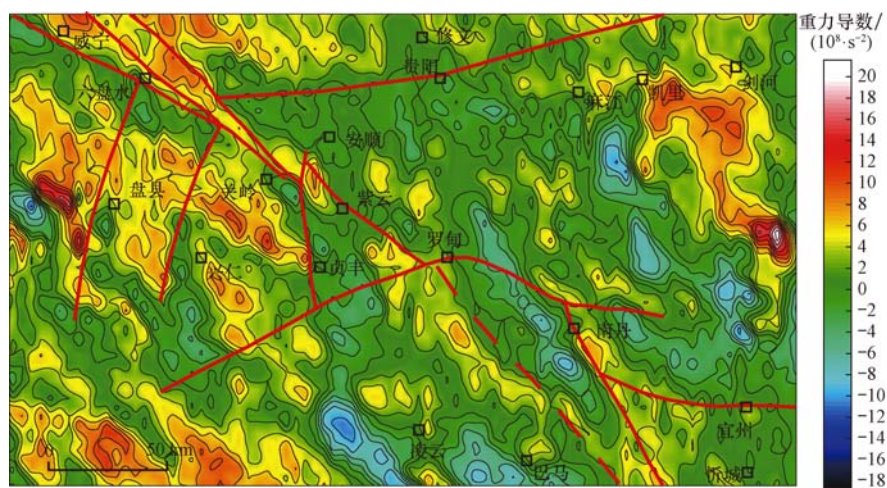


图2 垭紫罗断裂带及邻区布格重力45°方向水平导数图

Fig. 2 Bouguer gravity anomaly of 45° horizontal derivative in the Yaziluo fault zone and its adjacent area

在东南部演化为一深断层即紫云断层。紫云断层在罗甸被另一条近南北向的深断层所切割而终止。3) 垭紫罗断裂带及其扬子南缘古生代伸展背景下的构造体系总体呈现以北西向的张性断层与近南北向的调节断层相互交切的格局。垭紫罗断裂带是扬子南缘北西向伸展正断层系中最北的深断层,其向东南延伸方向为南丹断裂。4) 将布格重力分别上延拓6 km和20 km后,该断裂带在布格重力异常45°方向水平导数图上反应依然明显,表明垭紫罗断裂带是切入基底的一条深断裂带。

2 磁力特征

磁法勘探是以岩矿石磁性差异为基础,基底岩石岩性控制地球磁场的区域和局部磁力变化,而磁力异常则是地下磁性差异的综合反映。在沉积岩地区,磁异常主要反映基底构造、岩浆岩分布等情况^[18-19]。深断裂在磁力异常图上一般表现为磁力梯度带、线性异

常、串珠状异常、不同特征场的分界、异常错断、扭曲及突变等。与布格重力异常同理,磁力异常在水平方向上具有较高的分辨能力,能有效地识别隐伏断裂;向上延拓可突出深源异常,压制浅源异常^[19]。

垭紫罗断裂带在航磁异常化极45°方向水平导数图(图3)上显示非常明显,并呈现出一系列的北西向异常带,显示了与重力异常基本相似的展布特征,只是在兴仁西断层以西的西北部有较明显的差异。主要表现为:1) 垭紫罗断裂带分别以近南北向的兴仁西断层、贞丰断层为界分3段,分支结构亦由3条断层逐步演化为一断层,且在罗甸附近被一条近南北向的调节断层切割;其南东的延伸方向为南丹断裂。2) 西北部地区以兴仁西断层为代表的一系列近南北向断层切割了垭紫罗断裂带,且呈现明显的高正、负异常差的特征。这可能与二叠纪大规模峨嵋山玄武岩喷发所产生的强磁性体以及后期近东西向的挤压、左行走滑变形密切相关。兴仁西断层既控制了滇东北区大规模二叠纪溢流玄武岩的分布范围,亦是滇东北褶皱冲

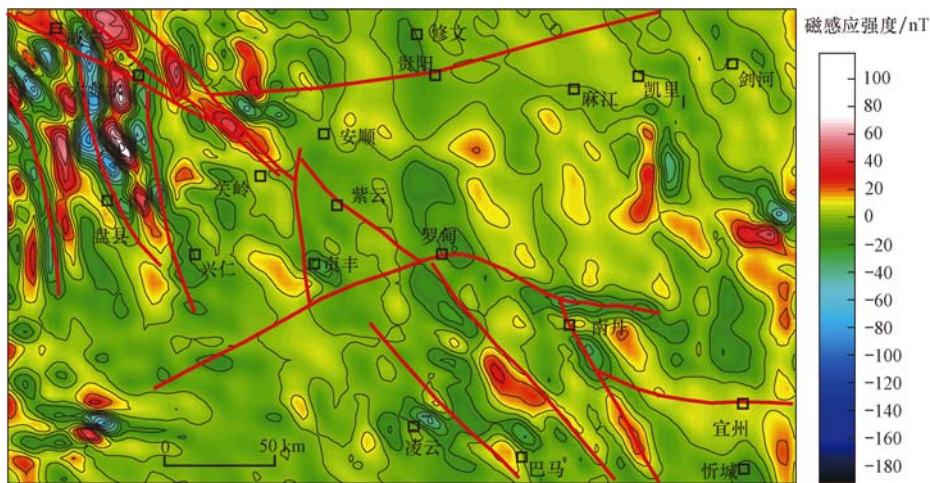


图3 垭紫罗断裂带及邻区航磁化极45°方向水平导数

Fig. 3 Magnetic pole anomaly of 45° horizontal derivative in the Yaziluo fault zone and its adjacent area

断裂向东的影响边界。3) 将航磁异常化极后分别上延 2.5, 5 和 10 km 后作 45° 方向水平导数图, 可见该断裂带的反应依然很明显, 显示了与重力异常特征相同的深部构造信息。4) 航磁异常所揭示的垭紫罗断裂带及扬子南缘的断裂体系与重力异常所反映的特征基本相似, 表明了重、磁异常基本同源的特征, 只是在兴仁西断层以西地区受二叠纪大规模峨眉山玄武岩喷发的影响显示出重、磁不同源的差异。

综合以上分析可知, 垭紫罗断裂带的重、磁异常特征基本同源, 反映了该断裂带是由 2~3 条切入基底的 NW 向深断层组成, 受近 SN 向断层的切割具分段构造特征, 其深部南延断层为南丹断裂。

3 MT 剖面断面特征

大地电磁测深法 (MT) 是研究地球电性结构的一种地球物理方法。其特点在于勘探深度大、不受高阻屏蔽和对低阻反应灵敏, 可以用来确定各构造单元的沉积厚度和构造特征^[20-21]。相比较而言, 重磁资料成本低、范围广, 有较高的横向分辨能力; 而 MT 纵向分辨力相对较高, 且通过地震和钻井资料的约束、控制反演得到的地电断面, 对确定深部构造起到重要作用^[22-23]。因此, 在遭受多期构造改造致使地质地球物理条件异常复杂的地区, 该方法是代价昂贵且资料品质不高的地震勘探的一种重要补充手段。

研究区穿越垭紫罗断裂带的地震剖面非常少, 只有两条, 为此本文重点选取了 7 条穿越垭紫罗断裂带的 MT 测线二维连续介质反演剖面进行综合解释, 以期更好地揭示垭紫罗断裂带沿倾向变化与沿走向变换的特征 (图 1)。

解释的成果如图 4 所示, 从该图中可以总结出如下几点认识。

1) 垭紫罗断裂带具分带、分段特征。走向上以近 NS 向的兴仁西断层、贞丰断层为界分为 3 段, 即西北段、中段和东南段。西北段倾向上由 3~4 条深断层组成, 由西向东呈“喇叭型”交汇, 向东沿倾向逐步演变为一条断层, 这与重、磁特征得出的结论基本一致。

2) 西北段 (或称威宁段): 垭紫罗断裂带由 4 条切入基底的深断裂组成 (图 4a, b), 自北而南依次为垭都-蟒洞断层 (F_7)、六盘水北断层 (F_5)、威宁断层 (F_6) 和六盘水断层 (F_8) (图 1), 均为早古生代伸展后期挤压的正反转断层。除六盘水断层 (F_8) 倾向北东外, 其余倾向南西, 它们共同构成了一个早古生代的裂陷槽盆深水沉积区。其中垭都-蟒洞断层 (F_7) 在基底的浅部与六盘水北断层 (F_5) 归并为一条断层, 控制着志留系与泥盆系的北侧沉积边界。而志留系在该裂陷槽盆

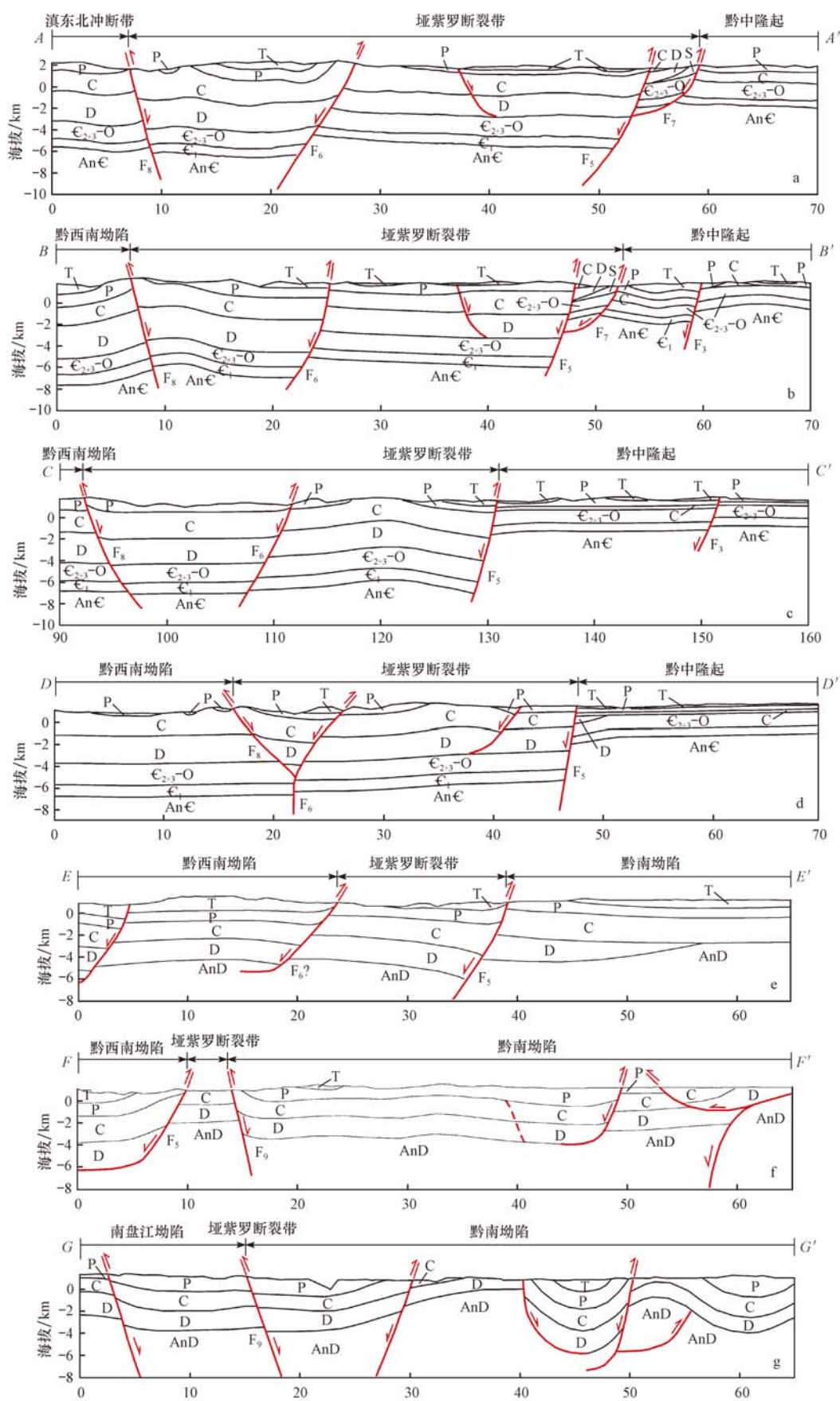
内的沉积范围亦仅限于北西段内, 这可能与近南北向的兴仁西断层的限制作用有关。换句话说, 志留系的沉积只发育在兴仁断层以西的北西向裂陷槽内。

3) 中段 (或称关岭段): 该段内的 3 条剖面 (图 4c—e) 揭示出了垭都-紫云-罗甸这条北西向的泥盆纪—石炭纪裂陷槽台沉积逐步转化为广海沉积的过程。在 C—C' 剖面 (图 4c) 中垭紫罗断裂带区域表现为由 3 条断裂控制了泥盆纪—石炭纪的裂陷槽沉积。其中六盘水北断层 (F_5) 东北侧的黔中隆起上基本未发育泥盆系—石炭系, 表明该断层两侧的伸展断距差异最大。沿倾向向南的 D—D' 剖面 (图 4d) 上, 倾向 NE 的六盘水断层 (F_8) 切割深度变浅, 且收敛于倾向相反的威宁断层 (F_6) 上, 呈“Y”型向深部交汇为一条深断层, 反映出了俗称的“水城断陷”走向上的终止边界^[3]。在 E—E' 剖面 (图 4e) 上, 垭紫罗断裂带主要表现为由 2 条倾向南西的深断层组成, 即六盘水北断层 (F_5) 和威宁断层 (F_6)。再者, 从 3 条剖面的演变中可以看出, C—C' 剖面与 D—D' 剖面上泥盆统北西向裂陷槽的发育带与西北侧黔中隆起的分布区基本一致, 而在 E—E' 剖面 (图 4e) 上已过渡为黔南坳陷沉积, 表现为伸展断距变小, 而断陷面积扩大, 至石炭纪时已演化为广海沉积。

4) 东南段 (或称紫云段): 该段被 NS 向的贞丰断层切割, 反映了垭紫罗断裂带逐步变换为一条深断层 (即紫云断层)、且倾向发生改变的历程 (图 4f, g)。在 F—F' 剖面 (图 4f) 上, 六盘水北断层 (F_5) 伸展断距变小, 变换为滑脱于盖层底部的“犁式”正断层, 而在其东北侧发育了倾向相反的紫云深断层 (F_9), 二者形成了“断垒式”的构造样式。在 G—G' 剖面 (图 4g) 上, 六盘水北断层 (F_5) 已消失, 垭紫罗断裂带演变为一条深断层——紫云断层, 伸展的位移量向紫云断层两侧的断层转化; 同时, 二叠纪的沉积特征显示出差异性, 在垭紫罗断裂带为槽盆相深水沉积, 在其两侧为槽台相浅水沉积。

总之, 穿越垭紫罗断裂带的 MT 剖面分析表明, 垭紫罗断裂带以兴仁西断层、贞丰断层为界可分为 3 段, 其中西北段由垭都-蟒洞断层 (F_7)、六盘水北断层 (F_5)、威宁断层 (F_6) 和六盘水断层 (F_8) 等 4 条深断层组成; 中段受兴仁西断层的限制垭都-蟒洞断层 (F_7) 和六盘水断层 (F_8) 归并、消失, 只发育六盘水北断层 (F_5) 和威宁断层 (F_6) 等 2 条深断层; 受贞丰断层的分割后, 在东南段时变换为 1 条倾向相反的紫云断层, 这与重、磁的认识是相一致的。

垭紫罗断裂带对古生代沉积的控制作用具分段变换特征, 兴仁西断层以西的西北段控制了志留系在该期裂陷槽盆内的沉积范围, 而贞丰断层以西的西北段



与中段则限定了泥盆系向黔中隆起上的超覆边界与石炭纪深水槽盆的分布区;在东南段,二叠纪的沉积特征在垭紫罗断裂带内为槽盆相深水沉积,在其两侧为槽台相浅水沉积。

4 地震剖面地质解释及反演

4.1 地震剖面地质解释

现有的穿越垭紫罗断裂带的地震测线只有 QZ2005-080 测线与 LD2004-010 测线两条。从其剖面解释图(图 5)与平面位置展布图(图 1)上看,各只穿越了一半,即 QZ2005-080 剖面只涉及了威宁断层以北的垭紫罗断裂带北带与黔中隆起区,而 LD2004-010 剖面则包含了垭紫罗断裂带南带的郎岱向斜、六盘水断层与黔西南坳陷。这两条剖面基本上反映了垭紫罗断裂带中段的构造变形特征。主要表现为:

- 1) 六盘水北断层(F_5)在泥盆纪、石炭纪、二叠纪时具明显的同生正断性质,分别控制了泥盆系的超覆边界、石炭纪—二叠纪时槽盆区与台地区的沉积分界(图 5a)。
- 2) 六盘水断层(F_8)在晚古生代亦具同生正断性质,

但与六盘水北断层(F_5)倾向相对,构成了一个伸展的地堑(图 5b)。

3) 从郎岱向斜断陷基底较深、且侏罗系—泥盆系整合—平行不整合接触来看,垭紫罗断裂带中段的强烈变形应发生在晚侏罗世的燕山晚期及其后期(图 5b)。

4) 垭紫罗断裂带后期挤压变形强烈,除 3 条晚古生代的同生深断层六盘水北断层(F_5)、威宁断层(F_6)与六盘水断层(F_8)反转外,还至少发育了 2 条切入基底的深断层,分别控制了堕却背斜与三丈水背斜的产生。它们共同形成了一个强烈的挤压变形带,该带之外的黔中隆起区与黔西南坳陷区相对变形要弱得多。

4.2 平衡剖面及其反演

为进一步整体分析垭紫罗断裂带地质历史时期构造变形的几何学与运动学特征,本文把上述两条地震剖面结合起来,参考露头地质构造剖面,编制了垭紫罗断裂带中段的平衡地质剖面(图 6a),并分别以老鹰岩向斜与三塘向斜的核部轴线为钉线、以二叠系顶面为标志层,作该条平衡剖面的退变形复原图(图 6b)。在此基础上,分别反演出泥盆纪—三叠纪的剖面演化图(图 6c—e)。

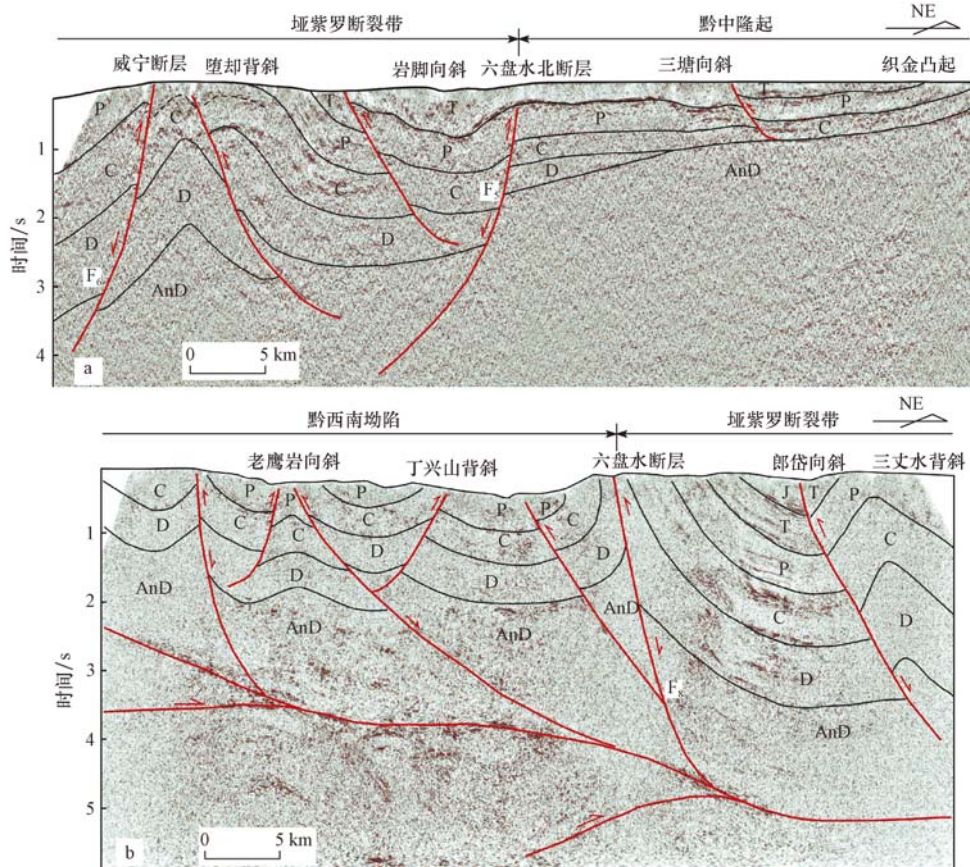


图 5 过垭紫罗断裂带的地震测线地质解释剖面

Fig. 5 Geological interpretation of the seismic line across the Yaziluo fault zone

a. QZ2005-080 测线; b. LD2004-010 测线;

F_5 . 六盘水北断层; F_6 . 威宁断层; F_8 . 六盘水断层

(剖面位置见图 1。)

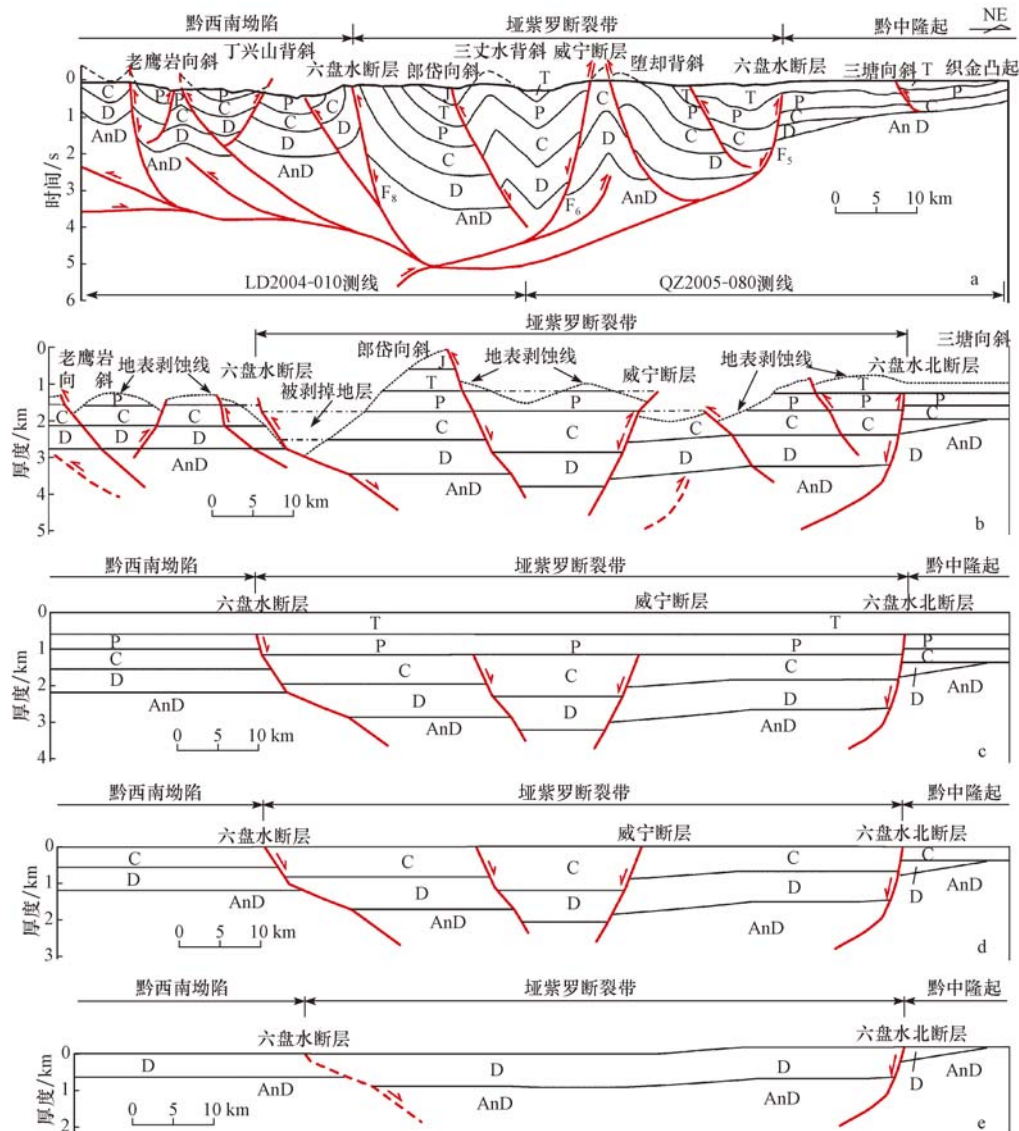


图6 垭紫罗断裂带中段三塘—郎岱平衡地质剖面及其反演

Fig. 6 The Santang - Langdai balanced section and its inversion in the middle segment of the Yaziluo fault zone

a. 平衡地质剖面; b. 退变形复原图; c. 三叠纪沉积后; d. 石炭纪沉积后; e. 泥盆纪沉积后

F₅. 六盘水北断层; F₆. 威宁断层; F₈. 六盘水断层

从三塘—郎岱平衡地质剖面图(图6a)上可以看出:1)垭紫罗断裂带中段的构造变形表现为伸展断陷构造正反转所形成的背冲结构,挤压变形的主控断层为北东倾的六盘水断层与南西倾的威宁断层,因缩短量大,其影响带被次级断层复杂化;另一条反转断层即六盘水北断层,逆冲断距不大,没有明显地切穿上覆三叠系。2)紧邻垭紫罗断裂带西南侧的黔西南坳陷区,受六盘水断层强烈逆冲的影响,其形成背、向斜的控制断层亦均倾向南东、即由北东向南西逆冲;而垭紫罗断裂带东北侧的黔中隆起区变形较弱。3)该剖面的挤压变形机制为黔西南坳陷的基底以多层次滑脱的形式、呈楔状由南西向北东楔入,在断陷最深处的两条控制断层六盘水断层与威宁断层呈“扇状”向地表释放逆冲位移量,致使六盘水断层与威宁断层及其影响带的

逆冲断距与缩短量最大。

三塘—郎岱平衡地质剖面的退变形复原图(图6b)表明,垭紫罗断裂带内断陷最深的是威宁断层与郎岱向斜北翼断层这两条倾向相对的正断层组成的地堑,致使其加里东期褶皱基底的构造高程与黔中隆起的基底在复原后相差2 000 m以上;剥蚀最强烈的构造点为六盘水断层的上盘,泥盆系及其以上的盖层已剥尽,其次是堕却背斜带,属威宁断层下盘的对冲带,剥蚀至石炭系;垭紫罗断裂带的宽度按比例折算为53.28 km,而经过退变形复原后的宽度为81.12 km,故可推算出该剖面所反映的垭紫罗断裂带中段的挤压缩短量为27.84 km,缩短率为51.68%。

三塘—郎岱剖面的反演图(图6c—e)揭示出其构造演化主要经历以下5个演化阶段。1)泥盆纪初始伸

展-张裂阶段:加里东期的造山运动使扬子南缘滇黔桂地区褶皱成山后,泥盆纪随着古特提洋的形成与扩张,海水由南向北发生海侵,同时受地壳引张作用的影响,扬子板块南缘滇黔桂地区形成了以一系列以北西向为主、北东向为辅的克拉通边缘裂陷沉积,垭紫罗断裂带即为这一系列北西向同沉积正断层最北的一支。如图6e所示,海浸于早泥盆世晚期到达垭紫罗断裂带一线,此时发育的六盘水北断层作为扬子南缘最北侧的同生正断层,控制了泥盆纪的超覆边界;中泥盆世晚期伸展作用增强,六盘水断层可能开始发育,形成了“水城裂陷槽盆”的雏形。2)石炭纪伸展-断陷阶段:伸展作用增强,海浸扩大,六盘水北断层的同生正断作用控制了断陷带内槽盆相泥岩、硅质岩沉积与东北侧黔中隆起上的浅水台地相碳酸盐沉积的分界,亦即俗称的“黑相区”与“白相区”的分界。而此时的“水城裂陷槽盆”表现为由六盘水北断层与六盘水断层这两条同生断层共同控制的同生地堑,并且地堑内发育了由威宁断层所控制的更次一级地堑,使盆地基底被断陷得更深(图6d)。3)二叠纪强烈伸展-裂谷阶段:二叠纪大量峨眉山玄武岩喷发,表明伸展作用已进入陆内裂谷阶段。六盘水北断层与六盘水断层除继续保持同生正断层沉积、控制槽盆相与槽台相的相变分界外(图6c),还与威宁断层等其他深断裂一起控制了峨眉山玄武岩喷发与侵入的空间展布规律。据区域地质资料,扬子南缘峨眉山玄武岩的喷发受北西向、北东向深大断裂的控制,六盘水北断层为控制峨眉山玄武岩分布的最北侧深断裂,扬子板块内部基本无峨眉山玄武岩分布。4)三叠纪伸展减弱-构造反转阶段:早-中三叠世伸展作用相对减弱,垭紫罗断裂带对其两侧沉积厚度的影响不大,无明显的同生正断作用(图6c),演化为广海沉积,但对沉积相的展布有一定的控制作用。如早三叠世断裂带南西侧发育了夜郎组(T_{1y})泥页岩与灰岩互层、嘉陵江组(T_{1j})灰岩、白云岩;而北东侧沉积了大冶组(T_{1d})灰岩、安顺组(T_{1a})白云岩。晚三叠世受印支运动的影响“水城裂陷槽盆”进入封闭、反转阶段,沉积了一套以长石石英砂岩、泥岩为主的磨拉石建造。5)燕山期以来的陆内收缩阶段:受燕山运动与喜马拉雅运动的影响,黔西南坳陷的基底呈多层次滑脱的形式逐步向垭紫罗断裂带深部楔入,致使垭紫罗断裂带浅层构造变形样式表现为以晚古生代伸展地堑的控盆断层为边界,发生正反转而形成的扇形背冲结构(图6a)。如前所述,六盘水断层反转程度高,逆冲位移大;威宁断层次之,六盘水北断层反转程度最低。

5 结论与讨论

1) 垭紫罗断裂带受近南北向兴仁西断层的分隔

与贞丰断层的切割可分3段,即西北段威宁段、中段关岭段和东南段紫云段,与地表构造基本对应,其深部南延断层应为南丹断裂。

2) 垭紫罗断裂带对古生代沉积的控制作用具分段变换特征,西北段控制了志留系在该期裂陷槽盆内的沉积范围,西北段至中段则限定了泥盆系向黔中隆起上的超覆边界与石炭纪深水槽盆的分布区;东南段则为二叠纪的槽盆相深水沉积带,其两侧为槽台相浅水沉积。

3) 垭紫罗断裂带的构造演化经历了泥盆纪初始伸展期、石炭纪伸展断陷期、二叠纪裂谷期、三叠纪构造反转期和燕山期以来的陆内收缩期等5个阶段。中段(关岭段)的挤压变形机制表现为早期伸展-晚期反转而形成的扇形背冲结构,缩短率达51.68%。

垭紫罗断裂带无论是在晚古生代的构造伸展变形中、还是在印支晚期以来的强烈挤压变形中,对扬子板块南部均起到了重要的构造变换作用,表现为晚古生代伸展期它是扬子板块南缘克拉通边缘裂陷盆地与克拉通内盆地的分界,而挤压期它又是克拉通边缘挤压性盆地与克拉通内盆地的力学边界。该断裂的总体研究程度比较低,本文利用仅有的两条地震测线简单地分析了垭紫罗断裂带中段的变形样式与演化历程,而对其西北段与东南段的变形样式的差异性因缺乏地震剖面无法精细对比。MT剖面大致反映出东南段紫云段的变形样式为伸展期的断垒反转为对向冲断、并逐步向东南转换为单向冲断,且黔南坳陷内走滑现象明显。

参 考 文 献

- [1] 王尚彦,张慧,王天华,等. 黔西水城—紫云地区晚古生代裂陷槽盆充填和演化[J]. 地质通报,2006,25(3):402-407.
Wang Shangyan, Zhang Hui, Wang Tianhua, et al. Filling and evolution of the late Paleozoic Shuicheng - Ziyun aulacogen in western Guizhou, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(3): 402-407.
- [2] 施春华,胡瑞忠. 贵州织金含稀土磷矿床的Sm-Nd同位素年龄及其地质意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2008,33(2):205-209.
Shi Chunhua, Hu Ruizhong. Samarium-Neodymium radiometric dating and its geologic implication of the Zhijin REE-bearing phosphorites, Guizhou Province, Southwest China [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2008, 33(2): 205-209.
- [3] 毛健全,张启厚,顾尚义. 水城断陷的地质特征及构造演化[J]. 贵州工业大学学报,1997,26(2):1-6.
Mao Jianquan, Zhang Qihou, Gu Shangyi. The geological characteristics and tectonic evolution of Shuicheng fault subsidence [J]. Journal of Guizhou University of Technology, 1997, 26(2): 1-6.
- [4] 程国繁,徐安全. 试论“威宁—紫云”北西向构造带变形特征[J]. 贵州地质,1998,15(4):311-320.
Cheng Guofan, Xu Anquan. An insight into the northwestern-trending

- tectonical deformation of the Weining-Ziyun belt, western Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 1998, 15(4): 311–320.
- [5] 刘剑平, 马君, 汪新伟. 南盘江地区紫云变形带分段特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(1): 15–18.
Liu Jianping, Ma Jun, Wang Xinwei. Characteristics of the segments of the Ziyun deformation belt in the Nanpanjiang area, Guizhou, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2006, 33(1): 15–18.
- [6] 张荣强, 周雁, 汪新伟, 等. 贵州西南部威–紫–罗断裂带构造特征及演化[J]. 地质力学学报, 2009, 15(2): 178–189.
Zhang Rongqiang, Zhou Yan, Wang Xinwei, et al. Structural features and tectonic evolution of the Wei-Zi-Luo fault zone in southeastern Guizhou province [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15(2): 178–189.
- [7] 于鹏, 张罗磊, 王家林, 等. 重磁电震资料联合反演黔中隆起物性结构[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2008, 36(3): 406–412.
Yu Peng, Zhang Luolei, Wang Jialing, et al. Determination of physical property parameters structure in middle Guizhou Uplift by joint inversion of magnetotelluric, seismic, gravity and magnetic data [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2008, 36(3): 406–412.
- [8] 汤良杰, 郭彤楼, 田海芹, 等. 黔中地区多期构造演化、差异变形与油气保存条件[J]. 地质学报, 2008, 82(3): 298–307.
Tang Liangjie, Guo Tonglou, Tian Haiqing, et al. Poly-cycle tectonic evolution, differential deformation and hydrocarbon reservation of Central Guizhou and adjacent region [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(3): 298–307.
- [9] 丁道桂, 邓模, 朱文利. 大南盘江地区晚古生代拗拉槽盆地的改造变形[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(4): 393–402.
Ding Daogui, Deng Mo, Zhu Wenli. Deformation of the Late Palaeozoic aulacogen basin in the Great Nanpanjiang area [J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(4): 393–402.
- [10] 方成名, 黄泽光, 段铁军, 等. 中国中西部盆地差异构造演化与碎屑岩层系油气聚集分布[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 571–577.
Fang Chengming, Huang Zeguang, Duan Tiejun, et al. Differential tectonic evolution and hydrocarbon distribution in clastic strata of petroliferous basins in central-western China [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 571–577.
- [11] 李娟, 于炳松, 张金川, 等. 黔北地区下寒武统黑色页岩储层特征及其影响因素[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 364–374.
Li Juan, Yu Bingsong, Zhang Jinchuan, et al. Reservoir characteristics and their influence factors of the Lower Cambrian dark shale in northern Guizhou [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(3): 364–374.
- [12] 王鹏万, 陈子焘, 贺训云, 等. 桂中坳陷泥盆系页岩气成藏条件与有利区带评价[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 353–363.
Wang Pengwan, Chen Ziliao, He Xunyun, et al. Shale gas accumulation conditions and play evaluation of the Devonian in Guizhong Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(3): 353–363.
- [13] 马文辛, 刘树根, 黄文明, 等. 四川盆地东南缘志留系古油藏特征及其油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 432–441.
Ma Wenxin, Liu Shugen, Huang Wenming, et al. Characteristics of Silurian Paleo-oil reservoirs and their significance for petroleum exploration on the southeast margin of Sichuan Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(3): 432–441.
- [14] 刘光鼎, 郝天珧, 刘伊克. 重磁研究对认识盆地的意义[J]. 地球物理学进展, 1996, 11(2): 1–15.
Liu Guangding, Hao Tianyao, Liu Yike. The significance of gravity and magnetic research for knowing sedimentary basins [J]. *Progress in Geophysics*, 1996, 11(2): 1–15.
- [15] 赵红格, 刘池洋, 王峰, 等. 鄂尔多斯盆地西缘构造分区及其特征[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 173–179.
Zhao Hongge, Liu Chiyang, Wang Feng, et al. Structural division and characteristics in western edge of Ordos basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(2): 173–179.
- [16] 王家林, 王一新, 万明浩. 石油重磁解释[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 1–121.
Wang Jialin, Wang Yixin, Wan Minghao. *Petroleum interpretation by gravity and magnetic data* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991: 1–121.
- [17] 汪新伟, 沃玉进, 周雁, 等. 上扬子地区褶皱–冲断带的运动学特征[J]. 地学前缘, 2010, 17(3): 200–212.
Wang Xinwei, Wo Yujin, Zhou Yan, et al. The kinematics of the fold-thrust zones in the western Yangtze area [J]. *Earth Science Frontiers*, 2010, 17(3): 200–212.
- [18] 陈佩良, 刘德秀. 重磁方法在综合物探中的应用[J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(3): 116–122.
Cheng Peiliang, Liu Dexiu. The application of gravity and magnetic prospecting method to comprehensive geophysical prospecting [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1997, 24(3): 116–122.
- [19] 刘池洋, 杨兴科, 任战利, 等. 羌塘盆地雀莫错沉降–堆积中心成因: 热力衰减塌陷沉降[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 147–154.
Liu Chiyang, Yang Xingke, Ren Zhanli, et al. Genesis of subsidence-accumulation centre in Quemocuo area of Qiangtang basin: caving-in subsidence with thermal attenuation [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(2): 147–154.
- [20] Cagniard L. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting [J]. *Geophysics*, 1953, 18(3): 605–635.
- [21] Morrison H F, Phillips R J O, Brien D P. Quantitative interpretation of transient electromagnetic fields over a layered half-space [J]. *Geophysical Prospecting*, 1969, 17(1): 82–101.
- [22] 于鹏, 王家林, 吴健生, 等. 地球物理联合反演的研究现状和分析[J]. 勘探地球物理进展, 2006, 29(2): 87–93.
Yu Peng, Wang Jialing, Wu Jiasheng, et al. Review and discussions on geophysical joint inversion [J]. *Progress in Exploration Geophysics*, 2006, 29(2): 87–93.
- [23] 王东坡, 曾效箴, 薛林福, 等. 海洋阵列大地电磁测深法在辽东湾滩海深部地质构造研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 293–299.
Wang Dongpo, Zeng Xiaozhen, Xue Linfu, et al. Oceanic array magnetotelluric sounding used in study of deep structures in beach sea of Liaodong bay [J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(4): 293–299.