

文章编号: 1001 - 6112(2005)03 - 0205 - 06

鄂西—渝东区膝折构造

丁道桂¹, 郭彤楼², 翟常博¹, 吕俊祥¹

(1. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151;

2. 中国石化 南方勘探开发分公司, 昆明 650200)

摘要:包括鄂西—渝东区在内的川东褶皱带的高陡背斜,实际上是多岩层层系在纵弯作用下形成的区域大尺度膝折构造。它是江南—雪峰基底拆离推覆体由 SE 向 NW 方向水平挤压作用下中上扬子古生界盆地沉积盖层产生递进(衰减)变形的结果。膝折构造是一种兼具剪切褶皱和弯滑褶皱 2 种作用特征的褶皱。它往往发生在岩性相对均一的一系列脆性和单层厚度较薄、多层粘性差较大的岩系中。根据褶皱变形强度和几何形态,将鄂西—渝东区的膝折构造进一步划分为挠曲背斜、膝折背斜、箱状背斜、尖棱背斜和寄生背斜 5 种构造样式。膝折构造控制了川东地区天然气藏的形成与分布。

关键词:膝折构造;尖棱褶皱;箱状褶皱;川东褶皱带

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

膝折(kink)构造是多层岩系在水平剪切与弯滑作用下十分常见的褶皱变形。在野外露头上,通常表现为典型的 1 mm ~ 10 cm 半波长(膝折带的宽度),大多为 1 ~ 2 cm 半波长的小尺度褶皱构造。Ramsay 曾描述过半波长为数百米的大型膝折带^[1]。但可以控制油气聚集藏的区域大尺度膝折构造至今尚未见诸于文献报导与论述。

1 鄂西—渝东区侏罗山式膝折构造

川东地区西以华莹山为界,东至齐岳山,分布有

华莹山、铜锣峡、明月峡、大天池、南门场、黄泥堂—云安厂、大池干井—高峰场、方斗山、齐岳山等 10 余排 NNE—NE 走向的高陡背斜带和其间开阔的箱状向斜带,共同构成了类似于阿尔卑斯山前阻挡式即侏罗山式褶皱带。

这些(背斜)褶皱带形态窄长,延伸 100 余 km,沿走向枢纽呈波状起伏,核部多出露三叠系碳酸盐岩,一侧的翼部地层陡峻直立至倒转。而向斜褶皱带较宽缓开阔,分布侏罗系碎屑岩系地层。背斜与向斜宽度比约为 1 : 3。

川东地区高陡背斜构造垂向变异明显(图 1),

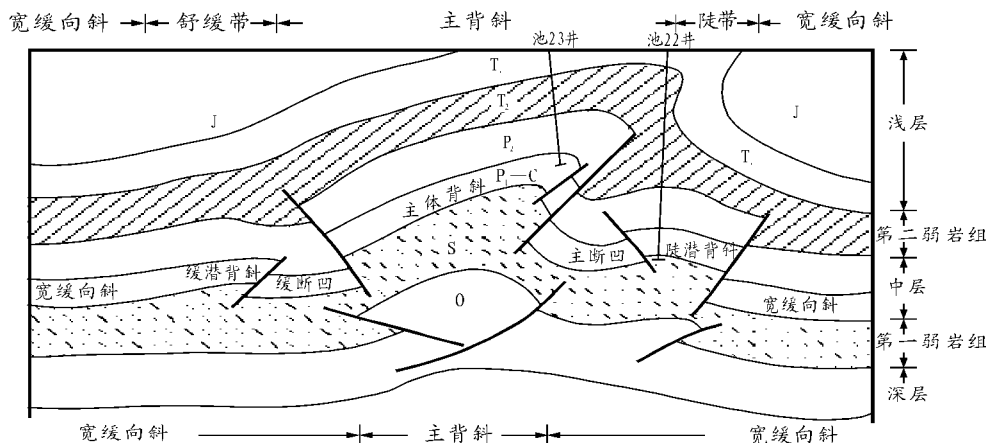


图 1 川东高陡构造主体段垂向变异地质模式

Fig. 1 Geological model of vertical changes of the main body of raised and steep structure of East Sichuan

收稿日期: 2004 - 09 - 10; 修订日期: 2005 - 04 - 27。

作者简介: 丁道桂(1946—), 男(汉族), 江苏南京人, 教授级高级工程师, 主要从事盆地分析和构造地质研究工作。

基金项目: 中国石化南方分公司科技部项目。

地表与深层构造呈不协调褶皱。地表单个背斜带共生断裂较少,而深层(T_1 以下层系)褶皱与共轭冲断层十分发育,往往出现多个次级背向斜。以志留系页岩层为界,上、下古生界地层中分别发育呈“X”形相交的共轭冲断层系,将背斜分隔成主体背斜、陡潜背斜、缓潜背斜、主断凹向斜、缓断凹向斜等次级构造。高陡背斜带两翼通常不对称,一般缓翼地层倾角 $20^\circ \sim 30^\circ$,陡翼地层倾角 $40^\circ \sim 70^\circ$,或地层直立至倒转。

前人对川东高陡背斜带曾试图用重力作用下的滑脱褶皱或拆离作用下的逆冲断层与滑脱褶皱等构造模式来解释^[2~4]。在川东高陡背斜带,我们可以把大池干井—方斗山的构造剖面与瑞士北部侏罗山褶皱带的剖面对比。所谓大池干井、黄泥堂、方斗山至齐岳山等高陡背斜与石柱箱状复向斜一起共同构成了纵弯作用下形成的区域大尺度膝折构造带。Fail^[5]也曾用膝褶带的几何特征解释了宾夕法尼亚谷岭区的褶皱形态,指出最大有效力矩准则控制了膝褶带的取向。

鄂西—渝东区膝折褶皱构造有 5 种构造样式:挠曲背斜、共轭膝折背斜、箱状膝折背斜、尖棱背斜及寄生褶皱。它们是川东天然气藏的主要圈闭类型,控制了天然气藏的聚集与分布。

2 膝折构造的变形机制

在一个多岩层的褶皱中,如果褶皱两翼平直,枢纽是很尖的角,则称为膝折(kink)。如果膝折的两翼等长,以致褶皱是对称的,则采用尖棱褶皱(chevron fold)专门术语。如果两翼显著不对称,短翼构成的窄带称为膝折带(kink band),轴面的迹线则称为膝折带界面。在不对称膝折发育区,膝折轴面可以在 2 个方位上发生,这时膝折带可以相互交切,称为共轭膝折(conjugate kink)或共轭膝折带,共轭褶皱用来描述一对轴面彼此以高角度相对倾斜,具有明显共轭关系的褶皱。在共轭褶皱中由矩形 3 条边组成的构造又称为箱状褶皱(box fold)。郑亚东根据岩石变形最大有效力矩准则,对共轭膝褶带的夹角进行了定量分析,获得了 110° 的夹角^[6],并指出:膝褶带、伸展褶劈理和韧性剪切带都是岩石在应力作用下变形的产物,其共同的基本特征是原有面理(层理、板劈理、片理、新生糜棱面理)在变形带中发生偏转,这一偏转是与力矩有关,并受最大力矩方向的控制。

膝折作用是一种兼具剪切褶皱和弯滑褶皱 2 种

特征的特殊褶皱作用。它往往发生于岩性均一的一系列脆性薄岩层中。其作用方式是由于翼部的层间滑动,并又围绕一个相当于轴面的膝折面折叠而形成的尖棱褶皱。这种褶皱既有等厚褶皱特征,又有相似褶皱特征。两个膝折带可以互相平行,也可以共轭相交成为箱状褶皱。假如任意一组不同宽度平行膝折带因后来发育的一组共轭膝折带重新活动,这样形成的尖棱褶皱会有与先成膝折宽度成比例的不同翼长。初始宽的先成膝折带将构成尖棱褶皱上的长翼,而宽度较小的先成膝折带则在较陡的构造翼部形成不对称寄生褶皱。此外,尖棱褶皱翼部变形强度增大时,也可形成次级寄生褶皱。

膝折褶皱的变形是在有规律交替互层的多层岩系中(厚度 d_1, d_2 ,粘度 $\mu_1, \mu_2, n = d_2/d_1$)发生的,当 μ_1/μ_2 值高, n 值低时,岩层在某些带中相对于初始方向发生旋转。通过这种旋转而形成的褶皱是直翼棱角状褶皱。各个膝折带中的应变通常由平行层面的简单剪切形成。剪切位移集中在薄的弱岩层中。膝折褶皱的发生,需要弱岩层面有微小的起伏,即使作用力 P 与岩层面夹角为 0° 的方位上,膝折变形也会发生。膝折翼通过轴面的侧向迁移而增加其长度。一组膝折带的轴面通过共轭膝折带另一组轴面时,产生不规则的尖棱褶皱。

在野外露头上,常见的在纵弯作用下的尖棱—膝折褶皱构造类型有:圆弧状褶皱、尖棱褶皱、不对称膝折、共轭膝折、箱状褶皱及寄生褶皱。

3 鄂西—渝东区膝折构造特征及其对油气聚集的控制作用

含油气构造区带是指与一定的构造单元联系在一起含油气区带,具有类似的圈闭构造特征和油气藏形成条件。含油气构造区带侧重于从盆地改造变形的角度来说明油气田成带分布的特征。不同的含油气构造区带油气成藏的圈闭条件及油气保存条件则存在一定的差异性。在鄂西—渝东区,我们根据膝折构造类型进一步分为:茨竹垭—龙驹坝共轭膝折背斜带()、方斗山尖棱背斜带()、石柱箱状复向斜带()和齐岳山膝折背斜带() (图 2)。

3.1 茨竹垭—龙驹坝共轭膝折背斜带()

主要是由茨竹垭—票草和龙驹坝—海螺口 2 条膝折背斜组成的共轭膝折背斜带(地震 94-9 测线) (图 3)。长约 50 km,宽 20 km,走向 $NE 55^\circ \sim 65^\circ$ 。2 个膝折背斜之间是赶场箱状向斜。2 条膝折背斜向 SW 方向延伸,经过 86-203.6 测线后与方斗山

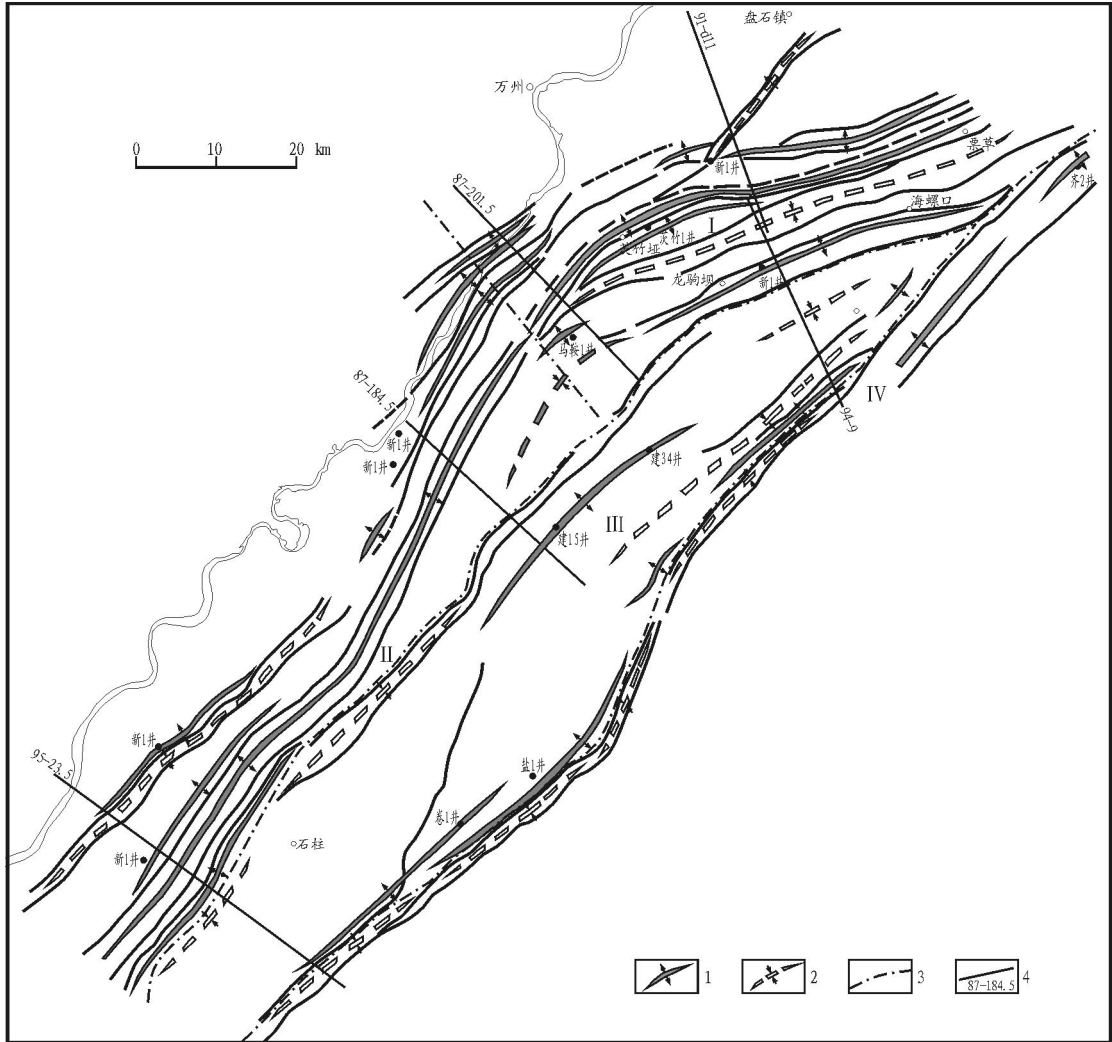


图 2 鄂西渝东区构造区划剖面及位置图

1. 背斜; 2. 向斜; 3. 区划界线; 4. 剖面位置及测线号

Fig. 2 Tectonic division and profile of the West Hubei and East Chongqing region

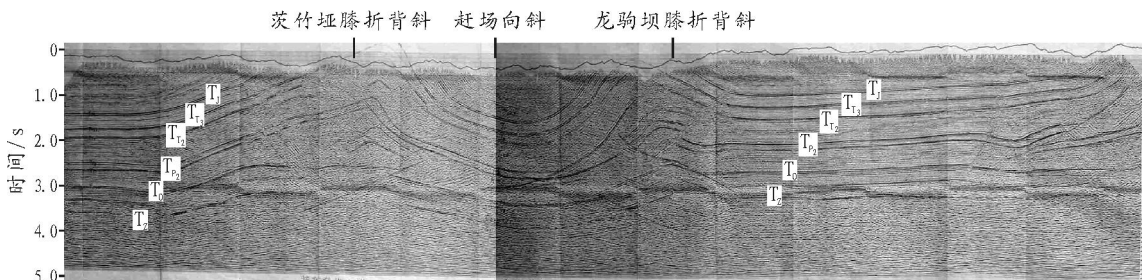


图 3 鄂西—渝东区茨竹垭—龙驹坝地震 94 - 9 线共轭膝折背斜构造解释剖面图

Fig. 3 Profile of conjugate kink anticline along seismic line 94-9 in the Cizhuya-Longjuba region of West Hubei and East Chongqing

尖棱背斜带共轭相交, 夹角 $120^{\circ} \sim 130^{\circ}$ 。最大主压应力 σ_1 的方位为由 $SE140^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 向 NW 方向挤压。赶场向斜抬升变线而消失, 构成乌龙池—马鞍槽箱状背斜(地震 87 - 201.5 测线)。这也是共轭膝折背斜带的另一种构造表现形式。在这一共轭膝折背斜带的 NW 翼发育了总体走向 $NE50^{\circ}$ 的寨沟

湾—新场、襄渡场 2 条寄生背斜和之间的新田寄生向斜。

茨竹垭—票草膝折背斜(91 - d11 测线)(图 4): 为一 NW 翼较缓、SE 翼较陡的膝折背斜, 轴面倾向 NW, 长约 50 km, 宽约 3 ~ 4 km, 面积 150 km^2 。T₂ - T₁ 地层在背斜轴部受到部分剥蚀。上古生界

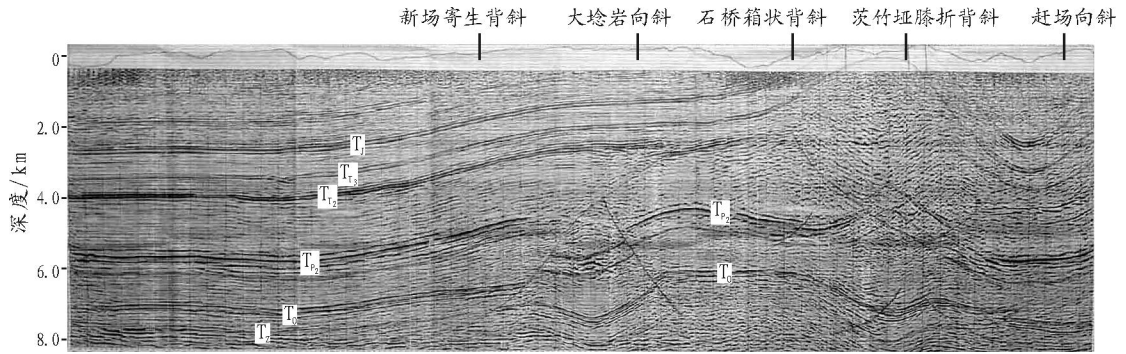


图 4 鄂西—渝东区茨竹垭—龙驹坝地震 91 - d11 线膝折背斜构造解释剖面图

Fig. 4 Profile of kink anticline along seismic line 91-d11 in the Cizhuya-Longjuba region of West Hubei and East Chongqing

T_{P_2} — T_C 和下古生界 T_{O_3} — T_C 地震反射层的构造则形成石桥箱状背斜。各层系背斜枢纽从深层到浅层由 NW 向 SE 方向逐层迁移偏斜。在 NW 侧缓翼上发育了寨沟湾—新场寄生向斜,与主体背斜之间以大埡岩向斜相隔。在主体背斜的上、下古生界地层中,分别发育了 X 形共轭冲断层,分隔了次级背斜和向斜。

龙驹坝—海螺口膝折背斜带(94 - 9 测线):主体构造为一 SE 翼缓、NW 翼陡,轴面倾向 SE 的膝折背斜。长约 50 km,宽约 4~5 km,面积 220 km² 的长轴背斜。 T_{T_2} — T_1 反射层在背斜轴部受到不同程度的剥蚀。上古生界 T_{P_2} — T_C 、下古生界 T_{O_3} — T_C 反射层也形成 NW 翼陡、SE 翼缓的膝折背斜,并在轴部发育共轭冲断层。

乌龙池—马鞍槽箱状背斜(87 - 201.5 测线)(图 5):实质上是共轭膝折背斜相交合并后的另一种构造形式。在剖面上虽然 T_{T_2} — T_1 仍残留了茨竹垭、龙驹坝 2 个共轭膝折背斜和赶场向斜的形态痕迹,但 T_{P_2} — T_C 及 T_{O_3} — T_C 反射层已经完全表现

为 NW 翼稍长、缓,SE 翼稍短、陡的偏对称箱状背斜。转折端地层平坦呈箱状。并在 NW 翼发育倾向 SE,SE 翼发育倾向 NW 的共轭冲断层。在 NW 翼上发育寨沟湾寄生背斜,在 SE 翼上则发育了马鞍槽寄生背斜。

3.2 方斗山尖棱背斜带()

主要以方斗山尖棱背斜为主体构造,西翼上的洋渡溪寄生背斜、白象河寄生向斜,东翼上的月台寺—中台子寄生背斜所组成。为一总体走向 NNE30°~40°,长约 90 km,宽约 9 km 的长轴褶皱带。

方斗山尖棱背斜(95 - 23.5 测线)(图 6):背斜 2 翼产状约为 20°~25°,基本对称。轴面直立的尖棱背斜。 T_{P_2} — T_C 及 T_{O_3} — T_C 反射层褶皱形态相似一致完整。仅在背斜 2 翼发育轴倾共轭冲断层。褶皱幅度较大,轴部 T_2 及部分 T_1 地层受到剥蚀。但下古生界圈闭的志留系区域性盖层保存良好。方斗山尖棱背斜的东翼以月台寺—中台子寄生背斜与石柱箱状复向斜相隔,西翼以白象河寄生向斜、洋渡

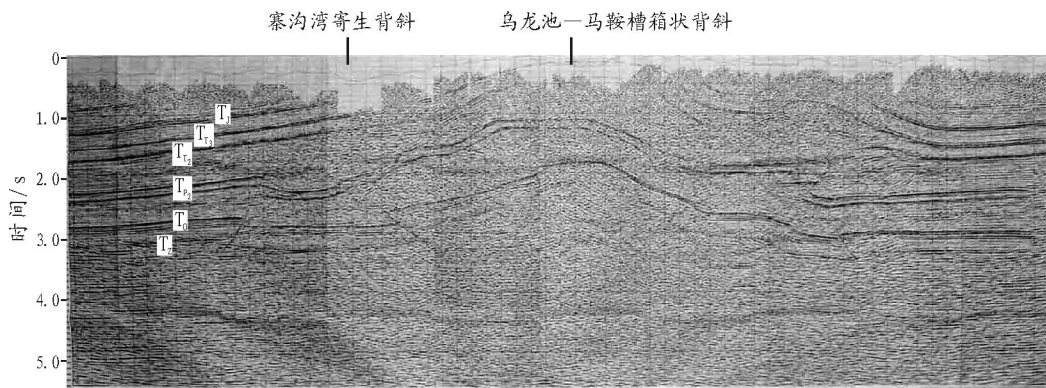


图 5 鄂西—渝东区乌龙池—马鞍槽地震 87 - 201.5 线箱状背斜构造解释剖面图

Fig. 5 Profile of box anticline along seismic line 87-201.5 in the Wulongchi-Maancao region of West Hubei and East Chongqing

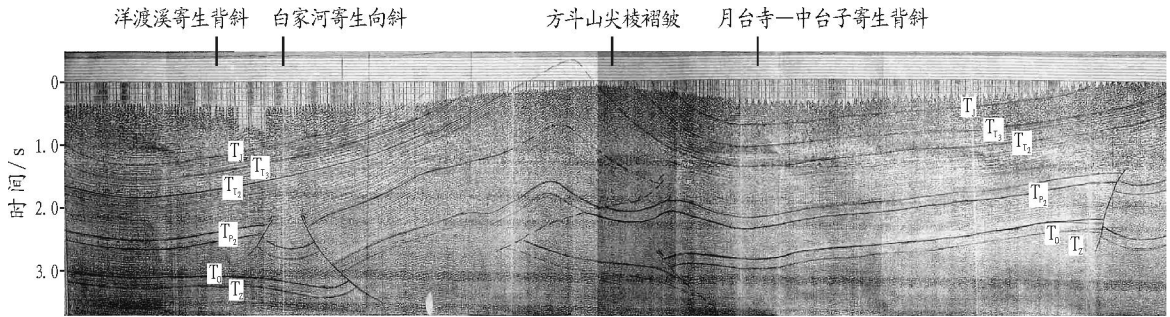


图6 鄂西—渝东区方斗山地震95-23.5线尖棱背斜构造解释剖面图

Fig. 6 Profile of chervon anticline along seismic line 95-23.5 in the Fangdoushan region of West Hubei and East Chongqing

溪寄生背斜与万县复向斜相邻。寄生向斜2侧发育了共轭冲断层。

3.3 石柱箱状复向斜带()

石柱复向斜带位于方斗山尖棱背斜带与齐岳山膝折背斜带之间,长约140 km,宽20~25 km。总体走向NNE 40°。西侧以NNE走向的悦来场—罗针田长轴寄生向斜与方斗山尖棱背斜带相隔,东侧以NNE走向的磨刀溪—沙子关—金竹坝长轴寄生向斜(长110 km,宽2~3 km)与齐岳山膝折背斜带为界。在石柱箱状复向斜中主要发育了由SEE向NW方向挠曲的建南背斜和由NW向SEE方向挠曲的盐井溪—茶园坪背斜。2者构成了共轭变形关系。

挠曲背斜构造是膝折构造的初始变形形态。薄层状的多层岩层在水平挤压作用下,沿有缺陷的部位发生挠曲变形。背斜顶部转折端平坦,缓翼部分地层产状一般<20°,在陡翼部分通常发育轴倾冲断层。背斜各岩层枢纽由缓翼向陡翼方向依次迁移。

如果变形进一步发展,挠曲背斜的陡翼就形成膝折带。

建南挠曲背斜:位于石柱复向斜中的北段,长约30 km,宽7 km,走向NNE40°。东侧缓翼倾向SE,产状<15°;西侧为挠曲陡翼,发育倾向SEE、走向NNE的太平镇冲断层。建南挠曲背斜转折端地层产状平缓。T_{P2}—T_C及T_{O3}—T_C反射层同步褶皱呈箱状形态。背斜枢纽从T_C—T_{O3}向T_C—T_{P2}逐层由东向西迁移。从北向南由86-203.6测线到94-17测线、再到87-184.5测线(图7),反映了建南背斜构造在由SE向NW方向水平剪切和挤压作用下,西侧陡翼挠曲度逐渐增加,太平镇逆冲断层的断矩逐渐增大的挠曲变形过程。

盐井溪—茶园坪挠曲背斜:位于石柱复向斜南段,长约30 km,宽约9 km,呈纺锤形。走向NNE42°。西翼宽缓倾向NW,地层平均产状<15°;东翼为挠曲陡翼倾向SE,地层平均产状30°~35°;并发育倾向NW、走向NNE的沙子关轴倾的挠曲-

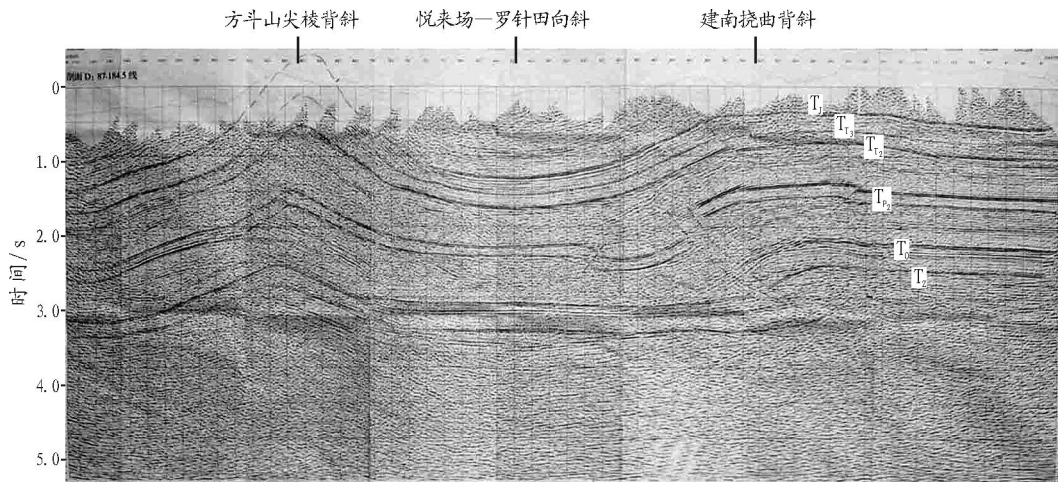


图7 鄂西—渝东区建南地震87-184.5线挠曲背斜构造解释剖面图

Fig. 7 Profile of flexure anticline along seismic line 87-184.5 in the Jiannan region of West Hubei and East Chongqing

逆冲断层。在 95 - 12 测线上,盐井溪背斜的 T_{p_2} - T_c 及 T_{o_3} - T_c 反射层由西向东同步挠曲变形。枢纽由下向上逐层向东迁移。在挠曲背斜的西侧缓翼上,还发育了若干排等间距排列(间距约为 3.5 km)的次级挠曲(膝折)带。

建南挠曲背斜与盐井溪—茶园坪挠曲背斜构造几何形态相似,但位置上变形方位相反,是在 SE—NW 方向水平剪切与挤压力偶作用下,构成的共轭挠曲构造,也是共轭膝折带初始形成状态下的构造。

3.4 齐岳山膝折背斜带()

齐岳山膝折背斜带走向 $NNE40^\circ$,为长轴背斜,西侧以齐西冲断层、磨刀溪—鱼龙—沙子关—金竹坝寄生向斜与石柱复向斜相隔;东侧以马口驿冲断层与利川滑脱褶皱构造带为界。在其北段的马口驿背斜、齐岳山背斜是一个从 NW 向 SE 方向变形的膝折背斜。轴面倾向 NW。NW 缓翼视倾角 45° , SE 陡翼视倾角 $55^\circ \sim 60^\circ$,从下三叠统到上三叠统,膝折背斜转折端枢纽由 NW 向 SE 方向逐层偏移。

从齐岳山膝折背斜带经过鄂西—渝东区膝折构造带到华莹山背斜带的整个 NNE 走向的所谓“川东高陡背斜带”古生界克拉通凹陷盆地的改造变形,并不是来自于从川中古隆起向 SE 方向的重力滑动变形;也不属于逆冲断裂与断展褶皱构造或滑脱断层与滑脱褶皱构造,而是由于江南—雪峰山基底拆离推覆体(A 带),在印支—早燕山时期由 $SE120^\circ \sim 150^\circ$ 方向向 NW 方向大规模水平挤压的推覆作用,使得中上扬子古生界克拉通内凹陷盆地的沉积盖层

发生了由武陵山冲断层—断弯褶皱带(B 带)、湘鄂西逆掩断层—断展褶皱带(C 带)、利川滑脱断层—滑脱褶皱带(D 带),直到川东(包括鄂西—渝东区)膝折褶皱带(E 带)的递进(衰减)变形的结果。膝折、挠曲、箱状、尖棱及寄生背斜是控制川东地区天然气聚集成藏的主要圈闭构造样式。仔细鉴别与研究川东膝折褶皱构造带的变形机制、构造特征与圈闭分布规律及其油气保存条件,有利于整个川东褶皱带的天然气勘探。

致谢:本文所用地震剖面资料均来自于中国石化股份有限公司南方勘探开发分公司,在此表示诚挚的谢意。

参考文献:

- 1 Ramsay J. G. 褶皱和断裂——现代构造地质学方法(第 2 卷) [M]. 徐树桐译,郑亚东校. 北京:地质出版社,1991
- 2 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):37~44
- 3 王金琪,包 茨,罗志立等. 四川盆地的形成与发展[A]. 见:朱 夏,徐 旺编. 中国中生代沉积盆地[M]. 北京:石油工业出版社,1990
- 4 郭正吾,邓康龄,韩永辉等. 四川盆地形成与演化[M]. 北京:地质出版社,1996. 200
- 5 Faill R. T. Kink band structures in the Valley and Ridge Province, central Pennsylvania[J]. Geological Society of America Bulletin,1969,80:2 539~2 550
- 6 郑亚东,王 涛,王新社. 新世纪构造地质学与力学的新理论——最大有效力矩准则[J]. 自然科学进展,2005,15(2):142~148

KINK STRUCTURE IN THE WEST HUBEI AND EAST CHONGQING

Ding Daogui¹, Guo Tonglou², Zhai Changbo¹, Lv Junxiang¹

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China;

2. Southern Branch of Exploration and Production, SINOPEC, Kunming, Yunnan 650200, China)

Abstract: The raised and steep anticline in East Sichuan fold belt including West Hubei and East Chongqing is actually a regional large-scale kink structure formed by multiple strata series under vertically buckling effect. When the Jiangnan-Xuefeng basement decoupling nappe horizontally extruded from SE to NW, the sedimentary cover of Middle-Upper Palaeozoic basin progressively (decreasingly) deformed and resulted in kink structure. The kink structure is characterized by both shear folding and bend folding. It usually occurs in crisp, thin and large viscosity difference strata series with relatively mean lithology. Kink structure in the West Hubei and East Chongqing is divided into 5 types: flexure anticline, kink anticline, box anticline, chervon anticline and parasitic anticline. Kink structure controls natural gas generation and distribution in the East Sichuan.

Key words: kink structure; chervon fold; box fold; the East Sichuan fold belt