

文章编号: 1001 - 6112(2008)02 - 0203 - 04

松辽盆地宾县凹陷平衡剖面恢复及构造演化分析

毕素萍¹, 张庆龙¹, 王良书¹, 陈竹新², 解国爱¹, 徐士银¹, 崔营滨³

(1. 南京大学地球科学系, 南京 210093; 2. 中国石油与天然气股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083; 3. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院, 山东东营 257015)

摘要: 在地层资料分析的基础上, 运用平衡剖面技术, 选取松辽盆地东缘宾县凹陷的 4 条南北走向测线, 对其地震解释剖面进行平衡复原, 并进行伸展量、伸展率和伸展速率计算。分析认为, 宾县凹陷经历了断陷构造期、断拗转化期、拗陷构造期和反转构造期 4 个演化阶段。结果显示, 宾县凹陷在断陷期和断拗转化期的伸展速率较大, 分别约为 0.21 和 0.2 mm/a, 且宾县凹陷的次级构造单元宾县洼陷的中部变形强于边缘。

关键词: 平衡剖面; 伸展量; 伸展率; 伸展速率; 宾县凹陷; 松辽盆地

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

BALANCED CROSS-SECTION RESTORATION AND TECTONIC EVOLUTION ANALYSIS IN THE BINXIAN SAG, THE SONGLIAO BASIN

Bi Suping¹, Zhang Qinglong¹, Wang Liangshu¹,
Chen Zhuxin², Xie Guoai¹, Xu Shiyin¹, Cui Yingbin³

(1. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China;

3. Research Institute of Geological Sciences, Shengli Oil Field, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: Based on strata data analysis, with balanced cross-section technique, choosing 4 NS-trending cross-sections in the Binxian Sag in the east of Songliao Basin, seismic analysis sections are restored in this paper. Extension quantity, rate and velocity for each evolution stage are calculated. The Binxian Sag has experienced at least 4 evolution stages: fault, fault-depression, depression and tectonic inversion. Results have indicated that, extension velocities during the fault and fault-depression stages are higher, about 0.21 and 0.2 mm/a respectively. Deformation intensity in the center of Binxian sub-Sag is stronger than the margin.

Key words: balanced cross-section; extension quantity; extension rate; extension velocity; the Binxian Sag; the Songliao Basin

作为中国东部重要的中生代伸展断陷盆地, 目前松辽盆地形成的动力学背景及内部构造研究已经十分深入^[1-8], 但其东缘隆起区的基础研究还很薄弱, 尤其是哈尔滨以东宾县地区的研究资料较缺乏^[9-11]。近年来, 通过重力详查发现了第四系覆盖下的宾县凹陷。基于平衡剖面技术, 笔者对宾县凹陷的构造演化进行了分析。

1 地质概况

宾县凹陷位于松辽盆地宾县—王府凹陷的东

部, 断裂较发育, 内部可划分为: 宾县洼陷、呼兰北洼陷、塘坊镇断隆带、北部斜坡带和成高子斜坡带(图 1)。

根据野外露头、钻井资料及前人研究成果^[9-14], 获取地层岩性、厚度、层速度和年龄等地质资料, 建立了宾县凹陷地层柱状图(图 2)。

2 平衡剖面恢复

平衡剖面技术在石油勘探领域得到了广泛应用, 对于逆冲推覆构造研究的应用已日臻成熟, 但

收稿日期: 2007 - 03 - 21; 修订日期: 2008 - 01 - 30。

作者简介: 毕素萍(1981—), 女(满族), 研究生, 主要从事沉积盆地构造地质学研究。E-mail: bisuping@yahoo.com.cn。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司东北勘探新区项目(dkky - 06 - 16)。

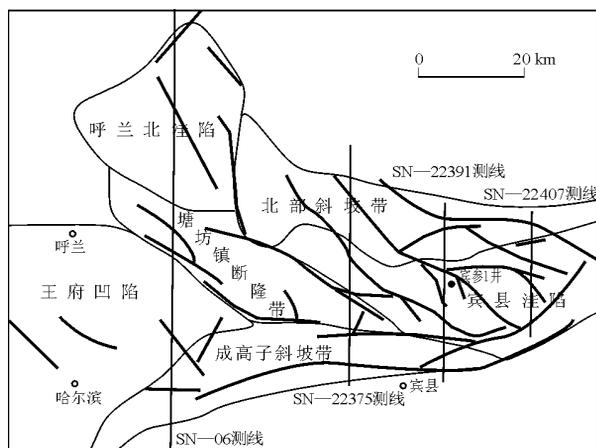


图 1 松辽盆地宾县凹陷构造单元及测线位置

Fig. 1 Tectonic units and survey lines in the Binxian Sag, the Songliao Basin

在伸展、反转、盐底辟等构造的形成演化方面的应用尚在进一步完善中^[12~25]。

2.1 测线剖面选取

该区没有完全垂直构造走向的测线,根据 Price 的论证^[15],认为可以用南北方向的测线剖面来进行平衡剖面分析,或者认为南北方向的测线的分析结果是垂直构造走向、物质运移方向的分量。根据平衡剖面线的选取要求以及从实际情况考虑,选取范围较大的横跨宾县凹陷的 SN-06, SN-22391, SN-22375 和 SN-22407 测线剖面,位置如图 1 所示。

2.2 平衡剖面恢复过程中参数的确定

时深转换:将时间剖面导入 Unix 系统下运行的 GeoSec 软件,进行数字化处理。波速横向差异大的地区应进行变速时深转换。鉴于宾县凹陷范围相对较小,同时代地层岩相横向变化不大,因此横向未采用变速时深转换。在此需要层速度数据,根据测井曲线读取层速度均值分别为:青山口组 3 070 m/s,泉头组 3 850 m/s,登娄库组 4 440 m/s,营城沙河子火石岭组 5 260 m/s。

断距消除:平衡处理之前要进行断距消除,在此基础上进行平衡恢复,重建地层沉积时的水平状态。断距消除时,浅部地层采用弯滑机制处理,深部地层采用垂直/斜滑机制处理^[17]。

剥蚀补偿:宾县地区乃至整个松辽盆地经受过多期构造运动,地层存在 4 个不整合面,需要对不整合面以下的地层进行剥蚀补偿。剥蚀量数据可以参考前人研究成果,但宾县地区属于勘探新区,尚未有学者对此进行研究,缺乏剥蚀量数据,因此主要采用厚度趋势法进行估算。

去压实:在同沉积伸展盆地的平衡剖面恢复过程中,需进行去压实校正。针对岩性均匀的地层,GeoSec 软件提供了去压实校正功能。在此仍需要层速度数据。

3 平衡剖面结果分析

3.1 SN-06 测线

从 SN-06 测线平衡剖面分析结果(图 3)可以看出,宾县凹陷经历了多期构造运动,整体上可以划分为 4 个时期:断陷构造期、断拗转化期、拗陷构造期和反转构造期。

下白垩统火石岭组—营城组沉积时期,宾县凹陷处于伸展断陷阶段,地层分布受断裂控制,且南部断裂较北部发育,南部地层也显著厚于北部。究其动力学因素,国内学者普遍认为^[1~6],早白垩世

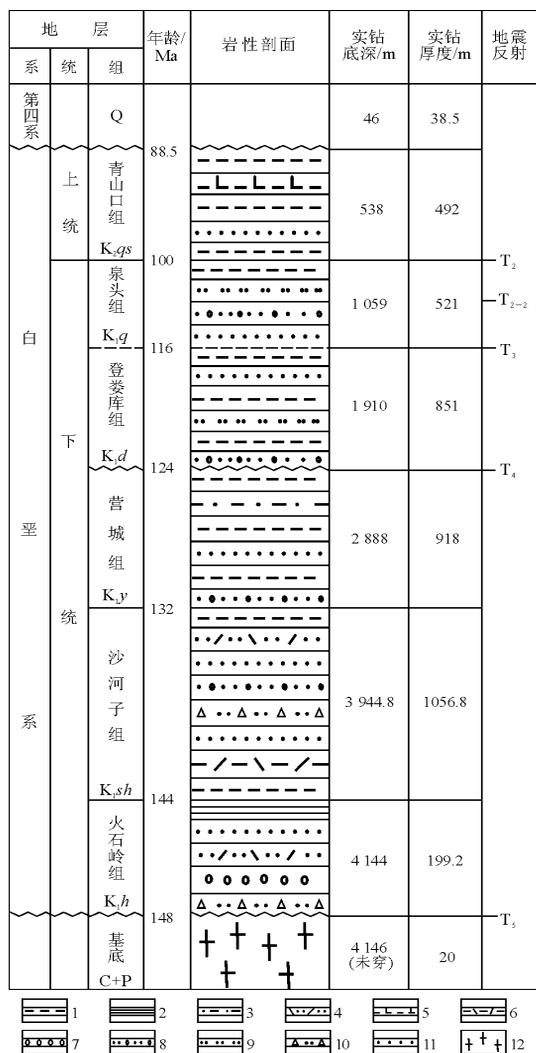


图 2 松辽盆地宾县凹陷地层综合柱状图

1. 泥岩; 2. 泥页岩; 3. 砂质泥岩; 4. 凝灰质砂岩;
5. 钙质砂岩; 6. 凝灰质泥岩; 7. 砾岩; 8. 含砾砂岩;
9. 粉砂岩; 10. 含角砾砂岩; 11. 砂岩; 12. 花岗岩

Fig. 2 Stratigraphic column of the Binxian Sag, the Songliao Basin

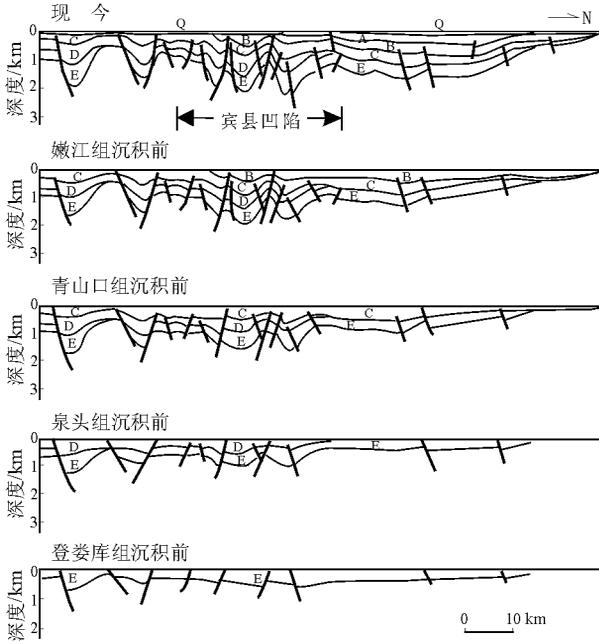


图 3 松辽盆地宾县凹陷 SN—06 测线平衡剖面恢复

Q. 第四系; A. 上白垩统嫩江组; B. 上白垩统青山口组;
C. 下白垩统泉头组; D. 下白垩统登娄库组;
E. 下白垩统营城组、沙河子组、火石岭组

Fig. 3 Balanced cross section of seismic line SN-06 in the Binxian Sag, the Songliao Basin

早期,盆地中部莫霍面拱起使得异常地幔作用进一步加剧,造成更大规模的拉张。而古太平洋板块向西强烈挤压,弧后伸展盆地发育,火山活动强烈。

登娄库组沉积时期,凹陷处于断拗转化阶段,登娄库组地层沉积厚度较大,主要分布于凹陷南部,北部则缺失。究其动力学因素^[1~6],古太平洋板块俯冲角度逐渐变大,导致松辽盆地进一步弧后伸展,盆底整体下沉,使断陷向拗陷转化。

泉头组—嫩江组沉积时期,凹陷处于拗陷发育阶段,沉积范围扩大。但仍处于古太平洋板块作用下,盆地发展进入全盛期。

但是由于嫩江组沉积以后发生了一次强烈的挤压运动,产生构造反转,地层遭受剥蚀,使得青山口—嫩江组现今仅保存于盆地北部。究其动力学因素^[1~6],嫩江期末日本海开始扩张,向西的挤压压力波及盆地,产生压扭应力场。整个松辽盆地普遍抬升,地层褶皱,尤其在盆地东部地区表现得更为明显。

3.2 SN—22391, SN—22375, SN—22407 测线

通过对这 3 条测线的平衡剖面恢复,主要提取各阶段的形态和长度数据。根据形态分析得出各构造演化的阶段特征,根据长度数据计算出各阶段的伸展率。它是在一定的时间尺度和空间尺度上

的均值,受实际条件限制,所选择的剖面并不完全垂直于构造运移走向,所得数据针对此剖面有效(图 4)。

根据大庆石油学院关于松辽盆地白垩系地层划分与对比中的年龄数据,结合剖面长度,可以得出宾县凹陷在不同构造演化阶段的伸展速率——伸展量与时间的比值(表 1),以及平均伸展速率与时间的关系曲线(图 5)。

火石岭组—营城组沉积时期为拉张断陷阶段,主要发育正断层,断裂规模大,地层分布受断陷控制,形成了凹陷的基本形态。除边界断层外,内部二级断层已经开始发育。从恢复结果来看,SN—22391 和 SN—22407 的伸展率较大。而伸展速率数据显示 SN—22391 最大,SN—22407 和 SN—22375 次之。

登娄库组沉积时期是断拗转化阶段,一些二级断层停止活动,区域内广泛接受沉积。从恢复结果来看,SN—22391 的伸展率最大,SN—22407 和 SN—22375 次之。伸展速率数据显示 SN—22391 仍然最大,SN—22407 和 SN—22375 相当。

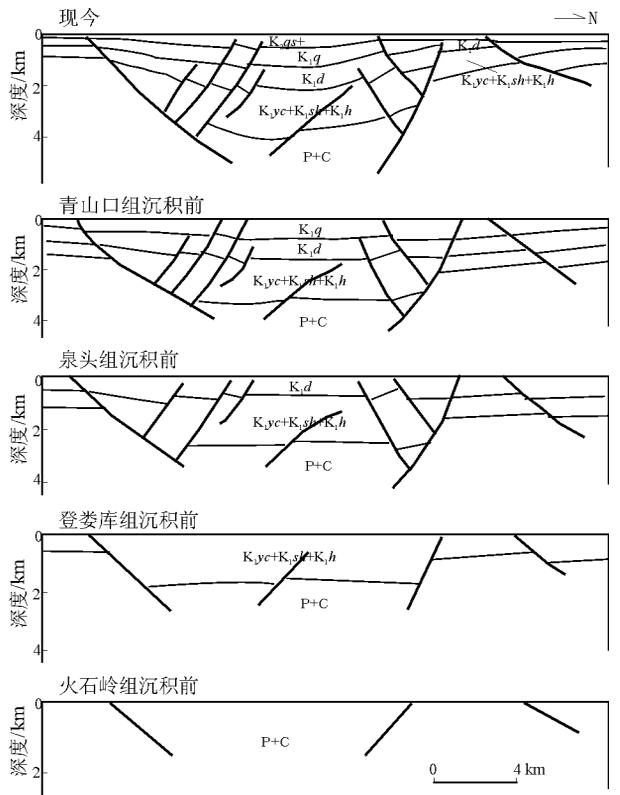


图 4 松辽盆地宾县凹陷 SN—22391 测线平衡剖面恢复

K_2qs+ . 青山口组及以上; K_1q . 泉头组;
 K_1d . 登娄库组; K_1yc . 营城组; K_1sh . 沙河子组;
 K_1h . 火石岭组; P+C. 二叠系+石炭系

Fig. 4 Balanced cross section of seismic line SN-22391 in the Binxian Sag, the Songliao Basin

表 1 松辽盆地宾县凹陷地质剖面各地质时期伸展量、伸展率和伸展速率

Table 1 Amounts, rates and speeds of extensions in various geological periods of seismic sections in the Binxian Sag, the Songliao Basin

地质时期	SN—22375 测线				SN—22391 测线				SN—22407 测线			
	剖面长/km	伸展量/km	伸展率,%	伸展速率/(mm·a ⁻¹)	剖面长/km	伸展量/km	伸展率,%	伸展速率/(mm·a ⁻¹)	剖面长/km	伸展量/km	伸展率,%	伸展速率/(mm·a ⁻¹)
N+Q+K ₂	48.2	-1.0	-2.0	-0.01	34.5	-1.7	-4.7	-0.02	22.8	-0.8	-0.3	-0.01
K _{1q}	49.2	1.4	2.9	0.09	36.2	2.6	7.7	0.16	23.6	1.1	4.9	0.07
K _{1d}	47.8	1.2	2.6	0.15	33.6	2.4	7.7	0.30	22.5	1.2	5.9	0.15
K _{1yc+sh+h}	46.6	3.3	7.6	0.14	31.2	7.2	30.0	0.30	21.3	4.2	24.6	0.18
P+C	43.3				24.0				17.1			

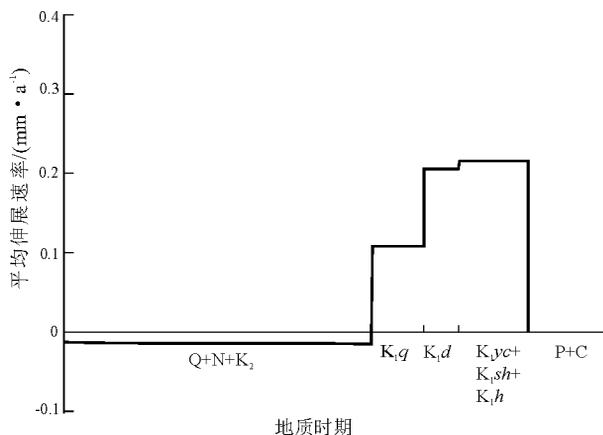


图 5 松辽盆地宾县凹陷平均伸展速率—时间曲线

Fig. 5 Average extension velocity and time curve diagram in the Binxian Sag, the Songliao Basin

泉头组—嫩江组沉积时期为拗陷阶段。凹陷处于稳定沉积时期,断层活动减弱或停止。由于后期改造,拗陷期沉积的部分地层缺失,且青山口组以上地层从地震反射资料上无法识别,因此只计算了泉头组沉积时期的伸展率和伸展速率。从恢复结果来看,仍然表现为 SN—22391 的伸展率最大,SN—22407 和 SN—22375 次之。伸展速率数据显示 SN—22391 最大,SN—22375 和 SN—22407 次之。

嫩江组沉积以后挤压强烈,主要沿一些断裂带发生反转,形成了一些逆断层,沉积地层遭受严重剥蚀。从恢复的平衡剖面来度量,只能计算出晚白垩世以来宾县凹陷的平均伸展率和伸展速率,仍旧是 SN—22391 测线表现明显。

4 结论

1) 松辽盆地演化早期,该区南部发生断陷伸展,接受较厚的沉积;北部则处于构造相对抬升状态,沉积地层较薄或缺失。演化晚期,松辽盆地整体发生构造反转,该区无论从横向上还是纵向上表现都十分明显。横向上表现为北部下沉接受沉积,

南部强烈隆升遭受剥蚀。从 4 条剖面对比可知,该区西部的沉积厚度小于东部。

2) 下白垩统火石岭组—营城组沉积时期,宾县凹陷处于伸展断陷阶段;登娄库组沉积时期,凹陷处于断拗转化阶段;泉头组—嫩江组沉积时期,为拗陷阶段;嫩江组沉积末期,宾县凹陷遭受了一次强烈挤压,此前沉积的地层大范围剥蚀。

3) 由 SN—22391 测线在各个时期的伸展率、伸展速率均大于 SN—22375 和 SN—22407 测线可见(表 1),宾县洼陷的中部活动强于边缘;由 3 条剖面的平均结果可见(图 5),断陷期和断拗转化期的伸展速率较大。

参考文献:

- 1 陈昭年,陈发景. 松辽盆地反转构造运动学特征[J]. 现代地质,1996,10(3):390~396
- 2 解习农. 中国东部中生代盆地形成演化与深部过程的耦合关系[J]. 地质前缘,1998,5(增刊):162~165
- 3 陈发景,汪新文,张光亚等. 中国中、新生代前陆盆地的构造特征和地球动力学[J]. 地球科学:中国地质大学学报,1996,21(4):366~372
- 4 刘翠荣,陈发景. 裂谷盆地的理论模拟:以松辽盆地为例[J]. 石油实验地质,1996,18(3):274~282
- 5 张岳桥,赵越,董树文等. 中国东部及邻区早白垩世裂陷盆地构造演化阶段[J]. 地质前缘,2004,11(3):123~133
- 6 李娟,舒良树. 松辽盆地中、新生代构造特征及其演化[J]. 南京大学学报(自然科学版),2002,38(4):525~530
- 7 周荔青,吴聿元,张淮. 松辽盆地断陷层系油气成藏的分区特征[J]. 石油实验地质,2007,29(1):11~16
- 8 吴聿元,周荔青. 松辽盆地主要断陷大中型油气田形成分布特征[J]. 石油实验地质,2007,29(3):19~25
- 9 黑龙江省地质局区域地质测量队. 1:20 万宾县幅(L—52—XX)区域地质测量报告[R]. 1967.8~180
- 10 贾军涛,王璞璐,张斌等. 哈尔滨滨宾县凹陷白垩纪地层层序及其与松辽盆地的对比[J]. 地质通报,2006,25(9—10):1143~1151
- 11 崔营滨. 松辽盆地东缘宾县凹陷沉积特征与烃源岩初步评价[D]. [学位论文]. 西安:西北大学,2006

(下转第 211 页)

藏的主要有效化探指标。2 批次样品的 DC_1 异常空间展布呈现出一定的差异性,是研究区油藏次要有效化探指标。

研究区油藏上方 SC_1 指标异常的形成与已知油藏微渗漏关系密切,结合深部油气藏地质系统中的断层因素,确定了该油藏上方有效化探指标 SC_1 的异常模式,为该区以后的油气勘探提供了参考依据。

参考文献:

- 1 程同锦,李广之,陈银节. 吸附烃提取新技术及其在地表油气化探中的应用[J]. 石油实验地质,2007,29(2):10~13,26
- 2 刘崇禧,赵克斌,余刘应等. 中国油气化探 40 年[M]. 北京:地质出版社,2001.150~165
- 3 张玉明,夏响华,卢兵力等. 松辽盆地南部低渗透油气田勘探技术[M]. 北京:石油工业出版社,2001.142~143
- 4 蒋 涛,夏响华,陈浙春. 地球化学烃场效应的探讨及应用[J]. 石油实验地质,2003,25(32):290~294
- 5 夏响华,胡 凯,秦建中等. 油气化探轻烃指标间关系与烃运移地表显示[J]. 石油实验地质,2006,28(6):84~87
- 6 任 春,夏响华. 典型气藏上方地表化探特征分析[J]. 石油实验地质,2006,28(2):92~96
- 7 朱怀平,李 武,吴传芝等. 油气化探技术在隐蔽油气藏勘探中的作用[J]. 石油与天然气地质,2004,25(3):344~348

- 8 蒋 涛,任 春,夏响华. 近地表土壤中油气微渗漏烃的赋存特征及化探指标的实验性研究[J]. 物探与化探,2003,27(4):251~254
- 9 孙长青,赵克斌,程 军等. 油气化探近地表干扰因素研究[A]. 见:程同锦,戴联善编. 第四届全国油气化探学术会议论文集[C]. 武汉:中国地质大学出版社,1998.108~114
- 10 邓国荣. 浅议油气化探的干扰因素[J]. 石油与天然气地质,2006,27(5):675~681
- 11 姚俊梅,夏响华,任 春. 油气化探方法稳定性和异常重现性分析[J]. 石油实验地质,2003,25(6):765~792
- 12 陆明德,田时芸. 石油天然气数学地质[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991.48,76~78
- 13 林玉祥,朱 雷,叶秋焱. 利用地表化探详查方法确定断块油藏边界[J]. 石油大学学报(自然科学版),1997,21(1):11~17
- 14 赵密福,刘泽容,信荃麟等. 控制油气沿断层纵向运移的地质因素[J]. 石油大学学报(自然科学版),2001,25(6):21~24
- 15 马贡 L B,道 W G. 含油气系统:从烃源岩到圈闭[M]. 张刚,蔡希源,高泳生等译. 北京:石油工业出版社,1998.93
- 16 高先志,杜玉民,张宝收. 夏口断层封闭性及对油气成藏的控制作用模式[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):76~78
- 17 Saunders D F, Burson K R, Thompson C K. Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83: 170~185
- 18 赵克斌,孙长青,陈昕华. 烃类垂向微运移及近地表地球化学效应[J]. 石油勘探与开发,2000,27(4):99~101

(编辑 吴传芝)

(上接第 206 页)

- 12 Gibbs A D. Balanced cross-section construction from seismic section in areas of extensional tectonics[J]. Journal of Structural Geology,1983,5(2):153~160
- 13 薛 冈,卢华复. 伸展区域平衡剖面法及其在构造分析中的应用[J]. 高校地质学报,2001,7(4):428~433
- 14 漆家福,Groshong R H Jr. 用面积平衡原理预测伸展断陷盆地中岩层内部应变及亚分辨正断层的方法[J]. 地球科学,2002,27(6):696~702
- 15 Woodward N B, Boyer S E, Suppe J. 平衡剖面——地质研究与勘探工作的一种重要方法[M]. 贾维民,杜秀霞译. 武汉:中国地质大学出版社,1991.1~140
- 16 佟彦明,钟巧霞. 利用平衡剖面快速判定盆地区域古构造应力方向[J]. 石油实验地质,2007,29(6):103~106
- 17 周建勋. 同沉积挤压盆地构造演化恢复的平衡剖面方法及其应用[J]. 地球学报,2005,26(2):151~156
- 18 Dahlstrom C D A. Balanced cross sections[J]. Canadian Journal of Earth Sciences,1969,(6):743~757
- 19 Schonborn G. Balancing cross sections with kinematic constraints:the dolomites (northern Italy) [J]. Tectonics,1999,18(3):527~545

- 20 Dubey A K, Misra R, Bhakuni S S. Erratic shortening from balanced cross-sections of the western Himalayan foreland basin: causes and implications for basin evolution[J]. Journal of Asian Earth Sciences,2001,19(6):765~775
- 21 Mukhopadhyay D K, Permanand M. A balanced cross section across the Himalayan frontal fold-thrust belt, Subathu area, Himachal Pradesh, India: thrust sequence, structural evolution and shortening[J]. Journal of Asian Earth Sciences,2005,25(5):735~746
- 22 陈竹新,贾 东,张 愷等. 龙门山前陆褶皱冲断带的平衡剖面分析[J]. 地质学报,2005,79(1):38~43
- 23 Zhou J X, Xu F Y, Wang T C, et al. Cenozoic deformation history of the Qaidam Basin, NW China: Results from cross-section restoration and implications for Qinghai-Tibet Plateau tectonics[J]. Earth and Planetary Science Letters,2006,243:(1-2) 195~210
- 24 颜丹平,田崇鲁,孟令波等. 伸展构造盆地的平衡剖面及其构造意义——以松辽盆地南部为例[J]. 地球科学,2003,28(3):275~280
- 25 张树林,费 琪,叶加仁. 断陷盆地边缘凹陷类型及成因[J]. 石油实验地质,2007,29(1):47~51

(编辑 韩 彧)