



Title	Balanced geological section for extensional tectonic basin and its implication: An example from southern Songliao Basin
Author(s)	Yan, DP; Tian, CL; Meng, LB; Zhang, JZ; Zhou, MF
Citation	Earth Science - Journal Of China University Of Geosciences, 2003, v. 28 n. 3, p. 275-280
Issued Date	2003
URL	http://hdl.handle.net/10722/151100
Rights	Creative Commons: Attribution 3.0 Hong Kong License

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

颜丹平^{1,2}, 田崇鲁³, 孟令波⁴, 张建增², 周美夫⁵

(1. 教育部岩石圈构造、深部过程及探测技术重点实验室, 北京 100083; 2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 石油大学地质科学系, 北京 102249; 4. 吉林油田勘探开发研究院, 吉林松原 138000; 5. 香港大学地球科学系, 香港)

摘要: 挤压构造的平衡地质剖面分析已经广泛应用于造山带构造分析, 但伸展构造区的平衡地质剖面分析实例仍然很少. 运用盆地分析的技术与方法, 分层序或阶段将地质构造依次恢复、地层逐层回剥, 并通过在松辽盆地南部吉林两井油田扶余油层 4 条剖面的实践, 复原出不同时代盆地构造与地层发育的连续剖面, 揭示出松辽盆地南部主要构造样式是以浅表构造层次的负花状构造及深层剥离断层发育为特征; 断层生长指数、盆地的伸展史和伸展量等参数显示, 晚白垩世是构造转型的重要阶段, 此前主要为走滑构造样式形成阶段, 此后则主要为伸展滑脱构造发育阶段. 在此基础上, 提出松辽盆地具有伸展-走滑双重力学构造性质, 可能是一个弧后构造盆地.

关键词: 平衡地质剖面; 伸展盆地; 构造变形史; 两井油田; 松辽盆地.

中图分类号: P54 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2003)03-0275-06

作者简介: 颜丹平(1964-), 男, 博士, 副教授, 主要从事构造地质学、盆地构造及构造地球化学的教学与研究工作. E-mail: yandp@cugb.edu.cn

平衡地质剖面是指可以把剖面上的变形构造通过几何学原则全部复原成合理的未变形状态的剖面. 为了建立合理的地质横剖面, Dahlstrom^[1]和 Depaor^[2]等总结了 2 条原则: (1) 对在几何学上合理的横剖面, 在不存在间断的情况下, 其岩层的长度是一致的; (2) 在一个特定的地质环境下, 只可能存在一套特定的构造. 平衡剖面要求剖面线平行于构造运动方向, 即垂直于构造带的走向, 其基本约束条件是变形前后物质的体积不变, 即“体积不变原则”, 在垂直构造走向的剖面上表现为“面积不变原则”. 归纳起来即是, 如果一条构造剖面能够复原至未变形的状态, 那么它就是一条合理的地质横剖面. 目前, 上述原则大多运用于挤压构造变形的定量研究以及在此基础上进行的构造复原实践中, 如: 在 Appalachians^[3,4]、Andes^[5]、Alps^[6,7]、天山^[8]、Pyrenean^[9] 和喜马拉雅^[10] 等造山带中绘制的平衡地质剖面及构造复原剖面, 不仅使造山带构造得到了合理而令人信

服的解释, 而且可以定量描述变形形成和发育过程. 近年来, 利用深部地震资料绘制的平衡地质剖面则使其精度大大提高^[10,11].

然而在伸展构造区, 特别是伸展构造盆地中, 地层与构造往往是同步发展的, 即在构造发生、发展的同时, 伴随着老地层的逐步埋藏和新地层的沉积. 而且受区域性阶段性构造运动的影响, 盆地演化也显示出阶段性, 这又往往形成构造变形的叠加; 此外, 地层的压实作用与剥蚀作用也是张性盆地构造演化中普遍存在的问题. 因此, 如何合理地、定量地对伸展盆地构造进行解析是盆地构造分析中的一个难点. 目前, 这方面的研究尚处于探索之中^[12~14].

笔者遵循盆地构造分析的基本思路, 运用盆地反演的技术与方法, 分层序或阶段将地质构造依次恢复、地层逐层回剥进行压实恢复. 通过在松辽盆地南部吉林两井油田扶余油层 4 条剖面的实践, 复原出不同时代盆地构造变形与地层的连续剖面, 以此揭示松辽盆地南部主要含油层的演化过程与构造发展历史. 通过计算断层生长指数、盆地的伸展史、断层滑脱深度等参数, 综合分析总结盆地基本构造样

收稿日期: 2002-06-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40172070); 吉林油田勘探开发科学研究院项目.

式及发育演化的阶段.在此基础上,对松辽盆地构造性质及盆地构造类型进行了探讨.

1 地质背景

松辽盆地是在兴蒙造山带华力西造山作用基础上发育起来的,其主体成盆时期是从侏罗纪开始,并在早白垩世中期,形成了统一的“古松辽盆地”^[15]

两井油田扶余油层位于松辽盆地南部中央拗陷带.经吉林两井油田钻孔揭示,钻遇地层自下而上有:白垩系泉头组三段、四段、青山口组、姚家组、嫩江组及第三系与第四系.两井油田泉头组四段扶余油层资料最为丰富,其顶面构造埋深 1 600~1 900 m,其构造总体面貌为向西南倾斜的斜坡区,构造倾角约为 3°,并发育有向西南倾的让字井鼻状构造和北西、北东走向呈条状断块的首字井条状构造,并形成垒、堑相间的构造格局(图 1).

油田基本特征是高角度正断层极为发育,断层延伸不远,约 3~5 km,长者 10~15 km,断距 20~60 m,一般 30 m 左右,以北北西向为主.断层在图 1 北段中部和南东区域分别构成复杂的断层聚合带,但在 2 个区之间形成明显的构造转换带,断层发育明显减少(图 1).

2 两井油田平衡地质剖面与构造发育史剖面

2.1 岩石力学基本参数

为综合分析张性盆地的构造变形史、伸展史和沉降—埋藏史,必须从地层发育的角度对沉积地层进行压实恢复和剥蚀恢复.这首先需要获得沉积岩石的基本岩石力学参数,如杨氏模量、泊松比、平均密度、内聚力、内摩擦角和抗张强度等.

根据吉林两井油田地震解译、地质测井和钻井资料的综合资料成果^①,将区内主要地层划分为 K_2-Q 、 K_1 (嫩江组)、 K_y (姚家组)、 K_q (青山口组)、 K_q^4-I (泉四段 1 沙组)、 K_q^4-II (泉四段 2 沙组)、 K_q^4-III (泉四段 3 沙组)、 K_q^4-IV (泉四段 4 沙组)和下伏地层共 9 个层位.其中在泉四段 5 个层位中获得了系统的岩心样品,并在北京科技大学岩

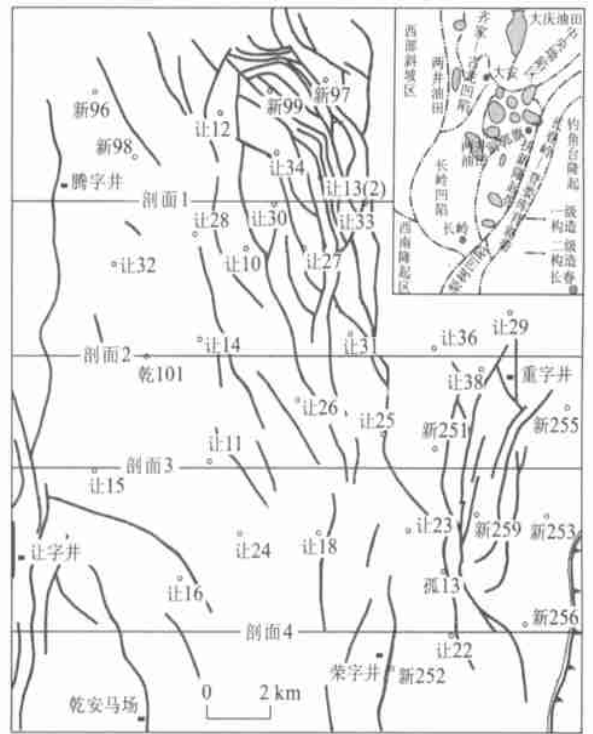


图 1 两井油田扶余油层顶面构造(右上角插图为松辽盆地南部构造略图,据①修改)

Fig. 1 Tectonic map on the peak surface of Fuyu oil-bearing layer in Liangjing area and a tectonic outline of southern Songliao basin in the insert

石力学实验室进行了岩石力学测试,获得了系统的岩石力学参数,其他层位岩石力学参数则根据吉林油田研究院有关沙泥岩比值计算获得,断层参数主要根据对吉林油田、辽河油田、胜利油田和中原油田等的综合研究实践基础而推断得出^②.由上述试验、计算和推断获得的所有岩石力学参数如表 1 所示.

2.2 平衡地质剖面与构造发育史剖面

运用中国地质大学(北京)和石油勘探开发科学研究院共同研制的盆地构造模拟软件(BSM D)^[16],对两井地区 4 条综合地质构造剖面(图 1)进行了平衡剖面解释,并分析和反演了构造发育史剖面(图 2).这些构造剖面具有以下基本特征:

(1) 扶余油层主要发育高角度正断层,断层有规律地组合成地堑—地垒构造样式.从平面上分析,断层发育极不均一.在图 1 北段中部及南东区域密集发育,断层延伸长度较大,而其他区域则表现规模小、发育程度低的特点.

在平衡地质剖面上,如果将上述断层向深部延

①吉林油田勘探开发研究院.两井油田扶余油层(新增)石油探明储量报告,1997.

②田崇鲁,颜丹平.低渗透致密储层裂缝精细描述技术及发育规律研究.石油天然气总公司研究报告,2000.

表 1 各主要构造模拟层系岩石力学参数

Table 1 Rock mechanics parameters for the simulating beds

层系	E/MPa	泊松比 μ	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	c/kPa	$\phi/(\text{°})$	F/MPa
K_2-Q	1.80	0.140	2.350	31.4	41.0	3.79
K_1	1.90	0.145	2.400	31.4	38.0	3.79
K_y	2.10	0.153	2.433	32.1	31.0	3.40
K_q	2.20	0.158	2.461	32.1	41.0	3.40
Kq^4-I	2.30	0.170	2.454	36.1	28.7	3.62
Kq^4-II	2.33	0.180	2.433	36.1	31.85	3.74
Kq^4-III	2.35	0.183	2.524	37.1	40.9	3.74
Kq^4-IV	2.38	0.184	2.524	37.1	30.8	3.62
下伏地层	2.41	0.215	2.590	36.5	40.0	3.68
断层	1.50	0.150				

主要岩性: K_2-Q . 松散的砂、砾; K_1 . 河湖相粉砂、泥岩; K_y . 泥岩夹粉砂岩; K_q . 粉砂与泥岩互层; Kq^4-I . 粉砂岩为主; Kq^4-II . 粉砂岩为主; Kq^4-III . 粉砂岩为主; Kq^4-IV . 粉砂岩为主; E . 杨氏模量; c . 内聚力; ϕ . 内摩擦角; F . 抗张强度; 资料来源: 泉头组四段为实测, 测试者: 北京科技大学王宝学等, 其他则根据油田研究院有关砂泥岩比值计算获得。

伸, 断层组合成一个清晰的负花状构造(图 2d 最为典型)。实际上, 由于扶余油层及其上覆和下伏地层深度有限(均在 2 000 m 左右, 图 1), 因此, 平衡地质剖面所勾绘的仅为这一负花状构造的顶部。由表 2 可知, 平衡地质剖面的拆离断层深度在 4.5~8 km, 说明上述断层产状变缓并构成构造滑脱的部位远在扶余油层之下, 上述断层密集区域为负花状构造的花心区; 但这一深度比长英质岩石脆-韧性过渡的 10~15 km 正常深度要小得多。根据油田勘探资料, 推测这是区内高地热流值作用的结果。

(2) 在图 2 平衡地质剖面建立基础上, 通过地层的逐层回剥, 获得了平衡剖面的构造发育史剖面(图 2), 并且获得了每条平衡地质剖面中各条断层的生

长指数。断层活动速率从扶余油层至上白垩统和第四系变化不大, 以上白垩统作为分割第四系与下伏地层的界面, 部分断层只在界面以下活动, 多数断层则表现长期活动特征。

(3) 由构造发育史剖面分析, 建立并计算获得了各主要层位的伸展量值(表 2)。晚白垩世及以后的伸展量在 205~360 m, 而此前的伸展量多在 50 m 以下, 二者相差 4 倍以上, 说明上白垩统界面上下断层活动强度有明显的不同, 晚白垩世前后是构造运动阶段的重要分界线, 并形成 2 个清晰的构造演化阶段。

(4) 对比表 2 中的伸展量值, 4 条平衡地质剖面中, 剖面 1, 3 和剖面 4(南北两端)伸展量值要大于剖面 2。显示这一地区(两井油田)伸展应变量大小的大致分布是南北两端变形强, 而中部变形相对较小一些; 相应地剖面 1, 3 和 4 断层位移量要大于剖面 2。特别是早白垩世以前, 这种变形趋势尤其显著。

(5) 局部地段存在构造反转。从表 2 中的数据还发现, 4 号剖面在青山口组沉积时期出现负伸展量值, 表明发生了构造反转现象。从地质上分析, 这是由两井油田东南部近南北走向的逆冲走滑断层作用, 并造成地层缩短所致。这说明两井所在的松辽盆地在白垩纪构造演化过程中, 不是一个单纯的伸展盆地, 而更可能是兼具走滑和伸展性质的双重力学性质构造盆地, 其收缩则应为局部应力场作用所形成。

3 问题讨论

松辽盆地被认为是典型的伸展构造盆地, 并在此原则指导下对其伸展构造变形样式及形成机制进

表 2 平衡地质剖面 1~4 的伸展量

Table 2 Extension measures of balanced sections 1-4

地层	剖面 1 层长/m	断层位移/m	剖面长度/m	伸展量值/m	剖面 2 层长/m	断层位移/m	剖面长度/m	伸展量值/m
K_2-Q	17 640.29	286.844 80	17 924.00	285.279 300	17 719.83	205.891 50	17 924.00	205.028 400
K_1	17 640.29	214.847 10	17 632.10	103.330 500	17 719.83	133.622 90	17 634.55	24.168 070
K_y	17 640.29	10.307 61	17 633.22	1.620 942	17 719.83	42.657 13	17 681.74	2.279 584
K_q	17 640.29	11.169 71	17 644.32	7.602 924	17 719.83	16.804 25	17 718.43	7.698 458
Kq^4	17 640.29	35.269 62	17 675.06	35.020 130	17 719.83	20.746 03	17 714.09	7.498 456
地层	剖面 3 层长/m	断层位移/m	剖面长度/m	伸展量值/m	剖面 4 层长/m	断层位移/m	剖面长度/m	伸展量值/m
K_2-Q	17 664.13	262.317 20	17 924.00	261.095 200	17 563.09	362.763 30	17 924.00	361.836 900
K_1	17 664.13	30.935 83	17 641.51	4.161 106	17 563.09	84.586 34	17 578.23	49.863 970
K_y	17 664.13	37.497 51	17 646.07	9.718 243	17 563.09	42.094 51	17 543.67	11.337 330
K_q	17 664.13	24.140 14	17 667.62	13.819 250	17 563.09	28.801 38	17 533.02	-0.635 750
Kq^4	17 664.13	22.542 92	17 691.16	24.786 300	17 563.09	24.022 64	17 553.08	7.006 591

折离断层深度: 剖面 1~4 分别为 4 582.95, 7 190.94, 7 296.37, 7 828.97 m。

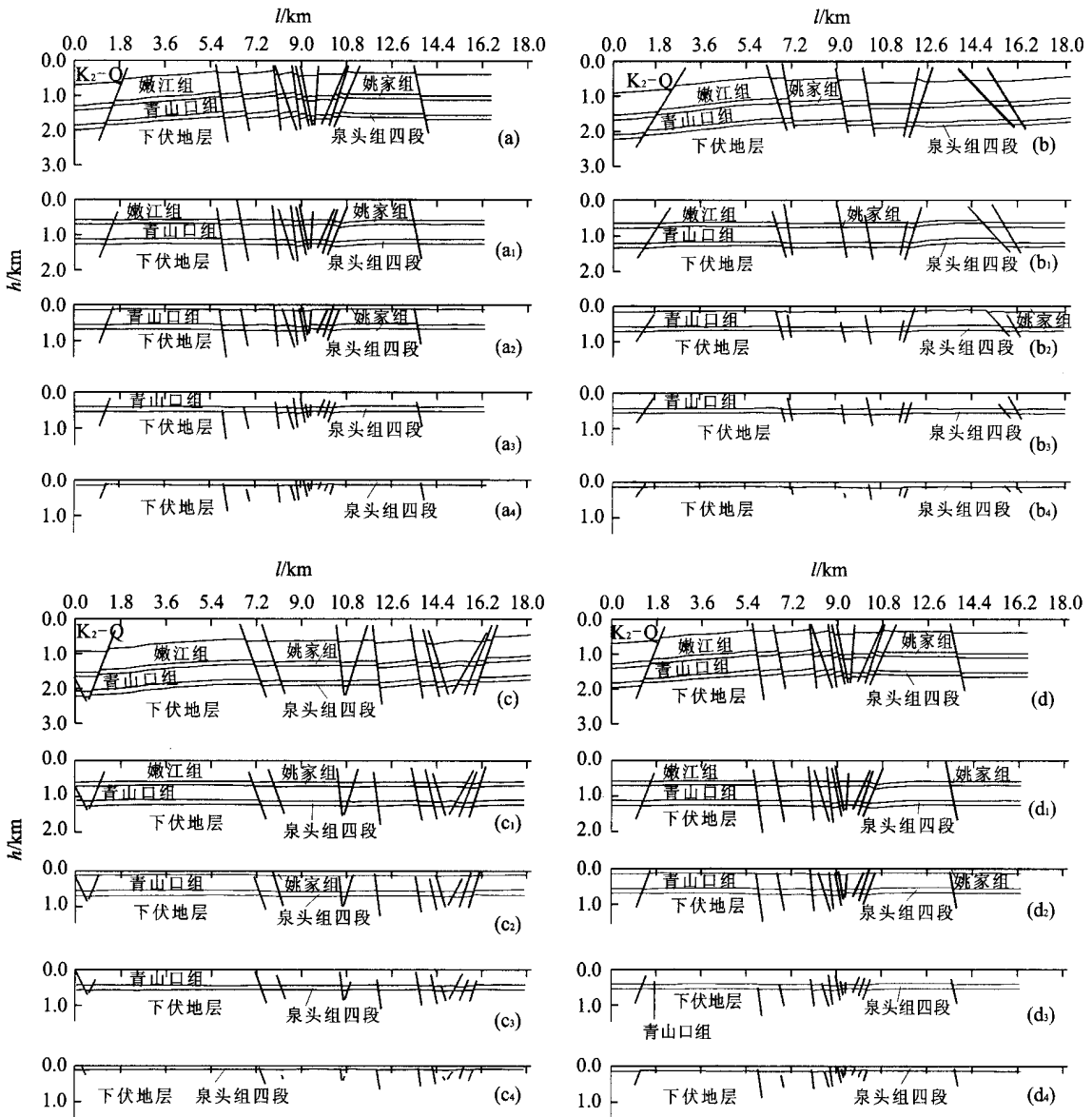


图 2 剖面 1- 4 的平衡地质剖面 (a, b, c, d) 及反演构造剖面 (a₁- d₄)

Fig. 2 Balanced sections (a, b, c, d) and their developed tectonic sections (a₁- d₄) for sections 1- 4

行过系统的研究和总结^[17,18]。近年,在松辽盆地局部构造及盆地构造样式解译和分析基础上,发现了一些特征性的变形样式^[19],如反转构造^[20,21]和转换构造带^[22],这为盆地构造分析与形成机制研究提出了新的问题:这些构造样式是伸展构造下的附属产物,还是具有其特殊的力学成因机制?

在两井油田扶余油层发育的高角度正断层构造组合,在浅层次(2 000 m)下表现为负花状构造样式,表明走滑(斜滑)构造作用在其中起着重要的作用,局部地段的构造反转也进一步说明,斜滑机制是存在的;在 4.5~ 8 km 深度即发育构造滑脱带,将长英质岩石在低角度正断层作用下的脆-韧性变形

发育深度大大降低,预示区内这一时期具有很高的地热流值,这表明伸展作用机制是盆地构造变形的主要制约和控制原因。综上所述,松辽盆地具有走滑-伸展的复合力学性质。

长期以来,对松辽盆地的盆地类型存在较大争论,有克拉通内坳陷盆地、克拉通复合盆地、双弧后裂谷盆地和弧后裂谷盆地等不同认识^[15]。实质上,争论的焦点在于走滑-伸展机制对盆地形成、演化的时空制约关系。两井油田平衡地质剖面分析结果清楚表明,盆地主要的伸展作用发生在晚白垩世以后,而在晚白垩世以前,伸展变形量相对要小得多,走滑剪切作用可能占主导作用,晚白垩世是盆地构造

力学性质转型的重要时期。Ren 等^[23]最近关于中国东部伸展盆地的研究成果则在此基础上作了进一步的论证, 并认为松辽盆地在成因上可能主要受西太平洋板块俯冲构造格局的影响, 是一个弧后构造盆地。

4 结论

(1) 两井油田扶余油层及上覆地层断层构造样式, 总体受深部低角度滑脱正断层控制, 滑脱断层深度达 4.5~8 km。在浅表构造层次下, 呈地堑-地垒的组合构造样式; (2) 大规模伸展作用发生在晚白垩世及以后, 晚白垩世前可能主体为伸展走滑构造盆地, 并形成负花状组合构造样式。晚白垩世是盆地构造性质转型的重要时期; (3) 区域上分析, 包括两井油田区在内的松辽盆地, 可能主体为一个弧后构造盆地, 受太平洋板块俯冲作用控制。

研究过程中, 汪新文博士、王小牛老师提供了平衡地质剖面分析的技术支持, 北京科技大学岩石力学实验室王宝学帮助进行了岩石力学参数测试。在此, 并表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] Dahlstrom C D A. Balanced cross sections [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1969, 6: 743-757.
- [2] Depaor D G. Balanced section in thrust belts, 1. construction [J]. AAPG, 1988, 72(1): 73-90.
- [3] Reks I J, Gray D R. Strain pattern and shortening in a folded thrust sheet: an example from the southern Appalachians [J]. Tectonophysics, 1983, 93: 99-128.
- [4] Woodward N B. Valley and ridge thrust belt: balanced structural sections, Pennsylvania to Alabama [J]. Studies in Geology, 1985, 12: 64.
- [5] Taboada A, Rivera L A, Fuenzalida A, et al. Geodynamics of the northern Andes: subductions and intracontinental deformation (Colombia) [J]. Tectonics, 2000, 19(5): 787-813.
- [6] Spencer S. A kinematic analysis incorporating incremental strain data for the frontal Pennine zones of the western French Alps [J]. Tectonophysics, 1992, 206(3-4): 285-305.
- [7] Schonborn G. Balancing cross sections with kinematic constraints: the dolomites (northern Italy) [J]. Tectonics, 1999, 18(3): 527-545.
- [8] Allen M B, Vincent S J, Wheeler P J. Late Cenozoic tectonics of the Kepingtage thrust zone: interactions of the Tien Shan and Tarim basin, Northwest China [J]. Tectonics, 1999, 18(4): 639-654.
- [9] Williams G D, Fischer M W. A balanced section across the Pyrenean orogenic belt [J]. Tectonics, 1984, 3(7): 773-780.
- [10] Jadoon I A K, Lawrence R D, Lillie R J. Seismic data, geometry, evolution and shortening in the active Sulaiman fold-and-thrust belt of Pakistan, southwest of the Himalayas [J]. AAPG, 1994, 78(5): 758-774.
- [11] Chavez-Perez S, Louie J N. Crustal imaging in southern California using earthquake sequences [J]. Tectonophysics, 1998, 286(1-4): 223-236.
- [12] Gibbs A. Balanced cross-section construction from seismic sections in areas of extensional tectonics [J]. Journal of Structural Geology, 1983, 5: 153-160.
- [13] 漆家福, Groshong R H Jr, 杨桥. 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——中国地质大学学报, 2002, 27(6): 696-702.
- QI J F, Groshong R H Jr, YANG Q. Analysis method for predicting strain of interior beds and sub-resolution fault from area-balance theory of extension basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(6): 696-702.
- [14] 漆家福, 杨桥, 童亨茂, 等. 构造因素对半地堑盆地的层序充填的影响 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22(6): 603-608.
- QI J F, YANG Q, TONG H M, et al. Sequence construction response to tectonic process in extensional half-graben basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1997, 22(6): 603-608.
- [15] 吉林油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷二), 大庆、吉林油田(下册), 吉林油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 530.
- Editor Group of Jilin Oilfield. Petroleum, geology of China (Vol. 2), Daqing and Jilin oilfield (second volume), Jilin oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993. 530.
- [16] 汪新文, 雷新华, 刘友元, 等. 张性盆地构造分析模拟技术与应用 [J]. 地质科技情报, 1993, 12(3): 1-7.
- WANG X W, LEI X H, LIU Y Y, et al. Modeling tectonique for structural analysis of extensional basin and its application [J]. Geological Science and Technology Information, 1993, 12(3): 1-7.
- [17] 胡望水. 松辽盆地“T2”断层系及青山口早期伸展裂陷 [J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(2): 8-12.
- HU W S. "T2" faults system and early Qingshankou

- stretched rifting in Songliao basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1995, 22(2): 8–12.
- [18] 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.
- XIE X N. Coupling relationship between the evolution of Mesozoic-Cenozoic basins and deep processes in East China [J]. *Earth Science Frontiers*, 1998, 5(Suppl): 162–165.
- [19] 黄福林, 骆传才, 何兴华, 等. 松辽盆地南部构造圈闭系列[J]. *石油与天然气地质*, 1996, 17(4): 333–336.
- HUANG F L, LUO C C, HE X H, et al. Structural trap series in south Songliao basin [J]. *Oil and Gas Geology*, 1996, 17(4): 333–336.
- [20] 刘宝柱, 姜呈馥, 杨亚娟. 松辽盆地南部正反转构造与油气成藏关系[J]. *大庆石油地质与开发*, 1998, 17(2): 10–12.
- LIU B Z, JIANG C F, YANG Y J. Relationship between normal reversed structures and hydrocarbon association in Songliao basin [J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 1998, 17(2): 10–12.
- [21] 陈昭年, 陈发景. 反转构造与油气圈闭[J]. *地质前缘*, 1995, 2(3): 96–102.
- CHEN Z N, CHEN F J. Inversion structures and their relationship to traps of oil and gas [J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3): 96–102.
- [22] 胡望水, 王燮培. 松辽盆地北部变换构造及其石油地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 1994, 15(2): 164–172.
- HU W S, WANG X P. Transform structures in northern part of Songliao basin and its significance in petroleum geology [J]. *Oil and Gas Geology*, 1994, 15(2): 164–172.
- [23] Ren J, Tamaki K, Li S, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in eastern China and adjacent areas [J]. *Tectonophysics*, 2002, 344(3–4): 175–205.

Balanced Geological Section for Extensional Tectonic Basin and Its Implication: An Example from Southern Songliao Basin

YAN Daoping^{1,2}, TIAN Chonglu³, MENG Lingbo⁴, ZHANG Jianzeng², ZHOU Meifu⁵

(1. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Exploration, China University of Geosciences, Ministry of Education (KLLTE), Beijing 100083, China; 2. Faculty of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Department of Earth Sciences, Petroleum University, Beijing 102249, China; 4. Research Academy of Jilin Oilfield, Songyuan 138000, China; 5. Department of Earth Sciences, The University of HongKong, HongKong, China)

Abstract: The balanced geological section has been widely used for the analysis of orogenic belt, but it is infrequent for extensional basins. In this paper, 4 extensional balanced geological section analysis were practiced in Fuyu oil layer of Liangjing, Jilin oilfield, southern Songliao basin with the technology and method, including deformation history restoration, decompaction and erosion restoration. The structure of different ages and the continuous sedimentary sections have been restored. The results show that the structural styles possess the characteristics of negative flower structure in the shallow level and extensional detachment in deep level. The parameters, including fault growth index, the basin extensional history and fault detachment depth, indicate that Late Cretaceous is an important stage for the structure transferring mainly with a strike-slip style before this time and an extensional structure and detachment after this time. Therefore, a basin model with twin dynamic property and back-arc characters is proposed.

Key words: balanced geological section; extensional basin; deformational history; Liangjing oilfield; Songliao basin.