

北黄海盆地褶皱分布与成因类型

王后金^{1,2}, 梁世荣², 陈强²

(1 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074; 2 广州海洋地质调查局, 广州 510760)

摘要:北黄海盆地为叠置在华北地台上的中新生代断陷盆地,在地史上经受了多期区域构造运动的改造,地层变形强烈,褶皱构造相当发育,分为伸展型、压缩型、重力型和热力型4大成因类型。其中,与张性正断层相关的伸展型褶皱分布范围最广,可进一步划分为牵引褶皱、逆牵引褶皱、滚动褶皱、翘倾褶皱、补偿性挤压背斜和断层-位移褶皱;形成于区域挤压应力场的压缩型褶皱包括非反转挤压褶皱和反转褶皱,在东部和中部拗陷表现明显;重力型褶皱以发育于古潜山之上的披覆背斜比较常见;由岩浆活动引起的热力型褶皱不甚发育,目前仅见于东部拗陷。

关键词:断陷盆地;褶皱;成因类型;北黄海

中图分类号:P738

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2006)06-0065-06

北黄海是夹于中国大陆与朝鲜半岛之间的一个半封闭状海域,属于西太平洋边缘海的一部分,海底总体特征为一朝东南方向敞开的箕状洼地,水深大多不足50 m,最深处为78 m。北黄海盆地占据北黄海海域的大部分区域,总面积约 $5.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,由多个彼此分割的拗陷组成,划分为东部拗陷、中部拗陷、南部拗陷、西部拗陷和中央隆起、中西部隆起等一级构造单元。

北黄海盆地为叠置在华北地台上的中新生代断陷盆地^[1],经历了中生代初始裂谷和断陷期、新生代断陷-拗陷转化期及新近纪以来的区域沉降期3个发展阶段,形成4套构造层,以地垒、地堑、掀斜断块和反转构造为特征。由于地处新华夏构造体系隆起带,沉积分散,盆地中新生界范围较小,厚度不大,沉积作用主要发生在断陷湖泊内,相互间连通性较差。拗陷中发育有上侏罗统(在南部拗陷缺失)、下白垩统、古近系、新近系和第四系,隆起部位仅在前中生界基底上披覆沉积新近系、第四系薄层。

1 褶皱分布特征

褶皱是地壳的基本构造型式之一,指岩层受力弯曲而形成的地质构造,包括向斜、背斜或半背斜。北黄海盆地受多期构造运动的叠加作用,地层变形强烈,褶皱构造相当发育,并且大多与断裂密切相关。

平面上,北黄海盆地的褶皱通常与断裂相伴生,

大部分褶皱的枢纽与断层走向平行或基本平行,属于纵向褶皱,少数褶皱的枢纽与断层走向呈垂直或大角度相交,为横向褶皱。褶皱轴向以NE向为主,其次为NNE向,NW和近EW向较为少见。拗陷边缘地带主要为半背斜,往中心部位背斜和向斜增多,往往成群成带分布,形成凹陷带和背斜构造带。就不同拗陷而言,东部拗陷褶皱变形最显著,类型最丰富,中部和西部拗陷次之,南部拗陷褶皱类型比较单一,主要为平面状正断层及断盘旋转而成的掀斜褶皱。

纵向上,下构造层(中生界)褶皱最为发育,类型多样,规模不一;中构造层(古近系)褶皱数量相对减少,且以反转褶皱为特征;上构造层(新近系-第四系)变形微弱,褶皱构造不发育。各拗陷的基底构造层(前中生界)早期表现为宽缓起伏形态,由于受后期构造活动过程中块断作用、挤压作用的影响,褶皱现象也比较普遍。

2 褶皱成因类型

褶皱成因类型即根据褶皱的形成机制对其进行分类。从作用力的角度出发,可把盆地的褶皱划分为伸展型、压缩型、重力型和热力型。有些褶皱并非由单一的而是两种甚至两种以上的作用力引致,如由地壳引张拉伸和重力共同造成的滚动背斜,其归类以起主导作用的应力因素为依据。

2.1 伸展型褶皱

伸展型褶皱形成于引张应力场背景下,由张性断裂活动引起。这类与正断层直接相关的褶皱大量产于断陷或裂谷盆地中,也是北黄海盆地最为发

作者简介:王后金(1972—),男,高级工程师,硕士生,从事海洋地质和油气地质研究。

收稿日期:2006-03-30;改回日期:2006-09-30。周立群编辑

育的一种褶皱类型,广泛分布在各个坳陷,可将其进一步分为牵引褶皱、逆牵引褶皱、滚动褶皱、翘倾褶皱、补偿性挤压背斜和断层-位移褶皱等子类型。

2.1.1 牵引褶皱

牵引褶皱是北黄海盆地常见的一种纵向褶皱,一般局限于紧邻断层面的区域,在各种样式的正断层附近均可发育,通常规模不大。断层上盘形成向斜,下盘形成背斜,前者褶皱幅度更大。向斜两翼大多不对称,陡翼位于靠近断层一侧,其轴向与断层走向近于平行。由于下盘往往抬升隆起并被剥蚀夷平,其背斜形态大多不明显或不完整。牵引褶皱的形成与断层生长、断面摩擦和差异压实有关。产生于断层扩展的断端部位(位移为零)的强制褶皱(又称断展褶皱),可视为牵引褶皱演化的初始形式^[2-3]。

2.1.2 逆牵引褶皱

逆牵引褶皱的几何特征与牵引褶皱正好相反,断层的上盘发育背斜,而下盘发育向斜,同样地,下盘的褶皱幅度要小于上盘,通常以上盘呈逆牵引背斜形态为主要表现形式(图1)。北黄海盆地大多数逆牵引褶皱与平面状断层关系密切,其成因一般认为是岩石对断裂作用的一种弹性-挠曲响应,褶皱规模随断层位移增加而增加^[2]。随着断层的生长,逆牵引褶皱的幅度和宽度也不断增加。与牵引褶皱相比,其规模一般较大,分布范围更为广泛。

2.1.3 滚动褶皱

滚动褶皱又称滚动背斜,往往为极其有利的油气富集构造,除南部坳陷外,北黄海盆地的其余3个坳陷均有分布(图1)。滚动褶皱多发育于铲式生长断层的上盘,属生长断层的派生产物。地层沿断层

面滑动,使断层两盘发生垂向和横向位移,在上、下盘之间产生潜在的空间,上盘未固结的沉积岩层在重力作用下不断弯曲,以填补这一潜在空间,从而形成背斜褶曲^[3]。与逆牵引褶皱的最大区别在于,滚动褶皱形成于未固结的低强度沉积物中,断层的下盘不存在逆牵引向斜^[2]。

北黄海盆地的滚动褶皱主要沿控坳(盆)边界断层上盘呈串珠状分布,多为宽缓、不对称的短轴背斜,近断层一侧相对陡倾,轴向平行或基本平行于断层线。深、浅层高点不叠合,向深部逐渐偏移,高点偏移轨迹与断面大致平行,背斜幅度自下往上减小。

滚动褶皱在南部坳陷不发育,因为南部坳陷由若干分散的小型半地堑组成,以高角度平面状断层居多,而东部、中部和西部坳陷的基底卷入断层大多形成较早并长期活动,经持续拉张后倾角变缓,断面样式由平面状演变为铲式,有利于滚动褶皱的产生。

2.1.4 补偿性挤压背斜

补偿性挤压背斜虽然是由挤压应力直接造成的,但它产生于区域性引张应力场中,为伸展活动的产物,故归入伸展型褶皱的范畴。

在相向倾斜的正断层的共同上盘,由于重力滑动而产生局部的侧向挤压应力,地层受力弯曲,形成挤压背斜构造。在褶皱形成过程中,侧向挤压和重力滑动几乎同步发生。在西部坳陷可观察到典型的补偿性挤压背斜(图1),参照半地堑分析,可把这类背斜归为相向倾斜断层控制的半地堑组合^[4-5]。

2.1.5 翘倾褶皱

翘倾褶皱实际上就是翘倾式半背斜,在南部坳陷尤为常见(图2)。翘倾褶皱多出现在旋转半地堑

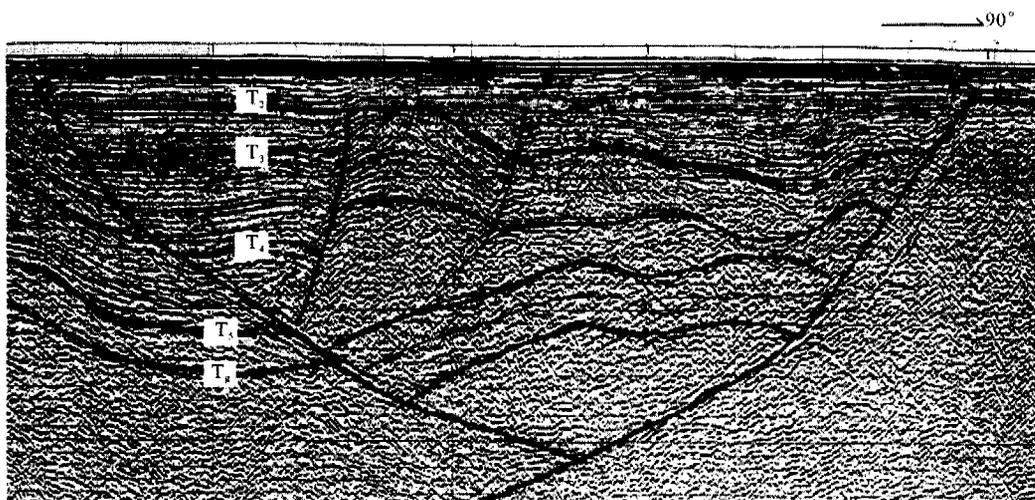


图1 北黄海盆地逆牵引褶皱、滚动褶皱和补偿性挤压背斜

Fig. 1 Reverse-drag fold, rolled fold and compensation squeezed anticline in North Yellow Sea basin

中,受平面状正断层控制,由断盘块体旋转、掀斜而成,属伸展构造的初期样式。在断块运动的同时,断面也发生旋转,使上盘地层与之倾向相反,随着断层的继续发展,断面倾角逐渐由陡变缓。沉积作用与断块旋转同步进行,沉积体呈楔状,断裂一侧地层厚度较大。褶皱的翘倾端往往出露并遭受剥蚀,使地层沿断层倾向呈现由新变老的现象,在平面图上表现为半背斜的构造样式^[2]。北黄海盆地翘倾褶皱被新近系—第四系广湖相和海相地层覆盖,可形成良好的不整合圈闭。

2.1.6 断层-位移褶皱

断层-位移褶皱指由于断层位移的变化而形成的褶皱^[2],属于横向褶皱,可分两种情形,一是简单

的断层-位移褶皱,与延伸较短、断面光滑的断层相伴生,在这类断层的中心附近,断层位移量最大,往断层两端,位移量逐渐减小到零,正因为断层位移的这种特征,断层上盘地层往往呈现向斜的几何形态;二是复杂的断层-位移褶皱,对于延伸较长、断面凹凸不平的断层,断层位移量沿走向呈不规则变化,通常上盘地层在断面凸起部位形成背斜,在凹部发育向斜,两者相间排列(图 3)。

2.2 压缩型褶皱

指形成于区域性挤压应力场的褶皱。由于库拉板块、太平洋板块俯冲以及印澳板块与欧亚板块强烈碰撞的地质效应,北黄海盆地自中生代以来发生

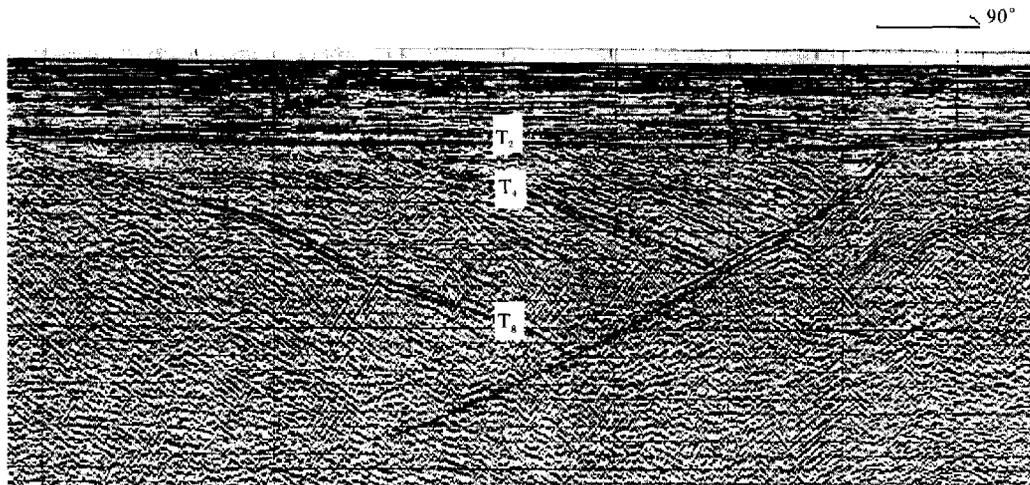


图 2 北黄海盆地翘倾褶皱

Fig. 2 Tilting fold in the North Yellow Sea basin

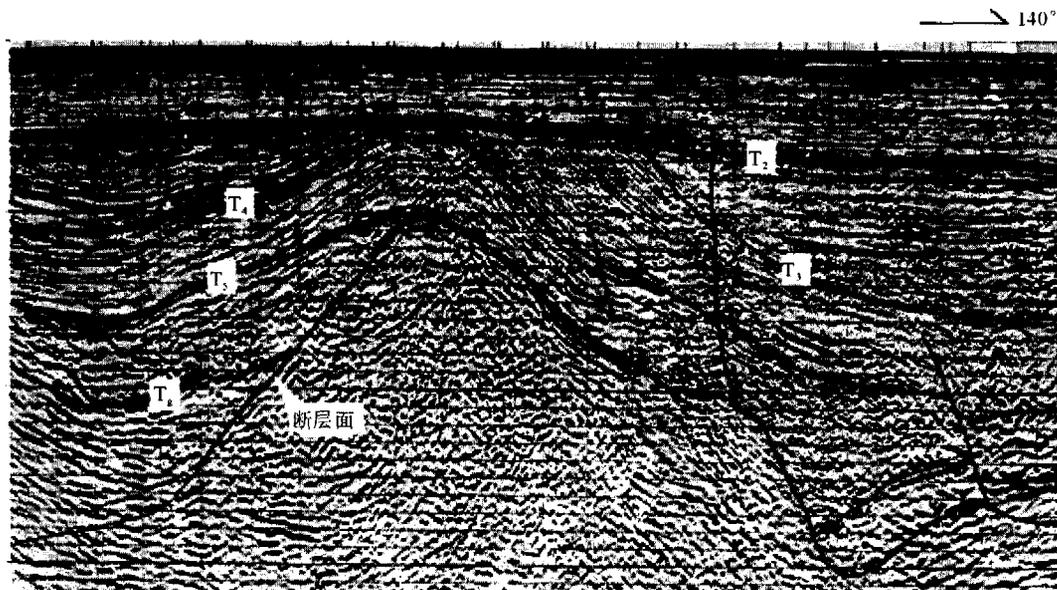


图 3 北黄海盆地断层-位移褶皱

Fig. 3 Fault-displacement fold in the North Yellow Sea basin

多次挤压隆升和构造反转,从而促进了挤压构造样式的发育。压缩型褶皱主要见于中部和东部拗陷的上构造层以下地层。根据该类褶皱发育演化过程的差异,可分为非反转挤压褶皱和反转褶皱,前者直接由水平挤压作用造成,没有发生明显的构造反转。

2.2.1 非反转挤压褶皱

非反转挤压褶皱在东部拗陷的中部构造带表现尤为显著。如图4所示,地层在挤压应力作用下强烈弯曲变形,在转折部位发育位移不大的逆断层,岩层沿断面向上滑动,形成断弯褶皱,平面上表现为不对称的短轴背斜形态,轴向为NE-NEE,两翼陡倾。深、浅层高点不叠合,高点偏移轨迹与断面大致平行。背斜中和面之下受挤压而缩短,中和面之上的地层则被拉伸,在背斜顶部及两翼产生局部张性应力场,从而产生放射状(冠状)的正断层组合。在

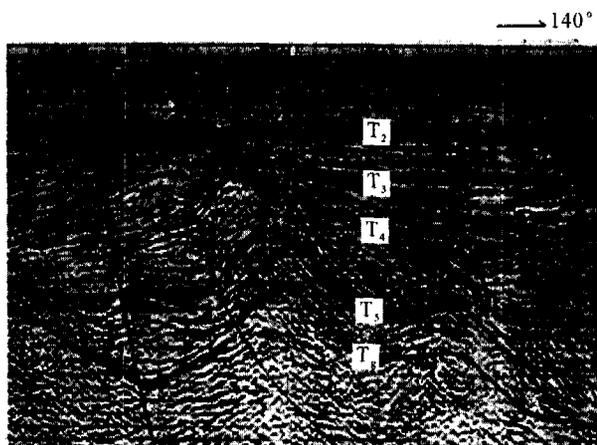


图4 北黄海盆地挤压褶皱

Fig. 4 Squeezed fold in the North Yellow Sea basin

中部拗陷,该类褶皱在不同地层表现有所差异,基底和下构造层整体呈现大型宽缓的褶皱形态,NE-NEE向背斜和向斜相间发育,而中构造层在挤压应力作用下沿下构造层的顶面发生滑脱,褶皱幅度相对较大,范围变窄。褶皱部位逆断层不发育,反映地层所受挤压作用的强度较东部拗陷为低。综合比较各拗陷的压缩型褶皱特征,可以看出地质历史时期北黄海盆地承受的总挤压强度自东向西减弱。

2.2.2 反转褶皱

又称褶皱型反转构造,根据力学性质和运动学特征,分为正反转和负反转两种类型,北黄海盆地主要发育正反转褶皱,即先拉张裂陷、后挤压隆起而形成的褶皱构造。在东部拗陷,该类褶皱特征最突出,中部拗陷虽然也有发育,但褶皱幅度较小,形态不太明显。

图5为发育于东部拗陷南部 F₁ 边界断层上盘的典型反转褶皱。该断层上盘地层受挤压沿先存伸展期断面反向运动, F₁ 断层性质发生逆转,但反转强度尚不足以使其由正断层完全变为逆断层,因而呈现下正上逆的特征。上盘的中生代和古近纪地层拱弯、缩短,形成压缩型背斜或半背斜,基底则为下凹状,呈上凸下凹的剖面形态,表现出纯粹由水平方向挤压而成的反转构造的特点^[5]。背斜轴线大致平行于断层面,两翼陡倾,基本对称,远断层翼的转折端错断并向上逆冲,产生逆断层;其深、浅层高点不吻合,高点轨迹由深至浅向远断层翼一侧迁移,与滚动背斜正好相反。古近系因发生反转而出露水面,遭受强烈剥蚀。

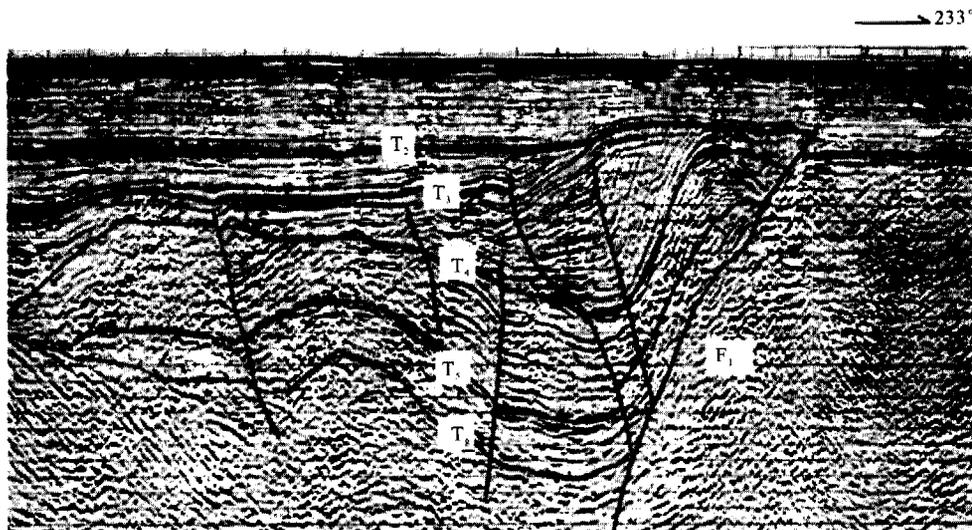


图5 北黄海盆地反转褶皱

Fig. 5 Reverse fold in the North Yellow Sea basin

2.3 重力型褶皱

指主要由重力因素(差异压实)造成的褶皱,如披覆背斜、盐底辟或泥底辟引起的褶皱变形等。在北黄海盆地,地震剖面上尚未发现清晰、可靠的盐底辟或泥底辟构造显示,发育于古潜山(以断块山和褶皱山为主)之上的披覆背斜则比较常见。

披覆背斜又称生长背斜、同沉积背斜,即在接受沉积的同时,覆盖在局部古隆起上的沉积物由于差异压实作用而发生褶曲。图 6 展示了东部坳陷的一个潜山披覆构造,在形成于印支期的前中生界高地之上,下侏罗统、上白垩统和始新统先后披覆沉积,呈现出上缓下陡的构造形态,岩层由顶部向翼部增厚,深、浅层高点不吻合,自下而上向缓翼一侧迁移。北黄海盆地的披覆背斜往往被后期挤压、断裂作用改造,使形态复杂化。

披覆背斜顶部水体相对较浅,波浪扰动和底流冲刷较两翼强烈,堆积在此处的碎屑物质颗粒较粗,具有良好的储集性能,因此披覆背斜往往可成为较大规模的含油气圈闭,并且可以与其下的潜山构成复式圈闭和油气藏。

2.4 热力型褶皱

热力型褶皱即热力作用(主要是岩浆作用)导致的岩层弯曲。断陷或裂谷盆地由于地壳的减薄、引张和破裂,热流值较高,岩浆侵入或喷发活动通常也比较频繁、剧烈,具备了形成热力型褶皱的有利条件。

由于受太平洋板块向欧亚大陆斜向俯冲的影响,中国东部陆缘区断陷盆地岩浆活动普遍比较活跃,但在北黄海盆地,岩浆作用表现并不明显。重磁资料显示该盆地的岩浆岩主要分布于隆起部位,以燕山期酸性、中酸性花岗岩体为主,坳陷中少有岩浆岩发育,根据地震剖面和重磁解释,仅在东部坳陷北部构造带识别了寥寥几个岩浆岩体,其内部为杂乱反射,顶面为波状起伏或呈圆弧形,周围地层向上牵引变形,形成褶皱构造。据刺穿层位及地层变形情况分析,其主要形成期应为始新世末期。究其原因可能有二:一是北黄海盆地别具一格的构造、沉积格局,即北黄海盆地在新近纪区域沉降前,为互不连通、相隔较远的独立地堑或半地堑,并且中、新生代继承性发育;二是北黄海盆地属于被动裂陷盆地,其伸展变形机制为简单剪切,因而导致壳幔明显拆离,地壳减薄区(坳陷部位)与上地幔减薄区在垂向上不重叠,地幔对流上涌形成的热点位于构造隆起区域,由于隆起部位的基底构造层大多为中-深变质岩系,坚硬致密,不易发生破裂及被地幔物质熔融,来自深部的岩浆较难上升到地壳浅部乃至地表。两方面因素综合导致了北黄海盆地岩浆作用不太强烈且主要发生于隆起部位的状况。

3 结语

北黄海盆地为叠置在华北地台上的中生代断陷盆地,其构造演化经历了中生代初始裂谷和断陷期、新生代断陷-拗陷转化期及新近纪以来的区域沉

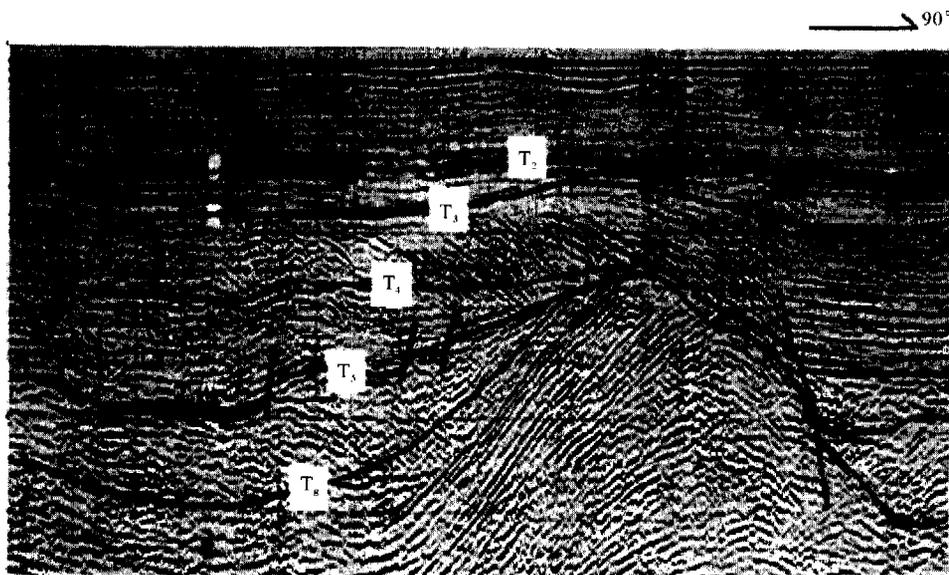


图 6 北黄海盆地披覆背斜

Fig. 6 Buried-hill drape anticline in the North Yellow Sea basin

展期3个发展阶段。受多期构造运动影响,北黄海盆地地层变形强烈,褶皱构造相当发育,并且大多与断裂紧密相关。东部坳陷褶皱变形最显著,类型最丰富,其后依次为中部、西部和南部坳陷。

从作用力的角度出发,可把盆地褶皱划分为4大成因类型,即伸展型、压缩型、重力型和热力型。其中,伸展型褶皱分布最广,可细分为牵引褶皱、逆牵引褶皱、滚动褶皱、翘倾褶皱、补偿性挤压背斜和断层-位移褶皱等类型;压缩型褶皱包括非反转挤压褶皱和反转褶皱,主要产出于北黄海盆地的中部和东部坳陷;重力型褶皱以发育于古潜山(以断块山和褶皱山为主)之上的披覆背斜比较常见;北黄海盆地岩浆作用较弱,热力型褶皱不太发育,仅出现在东部坳陷。

褶皱构造通常是良好的油气聚集场所,但勘探实践表明,不同类型褶皱构造的含油气性往往存在较大差异,因此,对北黄海盆地的褶皱成因机制进行研究将有助于该地区的油气勘查与评价。

参考文献(References)

[1] 蔡峰.北黄海盆地中新世代沉积环境及特征[J].海洋地质动

态,1997(8):1-4. [CAI Feng. Depositional environment and feature of Cenozoic basin in North Yellow Sea[J]. Marine Geology Letters, 1997(8):1-4.]

[2] 杜旭东,陆克政,漆家福,黄骅坳陷褶皱分类与成因分析[J].石油大学学报自然科学版,1999,23(1):1-6. [DU Xu-dong, LU Ke-zheng, QI Jia-fu. The causes and classification of fold in Huanghua Depression[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 1999, 23(1):1-6.]

[3] 姚超,焦贵浩,王同和,等.含油气构造样式[M].北京:石油工业出版社,2004. [YAO Chao, JIAO Gui-hao, WANG Tong-he, et al. Oil Gas Structure Styles in China[M]. Beijing, Petroleum Industry Press, 2004.]

[4] 陆克政,朱筱敏,漆家福.含气盆地分析[M].石油大学出版社,2001. [LU Ke-zheng, ZHU Xiao-min, QI Jia-fu. Petroliferous Basin Analysis[M]. China University of Petroleum Press, 2001.]

[5] 沈华,刘俊,刘建党.贝尔凹陷褶皱构造样式及成因分析[J].中国矿业,2005,14(3):79-11. [SHEN Hua, LIU Jun, LIU Jian-dang. Structure styles and origin of fold in Bei'er depression[J]. China University of Mining and Technology Press, 2005, 14(3):79-11.]

DISTRIBUTION AND ORIGIN TYPES OF THE FOLDS IN THE NORTH YELLOW SEA BASIN

WANG Hou-jin^{1,2}, LIANG Shi-rong², CHEN Qiang²

(1 Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2 Guangzhou Marine Geologic Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract: North Yellow Sea basin is a Mesozoic/Cenozoic fault basin superposing on North China platform, which has distorted stratum and well-developed fold structures due to the reconstruction of several structure movements. The folds in the North Yellow Sea basin are mainly classified into four origin types, namely extensional folds, compressional folds, gravitational force folds and thermogene folds. The extensional folds related to normal faults are distributed most widely, which can be further divided into drag folds, reverse-drag folds, rolled folds, compensation squeezed anticlines and fault-displacement folds; the compressional folds including non-reverse squeezed folds and reverse folds are caused by territorial extrusion stress and spread both in the eastern sag and the mid-sag apparently. As a kind of gravitational force folds, buried-hill drape anticlines are quite easily observed in the North Yellow Sea basin, while the thermogene folds only appear in the eastern sag owing to inactive magmation.

Key words: fault basin; fold; origin type; the North Yellow Sea