

断块运动与潜山油气藏的形成^{*}

——以渤海湾盆地为例

倪金龙 夏斌

(中国科学院广州地球化学研究所边缘海地质重点实验室)

倪金龙等.断块运动与潜山油气藏的形成.天然气工业,2006,26(2):32-35.

摘要 文章从渤海湾盆地断块运动的机理出发,对其潜山油气藏的形成及运聚规律进行了分析研究,认为该盆地的断块可划分为倾斜断块、翘倾断块和陷落断块3种类型。据此可将渤海湾盆地的凹陷或洼陷划分成倾斜断块区、翘倾断块区和陷落断块区等3个区。断块运动不仅形成古潜山构造,而且对其储层、圈闭及油气运聚都产生了积极的影响。油气以垂向运移为主,运距较近,圈闭油气充满度高,断裂带控制油气聚集。陷落断块区虽然埋藏最深,但仍具有较好的油气潜力,提高地震采集及信息处理的技术是未来努力的重要方向。倾斜断块区油气前景较好,翘倾断块区更好,并容易形成较大规模的油气藏,应是未来深部勘探的重点区域。

主题词 断块运动 潜山油气藏 聚油模型 渤海湾盆地

潜山作为深层重要的地质单元,原指被埋于地下的、在盆地接受沉积前就已经形成的古地貌山或构造凸起,在随后的盆地演化中被新地层覆盖埋藏而形成^[1],是渤海湾盆地中常见的油气聚集类型之一,也是裂谷期前最常见和富集油气的一种聚集类型^[2]。研究区古潜山主要由中、上元古界花岗岩片麻岩、下古生界碳酸盐岩,以及上古生界和中生界碎屑岩组成^[3-5]。前人从形态和成因等不同的角度对潜山作了分类,如地貌潜山、断块潜山、不整合潜山^[6],拉张型、挤压拉张型、侵蚀型潜山^[7]等。断块运动在潜山的形成和演化中起着重要的作用^[7,8]。

断陷期是盆地的主要发育阶段,不仅奠定了具有渤海湾特色的成油成藏地质基础,而且控制着各类油气藏的形成与分布^[9]。

一、断块运动与古潜山油气成藏

1. 断块运动与古潜山

渤海湾盆地的构造特征,是次级构造单元(凹陷)的箕状结构,这种结构是基岩块体旋转的结果^[10]。渤海湾盆地在其形成过程中,基本处于拉张应力场中,因而断裂活动和断块运动主要属于裂陷型,即拉张产生主干断裂,继承性的断裂带由于水平拉张而不断向深部延伸,向浅部扩张^[1]。断层面倾

斜产状的变化和深部重力均衡面的存在,致使断块体由直立向倾斜转变^[11]。其上翘部位与相邻断块发生相对位移,形成反向正断层,对应每一反向正断层形成一个小型箕状凹陷(图1)。不同断块的形态随主干断裂及其原生断裂的活动而变化。根据渤海湾盆地断块运动的特点^[9,10,12],可将断块划为倾斜断块、翘倾断块和陷落断块3种类型。

由图1可知,由于断块作用的存在,渤海湾盆地的基底是并不平坦的,而是由一系列高低不平的断块所组成。一个比较典型的断块体通常由主断棱、次断棱、主断槽、次断槽和断阶等5个不同的单元组成(图1)。其中,断棱属于构造凸起部位,在第三纪早期出露水面,接受风化剥蚀,后期潜入水下,最有利于形成潜山和潜山储集体。随着断块埋藏深度的加大,断槽可形成洼陷和凹陷,为油气的生成提供了条件。断阶通常属于陷落断块,是陡坡带的常见组成部分。

以辽河坳陷曙光潜山带为例,由于受北西—南东向拉张作用的影响,产生4条北东向的主干正断层,从而形成断块,断块在活动过程中,产生旋转翘倾而形成潜山带。每排潜山又被多条东西向或南北向派生断层分割成块,并形成多个潜山圈闭,从而形成了曙光潜山圈闭群(图1)。

^{*} 本文为课题“济阳坳陷区域地质构造演化与特征”(20030200370)。

作者简介:倪金龙,1974年生,讲师,博士研究生;主要从事石油地质勘探与油气储层研究。地址:(510640)广东省广州市中国科学院广州地球化学研究所。电话:(020)85290926,13535496490。E-mail:nij@gig.ac.cn

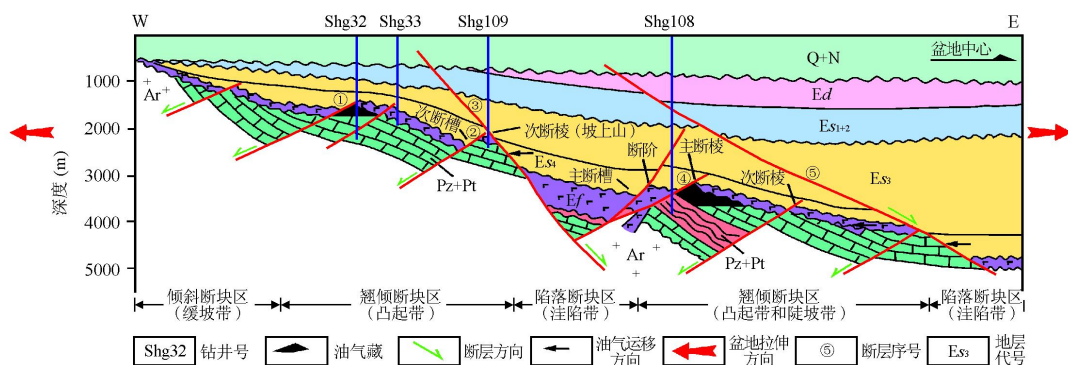


图1 渤海湾盆地断块运动与潜山油气藏形成机理(曙光潜山带剖面局部)

2. 断块运动与古潜山油气成藏

(1) 断块运动与烃源岩分布

渤海湾盆地在中生界沉积前,还是华北地台的一部分,尚未发生大规模的拉张断裂。中生界沉积时及其以后,发生北西—南东向的拉张,剖面上出现了3条北西倾伏、断面陡的张性正断层^[13]。在张应力的持续作用下,基岩块体的地层不断旋转变陡,断面不断旋转变缓,凹陷不断拉伸变宽,这一过程一直持续到新近纪初期,基岩块体旋转角度达 25° 左右^[5]。正是由于基岩块体的不断翘倾运动,导致了主断槽部位形成快速沉降的深凹陷,平均沉积速率达 $0.42\sim 0.64\text{ mm/y}$,最大沉降幅度达 5500 m ,在剖面上形如“箕状”,平面上沿基底大断裂条带状分布^[14]。在盆地的沉积中心,可形成 $1500\sim 2000\text{ m}$ 厚的生油岩体,剩余有机碳含量可达 $1.5\%\sim 2.7\%$,总烃含量达 $500\sim 1000\text{ ppm}$ 以上,OEP值 $0.8\sim 1.2$,且埋深在 2500 m 以下^[1],转化条件好,成熟度高,有利于油气的生成^[15]。

(2) 断块运动与古潜山储层

古潜山经受断裂的相互切割,产生大量的裂缝,裂缝的存在不仅本身可以作为储集体,而且有利于风化剥蚀作用向潜山的较深层进行,从而有利于扩大储集空间。裂缝存在与否及裂缝的大小对储存评价的好坏有直接的影响,最好的储层通常宏观裂缝非常发育,较好的储层宏观裂缝发育次之,差和很差的储层基本没有宏观裂缝的发育,主要以微裂缝和超微裂缝为主^[16]。断块的切割不仅形成裂缝,同时对缝洞的开启度也有很大的控制作用。济阳坳陷垦利潜山的研究表明,靠近断层的裂缝中方解石充填很少,说明以岩溶作用为主,如垦古2井钻遇的断层附近,缝洞开启度为 100% ;距垦古2井稍远的垦古3井,缝洞开启度为 88.92% ;距离断层更远的垦古13井,充填作用强烈,开启度仅为 30.41% 。随着与

断裂距离的变化,岩溶储集体的发育具有递次性^[17]。

(3) 断块运动与古潜山油气圈闭

随着断块的活动及后期风化剥蚀等的影响,在翘倾断块体的不同部位可形成各种圈闭。渤海湾盆地潜山油气圈闭可分为潜山顶部圈闭和潜山内幕圈闭两种主要类型。潜山顶部圈闭是在潜山的顶部以基底风化壳为储集层,孔、洞及裂缝为主要储集空间,被后期沉积的非渗透层所覆盖而形成的圈闭。辽河坳陷曙光潜山带(图1)与济阳坳陷通古3潜山均是这种圈闭类型的代表^[18]。潜山内幕圈闭主要是在潜山内部以层状地层为主的油气圈闭,渗透性好的层状地层为储集层,裂缝和内部风化壳为主要储集空间。该类圈闭的形成一方面是因为潜山内部岩层本身可能具有较大的孔隙,另一方面是因为断块运动错断了覆盖其上的致密岩层,使其得以接受侧向的风化剥蚀。冀中坳陷苏桥潜山油气圈闭属于此类^[19]。

(4) 断块运动与古潜山油气的运聚

①使生油层与潜山储集层直接接触,为油气向潜山初次和二次运移提供通道。

断块运动产生的潜山边界断层能改变生油层与储集层的空间配置关系。当潜山顶面与上覆生油层之间被某些致密层(如膏盐层、火山岩等)隔开,使生油层中的油不能直接接触向下运移至潜山圈闭中,这时由于潜山边界正断层的作用,可将致密层错开,使生油层下落,在侧向上与潜山储集层直接接触,从而有利于油气从生油层中直接运移至潜山圈闭中;当生油层没有与潜山储集层直接接触时,只要正断层具有一定的开启度或洼陷中高压的存在,油气可先进入断层,再通过断层的汇聚作用运移进入潜山的储集层中成藏。对辽河坳陷曙光潜山带的研究表明,东掉正断层的存在对潜山的油气聚集起到了关键性的作用。曙光潜山带上覆房身泡组(E_f)玄武岩,虽在一定程度上影响了潜山圈闭的油气富集程

度,增加了古近系油气向潜山运移的难度,但由于 3 号、5 号等东掉正断层的存在(图 1),将玄武岩层纵向拉开,形成古近系向潜山供油的窗口,油气沿断面及不整合面以侧向运移方式为主聚集到潜山圈闭中^[20]。

②为古潜山油藏提供封闭面。断块运动产生的断层在初期可作为油气运移的通道,但后来部分断层被碳酸钙沉淀所充填,变成不渗透层,而作为遮挡层,或者生油层通过断层接触,当异常高压使生油层中的油初次运移至储集层后,由于异常高压的消失,其接触面的微裂缝重新闭合变为致密,此时也可作为潜山油藏圈闭的封闭面。曙光潜山带中的 1 号、4 号断层均起到了油藏封闭面的作用(图 1)。

二、断块运动与古潜山聚油模型

1. 倾斜断块区潜山聚油模型

倾斜断块区相对平缓,潜山高度不大,一般位于洼陷或凹陷的边部,接受风化剥蚀的时间长,储集层发育,古近系湖相泥岩覆盖,油源条件好,长期处于油气运移的指向带,因而具有较好的成藏条件。根据潜山圈闭的特点,可划分为渐次升高型和渐次降低型潜山圈闭聚油模型^[21](图 2)。渐次升高型的特点是向盆地边部潜山圈闭逐渐升高,如济阳拗陷广饶西部潜山和辽河拗陷曙光潜山带(图 1)。油气首先进入较低的潜山,充满后经溢出点通过不整合面

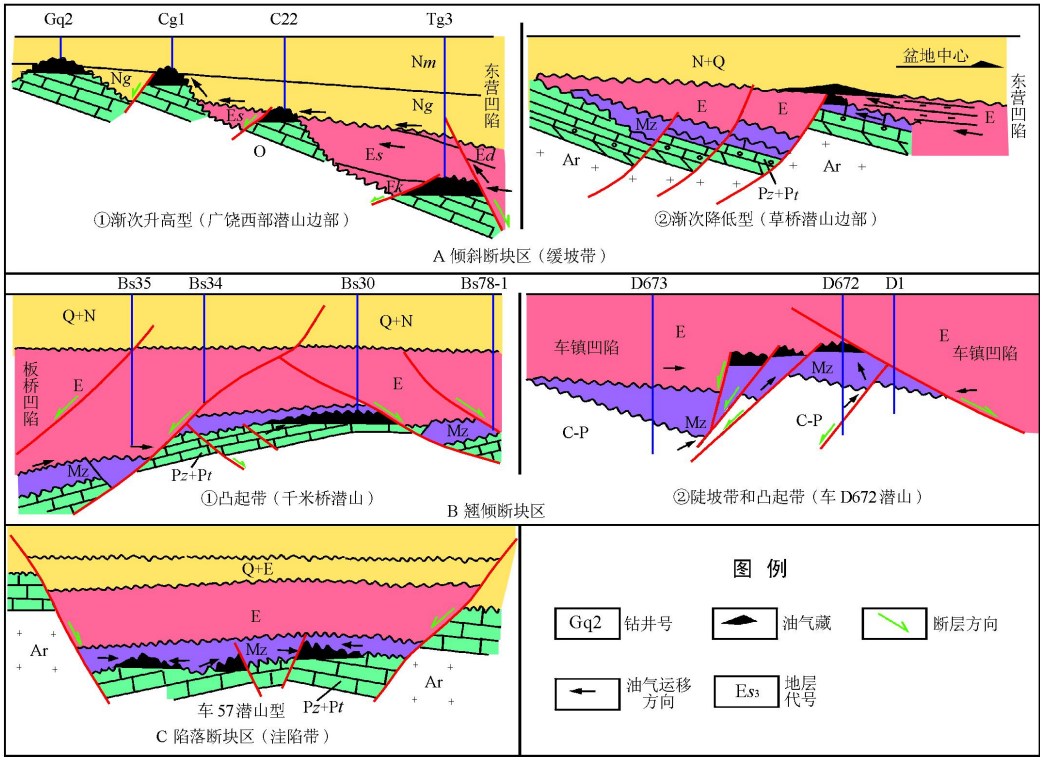


图 2 渤海湾盆地潜山圈闭聚油模型

或断层等输导系统进入较高潜山。如果油源充足,盖层条件好,可使潜山整体含油。渐次降低型的特点是向盆地边部潜山圈闭逐渐降低,如济阳拗陷草桥潜山边部。较高潜山区向盆地中心一侧被第三系地层颠覆,较低潜山区被第三系地层覆盖。油气生成后经断层或不整合面等输导系统向高潜山圈闭运聚,多余的油气向上覆的新近系地层运聚。而处于高潜山后面的低潜山带由于得不到油源,而不具备成藏条件。

2. 翘倾断块区潜山圈闭聚油模型

翘倾断块区潜山埋藏较深,起伏较大,断层落差

明显,在剖面上呈现明显的凸起带。在盆地发育过程中,翘倾断块较晚沉入水下,因而潜山顶部圈闭和潜山内幕圈闭均较发育。翘倾断块在形成的过程中,其较陡一侧通常派生次级断裂体系组成断阶。由于这类潜山体系更靠近生油洼陷,并随断层活动不断滑向生油洼陷,多被古近系湖相烃源岩系覆盖。因此该区能形成良好的潜山油气藏。如千米桥潜山和车 D672 潜山等(图 2)。

翘倾断块区油气自凹陷中心,首先进入最下部的断阶,多余的油气经过溢出点沿断层和不整合面等输导系统进入较高部位的潜山内幕圈闭和潜山顶

部圈闭。所以,该类油气运聚的特点是:单向生烃凹陷供烃;油气沿断层以垂向运移为主,侧向运移为辅,运移较近;圈闭油气充满程度高;断裂带既是圈闭的发育带,又是岩性的变化带,断裂带控制油气聚集。当然该区的潜山也可能被多个洼陷或凹陷包围,如济阳拗陷埕北30潜山,这种情况下油气聚集特点不是单向生烃,而是多向供烃,油气混源。

3. 陷落断块区潜山圈闭聚油模型

陷落断块区埋藏最深,通常位于洼陷或凹陷的最底层。虽然其暴露在第三纪的时间比上述两个区的时间要短,但其在成盆前同样经历了长期的风化,因此也存在潜山圈闭。由于该带最早被烃源岩所覆盖,因此也具备良好的成藏条件。该类潜山油气的运聚最明显的特点是:成藏时间早,运移距离短(图2)。但是该类潜山由于埋藏深度大,勘探难度也大,提高地震资料采集及处理质量是开发该油气藏未来的努力方向。该类模型以济阳拗陷车57古潜山为代表,该潜山深埋于车西洼陷,埋藏深度4200 m以下,下古生界寒武系凤山组获高产工业油气流,是迄今为止济阳拗陷发现的埋藏最深的古潜山油气藏之一^[22]。

三、结 论

(1)断块可划分为倾斜断块、翘倾断块和陷落断块3种;根据其类型及分布情况,可将渤海湾盆地箕状凹陷或洼陷划分成3个区:倾斜断块区、翘倾断块区和陷落断块区;

(2)断块运动对古潜山烃源岩的生成、储层的形成与改善、圈闭的形成及油气的运聚都产生了积极的影响;

(3)油气以垂向运移为主,侧向运移为辅,运距较近,圈闭油气充满度高,断裂带控制油气聚集;陷落断块区虽然埋藏很深,但仍具有较好的油气潜力,提高地震采集及信息处理的技术是未来努力的重要方向。

(4)不同分区中,倾斜断块区油气前景较好;翘倾断块区容易形成较大的油气藏,应是未来深部勘探的重点区域。

参 考 文 献

- [1] RUSSELL W L. Structural geology for petroleum geologists. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York Toronto London. 1955, 朱夏, 徐韦曼译. 北京: 科学出版社, 1964: 452.
- [2] 陈发景, 汪新文, 陈昭年, 杨杰. 伸展断陷盆地分析[M].

- 北京: 地质出版社, 2004: 248.
- [3] 潘锺祥. 基岩油气藏[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1980: 12-45.
- [4] 李德生. 中国深埋古岩溶[M]. 见: 王涛, 周永康等编. 中国石油天然气总公司院士文集—中国科学院院士李德生集. 北京: 中国大百科全书出版社, 1997: 132-143.
- [5] 谯汉生. 渤海湾盆地油气勘探现状与前景[J]. 勘探家, 1999, 4(1): 18-21.
- [6] 谯汉生, 袁选俊, 牛嘉玉. 渤海湾盆地隐蔽油气藏勘探[M]. 见: 高瑞祺, 赵政璋主编. 中国油气新区勘探. 北京: 石油工业出版社, 231.
- [7] 李丕龙, 张善文, 王永诗, 马立驰. 断陷盆地多样性潜山成因及成藏研究——以济阳拗陷为例[J]. 石油学报, 2004, 25(3): 28-31.
- [8] 王颖, 王英民, 赵锡奎. 济阳拗陷构造演化对断块型潜山的形成及油气成藏的影响[J]. 矿物岩石, 2004, 24(2): 73-77.
- [9] 李德生. 李德生石油地质论文集[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992: 310-317.
- [10] 蔺殿忠. 渤海湾盆地断块体扭转翘倾及其形成机制的探讨[J]. 石油勘探与开发, 1984, 8: 26-31.
- [11] 漆家福, 陈发景. 下辽河—辽东湾新生代裂陷盆地的构造解析[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 69.
- [12] 顾志明. 辽河裂谷的断块运动和油气聚集[J]. 构造地质论丛, 1985, 4: 120-321.
- [13] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(6): 846-852.
- [14] 王同和. 渤海湾盆地中、新生代应力场的演化与古潜山油气藏的形成[J]. 石油与天然气地质, 1986, 7(3): 273-279.
- [15] 王涛. 中国东部裂谷盆地的油气藏地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 10-17: 54-57.
- [16] 张吉昌. 辽河盆地古潜山油藏储层特征[J]. 特种油气藏, 2002, 9(5): 30-32.
- [17] 徐国盛, 李国蓉, 王志雄. 济阳拗陷下古生界潜山储集体特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 248-251.
- [18] 马丽娟, 何新贞, 陈海云. 草桥—广饶潜山油气藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 96-98.
- [19] 谭钭. 冀中拗陷潜山油气藏类型与分布特征[J]. 复式油气田, 1999, 2: 8-10.
- [20] 谯汉生, 方朝亮, 牛嘉玉, 等. 渤海湾盆地深层石油地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 184-207.
- [21] 范存堂, 冯有良, 付瑾平. 东营凹陷潜山成藏条件及成藏规律分析[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(4): 35-37.
- [22] 宋传春. 济阳拗陷低位古潜山成藏条件分析[J]. 特种油气藏, 2004, 11(4): 12-15.

(收稿日期 2005-10-18 编辑 黄君权)