

莱州湾凹陷温压系统与油气成藏

孙和风^{1,2}, 曾选萍², 贺电波², 曾 萱², 于海波²

(1. 中国石油大学(北京) 资源与信息学院, 北京 102249; 2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452)

摘要: 基于地温—地压系统原理, 综合考虑莱州湾凹陷的成藏特点, 利用实测地温和地压数据以及测井资料等, 分析了莱州湾凹陷的地温、地压及温压系统特征。莱州湾凹陷内各区地温梯度较高, 有利于有机质的成熟与烃类保存; 超压和构造活动构成了该区油气运移的主要动力。在馆陶组沉积时期至今的主成藏期, 莱州湾凹陷深部发育高压型温压系统, 浅部发育静压型温压系统, 上、下2套温压系统间存在较大的能量差, 使得油气垂向运移能力强, 油气主要聚集在高压型温压系统边缘, 高压型和静压型温压系统间的能量释放带是该区勘探的主要领域。

关键词: 温压系统; 油气成藏; 油气运聚; 渤海南部; 莱州湾凹陷

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-9603(2010)01-0019-03

地层温度和地层压力是表征沉积盆地地质环境的2个最基本的物理参数, 是控制油气生成、运移和聚集的重要地质因素。将地温和地压作为一个统一的能量场进行研究, 分析温压系统对油气成藏的控制作用是认识油气生成、运移、聚集和分布规律的有效途径^[1-4]。

莱州湾凹陷区域构造位置处于渤海湾盆地济阳拗陷东部, 是受郯庐断裂控制形成的走滑拉分盆地。根据构造特点和分布特征, 莱州湾凹陷可以划分为7个次级构造单元^[5]。

凹陷内充填新生界沉积, 自下而上分别为古近系孔店组、沙四段、沙三段、沙二段、沙一段、东营组, 新近系馆陶组、明化镇组和第四系平原组。沙四段上亚段和沙三段中亚段为该区主要烃源岩, 这2套烃源岩在东营组沉积末期进入生油门限, 现今处于生油高峰期; 储层流体包裹体均一温度分析表明该区油气充注历史为1期充注, 即馆陶组沉积末期至今; 新近纪以来的区域热沉降背景上新的断陷作用(构造事件)叠加的活化阶段^[5-6]确定了现今的构造格局。

结合成藏期和构造史特点, 用现今的温压系统能有效描述主成藏期以来温压系统的特点, 因此, 笔者基于实测地温、地压资料及测井资料, 系统地分析了莱州湾凹陷温压系统的基本特征及其与油气藏的关系。

1 温压系统特征

1.1 地温场特征

测温资料表明, 莱州湾凹陷地温梯度主要为3.3~5.2℃/100m, 平均为3.7℃/100m(图1), 对比渤海海域平均地温梯度3.5℃/100m, 略显偏高。

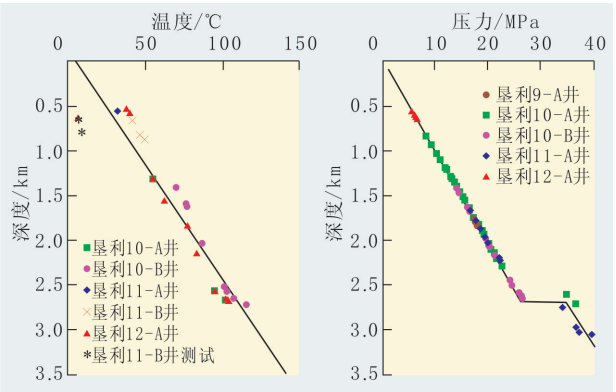


图1 莱州湾凹陷地温和地压场特征

莱州湾凹陷平面上地温场分布特征不同。由莱州湾凹陷单井实测地温资料可知, 东部走滑带地温梯度为3.3~5.2℃/100m, 平均地温梯度为4.0℃/100m, 是该区地温梯度最高的区带; 北部陡坡带地温梯度为3.4~4.1℃/100m, 平均地温梯度为3.7℃/100m; 西部走滑带和中央构造带平均地温梯度分别为3.7和3.3℃/100m。

收稿日期: 2009-10-11; 改回日期: 2009-12-23。
作者简介: 孙和风, 男, 在读博士研究生, 主要从事油气勘探工作。联系电话: (022)25808694, E-mail: sunhf@cnooc.com.cn。
基金项目: 中海石油天津分公司重点项目“渤海海域油气形成富集与分布预测”(SC06TJ-TQL-004)

纵向上,同一构造带不同深度段的地温梯度也有较大变化。在东部走滑带上,浅层平均地温梯度($5.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)明显高于深层($3.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$);在北部陡坡带平均地温梯度分为 3 段,浅层明下段至馆陶组为 $4.1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,中部东二段下亚段至沙二段和深层沙三段分别为 3.4 和 $3.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,整体上浅层大于深层;在西部走滑带,纵向上地温梯度变化不大;中央构造带与其他构造带相比趋势相反,浅层地温梯度小于深层,浅层平均为 $3.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,深层平均为 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

1.2 地压场特征

莱州湾凹陷浅层储层压力为常压系统,压力系数为 0.99~1.01(图 1),随埋深增加,储层压力逐渐偏离静水压力,在 2 600m 以下开始发育超压,压力系数为 1.25~1.37(图 1)。超压发育于沙三段中亚段及其以下地层之中,平面上超压主要发育在临近凹陷区域,如中央构造带北坡垦利 10-A—垦利 11-A 区。

1.3 温压系统类型

基于莱州湾凹陷的钻井温度和压力实测数据,可以对其温压系统进行划分和厘定。莱州湾凹陷深部发育高压型温压系统,其浅部发育静压型温压系统,2 个系统的分界大约在 2 680~2 720m。凹陷深部超压发育,深部高压型和浅部静压型 2 个温压系统间能量差异较大,构成了油气垂向运移的动力。

2 温压系统与油气成藏

2.1 油气的生成与保存

盆地模拟结果表明,莱州湾凹陷垦利 10-A 和垦利 11-A 井烃源岩的生烃门限均为 2 550m,在东营组沉积末期开始生排烃。该区内主要烃源岩生烃门限分别为 1 200~2 550m(表 1)。根据曹强等在莫里青断陷对地温梯度与生烃门限深度的研究,高地温梯度对应生烃门限较浅,有利于烃源岩中有机质向油气转化^[2]。莱州湾凹陷不同热演化程度与平均生烃门限具有较好的对应性,整体上,高热流背

表 1 莱州湾凹陷单井平均地温梯度与平均生烃门限			
井 号	所处构造带	平均地温梯度/ ($^{\circ}\text{C}\cdot(100\text{m})^{-1}$)	平均生烃 门限/m
垦利 9-A	西部走滑带	3.7	2 200
垦利 12-A	东部走滑带	4.3	1 700
垦利 11-B	东部走滑带	4.2	1 200
垦利 11-A, 垦利 10-A	中央构造带	3.3	2 550

景对莱州湾凹陷烃源岩演化起到促进作用。根据地温场平面分布特征,可推测在莱州湾凹陷北洼东北部有更浅的生烃门限深度,扩大了东部走滑带的找油领域。

较高的地温梯度对油气的运移、保存也产生重要影响。渤海海域新近系原油物性主要受到盖层条件和水洗氧化作用强度的控制^[7-9]。在莱州湾凹陷,浅层原油为生物降解原油,如垦利 10-B 井区馆陶组埋深为 1 450m,地层原油密度为 $0.956\text{g}/\text{cm}^3$,东部走滑带目前已在东营组一明下段发现油气,埋深为 705~955m,地层原油密度为 $0.915\sim 0.953\text{g}/\text{cm}^3$,对比来看,东部走滑带原油在相同深度段具有物性相对较好的特点。钻探证实垦利 11-12 区油藏类型为高幅度的构造层状油藏,与边水接触面积小,一定程度上减弱了水洗氧化的强度,且馆陶组、明下段油层段储盖组合为河流相,盖层条件相似,而原油物性相对要好,说明莱州湾地区浅层原油物性主要受到生物降解作用的控制。彭文绪等认为渤海海域生物降解发生在埋深 2 000m 以上^[10],在垦利 11-B 区盐体周围的热流体使得生物降解起始深度向上偏移,一定程度上减弱了生物降解程度,同时相对较高的热流场也存在热水溶烃作用,因此垦利 11-B 区较高的地温梯度有利于烃类运移和保存。莱州湾凹陷浅层高地温梯度区域是寻找浅层优质油藏的有利区域。

从图 2 中可以看出,垦利 10-A 井实测镜质体反射率(R_o)随深度增大而增大。根据埋藏史和热史未考虑压力作用的 Easy R_o % 模型计算的 R_o 值与实测 R_o 值基本一致,表明超压未对有机质热演化产生可识别的影响。

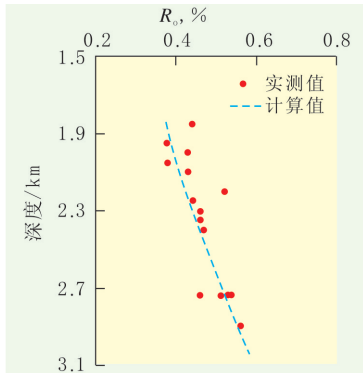


图 2 垦利 10-A 井 R_o 实测值和 Easy R_o % 计算值与深度的关系

2.2 油气藏分布

在莱州湾凹陷内,从沙三段中亚段至明下段都有油气层分布,在高压型温压系统内油气层主要分

布在邻近北洼的沙三段中亚段,静压型温压系统内东营组至明下段广泛分布油气层。从目前发现的油气储量规模来看,位于上、下 2 套温压系统分界附近的沙三段中亚段油气藏油气储量规模最大,约占总储量的 60%,静压型温压系统东营组—明下段油气储量次之,约占总储量的 40%。

油气藏纵向分布特点主要是由复式温压系统的垂向动力特征决定的。在高压型温压系统内,内部封闭条件较好的圈闭可以形成岩性-构造油藏,如垦利 10-A 沙三段中亚段中部油藏;另外,莱州湾凹陷受强烈的走滑拉分作用和长期活动的盐构造活动影响,在上、下 2 套温压系统之间形成了长期活动的具有一定输导能力的断层,使得油气可由下部高压型温压系统内运移至高压型温压系统边缘和上部静压型温压系统内部,如处于高压型温压系统边缘的垦利 10-B 沙三段中亚段上部油藏,处于上部静压型温压系统内部的垦利 11-B 东营组、明下段油藏。

垦利 10-B 沙三段中亚段上部油藏受到莱北 1 号断层活动的控制,断层活动与下部超压释放形成了垦利 10-B 沙三段中亚段上部超压—断层联控油藏。运移效应表明,垦利 11-B 东营组、明下段油藏为近源成藏^[11],与该构造沙四段盐体长期活动形成的盐相关断层有密切关系,长期活动的盐伴生断层形成了下部高压型温压系统释放通道,从而形成了该构造的高幅度断背斜油藏,井点垂向油柱高度达 250m。

前人研究证实高压型温压系统内纵向上油气储量分布主要集中在中浅部层系内^[3-4],莱州湾凹陷油气分布规律也证实了这点,因此,莱州湾凹陷高压型温压系统边缘的沙三段中亚段和沙三段上亚段大型三角洲沉积是寻找较大型油气藏的最有利目的层系。

3 结论

莱州湾凹陷整体上具有较高的地温梯度,有利于烃源岩中有机质的成熟和烃类生成。东部走滑带

地温梯度明显高于其他构造带,盐岩和郯庐走滑断层的热传导与东部走滑带高地温梯度有密切关系,其较高的地温梯度降低了生物降解程度,是该区浅层油质相对较好的主要原因。莱州湾凹陷内超压未对烃源岩有机质热演化产生可识别的抑制作用,构造活动和超压释放形成了油气运移的主要通道。

莱州湾凹陷发育复式温压系统,上、下 2 套温压系统较大的能量差构成了油气垂向运聚的充足动力,油气藏主要集中在中浅层,高压型温压系统边缘的沙三段中亚段和沙三段上亚段大型三角洲沉积是寻找较大型油气藏的最有利目的层系。

参考文献:

[1] 李鹤永,刘震,党玉琪,等.柴西地区地温—地压系统特征及其与油气分布的关系[J].石油与天然气地质,2006,27(1):37-43.

[2] 曹强,叶加仁.伊通盆地莫里青断陷地温地压系统与油气成藏关系[J].海洋地质与第四纪地质,2007,27(3):99-103.

[3] 刘震,贺维英,韩军,等.准噶尔盆地东部地温地压系统与油气运聚成藏的关系[J].石油大学学报:自然科学版,2000,24(4):15-20.

[4] 谢启超,刘震.渤海洼陷地温—地压场特征及其石油地质意义[J].油气地质与采收率,2004,11(2):29-30.

[5] 蔡东升,罗毓晖,姚长华.渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义[J].石油学报,2001,22(2):303-307,322.

[6] 吴时国,余朝华,邹东波,等.莱州湾地区郯庐断裂带的构造特征及新生代演化[J].海洋地质与第四纪地质,2006,26(6):101-108.

[7] 汤战宏.济阳坳陷原油物理化学性质的主要影响因素[J].油气地质与采收率,2008,15(3):16-19.

[8] 邓运华.渤海油区稠油成因探讨[J].中国海上油气,2006,18(6):361-371.

[9] 姜培海,唐文辉.渤海海域稠油油田特征及勘探意义[J].特种油气藏,1998,5(2):18-22.

[10] 彭文绪,周心怀,彭刚,等.渤海海域油气藏特征统计分析[J].中国海上油气,2008,20(1):18-21.

[11] 孙和风,周心怀,彭文绪,等.莱州湾凹陷垦利 11 区盐构造特征及成藏分析[J].海洋石油,2007,27(3):46-50.

编辑 经雅丽

欢迎广大科技人员踊跃投稿