

葵花岛构造异常地层压力成因机制

黎玉战 万智民 杨怀义

(地质矿产部石油地质研究所, 北京 100083)

谢文彦 马常星 李明阁

(辽河石油勘探局海洋石油勘探开发公司, 辽宁盘锦 124010)

葵花岛构造沙河街组异常高压形成于东营组沉积末期。断层处于封闭状态是异常高压产生的首要条件, 天然气持续不断的聚集是形成异常超压的主要因素, 沉积物快速堆积、粘土矿物脱水和高温增压对形成异常高压都有一定的影响。

关键词 葵花岛构造 异常地层压力 断层活动 天然气聚集 地层沉积速度 粘土矿物脱水 高温增压

第一作者简介 黎玉战 男 32 岁 高级工程师 石油地质

葵花岛构造位于辽河盆地东部凹陷太阳岛断裂背斜构造带的中部, 西侧毗邻盖洲滩洼陷, 东侧为燕南断裂, 构造主体呈东北向展布(见图 1)。

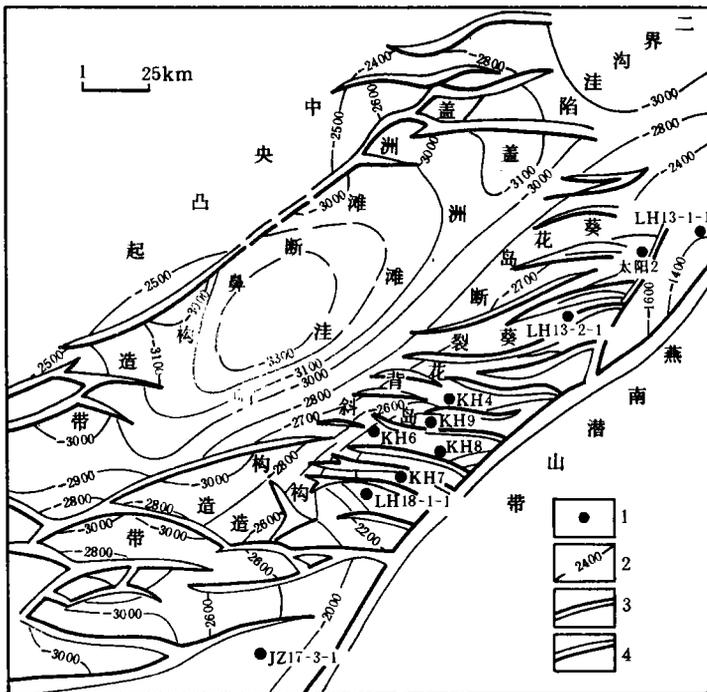


图 1 辽河盆地东部凹陷滩海地区构造区划图

1. 完成钻探井; 2. 构造等高线; 3. 正断层; 4. 逆断层

葵花岛构造受基底古隆起控制,沙河街组沉积末期已具有构造雏形,东营组沉积末期基本定型。深部沙河街组构造形态完整,呈断背斜,浅部东营组被数条断层切割,形成若干个断块。

目前该区已完钻 11 口探井,其中 7 口井获工业油气流,获油气层位包括东营组二段下部、东营组三段和沙河街组一段。测试资料证实,深部沙河街组为凝析气藏,中部东营组三段为带油环的凝析气藏,浅部东营组二段下部为油藏。

根据测试资料,葵花岛构造东营组属于正常压力系统,其中东营组二段下部压力系数为 0.97~1.07,东营组三段压力系数为 0.99~1.08。

沙河街组一段为异常高压系统,截止目前,葵花岛构造仅 KH9 井揭露沙河街组,该井钻遇沙河街组时气显示异常活跃,在 3452.0~3462.37m 井段气测全量为 30%~51%,在试图进行第五次取芯时发生井喷,现场观察喷出物为天然气和泥浆,喷出高度约 2m,喷出物体积约 12m³,关井后井喷被制服。继续钻进时,钻井液密度才由 1.32g/cm³ 提高到 1.40g/cm³,油气上串速度由 533m/h 降低至 90.25m/h,使钻井过程能够正常进行。

KH9 井守井后,于 3393.12~3471.1m 测试获天然气 4480m³/d,地层压力为 42.73MPa,压力系数为 1.27,属于异常高压气层。

上述资料表明,该区存在两相压力系统,一为浅部东营组常压系统,另一为深部沙河街组异常高压系统。

1 异常地层压力特征

1.1 地层压力模型

1.1.1 地质模型

刘斌等(1994)通过对中国中东部部分含油气盆地异常地层压力形成机制的综合分析,并结合前人的研究成果,提出并建立了异常地层压力的地质模型,认为欠压实作用、蒙脱石脱水、烃类生成聚集和高温增压作用等是形成异常地层压力的主要因素。

1.1.2 数学模型

数学模型是地质模型的定量描述,依据异常地层压力形成机制的主要因素建立了数学模式,公式为:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho_1 \cdot K}{\mu} \right) \cdot \frac{\partial p_1}{\partial x} + \alpha \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \rho_1 \cdot \beta_1 \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial Q_w}{\partial x} \cdot p_d \cdot p_m + p_c \cdot p_m \cdot \frac{\partial Q_o}{\partial x} \\ = [\alpha + \beta_v \cdot \varphi(z)] \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial p_1}{\partial x} + [\alpha + \beta_v \cdot \varphi(z)] \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial p_0}{\partial x}$$

式中: $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho_1 \cdot K}{\mu} \right) \cdot \frac{\partial p_1}{\partial x}$ 为流体流动引起的压力变化;

$\alpha \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x}$ 为上覆地层压实引起的压力变化;

$\rho_1 \cdot \beta_1 \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$ 为地温引起的压力变化;

$\frac{\partial Q_w}{\partial x} \cdot p_d \cdot p_m$ 为蒙脱石脱水引起的压力变化;

$p_c \cdot p_m \cdot \frac{\partial Q_o}{\partial x}$ 为生烃引起的压力变化;

$[\alpha + \beta_v \cdot \varphi(z)] \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial p_1}{\partial x}$ 为超压随时间的变化;

$[\alpha + \beta_v \cdot \varphi(z)] \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial p_0}{\partial x}$ 为静水压力随时间的变化。

1.2 异常压力特征

1.2.1 异常超压形成时期

通过对基本地质资料的综合分析,利用上述模型对该区异常地层压力进行了模拟,发现葵花岛构造沙河街组一段的异常高压形成于距今约 27.5Ma,形成时埋深约 2250m(见图 2、图 3)。

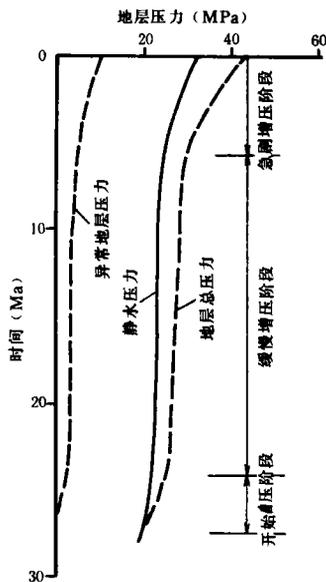


图 2 葵花岛构造地层压力与地质时间关系

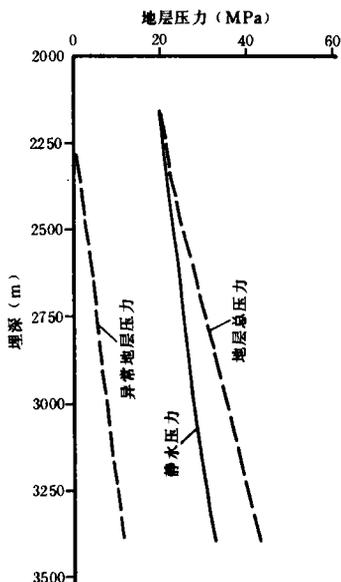


图 3 葵花岛构造地层压力与埋深关系

从异常压力形成时期和埋深分析,葵花岛构造沙河街组一段异常高压大致形成始于东营组一段中期—东营组沉积末期。

1.2.2 异常压力演化特征

根据地层压力模拟结果,葵花岛构造异常地层压力形成于距今约 27.5Ma,并自出现异常压力以来呈逐渐增加的过程,未出现压力降低的现象,异常压力的演化大致划分为以下 3 个阶段。

开始增压阶段:距今约 27.5~24.0Ma,对应于东营组一段中期—东营组沉积末期,异常地层压力开始产生,并逐渐增大。

缓慢增压阶段:距今约 24.0~6.0Ma,对应于东营组沉积末期—馆陶组沉积末期,地层总压力和异常压力都处于缓慢增加的过程。

急剧增压阶段:距今约 6.0Ma~现今,对应于馆陶组沉积期末以后,异常压力急剧增大。

2 异常压力形成机制

根据异常压力形成时期和基本地质资料综合分析,认为葵花岛构造异常压力是多种因素综合作用的结果,其中断层处于封闭状态是产生异常高压的首要条件,天然气持续不断的聚集是形成异常高压的主要因素。

2.1 地层沉积速度

沉积物快速堆积时,砂泥岩孔隙中流体来不及排出,其骨架不能紧密地压实以承担新增沉积物重量,造成欠压实现象,保留了较多原生孔隙,容易形成异常超压的现象。

辽河盆地东部凹陷滩海地区不同构造位置沉积速率具有明显的不均一性(见图 4)。从地质时期来看,

这种不均衡性主要出现在东营组一段之前的东营组二段、东营组三段和沙河街组,在东营组一段之后区域沉积速率差异不明显。

从构造位置来看,太阳岛断裂背斜构造带沉积速率明显小于盖洲滩洼陷的沉积速率(见图 4d-f)。其中太阳岛断裂背斜构造带不同位置沉积速率也有一定的差异,北部太阳岛构造沉积速率小于 200m/Ma(见图 4a),中部葵花岛构造在 450m/Ma 以下(见图 4b),南部龙王庙构造沉积速率为 550m/Ma 左右(见图 4c)。

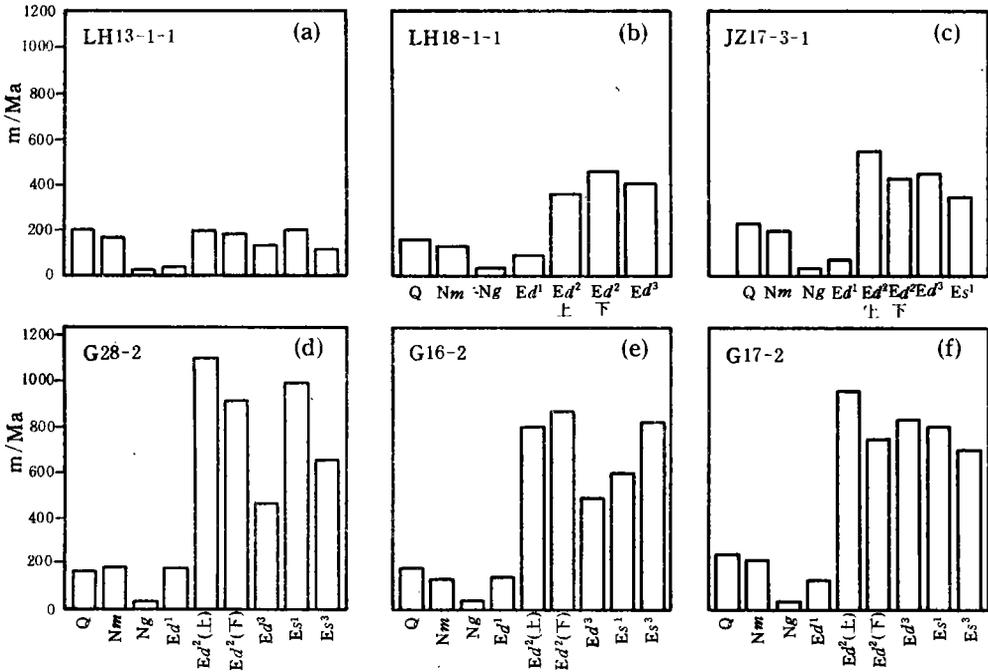


图 4 辽河盆地东部凹陷滩海地区不同位置沉积速率

该区沙河街组和东营组沉积速率较大,奠定了产生异常地层压力的基础。

2.2 断层活动强度

压力的聚集首先要求流体处于封闭的环境,构造运动强烈、断层活动的地区或断层活动的时期是很难产生异常地层压力。

Hooper ECD (1991)认为断层活动时,断层面是开启的,油气沿断层迅速运移;断层不活动时,断面处于封闭状态,对油气运移构成遮挡。

Lehner (1978)等用实验阐述了砂泥岩地层中断层泥的发育机理,指出砂泥岩地层中,伴随着断层形成,沿断层面就分布有断层泥,断层泥的厚度与断距大小成正比。

Berg RR (1995)等认为断层泥具有较强封闭油气的能力。

燕南断裂于始新世沙河街早期开始活动,东营期断层活动强烈,馆陶期—第四纪断裂活动强度明显减弱(见表 1)。

葵花岛构造断层产生于沙河街组沉积末期,东营组二段沉积时期断层活动强烈,东营组沉积末期以后,断层活动强度逐渐减弱(见表 2)。

表 1 燕南断裂古落差与活动速率统计

点 号		葵南 81 线	葵花岛 65 线	葵花岛 191 线	葵花岛 237 线	葵花岛 317 线	葵花岛 397 线	太阳岛 225 线	太阳岛 57 线
Ng	古落差(m)	20	80	50	50	40	30	20	20
	活动速率 (m/Ma)	1.0	4.2	2.6	2.6	2.1	1.6	1.0	1.0
Ed ¹	古落差(m)	80	140	100	100	80	60	150	80
	活动速率 (m/Ma)	12.9	22.6	16.1	16.1	12.9	9.7	24.2	12.9
Ed ² (上)	古落差(m)	180	120	250	100	120	60	230	70
	活动速率 (m/Ma)	138.5	92.3	192.3	76.9	92.3	46.2	176.9	53.8
Ed ² (下)	古落差(m)	150	230	500	250	480	400	300	330
	活动速率 (m/Ma)	107.1	164.3	357.1	178.6	342.9	285.7	214.3	235.7
Ed ³	古落差(m)	1300	1400	1000	1200	1300	1200	200	170
	活动速率 (m/Ma)	520.0	560.0	400.0	480.0	520.0	480.0	80.0	68.0

$$\text{活动速率(m/Ma)} = \frac{\text{古落差(m)}}{\text{活动时间(Ma)}}$$

表 2 葵花岛构造主要断层活动状况统计表

断层名称		F _{a1}	F _{a2}	F _{a4}	F _{a5}	F _{a2}	F _{a3}	F _{a4}	F _{a6}
Ng	古落差(m)	50	50	50	20	10	50	20	70
	活动速率 (m/Ma)	2.6	2.6	2.6	1.0	0.5	2.6	1.0	3.7
	生长指数	<0.1	<0.1	<0.1	<0.04	<0.02	<0.1	<0.04	<0.14
Ed ¹	古落差(m)	150	100	100	30	40	30	50	100
	活动速率 (m/Ma)	24.2	16.1	16.1	4.8	6.5	4.8	8.1	16.1
	生长指数	0.54	0.27	0.25	0.09	0.07	0.04	0.07	0.16
Ed ² (上)	古落差(m)	250	100	80	100	100	50	110	100
	活动速率 (m/Ma)	192.3	76.9	61.5	76.9	76.9	38.5	84.6	76.9
	生长指数	0.63	0.23	0.14	0.18	0.18	0.07	0.16	0.17
Ed ² (下)	古落差(m)	175	70	50	30	30	30	30	70
	活动速率 (m/Ma)	125.0	50.0	35.7	21.4	21.4	21.4	21.4	50.0
	生长指数	0.58	0.28	0.17	0.09	0.09	0.09	0.09	0.23
Ed ³	古落差(m)	50	50	50	100			10	50
	活动速率 (m/Ma)	20.0	20.0	20.0	40.0			4.0	20.0
	生长指数	0.07	0.07	0.06	0.13			0.02	0.06
Es ¹	古落差(m)	50	50	50	50				50
	活动速率 (m/Ma)	25.0	25.0	25.0	25.0				25.0
	生长指数	0.13	0.08	0.10	0.13				0.11

$$\text{生长指数} = \frac{\text{下降盘厚度(m)} - \text{上升盘厚度(m)}}{\text{上升盘厚度(m)}}$$

葵花岛构造于东营组沉积期末以后断层活动频率和强度明显减弱,受上覆地层压力作用影响沿断层面分布的断层泥逐渐致密,对深部天然气的聚集起到了良好的遮挡作用。因此,东营组沉积末期断层基本处于封闭状态是形成异常地层压力的首要条件。

2.3 天然气聚集

Brodly 等(1975)研究认为,地层处于封闭环境下,岩石骨架及孔隙中流体因温度升高而不断膨胀,其中气体膨胀系数约为岩石骨架的 800 倍,根据气体平衡方程,当孔隙中流体的膨胀受到限制时,其压力必然升高。

盖洲滩洼陷沙河街组三段源岩在东营组二段沉积末期已进入过成熟阶段,镜质体反射率为 1.25%~2.1%(见图 5);沙河街组一段源岩在馆陶组沉积末期,镜质体反射率为 1.20%~1.60%(见图 6),有机质也开始进入大量生气阶段,随着天然气供给量逐渐增加,促使地层压力逐渐增大,并在距今约 6.0Ma(相当于馆陶组沉积期末),沙河街组三段和沙河街组一段都进入大量生气时期,供给葵花岛构造天然气量急剧增加,造成地层压力急剧增大。

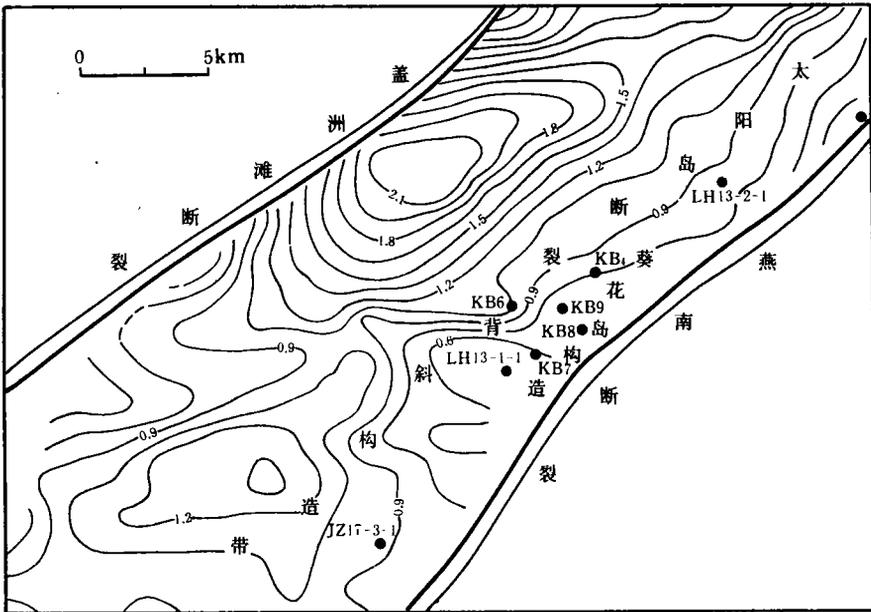


图 5 辽河盆地东部凹陷滩海地区沙河街组三段镜质体反射率等值线图(Ed^2 末)

上述分析表明,天然气持续不断地聚集对于该区异常地层压力的形成可能起了主要的作用。

2.4 粘土矿物脱水

随着埋藏深度增加,成岩作用逐渐加深,蒙脱石逐渐向蒙脱石/伊利石混层转化,并脱出层间水。由于脱出的层间水具有较高的密度(Power, 1976),脱出水体积膨胀,会使孔隙流体压力增高。

从图 7 可以看出,太阳岛断裂背斜构造带蒙脱石向蒙脱石/伊利石混层转化的深度大致为 2350m,这与异常地层压力形成时埋深(2250m)比较接近。

因此,粘土矿物层间水脱出对葵花岛构造异常压力产生有一定的影响。

2.5 水热增压

陈红汉(1995)研究认为高地温梯度提高了水热增压效应,可促使异常超压的形成。

Barker(1972)和 Magara(1978)指出,在固定体积的封闭含水系统中,温度每变化 0.56℃,内部压力的变化范围为 0.76MPa(饱和盐水)~0.86MPa(淡水)。



首届江苏省优秀期刊

ISSN 1001-6112

石油实验地质

EXPERIMENTAL PETROLEUM GEOLOGY

3

1996

地质矿产部石油地质海洋地质局
中国地质学会石油地质专业委员会

ISSN 1001-6112



参 考 文 献

- 1 刘斌等. 四川盆地西北部陆相地层异常高压的形成与演化. 天然气地质, 1995, 15(3)
- 2 杜栩等. 异常压力与油气分布. 地学前缘(中国地质大学, 北京), 1995, 15(3~4)
- 3 张启明等. 莺-琼盆地高温、高压环境及油气运移机制. 中国海上油气(地质), 1992, (1)
- 4 郝石生等. 廊固凹陷泥质岩异常压力与封闭性能研究. 石油大学学报, 1992, 16(2)
- 5 汤大侦. 镜质组反射率与沉积盆地古地温分析. 地学前缘, 1995, 2(3~4)
- 6 王屿涛. 准噶尔盆地腹地地高压和异常高压对油气生成和聚集的影响. 石油勘探与开发, 1994, 21(3)
- 7 Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments *Jour. Petrol. Geol.*, 1991, 4(2)

GENETIC MECHANISM OF ABNORMAL FORMATION PRESSURE OF KUIHUADAO STRUCTURE

Li Yuzhan Wan Zhimin Yang Huaiyi

(Research Institute of Petroleum Geology, MGMR, Beijing)

Xie Wenyan Ma Changxin Li Mingge

(Marine Petroleum Exploration & Development Company,

Liaohe Petroleum Exploration Administration)

Abstract

Overpressure in Shahejie formation of Kuihuadao structure was occurred in the end of deposition of Dongying formation. Closed faults were the first condition for occurrence of overpressure, and continuous accumulation of gas was the important factor for overpressure. And fast deposition of sediments, dehydration of clay minerals and heat pressure-boosting also had some contribution to the abnormal formation pressure.