

东海盆地西湖凹陷平北地区有机质热演化特征及其主控因素

章超^{1,2}, 陈践发¹, 朱心健¹, 刘凯旋¹, 张涛³, 刘金水³

1 油气资源与探测国家重点实验室(中国石油大学(北京)); 2 中国石油浙江油田公司;

3 中海石油(中国)有限公司上海分公司

摘要 东海盆地西湖凹陷平北地区有机质热演化在垂向上具有明显的分段特征,深部超压地层相较于浅部常压地层有机质热演化的速率明显偏大。目前已有的研究多从镜质组反射率等单一因素来分析有机质热演化的分段性特征,缺乏系统全面的研究,且未对可能造成这一现象的因素进行分析。在前人研究的基础上,对可能造成有机质热演化分段性的有机质组成特征、地下流体的影响、热导率的变化和超压作用的影响等因素进行综合分析,对西湖凹陷平北地区有机质热演化做了系统的研究。研究结果表明:超压发育的深度与有机质热演化出现分段特征深度具有很好的吻合性,超压作用是造成西湖凹陷平北地区有机质热演化在垂向上具有分段性特征的主要因素。

关键词 镜质组反射率;有机质热演化;超压作用;平北地区;西湖凹陷;东海盆地

中图分类号:TE122.1 **文献标识码**:A

0 前言

东海盆地平北地区是西湖凹陷重要的油气聚集区,研究发现该区有机质热演化在垂向上具有明显的分段特征,深部地层相较浅部地层有机质热演化的速率明显偏大。前人对研究区有机质的垂向分段性演化开展了相关研究^[1-3],但大多仅根据有机质热演化剖面上镜质组反射率(R_o)数据的异常这一单一因素来分析,研究结论缺乏其他有机地球化学参数证据的支持,且未对可能造成这一现象的原因进行深入的分析。有机质热演化受多种因素的影响,有机质组成的差异、流体活动、地层热导率的变化和超压作用均可能影响有机质的热演化^[4]。

笔者在前人研究的基础上,以西湖凹陷平北地区重点井K2井和N25井为例,通过 R_o 在剖面上的演化特征,结合生物标志化合物成熟度指标、二苯并噻吩类(DBTs)成熟度参数综合分析研究区有机质的热演化特征,并对有机质组成的差异、流体活动、

热导率和超压作用等可能造成有机质热演化差异的各个因素进行全面分析,查明西湖凹陷平北地区有机质热演化的主控因素。

1 区域地质概况

西湖凹陷位于东海陆架盆地东部,面积约为 $5.9 \times 10^4 \text{ km}^2$,是东海盆地中沉积面积最大、勘探程度最高的沉积凹陷。凹陷形成主要经历了断陷期、拗陷-反转期和整体沉降期3个阶段^[5],具有“东西分带、南北分块”的构造格局,从西往东依次分为西部斜坡带、西次凹、中央反转构造带、东次凹、东部断阶带等5个构造单元。本文研究区平北(平湖构造带北部)地区位于西部斜坡带的中部,是西湖凹陷重要的油气聚集区(图1)。研究区自下而上依次发育古新统,始新统八角亭组—宝石组和平湖组,渐新统花港组,中新统龙井组、玉泉组和柳浪组,上新统三潭组及第四系东海群。其中,始新统平湖组和渐新统花港组是研究区主要的烃源岩层^[6-9]。

收稿日期:2019-10-16; 改回日期:2020-01-07

本文受国家科技重大专项子课题“西湖凹陷深层大中型气田成藏机理及模式研究”(编号:2016ZX05027-001-004)资助

第一作者:章超,硕士,主要从事石油天然气勘探方面的研究工作。通信地址:310023 浙江省杭州市西湖区荆山岭;E-mail:475719098@qq.com

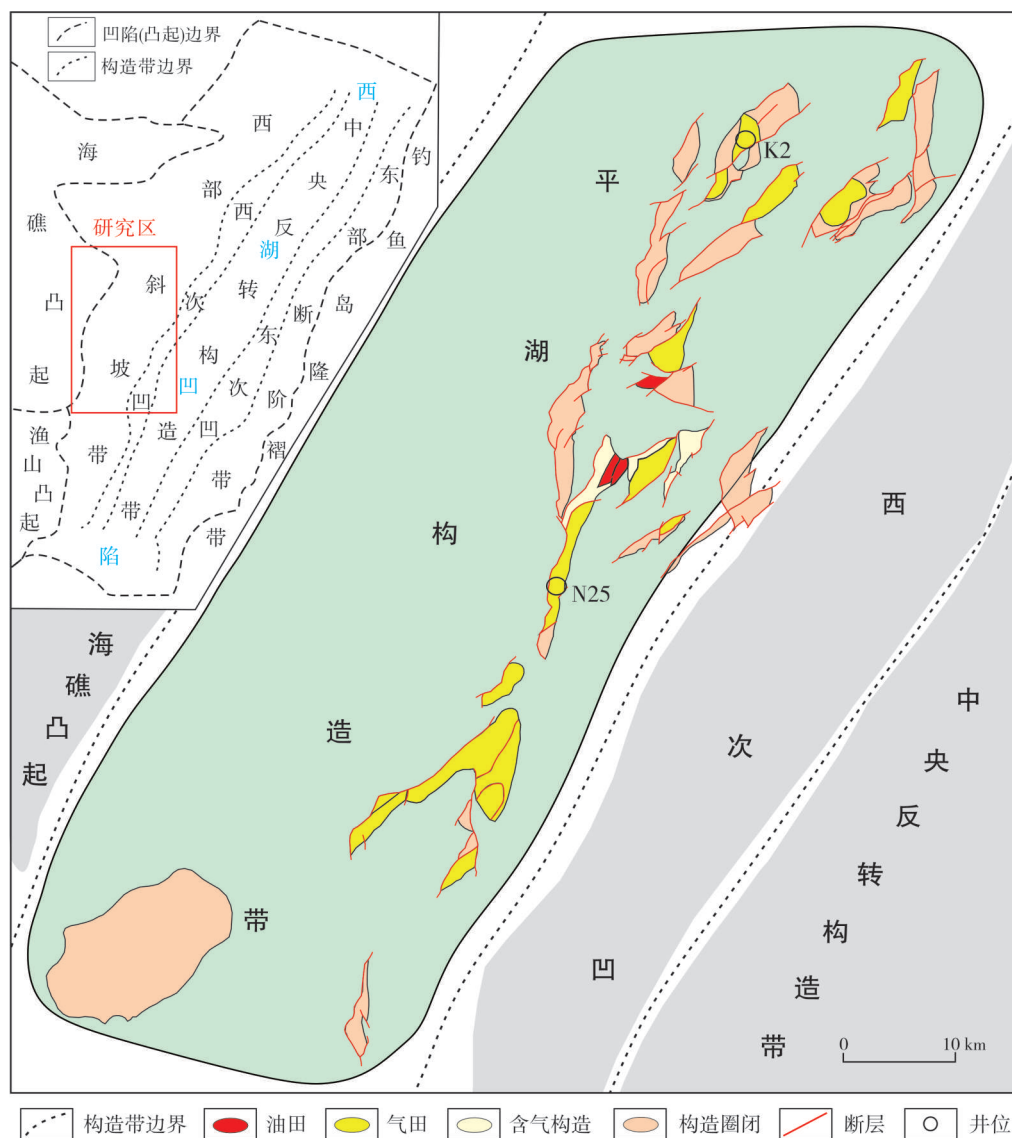


Fig. 1 Map of regional structure and location of study area

2 有机质热演化特征

镜质组反射率(R_o)是反映有机质热演化的最常用指标^[4]。通过有机质热演化剖面图分析发现,西湖凹陷平北地区K2井和N25井有机质热演化在垂向上表现出以下特征:K2井 R_o 在垂向上表现为随深度的加深而增大,但热演化特征分为明显的两段,以4 100 m深度为界,其以下 R_o 随深度的变化速率明显高于上段(图2);N25井的有机质热演化也表现出类似的特征(图3),整体上随深度加深, R_o 逐渐增大,但以3 500 m深度为界,下段的 R_o 随深度的增大速率明显高于上段。甾烷的 $20S/(20S+20R)$ 和 $\beta\beta/$

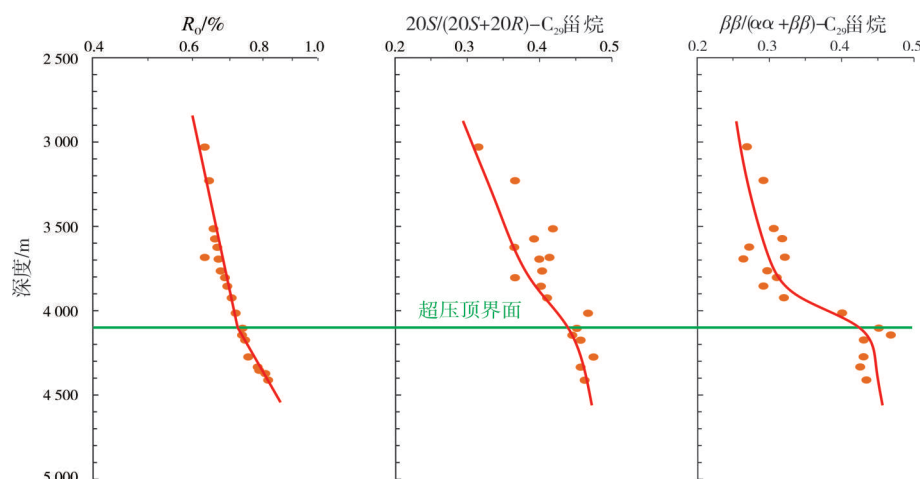


图2 K2井有机质热演化剖面

Fig. 2 Thermal evolution profiles of organic matter in Well K2

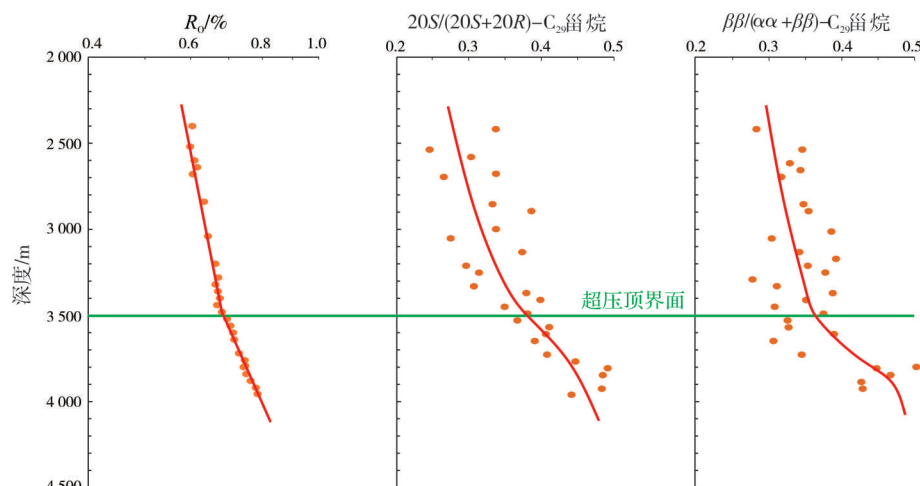
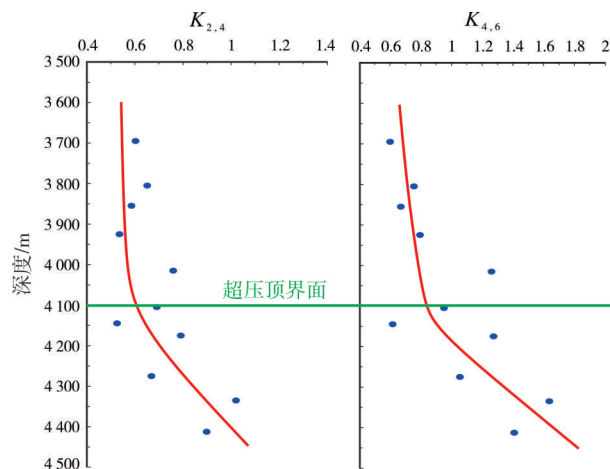


图3 N25井有机质热演化剖面

Fig. 3 Thermal evolution profiles of organic matter in Well N25

二苯并噻吩类化合物在烃源岩中广泛发育,可以作为良好的成熟度指标^[10]。甲基二苯并噻吩(MD-BT)中C-4位甲基取代的异构体最为稳定,C-1位甲基取代的异构体最不稳定^[11],随着成熟度的增加,热稳定性差的异构体逐渐减少,而热稳定性高的异构体逐渐增多,故可用2,4-DMDBT/1,4-DMDBT(记为 $K_{2,4}$,DMDBT为二甲基二苯并噻吩)和4,6-DMDBT/1,4-DMDBT(记为 $K_{4,6}$)来反映烃源岩成熟度^[10-14]。图4给出了K2井二甲基二苯并噻吩的分析结果,其变化趋势与 R_o 的相吻合:随深度的增大,有机质热演化程度增高, $K_{2,4}$ 和 $K_{4,6}$ 也随之增大;在4100 m深度以下,有机质的热演化速率提高, $K_{2,4}$ 和 $K_{4,6}$ 随深度增大的速率也明显增大。可见二甲基二苯并噻吩类参数在垂向上也表现出分段特征,而且分段的界线深度与 R_o 具有高度的吻合性。

图4 K2井二甲基二苯并噻吩参数 $K_{2,4}$ 和 $K_{4,6}$ 与埋深的关系Fig. 4 Relationship between dimethyldibenzothiophene parameters ($K_{2,4}$, $K_{4,6}$) and depth in Well K2

由 K2 井和 N25 井的分析结果可以看出,西湖凹陷平北地区有机质热演化具有明显的分段性特征,深部地层的有机质热演化速率明显高于浅部地层。

3 有机质热演化主控因素

通常情况下,造成垂向上有机质成熟度分段性的原因主要包括:①有机质组成特征对有机质热演化的影响^[15-17];②流体活动对有机质热演化的影响^[18-20];③岩石热导率的差异对有机质热演化的影响^[21-22];④超压对有机质热演化的影响^[23-24]。

3.1 有机质组成特征的影响

平湖构造带主要发育始新统平湖组和渐新统花港组两套烃源岩层。在平北地区的烃源岩样品中,花港组和平湖组烃源岩氢指数(HI)整体上小于 400 mg/g;平湖组烃源岩埋深更大,热演化程度更高,有机质热解峰温(T_{\max})比花港组高;平湖组和花港组烃源岩有机质类型主要为Ⅲ—Ⅱ₂型干酪根(图5)。

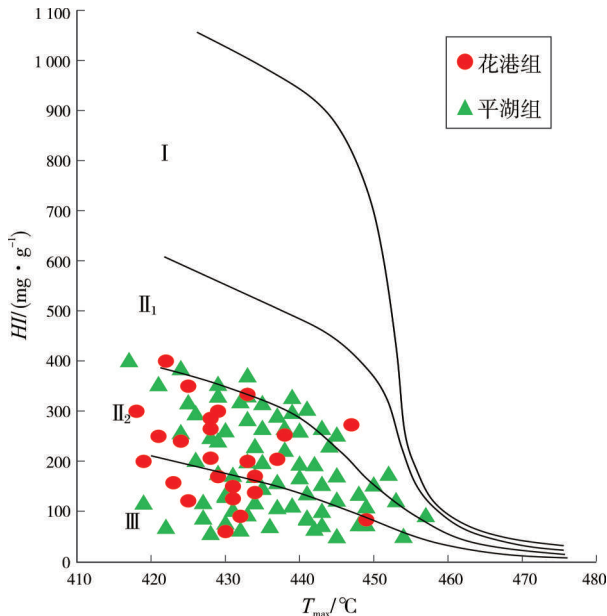


图5 平北地区烃源岩样品氢指数与热解峰温关系图
Fig. 5 Rock-Eval hydrogen index versus T_{\max} of source rock samples in the Pinghu tectonic zone

由上述分析可知,研究区平湖组和花港组干酪根均以Ⅲ—Ⅱ₂型为主,而且根据干酪根显微组分组成特征,K2井和N25井以镜质组和惰质组占绝对优势(表1,表2),有机质组成特征在垂向上变化不大,因此有机质组成特征不是平北地区有机质热演化垂向上分段性的原因。

表1 西湖凹陷平北地区K2井干酪根有机显微组分
Table 1 Maceral composition of kerogens from Well K2 in the Pinghu tectonic zone

深度/m	干酪根有机显微组分/%				
	镜质组	惰质组	壳质组	腐泥组	镜质组+惰质组
3 510	29.0	63.7	2.3	5.0	92.7
3 620	10.7	86.0	1.0	2.3	96.7
3 690	8.7	88.3	1.3	1.7	97.0
3 800	7.0	90.0	0.7	2.3	97.0
4 010	4.7	91.7	0.3	3.3	96.3
4 100	6.0	90.7	1.0	2.3	96.7
4 170	12.0	84.3	0.7	3.0	96.3
4 204	20.3	59.7	2.3	17.7	80.0
4 206	22.3	62.7	1.7	13.3	85.0
4 270	15.0	81.7	1.0	2.3	96.7
4 410	9.0	87.0	2.3	1.7	96.0
4 468	13.3	49.3	1.7	35.7	62.7

表2 西湖凹陷平北地区N25井干酪根有机显微组分
Table 2 Maceral composition of kerogens from Well N25 in the Pinghu tectonic zone

深度/m	干酪根有机显微组分/%				
	镜质组	惰质组	壳质组	腐泥组	镜质组+惰质组
3 200	19.0	51.3	4.7	25.0	70.3
3 320	21.0	62.0	1.3	15.7	83.0
3 400	23.3	50.3	3.7	22.7	73.7
3 480	15.7	63.3	2.3	18.7	79.0
3 560	17.3	59.3	3.7	19.7	76.7
3 640	11.3	58.3	4.7	25.7	69.7
3 760	7.0	63.7	2.3	27.0	70.7
3 800	35.0	55.0	4.7	5.3	90.0
3 880	11.3	65.3	2.7	20.7	76.7
3 955	6.3	55.7	1.0	37.0	62.0

3.2 流体活动的影响

流体是热能的重要载体,流体活动可以引起沉积盆地传导与对流热场的叠加,从而影响有机质的热演化^[18, 20]。流体活动可以使地层温度发生改变,从而引起分段性的 R_o 梯度。根据前人对平湖构造带进行热史恢复的结果,虽然各地层的沉积速率有所差异,但基本上是一个连续沉降增温的过程,特别是从 32 Ma 开始,连续沉降的特征尤为明显^[25]。依据 DST 钻柱测试数据,西湖凹陷现今的平均地温梯度约为 3.4 °C/100 m,而且不同的构造单元平均地温梯度也存在一定的差异。总体上看,中央反转构造带的平均地温梯度最高,可达 3.8 °C/100 m;而平湖构造带所在的西部斜坡带的平均地温梯度最低,

为 $3.16\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (图6)。在平湖构造带内,不同区域的地温梯度也有所不同,平北地区地温梯度较低,约为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (图7),而且其深部的地温梯度更低,地温梯度的变化不会造成深部地层烃源岩 R_o 增加速率的加快,因此流体活动不是有机质热演化垂向上分段性的原因。

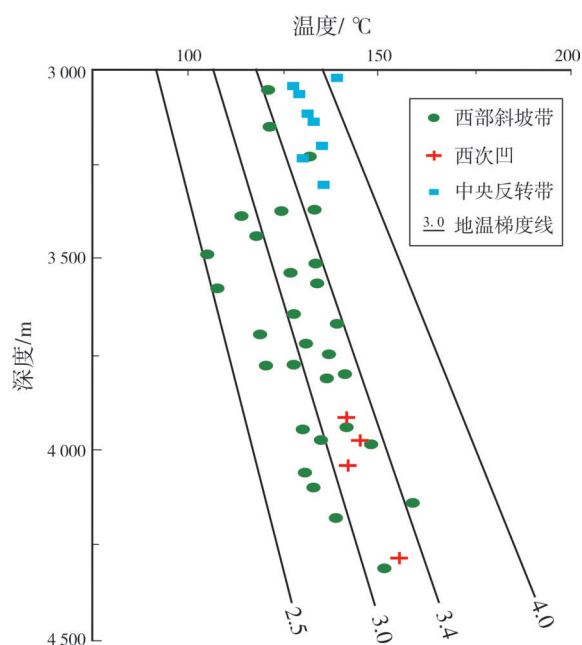


图6 西湖凹陷实测地温与深度关系图

Fig. 6 Relationship between measured formation temperature and depth in Xihu Sag

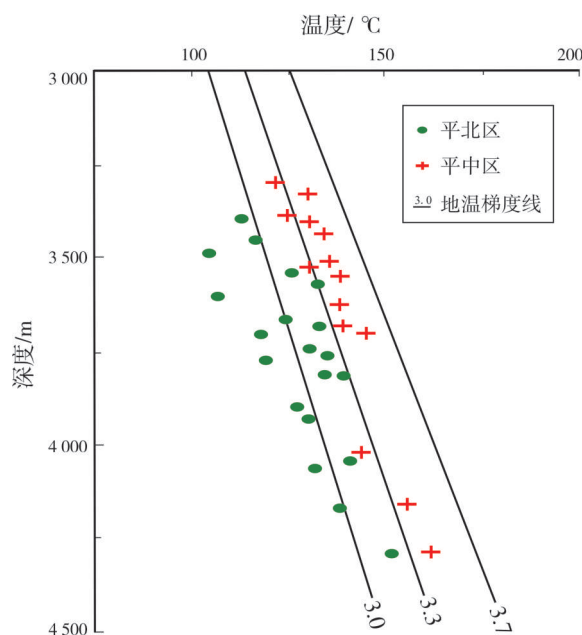


图7 平湖构造带实测地温与深度关系图

Fig. 7 Relationship between measured formation temperature and depth in Pinghu tectonic zone

3.3 热导率差异的影响

在热流恒定的情况下,热导率越低,地温梯度越高。因此,热导率较低的层段地温梯度较高,从而出现较高的 R_o 梯度。一方面,地质体的热导率受到岩石类型的影响,一般砂岩的热导率约为 $1.9\sim 7.4\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,泥岩的热导率约为 $1.5\sim 2.3\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;另一方面,在岩性相同的情况下,热导率还与孔隙发育状况有关,孔隙度越大,地层的热导率越低^[26]。

西湖凹陷平北地区K2井和N25井不同层段岩性均以砂岩和泥岩为主,故岩性差异引起的热导率变化并不十分明显。根据岩心分析结果,K2井在有机质热演化分段界面4100 m上下的孔隙度约为 $10\%\sim 15\%$ (表3),N25井在有机质热演化分段界面3500 m上下的孔隙度约为 $15\%\sim 20\%$ (表4),孔隙度变化并不十分显著,并且在该孔隙度范围内,地层的热导率约在 $5\sim 6\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 之间,仍然处于较高的水平。可见K2井和N25井岩性和孔隙度变化引起的热导率差异很小,因此热导率差异也不是引起有机质热演化垂向上分段性的原因。

表3 西湖凹陷平北地区K2井岩心的岩性与孔隙度

Table 3 Lithology and porosity of core from Well K2 in the Pinghu tectonic zone

深度/m	岩性	孔隙度/%	深度/m	岩性	孔隙度/%
3 559	细砂岩	14.9	4 125	砂砾岩	12.1
3 664	细砂岩	13.5	4 152	中砂岩	14.2
3 756	泥质粉砂岩	12.0	4 156	含砾粗砂岩	13.8
3 889	细砂岩	12.1	4 160	细砂岩	8.5
3 912	粉砂岩	16.3	4 165	细砂岩	9.4
4 087	细砂岩	4.3	4 211	细砂岩	10.9
4 099	细砂岩	10.4	4 252	砂砾岩	9.1
4 117	细砂岩	13.9	4 357	细砂岩	9.8
4 121	细砂岩	13.6	4 373	细砂岩	12.0

表4 西湖凹陷平北地区N25井岩心的岩性与孔隙度

Table 4 Lithology and porosity of core from Well N25 in the Pinghu tectonic zone

深度/m	岩性	孔隙度/%	深度/m	岩性	孔隙度/%
2 871	细砂岩	22.4	3 349	细砂岩	12.8
2 905	细砂岩	20.9	3 441	细砂岩	18.1
2 966	含砾细砂岩	18.3	3 485	泥质粉砂岩	14.8
3 046	含砾细砂岩	19.3	3 552	细砂岩	17.9
3 120	泥质粉砂岩	16.5	3 559	灰质粉砂岩	7.4
3 190	细砂岩	20.2	3 567	粉砂岩	15.5
3 262	泥质粉砂岩	7.2	3 615	细砂岩	16.8
3 293	细砂岩	19.8	3 622	泥质粉砂岩	9.8

3.4 超压发育的影响

关于超压作用对有机质热演化的影响,不同学者曾提出过不同的观点,可分为以下3类:①超压作用可以促进有机质的热演化^[27];②超压作用抑制有机质的热演化^[28-29];③超压作用对有机质的热演化无明显影响^[30]。

测井数据是识别异常地层压力最基础同时也是最可靠的方法,其中声波测井、密度测井和电阻率测井是超压识别最常用的3条测井曲线,对这3条测井曲线进行综合分析,能更加准确地确定超压的存在^[31]。

分析西湖凹陷平北地区 K2 井和 N25 井的测井

综合特征(图8,图9),可以看出:K2井以4 100 m深度为界,N25井以3 500 m深度为界,其上随深度的增加,声波时差逐渐减小,密度和电阻率逐渐增大;但在其深度之下则发生了变化——K2井声波时差增大,密度略有减小,电阻率增大的速率变快,N25井声波时差增大,密度基本保持稳定,电阻率减小的速率变快。以上特征表明:平北地区K2井和N25井分别在4 100 m和3 500 m深度之下发育超压,超压发育深度均位于平湖组内。超压发育的顶界面与 R_o 在垂向上演化速率增加的深度完全吻合,K2井以4 100 m深度为界,N25井以3 500 m深度为界,上部 R_o 演化特征对应浅部常压系统,下部 R_o 演化特征对应深部超压系统。

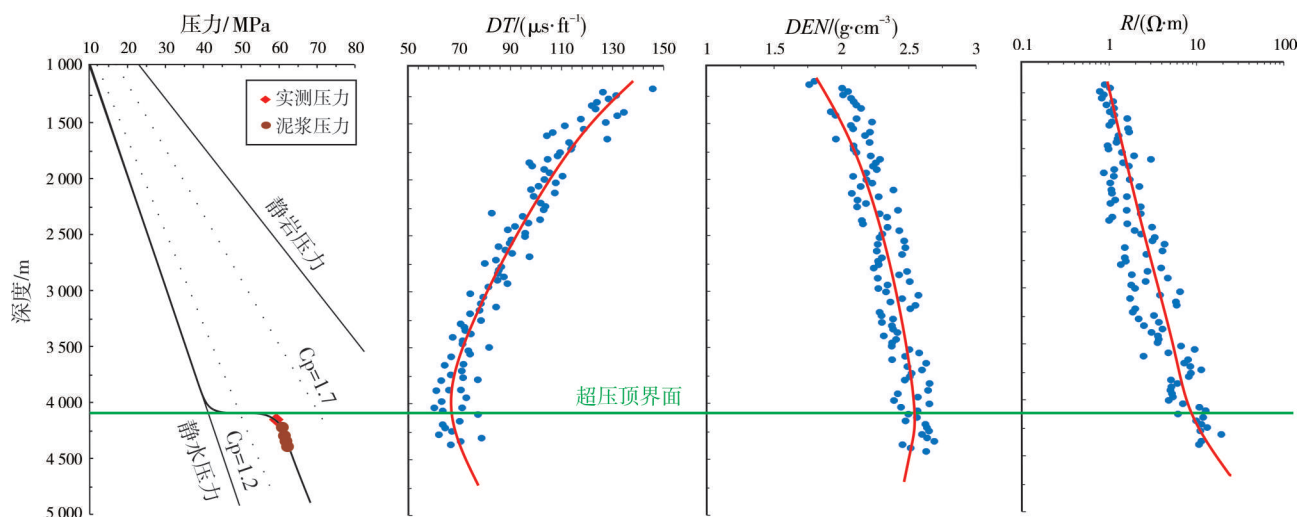


图8 K2井超压段测井组合识别图

Fig. 8 Logging combination identification in overpressure section of Well K2

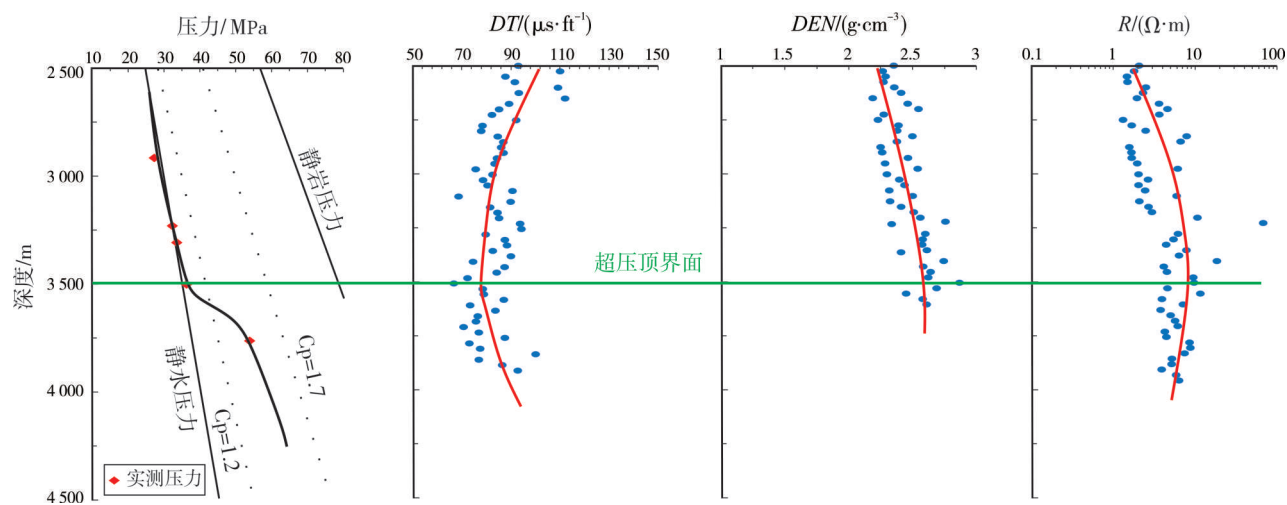


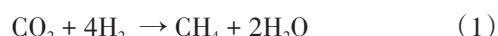
图9 N25井超压段测井组合识别图

Fig. 9 Logging combination identification in overpressure section of Well N25

通过以上分析判断,有机质组成特征、流体性质和热导率的变化均不是K2井和N25井有机质热演化垂向上呈分段性的原因,超压作用是造成有机质热演化垂向上分段性的唯一可能原因。K2井和N25井上下 R_o 梯度段与垂向上的两个压力系统完全对应,对比上部的常压地层,深部的超压地层 R_o 梯度明显偏大,同时在深度上二苯并噻吩类化合物参数的变化与 R_o 一致,这充分证明了超压作用是西湖凹陷平北地区有机质热演化分段性的主控因素。

4 分析与探讨

根据前人的研究,高压在煤的分解过程中的作用不可忽视。煤富含含氧官能团,在高压条件下有利于缩聚反应的进行,这使得含氧官能团不断脱落,形成大量的 CO_2 。同时煤在热演化过程中,还会生成 H_2 。 CO_2 和 H_2 存在如下反应:



高温和高压的环境有利于该反应的发生,而且该反应是一个气体体积不断减小的过程,高压的存在有利于促进该反应的不断进行^[32]。

西湖凹陷平湖组中煤层普遍发育,是重要的烃源岩。煤在热演化过程中产生 CO_2 和 H_2 ,在高压条件下有利于 CO_2 和 H_2 发生反应形成烃类化合物。这可能是西湖凹陷平北地区的超压促进有机质热演化的原因。

5 结论

(1)西湖凹陷平北地区有机质热演化在垂向上表现出分段性特征,以超压发育深度为界,下部有机质相较于上部热演化速率明显偏大。

(2)有机质组成的差异、流体性质的变化、地质体热导率的差异均不是西湖凹陷平北地区有机质热演化垂向上分段性的原因,而超压发育的深度与有机质热演化出现分段特征的深度具有很好的吻合性,超压作用是引起平北地区有机质热演化垂向上分段性的主控因素。

参考文献

- [1] 张先平,张树林,陈海红,等. 东海西湖凹陷平湖构造带异常压力与油气成藏[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(3): 93-97.
- [2] 张震. 西湖凹陷PH构造带地层压力特征及其与油气分布的关系[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [3] 张国华. 西湖凹陷高压形成机制及其对油气成藏的影响[J]. 中国海上油气, 2013, 25(2): 1-8.
- [4] 郝芳,等. 超压盆地生烃作用动力学与油气成藏机理[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 406.
- [5] 张国华,张建培. 东海陆架盆地构造反转特征及成因机制探讨[J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 260-270.
- [6] 陈琳琳,王文强. 东海陆架盆地西湖凹陷深层烃源岩探讨[J]. 海洋石油, 1999(2): 1-8.
- [7] 叶加仁,顾惠荣,贾健谊. 东海西湖凹陷油气地质条件及其勘探潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(4): 111-116.
- [8] 田海芹. 西湖凹陷含油气系统研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(1): 38-43.
- [9] 吴嘉鹏,张兰,万丽芬,等. 西湖凹陷平湖组物源分析[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(2): 50-57.
- [10] 罗健,程克明,付立新,等. 烷基二苯并噻吩: 烃源岩热演化新指标[J]. 石油学报, 2001, 22(3): 27-31.
- [11] 王铁冠,何发岐,李美俊,等. 烷基二苯并噻吩类: 示踪油藏充注途径的分子标志物[J]. 科学通报, 2005, 50(2): 176-182.
- [12] 包建平,王铁冠,陈发景. 烃源岩中烷基二苯并噻吩组成及其地球化学意义[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1996, 20(1): 19-23.
- [13] 霍秋立,李振广,付丽,等. 烷基二苯并噻吩的分布与有机质成熟度关系的探讨[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(2): 32-35.
- [14] 肖飞,包建平,张文艳,等. 烷基二苯并噻吩类化合物研究进展[J]. 广东石油化工学院学报, 2012, 22(6): 16-19.
- [15] DIESSEL C F K, GAMMIDGE L. Isometamorphic variations in the reflectance and fluorescence of vitrinite: a key to depositional environment[J]. International journal of coal geology, 1998, 36(3): 167-222.
- [16] PRICE L C, BARKER C E. Suppression of vitrinite reflectance in amorphous-rich kerogen: a major unrecognized problem[J]. Journal of petroleum geology, 1985, 8(1): 59-84.
- [17] HAO Fang, CHEN Jianyu. The cause and mechanism of vitrinite reflectance anomalies[J]. Journal of petroleum geology, 1992, 15(4): 419-434.
- [18] PERSON M, GARVEN G. Hydrologic constraints on petroleum generation within continental rift basins: theory and application to the Rhine Graben[J]. AAPG bulletin, 1992, 76(4): 468-488.
- [19] LAW B E, NUCCIO V F, BARKER C E. Kinky vitrinite reflectance well profiles: evidence of paleopore pressure in low-permeability, gas-bearing sequences in Rocky Mountain foreland basins[J]. AAPG bulletin, 1989, 73(7): 999-1010.
- [20] HAO Fang, LI Sitian, GONG Zaisheng, et al. Thermal regime, inter-reservoir compositional heterogeneities, and reservoir-filling history of the Dongfang gas field, Yinggehai Basin, South China Sea: evidence for episodic fluid injections in

- overpressured basins? [J]. AAPG bulletin, 2000, 84(5): 607-626.
- [21] CERCONE K R, DEMING D, POLLACK H N. Insulating effect of coals and black shales in the Appalachian Basin, Western Pennsylvania [J]. Organic geochemistry, 1996, 24(2): 243-249.
- [22] BURRUS J, AUDEBERT F. Thermal and compaction processes in a young rifted basin containing evaporites: Gulf of Lions, France [J]. AAPG bulletin, 1990, 74(10): 1420-1440.
- [23] 郝芳, 姜建群, 邹华耀, 等. 超压对有机质热演化的差异抑制作用及层次 [J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2004, 34(5): 443-451.
- [24] 郝芳, 邹华耀, 倪建华, 等. 沉积盆地超压系统演化与深层油气成藏条件 [J]. 地球科学 (中国地质大学学报), 2002, 27(5): 610-615.
- [25] 徐志星. 西湖凹陷异常地层压力特征及其与油气成藏的关系 [D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [26] BARKER C. Thermal modeling of petroleum generation: theory and applications [M]. Amsterdam: Elsevier, 1996: 512.
- [27] BRAUN R L, BURNHAM A K. Mathematical model of oil generation, degradation, and expulsion [J]. Energy & fuels, 1990, 4(2): 132-146.
- [28] QUICK J C, TABET D E. Suppressed vitrinite reflectance in the Ferron coalbed gas fairway, central Utah: possible influence of overpressure [J]. International journal of coal geology, 2003, 56(1/2): 49-67.
- [29] 郝芳, 董伟良, 邹华耀, 等. 莺歌海盆地汇聚型超压流体流动及天然气晚期快速成藏 [J]. 石油学报, 2003, 24(6): 7-12.
- [30] MONTHIOUX M, LANDAIS P, DURAND B. Comparison between extracts from natural and artificial maturation series of Mahakam delta coals [J]. Organic geochemistry, 1986, 10(1): 299-311.
- [31] 赵靖舟, 李军, 徐泽阳. 沉积盆地超压成因研究进展 [J]. 石油学报, 2017, 38(9): 973-998.
- [32] TAO Wei, ZOU Yanrong, CARR A, et al. Study of the influence of pressure on enhanced gaseous hydrocarbon yield under high pressure-high temperature coal pyrolysis [J]. Fuel, 2010, 89(11): 3590-3597.

编辑: 刘江丽 张润合

Characteristics of organic matter thermal evolution and its main controlling factors in Pingbei area of Xihu Sag

ZHANG Chao, CHEN Jianfa, ZHU Xinjian, LIU Kaixuan, ZHANG Tao, LIU Jinshui

Abstract: The thermal evolution of organic matter in Pingbei area of Xihu Sag in the East China Sea Basin has obvious segmented characteristics in vertical direction, and the thermal evolution rate of organic matter in deep overpressure formation is obviously higher than that in shallow normal pressure formation. At present, most of the existing studies analyze the segmented characteristics of organic matter thermal evolution from the single factor such as vitrinite reflectance, and lack of systematic and comprehensive research, and do not analyze the factors that may cause this phenomenon. On the basis of previous studies, this paper makes a comprehensive analysis of the organic matter composition characteristics, the influence of underground fluid, the change of thermal conductivity and the influence of overpressure on the thermal evolution of organic matter in Pingbei area of Xihu Sag. The results show that the depth of overpressure development is in good agreement with segmented depth of the thermal evolution of organic matter. Overpressure is the main factor causing the vertical segmented characteristics of organic matter thermal evolution in Pingbei area of Xihu Sag.

Key words: vitrinite reflectance; organic matter thermal evolution; overpressure; Pingbei area; Xihu Sag; the East China Sea Basin

ZHANG Chao, First author: MSc, mainly engaged in research on oil and gas exploration. Add: Jingshanling, Xihu District, Hangzhou, Zhejiang 310023, China