

文章编号:1001-6112(2009)01-0036-04

超压盆地热演化及其对油气勘探潜力的影响

——以南海北部陆缘盆地为例

程本合

(中国石化集团 国际石油勘探开发有限公司,北京 100083)

摘要:在南海北部陆缘盆地中,油气田分布与现今地温异常区有密切关系,该现象通常与油气藏形成过程中地下热流体活动及油气层的隔热作用有关。沉积盆地的热演化对生烃窗口的深度范围有较大影响;超压作用对镜质体的演化有抑制作用,在用EasyR_o法计算镜质体反射率及热史恢复时应考虑超压作用对计算结果的影响。模拟计算表明超压抑制作用增加了生烃窗口的存在深度,扩大了油气勘探的范围。

关键词:热演化;超压盆地;生烃窗口;油气勘探;南海北部陆缘盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

THERMAL EVOLUTION AND ITS IMPACT ON EXPLORATION POTENTIAL IN OVERPRESSURE SEDIMENTARY BASINS

—A CASE STUDY ON CONTINENTAL MARGIN BASINS OF THE NORTHERN SOUTH CHINA SEA

Cheng Benhe

(International Petroleum Exploration & Production Corporation, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: It's observed that oil/gas fields distribution is distinctively connected with the geothermal abnormal areas in continental margin basins of the northern South China Sea. This phenomena is basically due to the geothermal fluid vertical movement and the lower thermal conductivity of oil/gas beds during the process of oil/gas reservoir formation. Thermal evolution of sedimentary basin has significant impact on the range of oil/gas window, and also the maturity of vitrinite reflectance can be restrained as a result of overpressure. Therefore it has been taken into consideration in this paper when the vitrinite reflectance is calculated with EasyR_o model. The simulated result indicates that the fact of overpressure has expanded the range of oil/gas window and exploration scope as well.

Key words: thermal evolution; overpressure basin; oil/gas window; petroleum exploration; continental margin basins of the northern South China Sea

1 今地温场与油气分布的关系

1.1 国内外实例

沉积盆地中的有机质在转化成油气的过程中温压起着关键的作用,这一点已勿容置疑。不仅如此,在世界上一些沉积盆地中,油气分布规律也与现今地温场的分布特征有着密切关系。在美国的落基山地区,有8处油气田发现在其浅部存在着热泉或地温梯度正异常。在地下150 m的深处,异

常值的大小通常在0.5~1.5℃之间^[1]。在南德克萨斯地区,根据1600余口井底温度的调查也发现存在明显的地热异常,这些异常的分布与生长断层的走向有关^[2]。在俄克拉荷马州卡特县(Carter County)也发现地下深部含油构造的上方存在明显的盐度和地温梯度正异常^[3];另外在前苏联Wide Gorge, Bakhar 和 Voyvozhsky 等油田也见有类似现象。

世界范围统计资料表明,高温盆地单位面积的

收稿日期:2007-11-23;修订日期:2008-12-08。

作者简介:程本合(1969-),男,博士,主要从事国际油气勘探工作。E-mail: bhcheng@sipc.cn。

基金项目:国家自然科学基金重点项目(49672169)。

油气储量比低温盆地高。印度洋、太平洋周围 40 个沉积盆地中一半含油气,而 50% 以上的探明储量分布于地温梯度大于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 的沉积盆地中。高地温梯度(大于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$)盆地单位面积的石油储量比中等地温梯度($20\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$)盆地高 9 倍,比低地温梯度(小于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$)盆地高 120 倍^[4,5]。

南海北部大陆边缘盆地中,油气的分布与地温异常区具有十分密切的关系。特别是莺歌海盆地,几乎所有的气田上方都存在明显的地温梯度正异常,如东方 1-1、乐东 8-1、乐东 15-1 等含气构造的地温梯度都在 $45\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 以上,琼东南盆地的崖 13-1 大气田也存在较明显的地温梯度正异常。在莺—琼盆地内气田与高温热异常存在比较明显的伴生关系;而在以油田为主的珠江口盆地,油田分布区与高地温梯度区分布的关系不太明显,但在靠近大断层附近的含油气构造上方也存在明显的地温梯度正异常,如 WC19-1、WC8-3 和 QH13-1 等^[6]。

1.2 形成条件

国内外实例表明油气田分布与高温异常存在某种必然联系,国外学者曾采用浅层地温测量作为油气勘探的一种手段^[7]。但应该指出,并非所有的高温异常区都与油气田相联系,油气田分布与高温异常共存是有条件的。

1.2.1 地下热流体活动

多数油气田上方的高地温梯度异常与地下流体沿断裂带向上运移有关。事实上,油气聚集与热量聚集是一个过程的两个方面。由于油气是一种密度比水小的流体,从源岩排出后通常与水一起沿断裂带、不整合面或顺向上或侧上方运移,在油气运移过程中,在有利圈闭中聚集成藏。由于深部流体的温度通常较浅部高,因此含烃热流体在浅部圈闭中分异聚集的过程同时也是热量聚集的过程。因此,油气田分布区通常与高温异常区存在一定的联系。但是应该指出,油气聚集在圈闭之后,只要圈闭不破坏,油气就会保存较长的时间;而热异常则不同,圈闭并不能长时间储存热量,随着时间推移,热异常会由于热传递作用而逐渐消失。因此,由地下热流体活动而形成的油气田和高温异常的伴生关系应具备的必要条件是油气田形成的时间较短或目前油气田处于动态平衡状态。

在莺歌海、琼东南和珠江口盆地^[8~10],油气田分布区形成的高温异常多数与含烃热流体沿断层面上运移有关。该区的流体包裹体资料即是有力证据。尤其在莺歌海盆地,欠压实十分明显,主要

生烃层段通常存在异常高压,在外界应力场诱导作用下,极易产生破裂,流体沿断裂带向上运移形成热异常的同时,其中的烃类也会在其上方的圈闭中聚集成藏。特别是在泥底辟发育带,对其上方的地层也会因产生加热作用而形成热异常。

珠江口盆地中油气分布与高温热异常的伴生关系不明显,可能是由于珠江口盆地以古近系文昌、恩平组烃源岩为主,由于该盆地早期热流值较高,后期构造活动变弱,所以油气生成、运移和聚集的时间较早,因而早期形成的热异常随时间推移已逐渐消失。而莺—琼盆地则以新近系烃源岩为主,第四纪以来活动较强,油气藏形成时间晚,故油气田分布与高温异常的关系比较明显。

1.2.2 油气层的隔热作用

油气在储集层内聚集后,通常具有较高的热阻,油气层特别是厚层的气层对其下部传导上来的热流会起到一定的阻挡作用,从而会在油气层附近形成热量聚集,产生较高的地温梯度。南海北部盆地中气田发育区产生的高温热异常十分明显,而在珠江口盆地以油田为主,高温热异常与油田的伴生关系并不十分明显,除与油气田形成时间有关外,气层的阻热作用可能也是一项重要因素。

2 盆地热演化对油气资源潜力影响

2.1 热演化史对盆地生烃窗口的控制作用

适当的温度条件是沉积盆地中的有机质能否转化成丰富油气资源的基本前提,不同的热演化条件对盆地资源潜力、勘探方向及成藏规律等均有深刻影响。具体可分为 2 个方面:一是热演化史对盆地的“生烃窗口”所处的深度范围有决定作用;二是热演化史对盆地内含油气系统的演变有重要影响,热演化史决定了盆地生烃的阶段性和开始和结束的地质时间;特别是对含油气系统的关键时刻有控制作用。南海北部大陆边缘盆地的热演化条件是该区存在丰富油气资源的重要原因之一,分析二者之间的有机联系对正确认识该区的油气勘探潜力很有帮助。

热演化史对生烃窗口有较大影响。不能简单地从地温梯度的高低来衡量其对一个盆地是否有利。烃源岩只有在适当的温度场演化条件下,才能达到最大生烃量。地温梯度太高,会使烃源岩很快通过“生烃窗口”,造成生烃的深度范围较小;地温梯度太小则使烃源岩难以成熟,使勘探目的层深度加大,导致储层产能过低、勘探成本增大,甚至失去勘探价值。

2.2 超压作用对生烃潜力的影响

莺歌海盆地古热流一直比较高,若取生油门限的 R_o 为0.5%,大量生气时的 R_o 为1.5%,按正常压力模拟出的镜质体反射率来看,莺歌海盆地在东方1-1构造附近生油窗的深度范围为1 600~3 200 m,但由于该盆地超压严重,考虑超压因素,按超压抑制的镜质体反射率计算模型^[8]得到的结果,生油窗的范围为1 900~4 200 m,若 R_o 在1.5%~2.5%之间为最有利生气阶段,那么 R_o 达到2.5%的深度将由4 000 m延伸到6 100 m(图1)。由图可见,考虑超压作用后的模拟结果与实测 R_o 数据吻合较好。

由此可见,莺歌海盆地的超压作用大大扩展了生烃窗口的范围,使该盆地的有利烃源岩处于一个比较好的受热空间内。由于超压抑制作用在早期表现不强烈,对生油窗范围的影响不太大,而大大拓展了有利的生气空间^[12]。因此,该盆地的高温、超压作用对生气比较有利。

琼东南盆地在模拟的测线上超压不明显,热史模拟时, R_o 计算采用Easy R_o 模型^[13],未考虑超压影响。通过YC21-1构造的模拟结果与实测数据吻合较好,生油窗口对应的深度为2 300~4 500 m(图2)。珠江口盆地基本不存在超压,SH9-2-1井模拟结果与实测数据吻合较好,生油窗口对应的深度范围为2 200~4 400 m(图3)。通过以上分析表明,对应于有效烃源岩段,琼东南盆地和珠江口盆地应以生油为主。

3 热演化史与含油气系统演化关系

3.1 盆地热演化对含油气系统的影响

含油气系统是沉积盆地中的一个自然的烃类流体系统,包括了活跃的烃源岩与已形成的油气藏及油气藏形成时一切必不可少、相互关联的地质要素和作用。含油气系统在空间上有特定的展布范围与赋存层段,在时间上有形成和存在时限。其内涵可以概括为活跃的烃源岩、储集岩、输导层和盖层四大地质要素(静态)及圈闭形成、油气生成、运移和聚集保存四大地质作用(动态)^[14]。

盆地热演化史与含油气系统的关系主要体现在地质时间维下二者的相互作用,热演化史对含油气系统的影响主要体现在对油气生成、运移和聚集保存等动态要素的控制作用方面;特别是盆地的热演化史对含油气系统的“关键时刻”起决定性作用。由于热演化决定了含油气系统的关键时刻,从而也就决定了在不同地质时刻含油气系统的结构或组

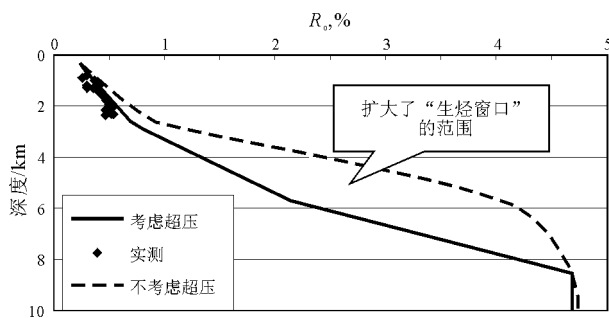


图1 莺歌海盆地DF1-1构造镜质体反射率模拟与实测值对比用PresER_o模型作超压校正。

Fig. 1 The Simulated vitrinite reflectance ratio vs. laboratory data of DF1-1 structure in the Yinggehai Basin

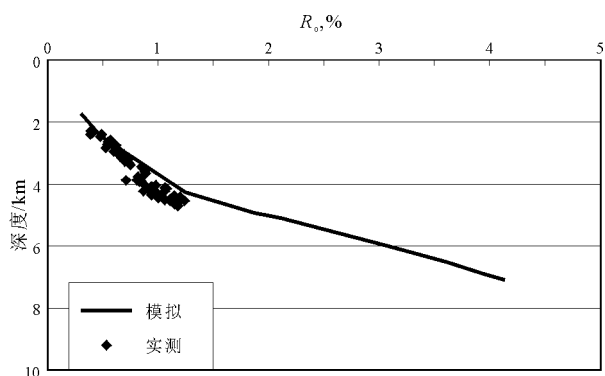


图2 琼东南盆地YC21-1构造镜质体反射率模拟与实测值对比

Fig. 2 The Simulated vitrinite reflectance ratio vs. laboratory data of YC21-1 structure in the Southeast Hainan Basin

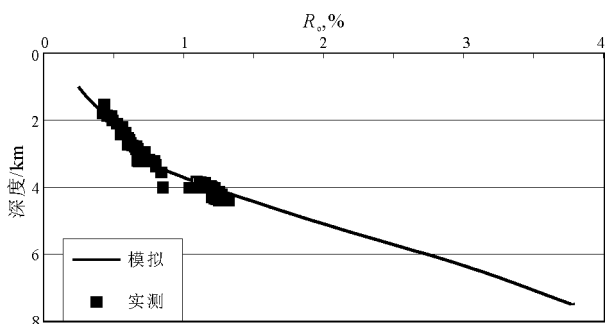


图3 珠江口盆地Sh9-2-1井镜质体反射率模拟与实测值对比

Fig. 3 The Simulated vitrinite reflectance ratio vs. laboratory data of Sh9-2-1 structure in the Pearl River Mouth Basin

成方式及四大地质要素之间的时空配置关系。因此,热演化史对目的层系的选择和有利勘探区带或目标的确定具有十分重要的意义。

3.2 南海北部盆地勘探潜力探讨

莺歌海盆地存在多套有利烃源岩和储盖组合。

由于该盆地地温梯度较高, T_3 反射层以下的烃源岩现今 R_o 均超过 1%, 已进入生油或生气阶段, 因此在地质演化史上可能存在多个含油气系统及相应的“关键时刻”。该盆地具有较大的勘探空间, 资源潜力很大, 在勘探部署时应深浅兼顾, 开阔思路。

琼东南盆地古热流值也比较高, T_3 反射层以下的烃源岩现今也已成熟, 存在多套有利的储盖组合, 且具备多期成藏的地质条件, 应具有较大的勘探潜力。珠江口盆地主要以古近系文昌、恩平组烃源岩为主, 油气成藏时间相对较早。

4 结论

1) 盆地高温异常与气田分布具有明显的伴生关系, 该现象可能与油气藏形成过程中地下热流体活动及油气层的隔热作用有关。

2) 由于地层超压作用对镜质体反射率增加有抑制作用, 在用 Easy R_o 法计算镜质体反射率及进行热史恢复时应考虑超压作用对结果的影响。

3) 对于高地温梯度背景下的快速沉降、快速沉积类型的盆地, 超压抑制作用可以扩展生烃窗口的范围, 对油气勘探有利。

致谢: 本文曾得到中国科学院地质与地球物理研究所汪集暘院士, 中国海洋石油总公司龚再升教授、杨甲明教授的指导和帮助, 杨晓兰博士协助完成了图件的清绘工作, 在此深表感谢!

参考文献:

1 McGee H W, Meyer H J, Pringle T R. Shallow Geothermal Anomalies Overlying Deeper Oil and Gas Deposit in Rocky

Mountain Region[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(5): 576~597

2 Daniel P Bodner, John M Sharp. Temperature Variations in South Texas Subsurface[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(1): 21~32

3 McConnell C L. Salinity and Temperature Anomalies over Structure Oil Fields, Carter County, Oklahoma[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(5): 781~787

4 Rodnlkova. Geodynamical and Petroleum formation in the sedimentary basin of Southeast Asia[J]. International Geology Review, 1986: 435~443

5 张启明, 胡忠良. 莺—琼盆地高温高压环境及油气运移机制[J]. 中国海上油气(地质), 1992, 6(1): 1~10

6 龚再升, 李思田, 谢泰俊等. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 251~298

7 Meyer H J, McGee H W. Anomalies in the Rock Mountain Region[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(6): 933~945

8 郭小文, 何生. 珠江口盆地白云凹陷烃源岩热史及成熟史模拟[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4): 420~425

9 朱俊章, 施和生, 舒誉等. 珠江口盆地烃源岩有机显微组分特征与生烃潜力分析[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 301~306

10 刘宝明. 南海北部陆缘晚期油气成藏机理及动力学过程[J]. 石油实验地质, 2007, 29(5): 441~445

11 程本合. 南海北部大陆边缘盆地热演化史及其与油气关系[D]: [学位论文]. 北京: 中科院地质与地球物理研究所, 2001. 46~56

12 冯常茂, 吴冲龙. 沉积盆地深部地层超压指标转化及评价方法: 以湘黔鄂渝交接区为例[J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 414~419

13 Sweeney Jerry, Burnham Alan K. Evaluation of a Simple Model of Vitrinite Reflectance Based on Chemical Kinetics[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(10): 856~867

14 赵文智, 何登法, 李伟等. 含油气系统的内涵与描述方法[A]. 见: 中国石油学会石油地质专业委员会主编. 中国含油气系统的应用与进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 8~24

(编辑 徐文明)

(下接第 35 页)

参考文献:

1 李庆忠. 近代河流沉积与地震地层学解释[J]. 石油物探, 1994, 33(2): 26~41

2 吴因业, 顾家裕. 油气层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002

3 吴因业, 顾家裕, 施和生等. 从层序地层学到地震沉积学: 全国第 5 届油气层序地层学大会综述[J]. 石油实验地质, 2008, 30(3): 217~220

4 刘震. 储层地震地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1997

5 程浪洪. 塔里木盆地轮古西地区多地震属性储层综合预测[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 78~80, 124

6 焦志峰, 杨占龙. 地震信息多参数综合分析 with 岩性圈闭评价[J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 408~413

7 彭传圣, 常国贞. 试论地震约束反演的不稳定性[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(2): 96~98

8 Payton C E. 地震地层学[M]. 牛毓荃等译. 北京: 石油工业出版社, 1980

9 王永刚, 宋若徽. 层序地层学在地层内部结构分析中的应用[J]. 石油物探, 1997, 36(增刊): 33~40

10 韩小俊, 施泽进, 郑天发. 地震地层及地震相分析在川东南复杂储层识别中的应用[J]. 成都理工大学学报, 2006, 33(2): 193~197

(编辑 徐文明)