

# 东非裂谷 Albert 盆地北区地温场分布 及其对原油物性影响

刘 钧, 甘 雨, 吕文睿, 沈 默, 卜范青  
(中国海洋石油国际有限公司, 北京 100028)

**摘要:** 东非裂谷乌干达 Albert 湖盆地北区不同油田的储层地温梯度存在较大差别, 即使同一油田内部不同井区的地温梯度也存在很大差异。通过分析地温测试资料, 总结归纳研究区现今地温梯度的分布规律及影响地温场差异分布的主控因素, 并分析了区域原油物性差异分布特征及主要原因。结果表明: 研究区地温是影响原油物性差异分布的主要因素, 地温梯度由南往北整体呈逐渐减小趋势, 影响地温梯度的主控因素是上覆盖层的泥岩厚度、泥质含量及断层分布模式。

**关键词:** 地温场; 地温梯度; 原油物性; 主控因素; 裂谷盆地

中图分类号: P314 文献标志码: A

## The distribution of geothermal fields and its influence on the physical properties of crude oil in the north Albert Basin, East African Rift Valley

LIU Jun, GAN Yu, LYU Wenrui, SHEN Mo, BU Fanqing  
(CNOOC International Limited, Beijing 100028, China)

**Abstract:** The geothermal gradients of different oil fields in the northern region of Lake Albert Basin in the East African Rift Valley of Uganda are quite different, even the geothermal gradients in different well zones within the same oilfield are also very different. Based on the analysis of ground temperature test data, the distribution law of the current ground temperature gradient in the study area and the main controlling actors affecting the distribution of the differences in the ground temperature field are summarized, and the distribution characteristics and main reasons for the differences in the physical properties of crude oil in the region are also analyzed. The results show that the ground temperature in the study area is the main factor influencing the distribution of differences in crude oil physical properties, the geothermal gradient decreases gradually from south to north, and the main controlling factors affecting the geothermal gradient are the mudstone thickness, the shale content, and the distribution pattern of faults in the overlying layer.

**Key words:** geothermal field; geothermal gradient; physical properties of crude oil; main control factor; Rift Basin

**引用格式:** 刘钧, 甘雨, 吕文睿, 等. 东非裂谷 Albert 盆地北区地温场分布及其对原油物性影响[J]. 复杂油气藏, 2023, 16(3): 308-314.

LIU Jun, GAN Yu, LYU Wenrui, et al. The distribution of geothermal fields and its influence on the physical properties of crude oil in the north Albert Basin, East African Rift Valley [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(3): 308-314.

地温场是受岩石圈构造演化等地球动力学过程控制的, 在油气生成、运移和聚集等过程中起到重要的作用。20世纪80年代以来, 区域地温场的研究<sup>[1-3]</sup>一直是油气盆地研究的热点。研究盆地的地温场, 不仅可以揭示盆地的热结构, 而且可以通过储层地温预测, 为油田合理开发提供参数依据。

东非裂谷系是全球陆上形成地质时代最新地区之一, 目前还处于活动期, 断裂多, 火山岩发育, 2001年开始乌干达政府与多家国际能源公司合作, 在东非裂谷西支北端 Albert 湖盆地周围陆续发现十几

个油田, 成为油气勘探开发热点地区<sup>[4-5]</sup>。在该区域不同油田的储层地温梯度存在较大差别, 即使同一油田内部不同井区的地温梯度也存在很大差异, 区域地温场分布规律不清, 然而地温分布对原油物性有较大影响, 有必要研究该区的地温场分布和分析影响地温分布的主要因素, 为后续油田开发起到一定指导作用。

收稿日期: 2022-11-09; 改回日期: 2023-02-07。

第一作者简介: 刘钧(1988—), 硕士, 工程师, 从事油气田开发地质方面工作, E-mail: upc\_liujun@163.com。

## 1 研究区地质构造背景

研究区位于东非陆内裂谷系西支最北端 Albert 湖盆,盆地边界受高角度正断层控制,形成了一狭

长状北东—南西走向的裂谷,由一系列双地堑—半地堑组成,地堑中部为湖水覆盖,以湖中线为界,分别隶属于刚果和乌干达两个国家<sup>[6]</sup>,具体位于 Albert 湖东北陆上,维多利亚尼罗河附近(见图1)。

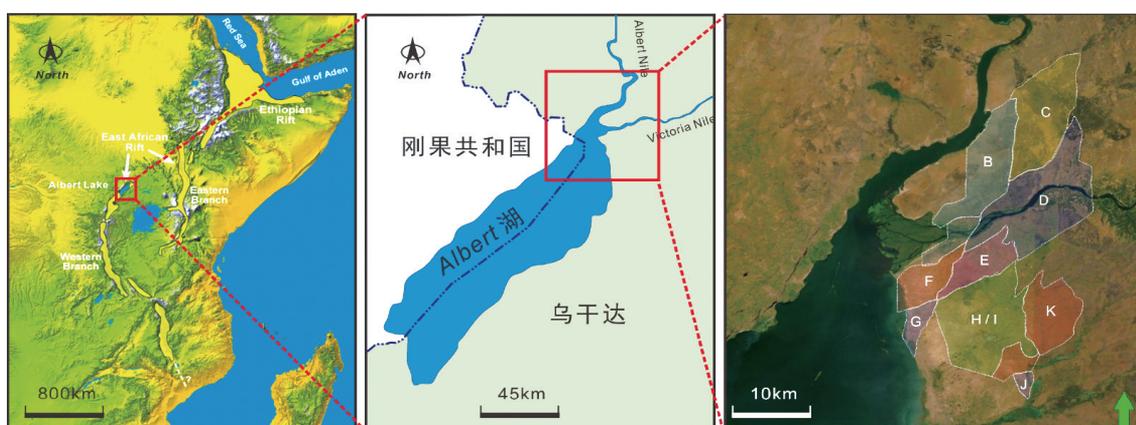


图1 研究区地理位置

Albert 裂谷盆地的构造演化可分为4期:①中生代侏罗纪,板内裂陷的早期开启;②白垩纪—早第三纪,板内断裂、逆掩推覆、扭动、构造变形期;③晚第三纪中新世,板内裂谷扩张作用,陆内湖泊发育期;④晚第三纪更新世,基底断裂重新活动,张性剪切作用造成板内火山岩侵入及喷发。这种构造地质背景造就了中、新生代地层沉积<sup>[7]</sup>。盆地基底为前寒武系变质岩,纵向上,地层岩性主要为一套河流—湖相三角洲及湖相的砂泥岩沉积<sup>[7-9]</sup>,物源自北东南西为主,具有物源供给充足,快速堆积、埋藏的特征。

## 2 现今地温场特征

地温场是指某一地质空间内的地温变化特征及热量释放状况。通常主要采用地温梯度及大地热流值等参数来描述,它在地层中的直接反应就是地层温度<sup>[10]</sup>。因此本次采用地温梯度来研究区域地温分布特征。

### 2.1 资料基础

沉积盆地地温分布的研究主要是借助各种钻孔测试的温度数据,包括试油温度数据、测井温度数据等,在地温场的研究中,必须选取具有一定深度的钻孔测温数据。如果钻井深度过浅,则容易受地表因素的干扰和影响;同时地下水的活动也常常影响对正常地温的理解,如地下水的径流速度,承压水层都会直接影响测温的结果。但在一定深度

下可排除地表因素(包括地表气温)的影响,而随深度的增加,地下水的径流速度将变得滞缓,这时地下岩石和地下水的温度将达到平衡,在一定深度上即可消除地下水的影响<sup>[10]</sup>。

本次研究筛选了区域10个油田测温资料,针对不同井区所进行的地温测试深度差别较大,笼统地进行区域地温梯度的对比缺乏合理性,同时考虑到地层过浅易受地表及地下水影响,本次将区域内埋深小于300 m的5口井予以剔除,保留深度大于300 m的34口井,得到区域不同油田单井地温梯度。

### 2.2 地温场分布

综合区域地温梯度统计,不难发现研究区地温梯度整体较高,且不同油田储层地温梯度存在明显差异(见图2)。总体上,不同油田储层平均地温梯度在3.5~7.6 °C/100 m之间变化,全区平均值为5.2 °C/100 m。在研究区的南部H、I、K油田区域地温梯度较高,大于6 °C/100 m,而在北区地温梯度低于研究区的平均值,特别是在B及C油田储层地温梯度最低。

同一油田范围内,不同井区地温梯度也存在一定差异,结合单井的地温梯度结果,如D油田不同井区地温梯度在4.1~7.2 °C/100 m之间变化,平均值为5.2 °C/100 m。采用克里金插值方法得到研究区的地温梯度分布的等值线图(见图3)。平面上,地温梯度由东南向东北逐渐降低,在I油田呈现异常偏高,最高可达8.6 °C/100 m,在C-1井附近,地温梯度最低,仅2.3 °C/100 m。

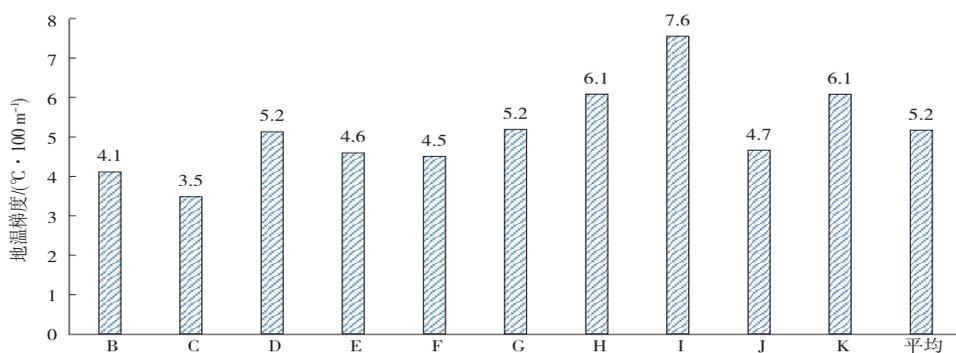


图2 研究区不同油田的地温梯度统计  
(注:地温梯度为该油田所有井的平均值)

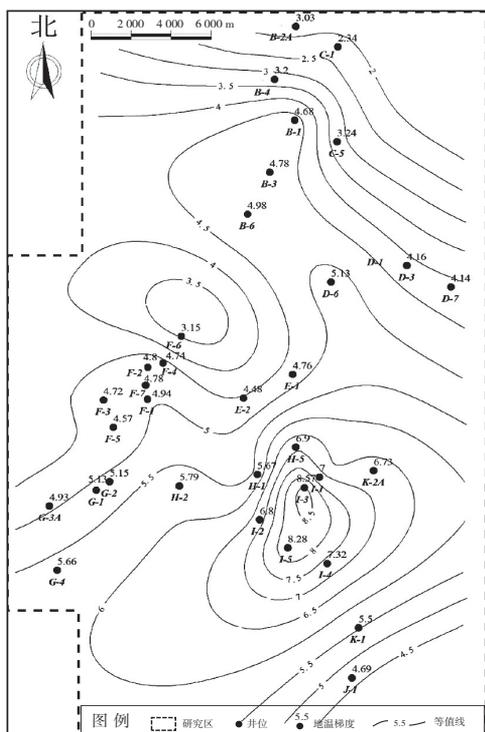


图3 研究区地温梯度等值线

### 3 研究区地温场分布主控因素

针对上述研究区不同油田地温场存在显著差异,分析清楚研究区地温分布的控制因素对于指导不同地区相似地质条件下的油田开发具有十分重要的意义。影响地温分布的因素较多,如区域地质构造,上覆盖层与基岩的配置,另外岩性、火山活动、断裂作用对局部地温均有影响<sup>[11-16]</sup>。研究认为,地温梯度和埋深是控制地温分布的主要因素,影响地温梯度的因素较多,结合该区实际情况认为,研究区不同油田地温梯度的高低受上覆盖层的泥岩厚度、泥质含量及局部断层分布的影响明显。

#### 3.1 上覆盖层对地温梯度影响

通过对 Albert 盆地北区地温场研究,地温梯度

在 2.3~8.6 °C/100 m 之间变化,整体上,平均地温梯度为 5.2 °C/100 m,高于全球平均地温梯度,结合已钻井岩性特征,研究区域上覆地层存在的大套泥岩将浅部与深部碎屑岩储层隔开,泥岩累积厚度在 250~550 m 变化,平均为 350 m,由于泥岩层热导率低,能像“毯子”一样阻隔热量向地表逸散,导致区域地温梯度升高。且不同油田地温梯度存在明显差异,以研究区 B 和 I 油田为例,两个油田储层上覆泥岩的厚度与泥质含量对地温梯度影响显著。其中北部 B 油田的地温梯度平均值为 4.1 °C/100 m,该区已钻井上覆泥质含量的平均值为 67.2%,泥岩厚度的平均值为 302 m;而在南部的 I 油田,地温梯度整体偏高,平均值为 7.6 °C/100 m,对应的已钻井上覆泥质含量的平均值为 87.6%,泥岩厚度的平均值为 424 m。通过这两个油田对比,说明了上覆盖层对地温梯度的影响明显,且盖层越厚,泥质含量越高,地温梯度也越大。

具体到某个井区,其地温梯度与上覆盖层泥质含量也存在一定相关性,图 4 是 B 及 I 两油田的已钻井地温梯度与上覆盖层泥质含量交汇图,可以看出,地温梯度与上覆盖层的泥质含量呈现良好的线性正相关,相关系数达到 0.8,说明了区域上覆盖层泥质含量对地温梯度的影响显著。

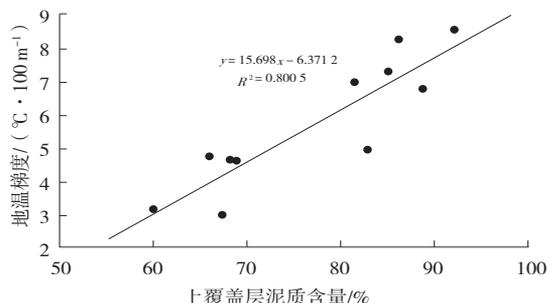


图4 B 油田和 I 油田地温梯度与储层上覆盖层泥质含量交汇图

### 3.2 断层对局部地温梯度的影响

Albert 裂谷受区域断裂作用,湖盆北区断层非常发育,不同级别的断层相互交织,且地层普遍发育较浅,地表发育多条大型河流,地表水丰富(见图1),较大级别的一些断层可以沟通地表水,使该区的地温分布更加复杂,整体来看,断层对局部地温的影响存在两种模式:

第一,断层断至地表,至今还在活动,能沟通浅层地表水向下循环,对局部地层起到降温作用,造成局部地温梯度偏低,如B油田B-2井地温梯度为3.0℃/100 m,在该井东南方向存在一条断层平面延伸较长,纵向贯穿地表浅层,能与浅层地表水有效沟通,可能起到一定减小地温梯度的作用(见图5a);

第二,断层与深部热液沟通,未断至地表,则深部热液沿着断层可以将热量带到上覆浅部地层,造成局部地温梯度偏高,如B-3井目的层上倾方向存在一条断至基底的断层,可能沟通深部热液造成局部地温梯度偏高(见图5b)。

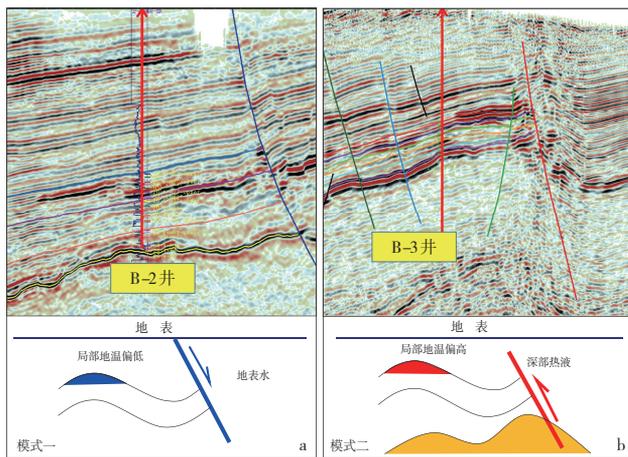


图5 断层分布对地温梯度的控制模式

## 4 地温对原油物性影响分析

原油的物理性质是影响油田开发的重要因素,以该区为例,研究区各油田的地下原油黏度差异较大,分布范围在2.1~264 mPa·s,而地层原油密度在0.79~0.91 g/m<sup>3</sup>变化(见图6)。由于地下原油黏度不同,开发效果大不一样,特别是高黏度原油,油水黏度比对水驱油开发效果有明显影响,它不但影响最终采收率,而且还影响了水驱全过程,油水黏度越大的油藏,含水上升越快,开发效果越差,油水黏度比越高开发后期井间剩余油越富集,不同油水黏度比的采出程度存在巨大差异。

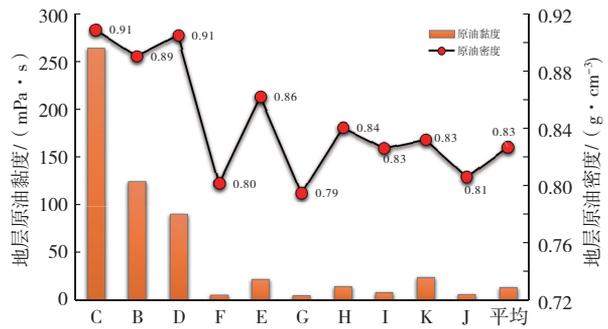


图6 研究区地层平均原油黏度及原油密度统计

另外,该区不同油田的原油含蜡量较高,平均含蜡量在14%~28%,属于高含蜡原油,凝固点在9~47℃之间,其中F和G油田凝固点大于40℃,属于高凝油,一般二者具有一定正相关性,原油含蜡高,对应凝固点也高(见图7)。在油层条件下,蜡溶解在原油中,当原油从油层进入井底,并上升到井口的过程中,由于温度、压力的下降,引起油井结蜡,给原油的生产、储存以及运输带来诸多问题和困难,如输油能耗高,管道运行存在安全隐患等。

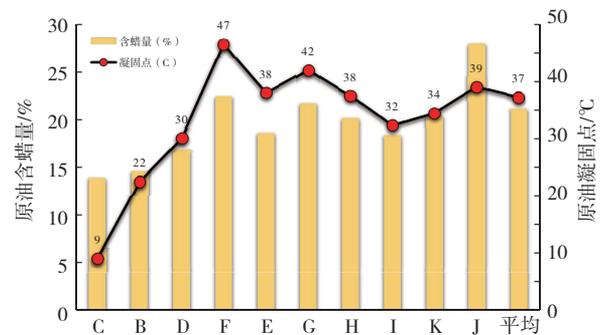


图7 研究区地层平均原油含蜡量及凝固点统计

针对研究区的不同油田原油物性存在较大差异,理清原油物性影响十分必要。据前人研究,地温场不仅影响油气分布,流体在温度场热力背景下分异、演化变质,向与赋存温度环境相适应的更高热稳定状态演化,而且地温变化,可以改变流体黏度及其他物理性质,从而影响油气运移,因此对地温的研究有利于分析该区的原油的物理性质<sup>[17-19]</sup>。

### 4.1 生物降解作用的影响分析

储层中的原油是烃源岩中的原油经过初次、二次运移,受氧化、生物降解等作用,其物性会发生较大改变,分析该区的生物降解作用强弱,对判断地温对原油物性的影响十分重要。一般情况下,烷烃气体组分中,甲烷含量大于95%,可以判别为生物气,原油受到生物降解作用强烈;反之,甲烷的含量小于95%,则为原油伴生气,可以排除受到生物降解的影响。

研究区的天然气组分中甲烷含量较低,全区烷烃中甲烷含量平均为85.1%,由图8可以看出,研究区浅层500 m以上,仅K-1井甲烷含量超过95%,其他均低于95%,500 m以下全部为湿气,湿气为原油伴生气,说明该区原油受生物降解作用较弱。

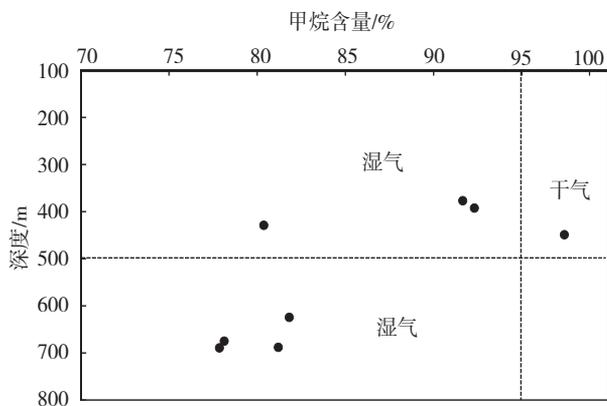
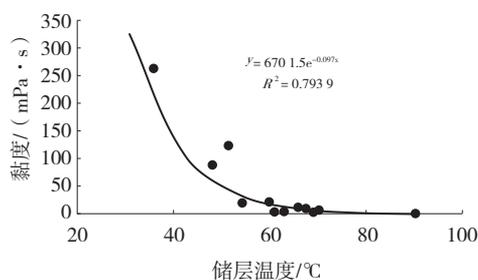


图8 研究区天然气甲烷含量与深度交汇图

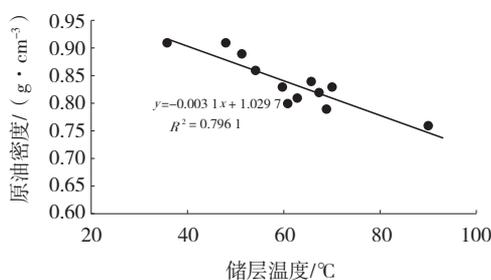
### 4.2 地温对原油物性的影响

研究区不同油田储层原油物性存在较大差异,上述天然气的组分分析研究显示该区原油物性受生物降解作用较弱,影响储层原油物性的因素需进一步研究。

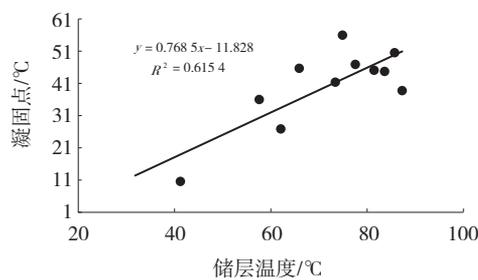
统计研究区不同油田储层原油密度、黏度、含蜡量及凝固点与储层地温变化趋势,图9a为研究区储层原油的黏度与储层温度的交汇图,可以看出,该区原油黏度随着储层的温度增加呈指数下降,当大于60℃时,黏度的变化较小;图9b、9c、9d分别为研究区储层原油的密度、凝固点及含蜡量与储层温度的交汇图,其中地层条件下原油密度随地温的升高呈线性降低,而凝固点和含蜡量随着地温的升高呈线性升高。研究区的储层原油物性与储层温度存在较好的相关性,整体上,地温越高,原油的黏度、密度越小,而凝固点、含蜡量越高。



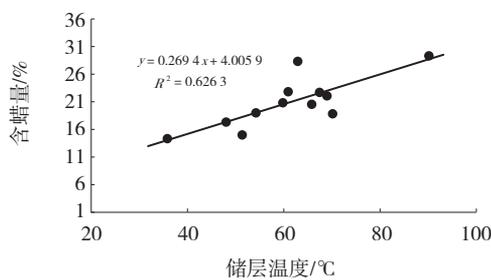
a.研究区地层原油黏度与储层温度交汇图



b.研究区地层原油密度与储层温度交汇图



c.研究区地层原油凝固点与储层温度交汇图



d.研究区地层原油含蜡量与储层温度交汇图

图9 研究区地层原油物性与储层温度交汇图

从平面的分布来看,统计研究区不同油田的原油物理参数,包括地层原油密度、黏度、含蜡量及凝固点,不同油田的物理性质差别十分明显。

在研究区的西北部,即C、B及D油田原油的密度偏大,密度在0.88~0.92 g/cm<sup>3</sup>之间变化,而在研究区的南部及西南部(见图10b),原油的密度偏小,最低达到了0.76 g/cm<sup>3</sup>,对比区域的地温梯度(见图10a)分布,可以发现,原油密度的分布与地温梯度分布规律正好相反,即地温梯度越大,原油密度越低。

原油凝固点的变化规律与原油密度分布正好相反,在研究区的中部F油田及西南部I、G等油田原油的凝固点偏高,C、B及D油田原油的凝固点较低(见图10c);原油的含蜡量在研究区的南部J油田偏高,往北逐渐减小,C及B油田原油的含蜡量最低(见图10d)。对比区域的地温梯度(见图10a)分布,可以发现,原油凝固点和含蜡量的分布规律与地温梯度分布特征具有较好的一致性,即地温梯度越大,原油含蜡量和凝固点也越高。

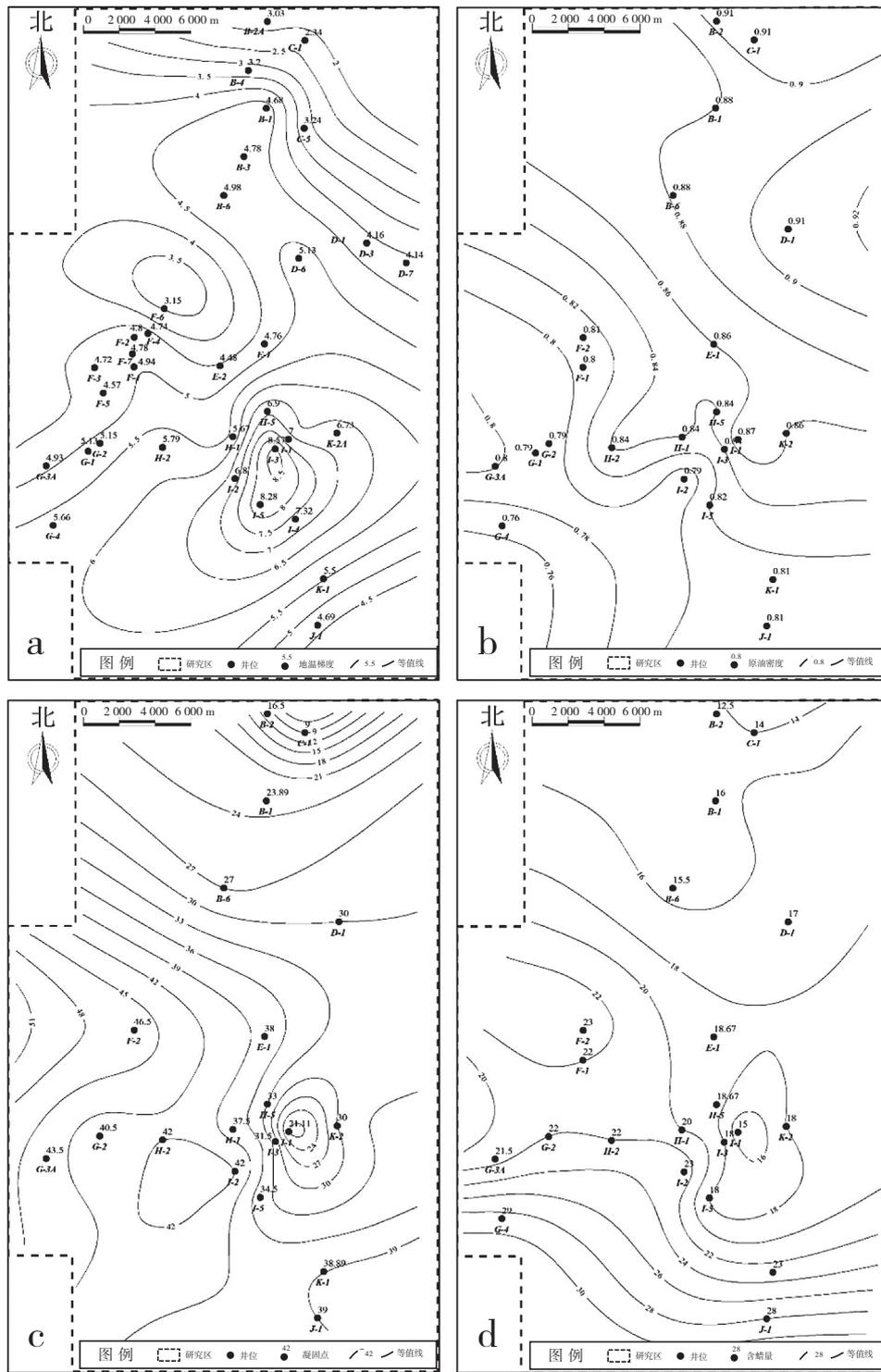


图10 研究区地温梯度及原油物性等值线

### 5 结论

(1)研究区地温梯度介于2.3~8.6 °C/100 m 之间,不同油田地温梯度差异明显,南部I油田范围内地温梯度较高,向北逐渐减小,在研究区北部B及C油田地温梯度相对较小。

(2)研究区现今地温分布受多种地质因素控制,区域不同油田上覆盖层的泥岩厚度、泥质含量及断层分布是影响地温差异分布的主控因素:油田上覆盖层泥岩厚度越大、泥质含量越高,区域地温梯度越大;断层分布对地温梯度影响存在2种模式,主要影响局部地温梯度异常。

(3)区域不同油田原油物性存在较大差异,其中地温是影响研究区原油物性差异分布的主要因素,储层原油物性与地温存在较好的相关性,整体上,地温越高,原油的黏度、密度越小,而凝固点和含蜡量越高。

#### 参考文献:

- [1] 王良书,李成,刘绍文,等.塔里木盆地北缘库车前陆盆地地温梯度分布特征[J].地球物理学报,2003,46(3):403-407.
- [2] 王良书,施央申.油气盆地地热研究[M].南京:南京大学出版社,1989.20-42.
- [3] 胡圣标,汪集.沉积盆地热体制研究的基本原理和进展[J].地学前缘,1995,2(3/4):171-180.
- [4] 郑晨宇,赵红岩,邱春光,等.东非裂谷系 Albert 湖凹陷新生代构造沉降特征[J].地质科技通报,2021,40(5):162-172.
- [5] YANG X P, GE Z Z, LIU J, et al. Miocene stratigraphic characteristics of Semliki basin in Albertine Graben [J]. GLOBAL GEOLOGY, 2019, 22(1): 50-55.
- [6] 温志新,童晓光,张光亚,等.东非裂谷系盆地群石油地质特征及勘探潜力[J].中国石油勘探,2012,17(4):60-65,8.
- [7] 张兴,童晓光.艾伯特裂谷盆地含油气远景评价 极低勘探程度盆地评价实例[J].石油勘探与开发,2001,28(2):102-106.
- [8] 郭瑞婧,季汉成,温志新,等.东非裂谷系 Albert 湖盆地构造活动对沉积充填的影响[J].海洋地质前沿,2019,35(3):1-12.
- [9] XU W, CHEN K Y, FANG L, et al. Hierarchical geomodeling approach for ultra high permeability reservoir [C]// SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Calgary, Alberta, Canada: SPE, 2019: SPE-195861-MS.
- [10] 邱楠生,胡圣标,何丽娟.沉积盆地热体制研究的理论和应用[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [11] 曲江秀,查明,张卫海.准噶尔盆地腹部、南缘温压场与油气成藏[J].新疆石油地质,2002,23(5):380-381.
- [12] 路凤香.深部地幔及深部流体[J].地学前缘,1996,3(4):181-186.
- [13] 陈墨香,黄歌山,汪缉安,等.渤海地温场特点的初步研究[J].地质科学,1984,19(4):392-401.
- [14] 王钧,黄尚瑶,黄歌山,等.华北中、新生代沉积盆地的地温分布及地热资源[J].地质学报,1983,57(3):304-316.
- [15] 肖卫勇,王良书,李华,等.渤海盆地地温场研究[J].中国海上油气.地质,2001,15(2):105-110.
- [16] 熊振,王良书,李成,等.胜利油气区东营凹陷现今地温场研究[J].高校地质学报,1999,5(3):312-321.
- [17] 袁玉松,米立军,张功成,等.沉积盆地地温梯度研究中应注意的问题[J].地质论评,2009,55(4):531-535.
- [18] 张远兴.东海西湖凹陷流体动力场演化及其对油气成藏的影响作用[D].武汉:中国地质大学,2009.
- [19] 仵彦卿,高荣芳.影响油气运移的应力场温度场渗流场耦合的连续介质模型[J].西安理工大学学报,1997,13(3):204-209.

(编辑 卞 炜)

(上接第 281 页)

- 2012, 19(5): 24-26.
- [10] 杨杜波.高邮凹陷东部阜三段沉积特征及隐蔽油藏形成条件分析[J].复杂油气藏,2022,15(2):25-31.
- [11] 熊焯,马捷,廖文婷.高邮凹陷阜三段滩坝砂体成藏条件及储层预测[J].复杂油气藏,2021,14(2):15-21.
- [12] 能源,杨桥,张克鑫,等.苏北盆地高邮凹陷晚白垩世-新生代构造沉降史分析与构造演化[J].沉积与特提斯地质,2009,29(2):25-32.
- [13] 姜生玲,聂海宽,荆铁亚,等.高邮凹陷阜宁组烃源岩特征及油源对比[J].特种油气藏,2014,21(2):66-69.
- [14] 刘启东,李储华,卢黎霞.高邮凹陷断层封闭性研究[J].石油天然气学报,2010,32(2):58-61.
- [15] 吴智平,陈伟,薛雁,等.断裂带的结构特征及其对油气的输导和封堵性[J].地质学报,2010,84(4):570-578.
- [16] 邱旭明.苏北盆地断块圈闭分类及油气成藏特征[J].石油与天然气地质,2003,24(4):371-374.
- [17] 邱旭明.苏北盆地扭动构造油气藏[J].石油勘探与开发,2004,31(3):26-29.
- [18] 李亚辉.苏北盆地高邮凹陷构造转换带控油机制研究[J].石油实验地质,2006,28(2):109-112.
- [19] 陈莉琼.苏北盆地形成演化与油气成藏关系研究[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2006(4):180-181.
- [20] 邱旭明.苏北盆地真武-吴堡断裂带的构造样式及圈闭类型[J].石油天然气学报,2005,27(3):278-280,295.

(编辑 刘义梅)