

文章编号:1673-064X(2010)02-0013-05

南堡凹陷断裂系统形成机制及构造演化研究

范柏江^{1,2}, 刘成林¹, 柳广弟¹, 朱杰³

(1. 中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大学(北京) 盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 3. 国土资源部 油气资源战略研究中心, 北京 100034)

摘要:基于南堡凹陷地震资料的构造解释成果,结合平衡剖面技术可以判断断裂系统的发育情况、研究断裂系统形成机制、重现凹陷的构造演化历史.结果表明南堡凹陷构造样式可分为“坡坪式”、“铲式”和“多米诺式”构造样式,构成了深部的“Y”型断裂组合、浅部的“X”型断裂组合.古近纪为凹陷的裂陷发育阶段,其发育机制为郑庐断裂带控制的伸展变形机制;新近纪为凹陷的拗陷发育阶段,其发育机制为重力、热演化共同控制沉降机制.现今不同圈闭类型的构造格局主要受古近纪构造活动及东营、馆陶期构造活动的控制,受断裂发育演化的影响.

关键词:南堡凹陷;断裂系统;形成机制;构造演化

中图分类号:TE121.2 **文献标识码:**A

南堡凹陷油气资源丰富^[1],2007 年,南堡油田宣布落实三级油气地质储量 10.2×10^8 t. 针对南堡凹陷构造发展演化方面的研究亦不断深入,如徐亚军等研究了凹陷陆地断裂系统形成情况^[2],周天伟等对凹陷新近系断裂系统形成机制进行了研究^[3]. 但目前的研究都偏重于局部研究,并且还没有针对古近系断裂系统形成机制的相关研究. 尽管郑红菊等在南堡凹陷的构造演化方面做过相关研究^[4],但仅局限于沉积相的研究,没有与控制凹陷发展的构造(断裂)活动相结合. 本文以整个凹陷为着眼点,分别剖析古近系、新近系凹陷形成机制,从构造角度研究凹陷的构造演化过程.

1 基本地质条件

南堡凹陷位于燕山台褶带南缘,渤海湾盆地黄骅拗陷之北. 其北部与燕山相连,南部和东部与渤海相接,西部与津冀边界的涧河为边,海域以渤海 5 m 水深线与渤海石油公司为界^[5]. 整个凹陷面积 $1\,900\text{ km}^2$,其中陆地面积 800 km^2 ,滩海面积 $1\,100\text{ km}^2$. 据最新的构造单元划分,南堡凹陷二级构造带

具有明显的分带性,自北向南分别为陆上的高-柳构造、老爷庙构造、北堡构造,滩海地区的南堡 1 号、南堡 2 号、南堡 3 号、南堡 4 号及南堡 5 号构造(图 1)^[6].

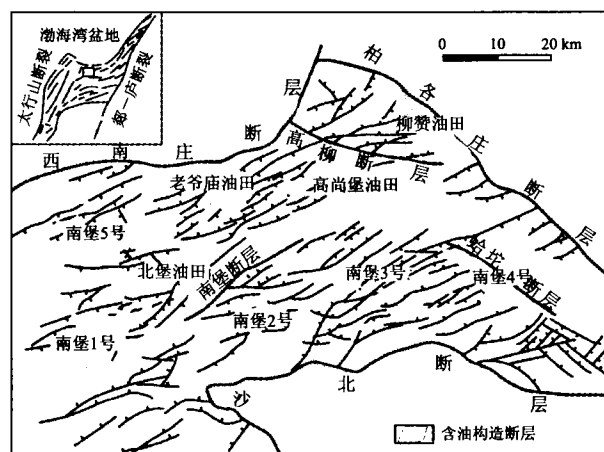


图 1 南堡凹陷断裂分布及构造分区

南堡凹陷内部断裂极其发育,凹陷北部和东北部边缘分别为西南庄断裂和柏各庄断裂,这 2 条断裂活动时间长、继承性强、断距大,控制着盆地的形成和发展;凹陷南缘逐步过渡为较缓的斜坡. 南堡凹

收稿日期: 2009-06-04

作者简介: 范柏江(1983-),男,博士研究生,主要从事含油气盆地分析研究. E-mail: fanbj9@sina.com

陷内部的断层,总体上都表现为同沉积正断层.自下向上断距逐渐变小,在时间和空间上具有明显的继承性发育特征.断层倾角在垂向上多由缓变陡;侧向上断层倾角、断距和活动强度变化较大^[7].

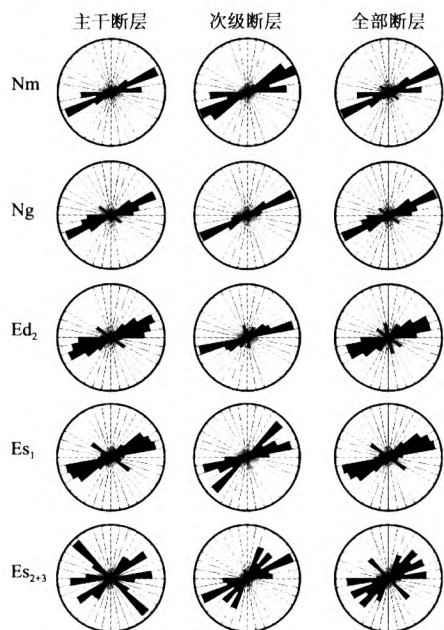


图2 不同层位的断层方位分布玫瑰花图

从不同层位的断层方位分布玫瑰花图(图2)上看,南堡凹陷内部的断层以 NEE 向断层为主,除 Es_{2+3} 底界以外,NEE 向的断层在其他层段中均占主导地位;其次发育 NW 向断层和 NE 向断层;Ng, Nm 无论是主干断层还是次级断层,断层的方位都相一致,但 Nm 底界近 EW 向断层所占的比例相对较大;对于 Es_1 、 Es_{2+3} 层段,NE 向断层数量明显增加.上述断层方位的分布特征充分表明,南堡凹陷深部(沙河街组、东营组)的断裂系统和浅部(馆陶组、明化镇组)的断裂系统是由不同的构造应力控制、经历不同的构造发育机制而演化形成的.

2 构造样式及断裂组合

构造样式是盆地内具有内在联系的地质组合体^[8],常受控于主干断层的几何学特征和运动学规律^[9],对构造样式的研究即建立在断裂研究的基础之上.南堡凹陷内部断裂发育,在沙河街组末期,凹陷已发育南倾的控盆大断裂,这些大断裂基本上控制了凹陷的构造格局^[10].东三段末期,在控盆断裂的影响下,凹陷内发育一系列南倾次生断裂.至东营期,凹陷开始发育北倾断裂.南堡凹陷内的大部分断裂尤其是明化镇以前的断裂都属于同生断裂,这些

断裂基本上控制或影响了凹陷的发展演化过程,最终形成了现今的凹陷面貌.由于先期断裂在垂向上的活动及后期断裂不断叠加的影响,在凹陷的不同部位形成了不同的构造样式和断裂组合,各种构造样式和组合的具体特征如下所述.

2.1 构造样式

2.1.1 “坡坪式”构造样式 “坡坪式”构造样式主要由坡坪式正断层构成.坡坪式正断层具有明显的断坡(坡度较大)和断坪(坡度较小或者无坡度变化)结构,如高尚堡构造的边界断层即为坡坪式正断层(图3).“坡坪式”构造样式构成了南堡凹陷控制边界断层的重要构造样式,主要分布在柳赞构造、高尚堡构造(图3).

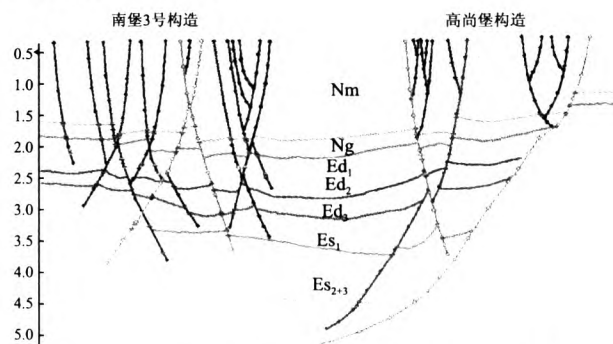


图3 南堡3号-高尚堡构造构造剖面解释

2.1.2 “铲式”构造样式 由铲式正断层控制的半地堑内部的断层向深部延伸可以与主边界断层交汇在一起,如老爷庙构造的边界断层在深部交汇在一起(图4),这些交汇构成的连锁断层系统即“铲式”构造样式.“铲式”构造样式也是南堡凹陷控盆断层形成的重要构造样式,主要集中在北堡构造、老爷庙构造(图4).

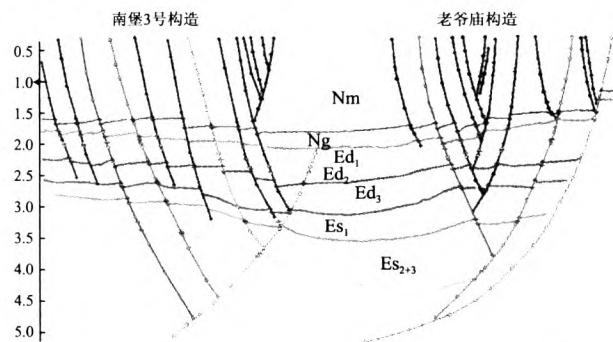


图4 南堡2号-老爷庙构造构造剖面解释

2.1.3 “多米诺式”构造样式 “多米诺式”构造样式主要由一系列同倾断层所组成的断层系统控制.其本质是由于受递进剪切力作用,导致地层发生破裂并旋转,每个碎片向剪切方向倾斜,犹如一叠书被

推倒,从而形成类似于多米诺骨牌的形状。“多米诺式”构造样式的显著特点是其内部构造不受边界断层的控制。“多米诺式”构造样式是南堡凹陷内部控制断层重要的构造样式之一。如南堡2号构造(图4)、4号构造内部发育的次级断层就构成“多米诺式”构造样式。

2.2 断裂组合

南堡凹陷内部众多的断裂在空间上形成了不同的断裂组合,在断裂系统组合上大致可分为“Y”型断裂组合、“X”型断裂组合。

“Y”型断裂组合主要分布于凹陷深部位(古近系)。凹陷内部先期形成控盆大断裂,后期在该断层之上发育一系列次生分支断层^[10-11],分支断层逐级收敛到主断层之上便构成了剖面上的“Y”型断裂组合。平面上主要分布在高尚堡-柳赞构造、北堡构造、老爷庙构造(图4)。

“X”型断裂组合是共轭正断层控制的、下部垒块隆升和上部塌陷成对出现的组合样式。“X”型断裂组合是纯剪切变形作用的结果。深度上,南堡凹陷内“X”型断裂组合主要分布于浅层(新近系)。平面上,南堡凹陷的“X”型断裂组合主要集中分布于南堡3号(图3)、南堡2号构造。西部的1号构造是南倾的控盆断裂之上发育一系列北倾次生断裂,中部3号构造主要发育一系列南倾的断裂,而东部4号构造发育一系列北倾的断裂。即滩海东部、中部、西部其构造发育及演化存在差异,在中部存在一个转换区,该转换区受到南北构造剪切力的控制。

3 断裂系统形成机制

3.1 古近纪——伸展变形发育机制

南堡凹陷深部断层的形成和演化与郯庐断裂带的活动紧密相关,而对于郯庐断裂带在不同时期走滑性质发生改变的研究还存在较大分歧^[12-15]。本次研究认为,郯庐断裂带在古近纪时期为右旋走滑-伸展运动,新近纪以来则为右旋走滑运动^[16]。

古近纪(距今45~37 Ma)是郯庐断裂带右旋-伸展活动最强烈的时期,郯庐断裂带的右旋-伸展导致渤海湾盆地形成一个左旋张扭应力场。在该区域伸展作用的背景下,南堡凹陷进入断陷发育期,形成的大量正断层,且大部分都具有同生性质。如此时形成西南庄断层、柏各庄断层等铲式边界断层。作为拆离断层控制的半地堑结构,南堡凹陷的伸展变形

以简单剪切变形为主,“Y”型断裂组合为其断层组合的主要形式(图4),这也是伸展半地堑盆地中常见的断层组合类型。随着西南庄、柏各庄等主干边界断层的伸展拆离,凹陷基底发生了快速大幅度的沉降,主干断裂的上盘因垮塌而形成塌陷构造。同时,一些断层的上盘块体发生逆时针方向的非均匀旋转,在靠近主干断裂的上盘因垮塌和旋转2种因素的共同作用,产生了滚动背斜构造。在旋转轴的轴部或构造转换带(或对应于边界断裂伸展滑脱拆离部位),因受到深部地层的横弯褶皱作用,即岩层受到与地层面垂直的外力作用而发生褶皱作用,导致中浅地层产生了纵向上的张应力,从而产生了断陷期及反转期的盖层断层。东三段沉积期,在近南北向区域拉张应力场作用下,西南庄断层、柏各庄断层、高柳断层均发生了强烈的伸展拆离运动,因此产生了一系列滚动背斜构造及次级基底断裂。

古近纪,南堡凹陷形成了“Y”型断裂组合(大型拆离断层发育)。而依据三维空间构造应变守恒的原则,在深大断裂的转折或变换部位,一般发育有变换构造,同时在盆地或凹陷紧邻变换构造的位置发育有与断裂大角度相交的鼻状或断鼻构造带。南堡2号构造、老爷庙构造即为南堡凹陷变换构造发育的部位。在发生强烈伸展断陷的构造部位,形成了一些逆牵引褶皱;而稍弱的伸展断陷或边界断裂的转折或变换部位,则形成了一些鼻状构造或断鼻构造。

3.2 新近纪——重力、热演化控制沉降机制

新近纪以来,南堡凹陷由断陷期转化为拗陷期。由于岩石圈的伸展变薄和地壳的整体下沉,凹陷内部深大断裂的活动强度逐渐减弱。各级同生断层的活动强度也逐渐降低。拗陷过程与郯庐断裂带活动的关系已不密切。周天伟认为该时期凹陷发育机制为热作用机制^[3,10]。本次研究认为南堡凹陷此期的变形机制应该是受重力均衡作用与热演化作用两者共同控制机制(图5)。

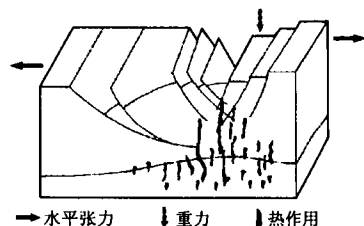


图5 南堡凹陷形成机制示意图

新近纪,研究区内沉积盖层不断增厚,特别是明化镇组沉积以来凹陷沉积速率明显加快;同时,凹陷

内部的伸展速率也迅速加快,导致凹陷基底顶面的斜坡部位发生重力滑动,沿构造坡折位置则产生了众多的次级正断层,这也是这些正断层没有切入深部基底的根本原因。新近纪,凹陷内部伸展变形机制以纯剪切作用为主,“X”型结构则成为断裂组合的主要形式,“X”型断裂组合在平面上分布最集中的构造位于南堡1号、南堡3号构造。大部分该类断层仍为生长断层,自馆陶组沉积以来便开始发育;而明化镇组沉积以来,随地层的不断增厚,其发育程度也不断增强。这种后期构造活动明显增强,但其表现形式与主干断层控制的裂陷盆地的演化存在差异,又被称为“构造再活化”^[11]。而“Y”型断裂组合向“X”型断裂组合的转变需要一定的外部条件,通过研究发现,中下地壳韧性层长期经受来源于地幔的热作用^[17],至新近纪该层的热作用程度降低,岩层黏度亦变低,导致其变形机制逐渐从简单剪切向纯剪切方式转变,从而促使X型断层组合样式的广泛发育。南堡1号、南堡3号构造均经历了高地热作用(岩浆作用),这即是X型结构断裂组合在这2个构造集中发育的主要原因。因此,南堡凹陷新近纪盆地构造样式的形成是重力均衡作用和热演化作用2种作用机制叠加的结果。

4 凹陷构造演化史

从区域地质背景上看,南堡凹陷在中晚元古代、早古生代寒武—中奥陶系及晚古生代的石炭—二叠系曾与华北地台经历了相同的沉积建造过程。进入中生代,华北地台解体。晚白垩世末—新生代古新世,本区整体处于隆升剥蚀状态。而南堡凹陷的凹陷发展历史也即是古近纪、新近纪2个阶段的历史(图6)。

受区域拉张力作用,古近纪(沙河街、东营期)是南堡凹陷裂陷发育阶段^[18]。而西南庄、柏各庄等南倾的控盆断层在沙三段沉积时期就已发育,在这些同生正断层逆牵引作用的影响下,南堡凹陷滚动背斜发育。至沙一段沉积期,在这些同生断层的影响下凹陷内部继承发育一系列次生断层,此时凹陷已具有了箕状断陷的雏形。北堡构造、高尚堡构造、南堡1号构造的构造雏形亦形成。而南堡凹陷其他各次级构造的构造雏形在东三段沉积末期也逐渐形成。构成“铲式”构造样式。至东二段沉积末期,北堡、老爷庙、高尚堡构造均开始成型,各构造的构造高部位在此时亦形成,1号构造、2号构造、柳赞构造

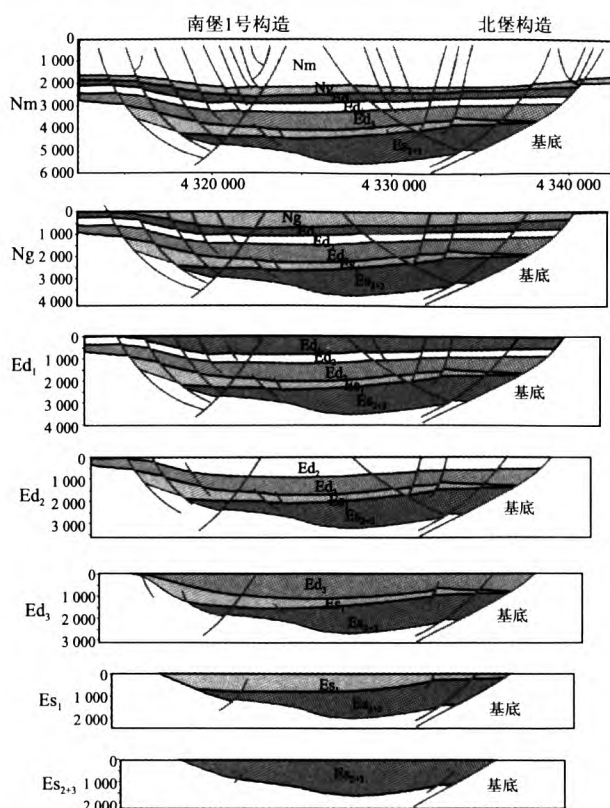


图6 南堡凹陷 NS-04 剖面构造演化

在东一段沉积期也开始成型。至东一段沉积期,边界断层的总体几何特征以铲式形态为主。构造样式特征在不同构造带的发育存在明显差异:斜坡带发育一系列同倾阶梯状盆倾断层,受后期持续伸展作用,在盆地的不同构造部位有时表现为地层与断层同时发生显著旋转的多米诺式特征;邻近铲式断层的上盘区域受铲式断层的旋转变形影响则发育“Y”型断裂组合,并控制了滚动背斜顶部塌陷构造,尤以西南庄断层控制的北堡—老爷庙构造带为代表。沙一段至东营组沉积期,由于受拉张应力作用,凹陷基底发生一定的变形,上覆地层在基底突起部位沉积较薄,周围沉积相对较厚,此时开始发育高尚堡、柳赞等构造带内的同沉积披覆背斜,经后期的改造调整,这些披覆背斜在明化镇组沉积期定型。

新近纪,南堡凹陷进入拗陷发育阶段,其内部构造应力减弱,凹陷进行稳定继承性发育,其伸展特征已完全不受边界断层的影响,而是热作用控制沉降机制,表现为透入性的均匀变形特征,与此相匹配的是多条主干地震剖面显示了“X”型断裂组合特征。在新近纪后期尤其是明化镇组沉积期,凹陷内部的伸展速率和沉积速率明显加快,在重力载荷的影响下,部分断层块体甚至发生了旋转。促使了“多米诺式”构造样式的形成。凹陷基底顶面的斜坡部位亦

发生了重力滑动,沿构造坡折位置产生了众多的次级断裂,这些断裂基本上都未能断至古近系。此时,凹陷内部先期形成的构造高部位亦向南转移。

由南堡凹陷构造情况的对比(表1)可知,对南堡凹陷的构造演化而言,西南庄断层和柏各庄断层

控制了整个盆地的演化格局^[19],而高柳断层、南堡断层及蛤坨断层等新生代早期或前新生代的断层则控制二级构造带,这些早期的断层实际上造成了基底伸展的不均匀性,因此也在一定程度上影响了凹陷的构造变形。

表1 南堡凹陷构造发育情况综合对比

构造单元	演化形成	受控断层	构造样式	断裂组合	发育构造
北堡	Es ₁ 末期显示雏形, Ed ₂ 末期成型	西南庄铲式边界断层	铲式	“Y”型	滚动背斜,背斜顶部发育塌陷构造
1号	Es ₁ 末期显示雏形, Ed ₁ 末期成型	西南庄铲式边界断层,南堡断层		“X”型	同沉积披覆背斜
老爷庙	Ed ₃ 末期具备雏形, Ed ₂ 末期成型	西南庄边界断层	铲式	“Y”型, “X”型	滚动背斜,背斜顶部发育塌陷构造
2号	Ed ₃ 末期具备雏形, Ed ₁ 末期成型	Es ₂₊₃ 以来的次生断裂	多米诺式		滚动背斜,底辟拱升背斜
高尚堡	Es ₁ 末期显示雏形, Ed ₂ 以来成型	高柳断层	坡坪式	“Y”型	滚动背斜顶部塌陷构造
3号	Ed ₃ 末期显示雏形, Ng 以来成型	南堡断层, Ed ₃ 以来的次生断裂		“X”型	低凸起或低幅背斜
柳赞	Ed ₃ 末期显示雏形, Ed ₁ 以来成型	高柳断层, 柏各庄断层	坡坪式	“Y”型	同沉积披覆背斜
4号	Ed ₃ 末期显示雏形, Nm 以来成型	蛤坨断层	多米诺式		深部地垒构造,浅层的顶部塌陷构造

5 结 论

(1)南堡凹陷构造样式可分为“坡坪式”、“铲式”和“多米诺式”构造样式。在断裂系统组合上,可分为“Y”型、“X”型断裂组合,“Y”型组合主要分布于凹陷深层(古近系)。“X”型组合样式主要分布于浅层(新近系)。

(2)古近纪,受郯庐断裂带右旋走滑-伸展运动的控制,南堡凹陷发育具同生性质的深大断裂,此凹陷期的形成机制为伸展变形发育机制;新近纪,南堡凹陷伸展速率、沉积速率加快,断裂活动强度减弱,形成机制转变为重力、热演化共同控制的沉降机制。

(3)南堡凹陷的构造演化史也即是古近纪(裂陷阶段)、新近纪(拗陷阶段)两阶段的历史。对各个次级构造而言,凹陷北部构造的定型时间早,一般在第一主沉积层形成初期形成雏形,圈闭定型时间也较早;南部滩海地区圈闭定型时间则稍晚。

参 考 文 献:

- [1] 郑红菊,董月霞,朱光有,等. 南堡凹陷优质烃源岩的新发现[J]. 石油勘探与开发,2007,34(4):385-450.
- [2] 徐亚军,杨坤光,马乾. 冀东南堡凹陷断裂系统形成研究[J]. 天然气地球科学,2004,15(6):619-621.

- [3] 周天伟,周建勋,董月霞,等. 渤海湾盆地南堡凹陷新生代断裂系统形成机制[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(1):12-17.
- [4] 郑红菊,董月霞,王旭东,等. 渤海湾盆地南堡富油气凹陷烃源岩的形成及其特征[J]. 天然气地球科学,2007,18(1):78-83.
- [5] 罗群,史锋兵,黄捍东,等. 中小型盆地隐蔽油气藏形成的地质背景与成藏模式:以渤海湾盆地南堡凹陷为例[J]. 石油实验地质,2006,28(6):560-573.
- [6] 周海民,董月霞. 冀东油田第五次油气资源评价[R]. 中国石油冀东油田分公司,2007.
- [7] 谢建磊,杨坤光. 冀东南堡凹陷关键成藏时刻主要断裂封闭性分析[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2006,21(3):5-8.
- [8] Harding T P, Lowell J D. Structural styles, their plate tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(7):1016-1058.
- [9] Wernicke B, Burchfiel B C. Modes of extensional tectonics [J]. Journal of Structural Geology, 1982, 4(1):104-1151.
- [10] 周天伟,周建勋. 南堡凹陷晚新生代X型断层形成机制及其对油气运聚的控制[J]. 大地构造与成矿学,2008,32(1):20-27.
- [11] 丛良滋,周海民. 南堡凹陷主动裂谷多幕拉张与油气关系[J]. 石油与天然气地质,1998,19(4):296-301.

(下转第21页)

和定量识别. 自然电位 - 计算自然电位重叠法^[13] 由于其不受地层水电阻率、孔隙度及地层孔隙结构参数的影响,适用范围广,可以有效地对放射性砂岩油层进行定性识别(图1).

同时,从图1中可以看出,经过试油的验证,箱状中一高放射性砂岩储集性能及含油性能好.

5 认识与结论

(1) 志丹油田长6相对高放射性砂岩的高放射性主要贡献来自Th,其次是U;Th和U的富集是钙碱性火山物质溶解、蚀变的结果. 相对高放射性砂岩的岩石组分具有高长石、高云母+泥质含量的特征,是钙碱系列火山物质对正常沉积补充的结果. 火山物质的2种沉积方式即水携式和空降式分别在砂岩储层中形成自然伽马曲线呈箱状的中一高含凝灰质砂岩和呈尖刀状的薄层凝灰岩夹层.

(2) 应用常规测井系列有效识别相对高放射性砂岩的途径是在岩心、录井数据标定的基础上,结合相对高放射性砂岩的测井响应特征进行综合分析. 对于相对高放射性砂岩泥质含量的计算,应当用自然电位曲线来解释.

(3) 志丹油区研究实践表明,声波时差 - 自然电位重叠图结合自然电位 - 计算自然电位重叠图,可快速直观显示相对高放射性砂岩的含油性. 结合试油资料分析可知,其中具有呈箱状中一高放射性特征的砂岩储集物性较好.

参考文献:

[1] 李高仁,郭青娅,石玉江,等. 鄂尔多斯盆地高自然伽

- 马储层识别研究[J]. 测井技术,2006,30(2):511-515.
- [2] 冯宝华. 火山沉积岩及其矿床研究中伽马测井曲线解释的误区[J]. 物探与化探,2008,32(2):171-173.
- [3] 邱欣卫. 鄂尔多斯盆地延长组凝灰岩夹层[D]. 西安:西北大学,2008.
- [4] 左智锋,戚颖,葛小瑞,等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世火山物质对油气成藏条件的影响[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2008,44(3):12-15.
- [5] 李琼. 鄂尔多斯盆地西南地区深部地层放射性异常及其对烃源岩演化的影响[D]. 西安:西北大学,2007.
- [6] 黄思静,谢连文,张萌,等. 中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2004,31(3):273-281.
- [7] 郑荣才,柳梅青. 鄂尔多斯盆地长6油层组古盐度研究[J]. 石油与天然气地质,1999,20(1):20-25.
- [8] 周明忠,罗泰义,黄智龙,等. 钾质斑脱岩的研究进展[J]. 矿物学报,2007,27(3/4):351-359.
- [9] 黄基隆. 放射性测井原理[M]. 北京:石油工业出版社,1985:36-39.
- [10] 许建红,程林松,鲍朋,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组油藏地质特征[J]. 西南石油大学学报,2007,29(5):12-16.
- [11] 雷下军,刘斌,李世临,等. 致密砂岩成岩作用及其对储层的影响[J]. 西南石油大学学报,2008,30(2):57-61.
- [12] 冯春珍,林伟川,梁重阳,等. 低渗透岩性气藏高自然伽马砂岩识别方法[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2005,27(1):201-203.
- [13] 杜奉屏. 油矿地球物理测井[M]. 北京:地质出版社,1984:180-181.

责任编辑:王 辉

(上接第17页)

- [12] 徐嘉炜,朱光,吕培基,等. 郯庐断裂带平移年代学研究的进展[J]. 安徽地质,1995,5(4):1-12.
- [13] 徐嘉炜,马国锋. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评,1992,38(4):316-324.
- [14] 万天丰,朱鸿. 郯庐断裂带的最大走滑断距及其形成时代[J]. 高校地质学报,1996,2(1):14-27.
- [15] 王小凤,李中坚,陈柏林,等. 郯庐断裂带[M]. 北京:地质出版社,2000.
- [16] 杨占宝. 郯庐断裂带中生代演化与含油气盆地形成

- 分布综述[J]. 地质力学学报,2006,12(1):43-48.
- [17] 董月霞,周海民,夏文臣. 南堡凹陷火山活动与裂隙旋回[J]. 石油与天然气地质,2000,21(4):304-307.
- [18] 周海民,魏忠文,曹中宏. 南堡凹陷的形成演化与油气关系[J]. 石油与天然气地质,2000,21(4):345-349.
- [19] 董月霞,汪泽成,郑红菊,等. 走滑断层作用对南堡凹陷油气成藏的控制[J]. 石油勘探与开发,2008,35(4):424-430.

责任编辑:王 辉