

对孤岛油田西南缘断层活动性的新认识

渠 芳¹, 陈清华²

(1. 西南石油大学 资源与环境学院, 四川 成都 610500; 2. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要: 针对孤岛油田西南缘断层复杂、形成时期上认识模糊的问题, 通过重新制定适合孤岛地区的断层分级原则, 落实了研究区的断层级别和各级断层的展布规律, 并通过断层活动速率法详细研究了主干生长断层的活动期次及发育特点。结果表明, 主干生长断层新生代的的活动性主要表现为由 $E_{s4}-E_{s2+3}-E_{s1}$ 逐渐减小的特点, E_d 沉积期受东营运动影响多数活动性有所增强; N_g 沉积期活动性普遍微弱。在后期的新构造运动影响下, 早期活动的油源断层开始复活, 重新具有活动性, 并在新近系地层中产生大量新生活动断层。由此才促使研究区浅部地层在中新世末主排烃期能够聚集大量油气, 这也是构成孤岛油田西南缘油气聚集的关键因素。

关键词: 断层活动性; 新构造运动期; 主干断层; 油气聚集; 主排烃期

中图分类号: TE121 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)04-0394-06

New Recognitions About Fault Activity of the Southwestern Margin of Gudao Oilfield

Q U Fang¹, CHEN Qing-hua²

(1. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China;

2. School of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China)

Abstract: Aiming at solving the problems of the complicated faults and its ambiguous formation period, through re-establishing principle of fault grade classification, the grade and distribution of faults in the research area are recognized, and the active stages and development characteristics of the main faults are researched according to calculate the rate of fault activity. The results show that the activities of the faults in Cenozoic era decreased gradually in the order of $E_{s4}-E_{s2+3}-E_{s1}$, then increased in E_d sedimentary period due to the Dongying tectonic movement, and only with slight activities at Guantao period. However, the source faults which were active in early stages revived again during the later Neotectonics and generated large number of new faults in Guantao formation. Thus, the shallow part can accumulate large quantity of hydrocarbon in the main hydrocarbon expulsion phase, which is the key factor for the migration and accumulation of hydrocarbon in the research area.

Key words: fault activity; Neotectonics; main growth fault; hydrocarbon accumulation; main hydrocarbon expulsion phase

0 引言

孤岛地区位于济阳拗陷沾化凹陷的东部, 其西北为渤南洼陷, 东北为五号桩洼陷, 南为孤南洼陷所围绕。由孤南洼陷、孤岛凸起、孤北斜坡带 3 个构造单元组成。其中孤岛凸起是孤岛地区最重要的油气产区, 又称为孤岛油田。有关孤岛披覆背斜

构造的研究目前已经很多^[1-9], 普遍认为孤岛地区受大型油源断层孤南、孤北断层的控制, 断层主要活动期为沙河街组沉积期, 至新近纪活动性减弱。油气主要运移期为馆陶组沉积期, 油气主要沿油源断层向上聚集至馆上段披覆构造层中。但是有关孤岛油田周边的研究甚少, 且存在以下问题:

(1) 主要油气运聚期断层活动性已经很微弱,

收稿日期: 2009-02-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(49972037); 十五国家科技攻关项目(2001GA605A-11)

作者简介: 渠 芳(1981-), 女, 山东单县人, 工学博士, 从事地质资源与地质工程研究。E-mail: 376871312@qq.com

深层烃源岩的油气如何向上远距离运移至馆陶组？

(2)虽然断层作为馆陶组油藏的主要运移通道已得到普遍认同,但目前关于小断层在油气运移中的作用研究不多,认识还不十分清楚。

(3)在构造解析上,由于孤岛油田西南缘存在许多低序级小断层,使构造复杂化,而且受地震资料质量等影响,其详细构造情况一直认识不清,导致对其形成发展史研究不够,局部构造落实不一,并在形成时期上认识模糊。

基于上述问题,笔者旨在通过落实孤岛油田西南缘断层级次、定量研究不同级别断层的活动性、深化各级断层空间分布特征及其对油气运聚成藏的作用等,以期能够对研究区的油气运聚规律有新层次的认识。

1 研究区概况

孤岛油田西南缘构造位置位于孤南洼陷、三合村洼陷、渤南洼陷之间,主体隶属于孤岛油田南区西部,北至孤岛凸起最高点 gg1 井,南至孤南洼陷与三合村洼陷结合处的低隆起,西至垦西斜坡,东部至 bo 783 井区,为孤南洼陷的西斜坡(图 1)。该区位于多种断裂体系的交汇部位,断层构造非常发育,由十几条断层将本区切割成若干个含油断块,构造较为破碎,主要含油层系为馆陶组。由于该区断层发育极为复杂,所以断层发育、断层展布及输导路径、成藏期次等问题一直困扰勘探进展。

2 断层分级及空间组合

2.1 断层分级

由于研究区不同级别的断层分布极为复杂,因此本研究先根据孤岛地区的实际情况进行断裂分

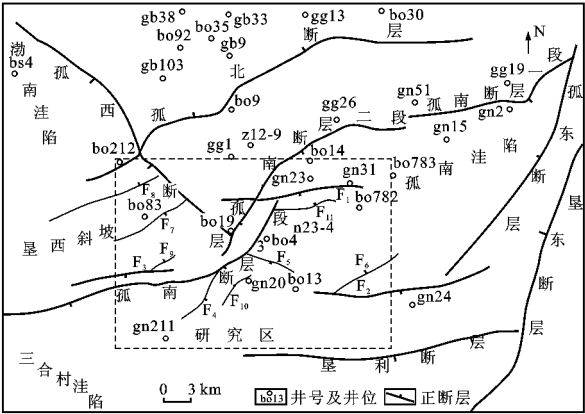


图 1 孤岛油田西南缘区域位置及断层分布
Fig. 1 Regional Location of the Southwestern Margin of Gudao Oilfield and Main Faults Distribution

级,然后进一步落实各级别断层发育情况。断层分类及级别划分常常依据断层不同方面的特征,如构造尺度、发育的深度范围和时间范围、几何学特征和运动学特征以及断层对盆地发育及沉积作用的影响和控制作用。虽然针对不同研究对象断层的分级有时有差别^[10-11],但能较好地反映断层在构造系统中的几何学及运动学特征,如杨祖序^[10]根据断层所影响的岩系、断层规模(尺度、正滑距)以及断层对盆地发育的影响,将华北第三纪断陷盆地中的第三纪断层划分为三类五级,即深断裂为一级断层;基底断层为二、三级断层;盖层断层为四、五级断层。由于孤岛地区缺乏盆缘深大断裂,按照上述划分原则断裂级次均较低,因此,笔者以断层尺度、序次及其对盆地发育的影响为划分基础,对孤岛地区断层进行了分类、分级并确定了划分原则(表 1)。

按照上述分级原则,研究区发育一级断层为孤南断层和孤西断层,二级断层主要有 3 条,分别命

表 1 孤岛地区断层分类及级别划分

Tab. 1 Faults Grade Classification of Gudao Area

分类	级别	断层规模		断层对盆地发育的影响	举例
		尺度	垂向断距		
基底断层	I	断层沿走向延伸几十千米,向深部尖灭于基底浅层构造层	数百米至上千米	影响凹陷内部的结构形态、控制凸起和洼陷的发育,影响沉积岩相和厚度等	孤南断层,孤北断层,孤西断层
	II	沿走向延伸数千米,向深部切穿盖层达基底顶部	数十米至数百米	对洼陷内部的沉积岩相有一定影响,对凸起和洼陷内部的结构形态有控制作用,是划分断块的重要依据	基底一级断层的主干派生断层、围限各断块的边界断层
盖层断层	III	沿走向延伸数百米至上千米,向深部延伸至不同深度	数十米至上百米	为区内的生长断层,只是生长时间和规模小于二级断层	围限各断块的边界断层
	IV	沿走向延伸数十米至数百米,多分布	十数米至数十米	不能控制沉积岩相变化,但可使断块、油水关系复杂化	断陷强烈期及后期新构造运动期产生的次级断层

名为 F₁、F₂、F₃。其余三级主干断层主要为 F₄ ~ F₈, 活动时期自沙河街组沉积期—馆陶组沉积期, 少数延续至明化镇沉积期。四级断层则多为后期的新构造运动时期产生的小断层, 主要分布在馆陶组、东营组中, 有的延续至沙一段, 在研究区 F₈ 为孤北断层的派生断层, 只有尾端分布在研究区内。因此就主干一级断层和 F₁ ~ F₇ 做了详细研究。其几何要素见表 2。

表 2 主要生长断层几何特征

Tab. 2 Geometric Features of the Main Growth Faults

断层	走向	倾向	倾角/(°)	长度/km						发育层系	级别
				Es ₂₊₃	Es ₁	Ed	Ng _{inf}	Ng _{sup}	Nm		
孤南断层	北东东—北东	北北东—北东	30~60	50.0	40.0	40.5	30.0	27.0	25.0	Es ₄ ~ Nm	I
孤西断层	北西	南西	30~55	48.0	14.0	10.0	6.0	2.0	2.0	T ~ Ng	I
F ₁	北东东	南南东	50~55	10.5	9.2	9.2	9.1	8.4	7.1	Es ₃ ~ Nm	II
F ₂	北东东	北北西	45~50	14.7	11.8	11.4	12.1	11.5	11.3	Es ₃ ~ Nm	II
F ₃	北东东	南南东	45~55	8.5	8.0	11.5	4.1	3.8	3.9	Es ₃ ~ Nm	II
F ₄	北东	南东	50~55	5.5	3.5	2.6	3.0	2.7	2.8	Es ₃ ~ Nm	III
F ₅	北西	南西	40~45	3.7	2.5	2.5	2.5	2.5	1.3	Es ₃ ~ Ng	III
F ₆	北东	北西	40~45	6.4	6.2	6.1	1.2	0.0	0.0	Es ₃ ~ Ng _{inf}	III
F ₇	北东	南东	45~50	6.3	6.2	5.9	3.2	9.0	9.2	Es ₃ ~ Nm	III

2.2 断层空间组合

不同级别的断层在不同层位复杂交错, 构成了复杂的立体网络。按断层在剖面上切割地层的规模以及活动的期次, 可将工区内的断层分为以下 2 种类型:

(1)切穿或切入第三系的油源断层。这类断层均为同沉积正断层, 发育时期长, 在剖面中呈铲状、坡坪状、板状分布, 是深层油气纵向运移至浅层的重要输导要素之一, 如孤南断层、孤北断层、孤西断层、F₁ ~ F₈ 断层等。其中, 孤南断层有分段及雁行排列的特点(图 1), 在研究区内孤南断层二段和三段均有分布。

(2)新近系发育的次级小断层。这类断层仅切穿了地震反射层 T₁, 或仅切穿馆上段底界, 从而将馆陶组上、下段连通在一起, 在剖面上呈板状, 与油源断层成平行式、“Y”字形或反“Y”字形等方式排列(图 2)。

不同组合方式和类型对油气藏的控制作用和强弱不同。然而, 断层具体如何输导油气, 如何控制油气的聚集成藏以及其受力机制和作用机理, 必须结合断层活动性的定量研究来加以深化认识。

3 断层活动性定量探讨

孤岛凸起为由北、南、西三面断层控制生长发育的披覆背斜构造, 且边界断层存在规模大、活动时期长、上升盘局部地层缺失的特点, 因此, 用生长

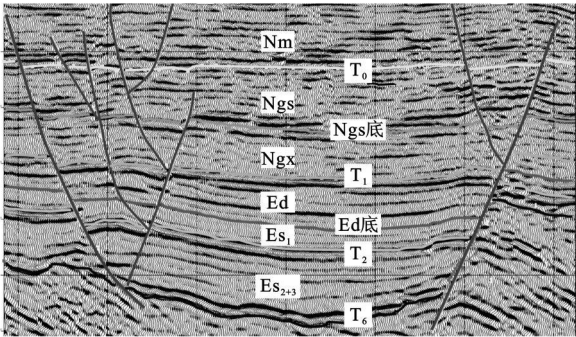


图 2 孤岛油田西南缘断层剖面组合

Fig. 2 Faults' Profile Composite of the Southwestern Margin of Gudao Oilfield

指数法确定断层的活动性容易出现生长指数为无穷大的情况。而断层活动速率法为某一地质时期内的断层落差与时间跨度的比值, 该参数既保留了断层落差的优点, 又弥补了由于缺少时间概念所带来的不足, 更好地反映断层在不同沉积期的活动特点^[12-14]。因此, 本研究使用断层活动速率法定量研究孤岛地区主干断层在不同沉积期的活动特征。

鉴于断层活动对两盘地层所造成的沉积、剥蚀作用的差异性, 针对不同类型的断层, 确定了不同的计算方法。

同沉积正断层: 断层古落差 = 上盘沉积厚度 - 下盘沉积厚度

逆断层: 断层古落差 = 上盘剥蚀厚度 - 下盘沉积厚度

计算过程中, 首先对地震剖面进行详细解释, 确定断层两盘各地质时期的断层落差; 并根据漆家福等^[15]、中国地层委员会^[16]的地质时代划分为依据来确定济阳拗陷各沉积期的时间跨度。剥蚀量恢复参考了油田报告和前人资料^[17]。从深入研究断层活动演化及整体构造特征角度出发, 首先定量研究一级断层孤南、孤北、孤西断层的发育规律及活动特征, 再深入到研究区内部。

3.1 一级断层的活动规律

研究过程中, 对孤南及孤北断层分别选取了横切断层的 10 条剖面, 对孤西断层则主要针对该断层中北段的 3 条剖面进行了研究, 定量计算了其在不同地层发育时期的古落差和活动速率(图 3~5)。其中, 图 3、4 中的剖面为由西向东的顺序排列, 图 5 中的剖面为由南向北排列。

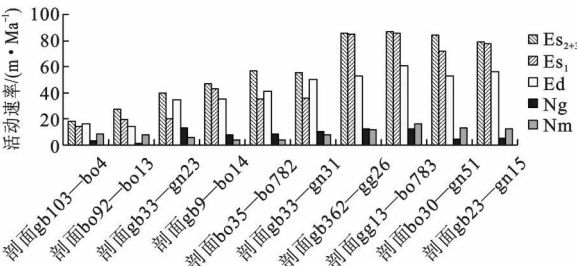


图 3 孤南断层 Es₂₊₃—Nm 沉积期活动速率柱状图
Fig. 3 Gunan Fault's Active Rate in Es₃ to Nm Period

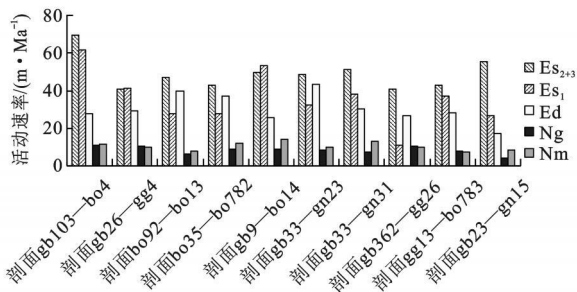


图 4 孤北断层 Es₂₊₃—Nm 沉积期活动速率柱状图
Fig. 4 Gubei Fault's Active Rate in Es₃ to Nm Period

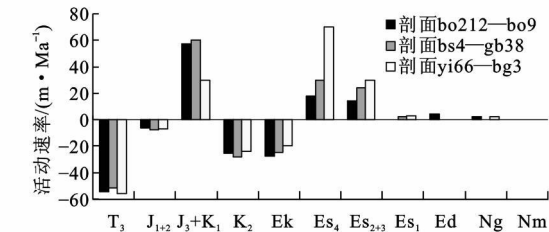


图 5 孤西断层 T₃—Nm 沉积期活动速率
Fig. 5 Guxi Fault's Active Rate in T₃ to Nm Period

结合图 3~5, 发现孤岛地区一级控洼断层发育有以下特点:

(1) 孤南断层和孤北断层活动规律存在很大相似性, 都存在活动强度不同的 2 个阶段, 即古近纪和新近纪。两断层在古近纪活动性比新近纪活动性强烈, 活动速率由古近纪的 40~85 m/Ma 减少为新近纪的 5~10 m/Ma (图 6)。

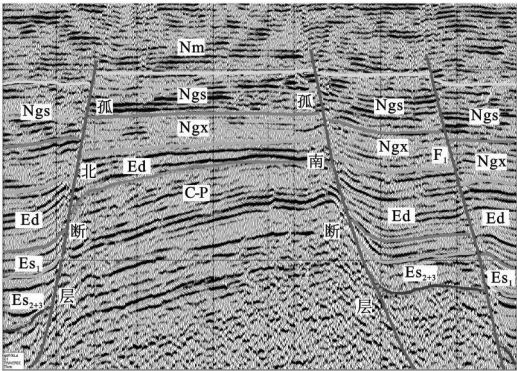


图 6 横切孤南—孤北断层近南北向地震剖面
Fig. 6 Cross Section of Gunan-Gubei Fault

(2) 孤西断层活动性和孤南、孤北断层相差甚大, 在三叠纪为逆断层, J₃~K₁ 发生全面负反转, 活动速率约为 50 m/Ma; K₂~E_k 发生正反转, 地层抬升使中古生界遭到剥蚀, 形成区域 T_r 不整合面; 至 Es₄ 沉积期孤西断层再一次负反转, 断层活动速率南北相差较大, 在研究区为 70 m/Ma, 向北至渤南洼陷附近约为 30 m/Ma; 此后活动速率剧烈减小, 至沙一期则基本无活动性。但位于孤南、孤北断层之间的孤西断层中段直至东营组沉积期尚有微弱活动性(图 7), 并在馆陶组地层中断层重新具有一定活动性, 分析应该为新构造运动使其重新活动。

(3) 古近纪不同时期断层活动性也存在一定差别, Es₂₊₃ 沉积期—Es₁ 沉积期—Ed 沉积期, 有的剖

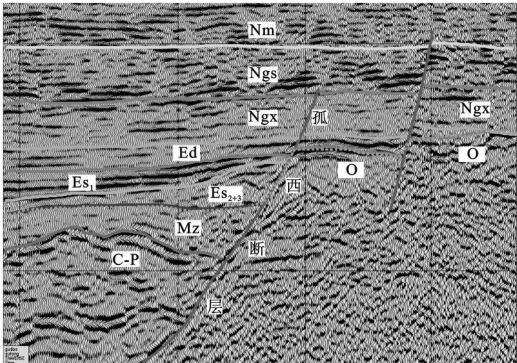


图 7 横切孤西断层中段北东—南西向地震剖面
Fig. 7 Cross Section of Guxi Fault

面活动速率表现为 E_{S2+3} 沉积期— E_{S1} 沉积期— E_d 沉积期逐渐减小, 有的剖面则表现为减小再增大的特点, 表明东营运动对断层活动性的影响。

(4) 孤南、孤北断层在新近纪的活动速率和古近纪相比虽大大减小, 一般为 $8 \sim 10 \text{ m/Ma}$, 但一个重要的现象是, 多数剖面表现出明化镇期活动速率略大于馆陶沉积期活动速率的特点。笔者认为, 这是其在新构造运动期继承性活动的结果。此时断层没有切穿明化镇组, 多只断至明化镇组底部, 这一点从地震资料可以得到证实。

(5) 平面上, 孤南、孤北断层的不同部位活动速率有明显差异。在图 2 中, $bo92-bo13$ 、 $gb103-bo4$ 、 $gb33-gn23$ 、 $gb9-bo14$ 等穿越孤南断层的位置分别为孤南断层三段和二段的尾端, 其断层活动速率明显小于断层中部剖面的活动速率值。另外可知孤南断层二段活动强度大于三段, 该段也恰好位于孤岛凸起的中央部位。孤北断层西段靠近研究区附近活动速率则大于东部。

3.2 孤岛油田西南缘主干断层活动性

孤岛油田西南缘主干断层主要是研究区的二级和三级断层, 其发育有以下特点(图 8):

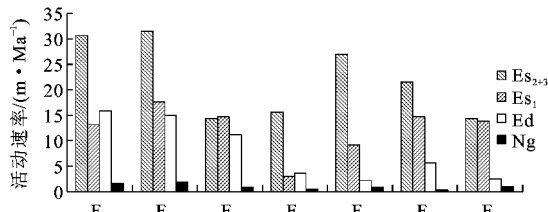


图 8 孤岛油田西南缘主干生长断层

$E_{S3}-N_g$ 沉积期活动速率

Fig. 8 Main Growth Faults' Active Rate of the Southwestern Margin of Gudao Oilfield in E_{S3} to N_g Period

(1) 走向主要为北东—北东东、北西向两组; $F_1 \sim F_6$ 断层中, 除了 F_5 断层为北西向, 其余则为北东—北东东向断层。

(2) $F_1 \sim F_4$ 、 F_6 断层主要发育期可分为 2 期: 一期为第三纪沙河街组沉积期, 至沙一期活动性减弱, 东营期又有所增强, 表现在落差均有不同程度增大; 至新近纪断层活动性大大减弱, 古落差只有几米至十几米; 二期为新构造活动期, 先存断层重又活动, 表现在断层两盘落差增大, 断距多为 $40 \sim 50 \text{ m}$, 从横切断层的地震剖面上可以清楚识别。这点和用古落差法计算的古沉积期的断距有差别, 究其原因, 主要是新构造运动对先存断层的继承—改

造作用, 这些继承型和继承—改造型断层对油气成藏作用显著。而在新构造运动时期产生的众多小断层则对油气聚集具有局部调整的作用。

(3) F_5 断层应该发育期较早, 在前第三纪应属于孤西断裂, 进入第三纪因活动性减弱, 逐渐和孤西断层分离, 长度自沙一期以后便大大减小, 活动性也大大减弱, 馆陶期几乎无活动性。新构造运动同样对其有改造作用, 使其在馆陶组的落差增至约 40 m 。

综上所述, 各主干断层的活动性在新近纪呈现出相似的规律: 总体趋势为古近纪活动强烈, 新近纪活动性减弱。本区断层活动具体可分为 2 期: 渐新世, 至东营组沉积末期活动性均强烈; 馆陶组沉积后的新构造运动时期, 新构造运动使切割到深层的油源断层继续继承性活动, 使已经停止活动的孤西断层及北西向次级断层重新具有活动性, 并且在馆陶组产生众多新生断层。正是这些深浅断层构成了本区油气成藏的复式输导系统。

4 有关断层活动性与油气运聚的讨论

结合上述断层活动性定量研究的结果, 笔者给出了研究区部分主干断层活动期与油气运移期匹配表(图 9)。由于孤岛凸起无法自身生成油气, 所聚集油气均来自渤南洼陷及孤南洼陷的沙三段和沙一段湖相泥岩, 排烃期分别为渐新世末期(东营组沉积末期)和中新世末期(馆陶组沉积末期)。

渐新世末的早期成藏阶段, 在强烈活动的油源断层和有利储盖的匹配下, 研究区沙河街组和东营组形成有效的油气聚集; 而在中新世末期, 沙三段和沙一段同时向凸起供烃, 为孤岛地区的主要排烃期。此时已经进入弱活动状态或停止活动的油源断层因新构造运动的产生而重新复活, 从而促使油气发生幕式垂向运移, 使早期聚集的油气藏向上发生重新调整和聚集, 也使得深部沙河街组油气可以向上直接运移至浅部地层中(图 10)。由于孤南断层两端活动性小于中间部位活动性, 而孤北断层西端活动性大于东端活动性, 这种特点促使渤南洼陷油气极易沿孤北断层及其派生断层运移到研究区; 孤南洼陷油气则更易运移至孤岛潜山主体部位。因此, 新构造运动对继承性老断层活动性的影响及其产生的新生断层是控制研究区油气聚集的主要因素。

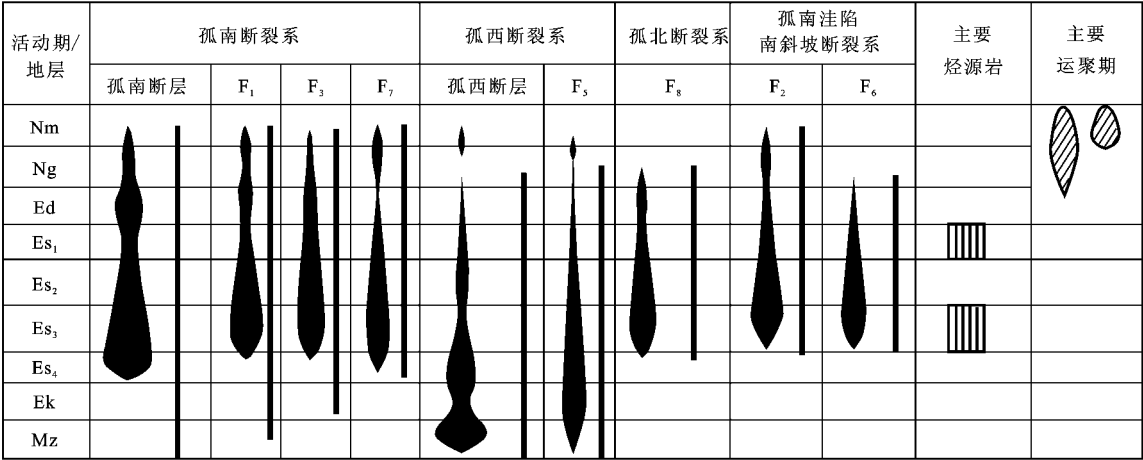


图 9 孤岛油田西南缘部分断层活动期与油气运移期匹配图

Fig. 9 Matching of Fault Activity and Hydrocarbon Migration of Part of Faults of the Southwest Margin of Gudao Oilfield

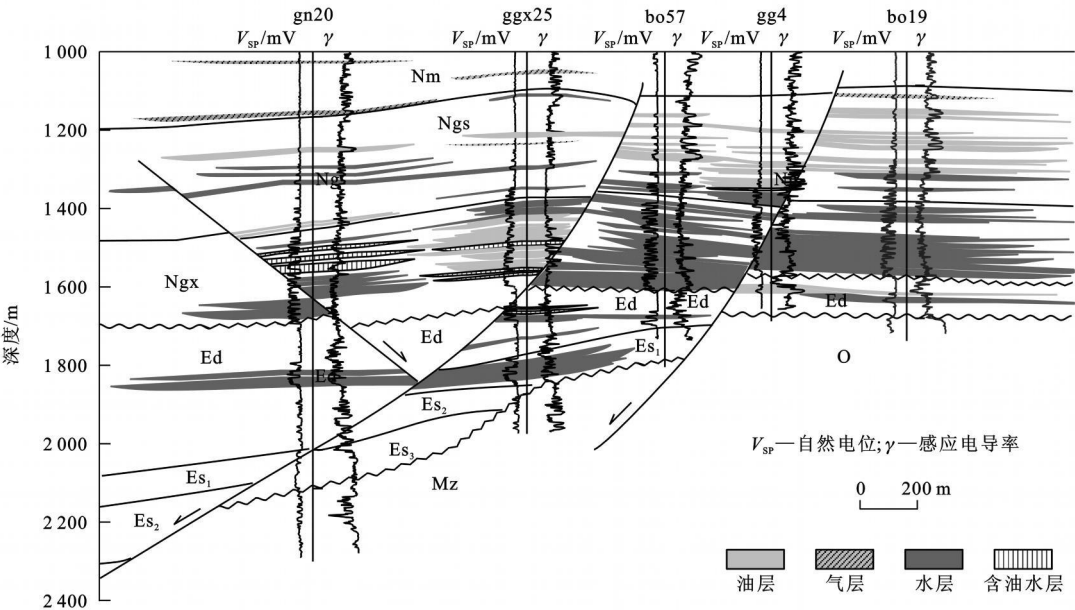


图 10 孤岛油田西南缘 gn20—bo19 近南北向油藏剖面

Fig. 10 Oil Profile of gn20-bo19 of the Southwest Margin of Gudao Oilfield

5 结语

(1)按照孤岛地区断层级别划分原则, 孤岛油田西南缘发育一级断层孤南断层和孤西断层, 其中孤南断层在研究区分为两段, 且两段有叠合。二级生长断层 3 条, 三级生长断层 5 条, 四级及以下新生小断层若干。

(2)主干生长断层新生代的活性主要表现为由 Es₄—Es₂₊₃—Es₁ 逐渐减小的特点, Ed 沉积期受东营运动影响多数活性有所增强; Ng 沉积期活性普遍微弱。在后期的新构造运动影响下, 早期活动的油源断层开始复活, 重新具有活性, 并在

新近系产生大量新生断层。

(3)主干断层的活性在平面上具有非均质性的特点。孤南断层两端活性小于中间部位活性, 而孤北断层西端活性大于东端活性。这种特点促使渤南洼陷油气极易沿孤北断层及其派生断层运移到研究区; 孤南洼陷油气则更易运移至孤岛潜山主体部位。

(4)老断层在新构造运动期的复活及产生的新活动断层, 促使研究区浅部地层在中新世末主排烃期能够聚集大量油气。因此, 这也是构成孤岛油田西南缘油气聚集的关键因素。

(下转第 422 页)

3 结语

(1)喀斯特地区土壤有效磷质量分数随石漠化的发展而减少,非石漠化土壤与轻度石漠化土壤有效磷质量分数呈显著差异。

(2)土壤有效磷在剖面中的分布趋势表现为表土层质量分数高于心土层,且随着石漠化的发展有效磷质量分数在剖面中减少得越慢。

(3)土壤有效磷质量分数随时间有明显的动态变化。有效磷从 5 月开始累积,7 月之后出现下降趋势,9 月或 11 月之后其质量分数又逐渐升高,直至翌年 1 月达到峰值,总体上呈现增—减—增的趋势。

(4)土壤有效磷与有机质及黏粒的质量分数呈极显著的线性相关,相关系数分别为 0.901 7 和 -0.777 2。有机质质量分数是影响有效磷变化的根本原因。黏粒质量分数升高主要通过影响植被系统导致有机质含量减小,从而进一步影响土壤有效磷质量分数,这与张清海的结论是相反的。

(5)贵州及西南地区属于亚热带季风湿润气候,全年降水充沛且雨热同期,具有良好的气候条件,有利于植物生长,通过封山育林等人为措施增加有机质积累,进而提高土壤有效磷质量分数在一

定程度上是可行的。

参考文献:

- [1] 袁道先. 岩溶石漠化问题的全球视野和我国的治理对策与经验[J]. 草业科学, 2008, 25(9): 19-25.
- [2] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 石漠化过程中土壤理化性质变化的初步研究[J]. 山地农业生物学报, 2003, 22(3): 204-207.
- [3] 蒋忠诚. 广西弄拉峰丛石山生态重建经验及生态农业结构优化[J]. 广西科学, 2001, 8(4): 308-312.
- [4] 刘方, 王世杰, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 639-644.
- [5] 黄承玲, 陈训, 范成五. 玉米根分泌物对喀斯特地区土壤吸附磷的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(26): 11453-11455.
- [6] 刘方, 黄昌勇, 何腾兵, 等. 黄壤旱坡地梯化对土壤磷素流失的影响[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 74-78.
- [7] 张清海. 贵州喀斯特石漠化地区土壤磷素变异特征及生态恢复研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2007.
- [8] 彭琴, 林昌虎, 何腾兵. 贵州省喀斯特山区不同石漠化等级土壤粒级特征研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(2): 29-32.
- [9] 华孟, 王坚. 土壤物理学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 胡霭堂. 植物营养学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1995.
- [12] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [9] 张伟峰, 刘守军, 李拥安, 等. 孤岛馆陶组注水开发储层性质动态变化特征研究[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(2): 51-53.
- [10] 杨祖序. 华北第三系断陷构造特征与分类[C] //《中国含油气区构造特征》编写组. 中国含油气区构造特征. 北京: 石油工业出版社, 1989: 20-25.
- [11] 《胜利油田石油地质志》编写组. 中国石油地质志: 卷六, 胜利油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [12] 李春光. 中国东部盆地油气藏同生断层的定量研究[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(4): 1-4.
- [13] 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨[J]. 断块油气田, 2000, 7(2): 15-17.
- [14] 吴智平, 李伟, 郑德顺, 等. 沾化凹陷中、新生代断裂发育及其形成机制分析[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 405-417.
- [15] 漆家福, 张一伟, 陆克政, 等. 渤海湾盆地新生代构造演化[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1995, 19(增刊): 1-6.
- [16] 中国地层委员会. 中国地层指南及中国地层指南说明书[M]. 修订版. 北京: 地质出版社, 2001.
- [17] 吴智平, 李伟, 任拥军, 等. 济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 280-286.
- [1] 张善文, 王永诗, 石砥石, 等. 网毯式油气成藏体系——以济阳拗陷新近系为例[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 1-10.
- [2] 姜素华, 查明, 张善文. 网毯式油气成藏体系的动态平衡研究[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(4): 16-20.
- [3] 张绍东, 王绍兰, 李琴, 等. 孤岛油田储层微观结构特征及其对驱油效率的影响[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2002, 26(3): 47-51.
- [4] 李阳, 李双应, 岳书仓, 等. 胜利油田孤岛油区馆陶组上段沉积结构单元[J]. 地质科学, 2002, 37(2): 219-230.
- [5] 何文祥, 吴胜和, 唐义疆, 等. 地下点坝砂体内部构型分析——以孤岛油田为例[J]. 矿物岩石, 2005, 25(2): 81-86.
- [6] 杨晓敏, 鲜本忠, 束青林, 等. 孤岛油田西南缘馆陶组油气成藏模式[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(6): 26-29.
- [7] 李莉, 徐国盛, 刘树根, 等. 孤岛西南缘馆陶组油气分布特征及油气成藏规律[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(2): 120-124.
- [8] 吴诗勇, 李自安. 精细地质研究现状及发展趋势[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 58-64.

(上接第 399 页)

参考文献: