

# 渤海海域石臼坨凸起新近系岩性油藏 充满度特征及主控因素

王德英,于海波,李 龙,王富东,达丽亚

(中海石油(中国)有限公司天津分公司 渤海石油研究院,天津 300452)

**摘要:**在对石臼坨凸起新近系岩性油藏充满度统计的基础上,对充满度的大小、分布及其主控因素进行了分析。结果表明,研究区明化镇组下段岩性油藏的充满度变化范围较大,高度充满度为16.1%~87.5%,平均为47.5%,面积充满度为6.0%~98.3%,平均为52.6%,其中高度充满度和面积充满度超过50%以上的砂体占统计砂体的1/2以上。充满度平面分布具有不均衡性,纵向分布具有差异性,以I油组充满度最高。岩性油藏充满度主要受构造形态、砂体几何形态、断层活动性和断层与砂体接触长度等因素的控制,构造形态控制了充满度平面分布的差异性;砂体的幅度、面积、长宽比与充满度之间整体呈现负相关关系,幅度小于45 m、面积小于4.5 km<sup>2</sup>、长宽比小于4的砂体充满度多数大于40%;断层活动性和断层与砂体接触长度对充满度的控制具有分段性,断距小于35 m、断层与砂体接触长度小于4.5 km的砂体充满度比较集中且多数大于40%。

**关键词:**岩性油藏 高度充满度 面积充满度 主控因素 石臼坨凸起

中图分类号:TE112.322

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)05-0021-07

## Characteristics of fullness degree of trap and its main controlling factors of the Neogene lithologic reservoir in the Shijiutuo uplift, Bohai Sea

Wang Deying, Yu Haibo, Li Long, Wang Fudong, Da Liya

(Bohai Oilfield Research Institute, Tianjin Branch Company, CNOOC China Limited, Tianjin City, 300452, China)

**Abstract:** Based on statistic data of fullness degree of Neogene lithologic reservoir in the Shijiutuo uplift, the size, distribution and controlling factors on fullness degree of trap were analyzed. The results show that there is a great variation in fullness degree of the lower Minghuazhen Formation. The vertical fullness degree of trap (ratio of oil column height to trap closure height) is between 16.1% and 87.5% with an average of 47.5%, while the areal fullness degree of trap (ratio of oil-bearing area to trap closure area) is between 6.1% and 98.3% with an average of 52.6%. Sand bodies with vertical and areal fullness degree over 50% account for more than 1/2 of the whole sand bodies. The fullness degree of trap is unbalanced in the plane and different in the vertical and oil layer I has the highest fullness degree of trap. The fullness degree of lithologic reservoir is mainly controlled by structural shape, sand body geometry, fault activity and fault-sand body contact length. The planar distribution of fullness degree of trap is controlled by structural shape. There is a negative correlation between sand body geometry amplitude, area, length-width ratio and fullness degree of trap. For sand body characterized by structural amplitude of less than 45 m, area of less than 4.5 km<sup>2</sup> and length-width ratio of less than 4, more than 40% of its whole area is commonly filled by oil. For sand body whose contact length with fault is less than 4.5 km, more than 40% of its whole area is commonly filled by oil.

**Key words:** lithologic reservoir; vertical fullness degree of trap; areal fullness degree of trap; main controlling factors; Shi-

收稿日期:2015-07-08。

作者简介:王德英(1971—),女,吉林磐石人,高级工程师,从事沉积学与石油地质方面的研究。联系电话:(022)25801405, E-mail:wangdy2@cnoc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“渤海海域大中型油气田地质特征”(2011ZX05023-006-002)。

jiutuo uplift

经过几十年的勘探开发,渤海湾盆地的油气勘探已经开始由构造油气藏逐步转变为以岩性油气藏为主的隐蔽油气藏勘探阶段<sup>[1]</sup>。近几年来,在渤海海域石臼坨凸起新近系开展了以发育于浅水三角洲中的岩性圈闭为主要目标的油气勘探,取得了丰硕的成果。但研究区新近系岩性油藏勘探结果表明,其岩性圈闭含油程度不一,不同类型的砂体含油性存在很大的差异。目前,关于石臼坨凸起岩性油藏充满度特征及其控制因素还缺少相关研究,这在一定程度上影响了对其岩性油藏成藏机理的深入分析和岩性圈闭勘探的深入开展。笔者在统计石臼坨凸起实际钻探的岩性油藏充满度的基础上,对岩性油藏充满度及其分布特征进行分析,探讨充满度的控制因素,有助于深入认识新近系岩性油藏成藏机理,以期为研究区岩性油藏的井位部署及优化提供依据。

## 1 区域地质概况

石臼坨凸起位于渤海海域中部,南邻渤海海域最大的富生烃凹陷——渤中凹陷,北接秦南凹陷,是一个长期发育的古隆起,处于油气长期优势运移的有利指向位置(图1)。受晚期构造运动尤其是新构造运动<sup>[2-4]</sup>影响,石臼坨凸起晚期断裂发育,主要呈北东向展布。近几年,在岩性油藏勘探思路的指导下,对石臼坨凸起新近系明化镇组下段(明下段)开展岩性油藏勘探,发现了QHD33-1S, QHD33-2, QHD33-3和QHD33-4等多个油田,石油地质储量超过亿吨。研究区岩性油气藏主要发育在明下段,区域沉积体系分析表明,明下段主要为浅水三角洲沉积<sup>[5]</sup>,浅水三角洲前缘砂体整体具有横向展布广、面积大的特征,有利于岩性圈闭的形成和发育。

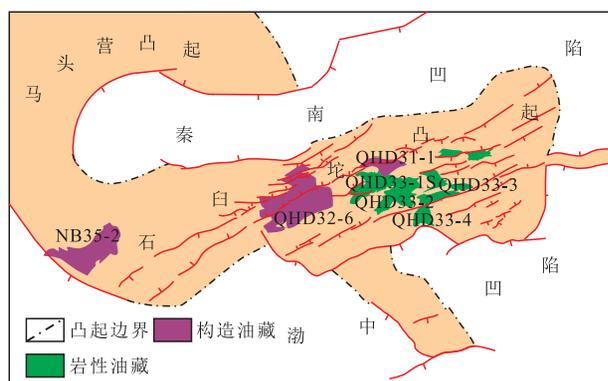


图1 石臼坨凸起构造位置

Fig.1 Regional location map of the Shijiutuo uplift

## 2 充满度分布特征

充满度是定量分析圈闭中油气聚集量的重要参数之一,前人对其做过很多方面的研究<sup>[6-12]</sup>。关于充满度的定义,张厚福等应用充满系数,即含油高度与圈闭闭合高度的比值来评价油气藏的含油量<sup>[13]</sup>。武守诚将其定义为含油面积占圈闭面积的百分数<sup>[14]</sup>。曾溅辉等将其定义为砂体含油体积与砂体体积之比<sup>[6]</sup>。结合勘探研究实践,笔者选取与实际生产结合较紧密的高度充满度和面积充满度作为主要研究对象,高度充满度主要是指含油高度与圈闭闭合高度的比值(百分数),面积充满度主要是指含油面积与圈闭面积的比值(百分数)。通过对石臼坨凸起40余个岩性油气藏的统计分析来看,充满度分布变化较大,高度充满度为16.1%~87.5%,主要为30.0%~70.0%,平均为47.5%;面积充满度为6.0%~98.3%,主要为30%~95%,平均为52.6%。高度充满度和面积充满度超过50%以上的砂体占统计砂体的1/2以上,进一步说明了石臼坨凸起岩性圈闭中油气充注能力比较强、聚集程度比较高。

石臼坨凸起明下段砂岩含量主要集中在25%~35%,是岩性油气藏发育的主力层段,根据岩性组合特征,将其从上到下划分为0, I, II和III共4个油组,在此基础上,进一步讨论充满度在平面和纵向上的分布特征。

### 2.1 平面分布具有不均衡性

对于明下段0油组,岩性油藏主要发育在QHD33-3油田,高度充满度为16.1%~74.6%,面积充满度为6.0%~32.8%(图2);其次发育在QHD33-1S油田,高度充满度为31.6%~66.7%,面积充满度为57.1%~93.6%;少数发育在QHD33-4油田,高度充满度为33.0%~75.0%,面积充满度为29.3%~94.7%。

对于明下段I油组,岩性油藏主要发育在QHD33-1S油田(图2),高度充满度为29.4%~80.0%,面积充满度为9.0%~98.3%;其次发育在QHD33-3油田,高度充满度为45.7%~73.8%,面积充满度为67.1%~92.3%;少数发育在QHD33-2和QHD33-4油田,高度充满度分别为55.6%和38.9%,面积充满度分别为45.0%和11.5%。

对于明下段II油组,岩性油藏在QHD33-1S和QHD33-3油田发育相对比较均衡(图2)。QHD33-

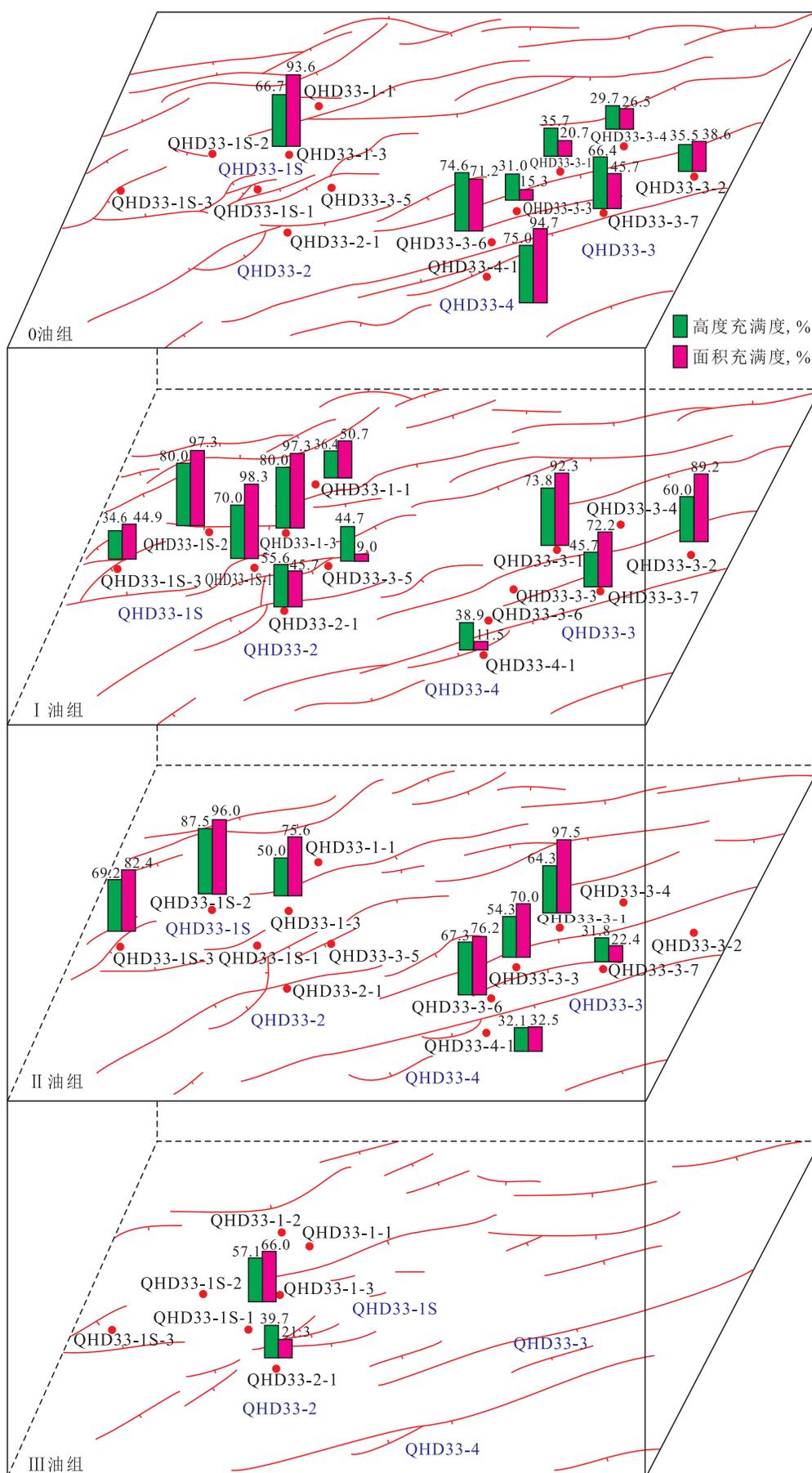


图2 石臼坨凸起岩性油藏充满度分布特征

Fig.2 Fullness degree distribution of the lithology oil reservoir in the Shijiutuo uplift

1S油田岩性油藏高度充满度为26.6%~87.5%，面积充满度为31.6%~96.0%；QHD33-3油田的高度充满度为30.5%~67.3%，面积充满度为14.6%~97.5%；少数发育在QHD33-4油田，高度充满度为32.1%，面积充满度为32.5%。

对于明下段Ⅲ油组，岩性油藏发育在QHD33-1S和QHD33-2油田(图2)，两者高度充满度分别为57.1%和39.7%，面积充满度分别为66.0%和21.3%。

从研究区明下段各油组岩性油藏充满度的平面分布特征来看，其具有一定的不均衡性，但总体上，岩性油藏主要发育在QHD33-1S和QHD33-3油田，充满度变化范围比较大；岩性油藏在QHD33-2和QHD33-4油田发育相对较少，充满度变化范围相对比较小。

### 2.2 纵向分布具有差异性

从研究区明下段岩性油藏充满度统计结果来看，纵向上，明下段0油组高度充满度为16.1%~75.0%，平均为41.1%；面积充满度为6.0%~94.7%，平均为43.3%。I油组高度充满度为29.4%~80.0%，平均为54.2%；面积充满度为9.0%~98.3%，平均为60.5%。II油组高度充满度为26.6%~87.5%，平均为49.7%；面积充满度为14.2%~97.5%，平均为58.2%；III油组高度充满度为39.7%~57.1%，平均为48.4%；

面积充满度为21.3%~66.0%，平均为43.7%。

从各油田岩性油藏充满度的纵向分布来看(图2)，QHD33-1S油田岩性油藏主要发育在I和II油组，纵向上充满度在I油组普遍偏高；QHD33-3油田岩性油藏主要发育在0和II油组，纵向上充满度在II油组普遍偏高；QHD33-2油田岩性油藏主要发育在I和III油组，QHD33-4油田岩性油藏主要发育在0、I和II油组，充满度均较低。

纵观明下段0、I、II、III油组(图2)，I油组岩性油藏充满度普遍偏高，III油组充满度偏低。整体来看，自明下段底部III油组到上部0油组，充满度整体呈现逐渐增大后又逐渐减小的特征，在I油组充满度达到最大值。

## 3 充满度主控因素

根据石臼坨凸起明下段油气分布规律，在油气成藏要素系统分析的基础上，对充满度的主控因素进行了研究，明确了构造形态、砂体几何形态、断层活动性和断砂耦合关系等对充满度的控制作用。

### 3.1 构造形态

根据石臼坨凸起构造发育特点，可将其进一步划分为背斜区、掀斜断块区和斜坡区(图3)；

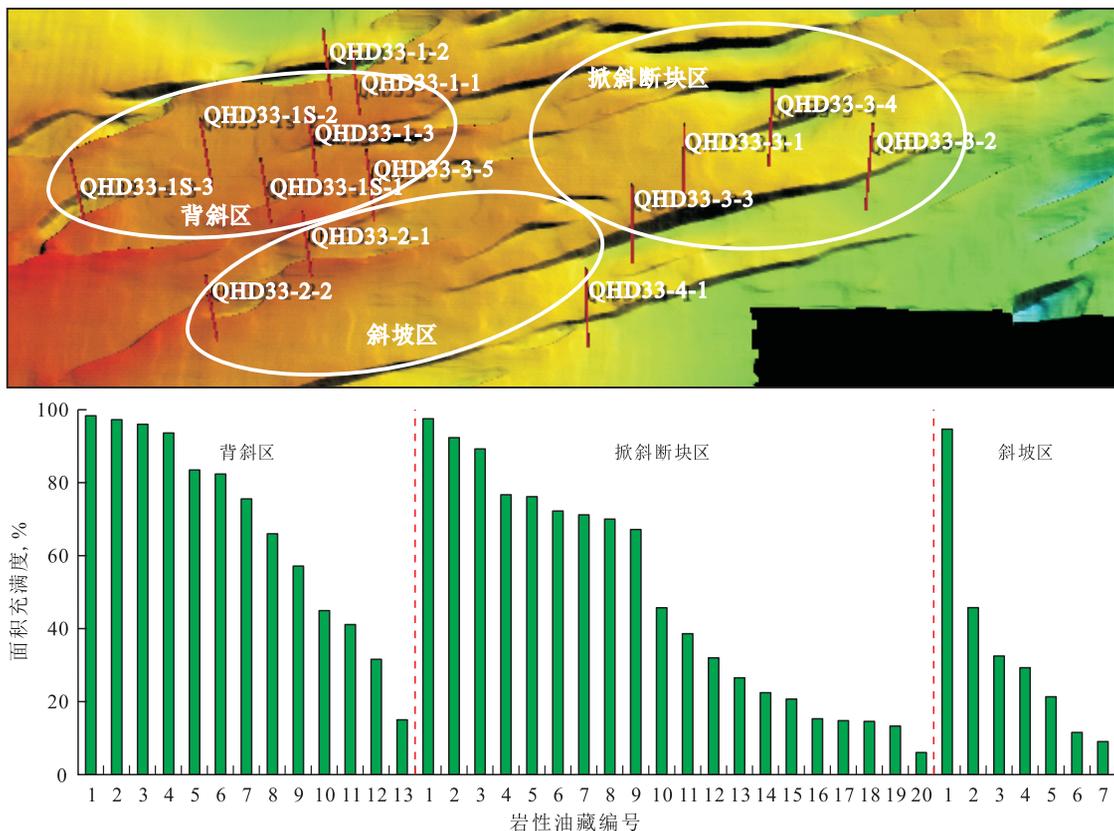


图3 石臼坨凸起构造形态与充满度分布

Fig.3 Structural shape and fullness degree distribution in the Shijiutuo uplift

QHD33-1S构造位于背斜区,QHD33-3构造位于掀斜断块区,QHD33-2和QHD33-4构造位于斜坡区。从各构造钻遇的岩性油藏充满度统计结果来看,背斜区充满度普遍较高,面积充满度为15.0%~98.3%,平均为67.9%,面积充满度大于50%的岩性油藏占69.2%;掀斜断块区充满度次之,面积充满度为6.0%~97.5%,平均为48.8%,面积充满度大于50%的岩性油藏占45.0%;斜坡区充满度普遍较低,面积充满度为11.5%~94.7%,平均为34.9%,面积充满度大于50%的岩性油藏占14.3%。整体来看,充满度在背斜区、掀斜断块区和斜坡区呈现逐渐减小的趋势(图3),揭示了构造形态控制岩性油藏充满度平面分布的差异性。

### 3.2 砂体几何形态

石臼坨凸起岩性油气藏主要发育在明下段浅水三角洲砂体中,充满度在一定程度上反映了砂体的油气聚集程度。在相同的油气充注情况下,砂体本身几何形态影响充满度的大小<sup>[11]</sup>。从砂体的幅度、面积和长宽比等3个方面入手,对其与充满度之间的关系进行了研究(图4)。

砂体幅度对充满度具有明显的控制作用,无论是高度充满度还是面积充满度均整体与砂体幅度呈现负相关关系(图4),即随着砂体幅度的增加,充满度呈现逐渐减小的趋势。充满度主要分布在幅度小于45 m的砂体,并且变化范围比较大,高度充满度为26.6%~87.5%,面积充满度为15.0%~98.3%,砂体幅度大于45 m,充满度普遍偏低,整体在50%以下。

砂体面积与充满度总体呈现负相关关系(图4),砂体面积越大,充满度呈现降低的趋势。统计分析也进一步表明,岩性油藏主要发育在面积小于4.5 km<sup>2</sup>的砂体之中,充满度相对集中。砂体面积小于4.5 km<sup>2</sup>,无论是高度充满度还是面积充满度与砂体面积之间并不具有相关性,均呈杂乱分布的特征,并且分布范围比较广,高度充满度为15.0%~87.5%,面积充满度为16.1%~98.3%,在砂体面积大于4.5 km<sup>2</sup>之后,充满度普遍较低,整体在40%以下。

砂体的长宽比与充满度总体上呈现负相关关系(图4),随着砂体长宽比的增大,充满度呈现降低的趋势,但砂体长宽比越小,充满度分布越集中。

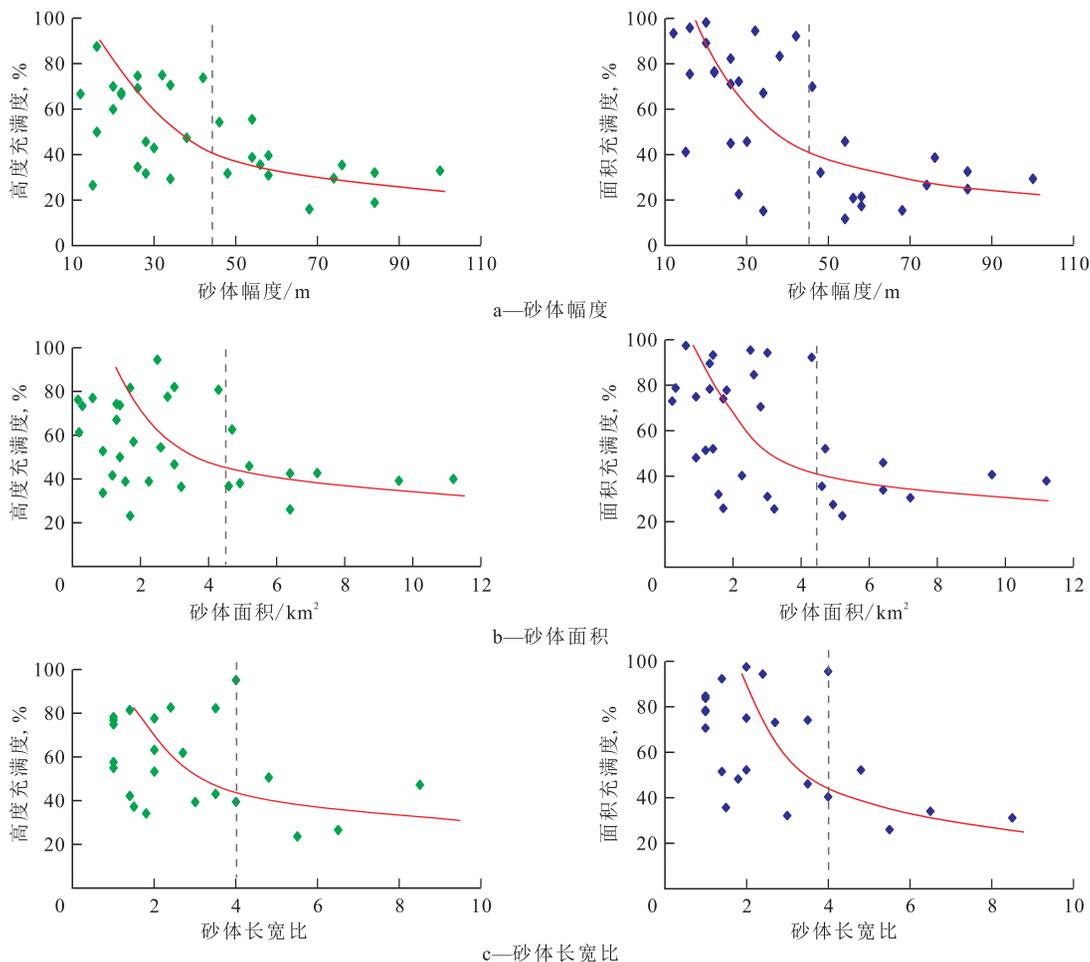


图4 石臼坨凸起砂体几何形态与充满度分布关系

Fig.4 Relationship between fullness degree distribution and sandbody geometry in the Shijiutuo uplift

当砂体长宽比小于4时,无论是高度充满度还是面积充满度整体上都较大并且分布比较集中,充满度多数都大于40%;当砂体长宽比大于4时,充满度零星分布且小于40%,这也在一定程度上表明,砂体的形态越接近朵体、席状,充满度越大。

### 3.3 断层活动性

油气成藏条件分析表明,石臼坨凸起晚期断裂的发育对油气成藏具有重要的控制作用,断层活动性的差异导致了断层对油气输导能力的不均衡性,进一步影响了岩性圈闭的充满度。从对石臼坨凸起40余个岩性油藏充满度与断距的统计分析来看(图5),当断距小于35 m时,充满度变化范围比较大,高度充满度最小为26.6%,最大可达87.5%,面积充满度最小为15.0%,最大可达98.3%;当断距超过35 m,无论是高度充满度还是面积充满度,均随着断距的增大而减小。

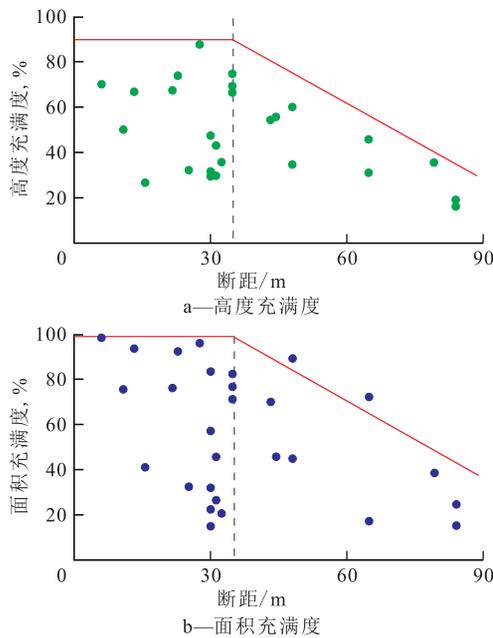


图5 石臼坨凸起断层活动性与充满度的关系

Fig.5 Relationship between fullness degree distribution and fault activity in the Shijiuotuo uplift

### 3.4 断层与砂体接触长度

关于断-砂耦合对油气成藏的控制作用前人已经做过很多研究<sup>[15-17]</sup>,但对充满度的控制作用研究相对较少。石臼坨凸起晚期断裂多数切割浅水三角洲前缘砂体,形成一系列受断裂控制或影响的岩性圈闭。断层与砂体之间的接触长度在一定程度上反应了断-砂耦合关系,从对充满度的控制作用来看,断层与砂体接触长度小于4.5 km时,砂体内油聚集程度高,充满度多大于40%,断层与砂体接触长度大于4.5 km,砂体内油聚集程度较弱,充满度比较低,均小于40%(图6)。

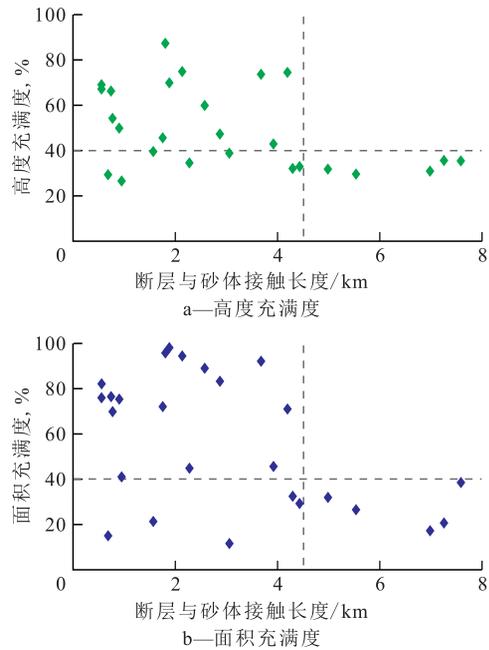


图6 石臼坨凸起断层与砂体接触长度与充满度分布关系

Fig.6 Relationship between fault-sandbody contact length and fullness degree distribution in the Shijiuotuo uplift

## 4 结论

石臼坨凸起新近系明下段岩性油藏充满度变化较大,高度充满度为16.1%~87.5%,平均为47.5%;面积充满度为6.0%~98.3%,平均为52.6%,充满度超过50%以上的砂体占统计砂体的1/2以上。岩性油藏充满度平面分布具有不均衡性,岩性油藏主要发育在QHD33-1S和QHD33-3油田,充满度变化范围比较大;纵向分布具有差异性,从明下段底部到上部,充满度整体呈现逐渐增大后又逐渐减小的特征,以I油组充满度最高。

岩性油藏充满度主要受构造形态、砂体几何形态、断层活动性、断层与砂体接触长度等因素的控制。构造形态控制了充满度平面分布的差异性,充满度在背斜区、掀斜断块区和斜坡区呈现逐渐减小的趋势。砂体几何形态与充满度之间整体具有负相关关系,幅度小于45 m的平缓砂体,油气聚集程度比较高;面积小于4.5 km<sup>2</sup>的砂体,油气聚集程度高,容易形成小而肥的岩性油气藏;长宽比小于4的砂体充满度多数大于40%。断层活动性和断层与砂体接触长度对充满度的控制具有分段性,断距小于35 m、断层与砂体接触长度小于4.5 km的砂体,其充满度比较集中并且多数大于40%。

### 参考文献:

[1] 刘君荣,王晓文,赵忠新,等.南堡凹陷拾场次洼的构造-沉积特

- 征及其对岩性油藏勘探的影响[J].石油与天然气地质,2014,35(5):601-608.
- Liu Junrong, Wang Xiaowen, Zhao Zhongxin, et al. Tectonic-sedimentary characteristics and their influences on the forming of lithologic hydrocarbon reservoirs in the Shichang Subsag of the Nanpu Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(5): 601-608.
- [2] 龚再升, 王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 1-7.
- Gong Zaisheng, Wang Guocun. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea[J]. Acta Petroli Sinica, 2001, 22(2): 1-7.
- [3] 周心怀, 牛成民, 腾长宇. 环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 469-475.
- Zhou Xinhuai, Niu Chengmin, Teng Changyu. Relationship between faulting and hydrocarbon pooling during the Neotectonic movement around the central Bohai Bay[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 469-475.
- [4] 卿颖, 张敬艺, 汪浩源, 等. 南堡凹陷高南斜坡古近系岩性油藏勘探实践[J]. 特种油气藏, 2013, 20(6): 48-51.
- Qing Ying, Zhang Jingyi, Wang Haoyuan, et al. Exploration practices of lithologic reservoir of Palaeogene Dongying Formation in Gaonan Slope of Nanpu sag[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(6): 48-51.
- [5] 朱伟林, 李建平, 周心怀, 等. 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 575-582.
- Zhu Weilin, Li Jianping, Zhou Xinhuai, et al. Neogene shallow water deltaic system and large hydrocarbon accumulations in Bohai Bay, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4): 575-582.
- [6] 曾溅辉, 张善文, 邱楠生, 等. 济阳坳陷砂岩透镜体油气藏充满度大小及其主控因素[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(6): 729-732.
- Zeng Jianhui, Zhang Shanwen, Qiu Nansheng, et al. Degree of oil-gas charged in lens-shaped sand body in Jiyang depression and its main controlling factors[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(6): 729-732.
- [7] 曾溅辉, 张善文, 邱楠生, 等. 东营凹陷岩性圈闭油气充满度及其主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 219-222.
- Zeng Jianhui, Zhang Shanwen, Qiu Nansheng, et al. Trap fill of lithologic pools and its main controlling factors in Dongying sag[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 219-222.
- [8] 张善文, 曾溅辉, 肖焕钦, 等. 济阳坳陷岩性油气藏充满度大小及分布特征[J]. 地质论评, 2005, 50(4): 365-369.
- Zhang Shanwen, Zeng Jianhui, Xiao Huanqin, et al. Oil-gas filling degree and distribution characteristics of the lithological oil-gas reservoir in the Jiyang depression[J]. Geological Review, 2005, 50(4): 365-369.
- [9] 李家强. 临南洼陷岩性油气藏油气充满度主控因素及其模糊综合评价[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(3): 36-42.
- Li Jiaqiang. Main factors controlling filling degree of lithologic reservoirs and its fuzzy comprehensive evaluation, Linnan Sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(3): 36-42.
- [10] 陈科贵, 张学才, 何家雄, 等. 渤海湾盆地济阳坳陷胜利油区岩性油气藏形成的充满度主控因素剖析[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 366-369.
- Chen Kegui, Zhang Xuecai, He Jiaxiong, et al. The analysis of main controlling factors in filling degree of the lithological oil-gas reservoir in Shengli Oilfield of Jiyang sag, Bohaiwan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3): 366-369.
- [11] 闫长辉, 陈青, 张善文, 等. 博兴洼陷储层非均质性对油气充满度的影响[J]. 断块油气田, 2007, 14(3): 19-21.
- Yan Changhui, Chen Qing, Zhang Shanwen, et al. Influence of reservoir characteristics of sandstone body on fill degree[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2007, 14(3): 19-21.
- [12] 易海永, 李爱国, 罗潇, 等. 渝东地区石炭系气藏充满度的影响因素分析[J]. 天然气工业, 2002, 22(增刊): 20-22.
- Yi Haiyong, Li Aiguo, Luo Xiao, et al. Analysis of the factors influencing full-up coefficients of Carboniferous gas reservoirs in east Chongqing[J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(Supplement): 20-22.
- [13] 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 160-161, 265.
- Zhang Houfu, Fang Chaoliang, Gao Xianzhi, et al. Petroleum geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 160-161, 265.
- [14] 武守诚. 石油资源地质评价导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 191.
- Wu Shoucheng. Introduction of geologic evaluation on petroleum resources[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 191.
- [15] 贾光华, 高永进, 宋建勇. 博兴洼陷古近系红层油气成藏期“源—相—势”耦合关系——以金26井—滨斜703井剖面为例[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(3): 1-9.
- Jia Guanghua, Gao Yongjin, Song Jianyong. Study on “source-facies-potential” coupling relationship during oil and gas accumulation in Paleogene red beds, Boxing subsag—a case study of the section Jin26-Binxie703[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(3): 1-9.
- [16] 郭涛, 李慧勇, 石文龙, 等. 渤海海域埕北低凸起及周围地区构造沉积特征及有利勘探目标[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(2): 28-32, 38.
- Guo Tao, Li Huiyong, Shi Wenlong, et al. Tectonic-sedimentary characteristics and favorable exploration targets in the Chengbei low uplift and neighboring regions in Bohai Sea area[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(2): 28-32, 38.
- [17] 李月, 胥凯, 颜世永, 等. 含油气盆地油气输导体系分析[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(1): 32-36.
- Li Yue, Xu Kai, Yan Shiyong, et al. Study on hydrocarbon carrier system in petroliferous basins[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 32-36.