

渤海湾盆地黄河口凹陷 BZ34-9 油田新生界 “断裂-岩浆”联合控藏作用

杨海风,徐长贵,牛成民,杨波,陈磊,郭涛,邬静,宿雯

[中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300459]

摘要:综合运用区域地质、三维地震、测井、地球化学、岩石薄片和 X-衍射等多种资料,重点针对控制渤海湾盆地黄河口凹陷中洼南部斜坡带新生界岩浆岩发育区碎屑岩油气成藏的关键因素进行了研究。作者认为研究区断裂活动与岩浆喷发的时空有序耦合对油气的成藏起到了明显的控制作用,主要表现在以下3个方面:①“断裂-岩浆”联动控制坡中隆起带的形成及规模性圈闭的发育;②“断裂-岩浆”时空有序配置利于深部古近系优质碎屑岩储层的发育;③“断裂-岩浆”耦合共同控制油气差异富集。在这些认识的指导下,在黄河口凹陷中洼南部斜坡带成功发现一个规模大、产能高的优质油田,发现储量近 $8\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$,最高单井日产近 290 m^3 。

关键词:“断裂-岩浆”耦合;油气成藏;黄河口凹陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Joint control of the Cenozoic faults and magma on hydrocarbon accumulation in BZ34-9 oilfield in Huanghekou Sag, Bohai Bay Basin

Yang Haifeng, Xu Changgui, Niu Chengmin, Yang Bo, Chen Lei, Guo Tao, Wu Jing, Su Wen

(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China)

Abstract: The study is based on integration of various data, such as regional geologic, 3D seismic, well logging and geochemical data, as well as thin section and SEM observation. Its target is the key factors controlling hydrocarbon accumulation in the clastic rock reservoirs within the Cenozoic magma developing areas on the southern slope of the central low in Huanghekou Sag, Bohai Bay Basin. The result shows that the spatial and temporal coupling of fault activities and magma eruptions plays a pronounced role in controlling the hydrocarbon accumulation as follows: (1) the combination of fault and magma activities controls the formation of uplift zones on the slope and development of sizable traps; (2) the spatial and temporal coupling of faults and magma benefits the development of deeply buried Palaeogene clastic reservoirs of high quality; (3) the fault and magma jointly controls the differential hydrocarbon accumulation. Under the guidance of the cognition, a large and highly productive oilfield is discovered with reserves of nearly 80 million cubic meters and the highest single-well daily production in the oilfield is nearly 290 cubic meters.

Key words: fault and magma coupling, hydrocarbon accumulation, Huanghekou Sag, Bohai Bay Basin

受太平洋板块向中国大陆俯冲消减诱发的陆内裂谷作用控制,渤海湾盆地经历了中生代与新生代两个裂陷旋回,形成了大量的中酸性和中基性岩浆岩^[1]。尤其是在新生代孔店期-沙河组街四段沉积期(沙四期)、沙三期、沙二期-东营期和馆陶期等4个主要岩浆活动期,在渤海湾盆地的北部和东部发育了大量中基性喷出岩^[2]。目前已在辽河拗陷热河台与欧利坨

子,冀中拗陷廊固凹陷、黄骅拗陷南堡凹陷风化店地区和济阳拗陷惠民凹陷、东营凹陷与沾化凹陷等多个地区均发现新生界岩浆岩油藏^[3]。从现有的勘探发现和研究成果看,普遍认为岩浆岩只能作为油气储层或致密的岩浆岩作为相关碎屑岩油气藏的侧向遮挡条件。而有关岩浆热液对周围碎屑岩储层的影响尚有不同认识。有学者认为岩浆热液携带较高含量的二氧化碳,

收稿日期:2017-11-01;修订日期:2018-07-17。

第一作者简介:杨海风(1984—),男,博士、高级工程师,石油地质。E-mail: yangh3@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05024-002-006);中海石油(中国)有限公司综合科研项目(YXKY-2017-TJ-01)。

利于碎屑岩储层内次生孔隙的发育;但多数学者认为,高温岩浆水与硅质碎屑岩的交互作用易形成碳酸盐脉、绿泥石脉等矿物充填孔隙和裂缝,降低储集性能^[4-5]。且岩浆作用携带的无机二氧化碳进入砂岩储层后,砂岩孔隙介质呈弱酸性,促使一些不稳定的组分和长石发生蚀变,并造成新矿物沉淀。近两年,渤海海域黄河口凹陷中洼南部斜坡带岩浆岩发育区 BZ34-9 大中型优质油田的发现,初步展示出与岩浆岩相伴生的碎屑岩领域的油气勘探潜力。本文即结合该地区的最新勘探成果,重点探讨了断裂与岩浆耦合作用及其对火山岩发育区碎屑岩领域油气成藏的控制作用。

1 区域地质概况

黄河口凹陷位于渤海湾盆地渤中坳陷南部,北邻渤南低凸起、南接莱北低凸起和垦东凸起,东部和西部分别以东北向走滑断裂为界与庙西凹陷和沾化凹陷相连,面积约 3 300 km²(图 1)^[5]。该凹陷是渤海三大富烃凹陷之一,具有北断南超的半地堑结构,可分为中央隆起带、BZ29-35 构造脊、西洼、中洼和东洼等 5 个次级构造单元。其中,中洼还可以进一步细分为中洼南部斜坡

带,北部断阶带和中部次洼^[6-9]。早期在中央隆起带与 BZ29-35 构造脊以新近系为主要勘探目的层系相继发现了 BZ28—BZ34 区和 BZ29—BZ35 区等一系列大中型油气田群。自 2012 年,在黄河口中洼南部斜坡带按照“模式指导、立体勘探、深浅兼顾”的勘探思路指导下,部署实施了一批探井,相继获得高产油流,成功发现和评价了该区首个大中型优质油田——BZ34-9 油田,发现储量近 $8\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$,最高单井日产量近 290 m³。

2 BZ34-9 油田特征

BZ34-9 油田在新近系明化镇组、馆陶组,古近系东营组和沙河街组多层系成藏,具有“复式成藏”的特点。其中,古近系油层多集中分布在东三段和沙一、二段,油藏类型为层状构造油藏,油藏埋深为 2 435.6 ~ 3 268.3 m。原油性质具有粘度低、胶质+沥青质含量中等、含蜡量高、含硫量低以及凝固点高的特点,地面原油密度(20℃)为 0.850 ~ 0.876 g/cm³,原油粘度(50℃)为 5.61 ~ 14.06 mPa·s,胶质沥青质含量为 8.88% ~ 11.77%,含蜡量为 14.45% ~ 23.34%,含硫量为 0.131% ~ 0.483%,凝固点为 22 ~ 30℃。

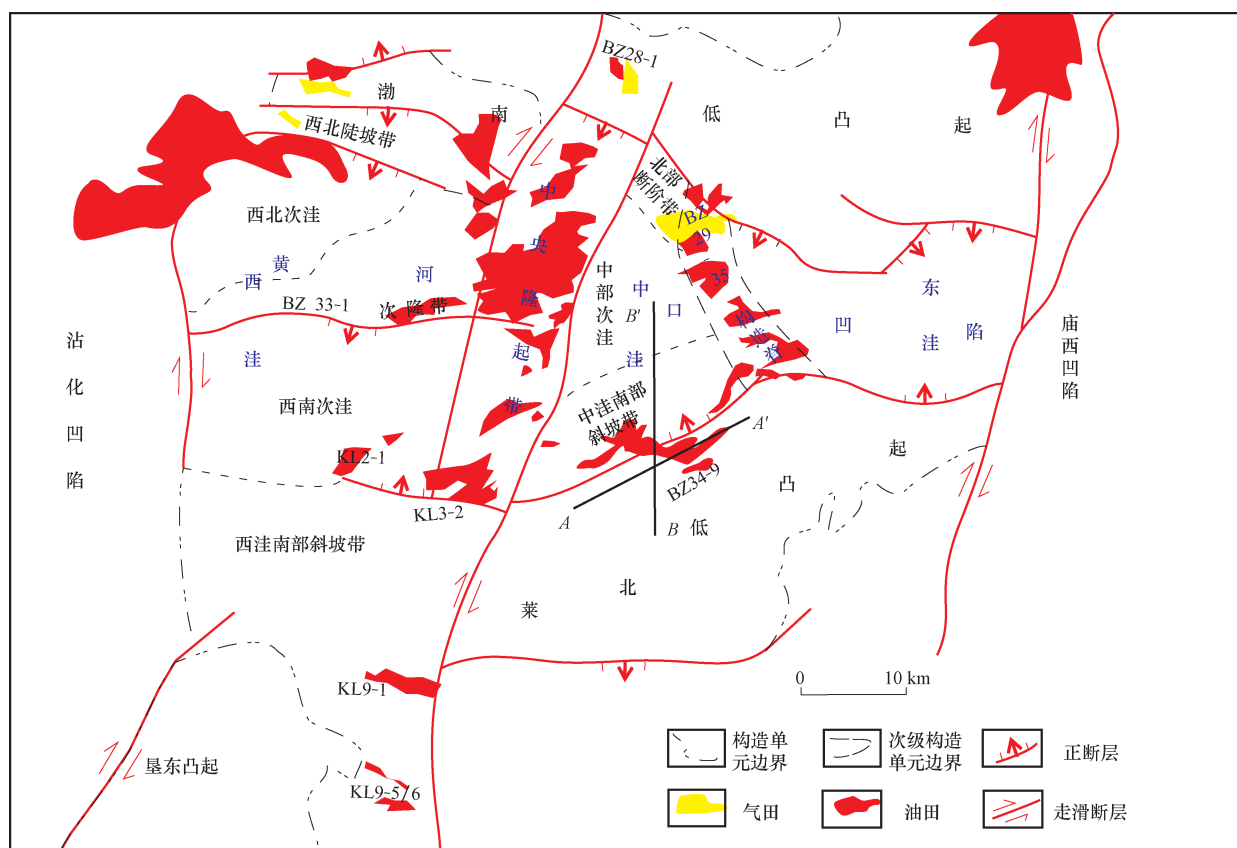


图 1 黄河口凹陷构造纲要及主要油气田分布(据文献[5],修改)

Fig. 1 Structure outline and locations of the major oil and gas fields in Huanghekou Sag(modified from reference[5])

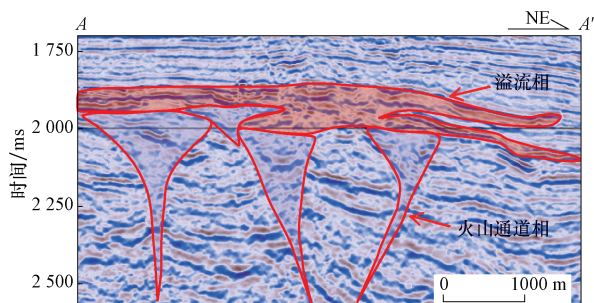


图2 黄河口凹陷中洼南部斜坡带 BZ34-9 油田古近系火山机构地震反射特征(剖面位置见图1)

Fig. 2 Reflection characters of the Paleogene volcanic edifice in BZ34-9 oilfield on the southern slope of the central low in Huanghekou Sag (see Fig. 1 for profile location)

已钻井在古近系揭示多层火山岩,井震标定结果表明研究区火山岩具有典型的地震反射特征,如火山通道相具有锥状几何形态,内部为弱振幅、中-高频率和杂乱反射结构;溢流相和次岩浆岩相为中-强振幅、中-低频率、连续性好、平行和亚平行反射结构(图2)。岩性分析结果显示,东一、东二段沉积时期发生了大规模的火山活动,发育累计厚度为 85.0 ~ 410.6 m 水下喷发的溢流相和爆发相火山岩,岩性可见玄武岩、辉绿岩、凝灰岩和安山岩,但以致密玄武岩为主。主力含油层东三段和沙一、沙二段除局部发育少量玄武岩和辉绿岩外,主要发育辫状河三角洲沉积,储层岩性为中、细粒岩屑长石砂岩。其中,沙一、沙二段砂岩孔隙度为 17.0% ~ 20.7%,平均为 18.9%,渗透率为 $134.6 \times 10^{-3} \sim 349.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $253.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为中孔-中渗储层;东三段砂岩平均孔隙度为 19.4%,平均渗透率为 $736.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为中孔-中高渗储层。

3 “断裂-岩浆”联合控藏作用与油气富集

BZ34-9 油田规模成藏的特殊性与该区经历过的岩浆活动密切相关。岩浆活动与断裂活动的动态合理匹配,碎屑岩储层发育的地质环境以及与火山机构空间有序配置关系等是研究区油气成藏和富集的关键因素。

3.1 坡中隆起带的形成及构造圈闭的发育

陆相断陷湖盆斜坡带是深洼区油气运移的优势指向,具有发育“多套含油层系、多种油藏类型、油气平面叠合连片”的有利地质条件,但斜坡带的油气分布往往具有单体油藏规模小的特点^[10-11]。其主要原因在于陆相断陷湖盆斜坡带的构造背景往往难以形成规模性的构造圈闭。在对研究区区域构造运动特征、断裂形

成机制以及岩浆活动演化规律系统分析的基础上,认为在多期断裂活动和多期岩浆喷发活动的共同控制作用下,在简单斜坡带内形成了一个正向构造单元:东西长约 20 km,南北宽近 8 km,相对隆起幅度约 200 m 左右的坡中隆起带,为大规模构造圈闭的发育奠定了基础。经三维地震资料落实, BZ34-9 构造东营组整体发育被断裂复杂化的断背斜型圈闭,圈闭面积合计达 40 km²,圈闭幅度为 50 ~ 130 m。该坡中隆起带的演化可分为锥形期、发展定型期和改造期 3 个阶段(图3)。

3.1.1 坡中隆起带锥形期

新生代古新世—始新世,研究区受 NNE 向右旋弱走滑与近 SN 向水平强拉张应力耦合控制,主要发生强烈断陷活动,并在南部斜坡带发育了以近 EW 走向为主的拉张性控凹断裂体系。由于其切穿基底深度有限,无法大规模沟通上地幔岩浆房,造成岩浆岩活动主要沿走滑断裂和拉张-走滑断裂零星发育,且岩浆活动规模较小^[12](图3a)。但该时期岩浆上涌喷发对当时地貌形态起到了一定的影响,形成多个局部高点,是坡中隆起带发育的锥形期。

3.1.2 坡中隆起带发展定型期

晚始新世—渐新世,郯庐断裂带受太平洋板块开始向正西方向加速俯冲、日本海扩张派生的 NE-SW 向挤压影响,发生强烈的右旋走滑运动,在黄河口凹陷中洼南部斜坡带的东西两侧各发育一组右旋走滑断裂^[13]。受双支右旋走滑断裂夹持影响,早期发育的近 EW 向断裂体系表现出共轭左旋走滑断裂特征。同时,近 EW 向断裂活化深切至上地幔岩浆房,为幔源岩浆大规模的喷发提供了通道条件和动力基础(图3b)。该时期岩浆活动持续了近 9 Ma,多达 20 期以上,溢流相玄武岩成层状或片状分布,最大分布面积超过 60 km²。受岩浆上拱影响和走滑挤压作用共同控制,斜坡带内的坡中隆起带开始较快速发育。直至渐新世末期,整个渤海湾盆地进入裂后热沉降阶段,坡中隆起带的宏观构造格局基本定型。

3.1.3 坡中隆起带改造期

新近纪—第四纪,太平洋板块受弧后扩张作用的控制,向中国东部大陆持续俯冲。郯庐走滑断裂带整体呈现较强的右旋活动特征,致使先存断裂的再活化,并在新近系密集发育小型次级断裂(图3c)。但该期构造运动仅对古近系的坡中隆起构造起到破碎作用,并控制着新近系断块型圈闭群的发育。

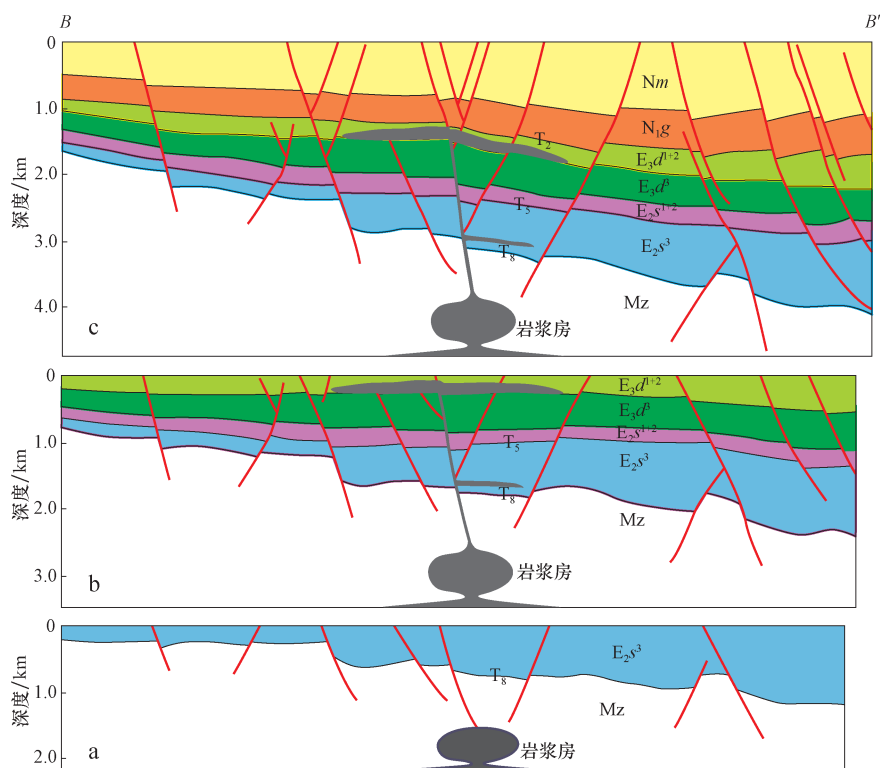


图3 黄河口凹陷中洼南部斜坡带与 BZ34-9 坡中隆起带构造发育史(剖面位置见图1)

Fig. 3 Slope zone on the southern slope of the central low in Huanghekou Sag and structural development history of the uplift on the central slope of BZ34-9 oilfield(see Fig. 1 for profile location)

a. 古新世—始新世; b. 晚始新世—渐新世; c. 新近纪—第四纪

3.2 古近系优质储层发育的有利条件

对 BZ34-9 古近系储层微观特征及其形成机理研究发现,古近纪岩浆喷发活动对于(准)同沉积期碎屑岩优质储层的形成起到了建设性作用。这种建设性作用表现在时间和空间的有序配置两个方面。

时间有序配置方面,早期岩浆喷发形成的碱性水体环境和晚期与烃类相伴生的有机酸充注的耦合利于(准)同沉积期碎屑岩储层次生孔隙的发育。

晚始新世—渐新世,研究区湖盆水体受大规模的水下玄武质岩浆喷发产生的不稳定组分强烈水解作用的影响,形成大量 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Si^{4+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 等阳离子,水体环境整体偏碱性。由于粘土矿物中蒙皂石易在贫 K^+ 、富 Na^+ 和 Ca^{2+} 的碱性介质中形成,并且在相对富含 Mg^{2+} 的碱性地层水参与的成岩过程中,蒙皂石易转化为绿泥石/蒙皂石混层,并最终演变为绿泥石^[13-14]。渐新统东一段和东二段砂岩镜下薄片可见较多的绿泥石呈颗粒包膜状态赋存(图 4a, b),其形成主要与此水体环境密切相关。而绿泥石包膜不仅可抑制石英次生加大边的形成,还能相对增强石英颗粒表面水岩环境的碱性程度,利于石英颗粒的溶蚀。在古

近系砂岩镜下薄片,可见到石英颗粒的次生加大现象非常少、石英颗粒多被溶蚀的现象(图 4c)。亦有研究表明,在贫 K^+ 的碱性水介质条件下,粘土矿物在成岩过程中可抑制伊利石的形成,促使高岭石向绿泥石转变^[15],即粘土矿物成分应当出现绿蒙混层含量增加,高岭石和伊利石含量相应减少的趋势,这也与实际化验结果一致(图 5)。此外,易溶矿物沸石易于形成于富钠和高 pH 值(9.1 ~ 9.9)的孔隙水环境^[16],而研究区东一段和东二段砂岩中在碎屑颗粒间与岩浆岩屑气孔内都见到含量较高的沸石(图 4b, d)。这些碎屑颗粒间的沸石往往形成于早成岩阶段,具有较好的抗压实用,利于原生孔隙的保存。

下伏地层东三段、沙一段、沙二段和沙三段砂岩中粘土矿物的成分则与东一段、东二段有着明显的不同。伊蒙混层矿物含量随深度增加递增,而绿蒙混层矿物含量从东一段和东二段到东三段迅速降低,东三段中下部,高岭石含量明显升高,伊利石含量持续增加(图 5)。表明东三段沉积时期整体水体为正常淡水,但受东三段沉积时期零星岩浆喷发活动的控制,仍局部发育碱性水介质,形成少量沸石(图 4e)。少量钾长石的钠长石化和石英溶蚀现象也反映成岩后期有碱性

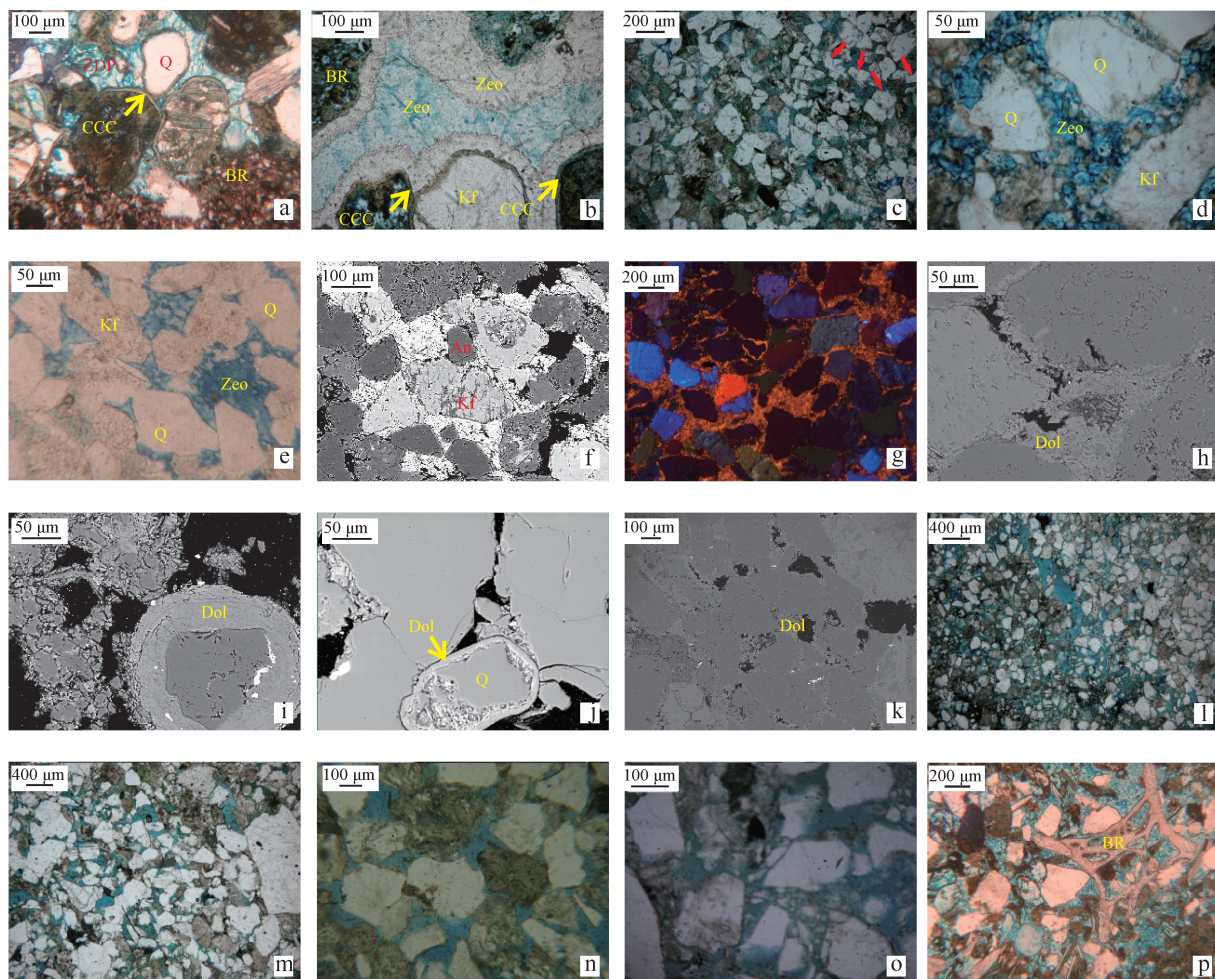


图4 BZ34-9构造古近系砂岩储层岩石薄片和扫描电镜特征

Fig. 4 Thin section and SEM features of the Paleogene sandstone reservoir in BZ34-9 structure, Huanghekou Sag

a. 沸石溶蚀孔隙 (ZDP)、绿泥石粘土膜 (CCC) 与玄武岩岩屑 (BR), BZ34-9-1 井, 埋深 2 280 m, E_3d^1 , 单偏光; b. 沸 (Zeo) 石广泛发育, 绿泥石液压形成绿泥石粘土膜 (CCC), BZ34-9-1 井, 埋深 2 351 m, E_3d^1 , 单偏光; c. 沸石充填与溶蚀, 石英溶蚀为港湾状, 岩浆岩屑发育变形较弱、颗粒点接触, BZ34-9-1 井, 埋深 2 944 m, E_3d^3 , 单偏光; d. 粒间填充沸石, BZ34-9-1 井, 埋深 2 265 m, E_3d^1 , 单偏光; e. 少量沸石沸石充填、颗粒点接触, BZ34-9-1 井, 埋深 2 944 m, E_3d^3 , 单偏光; f. 钾长石 (Kf) 的钠长石化 (An), 背散射, BZ34-9-1 井, 埋深 2 944 m, E_3d^3 ; g. 栎壳状白云石, CL, BZ34-9-1 井, 埋深 3 084 m, E_2s^2 , 阴极发光; h. 栎壳状铁白云石, BZ34-9-1 井, 埋深 3 084 m, E_2s^2 , 背散射; i. 白云石 (Dol) 包裹石英颗粒, BZ34-9-1 井, 埋深 3 037 m, E_2s^1 , 背散射; j. 表皮鲕, BZ34-9-1 井, 埋深 3 060 m, E_2s^1 , 背散射; k. 白云石保护粒间孔, BZ34-9-1 井, 埋深 3 084 m, E_2s^2 , 背散射; l. 岩屑岩屑变形较弱、粒间孔发育, BZ34-9-1 井, 埋深 3 045 m, E_2s^1 ; m. 岩屑岩屑变形程度弱、粒间孔发育, BZ34-9-1 井, 埋深 3 037 m, E_2s^1 ; n. 岩屑岩屑变形程度较弱、粒间孔发育, BZ34-9-1 井, 埋深 3 081 m, E_2s^2 ; o. 颗粒点接触、局部颗粒呈漂浮状, BZ34-9-1 井, 埋深 2 925 m, E_3d^3 ; p. 沸石充填, 颗粒呈悬浮状, 酸性岩浆岩屑变形较弱、长轴状玄武岩岩屑 (BR) 未挤压破裂, BZ34-9-1 井, 埋深 2 351 m, E_3d^1

流体参与 (图 4c, f)。沙一段和沙二段砂岩内粘土矿物主要以伊利石及伊蒙混层为主, 高岭石与绿泥石含量较低 (图 5)。这一时期沉积水体受岩浆喷发与大气淡水的影响均较弱, 但栎壳状白云石包壳和白云石包裹石英形成的表皮鲕反映了沉积时水介质为弱碱性^[17], 说明沙一段和沙二段储层仍在一定程度上受到零星岩浆活动的影响, 或者是在早成岩阶段受到上覆地层碱性水体环境的影响 (图 4g—l)。含铁白云石沿颗粒周围呈栎壳状分布的特征, 进一步说明了 (准) 同沉积期生成的白云石在深埋阶段的碱性还原孔隙流

体中转化为铁白云石^[18]。沙三段砂岩内未见明显的碱性水体特征, 粘土矿物成分主要为伊利石和伊蒙混层 (图 5)。

从东一段、东二段到沙三段流体性质及粘土矿物特征来看, (准) 同沉积期的水下岩浆喷发活动可形成碱性水体环境, 利于绿泥石、沸石、白云石和铁白云石等易溶矿物的发育, 并能抑制石英次生加大等破坏性成岩作用的发生, 利于原始孔隙的保存。距今 5.1 Ma 以来, 新构造运动使得近 EW 向断裂再次活化成为可供油气垂向运移的通道, 这一时期也是黄河口凹陷东

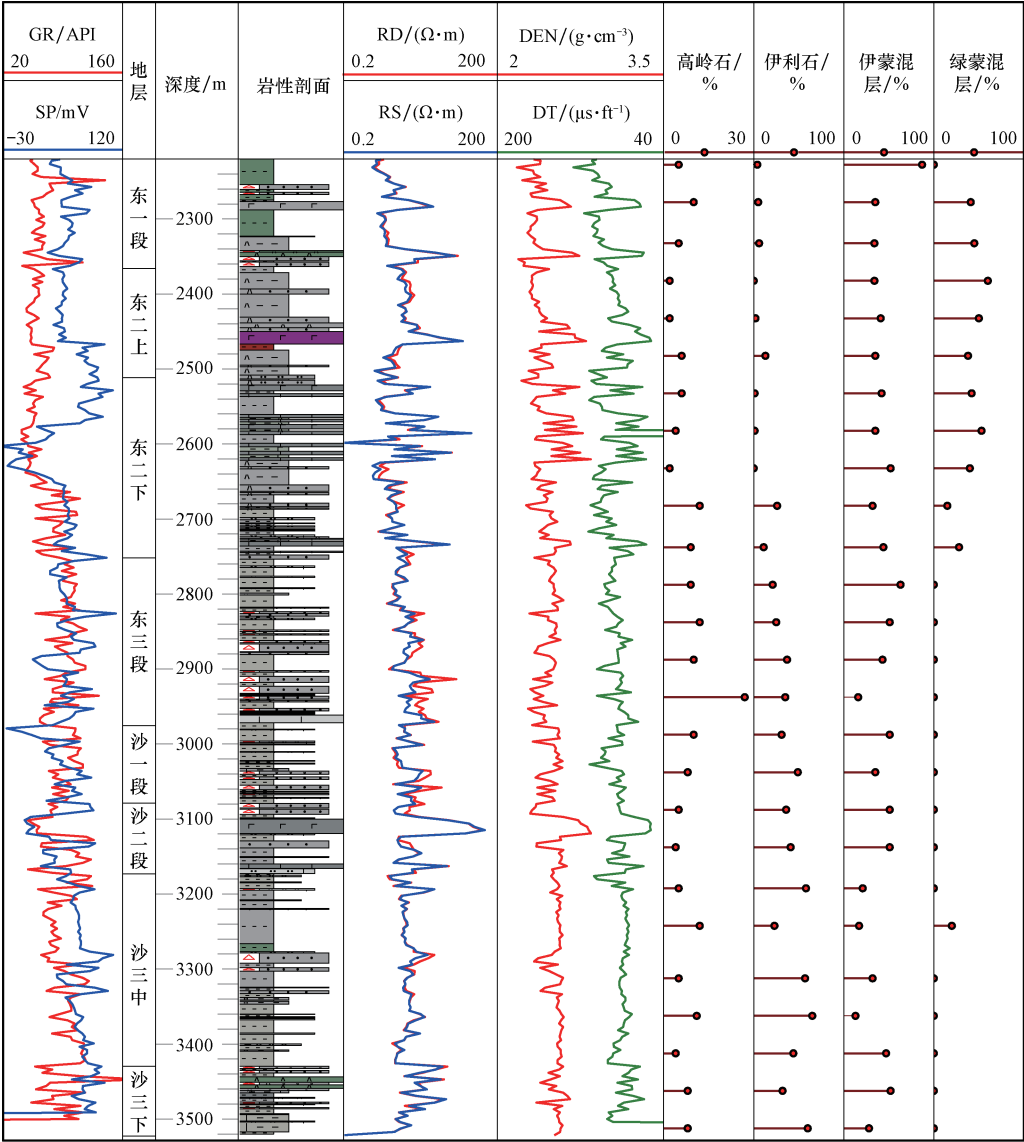


图 5 黄河口凹陷 BZ34-9 构造古近系粘土矿物含量变化特征

Fig. 5 Variation of clay mineral content in the Paleogene in BZ34-9 structure, Huanghekou Sag

注主力烃源岩(沙三段)主生烃与排烃期^[19]。由于有机质在热演化过程中可释放出有机酸,并与烃类共同沿输导断层进入上覆储层内^[20]。有机酸可使早期碱性水体环境下形成的易溶矿物发生溶蚀,形成次生孔隙^[21]。铸体薄片和扫描电镜下均可见到联通性较好的溶蚀粒间孔和溶蚀颗粒孔(图 4a,c)。

在空间配置方面,东一段和东二段呈层状展布的火山岩体与柱状火山通道相配置,利于下伏碎屑岩储层原生孔隙的保存。

由于火山岩往往具有硬度大和密度大的特点,通常情况下,在上覆厚层高密度和高硬度火山岩的重力作用下,会对下伏碎屑岩储层产生更大的压实作用,但研究区的实际钻探结果却显示压实作用明显较弱^[22]。在埋深达 3 000 m 左右时,岩石薄片下仍见到大量的

岩浆岩屑变形较弱,且可见颗粒以点接触为主,部分颗粒呈漂浮状分布的特征,粒间孔普遍较为发育(图 4c,k,q),明显不同于渤海湾其它相近深度区岩石样品薄片的微观特征(颗粒接触紧密,以线接触为主,局部呈凹凸接触或点接触的特征^[22])。声波时差测井资料显示,中深层厚层玄武岩之下地层与上覆地层相比明显处于欠压实状态^[22],而欠压实作用发育部位与玄武岩底板的分布均具有较好的对应关系。这些现象均指示火山岩可能对下伏碎屑岩的机械压实起到了缓冲作用(图 6)。

进一步利用铸体薄片对研究区主力含油层系(东三段)砂岩储层样品和围区(渤中凹陷和秦南凹陷)火山岩不发育区的同一地层、相近埋深条件的东三段砂岩样品(BZ2-1-2 井和 QHD29-2E-4 井)进行储

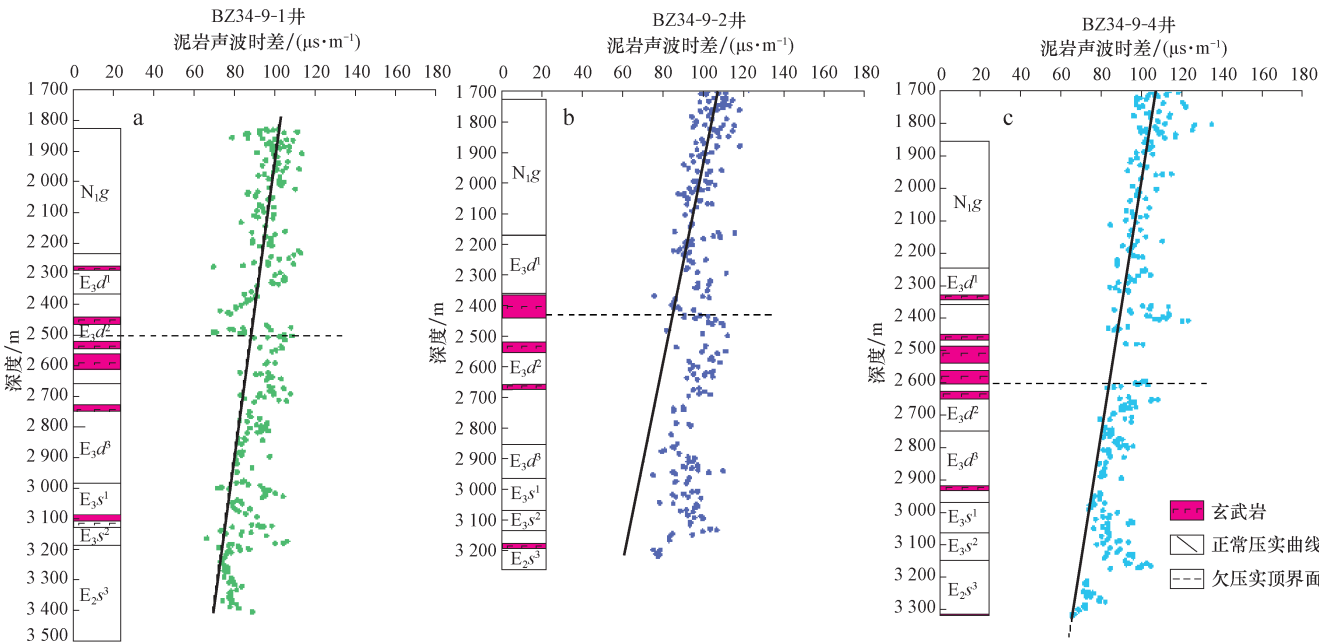


图 6 黄河口凹陷 BZ34 - 9 构造泥岩声波时差与埋深相关关系 (据文献[22]修改)

Fig. 6 Correlation between mudstone interval transit time and burial depth in BZ34 - 9 structure, Huanghekou Sag (modified from reference[22])

层孔隙度定量统计,并应用 Lundegard 压实作用和胶结作用的减孔率公式^[23]对砂岩储层的减孔量进行了系统计算和对比分析。结果表明,在同等胶结作用强度下,火山岩之下砂岩的压实作用减孔量明显要低近 10%(图 7)。

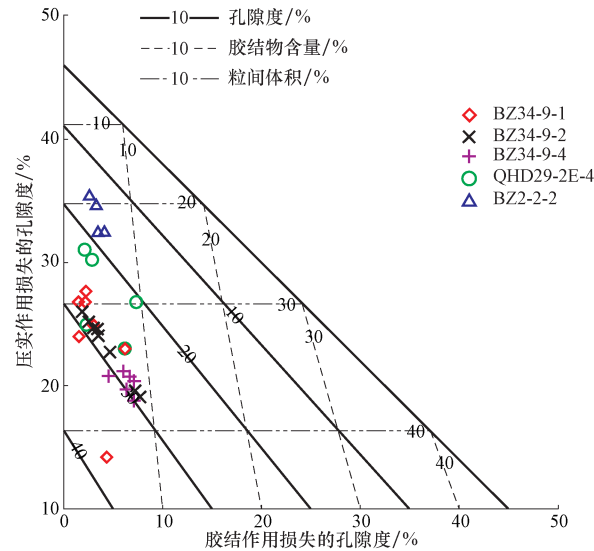


图 7 黄河口凹陷 BZ34 - 9 构造与秦南凹陷、渤中凹陷东三段储层压实作用导致的损失孔隙度和胶结作用导致的损失孔隙度特征

Fig. 7 Porosity reduction from compaction vs. porosity reduction from cementation in the 3rd member of Dongying Formation in BZ34 - 9 structure of Huanghekou Sag, in Qinnan Sag and in Bozhong Sag

这些现象表明,平面展布的溢流相火山岩体与垂向分布的火山通道可能形成“拱桥效应”,有效减缓了下伏地层的机械压实作用,保护了火山岩之下碎屑岩储层原生孔隙。

3.3 油气垂向差异富集的控制因素

水下喷发的岩浆组分中的挥发成分难以逃逸,较难形成气孔且裂缝不发,孔隙连通性较差,可作为良好的油气盖层。而其厚度的大小决定了其封盖油气的能力,其厚度越大封盖能力也就越强^[12,24]。BZ34 - 9 油田的钻探也已表明,有 73% 的油气储量分布于火山岩下东三段和沙河街组(图 8),充分反映了岩浆岩起到了良好的盖层作用。但由于黄河口凹陷新近系主要为河流相为主的沉积环境,不具备发育烃源岩的地质条件,火山岩之上分布的烃类均应主要来自深部古近系沙河街组烃源岩。显然,断至烃源岩的近 EW 向断层作为新近系油气运移的重要通道(图 8),其活动能力的强弱将决定输导油气能力的大小,活动能力越强,相对抵消盖层封阻油气垂向运移的作用应越大。火山岩盖层厚度与断穿火山岩的油源断层的最大断距的比值(C/F),则能在一定程度上代表盖层被断层破坏的程度。该值越大,表明盖层的保存条件越好,断层的垂向输导能力相对较弱。通过对不同井区 C/F 值与火山岩上部新近系和下部古近系油气成藏的储量规模进行相关分析之后,发现当 $C/F > 1.6$ 时,随着 C/F 值的

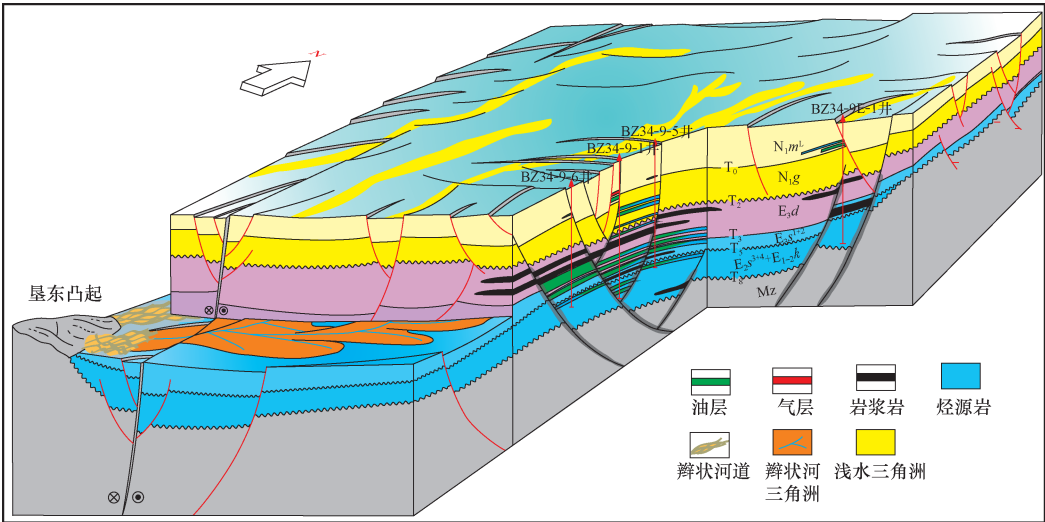


图 8 黄河口凹陷 BZ34-9 油田油气成藏模式

Fig. 8 Hydrocarbon accumulation pattern in BZ34-9 oilfield, Huanghekou Sag

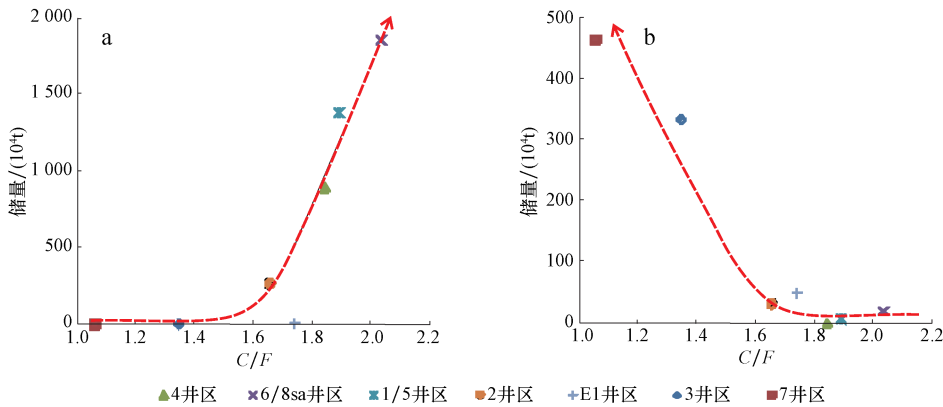


图 9 黄河口凹陷 C/F 值与岩浆岩上部 and 下部储量相关关系

Fig. 9 Correlation of C/F value and oil reserves in the upper and lower part of magmatic rocks in Huanghekou Sag

a. 岩浆岩下古近系储量 - C/F 相关关系, b. 岩浆岩上新近系储量 - C/F 相关关系

增大,火山岩下古近系油气储量也越大(图 9a),火山岩之上新近系储量规模则相反(图 9b)。

4 结论

- 1) 受多期断裂活动和多期岩浆喷发活动的联合控制作用,在黄河口凹陷中洼南部斜坡带形成了一个正向构造单元——坡中隆起带,并控制着规模性构造圈闭的发育与定型,为 BZ34-9 油田的形成奠定了基础。
- 2) “断裂-岩浆”时空有序配置利于古近系优质储层发育。在时间有序配置方面,在早期岩浆喷发形成的碱性水体环境和晚期与烃类相伴生的有机酸充注的地质条件下,利于(准)同沉积期碎屑岩储层次生孔隙的发育;在空间配置方面,东一段和东二段发育的呈层状展布的火山岩体与柱状火山通道相配置利于下伏碎屑岩储层原生孔隙的保存。
- 3) 新生界火山岩发育程度与断层活动强度的耦

合程度,控制着火山岩之上和之下地层油气的差异成藏与富集。当火山岩盖层厚度与断穿火山岩的油源断层的最大断距之间的比值(C/F)大于 1.6 时, C/F 值与火山岩下油气储量呈近乎正相关的关系,与火山岩之上地层的油气储量则呈近乎负相关的关系。

参 考 文 献

[1] 赵文智,邹才能,李建忠,等. 中国陆上东、西部地区火山岩成藏比较研究与意义[J]. 石油勘探与开发,2009,36(1):1-11.
Zhao Wenzhi,Zou Caineng,Li Jianzhong,et al. Comparative study on volcanic hydrocarbon accumulations in western and eastern China and its significance[J]. Petroleum Exploration and Development,2009,36(1):1-11.

[2] 金春爽,乔德武,淡伟宁. 渤海湾盆地中、新生代岩浆岩分布及油气藏特征[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):19-29.
Jin Chunshuang,Qiao Dewu,Dan Weining. Meso-Cenozoic volcanic rock distribution and reservoir characteristics in the Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology,2012,33(1):19-29.

[3] 操应长,姜在兴,邱隆伟,等. 渤海湾盆地第三系火成岩油气藏成藏

- 条件探讨[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2002, 26(2): 6-10.
- Chao Yingchang, Jiang Zaixing, Qiu Longwei, et al. Study on forming conditions for oil and gas reservoirs of Tertiary igneous rock in Bohai bay basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2002, 26(2): 6-10.
- [4] 王大锐, 张映红. 渤海湾油气区火成岩外变质带储集层中碳酸盐胶结物成因研究及意义[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(2): 40-42.
- Wang Darui, Zhang Yinghong. A study on the origin of the carbonate cements within reservoirs in the external metamorphic belt of the Bohai Bay oil-gas bearing region. [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(2): 40-42.
- [5] 薛永安, 杨海风, 徐长贵. 渤海海域黄河口凹陷斜坡带差异控藏作用及油气富集规律[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(4): 65-74.
- Xue Yongan, Yang Haifeng, Xu Changgui. Differential reservoir-controlling effect and hydrocarbon enrichment of slope zone in Huanghekou sag, Bohai Bay Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(4): 65-74.
- [6] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 1-10.
- Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. Dominating action of Tanlu fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 1-10.
- [7] 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 Xinhui, et al. Neogene shallow water deltaic system and large hydrocarbon accumulations in Bohai Bay, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4): 575-582.
- [8] 刘小平, 周心怀, 吕修祥, 等. 渤海海域油气分布特征及主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 497-509.
- Liu Xiaoping, Zhou Xinhui, Lü Xiuxiang, et al. Hydrocarbon distribution features and main controlling factors in the Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 497-509.
- [9] 强昆生, 吕修祥, 周心怀, 等. 渤海海域黄河口凹陷油气成藏条件及其分布特征[J]. 现代地质, 2012, 26(4): 792-800.
- Qiang Kunsheng, Lv Xiuxiang, Zhou Xinhui, et al. Accumulative conditions and distribution characteristics of hydrocarbon in Huanghekou Depression, offshore Bohai Bay Basin[J]. Geoscience, 2012, 26(4): 792-800.
- [10] 牛嘉玉, 冯有良, 鲁卫华, 等. 中国东部陆相湖盆层序类型与岩性圈闭发育特征[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 18-22.
- Niu Jiayu, Feng Youliang, Lu Weihua, et al. Sequence type and lithologic trap distribution in lacustrine basin of east China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(4): 18-22.
- [11] 严德天, 王华, 王清晨. 中国东部古近系一新近系典型断陷盆地幕式构造旋回及层序地层特征[J]. 石油学报, 2008, 29(2): 185-190.
- Yan Detian, Wang Hua, Wang Qingchen. Episodic tectonic cycles and sequence pattern of the tertiary rifted basins of east China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(2): 185-190.
- [12] 陈磊, 杨波, 宿雯, 等. 黄河口凹陷南斜坡新生代断裂构造特征及演化[J]. 东北石油大学学报, 2016, 40(5): 28-37.
- Chen Lei, Yang Bo, Su Wen, et al. Features and evolution of fault structures in the southern slope of Huanghekou sag in Cenozoic[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2016, 40(5): 28-37.
- [13] Robert C. Late Quaternary variability of precipitation in Southern California and climatic implications; clay mineral evidence from the Santa Barbara Basin, ODP Site 893 [J]. Quaternary Science Reviews, 2004, 23(9-10): 1029-1040.
- [14] Gingele F X, De Deckker P D, Norman M. Late Pleistocene and Holocene climate of SE Australia reconstructed from dust and river loads deposited off shore the River Murray Mouth [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2007, 255: 257-272.
- [15] Biscaye B E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic ocean and adjacent seas and oceans [J]. Geol Soc Am Bull, 1965, 76: 803-832.
- [16] Hay R L. Zeolites and zeolitic reaction in sedimentary rocks [M]. New York: The Geological Society of America, INC., 1966: 105-165.
- [17] Warren J. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations [J]. Earth-Science Reviews, 2000, 52(1): 1-81.
- [18] Machel H G, Lonnee J. Hydrothermal dolomite—a product of poor definition and imagination [J]. Sedimentary Geology, 2002, 152(3/4): 163-171.
- [19] 胡雄, 梁为, 李洋冰, 等. 黄河口凹陷流体包裹体成藏年代和充注期次研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2014, 33(6): 868-873.
- Hu Xiong, Liang Wei, Li Yangbing, et al. Research on the age of hydrocarbon accumulation and filling history of fluid inclusions in Huanghekou Depression [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2014, 33(6): 868-873.
- [20] 马永生, 蔡勋育, 赵培荣, 等. 深层超深层碳酸盐岩优质储层发育机理和“三元控储”模式——以四川普光气田为例[J]. 地质学报, 2010, 84(8): 1087-1094.
- Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Zhao Peirong, et al. Formation mechanism of deep-buried carbonate reservoir and its model of three-element controlling reservoir: A case study from the Puguang oilfield in Sichuan [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(8): 1087-1094.
- [21] 黄福堂, 邹信方, 张作祥. 地层水中主要酸类对储层物性影响因素研究[J]. 大庆石油地质与开发, 1998, 17(3): 7-9.
- Huang Futang, Zou Xinfang, Zhang Zuoxiang. Effect of major acids in formation water on physical properties of reservoir [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daging, 1998, 17(3): 7-9.
- [22] 柴永波, 杨波, 王清斌, 等. 黄河口凹陷 BZ34 区火山岩对砂岩压实特征的影响[J]. 地质科技情报, 2016(1): 80-86.
- Chai Yongbo, Yang Bo, Wang Qingbin, et al. A contrastive analysis on the impact of volcanic rock on compaction of BZ34 area in Huanghekou Depression [J]. Geological Science and Technology Information, 2016(1): 80-86.
- [23] Lundegard P D. Sandstone porosity loss: A “big picture” view of the importance of compaction [J]. Journal of Sedimentary Research, 1992, 62: 250-260.
- [24] 史集建, 吕延防, 付广, 等. 松辽盆地徐家围子断陷火山岩盖层封气能力综合定量评价[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 424-431.
- Shi Jijian, Lü Yanfang, Fu Guang, et al. Synthetically and quantitatively assessing gas-sealing ability of volcanic cap rocks in the Xujia-weizi Sag of the Songliao Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(3): 424-431.