

文章编号:1001-6112(2012)02-0140-05

渤海湾盆地潜山油气藏勘探潜力与方向

李欣¹, 闫伟鹏¹, 崔周旗², 郭彬程¹, 梁坤¹, 张涛³

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油天然气股份有限公司 华北油田分公司, 河北 任丘 062552; 3. 中国石油集团工程设计有限责任公司 华北分公司, 河北 任丘 062552)

摘要:渤海湾盆地潜山勘探历经40余年,通过勘探历程与发现规律分析认为,以10年为一个阶段,潜山勘探经历了规模发现阶段、勘探低迷阶段、缓慢发现阶段,目前正处于新的勘探阶段。深层资源研究证实油气资源丰富,潜山勘探具有坚实的资源基础。潜山勘探现状分析表明,潜山类型、潜山勘探层系、勘探深度、不同勘探区域勘探程度等方面存在不均衡现象,并在不均衡中孕育着巨大的勘探潜力。辽河拗陷兴隆台潜山与冀中拗陷牛东深潜山的勘探表明,深层变质岩和碳酸盐岩储层具有较好的储集性能,未来潜山勘探深度将不断加深,4 000 m以下将成为勘探的热点;潜山类型将由以风化壳型为主向潜山内幕型转变,凹中、凹边隆起(凸起)是内幕潜山勘探的重点;潜山勘探发现具有明显的拗陷接替式,黄骅拗陷、辽河拗陷的滩海以及以往受认识局限制约的低勘探程度区将成为勘探重点。通过勘探程度等条件分析,大兴—固安、曙北—牛心坨、长芦、王官屯—乌马营、燕南、笔架岭、海月等26个潜山带勘探潜力较大。随着工艺技术的进步与成藏认识的提升,潜山勘探必将形成一轮新的规模发现。

关键词:潜山油气藏;勘探阶段;勘探潜力;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Prospecting potential and targets of buried-hill oil and gas reservoirs in Bohai Bay Basin

Li Xin¹, Yan Weipeng¹, Cui Zhouqi², Guo Bincheng¹, Liang Kun¹, Zhang Tao³

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China;
2. North China Oilfield Company, PetroChina, Renqiu, Hebei 062552, China;
3. North China Branch Company, China Petroleum Engineering, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract: The buried hills in the Bohai Bay Basin have experienced over 40 years' exploration. And based on its exploration course and rules, the buried hill exploration is divided into four stages by ten years, including scale discovery stage, downturn stage, slow discovery stage and new stage. It is indicated from deep resource study that hydrocarbon resource is abundant and buried hill exploration is based on ample resource. It is shown from current situations that buried hill exploration is unbalanced in types, exploration series of strata, depth and degrees, which provides immense prospecting potential. From the exploration practices in Archaean metamorphic rock buried hill in Xinglongtai of the Liaohe Depression and in Wumishan deep buried hill in Niudong of the Jizhong Depression, buried hill exploration will be subsequently conducted in the deeper reservoirs and those below 4 000 m will be the hot spots of exploration. The principal type of buried hills varies from weathering crust to internal buried hill. Central sags and swells are the focused exploration targets of internal buried hills. And the exploration presents obvious depression replacement. Attentions are paid on the beaches in the Huanghua Depression and the Liaohe Depression and those areas with low exploration degree. In terms of exploration degree, 26 buried-hill zones present higher exploration potential, including Daxing - Gu'an, Shubei - Niuxintuo, Changlu, Wangguantun-Wumaying, Yannan, Bijialing, Haiyue and so on. New discoveries will be surely realized in the exploration of buried hills.

Key words: buried hill oil-and-gas reservoirs; exploration stage; prospecting potential; Bohai Bay Basin

渤海湾盆地为大型叠合(或残留)盆地,东临胶—辽隆起区,西接太行山隆起区,南北分别被鲁

西隆起区和燕山褶皱带所限,面积约 20×10^4 km²,总体上呈不规则的菱形^[1]。历经40余年的勘探,

收稿日期:2011-08-02;修订日期:2012-01-19。

作者简介:李欣(1975—),男,博士后,高级工程师,从事石油地质综合研究。E-mail: yjy_lx@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05043-001)资助。

截至2010年底,渤海湾盆地已在冀中、辽河、黄骅、济阳、渤中5个拗陷内发现并探明69个古潜山油气田,累计探明石油地质储量 14×10^8 t,约占渤海湾石油总探明储量的10%;探明天然气地质储量 580×10^8 m³,约占渤海湾天然气总探明储量的22%。已发现有中生界、上古生界、下古生界、中上元古界和太古界5套含油层系。中生界以碎屑砂岩和火山岩为主,石炭—二叠系为碎屑砂岩,寒武—奥陶系以灰岩为主,中上元古界以硅质白云岩为主,太古界以花岗片麻岩为主^[2-7]。潜山类型既有风化壳型,也有潜山内幕型。近年来,辽河拗陷大民屯与兴隆台变质岩潜山内幕勘探取得了重要突破;冀中拗陷霸县凹陷牛东1井探索碳酸盐岩深潜山也获得成功,井深达到6 027 m,创渤海湾深层勘探新记录。

总体来看,潜山勘探程度相对较高,但也存在勘探层系、勘探深度、潜山类型、不同勘探区域勘探程度不均衡等现象,因此,也孕育着进一步深化勘探的潜力。同时,随着变质岩潜山内幕成藏与深层风化壳潜山成藏新认识的发展,以及针对性的欠平衡钻井等工程工艺技术的进步,潜山勘探依然存在较大潜力。

1 潜山勘探历程

1972年,济阳拗陷义和庄凸起沾11井奥陶系灰岩获得千吨高产油流,从而掀起了渤海湾碳酸盐岩潜山找油热潮,同年,辽河拗陷兴213井在太古宇混合花岗岩获高产油气流;1975年,冀中拗陷发现了任丘中上元古界碳酸盐岩潜山大油田,渤海湾

盆地开始大规模潜山勘探。至今,潜山勘探大致经历了4个勘探阶段(图1):

(1)1985年之前,快速规模发现阶段:以冀中拗陷和辽河拗陷为主,主要目的层为中上元古界蓟县系白云岩和古生界奥陶—寒武系白云岩、灰岩,发现了任丘、八里庄、留北、雁翎、龙虎庄、郑州、永清、何庄、深西、顾辛庄、苏桥、曙光、欢喜岭、静安堡等潜山油气藏。

(2)1986—1995年,潜山勘探低迷阶段:以辽河拗陷为主,陆续发现了静安堡、法哈牛、边台、小洼等太古界变质岩潜山油气藏,但油气藏规模均较小。

(3)1996—2005年,潜山缓慢发现阶段:以济阳拗陷为主,发现了古生界奥陶系桩西、乐安、埕岛、富台灰岩潜山油气藏;在黄骅拗陷发现了千米桥奥陶系灰岩凝析油气藏,以及张东东中生界侏罗系砂岩油气藏;在渤中拗陷发现了锦州25-1S太古界变质岩潜山油气藏;在辽河拗陷大民屯和西部凹陷发现了静安堡、边台等太古界变质岩和元古界白云岩油气藏,并发现了牛心坨、欢喜岭中生界火山岩油气藏。

(4)2006年至今,潜山勘探新阶段:“十一五”以来,随着变质岩内幕潜山成藏认识的成熟,拓展了勘探深度与广度,加之钻井、测试技术的进步,深小潜山与潜山内幕勘探不断取得发现。该阶段在辽河拗陷太古界变质岩发现了兴隆台和大民屯2个亿吨以上规模储量区^[8-10];在冀中拗陷发现了牛东1深层潜山带以及长洋淀、孙虎等一批“小而肥”的潜山油气藏^[11];黄骅拗陷在歧口凹陷埕海地

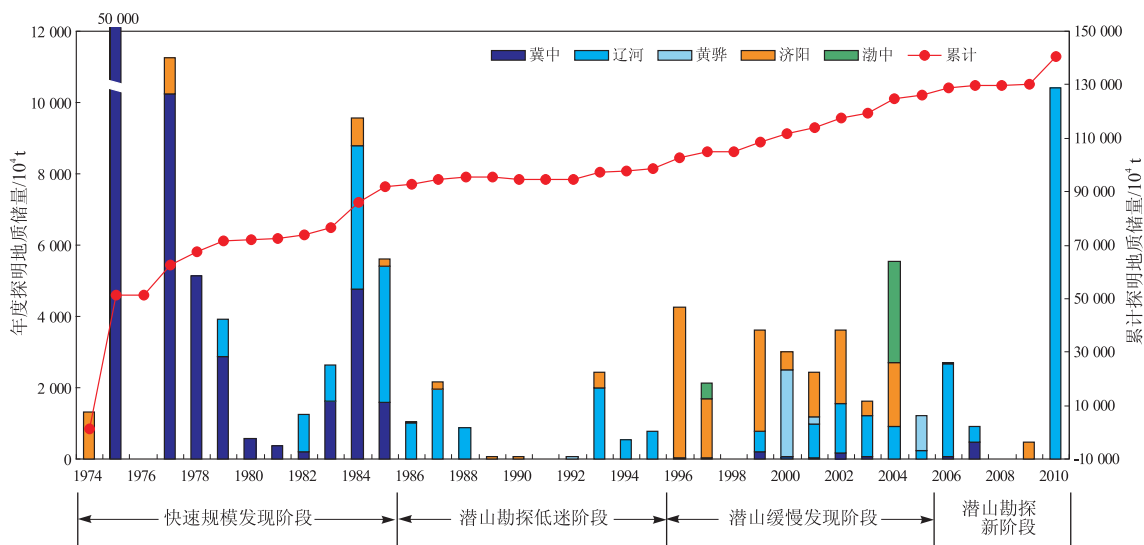


图1 渤海湾盆地潜山分年度与累计探明地质储量(油当量)

Fig. 1 Annual and accumulative proved OOIP (oil equivalent) of buried hills in Bohai Bay Basin

区古生界获得突破。潜山勘探步入新的规模发现阶段。

2 潜山勘探潜力

2.1 深层资源丰富

全国新一轮资源评价结果显示,惠民、辽河西部、东营、东濮、歧口和饶阳等6个凹陷深层剩余油气资源油当量均在 3×10^8 t以上,沾化—车镇、南堡、霸县和辽河东部凹陷深层的剩余资源油当量在 1.5×10^8 t以上^[12-13]。由于石炭—二叠系煤成烃量计算过小,中生界暗色泥岩和奥陶系灰岩生成烃类资源量尚未计算^[14],且近年来不断在古近系深层发现优质烃源岩,因此,以往对深层资源的评价远低于实际值^[15]。如2004年济阳坳陷王46井首次在孔店组发现烃源岩,实现了胜利油田勘探33年来的新突破,也提高了整个渤海湾深层孔店组的生烃能力^[16]。又如,冀中坳陷霸县凹陷钻探的兴隆1井与文安1井首次发现了古近系沙四段千余米优质烃源岩,而且成熟度较高^[17],牛东1井又发现了4800 m以下的中等—好烃源层。牛东1井天然气甲烷、乙烷、丙烷、丁烷碳同位素值分别为-38.7‰, -24.7‰, -23.7‰, -25.0‰,证实其油气来源确为冀中坳陷深层古近系源岩,彻底改变了该区天然气资源匮乏的传统认识,证实了冀中坳陷深层资源丰富、天然气气源充足。按照近距离运移、优先捕获油气的原则,深潜山比中、高潜山更具优先捕获油气的优势,深层勘探潜力巨大^[18]。

2.2 潜山勘探的不均衡与潜力

2.2.1 潜山内幕勘探程度较低

前人对渤海湾盆地潜山类型划分提出了多种分类方法,可以按照成因、潜山形态、所处构造位置、油水关系、储层岩性、发育时期、油源与储层时代、勘探难易程度等来分类^[19-26]。本次研究认为,遵照去繁从简、便于生产操作的原则,结合潜山层位、潜山岩性特征,按照其形态与成因划分为风化壳型潜山、潜山内幕两大类更为合理。

勘探已经证实,目前所发现的潜山油气藏中太古界的变质岩、中上元古界与下古生界的碳酸盐岩、中生界的火山岩均可形成风化壳型潜山。如渤海中坳陷CFD18-2太古界花岗岩潜山油气藏、辽河坳陷兴隆台潜山顶部中生界火山角砾岩和太古界混合花岗岩油气藏;碳酸盐岩风化壳潜山更为普遍,储集层主要有中上元古界的雾迷山组与高于庄组以及下古生界的奥陶系马家沟组与峰峰组地层,典型油气藏有任丘、曙光潜山以及河西务、苏桥、千

米桥、埕岛、义和庄、桩西、草桥潜山等。

潜山内幕油气藏的形成条件相对苛刻,按照岩性与形成机制可划分为3类:(1)碳酸盐岩潜山内幕。主要受控于封隔层泥质含量,大于30%时才有可能形成有效封隔,继而形成潜山内幕油气藏^[27]。以下古生界寒武系徐庄—毛庄—馒头组为封隔层、府君山组为储集层的代表性油气藏有冀中坳陷的南孟潜山、文古3井潜山油藏;以寒武—奥陶系的风山组、冶里—亮甲山组为储集层的代表性油气藏有济阳坳陷富台潜山油藏。此外,还有寒武系馒头组、青白口系长龙山组与景儿峪组等也可形成潜山内幕油气藏,但受地层分布的局限性控制,发现的油气藏数量少、规模小,典型代表有冀中坳陷南马庄潜山内幕。(2)变质岩潜山内幕。太古界变质岩潜山内部由于变质岩的非均质性,以及裂缝储层发育遵循“优势岩性”序列规则,可以形成似水平状潜山内幕油气藏^[28]。(3)砂岩潜山内幕。在元古界地层中主要以长城系常州沟组、大红峪组或青白口系景儿峪组石英砂岩为储集层,以辽河坳陷杜家台、曙光、静北潜山为代表^[29-30];石炭—二叠系砂岩潜山有苏桥潜山等;中生界砂砾岩潜山有义北、孤南、桩西、垦利潜山等^[31]。

由于以往潜山成藏认识的限制,早期潜山勘探以碳酸盐岩风化壳潜山为主,潜山内幕油气藏未能引起足够重视,一般进山50 m不见显示便完钻;其次,前期对于变质岩、火山岩等潜山内幕认识不清,直到近年才获得勘探决策者们的青睐。初步统计,已发现储量约86%以上为风化壳潜山型油气藏,潜山内幕油气藏探明程度低,未来的勘探潜力不容小觑。

2.2.2 勘探层系存在不均衡

从已探明潜山层位分析,虽已发现多套含油层系,但各层系勘探程度不均衡。其中,中上元古界探明储量最多,约占潜山总储量的51%;其次为古生界和太古界,分别占总储量的25%,21%;最后是中生界,仅占3%。在同一层系内,各地层组之间发现储量也差异较大。(1)中上元古界发现储量中,蓟县系雾迷山组碳酸盐岩储量占据绝大多数,发现集中在辽河坳陷与冀中坳陷,长城系碳酸盐岩与中上元古界的石英砂岩储量极少。(2)古生界探明储量以下古生界为主,其中又以奥陶系为主,占下古生界潜山探明储量的96%,除辽河坳陷外,其他4个坳陷奥陶系油藏均较发育。(3)中生界截至目前探明油气当量 $3\ 635 \times 10^4$ t,除冀中坳陷外,其他4个坳陷均有发现。(4)太古界潜山油藏

主要分布在辽河、渤中、济阳3个坳陷,均为变质岩,以辽河坳陷为主,已经探明石油地质储量 2.33×10^8 t。从潜山地层角度分析,冀中坳陷的凹边凸起及中央潜山带深层的太古界勘探程度较低;辽河坳陷东部凹陷的古生界及中生界勘探程度较低;济阳、渤中、黄骅坳陷古生界分布广,仍是勘探的重点,中生界与太古界已经发现了一些油气藏,勘探程度相对较低,仍为重要勘探领域。

2.2.3 勘探深度存在不均衡

一是受限于钻井、测试等工程技术,再是受限于深层能否成藏的认识不清,以往勘探多以4 000 m为限。统计表明,渤海湾已探明大于4 000 m的潜山油气藏油气当量为 2.63×10^8 t,约占潜山总储量的18.7%,深层勘探程度相对较低。从潜山勘探历史分析,2000年以前,除冀中坳陷的郑州、苏桥、深西、台家庄等潜山油气藏外,其他坳陷大于4 000 m埋深仅发现了桩西潜山油气藏;2000年以来,陆续发现了长洋淀、宁古8、文古3、千米桥、海古1、富台、渤南、埕岛、兴隆台等深潜山。特别是兴隆台与牛东潜山带的突破,再次证实碳酸盐岩、变质岩等潜山储层受后期压实作用影响小,物性好,油气源有多深,潜山油气藏就可能有多深,深层勘探潜力巨大^[1]。因此,也需要重新认识渤海湾深层油气资源与深层潜山储层。

2.2.4 勘探区域存在不均衡性

一方面,由于受技术条件的制约,特别是海上钻井、压裂改造等技术的限制,辽河、黄骅坳陷滩海以及渤中海域总体勘探程度较低,潜山勘探处于起步阶段。如歧口凹陷近年来在埕北断阶发现了海古1潜山油藏,南堡凹陷的南堡1-89、唐180x2井分别在奥陶系和寒武系取得突破,在辽河坳陷南部滩海海月、燕南潜山带都见到了油气显示,上述地区的勘探潜力已经凸显而出。此外受地震资料采集处理等技术的限制,一些潜山带(目标)虽然已经发现苗头,但难以具体落实,导致勘探程度低。如廊固凹陷大兴潜山带,早在20世纪70年代重力异常图上,就发现固安地区存在一个北东走向、面积300 km²的重力异常高值带,近年来通过开展高精度重力、磁力、CEMP勘探以及二次三维地震采集、三维叠前时间大连片处理,才初步落实潜山圈闭。另一方面,受认识的局限,同一个坳陷或凹陷内,勘探存在区域不均衡。如,前期对变质岩潜山内幕成藏认识不清,辽河坳陷中央凸起潜山带、东部凹陷及冀中坳陷凹边凸起区等变质岩潜山发育区勘探程度低,可以作为未来的重点勘探方向;又如早期普

遍认为石炭—二叠系及中生界覆盖区古生界成藏条件差,其勘探程度相对较低,黄骅坳陷海古1井钻探成功证实,上古生界和中生界覆盖区碳酸盐岩受加里东—早海西期沉积间断、酸性水溶蚀及构造裂缝等储层建设性作用,可发育优质储层,并形成规模储量,由此,渤中、黄骅、济阳广大的中生界与上古生界覆盖区,勘探潜力得到大幅提升。

3 潜山勘探趋势与有利区

3.1 潜山勘探发展趋势

(1)从潜山勘探历程看,大致以10年为一个勘探阶段。潜山勘探在经历了早期的规模发现阶段、低迷阶段、缓慢发现阶段后,目前进入新的勘探阶段,预示着潜山勘探将掀起新的高潮。

(2)从潜山类型看,逐渐由早期的中浅风化壳潜山向深潜山、潜山内幕转变,潜山内幕特别是变质岩内幕正在成为重点,中生界火山岩、碎屑岩潜山勘探受到关注。早期以冀中坳陷任丘潜山、辽河坳陷曙光潜山为代表,集中发现了中上元古界碳酸盐岩风化壳潜山,随后在冀中坳陷发现了龙虎庄、苏桥等下古生界奥陶系风化壳潜山;中期在济阳坳陷发现了众多的奥陶系风化壳潜山;近期辽河大民屯、兴隆台变质岩内幕潜山与冀中深层牛东潜山的勘探表明,两者将是未来潜山勘探的重点领域。通过不同勘探阶段分层位探明油气当量分析,亦证实了该趋势(图2)。同时,随着潜山勘探的类型转变,潜山地层岩性也随之向变质岩、碎屑岩、火山岩以及碳酸盐岩多元化转变。

(3)从潜山勘探深度来看,正在向深层转变。近年来,冀中坳陷发现的长洋淀、宁古8、文古3、牛东1等潜山油气藏,埋深均大于4 000 m,特别是霸县凹陷深层牛东1井井底6 027 m未见油水界面,成为渤海湾盆地40余年勘探历史上最深的工业油气流井;辽河坳陷潜山内幕勘探过程中,于2005年在兴古7井突破了4 300 m的油气藏底界,2009年在

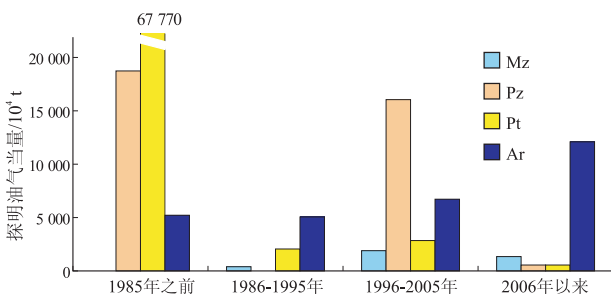


图2 渤海湾盆地不同勘探阶段分层位探明油气当量
Fig. 2 Proved oil and gas equivalent of each horizon during different exploration stages in Bohai Bay Basin

陈古3、马古8等井又将其拓展到了4 700 m,彻底颠覆了传统的2 720 m底界认识;济阳拗陷的埕岛、渤南、富台潜山油气藏埋深突破了4 000 m,最深达到4 885 m。由此可见,今后的潜山勘探,4 000 m以下的深层将是重点方向。

(4)从勘探主要拗陷分析,各拗陷由于地质条件的差异、认识程度的不同以及工程技术的发展,潜山勘探呈现出以拗陷(凹陷)为单元的接替式发现。第一阶段以冀中拗陷为主、辽河拗陷为辅;第二阶段以辽河拗陷为主;第三阶段以济阳拗陷为主,渤中和黄骅拗陷为辅。目前,冀中、辽河、济阳、渤中、黄骅5个拗陷的潜山探明石油地质储量分别占各拗陷探明总储量的57.14%,15.56%,4.06%,1.40%,0.51%。黄骅、渤中与济阳拗陷潜山探明储量相对较少,将成为未来潜山勘探重点区域。

3.2 潜山勘探方向与有利区

随着变质岩内幕与供油窗口大小控制潜山的含油气幅度等成藏认识的发展,以及二次三维地震采集处理解释一体化技术与深潜山、潜山内幕精确成像技术、欠平衡钻井与高效测试等技术的进步,埋藏深度不再是制约潜山勘探的短板,潜山内幕地层的识别与储层(裂缝)预测更加准确,使得深潜山与各种类型的潜山内幕勘探更加现实。

3.2.1 继续深化深层风化壳潜山勘探

按照变质岩、火山岩、碳酸盐岩多岩性、多层系勘探的思路,加强凹陷陡带坡脚、洼内低幅度深潜山的探索,并重新认识上古生界或中生界覆盖区,寻找前期勘探盲点,重点开展潜山成像研究、潜山面积识别与缝洞发育带预测。重点目标区有冀中拗陷霸县凹陷的牛东、廊固凹陷的大兴—固安潜山带;辽河拗陷西部凹陷的曙北—牛心坨、欢喜岭—齐家潜山带;黄骅拗陷歧口凹陷的长芦、刘岗庄、千米桥东潜山带;济阳拗陷的桩西、孤北潜山带等。

3.2.2 加强太古界变质岩、下古生界碳酸盐潜山内幕勘探

按照太古界变质岩、下古生界碳酸盐岩与上古生界砂岩多类型潜山内幕勘探的思路,加强凹中—凹边凸起(隆起)内幕、斜坡带内幕的勘探,并重新认识已发现风化壳潜山的内部,实现潜山之下找潜山,重点开展变质岩内幕的岩性与裂缝预测、碳酸盐潜山的内幕地层、封隔层分布和内幕圈闭识别。重点目标区有冀中拗陷凹边(凸起)的潜山内幕(南马庄、凤河营、牛驼镇凸起^[32]、新河凸起、刘村凸起)、斜坡带潜山内幕(文安斜坡碳酸盐岩潜山

内幕);黄骅拗陷古生界原生气藏(王官屯—乌马营潜山构造带);辽河拗陷中央凸起、东部凹陷的茨榆坨、三界泡、油燕沟潜山带以及大民屯凹陷;济阳拗陷的义和庄、陈家庄潜山带等。

3.2.3 加快渤海湾盆地滩海(海域)等低勘探区域潜山勘探

渤海湾盆地东部渤海的滩海和海域面积为 $6.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占盆地总面积的1/3,潜山勘探程度低,潜力较大^[33]。滩海地区主要分布在黄骅、辽河、济阳拗陷,随着近海地区人工岛的修建与海上钻井等作业技术的成熟,正在成为勘探的重要战场。滩海地区在借鉴陆上潜山勘探经验的同时,需加强中生界、古生界、太古界的立体探索。重点目标区有黄骅拗陷的大神堂、新港、埕海、歧北潜山带,辽河拗陷南端的燕南、笔架岭、海月潜山带等。

参考文献:

- [1] 梁生正,张以明,李旭,等.渤海湾盆地油气地质与勘探[J].中国石油勘探,2006,11(2):1-7.
- [2] 牛嘉玉,王玉满,譙汉生,等.中国东部老油区深层油气勘探潜力分析[J].中国石油勘探,2004,9(1):33-40.
- [3] 赵政璋,杜金虎,牛嘉玉,等.渤海湾盆地“中石油”探区勘探形势与前景分析[J].中国石油勘探,2005,10(3):1-7.
- [4] 杨克绳.任丘古潜山油田的发现与地质特点[J].断块油气田,2010,17(5):525-528.
- [5] 周立宏,李三忠,刘建忠,等.渤海湾盆地地区前第三系构造演化与潜山油气成藏模式[M].北京:中国科学技术出版社,2003.
- [6] 张善文,隋凤贵,林会喜,等.渤海湾盆地前古近系油气地质与远景评价[M].北京:地质出版社,2009.
- [7] 张文亮,李治,贺艳梅,等.东濮凹陷潜山成藏条件研究[J].断块油气田,2010,17(3):309-311.
- [8] 孟卫工,陈振岩,李湃,等.潜山油气藏勘探理论与实践:以辽河拗陷为例[J].石油勘探与开发,2009,36(2):136-143.
- [9] 宋柏荣,胡英杰,边少之,等.辽河拗陷兴隆台潜山结晶基岩油气储层特征[J].石油学报,2011,32(1):77-82.
- [10] 周万山.叠置水平井开发潜山油藏数值模拟研究与实践[J].断块油气田,2010,17(5):602-604.
- [11] 赵贤正,金凤鸣,王余泉,等.冀中拗陷长洋淀地区“古储古堵”潜山成藏模式[J].石油学报,2008,29(4):489-493.
- [12] 王玉满,牛嘉玉,譙汉生.渤海湾盆地深层油气资源潜力分析与认识[J].石油勘探与开发,2002,21(2):21-25.
- [13] 康竹林,翟光明.渤海湾盆地新层系新领域油气勘探前景[J].石油学报,1997,18(3):1-6.
- [14] 梁生正,杨国奇,田建章,等.渤海湾叠合盆地大中型天然气的勘探方向[J].石油学报,2001,22(6):1-4.
- [15] 王建,马顺平,罗强,等.渤海湾盆地饶阳凹陷烃源岩再认识与资源潜力分析[J].石油学报,2009,30(1):51-55.
- [16] 李兆影,邱楠生,李政.渤海湾盆地深层孔店组烃源岩评价[J].天然气工业,2006,26(10):18-20.

[9] 李亚辉. 高邮凹陷北斜坡辉绿岩与油气成藏[J]. 地质力学学报, 2000, 6(2): 17-22.

[10] 杨金龙, 罗静兰, 何发歧, 等. 塔河地区二叠系火山岩储集层特征[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(4): 44-47.

[11] 赵海玲, 李小光, 陈振岩, 等. 辽河油田坳 32 井区中生界火山岩岩石学特征及成因[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 549-556.

[12] 吴昌志, 顾连兴, 任作伟, 等. 中国东部中、新生代含油气盆地火成岩油气藏成藏机制[J]. 地质学报, 2005, 79(4): 522-530.

[13] 冯子辉, 邵红梅, 童英. 松辽盆地庆深气田深层火山岩储层集性控制因素研究[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 760-768.

[14] 罗静兰, 林潼, 杨知盛, 等. 松辽盆地升平气田营城组火山岩岩相及其储集性能控制因素分析[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(6): 748-757.

[15] 王东良, 林潼, 杨海波, 等. 准噶尔盆地滴南凸起石炭系气藏地质特征与控制因素分析[J]. 石油实验地质, 2008, 30(3): 242-246.

[16] 冯志强. 松辽盆地庆深大型气田的勘探前景[J]. 天然气工业, 2006, 26(6): 1-5.

[17] 王君, 朱如楷, 郭宏莉, 等. 火山岩风化壳储层发育模式: 以三塘湖盆地马朗凹陷石炭系火山岩为例[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 217-226.

[18] 侯连华, 王京红, 邹才能, 等. 火山岩风化体储层控制因素研究: 以三塘湖盆地石炭系卡拉岗组为例[J]. 地质学报, 2011, 85(4): 557-568.

[19] 刘俊田. 三塘湖盆地牛东地区石炭系卡拉岗组火山岩风化壳模式与识别[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(1): 57-62.

[20] 罗静兰, 林潼, 杨知盛, 等. 松辽盆地升平气田营城组火山岩岩相及其储集性能控制因素分析[J]. 石油与天然气地质, 2008(6): 748-757.

[21] 王岚, 李文厚, 林潼, 等. 陆上、水下喷发成因火山岩储层发育特征和成藏控制因素对比分析[J]. 地质科学, 2010, 45(4): 1088-1097.

[22] 廖卓庭, 吴国干. 新疆三塘湖盆地含油气地层[M]. 南京: 东南大学出版社, 1998.

[23] 周鼎武, 柳益群, 邢秀娟, 等. 新疆吐一哈、三塘湖盆地二叠纪玄武岩形成古构造环境恢复及区域构造背景示踪[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36(2): 143-153.

[24] 张文正, 杨华, 杨奕华, 等. 鄂尔多斯盆地长 7 优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J]. 地球化学, 2008, 37(1): 59-64.

[25] 王争鸣. 缺氧沉积环境的地球化学标志[J]. 甘肃地质学报, 2003, 12(2): 55-58.

[26] Spielera O, Kennedy B, Kuepersa U, et al. The fragmentation threshold of pyroclastic rocks[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 226(9): 139-148.

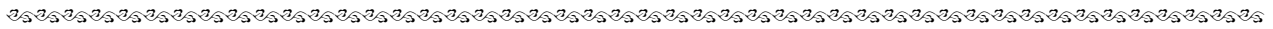
[27] 林潼, 焦贵浩, 孙平, 等. 三塘湖盆地石炭系火山岩储层特征及其影响因素分析[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(4): 513-517.

[28] 刘成禹, 何满潮. 对岩石风化程度敏感的化学风化指数研究[J]. 地球与环境, 2011, 39(3): 349-354.

[29] 宋照亮, 彭渤. 关于岩石风化过程中化学组分迁移的定量研究方法[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(3): 300-305.

[30] 宋国奇, 陈涛, 蒋有录, 等. 济阳拗陷第三系不整合结构矿物学与元素地球化学特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(5): 7-11.

(编辑 韩 或)



(上接第 144 页)

[17] 李欣, 郑署泓, 彭宁, 等. 冀中霸县凹陷古近系深层油气资源潜力研究[J]. 石油实验地质, 2008, 30(6): 600-605.

[18] 郭彦民, 尤桂彬, 林洪利. 辽河拗陷潜山深化勘探理论与实践[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(S1): 9-14.

[19] 刘传虎. 潜山油气藏概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 80-90.

[20] 田园园, 季春辉, 许艳. 潜山油气藏形成条件与勘探技术[J]. 特种油气藏, 2009, 16(2): 14-21.

[21] 李军, 刘丽峰, 赵玉合, 等. 古潜山油气藏研究综述[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 879-887.

[22] 吴永平, 付立新, 杨池银, 等. 黄骅拗陷中生代构造演化对潜山油气成藏的影响[J]. 石油学报, 2002, 23(2): 16-21.

[23] 臧明峰, 吴孔友, 崔永谦, 等. 冀中拗陷古潜山类型及油气成藏[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(2): 166-169.

[24] 易士威, 赵淑芳, 范炳达, 等. 冀中拗陷中央断裂构造带潜山发育特征及成藏模式[J]. 石油学报, 2010, 31(3): 361-367.

[25] 吴伟涛, 高先志, 卢学军, 等. 冀中拗陷潜山油气输导体系及与油气藏类型的匹配关系[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(1): 78-83.

[26] 赵贤正, 吴兆徽, 闫宝义, 等. 冀中拗陷潜山内幕油气藏类型与分布规律[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(1): 4-6.

[27] 赵贤正, 金凤鸣, 张以明, 等. 富油凹陷隐蔽型潜山油气藏精细勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 77-84.

[28] 孟卫工, 李晓光, 刘宝鸿. 辽河拗陷变质岩古潜山内幕油藏形成主控因素分析[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 584-589.

[29] 杨明慧. 渤海湾盆地潜山多样性及其成藏要素比较分析[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 623-631.

[30] 倪国辉, 鲍志东, 杜旭东, 等. 辽河拗陷大民屯凹陷静北潜山基岩储集层研究[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 461-465.

[31] 沈万杰, 苏惠, 巩磊, 等. 东濮凹陷三叠系砂岩潜山油气藏裂缝特征[J]. 断块油气田, 2009, 6(4): 19-21.

[32] 周从安, 李先平, 辛玮江, 等. 冀中拗陷牛驼镇凸起潜山内幕勘探成藏条件研究[J]. 中国石油勘探, 2010, 15(2): 29-32.

[33] 李玉城. 渤海湾盆地潜山油气富集规律与勘探[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(3): 1-7.

(编辑 韩 或)