



阜新改造型盆地油气评价及勘探方向

赵洪伟,张德军

中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034

摘 要: 阜新盆地历经了多次构造运动改造,导致油气藏保存条件遭受断层破坏、油气多次动态散聚以及油气的多源性等特征. 通过盆地改造类型、油气评价及勘探方向等方面研究,认为:1)阜新盆地属于整体抬升改造剥蚀型,主要的生储盖层九佛堂组、沙海组保存完好;2) 油气评价应采用从原型盆地构造演化源控论正向分析与从保存单元评价保存和富集油气储层的反向认识相结合的思路;3)构造分析是研究的主线,内容包括建造定源、改造定带、保存控藏等 3 个主要方面;4)海州洼陷和伊吗图洼陷的原生油气藏是主要勘探方向.

关键词: 阜新盆地;改造型;油气评价;源控论;保存单元;勘探方向;辽阜地 2 井

HYDROCARBON EVALUATION AND EXPLORATION DIRECTION OF FUXIN REFORMED BASIN

ZHAO Hong-wei, ZHANG De-jun

Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: Fuxin Basin has undergone the reformation of multiple tectonic movements, leading to the damage of hydrocarbon reservoir preservation conditions by faults, hydrocarbon losses and multi-sources. Through the study on basin reformation type, hydrocarbon evaluation and exploration direction, it is considered that Fuxin Basin belongs to the overall uplifting, reformed and denuded type, with the main source-reservoir-cap rocks of Jiufotang Formation and Shahai Formation well preserved. The hydrocarbon evaluation should combine the “source-control theory” forward analysis of prototype basin tectonic evolution with the reverse understanding of “preservation unit” to evaluate preservation and enrichment of reservoir. Structural analysis is the key to the study, including determination of hydrocarbon sources by formation, determination of structural-sedimentary facies belts by reformation, and reservoir controlling by preservation. The primary hydrocarbon reservoirs in Haizhou subsag and Yimatu subsag are the main exploration directions.

Key words: Fuxin Basin; reformed type; hydrocarbon evaluation; source-control theory; preservation unit; exploration direction; LFD-2 well

收稿日期:2020-08-24;修回日期:2020-09-04. 编辑:张哲.

基金项目: 国家自然科学基金“松辽盆地及邻区早白垩世陆相地层高精度年代格架”(编号 41790451);国家重点基础研究发展计划项目“白垩纪中期松辽盆地及邻区陆相储集层与烃源岩研究”(编号 2019YFC0605404);中国地质调查局项目“松辽盆地北部及外围石炭—二叠系油气地质调查”(编号 DD20190097)、“冀北—辽西中新元古界油气地质调查”(编号 DD20190098).

作者简介: 赵洪伟(1980—),男,硕士,高级工程师,从事油气地质研究,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号,E-mail//18972804@qq.com

通信作者: 张德军(1987—),男,苗族,硕士,工程师,主要从事古生物学与地层学研究,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号,E-mail//532413639@qq.com

0 引言

21世纪以来,全球油气勘探难度越来越大,勘探对象日益复杂,从高点找油气到下洼找油气,从常规资源到非常规资源,从中深层到深层、超深层,已经成为全球勘探趋势。未来中国通过加强油气勘探基础理论和关键技术攻关,转变油气勘探的理念,将在新、老探区发现更多油气资源^[1]。中国东北老探区的中小型盆地多数属于改造型盆地,属于经过不同程度勘探,迄今尚未发现但仍有希望找到商业性油气田的盆地,也是未来石油生产的战略性接替的主战场,用常规油气勘探经验与技术方法难以奏效^[2-4]。

阜新盆地属于勘探老区,位于辽宁省西北部。自1936年日本人在阜新县发现原油和土沥青,历经80余年,油气勘探从浅层勘探(1936—1971年)到中深层勘探(1980—1996年)钻井及三维地震等,主体工作量均部署在背斜构造带,常规油气“构造高点找油气”是主体勘探思路,东梁、清河门-艾友、小胡家屯3个构造带是油气勘探重点区带(见图1)。东梁构造带上梁1、梁2、梁4、阜参1、阜参2等多口钻井从阜新组至义县组,钻遇的油气显示级别低、层段不集中。据不完全统计,阜新盆地3000多口煤田钻孔中有600多口钻孔取心见油气显示,这些钻孔多数分布在断层附近。据辽宁省中生代沉积盆地油气资源评价预测,阜新盆地油气资源量为 $1734 \times 10^4 \sim 2117 \times 10^4$ t。通过常规试油认为,东梁构造浅层是没有希望的残余油藏,1996年以后勘探处于停滞状态^[5-8],2014年油田企业全面退出阜新盆地油气矿权登记区。

阜新盆地经过多期构造演化成盆,断裂系统复杂。据统计,油田钻井及煤田浅孔的油气显示与断层具有相关性,表明早期油气以断层为通道向上运移聚集成藏,后期受构造改造影响,断层破坏油藏保存条件导致油气散失,盆地一直处于改造中。油气藏就是在这一动态变化和平衡中形成、破坏、保存的。根据上述,本文围绕改造与保存,以构造演化分析为主线,确定盆地改造类型,针对地质特点提出油气评价思路,结合辽阜地2井钻探效果分析,研究盆地建造、改造、定型各演化阶段与成盆、成烃、成藏的作用关系,总结改造型盆地油气成藏特征及富集规律,为阜新盆地油气勘探部署提供依据,为辽西北地区中生代中小盆地群油气资源再次评价提供经验。

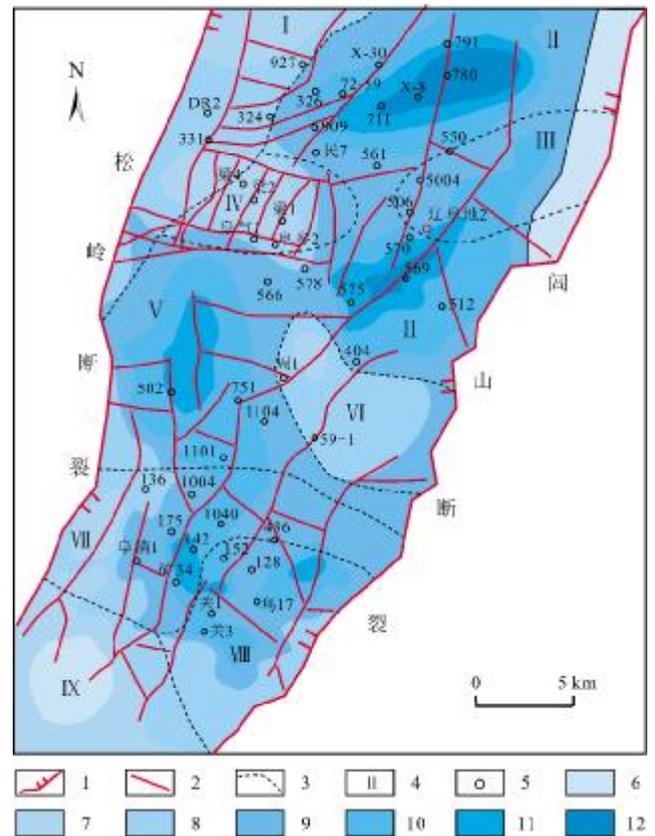


图1 阜新盆地沙海组上段保存单元的关键要素叠合图

Fig. 1 Superimposed map of structure and preservation units of the upper member of Shaohai Formation in Fuxin Basin

1—边界断层(boundary fault); 2—断裂(fault); 3—构造单元线(tectonic unit boundary); 4—构造单元编号(tectonic unit number); 5—井位(well location); 6—泥岩厚度等值线小于100 m (contour of mudstone thickness less than 100 m); 7—泥岩厚度100~200 m (mudstone thickness of 100~200 m); 8—泥岩厚度200~300 m (mudstone thickness of 200~300 m); 9—泥岩厚度300~400 m (mudstone thickness of 300~400 m); 10—泥岩厚度400~500 m (mudstone thickness of 400~500 m); 11—泥岩厚度500~600 m (mudstone thickness of 500~600 m); 12—泥岩厚度大于600 m (mudstone thickness more than 600 m); I—西部斜坡带(western slope); II—海州洼陷(Haizhou subsag); III—海州洼陷中部构造带(central structural zone of Haizhou subsag); IV—东梁构造带(Dongliang structural zone); V—伊吗图洼陷(Yimatu subsag); VI—小胡家屯构造带(Xiaohujiatun structural zone); VII—清河门-艾友构造带(Qinghemen-Aiyu structural zone); VIII—民家屯洼陷(Minjiatun subsag); IX—民南斜坡带(southern Minjiatun slope zone)

1 盆地改造类型及特征

改造型盆地是中国含油气盆地的重要特色^[9]。在以往的文献中,关于改造型盆地有很多不同的表述,如

残留盆地、残余盆地等^[10-15]。从油气评价的角度定义改造型盆地,是指沉积盆地在演化末期遭受明显改造,油气系统地质要素受到一定程度破坏,油气系统重新组构的盆地。目前国内关于改造型盆地类型划分主要有以下5种代表性观点。

王定一^[16]根据内外地质动力的作用方式划分3种类型:抬升改造型,块断改造型,冲断、褶皱改造型。其中抬升改造型强调盆地地貌遭受强烈的剥蚀而大为缩小,但已形成的油气藏没有遭受严重破坏或散失。阜新盆地是在早白垩世阜新组沉积末期整体抬升,遭受剥蚀,属于抬升改造型。与之不同的是盆地属于整体抬升剥蚀,缺失晚白垩世拗陷期及以上地层,但早白垩世断陷期地层保留相对完整,盆地面积没有大幅缩小,已形成的油气藏因后期构造改造导致断层破坏油藏保存条件发生油气散失。

张抗^[17]依据改造的程度划分5种类型,前1—3类主要为原型盆地的上覆层未剥蚀或者轻微剥蚀而下伏层遭受构造不同程度破坏,第4类是上覆层遭受严重的剥蚀分割,主力生储层系受到严重破坏,第5类是全盆地各沉积层均受到剥蚀和构造破坏等。阜新盆地地下伏层以早白垩世义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组等断陷期地层为主,孙家湾组地层局部残留,缺失上覆层晚白垩世及以上地层,属于上覆层遭受严重剥蚀的第4类。与之不同的是九佛堂组、沙海组主力生储层系因盆地整体抬升相对保存完好没有发生严重破坏。

刘池洋等^[18]根据盆地后期改造的主要动力作用和改造形式将改造型盆地划分7种类型:抬升剥蚀型、叠合深埋型、热力改造型、构造变形型、直接残留型、反转构造型和复合改造型。阜新盆地具有抬升剥蚀、构造变形等构造特征,以抬升剥蚀型为主。

张厚福等^[19]依据多旋回构造变动区从历史演化角度将构造变动改造后的残留盆地划分出原生型、残存型、次生型和破坏型4类演化型油气系统,突出了改造与油气保存成藏的关键。阜新盆地构造形式多样,断裂系统复杂,目前钻井揭示,原生型、次生型、残存型及破坏型均有发现。改造较弱、保存条件较好的海州洼陷、伊吗图洼陷原生型、次生型油藏发育,改造较强、保存条件不好的东梁、清河门-艾友等构造带属于破坏型及残存型,油气显示多但不成藏。

王英民等^[20]提出一种基于油气系统特征的盆地

划分方案,按演化期次、综合原则将残余盆地分为单期、多期和复杂单期、简单多期、复杂多期5种盆地类型和6种油气藏类型。阜新盆地属于复杂多期改造型盆地,以后期再生油气藏、次生油气藏、残余原生油气藏等油藏类型为勘探目标,成藏条件复杂。

综上所述,阜新盆地属于整体抬升改造剥蚀型,早白垩世断陷期地层保存完整,缺失晚白垩世拗陷期及以上地层,主要的生储盖层九佛堂组、沙海组相对保存完好,盆地经过多期构造改造导致油气藏破坏散失,具有复杂多期成藏的特征,但是通过辽阜地2井钻探证明,改造较弱、保存条件较好洼陷区的原生型、次生型油气藏依然可以作为勘探重点方向。

2 油气评价思路

关于改造型盆地油气评价,国内尚未形成系统的理论和程序^[21-26],对改造型盆地勘探理论与研究方法正在不断的发展和创新。

近年来,国内改造型盆地勘探取得了积极进展。其中银额改造型盆地从保存现状入手,确定了有利区带^[27];焉耆改造型盆地油气勘探强调构造对油气藏的控制作用^[28];阜新盆地北部的彰武改造型盆地油气勘探突出晚期保存对油气藏的作用^[29];华北东部改造型盆地的油气成藏也进行了初步论述^[30]。综合以往勘探经验,改造型盆地油气评价思路要因盆地而异,要根据盆地的地质特点、勘探程度及资料条件等综合考虑,评价思路也要有针对性和可行性。

阜新盆地属于整体抬升改造剥蚀型盆地,早白垩世断陷期地层保存完整,是陆相双断式裂谷盆地,具有洼隆相间的构造格局。裂陷期义县组岩浆岩大面积喷发形成火山地貌^[31-37],导致断陷期地层具有水深湖窄山间盆地沉积特征;断陷期九佛堂组、沙海组深湖相暗色泥岩受古地貌控制分布相对局限,油气具有近距离成藏富集的特点^[38-39]。“源控论”是评价断陷盆地油气藏的有效思路^[40-41]。此外,阜新盆地80多年的勘探经历表明,断层破坏油藏保存条件导致油气散失,保存条件是该盆地油气成藏主控因素。现今油气藏主要分布在保存条件较好的区带,从保存条件反向分析入手,划分保存单元,以保存单元内的富油储层作为勘探目的层,论证部署井位,是实现改造型盆地油气突破的重要方式。

综上所述,针对阜新盆地地质特点,借鉴前人的研究成果及勘探经验,确定了阜新改造型盆地油气评价采用从原型盆地构造演化“源控论”正向分析与从保存单元目标直指保存和富集油气储层的反向认识相结合的思路。

3 主要的研究内容

改造与保存是改造型盆地油气评价的核心要素,因此构造演化分析是改造型盆地油气评价的主线,从正、反两个方向开展研究。其中正向分析是研究盆地建造、改造、定型各演化阶段构造对成烃、成藏的作用;反向分析通过划分保存单元,研究单元内泥岩盖层封盖性和断层侧向封闭性,落实储盖成藏组合。最后正反两个方面结合确定勘探有利目标,研究的主要内容是建造定源、改造定带、保存控藏。

3.1 建造定源

阜新改造型盆地油气评价源控论的首要任务是圈定优质烃源岩的分布。辽西北地区发育九佛堂组下段、沙海组下段两套优质烃源岩层,其中九佛堂组下段是区域主力烃源岩层,沙海组下段在张强断陷证实是主力烃源岩层^[42-43]。

阜新盆地受东部医巫闾山与西部松岭两条控盆断裂控制,经过初始裂陷期、稳定沉降期、萎缩抬升剥蚀期、晚喜马拉雅运动盆地定型期等4期构造演化成盆^[44]。初始裂陷期以义县组沉火山多次喷发、断裂活动强为特征,义县组沉积巨厚的火山岩建造。在义县组火山古地貌背景下,盆地进入稳定沉降期,自下而上沉积九佛堂组、沙海组、阜新组地层,其中九佛堂组、沙海组连续经历两次扩张和萎缩,形成两套完整的沉积旋回。受义县组火山古地貌控制,九佛堂组、沙海组都具有山间盆地“水深湖窄、洼隆相间”的构造沉积特征,以扇三角洲-湖相沉积为主。九佛堂组、沙海组各分为上、下两段,九佛堂组下段和沙海组下段属于水进扩张阶段,沉积一套深湖、半深湖相暗色泥岩地层,是主力烃源岩发育段^[45-50]。九佛堂组下段沉积期盆地主要受西部控盆松岭断裂带控制,具有西深东浅、洼隆相间的构造特征,因此靠近西部断裂的伊吗图洼陷在九佛堂组下段沉积期沉降速率大,深湖相暗色泥岩发育。邻区彰武断陷揭示九佛堂组下段发育一套稳定的黑色

油页岩、暗色泥岩,在地震剖面上具有中—强振幅、连续等反射特征,彰武、陆家堡等油田都是以这套油页岩、暗色泥岩为主力烃源岩^[51]。伊吗图洼陷九佛堂组下段地震剖面具有与区域上主力烃源岩段相似的地震反射特征,是九佛堂组下段优质烃源岩分布区,其次为民家屯、海州洼陷。沙海组沉积期盆地沉积沉降中心由南西北东迁移,沙海组下段沉积期盆地主要受东部医巫闾山断裂控制,具有东深西浅、洼隆相间的构造特征,因此靠近东部控盆断裂的海州洼陷在沙海组下段沉积期沉降速率大,深湖相暗色泥岩发育,是沙海组下段优质烃源岩分布区,其次为伊吗图、民家屯洼陷。综上所述,伊吗图洼陷是九佛堂组下段优质烃源岩发育区,海州洼陷是沙海组下段优质烃源岩发育区。

3.2 改造定带

如何优选油气有利聚集区带决定着勘探方向。阜新盆地久攻未果的关键原因是选择改造严重、油气藏遭受破坏的背斜构造带作为勘探靶区。在圈定优质烃源岩分布的基础上,改造型盆地应选择改造程度弱、近源、断裂体系相对简单、断层少、相对稳定的构造-沉积相带作为油气有利富集区带。

阜新盆地大地构造位置为燕山期东西向构造带与北北东向的新华夏系第二沉降带的复合部位,具体来说,位于东西向的赤峰-开原断裂和北北东向的郯庐断裂交汇地区,受两条断裂夹持^[52-57]。盆地主要发育北北东、北东、近南北和东西向4组断裂。东梁构造带和清河门-艾友构造带呈东西向展布,两个构造带发育东西向断层与北北东向断层,构造演化既受东西向成盆断层控制,又受北北东向郯庐断裂走滑影响,断裂体系复杂,断层多,构造破碎,已钻井揭示油藏遭受破坏,油气散失严重。海州、伊吗图、民家屯3个洼陷是在拉张应力场背景下形成的稳定沉积区,构造演化受北北东向控盆断裂及郯庐断裂走滑影响,洼陷内以北北东向断层为主。洼陷带相对东梁、清河门-艾友两个构造带改造程度要弱,断裂体系相对简单,断层较少。3个洼陷烃源岩发育,海州洼陷中部构造带构造-沉积相对稳定,是沙海组原生气藏勘探的有利区;伊吗图洼陷斜坡部位构造-沉积相对稳定,是九佛堂组原生气藏勘探的有利区。

①路爱平,等. 阜新盆地伊吗图-海州间构造分析及沉积相基础研究. 东北煤田地质局阜新107勘探队,1995.

3.3 保存控藏

保存条件是改造型盆地油气成藏主控因素。反向分析从保存条件入手,划分保存单元,研究泥岩盖层封盖性和断层侧向封闭性,以保存单元内物性较好的富油储层为目的层,落实生储盖组合,确定勘探目标。

马力等对油气保存单元的定义是“具有整体封闭保存条件的含有一个或数个含油气系统的地质单元”。何登发等^[58]通过时间性、空间性、条件性和有效性研究提出,油气保存单元为“盆地内部三度空间上封闭流体的含油气地质单元”,划分为继承型、改造型、重建型 3 种基本类型,认为决定保存单元的关键要素是盖层有效性、断层封堵性、岩浆活动破坏、水文地质条件及油气充注等。阜新盆地九佛堂组、沙海组经历了两个完整的水进水退沉积旋回,可以划分为九佛堂组上段和沙海组上段两个保存单元。盆地在阜新组末期整体抬升剥蚀,现今九佛堂组下段及沙海组下段两套优质烃源岩仍处于生油气阶段。因此决定阜新盆地两个保存单元的关键要素是盖层的封盖性及断层的封闭性。

付晓飞等^[59]分析了油气藏盖层封闭性研究现状及未来发展趋势;周雁等^[60]总结了国内外油气盖层研究现状与进展;张树林等^[61]、秦建中等^[62]、袁玉松等^[63]分别提出了盖层的研究方法及评价技术;在琼东南、莺歌海等盆地的泥岩盖层封闭性研究取得了积极进展^[64-65]。综合来看,泥岩发育特征、成岩演化、封闭机理以及动态演化等方面是泥岩盖层封闭性的主要研究内容。

沙海组上段属于继承型保存单元,为水进积体系域下的深湖—半深湖相厚层暗色泥岩,处于还原环境,具有较好的封闭性,厚度在 100~400 m 之间,全盆地稳定分布。其中东梁等构造带高部位厚度最薄在 100~150 m,在海州洼陷厚度达到 400 m,泥地比 80%以上。现今洼陷内地层最大埋深在 800 m 左右,前人研究阜新盆地阜新组顶部剥蚀量在 800~1100 m,因此沙海组上段地层沉降期最大埋深在 1600~1900 m,处于低成岩演化阶段,有机质成熟度 R_o 介于 0.4%~0.6%,岩石塑性较强。付广等^[66]认为泥岩盖层处于 1500~3200 m 埋深最佳封盖状态。王伟锋等^[67]研究认为阜新盆地沙海组上段泥岩处于正常压实阶段,封闭机理以毛管封闭为主,根据地震层速度资料分析得出沙海组上段地层排替压力分布整体表现为盆地东部高、西部低的特

点,排替压力高值区沿盆地东侧呈南北向分布,海州洼陷是沙海组沉积中心,处于排替压力高值区。龚建明等^[68]研究发现阜新盆地存在三个孔隙发育带,第二孔隙发育带位于沙海组下段顶部,埋深一般在 800~910 m,孔隙度为 16.5%~20.8%,渗透率一般在 $18 \times 10^{-3} \sim 234 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属中孔—低渗透物性条件较好的富油储层。在沙海组上段保存单元内,构成下储上盖成藏组合,是沙海组原生气藏勘探目的层^[50, 69-71]。

九佛堂组上段泥岩地层属于地区性继承型保存单元,主要分布在靠近西部断裂的伊吗图洼陷至民家屯洼陷一带,以砂泥岩互层为主。泥岩品质相对沙海组上段较差,在伊吗图洼陷最大厚度达到 300 m,民家屯洼陷九佛堂组上段地层受差异抬升影响,现今埋藏浅、保存条件差,因此九佛堂组上段保存单元主要封闭伊吗图洼陷的油气系统。阜新盆地第三个孔隙发育带埋深一般在 1450~1600 m,层位相当于九佛堂组下段顶部,主要为胶结物溶孔、粒内溶孔和裂缝,其孔隙度一般在 4.6%~7.6%。前人认为是有机质脱羧和烃类裂解加剧,促使溶解作用加强,形成次生孔隙,属低孔—低渗透储层。在九佛堂组上段保存单元内,构成自生自储成藏组合,是九佛堂组原生气藏主要勘探目的层^[73-74]。

关于断层封闭性前人做了大量的研究^[74-77],朱海军分析了断层封闭性研究现状及做了展望;东北石油大学研究团队提出了断层封闭性定量评价方法并得到了很好的应用;张新顺等对常用的断层封闭性研究方法进行了评述,认为目前还没有一种可适用于所有地区断层封闭性研究的方法;李强等分析了断层封闭性定量表征对油气富集的控制作用,总的来看断层封闭性定性评价方法精度较低,适用于资料少、勘探程度低的地区。断层封闭性定量评价方法例如地震预测法、排替压力法、泥岩涂抹法、断层 FOL 法等精度较高,但对资料要求齐全且精度较高,需要高精度三维地震及岩心、测井及测试等资料。阜新盆地自 1996 年至今勘探处于停滞状态,未投入任何实物工作量,二维、三维地震资料均在 1996 年之前采集,受盆地断裂系统复杂、阜新组煤层巷道及采空区等诸多因素影响,地震资料品质普遍较差,信噪比低,探井分布集中,因年份久远很多岩心及测试资料缺失,基础资料不齐全且精度差,不能满足断层封闭性定量评价要求。

阜新盆地断层封闭性研究采用定性评价方法. 针对盆地构造演化受北北东向郯庐走滑断裂控制的特点, 开展断裂封闭史分析, 确定现今盆地定型期因压扭运动而具有封闭性的断裂走向及分布, 找寻规律性, 同时用盆地内分布广泛的 3000 多口煤田浅孔在浅层(沙海组上段泥岩盖层以上)是否见到油气显示加以验证. 东梁构造上的 566、578 等煤田钻孔及梁 2、梁 4 等探井在浅层(沙海组上段以上地层)见到油气显示证实油气散失. 王伟锋等采用多级模糊综合评判方法评价东梁构造带断层封闭性较差, 导致油气散失而不成藏. 现今阜新盆地北北东向断裂因压扭而具有封闭性. 海州洼陷内沿北北东向断层分布的 550、570 等煤田浅孔在浅层(沙海组上段以上地层)未见油气显示, 证实其封闭性较好. 阜新盆地断裂体系过于复杂, 伴生断层较多. 影响上述研究认识的不确定性较多, 风险性较高.

沙海组上段保存单元泥岩盖层区域分布稳定, 封盖有效, 北北东向断层侧向封闭性较好. 沙海组下段顶部第二孔隙发育带储层物性较好, 构成下储上盖成藏组合, 是沙海组原生油气藏、次生油气藏勘探目的层. 九佛堂组上段保存单元暗色泥岩主要分布在伊吗图洼陷, 北北东向断层侧向封闭性较好. 九佛堂组下段顶部第三个孔隙发育带储层物性相对较好, 构成自生自储成藏组合, 是九佛堂组原生油气藏主要勘探目的层(图 1).

3.4 应用实例及钻探效果

辽阜地 2 井地质任务是评价阜新盆地沙海组油气资源潜力, 部署论证采用源控论与保存单元相结合的油气评价思路. 首先圈定海州洼陷为沙海组优质烃源岩发育区, 其次根据近源、改造程度弱、断层少等因素确定构造-沉积相对稳定的海州洼陷中部构造带为有利区带; 划分沙海组上段保存单元, 保存单元内海州洼陷泥岩盖层封盖高效, 沙海组下段顶部第二孔隙发育带储层物性较好, 构成下储上盖成藏组合. 白垩纪以后, 阜新盆地因新形成了一系列北北东向压性、扭压性断裂而具有封闭性^[56], 为西五道桥断块圈闭油气成藏提供了有利条件.

辽阜地 2 井钻探后有三方面成果认识: 1) 完钻井深 1200 m, 完钻层位沙海组下段, 在沙海组下段顶部第二孔隙发育带(862.22~886.15 m)连续取心 3 筒, 取心段见油浸 6.55 m、油斑 3.81 m, 测井解释油层 7.4 m/

层, 裸眼抽汲求产 8 天, 折算日产油 15.3 m³, 属高产工业油流, 实现了阜新盆地油气勘探重大突破^[78], 证实阜新改造型盆地具有较好的油气资源潜力; 2) 钻井在沙海组上段及以上地层未见油气显示, 说明泥岩盖层封盖性和北北东向控圈断层侧向封闭性较好, 油气未发生散失, 证实沙海组上段保存单元具有整体封闭性; 3) 通过油源对比, 辽阜地 2 井沙海组下段第二孔隙发育带的原油与沙海组下段烃源岩具有直接亲缘关系, 证实下洼近源、构造-沉积相对稳定区带的原生油气藏富集高产, 是改造型盆地油气主要勘探方向. 综合研究认为, 源控论与保存单元相结合的思路适用于阜新改造型盆地油气资源评价.

4 勘探方向

阜新盆地经过多期构造改造在晚喜马拉雅构造运动后定型, 现今盆地油气藏具有晚期成藏特征, 既有定型期重新聚集的次生藏, 也包括九佛堂组、沙海组保存至今的原生油气藏, 东梁构造带浅层油气钻孔具有多源油气、多期动态聚散等油气藏特征. 基于盆地晚期成藏特征, 以保存为油藏主控因素, 在沙海组上段及九佛堂组上段两个保存单元体系下, 以九佛堂组下段、沙海组下段两套优质烃源岩与 3 个富油储层孔隙发育带构成的成藏组合为含油气系统, 提出原生藏及次生藏有利目标区, 为盆地油气勘探部署提供依据(表 1).

4.1 沙海组原生油气藏勘探方向

在沙海组上段保存单元内, 纵向上以沙海组下段暗色泥岩为生油源岩, 以沙海组下段顶部第二孔隙发育带为富油储层, 构成自生自储成藏组合; 平面上以海州洼陷为生烃中心, 构造类油气藏以北北东向断层控制的断块圈闭为目标, 与辽阜地 2 井成藏条件相似, 优选海州洼陷中部构造带. 构造-岩性类油气藏以紧邻海州洼陷的东梁构造带翼部、小胡家屯构造带扇端部位、西部断阶带的水下扇、扇三角洲前缘砂体为勘探目标.

4.2 沙海组次生油气藏勘探方向

据不完全统计, 阜新盆地 600 多口煤田浅层的油气显示主要集中在沙海组下段顶部第二孔隙发育带, 油气显示与断层具有相关性. 在沙海组上段保存单元内, 在多源油气、断层疏导、多期动态聚散的成藏条件研究的基础上, 以第二孔隙发育带富油储层为目的层, 评价油源断层疏导及储盖有效组合关系, 开展东梁、清

表1 阜新盆地油气保存单元地质条件对比分析表

Table 1 Geological conditions for different hydrocarbon preservation units in Fuxin Basin

构造单元	勘探程度	油源特征	储层特征	改造程度	盖层封盖性	断层封闭性	油气藏类型	代表井	有利区带
海州洼陷	较高	油源区	扇三角洲	弱	好	好	原生	辽阜地2	中部构造带
西部斜坡带	较低	远源	冲积扇、扇三角洲	强	较好	差	次生	SP2	盖层发育区
东梁构造带	高	近源多源	扇三角洲	强	好	差	次生	阜参2	构造翼部
伊吗图洼陷	较高	油源区	扇三角洲前缘	弱	好	差	原生、次生		斜坡部位
小胡家屯构造带	较低	近源	陡坡扇、水下扇	弱	好	好	原生、次生	周1	扇端部位
清河门-艾友构造带	较低	近源	扇三角洲	强	较好	差	次生	阜清1	构造翼部
民家屯洼陷	低	油源区	扇三角洲前缘	强	较差	差	原生		洼陷内

河门-艾友、小胡家屯等构造带煤田浅孔次生藏油气资源潜力再评价,是资源评价的重要方向。

4.3 九佛堂组原生气藏勘探方向

在九佛堂组上段保存单元内,纵向上以九佛堂组下段优质烃源岩与九佛堂组下段顶部第三孔隙发育带富油储层构成的自生自储成藏组合为含油气系统;平面上以伊吗图洼陷为生烃中心,靠近伊吗图洼陷的东梁构造带斜坡部位、清河门-艾友构造带斜坡部位,构造-沉积相对稳定,水下扇、扇三角洲前缘等原生岩性油气藏是勘探方向。构造类油气藏以北北东向断层控制的圈闭为目标。民家屯洼陷内九佛堂组原生岩性油气藏是勘探目标。

5 结论与认识

(1)阜新盆地改造类型属于整体抬升剥蚀型,早白垩世断陷期地层保存完整,缺失晚白垩世拗陷期及以上地层。主要的生储盖层九佛堂组、沙海组保存完好。

(2)辽阜地2井勘探突破证实阜新改造型盆地具有较好的油气资源潜力。从原型盆地构造演化源控论正向分析与从保存单元目标直指保存和富集油气储层的反向分析相结合的油气评价思路是合理有效的。

(3)在沙海组上段保存单元体系下,沙海组原生气藏主要分布在紧邻海州洼陷构造-沉积相对稳定的斜坡部位,例如靠近海州洼陷的东梁构造带翼部、小胡家屯构造带扇端部位、西部断阶带水下扇、扇三角洲前缘等;沙海组次生油气藏的分布受北北东向断层控制,东梁、清河门-艾友、小胡家屯等构造带是勘探方向。

(4)在九佛堂组上段保存单元体系下,九佛堂组原

生油气藏主要分布在紧邻伊吗图洼陷构造-沉积相对稳定的斜坡部位。另外,靠近伊吗图洼陷的东梁构造带翼部、清河门-艾友构造带翼部,民家屯洼陷内九佛堂组岩性圈闭也是勘探目标。

致谢:阜新盆地油气勘探工作中,得到辽河油田、东北煤田阜新107队等单位大力支持,得到乔德武、黄桂雄、周绍强、秦建义、刘晓峰等专家的指导和帮助,在此一并感谢。

参考文献(References):

- [1]胡文瑞,鲍敬伟,胡滨.全球油气勘探进展与趋势[J].石油勘探与开发,2013,40(4):409-413.
Hu W R, Bao J W, Hu B. Trend and progress in global oil and gas exploration [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40 (4): 409-413.
- [2]刘池洋.后期改造强烈——中国沉积盆地的重要特点之一[J].石油与天然气地质,1996,17(4):255-261.
Liu C Y. Strong Late-reformation: one of the important characteristics of sedimentary basins in China [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(4): 255-261.
- [3]张抗.改造型盆地及其油气地质意义[J].新疆石油地质,1999,20(1):65-70,76.
Zhang K. Reformed basin and its significance in petroleum geology [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(1): 65-70, 76.
- [4]李建龙.改造型盆地及其油气地质意义[J].化工管理,2018,33(9):84.
Li J L. Reformed basins and its significance in petroleum geology [J]. Chemical Enterprise Management, 2018, 33(9): 84. (in Chinese)
- [5]赵儒.阜新盆地勘探决策分析[J].天然气工业,2003,23(6):58-61.
Zhao R. Exploration decision in Fuxin Basin [J]. Natural Gas Industry,

- 2003, 23(6): 58-61.
- [6] 吴炳伟, 郭彦民, 王新, 等. 辽宁阜新盆地油气勘探方向[J]. 地质与资源, 2015, 24(5): 473-477.
- Wu B W, Guo Y M, Wang X, et al. The oil-gas exploration direction of Fuxin Basin[J]. *Geology and Resources*, 2015, 24(5): 473-477.
- [7] 宁海翔. 辽河外围地区油气资源潜力评价[J]. 中国科技博览, 2016, 17(18): 11.
- Ning H X. Oil and gas resource potential evaluation of Liaohe peripheral area[J]. *China science and Technology Review*, 2016, 17(18): 11. (in Chinese)
- [8] 曹天军, 宋勤宁. 开鲁盆地延长探区油气地质特征与勘探潜力分析[J]. 内蒙古石油化工, 2011, 37(15): 82-83.
- Cao T J, Song Q N. Analysis of oil and gas geological features and exploration potential in Yanchang exploration area, Kailu Basin [J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2011, 37(15): 82-83. (in Chinese)
- [9] 赵重远, 周立发. 成盆期后改造与中国含油气盆地地质特征[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 7-10.
- Zhao Z Y, Zhou L F. Post-reformation and geological features of China's petroliferous basins[J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(1): 7-10.
- [10] 褚庆忠. 残余盆地构造发育的研究意义、现状及思路[J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 2002, 17(1): 1-5, 10.
- Zhu Q Z. Significance, present state and thinking of studying relict basins [J]. *Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition)*, 2002, 17(1): 1-5, 10.
- [11] 袁剑英, 周炎如, 李相博, 等. 残余盆地构造分析与油气地质评价[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 15-18.
- Yuan J Y, Zhou Y R, Li X B, et al. Structural analysis and petroleum geology assessment of relict basins[J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(1): 15-18.
- [12] 王连进, 叶加仁. 残余盆地特征及研究方法[J]. 天然气地球科学, 2000, 11(3): 8-12.
- Wang L J, Ye J R. Characteristics of remnant basin and its study methodology[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2000, 11(3): 8-12.
- [13] 刘光鼎. 试论残留盆地[J]. 勘探家, 1997, 2(3): 1-4, 45.
- Liu G D. Preliminary discussion on residual basins [J]. *Petroleum Explorationist*, 1997, 2(3): 1-4, 45.
- [14] 钟锴, 王雪峰, 张田, 等. 东海陆架盆地西部坳陷带中生界残留盆地分布特征与勘探潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(6): 41-51.
- Zhong K, Wang X F, Zhang T, et al. Distribution of residual Mesozoic basins and their exploration potential in the western depression zone of East China Sea Shelf Basin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(6): 41-51.
- [15] 贾承造, 郑民. 东北白垩纪大三江盆地沉积构造演化及其残留盆地群的油气勘探意义[J]. 大庆石油学院学报, 2010, 34(6): 1-12.
- Jia C Z, Zheng M. Sedimentary history, tectonic evolution of Cretaceous Dasanjiang Basin in Northeast China and the significance of oil and gas exploration of its residual basins[J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2010, 34(6): 1-12.
- [16] 王定一. 改造型含油气盆地类型及研究思路[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 19-24.
- Wang D Y. Research thinking and types of reformed petroliferous basins[J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(1): 19-24.
- [17] 张抗. 改造型盆地与天然气勘探[J]. 天然气工业, 1999, 19(3): 1-6.
- Zhang K. Reformation Basin and natural gas exploration[J]. *Natural Gas Industry*, 1999, 19(3): 1-6.
- [18] 刘池洋, 孙海山. 改造型盆地类型划分[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(2): 79-82.
- Liu C Y, Sun H S. Classification of reformed basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1999, 20(2): 79-82.
- [19] 张厚福, 孙红军, 梅红. 多旋回构造变动区的油气系统[J]. 石油学报, 1999, 20(1): 8-12.
- Zhang H F, Sun H J, Mei H. The petroleum system in the region of polycyclic tectonic movement[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(1): 8-12.
- [20] 王英民, 钱奕中. 残余盆地的特征及其油气资源评价方法的发展方向[J]. 海相油气地质, 1996, 1(1): 48-51.
- Wang Y M, Qian Y Z. Characteristics of residual basin and development direction of its hydrocarbon resources evaluation method [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 1996, 1(1): 48-51. (in Chinese)
- [21] 刘池洋, 杨兴科. 改造盆地研究和油气评价的思路[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 11-14.
- Liu C Y, Yang X K. Thinking for researches and oil-gas assessment of reformed basins[J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(1): 11-14.
- [22] 孔凡军, 陈文学. 改造型含油气盆地油气成藏研究进展[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2010, 32(7): 174-176, 196.
- Kong F J, Chen W X. Research progress of hydrocarbon accumulation in reformed petroliferous basins [J]. *Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jiangnan Petroleum Institute)*, 2010, 32(7): 174-176, 196. (in Chinese)
- [23] 王新民, 李相博, 郭彦如. 改造型盆地国内外研究现状与发展趋向[J]. 河南石油, 2002, 16(4): 1-4.
- Wang X M, Li X B, Guo Y R. Status and trend of research on residual basins[J]. *Henan Petroleum*, 2002, 16(4): 1-4.
- [24] 刘池洋, 张东东. 盆地复杂系统特征与研究思想和方法论[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 350-358, 391.
- Liu C Y, Zhang D D. Characteristics, thought of study and methodology of complex system of basin [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2009, 39(3): 350-358, 391.
- [25] 张抗. 改造型盆地研究中的创新思维[J]. 石油科技论坛, 2004(6): 27-30.
- Zhang K. Innovative thinking in the study of reformed basin [J]. *Petroleum Science and Technology Forum*, 2004(6): 27-30. (in Chinese)

- [26] 费宝生. 试论残留型盆地研究思路和油气勘探方法[J]. 海相油气地质, 1998, 3(4): 3-7.
 Fei B S. On research thought-train and petroleum exploration methods for residual-type basins[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 1998, 3(4): 3-7.
- [27] 岳伏生, 王新民, 马龙, 等. 改造型盆地油气成藏与勘探目标——以银根-额济纳旗盆地为例[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(6): 462-465.
 Yue F S, Wang X M, Ma L, et al. Study on hydrocarbon pool formation and prospect targets of reconstructed basin: An example of Yingen-Ejinaqi basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(6): 462-465.
- [28] 陈文礼. 焉耆改造型盆地特征及其油气勘探方向预测[J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25(2): 4-5.
 Chen W L. Characteristics of reconstruction basin in Yanqi Area and direction prediction of oil and gas exploration[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2003, 25(2): 4-5.
- [29] 黄桂雄. 松南地区改造型断陷盆地的勘探潜力——以彰武断陷为例[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2013, 35(1): 46-49.
 Huang G X. Hydrocarbon exploration potential of reconstructed faulted basins in Songnan area: By using Zhangwu fault depression for example [J]. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jianghan Petroleum Institute), 2013, 35(1): 46-49.
- [30] 田在艺, 张庆春. 论改造型盆地与油气成藏——以华北东部盆地为例[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 111-116.
 Tian Z Y, Zhang Q C. Modified basin and its oil and gas generation and accumulation—Case study: eastern part of the North China Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 111-116.
- [31] 蔡厚安, 徐德斌, 李宝芳, 等. 辽西早白垩世火山岩喷发期次及同位素年代学研究[J]. 中国煤炭地质, 2010, 22(12): 1-6.
 Cai H A, Xu D B, Li B F, et al. A study on early cretaceous volcanic effusion periods and isotope chronology in western Liaoning [J]. Coal Geology of China, 2010, 22(12): 1-6.
- [32] 潘玉敬, 黄志安, 吴子杰, 等. 辽西阜新地区义县组火山岩特征及喷发旋回划分[J]. 地质与资源, 2014, 23(S1): 21-26.
 Pan Y Q, Huang Z A, Wu Z J, et al. Characteristics of volcanic rocks and division of eruption cycles of the Yixian Formation in Fuxin, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2014, 23(S1): 21-26.
- [33] 张宏, 柳小明, 李之彤, 等. 辽西阜新-义县盆地及附近地区早白垩世地壳大规模减薄及成因探讨[J]. 地质论评, 2005, 51(4): 360-372.
 Zhang H, Liu X M, Li Z T, et al. Early cretaceous large-scale crustal thinning in the Fuxin-Yixian Basin and adjacent area in western Liaoning[J]. Geological Review, 2005, 51(4): 360-372.
- [34] 徐德斌, 李宝芳, 常征路, 等. 辽西阜新-彰武-黑山区白垩系火山岩 U-Pb 同位素年龄、层序和找煤研究[J]. 地学前缘, 2012, 19(6): 155-166.
 Xu D B, Li B F, Chang Z L, et al. A study of the U-Pb isotope age and the sequence of the Cretaceous volcanics and coal-searching in Fuxin-Zhangwu-Heishan Area, West Liaoning Province [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(6): 155-166.
- [35] 杨仲杰, 鲁伟元, 沈炳龙, 等. 辽西阜新-彰武地区新生代火山岩的岩石地球化学特征及成因分析[J]. 地质与资源, 2016, 25(1): 26-31, 45.
 Yang Z J, Lu W Y, Shen B L, et al. Petrogeochemistry and origin of the Cenozoic volcanic rocks in Fuxin-Zhangwu area, western Liaoning Province[J]. Geology and Resources, 2016, 25(1): 26-31, 45.
- [36] 王晓晗. 辽西阜新地区义县组火山岩岩石地球化学特征及成因分析[J]. 科技展望, 2015, 25(16): 159.
 Wang X H. Rock geochemical characteristics and genesis of the Yixian Formation rock in Fuxin area, western Liaoning[J]. Science and Technology, 2015, 25(16): 159. (in Chinese)
- [37] 张宏福, 郑建平. 华北中生代玄武岩的地球化学特征与岩石成因: 以辽宁阜新为例[J]. 科学通报, 2003, 48(6): 603-609.
 Zhang H F, Zheng J P. Geochemical characteristics and petrogenesis of Mesozoic basalts from the North China craton: A case study in Fuxin, Liaoning Province [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(9): 924-930.
- [38] 路爱平. 盆地构造演化沉积环境及非煤能源矿产评述[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2003, 22(5): 606-608.
 Lu A P. Comments on structural evolution, depositional environment and minerals of non-coal energy [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2003, 22(5): 606-608.
- [39] 李德生, 罗鸣. 中国东、南部中、新生代残留型小含油气盆地的油气富集特点[J]. 石油学报, 1988, 9(4): 1-6.
 Li D S, Luo M. The hydrocarbon accumulations of minor Mesozoic remnant petroliferous basins in South-East China [J]. Acta Petrolei Sinica, 1988, 9(4): 1-6.
- [40] 胡朝元. 生油区控制油气田分布——中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论[J]. 石油学报, 1982, 3(2): 9-13.
 Hu C Y. Source bed controls hydrocarbon habitat in continental basins, East China [J]. Acta Petrolei Sinica, 1982, 3(2): 9-13.
- [41] 殷敬红, 雷安贵, 方炳钟, 等. 辽河外围中生代盆地“下洼找油气”理念[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(1): 6-10.
 Yin J H, Lei A G, Fang B Z, et al. Concept of “seeking for oil and gas deep down depressions” in Liaohe peripheral Mesozoic basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(1): 6-10.
- [42] 苏玉山, 高金慧, 李淑筠, 等. 松南-辽西地区中生代盆地发育特征及含油性评价[J]. 现代地质, 2008, 22(4): 505-511, 519.
 Su Y S, Gao J H, Li S J, et al. The basin growth characteristic and hydrocarbon assessment of the Mesozoic in Songnan-Liaoxi area [J]. Geoscience, 2008, 22(4): 505-511, 519.
- [43] 张浩. 张强凹陷油藏类型及成藏控制因素分析[J]. 石油天然气学

- 报(江汉石油学院学报), 2007, 29(6): 7-12.
- Zhang H. Analysis of reservoir types and reservoir forming control factors in Zhangqiang sag [J]. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jiangnan Petroleum Institute), 2007, 29(6): 7-12. (in Chinese)
- [44]王宇林, 贾翠, 仲米山, 等. 辽西阜新地区义县组的喷发旋回特征[J]. 地层学杂志, 2012, 36(1): 116-124.
- Wang Y L, Jia C, Zhong M S, et al. Characteristics of volcanic eruption cycles in the Yixian Formation in the Fuxin area, western Liaoning [J]. Journal of Stratigraphy, 2012, 36(1): 116-124.
- [45]王辉, 刘忆彤. 阜新凹陷白垩系源岩生烃特征及天然气成因[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(4): 33-40.
- Wang H, Liu Y T. Characteristics of cretaceous source rocks and the origin of natural gas in Fuxin Sag [J]. Marine Geology Frontiers, 2013, 29(4): 33-40.
- [46]肖飞, 赵洪伟, 李永飞, 等. 辽西阜新盆地地下白垩统沙海组油源再认识[J]. 中国地质, 2017, 44(3): 604-605.
- Xiao F, Zhao H W, Li Y F, et al. Re-understanding of oil source of the Lower Cretaceous Shahai Formation in the Fuxin Basin, western Liaoning Province [J]. Geology in China, 2017, 44(3): 604-605.
- [47]秦建义, 郭菲. 阜新盆地石油地质条件基础分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(1): 32-34.
- Qin J Y, Guo F. The fundamental analysis of the oil geological condition in Fuxin basin [J]. Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition), 2008, 25(1): 32-34.
- [48]王秀茹, 路爱平, 张欣宇. 阜新盆地含油气地层特征[J]. 地层学杂志, 2007, 31(4): 385-390.
- Wang X R, Lu A P, Zhang X Y. The features of oil-and gas-bearing strata in the Fuxin Basin [J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31(4): 385-390.
- [49]程日辉, 王东坡, 廖兴明. 伸展背景下陆相地层发育的控制——以阜新盆地为例[J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(6): 7-10.
- Cheng R H, Wang D P, Liao X M. The controls of the continental strata under extension-The example from Fuxin basin [J]. Coal Geology & Exploration, 1998, 26(6): 7-10.
- [50]蔡厚安, 李宝芳, 邵龙义, 等. 辽宁阜新盆地地下白垩统沙海组沉积环境与聚煤规律[J]. 古地理学报, 2011, 13(5): 481-491.
- Cai H A, Li B F, Shao L Y, et al. Sedimentary environments and coal accumulation patterns of the Lower Cretaceous Shahai Formation in Fuxin Basin, Liaoning Province [J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13(5): 481-491.
- [51]赵洪伟. 利用测井和地震响应特征识别优质烃源岩——以松南新区断陷群为例[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2013, 35(8): 7-12.
- Zhao H W. Application of logging and seismic response characters in forecasting the distribution of good quality of source rocks: By taking fault depression group in Songnan new region for example [J]. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jiangnan Petroleum Institute), 2013, 35(8): 7-12.
- [52]刘志刚. 从盆缘特征看阜新盆地成因[J]. 阜新矿业学院学报, 1984, 3(2): 41-48.
- Liu Z G. Proceed from the edge feature of basin inquire cause of formation the Fuxin Basin [J]. Journal of Fuxin Mining Institute, 1984, 3(2): 41-48.
- [53]刘锦, 李东涛, 蒯兵, 等. 阜新地区主要构造旋回变质变形特征及其地质意义[J]. 地质找矿论丛, 2013, 28(1): 111-117.
- Liu J, Li D T, Kuai B, et al. The metamorphism-deformation features of major tectonic cycles in Fuxin area and the geological significance [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2013, 28(1): 111-117.
- [54]刘志刚. 阜新盆地盆缘断裂与构造演化[J]. 辽宁地质, 1990 (1): 9-19.
- Liu Z G. Basin-margin faults and tectonic evolution of Fuxin Basin [J]. Liaoning Geology, 1990 (1): 9-19.
- [55]张晓丽, 何金先. 构造应力对阜新盆地煤层气成藏的影响[J]. 中国煤层气, 2010, 7(2): 7-12.
- Zhang X L, He J X. Impact of tectonic stress on reservoir forming of coalbed methane in Fuxin Basin [J]. China Coalbed Methane, 2010, 7(2): 7-12.
- [56]杨庚, 郭华. 辽西地区构造系统的形成与东北亚区域构造演化[J]. 铀矿地质, 2002, 18(4): 193-201.
- Yang G, Guo H. Formation of structural systems in western Liaoning and regional tectonic evolution of northeastern Asia [J]. Uranium Geology, 2002, 18(4): 193-201.
- [57]王五力, 付俊戎, 杨雅军. 中国东北晚中生代—新生代盆山体系构造演化及成因探讨[J]. 地质与资源, 2012, 21(1): 17-26.
- Wang W L, Fu J Y, Yang Y J. Tectonic evolution and genesis of the late Mesozoic-Cenozoic basin-and-mountain system of Northeast China [J]. Geology and Resources, 2012, 21(1): 17-26.
- [58]何登发, 马永生, 杨明虎. 油气保存单元的概念与评价原理[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 1-8.
- He D F, Ma Y S, Yang M H. Concept and appraisal principles of hydrocarbon preservation unit [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 1-8.
- [59]付晓飞, 吴桐, 吕延防, 等. 油气藏盖层封闭性研究现状及未来发展趋势[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(3): 454-471.
- Fu X F, Wu T, Lyu Y F, et al. Research status and development trend of the reservoir caprock sealing properties [J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(3): 454-471.
- [60]周雁, 金之钧, 朱东亚, 等. 油气盖层研究现状与认识进展[J]. 石油实验地质, 2012, 34(3): 234-245, 251.
- Zhou Y, Jin Z J, Zhu D Y, et al. Current status and progress in research of hydrocarbon cap rocks [J]. Petroleum Geology &

- Experiment, 2012, 34(3): 234-245, 251.
- [61]张树林, 田世澄. 盖层的研究方法及其在油气勘探中的意义[J]. 地质科技情报, 1993, 12(1): 73-78.
Zhang S L, Tian S C. Methods for research of caprocks and their significance in hydrocarbon exploration [J]. Geological Science and Technology Information, 1993, 12(1): 73-78.
- [62]秦建中, 刘伟新, 范明, 等. 泥岩研究与盖层评价技术[J]. 石油实验地质, 2013, 35(6): 689-693, 706.
Qin J Z, Liu W X, Fan M, et al. Shale research progress and achievements in seal appraisal technology [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(6): 689-693, 706.
- [63]袁玉松, 范明, 刘伟新, 等. 盖层封闭性研究中的几个问题[J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 336-340, 347.
Yuan Y S, Fan M, Liu W X, et al. Several discussions of sealing capacity studies of caprock [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(4): 336-340, 347.
- [64]王欢, 王琪, 张功成, 等. 琼东南盆地梅山组泥岩盖层封闭性综合评价[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(2): 152-158.
Wang H, Wang Q, Zhang G C, et al. Comprehensive evaluation on the sealing ability of mudstone caprock in Meishan Formation of Qiongdongnan Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(2): 152-158.
- [65]冯冲, 黄志龙, 童传新, 等. 莺歌海盆地莺歌海组二段泥岩盖层封闭性综合评价[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(4): 373-377.
Feng C, Huang Z L, Tong C X, et al. Comprehensive evaluation on the sealing ability of mudstone cap rock in Member 2 of Yinggehai Formation of Yinggehai Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(4): 373-377.
- [66]付广, 吕延防. 复合型盖层在我国大中型气田形成中的重要作用[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(1): 18-21, 72.
Fu G, Lv Y F. Importance of complex caprock in sealing large and medium sized gas fields in China [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(1): 18-21, 72.
- [67]王伟峰, 陆诗阔, 谢向阳, 等. 阜新盆地的油气保存条件[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(3): 202-206.
Wang W F, Lu S K, Xie X Y, et al. Evaluation of hydrocarbon preservation conditions in Fuxin basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1998, 19(3): 202-206.
- [68]龚建明, 温珍河, 戴春山. 阜新盆地的储层特征及其勘探方向[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(2): 81-90.
Gong J M, Wen Z H, Dai C S. Reservoir characteristics and exploratory targets of Fuxin basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1998, 18(2): 81-90.
- [69]赵忠英, 王宇林, 姜志刚. 阜新盆地艾友矿区沙海组沉积环境及聚煤规律[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, 25(S2): 58-60.
Zhao Z Y, Wang Y L, Jiang Z G. Sedimentary environment and coal accumulation of Shahai formation of Aiyu coalmine field in Fuxin basin [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2006, 25(S2): 58-60.
- [70]郭正义. 阜新盆地沙海组的冲积扇—扇三角洲体系及其与聚煤作用的关系[J]. 煤田地质与勘探, 1988(4): 2-7.
Guo Z Y. Alluvial fan fan delta system of Shahai formation in Fuxin Basin and its relationship with coal accumulation [J]. Coal Geology & Exploration, 1988(4): 2-7. (in Chinese)
- [71]李思田, 夏文臣, 杨士恭, 等. 阜新盆地晚中生代沙海组浊流沉积和相的空间关系[J]. 地质学报, 1985, 59(1): 61-73.
Li S T, Xia W C, Yang S G, et al. Turbidity current deposits of the Shahai formation in Fuxin basin and their spatial relations with other facies [J]. Acta Geologica Sinica, 1985, 59(1): 61-73.
- [72]赵洪伟. 松南新区彰武断陷油气地质特征及成藏条件分析[J]. 世界地质, 2012, 31(4): 721-729.
Zhao H W. Geological features and oil-gas accumulation conditions of Zhangwu depression in new exploration area of southern Songliao Basin [J]. Global Geology, 2012, 31(4): 721-729.
- [73]王祁军, 鲁国军, 方炳钟, 等. 开鲁盆地陆西凹陷九佛堂组油气成藏特征及分布[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4): 373-376, 383.
Wang Q J, Zan G J, Fang B Z, et al. Accumulation characteristics and petroleum distribution in Jiufotang Formation, the Luxi sag, The Kailu basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(4): 373-376, 383.
- [74]李强, 田晓平, 何京, 等. 断层封闭性定量表征及对油气富集的控制作用[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2018, 40(4): 40-50.
Li Q, Tian X P, He J, et al. Quantitative characterization of fault sealing and its control on hydrocarbon accumulation [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2018, 40(4): 40-50.
- [75]Bretan P, Yielding G, Jones H. Using calibrated shale gouge ratio to estimate hydrocarbon column heights [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(3): 397-413.
- [76]付广, 展望铭. 活动期断裂侧向封闭的地质条件及其研究方法[J]. 天然气工业, 2016, 36(10): 28-34.
Fu G, Zhan M W. Geological conditions for lateral sealing of active faults and relevant research methods [J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(10): 28-34.
- [77]梁斌, 王臣. 断层形态及其封闭特征对油气成藏的控制作用[J]. 石油化工应用, 2020, 39(3): 99-104.
Liang B, Wang C. Control effect of fault morphology and its sealing characteristics on hydrocarbon accumulation [J]. Petrochemical Industry Application, 2020, 39(3): 99-104.
- [78]赵洪伟, 陈树旺, 汪大明, 等. 阜新盆地油气勘探获得重大突破[J]. 中国地质, 2018, 45(4): 857-858.
Zhao H W, Chen S W, Wang D M, et al. Major breakthroughs in oil and gas exploration in the Fuxin Basin [J]. Geology in China, 2018, 45(4): 857-858.