



辽东地区上古生界层序地层格架及生储盖特征

吴炳伟, 崔晓磊, 赖 鹏, 周铁锁, 孙 转

中国石油辽河油田分公司 勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010

摘 要: 辽东地区上古生界石炭系—二叠系发育较齐全, 在区域构造沉积演化、岩石组合特征、沉积相分析等研究基础上, 运用层序地层学理论和方法, 对辽东地区上古生界进行层序地层研究, 将石炭系本溪组—二叠系蛤蟆山组划分为 1 个超层序、6 个层序, 分别发育于陆表海、滨岸、三角洲及河流沉积背景下, 通过建立区域层序地层格架, 探讨在层序地层格架内以体系域为单位的生储盖组合发育特征, 认为上古生界区域性烃源岩和盖层主要形成于凝缩段和水进体系域上部、高位体系域下部, 有利储层主要发育在低位体系域和水进体系域, 纵向上构成 2 种类型 5 套生储盖组合, 其中山西组“自生自储型”为上古生界致密砂岩气最有利的组合类型。

关键词: 层序地层; 上古生界; 生储盖组合; 体系域; 辽东地区

UPPER PALEOZOIC SEQUENCE STRATIGRAPHIC FRAMEWORK AND SOURCE-RESERVOIR-CAP CHARACTERISTICS IN EASTERN LIAONING PROVINCE

WU Bing-wei, CUI Xiao-lei, LAI Peng, ZHOU Tie-suo, SUN Zhuan

Exploration and Development Research Institute, Liaohe Oilfield Branch Company of PetroChina, Panjin 124010, Liaoning Province, China

Abstract: The Upper Paleozoic Carboniferous-Permian strata are well developed in eastern Liaoning Province. Based on the regional tectonic sedimentary evolution, rock association characteristics and sedimentary facies analysis, the paper studies the sequence stratigraphy of Upper Paleozoic in eastern Liaoning with the theory and method of sequence stratigraphy. The Carboniferous Benxi Formation-Permian Hamashan Formation is recognized as 1 supersequence including 6 sequences, which are developed in epicontinental sea, shoreland, delta and fluvial sedimentary setting respectively. By establishing the regional sequence stratigraphic framework, the paper discusses the development characteristics of source-reservoir-cap assemblages with system tract as unit in the sequence stratigraphic framework. It is considered that the Upper Paleozoic regional source rocks and caps were mainly formed in the condensed section and upper transgressive system tract, and the lower highstand system tract, with the favorable reservoirs mainly developed in the lowstand and transgressive system tracts, forming two types, five sets of source-reservoir-cap combinations vertically, among which the self-generation and self-reservoir type of Shanxi Formation is the most favorable assemblage of Upper Paleozoic tight sandstone gas.

Key words: sequence stratigraphy; Upper Paleozoic; source-reservoir-cap combination; system tract; eastern Liaoning Province

收稿日期: 2024-02-26; 修回日期: 2024-03-13. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“辽河探区可持续规模增储勘探关键技术研究”(2017E-1601); 辽河油田公司科技项目“辽河坳陷区域构造演化与主要构造层分布”(2023QZJC-02).

作者简介: 吴炳伟(1967—), 男, 高级工程师, 主要从事基础石油地质研究工作, 通信地址 辽宁省盘锦市兴隆台区辽河油田勘探开发研究院西部所, E-mail/wubw673@163.com

0 引言

辽东地区位于辽宁省东部辽阳-本溪一带,东西长约 300 km,南北宽 40~60 km. 大地构造位置处于华北板块东北部,包括太子河向斜和辽河拗陷东部凸起(图 1). 受加里东运动影响,研究区自早古生代中奥陶世末开始隆升,遭受风化剥蚀,缺失晚奥陶世—早石炭世沉积. 晚古生代晚石炭世开始海侵,接受沉积,辽东地区进入稳定的陆内拗陷盆地演化阶段. 晚石炭世—早二叠世本区为陆表海背景下的陆源碎屑含煤建造夹碳酸盐岩沉积. 中晚二叠世,随着海水退去,发育湖泊—三角洲—河流等陆相碎屑岩沉积建造^[1-3].

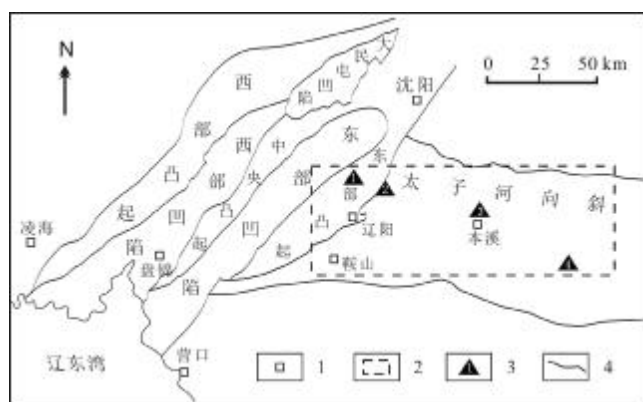


图 1 辽东地区大地构造位置图

Fig. 1 Tectonic location map of eastern Liaoning Province

1—城镇(town); 2—研究区(study area); 3—代表剖面(typical section);
4—构造边界(tectonic boundary)

辽东地区是华北地台石炭系—二叠系最发育的地区之一,地层研究历史悠久,区域地质研究程度较高,但对层序地层研究较少^[1,4-5]. 同属华北地台的陕甘宁地区石炭系—二叠系与研究区具有相似的岩石充填序列,层序地层研究程度较高,并根据层序地层研究成果,预测有利烃源岩和储层分布,有效指导了鄂尔多斯盆地油气地质条件评价和勘探部署^[6-10]. 近年来,辽河油田在辽河拗陷东部凸起实施了王参 1 井等多口古生界区域探井,揭示了完整的晚古生代地层,其岩石组合特征和古生物群与辽东地区一致,但由于钻井资料有限,制约了对上古生界分布预测及生储盖条件评价. 本文从辽东地区野外露头层序地层研究入手,结合辽河拗陷钻井资料,建立辽东—辽河拗陷东部凸起上古生界层序地层格架,描述层序地层特征,剖析层序格架内的油气生储盖组合类型和特征,从而明确有利的生

储盖组合,以期为辽河拗陷古生界潜山油气勘探部署提供依据.

1 区域地层特征

辽东地区上古生界石炭系—二叠系自下而上共划分为 5 个组,包括石炭系本溪组、太原组,二叠系山西组、石盒子组和蛤蟆山组,其岩石地层发育特征如下^[1,11-14](图 2).

本溪组分为两段,湖田段为紫红色、杂色页岩夹 G 层铝土矿或铝土页岩,底部常见风化残积的铁质、泥质砂砾岩;新洞沟段为紫色、黄绿色砂质页岩、粉砂岩夹页岩或煤线,厚度 50~300 m,东厚西薄. 与下伏马家沟组呈区域不整合接触.

太原组为黄灰色页岩、砂岩和灰岩构成的多个旋回层组成,一般含 3~5 层灰岩,通常以灰岩的出现和结束作为本组的上下界限. 厚度 60~201 m,东厚西薄. 与下伏本溪组呈整合接触.

山西组岩性为灰色砂岩、粉砂岩与黑色页岩互层,夹煤层和铝土页岩. 纵向上呈 2 个由粗到细的正旋回,可分为上下两段,煤层主要发育在下段. 厚度 175~263 m,各地变化不大. 与下伏太原组呈整合接触.

石盒子组岩性为灰白色、黄绿色砂岩与黄绿、紫色等杂色页岩、粉砂质页岩互层,含铝土矿或黏土矿. 常以中下部粗粒含砾石英砂岩为界,即一个假整合面,分为上下两部分,上部为彩家段,下部为柳塘段. 厚度 602~1 481 m. 与下伏山西组呈整合接触.

蛤蟆山组岩性为紫色、灰紫色砂砾岩夹砂质页岩. 只分布于本溪彩屯—郑家屯一带,厚度 182 m. 与下伏石盒子组呈整合或平行不整合接触.

2 层序地层格架

辽东地区石炭纪—二叠纪经历了河流相—陆表海—近海湖盆—陆内湖盆—河流相的沉积演化,期间虽然海水进退频繁,但总体表现为一个区域性的海侵—海退序列. 本溪组以陆相河流—滨岸沉积为主;太原组为陆表海背景下的陆源碎屑岩和碳酸盐岩沉积;山西组为海陆交互的煤系地层;石盒子组和蛤蟆山组主要为陆相粗碎屑沉积,构成一个完整的高级别沉积旋回^[1-2,4]. 本溪组底界面和蛤蟆山组顶界面为 2 个区域不整合面,可将上古生界划分为 1 个超层序,并进

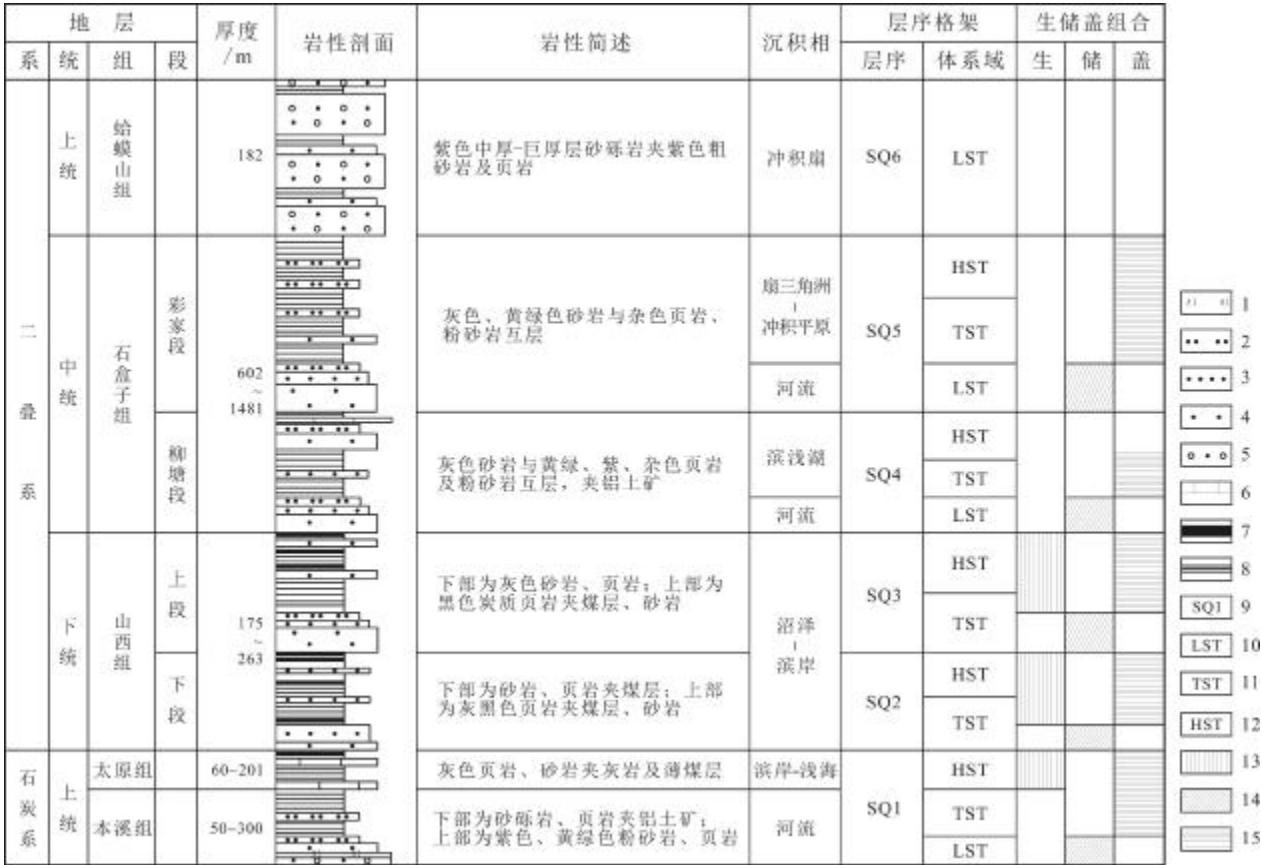


图 2 辽东地区上古生界地层综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column of Upper Paleozoic in eastern Liaoning Province

1—铝土矿(bauxite); 2—粉砂岩(siltstone); 3—细砂岩(fine sandstone); 4—粗砂岩(coarse sandstone); 5—砂砾岩(glutenite); 6—灰岩(limestone); 7—煤(coal); 8—页岩(shale); 9—层序及编号(sequence and number); 10—低位体系域(lowstand system tract); 11—水进体系域(transgressive system tract); 12—高位体系域(highstand system tract); 13—烃源岩(source rock); 14—储层(reservoir); 15—盖层(cap rock)

一步划分出 6 个层序(图 2)。

2.1 层序界面及层序划分

层序界面识别是层序划分的基础。根据区域构造演化、岩石组合特征、沉积相特征等综合分析,研究区上古生界存在 6 个主要层序界面。1)本溪组底部区域不整合面,为加里东运动大规模构造抬升形成的区域不整合,不整合面上发育风化壳,代表了 150 Ma 的沉积间断;2)山西组底部中粗粒石英砂岩的底面,为一构造抬升面,从此时开始海水逐渐退出辽东地区,沉积体系发生转换,由本溪组和太原组的滨岸-陆表海沉积演变为山西组下段海陆过渡相沉积,表现在岩石组合上存在较大差异,本溪组和太原组以砂岩、页岩、灰岩为主,山西组以砂岩、页岩、煤组合为特征,该界面之下太原组灰岩(页岩)与之上的山西组砂岩的岩性突变,反映了沉积环境和沉积物供给量发生较大改变;

3)山西组上段底部中粗粒石英砂岩的底面,为厚层砂岩叠置在厚层页岩、炭质页岩或煤层之上,指示沉积环境的变化,界面之下发育 1 期完整的海侵—海退旋回,自此海水完全退出本区;4)石盒子组底部厚层块状砂岩的底面,常由多期河道或分流河道砂岩纵向叠置而成,平面展布较广,内部发育大型槽状和板状交错层理,对下伏山西组厚层泥岩、炭质泥岩造成冲刷下切,反映充填及迁移的沉积特征,是基准面下降较快的标志;5)石盒子组彩家段底部厚层砂岩的底面,叠覆于柳塘段顶部铝土矿或黏土矿(A 层)之上,铝土矿或黏土矿是风化淋滤形成的产物,代表了彩家段和柳塘段之间的沉积间断;6)蛤蟆山组底界面,为一构造体制转换面,与海西运动第四幕相对应,研究区整体抬升,气候干旱,形成一套河流-冲积扇相的红、杂色粗碎屑沉积建造。据此,将辽东地区上古生界划分为 6 个层

序,对应的岩石地层单位分别是本溪组—太原组、山西组下段、山西组上段、石盒子组柳塘段、石盒子组彩家段和蛤蟆山组。

2.2 层序地层特征

层序 1:与其对应的岩石地层单位是本溪组和太原组,由低位体系域、水进体系域和高位体系域组成(图 3)。低位体系域在本溪地区野外剖面表现明显,主要由紫红色含角砾铁质泥岩、含砾粗粒石英砂岩、中细粒砂岩—粉砂质泥岩、泥质粉砂岩组成,常发育块状层理和水平层理。地层结构以进积为特征,为河流—三角洲沉积。由于下伏马家沟组风化侵蚀面凹凸不平,该层序岩性组合和厚度横向变化较大,具有填平补齐的特点。向西侧的辽河拗陷东部凸起一带由紫红、杂色泥岩等风化残积物组成,东侧的草河掌剖面则表现不清或缺失。海侵体系域由泥页岩夹粉、细砂岩和含生屑微晶灰岩等多个旋回组成,地层结构以退积为特征,代表陆表海背景下的混积海湾夹滨岸—潮坪沉积。代表最大海泛面的沉积为一层较厚的深灰色生物碎屑灰岩(本溪灰岩),含有蛭类、腕足、珊瑚、海百合茎、苔藓

虫等化石。高位体系域主要由灰黑色泥页岩夹泥质粉砂岩和透镜状或薄层生物碎屑灰岩等多个旋回构成,灰岩中含蛭类、腕足类和珊瑚等化石,属于混积海湾夹滨岸沉积,局部出现潮上沼泽化泥炭沉积。

层序 2:与其对应的岩石地层单位是山西组下段,由水进体系域和高位体系域组成(图 3)。该层序底部的厚层砂岩代表海侵的开始,水进体系域主要由中细粒石英砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和由灰黑色炭质页岩、煤层组成的多个退积序列构成,灰黑色炭质页岩中含菱铁矿结核,沉积环境为滨岸—含煤沼泽。与最大海泛面对应的凝缩段为中部一层稳定分布的中—薄层黄绿色页岩和黑色泥岩,含较多的海百合茎、腕足类和腹足类化石,形成于水体相对较深且较安静的浅海海湾环境。高位体系域由灰色中厚层砂岩、粉砂岩、粉砂质页岩、灰黑色炭质泥岩夹煤层组成的进积式序列构成,局部夹黄绿色页岩,沉积环境主要为含煤沼泽和滨岸,间歇出现浅海海湾。

层序 3:与其对应的岩石地层单位是山西组上段,由水进体系域和高位体系域组成(图 3)。该层序底部

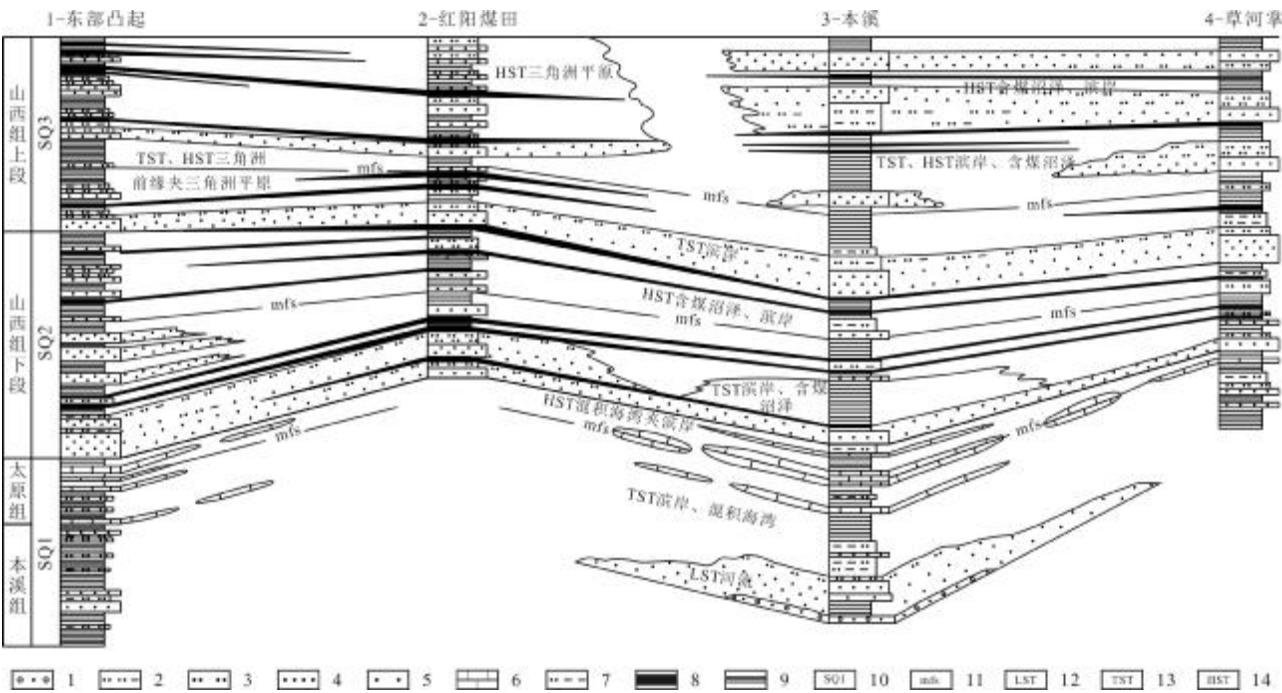


图 3 辽东地区上古生界本溪组—山西组层序地层格架

Fig. 3 Sequence stratigraphic framework of Upper Paleozoic Benxi Formation-Shanxi Formation in eastern Liaoning Province
1—砂砾岩 (glutenite); 2—泥质粉砂岩 (argillaceous siltstone); 3—粉砂岩 (siltstone); 4—细砂岩 (fine sandstone); 5—粗砂岩 (coarse sandstone); 6—灰岩 (limestone); 7—粉砂质泥岩 (silty mudstone); 8—煤 (coal); 9—页岩 (shale); 10—层序及编号 (sequence and number); 11—最大海泛面 (maximum flooding surface); 12—低位体系域 (lowstand system tract); 13—水进体系域 (transgressive system tract); 14—高位体系域 (highstand system tract)

的厚层砂岩代表海侵的开始,水进体系域下部主要由含砾粗粒石英砂岩、中细粒长石岩屑砂岩、细粒石英砂岩夹粉砂岩组成的退积序列构成,属于滨岸环境的产物;上部由中—薄层细砂岩、粉砂岩和黑色页岩、炭质页岩夹煤层组成的退积序列构成,形成于滨岸—含煤沼泽环境。与最大海泛面对应的沉积为灰黑、黄绿色页岩,本溪等地含海相生物化石,属于短暂海侵形成的产物。高位体系域由多个进积序列构成,由灰白、白色中细粒石英砂岩、灰黑色炭质泥岩夹煤层等多旋回组成,代表由滨岸—滨岸沼泽的多旋回沉积演化过程。在东部凸起一带,则出现三角洲沉积,其分布范围较小。

层序4:与其对应的岩石地层单位是石盒子组柳塘段,由低位体系域、水进体系域和高位体系域组成(图4)。低位体系域由具正粒序的中粗粒岩屑砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩夹细砂岩组成,总体表现为河流环境;水进体系域岩性为杂色泥页岩与灰白色中细粒砂岩、粉砂岩互层,反映了滨浅湖—三角洲沉积环境。代表最大海泛面的沉积为浅湖环境中的深灰、黄绿、黑色页岩。高位体系域仍然是以砂岩、粉砂岩、泥岩间互为主的滨浅湖—三角洲沉积。

层序5:与其对应的岩石地层单位是石盒子组彩家段,由低位体系域、水进体系域和高位体系域组成,其特征在区域上有较大差异(图4)。低位体系域由含

砾粗粒石英砂岩、细砂岩夹灰绿、紫色粉砂岩组成,形成于河流环境。水进体系域和高位体系域在草河掌—本溪一带主要由巨厚层灰、紫色泥岩、黄绿色粉砂岩夹中厚层砂岩组成,形成于河流与泛滥平原组成的冲积平原环境;红阳煤田—东部凸起一带则主要由紫红色泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩与细砂岩不等厚互层组成,属于扇三角洲前缘沉积。

层序6:与其对应的岩石地层单位是蛤蟆山组,该层序由于受区域构造作用抬升剥蚀,仅在本溪地区残留有低位体系域(图4)。本溪地区的低位体系域是干旱气候条件下冲积扇沉积环境中的产物,岩性由紫色厚层块状砾岩夹含砾砂岩、粉砂岩与页岩构成的红色岩系。

3 层序格架中的生储盖组合特征

3.1 层序格架中的烃源岩发育特征

华北地台晚古生代具有相似的沉积环境和沉积充填特征,石炭系—二叠系发育海陆过渡相的煤系烃源岩,这套烃源岩具有广覆式生烃特征,是鄂尔多斯盆地上古生界致密砂岩气藏和下古生界马家沟组风化壳气藏的主力烃源岩^[6-7],在渤海湾盆地济阳拗陷潜山也发现了石炭系—二叠系自生自储的原生气藏^[15]。研究区石炭系—二叠系虽经历了印支—燕山构造运动破坏、

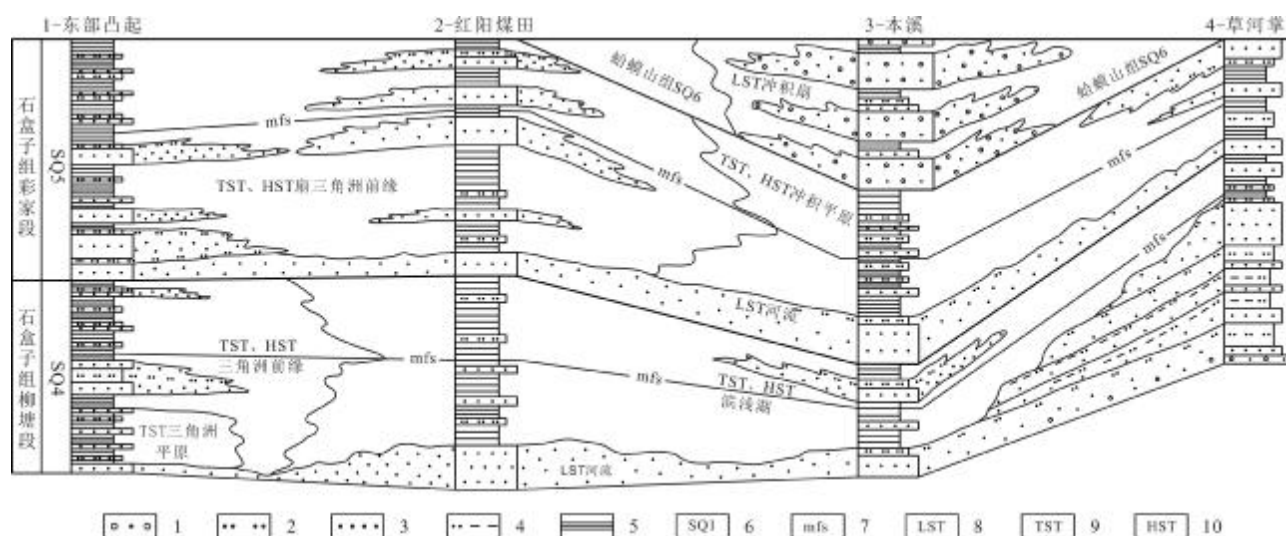


图4 辽东地区上古生界石盒子组—蛤蟆山组层序地层格架

Fig. 4 Sequence stratigraphic framework of Upper Paleozoic Shihezi Formation-Hamashan Formation in eastern Liaoning Province

1—砂砾岩(glutenite); 2—粉砂岩(siltstone); 3—细砂岩(fine sandstone); 4—粉砂质泥岩(silty mudstone); 5—页岩(shale); 6—层序及编号(sequence and number); 7—最大海泛面(maximum flooding surface); 8—低位体系域(lowstand system tract); 9—水进体系域(transgressive system tract); 10—高位体系域(highstand system tract)

抬升剥蚀,但仍分布较广,特别是在西侧的辽河拗陷东部凸起等覆盖区保存较好,烃源岩主要发育在太原组和山西组,在层序地层格架中具有如下发育特征.

研究区主力烃源岩主要发育在凝缩段和紧邻凝缩段的水进体系域上部、高位体系域下部,其中以凝缩段生烃能力最好(图 3、4).各层序凝缩段主要由灰黑色、深灰色、黄绿色泥页岩、粉砂质泥岩、生屑泥晶灰岩等岩性组成,是最大海侵期的产物,水体环境有利于有机质形成和保存.在缓慢海侵的层序结构中,品质较好的烃源岩主要发育在水进体系域上部,并包含凝缩段的沉积(QS1-TST、QS2-TST、QS3-TST).在快速海退的层序结构中,也可以形成烃源岩层,主要发育在高位体系域的上部(QS3-HST).

通过野外露头 and 钻井样品分析,对太原组和山西组烃源岩进行评价(表 1).太原组:暗色泥岩 TOC 含量 0.37%~1.52%,平均为 0.78%;氯仿沥青“A”含量 0.0041%~0.021%,平均为 0.00995%;生烃潜量 0.1×10^{-3} ~ 0.23×10^{-3} ,平均为 0.12×10^{-3} ;辽河拗陷东部凸起王参 1 井实测 R_o 为 2.42%;有机质类型为 II—III 型,综合评价为过成熟中等烃源岩.山西组下段:暗色泥岩 TOC 含量 0.53%~5.69%,平均为 3.31%;氯仿沥青“A”含量 0.007%~0.0133%,平均为 0.01%;生烃潜量 0.14×10^{-3} ~ 2.71×10^{-3} ,平均为 0.63×10^{-3} .煤 TOC 含量 18.6%~82.9%,平均为 58.2%;生烃潜量 2.98×10^{-3} ~ 42.84×10^{-3} ,平均为 15.28×10^{-3} .辽河拗陷东部凸起王参 1 井实测 R_o 为 2.35%,有机质类型为 II—III 型.山西组下段煤系综合评价为过成熟极好—好烃源岩.山西组上段:暗色泥岩 TOC 含量 0.9%~9.26%,平均为 2.95%;氯仿沥青“A”含量 0.01%~0.016%,平均为

0.011%;生烃潜量 0.03×10^{-3} ~ 2.09×10^{-3} ,平均为 0.7×10^{-3} .煤 TOC 含量 45.8%;生烃潜量 7.34×10^{-3} .辽河拗陷东部凸起王参 1 井实测 R_o 为 2.31%,有机质类型为 II—III 型^[16-18].山西组上段煤系综合评价为过成熟好烃源岩.上古生界烃源岩各项参数分析表明,山西组煤系为最有利烃源岩,煤层和暗色泥岩有一定厚度且分布稳定,有机质演化程度高,以生气为主,具有较好的资源基础.

3.2 层序格架中的储层发育特征

研究区层序格架中的储层主要发育于低位体系域的河流、滨岸沉积,水进体系域的滨岸、滨浅湖沉积(图 3、4),其中,低位体系域的河道砂体和滨岸砂体储集性能较好.本溪组层序的低位体系域(QS1-LST)河流相砂体由含砾粗粒岩屑石英砂岩、粗—细粒岩屑砂岩组成,局部发育残余粒间孔及岩屑溶孔.石盒子组柳塘段和彩家段低位体系域(QS4-LST、QS5-LST)储层由河流相中—粗粒长石岩屑砂岩、细—中粒岩屑砂岩组成.水进体系域的滨岸、滨浅湖砂体主要为山西组下段和上段层序中水进体系域(QS2-TST、QS3-TST)的滨岸相中—细粒石英砂岩,石盒子组柳塘段层序中水进体系域(QS4-TST)滨浅湖相粗—细粒岩屑石英砂岩夹粉砂岩、长石岩屑砂岩.

通过野外露头 and 钻井样品分析,对上古生界储层进行评价(表 2).本溪组:岩石类型主要为含砾粗—细粒岩屑石英砂岩.岩屑成分为千枚岩、板岩、片岩、凝灰岩等,含量 25%左右,长石含量 2%~7%;填隙物为绿泥石、水云母;胶结物主要为绿泥石.孔隙类型主要有残余粒间孔、粒内溶孔,平均孔隙度 3.4%.山西组下段:岩石类型主要为粗粒岩屑砂岩、中-细粒岩屑石英

表 1 辽东地区上古生界烃源岩参数表
Table 1 Parameters of Upper Paleozoic source rocks in eastern Liaoning Province

层位	岩性	TOC(平均)/%	氯仿沥青“A”(平均)/%	生烃潜量(平均)/ 10^{-3}	R_o /%	有机质类型	综合评价
山西组上段	泥岩	2.95	0.011	0.7	2.31	II—III	好
	煤	45.8		7.34			
山西组下段	泥岩	3.31	0.01	0.63	2.35	II—III	极好—好
	煤	58.2		15.28			
太原组	泥岩	0.78	0.00995	0.12	2.42	II—III	中等

表 2 辽东地区上古生界储层参数表

Table 2 Parameters of Upper Paleozoic reservoirs in eastern Liaoning Province

层位	岩性	孔隙度/%	孔隙类型	渗透率/mD	综合评价
石盒子组彩家段	长石岩屑砂岩	1.6~9.0	残余粒间孔、岩屑溶孔		
石盒子组柳塘段	长石岩屑砂岩	2.4~5.1	残余粒间孔、粒内溶孔		
山西组上段	石英砂岩、长石岩屑砂岩	2.5~4.6	粒内溶孔、残余粒间孔	0.01~0.1	超低孔、超低渗
山西组下段	岩屑砂岩、岩屑石英砂岩	2.7~3.6	晶内溶孔		
本溪组	含砾岩屑石英砂岩	2.6~3.6	残余粒间孔、粒内溶孔		

砂岩,岩屑以千枚岩、云母片岩为主,含量达 30%,长石含量 2%~3%;填隙物为黏土与千枚岩屑形成的假基质。孔隙类型主要为长石沿解理溶蚀成的晶内微孔,平均孔隙度 3.15%。山西组上段:岩石类型主要为细—粗粒石英砂岩、长石岩屑砂岩,岩屑主要为千枚岩、酸性火山岩、凝灰岩、燧石等,酸性火山岩屑和凝灰岩屑大多已绿泥石化、绢云母化;填隙物为水云母、绿泥石,胶结物主要为石英,呈次生加大胶结。孔隙类型主要为粒内溶孔、晶内溶孔、残余粒间孔等,平均孔隙度 3.3%。石盒子组柳塘段:岩石类型主要为长石岩屑砂岩,岩屑主要为千枚岩、绢云母石英片岩、酸性火山岩、泥岩等,填隙物为水云母、绿泥石;胶结物以石英次生加大为主,孔隙类型主要为残余粒间孔、粒内溶孔、晶内溶孔等,平均孔隙度 3.5%。石盒子组彩家段:岩石类型主要为长石岩屑砂岩、岩屑砂岩,岩屑主要为千枚岩、片岩、泥岩等,填隙物为水云母、绿泥石;胶结物以石英次生加大为主,孔隙类型主要为残余粒间孔、岩屑溶孔等,平均孔隙度 4.7%。上古生界砂岩储层各项参数分析表明,整体储集性能较差,孔隙度一般 1.5%~5.0%,渗透率为 0.01~0.1 mD,属于超低孔、超低渗储层^[18]。但自下而上储层物性相对变好,最有利储层是石盒子组低位体系域河道砂岩和山西组水进体系域滨岸砂岩。

3.3 层序格架中的盖层发育特征

研究区层序格架中的区域盖层的分布特征与烃源岩分布特征基本一致,主要分布于太原组中部、山西组下段中部、山西组上段中下部。盖层岩性主要为灰黑色、黄绿色泥页岩、深灰色泥晶灰岩等,为浅海海湾、滨岸沼泽和浅湖环境中的沉积产物,多发育在各层序的凝缩段及与凝缩段相邻的水进体系域和高位体系域

中。这是因为在海侵至高海平面相对静止期时,可容空间大,沉积物供给速率极低,缺乏粗粒陆源碎屑和内碎屑沉积,形成的沉积物较细,在后期成岩改造过程中容易形成较致密的岩层。

3.4 层序格架中的生储盖组合特征

层序地层格架控制了生储盖组合的发育,层序格架的构成和特征决定了生储盖组合特征及差异^[19-20]。研究区上古生界存在“自生自储型”和“下生上储型”2 种类型 5 套生储盖组合。

自生自储型:第一套是以山西组下段水进体系域上部和凝缩段暗色泥页岩及煤层为烃源岩,山西组下段水进体系域下部滨岸砂岩为储层,山西组下段凝缩段厚层泥页岩为盖层的生储盖组合;第二套是以山西组上段凝缩段和高位体系域下部暗色泥页岩及煤层为烃源岩,山西组上段水进体系域滨岸砂岩为储层,山西组上段凝缩段厚层泥页岩为盖层的生储盖组合。“自生自储型”生储盖组合中的储层与烃源岩直接接触或被烃源岩包裹,油气经短距离运移成藏,为上古生界致密气最有利的组合类型,具有“相带控储,物性控藏”的成藏特点。

下生上储型:第一套是以太原组水进体系域浅海海湾暗色泥岩为烃源岩,山西组下段水进体系域下部滨岸砂岩为储层,山西组下段凝缩段厚层泥页岩为盖层的生储盖组合;第二套是以山西组下段水进体系域上部和凝缩段暗色泥页岩及煤层为烃源岩,山西组上段水进体系域滨岸砂岩为储层,山西组上段凝缩段厚层泥页岩为盖层的生储盖组合;第三套是以山西组凝缩段暗色泥页岩及煤层为烃源岩,石盒子组柳塘段底部和彩家段底部低位体系域河流相砂岩为储层,石盒子组柳塘段中上部和彩家段中上部高位体系域三角洲

平原和冲积平原泥岩为盖层,“下生上储型”生储盖组合中烃源岩生成的油气需要通过断层或纵向叠置砂体向上运移到岩性或构造圈闭中成藏,“源—储—缝”的耦合关系是成藏的关键。

4 结论

(1)辽东地区石炭纪—二叠纪经历了陆相—海陆交互相—陆相的沉积演化,总体表现为一个区域性的海侵—海退序列,古气候经历了温热—温暖潮湿—干旱炎热的演变。本溪组以河流—滨岸相陆源碎屑岩沉积为主;太原组为陆表海背景下的陆源碎屑岩和碳酸盐岩沉积;山西组为海陆交互相的煤系地层;石盒子组和蛤蟆山组主要为陆相粗碎屑沉积。

(2)根据区域构造演化、岩石组合特征、沉积相特征等综合分析,在上古生界识别出 6 个主要层序界面,将上古生界划分为 1 个超层序、6 个层序,对应的岩石地层单位分别是本溪组和太原组、山西组下段、山西组上段、石盒子组柳塘段、石盒子组彩家段、蛤蟆山组。

(3)辽东地区上古生界烃源岩和盖层主要形成于凝缩段和水进体系域上部、高位体系域下部,有利储层主要发育在低位体系域和水进体系域,纵向上构成“自生自储型”和“下生上储型”2 种类型 5 套生储盖组合,其中山西组“自生自储型”为上古生界致密砂岩气最有利的组合类型。

参考文献(References):

- [1] 辽宁省地质矿产局. 中国区域地质志·辽宁志[M]. 北京: 地质出版社, 2017: 185–221.
Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of China: Liaoning Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017: 185–221. (in Chinese)
- [2] 费平. 辽宁沉积盖层建造组合与构造古地理时空演化关系讨论[J]. 地质与资源, 2016, 25(1): 17–21.
Fei P. Relationship between the composition of sedimentary cover formation and space-time evolution of tectonic paleogeography in Liaoning Province[J]. Geology and Resources, 2016, 25(1): 17–21.
- [3] 张诚, 代宗仰, 鲁明宇, 等. 辽河东部地区晚古生代沉积相分析[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2011, 13(6): 55–58.
Zhang C, Dai Z Y, Lu M Y, et al. Sedimentary facies analysis of Late Palaeozoic in eastern area of Liaohu[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2011, 13(6): 55–58.
- [4] 郭胜哲, 张立东, 张长捷, 等. 辽宁太子河盆地元古宙—古生代层序地层[J]. 地质与资源, 2001, 10(1): 1–10.
Guo S Z, Zhang L D, Zhang C J, et al. Proterozoic-Paleozoic sequence stratigraphic in the Taizi River Basin of Liaoning Province[J]. Geology and Resources, 2001, 10(1): 1–10.
- [5] 吴子杰, 潘玉敏, 包洪伟, 等. 辽东太子河地区寒武系中统层序地层划分及特征[J]. 地质与资源, 2015, 24(4): 295–300.
Wu Z J, Pan Y Q, Bao H W, et al. Sequence stratigraphy and characteristics of Middle Cambrian in Taizihe area, eastern Liaoning Province[J]. Geology and Resources, 2015, 24(4): 295–300.
- [6] 沈玉林, 郭英海, 李壮福, 等. 鄂尔多斯盆地北部苏里格庙含油气区上古生界层序地层研究[J]. 地球学报, 2007, 28(1): 72–78.
Shen Y L, Guo Y H, Li Z F, et al. Sequence stratigraphy study of the Upper Paleozoic of the Suligemiao oil and gas-bearing area, North Ordos Basin[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2007, 28(1): 72–78.
- [7] 于兴河, 王香增, 王念喜, 等. 鄂尔多斯盆地东南部上古生界层序地层格架及含气砂体沉积演化特征[J]. 古地理学报, 2017, 19(6): 935–954.
Yu X H, Wang X Z, Wang N X, et al. Sequence stratigraphic framework and sedimentary evolution characteristics of gas-bearing sandbody in the Upper Paleozoic in southeastern Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2017, 19(6): 935–954.
- [8] 刘畅. 鄂尔多斯盆地临兴地区上古生界层序地层格架及沉积模式[J]. 非常规油气, 2019, 6(1): 23–33.
Liu C. Sequence stratigraphy framework and sedimentary model of Upper Paleozoic in Linxing area, Ordos Basin[J]. Unconventional Oil & Gas, 2019, 6(1): 23–33.
- [9] 陈洪德, 侯中健, 田景春, 等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积层序地层学与盆地构造演化研究[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 16–22.
Chen H D, Hou Z J, Tian J C, et al. Study on sequence stratigraphy of deposits and tectono-sedimentary evolution in Ordos Basin during Late Palaeozoic[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(3): 16–22.
- [10] 侯中健, 陈洪德, 田景春, 等. 鄂尔多斯地区晚古生代陆相沉积层序地层学研究[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 114–123.
Hou Z J, Chen H D, Tian J C, et al. Study on sequence stratigraphy of continental deposits in Ordos Basin during Later Palaeozoic Era[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(3): 114–123.
- [11] 杨欣德, 李星云, 辽宁省地质矿产勘查开发局. 辽宁省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 1–247.
Yang X D, Li X Y, Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration. Lithostratigraphy of Liaoning Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 1–247.
- [12] 王烜, 潘玉敏, 吴子杰, 等. 辽东本溪—桓仁地区古生界事件地层划分及特征[J]. 地质与资源, 2015, 24(4): 317–324.
Wang X, Pan Y Q, Wu Z J, et al. Event stratigraphy of the Paleozoic Erathem in Benxi-Huanren region, eastern Liaoning Province: Division and characteristics[J]. Geology and Resources, 2015, 24(4): 317–

- 324.
- [13]王海鹏. 辽宁省岩石地层太原组地质年代的确定[J]. 地质与资源, 2015, 24(4): 287-294.
- Wang H P. Determination of the geological age of lithostratigraphic Taiyuan Formation in Liaoning Province[J]. Geology and Resources, 2015, 24(4): 287-294.
- [14]彭玉鲸, 陈跃军, 刘跃文. 本溪组——岩石地层和年代地层与穿时性[J]. 世界地质, 2003, 22(2): 111-118.
- Peng Y J, Chen Y J, Liu Y W. Benxi Formation: Lithohorizon and chronohorizon with diachronism[J]. Global Geology, 2003, 22(2): 111-118.
- [15]李明娟, 张洪年, 胡宗全. 济阳拗陷上古生界层序划分与等时格架建立[J]. 石油物探, 2006, 45(1): 83-87.
- Li M J, Zhang H N, Hu Z Q. Division of Upper Paleozoic stratigraphic sequence and establishment of isochronal stratigraphic frame in Jiyang depression[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(1): 83-87.
- [16]于鹏. 广覆式生烃理念在辽河东部凸起油气成藏中的应用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2014, 29(4): 24-30.
- Yu P. Application of widely-covered hydrocarbon generation concept to hydrocarbon accumulation in Eastern Uplift, Liaohe Depression[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2014, 29(4): 24-30.
- [17]葛明娜, 张金川, 毛俊莉, 等. 辽河拗陷东部凸起上古生界页岩气资源潜力评价[J]. 天然气工业, 2012, 32(9): 28-32, 128.
- Ge M N, Zhang J C, Mao J L, et al. Evaluation on Neopaleozoic shale gas resource potential in the Eastern Salient of the Liaohe Depression[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(9): 28-32, 128.
- [18]李春华, 于鹏, 毛俊莉, 等. 辽河拗陷东部凸起上古生界致密砂岩气成藏特征[J]. 特种油气藏, 2013, 20(1): 19-22.
- Li C H, Yu P, Mao J L, et al. Diagenetic characteristics of tight sandstone of Upper Paleozoic of East Uplift in Liaohe Depression[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2013, 20(1): 19-22, 155-156.
- [19]陈洪德, 覃建雄, 田景春, 等. 中国南方古生界层序格架中的生储盖组合类型及特征[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 62-69.
- Chen H D, Tan J X, Qin J C, et al. Types and features of source-reservoir-cap rock combinations in Paleozoic sequence in southern China[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 62-69.
- [20]陈洪德, 倪新锋, 田景春, 等. 华南海相下组合层序地层格架与油气勘探[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 370-377.
- Chen H D, Ni X F, Tian J C, et al. Sequence stratigraphic framework of marine lower assemblage in South China and petroleum exploration [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 370-377.

(上接第 635 页/Continued from Page 635)

- [17]北京石油学院矿物岩石教研室. 沉积岩石学[M]. 北京: 中国工业出版社, 1961: 1-263.
- Mineralogy and Petrology Section of Beijing Institute of Petroleum. Sedimentary petrology [M]. Beijing: China Industrial Press, 1961: 1-263. (in Chinese)
- [18]华东石油学院岩矿教研室. 沉积岩石学(下册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1982: 1-256.
- Mineralogy and Petrology Section of East China Petroleum Institute. Sedimentary petrology, volume 2 [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1982: 1-256. (in Chinese)
- [19]冯增昭. 沉积岩石学[M]. 2 版. 北京: 石油工业出版社, 1994: 1-326.
- Feng Z Z. Sedimentary petrology [M]. 2nd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 1-326. (in Chinese)
- [20]冯增昭. 沉积相的一些术语定义的评论[J]. 古地理学报, 2020, 22(2): 207-220.
- Feng Z Z. A review on the definitions of terms of sedimentary facies [J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2020, 22(2): 207-220.