



阜新盆地辽阜地 2 井下白垩统岩石地层特征

张德军,赵洪伟,陈树旺,张 健

中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034

摘 要: 辽阜地 2 井是阜新盆地油气勘探以来第一口高产工业油流井,抽汲试采日产油 15.3 m³。通过分析辽阜地 2 井钻遇下白垩统的岩石组合特征,结合部分测井曲线以及油层深度,明确了阜新盆地下白垩统沙海组下段、沙海组上段、阜新组和孙家湾组的岩石组合及测井曲线形态特征,建立盆地 1200 m 以内具有成功油气开发经历钻孔地层综合柱状图,为今后阜新盆地的油气勘探开发研究和地层划分对比提供参考和借鉴。

关键词: 阜新盆地; 辽阜地 2 井; 下白垩统; 岩石地层

LITHOSTRATIGRAPHIC CHARACTERISTICS OF LFD-2 WELL IN FUXIN BASIN

ZHANG De-jun, ZHAO Hong-wei, CHEN Shu-wang, ZHANG Jian

Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: The LFD-2 well was the first high-yield commercial oil flow well since the oil-gas exploration in Fuxin Basin, with a daily swabbing production of 15.3 m³. By analyzing the characteristics of Lower Cretaceous rock assemblages in the drill hole, combined with some of logging curves and reservoir depth, the paper identifies the rock assemblages of lower and upper members of Shahai Formation, Fuxin Formation and Sunjiawan Formation, as well as the characteristics of logging curves, and sets up a comprehensive stratigraphic column of borehole with successful oil-gas development experience within the depth of 1200 m in the basin, which will hopefully provide reference for future oil-gas exploration and development, and stratigraphic division-correlation in Fuxin Basin.

Key words: Fuxin Basin; LFD-2 well; Lower Cretaceous; lithostratigraphy

0 引言

阜新盆地是中国东北地区晚中生代重要的含煤盆地,下白垩统发育完整、连续且富含动植物化石,早在上世纪 20 年代就引起了英国人缪勒,瑞典人安特生以

及我国的王竹泉、黄汲清等地质学家的关注。他们根据阜新盆地煤系地层中发现的植物化石,将其时代划归侏罗纪^[1-2]。1931 年谭锡畴依据软体动物化石,将阜新煤系时代定为早白垩世^[2]。日伪时期,日本人室井

收稿日期:2020-04-07;修回日期:2020-06-02。编辑:张哲。

基金项目:国家自然科学基金项目“松辽盆地及邻区早白垩世陆相地层高精度年代格架”(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”(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”(DD20190097)、“冀北-辽西中新元古界油气地质调查”(DD20190098)。

作者简介: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北大街 280 号,E-mail//532413639@qq.com

通信作者: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北大街 280 号,E-mail//18972804@qq.com

度将阜新盆地地层层序自下而上分为义县火山岩类、金刚山层和黄花山角砾岩、沙海页岩层、阜新夹碳层、孙家湾砾岩层和大凌河火山岩。杨钟健将其时代置于晚侏罗世或中晚侏罗世^[2]。随后的几十年里,一些专家和单位对阜新盆地发育的地层层序进行了系统的研究,基本建立了阜新盆地地层格架^[2]。王公肃^[3]研究并总结了前人成果,认为阜新盆地内地层自下而上为下侏罗统义县组、九佛堂组,上白垩统沙海组、阜新组和孙家湾组^[3]。该地层层序此后被地质学界普遍接受和认可^[4-7],但义县组和九佛堂组由上侏罗统厘定为下白垩统直到2013年方有定论^[7]。

阜新盆地勘探历史悠久,煤田勘探有100多年,煤田浅钻超过3000口^[4]。石油地质勘探始于1934年日本人在露天煤矿中发现“黏性油状物”,1936—1945年他们实施60余口钻孔,发现少量石油和天然气^[8]。20世纪80—90年代,辽河油田在阜新盆地投入了大量油气调查和勘探工作,实施了油气探井9口,虽有两口井(阜参2井、阜气1井)获得了工业气流,但油气勘探一直没有重大发现^[9]。近年,中国地质调查局沈阳地质调查中心在阜新盆地实施的辽阜地2井获得了重大油气突破,日产油15.3 m³,打破了该盆地数十年来油气勘探的僵局^[10]。

阜新盆地基础地质和钻孔资料丰富,地层学研究起步早,成果丰硕。然而,过去多针对露头剖面、露天矿场等,从生物地层、年代地层和岩石地层方面进行研究,对(油气)钻孔地层发育情况的系统研究和报道却较少。因此,从基础地质和石油地质等各方面深入研究辽阜地2井,对后续油气勘探及理论研究具有重要的科学意义。本文从岩石地层角度出发,对辽阜地2井钻遇的地层及岩石组合特征进行系统研究,结合气测录井、常规测井及解释油层的深度等信息,建立辽阜地2井地层综合柱状图,为今后阜新盆地浅层油气勘探及地层划分对比提供一种参考和借鉴。

1 地质背景

阜新盆地地处辽宁省西部,南北长约130 km,东西宽10~20 km,面积约2000 km²^[9]。大地构造位置位于东西向的燕山构造带与北北东向的新华夏系第二沉降带的复合部位,地处赤峰—开原断裂和新华夏系的郯庐断裂交汇地区,受两条断裂夹持,属陆内双断陷型地

堑盆地。东侧的闫山断裂和西侧的松岭断裂是盆地的主要控盆构造,二者向盆内倾斜^[11]。阜新盆地的形成演化与晚侏罗世—早白垩世的构造活动密切相关。晚侏罗世开始,古太平洋板块向亚洲大陆俯冲,形成濒西太平洋典型的沟—弧—盆体系、北北东向隆起与拗陷间列的盆山系统^[12]。早白垩世是中国东部地区的一个重要裂陷期,辽西地区断陷发育。受库拉—太平洋板块和印度板块的强烈挤压俯冲产生的碰撞裂谷效应联合作用的影响,包括郯庐断裂带在内的中国东部地幔物质上涌,热构造作用明显,张性裂陷作用强烈,岩浆活动频繁。这个时期郯庐断裂和赤峰—开原断裂同时发生右行张扭运动,导致辽西地区大面积裂陷(图1a、b),在裂陷盆地内沉积了下白垩统^[13]。

阜新盆地作为辽西地区典型的断陷盆地之一,在历经早白垩世断陷和走滑两大演化阶段后,形成了洼隆相间的构造格局,自北向南划分为新邱洼陷、阜新构造带、海州洼陷、东梁构造带、伊吗图洼陷等多个次级构造单元^[9,14](图1c)。盆地内白垩系发育,自下而上为下白垩统义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组和孙家湾组,最大沉积厚度约6000 m^[9]。

义县组岩性主要为基性火山熔岩、集块岩、凝灰岩夹凝灰质砂岩、页岩等沉积层,火山岩裂隙中见油气显示,沉积夹层中含大量的鱼、叶肢介、昆虫、介形虫、软体、恐龙、鸟类以及植物和孢粉等化石,厚800~3000 m^[3-4,7,16]。

九佛堂组为主要的断陷层沉积,是盆地深陷期产物,岩性由灰、灰白色中—细砂岩与灰、灰黑色泥岩、页岩互层,夹褐色凝灰岩、灰色泥质粉砂岩组成,呈完整的水进后退旋回特征,整合于义县组之上。砂质碎屑岩和泥岩裂隙中含油,产介形虫、瓣鳃类、腹足类、叶肢介、鱼、昆虫和植物等化石,地层厚度多为350~774 m,最大厚度可达1800 m^[4,14,16]。

沙海组为一套扇三角洲及河湖沼泽相的含煤沉积。一批学者^[4,11,17-18]将沙海组自下而上划分为4个岩性段:一段为红色砾岩段;二段为黄绿色砂砾岩段;三段为煤系、河流及扇三角洲沉积的砂岩;四段为大套暗色深湖—半深湖相泥岩,局部夹水下浊流沉积。然而另一些学者^[3,19]则认为沙海组一段的归属尚存在争议,如王公肃^[3]将沙海组划分为沙二段、沙三段和沙四段。还有学者^[9,14,20]将沙海组分为沙海组下段和沙海组上

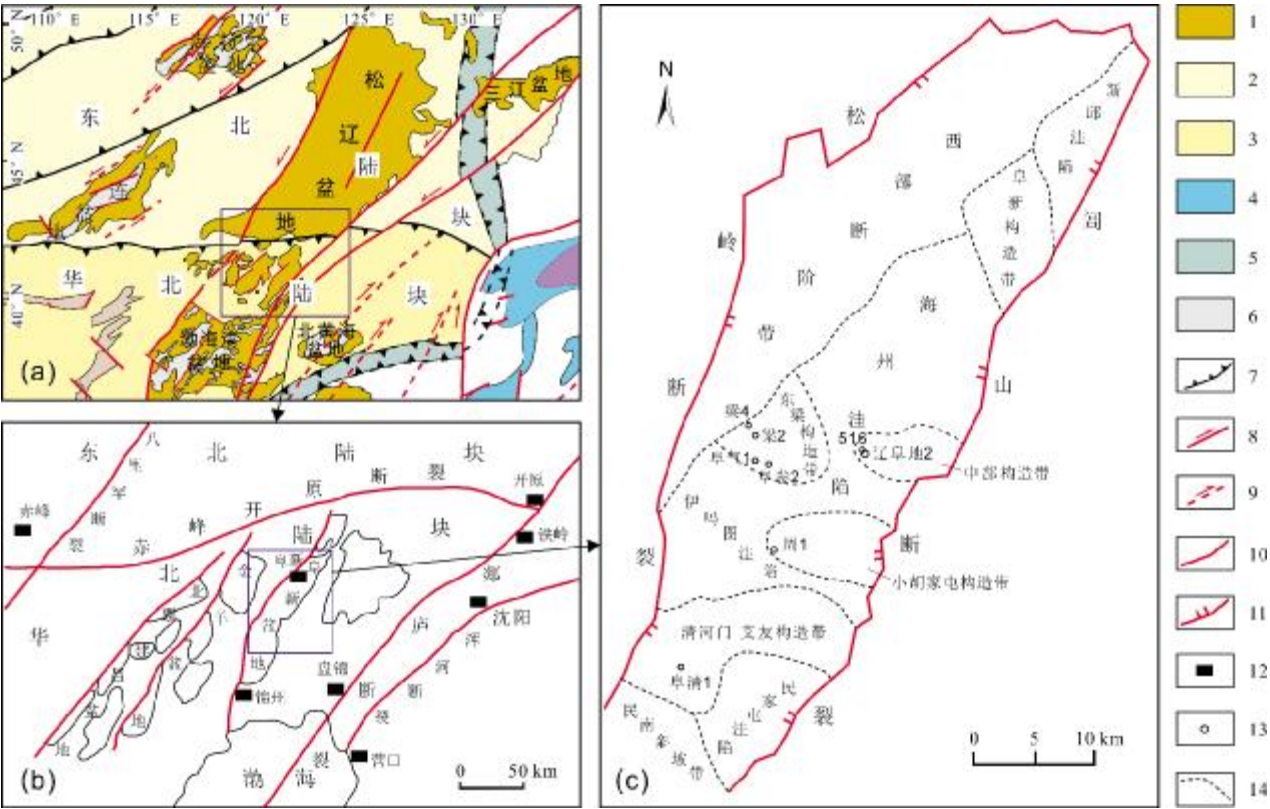


图 1 阜新盆地构造区划图
(据文献[9, 13, 15]修改)

Fig. 1 Tectonic division map of Fuxin Basin
(Modified from References [9, 13, 15])

1—盆地(basin); 2—东北陆块(Northeast China block); 3—华北陆块(North China block); 4—海盆(sea basin); 5—造山带(orogenic belt); 6—盆地内凸起(intrabasin uplift); 7—缝合线(suture); 8—走滑断层(strike-slip fault); 9—推测走滑断层(inferred strike-slip fault); 10—断裂(fault); 11—边界断层(boundary fault); 12—城市(city); 13—井位(well location); 14—构造单元界线(tectonic boundary)

段,其中沙海组下段主要发育河流和扇三角洲沉积,在滨浅湖和扇三角洲平原之间发育一定范围的泥炭沼泽相沉积,该段砂砾岩发育,油气显示好,东梁地区在 800~910 m 之间普遍发育有次生空隙带,是重要的油气储层^[14];沙海组上段深湖—半深湖相泥岩发育,厚度 300~400 m,几乎覆盖全盆地,是良好的区域盖层^[9],沙海组富含植物、腹足类、介形类、叶肢介、昆虫、爬行类和鱼等化石^[7, 17],地层厚度多在 600~2000 m^[18]。

阜新组为一套泥沼相、河流相夹冲积扇相的煤系地层,岩性主要由灰白、灰色砂岩、砂砾岩及粉砂岩、泥岩夹碳质泥岩及薄煤层^[19],产植物、孢粉、腹足类、介形虫、爬行类、鱼、恐龙和鸟类等化石^[3, 7],地层厚度多在 400~1200 m 之间^[18]。该组砂质碎屑岩油气显示丰富,但因其上区域性盖层不发育,且阜新组末燕山三期

构造运动强烈,盆地整体抬升剥蚀,使得油气散逸,难以成藏。

孙家湾组岩性主要为紫红色、杂色、黄褐色砾岩、砂砾岩及砂岩,是在挤压应力场背景下形成的山前洪积及冲积物,角度不整合于下伏阜新组及更古老地层之上^[11],含孢粉、双壳类、腹足类、叶肢介、介形虫、恐龙和鸟类等化石^[7],地层厚 0~1000 m^[18]。

2 地层分层描述与划分对比

2.1 辽阜地 2 井分层描述

辽阜地 2 井位于阜新市东梁镇西五道桥子村西,地处阜新盆地海州洼陷中部构造带。该井完钻井深 1200 m,862.22~886.15 m 井段进行取心,其余井段(0~862.22、886.15~1200 m)为岩屑录井。邻井 516 井为 20

世纪 80 年代实施的煤田地质钻孔,位于辽阜地 2 井北西方向 120m,与辽阜地 2 井所处的构造位置一致(图 1c),地层可与辽阜地 2 井对比。516 井完钻井深 1055.05 m,钻穿第四系后全井取心(26.70~1055.05 m)。根据辽阜地 2 井实际钻遇情况,结合测井曲线和 516 井资料,对辽阜地 2 井地层进行划分。全井可分为 82 个小层,描述如下:

82.第四系表土 59.0 m

~~~~~ 角度不整合 ~~~~~

#### 孙家湾组(59.0~106.0 m)

81.灰绿色细砂岩 8.0 m

80.灰绿色含砾细砂岩 20.0 m

79.灰绿色粗砂岩 9.0 m

78.浅灰绿色砾岩 10.0 m

~~~~~ 角度不整合 ~~~~~

阜新组(106.0~334.0 m)

77.灰绿色泥岩 5.0 m

76.浅灰绿色粗砂岩 6.0 m

75.灰绿色粉砂岩 5.0 m

74.浅灰绿色砾岩 3.0 m

73.灰绿色中细砂岩 9.0 m

72.黑灰色泥岩 3.0 m

71.灰绿色中砂岩 8.0 m

70.灰色中砂岩 3.0 m

69.灰绿色细砂岩 5.0 m

68.灰黑色泥岩 2.0 m

67.灰黑色细砂岩 8.0 m

66.灰黑色粉砂岩 15.0 m

65.深灰色中细砂岩 9.0 m

64.深灰色粉砂岩 4.0 m

63.黑色煤 2.0 m

62.灰色细砂岩 9.0 m

61.黑色(劣质)煤 3.0 m

60.灰黑色泥岩 8.0 m

59.绿灰色细砂岩 7.0 m

58.深灰色粉砂岩 6.0 m

57.灰黑色泥岩 7.0 m

56.灰色细砂岩 13.0 m

55.灰白色中砂岩 11.0 m

54.灰白色细砂岩 5.0 m

53.灰白色中砂岩 16.0 m

52.黑灰色泥岩 16.0 m

51.灰白色细砂岩 7.0 m

50.灰色泥岩 14.0 m

49.浅灰色细砂岩 8.0 m

48.灰白色中砂岩 11.0 m

沙海组上段(334.0~703.0 m)

47.灰黑色泥岩 34.0 m

46.灰白色中砂岩 5.0 m

45.灰黑色粉砂质泥岩 9.0 m

44.灰黑色泥岩 22.0 m

43.灰色细砂岩 4.0 m

42.灰色泥岩 4.0 m

41.灰色中砂岩 5.0 m

40.灰色泥岩 4.0 m

39.灰白色中砂岩 4.0 m

38.深灰色泥岩 33.0 m

37.灰色泥岩 53.0 m

36.黑灰色泥岩 10.0 m

35.深灰色泥岩 18.0 m

34.灰色泥岩 40.0 m

33.灰色粉砂岩 11.0 m

32.深灰色泥岩 19.0 m

31.深灰黑色泥岩 47.0 m

30.灰黑色泥岩 47.0 m

沙海组下段(703.0~1200.0 m)

29.灰色荧光—油斑砾岩 54.0 m

28.灰黑色油斑砾岩 18.0 m

27.浅灰色油斑含砾粗砂岩 23.0 m

26.灰黑色砾岩 15.0 m

25.灰白色砾岩 19.0 m

24.灰黑色泥岩 19.0 m

23.灰黑色细砂岩 2.0 m

22.灰黑色泥岩 16.0 m

21.灰黑色油斑含砾粗砂岩 12.0 m

20.灰黑色油浸砾岩 11.0 m

19.灰黑色泥岩 13.0 m

18.灰黑色细砂岩 7.0 m

17.深灰色泥岩 29.0 m

16.灰黑色泥岩 38.0 m

15.深灰色粉砂岩 12.0 m

14.灰黑色泥岩 19.0 m

13.黑色煤层 5.0 m

12.深灰色粉砂岩 12.0 m

11.灰黑色泥岩 16.0 m

10.黑色煤层 3.0 m

9.深灰色细砂岩 9.0 m

8.灰黑色泥岩 63.0 m

7.深灰色细砂岩 3.0 m

6.灰黑色泥岩 12.0 m

5.黑色煤层 26.0 m

4.灰黑色泥岩 14.0 m

| | |
|------------|--------|
| 3.黑色煤层 | 2.0 m |
| 2.灰黑色泥岩 | 23.0 m |
| 1.深灰色含砾粗砂岩 | 2.0 m |

1.2 地层对比及时代特征

参考前人钻孔及区域地层资料,根据辽阜地2井岩石组合及测井曲线特征,自下而上划分为5个地层单元(图2)。

沙海组下段(未穿):1200.0~703.0 m井段(1~29层)。该井段上部岩性主要为灰色砾岩、含砾粗砂岩夹砂岩和泥岩薄层;下部为灰黑色厚层泥岩夹多层煤层及深灰色粉砂岩、细砂岩。该井段的砾岩自然伽马曲线数值大多在30~50 API之间,声波时差数值多在200~260 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间,密度数值较高,多在2.61~2.71 g/cm^3 之间,中子数值多在0~8 pu之间;砂岩泥质较多,自然伽马曲线数值大多在75~85 API之间,声波时差数值多在220~245 $\mu\text{s}/\text{m}$ 之间,密度数值多在2.55~2.61 g/cm^3 之间,中子数值多在10~15 pu之间;泥岩自然伽马数值大多在100 API以上,双侧向电阻率数值从上到下略有下降,由35 Ωm 下降到15 Ωm 左右。其测井曲线自然电位曲线呈波状、短指状;自然伽马曲线呈齿状、指状;深侧向电阻率曲线局部呈尖齿状,在上部大段砾岩、含砾粗砂岩井段,电阻率呈现稳定高值的特征;密度曲线整体呈起伏不大的波状,煤层突然降低,呈负箱形,砾岩升高,呈短指状。测井曲线砾岩、砂泥岩及煤层的特征均非常明显。其中,703.00~900.00 m井段多处见油迹、油斑和油浸级别的岩屑,在862.22~886.15 m取心段上部为厚层状的灰黑色泥岩夹深灰色油迹砂砾岩(厚9.06 m),中部为油斑-油浸砂砾岩(厚10.36 m),下部为灰黑色泥岩夹深灰色油迹含砾砂岩(厚4.51 m);自然伽马曲线异常幅度中一高,呈现微齿状,齿中线水平或下倾,曲线形态多呈钟形,局部呈箱形,底部突变接触,顶部渐变接触。该含油层为一套扇三角洲前缘砂体,储层物性较好,测录井综合解释油层7.4 m/1层,差油层8.5 m/3层,油水同层2 m/1层,含油层24.7 m/6层。

(2)沙海组上段:703.0~334.0 m井段(30~47层)。该井段岩性主要为巨厚的灰黑色、灰色泥岩夹薄层粉砂岩、细砂岩,未见油气显示。自然伽马、自然电位和深侧向电阻率3条曲线波动不大,密度曲线在下部亦较平稳,仅上部夹砂岩薄层较多处波动较大,呈倒齿

状,曲线砂泥岩特征明显。该井段为一套深湖—半深湖相沉积。

关于沙海组的分段划分,目前主流的意见有两种,一是将沙海组划分为4个段,一段以红色砂砾岩为主,二段为黄色砾岩,砂砾岩夹砂岩,三段为含煤地层,岩性以灰色、浅灰色中粗砂岩为主,四段以深灰、灰黑色泥岩为主夹砂岩或砂砾岩透镜体^[19,21];二是将沙海组划分为上下两个段,即原沙一段—沙三段划分为沙海组下段,沙四段划为沙海组上段^[9,14]。由于沙一段砂砾岩的归属是否为九佛堂组顶部岩层的相变产物目前尚存在争议^[3,19],且沙一段—沙三段岩石组合特征与沉积环境均具有较大的相似性和延续性,本着组内分段划分简洁化的原则,本文使用第二种划分方案。区域上沙海组以浅湖至半深湖相沉积为主,主要为暗色沉积,由灰黑色泥岩、炭质泥岩、灰色—深灰色泥质粉砂岩、细砂岩、砂砾岩等组成,下粗上细,中部可发育厚层泥岩或煤层。砂泥岩以含钙质为特征,泥岩中含植物及孢粉化石,发育 *Acanthopteris-Ginkgo coriacea* 植物组合^[22]。与沙海组相关的火山岩喷发时间在120 $\pm$ 3.7 Ma^[23]。席党鹏等^[24]的地层对比将其置于 Aptian-Albian 阶。

(3)阜新组:334.0~106.0 m井段(48~77层)。该井段岩性主要为灰绿色、灰色、深灰色粗砂岩、砂岩、粉砂岩和泥岩不等厚互层夹煤层和砾岩,未见油气显示。岩性粒度普遍较粗,除密度曲线外,其他曲线波动变化不大,砂泥岩特征显示稍差。阜新组区域上以河流相为主,沼泽相和泥炭沼泽相较发育。岩性主要为灰、绿灰色、杂色砾岩、砂砾岩、砂岩与深灰、灰、绿灰色泥岩、粉砂岩不等厚互层,夹炭质泥岩和薄煤层,粗屑沉积较发育,产 *Ruffordia goepperti-Dryopterites* 和 *Ctenis lyrata-Chilinia* 植物组合,时代为 Albian 期^[24]。

(4)孙家湾组:106.0~59.0 m井段(78~81层)。该井段岩性主要为绿灰色、灰绿色含砾粗砂岩、粗砂岩、砂岩,未见油气显示。岩性稳定,测井曲线波动不大。该组为挤压应力场背景下形成的山前洪积及冲积物,岩性主要为紫红色、杂色、黄褐色砾岩、砂砾岩及砂岩,角度不整合于下伏阜新组或更古老地层之上。刘森等^[25]通过对内蒙古平庄地区的孢粉组合研究,将该组置于 Aptian-Albian 阶;万晓樵等^[7]依据该组所含的 *Cicatisporites-Schizaeisporites-Ephedripites* 孢粉组合及双壳、介形类等将该组置于 Albian 阶。本文采用万

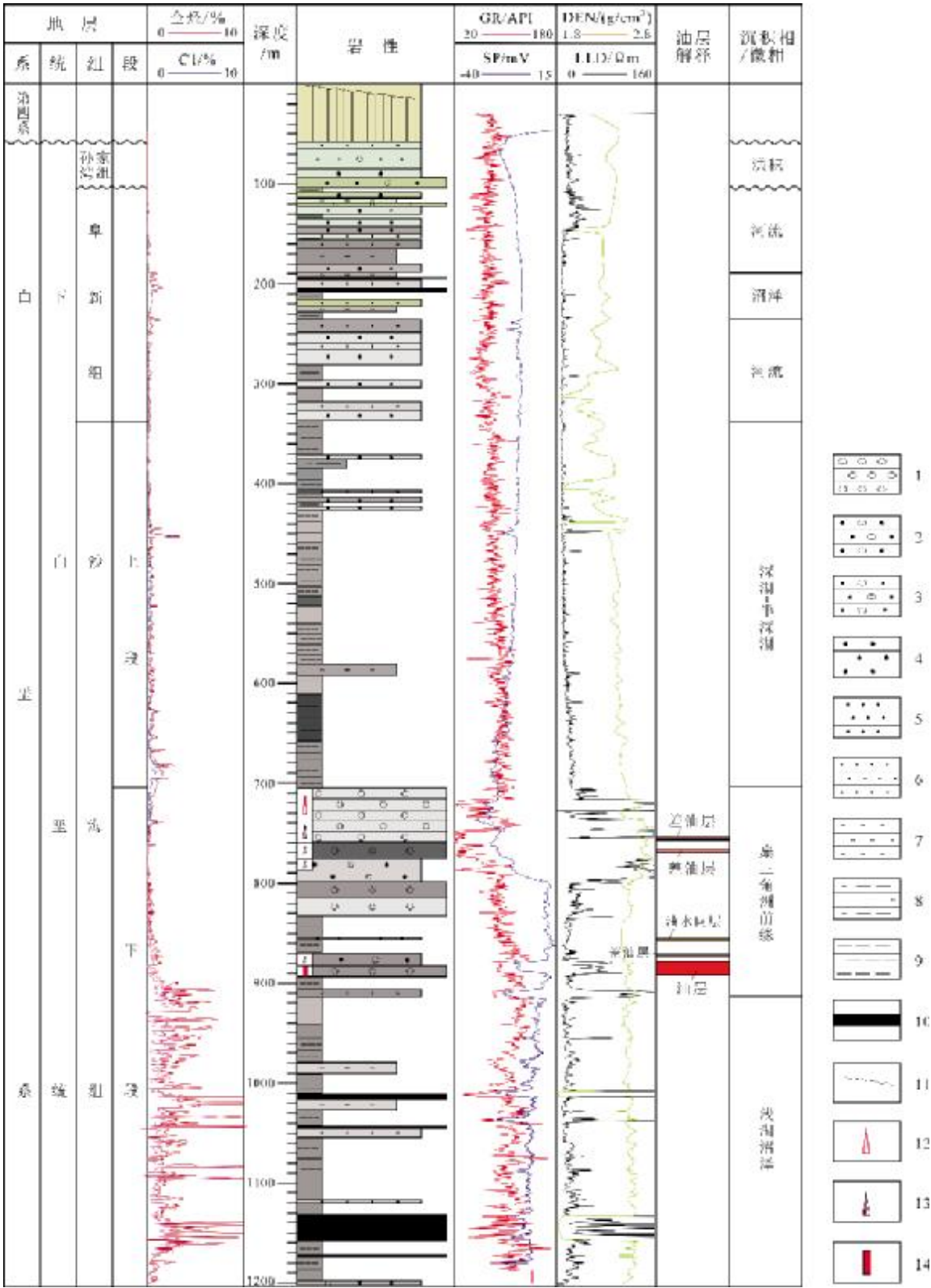


图 2 新盆地辽阜地 2 井综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column of LFD-2 well in Fuxin Basin

1—砾岩 (conglomerate); 2—含砾粗砂岩 (gravel coarse sandstone); 3—含砾中砂岩 (gravel medium sandstone); 4—粗砂岩 (coarse sandstone); 5—中砂岩 (medium sandstone); 6—细砂岩 (fine sandstone); 7—粉砂岩 (siltstone); 8—粉砂质泥岩 (silty mudstone); 9—泥岩 (mudstone); 10—煤 (coal); 11—表土 (topsoil); 12—荧光 (fluorescence); 13—油斑 (oil spot); 14—油浸 (oil immersion)

晓樵等的观点。

(5)第四系表土:59.0~0.0 m 井段(82 层)。

3 结论

(1)通过对阜新盆地辽阜地2井钻遇的岩性组合及其油气显示情况进行系统描述,自下而上将该井钻遇的下白垩统分为81层。结合测井和沉积特性,建立了钻孔的地层综合柱状图,为今后阜新盆地地层划分对比及浅层油气勘探提供了依据。

(2)辽阜地2井沙海组下段703.00~900.00 m井段为一套扇三角洲前缘的砂砾岩,发育油层7.4 m/1层、差油层8.5 m/3层和油水同层2 m/1层,试采获得日产油15.3 m³的勘探突破。这套扇三角洲前缘的粗碎屑沉积可作为盆地未来油气勘探的重点关注对象。

参考文献(References):

- [1]商平. 辽西阜新盆地早白垩世含煤地层及植物群[J]. 阜新矿业学院学报, 1985, 4(4): 99-135.
- Shang P. Coal-bearing strata and Early Cretaceous flora in Fuxin basin Liaoning Province[J]. Journal of Fuxin Mining Institute, 1985, 4(4): 99-135.
- [2]梁政国. 略谈阜新盆地晚中生代地层划分与对比中纷争的几个问题[J]. 阜新矿业学院学报, 1986, 5(3): 84-90.
- Liang Z G. Briefly on the several contentious problems of the Upper Mesozoic stratigraphic classification and correlation of the Fuxin Basin [J]. Journal of Fuxin Mining Institute, 1986, 5(3): 84-90.
- [3]王公肃. 阜新盆地的侏罗系和白垩系[J]. 地层学杂志, 1989, 13(2): 98-107.
- Wang G S. The Jurassic and Cretaceous systems of Fuxin Basin[J]. Journal of Stratigraphy, 1989, 13(2): 98-107. (in Chinese)
- [4]刘建英, 王世云, 尹继宏. 阜新盆地石油地质特征[J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(4): 450-457.
- Liu J Y, Wang S Y, Yin J H. Petroleum geological character of Fuxin Basin[J]. Oil & Gas Geology, 1992, 13(4): 450-457.
- [5]陈芬, 邓胜徽. 早白垩世陆相盖层研究[J]. 现代地质, 1996, 10(3): 17-24.
- Chen F, Deng S H. Studies on Early Cretaceous Athyrium Roth[J]. Geoscience, 1996, 10(3): 17-24.
- [6]张允平, 宋维民, 那福超. 对冀北-辽西-大兴安岭地区晚中生代地层划分、对比的区域构造学思考[J]. 地质与资源, 2018, 27(4): 307-316.
- Zhang Y P, Song W M, Na F C. Late Mesozoic stratigraphic division and correlation in northern Hebei-Western Liaoning-Daxinganling area: from the view of regional tectonics[J]. Geology and Resources, 2018, 27(4): 307-316.
- [7]万晓樵, 李罡, 黄清华, 等. 中国白垩纪陆相阶的划分与对比[J]. 地层学杂志, 2013, 37(4): 457-471.
- Wan X Q, Li G, Huang Q H, et al. Division and correlation of terrestrial Cretaceous stages in China [J]. Journal of Stratigraphy, 2013, 37(4): 457-471.
- [8]宫柯. 日本在我国东北钻探石油始末(下)[J]. 石油知识, 2016(4): 32-35.
- Gong K. The whole story of japan drilling oil in Northeast China (Part 2)[J]. Petroleum Knowledge, 2016(4): 32-35. (in Chinese)
- [9]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 Oli-Gas exploration direction of Fuxin Basin[J]. Geology and Resources, 2015, 24(5): 473-477.
- [10]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.
- [11]路爱平, 杨子荣, 陈兆山. 阜新煤盆地油气地质条件分析[J]. 中国煤田地质, 2004, 16(S1): 28-29, 42.
- Lu A P, Yang Z R, Chen Z S. Analysis on oil reservoir geological setting in Fuxin Basin[J]. Coal Geology of China, 2004, 16(S1): 28-29, 42.
- [12]董树文, 李廷栋, 钟大赉, 等. 侏罗纪/白垩纪之交东亚板块汇聚的研究进展和展望[J]. 中国科学基金, 2009, 23(5): 281-286.
- Dong S W, Li T D, Zhong D L, et al. Recent progress and perspective of the research on J-K East Asian multi-direction convergent tectonics [J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2009, 23(5): 281-286.
- [13]王伟锋, 陆诗阔, 孙月平. 辽西地区构造演化与盆地成因类型研究[J]. 地质力学学报, 1997, 3(3): 81-89.
- Wang W F, Lu S K, Sun Y P. Tectonic evolution of the sedimentary basins in western Liaoning province and their genesis type[J]. Journal of Geomechanics, 1997, 3(3): 81-89
- [14]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.
- [15]索艳慧, 李三忠, 曹现志, 等. 中国东部中生代反转构造及其记录的大洋板块俯冲过程[J]. 地学前缘, 2017, 24(4): 249-267.
- Suo Y Hi, Li S Z, Cao X Z, et al. Mesozoic- Cenozoic inversion tectonics of East China and its implications for the subduction process of the oceanic plate[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(4): 249-267.
- [16]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.
- [17] 商平. 辽西阜新盆地早白垩世含煤地层新认识[J]. *地层学杂志*, 1986, 10(2): 144–147.
- Shang P. New understandings of early Cretaceous coal-bearing strata in Fuxin Basin[J]. *Journal of Stratigraphy*, 1986, 10(2): 144–147. (in Chinese)
- [18] 赵群, 王红岩, 杨慎, 等. 中国东部中小型断陷盆地陆相页岩气成藏潜力分析——以阜新盆地为例[J]. *天然气工业*, 2018, 38(5): 26–33.
- Zhao Q, Wang H Y, Yang S, et al. Potential of continental shale gas accumulation in medium- and small-sized fault basins in eastern China: A case study from the Fuxin Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2018, 38(5): 26–33.
- [19] 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.
- [20] 姜立, 王延山, 吴飞勇. 阜新凹陷中北段油气成藏主控因素分析及有利目标预测[J]. *石油地质与工程*, 2014, 28(6): 4–7.
- Jiang L, Wang Y S, Wu F Y. Main controlling factors analysis and favorable targets prediction of hydrocarbon accumulation in central-northern part of Fuxin sag[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2014, 28(6): 4–7.
- [21] 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.
- [22] 邓胜徽, 卢远征, 樊茹, 等. 中国白垩纪植物群与生物地层学[J]. *地层学杂志*, 2012, 36(2): 241–265.
- Deng S H, Lu Y Z, Fan R, et al. Cretaceous floras and biostratigraphy of China[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2012, 36(2): 241–265.
- [23] 陈义贤, 陈文寄. 辽西及邻区中生代火山岩: 年代学、地球化学和构造背景[M]. 北京: 地震出版社, 1997: 1–297.
- Chen Y X, Chen W J. The Mesozoic volcanic rocks in the western Liaoning province and its adjacent areas: geochronology, geochemistry and tectonic backgrounds [M]. Beijing: Seismological Press, 1997: 1–297. (in Chinese)
- [24] 席党鹏, 万晓樵, 李国彪, 等. 中国白垩纪综合地层和时间框架[J]. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(1): 257–288.
- Xi D P, Wan X Q, Li G B, et al. Cretaceous integrative stratigraphy and timescale of China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2019, 62(1): 256–286.
- [25] 刘森, 陈井胜, 张志斌, 等. 内蒙古平庄地区孙家湾组岩性及孢粉组合特征[J]. *地质与资源*, 2015, 24(2): 81–86.
- Liu M, Chen J S, Zhang Z B, et al. Characteristics of lithology and sporo-pollen assemblage of Sunjiawan Formation in Pingzhuang area, Inner Mongolia[J]. *Geology and Resources*, 2015, 24(2): 81–86.

(上接第 340 页/Continued from Page 340)

- [16] 蒂索 B P, 威尔特 D H. 石油形成和分布——油气勘探新途径[M]. 郝石生, 译. 北京: 石油工业出版社, 1982: 87–102.
- Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence: A new approach to oil and gas exploration [M]. Hao S S, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1982: 87–102. (in Chinese)
- [17] 朱光. 用伊利石结晶度确定碎屑沉积岩基低级变质等级[J]. *石油勘探与开发*, 1995, 22(1): 33–35.
- Zhu G. Grading the extreme-low metamorphic clastic sedimentary rocks by the crystallinity of the illite [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1995, 22(1): 33–35.
- [18] 朱莉, 朱敏. 合肥盆地中生界地层的热演化程度——伊利石结晶度的指示[J]. *安徽地质*, 2006, 16(3): 169–172.
- Zhu L, Zhu M. Thermal evolution stages for Mesozoic strata in the Hefei Basin: Constraints from illite crystallinity [J]. *Geology of Anhui*, 2006, 16(3): 169–172.
- [19] 张勇, 曹雪晴, 任凤楼, 等. 合肥盆地烃源岩有机质热演化历史分析[J]. *沉积学报*, 2008, 26(1): 168–177.
- Zhang Y, Cao X Q, Ren F L, et al. Thermal evolution history analysis of source rocks of Hefei Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(1): 168–177.
- [20] 蒲泊伶, 包书景, 王毅, 等. 页岩气成藏条件分析——以美国页岩气盆地为例[J]. *石油地质与工程*, 2008, 22(3): 33–36.
- Pu B L, Bao S J, Wang Y, et al. Analysis on condition of shale gas accumulation: A studying case from shale gas basin in America [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2008, 22(3): 33–36. (in Chinese)
- [21] Lou R X, Dong Q S, Nie H. Exploration prospects of shale gas resources in the Upper Permian Linxi Formation in the Suolun-Linxi Area, NE China [J]. *Energy & Fuels*, 2017, 31(2): 1100–1107.
- [22] 李政. 东营凹陷页岩气勘探潜力初步评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- Li Z. Exploration potential analyses of the shale gas in Dongying Depression [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.