

文章编号: 1000-0550(2011)02-0268-09

呼 和 湖 凹 陷 南 屯 组 二 段 煤 系 层 序 特 征 及 其 聚 煤 规 律 研 究^①

陈学海¹ 薛海涛¹ 卢双舫¹ 陈学洋² 李军辉³ 刘秋宏⁴ 胡寿梅¹

(1. 东北石油大学地球科学学院 黑龙江大庆 163318; 2. 大庆油田有限责任公司第九采油厂 黑龙江大庆 163853;

3. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712; 4. 大庆油田有限责任公司海拉尔石油勘探开发指挥部 黑龙江大庆 163000)

摘 要 运用层序地层学相关的理论、方法,通过钻井、测井以及地震反射等标志,将呼 和 湖 凹 陷 南 屯 组 二 段 划 分 为 一 个 三 级 层 序。依 据 地 层 叠 置 样 式、区 域 分 布 的 等 时 性 煤 层 以 及 地 形 坡 折 带 在 沉 积 层 序 中 的 位 置,进 一 步 细 分 出 低 位、水 进 及 高 位 体 系 域。在 剖 面 层 序 对 比 的 基 础 上 建 立 了 研 究 区 南 屯 组 二 段 层 序 地 层 格 架。以 体 系 域 为 单 位 分 析 了 此 层 序 格 架 内 沉 积 体 系 的 配 置 及 其 时 空 演 化 特 征。应 用 煤 田 地 质 学 理 论 和 方 法 对 煤 层 的 发 育 特 征 及 聚 煤 规 律 进 行 了 研 究。结 果 表 明,煤 层 主 要 发 育 于 辨 状 河 三 角 洲 平 原 及 湖 盆 周 缘 淤 浅 的 滨 浅 湖 地 区;受 构 造 沉 降 及 沉 积 体 系 的 控 制,各 体 系 域 的 聚 煤 作 用 均 呈 现 出 凹 陷 的 东 南 部 强、东 北 部 弱 的 整 体 格 局,煤 层 聚 积 具 有 较 明 显 的 分 带 性;垂 向 上 煤 层 主 要 形 成 于 水 进 体 系 域,其 次 为 低 位 体 系 域。

关键词 煤系 沉积体系 聚煤规律 呼 和 湖 凹 陷

第一作者简介 陈学海 男 1983 年 出 生 硕 士 研 究 生 沉 积 学 及 地 层 学 E-mail: chenxuehai2006@163.com

中图分类号 P539.1 TE121.3 **文献标识码** A

当前地球科学的发展体现出全球性、综合性的特点,其每一领域的新进展都是现代科学技术的最新成果。层序地层学就是地层学、沉积学及相关领域的最新成就。自 20 世纪 80 年代诞生以来,一直作为地质学理论研究和油气勘探实践中的热门课题,已成为研究油气及沉积矿产的有效技术手段。层序地层学的核心内容是建立等时层序地层格架、研究沉积演化规律及能源的聚集规律,其基点是利用相对水位变化(海平面、湖平面或侵蚀基准面)来确定等时面。近年来,此理论在近海盆地含煤岩系研究中得到了广泛应用^[1-3],许多研究都从不同角度揭示了煤层在层序地层格架中发育与聚积特征,强调了基准面升降引起的可容空间变化速率与泥炭堆积速率二者关系对厚煤层形成的影响。同样,陆相含煤岩系聚煤作用也与基准面和可容空间变化有关,基准面旋回理论的适用性是一致的^[4]。但陆相含煤沉积层序的形成受构造沉降、沉积物供给和古气候条件的控制,因此,其聚煤模式又有别于以海侵事件为主导的海相聚煤模式。

晚侏罗世—早白垩世是我国地史上一个重要聚煤期,聚煤作用随着古地理环境和古气候条件的变迁较之早、中侏罗世向东北方向迁移,主要发育在东北地区 and 内蒙古自治区的东部。含煤地层主要沉积在一系列北北东—北东方向的断陷盆地内,如辽宁的阜

新群、内蒙古的霍林河群、巴彦花群及分布在海拉尔的扎赉诺尔群^[5]。以海拉尔盆地为典型的此类含煤地层,具有较好的含煤性,煤层层数多、厚度大,常含有特厚煤层。目前,海拉尔盆地在层序地层学指导下的成煤作用分析尚处于探索阶段,含煤地层中界面的识别、煤层的聚集规律等分析尚需做深入工作。呼 和 湖 凹 陷 煤 系 的 层 序 地 层 研 究 也 十 分 薄 弱 或 处 于 临 界 状 态。笔者以南屯组二段含煤岩系为例,分析其层序地层格架特征、聚煤环境以及聚煤规律,可望对研究区今后油气的勘探、开发起到重要的指示作用。

1 地质背景

海拉尔盆地位于内蒙古自治区呼伦贝尔盟境内,东起伊敏河,西至呼伦湖西岸,北达海拉尔河,向南延伸出国界与蒙古国相连,是中、新生代陆相沉积盆地,可划分为 16 个凹陷。白垩系为盆地的主体沉积,自下而上依次为:下白垩统的铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组、伊敏组以及上白垩统的青元岗组^[6]。呼 和 湖 凹 陷 是 海 拉 尔 盆 地 东 部 断 陷 带 的 重 点 勘 探 区 域,位 于 海 拉 尔 盆 地 的 东 南 部(图 1),为其二级构造单元,总体上表现为东断西超的箕状断陷,面积为 2 500 km²,发育南北两个次凹,北部次凹结构宽缓,构造相对简单;南部次凹结构较窄,构造复杂。南屯组为凹陷的最主

^①国家自然科学基金项目(批准号:40972101)和国家科技重大专项(编号:2008ZX05007)联合资助。
收稿日期:2010-01-05; 收修改稿日期:2010-04-30

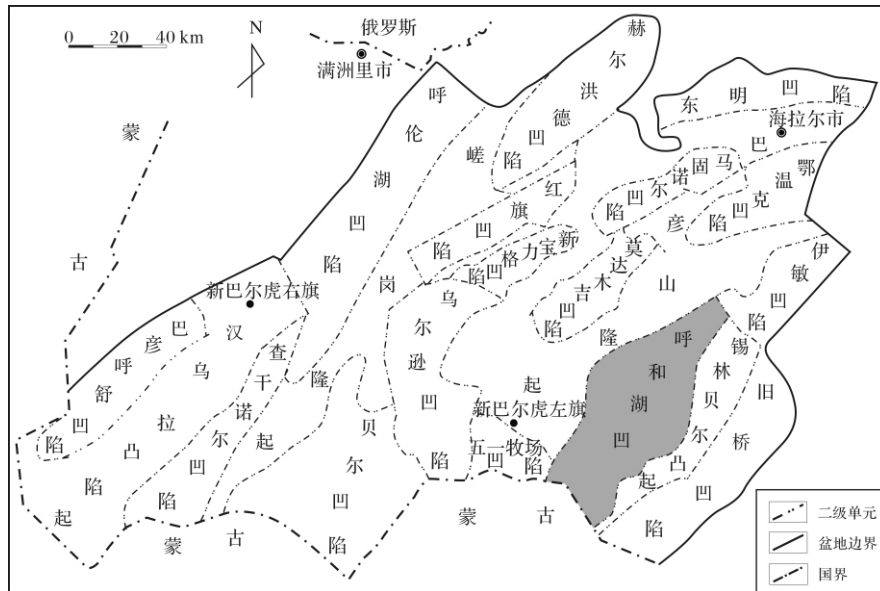


图 1 呼和湖凹陷地理位置和地质背景

Fig. 1 Location and geological settings of Huhehu Depression

要目的层, 从下至上划分为南屯组一段和南屯组二段。南屯组二段为凹陷的一套含煤岩系, 埋深 1 000 ~ 2 400 m, 岩石组合主要为一套灰色粉砂岩和深黑色厚层泥岩, 夹有黑色煤层、灰白色细砂岩及灰色砾岩。其中所发育的煤层厚度较大、层数较多, 煤岩镜质组反射率介于 0.8% ~ 1.5%, 煤阶处于气煤—焦煤阶段, 具有较好的生烃潜力。又由于后期改造作用弱, 故该地层蕴含着丰富的油气(煤层气)资源。

2 层序地层特征

在陆相断陷湖盆研究中, 层序地层学不仅为地层对比提供了精确的界面, 还提高了对煤层赋存规律的认识及煤层资源评价的可靠性^[7]。传统的岩性地层划分、对比中, 在测井、钻井剖面上煤层作为一种特殊的生物化学沉积, 具有容易识别的岩性特征, 可以作为良好的标志层, 大面积稳定分布的厚煤层可以作为区域性等时界面^[8], 在含煤岩系层序划分中起到重要作用。

在综合研究地震、钻井、测井、岩芯等资料的基础上, 针对呼和湖凹陷具体地质背景, 对多条骨干地震剖面进行层序解释和对比, 来识别层序界面和体系域界面的特征, 进行各级层序地层划分。最终建立了呼和湖凹陷南屯组二段以体系域为单元的等时层序地层格架。

2.1 层序界面特征

结合钻井、测井、岩芯及地震反射等特征识别出

呼和湖凹陷南屯组二段顶界面 (SB_4) 和底界面 (SB_3), 层序形成年代介于 133 ~ 131 Ma 之间。

底界面之上为南屯组二段发育的一套稳定的泥岩、少量砾岩夹区域性分布的厚煤层及薄煤层互层沉积地层, 和 5 井在此界面上有煤岩取芯。在电测曲线上, 整体表现为较高幅指状、钟形或漏斗形的曲线形态, 其中煤层对应异常高幅电阻率及异常低自然伽马。底界面之下一一般为南屯组一段的一套滨浅湖泥岩、薄层砂岩或辫状河三角洲、扇三角洲沉积的泥岩、砂岩和砂砾岩。电测曲线与上部界限明显, 自然电位呈中、低幅钟形或马鞍形, 自然伽马及电阻率曲线呈中幅指状(图 2)。地震反射剖面上, SB_3 界面之下局部可见削截, 界面之上可见上超反射(图 3)。

顶界面之上为大磨拐河组一段深湖—半深湖沉积环境下发育的大套稳定的黑色、灰色泥岩夹粉砂岩。电测曲线表现为微齿化的自然电位、电阻率曲线和低幅指状自然伽马曲线; 而顶界面之下多为灰色泥岩、灰色粉砂岩及少量砂砾岩夹分布较稳定、等时性较强的煤层沉积, 反映了滨浅湖或辫状河三角洲在高位体系域不断向湖盆中心进积而形成的沉积环境。顶界面上、下电测曲线明显的突变是此层序界面识别的最直接标志(图 2)。在地震反射剖面上, SB_4 界面反射层为一强振幅反射同相轴, 反射波组特征明显, 一般为单一强相位, 局部为两个相位, 与上覆地层呈上超、平行或不整合接触(图 3)。

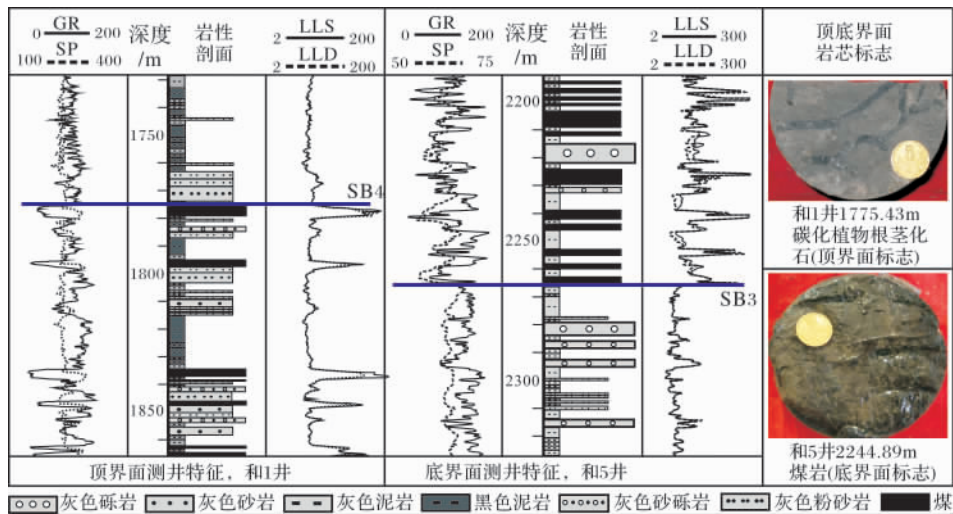


图2 南屯组二段层序界面的测井及岩芯标志

Fig. 2 Sequence interface characteristics of the logging and core of the second member in the Nantun Formation

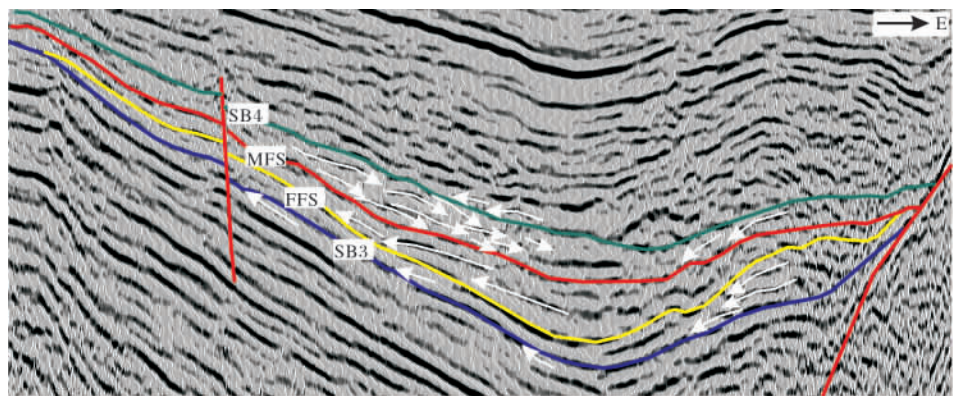


图3 南屯组二段层序界面和体系域界面地震反射特征(hsm-02_560_0测线)

Fig. 3 The seismic reflection characteristics of sequence and systems tracts interfaces of the second member in the Nantun Formation(hsm-02_560_0 line)

2.2 体系域界面特征

以岩性、岩相、地层叠置样式、古地形表现出的坡折带特征及其地震反射特征识别出初始湖泛面和最大湖泛面,进而划分出低位、水进和高位体系域。

初始湖泛面的主要特征有: ①上下地层岩性、岩相及沉积相类型存在明显差别,界面之上多为沉积厚度较薄、层数少的滨浅湖或辫状河三角洲平原沉积,多形成稳定分布的煤层; ②地层叠置样式存在明显差异,初始湖泛面之下的低位体系域主要为加积或进积型准层序组,而之上的水进体系域则为退积型(图4); ③据地震反射剖面,初始湖泛面是湖盆水体首次越过坡折带的地震反射上超点而形成的连续反射界面,此界面之上多为水进体系域形成的上超反射(图3)。最大湖泛面主要的识别标志: ①在一套向上变

细、变深的沉积序列中,将集中发育的、相对厚度较大的湖相泥岩、粉砂质泥岩和油页岩的底面作为最大湖泛面的位置。另外,稳定煤层或煤层组的顶界面也可以作为分割水进和水退的内分界面,因此也常是划分体系域单元的主要参考面^[9]; ②上下地层叠置样式明显不同,界面之上主要为进积型的反旋回沉积,而界面之下则为退积型(图4); ③在地震反射剖面上,根据湖盆边缘最远湖岸上超点的地震反射同向轴确定最大湖泛面,上覆的高位体系域前积体常下超于此面为上(图3)。

2.3 层序地层格架

通过对以上层序界面、体系域界面的识别,综合考虑构造演化特征、古生物特征、古气候变化和湖平面的相对变化特征,将呼和湖凹陷南屯组二段划分为

一个三级层序。根据初始湖泛面、最大湖泛面的识别, 将其进一步划分为三个体系域(图 4)。低位与水进体系域的边界面为初始湖泛面, 水进体系域与高位

体系域间的界面为最大湖泛面。此层序划分方案在全区各井剖面间可进行良好的对比和追踪, 和 9—和 8—和 1—辉 1 钻井剖面的层序地层对比见图 5。

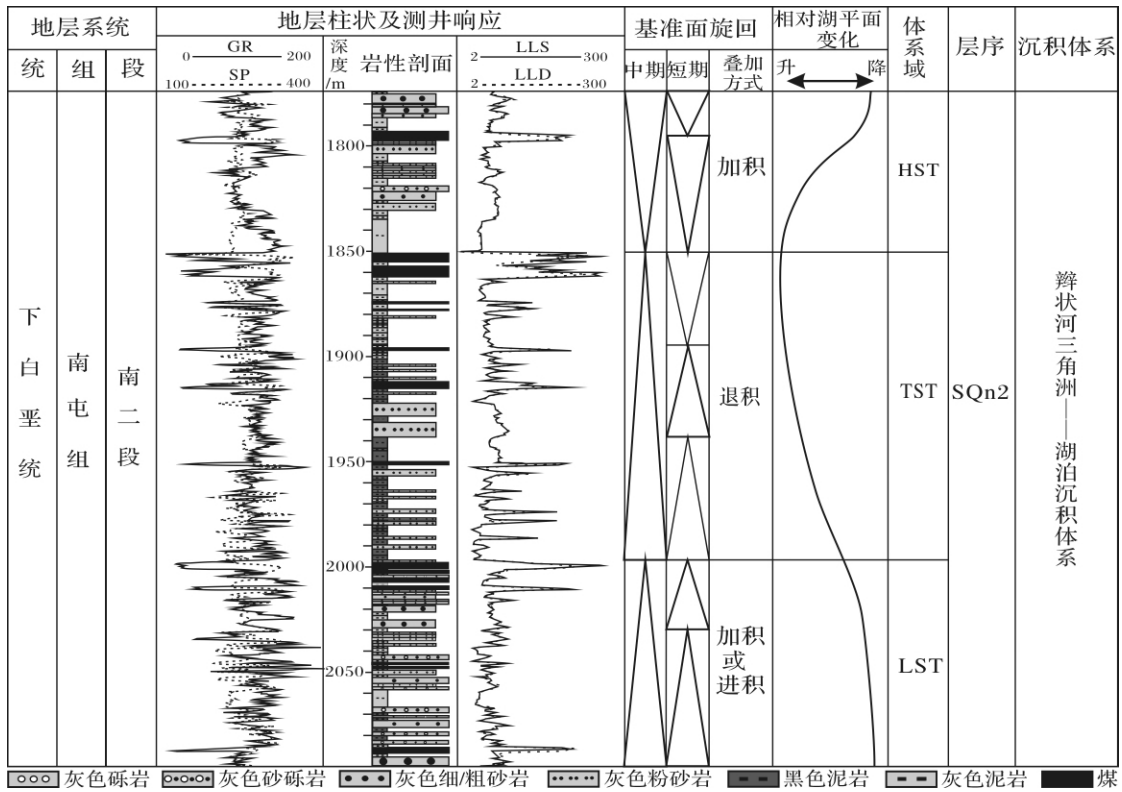


图 4 南屯组二段层序地层格架

Fig. 4 Sequence stratigraphic framework of the 2nd member in the Nantun Formation

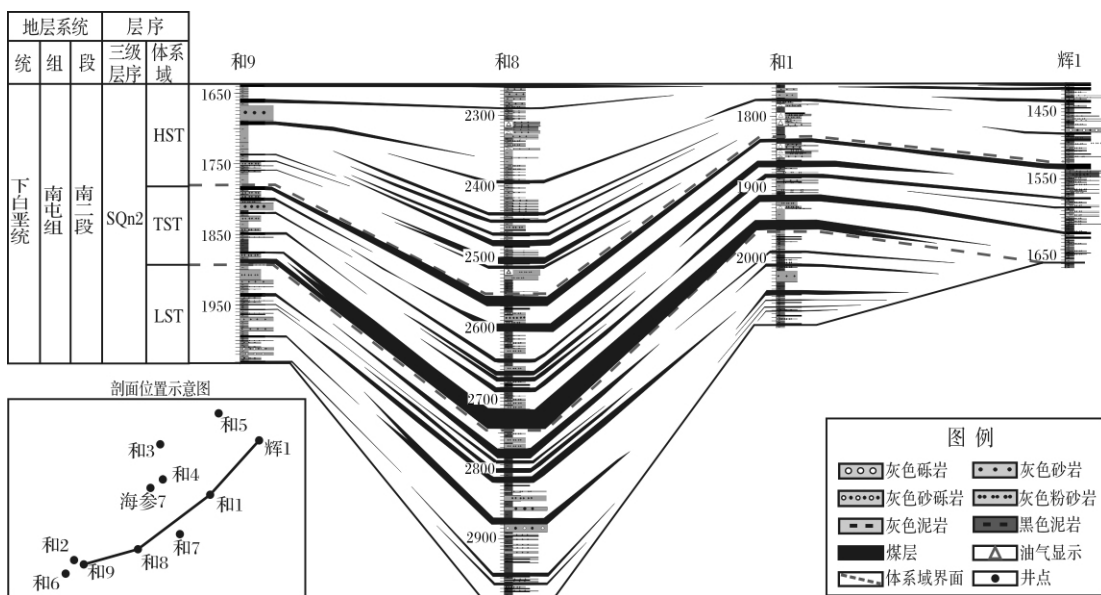


图 5 南屯组二段含煤岩系层序地层对比

Fig. 5 Correlation of the sequence stratigraphy of the 2nd member coal measures in the Nantun Formation

2.4 层序形成的主控因素分析

对于陆相湖盆,控制其层序发育的主要因素是构造沉降、沉积物供给和气候等。气候条件主要影响沉积物类型和沉积物供给的多少,而构造沉降和沉积物供给则控制沉积体系空间配置和不同级别层序单元的界面。其中,构造沉降为层序形成的内因,是最关键的因素,可以引起可容空间的旋回性变化,使沉积充填过程具有不同级别的旋回性,从而形成了不同级别的层序及其内部层序序列。上述三种因素共同作用的结果是相对湖平面的变化,湖平面变化最终控制着沉积体系的类型及展布。

构造演化对层序和体系域内部沉积充填具有明显控制作用,南屯组二段处于伸展断陷阶段的晚期,凹陷断裂活动趋缓,总体表现为较稳定、间歇性的缓慢下沉。其下降速度低、沉降幅度小,湖盆水域不断扩张,湖盆可容空间也不断增大。伴随地势差异趋小及水域的不断扩大,可容空间与沉积物补给通量比值增大,导致其沉积体系不同于铜钵庙组的冲积扇、南屯组一段的扇三角洲等冲积体系,而以主要沉积细碎屑的湖泊—辫状河三角洲体系为主导。在此沉积背景下加之气候条件适宜,出现了有利于成煤的古地理和古构造条件,南屯组二段发生了规模较大的聚煤作用。

3 南屯组二段沉积体系演化

通过研究区内11口井的单井相分析,连井剖面分析,结合地层等厚图、砂岩等厚图、砂地比图、暗色泥岩、碳质泥及煤层厚度分布图等单因素分析图件,

笔者以体系域为单位重新恢复了南屯组二段的沉积相带展布形态,反映出湖盆沉积体系配置在层序格架内的分布及其时空演化。

3.1 低位体系域沉积相带展布

此沉积时期,湖域范围最小,湖盆和周缘物源区高差较大,受东断西超的整体构造地质背景的控制,水流携带大量粗碎屑物质迅速入湖,在湖盆周缘坡折带之下形成辫状河三角洲平原及前缘沉积,以加积或进积型准层序组为主。湖盆周缘滨浅湖区及辫状河三角洲平原地带发育规模较大的富煤沼泽。在局部深洼地区发育深湖—半深湖沉积环境,其规模很小(图6a)。

3.2 水进体系域沉积相带展布

由于基底沉降作用及边界控盆断裂的活动,湖平面上升,湖泊水体稳定加深,湖岸线向湖盆边缘扩展。由于水体沿湖盆边缘不断上超,陆源碎屑物供给不足,辫状河三角洲沉积向盆缘区后退,形成退积型准层序组,且扇体发育规模也有所缩小。在湖岸附近辫状河三角洲平原分流间湾沼泽及湖泊沼泽发育很广泛。同沉积断裂的发育,控制了局部深洼的深水环境,浊积砂、湖底扇等水下重力流沉积的空间分布,其中湖底扇主要形成于北部洼槽区(图6b)。

3.3 高位体系域沉积相带展布

湖盆开始萎缩,构造沉降作用趋于稳定。湖平面处于静止并趋于下降状态,湖泊水体相对稳定且紧邻物源区,由于沉积物的进积作用,形成以加积型准层序组为主的辫状河三角洲。其沉积物不断向湖盆推进,使得湖泊水域缩小,水体相应变浅,深湖—半深湖

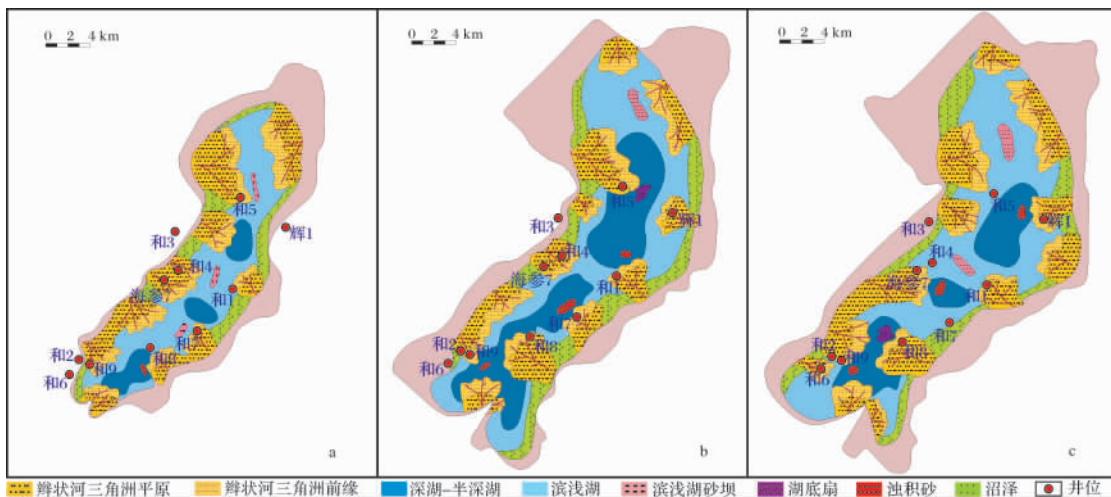


图6 南屯组二段低位、水进和高位体系域沉积相展布

Fig. 6 Ichnography of sedimentary facies of lowstand transgressive and highstand system tracts of the 2nd member in the Nantun Formation

连续性也变差。受断裂坡折带的控制,在凹陷的南部洼槽中心发育湖底扇沉积(图 6c)。同时,湖盆边缘泥炭沼泽也较发育。

4 南屯组二段聚煤规律

传统的成煤理论认为,煤层主要形成于低位体系域的沼泽或草沼地区。近年来,层序地层学理论的兴起和发展,为人们理解聚煤模式提供了新的思路^[10]。控制聚煤作用的根本因素为:泥炭的堆积和保存需要足够高的水位以覆盖正在腐烂的植物并阻止其被氧化,同时水位又要足够的低以确保活着的植物不被淹死^[11],即成煤植物的生长、泥炭的堆积与保存需要有一定范围内变化的可容空间。而构造沉降是产生可容纳空间变化的主要原因,泥炭的堆积又是在特定的沉积环境(如岩相古地理条件、古地貌、古气候、古植被等)下作用的结果。因此,构造沉降和沉积环境就成为煤层形成的最基本的两个地质条件。

呼和湖凹陷南屯组二段处于断裂扩张时期,沉降作用具有低幅震荡性的特点。总体上经历了水进—水退的充填演化过程,以湖泊—辫状河三角洲充填占绝对优势。在基准面下降的初期,可容纳空间增大速率与物源供给速率基本一致,凹陷中心湖区范围持续存在,湖盆边缘泥炭沼泽稳定产生而聚煤;当基准面上升,地下水位区域性抬升,发育滨浅湖沼泽成煤环境,加之泥炭层很快被高位体系域沉积物所埋藏而保存下来,所以成煤条件较优越;高位体系域沉积时期,辫状河三角洲向湖中心进积,其平原堆积的大量泥炭层迅速被掩埋,也具备成煤环境。因此,受控于湖盆

水域体制及相对稳定的构造活动,南屯组二段主要聚煤环境为辫状河三角洲平原的分流间湾沼泽及滨浅湖沼泽。在构造沉降速率及泥炭堆积速率共同控制下,各体系域均可发生聚煤作用,但不同体系域中煤层的发育程度及分布范围存在明显差异。分析如下:

在低位体系域早、中期,湖平面较大幅度下降,可容空间减小,可容空间增加速率小于有机质沉积速率,较难形成厚煤层,在滨浅湖淤浅而沼泽化后,只形成多层夹于滨浅湖灰色泥岩和黑色泥岩之间不稳定的薄、中厚煤层,如图 5 地层对比中的和 1 井低位域早期形成于滨浅湖沼泽环境中的多层薄煤层;在低位体系域晚期,随着湖平面开始上升但仍低于地形坡折带时,在接近初始湖泛面附近由于可容空间增长速率与有机质堆积速率大体一致,可形成夹于灰色泥岩层中厚、厚煤层(图 5 所示和 8 井地层序列)。从低位体系域煤层累计厚度分布来看(图 7a),形成了分别以和 8 井、海参 7 井及和 5 井为中心的富煤单元,煤聚积的累积厚度分别为 45 m、35 m 和 30 m,另外,在和 9 井区还形成了累计厚度达 15 m 的煤层聚积。

水进体系域是湖平面逐渐加快上升的过程,可容空间增长速率一直与有机质聚集速率相当或略大于后者,在湖岸附近辫状河三角洲平原分流间湾沼泽、滨浅湖沼泽广泛发育,有利于泥炭聚集形成厚煤层。由含煤地层对比图,水进体系域顶、底界面附近均形成了稳定的可以区域性对比的厚煤层。和 9、和 8 及和 1 井在此体系域内的滨浅湖沼泽聚煤环境中均沉积了多层厚度较大的煤层,其中尤以和 8 井最为典型(图 5)。在煤层累计厚度分布上,与低位域相比,富

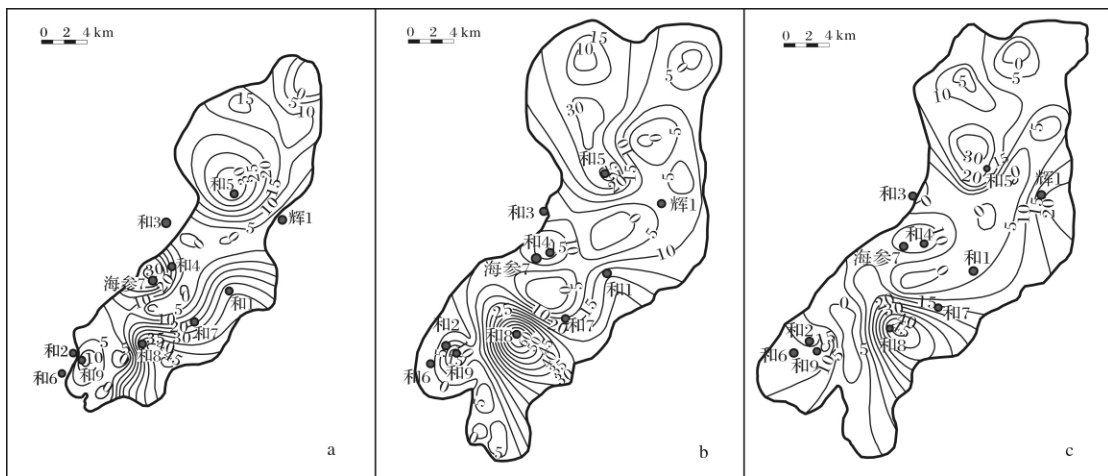


图 7 南屯组二段低位、水进和高位体系域煤层厚度

Fig. 7 The coal thickness of lowstand, transgressive and highstand system tracts of the 2nd member in the Nantun Formation

煤单元更集中分布于和8井区,其聚煤累计厚度可达65 m,而海参7井区聚煤作用有所变差,只形成15 m的累计厚度,和5井的聚煤累计厚度约为25 m(图7b)。

高位体系域是湖平面抬升逐渐减慢并开始下降的过程,可容空间增加速率也逐渐降低以至于趋于零,因此在高位体系域能够容纳厚煤层聚集的可容空间发育较差,与低位、水进体系域相比,其聚煤作用变差。此沉积时期,凹陷南部继承性发生聚煤作用,和8井区聚煤累计厚度仍可达到45 m,但凹陷中、北部富煤中心发生了转移,在辉1井附近、和5井以北地区均形成累计厚度约18~25 m的富煤单元(图7c)。由连井层序地层的煤层对比,和8井高位体系域早期以及和9、和1、辉1井高位体系域晚期在所发育的辫状河三角洲平原沉积环境中均有不同程度的煤层聚积,但所形成的煤层较薄,横向上不连续(图5)。

综上,水进体系域广泛发育滨浅湖沼泽和辫状河三角洲平原聚煤场所。由于相对湖平面上升,可容空间完全能够满足泥炭大量堆积所需的空间,此后所堆积的泥炭又迅速地被高位体系域沉积物所掩盖、埋藏而保存下来成煤,因此其聚煤作用最强,可以形成横向连续性较好的厚煤层。而高位体系域虽然广泛发育辫状河三角洲平原泥炭沼泽,但常由于沉降速率与沉积物堆积速率的不均衡,以及受到洪水泛滥、水道改道等因素的影响,使得煤层发育较差,其聚煤作用最弱。而多在其早、晚期,可容空间与沉积物供给速率大体一致时,发育较好的成煤环境。从各体系域煤层厚度平面上分析,各体系域聚煤作用均呈现出凹陷的东南部强、东北部差的大体趋势。因此,可以认为南部是一个长期稳定缓慢沉降状态下的地区,其沉积时间长,沉积的地层厚度大,聚积的煤层总厚度也大,且煤层在横向上可能延伸很远;而北部地层相对薄,煤层也薄,只有在巨厚煤层形成时才发生区域性延伸。总体上受构造、沉积体系的控制,煤层的形态、厚度及规模具有较明显的分带性,富煤单元大体上与湖泊-辫状河三角洲相带展布规模相吻合,主要分布于湖盆边缘与沉降中心之间,且靠近湖盆边缘部位。而较深的湖泊水体不利于泥炭沼泽发育,所以由辫状河三角洲平原向深水湖泊过渡到凹陷内部,煤层会变薄甚至尖灭(图7)。

5 结论

(1) 应用层序地层学方法理论,以测井、地震资

料为依据,对南屯组二段各级层序单元进行了划分,并建立了层序地层格架,以体系域为单元刻画了此格架内沉积相带的展布特征。

(2) 通过沉积演化、层序地层对比等综合分析,南屯组二段煤层主要形成于低位、水进体系域的辫状河三角洲平原间湾沼泽、滨浅湖沼泽以及高位体系域的辫状河三角洲平原间湾沼泽等聚煤环境中。

(3) 在凹陷整体构造趋于稳定并缓慢、均衡沉降的背景下,各体系域均有不同程度聚煤。聚煤作用主要发生于低水位体系域晚期和水进体系域。在垂向上煤层主要聚积于湖盆水域开始扩张的水进体系域,此时期大面积、长期发育的辫状河三角洲-湖泊体系在滨浅湖地带的覆水较浅部位大范围发生泥炭沼泽化,由于可容空间增加速率与沉积物堆积速率的均衡匹配,极有利于形成众多厚而稳定的煤层;而高位体系域的聚煤作用最弱,所形成的煤层厚度较小且分布较为局限。平面上,聚煤作用呈现出凹陷的东南部强、东北部差的分带性。

(4) 受构造沉降、沉积环境双重因素的控制,富煤单元与湖泊-辫状河三角洲相带展布相一致,主要分布于湖盆边缘与沉降中心之间,且靠近湖盆边缘部位。

参考文献(References)

- 1 Bohacs K, Suter J. Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: fundamental controls and paralic examples[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1612-1639
- 2 Diessel C F K, Boyd R, Wadsworth J, et al. On balanced and unbalanced accommodation/peat accumulation ratios in the Cretaceous coals from Gates Formation, Western Canada, and their sequence stratigraphic significance[J]. International Journal of Coal Geology, 2000, 43: 143-186
- 3 Shao Longyi, Zhang Pengfei, Gayer R A, et al. Coal in a carbonate sequence stratigraphic framework: The Late Permian Heshan Formation in central Guangxi, southern China[J]. Journal of Geological Society London, 2003, 160: 285-298
- 4 Cross T A. Stratigraphy architecture, correlation concepts, volumetric partitioning, facies differentiation, and reservoir compartmentalization from the perspective of high resolution sequence stratigraphy[R]. Research Report of the Genetic Stratigraphy Research Group, DGGE, CSM, 1994: 28-41
- 5 张建博, 王红岩, 赵庆波. 中国煤层气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 29-30 [Zhang Jianbo, Wang Hongyan, Zhao Qingbo. Coal-bed Gas Geology of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 29-30]
- 6 崔军平, 任战利, 肖晖. 海拉尔盆地呼和湖凹陷热演化史与油气关

- 系[J]. 中国地质, 2007, 34(5): 522-527 [Cui Junping, Ren Zhanli, Xiao Hui. Relations between the thermal history and petroleum generation in the Huhehu Lake depression, Hailar basin[J]. Geology in China, 2007, 34(5): 522-527]
- 7 魏魁生, 徐怀大, 等. 非海相层序地层学——以松辽盆地为例[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 2 [Wei Kuisheng, Xu Huaida, et al. Non-Marine Sequence Stratigraphy: A case from the Songliao Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 2]
- 8 吴因业. 煤层——一种陆相盆地中的成因层序边界[J]. 石油学报, 1996, 17(4): 28-35 [Wu Yinye. Coal seam: A genetic stratigraphic sequence boundary in nonmarine basins[J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 17(4): 28-35]
- 9 Galloway W E, Hobday D K. Approaches to Genetic Stratigraphic Analysis[M]. Terrigenous Classic Depositional Systems, 1983: 5-23
- 10 邵龙义, 鲁静, 汪浩, 等. 中国含煤岩系层序地层学研究进展[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 604-914 [Shao Longyi, Lu Jing, Wang Hao, et al. Developments of coal measures sequence stratigraphy in China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 904-914]
- 11 Stach E, Mackow Sky M T, Teichmuller M, et al. Stach's Textbook of Coal Petrology[M]. Borntraeget, Stuttgart, 3rd ed, 1982: 535

Sequence Stratigraphy and Coal Accumulation Law of the 2nd Member of the Nantun Formation Coal Measures in the Huhehu Depression

CHEN Xue-hai¹ XUE Hai-tao¹ LU Shuang-fang¹ CHEN Xue-yang²
LI Jun-hui³ LIU Qiu-hong⁴ HU Shou-mei¹

(1. Faculty of Earth Science, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318;

2. No. 9 Oil Production Company of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing, Heilongjiang 163853;

3. Exploration and Development Research Institute, Daqing Oilfield Corporation Ltd., PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163712;

4. Halaer Exploratory Development Headquarters, Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing, Heilongjiang 163000)

Abstract Huhehu Depression is a key exploration area in the east grabens which is located in the southeast of Hailar Basin. The depression is a half-graben rift subsidence structure, characterized by it being faulted in the east and overlapped in the west, and its area is 2 500 km². The 2nd member of the Nantun Formation in Huhehu Depression has developed the coal measures buried deeply whose strata formed by a set of gray siltstone and dark thick mudstone which mixed with black coal, gray fine sandstone and grey conglomerate. And the rock layers developed a series of multilayer and thicker coal seam, its reflectance of vitrinite is between 0.8% ~ 1.5%, and the coal rank between gas coal-coking coal stage, so the coal measures have a better hydrocarbon potential. Also, because of the weaker later tectonic movement, the coal measures contain rich oil-gas (CBM) resources. This paper mainly analyzes the characteristic of the stratigraphic framework, coal accumulation environments and coal accumulation laws in the case of the coal measures of the 2nd member in the Nantun Formation to guide the petroleum exploration in Huhehu Depression in the future.

Based on the theory and method of sequence stratigraphy, according to the drilling, well logging and seismic data, the sequence interfaces (the top interface SB₄, the bottom interface SB₃) and system tract interfaces (defined by the initial and maximum flooding surfaces) of the 2nd member in the Nantun Formation are identified. Finally, the sequence stratigraphic framework is established by the comprehensive analysis of the tectonic evolution, paleontological features, paleoclimate changes and lake level variations. Also, the main controlling factors on sequence formation are analyzed briefly.

At present, there are 11 wildcat wells in the study area. Through the analysis of the single well facies and sections of correlation of the stratigraphic, combined with other single factor maps, such as the stratum isopach maps, sandstone isopach maps, sandstone content isoline maps, dark mudstone, carbonaceous shale and coal layers thickness isopach maps, with the system tracts as the units, the author has described the sedimentary system distribution and temporal-spatial evolution characteristics within the sequence stratigraphic framework.

Through comprehensive analysis of sedimentary evolution and correlation of the sequence stratigraphy, a study of coal layers development features and the patterns of coal accumulation is carried out with the application of basic theo-

ry and method of the coalfield geology. The 2nd member in the Nantun Formation of Huhehu Depression which was in the faults extension period ,characterized by the low-amplitude , weak and pulsative vibration of the tectonic subsidence , During this period , it experienced an infilling evolution process of water in withdrawal , and the lacustrine-braided river delta sedimentary systems developed dominantly. In the early stage of base-level falling , the increasing rate of accommodation space was consistent with the supply rate of sedimentary source , and the lacustrine areas continuously existed in the center of the depression , so the peat swamp formed stably and accumulated coal in the lacustrine basin margin of the depression; With the base level rising up , the groundwater level rise regionally , the 2nd member of the Nantun Formation developed shore-shallow lacustrine swamp coal-forming environments. Because of the peat beds were buried and preserved rapidly by the highstand system tract sediments , the coal-forming conditions of transgressive system tract were favourable; Lastly , in the highstand system tract sedimentary period also developed the coal accumulation environment , as a result of progradation of braided river delta , a lot of peat layers were buried rapidly in the braided river delta plain. Accordingly , controlled by the lake level changing system and the relatively steady tectonic movement , the major coal accumulation environments are interdistributary estuary swamp of the delta plain and shore-shallow lacustrine swamp.

As mentioned above , the study area was controlled by the rates of the tectonic subsidence and the peat accumulation every system tract developed coal-accumulation sedimentary conditions. However , the degrees of development and distribution ranges of the coal layers are significantly different between the different system tracts. The results indicate that the coal-accumulation mainly developed in the later period of lowstand system tract and transgressive system tract. In vertical directions , the coal layers mainly formed in transgressive system tract where the water started to expand. During this period , a large area and long term lacustrine-braided river delta sedimentary systems were peaty and swampy largely in shore-shallow lacustrine zones where the water was shallow. Under such circumstances , because of the increasing rate of the accommodation space matched balanced with the sedimentary accumulation rate , the stratum was very conducive to form series thick and stable coal layers. But the coal accumulation was the weakest in the highstand system tract in which the distribution of formed coal layers was thin and more localized.

Controlled by the tectonic subsidence and sedimentary systems , the coal accumulation of each system tract shows obvious zonations and situations that South-east of the Depression is strong , while Northeast is weak. The coal-rich units are in accordance with the distribution of the lacustrine-braided river delta sedimentary facies , mainly distribute between lacustrine basin margin and the subsidence center , and near to the lacustrine basin margin. However , it was not conducive to develop peat swamp in the deeper lake water body , the coal layers became thin even pinchout from the braided river delta plain to deep lake.

Key words coal measures; sedimentary system; coal accumulation law; Huhehu Depression