

文章编号 :1000-0550(2000)02-0263-05

港东油田二区一断块高分辨率层序地层

陈 波¹ 陈恭洋¹ 保吉成²

1(江汉石油学院地质系 湖北荆州 434102) 2(青海油田采油一厂 青海花土沟 817500)

摘 要 高分辨率层序地层为建立高分辨的年代地层格架提供了一种有效的方法。港东油田二区一断块的储油层段主要为明化镇组下段曲流河沉积,通过运用沉积基准面原理对研究区内岩芯、测井资料的综合分析,识别出了曲流河沉积短期、中期地层旋回及其特征。短期地层旋回可能主要为河流作用形成的自旋回,无法确定与基准面变化的关系;中期地层旋回则完全是由沉积基准面变化形成,由不同类型的短期地层旋回构成,并发现不同的短期旋回出现在中期基准面旋回的不同位置,相同的微相在中期基准面旋回的不同位置具有不同的结构特征,弄清了中期基准面对作为主要储层的河道砂体的侧向连通性和内部非均质性的控制作用。根据这些特征,建立了工区二维高分辨率地层对比格架,并在此基础上对工区的储层分隔间进行了预测。

关键词 港东油田 河流相 高分辨率层序地层 短期基准面旋回 中期基准面旋回 储层预测

第一作者简介 陈波 男 1967 年生 讲师 煤田与石油地质勘探专业 硕士

中图分类号 539.2 **文献标识码** A

层序地层学自八十年代末提出以后,其原理和实践很快为大多数地质学家所接受^[1],作为更精确的层序地层分析方法,高分辨率层序地层学近年来在此基础上迅速发展起来^[2,3]。根据 T. A. Cross 等人的观点^①,地层基准面是一个受海平面、构造沉降、沉积负荷补偿、沉积地形等因素的综合制约的沉积平衡面,基准面的每次相对地表波状升降变化,都会在地层记录中留下反应其所经历的“痕迹”。不同级次的地层旋回记录了相应级次的基准面旋回,高分辨率层序地层学正是利用地层基准面旋回导致的岩石记录的改变进行地层对比,因此,它是同时代地层与界面的对比,而不是岩石类型和旋回幅度的对比^[4]。由于时间分辨率的增加,从而使地层预测的准确性大大提高。港东油田是一个开发多年的以曲流河砂体为主要储层的老油田,剩余油的勘探难度较大,本文主要根据基准面旋回和可容纳空间变化原理,利用港东油田二区一断块的岩芯和测井资料确定明化镇组下段河流相沉积高分辨率地层特征,利用些特征,建立油田乃至油藏级储层的成因地层对比骨架,预测储层宏观和微观非均性或储层分隔间(Reservoir compartment)特征,确定剩余油的分布规律。

1 区域地质背景

港东油田二区一块位于港东油田西区东北部,北

以港东主断层为界,南以马棚口断层为界与岐口凹陷相邻,西以 261 井断层与二区四块相连,东部以 281 井断层和港东一区相连,面积约 20.4 km²(图 1)。二区一块被北东东向和北西西向两组共六条断层切割为大小不等的九个自然断块,各断块差异大,构造复杂。工区目的层段—明下段沉积时期主要受港东和马棚口断层的控制,在中上新世(明—馆时期),由于港东主断层处于活动期,急剧的沉降活动形成一系列的逆牵引背斜构造^[5],但整个区块被顺构造轴的北东东向和横切轴向的北西向的断层所切割,从而使构造复杂化,导致了沉积分异作用强烈,造成断块内的油层零星分布,连通性差,无论在平面上还是在纵向上,油层的非均质性都很强。

工区内明下段地层厚度在 800~1 150 m 之间,传统上分为四个砂层组,其中三、四两个组由厚层块状紫红色、暗棕色泥岩和灰绿色、浅灰色砂岩组成;一、二两个砂层组由灰绿、棕褐色泥岩与浅灰色砂岩互层,均为典型的曲流河沉积,为主要的产油层段。

2 基准面旋回的确定

从理论上讲,地层记录中不同级次的地层旋回记录了相应级次的基准面旋回,但冲积—河流相地层有所不同,根据岩芯、测井资料在工区内识别出两种规模的地层旋回,即短期旋回和中期旋回。由于河流作用

① Cross T. A. Stratigraphic Architecture, Correlation Concepts, Volumetric Partitioning, Facies Differentiation, and Reservoir Compartmentalization From the Perspective of High Resolution Sequence Stratigraphy.

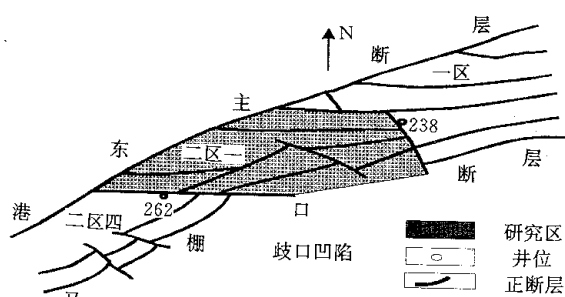


图1 构造概略图

Fig.1 Schematic structure map of Gangdong oilfield

沉积序列具有自旋回特征,识别出的短期地层旋回可能主要是自旋回作用形成,垂向上由不同微相组合而成,但这并不排除短期基准面作用存在,只是在这种特定的沉积环境下我们无法区分而已^[6],在本文中统称为短期旋回。中期地层旋回则是由基准面变化形成的,在中期旋回的不同阶段形成了具有特定结构的短期旋回,这种特征为我们在中期旋回对比的基础上预测储层的分布和连通性提供了基础。

2.1 短期旋回的确定及其特征

取芯并对短期旋回的识别特别行之有效,根据岩芯资料和钻井剖面对工区明下段进行了沉积微相研究,共识别出四种微相类型,即河道、天然堤、决口扇和河漫滩。根据这四种微相的不同组合,共划分出四种具有自旋回特征的短期旋回类型^[7,8](图2)。

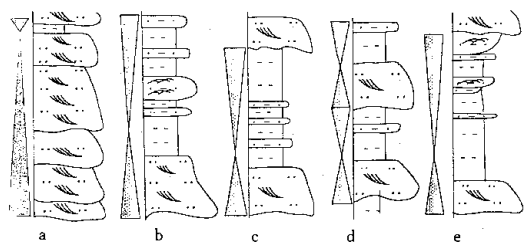


图2 不同类型短期旋回相序特征(据g225井)

a 河道 b 河道-天然堤-河漫滩 c 河道-河漫滩(不对称)
d 河道-河漫滩(对称) e 河道-河漫滩-决口扇

Fig.2 Characteristics of different type short-term cycles

2.1.1 以主河道沉积为主的短期旋回

其特征如图2a所示,底部为冲刷面及滞留沉积(泥砾),向上为含砾中细砂岩,厚度在20~40 m之间,交错层理发育,为多期河道叠置而成,其内部具有明显冲刷和单层向上稍变细的特征,其上为薄层的河漫滩泥岩。这种短期旋回显然受到低可容纳空间条件的限制,先前的细粒沉积被后期作用冲刷,表现为粗粒沉积物相互重叠,砂体累积厚度较大,常发育于中期基准面上升早期,随着侵蚀作用停止后形成的沉积。短期旋回具有明显的不对称性,上升半旋回由厚层的河道砂

体组成,下降半旋回由薄层的河漫泥岩组成或者不发育。

2.1.2 河道-天然堤-河漫滩组合的短期旋回

短期旋回的上升半旋回由厚度较薄的河道砂岩组成,厚度不大,主要为中细砂岩,具有向上变细的特征,下降半旋回则是由浅灰色、灰绿色薄层砂岩和浅灰、棕褐色泥岩互层组成,局部可见泥质团块,层理不发育(图2b)。这种类型的旋回表明地层基准面相对上升中提供了有利于沉积物堆积的较大的有效可容纳空间,有利于沉积作用发生。该类型的旋回主要出现在中期基准面上升期,为不对称旋回。

2.1.3 河道-河漫滩组合的短期旋回

该类型的旋回是工区主要的短期旋回形式,在整个明下段,尤其在中期旋回的中上部表现更为突出。该旋回尽管同时具有基准面上升半旋回和基准面下降半旋回沉积,但从总体上来看,以不对称的旋回为主(图2c),而仅在局部范围内表现出较好的对称性(图2d)。基准面上升半旋回为浅灰色、灰绿色和浅灰绿色的河道砂岩、粉砂岩组成,砂层厚度大部分小于10 m,仅有少数达到15~20 m,砂层内交错层理较发育。基准面下降半旋回以紫红色、暗棕红色泥岩为主,有时夹薄层的浅灰绿色、棕褐色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,其中发育有微斜层理、爬升波纹层理和平行层理,有植物碎片,钙质结核发育。表明可容纳空间减小,从而使河流中的细粒物质溢出堤岸而沉积下来。

2.1.4 河道-河漫滩-决口扇组合的短期旋回

该类型的旋回对称性差,上升半旋回是由薄层的中细砂岩组成,厚度一般不超过20 m,中下部交错层理发育,由单砂层组成,没有砂体间的复合现象,下降半旋回由灰绿色、棕褐色河漫滩泥岩、粉砂质泥岩和由紫红色、棕褐色薄互层砂泥岩的决口扇沉积组成,决口扇沉积在测井曲线上表现为反旋回特征(图2e),这种短期旋回主要出现在中期基准面旋回的下降半旋回,常常缺乏较厚的河道砂岩沉积,上覆较厚的河漫滩和决口扇沉积,代表在基准面下降形成的低可容纳空间的沉积条件。

2.2 中期基准面旋回的识别及其特征

由于取芯资料有限,基准面旋回的确定更多要依靠测井曲线,因此首先要用取芯井建立短期旋回及其界面的测井响应模型,然后再运用到非取芯井中进行旋回的划分。

根据研究层段的岩性特点,选择以自然电位为主、电阻率为辅的测井系列来划分地层基准面旋回。中期地层基准面旋回的确定是在对短期基准面旋回的叠加样式和大规模侵蚀作用面分析的基础上进行的。在本

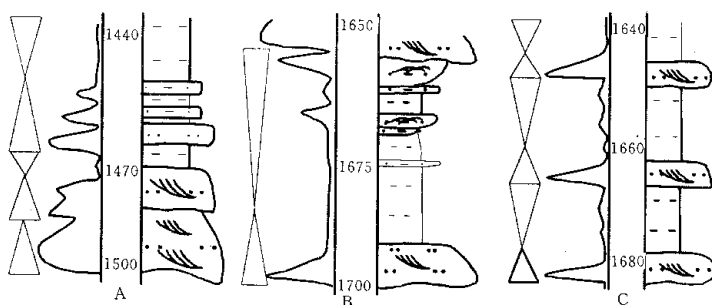


图3 短期基准面旋回的岩—电响应模型(据 g225 井)

A 河道及河道—天然堤河漫滩组合 B 河道—河漫滩—决口扇组合 C 河道—河漫滩组合

Fig.3 Rock-log model of short-term base-level cycles

次研究中,以取芯较全的 g225 井的岩芯资料和综合录井资料为基础,识别出如下几种短期基准面旋回的岩—电响应模型(图3):①河道及河道与天然堤复合体,②河道—河漫滩—决口扇复合体,③河道与河漫滩复合体,从整个岩性及岩性组合与测井响应的关系看,测井响应基本上反映了岩性的变化,能够有效地进行旋回确定。

根据明下段特定沉积背景,我们遵循以下两项原则识别中期旋回:①大规模侵蚀作用的存在,②短期旋回叠加样式的组合。通常情况下,高分辨率地震资料对中期旋回的识别和对比具有重要控制作用,但研究区地震资料质量非常差,无法在旋回划分和对比中使用,另一方面,该区是老开发区,井距较密,依靠井资料进行划分和对比提供了条件,依据上述原则,将明下段分为六个中期旋回,自下而上标记为 MSC1—6(图4)。

2.2.2.1 大规模侵蚀作用的证据^[9]

大规模侵蚀作用的存在代表着基准面较大幅度的下降,在明下段以曲流河沉积为背景的条件下,多期河道砂体间的相互切割与叠置本身就反映了该套沉积接近基准面由降到升的转折位置,在这转折位置附近,随着基准面的上升,沉积了低可容纳空间的以河道砂体为主的短期旋回。而孤立的河道砂体所构成的自旋回仅代表了河流作用的自然迁移,与基准面变化没有明显的关系。因此,可以认为在低可容纳空间形成的以河道砂体为主的短期旋回代表了一期中期旋回的开始。

2.2.2.2 短期旋回叠加样式的组合

短期旋回特定的叠加样式是在中期基准面下降或上升的过程中,在大致相似的背景下形成的一套成因上有联系的岩石组合,这些叠加模式常具有鲜明的测井响应^[3],根据 g225 井资料,可以识别出三种类型的叠加模式(图4):①垂向加积型叠加样式,其特征为每一期河流自旋回与下伏自旋回在厚度和砂/泥比值保

持不变,短期旋回为极不对称的河道—河漫滩组合,发育于中期基准面上升的末期和基准面下降的初期。②退积型叠加样式,其特征为每一期河流自旋回与下伏自旋回相比,厚度逐渐变大,砂泥比值变小,通常为基准面上升时高可容纳空间条件下形成,这种叠加样式在明下段比较发育,但这种退积叠加样式并不完全等同于 Cross 模型^[2]中退积样式所代表的地质含义,即形成于中期基准面上升阶段,这与河流作用的特殊性有关,在基准面下降阶段,如果没有主河道沉积,主要由河漫滩和决口扇沉积的紫红色薄互层砂泥岩,测井曲线上可能仍然表现为退积样式。③进积型叠加样式,其特征表现为短期旋回间自下而上厚度减小,砂泥比增加,通常发育在中期旋回的顶部,代表河流作用逐渐加强,但出现较少,可能与侵蚀或发育不完全有关。

从 g225 井旋回划分中发现,在中期旋回中短期旋回的叠加样式的演变通常由退积型→垂向加积型→进积型,或退积型→进积型,或仅由退积型构成,每一期旋回都从退积型开始,退积型样式常见,进积型较少见,其组合不如其它沉积环境完整,这可能也是河流—冲积沉积的一个重要特征,其原因可能与侵蚀或发育不完全有关。

2.2.3 中期旋回特征

根据中期基准面旋回界面特征及内部短期旋回叠加样式演化规律,共分为六个中期旋回,其特征如下:

MSC1 旋回底部为低可容纳空间条件下沉积的多期河道砂体叠置的厚层砂体,短期旋回演变为河道—天然堤和河道—河漫滩组合,呈退积叠加样式,砂/泥比降低(图4)。

MSC2 底部特征与 MSC1 类似,由复合的河道砂体构成,短期旋回演变为河道—河漫滩和河道—河漫滩—决口扇组合,叠加样式由退积型演变为进积型,旋回性较完整(图4)。

MSC3 底部特征与 MSC1 类似,短期旋回特征有

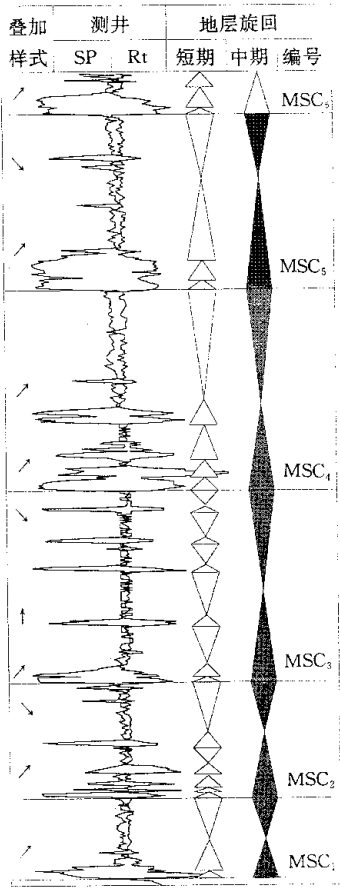


图 4 G225 井旋回划分

↗ 退积型叠加 ↘ 进积型叠加 ↑ 加积型叠加

Fig.4 The stratigraphic cycle analysis of well G225

河道-天然堤-河漫滩组合和河道-河漫滩组合,叠加样式有进积型、加积型和退积型三种类型,由退积型→加积型→进积型,旋回完整(图 4)。

MSC4 其特征与 MSC1 相似(图 4)。

MSC5 底部特征与其它旋回类似,但砂体的规模和厚度更大,短期旋回有河道-河漫滩和河道-河漫滩-决口扇组合,叠加样式由退积型演变为进积型,旋回性较完整(图 4)。

MSC6 其特征与 MSC5 相似(图 4)。

3 高分辨率层序地层对比格架的建立

在单井旋回解释模型的基础上,进行了连井解释,并运用旋回等时对比原理,建立了工区高分辨率层序对比格架(图 5)。明下段四个油层组可识别出六个中期旋回,自下而上分别标记为 MSC1~6,厚度在 100 m 左右。从剖面可以发现三个明显特征,其一,横向对比特征明显,尽管每个中期旋回内短期自旋回的类型

和数量不同,但组成的中期旋回特征类似或具有地质上的可对比性,因而是分辨率更高的具有年代意义的对比。其二,在纵向上七个中期旋回构成一个长期基准面的旋回, MSC1~2 河道砂体相对发育,说明沉积作用处于长期旋回的早期,单个砂体横向上连通性好,该层段为明下段主要的储集层。 MSC3~4 从总体上砂/泥比较低,表现出单砂层变薄、变细的总趋势,反映了可容那空间的增加。 MSC5~7 河流作用又开始大量发育,可以看到一些彼此孤立的河道砂体及较多的土壤层。这种特征在空间上构成了更大范围的储盖组合。其三,在中期旋回内部,短期旋回所处的位置不同,类型不同,储层特征不同,以河道砂体为主的自旋回发育于中期基准面上升早期,河道-天然堤-河漫滩组合和河道-河漫滩组合位于中期基准面旋回中期,河道-天然堤-决口扇组合则多出现在中期基准面旋回晚期。

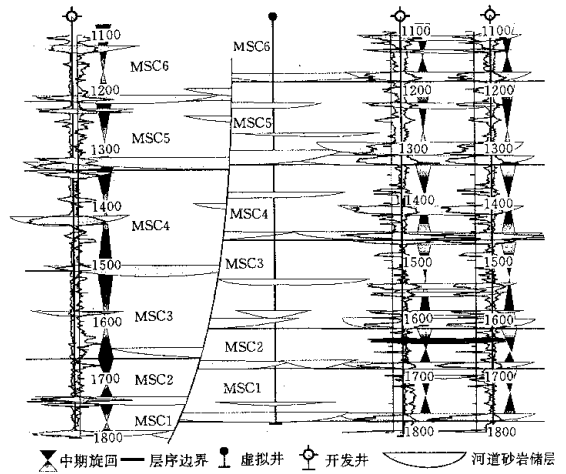


图 5 井间中期旋回对比(平行物源方向)

Fig.5 Intermediate term cycles correlation among multiple wells'

作为储层的河道砂体在中期旋回的各个阶段均出现,但其特征不同,在早期,河道砂体相互叠置,厚度大,横向连通性好,表现为“砂包泥”的特征,在中晚期,河道砂体彼此孤立,连通性差,表现为“泥包砂”的特征。

4 储层分布与分隔性预测

从上面的分析,我们发现不同级次基准面旋回的叠加控制了有利的储集层段的展布,短期基准面旋回在中期基准面旋回中位置的不同在很大程度上控制了短期旋回内部沉积物的地层学和沉积学的特征,包括旋回内沉积物的厚度、地层的保存程度、地层的堆积式

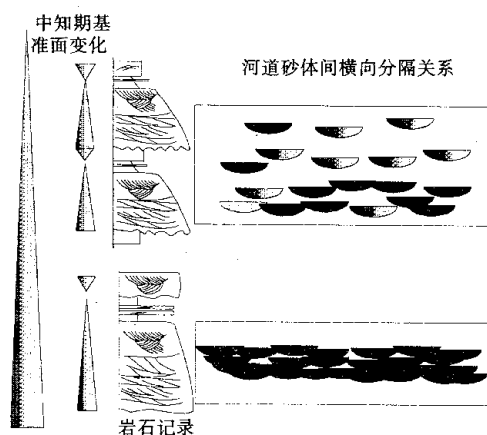


图6 在中期基准面旋回不同位置形成的河道砂体储层分隔性的差异

Fig.6 Difference of channel sandstone reservoir compartment in different location of intermediate-term stratigraphic cycle

样、旋回的对称性、岩相分布与相类型以及体系岩石物理特征等。在基准面旋回上升的早期,低可容纳空间条件下形成厚层的粗碎屑河道砂体沉积,砂体侧向叠置,分布范围广,连通性好,其分隔性表现为砂体间的非均质性变化受薄的泥岩夹层分隔的作用;处于基准面旋回中期,作为储层的河道砂体彼此孤立,单个砂体为储层单元,砂体间不连通或连通的几率非常小,分布范围小,其分隔性表现为“泥包砂”的特征。在此基础上建立了河道砂体储层在中期基准面旋回中其横向展

布与分隔特征模型(图6),从模型中可以看出,在基准面上升早期,河道砂体多为彼此切割和叠置,砂体间连通性较好,局部残留的泥质夹层对油藏形成分隔,油藏分布范围较大,在基准面上升中期,形成的河道砂岩彼此孤立,一般互不连通,储层单元为单个砂体,油藏局限在单个砂体内。

参 考 文 献

- 1 威尔格斯 C.K. 等编,徐怀大等译. 层序地层学原理[M]. 北京:石油工业出版社,1993. 49~184
- 2 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派—高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 90~97
- 3 邓宏文,王洪亮,李熙姬. 层序地层学基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~184
- 4 王洪亮,邓宏文. 地层基准面原理在湖相储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 96~102
- 5 大港石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志—大港油田[M]. 北京:石油工业出版社,1990. 300~327
- 6 Wescott W. A. Geomorphic thresholds and complex response of fluvial system—some implications for sequence stratigraphy[J]. AAPG Bulletin, 1993, 74(11): 208~218
- 7 Shanley K W, McCabe P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental Strata[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(4): 544~568
- 8 Wagoner J C Van. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies[A]. AAPG Methods in Exploration series [C]. 1990. 34~75
- 9 Wright V A. The sequence stratigraphy of fluvial depositional system: the role of floodplain sediment storage[J]. Sedimentary Geology, 1993, 86(2): 203~210

High-Resolution Sequence Stratigraphy of the First Fault Block, the Second Area of Gangdong Oil Field

CHEN Bo¹ CHEN Gong-Xiang¹ BAO Ji-cheng²

1 (Department of Geology, Jiangnan Petroleum Institute, Jinzhou, Hubei 434102)

2 (Qin Hai Oil field, Huatugou, Qin Hai 817500)

Abstract

Gangdong oil field, claiming a history of 30 years, locates in Huanghua depression of Gulf of Bohai basin. Reservoirs of the oil field are to the fluvial facies deposits, and is extremely heterogeneous and layered. The reservoir mostly consists of small striped channel deposits interbedded with flood-plain. It is very difficult to correlate reservoirs. High-resolution sequence stratigraphic analysis can serve directly to high-resolution stratigraphic framework. First fault block, the second area of Gangdong oil fields is selected as the study area. Based on the principle of base-level cycles, two scales of stratigraphic cycles (short- and intermediate-term) are recognized through the combination of cores and logs data in the area. The short-term stratigraphic cycles, which maybe not relate to base-level cycle, are the result of channel avulsion autocyclic process. Five type of channel avulsion auto

(Continued on page 272)

– cycles are identified. The intermediate – term stratigraphic cycles correspond to change of base – level cycle , and different types of the short – term cycles occur in different position of the intermediate – term base – level cycle. The same microfacies has different architecture in different position of the base – level cycle. The base – level cycle directly controll the channel reservoir geometry , Within an intermediate – term base – level cycle , during periods of low accommodation , channel deposits is mostly lateral aggradation , and channel reservoirs superpose and connecte each other. As accommodation increased , channel reservoirs become progressively isolated within flood – plain mudstone. According to that characterization , high – resolution sequence stratigraphic framework has been established based on intermediate – term base – level cycle , and using the high – resolution correlation to identify reservoir continuity and heterogeneities that could divide reservoirs into fluid flow compartments and are the most important factots in controlling the rates and pathways of fluid flow through reservoir.

Key words Gangdong oil fields fluvial facies high – resolution sequence stratigraphy short – term base level intermediate – term base – level cycle channel reservoirs reservoirs prediction.