

文章编号: 1000-0550(2012)02-0301-09

大庆长垣北部葡萄花上部油层高分辨率层序地层划分^①

阮 壮¹ 朱筱敏¹ 何宇航² 谭广辉¹

(1. 中国石油大学 北京 102249; 2. 大庆油田勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

摘 要 应用高分辨率层序地层学以及沉积学相关理论,依据 67 口井的岩芯和 8000 口井的测井资料,将松辽盆地大庆长垣北部喇萨杏地区的葡萄花油组上部油层(PI 油层)划分为 1 个受湖泛面限定的完整中期基准面旋回,并在其内部划分出 10~14 个短期基准面旋回,指出了 PI 油层在南北向上存在厚度以及短期旋回个数的差异。通过平行及垂直物源方向上的密井剖面分析并结合前人认识以及构造背景,认为 PI 油层存在着三种不同的地层叠覆模式:低可容空间下的主动进积薄层叠覆模式;极低可容空间下的强迫进积过路沉积模式;侵蚀进积的叠合模式。该认知对于指导喇萨杏地区甚至整个长垣地区的高精度地层对比具有指导意义。

关键词 喇萨杏 高分辨率层序地层学 基准面旋回 地层叠覆模式

第一作者简介 阮壮 男 1983 年出生 博士 沉积学 E-mail: wofe0103@163.com

中图分类号 P539 **文献标识码** A

自高分辨率层序地层学理论引入中国以来^[1,2],众多学者对该理论的核心原理进行了深入的研究^[3-5],并将其技术方法广泛的应用于我国油气勘探开发的各个阶段,极大的推动了国内陆相层序地层学的发展。目前已有学者结合国内多个陆相盆地的沉积背景建立了大尺度的高分辨率层序地层格架^[6],也有不少学者专注于采用该理论开展小层级别砂体的等时对比^[7,8],均取得了较好的应用效果。事实证明高分辨率层序地层学在陆相地层层序划分中具有良好适用性,是一种先进的地层对比技术。

大庆长垣北部的葡萄花油层经过 50 余年的开发,构造有利区、砂体有利区均动用完毕,进入高含水开发阶段,剩余油进一步挖潜成为未来开发工作的重点。在过去几十年的生产中,对研究区葡萄花油层的认识主要集中于多个单区块的地质研究,没有宏观认识作为指导,全区的进一步精细地质研究也就无从谈起。笔者以高分辨率层序地层学理论为指导,结合钻井、测井等资料,对松辽盆地大庆长垣北部地区葡萄花油组上部油层开展了地层精细划分与对比研究,总结了研究区内短期旋回的垂向叠覆模式,以指导研究区高精度地层对比和储层分布规律研究,为该区下一步勘探开发指明方向。

1 地质概况

大庆长垣属于松辽盆地中央凹陷区内的二级构

造带,它西接古龙凹陷,东连三肇凹陷,北邻黑鱼泡凹陷,为一个呈长条形的较大型背斜隆起带。研究区位于大庆长垣的北部,包括了自北向南的喇嘛甸、萨尔图及杏树岗 3 个三级构造单元,习惯上称为喇萨杏地区,总面积约 920 km²(图 1)^[9]。研究区中生代地层自下而上依次发育火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组、明水组、依安组、大安组、泰康组和第四系。上白垩统姚家组一段与青山口组三段的葡萄花油层组上部油层(PI 组)为区内重要的储层和含油层位。前人研究认为喇萨杏地区的青三段—姚一段隶属于松辽盆地北部沉积体系,是受北部水系及齐齐哈尔水系控制所形成的河流—三角洲复合体,且由于研究区水浅坡缓的地质背景,属于大型河流—浅水三角洲沉积体系^[10,11]。

2 PI 油层高分辨率层序地层学特征

2.1 层序级次及划分方法确定

多级次基准面的识别与划分是高分辨率层序地层格架建立的基础^[12]。但目前对各级次基准面旋回的时间跨度以及各级次旋回与经典层序地层中各级层序的对应关系还存在着很大争议^[13]。随着高分辨率层序地层学应用面的逐渐增加,层序分析的对象以及研究要求也有所变化,因此对旋回级次划分的要求

① 中国石油天然气股份有限公司大庆油田重大科技项目(编号: DXYT-1201002-2009-JS-985)资助。
收稿日期: 2011-01-20; 收修改稿日期: 2011-04-21

也不尽相同。笔者认为郑荣才等^[14,15]所提出的基准面旋回6级次划分方案更能满足油气开发阶段的研究精度需求,是一种较为成熟的划分方案。参照该划分方案,开发阶段的油层、小层以及单砂层大致对应于中期、短期以及超短期基准面旋回。此外,开发阶段采用高分辨率层序地层学方法的目的是建立低时间跨度内的等时地层格架,并对其中发育的砂体进行等时追踪对比。在实际操作中,开发阶段更重视的是两套遮挡隔层之间的砂体组成及结构特征,因此将基准面旋回界面作为油层组或油层的边界来进行划分的思路并不符合实际开发过程中追求砂体连通性的需求。针对这一问题,陈景山等^[13]提出采用不同级次湖泛时期所沉积的泥质层或隔、夹层代替为旋回界面的划分思路,这种层序划分方案与经典的高分辨率层序划分方案间存在半个基准面旋回的位差。这种以湖泛面作为层序界面的划分方案,不仅符合油气藏开发层系的等时划分原则,也可以满足生产需要,在本文的层序划分中即采用这种划分方案。

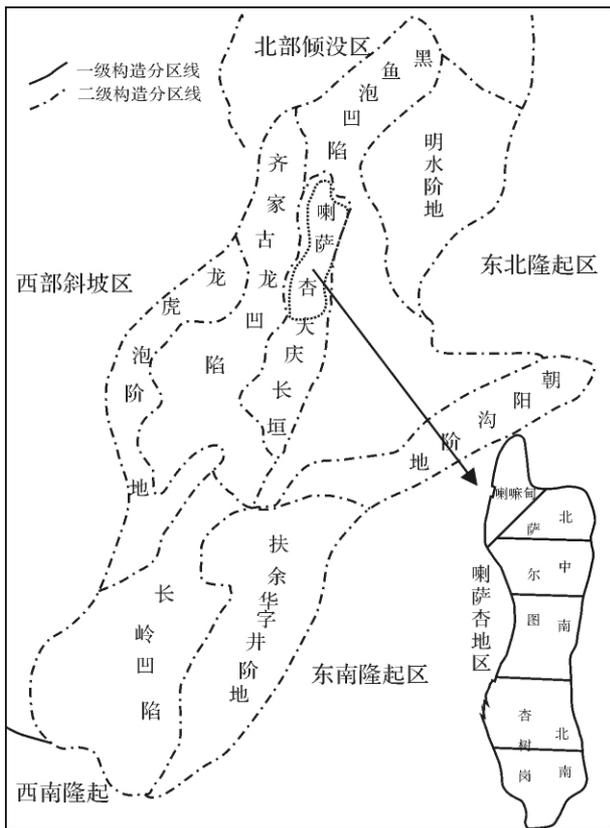


图1 研究区构造位置图(据文献[9]修改)

Fig. 1 Structural location of the study area
(modified from literature [9])

目前已有很多学者开展了对松辽盆地白垩系层

序地层划分的相关研究^[16~19],虽然采用的方法及主要研究的地区不同,但在许多方面依然取得了一些一致性的认识:通常将姚家组及嫩江组划归为一个超长期旋回,泉头组及青山口组划分为一个超长期旋回。在姚家组—嫩江组的超长期旋回内,将姚家组划归为一个以姚一段顶界为湖泛面的长期旋回;在泉头组—青山口组的超长期旋回内,将青三段划为一个以PII组底界为湖泛面的长期旋回。因此研究区PI油层沉积时期的地层跨越了两个长期基准面旋回,其中姚一段中的地层隶属于姚家组长期旋回的上升半旋回,而青三段中的地层则隶属于青三段长期旋回中的下降半旋回。即整个PI油层由两个中期基准面半旋回组成。根据以湖泛面为界的观点,可将PI油层看作一个完整的中期基准面旋回(如完全参照经典高分辨率层序地层学理论则应为两个半旋回),而油田划分的小层相当于短期基准面级别。

2.2 层序界面识别

层序界面识别是实现高分辨率层序地层划分与对比的基础和关键,而层序界面的类型一般有两种情况:第一种是基准面下降—上升的转换面;第二种是湖泛面。受资料精度的限制,中期基准面及以下级别的旋回基准面通常采用测井及岩芯资料来识别。

研究区中期旋回的顶底界面为湖泛面,对应于PI组顶底所发育的前三角洲亚相的泥岩,泥岩展布稳定,标志明显,较易于追踪。中期基准面旋回的下降—上升转换面对应于姚家组与青山口组之间的区域性不整合,该界面上下测井曲线整体形态由反韵律向正韵律突变,在岩芯上表现为河道底部的强烈冲刷侵蚀,因此也较易于追踪对比。

短期基准面旋回是高分辨率层序地层格架建立和分析的基础地层单元,其识别主要可通过岩芯、测井等综合资料判定。基准面下降—上升转换面以及湖泛面的识别是短期旋回识别的关键,研究区内短期旋回基准面下降—上升转换面主要表现为:

(1) 表示相对湖平面的急剧下降所导致暴露标志:古土壤(根土岩)、河道下切的河道滞留砾岩等(图2a,c);(2) 反映水体变浅后泥岩暴露地表产生的氧化色,如棕色、紫红色泥岩(图2a);(3) 测井曲线上表现出的异常突变面,界面上下两侧测井曲线形态发生突变(图2a);(4) 代表水深变化的岩性转折,界面之下砂质含量向上增加,界面之上砂质含量向上减少(图2a);(5) 水体变浅时,强烈蒸发作用造成的钙质结核形成,测井曲线上表现为异常的高电阻率。

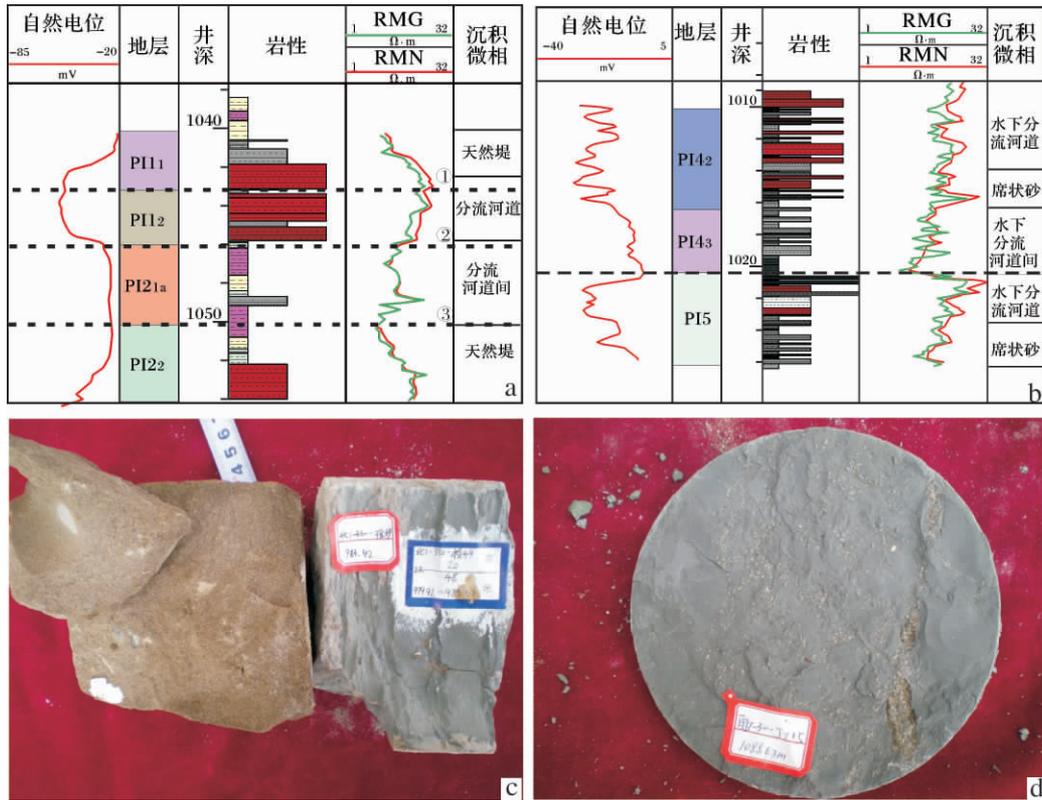


图 2 层序界面及湖泛面识别特征

a. G117-J23 井中的层序界面: 河道底部冲刷面, 测井曲线突变面及砂质含量突变面, 代表暴露地表的紫红色泥岩; b. X3-I-J617 井中的湖泛面; c. B1-330-J49 井, 983.42m, 河道底部冲刷面, 砂岩中见泥砾; d. N7-30-J735 井, 1088.63 m, 灰黑色泥岩见大量介形虫

Fig. 2 Identification feature of sequence boundary and flooding surface

短期基准面旋回的湖泛面较易识别, 主要表现为: (1) 稳定的暗色泥岩段(图 2d); (2) 测井曲线上正旋回向反旋回变化的转折点(图 2b); (3) 退积式叠置方式向进积或加积式叠置方式转换的部位。

2.3 层序划分方案

只有对层序界面有准确的识别并对地层进行了精细划分, 才能够进行高精度的地层对比。Cross 的高分辨率层序地层学理论表明, 基准面旋回的变化控制了不同级别的地层旋回, 也必然形成了不同级别的层序界面^[1]。根据上文中对各级次基准面的梳理以及对各级旋回下降—上升转换面、湖泛面沉积学响应特征的研究, 综合分析钻井岩芯、测井、沉积特征等资料, 将喇萨杏地区的 PI 油层看作 1 个完整的中期旋回, 并在其内部细划出 14 个短期旋回(图 3)。由划分结果可以发现此方案中的长期、中期和短期旋回层序与前人提出的油组、油层和小层砂体划分方案大致相当。

3 层序地层格架的建立

本文以高分辨率层序地层学理论为指导, 选择平行和垂直物源方向的两条连井剖面进行地层划分与对比, 分析地层旋回性和层序特征在纵向和横向的变化, 建立了喇萨杏地区 PI 油层的高分辨率层序地层对比格架。

3.1 南北向层序剖面

南北向层序剖面近平行物源方向, 旋回样式受物源的远近和所处的沉积背景位置影响明显。在中期基准面上升半旋回中, 研究区北部靠近物源区, 多为三角洲平原亚相, 沉积物供给充足而可容空间相对较小, 多发育强烈的进积作用甚至过路沉积; 研究区南部远离物源区, 沉积物供给较少, 而可容空间逐渐增加, 多发生垂向加积作用。故沉积厚度在南部有明显的增加。在中期基准面下降半旋回时期, 研究区北部虽然靠近物源但多为三角洲前缘亚相, 可容空间较高, 多发生垂向加积; 到研究区南部远离物源区, 多个

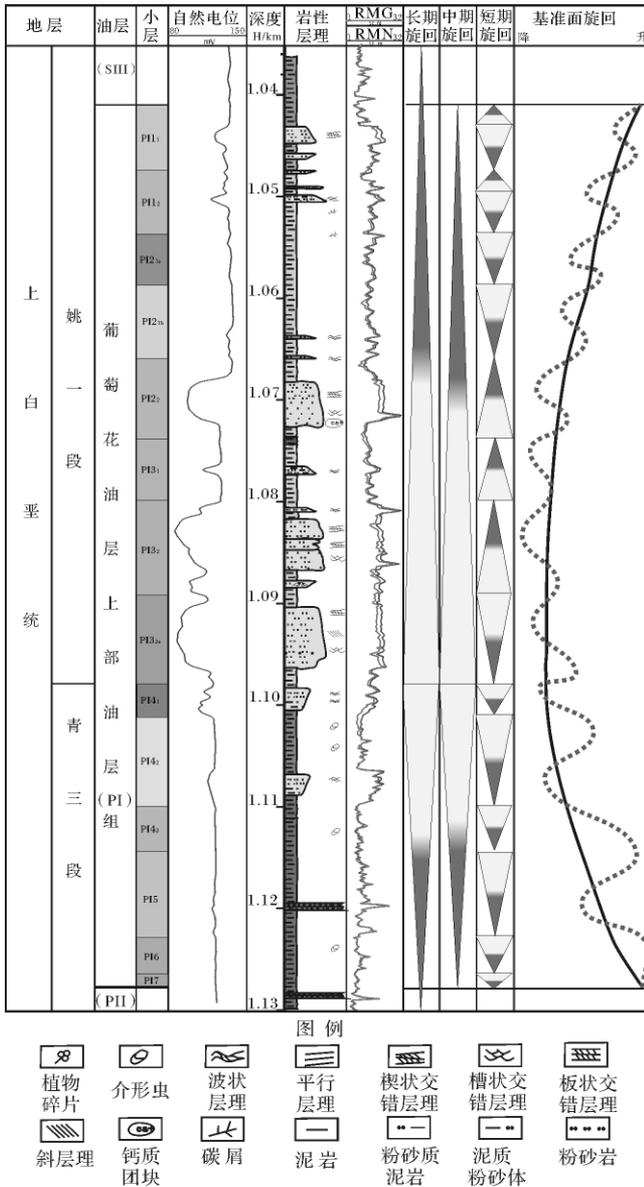


图3 大庆长垣北部 X2-1-J29 井 PI 油层组基准面旋回划分方案
Fig. 3 Identification of base level cycles of PI oil-bearing layer on Well X2-1-J29 in Northern Placanticline

短期旋回进入前三角洲亚相,物源供应严重不足,以泥质沉积为主,沉积厚度急剧减小。在此思想指导下,建立了纵跨喇嘛甸油田、萨尔图油田、杏树岗油田,南北长达 60 km 的 500 口密开发井层序地层剖面。PI 油层厚度从最北部的 L8-3022 井的 39.6 m,经 60 km 到最南部的 X13-33-134 井增加为 87.0 m,增加厚度达 47.4 m,增厚率为 119.70%。整体增幅较大(图 4)。层序剖面表明:

(1) PI 油层短期旋回个数在南北向存在差异,北部的喇嘛甸地区可识别出 10 个短期基准面旋回,

而在南部的杏树岗地区识别出 14 个短期基准面旋回,发生变化旋回为 PI3₁、PI3₂、PI4₁及 PI4₂短期旋回。

(2) PI 油层中期基准面上升半旋回时期向南沉积厚度迅速增加,厚度增加主要受可容空间控制,具体成因有两种:一为伴随向远源处可容空间增长地层由薄层进积作用逐渐转变为厚层的加积作用(PI1₁-PI2_{1b})。这造成北部地区的多个短期旋回难以区分;另一种为可容空间极低条件下的过路沉积区,伴随可容空间增长逐渐发育沉积(PI3₁-PI3₂)。这种过路沉积作用造成了研究区南北部短期旋回个数有所差异。

(3) PI 油层中期基准面下降半旋回时期向南整体沉积厚度逐渐减小,厚度减小主要由于南部物源供应不足所造成的。

(4) PI4₁及 PI4₂小层在研究区北部完全遭受剥蚀,PI4₁小层仅在杏树岗南部地区有发育,这种剥蚀作用也造成北部地区短期旋回个数小于南部地区。

(5) PI5-PI7 小层全区稳定,向南逐渐减薄,不存在地层尖灭。

3.2 东西向层序剖面

东西向层序剖面近垂直物源方向,鉴于研究区稳定沉降、坡缓水浅的地质背景,短期旋回样式的变化主要由水系位置、沉积微相等因素控制。运用以上方法,建立横跨杏树岗油田东西长达 20 km 的 110 口密开发井层序剖面。PI 油层厚度从西部至东部变化不大。层序剖面(图 5)表明:

(1) 自西向东地层厚度较为稳定,除 PI4₁间断性发育外,不存在地层的缺失。

(2) PI 油层中部时期(PI3₃-PI3₂)为水退最大期,河道微相极为发育,冲刷作用强。

4 沉积层序叠加样式

4.1 基准面旋回对沉积地层的控制

根据上文所述,可以发现喇萨杏地区 PI 油层为大型凹陷盆地缓坡带河流—浅水三角洲沉积体系,自底部—中部—上部由水退序列转变为水进序列沉积,其中中部为最大水退期,反映了基准面下降—基准面上升的变化过程,其转换面位于青山口组与姚家组之间的不整合面。此时北部喇嘛甸及萨北地区构造抬升相对最高,可容空间相对最小,湖盆急剧萎缩,湖岸线推移至工区以南。该期构造变动造成了两个直接结果:(1) PI4₁及 PI4₂地层遭受暴露剥蚀以及 PI3₃时期河道的冲刷侵蚀,北部喇嘛甸地区这两期旋回完全缺失,萨南地区 PI4₁缺失,至杏树岗南部 PI4₁地层才

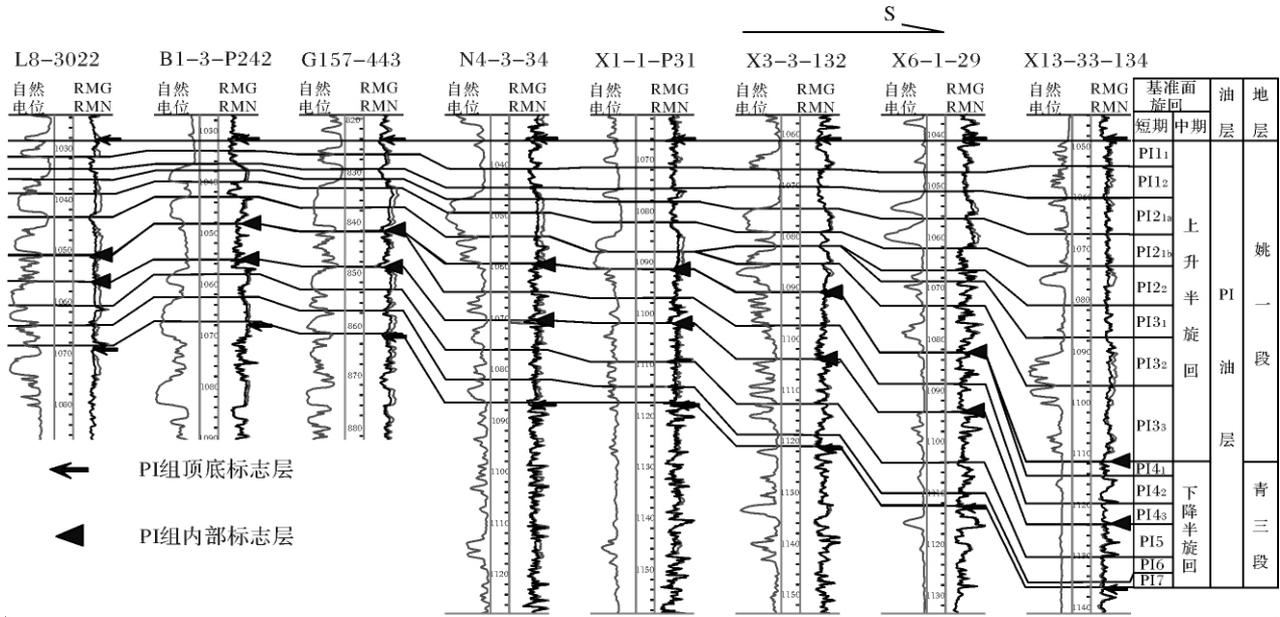


图 4 喇萨杏地区 PI 油层南北向层序剖面 (60 km)

Fig. 4 Sequence section from north to south of PI oil-bearing layer in La-Sa-Xing area (60 km)

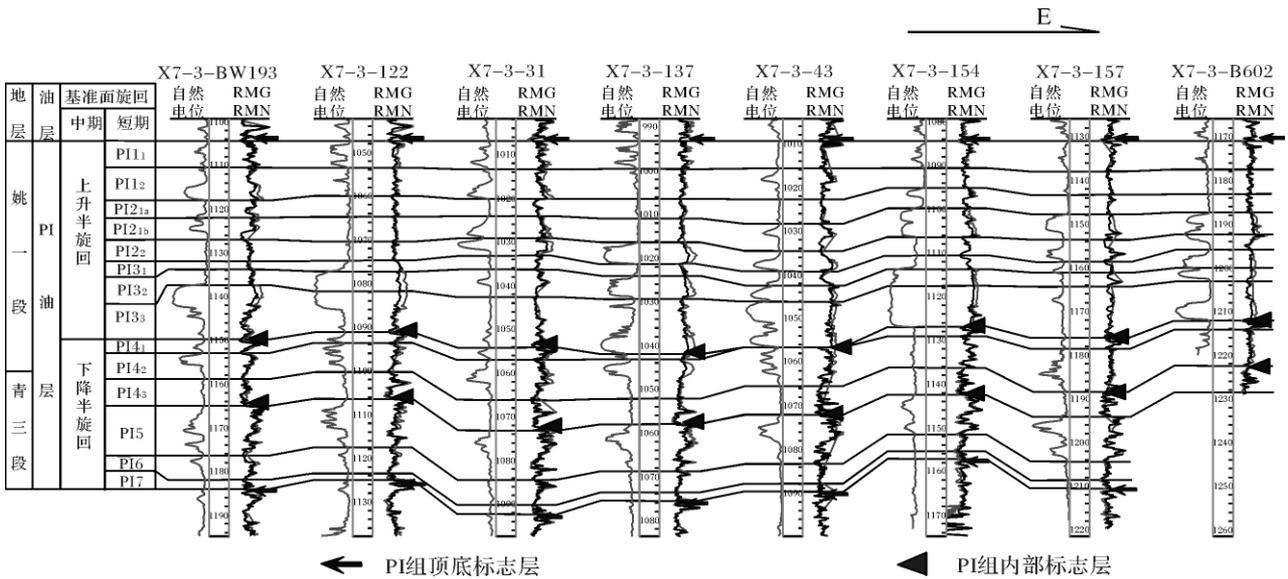


图 5 喇萨杏地区 PI 油层东西向层序剖面 (20 km)

Fig. 5 Sequence section from east to west of PI oil-bearing layer in La-Sa-Xing area (20 km)

得以保留; (2) 基准面的快速下降导致北部地区可容空间急剧减小, 基准面位于平坦的古地形面附近甚至更低, 造成北部大范围地区发生过路沉积, 沉积物向南部搬运至杏树岗地区才得以沉积, 这也是造成 PI3 时期南北厚度差异极大且北部地区缺失 PI3₁ 及 PI3₂ 两期旋回的根本原因。北部地区 PI3₃ 与 PI2₂ 小层之间存在沉积间断也有相关的证据: 刘波^[20] 等认为喇嘛甸地区 PI2₂ 小层与 PI3₃ 小层的砂体形态存在很大

的差异, PI2₂ 小层时期表现为曲流河砂体形态, 而 PI3₃ 小层时期则表现为辫状河砂体特征, 两者性质截然不同却相互紧密叠置, 两个小层砂体间难见溢岸沉积物。而根据富裕县大马岗村现代砾石质辫状河向曲流河演变分析可以发现, 辫状河向曲流河的转变一般要经历砾石质辫状河(底部) — 小型砂质曲流河(中部) — 后期决口泛滥(上部) 三个阶段, 而在喇嘛甸及萨北地区则只能见到这一河型转变过程的底

部段,这可以作为研究区 PI₃ 小层与 PI₂ 小层之间存在地层缺失的证据。

前人研究已经将松辽盆地北部姚家组时期所发育的三角洲划归为浅水三角洲^[10],浅水三角洲均为河控的高建设型三角洲类型,并且形成时的古地形坡度一般小于 1°,这种特殊的地质背景造成研究区在姚一段时期始终以进积作用占据主导,当湖平面相对稳定时表现为强烈的进积作用。在 PI 油层中,PI₁ 相对于 PI₂ 时期、PI_{2_{1a}} 相对于 PI_{2_{1b}} 时期湖平面基本稳定,丰富的物源造成近源区可容空间迅速减小,大量沉积物只能向沉积中心搬运以寻求沉积空间,最终造成 PI_{2_{1b}} - PI₁ 时期近源区地层薄而远源区地层厚的现象。

4.2 沉积层序垂向叠置模式

综合研究区内 67 口单井的层序地层格架以及密井网下的闭合层序地层对比剖面,提出了喇萨杏地区的三种地层叠覆模式(图 6):

(1) 低可容空间下的主动进积薄层叠覆模式(图 6a)

该模式形成于较低的可容空间条件下, $A/S < 1$, 在研究区反映为湖平面相对稳定甚至略有上升,但依然无法满足充沛物源供给的条件,湖平面上升所形成的新增可容空间被沉积物迅速充填,最终造成湖岸线

的位置稳定或者向沉积中心迁移。这种情况下近物源区可供碎屑物质发生堆积的空间有限,碎屑物质大量向远物源区搬运并发生沉积。此时近物源区多个短期旋回薄层紧密叠置,多期河道间缺乏溢岸沉积;而在远物源区各短期旋回沉积厚度变大,多期河道间发育溢岸沉积,研究区 PI₁ - PI_{2_{1b}} 短期旋回属于这种叠置模式。例如研究区北部的 B4-90-J255 井以及 B2-362-JP25 井中多期次河道砂体间缺乏溢岸泥质沉积,代表了近源区较低的可容空间;研究区南部的 X6-12-JE24 井中河道二元结构清晰可见,代表了较高的可容空间条件(图 7)。从层序剖面上看,研究区北部 PI₁ - PI_{2_{1b}} 短期旋回整体厚度多为 8 ~ 12 m,而到研究区最南部厚度可达 25 m,增长一倍以上(图 4)。

(2) 极低可容空间下的强迫进积沉积过路模式(图 6b)

该模式形成于极低的可容空间条件下, $A/S < < 1$, 在研究区表现为湖平面下降或稳定时期可容空间完全无法承载新增碎屑沉积物,造成碎屑物质在近源区发生沉积过路作用,在远源区发生沉积。在此条件下近源区往往发生沉积间断,短期旋回缺失。研究区 PI₃ 与 PI₁ 小层在喇嘛甸及萨尔图地区缺失即属于这种模式。值得注意的是浅水三角洲的缓坡背景会

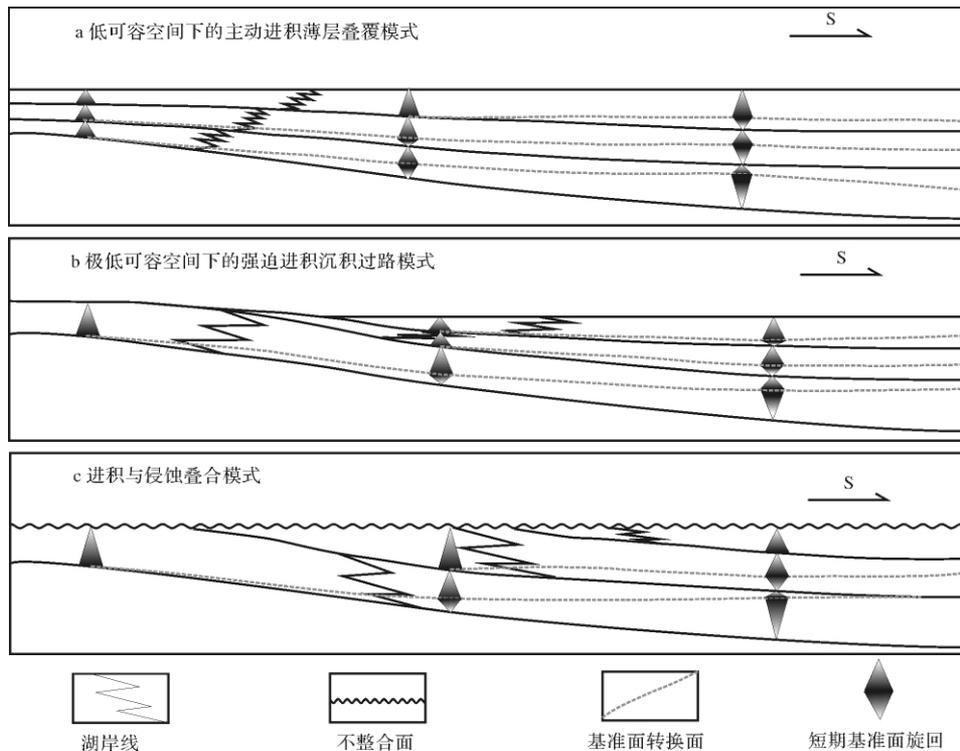


图 6 喇萨杏地区 PI 油层地层垂向叠置模式

Fig. 6 Stratigraphy aggradation model of PI oil-bearing formation in La-Sa-Xing area

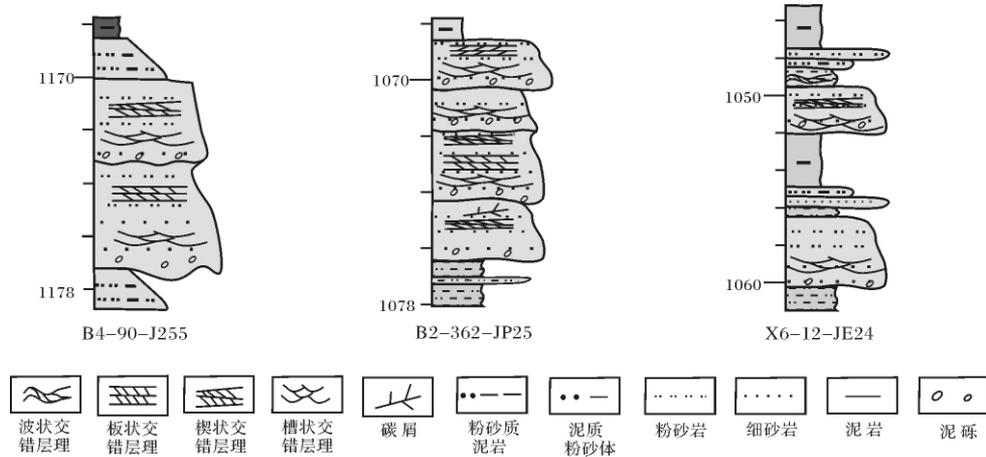


图7 喇萨杏地区不同可容空间条件下的正韵律叠置形态

Fig. 7 Model of positive rhythm assemblage in different accommodation condition in La-Sa-Xing area

使这种过路沉积物的发育范围更广^[21],而在古地形差较大的背景下往往难以发育如此广阔的过路沉积区。从南北向层序剖面上可以看到研究区北部仅发育 PI_3 短期旋回,到 X3-3-132 井附近始发育 PI_2 旋回而 PI_1 旋回依然缺失,再向南到 X6-1-29 井附近 PI_1 旋回可以识别(图4),这种地层垂向发育样式与强迫进积沉积过路模式相吻合。

(3) 进积与侵蚀作用的叠合模式(图6.c)

研究区的 PI_4_3 - PI_3 小层间的叠置形态属于该模式。伴随着中期基准面的不断下降, PI_4_3 、 PI_4_2 及 PI_4_1 小层表现为向上进积的特点,砂地比值不断增加。此后的构造抬升使北部喇嘛甸及萨尔图地区均暴露地表遭受剥蚀:构造抬升幅度最大的喇嘛甸地区遭受剥蚀时间最长,强度最大,最终造成喇嘛甸地区 PI_4_2 及 PI_4_1 小层完全缺失(N4-3-34 井以北地区);构造抬升幅度较小的萨尔图地区 PI_4_2 小层部分得以保存(X6-1-29 井以北地区);抬升幅度最小的杏树岗地区则地层保留较全,这在南北向层序剖面上表现明显(图4)。此外, PI_4_1 与 PI_4_2 的地层残余程度除不整合面外还受上覆地层冲刷侵蚀的影响,在东西向层序剖面上可以发现 PI_3 主要发育河道的地区往往 PI_4_1 地层较薄甚至完全缺失,如 X7-3-43 井附近 PI_4_1 地层厚度多在 1 m 以下; PI_3 主要发育泥质沉积的地区 PI_4_1 地层保留较好,如横剖面最西部的 X7-3-BW193 井附近 PI_4_1 地层厚度多在 3 m 以上(图5)。通过对南北向及东西向层序剖面的分析,笔者认为进积与侵蚀的叠合模式可以较好的反映研究区 PI_4_3 - PI_3 小层间的垂向叠置形态。

以上的三种地层叠覆样式是造成研究区南北地

区地层厚度差异以及短期基准面旋回个数差别的主要因素。鉴于研究区 PI 油层地层叠覆模式的多样性及复杂性,在实际的地层对比中应综合考虑沉积环境变化、古构造形态、地层连续性、剖面对接等多方面因素,以保证地层对比的正确性与等时性。

5 结论与认识

本文应用高分辨率层序地层学与沉积学的新理论和新方法,采用岩芯、测井等综合资料并结合前人研究成果建立了松辽盆地大庆长垣北部喇萨杏地区 PI 油层的高分辨率层序地层格架,探讨了研究区地层叠置的特点认识如下:

(1) 按照基准面旋回变化的不同级次,结合钻井、岩芯、测井资料分析,将喇萨杏地区 PI 油层划分为 1 个以湖泛面为顶底的完整中期旋回,并在其内部划分出 14 个短期旋回。

(2) 高分辨率层序地层剖面和岩芯资料揭示 PI 油层中期基准面上升半旋回具有南部地层厚度增加,短期旋回个数增多的趋势。中期基准面下降半旋回具有南部地层厚度减小,但短期基准面个数增多的变化特征。

(3) 喇萨杏地区 PI 油层存在着三种不同的地层叠置模式:低可容空间下的主动进积薄层叠覆模式;极低可容空间下的强迫进积过路沉积模式;侵蚀进积的叠合模式。该认知对于指导喇萨杏地区甚至整个长垣地区的高精度地层对比具有指导意义。

参考文献 (References)

- 1 Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive-regressive cy-

- cles, Upper Cretaceous, Western Interior, USA [M] // Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, *et al.* Sea-Level Changes: An Integrated Approach. USA: SEPM Special Publication, 1988, 42: 371-380, 293-308
- 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]. 石油天然气地质, 1995, 16(2): 89-97 [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic study in U. S. A: high-resolution sequence stratigraphy [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89-97]
 - 3 邓宏文, 王洪亮, 宁宁. 沉积物体积分配原理—高分辨率层序地层学的理论基础[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305-313 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Ning Ning. Sediment volume partition principle: Theory basis for high-resolution sequence stratigraphy [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 305-313]
 - 4 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才. 浅谈陆相盆地高分辨率层序地层研究思路[J]. 成都理工大学学报, 2000, 27(3): 1-4 [Zheng Rongcai, Wu Zhaorong, Ye Maocai. Research thinking of high-resolution sequence stratigraphy about a terrigenous basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(3): 1-4]
 - 5 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177-181 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xizhe. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base-level and their application [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 177-181]
 - 6 顾家裕, 郭彬程, 张兴阳. 中国陆相盆地层序地层格架及模式[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 11-15 [Gu Jiayu, Gu Binchen, Zhang Xinyang. Sequence stratigraphic framework and model of the continental basins in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(5): 11-15]
 - 7 郑荣才, 彭军, 彭光明, 等. 高分辨率层序分析在油藏开发工程中的应用——以百色盆地仑35块那二段油藏为例[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 654-662 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Peng Guangming, *et al.* Analysis of high-resolution sequence stratigraphy of the second member of Nandu Formation in Lun-35 Block of Baise Basin and its application in development of oil reservoir [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(4): 654-662]
 - 8 蔡希源, 李思田, 等. 陆相盆地高精度层序地层学隐蔽油气藏勘探基础方法与实践[M]. 北京: 地质出版社: 2003: 69-71 [Cai Xiyuan, Li Sitian, *et al.* The Base and Practice of High Precision-Sequence Stratigraphy in Subtle Pool Exploration in Nonmarine Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003: 69-71]
 - 9 侯启军, 冯志强, 冯子辉, 等. 松辽盆地陆相石油地质学(第一版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 86-120 [Hou Qijun, Feng Zhiqing, Feng Zihui, *et al.* Petroleum Geology of Songliao Nonmarine Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 86-120]
 - 10 赵翰卿. 松辽盆地大型叶状三角洲沉积模式[J]. 大庆石油地质与开发, 1987, 6(4): 1-10 [Zhao Hanqin. A sedimentary scheme for a large leaf-like delta in Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oil-field Development in Daqing, 1987, 6(4): 1-10]
 - 11 邹才能. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 813-825 [Zhou Caineng. Formation and distribution of shallow-water deltas and central-basin sandbodies in large open depression lake basins [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6): 813-825]
 - 12 邓宏文, 王洪亮, 祝永军, 等. 高分辨率层序地层学—原理及应用(第一版)[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-189 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, *et al.* High-Resolution Sequence Stratigraphy-Principle and Application [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 1-189]
 - 13 陈景山, 彭军, 周彦, 等. 基准面旋回层序与油层单元划分关系[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(2): 162-165 [Chen Jingshan, Peng Jun, Zhou Yan, *et al.* The relation of base-level cycle sequence to reservoir division [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(2): 162-165]
 - 14 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249-255 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249-255]
 - 15 郑荣才, 彭军. 陕北志丹三角洲长6油层组高分辨率层序分析与等时对比[J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 92-100 [Zheng Rongcai, Peng Jun. Analysis and isochronostratigraphic correlation of high-resolution sequence stratigraphy for Chang-6 Oil Reservoir Set in Zhidan Delta, Northern Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 92-100]
 - 16 魏魁生, 徐怀大, 叶淑芬, 等. 松辽盆地白垩系高分辨率层序地层格架[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(1): 7-14 [Wei Kuisheng, Xu Huaida, Ye Shufen, *et al.* High resolution sequence stratigraphic framework in Cretaceous, Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(1): 7-14]
 - 17 郭巍, 刘招君, 董惠民, 等. 松辽盆地层序地层特征及油气聚集规律[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2004, 34(2): 216-221 [Guo Wei, Liu Zhaojun, Dong Huimin, *et al.* The sequence stratigraphic features and hydrocarbon accumulation of Songliao Basin [J]. Journal of Jiling University: Earth Science Edition, 2004, 34(2): 216-221]
 - 18 朱建伟, 刘招君, 董清水, 等. 松辽盆地层序地层格架及油气聚集规律[J]. 石油地球物理勘探, 2001, 36(3): 339-344 [Zhu Jianwei, Liu Zhaojun, Dong Qingshui, *et al.* Sequence-stratigraphic framework and oil-gas accumulation rule in Songliao Basin [J]. Geophysical Prospecting, 2001, 36(2): 339-344]
 - 19 任延广, 王雅峰, 王占国, 等. 松辽盆地北部葡萄花油层高频层序地层特征[J]. 石油学报, 2006, 增刊: 25-30 [Ren Yanguang, Wang Yafeng, Wang Zhanguo, *et al.* Features of high-resolution sequence stratigraphy of Putaohua reservoir in northern Songliao Basin [J]. Acta Petroli Sinica, 2006(Suppl.): 25-30]
 - 20 刘波, 赵汉卿, 李广月, 等. 储层砂质辫状河的识别——以大庆喇嘛甸-萨尔图油田西部PI2³为例[J]. 石油学报, 2003, 23(2): 43-47 [Liu Bo, Zhao Hanqin, Li Guangyu, *et al.* Sand body identification of braided river reservoir: an example from the PI2³ west of Lamadian-Saertu oilfield, Daqing, China [J]. Acta Petroli Sinica, 2003, 23(2): 43-47]

21 吕晓光,李长山,蔡希源,等. 三角洲沉积特征及前缘相储层结构模型[J]. 沉积学报,1999,17(4): 572-577 [L Xiaoguang, Li Changshan, Cai Xiyuan, et al. Depositional characteristics and front

racies reservoir framework model in SongLiao shallow lacustrine delta [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4): 572-577]

High-Resolution Sequence Stratigraphy Division of Upper Putaohua Reservoir, Northern Daqing Placanticline

RUAN Zhuang¹ ZHU Xiao-min¹ HE Yu-hang² TAN Guang-hui¹

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249;

2 Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163712)

Abstract: Daqing Placanticline was located in the central sag of Songliao Basin. Upper Putaohua oil-bearing layer (PI) belongs to a part of the 3rd Member of Qingshankou Formation and 1st Member of Yaojia Formation. According to the data of logging, cores, seismic and high-resolution sequence stratigraphy theory, the high-precision sequence stratigraphy framework has been established. The 3rd Member of Qingshankou Formation and the 1st Member of Yaojia Formation are combined to one long base level cycle, which was limited by flooding surfaces. The PI oil-bearing layer is judged leaping over the transformation surface, which could be considered as one middle base level cycle and 14 short base level cycles inside.

Flooding surfaces are considered as marine surfaces of the middle term cycle in the study area, corresponding to the mudstone of front delta facies in top and bottom of PI oil-bearing layer. Because of the stable spreading for this front delta mudstone, it is easy to track the surface of middle base level cycle. The transformation surface in the middle base level cycle corresponds to the unconformity between Qingshankou Formation and Yaojia Formation. The framework of high-resolution sequence stratigraphy is established based on the understanding above.

Based on the framework of high-resolution sequence stratigraphy, several sections are established. Much bigger thickness of stratigraphy and more short-term base level cycles are found in southern of study area. According to the analysis of these high-dense sections, three kinds of stratigraphy overriding models are proposed, includes active progradation model in low accommodation condition, forcing progradation model in lowest accommodation condition and congruence model of progradation and erosion.

The first model formed in lower accommodation space ($A/S < 1$), which reflected relatively stable lake level in the study area (the increasing rate of lake-level can not meet the abundant supply of source material), the new accommodation space formed by lake level rising was rapidly filled with sediment, leading the location of shoreline migrate to depocenter.

The second model formed in much lower accommodation space conditions ($A/S < < 1$), accompanying with relatively decline of lake level in the study area. PI₃₂ and PI₃₁ layers in Lamadian and Saertu area were belong to the this kind of model. Gentle slope of Shallow-water delta will make this deposition hiatus development widely.

PI₄₃-PI₃₃ layers belong to the third model. With the continuous decline of the mid-term base level, PI₄₃, PI₄₂ and PI₄₁ layer showed progradation style, the ratio of sand increase to up. PI₄₃-PI₃₃ layers in Saertu and Lamadian area were eroded after the tectonic uplifting in the northern area.

These stratigraphy overriding models are the main facts causing the differences in stratigraphic thickness and number of short-term cycles. The establishment of these deposition models is favor of the high-precision strata correlation in La-Sa-Xing area, northern Daqing Placanticline.

Key words: La-Sa-Xing; high-resolution sequence stratigraphy; base level cycle; stratigraphy overriding model