

文章编号: 1000-0550(2003)04-0654-09

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

郑荣才¹ 彭 军² 彭光明³ 盘昌林³ 高红灿¹

1 (“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 成都理工大学分室 成都 610059)

2 (“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 西南石油学院分室 四川南充 637001)

3 (滇黔桂油田分公司勘探开发研究院南宁分院 南宁 530023)

摘 要 以高分辨率层序地层学理论为指导思想,通过地表露头、钻井岩芯、测井资料和地震剖面的综合研究,较为详细地分析了百色盆地子寅油田仑 35 块下第三系那读组二段不同级次基准面旋回界面和湖泛面的成因类型及高分辨率层序地层学特征,从那二段湖底浊积扇一半深湖沉积体系中划分出 1 个长期、2 个中期、7~9 个短期和 13~18 个超短期旋回层序。在此基础上,分别讨论了各级次旋回层序的沉积序列、结构类型、叠加样式和分布模式,建立了以中期旋回层序为框架,以短期和超短期旋回层序为等时地层对比单元的地层格架,探讨了该理论体系及其技术方法在油气藏开发工程中的应用前景。

关键词 高分辨率层序地层学 基准面旋回 地层格架 小层砂体等时对比 等时沉积微相图 油气藏开发工程

第一作者简介 郑荣才 男 1950 年出生 教授 博士生导师 沉积学、层序地层学和石油地质学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

高分辨率层序地层学理论^[1]自从在中国陆相盆地油气地质研究和勘探开发实践中得到应用以来^[2~14],已初步证实该理论体系及其技术方法非常适合陆相层序分析和在油气藏勘探开发工程中的应用。本文以该理论体系为指导思想,以露头剖面、钻井岩芯、测井和地震资料的综合研究为基础,分析了百色盆地子寅油田仑 35 块下第三系那读组二段(以下简称那二段)高分辨率层序地层学特征,并以其为例探讨了该理论体系及其技术方法在油气藏开发工程中的应用前景。

1 区域地质概况

百色盆地位于广西中西部的右江断裂带西段,为一以中三叠统海相地层为基底,具走滑拉分盆地性质的老第三纪断陷湖盆。该盆地呈北西西向展布的菱形,长约 109 km,宽约 7~9 km,面积约 830 km²,由众多隆起、拗陷和陡坡、凹陷、缓斜坡及古潜山等 II 级和 II 级构造单元组成盆地的基本构造格架,剖面上具有南超北断的箕状断陷盆地形态(图 1)。子寅油田仑 35 块位于田东拗陷与北部陡坡两个 II 级构造单元过渡带的中段,面积仅 1.4 km²,属于构造—岩性油藏。油藏发育于那二段,其上部岩性主要为半深湖—深湖相的大套暗色泥岩夹灰色薄层粉砂岩组合,下部以普遍具

油气显示或为油浸层的浅灰色厚层块状粉—细砂岩连续叠置为主,为主力油层发育位置,储集砂体具湖底浊积扇(以下简称湖底扇)沉积特征^[12,13](图 2)。

2 那二段高分辨率层序地层学特征

2.1 层序界面和湖泛面

2.1.1 层序界面及识别标志

子寅油田仑 35 块那二段中可识别出 4 类不同成因特征和产出规模的界面,4 类界面的成因和识别标志、层序地层学意义及其所限定的层序级别由图 2 和表 1 所示,与其它陆相含油气盆地的层序界面特征和研究意义可进行类比^[15]。

2.1.2 湖泛面

湖泛面是指伴随基准面上升湖水位上涨达高点位置时发育的沉积界面,剖面上表现为退积式沉积组合折向加积和进积式组合的相转换面。那二段中不同级别的湖泛面大多数位于泥岩段中,具有特征的低电阻、低电位和高伽玛、高声波时差电性特征,为各级别层序重要的等时对比标志。在不同级次的基准面旋回中,湖泛面的发育规模、成因特征和相关的相组合序列有一定的差异性,如在仅发育上升半旋回的较短周期非对称型旋回中,湖泛面因受到上覆水道砂体较大幅度的下切侵蚀影响往往缺失;而在对称型旋回中普遍发

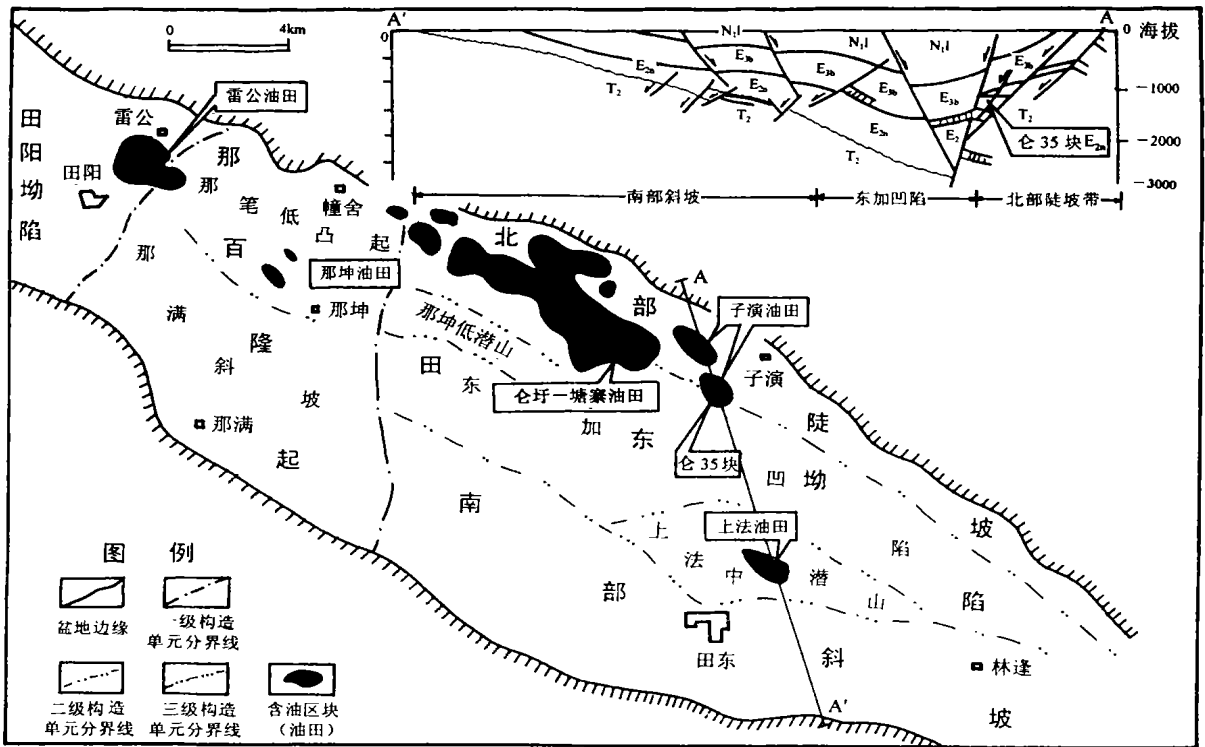


图 1 子寅油田仑 35 块产出位置及油藏剖面

Fig. 1 Location and section of oil pool of the Lun-35 Block of Ziyin Oil Field in Baise Basin

表 1 子寅油田仑 35 百那读二段层序界面特征

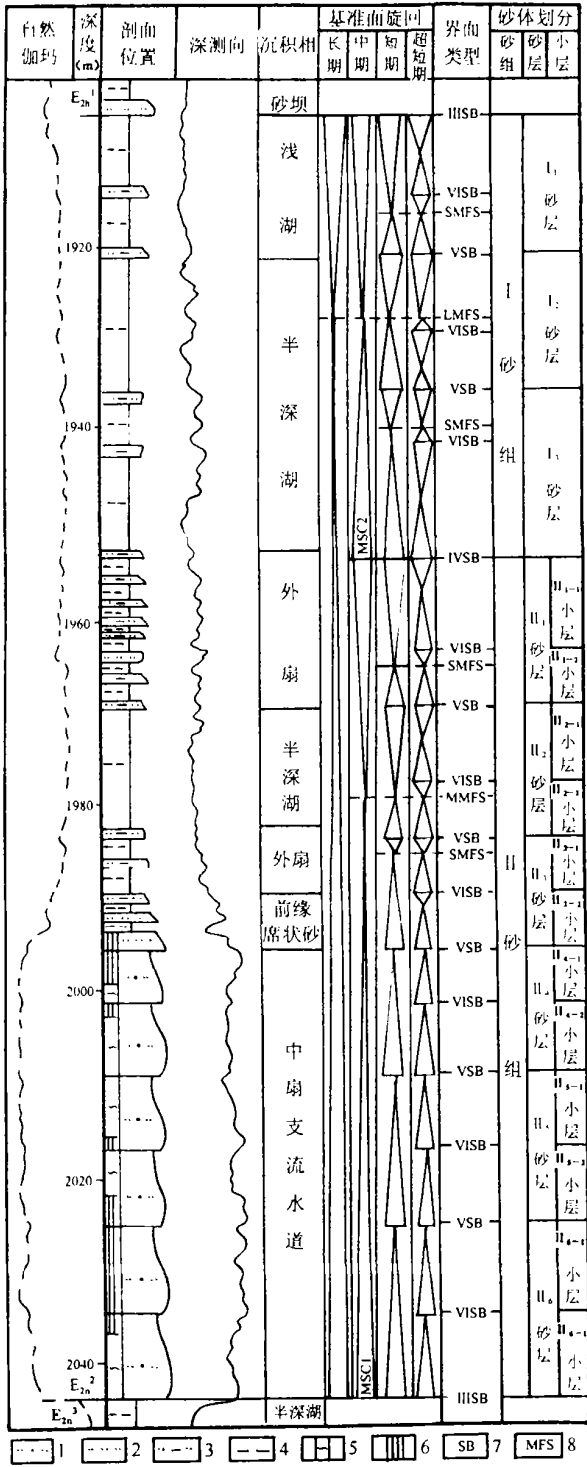
Table 1 Sequence interface characteristics of the second member of the Nadu Formation in Lun-35 Block of Ziyin Oil Field Baise Basin

界面级别	界面成因类型	所控制的基准面旋回级次	旋回时限 [*] (Ma)	与 Vail 相当层序的对比关系	主要识别标志
III级	同一构造旋回中, 受构造活动强度控制的侵蚀不整合面或与之可对比的整合界面	长期基准面旋回	1.21 ~ 2.17 (Ma)	III级层序	露头 and 岩芯中的大型侵蚀不整合面, 假整合面, 测井曲线的突变面, 地震剖面上识别标志清晰, 表现为削蚀、削截面和超覆面
IV级	受构造和气候双重因素控制的沉积间断面或与之可对比的整合界面	中期基准面旋回	0.381 ~ 0.65 (Ma)	IV级层序或体系域	露头 and 岩芯中较大规模的底冲刷面, 测井曲线为进积组合 → 退积组合的转换面, 地震剖面中识别较为困难
V级	受气候和 A/S 比值变化控制的局部冲刷间断面和整合界面	短期基准面旋回	0.1 ~ 0.2 (Ma)	V级层序或准层序组	露头 and 岩芯中的小型底冲刷面, 整合面, 测井曲线为数个相同岩性或岩组合之间的、双向移动的进积 → 退积转换带上的岩性突变面, 或为加速渐变面, 地震剖面中难以识别
VI级	受 A/S 比值变化和地层自旋回过程控制的小型冲刷间断面及相关的整合界面	超短期基准面旋回	0.02 ~ 0.05 (Ma)	VI级层序或准层序	露头 and 岩芯中的小型底冲刷面、整合面, 测井曲线为单一岩性或相序的、单向移动的岩性突变面, 或由进积折向退积的渐变面, 地震剖面中目前不能识别

*: 据采自子寅油田和相邻油田那读组的 20 件 ESR 测年样品分析结果所作的推算, 详见参考文献 [12-14]

育, 往往位于层序中部, 为一具连续沉积和整合性质的相转换面; 但在较长周期的旋回中, 位于层序内部泥质

密集段顶部的湖泛面, 可具有饥饿面或无沉积间断面性质(图 2)。



1. 粉-细砂岩; 2. 粉砂岩; 3. 泥质粉砂岩; 4. 泥岩; 5. 水层; 6. 干层;
7. 界面(罗马数字表示界面级别); 8. 湖泛面—SMFS 表示短期湖泛面、
MMFS 表示中期湖泛面、LMFS 表示长期湖泛面

图2 子寅油田仑35块那组二段沉积相和高分辨率层序地层综合柱状图(以仑35-1井为例)

Fig. 2 Generalized column of sedimentary facies and high-resolution sequences of the second member of the Nadu Formation in the Lur-35 Block of Ziyin Oil Field, Baise Basin (example from L35-1 Well)

2.2 高分辨率层序地层划分

根据上述各级次层序界面和湖泛面的层序地层学意义,以不同级次基准面升降运动所导致的地层旋回过程和沉积学响应特征,结合钻井岩芯 ESR 测年数据的统计结果^[12~14],可将仑35块那二段划分为1个长期、2个中期、7~9个短期和13~18个超短期旋回层序,其中的中期、短期和超短期旋回层序分别与Vail划分的各级高频层序和前人提出的油组、砂层组和小层砂体划分方案^[16]相当(图2)。

2.3 各级次旋回层序的基本特征

2.3.1 超短期旋回层序

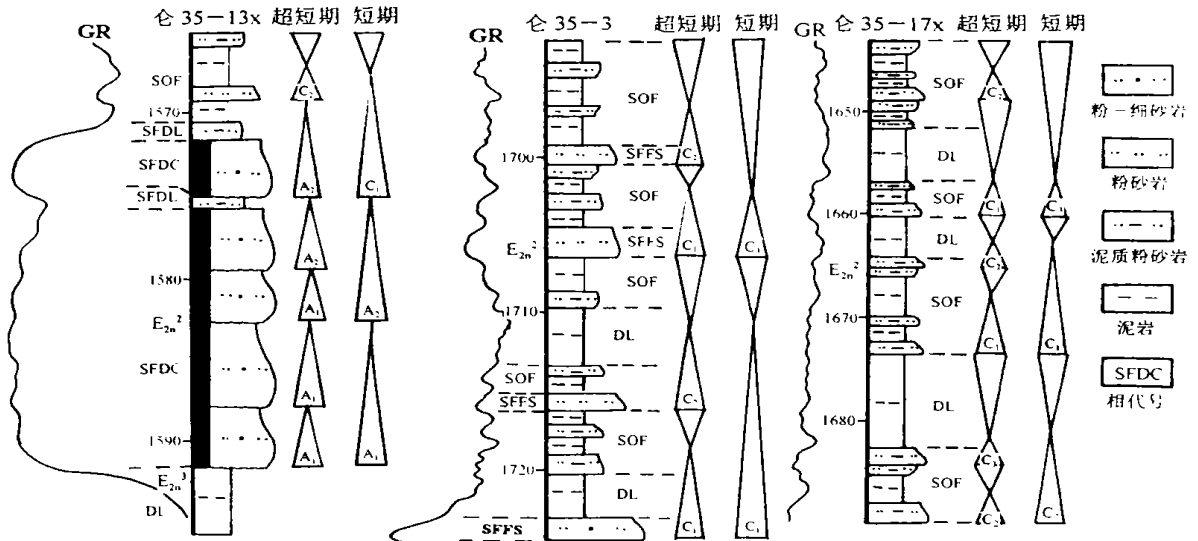
超短期旋回层序是根据地表露头、钻井岩芯和测井曲线等实际资料划分的最小成因地层单元,厚度为米级,底、顶界面为小型冲刷面或间歇暴露面,部分为整合界面。由不同成因的边界所限定的超短期旋回层序结构及其所反映的沉积动力学条件明显不同^[17],主要有如下2种基本类型。

2.3.1.1 向上“变深”非对称型超短期旋回层序(A型)

此类型广泛发育于湖底扇中扇分支水道沉积区,特征为:①仅保存上升半旋回沉积记录,下降半旋回表现为冲刷间断面;②层序底界面为冲刷面,向上以发育变细的沉积序列显示“变深”的半旋回结构;③主要发育在物源供给充沛的条件下;④按岩性组成特征和保存状况,可细分为低可容纳空间($A/S \ll 1$, A 、可容纳空间; S 、沉积物供给量,图3中的 A_1)和高可容纳空间($A/S < 1$,图3中的 A_2)两个亚类型^[17],两者的区别在于前者以发育被底冲刷面分割的单砂体为主,后者于上升半旋回晚期的细粒溢堤沉积得到较好保存,与相邻层序呈被底冲刷面分隔的岩性突变关系。

2.3.1.2 对称型超短期旋回层序(C型)

于湖泊和湖底扇等沉积体系中普遍发育,共同的特征为:①层序对基准面上升和下降两个半旋回都有较完整的沉积记录,发育由粗变细复变粗的韵律性旋回;②具备由层序界面和湖泛面提供的二分时间单元分界面,其中位于层序底、顶的界面一般以整合界面为主,偶为弱冲刷面,湖泛面位于层序中部,具重要的等时对比意义;③形成于沉积速率始终处在小于可容纳空间增长率的、 $A/S \geq 1$ 的弱补偿或欠补偿条件下^[17];④按半旋回中保存的地层厚度状况,可进一步细分为上升半旋回大于下降半旋回(图3中的 C_1),或下降半旋回大于上升半旋回(图3中的 C_3)的两种不完全对称型,以及两者近于相等的近完全—完全对称型(图3中的 C_2)3个亚类型。



A1. 低可容纳空间上“变深”非对称型; A2. 高可容纳空间向上“变深”非对称型; C1. 上升半旋回为主的不完全对称型; C2. 近完全—完全对称型; C3. 下降半旋回为主的不完全对称型; SFDC. 中扇分支水道; SFFS. 中扇前缘席状砂; SFDL. 分支水道侧翼; SOF. 外扇; DL. 半深湖

图 3 超短期、短期旋回层序剖面结构和叠加样式

Fig. 3 Sequence structure and stacking pattern of super short-term and short-term cycle sequence

2.3.2 短期旋回层序及其分布模式

短期旋回层序大多由 2 个超短期旋回层序叠加组成, 厚度一般为数米级, 结构类型如同超短期, 发育有向上“变深”非对称型和对称型 2 种基本类型, 前者也可进一步划分为低和高可容纳空间 2 个亚类型, 大多由 A 型超短期旋回层序叠加组成, 后者则可进一步划分为不完全对称与近完全—完全对称的 3 个亚类型, 大多由 C 型超短期旋回层序叠加组成(图 3)。旋回结构的对称性变化, 具有 A 型主要出现在中扇沉积区, C 型大多数出现在中扇—外扇过渡带和面积超覆湖底扇的浅—半深湖沉积区。总体上具有中扇水道以 A 型为主, 中扇—外扇过渡带以 C₁ 型为主, 至外扇和半深湖沉积区各以 C₂ 型、C₃ 型为主的分带性展布规律(图 4)。上述特征表明: 当基准面呈初始上升状态时, 以中扇水道砂质沉积最为活跃, 出现向盆地低部位下超、向高部位上超的进积序列; 伴随湖平面上升幅度逐渐加大、有效可容纳空间向物源方向迁移和中扇沉积区向物源方向退缩, 沉积强度减弱, 形成向上变细的退积序列; 当基准面进入下降状态时, 伴随湖平面下降幅度加大和有效可容纳空间向盆地方向迁移, 中扇上游沉积区很快进入侵蚀冲刷状态而缺失下降半旋回沉积, 来自物源区的和侵蚀再搬运的沉积物共同向盆地方向搬运, 自中扇下游向外扇方向的顺源沉积作用加强, 以中扇前缘无水道席状砂沉积作用最活跃, 形成向上加粗的加积→弱进积序列。由此可见, 对应基准面升降过程的可容纳空间变化机制, 是控制中扇、外扇至半深湖沉积区超短期和短期基准面旋回结构有序分布的主要因素。

2.3.3 中期旋回层序

中期基准面旋回层序由 3~6 个短期旋回按一定的方式叠置组成, 厚度为数十米级。主要特征为: ①层序的上升半旋回主要由 A 型和 C₁ 型、C₂ 型短期旋回层序叠加组成向上连续加深的序列, 很少出现 C₃ 型。下降半旋回主要由 C₂ 型和 C₃ 型短期旋回层序叠加组成向上连续变浅的序列, 而 C₁ 型和 A 型不发育; ②不同的相带具有不同的层序结构, 如中扇水道以发育上升半旋回较厚的不完全对称型为主, 中扇—外扇过渡带以发育对称型为主, 而外扇以发育下降半旋回较厚的不完全对称型为主; ③由中期旋回层序的结构变化, 所反映的地层旋回过程和沉积学响应特征类似于短期旋回, 即在中期基准面上升期伴随有效可容纳空间向物源方向迁移, 对应陆上和三角洲地区对较粗粒沉积物的截留作用增强, 进入盆地的沉积物逐渐减少和变细, 湖底扇内出现自中扇水道向水道间或前缘席状砂、外扇、半深湖连续加深变细的进积→加积→退积序列, 形成由块状砂岩连续叠置逐渐过渡砂泥岩互层和以泥岩为主的沉积演化序列, 因而有利储层发育的水道砂体主要出现在上升半旋回的早中期。下降期则伴随有效可容纳空间向盆地方向迁移, 溢出水道的砂质沉积物逐渐增多和变粗, 出现由半深湖、外扇向中扇水道过渡的泥岩夹砂岩、砂泥岩互层、砂岩组成的向上变浅加粗的加积→弱进积序列(图 2); ④发育于层序中部的中期湖泛面具有最重要的区域等时对比意义。

2.3.4 长期旋回层序

由 MSC1 和 MSC2 个中期基准面旋回层序叠加组成的那二段长期旋回层序, 为一具缓慢湖进—

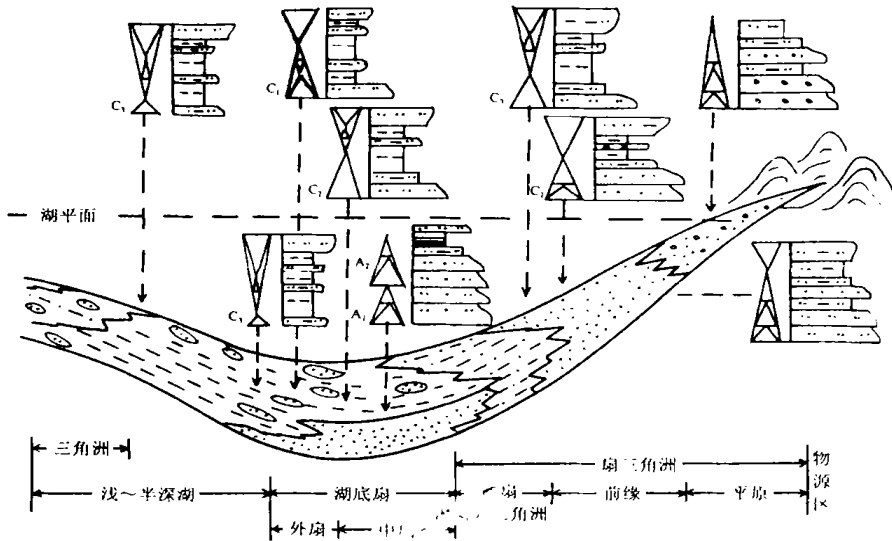


图4 不同相带的超短期、短期旋回层序的结构类型和分布模式

Fig. 4 Distribution pattern of the supershort-term, short term cyclic sequence in different microfacies

快速湖退的、具不完全对称型结构的区域性湖进—湖退沉积旋回(图2), 厚度为100~140 m, 以保存长期基准面旋回上升半旋回的沉积记录为主, 而下降半旋回因受快速湖退暴露和上覆层序底部砂体的下切侵蚀作用影响^[12-13], 上部地层保存不全, 致使其厚度远小于上升半旋回。在长期旋回层序的演化序列中, 中水道砂体发育于缓慢湖进的早期(MSC1上升半旋回), 为储层发育位置, 中、晚期为大套薄层暗色泥岩的连续沉积期, 为最重要的烃源岩和区域性盖层发育位置, 以发育于长期湖泛面两侧的烃源岩品质为最佳。由此可见, 那二段长期旋回层序具备以自生、自储、自盖组合为主的极佳配置条件。

2.4 层序地层格架

在不同级次的基准面旋回划分基础上, 以二分时间单元分界线为各级次旋回层序的等时层对比优选位置^[1], 可以建立不同时间尺度和高时间精度分辨率的等时地层格架, 图5中的A和B各为以MSC1中期旋回层序为年代地层框架, 以短期和超短期旋回层序为等时地层对比单元, 优选各级次旋回层序二分时间单元分界线为等时地层对比标志的层序地层和时间地层格架。

3 高分辨率层序地层学在仑35块油气藏开发工程中的应用

上述高分辨率层序地层学的分析结果, 对深化认识仑35块那二段油藏的油气地质特征和指导油藏的二次开发工程具有重要意义, 并已取得部分较为显著的应用效果。

3.1 沉积相特征分析中的应用

以往研究中, 仑35块那二段含油砂体通常作为扇

三角洲或浅湖砂坝进行描述^[16], 通过高分辨率层序划分和等时地层对比研究, 发现产于MSC1上升半旋回内的储集砂体具有优先充填下切谷和沿下切谷顺源进积下超, 逆向或向下切谷两侧较高部位退积上超的沉积特点(图5), 结合砂体外形呈鸟足状, 普遍发育有滑塌包卷层理和鲍玛层序, 砂体断面呈厚度远大于相邻同期地层的透镜状, 背景主体为半深湖泥质沉积环境等特征, 可确定那二段砂体的成因应属于以暴露湖坡(北部陡坡带)为背景的低位湖底扇沉积体系, 以充填下切谷的中扇水道砂体为最有利于储层发育的位置。

3.2 小层砂体等时追踪对比和形态描述中的应用

小层砂体等时追踪对比历来为油气藏开发工程中的技术难题之一, 作者曾利用高分辨率层序学与沉积动力学分析相结合的小层砂体等时追踪对比技术方法, 较为成功地对川西坳陷新场气田蓬莱镇组和长庆油田长6油层组进行了小层砂体等时追踪对比^[7, 11]。本项研究采用这一技术对那二段含油层段进行小层砂体等时追踪对比的操作程序为: 先按地层基准面原理对含油层段进行相当短期和超短期旋回的小层砂体和单砂体劈分(图2), 确定各小层砂体和单砂体的旋回结构类型、沉积序列和控制因素; 按顺序将小层砂体纳入层序地层和时间地层格架中(图5中的A和B), 确定各相邻同期层序的相变特征和对比关系; 以不同级次旋回层序的二分时间单元分界线作为多旋回对比的等时标志, 依次对纳入地层格架中的砂层组、小层砂体和单砂体进行相当时间—地层反演的逐层等时追踪对比(图5)。结果表明: 湖底扇初期和早期发育的中扇水道砂体(II₆和II₅小层)具有优先顺源充填下切谷的性质, 单砂体具有自北东向南西呈鸟足状延伸的几何形态, 厚度较大, 储集物性最好; 中期的中扇水道砂体

(II₄ 和 II₃ 小层) 具有向下切谷上游和两侧高部位沉积上超的特点, 单砂体展布呈分支加宽和增多的鸟足状几何形态, 但厚度趋于变薄, 储集物性略变差; 晚期伴随湖底扇沉积体系向陆方向退缩, 中扇水道砂体于仓 35 块不再发育, 主体以沉积外扇和半深湖相的大套暗色泥岩为主, 夹少量薄层状前缘无水道席状砂 (II₂

和 II₁ 小层), 为烃源岩和盖层发育期。

3.3 编制大比例尺、短时间尺度等时沉积微相图中的应用

在各级次旋回层序的等时对比基础上, 可选择相当短期或超短期旋回级别的小层砂体或单砂体为等时地层编图单元, 编制大比例尺和短时间尺度的等时沉

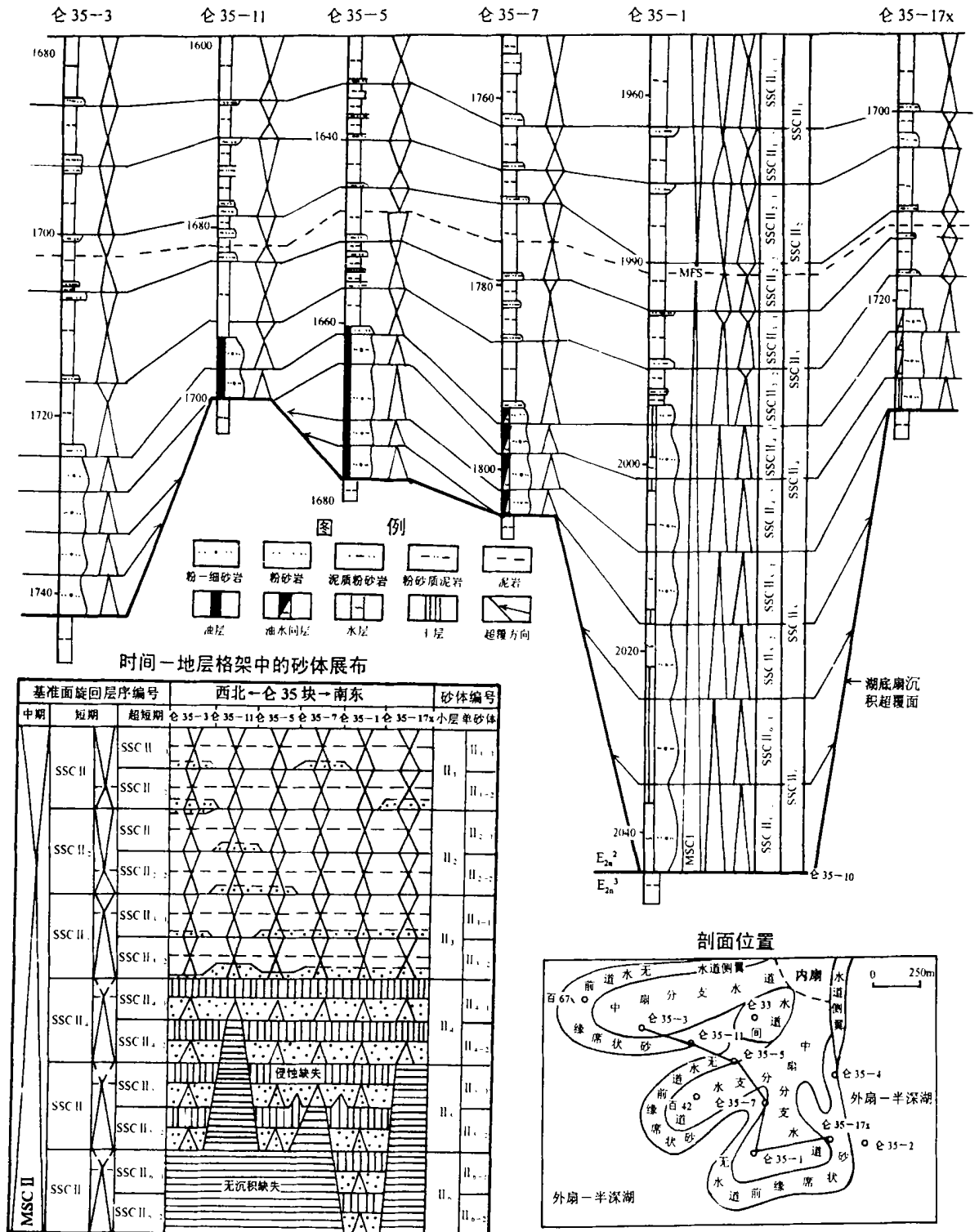


图 5 MSC1 层序地层和时间地层格架及地层格架中的小层砂体等时对比

Fig. 5 Sequence and time stratigraphic framework of MSC1 and isochronous correlation of small sandbody layers in the framework

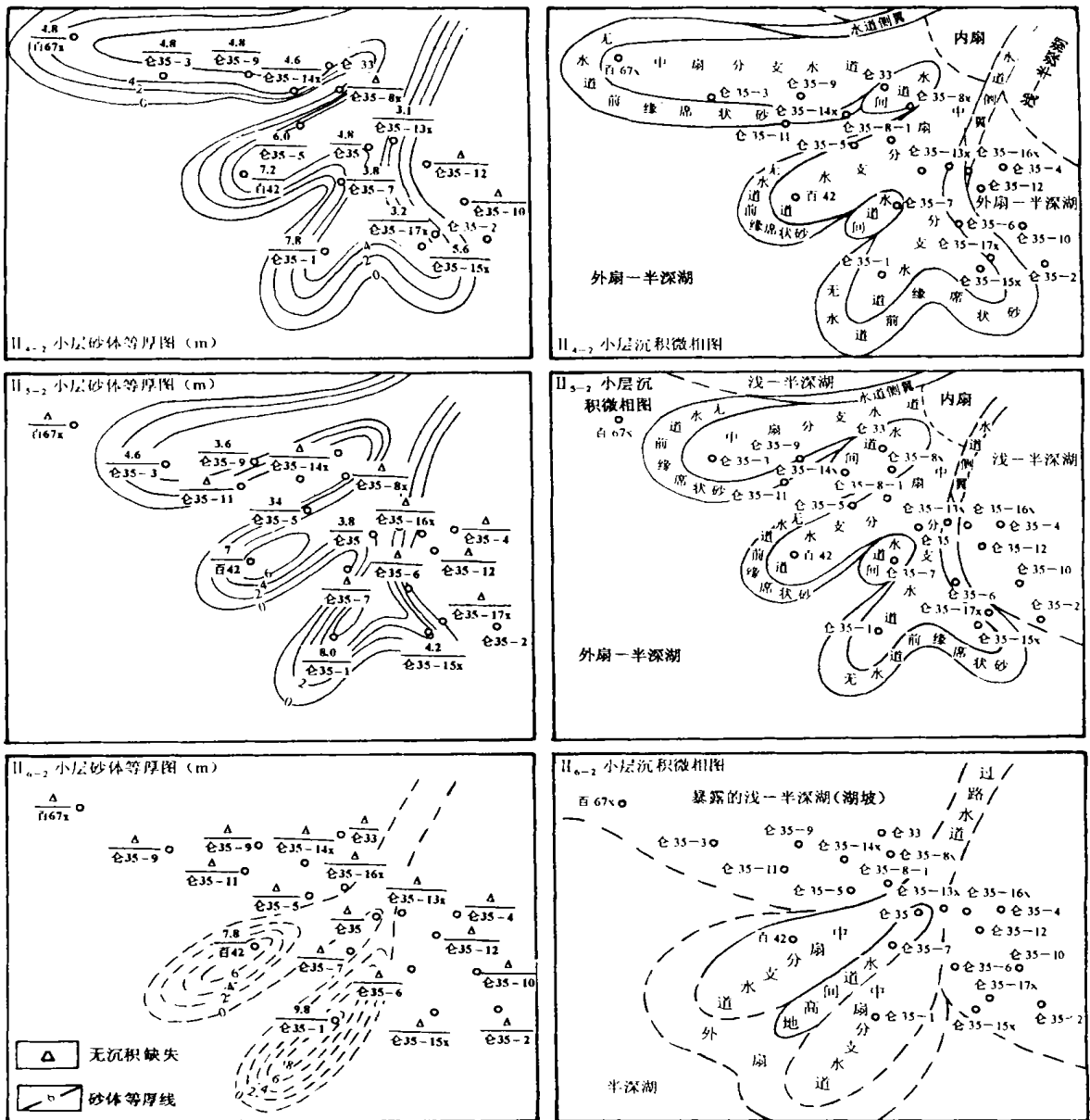


图6 几个以超短期旋回层序为等时编图单元的沉积微相图实例(小层砂体产出位置见图5)

Fig. 6 Some examples of sedimentary microfacies map that supershort-term sequence cycle as a unit

积微相图。由于等时的小层砂体或单砂体厚度及密度变化可最直接和最客观地提供有关砂体成因的地质信息^[18],因而编制沉积微相图之前,需先编制相关编图单元的砂体等厚图和砂岩百分含量等值线图。以钻井资料确定的沉积微相类型为基础,进一步确定不同成因类型的小层砂体或单砂体厚度及密度分布范围,然后采用优势法进行连线 and 成图。本项研究中,以相当超短期旋回级别的单砂体为等时地层单元,所编制的仓35块那二段含油层段各单砂体沉积微相图(图6),在时间尺度上达到数万年级,砂体厚度达到数分米至数米级的精度,以比例尺为1:2500的那二段构造顶面图为底图,所编图件非常精细地描述了各单砂体的几何形态、平面展布特征和时空演化规律,以及有利储

层发育和油气聚集成藏的中扇水道砂体发育位置。

除上述应用成果外,本项研究同时还开展了高分辨率层序地层与储层垂向上和纵向上的非均质性关系,与有效储集砂体厚度和连通性的关系(因受篇幅限制,拟另撰文讨论)。

4 结语

以百色盆地仓35块那二段油藏高分辨率层序地层学分析及其在开发工程中的应用为代表的数个实例^[7,9-14],已证明该理论体系及其技术在油气田开发工程中有着广阔的应用前景,不仅可满足高精度的小层砂体等时追踪对比和编制大比例尺、短时间尺度等时沉积微相图,深入了解小层或单砂体几何形态、

相互关系和时空展布及演化规律的要求,而且可对储层的三维预测和定量评价,表征储层的非均质性和储隔结构,流动单元划分,乃至注采工艺调整和开发井、加密井、扩边井部署等深层次的开发地质问题提供更为可靠的地质模型。相信随着该理论体系及其技术方法的深入研究和不断完善,将在我国陆相含油气盆地油气藏开发工程中,特别是已进入高含水期的油藏二次乃至三次开发工程中发挥愈来愈重要的作用。

参考文献(References)

- Cross T A, Lessenger M A. Sediment Volume Partitioning: Rationale for Stratigraphic Model Evaluation and High-Resolution Stratigraphic Correlation[R]. Accepted for Publication in Norwegian
- 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): 89~97[Deng H W. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U. S.: high-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89~97]
- 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): 177~184[Deng H W, Wang H L, Li X Z. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base-levels and their application[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 177~184]
- 郑荣才. 四川盆地下侏罗统大安寨段高分辨率层序地层学[J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 42~49[Zheng R C. High-resolution sequence stratigraphy of Da'anzhai Formation, Lower Jurassic in Sichuan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica 1998, 16(2): 42~49, 1998, 16(2): 42~49]
- 郑荣才, 吴朝容. 西部凹陷深层沙河街组生储盖组合的层序分析[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(4): 348~356[Zheng R C, Wu C R. Sequence analysis of source-reservoir-cap rock assemblages in Shahejie Formation from deep bed of west depression, Liaohe basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(4): 348~356]
- 吴朝容, 郑荣才. 辽河油田西部洼陷沙河街组高分辨率层序地层学特征[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(4): 375~381[Wu C R, Zheng R C. High resolution sequence stratigraphic characteristics of Shahejie Formation in Liaohe oil field[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(4): 375~381]
- 柳梅青, 陈亦军, 郑荣才. 川西新场气田蓬莱镇组陆相地层高分辨率层序地层学研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 50~56[Liu M Q, Chen Y J, Zheng R C. High-resolution sequence stratigraphy of terrestrial Penglaizhen Formation of Xinchang gas field in western Sichuan[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(1): 50~56]
- 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]. 成都理工学院学报, 2000, 27(3): 241~244[Zheng R C, Wu C R, Ye T R. Research thinking of high-resolution sequence stratigraphy about a terrigenous basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(3): 241~244]
- 张尚峰, 洪秀娥, 郑荣才等. 应用高分辨率层序地层学对储层流动单元层次性进行分析[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(4): 147~151[Zhang S F, Hong X E, Zheng R C, et al. Application of high-resolution stratigraphic sequence to the analysis of levels of reservoir flow units[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29(4): 147~151]
- Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. Earth Science Frontier, 2000, 7(4): 322~350
- 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 R C, Peng J. 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]
- 郑荣才, 彭军, 韦景春, 蔡勋育. 广西百色盆地第三系层序地层学研究[R]. 成都: 成都理工大学, 2000[Zheng R C, Peng J, Wei J C, Cai X Y. Research of sequence stratigraphy of lower Tertiary in Baise basin of Guangxi[R]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2000]
- 郑荣才, 彭军, 彭光明, 盘昌林. 子寅—塘寨区带 E₂n 储层沉积微相研究[R]. 成都: 成都理工大学, 2000[Zheng R C, Peng J, Peng G M, Pan C L. Research of reservoir sedimentary facies of E₂n Formation in Ziyin-Tangzai region[R]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2000]
- 彭军, 郑荣才, 彭光明, 盘昌林. 百色仑16块和百49块储层沉积微相[R]. 成都: 成都理工大学, 2000[Peng J, Zheng R C, Peng G M, Pan C L. Reservoir sedimentary facies of Lun-16 block and Lun-49 block in Baise basin[R]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2000]
- 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): 249~245[Zheng R C, Peng J, Wu C R. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implication[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249~245]
- 罗超光, 彭光明, 陈珊. 百色油田分区块地质建模与油藏精细描述[R]. 南宁: 滇黔桂油田分公司勘探开发研究院南宁分院, 1999[Luo C G, Peng G M, Chen S. Geologic constructive model of dividing region and accurate description of oil reservoir in Baise oil field[R]. Nanning, The Branch of Nanning of Research Institute of Exploration and Development of the Branch Company of Dianqiangui Oil Field, 1999]
- 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构和叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369~375[Zheng R C, Yin S M, Peng J. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 369~375]
- [英] 里丁 H. G. 主编. 沉积环境和相[M]. 周明鉴, 陈昌明, 张疆等译. 北京: 科学出版社, 1986. 507~517[Reeding H J, ed. Zhou M J, Chen C M, Zhang J, et al., translated. Depositional environment and sedimentary facies[M]. Beijing: Science Press, 1986. 507~517]

Analysis of High-Resolution Sequence Stratigraphy of the Second Member of Nadu Formation in Lun-35 Block of Baise Basin and Its Application in Development of Oil Reservoir

ZHENG Rong-cai¹ PENG Jun² PENG Guang-ming³ PAN Chang-lin³ GAO Hong-can¹

1 (Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

2 (Southwest Petroleum Institute, Nanchong Sichuan 637001)

3 (Nanning Branch of Institute of Petroleum Exploration and Development of Dian-Qian-Gui, Nanning 530023)

Abstract Through the comprehensive analysis of outcrops, cores, well logs and seismic interpretation data, and under the guidance of the theory and technology of the high-resolution sequence stratigraphy initiated by Timothy A-Cross in 1994, the characteristics of the different grade sequence interface and lacustrine flooding surface in the second member of Nadu Formation Eocene in Lun-35 Block of Ziyin Oil Field from Base Basin are studied. According to the identification sign of the sequence interface and flooding sedimentation, four-grade base-level cycle sequences that are divided into 13 ~18 supershort-term, 7~9 short-term, two middle-term, and one long-term cycle sequences are recognized from the formation. On the basis of these studies, the vertical sequence, facies association, lithologic component, structure type and stacking pattern are discussed in detail. Among these sequences, the supershort-term and short-term cycle sequence may be divided into two basic types of structure which are up-deepening non-symmetry and symmetry from up-deepening to up-shallowening. The first can be divided further into two subtypes of low or high accommodation and the second can be divided further into three subtypes of non-complete or nearly complete symmetry. These basic sequence types and subtypes are of various stacking and distribution patterns. The structure type and stacking pattern of the middle-term cycle sequence are the same as that of the short-term cycle sequence. The long-term cycle sequence are of non-complete symmetric structure which develop complete depositional sequence of lacustrine transgressive-regressive cycle, and thickness of rising half-cycle is larger than the falling half-cycle. According to the high-resolution isochronous stratigraphic correlation of the turnaround boundaries of different order base-level including short and middle term cycle sequence, the sequence and time stratigraphic framework can be built that in the scale of supershort-term base-level cycle as an isochronous unit, which are of varied application significance in hydrocarbon exploration and development, such as isochronous stratigraphic correlation of small sandbodies with oil, charting of isochronic microfacies in the large scale, description of sandbody geometry, forecasting reservoir and petroleum accumulation, analysing reservoir heterogeneity, reservoir modeling and so on.

Key words high-resolution sequence stratigraphy, base-level cycle, stratigraphic framework, isochronous-stratigraphic correlation of small sandbody, isochronic microfacies map, development of oil and gas reservoir