

文章编号 :1000-0550(2002)01-0112-06

基准面旋回与沉积旋回的对比方法探讨^①

刘 波^{1,2}

(大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

(南京大学地球科学系 南京 210093)

摘 要 建立高精度的等时地层格架、定量研究储层成因单元划分对比、为油田开发小尺度流动单元提供基础,是开发地质研究的目标。本文指出目前面临两种储层划分对比方法—基准面旋回与沉积旋回,说明高分辨率层序划分对比的精髓是基准面旋回的对比。大庆油田储层描述对比的关键是沉积旋回的对比,从而阐述了二者在划分对比的原则、方法及理论上异同。研究表明,这两种地层划分方法的理论基础皆为旋回(自旋回或异旋回)和层次,研究目标皆为地层格架及沉积地层单元的规模尺度。基准面旋回对比关键是旋回的组合分析,其方法在湖相(异旋回)中可行,在冲积相(自旋回)中基准面旋回划分困难,而且随意性很大。沉积旋回对比方法在河湖相对比中存在穿时现象,但应用广泛。不同级别基准面周期性的运动,使沉积旋回在周期性和规模上产生不同,形成层序的分级现象,所以说,沉积旋回和基准面旋回地层对比方法是从不同的角度对同一事物进行研究。进而讨论了旋回对比的两个关键问题—层次和界面,提出了存在的问题,对流动单元和剩余油分布研究具重大意义。

关键词 储层对比 沉积旋回 基准面旋回 大庆油田

作者简介 刘波,女,1965年出生,高级工程师,博士研究生,储层沉积

中图分类号 P593.2 文献标识码 A

1 引言

建立高精度的等时地层格架、定量研究储层成因单元划分对比、为油田开发小尺度流动单元提供基础,是开发地质研究的目标。目前研究问题中,面临基准面旋回与沉积旋回两种储层划分对比方法。

在震地地层学、层序地层学基础之上的 Cross 的高分辨率层序地层学 1995 年被引进中国的油气勘探领域,其基准面旋回原理、层序界面识别的地层划分对比方法,近几年在新疆、山东、陕北、辽河、南海等地的油田开发中得以应用并取得了很好的效果^[1,2]。

经历了六、七十年代的小层对比和八十年代的河流—三角洲沉积的油层对比,大庆油田的储层精细描述技术^[3],从九十年代以来日趋完善,其沉积旋回、标志层识别控制的地层划分对比方法在厚油层的三次采油中、薄差层的三次加密中得到广泛应用并获得较好的经济效益。

面对上述两种储层划分对比方法,大庆油田地质工作者提出,高分辨率层序地层基准面旋回划分对比方法与大庆储层沉积旋回划分对比方法的异同点在哪里?大庆储层沉积旋回划分对比技术如此实用,在储层开发后期,大庆油田是否还要进行高分辨率层序地层基准面旋回对比的研究?大庆的储层旋回对比方法

的实质是否就是高分辨率层序地层学基准面旋回的方法?因此,探讨两种划分对比方法,在大庆油田形成一套系统性强、理论水平高、实际应用效果好的储层高精度划分方法和技术是研究的目的。

2 储层的两种旋回对比方法

高分辨率层序划分对比的精髓是基准面旋回对比,大庆储层精细描述技术的地层划分对比的基础是沉积旋回对比,研究沉积旋回和层序地层基准面旋回的目的,两种旋回对比方法的目的,皆在于提高地层识别的分辨率和储层预测的准确性、为了进行局部、区域以至全球地层对比。所以,在一定意义上,沉积旋回和层序地层基准面旋回是同一事物的两个方面,它们只是从不同角度进行研究而已。

2.1 基准面旋回对比方法

早在 1948 年 Sloss 提出了“层序”的概念,并在 1963 年加以使用。原意是指“比群、大群或超群更高一级的地层单元,在一个大陆的大部分地区可以追踪,而且以区际的不整合面为界”,因此,赋予了层序具有年代地层学的意义。之后,不同的地质学家在使用层序概念时又分出不同的量级。基于震地地层学和层序地层学原理,1995 年后,以 Cross 为代表的高分辨率层

① 沉积学大会获奖论文

序地层学 指出基准面不是物理面 而是一个势能面 ; 把受控于海(湖)平面变化、构造沉降、沉积负荷、沉积物供给、地形等要素影响的沉积基准面旋回 作为层序划分的原理 ; 反演多级次基准面旋回 进行多级次时间地层单元划分 运用地层过程—沉积响应动力学原理 , 把基准面变化导致的可容纳空间变化与沉积物沉积过程和沉积学响应特征密切结合起来。其最本质的特征表现在三个方面 : 一是层序及其框架内各级地层单元的边界都具有年代地层意义 ; 二是层序及其框架内各级单元的发育具有旋回性 ; 三是层序框架伴随着基准面旋回的成因分析。进而从成因地层学入手 , 对井间地层进行较为精细的等时对比^[4-7]。

2.2 大庆油田储层沉积旋回对比方法

旋回是沉积过程的时间周期性 , 对应的沉积物是相应的旋回的产物 , 即沉积旋回。所以沉积旋回具有时间历程和环境历程的意义。沉积旋回包括沉积地层、沉积间断和剥蚀等作用。大庆油田开发 40 余年 , 通过几代地质学家的努力 , 建立在六、七十年代小层对比、沉积环境分析和相模式研究的基础上 经历了八十年代发展起“旋回对比、分级控制 , 不同相带、区别对待”的河流—三角洲油层对比方法 , 形成了现在的储层精细描述技术 , 即在九十年代高含水油田开发阶段的密井网条件下 , 依据盆地振荡运动学和湖平面变化原理 利用比较沉积学(将今论古) 过程沉积学方法(影响因素分析) 通过模式预测、层次分析 , 形成储层精细描述技术。因为它按砂体的发育趋势、组合形态、层位和测井曲线形态 , 在剖面上按砂体的层位细分出单砂层 , 平面上把河流相细分出废弃河道沉积微相 , 三角洲前缘相细分出水下河道沉积微相 , 所以称之为“精细”。

2.3 两种旋回对比方法的比较

基准面旋回对比与沉积旋回对比在原则、方法、概念等方面存在不同、在表征手法上也有差别(表 1)

在单井分析中的表现形式也不尽相同。(图 1、2) 无论从单井岩心分析基准面旋回 , 还是从单井测井分析基准面旋回 , 关键在于分析基准面的升降及其组合特征 , 从而研究砂体的叠加方式。在沉积旋回划分地层中 , 按岩石粒度、岩性的组合 , 将沉积旋回分为正、反和复合旋回(图 3、4)。

3 讨论

旋回地层对比中最关键的问题是旋回界面的识别和旋回级别的划分 , 其中讨论最多的问题是各级别层序的概念、等时与穿时的问题。

3.1 沉积旋回穿时的实例

根据古生物、古地磁等资料确定地层年龄 , 依据界面间的时间跨度表示地层形成过程的时间 , 从而确定地层是等时的 , 还是穿时的。研究证明 , 区域的沉积旋回对比存在穿时性 , 而基准面旋回对比是等时的 , 但在储层开发中的旋回对比 , 由于砂体分布范围相对小且低级别的沉积旋回界限若是等时的 , 则其高级别的沉积旋回界限就是等时的。

图 5 按以往沉积旋回的划分方案 , 松辽盆地嫩二、三段分界为嫩二段泥岩顶部以灰黑色页岩为标志层 , 存在着明显的穿时现象(穿时线为原嫩二、三段分界线 , 等时线为基准面沉积旋回对比后的界线 , 界线之下为嫩二段 , 界线之上为嫩三段) 。嫩二、三段为连续的进积旋回 , 属三角洲沉积与半深湖—深湖相。从盆地边缘向盆地中心 , 层序的浅水相带逐渐延伸 , 层序界

表 1 两种划分方法的表述形式

Table 1 The description of two division methods

特征	高分辨率层序地层学	大庆油田储层精细描述
剖面描述	层序界面识别 正三角形 基准面(上升)向上变深 倒三角形 基准面(下降)向上变浅 复合三角形 旋回对称或不对称	沉积单元界线划分 正旋回 岩石粒度向上变细 反旋回 岩石粒度向下变细 复合旋回 岩石粒度中部较大
界面识别	冲刷面和岩相突变及粒序变化 , 侵蚀作用面或基准面上升时的水进冲刷面 , 首次洪泛面 , 密集段 , 地震反射终止类型(顶超、削截、上超及部分下超等)	冲刷面、测井曲线泥岩低值及曲线回返处、标志层、夹层类型
砂体展布	地震剖面上的体系域展布、旋回叠加样式	砂体平面形态、岩相组合特征
目前精度	岩层组	单砂层及流体流动单元
研究对象	扇、河流、湖相的盆地及油藏、储层	河流、三角洲相储层
层次划分	层序级别由低频到高频	层组、段、油层组、砂岩组、小层、单砂层、流体流动单元
演化分析	基准面的升降 , 可容纳空间的缩小与扩大 , 可容纳空间与沉积物补给通量比值(A/S)大于、等于或小于 1 , 沉积体系(准层序组)的加积、进积、退积	湖平面变化、构造升降、物源供给、气候的变化、沉积环境及相、层位组合、测井曲线形态特征、厚度变化等

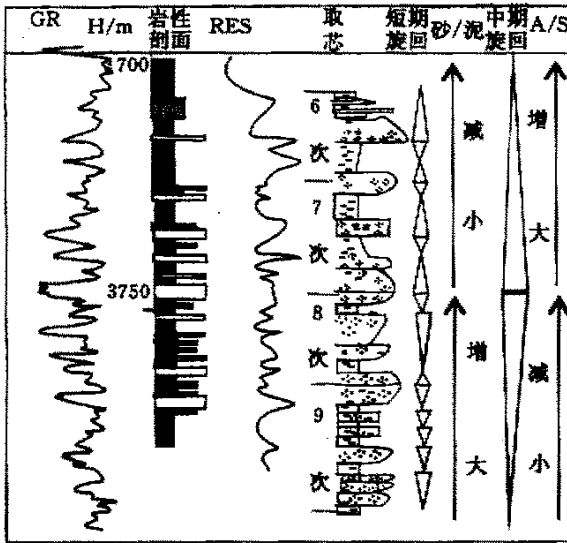


图1 单井岩心分析基准面旋回(据邓宏文^[6])

Fig.1 The vertical profile showing base level cycle of single well core

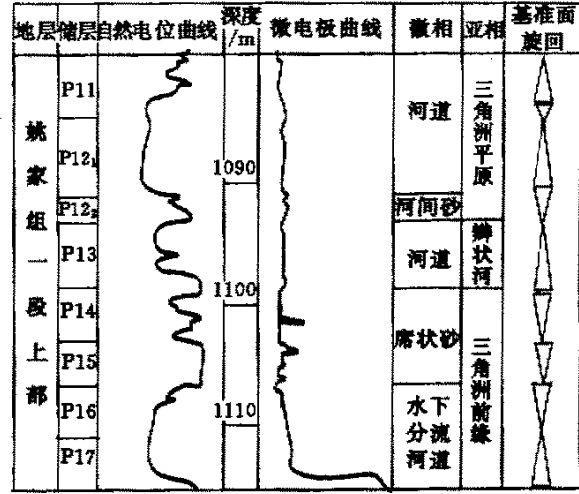


图2 B-1-1-423井高分辨层序地层柱状图

Fig.2 The stratigraphic column of the well 'B-1-1-423' analyzing datum about high resolution sequence stratum

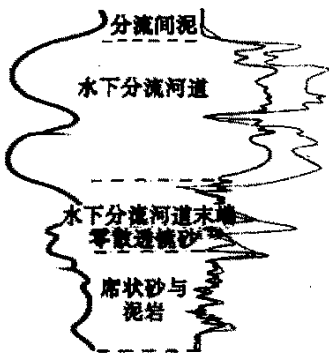


图3 萨265井三角洲相反旋回沉积

Fig.3 Reversed cycle of delta facies in Sa263 well



图4 杏143井分流平原相正旋回沉积

Fig.4 Positive cycle of distributary plain facies in Xing143 well

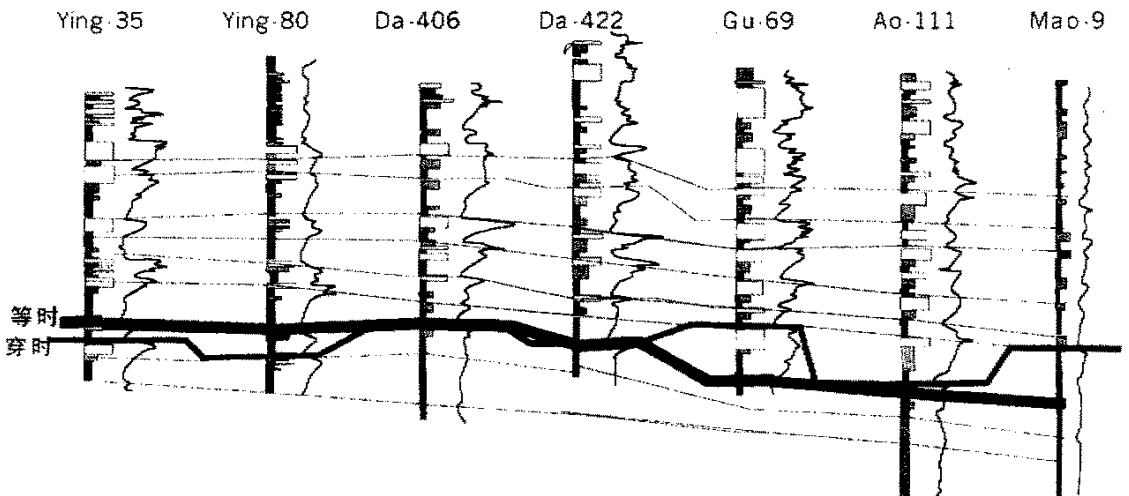


图5 松辽盆地嫩三基准面旋回地层对比剖面图(据任延广)

Fig.5 The stratigraphic section of base level cycle of N₃ in SongLiao basin

面为泥岩的分界面且相对整合。每一层序的密集段都为灰黑色页岩,在测井曲线上表现为电阻率异常低值和自然伽玛异常高值。因为在盆地边缘地区的“第一个反旋回”属三角洲成因,向盆地内渐变为湖相泥岩,因此在盆地内的“第一个反旋回”形成时间要晚于盆地边缘的“第一个反旋回”形成的时间,不是同时的。

因此,在识别层序的最大湖泛面与层序界面后,确定盆地中心部位分布广泛的“第一个反旋回”底部层序界面,即为嫩二、三段分界。这样在盆地边缘部位,嫩二段上部两个层序包含有边缘相沉积,低水位体系域为主。嫩三段的每一个层序,分别由进积型的低水位体系域、几个准层序构成的退积型水进体系域和加积型高水位体系域构成,最大湖泛面明显,以进积型的低水位体系域为主,符合盆地中心部位的层序地层学模式。

3.2 划分对比的级别

A. T. Cross 倡导的高分辨率层序地层学,强调不同级次的基准面升降运动周期为划分层序的依据,按基准面旋回的结构和叠加样式特征,进一步细分出短

期、中期和长期三个级次的层序,但对不同级次的层序未作明确的时间周期限定,因而其所谓的高分辨率主要限于其分辨率高于地震分辨率的地层学意义。结合 Cross 提出的基准面旋回的概念范畴、级次划分和等时对比的高精度时间分辨率,也即高分辨率的时间—地层单元,既可应用于油气田勘探阶段长时间尺度的层序单元划分和等时对比,也适合开发阶段短时间尺度的砂层组、砂层和单砂体层序单元划分和等时对比,郑荣才进一步提出超长期和超短期旋回的层序划分级次。采用 Cross 的基准面旋回作为不同级次层序命名的同时,参照 Vail 划分的层序时间周期标准,对不同级别的基准面旋回层序加以时间约束,来明确各级层序的时间—地层分辨精度(表 2)。

3.3 层序界面与沉积旋回界限之间的关系

旋回系指“一系列回归始点的事件”,在地质学形成初期,就认识到沉积地层在空间及时间的分布上具有一定的旋回性,对地层旋回的研究较“层序”概念还要早,地层的沉积记录具有旋回性,旋回性的主因是“地球轨道偏心率、黄道倾斜、岁差”等天文参数存在长

表 2 基准面旋回的级次划分和基本特征(据郑荣才有修改 2001)

Table 2 The grade division of base level cycle and basic characteristics

基准面旋回级次	界面类型及成因	时限范围/Ma 及等时性	层序定义	主要控制因素	与 Vail 相当的层序地层单元对比	与大庆油层对比
巨旋回	I 类:区域构造运动	30~>100 具大幅度穿时性	包括盆地演化各阶段的原形盆地完整的沉积充填序列	区域构造运动	相当 II 级层序	含油层组合
超长期旋回	II 类:与盆地构造演化各阶段相关的应力场转换有关	10~50 具较大幅度的穿时性	以盆地演化各阶段为单位的构造充填序列(或构造层序、构架层序)	构造演化阶段的应力场转换	不能完全对比 相当 III 级层序	含油层组
长期旋回	III 类:与同一构造演化阶段中的次级构造活动强度周期性幕式变化有关	1.6~5.25 具幅度不大的穿时性	一套具较大水深变化幅度的、彼此间具成因联系的地层所组成的区域性湖进—湖退沉积序列。	构造幕式性强弱变化	相当 III 级层序	含油层组
中期旋回	IV 类:与斜率周期中气候波动引起的基准面升降和物质供给变化有关	0.2~≤1 具较好的等时性	一套水深变化幅度不大的、彼此间成因联系密切的地层叠加所组成的湖进—湖退沉积序列。	偏心率长周期	IV 级层序(准层序组或体系域)	砂岩组(砂层组)
短期旋回	V 类:与斜率周期中气候波动引起的基准面升降和 A/S 值变化有关	0.04~0.16 区内基本等时	一套具低幅度水深变化的、彼此间成因联系极为密切,或由相似岩性、岩相地层叠加组成的湖进—湖退沉积序列。	偏心率短周期	可基本对比 V 级层序(准层序)	小层(砂层)
超短期旋回	VI 类:与岁差周期中气候波动引起的基准面升降和 A/S 值变化有关	0.02~0.04 区内基本等时	一套代表最小成因单元的单一岩性或相关岩性的叠加样式。	岁差周期	VI 级层序(韵律层)	单砂体

周期变化,而最直接的因素就是相对海平面变化。所以说,研究沉积旋回和层序地层的目的都是为了进行区域或全球地层对比,在一定意义上,沉积旋回和层序地层是同一事物的两个方面,层序地层与旋回地层并无本质区别,二者均以相对海平面变化为基础,具有很多共同的特性,只是研究的角度不同而已。陆相地层纵横向相变快常规的小层对比方法(如旋回对比、韵律层对比、等厚切片对比等)往往不能客观地反映出地层的等时关系,对砂体及渗流屏障的时空分布研究造成很大影响。高分辨率层序地层学研究,根据基准面旋回原理,识别层序界面,成为建立等时地层格架及确定油藏范围内多级次层间泥岩屏障的主要方法。

但是大庆油田小层对比按不同级别的沉积旋回,根据泥岩标志层,从低次别到高级次,逐级进行,并在小层对比的基础上,成功地进行了储层的精细描述,对储层的平面非均质性研究,达到预测沉积微相的识别程度。由于大庆油田开发40余年,测井及岩心资料非常丰富(井距100~300m)储层单砂体对比是等时岩石对比,对比精度已到单砂层,而且从目前我国开发油田的井距看,地层对比的可操作极限也是单砂层^①。所以说,一方面借鉴高分辨率层序地层学理论,总结、完善大庆油田小层划分对比生产实践技术的理论,用高分辨率层序地层学理论指导新区开发;一方面同时证明,大庆油田小层对比技术具有等同或超过高分辨率层序地层学的生产实际的地层划分对比水平。

因此,按照具有物理意义的界面概念,吴胜和将沉积体内部的界面分为10个层次,1~5个层次侧重地层单元,6~10个层次侧重储层构型,不具地层学的意义,而是储层结构单元的界面(表3)。

3.4 两种旋回对比方法的结果

大庆储层沉积旋回对比结果,对砂体平面分布规律的认识和沉积微相的识别上具模式预测功能(图6)大庆萨尔图油田北一区断西PI₂₁沉积单元泛滥平相砂体,通过沉积旋回对比及层次分析与模式预测,原

将复合曲流带砂体划分为单一河道砂体,同时识别出废弃河道微相作为单一河道砂体的边界。基准面旋回对比,充分体现了砂体演化成因和沉积动力过程(图7)。PI组地层经历了基准面下降半旋回和基准面上升半旋回,基准面旋回转换点为PI₃底界,恰值松辽盆地第二次湖海沟通事件时期,气候由干旱—半干旱转为潮湿而形成气候层序。

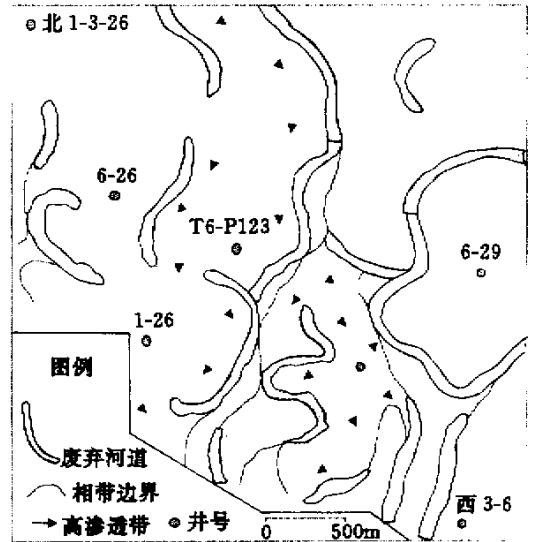


图6 B1断西PI₂₁砂体平面图

Fig. 6 The plan plot of sandstone bodies in Northern block 1, Sartu oilfield

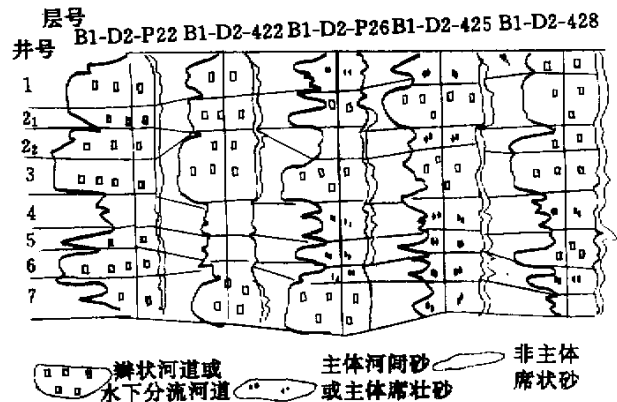


图7 B1-J2排PI组基准面旋回对比剖面图

Fig. 7 The stratigraphic section of base level cycle in PI21 west unit and correlation with B1-J2-PI group

表3 地层和储层的界面表(据吴胜和^①)

Table 3 The boundaries of strata and reservoir

界面	地层单元及储层构型层次	油层单元
一级	层序(盆地充填复合体)	含油层序
二级	准层序组(沉积体系)	油层组
三级	准层序(沉积亚相)	砂层组
四级	层组(成因砂体的纵横向组合)	小层
五级	亚层组(成因砂体的横向组合)	单层
六级	成因砂体(如分流河道)	
七级	成因单元(单一河道)	
八级	纹层组系	
九级	纹层组(交错层理)	
十级	纹层	

4 结论

地层对比的深度和精度是随着地质勘探和油田开

^① 吴胜和. 陆相储层流动单元研究的思路与方法. 石油大学(北京)会议材料, 2000.8

发的不断发展而逐步深入提高的,同样,地层对比的方法也是在实践—认识,再实践—再认识过程中不断丰富发展的。储层精细划分对比方法的完善,还有待于地层学与沉积学的有机结合,多种分析技术手段的综合运用;深入的研究“沉积层序、沉积旋回、基准面旋回”等,有助于进一步分析、理解地层层序结构特征,沉积旋回和基准面旋回从不同的角度对同一事物进行研究;在高分辨率层序地层分析的实际工作中,要注意集层序地层理论的各家之长,从而从层序界面、层序特征、基准面旋回、所达到的分辨精度等角度,准确建立层序地层格架,为更好地预测生储盖组合以至开发储层的评价,奠定坚实的基础。但是由于不同的理论体系,所应用的层序术语不同,在研究过程中应注意用同一理论体系的术语;基准面沉积旋回对比分析中关键

在于沉积旋回的组合及砂体的叠合样式。

参 考 文 献

- 1 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, 1(2): 89~97
- 2 杜春彦, 郑荣才等. 陕北长 6 油层组短期基准面旋回与储层非均质性的关系[J]. 成都理工学院学报, 1999, 2(1): 17~21
- 3 赵翰卿, 付志国, 吕晓光等. 大型河流—三角洲沉积储层精细描述方法[J]. 石油学报, 2000, 21(4): 109~113
- 4 池秋鄂. 层序地层学原理及在油气勘探开发中的应用[M]. 石油天然气集团公司经济和信息研究中心, 1999. 141~167
- 5 吴因业, 姚根顺, 贾爱林等. 层序地层学新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 8~10
- 6 邓宏文, 王红亮, 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
- 7 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): 249~254

Discussion on the Correlation Methods of Base-level Cycle and Sedimentary Cycle Sequence

LIU Bo^{1, 2}

1 (Exploration & Development Research Institute of Daqing Oilfield Company, Daqing Heilongjiang 163712)

2 (Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract It is the research goal of the development geology to build up high-resolution isochronous sequence framework, quantitatively study the division and correlation of the reservoir genetic units and provide the basis for developing small-scale flow-units in Daqing oilfield. The paper points out that there are currently two methods on reservoir division and correlation, i. e. base-level cycle and sedimentary cycle, and the marrow of the high-resolution sequence division is the correlation of the base-level cycle. The key of the detailed geological description and correlation of Daqing oilfield is the correlation of sedimentary cycle. Thus, the author expounds the similarities and differences between the high-resolution sequence stratigraphy and detailed geological description and correlation of Daqing oilfield on such aspects as principles, methods and theory. This research also indicates that the theoretic basis of the two methods is cycle and sequence, and their research object is sequence framework and the scale of sedimentary sequence units. The combination of different cycles is very important in correlation of base-level cycle. It can be used in lacustrine facies analysis, but difficult in fluvial facies analysis and with some uncertainties. Sedimentary cycle exists diachronism in fluvial facies and lacustrine facies, but it can be used widely. The movement of base-level cycles of the different grades makes the difference in cycles and scales of sedimentary cycle, resulting in the grade of the sequence, therefore, base-level cycle and sedimentary cycle approach the same object from different ways. Furthermore, the paper discusses two key problems about cycles and correlation, i. e., sequence and boundaries, and their relevant questions. Finally, the author points out their important significances in studying the flow units and distribution of remnant oil.

Key words reservoir correlation, sedimentary cycle, base-level cycle, Daqing oilfield