

塔里木盆地巴楚地区 石炭系高频旋回层序分析^①

陈国俊¹ 薛莲花¹ 王琪¹ 肖立新² 史基安¹

1(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

2(新疆石油管理局地调处地球物理研究所 乌鲁木齐 830011)

提要 高频旋回层序是海平面高频振荡的结果和产物。通过对塔里木盆地巴楚地区石炭系地面、钻井剖面的详细解析,首次总结出7个高频旋回层序类型,识别出50余个五级(或六级)高频旋回层序,它们在纵向上有规律地组合、叠加,组成8个四级旋回层序,3个三级旋回层序及2个二级旋回层序,构成了塔里木盆地巴楚地区石炭系的层序地层格架,同时也反映了该区石炭纪海平面的变化规律及其沉积响应。

关键词 旋回层序 海平面变化 石炭纪 巴楚地区

第一作者简介 陈国俊 男 34岁 助研(硕士) 沉积学

1 引言

研究区位于塔里木盆地麦盖提以东、和田河以西一带,构造上隶属巴楚隆起和麦盖提斜坡带(图1)。近年来愈来愈多的钻探表明,这两个构造带是塔里木西部寻找油气藏的最有利部位,特别是石炭纪地层已日益引起人们的高度重视,亟需对石炭系层序地层进行深入、细致的研究。

塔里木盆地石炭纪是继奥陶纪之后又一次大规模海侵时期。以碳酸盐岩为主夹杂部分硅质碎屑岩的沉积覆盖了盆地大部地区。从塔中、麦盖提斜坡、

个盆地,在盆地西南缘发育了水体较深的台盆相碳酸盐岩,而在研究区则以水体较浅的环湖坪沉积为主,由碎屑岩、碳酸盐岩和膏盐岩间互构成,从下至上分为巴楚组、卡拉沙依组和小海子组(表1)。各组的岩性特征、沉积环境、层序的发育型式及叠加方式将在下文中详述。

2 高频旋回层序类型及其岩相特征

通过对塔里木盆地巴楚地区小海子露头剖面、康1井、和2井、玛参1井、山1井等钻井剖面的观察,发现在石炭系中普遍存在小级别的向上变浅单元。这些小级别向上变浅沉积单元的重复发育,代表了海侵事件造成的碳酸盐台地的周期性海泛过程。在巴楚地区自巴楚组底部的东河砂岩段到小海子组顶部灰岩段顶界,可识别出50余个这种高频旋回层序,它所代表的旋回级次相当于五级或六级旋回。这些高频旋回层序由不同的岩性组合组成,共总结出7种类型(图2)。它们在垂向上的有序叠加构成了各种沉积序列,其主要特征如下所述。

2.1 碳酸盐岩潮下型旋回层序

该旋回层序是以深灰、褐灰色灰岩为覆盖层的沉积序列(图2中a型)。层序的下部单元是深灰色或灰绿色的泥岩,含牙形石,为潮下低能相沉积产物;上部单元为深灰、褐灰色灰岩,取心观察为泥粉

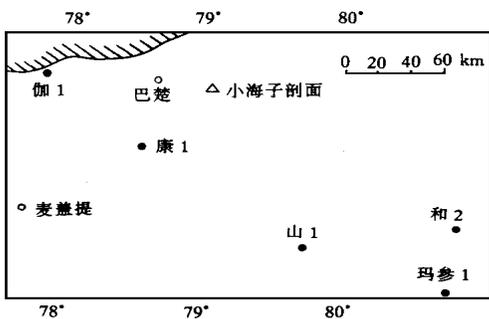


图1 研究区地理位置及剖面、井位图

Fig. 1 The section and well location of the study area

巴楚、玛扎塔格的钻井资料证实,石炭纪地层遍布整

① 本文由“九五”国家重点科技攻关项目“中国大中型气田勘探开发研究”和“塔西南地区勘探目标选择与评价”联合资助。

表1 塔里木盆地巴楚地区石炭系层序地层格架

Table 1 The sequence stratigraphic framework of the Carboniferous in the Bachu area Tarim basin

地 层			相 序	四级旋回层序	三级旋回层序	体系域	二级旋回层序	体系域
系	统	组						
石 炭 系	上 中 统	小海子组	局限台地	IV ₈	III ₃	HST	II ₂	TST
			开阔台地			CS		
		卡拉沙依组	潮间-潮下	IV ₇	III ₂	TST	II ₁	HST
			潮上	IV ₆		HST		
			蒸发台地	IV ₅		CS		
			局限台地	IV ₄		TST		
		巴楚组	干旱泻湖	IV ₃	III ₁	HST	II ₁	TST
				潮间		IV ₂		
	滨海		IV ₁					

晶结构,质纯、性硬,见腹足类、瓣鳃类和海百合茎化石,化石顺层分布,且局部富集,并见黑色燧石团块,为潮下带沉积。山1井、玛参1井小海子组常见此类旋回层序。

2.2 碳酸盐岩台地型旋回层序

即泥灰岩—灰岩—云岩或灰岩—云岩,完全由碳酸盐岩组成的沉积序列(图2中b型)。该旋回层序的下部单元为深灰、灰色的泥灰岩、灰岩,灰岩中含生物化石,上部沉积单元为灰、灰白色的灰质云岩、云岩。有时这种旋回层序只有泥灰岩和灰岩,泥灰岩和灰岩的厚度增加或减小,反映随着水深变化的退积、进积特征。琼003等井的卡拉沙依组及小海子组中常见此类旋回层序。

2.3 碳酸盐岩—蒸发岩旋回层序

这种类型的旋回层序即灰岩—含膏云岩—膏盐岩沉积序列(图2中c型)。层序的下部单元为灰白色灰岩和含膏云岩,顶部单元为数米厚的膏岩层,局部含盐岩,相序由开阔台地变至蒸发台地相。巴楚地区卡拉沙依组多由此类高频旋回层序构成。

2.4 碎屑岩潮坪旋回层序

这种旋回层序多是在陆源碎屑供给较多的潮坪形成。按照沉积微相的差异可分为四种不同类型。第一种是底部含碳酸盐岩的旋回层序,如图2中d型所示。层序底部的碳酸盐岩为灰、灰白色灰岩,含生物化石,上部为深灰色或灰黑色砂质泥岩、页岩,顶部有时出现煤层。该类旋回层序下部单元形成于温暖潮湿的泻湖环境,由于河流作用较强,陆源碎屑进积,发生海退,由泻湖相转变为滨海沼泽相。在康1井和2井卡拉沙依组上部都可见到这种类型

的沉积序列。第二种和第三种碎屑岩潮坪型旋回层序是下部单元为砂岩、砾岩的旋回层序,只是由于顶

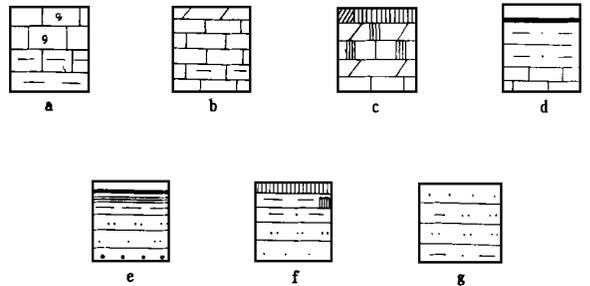


图2 研究区石炭系高频旋回层序类型

Fig. 2 Types of high-frequency cyclic sequences of the Carboniferous in the study area

部单元形成时沉积条件(特别是气候条件)不同又分成e型和f型(图2中e、f型)。e型旋回层序的顶部单元为灰黑色炭质页岩或煤,形成于温暖潮湿的滨海沼泽,下部单元的灰色、灰白色砂岩、砾岩为潮间潮道沉积,岩芯中见小型交错层理和植物化石。砾岩是潮道中的滞留沉积,底部常见冲刷面。e型旋回层序的下部单元有时不见砾岩,全部为潮间带砂岩,自下而上由潮间相变为潮上滨海沼泽相,呈现向上变浅的序列,在和2井、山1井卡拉沙依组常见。f型也是向上变细的沉积序列,其上部单元为潮上萨勃哈沉积,岩性为褐色、褐红色含膏泥岩、砂质泥岩,顶部为灰白色石膏层,是炎热干旱环境的典型产物。下部单元为灰白色、灰绿色细砂岩、粉砂岩,为潮间砂坪相沉积,该旋回层序自下而上沉积相由潮

间到潮上的变化代表了海水由深变浅的过程。在小海子剖面卡拉沙依组上部 and 康 1 井等钻井剖面的巴楚组上部可见到这类旋回层序。第四种旋回层序即图 2 中的 g 型旋回层序, 自下而上呈现向上变粗的特征。旋回层序的下部单元为薄层状深灰色、灰绿色砂质泥岩和泥质粉砂岩, 水平层理及波状层理发育, 显然是水体能量较小的潮下带沉积产物。上部单元为灰色、浅灰色粉砂岩、细砂岩, 局部为中砂岩, 可见小型斜层理、交错层理, 为砂坝相沉积。在研究区巴楚组下段中常见此类旋回层序。

通过如上所述, 可以看出研究区石炭系高频旋回层序多属环潮坪沉积, 主要由潮下、潮间、潮上三单元的沉积物组成, 沉积微相因气候、陆源碎屑供给量的变化而复杂化, 由此也造成了高频旋回层序的多样化。

3 (三级)旋回层序特征

高频振荡旋回层序在长周期旋回层序内有序叠加方式使之成为识别长周期旋回层序的基础。不同级别旋回层序之间的有规律的垂直叠加形式, 即构成了复合海平面变化旋回层序^[1]。根据不同的叠加形式, 将研究区石炭系划分出 8 个四级旋回层序和 3 个三级旋回层序(表 1)。III₁ 三级旋回层序中包含 IV₁、IV₂ 个四级旋回层序, III₂ 三级旋回层序中包含 IV₃—IV₆ 个四级旋回层序, III₃ 三级旋回层序包含了 IV₇、IV₈ 2 个四级旋回层序。其中 III₁ 旋回层序为海侵体系域(TST), III₂ 旋回层序为高水位体系域(HST), III₃ 旋回层序亦为海侵体系域。三级旋回层序主要由海平面变化及与之伴生的沉积物供应速率变化而形成的, 在研究区乃至全盆地内可进行追索对比。研究区三级旋回层序的特征如下所述。

3.1 III₁ 三级旋回层序特征

该旋回层序主要由巴楚组的碎屑岩组成(图 3), 中上部含少量碳酸盐岩及蒸发岩。层序底界面是石炭系与前石炭系(泥盆、志留或奥陶系)之间的不整合面。不整合面上、下地层的上超、削截关系是全盆地性的, 虽然在巴楚地区巴楚组与下伏泥盆系呈整合接触, 但界面之上地层为灰白、灰绿色滨海相砂岩, 即所谓的物性极好的东河砂岩^[2]。界面以下则为紫红、棕红色砂岩、粉砂岩, 二者沉积环境与沉积相明显不同。因而该层序界面是 I 型层序界面,

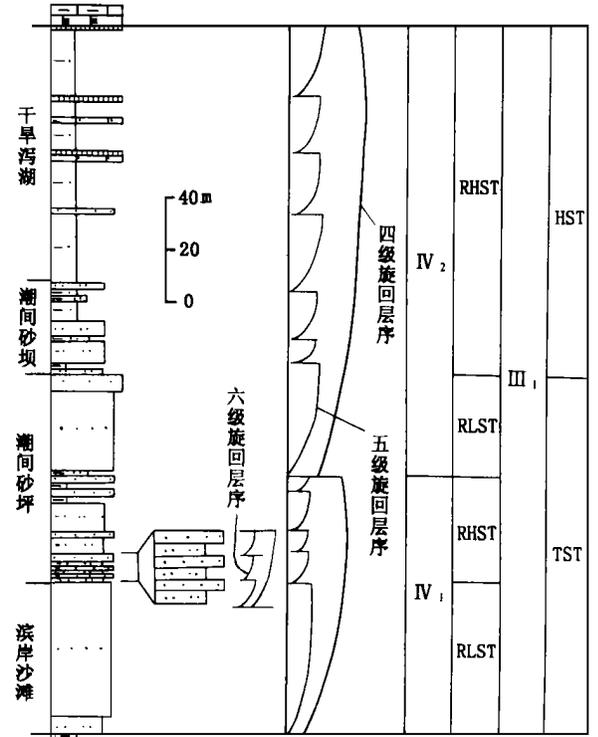


图 3 III₁ 旋回层序特征

Fig. 3 Features of cyclic sequence III₁

III₁ 三级旋回层序也就是 I 型层序。

III₁ 旋回层序的海侵体系域主要为滨海沙滩和潮间砂坝微相沉积。海西早期运动后, 海水从西南方向侵入本区, 受到沉积初期古地形的控制, 首先在柯坪古陆前形成滨海沙滩, 随着海侵的加剧, 出现以 g 型高频层序为主的潮间砂坝相沉积。海泛达到最大, 形成了该区最大规模的砂坝。而后, 相对海平面开始下降, 形成以 f 型高频旋回层序为主的高水位体系域。海退初期, f 型高频旋回层序的下部单元发育, 未出现上部单元, 此时形成的高水位体系域主要由潮间带砂泥岩构成; 海退末期, f 型高频旋回层序的上部单元较为发育, 以致于 III₁ 高水位体系域上部几乎均由 f 型旋回层序的上部单元——干旱泻湖相沉积叠加而成。III₁ 旋回层序自下而上沉积微相序列为滨海沙滩→潮间砂坝→潮间砂坪→干旱泻湖, 构成了一个完整的海进—海退旋回。其间相对海平面曾发生过短暂的振荡。因此, III₁ 三级旋回层序又可划分出 IV₁、IV₂ 两个四级旋回层序。IV₁ 旋回层序的相对低水位体系域由海侵开始形成的滨海沙滩相砂岩构成。IV₁ 相对高水位体系域由灰色、灰绿色粉砂岩、砂岩组成, 多由厚度相近的 g 型高频旋回层序叠加而成, 反映了海平面持续相对时

间较长、较稳定,形成加积型的叠加模式。IV₁旋回结束后,海平面出现短暂的快速上升,但上升幅度不是很大,以致于沉积环境没有大的变化,只是砂坝的规模较IV₁旋回层序大了很多。IV₁旋回层序的相对低水位体系由障壁砂坝微相沉积构成,IV₂的相对高水位体系域由f型高频旋回层序以进积方式叠加而成,构成完整的海退序列。

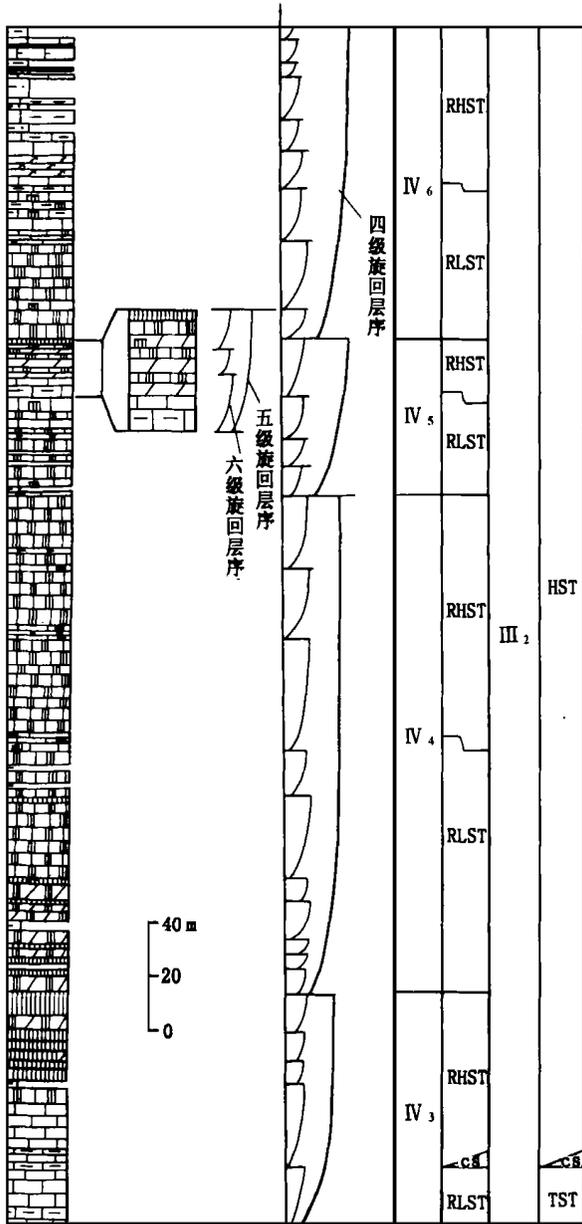


图4 III₂旋回层序特征

Fig. 4 Features of cyclic sequence III₂

3.2 III₂ 三级旋回层序特征

该旋回层序主要由碳酸盐岩组成(图4),底部为泥灰岩、灰岩,含生物碎屑,中上部膏灰岩、膏云岩

与膏岩互层,相序为开阔台地→蒸发台地→局限台地相,代表一次由相当规模的海泛到水体变浅、蒸发作用加强的过程。海侵初期,高频旋回层序下部单元的泥灰岩较薄,灰岩较厚,随着海侵的加大,灰岩厚度减小,泥灰岩增多,形成退积式的旋回层序叠加,III₂旋回层序的高水位体系域多由c型高频旋回层序叠加而成,而且c型旋回层序的上部单元极为发育。在这个总体上为碳酸盐台地沉积的三级旋回层序的形成过程中,海平面曾发生数次波动,具体表现在高频旋回层序的叠加方式上。下部单元逐步加厚或顶部单元逐渐减薄以致无石膏层的c型高频旋回层序的有序叠加,构成了退积式的四级旋回层序相对低水位体系域,而上部单元逐渐加厚、下部单元逐渐减薄的c型旋回层序进积,构成了四级旋回层序的相对高水位体系域。

3.3 III₃ 三级旋回层序特征

该旋回层序主要由小海子组碳酸盐岩组成(图5)。下部为灰黑、深灰色泥晶灰岩、生屑灰岩、亮晶砂屑灰岩夹少量厚层状粉晶白云岩及紫色、灰绿色泥质粉砂岩、细砂岩,含腕足类、珊瑚、蜓类、双壳类化石,上部为灰绿色灰质粉砂岩,灰色厚层泥晶灰岩夹钙质页岩、灰黑色薄层泥质层纹泥灰岩,含腕足、牙形类、有孔虫等化石。III₃旋回层序的底界面是

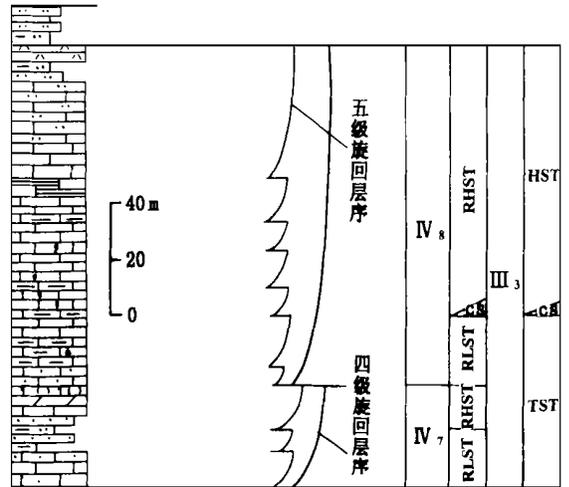


图5 III₃旋回层序特征

Fig. 5 Features of cyclic sequence III₃

小海子组与卡拉沙依组之间的分界面,界面之上为开阔台地相碳酸盐沉积,界面之下以膏泥岩沉积为主。由于沉积环境的巨大变化和伽1井地区卡拉沙依组上部被剥蚀,造成小海子组与下伏地层间的不同

整合,故将此界面划为 I 型层序界面, III_b 层序划为 I 型层序。

III_b 三级旋回层序由 IV₇、IV₈ 两个四级旋回层序组成。IV₇ 旋回层序的相对低水位体系域,是在卡拉沙依组膏泥岩沉积之上又一次海侵所形成的开阔台地相灰岩、砂屑灰岩,当此次海进达到最大时,沉积了潮下带砂泥岩。IV₇ 旋回层序的相对高水位体系域,由 b 型高频旋回层序构成,代表海侵达到最大后转而发生海退的过程,沉积微相也由潮下相变为有粉晶、团块云岩沉积的局限台地相。IV₈ 旋回层序相对低水位体系域是在短暂的海退之后发生的大规模海进过程中形成的,主要由 a、b 型旋回层序叠加而成,海泛最大时,形成灰黑色泥质层纹泥灰岩、泥岩凝缩段(CS)。随着海平面的持续上升,向上叠加的 a 型旋回层序的上部单元逐渐减薄,灰黑色泥晶灰岩、泥灰岩则愈来愈发育。构成 IV₈ 旋回层序的相对高水位体系域的高频旋回层序,自下而上逐渐由 a 型变为 b 型,陆源碎屑逐渐增多直至出现二叠系陆相沉积。IV₇、IV₈ 四级旋回层序反映小海子期发生的两次海平面振荡过程,二者的叠加,则代表了长时限(三级)海平面变化的过程,致使 III_b 三级旋回层序自下而上相序的局限台地→潮下→开阔台地→局限台地演化,构成完整的海进—海退沉积序列。

III_a 和 III_b 三级旋回层序构成了一个二级旋回层序, III_b 三级旋回层序和其上的二叠系构成了另一个二级旋回层序。这样划分的依据主要有两点:一是在伽 1 井的钻井剖面上清晰地显示出小海子组沉积前,该区曾短暂隆升使卡拉依组遭受剥蚀;二是

经过与塔北、塔西南石炭系地层对比后,发现中石炭世卡拉沙依期海平面降低是全盆性的。据 Ross 等人^[3]的研究,早、中石炭世的海进—海退变化是全球性的。可以确定由 III_a、III_b 三级旋回层序构成的二级旋回层序是同步于全球海平面变化而引起的沉积事件。

4 结语

通过对塔里木盆地巴楚地区石炭系高频旋回层序的研究可以看出,在对特定的海相沉积区进行层序分析时应注意以下几点:

(1) 岩性、岩相和沉积序列在垂向上的叠加形式和横向上的展布规律是研究高频旋回层序的基础,也是建立研究区层序地层格架的关键所在。

(2) 无论哪一级别的旋回层序,其界面首先是一个相变界面,其次才是不整合面。这些界面的出现均与海平面的相对变化相响应。

(3) 在长期相对稳定构造运动背景下,陆源碎屑物的供给速率和古气候条件是控制碳酸盐岩高频旋回层序特征的主要因素,高频旋回层序随这两个因素的变化而多样化和复杂化。

参考文献

- 1 梅冥相,梅仕龙.华北中寒武世张夏组复合海平面变化旋回层序.沉积学报,1997,12(4):5~9
- 2 王英华,鲍志东,朱筱敏编.沉积学及岩相古地理学新进展.北京:石油工业出版社,1995,508~516
- 3 Ross C A, Ross J R P. Late paleozoic depositional sequences are synchronous and worldwide. Geology, 1985, 13: 194~197

(Continued on page 84)