

川北中三叠统沉积层序特征及陡坡封闭型 镶边台地模式

彭博¹, 李国蓉^{1,2}, 罗鹏³, 沈忠民^{1,2}, 赵应权¹, 姚尚胜⁴

(1 成都理工大学能源学院; 2 成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室)
(3 中国石化西北油田分公司; 4 华北油田二连公司地质研究所)

摘 要 川北地区中三叠统层序地层学的对比研究表明,雷口坡组顶界面(T_2/T_1 界面)和底界面(T_3/T_2 界面)具有横向分异规律,由此识别出2个Ⅲ级层序,其上部 SO_2 层序普遍缺失高水位体系域。层序地层格架内的岩相古地理分析表明,该区中三叠世长期处于蒸发台地、局限台地环境,碳酸盐岩颗粒结构欠发育,可见少量藻屑颗粒灰岩和白云岩、细—中晶白云岩,缺少生物礁标志,藻席大量发育,白云石化作用强烈。识别出了工农镇剖面斜坡角砾,并对台地边缘位置进行了厘定。根据沉积及岩石学研究结果,得出了川北地区中三叠统典型的陡坡封闭型镶边台地模式。

关键词 中三叠统; 碳酸盐岩; 沉积特征; 层序地层学; 沉积模式; 四川盆地中部

中图分类号 TE111.3

文献标识码 A

1 概 况

20世纪70—90年代,国外开展了大量的碳酸盐台地沉积类型和模式研究^[1-3],而国内开展这类研究的有刘宝珺^[4]、梅冥相等^[5]、陈景山等^[6]、顾家裕等^[7],他们分别提出了不同的碳酸盐岩台地类型,对鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和四川盆地碳酸盐岩地层油气勘探具有重要的指导作用。顾家裕等^[8]近年对碳酸盐岩台地作了较为详细的分类,但并未对每种台地类型进行详细的描述。而对于陡坡封闭镶边台地的研究,国内尚缺少实例分析。本文以四川盆地北部中三叠统沉积层序为研究对象,依据层序地层学原理,在层序划分的基本单元内进行层序-岩相古地理研究,力图寻找典型的沉积相岩石学标志,并在此基础上建立该区中三叠统沉积台地模式。

四川盆地北部(川北)中三叠统为一套海相碳酸盐岩—蒸发岩地层,地处上扬子板块北部,地层覆盖了川东北中陡构造全境及川西低陡构造的北

段(图1)。受印支运动早幕的影响,来自扬子地块西缘和北东缘两向的挤压作用,使得川北地区缓慢上升^[9-11],造成川北中三叠统受到不同程度剥蚀^①。中三叠统底部的火山玻屑凝灰岩蚀变产物铝土质泥岩(绿豆岩)广布川北地区,与下伏的下三叠统嘉陵江组整合接触。上三叠统为砂泥质碎屑岩沉积,含有丰富的浅水型瓣鳃类生物,以双壳类最具特色^[12]。

前人研究表明,川北下—中三叠统由6个Ⅲ级层序有机堆叠组合构成了一个Ⅱ级层序,沉积历时16 Ma,中三叠统处于该Ⅱ级层序的高水位期,历经6.1 Ma^[13]。鉴于中三叠世安尼期—拉丁期时间较短,且期间无重大缺失及沉积格局变化,因此本文将安尼阶和拉丁阶纳入整体进行研究,将川北中三叠统划分为两个Ⅲ级层序,验证了前人研究结论^[14]。同时,通过对研究区中三叠统上段雷口坡组—须家河组野外露头及钻井资料的岩性组合分析,认为川北地区中三叠统层序为普遍缺失上部层序高水位体系域(HST)的两个Ⅲ级层序,与川东—鄂西中三叠统巴东组层序特征可以对比。

收稿日期: 2011-11-13; 改回日期: 2012-04-05

基金项目: 本文受国家科技重大专项“海相碳酸盐岩层系大中型油气田分布规律及勘探评价”(2011ZX05005-002)资助。

彭博: 1986年生。现为成都理工大学在读博士生。通讯地址: 610059 成都市成华区二仙桥东三路1号

① 赵勇,王全伟,李树,等. 区域地质调查报告(绵竹幅)[R]. 四川地质矿产局,1999.

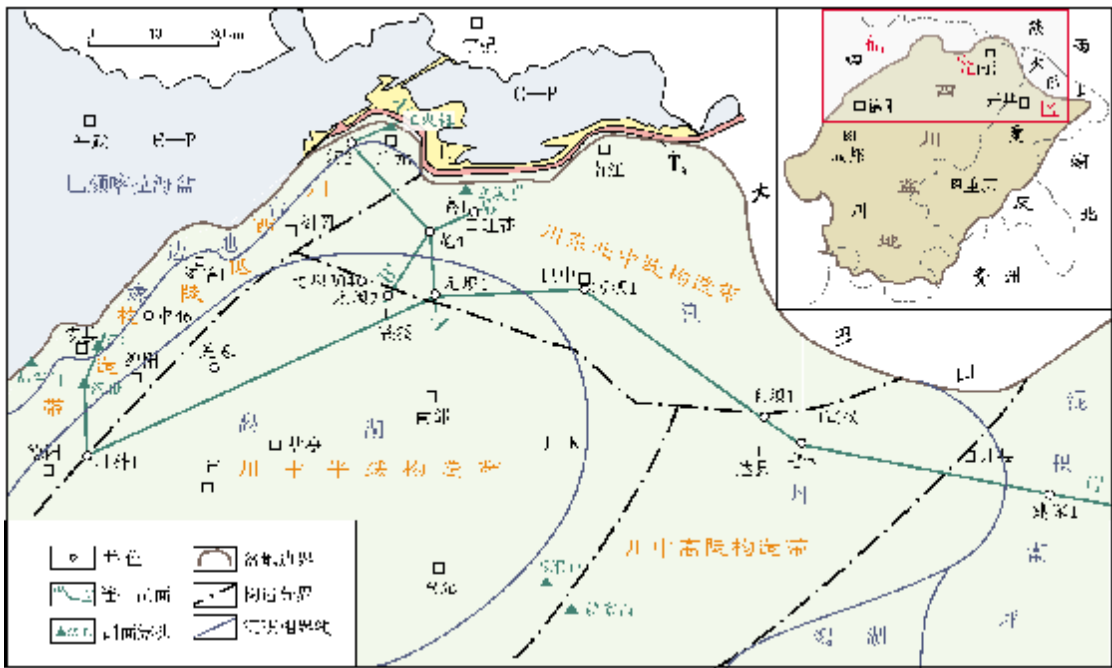


图1 研究区位置及构造沉积分布图

2 层序地层特征

2.1 层序界面特征

在川北地区可见台地相区与陆棚—盆地相区两类层序界面表现形式,台地相区主要特征是水体突然加深,而陆棚—盆地相区主要特征是水体突然变浅^[15]。因沉积环境的突变,分处于层序界面上下的沉积物质也必然出现明显差异。在中三叠世全区主要处于台地相区, T_3/T_2 界面(雷口坡组顶界面)、 T_2/T_1 界面(雷口坡组底界面)以及层序 SQ_2/SQ_1 界面均见典型特征。

T_3/T_2 界面 I型层序界面,上三叠统须家河组一段(T_{3x})为灰黄色细砂岩偶夹灰黑色碳质泥岩夹煤层,与下伏中三叠统雷口坡组(T_2I)白云岩和石灰岩呈角度不整合接触(图2a),属河流相局部沼泽相沉积。受不整合面影响,岩溶顺层间较为发育,并造成部分垮塌,形成岩溶洞穴角砾(图2b)。雷口坡组的自然伽马(GR)曲线呈现高值,而视电阻率(RD)曲线呈现低值,须家河组的GR曲线呈现低值,而RD曲线呈现高值(图3),两者为不整合接触(图2c),中三叠统由海向陆的转换特征较为明显。

T_2/T_1 界面 川北地区中三叠统底部普遍发育一套铝土质黏土岩(绿豆岩),而在部分地区往往仅可见一套灰绿色灰泥质白云岩、绿色泥岩(图2d)。它是整个下三叠统嘉陵江组与中三叠统的分层界线标志,两者之间为整合接触。

SQ_2/SQ_1 界面 中三叠世时,陆表海广布,造成淹没型陆表海台地发育,并受潮汐作用影响,在海平面上升阶段,石灰岩、灰质白云岩、泥质白云岩发育;在海平面下降阶段,白云岩类、蒸发岩类发育。因而川北地区的层序地层间常见蒸发岩类向泥岩页岩、泥灰岩的突变界面,即 SQ_2/SQ_1 界面。

2.2 体系域界面及岩性组合特征

早—中三叠世地层由6个Ⅲ级层序有机堆叠,组合构成一个Ⅱ级层序^[13],其中,中三叠世处于该Ⅱ级层序的高水位末期,发育 SQ_2 和 SQ_1 两个Ⅲ级层序。受其东部与北部沉积差异的影响,川北广大地区不同层序、不同地区之间Ⅲ级层序体系域中的岩性组合呈现出多样性,其层序及岩性组合自下而上归纳如下。

SQ_1 海侵期(TST) 藻灰质白云岩—膏质白云岩互层—厚层膏岩→泥质白云岩—藻屑白云岩—膏岩

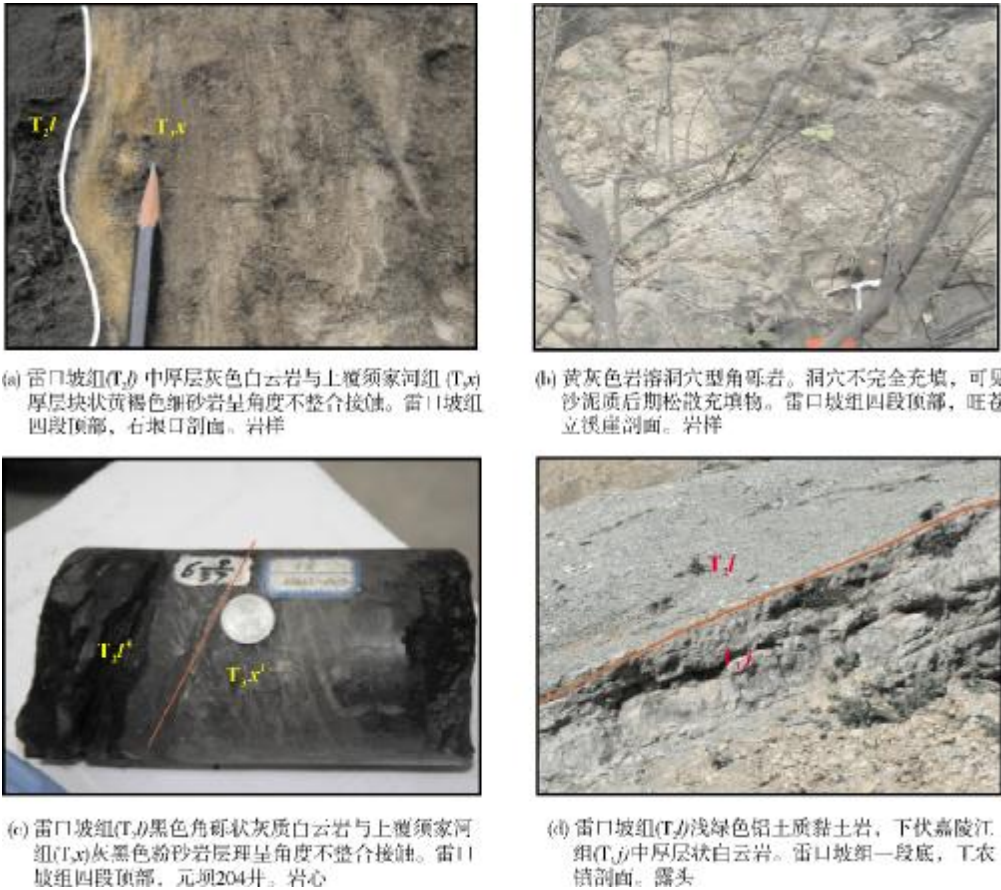


图2 川北地区中三叠统层序顶界面与底界面岩性特征

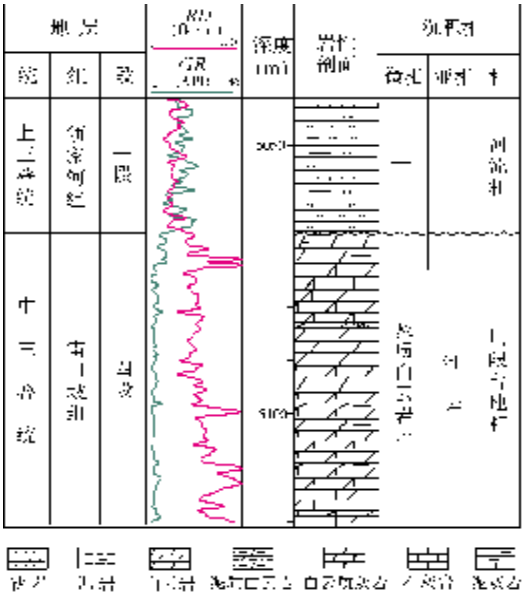


图3 川北地区元坝1井(5040-5120m)三叠系岩性柱状图与电性特征

旋回;石灰岩—厚层膏岩→白云岩—膏质白云岩互层旋回;厚层石膏岩夹薄层灰质白云岩→泥灰岩—灰质白云岩旋回;泥质白云岩—泥质膏岩—厚层膏岩夹白云岩→泥质白云岩—泥质白云岩夹薄层膏岩旋回;膏质白云岩—薄层膏岩→泥质白云岩旋回;膏质白云岩→泥质白云岩—白云质灰岩夹膏岩旋回。

SQ₁高水位期(HST) 藻屑灰岩—白云岩→泥灰岩—藻白云岩—白云岩夹灰质白云岩—膏岩旋回;石灰岩—灰质白云岩夹膏岩→石灰岩—白云岩—膏岩旋回;石灰岩—膏质白云岩→灰质白云岩—膏岩互层旋回;泥岩—膏岩→膏质白云岩夹薄层膏岩→泥灰岩—膏岩旋回;泥质白云岩—膏质白云岩→泥质白云岩—白云质灰岩—膏岩旋回。

SQ₂海侵期(TST) 白云岩—白云岩→顶剥蚀旋回;石灰岩—白云岩→顶剥蚀旋回;石灰岩—砂屑灰岩—白云质灰岩→顶剥蚀旋回。

3 沉积与岩石学特征

3.1 沉积相特征

在川北中三叠统层序划分方案的指导下,对川北的8条野外露头剖面、数十口钻井资料以及多条连井剖面的层序、沉积相划分进行对比,并根据实际剖面对比结果绘制了沉积相图(图4)。中三叠世,研究区主要区域处于局限台地相带,上部、下部层序主要发育潮坪相、潟湖相,在东部近开江古隆起

区的下部层序也可见蒸发潮坪(如图4b的龙4井、扁1井)、膏质潟湖(如图4a,4b中的元坝1井、元坝2井)发育。下部高水位体系域藻席发育(如图4b的龙4井、扁1井),局部可见砾屑滩。在上部层序海侵体系域中,台地相区均发育潮坪相(如图4a,4b的元坝1井、元坝2井)、潟湖相(如图4a,4b的龙4井、河2井、扁1井),中三叠世晚期的构造抬升运动,导致上部层序高水位体系域的缺失,同时研究区内中三叠统雷口坡组海相地层上部直接被上三叠统陆相须家河组/小塘子组所覆盖。

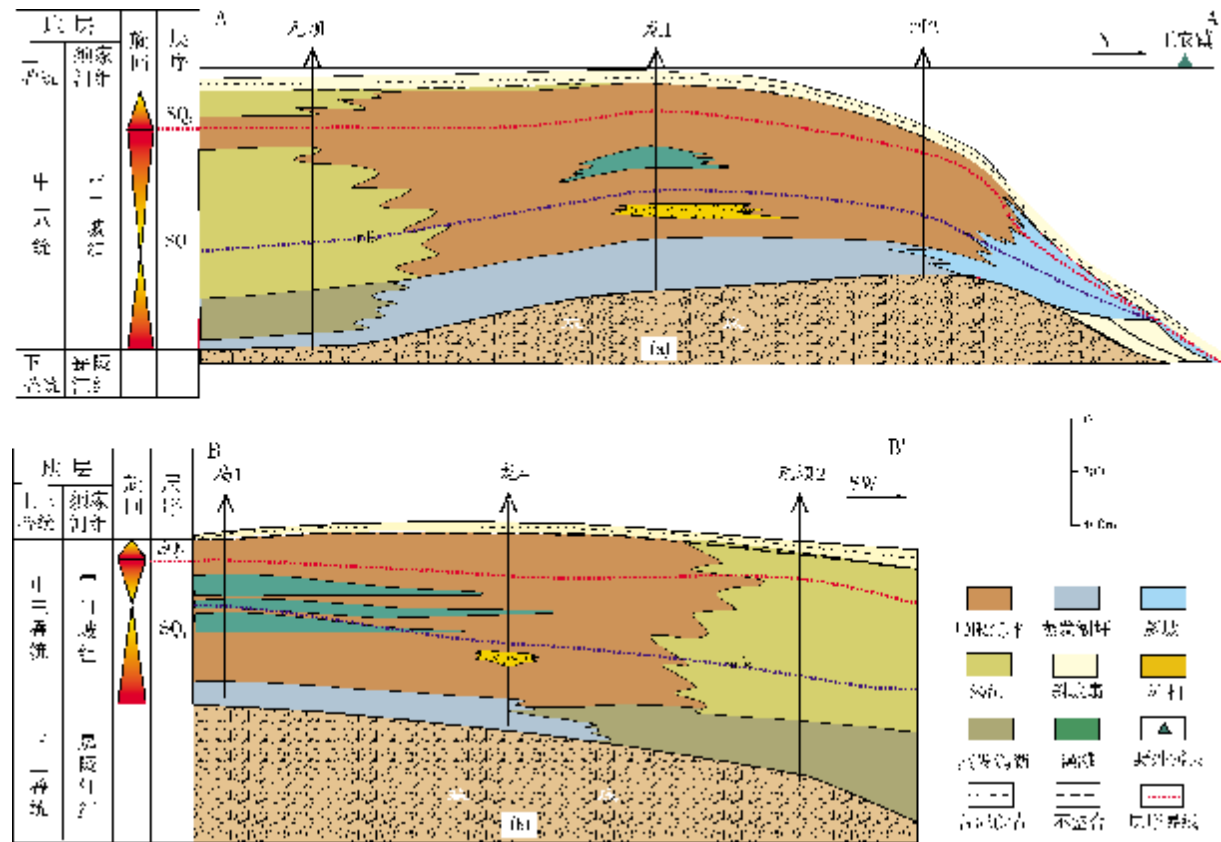


图4 川北地区南北方向与东西方向连井剖面层序-沉积相展布
mfs 最大湖泛面。A—A'和B—B'剖面位置见图1

通过该区多口井录井资料的总结,列出了川北不同沉积相带内发育的岩性(表1)。由表1可见,川北中三叠统中,富泥质碳酸盐岩发育,且膏岩广泛存在。局限台地泥质含量较高,以泥质白云岩为主,含泥质灰岩、泥岩;蒸发台地相区是中三叠统的典型特征,在该区主要发育蒸发型潮坪相和蒸发型潟湖相,蒸发型潮坪相中常有泥质白云岩互层,在蒸发型潟湖中常常

以厚层纯膏岩产出;在开阔台地也以石灰岩沉积为主,仅在较高位置处有零星的泥质含量低的石灰岩和白云岩分布;台地边缘以白云岩和灰质白云岩为主,泥质含量相对较低,偶见少量膏岩夹层。

3.2 岩石沉积特征

相对下三叠统而言,中三叠统中的碳酸盐岩颗

粒结构欠发育,以藻粒为主要颗粒结构,可见白云岩以细、中晶为主要晶体。泥质含量相对增加,而生物结构并不发育。这与川北地区中三叠统长期处于局限台地的沉积背景息息相关。

表 1 川北地区中三叠统不同沉积相带发育的主要岩石类型

沉积相带	泥 岩	泥灰岩	石灰岩	灰质白云岩	泥质白云岩	白云岩	膏 岩
混积滨岸	*	—	—	—	—	*	*
蒸发台地	—	—	—	—	√	*	√
局限台地	*	*	—	*	√	√	*
开阔台地	—	√	√	√	—	*	—
台地边缘	—	—	*	√	—	√	*
斜 坡	√	√	*	—	—	—	—
盆 地	√	—	—	—	—	—	—

注: √ 主要发育, * 次要发育, — 不发育。

3.2.1 颗 粒

在强烈的水动力条件下,碳酸盐岩通常会发育较多的颗粒结构,在中三叠统,颗粒结构随沉积相带差异而有所不同。该地层主要颗粒类型包括鲕粒和藻粒,其次在台缘有部分的生物碎屑颗粒,台缘近斜坡位置发育有部分球粒,也可见部分内碎屑(图 5)。

鲕粒 以正常鲕和椭球鲕为主,主要发育于台缘滩和台内滩,规模一般不大,呈薄层状,如在卸军门剖面、赖家山剖面均可见。鲕粒直径较小,为 0.5~1 mm 不等;鲕内圈层一般不多,部分以泥晶充填固结,表明是在长时间弱水动力环境下经历较短时间水体能量的变强而形成(图 5a)。

藻粒 在中三叠统广泛发育的藻粒,通常以藻黏结、藻屑等多种方式产出。这代表了中三叠世广泛发育静水条件下的潮坪环境,往往形成藻席、藻叠层石等^[16](图 5b)。

生物颗粒 中三叠统的生物颗粒主要以薄层生物碎屑层的形式出现,通常在初始海泛面上的生物凝缩层上出现;同时在台地边缘相带也可见生物碎屑滩,但规模并不大。最主要的生物颗粒类型包括瓣鳃生物、菊石、微体有孔虫以及砂盘虫等。

3.2.2 泥质和胶结物

泥质和胶结物致密充填或胶结是中三叠统碳酸盐岩地层的重要特征,这往往也是表明为弱水动力环境。尤其是泥质含量,通常在中三叠统潟湖中含量较高,其次在斜坡部位等也较高。胶结物也比较发育,往往颗粒发育地区会有多世代胶结,而次生孔隙

相对不发育。这两个因素导致了碳酸盐岩岩性致密,从而储集性能普遍变差。

3.2.3 晶 粒

中三叠世,晶粒结构比较发育,这是由该时期干旱和高盐度等蒸发性大环境决定的。后期发生的白云石化等作用,使原本不具备颗粒结构的泥灰岩、微晶灰岩等转换成晶型较好的细晶、中晶甚至粗晶白云岩;同时,其转换过程属于体积收缩的过程,形成较多的孔隙,从而使孔隙空间有极大的增加(图 5c,5d)。

3.2.4 生物格架

对于中三叠统是否具有生物格架结构,许多学者进行了努力的探索。刘树根等^[16]从龙深 1 井的研究中发现疑似海绵骨架灰岩,但自此以后并未有其他发现。李国蓉^②从沉积环境的角度认为,中三叠世时期,在强烈的蒸发环境下不具备生物格架形成的条件。综上可见,中三叠世受限于强蒸发作用和海陆变迁的大背景,不利于造礁生物大面积繁殖,而主要发育的生物类型也不是礁。而且二叠纪与三叠纪之间发生的生物大灭绝,直接导致了生物在整个三叠纪不繁盛,这也是造礁生物缺少的重要原因。但这个时期可以在水体变化时出现短暂的礁类生长,比如以藻礁、海绵礁等点状式生长也是有可能的。

3.3 岩石构造特征

按照在地层中的产出部位,碳酸盐岩岩石构造一般可划分为底部构造、顶端构造和内部构造三类。在川北地区,中三叠统具有比较特殊的构造。

② 李国蓉. 四川盆地海相碳酸盐岩层序沉积相及储层研究[R]. 中国石油西南油气分公司,2010.

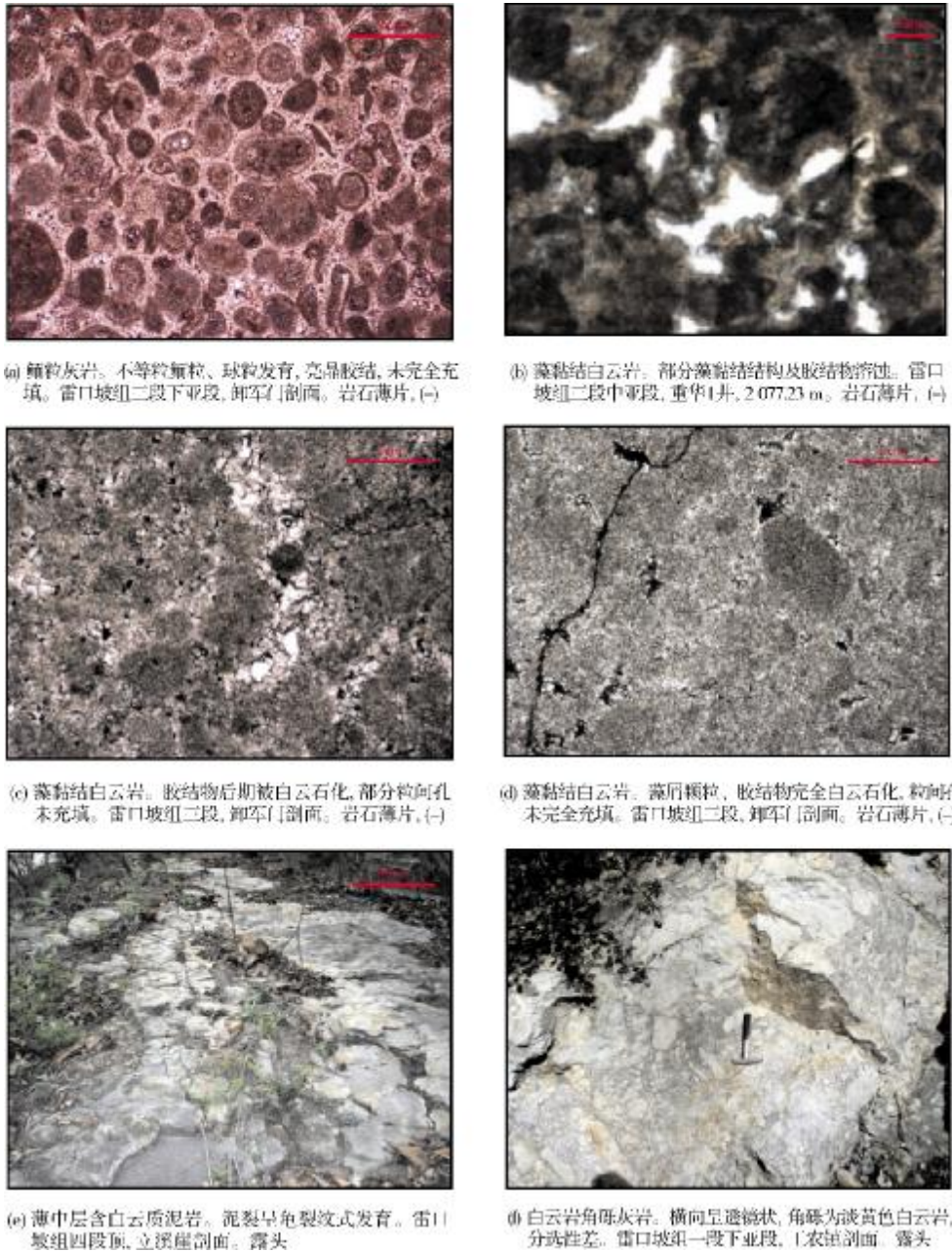


图 5 川北地区中三叠统岩石结构与沉积特征

内部构造 其中最重要的是叠层石构造。这主要是由于中三叠世为开阔的陆表浅海环境, 宽缓的台地为潮坪相的发育提供了条件, 从而导致潮坪内典型的藻类沉积极易发育。叠层石由两种基本层组成: (1)富藻纹层, 又称暗层。藻类组分含量多, 有机质含量高, 碳酸盐沉积物少, 故色暗。(2)富碳酸盐纹层, 又称亮层。藻类组分含量少, 有机质含量低, 故色浅。这两种基本层交互出现, 即成叠层石构造。在立

溪崖剖面中三叠统雷口坡组三段可见。

示顶底构造 其中最重要的特征是顶部泥裂发育。中三叠世时期的干旱气候使富泥质潮坪或蒸发潟湖相沉积的顶部因干旱蒸发和收缩, 导致形成广泛的泥裂纹。这类沉积在中三叠统雷口坡组三段上部及四段中发育, 如立溪崖雷口坡组四段顶部的泥裂(图 5e), 在川中地区威远曹家坝的雷口坡组四段也可见到这种泥裂纹现象。

此外还有缝合线构造、鸟眼构造等多种典型构造特征,在此不一一描述。

4 陡坡封闭型镶边台地模式

通过对川北地区数十口单井及野外露头剖面的详细对比分析,至此,川北地区中三叠世的台地

沉积相模式逐渐明朗。由此,由西向东选取安县剖面、汉旺剖面、川科1井、元坝1井、河坝1井、毛坝1井、普5井、建深1井等8个有代表性的露头和井位作为基点,建立了典型的横贯整个四川盆地北部的陡坡封闭型镶边台地模式,如图6。该模式的主要表现特征如下。

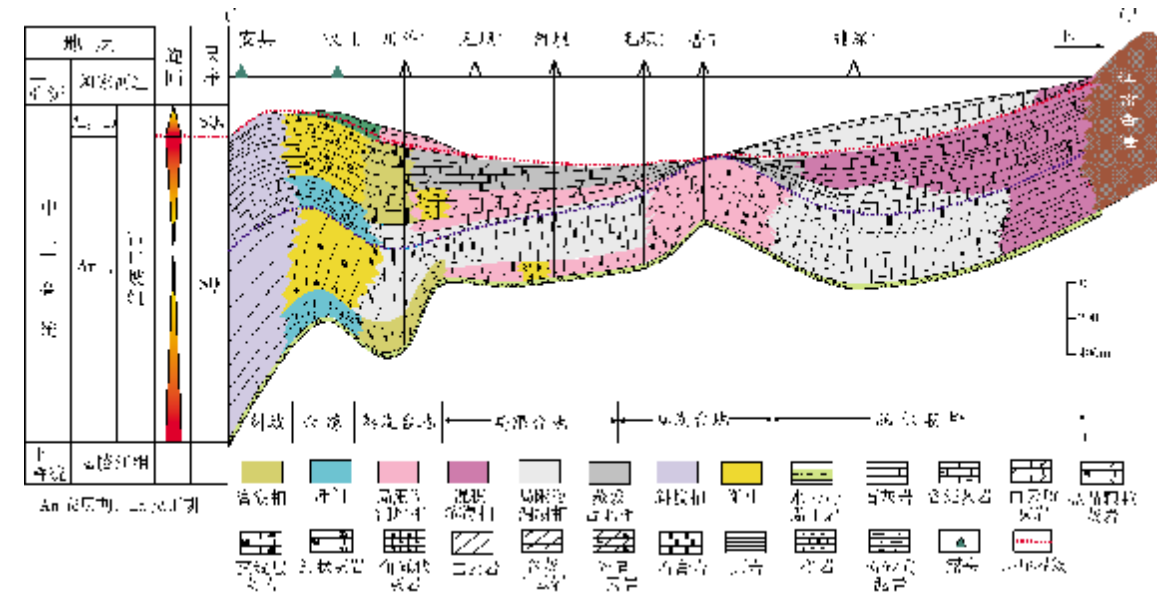


图6 川北中三叠世陡坡封闭型镶边台地模式
mfs 最大湖泛面。C—C'剖面位置见图1

4.1 藻席大量发育

中三叠世时期,川北地区的台地呈封闭、半封闭状态,加之干旱的气候环境,导致该区普遍发育局限潟湖和局限潮坪,在部分较高位置发育蒸发潟湖和蒸发潮坪,岩性以白云岩、膏岩为主,普遍富泥质。

中三叠世潮坪的发育使藻席得到大面积分布,中三叠统藻类颗粒灰岩/白云岩是构成储层的重要因素之一。如在 SQ₁ 海侵(TST)时期,汉旺剖面、扁1井等区域发育两期藻白云岩或藻灰岩,第一期藻灰岩形成于中三叠世初次大规模海侵的开端,局限环境短暂缓解,沉积了一套较薄层藻灰岩,由于海水的相对快速退却,上部仍以膏岩白云岩互层为主。第二期藻白云岩形成于 SQ₁ 海侵(TST)晚期,虽然藻灰岩厚度约 70~80m,但是单层厚度仍较薄并夹大量膏岩、白云岩薄层。SQ₁ 高水位(HST)早期藻席也有发育,多为藻灰岩,偶夹藻白云岩,沿台缘分布,主要表现为厚度大(最厚处累计大于 160m,如汉旺剖面)、范围大(汉旺剖面—剑阁—元坝2井地区皆有分布,向北逐步增

厚)。同时,伴随着震动式海退,内部环潟湖周围和台地边缘近潟湖一侧也发育薄层的不连续的藻白云岩、灰岩台内滩(如图6的元坝1井—河坝1井之间),但受局限环境下的安静水环境影响,其仅呈点状分布。

4.2 白云石化作用强烈

因台地边缘西及西北有龙门山岛链,北有汉南海隆、西南有康滇古陆,这些封闭条件加上台地边缘抬升,导致台地进一步局限化,从而川北地区内部广泛存在白云石化作用(如元坝1井、河坝1井、毛坝1井),它往往有膏岩夹层共生。

同时,该区的台地边缘相带因位置较高而有利于发生白云石化作用。据统计,台地边缘所有剖面都有不同程度的白云石化作用(如汉旺剖面),岩性多为粗晶白云岩,且膏质含量较低,晶间孔、晶间溶孔较为发育。

4.3 具有明显陡坡特征

通过工农镇剖面斜坡相白云岩角砾灰岩的研究,发现陡坡特征明显。中三叠世海水低于坡折带位

置时,该区在陡坡发育前缘斜坡扇(为陡坡前缘塌积下来的白云岩角砾沉积,图 5f)以及低水位期(LST)进积楔等沉积相;在高水位期(HST),斜坡位置往往会沉积较深水特征的岩性,如条带状灰岩,表现为薄层状、富泥质。

5 结 论

(1)川北地区,中三叠世处于Ⅱ级层序的高水位期,历经 6.1 Ma,共发育两个Ⅲ级层序,下部 SQ₁层序发育于早、中安尼期,上部 SQ₂层序发育于安尼期晚期以及拉丁期,且上部层序普遍缺失高水位体系域;层序界面具有明显的突变标志,下界面绿豆岩在各区域存在岩性突变,川北地区“绿豆岩”特征并不典型,顶界面具有岩溶、风化等多期作用特征,在露头、钻井等分析上识别清楚。

(2)Ⅲ级层序划分体系下依照体系域对川北岩相古地理特征进行分析,可见川北中三叠统存在多期次沉积相演化,研究区长期处于局限台地环境,且层序向上局限特征逐渐加强,最终转变为蒸发台地相区。

(3)建立了川北中三叠统封闭型陡坡镶边台地模式。总结得出该时期台地处于台地衰老期,是全球海平面下降的产物。以广大的蒸发潟湖及蒸发台地为典型特征,缺乏明显的礁沉积,滩相欠发育,可见点状台内和台缘藻屑滩,藻席大面积发育,且其间白云石化改造强烈,尤其是在台地边缘。

参 考 文 献

[1] Wilson J L. Carbonate facies in geological history[M]. New

York: Springer-Verlag, 1975.

[2] Tucker M E, Wright V P. Carbonate sedimentology[M]. Oxford: Blackwell Science Ltd, 1990.

[3] Beauchamp B, Desrochers A. Permian warm-to very cold-water carbonates and cherts in Northwest Pangca[C]//James N P, Clarke J A D. Cool water carbonates. SEPM Special Publication 56, 1997: 327-347.

[4] 刘宝珺. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1979.

[5] 梅冥相, 马永生, 周丕康, 等. 碳酸盐沉积学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1997.

[6] 陈景山, 王振宇, 代宗仰. 塔中地区中上奥陶统台地镶边体系分析. 古地理学报, 1999, 3(1): 9-16.

[7] 顾家裕, 张兴阳, 罗平, 等. 塔里木盆地奥陶系台地边缘生物礁、滩发育特征[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 277-282.

[8] 顾家裕, 马锋, 季丽丹. 碳酸盐岩台地类型、特征及主控因素[J]. 古地理学报, 2009, 11(1): 20-27.

[9] 郭正吾, 邓康龄, 韩永辉, 等. 四川盆地形成与演化[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1996.

[10] 童崇光. 四川盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京: 地质出版社, 1992.

[11] 吴崇筠, 薛叔浩. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.

[12] 冯增昭, 鲍志东, 李尚武. 中国南方早中三叠世岩相古地理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.

[13] 赵玉光, 许效松, 刘宝珺. 上扬子台地西缘峨嵋地区三叠纪高频层序与海平面振荡研究[J]. 岩相古地理, 1996(1): 1-18.

[14] 马永生, 陈洪德, 王国力. 中国南方层序地层与古地理[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[15] 乔占峰, 李国蓉, 龙胜祥, 等. 川东北地区飞仙关组层序地层特征及演化模式[J]. 沉积学报, 2010, 28(3): 462-470.

[16] 刘树根, 李智武, 刘顺. 大巴山前陆盆地—冲断带的形成演化[M]. 北京: 地质出版社, 2006.

编辑:赵国宪

Characteristics of Middle Triassic Sedimentary Sequence and the Model of Steep-sloped Enclosed Rimmed Platform Facies, Northern Sichuan Basin

Peng Bo, Li Guorong, Luo Peng, Shen Zhongmin, Zhao Yingquan, Yao Shangsheng

Abstract: The characteristic correlation of sequence stratigraphy has indicated that there is a differentiation regulation in lateral at the top surface (the T₂/T₁) and the bottom surface (the T₃/T₂) of Middle Triassic Leikoupo Formation in lithology in northern Sichuan Basin. Therefore, two Ⅲ-order sequences are identified, in which the high-level system tract (HST) is generally absent in SQ₂, the upper subsequence. Based on analysis of lithofacies palaeogeography in the Ⅲ-order sequence stratigraphic framework, it is shown that the environments of evaporative carbonate platform and restricted platform was dominant for a long time during the middle Triassic epoch in northern Sichuan Basin so that the underdeveloping carbonate grain textures indicate lack of mark of reefs but abundant algal mats, which results in existence of a little algal-clastic grainstone and dolostone and fine- to medium-crystalline dolostone. A sort of slope facies breccia is recognized at Gongnong Zhen outcrop. The location of platform margin is confirmed. According to the research results of sedimentology and lithology, a typical model of Middle Triassic steep-sloped enclosed rimmed platform Facies in epicontinental sea is recommended for the northern Sichuan Basin.

Key words: Middle Triassic; Carbonate rock; Sedimentary characteristics; Sequence stratigraphy; Sedimentary model; Central part of Sichuan Basin

Peng Bo: male, Ph.D degree in progress at Chengdu University of Technology. Add: the Faculty of Energy, Chengdu University of Technology, 1 Dongsan Rd., Erxianqiao, Chengdu, Sichuan, 610059, China