

四川盆地层序地层特征*

魏魁生 徐怀大 叶淑芬
(中国地质大学能源系, 北京 100083)

四川盆地的震旦系至第三系可划分为3个巨层序、17个超层序。超层序的周期平均为37 Ma。巨层序边界的形成与太平洋板块和华南板块的聚合有关, 超层序边界在区域上可以追踪、对比, 它们大多数与区域构造运动相对应。

关键词 四川盆地 层序地层学 巨层序 超层序

第一作者简介 魏魁生 男 41岁 副教授 层序地层学与沉积学

四川盆地自震旦纪至中三叠世, 以海相沉积为主, 沉积物为碳酸盐岩夹泥页岩或其它陆源碎屑岩, 晚三叠世中期之后, 环境发生了巨大变化, 以陆相占主导地位, 沉积物为陆源碎屑岩夹湖相碳酸盐岩。盆地经历了裂陷(早震旦世)-克拉通(晚震旦世到志留纪)-再裂陷(泥盆和石炭纪)-克拉通(二叠纪至中三叠世)-前陆盆地(中三叠世至早第三纪)的发育历程。作者借鉴国际层序地层学的发展经验^[1~5], 以区域地震剖面解释为基础, 结合测井和露头资料综合分析, 目的在于建立四川盆地地震层序(超层序)格架并探索其层序地层特征。主要解释的地震剖面有区域地震大剖面: A ST, 全长约300 km; HLZ, 全长约280 km。

1 巨层序(MSq)分析

四川盆地震旦系至第三系含3个巨层序(图1), 巨层序边界的形成与板块碰撞、缝合及由之引起的区域性构造运动有关, 均属巨大的不整合面。

1.1 巨层序1(MSq. 1)

包括震旦纪至志留纪的一套地层(超层序1~5)。晚元古代末, 华南与华北板块联合在一起, 与之

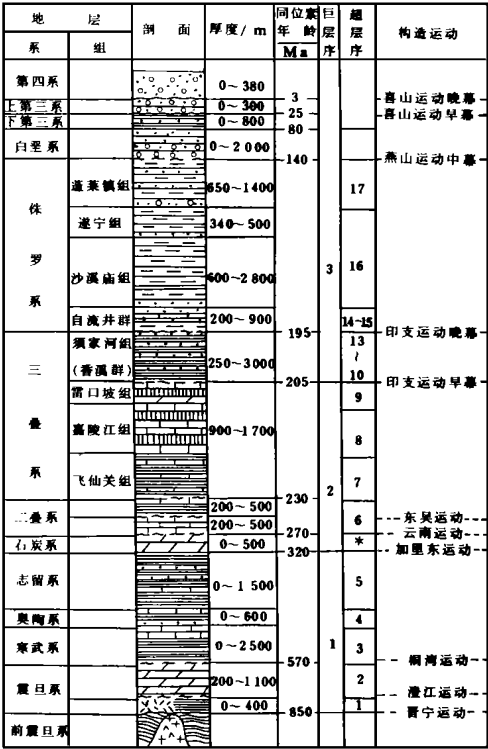


图1 四川盆地层序地层系统

* 地质行业基金(92010)资助成果
收稿日期: 1997 01 02 改回日期: 1997 02 17

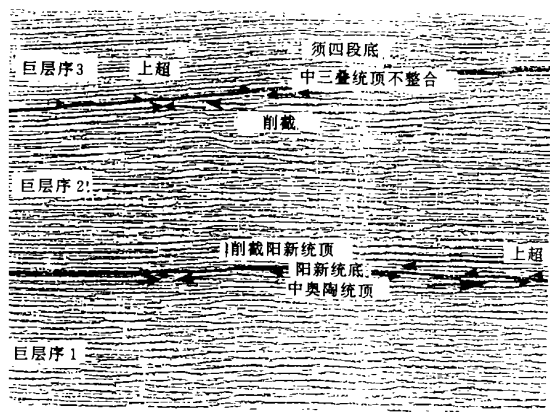


图2 四川盆地巨层序分析

相关的晋宁运动,使盆地内部大部分隆起,形成了MSq. 1底部的巨大不整合,地震剖面上多处具有削截和底超反射结构(图2)。边界之下的前震旦系为一套火成岩和变质岩系,反射波呈杂乱的多次波或绕射波。早震旦世开始裂陷,在盆地边缘形成了砂质沉积;寒武纪发生海进,奥陶纪始为高水位期。边界之上的地层以沉积岩为主,一次波占主导地位。

1.2 巨层序2 (MSq. 2)

由二叠系至上三叠统须家河组三段下部地层组成(包括超层序6~9)。加里东期华南与太平洋板块逐步聚敛,导致盆内大部分地区缺失泥盆系和石炭系,仅在川东局部地区及龙门山一带存在,川中地区缺失志留系,部分地区缺失奥陶系(图2, 3),因而底界为巨大的区域不整合。地震记录为,志留系向川中尖灭及志留系与奥陶系上部的削截。海西中晚期,盆地边缘拉开,二叠纪海进,三叠纪之后为高水位期。

1.3 巨层序3 (MSq. 3)

含上三叠统须三段上部至第四系,底界为印支运动第一幕形成的巨大不整合。印支运动对中国板块的影响甚大,华南各陆块再度聚合,秦岭海槽关闭,南北板块联合,古特提斯海也逐渐关闭,龙门山隆起,川东南抬升形成泸州-开江隆起。在地震剖面上可以看到清晰的底界削截特征(图2, 3)。边界之上的地层向川中地区上超、上倾,川中地区须一至须三段被剥蚀或呈陆上沉积间断。所谓的四川盆地实质上即前陆盆地,始形成于印支期早幕,其后沉积环境渐变为非海相。

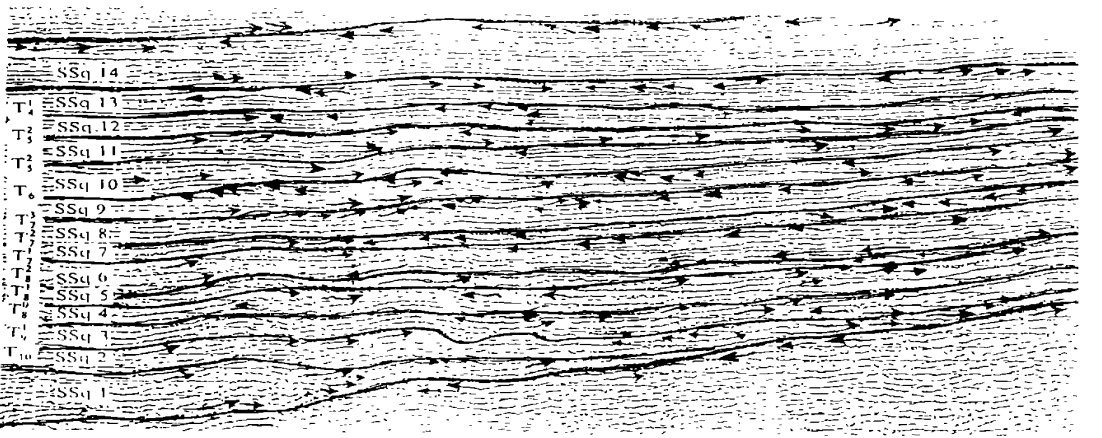


图3 AST 测线地震层序分析

2 地震层序(超层序)格架

2.1 超层序1 (SSq. 1)

该超层序与MSq. 1的底界(SSB1)重合,削截反射明显(图3)。SSq. 1相当于早震旦世的沉

积。早震旦世盆地第一次裂陷, 范围局限, 见于盆地边缘的大巴山、西南的西昌、会理及川东南秀山等地。在AST剖面上, SSq. 1仅分布于川西北地区。盆内广泛隆起, 未接受沉积。南沱砂岩及南沱冰积层主要由浅灰色、灰绿色石英砂岩、长石石英砂岩及砾状砂岩组成, 西南部见火山碎屑岩, 厚约300 m, 火山碎屑岩区逾3 000 m。近年, 深钻钻遇的地层比原预测的厚度要大。在讯噪比高的地震剖面上, 前震旦系也有不少呈一次波, 故SSq. 1可能至少含部分前震旦系。

2.2 超层序2 (SSq. 2)

SSB2在隆起带与MSq. 1的底部巨大不整合重合, 不相重合的地方也见削截和上超反射结构, 这个界面与澄江运动相联系(图1)。SSq. 2相当于晚震旦世的一套地层, 分布范围广泛。在分辨率较高的地震剖面上, 还可再分为两个三级层序。

上震旦统下部低水位(LST)陡山沱组与下统沉积特征类似。盆地边缘某些部位厚度大, 盆内沉积薄。川东北城口及东南秀山地区, 发育碳质页岩及浅灰色泥质白云岩, 几十至500 m。会理及旺苍地区, 出露紫红色砂岩、页岩及灰色泥质白云岩, 小于200 m。盆内仅十余米, 主要为浅灰色砂岩, 局部夹少量泥岩及泥质白云岩。上震旦统上部灯影组由海进(TST)和高水位(HST)海相白云岩组成, 顶底见含砂质或含泥质白云岩, 厚400~1 000 m。海盆呈向西北倾斜的缓坡, 局部地区有来自西南方向的海侵。横剖面上显示东薄西厚的特点。HST的白云岩是威远气田及川中龙女寺的主要产气层位与储层。

2.3 超层序3 (SSq. 3)

SSq. 3相当于寒武纪的一套地层, 分布遍及全盆地, 厚650~3 000 m。下伏地层在西北部及南部边缘具有削顶现象, 但更常见下寒武统由东南向西北超覆, 其底界与桐湾运动相关。早寒武世时, 古地理背景发生了变化, 盆地向东南倾斜, 西北薄而东南厚。下统底部普遍具有黑色页岩, 筇竹寺组及沧浪铺组为灰色砂质页岩、灰绿色粉砂岩夹灰岩。相同的层位在华南板块内普遍含磷, 并显示由东南向西北海侵的特征, 与全球第一个巨层序的首次海泛面吻合^[2]。含磷页岩至少是一个三级层序的密集段, 具下超现象, 也是下伏白云岩储层的气源岩。其后海水持续上升(TST和HST), 龙王庙组和中上统的洗象池群均为灰色、深灰色海相白云岩。可再分为几个次级层序。

2.4 超层序4 (SSq. 4)

SSq. 4与奥陶系(主要是下奥陶统)大体相当。其底界实质上位于上寒武统内, 与原寒武系/奥陶系分界并非吻合, 底界与加里东运动第一幕相联系(图1, 3), 在川西北、川南及川中低隆起局部见削截, 常见底超反射结构。上界应位于中奥陶统底部, 该界面在鄂尔多斯及塔里木盆地都可追踪和对比, 上奥陶统很薄或缺失。该层序分布极广, 主要由海相页岩、灰岩、泥灰岩组成及局部由砂岩组成, 西北薄而东南厚, 物源为康滇古陆和江南古陆, 厚300~1 300多米。下统下部以深灰色灰岩、白云岩为主, 夹少量页岩, 上部主要为灰绿色页岩(产三叶虫与笔石), 与全球第一个巨层序的最大海泛面及密集段^[2]相当, 具有下超反射结构, SSq. 4至少可再分为两个三级层序。

2.5 超层序5 (SSq. 5)

与奥陶系上部(LST和TST)和志留系相联系, 层序边界可能位于中奥陶统底部(图4)。底界削截结构局部显著, 见底超及上超现象。该界面与国际上Tippecanoe超层序组底界的巨大不整合^[3]可以对比。SSq. 5在AST剖面西北部及东南方存在, 在HLZ剖面上仅见于东南部。

沉积物以黑色、灰绿色海相笔石页岩 (CS 和 HST) 为主 (图4), 夹灰色砂岩、深灰色泥灰岩和生物灰岩, 厚800~2 000余米, 东厚西薄, 川西北局限分布, 川中地区大部分缺失。其下部富含笔石的灰黑色页岩 (龙马溪组) 和含三叶虫的瘤状泥灰岩 (临湘组) 及五峰组的黑色笔石页岩, 分属密集段及其附近的产物。

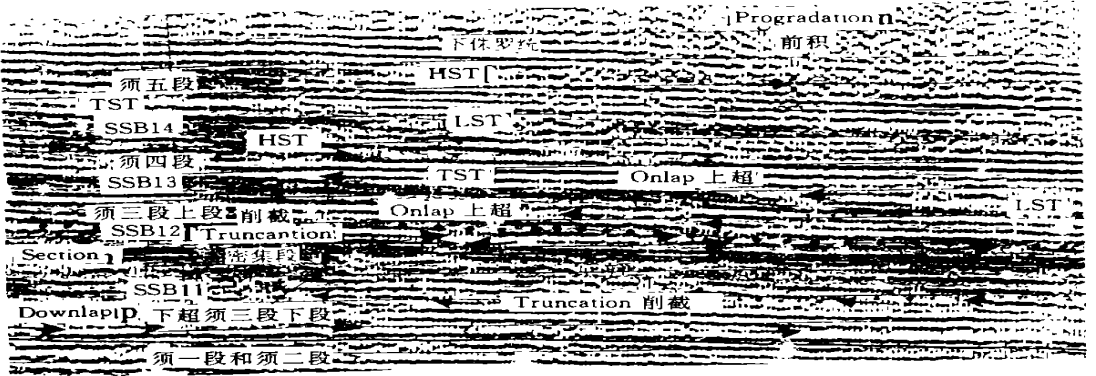


图4 D14测线超层序体系域

2.6 超层序6 (SSq. 6)

从早古生代起, 由于西部洋壳俯冲, 造成四川陆块边缘抬升, 川中大部分地区缺失志留系及部分奥陶系; 川西长期处于隆起状态, 缺失奥陶-石炭系, 局部见泥盆-石炭纪的沉积。泥盆-石炭纪是第二个裂陷期, 地层成槽状分布于龙门山前缘、川西南越西与昭觉及东南黔江与彭水等地, 厚0~3 000 m。沉积物为海相砂岩、页岩及灰岩, 龙门山甘溪等地见风暴岩、礁岩及少量浊积岩。泥盆-石炭系至少可分为两个超层序 (泥盆-下石炭统和上石炭统)。

SSq. 6与二叠系相联系, 全区广泛分布。SSq. 6底界与 MSq. 2底部巨大的不整合重合 (图2, 3)。二叠纪至中三叠世沉积期为盆地第二个克拉通内碳酸盐台地发育阶段。二叠系分布范围广, 是四川盆地的一个主要含油气层系, 阳新统是川东南地区的主力产层。二叠系主要由深灰色、灰色海相灰岩、生物屑灰岩及泥页岩组成。据报道^[5], 在川东、鄂西约30 000 km²的范围内, 乐平统井下及露头上发现了370~580个点礁或碳酸盐岩隆 (TST), 建南等地已产气。上二叠统下部部分地区见“峨眉山玄武岩”, 这种玄武岩最早见于川西峨眉山等地, 近年在川东地区多处也发现类似的岩层, 某些点礁可能发育于古隆起上。SSq. 6至少还可分为两个次级层序 (相当于上、下二叠统)。晚二叠世初期, 康滇裂谷扩张, 玄武岩大量喷发, 川西峨眉山地区及川东南华莹山地区均见深灰绿色斜长玄武岩夹生物灰岩及凝灰岩, 所以与东吴运动相联系的上、下二叠统的分界面是次一级层序的边界。

2.7 超层序7 (SSq. 7)

包括下三叠统飞仙关组和少量嘉陵江组。川西北地区 SSq. 7底界在 AST 剖面 (图3) 具削截反射结构; 在 HLZ 剖面上, 鲜见顶超反射结构。该界面在川中、川南一带于强连续性高振幅反射层 T₁之下, 但在川西北地区, T₁位于层序中部, 可能是一个密集段。晚二叠世晚期, 康滇奥拉槽夭折上升为陆, 川西地区受影响而抬升, 接受河流相棕红色陆源碎屑沉积 (原 HST)。在峨眉山地区, 飞仙关组呈下切河流体系 (LST), 但愈上显示水体愈深、愈清的证据。例如峨眉山二叠系顶部为辫状河体系, 飞仙关组一段为低弯度河流体系, 飞仙关组二、三段

变为曲流河、潮上坪及滨岸萨勃哈环境, 至嘉陵江组变为海相灰岩沉积。相应地层在川中、川东地区变为浅海相泥页岩夹灰岩 (TST 和 HST), 愈向东 (万县、重庆一带) 灰岩、泥灰岩愈多, 且鲕粒灰岩渐增, 过了方斗山则鲕粒灰岩占主导地位。在古环境分布上, 由西向东依次为陆相→局限、开阔台地相→台地边缘相→广海陆架相。

2.8 超层序8 (SSq. 8)

SSq. 8由嘉陵江组构成, 底界在川西北及川中-川西北过渡带上见削切反射结构, 底超结构多见 (图3); 在川中-川南地区紧临密集段中-高振幅之下, 但在川西北地区却远在密集段之下。SSq. 8及 SSq. 7均可能是海平面下降 (或波动) 形成的。该沉积期仍然为西高东低、西浅东深、西浊东清的背景, 巴颜喀拉海已形成, 川西北-川中一带石膏、岩盐较多。

2.9 超层序9 (SSq. 9)

主要由中三叠统雷口坡组构成, 川西北及川中地区 SSq. 9在 AST 剖面为削截反射结构 (图3); 在 HLZ 剖面削截现象不甚明显, 川中-川南一带层序边界形似滑动面。此期, 原晚二叠世早期形成的奥拉槽的分支金沙江裂谷带已完全扩张成巴颜喀拉海槽, 同时由于太平洋板块向华南板块俯冲, 使江南古陆上隆, 并波及四川盆地, 改变了以前东低西高的古地理格局, 开始转化为西低东高的古地貌。SSq. 9的物源主要是江南古陆, 构造运动使局部地区地层缺失 (重庆、綦江、珙县一带)、川中较薄 (威远、南充、垫江一带 200~600 m)、川西北及川东南 (中坝及黔江地区) 较厚 (近1 000 m)。

2.10 超层序10 (SSq. 10)

SSq. 10大致层位相当于上三叠统须家河组第一段 (局部地区含洪洞组)。底界在黄鹿附近 (AST 剖面) 具有削截反射结构, 于蓬基井附近尖灭, 在 HLZ 剖面近女基井处消失, 上超结构多见。晚三叠世早期, 巴颜喀拉海扩张到了顶峰, 海域宽逾1 700 km。受印支运动的影响, 川东及川南抬升; 川西地区发生沉降, 初期沉积有海相生物屑灰岩, 海水东侵 (TST), 随着东南部位抬升, 陆源碎屑沉积增加, 非海相沉积趋于占优势 (HST)。沉积物由碳酸盐岩转化为陆源碎屑岩, 沉积环境由海相转化为陆相, 这种巨大的变化, 必然发生过沉积间断。该层序黑色页岩厚度大, 是重要的生油层。

2.11 超层序11 (SSq. 11)

包括须家河组二段 (LST 和 TST) 及须家河组三段下亚段大部分地层 (HST), 底界在川西北见削截结构, 在川中地区尖灭。该期仍有海侵发生, 砂岩中见少量海绿石。据砂岩胶结物同位素 ($\delta^{13}\text{C}$ 及 $\delta^{18}\text{O}$) 分析资料, 川西地区仍有海水进侵, 川西-川中过渡带及以东为淡水环境。该期的三角洲为水进式成因, 砂层厚, 分选较好, 但因压实及胶结作用使原生孔隙度降低, 储层物性取决于次生孔隙和裂缝。

2.12 超层序12 (SSq. 12)

主要由须家河组三上段组成, 底界与巨层序边界重合, 在川中-川西过渡部位削截现象显著, 地层向川中地区减薄、尖灭。该期盆地已与外海几乎隔绝, 发育滨海沼泽相或湖沼、三角洲相。岩性主要为灰黑色页岩与褐色岩屑砂岩、粉砂岩互层, 夹煤层或碳质页岩。其砂岩较 SSq. 11 的砂岩成分成熟度低得多, 其地层有机质及煤层 (CS 和 HST) 相对丰富, 是仅次于 SSq. 10 的源岩, 也是 SSq. 11 储层的盖层。

2.13 超层序13 (SSq. 13)

包括须家河组四、五段及邻近地层, 其底界不整合特征较显著 (图4), 下伏须家河组一、

二、三段及部分雷口坡组均受到强烈的削蚀,与印支运动早中幕密切相关。该期巴颜喀拉海又一次东进,盆地发生整体沉降,在川西北中坝-广元一带有海相砾屑岩透镜体,盆地内部主要为内陆湖泊沉积,川中南充-遂宁带出现淡水环境的深水沉积灰岩。

2.14 超层序14 (SSq. 14)

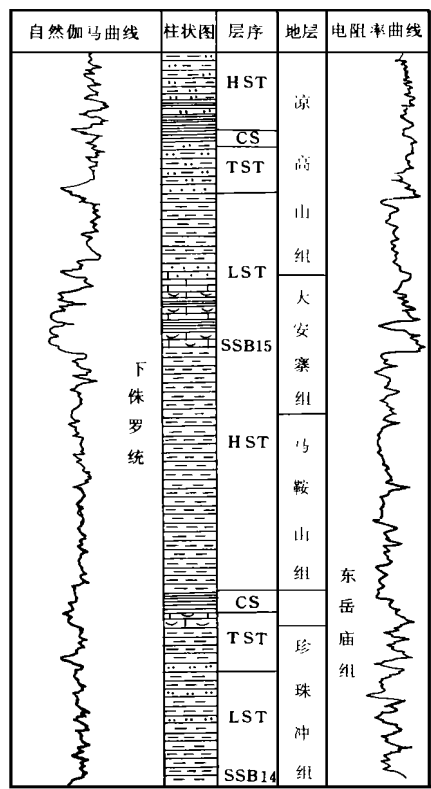


图5 H12井超层序14和15测井响应特征

包含须家河组五段上部、侏罗系自流井群珍珠冲组 (LST)、东岳庙组 (TST)、马鞍山组和大安寨组下部 (HST, 图5), 底界在川西北地区削截反射结构明显 (图3), 须家河组五段在川西至川中大部分地区均被削蚀。SSq. 14底界与印支运动晚幕相联系。印支末期, 盆地整体抬升、接受剥蚀, 以盆地边缘显著、中部弱。自印支运动(中三叠世末)开始, 基准面升降变化明显, 沉积旋回性清楚。SSq. 14的珍珠冲组和马鞍山组为紫红色粉砂岩及泥岩, 东岳庙组为黑色页岩及介壳灰岩, 响应了基准面变化的一个完整旋回。

2.15 超层序15 (SSq. 15)

由大安寨组上部 (LST) 和凉高山组组成 (HST, 图5), 其底界在川西北地区削截反射结构显著 (图3), 下伏的须家河组上部、珍珠冲组及东岳庙组均受到削蚀, 下切河道多见。这个界面可能与燕山运动早期活动有关。这个层序为一个基准面相对变化周期的记录, 岩性变化由红色粉砂岩、泥岩→黑色页岩、介屑灰岩 (大安寨组) →紫红色粉砂岩、泥岩 (凉高山组)。

SSq. 14, SSq. 15不仅旋回性明显, 而且生、储、盖配置良好, 其中砂岩、介屑灰岩是良好储层, 黑色页岩密集段为生油岩, 是最早的也是目前盆地的主要产油层系。

2.16 超层序16 (SSq. 16) 和超层序17 (SSq. 17)

分别由中、上侏罗统组成。两者底界的不整合证据确凿, 削截、上超结构多见。它们共同的特征是, 沉积物由东向西前积, 有时有反向, 显示多物源的特征。

2.17 白垩系-第四系的层序分析

根据区域地质资料, 应划分为4个二级层序, 大体分别由白垩系、下第三系、上第三系和第四系组成, 底界的形成各与燕山运动中、晚幕和喜马拉雅运动早、晚幕相关。

上述分析表明, 完整的显生宙地层可划分出23个超层序, 每个超层序的周期为37Ma。据区域资料这些超层序可以合并为7个超层序组, 大体由 Z-O₁, O₂-S, D-C₁, C₂-T₂, T₃-J₁, J₂-K 和 E-Q 组成, 与北美及西欧超层序组^[3~5]基本对应。

3 结 语

(1) 四川盆地三个巨层序底界的形成与板块聚敛、碰撞有关; (2) 在地震剖面上划分出17个超层序, 每个超层序的周期为37Ma。这些超层序可以合并为7个超层序组。它们的底界绝

大多数为不整合, 具有区域可对比性; (3) 层序地层与传统地层层方案不同, 原寒武系、奥陶系等底界实质上是密集段。

致谢 收集资料期间曾得到西南石油学院黄继祥教授、牟中海副教授、郑永坚教授及四川石油管理局高级工程师闵军、李学新、曾淑蓉、余献琼的大力帮助, 谨致谢意!

参 考 文 献

- 1 Weimer P, Posamentier H W. Siliciclastic sequence stratigraphy- recent developments and applications. AAPG Memoir, 1993, 58: 1~479
- 2 Katz B J, Pratt L M. Source rocks in a sequence stratigraphic framework. The American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology, 1994, 37: 1~238
- 3 Loucks R G, Sarg J F. Carbonate sequence stratigraphy- recent developments and applications. AAPG Memoir, 1995, 57: 1~517
- 4 威尔格斯 C K 编. 层序地层学原理. 徐怀大, 魏魁生, 洪卫东等译. 北京: 石油工业出版社, 1993. 1~532
- 5 陈子恩, 陈礼平. 川东长兴组生物礁气藏的资源预测及勘探投资评价. 天然气工业, 1990, 10(4): 11~15

SEQUENCE STRATIGRAPHIC CHARACTERISTICS OF SICHUAN BASIN

Wei Kuisheng Xu Huaida Ye Shufen
(*China University of Geosciences, Beijing*)

Abstract

Based on the analysis of regional seismic lines, well logs and outcrops, 3 megasequences and 17 super seismic sequences have been recognized. The period of supersequence is about 37 Ma. The formation of megasequence boundaries was related to the convergence between Pacific Plate and South China Plate. Supersequence boundaries could be traced and correlated regionally, most of them correspond with tectonics.