

同济大学“十五”规划教材

层序地层学

Sequence Stratigraphy

纪友亮 主编



同济大学出版社

同济大学“十五”规划教材

层序地层学

纪友亮 主编

同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

层序地层学/纪友亮主编. —上海:同济大学出版社,
2005.5

ISBN 7-5608 3013 7

I. 层… II. 纪… III. 地层层序…地层学
IV. P539.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 018562 号

层序地层学

纪友亮 主编

责任编辑 徐国强 责任校对 郁 峰 封面设计 李志云

出 版 发 行 同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂印刷

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.5

字 数 346 000

印 数 1 1500

版 次 2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-3013-7/P·10

定 价 24.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

层序地层学是 20 世纪 80 年代发展起来的一门新学科和新技术,是综合利用地震、钻井及露头资料,结合有关的沉积环境及岩相古地理解释,对地层层序格架进行综合解释的科学。随着层序地层学研究的不断发展,逐渐形成了一门相对独立的分支学科。近年来,许多高校相继为研究生及本科生开设了《层序地层学》课程。目前,关于层序地层学研究方面的文章和专著不少,既有研究方法,也有实例和模式,并且形成了不同观点的学派。为了满足各高校《层序地层学》教学需要,1998 年纪友亮等编写了《层序地层学模式及其成因机制分析》一书。该书较系统地归纳了层序地层学的基本原理、各层序地层学学派的观点以及海盆、陆相湖盆、冲积环境、沙丘环境的层序形成机理和发育模式。该书便是本书的写作基础。本书的编写是在“同济大学教材、学术著作出版基金委员会的资助”下完成的。

本书共分三篇:第一篇层序地层学原理,主要介绍了层序地层学的基本概念和术语,以及层序地层学各级单元的形成机制;第二篇主要介绍了成因层序地层学、构造层序地层学、T-R 层序地层学和高分辨率层序地层学等不同学派的观点和研究内容;第三篇陆相层序地层学主要介绍了陆相湖盆层序地层学研究基础、陆相湖盆、挤压坳陷湖盆、前陆盆地、冲积环境等的层序发育模式、发育机制体系域的划分特点。

全书共分十七章。纪友亮编写了第一章、第二至五章、第七章、第九章、第十二至十四章、第十六章;胡光明编写了第六章、第十章、第十一章;吴因业编写了第十五章和第十七章。全书由纪友亮统稿。

在编写过程中,山东科技大学刘宝珺院士、同济大学马在田院士,北京石油勘探开发研究院顾家裕教授等提出了宝贵建议。本书的编写始终得到同济大学海洋与地球科学学院领导的关怀和支持。编者在此对他们深表谢意。

本书是利用教学、科研的空余时间编写的。由于时间仓促,加之编者水平有限,谬误之处在所难免,敬希专家、教师 and 同行不吝指正。

编者

2005. 1. 20

目 录

前言

第一篇 层序地层学基本原理

第一章 绪论	(3)
第一节 层序地层学的发展简史	(3)
一、概念的提出	(3)
二、地震地层学阶段	(3)
三、层序地层学的产生	(11)
四、发展趋势	(13)
第二节 层序地层学的概念和基本术语	(13)
一、层序地层学概念	(13)
二、基本术语	(14)
第三节 层序地层学沉积单元和地层单元的划分	(14)
一、层序地层学沉积单元的划分	(14)
二、层序地层学地层单元的划分	(16)
第二章 准层序	(18)
第一节 准层序的定义及其边界特征	(18)
一、准层序的定义	(18)
二、准层序的形成环境	(18)
三、准层序的特征	(18)
四、准层序边界	(19)
五、准层序边界的意义	(20)
第二节 准层序边界的形成机理	(21)
一、泥岩的压实作用	(21)
二、断层的活动	(22)
三、海平面的升降	(22)
第三节 准层序的岩相组合	(23)
一、准层序的纵向岩相组合	(23)
二、准层序的横向岩相组合	(24)
第三章 准层序组	(25)
第一节 准层序组的定义及其边界特征	(25)

	一、准层序组的定义	(25)
	二、准层序组的边界	(25)
第二节	准层序组的类型	(25)
	一、进积式准层序组	(25)
	二、退积式准层序组	(25)
	三、加积式准层序组	(25)
第三节	准层序组内的岩相组合	(26)
	一、准层序组纵向岩相组合	(26)
	二、准层序组横向岩相组合	(26)
第四节	准层序组对比的意义	(28)
	一、地层对比的概念	(28)
	二、岩性地层对比与年代地层学对比的差异	(28)
第四章	层序	(31)
第一节	概念及术语	(31)
	一、层序的概念	(31)
	二、与层序相关的术语	(31)
第二节	盆地类型	(32)
	一、陆架坡折边缘型盆地	(32)
	二、斜坡边缘型盆地	(33)
第三节	体系域	(33)
	一、低水位体系域	(33)
	二、海侵体系域	(37)
	三、高水位体系域	(38)
	四、陆架边缘体系域	(38)
第四节	层序内部的体系域组合特征	(38)
	一、第Ⅰ类层序内部的体系域组合特征	(38)
	二、第Ⅱ类层序内部的体系域组合特征	(41)
第五节	层序边界特征	(41)
	一、层序边界的定义	(41)
	二、层序边界的识别标志	(41)
	三、深切谷的特征	(47)
第五章	地层层序的形成机制分析	(52)
第一节	沉积基准面和可容空间	(52)
	一、可容空间	(53)
	二、新增可容空间	(53)
	三、沉积基准面	(53)
第二节	海平面变化与层序的形成	(53)

	一、海平面变化	(53)
	二、相对海平面变化与层序的发育	(56)
第三节	全球海平面升降旋回与层序边界的形成	(57)
	一、海平面升降旋回	(57)
	二、海平面升降旋回与层序边界的关系	(57)
第六章	碳酸盐岩层序地层学模式	(60)
第一节	沉积剖面和相带	(61)
	一、沉积背景	(61)
	二、相带划分	(62)
第二节	碳酸盐岩产率和沉积作用的控制因素	(63)
	一、相对海平面变化	(63)
	二、沉积背景	(66)
	三、气候变化	(66)
第三节	不整合类型及相关的地质作用	(66)
	一、I 型层序界面	(66)
	二、II 型层序界面	(68)
第四节	体系域特征	(69)
	一、低水位和海进体系域的特征	(69)
	二、高水位体系域特征	(73)
第七章	层序地层学的研究内容和方法	(75)
第一节	露头层序地层学研究	(75)
	一、露头层序地层学研究的主要内容	(75)
	二、露头层序地层学研究的一般步骤	(75)
第二节	地震地层学研究	(76)
	一、地震地层学研究的主要内容和方法	(76)
	二、地震地层学研究的一般步骤	(82)
第三节	钻井层序地层学研究	(83)

第二篇 层序地层学其他学派的观点

第八章	成因层序地层学	(89)
第一节	成因层序和沉积层序的对比	(89)
	一、层序界面选择上的差异	(89)
	二、层序分析的对比探讨	(90)
第二节	沉积旋回和成因层序	(90)
	一、沉积旋回和成因地层层序模式	(90)
	二、沉积旋回和成因地层层序	(91)

三、沉积旋回产生的原因	(94)
四、三个变量的共同作用	(95)
五、成因地层层序模式的特点	(96)
第九章 构造层序研究	(99)
第一节 概述	(99)
第二节 构造体系域的划分	(100)
一、裂谷初期体系域	(100)
二、裂谷高峰期(强裂陷期)体系域	(101)
三、裂谷后早期(收缩期早期)体系域	(104)
四、裂谷后晚期(收缩期晚期)体系域	(104)
五、构造层序的发育模式	(105)
第十章 T-R 旋回层序地层学	(108)
第一节 F. Embry 的海相 T-R 地层学模式	(108)
第二节 陆相断陷湖盆 T-R 旋回层序研究	(109)
一、陆相断陷湖盆 T-R 旋回层序的提出	(109)
二、T-R 旋回层序的控制因素	(110)
第十一章 Cross 的高分辨率层序地层学	(114)
第一节 基准面原理	(114)
一、基准面的定义	(114)
二、基准面的原理	(114)
第二节 体积划分原理与相分异作用	(116)
一、体积划分原理	(116)
二、相分异作用	(116)
第三节 基准面旋回对比	(117)
一、基准面旋回对比的原则	(117)
二、海岸平原-浅海相旋回对比模式	(118)

第三篇 陆相层序地层学

第十二章 陆相湖盆层序地层学研究基础	(123)
第一节 内陆盆地中的基准面和地层结构	(123)
第二节 层序地层学在湖泊环境中的应用	(124)
第三节 陆相盆地层序地层的特点	(125)
一、层序发育的控制因素	(125)
二、层序界面类型	(126)
第四节 湖平面	(128)
一、湖盆类型	(128)

二、湖平面的定义	(128)
第五节 湖平面变化的控制因素	(129)
一、构造运动	(129)
二、气候的变化	(131)
三、沉积物供应的影响	(131)
四、海侵的影响	(132)
第十三章 断陷湖盆层序地层学模式及层序形成机制	(133)
第一节 断陷湖盆层序地层学模式	(133)
一、Olsen 的断陷湖盆层序地层学模式	(133)
二、Perimutter 和 Matthews 的断陷湖盆层序地层学模式	(134)
三、华北典型箕状断陷湖盆层序地层学模式	(139)
四、廊岗坳陷断陷湖盆层序地层学模式	(141)
五、渤海湾地区断陷湖盆层序地层学模式	(146)
第二节 断陷湖盆地层层序形成机制	(147)
一、断陷湖盆的可容空间	(147)
二、构造运动对层序发育的控制	(148)
三、气候变化对层序发育的控制	(155)
四、构造和气候对层序发育的共同影响	(158)
五、湖平面变化与层序发育的关系	(159)
第三节 断陷湖盆层序边界的形成机制	(160)
一、断陷散流湖盆边界断层停止活动	(160)
二、断块的翘倾作用	(160)
三、湖盆整体抬升	(161)
四、湖平面下降	(162)
第四节 断陷湖盆层序类型及其体系域的组成	(162)
一、构造层序及其体系域的组成	(163)
二、气候层序及其体系域的组成	(167)
第十四章 双断陷湖盆层序地层学	(173)
第一节 地堑构造格局和构造运动	(173)
第二节 层序界面特征	(173)
一、区域性不整合型界面(古构造运动面)	(173)
二、沉积间断型界面	(174)
第三节 层序内部体系域的构成	(175)
一、初始期冲积体系域	(176)
二、强裂陷早期(水进)体系域	(176)
三、强裂陷中期(深水)体系域	(176)
四、强裂陷晚期(水退)体系域	(176)
五、裂陷收缩期体系域	(176)

第四节	双断陷湖盆层序地层学研究对油气勘探的意义	(176)
第十五章	挤压性坳陷湖盆层序地层学	(178)
第一节	层序边界的特征及其体系域的组成	(178)
	一、层序边界的特征	(178)
	二、体系域组成	(180)
第二节	煤层在层序地层学研究中的特殊意义	(180)
	一、煤沼环境的沉积作用	(181)
	二、煤层作为层序边界的依据	(182)
第十六章	前陆盆地层序地层学	(185)
第一节	前陆盆地的形成机制	(185)
	一、前陆盆地的定义	(185)
	二、前陆盆地的形成机制	(185)
第二节	前陆盆地层序发育的控制因素及模式	(186)
	一、前陆盆地层序发育的控制因素	(186)
	二、前陆盆地层序发育模式	(188)
第三节	前陆盆地层序发育模式实例	(188)
	一、早期欠补偿阶段(构造活动最强烈)	(189)
	二、晚期过补偿阶段(构造不活动)	(190)
第十七章	冲积环境层序地层学	(192)
第一节	冲积地层中层序边界的识别	(192)
第二节	冲积地层的“最大海泛面”的识别	(193)
第三节	冲积地层中的体系域特征	(193)
第四节	河流环境中的准层序划分	(196)
结束语		(199)
参考文献		(200)

第一篇

层序地层学基本原理

第一章 绪 论

第一节 层序地层学的发展简史

一、概念的提出

“层序”作为一种以不整合面为界面的地层单位,早在 1948 年就由 Sloss 提出了。因此,“层序”从研究的时间上看并不是一个新概念。

但是,以“层序”为地层单元来研究地层是一个新的阶段。Sloss(1963)在北美克拉通晚前寒武纪至全新世地层之间,以区域不整合为界划分出六大地层单位,并称这些地层单位为“层序”,并用“层序”作为实际工作中的实用地层单位进行制图。尽管“层序”概念的提出为层序地层学奠定了基础,但 Sloss 的观点在 20 世纪 50 年代、60 年代,乃至 70 年代仅为极少数人所接受。

二、地震地层学阶段

P. R. Vail 等 1977 年在第 26 集 AAPG (Association of American Petroleum Geology)杂志上发表了地震地层学论文集,这是层序地层学的萌芽阶段。在论文集中,作者们提出并强调了海平面升降的概念,并认为大多数地质学家普遍见到的旋回性沉积作用基本上或完全受全球性海平面升降变化的控制,为层序地层学的诞生播下了种子。

以后至 1987 年的 10 年间,P. V. Vail 和埃克森(Exxon)石油公司的学者们在一系列论文中,又对层序作出精确的分析、修改和扩展。Mitchum 把“层序是由不整合面为边界的地层单元”扩展为“层序是由有内在联系的相对整合的地层序列所组成的地层单位,而它们的顶、底界面为不整合面或与之相对应的整合面”。

P. R. Vail 在另外两个重要方面修改了 Sloss(1963)对层序的应用。首先 Vail 和 Mitchum 的层序比 Sloss(1963)的层序所包括的时间更短。他把最初的 6 个克拉通层序进行了重要的次级划分。这样,Sloss 的层序便成为艾克森旋回图上的超层序。其次,Vail 提出了海平面升降作为层序演化机理的主导因素。这一观点已经引起很多的争论。

此间 10 年可称为层序地层学的孕育阶段。这 10 年间,地震地层学的迅速发展和成熟为层序地层学的诞生奠定了基础。1987 年,P. R. Vail 及 J. C. Wagoner 在 AAPG 上发表的论文中明确使用了“层序地层学”这一新的概念。

1. 地震层序的划分

地震地层学是由地震资料向地层学解释迈出的重要一步。地震层序的划分是联系地震分层和地质分层的桥梁。地震层序的划分使得利用地震资料进行地层研究和沉积学研究成为可能。

地震地层学应用反射波的终止或消失现象划分层序。这些反射终止现象可划分为削蚀、顶超、上超和下超。一个理想的地震层序内的反射终止现象见图 1-1 及图 1-2。

2. 地震层序的分级

按照地震层序规模的大小,可把沉积层序详细划分为三级,即超层序、层序和亚层序。

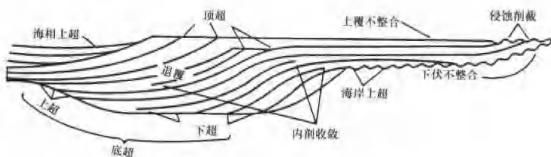


图 1-1 地震层序内部反射终止示意图

(据 Brown, 1979)

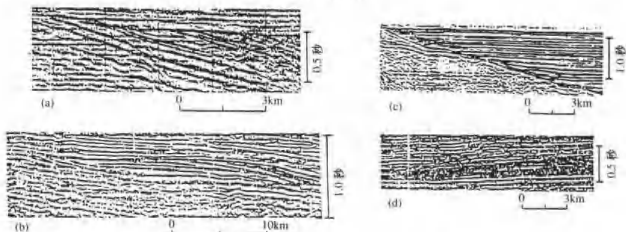


图 1-2 地震剖面中的削蚀、顶超、上超和下超现象

(据 Mitchum, 1977)

(a) — 削蚀; (b) — 顶超; (c) — 上超; (d) — 下超

(1) 超层序, 从水域最大到最小时期沉积的地层层序。它往往是区域性的, 并包括几个层序。据 Vail 等分析, 大部分超层序是在海面相对变化的二级周期(超周期)期间沉积的。

(2) 层序, 是超层序中的次一级地层单元, 水域相对扩大和缩小, 它可以是区域性的, 也可以是局部的。

(3) 亚层序, 层序中最小一级地层单元, 它可以是局部的或三角洲的一个朵叶。

3. 海平面周期性变化的意义

任何长期从事地质工作的人都有这样的经历, 他们在野外露头剖面中, 经常看到规模不等的具有某种规律性重复出现的岩性剖面。他们在测井曲线中, 经常看到某些规律性的电性重复。“旋回”、“韵律”已经成为地质人员的常识。此外, 地史学还告诉人们, 奥陶系全球广泛发育的碳酸盐岩, 石炭系、二叠系广泛发育的煤层, 白垩系广泛发育的海相沉积和深水湖相沉积都不是偶然的。它寓意着全球在显生宙时期存在着某种起支配作用的构造运动、海平面变化、气候变化、生物的变异以及相伴生的沉积环境变化。

造成这种周而复始, 略带重复性变化的基本起因众说纷纭。Grabau(1938)提出地球脉动说。南斯拉夫数学家 M. Milankovitch(1940)提出, 地球运动轨道参数和地轴倾角的周期性变化, 引起太阳辐射的周期性改变, 并导致全球性气候的周期性变化和冰川的多次出现(即 Milankovitch 频率)。近年来对更新统沉积物的同位素年龄测定, 证实了他的结论。著名海洋地质学家 R. W. Fairbridge(1961)认为, 冰川的消长、洋盆形态的变化以及极地迁移

是引起全球海平面升降和气候变化的起因。T. M. Guidish 等人(1984)认为,海平面的变化起因于:(1)冰川和消冰作用;(2)海底扩张速度的变化;(3)海水被从大陆剥蚀下来的沉积物所排替;(4)大型盆地的干涸或水淹;(5)局部或区域性板块运动。除此之外,还有许多其他的说法和地球体积的胀缩变化说(E. E. Мидаиовский, 1989)等。尽管说法不同,有一点却是肯定的,即地质历史中,全球性海平面确实发生过周期性变化,并伴随着周期性全球气候变化。由于我们研究的是沉积物,而沉积物的产生与变异总是和水体密切相关。因此,在构造沉降、气候变化、洋盆容积的改变,冰川的消长,地球体积的胀缩变化,全球性绝对海平面的升降等因素中,反映这诸多变化中的最敏感因素是相对的海平面升降变化。

4. 海平面相对升降周期曲线和地层框架图的编制

地质人员早就采用过反映古水深和古环境的古生物、岩石、矿物、化学元素标志研究海平面的变化,但一般来说都是定性的。直到 1977 年, Vail 等人才正式提出一种利用地震剖面中反射界面上超点的转移幅度研究海平面升降的半定量方法,我们可以称它为“上超点法”,其作法见图 I-3。图中(a)代表由地震剖面解释得来的地层横剖面,其中包括 5 个层序,

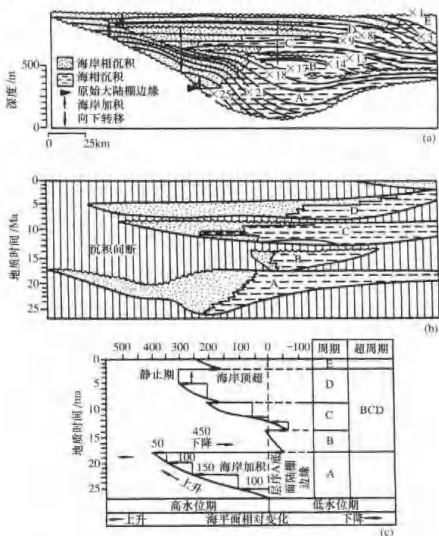


图 I-3 海平面升降周期曲线及年代地层框架图的编制

(据 Vail 等, 1977)

(a) — 地层横剖面, (b) — 年代地层图, (c) — 海平面相对变化周期的区域性图

各层序之间具有上超、下超、顶超、削截等接触关系。图中“×21”代表“×”处地层的同位素年龄为21Ma。图(b)为同一剖面的年代地层剖面,或叫年代地层框架,用以表示各地层层序的时空分布,图中竖线区代表沉积间断。图(c)为海平面升降周期曲线(或上超点曲线),其纵坐标为地质时间(以距今Ma计),横坐标为上超点向上或向下转移的垂向幅值,由构造横剖面中量出,用以代表海平面的相对升降。横坐标中的零值取原始的陆棚边缘高程或者取现代的平均海平面高程。图中根据图(a)将地层划分为3个超周期(A、BCD和E)、5个周期(A、B、C、D、E)。

Vail 等人(1977)利用上述原理,根据世界各地的资料(包括地震、古生物、占地磁、同位素年龄测定资料),编制出显生宙以来一、二级海平面升降周期曲线和中生代以来的三级周期曲线。图1-4为显生宙以来全球性海平面相对升降周期曲线。图中右侧为二级周期曲线,共14个周期,每个周期的持续时间为10Ma至80Ma。左侧为由二级曲线平滑得来的一级曲线,共两个周期,每个周期延续时间2至3亿年。

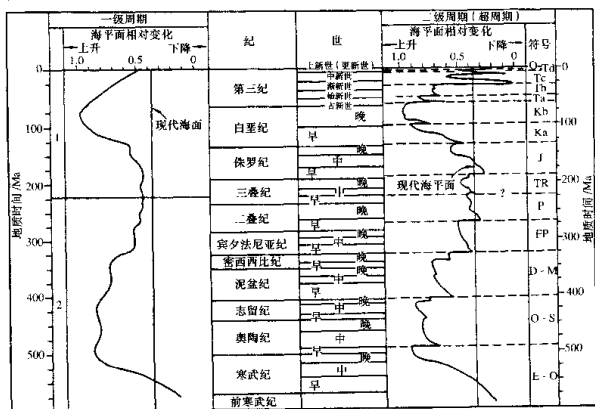
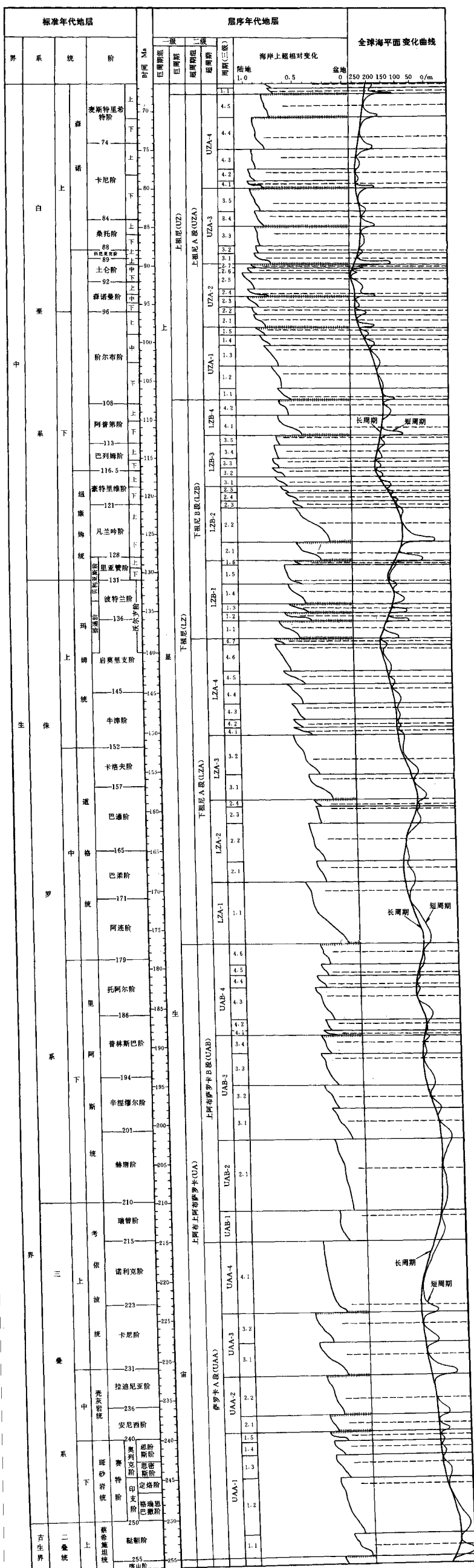


图1-4 显生宙时期的一级和二级全球性海平面相对变化周期
(据 Vail, 1977)

当 Vail 等人(1977, 实际上是20世纪60年代)把上述理论和曲线推出之后,引起了地质界内一场轩然大波。但是多数人认为,“总的结论是正确的,问题在于过分简单和对细节研究得不够”。

在以后的10年中,Vail 等人在汲取别人的批评性意见的同时,致力于对更多的露头、测井、海洋地质及地震资料的研究,进一步完善了原有的理论与概念,推出了第二代 Vail 曲线,并提出了一门新的学科——层序地层学。图1-5为三叠纪以来的新的海平面升降周期曲线(Haq 及 Vail 等,1987)。新的 Vail 曲线有以下特点。

图 1-5 中生代海平面相对周期曲线简化图



(据 Vail 等, 1987)

注: 最右两栏, 横实线为层序边界(面), 横虚线为最大海泛面界面。