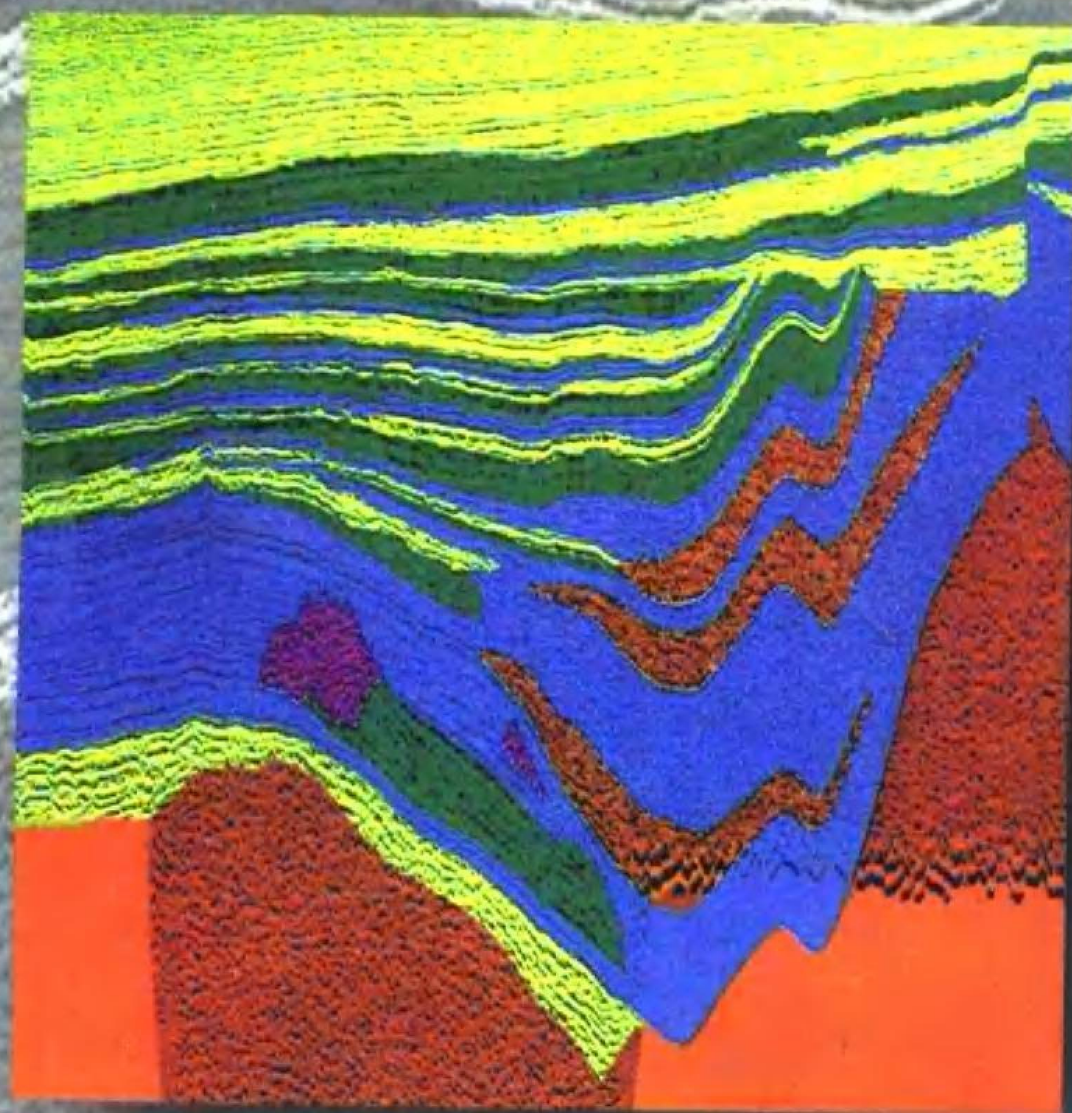
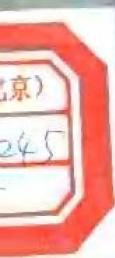


层序地层学及其在塔里木盆地 石炭系研究中的应用

熊继辉 贾承造 王毅 纪友亮 田海芹 编著



石油工业出版社



登录号	89375
分类号	
种次号	

层序地层学及其在塔里木盆地

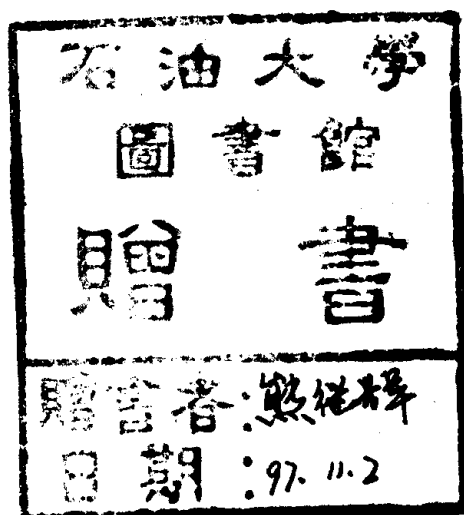
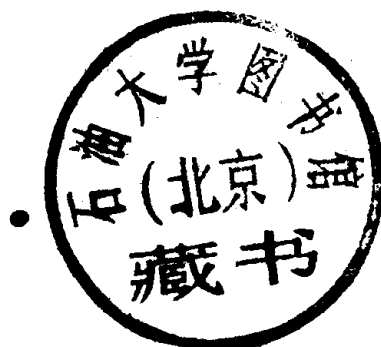
石炭系研究中的应用

5422/19

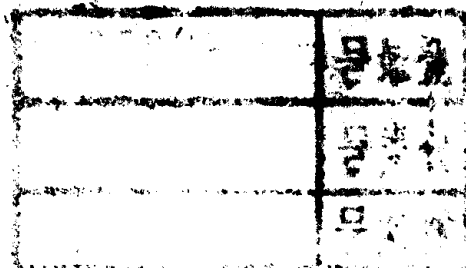
熊继辉 贾承造 王 毅 编著
纪友亮 田海芹



00931359



石油工业出版社



内 容 提 要

本书在“塔里木盆地东部石炭系层序地层学研究”成果的基础上,结合近年来国外在层序地层学研究领域的最新进展,全面系统地总结了在内陆陆表海沉积为主的盆地内,综合运用野外露头,地震、测井及井下地质资料,进行层序地层学分析的研究方法。

本书可供地质工作者、科研人员参考,也可作为高等学校有关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

层序地层学及其在塔里木盆地石炭系研究中的应用/熊继辉等编著.

北京:石油工业出版社,1996.12

ISBN 7-5021-1735-0

I. 层…

II. 熊…

III. 地层层序-地层学-应用-石炭系,塔里木盆地-研究

IV. P534.45

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第07966号

石油工业出版社出版

(100044北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 12印张 1插图 230千字 印1—1000

1996年12月北京第1版 1996年12月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-1735-0 / TE·1477

定价:20.00元

前 言

层序地层学是近年来发展起来的新学科，其基本概念及基本理论是由 P. R. Vail 等人于 1987 年在地震地层学基础上首次提出，着重研究在不同海平面升降旋回阶段中，层序内成因上相互关联的地层型式，其特点是在深入、详尽地使用了地震、测井、岩心和地面露头等资料基础上建立沉积盆地的等时地层格架，然后再把相和沉积体系放在统一的地层格架中进行研究，因而所总结的地层分布模式，对盆地充填的三维构成及盆地生储盖组合的时空展布有很强的预测性。所以层序地层学是进行沉积盆地分析的一种重要有效的方法和手段。

本书除吸收了近年来国外层序地层学研究领域的最新成果外，主要是对石油大学与塔里木石油勘探指挥部地质研究大队承担的国家“八五”重点科技攻关项目四级专题《塔里木盆地东部石炭系层序地层学研究》科研成果进行的总结与提高。它从理论和实践的结合上论述了层序地层学的原理和研究方法，从塔里木盆地实际情况出发，系统地总结了在内陆陆表海沉积为主的盆地内运用野外露头、地震、测井及井下地质资料进行层序地层学分析的研究方法。所以本书又是把层序地层学应用于我国内陆陆表海沉积为主的盆地的科研方法总结，因此可作为高等院校有关专业层序地层学的教材及地质研究专业人员的参考书。

全书分绪论、第一篇、第二篇三部分。绪论简要阐述了层序地层学的发展简史，研究现状及评价；第一篇主要介绍了层序地层学的基本理论和研究方法；第二篇是层序地层学原理在塔里木盆地石炭系研究中的具体应用。

全书除绪论外，共分十二章。绪论由贾承造执笔；第一章、第五章、第十二章由熊继辉执笔；第二章、第三章、第六章、第八章由王毅执笔；第七章、第九章、第十一章由纪友亮执笔；第四章、第十章由田海芹执笔。全书最后由熊继辉、贾承造定稿。另外，参加《塔里木盆地东部石炭系层序地层学研究》课题研究工作的还有姜在兴、谢传礼、操应长和李红南等；同时，在课题进行过程中，得到总公司科技局有关领导、塔里木石油勘探指挥部地质研究大队领导及石油大学领导的支持和帮助，尤其是塔里木石油勘探指挥部地质研究大队的同事们自始至终地大力支持和热心帮助，在此一并表示衷心地感谢。由于水平有限及综合多种资料对内陆以陆表海沉积为主的盆地进行全面系统的层序地层学研究尚属首次，不妥之处，敬请指正。

作者

1995.8.5

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 层序地层学原理及研究方法

第一章 层序地层学基本原理	4
---------------------	---

第一节 基本内容	4
----------------	---

一、层序地层学的定义	4
------------------	---

二、层序地层学的理论基础	4
--------------------	---

三、层序地层学的基本地层模式	5
----------------------	---

四、基本术语与基本概念	7
-------------------	---

第二节 全球性海平面升降周期与层序级次	11
---------------------------	----

一、全球性海平面变化周期	11
--------------------	----

二、巨周期与巨层序	13
-----------------	----

三、超周期与超层序	14
-----------------	----

四、三级周期与（三级）层序	15
---------------------	----

五、四级、五级周期与四级层序、准层序和复合层序	15
-------------------------------	----

第三节 层序地层学物理地层单位划分系统	17
---------------------------	----

一、纹层、纹层组、岩层和岩层组	17
-----------------------	----

二、准层序、准层序组和体系域	18
----------------------	----

三、层序、超层序和巨层序	19
--------------------	----

第二章 层序地层学研究方法	21
---------------------	----

第一节 层序地层学研究基础	21
---------------------	----

一、区域地质背景分析	22
------------------	----

二、构造沉降分析	22
----------------	----

三、物源分析	23
--------------	----

第二节 层序地层学研究手段与方法	24
------------------------	----

一、野外露头层序地层分析	24
--------------------	----

二、钻井资料层序地层分析	24
--------------------	----

三、地震资料综合分析	28
------------------	----

第三节 全球性海平面升降分析	37
----------------------	----

一、测量大陆边缘沉积物上超幅值估算海平面变化幅值	37
--------------------------------	----

二、海平面升降曲线的编制	37
--------------------	----

第四节 可容空间（相对海平面）分析	41
-------------------------	----

一、可容空间的控制因素	41
-------------------	----

二、可容空间、沉积物堆积速率及水深（沉积相）的关系	42
---------------------------------	----

三、可容空间变化对沉积地层分布型式的影响	43
----------------------------	----

第三章 碎屑岩层序地层学	48
第一节 碎屑岩沉积地层型式	48
一、沉积控制因素	48
二、水流平衡剖面与海平面变化的关系	48
三、沉积地层型式	50
第二节 准层序与准层序组	53
一、准层序及研究内容	53
二、准层序组及研究内容	59
第三节 层序与体系域	63
一、层序类型及层序边界	63
二、I类层序的地层分布模式	63
三、II类层序的地层分布模式	65
四、体系域及特征	66
五、最大海泛面与密集段（或缓慢沉积层段）的特征	68
六、层序边界的识别与对比	69
第四章 碳酸盐岩层序地层学	75
第一节 碳酸盐岩地层分布模式	75
一、沉积背景	75
二、沉积控制因素	76
三、地层分布模式	77
第二节 碳酸盐岩沉积相带划分	79
一、潮上一潮间坪相	79
二、潮下浅海陆棚相	79
三、台地或滩边缘相	80
四、前缘斜坡相	80
五、盆地相	80
第三节 层序边界特征	81
一、I类层序边界	81
二、II类层序边界	82
第四节 体系域特征	83
一、高水位体系域的特征	83
二、低水位体系域和海侵体系域的特征	84
第五章 层序地层学与油气勘探	87
第一节 海侵体系域和密集段石油地质特征	87
一、海侵体系域储层特征	87
二、海侵体系域石油地质特征	89
三、密集段石油地质特征	89
第二节 高水位体系域石油地质特征	90
一、储层特征	90
二、石油地质特征	90

第三节 低水位体系域石油地质特征	91
一、盆底扇石油地质特征	91
二、斜坡扇石油地质特征	91
三、进积复合体(低水位楔)石油地质特征	92
四、陆棚边缘体系域石油地质特征	93

第二篇 层序地层学在塔里木盆地石炭系研究中的应用

第六章 研究区地质背景	94
第七章 巴楚露头区石炭系层序地层学研究	96
第一节 野外露头剖面的测量和层序地层格架分析	96
一、野外露头剖面的测量	96
二、层序地层格架分析	98
第二节 体系域划分及其特征	100
一、各层序体系域的划分	100
二、第Ⅰ层序各体系域特征	100
三、第Ⅱ层序各体系域特征	101
四、第Ⅲ层序各体系域特征	102
五、第Ⅳ层序各体系域特征	103
第三节 巴楚露头地层中元素地球化学特征及稳定同位素分析	104
一、地层中元素的地球化学特征	104
二、稳定同位素分析	105
第八章 塔里木盆地东部地区石炭系地震资料层序地层学研究	109
第一节 地震层序及体系域的识别标志	109
一、地震层序的概念	109
二、体系域的概念	109
三、地震层序及体系域的识别标志	109
第二节 地震剖面上层序及体系域的划分	110
一、地震剖面上层序及体系域的划分	110
二、石炭系各地震层序中未识别出低水位体系域的原因	110
第三节 地震地质层位标定	112
第四节 各层序、体系域边界的识别和确定	114
一、确定层序边界、划分层序	114
二、确定体系域边界、划分体系域	115
第九章 塔里木盆地东部地区石炭系岩心及测井资料层序地层学分析	117
第一节 单井层序地层学分析	117
一、TZ4 井单井层序地层学分析	117
二、LN59 井单井层序地层学分析	122
第二节 全区层序地层学格架的建立	124
一、石炭系底界(第Ⅰ层序底界)的识别标志	125
二、第Ⅱ层序底界的特征	125

三、第Ⅲ层序底界的特征·····	126
四、第Ⅳ层序底界的特征·····	126
五、第Ⅴ层序的顶、底界·····	126
第三节 体系域类型及其识别·····	127
一、体系域边界的识别·····	127
二、体系域划分及类型确定·····	129
三、4种体系域的沉积体系组合及形成模式·····	129
第四节 准层序类型及其组合方式·····	132
一、准层序类型·····	132
二、准层序组的组合方式·····	134
第十章 剖面对比层序地层学分析·····	136
第一节 野外露头、地震及钻井层序之间的关系·····	136
一、野外露头、地震剖面 and 钻井资料识别的层序·····	136
二、野外露头、地震及钻井层序间的关系·····	137
第二节 剖面层序地层学对比及相变特征·····	137
一、第Ⅰ层序的剖面对比及相变特征·····	137
二、第Ⅱ层序的横向对比及相变特征·····	139
三、第Ⅲ层序的横向对比及相变特征·····	139
四、第Ⅳ层序的横向对比及新“组”的建立·····	140
五、第Ⅴ层序的横向变化特征·····	140
第十一章 各体系域的沉积体系类型及展布特征·····	141
第一节 地震相分析·····	141
一、CI层序海侵体系域(CI _{TST})地震相的类型及分布·····	141
二、CI层序高水位体系域(CI _{HST})地震相的类型及分布·····	142
三、CII层序海侵体系域(CII _{TST})地震相的类型及分布·····	144
四、CII层序高水位体系域(CII _{HST})地震相的类型及分布·····	145
五、CIII层序陆棚边缘体系域(CIII _{SMST})地震相的类型及分布·····	145
六、CIII层序海侵体系域(CIII _{TST})地震相的类型及分布·····	146
第二节 各体系域的沉积环境及沉积体系分析·····	147
一、地震相沉积环境解释的方法和手段·····	147
二、各体系域沉积环境及沉积体系分析方法·····	148
第三节 第Ⅰ层序沉积环境及沉积体系分析·····	149
一、海侵体系域的沉积环境及沉积体系分析·····	150
二、高水位体系域沉积环境及沉积体系分析·····	152
第四节 第Ⅱ层序沉积环境及沉积体系分析·····	154
一、低水位体系域·····	155
二、海侵体系域·····	155
三、高水位体系域·····	156
第五节 第Ⅲ层序沉积环境及沉积体系分析·····	156
一、陆棚边缘体系域沉积环境及沉积体系组合·····	157

二、海侵体系域沉积环境及沉积体系分析·····	158
三、高水位体系域沉积环境及沉积体系分析·····	158
第六节 第Ⅳ层序沉积环境及沉积体系分析·····	158
一、低水位体系域·····	158
二、海侵体系域沉积环境及沉积体系组合·····	160
三、高水位体系域沉积环境及沉积体系组成·····	160
第七节 第Ⅴ层序沉积环境及沉积体系分析·····	160
一、陆棚边缘体系域沉积环境及沉积体系·····	161
二、海侵体系域沉积环境及沉积体系分布·····	161
第八节 利用地球化学特征进行沉积判别·····	162
一、地层中元素的地球化学特征·····	162
二、稳定同位素分析·····	164
三、利用 $\delta^{18}\text{O}$ 判断成岩环境和成岩温度·····	167
第九节 塔里木盆地石炭纪沉积发育史·····	168
一、第一次大规模海侵使沉积物对沉积基底填平补齐·····	168
二、第二次海侵在地形平坦的背景上形成了分布稳定的地层·····	168
三、短暂的海退形成了Ⅱ类层序边界和陆棚边缘体系域·····	169
四、第四次海侵在西北高东低的背景下开始沉积·····	169
五、第Ⅴ层序沉积期是石炭纪以来最大的海侵期·····	170
第十二章 塔里木盆地东部地区石炭系油气藏预测·····	171
第一节 有利生油凹陷的确定·····	171
一、石炭系生油岩厚度的分布·····	171
二、有机质类型、丰度及演化特征·····	172
三、主要生油凹陷的确定·····	174
第二节 储层的展布及成岩演化特征·····	174
一、储层的展布特征·····	174
二、储层的成岩作用特征·····	175
三、储层储集空间类型·····	176
第三节 有利的生储盖组合及油气运移通道·····	177
一、盖层的展布特征·····	177
二、有利的生储盖组合·····	178
三、区域油气运移通道·····	178
第四节 地层岩性圈闭预测及勘探方向建议·····	178
一、第Ⅰ层序地层岩性圈闭预测·····	178
二、第Ⅱ层序地层岩性圈闭预测·····	179
三、第Ⅲ层序圈闭类型及分布·····	179
四、第Ⅳ层序地层岩性圈闭预测·····	179
五、第Ⅴ层序圈闭类型及分布·····	179
六、有利勘探区预测·····	180
主要参考文献·····	181

绪 论

层序地层学是近十年来在震地层学基础上发展起来的一门新的学科,隶属地层学的一个分支。它一诞生,就引起了地质界的极大关注。国外已发表了许多有关层序地层学的论文和专著,国内近几年也开展了大量的层序地层学研究和探讨。本文即是作者在承担国家“八五”重点科技攻关项目《塔里木盆地东部石炭系层序地层学研究》期间,借鉴国外层序地层学原理和方法,结合塔里木盆地石炭纪地层的实际情况,对层序地层学在我国海相地层中的应用方法进行的系统总结。

1. 层序地层学发展简史

以不整合面为边界的层序,其概念由来已久。早在1948年Sloss就提出了“层序”一词,并在北美克拉通内部盆地的地层对比研究中(1963),以一些重大的区域性不整合面为边界划分出六大地层单位,他称这些地层单位为“层序”。并将“层序”定义为“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,并且以区际的不整合面为界”。他还认为这样一些层序具有年代地层学意义。然而,由于这样的层序单位所代表的时间跨度太大,不能满足详细分层对比的需要,再加上受当时技术条件的限制,未能得到深化和推广。这一时期可算作层序地层学的萌胎阶段。

震地层学的出现,为Sloss的概念打开新的领域。P. R. Vail、R. M. Mitchum、J. B. Sangree等的震地层学理论在1977年第26集AAPG震地层学论文集上的发表,标志着层序地层学已进入了孕育阶段——震地层学阶段。这是层序地层学建立的重要阶段。在一系列专题的论文中,专家们提出了海平面升降的概念以及相应的应用于由地震反射数据记录的以不整合面为边界的地层型式。Vail等扩展了Sloss的层序的概念,把它定义为:“一套相对整合的、成因上有联系的地层序列,其顶和底以不整合或与这些不整合可以对比的整合为界”。这个定义在两个方面修改了Sloss(1963)对层序的应用。首先Vail等的层序比Sloss的层序包括的时间更短,他们把最初的6个克拉通层序进行了主要的次级划分,这样Sloss的层序成为Vail等所划分层序地层单位系统中的超层序。其次,是指明层序内的地层序列有成因联系,即提出了海平面升降作用作为层序演化机理的主导因素。从此,层序作为一种可行的、以不整合为边界的年代地层学单位,为进行地层学分析产生了一次重大的飞跃。

尽管震地层学理论代表了层序应用发展历史过程中的重大一步,初步解决了层序形成问题,但对层序内部地层的彼此关系并未完全解决,并且主要应用于地震资料范围内的盆地分析。在此后的十年中,Vail等人在吸取别人意见的同时,致力于更多的露头、测井、海洋地质及地震资料的研究,进一步修改完善了原有的理论和概念。1987年,P. R. Vail及J. C. Wagoner在AAPG上发表的论文中首次明确使用了“层序地层学”这一新的概念。在层序概念的基础上将每个层序内部,依照海平面的下降、上升,划分为三个体系域(低水位或陆棚边缘体系域、海侵体系域和高水位体系域)。同时把每一个体系域内部进一步划分出更次一级的单位——准层序,并提出了被动大陆边缘典型层序的沉积和地层分布模式以及一系列有关的新的概念和术语。从而确立了层序内部地层的分布规律及成因联系,为地层划分提

出了一个重要的手段和依据。

1988年, J. C. Wagoner主编了SEPM层序地层学特刊, P. R. Vail及J. B. Sangree主编了“层序地层学工作手册”和“层序地层学基础”。这些著作的问世标志着一门新的学科——层序地层学诞生了。之后有关层序地层学的论文数量大增, 进入了层序地层学发展阶段。

2. 对层序地层学的评价

许多地质学家都对层序地层学给予极高的评价。例如Brown (1990)认为层序地层学是“地层学领域正在进行的一场革命”。Cross等(1987)认为层序地层学是“地质学领域不亚于板块学说的一场革命”, “一切与沉积有关的学科都要重新进行研究, 重新受到重视, ……大量问题正在涌现。”并认为它是“把地质学从定性转变为定量科学的推动力”。

如何看待层序地层学的重大意义, 徐怀大教授概括为7个方面:

1) 通过构造、海平面升降、物源和气候四大主要因素的综合分析, 首次对地层的形成从成因分布规律上加以分析, 把地层学从描述性科学推进到理论性科学阶段, 把地层划分从年代、生物、岩性的3种划分标准统一到年代地层单位上来, 减少了地层划分上的矛盾, 为全面深入地研究全球地质发展史开拓了宏伟前景。

2) 初步提出了全球统一的、按成因划分的新地层表, 将逐步消除世界各地地层划分、对比中的混乱现象。

3) 为建立显生宙以前古代的全球统一划分方案提供了有力的手段和可能性。

4) 为不同级别的地层(超层序、层序、体系域、准层序等)、不同级别地质界面(不整合面、沉积间断面、沉积间歇面)的划分提供了更科学的依据。

5) 据Haq曲线(1987, 第二代Vail曲线)统计, 三叠纪以来, 共有53个传统分阶和120个层序, 说明层序的划分比传统分阶要详细得多。在尚未公布的古生代海平面升降曲线中(1989, Exxon公司), 共有45个阶和127个层序, 其中31个阶的界面与层序界面不一致。目前我们虽然还不能说这些层序边界都是很精确的或者正确的, 但至少可以说, 所有过去地质研究中的地层划分、对比、构造分析、盆地发育史分析、岩相古地理分析, 都有必要重新进行研究, 原有的一些地质结论, 都有必要重新审查。

6) 提高预测能力。全球性或者区域性地层时空格架的形成, 极大地提高了地质人员根据地面、钻井, 特别是地震资料预测地层年代、体系域及相带分布的能力。由于某些沉积矿产与某些特定的体系域、特定体系域中的特定相带以及特定的界面有成因上的联系, 也极大地提高了地质人员对沉积矿产(包括油气)有利区带的预测能力。它们与地震地层学后期工作相结合, 构成一个完整的油气和其他沉积矿产勘探的系统工程。

7) 经过露头、钻井和测井资料确定了地震反射地质属性的高分辨率地震剖面, 在某些情况下, 配合经过特殊处理的地震剖面或三维地震资料, 为地层划分、地层对比、构造分析、盆地发展史分析、岩相古地理分析、有利油气藏的形成和其他沉积矿产的区带以及油气藏和其他沉积矿床钻前预测质量提供了基础, 它将推动地质科学从定性转变到定量水平, 它将极大地推动地质科学包括成矿理论的发展。

我们也应看到, 对层序地层学做了重要贡献的Vail突出强调了全球性海平面变化对沉积层序的控制, 这一点在许多地质学家中引起了争议。近期的文献在注意海平面变化影响的同时又强调了构造作用, 特别指出高级别的层序单元主要受构造运动的控制, 而较低级别地层中海平面变化带来的影响更为迅速, 因此居于主要地位。同时, 地体的碰撞或板块内部应

力机制的变化,也可能导致三级周期的周期性变化,不能与海平面升降变化混淆。所以,如何将构造运动与海平面升降变化影响分开,还是今后相当长一段时期的重要任务。

3. 层序地层学原理在塔里木盆地石炭系研究中的应用

层序地层学着重研究在不同海平面升降旋回阶段中层序内成因上相互关联的地层型式,它与地震地层学和传统的沉积学相比有两大特点:一是深入、详尽地使用了地震、测井、岩心和地面露头等资料;二是它所总结的沉积模式具有三维空间的立体概念,其地层解释对盆地生储盖组合的时空展布有很强的预测性。其基本观点是:①地层单元的几何形态和岩性受全球性海平面升降、构造沉降、沉积物供给及气候四大参数的控制;②全球性海平面升降及构造沉降与相对海平面位置之间的关系是互为因果关系;③相对海平面升降旋回的不同阶段产生不同的体系域,体系域是控制沉积体系及岩相发育与分布的基本地层单元。可以说按层序地层学的观点,无论地质情况多么复杂,所形成的地层型式都是在四大参数控制下表现在与相对海平面升降旋回阶段相对应的、时空展布上有规律的沉积体系组合。它们能够根据地震、钻井和露头资料以及有关的沉积环境和岩相资料,以层序、体系域及准层序等地层单元划分为基础,对各地层单元的地层型式作出综合解释,从而得出沉积环境及有关岩相的分布,这是层序地层学研究的基本方法和程序。依照上述理论及研究程序,结合研究区的具体情况,我们分别从地面野外露头、地震、测井、岩心及岩屑等钻井资料的分析,对研究区的石炭系进行了全面的层序地层学综合研究。所做的主要工作及成果主要体现在以下几个方面:

1) 在综合大量地面地质、地震、井下地质及测井资料的基础上,对研究区石炭系剖面进行了三级及四级层序、体系域、准层序组及准层序的详细划分。

2) 发现并确立了巴楚小海子地区泥盆系与石炭系存在平行不整合及卡拉沙依组(第Ⅱ、Ⅲ层序)与小海子组(第Ⅳ层序)间存在有重大沉积间断。

3) 运用对比地质学原理,通过巴楚小海子地区石炭系露头剖面与盆内研究区石炭系剖面对比,提出小海子地区石炭系缺失相当盆内第Ⅵ层序的论断,并将盆地内部原划分为相当卡拉沙依组的上部地层(Ⅳ层序)定名为吉拉克组。

4) 以体系域为地层单元分析并确定了各体系域内主要沉积体系、沉积相及形成环境。

5) 恢复了石炭纪各期古地理、古环境、古气候、主要物源方向和海侵方向。

6) 综合多种资料,分析归纳了井下高分辨率层序地层学分析的方法和模式。

7) 研究总结了石炭纪(相对)海平面升降变化规律,分析并确立了研究区石炭纪沉积演化史及其控制因素。

8) 确立了研究区石炭系生储盖组合的时空分布规律及石油地质特征,评价了研究区有利勘探目标。

第一篇 层序地层学原理及研究方法

第一章 层序地层学基本原理

层序地层学是地层学的分支，它利用成因上有联系的地层组成的沉积层序序列，把岩石记录划分为区域和区域间可以对比的单元。

第一节 基 本 内 容

一、层序地层学的定义

层序地层学是在地震地层学的基础上提出的，主要讨论海平面升降周期不同阶段（高水位、低水位和海侵期）形成的沉积序列。据 P. R. Vail 和 J. B. Sangree (1988) 定义，层序地层学是根据“地震、钻井和露头资料以及有关的沉积环境和岩相特征对地层分布模式（地层型式）作出综合解释。层序地层学的解释过程将建立起一个旋回式的、在成因上有联系的年代地层格架（Chronostratigraphic Framework），这些地层以侵蚀作用或者无沉积作用造成的不连续面为界，或者以与这些不连续面可以对比的整合面为界。在这个年代地层格架中，其解释过程得出沉积环境及其有关的岩相分布。这些岩相单元可以是以层面为界的等时段，也可以是以斜穿层面的穿时段方式产出。”也就是说层序地层学是研究以侵蚀面或无沉积作用面，或者与这些面可以对比的整合面为界的、旋回式的、成因上有联系的年代地层格架内的岩石关系。层序地层学的基本地层单位是层序。恢复地层演化过程及空间分布格局是其主要目的。

二、层序地层学的理论基础

层序地层学中主要有 4 个最基本的变量，它们控制了地层单元的几何形态、沉积作用和岩性，这 4 个变量分别是：①构造沉降；②全球性海平面升降；③沉积物供给；④气候。它们对地层发育分别起着不同的控制作用。表 1—1 概述了这些变量及其对沉积的主要控制作用。其中，构造沉降速率、全球性海平面升降速率和盆地的沉积物供给速率这三个变量控制

表 1—1 层序沉积的控制作用

变 量	控 制 作 用
构造沉降	可供沉积物沉积的空间
全球性海平面升降	地层和岩相分布模式
沉积物供给	沉积充填和古水深
气 候	沉积物类型

了沉积地层的几何形态；构造沉降速率和全球性海平面升降速率这两个变量控制了可供沉积物沉积的可容沉积空间的大小。

构造沉降和全球性海平面升降与海平面相对于盆地边缘的位置之间的关系是互为因果关系，这种因果关系就是层序地层学的理论基础。

P. R. Vail 等把层序的形成和全球性海平面变化相联系，认为一个沉积层序的顶、底界的形成直接受全球性海平面变化所形成的不整合控制，从而使层序地层具有全球可对比性。这种突出强调全球性海平面变化对沉积层序的控制，在许多地质学者中引起了争议，近期多数研究者在注意海平面变化影响的同时又强调了构造作用。对某一个地区来讲，这个地区的构造沉降速率和全球性海平面升降速率二者之间的相互影响，导致该地区相对海平面的升降变化。因此现在比较一致的看法是，某一个特定地区的一定层序及其界面的形成并非直接接受全球性海平面变化控制，而与当地的相对海平面变化有关。相对海平面变化除受全球性海平面变化控制外，同时还受当地的构造沉降控制。图 1—1 表示海平面相对于陆棚边缘的关系。若相对海平面低，则沉积物局限于盆地及陆棚边缘区（图 1—1b）；若海平面上升，则沉积一系列上超单元，在这种情况下，平均岸线位置从盆地向外海方向迁移，即陆棚海侵。当海平面上升速度减慢直至静止时，沉积物供给开始使平均岸线位置向盆地方向迁移，即陆棚海退（图 1—1a）。由于盆地边缘陆棚上的海平面位置随时间而变，不难想象，如果盆地的陆棚边缘以均速缓慢下沉，并且陆源碎屑沉积物的供给能够及时充填由于相对海平面变化所腾出的空间，则当海平面上升导致海水越过陆棚时，沉积物开始以海岸上超（Coastal onlap）的形式（海侵形式）逐渐超覆到陆棚边缘上，这一时期称为海侵期，形成的沉积为海侵体系域沉积。随着海平面的继续上升以及上升速率的减缓和停滞，开始出现沉积物（浅海相与非海相）及岸线逐渐向海（盆地）方向推进（前积现象和海退现象），这一时间称为高水位期，由此形成高水位期海退体系域沉积。随后，海平面下降时，如果海平面下降速率大于构造沉降速率，海平面快速下降到陆棚边缘以下，这时陆棚暴露水面，沉积物只能以海岸上超的方式沉积到陆棚边缘以外的盆地内，这一时期为低水位期，形成的沉积物称之为低水位体系域沉积。如果海平面下降速率较小或者略大于构造沉降速率时，海平面仅下降至滨线坡折附近，而没有下降到陆棚坡折以下，这时（外）陆棚出现慢速沉积。这一时期形成的沉积称之为陆棚边缘体系域沉积。

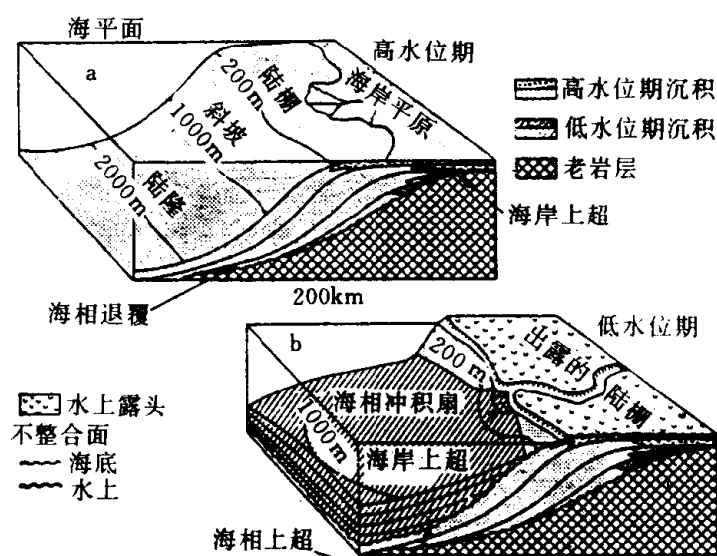


图 1—1 海平面变化相对于陆棚边缘的关系
(据 Vail 等, 1974)

大量的实际资料表明，地质历史中海平面相对于陆棚边缘的升降变化是频繁出现的。因此，必然导致沉积物类型和它们所处的位置在三维空间的有规律的变化，而研究沉积物在三维空间中的展布模式是层序地层学的核心任务。

三、层序地层学的基本地层模式

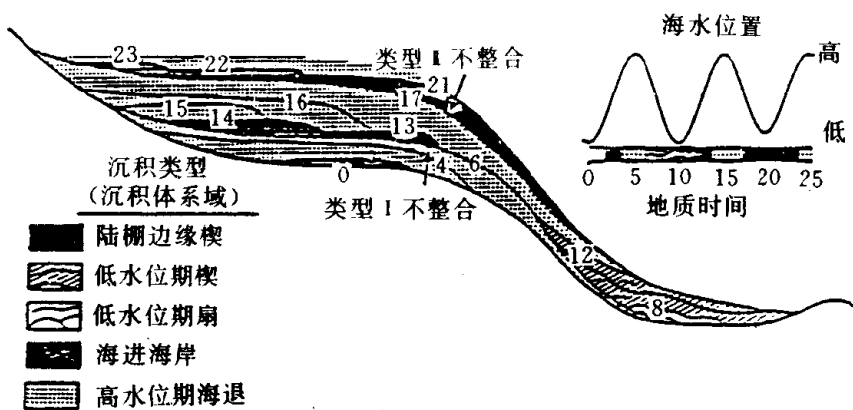


图 1—2 被动沉降大陆边缘背景沉积层序分布模式
(据 Vail 等, 1985)

面升降速率是平稳圆滑的, 如果海平面升降速率不平稳而是突然的变动时, 海岸线的位置也将突然转移, 从而出现复杂的海平面升降周期曲线。如图 1—4 所示。图中从时间 1 到 2, 海平面平稳上升, 时间 1~2 的海侵沉积逐渐向上推进到陆棚, 时间 2~3, 海平面上升速度突然减慢, 造成其沉积海岸线相应地向盆地方向转移; 时间 3~4 海侵恢复; 到时间 5, 已经开始缓慢海退,

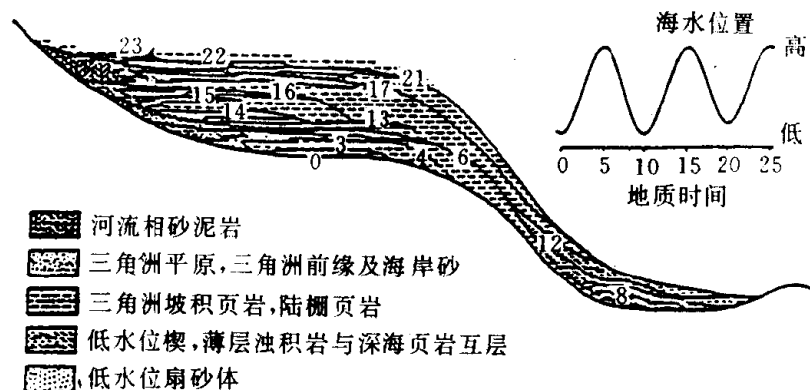


图 1—3 被动沉降大陆边缘背景沉积物类型分布模式
(据 Vail 等, 1985)

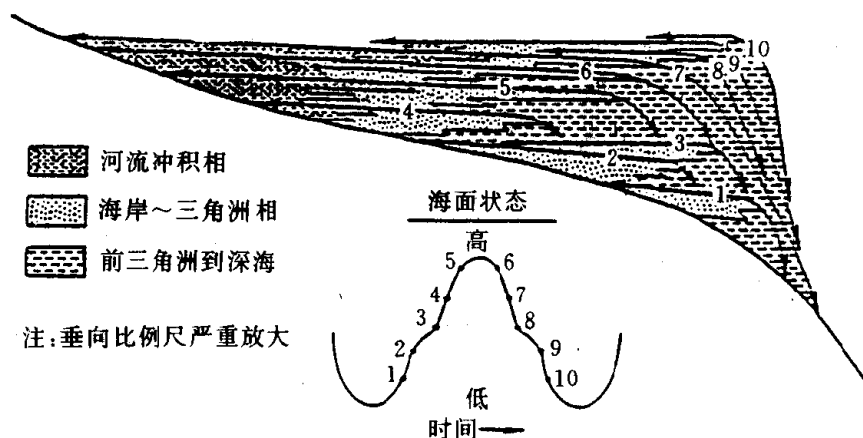


图 1—4 海平面升降速度变化的影响示意图
(据 Vail 等, 1985)

P. R. Vail 等先后提出过几个模式来说明构造沉降、沉积物供给和海平面升降速率三个变量间的关系。图 1—2、图 1—3 为一沉降的被动大陆边缘在周期性海平面升降影响下的沉积层序和沉积物类型的分布模式。图中数字 0 至 25 代表沉积表面的地质时代, 假设海平面变化为规则的两个周期。由图可以归纳出如表 1—2 所示的沉积特征。

图 1—2 与 1—3 中的海平

然后海退加速直到时间 7 左右为止; 时间 7, 海平面开始快速的下降, 海岸线迅速向盆地方向转移, 造成陆棚露出地面; 如果时间 8~9 期间海平面下降速率减慢, 则岸线就停滞在中陆棚部位; 但时间 8~9 期间海平面下降速度是突然减慢, 如果造成短期的海侵, 随着时间 9~10 海平面持续快速下降, 海退又重新开始了。这些海平面升、降短期的突

然变化可能起因于构造沉降速度突然变化，小规模的变化可能与冰川体积变化有关。

四、基本术语与基本概念

层序地层学中建立了一套新的概念和术语，这些术语中有许多在早年地震地层学的文章（Vail 等，1977）中已经提出，随着层序地层学的建立重新给它更准确的含义。

表 1—2 海平面升降周期沉积响应

地质年代	海平面升降状态	岸 线 运 动	沉 积 响 应
1~3	快速上升	形成上超的快速海侵	相对海平面自陆棚边缘开始，相对于陆棚表面迅速上升；陆棚上发育海侵沉积
3~6	缓慢上升，后转缓慢下降	继续上超，但海退开始，尔后加速海退	形成穿越陆棚逐渐展布的三角洲、滨岸、河流、冲积沉积的海退沉积
6~8	快速下降	非常迅速下降至陆棚边缘或其更低部位	由于发育 1 类不整合，河流下切陆棚，沉积物限于深水区，一般为远离陆棚边缘沉积的深水砂、砾流沉积
8~12	缓慢下降后转缓慢上升	岸线位于或靠近陆棚边缘	沉积包括：陆棚边缘三角洲、陆棚中的凹地和峡谷、重力滑动、滑塌及浊积扇。这些沉积充填斜坡并散布于邻近盆地部分
12~14	快速上升	形成上超的快速海侵	类似于 1~3 地质时期，海侵以陆棚上形成最大范围海相楔状体结束。地质时期 14 之后，开始发育（生油）密集段
14~17	缓慢上升，后转缓慢下降	继续上超，但海退开始，尔后加速海退	类似于 3~6 地质时期，海侵继续遍布陆棚，可能最终使三角洲前缘物质沉积于深水区
17~21	快速下降，后为低水位期，再缓慢上升	非常迅速降至中陆棚，并保持在其附近	海退三角洲沉积往中央陆棚、外陆棚推进，若海退规模很大，三角洲前缘物质就可能沉积于盆地斜坡
21~28	快速上升	形成上超的快速海侵	类似于 1~3 和 12~14 地质时期
28~31	缓慢上升，后转缓慢下降	海 退 开 始	类似于 3~6 和 14~17 地质时期

1. 层序 (Sequence)

层序地层学的基本单位是层序，它是一套相对整合的，成因上有联系的，其顶和底面以不整合面或者与这些不整合面可以对比的整合面为界的地层序列。这里层序一词的含义不同于传统上所指的“沉积序列”，而是一种物理地层单元。一个层序是一次一定幅度的海平面变化周期的产物，是在海平面升降周期曲线上相邻两个下降拐点之间沉积的，它由体系域序

列组成。

2. 陆棚坡折与沉积滨线坡折

(1) 陆棚坡折 (shelf break) 陆棚前沿的坡度转折点。该点靠陆一侧陆棚表面的坡度十分平缓, 一般小于 $1/1000$, 而靠海一侧很陡, 常大于 $1/40$ 。陆棚地段称大陆斜坡或陡坡。

(2) 沉积滨线坡折 (depositional—shore line break) 位于陆棚上某一位置, 在这个地点的朝陆方向, 其沉积表面处在或者接近基准面, 通常是海平面, 它的朝海洋方向, 其沉积表面低于基准面。这个地点大致与三角洲中的河口坝的朝海端或者与海滩中的上临滨相吻合。沉积滨线坡折一般在陆棚坡折的朝陆方向或更远, 也可处在陆棚坡折处。

3. 不整合与整合

不整合是一个分开较新与较老地层的面, 沿着这个面有证据表明存在指示重大沉积间断的陆上侵蚀削截 (以及在某些地区内具有可以与之对比的海底侵蚀) 或者陆上暴露现象。这个定义把不整合这个术语的用法局限于重大的陆上侵蚀面。局部的、与地质作用伴生的准同期侵蚀和沉积, 如曲流河砂坝的发育、分流河道侵蚀不包括在所用不整合定义之中。

整合亦是一个将新地层与较老地层分开的层面, 沿此面没有侵蚀作用 (无论是陆上侵蚀还是海底侵蚀) 的证据, 并且沿此面不指示有重大沉积间断。它包括了沉积作用极缓慢, 具有由很薄的沉积所代表的长期地质时间的那些面。

4. 层序边界类型

(1) I类层序边界 (type I sequence boundary) 又称I类不整合, 系沉积滨线坡折处海平面快速下降, 下降速度超过盆地的沉降速度时的产物。此时海水逐渐退出陆棚, 使陆棚遭受侵蚀, 陆棚前沿的陆棚坡折带出现侵蚀峡谷, 沉积物可能超过陆棚坡折进入盆地。

(2) II类层序边界 (type II sequence boundary) 又称II类不整合, 系沉积滨线坡折处海平面缓慢下降, 且其下降速率略大于盆地的沉降速率时的产物。此时在沉积滨线坡折处相对海平面下降不大。在沉积滨线的靠陆一侧可能出现地表暴露和海岸上超的向下转移, 但无河流回春作用所引起地表侵蚀和下伏沉积相的朝盆地方向迁移。

5. 层序类型

(1) I类层序 (type I sequence) 底界为I类层序边界, 顶界为I类或II类层序边界的层序。它由低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域三部分组成。

(2) II类层序 (type II sequence) 底界为II类层序边界, 顶界为I类或II类层序边界的层序。由陆棚边缘体系域、海侵体系域和高水位体系域三部分组成。

6. 体系域与沉积体系

(1) 沉积体系 (depositional system) 一系列在沉积环境和沉积作用上有成因联系的沉积相的三维组合。

(2) 体系域 (system tract) 是一系列有内在联系的同期沉积体系的组合, 每个体系域都与海平面升降周期曲线上的特定阶段相伴生。体系域是层序内次一级的地层单位, 一个层序一般由三个体系域组成。

需要指出的是, 当提到体系域时, 所谓“高水位”、“低水位”等术语并不意味着特指全球性海平面变化或相对海平面变化周期中的某一特定时期和位置。一个体系域的实际开始时间由当时的全球性海平面变化及当时、当地的构造运动和沉积物补给三个因素的相互作用而定。

7. 海泛面、海侵面和最大海泛面