

非海相层序地层学 ——以松辽盆地为例

魏魁生 著

地质出版社

北京)

地质行业基金及国家自然科学基金资助成果

5916/02

非海相层序地层学

——以松辽盆地为例

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书在论述层序地层学基本理论的基础之上,阐述了层序地层学在非海相盆地中的应用,研究了松辽盆地白垩纪层序地层特征:超层序、超层序与构造运动的关系、三级层序地层格架、沉积体系与体系域和基准面相对变化,建立了非海相盆地沉积层序模式,讨论了层序地层学在油气预测中的应用,可供从事地层学研究和油气勘探人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

非海相层序地层学:以松辽盆地为例/魏魁生著.

—北京:地质出版社,1996.6

ISBN 7-116-01975-8

I. 非... II. 魏... III. 层序地层学, 非海相 IV. P53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 24289 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:王章俊 李盛

地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 7.625 插页: 2 字数: 173 千字

1996 年 6 月北京第一版·1996 年 6 月北京第一次印刷

印数: 1-450 册 定价: 12.00 元

ISBN 7-116-01975-8

P.1501

2
B
9
6
5
3

序

当代地球科学的发展,明显地表现出全球性和综合性的特点,以求得对地质规律认识上的科学性,同时注意提高矿产资源的预测能力和加速地球科学向定量化发展。建立在现代沉积学、油气勘探地层学、勘探地球物理学和计算机技术基础上的层序地层学,体现出当代地质科学的发展动向。地震地层学及最新发展层序地层学号称一场地质学革命,其意义之深远可以和板块构造学说相比拟,AAPG、SEPM和IAS均给予很高的评价,并预言是90年代地质学的重大发展方向。据悉这项新的理论已成功地用于北美、南非、西欧、东南亚、中东、澳大利亚、印度、日本等地的油气勘探与开发,取得了巨大的经济效益,展现了层序地层学的强大的生命力。

层序地层学是在大西洋被动大陆边缘的沉积盆地研究中建立的,也是当前石油天然气研究中的热门课题。但是,从海相地层研究中总结出来的层序地层学如何应用于中国东部碎屑岩沉积盆地,是一个有待深入开发的课题。魏魁生同志原在中国科学院地球物理研究所做博士后,在地质行业基金、自然科学基金和博士后基金的资助下,通过大量资料的综合分析,系统总结了东部盆地的沉积学和层序地层学的基本特征,明确指出层序地层学在陆相盆地中的适用性及应用的特殊性。作者立足于东部盆地的地质特点,创造性地提出用风暴面而不是用陆架坡折去区分体系域的分界。作者指出,非海相沉积地层具有旋回性、周期性、重复性及存在着由可容纳空间周期性变化产生的不整合,能够查清层序地层的空间分布型式,以及与外海有联系,提供了层序地层学在非海相沉积盆地中应用的依据。作者以松辽盆地为例,根据地震、测井和岩心资料的观察,运用宏观与微观相结合的分析手段,首次建立起白垩纪层序地层格架,划分出7个超层序、47个层序和342个准层序,确定了层序界面与首次洪泛面的特征及其在地震剖面、岩心和测井曲线上的反映,提出了主要含油气层系的体系域特征。作者首次鉴定出钙质超微化石和风暴岩,系统归纳出密集段的识别标志,指出典型的密集段与海泛层位相联系且生油潜力最大;以翔实的资料论证了过去的地层界线(例如 T_0^6 、 T_1 和 T_2 等)大多数为最大洪泛面,标定了各沉积体系的识别标志,探索了层序地层在空间上的分布规律。在此基础上,编制出松辽盆地基准面变化曲线,发现三级旋回频率比海相高,它反映了陆相盆地加积作用明显、沉积速率大、经历了更多的局部构造运动和气候条件变化的影响;建立起不同背景下的陆相层序地层模式,与海相模式进行了对比,认为各体系域所含沉积体系与海相者不尽相同。作者分析了体系域及沉积体系与油气的关系,强调指出寻找隐蔽油气藏的重要性。在油气勘探方面,应以层序地层学为引导,建立一个由层序地层划分、相带展布、砂体预测、构造发育、地热史、沉降史、埋藏史、成藏史、油气藏及其质量预测到开发效果监测的定量化系统工程或评价系统;在油气藏开发方面,认为东部盆地不同于中东等油气区,砂岩呈薄互层,某些油田出水多、注水失败,原因是由分层矛盾引起的。注水失误、层间矛盾、层内矛盾等,除了某些构造和成岩作用因素外,关键在于缺乏一个系统、完整、科学的层序地层等时格架,也在于没有理清体系域和沉积体系的空间分布规律。这预示着还有不少的油气藏,特别是隐蔽油气藏尚待发现。

本书内容丰富,观点新颖,方法先进,是在大量实际资料基础上的深入探索,具有创造性和实践意义,是一份优秀的成果报告,可供盆地研究和油气勘探参考。

中国科学院地球物理研究所 院士:刘光鼎

1995年10月6日

前言

层序地层学原理,起源于海相被动大陆边缘沉积地层的研究,原始资料大多数取材于地下,目前研究范围逐渐扩展,已经引申到露头地层和非海相沉积盆地中。本文的目的在于将层序地层学的基本原理应用到中国东部非海相沉积盆地中,提炼、总结非海相层序地层的理论体系,并用于指导油气勘探与开发,开辟新的找油领域、提高经济效益。

任何具有旋回性或周期性的沉积地层,无论为海相成因或非海相成因,都能够应用层序地层学的基本概念进行解译研究。东部近海内陆盆地与外海之间有着千丝万缕的联系,在中、新生代普遍遭受到海水进侵或海泛的影响,这为在非海相沉积盆地中研究层序地层学提供了理论依据。外海对内陆盆地的周期性侵袭,必然影响内陆盆地的基准面的升降变化,至少在海泛期间具有某种全球变化的同一性。

非海相沉积地层同样具有旋回性、韵律性和周期性;盆地经历过复杂的构造运动,多数地质学家把它们与前人定义的各种周期性的构造运动幕相联系;沉积基准面发生过规律性变化,尽管这些变化在不同盆地表现强度不一、时间上略有差异,但是存在某种周期性或准周期性;从事微体、超微化石和孢粉研究的专家发现,陆相地层中存在气候周期性变化的证据;沉积学家承认沉积物供应速度对陆相地层有特殊重要的作用。因此,非海相沉积层序的形成仍然受构造沉降、基准面变化、沉积物供应速度和气候因素的控制,同时也受到物源的多向、局部构造运动、盆地演化阶段、古地理位置、海洋气候、突发性和灾变性事件等因素的影响。

陆架边缘坡折是衡量海平面相对变化和区分体系域的模式参数,实质上也是区分滨、浅海与深海、半深海的参数。作者提出,以“风暴浪基面”作为“陆架边缘坡折”理论上的参照物。在地震剖面上,前高水位期三角洲体系的下超坡折或首次洪泛面向陆的上超终止点即陆架边缘坡折。作者还标定了三个关键界面的识别标志,总结了东部盆地的沉积学和层序地层学的基本特征。

本书重点剖析了松辽盆地白垩纪的层序地层。根据地震、测井和岩心资料观察,探索陆相断陷盆地的层序地层学特征。通过古生物标定、微体和超微生物的丰度及分异度分析、电镜扫描、能谱及电子探针分析、碳氧同位素分析、磁性地层与放射性同位素年龄测定、薄片鉴定和计算机处理等工作,首次建立了松辽盆地白垩纪层序地层格架。其中识别出7个超层序,周期为11.29Ma;划分了47个层序,时间跨度平均为1.28Ma;共含342个准层序,频率约为17.5万年;根据某些井段岩心观察,每个准层序包括6个米级旋回,频率约为2.9万年。层序界面为不整合及横向上可以与之对比的整合面,在地震剖面上具有削截反射结构,在岩心中具有根土层等暴露标志,往往位于化石断代点上;密集段由暗色泥页岩、油页岩、灰泥岩、白云岩等组成,在地震剖面上由下超面及强连续性高振幅反射波来识别,在测井曲线上位于幅值最小处,通常微体和超微生物的丰度最高、分异度最大,含莓状黄铁矿、白云石、伊利石等自生矿物,典型的密集段具有某些海相的地球化学标志;典型层序的体系域,准层序组型式低水位体系域以加积型为主,水进体系域以退积式多见,高水位体系域主要为加积型和前积型;对一些地层界线重新进行了推敲,以往藉以分层的强反射层,例如 T_1 、 T_2 及 T_0^6 ,大部分是密集段的反射或与密集段相关。

作者在松辽盆地白垩系的密集段中发现了钙质超微化石,首次在岩心中发现了砂质和钙质风暴岩;标定了各种沉积体系的识别特征,总结了地层在空间域的赋存规律。在此基础上,提炼出松辽盆地的层序地层学模式及可能出现的非海相沉积盆地的沉积模式,并与海相模式作了比较。

本文根据反映古水深的古生物、自生矿物、地球化学等标志,依据碳氧同位素的分析结果,首次绘制了松辽盆地白垩系基准面相对变化曲线。经与 Haq(1987)的海平面升降曲线对比,发现二者之间的二级旋回吻合程度相当高,甚至高频部分也近似一致,不同之处在于基准面升降变化的三级旋回频率比海相更高,指出是由于局部构造运动及复杂的气候因素所致。

由体系域及沉积体系与油气的关系分析,目前开发的油气藏,以构造圈闭、高水位体系域的储集砂体为主。本文指出,寻找隐蔽油气藏是油气勘探的中心,不整合面附近低水位体系域底部和高水位体系域顶部的砂体是今后重要的勘探方向,同时下切谷充填砂、浊积砂及密集段附近的透镜状砂体也应该引起足够的重视。

本文承蒙刘光鼎院士和徐怀大教授等学者审阅,他(她)们提出了宝贵的修改意见;华北石油局勘探开发研究院赵政璋、蒋尽基、范泰雍、陈世和、费宝生等总工程师和院领导,高级工程师王光润、谢天闫、陶洪兴、李策文、蔡治国、宋庆海、彭朋、金增辉、李顺才、曹广营、王建瑞、田亚峰、雷怀玉和刘宝智等,辽河油田研究院谭时勇院长、廖兴明总工程师、张学儒总工程师、牛仲仁总工程师及林信漾、王玉娥、邱莎、刘纯高、陆尧华、王玉娟等同志,大庆石油局勘探开发研究院郭占谦总工程师及工程师徐宏、任延广、孙显义及王玉华等给予作者很大的帮助和支持;研究生历大亮、夏松尧、洪卫东、杜振川、罗彦和卢松涛也参加了部分基础工作;本文的支持经费主要来源于地质行业基金(92010)、自然科学基金(49070117)和博士后基金;在此,作者一并表示深切的谢意。文中引用了大庆等油田和国内外一些学者的部分资料,对于这些作者也表示衷心的感谢!

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 层序地层学的起源和发展	1
第二节 层序地层学的研究意义和经济价值	2
第三节 工作概况	4
第四节 研究内容	5
第二章 层序地层学基本理论	6
第一节 层序地层学的基本观点	6
第二节 层序地层分析基础	8
第三节 层序地层发育演化与构造运动的关系	20
第四节 海平面升降变化	22
第五节 沉积作用与层序地层	26
第三章 层序地层学在非海相沉积盆地中的应用	27
第一节 引 言	27
第二节 非海相层序地层学应用基础	27
第三节 东部盆地非海相沉积层序地层的基本特征	33
第四章 松辽盆地白垩纪层序地层特征	46
第一节 概 述	46
第二节 超层序	52
第三节 超层序与构造运动的关系	57
第四节 形成沉积层序的主要影响因素	58
第五节 三级层序及地层格架	60
第六节 沉积体系及体系域	72
第七节 基准面相对升降变化	90
第五章 非海相沉积层序模式	95
第一节 引 言	95
第二节 非海相沉积层序模式	96
第六章 层序地层学在油气藏预测中的应用	104
第一节 层序地层分布型式与油气圈闭	104
第二节 松辽盆地北部油气勘探方向预测	106
第三节 辽河西部凹陷重力流沉积砂体圈闭类型及地震反射响应	107
结 束 语	110
参考文献	112
图版说明	115

1
C
R
9
6
5
3

第一章 绪 论

第一节 层序地层学的起源和发展

地质学的诞生与地层学息息相关。地层学始终是地质学研究的第一性学科。地球科学的四维体系就是由地层年代的测定和空间域的展布规律来确定的。因此,凡从事地质学的科研人员,无不涉及到占地球表面 70% 以上的呈层状产出的沉积岩、火山碎屑岩和部分变质岩。自生物地层学问世以后,地层分支学科不断涌现,特别是 60—70 年代,渐次出现了岩性地层学、稳定同位素地层学、古地磁与磁性地层学、年代地层学、生态地层学、旋回地层学、事件地层学、测井地层学及地震地层学。地震地层学是 70 年代发展起来的重大地层分支学科。在地震反射剖面上,地质学家发现了许多在露头、岩心和测井资料中未曾见到的惊奇现象。原始地震反射平行于层面和不整合面,因而具有年代地层学意义。地震地层学的诞生,为研究地质历史上的时间域和空间域、为预测油气聚集带、非构造圈闭、圈闭的储集性能、含油气性能、压力及分析盆地演化史(热史、埋藏史、构造史、沉降史、沉积史、运移史等)开辟了新的前景。然而地震地层学也存在不完善的一面,例如分辨率受到天然的限制、讯噪比尚需提高、数据处理技术亟待改进等等。

近 10 年来,随着科学技术的飞速发展、计算机技术的推广、勘探技术和实验手段的提高、各学科的相互渗透和综合开发、能源的紧迫需要,地层学已经向全球对比、定量化发展,由此产生了一些新的分支学科,例如勘探地层学(exploration stratigraphy)、定量地层学(quantitative stratigraphy)、成因地层学(genetic stratigraphy)、综合地层学(integrative stratigraphy)和层序地层学(sequence stratigraphy)。在这些新的分支学科中,层序地层学引起地质工作者、特别是石油地质工作者极大的兴趣。

层序地层学是地震地层学的最新发展及其理论的更新,是适应生产实践的需要而产生的,是科学技术进步的结晶。

层序地层学的发展可以追溯到 40 多年前,但是成为独立的一门学科形成于 80 年代后期。地震地层学问世以后,在地学界引起了一场激烈的争论,众说纷纭,毁誉参半。其中以 A.D.Maill(1986)反对的最为强烈。矛盾的焦点是缺乏支持性资料,因为这些资料私人公司不允许公开发表,详细程度更高的白垩纪海平面升降曲线也未出版。对 P.R.Vail 的海平面升降曲线的批评集中在:(1)局部和区域性沉降缺乏适当的校正;(2)某些重大事件发生的时间是否具有同时性;(3)没有采用最新的地质年表(据徐怀大,1990)。在借鉴他人建设性意见的基础上,P.R.Vail 与 B.U.Haq、J.Hardenbol、M.T.Jervey、H.W.Posamentier、R.J.Weimer 及 J.C.Van Wagoner 等学者致力于露头、测井、岩心、海洋地质及地震资料的综合研究,力求使原有的理论更为完善。早在 70 年代后期,Mac Jervey 就在数学上模拟了和定量表示了产生全球旋回曲线的海平面升降、构造沉降和沉积物供应速度之间的关系。EXXON 公司的科研人员吸收了这项成果并给予很高的评价,同时发表了以前的成果,弥补了 1977 年出版物的不足,地震地层学的理论逐渐被接受。1987 年,Vail 等在美国 AAPG 和 Science 刊物上推出了第二代海平面升降曲线,特点是曲线呈圆滑的波状,每个周期顶底标明了不整合的性质,层序界面位于海平面升降曲线每个周期的下降(F)

拐点上, 上升(R)拐点稍后的某个位置处为最大海泛面, 划分了海平面升降周期的级次, 引用了更多的古生物地层学、年代地层学和磁性地层学的资料, 并且提出了新的地层学科, 即层序地层学。由此, 地震地层学发展到一个崭新阶段。同年, J.B.Sangree 和 P.R.Vail 的“层序地层学基础和关键性定义”推出, 其中论述了该学科的基本理论、概念、术语、工作方法、解释步骤及部分实例, 层序地层学逐步推广开来。

进入 80 年代以后, 油气勘探程度迅速提高, 开采条件日益复杂, 寻找构造圈闭已成为过去, 代之而起的是开发隐蔽油气藏, 地震地层学的另一发展——油藏描述越来越受到重视。这样就需要提供高分辨率的地层资料, 布置三维地震测网, 定量评价储层特性, 高频层序已应用于勘探开发, 层序地层学的发展是能源生产的迫切需要。

另一方面, 反射地震勘探的仪器设备, 已经由光点记录(20dB)、模拟磁带记录(45dB)、二进制数字磁带记录(90dB)发展到瞬时浮点数字磁带记录(120dB), 极大地提高了数据采集的动态范围。利用电子计算机技术对反射地震信息的处理, 包括反褶积在内的各种数字滤波, 可以无畸变地显示地下地层的反射波信息, 从而以类似于医学上 X 光透射和 CT 切片技术那样, 能够直接观察地下几千米的地层、构造和岩性变化。同时地震波的研究也从运动学跨入动力学范畴, 除了波速以外, 还可以利用弹性波传播的频率、振幅、相位、连续性、波形等多种动力学参数综合分析地震相, 进而认识沉积相, 判断沉积环境。在结合露头、测井和岩心资料的基础上, 建立年代地层格架、海平面升降曲线和成藏模型。在这种背景下, 层序地层学脱颖而出(刘光鼎, 1992)。

第二节 层序地层学的研究意义和经济价值

当代地质科学的发展动向为: (1) 增强对地质规律认识上的科学性; (2) 提高对矿产资源的预测能力和勘探开发成功率; (3) 加速地球科学的定量化发展。建立在现代沉积学、油气勘探地层学、勘探地球物理学和计算机技术基础上的层序地层学, 是体现当代地质科学发展动向的典范。目前, 国际上掀起了一股层序地层学研究的热潮。一些著名学者和国际组织给予极高的评价, 认为: “层序地层学概念在沉积岩上的应用有可能提供一个完整统一的地层学概念, 就像板块构造提供一个完整统一的构造概念一样。层序地层学改变了分析世界地层记录的基本原则, 因此, 它可能是地质学中的一次革命, 它开创了了解地球历史的一个新阶段”(P.R.Vail, 1991)。“地震地层学引起了地层分析中的一场革命, 其意义之深远不亚于板块构造引起的革命。结果, 几乎所有涉及沉积岩的学科都要被重新研究和重新受重视, 大量问题正在涌现。……它是把科学由定性领域转到定量领域的推动力, ……使地层学这一学科将更有预测性和定量性”(T.A.Cross 和 M.A.Lessenger, 1986)。“地层学目前正在进行一场革命。一个世界范围的旋回式层序和沉积体系域地层概念的评价……正在大学和跨国石油公司中进行”(L.F.Brown, Jr., 1990)。原苏联科学院一些院士(1988)指出: “地震地层学是油气勘探最精确的一种方法, 它能够使油气普查勘探成本降低 $\frac{1}{3}$ 。……可以实现‘野猫钻幻想’, 井井出油, 百发百中。”J.B.Sangree 等(1990)认为: “层序地层学主要用于识别和详细研究地层圈闭的含油气远景。在应用层序地层学以后, 一些颇具特色的勘探前景已经出现。”AAPG、SEPM 和 IAS 均认为层序地层学是 90 年代石油地质学、地球物理学、沉积学和地层学发展的重大方向, ESGC(1988)已经将“层序地层学和全球海平面变化”正式列入“全球沉积地质计划”(GSGP), 此项国际性研究已通过联合国在各国实施。1995 年在美国召开的 AAPG 年会上, 高分辨率层序地层和储层地质研究是最重要的议题。

层序地层学最大的特点在于它的科学性、预测性、定量性、实践性和综合性。具体表现在:

1. 层序地层学是一门新的学科

层序地层学是在地震地层学不断实践的基础上长期积累、总结和继承下来的知识体系,并在新的事实面前引入了新的理论和新的概念,例如可容纳空间和新增容纳空间的概念,能够在实践中应用而且仍在发展,因此层序地层学是一门新的学科。

2. 综合性

层序地层学是一门跨越多门学科(地球物理学、各种地层学、地球化学、古生物学、矿物学、沉积学、构造地质学、盆地分析、计算机技术、现代测试分析技术等)的一门综合性学科,它不仅囊括了地震地层学的全部理论和方法,而且结合了测井信息、露头资料、钻井取心和岩屑资料的沉积学研究成果,吸收了物理沉积学、油气勘探地层学、地球物理学等学科的最新成果,集百家所长,避免了单学科中的某些局限性,能够获得更多的信息,为油气资源开发提供科学的依据。

3. 科学性

层序地层学是研究四维的地质科学。利用时间序列分析沉积体的空间展布规律及沉积环境的变迁,逻辑性强,富有哲理,能够更为真实地反映事物的本质及演化规律。地层学自从问世以来就存在着时间序列分析及等时面的估计,然而早期的认识是肤浅的甚至导致错误;后来在动态地球科学理论指导下,人们才认识到这是一个复杂多变的问题甚至现代科学技术仍无法完善解决;过去识别的同一地质体往往是客体的一致性,并非是等时体。层序地层学的基础是建立在由海平面变化产生的不整合一时间线的关系上。随着时间的演化,全球海平面升降、构造沉降与沉积物供应速度相互作用并导致相对海平面发生周期性变化,每个周期的各种沉积体就构成了一个相应的层序。层序以不整合或与之可以对比的整合面为界,尽管不整合面上各点的时代不尽相同,但是限定在不整合面之间的地层是在同时期形成的,所以层序地层学具有年代地层学意义。层序内部的各个体系域,也形成于一个海平面变化周期的特定时间段上,在空间上的展布同样具有规律性;在地质历史的时间演化序列上,海平面发生了几百次的周期性变化,构成了大小的一系列沉积层序,因此层序地层学具有成因地层学意义。

层序地层学的主要目的是建立年代地层格架,并在这个等时格架中分析地层分布型式,查清沉积体系、环境和相的空间配置关系。层序地层学提供了三维沉积模式,这样为揭示生储盖的组合规律及油气藏预测建立了科学依据。

在地层学方面,层序地层学消除了年代地层学与岩石地层单位及生物地层单位三重命名的混乱现象。它引用了同位素、磁性地层学及古生物地层学的时代标定,利用高分辨率地震反射资料确定等时物理界面并作为层序界面,首次提出了全球统一的成因地层划分方案,解决了在地层分层方面的矛盾,将地层学从描述性提高到具有完整系统的理性阶段(徐怀大, 1991)。

4. 预测性

层序地层学的生命力在于它的经济价值。全球显生宙以来,相对海平面发生了约 300 个周期的变化并形成相应的沉积层序,每个层序又由低水位或陆架边缘、海进和高水位体系域组成,油气及其它沉积矿产与各个体系域所含的沉积体系、与沉积体在时间序列上的演化和空间配置规律有联系。根据海平面相对变化规律,可以预测沉积体系域的展布方向、范围、所含的沉积体系及其赋存位置以及未钻地层的时代,结合油藏描述,进一步预测沉积矿产的有利聚集带、油气生储盖组合规律,达到减少成本、有的放矢、提高采收率的良好效果。据信,这项新的理论在用于北美、西欧、中东、南非、东南亚、澳大利亚、印度和日本的油气勘探中已卓见成效。

5. 定量性

层序地层学的研究范围是地球发展史上的时间域和空间域,它吸收了多门类学科的先进成果,以现代化的计算机技术及测试分析技术为手段,能够利用反射地震的运动学和多种动力学参数作定量分析。层序地层学的发展将提供一个由层序地层划分、相带展布、砂体预测、构造发育、地热史、沉降史、埋藏史、成藏史、油气藏及其质量预测到开发效果监测的定量化系统工程程序(徐怀大,1990)。

层序地层学研究已经应用于建立和研究各种资料库,除了利用地震反射参数之外,各种不同沉积环境的露头、测井和岩心等资料也被用来建立高分辨率的层序地层数据库(H.W.Posamentier等,1991)。在油储地球物理方面,通过高分辨率的采样和处理、三维地震成像、层析成像、反射地震波的波形和属性分析、正演和反演模型检验及开发系统监测,能够研究储集岩的孔隙度和渗透率条件、含油性及其采油过程所发生的定量变化。

以大西洋被动大陆边缘为背景,以构造沉降、海平面升降和沉积物注入量为参数的沉积层序的定量模拟已有很大进展(Mac Jervy, 1989; D. T. Lawrence 等, 1990)。

6. 实践性

层序地层学是从生产实践和科学实验中发展起来的,其科学理论及地层学术语既适合于专家的深入研究,又适应于一般地质人员在实践中的应用,并能在不同的地质背景中发展使用,适用于新方法、新技术的发展,概念及术语逻辑性强、经得起推敲,便于对地质客体的描述和解释。

层序地层学并未终止而是继续在发展,目前已经从地下引申到地面,由被动大陆边缘背景的研究扩展到缓坡、生长断层背景并相继扩充到内陆盆地中。

第三节 工 作 概 况

层序地层学在我国已经引起了巨大反响,石油、地质部门相继开展了该项研究工作。本课题组结合油气勘探发展动向,以东部盆地中、新生代沉积地层为研究对象,旨在填补层序地层学在非海相沉积盆地中的空白,建立一套与中国地质特征相适应的层序地层理论体系,为推动油气勘探事业的蓬勃发展去探索。

层序地层学给人们提供了一种哲学思维方式和开拓性思想,而不是教条和僵化的模式。模式是对研究实例概况、归纳和总结,具有一定的区域性和局限性。一种科学理论,如果仅仅套用其模式,科学就会出现迟滞或惰性;相反,应该分析其适应条件,立足于沉积盆地的具体特征,灵活地应用,才会有所发展,有所进步。

自1988年以来,笔者致力于非海相层序地层学研究,经历了一个反复思索的过程,经过不断地实践、探索、总结,取得了一些认识,认为层序地层的基本原理在非海相沉积盆地中仍然适应,但是难度更大、条件更复杂、考虑因素更多。

本文以松辽盆地为重点解剖对象,并结合了辽河盆地、二连盆地和华北冀中地区的已有成果,地层以白垩系和第三系为主,探索非海相层序地层的基本特征。

中国东部盆地分布着大大小小几百个油气田,迄今仍然是主要产油气区。各盆地的地震、地质、钻井及各种分析资料比较齐全,积累了大量科研成果和丰富的勘探开发经验,能够综合利用各种资料从事层序地层的研究工作。

东部油田的开采已进入中老年期,而早期的勘探对象以构造圈闭为主,产油气层以浅层高水

位体系域占主导地位,随着勘探开发向纵深发展,寻找构造油气藏的机率愈来愈小,利用新理论、新方法开发隐蔽油气藏、开拓新的找油领域已是一件刻不容缓的大事。以层序地层学和开发地震学为指导思想,可以成功地解决这个疑难。

本文就是基于上述前提选题、选区,结合承担和参加的科研项目“层序地层学在油气藏预测的应用”(地质行业基金, No. 92010, 主要经费来源)、“松辽北部中生界陆相薄互层油藏层序特征及评价系统”(自然科学基金, No. 49070117)、“南海北部湾涠西南地区涠洲组层序地层特征及油气资源评价”、“辽河断陷盆地重力流沉积体系及体系域研究”、“华北典型箕状凹陷新生界层序特征及油气勘探”、“华北地区第三系及二连盆地白垩系层序地层特征及其与油气赋存关系”而完成的。作者在掌握层序地层学基本理论的基础上,参阅了许多国内外有关专著及学术论文,尽可能地利用区内现有资料及科研成果,以地震剖面、测井信息和岩心资料的观察、分析为主体,通过古生物(含微古和超微古)标定、电镜扫描、能谱及电子探针分析、同位素年龄分析、薄片鉴定,划分了层序、准层序组和准层序,确定了体系域、沉积体系及其特征,建立了层序地层格架及基准面升降曲线,对某些原地层界线重新进行了认识,比较详细地描述了层序边界,首次洪泛面,密集段和各体系域的特征,并对区内海泛特征作了探索、提供了地质证明,提出了陆相层序地层学模式,指出了几个油气开采点及总体勘探思路,直接为油气资源开发服务。其中所做的主要工作为:分析地震剖面约 1000 条;分析综合测井图及录井图数百条;岩心观察描述 2000 余米;显微镜鉴定、分析薄片 1000 多片;做电镜扫描分析 43 块样本;电子探针、能谱分析 10 个样本;碳氧同位素测定 50 多块样本;绝对同位素年龄测定若干;做合成地震记录若干;拍岩心照片、镜下照片、电镜照片等三十余卷;制图、制表若干。

第四节 研究内容

本文涉及的主要内容有:(1)层序地层学在非海相沉积盆地中的适应性;(2)非海相沉积地层序地层学应用基础及工作方法;(3)非海相沉积盆地沉积特征;(4)三个关键界面的识别并建立层序地层格架;(5)东部盆地海泛的证据及其层序地层学意义;(6)松辽盆地主要含油层系的体系域特征;(7)东部盆地基准面升降变化及其与盆地演化的关系;(8)非海相沉积盆地层序地层学模式;(9)非海相沉积盆地与海相被动大陆边缘盆地在层序地层学方面的异同点;(10)应用层序地层学理论预测油气赋存规律。

科研工作者的天职就是探索新思想,科学的进步就是思维的进步。承认、发展、开拓新思维,需要无畏的精神,甚至要为之终生拼搏。P. R. Vail 有句名言,即“在我们的竞争者远远超过我们之前,我们的新思想都不可能得到发展。”一个新的科学理论体系的诞生,必然要经过多次反复,也存在某些不完善的地方。尽管层序地层学源于海相被动大陆边缘,应用于陆相湖盆有很大的困难,但是这种科学理论和方法,开拓了人们思维视野,开辟了新的知识海洋。一种有价值的学说一旦被证实并为人们所接受,必将产生巨大的经济价值并推进科学的发展。作者认为,层序地层学研究在我国陆相盆地中的开展,不仅能丰富其理论体系,而且对油气勘探开发事业具有不可估量的作用。

第二章 层序地层学基本理论

第一节 层序地层学的基本观点

一、层序地层学与其它地层学的区别

地层学是研究岩层在时间上和空间上变化关系的科学,这种变化关系包括岩石的时间含义、物理化学性质、古生物特征、地质历史演化、古地理环境格局及地球物理属性等等。在震旦纪地层学出现以前,地层学的研究范畴偏重于岩石地层、生物地层和年代地层学序列的经典概念及横向对比。传统地层学均为地层学发展历史阶段的产物,具有一定的局限性。生物地层学以地层所含化石为分层、对比依据,由于标准化石相对较少、化石的上延及下拓、环境变迁造成生物属种的差异诸方面的原因,在大区域范围内划分、对比地层时总会出现一些疑难。岩性地层学研究岩石综合体及其相互关系,它以岩性的特征为地层分层依据,穿时现象比较多见。年代地层学研究内容涉及沉积于特定时间段内的岩石,提高了等时性地层分析精度并补充了利用古生物资料定年方面的不足,然而其分层界线并非是物理界面,并且具有地区性和人为的因素,在野外或地下也难以追踪。旋回地层学与事件地层学相联系,旋回地层在盆地之间的对比可能出现一些问题,地层单位的边界可能穿时。穿时界线并不是一个连续的物理界线或者是由一系列的物理界线组成,在进行构造填图、做岩相分布图及古地理解释方面往往导致错误。

层序地层学与传统地层学的区别是层序以不整合及横向上可以与之对比的整合为界,层序界面之上的岩层总是比其下的岩层时代新,一个层序包含了两个不整合面之间等时间段内沉积的所有地层。层序边界是一个连续的物理界面,没有穿时现象,便于地层划分、对比和填图,特别是有利于大区域的甚至是全球性的地层对比。

二、基本论点

层序地层学是根据地震、钻井和露头资料进行地层分布型式、沉积环境和岩相综合解释的一门科学。通过解释提出一种侵蚀或无沉积的不整合或与之相对应的整合为界的、周期性的(旋回性的)、在成因上有联系的年代地层格架。在这个格架中,通过解释查清沉积环境和有关岩相的分布。这些岩相单元可以限定在以层面为界的等时间段内,也可以是高角度跨越层面的穿时间段(P.R.Vail等,1987)。

层序地层学的基本观点是地层单元的几何形态及岩性受构造沉降、全球海平面升降、沉积物供给和气候四大参数的控制(表2-1)。其中构造沉降和全球海平面升降共同作用引起了海平面的相对变化,后者产生了可供潜在的沉积物堆积的容纳空间(accommodation)。构造沉降和气候因素控制了沉积物的类型和输入量。由此产生的沉积物的供应速度决定了可容纳空间的大小。构造沉降速度、全球海平面升降速度及沉积物供应速度控制了沉积盆地的几何形态;这三种因素相互影响、互为因果关系,最终必将导致某一地区海平面相对于该区陆架边缘的相对变化速度及沉积体系域的发生、发展和变化。当海平面上升速率大于构造沉降速率而引起海水穿过陆架时,形成海进体系域;随着海平面升高、相对上升速度减慢,在沉积物供给速度维持原速度时,单位时间内

产生的可容纳空间减小,则由浅海相和非海相沉积组合的岸线向盆地方向推进,从而形成高水位期海退体系域沉积;若海平面急剧下降并且下降速度大于构造沉降速度,海水退到陆架边缘之下的沉积为低水位体系域的产物。如果海平面下降速率小于陆架边缘处的构造沉降速率,未导致相对海平面下降,或者由于海平面缓慢下降,内陆架暴露侵蚀而在外陆架仍然出现缓慢沉积,则构成陆架边缘体系域。藉以区分组成层序的体系域的关键部位是陆架坡折点(或称陆架边角、陆架边缘,有人以沉积滨线坡折或退覆坡折取代之),由沉积物分布于该点之上或其下划分为低水位体系域、海进体系域和高水位体系域(图 2-1、图 2-2 和图 2-3)。

表 2-1 层序地层学中的基本变量

变 量	控 制 作 用
构造 沉 降	可 容 纳 空 间
全 球 海 平 面 升 降	地 层 和 岩 相 型 式
沉 积 物 供 应	沉 积 物 充 填 和 古 水 深
气 候	沉 积 物 类 型

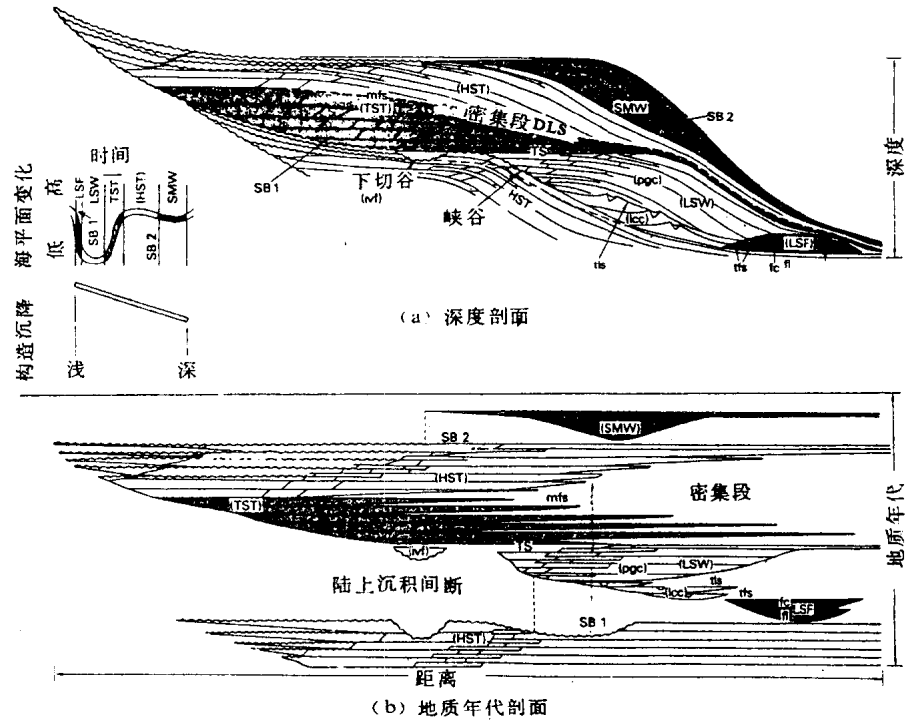


图 2-1 层序地层的沉积模型

(据 B.U.Haq 等, 1988)

模型显示了与 1 型边界有关的体系域 (即低水位扇、低水位楔、海进体系域和高水位体系域)。陆架边缘体系域发育在 2 型层序边界之上 (见正文)。(a) 体系域在深度上的几何形态;(b) (a) 中的特征同地质年代的关系。界面: SB—层序边界, SB1—1 型, SB2—2 型; DLS—下超面, mfs—最大洪泛面, tfs—扇顶面, tfs—具堤的水道顶面: TS—海进面 (最大海退之上的第一个洪泛面); 体系域: HST—高水位体系域; TST—海进体系域; LSW—低水位体系域, ivf—下切谷充填, pgc—前积复合体, lcc—具堤的水道复合体; LSF—低水位扇体系域, fc—扇水道, fl—扇朵叶; SMW—陆架边缘楔体系域

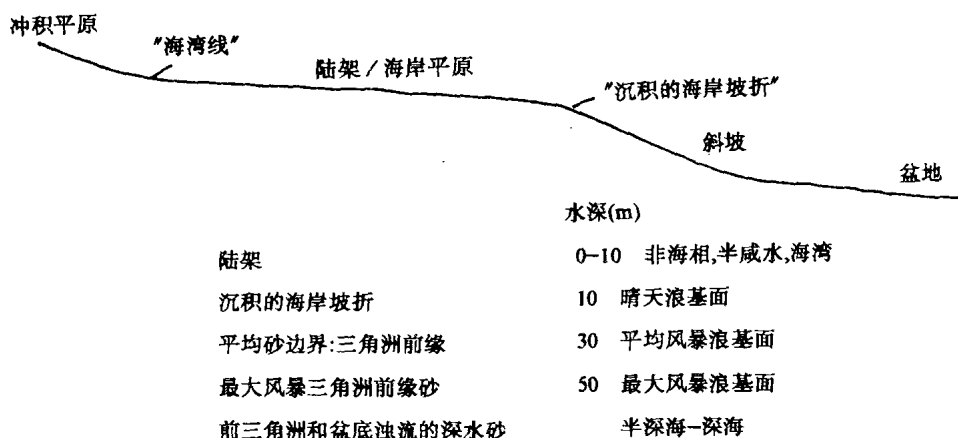


图 2-2 高水位体系域后期的沉积地形

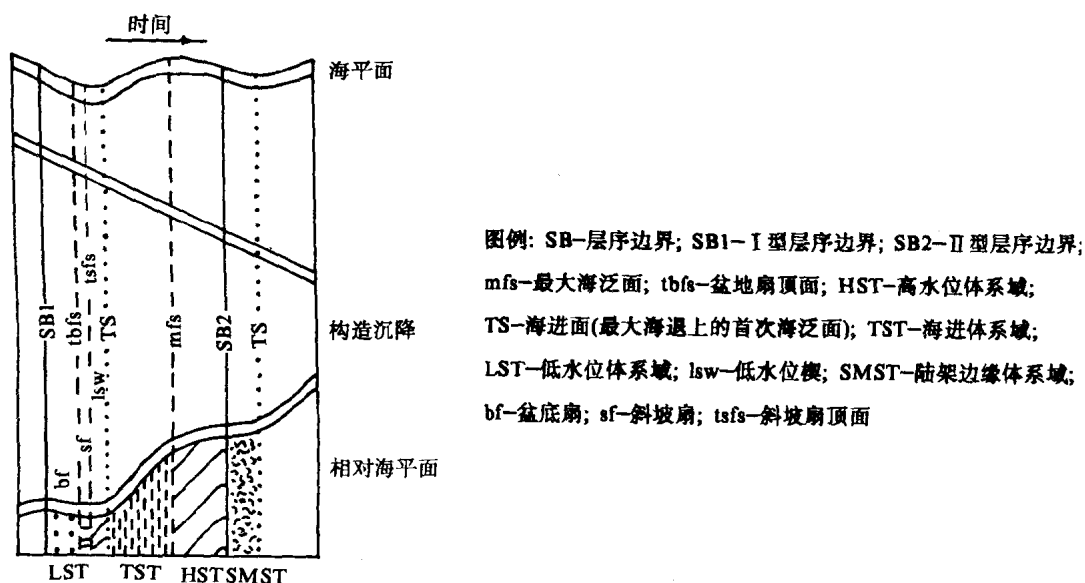


图 2-3 与海平面升降变化和构造沉降有关的体系域

(据 P.R.Vail, 1989)

第二节 层序地层分析基础

层序地层的主要目的是通过关键界面(Key surfaces)即层序边界、首次洪泛面和最大洪泛面的识别与追踪, 划分、对比层序、体系域及密集段, 并与沉积体系、由地震相转化的沉积相联系起来, 总结层序地层分布规律, 最终建立年代地层格架。在此基础上, 编制体系域、沉积体系和相图并建立沉积模式和进行油气藏预测。

根据层序地层学和沉积学原理, 地层单元可以是最小的纹层, 也可以是最大的单位——层序。识别各级地层单元及用于年代和岩相对比是层序地层学研究中的重要内容。

一、纹层、纹层组、层和层组

沉积体是由纹层、纹层组、层和层组构成的。这些小地层单元是准层序的基本组成单位。详

细特征见表 2-2。

表 2-2 纹层、纹层组、岩层和岩层组的详细特征
(据 Campdell, 1967)

地层单位	定 义	地层单位特征	沉 积 作 用	边 界 面 特 征
岩层组	一组相对整合的有内在联系的岩层序列。它以侵蚀面、不整合面或与它们相关的整合面为界 (叫岩层组界面)	界面上、下岩层成分、结构或沉积构造不同	幕式的或周期性的 (与下岩层同)	(与下岩层同) 岩层组及岩层组界面所代表的地质年代较岩层长通常在横向上比岩层面分布广
岩 层	一组相对整合的有内在联系的纹层或纹层组序列, 以侵蚀不整合或与之有关的整合面为界面	不是所有的岩层都包含纹层组	幕式或周期性的事件沉积, 包括风暴沉积, 泛滥沉积, 泥石流及浊流沉积, 周期性沉积 由于季节或气候变化的沉积	形成速度, 从几分钟到几年 在层序范围内, 将所有新老地层分开 相带变化以层面为边界 对某种环境下的年代地层学有用 岩层界面所代表的时间较岩层面所代表的时间长 分布范围变化大, 从数平方英尺到 100 平方英里
纹层组	一组相对整合的有内在联系的纹层序列, 以侵蚀面、无沉积作或与之有关的整合面为界面 (叫纹层组界面)	由一组或一套整合的纹层组成, 该纹层在岩层中有明显的构造	事件性通常发生在浪成或流水波痕岩层中, 浊流、浪成波痕, 发育在丘状层理中或与流动波纹相反的交错层理, 或前积层的波痕外缘	形成迅速, 几分钟到几天 比岩层分布范围小
纹 层	最小的肉眼可识别层	在组成成分及结构上一致, 内部不 分层	事 件 性	形成非常迅速, 几分钟到几小时 比岩层分布范围小

注: 1 英尺 = 30.48cm 1 英里 = 1.609km

二、准层序和准层序组

(一) 定义

1. 准层序(Parasequence)

准层序是指一系列相对均一的成因上有联系的层或层组所组成的地层单元,它以洪泛面(或海泛面)或与之相对应的面为界(表 2-3)。洪泛面是指区分新老地层的一个面,在地区性盆地范围内,洪泛面为一个平坦的界面,在大区域上也仅有较小的地势起伏,穿过该面具有水体骤然变深的证据。这个面往往形成于水下旋回式的微小“侵蚀”或非沉积作用期。在层序最底部或最顶部,其界面与层序边界重合。根据 Van Wagoner(1985)的研究,准层序易于在滨岸平原、三角洲、海滩、潮坪、海湾和陆架环境中识别,而在缺失海相地层的河流剖面或深水、半深水环境中难以辨认。这种状况在湖泊环境中也极为相似。

2. 准层序组(Parasequence Set)

准层序组是由一系列成因上有联系的准层序在空间上叠置而成的地层,它以主洪泛面(或主海泛面)或与之相对应的面为界。

(二) 鉴别特征

1. 准层序的识别特征

准层序一般几米至几十米厚,分布范围数千米至数十千米,延续时代范围为 100 年至 10000 年以上。准层序的界面是洪泛面,通常在向上变粗的序列中,洪泛面之上多为较深水的岩性(如陆架泥质岩),其下为较浅水的岩性(例如滨面砂岩或海滩砂岩),表明发生过极其短暂的沉积间断。与洪泛面有关的水下侵蚀,厚度为几厘米甚至十几米,通常仅几米。在向上变细的序列中,准层序界面的情况与向上变粗的序列恰恰相反;并且有时见水进滞留沉积物,但一般小于 0.61m(据 Van Wagoner, 1990),具有在水进期在滨面上发生对下伏地层侵蚀作用而形成的介壳、介屑、泥岩屑、钙质结核及角砾或砾石。此外,在准层序界面上,还可以见到其它类型的滞留沉积,例如与层序边界相联系的下切谷底部的河道滞留沉积和强烈生物扰动、钻孔的滞留沉积,沉积于密集段之上混积有介屑、鲕粒或豆粒碳酸盐沉积物的细粒硅质碎屑。

典型的向上变粗的准层序,其层或层组(bed or bedset)厚度、砂岩中的粗粒组分及总体粒度、砂岩/泥岩比率均向上变大;而向上变细的准层序,愈向上层(或层组)愈薄、砂岩粒度变细和砂岩/泥岩比率变小(图 2-4A 和图 2-5B)。

根据准层序的特征,在露头、岩心和测井曲线上均能较易地划分准层序。在测井曲线上准层序的特征比较明显,每一个准层序相当于一个次级水进或水退旋回。

2. 准层序组的识别特征

准层序组一般几米至几百米厚,分布范围与准层序相似,时代区间为几千年至数万年甚至数十万年。准层序组以主洪泛面及相关的面为界,该面能够区分开典型的叠复在一起的准层序组合型式,该面也可能与准层序界面重合,或者是一个下超面并与体系域的界面重复。

在准层序组中准层序的叠复方式,按照沉积速率与可容纳空间增长速率的比值,可以划分出前积型、退积型和加积型(Van Wagoner, 1985)(图 2-6)。例如,前积型准层序组,愈向深水盆地一方准层序愈年轻,原因是沉积速率超过了可容纳空间的增长速率;退积型是指滨线向陆移动或后退,在其准层序组中的每个准层序也许是前积式的,但是总体上为向上加深的组合或呈水进型式,造成这种形态的原因是可容纳空间的增长速率大于沉积速率;当沉积速率接近可容纳空间增