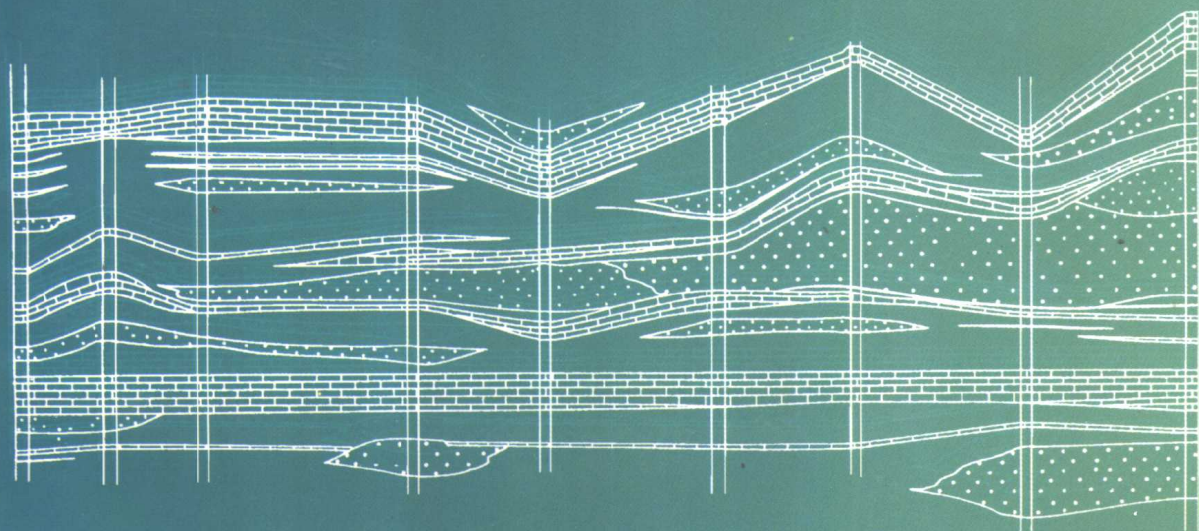


华北陆表海盆地南部 层序地层分析

李增学 魏久传 等著



地质出版社

华北陆表海盆地南部 层序地层分析

主 编 李增学 魏久传
副 主 编 王明镇 张锡麒 房庆华
参加编写 韩作振 李守春 李青山 余继峰

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书为含煤地层层序地层分析方面的成果专著,由绪论和8章内容组成,论述了山东及邻区晚古生代古生物群及含煤地层沉积时的区域地质背景,提出了与国际地层划分接轨的地层划分方案,重点论述了晚古生代陆表海聚煤盆地含煤地层的层序地层学特点,包括层序地层分析的基本思路、陆表海盆地层序划分的原则、层序界面类型,最终建立层序地层格架。对陆表海聚煤盆地充填特征、沉积体系类型与演化、海平面变化与聚煤作用等进行了深入分析,并进行了沉积体系域重建。

本书可供从事煤田地质、油气地质、沉积学及盆地分析、层序地层分析的科研人员、生产技术人员以及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

华北陆表海盆地南部层序地层分析/李增学等著.-北京:地质出版社,1998.12

ISBN 7-116-02748-3

I. 华… I. 李… III. 海洋-构造盆地-地层层序-华北地区 N.P736.22

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第01299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:张新元

责任校对:李 玫 关风云

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所发行

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:17.75 插页:26 字数:420千字

1998年12月北京第一版·1998年12月北京第一次印刷

印数:1—500册 定价:42.00元

ISBN 7-116-02748-3

P·1975

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

层序地层学是 80 年代以来逐渐发展起来的新兴边缘学科,是在当代沉积学-地层学发展中,尤其是在沉积盆地研究领域中最具有全面影响的学科,它为盆地的沉积充填研究提供了比以前更为完善的一整套理论和方法体系。国内外地学界普遍认为,层序地层学的出现对沉积学、地层学、煤和石油与天然气地质学,以及大地构造学等许多领域带来了深刻影响,并被看作具有变革意义的地质科学的学科生长点。

层序地层学的理论和方法源于国外油气地质研究的总结;在煤田地质学领域开展层序地层学研究是一项崭新的课题,需要在追踪国外先进学术思潮和理论的同时做些开拓性工作,以便在煤田地质学领域应用、推广和发展层序地层学的理论及方法体系。应当看到,我国在煤田地质领域具有应用和发展层序地层学的扎实基础和十分有利的条件,如密集的钻探工程、地下开采工程、多年来积累的大量钻井和测井资料、精细的地层划分和对比,以及煤田地质学领域多年来进行沉积学和旋回地层研究的基础等,这些都为开展层序地层研究提供了资料基础和条件。

1993 年 1 月至 1996 年 12 月,我们承担了国家自然科学基金项目“山东及邻区晚古生代含煤地层的层序地层分析”(No. 49272122)的科研任务,重点开展了华北晚古生代大型陆表海聚煤盆地南部含煤地层的层序地层分析。这项研究工作是在前期工作的基础上进行的。前期工作主要包括山东省自然科学基金项目“鲁西南石炭—二叠纪含煤岩系沉积体系研究”(1991 年 1 月至 1993 年 12 月),及其它大量含煤地层沉积环境分析和山东及邻区含煤地层古生物群研究。通过上述工作,获得了一些系统成果,如含煤岩系成因相及其构成、沉积体系类型及其演化与煤聚积关系、古生物群及地层划分等;并运用层序地层学的理论和方法分析了鲁西南煤田石炭—二叠系含煤地层的层序地层单元。可以说,本书是著者们近 6 年来科研成果的总结。

山东及以南的徐州煤田、两淮煤田位于华北晚古生代大型聚煤盆地的东南缘,是煤层较为富集的区域,也是沉积相变较为明显的地带,它在华北晚古生代聚煤盆地研究中占有十分重要的地位。虽然在本区还有不少学者曾开展过成煤环境分析,并取得了一些成果,但其研究内容和方法均较陈旧,也较局限,缺乏系统性。在研究方法上多是以垂向层序研究和单井柱状研究为主,对聚煤盆地整体形态(三维空间)、充填演化、界面追踪、事件沉积等的分析缺乏完整性和系统性。当代沉积学-地层学的边缘学科先进理论——层序地层学理论的提出,为全面系统地进行陆表海盆地含煤岩系沉积学分析,开展高精度岩相古地理编图与聚煤规律研究,进行科学的沉积盆地资源评价和预测,提供了依据和新的研究思路。近年来,层序地层学在含煤盆地分析中得到广泛应用,使含煤盆地层序地层学逐步形成具有特色的新兴学科。

本书涉及的研究区包括山东诸煤田,即淄博、新汶、肥城、黄河北、宁阳、济宁、兖

州、滕县、陶枣、巨野和金乡等煤田，山东邻区包括徐州煤田和两淮煤田。研究区内包括了我国两大重要的煤炭基地——兖州矿区和两淮矿区，积累有大量各勘探期的钻探、测井资料，实测资料和测试分析资料，淄博地区有良好的地层露头可供实测和追踪，具有开展当代层序地层学研究的基础条件。

在 6 年多的研究工作中，我们查阅了研究区内 1 万余个钻孔及开拓开采地质资料，获得了大量用于砂体分析、富煤单元和小层序岩相古地理编图的有关数据，收集了大量煤岩、煤质资料，实测石炭—二叠系露头剖面 3000 余米，观察分析及采样的现行钻孔 15 个，磨制薄片 500 个，进行电镜扫描和古生物（尤其是微体古生物）系统分析剖面（钻孔柱状）5 个，编制了长距离的沉积断面图、断面网络图、砂体图、富煤单元图等 300 余幅。实验项目包括微量元素、岩矿和粒度分析、主要海相层古盐度分析、扫描电镜分析、孢粉分析，以及煤岩定量分析和煤质指标分析等。

研究期间，著者在《沉积学报》、《地质科学》、《煤炭学报》等国家自然科学核心刊物上发表了与此科研课题相关的论文 20 余篇，在国际学术会议上发表相关论文 3 篇，作为研究成果的重要组成部分，完成博士学位论文 1 部，硕士、学士论文 3 部，国家自然科学基金项目成果报告 1 部。这些成果为本书的撰写打下了坚实的基础。

参加国家自然科学基金项目的主要研究人员有：李增学（项目负责人）、魏久传、李守春、王明镇、张锡麒、李青山、房庆华等。山东省自然科学基金项目主要研究人员有：李增学（项目负责人）、李守春、魏久传等。在项目研究工作中，中国地质大学（北京）李思田教授、李祯教授始终给予悉心指导、帮助和支持；中国科学院院士杨起教授和王鸿祯教授，以及张鹏飞教授、孙永传教授、田兴有研究员、何镜宇教授、童有德教授级高工、李宝芳教授、余素玉教授、乔秀夫研究员、叶孰和教授、李永庆教授等项目成果给予了充分肯定，并提出了一些建设性意见。山东矿业学院地球科学系研究生金秀昆、兰恒星和韩美莲同志，92 届和 94 届毕业生周霄鹏、代世峰等 16 位同学参加了部分研究工作。中国地质大学（北京）电镜实验室、北京科技大学承担了部分试验项目，山东矿业学院杨玉娟工程师、王乃红老师为研究工作提供了制样、磨片服务，山东煤田地质局、山东各矿务局、徐州矿务局、安徽煤田地质局、中国煤田地质总局第一勘探局等单位提供了大量资料和帮助。研究生刘德勇、张德强、蒋汉朝同志清誊了全部书稿，靳玉芝同志清绘了全部插图。在此向以上为研究工作给予指导、提供帮助和支持的专家、老师和同行们表示衷心的感谢！

本书为国家自然科学基金项目成果专著，由绪论和 8 章内容组成。绪论简要阐述了层序地层学形成、最新进展和华北晚古生代聚煤盆地研究概况；第一章介绍了华北晚古生代古生物群及研究区古生物群特征，以及地层划分与对比概况；第二章至第七章主要介绍了陆表海聚煤盆地层序地层分析的思路、方法、主要成因相和沉积体系、层序划分及其内部构成单元、盆地充填演化特点、体系域重建和海平面变化分析；第八章主要介绍煤系共生、伴生矿床及形成条件，以及煤层气资源概况。具体分工是：由李增学、魏久传担任主编，王明镇、张锡麒、房庆华担任副主编；前言和绪论由李增学执笔，第一章第一节和第三节由王明镇执笔，第一章第二节由张锡麒执笔，第二章、第三章由李增学和李守春执笔，第四章第一节由房庆华执笔，第四章第二节至第五节由李增学、李青山执笔，第五章由李增学、

魏久传执笔，第六章由魏久传、李增学执笔，第七章由李增学、魏久传执笔，第八章第一节至第三节由韩作振、余继峰执笔，第八章第四节由李增学执笔；结论由李增学执笔，英文摘要由魏久传翻译。全书最后由李增学、魏久传统编、定稿。

由于著者水平有限，时间紧迫，书中错误和不妥之处难免，敬希同行指正。

作 者

1998. 11

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 华北陆表海盆地区域地质背景	10
第一节 区域地层	10
第二节 晚古生代生物群	14
第三节 晚古生代含煤地层	35
第二章 陆表海盆地含煤地层层序地层分析的基本思路和方法	64
第一节 陆表海地层层序地层分析的基本思路	64
第二节 相和沉积体系分析	65
第三节 盆地充填的层序地层级次划分	67
第四节 工作方法要点	77
第三章 陆表海聚煤盆地的层序地层划分	81
第一节 层序划分的基本原则	81
第二节 层序界面的识别和类型	83
第三节 小层序的识别和分析	88
第四节 陆表海地层层序地层格架	98
第五节 煤岩煤质指标变化与层序地层格架的关系	110
第四章 陆表海聚煤盆地充填分析	113
第一节 主要岩石类型及岩性特征	113
第二节 沉积体系及主要成因相构成分析	120
第三节 陆表海盆地充填特征和盆地演化	146
第四节 晚二叠世盆地演化及其充填特征	154
第五节 盆地的构造格架和演化	156
第五章 陆表海盆地沉积体系域重建 (一) ——兼论海侵过程成煤特征	158
第一节 海侵体系域单元	158
第二节 富煤单元的分布	162
第三节 煤体形态、煤质及其沉积控制	168
第四节 海侵过程成煤	170
第六章 陆表海盆地沉积体系域重建 (二)	172
第一节 高水位体系域单元划分	172
第二节 潮坪沉积体系与聚煤作用	178
第三节 障壁-泻湖沉积体系与聚煤作用	185
第四节 河控浅水三角洲沉积体系与聚煤作用	193

第五节	盆地演化与成煤作用的阶段性·····	206
第七章	晚古生代陆表海盆地海平面变化分析·····	207
第一节	海平面变化的周期性特点及成因·····	207
第二节	海平面变化的周期级次与层序地层单元的响应·····	211
第三节	突发性海侵事件和盆地富煤作用特点·····	215
第四节	含煤地层中的微量元素和海相层的古盐度分析·····	218
第五节	晚古生代华北聚煤盆地海水进退总趋势及盆地演化·····	221
第八章	煤系共生伴生矿床及其形成条件·····	226
第一节	煤系主要共生和伴生矿床·····	226
第二节	矿床质量和资源潜力·····	230
第三节	主要伴生矿床的形成条件·····	251
第四节	煤层气资源·····	253
结 论	·····	260
参考文献	·····	263
英文摘要	·····	267

CONTENTS

PREFACE

INTRODUCTION 1

CHAPTER 1 THE REGIONAL GEOLOGICAL BACKGROUND OF

THE NORTH CHINA EPICONTINENTAL BASIN 10

1.1 The regional strata 10

1.2 The Late Paleozoic biota 14

1.3 The Late Paleozoic coal measures 35

CHAPTER 2 THE BASIC METHODOLOGY OF SEQUENCE

STRATIGRAPHIC ANALYSIS OF THE COAL

MEASURES IN THE EPICONTINENTAL BASIN 64

2.1 The basic methodology of the sequence stratigraphical analysis in the epicontinental basin 64

2.2 The analysis of facies and depositional systems 65

2.3 The rank of sequences in the basin-filling succession 67

2.4 The methodology of research work 77

CHAPTER 3 THE DIVISION OF SEQUENCES IN THE EPICONTI-

NENTAL COAL-BEARING BASIN 81

3.1 The basic principle of the division of sequence 81

3.2 The identification of sequences and their types 83

3.3 The identification of parasequences 88

3.4 The sequence stratigraphic framework 98

3.5 The relationship between the coal petrology, coal properties and the sequence stratigraphic framework 110

CHAPTER 4 THE ANALYSIS OF THE BASIN-FILLING OF THE

EPICONTINENTAL BASIN 113

4.1 The main rock types and their lithological features 113

4.2 The depositional systems and the main genetic facies 120

4.3 The characteristics of basin-filling of the epicontinental basin and its evolution 146

4.4 The basin evolution and filling in the Late Permian 154

4.5 The tectonic framework and evolution of the basin 156

CHAPTER 5 THE RECONSTRUCTION OF THE DEPOSITIONAL

SYSTEM TRACTS OF THE EPICONTINENTAL

BASIN (1): Also a Discussion on the features of coal measures during marine transgression	158
5.1 The units of the transgressive system tracts	158
5.2 The distribution of the coal-rich units	162
5.3 The form of coal body, coal properties and their depositional origin	168
5.4 The coal accumulation in the process of marine transgression	170
CHAPTER 6 THE RECONSTRUCTION OF THE DEPOSITIONAL SYSTEM TRACTS OF THE EPICONTINENTAL BASIN (2)	172
6.1 The division of the highstand system tract units	172
6.2 The tidal flat depositional system and the coal accumulation	178
6.3 The barrier-lagoon depositional system and the coal accumulation	185
6.4 The fluvial-controlled shallow water deltaic depositional system and the coal accumulation	193
6.5 The evolution of the basin and the periodicity of the coal accumulating stage	206
CHAPTER 7 THE SEA LEVEL CHANGES IN THE LATE PALEOZOIC EPICONTINENTAL BASIN	207
7.1 The periodicity of the sea level changes and the origin	207
7.2 The periodical rank of sea level changes and their sequence stratigraphical response	211
7.3 The spasmodic transgressive events and the features of coal enrichment process of the basin	215
7.4 The microelements analysis in the coal measures and the paleosalinity of the marine strata	218
7.5 The general trend of marine transgression and regression in the epicontinental basin and the evolution of the basin	221
CHAPTER 8 THE COAL ASSOCIATED DEPOSITS IN THE COAL MEASURE AND THE CONDITIONS OF THEIR FORMATION	226
8.1 The main associated deposits in the coal measure	226
8.2 The quality of the deposits and the potentiality of the economic sources	230
8.3 The formation conditions of the main deposits	251
8.4 The coal methane as a kind of resources	253
CONCLUSIONS	260
REFERENCES	263
ENGLISH ABSTRACT	267

绪 论

一、层序地层学的形成与发展

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，它要求应用各种现代科学技术的最新成果，并使各门学科紧密地结合起来。层序地层学在煤田地质研究领域的应用和发展就是当代煤地质沉积学、地层学及相近学科理论和方法的综合运用。层序地层学给煤地质学研究带来了新的思路和方法技术，自 80 年代后期以来，煤田地质领域的层序地层研究出现勃勃生机。如何灵活地运用层序地层学的思路和方法，在不同沉积盆地分析中进行开拓，是当代盆地分析工作面临的关键课题。因此，本书对层序地层学的形成与发展作一简要回顾。

（一）层序地层学产生的萌芽时期

层序地层学一般原理的产生可以追溯到 100 多年前 (Sloss, 1988)。19 世纪中叶，地质年代学和地层年代学的基本研究手段已经建立，那时确定的“纪”及其对应的“系”（如寒武纪/系、白垩纪/系，等等）被地质界广泛接受。20 世纪初，地层学家逐渐意识到了区分岩性地层与年代地层的必要性，如对每一个大的年代地层（如统或系）的分界面，要求为不连续面的做法，比较好地指导了各大陆和克拉通范围内有关“系”和“统”分界面的确立。对更小的地层单元的研究及其命名，如对沉积韵律层以及其它代表一种沉积过程形成的地层单元的识别，标志着已对“成因地层”有了初步认识 (Wanless 和 Weller, 1932)。

然而，“层序”一词的提出是 20 世纪 40 年代末的事。Sloss 等人于 1948 年在美国地质学会沉积相研讨会上正式提出“层序”的概念，到本世纪 70 年代为“层序地层”的初期阶段，没有形成“层序地层学”的系统理论和方法体系。Sloss 等人的层序概念主要来源于对美国蒙大拿克拉通盆地的研究，他们将北美克拉通盆地晚前寒武纪至全新世的沉积地层以区域不整合面为界划分出 6 大套地层，并称之为“层序”，认为层序是“实用的作图单元” (Sloss, 1963)。Kurmbei 和 Sloss (1951) 在教科书中将层序定义为“大构造旋回的岩石记录”。因此，Chang (1975) 后来将 Sloss 等人定义的层序称为“构造层” (synthem)。该阶段的主要贡献是：①一个克拉通盆地的地层可以合理地划分为以主要区域不整合面为界的地层单元；②一个克拉通盆地的历史可以区分为几个构造阶段，每个阶段形成一套地层。但是，Sloss 的观点在 20 世纪 50 年代至 70 年代早期，除了 Wheeler 和他以前的学生，以及他最熟悉的人之外，仅有少数人接受 (Sloss, 1988; Wagoner 等, 1990)，而且，当时的研究区域仅限于克拉通盆地。

（二）地震地层学阶段

层序地层学发展中的一个重要阶段——“地震地层学”的产生。1977 年，由 Payton 主编的《地震地层学在油气勘探中的应用》论文集出版，标志层序地层学已成为一门独立的

分支学科,进入了地震地层学成熟发展的重要阶段。与前期主要通过露头研究不同,这一阶段主要用地震资料研究沉积层序。地震地层学建立了一整套地震层序分析方法,如地震层序划分、地震相分析及其向沉积相分析的转化等,这与层序地层学的初期阶段和成熟阶段的基本做法是一致的,即:先划分以不整合面为界的层序,尔后研究层序内部特征(如沉积相分布等)。因此,地震地层学被认为是层序地层学发展中的一个非常重要的阶段(Sloss, 1988; Van Wagoner 等, 1990)。

与 Sloss 等人最初的克拉通盆地的研究成果相比,地震地层学是层序地层学发展史上的一个重要事件,是层序地层学发展和演化史上的一次飞跃。主要表现在:①建立了一套系统的利用地震资料进行沉积层序分析的技术系统和方法体系(Vail 等, 1977);②提出了利用地震剖面中反射界面上超点的迁移幅度研究海平面变化的方法(Vail 等, 1977)。这种方法虽存在一些问题,但由于研究海平面变化目前没有更为理想的方法,至今仍被广泛应用(Kendall 等, 1988);③建立了被动大陆边缘盆地的地层分布模式,该模式成为后来 Posamentier 等(1988)、Galloway (1989)建立具有成因意义的层序演化模式的基础;④层序地层学沿用了沉积学发展中一些重要概念,如层序、体系域等(Mitchum 等, 1977; Brown 等, 1977)。

(三) 层序地层学的成熟发展阶段

80 年代以来,层序地层学进入蓬勃发展时期,这一时期最重要的进展首先是在石油地质学界,随后迅速波及到几乎所有与沉积岩及沉积学有关的地学分支学科,成为当今世界地质学界最热门的研究领域之一,被誉为“地质学中的一场革命”(Brown, 1990; Vail, 1991)。因此,层序地层学的出现对地层学、沉积学、煤和石油天然气地质学,以及大地构造学等许多领域带来深刻影响,并被看作具有变革意义的地质科学的学科生长点(李思田, 1992)。

层序地层学进展首先表现在对沉积层序的定义和解释上, Mitchum 等人把层序的定义修改为“一组由不整合面或与之相对应的整合面为顶、底界面的相对整合连续的、在成因上相关的地层序列组成的地层单位。”Vail、Wagoner、Mitchum 等人定义的层序比 Sloss 原来定义的层序单元小得多,而 Sloss 的“层序”成为 Exxon 旋回图上的“超层序”(Van Wagoner 等, 1990)。可以认为,层序概念的这种演化是日臻完善的地震反射技术的必然结果。

层序地层学发展中有如下几个重大事件:①1985 年美国经济古生物学家和矿物学家学会(SEPM)组织了题为“Sea-level Change: An Integrated Approach”的研讨会,并于 1988 年出版了会议论文集(SEPM 42, 1988)。该论文集在层序划分、层序特征描述、层序成因分析和层序年龄确定等方面提出了一整套理论和方法,并明确了层序地层学研究的对象、内容和任务,为以后层序地层学的发展奠定了基础。Sea-level Change: An Integrated Approach (《海平面变化——综合研究方法》)被誉为“经典层序地层学”。②加拿大石油地质学家学会(Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 15, 1988)、美国石油地质学家协会(AAPG)、SEPM 湾岸分会(Gulf Coast Section of SEPM, 1990)、国际沉积学家协会(International Association of Sedimentologists Special Publication, 1992)相继组织召开了层序地层学方面的学术研讨会或出版了专集,如 AAPG Methods Exploration Series, No. 7 (1990); Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores and Outcrops; Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies 等专著,极大地丰富和发展了

层序地层学的理论和方法体系。③Mitchum 和 Wagoner 等人提出“高频层序”新概念,为层序地层格架的高精度对比提供了依据。高频层序即三级以上的层序单元,而三级和四级层序是层序地层学分析的基本单元。高频层序具有以下三个特点:一是单元小(或细),即形成层序所经历的时间短。Van Wagoner 等(1990)提出周期为 0.1~0.15 Ma 的四级高频层序;二是层序的全球统一性,即在一个盆地形成的某个层序,在世界其它盆地通常也能找到与之同时形成的层序;三是层序的可识别性,因为层序的顶底界线是以不整合面或可与之对比的整合面为界,而且该界面是真实的物理的原始界面,因此在岩心、露头、测井曲线以及高分辨率的地震剖面上,仅仅依据地层的各种接触和组合关系就可以确定层序边界,再配合以生物地层资料,便可建立统一的年代地层对比格架,实现年代地层划分与对比。

所以,地学界给予层序地层学很高的评价。人们普遍认识到,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场革命,它开启了了解地球历史的新阶段(Vail, 1991)”;“地层学目前正在进行一场革命,一个世界范围内对旋回式层序和沉积体系概念的评价……正在大学和跨国石油公司中进行(Brown, 1990)”;“地震地层学引起了地层学分析的一场革命,其意义之深远不亚于板块构造引起的革命,结果是,几乎所有涉及到沉积岩的学科被重新研究和重新受到重视,大量新问题正在涌现”;“地震地层学概念正在与地层学分析的更传统方法结合起来,融合成新的概念,可能永远改变借以解释和了解沉积岩的科学和方法”;“为建立地层体系结构、沉积相分布和盆地演化的数字模型提供了理论基础。地震地层学在这方面的贡献,可能多于任何其它学科,它是科学从定性领域进入到定量领域的推动力”(Cross 和 Lessenger, 1987)”;“它(指层序地层学)对发展基础地质学、地层学、沉积学和构造地质学有重大贡献,而且可以大大地提高油气普查勘探工作效果(前苏联科学院主席团决议, 1988)”。

显然,层序地层学作为当代地质学取得重大进展的新学科,正在受到地质及地球物理工作者的普遍重视,并在沉积学、地层学等许多领域,特别是在石油、天然气勘探中得到广泛应用。1992 年 6 月在加拿大召开的 AAPG 年会上(Calgary, 6 月 21 日至 24 日),来自各国的 5000 余名地质及地球物理工作者宣读及展示了一大批成果,其中与层序地层研究有关的论文在数量上占首位。许多石油公司的研究者介绍了应用层序地层学在寻找油气中取得的效益,如 Amoco 石油公司在工作中对测井曲线进行了深度-时间校正,使之能直接与地震剖面 and 古生物等资料进行一体化的层序地层研究,在 Beaufort 海和阿拉斯加地区发现了新的靶区。联合太平洋公司在东科罗拉多和西堪萨斯州的工作中用层序地层学的方法重新进行整体评价,发现了长距离延伸的谷地充填砂体,从而在找油目标上进行了战略上的改变。D. Weimer 指出,层序地层学应用以来最重要的找油新领域之一是层序界面上的谷地充填砂体。在尼日尔三角洲地区应用墨西哥湾盆地的模式和经验,在新的地震、钻井资料基础上完成了一系列层序地层大剖面,从而发现了丰富的有经济价值的油气圈闭。层序地层学的方法正在不同类型的盆地中应用,并已被证明有较高的有效性。这些盆地既包括被动边缘盆地,也包括活动边缘盆地;既有伸展型盆地(如北海裂谷),也有挠曲型盆地(如 Alberta、Denver 等前陆盆地)。除了与海相沉积有关的盆地外,不少学者在内陆盆地中进行了探索,有的学者提出了湖泊盆地的三维地层模式。

二、层序地层学研究进展和存在的主要问题

(一) 层序地层学研究进展

90年代以来,在层序地层学研究领域出现了巨大的、快速的、革命性的发展,由以海相沉积地层为主的盆地扩展到陆相沉积为主的盆地,由稳定的大陆边缘海盆地扩展到其它类型的沉积盆地,层序地层学概念体系和分析系统得到充实和完善,综合起来主要表现在如下几个方面:

(1) 以不整合面为界面的层序地层分析方法,与生物地层学、放射性年代学、磁性地层学相结合,使层序地层学由岩性地层学的范畴进入到年代地层学的发展阶段(Haq等,1988)。

(2) 通过对控制沉积盆地的几个基本因素(如构造沉降、海平面变化、沉积物供给、古气候条件等)的深入分析,深刻地揭示了层序的成因(Posamentier等,1988;Galloway,1989),为层序划分和对比、沉积层序特征分析、建立层序构成模式提供了标准或依据。

(3) 综合利用地震、测井和露头资料进行层序地层学研究,使层序划分和层序内部构成分析更为精细和准确(Van Wagoner等,1990)。

(4) 与沉积学、构造地质学、古生物学、地震地层学、测井地质学等许多地质分支学科紧密地结合起来(Haq等,1988;Van Wagoner等,1990),使层序地层学成为广泛联系多门地质分支学科的理论和方法的一门综合性学科。

(5) 通过层序地层分析提取沉积盆地各方面的参数,应用现代计算机技术对各种盆地进行模拟,对盆地的沉积史、沉降史等方面进行精确的模拟,从而对盆地演化的认识更加深刻(Jervey,1988;Kendall等,1988)。

(6) 克拉通盆地和被动大陆边缘盆地的层序地层研究方法,已被推广应用于其它类型的沉积盆地,如裂谷盆地(Hutchison等,1992;Hamblin,1992;Underhill,1991),前陆盆地(Weimer,1992;Fraser,1992)等,不仅在硅质碎屑岩沉积盆地开展层序地层学研究,而且也在碳酸盐岩沉积盆地中开展工作(Sang,1988)。

(7) 消除了地层学中长期存在的年代地层与岩性地层及生物地层三重命名造成的混乱现象。层序地层学建立的识别各级层序边界的方法,为等时地层划分和对比提供了有力的理论依据和方法系统保障。以往人们根据某一项或几项标志,提出的地层划分方案,有古生物的、岩性的、放射性同位素年龄的、古地磁的等,但是由于没有对沉积体从成因和演化的角度去全面系统地研究,势必造成地层命名的混乱和地层划分的穿时现象。

(8) 地层分布模式的建立,提高了地质学家对生储盖组合、富煤带分布和沉积盆地各种地层参数的预测能力,为确定油气新产层、老产层扩边和圈定有利隐蔽地层-岩性圈闭、煤聚积规律提供了更科学的依据。

因此,层序地层学为沉积盆地充填研究提供了新思路与系统方法,全球海平面变化及其对沉积体系配置的控制是层序地层学的重要支柱,这样,划分层序地层单元的界面除了构造运动引起的区域性不整合面以外,海水进退的周期性所造成的(包括不整合面)界面成为重要而又普遍的标志。需指出的是,层序地层学作为一门独立学科的时间不长,各种盆地的研究程度也很不平衡。除了被动大陆边缘海含油气盆地外,其它类型盆地的层序地

层学研究程度均比较低,因而,需要沉积盆地分析工作者做些开创性工作。

(二) 层序地层学存在的主要争论焦点

层序地层学在发展及应用过程中也存在着不同的意见和争论,比较集中的问题是对海平面变化的全球性问题存在不同见解。如全球海平面周期性变化的机理,如何测定地史时期的全球海平面变化,全球海平面变化和相对海平面变化如何辨别;还有对层序划分界面的不同见解和方案,以及经典层序地层模式的适用范围、地质事件对层序型式的影响等。

(1) Boyd 等人(1989)对 Vail 等人提出的与冰川溶解有关的全球性海平面变化提出了反对意见,因为有些时期(如侏罗纪和白垩纪)全球较温暖而无冰川,无法用冰融机制解释海平面变化机制。

(2) 作为建立海平面变化周期的一种主要方法——从反射地震剖面上所认识的超结构(On-lap),一些学者提出了尖锐的质疑。海平面变化可以产生上超现象,但一定条件下也可以产生于构造作用。Underhill 等人(1991)在北海的研究表明,沿铲形的盆缘断裂发生的沉积伸展构造运动引起了半地堑稳定边缘的海岸上超,此种海岸上超也是划分层序界面的依据。N. W. Drison (1992)在纽芬兰滨外的工作得出了类似结论,该区作为层序界面的不整合面记录了幕式的裂隙作用和断块的旋转运动。

(3) 以往大西洋型边缘的沉积层序被认为是受海平面变化与构造沉降控制,而 Reynolds, Steckler 和 Coakley (1992)对大西洋边缘盆地沉积层序所作的计算和模拟对说明层序形成因素的复杂性是非常有用的。以大西洋被动边缘盆地的典型层序为依据完成的计算机模拟结果表明,如果忽略了构造、沉积补给和压实等因素而单一强调海平面变化,将会导致解释上的错误,事实上层序的界面和内部构成取决于多种因素的复杂的相互作用。

(4) Pitman 等(1978, 1989)对大西洋型被动边缘的层序地层演化进行了计算,指出地层记录中的海水进退不一定表明发生了全球性海平面上升事件或下降事件。海平面上升或下降速度的变化可导致同样的结果,向海岸的超覆也可能发生在海平面下降速度减慢的时期。此外, Pitman 指出 Haq 的海平面变化年表中的中新世以前部分的许多资料取自前陆盆地和裂谷盆地,这些盆地中幕式的构造运动强烈地影响着沉积充填样式,在没有排除构造因素的情况下,只能表现为区域相对海平面变化(RSL),而不足以作为全球性对比的依据。

(5) 层序地层学形成高潮以来另一个广泛性的问题是层序地层学的术语体系及其与已形成规范的年代地层和岩性地层术语体系的关系。几乎所有有关层序地层学的会议都涉及了这些概念的讨论与争论。目前流行的是 Exxon 公司的地质学家即 Vail、Wagoner 等所建议的术语体系(Van Wagoner 等, 1990)。需要指出的是,层序地层学早期发展过程中对术语的使用即存在很大区别。例如,“以不整合面为边界的层序”的最早提出者 Sloss (1949, 1963)是将层序作为很高级别的岩性地层单元,是构造旋回的岩性记录,并进一步划分为超群(supergroup)、群(group)、组(formation)和段(member);而 Weimer 则主张这些不同级别的单位对应于不同规模的层序(Weimer, 1992)。Wagoner 等所使用的层序概念规模则小得多,并进一步在内部划分出沉积体系域。

Weimer 教授作为前任 AAPG 主席在卸任之前所写的专文(1992)中就层序地层学名词问题指出,各种地层术语体系的制订应遵循下列原则:①能广泛地应用于不同的地质背景,并能适用于不同的技术;②适合新概念的完整性的发展;③既适合专家、又适合一般地质

人员在制图和描述时使用；④明确地区分对事物的主观解释与客观描述。Weimer 还强调作为一种地层术语系统应在逻辑性和级序上经得起检验，并在安排上有灵活性，他认为 Sloss 所建议的岩性地层单元命名系统（超群、群、组、段）都是不同规模的层序，其前提是这些单元的划分以不整合面（和与其对应的整合面）为边界。

（三）层序地层学是具强大生命力的新兴学科

层序地层学在近几年的发展中得到了不断充实和完善。作为层序形成机制的主控因素——全球海平面变化，在不同类型沉积盆地的层序形成中的作用也发生着变化。当代层序地层学主要奠基人之一的 Vail 教授（1990）在其专著《构造、全球海平面变化和沉积作用的地层标记》中也突出了构造对层序的影响，并提出了一整套将层序地层分析、沉降史分析和构造-地层分析结合为整体的综合地层分析方法。Vail 特别对构造-地层分析概括为 9 个步骤，其内容突出了构造沉降史与不整合面的研究，并注意沉积充填史与构造型式和受构造运动影响的 7 种构造类型分析。这 7 种类型实际上是按成因划分的，即①变格不整合（beak up unconformity）；②热抬升不整合；③前渊底部不整合；④由于构造沉降减慢造成的前渊内部不整合；⑤由于构造反转或隆起造成的不整合；⑥底辟上升不整合；⑦铲形断层的滚动不整合。

总之，层序地层学之所以被认为是一种新的、有强大生命力的概念体系和方法，并能够在广泛的领域中实验和应用，是因为它具有下列几个特点。

（1）层序地层学是一种新的地层学体系，层序地层单元的分界面是客观存在的不整合面及与之相对应的整合面，因此一个层序地层单元底部是新的沉积期开始，内部则是一个独立的序列。层序界面可以通过地震、钻井岩心和测井曲线以及露头确定，并可以连续追索（Vail, 1990; Van Wagoner, 1990）。因此，较之常规的生物地层方法，它能更准确地解决界面对比问题，并回避了地质学史上迄今常见的在地层时代、界限上的无休止争论。特别是高分辨率反射地震技术可准确、直观地确定等时物理界面。AAPG 前任主席 R. Weimer 教授指出，不整合面的识别是层序地层学之根本，脱离了这一点则与以往常规的地层研究没有区别（R. Weimer, 1992）。正因为识别不整合面如此重要，因而不整合面被作为主要的关键界面（key surface）。

（2）层序地层学的方法是在沉积盆地分析中首先建立等时地层格架，并将相和沉积体系的研究放在整体性统一格架中进行，因而能有效地揭示其三维配置关系。在含油气盆地研究中能有力地阐明生、储、盖层的配套，预测储集体的类型和分布。可以说，层序地层分析技术是在含油气盆地分析中发展起来的，并在含油气盆地研究中得到了最广泛的重视和应用。

（3）提出了对盆地充填进行解析的科学系统，各级层序地层单元以及其内部的相和沉积体系都是盆地充填的不同级别的建造块（building block）。此种解析使盆地的沉积充填研究真正进入“三维”，因此更具有实用价值。

（4）提出了海平面变化对不整合面和层序的形成及其内部沉积体系域的控制机制。以往地质工作者更为熟悉的是构造不整合和假整合，而海平面变化事实上造成了更多的关键性界面，如低位体系域底部的不整合面（LSE）、海进侵蚀面（TSE）和最大海泛面（MFS）等，这些界面在地层划分对比中均有重要意义，它们都是沉积演化的突变和转换界面。如果说以往地质学中更多地被认识的是构造因素对沉积充填的控制，那么层序地层学

的贡献是更好地揭示了海平面变化的重要影响,并在许多地区多年积累的资料基础上初步建立了海平面变化的年表(Wilgus等,1988)。

(5) 层序地层学理论和方法体系不断得到发展与完善。Mitchum等人(1991)提出了层序的旋回频率问题,在层序划分方面提出高频层序的概念,如四级层序(0.1~0.2 Ma),五级层序(0.01~0.02 Ma);层序地层学研究由海相沉积盆地扩展到陆相盆地,与生物地层学结合提出高分辨率层序地层学。

三、华北陆表海聚煤盆地研究概况

(一) 华北石炭—二叠纪内陆表海盆地的基本特点

华北晚古生代早期为一大型内陆表海聚煤盆地(韩德馨等,1980),其基底极缓的古坡度($<0.001^\circ$)难以形成侵蚀成因的角度不整合(李思田等,1993),沉积地层为一套海陆交替型含煤沉积。

聚煤期前华北是我国形成较早的古隆起区。古元古代末的吕梁运动时期,华北北部边缘的阴山构造带已经出现,秦岭构造带也开始显示。吕梁运动界面之上相继沉积了长城系、蓟县系和青白口系等碎屑岩、泥质岩及硅镁质碳酸盐岩。这是基底之上的第一套盖层。震旦系属于浅海相沉积,而寒武系底部和青白口系间的沉积间断最为重要,表明华北主体部分在距今7亿年前曾大规模隆起。寒武系与奥陶系间多为整合接触,在全区均有沉积,厚度为600~1500 m,属浅海相沉积,表明再度沉积后华北古隆起区具有整体性和稳定性的特点。中奥陶世后由于加里东运动的影响,华北整体隆起,使上奥陶统至下石炭统缺失。华北地区经历了长期剥蚀、夷平和准平原化,为晚古生代含煤岩系的沉积创造了有利条件。

上石炭统大部分覆盖在中奥陶统的侵蚀面上。本溪组(C_2b)沉积时的中国北方是一个向东微有倾斜的盆地,北为阴山,南为大别山,西为乌兰格—平凉隆起所包围,东边敞开与外海相通。盆地内沉积了海陆交替型局部含煤沉积,而在盆地的西部、南部及北部未经海水漫漫之处,仅有陆相沉积或残积物。冀、晋等地仅保存本溪地区上部的 *Fusulina* 带,缺乏下部的 *Eostaffella* 带,表明了盆地拗陷的时间是先东后西的,也表明华北地区在中奥陶世隆起后重新发生的沉积是从东而西进行的。太原组(C_2t)沉积时基本继承了本溪组沉积时的盆地轮廓,盆地中大部分为海陆交替型沉积,从海相层的分布和整个沉积物源总趋势看,苏皖地区是海水侵入的主要通道。此时较本溪组更稳定,仅西部的升降幅度及局部变化较东部区剧烈。山西组(P_1sh)沉积时华北继承了太原组沉积时的盆地轮廓及沉积特性,苏、皖一带与海平面变化仍有直接关系,但海水以退却为主,未有广泛、大量的海侵发生。盆地内部地形平坦,构造活动也相当平稳,因此过渡相沉积得以在华北地区大面积形成,但这已是内陆表海盆地上部的充填沉积。石盒子组($P_1^2+P_2^1$)沉积时,盆地不再直接受海平面变化的影响,整个盆地转变为内陆型沉积盆地,此时的含煤沉积仅限于华北地台的南缘。

综上所述,华北地台石炭—二叠纪古地理背景是:在中奥陶世以后形成的风化面上,华北地区自中石炭世后期开始陆续接受沉积,盆地的南、北两侧分别为近东西走向的秦岭—阴山隆起剥蚀区所挟持,华北为一大型内陆表海型聚煤盆地,海水进退呈高频率变化,总趋势为由强到弱,其间有几次大的海侵。早二叠世中晚期华北结束了内陆表海海陆交替型含煤沉积,进入了陆相沉积期。石炭—二叠纪总体属于一个高级别的海平面变化周期。