

中国西部大型盆地分析与 能源工程动力学

西南交通大学 赵玉光 刘宝 肖林萍 著
成都理工学院 施泽进

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 1 年 · 北 京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书主要内容系作者根据十余年完成的科研项目的基础上编写而成。全书共分七章,主要内容包括构造—沉积学、层序地层学、油气地质学、成岩作用与储层孔隙演化等。全书充分体现了多学科相互交叉、相互渗透的研究特色,提出了盆山转换动力学系统层序地层及其与成油体系耦合模型。建立了陆相盆地层序地层油气勘探动力学模式。

本书可供从事能源地质、油气工程、煤炭工程、构造地质、沉积地质和工程地质等部门的工程技术人员使用,同时,亦可供从事相关研究领域的高等院校教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国西部大型盆地分析与能源工程动力学/赵玉光等
著. - 北京:中国铁道出版社,2001.4
ISBN 7-113-04099-3

. 中... . 赵... . 含油气盆地-地质构造-分
析-中国 含油气盆地-油气勘探-动力学 . P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 13493 号

书 名:中国西部大型盆地分析与能源工程动力学
作 者:赵玉光 刘宝 肖林萍 施泽进
出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
责任编辑:程东海
封面设计:李艳阳
印 刷:中国铁道出版社印刷厂
开 本:787×1092 1/16 印张:8 字数:183千
版 本:2001年5月第1版 2001年5月第1次印刷
印 数:1~1000册
书 号:ISBN7-113-04099-3/TB·48
定 价:18.00元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

序

中国西部大型盆地分析与能源工程动力学研究,一直为地学工程界所瞩目,国内外学者发表了不少有见地的论著,然而,对盆山转换动力学系统,尤其是中国西部大型盆地的盆山转换动力学系统中的层序地层响应及其与成油体系耦合研究领域发表的系统性论著不多。赵玉光教授等把沉积地质学、构造地质学及油气地质学等学科综合起来进行研究,充分体现了多学科、多专业和多领域互相渗透、互相交叉的研究特色。他们对我国西部大型盆地分析及资源评价开展了系统的研究工作,有利于对我国西部能源矿产优势的充分利用。现以《中国西部大型盆地分析与能源工程动力学》一书出版面世。

本书把层序地层学和成油体系的研究应用在盆地演化和盆山转换的过程中,拓展了层序地层学和成油体系的研究领域。在研究过程中不拘泥于前人的思路和方法,强调了动态的研究过程的工作思路,通过大地构造—沉积学分析,阐述了成油体系与盆地演化序列的构成,建立了盆转山—山控盆的地质过程模型。本书指出,盆转山—山控盆时期的构造运动相对强烈,盆地内流体运移非常活跃,出现了大规模的油气运移捕集子体系和封盖子体系。这对盆地内部的能源矿产(油气)勘探具有重大的指导意义。

本书突出了把盆地子系统与造山带子系统结合起来的研究思路,把这两者视为一个盆山转换动力学系统,研究盆地子系统和造山带子系统之间的沉积充填和构造演化,以及盆地转为山脉—山脉控制盆地的耦合关系,从盆地充填类型、叠置关系,以及火山活动等特征,反映了盆地性质的转换特征;强调盆山转换的耦合关系,跟踪地学发展的研究前缘。

本书内容丰富、资料翔实,有不少新发现、新认识。我相信,本书的问世将丰富该领域的研究内容,对指导、调控和评定我国西部能源矿产普查、勘探与开发工作大有裨益。

中国科学院院士

中国地质大学校长

2001年1月15日

前 言

含油气盆地分析和能源工程动力学研究的主要趋势是向着综合化、多元化、定量化以及多学科相互渗透的方向发展。随着科技的发展和社会的进步,仅研究盆地的地层层序构成是远远不能适应与满足社会生产实际需要的,要更加深入地研究盆山系统中盆转山—山控盆过程中层序地层的动态的动力学响应模式,只有这样才能更真实地揭示大型盆地沉积充填格架的演化序列与生、运、聚、储、盖(成油体系)的耦合关系。生、储、盖与沉积成岩作用关系极为密切。因此,把沉积作用与构造作用(包括同生构造和非同生构造等)结合起来进行构造沉积学研究已成为油气地质学研究的主要方向之一,也是能源工程动力学的核心问题。对此开展研究工作具有重大的理论意义。目前,由于成油体系(Petroleum system)的崛起,为油气地质学研究注入了新的血液,活跃了能源工程动力学的研究方向。中国西部大型盆地的演化过程中由被动大陆边缘至前陆盆地的过渡阶段非常之重要,它是油气进行大规模运移及其定位成藏的主要时期。通过这些研究作为油气勘探开发提供更为有力、可靠的依据及预测方向。为已经启动的我国西部经济大开发提供充分的后备能源。

中国西部大型盆地主要包括四川盆地、楚雄—西昌盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地和鄂尔多斯盆地等,本书将针对四川盆地和准噶尔盆地作为研究对象,对西部大型盆地的能源工程动力学进行分析研究与解剖。我国西部大开发要充分利用自然资源优势和劳动力资源优势,能源是一个国家和社会经济发展的源动力。21世纪,如果没有充分的能源储备(尤其是石油等),将成为我国在本世纪经济可持续发展的重大障碍。因此,对能源工程动力学的研究具有重大的政治、经济和社会意义。最终实现资源、环境和社会经济的可持续协调发展。

为实现能源工程动力学的研究目的和任务,达到盆地和山脉转换动力学系统的层序地层响应与成油体系耦合的研究目标,实践中强调研究和力争解决下列四个关键问题:

(1)盆地的形成机理及盆地的演化。盆地的成盆和发展都与全球构造演化旋回同步,并受地球动力系统的制约。不同的构造旋回和每一个旋回中的各个阶段以及不同的动力学系统与子系统,均有不同性质的盆地成生和盆地性质发生转换。盆地的演化过程以及阶段的间隔,即盆地的成生和消亡,在威尔逊构造旋回中呈螺旋式的转化,受盆山转换动力学系统场的制约。从盆地的演化史来看,成盆期长、稳定充填期短,而盆地的消亡过程和造山期也较长。在研究盆地形成演化过程中,依据盆地的性质和其特殊性以及这两个盆地之间的相关关系,对其研究的重点各不相同。上扬子地台西缘盆地的成生是扬子陆块与特提斯构造域演化的结果,也可以说是扬子陆块上盆转山的结果;准噶尔盆地通常也是指中新代的盆地,但对它的基底是个颇有争议的问题,因此对这个盆地不仅研究它的充填史,也要研究它的形成史,限于资料的局限性,研究的时限从二叠纪至侏罗纪。

(2)盆地地球动力学和运动学分析。研究盆地地球动力学机制是地球科学探索的难点,体现了多学科互相渗透互相交叉的研究特色。盆地分析是20世纪80年代后期地球科学发展较快的学科,在我国的地学界已成为研究的热点,但不同学科其侧重点有所不同。沉积学家往往侧重于盆地的沉积—建造充填史,或是盆地充填的几何形态、堆叠关系等等,但对盆缘的山控

盆—盆转山研究却显得有些薄弱;构造地质学家则以研究盆地的构造样式和构造背景为主,或是地质应力与构造的相互制约关系等。

(3)盆山转换动力学系统的层序地层响应。层序地层学是一种新的认识沉积记录的地层学体系,以同时性的全球海平面升降作为等时地层格架。它的脱颖而出不仅为油气储层圈闭提供可追踪的对比沉积体,而且为研究盆地充填和盆地演化提供了新的思维方式,因而开展层序地层和海平面变化研究则成为20世纪80年代进行全球沉积对比和沉积地壳演化的重要手段,并成为沉积地质学发展的重要分支学科。层序地层学的出现对认识地球的形成史有两个重要的变革:一是导致认识地球演化史尺度的改变;二是改变了世界范围内地层记录的对比原则。为了实现这两个变革,层序地层学研究则应达到两个目标:建立可对比的层序地层格架。建立全球和区域性的海平面变化曲线。

(4)盆山转换动力学系统的成油体系耦合。“成油体系”概念起源于20世纪80年代初,其最大的特点在于将油气的生成、运移、聚集成藏作为一个体系,即作为一个整体来考虑,从时空的发展上来进行研究。研究的重点放在成油体系的基本要素上,这些基本要素包括生油岩、运移通道(途径)、油气生成与运移时间、储集体系、盖层和圈闭等。

在研究工作中,本书研究思路体现了以全球沉积对比和构造活动论为指导,以层序地层和成油体系与盆山转换耦合效应为研究思路,以露头研究并突出多学科交叉的研究手段,以解决关键界面成因和成油体系的构成要素为突破点,建立上扬子地台及其西缘二叠纪和三叠纪以及准噶尔盆地西北缘二叠纪至侏罗纪等时地层格架和克拉通边缘不同部位的构造沉降曲线,把层序地层学和成油体系的研究应用在盆地演化和盆山转换的过程中,拓展了层序地层学和成油体系的研究领域。在研究过程中不拘泥于前人的思路和方法,而是强调其实践性和可操作性,在露头层序地层学的研究方面取得了重大的突破和进展,在层序地层与盆地分析和盆山转换方面以及在高频层序研究方面处于领先的地位。填补了在这些方面研究的不足和空白。

同时,本书突出了把盆地子系统与造山带子系统结合起来的研究思路,把这两者视其为一个盆山转换动力学系统。研究盆地子系统和造山带子系统之间的沉积充填和构造演化,以及盆地转为山—山控盆的耦合关系,从盆地充填类型、叠置关系,以及火山活动等特征,反映了盆地性质的转换特征。强调盆山转换的耦合关系,跟踪地学发展的前缘。

本书强调了动态的研究过程的工作思路,通过大地构造—沉积学分析,提出了盆地演化序列I和II分别与成油体系I和II相耦合,并进一步论述了成油体系与盆地演化序列的构成,提出了盆转山—山控盆的地质过程。盆转山—山控盆时期的构造运动相对强烈,盆地内流体运移非常活跃,出现了大规模的油气运移捕集子体系和封盖子体系。对盆地的油气勘探具有重大的指导意义。

上扬子地台及其西缘和西准噶尔的演化受联合古大陆(泛华夏陆块群)的形成和演化大背景的控制,并导致了这两个盆地的发展演化既有相似性又有差异性。同时,本书把层序地层学和成油体系理论的研究应用于盆山系统(盆地子系统、造山带子系统)和盆山转化过程中,拓展了层序地层学的研究领域并加强了成油体系的研究深度,本书突出了多专业、多学科、多领域互相交叉特色。主要进展和创新如下:

(1)层序地层及其海(湖)平面变化研究和成油体系理论研究在研究思路及方法上有三个重大的突破:一是强调动态的演化过程,突破了国内有些研究者对层序界面仅作现象分析的思路以及对成油体系只作构成要素的叙述的分析思路,而把层序地层和层序界面以及成油体系及其构成要素作为盆山转换过程中的响应和耦合;二是建立了盆地子系统和造山带子系统相

结合(盆山系统)的研究途径,而是避免了沉积地质学家仅侧重于研究盆地子系统沉积充填史,构造地质学家仅侧重于研究造山带子系统的构造作用分析的研究现状;三是把层序地层研究和成油体系研究与盆山系统(盆地子系统和造山带子系统)分析相结合,建立了它们之间的响应和耦合模型,具有深远理论意义和重大实际应用价值。

(2)本书对上扬子地台及其西缘和准噶尔两大盆地沉积盆地子系统构造—沉积演化史进行了相似性分析。这两大盆地均分布于泛华夏陆块群的西部边缘地区。构造背景在中生代以后均处于一个挤压背景,因此,造就了这两个盆地子系统相似的沉积演化特色。盆地的演化序列均经历了由大陆边缘裂谷—热沉降—边缘前陆盆地的演化发展与消亡。其中对油气储层子体系发育的有利时期均发育于边缘前陆盆地阶段。上扬子地台及其西缘与西准噶尔盆地的演化具有差异性。它们发育时序有滞后与超前效应。至泥盆纪这两个盆地演化均经历了由大陆边缘裂谷—热沉降阶段,西准噶尔盆地出现的比上扬子地台及其西缘要早,前者发生于早二叠世,后者则出现于晚二叠世;沉积盆地充填终结方式存在很大的差异。准噶尔盆地充填结束时盆缘断裂(西北缘为主)停止活动,以拗陷性沉积充填完成了整个盆地的演化史,出现了准噶尔盆地储层子体系形成发育的又一良好时期,处于生油门限,使其成为一个以生产石油为主的石油盆地。而上扬子西缘前陆盆地结束时,盆缘断裂继续活动,出现了后造山前陆盆地,由于构造作用变形、成岩作用等的加强,使生油门限处于过成熟状态,出现了以生产天然气为主的天然气盆地。

(3)有效容纳空间是层序地层学研究的精髓,层序界面是层序地层学研究的灵魂和生命。本书强调构造活动对沉积物和界面的制约关系,提出按成因机制划分的三型八类层序界面,并与盆地生长演化过程相对应;有效可容空间是层序地层划分、对比和编制海平面曲线的主要参数。笔者强调构造—海(湖)平面变化和沉积物输入率之间的相关效应,从沉积记录中反馈海(湖)平面变化的信息。建立上扬子地台及西缘被动大陆边缘和西准噶尔盆地盆山转换与等时层序格架的对应关系和层序模式;精细解剖研究了三叠纪上扬子碳酸盐台地高频层序,建立了高频层序野外识别的四种类型:三角洲河口坝型、滨岸旋回型、波痕指数垂向有序变化型以及碳酸盐岩与碎屑岩韵律互层对偶型。探讨了高频层序发育的机理和条件以及与盆地演化的关系。同时,建立了准噶尔盆地陆相层序地层的油气勘探模型,根据这一油气勘探模型的指导与克拉玛依研究院人员一起发现了“玛北油田”。实践证明了这一模型的正确性。在上扬子地台及其西缘对海平面曲线的绘制进行了深入的研究,总结并探讨了海平面曲线绘制的6种方法,并根据大陆边缘不同地区校正构造沉降后,对海平面升降曲线进行了研究,建立了海平面升降曲线模型。

(4)建立了盆地演化序列与成油体系的耦合模型,提出了盆地演化序列和分别成油体系相耦合。盆地演化序列为:从被动大陆边缘盆地—成熟被动大陆边缘盆地—边缘前陆盆地的演化序列;盆地演化序列为:经历山控盆的地质过程—后造山前陆盆地(上扬子地台及其西缘)或陆内拗陷盆地(西准噶尔盆地)。成油体系也被划分为成油体系和。成油体系为:生油子体系—一次运移捕集子体系—储层子体系—封盖子体系序列;成油体系为:二次运移捕集子体系—生油子体系—储层子体系—封盖子体系。盆地演化序列中被动大陆边缘裂谷与成熟被动大陆边缘盆地时期控制并形成了成油体系中的生油子体系。经历了盆转山—山控盆的地质过程,由于构造运动相对强烈,盆地内流体的运移非常活跃,出现了第一次大规模的油气运移捕集子体系和封盖子体系。盆地演化序列、分别成油体系、耦合,并分别构成了盆地演化中第一期和第二期“盆地—成油体系系统”。

本专著是在刘宝 院士总体思路下,由课题组的科研人员共同编写而成。全书除前言和主要认识和结论外,共 7 章。前言由刘宝 和赵玉光编写;主要认识和结论由赵玉光和肖林萍编写;第一章由赵玉光、施泽进和肖林萍编写;第二章由肖林萍和赵玉光编写;第三章由赵玉光、肖林萍编写;第四、五章由赵玉光、刘宝 编写;第六章由赵玉光和肖林萍编写;第七章由赵玉光编写;英文摘要由肖林萍编写。全书由赵玉光编纂。

本专著是四川省跨世纪杰出青年学科带头人基金项目和国家基础性研究重大项目的部分研究成果。在编写过程中得到了成都地质矿产研究所各职能部门、领导及同事的支持,得到了许效松研究员、丘东洲研究员和陆元法研究员的帮助,同时得到了西南交通大学出版基金的支持。在本书出版过程中得到了西南交通大学土木工程学院副院长、博士生导师高波教授的支持。最后感谢中国地质大学校长殷鸿福院士为本书作序。

在此谨对上述给予支持和帮助的领导、单位和个人致以真挚的谢意。

著者

2001 年 1 月

目 录

1	绪 论	(1)
1.1	盆山转换地球动力学系统研究展望	(1)
1.2	层序地层学研究现状回顾与存在问题	(3)
1.3	油气储层与成油体系的研究现状	(6)
	参考文献	(10)
2	大地构造背景与年代地层格架	(12)
2.1	研究区在大地构造背景中的分布及概况	(12)
2.2	上扬子地台及其西缘二叠—三叠系年代地层格架	(14)
2.3	准噶尔盆地西北缘三叠—侏罗系区域地质概况	(19)
	参考文献	(22)
3	盆山转换系统的模式分析与盆地演化的相关性	(23)
3.1	上扬子西缘大陆边缘—克拉通边缘前陆盆地盆山系统分析	(23)
3.2	西准噶尔大陆边缘—前陆盆地盆山系统分析	(27)
3.3	两大盆山系统构造—沉积演化史相似性与差异性简述	(29)
	参考文献	(31)
4	上扬子地台西缘二叠—三叠纪盆山动力学系统(海相)的层序地层响应	(32)
4.1	海平面变化周期与层序级别的划分方案	(32)
4.2	层序地层关键界面的识别与层序划分	(34)
4.3	二叠—三叠纪盆山转换系统层序地层格架及响应模式	(39)
4.4	高频层序及其叠置样式与容纳空间的变化响应	(45)
4.5	二叠—三叠纪海平面变化分析与全球对比	(59)
	参考文献	(68)
5	西准噶尔二叠纪至侏罗纪盆山转换系统(海—陆相)层序地层响应及其应用	(69)
5.1	二叠纪盆山系统盆地子系统的充填演化及层序响应	(69)
5.2	三叠—侏罗纪盆山系统层序地层响应及内部构成	(72)
5.3	盆地生长充填轨迹与湖水面升降的沉积响应	(77)
5.4	前陆盆地层序地层模式与勘探开发意义	(79)
6	盆山转换动力学系统与成油体系的耦合	(83)
6.1	上扬子西缘盆山系统中盆地子系统演化与成油体系耦合	(83)
6.2	西准噶尔盆山系统盆地子系统演化与成油体系耦合	(87)
6.3	盆山转换系统与成油体系耦合模型	(94)
7	西准噶尔三叠—侏罗系储层子体系沉积成岩与圈闭预测	(96)

7.1	储层子体系物源区属性及其成岩作用分析.....	(96)
7.2	储层子体系孔隙结构演化模型与圈闭预测	(103)
	参考文献.....	(110)
8	主要认识与结论	(111)
9	英文摘要	(113)

CONTENTS

1 Introduction	(1)
1.1 Research Prospect for the Earth Dynamics of Basin and Mountain Transformational System	(1)
1.2 Problems and Looking Back the Research of Sequence Stratigraphy	(3)
1.3 Research State of the Oil and Gas Reservoirs and Petroleum System	(6)
References	(10)
2 Tectonic Setting and Chronostratigraphical Framework	(12)
2.1 Distribution and Introduction of the Study Area in Tectonic Setting	(12)
2.2 Permian-Triassic Chronostratigraphical Framework in the West Marginal Area of Upper Yangtze Platform	(14)
2.3 Introduction of Regional Geology from the Permian to Jurassic in the Northwestern Marginal Area of Junggar Basin	(19)
References	(22)
3 Analysis for Model of the Transformational System of Basin-Mountain and Association with the Basin Evolution	(23)
3.1 Basin-mountain System Analysis for the Foreland Basin of the Continental-Cratonic Margin in the West Marginal Area of Upper Yangtze Block	(23)
3.2 Basin-mountain System Analysis for the Continental Marginal Foreland Basin in the West Junggar	(27)
3.3 Similarities and Differences for the Evolution of Tectonic-sedimentary Between the Two Sedimentary Basins	(29)
References	(31)
4 Responses for Sequence Stratigraphy of the Transformational System of Basin-mountain During the Permian-Triassic in the West Marginal Area of Upper Yangtze Platform	(32)
4.1 Period of Sea-level Changes and Division of Sequence Hierarchy	(32)
4.2 Identifying of Key Sequence Boundaries and Division of Sequences in the Transformational System of Basin-mountain	(34)
4.3 Response Model of Sequence Stratigraphy in the Transformational System of Basin-mountain During the Permian-Triassic	(39)
4.4 Response Between the Variation of Valid Accommodation and High-frequency Sequences and Their Styles	(45)
4.5 Sea-level Changes of the Permian-Triassic and Correlating	

with the Global Sea-level Changes	(59)
References	(68)
5 Responses for the Sequence Stratigraphy of the Transformational System of Basin-mountain From the Permian to Jurassic in the West Junggar and Its Applications	(69)
5.1 Deposition-Filling Evolution and Sequence Response at the Basin Subsystem in the Permian Basin-mountain System	(69)
5.2 Sequence Stratigraphical Response and Its Inner Architecture in the Triassic Basin-mountain System	(72)
5.3 Basin-filling and Sedimentary Response of Lacustrine Level Changes	(77)
5.4 Sequence Stratigraphical Model and Exploration and Development Significance in the Foreland Basin	(79)
6 Couple between Dynamics System and Petroleum System During the Transformational System of Basin-mountain	(83)
6.1 Couple Between Basin Subsystem Evolution and Petroleum System in the Basin-mountain System of the West Marginal Area of Upper Yangtze	(83)
6.2 Couple Between Basin Subsystem Evolution and Petroleum System in the Basin-mountain System of the West Junggar	(87)
6.3 Couple Model Between the Transformational System of Basin-mountain and Petroleum System	(94)
7 Sedimentary-diagnosis and Trap Prediction of Reservoirs Subsystem from the Permian to Jurassic in the West Junggar	(96)
7.1 Resources Properties and Diagnosis Analysis of the Reservoirs Subsystem	(96)
7.2 Evolution Model of Porosity Structure and Trap Prediction of the Reservoirs Subsystem	(103)
References	(110)
8 Results	(111)
9 Abstract	(113)

1 绪 论

1.1 盆山转换地球动力学系统研究展望

1.1.1 盆山系统和盆地分析

盆山转换地球动力学系统简称盆山系统,包括盆地子系统和造山带子系统。近年来,沉积地质学家和构造地质学家分别把这两个子系统结合起来,从沉积盆地或火山—沉积盆地中揭示造山过程的沉积和火山活动的响应,而通过盆地的沉积充填记录信息和火山活动痕迹的动态分析反演造山过程的发育史;从造山带子系统探索盆地边缘性质及盆地的充填演化发展历史,研究地壳的形成演化及动力学转换机制,作为复原古大陆和古大洋的重要手段和依据。

大陆动力学是地球科学研究的前缘领域。大陆上最基本的地理单元可归纳为两部分:一是盆地,另一个为山脉。现存的这两个地理单元是在地质历史时期时空演化上作为盆地子系统和造山带子系统的对孪生体地壳演变的结果。因此,把盆地子系统和造山带子系统作为一个统一的地质系统,分析盆转山—山控盆的地质过程,以此作为认识大陆地质和地球形成的突破口,已成为地学研究领域的前缘和热点^[1]。

盆地子系统是在地质历史时期接受沉积物堆积和火山—沉积物堆积的空间场所,是沉积能源等主要矿产的潜在空间。它是大洋岩石圈和大陆岩石圈上客观存在的整体系统^[2]和堆积场所^[3]。盆地形成史的研究,包括成盆的板块构造作用、盆地的基底性质、所在板块的部位、盆地构造沉降及其热力学等方面的研究。已建立的地壳扩张模式和盆地沉降模式^[4]在解释盆地的形成方面是卓有成效的成果,由于地壳扩张使地壳减薄,这一减薄区域最终成为盆地形成的部位。

造山带子系统是一个复杂的、压缩密集的构造单元。任何一条造山带子系统,都包含了地质历史长河中的地壳、甚至地幔各圈层之间构造运动和地球动力转换机制的记录信息,它代表了板块间的相对运动、消失的大洋、消失的陆块和大陆边缘盆地,此外还包括碰撞后的陆内升降带。因此,造山带子系统即代表消失的大洋系统和消亡的部分盆地系统。

总之,盆山转换动力学系统的盆地子系统和造山带子系统的研究具有两个层次的涵义,一方面是洋和陆的体系;另一方面是陆内体系或板内体系。

盆山转换动力学系统的层序地层响应及其与成油体系的耦合研究,即以盆、山子系统为整体目标,并侧重于盆地子系统的研究,以盆地子系统为研究重点,以全球构造活动论和沉积—构造地质学、对比沉积学、层序地层学为指导,选择上扬子区四川盆地和准噶尔盆地等两个不同性质的盆地,进行盆地分析和地球动力学研究,分析不同动力条件下盆地的性质,从各种充填堆积物的样式、序列中反馈古动力学和古构造环境,复原盆地的相对位置、盆地的消亡和转换过程,进行原型盆地分析。

1.1.2 盆山系统中的层序界面是盆地沉积转折和构造转化的信息载体

层序地层学研究的关键是层序界面的识别和标定。以海平面下降和构造活动为主导因素,形成有识别标志的层序界面;沉积体的形成是海平面变化、构造活动和物源供给速率的综合响应,即沉积体与有效可容空间呈函数关系,这样就把层序和层序界面视为三者间的动态效应的综合结果;层序界面既是下伏层序的顶界面又是上覆层序的底界面。它是古沉积环境沉积转折的记录,在层序界面的上下出现沉积相的“跳相”现象,揭示了沉积的转折过程;同时也指示了一次构造运动的发生,是构造运动的转折的地质记录载体。

层序地层(堆积体)是盆山转换地球动力学系统的响应,堆积体是地质构造和地质变革的记录,地质体的性质、组成和叠置关系应与盆地演化的各阶段相对应。层序也视为盆地演化中地质作用的结果,显然层序地层学的研究就不仅仅是以建立一个层序,或分出 类和 类界面或 类界面为目的,这不能反应层序地层学研究的自身价值。

层序地层学的基本点是,海平面变化的驱动力是以全球构造活动为主导。由这些沉积物组成的每个层序则具有全球性或区域性的可对比性。换句话说,层序界面的特征和印痕是构造和海平面变化结果的响应。但是,层序界面是负纪录,界面的存在与否则是通过界面上下不同性质的沉积物才能识别它,由此可认为沉积物则是代表构造和海平面升降双重效应的结果和纪录。因此,笔者对被动大陆边缘由海平面下降结束开始和下一次的海平面下降为终结的一次海平面变化周期,构造活动周期的转换,由盆地的新生演化为前陆盆地 - 即盆转山过程,依据低水位体系域与高水位体系域两者之间沉积物的性质、物源差异、沉积体的形态和叠置关系等,判断构造和海平面变化叠加给界面上的印痕,从而划分了三型五类层序界面。 型层序界面包括 4 类:陆上暴露侵蚀削截面,陆上暴露古土壤面,陆上暴露古喀斯特面和陆上暴露侵蚀面; 型层序界面包括 2 类:海平面下降结构转换面和海侵上超层序界面; 型层序界面包括 2 类:水下成岩间断面和事件界面。 型层序界面代表下伏老盆地的消亡和转换为新盆地的印痕; 型层序界面代表盆地新生的记录; 型层序界面代表盆地扩展过程;与暴露有关的层序界面代表盆地性质稳定期和转为活动过程的记录;与升降削截有关的层序界面代表了盆转山—山控盆的地质过程(如被动大陆边缘盆地转为前陆盆地)所留下的标志。

由上述三型八类层序界面,它们在时序上的演化发生在一次构造活动和海平面升降周期内,由盆地的新生转为盆地的消亡。一级周期为全球板块活动由裂解至聚合,以及洋壳的扩张与收缩;二级周期为大陆边缘盆地转山过程。把露头层序地层学研究拓扩至研究盆山转换过程的实践中,在国内尚属首例,在国际上也处于领先的研究行列^[5]。

1.1.3 盆山转换动力学过程分析

本书新提出的盆山转换动力学系统系指狭义的概念,广义概念应包括洋陆转换等盆山系统。本书仅为大陆边缘盆地转至前陆盆地时期(盆转山)及前陆盆地发育充填、消亡(山控盆)的全过程。据此,盆地子系统演化序列为:被动大陆边缘裂谷—成熟被动大陆边缘—边缘前陆盆地早期—前陆盆地晚期—后造山前陆盆地—拗陷盆地—盆地子系统消亡;造山带子系统演化序列为:水下前陆隆起或火山岛弧带—前陆逆冲推覆带—造山带子系统形成与保存;不同的盆地子系统与造山带子系统对应不同的具体的盆山系统。其中,盆地子系统和造山带子系统对应于不同的区域地质应力场,前者主要受地质外应力和地质内应力的控制,后者仅受地质内应力的制约(图 1—1)。上述过程反映了盆转山—山控盆的地质过程。

1.2 层序地层学研究现状回顾与存在问题

1.2.1 层序地层学研究的回顾与展望

地层工作者在实践中逐渐发现,对地层学来说,仅有年代地层学、生物地层学和岩石地层学是不完备的,况且它们各自还有不足之处。地层学家认为年代地层分类法实际上是一种人为的地层分类法,它受传统习惯、创名者优先权等影响很深,尤其在确定界线和选择层型剖面等关键问题上,至今仍没有找到比“表决”更好的途径^[6]。生物地层和岩石地层分类法以及它们各自的分类单位(生物带、群、组等)都不同程度地受地层形成时沉积环境的影响,人们越来越认识到,单纯依据化石或岩性划分和对比地层存在较大的局限性,甚至会造成某些困难和混乱,因而要求寻求其他途径建立地层格架。

沉积学与地层学虽然是地球科学中最基础的学科,但由于与其他学科的发展和交叉,在近年来也有了极大的进展,突出地表现在旋回地层学和层序地层学的兴起。这些新的观点不仅

被广泛地接受和成功地应用在油田勘探等生产实践中,而且还引起了认识地球形成演化史尺度的改变和全球同时性的地层的对比原则。

层序地层学作为广义地层学中一个引人瞩目的新领域应运而生,并迅速地发展。然而,层序地层学的提出和实践是在特定的地质背景下产生的,它以被动大陆边缘盆地为准,即一侧与陆地相连和另一侧与广海相连的古地理背景,尤其是以上新世到更新世墨西哥湾和大西洋大陆架上的海底扇较为典型。这种盆地的格局和所限定的层序有三个特点:一是单向物源和单向的海平面升降;二是物源和海平面升降的线型效应,海平面下降时沉积物(陆源物)由陆向海迁移,反之海平面上升时则沉积物(海源物)由海向陆迁移;三是层序界面的成因强调海平面升降速率与构造沉降速率的相关作用,但忽略了构造活动在沉积体系域组分中的响应。

由此不难看出,经典的层序地层学的应用与实践适用于被动大陆边缘由裂解至热沉降阶段的盆地。然而古大陆边缘盆地的地质背景则复杂得多,控制层序类型和体系域性质的条件除构造沉降、海平面升降、物源供给速率和古气候外,还受到大陆边缘盆地性质的转换、相邻板块间的构造活动对盆地的制约、物源的多向性、区域构造活动的影响等,则使沉积体系域的配置和叠置复杂化,造成在野外露头上识别层序和体系域的困难。因此层序地层学的应用和实践既不能脱离经典的层序地层学模式,又不能不区分地质背景和条件而套用。可见,在实践中确认层序地层的划分和对比以及建立等时地层格架时,要根据不同性质的盆地建立不同的层序地层学模型,必将形成对经典层序地层学的挑战和引起变革。

层序地层学是一种新的地层学体系,是在一个等时地质年代格架内从三维空间上认识一个有成因联系的沉积组合体被不整合面以及与之相当的整合面所截切。按照 P. R. Vail 等^[7]的观点,一个层序是指一次海平面升降周期中的沉积体,以海平面下降为起点和以相邻下一个海平面下降为终点,从而在沉积体的界面上形成了不整合,即为层序界面。

层序一词,最早是 L. Sloss^[8]提出的,虽然含义有所不同,但他认为“层序概念不是新的,在我和我的同事们 1948 年提出这个概念时它就是老的”。然而, Sloss 将以不整合为界的层序发展成为一种地层学手段,功不可没。Sloss 把北美克拉通的前寒武纪晚期到全新世地层中共划分出 6 套以跨区域不整合面为界的地层组合,并将这 6 套地层组合以北美印地安部落的名字命名,以强调它们起源于北美。Sloss 利用这些在克拉通上建立的层序作为沉积相填图,不过他已经感到这些层序“不一定适用于克拉通以外和其它大陆以外的岩石地层”。尽管克拉通层序为层序地层学奠定了基础,但在 20 世纪 60 年代和 70 年代的早期人们并没有接受。

层序地层学演化的又一重大发展体现在埃克森公司的 P. R. Vail, R. M. Mitchum^[9]等的研究成果上。在这些作者向各种学术会议提交的一系列论文中,他们提出全球海平面升降和由此产生的以不整合为界的地层型式。Mitchum 深化和拓展了层序概念,并使其有更确切的定义。Vail 等改变了 Sloss 对层序的用法,主要表现在两个方面:

第一, Vail 和 Mitchum 所指的层序比 Sloss 的层序包含的时间要短的多,原来北美的 6 个层序被分得更细。Sloss^[8]划分的克拉通的层序在埃克森公司科研人员编的旋回曲线图上为超层序(Supersequence)。

第二, Vail 的层序概念,强调全球海平面升降是层序演化的主要驱动因素。针对这种解释引起了沉积学家和地层学家的争论和疑义。

M. T. Jervey^[10]建立了容纳空间模式后,由于有了新的解释,从而拓宽了地震地层型式的

分辨率,人们对容纳空间模式很快取得了一种共识,从而将层序分成更小的地层单位已成为可能。这些更小的地层单位后来被称为“体系域”,并根据体系域的发育类型又将层序分为Ⅰ型或Ⅱ型。在建立上述概念模式的同时,埃克森公司某些地层学家在 D.E.Frazier^[11]和 C.V.Campbell^[12]的强大影响下,开始利用测井、岩心及露头资料分析向上变浅的硅质碎屑岩地层的堆叠型式,其地层单位的年代地层限定以海水洪泛面为界。上述研究方法很快同概念模式交会起来,虽然 J.L.Wilson^[13]等人将向上变浅的地层单位称为“旋回”,但是 J.C.Van Wagoner 等^[14]却称之为“准层序(Parasequence)”。这种用法保留了 P.R.Vail 等人^[7]用“旋回”一词表示规律性重复事件的时间,除此还强调了准层序和层序之间的关系。

层序地层学的基本单元是层序,层序内体系域的序列和叠置与一次海平面升降周期中海平面变化的各个阶段相对应。体系域内部以次一级的海平面为界形成向上变浅的地层对,称准层序(Parasequence)”。这种用法保留了 P.R.Vail 等人^[7]用“旋回”一词表示规律性重复事件的时间,除此还强调了准层序和层序之间的关系。

相同性质海泛面构成的多个准层序的叠置,称准层序组(Parasequence set),从而有海进体系域准层序组、低水位体系域准层序组和高水位体系域准层序组等称谓。层序、准层序组和准层序三个不同涵义的术语,王鸿祯(1996年)提出以层序(Orthosequence)、亚层序(Subsequence)和准层序(Microsequence)称之。

层序或层序的确定是层序地层学分析的基础。目前,在层序地层学学派中大致有四种划分层序的方案:

(1)以 P.R.Vail 领导的 Exxon 公司研究组^[7]为代表,层序界面以海平面下降所形成的不整合面或与之相当的整合面为标志,强调层序不整合界面的成因受控于海平面快速下降,构造运动仅是对层序界面印记起到一个加强与减弱的作用。并且根据海平面下降幅度和速率对陆架坡折带造成暴露的程度,把层序界面划分为Ⅰ型层序不整合面和Ⅱ型层序不整合面。

(2)Galloway^[15]采用最大海水泛滥面作为层序顶底的分界面。这种方案仅考虑了层序顶底界面的瞬时等时性,而忽视了他所定义的“层序”的内部包含了不整合面,该界面则包含了地质时间的损失量,因而这种划分方案不利于地层的划分与对比。

(3)Johnson 等^[16]认为层序是以不整合或海进冲刷不整合为界面的海进—海退旋回地层序列。

(4)科罗拉多矿业学院 T.A.Cross^[17]领导的成因地层组则认为,地层基准面旋回是控制地层层序形成并进行层序划分的一把钥匙。地层基准面受海平面变化、构造沉降、沉积负荷补偿、沉积物供给速率和沉积地形等综合因素的制约。Cross 等人引用并发展了 Wheeler^[18]提出的基准面概念,分析了基准面旋回与海相层序的过程—响应原理,可以说是目前美国层序地层学新崛起的一大流派。这一观点和思路有利于研究大陆架上部的三角洲、海底扇等沉积单元对比和沉积体的精细划分,因此倍受地学界的瞩目。

1.2.2 层序地层学应用实践中的问题

20世纪80年代中末期,我国也相继开展了层序地层学的研究工作,在油田上除开展了地震地层学研究外,进入90年代以来也进行了层序地层的研究工作。在地学界主要针对古大陆边缘的海相地层进行露头层序地层学研究。其中颇有影响的为刘宝和许效松等人建立了中国南方扬子地台东南边缘震旦系至三叠系进行了层序地层格架,编绘了相应时限的海平面升降曲线图,提出了扬子地台地质历史中两次碳酸盐岩台地与海平面升降周期的关系,初步尝试

了把层序地层研究与盆地演化相结合的思路,扩展了层序地层学的应用;许效松和牟传龙等以精细的露头研究为基础,开展湖南泥盆纪的层序地层研究工作,以最大海泛面、古溶喀斯特面和各种低水位体系域为标志,编制等时和穿时沉积岩相古地理图,并提出三种层序界面类型;这期间国内其他学者也进行了层序地层学的研究工作,乔秀夫、吴应林、杜远生、魏家庸等分别对晚元古代和古、中生代的地层作了大量的层序地层研究。上述这些研究无疑对层序地层学的应用积累了丰富的经验。到20世纪90年代末期,我国对层序地层学的研究出现了高潮。由于层序地层学研究主要是在露头中进行,因而在实践中又出现了新的问题,主要表现在下列五个方面:

(1)层序和层序界面定义的选择。以海平面下降时的暴露面或者是最大海泛面作为层序界面在实践中颇有争议。一般认为,暴露面只在发生河流回春的区域可识别,但在深水域则为隐蔽型的不整合,因而不易识别。相反,最大海泛面则可作为等时界面追踪,或以生物层为标志。

(2)露头上的层序界面与生物地层界限的吻合程度,也是颇有疑义的问题。生物地层学家(殷鸿福口述,1996年)认为生物界限与层序不整合界线有时序差,在露头上分布不一致应以海泛面为层序界面,对于层序地层和生物地层之间的矛盾和统一,在实践中尚有待进行深入的研究工作。

(3)层序不整合界面的性质和类型颇有多解性,特别是在碳酸盐岩分布区,层序不整合界面上的沉积记录均表现为海侵体系域上超,因而不少学者都对层序界面的类型有兴趣,提出了不同性质的界面或进行层序界面成因分析研究。

(4)尝试性地把层序地层学研究和等时层序界面类型用于解释盆地演化和盆山转换的过程分析。

(5)层序地层学在陆相地层中的研究与应用在我国也相继开展,如李思田等^[19]对鄂尔多斯陆相拗陷盆地进行层序地层研究;王东坡等开展了松辽裂谷盆地陆相层序地层研究;赵玉光等^[20]进行了准噶尔三叠纪—侏罗纪层序地层的标定及划分。除此南海油田、渤海油田、长庆油田等都进行了陆相地层中地震地层学的研究工作。在陆相层序地层研究中不仅在国内而且在国外也是众说纷纭:一是对层序界面的标定有不同的理解;其次是体系域的定义和认识,实际上这两个问题是相互关联的。其关键就是陆相地层中的层序界面的识别,有的以最大洪泛面为界,有的则根据侵蚀基准面标定,其次是沉积体系域的定义和鉴别因与海相地层不同,也有待深入探索。

1.3 油气储层与成油体系的研究现状

1.3.1 油气储层研究现状

油气储层是油气储存的空间和场所,是油气藏形成必不可少的基本条件。储层特征是控制地下油气分布状况、油气储量和产能的重要因素。因此,油气储层的研究在油气地质学与油气勘探、开发中占有重要的位置。

近40年来由于社会建设和资源开发的需要,油气地质学和沉积地质学均有重大的进展,其中以沉积地质学为原理对油气勘探开发应用为目的,沉积地质学与油气地质学密切结合、互相渗透的边缘分支学科——油气沉积地质学正在形成与发展,并广泛应用于油气勘探与开发实践。油气沉积地质学主要研究油气源层、储层、盖层的沉积环境、成岩作用及与沉积成岩有