

四川省构造地质学重点学科建设项目 (SZD0408) 资助

箕状断陷湖盆陡坡带 层序地层格架内成岩演化研究

——以东营箕状断陷湖盆北部陡坡带沙河街组为例

JIZHUANG DUANXIAN HUPEN DOUPODAI
CENGXU DICENG GEJIA NEI CHENGYAN YANHUA YANJIU

■ 田景春 谭先锋 孟万斌 林小兵 著



地质出版社

四川省构造地质学重点学科建设项目 (SZD0408) 资助

箕状断陷湖盆陡坡带
层序地层格架内成岩演化研究
——以东营箕状断陷湖盆北部陡坡带沙河街组为例

田景春 谭先锋 孟万斌 林小兵 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

箕状断陷湖盆陡坡带层序地层格架内成岩演化研究 /
田景春等著. —北京: 地质出版社, 2009.1
ISBN 978-7-116-05921-4

I. 箕… II. 田… III. ①湖盆—隆起带—地质断层—地层
层序—成岩作用—研究 IV. P544

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 195481 号

责任编辑: 刘亚军 夏军宝

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324578 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京地大彩印厂

开 本: 787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$

印 张: 8

字 数: 195 千字

版 次: 2009 年 1 月北京第 1 版 · 第 1 次印刷

定 价: 40.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-05921-4

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

摘 要

本研究在前人众多成果的基础上,以沉积学理论、层序地层学理论、碎屑岩成岩作用及成岩演化理论为指导,以典型箕状断陷湖盆——东营凹陷北部陡坡带构造、沉积、层序地层研究为基础,结合铸体薄片分析、扫描电镜分析、粘土矿物X衍射、镜质体反射率分析测试资料,系统开展了东营凹陷北部陡坡带沙河街组成岩作用研究,并结合区内层序地层特征,对层序格架内的成岩作用、成岩演化、成岩相以及成岩作用与储层发育的关系进行了详细研究,建立了箕状断陷湖盆陡坡带层序地层格架内成岩演化模式。

(1) 开展了东营箕状断陷湖盆北部陡坡带沙河街组层序地层学研究,共划分出了3个二级层序界面和3个三级层序界面,二级层序界面分别为SSB1、SSB2、SSB3,三级层序界面分别为SB1、SB2、SB3。在层序划分的基础上,一共划分为2个二级层序和6个三级层序,2个二级层序分别为沙四层序和沙三~沙二下层序;6个三级层序分别为SQ1、SQ2、SQ3、SQ4、SQ5、SQ6。并进行了陡坡带层序地层对比,建立了陡坡带层序地层格架,摸清了陡坡带层序发育的整体概况,为层序地层格架内的成岩演化研究奠定了基础。

(2) 根据薄片鉴定、扫描电镜、x衍射分析等资料,详细研究了东营箕状断陷湖盆陡坡带沙河街组成岩作用类型及特征。主要成岩作用为压实-压溶、碳酸盐胶结、石英次生加大、粘土矿物胶结、黄铁矿胶结、硬石膏胶结、交代和溶蚀等成岩作用类型。

(3) 在上述研究成果的基础上,详细研究了东营箕状断陷湖盆陡坡带层序格架内成岩作用特征。研究表明,层序界面附近主要成岩作用类型有溶蚀作用、铁碳酸盐胶结以及粘土矿物胶结等成岩作用类型;同一层序内,不同体系域内发育的成岩作用特征有所差异,低位体系域主要发育的成岩作用有铁碳酸盐胶结,粘土矿物胶结,高岭石胶结,硬石膏胶结等,湖盆扩张体系域主要发育以石英次生加大、高岭石胶结和泥岩压实作用为主,高位体系域主要发育铁碳酸盐胶结、长石加大胶结和塑性组分溶蚀作用等,层序格架内不同沉积体系内发育的成岩作用特征不同,影响储层好坏成岩作用有所差异。影响冲积扇储层的主要成岩作用有粘土矿物胶结和溶蚀作用,影响扇三角洲储层的主要成岩作用有压实作用、碳酸盐胶结作用和石英次生加大,影响近岸水下扇储层的主要成岩作用有压实作用、

石英次生加大和碳酸盐胶结作用,影响三角洲储层的主要成岩作用有压实作用、石英次生加大和溶蚀作用,影响浊积扇储层的主要成岩作用有碳酸盐胶结和溶蚀作用。

(4) 在成岩作用研究基础上,铸体薄片、中成岩物质特征、粘土矿物分析、镜质体反射率等资料为主要依据,对东营箕状断陷湖盆北部陡坡带沙河街组进行了成岩演化阶段划分,共划分出了早成岩 A 期、早成岩 B 期、中成岩 A 期和中成岩 B 期四个成岩阶段,从 SQ1~SQ6 层序,成岩作用阶段从中成岩 B 期~早成岩 A 期的变化过程;详细研究了沙河街组成岩演化过程,恢复了沙河街组埋藏-成岩史,探讨了控制成岩演化的主要因素;在成岩作用阶段划分和成岩演化研究的基础上,进行了成岩相的划分,共划分出了 5 种成岩相和 8 种成岩亚相类型,5 种成岩相分别为早期弱压实成岩相、早期弱胶结成岩相、中期溶蚀成岩相、中期再胶结成岩相和晚期紧密压实成岩相,8 种成岩亚相类型分别为塑性组分溶蚀、方解石胶结、(含)铁碳酸盐胶结、石英次生加大、高岭石充填、混层粘土矿物充填、泥青质胶结和硬石膏胶结。

(5) 在成岩相类型划分的基础上,详细研究了东营箕状断陷湖盆北部陡坡带沙河街组层序格架内的成岩相展布特征,并建立了北部陡坡带构造-层序-成岩综合模式。

(6) 成岩作用对储层有很好的控制作用。其中成岩过程中的压实作用、胶结作用和溶蚀作用是影响储层的关键因素;引入了成岩综合指数,对成岩作用进行了定量的计算,探讨了成岩综合指数与储层发育的关系。结果表明,成岩综合指数大小与储层质量的优劣有着很好的对应关系。

关键词: 东营凹陷, 陡坡带, 沙河街组, 层序格架, 成岩作用, 成岩演化

Abstract

Based on the study achievements of predecessors, under the guidance of sedimentology theory, Sequence Stratigraphic theory and diagenesis theory, according to the structural, sedimentary and Sequence Stratigraphic research in steep-slope zone of Dongying sag, combining with the body of casting slice, stereoscan photograph, x-diffraction, reflectance of vitrinite atc and combining with the research of the Sequence Stratigraphic, this book has taken systematic research on the diagenesis of Shahejie Formation in the steep-slope zone of Dongying sag. And together with the Sequence Stratigraphic feature of the study area, diagenesis, diagenetic evolution, diagenetic facies and their relationship with reservoirs in Sequence Stratigraphic Framework have been studied in detail. The main conclusions and viewpoints are as follow:

(1) Based on the research results of predecessors, the book has carried out detailed study on the feature of Sequence Stratigraphy. There are 3 second-order Sequence interfaces (SSB1, SSB2, SSB3) and 3 third-order Sequence interfaces are discovered in Shahejie Formation. There are 2 second-order sequences (Es_4 and $Es_3 \sim Es_2^{low}$) and 6 third-order sequences (SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5, SQ6) are distinguished from the Shahejie Formation. Based on the above, the book has established the Sequence Stratigraphic Framework.

(2) Through analyses of body of casting slice, stereoscan photograph and x-diffraction atc, the book has researched the diagenesis types in steep-slope zone of Dongying sag which included the compaction-pressure solution, cementation of carbonate, secondary oversize of quartzes, cementation of clay minerals, cementation of iron pyrites, cementation of anhydrite replacement and erosion atc.

(3) Based on above, the book studied in detail the diagenesis characteristics in Sequence Stratigraphic Framework. The results indicated the diagenesis types on the sequence interface which are erosion, cementation of carbonate and cementation of clay minerals. Different sedimentary system included different diagenesis. For example in the low system tracts diagenesis types are cementation of carbonate, cementation of clay minerals, cementation of kaolinite, cementation of anhydrite. In the expand system tracts developed secondary oversize of quartzes, cementation of anhydrite, compaction of mud stone. In the high system tracts occurred cementation of carbonate, cementation of feldspar and erosion. Different diagenesis types in different sequence influenced reservoirs. The diagenesis which influenced the alluvial fan reservoir include the cementation of clay minerals and erosion; The diagenesis which influenced the fan-delta reservoir include the compaction, cementation of carbonate and secondary oversize of quartzes; The diagenesis which influenced the Nearshore Subaqueous Fans reservoir include the compaction, secondary oversize of quartzes and cementation of carbonate; The diagenesis which influenced the delta reservoir include the compaction,

secondary oversize of quartzes and erosion; The diagenesis which influenced the turbidite fan reservoir include the cementation of carbonate and erosion.

(4) Based on the research of diagenesis, according to the characteristics of diagenesis substance, clay minerals analyse, reflectance of vitrinite etc, the book has divided the phase of the diagenetic evolution into subphase A, B of early stage diagenesis and subphase A, B of late stage diagenesis, and has researched the processes of the diagenetic evolution in detail. Based on the above, the book has divided the diagenetic facies into five diagenetic facies types and eight diagenetic subfacies types in the Shahejie Formation. The diagenetic facies are early-stage feeble compaction, early-stage feebleness cementation, intermediate-stage erosion, intermediate-stage repeating cementation and advanced-stage tight compaction. The diagenetic subfacies are erosion of plastic nature component, cementation of calcite, cementation of carbonate including Fe, secondary oversize of quartzes, cementation of kaolinite, cementation of clay minerals, cementation of asphalt and cementation of anhydrite.

(5) Based on the divisions of diagenetic facies, the book has researched the distribution features of diagenetic facies in the Sequence Stratigraphic Framework of Shahejie Formation in the steep-slope zone of Dongying sag. At the end, the book has established the structure-sequence-diagenesis synthesis model of the north steep-slope zone of half-graben-like rift basin.

(6) Diagenesis such as compaction, cementation and erosion mainly controlled the properties of reservoirs. At the end, the book has counted and quantified the diagenesis by the diagenetic aggregative index number, and has discussed the relationship between the diagenetic aggregative index number and the reservoir. The study results indicate that there are corresponding relations between the diagenetic aggregative index number and the reservoir.

Keywords: Dongying sag, steep-slope zone, Shahejie Formation, sequence Stratigraphic Framework, diagenesis, diagenetic evolution

目次

摘 要

Abstract

1 绪 论	1
1.1 选题目的及研究意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 陆相盆地层序地层学研究现状	3
1.2.2 层序-成岩作用研究现状	4
1.2.3 成岩演化与储层发育关系研究现状	5
1.3 研究内容及思路	6
1.3.1 研究内容	6
1.3.2 研究思路及技术路线	6
1.4 成果与认识	7
2 区域构造-沉积背景	9
2.1 区域构造特征	10
2.1.1 断裂活动及其特点	10
2.1.2 内带	12
2.1.3 外带	12
2.2 地层特征	13
2.2.1 沙四段 (E_{s_4})	14
2.2.2 沙三段 (E_{s_3})	14
2.2.3 沙二段 (E_{s_2})	14
2.2.4 沙一段 (E_{s_1})	15
2.3 沉积背景	15
2.3.1 洪积扇	15
2.3.2 近岸水下扇	15
2.3.3 三角洲	17
2.3.4 扇三角洲	18
2.3.5 陡坡深水浊积扇	21
2.4 构造-沉积演化	22
2.4.1 裂陷-扩张初期 ($E_k - E_{s_4}^F$)	22
2.4.2 裂陷-扩张鼎盛期 ($E_{s_4}^L - E_{s_2}^F$)	22
2.4.3 裂陷-扩张衰退期 ($E_{s_2}^L - E_d$)	25

3	层序地层学研究	26
3.1	层序界面特征	26
3.1.1	二级层序界面特征	27
3.1.2	三级层序界面特征	30
3.2	层序划分及特征	30
3.2.1	二级层序特征	31
3.2.2	三级层序特征	31
3.3	层序地层格架	36
4	层序地层格架内成岩作用特征	41
4.1	层序-成岩研究现状	41
4.2	成岩物质组成特征	42
4.2.1	重点钻井物质组成分析	42
4.2.2	碎屑物质组成特征	43
4.3	成岩作用类型及特征	44
4.3.1	压实、压溶作用	44
4.3.2	胶结作用	49
4.3.3	交代作用	57
4.3.4	溶蚀作用	57
4.4	层序格架中典型沉积体系内发育的成岩作用特征	58
4.4.1	冲积扇内发育的成岩作用特征	58
4.4.2	三角洲内所发育的成岩作用特征	60
4.4.3	扇三角洲内所发育的成岩作用特征	61
4.4.4	近岸水下扇内所发育的成岩作用特征	62
4.4.5	浊积扇内所发育的成岩作用特征	66
4.5	层序界面附近成岩作用特征	68
4.5.1	二级层序界面与成岩作用类型及特征	69
4.5.2	三级层序界面与成岩作用类型及特征	70
4.5.3	四级/五级层序界面与成岩作用类型及特征	73
4.6	体系域内成岩作用特征	73
4.6.1	SQ1 (沙四段下亚段) 层序内成岩特征	75
4.6.2	SQ2 (沙四段上亚段) 层序内成岩特征	75
4.6.3	SQ3 (沙三段下亚段) 层序内成岩特征	77
4.6.4	SQ4 (沙三段中亚段) 层序内成岩特征	79
4.6.5	SQ5 (沙三段上亚段—沙二段下亚段) 层序内成岩特征	79
4.6.6	SQ6 (沙二上亚段—沙一段) 层序内成岩特征	79
5	层序地层格架内成岩演化研究	80
5.1	成岩演化阶段划分	80
5.1.1	北部陡坡带成岩演化阶段划分依据	80
5.1.2	成岩特征	85
5.1.3	成岩演化阶段划分	85

5.2 层序—成岩演化控制因素	87
5.2.1 构造活动	87
5.2.2 原始成岩流体	87
5.2.3 酸性流体	88
5.2.4 层序发育过程	89
5.3 陡坡带层序—成岩演化过程	89
5.4 层序格架内成岩相特征	92
5.4.1 成岩相划分	93
5.4.2 成岩相特征	94
5.4.3 成岩亚相特征	94
5.4.4 层序地层格架内成岩相特征	95
5.5 构造—层序—成岩作用综合模式	98
6 层序格架内成岩演化与储层发育的关系	102
6.1 成岩演化对储层的控制	102
6.1.1 成岩演化早期压实作用	102
6.1.2 成岩演化过程中的胶结作用	102
6.1.3 成岩演化过程中的溶蚀作用	103
6.2 层序地层格架内成岩演化与储层综合评价	104
6.2.1 北部陡坡带孔隙发育特征	104
6.2.2 层序格架内成岩演化与储层发育的关系	106
7 结 论	111
致 谢	113
参考文献	114

1 绪论

本专著以所承担的中石化重点项目“济阳断陷湖盆沉积类型与成岩演化研究”为依托,以箕状断陷湖盆陡坡带层序地层格架内成岩演化为重点开展研究。

1.1 选题目的及研究意义

储层研究的一个重要方面就是对储层成岩作用进行研究,储层的成岩作用研究对于了解和认识储层的好坏、孔隙的演化过程、孔隙的分布规律等具有越来越重要的作用。次生孔隙理论的发展不仅确认了在碎屑岩中大量的次生孔隙的存在,改变了碎屑岩储集孔隙基本原生的传统观点,而且强调了深部溶解作用以及不整合和沉积间断对形成次生孔隙的重要作用。总之,成岩作用是碎屑岩储层评价的主要研究内容,这是因为埋藏后的碎屑岩储层必然经历一个复杂的成岩演化过程,而演化的性质决定了储层储集性的优劣。因此,储层研究主要以研究成岩作用的发生机制和成岩—储集性关系为目的。

由于断陷湖盆地质条件的复杂性和砂体分布规律的受控因素多,一直以来,陆相断陷湖盆碎屑岩储层的研究难度较大。20世纪90年代以前,胜利油区在储层研究方面主要采用定性描述,以寻找有利储、盖组合和有利物性发育部位为主要目的;90年代以后,不少学者对济阳凹陷古近系成岩作用进行了大量的研究(周自立,吕正谋,1995;蔡进功,2002;陈永桥,2004;游国庆,2006),以求更深层次地探究储层的成因和分布规律。根据对东营凹陷古近系成岩作用的研究,发现成岩作用随埋深的增加具有分带性。自上而下分为四个带:浅成岩带、中成岩带、深成岩带、超深成岩带。最好的砂岩储层是中固结、原生孔为主的中成岩带,而超深成岩带仅发育2~3个规模不大的次生孔隙发育带。

陆相断陷盆地特有的复杂性决定了储集岩分布和演化的复杂特点,这种复杂性不仅体现在沉积作用,而且更多地体现在成岩作用方面。油气勘探的发展,对储集岩的成岩演化研究提出了新的要求。发展储层储集性能预测评价的技术方法,促进复杂地区勘探效益的提高和深层油气勘探,成为当前储集岩成岩演化研究最重要的内容。因此,当前的勘探现状要求必须加强成岩作用研究。

东营凹陷位于济阳坳陷东南部,是济阳坳陷重要的含油气凹陷之一,面积约5800km²。在经历了40余年的油气勘探之后,东营凹陷已经达到较高勘探程度。伴随着油气勘探的深入,对岩性油藏形成机制、分布模式的认识和勘探方法的研究逐渐深入,在层序和沉积体系分析及盆地充填史研究、深度域上埋藏成岩史的研究取得了一批重要成果(蔡希源,2005;李丕龙,2003),这些成果对指导隐蔽油气藏的勘探发挥了重要

作用。但上述研究成果缺乏有机结合,尤其是没有将成岩作用的研究置于等时格架内,从而掩盖了储层性能的部分成因信息;而且关于原始碎屑组分、沉积成岩环境对中、晚成岩阶段的影响的研究较少,这客观上造成了对储层物性平面分布规律认识的不足。

层序地层研究的主要对象为沉积地层,其主要的信息来源是受海(湖)平面变化、构造沉降、古气候等因素控制的沉积物的沉积特征和生物特征以及在海(湖)平面升降变化过程中的成岩特征。因此,层序发育对成岩演化有重要的影响,特别对成岩作用早期有重要控制作用。因此需要与层序结合,才能更好地研究成岩作用。近年来,众多学者对东营凹陷北部陡坡带沉积、层序、储层、成岩作用进行了研究(田景春等,2001;张建中,2003;游国庆,2006;袁静,2003;邓宏文,2006)。陡坡带由于构造复杂,具有近物源、相变快等特点,主要发育冲积扇、近岸水下扇、扇三角洲等砂砾岩体,因此一直以来受到广大石油地质学家的重视。但是在储层成岩作用和成岩演化方面还需要进行以下几个方面的研究:

(1) 层序界面与成岩作用

一直以来,对成岩作用的研究主要在于研究沉积体系内的成岩作用,基本上停留在一维或者二维的方法上,将层序地层与成岩作用的研究结合起来,是近年来提出的。层序界面是控制成岩作用的一个重要的因素,不同级别、不同类型的层序界面具有不同的成岩作用过程和特点。前人对东营凹陷北部陡坡带层序成岩作用也进行了研究(陈春强等,2006),但是针对整个东营凹陷,没有具体针对北部陡坡带进行研究。因此,对北部陡坡带层序界面的成岩作用研究具有重要的意义。

(2) 体系域与成岩作用

由于成岩环境随着湖平面升降变化而改变,因而不同层序及层序内不同的体系域发育不同的成岩作用,虽然陆相湖盆比较难以识别,但是成岩作用在不同体系域内是具有差异的,特别是对北部陡坡带,由于在不同体系域相变较大,而不同成岩作用对不同体系域内的不同储集体影响也较大。因此,急需对不同体系域内的所发育的成岩作用进行研究,以便更好地认识不同体系域内的储层。

(3) 层序内成岩演化综合研究

成岩作用是研究成岩的一个直接的目的,要想更好地认识陡坡带成岩作用,就要对整个成岩演化过程进行综合研究,并且将层序地层与成岩演化过程进行结合,这样才能更好地了解储层成岩作用的发生过程。

(4) 层序格架内成岩演化与综合储层评价

石油地质研究的目的是能通过各种地质手段找出有利储层。成岩作用研究作为储层研究的一个重要方面,最终也是要能更好地认识储层。因此,成岩作用研究的最终目的是要建立成岩与储层综合评价,以便于更好地认识储层,指导北部陡坡带的勘探。

鉴于东营箕状断陷湖盆北部陡坡带成岩研究的以上问题,结合所承担的研究课题,选择东营凹陷北部陡坡带沙河街组进行层序地层、层序界面与成岩作用、体系域与成岩作用、层序格架内成岩演化进行研究,为箕状断陷湖盆陡坡带砂砾岩体石油地质、油气

储层研究提供重要的依据。

自20世纪90年代开始,作者先后承担完成了“东营凹陷北陡坡带沙河街组砂体成因类型及其储集性研究”、“曲堤—王判镇地区中、古生界沉积体系和构造特征研究”、“埕南断裂带砂砾岩体综合分析及勘探目标评选”、“东辛油田营66—营87区块沙一段、沙二段沉积相及储层模型研究”、“环渤海湾地区前第三纪层序岩相古地理研究及编图”、“孤北桩海地区下第三系控砂机理及勘探潜力分析”、“济阳断陷湖盆沉积类型与成岩演化研究”、“东营凹陷沙三、沙四储层成因及评价研究”、“利津西坡沙四段沉积相、储层及油气聚集特征研究”等科研项目,对陆相断陷湖盆沉积、层序、成岩及储层等方面均进行系统深入研究。上述项目的完成积累了大量的资料,为本专著的完成奠定了重要基础。本专著是在上述众多研究成果的基础上,以东营箕状断陷湖盆北陡坡带沙河街组为研究对象,深入研究其层序地层格架内的成岩特征及演化。

1.2 国内外研究现状

层序地层学提供了较大尺度规模上储集岩研究的理论及方法,可有效地从三维时空预测层序中储集体的分布及其变化规律,而成岩作用研究则是在小尺度规模上,从一维深度域出发探讨沉积岩的成岩演化特征及其对储集体性能的影响(郑浚茂等,1989;孙永传等,1992;应凤祥等,2004)。随着勘探的深入和勘探难度的增大,越来越多的学者进行不同沉积体系、不同构造区带、不同层序内的成岩作用研究(孟元林,2006;陈永桥,2004;李熙喆,2007)。特别是对层序地层格架内的成岩作用研究越来越受到重视,通过对层序格架内成岩作用的研究以期预测等时格架内储集体及其性能在二、三维空间上的展布及变化。国内外学者在碳酸盐岩储层中开展了卓有成效的研究,认识到成岩作用与层序、体系域之间的确存在着复杂的关系。但陆相碎屑岩储层层序与成岩的关系研究较少。由于本书研究陆相断陷盆地层序格架内的成岩演化,因此需要了解陆相盆地层序地层、层序成岩以及成岩演化与储层发育关系的研究现状。

1.2.1 陆相盆地层序地层学研究现状

目前,层序地层学的研究思想,大体上可归结为海相层序地层学、陆相层序地层学和高分辨率层序地层学三个方面。海相层序地层学研究以国外学者为主,陆相层序地层学研究以国内学者为主,高分辨率层序地层学研究以科罗拉多Cross、郑荣才、邓宏文学派为主。我国以陆相含油气盆地为主,因此开展陆相盆地层序地层学研究对我国的油气勘探具有重要的意义。陆相盆地层序地层的发育特征和控制因素以及层序构成模式与海相相比有较大的差异。不能简单地套用已成熟的海相层序构成模式和工作方法。而只能借鉴核心思路,探索和建立一套陆相盆地地层学理论和方法(蔡希源,李思田等,2003)。国内学者对陆相盆地研究有重要影响的有李思田教授、纪有亮教授、冯有良教

授、李丕龙教授级高级工程师以及邓宏文教授等学者。

箕状断陷湖盆是一种典型的陆相湖盆。近年来,不少学者也对箕状断陷湖盆层序地层学进行了研究(冯有良等,2006;操应长等,2005),探讨了该类典型的陆相盆地的层序划分方法、层序格架模式以及层序发育的控制因素。箕状断陷湖盆,其典型的特征是可以分为构造陡坡带、缓坡带和中央洼陷带,每个构造带在沉积、层序、成岩以及构造特征上都有明显的区别。前人对东营凹陷陡坡带的构造层序也进行了研究(胡授权等,1998;赵勇,2005),本书在前人研究的基础上,利用收集的单井资料、地震资料、钻井资料,对东营凹陷陡坡带的层序地层进行了详细的研究和探讨,为层序格架内的成岩作用研究奠定基础。

1.2.2 层序-成岩作用研究现状

近年来,研究层序地层格架内成岩作用越来越受到国内外学者的广泛关注,国内外对成岩作用研究有了迅速发展,对砂岩、碳酸盐岩、泥岩的成岩作用都有较多的文献报道,是沉积岩石学的重要内容之一。传统的成岩作用研究主要是从地层的温度场、压力场出发研究沉积岩的成岩作用、成岩演化特征及其对储集体性能的影响。本专著在前人研究的基础之上(陈春强,2006;邱桂强,2007),在对东营凹陷北部陡坡带沉积、层序地层研究的基础之上,将成岩演化与层序地层格架联系起来,并试图建立一定的成岩演化与储层综合评价关系,以期找出断陷湖盆陡坡带层序地层与成岩演化的关系。

目前,国内外对层序-成岩作用研究主要是碳酸盐岩的层序与成岩作用,碎屑岩研究比较少。国外学者Tucker曾在1993年发表了《碳酸盐成岩作用与层序地层学》一文,分析了成岩作用与层序发育过程中的关系。随后不少国内外学者也都认识到成岩作用与层序、体系域之间的确存在着复杂的关系。Macrello Kezt, Moard, Richard Evans and Al-Aasm 2002年在《Journal of Sedimentary Research》发表了《distribution of diagenetic alterations in fluvial, deltatic and shallow marine sandstones with in sequence stratigraphic framework: evidence from the Mullagmh more Formation (Carboniferous), Nw Ireland》,详细分析了不同沉积体系、不同体系域下的成岩特征。国内学者贾振远、蔡忠贤(1977)对鄂尔多斯地区南缘下奥陶统成岩作用与海平面升降、成岩事件与层序地层学进行了研究,通过成岩作用的微观现象来识别层序界面。林小兵等通过对黔南石炭系以及轮南古隆起下、中奥陶统碳酸盐岩层序地层格架中成岩作用的研究,详细分析了不同体系域内以及层序界面的成岩作用的差异性。

由于陆相盆地层序演化远不及海相碳酸盐岩层序的规模大。因此,对于陆源碎屑岩层序成岩的研究比碳酸盐岩要少。国内比较早将层序和成岩作用结合起来研究的是中国地质大学陆永潮教授(1999),他分析研究了层序地层学在碎屑岩成岩作用中的应用。采用层序中体系域的沉积过程与成岩作用分析相结合的方法,以琼东南盆地崖13—1气田的单井剖面综合研究为基础,结合连井地震剖面的层序解释,以三级层序中储集体形成的背景环境和原生孔隙水化学性质、成岩环境为单元,系统分析了不同体系域沉积

和成岩标志,探讨了沉积体系域构成与成岩作用的制约关系及其对砂岩储层储集性的影响。近两年来,对于层序-成岩的研究越来越受到了广大学者的重视。罗忠等(2007)以鄂尔多斯盆地延河露头上三叠统延河组为例,详细研究了层序界面对成岩作用的影响;李熙喆等(2007)详细研究了鄂尔多斯盆地上古生界层序格架内的成岩作用;邱桂强(2007)对东营凹陷古近系成岩-层序以及储层差异性进行了研究,详细研究了层序界面以及体系域的成岩作用类型。总之,将成岩作用放在层序格架内进行研究越来越受到广大学者的重视。关于层序界面、体系域以及层序格架内的成岩作用研究、成岩演化研究和成岩相研究将成为今后成岩作用研究的一个新课题。层序地层学提出了建立盆地等时地层格架、确定盆地中沉积体系三维配置的理论与方法,而且大大推动了成岩场和成岩动力学的研究。成岩层序地层学则是在层序地层学和成岩地层学两者的基础上,紧密结合两者间的关系,在层序地层格架中研究成岩作用与成岩演化过程,预测储层的时空分布规律。

全球海平面变化、构造沉降、沉积物补给和气候变化等各种动力学因素所控制的相对海平面变化,不仅造成层序内部沉积体系域发生有序的变化,而且使其沉积介质或原生孔隙水(主要包括pH值、Eh值和含盐度)也产生相应的变化。而沉积介质或原生孔隙水的pH值、Eh值和含盐度对同生期和早期成岩作用具有直接的控制作用,并对深埋藏过程中的中、晚期成岩作用、孔隙演化具有重要影响。所以,在等时地层格架中,从层序界面、体系域、沉积空间变化对储层非均质性及成岩特征的控制作用研究入手,建立不同类型的储层评价标准,预测储集体的层位和区带、相带分布规律,具有更大的准确性和实用性。

1.2.3 成岩演化与储层发育关系研究现状

陆相盆地碎屑岩储层由于受沉积、成岩作用和构造运动等因素的共同作用,形成了多种孔隙类型,主要分为原生孔隙和次生孔隙两类。随着埋深增大及成岩作用的增强。储层中原生孔隙渐趋减少,转而以次生孔隙为主。次生孔隙在我国陆相湖盆碎屑岩储层中占有很大比例,主要类型有粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔、胶结物内溶孔和裂缝等。形成机制有4种:①与有机质热演化有关;②与大气水渗滤作用有关;③与深部地质作用有关;④与构造作用有关(黄思静,2003;赵追,2001)。关于成岩作用与次生孔隙的发育的关系是研究储层的重点,关于次生孔隙的识别标志、分类及其定量计算,对其成因也有了基本的认识,特别是有机质脱羧产生的有机酸和二氧化碳对次生孔隙的形成已为大家所共识,不仅对海相地层如此,在陆相地层中也已得到广泛证实(应凤祥,2004)。

东营凹陷砂岩储层与成岩作用和次生孔隙的发育密切相关,许多学者对其进行了研究。陈永桥等(2004)、李凤娟(2005)、袁静(2005)分别对胜利油田、济阳凹陷和东营凹陷的成岩作用与次生孔隙发育情况进行了一些研究,苗建宇等(2000)、吕正谋(1985)探讨了济阳凹陷、东营凹陷的砂岩储层次生孔隙变化的影响因素,蔡进功等

(2002)建立了济阳坳陷成岩与孔隙演化模式。

成岩演化除了溶蚀作用造成的次生孔隙的影响之外,还有压实和胶结作用,它们对储层的孔隙也起到了重要的作用。不少学者对成岩演化过程的胶结作用进行了大量的研究(黄思静,2004;邓宏文,2006),对于成岩演化对储层的影响,近年来也有不少学者进行了研究(陈春强,2006,邓宏文等,2005)。用成岩综合指数定量地描述成岩演化强度与储层发育的关系也将成为一个关注的课题。

1.3 研究内容及思路

1.3.1 研究内容

本专著对东营箕状断陷湖盆北部陡坡带层序地层格架内的成岩演化进行了研究。概括起来,主要包括以下几方面的研究内容:

(1) 陡坡带层序地层学研究

在前人研究的基础上,结合地震、测井、野外露头等资料,对东营凹陷陡坡带沙河街组进行了层序地层研究。将沙河街组划分为2个二级层序和6个三级层序,并进行了陡坡带层序地层对比,建立了陡坡带层序地层格架。

(2) 陡坡带层序地层格架内的成岩作用研究

以构造演化、沉积作用和层序地层为背景,借助薄片鉴定、扫描电镜、X衍射分析等手段,详细研究了层序格架内的成岩作用类型及特征,并详细研究了不同层序界面附近的成岩作用特征、不同体系域内成岩作用特征、层序内不同沉积体系成岩作用特征。

(3) 陡坡带层序地层格架内成岩演化研究

以成岩作用研究为基础,以铸体薄片成岩物质特征、粘土矿物分析、镜质体反射率等资料为主要依据,详细划分了沙河街组成岩演化阶段,并对沙河街组成岩演化进行了详细研究。在成岩作用阶段划分和成岩演化的基础上,进行了成岩相的划分,并研究了东营箕状断陷湖盆北部陡坡带层序格架内的成岩相展布特征。最后,建立了北部陡坡带构造—层序—成岩综合模式。

(4) 探讨了东营箕状断陷湖盆陡坡带成岩演化与储层发育的关系

成岩作用对储层有很好的控制作用,成岩过程中的压实作用、胶结作用和溶蚀作用是影响储层的关键因素。引入了成岩综合指数,对成岩作用进行了定量的计算,探讨了成岩综合指数大小与储层质量的优劣的关系。

1.3.2 研究思路及技术路线

在前人研究基础上,以现代沉积学、层序地层学、储层沉积学和成岩作用理论为指导,通过东营箕状断陷湖盆北部陡坡带沙河街组钻井、测井以及测试资料的综合分析,详细研究了陡坡带沙河街组发育的沉积体系类型、层序地层特征。进而详细研究了层序

格架内层序界面、体系域与成岩作用、成岩演化关系及对储层发育的影响 (图 1.1)。

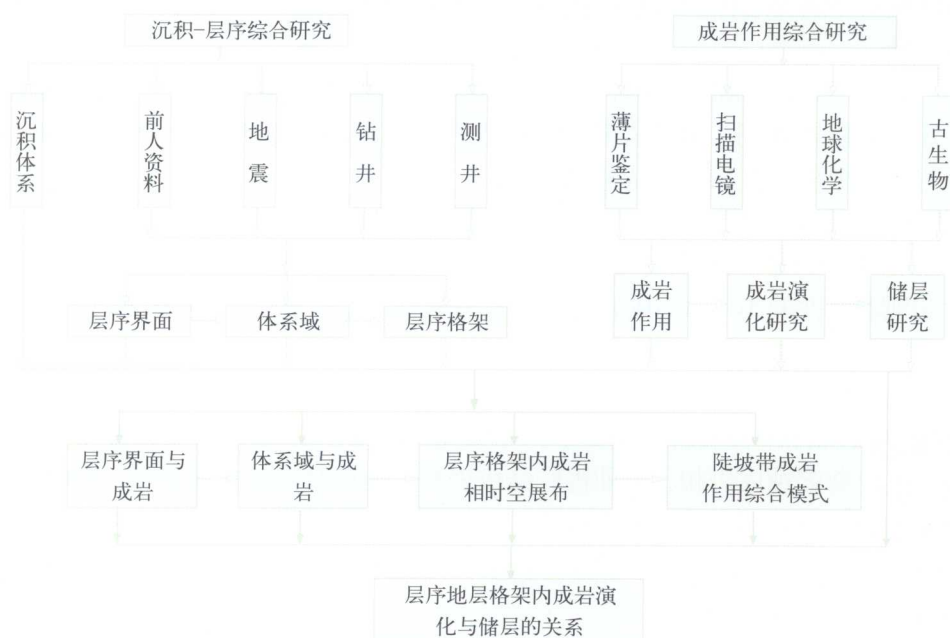


图 1.1 技术路线

1.4 成果与认识

在前人研究成果的基础上,结合大量的分析测试资料和数据,按照上述的研究路线和思路,通过对东营箕状断陷湖盆北部陡坡带沙河街组层序地层格架内成岩演化研究,取得了以下成果和认识:

1) 在东营箕状断陷湖盆北部陡坡带区域构造特征以及沉积体系研究的基础上,详细研究了东营凹陷北部陡坡带沙河街组层序地层特征。将沙河街组共划分出了2个二级层序和6个三级层序,并建立了东营凹陷北部陡坡带层序地层格架。

2) 通过大量岩石铸体薄片分析、扫描电镜分析、粘土矿物分析等测试数据、资料的分析,详细研究了东营箕状断陷湖盆北部陡坡带沙河街组主要成岩作用类型及特征。主要成岩作用包括压实、压溶作用、胶结作用、溶蚀作用、交代作用等类型。其中,不同的层序内以及不同构造部位的成岩作用有所差异。并详细研究了陡坡带沙河街组内5种不同沉积体系内的成岩作用类型及特征。

3) 详细研究了箕状断陷湖盆陡坡带层序形成演化与成岩作用的关系。结果表明:层序界面对成岩作用有着控制作用,层序界面之下通常发育碳酸盐胶结和溶蚀作用,界面之上通常发育粘土矿物胶结和石英次生加大,此现象在盆地边缘的二级层序界面表现尤为明显;体系域对成岩作用也有一定的控制作用,例如湖盆扩张体系域通常发育有石