

摘要

渤中凹陷北坡为一断裂陡坡带,是指石臼坨凸起南部边界断裂下降盘及邻近围区。该区带是石臼坨凸起亿吨级大油田油气运移的必经之路,成藏位置十分有利。但陡坡带勘探也面临构造圈闭埋藏深、层系单一、圈闭幅度大等制约勘探的重要问题,勘探局面迟迟未能打开。本文从立体勘探的角度综合分析,认为该区带从勘探的早期就应建立构造-岩性复合圈闭勘探的思路,以实现效益勘探和价值勘探。

渤海海域古近系充填沉积中可识别出 15 个主要的等时界面,其中一级层序界面 2 个,二级层序界面 3 个,三级层序界面 10 个。相应的将渤海海域古近系划分为一个一级层序,四个二级层序,十四个三级层序。在此基础上,根据钻井、地震及古生物等分析化验资料,渤中凹陷北坡古近系对应识别出 6 个三级层序,分别为沙四层序、沙三层序、沙一二层序、东三层序、东二层序和东一层序。

渤中凹陷北坡进一步可分为简单单断式陡坡坡折和断阶式陡坡坡折两种类型。陡坡断裂带的沉积层序发育主要与主干同断裂的活动历史和组合样式有关,沉积相带的展布早期受控于边界主控断裂,晚期沉积体系展布受控于凹陷边缘的主控断裂以及凸起边缘断裂。

渤中凹陷北坡古近系发育冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲、河流三角洲、浊积扇、湖泊等 6 种沉积体系类型;构造-层序地层格架内的沉积体系的展布研究表明,总体上,研究区沙三、沙一二层序沉积时期以短源、内源沉积为主,物源来自石臼坨凸起,发育扇三角洲与浅-深湖沉积,局部见有浊积扇沉积。东三层序沉积时期,较深湖区面积明显扩大,滨浅湖范围局限,局部发育扇三角洲沉积。东二层序沉积时期,以远源、外源沉积为主,湖区范围明显缩小。其低位体系域和湖进体系域发育辫状河三角洲、滨浅湖滩坝、湖泊及浊积扇沉积;高位体系域沉积时期发育河流三角洲、滨浅湖滩坝和湖泊沉积。东一层序沉积时期水体较浅,以滨浅湖或三角洲平原为主。

渤中凹陷北坡陡坡带存在多层系、多成因、分布广泛的构造-岩性复合圈闭。这些圈闭分布受控于坡折带类型、水系方向与古地貌的配置关系、基准面的旋回性变化等多种因素。岩性圈闭的存在可以弥补纯构造圈闭的不足,从构造岩性复

合圈闭的角度来看，渤中凹陷北坡的资源潜力大，具有超过 3 亿方的资源规模。

通过对渤中凹陷北坡 427 构造区进行了高精度层序地层分析和岩性圈闭预测及其成藏条件综合研究，认为渤中 2-1 构造除了构造圈闭外，还发育构造岩性圈闭，岩性圈闭规模大，预期勘探效益应较好，是渤中凹陷岩性圈闭勘探比较现实的目标区之一。

关键词：层序地层 沉积体系 陡坡带 岩性圈闭 古近系 渤中凹陷

Sequence Stratigraphy and Lithologic Trap Predication of Paleogene in North Slope of Bozhong Sag

Yang Bo (Geological Engineering)

Directed by Prof. Guo Jingxing

Senior Engineer Zhou Xinhuai

Abstract

The fault steep slope belt of the north slope in Bozhong sag is downthrown side of southern boundary fault in Shijiutuo uplift and its neighbor area. This zone is advantage road of oil migration of hundred-million tons oil field in Shijiutuo uplift, and accumulation condition is perfect. The exploration progress of the fault steep slope belt is slowly as many causes including buried depth of structural traps, single target and big amplitude. From stereo exploration analysis, this paper thought the fault steep slope belt of the north slope in Bozhong sag should establish exploration strategy of structure-lithological trap to realize the benefit and the value exploration.

The fifteen main chronohorizons including two 1st-order sequence boundaries, three 2nd-sequence boundaries and ten 3rd-order sequence boundaries can be recognized in the Palaeogene of Bohai sea area. The Palaeogene in Bohai sea area can be divided one 1st-order sequence, four 2nd-sequences and fourteen 3rd-order sequences. According to drilling, seismic and paleontology, paleogene of the north slope in Bozhong sag had divided six third-order sequences including Sha-4 sequence, Sha-3 sequence, Sha-1&2 sequence, Dong-3 sequence, Dong-2 sequence and Dong-1 sequence.

The fault steep slope belt of the north slope in Bozhong sag could divide into mono-faulted and faulted-steps break. Sedimentary sequences growth of the fault steep slope closed to main fracture active history and combination style. Boundary fracture controlled sedimentary facies in early time, and master fracture in sag edge and uplift edge controlled deposition system lately.

Paleogene sedimentary of the north slope in Bozhong sag have six deposition system, including alluvial fan, fan delta, braided delta, fluvial delta, turbidite fan and

lacustrine. According to deposition system of the structure-sequence framework analysis, sedimentary source of the area from Shijiutuo uplift have short and endogenetic sedimentary characteristics in Sha-3 to Sha-1 sedimentary period; and sedimentary deposits is mainly fan delta and the shallow-deep lake deposit partially turbidite fan deposit. Deep lake area obvious expansion, shore-shallow lake limitation, and fan delta deposit is partial in Dong-3 sequence deposition period. The lake area reduces obviously and sedimentary source from far and exogenous source in Dong-2 sequence deposition period. Braided delta, the shore-shallow beach dam, the lake and the turbidite fan deposition development in low system tract and transgressive system tract. River delta, shore-shallow beach dam and lacustrine deposit development in highstand system tract. Shore-shallow lake or deltaic plain deposition is main sedimentary as shallow of water in Dong-1 sequence deposition period.

There are structure-lithological trap, the multi-origins, the distribution widespread in the north slope in Bozhong sag. Belt type, river system direction and ancient landform relations, base level cycle changes controlled its distribution. The lithological trap is the supplement of structure trap. There are more than $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ resources from structure-lithological trap In the north slope of Bozhong sag.

The high resolution sequence stratigraphy and sedimentary system are analyzed and the lithologic trap are recognized and described in 427 Tectonic Zone of North Slope in Bozhong sag. Bozhong 2-1 block developed the structure-lithological trap with a good exploration potentiality besides the structural trap. The block is the tangible area of the lithologic trap exploration in Bozhong sag area.

Key words: Sequence stratigraphy, Sedimentary system, Steep slope zone, Lithologic trap, Palaeogene, Bozhong sag

关于学位论文的独创性声明

本人郑重声明：所提交的论文是本人在指导教师指导下独立进行研究工作所取得的成果，论文中有关资料和数据是实事求是的。尽我所知，除文中已经加以标注和致谢外，本论文不包含其他人已经发表或撰写的研究成果，也不包含本人或他人为获得中国石油大学（华东）或其它教育机构的学位或学历证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对研究所做的任何贡献均已在论文中作出了明确的说明。

若有不实之处，本人愿意承担相关法律责任。

学位论文作者签名：杨波

日期：2009年5月22日

学位论文使用授权书

本人完全同意中国石油大学（华东）有权使用本学位论文（包括但不限于其印刷版和电子版），使用方式包括但不限于：保留学位论文，按规定向国家有关部门（机构）送交学位论文，以学术交流为目的赠送和交换学位论文，允许学位论文被查阅、借阅和复印，将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，采用影印、缩印或其他复制手段保存学位论文。

保密学位论文在解密后的使用授权同上。

学位论文作者签名：杨波

日期：2009年5月22日

指导教师签名：同学号

日期：2009年5月22日

第 1 章 前言

1.1 选题的来源、目的及意义

本课题来源于中海油天津分公司相关生产研究项目。

近十年来渤海海域油气勘探工作以浅层为重点,取得了巨大进展。但随着勘探的发展,如何保持渤海的储量和产量稳步发展,争取再上一个台阶,必须寻找新的勘探领域和储量增长点。根据资源评价和勘探结果的分析,渤海海域剩余潜在资源主要分布在古近系,根据周边油田的勘探经验,在勘探的中后期岩性油气藏将是勘探的主要领域。虽然岩性圈闭勘探目前还不是渤海勘探的重点,但是对其进行技术储备、先导性研究和岩性圈闭有利区带研究是十分重要的,这将为以后进入岩性圈闭勘探阶段奠定坚实的基础。2006年,渤海钻探锦州 31-6 和曹妃店 22-2 岩性圈闭获得成功,表明岩性圈闭勘探不再是渤海海上勘探的禁区,增强了海上岩性圈闭勘探的信心。

近年来国内外特别是渤海湾盆地在岩性油气藏研究方面取得了长足进步,并且还在不断完善、发展,这些都为渤海古近系岩性圈闭研究提供了有益的经验。但是,渤海海域与周边陆上油田从地质特征、勘探程度上有很大差异,海域岩性圈闭勘探在勘探策略和研究方法上不能完全照搬陆上的经验。因此,通过本项目的研究,力争在新技术和新方法的整合应用基础上进行创新,搞清渤中凹陷北坡古近系层序地层特征、沉积体系分布规律、有利储集相带分布、岩性圈闭有利发育区带并且寻找目前条件下的现实突破方向。

1.2 渤海岩性圈闭勘探、研究现状与存在的问题

渤海海域有意识的岩性圈闭勘探可以追溯到 1988 年钻探的锦州 25-2 构造,钻前认为该构造在沙二段存在扇体岩性圈闭,但钻后在沙二段没有发现任何良好的扇体,勘探失利。10 年后,即 1998 年 ESSO 石油公司在辽中凹陷钻探锦州 31-1 浊积砂体岩性圈闭,在东营组发现 32m 气层,天然气地质储量 39 亿方,外方认为没有经济效益,放弃评价,随后钻探锦州 22-1 岩性圈闭,钻前预测目的层为湖底扇,钻后实际上为三角洲沉积,岩性圈闭不复存在,勘探失利。2004 年,科麦奇公司在埕北低凸起北部斜坡带钻探曹妃店 23-3 构造,由于储层预测失利,勘探没有获得成功。截至 2005 年底,除上述勘探活动之外,渤海再没有专门针对岩性圈闭进行勘探,除锦州 31-1 岩性圈闭勘探获得成功外,渤海岩性圈闭勘探大多数都以勘探失利告终。

渤海海域岩性圈闭勘探面临 4 大挑战。第一,海上勘探成本高,勘探经济门槛高;

第二,海上勘探程度低,岩性圈闭勘探风险高。渤海海域可勘探的探区面积约4万平方公里,而探井只有400余口,探井密度平均每100平方公里只有1口井左右,工区大多数地区还只有二维地震剖面,三维地震资料缺乏,导致岩性圈闭难以精细刻画。钻井稀疏,导致储层预测难以精细,渤海海域中深部勘探储层失利的类型主要有3类:(1)储层落空,钻前预测的储层根本不存在,如曹妃店23-1构造、锦州25-2构造;(2)储集体性质发生改变,钻前预测的储集体类型与钻后实钻的沉积体系类型不同,如锦州22-1构造;(3)储集体物性变差,如蓬莱2-2构造。可以说,储层预测问题极大地制约了渤海海域古近系岩性圈闭勘探;第三,渤海海域地质条件复杂,岩性圈闭预测难度大,成藏机理复杂;第四,渤海长期以来以构造勘探为主,在岩性圈闭勘探方面缺乏经验。

1.3 主要研究内容、研究思路及技术路线

1.3.1 研究任务与研究内容

本课题的总体研究任务包括四个方面,即层序地层研究、沉积体系展布研究、岩性圈闭有利发育区带研究、岩性圈闭识别与描述,具体包括以下几点:

(1) 建立研究区的层序地层格架

层序界面识别、追索和对比,划分各级层序地层单元。对于重点区带,在三级层序的基础上,对重点目的层段进行体系域的划分和高频层序的识别,建立高精度层序地层格架,确定各级层序界面和主要间断面。通过层序地层研究成果与生物地层划分进行对比分析,建立地震反射界面、层序界面、组段界面和时代界面的对应关系。建立不同构造单元的层序构成模式。

(2) 层序地层格架内沉积体系特征分析及其分布规律

探讨研究区古近系沉积体系类型及其特征,分析大型砂体发育的控制因素,重点探讨物源体系、输砂体系、坡折体系、层序界面体系对沉积体系的控制作用。

在层序格架内分析沉积体系的空间组合和分布,对重点层序进行体系域和沉积体系精细研究。

(3) 古近系岩性圈闭发育有利区带预测

对研究区沉积体系与三级构造带配置进行分析,预测可能发育岩性圈闭的有利区带,对不同配置模式下的岩性圈闭类型及其成藏模式进行预测。

(4) 古近系岩性圈闭识别、描述及其成藏条件分析

在岩性圈闭发育有利区带预测的基础上,对渤中凹陷北坡重点目标区进行高精度层序地层分析和沉积体系精细预测,在此基础上,通过地震属性分析和地震反演,对岩性圈闭进行识别和描述,并对其成藏条件进行分析。

1.3.2 课题研究思路、技术路线

根据上述研究内容,本课题以渤中凹陷北坡为重点,以层序地层为主线,以沉积储层研究和岩性圈闭研究为重点,强调构造与沉积相结合,砂体预测研究和圈闭预测研究相结合,总体研究思路和技术路线是:综合岩心、钻井、地震(2D+3D)和实验分析等基础资料,运用陆相层序地层学理论与分析技术,建立统一的等时地层格架,在层序地层格架内研究沉积体系与沉积相分布与时空演化特征。运用地层过程—响应动力学原理,地层动力学和沉积动力学相结合,探讨储集体分布规律及其主控因素,预测有利相带和储集体分布,分析有利相带和有利储集体与三级构造带的配置关系,指出岩性圈闭有利发育区带。在此基础上,对岩性圈闭进行预测和描述,并对其成藏条件进行分析,指明有利岩性圈闭勘探目标。

第2章 岩性—地层油气藏研究现状

岩性—地层油气藏的有关概念虽然很早就已提出,并且其内涵、特征和分类也不断得到补充和完善,但是在过去所发现的岩性—地层油气藏中,大部分都带有一定的偶然性,往往是按照找构造油气藏的勘探思路和方法,却发现了与构造无关或以构造为背景的岩性—地层油气藏。近些年来,随着国内外岩性—地层油气藏发现数量、规模的日益增大,在实践中,地质与勘探人员开始有意识地将其与构造油气藏区分开来,并发展相关理论,探索一套适合于岩性—地层油气藏勘探的思路和技术方法(邹才能,2004)。

2.1 国外研究现状

从20世纪60年代开始,北美、西欧等一些国家由于石油储采比的急剧下降,迫使人们加强在隐蔽圈闭中找油。于是,寻找和捕捉以地层和岩性圈闭为主的隐蔽型圈闭成为在勘探成熟盆地中挖掘油气潜力的主要目标。

岩性—地层油气藏最早被人们笼统地归属于隐蔽油气藏这个相对模糊的概念中。隐蔽油气藏最早由卡尔在1880年提出。威尔逊在1934年提出了非构造圈闭是“由于岩层孔隙度变化而封闭的储集层”的观点。莱复生(1936)提出了地层圈闭的概念,并发表了题为“地层型油田”的论文。1972年哈尔伯特将地层圈闭、不整合圈闭、古地形圈闭所形成的油藏通称为隐蔽油气藏。近30年来,随着世界石油勘探技术的发展和科学研究工作的深入,人们将隐蔽油气藏定义进一步扩大为:在现有勘探方法与技术水平的条件下,较难识别和描述的油气藏类型,它涵盖了地层、岩性油气藏、复杂断块油气藏和低幅度平缓背斜油气藏等油气藏类型。

由于岩性—地层油气藏有别于其它隐蔽油气藏形成的地质背景、圈闭机制、勘探思路和技术方法,同时由于有巨大储量和广阔的资源前景,有必要区别于其它的隐蔽油气藏进行概念上的限定和研究。目前,岩性—地层圈闭普遍采用的定义为:岩性—地层圈闭是明显缺乏四个方位闭合且用寻找构造圈闭的勘探战略无法发现的圈闭,如果和构造有关,却发育在一个意想不到的地方(如构造下部侧翼的位置);是无法单独用构造闭合度来定义的圈闭,包括单一的岩性圈闭、地层圈闭和以构造为背景的岩性—地层复合圈闭(邹才能,2004)。贾承造(2003)在“中国岩性地层油气藏资源潜力与勘探技术”一文中,为了明确研究对象、避免概念混淆和与国际接轨,建议不使用“隐蔽圈闭”一词,明确提出使用岩性地层油气藏的概念。

现今岩性—地层圈闭分类中,根据圈闭形成的主要机制可划分为以下几大类:侧向相变化圈闭、侧向沉积尖灭圈闭、超覆/隐伏露头圈闭、河道/沟谷充填圈闭、成岩圈闭、裂缝圈闭和水动力圈闭等。具体又可以细化为18种类型:侧向沉积尖灭、侧向相变化、河道充填、区域隐伏露头、沟谷充填、构造侧翼不整合上的超覆、胶结、区域不整合上的超覆、裂缝、深盆气、边缘削截、古构造隐伏露头、白云岩化/溶蚀、煤层吸附甲烷、碎屑岩构形、深切谷充填、水动力、沥青封堵等(邹才能,2004)。

在上述的圈闭类型中,侧向沉积尖灭、侧向相变化、河道充填、区域隐伏露头4种圈闭类型最为常见,占到了总数的57%左右。但出现频率高、数量多的圈闭类型的储量并不一定是最多的。单个圈闭储量比较大的圈闭类型包括构造侧翼不整合上的超覆圈闭、区域不整合上的超覆圈闭、沥青封堵圈闭和深盆气圈闭等。

从岩性—地层圈闭的储层特征来看,对美国共计320个圈闭进行统计,砂岩储层占到总数的63.44%,碳酸盐岩储层占26.25%;对前苏联的1177个圈闭进行统计,砂岩储层占85%,碳酸盐岩储层占15%。另外根据对已知的174个岩性—地层油气藏的产出时代的统计来看,从奥陶系到第三系都有分布,但大部分岩性—地层油气藏分布在白垩系、第三系、石炭系和二叠系,这四个时代的岩性—地层油气藏数量占总数的80%。从其产出的盆地背景来统计,前陆盆地、克拉通盆地、被动大陆边缘盆地和裂谷盆地中岩性—地层圈闭发现的数量占到了总数的近85%,其中前陆盆地最为发育,占到了55%。

2.2 国内研究现状

2.2.1 国内地层—岩性油气藏勘探研究概况

在中国,隐蔽油气藏在上世纪70年代末期开始逐步得到重视,相关的论文和专著陆续发表,其中主要的专门著述包括《大庆石油地质与开发》编辑部编写的《中国隐蔽油气藏勘探论文集》(1984),胡见义等(1986)编著的《非构造油气藏》,潘元林等(1998)编著的《中国隐蔽油气藏》论文集,高瑞棋等(2001)编著的《渤海湾盆地隐蔽油气藏勘探》,蔡希源、李思田等(2003)著的《陆相盆地高精度层序地层学—隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践》,潘元林等(2003)编著的《济阳断陷盆地隐蔽油气藏勘探》和李丕龙等(2004)编著的《陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成—以济阳坳陷为例》。在这些论著中,基于国外同行对隐蔽油气藏的认识,国内学者根据国内油气藏的特点,对隐蔽圈闭的概念、分类、特征和分布规律等方面进行了系统的界

定和描述。基于国内的油气分布和勘探形势,大部分隐蔽圈闭的实例和研究工作主要集中在东部的含油气盆地中。

在20世纪90年代以前,国内隐蔽油气藏的勘探工作并未受到太多的关注和重视,构造油气藏依然是勘探的重点。从90年代中后期开始,国内从东部老油区到西部新区,掀起了隐蔽油气藏勘探的热潮,尤其是中石油和中石化两大油公司,组织了大批精干的科研人员投入其中。在近几年中石油的勘探会议上,相关专家多次提出了发展以岩性—地层圈闭为主的隐蔽圈闭勘探技术,加大岩性—地层油气藏勘探力度的建议,进一步明确了岩性—地层圈闭的勘探潜力和未来的勘探技术需求。

2.2.2 国内岩性油气藏勘探的地质理论体系研究现状

近几年,中国岩性油气藏勘探取得了辉煌的成就,同时,在岩性油气藏地质理论上也取得了重要的成就,建立了一套较为完善的岩性油气藏勘探地质理论。

(1) 陆相层序地层学理论

岩性、地层油气藏勘探中,层序地层学贯穿于油藏研究的各个阶段,是最基本的和最关键的内容之一。主要分三个方面,一是建立年代地层格架,二是建立岩性和岩相模式,三是开展有利圈闭预测及评价,三者既有一定区别,又有一定的联系。前者强调地层的年代和外形特征,进行地层等时对比、划定层序边界并进行体系域的划分和对比。后两者主要是进行岩相组合的解释、岩性横向预测以及相关的烃源岩、储层和圈闭特性的评价与预测,更注重地层内涵的变化。

陆相层序地层学在中国的陆相地层的油气藏勘探特别是岩性油气藏勘探中起到了重要的作用,同时,油气勘探活动也推动了我国陆相层序地层学理论的发展,建立一套适合于陆相地层分析的、较为完善的陆相层序地层学分析技术,其中包括基准面旋回分析技术、陆相层序界面识别技术、陆相层序地层对比技术、陆相层序地层模式、陆相层序地层格架内沉积体系分析与预测技术等。

(2) 断坡控砂理论

断坡控砂理论严格说来应是陆相层序地层学理论新进展的一个重要的内容,但其在理论上有一定的独立性及其对隐蔽油气藏的重要作用,故本文仍将其作为一个独立的理论进展来论述。

近年来,国内许多学者(林畅松,2000;李思田,2002;邓宏文,2001;徐长贵,2004)对陆相湖盆层序地层学研究发现,长期活动的同沉积断裂形成的“构造坡折带”制约着盆地充填的可容纳空间的变化,对沉积体系的发育和砂体的分布其重要的控制

作用,对油气藏也起着重要的控制作用。这一概念不仅在构造活动盆地的构造地层分析理论和方法上,而且在油气预测勘探上具有重要意义。

(3) 复式输导理论

油气的运移贯穿于油气藏的形成、调整和破坏的整个过程。隐蔽油气藏中的油气在运移过程中,并非作三维空间的等效的发散运移,而是被限制在一定的路径上进行运移聚集的,及在油气输导体系中运移,输导体系是联接烃源岩与油气藏的油气运移通道空间组合体。断陷盆地的多期次构造运动形成了广泛分布、不同级次、不同组合样式的断裂网,断坡控制的多成因、相变迅速的多种储集体,他们相互依存、相互影响和相互补充,在地下形成一个纵横交错的运移通道。在断陷盆地的不同阶段、不同的构造部位发育不同类型的输导体系(李丕龙,庞雄奇等,2004)。

(4) 相势控藏理论

断陷盆地隐蔽油气藏分布受流体势和沉积体系的共同控制。无论何种储集体类型,只有当“相一势”耦合时,才能成藏。不同层系不同构造部位形成不同的相势控藏模式。压力封存箱内形成高势岩性油藏区,压力封存箱外形成常势地层、岩性油气藏区。高势—高孔,高势—低孔、低势—高孔均可成藏,低势—低孔不能成藏(李丕龙,庞雄奇等,2004)。

2.2.3 岩性油气藏勘探的主要地球物理技术方法研究现状

地球物理技术的进步推动了岩性圈闭的勘探。近年来,以三维地震为基础的复杂储层预测技术得到了长足的发展,在岩性地层油气藏地震勘探中发挥了重要作用。由于岩性地层油气藏地质条件的复杂性、圈闭条件的多样性、岩性空间的突变性以及储层内部的非均质性,对地震原始资料提出了更高的要求,决定了岩性地层油气藏地震勘探必须采用“高分辨率、高信噪比、高保真度”的三维采集处理解释方式。三维地震采集处理,尤其是以可视化为核心的一体化解释技术的日新月异发展,为地震数据和地质、钻井、测井等多学科资料综合分析提供了有力的研究工具,特别是可视化技术与地震属性分析、相干体、反演等技术的有机结合,更大程度地扩大了解释人员的视野,大大提高了解释员对地下地质的认知程度,从而有效地提高了岩性地层油气藏的勘探效益。

(1) 高精度三维地震采集技术

目前,各油公司普遍意识到,要做好地球物理工作,必须从采集阶段就开始。高分辨率三维地震采集技术是隐蔽油气藏勘探。目前应用的比较好的高精度三维地震采

集技术包括：①模拟变频扫描激发技术，优选激发频带，提高高频能量，改善资料信噪比和分辨率，满足精细目标处理和储层预测的需要；②斜交式观测系统采集技术；③采用高粗盖次数（ 6×10 次），使资料信噪比高，速度谱分析精度高。

（2）地震资料高分辨率处理技术

岩性、地层油藏研究和勘探对地震资料品质要求较高。针对主要目的层段进行高分辨率处理是一项重要工作。在振幅“保真”基础上，提高分辨率和信噪比，使储集异常体易于识别、标定和追踪，为圈闭识别、落实与评价提供良好的资料基础。

（3）地震资料应用技术

① 三维可视化地震精细解释技术

三维可视化技术实现了三维地震资料从面（二维）解释到体（真三维）解释的转变，其技术及思想方法与传统常规解释技术有较大区别，不仅达到在三维空间研究构造、地震属性展布规律的目的，提高了解释的精确度，更提高了快速发现地质目标的效率。

② 地震属性分析技术

任何地质体性质及其变化在地震属性上均有所反映，主要体现在两个方面，一是常规属性，即常用的地震多参数变化；二是地震波形，即地震相的变化。利用多种数学方法从地震数据中提取振幅、频率、相位、波形、能量、比率等反映储层及含油性的属性参数，结合地质、钻井、测井等资料进行分析研究，即可开展储层平面分布与变化特征的预测。

地震相是一种特殊的地震属性，当沉积单元发生变化时地震反射特征也必定有所变化，因此，以地震波形分类为主的地震相模式识别，也是确定储层横向变化特征的有效方法。

③ 地震反演技术

地震反演是储层横向预测的确定性方法，具有明确的物理意义。通过反演，把“界面型”常规地震资料转换成“岩层型”资料，与钻井、测井对比后可以岩层为单元进行地质解释，研究储层特征得空间变化。

第3章 渤中凹陷北坡基本地质特征

渤中凹陷北坡(又称为石南陡坡带)位于渤中凹陷的北部,石臼坨凸起南部边界断裂下降盘及邻近围区,整体呈近东西走向分布的一个狭长构造带,东起石臼坨凸起428倾没端,西至南堡35-2油田附近,与南堡凹陷北部的柏各庄断裂陡坡带同属一个构造带(图3-1)。该构造带紧邻渤海海域最富的油气聚集单元之一——石臼坨凸起,石臼坨凸起作为渤海最重要的油气聚集单元之一,为渤海的油气储量增长和油气产量增长都做出了重要的贡献,到目前为止,石臼坨凸起及其倾末端已发现油气田6个,含油气构造8个,累计发现各级石油地质储量3亿方。但是随着勘探程度提高,石臼坨凸起浅层圈闭勘探潜力日渐有限,而其南部陡坡带(即渤中凹陷北坡)是石臼坨凸起亿吨级大油田油气运移的必经之路,成藏位置十分有利,并且勘探程度相对较低,勘探潜力大。

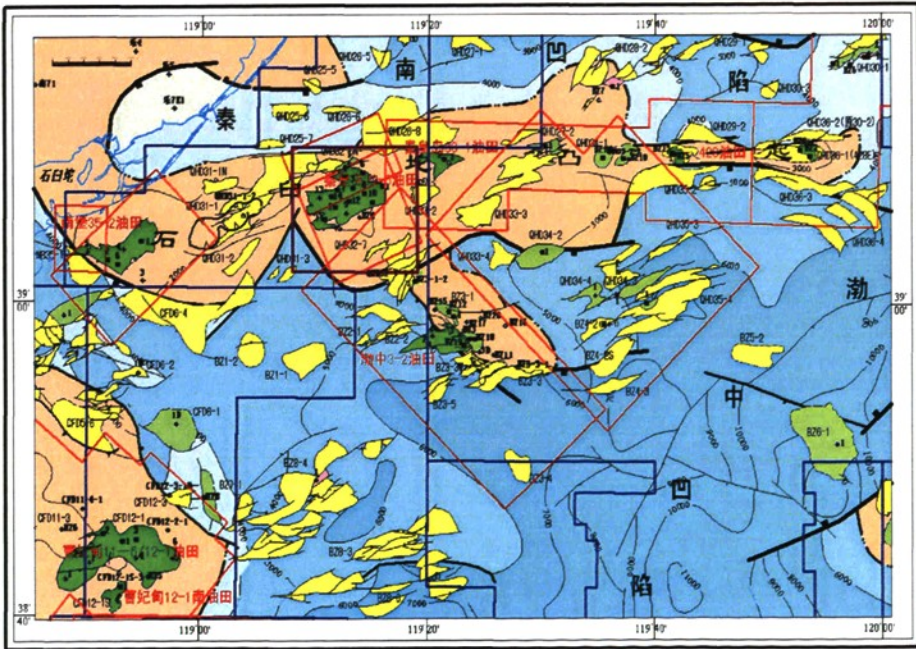


图3-1 渤中凹陷北坡区域位置图

但是陡坡带勘探也面临一些重要的问题,如构造圈闭主要集中在深层(>3000m)、层系单一、圈闭幅度大(一般都在300-1000m之间)、形态简单(以顺向单斜鼻状圈闭为主),这对于勘探成本很高的海上勘探来说,勘探风险很大。从立体勘探的角度综合分析,认为该区带的勘探不能只从构造圈闭的角度进行油气勘探,应树立构造一

岩性复合油气藏的勘探思路,陡坡带构造圈闭的不足可以通过不同层系、不同类型的岩性圈闭或者构造岩性圈闭来弥补,这样可以降低陡坡带勘探风险。

3.1 渤中凹陷北坡古近系地层特征

已钻井揭示,渤中凹陷北坡古近纪沉积的地层自下而上包括:沙河街组和东营组,其中沙河街组钻遇沙四段(E_2S_4)、沙三中亚段($E_2S_3^m$),沙三下亚段($E_2S_3^l$)和沙三上亚段($E_2S_3^u$)未钻遇。东营组钻遇东三段(E_3d_3)、东二段(E_3d_2),东一段(E_3d_1)未钻遇。推测有孔店组(E_{1-2k}),但未钻遇。

(1) 沙四段(E_2S_4)

上部为灰岩与深灰褐色泥岩、薄层砂岩互层。下部为暗绿灰—暗褐灰色泥岩夹薄层砾岩、砂砾岩。与下伏地层不整合接触。

(2) 沙三中亚段($E_2S_3^m$)

上部为灰白色砂岩与深灰色泥岩的不等厚互层,偶夹油页岩。下部以厚层深灰色泥岩、油页岩为主,夹多寡、厚薄不等的灰白色、浅灰色砂岩、粉砂岩。与下伏地层整合接触。

(3) 沙二段(E_2S_2)

灰白、浅灰色砂岩、含砾砂岩、砂砾岩夹灰绿、灰、深灰色泥岩,底部常见紫红、灰紫色泥岩。局部发育灰岩、白云岩、生物灰(云)岩。电阻率曲线为中高值块状;声波时差较大;自然电位以丘状、块状为主;伽马曲线为低幅小锯齿状。与下伏地层不整合接触。

(4) 沙一段(E_2S_1)

上部为深灰色泥岩夹油页岩,偶夹薄层灰岩,白云岩。中部常常发育中厚层灰白色砂岩或生物灰(云)岩,夹深灰色、灰色泥岩。下部以深灰色泥岩为主夹薄层灰岩、白云岩、油页岩和钙质页岩。电阻率曲线为“弓”形,从东三段稳定低电阻段的底部开始,电阻值逐渐增大,到中部达到最大,到下部电阻值逐渐降低,声波曲线也有类似特征。与下伏地层整合接触。

(5) 东营组(E_3d)

① 东三段(E_3d_3)

厚层深灰色泥岩夹砂岩、粉砂岩。

② 东二段(E_3d_2)

东二下亚段 ($E_3d_2^1$) 为厚层深灰色泥岩与灰白、浅灰色砂岩，粉砂岩的不等厚互层。东二上亚段 ($E_3d_2^u$) 为灰白、浅灰、黄灰色砂岩，粉砂岩、泥质粉砂岩与深灰、灰、绿灰色泥岩，粉砂质泥岩的不等厚互层。与下伏地层整合接触。

3.2 渤中凹陷北坡断裂坡折特征

渤中凹陷北坡陡坡断裂不是一条简单的断裂，它是张性与剪张性复合、平直型与弧形交互、活动时间各异的一条复杂断裂带。断裂带构造特征的差异决定了陡坡带圈闭特征、储层分布特征、成藏特征的差异性。

渤中凹陷北坡陡坡断裂带不同段断裂样式不同（图 3-2）。从构造样式看，断裂带分段性明显，可以分为东段、中东段、中西段和西段。西段受蓬莱—张家口左旋走滑断裂和黄骠—德州右旋走滑断裂的影响，具有张扭性断裂的特征，晚期断裂发育，晚期断裂与主干断裂组成“花状”构造。东段和中西段构造样式简单，为简单的张性边界大断裂，断层晚期活动较弱甚至不活动。中东段具有与西段类似的构造样式。东段和中西段边界断层平面上呈弧形展布，其它段均为较平直展布。

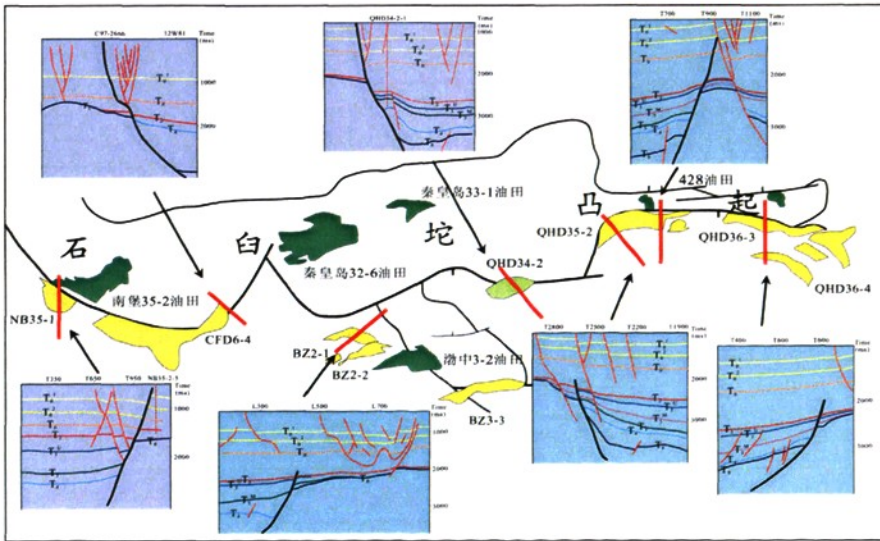


图 3-2 渤中凹陷北坡陡坡断裂带不同段断裂样式图

渤中凹陷北坡陡坡断裂不同段构造样式和活动性的不同（图 3-3），导致不同段的圈闭发育特征、储层展布也不同。西段和中东段附近由于主干断层持续性活动，使得该段深浅层均有圈闭，而中西段和东段断裂晚期活动性不强的或者较弱，浅层没有形成良好的构造圈闭。

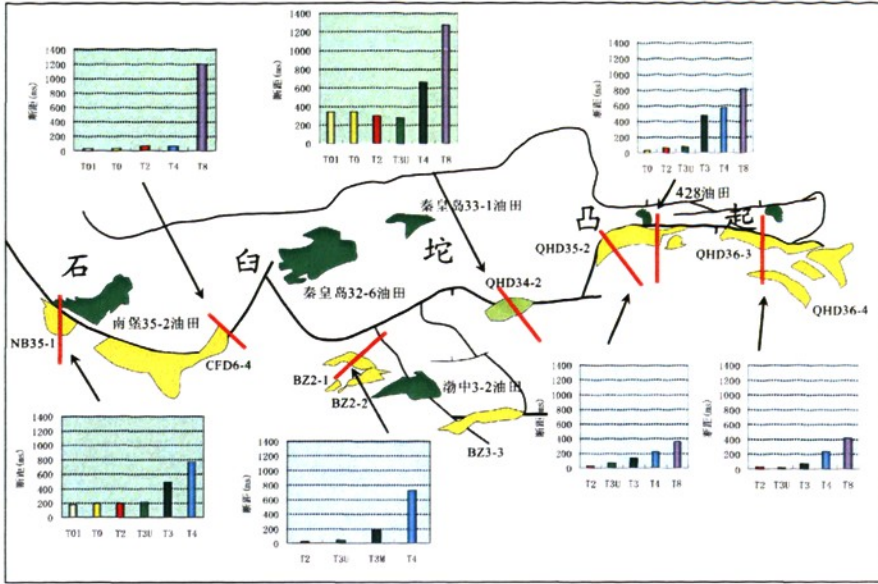


图 3-3 渤中凹陷北坡陡坡断裂带不同段断裂活动期次图

从剖面断裂样式及其组合特征看，渤中凹陷北坡陡坡带可以分为简单单断式陡坡坡折和断阶式陡坡坡折两种类型。单断式陡坡坡折带由于发育于边界大断裂处，断裂长期活动，断层上下盘高差大，形成持续下陷型边界。断阶式陡坡坡折带由 2 条以上断裂持续下陷形成，早期盆缘断裂断距较大，晚期盆缘断裂短距较小，有的甚至只断基底，成为上伏地层的隐伏断裂，使上伏地层在隐伏断裂处形成挠曲坡折。从平面上组合上，陡坡坡折带主要可以分为平直式和墙角式，平直式坡折水系方向单一，基本上是垂直坡折带的，而墙角式坡折处水系方向一般是由 2 个或 2 个以上的方向向墙角处汇聚的。

边界断裂展布不同形成不同的坡折类型，不同的坡折类型控制了层序的构成和沉积充填模式。

第4章 渤中凹陷北坡古近系层序地层格架特征

4.1 渤海古近系层序地层研究方法

陆相断陷盆地能否应用起源于海相被动大陆边缘的层序地层学的观点来分析其地层结构和沉积特征,曾经有过一些争论。近些年来国内外许多会议和学者在陆相层序地层方面都作过努力探索。1991年在美国举行的NUNA会议,对层序地层学在陆相地层中的应用进行了专门探讨,认为经典的层序地层学原理和概念能有效地应用于陆相地层研究中,只要清楚而深刻地认识到层序地层原始模式是一种综合性概念,层序地层是受多种因素不同程度地影响、控制作用的叠加效应的产物,那么经典的层序地层学原理和概念就可以应用于不同构造沉积背景的地层划分对比与油气勘探预测之中。随着近年来相关研究的广泛、深入开展,随着理论模型和勘探实践成果的出现,这一争议已经没有现实意义。所要注重的是如何针对陆相断陷盆地不同于海相盆地的独特性,灵活地、创新性地应用层序地层学,以全新的思维方式来寻找油气勘探的新领域,只有这样才能正确地描述盆地的充填方式,提高储层和岩性油气藏预测的精度。

4.1.1 渤海古近系构层序地层分析方法

海相盆地层序地层形成与发育主要受包括构造运动、海平面变化、沉积物供给速率与气候的在内的四大要素控制,其中,海平面对层序地层构型与层序内地层叠加样式有明显控制作用。与海相盆地不同,除了大型湖盆或与海相连或受海侵影响较大的湖盆外,陆相盆地、特别是内陆湖盆层序的形成与发育与海平面变化的内在关系很小。陆相盆地层序地层构型是构造运动、古气候、古湖平面变化与沉积物补给等动力学要素对沉积基准面控制的综合效应。其中构造运动对陆相盆地层序界面形成与层序内部充填特征起着至关重要的作用。构造运动对盆地层序地层构型的控制主要表现在以下几个方面:(1)构造/断裂活动通过控制基底升降运动直接制约着盆地沉积物堆积的可容纳空间的变化,从而决定着层序地层构型;(2)构造/断裂活动的幕式特征控制着不同级次层序界面的形成与层序充填地层的旋回性;(3)构造转换带或构造调节带明显控制盆地主体物源补给方向;(4)构造/断裂活动及其塑造的古地貌控制沉积体组合与砂体分布特征等。因而,陆相盆地层序地层研究必须以构造-层序分析为主线,强调从层序界面、古构造-古地貌分析入手,通过构造对层序界面形成、形态与展布特征的控制作用分析,掌握不同构造地貌单元层序地层构型与充填特征。

渤海海域是复杂的断陷盆地,不能完全套用起源于被动大陆边缘的经典的层序

地层学,而近年来兴起的T.A.Cross基准面旋回理论在渤海这种整体勘探程度较低的地区应用也遇到了一定的困难。我们采用了T.A.Cross基准面旋回理论(邓宏文,1995,1997;邓宏文,王洪亮等,2002)和Vail经典层序地层学理论(Vail P R, Mitchum R M, Todd R G. 1977; Vail P R, Mitchum R P Jr, Thompson S III, 1977)相结合方法,对渤海海域古近系进行层序地层分析,二者之所以可以相互结合是因为它们的核心思想是一致的,即寻找等时界面,建立等时对比格架,在等时地层格架内分析沉积物对基准面旋回的响应,二者都认同层序界面为不整合面或与之相对应的整合面,并且基准面旋回理论分析法长于岩心、钻井资料的层序分析法, Vail经典层序地层学理论分析法长于地震资料的层序分析法,二者可以相互补充。

渤海海域层序分析的主要步骤是:首先利用古生物、岩屑、岩心及测井等资料,根据基准面旋回识别的标志,进行单井层序地层划分,按照基准面旋回对比理论进行多井旋回对比,通过合成记录将钻井地质剖面上的旋回与地震上识别的旋回进行对比和校正,将地震、钻井、岩性、古生物等分层界面统一起来或建立对应关系,建立钻井地质和地震剖面统一的层序地层对比格架,在层序格架内进行沉积体系成因分析。

4.1.2 渤海古近系层序地层划分与命名原则

在层序地层学中,层序定义为以不整合面和与不整合面对应的一套相对整合的、成因上相互关联的地层序列。识别层序的关键是识别不整合面及不整合面的级别,不同级次的不整合面对应着不同级次的层序界面。

一级层序界面对应的不整合面延伸面积超过盆地或占据盆地的大部分区域,一级层序单元太大,在油气勘探开发中没有实际意义。渤海二级层序划分的原则是:(1)二级层序划分应与渤海海域构造演化的阶段性相对应;(2)二级层序的界面是区域上明显的大型不整合界面;(3)考虑到层序年龄时限的统计特征,9—10Ma 年龄时限仅作参考,不以此年龄为限;(4)测井曲线上应具有反映不同沉积体系组合的转换面或突变面;(5)一个二级层序中常包含一个完整的“湖进—湖退”沉积序列。渤海三级层序划分的原则是:(1)界面为不整合面(主要见于盆地边缘位置)或与之相对应的整合面;(2)地震剖面上全区可以追踪对比,界面要清晰;(3)要有一定的地层厚度,地震剖面上有可分辨的地震相;(4)与一定的古生物组合相对应,有比较一致的气候环境;(5)可以参考三级层序的时限,但三级层序的划分不以三级层序时限(一般为1~3Ma)为限。

层序命名原则:简单、明了、与传统地层有一定的对应关系。二级层序:以所跨

的顶、底地层来命名。如：沙二段~东一段二级层序、沙三段二级层序；三级层序：基本可以与传统地层相对应的，以所对应的传统地层单位来命名；跨传统地层的，以所跨的顶、底地层来命名；层序界面以 SB_n 来表示，以示与传统构造层的区别与对应关系，其上下标采用与之对应或相近的地震反射界面上下标一致。如将 T_2 层序界面定名为 SB_2 ， T_2 与 T_3 之间的若干各层序界面，从上至下依次定名为 SB_3^1 、 SB_3^2 、 SB_3 。

4.1.3 沉积体系域划分和命名原则

完整的三级层序通常由 3 个体系域构成，Vail 等在大陆边缘盆地中划分出了低位体系域 (LST)、海侵体系域 (TST) 和高位体系域 (HST)，3 种体系域根据客观存在的物理界面划分，在海相条件下即初始海泛面和最大海泛面。这一基本原则在陆相断陷湖盆中基本适用，但是由于湖盆范围比海盆范围要小的多，不适合用湖侵这一术语，本研究中采用湖扩展体系域 (EST，E 为 Expanding 的字头)，这更确切地反映了湖泊演化地特点。

4.2 渤海古近系层序界面的识别及其特征

4.2.1 层序界面识别标志

层序界面为不整合面或与之相对应的整合界面。陆相盆地分析过程中，准确地控制各级层序地层单位的沉积构成及其相互关系的关键在于不同级别界面的分析。尽管不同层序界面的成因、性质存在差异，但它们在岩心资料、钻井资料、测井曲线、地震剖面以及古生物组合等方面均存在特定的识别标志。

通过渤海海域骨干地震剖面、大量岩心和测井资料的综合分析，对一、二、三级层序界面进行了精细的识别，并概括出了渤海海域古近系各级层序界面的识别标志。

4.2.1.1 层序界面的地震识别标志

地震地层学应用反射波终止方式划分地震层序。

根据地质事件在地震上的响应，地震波的关系可划分为协调关系和不协调关系两种类型。协调关系相当于地质上的整合接触关系，不协调关系相当于地质上的不整合接触关系。又根据反射终止的方式区分为削截（削蚀）、顶超、上超和下超 4 种类型 (C. E. 佩顿, 1980)。而这些不整合接触关系正是在地震上识别层序地层界面最为可靠和客观的基础。

4.2.1.2 层序界面的测井相识别标志

层序界面在测井曲线上有明显的反映，概括起来有以下 4 种形式：

(1) 层序界面位于测井曲线基值发生明显改变的转折点上。

(2) 当层序界面位于河流下切作用而形成的下切河道或低位扇砂体底部时，其在测井曲线上，则表现为层序界面位于加积的“箱状”或退积的正旋回“钟形”自然电位曲线的底部。

(3) 层序界面位于反映加积或退积的正旋回和反映进积的反旋回自然电位曲线之间。

(4) 层序界面除在自然电位和电阻率曲线上有明显的特征外，在自然伽马能谱测井曲线上也有明显的特征。

4.2.1.3 层序界面的岩相识别标志

在层序界面常见的岩相标志主要是反映不整合面、沉积间断面、河流下切、路上暴露等岩相标志。如：古风化面、河床滞留沉积、岩相的突变和沉积旋回等。

4.2.1.4 层序界面的古生物标志

主要包括生物碎屑层、植物根迹化石、生物数量的变化、生物种群的变化。

4.2.1.5 地球化学辅助标志

(1) 微量元素地球化学辅助标志

对湖水深度较为敏感的 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Mn/Fe 比值、Fe 族元素 (Fe、Cr、V、Ge)、S 族元素 (Pb、Zn、Cu) 和 Mn 族元素 (Mn、Co、Ni) 及盐度的变化都可能反映层序界面的存在。

(2) 有机地球化学辅助标志

有机地球化学指标与湖泊水体的深浅、氧化还原环境有着更加密切的关系。因为在不同的水深和氧化还原环境条件下，有机质的丰度、类型、热解指标、气相色谱、生物标志化合物均有一定的特征。

4.2.2 主要层序界面特征

根据上述层序界面的主要识别标志，在渤海海域古近系充填沉积中识别出 15 个主要的等时界面（图 4-1），其中一级层序界面 2 个，即古近系顶界面 SB_2 (T_2) 和古近系底界面 SB_8 (T_8)，二级层序界面 3 个，即沙二段底界 SB_5 (T_5) 和沙三段底界 SB_6 (T_6) 和沙四段底界面 SB_7 (T_7)，三级层序界面 10 个，即东二上亚段底界 SB_3^1 (T_3^U)（本文所指的东一层序相当于传统地层的东一段+东二上亚段），东二段底界 SB_3^2 (T_3^M)，东三段底界 SB_3 (T_3)，沙一段底界 SB_4 (T_4)，沙三上底界 SB_6^1 (T_6^1)，沙三中底界 SB_6^2 (T_6^2)，沙四上底界 SB_7^1 (T_7^1)，沙四中底界 SB_7^2 (T_7^2)，孔一段底

地震剖面上，该界面在凹陷边缘斜坡、低凸起或凸起上一般表现为中等—好连续性的强反射特征，界面上超下削，且多为下部的（较）杂乱反射波组和上部成层性较好的相对连续波组的分界面，因而较易识别（图 4-2）；而在靠近凹陷的深部，该界面的特征则变得不太明显，其连续性和振幅均有所减弱。

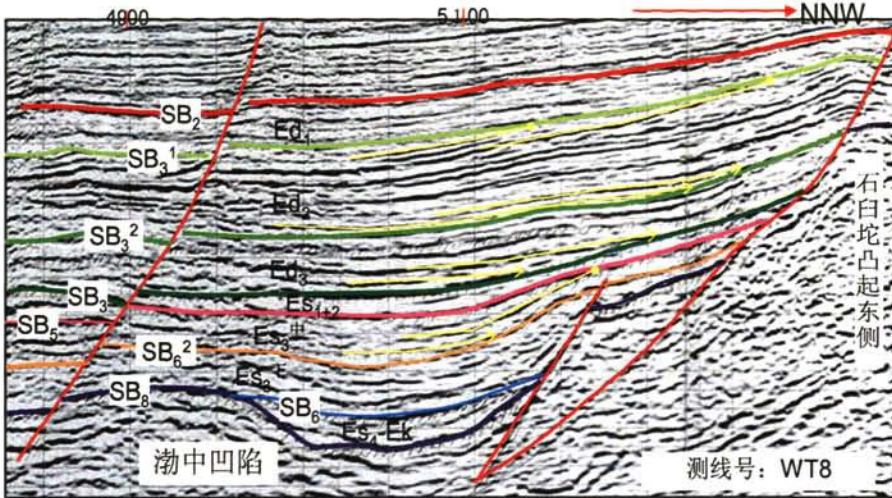


图 4-2 一级层序界面 SB₂ 与 SB₈ 地震反射特征

(2) 古近系顶界面 SB₂ (T₂)

该界面为主裂陷期古近系沉积充填的顶界面，是古近纪断陷盆地向新近纪拗陷型盆地转化而形成的不整合面，绝对年龄为 24.6Ma。地震剖面上，在盆地边缘和斜坡带处的不整合特征是非常明显的，地震剖面上突出表现为一条或两条强轴反射，虽然界面之上的上超特征不甚明显，但界面之下有较强的削蚀，可在研究区域范围内容易追踪，它可能削截下伏的东营组各层序，甚至削截沙河街组某些层序。

该界面岩性上的标志也非常清楚。绝大多数钻进馆陶组底部均为大套砂砾岩沉积，界面之下为东营组一段三角洲或滨浅湖沉积。岩心上可见该界面附近有大量红色泥质岩、砂砾岩，可见古土壤层。

2) 二级层序界面

(1) 沙四段底界 SB₇ (T₇)

沙四段底界裂陷 I 幕和裂陷 II 幕之间的分界线，绝对年龄为 50.5Ma。多数地区孔店组、沙四段二级层序埋深大，地震资料品质较差，其分界面 (SB₇) 在地震上反射特征不明显，钻井上钻遇此界面的钻井也不多。

(2) 沙三段底界 SB₆ (T₆)

沙河街三段底界（SB₆），为一个区域不整合面。绝对年龄为 42Ma 该界面在地震剖面上其振幅和连续性均可变，可见上超下削现象（图 4-3），界面上下的反射波组特征存在细微的差异。局部地区可表现出基底的反射特征，在低凸起或凸起部位可与基底（SB₈）重合。

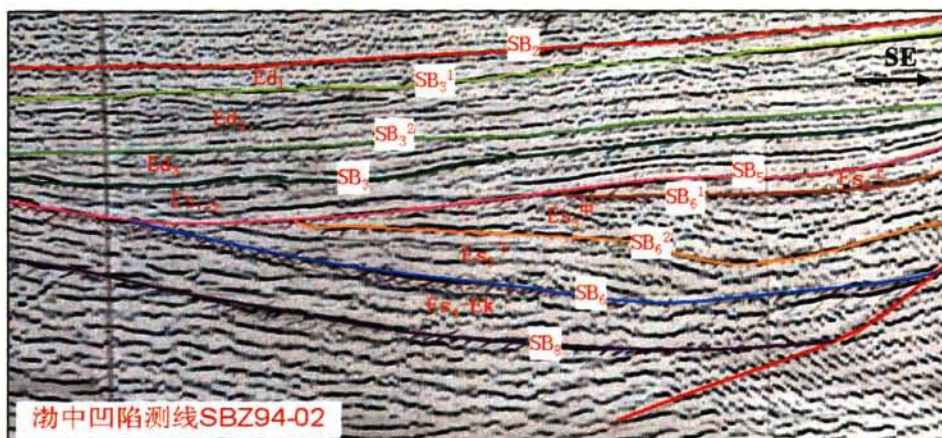


图 4-3 二级层序界面 SB₆层序界面（沙三段底界）地震反射特征

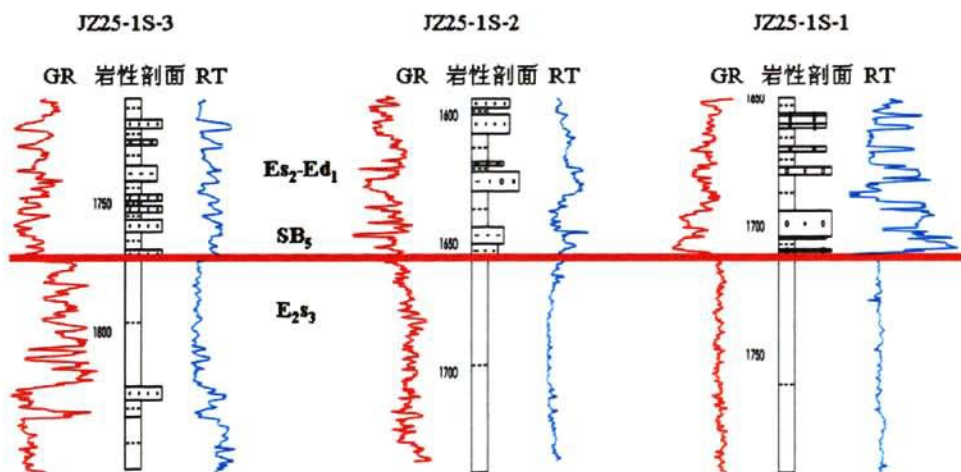


图 4-4 二级层序界面 SB₅测井响应特征

(3) 沙二段底界 SB₅ (T₅)

该界面在渤海海域古近系内的范围最广、规模最大、识别特征最明显的一个二级层序界面。地震上，一般表现为强振幅较连续反射，界面对下伏地层的削截尤为明显，局部地区可表现出基底的反射特征，在低凸起或凸起部位可与基底（SB₈）重合。该界面是在沙三期的强裂陷后热沉降阶段形成的，在全区范围内广泛分布。在钻井上钻遇该界面的井也很多。多为表现为上覆的沙二段扇三角洲砂岩沉积沉积直接覆盖在沙

三中的浅湖或半深湖的泥岩沉积之上,界面之上 GR 呈钟形,反映扇三角洲前缘水下辫状河道正韵律沉积特征,界面之下 GR 呈低幅高值,电阻率为箱形低值,反映湖相泥岩沉积(图 4-4)。

4.2.2.2 三级层序界面

渤海海域古近系发育东二上亚段底界 SB_3^1 (T_3^U),东二段底界 SB_3^2 (T_3^M),东三段底界 SB_3 (T_3),沙一段底界 SB_4 (T_4),沙三上底界 SB_6^1 (T_6^1),沙三中底界 SB_6^2 (T_6^2),沙四上底界 SB_7^1 (T_7^1),沙四中底界 SB_7^2 (T_7^2),孔一段底界 SB_8^1 、孔二段底界 SB_8^2 等 10 个三级层序界面,它们是主裂陷幕式伸展期不同阶段的产物,其常与盆地内部的构造演化、沉积物的供给、湖平面变化、气候特征及所形成的古地理环境等因素变化转换面联系在一起。

1) 三级层序界面在钻井资料上的特征

与二级层序界面相比,三级层序界面的不整合及沉积间断的范围小,不同层位、不同空间部位由于沉积过程的差异层序界面在钻井资料上的特征存在明显差异,反映界面上下沉积相和亚层序的叠加样式明显不同。如在黄河口凹陷不同三级层序形成过程中,物源供应强度明显不同。其中沙三中亚段、沙三上亚段、东一段形成过程中物源供应较强,砂质沉积物在各层序所占比例较大,而沙一段、东三段、东二段形成过程中物源供应较弱,以泥质和钙质沉积为主。因此,三级层序界面 SB_6^2 、 SB_6^1 、 SB_3^1 在绝大部分地区,测井曲线上表现为界面之下为幅值较大的漏斗型曲线或齿状漏斗型曲线,界面之上为幅值较大的钟型、齿化钟型、箱型或齿化箱型曲线;在岩性特征上界面之下单层砂岩厚度向上增厚、粒度向上变粗,界面之上砂岩厚度逐渐变薄,砂岩粒度变细(图 4-5)。在贫砂岩部位,向上泥岩颜色变红、钙质含量增高,这反映进积向退积转换的一个过程。

2) 三级层序界面的地震反射特征

地震剖面上,各界面反射波同向轴的差异比较大。

沙三中亚段底界面(SB_6^2)主要表现为一起覆不整合面,在界面之上常见上超反射终止现象,中等一好连续性,深凹部位为中强振幅反射,斜坡部位为中弱振幅反射,沙三上亚段底界面(SB_6^1)主要发育于莱州湾、青东凹陷和辽东湾地区,其底界面(SB_6^1)表现为一起覆不整合面,在界面之上常见上超反射终止现象,中等一好连续性,中强振幅反射(图 4-5)。

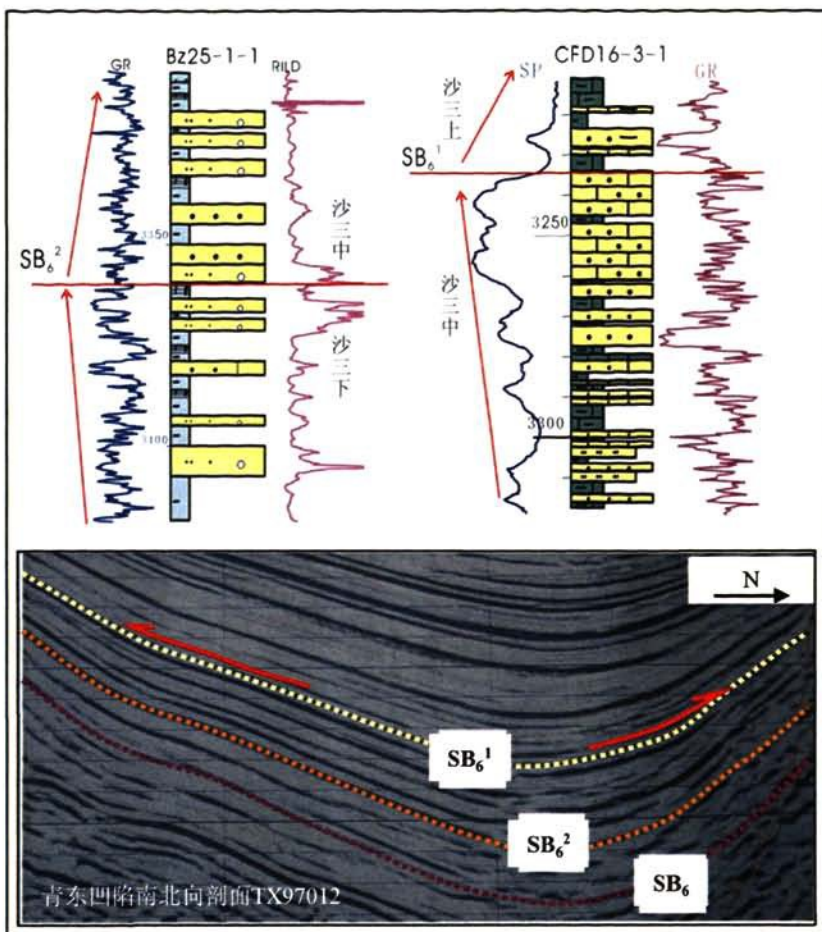


图 4-5 三级层序界面 SB_6^1 、 SB_6^2 在地震—岩性—电性响应特征

沙一段底界 (SB_4 或 T_4) 为一特殊岩性界面, 多表现为较为连续的强反射, 一般超覆在沙二段底界面上。沙河街一段地层在地震剖面上虽然厚度不大 (多为一至两个同相轴), 但全区基本发育, 局部界面之上可见上超现象。

东三段底界面 (SB_3 或 T_3) 的振幅和连续均可变, 但多为连续的强振幅反射, 且其上下波组的反射特征通常略有差异, 界面上多见上超, 仅局部见削截现象 (图 4-7)。

东二段底界面 (SB_3^2) 基本为一超覆界面, 中—好连续性、中—强振幅反射特征, 多表现为一组弱—中振幅波组的顶界面, 全区可对比性强, 较易追踪和识别; 东一段底界面 (SB_3^1) 一般表现为一个超覆层序界面, 弱—中连续性、弱—中振幅反射特征, 常位于一根强振幅反射下方一至两根同相轴处 (图 4-6)。

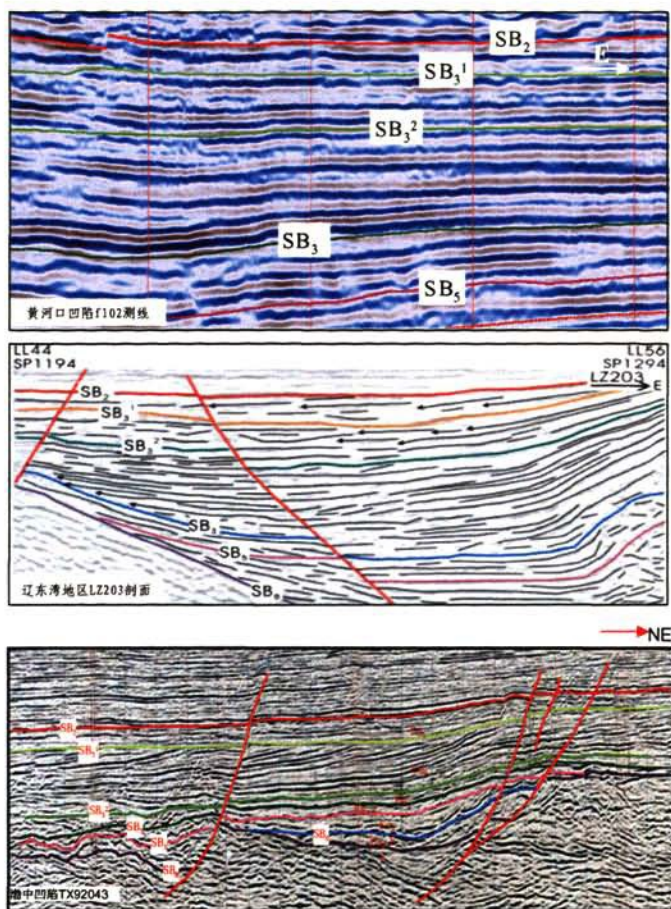


图 4-6 三级层序界面 SB_3^1 、 SB_3^2 、 SB_3 （东一、二、三段底界）地震反射特征

4.2.2.3 首次湖泛面和最大湖泛面特征

首次湖泛面和最大湖泛面是层序内部的两个关键界面。首次湖泛面（ffs）是在存在坡折的地形背景下，湖平面处于坡折地形拐点位置时形成的沉积界面。最大湖泛面（mfs）是指湖平面上升到最大、湖区范围最大时形成的沉积界面，界面之下表现为湖泊扩张，界面之上表现为湖区萎缩。层序底界面与首次湖泛面之间的沉积体为层序的低位域（LST）；首次湖泛面与最大湖泛面之间为湖扩展域（EST）；当低位域不发育时，层序底界面与最大湖泛面之间为湖扩展域；最大湖泛面与层序顶界面之间为层序的高位域（HST）。

1) 首次湖泛面特征

首次湖泛面（ffs）是在存在坡折的地形背景下，湖平面处于坡折地形拐点位置时形成的沉积界面。由于坡折地形拐点之下古地形坡度较大，而拐点之上古地形平缓，导致首次湖泛面之下地层厚度显著增厚，沉积物的成因以发育陡坡背景下形成

的重力流沉积为特征。

因此首次湖泛面在地震上表现为上超终止、中高连续、中强振幅反射（图 4-7），在首次湖泛面与层序底界面反射层之间，可见丘形反射。

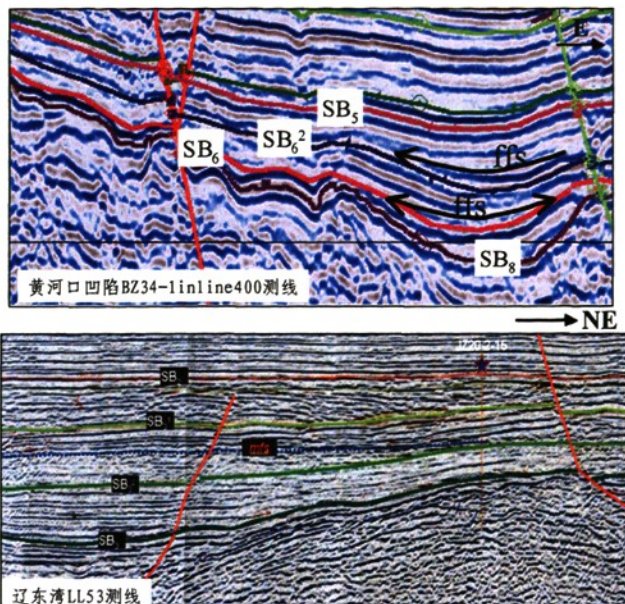


图 4-7 首次湖泛面与最大湖泛面地震反射特征

在钻井资料上，首次湖泛面的表现主要有两种，一是砂泥岩不等厚互层内的薄层泥岩，界面之上为退积型准层序组，界面之下加积和前积型准层序组；二是杂色、灰色砂质泥岩与深灰、灰色泥岩的分界面，界面之下为锯齿状测井曲线，界面之上低平测井曲线。前者陆源碎屑供应充分，界面之下发育低位域湖底扇和低位域三角洲沉积，界面之上则发育水进型三角洲。后者陆源碎屑供应贫乏，界面之下为低位域浅水浑浊型湖泊沉积，界面之上为较深水贫碎屑湖泊沉积。

2) 最大湖泛面特征

最大湖泛面（mfs）是指湖平面上升到最大、湖区范围最大时形成的沉积界面，往往位于一套分布广泛，层位稳定的泥岩内部，或油页岩的内部，在测井曲线上表现为“泥脖子”的中央位置的伽马曲线极大值附近，界面之下表现为湖泊扩张，表现为加积和进积准层序组，界面之上表现为湖区萎缩，主要表现为前积型准层序组。在地震资料上多为一高连续的强相位，之上可见下超反射终止现象（图 4-7）。

4.3 渤海古近系层序地层划分方案

通过对以上各级次层序界面的识别和特征，综合考虑渤海海域的构造演化特征、

古生物特征、古气候特征和湖平面的相对变化特征。同时参照前人对该区的层序地层方面的研究成果，本着科学充分地展现层序地层学在以裂陷为主的陆相盆地中应用优势的同时，也具体考虑指导实际生产的简洁、有效性，将渤海海域古近系划分为一个一级层序，四个二级层序，十四个三级层序（图 4-1）。考虑到不同凹陷实际地震资料品质的差异性，以及对个别界面的识别和区域追踪难度，结合本次项目的主要目的，对部分三级层序进行了合并处理，如渤中地区沙三段的合并，沙四段和孔店组的合并等。

4.4 渤中北坡古近系层序地层格架特征

根据实际勘探的需要，本文区域地层格架建立以三级层序为主。根据钻井、地震及古生物等分析化验资料，渤中凹陷北坡陡坡带可以识别出 6 个三级层序，分别为沙四层序、沙三层序、沙一、二层序、东三层序、东二层序和东一层序，推测存在孔店组层序，但还未钻遇（图 4-8）。

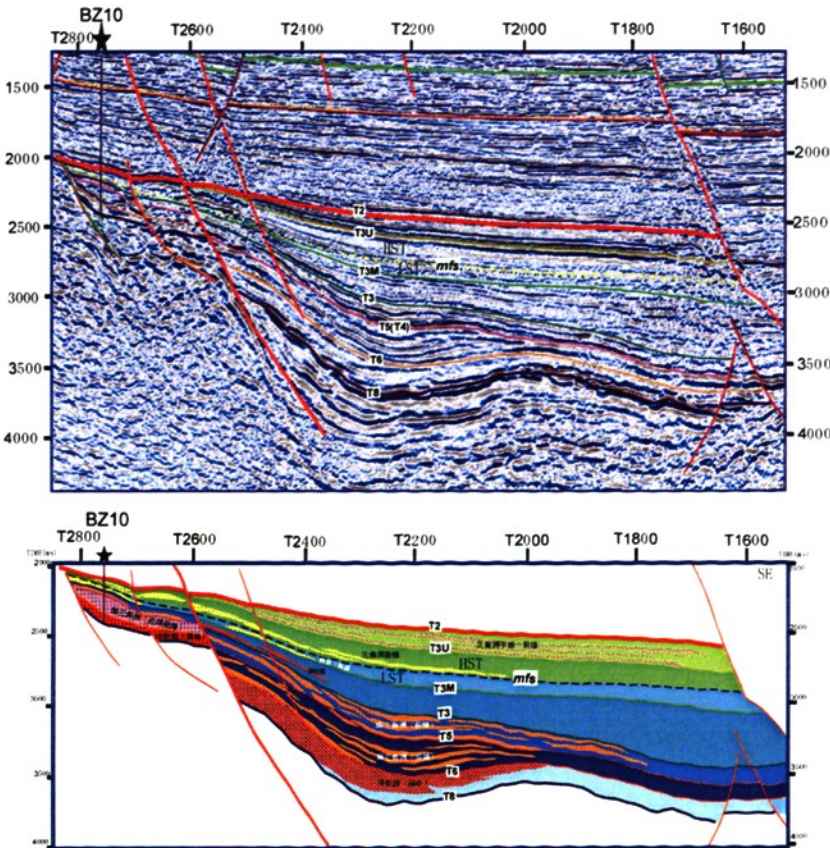


图 4-8 渤中凹陷北坡层序地层格架图

沙四层序：底界面为区域不整合面 T_8 ，顶界面为区域不整合面 T_6 。钻井揭示为灰、灰绿色、杂色泥岩，灰白色、杂色厚层砂砾岩，地震上多表现为弱反射或空白反射特征，部分为较强反射。层序不对称结构明显，以发育上升半旋回为主。

沙三层序：层序底界面为区域不整合面 T_6 ，顶界面为局部不整合面 T_5 。钻井揭示为灰、深灰色泥岩、油页岩、灰质泥岩和砂岩、含砾砂岩，地震上多表现为较强反射特征。该层序整体表现为不对称结构，砂岩、含砾砂岩多发育在上升半旋回的下部，上部和下降半旋回多以发育泥质岩为主。

沙一、二层序：层序底界面为区域不整合面 T_5 ，顶界面为局部不整合面 T_3 。该层序厚度不大，但分布范围广，研究区多数钻井钻遇。岩性为深灰、灰绿色泥岩夹油页岩、钙质页岩，浅灰、灰白色砂岩砂岩、含砾砂岩和灰岩、白云岩、生物灰岩；地震剖面上厚度薄，一般较上、下地层反射强。层序的不对称结构明显，以发育上升半旋回为主，下部多发育含砾砂岩、砂岩，上部以发育深灰色泥岩为主。

东三层序：层序底界面为局部不整合面（上超面） T_3 ，顶界面为局部不整合面 T_3^m 。钻井揭示为厚层深灰色泥岩、灰质、白云质泥岩夹浅灰、灰白色砂岩、粉砂岩，局部见油页岩；地震剖面上一般较上、下层序反射弱。层序不对称结构明显，以发育上升半旋回为主，局部呈较对称结构。

东二层序：层序底界面为局部不整合面 T_3^M ，顶界面为典型的顶超面 T_3^U 。岩性为浅灰、灰白色砂岩、粉砂岩与深灰、灰绿色泥岩、泥质粉砂岩不等厚互层；地震剖面上呈现较连续的强反射特征。层序不对称结构明显，下降半旋回一般进积特征清楚。东二层序体系域发育比较齐全，可分为低位域、水进域和高位域三个体系域

东一层序：底界面为典型的顶超面 T_3^U ，顶界面为古近系与新近系之间的区域不整合面 T_2 。岩性为灰白色块状砂岩、含砾砂岩夹绿灰色、紫红色泥岩、粉砂质泥岩；地震剖面上一般较下部层序反射弱。由于沉积后的剥蚀作用，造成该层序多为仅保留上升半旋回的非对称层序结构。

4.5 渤中凹陷北坡断裂陡坡带层序构成模式

陡坡断裂带的沉积层序发育首先与主干同断裂的活动历史和组合样式有关。

在渤海，一种层序是由主干断裂一直构成盆地边界；另一层序是地层上超原来的盆缘断裂后发育的，原来的盆缘断裂构成深洼陷区与缓坡之间的断裂坡折带，沉积边缘由新的盆缘断裂所限，或为简单的上超边缘（图 4-9）。

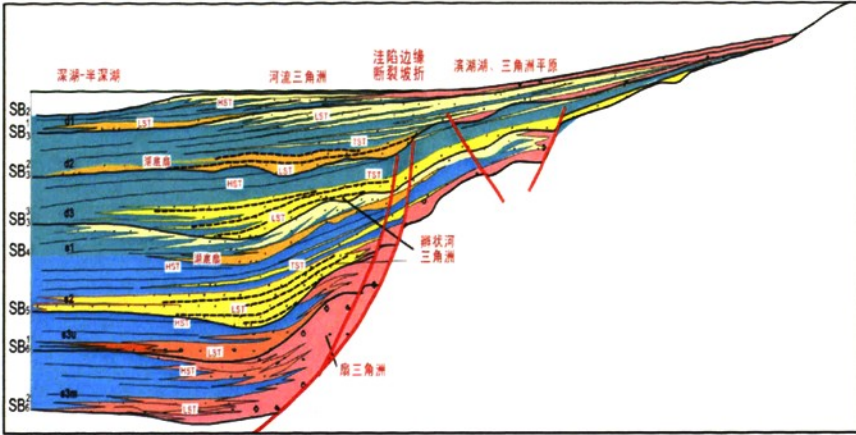


图 4-9 断裂陡坡带层序-体系域发育模式

渤中凹陷北坡断裂陡坡带早期发育第一种沉积层序，随后盆地边缘上超，发育第二种沉积层序（图 4-10）。其陡坡带的层序发育特征为，早期的主干断裂为盆缘断裂，断裂外侧为直接提供物源的凸起。沿下降盘一侧粗碎屑体系垂向加积，随着湖水的加深，边缘扇从早期的冲积扇向扇三角洲、深水扇三角洲或湖底扇演化（沙三中至沙一期）。在低水位期，水系可越过早期的堆积高地貌向盆地方向推进形成低水位的进积扇三角洲沉积体。在高水位期，沿陡的扇三角洲前缘—前三角洲带的重力滑动产生再搬运，可发育浊积湖底扇沉积。

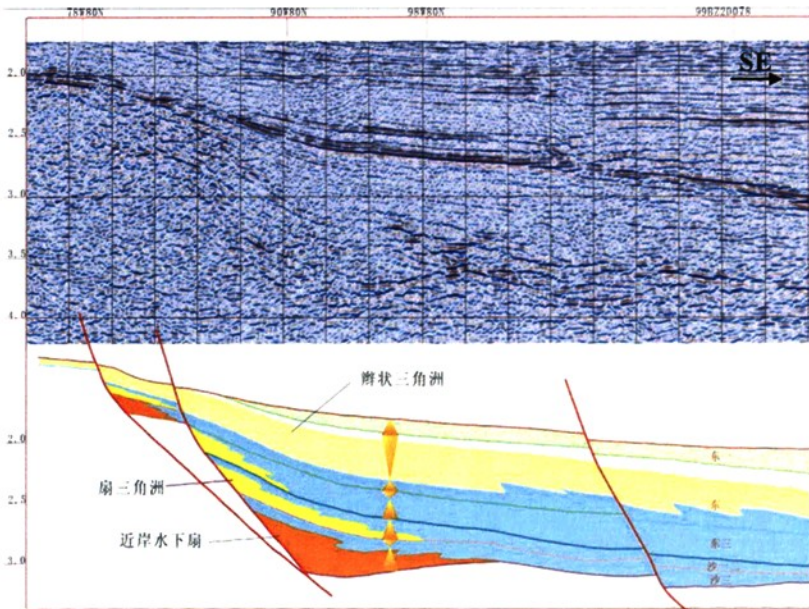


图 4-10 渤中凹陷北坡陡坡带层序地层结构样式与沉积体系构成

晚期发育的上部层序（东营组层序）向凸起上超，水进和高位域超覆断裂带，原来的盆缘断裂成为盆内断裂坡折带。晚期发育的层序内以发育辫状河三角洲或河流三角洲、前三角洲浊积和低位域扇三角洲等为特征。断裂坡折带下控制相对沉降带，控制着低位域的主要分布；高位域的三角洲向盆地方向进积，三角洲前缘的砂质沉积中心也常常沿断裂坡折带形成的相对沉降的低地貌分布。

第 5 章 渤中凹陷北坡古近系沉积体系分析与展布规律

5.1 沉积体系划分

根据岩心、钻井、测井、地震相、地球化学等标志，渤中凹陷北坡古近系充填沉积中可识别的主要沉积体系类型有：冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲、河流三角洲、浊积扇和湖泊等 6 种沉积体系类型。

5.2 沉积体系特征

5.2.1 冲积扇沉积体系

冲积扇沉积体系主要分布在盆地边缘的近物源区，为暴雨洪水期的堆积物，一般沿古隆起边缘山麓出山河口处断续发育。研究区孔店和沙四下层序低位体系域发育冲积扇。按相标志特征，可进一步划分出扇根、扇中、扇端三个亚相。

岩性组合上主要为扇中辫状河道巨厚的杂色细砾岩、含砾砂岩，夹大套的红色泥岩，自下而上可构成由泥石流沉积为主的扇根（图 5-1），辫状河道砂砾充填的扇中，以及扇端片泛沉积的粉砂岩和泥岩、炭质泥岩正韵律旋回结构。地震剖面上，一般为明显的楔形，内部为弱反射或杂乱反射。测井曲线为齿状多个向上变细叠置的正旋回特征。









地层	岩性	沉积构造	照片	岩性描述	沉积相
东二段下部	2692	  	 2694.39~2694.47米 粉细砂岩，向上过渡 为粉砂质泥岩	粗砂岩—中砂岩— 细砂岩—粉砂岩— 泥质粉砂岩，粒度 变细正韵律，下部 交错层理，局部块 状，上部波状层理	辫状 三角 洲前 缘水 下分 流河 道
	2697		 2696.8~2696.9米 中细砂岩，交错层理		
沙四段	3213	 	 3213.35~3213.47米 棕褐色泥质砾岩	棕褐色泥质砾岩 砾岩成分成熟度、 结构成熟度极低	冲积扇 扇根
	3215				

图5-1 BZ10井古近系岩芯剖面特征

5.2.2 河流三角洲沉积体系

三角洲是湖盆中重要的沉积体系之一。三角洲沉积主要发育于研究区 427 倾末端西侧古近系东营组二段，研究区 CFD6-1-1D 井的东二下段有发育（图 5-2）。具有如下特征：

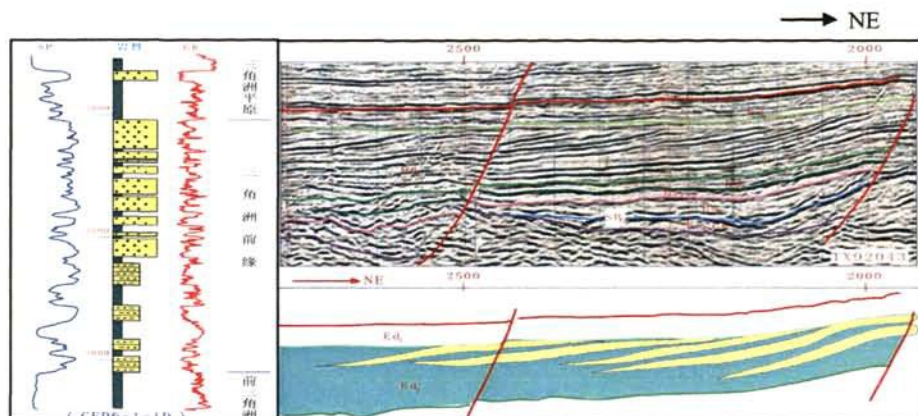


图5-2 河流三角洲测井、地震响应特征

岩性以灰色中细砂岩、粉砂岩与绿灰色、灰色泥岩互层为特征，粒度细，反映了较远的物源、较长距离搬运分选的沉积作用。

三角洲发育三个亚相：三角洲平原、三角洲前缘和前三三角洲。三角洲平原主要分布于陆上地区，在研究区主要发育三角洲前缘及前三三角洲亚相。三角洲前缘主要由水下分流河道、河口砂坝、河道间沉积组成。分流河道以灰色、灰绿色具正粒序的细砂岩为主，层系厚。河口坝表现为灰色具反粒序的细砂岩沉积。远砂坝为具透镜状和小型波纹层理的粉砂岩、泥质粉砂岩。分流间湾为灰色块状泥岩。前三三角洲以灰色纯的块状泥岩为主，夹薄层泥质粉砂岩。

自然电位曲线和自然伽玛具有前积式的电性组合特征，这是由于湖泊三角洲的不断向前推进，在垂向剖面上形成了进积序列。前三三角洲在自然伽玛曲线上表现为齿状连续的高值态。正韵律的水下分支河道沉积在自然电位和自然伽玛曲线上均粗略显现出河流的“二元结构”，箱形、指状和钟形特征。反韵律的河口坝及远砂坝沉积也比较常见，GR 电测曲线呈漏斗形。RS、RD 曲线基本与 GR 曲线对应相反。

地震反射特征是识别三角洲沉积体系的重要方法之一。三角洲前缘的地震反射最显著的特征是在顺水流方向由一组向同一方向倾斜的同相轴组成的、具有前积反射地震相，与其上覆和下伏的平坦同相轴成角度或切线相交。根据倾斜同相轴的形态、相

互之间的关系以及倾斜同相轴与其上、下层的相交关系，可划分为 S 形前积、斜交前积、复合前积和叠瓦状前积四种类型。其中以斜交前积最常见。在垂直古水流方向的剖面上可见有丘状反射。

5.2.3 辫状河三角洲沉积体系

辫状河三角洲是辫状河体系进积到盆地水体中形成的富含砂砾岩三角洲。主要发育在湖盆短轴方面或盆地长轴方向斜坡较窄部位。由于岸上与水下的斜坡坡度较大，湖岸离山麓比较近，河流流程短，直接辫状河沉积体系进入湖盆水体，从而形成辫状河三角洲，其动力机制主要为牵引流。

在研究区 428 倾末端两侧，古近系东营组二段广泛发育。428 倾末端两侧，坡度较大，来自凸起的辫状河直接进入湖盆形成了辫状河三角洲沉积体系。在 BZ10 井处，东二段沉积时期发育了比较大型的辫状河三角洲沉积（图 5-1、图 5-3）。

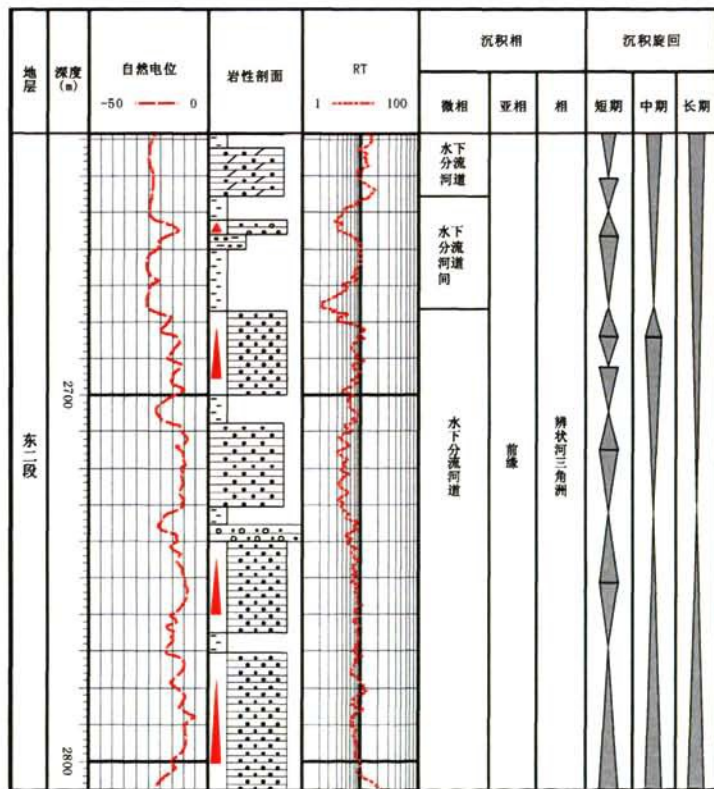


图 5-3 辫状河三角洲前缘特征 (BZ10 井, 东二段)

辫状河三角洲主要有以下特征：

辫状河三角洲沉积体系的岩性以灰色粗砂岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩与灰色泥

岩不等厚互层夹黑色碳质泥岩为特征。砂地比值接近“1”。

辫状河三角洲相亦可划分为三个亚相：辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘和前辫状河三角洲。辫状河三角洲平原主要由辫状河分流河道、废弃河道、泛滥平原和心滩组成。辫状河三角洲前缘由水下分流河道、河口砂坝和远砂坝组成。水下分流河道一般由含砾砂岩、粗砂岩、砂岩等组成，在垂向上常常成叠置的水下分流河道。前辫状河三角洲由质纯暗色泥岩组成。

辫状河三角洲沉积体系常常不断向前推进，在垂向上形成了由前辫状河三角洲、辫状河三角洲前缘、辫状河三角洲平原沉积物构成的自下而上由细变粗的前积序列。在自然电位和自然伽玛曲线上，下部由多个指形、箱形构成的向上幅度逐渐增加的整体上呈漏斗形的组合；中部呈箱形曲线组合；上部为箱形和钟形组合。

辫状河三角洲前缘的地震反射特征在主要以前积反射地震相为主，亚平行和楔状次之（图 5-4）。

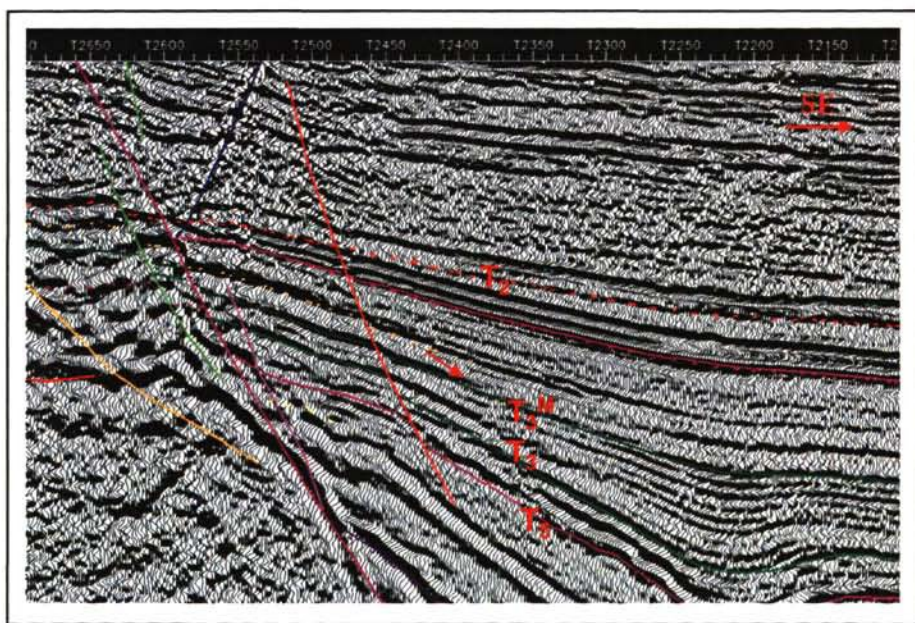


图 5-4 辫状河三角洲前缘地震反射特征（秦皇岛 35-2 构造区，东二段）

5.2.4 扇三角洲沉积体系

扇三角洲是指从高地推进到相邻水体盆地中的冲积扇由冲积扇提供物质并沉积在活动扇与静止水体分界面处的全部或大部分位于水下的沉积体。扇三角洲一般发育在湖盆陡岸偏缓处。由冲积扇直接入湖形成三角洲。其动力机制为牵引流和重力流双重机制作用。发育扇三角洲的重要条件是湖岸附近地形高差大，岸上斜坡陡且直，近

物源，碎屑物质充足。

研究区在断裂活动强烈时期发育扇三角洲沉积。扇三角洲沉积主要发育的层位是沙河街组，主要以扇三角洲前缘亚相为特征（图 5-5）。

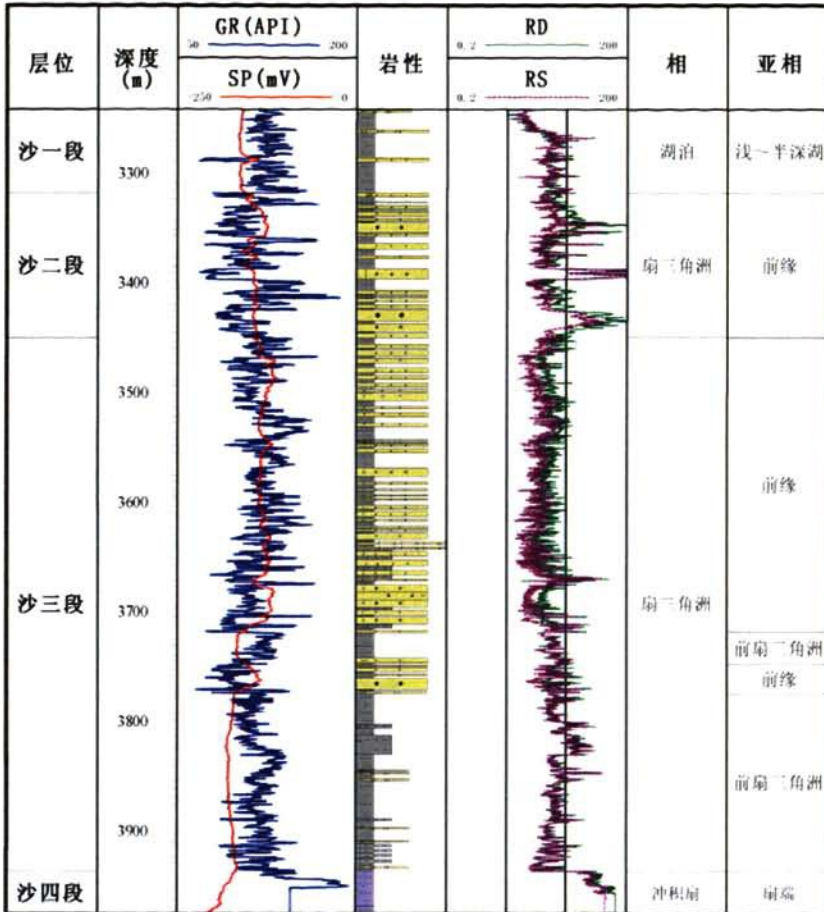


图 5-5 渤中凹陷北坡扇三角洲沉积特征（QHD35-2-1 井，沙河街组）

扇三角洲沉积体系是过渡环境中沉积的产物，其岩性特征能反映出深、浅水的特定环境。主要岩性以灰白、浅灰白色砂砾岩、细砂岩、灰色粉砂岩与灰、紫红色、褐灰色、深灰色泥岩互层为特征。

扇三角洲沉积体系亦可以划分为三个亚相单元，即扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前三角洲。研究区内主要发育扇三角洲前缘亚相：由水下分流河道、分流河道间、河口砂坝组成。水下分流河道由浅灰、灰色砂砾岩、含砾砂岩、含泥砾岩构成。

自然电位曲线呈前积式或加积式的异常幅度组合。正韵律辫状河水下分流河道沉

积的特征较明显。电测曲线特征：GR 曲线主要具有齿状箱形（水下分流河道）和漏斗形（河口坝）两种形态。

研究区古近系扇三角洲沉积体系的地震反射特征主要是以亚平行和杂乱反射为主，在有的剖面中也可见微弱的前积反射。扇三角洲前缘在地震剖面上较难识别，其反射特征在研究区古近系表现得不是很明显。

5.2.5 浊积扇沉积体系

浊积扇主要位于三角洲、扇三角洲等较大型沉积体的前端，与其前缘滑塌作用有关。三角洲（扇三角洲）前缘滑塌多与前缘部位的断层活动或地形坡度较大有关。区域已钻遇滑塌浊积扇揭示其为夹于大套暗色较深湖相厚层泥岩中的砂岩、砾状砂岩沉积，与上、下泥岩突变接触；岩芯观察揭示滑塌浊积扇主要由浊流水道和浊积席状砂两部分组成。浊流水道为多期砂体叠置而成，呈辫状水道特征，单个砂体多显正韵律，块状层理为主，局部发育有大量的暗色泥岩撕裂片，呈半定向排列，部分泥质粉砂岩中发育有波状层理和变形层理；测井曲线上表现为齿化的箱形曲线特征。浊积席状砂岩性以细砂岩、粉砂岩为主，层理不发育，多呈块状，局部可发育有平行—波状层理；测井曲线上多呈齿状特征。地震剖面上呈丘状或透镜体形态，有些测线上可明显地识别出几期不同的扇体侧向叠置（图 5-6）。

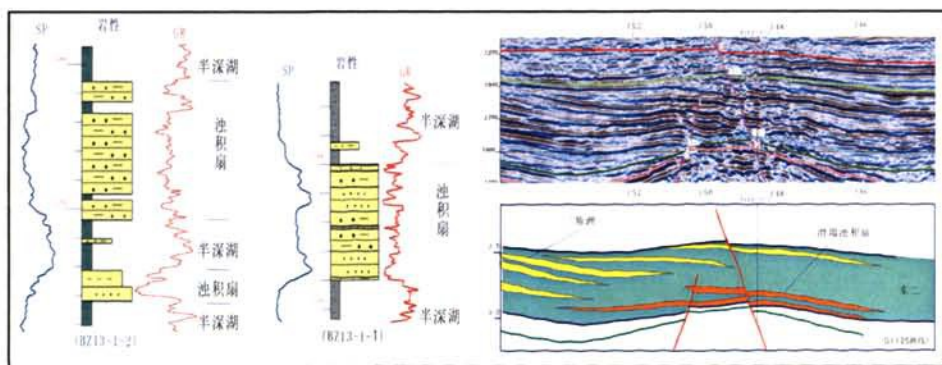


图5-6 滑塌浊积扇钻、测井及地震反射特征

本区滑塌浊积扇未钻遇，但在东二段、东三段、沙一、二段、沙三段沉积期，由于斜坡带地形较陡，形成面积广大的扇三角洲、辫状河三角洲沉积体，沉积物在斜坡带的不断堆积，坡度增加，使沉积物易发生滑塌，形成滑塌型浊积扇。在地震上一般表现为冲填状，丘状反射，有时为透镜状反射，内部具有蠕虫状、短波状或杂乱反射结构，振幅频率中-低，连续性一般（图 5-7）。

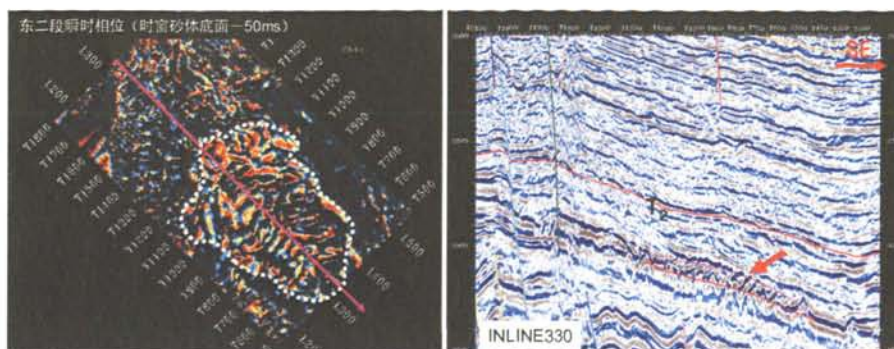


图 5-7 渤中凹陷北坡滑塌浊积扇地震反射特征（渤中 3-3W，东二段）

5.2.6 湖泊

湖泊沉积体系分为滨浅湖、半深湖和深湖亚相。由于浅-半深湖、半深湖、深湖等亚相在岩性上的相似性，因而在单井、和联井对比剖面上很难细致地区分这三种亚相。沉积物主要是灰色、深灰色的泥岩，GR 曲线呈齿状高值，RS、RD 曲线幅度变化也不大（图 5-8）。

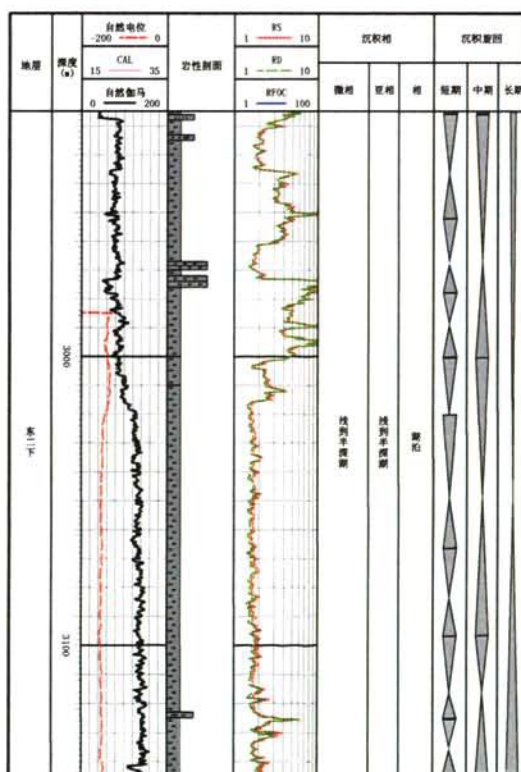


图 5-8 渤中凹陷北坡湖泊相特征(QHD35-2-1 井, 东下段)

a、滨浅湖

研究区内古近系滨浅湖亚相由浅灰色、灰色和灰绿色块状泥岩和浅灰色粉细砂岩构成。该沉积几乎存在于各个层序。

b、半深湖

指位于正常浪基面以下、风暴浪基面以上的湖底范围，属缺氧的弱还原-还原环境。岩性以暗色泥岩粉砂岩为主，间或有页岩。

c、深湖

风暴浪基面以下的湖底范围，属缺氧的还原环境，岩性以深灰色的泥岩、页岩为主。

5.3 渤中北坡古近系沉积体系展布特征

在沉积相类型及钻、测井和地震识别标志认识的基础上，在层序地层格架内，运用砂体预测技术，通过区域地震剖面的地震相识别与沉积体解释，编制以层序为单位的沉积相平面分布图，进而在层序格架内认识沉积相与沉积体系发育分布特征。沉积体系的预测是岩性圈闭预测的基础。

1) 沙四层序沉积体系平面分布

区域上该层序处于盆地初始裂陷期，多条断层活动，形成彼此分割的箕状断陷。湖盆边缘较高部位的断层下降盘一般发育冲积扇，地震剖面上一般为较明显的楔形，内部多为弱反射或杂乱发射特征，其它地区以洪泛平原或滨浅湖发育为主。

研究区该层序仅有少数井钻遇，揭示主要为冲积扇和洪方平原、滨浅湖沉积。

2) 沙三层序沉积体系平面分布

沙三层序沉积时期，区域上渤中坳陷进入强烈裂陷期，基底断裂的强烈活动导致地壳拉张加剧，凹陷加速沉降，周缘凸起提供物源，向相邻湖区沉积。

此时，研究区内主要由石臼坨凸起区提供物源，沉积相主要有扇三角洲、浅湖—深湖相泥质沉积。研究区内扇三角洲沉积呈垂向上叠加，横相连片特点。扇三角洲有两种类型，一种是主要沿凹陷边缘断裂发育，呈裙带状展布的扇三角洲，主要分布于平直型简单陡坡坡折处。另一种为受挠曲陡坡控制，呈朵状分布于中西段和东段两个墙角式坡折带处（图 5-9）。

3) 沙一二层序沉积体系平面分布

沙一二时期湖盆进入裂陷扩张期。在经历了沙三段沉积末期较大规模的区域抬升

以后，裂陷作用再一次发生。早期沉积环境以滨浅湖相为主；晚期裂陷作用加强，气候又转潮湿，湖水范围扩大，水体加深，沉积了渤海湾盆地普遍发育的“特殊岩性段”，即半深湖相的灰岩、灰质泥岩。

研究区内沙一、二段层序的沉积充填特征基本继承了沙三时期的特征，以发育半深湖亚相、滨浅湖亚相和扇三角洲为主，局部见有浊积扇沉积（图 5-10）。

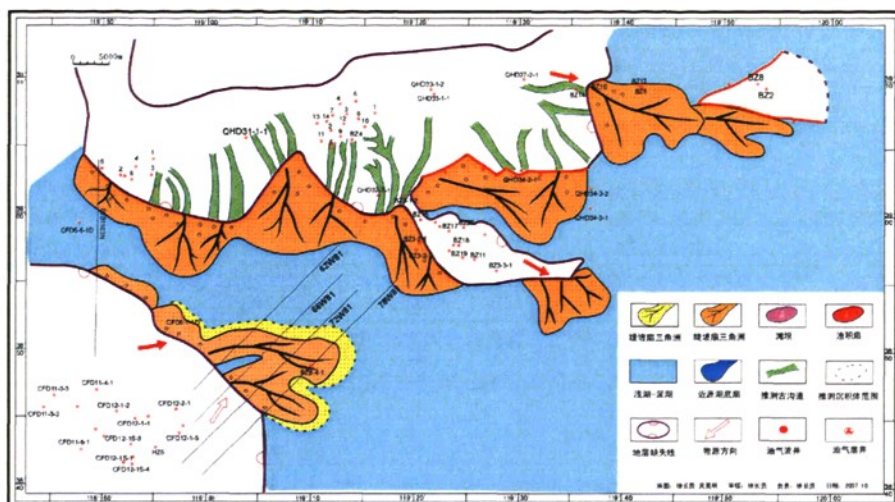


图 5-9 渤中凹陷北坡沙三段沉积相图

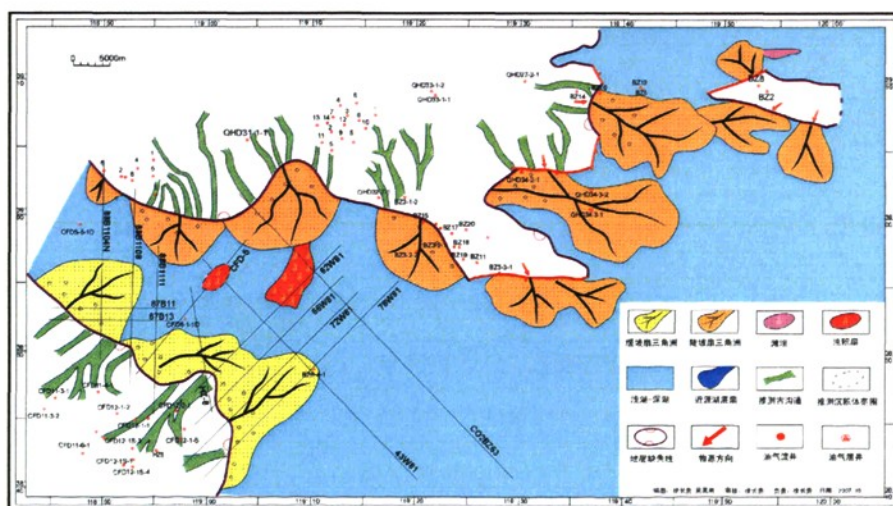


图 5-10 渤中凹陷北坡沙一二段沉积相图

4) 东三层序沉积体系平面分布

东三段沉积时期，裂陷活动再次加强，湖盆扩大，加深。区域基准面持续上升，盆地可容纳空间增加速率超过沉积物供给速率，形成湖区的欠补偿环境。该层序以发

育基准面上升半旋回沉积为主。

研究区内东三层序沉积时期以湖泊（滨浅湖和半深湖）相为主，局部发育了扇三角洲相。扇三角洲主要分布在中西段墙角式坡折处，其它地区基本以湖泊相泥质充填为主。

5) 东二层序沉积体系平面分布

东二层序沉积时期，区域上断裂活动减弱，周缘及外源的沉积物大量注入，形成过补偿沉积，盆地充填作用明显。

研究区内东二层序低位体系域和湖进体系域发育的沉积相类型有辫状河三角洲、滨浅湖滩坝、湖泊（滨浅湖和半深湖）及湖底扇相。渤中凹陷北坡陡坡带中部和东部发育了多个规模不等的辫状河三角洲朵体，以 BZ10 井—BZ13 井一带的辫状河三角洲朵体规模最大。东二层序高位体系域沉积时期发育的沉积相类型主要为曲河流三角洲、滨浅湖滩坝和湖泊相（滨浅湖和半深湖）（图 5-11）。

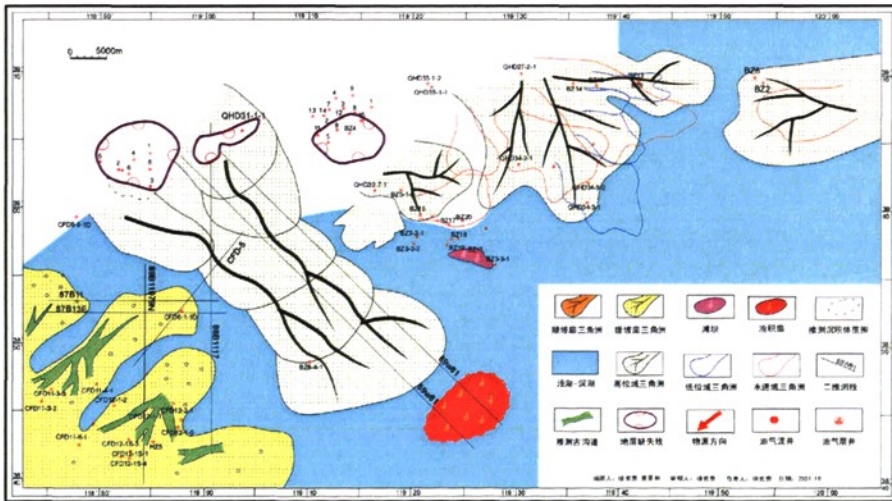


图 5-11 渤中凹陷北坡东二段沉积相图

6) 东一段沉积体系平面分布

经过东二段三角洲的沉积充填作用后，东一段时期渤中拗陷整体地形变缓，凸起基本消失，外源沉积为主。研究区从东二段的河流三角洲沉积变为河流—泛滥平原沉积。

第 6 章 渤中凹陷北坡古近系岩性圈闭有利发育区带预测

6.1 渤海古近系岩性圈闭类型

本文所指岩性圈闭泛指与岩性及地层有关的圈闭，包括地层不整合圈闭、地层超覆圈闭、砂岩上倾尖灭型圈闭、砂岩透镜体圈闭、构造岩性复合圈闭、岩性构造复合圈闭。

1) 地层不整合圈闭

地层不整合圈闭是指剥蚀凸起或剥蚀构造被后来沉积的不渗透地层所覆盖而形成的圈闭。圈闭分布受地层不整合面非渗透层控制，圈闭面积受地层不整合尖灭线与构造等高线相交的闭合面积控制。这类圈闭成藏的关键是不整合面上的岩性的渗透性以及油气运移。秦南凹陷地层不整合圈闭发育（图 6-1），但是渤海海域还没有钻井钻遇该类圈闭。

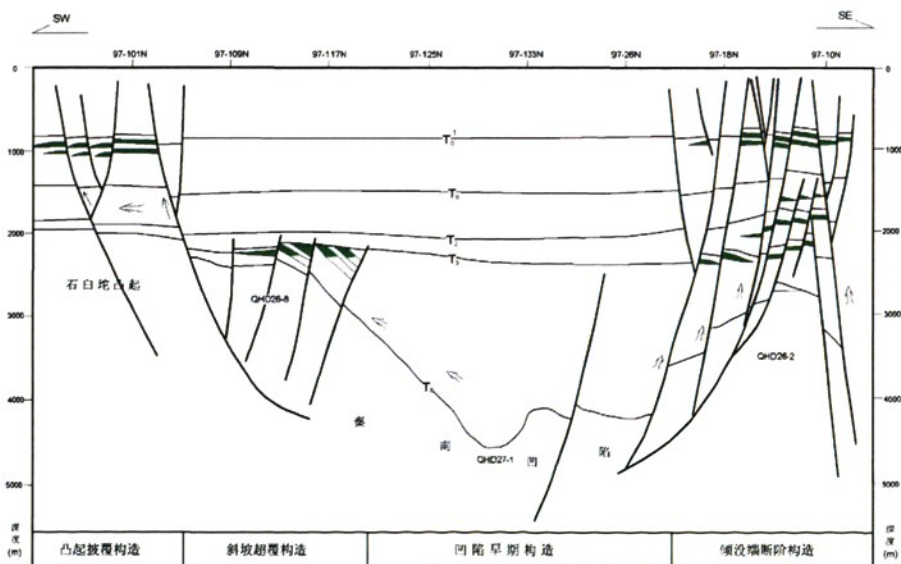


图 6-1 秦南凹陷地层不整合圈闭发育模式

2) 地层超覆圈闭

地层超覆圈闭是指由于储集砂岩逐层超覆尖灭，在上倾部位形成遮挡而成的圈闭。此类圈闭一般分布在古构造隆起和凹陷斜坡部位。如辽东凹陷南部的旅大 28-1 构造沙二段即为在水进型扇三角洲向胶辽隆起超覆、上倾方向被沙二段上部泥岩遮挡形成的超覆圈闭。

3) 砂岩上倾尖灭型圈闭

砂岩上倾尖灭型圈闭是指由于储集层沿上倾方向尖灭或渗透性变差而造成的圈闭。砂岩上倾可以是扇体（三角洲）的前缘部分上倾也可以是其侧翼部分上倾，上倾的原因多是后期构造抬升导致的。砂岩上倾尖灭圈闭在渤海是非常常见的。如辽西北洼锦州 9-2 含油构造，东二段三角洲砂体向西南方向上倾尖灭，形成上倾尖灭型油气藏（图 6-2）。

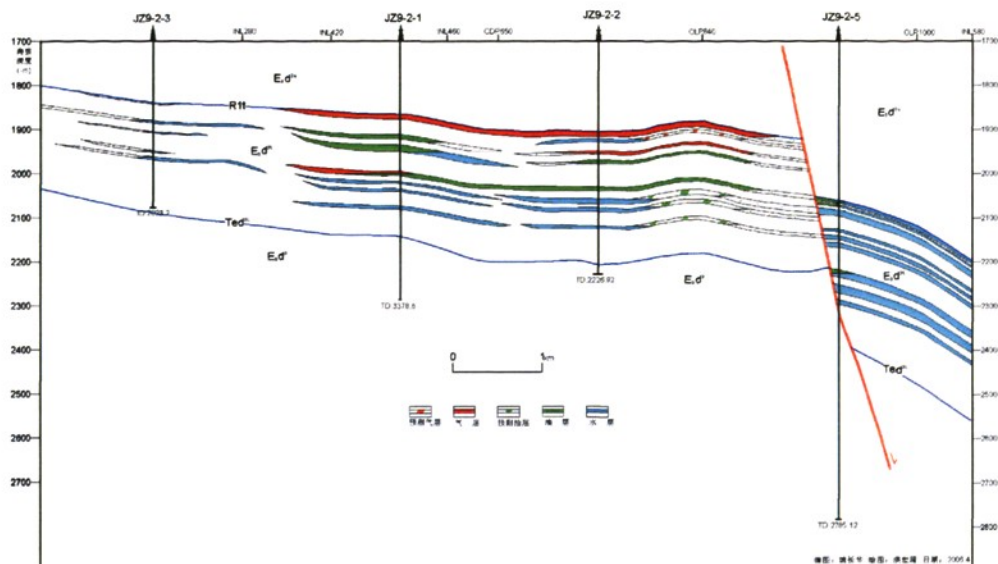


图 6-2 锦州 9-2 东二段砂岩上倾尖灭圈闭

4) 砂岩透镜体圈闭

透镜体圈闭是指透镜状或其它不规则状储集层周围被不渗透性地层所限制而形成的圈闭，最常见的是砂岩透镜体。砂岩透镜体可以是下切河道形成的、也可以是滑塌浊积扇形成的、也可以是无根湖底扇形成的，一般来说前二者形成的岩性圈闭规模角小，而后者形成的规模一般都比较小，如锦州 31-6 东下段岩性圈闭单个砂体面积可达 30km²。

5) 构造—岩性圈闭

受构造和岩性双重控制而成的圈闭即为构造—岩性复合圈闭，其中以岩性圈闭为主要控制因素。该类圈闭主要分布于构造的中低部位，其成因即可以受同生断层发育所控制，也有在不同层系大型砂岩变化区背断裂复杂化而形成的。如辽中凹陷锦州 31-1 构造东三段就是构造岩性圈闭，其储层为浊积砂岩，浊积砂岩被断层切割，形成具有断鼻特征的构造岩性圈闭（图 6-3）。

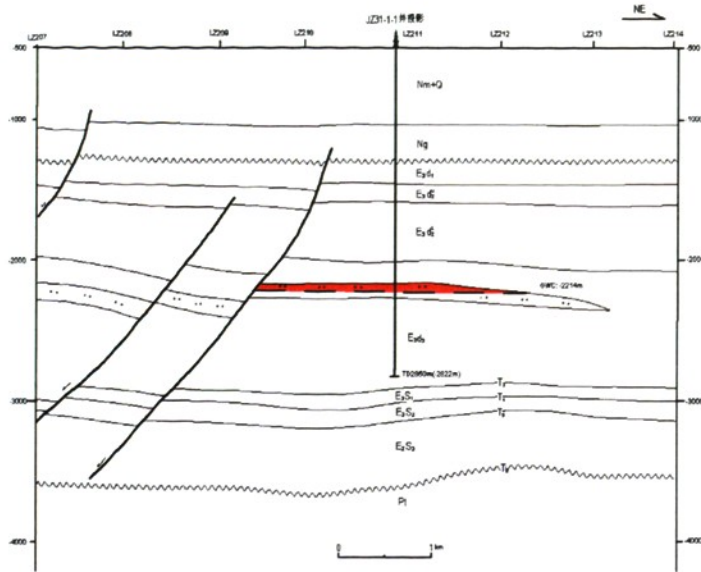


图 6-3 锦州 31-1 构造东三段就是构造岩性圈闭

6) 岩性—构造圈闭

该类圈闭同样受构造和岩性双重控制而成的圈闭，但以构造因素为主要控制因素，这类圈闭往往具有一定的构造背景，但是构造圈闭规模不大或者构造线在一个方向不能闭合，但是考虑岩性尖灭的因素，可以扩大构造规模或者与构造线联合而形成圈闭，这种类型的圈闭是目前海上常见的而且值得勘探的一类圈闭。

上述几种圈闭类型为常见的地层、岩性圈闭，但是对于海上低勘探程度区和海上高勘探成本来说，具有一定规模的油气藏才具有良好的经济性，因此，大型的岩性圈闭或者有构造背景的复合性圈闭才是渤海近期重点勘探的对象。

6.2 渤海古近系陡坡带岩性圈闭分布模式

这里所指的陡坡带包括单断式陡坡和断阶式陡坡带。受构造背景的控制，凹陷陡坡带具有近物源、多物源、沉积厚度大、相变快的特点，在不同的部位分别形成扇三角洲、浊积扇、水下扇、冲积扇等沉积体，这些扇体多呈指状尖灭在烃源岩中，或者有断层与烃源岩沟通，为岩性油气藏的形成创造了有利的条件。陡坡带以发育砂岩上倾尖灭圈闭、砂砾岩扇体物性封闭圈闭、断层岩性圈闭为主，也可发育地层不整合圈闭（图 6-4）。不同类型的圈闭在陡坡带呈有规律的分布。在前缘低部位，发育与扇体有关的岩性圈闭；在中部位断阶上则发育与扇体有关的构造岩性圈闭或岩性构造圈闭，在高台阶上可发育地层超覆圈闭。

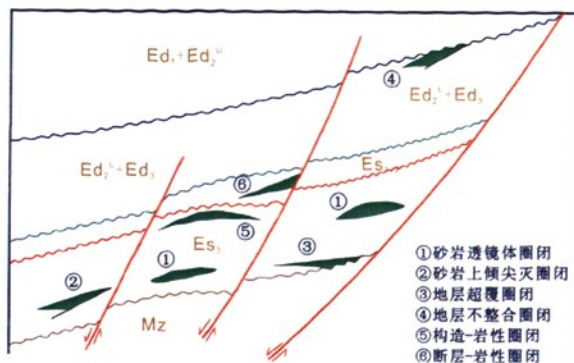


图 6-4 渤海陡坡带岩性圈闭分布模式

6.3 渤中凹陷北坡陡坡带构造岩性复合圈闭成因类型与分布规律

6.3.1 渤中凹陷北坡陡坡带构造-岩性复合圈闭成因类型

渤中凹陷北坡陡坡带构造岩性复合圈闭可以分为两类：一类是岩性构造复合圈闭，这类圈闭本身具有构造圈闭的形态，但是构造圈闭范围内存在明显岩性变化；另一类是构造岩性圈闭，这类圈闭虽没有构造圈闭，但存在良好的构造背景，在某个方向上通过岩性尖灭可以形成构造岩性圈闭。这两类构造岩性复合圈闭对陡坡带的勘探具有重要的意义，前者可以通过圈闭内的岩性尖灭可以弥补陡坡带构造圈闭幅度大的不足，后者通过不同层系的岩性圈闭弥补陡坡带构造圈闭层系单一的不足。

6.3.1.1 渤中凹陷北坡陡坡带岩性构造复合圈闭

陡坡带岩性构造复合圈闭可以分为三种类型，即侧向尖灭型、下倾尖灭型和物性封闭型（图 6-5）。

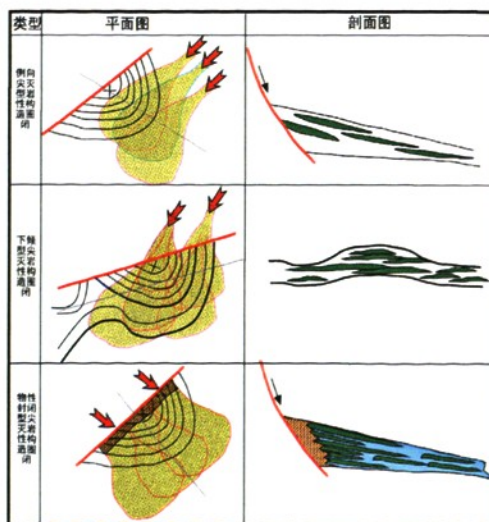


图 6-5 岩性构造复合圈闭三种类型

侧向尖灭型岩性构造圈闭是在构造范围内向构造高部位存在岩性尖灭,它可以是由于水系方向与构造的倾向大角度相交所形成的,扇体侧翼分布在高部位,扇体主体在低部位,从而形成上倾尖灭,也可以在低位域沉积时期,由于早期堆积的高地发生路过不沉积作用,在圈闭的高部位形成砂体尖灭。陡坡带构造圈闭内的岩性侧向尖灭具有重要的勘探意义。渤中凹陷北坡陡坡带的构造圈闭往往圈闭幅度都比较大,一般都在 300 米以上,有的甚至达到了 1000 多米,如果是纯粹的构造圈闭很难形成含油面积较大的油藏,因为在通常条件下油气的充注能力难以达到这样的充满高度,但是由于岩性尖灭的存在,降低了构造圈闭的有效幅度,因为构造范围内的砂体形成的上倾尖灭的岩性圈闭的幅度小于纯构造圈闭的幅度,并且多期砂体的叠合连片,这样可以使得陡坡带高幅度的构造圈闭在较高的幅度内都可以含油,从而形成规模较大的油气藏,如南堡凹陷的柳北油田,该油田位于柏各庄断裂的下降盘,岩性圈闭与构造背景叠置,使得柳北油田 400-700 米的圈闭幅度内均有较厚的油层存在。渤中凹陷北坡陡坡带东段秦皇岛 35-2 构造就存在这种类型的圈闭。

下倾尖灭型岩性构造圈闭也是本身存在构造圈闭,但是构造圈闭规模比较小,构造圈闭溢出点之外的构造等值线只某个方向不能封闭,其它方向都能够闭合,如果在构造等值线不能闭合的方向存在岩性尖灭,那么就可以形成岩性和构造复合的圈闭。这种类型的复合圈闭可以扩大圈闭规模。渤中 2-1 构造区就存在这种类型的复合圈闭。

物性封闭型岩性构造复合圈闭是在纯构造圈闭的高部位存在岩性致密带,对油气起到侧封的作用,使得圈闭高部位含油性差甚至不含油。这个岩性致密带通常是陡坡带水下扇扇根高杂基含量的砂砾岩所导致的。这种类型的圈闭可以降低陡坡带有效圈闭幅度。陡坡带西段存在多个此类型的圈闭,如南堡 35-1、曹妃店 6-4 等。

6.3.1.2 渤中凹陷北坡陡坡带构造岩性复合圈闭

渤中凹陷北坡陡坡带构造岩性圈闭主要有砂岩上倾尖灭型圈闭和砂岩侧向尖灭型圈闭(图 6-6)。砂岩上倾尖灭型圈闭通常发育在断阶式陡坡坡折带的凸起边缘坡折带处,在坡折带处由于水动力的突然变化,在坡折带处形成岩性尖灭,从而形成砂岩上倾尖灭型圈闭,如秦皇岛 35-2 构造北部东营组二段沉积时期发育的砂岩上倾尖灭型圈闭。砂岩侧向尖灭型圈闭通常是在由于沉积体在斜坡上逐层充填,导致砂岩在斜坡上形成超覆作用,砂岩的在斜坡背景的高部位形成侧向尖灭,这种尖灭与斜坡背景叠合就可形成岩性圈闭。这两种类型的圈闭通常都发育在湖盆断坳期,因为此时湖盆内辫状三角洲和河流三角洲非常发育时期,所以这两类圈闭的存在可以弥补石南陡坡

带构造圈闭埋藏比较深、层系单一的不足。

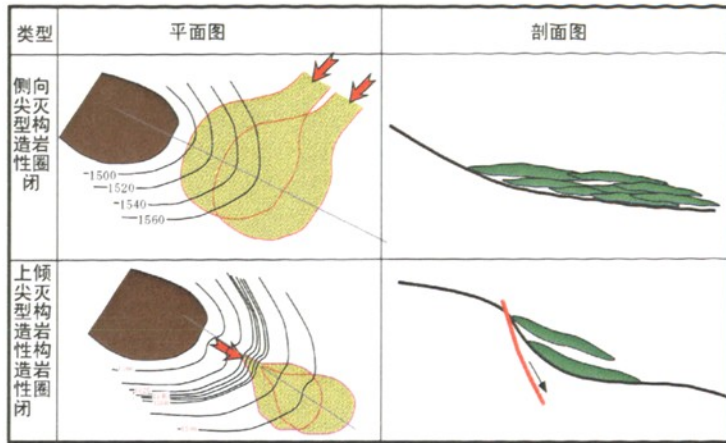


图 6-6 构造岩性复合圈闭两种类型

6.3.2 渤中凹陷北坡陡坡带构造-岩性复合圈闭分布规律

渤中凹陷北坡陡坡带构造-岩性复合圈闭的分布主要受坡折带类型与分布、水系方向与古地貌的配置关系以及基准面的旋回性变化（图 6-7）。

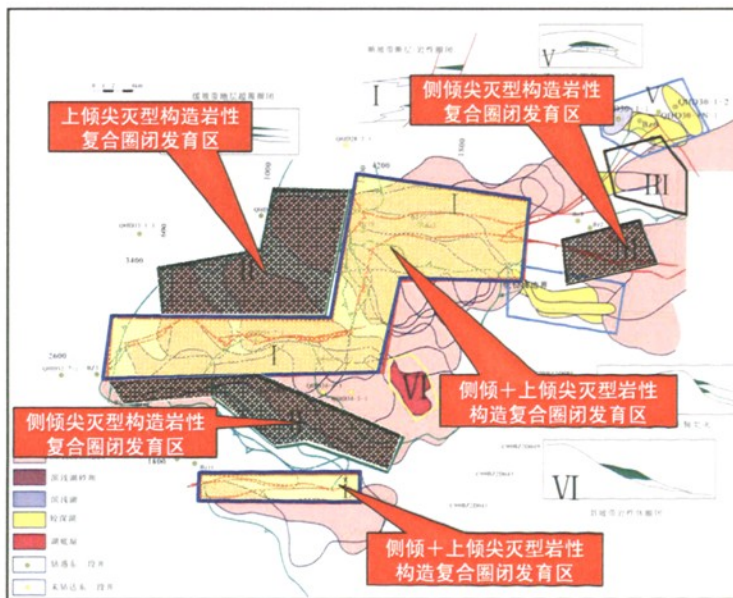


图 6-7 渤中凹陷北坡岩性构造复合圈闭有利发育区带

坡折带类型及其分布控制构造-岩性圈闭的类型与分布。前文提及渤中凹陷北坡陡坡带主要发育两种类型的陡坡坡折带，即简单陡坡坡折带和断阶式陡坡坡折带。简单式陡坡坡折带下通常继承性发育近岸水下扇扇体，这种坡折带通常控制物性封闭型

的岩性构造复合圈闭,在渤中凹陷北坡陡坡带主要发育在其西段。断阶式陡坡坡折带对构造-岩性圈闭控制作用比较复杂。在断陷期,主要是凹陷边缘坡折控制了构造岩性圈闭分布,此时的岩性-构造圈闭主要分布在凹陷边缘坡折处,主要类型为上倾尖灭型的岩性构造圈闭。在坳陷期,随着地层的逐步上超,凸起边缘坡折对构造岩性圈闭起着重要的控制作用,上倾尖灭型的构造岩性圈闭主要分布于凸起边缘坡折带处(图 6-7)。

水系方向与古地貌的配置关系对构造岩性圈闭的分布也具有重要的控制作用。水系方向与构造等值线大角度相交容易形成侧向尖灭型的构造岩性圈闭。在渤中凹陷北坡陡坡带,沙河街组沉积时期的物源均来自石臼坨凸起,多数地区物源方向与构造倾向基本是一致的,容易发育分布局限的呈裙状分布近岸水下扇扇体,从而形成物性封闭型的岩性构造圈闭;渤中凹陷北坡陡坡带中西段和东段的墙角式坡折带处则由于多个水系的汇聚可形成侧向尖灭或者上倾尖灭的构造-岩性圈闭。渤中凹陷北坡陡坡带东二层序的低位体系域和湖扩体系域沉积时期,主要物源仍然为石臼坨凸起,构造岩性圈闭仍然主要分布在墙角式坡折处,在东二高位体系域沉积时期,由于秦皇岛水系与渤中凹陷北坡陡坡带东段斜坡大角度相交,形成了规模比较大的构造岩性圈闭。

基准面的旋回性变化控制了岩性圈闭发育的旋回性。在渤中凹陷北坡陡坡带的中西段的渤中 2-1 构造,东二下段发育三个中期基准面旋回,每期基准面旋回都形成了良好的构造-岩性复合圈闭。正是由于基准面的旋回性控制了圈闭发育的旋回性,因此,高精度的层序地层分析是岩性圈闭识别的基础。

明确了渤中凹陷北坡陡坡带岩性圈闭的主要分布规律,在低勘探程度的条件下就可以树立构造-岩性复合圈闭的勘探思路,也就可以明确构造岩性圈闭的寻找方向,从而准确的对构造岩性圈闭进行预测,降低陡坡带的勘探风险。

第七章 427 构造东二段高精度层序地层与岩性圈闭预测

7.1 区域概况

渤中凹陷 427 构造属于石臼坨凸起向渤中凹陷的倾末端，位于渤中凹陷的西北部，该倾末端西面和南面与渤中凹陷以石南 2 号断层相接、东面呈宽缓斜坡与渤中凹陷相接，该区三面环洼，是油气聚集的有利地区。本次精细解剖区位于 427 构造西侧下降盘，夹持于石臼坨凸起和 427 构造带之间，距离渤中 3-2 油田仅 3km 左右，面积约 150km²（图 7-1）。

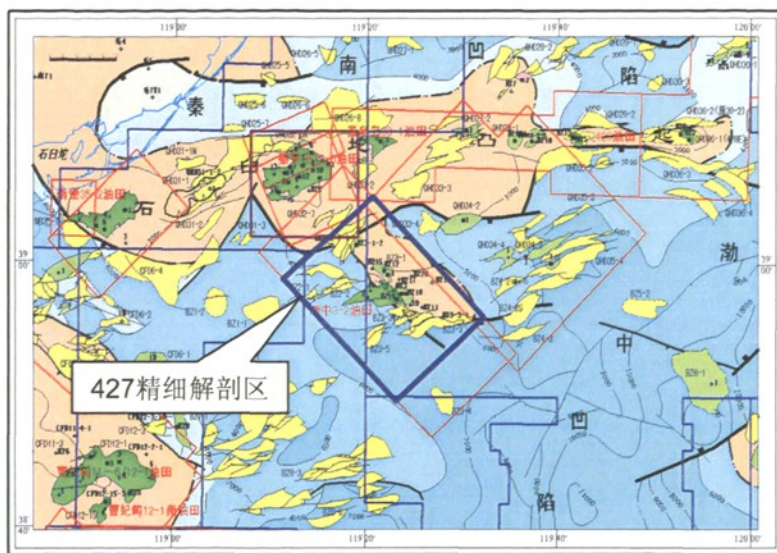


图 7-1 渤中凹陷北坡 427 构造带区域位置图

研究区目前已经被三维地震所覆盖，探井 15 口，分别在新近系、古近系东营组、潜山都获得了不同程度的油气发现，因此该区是复式成藏的有利地区。但是经历了 30 多年的勘探，本区在 427 构造带上并没有突破性的发现，那么油气到底富集在什么地方呢？427 构造带上几乎所有的高点都有钻井，虽然有发现，但并没有发现富集区，显然，我们必须转换思路，坡上没有油气富集，我们需考虑在坡下寻找，构造圈闭没有油气富集，我们需考虑地层岩性圈闭。

427 构造带西侧下降盘已经发现一构造圈闭，即渤中 2-1 构造，但是，该构造规模相对较小，主要目的层东二段只有 7.0km²（图 7-2），对于海上勘探来说，勘探效益不大，如果能通过寻找构造岩性复合圈闭、扩大圈闭规模，那么这将会大大提高该构造的勘探价值。

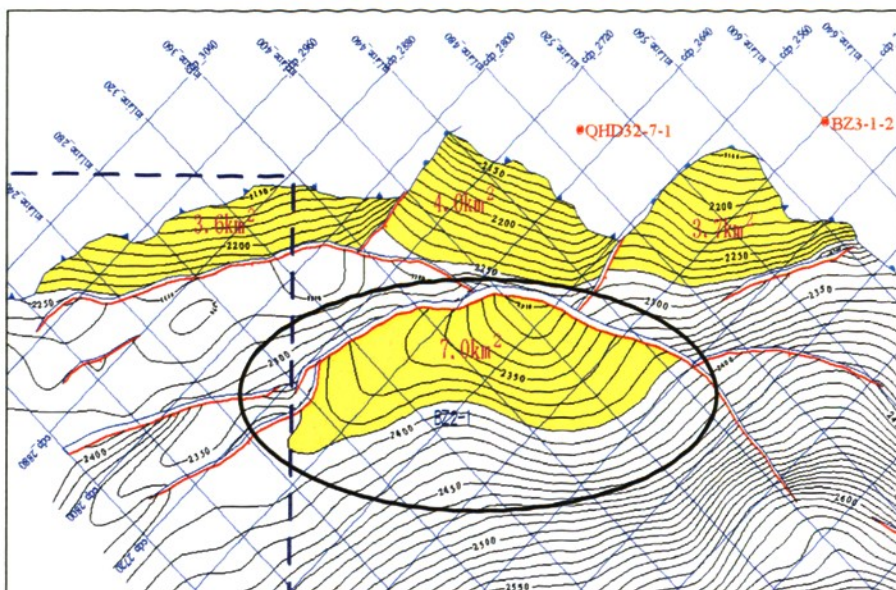


图 7-2 渤中 2-1 构造 T_3^{MA} 地震反射层等 t0 图

7.2 沉积背景

渤中 2-1 构造区处于石臼坨与 427 构造带相交的夹角地带，石臼坨凸起在东二段沉积之前长期处于剥蚀状态，是良好的物源区，主要母岩包括太古界变质岩、古生界碳酸盐岩以及中生界火山岩。427 构造带在沙河街组沉积时期处于剥蚀状态，大部分地区在东营组开始接受沉积，只有局部地区在沙一段沉积时期接受了沉积，因此，本区东营组的主要物源来自石臼坨凸起。

本区处于一个特殊的坡折带位置，石南一号断裂和石南二号断裂在此处相交，组成一个“墙角式”陡坡坡折带，这个陡坡坡折带并不是一个由两条单一的断裂组成的，而是由多个复杂断阶所组成的一个复式墙角陡坡坡折带（图 7-3）。这种坡折带有利于水流的汇聚，从而有利于砂体富集。从前面区域沉积相研究的结果来看，本区从沙三段开始至东二段一直是砂体发育的位置，沙三段、沙二段为扇三角洲沉积体系、东三段为扇三角洲沉积体系、东二段为辫状三角洲沉积体系（图 5-9、图 5-10、图 5-11）。

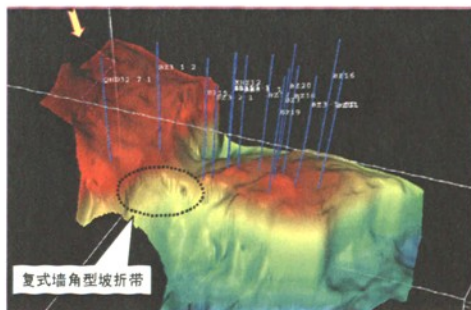


图 7-3 渤中 2-1 地区坡折特征
(T_8 层构造三维可视化)

优越的构造背景和继承性大型砂体相配置使得本区成为渤中地区构造岩性和岩性圈闭勘探的最有利的位置之一。

7.3 高精度层序地层分析

高精度层序地层学分析是岩性圈闭预测的基础。

本次研究根据钻井、测井、古生物等资料进行单井高精度层序地层分析，单井层序进行联井对比，建立钻井层序地层格架，地震上根据地震反射特征进行地震层序的识别，同时进行井—震层序对比，建立综合层序地层格架。

7.3.1 高精度钻井层序地层与沉积体系构成分析

从钻井资料分析，本区东二层序可识别出 4 个 4—5 级基准面半旋回（为方便起见，以下称为“旋回”，实际上是“半旋回”），从下至上依次命名为 SQ1、SQ2、SQ3、SQ4。其中 SQ1 为基准面上升半旋回，其它三个半回旋为基准面下降半旋回，SQ1 和 SQ2 组成一个完整的基准面旋回（图 7-4）。

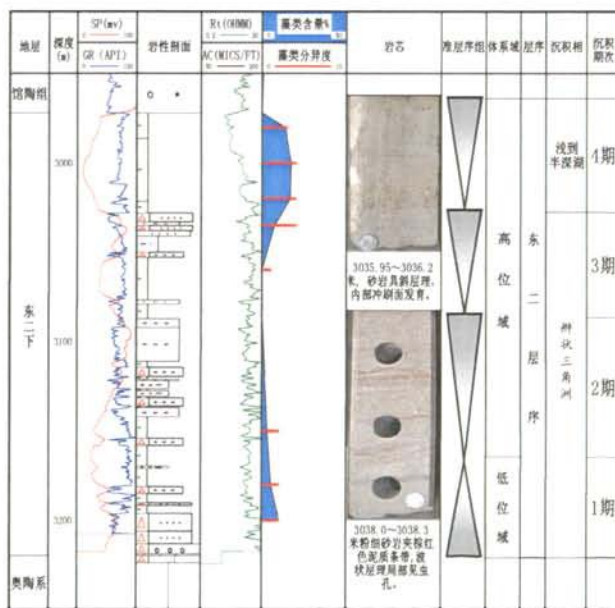


图 7-4 BZ3-1-1 井东营组层序精细划分

SQ1 旋回：该旋回底界面为 SB₈ 不整合面，局部为 SB₃。该旋回的顶界面为洪泛面，测井曲线表现为高值 GR 和低值电阻的特征，岩性为大套浅灰色泥岩和灰色泥岩，古生物上藻类含量较高。从底到顶，SQ1 半旋回表现为退积的叠加样式，岩性由粗变细，电测曲线主要为钟型组合，沉积体系为水进型辫状三角洲体系。在 427 构造带，该旋回砂体稳定发育（图 7-4、图 7-5）。

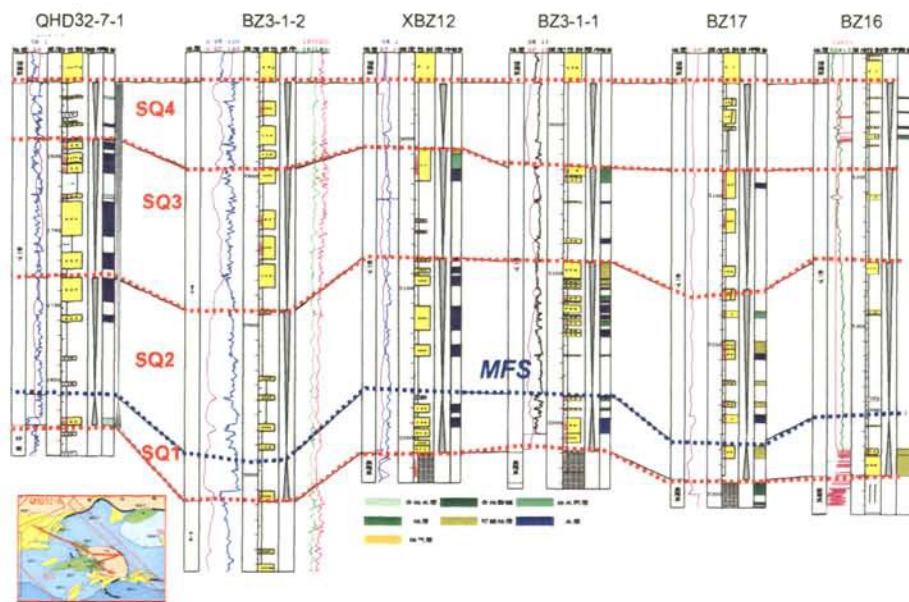


图 7-5 427 地区东营组高精度层序地层对比图

SQ2 旋回：该旋回为一进积叠加样式的半旋回，测井曲线呈漏斗型组合，岩性由细变粗，藻类含量由高到低，反映了水体逐渐变浅的一个过程。沉积体系主要为进积辫状三角洲。427 构造带由北向南，沉积体系离物源越来越远，该旋回砂岩含量和砂岩厚度逐渐减少（图 7-4、图 7-5）。

SQ3 旋回：该旋回的特征基本与 SQ2 旋回类似。该旋回的砂岩主要发育在 427 构造带的北部地区，主要沉积体系类型为辫状三角洲（图 7-4、图 7-5）。

SQ4 旋回：该旋回顶部为 SB₂ 不整合面，顶部遭受强烈剥蚀。该旋回多数井钻遇大套泥岩，虽然为一套泥岩，但从 GR 测井曲线仍能看出其水体由下至上逐渐变浅的过程，主要表现上部的曲线幅度较下部曲线幅度大，表明上部曲线泥质不纯；古生物上，下部藻类含量要略高于上部藻类含量，也表明了由下至上水体逐渐变浅的特征（图 7-4、图 7-5）。

从联井对比看，这 4 个旋回在全区都比较发育，厚度稳定，总体来说，辫状三角洲在北部要比南部发育。

7.3.2 高精度地震层序与沉积体系构成分析

在地震剖面上，根据地震反射终止方式和地震波组特征，同样可以识别出一个基准面上升半旋回和 3 个基准面下降半旋回，通过井—震对比，这 4 个基准面旋回与钻井上的旋回划分是一致的（图 7-6）。

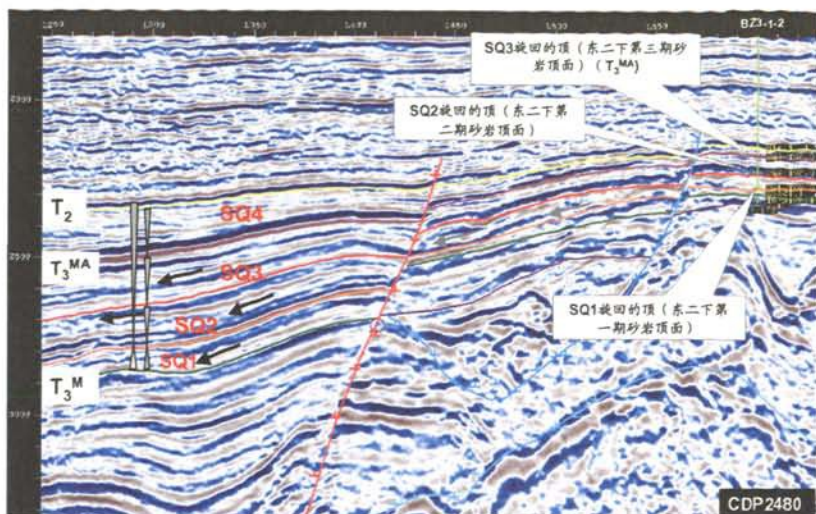


图 7-6 渤中 2-1 构造东二段地震层序格架

SQ1 旋回在地震上底界面为一连续性较好的中强振幅同相轴，其上见前积反射，向凹陷方向，前积反射逐渐变成一套弱反射，顶界面为连续性较好的反射同相轴，该面之上见前积反射，该界面对应钻井上的基准面上升半旋回到基准面下降半旋回转换的位置，应解释为最大洪泛面，该地震层序内的前积反射为辫状三角洲前缘沉积（图 7-6）。

SQ2 旋回在地震的底界面即 SQ1 的顶界面，而其顶界面为一顶超面，SQ3 顶界面也是一个顶超面，SQ4 的顶界面为区域不整合面即馆陶组的底界面，SQ2 和 SQ3 内部均见良好的前积反射，为不同期次的辫状三角洲前缘反射特征，SQ4 以中振幅的平行反射为主，局部见良好的前积反射，应解释为以滨浅湖沉积为主，局部夹辫状三角洲前缘沉积（图 7-6）。

7.4 岩性圈闭的识别与描述

在不同的基准面旋回内，对其地震相、地震属性、地震反演等地球物理属性进行分析，精细确定每个旋回内沉积体边界、顶面形态，分析其构成岩性圈闭的可能性，并对岩性圈闭的圈闭要素进行描述。

7.4.1 SQ1 旋回岩性圈闭识别与描述

SQ1 旋回内，从其地震相特征看，主要以北东南西方向的斜交前积反射为主，地震相在平面呈扇形分布，向南西方向尖灭（图 7-7A、F）；沿 SQ1 旋回顶面提取振幅，发现振幅异常在平面上也呈扇形分布，从边界断层向南西方向，振幅由强变弱（图 7-8A），沿 SQ1 顶面向下开 20ms 时窗提取平均绝对振幅，振幅异常同样也表现出扇

形的外形特征(图 7-8B),从反射强度上看,本层序也反映了良好的扇形外形的异常体(图 7-8C);根据阻抗反演资料,本区东营组砂岩波阻抗偏低,泥岩波阻抗偏高,沿 SQ1 层序顶界面向下开 40ms 时窗,阻抗平面特征表明边界断层附近呈低阻抗异常,是砂岩的反映,外形同样呈扇形(图 7-8D)。综合上述地球物理信息,就可精确确定砂体分布范围(图 7-9A),通过阻抗反演追踪出砂体顶面形态(图 7-9B),该砂体最大面积为 16.2km²,闭合幅度 580m,该砂体与断层一起构成构造-岩性圈闭,这一圈闭面积大于纯构造圈闭面积。

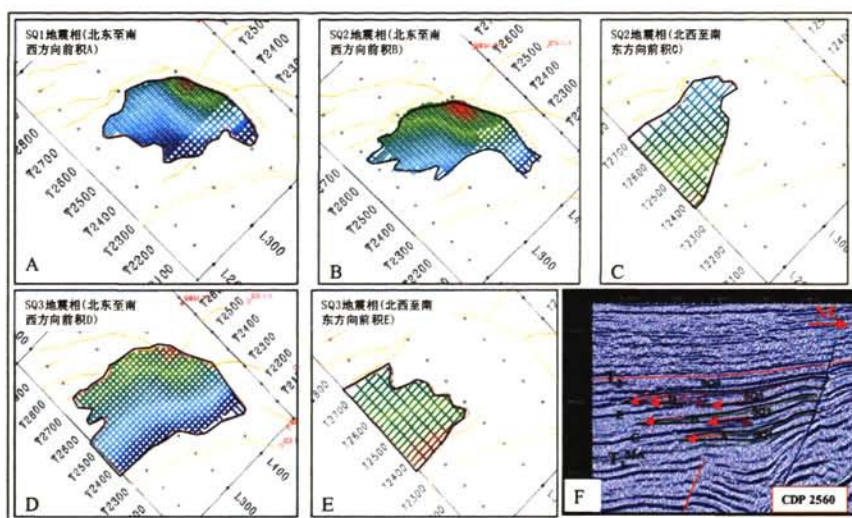


图 7-7 渤中 2-1 构造区不同层序主要地震相平面展布图

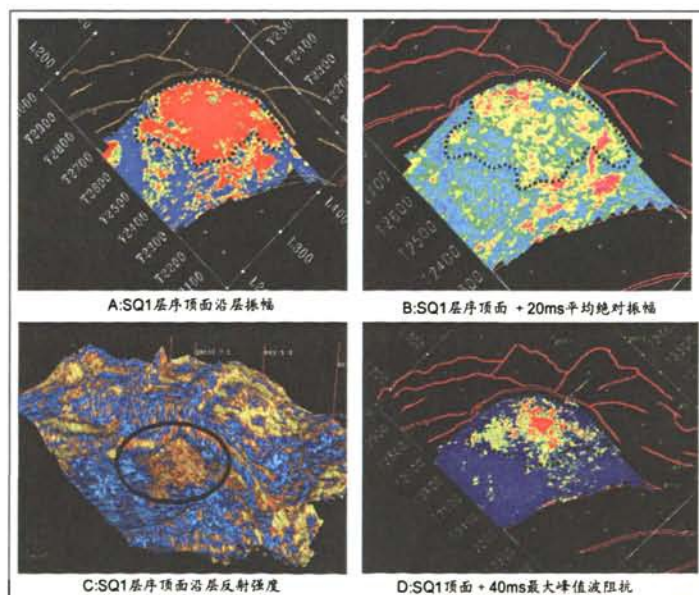


图 7-8 渤中 2-1 构造区 SQ1 层序地震属性特征

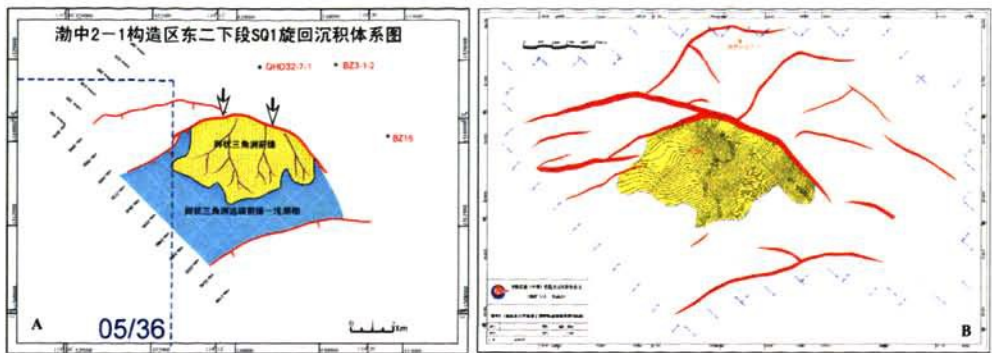


图 7-9 渤中 2-1 构造区 SQ1 层序沉积体系分布 (A) 及其顶面形态 (B) 图

7.4.2 SQ2 旋回岩性圈闭识别与描述

SQ2 旋回内, 从其地震相特征看, 除了呈扇形分布的北东南西方向的斜交前积反射外, 还有向边界断层方向尖灭的较强的连续反射, 推测为另一方向的辫状三角洲反射 (图 7-7B、C、F); 沿 SQ2 旋回顶面提取振幅, 发现振幅异常在平面上也呈扇形分布, 从边界断层向南西方向, 振幅由强变弱, 异常范围比 SQ1 层序要大 (图 7-10A)。沿 SQ2 顶面向下开 20ms 时窗提取平均绝对振幅, 振幅异常同样也表现出扇形的外形特征 (图 7-10B); 根据阻抗反演资料, 沿 SQ2 层序顶界面向下开 40ms 时窗, 阻抗平面特征表明边界断层附近呈低阻抗异常, 是砂岩的反映, 外形同样呈扇形 (图 7-10C), 另外在西部还可见上倾尖灭的异常振幅。综合上述地球物理信息, 可精确确定砂体分布范围 (图 7-11A), 通过阻抗反演追踪出砂体顶面形态 (图 7-11B), 该砂体最大面积为 18.6km^2 , 闭合幅度 600m, 该砂体与边界断层一起构成构造岩性圈闭, 上倾尖灭砂体 (上倾尖灭型圈闭) 的面积为 13.9km^2 。

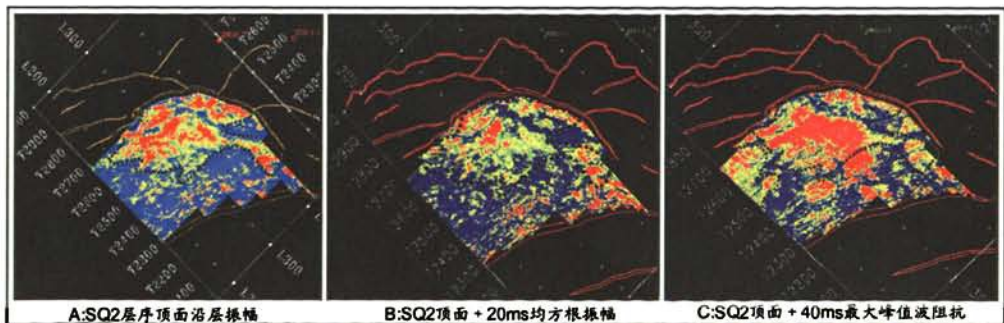


图 7-10 渤中 2-1 构造区 SQ2 层序地震属性特征

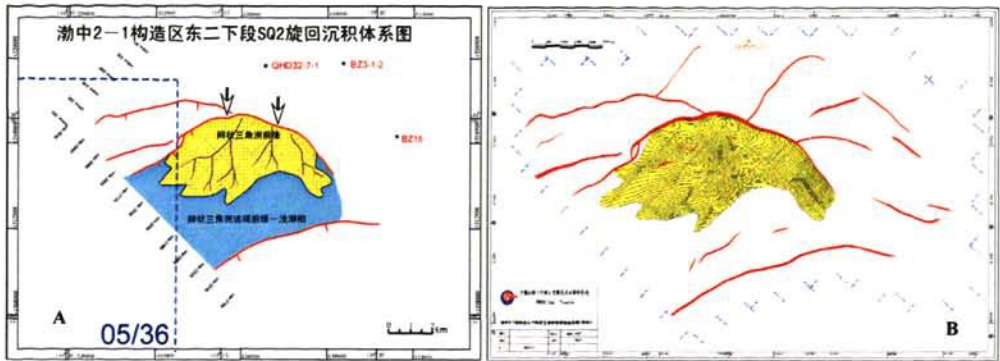


图 7-11 渤中 2-1 构造区 SQ2 层序沉积体系分布 (A) 及其顶面形态 (B) 图

7.4.3 SQ3 旋回岩性圈闭识别与描述

SQ3 旋回内，同 SQ2 旋回一样，除了呈扇形分布的从北东向南西方向的斜交前积反射外，还有向边界断层方向尖灭的较强的连续反射，但北东南西方向的前积范围较大，已经超出三维工区的范围（图 7-7D、E、F）；沿 SQ3 旋回在顶面提取振幅，从边界断层向南西方向，上部振幅由强变弱，下部强振幅超出三位工区（图 7-12A），沿 SQ3 顶面向下开 20ms 时窗提取平均绝对振幅，振幅异常同样也表现出扇形的外形特征（图 7-12B）；根据阻抗反演资料，沿 SQ2 层序顶面向下开 40ms 时窗，阻抗平面特征表明边界断层附近呈低阻抗异常，是砂岩的反映，外形地震相的范围类似（图 7-12C）。综合上述地球物理信息，可精确确定砂体分布范围（图 7-13A），通过阻抗反演追踪出砂体顶面形态（7-13B），该砂体面积大，但能与构造等值线构成构造岩性圈闭的范围为 16.7km^2 ，闭合幅度 295m，上倾尖灭砂体（上倾尖灭型圈闭）的面积为 11.8km^2 。

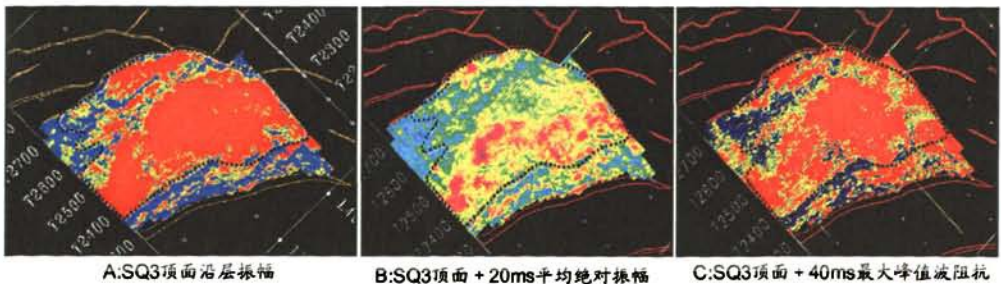


图 7-12 渤中 2-1 构造区 SQ3 层序地震属性特征

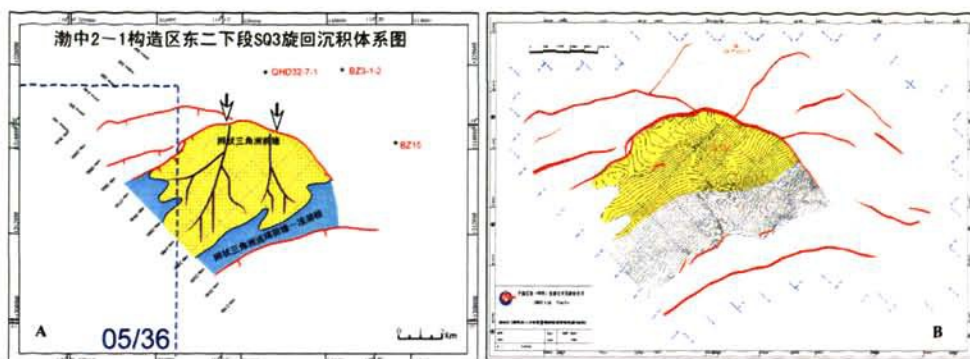


图 7-13 渤中 2-1 构造区 SQ3 层序沉积体系分布 (A) 及其顶面形态 (B) 图

7.4.4 构造岩性圈闭叠合分析

从 SQ1 到 SQ3 旋回，随着水体的逐渐变浅，可容纳空间逐渐变小，辫状三角洲前缘砂体的范围逐渐变大，SQ1 和 SQ2 旋回整个砂体可与断层一起构成构造岩性圈闭，而 SQ3 旋回的砂体只有一部分可与断层构成构造岩性圈闭，由于 SQ1、SQ2、SQ3 旋回的砂体都位于 T_3^{MA} 地震反射层 (SQ3 层序的顶界面) 之下，而 T_3^{MA} 地震反射层本身具有 7.6km^2 的纯构造圈闭，只是构造等值线在西部开口，没有形成规模较大的构造圈闭，因此，将 T_3^{MA} 地震反射层 (SQ3 层序的顶界面) 等 t0 图与 SQ1、SQ2、SQ3 旋回的砂体顶面形态图叠合，取 SQ2 旋回在西部尖灭线与构造等值线 2500ms 一起组成最低圈闭线，确定构造岩性圈闭的范围，该构造岩性圈闭面积 18.4km^2 ，闭合幅度 350m (图 7-14)。

另外，本构造还存在 SQ2 上倾尖灭圈闭 13.9 km^2 、SQ3 上倾尖灭圈闭 11.8 km^2 。

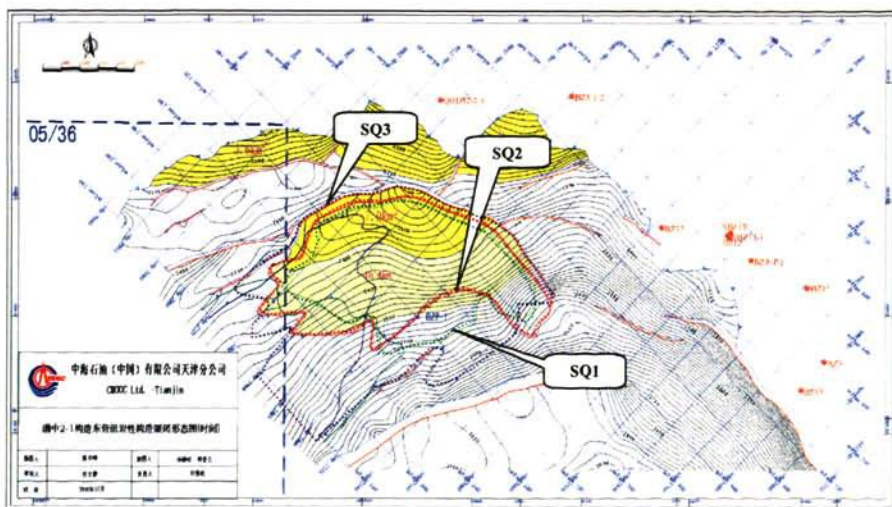


图 7-14 渤中 2-1 东二段构造岩性圈闭顶面形态图

7.5 成藏条件分析

7.5.1 烃源与油气运移条件

渤中 2-1 构造岩性圈闭处于大断层下降盘，处于渤中西次洼，具有良好的烃源条件。从 BZ8-4-1、CFD6-1-1D、CFD6-2-1D 三口井的源岩指标上看，东二段合和东三段是该地区两套较好的烃源岩，干酪根类型以 II 型为主，少量 I 型和 III 型，有机质丰度较高，基本上属中等到好源岩，生烃门限约在 2800~3000 米，目的层处于成熟烃源岩之中，可自生自储。另外，圈闭夹于两条规模较大的可沟通烃源岩的断层之间，有利深部油气向上部东营组运移，进而形成油气藏。

7.5.2 圈闭侧封条件分析

渤中 2-1 构造岩性圈闭的最大风险是圈闭上倾方向的侧封性。该圈闭侧封具有 3 个有利于侧封的条件，一是东二下段下部砂体和东三段砂体与上升盘中生界和沙河街组对接，有利于其侧封；二是不同断阶沉积体系的期次性导致上升盘三角洲远端前缘砂体与下降盘的三角洲前缘砂体对接，有利于侧封（图 7-15）；三是边界断层的断距较大，有利于砂岩的错开，从而有利于侧封。

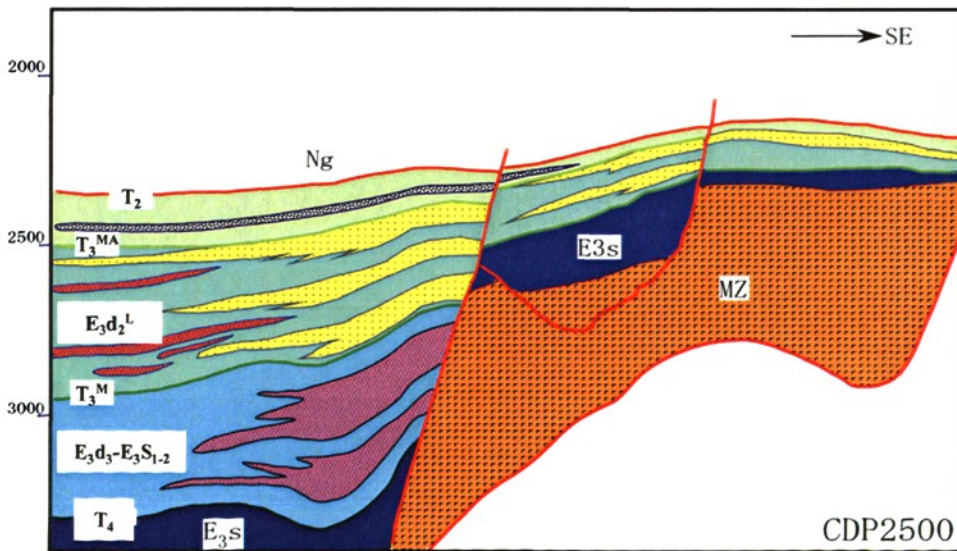


图 7-15 渤中 2-1 构造断阶带沉积体系的期次性对下降盘油气侧封的影响

7.5.3 成藏模式

从上述分析看，渤中 2-1 构造岩性圈闭可形成如图 7-16 所示。

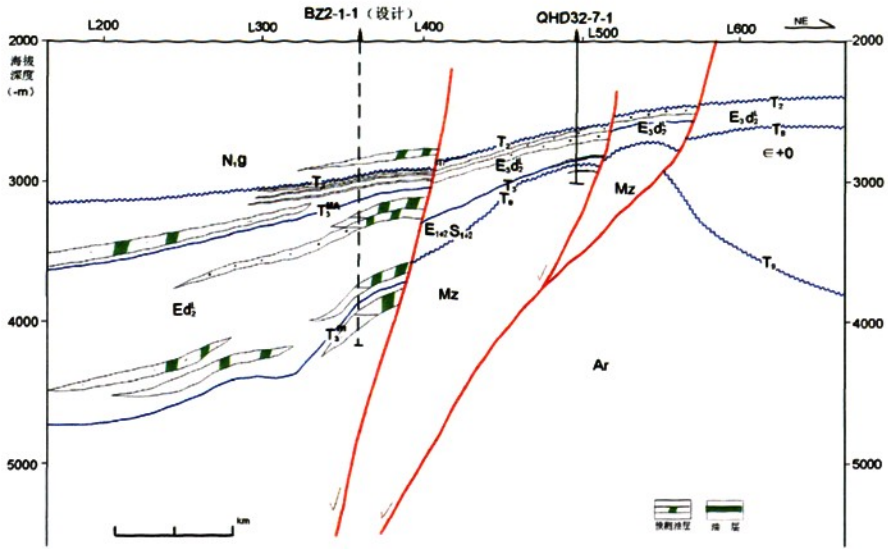


图 7-16 渤中 2-1 构造岩性圈闭成藏模式

第 8 章 结论与认识

1. 渤海海域古近系充填沉积中可识别出 15 个主要的等时界面, 相应的将渤海海域古近系划分为一个一级层序, 四个二级层序, 十四个三级层序。在此基础上, 根据钻井、地震及古生物等分析化验资料, 渤中凹陷北坡可识别出 6 个三级层序, 分别为沙四层序、沙三层序、沙一二层序、东三层序、东二层序和东一层序, 推测存在孔店组层序, 但还未钻遇;
2. 渤中凹陷北坡为一断裂陡坡带, 进一步可分为简单单断式陡坡坡折和断阶式陡坡坡折两种类型。陡坡断裂带的沉积层序发育主要与主干断裂的活动历史和组合样式有关, 沉积相带的展布早期受控于边界主控断裂, 晚期沉积体系展布受控于凹陷边缘的主控断裂以及凸起边缘断裂;
3. 渤中凹陷北坡古近系发育冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲、河流三角洲、浊积扇、湖泊等 6 种沉积体系类型; 构造—层序地层格架内的沉积体系的展布研究表明, 总体上, 研究区沙三层序沉积时期以短源、内源沉积为主, 物源来自石臼坨凸起, 发育扇三角洲与浅—深湖沉积; 沙一二时期仍是以短源、内源沉积为主, 湖区面积进一步扩大, 但深度相对不大, 继承性发育扇三角洲沉积, 局部见有浊积扇沉积。东三段沉积时期, 区域裂陷活动再次加强, 较深湖区面积明显扩大, 滨浅湖范围局限, 局部发育扇三角洲沉积。东二层序沉积时期, 断裂活动减弱, 周缘及外源的沉积物大量注入, 形成过补偿沉积, 盆地充填作用明显, 以远源、外源沉积为主, 湖区范围明显缩小; 其低位体系域和湖进体系域发育辫状河三角洲、滨浅湖滩坝、湖泊及浊积扇沉积; 高位体系域沉积时期发育曲河流三角洲、滨浅湖滩坝和湖泊沉积。东一段时期渤中坳陷整体地形变缓, 水体较浅, 大多数地区以滨浅湖或三角洲平原为主, 三角洲前缘不发育;
4. 渤中凹陷北坡陡坡带存在多层系、多成因、分布广泛的构造-岩性复合圈闭。其中岩性构造复合圈闭可分为上倾尖灭型、下倾尖灭型和物性封闭型; 构造岩性复合圈闭也可分为上倾尖灭型和侧向尖灭型。这些圈闭分布受控于坡折带类型、水系方向与古地貌的配置关系、基准面的旋回性变化等多种因素。岩性圈闭的存在可以弥补纯构造圈闭的不足, 从构造岩性复合圈闭的角度来看, 渤中凹陷北坡的资源潜力大, 具有超过 3 亿方的资源规模。因此, 该区带从勘探的早期就应建立构造—岩性复合圈闭勘探的思路, 以实现效益勘探和价值勘探;

5. 通过对渤中凹陷北坡 427 构造区进行了高精度层序地层分析和岩性圈闭预测及其成藏条件综合研究，认为渤中 2-1 构造除了构造圈闭外，还发育构造岩性圈闭，岩性圈闭规模大，预期勘探效益应较好，是渤中岩性圈闭勘探比较现实的目标区之一。

参考文献

1. 蔡希源, 李思田等著. 陆相盆地高精度层序地层学—隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践. 基础理论篇. 北京: 地质出版社. 2003, 1~271
2. 崔永谦, 武耀辉等. 岩性地层油气藏勘探技术. 中国石油勘探. 2004, 9 (3): 17~25
3. 邓宏文, 王洪亮等. 古地貌对陆相裂谷盆地层序充填特征的控制—以渤中凹陷西斜坡区下第三系为例. 石油与天然气地质. 2001, 22 (4): 293~303
4. 冯有良, 李思田, 解习农. 陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式. 地学前缘, 2000, 7 (3): 119~131
5. 胡宗全. 层序地层研究的新思路—构造-层序地层研究. 现代地质. 2004, 18 (4): 549-554
6. 贾承造, 赵文智, 邹才能等. 岩性地层油气藏勘探研究的两项核心技术. 石油勘探与开发. 2004, 31 (3): 3~9
7. 金武弟, 王英民, 刘书会等. 东营凹陷下第三系低位域沉积及非构造圈闭. 石油和天然气地质. 2003, 24 (3): 249~252
8. 李丕龙, 陈冬霞, 庞雄奇等. 岩性油气藏成因机理研究现状及展望. 油气地质与采收率. 2002, 9 (5): 1~3
9. 李丕龙, 庞雄奇等. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成—以济阳凹陷为例. 北京: 石油工业出版社. 2004
10. 李思田, 潘元林等. 断陷湖盆隐蔽油藏预测及勘探的关键技术—高精度地震探测基础上的层序地层学研究. 地球科学. 2002, 27 (5): 1~7
11. 林畅松, 潘元林, 肖建新, 孔凡仙, 刘景彦, 郑和荣. “构造坡折带”—断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念. 地球科学—中国地质大学学报. 2000, 25 (3): 260~266
12. 刘豪, 王英民. 拗陷湖盆坡折带特征及其对非构造圈闭的控制. 石油学报. 2004, 25 (2): 30~35
13. 王英民, 金武弟, 刘书会. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义. 石油与天然气地质. 2003, 24 (3): 199~203, 214
14. 任建业, 陆永潮. 断陷盆地构造坡折带形成机制及其对层序发育样式的控制. 地球科学: 中国地质大学学报. 2004, 29 (5): 596~602

15. 顾家裕, 张兴阳.陆相层序地层学进展与在油气勘探开发中的应用.石油与天然气地质. 2004, 25 (5): 484~490
16. 徐长贵, 赖维成等.渤海海域古近系中深层储层预测技术与应用.中国海上油气. 2005
17. 徐长贵.渤海海域古近系坡折带成因类型及其对沉积体系的控制作用.中国海上油气. 2006, 18 (6): 365~371
18. 张建林, 林畅松, 郑和荣. 断陷湖盆断裂、古地貌及物源对沉积体系的控制作用——以孤北洼陷沙三段为例.油气地质与采收率.2002, 9 (4): 25~27
19. 张善文, 王英民.应用坡折带理论寻找隐蔽油气藏.石油勘探与开发. 2003, 30 (3): 5~7
20. 张善文, 王永诗等.网毯式油气成藏体系——以济阳坳陷新近系为例.石油勘探与开发.2002, 30 (1): 1~10
21. 张万选, 张厚福, 曾洪流.陆相地震地层学.山东东营: 石油大学出版社.1993
22. 赵文智, 邹才能, 汪泽成等.富油气凹陷“满凹含油”论——内涵与意义.石油勘探与开发.2004, 31 (2): 5~13
23. 朱筱敏, 康安等.陆相坳陷型和断陷型湖盆层序地层样式探讨.沉积学报. 2003, 第21卷, 第2期
24. 侯明才, 陈洪德, 田景春.层序地层学的研究进展.沉积学报.2001, 19 (2): 249~255
25. Galloway W E. Clastic depositional system and sequences: applications to reservoir prediction, delineation, and characterization. Leading Edge.1998, 17 (2): 173~180
26. Galloway W E. Reservoir faces architecture of microtonal barrier systems. AAPG. 1986, 70 (7): 787~808
27. Galloway W E. Siliciclastic slope and base-of-slope depositional systems: component facies, stratigraphic architecture, and classification. AAPG Bull.1998, 82 (4): 569~595
28. Galloway W E.Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units.AAPG Bulletin.1989, 73 (2): 125~142
29. Fisher W L, McGowon J H. Depositional systems in the Wilcox Group of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas. Bull. AAPG.1969, 53 (1): 30~54

30. Normark W.R. Growth patterns of deep sea fans. *Bulletin AAPG*. 1970, 54: 2170~2195
31. Van Wagoner J C. Overview of Sequence stratigraphy of foreland basin deposits: Terminology, summary of papers, and glossary of sequence stratigraph, In: Van Wagoner J C and Bertram G T (eds.), Sequence stratigraphy of foreland basin deposits, outcrop and subsurface examples from the Cretaceous of North America.1995, AAPG Memoir, 64: 9~21.
32. Walker R.G. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans:models for exploration for stratigraphic traps.*Bulletin AAPG*.1978, 62: 932~966
33. 威尔格斯主编.徐怀大, 魏魁生, 洪卫东等译.层序地层学原理（海平面变化综合分析）. 石油工业出版社.1993, 47~254

致谢

本论文是在导师国景星教授与周心怀高级工程师的精心指导下完成的。从论文开题选题、研究思路设计及论文的编写与修改等各个环节都倾注了两位导师大量的心血。他们严谨的治学态度、渊博的知识、科学的思维方法、实事求是的工作作风和诲人不倦的精神是为人师表的典范和楷模。在此，对导师国景星教授与周心怀高级工程师对我的培养、关怀表示衷心的感谢！

本论文主要是本人在渤中勘探工作中的一些总结与认识，在论文的编写过程中得到了项目全体成员帮助，特别是徐长贵经理给予了大力指导，在此表示衷心的感谢！

本论文在完成过程中得到了中海石油（中国）有限公司天津分公司渤海油田勘探开发研究院各级领导和专家的关心和指导，在此表示衷心的感谢！

中海石油（中国）有限公司天津分公司渤海油田勘探开发研究院各勘探项目队在论文编写过程中提供了许多宝贵的资料，在此也一并表示感谢！

最后，向所有对本人关心、支持、鼓励和帮助的老师、领导、师傅和同仁表示衷心的感谢！

个人简历、攻读硕士学位期间取得的研究成果

本人 1998 年毕业于石油大学（华东）石油与天然气地质勘查专业，取得学士学位。之后即进入渤海石油研究院工作，2003 年 8 月进入中海石油（中国）有限公司天津分公司渤海油田勘探开发研究院工作。期间（2004 年至今），在中国石油大学（华东）地球资源与信息学院攻读地质工程专业硕士学位。

本人参加工作至今已经 10 年，主要从事过地层储层专题研究、区带综合评价和有利目标优选等方面的工作。2003~2008 年期间，在渤中勘探项目从事渤中坳陷地区综合地质研究时，曾先后承担了旅大 32-2、蓬莱 14-3、秦皇岛 21-1、秦皇岛 34-4、秦皇岛 35-2、秦皇岛 35-4、渤中 3-2 等多个构造钻后评价工作，完成秦南凹陷秦皇岛 21-30 构造区、渤东低凸起围斜及东斜坡区、渤中凹陷渤中 6 构造区、渤中 8 构造区、石南斜坡区等多个区带地质综合研究与目标井位预审工作，通过的多口井位钻探后获得成功。2009 年初进入渤南勘探项目，目前从事黄河口与莱州湾地区地质综合研究。在学期间参加的科研项目与获奖情况：

1. 2005 年 《渤中探区地质油藏预测和精细研究技术》天津分公司科技进步二等奖
2. 2006 年 《渤中探区地质油藏精细研究技术》天津分公司科技进步三等奖
3. 2007 年 《创新研究思路、精细化勘探项目研究》天津分公司科技进步三等奖
4. 2008 年 《渤中西斜坡油气勘探新思路、新认识及新发现》天津分公司科技进步二等奖
5. 2009 年 《石南陡坡带中深层勘探新进展》天津分公司科技进步二等奖