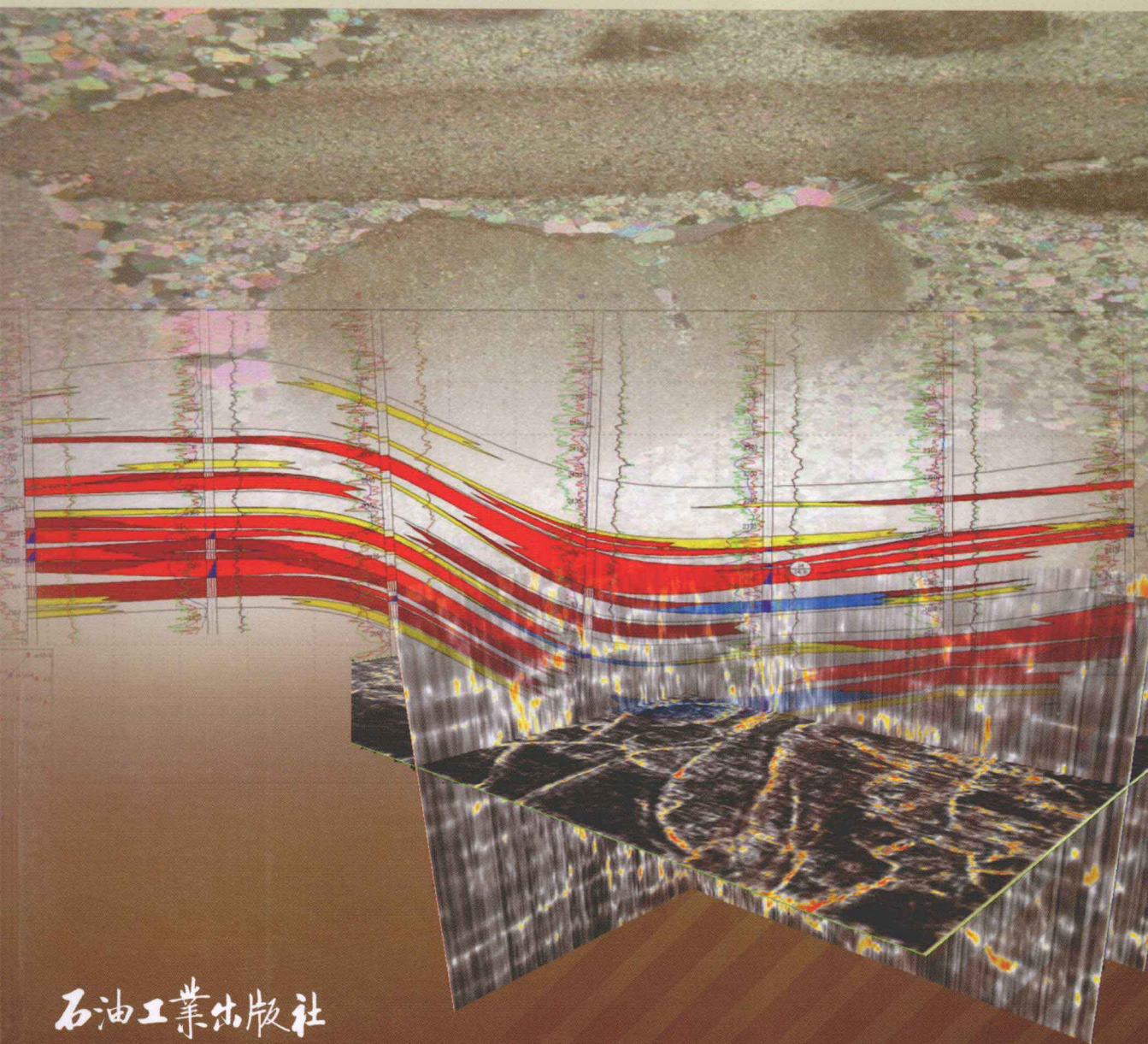


吉林大情字井油田 复杂岩性油藏评价与预测

魏兆胜 刘运成 于孝玉 张金亮 著



石油工业出版社

吉林大情字井油田 复杂岩性油藏评价与预测

魏兆胜 刘运成 于孝玉 张金亮 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书针对松辽盆地南部大情字井油田青山口组油藏储层非均质性强、剩余油分布复杂、开采难度大、油藏认识难的特点,以精细油藏描述技术为手段,综合运用地震、地质、地球化学、测井、录井、试油、分析化验等资料,建立了大情字井地区高分辨率等时地层格架;在沉积环境和物源分析的基础上,明确了大情字井油田的沉积演化特征与储层性质并对储层进行综合分类评价,预测了有利储层分布;通过向斜构造背景下成藏机理的研究,总结油藏成藏规律和成藏模式。本书详细论述了向斜背景下低渗透油藏的成藏模式,体现了当前储层描述的前缘研究。

本书可作为石油勘探开发领域的科技工作者和管理者参考用书,也可供石油院校、地质院校与油气勘探开发专业有关的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

吉林大情字井油田复杂岩性油藏评价与预测/魏兆胜等著.
北京:石油工业出版社,2011.9
ISBN 978-7-5021-8716-3

I. 吉…

II. 魏…

III. 复杂地层-岩性油气藏-油藏评价-研究-吉林省

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 197527 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:25.5

字数:640 千字 印数:1—1000 册

定价:100.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

大情字井油田是吉林油田具有超亿吨级储量规模的大型岩性油藏群。自 1999 年发现以来,随着产能建设工作的持续进行,隐蔽岩性油藏面临的勘探开发难度越来越大,对油气富集规律和有利区优选的要求越来越高。特别是在对大情字井油田开发上,尚存在诸多技术难点,例如在沉积上,随着对“单坝体控藏”认识的深入,坝体的形态及分布特征成为制约勘探开发的瓶颈;在裂缝研究上,迫切需要形成一套对储层裂缝的空间分布与产状特征、裂缝性储层的类型识别、裂缝孔渗特征进行定量描述的技术方法;在储层上,各区块各层段物性主要以低孔低渗为主,形成油水分布复杂的低阻油藏,流体识别难度非常大,这些都给勘探开发带了极大的困难。

近年来,大情字井油田工作者在不断发现油气储量的同时,不断深入探索向斜背景下低渗透岩性油气藏形成机理,归纳和总结复杂岩性油气田开发经验,在油水关系复杂的低渗、超低渗油气田的勘探开发领域走在了国内甚至世界的前列,这不仅对维持我国油气资源的稳定发展贡献极大,同时对我国陆相低渗储层石油地质理论及开发技术也具有很高的学术价值。

魏兆胜、刘运成、于孝玉、张金亮教授所著《大情字井油田复杂岩性油藏评价与预测》一书,综合运用地震、地质、地球化学、测井、录井、试油、分析化验等资料,开展了储层沉积学研究。在高分辨率层序地层学研究的基础上,对青山口组各小层的沉积微相和储层性质进行了综合表征;结合地震技术实现了储层的有效砂体识别与预测;建立单井评价到多井评价的流体识别技术体系,有效解决了复杂岩性油藏的流体识别问题;通过向斜构造背景下成藏机理的研究,总结了油藏成藏规律和成藏模式。

该书对全面掌握现阶段松辽盆地南部大情字井油田地质研究现状和开发地质学方面存在的问题,具有重要的指导作用和借鉴意义。这些青年学者善于综合实践、敢于探索创新的科学态度和钻研精神,非常值得称赞。这是一部有关油气开发地质学的力作,她的出版丰富了我国油气地质理论,值得读者一阅,定为受益匪浅。在该专著付梓之前,作序以表祝贺之忱。

中国科学院院士



2011 年 7 月 16 日

前 言

大情字井油田位于松辽盆地南部中央坳陷区长岭凹陷的中部，是吉林油田具有超亿吨级储量规模的大型岩性油藏群，纵向上有4套含油层系，自下而上依次为：扶余油层、高台子油层、葡萄花油层和黑帝庙油层，主要含油层系为高台子油层。大情字井地区构造形态总体表现为“两坡一坳”的向斜型构造格局；向斜的轴部走向近南北向，两翼不对称，东缓西陡。

自1999年开始，通过对大情字井油田沉积微相、砂体展布与构造面貌的配置关系的系统分析研究，形成了“青山口组有效烃源岩与渗透性砂岩的有机配置，宏观上控制并形成了大情字井地区在向斜部位大面积含油”的认识，由此大情字井地区从构造圈闭勘探为目标转向岩性圈闭勘探。从2000年开始在黑47、黑46区块开辟开发试验区，基本查清了两个区块油藏特征和类型，同时暴露出油藏的复杂性。2002—2003年以开发低幅度构造油藏为主实现了规模动用，同时开发工艺方面开展了配套技术综合攻关，有效注水逐步取得成效，储层改造、注水工艺逐步成熟，有效支撑了油田的开发。2004—2006年在兼顾低幅度构造油藏开发的基础上，按照“依托构造打岩性”的部署原则重点落实岩性油藏，但规模较小、产能较低，油田的开发步入低谷。2007—2008年继续深化油藏认识，按照“勘探思路”指导井位部署，进一步提出微构造、小挠曲及小平台同样可以获得高产的认识，同时结合外围评价区及探明区新层位的突破，实现大情字井油田规模效益开发。

2008年以后由于具有构造背景的油藏开发殆尽，产能建设愈发困难，单井产能低，区块规模小，多以零星外扩为主，有效砂岩精细刻画及提高单井产能成为制约大情字井油田下步效益开发的瓶颈。同时隐蔽岩性油藏面临的开发难度越来越大，对油气富集规律和有利区优选的要求越来越高，加之研究区含油层系多，地质情况复杂，因此对油藏类型、成藏规律和成藏模式的认识需要不断更新，同时需要不断优化、提升现有的有效储层和流体识别技术。

本书以大情字井油田高台子油层（青山口组一、二、三段）作为目的层，以层序地层学、储层沉积学和石油地质学理论为指导，以精细油藏描述技术为手段，基于“重视基础，贴近生产，整体解剖”的原则，综合运用地震、地质、地球化学、测井、录井、试油等分析化验资料，建立了大情字井地区高分辨率等时地层格架，对1800余口井含油层系进行了小层精细划分和对比统层；利用微量元素、泥岩色值、重矿物ZTR指数、古流向，以及砂岩成分成熟度等指标，对各层段的区域古沉积环境和物源方向进行了判别；根据详细的岩心观察和描述，明确了大情字井油田沉积相类型，搞清了沉积微相和储集砂体的时空展布特征，建立了沉积演化模式；以宏观和微观相结合，综合研究砂体微相、储层孔隙结构与含油性、有效砂体地震识别与预测，确定储层的主控地质因素，对储层进行综合分类评价，预测了有利储层分布；通过大情字井油田向斜构造背景下成藏机理的研究，分析岩性和微构造发育在油气成藏过程中的作用，总结油藏成藏规律和成藏模式，确定油气分布的主要控制因素；在油藏地质规律认识的基础上，应用微构造、沉积微相、有效砂体和复杂流体识别等多

种技术手段，确定含油层系有效砂体的分布范围，优选油气富集区块。

本书由魏兆胜、刘运成、于孝玉、张金亮编写，并由魏兆胜负责全书文字和图件的审定统稿工作。该书为近年来大情字井油藏评价部分研究成果。先后参加研究工作的有张辉、陈玉明、李晓松、于桂兴、林晓海、于利民、张立冬、冯蓉辉、李存磊、李德勇、唐明明、刘婷、宋爱学、董紫睿、任伟伟、黎明、李雪、丁芳、赵红娟、李莎莎、王山章、霍晓敏、代云娇、张鹏辉、李维禄、罗忠琴、张明、闫伟等多位同志。本书的编写得到了中国石油吉林油田公司许多单位和个人的关心和帮助，吉林油田勘探开发研究院工作人员提供了许多成果和资料，为研究工作提供了必要的基础。吉林油田勘探开发研究院和科技处多位同志对本书初稿进行了审阅，并提出了具体修改意见。对于所有关心、帮助本书编写和出版工作的单位和个人，在此一并致谢。

由于基础研究工作繁重，研究时间很短，有些观点还没有上升到理论高度，加之编写者水平有限，书中难免存在一些问题和不妥之处，敬请各位读者批评指正。

2010 年 11 月 20 日

目 录

第一章 油田地质概况	(1)
第一节 地层发育特征	(2)
第二节 构造格局与构造演化特征	(4)
第二章 高分辨率层序地层学研究	(8)
第一节 概述	(8)
第二节 青山口组层序界面的识别	(9)
第三节 高分辨率层序地层划分	(15)
第四节 高分辨率层序地层格架的建立	(22)
第五节 精细小层划分	(26)
第三章 沉积环境与物源分析	(34)
第一节 概述	(34)
第二节 泥岩颜色指数与沉积环境	(34)
第三节 稀土元素分析	(40)
第四节 岩石学特征与物源分析	(45)
第五节 古流向分析	(56)
第六节 化学岩石学特征	(61)
第四章 沉积微相与砂体展布	(65)
第一节 概述	(65)
第二节 水进型三角洲沉积体系	(66)
第三节 高破坏性三角洲沉积体系	(91)
第四节 三角洲沉积体系	(108)
第五节 风暴沉积	(127)
第六节 沉积演化模式	(131)
第七节 沉积微相与砂体分布	(134)
第五章 精细储层评价	(179)
第一节 成岩作用与成岩演化阶段	(179)
第二节 储层性质及其影响因素	(194)
第三节 储层孔隙结构特征及储层评价	(216)
第六章 有效砂体识别与预测	(239)
第一节 概述	(239)
第二节 高精度三维地震处理技术	(241)
第三节 构造精细解释技术	(245)
第四节 地震储层预测技术	(263)
第七章 流体识别与流体分布	(287)

第一节	概述	(287)
第二节	低阻储层基本特征与储层分类	(288)
第三节	四性关系及测井解释模型	(293)
第四节	低渗透油藏流体识别方法研究	(301)
第五节	油藏流体分布规律	(320)
第八章	储层建模	(327)
第一节	概述	(327)
第二节	大情字井地区部分区块的储层建模	(331)
第九章	基于断裂力学的储层裂缝分布规律研究	(339)
第一节	大情字井地区裂缝发育分析	(339)
第二节	储层裂缝预测模型	(348)
第十章	油气成藏规律与富集区优选	(355)
第一节	油气成藏条件	(355)
第二节	典型油藏解剖	(366)
第三节	油气成藏规律与成藏模式	(378)
第四节	油气分布控制因素与有利富集区优选	(385)
参考文献		(393)

第一章 油田地质概况

大情字井油田位于松辽盆地南部中央坳陷区长岭凹陷的中部。长岭凹陷由两个次一级凹陷构成，北部为乾安次凹陷，南部为黑帝庙次凹陷，大情字井构造处于两个次凹陷的鞍部，东西为华字井阶地和大安—红岗阶地所夹持。大情字井油田东北与乾安油田相通，东南与华字井阶地的乾133井区相接，南部为黑帝庙南地区，西北为大安—红岗阶地的海坨子油田（图1-1），区域构造位置十分有利，蕴藏着丰富的油气资源，是吉林油田超亿吨级规模的大型岩性油藏群，勘探面积约1500km²。

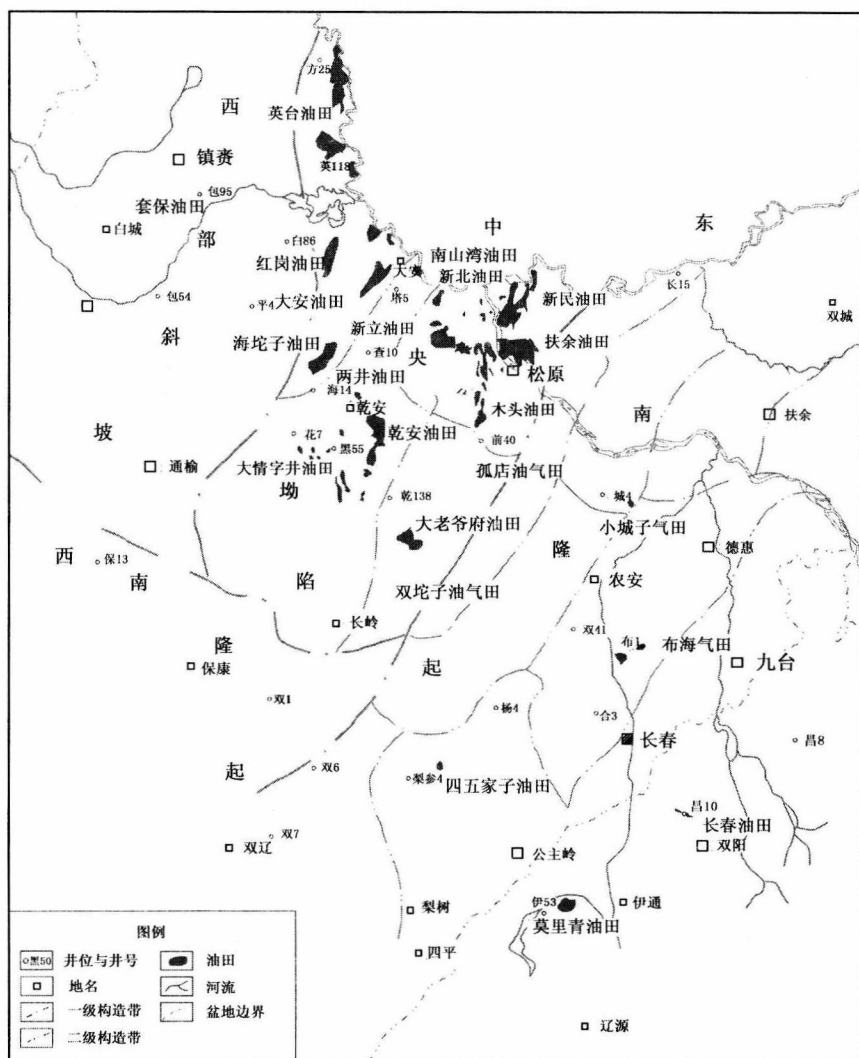


图1-1 松辽盆地中央坳陷区大情字井油田区域构造位置图

第一节 地层发育特征

区域研究表明, 泉头组沉积中晚期至嫩江组沉积末期, 松辽盆地经历了两次大的湖水扩张—兴盛—衰退的演变史, 在沉积剖面上形成了两个完整的二级复合沉积旋回。青山口组沉积早期是松辽湖盆第一次兴盛期的开始, 中晚期至姚家组沉积早期, 湖盆开始衰退萎缩。姚家组沉积晚期, 松辽湖盆开始第二次扩张, 到嫩一段和嫩二段时期, 湖泛达到顶峰, 此时, 湖盆面积最大, 之后便逐渐萎缩、消亡。在此期间, 松辽盆地不仅沉积了优质的碎屑岩油气储层, 更重要的是沉积了分布范围广、厚度大的青一段、青二段和嫩一段、嫩二段半深湖—深湖相暗色泥岩。暗色泥岩不仅是该区良好的生油岩系, 而且构成了区域性盖层, 期间多次的水体进退亦可形成重要的局部盖层。

自中、新生代以来, 大情字井地区长期处于盆地沉积和沉降的中心轴线上, 地层发育齐全, 局部发生过岩浆侵入和火山喷发。区内钻遇的主要地层自下而上依次为: 白垩系下统泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组, 白垩系上统四方台组、明水组, 新近系大安组、泰康组, 第四系。其中泉头组主要为泉四段, 青山口组包括青一段、青二段和青三段, 姚家组包括姚一段和姚二+三段, 嫩江组包括嫩一段、嫩二段、嫩三段、嫩四段和嫩五段, 明水组包括明一段和明二段。在地层剖面中, 泉四段—嫩江组为连续沉积, 至晚白垩世末, 受燕山运动 V 幕及其以后构造运动的影响, 嫩江组沉积末期至现今不同沉积阶段的地层之间均为不整合接触, 同时嫩五段和明二段地层还发生了不同程度的缺失 (表 1-1)。

大情字井油田纵向上有 4 套含油层系, 自下而上分别为: 扶余油层、高台子油层、葡萄花油层及黑帝庙油层, 主要含油层系为高台子油层。高台子油层是本书研究的主要目的层, 油层埋藏深度介于 1950 ~ 2250m 之间, 包括青一段、青二段和青三段 3 个油层段。

青一段沉积时期, 松辽盆地急剧扩张, 湖侵迅猛, 大情字井地区突变为半深湖相沉积环境, 发育了一套水进型三角洲沉积体系, 主要为三角洲前缘亚相。此段地层岩性主要为灰黑色泥岩、灰色、深灰色粉砂质泥岩和灰色粉砂岩 (局部含钙) 组成的不等厚互层, 地层厚度为 100 ~ 120m, 在研究区的东北部较厚, 西南部较薄, 是区域标志层。砂岩主要在大情字井地区南部发育。青一段地层自然电位曲线负异常明显, 呈中—高幅度, 整体显现一个下粗上细的正旋回水进式沉积; 2.5m 电阻率曲线值较高, 上段呈锯齿状, 下段为台阶状尖峰; 自然伽马大部分井段呈平直形, 局部为指状; 声波时差在研究区北部较大, 青一段底与泉四段顶之间存在明显的台阶, 可作为地层对比的辅助标志。

青二段沉积时期, 松辽湖盆基本保持稳定, 整体略有退缩, 大情字井地区发育缓慢进积的高破坏性三角洲前缘和前三角洲沉积。青二段地层岩性主要为灰色、深灰色、灰黑色及灰绿色泥岩、深灰色、浅灰色、灰色泥质粉砂岩和灰色、浅灰色粉砂岩夹含钙、钙质粉砂岩的不等厚互层, 地层厚度为 160 ~ 200m。自然电位曲线在大情字井油田南部负异常明显, 中等幅度, 整体呈两个反旋回段。2.5m 电阻率曲线泥岩基线值比青三段大, 存在明显台阶, 可作为地层对比的辅助标志。声波时差整体变化较小, 在底部略为变大。自然伽马曲线较平直, 部分呈指状异常。

青三段沉积时期, 大情字井地区湖水退缩剧烈, 开始出现三角洲平原亚相沉积, 纵向上呈现明显的向上变粗的水退层序。地层岩性为棕红、紫红色及灰色泥岩, 粉砂质泥岩夹灰色、褐灰色泥质粉砂岩、粉砂岩。在大情字井油田南部青三段地层厚度一般为 250 ~ 300m,

北部约为 350 ~ 390m。自然电位曲线负异常明显，呈中—低幅度。2.5m 电阻率曲线呈小锯齿状，部分有尖峰，泥岩基线值明显低于青二段。另外，在乾 124 井和乾 139 井的青三段底部发育大套玄武岩，厚度分别为 62.5m 和 57m。

表 1-1 松辽盆地中央坳陷带大情字井地区地层发育特征表

地层系统				油层名称	反射标准层	厚度 (m)	岩性描述	接触关系
系	统	组	段 (代号)					
第四系						50 ~ 90	黄土、黏土，底部为砂砾岩层、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩组成不等厚互层	
新近系	泰康组 (Nt)				T ₀₁	80 ~ 130	杂色砂砾岩，夹绿灰色泥岩	
	大安组 (Nd)				T ₀₂	60 ~ 80	以绿灰色泥岩为主，下部及底部各发育一层杂色砂砾岩	
白垩系	上统	明水组	二段 (K ₂ m ₂)		T ₀₂	245 ~ 255	上部为暗紫色泥岩；中部为紫灰色泥岩与灰色、灰绿色、紫灰色泥质粉砂岩组成的不等厚互层；下部为暗紫色泥岩，底部发育一薄层粉砂质泥岩	
			一段 (K ₂ m ₁)		T _{02'}	240 ~ 250	主要为紫红色、绿灰色泥岩，间夹灰色粉砂质泥岩、灰白色泥质粉砂岩薄层，偶见灰色泥岩	
		四方台组 (K ₂ s)				320 ~ 380	上部为杂色泥岩与杂色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩组成不等厚互层；下部为灰色、棕红色泥岩，间夹灰色泥质粉砂岩、粉砂岩	
		嫩江组	五段 (K ₂ n ₅)	黑帝庙油层	T ₀₃	60 ~ 100	棕色、灰绿色、灰色泥岩，含粉砂质泥岩、泥质粉砂岩薄层	
			四段 (K ₂ n ₄)		T ₀₄	250 ~ 300	以灰色、深灰色泥岩为主，间夹粉砂质泥岩、泥质粉砂岩，偶见紫红色泥岩	
			三段 (K ₂ n ₃)		T ₀₅	100 ~ 130	泥岩为主，含粉砂质泥岩	
			二段 (K ₂ n ₂)		T ₀₆	90 ~ 100	上部为大段灰色泥岩；底部为灰黑色、褐灰色油页岩，为区域标志层	
			一段 (K ₂ n ₁)		T ₀₇	60 ~ 70	大段灰黑色泥岩为主，局部具油页岩和绿灰色泥质粉砂岩薄层	
		姚家组	二+三段 (K ₂ y ₂₊₃)	萨尔图油层	T ₁	75 ~ 85	以大段紫红色泥岩为主，夹粉砂质泥岩	
			一段 (K ₂ y ₁)	葡萄花油层		55 ~ 65	棕红色、紫红色泥岩为主，含粉砂质泥岩、泥质粉砂岩	
		青山口组	三段 (K ₂ qn ₃)	高台子油层	T _{1'}	300 ~ 320	以紫红色泥岩为主，偶见灰绿色泥岩，间夹杂色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩。	
			二段 (K ₂ qn ₂)		T _{1''}	180 ~ 200	主要为灰黑色、灰绿色泥岩与杂色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩组成不等厚互层，偶见浅灰色粉砂质泥岩	
			一段 (K ₂ qn ₁)		T ₂ *	100 ~ 120	灰色、灰褐色粉砂岩（局部含钙）与灰黑色、黑色泥岩互层，见介形虫及黄铁矿	
	下统	泉头组	四段 (K ₁ q ₄) (未穿)	扶余油层	T ₂	80 ~ 100	主要为灰黑色、紫红色泥岩与灰色、褐灰色粉砂岩、细砂岩组成互层，上部偶见灰绿色泥岩	

第二节 构造格局与构造演化特征

一、构造格局

大情字井地区深层泉四段至浅层姚一段宏观构造具有继承性, T_1 — T_2 各反射层构造形态基本一致, 总体格局为北北东走向的长轴向斜, 呈现“两坡一坳”的构造面貌形态。向斜东西两翼不对称, 西翼较陡, 东翼较缓, 轴部断裂尤其发育。断层走向多与向斜构造轴向一致, 为南北向或北北西向, 走向相对单一, 断层之间很少相交或相切, 倾向多与地层倾向相反。向斜东、西两翼靠近轴部的区域多发育顺向正断层, 向斜构造两翼上多发育反向正断层。

大情字井向斜轴部位于黑 44 井—乾 139 井—乾 110 井—线上, 轴向北北东向, 沿轴部发育的北北东向展布的断裂复杂带将轴部复杂化。断裂带由一系列北北西向延伸的正断层组成, 断层相向而倾, 在向斜轴部形成断堑和断阶, 将向斜构造切割成多个局部低幅度构造, 同时断堑两侧发育了一系列局部断鼻构造。其中泉四段 (T_2 反射层) 和青一段 (T_2^* 反射层) 顶面的向斜轴部复杂断裂带上, 断层数量多, 但规模较小, 断层延伸长度一般为 2 ~ 4km, 断距一般为 20 ~ 40m; 青二段顶 (T_1'' 反射层)、青三段顶 (T_1' 反射层) 及姚一段 (T_1 反射层) 顶面的向斜轴部断裂相对不发育, 断层数量比泉四段和青一段少一半左右。

向斜西翼是被断层复杂化的东倾斜坡; 坡度较陡, 地层倾角约 2.5° 。断层比较发育, 均为正断层。断层走向以北北西向为主, 延伸长度一般为 1 ~ 8km, 断距一般为 5 ~ 50m, 受断层控制由南到北形成了垒、堑、阶相间的构造格局, 局部发育低幅度构造。泉四段顶面 (T_2 反射层) 断层数量最多, 向上逐渐减少。断层在平面上分带性较强, 呈雁行式排列, 剖面上表现为明显的阶梯状和堑式结构。

向斜东翼构造相对简单, 为一西倾单斜, 地层倾角较缓, 约为 1.5° 。断层不发育, 数量相对较少, 断层走向以南北向为主, 延伸长度一般为 2 ~ 4km, 断距一般为 10 ~ 35m。

研究中对大情字井地区重点层组的顶面构造特征进行了精细刻画。青一段断层较为发育, 尤其在向斜核部平缓地区, 发育一系列密集的近南北向的小断层带, 平行向斜轴部排列, 向斜轴部位于黑 48 井—乾 124 井—乾 156 井一带。向斜东翼分布范围大, 但断层不发育, 越靠近东南方向, 地层倾角越大, 局部地区可达 5° 左右。向斜西翼断层发育, 主要发育近南北向或北北西向展布的正断层。在断层附近断鼻构造非常发育 (图 1-2); 与青一段相比, 青二段断层不发育, 大部分断层走向为近南北向和北北西向, 向斜核部地形平缓, 在断层的作用下发育多个低幅度断鼻构造, 基本继承青一段的构造格局 (图 1-3); 青三段地层整体较为平缓, 向斜核部黑 49 和黑 106 井区的地层倾角均小于 1° , 黑 43 井区断层较为发育, 走向多为北北西向的小断层, 延伸长度为 0.5 ~ 3.5km。向斜两翼倾角在 2° 左右, 东缓西陡, 长深 16 和黑 123 井区地层较陡, 倾角可达 $3^\circ \sim 4^\circ$ 。向斜东南部地势较高, 与轴部高差可达 500m (图 1-4)。

二、构造演化特征

长期发育的大情字井—老英台隐伏古隆起控制了大情字井地区的沉积演化和构造演化。侏罗纪末期燕山运动Ⅲ幕, 使该区哈尔金、黑帝庙、情南等深层构造基本定型; 嫩江组沉积末期燕山运动Ⅳ幕致使该区开始发生构造反转, 低幅度构造具雏形; 明水组沉积末期的燕山

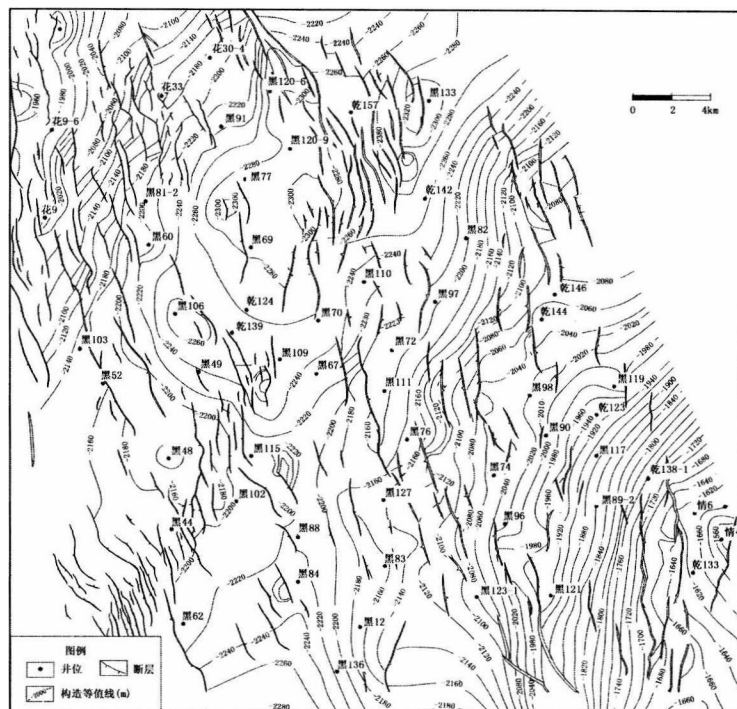


图 1-2 大情字井地区青一段顶面构造图

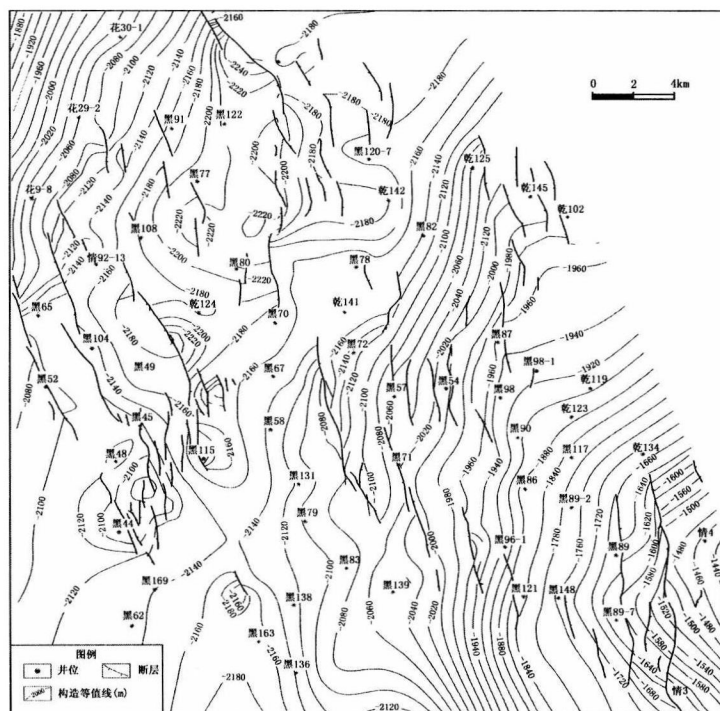


图 1-3 大情字井地区青二段Ⅳ砂组顶面构造图

应力控制，湖盆整体下降接受了一套早期半深湖相和后期滨浅湖相的嫩江组沉积。嫩一段、嫩二段沉积时期湖盆进入鼎盛期，嫩四段沉积期，沉积厚度变化趋于平缓，沉积中心移向乾135井附近。

晚白垩世地壳挤压应力进一步加强，松辽盆地接受了一套数百米厚的以河流—湖泊相砂泥互层为主的四方台组 and 明水组沉积。明水期末受燕山运动 V 幕的影响，大情字井地区整体受挤压应力控制使沉积盖层发生反转，形成“一隆两凹”的构造格局。其后受喜马拉雅运动控制，接受来自西南方向和东部挤压应力的共同作用，沉积了厚约 200m 的河流相地层，结束了全区构造演化（图 1-5）。

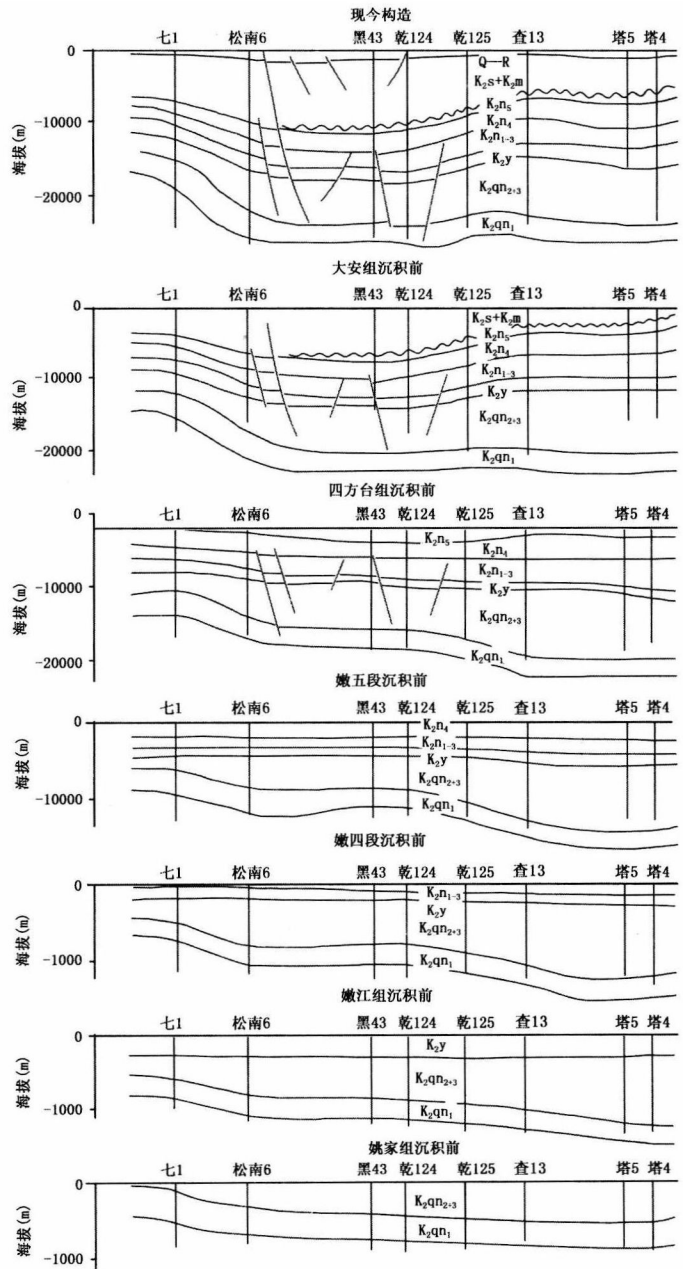


图 1-5 大情字井地区构造演化图

第二章 高分辨率层序地层学研究

第一节 概 述

关于大情字井油田的层序划分方案国内很多学者已经做过相关研究。马世忠等（2002）根据单井测井相和测井层序分析，遵循大情字井与乾安 K_2qn_2 、 K_2qn_3 分界的一致性及全区系统性特征进行了对比，并将大情字井地区划分出 8 个地层段、26 个砂组、56 个小层、71 个界线。李群等（2003）应用大量钻井、测井和地震等资料，建立层序地层格架，分析了大情字井地区层序地层发育特征，将白垩系青山口组和姚家组共划分 5 个三级层序。上述研究对大情字井地区进行了详细的小层对比，但是由于研究区层段厚、标准层少、岩性及地层厚度变化快、断层多井疏密差异大，造成大情字井与乾安地区青三段各砂组界线不统一，青一段、青二段各砂组、小层界线不统一，青三段下部厚层砂体的归属不明确。

针对上述问题，采用高分辨率层序地层学理论对大情字井油田青山口组地层的层序划分进行了系统研究。以 T. A. Cross（1994, 1998）为代表的高分辨率层序地层学（High-resolution Sequence）的理论核心是：在基准面旋回变化过程中，由于可容纳空间与沉积物补给通量比值的变化，相同沉积体系域或相域中发生沉积物的体积分配作用，导致沉积物的保存程度、地层堆积样式、相序、相类型及岩石结构发生变化，这些变化是在基准面旋回中所处的位置和可容纳空间的函数。邓宏文（1995, 1996）认为基准面是一个抽象的动态的非物理面，受海平面变化、构造沉降、沉积负荷、沉积物补给、沉积地形等因素的综合影响。基准面位置的改变，引起可容纳空间的变化，从而在一个区域的不同时间可能发生沉积作用、侵蚀作用、沉积物过路等各种不同的地质作用状态，在地层中留下不同的岩石类型与界面组合。陆相地层同海相地层一样，具有旋回性、韵律性、周期性，这些性质与基准面变化的周期性、旋回性有关。地层基准面在变化过程中，总是表现出向最大值或最小值单向移动的趋势，构成一个完整的基准面上升与下降旋回，这种基准面的周期性、韵律性上升与下降称为基准面旋回。多级次基准面旋回在地层中留下多级次的地层旋回，不同的旋回组合关系与油气的生储盖组合关系、区域构造运动、区域地理气候变化的叠加，其对应的高频层序适合盆地局部的地层对比和油气预测。低频旋回可能受控于区域构造运动或全球构造运动变迁和区域气候变化，其对应的低频层序则适合与全盆地乃至与不同盆地在相同构造域内的地层对比，并建立全盆地层序格架。这就决定了以地层基准面或平衡剖面理论为基础的高分辨率层序地层学在陆相地层中的适用性。郑荣才等（2000, 2001）将不同构造性质的湖盆在盆地构造—沉积演化序列中的控制因素进行分类，根据界面成因特征提出了“巨旋回、超长周期旋回、长期旋回、中期旋回、短期旋回、超短期旋回”的划分方案，建立了各级次旋回的划分标准，厘定了各级次旋回的时间跨度，在这 6 类界面所限定的各级次基准面旋回中，均可发育有级次和规模相当的湖泛面，相对各级次旋回的底、顶界面具有不同程度的穿时性。因为湖泛面具有更好的等时性和区域对比意义，以及更高的分辨率，所以在实际工作中通常

以界面为层序划分依据,而湖泛面则为最重要的等时对比界面标志。

大情字井油田经过多年的勘探开发,积累了大量的地震、钻井、岩心、录井和测井等资料,具备进行高分辨率层序地层研究的良好条件。本章主要以高分辨率层序地层学、沉积学等理论方法为基础,通过对研究区取心井详细的观察和描述,采用“旋回对比、分级控制”的原则,对青山口组各段地层进行了各级次基准面旋回层序的识别、划分和对比,通过单井的层序地层划分和对比结果,最终建立了大情字井油田青山口组的高分辨率层序地层等时对比格架,从而为进一步研究沉积微相和砂体展布规律等奠定基础。

第二节 青山口组层序界面的识别

层序界面的识别是陆相盆地层序分析的关键,确定界面的地质属性、界面的发育规模是对层序进行分析、确定层序级别和成因类型,以及建立区域等时地层格架的基础。本节主要根据地震、钻井岩心、录井和测井等资料,充分考虑到研究区地层划分、对比的情况及生产单位的习惯,对大情字井油田青山口组顶、底及内部各层段的层序界面进行了较为系统的识别。随着大情字井油田地质研究工作的不断深入,其勘探开发工作逐渐由构造圈闭勘探为目标转向岩性圈闭勘探,即隐蔽性油藏勘探阶段。对于旋回级次的精细划分、对比精度要求更高,地震资料的精度已很难满足生产要求,一般只能大致圈定最大级次的旋回。因此研究中用岩心标定常规测井曲线,赋予测井曲线沉积学的意义。将岩心与测井的层序界面识别标志有机结合,辨认出地层的叠加样式,在单井中划分出不同级次的基准面旋回,并进行多井对比,最终建立研究区高分辨率层序地层格架。

一、地震识别

地震层序是从地震剖面上识别出来的以不整合面及与之可对比的整合面为界的、内部反射相对整一的地震反射单元。地震层序边界可理解为不整合面或与之可对比的整合面在地震剖面上的响应。地震剖面应用于层序划分和基准面旋回识别的关键是层序边界的识别。

1. 目的层段主要反射界面特征

T_1' 、 T_1'' 、 T_2^* 、 T_2 4 个反射界面为主要的解释层位,经层位标定后建立了这 4 个地震反射标准层与研究目的层地质界面之间的对应关系,各反射标准层的反射特征及地质意义为:

T_1' 反射层:相当于姚家组底界面的反射,为区域标准层(图 2-1、图 2-2)。在地震剖面上有明显的波阻抗界面,反射能量强。反射波组由两个相位组成,连续性较好,全区可对比追踪。

T_1'' 反射层:相当于青山口组三段底界面的反射(图 2-1、图 2-2)。在地震剖面上有明显的波阻抗界面,连续性好,全区可连续对比追踪。界面上部为弱振幅乱岗状反射,下部为高连续强反射,说明从下往上水体由深变浅,沉积环境由稳定到动荡。

T_2^* 反射层:相当于青山口组二段底界面的反射(图 2-1、图 2-2)。此反射层发育最大湖泛面,地震剖面上波阻抗界面明显,反射能量强,连续性好,全区可连续对比追踪。在界面上下均为低频连续中强振幅平行整一反射,说明是在较深水稳定环境下的沉积地层。

T_2 反射层:相当于青山口组一段底界面的反射,为区域标准层(图 2-1、图 2-2)。在研究区,由于青一段暗色泥岩较厚,与下伏泉四段砂泥岩地层间有明显的波阻抗界面,因此,在地震剖面上反射能量较强,表现为中强振幅、连续性较好的反射特征。反射层一般由