

李彦芳 李国惠 辛仁臣 编著

松辽盆地头台地区 薄层砂岩储层研究



石油工业出版社

573440

号 280 字 答 雅(京)

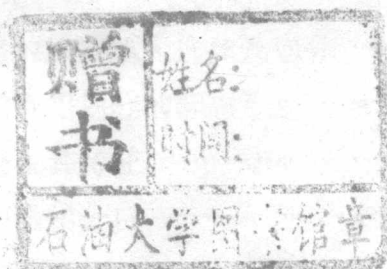
P618.130.2

477

薑蔥焗肉

松辽盆地头台地区薄层砂岩储层研究

李彦芳 李国惠 辛仁臣 编著



石油工业出版社



石油大学

0618698

022852
154/081.819
(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本书综合利用岩芯、录井、测井、地震资料,运用沉积学、储层地质学,及测井地质学、地震地层学和数学地质等各学科先进理论、技术,系统地研究了薄层砂岩的沉积特征、沉积微相及沉积模式、砂体的分布、成岩作用、孔隙成因、孔隙分布规律和砂岩储层非均质性特点,进而对砂岩储层进行了多参数的综合数值评价和砂岩储层预测。在理论和方法上作了尝试,为研究薄层砂岩储层开辟了一条途径,并起到了抛砖引玉的作用。

本书可供从事油田勘探、油田开发的地质人员,以及其它从事沉积矿产的地质人员和地质院校的教师、高年级学生参考。

松辽盆地头台地区薄层砂岩储层研究

李彦芳 李国惠 辛仁臣 编著

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

河北省徐水县冀强印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 $6\frac{5}{8}$ 印张 158 千字 印 1-500

1994 年 1 月第 1 版 1994 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1054-2 / TE · 980

定价:5.50 元

目 录

随着油气勘探和开发的进行,厚层砂岩储层(厚度大于 20m,甚至 10m)的油气藏多数已被探明,并投入开发。特别是老油气田,为寻找后备储量的目标,勘探重点已转向薄层砂岩储层油气藏。因此,“八五”期间,大庆油田组织了大量的人力、物力、财力,开展了大庆长垣两侧扶杨油层薄层砂岩油气藏勘探配套技术研究,其中,薄层砂岩储层预测是其中主要内容之一。我们在 1991~1992 两年期间,对松辽盆地北部头台地区扶、杨油层的薄层砂岩储层进行了深入细致的研究,本书就是对这一研究成果的总结。

本书前言、绪论、第一章、第二章由辛仁臣执笔,第三章、第四章由李彦芳执笔,第五章、第六章、第七章、第八章由李国惠、李彦芳执笔。全书由李彦芳统一修改定稿。

由于作者学术水平及实践经验有限,再加上薄层砂岩预测是一崭新的研究领域,书中难免有许多不妥乃至错误之处,希望广大读者批评指正。

第一章 沉积微相研究	(1)
第一节 沉积微相研究的地层单元选择及划分	(20)
第二节 扶杨油层沉积微相划分的标志系统	(20)
第三节 沉积微相类型及其特征	(33)
第四节 联井剖面沉积微相分析	(33)
第五节 砂体平面展布特征研究	(33)
第六节 沉积微相平面展布特征研究	(36)
第七节 物源分析	(41)
第八节 扶杨油层沉积演化规律及沉积模式	(43)
第四章 扶杨油层薄层砂岩成岩作用特征	(48)
第一节 砂岩成岩作用类型	(48)
第二节 粘土矿物的成岩作用	(52)
第三节 成岩反应序列及反应模式的建立	(56)
第五章 沉积微相对成岩作用的控制	(65)
第一节 成岩特征的 R 型因子分析	(65)
第二节 沉积微相对成岩控制因素的影响	(67)

编著者

1993 年 5 月

(15) 目 录 第三卷

(22) 章六卷

(25) 章一卷

绪论 (1)

第一章 地质背景 (6)

第一节 地层概况 (6)

第二节 构造特征简介 (6)

第三节 地质发展史简述 (7)

第二章 地震相研究及砂体预测 (8)

第一节 应用地震技术预测薄层砂岩方法简介 (8)

第二节 精细地震相分析 (11)

第三节 砂岩储层预测 (16)

第三章 沉积微相研究 (20)

第一节 沉积微相研究的地层单元选择及划分 (20)

第二节 扶杨油层沉积微相划分的标志系统 (20)

第三节 沉积微相类型及其特征 (23)

第四节 联井剖面沉积微相分析 (30)

第五节 砂体平面展布特征研究 (33)

第六节 沉积微相平面展布特征研究 (36)

第七节 物源分析 (41)

第八节 扶杨油层沉积演化规律及沉积模式 (43)

第四章 扶杨油层薄层砂岩成岩作用特征 (48)

第一节 砂岩成岩作用类型 (48)

第二节 粘土矿物的成岩作用 (52)

第三节 成岩反应序列及反应模式的建立 (56)

第五章 沉积微相对成岩作用的控制 (65)

第一节 成岩特征的 R 型因子分析 (65)

第二节 沉积微相对成岩控制因素的影响 (67)

第三节	孔隙发育有利部位预测	(71)
第六章	次生孔隙的形成与分布	(72)
第一节	次生孔隙的识别标志	(72)
第二节	次生孔隙的分类	(73)
第三节	次生孔隙的成因	(73)
第四节	头台地区次生孔隙形成的控制因素	(77)
第七章	孔隙度和渗透率的数值反演	(80)
第一节	孔隙度与地质变量的关系	(80)
第二节	渗透率与地质变量的关系	(80)
第三节	孔隙度数值反演的最优化方法	(83)
第八章	薄层砂岩储层多参数综合数值评价	(91)
第一节	问题的提出	(91)
第二节	储层评价数值方法的建立	(91)
第三节	杨 I 油层组储层评价及有利孔隙带预测	(95)
第四节	砂体展布与储层性质的关系	(97)
参考文献		(98)
(0E)		第四卷
(3E)		第五卷
(0E)		第六卷
(14)		第七卷
(34)		第八卷
(84)		第四卷
(84)		第一卷
(52)		第二卷
(02)		第三卷
(20)		第五卷
(20)		第一卷
(20)		第二卷

绪 论

一、砂岩储层研究的重要性

碎屑岩储集层,尤其砂岩储集层是重要的一类油气储集体。据不完全统计,世界上60%以上的油气储量和60~70%的产量都来自砂岩油气田中。纵观油气勘探的历史,无论是过去、现在还是将来,砂岩储层研究都必将是石油地质理论的核心内容之一。

砂岩储层研究的发展依赖于油气勘探整体水平的提高。不同的勘探阶段,砂岩储层研究的目的各异。早期油气勘探以寻找背斜圈闭为主,重点解剖受构造条件所控制的砂体宏观展布特征为前提,传统沉积学理论中的沉积体系、相和亚相的概念对于描述储集层特征起着重要的作用。近三十年来,随着油气勘探技术的飞跃发展以及许多大的油气田相继投入开发,世界范围内的油气勘探进入了新的历史时期。尽管如此,地球的油气资源终究是极其有限的。按照“有限增长论”(Meadows,1972)的观点,人类对矿产的探测量不可能无限地增加。生产和消费的迅速发展以及人类油气需求量增长的事实,迫切要求地质学应不断地探索新的理论、技术和方法,以寻求获得更多的油气储量。随着油气勘探工作的不断深入和扩大,易于发现的油气田日趋减少,找油找气难度不断增大,本世纪70年代以来出现的世界范围内广泛的能源短缺更加明显。这种严峻的客观事实必将导致油气储层研究深刻的变革,因此寻找查明薄层砂岩油气藏是当前油气勘探开发和砂岩储层研究的重要任务之一。

从另一个角度看,尽管世界上许多特大、大型的油气田都已相继进入了高含水开发后期,但是,鉴于目前只有40~50%左右的采收率,砂岩储集层中仍有很大比例的可驱动残余油有待于进一步开发。这一方面取决于采油工艺水平的提高,更重要的是储层特征精细描述已经是迫在眉睫。正因为如此,许多油气勘探地质学家都已把注意力转移到开发地质,即砂岩储层地质精细研究工作之中,从而再一次掀起了砂岩储层地质研究的热潮。

二、砂岩储层研究的历史回顾

在砂岩储层宏观特征研究方面,许多学者曾根据不同的油气勘探和开发的需要,建立了不同层次上的砂岩储层地质研究技术思路。R.M.Slatt(1990)、Ebanks.W.J.(1987)首次针对不同的勘探开发阶段需要,建立了三级储层弹性格架,即所谓的储层沉积模型、层模型和储层流动单元模型。储层沉积模型是建立层模型的基础,它主要研究沉积环境和沉积体系的特征,借助于传统沉积学、测井学和由P.R.Vail(1977)、J.B.Sangree和P.R.Vail(1987)所创立的地震地层学和层序地层学等多种学科加以实现,目的是研究沉积环境并建立沉积体系、相和亚相的概念,展现在相、亚相控制下的砂体宏观特征。层模型提供了一个计算储层容积的格架,它主要的目的是研究砂体的建筑结构,实质上是储层宏观的非均质性,即储层标定或储层表征所涉及的内容,是对砂体内部结构单元空间分布、大小、形态和方位的立体再现(Ravenne.c.et.al,1989; Gogging.D.et.al,1988; Miall.A.D,1988;F.Jerry Luella, 1990; Osmar Ablb, 1991; Andre G.Journal, 1990;Hewett.T.A, 1986)。K.J.Weber(1990)提出了三种层模型:即层饼状储层(Layer cake

reservoirs)、拼板玩具型储层(Jigsaw puzzle reservoirs)和迷宫式储层(Labyrinth reservoirs)。层模型的建立必须依赖于详尽的野外露头,或应用高密度钻井资料,根据沉积亚相、微相单元,结合测井曲线的对比来实现。它是油层开采,尤其是二次采油的基础。第三个模型是流动单元模型,它有效地将地质、油层物性和流体特征结合起来,因而提供了对油气储层详细的、精确的综合静态和动态非均质描述,它是三次采油可靠的依据,已经涉及了油藏工程范畴。储层流动单元模型的建立同样需要对野外露头中或钻井岩芯中储层建筑元素、即流动体制单元的详细描述(Andrew D. Mail,1988),并广泛开展大型水槽实验,以及物性参数测试、测井反演、内插与外推等尖端技术来完成。

在砂岩储层微观研究方面,近年来无论在理论上还是实践上都有了长足的进展。储层微观特征研究以鉴定岩石物质组成、岩石类型、微观结构、成岩作用为基础,以确定孔隙结构特征、形成和演化的历史,进而对有利储油孔隙带预测为目的。自从 Nutting(1934)首次提出砂岩次生孔隙后,60年代,苏联学者 Chepikov(1961)、Yermolova(1962)、Savkevich(1969)等对砂岩孔隙度随深度变化关系、自生矿物溶解和高孔隙带发育于深部,以及砂岩中次生孔隙识别和烃类对胶结和溶解的影响等方面进行了开拓性的研究工作。70年代中期,以 Schmidt(1977,1979)、Hayes(1977)、Blatt(1979)、Stanton(1979)等为代表的欧美学者,详细研究了欧美不同地质背景下,砂岩次生孔隙特征,并认为砂岩中至少有 $1/3$ 的孔隙是次生的,从而证实了次生孔隙存在的普遍性,初步解释了次生孔隙形成的原因,即碳酸盐溶解学说。到80年代, Surdam.R.C(1986,1989)、Meshri.I.D(1986)、Crossey.L.J(1986)、Schamugan(1985)、Curtis.C.D.(1986)、Mcbride(1986,1989,1991)等人在详细研究砂岩孔隙演化特征基础上,建立了砂泥沉积体系中有有机无机反应原理,并从热力学观点解释了矿物溶解和沉淀、以及和次生孔隙形成的关系。目前,碎屑岩成岩作用的理论,尤其是砂岩成岩作用理论和应用研究已摆脱了单纯现象观察和描述范围,出现了以下几个具有深远意义的发展方向。

(1) 以研究碎屑岩物质成分、结构、孔隙特征为基础,试图应用热力学、化学动力学、相平衡理论,探讨矿物溶解与沉淀等成岩作用机理。

(2) 将成岩作用研究与盆地模拟技术相结合,应用数学方法,再现成岩作用的时空分布与孔隙演化历史进程(J.R.Wood,T.A.Hewett,1982,1984,1986;Frederic.Leder,1986)。

(3) 开展有机酸与碳酸对矿物颗粒溶解活性的研究,探讨有机质演化进程与次生孔隙形成的匹配关系及时空一致性,并应用有机无机反应理论预测次生孔隙分布(R.C.Surdam,Paul.D.L.P.D.Lundegard,Lynn.M.W,1986)。

(4) 开展成岩作用及孔隙演化与古地形、古构造、古沉积环境和沉积相关关系的研究(R.Siever,Hans Fuchtbauer,1979)。

(5) 综合地震、测井、试油试采、油层物理、储层沉积学、储层岩类学,应用数学地质和计算机手段,对储层进行全方位,多层次的综合定量评价工作。

在我国,广泛深入的储层研究工作起于80年代初期,以裘亦楠为首的储层沉积学者曾成功地建立了河流、三角洲体系中河道砂体的非均质模型,并正在建立不同类型砂岩储层的静态地质模型和计算机模型。在砂岩储层成岩作用和次生孔隙形成和分布研究方面,朱国华(1988)通过大量的基础研究工作,证实了陕甘宁盆地陕北地区上三叠统延长组油气藏,是由浊沸石溶解作用而形成的次生孔隙圈闭油气藏,从而开拓了陕甘宁盆地找油的新

领域。尤其是邢顺谏(1991)对松辽盆地特大型陆相生油盆地富长石砂岩,在高地温场作用下储层成岩作用模式与孔隙演化规律的研究,以及中国石油天然气总公司建立的我国陆相生油盆地成岩作用阶段划分方案,都标志着我国砂岩储层研究工作进入了新的历史时期。

我国碎屑岩储层分布广泛,在全国十大油田中,除华北任丘油田部分储层外,均为碎屑岩储集层,而且我国已探明的石油储量90%贮存于砂岩储层中。目前,我国储层研究面临的事实是,东部主要油区勘探和开发程度逐步提高,寻找大的、容易发现的简单构造油气藏已经成为过去,寻找隐蔽油气藏将为重点之重点。

因此,储层研究是一项只能搞好、不能搞坏的重要基础工作。高兴的是,近年来,各种先进的实验手段,数学地质和计算机科学不断充实到了储层研究工作之中,使得储层整体研究水平有了很大提高,并逐步从宏观、定性和静态,向微观、定量和动态方向发展。储层研究的这种多学科高度的综合和每一个方面研究程度的不断深入,已经使储层研究成为一门系统工程,这也反映了当代自然科学发展的一体化和专门化的历史趋势。

我们出版本书,及时交流我们在薄层砂岩储层研究中的思路、方法和成果,旨在抛砖引玉,加速我国薄层砂岩储层油气藏勘探的进程。

松辽盆地北部头台地区是大庆石油管理局在“八五”期间重点投入勘探的地区之一,已经初步证实具有良好的含油前景。为进一步扩大该地区的勘探领域,提高整体的地质理论研究水平,根据现代储层地质研究的技术思路,对该区的沉积微相、成岩作用、孔隙类型、孔隙结构、储层非均质性作了较为详尽的探讨和研究,为今后这一地区的勘探和开发提供了必要的理论依据。

三、薄层砂岩储层研究的思路及方法

薄层砂岩油气藏是当前我国油气勘探的重要对象之一。但由于砂岩储层厚度较小,横向稳定性差,其规模和分布不易控制,因此,薄层砂岩储层预测研究采用的思路、方法和理论应与众不同。

薄层砂岩储层预测是储层研究的一个新领域,至今没有形成一套完整系统的思路、方法和理论体系,可以说,是一个探索性的领域。

我们在借鉴前人成果的基础上,根据研究区的具体特点,探索性地总结出薄层砂岩储层研究的思路、方法和理论体系。

我们的整体思路和方法是,充分应用录井、测井及地震资料,综合应用沉积学、地球物理、数学地质等各学科的最新理论、方法,充分提取各种资料所提供的储层地质信息,总结出薄层砂岩储层的分布规律和孔隙演化规律,实现对薄层砂岩储层的预测。

薄层砂岩储层预测实际上包含了宏观研究和微观研究两个方面。

薄层砂岩储层的宏观研究核心内容是研究在沉积相控制下的砂体的空间形态、规模及空间分布规律。

要阐明薄层砂体的空间形态、规模及空间分布规律,一方面要综合应用录井、测井和地震资料,另一方面,必须进行细致的沉积学研究,特别是进行沉积微相研究。

在薄层砂岩储层宏观研究方面,我们采用的思路和方法是:

(1) 采用弹性比例录井技术,针对不同量级、不同沉积构造、不同颜色、不同结构、不同成分、不同微量元素组合、不同古生物组合的岩性相单元,采用不同比例描绘。系统

取样, 化验分析, 充分收集资料, 掌握各种岩性相单元所含有的沉积学信息, 充分利用这些信息, 结合沉积学理论, 确定微相、亚相、沉积相划分依据, 准确划分单井有芯井段微相、亚相和沉积相。

(2) 充分利用有芯井段所获取的沉积学、测井、地震信息, 优选参数, 建立地区性沉积学信息与测井信息、地震信息的相关关系, 从已知到未知, 应用沉积学原理, 对有芯和无芯的单井的目的层进行沉积相、亚相和微相划分。

(3) 在单井相分析的基础上, 应用沉积学理论, 划分联井剖面相、亚相、微相。

(4) 利用过探井地震剖面, 确定不同相、亚相、微相与地震信息的关系, 然后再由已知到未知, 应用沉积学、地震地层学及地震的原理和知识, 划分无探井区段地震剖面上的相、亚相和微相。

(5) 在利用探井、测井、地震资料阐明单井、联井及无探井地震剖面沉积相、亚相、微相的基础上, 再应用沉积学理论, 归纳总结沉积相、亚相、微相的平面、空间展布规律及演化规律。

(6) 在阐明沉积相、亚相、微相空间展布规律之后, 建立研究区目的层沉积模式, 提供了把握研究区薄层砂岩储层空间形态、规模及空间分布规律的概念格架。

需要指出的是微相研究中, 岩芯研究是关键, 不仅要从岩芯上获取有用的宏观信息, 而且要获取微观信息, 不仅要重视砂岩沉积特征的研究, 而且要重视相关泥岩沉积特征的研究。在建立岩石沉积学信息与测井信息、地震信息相关关系时, 不仅要作定性分析, 而且要作定量分析。这样, 可以使微相研究避免错误解释, 所选用的参数可信度高。

薄层砂岩储层微观研究的核心内容是砂体内的孔隙特征及孔隙的分布规律研究, 其难点是渗透率的非均质性。

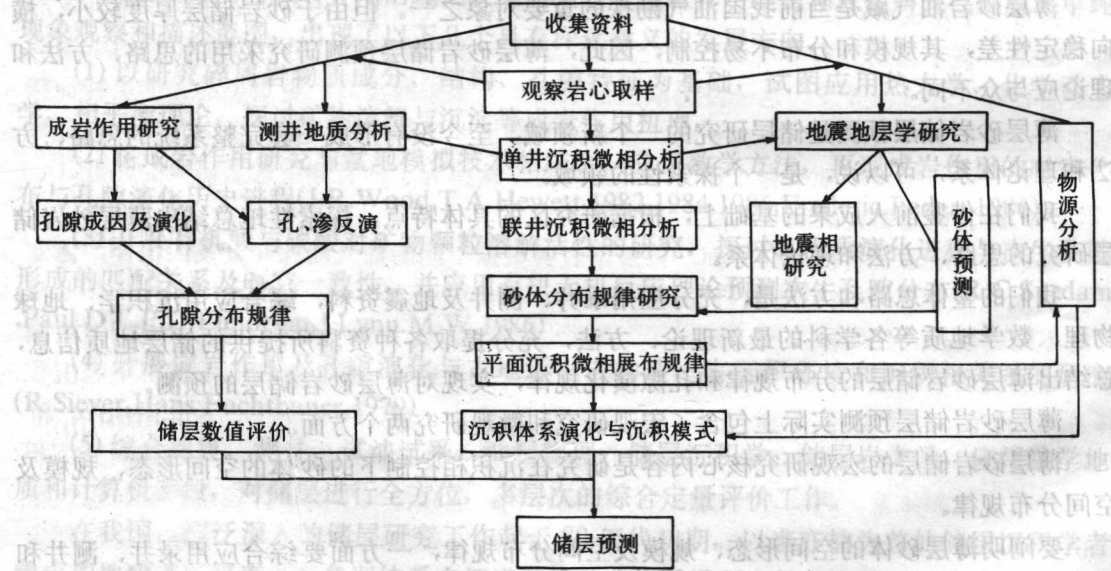


图 0-1 薄层砂岩储层研究总体思路及流程框图

砂体内孔隙特征、孔隙的分布规律以及渗透性不仅受砂体沉积特征的控制, 而且更重要的是受成岩作用的影响, 它控制砂岩最终的孔隙度和渗透率。因此, 必须进行成岩作

用、孔隙类型、孔隙成因、孔隙分布规律和控制渗透率非均质性因素的研究。由一条或若干条在这一研究过程中，我们采用的思路和方法是：

(1) 充分利用岩芯资料，系统取样，做各种测试分析，阐明取芯井段砂岩成岩作用特点、孔隙类型、孔隙成因、孔隙度与渗透率的大小及孔隙度和渗透率分布的控制因素。寻找沉积微相、成岩作用、孔隙度、渗透率之间的匹配规律。同时，标定这些特征在测井曲线上的响应。

(2) 对无芯井段砂岩，利用测井资料，实现孔隙度、渗透率的反演。

(3) 综合各种研究成果实现储层多参数综合数值评价。

需要指出的是薄层砂岩储层预测必须宏观研究和微观研究有机结合，宏观研究是阐明薄层砂岩体的大小、形态及空间分布规律，而微观研究是阐明储层砂体内孔隙发育、演化、分布及与渗透率的关系等特征。图 0-1 具体给出了薄层砂岩储层研究的基本思路。

性复合油气藏。

第三节 薄层砂岩储层预测

一、研究区地质背景

研究区位于渤海湾盆地，属华北克拉通东部拗陷带，发育有古生代至中生代沉积岩系。研究区主要发育有白垩纪、古近纪、新近纪沉积岩系。白垩纪沉积岩系主要发育有砂岩、泥岩、粉砂岩等，其中砂岩主要发育在河流相沉积环境中。古近纪沉积岩系主要发育有砂岩、泥岩、粉砂岩等，其中砂岩主要发育在河流相沉积环境中。新近纪沉积岩系主要发育有砂岩、泥岩、粉砂岩等，其中砂岩主要发育在河流相沉积环境中。

二、研究区地质背景

研究区位于渤海湾盆地，属华北克拉通东部拗陷带，发育有古生代至中生代沉积岩系。研究区主要发育有白垩纪、古近纪、新近纪沉积岩系。白垩纪沉积岩系主要发育有砂岩、泥岩、粉砂岩等，其中砂岩主要发育在河流相沉积环境中。古近纪沉积岩系主要发育有砂岩、泥岩、粉砂岩等，其中砂岩主要发育在河流相沉积环境中。新近纪沉积岩系主要发育有砂岩、泥岩、粉砂岩等，其中砂岩主要发育在河流相沉积环境中。

第一章 地质背景

第一节 地层概况

一、区域地层

松辽盆地以古生界的石炭—二叠系以及震旦亚界、前震旦界为基底。其上，中生界上侏罗统、下白垩统登楼库组为断陷盆地沉积，零星分布，再上为下白垩统泉头组、青山口组、姚家组及嫩江组。对于区域地层特征在许多著作中已有过详细介绍，在此从略，仅就所涉及的地层详述如下。

二、研究层段地层

本书所研究的地层为泉头组三段和泉头组四段。

泉头组三段仅个别井钻穿(茂 502 井)，厚度 488.4 m。总体上为泥岩、粉砂岩构成不等厚互层，局部夹厚薄不等的中、细砂岩。上部由紫红、暗紫红、绿灰色泥岩与薄层状紫灰色粉砂岩组成，夹厚薄不等的中、细砂岩。中部为紫灰色粉砂岩，含钙粉砂岩与暗紫、绿灰、紫红杂灰绿色泥岩，灰紫色粉砂质泥岩不等厚互层；夹厚薄不等的中细砂岩及少量的粗砂岩。下部以暗紫色、紫红色泥岩与紫灰色泥质粉砂岩、粉砂岩为主，夹粗砂岩、中砂岩及细砂岩。泥岩以暗紫色为主，多含粉砂。砂岩成分以石英、长石为主，可见大型交错层理，分选磨圆较好，胶结较致密。电性特征，微电极及双侧向曲线为高低阻值相间，自然电位具异常特征。

泉四段地层厚度 80 ~ 130m 不等。上部以灰绿色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩为主，夹厚薄不等的粉砂岩、细砂岩及中砂岩。紫红色泥岩少见。中部为紫红色、灰绿色、紫红杂灰绿色泥岩、粉砂质泥岩及泥质粉砂岩互层，夹粉砂岩、细砂岩及中砂岩。泥岩中灰绿色泥岩相对较多。下部为紫红色、灰绿色、紫红杂灰绿色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩互层，夹粉砂岩、细砂岩及中砂岩。

第二节 构造特征简介

松辽盆地是在东北地槽系海西褶皱带中间地块的基础上发展起来的中、新生代大型拗陷盆地。自侏罗系开始，盆地以断陷为主，早白垩世持续下沉，形成大型沉积拗陷区。白垩系底面表现了中拗、边隆的构造景观。

一、区域构造及基底断裂

松辽盆地西部及北部是大兴安岭—内蒙古海西褶皱带，东北部和东部为黑龙江、吉林海西褶皱带，南部以东西向断裂与内蒙地轴分开。

据重磁及地震资料的研究，松辽盆地主要发育四个方向的基底断裂。

北北东向和北东向断裂,延伸长,断距大,通常从基底延伸到白垩系中。由一条或若干条走向平行的断裂组成断裂带。包括松辽断裂、黑鱼泡—孤店断裂、青岗断裂以及长岭断裂等。它们是松辽盆地最主要的基底断裂。其它如北西向断裂、东西向断裂及南北向断裂,规模较小,向上均未延伸到白垩系中。由于这些基底断裂的活动,不同程度地影响了中、新生界的构造格局和沉积环境。

根据基底的时代、岩相及断裂特征;盖层的构造形态、形成时间、展布规律;沉积盖层的厚度变化及生储盖组合特征和区域构造发展史,将松辽盆地划分为六个一级构造单元,32个二级构造单元,130多个三级构造单元。

研究区构造特征 研究区横跨朝阳沟阶地和三肇凹陷二级构造带,主要的次级构造为三肇凹陷的头台鼻状构造和朝阳沟阶地的肇源鼻状构造的西翼,区内发育的断层多为近南北向,这些构造属后期构造,对沉积的控制作用不明显,但对油气藏的形成有一定影响,可形成断层——岩性复合油气藏。

第三节 地质发展史简述

松辽盆地以前中生界变质岩、侵入岩系为基底。侏罗纪,由于造山运动的强烈作用,形成分割性的断陷盆地,登楼库组沉积时期断陷盆地有连片的趋势,并由断陷向拗陷转化。到泉头组沉积时期,松辽盆地以拗陷盆地为特征。在沉积演化方面,侏罗系为分割性断陷盆地充填沉积,登楼库组及泉头组一、二段为填平补齐的沉积作用。泉三段沉积时期,整个松辽盆地转化为拗陷盆地,泉头组三段主要是平原曲流河沉积。从泉三段末期开始,湖泊逐渐形成,湖区面积逐渐扩大,到青山口组达到首次最大湖浸。

研究层段,泉三、四段沉积时期,正处于曲流河发育及曲流河向湖泊演化的这一特殊阶段。

四、用 Seislog、Velog、Delog 剖面预测砂岩

近年来,在松辽盆地广泛地运用了 Seislog 剖面、Velog 剖面 and Delog 剖面(最大似然反褶积剖面)半定量预测砂岩分布,描述砂体特征,进行沉积微相预测。合成声波测井(Seislog)就是把地震记录道转化为声波测井的速度曲线。Velog 是将地震记录道转化为声波测井的速度曲线。Delog 是将地震记录道转化为声波测井的速度曲线。合成声波测井(Seislog)就是把地震记录道转化为声波测井的速度曲线。Velog 是将地震记录道转化为声波测井的速度曲线。Delog 是将地震记录道转化为声波测井的速度曲线。

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{\Delta t}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\Delta t}}$$

第二章 地震相研究及砂体预测

利用地震资料进行储层研究，因地层发育特征不同，其难易程度差别较大。一般情况下，上、下有较厚泥岩层的厚层和薄层砂岩储层易于研究；砂岩储层之上为大段的泥岩，而储层本身是薄层砂泥岩互层者次之；地层为砂泥岩薄互层者研究难度最大(陆邦干，1992)。

松辽盆地泉头组，尤其是泉三、四段地层基本上属于砂泥岩薄互层地层，因此，利用地震资料进行砂岩储层研究，其难度很大。我们的研究是在精细地震相分析基础上，对砂岩进行预测。

第一节 应用地震技术预测薄层砂岩方法简介

近年来，随着地震采集精度和地震分辨率的提高，针对松辽盆地扶、杨油层薄互层的特点，大庆石油管理局勘探开发研究院发展了五种半定量、定量预测砂岩的方法：①用层速度计算砂地比；②用顺时频率预测砂岩厚度；③用反射波振幅定量预测砂岩厚度；④用 Seislog、Velog、Delog 剖面预测砂岩；⑤用正演模型预测砂岩。勘探实践证明，这些方法对指导井位部署，提高钻井成功率是行之有效的，都收到明显的效果。

一、用地震层速度计算砂地比

砂地比是评价砂泥岩沉积储层发育状态的一项半定量参数。它可以指示砂体类型、砂体延伸方向和物源方向。过去，砂地比多是通过钻孔资料求取。这样，在钻孔资料少的情况下很难扩展到平面上去，其应用受到了限制。然而，利用地震层速度结合少数声波测井资料计算砂地比可弥补其不足。

由迪克斯公式有

$$v_L^2 = \frac{t_n v_n - t_{n-1} v_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \quad (1)$$

式中 v_L ——地震层速度；

v_n, v_{n-1} ——地震波在 n 层和 $n-1$ 层传播速度；

t_n, t_{n-1} ——地震波在 n 层和 $n-1$ 层传播时间。

实际上，在砂泥岩薄互层沉积地层中，可视砂泥岩呈层状间互分布。对这样层状介质层由迪克斯公式求取的层速度代表层内均方根速度。因此，(1)式可变换为

$$v_L^2 = \frac{v_{sh}^2 t_{sh} + v_{st}^2 t_{st}}{t_{sh} + t_{st}} \quad (2)$$

其一为夹在大套泥岩中的多个河道砂体, 其中若干个有部分砂体在空间位置发生重叠时的地震波在泥岩中传播的速度和时间; 关系, 即无论是两层砂岩还是一层砂岩, v_{st} 、 t_{st} ——地震波在砂岩中传播的速度和时间。

然! 设砂岩厚度 $H_{st} = v_{st}t_{st}$ 泥岩厚度 $H_{sh} = v_{sh}t_{sh}$, 将其代入(2)式并整理, 则砂地比 R 为

$$R = \frac{H_{sh}}{H_{st} + H_{sh}} - \frac{v_{st}(v_L - v_{sh})(v_L - v_{sh})}{(v_{st} - v_{sh})(v_{st}v_{sh} + v_L^2)} \quad (3)$$

地质 (3)式就是砂、泥岩薄互层地层中砂地比的求取公式, 式中, v_{sh} 、 v_{st} 通过声波测井资料经二次拟合获取 v_L 由地震资料求取。

二、用顺时频率预测砂岩

瞬时频率的大小, 在数值上与波的主频对应较好。岩性不同时频率的吸收强弱不同, 因而瞬时频率大小也不同。所以, 可利用瞬时频率的大小来预测岩性, 建立砂岩发育程度与反射波频率的关系, 进行砂岩预测。然后拾取了平均频率图、频率比图、瞬时频率图。其 T_1 瞬时频率与生产井吻合较好, 其它图也有一定的吻合。频率高值区与砂岩发育区吻合, 说明葡萄花油层砂岩厚度大、瞬时频率高。从相对频率图统计看, 频率值大于 980 个单位的范围内共有 79 口, 其中大于 4m 砂岩的井是 56 口, 频率值小于 980 个单位范围内共有井 23 口, 其中小于 4m 井数 13 口。相对频率值大于 980 个单位范围内, 砂岩厚度小于 2m 的井仅有 7 口, 落空率仅 9%, 钻井的成功率达到 90% 以上。

三、用反射波振幅定量预测砂岩

根据地震分辨理论和实际地质地震模型, 当砂岩厚度大于四分之一地震子波波长时, 其地震响应的视时差与真时差基本相等, 视时差随砂层的厚度增加呈线性增加, 即视时差可定量反映砂层真厚度。但三肇地区扶、杨油层薄互层中砂岩储层厚度远小于 $\lambda/4$, 所以无法用视时差求取砂层真厚度。当砂层厚度小于四分之一地震子波波长时, 其地震响应的视时差基本是常数, 与砂层的真厚度无关, 但波峰到波谷的振幅值呈现有规律的变化, 随砂层厚度的增加其地震响应的振幅值变化, 直到四分之一地震子波波长时, 达到最大(调谐厚度)。

四、用 Seislog、Velog、Delog 剖面预测砂岩

近年来, 在松辽盆地广泛地运用了 Seislog 剖面、Velog 剖面 and Delog 剖面(最大似然反褶积剖面)半定量预测砂岩分布, 描述砂体特征, 进行沉积微相研究。

合成声波测井(Seislog)就是把地震记录道转换成声波时差测井曲线; 而 Velog 是将地震记录道转化为声波测井的速度曲线; Delog 是应用概率统计学中的似然函数, 状态空间模型和递推估计与检测理论等最大似然反褶积技术, 有效地解决了有效信号和噪声的分离, 并能用数据点而不是波形的方式较准确地表示出真正反射界面的位置和反射系数幅值的大小, 可求出层速度和绝对层速度。与 Seislog 和 Velog 剖面相比, 纵、横分辨率和信噪比都比较高。

五、正演模型预测砂岩

1. 设计正演模型、提取子波、选取速度

对于砂泥岩薄互层来说,地震剖面上每一同相轴都是一组综合地震响应的结果。然而,不同的岩性组合序列有不同的反射特征,为了确定不同岩性组合的地震反射特征和对砂岩层进行半定量一定量解释,首先制作了地震地质模型。模型的设计力求模拟地下的地质情况,使其地震响应接近地震剖面上实际反射特征。一是用研究区的地震记录在目的层内开时窗,通过对数分离法提取实际地震子波,作为模型的地震子波,从已提出的众多地震子波来看,大部分为接近零相位的雷克子波。二是用研究区内的声波测井资料统计目的层的速度参数,确定砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩、泥岩的速度。

2. 岩性纵向组合的波形特征的正演

对砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩、泥岩这四种岩性进行任意组合,共组合出 23 种岩性序列,用所选取的子波和速度进行正演。其反射特点可归为两大类。

一类为对称型。岩性组合包括简单旋回和复合旋回序列,其地震响应有三个特点:

第一,正极性波和负极性波呈对称关系,即波峰和波谷的绝对振幅值相等,频率相同,但方向相反;

第二,厚度相同的情况下,单砂层比复合旋回的相对振幅值强,频率高;

第三,由砂岩至砂质泥岩(厚度相同)相对振幅逐渐减弱。

另一类为非对称型。岩性组合包括正旋回和反旋回,其地震响应为正极性波和负极性波呈非对称性。正旋回时,正极性波的振幅中等,低频、波形为上缓下陡,负极性波的振幅较强,高频、呈对称性;而反旋回时的地震响应恰好与正旋回的相反,即正极性波为对称形,负极性波为上陡下缓形。

因此,可通过地震剖面上的正极性波和负极性波的对称性判断单砂层和复合旋回,用正极性波的上缓下陡的波形特征确定正旋回岩性组合序列,而用负极性波上陡下缓的波形特点推测反旋回的存在。

3. 岩性横向变化的波形特征的正演

1) 楔状砂体的波形特征

为夹在泥岩中的楔状砂体及其地震响应。当砂岩层厚度小于 $\lambda/4$ 时,地震波形的视时差为常数,而相对振幅值却随砂岩厚度增加而有规律的增强。当砂岩层厚度大于 $\lambda/4$ 时,相对振幅保持不变,视时差随砂岩厚度增加而加大。是大段泥岩薄互层的地震响应与楔状单砂体相同,调谐厚度也为 $\lambda/4$ 。

当夹层的泥岩厚度小于 $\lambda/5.6$ 时,两层砂岩在地震响应上无法被分辨开,大于 $\lambda/5.6$ 时,出现两组波的地震响应。

当泥岩夹层厚度大于 $\lambda/3$ 时,该砂岩层可从 T_2 反射层中被分辨出来。当 T_2 反射层含有这层砂岩时,其振幅值增大。因此,可用某标准层的振幅大小来定性地判断扶余油层上细砂岩的发育情况。

2) 河道砂体的波形特征

扶、杨油层河道单砂体的形态规模及多个河道单砂体纵向叠积的特点,设计了正演模型正演河道砂体的地震反射波形特征。

其一为夹在大套泥岩中的多个河道砂体,其中若干个有部分砂体在空间位置发生重叠时的地质地震模型。其地震响应为振幅值与砂岩厚度成正比关系,即无论是两层砂岩还是一层砂岩,其厚度越大,振幅值越高,而视时差则保持不变。

其二为两个河道砂体被一层厚为 2 m 的砂岩相连的地震反射特征。从中可以看出两个河道透镜状砂体的中间厚部位反射振幅值最大,向两翼随砂层厚度减薄及振幅值减小。中间 2m 薄砂层出现地震弱反射。

其三为分布在一定地层厚度($\lambda/4$)单元中,不同期河道叠积砂体的地震响应。从波形特征上看,砂岩的叠合厚度大,其反射振幅也大,反之则振幅值变小。

其四为多个河道砂体在一定泥岩厚度中处于不同位置的地震响应,可以发现其波形特征是连续的。因此,地震剖面中连续的同相轴可以是空间位置不同的砂体的综合地震响应。

第二节 精细地震相分析

一、地震地层单元的划分与标定

钻井及测井资料表明,研究区内扶余油层(泉四段)地层厚度在 100m 左右,分布稳定,厚度变化较小,最厚为 125.5m(茂 4 井)、最薄为 59m(台 101 井)。在地震剖面中约相当于 1~2 个相位的反射。杨大城子油层(泉三段)地层厚度在 400~500 m 范围之内,其中,上部存在一个对比程度较高的标准层,该标准层为一层厚大于 3m 的泥岩层,其视电阻率曲线为低值,据此可将杨大城子油层划分为上、下两部分。在地震剖面中,杨大城子油层也具有明显的上、下两分性,上部表现为 2~3 个相位的较连续,断续中、弱振幅反射特征,下部为 4 个相位以上的连续较连续中强振幅反射特征。

综上所述,研究区扶余油层在地震剖面中可划分出 4 个反射界面,自上而下分别为 T_2 , T_{2-1} , $T_{2-1'}$, T_{2-2} , 通过合成记录(图 2-1, 2-2)标定: T_2 — T_{2-1} 地震层系相当于扶余油层, T_{2-1} — $T_{2-1'}$ 地震层系相当于杨大成子油层上部(大致包括杨 I 组和杨 II 组), $T_{2-1'}$ — T_{2-2} 地震层系相当与杨大城子油层下部(大致包括杨 III 组、杨 IV 组和杨 V 组)。

二、地震反射参数的选取

用于地震相分析的地震反射参数较多,主要有所分析层系的顶、底界面的接触关系、反射外形、内部反射结构、同相轴连续性和振幅等。考虑到研究区内划分的地震层系都很薄,反映不出内部反射结构,而各地震层系之间又均为整合接触,反射外形基本上都是席状。因此,在地震相分析时,只选用了同相轴的连续性和反射振幅以及波形这三项地震反射参数,同时参考了地震层系内同相轴的个数。

三、地震相单元类型

1. 扶余油层(T_2 — T_{2-1} 地震层系)

扶余油层表现为两个相位的反射,第一相位为 T_2 ,第二个相位为 T_{2-1} 。第一相位在研究区内均表现为高连续性强振幅反射,肉眼难以分辨出振幅相对变化。因此,地震相分析主要根据第二个相位。根据第二个相位的连续性、振幅和波形特征可将研究区内的扶余