

辽河油田勘探开发40年系列丛书

辽河油田地震资料 精细处理

张文坡 宁日亮
郭平 宋宏文 等编著

LIAOHEYOUTIAN
DIZHENZILIAO
JINGXICHULI

LIAOHE

OILFIELD

石油工业出版社

辽河油田勘探开发 40 年系列丛书

辽河油田地震资料精细处理

张文坡 宁日亮 郭平 宋宏文 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以辽河油田地震资料精细处理为主题,在介绍了辽河油田的地震勘探概况、回顾了计算机及其配置、简述了各凹陷或盆地的地质地震特征及地震资料采集技术设计与质量监控后,分三章分别阐述了地震资料处理中最基本也是最有效的系列技术:提高信噪比处理技术、高分辨率处理技术、偏移成像处理技术。所写内容理论与实际相结合,图文并茂,实事求是地反映了辽河油田地震资料精细处理技术的现状。本书对从事地震资料处理和解释的科技人员都是一本很好的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

辽河油田地震资料精细处理/张文坡等编著.
北京:石油工业出版社,2007.3
(辽河油田勘探开发40年系列丛书)
ISBN 978-7-5021-5985-6

I. 辽…
II. 张…
III. 油田-地震数据-数据处理-辽宁省
IV. P631.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第032505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)64210392

经 销:全国新华书店
印 刷:北京晨旭印刷厂

2007年3月第1版 2007年3月第1次印刷
787×1092毫米 开本:1/16 印张:13.25
字数:334千字 印数:1-2000册

定价:42.00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

攀登石油科技高峰
实现辽河百年伟业

题赠辽河油田勘探开发研究院

二〇〇六年十一月

王涛



《辽河油田勘探开发 40 年系列丛书》编委会

主 任：谢文彦

副主任：任芳祥 孟卫工 张方礼

委 员：张占文 尹万泉 陈绍生 赵立岩 李晓光 张文坡
赵晓强 龚姚进 曹正林 刘绍峰 李铁军 张巨星
陈振岩 武 毅 马德胜 张吉昌

序

辽河拗陷地质条件极其复杂，构造破碎，发育多套生、储、盖组合，油气藏类型丰富，素有“地质大观园”之称。面对复杂的石油地质背景，广大科技工作者依靠自强不息的精神！把勘探开发目标由小做到大，把勘探开发思路由窄引向宽，原油年产量不断攀升，1995年达到了1550万吨，辽河油田跃居全国第三大油田，建成了全国最大的稠油、高凝油生产基地，为中国石油工业的发展作出了突出贡献。

辽河油田40年的勘探开发历程是一段波澜壮阔的历史，充满了艰辛与挑战。在近40年的勘探开发实践中，广大的勘探开发工作者面对复杂的勘探开发对象，勇于打破传统思维，开拓进取，大胆实践，探索和实践出了一整套适合辽河油田油藏特点的勘探开发思路和配套的勘探开发技术。特别是“九五”以来，勘探上围绕火成岩、潜山、复杂断块油气藏形成与分布理论开展研究，形成了一系列有特色的地质理论和技术，一大批具有千万吨级储量规模的油气藏相继涌现。油田开发上，普通稠油以及特超稠油蒸汽吞吐热力开采技术不断完善，形成了具有国内领先的中深层稠油中后期开发技术与室内试验研究技术；复杂断块精细油藏描述技术、特殊岩性油藏开发技术日臻完善；水平井技术取得突破性进展，不同类型水平井规模应用技术走到了中国石油的前列。这些瞩目的成绩，为中国石油“东部硬稳定”的发展格局奠定了坚实的基础。

在辽河油田勘探开发40周年暨辽河油田勘探开发研究院40年华诞之时，系统回顾与总结，并出版《辽河油田勘探开发40年系列丛书》是一件很有意义和值得庆贺的事情。该套丛书是辽河油田40年勘探开发实践和地质理论发展的真实写照，从不同侧面、不同角度反映出了40年来辽河油田勘探开发的巨大成就。该套丛书对广大科技人员长期付出的辛劳是一种很好的纪念，同时又是缅怀历史、启迪来者、获取知识、吸取营养的重要阶梯。

整套丛书紧密结合勘探开发实际，论述全面系统，资料翔实可靠，主体思路开阔，是难得的由石油科技工作者自己编写的专著。这套丛书对类似盆地的油气勘探开发具有一定的指导和借鉴作用，特别是很多石油勘探开发方法和规律性总结，均有较强的推广价值。

辽河油田目前已转入高成熟勘探开发阶段，但是仍有很多未经开拓的领域，老探区勘探开发仍然有很大的潜力，仍然有着做不完的大文章。我相信该套丛书的出版将有助于广大科技人员和石油职工利用已有的认识和经验，更有效地去探索新的油气领域，实现辽河油田持续、有效发展的长远目标，为我国石油事业继续作出更大的贡献。

谌文新

2007年3月22日

前 言

自 20 世纪 30 年代地震反射法用于矿产资源勘查以来，地震勘探工作对石油工业，尤其是石油勘探开发行业做出了重大的贡献，发挥了其他探测手段无法替代的作用。随着油气勘探工作的不断深入，地震勘探工作从最初的以地质构造为主的研究发展到满足地质构造和岩性圈闭研究的要求，以至于适应多种储层类型的油气藏描述和油田开采过程的圈闭动态研究，并已成为一种最有效的方法。

随着电子技术、计算机技术的迅速发展，地震勘探采集技术、处理技术都获得了快速的提高和完善。地震资料处理技术经过了多次覆盖、NMO、静校正、叠加、DMO、偏移等阶段，方法由二维到三维、由单一小块到大规模连片、由常规处理到 AVO 及波阻抗反演等特殊处理。常规地震资料处理愈来愈精细，从以提高信噪比为主到加强高分辨率、高精度成像处理；地震偏移也经历了从叠后到叠前、从时间域到深度域的发展过程。

辽河油田地震资料处理中心是辽河油田唯一的一家地震资料处理单位，承担着辽河油田全部新采集地震资料的处理任务及物探技术、方法的研究工作。经过近几年计算机处理系统的引进与开发和近 30 年的技术储备与方法研究，它已成为计算机软硬件先进、处理技术一流、处理经验丰富、员工综合素质高的国内知名地震资料处理中心。

辽河油田分公司目前的勘探区登记范围为辽河拗陷及辽北外围盆地、辽宁西部中生代盆地、湖南麻阳盆地、中国南海诸盆地等，地震勘探主体在辽河拗陷，次之为辽北外围盆地。辽河拗陷地质构造破碎、断层复杂、火山岩发育、两侧地层倾角大；辽南滩海地表多样：陆滩、潮间带、两栖区和极浅海；辽北外围开鲁盆地等区块地表大部分为沙漠，地下缺乏区域性的、稳定的反射层。这样，浅层地震地质条件和深层地质特性决定了辽河油田大部分区块原始地震资料信噪比都低。

近几年，为了提高地震资料品质，满足辽河油田小断块、微幅度复杂构造和岩性油气藏勘探的要求，辽河油田勘探开发研究院地震资料处理中心在完善全三维连片资料精细处理技术、复杂构造资料处理技术、火山岩资料处理技术、深层资料处理技术应用的同时，开展了一系列以提高信噪比、分辨率和地震成像精度为主的多种形式和内容的处理技术攻关和技术开发，并在国内率先使叠前时间偏移处理技术成为地震资料处理的常规内容。例如，高分辨叠前时间偏移技术在大民屯凹陷的应用，从根本上提高了复杂构造带地震成像的质量，解决了制约该区油气勘探的“瓶颈”问题之一，使地质家有的放矢、走出勘探的徘徊局面，最终使大民屯凹陷第三次勘探获得重大突破。

借助辽河油田勘探开发研究院纪念建院 40 周年活动的大好契机，辽河油田勘探开发研究院地震资料处理中心，组织既有理论水平又有工作经验的技术专家，花费了近一年的时间，对辽河油田地震资料处理多年技术研究和应用的成果进行总结和提炼，编写成《辽河油田地震资料精细处理》这本很有意义的参考书。

该书共分 6 章：第 1 章简要介绍了辽河油田的地震勘探概况及地震勘探技术历程，回顾了 20 世纪 70 年代至今 30 多年来资料处理所用计算机及其配置情况。作为地震资料处理人员，了解以上内容是十分必要的。第 2 章简述了辽河油田各凹陷或盆地的区域构造、断裂、

圈闭等地质特征,对辽河坳陷三大凹陷地震资料品质进行分析,并根据凹陷特点,陈述了火山岩地震反射特征、AVO异常等典型地震特征。这些内容对加深“处理解释一体化”是很有意义的。第3章阐述了地震资料采集中观测系统、激发、接收等技术设计的原理和方法。在“资料采集质量监控技术”一节,提出并叙述了有关基础工作质量监控的一系列质量参数分析检验技术。第4章,从基本原理、实现步骤及应用效果等几方面,具体地分析论述了提高信噪比的一系列技术及其在辽河油田实际地震资料处理中的应用。第5章不仅介绍了分辨率的基本概念、分辨率的影响因素,而且翔实地论述了高分辨率处理的相关技术,还列举了高分辨率处理的应用实例。第6章先简述了几种常见偏移技术的特性和适用条件,重点叙述叠前时间偏移、叠前深度偏移的速度建模和偏移参数选取技术,并以重点探区资料处理实例展示叠前偏移处理效果。

本书由张文坡、宁日亮、郭平、高树生、高源、徐荣才、张国俊组织编写。第1章由宋宏文、陈树凯、傅正秀执笔;第2章由宋宏文执笔;第3章由陈树凯执笔;第4章由王正国、刘文霞执笔;第5章由张淑梅执笔;第6章由柳世光执笔;最后由张文坡、郭平、宋宏文统稿、审核完成。需要指出的是,本书内大量图片资料来自于辽河油田勘探开发研究院,所以说本书更是全体员工(包括已退休的科研人员)智慧和汗水的结晶。希望通过该书的编写,掀起进一步学习高新技术、开展创新研究的高潮,提高我单位地震资料精细处理技术水平,从而提交更优质的地震剖面,为辽河油田增储、稳产和美好的明天做出更大的贡献。

《辽河油田地震资料精细处理》一书实事求是地反映了辽河油田地震资料精细处理技术的现状,所写内容皆为辽河油田地震资料处理中心的成熟技术,并充分体现了理论与实际相结合的原则和图文并茂的写作特点。本书对从事地震资料处理的物探人员和从事地震资料解释的地质工作者来说,都是一本很好的、实用的参考资料;该书对完成具有类似地震地质特征的其他盆地的地震资料精细处理工作,也会有很大的借鉴作用。相信该书的出版发行对中国东部盆地地震资料精细处理技术的完善和深化起到抛砖引玉的作用。

该书的编写离不开辽河油田分公司各位勘探主管领导的关心及在资金和技术上的扶持,在此深表感谢!同时,辽河油田分公司勘探处、勘探项目部、海洋勘探项目部、新区勘探项目部、南海油气勘探分公司、勘探开发研究院的领导和专家也给予了大力支持,在此深表感谢!该书在编写过程中得到了辽河油田勘探开发研究院盆地勘探所、勘探综合所、海洋勘探所,以及辽河石油勘探局物探公司同行的鼎力相助,在此,特向有关领导专家和业内人士及朋友表示衷心的感谢!

由于时间及水平所限,书中难免出现一些疏漏之处,恳请专家学者和同行批评指正。

目 录

1 绪论	(1)
1.1 辽河油田地震勘探概况	(1)
1.2 资料处理所用的计算机回顾	(6)
2 地质地震特征	(12)
2.1 辽河拗陷地质地震特征	(12)
2.2 辽北外围盆地地质地震特征	(36)
2.3 辽西及南海诸盆地地质地震特征	(44)
3 地震资料采集技术设计与质量监控	(49)
3.1 精细地震采集技术设计	(49)
3.2 资料采集质量监控技术	(73)
4 提高地震资料信噪比处理技术	(81)
4.1 影响地震资料信噪比的因素分析	(81)
4.2 静校正处理技术	(93)
4.3 地震资料处理中噪声衰减方法	(104)
4.4 同相叠加技术	(115)
4.5 压制多次波技术	(123)
5 高分辨率处理技术	(136)
5.1 分辨率的基本概念	(136)
5.2 影响分辨率的因素	(139)
5.3 高分辨率处理技术	(140)
5.4 应用实例	(166)
6 偏移成像处理技术	(170)
6.1 偏移技术简述	(170)
6.2 偏移技术的发展及叠前偏移的必要性	(181)
6.3 叠前偏移预处理	(184)
6.4 叠前偏移的实现	(186)
6.5 实际资料应用	(190)
后记	(198)
参考文献	(199)

1 绪 论

1.1 辽河油田地震勘探概况

辽河油田分公司目前拥有探矿权区块 32 个, 面积 173281.378km² (据李玉金等, 辽河油田分公司 2006 年度油气勘探总体设计)。登记范围主要包括辽河拗陷、辽河外围盆地、辽宁西部、湖南麻阳盆地及中国南海诸盆地等, 其中 22 个区块为新登记的探矿区, 登记面积 146170.909km²。辽宁西部、湖南麻阳及中国南海诸盆地目前暂无辽河油田的实物勘探工作量投入, 近期以石油地质调查和前期综合研究工作为主, 预计“十一五”末期将成为辽河油田储量的重要接替领域。

辽河拗陷及辽河外围盆地是辽河油田目前的勘探主体, 其位于辽宁省西北及内蒙古自治区东南部, 北起内蒙的阿鲁科尔沁旗, 南至辽东湾, 西起内蒙赤峰市, 东至辽宁新宾县, 地跨一省一自治区、13 个市(地)、35 个县(旗), 为北纬 40°24′~44°23′, 东经 118°20′~126°20′。按自然地理条件和勘探程度, 又可划分为三大探区, 即辽河拗陷陆上、浅海—海滩地区及外围中生代盆地群, 勘探面积 90682km², 有利面积 16476km² (图 1.1.1)。登记矿权区块 10 个, 面积 27110.469km²。

截止到 2005 年 6 月, 辽河油田在辽河拗陷及外围探区已完成二维地震 103297.7km, 三维地震 9520.7km² (据刘志江等, 辽河油区 2006 年二次三维地震部署论证)。参见表 1.1.1。

1.1.1 辽河拗陷地震勘探概况

目前, 辽河拗陷是辽河油田石油天然气的主要产能区, 构造上同渤海湾南部的济阳、黄骅等拗陷一样, 属于渤海湾盆地, 由陆上和滩海两部分组成。地理上位于辽宁省境内, 北抵沈阳, 南至辽东湾海域, 东西两侧基本以沈大、沈山铁路为界, 矿权登记面积 10432.89km²。其中辽河陆上勘探面积 6660km² (凸起 5740km²), 滩海 3506km²。

辽河拗陷为上叠于太古界、中上元古界、古生界、中生界基底之上的以新生代为主的断陷盆地, 各凹陷内古近系房身泡组 (Ef)、沙河街组 (Es)、东营组 (Ed) 地层超覆在基底之上, 与上覆区域沉积层新近系馆陶组呈角度不整合接触。含油气层系有太古界、中上元古界、中生界及沙河街组、东营组、馆陶组等多套, 其中基底潜山和沙河街组是主要的产油层, 发现了曙光、欢喜岭、高升等亿吨级油气田。

辽河拗陷陆上工区地处平原地带, 植被发育, 农作物以旱田和水田为主, 故采集施工在冬季进行。工区内障碍物较多, 村镇、人口密集, 交通发达, 公路交织成网, 京沈铁路、高速公路、几条国道、省道穿越工区; 水系发育, 沟壑交错, 大辽河、浑河、绕阳河、大凌河、小凌河、双台子河等主流流经本区。工区地表相对平坦, 高差起伏不大, 南低北高, 缓慢上升, 海拔高程在 2~30m 之间。

辽河拗陷陆上由四个负向构造单元 (东部凹陷、西部凹陷、大民屯凹陷和沈北凹陷) 和

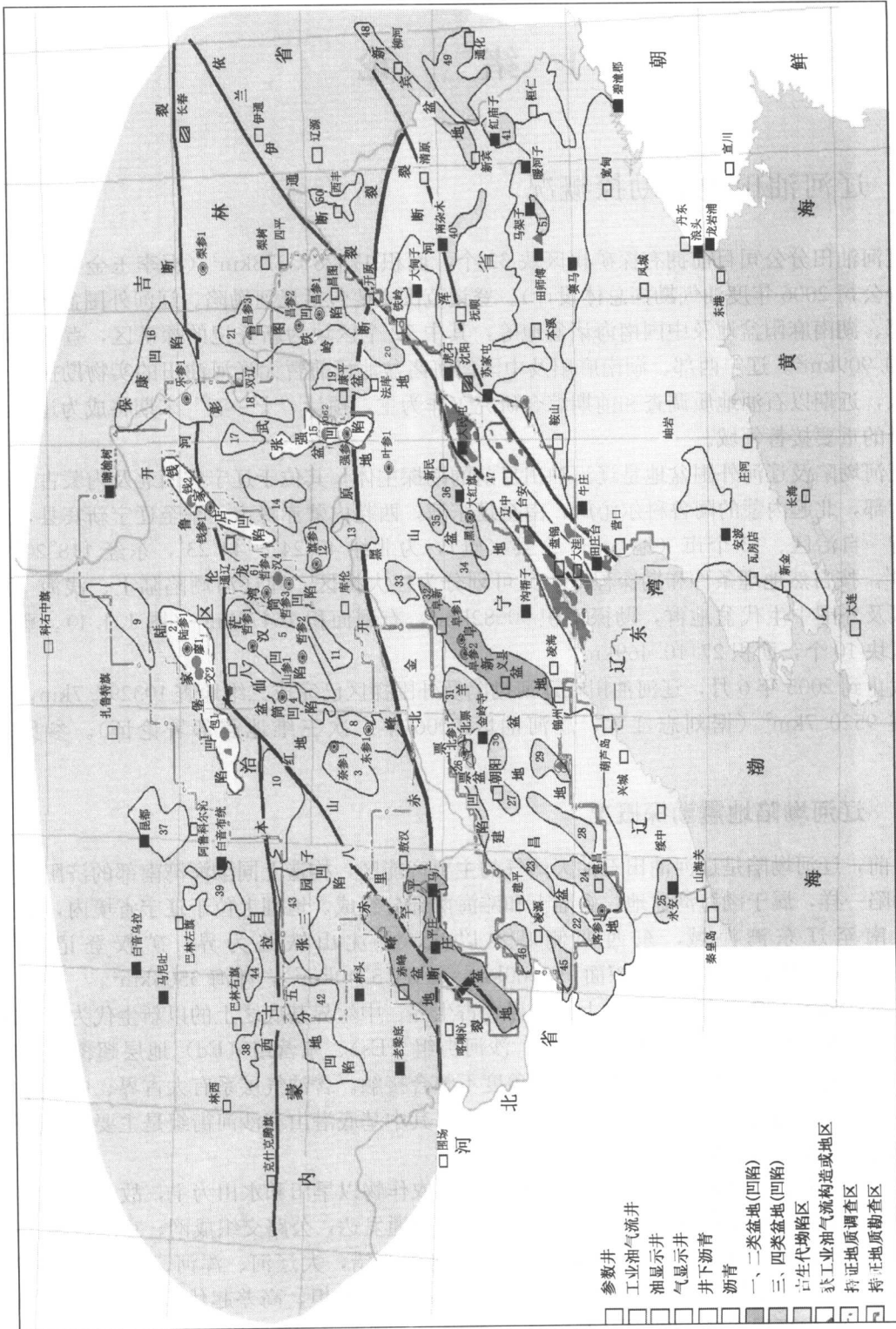


图 1.1.1 辽河油区中新生代沉积盆地地图

三个正向构造单元（东部凸起、西部凸起、中央凸起）组成，各凹陷的展布基本为北东向，如图 1.1.2 所示。矿权登记面积 7013.19km²。

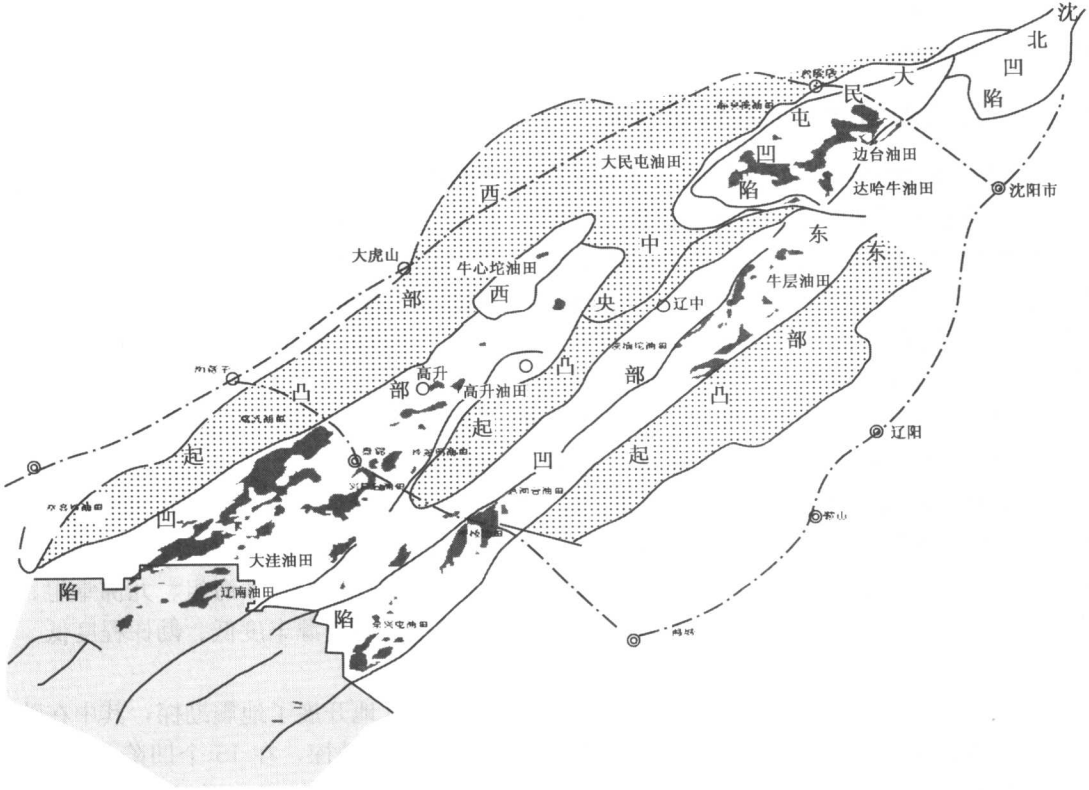


图 1.1.2 辽河拗陷构造单元分布图

除三个凸起和沈北凹陷外，本区勘探程度较高，油气地质勘查始于 1955 年，地震勘探始于 1961 年，至 2005 年 6 月，已完成二维地震 56246.29km，三维地震 6813.41km²（表 1.1.1）。三维地震已覆盖三大凹陷，二次采集已经开始；二维地震测网密度：中央凸起为 1km×2km 或 2km×2km，东西两凸起为 2km×4km 或 4km×4km。

表 1.1.1 辽河拗陷及外围地震工作量统计

名称	辽河陆上						辽河滩海	辽河外围	小计
	西部凹陷	东部凹陷	大民屯凹陷	西部凸起	东部凸起	中央凸起			
二维 (km)	21133.8	22591.4	7668.	2242.9	2160.4	449.8	5969	41082.4	103297.7
三维 (km ²)	2771.8	3094.2	947.3				1289.8	1417.5	9520.7

辽河滩海由陆滩、潮间带、两栖区和极浅海四种地理环境组成（其中陆滩 732km²，潮间带 736km²，0~2m 水深的两栖地区 1000km²，2~5m 的极浅海 1038km²），自然条件十分复杂，登记面积 3419.7km²。

辽河滩海属辽河拗陷陆上向海域的自然延伸，构造单元与陆上一一对应，石油地质条件与陆上基本一致，构造格局分为辽海西部、辽海中部、辽海东部三部分，勘探总面积 3506km²。受自然地理条件、复杂地质条件、资料储备和勘探技术等因素制约，海上勘探程

度明显低于陆上, 探明储量分布极不均衡。

辽河滩海已完成二维地震 5969km, 三维 1289.86km²。已发现了古近系沙三段、沙一、二段、东营组和新近系馆陶组五套含油气层系, 建成太阳岛、葵花岛、笔架岭、月海等 4 个油气田, 基本形成了年生产原油 30×10⁴t 能力。

1.1.2 辽北外围盆地地震勘探概况

辽北外围盆地是指除辽河拗陷之外的辽宁省北部和内蒙古自治区哲里木盟及赤峰市的地区, 位于内蒙古南部和辽宁北部的丘陵、沙漠、草原区, 大地构造上处于华北地台东北部和吉黑地槽褶皱系南部, 包括中、新生代凹陷群, 共发育 50 多个小凹陷, 以中生代裂谷盆地群中发育的残留凹陷居多 (见图 1.1.1)。获矿产权的区块有陆家堡凹陷、钱家店凹陷、龙湾筒凹陷、茫汉凹陷、张强凹陷、新庙—奈曼凹陷及赤峰—平庄盆地, 有效勘探面积 6310km², 矿权登记面积 16677.58km²。

该区人口密度小, 公路不发达, 水系不发育, 地表大部分为沙漠, 间或有少量农田、草地、沼泽, 除部分丘陵区、个别沙丘外, 地表高差起伏不大。

辽北外围盆地总体上处于勘探早期阶段, 根据现有的资料和认识, 外围盆地沉积的地层主要有新生界的第四系、新近—古近系地层; 中生界白垩系的明水组、四方台组、嫩江组、姚家组、青山口组、阜新组、沙海组、九佛堂组、义县组等。其中, 沙海组、九佛堂组、义县组为主要目的层。与辽河拗陷比较而言, 辽河外围盆地具有资源丰度低、勘探程度低、原油产量低等特点。

本区勘探工作始于 1981 年, 至今在 35 个凹陷不同程度地开展了地震勘探, 其中在陆家堡、钱家店、龙湾筒、茫汉、张强等五个凹陷开展三维地震勘探, 在 15 个凹陷实施钻探, 已发现科尔沁、科尔康、广发、交力格、前河和龙湾筒等 6 个油气田, 形成年产原油 10×10⁴t 的能力。

到 2005 年 6 月底, 已完成二维地震 41082.4km, 三维 1417.5km²。

1.1.3 辽西及南海诸盆地勘探概况

辽西及南海诸盆地等 21 个区块为新登记的探矿区, 登记面积 138835km²。

辽西探区包括辽宁省西部、河北东北部及内蒙古南部的地区, 地表条件主要为山地和丘陵, 涉及凌源—平泉凹陷、建昌盆地、金羊盆地, 登记面积共 11987.17km² (凌源—平泉 3164.69km², 建昌 4737.67km², 金羊 4084.8km²)。

辽西探区, 构造上处于燕辽沉降带上。在中新元古代沉积时期, 发育了巨厚的海相碳酸盐岩夹碎屑岩地层, 蓟县、凌源、汎河三个沉降中心的沉积厚度最大, 达 6000~8000m, 总分布面积大于 6×10⁴km²。石油地质条件优越, 具油气勘探潜力。

辽西探区暂无勘探实物工作量投入, 正在开展石油地质调查和前期综合研究工作。

中国石油辽河油田南海探区位于我国南海南沙群岛、中沙群岛和西沙群岛的西南部海域。国土资源部批准油气勘查项目 18 个区块, 探矿权面积 12.68×10⁴km², 分布在曾母、北康、南薇西、中建南和琼东南 5 个盆地内。探区南部边界和北部边界距我国海南省三亚市的直线距离分别约为 1350km 和 200km, 最南部区块距南沙群岛永署礁约 500km, 最北部区块临近西沙群岛。周边的国家主要有越南、印度尼西亚、马来西亚和文莱。

辽河南海探区主要位于南海南部和西部大陆架前缘的陆坡区内, 水深 500~3000m。全

年各月都有台风, 8~9月平均最多, 风浪一般多为3~4级, 浪高0.8~1.9m。

南海海域处于欧亚、太平洋和印度洋三大板块的交接处, 属大洋型地壳构造域与大陆型构造域之间的过渡型地壳构造域。基底由三个不同性质和不同发育史的地块组成, 即巽他地块、南沙—礼乐地块和曾母地块, 各地块之间由走滑断裂相接。由于上述三个地块在拼接过程中发生挤压、走滑、拉张、沉降等作用, 形成多个新生代沉积盆地, 其中面积较大的有曾母、北康、万安、沙巴—文莱、礼乐、中建南等。盆地内以三角洲相、滨海—浅海相的碎屑岩、礁灰岩和碳酸盐岩沉积为主, 厚度多在3000~12000m, 最大超过15000m, 为油气的生成、聚集、保存提供了极为有利的地质条件。

我国从1987年开始在南沙海域开展以寻找含油气远景区为主要目的的综合地球物理调查工作。中国石油从2004年获得矿权后, 对南海诸盆地进行了地质综合评价。评价结果表明, 持证区内石油资源极为丰富, 勘探风险比较低, 具备迅速发现大型高产油气田的基本条件。

为尽快勘探开发南海油气资源, 2005年, 辽河油田分公司在南海探区的琼东南盆地采集了5013km二维地震剖面; 2006年夏, 已在华光凹陷完成1176km²的三维地震采集工作。

1.1.4 辽河油区地震勘探回顾

辽河油田的地震勘探历程可简要分成4个阶段。

1.1.4.1 模拟地震勘探阶段(1980年以前)

这一阶段是以地球物理方法为主的综合勘探, 使用了重力、磁法、航磁、电法、地震等多种地球物理技术。1955年, 下辽河拗陷的地球物理勘探开始。采取区域普查和局部细测相结合, 进行连片测量。石油会战期间, 地震技术装备有很大改善, 模拟多次覆盖逐步取代了单次测量, 地震资料的精度和质量都有所提高, 当时使用的仪器型号为SDZ-751型。

1970年3月前, 地质、石油两系统所属单位累计完成地震测线4279km, 并在三口探井上进行了地震测井。1974年至1980年3月, 累计完成二维地震测线7297.71km。由于仪器能力和技术水平的限制, 采集的地震资料只能解决较大构造的成像问题, 精度不够。

1.1.4.2 数字二维地震勘探阶段(1981—1984年)

这一时期勘探工作由战略准备阶段发展到重点区域展开阶段, 由区域普查进入地震详查。同时, 数字地震技术的发展, 使地震勘探技术进入了一个全新的时期。

地震仪由模拟仪发展到SDZ-751B型、SN338B型等数字地震仪。从1982年开始, 辽河地震勘探完全进入数字地震勘探阶段。地震勘探由低次覆盖向高次覆盖过渡, 接收道数由24道增加到48道, 覆盖次数由6次增加到24次。

1.1.4.3 数字三维地震勘探阶段(1985—1998年)

勘探方法在早期主要以4×6线束状观测系统、240道接收、20次至30次覆盖为主。后期, 辽河物探结合辽河盆地的地质特点和油田生产需要, 发展了深层地震勘探技术、高分辨率地震勘探技术和城区不规则三维地震勘探技术。

使用的数字地震仪器主要以SN368型系列仪为代表, 其他类型还有DFS-V、MDS-16、DIGISEIS、TELESEIS以及YKZ-480等。从1995年开始, 仪器逐渐更新为SYS-II、SN388、GW-4、SYS2000等24位模/数转换能力的先进仪器。

1.1.4.4 精细三维地震勘探阶段(1999年至今)

这一时期采用了世界先进的大动态范围、24位模数转换器、高采样率的数字地震记录仪, 如SYS-II, SN388, SYS-2000、G.DAPS-4等。拥有各种型号陆上串式检波器近5

万串，水中串式检波器 7 千串，能适应沙漠、山地、滩海及平原等各种复杂地表条件下的地震勘探，以高精度的测量技术保证采集质量。配备了 LEICA530 定位设备，测量定位精度达到厘米级。引进先进的观测系统设计软件，针对地质目标进行分析，优选观测系统设计。

地震勘探观测系统由传统的 4 线 6 炮发展为更加灵活、更能满足不同地质目标勘探需要的观测系统，接收记录道数由 240 道发展到 960 道、乃至 12000 道，覆盖次数增加到 40 次至 120 次。

1.2 资料处理所用的计算机回顾

石油工业是我国计算机应用较早的行业之一，尤其是地震勘探领域。由于地震勘探过程中需要对地震波反射信号进行“去伪存真”（压制和过滤噪声等干扰信号）的处理，人工的手段几乎不可能。同时，地震勘探技术的不断进步，数据量急剧增加，不断需要更高性能的计算机，因此地震勘探历来是计算机的大用户。辽河油田的数字计算机应用始于 1974 年，那年石油工业部从美国 RAYTHEON 公司引进了 1704 计算机系统，辽河是这次引进的几家单位之一。1704 计算机系统的引进，开始了国内地震资料处理的数字化时代，同时也培养了大批石油工业的计算机应用人才。此后到 20 世纪 80 年代末，辽河先后又引进了 PDP11/45 小型计算机和 UNISYS1100/72 大型计算机系统，但计算机系统的更新换代比较缓慢，可选择的机型和处理软件较少。20 世纪 90 年代以来，计算机系统的更新换代加快，机型和处理软件也有了更多的选择。经过 30 多年的努力，辽河油田的地震资料处理从无到有，已经建设成为国内较大的地震资料处理中心之一，为辽河油田的发展壮大做出了应有的贡献。回顾 30 多年来的发展历程，不难看出，伴随着计算机技术的每一次更新换代，地震资料处理的手段也更加丰富，处理的质量不断提高，处理周期不断缩短，能够为油田的发展提供更高品质的地震资料。

1.2.1 20 世纪 70 年代

1974 年，辽河油田与石油工业部的几家油田一起引进了美国 RAYTHEON 公司的 1704 系统，也是石油工业部第一次引进计算机系统。主要性能：主机速度约 30 万次/秒，16 位字长，32KB 内存磁芯存储器，存取速率 1MHz，4.6MB 磁盘容量。

1704 计算机采用 RTOS 实时操作系统，应用软件为 COMPAC-75 地震软件和 GEO-SPACE 地震软件。软件包括了常规处理程序，主要有解编、重排、选排、动校正、静校正、水平叠加数值滤波，绕射扫描后偏移及照相等早期数字处理方法和手段。

为了这次引进，辽河油田从高校和研究机构引进了不少计算机应用方面的人才。

1.2.2 20 世纪 80 年代

1.2.2.1 PDP-11/45 系统

1980 年，引进了 PDP 11/45 小型电子数字计算机，该系统主机运算速度 30 万次/秒，字长 16 位，256KB 内存、MOS 存储器。配备 AP60 阵列处理器，具浮点运算能力，主机通过 Unibus 总线连接多种外围设备。

1.2.2.2 Unisys1100/72 计算机系统

1988 年引进了美国 UNISYS 公司的 unisys1100/72 计算机系统，该系统主机运算速度

300 万次/秒、36 位字长，主存 16MB、MOS 存储器，32KB 双极型四件的高速缓存。同时配备了 4 台 APA 阵列处理机，因此该系统具有很强的浮点运算能力。

1.2.3 20 世纪 90 年代

1.2.3.1 VAX6520/DISCO 处理系统

1992 年引进的数字设备公司 (DEC) 的处理机 VAX6520，该系统主要设备包括双 CPU 配置的 VAX6520，一台 UNIX 服务器 SOLB/902，3 台 SUN 工作站。VAX6520 除了双 CPU 配置外还配置了 2 个向量处理部件 (向量板)，是典型的向量处理机。与 70—80 年代引进的处理系统不同，由于系统配置了向量部件，本身具备很强的数组运算能力，不需要外加阵列机。工作站用于地震资料处理还是第一次，工作站是一种桌面或者桌边式的比小型计算机规模要小的计算机系统，工作站是大规模超大规模集成电路技术的产物，它把计算机的绝大部分部件集成在一块主板上，采用 RISC (精简指令集) 处理器，大部分工作站采用 UNIX 操作系统。SUN4/75 工作站是桌面型工作站，配置双头图形加速器卡和 2 个大屏幕图形显示器，与 Solborne902 服务器通过以太网网络构成服务器—客户端工作模式，以太网采用粗缆、总线型结构，粗缆布线到办公楼的终端室。VAX6520 向量计算机系统通过 DEM-NA 接口与以太网连接构成了 DECNET—以太网的计算环境，终端室配置了 16 台 VT420 字符终端，通过终端服务器接入以太网络，处理员通过终端可以访问网上主机，实现了人机分离环境。VAX6520 峰值性能达到 9000 万次浮点运算能力。

1.2.3.2 ALPHA3000/GRISYS 工作站系统

1994 年 CNPC 给数家油田的研究院配备了 3 套 ALPHA 工作站系统，辽河油田研究院是其中之一，该系统的 ALPHA3000 工作站使用了 DEC 公司最新推出的 64 位处理器，是当时最快的工作站之一，该系统运行石油地球物理勘探局研究院自主开发的 GRISYS 地震资料处理软件，GRISYS 软件是我国唯一一个具有自主知识产权的商品化的国产大型处理软件。该系统包括 ALPHA3000 工作站 3 台，每台性能：166MHz CPU，256MB 内存，20GB 硬盘。

1.2.3.3 IBM RS6000/990 系统

1994 年辽河进行新一轮大规模设备更新。当时向量计算机由于价格昂贵，可伸缩性差，性能提高的成本太大等，逐步退出高性能计算机主流市场，代之而起的是采用超标量设计的 RISC 处理器 (如 POWER、PA-RISC、SPARC、MIPS 等)、创新的并行计算机体系结构、规模可以伸缩的计算机系统。因为规模可以根据应用需要配置，这些系统不仅应用在高性能计算机领域，而且也应用于中、小型计算机系统，也就是说从工作站系统到大型计算机系统都使用相同的芯片，这些系统一般采用近年发展迅速的 RISC 处理器，操作系统采用具开放特征的 UNIX 操作系统，通常又称为 UNIX 服务器。这次引进分为 2 个系统，一是 IBM RS6000/990 系统，另一个是 Convex SPP1000 并行机系统。

IBM RS6000/990 系统于 1995 年 4 月份安装，主要配置及性能如下：

RS6000/990 服务器 2 台，每台配置：71.5MHz POWER2，512MB 内存，峰值性能：286MFlops (每秒 2.8 亿次浮点)，20GB 硬盘。

RS6000/3BT 工作站 2 台，每台配置 250MB 内存，9.4GB 磁盘。

RS6000/250 工作站 3 台，每台 64MB 内存，2GB 磁盘。

IBM9333 串行磁盘，96GB。

TEKTRONIX XP358 19" X 终端 14 台。

IBM 3494 自动带库 (4 台 3490E 磁带机, 1000 盘 3490E 磁带容量)。

990 系统安装了西方地球物理公司的 OMEGA 地震处理软件, 批量作业在 2 台 RS6000/990 服务器上运行, 3BT 主要运行交互作业和特殊软件, 250 工作站作为 Omega 的 WARS 绘图服务器, 每个 250 接 1 台 OYO 热敏绘图仪。

1.2.3.4 SPP1600 系统

HP-Convex SPP1000 是辽河引进的第一套并行机系统, 1995 年 12 月投产, 1996 年 5 月升级为 SPP1600 (CPU 主频从 100MHz PA-RISC7100 升到 160MHz PA-RISC7200, 相应的主板和主板上面的 Gateway 也相应升级, 内存没有升级), 该系统由 1 台 SPP1600 并行机、1 台 IBM RS6000/570 桌边式服务器、5 台 IBM RS6000/3BT 工作站、20 台 NCD19C X 终端组成。该系统运行 CGG 公司的 Geovecteur3100 (后升到 6100) 软件, 三维一步法偏移、AVO 等为典型应用。

SPP1600 主要技术指标:

CPU 16 个, 主频 160MHz, HP PA-RISC 7200 1MB L2 (升级后的 CPU, SPP1000 为 100MHz);

内存 2GB;

峰值性能 5GFlops (每秒 50 亿次浮点, 升级前为每秒 32 亿次浮点);

磁盘容量 120GB (30 个 4GB 3.5in 硬盘, 其中 20 个安装在主机机柜内, 10 个安装在扩展机柜)。

SPP1600 系统和 RS6000/990 系统都使用了自动带库系统, 自动带库一般由控制部件、磁带仓、磁带机、机械手及其传动部件组成, 容量从 1000 盘到几千盘盒式磁带, 辽河使用的磁带库容量都是 1000 盘 3490E 磁带。在磁盘价格较高容量有限可靠性较低的情况下, 地震资料处理过程中还需要大量磁带存储中间结果, 由于不用人工干预, 不会上错带, 生产效率较高, 自动带库的使用, 能够缓解主机速度较快, 而 I/O 较慢的矛盾, 较好地发挥系统的处理能力。

1.2.3.5 ORIGIN2000 系统

20 世纪 90 年代后期, 地球物理勘探界积极开展叠前成像技术研究。国内一些油田也引进了这方面的设备和软件, 开展叠前成像处理技术研究。1998 年初, 辽河油田安装了一套 8 个 CPU 的 ORIGIN2000, 运行 PARADIGM GeoDepth 叠前深度偏移处理软件, 该系统主要配置:

(1) 8 个 CPU SGI ORIGIN2000 一台;

(2) 主频 195MHz, MIPS10K, 2GB 内存, 200GB 外置硬盘;

(3) 建模工作站: Octane 一台, 175MHz, MIPS10K, 256MB 内存, 21" 双屏图形显示;

(4) O₂ 工作站 2 台, 180MHz, MIPS5K, 128MB 内存, 21" 单屏图形显示。

该系统 1998 年 3 月份安装投产, 分析处理三室在该系统上花了一年时间完成了大民屯地区 100km² 的叠前深度偏移处理, 为后来叠前域处理技术的进一步应用积累了经验。

1.2.4 2000 年至今

1.2.4.1 IBM P690/Omega 系统

2001 年对 OMEGA 系统进行了软硬件扩充升级, 扩充硬件有 64 个计算节点的 IBM PC 集群, 16 个 CPU 的 IBM R6000/P690 并行机, 2 台 4 个 CPU 的 P640 服务器, 24 台 IBM