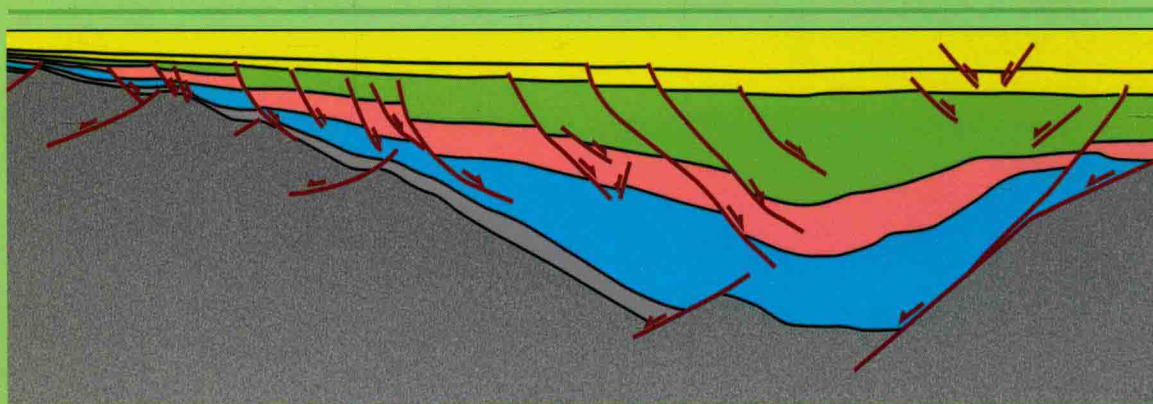


辽河拗陷

油气藏形成与分布

● 孟卫工 庞雄奇 李晓光 钟宁宁 等著



地质出版社

辽河坳陷油气藏形成与分布

孟卫工 庞雄奇 李晓光 钟宁宁 等著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书针对辽河拗陷油气勘探中遇到的系列难题,全面系统地组织开展了油气门限控藏研究。基于新理论、新方法和新技术,预测了有利资源领域、有利成藏区带和有利目标区块,为深化勘探指明了方向。全书共六章,第一章介绍油气勘探现状与面临的科学问题;第二章介绍研究区石油地质特征及油气门限控藏研究思路;第三章介绍已发现油气藏剖析结果与成因特征;第四章介绍油气成藏主控因素与控藏临界条件;第五章介绍功能要素组合控藏门限与地质模式;第六章介绍油气门限控藏模式实际应用与深化勘探建议。本书可作为石油地质等相关专业科研人员的工具参考书,也可以作为相关院校高层次人才培养,尤其是高年级研究生培养的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

辽河拗陷油气藏形成与分布/孟卫工等著. —北京:
地质出版社, 2016. 11

ISBN 978-7-116-06987-9

I. ①辽… II. ①孟… III. ①辽河盆地-拗陷-油气
藏形成-研究②辽河盆地-拗陷-油气藏-分布-研究
IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 268691 号

Liaohe Aoxian Youqicang Xingcheng yu Fenbu

责任编辑: 李惠娣 刘云龙

责任校对: 韦海军

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 66554642 (邮购部); (010) 66554579 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554582

印 刷: 北京全景印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张: 27.75

字 数: 675 千字

版 次: 2016 年 11 月北京第 1 版

印 次: 2016 年 11 月北京第 1 次印刷

定 价: 168.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06987-9

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

序

渤海湾盆地经过近 50 年的油气勘探，发现了大量的油气藏，已发展成为中国最主要的油气生产基地。随着埋深较浅的、相对整装的、规模较大的构造类油气藏的勘探和开发，油气深化勘探难度越来越大，面临的主要是一些“小、深、杂”的构造油气藏、很难识别的隐蔽油气藏、受基岩裂缝控制的潜山类油气藏。基于“生、储、盖、运、圈、保”等成藏条件分析有利勘探领域的经典地质理论在指导油气深化勘探中遇到了系列难题：一是难以对成藏要素的品质优劣及其控油气作用的强弱进行把握，定性分析不能满足精细勘探需要；二是不能科学地表征各要素之间的关联性及其联合控油气机制，逻辑推论不能满足深化勘探的需要；三是无法考虑浮力之外的其他动力的成藏作用，不能阐述非构造类油气藏的成因机制，无法满足潜在成藏区的预测与评价。《辽河坳陷油气藏形成与分布》正是在解决上述相关问题的过程中取得的重大成果。本专著的出版对于指导辽河坳陷乃至整个渤海湾盆地等复杂条件下的油气勘探具有现实意义。

《辽河坳陷油气藏形成与分布》系统阐述了油气门限控藏作用，并应用于解决当前油气勘探过程中遇到的相关问题，主要表现在三个方面：第一，研究了油气运聚过程中的临界地质条件，识别出排烃门限、聚烃门限和资源门限，提出了有效排烃量、有效聚集烃量和有效资源量的计算方法，建立了运聚门限控藏模式，研发了应用技术。相关成果在辽西凹陷预测出 4 个深化勘探的资源领域，评价出来的资源量较之早前得出的 $23 \times 10^8 \text{t}$ 高出 45%，剩余资源量超过 $16 \times 10^8 \text{t}$ 。第二，剖析了已发现油气藏的地质特征和成因特征，发现它们的形成和分布受烃源灶（S）、储层相（D）、封盖层（C）和低势区（P）4 个功能要素的时空组合控制，建立了大量成藏期（T）功能要素组合控藏模式（T-CDPS），研发了应用技术。预测出构造类、断块类、岩性地层类、潜山类等油气藏 47 个有利发育区带。第三，采用多种方法揭示了油气富集成藏的临界地质条件，建立了近源-优相-低势复合控油气富集模式，通过研发应用技术实现了有利目标区成藏概率、油气充满度和含油气饱和度定量预测与评价。在辽河坳陷应用预测评价了 87 个有利目标区块。

《辽河坳陷油气藏形成与分布》研究成果在指导油气田勘探过程中发挥了重要作用，取得了良好的经济效益。仅在中石油辽河油田公司与中国石油大学（北京）合作承担重大项目的 2005 年至 2008 年间，就发现油气藏 20 个，发现石油储量 $29617 \times 10^4 \text{t}$ ，岩性、潜山、复杂断块三类油气藏的储量较 2004 年相比分别增长了 257%、104% 和 442%，呈现出逐年增长态势，改变了自 2000 年至 2004 年间发现

储量逐年下降的被动局面，展现出良好的发展势头。项目取得的研究成果在项目完成后的大规模推广应用中发挥了重要作用。这些成果实证了新理论、新方法和新技术在实用中的有效性和可靠性，作为一位见证这一成果取得并在油气勘探过程中发挥指导作用的油气勘探工作者，我为中国石油大学（北京）走上“产、学、研”发展道路感到鼓舞，更期待出版的相关成果能够在类似盆地和地区的应用中发挥更大作用。



原石油工业部部长
俄罗斯自然科学院院士
2016年1月18日

前 言

油气成藏研究是油气勘探过程中最为关键的一环，它连接着有利资源领域预测与有利勘探目标优选，长期以来受到油气勘探工作者的高度重视。《辽河坳陷油气藏形成与分布》一书是中国石油天然气股份有限公司辽河油田分公司与中国石油大学（北京）在 2005 ~ 2011 年期间合作完成的 3 个项目“辽河探区西部凹陷深化勘探理论与实践”“辽河东部凹陷北段油气成藏体系研究”及“辽河大民屯凹陷油气成藏体系研究”等方面成果的系统总结，它从油气藏形成和分布的临界条件出发，揭示和阐明油气分布规律，为复杂地质条件下的油气深化勘探提供地质依据和理论指导。

“辽河探区西部凹陷深化勘探理论与实践”项目由中国石油大学张一伟校长和辽河油田公司谢文彦总经理总负责，孟卫工副总经理和庞雄奇副校长、钟宁宁副院长组织实施，下设 9 个课题：课题一，辽河西部凹陷层序地层格架及其与岩性地层圈闭的关系，由朱筱敏教授负责；课题二，辽河西部凹陷构造演化及其对油气成藏地质条件的控制作用，由漆家福教授负责；课题三，辽河西部凹陷岩相古地理与沉积体系及其控油气作用，由鲍志东教授负责；课题四，辽河西部凹陷有利区带砂体预测与地层岩性圈闭发育模式，由王英民教授和陈世悦教授负责；课题五，辽河西部凹陷储层质量评价及优质储层预测，由王志章教授负责；课题六，辽河西部凹陷剩余资源潜力与有利勘探领域预测，由钟宁宁教授负责；课题七，辽河西部凹陷油气藏分布特征、主控因素与有利区带预测，由黄志龙教授负责；课题八，辽河西部凹陷油气藏成因机制与有利勘探目标评价，由高先志教授负责；课题九，辽河西部凹陷深化勘探理论、方法及应用，由吕修祥教授负责。具体参加的教师还包括：刘洛夫教授、姜振学教授、李素梅教授、童亨茂副教授、谢庆宾副教授、于福生副教授、徐樟友副教授、高岗副教授、陈冬霞副教授、张刘平副研究员、吴欣松副教授、蔡毅讲师等。

“辽河东部凹陷北段油气成藏体系研究”和“辽河大民屯凹陷油气成藏体系研究”由庞雄奇教授为负责人，研究人员还包括姜振学教授、姜福杰副教授、李建华工程师等。中国石油大学（北京）参加项目研究的还有博士后、博士研究生和硕士研究生及本科生，共约 200 人。参加项目研究和指导的辽河油田公司相关领导和专家还有：辽河油田公司勘探处张占文处长、陈振岩总地质师、张巨星总地质师、林洪利副总地质师、单俊峰所长、蔡国刚所长、张瑞斌副所长、陈永成副所长、余成副所长，西北室刘宝鸿主任、鞠俊成副主任，西南室回雪峰主任、金科副主任等，共约 50 人。在项目实施过程中，油田公司的领导和专家不仅亲自参加研究工作，而且还积极协助学校老师们指导学生；学校的老师不仅负责完成相关研究任务，还协助油田公司领导和专家将项目取得的相关成果及时地应用到油气勘探生产之中。

出版相关成果,除了纪念“产、学、研”紧密结合带来辉煌成果的历史,还有两方面的现实意义。第一,通过新理论、新方法和新技术的系统研究和应用,使我们对一些长期困扰油气勘探生产的科学难题有了新认识,它们有利于深化我们对复杂条件下油气分布规律的理解和预测潜在有利勘探区。这些新认识主要包括:①烃源灶(S)、储层相(D)、有效盖层(C)和低势区(P)是决定油气藏形成和分布的四大关键要素,它们相互独立、对油气成藏必不可缺、能客观描述及定量表征,称之为功能要素;②源-储-盖(或S-D-C)与不同的低势区(P)在大量成藏期(T)组合形成不同类型的油气藏,称之为功能要素组合成藏,基本模式记为T-CDPS。它们与低位能区组合主要形成背斜类油气藏,与低压能区组合主要形成断块类油气藏,与低界面能区组合形成岩性类油气藏,与低动能区组合主要形成地层类油气藏;③四大功能要素组合控藏包括三层地质含义:在地史期同时联合决定有利成藏期、在纵向上有序组合决定有利成藏层位、在平面上叠加复合决定有利成藏范围。第二,通过油气门限控藏研究,仅在辽河西部凹陷就预测出进一步深化勘探的有利资源领域4个、有利成藏区带47个、有利目标区块87个,这些成果在项目研究期间及之后的大规模应用中,对辽河坳陷油气勘探增储上产发挥了直接的指导作用,做出了重要贡献。

本书由孟卫工、庞雄奇、李晓光、钟宁宁组织编写和审定。姜福杰、李建华、庞宏、吴欣松等老师和专家协助。项目研究期间,得到了油田公司及学校各级领导的大力支持和帮助。原石油工业部王涛部长、中国石油大学张一伟校长自始至终对项目的研究工作和进展情况给予了极大的关注和具体指导;中国石油天然气总公司科技局方朝亮副总经理等有关领导在项目立项过程中给予了大力支持和帮助;吴铁生、姚继丰、廖兴明和梁鸿德等辽河油田老领导、老专家给项目研究提供了很多有益的指导和宝贵的建议;项目顾问孙镇城教授为本项目的研究倾注了大量的心血,提供了很多具体的指导和帮助。在项目的研究过程中,我们还自始至终地得到了王铁冠院士、童晓光院士、王捷教授、顾家裕教授为首的专家组的指导。全书在完成过程中得到了中国石油大学(北京)一些在读学生的帮助,他们为本书的最终出版付出了辛劳,在此一并表示感谢。

著者

2016年1月

目 录

序

前 言

第一章 绪 论	1
---------	---

第一节 油气藏勘探简史	1
-------------	---

一、勘探概况	1
--------	---

二、阶段划分	3
--------	---

第二节 油气藏勘探面临的问题	6
----------------	---

一、经典的油气成藏理论不能有效指导复杂条件下的深化勘探	6
-----------------------------	---

二、逻辑分析定性研究不能满足高成熟探区油气深化勘探要求	8
-----------------------------	---

第三节 油气藏勘探研究的科学问题	9
------------------	---

一、油气藏地质特征研究中存在的科学问题	9
---------------------	---

二、油气成藏主控因素研究中存在的科学问题	9
----------------------	---

三、油气藏分布发育模式研究中存在的科学问题	9
-----------------------	---

四、油气藏预测评价研究中存在的科学问题	10
---------------------	----

第四节 油气藏勘探研究的技术思路	10
------------------	----

一、整体研究认清油气地质条件	10
----------------	----

二、实例剖析阐明油气藏地质特征	10
-----------------	----

三、统计分析发现油气成藏主控因素	11
------------------	----

四、模拟研究揭示油气藏形成和分布的临界条件	12
-----------------------	----

五、综合分析建立油气藏分布发育模式	13
-------------------	----

第五节 油气藏勘探研究的基本成果	14
------------------	----

一、发现油气藏具有五方面的地质特征	14
-------------------	----

二、搞清了六大关键要素控油气藏分布的临界条件	14
------------------------	----

三、揭示出四大功能要素控油气藏形成机制	15
---------------------	----

四、建立了三类油气藏功能要素组合控藏模式	16
----------------------	----

五、研发了油气藏定量预测与评价技术并在实用中取得显著成效	18
------------------------------	----

第二章 辽河坳陷油气藏形成的基本条件	19
--------------------	----

第一节 地层层序与分布发育	20
---------------	----

一、古生界	20
二、中生界	20
三、新生界	22
第二节 构造特征与演化历史	24
一、构造特征与单元划分	24
二、构造演化历史与比较	29
第三节 源岩特征与分布发育	39
一、源岩分布发育特征	39
二、源岩地球化学特征	50
第四节 储层特征与分布发育	68
一、储层孔渗特征比较	68
二、储层沉积相分布特征	73
第五节 生储盖组合特征	91
一、西部凹陷生储盖组合特征	91
二、东部凹陷生储盖组合特征	91
三、大民屯凹陷生储盖组合特征	93
第六节 油气资源评价与剩余资源潜力分布	94
一、物质平衡法评价远景资源量	95
二、排聚系数法评价现实资源量	105
三、规模序列法评价最小资源量	114
第三章 辽河坳陷油气藏地质特征与分类	117
第一节 典型油气藏剖析	117
一、大洼油气田	117
二、兴隆台油气田	128
三、齐家下台阶油气聚集带	142
四、西部凹陷潜山油气藏	157
第二节 油气藏地质特征	191
一、油气藏产状特征	191
二、油气藏流体特征	203
三、油气藏温压特征	234
第三节 油气藏分类	245
一、油气藏分类原则与方案	245
二、各类油气藏概述	246
第四章 辽河坳陷油气藏分布特征与主控因素	254
第一节 烃源灶对油气藏形成和分布的控制作用	254

一、烃源灶的基本概念与定量表征·····	254
二、烃源灶分布发育特征与油气藏分布关系·····	255
三、烃源灶控油气藏分布的临界条件与基本模式·····	261
四、烃源灶控油气藏分布的机理解释·····	263
五、烃源灶控油气藏分布发育定量预测·····	265
第二节 沉积相对油气藏形成和分布的控制作用·····	267
一、沉积相的基本概念与分级·····	268
二、沉积相与油气藏分布关系·····	268
三、沉积相控油气藏分布的临界条件与基本模式·····	276
四、沉积相控油气藏分布的动力学机理解释·····	278
五、沉积相控油气藏分布发育定量预测·····	279
第三节 有效盖层对油气藏形成和分布的控制作用·····	287
一、有效盖层的基本概念·····	287
二、有效盖层分布发育特征与油气藏分布关系·····	287
三、有效盖层控油气藏分布的临界条件与基本模式·····	291
四、有效盖层控油气藏分布的机理解释·····	296
五、有效盖层控油气藏分布发育定量预测·····	296
第四节 古隆起对油气藏形成和分布的控制作用·····	300
一、古隆起的基本概念与定量表征·····	300
二、古隆起分布发育特征与油气藏分布的关系·····	301
三、古隆起控油气藏分布的临界条件与基本模式·····	308
四、古隆起控油气藏分布的机理解释·····	311
五、古隆起控油气藏分布发育定量预测·····	313
第五节 断裂带对油气藏形成和分布的控制作用·····	320
一、断裂带的基本概念·····	320
二、断裂带分布发育特征与油气藏分布关系·····	320
三、断裂带控油气藏分布的临界条件与基本模式·····	331
四、断裂带控油气藏分布的机理解释·····	335
五、断裂带控油气藏分布定量预测·····	336
第六节 有效储层对油气藏形成和分布的控制作用·····	338
一、有效储层的基本概念与定量表征·····	338
二、有效储层分布发育特征与油气藏分布关系·····	338
三、有效储层控油气藏分布的临界条件与基本模式·····	343
四、有效储层控油气藏分布的机理解释·····	346
五、有效储层控油气藏分布定量预测·····	347
第五章 辽河坳陷油气藏成因特征与分布发育基本模式·····	352
第一节 油气藏成因特征·····	352

一、油气来源特征	352
二、油气来量特征	360
三、油气来期特征	367
四、油气来路特征	371
五、油气来力特征	372
第二节 油气成藏地质模式	373
一、源下-早期断层输导-古潜山油气成藏模式	373
二、源内-自生自储油气成藏模式	373
三、源上-继承性断层输导-下生上储油气成藏模式	374
第三节 功能要素组合控藏模式	375
一、功能要素的基本概念及控藏机制	375
二、功能要素组合控油气成藏基本模式	378
三、功能要素组合分类与不同类型油气藏分布发育模式	383
第六章 辽河坳陷油气藏分布预测与结果讨论	388
第一节 辽河坳陷油气藏分布预测方法原理与工作流程	388
一、方法原理	388
二、技术路线	390
三、工作流程	391
第二节 辽河西部凹陷油气藏分布预测与结果讨论	391
一、构造油气藏	392
二、断块油气藏	398
三、岩性油气藏	400
四、预测结果可靠性检验	403
第三节 辽河大民屯凹陷油气藏分布预测与结果讨论	404
一、构造油气藏	405
二、岩性油气藏	405
三、潜山油气藏	405
四、预测结果可靠性检验	409
第四节 辽河东部凹陷油气藏分布预测与结果讨论	413
一、构造油气藏	413
二、岩性油气藏	418
三、预测结果可靠性检验	423
参考文献	425

第一章 绪 论

《辽河坳陷油气藏形成与分布》一书是中国石油天然气股份有限公司辽河油田分公司与中国石油大学（北京）在 2005 ~ 2011 年期间 3 个合作项目：“辽河探区西部凹陷深化勘探理论与实践”“辽河东部凹陷北段油气成藏体系研究”以及“辽河大民屯凹陷油气成藏体系研究”对油气藏形成与分布理论研究成果的系统总结，从油气藏分布的临界条件出发揭示和阐明了油气分布规律，为辽河坳陷复杂地质条件下的油气勘探提供了新的理论与方法指导。

第一节 油气藏勘探简史

辽河坳陷是以古近系为主要勘探目的层的含油气坳陷。它是渤海湾含油气盆地的一个组成部分，位于渤海湾盆地的东北角，根据地质构造特点，辽河坳陷陆上部分又可以进一步分为东部凹陷、西部凹陷、大民屯凹陷、沈北凹陷、东部凸起、中央凸起、西部凸起等次一级构造单元。其中东部凹陷、中央凸起、西部凹陷一直向辽东湾海域延伸并且展宽，演化为辽东、辽中、辽西三个凹陷，其间为辽东、辽西两个凸起隔开。辽河坳陷陆上油气勘探工作和油气发现主要集中于西部凹陷、大民屯凹陷和东部凹陷 3 个次级构造单元（图 1-1-1），是本书重点研究区域。

一、勘探概况

（一）西部凹陷

西部凹陷地理上位于辽宁省境内，构造上属于渤海湾盆地辽河坳陷的三大凹陷之一（图 1-1-1），古近系陆上分布面积 2560km^2 ，由北向南依次分布有牛心坨、台安、陈家、盘山、清水、鸳鸯沟六大生油洼陷，各个二级构造单元呈凹凸相间分布，构造走向为北北东向。截至 2004 年底，西部凹陷已累计完成二维地震 21136.8km ，三维地震 4009.6km^2 ，已基本实现了三维地震满覆盖。已累计完成各类探井 1494 口，钻井进尺 $356.3 \times 10^4\text{m}$ ，其中获工业油气流井 741 口。探井密度为 $0.58\text{口}/\text{km}^2$ 。发现了太古宇、中-上元古界、古生界、中生界、古近系沙河街组四段、三段、二段、一段及东营组和新近系馆陶组共 10 套含油气层系。已累计探明石油地质储量 $14.96 \times 10^8\text{t}$ ，已累计探明含油面积 577.96km^2 ，探明天然气地质储量 $1031 \times 10^8\text{m}^3$ 。已累计探明含气面积 75.3km^2 ，取得了良好的勘探和开发效果。

从凹陷的地质结构分析，西部凹陷属于较为典型的箕状凹陷，凹陷内由西向东可分为西部斜坡带、坡洼过渡带、中央隆起带、洼陷带、东部陡坡带 5 个构造单元。基底埋藏深度最大达 8400m ，在古地貌的基础上，受长期、多期次断裂活动的影响，形成了众多个潜山圈闭，如曙光、齐家、兴隆台、马圈子等古潜山。古近系构造活动经历了初始裂陷、强

烈断陷、块断拗陷过程,使沉积地层具有多旋回性。凹陷内储集砂体非常发育、类型多样,从北向南陡坡带主要发育有牛心坨、高升、台安、兴隆台扇三角洲沉积体系,冷家堡滑塌浊积扇沉积体系和高升鲕粒灰岩沉积体系等,缓坡带主要发育有曙光、齐家、欢喜岭、西八千扇三角洲-湖底扇沉积体系,因此,西部凹陷油气资源十分丰富,从基岩潜山到古近系成藏条件都十分优越。

据三次资源评价结果,西部凹陷总资源量为 $23.3 \times 10^8 \text{t}$,资源丰度为 $91 \times 10^4 \text{t/km}^2$,地质资源量为 $20.22 \times 10^8 \text{t}$ 。勘探开发历史表明,西部凹陷油气资源十分丰富,是国内外著名的富油气凹陷。随着勘探工作不断向纵深方向发展,西部凹陷的油气勘探难度越来越大,勘探风险也越来越大,相关的地质问题也越来越多地暴露出来,迫切需要理清勘探思路,比较准确地把握下一步勘探方向。

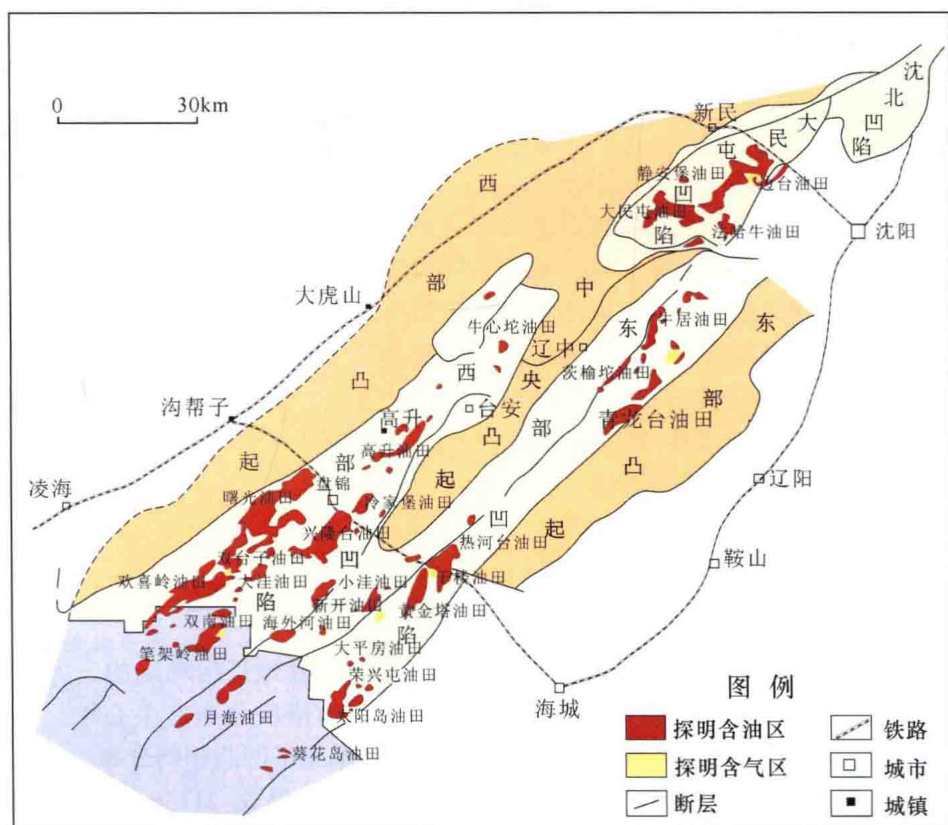


图 1-1-1 辽河拗陷勘探成果图

(二) 大民屯凹陷

大民屯凹陷位于辽河拗陷的东北部(图 1-1-1),平面上呈不规则的三角形,南宽北窄,四周为边界断层所限,面积约为 800km^2 ,是我国东部著名的“小而肥”的含油气凹陷,也是闻名于世的高蜡原油的生产基地。大民屯凹陷经过 50 多年的勘探,已累计完成二维地震 7117.2km ,三维地震 1911.95km^2 ,完钻各类探井 386 口。目前,已在凹陷内发现 5 套含油气储层,其中前古近系潜山和古近系砂岩是最重要的产层。截至 2008 年底,大民屯凹陷已累计上报探明石油地质储量 $3.24 \times 10^8 \text{t}$,控制石油地质储量 $0.7 \times 10^8 \text{t}$,预

测石油地质储量 $0.48 \times 10^8 \text{t}$, 累计天然气探明储量 (气层气) $226.2 \times 10^8 \text{m}^3$ 。大民屯凹陷先后投产了大民屯、静安堡、边台和法哈牛四个油气田 (陈振岩等, 2007)。

(三) 东部凹陷

东部凹陷为辽河拗陷内最大的一个二级构造单元 (图 1-1-1), 北抵头台子, 西邻中央凸起, 南至辽东湾, 东为东部凸起, 长约 140km, 宽 18 ~ 30km, 总面积约为 3950km^2 , 是辽河拗陷内最大的一个二级构造单元, 蕴藏着丰富的天然气资源。据“十五”期间的第三次资源评价成果, 东部凹陷天然气总资源量为 $960 \times 10^8 \text{m}^3$, 气油资源量比为 0.15 (油当量比值), 是辽河油田三个主要产油气凹陷中最高的 (西部凹陷为 0.07, 大民屯凹陷为 0.08)。经过多年的勘探, 已在东部凹陷的青龙台、欧利坨子、于楼、黄金带、大平房等地区取得了一系列天然气勘探成果。截至 2006 年底, 东部凹陷累计探明天然气地质储量 $556 \times 10^8 \text{m}^3$, 探明程度为 58%, 剩余天然气远景资源量 $404 \times 10^8 \text{m}^3$, 凹陷内天然气还存在着巨大的勘探潜力。

二、阶段划分

辽河拗陷的勘探经历了 8 个大的阶段, 随着勘探工作的进展、勘探方法的改进、新技术的采用和勘探精度的提高, 以及对地质规律认识的深化, 在一个勘探历史阶段中又穿插有其他历史阶段的勘探工作, 在时间上和地域上形成交叉重叠的复杂关系。

(一) 勘探区域的准备

从 1955 年开始勘探到 1964 年钻第一口区域探井辽 1 井, 用了近 10 年时间。这是一个以地球物理方法为主的综合勘探阶段, 也是对辽河拗陷进行全面勘探前的准备阶段。其目的是为了对整个拗陷有一个基本的认识, 并进行初步评价。这个阶段进行了包括重力、磁法、航磁、电法、地震等多种地球物理勘探。这个阶段完成了对辽河拗陷的普查任务, 查明了拗陷的分布范围, 基底结构及其埋藏深度、边界位置和接触关系, 划分了次一级的构造单元 (凹陷与凸起), 初步查明了各凹陷内二级构造带的轮廓。并对辽河拗陷的含油气远景进行了初步评价。

(二) 区域展开, 选择重点勘探区

从 1964 年地质部在辽河拗陷钻第一口区域探井, 到 1970 年国务院正式批准加速辽河油气资源勘探之前, 为一个阶段。截至 1970 年 3 月, 地质、石油两系统所属单位已累计完成地震测线 4297km, 并在 3 口探井上进行了地层测井。累计完成区域探井和预探井 35 口, 另有 3 口探井因工程事故而报废, 累计完成探井进尺 85901m。先后钻探了 13 个局部构造。这个阶段勘探可分两个时期, 1967 年以前, 地质部第一普查勘探大队在辽河拗陷进行油气资源的区域勘探, 先后钻探井 13 口, 有 5 口探井获工业油气流。1967 年 3 月以后, 石油工业部接替了该区勘探工作, 在已经发现油气的基础上进一步扩大了已取得的勘探成果。

该时期整个勘探工作的特点是: 地震勘探以详查、落实局部构造为主, 寻找更多的有利圈闭。钻探部署仍着眼于区域展开, 以预探地震发现的局部构造为主要目标, 并把勘探的范围从东部凹陷扩展到西部凹陷。经过几年勘探, 在完成的 35 口探井中, 获工业油气流的探井增加到 19 口, 新发现了兴隆台、黄金带、于楼、榆树台等具有工业开采价值的

含油构造,其中热河台和黄金带两个含油构造已证实为油气田。特别是一些构造上钻出高产油气井,明确了勘探的主攻方向,为勘探重点地区的确定准备好了条件。制伏黄金带构造黄5井的强烈井喷,不但谱写了一曲盘锦十万工农兵群众同心协力抢险保井的英雄凯歌,也迎来了辽河地区石油勘探的新时期。

(三) 详探兴隆台,解剖二级构造带

1970年3月,经国务院批准,石油工业部正式决定加速辽河地区油气资源的勘探。经过会战初期进一步钻探,勘探范围已扩展到大民屯、西部、东部3个主要生油凹陷,并且有9个二级构造带获得了工业油气流。如何选准勘探的主攻方向,是一项重要的决策问题,直接关系到勘探的速度和成效。通过分析对比得出兴隆台二级构造带比其他二级构造带具有更优越的条件,因而确定它为集中力量进行勘探的重点地区。兴隆台二级构造带作为重点勘探区的确定,是勘探重心由东部凹陷向西部凹陷的第一次大转移。立足于二级构造带整体含油的特点,把一个二级构造带作为一个基本的勘探单元,是整体解剖兴隆台二级构造带的基本出发点。根据该构造带每一个三级断块形成一个独立的油气藏的特点,遂将其作为一个具体的勘探开发单元,准备一块,勘探一块,开发一块,因此,它也是勘探与开发相结合的最早尝试。通过对兴隆台二级构造带的整体解剖,先后找到了兴1、兴20、兴212、兴42、马7、马20、马19等高产断块,并且迅速形成生产能力。随着一个个勘探成熟区块正式投入开发,原油产量也逐年增长,到1975年就全面拿下了兴隆台油田,年产原油从1970年的2152t,增长到1975年的 2454×10^4 t,达到一个新的高度。兴隆台油田从开始勘探,到油田建成全部投入开发仅用了6年时间,这是辽河地区石油会战以来,在当时基础十分薄弱的条件下取得的一项重大成果。到1975年底,下辽河坳陷已累计完成地震测线19740km,完成各类探井68口。探井总进尺为 20.45×10^4 m,勘探工作进入一个新的阶段。在主攻兴隆台的同时,还抓紧了对其外围地区的区域勘探,这就为新的勘探主战场的选择和接替准备了必要的条件。

(四) 主攻西斜坡,拿下大油田

西部凹陷的西部斜坡带原来叫作高升-西八千断裂鼻状构造带,是因其从北到南有一系列自西向东伸出的鼻状构造组成而命名。总勘探面积达1230km²,占整个西部凹陷面积的一半以上。经过多年地震勘探,对这个面积很大的西部斜坡带的构造面貌和地质特征已经有了基本了解,并且在这个斜坡带上发现了高升、曙光、杜家台、胜利塘、齐家、欢喜岭、西八千等受断裂控制的、以鼻状构造为主要特征的局部构造圈闭,已经具备了进行预探的条件。主攻西斜坡是两个勘探接替准备区最终选择的结果,也是全局勘探工作重心的第二次大转移。西部斜坡带从开始预探、发现油田到探明石油及天然气储量、全面投入开发,前后只用了5年时间。特别是1975年在欢喜岭、曙光、高升等地区先后获得工业油气流以后,一年勘探开发一个油田,三年跨出三大步,不但体现了较高的勘探速度和成效,而且也体现了勘探技术水平的提高。

(五) 勘探潜山油藏,开辟新的勘探领域

辽河坳陷潜山油藏的勘探始于1972年,贯穿在各个勘探阶段中,并且经历了多次反复。潜山油藏是辽河坳陷的重要勘探领域,在已经探明和控制的石油地质储量中占总储量的11.5%。潜山油藏的勘探在西部凹陷和大民屯凹陷都取得了重大成果,但是东部凹

陷潜山油藏的勘探还没有取得突破。根据地震资料,东部凹陷也像西部凹陷和大民屯凹陷一样,基底结构和起伏变化很大,潜山很多,在20世纪70年代初期就钻探了中央凸起南部倾没带的潜山带。1979年又钻探了三界泡潜山带,完成了下辽河拗陷第一口深探井——界3井。界3井完钻井深4473.24m,在井深4088m以下进入下古生界奥陶系,井底地层为寒武系,但没发现油气显示,试油也未获油气流。1980年又钻探了茨榆坨潜山带,虽然在太古宙混合花岗岩中普遍都发现油气显示,但除牛76井获工业油流外,大部分都不出油或只获少量油气流。因此,东部凹陷的潜山仍是一个需要进一步研究的重要勘探领域。

(六) 三探牛居获油田

所谓牛居地区的勘探实际上是以牛居-青龙台断裂背斜构造带为核心的整个东部凹陷北部地区的勘探。东部凹陷北部地区是指于家房子、铁匠炉一线以北的广大地区,东西宽约22km,南北长约60km,勘探面积达1290km²。通过应用数字地震技术,在这一地区取得了较好的地震反射成果,搞清了区域构造面貌。它包括牛居-青龙台断裂背斜构造带、茨榆坨潜山披覆构造带、头台-沈旦堡断阶带、东部斜坡带和大湾超覆带等二级构造带,以及于家房子、长滩等生油洼陷。

东部凹陷北部地区的面积将近占该凹陷的一半,发育了数个面积超过100km²的二级构造带。东部凹陷南部地区已经找到了热河台、于楼、黄金带、太平房等油田,还发现了欧里坨子、红星、朵兴屯、榆树台、油燕沟、海外河等含油构造;但北部地区经过两轮勘探,仅仅找到牛居一个台田构造。分析北部地区的地质构造条件虽然比较复杂,但作为油源基础的生油岩系却普遍存在,并且具有一定厚度,油气显示也十分广泛,说明这一地区曾有过油气生成运移过程,而且具有多种圈闭类型,生、储、盖组合条件也很好,关键是圈闭不落实。为了使这一地区的勘探能有大的突破,重新用数字地震仪部署地震详查,并把覆盖次数增加到24次,同时,改进野外施工和资料处理方法,取得较好的地震反射资料。在这个基础上反复落实局部构造,对圈闭范围、轴线方向、断层组合、断块划分、高点位置等方面都认识得比较清楚和准确,为这一地区的重新钻探奠定了基础。

从1980年开始,对东部凹陷北部地区进行第三轮钻探,以牛居-青龙台断裂背斜构造带为重点进行整体解剖,终于在这一地区取得了突破,除进一步证实牛居构造是一个具有工业开采价值的油田外,首次在青龙台构造上获得了工业油气流,在茨榆坨披覆构造的南段获得了工业气流,拓开了这一地区勘探的新局面。经过几年勘探,先后找到了牛居、青龙台、茨榆坨等复式油气田,目前这些油田都已全面投入开发,成为辽河拗陷的又一个油区。东部凹陷北部地区经过第三轮勘探虽然取得较大的成果,但与该区勘探面积不相称,与这个地区资源量的预测更不相称,还有一些领域需要深化勘探,这一地区仍有较大的潜力。

(七) 重上大民屯, 开拓新油区

大民屯凹陷是辽河拗陷三个主要生油凹陷中最小的一个凹陷,面积仅有800km²。这个凹陷的勘探可分为两个大的阶段,1971~1975年为一个阶段,1982年以后到现在为一个阶段。经过1961~1970年的地震勘探,对大民屯凹陷的地质、构造特点和二级构造带的展布情况已经有了基本的认识。1975年以后,由于西部凹陷的西部斜坡已经成为全局

勘探的主战场,勘探力量迅速向西部斜坡带转移,大民屯凹陷的勘探工作让位于这种形势而暂时中断。大民屯凹陷经过第一阶段勘探,对凹陷内各构造带的地质、构造特点及含油气情况已经有了基本的了解,关键问题是如何选取第二轮勘探的突破口。1982年在兴隆桥(即东胜堡)这一地区部署了胜3井,拉开了大民屯凹陷第二阶段勘探的序幕。1983年以后,大民屯凹陷的勘探全面展开,勘探重心放在凹陷东部地区,并以潜山油藏作为勘探的主要目标,这以后,大民屯凹陷事实上已经成为勘探的重点地区。事实证明,以东胜堡地区作为第二阶段勘探的出发点的决策是正确的,而胜3井的发现又大大加快了勘探的进程:经过几年勘探,大民屯凹陷东部的静安堡断裂鼻状构造带已经被证实是一个下有潜山油藏,上有古近系砂岩油藏广泛分布的复合油气富集带,已经成为有油又有气,石油地质储量超过 $1 \times 10^8 \text{ t}$ 的大型油气田,而且在静安堡油田的东侧又发现了一个新油田——边台油田,还发现了一些新的含油圈闭。

(八) 以生油洼陷为中心深化勘探

辽河拗陷经过多年的勘探,随着工作量的增加,勘探程度的提高,目前已开始进入勘探的高成熟阶段。这一阶段的重要标志是:目前已经探明、控制和预测的石油地质储量达到或超过预测总资源量的70%,各凹陷内的主要构造带大都已经钻探,比较大的明显的主要受构造控制的油气田(或油气藏)大都已经发现并全面投入开发,剩下的主要是一些埋藏较深、面积较小、勘探难度较大的隐蔽油气藏。目前,在辽河拗陷的几个主要生油凹陷内,深化地区的勘探主要实现两个方面的转化:由寻找构造油气藏为主,向寻找隐蔽油气藏为主转化;由正向二级构造带为中心,向负向生油洼陷为中心转化。勘探工作指向生油洼陷是勘探发展的必然趋势。与此同时,加强了辽河拗陷的东部凸起、西部凸起、中央凸起和浅海-海滩地区的勘探工作,寻找新的勘探领域。

第二节 油气藏勘探面临的问题

虽然辽河拗陷经过50多年的勘探,取得了可喜的成果,但在油气勘探和成藏研究中仍然存在一些重大难题。如辽河拗陷总体属于高勘探程度区,各类探井密度大,但探井分布不均,尤其在洼陷区、斜坡区探井数量少,勘探程度低,对这些区域的油气分布情况认识不清;不同类型(构造类、岩性类和潜山类)油气藏的成藏主控因素认识不清楚,未能建立不同类型油气藏的成藏主控因素控油气作用定量模式,从而导致不同类型油气藏的有利分布区带认识不清。要解决上述难点主要面临以下两个问题:传统方法不能有效指导油气勘探,油气成藏分布不能定量预测。

一、经典的油气成藏理论不能有效指导复杂条件下的深化勘探

“生、储、盖、运、圈、保”是油气地质学研究中的核心内容,也是国内外油气勘探工作者的经验总结。“生、储、盖、运、圈、保”控制着油气藏的形成与分布,在此基础上油气地质学家们发展了许多重要油气地质理论,如源控论、源-盖共控论、含油气系统和复合含油气系统、油气成藏体系、复式油气聚集带、构造坡折带和满凹含油理论等。这些油气地质理论在指导辽河拗陷油气藏的勘探实践上取得了一系列丰硕的成果。

“源控论”的内涵是:油藏(田)的形成与分布密切受烃源岩控制(胡朝元,