

断陷盆地富油凹陷 二次勘探工程

赵贤正 金凤鸣 王 权 杨德相 等著

DUANXIAN
PENDING FUYOU
AOXIAN ERCI
KANTAN
GONGCHENG

石油工业出版社

断陷盆地富油凹陷二次勘探工程

赵贤正 金凤鸣 王 权 杨德相 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在渤海湾盆地和二连盆地油气勘探实践和前人研究的基础上,提出了高勘探程度富油凹陷实施二次勘探工程的必要性和重要意义,对富油凹陷二次勘探工程的地质理论进展、二次勘探方法、关键勘探(工程)技术和油气勘探实践进行了系统、全面的总结,对我国东部成熟探区进一步深化油气勘探具有重要的指导意义。

本书可作为从事油气勘探地质综合研究和现场生产人员的参考用书,也可以作为油气地质与勘探专业本科生和研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

断陷盆地富油凹陷二次勘探工程/赵贤正等著.
北京:石油工业出版社,2016.9

ISBN 978-7-5183-1340-2

I. 断…

II. 赵…

III. 断陷盆地-坳陷-油气勘探

IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 132283 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

编辑部: (010) 64523544

图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 27.5

字数: 700千字

定价: 200.00元

(如发现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《断陷盆地富油凹陷二次勘探工程》

主要撰写人员

赵贤正	金凤鸣	王 权	杨德相	张以明	张锐锋
史原鹏	韩春元	吴健平	唐传章	秦凤启	曹兰柱
范炳达	田福清	沈 华	罗 强	费宝生	刘井旺
张宏伟	王元杰	侯凤香	谢佩宇	淡伟宁	崔周旗
才 博	马学峰	王 建	李熹微	师玉雷	赵福祥
董雄英	王孟华	周明顺	袁胜辉	陈院生	郭永军
闫伟鹏	李 欣	刘占族	闫福旺	孟庆峰	罗安银

序

渤海湾盆地是中国东部重要含油气盆地之一，截至 2013 年底，累计探明石油地质储量 140.52 亿吨，占全国的 40%，年产油气当量 7596 万吨，位居全国各大含油气盆地之首，地位举足轻重。

但是，渤海湾盆地自 1961 年 4 月 15 日，东营凹陷辛镇构造华 8 井在古近系获得日产油 8.1 吨的工业油流以来，至今已经开展了 50 多年大规模的油气勘探，石油地质资源探明率已经达到 51.3%，进入了高勘探程度阶段，有利的正向构造带已基本被三维地震勘探所覆盖，钻探程度高，构造油藏的发现越来越少、规模越来越小，油气储量增长进入徘徊期，原油产量进入逐年递减阶段，勘探生产形势日趋严峻。

尽管如此，渤海湾盆地富油凹陷剩余资源依然丰富，预测未来探明石油地质储量可达 50 亿吨，仍是今后一个时期上产增储的主要方向。赵贤正同志和他的研究团队，立足富油凹陷丰富的剩余油气资源，以覆盖全凹陷的三维地震数据体为基础，以富油凹陷“满凹含油”、“注槽聚油”等新理论新认识为指导，以富油凹陷整体为单元，以岩性、地层油藏为主的所有油藏类型为目标，以先进适用的钻井、测井和储层改造等工程新技术为重要支撑，提出了富油凹陷新一轮次重新“整体认识、整体评价、整体部署”的二次勘探工程，并在华北探区富油凹陷开展了卓有成效的勘探实践，取得了油气勘探的新突破和大发现，2009 年以来每年新增石油地质储量超亿吨，开创了成熟探区油气勘探的新局面，成为了老油田再造青春的典范。

本书就是对富油凹陷二次勘探工程地质理论进展、二次勘探方法、关键工程技术和油气勘探实践的全面总结。在成藏理论方面，论述了富油凹陷注槽聚油理论认识，以及隐蔽型潜山与弱构造斜坡带的油气运聚成藏特征和富集规律；在勘探方法方面，提出了以整体研究、整体评价和整体部署为核心的富油凹陷二次勘探方法流程；在勘探技术方面，系统梳理了全凹陷整体连片三维地震勘探、精细地震储层预测、深层及潜山内幕优质高效钻井、复杂油气层精细录井、复杂油气层测井综合解释和复杂油气层高效改造测试等关键工程技术；在勘探实践方面，回顾了饶阳凹陷、霸县凹陷、廊固凹陷和阿尔凹陷等四个富油凹陷的勘探历程、成果与启示。极大地丰富和发展了断陷盆地富油凹陷的油气勘探理论、技术和方法。

全书资料翔实、内容丰富、图文并茂，是一本关于成熟探区深化勘探、精细勘探的佳作，相信该书的出版一定会对渤海湾盆地乃至类似成熟探区精细二次勘探和持续规模增储具有重要的指导作用和借鉴意义。

中国科学院院士

金渝

前 言

中国东部陆相断陷盆地发育。自 20 世纪 60 年代以来,经历了近 50 年大规模的油气勘探,逐步形成了陆相生油理论和复式油气聚集等油气地质认识,指导并推动了陆相断陷盆地的油气勘探工作,为中国石油工业的发展作出了重要贡献。

渤海湾盆地为主要的陆相断陷含油气盆地,其石油资源量占全国的 25%,探明石油地质储量占全国的 40%,2013 年油气产量占全国的 25%,为中国主要产油气盆地之一。盆地内富油凹陷成藏条件优越,探明石油地质储量占渤海湾盆地的 82%,年原油产量占盆地年产量的 73%,是储量分布和油气生产的主体。经过多年大规模勘探,虽然富油凹陷已经进入高探明率和高勘探程度的“两高”阶段,但剩余油气资源依然丰富,油气勘探仍然存在明显的不均衡性。立足丰富的油气资源,持续深化富油凹陷的油气勘探工作,实现油气储量的稳步增长,仍然是实现“稳定东部”国家能源安全战略的关键。

进入 21 世纪以来,针对断陷盆地富油凹陷构造油藏勘探程度高、发现规模储量难度大的客观形势,不断解放思想、转变勘探思路、持续深化富油凹陷,尤其是地层岩性油藏领域油气成藏条件与富集规律研究,相继提出了富油气凹陷“满凹含油”、断陷凹陷“洼槽聚油”以及隐蔽型(地层岩性)油气藏“断坡控砂—复式输导—相势控藏”等地质理论新认识。同时,不断强化勘探工程技术攻关,创新发展了全凹陷整体连片三维地震勘探技术、相控精细储层预测技术和复杂储层改造增产技术等。以地质成藏理论新认识为指导,以勘探新技术为支撑,指导富油凹陷新一轮油气勘探工作,构建了多种油气成藏新模式,实现了油气勘探由正向二级构造带向构造带翼部、洼槽区和向斜区的转移,由潜山顶块状油藏与新生界构造油藏向隐蔽型潜山油气藏及地层岩性油气藏的转移,极大地拓展了油气勘探领域和空间。在勘探实践中逐步形成并提出了开展富油凹陷二次勘探工程的新思路,指出富油凹陷二次勘探是地质理论、勘探方法和工程技术的全面创新与勘探实践,实现富油凹陷再次规模增储的系统工程。

本书紧密结合近 10 多年来冀中坳陷、二连盆地的油气勘探实践,重点分析了富油凹陷实施二次勘探工程的必要性,提出了二次勘探工程的内涵、条件以及二次勘探方法;系统阐述了富油凹陷全凹陷构造重建、沉积重建、储层重建以及精细烃源岩评价与油气资源动态模拟的工作方法和研究成果;全面剖析了饶阳、霸县等富油凹陷内不同油气成藏区带和领域的油气成藏模式与二次勘探实践;提炼总结了全凹陷整体连片三维地震勘探、地震沉积学储层预测、复杂油层改造增产等二次勘探工程关键技术,内容丰富、资料翔实。旨在进一步丰富和深化富油凹陷的油气勘探工作,并对今后乃至类似含油气盆地或富油凹陷的油气勘探都有一定的借鉴作用。

本书由赵贤正和金凤鸣确定框架、拟定提纲和组织编撰。具体编撰章节通过多轮次集体讨论确定,分头执笔完成。前言及第一章由赵贤正、王权、闫伟鹏、李欣编写;第二章由金凤鸣、唐传章、袁胜辉、陈院生、刘占族等编写;第三章由张宏伟、张锐锋、费宝生、田福清等编写;第四章由吴健平、崔周旗等编写;第五章由韩春元、张以明、郭永军、董雄英等

编写；第六章由罗强、马学峰、王建、师玉雷编写；第七章由赵贤正、金凤鸣、王权、范炳达、谢佩宇等编写；第八章由秦凤启、王孟华、闫福旺等编写；第九章由金凤鸣、赵福祥、才博、沈华、周明顺、孟庆峰、罗安银等编写；第十章由杨德相、史原鹏、曹兰柱、刘井旺、王元杰、侯凤香、淡伟宁、李熹微等编写。参加本书编写的人员还有周赏、方海飞、朱张丽、刘趁花、古强、侯凤梅等。最后由赵贤正、金凤鸣统编定稿。

本书在编撰过程中，中国科学院金之钧院士给予热情指导并作序；同时，得到了中国工程院赵文智院士，中国石油勘探开发研究院胡素云教授、李建忠教授，中国石油大学（北京）邹华耀教授、朱筱敏教授、董艳蕾副教授，中国石油大学（华东）金强教授、戴俊生教授、蒋有录教授等的指导和帮助。本书的出版得到了华北油田公司有关领导的鼓励与支持。在此一并表示衷心的感谢。

本书的一些观点认识，还有待在今后的油气勘探中进一步实践、补充和完善，加之编撰人员水平有限，不妥之处，恳请读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 断陷盆地基本地质特征	(1)
第二节 二次勘探工程涵义与勘探方法	(8)
第二章 全凹陷整体三维地震数据平台构建	(18)
第一节 全凹陷整体三维地震勘探思路	(18)
第二节 城矿区三维地震勘探方法	(27)
第三节 多期次三维地震融合勘探方法	(32)
第四节 可控震源宽频三维地震勘探方法	(37)
第五节 全凹陷三维地震连片处理	(41)
第三章 全凹陷构造体系重建	(45)
第一节 大连片三维地震数据体构造解释方法	(45)
第二节 整体构造特征	(51)
第三节 局部构造新认识	(64)
第四节 弱构造带特征	(69)
第五节 构造演化特征	(88)
第四章 全凹陷沉积体系重建	(92)
第一节 层序地层格架的建立	(92)
第二节 不同体系域沉积体系特征及展布	(113)
第五章 全凹陷储层特征重建	(140)
第一节 中深层碎屑岩储层特征	(140)
第二节 深潜山及潜山内幕储层特征	(181)
第三节 特殊岩类储层特征	(195)
第六章 全凹陷精细烃源岩评价与成藏模拟	(213)
第一节 精细烃源岩评价	(213)
第二节 成藏模拟与油气分布预测	(245)
第七章 二次勘探地质理论认识进展	(276)
第一节 洼槽区油气成藏	(276)
第二节 弱构造斜坡带油气成藏	(284)
第三节 隐蔽型潜山油气成藏	(290)

第八章 二次勘探地震储层预测技术进展 (302)

 第一节 地震沉积学储层预测 (302)

 第二节 相控地震储层预测 (308)

 第三节 AVO 油气检测 (324)

第九章 二次勘探关键工程技术进展 (330)

 第一节 深层及潜山内幕优质高效钻井 (330)

 第二节 复杂油气层精细录井 (353)

 第三节 复杂油气层测井综合解释 (359)

 第四节 复杂储层油气藏高效改造 (370)

第十章 富油凹陷二次勘探实践 (378)

 第一节 饶阳凹陷 (378)

 第二节 霸县凹陷 (390)

 第三节 廊固凹陷 (400)

 第四节 阿尔凹陷 (409)

参考文献 (422)

第一章 绪 论

第一节 断陷盆地基本地质特征

一、构造特征

中国东部（裂谷）断陷盆地发育，在区域构造分布上，主要有分布在东北亚裂谷系的海拉尔盆地、二连盆地、开鲁盆地、银根—额济纳旗盆地等，以及分布在中国东部裂谷系的渤海湾盆地、南襄盆地、苏北盆地、江汉盆地、百色盆地、莺歌海盆地和珠江口盆地等。按照成因可以分为主动式裂谷盆地和被动式裂谷盆地；主动式裂谷盆地以渤海湾盆地为代表，莫霍面隆起与盆地沉降中心明显呈镜像关系，盆地形成的动力与上地幔的活动有关；被动式裂谷盆地以二连盆地和海拉尔盆地为代表，莫霍面隆起与盆地沉降中心不呈镜像关系，其形成的动力与上地幔关系不密切，主要受太平洋板块和印度洋板块与欧亚板块相互作用的远程构造应力作用（杜金虎等，2007；费宝生等，2000）。

以渤海湾盆地和二连盆地为代表的大陆裂谷盆地的结构，多表现为隆坳相间、凹凸相间的构造格局。在陆相断陷的构造演化发育过程中，受所处区域构造位置、构造应力场、边界断层的产状与类型等因素的控制，形成不同的凹陷结构。其中，以单断式箕状凹陷最为发育，其次是不对称双断式凹陷，进而可以划分出单断式结构和双断式结构两类六种凹陷结构类型（图 1-1）。

（一）单断式凹陷结构

单断式凹陷结构是中国东部断陷盆地的主要凹陷类型，占到凹陷数量的 90%。单断式又可细分出单断断超式、单断单断槽式、单断双断槽式和单断反转式等四种主要结构样式。其中在二连盆地、海拉尔盆地等，凹陷构造更加复杂，有时在一个凹陷内，可以存在两种以上的结构样式。

1. 单断断超式凹陷

又称为半地堑凹陷（易士威等，1998；李正文等，1997）。该类凹陷的形成，主要受陡坡侧的控凹边界断层控制，沉降中心在断根处，沉积中心可向缓坡方向偏移。

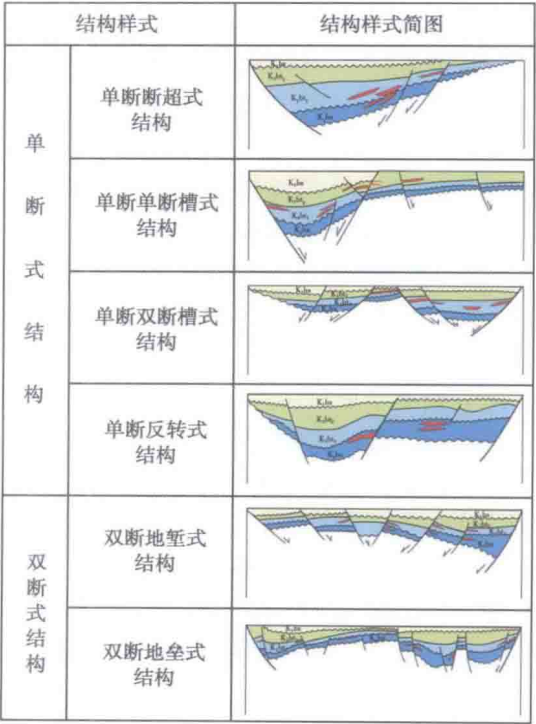


图 1-1 二连盆地凹陷结构分类图

在发育过程中,伴随着湖盆范围的扩大,地层始终向缓坡方向层层超覆。这类凹陷属于继承性凹陷,沉降中心主要位于陡坡带控凹断层根部,但也可向缓坡逐渐迁移,在空间上存在不一致现象,生烃层系厚度适中,横向分布范围较广。该类断陷凹陷陡带、洼槽带和斜坡带三分结构清楚,可存在一个主洼槽,也可存在一个主洼槽和一个以上的次级洼槽,它们沿凹陷边界主断层呈走向串联分布,常形成独立的含油气系统。各洼槽之间发育正向构造带,起到分割作用,如二连盆地的乌里雅斯太凹陷。

2. 单断单断槽式凹陷

在凹陷初始形成期,受陡侧边界断层的控制;发育早期就在缓坡低部位发育了一条与边界断层倾向相反的二级正断层,两者相夹持,共同控制了主洼槽的形成与发育;在另一侧,可以形成相对宽缓的斜坡。这类凹陷也属于继承性凹陷,其中断槽带既是沉降中心,又是沉积中心,深湖—较深湖相暗色泥岩累计厚度较大,有利生烃层系集中发育,如渤海湾盆地冀中坳陷的霸县凹陷、二连盆地吉尔嘎朗图凹陷。

3. 单断双断槽式凹陷

这类凹陷通常是比较宽缓的凹陷,在陡带发育控凹边界断层,在其下降盘形成主洼槽;在凹陷中部,靠近主洼槽一侧,发育规模较大的反向正断层,形成中央潜山(背斜)构造带;在另一侧,则发育产状与控凹边界断层产状同向的正断层,在下降盘形成次洼槽带。可以划分出陡坡带、主洼槽带、中央潜山(背斜)构造带、次洼槽带和缓坡带。如渤海湾盆地冀中坳陷的饶阳凹陷北部自东向西,依次发育马西主洼槽、任丘潜山构造带、任西次洼槽和蠡县斜坡、通常主洼槽具有较大的规模,地层埋藏深、厚度大、生烃层系比较发育,形成独立存在的良好含油气系统;而次洼槽带发育程度相对较差,生油气能力相对较低。

4. 单断反转式凹陷

这类凹陷的结构特征与单断断超式凹陷相同,不同之处在于其所在的部位构造活动更加强烈,特别是陡带一侧后期反转作用明显。因此,在发育过程中,受构造反转作用的控制,伴随有沉降中心的明显迁移,造成沉积中心的侧向迁移,导致不同层系的生烃层系发育具有非继承性,可以横向叠合连片,分布较广,但厚度偏小。如巴音都兰凹陷,为典型的单断(陡带)反转凹陷,可以划分出陡带反转背斜(断鼻)构造带、洼槽带和斜坡带。

(二) 双断式凹陷结构

双断式凹陷两侧均以同生正断层为界,沉积上沿湖盆两岸主要分布有水下扇群,中央为湖区,相带清晰。一般为不对称式的双断式凹陷。双断式凹陷结构样式主要有双断地垒式凹陷和双断地堑式凹陷两种。

1. 双断地垒式凹陷

这类凹陷通常规模较大,分布于盆地或坳陷内部。在凹陷结构上,受两条相向发育的边界正断层控制,内部又分别发育两条与边界断层相向发育的二级断层控制,中部有宽缓的地垒带。其内部结构有两类(易士威等,1998):一类在凹陷两侧都发育二级断层,形成两侧的断槽(如二连盆地的额尔登苏木凹陷);另一类只在凹陷一侧发育二级断层,只在一侧形成断槽,另一侧地垒与洼槽之间以斜坡过渡,由洼槽向地垒地层逐层超覆(如二连盆地的阿南—阿北凹陷)。该类凹陷为继承性凹陷,两个洼槽均具有良好的成油气能力。

2. 双断地堑式凹陷

该类凹陷发育受两侧边界断裂控制(易士威等,1998),因断裂发育程度有差异而形成不对称双断结构,大断距边界断裂一侧的洼槽是主洼槽,小断距边界断裂一侧的洼槽成为次

洼槽, 凹陷内部发育的二级生长断层形成中央地堑, 扩大了半深湖—深湖沉积的范围。其构造带可以分为主洼槽带、中央地堑带和次洼槽带。该类凹陷沉降中心位于边界断裂根部, 沉积中心位于中央地堑的中段, 二者不一致。其中, 主洼槽表现为继承性发育, 烃源岩厚度大、成熟度高; 而次级洼槽在后期受到抬升剥蚀, 烃源岩厚度小, 发育程度差, 其含油气性不如主洼槽。如二连盆地的额仁淖尔凹陷, 可以划分出两侧陡带、主洼槽带、中央地堑带(塌陷背斜带)和次洼槽带。

二、沉积特征

(一) 不同断陷构造带的沉积特征

陆相断陷沉积体系和沉积砂体的分布, 主要受凹陷结构、边界断层样式与产状、构造沉积坡折、地层层系及体系域、沉积相带等多因素控制, 从而造成不同类型断陷、断陷内不同构造带各具特色的沉积特征。

1. 单断式凹陷

由于单断式凹陷在构造上具有单侧断层控凹的特点, 通常可以明确地划分出陡坡带、缓坡带和洼槽带三个二级构造带。

陡坡带是控凹断层发育位置, 具有坡度陡、近物源、构造活动强、水体变化大、水动力条件多样的特点, 形成的沉积体系也随凹陷的演化而呈现多样性。由早期的洪积相、水下扇相发展到鼎盛期的深湖—半深湖相、三角洲相和水下扇相, 直到晚期发育湖沼相和河流相。不同盆地内的断陷, 受构造活动和物源区供给的影响又有所差异; 在二连盆地, 由于具有近物源、多物源特点, 沉积物搬运距离近、快速入湖沉积, 在陡坡带多形成规模较小的扇三角洲沉积体系, 而在渤海湾盆地, 沉积物经过较长距离的搬运, 分选较好, 多形成辫状河三角洲和正常三角洲沉积。

缓坡带多以沉积缓坡或构造—沉积缓坡为主, 常常形成地层超覆带。沉积环境相对稳定, 发育辫状河三角洲相、湖滩(坝)相; 在发育明显构造—沉积坡折带部位, 控制了三角洲前缘和湖底扇体的分布。

洼槽带受多方物源供给, 以半深湖—深湖沉积为主, 同时还可以发育三角洲前缘和前三角洲以及浊积扇等, 沉积砂体与半深湖—深湖泥岩呈频繁互层或包裹关系, 具备形成源内或近源岩性油藏的有利成藏条件。

2. 双断式凹陷

由于双断式凹陷两侧均以同生断层为界, 常发育两个洼槽或断槽, 这种构造形态严格控制着凹陷的古水系、物源方向、砂体成因及沉积相带展布。浅水期各种扇体的前缘带可延伸至凹陷中心的洼陷带或超覆在中央构造带上, 深陷期洼槽区则普遍发育浊积扇沉积体; 由于缓坡不发育, 这类凹陷缺少地层超覆带。一般情况下, 双断式凹陷两个陡坡带以冲积扇、扇三角洲、浊积扇为主要沉积类型, 但也有特殊情况, 如冀中坳陷深县凹陷沙三段在其北部陡坡带即发育大型辫状河三角洲沉积体系, 沿旧城北断阶带向中央洼槽带延伸, 面积可达200km²。

3. 具中央构造带的凹陷

这类凹陷面积一般比较大, 中央构造带大体沿凹陷长轴方向延伸, 凹陷陡侧为主洼槽, 缓侧为次洼槽。如冀中坳陷饶阳凹陷, 面积5280km², 自西向东发育蠡县斜坡带、次洼槽带、中央潜山构造带、马西主洼槽带、东部陡坡带。中央构造带早期多为凸起带, 后期被复

杂断层分割为几个背斜构造带，如东营凹陷，面积 7000km²，内部被中央构造带分为牛庄、利津、民丰三个洼陷，中央构造带又可分为几个次级背斜带。

早期湖盆碎屑物质主要来自凹陷的长轴方向，陡坡与缓坡的沉积环境、沉积体系和前述两类凹陷相近。两侧湖盆砂体进入湖区，形成辫状河三角洲前缘砂体；中央构造带常常作为水下古高地，形成湖相滩坝沉积体系。中央构造带夹于主、次洼槽之间，处于油气的主要运移指向区，是凹陷内油气最富集的区域。中央构造带形成时间有早有晚，如沧东—南皮凹陷中的孔店构造带在凹陷发育鼎盛时期并未形成，而是后期孔一段上亚段发育时期才开始形成。饶阳凹陷中央潜山带则在古近系前就已形成，古近系由下向上层层超覆或披覆于古潜山之上。但由于沉积物供给不足，砂体规模总体较小，相变快，可形成岩性油藏，也有碳酸盐岩发育形成岩性油藏。

（二）断陷不同演化阶段的沉积特征

陆相断陷盆地内，沉积—沉降中心对烃源岩分布、储层发育具有明显的控制作用。一般情况下，凹陷在某个时期处于盆地沉降—沉积中心，则凹陷周围水系发育，暗色泥岩及砂体规模也都比较大。盆地的沉积—沉降中心随地质年代变化具有迁移性，以渤海湾盆地为例，古近纪以来，盆地周围边界及其内部发育了大量不同类型、不同尺度与不同级别的断裂，受其控制，盆地沉积中心呈现出自西向东的迁移性，不同断陷（凹陷）之间的沉积特征在凹陷发育演化过程中也表现出明显的差异性（表 1-1）。

孔店组沉积时期，盆地边缘昌潍拗陷和济阳拗陷沉积厚度最大，潍北凹陷孔二段最发育地区钻井+地震推测最大厚度 3000m，发育轴向水道—深湖沉积体系，厚层暗色泥岩与浊积岩形成良好的生储盖配置。次为冀中拗陷和临清拗陷，孔店组的总体沉积面积较大，形成冲积扇—水下扇—深湖沉积体系，扇体最大厚度可达 1200m，在廊固凹陷厚度可达 3000~5000m；南部晋县凹陷则发育膏盐湖沉积。该时期黄骅拗陷沉积厚度较小，但在拗陷南部的沧东—南皮凹陷发育孔二段，沉积面积可达 1000km²，形成冲积扇—盐湖沉积体系。这主要是由于新生代初的裂陷是在中生代末期盆地闭合的基础上发生伸展形成的，此时华北地区还具有较强的统一性，断裂主要发生在大型构造边界部位，如郑庐断裂和太行山前断裂等。

沙河街组四段沉积期，沉降中心仍在济阳拗陷，此时冀中拗陷沉积厚度也较大。沿东营凹陷北带发育规模较大的砂砾岩体，长约 40km，宽 5~7km；凹陷南斜坡则发育碎屑滩坝—滨浅湖沉积。廊固凹陷发育浅水碳酸盐岩及生物礁，别古庄油田属此类型。沙四段沉积时期，临清、昌潍等拗陷沉积量较小。此时辽河拗陷进入初陷期，形成浅湖环境沉积体，西部牛心坨断裂累计下陷幅度超过 1200m，西侧水系形成分布面积达 700km² 的辫状河三角洲发育区。黄骅拗陷处于隆升状态，沉积面积最小。

沙三段沉积时期，盆地东部和北部的辽河、渤中、济阳和黄骅拗陷成为沉降中心，最大沉积速率达到 1000m/Ma 以上。辽河拗陷大民屯凹陷荣胜堡洼陷最大厚度可达 3500m，西部凹陷斜坡带发育三角洲—湖底扇沉积体系。济阳拗陷沾化凹陷、东营凹陷都发育水下扇，处于沉降中心的东营凹陷还发育三角洲、浅湖—一半深湖相。冀中、临清和昌潍拗陷最大沉积速率尚达不到上述拗陷的一半，冀中拗陷沉积中心已经由西部凹陷带转向东部凹陷带，东部凹陷带沙三段沉积厚度明显大于西部凹陷带。

沙二段沉积时期，各拗陷的沉降和沉积相对沙三段要小得多，不足其速率的一半，但相对来说，冀中、临清和黄骅拗陷较大，并且冀中拗陷和临清拗陷在其他拗陷沙河街组二段沉积期间普遍发生萎缩的情况下反而发生沉降幅度和沉积速率的加大。

表 1-1 渤海湾盆地各凹陷—近古近—新近纪沉积体系类型

地层	东营 凹陷	惠民 凹陷	沾化 凹陷	车镇 凹陷	歧口 凹陷	沧东—南 皮凹陷	南堡 凹陷	辽河西部 凹陷	大民屯 凹陷	饶阳 凹陷	廊固 凹陷	霸县 凹陷	深县 凹陷	晋县 凹陷
Ng	洪积—冲积扇	山麓—洪积、河流	山麓—洪积、河流	山麓—洪积、河流	浅湖、辫状河、三角洲	曲流河、洪积—冲积	冲积扇—河流、三角洲			曲流河、洪积—冲积	曲流河、洪积—冲积	曲流河、洪积—冲积	曲流河、洪积—冲积	曲流河、洪积—冲积
Ed	三角洲—河流	河流—三角洲、滩坝	冲积扇—辫状河三角洲、扇三角洲—湖泊、湖沼	冲积扇—辫状河三角洲、扇三角洲—湖泊、湖沼	浅湖、半深湖、河流三角洲	曲流河、洪积—冲积	半深湖、水下扇、扇三角洲	河流冲积、泛溢平原、三角洲		河流、湖沼、辫状河三角洲	河流、沼泽	冲积平原、河流、沼泽	河流、沼泽	河流
E _{s1} —E _{s2} ^上	滨浅湖、滩坝、河流—三角洲	滨浅湖—滩坝、河流	滨浅湖、深湖、半深湖、三角洲	滨浅湖、深湖、半深湖、三角洲	浅湖、半深湖、河流三角洲、水下扇	浅湖、三角洲	冲积扇—扇三角洲、深水下扇、碳酸盐岩浅滩	扇三角洲、湖泊滩坝	泛溢平原或无沉积	三角洲、较深湖	冲积扇、滨浅湖、水下扇	较深湖、辫状河三角洲、水下扇	河流、浅湖	河流
E _{s2} ^下 —E _{s3} ^上	河流—三角洲、滨浅湖	河流—三角洲、滨浅湖	滨浅湖、扇三角洲滩坝	滨浅湖、扇三角洲	浅湖、半深湖、河流三角洲、水下扇	浅湖、三角洲	冲积扇—扇三角洲、深水下扇	湖底扇、湖泊滩坝	河流、泛溢平原	河流、三角洲、滨浅湖	冲积扇、河流、滨浅湖	湖沼、辫状河三角洲、滨浅湖、干盐湖	河流	河流
E _{s3} ^中	三角洲(滑塌浊积扇)、深湖—半深湖	滨浅湖、深湖、半深湖、扇三角洲、扇三角洲	滨浅湖、深湖、半深湖、扇三角洲(浊积扇)	深湖—半深湖、近岸水下扇(浊积扇)	深湖、扇三角洲、河流三角洲、浊积扇	深湖、扇三角洲、河流三角洲、浊积扇	冲积扇—扇三角洲、深水下扇		湖泊、河流—三角洲、冲积扇—扇三角洲	深湖—半深湖、河流、冲积扇	深湖—半深湖、河流、冲积扇	深湖—半深湖、扇三角洲、浊积扇	深湖—半深湖、扇三角洲	深湖—半深湖、河流
E _{s3} ^下	深湖—半深湖、浊积扇	滨浅湖、深湖、半深湖、扇三角洲(浊积扇)	深湖—半深湖、扇三角洲(浊积扇)	深湖—半深湖、近岸水下扇(浊积扇)	深湖、扇三角洲、河流三角洲、浊积扇	深湖、扇三角洲、河流三角洲、浊积扇	冲积扇—扇三角洲、深水下扇		湖泊、河流—三角洲、冲积扇—扇三角洲	深湖—半深湖、河流、冲积扇	深湖—半深湖、河流、冲积扇	深湖—半深湖、扇三角洲、浊积扇	深湖—半深湖、扇三角洲	深湖—半深湖、河流
E _{s4}	深湖—半深湖、滨浅湖、滩坝、近岸水下扇(浊积扇)	扇三角洲、滨浅湖滩坝	滨浅湖、滩坝	滨浅湖、近岸水下扇	冲积扇、扇三角洲、浅湖	深湖—半深湖、冲积扇、水下扇	扇三角洲、颗粒砂岩滩坝	扇三角洲、湖沼	冲积扇、扇三角洲、湖泊	坡积、河流	深湖—半深湖、滩坝、水下扇	深湖—半深湖、滩坝、水下扇	坡积、河流	干盐湖
Ek					冲积扇、扇三角洲、浅湖	深湖—半深湖、冲积扇、水下扇	深湖—半深湖、冲积扇、水下扇			河流	深湖—半深湖、冲积扇	深湖—半深湖、冲积扇	坡积、河流	干盐湖、坡积、河流

沙河街组一段沉积中心在渤中坳陷和黄骅坳陷,这两个坳陷沉积和沉降速率显著增大的一个阶段,其值甚至达到和超过沙三段的水平。黄骅坳陷北部及南部发育碎屑岩滩坝—滨浅湖,部分地区还发育碳酸盐岩。其次为辽河坳陷,辽河西部凹陷发育扇三角洲—浅湖沉积体系。冀中坳陷中西部沙一段则发育三角洲—浅湖沉积。辽河坳陷和渤中坳陷成为渤海湾盆地东营组沉积时期沉降和沉积速率最大的地区,尤其是辽河坳陷、黄骅坳陷滩海地区,其数值明显大于其他各坳陷的水平。

新近纪以来,渤中坳陷在经历了古近纪末一定幅度的抬升剥蚀之后,一直保持持续的快速沉降,沉降速率与沉积速率基本稳定在东营组沉积以来的水平。新近系明化镇组和馆陶组沉积时期,沉积厚度自冀中坳陷经黄骅坳陷到渤中坳陷,由西向东逐渐增厚。歧口凹陷厚度较东营凹陷和沾化凹陷要厚一些。到更新世除辽河坳陷沉积和沉降速率有大幅度提高外,其他各坳陷均有小幅度下降。

盆地内不同凹陷,其湖盆形成演化过程也具有明显的不同。在盆地内大部分凹陷处于早期充填阶段的情况下,也有一些发育较迅速的凹陷进入扩展深陷期,如廊固凹陷、潍北凹陷、沧东—南皮凹陷。这些凹陷位于山前断裂带,深湖区偏于紧邻的边界大断层下降盘一侧,总面积可达 2238~4800 km²,形成以孔店组—沙四段为主力的烃源岩。这类凹陷较之发育稍晚的凹陷,多一套烃源岩,若后期未遭受严重破坏,区域性盖层保存,可以形成比较丰富的油气聚集沉积体系,如沧东—南皮凹陷、潍北凹陷;即使遭受抬升,后期再次接受沉降后,烃源岩进入二次生烃期,运移至临近水下扇,也可以形成良好的生储盖配置。且后期构造反转使原来的负向构造转变成正向构造,形成新的圈闭,导致油气再次分配油气藏。渤海湾盆地大部分凹陷进入扩张深陷期时,也有一些凹陷进入衰退期,如保定凹陷。

三、油气分布特征

(一) 主生油洼槽油气资源丰富并控制油气分布

陆相断陷盆地凹陷内往往发育一个主生油洼槽或多个次生油洼槽,其控制着烃源岩的发育程度。通常,主生油洼槽内优质烃源岩或中等烃源岩厚度大、分布面广,洼槽生烃强度大,油气资源量大,是含油凹陷油气资源的主要贡献者。同时,主生油洼槽生成的油气也利于就近运移聚集并富集成藏,在其内与周缘正向构造带,油气富集程度高。如围绕饶阳凹陷马西洼槽、河间洼槽、留西洼槽以及霸县凹陷的霸县洼槽等主洼槽区,形成了任丘潜山复式油气聚集带、八里庄复式油气聚集带、留西复式油气聚集带和岔河集油气聚集带等富集高产油田或富集带。

次生油洼槽有一定油气资源。次生油洼槽指生油岩厚度偏小、范围不大,有机质丰度偏低,母质类型中到差,成熟度适中,生、排烃条件较充分,能形成一定数量的油气资源,只能形成中小型油气田。

(二) 主要形成四种主要的油气聚集带

以冀中坳陷为例,受断陷构造样式和主要构造带类型控制,断陷盆地凹陷内主要形成四种主要的油气聚集带,分别是中央潜山复式油气聚集带、凹陷内挤压背斜复式油气聚集带、陡坡(断阶)复式油气聚集带和斜坡复式油气聚集带。

1. 中央潜山复式油气聚集带

中央潜山构造带位于断陷盆地凹陷中部,中元古代—古生代海相碳酸盐岩地层在燕山运动强烈的断褶活动下,发生大面积剥蚀,形成古隆起区;喜马拉雅运动(主要是古近纪)

块断翘倾活动强烈，造成山峦起伏的古地貌，形成古潜山构造带；其两侧紧邻古近系生油洼槽，是油气的主要运移指向区，油气供给充足，从而形成了凹陷最主要的以潜山油藏为主的复式油气聚集带。

该油气聚集带主要分布有两种主要油藏类型，分别是潜山油藏和新生界披覆背斜油藏。潜山油藏最典型的是任丘潜山油藏和郑州潜山油藏，都是基岩块体翘倾形成的。当潜山圈闭形成较早且具备良好的供油条件时，可以形成极其丰富的油气聚集，如任丘潜山油藏石油地质储量丰度平均达 $724 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ ，郑州潜山油藏石油地质储量丰度达 $415 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 。但是有些潜山勘探效果也不理想，主要原因有两点，一是供油条件差，如饶阳凹陷大王庄潜山；二是储层不好，如河西务构造带东储、南旺等潜山，虽然已经发现油气，但因储层不好而产量很低。

古近系—新近系披覆背斜油藏分布于中央潜山带基岩地层之上，往往呈现背斜构造背景，捕油面积广，也可以形成丰富的油气聚集。

2. 凹陷内挤压背斜复式油气聚集带

凹陷中央或洼槽带内常形成挤压背斜构造，由于具有良好的构造背景，砂体发育，处于生油洼槽内，供油条件优越，局部构造众多等特点，油气易于聚集成藏，形成油气富集带。冀中坳陷内比较典型的有霸县凹陷的岔河集背斜带，饶阳凹陷的留楚背斜带，深县凹陷的深南、榆科背斜带等。主要有利成藏条件有：（1）为一个大型背斜构造，具有良好的构造背景；（2）构造位于生油洼槽内，油源供给丰富；（3）断层发育，为油气垂向运移提供了主要通道；（4）河湖相砂体发育，相互叠置，为油藏的形成提供了较好的储层。

3. 陡坡（断阶）复式油气聚集带

该带沿控制凹陷的基底大断裂两侧分布，主要油藏形式有两种：

（1）基底大断裂上升盘的潜山油藏，如南马庄潜山、河间潜山、留北潜山等，这种潜山油藏面临生油主洼槽，油源充足，潜山抬升较高，风化剥蚀强烈，有良好的储层条件，只要圈闭落实，就可以形成油气富集。

（2）断阶潜山和古近系—新近系油藏，如南孟、龙虎庄、八里庄、留西和荆丘等油田。这类油藏除有良好的供油条件外，潜山由于风化强烈和断层发育而储集条件很好，古近系—新近系则因处于凹陷边缘而容易形成较大的三角洲沉积，因此也是有利储层发育区，利于形成了一些丰度高、规模大的油气藏。

4. 斜坡带复式油气聚集带

每个单断凹陷的缓翼都发育有斜坡带，从其成因上可以划分出沉积斜坡、构造斜坡和构造—沉积斜坡；从形态上可以划分出简单平缓斜坡、阶状断裂斜坡和坡折（挠曲）斜坡等。整体分析，斜坡的油源条件和圈闭条件虽不如前两个复式油气聚集带，但在油源和构造条件较好的地区，仍能形成油气富集，成为复式油气聚集带。目前，在冀中坳陷主要发现了饶阳凹陷蠡县斜坡、霸县凹陷文安斜坡和束鹿凹陷西斜坡等三个主要的斜坡复式油气聚集带。

在斜坡带，受斜坡结构、构造与沉积特点的控制，可以形成断鼻构造油藏、鼻状构造—岩性油藏、岩性油藏和潜山油藏等多种油藏类型。

（三）“三面”（最大湖泛面、地层不整合面、断面）展布控制地层岩性油藏的分布

最大湖泛面作为地层层序中湖侵体系域与高位体系域的分界面，其下为“凝缩段”，也是优质的烃源层，因此，发育几个湖泛面，就发育几套烃源岩。同时，作为一个层序转换面，其上下常分布有多种沉积砂体，易于形成各类“自生自储型”岩性油藏。

地层不整合面为不同层系的接触关系界面,既可以作为油气横向运移的通道,同时也是地层圈闭形成的控制因素,在其上下形成“旁生侧储型”地层超覆油藏和不整合遮挡油藏。

断面,特别是同生断层的断面,不但控制着沉积砂体的展布,而且还可以作为油气纵向运移的主要通道,易于形成“下生上储型”砂岩上倾尖灭油藏。

地层岩性圈闭捕集油气聚集成藏的过程中,多以不整合面、渗透层和控制砂砾岩体分布的同生断层为主要的运移通道。特别是当以不整合面、渗透层为主要运移通道时,由于缺乏必要油气垂向运移的通道,因此渗透层、储集体必须是夹于或紧邻主力生烃层系,才利于圈闭捕集油气聚集成藏,而最大湖泛面的展布控制着湖盆内主要烃源层的分布。因此,在地层岩性油藏成藏控制因素中,最大湖泛面、地层不整合面及断面起着重要的作用,“三面”控制着地层岩性油藏的分布。

(四)“两相”(沉积相、储集相)控制油藏的富集高产

断陷含油凹陷油气聚集成藏对储集砂体具有明显的选择性。油气的富集程度在受构造背景控制的同时,也明显受有利沉积相带和储集相带控制,这在地层岩性油藏表现得更为明显。

沉积相带控制了储集体的类型、规模和分布,并决定了储集体的结构、构造和岩石组分。其对油藏的控制作用体现在两个方面:(1)油藏在平面上的分布严格受控于沉积体系的空间展布;(2)岩性油藏的富集程度对砂体的成因类型具有选择性。研究表明,扇三角洲、辫状河三角洲、湖底扇、水下扇等是有利的沉积相类型;扇三角洲水下主河道,辫状河三角洲河口坝、楔状砂,湖底扇水下主河道易于形成各类富集高产油气藏。

储集相带,特别是成岩相带对地层岩性油藏富集程度的控制作用体现在储集体的储集性能和油层物性方面。不同沉积成因的储集体形成之后,成岩作用决定了其后天的性质,其中压实作用、溶解作用和石英次生加大作用是影响砂砾岩储层最重要的成岩作用,原生孔隙发育带和次生孔隙发育带是有利的储集(成岩)相带。

在有利的油气成藏区带,当有利的沉积相带和储集相带配置关系优良时,更易于形成富集高产油气藏。

第二节 二次勘探工程涵义与勘探方法

一、富油凹陷二次勘探工程的必要性

中国是陆相盆地发育的主要国家,尤其是以陆相断陷盆地广泛分布为特征。渤海湾盆地是东部重要含油气盆地之一,其富油凹陷油气成藏条件优越。自1961年4月15日,东营凹陷辛镇构造华8井在古近系获得日产油8.1t的工业油流以来,已经开展了50多年的大规模油气勘探工作。截至2013年底,累计探明石油地质储量 $140.52 \times 10^8 \text{t}$,占全国的40%;2013年产油气当量 $7596 \times 10^4 \text{t}$,占全国的25%,在中国石油工业发展中占有极其重要的地位。

根据袁选俊、譙汉生等(2002)提出的资源丰度大于 $20 \times 10^4 \text{t/km}^2$ 、石油资源大于 $3 \times 10^8 \text{t}$ 的划分标准,渤海湾盆地内的富油凹陷是储量和产量构成的主体,同时也是剩余石油资源的主要分布区。因此,如何进一步深化渤海湾盆地富油凹陷的油气勘探,一直是众多学者和勘探家持续研究的重大科学问题。贾承造等(2004, 2007, 2008)提出了开展地层岩性油气藏勘探的地震储层预测技术和层序地层学技术等关键技术;周海民等提出了精细实施二