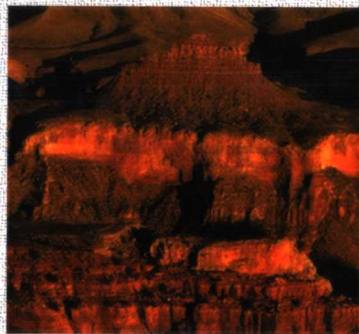


青年勘探家

论渤海湾盆地石油地质

● 高瑞祺 赵文智 孔凡仙 主编



P 石油工业出版社
troleum Industry Press

青年勘探家论渤海湾盆地 石油地质

高瑞祺 赵文智 孔凡仙 主编

石油工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

青年勘探家论渤海湾盆地石油地质/高瑞祺主编.
北京:石油工业出版社,2004.4
ISBN 7-5021-3532-4

I. 青…

II. ①高…②赵…

III. 油气勘探-文集

IV. P618.130.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 066423 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
北京乘设伟业科技排版中心排版
北京密云华都印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 23.75 印张 604 千字 印 1—2000
2004 年 4 月北京第 1 版 2004 年 4 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-3532-4/TE·2606
定价:48.00 元

前 言

渤海湾盆地是我国石油工业的一个重要基地,它的原油产量在我国原油总产量中,以盆地为单位计算一直处于首位。众多的石油企业和研究机构分布在这一地区,国内许多重要的石油研究部门也都把主要研究力量集中在这一地区。我国很多知名的石油地质学家和油气勘探家都曾经在这一地区工作过,有过许多重大的发现和石油地质理论和技术上的创新,并且现在还一直关注着这一地区的油气勘探开发进展,这里是我国石油天然气勘探人才培养的摇篮,他们中间许多人成为杰出的石油地质人才,有的当选为中国科学院或中国工程院院士,有的担任了各级石油部门的重要领导工作,他们为我国石油地质科学和石油勘探开发工业的发展,做出了重要的贡献。

上个世纪进入 90 年代的中后期,一大批青年勘探家活跃在渤海湾盆地的勘探和科研一线,他们在老一辈专家的指导下,做了大量卓有成效的工作,取得了一大批油气勘探上的重大发现和地质理论认识上的新进展,为中国石油和中国石化“九五”陆上油气勘探的发展做出了重要的贡献,为两大公司“十五”陆上油气勘探,特别是渤海湾盆地陆上和滩海油气勘探的持续发展奠定了良好的基础。进入 21 世纪初叶,这批年轻的勘探家和科技工作者中,许多人走向了技术和行政的领导岗位,成为这一地区油气勘探的主力军、重要的技术骨干和学科带头人、国家重点攻关项目的首席科学家、重大勘探项目的决策人、各级油气勘探的指挥者。越来越多的事实证明,他们已经挑起渤海湾盆地油气勘探的大梁,发挥着越来越大的作用。

为了更好地发挥青年勘探家们的作用,充分调动他们的积极性,促进青年勘探家和青年石油地质科技人才的尽快成长,我在担任原中国石油天然气总公司勘探局局长期间,与时任胜利石油管理局局长的牟书令副总经理一起组织过渤海湾地区青年勘探家学术研讨会,渤海湾地区五家陆上油田和北京石油勘探开发研究院都派出了阵容强大的代表团,会上交流了许多新的成果,交流的论文内容之丰,技术之新,水平之高是突出的,讨论的重点放在渤海湾盆地勘探面临的重大问题,诸如:隐蔽油气藏勘探、富油凹陷勘探理论,复杂勘探家对象的预测技术,老区“三新”精细勘探技术等,重点介绍了砂体、砂砾岩体、特殊岩性体的地质地震预测技术,岩性和地层圈闭的评价技术,以及低潜山、复杂小断块和碳酸盐岩储层的描述和预测技术等等。这些问题,今天看来,仍是渤海湾盆地勘探当前面临的主要问题,这对于保持渤海湾盆地陆上年增储量持续稳步增长,年年有新发现,进一步寻求新的突破是至关重要的。因此,有必要进一步探索这些问题,不断攻克技术难关,发展新的勘探思路。

会议之后,我与孔凡仙教授在众多的论文中优选了 16 篇论文,经过编辑加工,作为《青年勘探家论渤海湾盆地石油地质》的一个组成部分。为了更全面的反映青年勘探家的学术思想和对渤海湾盆地油气勘探的研究成果,我又请赵文智副院长组织北京石油勘探开发研究院地质研究所的青年学者全面系统地总结了渤海湾盆地石油地质特征和油气分布规律,集中讨论了富油凹陷的油气富集理论,从油气形成的构造背景出发,利用层序地层分析方法,研究富油凹陷中烃源岩建造的形成与演化,提出富油凹陷的概念和富含油气系统的概念和类型划分,进而评价富油凹陷的资源、潜力和油气富集规律,指出有利勘探领域和目标。与 16 篇论文讨论

的勘探原理、地质认识、技术发展和潜力分析,互相印证。应该讲,这是青年勘探家对渤海湾盆地陆上石油地质规律的一次成功总结。因此,我们三位主编一致赞同把它作为《青年勘探家论渤海湾盆地石油地质》的另一个组成部分,分上篇和下篇出版,推荐给广大读者。勘探工作是一个不断探索,不断认识,不断提高的过程,如果本书涉及的一些观点和技术能够在读者的勘探实践中启发新思维或借鉴某项技术的应用,那就是我们的最大希望。

本书上篇第一章主要由张树国编写,第二章由池英柳编写,第三章由袁选俊编写,第四章主要由王兆云编写,第五章由张映红编写,第六章主要由王玉满编写,本书上篇由牛嘉玉和张映红统稿。

本书的出版,特别要感谢中国石油化工集团公司牟书令副总经理,他对活跃在勘探一线和科学研究战线上的青年石油地质工作者一直都是积极支持,热情帮助,创造空间促进成长,发挥作用,做出成绩。另外,还要感谢胜利油田公司的支持。

高瑞祺

目 录

上 篇

第一章 渤海湾盆地油气勘探概述.....	(3)
第一节 渤海湾盆地油气勘探历史与现状.....	(3)
第二节 勘探开发技术的发展及油气储量的增长.....	(7)
第三节 勘探潜力分析及前景展望	(11)
第二章 渤海湾盆地构造特征	(17)
第一节 渤海湾盆地区域地质背景	(17)
第二节 渤海湾盆地构造及演化特征	(23)
第三节 渤海湾盆地复式油气聚集带的基本构造特征	(35)
第三章 第三系层序地层的形成与演化	(42)
第一节 渤海湾第三系层序划分及基本特征	(42)
第二节 第三系沉积环境及层序地层的主要控制因素	(53)
第三节 第三系层序结构演化及沉积相展布	(55)
第四章 烃源岩建造与评价	(77)
第一节 渤海湾盆地新生界烃源岩地质地球化学特征	(77)
第二节 渤海湾盆地古生界烃源岩地质地球化学特征	(94)
第三节 富油气凹陷烃源岩建造及形成条件分析.....	(120)
第五章 含油气系统特征及评价.....	(129)
第一节 渤海湾盆地含油气系统的划分与基本类型.....	(129)
第二节 渤海湾盆地含油气系统的基本特征.....	(135)
第三节 渤海湾盆地富含油气系统.....	(145)
第六章 富油气凹陷资源潜力与油气富集规律.....	(158)
第一节 油气资源评价与资源潜力分析.....	(158)
第二节 富油气凹陷油气富集规律及勘探潜力与方向.....	(165)
第三节 隐蔽油气藏勘探潜力与方向.....	(180)
参考文献.....	(190)

下 篇

1 济阳坳陷沙三、沙四段砂岩岩性油藏综合勘探.....	(193)
2 商 741 火成岩油藏勘探技术	(204)
3 东营凹陷北带砂砾岩扇体勘探实践	(212)
4 埕岛油田勘探实践与认识	(225)

5	碳酸盐岩潜山储层地震预测技术研究及其应用	(242)
6	东濮凹陷西部斜坡带三新勘探认识与实践	(250)
7	东濮凹陷孟岗集洼陷勘探前景再评价	(261)
8	冷家铺油田滚动勘探实例解剖	(273)
9	洪浩尔舒特凹陷油气勘探	(283)
10	晋县凹陷油气勘探认识与实践	(302)
11	海南构造带油气勘探实践	(317)
12	用多种地震技术研究兴隆台古潜山地层及构造解释	(328)
13	黄骅坳陷枣北地区火山岩油藏勘探实践	(343)
14	北塘塘沽油田勘探实践	(349)
15	老爷庙油田多学科技术攻关与勘探经验	(354)
16	曙光低潜山带潜山油藏的勘探认识与实践	(361)

上 篇

第一章 渤海湾盆地油气勘探概述

渤海湾新生代盆地处于中国东部大陆边缘,包括华北平原、下辽河平原和渤海海域三个主要的地理单元,地表面积约 200000km²。盆地在结晶基底上发育中上元古界—古生界稳定地台沉积,以及中—新生代陆内裂谷沉积,平均沉积厚度约 5000m,最大厚度逾 10000m,是中国东部继松辽盆地之后的又一个十分重要的产油基地。

渤海湾盆地具有丰富的油气资源。据 2000 年资源评价结果,渤海湾盆地陆上石油远景地质资源量为 198.26×10^8 t,天然气地质资源量约 26.6854×10^{11} m³;海域经济资源量 14.9×10^8 t,天然气 1.1×10^{11} m³,共发现 212 个油气田,盆地平均可采储量丰度 1.29×10^4 t(油当量)/km²,在世界 20 个裂谷型含油气盆地中位居第四位,仅次于墨西哥湾(1.62×10^4 t/km²)、塞尔希培—阿拉戈斯(1.5×10^4 t/km²)和我国的松辽盆地。

作为大型陆内裂谷型盆地,渤海湾油气区特殊的复式油气富集规律长久以来一直受到国内外石油地质家们的普遍关注和广泛研究。自 1964 年在济阳坳陷首获工业油流以来的近 40 年中,渤海湾盆地油气勘探先后经历了从构造到岩性、从凸起到沟槽、从斜坡到洼陷等多阶段勘探思想的跨越,每一次复式油气聚集规律认识的进步都带来储量的高增长。盆地自 1986 年达到高峰产量以来,已经连续 16 年维持基本稳定;年新增探明储量在 1990 年以后基本结束了大幅波动局面,出现高基值低幅度稳定变化态势,显示盆地油气勘探开始进入成熟阶段。

对这样一个具有多油气系统、多含油层系、多油藏类型的复式油气聚集区,对油气富集规律的认识是多阶段的。尽管平均探明率已经达到 44.26%,但是新油田、新层系连年迭出;富含油气系统已被证实是从下第三系到上第三系的不同层系、从凸起到洼陷的不同二级构造带,以及从正向构造到负向洼槽中不同成因类型岩性体中均有发育。在海域的上第三系,滩海的燕南潜山带、埕北斜坡等低勘探程度地区获得 PL19-3 等重大地质发现。在过去被认为已经得到充分勘探的大民屯凹陷,辽河东、西部凹陷,以及冀中廊固、饶阳等凹陷,通过勘探思路的转变获得众多新发现;辽河西斜坡年探明储量在油区年储量的比率从 1988 年的 60.6%,到目前依然能够维持在 30% 以上。大量隐蔽油藏、特殊油藏的发现已经展示该复式油气聚集区开始全面进入隐蔽油藏勘探阶段。

在最近的 5 年,渤海湾盆地基础地质研究取得了许多重要的进展,包括:渤海湾盆地构造断裂及演化特征研究,中—古生界烃源岩成烃演化特征研究、陆相层序地层研究、深层储层与成藏条件研究上第三系成藏条件研究、火成岩石油地质特征研究和隐蔽油藏类型与分布特征研究等。因此,需要在这些研究基础上,针对勘探现状和面临的主要问题,对渤海湾盆地的油气富集规律进行新一轮的系统认识和总结。

第一节 渤海湾盆地油气勘探历史与现状

一、渤海湾盆地勘探历程

20 世纪 50 年代,原石油工业部组建松辽石油勘探局和华北石油勘探处,使中国石油勘探

的战略重点从西部向东部地区转移,在勘探松辽盆地发现大庆油田后不久,加强了渤海湾盆地的石油勘探。

1955年地质部和石油工业部分别成立华北石油普查大队和华北石油勘探大队,在华北地区开展了石油地质普查和预探工作,先后开展了全区重力、磁力和地质地球物理大剖面工作,其后完成渤海航空磁测,并进行了海上地震方法试验。

1956年在沧县隆起钻华1井(基准井),目的是探“海相第三系大型背斜”,结果发现陆相第三系,直接覆盖在古生界之上。接着在华北平原西部临清、开封坳陷钻华2—华6井(参数井)等五口井,也没有获得油、气成果。

1960年两部地质人员在总结已取得的地质成果基础上,一致认为渤海湾盆地是很有含油远景的地区,指出了六个勘探突破口,正确提出把勘探重点从华北西部转向渤海湾一带。

1960—1961年,在华北平原东部济阳坳陷钻探华7井和华8井(参数井),首次发现第三系烃源岩并首次获得工业油流。

1962年9月23日营2井喷出高产原油。同时(1961—1963年)地质部对黄骅坳陷开展了地质普查和研究,在第三系、奥陶系发现了良好油气显示。

1963年12月位于黄骅坳陷的羊三木构造的黄1井上第三系发现含油显示,黄3井于上第三系馆陶组首次获得日产84t高产油流。同年位于港西的黄8井于奥陶系钻进时发生强烈井喷,喷出大量天然气。

1964年地质部第一普查大队,在下辽河坳陷拉开了石油钻探的序幕,在东部凹陷(原称田庄台凹陷)钻辽1井(预探井),在黄金带构造上见到良好的油气显示。由于工程上原因,未能试油。1965年9月位于凹陷南部大平房构造上的辽2井喜获工业油气流。1967年3月以后直至1970年初,经过三年勘探,完成各类探井34口、19口并获工业油气流。共钻12个局部构造,有9个局部构造获工业油气流。特别是在西部凹陷(原称盘山凹陷),1969年9月兴1井获得高产油流,发现了兴隆台高产油气田,区域预探取得很大成功。1969年11月22日东部凹陷黄金带构造的黄5井,在射孔过程中发生强烈井喷,油气层压力达30MPa,喷出气柱高达50m以上,15km外可以听到井喷响声,喷出的气流随风形成一条5km长的气带,10万军民紧密配合,才制服了特大井喷。

1964年11月廊固凹陷风河营构造京参1井在沙三段油层间歇自喷,日产原油1.83t,这是冀中坳陷第一口工业油井,同时该井在奥陶系发现油气显示。后期所钻预探井如安1、州1、侯1、霸1井。虽井数不多,但分布距离较大。特别是在霸县凹陷所钻的霸1井,在沙河街组见到厚层暗色泥岩及大量油气显示,对于以后扩大勘探范围起到了重要作用。石油工业部为了加强对冀中勘探工作领导,于1975年3月组织石油物探局和石油部勘探研究院200多名技术干部于3—4月份对冀中地质和地震资料进行了系统的整理和分析研究,并于3月下旬召开了冀中石油天然气地质勘探会议,拟订了冀中下半年勘探部署和“五五”期间的勘探设想,提出任丘—辛中驿构造带有多种油藏类型是油气藏“复式带”,其中奥陶系(现定为蓟县系)是裂缝性油藏。于1975年部署探井14口进行解剖,力争控制50km²含油面积,数亿吨石油地质储量。任4井于1975年6月钻达潜山、7月份对潜山试油,经过酸化后,日产原油1014t,潜山硅质灰岩获高产油流,不仅发现任丘高产油田,而且打开了找油新领域,使冀中石油勘探进入新的阶段。

经石油工业部批准,1975年7月25日从河南南阳油田调上一台钻机,在中原文留构造上钻探了濮参1井,1975年9月7日钻达2607.4m时,突破喷出了大量油气,突破了东濮凹陷出

油关,展现了良好的含油气远景,揭开了东濮石油会战的序幕,同年10月决定由胜利油田、南阳油田和石油地球物理勘探局组织石油会战,开始了对东濮凹陷的进一步勘探工作。

渤海湾地区(指5m水深以上陆滩及陆地)截止1997年底共完成二维地震679008km,三维地震35408km²,钻各类探井12858口,进尺3405万m,1986年以来直至1993年渤海湾地区一直稳定在年产油6000万t以上。

二、各探区油气勘探现状

渤海湾含油气盆地面积约 20×10^4 km²,包括河北省、山东省北部和西部、辽宁省南部、河南省北部、北京市、天津市和渤海湾海域,海岸线长达1138km,海域面积约 5×10^4 km²,极浅海(水深浅于5m)面积5738km²,两栖面积4402km²,海滩面积3038km²,陆滩面积4781km²,近70%面积为陆地,海域水也不深,平均水深25m。从大地构造意义上来说是在华北地台上,东临胶东隆起,西与太行山隆起为邻,北至燕山台褶带的广大地区,是叠加在古生代华北克拉通巨型陆块上的中—新生代裂谷盆地,呈北东—南西向反“S”形分布。包括下辽河、黄骅、冀中、济阳、临清和东濮等数个大型凹陷。

当前,渤海湾盆地深于5m水深线海域由中国石油海洋总公司管辖,面积约55500km²。陆上的下辽河凹陷、黄骅凹陷、埕宁隆起及济阳凹陷等4个地质构造单元都延伸到渤海。盆地海域内有15个凹陷和13个凸起。它的前第三系基底为太古宙和元古宙—古生代混合花岗岩、碳酸盐岩及中生代碎屑岩。其上具两层结构,下层为半地堑组成的凹陷,充填物为下第三系,上层为凹陷—披覆层,充填物为上第三系。凸起及隆起上缺失下第三系,或下第三系很薄,主要覆盖着上第三系。1979年以前,渤海的勘探工作为自营勘探时期,发现一批小油田,部分油田投入开发,初创了中国海洋石油工业;1980年开始进入对外合作与自营勘探并举时期。1959—1987年共做二维地震测线224215km,三维地震6238.5km²,钻预探井166口,评价井131口,获油气流井169口,发现含油气构造49个,油气田18个。1997年生产原油 210.89×10^4 t,天然气 3.7×10^8 m³,获得了较好的勘探效果。

辽河油田、冀东油田、大港油田、华北油田由中国石油天然气集团公司管辖。辽河油气区,位于辽宁省中南部,辽河下游平原区、三面环山,向南伸入辽东湾海域,陆上面积12400km²,海滩及极浅海面积3506km²,属于渤海湾含油气盆地北部,有丰富的石油和天然气资源,是辽河油气区最主要的油气勘探开发基地。经过30多年的勘探,共找到大小油田36个,其中储量规模达亿吨级探明地质储量油气田6个,它们都分布在下辽河凹陷总面积仅有6600km²的3个主要生油凹陷内,辽河油田已经建成年产原油 1500×10^4 t的生产能力,从1994年以来,已连续稳产4个年头,是全国第三大油田。辽河油田也是一个以稠油为主体的特大型油田,已探明的稠油储量约占石油总储量的50%,1997年生产稠油 880×10^4 t,占全油田原油产量的58.5%,是全国最大的稠油生产基地,并已形成了配套的稠油开采技术,不但能够开采一般的稠油,而且已经能够整装开发特稠油和超稠油,使地下的稠油资源得到有效的利用。辽河油田以自己的勘探实践丰富了复式油气聚集理论,找到石油地质储量达10的斜坡型大油田,并且开创了小凹陷找油的新经验。

大港油气区是黄骅凹陷所发现油田的总称,位于天津市东南,渤海之滨,总面积17000km²。1988年中国石油天然气总公司决定将黄骅凹陷北部南堡凹陷(涧河以东)划为冀东油田。目前陆地面积15933km²,海滩—极浅海面积2696km²,总面积18629km²,海岸线长146km。大港油田始于60年代初期,1964年开始大规模油气勘探,截至1996年底,发现了23

个油气田、5个含油区块,形成年产原油 $430 \times 10^4 \text{t}$ 、天然气 $3.6 \times 10^8 \text{m}^3$ 的生产能力。1966 年年产原油 $434 \times 10^4 \text{t}$, 累计产油 $9348 \times 10^4 \text{t}$, 累计上缴利税 41 亿元, 在全国陆上 21 个油气田中名列第 6 位。

华北油气区(习称华北油田), 主要探区位于冀中拗陷面积 28400km^2 , 次为临清拗陷面积 16400km^2 , 总面积为 44800km^2 。自 1955 年开始到 1996 年, 发现并探明 42 个油气田, 1975 年 7 月发现任丘油田之后, 以一年左右的时间会战, 建成了原油年产能力 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 的大油田, 1979 年最高产量 $1733 \times 10^4 \text{t}$, 这在中国石油勘探历史上是空前的。此后, 因古潜山油田快速递减, 到 1998 年底, 冀中地区原油年产量仅为 $360.5 \times 10^4 \text{t}$, 其中古潜山为 $114.45 \times 10^4 \text{t}$, 第三系为 $246 \times 10^4 \text{t}$, 第三系原油产量是从 1989 年开始超过潜山原油产量。

胜利油田、中原油田由中国石油化工集团公司管辖, 济阳拗陷的胜利油气区, 经过 30 多年的勘探开发, 已经找到了 65 个油气田。油气区的原油产量曾连续 9 年年产在 $3000 \times 10^4 \text{t}$ 以上。中原油气区包括河南北部、东部、山东省西部和西南部共有中、新生代沉积洼陷 38 个, 总面积约 $4 \times 10^4 \text{km}^2$, 面积最大的为 5300km^2 的东濮凹陷, 面积小于 500km^2 的有 18 个, 面积最小的仅几十平方千米。从 1975 年 9 月 7 日濮参 1 井获得工业油流以来, 至 1996 年底已完成二维地震 $3.7 \times 10^4 \text{km}^2$, 三维地震 2500km^2 , 已完钻各类探井 954 口, 进尺 $317 \times 10^4 \text{m}$ 。发现油田 14 个, 气田 5 个, 累计生产原油 $8100 \times 10^4 \text{t}$, 天然气约 $220 \times 10^8 \text{m}^3$ 。东濮凹陷在临清拗陷南部, 是一个含油气都比较丰富的沉积凹陷。

三、油气勘探成果及主要认识

渤海湾油气区的发现, 为我国原油产量在 1978 年突破 1 亿 t 作出了重大贡献, 并使油气地质理论与勘探技术方法达到一个新水平, 成为我国油气勘探历史上的又一个新的里程碑。

1. 渤海湾油气区的勘探开发, 促使中国石油工业的持续和稳定发展

渤海湾盆地油气勘探自从 1955 年开始, 截至 1997 年底, 累计找到油田 207 个, 探明石油地质储量约 87 亿 t, 占全国约 46%, 气层气地质储量 2165.81 亿 m^3 , 成为中国第二石油生产基地。

2. 渤海湾油气区的勘探开发, 充实和提高了中国陆相油气地质理论

勘探一开始, 就运用大庆油田二级背斜构造带整体含油的勘探经验。认为华北平原和松辽平原一样, 油气聚集于背斜中, 因此用简单背斜油气藏的模式来指导勘探, 采用等距离布探井, 大剖面控制的办法来探明含油气范围, 使许多井遇到了意想不到的情况。如在济阳拗陷的勘探中, 发现了在构造高部位的探井为水层, 在低部位的探井却见到油层; 在一口井中, 油层之上有水层, 水层之下有油层。同一油层在不同井中, 其流体性质、产能、产量、油气比等变化很大, 有些井落了空。再如下辽河拗陷在整体勘探黄金带—热河台二级构造带, 套用大庆油田油气分布模式部署井位, 致使第一批定在翼部及鞍部的探井落空, 一度曾出现了仅在“构造高点有油”的论点, 认为含油面积有多大, 只能依靠钻井来确定。于是出现了“打到油层往外扩, 打到水层往里缩”的完全被动和不可知的状况。经过初期勘探实践, 已认识到渤海湾盆地断层多、断层活动时时期长、构造破碎和断块控制油气分布的特点。探井密度越来越大, 钻井越多, 发现地下地质情况越复杂。使勘探步子难以迈开, 以致在一段时间里, 勘探上没有重大发现。如某一、二个构造带, 勘探了两年, 仍然没有超出 $3 \sim 4 \text{km}^2$ 的范围。

在勘探中期, 发现渤海湾盆地属于断陷盆地, 大小断层纵横交错、构造破碎、地层复杂, 主要形成小断块油气藏。各个小断块油气藏自成独立的油水系统和压力系统。油层高度、油水性质、驱动类型和能量均有很大差别。因此, 在勘探中期, 碰到了许多出乎意料的复杂情况。

虽然见油井不少,但控制不住储量和含油面积,当时人们把这种油层分布状况形容为:目的层产液“忽油忽水”,油层“忽上忽下”、“忽有忽无”、“忽厚忽薄”,以及原油性质的“忽稠忽稀”等“五忽”现象。这就迫使地质学家认识到,不能全盘袭用针对大庆那样简单背斜的勘探方法来解决渤海湾盆地的复杂问题,于是下定决心研究渤海湾盆地的油气藏形成条件和改进勘探方法和工艺。

渤海湾盆地内断裂发育,沿断裂带分布下第三系凹陷大小不同约有 55 个,最大凹陷面积达 6510km^2 (惠民凹陷),最小凹陷面积 270km^2 (涧河凹陷),其中海域中凹陷 12 个(即辽海西、辽海中、辽海东、秦南、渤中、渤东、埕北、沙南、庙西、黄河口、羊角沟、莱州湾)地跨海陆凹陷 6 个(辽西、辽东、北塘、南堡、歧口、车镇),其余 37 个凹陷基本位于华北平原和下辽河平原,多数凹陷自成一个独立的沉积系统,在其周围有大小不等、数量众多的水系注入湖盆,形成了各类砂体和生油泥质岩。这些砂岩储集体和泥质生油岩在平面上彼此相变,在纵向上交互叠加,而且又因湖盆中心不断迁移,从而使生油岩和储油岩组成为一个犬牙交错、交叉尖灭的成藏沉积体。这与我国一些大型湖盆,如松辽盆地那样一个统一的沉积盆地相比较要复杂得多。再加上在沉积过程中及沉积后,盆地又经历了多次强烈的断裂活动,使生储盖岩层被一系列不同方向的断层切割、错动,或呈垒堑相间,或呈阶梯相连,或呈群楼式的鳞次栉比,高低不一的镶嵌体。每一个油田都是一个独立的油水系统,实际上一个油田是由成百上千个油藏组成。复式油气聚集带规律的提出,在我国东部地区的油气勘探中,发挥了重要作用,提高了勘探成效。

断陷盆地既有它复杂的一面,也有它简单的一面,既有它的差异性,又有它的统一性。所谓统一性,就是在一个断裂构造带有统一的形成史;主要目的层,主要生储盖组合及主要油气藏形成期,基本是一致的,油气分布仍被构造带控制,在一个成藏地质体中由多层系、多类型油气藏组合成为一个油气藏集聚带。所谓差异性,是一个断裂构造带被众多的断层切割,油气水在各断块自成系统、断块间在含油气层系、油层剖面、油水界面、油气水层组合、流体性质、压力系统、驱动类型与能量方面均有差异。在勘探上,要从统一性出发,整体着眼,立足于油气藏集聚带;在开发上,要立足于区块、区别对待、稀井高产,早期补充能量,及时注水。滚动勘探开发方法应运而生。

如上所述,油气藏集聚带的油气藏,类型多样,断块数量众多,是不可能通过一次勘探就能完全了解的。因此,要把勘探开发交叉进行,紧密结合、融为一体、择优选取、滚动进行,即滚动勘探开发。滚动勘探开发过程在一个区块内是一个勘探与开发逐渐过渡,相互渗透的过程。而在一个构造带内则是不断发现、持续接替、互相交叉、长期延续、不断增加探明储量和完成新区产能建设任务的过程。实践证明,滚动勘探开发不仅是背斜油气集聚带的正确方针,而且对于岩性、地层油气集聚带也应在全面规划,分批实施的前提下实行滚动勘探开发,才能获得最佳的经济效益。

第二节 勘探开发技术的发展及油气储量的增长

一、渤海湾盆地油气勘探开发技术

①从地面地质调查到井下地质研究,从古生界找油到任丘高产古潜山油田发现,认识到华北中—上元古界、古生界具有原生与次生两种油藏成因,得出渤海湾盆地寻找次生古潜山油藏

非常现实,原生油藏远景很大的结论。认识到渤海湾盆地在第三系沉积时期,是一个岛屿遍布的水盆,这些由老地层组成的岛屿,由于长期风化溶蚀,缝缝洞洞非常发育,后期逐渐被第三系所覆盖,下第三系生成的油气,由于差异压实作用形成的界面压差,直接向古潜山中运移聚集,形成古潜山油气藏。因此,古潜山就像第三系“油锅里的馒头”,具有形成“新生古储”油藏的特殊而优越地质条件。

②最初由“五一”型或单次模拟地震发现的油藏类型——披覆背斜油气藏是目前渤海湾盆地含油最富,储量最多的二级构造带。它是较年轻的地层超覆披盖在基岩凸起、古隆起以及断块的翘升部位之上。由于在成岩过程中,差异压实的结果,形成披覆背斜圈闭。其形态多呈穹窿状,顶平翼陡,幅度下大上小。背斜形成时期有一定次序,通常盆地中部的披覆背斜形成早,而边缘的披覆背斜形成较晚。多为继承性构造,是油气运移和聚集的有利场所。

③应用数字多次覆盖,获得了较好中、深层资料和反射几何形态、速度、振幅、频率等四方面地震信息。发现的地层和岩性油气藏,储量比例与日俱增。济阳坳陷,1984年发现并投入开发的王庄油田以及桩西—五号桩地区都钻出日产千吨的油井。辽河西部凹陷西斜坡地层油藏面积大、地质结构复杂,1983—1986年这期间探明储量也有大幅度的增长。陆相盆地岩性油气藏,它们一般都富集高产,但勘探难度比较大,长期以来积累的资料说明,滨岸砂坝、近岸水下扇、深水浊积扇、深水浊积透镜体、生物礁滩等均可以形成与岩性圈闭有关的油气藏。

④常用热水循环、水力活塞泵和热电缆及地层测试器等新工艺,高凝油试采取得了比较好的效果。稠油蒸汽吞吐开采,发挥油藏自身参轻重油降粘作用,使残余油饱和度降低,束缚水饱和度增加,取得较好的经济效益,使高凝油和稠油储量和产量比例迅速提高。

⑤随着近些年来渤海湾盆地深层勘探研究的逐步深入,面对深层目的层埋藏深、低孔、低渗、高温、高压,复杂隐蔽多变的地质体。其中除了一些石油地质基础研究方面的关键技术外,深层地震资料处理技术、识别技术、储层横向预测技术、深层钻井配套工艺技术以及深层试油、油层改造技术等诸多方面,广泛开展了大量的试验研究工作,并已取得了不同程度的应用效果。深层油气储量比例逐渐增大。

⑥滚动勘探开发复式油气聚集带。

到1997年底渤海湾盆地已累计发现复式油气聚集带207个。每个复式油气聚集带具有多层系含油,多种圈闭类型叠合连片,富集程度不均匀的特点。由于这种复杂的油气聚集带不可能在勘探阶段一次就能认识清楚。必须反复实践,反复认识,先对不同类型的复式油气聚集带有整体认识;不失时机地先开发高产层系或高产含油圈闭。在进入开发阶段后,还要对整个油气聚集带不断扩边、连片、加深勘探,逐步将新的含油层系和新的含油圈闭分期投入开发。勘探复式油气聚集带,预探井的成功率比较高。发现井经常能获得高产油气流,在继续勘探的过程中,往往会出现一些复杂情况,但接着又会有新的突破。只要坚持勘探,精心研究,才能搞清整个油气聚集带的含油面积和油藏类型,针对这种油藏特点,我们采取了勘探、开发和生产工作滚动式前进的方式;以整个油气聚集为对象,部署勘探工作。勘探、开发各阶段穿插进行,同时根据圈闭大小、高产富集程度,将复式油气聚集带的各部位分期分批投入开发。

二、关键科技发展与重要地质发现的相关性

油气勘探技术包括地质、物探、钻探、测井、测试等技术手段,是一个系统工程。一是地质调查技术,包括地面地质、地震、油气遥感、非地震物化探等;二是井筒技术包括钻井、测井、录井、测试、试采等;三是地质实验技术,包括分析化验和模拟实验等;四是计算机技术的广泛应用。

1. 20 世纪 50 年代后期到 70 年代的勘探技术

我国油气勘探重点逐步东移,主战场为我国东部地区第四纪平原,渤海湾盆地发现了胜利、大港、辽河、华北等一批油气区,地震技术起了重要作用,成效显著,从而确立了在石油勘探工作中大力优先发展地震技术的指导思想。从 60 年代到 70 年代,我国主要依靠自己的力量发展油气勘探技术,在物探、钻井、测井、测试及综合研究等方面都有很大发展。由光点地震发展到模拟地震技术。在渤海湾盆地,针对复杂的断块油田、古潜山构造等,地震技术发挥了重要的作用,并有不少创新。在钻井方面,我国制造了 4000m 深井钻机,在改进钻头,加大钻机和钻井液泵功率、长筒取心,多种化学处理钻井液等都有不少创新,能够钻 7000m 深井。在测井方面,我们研制了多线电测仪,开发了一系列测井井下仪器。与此同时录井、试油以及地质实验等技术也有显著的发展。应该看到,当时所采用的物探、钻井、测井等勘探技术,虽比国际水平有较大差距,但由于勘探思路符合实际,又勇于实践,善于总结,重视综合研究,发展了具有我国特点的石油地质理论,在勘探部署上重视综合勘探方法,发挥了自己的优势,所以总的来说,60—70 年代油气勘探成效显著。

1972 年后,依据 $1\text{km} \times 2\text{km}$ 的模拟地震测网资料,编制了任丘构造带新的构造图,设计了任 4 井井位,当年 6 月 4 日,在中—上元古界雾迷山组获得日产千吨的高产油流,揭开了冀中坳陷寻找古潜山油气藏勘探序幕。由于冀中会战前,进行了长期的物探工作,再加上国产“150 型”百万次计算机数字处理等新技术的投入使用,会战开始后物探工作紧密配合,为钻探提供了大量准确的构造,使勘探会战成效十分显著。至 1976 年底任丘油田经钻探基本探明,控制了含油面积和储量。

2. 80 年代的勘探技术

我国油气勘探进入改革开放时期,引进了外国技术和装备,雇用外国勘探队伍施工,这就带动了我国自己勘探技术的发展,油气勘探出现了新的蓬勃发展的局面。在地震技术方面引进二维和三维数字地震。在钻井工艺方面引进了世界上先进的钻井技术,首先发展了喷射钻井技术,优化钻井参数,预测地层压力,采用平衡压力钻井技术;钻井液处理技术得到发展,使钻井液性能更适应于复杂的井下情况;在保护油气层和井控技术方面,有了显著进步,钻井效率大大提高,对发现新的油气田提高了成效。测井方面:引进了数字测井仪、雇用斯仑贝谢测井队,解决有关探区的测井疑难问题,从而开始了测井数字化、系列化的技术改造。80 年代后期,自制的数字测井仪投入生产,在测井方法技术上又增加了岩性—密度测井、微测井、球形聚焦侧向测井、补偿声波测井、声幅测井、中子伽马测井、补偿中子测井等,并针对解决的问题和不同的井下情况,组合成最佳测井系列进行作业、效果很好。地质录井和测试技术:从单一的人工捞砂向综合性方向发展,综合录井技术已在全国广泛应用,包括钻井地质录井、气测录井、地化录井、钻井液录井、钻井工程录井等。在油气测试技术方面,首先引进了地层测试器技术,及时发现和评价油气层,也可完井后在套管中进行测试,取得油气水产量和压力资料。

例如辽河油气区应用新技术,解决三个关键难题,重新认识和评价大民屯凹陷,明确凹陷具有较大的生油量和良好的含油远景。1975 年以前,该区进行了一定的勘探工作,作了“五一”型地震和单次模拟磁带地震,钻了少量探井,在沈 84 井发现厚达 125.6m 的高凝油层,原油凝固点 45°C 以上,说明凹陷有一定含油远景,但由于技术条件的限制,也出现了三个难题:一是地震深层资料质量差、基底和盖层构造面貌不清;二是最大沉积厚度不清,用残烃法和 TTI 法预测石油资源不多,仅 0.8 亿 t 左右;三是高凝油流动能力差,油层的产能不清。因此,对其勘探开发的经济价值产生了怀疑。后来针对这三个难题,采取了相应措施。

(1)采用地震新技术,进行地震详查,搞清凹陷的基底和盖层构造

从凹陷整体出发,重新进行数字 24 次和模拟 12 次覆盖地震详查,获得较好的中深层资料和反射几何形态、速度、振幅、频率四个方面的地震信息,处理了水平叠加、叠偏、瞬时频率、伪声速测井、油气藏地震模拟、连续频谱分析等九种资料,认识了凹陷的基本地质结构和各种特殊地质现象。

(2)应用新方法、重新评价小凹陷的含油远景,坚定找油信心

大民屯凹陷面积小(约 800km²)沉积巨厚,查清了基底最大埋深 6600m,原有探井钻达深度之下存在地震空白反射段,属于湖相泥岩。北部的沈 2 井钻达这套地层,为新的一套厚层连续的深灰、褐灰色泥岩和油页岩。从地震相分析,这套地层遍布整个凹陷,是主力生油层。经取样分析,生油母质属过渡型干酪根,综合产烃率 29%,埋深 2200m 泥岩的镜质组反射率 0.5%,用热模拟法、数学地质法、特尔菲法和 TTI 法等多种方法预测石油资源达数亿吨,天然气资源百亿立方米,从而坚定了在该凹陷进一步找油气的信心和决心。

(3)攻克高凝油试采工艺、认识高凝油资源

采用热水循环、水力活塞泵和热电缆及地层测试器等新工艺、高凝油试采取得了比较好的效果。如沈 84 井 1495.2~1616.2m 井段 8 层 40.2m,用热电缆试油,平均日产油 42t,这一成功,使大片高凝油资源起“死”回“生”。

1982 年,在中原油田的文留复杂断块区,石油地球物理勘探局与美国 GSI 公司进行了三维地震勘探的全面合作,首次在国内进行高覆盖、大面积、采用先进装备和方法的完整三维数据采集工作,并派人参加了在美国 GSI 公司进行数据解释工作。通过这一合作,掌握了三维数据采集、处理、解释等完整的一套先进技术,为三维迅速推广打下了基础。也使中原油田通过 10 年多的勘探,建成了年产 700×10^4 t 能力,地震先行起到了很关键的作用。

3.90 年代的勘探技术

近年来,我国石油工业能够在稳产的基础上还逐年略有增长,不能不归于老油气区三维地震勘探推广成效。通过三维地震查明了大量的断裂系统,搞清了断块的高点位置,使钻探的效益大大提高。胜利、辽河等许多油田都成功地打出了一批高产井。地震勘探以数字磁带记录、高次覆盖观测、数据用数字电子计算机处理为特点,地震勘探从常规二维地震勘探向三维及高分辨率发展。先后引进遥测地震仪、海上地震船、可控震源、特种运载装备等,我国地震队伍进行了全面数字化改造,引进了大批数字处理计算机、解释工作站,引进和独立开发了资料处理、解释软件,资料处理解释能力和水平大大提高。我国的地震技术,如三维地震技术、VSP、地震地层学和层序地层学等,接近国际先进水平。

在测井方面,发展了成像测井和随钻测井技术,能够解决复杂岩性和裂缝等疑难问题,及时发现油气层。在地质录井和测试技术方面,现场已有岩石热解色谱仪、荧光定量分析仪、定量脱气分析仪、二氧化碳检测仪、硫化氢检测仪、岩屑残余气分析仪及工程参数测量仪等,并利用现场计算机处理解释,可以进行储集层评价、生油层评价,及时发现和评价油层等。

在油气测试技术方面,推广了负压加无缆深穿透强力弹射孔 + MFE 地层测试 + 三开抽汲联作,这套探井试油测试工艺技术对低孔、低渗、低压油层有较好效果,可以充分解放油层,减少钻井液对油气层损害,提高穿透油气层的能力,耗时少、费用低、录取资料齐全准确,在低渗透层和碳酸盐岩层的油气层改造技术上,有了长足发展,大幅度提高了这类油气层的产能:推广应用了电缆式地层测试器和电子压力计试井技术,不但能更好评价油气层,还能预测油气水界面和含油气边界,成为油气藏描述的有力手段。