

周海民 © 编著

南堡油田

勘探技术

文集

NANPUYOUTIAN

KANTANJISHU

WENJI

石油工业出版社

南堡油田勘探技术文集

周海民 编著

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

南堡油田勘探技术文集 / 周海民编著 .
北京: 石油工业出版社, 2007.6
ISBN 978-7-5021-6118-7

I . 南…
II . 周…
III . 油气勘探—河北省—文集
IV . P618.130.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 085182 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) 64523620

经 销: 全国新华书店
印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷
787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 12.75
字数: 323 千字 印数: 1—5000 册

定价: 98.00 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

前言

PREFACE

南堡油田的发现举世关注。近一个时期大家都在思考这样一个问题：一个勘探了 40 多年的老探区为什么还能有这么大的发现？它经历了一个怎样的勘探过程？采用了哪些勘探技术？特别是在勘探思路、技术方法上有哪些创新？毋庸置疑，南堡油田的发现得益于中国石油天然气集团公司的正确领导与决策，得益于方方面面的支持，得益于油田广大干部职工的共同努力，是集体智慧的结晶。但南堡油田的发现更是创新勘探思路、创新勘探方法、科学应用勘探新技术的结果。为总结近 3 年来南堡油田大发现过程中逐渐形成的勘探思路、勘探方法和应用的主导技术，特编此文集，供关注南堡油田发现的勘探同仁讨论。

文集收录了近几年在各刊物上已发表的与南堡油田发现和精细勘探思想形成相关的文章，并保留了文章原貌，这主要是为了让大家从中体会到近年来南堡油田勘探工作中的思想脉络。文集还收录了近一个时期参与南堡油田发现的技术团队撰写的一些相关文章，希望较全面地反映南堡油田发现过程中的技术成果。

需要说明的是，文集的编撰工作侧重于勘探思路、方法和关键技术的应用，对技术不做更深入的阐述，已有相关专著对技术做了详细的论述。

文集共收录文章 25 篇，篇幅不长，便于读者阅读和理解。希望以此文集回答大家所关注的问题，共同促进东部探区富油气凹陷的油气勘探工作。

文集编辑、撰写时间仓促，可能有很多不妥之处，望见谅。

目录

CONTENTS

南堡油田发现过程中的主导技术、典型战例与勘探启示.....	1
断陷盆地大面积三维叠前时间偏移连片处理的地质意义及关键技术.....	8
陆相断陷湖盆层序地层三维体解释技术及其应用.....	20
冀东南堡凹陷精细勘探实践与效果.....	29
老爷庙油田多学科技术攻关与勘探经验.....	36
冀东油田复杂砂岩储层测井评价对策与实践.....	42
应用高浓度土酸进行酸化试油.....	50
南堡凹陷油气资源三维动态模拟与油气勘探领域和方向.....	58
含油气远景比较性分析与南堡油田发现井前期地质论证.....	65
南堡凹陷断裂体系特征与油气富集主控因素.....	72
南堡富油凹陷烃源岩的认识与资源潜力评价.....	80
高南亿吨级储量的发现——精细勘探技术形成的典型战例.....	89
南堡油田潜山油气成藏条件与勘探潜力.....	95
南堡富油气凹陷岩性油气藏勘探潜力与目标.....	104
南堡富油凹陷高精度三维地震勘探实践与认识.....	111
南堡凹陷高柳地区二次三维地震采集技术.....	120
南堡富油凹陷整体地震解释的工作思路、方法及效果.....	127
大面积连片叠前时间偏移处理技术.....	133
南堡油田叠前反演技术与储层预测.....	144
南堡凹陷火成岩与油气成藏关系.....	150
南堡油田砂岩储层水平井开发中的关键技术——3口高效试验井的实践与认识.....	155
冀东油田复杂断块油藏精细描述与实例.....	163
南堡油田盐水泥浆钻井油气层识别方法研究.....	175
南堡油田油气层快速识别技术研究.....	184
南堡油田储层参数建模研究.....	192

南堡油田发现过程中的 主导技术、典型战例与勘探启示

周海民

1 引言

油气勘探工作是一个不断探索地下未知世界的过程，每一个油气田的发现都是一个成功的案例，我们的工作是在不断探索中发现更多的油田。我们要追求的是：一个油气田的发现能否更省时一些、更经济一些、组织得更科学一些！回顾冀东探区的勘探历程，从“山穷水尽”的勘探低谷走入“柳暗花明”的勘探高峰，从南堡陆地储量的不断增长到南堡油田 $10 \times 10^8 \text{t}$ 规模储量的大发现，这里有勘探技术的不断进步，有科学的决策与组织，有多方的支持和帮助，更凝结着集体的智慧。但毋庸置疑，油气勘探过程中的主导技术及其成功应用是决定性的，最有总结的必要，对油气勘探也最具指导意义。

2 三维地震技术典型战例与南堡油田大发现

油气勘探，地震先行。这是最普通的一个道理，油气勘探工作者都深知地震勘探的重要性，特别是在一个已知的富油气探区，地震勘探的成败决定着勘探的得失。南堡油田的发现首先需要总结的就是高精度三维地震工作的科学部署、精心实施和创造性地开展的地震资料处理和解释。

南堡油田的发现从技术上讲与南堡陆地实施二次三维地震并无太大关联。但也正是在南堡陆地实施二次三维地震勘探的基础上获得的高南亿吨级油气发现，真正确立了南堡富油气凹陷的地位，进而使油气勘探工作者树立了在南堡凹陷寻找大油田的信心，同时也为决策者树立了信心。从这一点上说，南堡陆地的二次三维地震勘探与南堡油田的大发现又有着十分密切的关系。

南堡凹陷的油气勘探始于 20 世纪 60 年代初期，经过近 20 年的时间，1979 年在高尚堡地区南 27 井沙三段获工业油气流。获得了油气发现以后，经过近 10 年的探索，又发现了近亿吨的储量规模。由于多方面原因，为了加快南堡凹陷的勘探开发进程，1988 年 4 月 15 日成立了冀东油田。当时将油田发展目标定位在实现年产 $100 \times 10^4 \text{t}$ ，当然这主要是依靠陆地的勘探开发来实现。油田成立初期，在柳南、柳北、高 104-5 三个区块有一些发现，这些储量支撑了油田产量由成立初期的 $18 \times 10^4 \text{t}$ 稳步上升到 1995 年的 $51 \times 10^4 \text{t}$ 。但客观地讲，在 1992—1995 年的 4 年时间内，南堡陆地油气勘探颗粒无收，油田勘探一筹莫

展,企业发展难以维系。

在严峻的勘探形势下,油田勘探工作者面对陆地有限的 570km^2 的狭小勘探区域,苦苦寻求勘探突破口。当时唯有选择南堡陆地三个构造带之一的老爷庙地区,也可以说是地质条件最差的一个构造带,开展勘探工作,力求新的发现。但是老爷庙地区 1993 年采集的三维地震资料经过多次处理,馆陶组以下没有有效信息,难以用于构造解释等基础性的地质研究工作,更谈不上有效勘探。经多方论证、专家建议、领导决策,形成了在老爷庙地区重新部署三维地震的重要决定。尽管现在看来,在东部富油气探区开展二次三维地震勘探是一个再平常不过的事情,但当时作出这样的决定确实也面临着两种风险:一是重新做三维地震后仍然得不到好的三维地震资料;二是有了好的地震资料,油气勘探仍然无法获得大的发现。如果出现这两种情况,冀东油田发展的境遇就更难以想象。由于决策的科学性,加上论证、设计都比较充分,特别是强化了现场的施工管理,结果是令人满意的,地震资料品质有了较大改善。虽然从现在来看,资料仍然有许多不尽如人意的地方,但在当时的勘探过程中确实发挥了重要作用。在 1996 年利用 6 条二维试验线和老的三维地震资料部署 4 口井相继成功后,1997 年实施的老爷庙二次三维地震及其地质成果经 17 口井钻探获得了 $1360 \times 10^4\text{t}$ 的探明石油地质储量,成为冀东油田成立以来油气勘探的最大发现。这一举扭转了油气勘探的被动局面,其意义是深远的。这也可以说是南堡油田大发现过程中的第一个成功战例。

最为难能可贵的是老爷庙二次三维地震取得的经验很快在 1999 年应用到了已开发的高尚堡、柳赞地区,并引发了高尚堡、柳赞地区的地质新认识,也可以说奠定了高尚堡、柳赞地区地质重建的基础。在随后的几年里,高尚堡、柳赞地区的储量大幅度增长,开发后备资源基础得到不断加强,特别是 2003 年高南中浅层亿吨级储量的发现,在行业内形成了对富油凹陷已开发区或者说高成熟探区开展大面积二次三维地震、开展地质重新认识的共识,有力地推动了东部老区的油气勘探工作。应该说二次三维地震勘探始于老爷庙地区,但最成功的也最具推动意义的是高柳地区二次三维地震及其后续勘探工作,这也可以说是南堡油田大发现过程中的第二个成功战例。

3 多学科地质重建与高南亿吨级油田的发现

多年来大家都在强调一个重要问题,就是油气勘探工作要开展多学科综合地质研究。但如何实现真正意义上的多学科综合研究,实实在在是一个难题。高南中浅层亿吨级油田的发现可以说是高尚堡地区开展二次三维地震和地质重建的成果,更可以说是多学科综合研究团队及其联合攻关研究的一个成功战例。

2003 年“非典”期间,恰逢油田在高南地区高 63 断块部署的 4 口开发井相继在浅层发现厚油层,引发了对高南开展一轮重新地质认识的想法。决定利用“非典”期间人员集中的时机,集中搞一次研究会战,组织物探、测井、地质、油藏等勘探开发相关人员集中办公。从油田主管领导到普通技术人员近 20 人集中在会议室,对逐个技术问题进行联合

研究,边研究边总结。同时也形成了老井试油、新井钻探部署意见,真正实现了多学科综合研究。40天的联合研究成效显著,估算储量近亿吨。实施的三口验证井高28x3、高29x6、高75x9证实了这一发现,实现了勘探高效率、高效益。高南老区亿吨级油田发现过程中的工作方法成为后来推广精细勘探工作方法的雏形。特别需要指出的是高南亿吨级储量的发现实现了冀东油田勘探形势的根本好转,使大家对南堡凹陷的勘探潜力有了全新的认识,进而坚定了在勘探程度低的滩海地区寻找大发现的决心和信心,加大勘探投入成为上下的共识。

4 滩海收回矿权与早期整体勘探部署

由于冀东油田成立初期产量少、经济实力弱,难以有大的勘探投入,特别是南堡陆地勘探一直没有大的发现。实事求是地讲,当时对南堡凹陷到底有多大资源前景尚无定论。虽然大家都认为有潜力,但悲观的思想是起主导作用的,这就导致了滩海地区的勘探工作一直没有大的投入和大的进展。20世纪90年代初期,滩海的油气勘探工作有一段时间是由当时的中国石油天然气总公司新区勘探事业部组织的,也只是做了一些二维地震和少量的三维地震,钻探了1口探井——JH1x1井,没有实质发现。在这样的形势下,1995年中国石油天然气总公司决定南堡滩海地区整体对外合作,这一合作从开始交换资料、谈判与签订合同、实施与履行合同直至结束,整整经历了7年。2002年8月份在杨村召开的年度油气勘探计划会上,当时的中国石油天然气股份有限公司主管领导决定收回探矿权。这一决定无疑对加快滩海的勘探进程,以至于后来的大发现都是一个重要的事件。

收回探矿权后,如何开展早期的勘探部署,找准突破口成为大发现的关键。在有限的资料综合分析的基础上,我们选择了老堡南地区作为勘探的突破口,这也是在对外合作期间我们向外方提供但未被采纳的重要勘探目标。

2002年冬天在老堡南地区部署了83km²的三维地震,并与1989年采集的52.8km²的南堡三维、2000年外方采集的76km²的南堡南三维进行连片处理。在此基础上开展了精细构造解释和综合地质研究,取得了一批重要研究成果,论证部署了老堡南1井。在这个过程中由于南堡陆地高南地区的发现、曹妃甸工业区开始谋划建设等因素,特别是在大量早期研究的基础上对滩海区的资源潜力有了较为清晰的认识,形成了在南堡滩海一次性部署1154km²的高精度三维地震的意见,并得到了中国石油天然气股份有限公司的支持。这一部署奠定了后来的南堡凹陷三维叠前大连片和快速落实10×10⁸t储量的工作基础。

5 大连片叠前时间偏移处理工程的决策及其后续勘探价值

滩海收回探矿权后进行了地震整体部署。如何处理、如何能够通过新一轮的处理工作对南堡凹陷进行整体认识,是我们一直研究的一个课题。2003年5月,我们在北京

组织相关技术人员准备中国石油天然气股份有限公司拟召开的“隐蔽油气藏精细勘探”研讨会报告期间，着重探讨了这一问题。当时已有两个油田的两个地区准备开展大连片叠前时间偏移处理工作，经过讨论，我们决定提出开展“南堡凹陷 2400km² 大连片叠前时间偏移处理”项目。在随后很短的时间内邀请东方地球物理勘探有限责任公司有关专家到油田进行了技术讲座，并立即着手项目启动前的相关工作。同年 10 月 18 日，在北京香山召开了项目设计审查会，这标志着大连片项目的正式启动。

当时大连片处理项目的主要目的有三个：一是再搞一次南堡凹陷的整体重新认识，以带动陆地老区深化勘探，实现陆上勘探持续发展，带动滩海新区勘探，实现滩海勘探突破；二是全面再评价一次南堡凹陷斜坡带和凹陷区岩性油藏的勘探潜力，指导和展开岩性油藏勘探；三是再搞一次老区地质再认识，挖掘老区新的开发潜力，实现对已发现储量的更有效更科学的开发。

为了搞好项目的实施，我们创造性地提出要编好三个项目设计：即甲方设计、乙方施工设计和第三方监督设计。这一工作方法后来也成为中国石油推广大连片叠前处理的工作标准。三个设计的编制和审查工作历时近 4 个月的时间，油田组织了多次审查。

从实施的结果看，南堡凹陷大连片叠前时间偏移处理工程虽然是在老堡南 1 井发现南堡油田后应用于勘探生产，但它对南堡油田的后续勘探和快速落实 10×10⁴t 储量起到了关键作用，在南堡陆地精细勘探和水平井开发过程中发挥着重要作用。这也为我们一直探索的以凹陷为单元开展层序地层学三维体解释和工业化应用，寻找并落实大批砂岩体奠定了资料基础。

6 如何将层序地层学真正工业化地应用于凹陷的整体研究和勘探工作

近年来，层序地层学在油气勘探中一直发挥着重要作用，各探区也都在利用层序地层学理论及其工作方法寻找着各类油气藏，特别是岩性油气藏。南堡油田现在的发现是典型的构造油藏，其理论指导也多源于渤海湾复式油气聚集理论。但不可否认，南堡凹陷属于冀东探区的仅有 1570km²，毕竟是一个小探区，大发现过后勘探能否持续发展，大幅度上产后能否实现持续稳产，几年前我们就在思考和研究这一问题，选择的方向也当然是构造油藏勘探之后的岩性油藏。为此，5 年前我们就尝试着在南堡陆地开展层序地层学研究工作，并一直探索着层序地层三维体解释工作方法，其主要目的就是为南堡凹陷整体层序地层三维体解释奠定基础，以期克服层序地层学研究与岩性油藏勘探两层皮的现象，真正地把层序地层学理论和工作方法应用于勘探实践中。

在 5 年的工作实践中，我们与中国地质大学合作，发挥各自优势，产、学、研相结合，形成了有断陷盆地和冀东特色的层序地层学工作方法和工作流程，简单地概括为四个大的方面：即单井层序划分与单井相研究；井—震结合骨架地震剖面层序地层解释；断陷

盆地层序地层构成模式的建立；全凹陷层序地层三维体解释。在此基础上我们利用南堡凹陷三维大连片成果开展了 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 测网的格架剖面层序地层解释，初步识别出了有利的大型砂岩体 35 个，展开面积 1197km^2 ，相当于又形成了一个 1000km^2 的勘探区域。可以形象地说，这相当于把一个探区变成了两个探区。这对冀东油田今后的勘探发展有着重要的意义。可以预言，3 ~ 5 年后这必将成为南堡凹陷油气勘探最重要的领域。

在开展南堡凹陷层序地层三维体解释的过程中，一些成果也及时地应用于南堡油田的储层评价和南堡陆地勘探开发实践中。2007 年，我们选择了 10 个大型砂岩体开展钻探工作，预期岩性油藏的勘探近期就可能有比较大的发现。

南堡凹陷层序地层三维体解释项目已启动了 5 年的时间，还需要 3 年的时间才能全部完成，这说明在一个地区开展一项研究工作一要超前组织，二要立足于整体研究，三要给予足够的投入和时间。油气的大发现都需要有一个过程，更重要的是需要一个完整的、周密的、科学的前期工作部署。

7 勘探前期工作的组织与大油田的发现

勘探要想有大的发现，前期工作起着决定性的作用。勘探前期工作主要包括选区、地震、综合地质研究、目标评价和部署。对冀东这样一个已经有油气发现的老探区来说，做好地震，搞好前期综合地质研究，特别是把各个研究项目有机地融为一个整体服务于勘探生产就显得尤为重要。几年来的勘探实践和南堡油田大发现诠释了前期准备工作在高效快速拿下大发现过程中的重要作用。

2002 年收回滩海探矿权之前，南堡陆地的勘探一直坚持注重前期工作，实现少井高效，先后投入了大量的研究工作，积累了各方面前期研究工作的经验。收回滩海探矿权后，我们及时确定了油气勘探前期的各项工作必须以凹陷整体为研究对象这一关键思路。这期间我们开展了三维地震采集的整体部署、开展了大连片叠前时间偏移处理、开展了全凹陷层序地层三维体解释、开展了南堡凹陷成藏动力学和含油气系统研究、开展了南堡凹陷资源评价等多项前期研究工作。在此基础上，动用了油田、东方地球物理勘探有限责任公司、中国地质大学，以及社会各方面力量，针对各个勘探目标做了大量的综合评价工作。在 1998—2007 年的 10 年间，用于勘探前期研究的费用近 5 亿元。特别是近 3 年，年勘探研究费用超过亿元。可见前期研究工作在油气大发现中发挥着重要作用，这也是我们在大发现过程中的一条基本经验。

要搞好前期研究工作，只有资金投入并不一定能取得实实在在的效果，关键在于甲方作用如何发挥和科学合理的前期研究工作部署。几年来油田勘探组织者把前期研究工作作为勘探工作的重中之重，坚持亲自确定前期项目、研究思路、研究目标直至对研究成果的具体要求，保证了前期工作紧紧围绕勘探生产，取得了明显的勘探成效。对于南堡油田的发现，虽然要总结的东西很多，但如何做好勘探前期的研究工作，并使前期工作有实效最值得总结。

8 地质主导下的井筒工艺技术进步在南堡大发现中的作用

我们讲勘探工作，更多地会说到地震、地质研究工作，但井筒工艺技术的进步有力地促进了油气勘探工作，有时还发挥着重要作用。在南堡油田的发现过程中，值得提出和总结的井筒工艺技术主要有两条：一是以MDT测试为主的快速油层评价技术；二是各种钻井液条件下的测井油层解释技术。

2000年中国石油天然气股份有限公司召开了勘探工程技术交流会，我们在会议上获悉MDT测井新技术已经引进国内，并敏感地认识到这一技术在直观、快速识别油气层以及评价油气藏方面具有广阔的应用前景。果断决策在新钻的北26-6井进行应用，并取得成功。在南堡油田的发现过程中，针对滩海勘探的实际情况，我们大量采用了MDT测试技术，先后在22口井进行了MDT测试。事实证明，MDT测试技术在南堡油田发现和快速评价方面发挥了重要作用。

测井是勘探的关键技术之一，是早期发现油气藏和评价油藏的重要手段，通俗地讲可以形容成地质家的“眼睛”。油田对工程技术的重视为测井技术的成长壮大并发挥作用提供了保障。

我们在找油理念、鼓励测井解放思想、创新思维上有这样的要求：大家是愿意承担历史性错误还是暂时性错误？历史性错误就是遗漏油气层、错过油田发现、延缓勘探进程；暂时性错误就是经试油证实将水层错误地认识为油气层。所以油田在探井的解释思路上是油气发现为根本，而不将测井行业通用的解释成功率作为考核指标，就是为了给技术人员在思想上松绑，大胆创新、坚定找油信念。

1998年7月，为了解决低阻油气层的识别问题，测井人员建议油田调整钻井液矿化度，增强自然电位等测井资料对复杂储层含油性的识别能力。在当时这一设想实施的难度很大，一是单井成本要增加，二是专为测井技术应用调整钻井液性能在国内尚属首次。但我们非常支持，率先在庙23-6、高308-4、柳南2-6井实施，并取得成功。以此为关键技术发现并落实了高104-5区块低阻油层及柳南区块NgII4低阻油层。油田对创新思维的大力支持极大地鼓励了技术人员的积极性。

油田勘探组织者一定要支持工程技术的发展和进步，鼓励工程技术人员不断解放思想，开拓工作思路，特别是允许他们不断地去尝试采用新的技术，从资金上、组织上、客观环境上为他们营造好的工作氛围。这一点非常重要，有时还能够在油气发现过程中起到事半功倍甚至是决定性的作用。

9 勘探实施过程中的及时跟踪研究和部署调整，既是技术问题，也是勘探管理问题，更是大发现的关键

好的勘探部署必须得到很好的执行，才能获得预想的勘探成果。南堡油田从发现到落

实 $10 \times 10^4 \text{t}$ 储量仅仅经过了两年半的时间,勘探生产过程中还面临着诸多难题,如装备力量不足、冬歇期、装备适应性差等问题。这一成果的取得与及时跟踪研究和进行部署调整有着十分密切的关系。

两年多的时间内,不论节假日,我们坚持每天研究勘探生产中面临的各种问题,特别是在钻探到目的层过程中的资料录取、分析、测试和后续井位部署的调整等方面。每隔一段时间,还要进行集中研究、整体调整。2004 年南堡油田的发现井老堡南 1 井获得高产工业油流的层位是奥陶系潜山,但在中浅层也有油气发现,在随后钻探的南堡 1 号构造较低部位的南堡 1-5 井中浅层钻遇了厚油层并获得了高产工业油气流,预示着浅层有很大的勘探潜力。为快速落实浅层勘探潜力,及时调整勘探方向,决定将中浅层作为南堡油田勘探的首要目的层,并集中部署了一批探井。经过两年半实施,在中浅层控制了三级储量规模 $10 \times 10^4 \text{t}$ 。2007 年 5 月 3 日南堡油田储量发现消息公布以后,为进一步扩大勘探成果,又适时地调整了工作部署,将南堡油田潜山油藏和中浅层构造油藏作为同等重要的勘探目标,一次性整体部署预探井 35 口。两年多时间内我们在大的部署上共进行了 14 次调整,确保了在快速拿下大油田的过程中少走弯路、少投入,形成了现阶段油公司体制下的勘探会战模式。

南堡油田的发现只是南堡凹陷勘探过程中的一个重要阶段,针对南堡凹陷中浅层构造油藏、潜山油藏、岩性油藏三大勘探领域,近期我们谋划了冀东油田 5 年勘探规划,部署了近两年的勘探工作,确定了 35 口具有重要意义的预探井,期望通过这些工作进一步扩大南堡油田的发现成果,使冀东油田真正成为东部硬稳定和发展的主力油田。

针对新阶段油田勘探的主要领域,我们也同时确定了新的勘探前期研究工作重点,主要包括中浅层高分辨率处理与叠前储层反演、潜山顶面成像和裂缝储层预测、火山岩体成像及围岩构造储层成像处理、大连片叠前处理基础上的大型砂岩体处理与识别等四项地震技术的攻关研究;利用钻探成果进一步深化南堡凹陷整体地质认识,进一步优选可供钻探的构造油藏目标,特别是利用层序地层三维体解释成果开展大型砂岩体的目标研究与评价。

在南堡油田大发现的实践中我们也有很多切身的体会,简单归纳起来有 10 个方面:一是要有强烈的找油意识,要有宽松的找油氛围;二是要注重对勘探对象进行整体研究、整体部署;三是要充分发挥各专业特长,真正实现多学科联合研究;四是要选准勘探突破口,并根据进展适时进行科学调整;五是不断推进科技进步,注重先进适用的勘探技术的集成创新;六是前期研究过程中油公司要发挥主导作用;七是敢于否定自我,不断更新地质认识;八是要坚持工程技术服从服务于地质需要;九是养成精细工作的良好作风;十是要充分整合技术资源,发挥油公司管理体制的优势。

断陷盆地大面积三维叠前时间偏移连片处理的地质意义及关键技术^①

周海民 张 玮 谢占安 曹孟起 刘占族

摘 要 中国东部陆相断陷盆地含油气构造带已经基本完成了三维地震勘探工作。为了能够按现代层序地层学理论重新认识和评价这些断陷盆地,开展断陷盆地大面积三维叠前时间偏移是一项必然的选择。本文以南堡凹陷为例,重点对叠前时间偏移连片处理的可行性及其关键技术进行了分析。通过南堡凹陷取得的处理效果表明,在陆相断陷盆地实施大面积三维地震资料叠前时间偏移连片处理,对于深化地质认识、挖掘老区潜力、突破新区勘探、实现油田的可持续发展具有重要意义。

关键词 断陷盆地 大面积 叠前时间偏移 连片 效果

1 引言

中国东部陆相断陷盆地有着十分丰富的油气资源,其中多数盆地的主要含油气构造带已经基本完成了三维地震勘探工作。但由于断陷盆地受到多期构造运动的影响,特别是第四纪新构造运动的改造,导致含油气构造带十分破碎,三维地震资料成像困难,从而制约了勘探开发工作的深入开展。

目前叠前时间偏移处理技术随着计算机能力的急剧增强和 PC 机群的发展完善,逐渐由单块小面积的处理工作量向多块连片的大工作量发展。我国在塔里木盆地轮南地区及济阳拗陷也开展了此项工作,取得了许多有意义的地质成果^[1]。

小型断陷盆地多为近物源沉积,地层厚度和岩相变化较大,再加上资料采集的年度跨度大、使用的仪器不一、采集方法多变,导致不同区块的资料品质差异较大,给连片处理叠前时间偏移处理带来了难度。通过对南堡凹陷历年来三维地震资料的分析,根据不同区块资料品质的特点及地质任务要求,利用 PC 机群(近 500 个 CPU)开展了三维叠前时间偏移连片处理工作,收到了明显的处理效果。

2 南堡凹陷勘探开发需求及解决思路

南堡凹陷属于渤海湾盆地的二级构造单元,是冀东油田勘探开发的主要地区。该

① 本文摘自《石油地球物理勘探》2005 年第 6 期。

区自 1979 年 8 月发现第一批油田以来,全区基本上被三维地震覆盖,陆地的部分地区还实施了二次三维地震勘探,三维地震工作量近 3000km^2 ,其中二次三维地震工作量为 657.68km^2 (图 1)。这批三维地震资料为冀东油田的增储上产做出了十分重要的贡献。但是随着油田勘探开发工作的深入,现有的资料状况已经越来越不能满足勘探开发的需要,主要体现在以下几个方面:

(1) 南堡凹陷陆地精细勘探已由构造油藏勘探转向岩性油藏勘探阶段,利用叠后资料在进行砂岩体的识别和描述、储层变化的精细描述及油气的预测等方面暴露出其固有的缺陷,在叠后资料上进行波阻抗反演损失了大量的叠前道集上的有用信息;

(2) 利用现有资料还难以进行全凹陷统一的对比解释、速度研究及对区域构造进行更准确的整体评价,特别是在各区块连接处可能丢失地质信息或出现假地质信息;

(3) 已发现油藏需要利用高保真的地震资料开展精细油藏描述工作,而现有地震资料的分辨率和信噪比均无法满足精细描述油藏的要求,因此要求对原先的地震资料按照高分辨率处理要求重新处理;

(4) 南堡凹陷虽然经过近 30 年的勘探,发现了高尚堡、柳赞、老爷庙等油田,有必要按现代层序地层学理论重新对全凹陷进行整体认识与评价,以便寻求新的勘探领域。

为此,对全凹陷开展三维地震资料叠前时间偏移连片处理,全面提升三维地震资料的品质,成为解决以上问题的关键。叠前时间偏移处理不仅有利于地震成像,更重要的是在获得的叠前偏移道集上可进行反演、属性分析及油气检测等,更有利于岩性油气藏的可靠识别。

南堡凹陷的连片处理涉及 27 块三维地震资料。由于各区块采集施工时间跨度大(1985—2005 年,跨度达 20 年),其激发因素(井深、气枪等)和接收因素(检波器类型、接收仪器等)方面的差异引起能量变化、单块内部及各区块间子波、频率、相位等方面的不一致,造成拼接问题;不同时期采集的三维资料品质差异较大,表现在地表条件复杂,干扰波较为发育。可见上述两方面的因素连片处理造成许多困难。为了保证整体连片处理的质量,不受大面积方位角调整的影响,处理工作分为两步进行:第一步完成三个基础连片(三种采集方向)的叠前时间偏移处理,形成三块数据体;第二步是在第一步的基础上完成全凹陷的连片处理工作。

3 地质任务目标与技术指标

3.1 地质任务目标

(1) 重新整体认识南堡凹陷。实现陆上勘探持续发展,带动滩海新区勘探,实现滩海勘探突破:①利用统一的数据体按现代层序地层学理论重新认识全凹陷,尤其是主体构造带之间的构造认识问题;②开展全凹陷的沉积与储层的整体评价,在富油凹陷实现勘探工

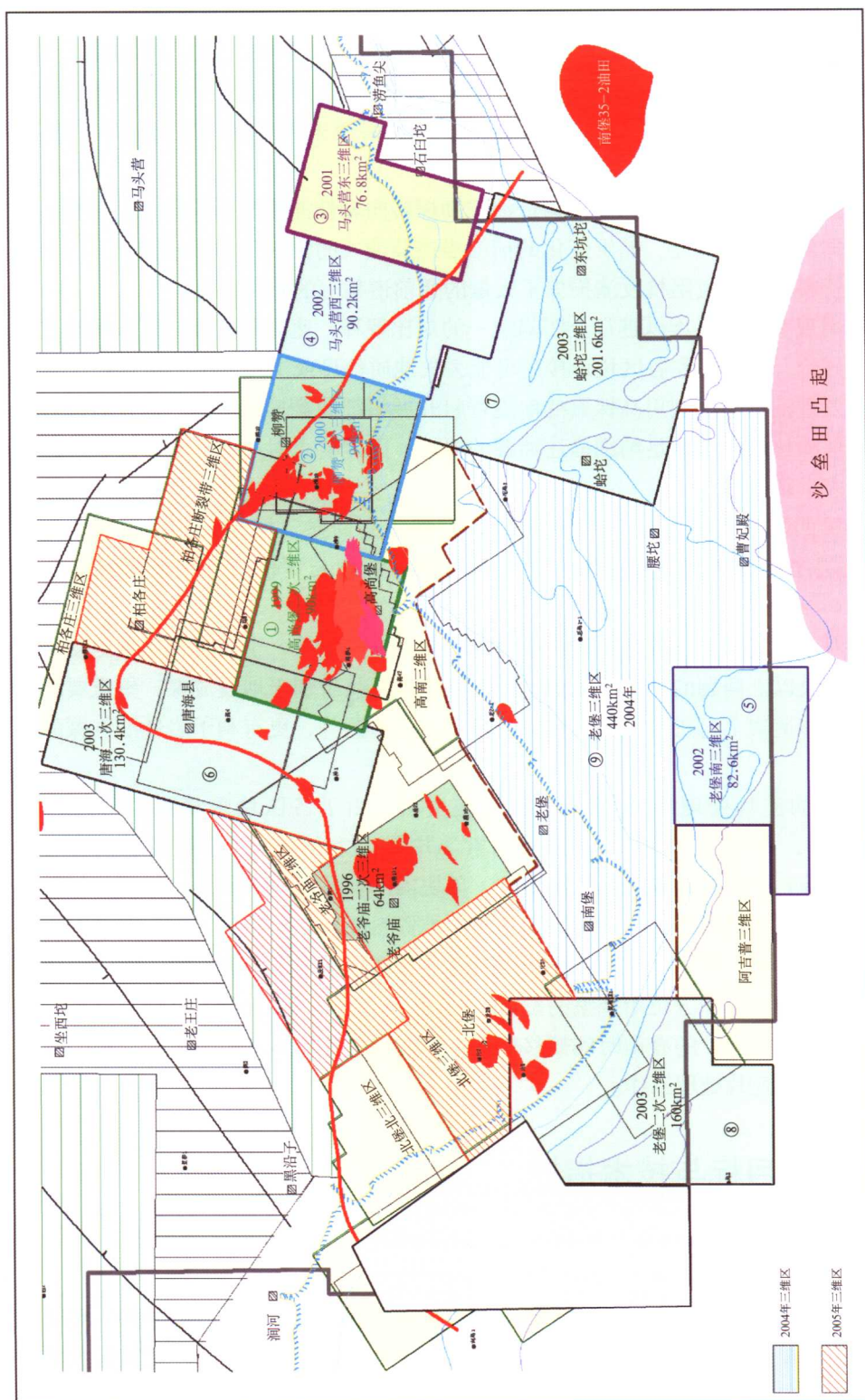


图 1 南堡凹陷三维地震勘探程度图

作的可持续发展;③最大限度地发挥地震资料的作用,强化滩海地区地质认识,提高滩海地区的勘探成功率,进而提高勘探效益。

(2) 全面评价南堡凹陷斜坡带和洼陷区岩性油藏的勘探潜力。在此基础上进一步开展岩性油藏勘探:①通过连片处理全面提升斜坡带与洼陷区的资料品质,满足岩性油藏勘探的需要;②发挥叠前偏移数据体在储层预测、AVO 检测和属性分析上的优势,满足岩性油藏勘探中圈闭识别与评价的需要。

(3) 进一步挖掘老区新的开发潜力。①通过叠前偏移提高储层预测的准确性,满足复杂断块油田开发工作的需要;②通过开展油藏精细描述,重新认识开发潜力,提高开发水平,提高采收率。

3.2 技术指标

根据以上地质任务要求,对南堡凹陷三维连片叠前时间偏移处理项目提出以下技术要求:(1) 解决好振幅、频率以及相位的一致性处理及资料的拼接问题;(2) 使用当今最先进的三维连片处理技术和叠前时间偏移处理技术,进一步提高资料信噪比和分辨率,形成一套高质量的地震数据体;(3) 对新近系范围的资料(明化镇组、馆陶组)要有较高的信噪比和分辨率,能够准确落实幅度为 10m 的低幅度构造,通过反演能够对小于 10m 的储层进行解释和描述;(4) 对古近系范围的资料(东营组、沙河街组)反射特征清楚、波组关系好,能够准确落实构造、进行储层横向预测以及砂岩体描述;(5) 对前古近系范围的资料能够落实潜山顶面的构造形态,尽量解决潜山内幕的成像问题。

4 关键处理技术

4.1 连片处理技术

根据南堡凹陷原始地震资料的特点,本区采用的全三维连片处理主要技术涉及以下内容。

(1) 叠前去噪技术。针对南堡凹陷不同区块的噪声类型和性质,采用综合去噪技术,对各种噪声使用不同的处理方法进行针对性压制,为后续的振幅均衡和反褶积处理打下比较好的基础。

(2) 振幅均衡技术。主要采用以下三项技术:①相对道平衡技术,主要用于解决三维块与块之间由于激发和接收因素引起的能量差异;②地表一致性振幅补偿,主要用于消除近地表因素引起的振幅异常而保留地下反射振幅横向变化的信息(如同一三维区块内因近地表的岩性横向变化引起道与道之间、炮与炮之间的能量差异);③剩余振幅补偿技术,主要用于消除块与块之间由于激发接收因素引起的能量差异和由近地表引起的振幅异常之后,还可能存在剩余振幅的能量差异。

(3) 地表一致性处理技术。主要用于消除不同的激发、接收条件导致原始数据在子

波波形、频率和时差等方面的差异。地表一致性处理是消除这些差异的最好手段。地表一致性处理技术既包括地表一致性振幅补偿技术,也包括地表一致性反褶积、地表一致性剩余静校正处理技术。其中地表一致性反褶积技术可以消除地表不一致因素对地震子波的影响,增强地震子波横向稳定性。

此外在应用野外静校正和折射波静校正后,仍然有一定剩余静校正量存在于数据中,对此笔者采用反射法地表一致性剩余静校正技术来解决,特别是经过剩余静校正和速度分析的多次迭代,可以消除道间时差,提高叠加的质量。

(4) 子波整形技术。由于不同三维区块工区跨越陆地、滩涂和浅海,激发因素有井炮、气枪,接收因素有陆检、水检,激发、接收因素的变化导致地震信号子波频率和相位的不一致。同时由于三维资料采集年度和采集参数各不相同,从而导致振幅、频率、相位均不一致,甚至有一定的闭合差,所以必须对各区块地震资料进行子波整型处理。子波整形技术是通过统一的期望输出地震子波,将不同区块受多种不同因素影响的不同地震子波整形到统一的期望输出地震子波上来,从而消除相位差。

(5) 面元均化技术。分块设计的三维往往存在面元大小、方向、覆盖次数及炮检距分布的不同,在连片处理过程中,要求输出统一的面元大小和方向。因此在统一的地下面元网格中,一些面元覆盖次数较高,而另一些面元覆盖次数较低或为零;面元间的炮检距分布不均匀现象时有发生。面元均化技术正是为消除面元大小和炮检距分布不均而设计的处理方法。

4.2 叠前时间偏移处理技术

水平叠加方法是基于水平层状介质假设条件的,叠后偏移方法应用于水平叠加之后,其输入数据已经受到水平层状介质假设条件的限制。叠后时间偏移技术另一个假设条件是其输入为零炮检距自激自收记录,当地下构造形态复杂时,不满足水平叠加方法的假设条件。而叠前时间偏移技术摒弃了这些理论假设,它比叠后时间偏移技术更适应复杂情况。

当地层几何形状比较复杂、速度横向变化时,应用叠后时间偏移技术难以得到理想的成像效果;而叠前时间偏移处理技术利用叠前道集,使用均方根速度场将各个地震数据道偏移 to 真实的反射点位置,形成共反射点道集再进行叠加,提高了偏移成像精度。叠前时间偏移方法的迭代过程可使最终得到的速度场精度和振幅保真度均优于叠后时间偏移方法,从而有利于提高构造解释成图精度,确保叠前属性提取和叠后地震数据反演结果真实可靠。

当前应用较多的叠前时间偏移技术方法主要有基于波动方程积分分解的克希霍夫积分法和基于波动方程差分分解的有限差分法。前者虽然计算精度稍低,但速度分析快捷,运算效率高,适应能力强,是目前在实际应用中经常采用的方法^[2]。叠前时间偏移可解决如下问题:(1)在复杂构造地区,叠前时间偏移成像效果明显优于叠后时间偏移;(2)叠前时间偏移处理可以产生共反射点道集,从而可进行 AVO 等叠前反演;(3)可以提供比较准确的均方根速度场;(4)偏移叠加数据体可以用于建立地质模型;(5)偏移叠加数据体还