

大庆外围油田低渗透薄油层 水平井开发技术应用

麻成斗 等编著



石油工业出版社

大庆外围油田低渗透薄油层 水平井开发技术应用

麻成斗 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以大庆外围油田为例,介绍了低渗透薄油层水平井开发技术,主要包括水平井的适应性筛选、水平井优化设计和水平井配套技术等,总结了我国水平井开采的研究成果与实践经验,为以后成功应用水平井开发低渗透薄层油藏提供了借鉴。

本书可供从事油田开发、开采的工程技术人员和石油院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大庆外围油田低渗透薄油层水平井开发技术应用/麻成斗等
编著. —北京:石油工业出版社, 2008. 5

ISBN 978-7-5021-6496-6

I. 大…

II. 麻…

III. 低渗透油层-油田开发

IV. TE348

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 025251 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

2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 12

字数: 300 千字 印数: 1—2000 册

定价: 38.00 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

《大庆外围油田低渗透薄油层水平井开发技术应用》

编 委 会

主 任：麻成斗

副主任：刘洪涛

编 委：宋 彪 王长生 刘洪远 张玉伟 刘 卿

陆延平 王庆鹏 王金荣 王淑红 赵景峰

翟 国 夏泽成

前 言

水平井开发技术是 20 世纪 90 年代以来迅速发展的一项油田开发新技术。从“八五”到“十一五”初期，我国水平井开发技术应用领域已由稠油油藏发展到了常规油藏；由水平井单井挖潜发展到整体部署开发。水平井开发技术广泛应用于老油田挖潜、新区产能建设，甚至滚动勘探开发区域。随着钻井技术尤其是地质导向技术的发展，水平井开发技术应用领域已由厚层发展到了薄油层、薄互层。国内水平井开发技术已成功地应用于胜利、大庆、塔里木等油田的近 10 个薄差层油藏。通过国内油田的研究与实践，水平井技术由试验走向了成熟，进入到广泛应用的发展阶段，并形成了我国水平井开发的适应性筛选、优化设计及水平井开发配套技术，为提高我国油田采收率起到了至关重要的作用。

大庆长垣外围探明已开发和待开发的油田共 20 个，大多属于低渗透、低丰度的低产油田，储层砂体规模小，油层厚度薄。储量丰度为 $(15 \sim 22) \times 10^4 \text{ t/km}^2$ ；储层单层厚度小，一般仅 0.5~3m，属于薄油层或特薄油层；外围萨尔图、葡萄花、高台子油层属于中低渗透储层，而扶余、杨大城子油层属于特低渗透储层；油井自然产能很低，扶余、杨大城子油层的单井产量一般小于 0.5t/d，经过压裂改造后的稳定产量也仅有 2~5t/d，属特低丰度、低渗透油层，采用直井开发无经济效益。大庆外围油田大都属于经济边际油田，如何经济有效开发大庆外围特低丰度、低渗透油田是大庆外围油田开发中亟待解决的难题，是大庆油田增储稳产的关键问题之一。因此，在大庆外围油田开展了水平井的研究与实践，形成了水平井系列技术，取得了较好的开发效果。

敖南油田和肇州油田是大庆外围的典型油田，通过水平井开发的研究与实践，取得了较好的开发效果。通过研究与技术攻关，初步形成了大庆外围特低丰度、低渗透薄油层水平井开发配套技术，重点包括水平井的适应性筛选、水平井优化设计和水平井配套技术等。相对当前水平井研究与应用状况，大庆外围油田在低渗透薄油层水平井区的储层预测及钻后储层精细描述、水平井可行性评价（特别是适应性标准）、优化设计、随钻建模和随钻分析调整、含油性分析、投产完井方式优化、注水配套、油层保护、配套工艺技术等方面有所发展。

本书总结了大庆外围油田水平井开采的研究成果与实践经验，为以后利用水平井技术经济有效地开发大庆外围低渗透薄差层油藏奠定了技术基础。同时，也为我国其他油田成功应用水平井开发提供了借鉴。

目 录

1 水平井适应性筛选	(1)
1.1 地质静态评价	(1)
1.2 精细地质研究	(4)
1.3 水平井适应性筛选	(23)
1.4 水平井区优选	(47)
2 水平井优化设计	(51)
2.1 水平井井网研究	(51)
2.2 水平井注水研究	(60)
2.3 水平井参数优化	(63)
2.4 产能及产量预测	(73)
2.5 水平井经济评价	(79)
2.6 方案优化	(80)
3 水平井钻井的地质导向技术	(81)
3.1 地质导向技术概况及发展趋势	(81)
3.2 随钻测井技术及其发展	(82)
3.3 随钻测井技术的应用	(88)
3.4 随钻井下测量与评价技术	(92)
3.5 水平井随钻建模与分析调整	(93)
4 水平井钻井技术	(109)
4.1 水平井钻井技术的发展	(109)
4.2 多分支井技术	(112)
4.3 水平井欠平衡钻井技术	(123)
4.4 侧钻水平井(小半径)技术	(135)
4.5 连续油管钻井技术	(138)
4.6 小井眼钻井技术	(138)
5 水平井压裂技术	(140)
5.1 水平井压裂优化设计	(140)
5.2 水平井多段压裂及控制技术	(146)
5.3 压裂现场试验及效果	(152)
6 低渗透油田水平井举升技术	(156)
6.1 流入动态曲线	(156)

6.2 机械采油方式优选	(157)
6.3 井筒压力分布的预测	(162)
6.4 深井泵的工作特性与扶正器配置间距设计	(163)
6.5 有杆泵抽油的泵况诊断技术	(165)
6.6 水平井接力泵举升工艺技术	(167)
6.7 完井投产方式优化设计及配套注水	(169)
6.8 水平井生产参数优化	(182)
参考文献	(184)

1 水平井适应性筛选

当今水平井钻井技术发展很快，从利用一口水平井钻开一个油层到多个油层，从一个方向的水平井到反向双水平井及分支水平井，就钻井技术而言基本都可以实现。但结合实际地质情况将该技术应用到油田开发，还有许多技术问题需要解决，比如油藏地质条件是否适合？产量能否提高到一定程度？配套技术能否适应油藏地质的特殊需要？是否能做到经济有效地开发？上述问题并不是所有的油田钻水平井开发就可以解决并获得良好经济效益的。所以为了利用水平井经济有效地开发油田，就应根据现有工艺技术水平及经验，对油藏进行评价和筛选。

水平井适应性筛选包括粗筛选和细筛选。

水平井适应性粗筛选是在地质静态评价的基础上，认识油田构造、储层等地质特征，为粗筛选提供参考，其次，通过精细地质研究（精细构造解释和储层预测）获得准确的构造垂向深度、精细三维地质模型及储层空间展布，为水平井适应性筛选和优化设计提供地质基础。然后，通过油藏类型和油藏参数标准对水平井适应性进行粗筛选。对通过了粗筛选的水平井区域或油田，根据水平井产量预测和经济评价，判断该油田或区域利用水平井能否取得较好的经济效益。能获得经济效益的油田即通过了水平井适应性粗筛选，适合利用水平井开发。

水平井的细筛选是在三维精细地质模型建立的基础上，根据获得的精细构造解释和储层展布成果，优化设计水平井轨迹和参数，再在地质模型和地质优化的基础上，利用常规油藏工程方法和油藏数值模拟获得水平井及油田产量预测结果，根据产量和水平井开采成本完成水平井开采经济评价，再根据经济评价结果来优化水平井地质油藏设计方案。水平井方案能取得经济效益的油田或区域就通过了水平井的细筛选。水平井的细筛选过程也就是水平井的优化设计。

大庆外围油田属于特低丰度、低渗低产油田，有其独特的地质特点。下面通过对大庆外围油田地质静态评价来认识其地质特征，为水平井粗筛选提供初步认识。

1.1 地质静态评价

1.1.1 大庆外围油田地质特征

20 世纪 70 年代，大庆油田的勘探工作进入长垣以东的三肇凹陷区，但主要集中在凹陷中的鼻状构造、阶地及隆起部位，以寻找构造圈闭油气藏为主。80 年代中后期，随着松辽盆地勘探程度的不断提高，构造油气藏的勘探难度越来越大，可供选择的构造圈闭发育区带所剩无几。因此，在凹陷低部位及向斜翼部的隐蔽油气藏、特别是岩性油气藏勘探逐渐引起人们的重视，而且在构造油气藏勘探过程中陆续发现一些岩性油气藏，并展示出一定勘探前景。近些年岩性油气藏的勘探有了很大进展，在齐家—古龙凹陷的英台、他拉

哈、常家围子，三肇凹陷的徐家围子向斜，大庆长垣南部的葡南、敖南等地区都有重大发现，但是基于岩性油藏的隐蔽性，对其分布规律认识尚不够深入，导致勘探效率不高。因此，2003 年把敖南和徐家围子地区作为岩性油藏勘探的重点目标，通过加强地质研究、精细油藏描述，认清油藏特征及其分布规律、优选钻探靶区、优化井位部署，提高探井成功率和勘探效益，达到扩大含油面积、增加储量规模的目的。

大庆长垣外围探明已开发和待开发的油田共 20 个，大多属于低渗透率、低丰度的低产油田。大庆长垣外围低渗透油田地质特征为：

(1) 产油储层从上至下分为二套：萨尔图、葡萄花、高台子油层和扶余、杨大城子油层。萨尔图、葡萄花、高台子油层属于中低渗透储层，已经和正在投入开发，而扶余、杨大城子油层平均空气渗透率仅有 $(1\sim5)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，个别达 $10\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，属于特低渗透储层，占大庆外围油田地质储量的四分之三以上，仅有少部分投入开发。

(2) 储层单层厚度小，一般仅 0.5~3m，单砂层厚度 6m 以上的少，而且主要发育于扶余、杨大城子油层中。

(3) 储层的沉积环境主要属三角洲分流平原相，其次为三角洲内前缘相。尤其是扶余、杨大城子油层中的有效层基本为河道砂岩，它们横向变化大，呈条带状和窄条带分布，宽度 300~600m，部分仅有 100~200m。砂体内部非渗透夹层较多，严重降低了垂向渗透性。在构造曲率大的区块，储层中天然裂缝比较发育。

(4) 油藏中油、气、水的分布受构造、断层、岩性和地层等多种圈闭条件的控制，属于复杂的复合性油藏类型。

(5) 油井自然产能很低，扶余、杨大城子油层的单井产量一般小于 0.5t/d，经过压裂改造后的稳定产量也仅有 2~5t/d。

这些复杂油藏在常规注水开发方式下产能建设投资大、成本高，开发的难度和风险大。为了更加经济有效地开发大庆外围油田，在肇州、敖南等油田开展了水平井的研究与实践。

1.1.2 大庆长垣外围油田水平井开发实践

1.1.2.1 肇州油田特低丰度薄油层水平井开发实践

随着外围油田的开发，丰度较高的储量已经基本得到动用，剩余未动用储量丰度均较低 ($10\times 10^4\sim 20\times 10^4\text{t}/\text{km}^2$)、单井厚度薄 (1~2m)，采用直井开发无效益。尤其是肇州油田葡萄花油层，储层为三角洲前缘相沉积，主要发育 P I 2、P I 3、P I 4 三个小层，单层以有效厚度小于 1m 的薄层为主，占总有效厚度的 53.2%，占总层数的 73.3%，平均储量丰度只有 $16.7\times 10^4\text{t}/\text{km}^2$ ，采用常规技术无法大规模投入开发。为此，2002 年以来，开展了大庆长垣东部特低丰度葡萄花油层水平井开发现场试验。

2002 年开展了肇州油田特低丰度超薄油层水平井开发试验。从特低丰度超薄油层的油藏管理角度出发，就储层精细描述、井网优化、钻井过程控制、实时地质导向、实际开发动态分析生产效果评价及开发前景预测等多方面的技术进行研究，综合应用于水平井开发特低丰度超薄油层储量，获得了成功。

特低丰度葡萄花油层水平井开发试验取得的成功解决了大庆外围低丰度储量的有效动用问题，为外围油田持续有效发展开辟了新的途径。水平井采油的直井注水行列式井网能够最大限度地动用各层储量，效益较好，适合类似特低丰度油田的开发。水平井产能受储

层渗透率、油层厚度、水平段长度、含油砂岩钻遇率以及油层含油性共同影响,其中储层渗透率对产能影响较大。低丰度、薄油层水平井注水见效时间在3~8个月,宜采用1.0注采比的平稳注水方式。

采用多学科方法实现了准确的储层描述和预测,为低丰度、薄油层水平井钻井的优化设计及地质导向提供了保证。为了进一步降低风险,水平井应部署在直井控制程度较高,且远离断层的区域。采用LWD监控仪和加密录井两种监控手段,并结合地质模型指导钻井,提高了油藏的透明度,水平井钻井成功率达100%,并保证了较高的砂岩钻遇率。

特低丰度油田水平井开发技术在注水开发特征认识、调整方法以及增产工艺等方面还有待进一步深入和完善。应该充分利用实际生产数据、现场测试(包括示踪剂注入试验等)和数值模拟方法开展研究。针对不同储层特点设计、优化大面积整体开发水平井网;研究水平井开发中后期的注水见效特征、开发规律和调整措施;探索延长水平井稳产时间的新方法、新工艺。

1.1.2.2 敖南油田特低丰度超薄油层水平井开发实践

敖南地区勘探工作始于20世纪60年代末,1989—2000年进行评价勘探,完成了二维地震及测网加密工作;2001年为进一步搞清大庆长垣南部扶杨油层的油气分布特征,为扩展新区和储量升级作准备,在敖南地区北部的葡南油田完成了369km²三维地震;2004年在敖南地区南部新采集三维地震资料359.7km²。敖南地区的钻探工作分三个阶段:1961—1987年为油藏发现及预探阶段;1988—1998年为敖包塔油田评价开发与扶余油层勘探阶段;1999—2004年为葡萄花、扶余整体评价阶段。

敖包塔油田作为敖南油田的一部分,于1995年投入开发,采用正方形井网300m井距反九点法注水开发,初期平均单井采油量3.26t/d,采油强度1.13t/(d·m)。到2005年12月底,共投产生产井167口,综合含水40.93%,年注采比1.74,累积注采比1.56,采油速度1.88%,采出程度15.8%。敖包塔油田老区产油量稳定,开发效果比较好。

(1) 敖南油田葡萄花油层主要特点。

敖南油田葡萄花油层属“低孔、低渗、低丰度”以岩性油藏为背景的构造—岩性油藏,储层厚度薄、油水关系复杂,其南部处于构造应力转换带上,断层十分发育。储层类型以席状砂和滨湖沙脊为主。

(2) 构造特征。

敖南油田区域构造位置位于松辽盆地中央坳陷大庆长垣二级构造带向南延伸的敖南鼻状构造上。是大庆长垣葡萄花南部构造延伸部分,在葡萄花油层顶面构造图上,总体呈北高南低的鼻状构造。

(3) 储层特征。

①储层砂体发育特征。水平井井区(茂71、敖354-74)目的层为下白垩统姚家组一段葡萄花油层,地层厚度一般在20~40m之间,平均30m。该区沉积受北部物源控制,为大庆长垣大型河流—三角洲沉积体系的南延部分,砂体平面分布北厚南薄,储层类型主要为三角洲前缘滨浅湖沙脊、远沙坝和席状砂。

茂71区块葡I组油层划分为7个小层13个沉积单元。据已完钻的65口井统计,全区平均单层砂岩钻遇率为36.7%,有效钻遇率为13.8%,平均单井砂岩厚度为5.4m,有效厚度为1.3m。

②储层物性特征。葡萄花油层岩心样品分析孔隙度在 14.8%~21.2%之间,平均为 17.5%;空气渗透率在 $(0.86\sim56.75)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均为 $13.3\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,属中孔、低渗储层。

③产能分析。根据试油试采资料,64口井层平均日产油 7.63t,平均射开有效厚度 2.3m,平均采油强度为 $3.32\text{t}/(\text{d}\cdot\text{m})$ 。其中 43口压裂井的平均日产油量为 8.51t,平均射开有效厚度 2.4m,平均采油强度为 $3.90\text{t}/(\text{d}\cdot\text{m})$;19口自然产能井的日产油量为 5.91t,平均射开有效厚度 2.3m,平均采油强度为 $2.68\text{t}/(\text{d}\cdot\text{m})$ 。压裂井的采油强度高于自然产能井。敖南地区直井实际开采时的采油强度 $1.0\text{t}/(\text{d}\cdot\text{m})$ 左右。

④方案部署。根据敖南地质特征和开发状况,确定了以丛式井、水平井、直井联合开发为主的实施方案,加大了丛式井、水平井开发技术的应用规模,有效地提高了单井产量,降低了地面投资,保障了油田整体开发效益。

2006年实施在敖南 71井区完钻水平井 20口,方案设计中水平井单井产能为:不压裂时的初期产量 $6\sim10.5\text{t}/\text{d}$,水平井压裂时的初期产量 $12\sim21\text{t}/\text{d}$ 。水平井在不压裂情况下,10年单井累计产油 $1.39\times 10^4\sim2.31\times 10^4\text{t}$,在压裂投产情况下,单井累计产油 $2.3\times 10^4\sim3.84\times 10^4\text{t}$ 。经过投产完井优化,建议敖南水平井采用压裂投产方式,以获得较的单井产量和采收率。

通过水平井区储层预测与水平井优化设计研究,形成了一套适合敖南油田的水平井一体化研究与设计技术,包括构造精细解释、地震约束的多井反演预测、精细地质建模、储层随机相控建模及水平井油藏工程(数值模拟)研究、随钻分析调整、射孔—压裂投产完井优化技术等,对经济有效开发大庆外围低丰度薄互层油藏有一定借鉴作用。

1.2 精细地质研究

精细地质研究主要包括精细构造解释和储层预测,目的是通过精细构造解释,认识构造特征、获得薄层水平井准确的垂向深度目标,通过地震资料储层反演和相控随机模拟等精细地质建模方法进行储层预测,建立精细三维地质模型,获得储层空间展布规律及认识,为水平井适应性筛选和优化设计提供基础。

下面以长垣构造带上的敖南南部水平井区精细地质研究为例予以说明。

1.2.1 精细构造解释

大庆外围油田处于大庆长垣构造带上,北高南低,构造逐渐向南倾没。

敖南鼻状构造是本区发育的主要三级构造,该构造是一长期发育的继承性构造,呈北东向展布,具有由深至浅构造幅度变缓的特点,嫩江组沉积末期基本定形,明水组沉积以后进一步发展成现今构造形态,由北向南逐渐倾没。在本区该构造为大庆长垣向南的倾没端,特征较为明显。

敖南地区葡萄花油层水平井开发区目的层埋深在 -1100m 左右,三维地震资料主频 50Hz ,频带范围 $20\sim85\text{Hz}$,而该区储层厚度以 $1\sim2\text{m}$ 为主。水平井在钻进过程中对储层埋深在横向上的变化要求精度高,构造解释精度直接关系到储层反演及地质建模的精度,从而影响到水平井成功率。如何提高构造解释精度是提高水平井钻遇率的关键,针对研究

区对构造解释精度的特殊要求，主要采用了精细层位标定、多套数据体联合解释断层技术、三维体构造精细解释技术及建立三维速度场变速成图技术，从而提高了构造及断层解释精度。

利用敖南水平井区井资料较多的优势，确定了构造精细解释的方法是：在应用地震资料，加入多井约束的情况下，利用精细层位标定、多套数据体联合解释断层技术、三维体构造精细解释技术精细解释了葡一顶底的构造。在此基础上，利用垂深校正、直井约束等方法，并利用建模软件（如 Petrel 软件等）建立各小层微构造图，为水平井提供了较准确的深度目标。

1.2.1.1 技术方法

1.2.1.1.1 精细储层标定

层位标定是构造解释的关键和基础，层位的准确与否直接关系到储层预测的成败，同时也是连接地震、测井、地质的桥梁，只有准确的标定，才有可能利用地震资料比较准确地描述储层的几何形态以及其他参数。层位标定方法有多种，如平均速度、VSP、合成记录等，但最常用的是合成记录标定法。

由于敖南井孔资料多、标准层所对应的声速曲线台阶明显等特点，标准层及目的层的标定主要利用人工合成记录法标定。

(1) 层位标定的基本原则。

利用声波测井曲线制作合成地震记录的主要方法是：首先将合成记录与井旁地震道对比，准确找出主要波组的对应关系；然后以井旁地震道的时间、厚度为标准，对声波测井曲线进行适当的校正，从而保证合成记录与井旁地震道的最佳匹配。在全区选取井的声速资料制作了合成记录。选取制作本区合成地震记录井的原则是：

- ①井旁地震剖面质量可靠，尽量不过断层，且单井尽可能位于断块中间部位；
- ②测井资料可靠，测井井段较长，钻遇扶余油层；
- ③分布在不同的沉积相带或不同的地震相带上，有区块代表性。

(2) 子波的选择试验。

用相同的测井声波曲线，采用不同的子波制作合成记录，会得到与实际剖面匹配效果不同的合成记录。因此利用不同的子波进行试验，先后利用雷克子波、在实际井旁地震道提取的最小相位子波和零相位子波分别制作合成记录对比试验，制作符合区块地质特点的合成记录。

(3) 连井剖面上的层位标定。

在单井合成记录标定的基础上为了进一步检验标定的准确性，将做过合成记录的各井在三维数据体中作连井线，检查各井是否都标定到同一层位上。如果有与层位不吻合的井，要对速度曲线进行分析或再校正，重新制作合成记录，到吻合为止。最后使合成记录标定的层位在三维数据体中都追踪到同一层面上。

1.2.1.1.2 构造精细解释技术

(1) 多套数据体联合解释技术识别小断层。

断层解释在构造解释中占有突出的地位。本区资料垂向分辨率较高，尤其是中、浅层，依据同相轴及波组错断、反射结构突变、断面波、相位转换、同相轴扭曲、分叉、合并等传统的断层识别标志进行断层解释，仍然是一种有效的、可靠的手段。

由于大庆外围油田断层发育,具有断层多、断距小、延伸短、断层关系复杂的特点,所以可以利用三维资料剖面特征清晰、三维数据体空间连续和解释系统显示灵活、手段多样的优势进行断层解释。为了提高断层解释精度,不漏掉 5m 左右的小断层,解释采用了“多套数据体联合解释断层技术”。该项技术利用三维数据体分别从平面、剖面、空间不同角度对小断层进行精细解释,特别注意小断层的解释和发现。

(2) 平面断层解释技术。

平面断层解释技术包括地震数据体时间切片解释技术、相干体时间切片解释技术、断层倾角分析技术。利用这些技术可以快速、简便地进行断面在三维空间的闭合,快捷准确地反映出断层的平面分布特点,使较小的断层显示更加清楚。

(3) 剖面断层解释技术。

剖面断层解释技术指并列多线联合解释技术、任意线联合解释技术及剖面纵向放大解释技术。利用这项技术可确定断层的剖面和平面位置。

(4) 空间断层解释技术。

空间断层解释技术指三维可视化解释技术。利用这一技术进行断层组合,能够直观地反映出断层的空间分布特点和相互交接关系,并能直观地检查和验证。由于采用上述方法,对观察识别小断层、断层终点、断层接触关系、确定断层位置进行断点组合、减少断层解释的多解性起到了重要作用,使断层解释更加合理。

(5) 采用精细的地层砂层对比、地层产状精细分析,平面、剖面和空间解释技术,以及精细地质建模技术落实小断层。

(6) 三维体精细解释技术识别微构造。

在构造解释过程中除充分运用已成熟的常规配套技术外,主要采用“三维体构造精细解释技术”。这项技术包括全三维体构造解释技术、三维可视化解释技术、三维可视化解释与验证技术、三维可视化综合解释技术。

应用上述技术在解释中充分利用工作站可以灵活运用多种属性数据体,加密解释网格;可以拉长和压缩剖面;可以随时观察任意线、水平切片、三维体等优势,确保各小断块层位统一,不漏掉小的圈闭,使解释成果更加接近实际地质情况。

1.2.1.1.3 变速成图技术

为了精确的落实小断层、微构造,同时考虑到该区速度的纵横向变化,利用变速成图软件对该地区通过建立速度场,达到了变速成图。其主要原理是利用层位约束方法,将地震解释层位和钻井资料相结合建立速度场。用上述方法完成了 T1-1、T1-1b 层的平均速度场图,然后将等 t_0 图进行时深转换,从而得到深度构造图。变速成图的主要优点是:

- (1) 范围大,凡是有地震层位解释的地方均可控制。
- (2) 速度精度高,井间速度值准确,速度场可靠。
- (3) 深度转换准确,等 t_0 值转换成深度值准确可靠,误差小。

经井孔资料验证,速度场可靠,可满足油田开发的要求。

1.2.1.2 构造解释精度误差分析

由于采用了多套数据体联合解释断层技术、三维体构造精细解释技术及建立三维速度场变速成图技术,从而提高了构造及断层解释精度。T1-1、T1-1b 构造解释构造垂深相对误差小于 1%。

本次解释我们采用了“多套数据体联合解释断层技术”。该项技术利用三维数据体分别从平面、剖面、空间不同角度对小断层进行精细解释，特别注意小断层的解释和发现。

1.2.2 储层预测

由于敖南水平井区储层薄、低渗、相变快、砂体连续性差、岩性和含油性变化快、砂岩钻遇率低，储量丰度低，所以储层预测的准确程度显得尤为关键。在分析敖南沉积特征的基础上，利用地震反演方法和精细地质建模方法预测了敖南水平井区储层，建立了精细三维地质模型，并描述了储层微观和宏观特征。

针对敖南地质特点，通过反复试验对比，结合工区的资料特点，为更好的完成储层预测工作，使预测结果接近实际情况，选取了基于模型的波阻抗反演技术，运用 Jason 反演软件，对该区进行储层反演。岩性预测采用地震约束井反演方法。该反演方法简单地说就是：在新增钻井后，在构造格架基础上，利用新的构造、断层、层位解释结果，重新建立地质模型。以此模型控制，利用 Jason 反演软件，采用前期稀疏脉冲波阻抗反演，利用测井约束波阻抗反演方法对该区进行储层反演（流程图见图 1.1）。

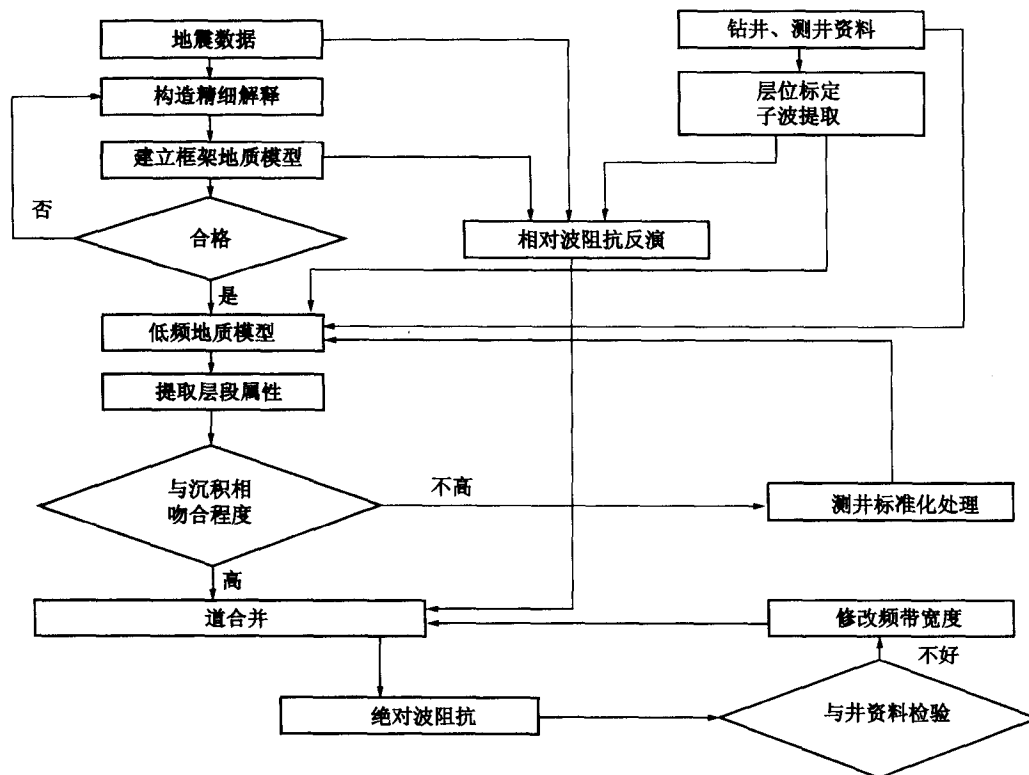


图 1.1 测井约束波阻抗反演技术流程图

通过采用地震约束的井反演技术得到的阻抗数据体纵横向分辨率都得到了明显提高：
 (1) 剖面反演对比，储层总体变化趋势是一致的，主力砂层在反演剖面上均能识别，但加入新井后局部储层有所变化，储层横向非均质性增强，垂向分辨率有所提高；
 (2) 平面反

演对比,新预测砂岩厚度比原预测厚度普遍变薄,储层平面非均质性进一步增强。

通过储层预测,认识了砂岩及泥岩夹层的展布规律,可指导三维精细地质建模及水平井优化设计。

从已完钻 20 口水平井钻遇情况来看,砂体预测精度为 87.5%,预测砂体厚度略大于实际值。

为提高储层预测精度,为后期的地质建模提供较准确的空间控制,在新增完钻井后,对研究区内 91 口井细分沉积相,共细分出 14 个沉积单元,重新建立地质模型,以测井资料为约束,采用 Jason 反演软件对水平井区开发井完钻前后储层发育情况进行了地震跟踪反演。通过比较可以看出,采用地震约束的测井资料反演得到的阻抗数据体纵、横向分辨率都得到了明显提高。

基于模型地震反演方法是从地质模型出发,采用模型优选迭代扰动算法,通过不断修改更新模型,使模型正演合成地震资料与实际地震数据最佳吻合,最终的模型数据便是反演结果。

在薄层地质条件下,由于地震频带宽度的限制,基于普通地震分辨率的直接反演方法,其精度和分辨率都不能满足油田开发的要求。基于模型地震反演技术以测井资料丰富的高频信息和完整的低频成分补充地震有限带宽的不足,可获得高分辨率的地层波阻抗资料,为薄层油(气)藏精细描述创造了有利条件。

为提高砂体预测精度,提高油层钻遇率,采用 Jason 反演软件对水平井区开发井完钻前后储层发育情况进行了地震跟踪反演。通过采用地震约束的井反演得到的阻抗数据体纵横向分辨率都得到了明显提高。

由于受到地震资料分辨率的影响和储层本身的地质条件限制,只依靠地震多井约束反演预测储层必然会有些误差,还不能完全满足特薄层水平井设计的需要。综合分析认为误差引起的原因如下:

(1) 砂层太薄,单砂层厚度小于 0.5m。对于砂岩厚度小于 0.5m,甚至到 0.1m 的砂层,由于受到地震分辨率的影响,地震约束多井反演难以预测、区分、追踪小于 0.5m 以下的薄差储层。

(2) 电性差、岩性差、含油性差、相变快的薄差层,地震反演与预测难以精确把握变化的尺度。

(3) 如果该薄差层隔层厚度不高及含钙等因素影响,则会引起深电阻值增高,被误认为是含油性好的砂岩,给反演造成假象,影响反演预测精度。

(4) 敖南地震道间差异较小,储层变差区域与地震信息差异并没有规律性的关系,仅靠地震信息难以反映敖南薄层变化快的特点。

总之,对于单砂岩厚度小于 0.5m 的薄差储层预测,单靠地震约束多井反演难以实现特别精确的结果,还需依靠综合分析沉积微相变化规律和控制直井的电性、岩性、含油性等变化特性,再对反演预测结果进行约束,并利用随机相控模拟方法,将会更精确地预测储层。

1.2.3 精细地质建模

1.2.3.1 采用多种方法建立目的层地质模型

由于水平井是在储层内水平钻进,其对目的层地质模型的精度要求较高,只有建立客

观精细的目的层地质模型，才能使水平井钻井和开采获得成功。针对大庆外围油藏渗透率低、油层薄、砂体分布不规则等地质特点，应用地震、地质、测井等方法，综合研究了目的层砂体形态、规模、分布和顶面构造形态，地应力及天然裂缝分布特征，储层的物性、含油性及层内夹层的变化，建立了符合油藏实际的地质模型。这套模型可控制油层顶界垂深设计误差为 1.9~0.4m，小于 $\pm 2\text{m}$ 。

精细地质模型包括构造模型、砂岩模型、物性模型（见图 1.2）。

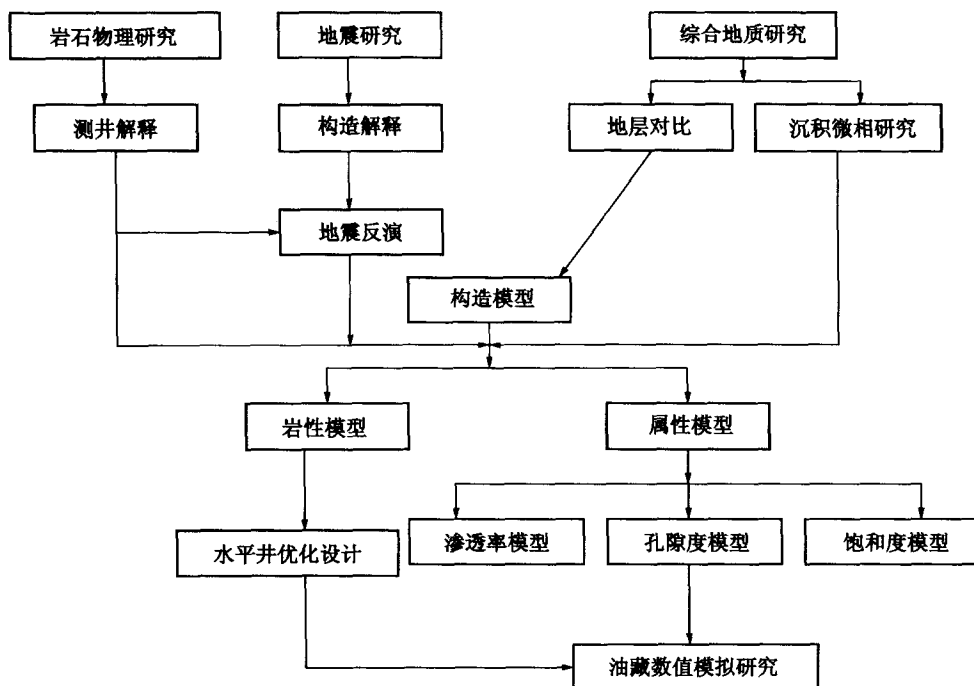


图 1.2 储层建模流程图

建造精细构造模型一般是先通过地震资料并加入多井约束，经过精细构造解释得到主要标志层和主要目的层顶面构造，再通过区域直井测井曲线、沉积相、分层等地质研究成果，建立各小层的构造模型，得到各小层的微构造图，为水平井的设计和钻井提供精确深度目标和构造图。

本次研究利用精细构造解释、地震储层反演、沉积微相及常规地质研究成果，在垂深校正和时深转换的基础上，加入周围直井资料约束，利用 Petrel 软件和序贯指示随机建模方法，建立了敖南水平井区精细地质模型，包括精细构造模型、岩性模型和储层属性模型，预测了储层，定量、精细地描述了敖南水平井区构造与储层特性。

1.2.3.2 建立精细的三维构造模型

构造模型反映储层的空间格架，主要描述构造的几何形态、断层等构造要素的空间分布。因此，在建立储层属性的空间分布之前，应进行构造建模。构造模型由断层和层面模型组成，断层模型实际反映的是三维空间上的断层面，主要根据地震解释和井资料校正的断层文件，建立断层在三维空间的分布；层面模型反映的是地层界面的三维分布。

为了控制地质体的形态及保证建模精度，进行垂深校正和时深转换以获得更加精确的构造垂深。根据本工区砂体薄且横向变化快的特点，确定网格步长。利用精细构造解释、储层反演、沉积微相及常规地质研究等成果，在垂深校正和时深转换的基础之上，加入周围直井资料约束，利用 Petrel 软件，建立了敖南油田水平井区 P I 组断层各小层的顶面（微）构造，等值线间距 1m。

在建模过程中，三维角点网格逐个结点进行时深转换，将层面之间垂向上的接触关系和层面与断面间的关系充分考虑进去，保证三维模型在构造上的完整性和一致性。

1.2.3.3 建立精细的岩性模型

建立精细岩性模型的主要目的是通过预测确定目的层砂体形态和规模。

1.2.3.3.1 通过随机模拟方法建立精细的岩性模型

通过岩性模型的建立与岩性预测得到砂岩展布。

由于敖南复杂的地质特点和地震分辨率的影响，地震约束的多井反演预测精度有时还不能完全满足薄层水平井设计的需要，还需利用地震反演结果为约束，再利用沉积微相作控制，应用随机模拟法预测岩相，建立三维精细地质模型，更贴近地下复杂、随机的地质情况，提高储层预测精度。

由于油气储层是沉积作用、成岩作用和构造变化等许多复杂过程综合作用的最终产物，具有复杂的储层结构空间配置和储层参数的空间变化，在现有的资料不完善的条件下，人们很难掌握任一尺度下储层确定、真实的特征或性质，特别是对于敖南油田这样储层连续性较差、非均质性强且储层性质变化大的陆相薄储层来说，更难以精确表征储层的特征，因而储层的描述具有不确定性。为此，我们应用随机模拟方法对储层进行模拟和预测。

(1) 随机模拟分类及适应性。

从实用角度入手，综合考虑随机模型和实现算法，将随机模拟方法进行如下综合分类（表 1.1）。

表 1.1 随机模型、算法及方法

随机模型	算法及模型 (随机模拟方法)	序贯模拟	误差模拟	概率场模拟	优化算法 (模拟退火及迭代算法)	模型性质
基于目标的 随机模型	标点过程 (布尔模型)				标点过程模拟 (应用模拟退火或迭代算法)	离散
基于像元的 随机模型	高斯域	序贯高斯模拟; U 模拟	转向带模拟	概率场高斯模拟	优化算法可用作后处理	连续
	截断高斯域	截断高斯模拟	截断高斯模拟	截断高斯模拟	优化算法可用作后处理	离散
	指示模拟	序贯指示模拟		概率场指示模拟	优化算法可用作后处理	离散/连续
	分形随机域		分形模拟		优化算法可用作后处理	连续
	马尔柯夫 随机域				马尔柯夫模拟 (应用迭代算法)	离散/连续
	二点直方图				二点直方图很少单独使用, 主要用作模拟退火后处理	离散
	多点直方图				与优化算法结合使用	离散