

纪念大庆油田发现40周年
油藏工程论文集



大庆油田 开发实践与认识

石油工业出版社

Petroleum
Industry
Press

纪念大庆油田发现 40 周年油藏工程论文集

大庆油田开发实践与认识

石油工业出版社

内 容 提 要

本论文集包括油田地质、油藏工程、聚合物驱开采、外围低渗透复杂油田开发及其他方面的论文 40 篇,主要反映了大庆油田发现 40 年以来在油田分层注水开发、井网加密调整、以聚合物驱开采为代表的三次采油技术及配套完善工艺等方面的实践认识和发展。具有一定的理论和实用价值,可供石油科技人员、工程技术人员和有关院校师生参考和借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

大庆油田开发实践与认识/巢华庆主编.
北京:石油工业出版社,2000.5
ISBN 7-5021-2894-8

I. 大…
II. 巢…
III. 油田开发-研究-黑龙江-文集
IV. TE34-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 74666 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)
石油地球物理勘探局制图印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 22.25 印张 570 千字 印 1—1500
2000 年 5 月北京第 1 版 2000 年 5 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-2894-8/TE·2256
定价:45.00 元

编委会成员

主任：巢华庆

副主任：王启民 方凌云 徐正顺

委员：郭万奎 宋吉水 薛家锋 王渝明 李彦兴 房宝才 庞彦明
于俊波 潘锡阁 隋 军 张显忠 任玉林 程杰成 万新德

序

为了纪念中华人民共和国成立 50 周年和大庆油田发现 40 周年,黑龙江省石油学会油藏工程学会编辑出版了《大庆油田开发实践及认识》,这是一件很有意义的事。

大庆油田是完全依靠我国自己的力量进行开发的。40 年来,在党中央、国务院的亲切关怀下,在原石油工业部、黑龙江省委、省政府和中国石油天然气集团公司的直接领导下,油田广大职工发扬“爱国、创业、求实、奉献”的大庆精神,自强不息,艰苦奋斗,把茫茫千里荒原开发建设成为举世闻名的国有特大型企业。大庆油田开发所取得的巨大成就,从根本上改变了我国石油工业的落后面貌,有力地支撑了国民经济高速稳定发展,在推动新中国工业化进程中,做出了重要的历史性贡献。

大庆油田开发之所以能够达到今天这样的水平,关键就是在党的领导下,坚持以毛泽东主席的《矛盾论》、《实践论》和邓小平同志关于“科学技术是第一生产力”的思想为指导,立足油田地下实践,不断进行技术创新。大庆油田是目前世界上少有的特大型陆相非均质、多油层砂岩油田,地下油层分布状况十分复杂。40 年来,针对不同开发阶段所面临的主要矛盾,油田历届领导班子带领石油科技工作者,积极探索地下奥秘,大力开展协同攻关,解决了一系列世界级科技难题。从 60 年代的陆相生油理论和早期内部注水开发到 70 年代的同井分层开采区块接替稳产,从 80 年代的多次布井分阶段稳产到 90 年代的结构调整稳油控水和大规模注聚合物三次采油,研究形成了一整套油藏地质和工程技术系列。正是由于这些重大技术具有首创性和先进性,从而有力地保证了大庆油田开发总体水平一直处于世界同类型油田的领先地位。大庆油田 40 年开发过程,就是在对油田开发特点和规律不断加深认识的基础上,不断进行开发技术创新的过程。

最近,江泽民总书记在全国技术创新大会上发表的重要讲话中强调指出:“创新精神是我们民族几千年来生生不息、发展壮大的重要功力”在世纪之交的新形势下,大庆油田面临着新的机遇和挑战。为了在 21 世纪实现高水平、高效益、可持续发展,油田开发系统广大科技工作者要进一步发扬大庆精神,增强科技创新意识,全面提高我们的科技创新能力,为实现大庆油田二次创业的既定目标和我国石油工业稳定发展而努力奋斗。

集萃慶

1999. 10. 9

目 录

坚持依靠科技进步 强化油藏系统管理 努力提高大庆油田开发总体效益 …… 巢华庆(1)

开 发 地 质

三角洲前缘相储层非均质特征及单一席状砂体的识别	王启民	吕晓光	(11)			
高含水后期河流储层内部细分挖潜的理论和实践	赵世远	姜洪福	袁淑芬	吴艳菊	(18)	
杏北开发区非主力油层精细描述与地质建模方法研究	薛家锋	宋保全	席国兴	韩宏学	(26)	
杏南过渡带继续外扩潜力探讨	王渝明	李士奎	王德良	郭新文	(32)	
大型河流—三角洲沉积储层精细描述方法	赵翰卿	付志国	吕晓光	田东辉	(38)	
龙虎泡地区高台子油层储层特征及影响因素研究	张荻楠	周永柄	刘淑琴	金曙光	刘国志	(44)

油 藏 工 程

论多次布井对开发陆相油藏的作用	阎亚茹	刘 冰	刘 启	张允秀	(51)
南六区中块三次加密调整研究	宋吉水	胥 伟	王玉春	李桂之	(58)
萨北开发区北二区东部三次加密布井初步探讨	郭万奎	林 立	王春波	马利民	(69)
高含水后期改善水驱开发效果技术研究	薛家锋	康红庆	马 磊	龙黔胜	(76)
表外储层动用条件初步探讨	王渝明	李树臣	李士奎	朱 炎	(86)
朝阳沟油田低渗透油层水驱油机理研究及应用	冯志琨	潘锡阁	刘建新	苏永新	(92)
搞好以储层裂缝研究为核心的油藏描述 指导朝阳沟油田的注水开发	冯志琨	(104)			
头台油田储层裂缝研究及注水调整	房献斌	孙庆和	崔宝文	(113)	
裂缝性油藏提高注水开发效果的综合技术措施	周锡生	王文华	李 莉	王吉彬	(122)
喇嘛甸气顶油田开发的实践和认识	李彦兴	方 亮	周 群	姜喜庆	(133)
针对水下窄小河道砂体特点,发展油藏配套技术	房宝才	张玉广	田 静	梅启太	(140)
提高外围油田东部“三低”油藏开发和经济效益探讨	王广昀	庞彦明	白 玉	徐运亭	(149)
大庆油田西部低渗透油藏开发技术研究	孙铁森	王宏伟	郭殿军	杜善斌	(159)
榆树林油田开发的实践与认识	刘维国	卢连生	杨 涛	冯大展	(169)
喇萨杏油田高含水后期进一步加密调整方法研究	隋 军	赵永胜	黄伏生	(177)	

三 次 采 油

聚合物驱油技术在大庆油田的应用	徐正顺	李 伟	王加滢	陈福明	王雅茹	(187)
聚合物油藏工程技术研究	赵世远	邢松贤	史春华	刘颖萍	(201)	
萨北开发区厚层萨Ⅱ10—16 聚合物驱油效果分析	郭万奎	张彦庆	李玉霞	吴 刚	(209)	
三元复合驱技术综合研究	程杰成	廖广志	杨振宇	杨清彦	(217)	

采 油 工 程

分层水力压裂技术在大庆油田的发展及其应用……	谢朝阳	罗美娥	谢建华	刘崇江(229)
应用试井和井间示踪剂测试技术确定地层剩余油方法研究	霍广君	王延峰	张同意	徐 劲(236)
深度调剖技术在油田开发中的应用和展望……	张显忠	周万富	李建阁	康 燕(242)
细分注水技术在油田开发中的应用……	王凤山	王松波	裴晓含	冯 立(249)
水力压裂裂缝参数对油藏开采动态的影响……	齐文会	王秀臣	张有才	相荣成(255)

天 然 气 开 发

大庆油田天然气开发利用的成就与展望……	方凌云	高 翔	施 龙	(263)
大庆油田西部气田开采技术研究……	于俊波	艾尚军	尉可珍	柴立新(276)

其 他

油田开发最优规划模型……	任玉林	周学民	乔书江	张庆梅(289)
油田开发综合经济评价……	徐正顺	任玉林	董志林	李 榕(297)
含钙、低阻、薄互层油、水识别及参数解释方法研究	刘传平	杨青山	钟淑敏	(304)
高含水后期储层参数自动解释系统研究……	闫伟林	李伯虎	苏 洋	杨根锁(316)
外围油田开发三个压力剖面的应用……	方希勤	高战友	赵有山	张玉玲(329)
大庆油田长垣北部影响固井质量的地质因素分析……	樊庆隆	纪宝华	何礼君	(335)
大庆油田调整井地层压力动态预测方法研究……	周兴沂	王建东	陶加胜	杨瑞明(342)

坚持依靠科技进步 强化油藏系统管理 努力提高大庆油田开发总体效益^①

巢华庆

(大庆石油管理局)

1959年9月26日,正当中华人民共和国建国10周年大庆前夕,松辽盆地第3口基准探井喜获工业油流,发现了举世闻名的大庆油田。40年来,大庆油田的开发建设一直受到党中央、国务院的亲切关怀,在原石油工业部、黑龙江省委、省政府和中国石油天然气集团公司的直接领导下,以60年代铁人王进喜和新时期铁人王启民为代表的油田广大职工,发扬大庆精神,依靠科技进步,不断强化油藏系统管理,努力提高油田开发总体效益,为我国石油工业和国民经济发展,做出了重要的历史性贡献。

一、大庆油田开发的主要成果

大庆油田是目前世界上已发现并投入开发的最大的陆相非均质、多油层砂岩油田,自60年投入开发以来,大体经历了以下5个阶段。

(1) 开发试验阶段(1960~1963年)

从1960年5月开始,在萨尔图油田中部的中、东、西区共开辟30km²的开发生产试验区,先后开展了不同井网、不同驱油和注采方式的10项开发现场试验,为油田注水开发提供了重要的实践依据。

(2) 高速上产阶段(1963~1975年)

从萨尔图油田中部146km²面积投入开发,到喇嘛甸、萨尔图、杏树岗三大主力油田全面投入开发,经过连续13年高速上产,使全油田年产原油达到5000×10⁴t规模。

(3) 基础井网稳产阶段(1976~1980年)

在油田综合含水率由30.65%上升到59.6%的条件下,主要立足于自喷开采,立足于完善开采主力油层的基础井网,在中含水期实现了年产原油5000×10⁴t以上稳产。

(4) 层系细分调整稳产阶段(1981~1990年)

随着油田开采进入高含水期,逐步将主力油田由同井分层调整转为层系细分加密调整;挖潜对象从高渗透率主力油层转向中、低渗透率非主力油层;开采方式由自喷开采转为机械举升。与此同时,逐步将油田开发范围扩展到大庆外围低渗透油田,使全油田在高含水初、中期,年产油量从5000×10⁴t逐年增加到5500×10⁴t。

(5) 高含水后期结构调整稳产阶段(1991~1999年)

到1990年底,在层系细分调整井已基本钻完的情况下,针对非均质、多油层油田各类井、

① 本文是1999年8月10日完成的,徐志良同志参加了编写。

层开采不平衡的特点,在对原井网进行二次加密调整的同时,应用“三分一优”的方法(即分区块、分井类、分单层,优化各种调整挖潜措施),认真搞好注水和产液结构调整,不仅使全油田保持了年产原油 $5500 \times 10^4 \text{t}$ 稳产,1995 年达到 $5600 \times 10^4 \text{t}$,而且油田含水上升速度也得到了有效控制,实现了“八五”预期的“稳油控水”目标。

进入“九五”以来,在进一步深化主力油田水驱注采结构调整的同时,通过加快聚合物驱油工业化和外围低渗透油田开发进程,对油田产油量结构进行调整,使 1998 年聚合物驱和外围油田产油量达 $816.9 \times 10^4 \text{t}$ 和 $382 \times 10^4 \text{t}$,分别占总产油量的 14.6% 和 6.85%,实现了年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 以上连续 23 年稳产,并为跨世纪可持续发展创造了条件。

大庆油田经过 40 年开发建设,取得了 4 项主要成果。

1. 建成了我国最大的石油生产基地,创出了世界同类油田开发新水平

40 年来,相继有 27 个油(气)田总计达 1885km^2 含油面积投入开发,建成具有年产原油 $5600 \times 10^4 \text{t}$ 、天然气 $23 \times 10^8 \text{m}^3$ 生产能力的我国最大的石油生产基地。累计生产原油 $15.17 \times 10^8 \text{t}$ 和天然气 $702 \times 10^8 \text{m}^3$,占全国同期陆上石油总产量的 46.6%。自 1976 年达到年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 以来,到 1998 年已连续 23 年实现年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 以上稳产,1999 年仍将保持 $5450 \times 10^4 \text{t}$,油田综合含水率达 85.47%,采出程度达 32.69%,已采出可采储量的 70.21%,创出了世界陆相非均质、多油层砂岩油田注水开发的最好水平。

2. 取得了巨大的经济和社会效益,促进了我国石油工业和国民经济发展

40 年来,累计上缴利税 2124×10^8 元,是同期国家向油田总投资的 40 倍;累计出口原油 $3.44 \times 10^8 \text{t}$,为国家创汇 482×10^8 美元。特别自 1981 年油田进入高含水期以来,总体开发效益一直保持在较高水平上,这在世界油田开发史上是少有的。大庆油田开发建设的成功,不仅有力地带动了我国石油工业的发展,使之成为国民经济的支柱产业之一,而且为石油化工和地方经济发展提供了必要的物质基础,社会效益十分显著。

3. 形成了非均质、多油层砂岩油田开发地质理论和工程技术系列,达到了世界同类型油田的领先水平

40 年来,立足油田开发实践,立足自主研究创新,发展形成了以沉积相精细地质研究和分阶段接替稳产为基础的油田开发地质理论,研究应用了以分层开采、“稳油控水”结构调整以及三次采油为目标的油藏、测井、钻井、采油和地面工程配套技术系列。1985 年“大庆油田长期高产稳产注水开发”和 1996 年“大庆油田高含水期稳油控水系统工程”分别荣获国家科技进步特等奖。目前,这套理论和技术系列,在总体水平、应用规模和实际效果上,达到了国内外同类型油田的领先水平。

4. 提高了对地下石油资源的开发利用程度,增强了油田可持续发展的后劲

40 年来,针对大庆油田的基本地质特征和开发特点,不断深化地质研究,搞好开发调整挖潜,发展配套工艺技术,使原来一部分难以开采的石油资源得以有效动用,累计新增可采储量 10×10^8 多吨,相当又找到一个大庆油田。通过不断提高地下石油资源的开发利用程度,为油田可持续发展提供了物质基础。

二、大庆油田开发的基本对策

40 年来,大庆油田开发之所以能够取得令世人瞩目的巨大成效,最根本的就是油田历届领导班子带领广大职工,以毛泽东主席的《实践论》、《矛盾论》和邓小平同志关于科技是第一生

产力的思想为指导,针对非均质、多油层砂岩油田的地质特征和开发特点,坚持实事求是,勇于科技创新,制定并实施了一系列符合油田实际的科学对策。

1. 坚持从油田地下实际出发,不断深化油藏地质研究

储层是油田开发的工作对象,储层研究是油藏地质研究的核心内容。大庆油田含油储层是白垩世中期松辽湖盆北部一套大型河流—三角洲沉积,总厚度约 500m,由萨尔图、葡萄花和高台子三套油层的上百个小砂层和泥质岩交互组成。单层渗透率级差高达几十到一百多倍,单层厚度从 20 多 m 到 0.2m,油层平面分布大至数十平方千米,小的不到 0.1km²。加上各类油层在纵向上交错分布,在平面上相互叠加,从而使油层的层间和平面非均质性变得更为复杂。对大庆这样一个非均质性十分严重的大油田来说,储层研究是不可能一次完成的。由于原始沉积环境对储层的空间分布和渗流特性具有决定性的作用,并深刻影响着油田开发效果,因此,从沉积成因入手,采用动静结合的方式,不断深化储层研究工作,逐步加深对各类储层的认识,是提高油田开发总体水平的前提和基础。

大庆油田储层研究大体经历了 3 个阶段。

60 年代初至 70 年代初期,在湖相成层沉积理论指导下,主要以探井资料井、开发试验井、先期开发区部分开采井的动态资料为依据,创造应用“旋回对比、分级控制”的小层对比方法,重点搞清了主力油层的地质特征,适应了基础井网方案设计和分层开采的需要。

70 年代中期至 80 年代中期,针对基础井网全面投入开发后出现动、静不符的新矛盾,在河流相沉积理论指导下,在上千平方千米范围内,通过对几十个沉积单元的统一分层对比和骨架砂体几何形态追踪描述,结合测井曲线形态和岩心指标进行综合研究,形成了以生产井网的测井曲线和砂体几何形态为主要划相标志、以河流—三角洲单一沉积单元为描述基础的一套陆相大型油田储层细分沉积相技术,建立了松辽湖盆大型叶状复合三角洲的“叠叶状”加积模式及四种单体三角洲沉积模式,系统地识别出 8 种非均质沉积砂体,从沉积成因上对各类储层进行了再认识,为助力油层局部调整和非主力油层细分调整,提供了必要的地质依据。

80 年代中期以来,随着油田进入高含水中、后期开采,开发井网日趋密集,剩余油日益分散,再用常规的描述方法已难以适应,必须对油藏地质进行定量化的精细描述,才能揭示其更深层次的变化规律。这一阶段通过深入研究低渗透薄差油层和表外储层的地质特征,及其与已开发油层的沉积关系,认识到喇萨杏油田的表外储层与表内的好油层、差油层是连续沉积的统一整体。表外储层是表内砂岩储层向泥质岩演化的过渡性岩相,并与表内储层一样,具有层薄、层多、分布广泛而复杂的沉积特点,存在着决口泛滥型、局部变差型、充填连片型和稳定砂席型 4 种空间分布模式,从而为有效动用这一部分储量,创造了前提条件。

与此同时,把对露头 and 现代沉积非均质研究思路,大规模地应用于对地下储层的精细描述,研究成功直接用油田密井网测井曲线建立河流相储层地质模型的新技术,能把储层在垂向上细分到沉积单元或单层,在平面上细分到沉积微相。在此基础上,进一步划分对于油水运动相对独立的流动单元,研究建立起辫状河型、曲流河型、低弯曲分流型和顺直分流型等 4 类 6 种河道砂体的精细地质模型,基本掌握了河道砂岩储层不同性质流动单元及其剩余油分布规律,为改善高含水后期调整挖潜效果奠定了基础。

在深化储层研究的基础上,应用三维地震或加密调整井资料修改完善精细构造图和 2~5m 小断层,并对已开发油层的上下及其周边,重新进行精细评价和研究,基本实现了从储层组划分到油层及断层对比,从油层参数解释到编绘各种地质图幅,直至建立地质模型,全过程应用计算机操作,使油藏地质研究做到高效率、量化,以更好地适应高含水后期油田可持

续发展需要。

2. 坚持以增加经济可采储量为目标,精心搞好油田开发综合调整

不断增加经济可采储量,是实现油田长期高效开发的物质基础。大庆油田不仅含油面积大,油层层数多,单层厚度薄,而且不同油层的砂体形态变化大,层间、平面和层内的渗流特性差异也很大。上述基本地质特征,决定了油田注水开发过程将是一个长期而复杂的过程。在这种情况下,为了提高油田开发总体效益,我们始终坚持以增加经济可采储量为目标,针对不同开发阶段的主要矛盾,精心搞好油田开发综合调整。可以说,大庆油田的开发过程,既是对地下储层非均质性不断加深认识的过程,更是对油田开发目标及措施不断进行综合调整的过程。

40年来,随着对非均质,多油层油田注水开发规律的认识逐步加深,针对油田不同开发阶段需要,按照调整措施特点,先后进行了以开采工艺措施为主、以层系细分和井网加密为主、以注采结构和驱油方式为主等3种不同类型的综合调整,不仅大幅度增加了油田经济可采储量,而且显著改善了油田开发总体效益。

在油田综合含水率40%~60%的中含水中、后期,主要开采对象是高渗透率主力油层和一部分非主力油层渗透率较高主体部位。这一阶段的开发特点是,随着注水全面见效,油井保持自喷并开始多层、多方向见水,促使层间干扰加剧,平面矛盾突出。通过采取以分层注水为主、包括分层堵水和分层改造在内的分层工艺措施调整,扩大了注水波及体积,提高了储量动用程度,使全油田在1976~1980年期间,立足完善开采主力油层的基础井网,立足油井自喷开采,实现了年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 以上稳产。

在油田综合含水率60%~80%的高含水初、中期,随着主力油层大面积水淹,层间和平面矛盾进一步加剧,油田含水上升速度和产量递减速度明显加快,靠提高油层压力,放大生产压差来提高产量受到了限制,靠基础井网开采的主力油层,已很难继续保持 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 原油稳产。为了提高油田储量动用程度,增加可采储量,通过层系细分调整,将中、低渗透率油层从原开发层系中分离出来,使之大面积独立投入有效开发,明显缓解了因油层层间非均质性所造成的层间矛盾。但由于对同一油层来说,其平面形态及渗透率分布变化也是很大的,因此,随着油田综合含水率逐步升高,在很多油砂体上仍会存在一部分难以动用的储量。针对这一问题,采取了以完善油砂体平面注采系统为核心的井网加密调整及注采系统调整,进一步缓解了平面非均质性所造成的平面矛盾。在喇萨杏主力油田所进行的这两次大的调整,共计部署新钻调整井18184口,累计新增可采储量 $9.76 \times 10^8 \text{t}$,在实现阶段稳产和改善水驱开发总体效益中,发挥了关键作用。

在油田综合含水率80%~86%的高含水后期,一方面,由于喇萨杏油田各类油层的非均质性十分严重,从而决定了在高含水后期仍有大量剩余油存在。另一方面,由于大量加密调整井在不同时期陆续投入开发,致使不同井网的开采状况出现很大差别。如1991年喇萨杏油田平均含水率达80.25%,但就不同井网的平均含水率来看,基础井网却高达87.5%;“六五”调整井网为73.02%;“七五”调整井网为55.65%;“八五”调整井网只有42.51%。基于上述情况,“八五”期间在全油田进行了大规模的注水和产液结构调整。

注水结构调整的关键是注够水,注好水,使各类油层实现分层定量注水,在保持地层驱油能量的前提下,尽可能地提高各类油层特别低含水、低渗透率差油层的水驱储量动用程度。“八五”期间,通过对注水结构进行调整,使基础井网的注水量占总注水量的比例由75.9%降到44.3%,而调整井则由24.1%上升到55.7%。通过加强中、低含水层的注水,控制特高含水层的注水,减少注入水的低效或无效循环,使含水上升速度得到有效控制,进一步改善了油田开

发效果。

产液结构调整的关键是分区块、分井类、分单层优化措施结构。对含水较高的地区和基础井网采油井,以控制产水量为主,努力减缓产油量递减速度;对含水相对较低的地区和调整井网采油井,以提液为主,并严格控制含水上升;对含水较低的调整新井,主要是提高开采强度,增加产油量。“八五”期间,通过对产液结构进行调整,大庆长垣累计增油 $1755.84 \times 10^4 \text{t}$,而增水只有 $1066 \times 10^4 \text{m}^3$,相当使油田综合含水率少上升 4.94 个百分点。

在实施注水和产液结构调整的同时,针对部分区块因注水量不能与产液量同步增长,而导致地层压力下降幅度较大的问题,“八五”期间,还进行了以合理调整注采井数比例为主的注采系统调整,共转注水井 267 口,使油水井数比例由 3.19 下降到 2.04。水驱控制程度由 83.5% 提高到 95.8%,地层压力由 10.02MPa 上升到 10.82MPa,含水上升率由 2.28% 下降到 1.25%,增加可采储量 3~5 个百分点,在高含水后期增储稳产中发挥了重要作用。

进入“九五”以来,针对高含水后期水驱开发调整难度急剧增大、接替资源日趋紧张的问题,开始对油田驱油方式进行重大调整,逐步将一部分注水驱油调整为注聚合物驱油。经过多年试验研究证实,聚合物驱油对大庆长垣的一、二类油层及油、水性质具有很强的适应性,能在水驱基础上进一步提高采收率达 10 个百分点以上。到 1998 年底,聚驱面积已达到 104.01km^2 ,当年聚驱产油 $816.9 \times 10^4 \text{t}$,占全油田总产油量的 14.6%,基本形成水驱与聚驱共存的开发生产格局,在改善高含水后期开发效果中发挥了重要作用。

需要指出的是,由于大庆油田开发过程漫长而又复杂,各个开发阶段不是截然分开的,而是互相衔接逐步转化的,因而每个阶段所实施的调整方法和措施,也是互为补充彼此交叉的。应该说,大庆油田开发 40 年来所取得的巨大成效,正是综合应用上述各种调整方法和措施的结果。

3. 坚持以科技发展为先导,超前研究应用配套开采技术

40 年来,大庆油田坚持把科技发展放在油田开发的先导地位,特别是改革开放以来,在邓小平同志关于科技是第一生产力的思想指导下,坚持科技发展与油田开发生产相结合,超前研究应用配套开采技术,为提高油田开发调整的总效益,提供了可靠的技术保障。

由于大庆油田注水开发过程具有明显的阶段性,每个阶段的开采对象、技术政策和调整措施又不尽相同,因而对阶段开采技术的要求也有很大区别。为了增强科技发展的超前性,针对不同阶段油田开发调整的需要,按照走一步,看两步,想三步的要求,努力做到“三个超前”:超前进行先导性开发工艺试验;超前认识油田开发客观规律和技术难点;超前组织科技攻关,并做好配套开采技术准备。这“三个超前”中,关键是超前进行先导性开发工艺试验。早在 60 年代初期,就在萨尔图油田中区组织开展了“十大试验”和小井距注水开发试验。进入高含水期以来,又先后组织开展了 110 多项开发工艺矿场试验。“七五”超前开展的注采系统调整、区块堵水、表外储层开采等先导性矿场试验,为“八五”实施稳油控水注采结构调整,提供了重要依据和技术保障。“八五”超前开展的聚合物驱三次采油工业性矿场试验,为“九五”工业化推广应用创造了条件。进入“九五”后,针对特高含水期开发需要,决定开展三次加密调整、三元复合驱和外围“三低”油藏有效开采这三大科技攻关试验研究,为“十五”油田可持续发展提供必要的技术保障。

油田开发是涉及多种学科和专业的技术密集型产业,科技发展必须搞好系统配套。首先是搞好本专业的技术配套,其次是搞好各专业之间系统技术配套,最后还要搞好与新技术相适应的队伍、装备、后场建设、工具制造以及生产施工管理的系统能力配套。比如,为了挖掘以薄差

油层为重点的各类油层潜力,我们不仅研究成功分层压裂配套技术和选井选层方法,还相继组建 27 个压裂队,引进 7 个压裂机组,形成年加工组装 10000 套压裂井下工具的能力,建成年产 $30 \times 10^4 \text{m}^3$ 和 $3 \times 10^4 \text{m}^3$ 的压裂液站和压裂砂厂,并制定完善一套压裂设计和施工规程,形成年压裂 2000 口井的生产规模,使之在高含水期油田开发调整中,发挥了重要作用。

大庆油田作为一个企业来讲,发展科技的根本目的,是为了解决油田生产实际问题,提高企业总体经济效益,因而要求新技术既要有很强的实用性,更要有很好的经济效益。“八五”以来,针对大庆长垣外围“三低”油田(油层渗透率低、储量丰度低、单井产能低)开采难度大、经济效益差的问题,先后研究应用和发展了一套增效开采配套技术。主要是在油田地质研究上,从岩性、断层控制的复合油藏地质特征出发,以油砂体为基本单元,通过加强地质—地震—测井的综合分析评价,研究形成了一套符合大庆外围油田实际的横向砂体预测及薄窄砂体储油富集区优选技术,使开发井的钻井成功率由 70% 提高到 95% 以上,大幅度提高了开发钻井的效益。在油藏工程上,提出并实施“两早、三高、一适时”的开发原则,有效改善了外围“三低”油田注水开发效果。实践证明,早注水有利于补充驱油能量,以保持足够高的产油量;早分层有利于防止注入水的单层突进,降低含水上升速度;采用较高的注采井数比,有利于提高水驱控制程度;在注水初期采用较高的注采比,有利于保持压力使油井尽早见效;注入高质量的水,有利于防止污染油层,提高注水效率;因地制宜,适时进行注采系统调整,有利于改善注水开发总体效果。同时,在钻井、采油和地面工程上研究应用 $4\frac{1}{2}\text{in}$ 套管小井眼、 $5\frac{1}{2}\text{in}$ 套管丛式井和水平井钻采工艺技术、增效注水、采油和油层压裂技术、优化水质处理技术、简化供水注水及油气集输流程。“八五”以来,通过大面积推广应用上述实用配套技术,使外围油田年产量从 1990 年的 $143 \times 10^4 \text{t}$,逐年上升到 1998 年的 $382 \times 10^4 \text{t}$,同期建百万吨产能投资下降 10%~15%,既加快了外围“三低”油田开发速度,又取得了比较明显的经济效益。

为了加快科技成果向现实生产力的转化过程,我们坚持把科技成果推广与科技攻关摆在同等重要的位置上,认真抓好科研——推广一体化。对有关油田生产的关键新工艺新技术,只要看准了,就下决心搞规模化推广。像分层注水、分层压裂、一次和二次加密调整、聚合物驱三次采油等技术,其推广应用规模之大,在国内、外油田开发中都是少有的。通过积极推行科研——推广一体化,促进了科研与生产的结合,使科学技术在油田开发中更好地发挥了第一生产力的作用。

4. 坚持以提高油田开发总体效益为中心,大力加强油藏系统管理

油田开发既是技术密集型产业,又是庞大的系统工程。加强油藏系统管理,就是要在整个油田开发过程中,最大限度地把握地质、油藏、钻井、测井、采油和地面建设等多种专业和学科协调组织起来,形成集约化管理体系,制定和实施正确的油藏开发策略,采用经济有效的先进技术,努力实现开发总体效益的最大化。

大庆油田投入开发以来,针对不同阶段的开发特点和国家需要,制定了不同的阶段开发目标。从 60 年代初期的“高速度、高水平,拿下(探明和开发)大油田”到 70 年代中期的“高产五千万(吨)稳产十年”,从 80 年代中期的“持续高产稳产”到 90 年代初期的“稳油控水系统工程”。上述目标之所以能够顺利实现,关键就在于不断加强油藏系统管理,比较好地发挥了多种专业技术的整体优势。“八五”期间,针对稳油控水结构调整的关键技术难点,我们有计划地组织协调地质、油藏、钻井、测井、采油和地面工程等 6 个专业开展系统攻关,研究形成了以细分沉积相为重点的精细地质描述技术;以可采储量预测为重点的规化优化技术;以措施优化为重点的综合调整技术;以薄层为重点的水淹层测井解释技术;以提高固井质量为重点的防窜封窜技

术;以薄差层改造挖潜为重点的多裂缝水力压裂技术;以注采系统节能降耗为重点的地面集输技术。这9套技术既有相对的独立性,又有很好的配套性,在实现“八五”稳油控水目标中发挥了不可替代的作用。

大庆油田投入注水开发以后,地下各类储层的油水分布状况处于不间断地变化之中,地面各种工程设施和人员也处于不停顿地运行之中。在这种情况下,一方面,要通过不断强化油田开发管理,对地下油水运动进行有效的控制和管理,另一方面,还要通过强化油田生产经营管理,对地面设施和人员进行有效的监督和管理,并且努力把这两个方面的管理有机地结合起来,这样才能有效地提高油田开发总体水平。

针对油田不同开发阶段特点,油田开发管理的重点是有所不同的。大庆油田开发初期,由于勘探阶段只是初步探明油田的构造、面积和油、水分布状况,在宏观上肯定了油田的工业开采价值。因而这一阶段油田开发管理的中心任务,就是制订合理的开发程序,尽可能地用较少的投资、较快的速度,使整个油田投入高效开发。为此,针对大庆油田非均质、多油层的地质开发特点,独创了一套开辟生产试验区——分区钻开发资料井——部署基础井网——分区编制初步开发方案的科学开发程序,加深了对油层非均质性的认识,研究了油田储量的计算方法,确定了开发原则及总体目标,保证了大庆油田高效有序地分区投入开发,达到了年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 的生产规模。自1976年油田进入持续高产稳产阶段以来,油田开发管理的中心任务,就是不断解决因油层非均质性而导致开发过程中出现的新矛盾,充分挖掘各类油层的生产潜力,实现阶段产量接替稳产。这一阶段油田开发管理的重点是:搞好油田注采平衡,保持合理的压力水平;实施油田综合调整,改善油层动用改况;控制含水上升速度,减缓原油产量递减;优化主要措施结构,降低开发投资和生产成本。通过不断强化稳产阶段的油田开发管理,不仅大幅度增加了经济可采储量,而且实现了年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 以上连续23年稳产,创出了世界同类油田注水开发最好水平。

在加强油田开发管理的同时,不断完善以岗位责任制为中心的生产经营管理。主要是通过强化油田开发基础工作管理,形成了由标准化、计量、定额、信息、设备和节能等方面组成的基础工作管理体系,使各项管理基本实现规范化、标准化和网络化,为搞好油田宏观决策,提供了可靠的基础性科学依据。通过强化以工程质量和工作质量为重点的全面质量管理,建立健全严格的基础工程质量监督管理体系,使钻井、采油、基建和井下作业工程施工质量稳步提高,逐步从以量取胜的粗放型管理转到以质取胜的效益型管理。通过强化目标责任制,将油、气产量、综合含水等主要经济技术指标,层层进行目标分解,把责任落实到人到岗,严考核,硬兑现。特别是实行成本一票否决制后,各单位按照成本目标管理要求,把“人人有专责,事事有人管,办事有标准,工作有检查”进一步落到实处,有效地激发了广大职工增收节支提高效益的积极性。

由于油田开发过程是不可逆转的,因此,针对不同开发阶段的具体特点和目标,优化开发总体规划和方案设计,科学有序地搞好油田开发总体部署,是加强油藏系统管理的基本环节。大庆油田历来十分重视这项工作,特别是油田进入高含水期以来,不断强化以油藏、采油和地面工程为主体的规划方案系统优化,努力控制工程措施和施工队伍的总量增长,全面加强经济分析评价,力求用最少的投入取得最好的效益。为了提高规划方案的优化水平,应用现代最新技术,研究建立了可采储量和原油成本的科学预测方法,通过专家知识与最优化规划理论相结合,提高了规划方案的科学性、先进性和可行性。大庆油田开发近40年来,所编制的5~10年中长期规划方案符合率达95%以上,年度开发规划方案符合率达98%以上,在提高油田开发水平和总体效益中,发挥了重要的指导作用。

三、大庆油田开发的奋斗方向

回顾过去,大庆油田经过近 40 年的高速开发,为我国石油工业和国民经济发展,立下了不可磨灭的历史功勋。展望未来,随着油田内外形势已经并将继续发生重大变化,特别在油田采出程度高、综合含水率高、剩余可采储量采油速度高的情况下,因储采失衡导致后备资源不足的矛盾日益突出。面对严峻形势,为了使大庆油田在即将来临的 21 世纪中,实现经济有效的持续稳产,继续保持长期稳定发展,继续为国家和地方经济发展做出应有的贡献,继续为广大职工提供良好的生存空间,按照这一指导思想,在 1998 年度油田开发技术座谈会上,正式决定把高水平、高效益、可持续发展作为高含水后期油田开发工作的指导方针。

实施这一方针,就是要以改善高含水后期油田开发总体效益为中心,以发展应用高水平油田开发配套技术为支柱,努力实现 21 世纪油田可持续发展。其总体要求是继续发展稳油控水技术,加快三采研究步伐,深化油藏地质研究,优化规划方案设计,强化油田科学管理,提高开发总体效益。实施这一方针,标志着整个油田开发工作将从过去以原油产量为中心,进一步转移到以经济效益为中心的轨道上来;从过去以油田持续高产稳产为总目标,转移到以油田可持续发展为总目标。这一方针符合油田开发的自然规律,符合市场经济的客观要求,符合国家、地方、企业和职工的根本利益,必将对大庆油田开发建设产生积极而深远的影响。

应当看到,经过近 40 年的开发建设,目前大庆油田已具有较强的综合经济实力,油田开发总体效益仍保持在较高水平上,有一支以新时期铁人王启民为代表的油田开发科技队伍,有一套能基本适应近期开发需要的新技术和新方法。特别是集团公司实行新的生产经营管理机制,为油田创造了更为有利的发展条件。国家经济实行扩大内需的方针,为我们创造了新的市场机遇。我们一定要抓住机遇,迎接挑战,发扬大庆精神,搞好二次创业,努力实现高水平、高效益、可持续发展,满怀信心地迎接充满希望的 21 世纪。

开 发 地 质

