

谭文彬 等编著

油田注水开发的 决策部署研究

ZHUSUI YOUTIAN KAIFA DE JUECE BUSHU YANJIU



石油工业出版社

油田注水开发的决策部署研究

谭文彬 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以各阶段报告的形式,记述了我国油田开发、生产、科学技术发展和决策研究的历程;也记述了一些重要技术观点及其形成过程。包括专题论述、技术发展探讨、有关决策建议、总结部署等共 22 篇报告。

本书适用于油田管理、开发、设计的决策者及工程技术人员,同时也可作为大专院校的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

油田注水开发的决策部署研究/谭文彬等编著.

北京:石油工业出版社,2000.4

ISBN 7-5021-2973-1

I. 注…

II. 谭…

III. 油田注水-研究

IV. TE357.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 20922 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)

北京普莱斯特激光照排中心排版

北京地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 16.125 印张 412 千字 印 1—800

2000 年 4 月北京第 1 版 2000 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2973-1/TE·2307

定价:38.00 元

前 言

这本文集是在全国油田开发过程中的部分有关决策、总结部署、技术发展的基础资料上汇编而成的,虽然很不完善,但它是油田开发部署中纪实性的重要资料,有助于今后的工作总结和借鉴。

本书总体上展示出油田开发生产和科学技术发展的历程,同时也记述了具我国油田开发特色的科学技术理论和技术路线的形成过程。书中的部署、决策及发展都体现了石油工业的历届领导者对油田开发工作的正确领导、积极支持和热情关怀。同时也凝聚着众多的科学技术专家、科技人员、经管者无私奉献的辛劳和智慧。

做为油田开发战线上的一名老兵,同时又是一个时期具体负责组织油田开发生产工作的主要成员,集中对这些资料的整编汇集已不纯属于个人行为,它包含着集体的创造和工作部署的记述。将其汇集出版,应视为自己应尽的职责。欢迎批评指正。

谭文彬

目 录

专题论述

大庆油田的开发设计与实践·····	(3)
大庆油田的开发历程·····	(18)
大庆油田对科学注水开发的贡献·····	(33)
中国油田的注水开发·····	(39)

技术发展探讨

石油工业部油气田开发科研项目协调会上的总结·····	(61)
重视理论研究减少盲目性——记油田开发理论讨论会·····	(73)
以提高采收率延长稳产期为中心安排的油田开发各项工作·····	(79)
加深油藏研究、改善开发设计提高油田开发水平·····	(94)
对提高储量利用效率、改善经济效益几个问题的探讨·····	(108)
在全国油藏开发模式工作会议上的报告·····	(117)
在“国外不同类型油田开发历程及工艺技术系列调研座谈会”上的总结·····	(119)

决策和建议

搞好调整、增强稳产基础为持续发展创造条件·····	(129)
油田开发生产形势与采取的对策·····	(133)
加快聚合物驱矿场试验和工业化生产准备是当前提高采收率的战略·····	(141)
推动油藏数值模拟应用、提高油气田开发科学决策水平·····	(144)

总结部署

发扬“两论”起家的基本功夺取油田开发的新水平·····	(151)
完善技术政策、推动科技进步、加强改革管理开创油田开发生产的新局面·····	(170)
奋发图强、抬高起点,依靠科学技术进步,实现原油产量的较大幅度增长·····	(183)
解放思想发展技术确保原油产量持续增长·····	(190)
大力推动科学技术进步,加强科学化管理提高开发水平,为完成“八五”计划而奋斗·····	(200)
在“全国油气田开发地质工作经验交流会议”上的报告·····	(217)

其 他

油田开发中几个重要片段的回眸·····	(223)
中国(陆上)油田开发大事记·····	(238)

专题论述

大庆油田的开发设计与实践

(1964 年)

一、引言

从国内外油田开发历史来看,往往都是先采取消耗天然能量的方式开采,而后再往油层中注入注入剂来恢复压力开采。凡是采用这种方式开发的油田,虽然它们的构造情况、油层、流体性质都不相同,但都有共同的开采特点和规律,即:随着油层能量不断消耗,油井产量急剧下降,油田高产、稳产时间较短;油层压力下降,原油大量脱气,油层气化、油层和原油性质发生变化,油在油层中的流动阻力加大,对开采不利;油井初期产量较高,无水采油量较多;油井工作条件变化大,中后期由于压力下降,产量递减,将有大批油井由自喷转为间喷或停喷,采油工艺比较复杂。这种开采方式,往往会造成生产上的被动。苏联近期在油田开发理论研究方面,也提出了采用早期注水保持压力开采,但还未见到在油田实际开采中实施的资料。

以往油田的开发程序,都是根据探井、资料井的资料,在对油田地质情况还没认识清楚的情况下,就一次将全油田的井网定下来进行开发。按照已定的井网钻井后,刚刚投入开发或经过一个阶段的开发,就发现原设计方案不能达到预期的效果,因此就不得不作很大的调整。另一种情况是根本没有正式的方案部署,采取掠夺式开采。

从层系划分和井网部署来说,世界上油田开发初期一般都采用合采。随着注水保持油层压力开采方式的广泛采用,特别是对油层性质差异较大的多油层油田,层系划分的问题逐渐被重视,目前已把合理划分开发层系作为提高开发效果的重要措施之一。油田布井的一般发展过程是由密井网逐渐趋向于较稀井网。初期,只认识到井打得越多,油田总产量越高。随着地下流体力学理论广泛地应用到油田开发上来之后,逐渐认识到井过密,干扰严重,从而开始对合理布井进行研究。

关于开发设计研究方法方面,苏联目前采用的一套方法是将油藏简化,应用油田平均参数,进行各种方案的水动力学理论分析,得出系列笼统的开发指标,并计算出经济指标,最后根据技术经济指标,选择“最优”的方案。这种作法,往往会使所确定的开发设计和油田的实际情况不符合,因而在开发初期就需要作较大的修改。

大庆油田总结了国内外油田的开发经验,通过几年来的研究和实践,创立了一些新的作法。从开发原则上,我们采取了早期注水保持压力的方式开采,并初步收到了较好的效果,解决了油田开发中一些带有根本性的问题。在油田开发程序上,做到了认识油田和开发油田紧密结合;在开发设计的研究方法上,摆脱了洋框框,从油田具体情况出发,摸索出一套以地质为基础的,从油砂体入手的研究方法。应用这套方法比较好地解决了合理划分层系、确定合理的注水方式和井网部署等问题。但是,由于开发这样一个非均质多油层油田缺乏经验,遇到了不少新的问题还没有能很好的解决,研究方法还不够完善,需要在实践中不断地充实、提高。

二、大庆油田创立了一套结合实际的开发原则,初步实践是成功的

大庆油田的开发工作,没有生搬国内外油田开发的老经验,而是遵循毛主席的教导:把人家的经验,吸收过来,去粗存精。从而创立了一套符合油田实际情况的开发原则。

1. 真正实现了早期注水、保持生产井排油层压力接近原始压力条件下开采的原则,从根本上避免了由于油层能量消耗、压力下降所造成的一系列复杂情况和生产上的被动,为开发好油田创造了十分有利的条件

通过几年来实践,初步效果有以下几方面。

(1)油层能量十分充足,油井产量稳定上升

靠近注水井排的生产井,油层压力很快恢复到原始油层压力。油井产量,萨油层由注水前每日 12.7t 上升到每日 38.1t;葡油层由注水前每日 18.2t 上升到每日 63t。目前仍保持稳定。国内外注水晚的油田,情况则相反。如苏联罗马什金诺油田阿布都拉赫曼诺沃区,1950 年生产井开始采油,1954 年 7 月注水,因注水工作推迟了 4 年,到 1956 年第一排、第二排油井的产量只为 1954 年的 50% 左右,第三排井只为 20% 左右,采油区内油层压力降低了 35 大气压。到 1957 年 10 月有 70 口生产井停产。我国克拉玛依油田也由于注水晚,油井产量由每日 15t 降到每日 3.5~4t。

(2)保持了油层压力,油层没有气化,地下原油性质未发生变化,油层的流动系数($\frac{Kh}{\mu}$)没有降低,始终保持了较好的流动条件

这种情况表现在油井的采油指数稳定或缓慢上升。中区资料统计,萨油层采油指数由注水前的 $2.32t/(d \cdot atm)$ ① 上升为 $3.3t/(d \cdot atm)$;葡油层由 $3.6t/(d \cdot atm)$,上升到 $5.6t/(d \cdot atm)$ 。气油比一直保持在原始气油比附近,地下原油粘度始终保持在 $8 \sim 9cP$ ②,没有增加。而克拉玛依油田 II₂ 区,气油比由 $50m^3/t$ 上升到 $300m^3/t$;油井采油指数由 $0.416t/(d \cdot atm)$ 下降至 $0.133t/(d \cdot atm)$;地下原油粘度由 $9.6cP$ 上升到 $12cP$ 。苏联多林油田,注水前油层压力由 315atm 降到 200atm,气油比上升了 3 倍,油层对油的渗透率下降了 60%~75%。这些情况说明,油层保持了压力,就不会产生原油脱气、油层气化等复杂情况。对提高水驱油效率极为有利。

(3)油层的能量充分,采油速度高,生产十分主动

中区 1963 年采油速度萨层为 3.2%,葡层为 4.6%。1964 年采油速度萨层为 3.83,葡层为 5.5。而前苏联罗马什金诺油田的采油速度为 2.3%~4.4%,杜玛兹油田为 3.5%~5.6%。这两个油田的流动系数($\frac{Kh}{\mu}$)比大庆油田要高 3~5 倍。所以说,目前中区的采油速度是比较高的。

由于油层的能量充足,就使油田有放开生产和控制生产的主动,随时都可以根据国家的需要调整采油速度,也可以根据油田的开采情况,合理地调整水线,调整油、水井工作制度。实践证明,当前大庆油田具备了这种条件,因此,生产十分主动。

① 1atm=101.325kPa

② 1cP=10⁻³Pa·s

(4)油井自喷、生产管理和开采工艺简单方便

油层在有效的水压驱动下开采,全部生产井都能连续自喷,甚至当油井见水后,含水量很高时,仍保持了自喷生产。与此相反,我国老君庙油田 L 油层,由于没有及时注水,油层压力下降得过低,在油田开采中期就有大量油井停喷。其抽油井占的比例 1958 年为 29%,1960 年为 77%,目前占 95%。美国东得克萨斯油田和苏联罗马什金诺油田,在开发初期就有 10%~20%的油井不能自喷。油井由自喷转为抽油就需要增加一批设备,经常的进行工艺措施调整,这样油井的效率就比较低,原油成本就会提高,生产管理就会复杂。相反对大庆高含蜡量油田,油井能保持自喷,给试井、采油工艺油井管理带来了很大的方便。

以上几点是实现了早期注水,保持生产井排油层压力接近原始油层压力条件下开采带来的根本性的好处。大庆油田所采用的开采方式,基本掌握了油田开发主动权,为高产、稳产、提高采收率提供了十分有利的条件。

2. 采用油田内部注水,注入水有效的影响油层,使更多的探明储量能够很快的在有效的水驱条件下投入开发

(1)油田内部注水,注入水全部进入油层,生产井排很快见到注水效果,是一种比较强的注水方式

我国老君庙油田 L 油层采用边外注水时,预计有 45%左右的水向外流失,降低了注水效率,油层在较长的一段时间内不能受到注水效果。

(2)对分布比较稳定的好油层,采用了内部横切割行列注水方式开采

研究了油田构造、断层方向、油层岩性变化等情况,采用了水线较短易于控制调整,与绝大多数油砂体延伸方向相垂直的横切割注水方式。几年来的实践充分证明,生产井排在短期内就受到了注水效果,甚至在中低渗透率区油井也陆续受效。

(3)根据国家的需要,可以把油田一个区一个区陆续地全部投入开发,这样就可以使已经探明的储量得到充分地利用

采用油田内部注水,并选择了合适的切割方向后,在一个开发区内,油层能充分地全面地受到注水效果,全部储量很快地投入开发。大庆油田边水不活跃,边部岩性也变得较差,若采用边外注水开采,预计只有 35%左右的面积能投入开发,在有效水驱下开发的储量只有 15%~20%,油田内部很大面积受不到注水效果,不能投入开发。这样就要降低总的采油速度,延长开采年限。

(4)做到准备好一区,建设一区,开发一区,一区一区完善,开发比较主动

由于采用了内部注水,并且一区一区的投入开发,就可以应用已开发区的经验教训指导新区开发,并为新区提供必要的资料,而对油层认识得更清楚,新区开发部署就会更加符合于客观情况,开采效果就会更好。

3. 大庆油田创立了一套合理的开发程序,使油田有步骤、有实践依据地投入开发,争得了开发油田的主动权

合理地开发油田首先要认识油田,若只根据少数探井、资料井的资料,在对油田认识得不清楚、不全面的情况下,不分步骤一次部署开发井网,结果很难避免布局上的错误。苏联 1958 年投入开发的阿尔兰油田,由于编制设计阶段所掌握的资料少,在钻井后了解到的地质情况与原设想有很大出入,在开发初期就进行了大的调整,取消了两个注水井排,改变了注水井排方向,层系也作了调整。这些教训说明,要使开发油田不犯不可改正的错误,必须把认识油田和开发油田紧密地结合起来。要实现这一要求,开发油田就必须分阶段有步骤地进行。

几年来的实践初步总结出一套合理的开发程序,从勘探到投入开发大致可以分为四个互相联系、交错进行的步骤。

第一步骤:从勘探转入开发的过渡阶段——油田详探,亦即油田全面开发的准备阶段。

部署一定密度的探井和资料井只能认识油田的概况和油层的分布趋势,要正确地确定一个区的开发部署,还必须掌握更多、更全面的资料,特别是油田开发动态资料。为此要求在这一阶段中一方面开辟生产试验区,钻较密的生产井网,投入开采,通过详细解剖,深入认识油层组成情况及其分布状态,掌握油层性质的变化规律,更重要的是通过开采实践搞清注水开发后,各类油层受到注水效果的情况和油水运动的基本规律,作为考虑新区开发设计的依据。与此同时,在准备扩大开发的地区加密钻开发资料井,以了解各区的地质概况,并与生产试验区的解剖资料相结合,对准备开发地区算出储量、准备好各项地质参数,借以初步掌握分布比较稳定的油层特点和其基本规律,作为研究新开发区基础井网的地质资料依据。

第二步骤:开发区基础井网的部署——初步开发设计的编制。

实践说明,根据大庆油田的特点,通过生产试验区的解剖和准备开发区资料井的资料,对一些分布比较稳定的油层,可以具体的确定其开发部署,但对那些油层性质变化较大、分布很不稳定的油层,只根据以上资料还只能了解其概况,不能进行具体的开发部署。根据这样的认识,在准备开发区内是以稳定油层为对象,先布一套基础井网。这一套基础井网既是所选定主要层的开发井网,也是其他油层的详探井网。因此,这套井网主要是根据所要开采油层的特点,选择合理的部署。与此同时,对其他油层的开发部署应该提出设想方案,以考虑各开发层系井网统一安排。实施基础井网时又采取了两个做法:1)先钻注水井,对取得资料进行一定的研究后再钻生产井,这样做一则可以在基础井网全面实施前进行必要的调整,二则先钻注水井亦可以保证早期注水的实现;2)钻井后暂不射孔,全面研究油层情况全面部署开发方案后再射孔,可以在各方面进行调整。

第三步骤:开发区各套井网的全面部署——正式开发设计的编制。

基础井网钻完后,根据新取得的资料,核实基础井网的注水方式、井网布置及独立开发的可能性。从油层的每个最小单元落实这套井网的开发效果,统一考虑开发区的层系划分,及各套层系的注水方式、井网布置,并统一考虑各套井网的相互配合;提出实施开发方案的要求,全面预测开发区的开发指标。提出整个开发区的正式开发方案,按这一设计进行全面的钻井、地面建设和油井投产工作。

第四步骤:开发方案的实施——射孔方案的研究。

按正式设计方案钻井,井完钻后暂不射孔,进行油层研究,搞清地质情况,根据新的认识在射孔投产前进行必要的调整。大庆油田是多层系同时注水开发的,为确保每个开发层系的独立完整,防止形成层系间油水窜流,因此,需要进行隔层调整;在断层附近低渗透率区,为改善注水开发效果也需要在局部地区进行注采系统或开发层系的调整。为了保证作好以上调整工作,井钻完后暂不射孔,进行一次射孔方案的系统研究,然后油井、注水井再射孔投产,开发布井方案得到最后实施。

这套开发程序的每一个开发步骤之间都是紧密联系着的,每部署一个新开发阶段的工作,都是建立在上一个阶段对油田了解和已开发区取得的经验的基础上,而且每走一步又都为下一阶段的开发部署作好了准备,提供了必要的资料。这就做到了认识一步,前进一步,每前进一步又为深入认识油田创造了条件。

4. 严格的以地质为基础,以生产实践为依据,确定层系划分、注水方式、井网部署,是争取

获得更好的开发效果的重要措施

注水开发这样一个非均质多油层油田,其关键问题是正确地划分组合开发层系,选择合适的注水方式和井网。只有根据隔层的分布情况和油层的特性划分了开发层系,才能根据各层系油层的具体情况,研究合理的注水方式和井网,才能获得好的开发效果。这样在开发部署上就可以尽可能地发挥每个油层的生产能力。在此基础上再通过开发过程中的调整控制,使油层在充分的水驱条件下开采,并使主要油层油水前缘尽可能地均匀推进,保证油田高产稳产,争取得到高的无水采收率,为提高最终采收率创造条件。

大庆油田的开发采用了以上四个基础作法,从初步实践结果来看,效果是好的,在开发过程中赢得了主动权。

三、大庆油田开发设计的基本方法

大庆油田的开发设计是以稳定高产和提高采收率为核心,在具体作法上采用了严格的以地质为基础,以生产实践为依据,从油砂体入手的一套综合研究方法,并通过合理的开发程序把认识油田和开发油田紧密的联系起来。这套方法概括起来有下述几个特点。

1. 对开发设计中六个关键问题进行了系统地、深入地研究,这是保证开发设计能够有力地指导生产和提高开发设计水平的基础

所谓合理地开发油田,就是最大限度地经济地利用石油资源,在此基础上满足国家对采油速度的要求。通过理论研究和国内外油田开发实践都说明,要提高油田的最终采收率,对注水开发油田来说,主要是提高油层的水淹体积系数和提高水驱油的效率;而其中通过研究合理的开发部署主要是解决提高水淹体积系数。为此,在开发设计中必须处理好六个关键问题,即:选择合理的开采方法,合理划分组合开发层系,根据各层系的油层特征选择合理的注水方式,合理的井网,注水井、生产井的合理工作制度,方案的实施要求。解决好这几个问题,就能够避免在开发布局上犯原则性的错误。

根据这个油田边水不活跃,弹性能量小,原始气油比低,原油粘度高等特点,决定采用早期注水保持压力的方式开采。理论分析表明,如不注水,采用溶解气驱开采,不仅采油速度不能长期稳定,而且预计最终采收率只能达到 15% 左右。开采方式的选择是直接关系到采收率的重要问题。

对油层性质差异较大的多油层油田,在采用注水开采的情况下,严格地划分和组合开采层系,是确定合理开发部署的基础,也是提高油田开发效果的重要措施。划分了开发层系,就可以根据各层系不同的油层性质分别采用不同的注水方式和井网,才能够使更多的储量有效地投入开发。国内外其他油田随着注水开采方式的采用,开始重视了合理的划分组合开发层系。大庆油田根据油田特点和生产实践经验,进行划分和组合开发层系时考虑了以下几个基本原则。

1) 一个独立的开发层系应具有一定的储量,保证每口井具有一定的生产能力,正常生产,工艺简单,经济效果好。

2) 所划分的每个开发层系顶、底部必须具有良好的隔层,在注水开发条件下,不会和上下开发层系相互窜通。

3) 组合在同一开发层系内的各油层性质应尽可能接近,主要是渗透率和油层分布状况不能差别过大,以保证各油层对注水方式和开发井网有共同要求,有利于提高无水采收率和最终

采收率。

4)同一开发系内各油层的构造形态,油水分布,压力系统和流体性质应基本一致,以免形成开采过程中的复杂情况。

对同一开发层系的油层,采用不同的注水方式就会获得不同的开发效果。

如图 1、图 2 所示,同一个油砂体采用两种不同的注水方式时,水淹面积分布情况,采用行列注水时储量损失比采用面积注水大得多。同时,采油速度、产量稳定情况也都不同。合理的注水方式是开发设计中一个重要问题。南一区第二套层系采用行列注水或面积注水的开发效果如表 1。从表 1 可以看出,对于这种油层采用面积注水效果好。

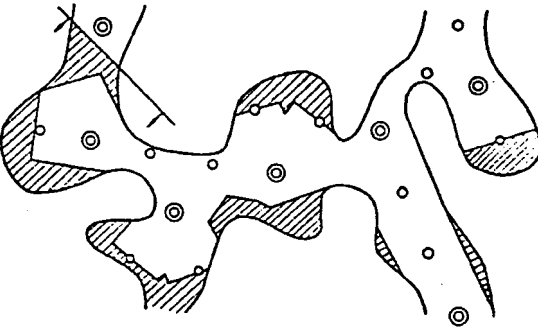


图 1 面积注水开发效果图

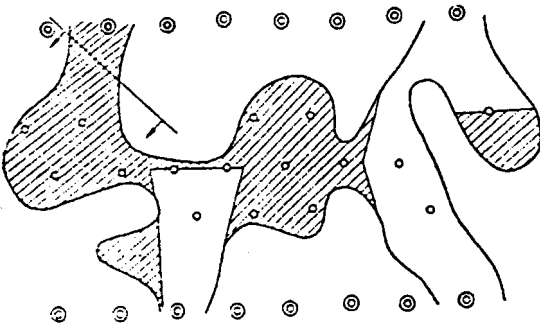


图 2 行列注水开发效果示意图

表 1 南一区第二套层系用行列注水或面积注水的开发效果

开发方式及井网	总井数 (口)	储量损失 (%)	单井产量 (t/d)	见水前年采油量 (万 t)
行列注水 3-600×500(500)	96	31.8	1 排:21 2 排:9	35.0
四点法面积注水井距 500m	98	22.1	39.4	87.5

研究确定合理的注水方式时考虑了以下基本点:

1)选用的注水方式能适应于油层的分布状况,保证有较大的水淹面积系数,争取较高的无水采收率和最终采收率。

2)选用的注水方式能适应于油层的物理性质及其变化情况,保证油井都能受到良好的注水效果,并有较高的采油速度,同时有利于开采过程中调整控制和开采管理。

从以上两点出发,对大片连续分布、比较稳定、渗透率比较高的油层采用行列注水;对那些零星分布、很不稳定、渗透率较低油层采用面积注水。

对每一个开发层系来说,确定了注水方式后还必须研究合理的井网,才能获得更好的经济效益。对行列注水开采方式,合理井网主要是研究切割距的大小,在切割区内布几排生产井,以及合理的排距和井距;对面积注水方式,合理的井网,主要是研究面积注水系统及合理的井距;油田开采实践说明,井网的布置对采收率影响很大,并且也直接影响着开发的经济效果。例如对大庆油田萨二组油层,如采用 3.2km 的切割距,布三排生产井,井距 500m,则井网只能控制 80%左右的储量;如果缩小切割距到 2.2km 左右,布三排生产井,井距 500m,则井网能控

制住 90% 左右的储量。同时,两种井网对采油速度影响也很大。又如美国东得克萨斯油田,平均每口井控制面积只有 2hm^2 左右,在开采过程中不得不使部分井停产或减产,经济效果较差。由此可以看出井网布置是否合理,直接影响油田开发的经济效果。

大庆油田在划分开发层系和确定注水方式的基础上,研究了每套开发层系的合理井网。选择经济合理井网的标准有以下几点:

1)最大限度地适应油层的分布情况,各套井网控制储量程度高(针对大片连续分布,比较稳定的油层要求控制在 90% 左右的储量对零星分布,很不稳定油层要求控制 80% 左右的储量),为提高最终采收率打下基础。

2)所布井网能使主要油层受到充分的注水效果,开采区内年采油速度达到 3% 以上,在此基础上要争取较长的稳产时间。

3)选择的井网系统既要便于分阶段的进行开采和调整,又要能够实现合理的注采平衡。

在满足以上条件下,选择的井网应该经济效果好。

确定合理的注水井和生产井工作制度,是保证实现规定的采油速度和稳定生产年限,争取较高采收率的一个重要环节。合理的工作制度以实现两个合理平衡为依据,即:注水所补给的压力与采油所消耗的压力平衡;注水补给的油源与采出量的平衡。具体地说,主要是确定为实现合理注水量所需的最大限度允许的注水压力以及保证油井正常工作的最低井底压力。最大合理的注水压力要考虑注水泵允许的最大工作压力、油层的破坏压力,防止层系间窜流所提出的要求及平衡各类油层采油量所需水量的要求。油井最低的合理井底压力,主要考虑了油井的最小自喷压力,确保油井正常生产,井底压力低于饱和压力的允许界限、油层结构对合理井底压力及生产压差的要求。结合本油田具体情况,油层结构良好,油井自喷能力强,因此,研究合理井底压力主要研究确保油井正常生产,井底压力低于饱和压力的允许界限。

以上只是研究了在大庆油田上可能采用的最大的注采强度,但为了提高采收率,合理的工作制度在实现两个平衡的基础上,核心问题是促使油水前缘均匀推进。因此,在具体作法上应根据各油层的具体情况分别确定保证油水前缘合理推进,充分发挥注水效果的工作制度。

以上几个关键问题是一环套一环紧密联系,只有很好地解决这几个问题,才能保证油田开发工作沿着正确的方向发展。在研究这些问题时,是从油砂体情况出发,应用了开发试验区提供的资料,吸取了国内外油田的开发经验,进行了综合性的调查研究。大庆油田的正式开发设计的编制工作,前后共进行了六十多个专题研究,作为解决以上问题的科学基础。

2. 严格的以地质为基础,从油砂体入手研究开发方案的合理部署

大庆油田在取得大量第一性资料的基础上,进行详细的油层研究工作,逐步搞清了油层在地下的分布状况,认清了含油的最小单元——油砂体。油田的注水开发过程实际上是油水在油砂体中不断运动、不断变化的过程,油砂体的几何形态、储油物性,如渗透率大小和渗透率分布是控制油水运动规律的基本原因。开发方案部署得是否合理,最终要看每个油砂体中原油的采出程度。因此,研究开发部署必须从油砂体入手。

合理的开发程序为从油砂体入手研究问题提供了条件。研究一个新区的开发部署,首先针对主要油层,即大片分布比较稳定的油层部署基础井网。对于这类油层,通过生产试验区和邻近开发井的解剖,结合新区探井、资料井的资料进行对比分析,基本上可以掌握其油砂体分布形态和渗透率情况。基础井网的部署,一方面针对这类油层特点,采用平均参数通过水动力学计算来研究,另一方面应用已开发的邻区油砂体解剖结果,进行分析对比、综合确定其开发部署。基础井网钻完后,对新区的油层情况有了进一步的认识,再按油砂体研究核实基础井

网,并运用从油砂体入手的一套研究方法确定其他层系的开发部署。其他层系井网钻完后,还可以根据进一步落实的油砂体资料研究调整措施。

几年来的研究和实践证明,有了一套合理的开发程序,从油砂体入手这套研究方法是可以实现的,油砂体基本情况是可以掌握的。如南一区第二套层系在部署井网前根据基础井网所得资料对油砂体的认识程度与第二套井网完钻后对比,符合程度达 70%~80%,基本上是落实的。

从油砂体入手研究开发部署的基本方法,可以归纳为以下几个步骤。

1)搞清油砂体的基本因素,油砂体分布面积的大小和分布形态,油砂体渗透率的分布规律,油砂体的厚度及储量,油砂体上下的连通状况。按油砂体的几何形态和物理性质,进行排队分类,综合归纳,掌握每类油砂体的地质特征。

2)解剖每个油砂体在不同注水方式、不同井网条件下的开发效果。

选择几种可能采用的注水方式和井网,布到每个油砂体上,研究其油水运动规律,计算出每口井的产量、见水时间、每个油砂体的储量损失等重要指标,研究每个油砂体对合理开发部署的要求。

3)根据主要油砂体对注水方式和井网的共同要求,并适当照顾一般油砂体的特殊要求,综合研究,确定开发部署。

因为油砂体性质差别很大,每个油砂体对合理开发的要求也很不同,任何一种开发部署都不可能适应所有油砂体的要求,所以只有抓住储量占绝大多数的主要油砂体,研究它们的共同要求。如北一区第三套层系共有 786 个油砂体,其中有 17 个油砂体占全层系储量的 50.9%。这些油砂体分布比较稳定,面积较大,形态也比较规则,易于掌握,并且厚度较大,渗透率也比较高,具有一定的生产能力。抓住这些主要油砂体的共同要求,确定他们的统一布置。在不影响这些主要油砂体合理开发的前提下,再适当考虑一般油砂体的特殊要求,此时就可以初步选出几种开发部署,综合对比开发指标,确定出合理开发部署。如北一区第三套井网萨一、萨三、葡二组油层都是零星分布、变化较大的油层,初步选定一种小井排距行列注水井网,一种四点法面积注水井网,逐个油砂体计算开发指标,结果如表 2。

表 2

井网	开发指标	总井数 (口)	储量 损失 (%)	前十年 平均单 井产量 (t/d)	低产井 占总井数 (%)	前十年 平均采 油速度 (%/a)	建成年产万吨原油生产能力		前十年 平均采 油成本 (元/t)
							所需投资 (万元/万(t·a))	所需钢材 (t/万(t·a))	
行列注水井网 5-600× 500×500(500)		166	32	12	80	2.5	220	370	50
四点法面积注水井网		180	21.5	17	35	3.9	180	310	40

将以上两种注水方式进行综合对比,面积注水井网开采效果好。根据以上方法选择的开发部署,基本上可以适应占总储量 80%以上的油砂体的特性,因此可以获得较好的开发效果。

从油砂体入手的研究方法主要有以下几个特点:

1)从油砂体入手研究开发部署,先从个别解剖,再按其共同要求,归纳成一般的共同规律,因此使部署方案预计的开发效果比较落实,使方案研究工作真正落实到地质基础上。

2)从油砂体入手研究可以具体地指导生产,并使开发指标落实。

从油砂体入手研究开发部署可以得到每口井每个层的产量,每口井的见水时间及见水层

位、来水方向,低产井分布位置及所占比例,每个油砂体的储量损失和这套井网所能控制的储量,每个油砂体的采油速度,并且可以预测每个油砂体内各个时期的油水分布状况。由于它考虑了油砂体的具体情况,因此计算的开发指标和实际对比比较符合,如表 3。

表 3

排别	开发层系	井数 (口)	生产压差 (atm)	平均单井产油量		
				设计指标 (t/d)	实际可以达到 (t/d)	符合率 (%)
4-1	第一套	24	16.6	55	54	98.2
4-2	第二套	28	15.9	41	33	80.5
4-4	第二套	19	19.6	45	41	91.3
4-5	第一套	24	19.4	58	53	91.3
1-1	第一套	22	17.5	49	57	116.2

从上表可以看出,对比的五个井排共计 117 口油井,平均单井产量的符合率达到 90% 以上,各排井的误差一般为 $\pm 10\%$ 左右。

以往采用平均参数笼统的计算开发指标,预测开发效果不具体也不够落实,它只能计算出分排的平均单井日产量,可能的见水时间,平均的含水率上升规律和可能的采收率。根据笼统的开发指标来选择方案部署,很难落实,更难指导生产。例如克拉玛依油田,编制开发设计时采用平均参数计算的方案指标,结果实际产量只能达到设计产量的一半。苏联阿尔兰油田实际产量也只能达到规划产量的一半。

总之,从油砂体入手的一套开发设计研究方法,通过几年来的实践说明,他是研究非均质多油层油田合理开发部署的基本方法,目前虽然还不够完善,但是与过去的方法相比,从基础上起了变化,是研究方法的一个革命。

3. 从生产试验和已开发区的开采实践,为新开发地区设计提供实践依据

大庆油田在编制新区开发设计时充分地应用了生产试验区 and 已开发地区的生产实践资料,使开发设计更加全面地考虑到在开采过程中可能发生的问题。

(1)通过生产试验区和已开发区了解注水井吸水能力和生产井在全面开井、合理工作制度下的生产能力,作为研究新区的开采方式,落实开发指标的生产实践依据。

(2)通过对生产试验区和已开发区开采过程的分析,了解对不同油层在一定井网和注水方式下受效情况和开采情况,作为确定新区注水方式和井网的重要依据。

(3)了解不同油层在开采过程中影响稳产和提高最终采收率的主要矛盾是什么,在新区方案设计中尽最大可能解决主要问题。

(4)分析在开采过程中油水运动的一般规律和特殊规律,结合新区地质特征应用一般规律,充分研究分析这些特殊规律,使新区开发设计考虑得更加完善。

(5)应用生产实践资料对油田开发基础理论和基本公式进行研究,并做必要的校正,使其更符合油田的客观情况,使新区设计的理论分析更有实践基础。

大庆油田开发实践说明,只靠静态资料对油层的认识程度来做开发设计是很不够的,必须应用大量的生产实践资料,认识油层在开采过程中的特征及油水运动规律,否则所编制的开发设计很难指导整个油田的开采过程。油田投入开发后,可能出现一系列没有意料的问题,使开发设计脱离实际。

4. 采用的地下流体力学理论分析方法,必须认真地考虑本油田的具体情况,以使理论分

析符合油田实际开发情况

对于某个油田,当注水方式、开发井网等已定的情况下,油水在地下流动是遵循着一定的客观规律的。地下流体力学理论分析方法就是研究注水开发过程中油水的运动规律,预测油田的开采动态,分析开采效果,是开发设计的一个重要环节。理论分析结果,一方面作为选择合理开发部署的理论依据,另一主面也指导油田生产管理。在国内外油田开发设计中,地下流体力学理论已广泛地得到应用。

但是,总结过去开发设计中水动力学的分析方法,一般都是偏重于考虑数学基础和流体力学的一般理论,没有具体地考虑油田的实际情况,如油砂体的分布形态及其物理性质的变化等;在实际应用过程中,把油层简化,对油层作了一系列的假设后,采用平均参数代入一般的理论公式进行计算,因此只能得到笼统的开发指标。这种分析方法不但不能得到各种具体的概念,也使计算的开发指标不够落实。有时甚至于导致错误的选择了不合理的方案。

大庆油田开发设计工作中充分的应用了地下流体力学理论的分析成果。为了使流体力学在油田开发中发挥更大的作用,真正从理论上指导油田开发工作,几年来的实践说明,必须注意以下几点:

(1)地下流体力学理论分析方法中常用的基本参数,如油水两相渗透率、残余油饱和度、束缚水饱和度、孔隙利用系数、岩石的润湿性等,都必须应用本油田的实际岩心考虑本油田的地层条件进行反复的模拟试验,取得代表性的参数资料,这是地下流体力学方法考虑油田实际情况的基础。

(2)油田开发实践和试验室内的模拟试验结果,都说明了地下油、水运动受油砂体的形状、物理性质、断层的封隔等各种因素的影响,因此,地下流体力学理论分析方法必须考虑这些具体条件,否则很难使理论分析符合油田的实际情况。在大庆油田上目前所采用的一些方法,初步考虑了这些因素,因此已经收到了一些效果。

(3)油、水在油层中流动的情况是复杂的,有许多因素目前还不能较好的考虑,因此,使理论分析和油田实际开发过程往往有较大差异,有时甚至根本不能反映油田的实际情况。为了解决这个问题,在大庆油田上采用实际生产资料来检验理论分析方法,最后校正理论计算公式,结果使当前一般的理论分析和实际情况比较接近。例如,主要油层的见水时间的计算,符合率可以达到70%左右,油井产量计算的符合率一般可以达到80%~90%左右。这个结果比过去应用的一般方法更精确些。

总起来看,大庆油田采用的地下流体力学理论分析方法,由于注意解决了以上三个问题,因此所得到的效果是好的。

5. 应用电子计算机和电模型为全面研究和选择方案提供资料

在研究和选择合理的开发部署时,特别是选择确定井网部署的过程中,需要通过大量的方案进行对比分析,应用电子计算机就可以在较短的时间内计算出几百个甚至几千个各种类型的方案。用计算出来的大量方案,可以寻找规律。如各种井网因素(切割距、排数、排距、井距等)与开发指标(单井产量、年产量、无水采收率、最终采收率等)之间的关系。搞清了各种因素间内在联系,再根据油田开发总方针和开发原则要求,结合油田地质情况,就可以选择出经济合理的方案。这套方法在大庆油田开发设计中,特别是在基础井网部署过程中已广泛的应用。初步效果是好的。

应用电网模型,根据油田的实际资料,可以模拟每个油层在不同井网部署条件下,每个开发阶段中油、水的分布规律,压力分布情况。还可以通过电模拟计算出每口井的产量、见水时