

采油工程方案编制方法

郭呈柱 刘翔鹄 王浦谭 弓 麟 编著

北京

石油工业出版社

登录号	087470
分类号	TE35
种次号	019

采油工程方案编制方法

郭呈柱 刘翔鹭 王浦谭 弓 麟 编著



200420188

石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

要实施好中央“稳定东部，发展西部”的石油工业发展战略，使新油田能够经济、高效地投入开发，就必须认真抓好油气田开发的早期工程和采油工程方案、规划的编制工作。采油工程，是一个整体的系统工程，是油气田开发方案的重要组成部分。采油工程方案在开发总体方案中起着承上启下的重要作用，是完成油藏工程方案中提出的开发总体指标的重要保证，也是地面工程建设的依据和工作出发点。采油工程不仅是研究单项技术，而是通过编制的整体方案，把各单项技术有机地结合起来，在油田开发工作中有计划、分步骤地去实施，以便在油田开发中发挥更大的作用，达到预期的工作目标。本书根据总公司的要求和油田的需要，在近年来西部油田已经编制的几个采油工程方案的基础上，吸取了部分东部老油田编制采油工程方案的经验，比较系统地论述了在新区投入开发以前，进行采油工程方案编制的基本原则和对方案编制研究的基本要求，对采油工程方案的编制工作具有一定的指导意义。文中较全面、系统地论述的编制采油工程方案的具体要求、做法和主要工作内容，对全国新油田编制油田开发总体方案中的采油工程方案提供了基本的模式和要求，对采油工程方案编制规范化、科学化、有一定的实用价值。

图书在版编目(CIP)数据

采油工程方案编制方法/郭呈柱等编著.

—北京:石油工业出版社,1995.3

ISBN 7-5021-1438-6

I. 采…

II. 郭…

III. 石油开采—方案制定—编制—方法

IV. TE35

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开 4 $\frac{1}{8}$ 印张 103 千字 印 1—2000

1995 年 3 月北京第 1 版 1995 年 3 月北京第 1 次印刷

定价 6.00 元

前 言

“稳定东部,发展西部”是中央确定的我国石油工业的发展战略。为加快我国油气资源的勘探开发,保证原油、天然气生产的持续、稳定增长,必须加强油气田开发的前期工程、开发总体方案以及规划的编制和研究工作。

本书主要研究分析了近年来新疆塔里木和吐哈油区的几个采油工程方案设计,以西部油田中地面条件最差的沙漠油田和地质条件比较复杂的深井、超深井,凝析气田和低渗透油田为基础,研究在编制采油工程方案中应包括的基本内容和原则,以及特殊油藏编制采油工程方案时应考虑的问题。使采油工程方案的编制研究工作更加深入,方案更具科学性、先进性、可操作性和实用性,以提高油田开发的总体经济效益。本研究工作的初步结论和方法可以为西部新区编制采油工程方案提供参考意见,也可以供东部新区编制采油工程方案和老区编制开发调整方案中参考。秦同洛教授和万仁溥教授审核了全书,对本书中的主要观点提出了指导性意见,在此表示感谢。

作 者

一九九四年十月

目 录

前 言

第一章 西部油田的基本特征	(1)
一、地面条件差,自然环境恶劣	(1)
二、地下油藏类型多、井深、构造复杂、开采难度大	(2)
第二章 编制采油工程方案应遵循的基本原则	(6)
一、编制方法必须具有较强的科学性	(6)
二、方案编制内容必须全面	(6)
三、必须满足油藏工程和地面建设的要求	(7)
四、加强敏感性研究,进行多方案优化	(7)
五、方案的实施必须具有良好的可操作性	(7)
六、坚持“少投入多产出”的高效益原则	(8)
第三章 采油工程方案编制的主要内容	(9)
一、储层保护系统工程研究	(10)
二、油田地应力研究	(30)
三、完井工程设计	(38)
四、采油方式优选	(47)
五、注水工艺方案设计	(52)
六、油藏改造技术研究	(59)
七、油水井动态监测技术	(66)
八、油井堵水和注水井调剖工艺技术	(69)
九、油井防砂、清蜡工艺技术研究	(72)
十、井下作业及后勤厂站建设配套方案	(80)
十一、采油工程经济评价	(82)
第四章 对方案编制和实施的建议	(85)
致谢	(87)

参考文献	(88)
附录 A 套管柱强度设计推荐方法	(91)
附录 B 碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法	(91)
附录 C 采油采气成本核算和管理办法	(91)
附录 D 氮气在油田开发中的应用	(121)

第一章 西部油田的基本特征

西部油田的共同特点是地面条件差,大多数油田都处于沙漠、戈壁及其边缘地带,工作条件艰苦,地下条件复杂,井深,油藏类型多,开采难度大。因此,加强对西部油田的油藏和地面条件的综合研究是确定总体开发方案的重要基础工作。

一、地面条件差,自然环境恶劣

随着塔里木盆地的勘探工作进一步深入,越来越来的沙漠油田将被探明。目前在沙漠中已投入开发的有准噶尔盆地东部的彩南油田,正在进行开发前期准备工作的有塔里木盆地的塔中四号构造油田。不久,在塔里木和其它盆地的沙漠中都将会有有一批新油田被探明和投入开发,成为“发展西部”的重要战场。沙漠油田的共同特征是地面干燥少雨,全年高低极限温差和昼夜温差大,地面基本无植被。风沙大,尤其是塔里木盆地的塔克拉玛干大沙漠是我国最大的流动沙漠,自然环境十分恶劣。因此,交通运输不便,保持人的生存和工作环境代价高,对设备的安全和工作性能要求高。在沙漠油田的采油工程方案设计中必须充分考虑沙漠的恶劣自然环境对油田开发的影响。

目前西部已投入开发的一批油田大都位于沙漠外缘的戈壁滩上。虽然戈壁滩的自然环境比沙漠稍好一些,但是由于这些油田大都分布在少数民族地区,地广人稀,经济不发达,交通不便。自然环境也与沙漠有许多相似的地方。常年干燥少雨,地面植被较少,给野外施工作业带来极大困难。

西部的新开发区,无论是沙漠油田还是戈壁滩上的油田其地面条件上都有以下基本特征:

- ①地面干燥严重缺水;

②干热风危害严重,不但对人员野外作业带来极大困难,而且对设备的磨蚀严重,影响使用寿命;

③地面昼夜温差大,全年极限温差大,对设备、地面流程和人员生存提出了更高的要求;

④交通不便,后勤保障困难,尤其是沙漠油田这一矛盾更加突出。

二、地下油藏类型多、井深、构造复杂、开采难度大

目前在西部已探明和投入开发的油藏有以下特征:

1. 油藏埋藏深

以东河塘油田为代表的超深井油藏埋深已超过 5760m,最大井深 6011m,主要开采井段 5777~5800m。由于井深,井下温度达到 140℃,原始油层压力 62.23MPa,油藏平均渗透率 $0.064\mu\text{m}^2$,属于原生块状底水、中低渗透为主的稀油中产油藏。

轮南油田三迭系地层埋深 4634m 至 5013m。划分为三个油组十个小层,其中 I 油组埋深 4742m,II 油组埋深 4782m,III 油组埋深 4863m。属中等孔隙度,中等渗透率,非均质比较严重的储层。

在塔克拉玛干沙漠北缘塔北隆起发现的吉拉克、解放渠东、桑塔木、英买力等油田的埋藏深度大部分都在 4200m 到 6100m,因此,井深是采油工程方案设计必须解决的一大难题。

2. 油水关系复杂,在纵向上有多套油水系统

目前已投入开发的几个西部油田区块,大部分油田的油水关系都比较复杂。以塔里木盆地为例(见表 1),轮南油田纵向上有 6 套油水系统,桑塔木、吉拉克、塔中四构造油气田在纵向上有 5 套油水系统,解放渠东油田纵向上有 4 套油水系统,英买力地区纵向上有 3 套油水系统。每套油水系统都具有独立的油气水界面,形成了各具特色的多种油气藏类型。这一地质特点为油田开发和采油工程方案设计提出了必须解决的研究课题。

表1 塔里木油田纵向油、气、水系统汇总表

油田或构造带	油气水系统		油 气 藏 类 型	
	数目	名 称	种数	类 型
轮 南	6	$T_1, T_{11},$ T_{12}, J_1, J_2, J_3	4	层状边水构造油藏(T_1, J_1, J_2) 层状边水岩性构造油藏(T_{11}) 岩性油藏(T_{12}) 块状底水构造油藏(T_1)
桑 塔 木	5	$T_1, T_2, T_3,$ O_2, O_1	5	层状边水构造油藏(T_1) 块状底水构造油藏(T_1) 岩性构造边水油藏(O_2) 岩性构造边水气藏(O_1) 岩性油藏(C_1)
解放渠东	4	$T_{11}, T_{12},$ T_1, T_2	4	层状边水构造油藏(T_{11}) 层状边水岩性构造油藏(T_{12}) 块状底水构造带凝析气顶油藏(T_1) 块状底水构造油藏(T_2)
吉 拉 克	5	$T_{11}, T_{12},$ T_{13}, T_{14}, C_1	3	层状边水岩性构造凝析气藏(T_{11}, T_{13}, C_1) 块状底水岩性构造凝析气藏(T_{12}) 带不规则油环块状底水构造凝析气藏(T_{14})
英 买 力	3	E, K, O	3	带油环层状边水构造凝析气藏(E) 层状边水构造油藏(K) 溶洞裂缝型块状底水构造油藏(O)
提 尔 根	2	N_1, K	1	层状边水构造凝析气藏(N_1, K)
塔中4号	5	C_{11}, C_1, C_{11} C_{12}, C_{13}	3	层状边水构造凝析油藏(C_1, C_1, C_{12}) 带凝析气顶块状底水构造油藏(C_{11}) 块状底水构造油藏(C_{13})

3. 储层物性相差较大

塔里木盆地目前发现的油气藏储层物性好,多为中~高孔隙度和中~高渗透储层,而且微观孔隙结构也比较好。以Ⅰ、Ⅱ类储层为主。而其它地区的储层条件与塔里木相比,储层物性相差很多,已投入开发的彩南油田三工河油层,平均埋深 2350m,平均孔隙度 19%,有效渗透率 $100\sim 300\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;西山窑组油层平均埋深 2250m,平均孔隙度 15%,岩心分析渗透率仅 $3.3\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。因此,彩南油田三工河油层为中孔、中渗原生孔隙砂岩储集层。而西山窑油层则属于中孔,低渗厚层砂岩油藏。吐哈盆地的鄯善、丘陵油田的油层物性较差,丘陵油田孔隙度 11.6%~19.1%,渗透率 $4.2\sim 260.5\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;全油田范围内,以孔隙度 11.6%~14.1%,渗透率 $4.2\sim 24.5\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的低孔低渗油层为主;鄯善油田与丘陵油田仅有一个断层之隔,物性基本一致。鄯善油田已全面投入开发,压裂整体改造是鄯善油田投产的重要措施。随着山前、红台两个构造带勘探工作的进一步深入,还会有一批低渗透油田被发现,这将是西部油田开发的又一战场。

4. 凝析油气藏多

这些凝析油气藏具有以下特点:

- ① 凝析气藏层系多、埋藏深、分布范围广,储量小;
- ② 烃含量少;
- ③ 凝析油含量高;
- ④ 地露压差小,反凝析严重。

由于目前发现的凝析气藏的分布范围很广,东至吉拉克,西到英买力,南至塔中,北至提尔根。随着勘探工作的不断深入还将会有更多的凝析气藏被探明和投入开发。由于凝析油和常规原油在开采方式和后处理上都有很大的不同,所以在采油工程方案设计中必须开展专题研究,努力提高凝析气田的开发效益。

另外在部分油田的储层中有大量天然裂缝,还有的油田存在底水和气顶。这些油藏特点在采油工程方案设计中都必须研究,而且在方案工艺措施中必须解决的问题。

总之,西部油田有以下几个共同的特征:

- ① 油藏埋藏深;
- ② 油水关系复杂,纵向上分为多个油水系统;
- ③ 储层特性相差较大;
- ④ 油品性质好,凝析油气田多。

西部油田在油藏上的这些特点在东部油田也普遍存在。由于这些油藏地质上的特点,使得在编制采油工程方案时,不但必须研究和设计在采油工程方案设计时必须考虑的共性因素,而且要针对每个油藏的特点开展一系列的专题研究。使得采油工程方案确定的技术路线不但能够确保实现油田开发总体方案目标,而且通过采油工程方案的研究工作,把油藏工程和地面工程的研究工作紧密结合起来,发挥总体方案在油田开发过程中的决策和指导作用,提高油田开发的总体经济效益。

总之,采油工程方案编制研究就是要紧密结合油田的地面自然环境和地下油藏性质的特点,从油田开发早期就开始介入参与油田开发的整体决策,与油藏工程和地面工程平行开展研究工作,并在研究工作中相互反馈工作中的初步结论和意见,针对各自研究工作的特点进行调整,通过协调使得最终决策达到最优。采油工程方案研究工作要立足于从钻井打开油层一开始就保护油层,并将保护油层工作贯彻到油田开发的各个环节。针对西部油田的地面和地质特点,在确保总体方案的开发指标的前题下尽量简化工作程序,使用先进、成熟的工艺技术,减少井下作业工作量,提高油田开发的总体经济效益。

第二章 编制采油工程方案 应遵循的基本原则

要使油田开发取得较好的经济效益就必须紧密结合油藏和地面的实际,发挥采油工程方案在早期决策中的作用,对东河油田实行“一少四高”方针,即:要少井、高产、高速度、高效益、高度自动化。在采油工程方案编制中紧密围绕提高经济效益这个中心开展工作,遵循以下基本原则:

一、编制方法必须具有较强的科学性

在油田的开发方案设计中,油藏工程、采油工程、地面工程必须从总体方案编制一开始就进行平行研究。在研究工作中相互结合、渗透,在关键性的技术方案上及时反馈意见,充分发挥各自的优势,提高总体方案的设计水平。采油工程方案必须紧密结合油藏的实际,并兼顾地面工程的要求,从国内外情报调研入手,吸收国外相似油藏和地面条件油田开采的成功经验,并广泛收集国内各油田已编制和实施的采油工程方案的特点,充分利用油田在试油、试采中取得的各项基本数据和采油工程概念设计中所取得的各项研究成果,采用先进的数学模拟、物理模拟方法,对方案编制中所涉及的各项专题开展深入的研究。使方案编制有坚实的实验和理论基础,决策更具有科学性。

二、方案编制内容必须全面

除了必须按原石油部 88 年《油田开发管理纲要》和 90 年总公司开发生产局“(90)开字第 40 号”文件中“采油工艺设计方案必须包括的项目和要求”所规定的各项工作以外,还要参照其它油田已

编制的采油工程方案,结合采油工程工作的特点全面地开展研究工作。主要的研究内容应包括:油层保护、地应力研究、完井、采油方式优选、注采方案优选、油藏改造研究、油井清防蜡及防砂技术、堵水及调剖技术、油田动态监测、井下作业及后勤厂站建设配套及采油工程经济评价等十一项技术。对于一些特殊性的油藏还应有针对性地开展专题研究。

三、必须满足油藏工程和地面建设的要求

采油工程方案设计中的采油工艺应该是先进的、技术成熟、工艺配套并对油藏具有良好的适应性,能够完成开发方案配产的目标,并可以满足油田开发各个阶段生产的需要。对生产有良好的可操作性,随着开发过程的推移,在调整上有一定的灵活性,并能够在油田开发中最大程度地发挥油井产能。针对西部油田由于自然环境恶劣,油藏地质情况复杂深井多,人员少,自动化程度高的特点,要最大可能地减少井下作业工作量。

四、加强敏感性研究,进行多方案优化

对采油工程方案中的重要研究专题,必须进行多方案的敏感性分析对比研究。在多方案充分论证和深入研究的基础上,给出最优优化方案。也可根据优化结果给出各方案的优化顺序,结合油田的实际情况,供领导决策选用。

五、方案的实施必须具有良好的可操作性

由于今后新开发油田大都采用全新的油公司管理模式投入开发。为了便于采油工程方案能够顺利实施,除了方案研制单位应派研究人员指导现场实施外,编制的方案应对现场实施具有指导性和可操作性。论据必须充分,专题研究必须深入,观点明确,工艺技术可靠,对不同类型的油田必须突出方案的特点,各项措施有针对性。所采用的技术和器材设备做到来源清,规格齐备。一旦方案通过评审,就可以以方案为依据进行具体的单项工程设计。

六、坚持“少投入多产出”的高效益原则

坚持对方案同时进行技术和经济评价,并且将经济评价作为评价不同方案优劣的主要指标之一。使得优化的方案既能够最大限度地发挥油井产能又能降低油田开发的成本支出,提高油田开发的总体经济效益。

第三章 采油工程方案编制的主要内容

在新油田投入开发时可以借鉴国内外陆上和海洋油气田开发的经验,在开发总体方案设计编制以前进行油田开发的概念设计研究。一般来说,当油田地下评价进行到一定程度时,根据经验判断认为该油田具有开发价值时,就要对主要开发项目进行概念设计。对油层厚度大,单井产量高,构造简单,面积大的油田,当打出第一口发现井以后概念设计就可以开始进行。对于地质条件复杂的油田在完钻几口井后也应尽早开展概念设计的工作。

采油工程概念设计的主要特点可以归结为,在当时的条件下,对油田开发中的主要工程方案都有明确的意见,并且在油田开发总体方案编制中不应有很大的变化,对概念设计中由于资料不足,而难于下结论的问题应进行各种可行性分析和敏感性研究,提出在进行正式方案编制前录取各项资料的要求。概念设计中应当涉及在正式方案编制中的各项主要研究项目,但研究重点必须十分明确。

根据国外和海上油田以及东河塘、彩南油田进行采油工程概念设计的经验,在概念设计研究中应主要包括以下研究工作:

- ① 油田地应力研究;
- ② 试井解释研究;
- ③ 油层保护研究;
- ④ 完井研究;
- ⑤ 采油方式初步选择;
- ⑥ 油层改造的可行性分析。

在概念设计研究中,由于掌握的资料比较少,而且许多资料尚不配套。因此,只能进行原则性的研究,为全面开展采油工程方案设计研究画出轮廓,提出采油工程方案编制的基本要求。由于资料

不足,主体采油工程方案中未涉及的研究工作应提出录取资料要求,以便进行正规采油工程方案设计。

在采油工程方案编制中,首先应对概念设计中的主要研究内容,根据油田提供的最新资料进行复核。而由于油田井少,录取资料不足的专题应进行进一步的深入研究。以保证领导决策有坚实的实验依据和理论基础,减少决策的失误。通过近年来采油工程方案编制的工作实践,采油工程方案编制应包括以下主要工作内容:

一、储层保护系统工程研究

在长期生产实践中人们发现,钻开油层后的整个生产过程都容易产生油层损害,它可以使储油层的产能降低,甚至完全丧失产油能力,还影响发现新的油气层,给油田造成巨大的经济损失。国内外大量实验研究结果表明,油层损害的主要原因是固相物质堵塞岩石孔道以及岩石性质和油层液体性质的改变,而油层损害程度往往取决于油层岩石和流体特性以及钻井、完井、增产措施、采油生产方式等工程的设计和实施的合理性。

保护油层,防止钻井、完井、修井等施工过程对油层损害,最大限度地发挥油井的自然产能,是储层保护系统工程的主要目的。储层保护作为一个系统工程必须从设计第一口探井开始到油田开发末期系统地开展。采油工程方案设计中的储层保护研究工作是在“概念设计”的基础上开展的。由于“概念设计”后油田已开始了初步实施,在实施中对“概念设计”中的初步结论进行了验证,为油田全面投入开发准备了较多的资料,并且主要区块钻井的数量都有增加。由于西部油田许多区块的油藏岩性变化较大,必须对各主要区块有代表性的油藏岩心进行全面的储层保护研究工作。

油气层损害的实质就是储层中流体渗流阻力的增加、渗透率的下降。在钻开油气层、注水泥、射孔试油、酸化、压裂、采油、注水、修井等施工过程中都会不同程度地破坏油气层原有的物理-化学平衡状态,并可能给油气层带来损害。油田的勘探与开发是一个系统工程,如果其中某个环节造成了严重的油气层损害,都可能使其

它工作无效,影响油田开发效果。因此,研究生产过程中可能造成的油气层损害因素,是分析判断油气层损害机理的基础,有助于根据油藏的损害机理采取有针对性的油气层保护措施。

根据国内外大量的室内研究工作和矿场应用的实践,在油气井钻井作业过程中可能导致油气层损害的原因有以下几个方面(见表 2):

表 2 油气井作业过程中可能导致油气层损害的原因及因素

序号	作业过程	导致油气层损害的原因及因素	
1	钻开油气层	1. 钻井液与储层不配伍: 2. 压差控制不当: 3. 浸泡时间过长: 4. 钻井液流速梯度过大: 5. 快速起下钻: 6. 钻具刮削井壁:	滤液可引起粘土膨胀,水锁,乳化;固相引起堵塞等 促使钻井液及固相易于进入地层 增大滤液浸入量 冲蚀井壁破坏滤饼,不仅促使滤液进入产层,而且易造成井眼扩大,影响固井质量 快速起钻的抽汲效应,可破坏滤饼,快速下钻的冲击可增大压差,从而促使钻井液浸入储层量的增加 一方面可破坏滤饼,使钻井液易于进入储层,另一方面泥抹作用,使固相嵌入渗流通道
2	注水泥	1. 水泥浆滤液进入储层: 2. 固井质量不好:	(1)造成粘土膨胀分散;(2)水泥的水化作用使氢氧化物过饱和和重结晶沉淀在孔隙中;(3)滤液中氢氧化物与地层硅起反应生成硅质熟石灰成为粘结性化合物 后继工作液会沿水泥环渗漏入地层造成损害