



陆相油藏 开发论

金毓荪 隋新光 等著



石油工业出版社

陆相油藏开发论

金毓荪 隋新光 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是一本从理论的高度论述关于中国陆相油藏开发的专著,与一般开发类图书不同的是,本书集中概括为基础、对策、规律、理论、管理、哲理六个部分加以阐述。导论部分对中国陆相油藏分层开发论的内涵、以辩证唯物主义指导的开发哲学等作了进一步的探讨。

本书可供从事油藏开发工作的工程技术人员、油藏研究人员、管理人员及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

陆相油藏开发论/金毓荪等著.

北京:石油工业出版社,2006.6

ISBN 7-5021-5437-X

I. 陆…

II. 金…

III. 陆相油气田-油田开发-研究-中国

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 012534 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.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:24.75 插页:1

字数:403 千字 印数:1—2000 册

定价:87.00 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



参加《陆相油藏开发论》第六次审稿会人员合影

《陆相油藏开发论》编委会

主 编：金毓荪

副主编：隋新光 袁庆峰 赵世远

编 委：(按姓氏笔画为序)

万建荣 王大庆 王建新 刘 冰 刘 启 刘雨芬
刘国涛 刘颖萍 刘翔鹤 孙品月 李永伏 李国昌
闫亚茹 冯效树 余庆东 何鲁平 杨广山 林志芳
苗厚纯 梅 江 巢华庆 甄 鹏 裘恽楠 蒋其圯
裴占松 潘景伟

《陆相油藏开发论》编写人员

导 论：金毓荪 蒋其圯 隋新光

第一篇基础：裘恽楠

第二篇对策：赵世远 刘颖萍 裴占松 余庆东

第三篇规律：袁庆峰 赵世远 闫亚茹 孙品月

第四篇理论：第一章：刘雨芬

第二章：何鲁平 林志芳

第三章：刘翔鹤

第五篇管理：第一章：何鲁平 林志芳

第二章：谢绪权 张今弘

第三章：葛家理 林志芳

第六篇哲理：李国昌 梅 江 巢华庆

前 言

中国是世界上发现陆相油藏最多、储量最大的国家。从1907年发现延长油田,1939年发现老君庙油田,1955年发现克拉玛依油田,特别是1959年松基三井喷油,1960年发现特大陆相油田——大庆油田,彻底打破了陆相不能生成大油田的论断。后来又相继在松辽盆地、渤海湾盆地、陕甘宁盆地、吐哈盆地等很多陆相盆地发现了一大批陆相油田。据不完全统计,世界上有油气远景的陆相盆地面积为 $800 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中中国 $669 \times 10^4 \text{ km}^2$,占83.6%。截止到2004年底,中国发现的油田为559个,地质储量 $246.28 \times 10^8 \text{ t}$,其中91.2%为陆相油藏。

外国投入开发的油田绝大多数是海相油藏。陆相油藏与海相油藏相比有一些共性,但其地质特征(包括油藏圈闭类型、储集层特征、流体性质等)有很多不同的地方,因此陆相油藏的开发特征和开发规律与海相油藏相比有很大的区别。中国陆相油藏经过近百年的勘探开发,尤其是近50年的开发实践,创造性地解决了很多复杂的问题,积累了丰富的经验,取得了巨大的成功。同时结合中国的国情在不断地探索陆相油藏的开发规律,逐步形成了具有中国特色的陆相油藏开发模式和开发理论。

为了总结中国陆相油藏的开发经验,而且要上升到理论的高度,包括陆相油藏最基本的地质特征、开发特点、开发规律、开发对策、开发理论、战略管理和采油哲学等方面的理性认识,因此一批志同道合者,经过酝酿、协商取得一致认识,发起并组织编写了这本《陆相油藏开发论》。

为了写好这本书,组建了主要由中国石油勘探开发研究院专家室和大庆油田有限责任公司第一采油厂有关人员组成的编委会,历经两年时间,先后6次对提纲和书稿进行讨论,并邀请了一些油田开发方面的专家、学者一起参加讨论,提出了很多宝贵的意见。他们是(按姓氏笔画为序):王乃举、方德彭、石宝珩、刘万赋、李道品、张今弘、张朝琛、胡博仲、葛家理、潘兴国等,在这里谨向他们表示衷心的感谢。

参加编写《陆相油藏开发论》的作者,大都是长期从事油田开发工作的老专家,也有从事油田开发工作多年的中、青年专业技术人员,他们都是中国陆相油藏开发的实践者和研究者,这本书是大家集体创作的结晶。

全书由赵世远统稿和审核,蒋其垵参加了本书的审核工作,最后由金毓荪审

查、定稿。

本书在编写过程中,中国石油勘探开发研究院、大庆油田有限责任公司第一采油厂、大庆油田勘探开发研究院和石油工业出版社等单位给予了很大的支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于本书的定位具有自身的特点和难点,且作者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

目 录

导论	(1)
参考文献	(21)

第一篇 基 础

第一章 陆相油藏的基本开发地质特征	(25)
第一节 陆相油藏储集层	(25)
第二节 陆相油藏原油及油层水	(28)
第三节 陆相油藏的圈闭类型	(30)
第二章 陆相油藏地质特征对基本开发战略的影响	(33)
参考文献	(35)

第二篇 对 策

第一章 陆相油藏天然能量低的对策	(39)
第一节 陆相油藏天然能量分析	(39)
第二节 陆相油藏必须采取早期注水人工补充驱动能量	(39)
第二章 储集层严重非均质的对策	(47)
第一节 认识储集层非均质特征是开发好陆相油藏的基础	(47)
第二节 细分开发层系合理选择井网	(50)
第三节 发展分层开采技术改善油藏开发效果	(62)
第四节 陆相油藏开发的分阶段性	(72)
第三章 油藏原油物性差的对策	(80)
第一节 对原油物性差的油藏开采特点的认识	(80)
第二节 采取比较强的注采井网和注采压力系统,提高和改善开发效果	(87)
第三节 重视和搞好高含水开采阶段的油藏开发工作,努力提高最终 采收率	(90)
第四节 采用热力开采方式开发稠油油藏	(92)
第四章 断层发育油藏的对策	(104)
第一节 断块油藏开发要分块治之、区别对待	(105)

第二节	搞好断块油藏的开发调整,努力提高水驱控制程度,改善开发效果	(112)
第三节	复杂断块油藏的开发要采取滚动勘探开发的程序	(117)
第五章	低渗透及裂缝发育油藏的对策	(122)
第一节	裂缝性砂岩油藏储集层的地质特征	(122)
第二节	裂缝性砂岩油藏的开采特征	(124)
第三节	裂缝性砂岩油藏合理的井网部署	(126)
第四节	裂缝性砂岩油藏的开发技术政策	(130)
第六章	提高石油采收率的对策	(134)
第一节	提高石油采收率的意义	(134)
第二节	提高石油采收率方法及应用程序	(135)
第三节	聚合物驱油技术	(140)
第四节	复合驱油技术	(148)
第五节	混相和非混相气驱采油技术	(153)
第六节	微生物提高采收率技术	(156)
参考文献	(159)

第三篇 规 律

第一章	油田开发不同阶段的开采规律	(163)
第一节	油田开发阶段划分	(163)
第二节	油田注水开发的不同阶段应采取不同的调整措施和调控指标	(168)
第二章	水驱油田开发基本规律	(177)
第一节	油水两相渗流规律——相对渗透率曲线	(177)
第二节	采油过程中反映流体流量之间变化规律的水驱特征曲线	(184)
第三节	反映单层水淹厚度变化特征的厚油层水淹规律	(191)
第四节	反应油藏开发过程中单井瞬时油层压力变化规律的的压力恢复(降落)曲线	(197)
第五节	反映油层孔隙结构特征规律的毛管压力曲线	(203)
第六节	反映油田开发产量变化规律的递减曲线	(208)
第七节	反映油层及流体与注入剂、注入压力配伍性规律的油层敏感性现象	(212)

第八节	反映开发过程中油层工作方式规律的流入动态曲线	(219)
第九节	井网密度与采收率关系的规律	(222)
第十节	反映水驱油田高含水期油层中油水变化特征的剩余油分布规律	(226)
第三章	油藏开发趋势的认识	(233)
第一节	反复实践不断认识的开发历程	(233)
第二节	先易后难的开发程序	(238)
第三节	分而治之的开发方法	(239)
第四节	物质平衡的驱动方式	(240)
第五节	逐步强化的开采手段	(244)
参考文献		(250)

第四篇 理 论

第一章	陆相油藏地质学	(253)
第一节	层组划分对比理论	(254)
第二节	油层沉积相研究理论	(256)
第三节	油层四性关系研究理论	(259)
第二章	油藏工程学	(263)
第一节	陆相油田分层注水开发理论	(263)
第二节	复杂断块油田滚动勘探开发理论	(267)
第三节	低渗透油藏开发理论	(268)
第三章	采油工程学	(271)
第一节	采油工程学的基础理论和技术	(271)
第二节	分层开采采油工程技术理论	(277)
第三节	油田区块整体优化压裂技术与理论	(279)
第四节	油藏深部调剖、堵水、液流转向和调驱作用机理与技术	(284)
第五节	油田套管损坏原因的分析研究	(291)
参考文献		(293)

第五篇 管 理

第一章	油藏管理	(297)
第一节	油藏管理内涵	(297)
第二节	不同开发阶段油藏管理主要任务及内容	(299)

第三节 油藏规范化管理实例	(304)
第二章 采油经济	(307)
第一节 采油经济学概念	(307)
第二节 油田采油经济学原理	(309)
第三节 油田开发经济评价方法	(314)
第三章 油田开发战略	(328)
第一节 现代战略学概要	(328)
第二节 陆上油田开发战略的发展	(337)
第三节 陆上油田开发战略展望	(345)
参考文献	(359)

第六篇 哲 理

第一章 认识和实践

——对油藏的认识在实践中产生、在实践中发展

 第一节 实践是认识的基础和动力

 第二节 认识的过程和反复

 第三节 认识的先导和深入

第二章 普遍和特殊

——油田开发的灵魂是具体问题具体分析,区别对待

 第一节 界定不同油藏不同的特性

 第二节 正确处理一般和个别的关系,创造各自油田的开发特色
.....

第三章 对立和统一

——抓住油田开发中的主要矛盾,找到解决矛盾的方法

 第一节 要善于牵“牛鼻子”

 第二节 运用矛盾相互转化的原理,创造条件促进矛盾向有利方面转
化

 第三节 不同质的矛盾用不同质的方法去解决

第四章 系统和过程

——油田开发作为系统而存在,又作为过程而发展

 第一节 油田开发中的系统观

 第二节 油田开发中的过程论

第三节	运用事物相互联系和协调发展的原则,正确处理与油田开发 相关的各方关系	(377)
第五章	人与油藏	
	——以人为本,达到人与油藏的和谐结合	(380)
第一节	充分发挥人的主观能动性,提高科学思维的能力	(380)
第二节	勇于实践,善于学习,勤于总结	(381)
第三节	紧跟时代步伐,在科技创新上下工夫	(383)
参考文献	(384)

导 论

油田开发的规律——这是任何指导油田开发的人不能不研究和不能不解决的问题。

陆相油田开发的规律——这是任何指导陆相油田开发的人不能不研究和不能不解决的问题。

陆相油田注水开发的规律——这是任何指导陆相油田注水开发的人不能不研究和不能不解决的问题。

我们已经开发了几百个油藏,这些油藏绝大多数为陆相沉积,这些油藏又绝大多数采用注水开发并取得了成功。“实践是检验真理的唯一标准”,所以我们不但应该研究和总结一般油田开发的规律,还要研究和总结特殊的陆相油田开发的规律,还要研究和总结更加特殊的陆相油田注水开发的规律。

进行这种研究和总结的工作大体在两个层面(次)上开展。一是战术层面的研究和总结,这在国内三大石油公司、各个油田企业、高校、学术机构团体以至个人的工作报告、年度总结、专题、论文、专著、演讲等场合发表得相当广泛了,连篇累牍、琳琅满目,令人目不暇接。然而另一类属于战略层面上的研究和总结则十分稀缺。所谓战略层面上的研究和总结,即是研究带全局性的、起决定作用的、有整体影响的油田开发指导规律,不是针对那些局部问题、细节问题和短期行为问题。这些全局性的东西往往看不见、摸不着,只能依靠人们的思维去掌握。应该说油田开发战略研究的难度更大、作用更大,而如果深钻进去能有所得,也是意义更大。开展这些研究和总结的目的只有一个,就是通过(主要)在中国这块土地上,(主要)依靠自己力量和智慧开发的陆相注水油田的宝贵实践,总结经验,进行理性的分析和梳理,从感性认识上升到理性认识,找出规律,凝聚为理论,以进一步提高对油田开发的指导能力,提高驾驭油田开发全局工作的能力,以便在新的历史时期,应对新的油田开发的机遇和挑战。相信进行这项工作将是十分有价值的。

本着上述想法,我们——一批自20世纪50年代以来经历了多个时





期,从事油田开发工作的过来人,和一批当今战斗在油田开发第一线的中、青年专家们讨论汇集提出我们的一些看法,有以下 10 个方面,抛砖引玉,以供工作中参考。

一、对油田开发规律的认识是发展的

油田开发规律的探索与研究,如同其他事物一样,要因时、因地、因内外条件、因开发对象而异。人们不难理解,即使在中国范围内,今天对油田开发规律的认识和研究,与一百年前延长油矿的开采是大大不同了。延长油矿成立于 1905 年,当时处于石油工业初创阶段,只要在中国、在陕北找到油,能采出来,还炼成好油品就是极大的成功,至于开采规律性方面的认识几乎还谈不上。今天的认识与研究又和 50 多年前开发克拉玛依油田时也极不相同。当时主要困惑于储集层的性质究竟是碎屑状砂岩还是洪积相砾岩以及由此而带来的开发政策方针的调整。今天的认识和研究还和 40 多年前举世闻名的大庆油田的开发也不一样,处于当时的时代背景,要“高速度、高水平拿下大油田”为国家分忧,“迅速甩掉石油工业落后帽子”,所采取的一系列油田开发政策措施等,发挥了不可磨灭的历史功绩,然而今天回顾起来,也存在许多要“与时俱进”重新认识的地方。譬如当时强调的“油田长期稳定高产”,现在看来就不再能作为油田开发工作追求的唯一目标和衡量油田开发水平的主要标志,不能作为油田开发的唯一模式。

上述种种区别和不同,不仅表现在时间上(历史进程)的极大迥异,在内涵上也是很不相同的,主要在以下 4 个方面体现当前的新发展:

一是着眼点和思维方式的发展。在当今世界多极化、经济全球化、科技信息化的背景下,思考油田开发,不能再局限在“孤立”的、具体的油田范围内,也不仅仅是对一种能源矿产资源的利用问题,而是要涉及到国家政治、军事、安全、经济社会协调持续发展、社会稳定、环境生态保护等多方面的问题。

二是宏观要求的发展变化。随着由计划经济向社会主义市场经济的转型时期,国家的宏观要求与政策导向有了明显改变。20 世纪 80 年代中期开始,就提出“经济和社会的发展战略,从片面追求工业特别是重工业产值产量的增长,开始转向以提高经济效益为中心”,当前更强调“树立经济与社会全面、协调可持续发展的科学发展观”。对油气开发建设的要求,由强调增加原油产量到提出“要积极开发天然气和海上

油气田”；坚持油气“增产与节约并举，把节约放在优先位置”，还提出“利用国外资源”，以及“提高天然气消费比重、开发燃料酒精等石油替代产品，采取措施节约石油消耗”。“加强石油资源勘探、合理开发石油资源”，“实行石油进口多元化，建立国家石油战略储备，维护国家能源安全”。从这些发展变化中凸现出国家对石油开采的思虑和举措，应是我们油田开发战略研究的依据和出发点。

三是科学技术进步带来的发展变化。一方面是促使能够投入开发的油藏类型越来越丰富多样；另一方面新的技术带来许多新的开发思路。如对待低渗透率油藏，由过去依靠天然产能向人工压裂增产助产发展，并由过去单井压裂改造向一个区块和油田的整体压裂发展，使人工压裂裂缝、原始赋存的天然裂缝与井网部署三者结合起来，大大拓宽了开发的思路；最新应用的多种水平井、定向井、多支多底井技术，改变和增加了油藏泄油的方向通道和空间，各种水平井与直井组合的井网优化，丰富了油田开发的模式；在注水时机上一些低渗透油田由早期注水向投入开发之前的超前注水发展；还有以井下永久式传感器为主体的智能化完井技术、“仪表化油田”、“数字油田”技术等都给油田开发提供了新的思维、提出了新的课题，无疑必将影响油田开发规律的认识和研究。

四是油田自身开发阶段的深化和发展。一个油藏大体要经历产能建设准备阶段、相对高产稳定阶段、产量递减阶段、低产量延续开采阶段，以至最终丧失经济效益而废弃阶段。对于注水开发的油田，这些阶段与含水变化情况相对应，而分为无水期、低含水期、中含水期、高含水期、特高含水期、基本水淹等不同开采时期。已有的大量实践表明，按含水高低来划分大的开发阶段，对认识开发规律较为实用。通过大庆油田“小井距开发试验”资料，比较经典地揭示出以下规律：从油井无水采油期到低含水阶段，是油井逐步见效，采油指数上升，生产力旺盛时期；当含水由 20% 上升到 60% 左右，是较为稳定的生产阶段；到含水 80% 以后，采油指数下降，产量有明显递减的趋势。

可见，在油田开发初期或早期一些没有认识到的矛盾，随着开发阶段的深入得到了比较充分的暴露。有利于人们进一步认识开发的规律。所以不同时期开发的油藏由于目标不同，做法不同，油田企业的外部、内部环境条件不同，因而得出的规律认识也就不同。即使是同一时期开发，由于油藏类型不同，各自的自然属性不同，再加上不同



时期采取了不同的工艺技术措施、不同的布井要求等,这样得出的开发特征也不会相同。即便是同一时期开发同一油藏,又由于其不同区块实际发生的水淹状况不同、含水程度不同、反映在各类油层的储量动用程度不同,因此各个开发指标、开发特征又是不同。所以掌握油田开发规律实在不是件容易的事,需要用手(收集资料数据、做开发实验)、用脑(去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里地认真思考)“上下求索”,才能有一定结果。

二、油田开发工作的战略地位

“大家知道,不论做什么事,不懂得那件事的情形、它的性质、它和它以外的事情的关联,就不知道那件事的规律,就不知道如何去做,就不能做好那件事。”(引自《实践论》)同样,要想做好油田开发这件事,就需要知道油田开发在整个石油工业中的地位及作用,知道它的性质,它和石油工业上、下游其他环节的关系。

石油工业习惯地分上游和下游两大段,上游泛指石油生产,下游指石油加工。上游又分勘探与开发两大部分。勘探工作的目的是以较为经济的办法,在尽可能短的时间内探明盆地含有的石油储量,发现油田;开发工作的目的是在油气田发现后,以较少的投入,以尽可能好的经济效益和较高的采收率把油气采出来。

从这里可以看出油田开发工作所处的地位和发挥的作用如下:

(1)从石油工业生产链(产业链)的关系来说,油田开发工作是勘探工作的延伸和继续。有的专家形象地比喻二者的关系与差别:勘探地质家研究的是石油如何生成又从生成到进入油气藏的过程;而开发地质家则是研究石油如何从油气藏中被采出的过程。只有油气被采了出来,石油工业的全局就活了,也才有作为商品的油气提供给后续的加工和利用,所以其承前启后的作用,不可或缺。如果没有油田开发这一环节,石油产业链是不完整的。

(2)从石油工业的价值链关系来说,没有开发,前期庞大的勘探投入就沉没于地下,油气资源不可能转化为现实的储量资产,更无法体现实际的经济效益。至于其后的储运、销售、加工、利用、增值等等,都将成为空中楼阁。因此油田开发是一个非常关键的环节。

(3)最后,从人与自然的认知链关系来说,油田开发是对上一勘探过程的检验。只有经过开发生产环节,人对油藏的认识才能不断补充、不断修正,最终逐步完善起来。这种认识是从静态的认识发展到动态认



识的新阶段,认识的精度和水平产生了质的提高。所以专家评论:不到油田开发終了时,这种认识不可能完结,而有的特殊油田也可能到油田开发終了还没有完全认识其“庐山真面目”呢!

由此可见,油田开发工作至关重要,油田开发工作者肩负着光荣的重要使命。

三、石油开采的特点

要研究油田开发的规律,首先要了解其基本的特点。油田开采属于采掘工业,采出地下的油气资源,其生产的产品是一种原料,不能再生。油气在地下赋存的状态、性质、品位、埋藏量等受自然条件的绝对控制。

采油与采煤、采铁等虽然同属采掘工业,但其工作特点有极大的差别,存在许多不同,油田开采在自然属性方面的主要特点是:

(1) 隐蔽性。

油藏深埋地下,一般从几百米到几千米不等,目前开发油田的深度不超过 6000m,其平面上分布从几平方千米,几十平方千米,到几百万平方千米。这样巨大的地质体,人们不可能将其覆盖地表揭开进行直接观察,只能通过钻井的离散井点取得岩样,而岩样只是其总体的千万分之一,甚至几亿分之一,即使井网、层系划分得细之又细,即使每口井都全部取样,1km² 也不到 100 口井,所能直接接触到的样品与所研究的地质体来比较,仍然是少之又少,何况在实际生产中这也是做不到的。更多的是要通过地震、测井、测试等间接资料,加上综合的分析,科学的推断,在人们的头脑里构建出尽可能逼近真实的“虚拟”地下油藏景象。这项工作当代先进的计算机技术辅助下,在精度上有很大提高,但无法改变油藏隐蔽性的本质特点。

(2) 流动性。

油气在油层中呈流体状态存在,一般还伴生天然水体。在油田投入开发前,经过漫长的地质年代,油气从生油区运移和聚集,形成油藏。投入开发以后的油田,同样也可以看作是经历了再运移、聚集到生产井采出的过程,不过前一过程是极其极其漫长的,后一过程是相对短时间和短距离进行的;前一过程是自然发生的,后一过程是人工干预进行的。由于这种流动性,本来在油藏中不同部位随机分布的油气水流体,又发生新的流动变化。有时在开发过程中,为了不断扩大水淹体积,还特意去改变油气运移的方向和流动速度,所以地下流体状况参差不齐、极其复杂。掌握其运动的轨迹,比开采固体矿藏困难得多。