

金毓荪 巢华庆 赵世远 等编著

采油地质工程

CAIYOU DIZHI GONGCHENG

(第二版)



石油工业出版社

登录号	216392
分类号	TE14
卷号	001(2)

采油地质工程

(第二版)

金毓荪 巢华庆 赵世远 等编著



石油大学 0217056

石油工业出版社

内 容 提 要

这是一本专门介绍油田投入开发以后,采油地质工程方法的书。本书主要是结合大庆油田开发 40 多年的实践和国内外油田开发的经验及研究的成果,着重介绍了在采油过程中油藏地质基础研究、油藏动态监测、油藏动态地质管理、油田开发调整、油田开发现场试验和油田开发经济评价的技术和做法。

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

(双二策)

图书在版编目 (CIP) 数据

采油地质工程/金毓荪等编著. —2 版

北京:石油工业出版社, 2003.7

ISBN 7-5021-4218-5

I. 采…

II. 金

III. 石油开采—工程地质

IV. TE14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 027249 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)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 40.5 印张 1032 千字 印 1—2000

2003 年 7 月北京第 1 版 2003 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4218-5/TE·2967

定价: 90.00 元

《采油地质工程》(第二版) 编委会

主 编: 金毓荪

副主编: 巢华庆 赵世远

编 委: 袁庆峰 徐正顺 杜国民 李凤林 董焕忠 隋新光

闫亚茹 刘颖萍 朱 南 裴占松 余庆东 孙冠杰

参加编写和修订的人员

再版绪论 金毓荪 赵世远 韩用光

第一篇 第一章 吴艳菊 隋凤芝

第二、三章 裴占松

第四章 袁庆峰

第五章 刘雨芬

第二篇 第一章 赵世远

第二章 钟孝全

第三章 张宝群 张维平 郑希科 张月秋 刘继生

荆万学 邓 荣

第四章 魏国章

第三篇 第一章 孙冠杰 梅启太 吴俊海 张艳波 李 青

第二章 钱深华

第三章 史春华 赵 进

第四篇 第一章 刘青年 刘 琦 李 冰

第二章 黄福堂 刘青年

第三、五章 袁庆峰

第四章 周圣民 李自平

第六章 裴占松

第五篇 第一、三章 赵世远 于润涛

第二章 叶中桂 林 影

第六篇 赵世远 余庆东

第七篇 巢华庆 董志林

《采油地质工程》(第一版) 编委及参加者名单

主 编: 金毓荪

编 委: 赵世远 程兆惠 袁庆峰 陈永生 刘春发 李其鑫

廖炎光 陈大方 李忠荣 孟庆燧 尹立柱 孙冠杰

参加人员: 区永迪 冀宝发 刘青年 梁慧文 万心燧 赵翰卿

叶中桂 贾修信 刘子晋 勾燕生 王友斌 陈家宝

徐正顺 罗祥忠 田宝成 张自竖 罗文钊 周继德

刘进义 张广志 杜庆康 林玉君 陈宏宾 杜智文

金毓荪 第一章 第一章

李其鑫 第二章 第二章

孙冠杰 第三章 第三章

尹立柱 第四章 第四章

王友斌 第五章 第五章

周继德 第六章 第六章

田宝成 第七章 第七章

张自竖 第八章 第八章

罗文钊 第九章 第九章

陈宏宾 第十章 第十章

杜智文 第十一章 第十一章

李其鑫 第十二章 第十二章

孙冠杰 第十三章 第十三章

尹立柱 第十四章 第十四章

王友斌 第十五章 第十五章

周继德 第十六章 第十六章

田宝成 第十七章 第十七章

张自竖 第十八章 第十八章

罗文钊 第十九章 第十九章

陈宏宾 第二十章 第二十章

杜智文 第二十一章 第二十一章

李其鑫 第二十二章 第二十二章

孙冠杰 第二十三章 第二十三章

第二版前言

《采油地质工程》(第一版)于1985年出版,距现在已有18年了。在这18年中,我国的石油工业有了极大发展,开发较早的油田也都发生了很大的变化,油田的开发经验也更加丰富了,油田开发的科学技术也在不断地深入和进步。

《采油地质工程》的主要内容是采油过程中的采油地质工作方法,是将长期油田开发实践中积累的经验、研究的成果以及行之有效的方法加以总结和提高,用来指导油田开发,提高油田开发水平。

本次对《采油地质工程》进行修订,改动较大,删掉了部分过时的内容及与其他书籍重复的章节;增加了一些新的研究成果,如聚合物驱采油动态地质管理、采油过程中油水井套管损坏状况的变化、油田开发调整经济评价等。

参加原书编写的人员大都已退休,因此修订再版的组织工作比较困难。但由于大庆油田有限责任公司和大庆石油管理局的支持和帮助,使本书再版得以顺利进行。同时,大庆油田各采油厂、勘探开发研究院、测试技术服务分公司、测井公司等单位都积极参与了本书的修订工作。尤其是采油一厂地质大队,为本书的修订创造了良好的条件,做出了很大的贡献。中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院和石油工业出版社也做了大量的工作,在这里谨向他们表示衷心的感谢。

参加《采油地质工程》(第二版)的编写和修订工作的人员,既有已经退休的老专家、老技术人员,又有中、青年的专业技术人员,他们都是大庆油田开发过程中的实践者、研究者,因此,本书是大庆油田开发系统科技人员的集体创作。

全书由赵世远统稿和审核,并由金毓荪、巢华庆审查、定稿。袁庆峰参加了本书的审核工作。

本书主要总结了大庆油田开发40多年的生产实践和研究成果,基本代表了中国陆相大型油田开发的采油地质工程方法,属于中国陆相油藏开发模式的一个典型。希望本书的修订再版为我国高水平、高效益和合理开发石油资源起到有益的启示和借鉴作用。

本书的参考文献只列出了正式出版的书刊,很多内部的出版物均未列出,特与说明,并表示感谢。

由于我们水平有限,书中难免有不当之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2003年3月

第一版前言

我国砂岩油田注水开发,已经有30年的历史,特别是20世纪60年代以来,随着大庆油田、胜利油田、大港油田、江汉油田、扶余油田、辽河油田和中原油田等相继投入开发,使我国石油工业得到了蓬勃的发展,已成为世界上原油产量比较高的国家。

油田开发是一门综合性很强的科学,油田开发过程中的采油地质工程方法,越来越显示出它的重要性,很需要把长期油田开发实践中积累的经验、研究的成果以及行之有效的方法加以总结和提高,用来指导油田开发,提高油田开发水平。《采油地质工程》一书的编写就是为了达到这个目的。

本书编委会就本书内容反复多次讨论,这是一本集体创作。

本书主编金毓荪。

编写人员有:金毓荪(绪论),李忠荣(第一篇第一、三、四、五章),赵翰卿、张广志(第一篇第二章),袁庆峰(第一篇第六章,第四篇第三、五章),万心燚(第一篇第七章),李其鑫、王友斌、陈家宝(第二篇第一、二、四章),贾修信(第二篇第三章),勾燕生(第二篇第五章),刘春发、杜庆康(第三篇第一章),孙冠杰、周继德、罗文钊、刘进义(第三篇第二、三章),程兆惠(第三篇第四章),刘青年(第四篇第一、二章),刘子晋(第四篇第四章),梁慧文(第四篇第六章、第五篇第二章),田宝成(第四篇第六章),冀宝发、徐正顺(第五篇第一、四章),赵世远、区永迪、叶中桂(第五篇第三、五章),廖炎光、陈永生(第六篇)。

全书由赵世远、程兆惠、孙冠杰编辑,由主编金毓荪审定。

本书在编写过程中,石油工业部谭文彬同志、石油勘探开发科学研究院李德生、童宪章、秦同洛同志,大庆石油管理局李虞庚等同志给了大力支持并提出了很好的意见。大庆各采油厂、公司和油田勘探开发研究院等单位都给予了大力的支持,在此一并表示谢意。

本书的参考文献只列出了公开出版的图书文献,大量油田内部资料均未列入,特此表示谢意。

《采油地质工程》一书的编写工作,由于时间仓促,水平有限,难免有许多不妥之处,恳请读者多加批评指正。

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一篇 采油地质基础

第一章 油藏构造及沉积相研究	(13)
第一节 油藏沉积相研究及储层微型构造研究的内容和方法	(13)
第二节 河流—三角洲沉积的油层对比方法	(24)
第三节 大型河流—三角洲体系砂体沉积特点和模型	(38)
第四节 油田开发的不同阶段油藏描述的重点	(51)
第五节 沉积相研究在油田开发中的作用	(53)
第二章 储层岩石的物理性质	(58)
第一节 储层岩石的孔隙度及压缩系数	(58)
第二节 储层岩石的渗透率	(65)
第三节 储层流体的饱和度	(68)
第四节 储层岩石表面的润湿性	(70)
第五节 相对渗透率曲线	(75)
第六节 毛细管压力曲线及应用	(83)
第三章 油藏的压力系统与温度	(90)
第一节 油藏的压力系统	(90)
第二节 油藏的温度及油层岩石的热学性质	(94)
第四章 油藏的天然能量	(98)
第一节 天然水驱能量的分析和计算	(98)
第二节 弹性能量的分析和计算	(101)
第三节 溶解气的能量分析和计算	(102)
第四节 气顶能量分析和计算	(103)
第五章 石油储量计算	(107)
第一节 储量概述	(107)
第二节 地质储量计算方法	(108)
第三节 可采储量计算方法	(119)
第四节 储量评价	(123)

第二篇 油藏动态监测

第一章 油藏动态监测概述	(133)
第一节 建立动态监测系统	(133)
第二节 动态监测主要内容	(134)
第二章 现代试井分析方法及应用	(140)

第一节 概述	(140)
第二节 试井分析方法的理论基础	(141)
第三节 现代试井解释方法原理	(146)
第四节 试井资料的应用	(154)
第五节 实测压力恢复试井典型曲线	(166)
第三章 生产测井方法及应用	(171)
第一节 采油井产出剖面的测井方法及应用	(171)
第二节 注水剖面测井方法及应用	(190)
第三节 产层参数测井方法及应用	(204)
第四节 水淹层测井监测方法及应用	(213)
第五节 聚合物驱注产剖面测井方法及应用	(219)
第六节 工程测井方法及应用	(222)
第四章 密闭取心检查井的资料录取和应用	(240)
第一节 密闭取心检查井的井位部署	(240)
第二节 检查井密闭取心方法和技术要求	(242)
第三节 岩心资料的录取和应用	(244)
第三篇 油藏动态地质管理	
第一章 油水井动态地质管理	(255)
第一节 自喷井动态地质管理	(255)
第二节 机械采油井地质动态管理	(266)
第三节 注水井动态地质管理	(276)
第四节 注采井组动态地质管理	(285)
第二章 油藏动态地质管理	(290)
第一节 油藏动态分析的内容和方法	(290)
第二节 油藏开发动态指标预测	(306)
第三节 年度采油计划与综合调整方案的编制	(330)
第三章 聚合物驱采油动态地质管理	(338)
第一节 聚合物驱采油概述	(338)
第二节 开发区块聚合物驱方案设计	(339)
第三节 聚合物驱油的动态反映特征	(352)
第四节 区块聚合物驱效果分析及调整	(357)
第四篇 油藏地质及动态变化	
第一章 采油过程中油层性质的变化	(379)
第一节 油层岩石表面润湿性的变化	(379)
第二节 油层孔隙结构的变化	(380)
第三节 油层温度的变化	(384)
第二章 采油过程中油、气、水性质的变化	(393)
第一节 地层原油的流变性质及其变化	(393)

(第二节) 地层原油常规高压物性参数的变化	(396)
(第三节) 地面油、气、水性质的变化	(399)
第三章 采油过程中压力的变化	(410)
(第一节) 地层压力和流动压力的变化	(410)
(第二节) 不同开采条件下各种压力的合理界限	(417)
第四章 采油过程中油水井套管损坏状况的变化	(427)
(第一节) 油水井套管损坏的状况	(427)
(第二节) 套管损坏的原因分析	(429)
(第三节) 油、水井套管防护	(439)
第五章 采油过程中油层内油水的分布规律	(443)
(第一节) 影响油层内油水分布状况的主要因素	(443)
(第二节) 地下油水分布的研究方法	(449)
(第三节) 不同类型油层地下油水分布特征	(454)
第六章 采油过程中生产动态的变化	(479)
(第一节) 油田生产能力的变化	(479)
(第二节) 油层吸水能力的变化	(481)
(第三节) 油井和油田含水率的变化	(483)
(第四节) 油井和油田产液量的变化	(487)

第五篇 油田开发调整

第一章 开发层系、井网适应性分析	(495)
(第一节) 概述	(495)
(第二节) 开发层系适应性分析	(501)
(第三节) 注水方式适应性分析	(511)
(第四节) 开发井网适应性分析	(517)
第二章 开发层系、井网的调整	(526)
(第一节) 调整对象的选择	(526)
(第二节) 调整层系的组合与划分	(531)
(第三节) 注水方式和合理井距的确定	(537)
(第四节) 调整方案开发指标预测方法	(541)
(第五节) 调整井射孔方案的编制	(548)
第三章 注采系统调整	(557)
(第一节) 注采系统调整的原因	(557)
(第二节) 注采系统调整的原则与方法	(559)

第六篇 油田开发现场试验研究

第一章 为合理开发油田开展的试验	(569)
(第一节) 试验的目的和特点	(569)
(第二节) 矿场试验实例——高台子油层开发试验区	(570)
第二章 为认识油田开发问题开展的试验	(572)

第一节 试验的目的与条件	(572)
第二节 矿场试验实例——中区西部开发试验区	(572)
第三章 改善油田开发效果的试验	(576)
第一节 试验的目的与特点	(576)
第二节 矿场试验实例——杏一区东部降压开采试验	(576)
第四章 提早认识油田开发全过程的试验	(578)
第一节 试验的目的与特点	(578)
第二节 矿场试验实例——大庆油田“小井距”注水开发全过程试验	(579)
第五章 为层系、井网调整开展的试验	(583)
第一节 试验的目的与特点	(583)
第二节 矿场试验实例——喇嘛甸油田南块开发试验区	(583)
第六章 工艺技术试验	(587)
第一节 试验的目的和特点	(587)
第二节 矿场试验实例	(587)
第七章 提高油田采收率的试验	(589)
第一节 试验的目的和意义	(589)
第二节 矿场试验实例——中区西部聚合物驱油矿场试验	(590)
第八章 试验区的选择及应注意的问题	(600)
第一节 试验区的选择	(600)
第二节 试验的观察与分析	(601)
第三节 矿场开发试验应注意的几个问题	(603)

第七篇 油田开发调整经济评价

第一章 油田开发调整经济评价概述	(607)
第一节 油田开发调整经济评价的意义	(607)
第二节 油田开发调整经济评价的内容和作用	(607)
第三节 开发调整方案经济评价的原则	(608)
第二章 油田开发调整经济评价方法	(609)
第一节 油田开发调整投资估算方法	(609)
第二节 油田开发调整方案的成本与费用估算	(611)
第三节 产品收入与税金测算方法	(613)
第四节 财务盈利能力分析	(614)
第五节 财务分析报表	(615)
第三章 油田开发项目不确定分析及风险分析	(622)
第一节 敏感性分析	(622)
第二节 风险分析	(623)
第四章 油气开发项目方案比较方法	(626)
第一节 独立方案比较	(626)
第二节 互斥方案比较	(626)
第三节 相关比较及项目优选	(627)

第五章 规划方案的价值评估.....	(629)
第一节 价值评估概论.....	(629)
第二节 价值评估主要指标计算方法.....	(629)
第三节 价值评估实例.....	(631)

绪 论

《采油地质工程》是一门综合性的科学学科，同时也是一门实践应用技术。它主要是研究油藏投入开发后的开发地质管理方法、开采动态变化规律和开发调整挖潜措施、涉及相关的开发地质、地球物理、油田化学、油藏方程、钻井和采油工程技术学科的基本原理和方法，以最终目标使油田开发获得最佳的经济采收率。

《采油地质工程》在1985年出版了第一版，在这18年里，开发地质、油藏工程技术学科已取得了很大发展和技术进步，如储层描述技术、油藏精细模拟技术、复杂结构井钻采技术、开发地震和地球物理测井技术，以及三次采油化学驱技术等。尤其是油田进入高含水期深度开发阶段的时期，系统总结开采实践的经验，基本形成了我国陆相油藏开发的地质理论和开发模式。这些理论与实践以及技术进步，促进了采油地质工程的发展。

本书第二版主要是以大庆油田开发经验为基础，结合我国陆相油藏开发的地质理论，以开发模式为依据，对第一版进行了补充和修订。

我国现已开发的900多个油藏，绝大多数是陆相沉积的油藏。在油藏开发方面，通过大量的生产实践和科学研究，不断地探索和总结，已经形成了一套比较完整的、具有中国特色的油藏开发理论和配套技术。油藏开发是一项庞大的系统工程，它需要有多学科的知识 and 方方面面的配合，为了合理地开发石油资源，就必须从油藏实际情况出发，掌握油藏开采规律，遵循油藏开发的基本原则。通过总结认为，要搞好油藏开发，必须坚持以下八项原则。

一、油藏开发要立足于认识清楚油藏地质特征的原则

油藏开发是一项隐蔽和复杂的工程，同时也是投资回报丰厚、机遇与风险并存的工程，只有取全取准有关地震、地质、取心、测井、流体、试井和试采等资料，进行综合分析研究，对深埋地下油藏的地质特征和开采规律有比较接近客观实际的认识，对制定正确的开发方案和实施措施以及相应的经营策略才有依据和基础。中国已投入开发的油藏虽然类型繁多，但其主要开发地质特征可归纳为下面五个方面。

(1) 多相带储集层的垂向叠合，形成多油层、油层和隔（夹）层的薄层间互。油层层间、平面和层内的非均质严重，这是陆相油藏开发地质基本特征，它决定了陆相油藏进行注水开发时将出现层间、平面和层内开采的差异（矛盾）。为了提高开发效果，必须考虑合理划分开发层系，实行分层注水开发。

(2) 陆相油藏多属于多层状边水油藏，砂体相变快、连续性差，油水过渡带一般油层物性和原油性质变差，边水不活跃。为了提高开发效果，油藏投入开发一般需要早期采取补充能量措施。

(3) 陆相油藏生油母质中腐殖质居多，生成原油粘度一般偏高，含蜡量和凝固点也较高。若进行注水保持油层压力开发则油井含水上升快，因而高含水开采将是油田开发增储挖潜的主要阶段。

(4) 中国陆相油藏形成所处的大地构造和区域地质背景，决定了油藏普遍发育断层，这些断层一般都起遮挡作用，影响油藏（砂体）的连续性，若注水开发则井网部署要因地制宜，井排距不能过大。

(5) 陆相油藏储层多属近源沉积, 矿物和结构的成熟度低, 因而储层的孔隙结构复杂, 加上原油粘度偏高, 水驱油效率普遍较低, 因而改善注水开发的任务艰巨, 提高采收率的空间很大。

要认识油藏的地质特征和开采规律, 需要长时间的实践—认识—再实践—再认识的过程。不同的开发阶段, 积累的资料多少不同, 科学技术发展水平不同, 对油藏的认识程度差别很大。因此, 对油藏要有比较接近客观实际的认识, 需要在油藏开发的全过程中不断加深、逐步完成。油藏开发具有阶段性, 对油藏地下的认识需要分阶段才能完成。

大庆油田经过 40 多年的开发实践, 对油藏储层的研究和认识, 大体经历了三个阶段。

1. 早期采用小层对比方法, 分层研究储层阶段

20 世纪 60 年代属油田开发早期, 大庆油田处于编制开发设计方案、分区块逐步投入全面开发阶段, 资料相对比较少。这一阶段的储层研究工作, 在湖相成层沉积理论的指导下, 利用陆相盆地区域性多次旋回性构造运动、气候周期变化及水动力变迁对储层旋回沉积的敏感影响, 利用地质录井、地球物理测井、地震等资料, 通过百万次分析、百万次对比, 创造出“旋回对比、分级控制”的小层对比方法, 实现了分小层按油砂体认识油层。当时将大庆喇、萨、杏油田划分为三套油层、9 个油层组和 136 个小层。这个认识比以往只依靠标准层大段笼统对比, 整体平均认识油层的做法有很大进步, 为进一步的储层研究奠定了良好的基础, 也为油田分层开采提供了重要依据。

2. 应用沉积相理论, 从成因上深入研究储层阶段

20 世纪 70 年代中期到 80 年代, 大庆油田基础井网全面投入注水开发, 开发较早的萨中地区已开始了井网一次加密调整, 分层开采动态资料比较丰富。当时油田开发的突出问题是储层的非均质性, 反映在纵向上储层间的吸水能力、出油能力和水淹状况差异很大, 平面上储层局部舌进、扫油面积小, 储层驱油效率低, 含水上升快。这种现象与简单的湖相成层沉积不符合。

从沉积成因入手是研究和认识储层的根本途径, 通过学习国内外油田沉积相研究的成果, 利用测井曲线形态直观划相的新技术及当代沉积学理论, 确认了大庆长垣上的萨、葡、高油层属于松辽湖盆的一套大型河流—三角洲沉积, 油田北部发育有大量河道砂岩, 注入水的单层突进主要是沿河道砂岩主体带底部高渗透条带快速推进的结果。

以河流—三角洲沉积单元为描述基础的储层细分沉积相技术, 发展成为“旋回对比、分级控制、不同相带区别对待”的河流—三角洲沉积油层对比方法, 创造性地建立起了松辽湖盆大型叶状复合三角洲的“叠叶状”加积模式, 系统地识别出 10 种沉积砂体。

通过对河流—三角洲沉积模式、沉积相带及砂体成因类型的分析和认识, 为油田动态分析和开发调整提供了依据。如油田开发层系细分调整, 应尽量把相同沉积相带、相同成因及相同分布模式的砂体组合在一套开发层系中是比较理想的, 可以减少层间干扰, 获得好的开发调整效果。

3. 油田开发后期的储层精细地质研究阶段

20 世纪 90 年代油田开发进入高含水后期开采阶段, 油田地下油水分布极其复杂, 剩余油的分布高度分散, 调整挖潜的难度增大。这个阶段油田上已有了较密集的井网和大量的分层动态资料, 并且积累了储层细分沉积相的丰富经验, 储层研究和油藏描述向更精细方向发展, 主要表现在以下三个方面。

1) 开展河流相储层的精细地质研究和建立三维定量地质模型

应用油田密井网条件下的测井曲线,开展储层的精细地质研究,按照各类河流特有的沉积规律和各井点中保留的不同级次沉积界面,由大到小,由粗到细逐渐地解剖砂体几何形态和内部建筑结构,推测层内薄夹层分布规律,精细地建立起河流相储层沉积模型和渗透率非均质模型。然后采用地质统计学方法,以该模型为基础建立三维定量地质模型,实现对储层的定量描述。并结合开发动态资料,探讨储层中流动单元和剩余油的空间分布规律。采用这项技术能把储层在垂向上细分到单砂层,在平面上细分到沉积微相,并能在复合型砂体中识别出单一河流砂体,更准确地描述单一河道砂体的井间边界位置、几何形态、厚度和渗透率分布规律,揭示砂体内部建筑结构特征。

通过对储层的精细地质研究和认识,为油田高含水后期寻找剩余油、开展精细油藏数值模拟、编制加密调整方案提供了可靠的地质依据。

2) 研究储层的微幅度构造和小断层

油藏的整体构造形成受大地构造运动和区域应力场的控制,但由于局部地区受小范围地貌及差异压实作用的影响,不同层位的单砂层还会形成局部的微幅度起伏,这种微构造对注入水的分布也有明显的控制作用,尤其是对大面积分布的厚油层,对寻找剩余油富集区很有帮助,拓宽了挖潜的途径。利用密井网资料绘制较密集的单砂体顶、底界的海拔深度等值线(间距距小于5m),就能找出微构造形态。

通过单砂体微幅度构造研究,可进一步证实小断层的存在,而且对小断层的空间位置、分布形态的认识更加直观、准确,同时可提高断层附近油水连通关系的识别率。

3) 研究薄差油层、难采储层及表外储层的地质特征

所谓表外储层就是以油浸、油斑含油产状为主的泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和含钙粉砂岩,这类砂岩与已经计算储量的表内储层相比,具有单层厚度薄、夹层多、砂岩颗粒细、泥质含量高、砂泥分选差、胶结致密及孔隙度、渗透率、含油饱和度低等特点,长期认为没有开采价值,尚未计算储量。

为了认识这类储层的潜力,20世纪90年代以来,做了大量的研究工作,通过1500多口井的地质解剖、分析、研究,5个试验区45口井的试油、试采和试注水,11口取心井的岩心观察、取样、测定分析和研究,取得了对表外储层的地质特征、潜力分布、开采条件、产能特点、挖潜效果及开采经济效益等方面的认识。通过研究,建立了表外储层的地质模式,认识到表外储层不是简单的独立成层沉积,表内储层与表外储层是连续沉积的统一体。表外储层是表内储层向泥质岩演化中的过渡性岩相,主要分布在表内储层的顶、底、周边及内部变差带。由于对表外储层的认识和描述,使原有油砂体的含油面积、层数、厚度都显著增加,隔层分布状况明显变差,使人们对储层分布面貌的认识得到进一步修正和完善。

目前油田上开展的二次加密调整,尤其是三次加密调整,主要开采对象是这类油层,为油田调整挖潜找到了新的储量潜力。

二、优化油藏开发系统,高效开发油藏的原则

将原油从油藏中采出变为商品,是通过油田开发系统实现的,因而开发系统是高效开发油田、获取企业目标利润和最佳经济采收率的关键。对注水开发油田而言,开发系统主要是适合油藏开发地质特征和开采规律的注水、采油和地面集输为主的工程配套系统,高效开发系统,取决于油藏开发方案设计的优化和决策。

(1) 决策开发系统的主要原则是从油藏开发地质特征和开采规律出发,少投入、多产出、高收益率和高采收率。即:开发工程系统总投资少,采出经济产量多,企业内部收益率

高，经济采收率高。

(2) 油藏开发系统是开发方案的核心部分，高效开发系统是通过优化开发方案设计和方案实施措施实现的。油藏开发方案的基本内容包括油藏工程设计、钻（井）采（油）工程设计、地面工程设计和经济综合评价。其中油藏工程设计是开发方案的主要组成，它是钻采工程设计和地面工程设计的基础，也是经济评价的依据。经过技术经济综合分析评价和全系统的优化决策，确定了油藏开发方案和方案实施措施。

(3) 优化开发系统后十分重视做好三方面的工作。一是油藏开发设计必须从油藏实际情况出发，确定开发方式、开发层系、开发井网和注采系统，以及预测的开发指标，应符合油藏开发地质特征和开采规律。二是编制油藏开发设计、钻采工程设计和地面工程设计要按程序进行，协同完成，以求全系统合理配套，追求油藏开发整体的高效益。三是对上述设计做出经济分析和评价。

三、保持油层压力和注采平衡的原则

根据我国陆相油藏地质条件和天然能量不足的特点，大都采取了早期注水保持油层压力的开发方式，取得了良好的开发效果。

(1) 保持油层压力，尤其是分层保持油层压力，使大多数油层都处于水压驱动下开采，油层能量充足，油井生产能力旺盛，可保持较长时间高产。我国大部分油藏靠天然能量开采，采收率只有 10%~15%，采取注水保持压力开采，采收率平均可达 33%。

(2) 保持油层压力，可保持良好的原油性质。油层压力保持在饱和压力以上，可防止地下原油大量脱气而粘度增高和蜡质析出，流动性变差，给生产增加困难。

(3) 保持油层压力，可保持油层结构稳定，防止油层压力下降而引起油层孔隙度缩小和渗透率降低。这对低渗透油藏尤为重要，而且这种在上覆压力作用下发生的变化是不可逆的。

对于不同类型的油藏，保持压力的做法上应区别对待。对于天然能量不足的近饱和油藏、低渗透油藏和稠油油藏，油层压力应保持在原始压力附近开采；对于低饱和油藏和异常高压油藏，应利用其边水能量和弹性能量，可采取低于原始油层压力和高于饱和压力下开采。

油藏在开发中要保持油层压力，就要做到注采平衡。油层压力与注采比的关系总体上是服从于物质平衡规律，尤其是高渗透油藏。对于低渗透油藏由于渗流阻力大，传导速度慢，有滞后现象，以及非储油层吸水等因素影响，注采比往往比较高才能实现保持油层压力，这就需要在实践中探索和总结。油层压力恢复或降低，都要平稳实施，切忌操之过急，注采比过高，压力上升太快，不仅会引起油井含水率上升加快，甚至会导致油水井套管损坏。井间和区块间的油层压力也要相对平衡，钻井降压不能过猛，否则也会引起油水井套管损坏，甚至成片套管损坏。这样的教训还是不少的。

四、分层开采和分层调整的原则

(1) 陆相湖盆碎屑岩储集层的重要特征，就是多层、薄层、砂泥岩间互。这是由于陆相盆地区域性旋回构造运转，周期性气候变化，以及水动力学变迁等因素影响。陆相沉积盆地及其湖泊规模小，湖泊能量相对较小，河流为碎屑物的主要携载营力，这决定了沉积砂体层薄、侧向连续性差的基本面貌。由于湖进湖退频繁，导致碎屑岩沉积的多旋回性，因此一个油藏中有的拥有数十层、上百层砂岩与泥岩间互成层。如大庆喇、萨、杏油田，共划分了 9 个油层组，41 个砂岩组，136 个小层。油层薄的只有几十厘米，一般超过 4m 就算厚层。油

层渗透率有的也相差几十倍、上百倍。多相带储集层的垂向叠合，形成多油层、油层和隔（夹）层的薄层间互，陆相油藏的这一基本特征，必然造成严重的层间非均质性。

（2）油藏投入注水开发之后，反映最突出的问题是，由于油层的非均质性引起的注入水沿高渗透率油层单层突进和局部舌进，造成油井含水上升快，开采效果差。

大庆油田 1960 年投入开发的中区生产试验区，1961 年全面注水，到 1964 年第一批生产井已有 60% 见水，无水采收率仅分别为 2.5%（萨区）~4.5%（葡层），而且含水上升很快，每采出 1% 地质储量含水上升 9%~12%，预计最终采收率只有 25% 左右。为此，大庆油田专门召开油田开发技术座谈会进行分析研究，提出了要搞好分层注水，并在全油田组织了“101.444”井下作业会战（对 101 口注水井下分层注水管柱，分为 444 个层段注水）。油田实现分层注水，控制了高渗透层的注水量，调整了层间矛盾，提高了注入水的波及体积，使油田含水上升速度减缓，开发效果改善。

到 1966 年大庆油田进一步提出：要发展一整套分层开采的新技术和新工艺，全油田要实现分层开采，做到“六分四清”。当时提出的“六分四清”的具体内容是：“六分”，即分层注水、分层采油、分层测试、分层改造、分层研究、分层管理。“四清”，即分层注水量清、分层采油量清、分层出水状况清、分层压力清。

大庆油田经过四十多年的开发，目前油田地下情况更加复杂，分层开采技术和工艺有了新的很大发展。实践证明，在陆相油藏注水开发过程中，采取以合理组合开发层系为基础，以同井分层注水为主，分层监测、分层改造、分层实施堵水工艺技术相结合的一整套分层开采技术，是搞好陆相油藏开发的重要措施和必由之路。

（3）我国油藏开发层系的划分，初期普遍比较粗。1980 年对 73 个注水开发的砂岩油藏进行统计，采用 1~2 套层系有 53 个，占 73%。大量的分层测试资料和检查井取心资料表明，储量动用状况不好，影响油田开发效果和最终采收率的提高。

近一、二十年来，我国投入开发比较早的油藏都进行了多次油田开发调整，总的趋势是层系划分越来越细，井距逐步缩小，调整效果普遍比较好。

大庆喇、萨、杏油田在精细地质研究的基础上，从 20 世纪 80 年代的一次加密调整，到 90 年代的二次加密调整，目前又进行了三次加密调整。开发层系由初期的 1~3 套，普遍调整为 4~6 套，差油层水驱控制程度由 60% 左右提高到 90% 以上，使水驱采收率由初期预计的 35%，目前可提高到 45.8%。大庆油田年产 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 能够稳产 25 年，是和油田采取开发层系细分技术分不开的。

胜坨油田胜二区沙二段，原划分为两套层系，每套开发层系有 6~9 个砂层组，30~40 个小层，层间干扰非常严重，年含水上升速度高达 4.1%~7.7%，采油速度仅 0.7%~0.9%。后来将开发层系由 2 套细分为 8 套，使每套层系只有 1~3 个砂层组，小层数大大减少。调整后采油速度达到 2.3%，预计水驱采收率由 22% 可提高到 38%~40%，细分开发层系也取得很好的开发效果。

（4）对陆相油藏如何搞好分层开采和分层调整，概括来讲要做好以下几方面的工作：

① 分层认识。不断加深对油藏储层的认识，搞好分层精细地质描述，搞清每个小层的沉积环境、砂体形态、构造与断层分布、注采完善程度；油藏注水开发后，要搞好分层监测，通过水淹层测井资料和分层测试资料，了解小层的吸水状况、出油状况、水淹特点，研究和认识地下油水运动规律，绘制小层水淹状况图，掌握各类油层的水淹特点及剩余油的分布状况，为开发好每个小层提供资料依据。