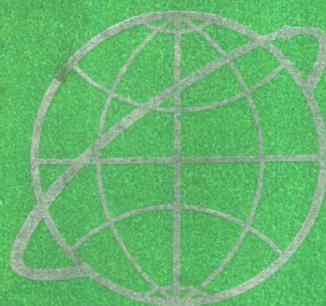
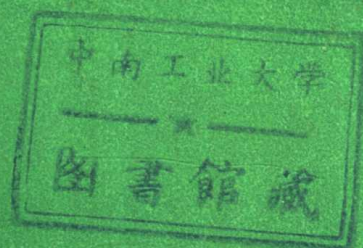


584191

中国石油天然气勘探开发公司
联合国技术合作促进发展部

国际油田开发技术会议论文集



石油工业出版社

中国石油天然气勘探开发公司

联合国技术合作促进发展部

国际油田开发技术会议 论文集

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了在国际油田开发技术会议上中国及与会的世界各国代表的报告和发言,内容包括开发地质和工程、提高采收率、油藏模拟、碳酸盐岩油藏的生产实践以及有关油田开发的新概念等方面的文章共31篇,反映了当前油田开发的新水平。

本书可供油气田开发开采及大专院校地质、开发专业师生参考。

中国石油天然气勘探开发公司
联合国技术合作促进发展部
国际油田开发技术会议
论文集

石油工业出版社出版
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
轻工出版社印刷厂排版
大厂县印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本30印张1插页756千字印1-2.660
1985年10月北京第1版1985年10月北京第1次印刷
书号: 15037·2467定价: 6.15元

前 言

一九八二年九月七日至十二日中国石油天然气勘探开发公司与联合国技术合作促进发展部在大庆联合召开了国际油田开发技术会议。参加会议的有二十三个国家及阿拉伯石油输出国组织等70多人，中国各油田、研究院所、高等院校的专家200多人。

会议由石油工业部科技委员会副主任闵豫同志和美国塔尔萨大学迪基教授共同主持，石油工业部顾问张文彬同志和联合国副秘书长毕季龙先生担任会议两主席。中国石油工业部部长唐克到会并讲了话。

会上各国代表作了报告和发言，包括了开发地质、地球物理、油藏工程、注水工程及采油工程等各个方面，很多代表还介绍了各自国家的具体油田情况和经验。同时还就大家感兴趣的问题进行了小组讨论和交流。会议期间全体代表参观了大庆研究院和油田各项建设，对大庆的科研和油田开发表示了很大兴趣。令人高兴的是有很多发展中国家的石油工作者参加了会议并在会上作了很好的发言。

现我们把会议中的三十一篇报告和发言收集、整编成论文集，我们相信它的出版对我们各矿场的油田工作者将会有很大的帮助。

编者 秦同洛

1983. 5. 18

目 录

前 言

开发地质和工程

开发地质学概述·····	帕克·A·迪基 (3)
中国油田的注水开发·····	谭文彬等 (6)
用地震方法描述油藏·····	鲁伯脱·沙明脱 (27)
依据识别环境类型描述油藏及早期储量估算·····	K.J. 威伯 (46)
声阻抗处理技术在英国福蒂斯油田提高采收率中的应用 ·····	J.T. 霍纳布鲁克 (75)
注水、取心、测试及测井·····	C. 阿诺德·布朗 (90)
大庆油田提高注水开发效果的途径·····	王志武等 (107)
印度孟买高油田L-Ⅲ油藏开发中的油藏地质及其作用·····	L.L. 班达瑞等 (121)
二次采油问题·····	C. 阿诺德·布朗 (137)
测压资料在开发地质中的应用·····	帕克·A·迪基 (156)
马来西亚在油田开发技术方面的经验——塔皮斯油田的开发 ·····	阿勃杜尔·哈米德易布拉欣 (168)

提高采收率

提高原油采收率的方法·····	W.G. 费希尔 (183)
布拉泽河油田高压注干气混相驱·····	G.A. 里特塞尔等 (214)
澳大利亚提高采收率的研究工作与可能的应用·····	J.A.W. 怀特 (227)
裂缝性油藏——阿根廷油气生产的一项重要贡献·····	S.L. 胡克 (234)
胶束驱的技术经济问题·····	布罗·古桑 (246)
土耳其巴蒂拉曼油田石油资源的开发和提高采收率的前景 ·····	布民·格尔塞斯 (250)
伊朗对油井采取增产措施提高原油采收率·····	巴曼·索鲁叶 (257)

油藏模拟

油藏模拟·····	W.G. 费希尔 (267)
德意志联邦共和国应用油气开采新方法的情况·····	马克思·埃德尔 (294)
特立尼达和多巴哥东海岸石油的发展·····	佛朗克·卢克金 (296)
意大利的深层油气藏及提高采收率的增产措施·····	艾米里欧·亨金 (301)

碳酸盐岩油藏的生产实践

碳酸盐岩沉积和石油聚集·····	G.D. 霍布逊 (315)
均质和非均质液体在裂缝性油层中的渗流·····	陈钟祥 (332)
任丘裂缝碳酸盐岩油藏的注水开发·····	于庄敬等 (355)
碳酸盐岩油藏的开采·····	G.D. 霍布逊 (384)
墨西哥的石油工业·····	盖拉多·巴桑·那伐莱台 (405)

低渗透砂岩储层孔隙结构研究.....	朱义吾 (410)
西澳大利亚巴罗岛油田温达利亚油藏研究.....	依安·坎贝尔 (425)
新 概 念	
砂岩孔隙结构对水驱采收率的影响及其分类.....	沈平平等 (443)
关于储层砂岩中粘土矿物的问题.....	E. D. 皮特曼 (459)

开发地质和工程

开发地质学概述

帕克·A·迪基

一、开发地质学的定义

“开发地质学”，也叫“采油地质学”，或“储层地质学”，可以定义为一个油田或气田发现之后地质师所做的工作。

在以往，石油部门的地质工作在很大程度上是为了探寻新的油气田，而开发的事由石油工程师负责。然而，在开发中同样需要地质师，事实也是如此，某些新的地质与地球物理方法，诸如地震地层学和沉积环境的识别，在开发方面应用的比在勘探方面要更广泛。

二、新发现的油田的开发

在勘探程度较高地区或其附近地带新发现的储集层是逐步投入开发的，直到找出油田边界为止。以后的基本建设，即通向市场的管道、道路、仓库和设备等也都要准备好。每次投资的风险并不比钻一口干井的费用高。

在勘探程度低的边远地区或环境恶劣地带发现油气田时，情况就大不一样了。除非投资能保证在合理的时间内得到偿付，否则油田就不能投入开发。例如，在暹罗（Siam）湾就是通过钻井船发现了油，但当时没有采油设备。如果在北海有所发现，在这里建一个平台可能要花费5亿美元，一个油田应含有1亿桶的可采储量才认为有经济价值。也许最使人吃惊的例子是加拿大的北极岛屿，那里不但环境恶劣，而且它距离最近的市场也有几千英里远。

在决定一个油田是否能够投入开发时，政治因素也起一定作用。直到最近，在北海地区可采储量为5千万桶的油田才被认为是具有开采价值的。由于那里的政府采取了一种不适当地分配收益的规定，则只有1亿桶以上可采储量规模的油田才被认为具有经济开采价值。另一方面，有些为政府所有的石油公司由于知道从不需要还债，可能将油田开发工作继续下去。

在发现油田后，要从少数井中尽可能多获得一些资料。需要确定的最重要的事项是储层的可能的规模，然后是其形态和特征。

1. 对岩心及电缆测井资料进行详细的研究可以识别出沉积环境，也可以估计出储层的形态、大小和它的非均质性。
2. 用钻杆测试或重复式地层测试器进行的压力测量以及瞬时压力恢复试验可得出渗透率和油层压力数据以及井的可能产油量。
3. 详细的地震研究可提供出有关尖灭剥蚀、断层以及气-水或油-水接触面等位置的资料。

在构造上和地层上都更为有利的地方布置第二口井看来是合理的。发现井常常会出现地层被污染或钻在低渗透部位等情况。常常发生这种情况：因为第一口井无工业价值而将所在

油田放弃了，而此油田后来却成了一个极丰富的油田。

钻第三口井是为了找出油田边界，它可能是一个剥蚀带、一条断层或为一油-水界面。地质及地球物理研究将给出其位置。

对从这些井中所获资料的解释不但要用来确定储集层体积，而且要用出来求出油田开发所需的其他许多参数。可以推测采油机理，从而也可以预计原油的可采储量。油藏的形状对确定井距和井网以及对表明采油量和开发费用的现金流通情况作出预测，都是必需的。钻井程序，包括泥浆和钻头类型以及下套管程序都以地质情况为依据。测井和完井方法以及增产措施也将依产油层的地质条件而定。很显然，越是早知道地质情况，越能较早制定经济的开发方案。

获取新发现的储层的所有地质与流体流动参数以及建立数学模型，现在已成惯例。一旦模型经过改进能够正确反映该油田开采历史后，就有可能运用高速计算机确定哪一种开发方案最为有效。油藏模拟提供了利用已知的一切有关该油层的地质情况的机会。但是，由于对某些地质特征不了解，也可能导致建立错误的模型。

遇到的问题可能是在横向上或纵向上确实存在着渗透性遮挡或沥青层。

三、注水开发地质学

在美国，习惯于在注水之前用溶解气驱方式使油田能量耗尽或者消耗到一定程度。在其他国家，例如在北海，几乎一开始就注水，开发方案必须适应油藏的地质条件。很明显，在原始油水界面的下倾部位开始注水是最为经济的，并且已在很多油田获得了好的效果。有相当数量或许大多数的油田边缘或边外注水并未成功。

极少数油砂层呈席状或被状。大多数都沉积于河道或浅滩环境，其形状呈条状。当沿下倾部位注水时，注入水沿高渗透孔道推进而不能有效地驱油。提高驱油效率的最好办法是采用5点法井网。由多组5点法井网组成的井网系统的注采井数是相等的。采用这种井网，油从四个方向被强行推到了各个采油井中，结果，不但获得了较高的驱油效率，而且在注采井之间形成了较高的压力差。

为了推测河道和小层的大小与方向以及估计出其孔隙度和渗透率的非均质性，有必要打几口取心井以便对油层的沉积环境有较好的了解，这样就可以确定井距。如果可能的话，注入井应选择性完井。大多数原油砂层由大量单个油砂体堆积组成，互相之间为横向的渗透性遮挡所分隔。首先是最高渗透率层被水淹，然后是次高渗透率层被水淹，依此类推。堵掉高渗透率层可大大提高开采效果。因此，在企图使油从低渗透层采出时就不必再让水作无用的循环了。流体的动态应采用诸如在裸眼井中所用的重复式地层测验器等测压工具，应用流量计以及生产测井仪等等来加以监测。

要特别注意不要使水在过高的压力下注入而破坏油层。因为由此所产生的裂缝使注入水绕油而窜到生产井底。这种裂缝可以是径向的，也可以是垂向的，一旦形成，就会使封堵高渗透层失效。

四、三次采油或提高采收率

在实施三次采油或提高采收率方法时，油层地质条件变得更加重要了，通过高渗透孔道

的绕流变得非常糟糕。使水作无用的循环是一回事，要使某些昂贵的流体作这种循环却是完全不可能的。渗透率、孔隙度、原油粘度与饱和度将决定采用哪些方法是采出剩余油的最好方法。例如，至今唯一成功的方法是注蒸汽，它要求高粘原油、高含油饱和度、高孔隙度和高渗透率。地下火烧法也要求有高渗透率。表面活性剂如聚合物可在低渗透率和低含油饱和度条件下使用，但它们更易于受非均质性的不利影响。

五、采油地质学研究机构的组成

大多数大的石油公司都将由地质师和地球物理师组成的勘探部门与由工程师组成的开采部门分离开。有时还出现这种情况：这两个部门位于不同的城市。这就给负责开发的工程师想获得他们所需要的地质资料带来了困难。有些公司长期以来就指定地质师永久地参加开采部门的工作。其他公司也正在采取这种办法。另一种办法是将地质师、工程师和地球物理师们组织在一起来共同规划每个油气田的开发。

(刘民中译 秦同洛校)

中国油田的注水开发

谭文彬 王乃举 蒋 兰

(中国, 石油工业部)

摘要 本文简述了中国油田注水开发的发展状况, 介绍了六种不同类型油藏的实例和注水开发的主要作法。文章提出, 在注水开发过程中, 不断地提高注入水的波及体积, 以提高注水采收率, 是注水开发油田的主要任务。为此, 要深入进行油藏研究, 建立有效的注采井网系统, 搞好油藏注水动态监测, 加强注水开发过程中的调整, 保持油层压力和提高产液量。根据我国油藏的基本特点, 注水保持油藏压力开采仍是今后的主要方向。在开发的第二、三阶段中, 增加注入水的体积倍数, 提高产液量, 改善储量动用程度, 具有十分重要的意义。

一、引言

解放初期, 我国仅开发两个小油田, 原油年产量只有十二万吨。三十二年来, 石油工业发展较快。目前, 我国已有127个油田投入开发, 采油井已达两万口, 年产原油一亿吨以上。共有注水井七千口, 日注水量八十多万方, 注水开发的储量占全国开发储量的90%, 受注水影响所采出的油量占全国总产油量的93%。由于绝大多数油田采用注水方法开发, 使我国原油产量能够在五十年代到七十年代里每年以20%左右的幅度增长, 并且在达到年产原油一亿吨以后又持续稳产了四年。

我国采用注水方法开发油田, 是1954年从甘肃省玉门老君庙油田开始的。那时, 老君庙油田已有十五年靠天然能量采油的历史。采用边外注水以后, 局部地区第一排采油井很快见效。但是, 内部的采油井仍然没有收到注水效果, 脱气现象继续发展, 说明边外注水系统对老君庙油田是不适应的。

1958年, 在开发新疆克拉玛依油田最早的开发区时, 设计了早期、内部切割、行列式注水方案。实施方案时, 油层压力已低于饱和压力, 油井产量大幅度下降。开发区北部注水以后, 压力得到了恢复, 产量显著回升, 获得了较好的开发效果。但在开发区南部, 油藏情况没有搞清楚, 注采井网不适应油层分布的特点, 油井见效程度低, 没有达到预期的效果。

这一时期, 在玉门、新疆开始的注水工作, 反映了我国注水开发油田初期阶段的情况。当时的油藏研究工作水平也比较低, 不能适应注水开发的需要。

1960年, 大庆油田的开发, 开始了我国注水开发油田的新阶段。从油田发现以后就十分重视油藏研究, 在取全取准所需各项原始资料的基础上, 改进了油藏研究方法, 从过去按油藏组描述油藏发展到分单层对比, 研究储层在纵向剖面上的分层性及平面上的连续性, 并以此为基础研究注采系统, 制订注水开发方案。这个油田采取了早期注水保持油层压力的方法, 油层能量充足, 油井长期保持自喷生产。

针对非均质油藏注水开发后, 注入水在剖面上分布的差异, 研制成功了可以在井下调节分层段注水量的封隔器和配水器, 有效地解决了提高注水波及层数和波及厚度的问题。地面建设工程方面, 逐步完善配套了从水源建设到供水、注水、采出水的处理及回注等工艺技术和工程设施。还建立了一套比较完善的注水动态监测系统和研究体系, 以指导油田注水开发

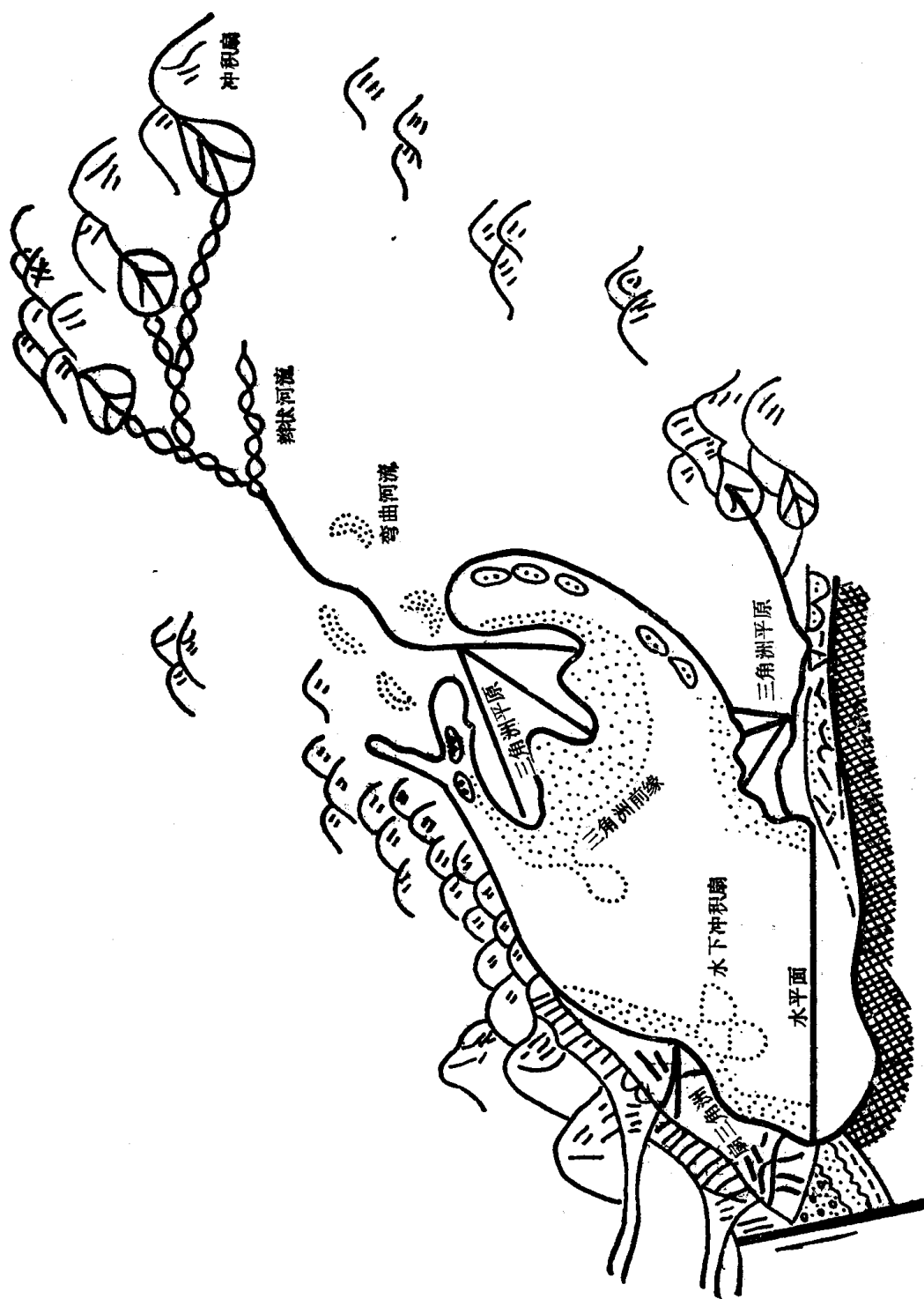


图 1 内陆湖盆沉积模式图

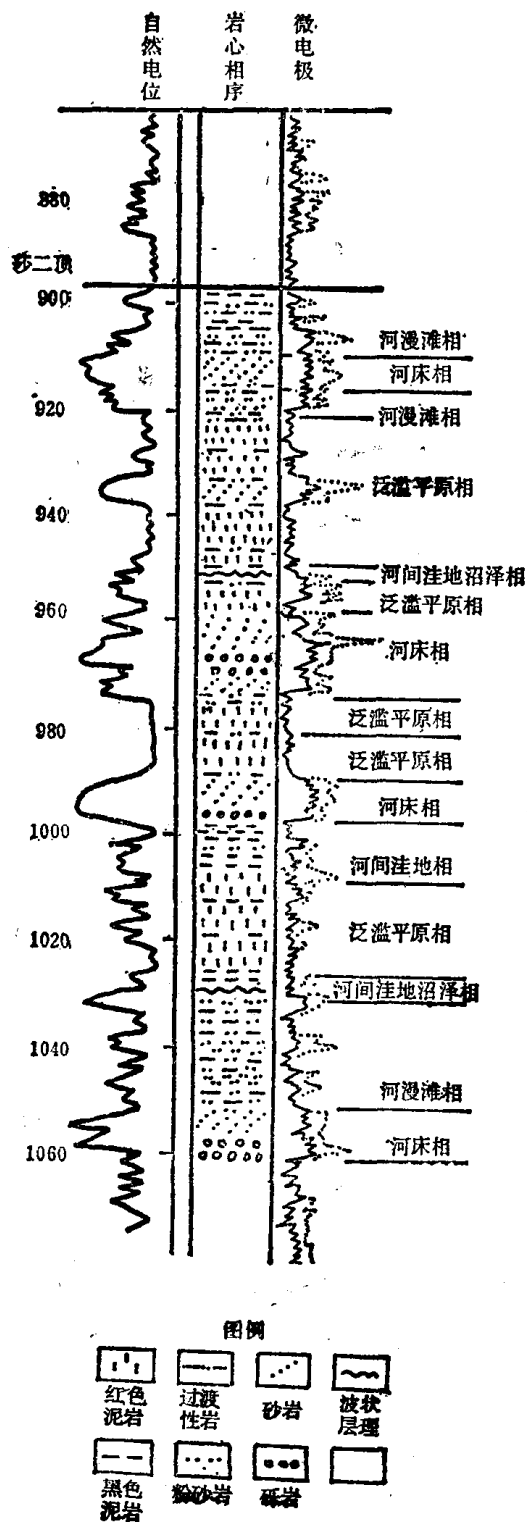


图2 沉积剖面柱状图

山麓洪积物。由于湖盆面积小、坡降大，湖水进退频繁，在纵向剖面上形成多种沉积相带砂体的多次错迭堆积，油层层数多，单位面积储量多，各层物性差异大，碎屑颗粒多属近距离搬运，矿物成熟度低、成份杂，分选磨圆不好，泥质含量较高，孔隙结构较复杂。在西部地区几个盆地内形成大片的低孔隙、低渗透油藏，孔道大小很不均匀。东部渤海湾地区，除少数大型背

过程中的调整和控制，并把这一工作作为系统工程进行研究。工作中组织了开发地质、地球物理、油藏工程、采油工程等专家为建立油田有效的开发体系而紧密协作。从而把注水开发油田建立在一个严密的科学基础之上。这个时期，以大庆油田为代表的注水开发工作卓有成效，取得了多油层砂岩油藏注水开发的经验。

1964年以后，在东部渤海湾地区相继发现了一批断块油田和稠油油田。1970年前后，在陕甘宁盆地发现了一批低渗透率砂岩油藏。1975年，又在冀中地区发现了任丘等裂缝孔隙型碳酸盐岩块状底水油藏。这些不同类型的油藏，如果仅仅依靠天然能量或溶气驱开发，不仅产量下降快，稳产困难，而且采收率也不高。但是，由于采用了注水方法开发，也都收到了较好的效果。这一时期，除象大庆油田那样的早期内部注水方式外，还发展了底部注水、边缘或边外注水、沿裂缝注水、高压注水和间歇注水等多种注水方式。随着深部油藏的发现，深井注水工艺也得到相应的发展。这些，标志着我国注水开发油田的领域不断扩大。

近年来，在油田注水开发过程中，特别重视扩大注水波及体积的工作，逐步进行层系、井网调整；发展了大排量采液、分层压裂和堵水等多种工艺技术；不断加深油藏研究，建立了陆相湖盆的多种沉积模式，逐步推广应用近代计算技术，这些都有效地指导了油田注水开发工作（见图1、2）。

二、不同类型油藏注水开发实例

我国已发现的绝大多数油田，形成于中新生代陆相沉积盆地，储油层中大部分砂体属于分布不稳定的河道砂、入湖三角洲砂和

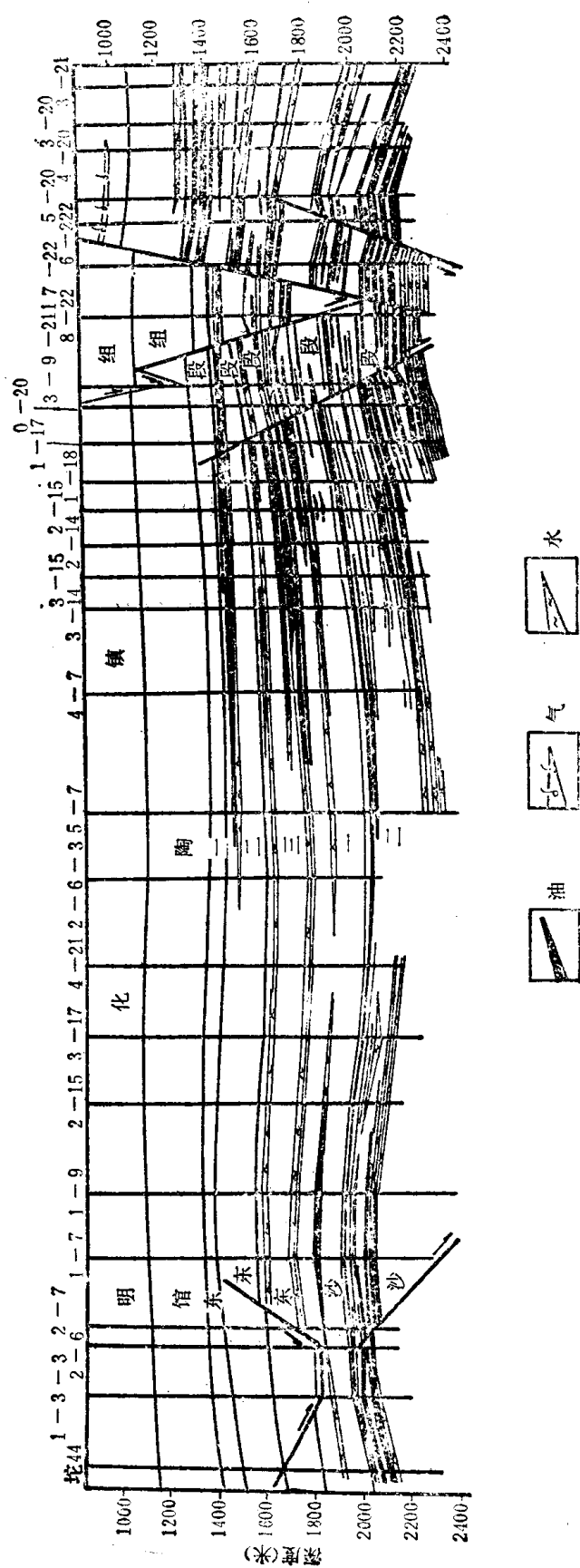


图3 胜坨油田油藏剖面图

斜构造油藏外, 因为构造活动剧烈, 油田多被切割为大小不等的断块, 油水分布关系复杂, 天然驱动能量较弱。同时, 由于油气多次运移, 原油重质馏分多、粘度高。此外, 还有一些储层为海相的碳酸盐岩高产油藏。这些都表明我国油气藏类型是多种多样的, 而且大多数储层非均质性比较严重。

不同地质特点的油藏, 注水开发过程中油水运动的特点也不一样, 这就需要有不同的开发系统与其相适应。

1. 中高渗透率多油层油藏

这类油藏多属背斜圈闭, 构造完整, 具有统一的油水界面, 一般为湖泊三角洲和河流相沉积。油层在纵向剖面上分层性好, 层数多, 最多可达几十层, 甚至上百层, 含油井段长达几百米到千米。但在横向上油层厚度变化较大。油层物性及原油性质中等。部分油田油层渗透率很高, 如胜坨油田, 油层空气渗透率几达西到数十达西, 孔隙结构以大孔道为主, 油井生产能力较高。这类油田是我国油田开发的主力, 担负着产油的主要部分 (图3)。

针对这类油藏天然驱动能量较弱的特点, 采取了早期注水保持油层压力开采。油井以自喷开采为主的油田, 油层压力保持在原始油层压力附近; 以机械采油为主的油田, 油层压力保持在饱和压力以上。

开发设计中, 有的油田采取了分阶段动用储量的两次布井方法, 有的油田采取了按砂岩组划分开发层系, 一次动用全部储量的布井方法。同时, 为了获得较高的采油速度, 除对部分分布面积大、渗透率高的主力油层采用小切割距的行列注水方式外, 大都采用面积注水。

在注水开发过程中, 充分应用分层注水、分层压裂、分层堵水等工艺技术进行注采调整, 扩大注水波及体积, 提高注水效率。

预计, 这类油藏在较高的采油速度下可以稳产到采出可采储量的50—65%。

2. 稠油疏松砂岩油藏

这类油藏埋藏深度较浅, 地质时代新, 多属次生油藏。储层多为河道砂, 少量浊积砂, 油层疏松, 成岩性差。胶结物以泥质为主。油层渗透性好, 非均质较严重。油稠, 其中地下原油粘度大于50厘泊、脱气原油比重大于0.94~0.95的储量占这类油藏总储量的三分之二。孤岛油田属于这一类。

注水开发这类油藏, 广泛采用了200~400米较小井距的面积注水井网。在注水井和采油井中采取了酚醛溶液地下合成、下滤砂管等早期防砂工艺及地面掺水降粘等措施, 即达到了较高的采油速度, 又适当控制了油井采油强度, 减少了出砂。油井见水后, 出砂更为严重, 为了提高防砂强度, 采用了管外砾石填充及下金属绕丝筛管防砂, 提高了防砂效率, 保证了正常生产。

针对稠油油藏油井见水早, 无水采收率低, 中低含水期含水上升快, 水驱油效率低的特点, 在注水开发早期进行分层注采调整, 明显地改善了油井采油剖面和平面上油水分布关系, 扩大了注入水的波及体积。例如, 孤岛油田中二区南部, 油水粘度比高达150, 多次注采调整后, 含水上升率 (即每采出1%原始地质储量的含水率增加值) 由原来的13%下降为4%, 水驱动用储量增加50% (见图4)。

油田开发实践、室内实验及理论研究结果表明, 地层原油粘度低于80厘泊的稠油油藏, 采用注水开发方法可以有效地提高采收率, 然而大部分可采储量将在含水60%以后采出。因此, 耗水量较大是这类油藏注水开发的一大特点。目前, 对这种油田正积极准备进行三次采油提高采收率的试验。此外, 对原油粘度更大的油藏, 正在研究开展热力采油试验的方案。

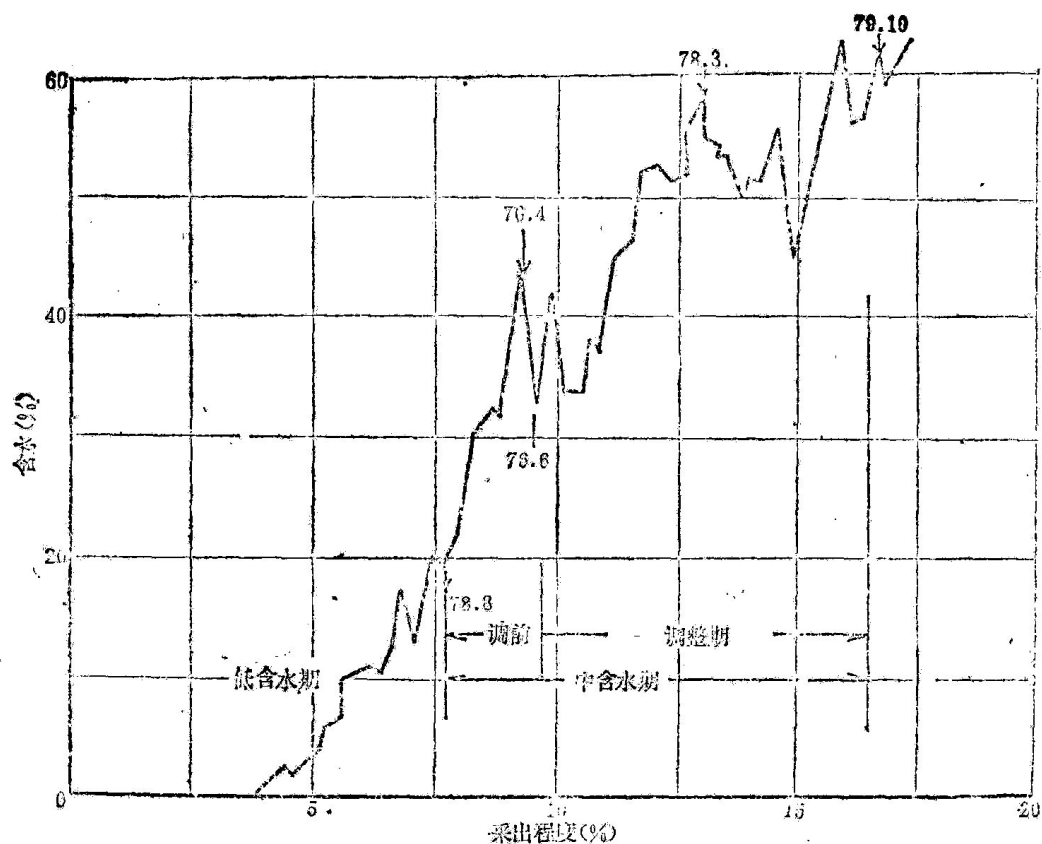


图4 孤岛油田中二区南部含水与采出程度关系曲线

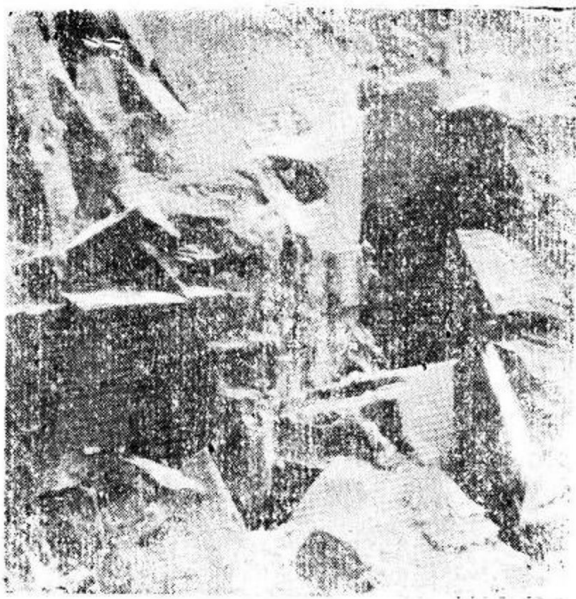


图5 任丘油田白云岩藻架孔、晶间孔照片

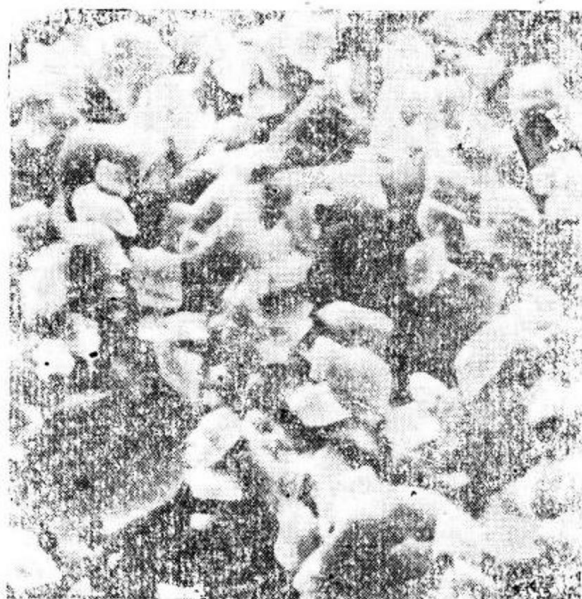


图6 任丘油田碎屑白云岩晶间孔照片

3. 裂缝—孔隙型碳酸盐岩块状底水油藏

这类油藏储集层以块状碳酸盐岩为主，发育着原生的晶间孔隙和与藻类有关的孔隙，还有大量的次生构造缝及成岩后生作用形成的溶蚀孔洞和微观孔隙等，具双重孔隙结构，总孔隙度5—6%。原油性质中等，含气量很少，饱和压力很低，油井自喷能力弱。油藏具有统一的水动力系统 and 良好的连通性，底水具有一定的补给能力。但如不采用人工注水补充能量，