



岗位员工系列培训教材

油田开发

YOUTIAN KAIFA SHIYONG JISHU

实用技术

于宝新 陈刚 主编



石油工业出版社

油田开发实用技术

于宝新 陈 刚 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书引用大庆油田近五十年成功开采经验和部分国外油田开采经验,详细介绍了油气藏的开发与利用、油田注水、油田井网加密、油田稳油控水、油田水平井采油、油田增产增注、油田化学驱油等七个方面的技术内容,搜集、归纳和整理了有关技术的机理、实施过程的对策、措施方法的选择以及实际开发过程中应用效果和生产实例等。

本书可供从事油田开发的技术人员、管理人员使用,也可作为刚步入石油系统工作的大中专毕业生、岗位员工的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

油田开发实用技术/于宝新,陈刚主编.

北京:石油工业出版社,2010.2

ISBN 978-7-5021-7609-9

I. 油…

II. 于…

III. 油田开发

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 003813 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. com. cn](http://www.petropub.com.cn)

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 9

字数: 132 千字

定价: 40.00 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

《油田开发实用技术》编委会

主 编：于宝新 陈 刚

副 主 编：余庆东 孙品月

技 术 顾 问：隋新光 王 研

参加编写人员：刘英军 王广杰 肖书慧 王亚华

李春祥 于艳梅 贾士昌 安新民

金英兰 周海超 许爱玲 任建涛

邸玉玲 孙 玲 霍苗苗 邓来栓

胡国良 林 东 于小明 王彦梅

肖书歧 路东华 赵冰梅 王笑春

付丽杰 于国琴 刘晓辉 李艳慧

何晓霜 秦笃国 时利祥 刘忠恒

丁红霞 王 军 盛小云 李宝玉

王明宏 赵玉波 张 杰 王洁平

李景丽 刘洪涛 周 华 薛传玲

任洪江 于冠宇 李晨岩 杨庆芬

刘大伟 曹爱庆 孟祥杰 于 畅

前 言

当前，我国主产油田大多已进入高含水开采阶段，原油生产能力正处在逐年下降的阶段，油田开发调整、挖潜的难度也在不断加大。而伴随着全球石油价格的攀升以及我国现代科学技术和经济建设发展对石油依存、需求量逐年提高，迫切要求我们石油战线的管理者、科技管理人员更好地认识和开发好现已投入开采的油田，并使其尽可能地延续稳产时间，延长开采年限。

为了回顾油田的开发进程，全面总结油田开发、调整、管理经验，由大庆油田第一采油厂多年从事开发工作的专业技术骨干，历经两年多的时间编写完成了《油田开发实用技术》一书。

书中引用了大庆油田近五十年成功开采经验和部分国外开采经验，详细介绍了油气藏的开发与利用、油田注水技术、油田井网加密技术、油田稳油控水技术、油田水平井采油技术、油田增产增注技术、油田化学驱油技术等七个方面的技术内容。搜集、归纳和整理了有关技术的机理、实施过程的对策、措施方法的选择以及实际开发过程中的应用效果和生产实例等。

此书由浅入深，内容精湛，便于长期从事油田开发的技术人员、管理人员以及刚刚步入石油系统工作的岗位员工、大中专毕业生阅读，以此来回顾和了解油田开采历史、相应时期采取的技术手段和办法等，为今后的工作提供技术参考。同时，此书还可作为油田的培训教材使用。

在本书的编写过程中，得到大庆油田有限责任公司开发部，第一采油厂地质大队、工程技术大队、试验大队的领导及技术同行们的鼎力支持和帮助。此书完稿后，经大庆油田有限责任公司第一采油厂总地质师隋新光、总工程师王研审核，石油工业出版社技术专家亲自复审，并提出合理的修改、补充意见，在此同表示深切的谢意。

由于作者水平有限，书中难免存在一定的缺陷和问题，望有关专家、技术同行给予批评指正。

编 者

2009 年 11 月

目 录

第一章 油气藏的开发与利用	(1)
第一节 一次采油	(1)
一、油藏的驱动类型	(1)
二、油藏的适应条件和开采特点	(6)
第二节 二次采油	(7)
一、油藏的驱油方式	(7)
二、油藏的适应条件、时机选择、开采特点	(8)
第三节 三次采油	(9)
一、油藏的驱油方式、驱油方法	(9)
二、三次采油的时机选择、开采特点	(10)
第二章 油田注水技术	(11)
第一节 油田注水	(12)
一、注水驱油机理	(12)
二、注水方式及方法的选择	(14)
三、注采平衡	(20)
第二节 油田分层注水工艺技术	(22)
一、分层注水	(22)
二、分层注水的作用	(23)
三、分层注水工艺技术的发展和提高	(23)
四、分层注水配套工艺技术	(28)
第三节 油田注水管理工作	(32)
一、注水后的跟踪分析	(32)
二、注水方案的调整	(33)
三、注水井的日常管理	(34)
四、注入水水质	(36)

第四节 注水开发油田的后期挖潜与调整	(39)
第三章 油田井网加密技术	(41)
第一节 剩余油	(41)
一、剩余油的分布	(41)
二、剩余油形成的主要影响因素	(43)
第二节 井网加密	(44)
一、利用井网加密技术挖掘油田剩余油	(44)
二、井网加密层系的划分与组合	(45)
三、井网的加密方式	(46)
第三节 不同注采井网的开采特征	(47)
一、基础井网	(48)
二、一次加密井网	(50)
三、二次加密井网	(51)
四、三次加密井网	(53)
第四章 油田稳油控水技术	(56)
第一节 “稳油控水”技术的提出	(56)
一、国外油田高含水期稳产的做法、存在的问题	(56)
二、我国大庆油田对实施“稳油控水”系统工程的认识	(57)
第二节 实施“稳油控水”所具备的条件和需要做好的主要工作	(58)
一、具备的条件	(58)
二、做好“注水、产液、储采”三个结构调整工作	(58)
第三节 影响“稳油控水”效果的主要因素及效果评价	(66)
一、影响因素与解决的办法	(66)
二、效果的分析与评价	(67)
第五章 油田水平井采油技术	(70)
第一节 钻水平井采油	(70)
一、水平井的特征	(70)
二、水平井的分类	(72)
三、水平井完井过程的技术要求	(77)
第二节 不同条件下水平井的应用	(78)

一、水平井的应用范围	(78)
二、不同类型油藏水平井的应用	(80)
第三节 国内、外水平井配套工艺技术的应用	(80)
一、水平井开采技术	(82)
二、国内、外油田水平井增产技术	(84)
三、水平井举升工艺、生产测井技术	(89)
第六章 油田增产、增注技术	(92)
第一节 油层压裂改造技术	(92)
一、压裂增产机理	(93)
二、油田应用的主要压裂办法	(93)
三、压裂井、层及工艺方法的选择	(101)
四、压裂效果的分析与评价	(103)
第二节 油层酸化解堵技术	(104)
一、酸化增产、增注机理	(105)
二、油田主要酸化方法的现场应用	(105)
三、酸化井、层及工艺方法的选择	(111)
四、酸化效果的综合评价	(113)
第三节 采油井堵水技术	(114)
一、采油井堵水的主要方法	(115)
二、堵水井、层的选择	(116)
三、堵水井施工后的效果评价	(116)
四、堵水工艺新技术	(118)
第四节 注水井调剖技术	(118)
一、注水井调剖的主要方法	(118)
二、调剖井、层的选择	(120)
三、调剖井施工后的效果评价	(120)
第七章 油田化学驱油技术	(123)
第一节 聚合物驱油技术	(123)
一、聚合物驱油机理	(123)
二、聚合物驱油技术的应用效果、经验	(124)
第二节 三元复合驱油技术	(125)

一、三元复合驱油机理·····	(125)
二、三元复合驱油技术的应用效果·····	(126)
第三节 微生物驱油技术·····	(127)
一、微生物驱油机理·····	(127)
二、微生物驱油方法·····	(128)
三、微生物注入要求、选井条件·····	(129)
四、微生物驱油的主要作用、应用效果·····	(130)
参考文献·····	(134)

第一章 油气藏的开发与利用

在一个天然油藏内储有一定的天然能量,其中包括边水和底水压头能量、原生气顶和次生气顶膨胀的能量、原油中溶解气释放和膨胀的能量、油层中原油的弹性能量等,这些能量都可以在一定的条件下释放出来,被人类加以利用。

半个多世纪以来,世界各国陆上油田都在不断探索在不同的油气藏内实施有效的开采方法,并依照油气藏的不同特征划分为三个不同的阶段,将初始阶段确定为“一次采油”;第二阶段确定为“二次采油”;第三阶段确定为“三次采油”。

第一节 一次采油

一次采油:是指利用油田自身具有的天然能量开采,不需要采取任何辅助措施,自然将石油由地下举升至地面的全过程。

一、油藏的驱动类型

不同油藏天然能量的类型和大小各不相同,驱动方式也不一样,在开采过程中的动态变化规律和开发效果也都有差异。

油藏驱动类型主要包括天然水压驱动、气顶气压驱动、溶解气驱动、重力

驱动、压实驱动和弹性驱动等六种。

1. 天然水压驱动油藏

在原始地质条件下,天然水压驱动油藏的边部或底部与地下天然水域相连通,处于静止、平衡水压状态。当油藏投入开发以后,由于含油区产生的地层压降引起天然水域内的地层水和储层岩石膨胀,对油藏含油部分造成水侵,形成天然水压驱动。

天然水压驱动包括弹性水压驱动和刚性水压驱动两种。

弹性水压驱动驱油的动力,来源于油藏含油部分以外含水区域的水及岩石的弹性膨胀力,这种力边水无露头或有露头但水源供给不充足,同时还受到断层或岩性变化等因素影响,活跃程度不能弥补采出的速度。

刚性水压驱动驱油的动力,则来源于有充足的边水和底水作为供水动力。油层与边水或底水相连通,与油层的高位差较大,油水层具有良好的渗透性,水层有露头,且存在着良好的供水水源,在油、水区间没有断层遮挡。

刚性水压驱动能量供给充足,其水侵量完全弥补了液体采出量。弹性水压驱动则相反,当开采速度较大时,它可能向着弹性—溶解气驱混合驱动方式转化。

天然水压驱动通常发生在油藏含油部分距供水区不远,它的能量大小主要受供水区域的大小、发育的几何形状、油层的渗透率和孔隙度、油水黏度比以及地层水和岩石的膨胀系数等因素的影响(图1-1)。

天然水压驱动油藏具有油层渗透性好、油层原始压力高、饱和压力低等特点。利用天然水压驱动能量开采,要合理精心地确定好采液速度,保证各类油层充分受到供水区域(边水、底水)驱油效果的影响。

2. 气顶气压驱动油藏

气顶气压驱动油藏在投入开发前,有大量以压缩气形式的能量被储存下来。当油藏投入开发以后,流体在采出含油区范围内形成一定的压降,气顶气利用膨胀后与含油区间的压力差,以气驱并伴随重力排替方式推动石油流入井内(图1-2)。

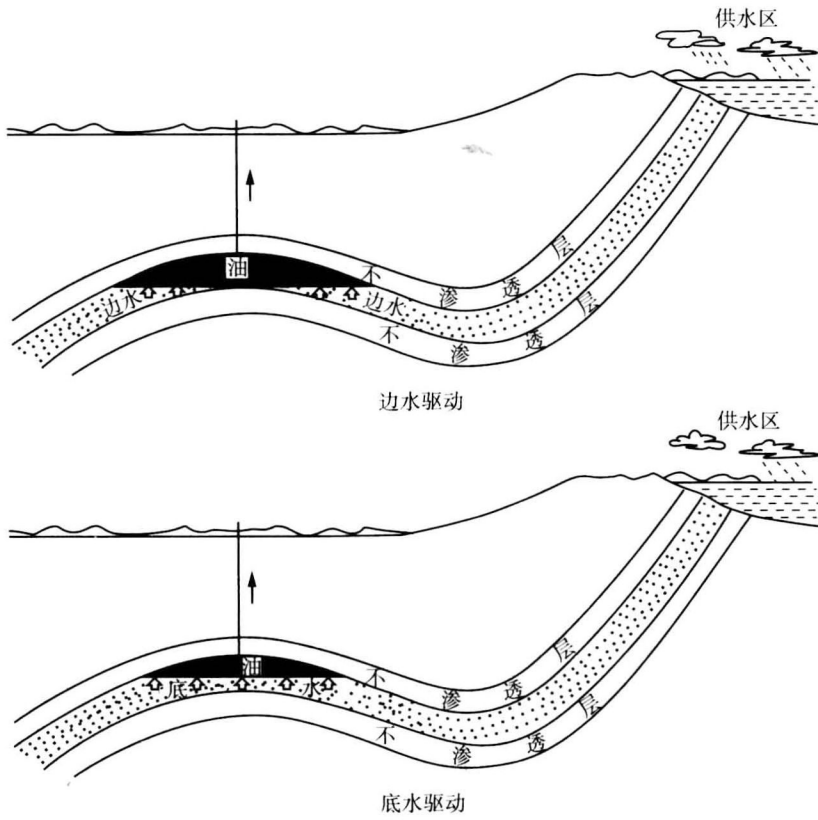


图 1-1 天然水压驱动油藏剖面图

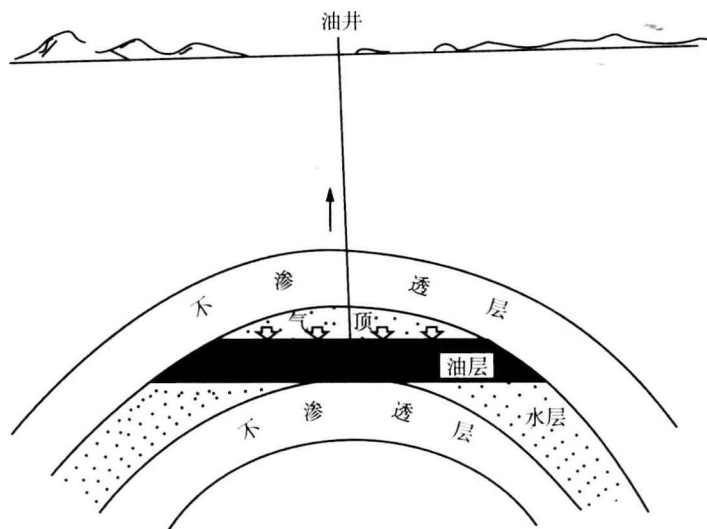


图 1-2 气顶气压驱动油藏剖面图

气压驱动常出现在构造完整、地层倾角较大,油气接触面的岩石构造均匀、连续;垂直地层上的渗透率和水平渗透率比较接近,而且比较高,原油黏度小的油藏。而具有较大气顶的油藏在开采过程中,由于气顶压力逐渐下降,当气顶压力消耗到一定程度时,就会转为靠溶解气驱动。

利用气顶能量驱油没有外来能量补充,要保证和满足气顶中储备能量——压力能,气顶气压驱动油藏开采时的采油速度要低,不能过高。因为过高的采油速度,会引起气顶气沿高渗透带绕过和窜入所驱原油的前面,形成气窜,由此破坏气顶区膨胀体积与含油区收缩体积间的平衡状态,减少驱油面积,降低气顶气驱的驱油效果。

3. 溶解气驱动油藏

溶解气驱动油藏的驱油动力,主要来自溶解气的弹性膨胀力。在油藏投入开采以后无外来能量补充时,含油区地层压力将不断的下降。当井底压力低于饱和压力时,原油中的溶解气以气泡的形式逐步分离出来,并在分离过程中引起地层原油体积膨胀,使被驱动原油向低压生产井井底处流动,成为驱油的一种动力。

溶解气驱油效率,取决于溶液中的含气量和原油的性质及油藏岩石的地质构造。对于油层性质差、渗透率低、地饱压差大、溶解气量大、没有气顶、边水不活跃的油藏利用溶解气驱油,要求地层压力不能下降过快,否则随着溶解气量的不断消耗,气体的相渗透率增加,油的相渗透率降低,气体会从原油中脱出,形成油、气两项流动。

利用溶解气驱油方式开采生产井的特征是:采油井在开采过程中油层压力不断下降,气油比逐渐上升,产量随气油比的上升略有增加。伴随着气油比的迅速上升,油层压力及产量降低显著,直至开采后期被迫转为其他驱动方式开采(图1-3)。

4. 重力驱动油藏

重力驱动油藏属无原始气顶和边、底水的饱和型或未饱和油藏,油藏储层倾角愈大、原油黏度愈低、垂向渗透率愈高,驱油的效果愈好。

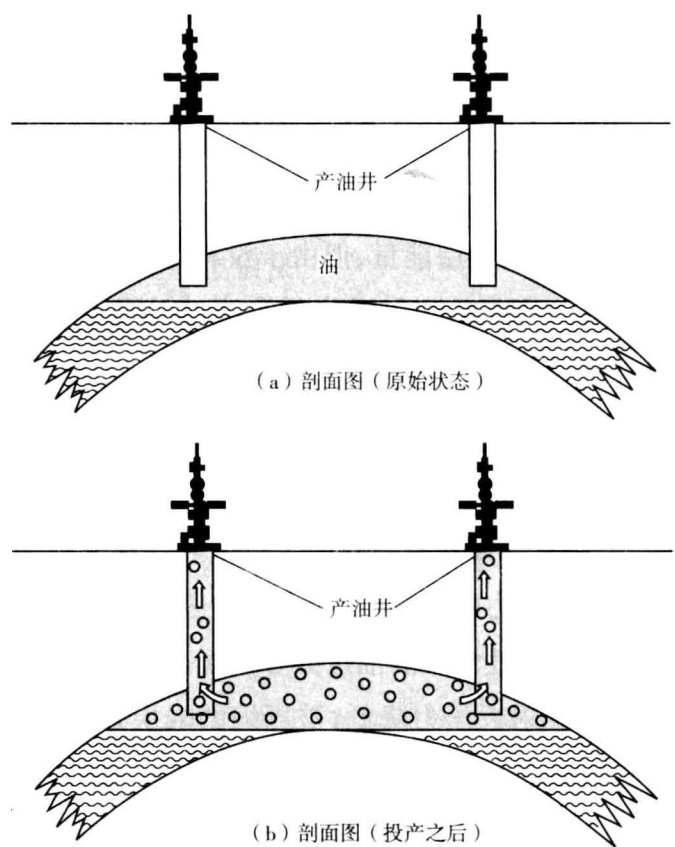


图 1-3 溶解气驱动油藏剖面图

重力驱动石油靠自身的重力作用,从油层高处流向低处而渗入井底。重力驱动方式一般出现在油田开发末期,因为在此前一切驱动能量已消耗殆尽,驱动能量很小,此时气体必须运移到构造上部或地层顶部以充填先前被油占据的空间。

利用重力驱动的油田,采油井几乎都不能自喷,一般只能靠机械或提捞方式开采。因此,重力驱动是一个缓慢的开采过程(图 1-4)。

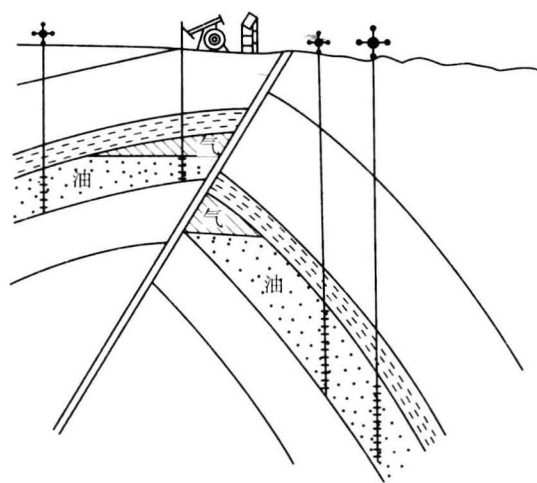


图 1-4 重力驱动油藏剖面图

5. 压实驱动油藏

压实驱动油藏主要出现在异常的高压油藏或气藏。在油藏投入开采后,由于流体压力的下降,增加了上覆岩层压力与流体压力之间的差异,导致储层岩石颗粒的弹性膨胀和有效孔隙体积的减小。

压实驱动方式能补充储油层能量,但由于没有其他来源能量的补充,伴随着油层渗透率的下降,油气井的产量下降很快。对于固井胶结质量比较差的井段,还易造成套管损坏。

6. 弹性驱动油藏

弹性油藏驱油动力来源于油藏本身岩石及流体的弹性膨胀力,多半没有供水区或本身被断层和岩性变异突出的地区封闭。弹性驱动油藏主要分布在原始地层压力较高、饱和压力较低、有广大含水的区域。

油田投入开发以前,弹性油藏的油层处于均衡受压状态,岩层和流体被压缩。当钻开油层后,井底附近压力降低,被压缩的岩层和流体发生膨胀,孔隙缩小,促使孔隙中的原油流入井底。

弹性驱动油藏自身驱动能量很小,油层压力和产油量下降速度也很快,利用其能量开采很难实现较长时间的高产和稳产。

油田的一次采油,往往是由以上某一驱动方式来完成驱动地下原油的全过程。纵观以上六种驱动,油藏在开采过程中单一方式很难形成规模。一个油田完整的开发,往往需要有以上两三种油藏驱动方式同时存在方可起到作用。

二、油藏的适应条件和开采特点

1. 油藏适应条件

一次采油油藏的适应条件:首先,天然能量充足,油层分布比较均匀,连通性能较好;其次,外围有较大的含水区,边水活跃,有相当大的气顶;另外,油层垂向渗透率高,油层面积小,连通性较好,依靠自身天然能量开采能满足国家对原油产量的需求等。

2. 开采特点

一次采油方法开采的油田,具有投资少、技术简单、上产快、油田短期可获取较高利润等特点。但由于多数油田天然能量不充足,能量的发挥不均衡,往往在短时间内反映出生产效果好、产量高,但随着开采时间的延长,油藏能量不断降低,油田产量下降速度也很快。

因此,一次采油在整个油田开采过程中采收率较低,一般只能采出油田地下原始地质储量的 15% ~ 25% 左右。

第二节 二次采油

早在 1880 年美国人 Carll 就提出,利用天然能量开采的油田,随着开采时间延长油层压力的下降,原油生产能力也因此下降很快。设想将水注入油藏,利用水流推动的作用,将油层内原始原油推至生产井底,弥补由此产生的地下亏空,使油藏能量得到保持,最终实现提高原油采收率的可能性。

1890 年美国个别油田开始实施小范围注水,1921 年注水规模迅速扩大。正是注水采油方法在油田上的使用,引出油田的二次采油。

二次采油:主要是指利用人工注水、注气来弥补油藏采出油的亏空体积,保持和储存地下储层能量,恢复油层压力,使开采油田能长时间稳定在一定的生产水平上。

一、油藏的驱油方式

油田二次采油油藏的驱油方式,主要是以水、气作为石油驱替剂驱使地下原油,并将其由井底推向井筒至井口。

注水驱油就是让注入水进入原来被油充填的孔隙,用水将油置换出来的整个过程。

二、油藏的适应条件、时机选择、开采特点

1. 油藏的适应条件

采取向地下注水的二次采油,适应的油藏主要包括:低饱和油藏(油藏地饱压差小、原始气油比低、天然能量小),低渗透、特低渗透油藏(油藏弹性能量小、渗流阻力大、能耗消耗快、压力恢复慢)以及常规稠油油藏(原油黏度较高)。

上述油藏通过注水可有效地补充地下能量、保持油层压力,最终获取最佳的开采效果。

2. 时机选择

二次采油注水时机的选择,一般分为早期注水和晚期注水两种。

早期注水:是指油层的地层压力保持在饱和压力以上的注水。此时油层内没有溶解气渗流,原油基本保持原始性质,注水后油层内只有油、水两相流动。此时,采油井的生产能力较高,能保持较长时间的自喷开采期。

晚期注水:是指在溶解气驱之后的注水。此时原油性质发生了变化,油层内出现油、气、水三相流动,大量溶解气的采出,使原油黏度增加。虽然后期注水可以使油层压力得到一定的恢复,但采油井的生产能力很难恢复到原有的水平。

从目前世界石油开采现状和发展趋势看,绝大多数油田采取的是早期注水的方式开发油田。

3. 开采特点

油田二次采油与一次采油的开采特点相比,技术相对复杂,油田投入的费用较高,但油田生产能力旺盛,经济回报受益较大。

利用二次采油油田的平均采收率,一般可以达到 40% ~ 50%,开发效果好的油田采收率可达 55% ~ 65%。