

大庆外围低渗透油气田 开采实用技术

齐振林 主编

石油工业出版社



大庆外围低渗透油气田 开采实用技术

主 编 齐振林

副主编 白 玉 万贵春 王德金
沈宝明 侯维前

石油工业出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了当前低渗透油田普遍应用的成熟技术,包括其工艺原理、适用条件及推广应用情况,并指出了目前油田在用的前沿技术及其今后的发展方向,同时还介绍了刚刚发展起来的低渗透油田增效开采配套技术,有利于基层管理人员和技术人员尽快掌握这些新方法、新技术、新工艺,为提高开采效率做出贡献。本书适合于从事低渗透油田开采的工程技术人员阅读,也可作为有关院校师生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大庆外围低渗透油气田开采实用技术/齐振林主编.
北京:石油工业出版社,2002.4
ISBN 7-5021-3728-9

I. 大…

II. 齐…

III. 低渗透油层-油田开发-大庆市

IV. TE348

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 018023 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)
北京乘设伟业科技排版中心排版
北京密云华都印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 266 千字 印 1—1 300
2002 年 4 月北京第 1 版 2002 年 4 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-3728-9/TE·2726
定价:23.00 元

前 言

大庆外围低渗透油、气田储量品位低、单井产量低,开采难度大,历经 18 年的开发和建设,在新世纪之初,跨过了年产原油 $400 \times 10^4 \text{t}$ 大关,成为油田接替稳产的重要组成部分,在大庆油田连续 25 年实现年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 发挥了重要作用。回顾油田开发初期,主要借鉴长垣内老油田开发的成功经验和成熟技术,单井投入相对较高,投资回收期长,油田开发的经济性不尽合理。近年来,经过广大科研工作者的辛勤努力,坚持以经济效益为中心,通过运用现代科学技术改造传统开采工艺,已基本发展完善了适合低渗透油、气田特点的增效开采配套技术,并迅速推广应用到生产实际中。

为了使基层管理人员和技术人员掌握油、气田在用的新方法、新技术和新工艺,方便生产管理,我们组织具有多年实践经验的工程技术人员编写了《大庆外围低渗透油气田开采实用技术》一书。书中详细介绍了当前大庆低渗透油田普遍应用的成熟技术,包括其工艺原理、适用条件、推广应用情况及效果等方面内容,结合实际,重在实用;还介绍了技术分析中常用的术语、概念、计算公式等,并应用具体实例详解,深入浅出,通俗易懂。同时,从发展的观点出发,介绍了近年来新发展起来的低渗透油田增效开采配套技术,指出了目前油田在用的前沿技术及今后的技术发展方向,旨在为油田基层管理人员提供方便快捷的提高业务水平的途径。

参加本书编写的人员包括:第一章,张宝忠、王庆莲、徐彦兰、姬生柱、曹逊;第二章,谢桂茹、朱秀峰、陶冶、康文芳、李瑜慧;第三章,陈仲发、韩国义、张春明、储可利、杨文革;第四章,韩国义、乔彗萍、邵艳梅;第五章,王宏、潘华峰、王希涛、刘艳娟、王春许;第六章,景洪亮、徐继喜、钟宝武、马占林;第七章,陶冶、赖江敏、牟先艳、刘勃、葛东元。

本书在编写过程中得到了大庆油田有限责任公司第一采油厂、第九采油厂、榆树林油田公司及井下作业公司等单位的大力协助,同时也得到了孙冠杰等采油工程界专家的关注和指导,在此一并表示感谢。由于时间仓促,编者的经验和水平有限,书中错误之处在所难免,敬请广大读者多提宝贵意见。

编 者

2001 年 8 月

目 录

第一章 注水开发配套技术	(1)
第一节 低渗透油田注水开发基础.....	(1)
第二节 注水系统地面工艺技术.....	(7)
第三节 低渗透油田同步注水开发技术	(14)
第四节 机械式分层注水技术	(17)
第五节 注水井化学调剖技术	(23)
第二章 抽油举升配套技术	(29)
第一节 抽油举升方式的选择方法	(29)
第二节 抽油机采油	(34)
第三节 延长油井检泵周期配套技术	(44)
第四节 控制生产成本配套技术	(52)
第五节 油井计量配套技术	(57)
第六节 机械采油技术经济指标计算和统计方法	(61)
第三章 采气工艺配套技术	(67)
第一节 低渗透气藏开采的地质基础	(67)
第二节 采气工艺原理基础	(72)
第三节 排液采气工艺技术	(75)
第四节 天然气计量配套技术	(81)
第五节 气藏改造技术	(83)
第四章 完井与环境保护	(87)
第一节 完井方式的选择	(87)
第二节 射孔工艺配套技术	(89)
第三节 油气层保护技术	(92)
第四节 环境保护工程	(96)
第五章 增产增注配套技术	(99)
第一节 压裂工艺技术	(99)
第二节 热气酸解堵工艺技术.....	(104)
第三节 堵水封窜技术.....	(105)
第四节 注水井解堵增注技术.....	(109)
第五节 其他增产增注技术.....	(111)
第六节 机采“三图”的应用.....	(114)
第七节 油田各类增产(增注)措施增产(增注)量计算方法.....	(119)
第六章 修井技术	(121)
第一节 解卡打捞工艺技术.....	(121)
第二节 套管整形与加固工艺技术.....	(125)

第三节 取换套管工艺技术..... (130)

第四节 套管补贴工艺技术..... (136)

第五节 工程报废技术..... (138)

第七章 低渗透油田增效开采配套技术..... (142)

第一节 小井眼开采配套技术..... (142)

第二节 长跨距、不同性质油层合采工艺配套技术 (147)

第三节 提捞采油配套工艺技术..... (149)

第四节 微生物采油技术..... (153)

参考文献..... (160)

第一章 注水开发配套技术

我国陆相油藏储集层非均质性严重,大多采取注水方式开发。油田注水在油田开发中是一项既复杂又十分重要的工作,在某种意义上来说,它比采油本身还重要。注好水,注够水,采油工作就主动,否则就被动,但要注好水却受到许多地质以及工程技术等方面因素的限制。我们针对大庆外围低渗透油田,从开发初期就十分重视注水工作,经过实践与摸索,总结了适应低渗透油田特点的“两早、三高、一适时”的油田开发经验,即:早注水、早分层注水,高水质、高注采比及较高的水驱控制程度,适时进行注采系统调整,取得了较好的油田开发效果。全面来看油田注水工作,我们发现除了应用科学的油田开发理论做指导外,必须有配套实用的工艺技术做保障。而工艺技术的提高,也保证了开发方式的相应调整,提高了油田开发的经济效益。为此,我们在大庆外围低渗透油田逐步探索了分散水源、就地打井,低压供水、分散升压,不排液转注,同步注水等“降投资、降成本”的新技术。本章主要介绍了油田注水工作中比较成熟的适应低渗透油田特点的工艺技术。

第一节 低渗透油田注水开发基础

注水在油田开发中所占的地位是十分重要的。为了实现油田长期高产稳产,取得较高的采收率,进行油田注水是目前行之有效的保持地层压力的方法。深埋在地下的油层具有一定的天然能量和压力。当开采时,油层压力驱使油层中的原油流向井底,并经井筒举升到地面。地下原油在流动和举升过程中,要受到油层的细小孔隙和井筒内液柱重力及井壁摩擦等阻力。如果仅靠天然能量采油,采油的过程就是油层压力和产量都逐渐下降的过程。当油层压力大于这些阻力时,油井就能实现自喷开采;当油层压力只能克服孔隙阻力而克服不了井筒液柱重力和井壁摩擦力时,就要靠抽油或其他采油方式;如果油层压力下降到不能克服油层孔隙阻力时,油层能量也就枯竭了。所以,一口井产量的高低,在油藏储量一定的情况下,实质上是由油层压力和阻力大小的变化来决定的,而油层压力又起主导作用。油田采用早期内部注水,就是从一开始采油就注水补充采油过程中不断消耗的天然能量,保持油层有较高的压力水平。这样,油井的生产能力就旺盛,就能以较高的采油速度采出较多的地下储量;保持油层压力始终处于饱和压力以上,就使地下原油中溶解的天然气不会大量脱出,使地下原油性质不变,保持良好的流动条件,有利于提高最终采收率。

一、低渗透油田水驱模拟结果

1. 低渗透油田水驱油采收率

国内外油田开发实践说明,低渗透油田水驱油采收率普遍低于中、高渗透油田的水驱油采收率。显然,低渗透油田的这种低的水驱油采收率和油藏的低渗透特性密切相关。但是,它们存在何种关系,需要经过试验加以探讨。

一组实验利用渗透率在 $0.5 \times 10^{-3} \sim 894 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 范围内的天然岩心,流体为油田地层水和模拟油,实验温度为 20°C 。

另一组实验利用渗透率在 $0.1 \times 10^{-3} \sim 40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的天然岩心。实验流体为模拟地层

原油。

实验结果如图 1—1—1、1—1—2 所示,它表明了低渗透率条件下,采收率随渗透率的变化情况。这种依赖关系十分明显,随渗透率的增加,采收率急剧增大。在较高渗透率条件下,采收率与渗透率改变无关。这种变化关系无论对无水期采收率和最终采收率都存在,且其规律是相同的。引起上述关系转变的渗透率值约 $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 左右。

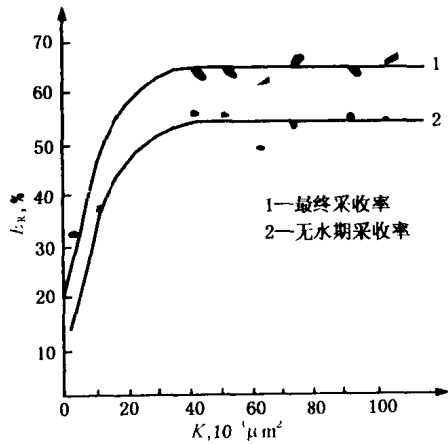


图 1—1—1 驱替速度为 $8.67 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 时采收率与渗透率的关系

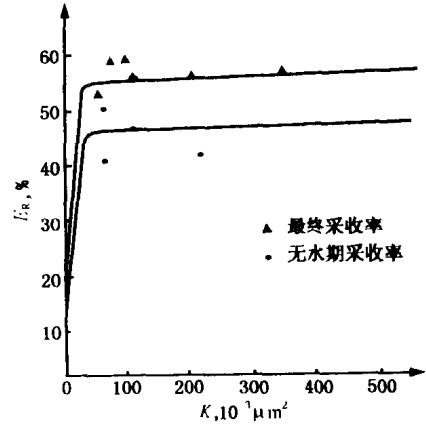


图 1—1—2 驱替速度为 $5.83 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 时采收率与渗透率的关系

2. 驱替速度对水驱油采收率的影响

油田注水开发时水驱油速度对石油采收率的影响是一个普遍关注的问题。在低渗透条件下渗透率越低,微孔隙数量越多,岩心比面增大,岩心中固、液相之间的作用增强,毛细管压力增大,因此小孔隙内油的流动压力提高。驱替速度的提高迫使岩心中一些由于压力不够而不能流动的油流动。所以随着驱替速度的增加,采收率增加。同时,由于低渗透油层微观孔道结构及微观非均质性影响的原因,驱替速度的进一步增加导致微观指进的增强,以致使采收率达到一最大值后又有所下降。

3. 低渗透油层水驱油启动压力问题

低渗透油层水驱油渗流阻力由于毛细管压力等表面力作用的明显加大而提高。驱替的启动压力梯度与渗透率有关(如图 1—1—3 所示)。渗透率越低,启动压力梯度增加越快,而渗透率增大,它的变化趋于平缓。对于高渗透油层水驱不需考虑其启动压力问题,而对低渗透油层中水驱油时则不可不考虑启动压力。

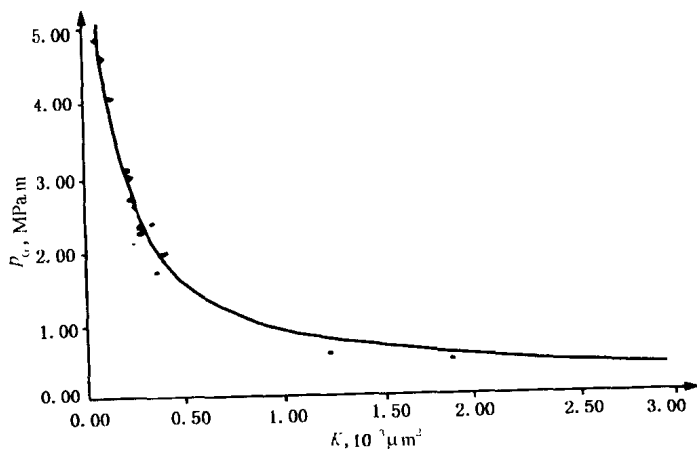


图 1—1—3 启动压力梯度与渗透率关系曲线

4. 低渗油层水驱油微观驱替特征
可利用微观仿真光刻地层模型观察油水渗流特征及残余油分布规律。

由于孔喉细小而不均匀,流体通

过模型的流动阻力增大,而且也不均匀。注入水首先沿较大孔隙突进。在压力梯度较小时,细微孔道中的油即成为死油;增大压力梯度才可能驱动这部分油进入较大孔道运动。但总有较多的小孔道中的油最终形成残余油,驱替水不能波及。也就是说,低渗透油层水驱油微观波及系数低,而且渗透率越小,微观波及系数越低。这是形成低渗透油田低采收率的微观原因。另外,大量盲孔的存在也是造成低采收率的一个原因。

二、注水井吸水能力分析

1. 注水井吸水能力

1) 注水井指示曲线

注水井指示曲线表示稳定条件下,注入压力与注水量之间的关系曲线,如图 1—1—4 所示。

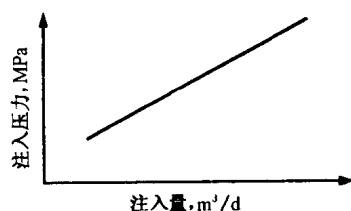


图 1—1—4 注水井指示曲线

2) 吸水指数

吸水指数表示单位注水压差下的日注水量,单位为“ $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa})$ ”。

$$\text{吸水指数} = \frac{\text{日注水量}}{\text{注水压差}} = \frac{\text{日注水量}}{\text{注井流压} - \text{注井静压}}$$

吸水指数的大小表示油层吸水能力的好坏。正常生产时,不可能经常关井测注水井静压,所以采用测指示曲线的办法取得在不同流压下的注水量。一般用下式计算吸水指数:

$$\text{吸水指数} = \frac{\text{两种工作制度下日注水量之差}}{\text{相应两种工作制度下流压之差}}$$

在进行不同油层吸水能力对比分析时,需采用“比吸水指数”或称“每米吸水指数”为指标,它是地层吸水指数除以油层有效厚度所得的值,单位为“ $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m})$ ”,也表示 1m 厚地层在 1 MPa 注水压差下的日注水量。

3) 视吸水指数

用吸水指数进行分析时,需对注水井进行测试取得流压资料后才能进行。在日常分析中,为及时掌握吸水能力的变化情况,常采用视吸水指数表示吸水能力,单位为“ $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa})$ ”,公式表示为:

$$\text{视吸水指数} = \frac{\text{日注水量}}{\text{井口压力}}$$

在未进行分层注水的情况下,若采用油管注水,则上式中的井口压力取套管压力;若采用套管注水,则上式中的井口压力取油管压力。

2. 影响吸水能力的因素

根据现场资料和实验室研究,影响注水井吸水能力下降的因素可综合为四个方面:

(1) 与注水井井下作业及注水井管理操作等有关因素。主要包括:进行作业时,因用压井液压井使压井液浸入注水层造成堵塞;由于酸化等措施不当或注水操作不平稳而破坏地层岩石结构,造成砂堵;未按规定洗井,井筒不清洁,井内的污物随注入水进入地层造成堵塞。

(2) 与水质有关的因素。

① 注入水与设备和管线的腐蚀产物(如氢氧化铁 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 及硫化亚铁 FeS 等)造成的堵塞,以及水在管线内产生垢(CaCO_3 , BaSO_4 等)造成的堵塞。

② 注入水中所含的某些微生物(如硫酸盐还原菌、铁菌等),除了自身堵塞作用外,其代谢产物也会造成堵塞。

③ 注入水中所带的细小泥砂等杂质堵塞油层。

④注入水中含有在油层内可能产生沉淀的不稳定盐类。如注入水中所溶解的重碳酸盐,在注水过程中由于温度和压力的变化,可能在油层中生成碳酸盐沉淀。

(3)组成油层的粘土矿物遇水后发生膨胀。

(4)注水井区油藏压力上升。

前三方面是指在注水过程中,由于储层孔道被各种堵塞物堵塞,使吸水能力降低;最后一方面则是注水过程中的正常现象。

三、注水指示曲线的类型及影响因素

1. 直线型指示曲线

如图 1—1—5 所示为一般分层测试时可能遇到的几种指示曲线的形状。图 1—1—5 中第 1 种直线为递增式,它反映了油层吸水量与注入压力成正比的关系。在直线上任取两点(如图 1—1—6 所示),由相应的注入压力 p_1, p_2 及注入量 Q_1, Q_2 ,用下式可计算出油层的吸水指数 I_w :

$$I_w = \frac{Q_2 - Q_1}{p_2 - p_1} \quad (1-1-1)$$

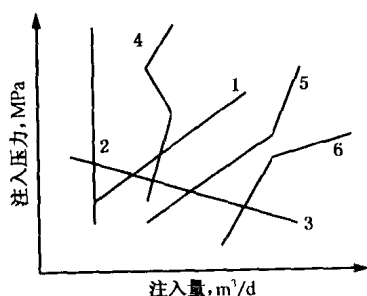


图 1—1—5 几种指示曲线的形状

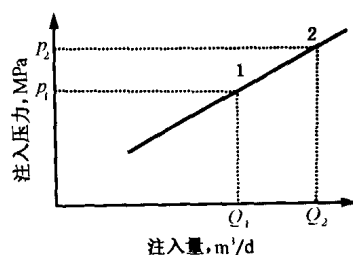


图 1—1—6 由指示曲线求吸水指数

由式(1—1—1)可看出,直线斜率的倒数即为吸水指数。用指示曲线计算吸水指数时,应用有效指示曲线,即应用有效注水压力与相应注水量绘制的指示曲线。

图 1—1—5 中第 2 种曲线为垂直式指示曲线,这种类型的曲线出现在油层渗透能力很差的情况下,产生这种情况的原因有以下几种:

- (1) 油层性质很差,虽然泵压增加了,但注水量没有增加;
- (2) 仪表不灵或测试有误差;
- (3) 井下管柱有问题,如水嘴堵死等。

图 1—1—5 中第 3 种曲线为递减式曲线,是一种不正常的曲线,不能应用。出现这种情况的原因是仪表、设备等有问题。

2. 折线型指示曲线

图 1—1—5 中第 4 种曲线为曲拐式曲线,其原因在于仪表设备有问题,不能应用。

图 1—1—5 中第 5 种曲线为上翘式曲线,除了与仪表、操作、设备有关外,还与油层性质有关。这种情况可出现在油层条件差、连通性不好或不连通的“死胡同”油层。向这种油层中注入的水不易扩散,油层压力升高,注入水受到阻力越来越大,使注入量增值减少,造成指示曲线上翘。

图 1—1—5 中第 6 种曲线为折线式曲线,表示有新油层在注入压力较高时开始吸水,或是

当注入压力增加到一定程度后,油层产生微小裂缝,使油层吸水量增大,是正常指示曲线。

当注水量很大而配水嘴直径很小时,在水嘴喉部以后可能产生汽穴现象,出现如图 1—1—7 所示的曲线。直线 AB 就是出现汽穴现象的结果。实验结果表明,在一定的嘴前压力下,当嘴前与嘴后的压差满足 $\Delta p > \Delta p_{cr}$ 时,注水量 Q 将保持为常数,其值等于 Q_{cr} ,其中 Δp_{cr} , Q_{cr} 可通过实验测出。这一特性可运用于液流的流量自动控制。在测试过程中遇到这种情况时,也可提供解释依据。

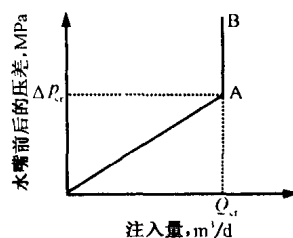


图 1—1—7 嘴后有回压并出现汽穴时的嘴损曲线

有汽穴现象存在时,在嘴子的汽穴部位将产生严重的“汽蚀”斑痕。

四、大庆油田油藏注入水水质指标

1. 定义

1) 悬浮固体

悬浮固体通常是指在水中不溶解而又存在于水中不能通过过滤器的物质。在测定其含量时,由于所用的过滤器的孔径不同,对测定的结果影响很大。石油天然气企业标准规定的悬浮固体是指采用平均孔径为 $0.45\mu\text{m}$ 的纤维素脂微孔膜过滤,经汽油或石油醚溶剂洗去原油后,膜上不溶于油水的物质。

2) 悬浮物颗粒直径中值

颗粒直径中值是指水中颗粒的累积体积占颗粒总体积 50% 时的颗粒直径。

3) 含油

含油是指在酸性条件下,水中可以被汽油或石油醚萃取出的石油类物质,称为水中含油。

4) 铁细菌

能从氧化二价铁中得到能量的一群细菌,形成的氢氧化铁可在细菌膜鞘的内部或外部储存。

5) 腐生菌(TGB)

腐生菌是指“异养”型的细菌,在一定条件下,它们从有机物中得到能量,产生粘性物质,与某些代谢产物累积沉淀可造成堵塞。

6) 硫酸盐还原菌(SRB)

硫酸盐还原菌是指在一定条件下能够将硫酸根离子还原成二价硫离子,进而形成副产物硫化氢,对金属有很大腐蚀作用的一类细菌,腐蚀反应中产生硫化铁沉淀可造成堵塞。

2. 油藏注水水质

1) 水质基本要求

- (1) 水质稳定,与油层水相混合不产生沉淀;
- (2) 水注入油层后不使粘土矿物产生水化膨胀或悬浊;
- (3) 水中不得携带大量悬浮物,以防堵塞注水井渗滤端面及渗流孔道;
- (4) 对注水设施腐蚀性小;

(5) 当采用两种水源进行混合注水时,应首先进行室内实验,证实两种水的配伍性好,对油层无伤害才可注入。

2) 不含聚合物注入水水质控制指标

不含聚合物注入水水质控制指标见表 1—1—1。

表 1—1—1 不含聚合物注入水水质控制指标

序号	各 项 指 标	注 入 层 平 均 空 气 渗 透 率, μm^2			
		<0.01	0.01~0.10	0.1~0.6	>0.6
1	含油量,mg/L	≤ 5.0	≤ 8.0	≤ 15.0	≤ 20.0
2	悬浮固体含量,mg/L	≤ 1.0	≤ 3.0	≤ 5.0 地面污水 ≤ 10.0	≤ 10.0 地面污水 ≤ 15.0
3	悬浮物颗粒直径中值, μm	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 3.0	≤ 5.0
4	平均腐蚀率,mm/a	≤ 0.076	≤ 0.076	≤ 0.076	≤ 0.076
5	硫酸盐还原菌(SRB),个/mL	0	≤ 25	≤ 25	≤ 25
6	腐生菌,个/mL	$n \times 10^2$	$n \times 10^2$	$n \times 10^3$	$n \times 10^4$
7	铁细菌,个/mL	$n \times 10^2$	$n \times 10^2$	$n \times 10^3$	$n \times 10^4$

注:表中 $2 \leq n < 10$;清水指标中去掉含油量;外围低渗透油田平均空气渗透率小于等于 $0.01 \mu\text{m}^2$ 时,悬浮固体含量暂时执行小于等于 2.0mg/L ,悬浮物颗粒直径中值暂时执行小于等于 $2.0 \mu\text{m}$ 。

3)水驱油藏注入水水质辅助性指标

(1)水质的主要控制指标已达到注水要求时,可以不考虑辅助性指标;如果达不到要求,为查原因可进一步检测其辅助性指标。

(2)油层采出水中溶解氧浓度不能超过 0.10mg/L 。清水中的溶解氧要小于 0.50mg/L 。

(3)侵蚀性二氧化碳: $-1.0 \sim 1.0 \text{mg/L}$ 。

(4)清水中不应含硫化物,油层产出水中硫化物浓度应小于 2.0mg/L 。

(5)水的 pH 值应控制到大于等于 6.5 为宜。

(6)地下清水中含铁量应小于等于 0.5mg/L 。

4)含聚合物污水用作注入水水质控制指标

含聚合物污水用作注入水水质控制指标见表 1—1—2。

表 1—1—2 含聚合物污水用作注入水水质控制指标

序号	各 项 指 标	注 入 层 渗 透 率, μm^2		
		<0.01	0.1~0.6	>0.6
1	含油量,mg/L	≤ 10.0	≤ 15.0	≤ 30.0
2	悬浮固体含量,mg/L	≤ 5.0	≤ 15.0	≤ 30.0
3	悬浮物颗粒直径中值, μm	≤ 2.0	≤ 3.0	≤ 5.0
4	平均腐蚀率,mm/a	≤ 0.076	≤ 0.076	≤ 0.076
5	硫酸盐还原菌(SRB),个/mL	$\leq 10^2$	$\leq 10^2$	$\leq 10^2$
6	腐生菌,个/mL	$n \times 10^2$	$n \times 10^3$	$n \times 10^4$
7	铁细菌,个/mL	$n \times 10^2$	$n \times 10^3$	$n \times 10^4$

注:表中 $2 \leq n < 10$;三元复合驱含油注入水指标暂时执行表 1—1—2 中所列指标。

5)含聚合物污水用作注入水水质辅助性指标同注入水水质辅助性指标。

第二节 注水系统地面工艺技术

非均质多油层砂岩油田在注水开发过程中,对水质要求因油层物性不同而异。对不同地区的水源处理因地制宜,分别采取了不同处理工艺。针对低渗透率差油层孔喉半径小,对注入水的水质要求高的问题,大庆油田广泛采用锰砂过滤—密闭除氧—化学杀菌—管道防腐—井口磁化处理和精细过滤及镍磷防腐油管组成的配套水质处理技术,并建立和完善了水质监测网,使注入水质基本适应低渗透油藏注水开发要求。

一、油田注水供水系统

1. 供水水源

油田注水要求水源的水量充足、水质稳定。水源的选择既要考虑到水质处理工艺简便,又要满足油田日注水量的要求及设计年限内所需要的总注水量。

目前作为注入水用的水源主要有四种。

1) 地面水源

江、河、湖、泉的地面淡水已广泛应用作注入水。地面水源的特点是:水质随着季节变化很大,高含氧,携带大量悬浮物和各种微生物。

2) 来自河床等冲积层的水源

它是通过在河床打一些浅井到冲积层的顶部而得到的淡水水源。其特点是:水量稳定,水质变化不大,通常无腐蚀性;由于自然过滤,混浊度不受季节影响;水中含氧稳定,便于处理,但由于硫酸还原菌深埋地下,因此仍可能受到污染。

3) 地层水水源

地层水水源是根据地质资料,通过钻探而找到的地下淡水或矿化度较高的水源。能找到高压、高产量的淡水层最好。若找不到单一水层,多层水也可以,但应注意,不同水层的水彼此不能产生化学反应而结垢。矿化度较高的水的好处是可以防止注水所引起的粘土膨胀。

4) 油层采出水

水驱开采的油田可能随同原油采出很多地层水或注入水,对这些水应采取回注。当然,这些水必须进行处理,以适应于注入水要求。

大庆外围低渗透油田主要采用地层水或油层采出水作为油田注水井水源。

2. 选择油田注入水水源的原则

(1) 优先利用油田采出水,减少环境污染,节约水资源;

(2) 在采出水不足的情况下,再找第二水源,其水源要符合以下原则:

① 必须能够供给充足的水量;

② 有良好的水质,与地层配伍、水质稳定,处理工艺简单;

③ 如果必须两种或多种水混合使用,应做结垢计算和可混性试验。

(3) 供水水源总供水量的确定:

计算公式:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

式中 Q ——水源总供水量, $10^4 \text{m}^3/\text{d}$;

Q_1 ——油田注水量, $10^4 \text{m}^3/\text{d}$;

Q_2 ——其他用水量(含辅助生产用水量、生活用水量), $10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。

二、注入水处理工艺技术

在水源确定的基础上,一般要进行水质处理。水源不同,水处理的工艺也就不同。现场上常用的水质处理措施有以下几种。

1. 沉淀

水源来水总含有一定数量的机械杂质,因此在处理上首先要沉淀,以便除去机械杂质。其方法就是让水在沉淀池(罐)内有一定的停留时间,使其中所悬浮的固体颗粒借自身的重力而沉淀下来。沉淀池的结构如图 1—2—1 所示。

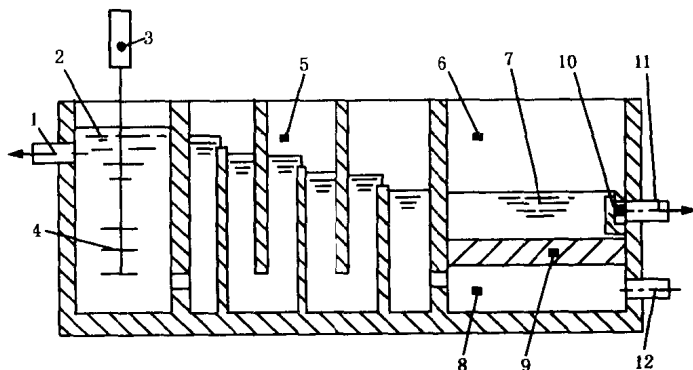
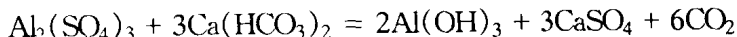


图 1—2—1 沉淀池结构示意图

1—进水管;2—机械反应池;3—搅拌机;4—叶轮;5—隔板反应池;6—斜板沉淀池;
7—清水池;8—积泥区;9—斜板;10—集水槽;11—出水管;12—排泥管

沉淀时要有足够的沉降时间,以便使悬浮固体凝聚并沉淀下来。一般在池或罐内还装有迂回挡板,以利于颗粒凝聚与沉淀。

为了加速水中的悬浮物和非溶性化合物的沉淀,可在沉淀过程中加入聚凝剂。常用的聚凝剂为硫酸铝,它和碱性盐如碳酸氢钙作用后可形成絮状沉淀物,其化学反应式如下:



聚凝剂形成的絮状沉淀物带着悬浮物一起下沉,可加速沉降速度。当水的 pH 值为 5~8 时,硫酸铝的聚凝效果好;当 pH 值为 8~9 时,硫酸亚铁对形成非溶性的氢氧化铁的聚凝效果好。其他化学聚凝剂还有:硫酸铁 $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$ 、三氯化铁 $[\text{FeCl}_3]$ 和偏铝酸钠 $[\text{NaAlO}_2]$ 等,有时还需加碱(如石灰)来提高水的 pH 值,以便加速聚凝过程。由于石灰和二氧化碳、碳酸氢钙等起化学反应生成碳酸钙,而碳酸钙可经过聚凝沉淀和过滤除去。

2. 过滤

来自沉淀池的水往往还含有少量很细的悬浮物和细菌,为了除去这类物质必须进行过滤处理。即使来自无需沉淀的地下水,也常需要过滤。

(1) 过滤是指污水流过一个较厚(一般不小于 700mm 左右)而多孔的石英砂或者其他粒状物质的过滤层,杂质被截留在滤料之间的孔隙里或介质上,从而使水得到进一步净化。

(2) 滤料选用的要求。

正确选用过滤材料,对滤池正常工作意义很大。滤料颗粒的大小、形状、组成以及滤料层厚度,对于过滤池的过滤速度、滤污能力、工作周期等有着直接的影响。使用的过滤材料必须符合下列要求:有足够的机械强度,以免冲洗时颗粒过度磨损和破碎而降低滤池的工作周期;对于过滤的水有足够的化学稳定性;价格低廉等。

(3) 滤料的主要技术性能指标。

油田常用滤料的主要性能指标见表 1—2—1。

表 1—2—1 油田常用滤料的主要性能指标

滤料名称	密度, g/cm ³	孔隙率, %	破碎率, %	性能
无烟煤	1.40~1.50	50~55	≤0.62	在酸碱中不溶蚀
石英砂	2.66	45~50	≤0.35	
磁铁矿	4.50	45~50	—	
锰砂矿	3.40	—	≤1.80	
陶瓷	3.20	43~50	—	
陶粒	1.52	55~70	—	
核桃壳	0.8	—	—	
轻质陶粒	0.8~0.85	65~70	—	

(4) 过滤设备。

过滤设备常用过滤池或过滤器,内装石英砂、大理石屑、无烟煤屑及硅藻土等。水从上向下经砂层、砾石支撑层,然后从池底出水管流入澄清池澄清。

滤池的工作强度用过滤速度来表示。过滤速度是指在单位时间内,从单位面积滤池通过的水量,一般用“m³/(m²·h)”或“m/h”来表示。按滤速来分,滤池可分为慢速滤池,其滤速为 0.1~0.3m/h;快速滤池,其滤速为 15m/h 以上。滤池中水面与大气接触,利用滤池与底部水管出口,或水管相连的清水池水位标高差进行过滤的,叫做重力式滤池;滤池完全密封,水在一定压力下通过滤池的,叫压力滤罐。油田常用的压力式滤罐如图 1—2—2 所示。

压力式滤罐是一个立式或卧式的密闭金属容器,是由滤料层、支撑介质(砾石垫料层)和进水管、排水管、洗水管等组成。为了除去滤料层过滤的污物,要定时进行反冲洗,在反冲洗时滤料层要完全浮起来,而支撑介质不动,一般反冲洗速度在 30~70 m/h 范围内。

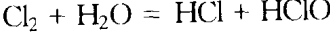
还需指出,过滤后的水中杂质的质量浓度应小于 2mg/L 才算合格。

地面水处理系统采用一级精细过滤器对注入水进行精细过滤,在注水井井口安装磁清渣器可进行二次处理。

3. 杀菌

由于水中一般都含有藻类、铁菌或硫酸还原菌,在注水时必须将这些物质除掉,以防止堵塞油层和腐蚀管柱,因此,要进行杀菌。考虑到细菌适应性强,一般选用两种以上的杀菌剂,以免细菌产生抗药性。

常用的杀菌剂有氯或其他化合物,如次氯酸、次氯酸盐及氟酸钙,甲醛既有杀菌作用又有防腐作用。氯气杀菌时,由于和水作用而生成次氯酸:



而次氯酸是一种不稳定的化合物,分解后产生新生态的氧[O]:

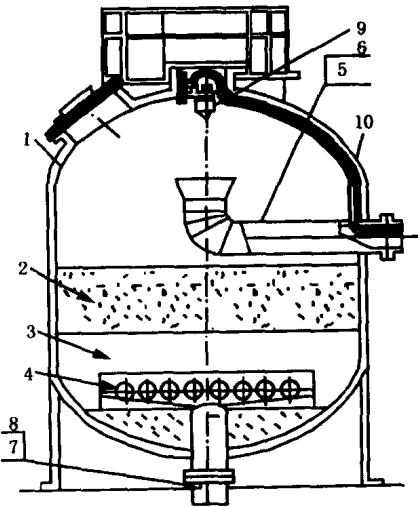


图 1—2—2 油田常用的压力式滤罐
1—罐体;2—滤料层;3—垫料层;4—集配水管;5—进水管;6—反冲洗排水管;7—出水管;8—反冲洗进水管;9—自动排气阀;10—排气管



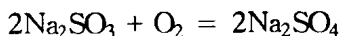
[O]是强氧化剂,可以杀菌。

4. 脱氧

氧是造成注水系统腐蚀的最主要、最直接的因素,也是其他水质指标能否达到标准的关键。地面水和雨水由于和空气接触,总是溶有一定量的氧,有的水源还含有碳酸气和硫化氢气体,应设法除去。下面就脱氧问题作一简单介绍,而除去碳酸气和硫化氢气体在原理上和脱氧(化学法和真空法)有相似之处。

1) 化学法脱氧

常用的化学除氧剂有亚硫酸钠(Na_2SO_3)、二氧化硫(SO_2)和联氨(N_2H_4)等,最常用的是亚硫酸钠,它具有价格低廉、处理方便的优点,反应式如下:



每除去 1mg/L 的氧需加 7.88mg/L 无结晶水的亚硫酸钠,投加时可适当有余量。水温低、含氧少时,上述反应慢,可加催化剂硫酸钙促进反应。

2) 天然气逆流冲刷法脱氧

利用天然气对水逆流冲刷除去水中的氧也是一项有效措施。其原理是:脱氧前水表面的空气压力为 10MPa ,空气中的氧约占 $1/5$,故氧在空气中的分压约为 2MPa ,当天然气逆流冲刷时,它冲淡了空气中的氧,从而使得水表面氧的分压降低,水中的氧便从水中分离出来,被天然气带走。随后又冲淡又带走,最后把水中的氧除掉。另外,天然气还有吸收氧的能力,在不断的冲刷过程中把氧带走。将 1m^3 水中含氧从 10mg/L 降到 1mg/L ,约需用 0.3m^3 的天然气。脱氧后的天然气可以回收更新并可作为燃料。

3) 真空法脱氧。

(1) 真空脱氧原理。

用抽空设备将脱氧塔抽成真空,从而把塔内水中的氧气分离出来并抽掉。通过喷嘴的高速空气在喷射器内造成低压,使塔内水中的氧分离出来并被蒸汽带走。为了使水中的氧气易于脱出,塔内装有许多小瓷环。

(2) 真空脱氧流程。

真空脱氧流程如图 1—2—3 所示。

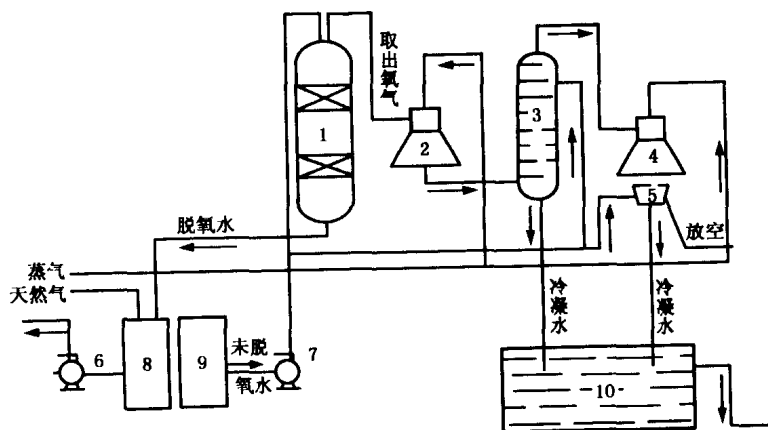


图 1—2—3 真空脱氧流程图

1—脱氧塔;2—一级喷射器;3—中间冷却;4—二级喷射器;5—消音器;
6—外输泵;7—脱氧泵;8—脱氧后储水池;9—原油储水池;10—水封槽

(3)真空设备。

①水环—大气喷射真空泵。

水环—大气喷射真空泵是由水环真空泵和大气喷射真空泵组成的真空泵机组。该泵多级串联使用可得到更高的真空度,所需级数应根据工程实际需要确定。

②水射器真空系统。

水射器真空系统一般由循环水池、循环水泵、水射器、冷却塔组成。

4)超重力场脱氧工艺

超重力场脱氧是电机带动由多孔金属填料构成的圆环状填料床(简称旋转床),在金属壳体内做每分钟数百转至数千转的高速旋转,未脱氧的原水由中心进入旋转床内的多孔通道中,在离心力的作用下流出转子至壳体的集水装置中(成脱氧水)。天然气由旋转床的周边进入多孔体,与水在比表面很大的多孔内做高湍流及表面急速更新的情况下逆向接触,从而完成整个脱氧过程。脱氧工作过程如图1—2—4所示。

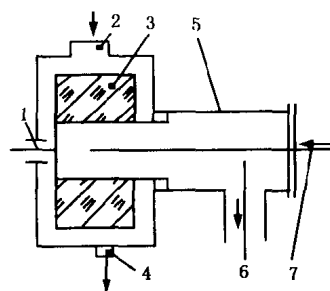


图 1—2—4 脱氧工作过程示意图

1—电机轴;2—天然气进口;3—旋转床;
4—脱氧水出口;5—金属壳体;6—天然气
出口;7—原水进口

5.曝晒

当水源含有大量的过饱和碳酸盐(如重碳酸钙、重碳酸镁和重碳酸亚铁等)时,由于它们极不稳定,注入地层后由于温度升高可能产生碳酸盐沉淀而堵塞油层,因此需预先进行曝晒处理将碳酸盐沉淀下来,使水质稳定。

6.含油污水处理

含油污水是油田开发过程中不可避免的产物。随着油田开发时间的延长,产出的污水也随之增加,因而污水回注意义重大。

1)污水回注的优点

- (1)污水中含表面活性物质,能提高洗油能力。
- (2)高矿化度污水回注后,不会使粘土颗粒膨胀而降低渗透率。
- (3)污水回注保护了环境,提高了水的利用率。

2)污水回注应解决的问题

- (1)处理后的污水应达到注入水水质标准。
- (2)不在设备和管线中产生堵塞性结垢,也不产生严重腐蚀。
- (3)和地层水不起化学反应生成沉淀,以免堵塞油层。

3)含油污水处理的目的

含油污水处理的目的主要是除去油和悬浮物。

4)含油污水处理的过程

含油污水处理的过程包括沉降、撇油、絮凝、浮选、过滤,以及加抑垢、防腐、杀菌及其他化学药剂等。

5)含油污水处理工艺流程图

各套注水系统的具体工艺和流程有不同之处,但都是依据具体情况来设计的。目前油田常用混凝除油、重力式石英砂过滤处理含油污水,其工艺流程如图1—2—5所示。