



圣湖油田 稠油注汽采油技术

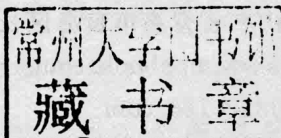
赵 焯 编著



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

圣湖油田 稠油注汽采油技术

赵 煊 编著



图书在版编目(CIP)数据

圣湖油田稠油注汽采油技术 / 赵焯编著. —东营:

中国石油大学出版社, 2016. 7

ISBN 978-7-5636-5236-5

I. ①圣… II. ①赵… III. ①稠油开采 IV.

①TE345

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 165094 号

书 名: 圣湖油田稠油注汽采油技术

作 者: 赵 焯

责任编辑: 方 娜(电话 0532—86983560)

封面设计: 赵志勇

出 版 者: 中国石油大学出版社

(地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编: 266580)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱: fangna8933@126.com

排 版 者: 青岛天舒常青文化传媒有限公司

印 刷 者: 北京京华虎彩印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86983584, 86983437)

开 本: 180 mm×235 mm

印 张: 10.25

字 数: 203 千

版 印 次: 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5636-5236-5

印 数: 1—510 册

定 价: 36.00 元

前言

Preface

圣湖油田稠油主要以蒸汽吞吐、蒸汽驱为主进行热采开发,本书从热力采油技术出发,介绍了稠油基本概念、热力采油技术及其发展现状,详细阐述了蒸汽吞吐和蒸汽驱开采稠油的过程、机理、筛选标准以及存在的问题和发展趋势。通过圣湖油田油藏地质概况描述、勘探开发历程和生产现状分析,针对圣湖油田稠油注汽开发过程中暴露的难点问题,基于井筒气液两相热力学、井筒温度、压力和热损失模型研究,计算分析了注汽采油过程中温度、压力、干度的动态变化;根据油田不同阶段的生产状况及生产动态变化,基于热采井转周注汽过程中存在的井次多,供汽能力与转周中间周期的协调矛盾,提出了注汽转周优化挖潜技术,形成了注汽转周最优时机图版和方法。基于稠油水平井不同注汽方位下产能研究和不同水平段长度的汽油比及产能分析,优化了稠油水平井的注汽点和水平段长度;针对热采井注汽热效低这一难题,开展了注汽参数整体优化技术研究,对周期注汽量、注汽速度、注汽压力、注汽干度、焖井时间进行了整体优化,形成了注汽参数整体优化方法;基于注汽热采井挖潜增产,提高采收率的最终目的,针对注汽工艺,提出了多脉冲双管选择性注汽技术,优化了注汽工艺管柱设计和配套工艺,针对采油工艺,提出了复合泡沫调剖、氮气辅助蒸汽吞吐、水平井堵水等挖潜增产技术,优化采油配套工艺,同时开展

热蒸汽动态监测技术研究,保证注汽采油工艺技术的实施效果和信息反馈。

本书的出版对了解稠油油田注汽采油技术和热采开发模式具有重要意义,可作为从事稠油生产、开发、作业岗位的科研技术人员和石油院校相关专业师生的参考书。

编 者

2016 年 10 月

目 录

Contents

第一章 热力采油技术	1
第一节 稠油定义	1
第二节 热力采油技术	3
一、定义	3
二、机理	3
三、方法	4
四、优点	5
第三节 热力采油发展现状	6
第四节 注蒸汽技术	7
一、蒸汽吞吐	7
二、蒸汽驱	14
第五节 热力模型	22
第二章 圣湖油田稠油油藏概述	25
第一节 概 况	25
一、地质概况	26
二、构造特征	28
三、油藏特征	29
第二节 勘探开发简况	32
一、Girasol 油田	32
二、Abarco 油田	33
三、Moriche 油田	34
第三节 开发历程及现状	35

一、Girasol 油田	35
二、Abarco 油田	39
三、Moriche 油田	41
第三章 注汽压力温度计算	45
第一节 地面管线温度计算模型	45
一、架空管线	45
二、地下埋管	47
三、井口蒸汽干度计算模型	48
第二节 井筒温度计算模型	49
一、温度计算模型	49
二、传热系数计算模型	57
三、干度计算模型	58
第三节 加热半径计算模型	61
一、Marx-Langenheim 理论	61
二、最大加热面积	62
第四节 压力计算模型	62
第五节 注蒸汽井井筒流体的热物理特性	63
一、蒸汽及水的热物理特性和特性参数的计算方法	63
二、空气的热物理特性和特性参数的计算方法	68
第六节 计算过程	69
一、假设条件	69
二、计算过程及程序框图	69
第七节 计算案例	71
第四章 注汽采油生产动态优化	73
第一节 转周时机优化	73
第二节 注汽点优化	77
第三节 水平段长度优化	82
第五章 注汽参数优化	87
第一节 周期注汽量	88
第二节 注汽速度	90
第三节 注汽压力	94
第四节 注汽干度	96

第五节 焖井时间	99
一、合理焖井时间理论模型	99
二、合理焖井时间的确定	99
第六节 圣湖油田注汽参数优化	102
第六章 提高采收率技术研究	103
第一节 注汽工艺	103
一、多脉冲双管选择性注汽技术	103
二、注汽工艺管柱设计	109
三、注汽配套工艺	110
第二节 采油工艺	112
一、复合泡沫调剖挖潜增产技术	112
二、氮气蒸汽增能挖潜增产技术	124
三、堵水技术	131
四、采油配套工艺	135
第三节 注蒸汽热采动态监测技术	137
一、注入蒸汽流量监测技术	137
二、井筒注汽参数监测技术	141
三、应用示踪剂技术确定蒸汽驱井组井间流通关系	144
第四节 冷采工艺	145
一、掺稀油降黏工艺	145
二、电热杆加热降黏工艺	148
三、螺杆泵降黏工艺	149
四、井筒热流体循环降黏工艺	151
五、喷射泵降黏工艺	152
附 录	153
参考文献	154

第一章

热力采油技术

世界上稠油资源极其丰富且分布很广,各地区稠油的油藏类型差异较大,油藏特点各不相同。不同的油藏条件直接影响稠油的开发方式、开发效果及提高采收率的措施方向。我国已发现数量众多的稠油油藏,其埋藏深度范围广、稠油黏度高、密度大、开采过程中流动阻力大,不仅驱替效率低,而且体积扫油效率也低,难以用常规方法进行开采。

第一节 稠油定义

稠油是一种高黏度、高密度的原油。目前,国内外稠油的分类标准有所差异:表 1-1 是第二届国际重质油沥青砂学术会议上联合国培训研究署对各国分类标准比较研究后推荐的分类标准;表 1-2 是我国刘文章教授 1987 年提出的中国稠油分类标准。

表 1-1 UNITAR 推荐的重油及沥青分类标准

稠油分类	第一指标	第二指标	
	黏度/(mPa·s)	密度(60 ℉)/(kg·m ⁻³)	API 重度(60 ℉)/(°API)
重油	100~10 000	934~1 000	10~20
沥青	>10 000	>1 000	<10

表 1-2 中国石油行业稠油分类试行标准

稠油分类		主要指标	辅助指标
名称	类别	黏度/(mPa·s)	相对密度(20 ℃)
普通稠油	I	50~10 000	>0.920 0
	亚类	I-1	>0.920 0
		I-2	>0.920 0
特稠油	II	10 000~50 000	>0.950 0
超稠油(天然沥青)	III	>50 000	>0.980 0

稠油与普通原油的性质存在着一些差别,稠油的一般特性为:

(1) 稠油中的胶质和沥青含量高,而轻质组分少。中国主要稠油油藏中,原油的沥青及胶质含量一般为 25%~50%,而轻质组分含量一般仅占 10%左右。随着胶质和沥青含量的增加,稠油的密度及黏度也相应增加。因此,高黏度、高相对密度成为稠油区别于普通轻质原油的主要特征。

(2) 稠油黏度随密度的增加而增加。统计资料表明,稠油黏度随原油密度的增加而增加,但由于不同稠油油藏的沥青和胶质含量有所差异,二者并不呈现明显的线性关系。当沥青和胶质总含量一定时,沥青含量越多,原油密度越大;胶质含量越多,黏度越大。从表 1-3 可以看出:相对于其他国家的稠油来说,中国的稠油沥青含量比较少(小于 10%),而胶质含量比较多,所以表现为原油密度较小而黏度较大。

表 1-3 不同国家稠油化学组分

国 家	油 田	相对密度	杂原子含量/%			胶质沥青含量/%	
			S	O	N	胶质	沥青
中 国	辽河高升	0.94~0.96	0.55	—	0.72	45.5	3.3
	新疆风城	0.965 6	0.31	—	0.51	56.7	5.7
加 拿 大	Athabasca	1.015	4.6	1.0	0.5	23.4	18.0
	Cold Lake	0.994	4.5	1.5	0.4	28.3	15.0
	Peace River	1.026	5.9	1.6	0.5	30.5	19.5
委 内 瑞 拉	Jobo	1.020	3.0	—	0.6	25.4	8.6
	Laguna	0.989	3.7	—	0.5	—	7.3
美 国	Tar Sand Triangle	0.92	4.4	1.1	0.46	—	26.0

(3) 稠油中的硫、氧、氮等含量较多。美国、加拿大及委内瑞拉的重油中,硫含量高达 3%~5%;相对于其他国家来说,中国的原油含硫量比较低,一般仅为 0.5%左右,个别达到 2%。

(4) 稠油中含有少量稀有金属。一般稠油中含有镍(Ni)、钒(V)和铁(Fe),这对炼制工艺提出了一些特殊要求。委内瑞拉及加拿大的稠油中,镍、钒含量较高,尤其是钒的含量高达每升几百毫克,甚至 1 000 mg/L。而中国稠油中的钒含量很低,仅每升几毫克。

(5) 稠油中石蜡含量一般比较低。国外绝大多数稠油含蜡量比较低,一般只有 5%左右。中国多数稠油的含蜡量比较低,但也有极少数油田的沥青胶质和石蜡含量都很高,表征为高黏度、高凝点原油。

(6) 同一稠油油藏,原油性质在油层垂向的不同井段及平面上的不同区域大多有一定差别,需要对油藏进行精细的研究和描述。

(7) 稠油的黏度对温度很敏感,随着温度增加黏度急剧降低。这是稠油热采的主要技术机理。

第二节 热力采油技术

由于稠油储量在国内外都是相当可观的,随着时间的推移,稠油开发势必成为石油工业中相当重要的组成部分。我国目前已在东部和西部 15 个大中型含油气盆地发现了这类资源,主要储集于碎屑岩、火山岩、变质岩及碳酸盐岩储层之中,绝大部分埋深 1 000~1 500 m。当今世界稠油开采主要以蒸汽吞吐、蒸汽驱、火烧油层、热水驱等热力开采为主。在热力开采中,蒸汽驱产量占有一定的比例,在美国、印度尼西亚、委内瑞拉和加拿大均有大型蒸汽驱开发的油田。蒸汽吞吐开采在委内瑞拉的规模最大,其次是美国和哥伦比亚。热力采油是开采稠油行之有效的方法。

稠油热采早在 20 世纪初便开始了工业性试验。1931 年在美国得克萨斯州伍德森附近的威尔森、斯旺两个油矿进行了蒸汽驱现场试验;1934 年在原苏联进行了火烧油层试验;1959 年壳牌公司在委内瑞拉明格兰德油田进行了蒸汽吞吐。20 世纪 60 年代后,由于热力开采的发展,稠油资源比较丰富的美国、加拿大、委内瑞拉等国陆续开始了工业化生产。

新疆克拉玛依的稠油是我国最早投入开发的,1958—1975 年克拉玛依曾对 6 个稠油油田进行火烧油层试验,但未取得突破性进展。随后,小规模蒸汽吞吐试验取得了良好效果。特别是 1982 年以来,我国辽河油田经反复热采试验,使蒸汽吞吐获得成功,取得了长足的进展,稠油产量跃居全局产油量的一半,居于全国首位。此后,胜利油田蒸汽热采成功,使稠油产量名列全国第二。1982 年以前,中国东部的稠油资源基本上没有开发,自 1982 年以后,东部的稠油才得到迅速开发。

一、定义

热力采油是稠油油藏开发应用最广泛的方法之一。热力采油主要是通过一些工艺措施使油层温度升高,降低稠油黏度,使稠油易于流动,从而将稠油采出。根据其对油层的加热方式通常分为两类:一是把热流体注入油层,如注热水、蒸汽吞吐、蒸汽驱等;另一类是在油层内燃烧产生热量,称为层内燃烧或火烧油层。其中火烧油层又分为干式向前燃烧法、湿式向前燃烧法和反向燃烧法。在热力采油中,主要采用蒸汽吞吐和蒸汽驱。

二、机理

稠油的属性与常规稀油不同,稠油黏度及密度随沥青、胶质含量的增加而增加;稠油中轻质馏分很少,大多小于 10%,一般仅有 5%左右;稠油中含硫量很低,一般小于

0.8%；石蜡含量也比较低，通常在5%左右。稠油最大的特性是它对温度变化非常敏感，总的规律是：随着温度升高，黏度-温度曲线呈下滑抛物线急剧降低。据我国多数稠油油田样品所做的黏度-温度曲线特性分析，拐点多位于120~130℃范围内，表明高于此温度界限，稠油流动由非牛顿型流动变为牛顿型流动，这就是采用热力法开采稠油能提高采油率的基本原理所在。

三、方法

由于稠油的特殊性质，常规开采技术无法对其进行有效的开发。目前用于稠油油藏开发的主要有蒸汽吞吐、蒸汽驱、火烧油层、热水驱等技术。其中，技术最为成熟的是蒸汽吞吐和蒸汽驱技术。每一种技术都有可能提高原油的采收率，但不同情形下效率不一样。

1. 蒸汽吞吐技术

稠油蒸汽吞吐开发的每一轮次一般分为三个阶段：注蒸汽、焖井、采油。首先，在同一口井中，将大量蒸汽以较高的速度注入，然后关井焖井，在焖井数日后开井排液采油。蒸汽吞吐是周期性的，当采油速度低于一定的值后再重复开展下一轮次的蒸汽吞吐。注入的蒸汽量根据油层厚度、原油黏度、地层压力等参数而决定。对于不同原油黏度的稠油，其峰值产量所在的周期不同。

在蒸汽吞吐采油过程中，其增产机理主要有以下几种：

(1) 油层中原油加热后黏度大幅度降低，流动阻力大大减小。利用黏温敏感性是稠油热采的主要机理。

(2) 对于压力较高的油层，油层的弹性能量在油层被加热后充分释放出来，成为驱动能量。另外，放大压差作用是蒸汽吞吐开采机理发挥效力的必要条件。

(3) 解堵作用。高温蒸汽对岩石的冲刷可以解除近井地带的污染，尤其是在第一周期，解堵起到了非常重要的作用。

2. 蒸汽驱技术

蒸汽驱如同水驱一样由注入井和生产井构成注采井网，注汽井和生产井可按行列式井网或面积井网（五点、反七点、反九点）布井。与蒸汽吞吐相比，蒸汽驱需要经过较长时间的注入才能够见到效果，费用高、投资回收期长。其驱油机理主要是降低稠油黏度，提高地层原油的流度。

蒸汽驱不同于蒸汽吞吐，它是以适当地补充地层能量为前提的，因而蒸汽驱的采收率比蒸汽吞吐要高。适合蒸汽吞吐的普通稠油油藏的采收率一般为20%原始石油地质储量(OOIP)，而适合蒸汽驱的普通稠油油藏一般在50%OOIP以上，甚至达到70%OOIP。

3. 火烧油层技术

火烧油层也称火驱采油，是使油层本身产生热量的一种热力采油方法。火烧油层

是利用各种点火方式把注气井的油层点燃,并继续向油层中注入氧化剂(空气或氧气)助燃形成移动的燃烧前缘(又称燃烧带),由注入井向生产井推进。燃烧带产生大量热量,使燃烧带前后的原油受热降黏、蒸馏,蒸馏的轻质油、蒸汽和燃烧烟气驱向前方,未被蒸馏的重质碳氢化合物在高温下产生裂解作用,最后留下裂解产物,焦炭作为维持油层燃烧的燃料,使油层燃烧不断蔓延扩大。在高温下,地层束缚水、注入水蒸发,裂解生成的氢气与注入的氧气合成水蒸气,携带大量的热量传递给前方的油层,把原油驱向生产井。

火烧油层又可分为反向燃烧和干式正向燃烧。反向燃烧是从生产井中注入空气,并点燃地层,然后改为注入井注空气,空气从注入井向生产井运移,而燃烧前缘的移动方向相反。反向燃烧克服了正向燃烧存在冷油区的缺点,当原油和高温燃烧前缘会合后,产生热裂解,轻质部分蒸发,重质部分形成残渣。当蒸汽到达已燃区的较冷地带时,一部分就会发生凝结,在出口附近生成液体和水,燃烧前缘上游区域因热传导而受热,这将导致低温氧化反应,产生热量。

干式正向燃烧是向注入井注入空气,点燃注入井附近的油层,继续注入空气,使燃烧前缘由注入井向采油井方向推进,在燃烧前缘处产生的热量把靠近前缘的地层水汽化,并在燃烧前缘的前方形成蒸汽带。

火烧油层最大的问题是氧化过程在油藏中维持的时间以及氧化范围。

4. 热水驱技术

热水驱是指一定井网布置中,在某些特定井注入热水,而同时从另外一些井中抽取原油(包括水)。这种方法可以说同常规的注水法一样古老,虽然早期并无此类报道。

在这种情况下,为了抑制腐蚀和结垢,要将注入水进行过滤处理;为了尽可能减少油层中黏土的膨胀,要在注入水中加入防膨剂;如果还有其他需要的话,还要对注入水做进一步处理。加热水的主要作用是降低原油的黏度,从而提高驱替效率,以超过常规注水的驱替效率。

如果我们考虑水、石油、岩石三相共存的情况,那么,在高温下会引起以下几种物理效应(此时我们把水、岩反应放在一边):

- (1) 流体黏度降低;
- (2) 流体和岩石热力学膨胀;
- (3) 界面特性改善(油水界面张力变化,吸附在岩石表面上的物质可能脱附,从而岩石表面润湿性发生变化)。

四、优点

热力采油之所以能在提高采收率技术(EOR)中居于特殊地位,是由于它具有以下优点:

(1) 使用的工作介质是容易取得的水和空气。这类方法的应用范围不受制备大量化学试剂技术条件的限制。

(2) 在各种不同的油田地质埋藏条件下,热采法通常都可得到较高的原油采油率。而且在利用其他 EOR 方法都不能从油层中采出原油的情况下(例如特稠原油和沥青矿),常常可以利用热采法获得成功。热采法被认为是最好的开采方法。

(3) 热采方法与其他 EOR 方法比较,经济效益最优。美国能源部的一份关于“EOR 经济型”的报告中指出,热采法技术费用指数最低,净附加采收率最高。

(4) 常规的热采方法(注蒸汽和火烧油层)是以消耗部分能源(燃料油或电能)为代价,开采更多原油的能量密集型工艺技术。各种各样的节能技术,如热电联产、原煤的地下煤气化、劣质煤的流化床燃烧技术等,相继运用于热采工艺,能降低热采成本,使之更具吸引力。

(5) 微波、电磁、采掘式热采以及水平井和热采相结合等非常规热采法先后问世,更拓宽了热采的应用范围,增加其活力。

第三节 热力采油发展现状

随着科技的发展,热采技术与其他科学技术的结合更为紧密。通过技术间的相互组合,技术集成化的趋势非常明显。从近年文献的总结分析来看,热采的发展充分体现了以下两大特点:

(1) 热采技术与工程技术的结合更为紧密。由于水平井在稠油开采中具有可增加井筒与油层的接触面积和渗流面积、提高井的吸汽能力和生产指数、扩大加热油层的体积、提高蒸汽驱替效率、防止蒸汽超覆和汽窜、减少热损失、提高油气比等优势,近年来国内外非常重视热采技术与水平井技术的结合。目前,主要的水平井稠油热采技术有:水平井蒸汽吞吐、水平井蒸汽驱、加热通道蒸汽驱、重力辅助蒸汽驱(SAGD)、改进的重力辅助蒸汽驱(ESAGD)、水平井电加热开采、坑道式水平井开采、多底水平井开采、水平井注空气技术(THAI)、顶部燃烧重力辅助水平井开采(COSH)、水平井火烧油层等,近年来又研发了 X-SAGD、SW-SAGD、快速 SAGD、混合 SAGD 等技术。

(2) 热采技术与化学技术的组合进一步加强。近年来,热采研究的重点是加入各种溶剂、气体、化学添加剂和泡沫等,以改善其开发效果。2006 年至今,不少文献论述了在蒸汽中加入甲烷、丙烷、生物柴油、溶剂、表面活性剂等可明显提高蒸汽注入能力,改善蒸汽的热效率。

第四节 注蒸汽技术

一、蒸汽吞吐

在今天的石油工业中,蒸汽吞吐是提高原油采收率的最重要手段之一。蒸汽吞吐工艺施工简单,收效快,不需要特别的试验研究,可以直接实施于生产井,边生产边试验,因而受到人们的普遍欢迎。尤其在某些油藏条件下,例如油层厚、油层埋藏浅、井距小,特别是重力排油能力达到经济产量时,蒸汽吞吐可以获得较高的采收率。蒸汽吞吐通常是作为油田规模蒸汽驱开发之前的一个启动手段的先驱开发方式,以减少生产阻力和增加注入能力。此外,对于井间连通性差、原油黏度过高以及含沥青砂的这类不适合蒸汽驱的油藏,仍把蒸汽吞吐作为一种独立的开发方式,因而它在稠油开发中将继续占有重要的地位。

1. 蒸汽吞吐过程

蒸汽吞吐方法即所谓的循环注蒸汽或油井激励,是周期性向油层中注入蒸汽,将大量热带入油层的一种稠油增产措施。注入的热量使原油黏度大大降低,从而提高了地层和油井中原油的流动能力,起到增产作用。图 1-1 所示为蒸汽吞吐过程的模拟。

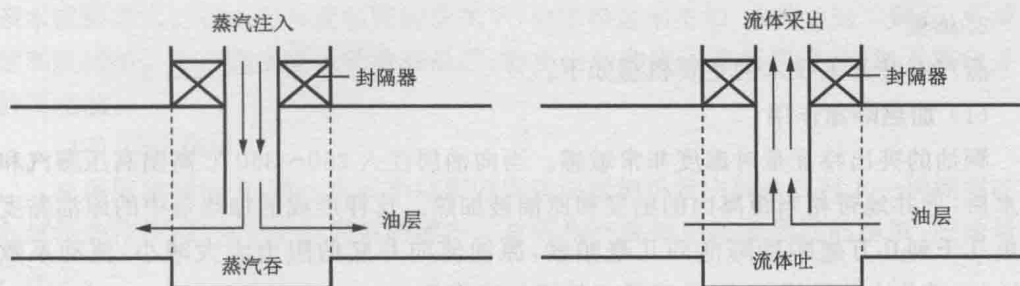


图 1-1 蒸汽吞吐模拟

注蒸汽过程中,当一定饱和蒸汽进入油层后,由于重力分离作用,蒸汽总是向油层顶部聚集,从而导致超覆现象发生,形成蒸汽超覆带,这种现象在厚油层中尤为严重。在井筒附近,饱和蒸汽驱走了油层中可流动油和水形成的蒸汽带。蒸汽带和蒸汽超覆带以对流和导热的形式将热量传给附近油层,使得形成受热带。热量未传递到的地区,则为未加热带,其油层剖面如图 1-2 所示。

注汽结束后,开始焖井阶段。目的是让蒸汽在地层充分进行热交换。焖井结束后,假设蒸汽全部变为热水,蒸汽带就变成热水带。蒸汽超覆带中的水由于重力作用而转移到热水带,将原油加热。受热原油上升到蒸汽超覆带形成热油带,热油带以外则是没有受热的冷油带。焖井结束后的原油剖面示意图如图 1-3 所示。

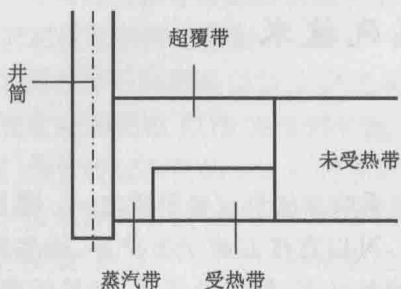


图 1-2 注蒸汽过程中的油层剖面图

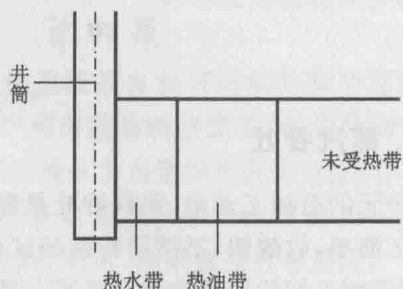


图 1-3 焖井结束后的原油剖面示意图

在开井生产阶段,由于热水带中基本上是水,生产初期表现为出水而不是出油,并且由于热水的产出,将带走相当的热量。井筒附近的地层中纯水的产出很重要,如果出水率不高,在下周期注汽时,热量将首先加热水层,导致热效率的降低。当热水带消失后,形成热区和冷区,从此时开始计算蒸汽吞吐井的产能。生产阶段的原油剖面示意图如图 1-4 所示。

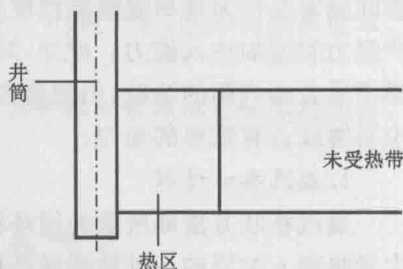


图 1-4 生产阶段的原油剖面示意图

2. 机理

蒸汽吞吐开采技术的主要机理如下:

(1) 加热降黏作用

稠油的突出特征是对温度非常敏感。当向油层注入 $250\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温高压蒸汽和热水后,近井地带相当距离内的油层和原油被加热。这样形成的加热带中的原油黏度将由几千到几万毫帕秒降低到几毫帕秒,原油流向井底的阻力大大减小,流动系数 (Kh/μ) 呈几十倍地增加,油井产量必然增加许多倍。

(2) 加热后油层弹性能量的释放

对于油层压力较高的油层,油层的弹性能量在加热油层后充分释放出来,成为驱油能量。而且,受热后的原油产生膨胀,一般 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时体积膨胀 10% 左右,原来油层中如果存在少量的游离气,也将溶解于热原油中。

(3) 重力驱作用

对于厚油层,热原油流向井底时,除油层压力驱动外,还受到重力驱动作用。

(4) 回采过程中吸收余热

当油井注汽后回采时,随着蒸汽加热的原油及蒸汽凝结水在较大的生产压差下采出过程中,带走了大量热能,但加热带附近的冷原油将以极低的流速流向近井地带,补充到降压的加热带中。

(5) 地层的压实作用是不可忽视的一种驱油机理

据研究,地层压实作用驱出的油量高达 15% 左右。

(6) 蒸汽吞吐过程中的油层解堵作用

稠油油藏在钻井完井、井下作业及采油过程中,入井液及沥青胶质很容易堵塞油层,造成严重的油层损害。蒸汽吞吐后的解堵机理在于:注入蒸汽加热油层及原油大幅度降黏后,在开井回采时改变了液流方向,油、蒸汽及凝结水在放大生产压差条件下高速流入井筒,将近井眼地带的堵塞物排出,大大改善了油井渗流条件。

(7) 蒸汽膨胀的驱动作用

注入油层的蒸汽回采时具有一定的驱动作用。分布在蒸汽加热带的蒸汽,在回采降低井底压力过程中,蒸汽将大大膨胀,部分高压凝结热水则由于突然降压闪蒸为蒸汽。这些都具有一定的驱动作用。

(8) 溶剂抽提作用

油层中的原油在高温蒸汽下产生某种程度的裂解,使原油轻馏分增多,起到一定的溶剂抽提作用。

(9) 改善油相渗透率的作用

在非均质油层中,注入湿蒸汽加热油层后,在高温下,油层对油与水的相对渗透率发生变化,砂粒表面的沥青胶质性油膜破坏,润湿性改变,油层由亲油或强亲油,变为亲水或强亲水。在水饱和度相同的情况下,油相渗透率增加,水相渗透率降低,束缚水饱和度增加。而且热水吸入低渗透油层,替换出的油进入渗流孔道,增加了流向井筒的可动油。

(10) 预热作用

在多周期吞吐中,前一次回采结束时留在油层加热带中的余热对下一周期吞吐将起到预热作用,有利于下一周期的增产。总的生产规律是随着周期的增加,产油量逐渐减少。

(11) 放大压差的作用

要尽力在开井回采初期放大生产压差,即将井底流动压力或流动液面降到油层位置,即抽空状态。

(12) 边水的影响

前几轮吞吐周期,边水推进在一定程度上补充了压力,即驱动能量之一,有增产作用。但一旦边水推进到生产油井,含水率迅速增加,产油量受到影响。

总的来说,蒸汽吞吐开采属于依靠天然能量开采,只不过在人工注入一定数量蒸汽并加热油层后,产生了一系列强化采油机理,但主要是加热降黏的作用。

3. 开采特征

(1) 蒸汽吞吐注入的气量是很有限的。注入的热量仅使井筒周围一定范围的油层加热,加热半径一般为 10~30 m,最大也很难超过 50 m;以原油加热降黏、改善油