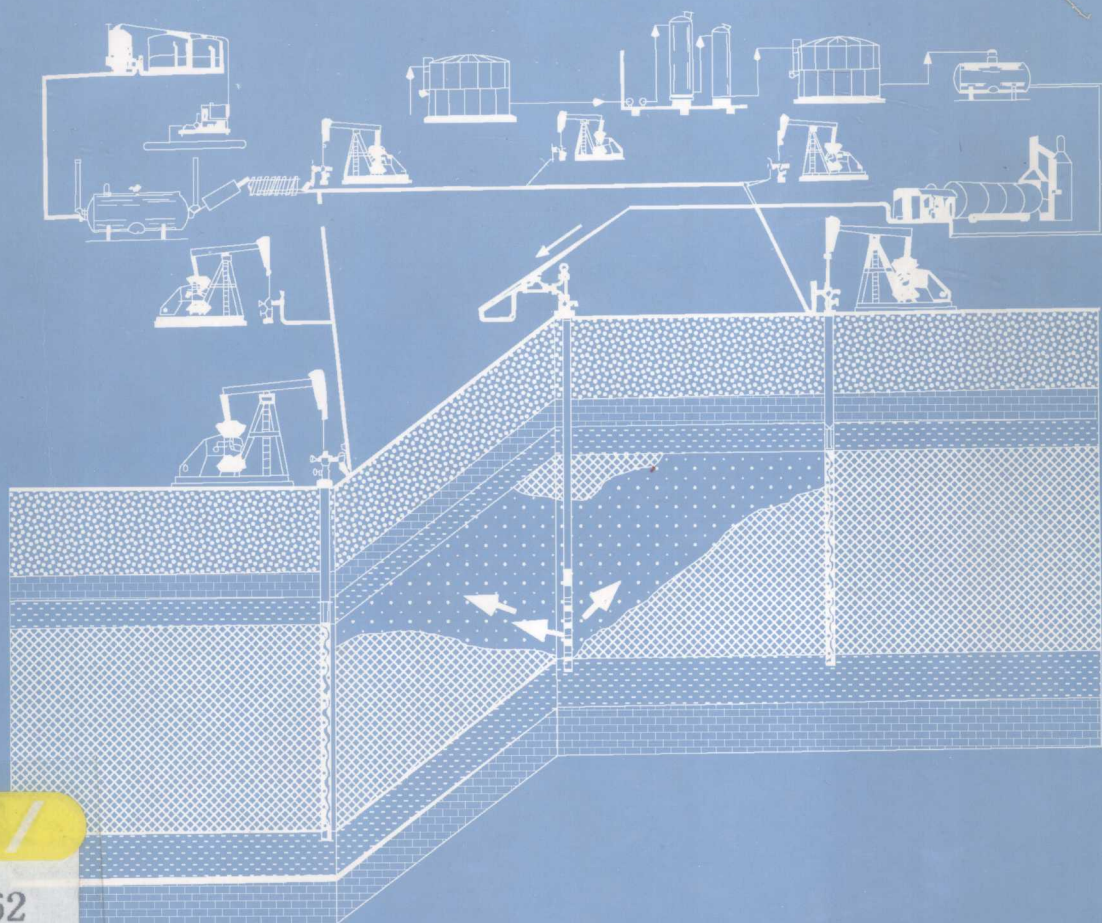


蒸汽热力采油手册

《蒸汽热力采油手册》编译组 编



57.44-62
001

石油工业出版社

0514944

TE357.44-62
001

蒸汽热力采油手册

要 點 容 內

本手册是根据石油工人蒸汽采油、热采经验总结而成的。全书共分四章，详细介绍了蒸汽采油的基本原理、工艺流程、设备选型、操作维护、安全措施等。本书可作为石油工人培训教材，也可供从事热采工作的工程技术人员参考。

图 书 编 目 (CIP) 目 录 编 查 表 图

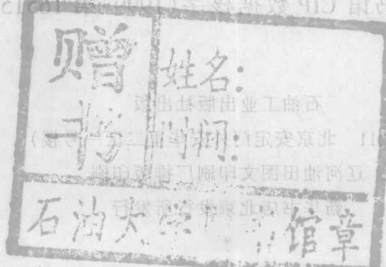
石油工业出版社《蒸汽热力采油手册》编委会编
北京：石油工业出版社，1999.10
ISBN 7-5021-7507-3



石油大学 0401289

I. 蒸...
II. 蒸...
III. 热...
IV. TE357.4-62

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第1012号



187 x 105 mm 32开本 18印张 438千字 印1-1000
1999年10月北京第1版 1999年10月北京第1次印刷

石油工业出版社

0214844

蒸汽热力采油手册

内 容 提 要

本书是依据美国和加拿大的热力采油现场实践编写的,阐述了蒸汽注入工艺的有关概念,讨论了评价、设计和实施热力采油项目所需要的知识,其重点放在蒸汽热力采油现场实践方面。本书所阐述的工艺原理、评价原则及工艺方法等内容具有重要的参考价值。

本书可作为我国蒸汽热力采油科技工作者和现场生产人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

蒸汽热力采油手册/《蒸汽热力采油手册》编译组编译.

北京:石油工业出版社,1999.10

ISBN 7-5021-2597-3

I. 蒸…

II. 蒸…

III. 热效驱油-注蒸汽-技术手册

IV. TE357.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 16515 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)

辽河油田图文印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 18印张 438千字 印1-1000

1999年10月北京第1版 1999年10月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-2597-3/TE·2103

定价:30.00元

《蒸汽热力采油手册》

编译组成员名单

组 长 任庆生

组 员 刘海洋 周恩仁 李占山

朱长发 肖胜奎 李大公

刘潮清

编译者的话

目前世界重油资源已探明 3000 亿吨以上,而可供开采的稀油资源只剩下 1700 亿吨,重油将是 21 世纪的重要能源。过去重油开发业主要集中在美洲大陆,有的国家已有百年历史。近 20 年来,亚洲的重油开发业开始崛起。80 年代初期,我国的重油才开始开发,目前重油年产量已达 1300 万吨,占全国原油产量的 8%。

国内外的实践证明,运用热力采油是行之有效的办法,尤其是注热蒸汽进行吞吐和驱替已成为开采各种重油资源的现实可行措施。我国的重油资源及环境与美国克恩河油田为代表的浅层重油、加拿大的阿萨巴斯卡油区为代表的近地表的重质油砂、委内瑞拉的奥里诺科重油带为代表的沥青油藏不尽相同。辽河油田、胜利油田及克拉玛依油田的重油在深度、粘度、储层岩性等方面各具特点。经过十几年的国际技术交流与合作,在广大工程技术人员的努力下,我国的重油开发技术已有较高水平,重油生产已达一定的规模。

《蒸汽热力采油手册》原书是作为美国政府机构主办的一项工作成果而编写的。本手册阐述了蒸汽注入工艺的有关概念,讨论了评价、设计和实施热力采油项目所需要的知识,其重点放在蒸汽热力采油现场实践方面。尽管本手册是依据美国和加拿大的热力采油现场实践编写的,其社会环境、经济背景、生产条件和资源状况与我国大不相同,但手册中所阐述的工艺原理、评价原则及工艺方法等内容对我们仍具有重要的参考价值。

我们编译这本书意在为我国的蒸汽热力采油科技工作者和现场生产人员提供一本参考资料。因译者的水平有限,书中定有不少差错,敬请读者提出批评意见。

编 者

1998 年 11 月

前 言

蒸汽的生产和地面、地下设备的操作要占整个热力采油生产成本的 80% 以上。地面设备的正确设计和操作对任何热力采油作业的成功都是至关重要的。然而,已出版的热力采油方面的专著则很少侧重于热力采油工作的实用方面,因此编写一本把重点放在热力采油现场实践方面上的综合性手册就显得尤为必要。编写本手册意在满足这种实际上的需要。

本手册探索了蒸汽注入工艺所涉及的概念,并讨论了评价、设计和在现场实施这些工艺所需要的知识。其重点放在实用方面和影响利用蒸汽开采石油的技术和经济性的那些因素上。本手册要达到两个目的:(1)为热采工作者提供一本简便的参考书,使其在策划蒸汽注入项目时可查找有关资料。(2)对本手册中所讨论的题目相应地列出文献目录。然而应注意到本手册不是一套现场“故障排除人员”的手册。现场中遇到的蒸汽注入过程方面的问题应靠专门的有丰富实践经验的现场人员或者顾问来解决。

前四章对蒸汽注入工艺的原理、技术和经济性作了说明,与此同时也讨论了蒸汽注入的基础问题。紧接的四章开始考虑生产蒸汽用水的处理问题,详细讨论了水处理的设计、操作及蒸汽发生、分配和蒸汽干度的测定。第九章至第十二章论述蒸汽驱工艺的井下方面。这包括热采井的完井和固井作业、隔热油管 and 抽油设备。其后两章讲述蒸汽注入中所遇到的井下作业问题。第十五章和第十六章主要说明蒸汽注入工艺的地面生产设施、易出现的问题和解决办法。第十七章讨论蒸汽注入作业中监测的重要性。第十八章概述蒸汽注入作业中应遵守环保法律和规定的重要性。

本手册按上述顺序编写的目的是使读者在读到蒸汽注入现场的作业、问题和解决办法以前对蒸汽注入项目工程和财务的要求有一较好的理解。

目 录

85		附录
08		附录一
88		附录 A-2 泵抽
88		附录 B-2 泵抽
08		附录 章六第
第一章 蒸汽注入工艺基础 1		
08	一、蒸汽注入基础知识	1
09	二、蒸汽干度	2
09	三、蒸汽注入工艺	4
09	四、蒸汽注入过程机理	6
09	五、周期性蒸汽注入工艺	8
09	参考文献	10
第二章 评价蒸汽注入前景的准则 12		
09	一、岩石和流体性质	13
10	二、现场历史及现状	17
10	三、概要	18
10	参考文献	18
第三章 项目计划 20		
08	一、油层的选择	20
01	二、项目初步评估	20
18	三、先导试验	24
05	四、概要	24
10	参考文献	25
第四章 蒸汽注入经济学 26		
05	一、蒸汽注入作业中的经济因素	26
25	二、可采原油的经济性评估	29
05	三、蒸汽的生产	33
30	四、其它的地面设施	34
05	五、概要	37
05	参考文献	37
42	附录 4-A 能源部蒸汽驱预测模型回顾	38
44	附录参考文献	39
第五章 蒸汽生产用水的处理 40		
02	一、蒸汽发生器用水	40
02	二、给水处理设备	43
10	三、注蒸汽项目的水处理系统	54
02	四、其它水处理设备综述	58
00	五、回收产出水作蒸汽发生器给水	71
07	六、水处理系统设计与运行准则	75
07	七、概要	77

参考文献	78
一般参考文献	80
附录 5-A 水化学	82
附录 5-B 油田蒸汽发生器水质要求	84
第六章 蒸汽生产	89
1 一、油田蒸汽发生器的一般特点	89
1 二、蒸汽发生器的选择	89
2 三、油田蒸汽发生器的设计要求	94
4 四、蒸汽发生器的构成	94
8 五、蒸汽发生器控制系统	96
8 六、蒸汽生产过程说明	96
01 七、燃料系统	97
21 八、燃烧空气系统	98
81 九、蒸汽发生器技术要求	99
71 十、油田蒸汽发生器的燃料	101
81 十一、蒸汽发生器的运行及问题	101
81 十二、蒸汽发生系统的维修	103
02 十三、蒸汽发生器的效率	105
02 十四、烟道气洗涤器	108
02 十五、其它类型的蒸汽发生设备	110
42 十六、热电联供	118
42 十七、概要	120
22 参考文献	121
02 附录 6-A 美国石油学会(API)推荐的燃油分析报告单	123
02 附录 6-B 美国石油学会(API)推荐的燃料气分析报告单	124
02 附录 6-C 美国石油学会(API)推荐的水分析报告单	125
32 附录 6-D 美国石油学会(API)推荐的油田蒸汽发生器维护保养制度	126
42 附录 6-E 蒸汽发生器年检修项目表	130
第七章 蒸汽分配	136
72 一、蒸汽分配管网的组成	136
82 二、蒸汽分配系统的维修与监测	154
02 三、概要	154
04 参考文献	154
第八章 蒸汽干度	156
42 一、地面蒸汽干度的测量	156
42 二、井口的蒸汽干度	161
62 三、概要	165
77 参考文献	165
第九章 热采井完井常规做法	167
77 一、套管设计	167

二、热采井的完井作业	172
三、修井常规做法	176
四、建议的注汽井和生产井钻井及完井程序	177
五、井下装置	179
六、概要	182
参考文献	182
第十章 热采井固井常规做法	184
一、注汽井的固井要求	184
二、耐热水泥的化学组成及性质	184
三、蒸汽驱固井常规做法	187
四、概要	190
参考文献	191
第十一章 热采井采油设备	192
一、热采井的泵采问题	192
二、重油热采井泵采问题的解决方法	194
三、概要	197
参考文献	198
第十二章 热采项目中隔热油管的使用	200
一、井筒的热损失	200
二、使用隔热油管的好处	202
三、隔热油管的设计要求	203
四、隔热油管类型及选择标准	203
五、隔热油管安装程序	204
六、隔热油管性能	205
七、隔热油管的成本效益	205
八、概要	206
参考文献	206
第十三章 防砂问题	208
一、出砂问题的发生和鉴别	208
二、生产井出砂的预防	209
三、裸眼或砾石充填完井的应用	209
四、筛管	210
五、砾石充填	211
六、概要	215
参考文献	215
第十四章 注蒸汽剖面控制	217
一、油管内蒸汽和水的分布	217
二、注蒸汽剖面测量	218
三、改变剖面的方法	222
四、概要	227

57	参考文献	227
	第十五章 注蒸汽工程中的乳化液问题	229
57	一、乳化液的定义	229
67	二、乳化液的形成及稳定性	229
58	三、使用的破乳方法	230
58	四、破乳	231
48	五、概要	232
48	参考文献	233
	第十六章 地面生产设施	234
78	一、油气集输系统	235
00	二、自动试井装置	236
10	三、自动试井系统	237
50	四、产出液的处理	237
50	五、概要	251
40	参考文献	251
	第十七章 注汽项目实施的监控手段	252
80	一、物理数据监控手段	252
00	二、经济数据监控手段	253
00	参考文献	254
	第十八章 环境问题	255
60	一、获取环境许可证	255
80	二、联邦政府法规框架	259
40	三、执行机构	259
80	四、影响注蒸汽作业的空气质量法规	264
80	五、注汽作业污染物最实用的控制技术(BACT)	268
80	六、影响注汽作业的水质法及其他有关法	269
80	七、注蒸汽现场作业的污染源	272
80	八、概要	274
80	参考文献	274
90		二
90		三
10		四
11		五
12		六
12		参考文献
12		第四十章
12		一
18		二
22		三
22		四

第一章 蒸汽注入工艺基础

蒸汽注入是热力驱动过程，它使油层加热，原油就地膨胀，粘度减少，产生的驱动能量提高了排液效率。一百多年来，人们一直试图利用蒸汽来解决重油油藏的低采收率问题。50年代初期，当在现场开始进行蒸汽注入工艺试验以前，人们并没有认识到蒸汽注入的全部潜力。1990年美国利用蒸汽驱每天采出52万桶原油，达全部增产原油的73%。

本手册探讨与蒸汽注入工艺有关的概念，讨论评价、设计和在现场实施这些工艺的知识，重点放在蒸汽注入的实用方面。本书对估价蒸汽注入效果的公式和计算方法不做详细讨论。本手册将重点放在地面和地下设施、现场作业和操作方面。本手册的内容可供已经熟悉了常规的注水作业，但还没有接触过热力采油作业的工程师和操作者阅读。

本章回顾了蒸汽注入工艺和采油机理。下几章将详细地讨论蒸汽注入工艺的各个方面。

一、蒸汽注入基础知识

虽然油层的原始能量可使原油通过岩石的孔隙流入井筒，但对浅的重油油层来说，这一原始能量不是总能使油排出的。因此需要给油层补充能量，使原油流向井筒。这通常采用象注水或注气的机械方式来驱赶原油。采用蒸汽注入方法时，把蒸汽当作驱替的液体。在压差的作用下，蒸汽的热量以及机械能使油层的能量增加。

由于每磅蒸汽的热容量很高，因此它是一种给地层增加能量的理想液体。例如，每磅水在400°F时含有375Btu(英热单位)，而每磅饱和蒸汽在400°F时则含有1201Btu，也就是说，是水热容量的3倍。

要彻底认识为什么蒸汽能提高原油的产量，首先应了解蒸汽的性质以及当蒸汽注入油层后会产生什么影响。表1.1列出了饱和蒸汽在几个设定的温度和压力下的一些性质。

表 1.1 饱和蒸汽的性质

绝对压力 lb/in ²	饱和温度 °F	液体热量 Btu/lb	汽化潜热 Btu/lb	蒸汽含热量 Btu/lb	一立方英尺 蒸汽重 lb	一磅蒸汽 体 积 ft ³	一磅液体 体 积 ft ³
50	281.0	250.2	923.9	1 174.1	0.117 5	8.514	0.017 27
100	327.8	298.5	888.6	1 187.2	0.225 7	4.431	0.017 74
150	358.4	330.6	863.4	1 194.1	0.331 8	3.014	0.018 09
200	381.8	355.5	842.8	1 198.3	0.437 2	2.287	0.018 39
250	401.0	376.1	825.0	1 201.1	0.542 5	1.843	0.018 65
300	417.4	394.0	808.9	1 202.9	0.648 2	1.543	0.018 89
400	444.6	424.2	780.4	1 204.6	0.861 4	1.161	0.019 34
500	467.0	449.5	755.1	1 204.7	1.078 1	0.927 6	0.019 75
600	486.2	471.7	732.0	1 203.7	1.299 1	0.769 8	0.020 13
700	503.0	491.6	710.2	1 201.8	1.525 4	0.655 6	0.020 5
800	518.2	509.8	689.6	1 199.4	1.757 6	0.567	0.020 87
900	532.0	526.7	669.7	1 196.4	1.996 4	0.501	0.021 23
1 000	544.6	542.6	650.4	1 192.9	2.242 4	0.446	0.021 59

续表

绝对压力 lb/in ²	饱和温度 °F	液体热量 Btu/lb	汽化潜热 Btu/lb	蒸汽含热量 Btu/lb	一立方英尺 蒸汽重 lb	一磅蒸汽 体 积 ft ³	一磅液体 体 积 ft ³
1 100	556.3	557.5	631.5	1 189.1	2.496 4	0.401	0.021 95
1 200	567.2	571.9	613.0	1 184.8	2.759	0.362 4	0.022 32
1 300	577.4	585.6	594.6	1 180.2	3.031 1	0.33	0.022 69
1 400	587.1	598.8	576.5	1 175.3	3.313 7	0.301 8	0.023 07
1 500	596.2	611.7	558.4	1 170.1	3.607 6	0.277 1	0.023 46
2 000	635.8	672.1	466.2	1 138.3	5.310 4	0.188 3	0.025 65
2 500	668.1	731.7	361.6	1 093.3	7.652 3	0.130 7	0.028 59
3 000	695.3	801.8	218.4	1 020.3	11.765	0.085	0.034 28

应指出,蒸汽的热含量明显地高于液体水的热含量。其差值等于潜热,这相当于将一给定压力下的沸腾水转化为相同压力和温度的蒸汽所需要的额外能量。潜热在低压时较大,随压力增加而减少。在 705.47°F 温度和压力 3 208.2lb/in²(绝对)时潜热变为 0。此时的温度和压力称为水的临界点。高于临界点,水只能以单相存在。还应指出,蒸汽饱和温度随压力的增加而增加,在较低的压力下蒸汽饱和温度的增加率最大。在较高的压力下,饱和温度的变化率较小。例如,当蒸汽压力从 100lb/in² 增至 200lb/in²(绝对)时,饱和温度从 328°F 变到 381°F,增加 53°F。另一方面,当蒸汽压力从 1 000 增加至 1 100lb/in²(绝对)时,相应饱和温度仅增加 12°F。

蒸汽的另一重要特性是体积的变化。在不同压力和温度下,1lb 饱和蒸汽的体积已在表 1.1 中列出。在 400lb/in² 和 444°F 时 1lb 水的体积为 0.019 3ft³,而在同样的条件下 1lb 饱和蒸汽的体积为 1.161ft³。由此可见,饱和蒸汽的体积大约是水体积的 60 倍。当然,随着蒸汽压力的增加此比值将减少,但在大多数热力项目适用的压力范围内此比值仍然是很大的。例如,许多蒸汽驱项目压力的高限为 1 500lb/in²(绝对),在此压力下比值等于 12。这就是蒸汽加热在热采工艺中能取得如此成功的原因之一。给油层加热,要达到一给定的热量值,使用蒸汽要比使用热水需要的重量少得多。

二、蒸汽干度

蒸汽注入工艺中经常遇到的一个词是蒸汽干度。这个词指的是蒸汽干燥的程度。例如,80%干度的蒸汽表示蒸汽和水的混合物中含有 80%重量的蒸汽和 20%重量的水。100%干度的蒸汽指的是不含水的蒸汽,称为干饱和蒸汽。湿蒸汽(蒸汽和水的混合物)的热含量总是比干饱和蒸汽的热含量低,例如,在 200lb/in²(绝对)压力下 70%干度的 1lb 蒸汽约含 946Btu,在同样的压力下 1lb 干蒸汽则含 1 200Btu,是湿蒸汽的 1.3 倍。在较高的压力下,由于干度的影响变得不那么显著,所以此比值变得较小。这是因为随压力的增加,水的焓增加而蒸汽的潜热减少的缘故。

表 1.2 中列出了几种干度蒸汽的热含量。在图 1.1 中还用图解的方式表示了各种干度蒸汽的热含量。大多数现场用的蒸汽发生器按 80%干度蒸汽进行设计。尽管如此,在多数蒸汽注入项目应用的 1001 500lb/in²(绝对)压力范围内湿蒸汽要比热水含有的热量多得多。例如,在 200lb/in²(绝对)下,1lb80%干度的蒸汽要比在同样温度下的 1lb 沸腾水多含有 674Btu。这使操作者按每注入 1lb 液体考虑时将把更多的热量注入到油层中去。

表 1.2 湿蒸汽的热含量

绝对压力 lb/in ²	温度 °F	热含量, Btu/lb								
		蒸汽干度, %								
		100	90	80	70	60	50	40	20	0
50	281.0	1 174.1	1 081.7	989.3	896.9	804.5	712.2	619.8	435.0	250.2
100	327.8	1 187.2	1 098.2	1 009.4	920.5	831.7	742.8	653.9	476.2	298.5
150	358.4	1 194.1	1 107.7	1 021.3	935.0	848.6	762.3	676.0	503.3	330.6
200	381.8	1 198.3	1 114.0	1 029.7	945.6	861.2	776.9	692.6	524.1	355.5
250	401.0	1 201.1	1 118.6	1 036.1	953.6	871.1	788.6	706.1	541.1	376.1
300	417.4	1 204.6	1 122.0	1 041.1	960.5	879.3	798.5	717.6	555.8	394.0
400	444.6	1 204.6	1 126.6	1 048.5	970.5	892.4	814.4	736.4	580.3	424.2
500	467.0	1 204.7	1 129.1	1 053.6	978.1	902.6	827.1	751.5	600.5	449.5
600	486.2	1 203.7	1 130.5	1 057.3	984.1	910.9	837.7	764.5	618.1	486.2
700	503.0	1 201.8	1 130.8	1 059.8	988.7	917.7	846.7	775.7	633.6	491.6
800	518.2	1 199.4	1 130.4	1 061.5	992.5	923.6	854.6	785.6	647.7	509.8
900	532.0	1 196.4	1 129.4	1 062.5	995.5	928.5	861.6	794.6	660.7	526.7
1 000	544.6	1 192.9	1 128.0	1 062.9	997.9	932.8	867.8	802.8	672.7	542.6
1 100	556.3	1 189.1	1 125.9	1 062.7	999.6	936.4	873.3	810.1	683.8	557.5
1 200	567.2	1 184.8	1 123.6	1 062.3	1 001.0	939.7	878.4	817.1	694.5	571.9
1 300	577.4	1 180.2	1 120.7	1 061.3	1 001.8	942.4	882.9	809.7	704.5	585.6
1 400	587.1	1 175.3	1 117.7	1 060.0	1 002.4	944.7	887.1	829.4	714.1	598.8
1 500	596.2	1 170.1	1 114.3	1 058.4	1 002.6	946.7	890.9	835.1	723.4	611.7
2 000	635.8	1 138.3	1 091.7	1 045.1	998.4	951.8	905.2	858.6	765.3	672.1
2 500	668.1	1 093.3	1 057.1	1 002.1	984.8	948.7	912.5	876.3	804.0	731.7
3 000	695.3	1 020.3	998.4	976.5	954.7	932.8	911.0	889.2	845.4	801.8

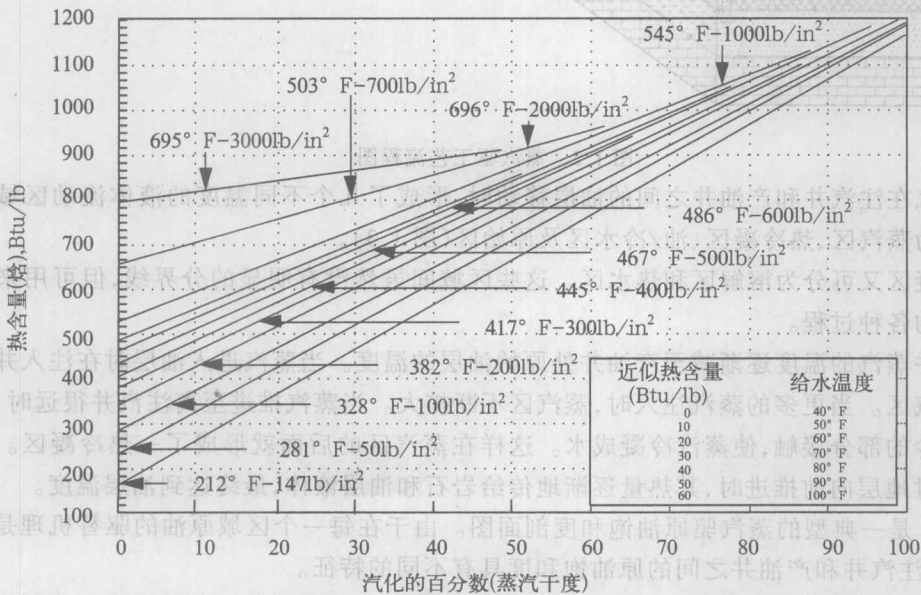


图 1.1 湿蒸汽的热含量

三、蒸汽注入工艺

蒸汽注入油层后会发生什么？显然蒸汽通过油层移动，在蒸汽推进过程中将原油加热并将原油推向生产油井。图 1.2 简略地画出了一蒸汽驱的过程。^[7]

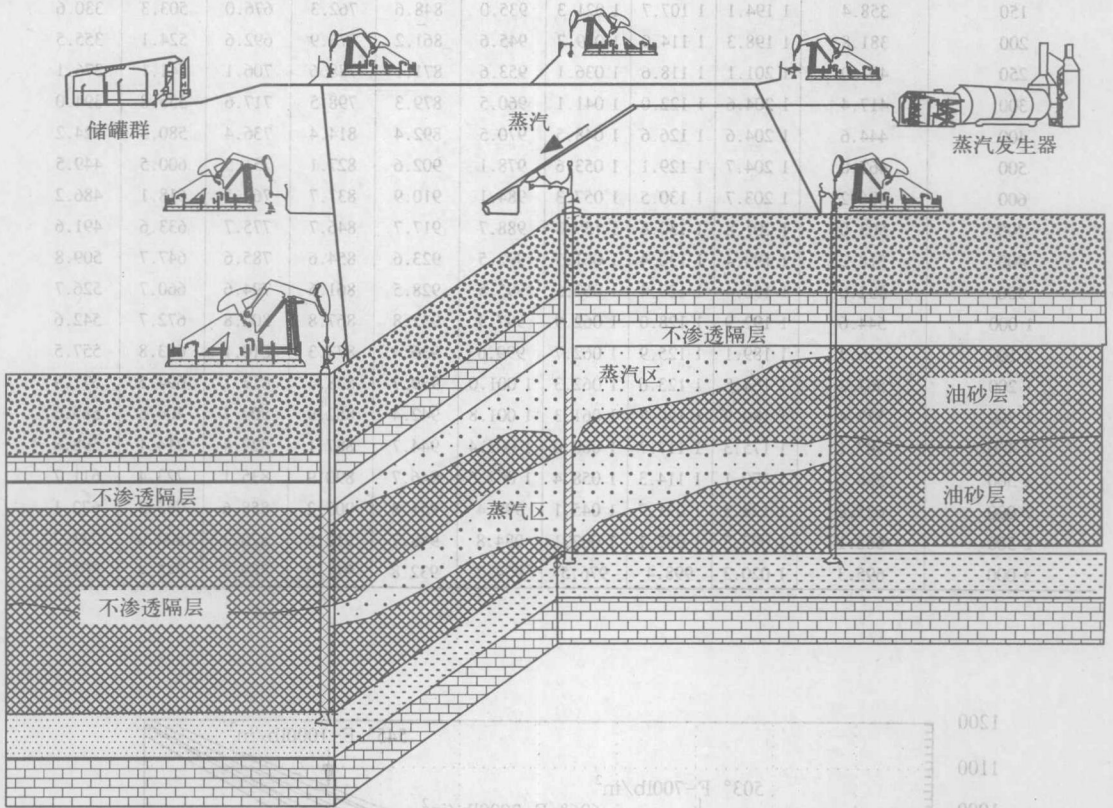


图 1.2 蒸汽驱工艺流程图

当蒸汽在注汽井和产油井之间的油层移动时，形成了几个不同温度的液体流动区域。这些区域分为蒸汽区、热冷凝区、油/冷水区及原始区(图 1.3)。

热冷凝区又可分为溶解区和热水区。这些区域间虽然没有明显的分界线，但可用来说明在蒸汽驱的各种过程。

注汽井蒸汽的温度逐渐减至产油井处原始油层的温度。当蒸汽进入油层时在注入井周围形成一蒸汽区。当更多的蒸汽注入时，蒸汽区不断扩大。当蒸汽推进至离注汽井很远时，蒸汽与地层较冷的部分接触，使蒸汽冷凝成水。这样在蒸汽区的后面就形成了一热冷凝区。当热冷凝区通过地层向前推进时，其热量逐渐地传给岩石和油层液体，最终达到油层温度。

图 1.4 是一典型的蒸汽驱原油饱和度剖面图。由于在每一个区域原油的驱替机理是不同的，所以在注汽井和产油井之间的原油饱和度具有不同的特征。

不同区域的原油饱和度取决于原油类型和地层性质。蒸汽驱机理与热量和温度对地层岩石和液体的影响密切相关。

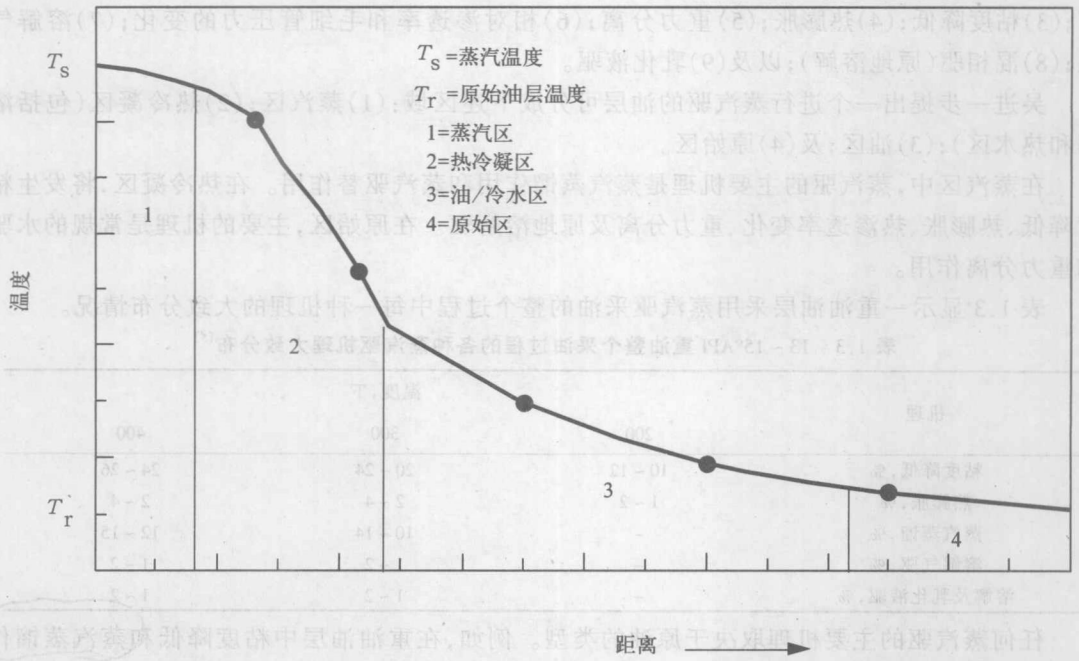


图 1.3 蒸汽驱温度剖面示意图

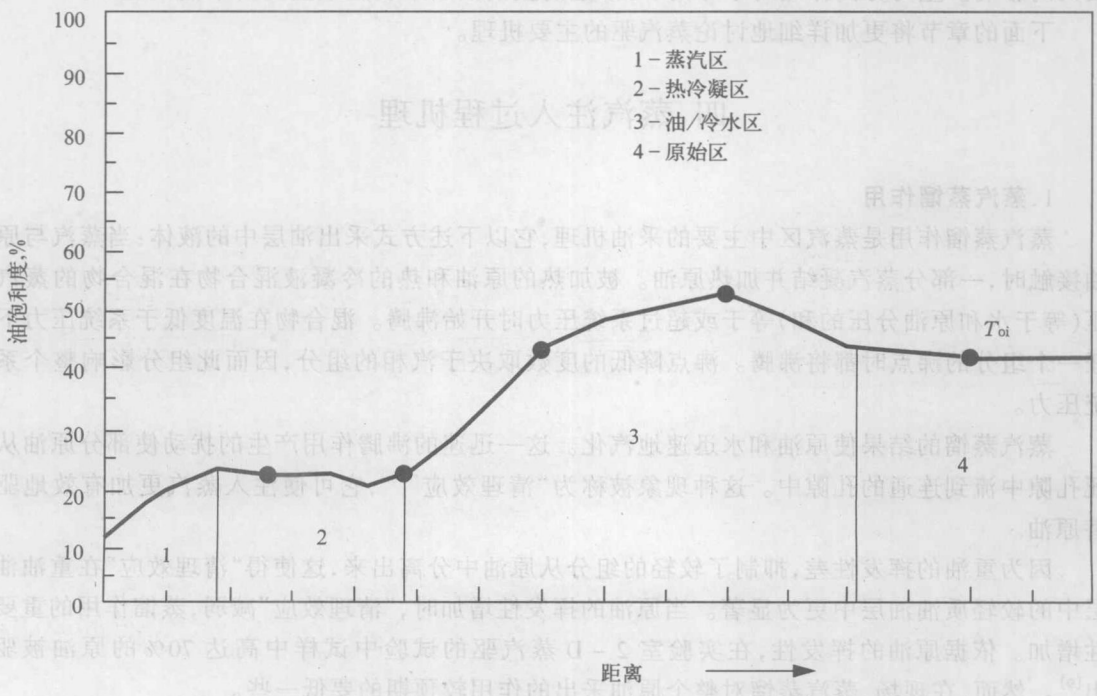


图 1.4 蒸汽饱和剖面示意图

吴^[6]发现蒸汽驱的主要机理如下:(1)蒸汽的蒸馏作用(包括脱气作用);(2)蒸汽驱动作用;(3)粘度降低;(4)热膨胀;(5)重力分离;(6)相对渗透率和毛细管压力的变化;(7)溶解气驱;(8)混相驱(原地溶解);以及(9)乳化液驱。

吴进一步提出一个进行蒸汽驱的油层可分成下述区域:(1)蒸汽区;(2)热冷凝区(包括溶解和热水区);(3)油区;及(4)原始区。

在蒸汽区中,蒸汽驱的主要机理是蒸汽蒸馏作用和蒸汽驱替作用。在热冷凝区,将发生粘度降低、热膨胀、热渗透率变化、重力分离及原地溶解驱。在原始区,主要的机理是常规的水驱和重力分离作用。

表 1.3 显示一重油油层采用蒸汽驱采油的整个过程中每一种机理的大致分布情况。

表 1.3 13~15°API 重油整个采油过程的各种蒸汽驱机理大致分布^[5]

机理	温度, °F		
	200	300	400
粘度降低, %	10~12	20~24	24~26
热膨胀, %	1~2	2~4	2~4
蒸汽蒸馏, %	-	10~14	12~15
溶解气驱, %	-	1~2	1~2
溶解及乳化液驱, %	-	1~2	1~2

任何蒸汽驱的主要机理取决于原油的类型。例如,在重油油层中粘度降低和蒸汽蒸馏作用或许是最重要的采油机理。反之,在轻质油油层中,热膨胀、蒸汽蒸馏作用和脱气作用是使轻质油流动的主要机理。然而脱气和蒸汽蒸馏作用的效果主要由原油组分、系统压力和蒸汽注入速率控制^[7]。再者,应该指出的是,地层厚度、蒸汽干度和温度对特定的蒸汽驱机理具有极大的影响。重力分离作用对于厚的、可渗透的重油油层来说是最重要的采油机理^[8]。

下面的章节将更加详细地讨论蒸汽驱的主要机理。

四、蒸汽注入过程机理

1. 蒸汽蒸馏作用

蒸汽蒸馏作用是蒸汽区中主要的采油机理,它以下述方式采出油层中的液体:当蒸汽与原油接触时,一部分蒸汽凝结并加热原油。被加热的原油和热的冷凝液混合物在混合物的蒸汽压(等于水和原油分压的和)等于或超过系统压力时开始沸腾。混合物在温度低于系统压力下任一个组分的沸点时都将沸腾。沸点降低的度数取决于汽相的组分,因而此组分影响整个系统压力。

蒸汽蒸馏的结果使原油和水迅速地汽化。这一迅速的沸腾作用产生的扰动使部分原油从死孔隙中流到连通的孔隙中。这种现象被称为“清理效应”^[6],它可使注入蒸汽更加有效地驱替原油。

因为重油的挥发性差,抑制了较轻的组分从原油中分离出来,这使得“清理效应”在重油油层中的较轻质油油层中更为显著。当原油的挥发性增加时,“清理效应”减弱,蒸馏作用的重要性增加。依据原油的挥发性,在实验室 2-D 蒸汽驱的试验中试样中高达 70% 的原油被驱出^[9]。然而,在现场,蒸汽蒸馏对整个原油采出的作用较预期的要低一些。

2. 脱气作用

伴随着蒸汽蒸馏过程,在蒸汽区域中还发生脱气作用^[6]。这是由于在蒸汽区蒸汽优先使

轻质成分从原油中逸出所产生的。然而,脱气作用比蒸汽蒸馏作用的效果要低得多。

3. 原地溶解驱作用

大部分轻油组分和运载蒸汽在蒸汽区前面的较冷的区域中冷凝,并形成了热冷凝区。

冷凝的蒸汽(热水)比蒸汽粘性更大,降低了其指进作用。蒸汽指进作用减低的程度取决于油水的流动比。蒸汽冷凝液与油一起流动形成了热水驱。

在热冷凝区,原油中较轻的组分与原地的原油混合并将原油稀释。这种稀释作用使原油的密度和粘度降低。当蒸汽前沿进一步推向产油层时,轻质组分终止积聚和从原油中抽提出另外一些轻质组分。因此,随着蒸汽通过油层移动,轻油溶解区的体积逐渐增大。其结果是混合油相的驱替作用。由于此混合油相的驱替作用而多采出的原油对某些重油来说,估计为油层原始油量的3%~5%⁽¹⁰⁾。

在热水驱区域中原油的稀释和抽提的最终效果是:降低了残余油的饱和度,减少了热水驱区域后缘的重质组分的数量。因为在热水驱区域后面剩余的原油多半是经推进的蒸汽前沿蒸馏过,所以在蒸汽驱过后仅仅剩余很少数量的重油组分。

4. 粘度降低

加热重油油层的最显著的效果是降低原油粘度。从图 1.5 可看出粘度的明显变化。这个曲线表示了 14°API 重度原油的粘度随温度的变化情况。很明显,在较低的温度区间粘度变化最大,当达到某一温度后粘度趋于不变。更为粘稠的低 API 重度的原油较高 API 重度的原油粘度降低得更多些。14°API 重度的原油温度从 80°F 增加到 175°F,其粘度从 1445cP 降至 47cP (厘泊),减少达 96.7%。对于低粘度原油,其粘度随温度的降低程度不像更粘稠的原油那样引人注目。曲线清楚地表明,温度会使油层中的粘稠原油更易流动。因此,增加温度的最终效果是改善了流动比。随着原油粘度的降低,驱替效率和清扫效率得以提高。

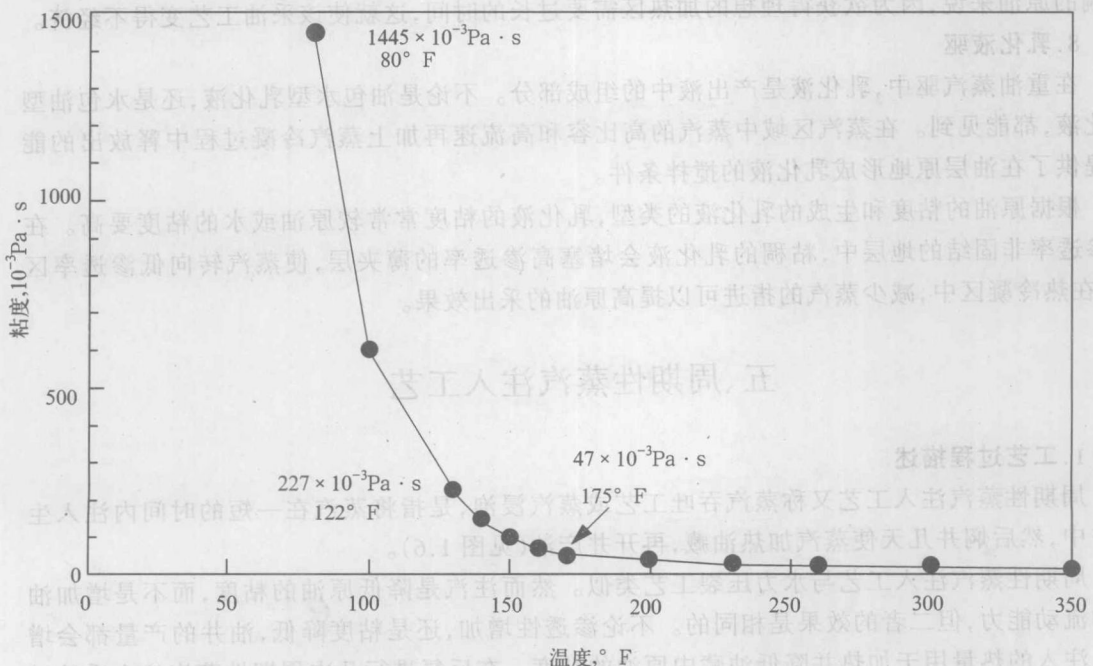


图 1.5 温度对原油粘度的影响