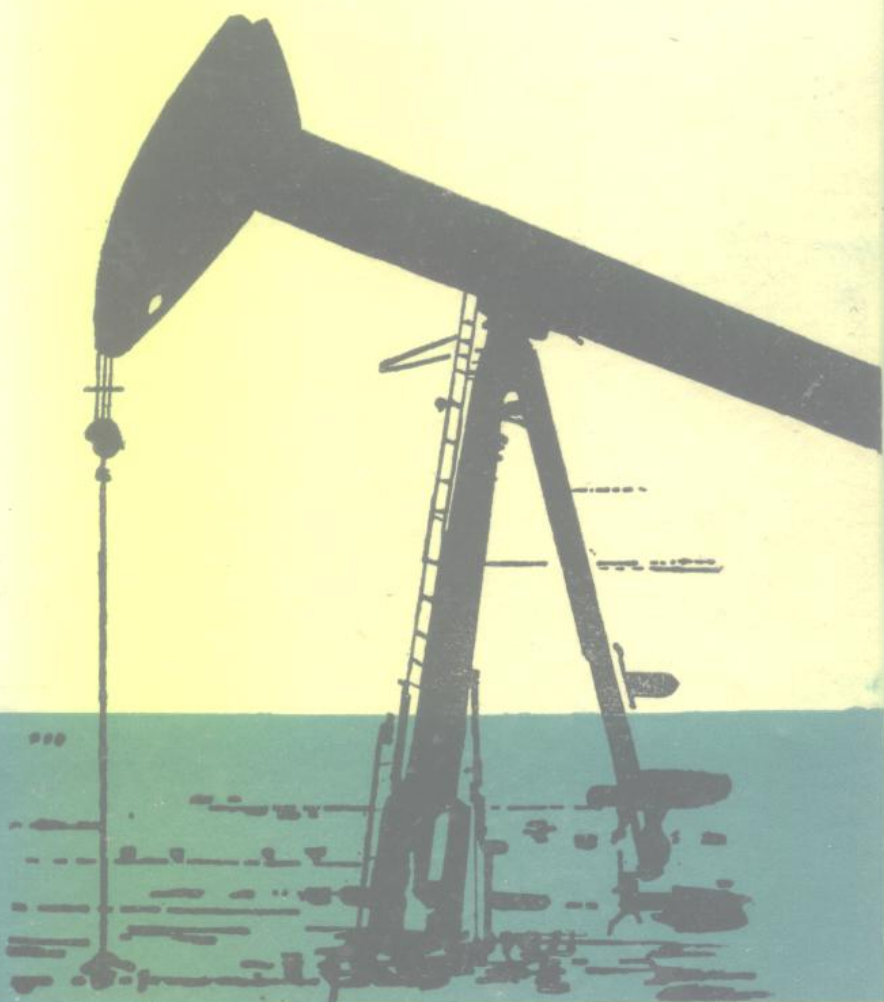


采油技术手册 (修订本)

第六分册

抽油机



京)
62
-8

石油工业出版社

登录号	127062
分类号	TE355-62
种次号	002(-)-8

采油技术手册

(修订本)

第八分册 稠油热采工程技术

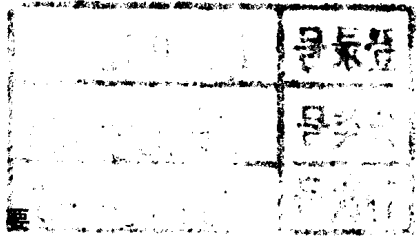
万仁溥 罗英俊 主编

刘文章 梁人初 罗英俊 编著



石油0121036

石油工业出版社



内 容 提 要

本书综合了我国十多年来稠油注蒸汽热采的研究成果和经验, 讲述了稠油的特性及分类标准, 蒸汽、水及油藏岩石的热特性, 注蒸汽井筒热损失和套管温度等计算方法, 稠油油藏蒸汽吞吐和蒸汽驱开采方法, 注蒸汽采油井完井技术和热采专用设备热采工程技术, 图表资料丰富实用。

本手册在编写过程中, 侧重突出内容的资料性、实用性和使用中的可操作性, 便于热采科研和油田工程技术人员查阅和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

稠油热采工程技术 / 万仁波, 罗英俊主编; 刘文章等编著.

北京: 石油工业出版社, 1996.12
(采油技术手册; 修订本); 第2分册)

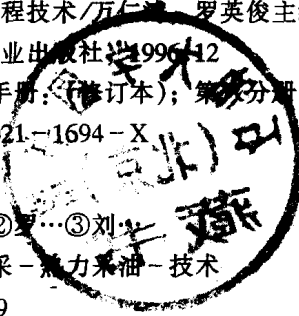
ISBN 7-5021-1694-X

I·稠...

II·①万...②罗...③刘...

III·稠油开采—精力采油—技术

IV·TE355.9



DP45/30

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 03028 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开 14½ 印张 380 千字 印 1-2000

1996 年 12 月北京第 1 版 1996 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN7-5021-1694-X/TE.1446

定价: 25.00 元

修订版说明

原《采油技术手册》是采油专业的一部重要工具书，它的出版发行已在采油技术工作中起了重要的作用。但由于该手册出版于70年代初期，内容已显得陈旧，部分章节单薄不全，特别是近十年来在采油技术工作中又发展了一批新工艺、新技术、新工具，这些工艺、技术和工具有待于更多的技术人员掌握应用，以转化成更大的生产力。为此，经中国石油天然气总公司开发生产局同石油工业出版社商定，对原《采油技术手册》进行修订，重新编写。

新的《采油技术手册》由中国石油天然气总公司开发生产局和石油工业出版社共同组织编写，由万仁溥，罗英俊负责主编。

考虑到修订后的《手册》内容广泛、牵涉面广、篇幅长和工作量大的特点，以及从便于应用出发，新的《手册》将以分册的形式来完成。

新的《采油技术手册》暂定为十个分册，各分册的名称如下：

- 第一分册 自喷采油技术
- 第二分册 注水技术
- 第三分册 生产测井技术
- 第四分册 机械采油技术
- 第五分册 修井工具与技术
- 第六分册 增产措施设备技术
- 第七分册 防砂技术
- 第八分册 稠油热采工程技术
- 第九分册 压裂酸化工艺技术
- 第十分册 堵水技术

手册的各分册都既是独立的工具书，又是《采油技术手册》

的一个组成部分，采油部门的各专业可根据需要选用其中的分册。

前 言

稠油也称重质原油，即高粘度原油。由于其胶质沥青含量高，在油层中粘度高，流动阻力大，甚至不能流动，因而用常规开采技术难以有效地开发。近十几年来，我国采用注蒸汽热采技术，有效地开发了一批稠油油田，并基本上形成了注蒸汽开采的配套工艺技术。从1982年开始深井热采试验以来，稠油产量逐年上升，1993年突破了1000万吨，开拓性地打开了我国稠油开发的新局面。

稠油热采技术是涉及多学科、多专业的系统工程。它包括稠油油藏工程及稠油热采工程两大部分。本书着重于讲述稠油热采工程，作为采油技术手册的一个分册。

本手册在编写过程中，按工程手册的要求，注重突出内容的实用性、资料性及使用中的可操作性，以便于科研和油田工程技术人员查阅和参考。

我国稠油油藏突出的特点是原油物性变化大，油藏类型多且复杂，埋藏普遍较深，多数油藏超过1000m，甚至达到2000m，因而热采难度大。本书主要综合了十多年来国内研究成果及经验，突出了某些自己的特色，但也引用了一些国外学者的研究成果和油田开发经验。

本书由中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院刘文章组织编写，其中除第七章“注蒸汽采油专用设备”由罗英俊、胡智勉编写外，其余均由刘文章编著，梁人初和孙培国对全书作了大量删节和全面的整理。在编写过程中，刘尚奇、谢培功、张建和廖广志等为本书提供了某些计算数据和资料，在此一并致以谢意。

由于作者水平所限，书中难免存在某些错误及不妥之处，敬请读者指正。

作者
1995年10月

目 录

第一章 稠油的特性、定义和分类标准	(1)
一、我国稠油的一般特性	(1)
二、我国稠油的特点	(10)
三、国际上对稠油（重质原油）的定义和分类标准	(22)
四、我国稠油的分类标准	(24)
第二章 蒸汽、水、油及油藏岩石的热特性	(27)
一、蒸汽及水的热物理特性和特性参数计算方法	(27)
(一) 蒸汽的饱和温度与压力的关系	(27)
(二) 湿饱和蒸汽的特性	(29)
(三) 饱和蒸汽及水的热物理参数计算方法	(38)
(四) 饱和蒸汽及水的热物理参数表	(44)
二、原油及天然气的热物理特性	(77)
(一) 原油粘度随温度的变化	(77)
(二) 含气原油粘度的计算方法	(93)
(三) 含水原油粘度的计算方法	(94)
(四) 压力对原油粘度的影响	(95)
(五) 原油的燃烧热值	(96)
(六) 原油的比热	(98)
(七) 原油的导热系数	(101)
三、油藏地层的热特性	(102)
(一) 地层岩石的导热系数	(102)
(二) 地层岩石的热容量	(118)
(三) 地层岩石的热扩散系数（散热系数）	(122)
四、油藏岩石热特性参数在注蒸汽采油工程中的应用	(125)
(一) 我国几个稠油油藏岩石热物性参数的测定结果	(125)
(二) 美国热采工程常用稠油油藏岩石热物性参数	(131)
(三) 油藏地层热参数应用取值实例	(132)

第三章 井筒热损失、套管温度及井底蒸汽干度计算方法	(136)
一、井筒热损失计算方法	(136)
二、井筒总传热系数计算方法	(140)
(一) 确定辐射传热系数 h_r	(141)
(二) 确定自然对流传热系数 h_c	(142)
(三) 总传热系数计算程序	(143)
三、用物理模拟方法确定井筒总传热系数	(153)
(一) 井筒传热物理模型	(154)
(二) 井筒传热物理模拟试验结果	(155)
四、国产隔热油管	(164)
(一) 不同隔热材料的隔热油管性能	(164)
(二) 不同真空度的隔热油管性能	(166)
(三) 充氩气、氦气和氙气的隔热油管性能	(167)
(四) 辽河总机厂隔热油管及国外隔热油管技术性能	(168)
五、影响井筒隔热效果的主要因素	(169)
(一) 油管、隔热管及套管尺寸对总传热系数的影响	(169)
(二) 环空流体介质性质、热点及注入温度对总传热系数的影响	(171)
(三) 隔热油管使用中的老化及损坏,使井筒总传热系数增大	(174)
六、实际应用中井筒总传热系数的修正方法	(175)
(一) 根据室内试验值计入隔热管接头处的热点影响求得隔热管柱的 \bar{U}_w 值	(175)
(二) 根据接箍处热损失修正隔热管柱的 \bar{U}_w	(176)
(三) 根据注热井实测井筒温度及压力计算隔热管柱的 U_w	(176)
七、井筒总传热系数对井底注热参数的影响	(179)
八、井筒传热数值模拟方法	(186)
(一) 数值模拟原理	(186)
(二) 数值模拟程序框图	(191)
(三) SIWS 计算程序特点	(191)
九、井口注汽工艺参数对井底注热参数的影响	(193)
第四章 蒸汽吞吐采油方法	(204)
一、蒸汽吞吐采油原理	(204)

(一)	基本概念	(204)
(二)	增产机理	(207)
二、	蒸汽吞吐生产动态计算方法	(215)
(一)	计算加热带面积	(215)
(二)	加热带平均温度	(217)
(三)	产出液体带走的热量	(220)
(四)	日产油量	(221)
(五)	吞吐结束时油层中剩余热量	(223)
三、	适宜蒸汽吞吐开采的油藏地质条件	(223)
(一)	原油粘度、油层厚度与油藏深度	(223)
(二)	纯厚/总厚度比	(231)
(三)	孔隙度	(231)
(四)	初始含油饱和度	(231)
(五)	储量系数	(233)
(六)	油层深度	(233)
(七)	我国稠油蒸汽吞吐开采筛选标准	(233)
(八)	不同油藏条件下蒸汽吞吐结束极限的周期油汽比	(235)
四、	注蒸汽工艺参数对吞吐效果的影响	(236)
(一)	蒸汽干度对蒸汽吞吐效果的影响	(236)
(二)	注汽量对吞吐效果的影响	(238)
(三)	注汽速度对吞吐效果的影响	(239)
(四)	注汽压力的选择	(242)
(五)	焖井时间的选择	(245)
(六)	注汽工艺参数优化设计	(248)
五、	蒸汽吞吐采油技术的讨论	(249)
(一)	开始蒸汽吞吐时机的选择	(249)
(二)	提高多周期吞吐效果的途径	(251)
(三)	提油抽汲热油的举升能力放大压差采油	(256)
(四)	防止油井钻井完井及采油井下作业中的油层 污染损害	(256)
(五)	开采油层打开厚度的确定	(257)
第五章	蒸汽驱开采方法	(261)
一、	蒸汽驱采油机理	(261)

二、蒸汽驱及热水驱室内实验结果	(265)
(一) 轻质原油蒸汽驱的蒸馏作用实验	(265)
(二) 蒸汽温度下原油粘度对蒸汽驱原油/蒸汽比及 残余油饱和度的影响	(266)
(三) 不同温度的水驱物理模拟实验——不同温度水驱的 驱油效率及不同油水粘度比的水驱油效率	(268)
(四) 热水驱及蒸汽驱物理模拟实验	(270)
(五) 油层加热过程中渗透率变化的试验研究	(272)
三、稠油油藏注蒸汽(蒸汽吞吐及蒸汽驱)筛选标准	(282)
(一) 概述	(282)
(二) 我国试行的注蒸汽开采筛选标准	(283)
四、蒸汽驱开采过程中注汽及采油工艺参数的优选	(300)
(一) 蒸汽干度	(300)
(二) 注汽速度	(302)
(三) 注汽强度的优选	(305)
(四) 生产井排液速度及注采比	(311)
五、蒸汽驱先导试验的方案设计及实施	(314)
(一) 先导试验的目的	(314)
(二) 先导试验区的设计原则及要求	(314)
(三) 先导试验区设计方案的主要内容	(317)
(四) 蒸汽驱先导试验区方案的实施	(319)
六、国内外蒸汽驱先导试验实例	(320)
(一) 我国蒸汽驱先导试验实例	(320)
(二) 国外蒸汽驱先导试验实例	(324)
第六章 注蒸汽热采油井完井技术	(331)
一、高温下油井套管热应力损坏机理及套管耐温极限	(331)
(一) 温度对套管钢材物理性能的影响	(331)
(二) 套管在高温下的热膨胀	(337)
(三) 套管高温下受力分析——损坏的原因	(339)
(四) 套管的允许温度	(343)
二、套管预应力完井方法	(344)
(一) 方法原理	(344)
(二) 采用一次固井地锚提拉预应力完井方法实例	(348)

(三) “双凝水泥法”提拉预应力完井方法实例	(349)
三、耐高温水泥固井技术	(352)
(一) 注蒸汽井固井引起的问题	(352)
(二) 水泥的热特性要求	(353)
(三) 美国常用于注蒸汽井的固井水泥	(357)
(四) 新疆克拉玛依稠油区用于注蒸汽井的固井水泥	(357)
(五) 应用于辽河稠油区深井的耐热水泥	(361)
(六) 用于低压力稠油热采井的高温低密度固井水泥	(361)
(七) 用于低压力稠油热采井的泡沫水泥	(363)
四、油层污染对产量的影响	(364)
(一) 油井近井地带受污染产量损失计算公式	(364)
(二) 产量损失计算实例	(365)
五、稠油油井完井方法	(369)
(一) 先期裸眼完成绕丝衬管砾石填充完井方法	(371)
(二) 先期完成管内筛管完井法	(384)
(三) 套管内衬管砾石填充完井方法	(384)
(四) 套管射孔完井方法	(392)
(五) 各种完井方法的适用性	(395)
六、热采井套管损坏实例分析及防治措施	(397)
(一) 深井套管损坏的实例情况	(397)
(二) 套管损坏原因分析	(398)
(三) 防治套管损坏的技术措施	(399)
第七章 注蒸汽采油专用设备和工艺	(402)
一、蒸汽发生器	(402)
(一) 美国热力公司制造的蒸汽发生器	(402)
(二) HSWC 制造的蒸汽发生器技术参数	(403)
(三) 日本川崎重工制造的蒸汽发生器	(405)
(四) 丹尼尔公司制造的蒸汽发生器	(405)
(五) 其他外国公司制造的蒸汽发生器	(405)
(六) 上海四方锅炉厂制造的蒸汽发生器	(405)
(七) 八公司制造的蒸汽发生器	(405)
二、蒸汽发生器主要配套设备及部件	(417)
(一) 水处理设备	(417)

(二) 常用锅炉给水泵·····	(420)
(三) 燃烧器·····	(421)
三、热采井口装置·····	(422)
(一) RC 21/380 型热采井口装置·····	(422)
(二) KR-14/340 型热采井口装置·····	(424)
(三) 14×335 型热采井口装置·····	(424)
(四) RCP-1 型固定式热采偏心井口装置·····	(424)
四、注蒸汽隔热油器·····	(426)
(一) 国产隔热油管·····	(426)
(二) 伸缩管·····	(428)
(三) 国外公司生产的隔热油管·····	(431)
五、注蒸汽高温封隔器·····	(433)
(一) C-2 型注蒸汽高温封隔器·····	(433)
(二) DGT 注蒸汽高温封隔器·····	(433)
(三) HBD-1 型注蒸汽高温封隔器·····	(433)
(四) MJS 型注蒸汽高温封隔器·····	(433)
(五) KT-2 型注蒸汽高温封隔器·····	(433)
(六) UNI-VI 型注蒸汽高温封隔器·····	(433)
(七) 辽河 R-7 型注蒸汽高温封隔器·····	(433)
(八) 胜利 R-2 型注蒸汽高温封隔器·····	(439)
(九) 新疆注蒸汽高温丢手可钻式封隔器·····	(439)
六、注蒸汽井注汽管柱及施工程序·····	(440)
(一) 常用注汽管柱·····	(441)
(二) 选层注汽管柱·····	(441)
(三) 注蒸汽井井下作业施工程序·····	(443)
七、高温测试仪表·····	(444)
(一) 高温压力计和温度计·····	(444)
(二) 井底蒸汽取样器·····	(444)
(三) L-gsy 型高温高压双参数测量仪·····	(445)
(四) TPS-9000 高温生产测井设备·····	(446)
(五) GSY-1 型高温四参数测试仪·····	(449)
附录 本书常用单位换算表·····	(451)

第一章 稠油的特性、定义和分类标准

我国石油资源丰富，而且在许多大的油区陆续发现高粘度重质原油。这种高粘度重质原油国际上称为重质原油 (Heavy Oil)，对于粘度超过 $1 \times 10^4 \text{mPa} \cdot \text{s}$ 的重质原油称为天然沥青或沥青油砂 (Bitumen or Tar Sands)，我国俗称稠油，也有叫重质原油或重油的。

本章概述了我国稠油的特点，参考了国际上近十年来对稠油的定义、分类方法及标准，并结合我国稠油的特性，论述了我国稠油分类标准。

一、我国稠油的一般特性

我国的稠油受陆相沉积及生、储、运移等复杂的地质条件影响，其物理化学特性既有与国外典型稠油有基本相同的一面，也有一定的差别。

辽河油区是我国目前主要的稠油开发区，稠油油藏类型很多，原油特性见表 1—1。新疆克拉玛依、胜利及大港油区的稠油油田原油特性见表 1—2。我国稠油油田几个注蒸汽先导开发试验区的原油特性见表 1—3。我国稠油油田与加拿大、委内瑞拉、美国的几个重质原油油田原油化学组分的对比见表 1—4。

表 1-1 辽河油区稠油区块稠油物性

油田	区 块	油层名称	油藏埋深 m	地 面 原 油 物 性					
				密 度 $g \cdot cm^{-3}$	粘 度 $mPa \cdot s$ (50°C/100°C)	凝 固 点 °C	含 蜡 量 %	胶 + 沥 青 质 %	含 硫 量 %
	杜 66	杜家台油层	808.2~1116.4	0.932	551	19	8.6	34	
	杜 6	杜家台油层	1275.0~1460.0	0.93	400	20	8.5	45	
	1-8-16	杜家台油层	1235.0~1660.0	0.92	350	15	8.5	40	
	杜 89	杜家台油层	1175.0~1407.0	0.924	431	27	6.59	36.57	
	杜 84	杜家台油层	1122.0~1500.0	0.93	320	5~25	8.5~12	35~45	
	杜 85	杜家台油层	1300.0~1630.0	0.93	364	8	5.53	34.7	
	1-6-5	杜家台油层	1440.0~1690.0	0.923	250	10	10	40	
	1-6-12	杜家台油层	1730.0~1810.0						
	1-3-5	杜家台油层	1625.0~1325.0	0.9159	145	25	12.14	24.49	
	杜 77	杜家台油层	1740.0~1760.0	0.92	41	-7	4.73	18.65	
	杜 81	杜家台油层	1795.0~2015.0	0.91~0.92	84~126	12~29	4.4~12.3	29~36.5	
	杜 48	杜家台油层	850.0~1350.0	0.98	1000	8	3.6	28	
	杜 1-7-5	大凌河油层	950.0~1090.0	0.98	30000~40000	20	2~7	49	

1-7-8	大凌河油层	1290.0~1370.0	0.96	1176	7	4	40	
1-6-12	大凌河油层	1330.0~ 1490.0	0.959	360~520	-15~6	2~6	23~41	
杜 80	大凌河油层	1350.0~1515.0	0.96~0.98	3386	10	2.02	41.6	
杜 6	古潜山油层	1370.0~1488.0	0.94~0.98	1720~2900	25	5.4	36.5	
1-39-38	古潜山油层	1090.0~1250.0	0.94~0.98	1720~2900	25	5.4	36.5	
杜 70	古潜山油层	1030.0~1300.0	0.94~0.98	1720~2900	25	5.4	36.5	
杜 68	杜家台油层	1000.0~1100.0	0.9347	649	14.1	5.49	34.91	0.13
1-3-5	莲花油层	1510.0~1570.0	0.91~0.93	39~74	-8		21.8	
杜 67	莲花油层	920.0~980.0	0.963	2200	8	3.87	42.55	
杜 84	兴隆台油层	650.0~750.0	1.003	2963 (100℃)	36	3.19	60.76	0.37
杜 32	兴隆台油层	850.0~1090.0	1.005~1.016	685~1103 (100℃)	30~31	2.11~3.32	31.9~47.5	0.35~0.40
杜 212	大凌河油层	920.0~1045.0	0.9783	116 (100℃)	35	3.98		
曙一区	馆陶油层	510.0~650.0	1.0072	1261 (100℃)	36	2.44	56.22	0.316

区

油田	区块	油层名称	油藏埋深 m	地面原油物性						
				密度 $g \cdot cm^{-3}$	粘度 mPa·s (50℃/100℃)	凝固点 ℃	含蜡量 %	胶+沥青质 %	含硫量 %	
欢喜岭	千12	兴隆台油层	665.8~707.6	0.9772	5386					
		莲花油层	980.2~1137.4	0.9656	1159	-10.3	4.80	30.42		
	欢127	兴隆台	715.0~790.0	0.9702	4212	5	0.348	37.46		3.09
	锦7	兴隆台油层	860.0~1010.0	0.98~0.97	792~147	-8~25	1.4~3.5	20~39		
	欢17	兴隆台油层	1000.0~1230.0	0.95~0.98	169~2338	-19~12	1.2~5.5	18~42		
	锦45	兴隆台油层	980.0~1145.0	0.98~1.005	1495~4639	-2~21	2.07~3.81	29~36		
		于1	820.0~1060.0	0.9930	7696	5~26	2.89	38.11		
		于2	910.0~1040.0	0.9620	451	-19~-9	3.18	26.8		
	45-32-18	于楼	800.0~900.0	1.0006	9785	14	1.7	35		
	锦25	于楼	760.0~909.6	0.9966	17439					
	2-19-5	于楼	810.0~940.0	0.9966	17439					
	锦99	杜家台油层		0.95	275					
齐40	莲花油层	600.0~1050.0	0.94~0.97	274~2325	-13~1	2.2~5.3	28~36			
锦16	于楼油层	1050.0~1150.0	0.97	2621	-5	2	34			
锦27西	大河油层		0.97	634	-9	2.7	23			
齐48	莲花油层		0.97	3001	-3	2.96	52			