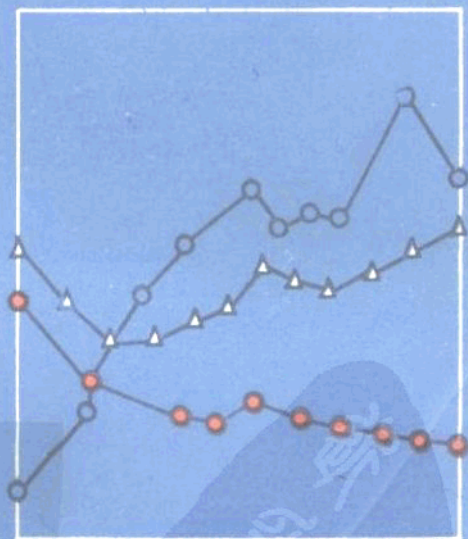


提高油田开发后期油井开采效果

[苏] M. H. 加里亚莫夫 P. III. 拉希姆库洛夫



石油工业出版社

070705

提高油田开发后期 油井开采效果

[苏] M.H. 加里亚莫夫
P. III. 拉希姆库洛夫

5249/14

吴士华 译 牟而中 校



200397338



00668668

石油工业出版社

内 容 提 要

本书阐述了油田开发后期油井防水、堵水及提高地质-技术措施效果的理论和实际问题, 阐明了地质-物理和工艺因素对油井水侵、堵水和增产的影响。

书中用较大篇幅叙述了粘-弹性系统的性质及其在饱和油、水多孔介质中的运动特点。利用获得的资料可以调节处理水淹层的工艺过程, 提高其开采效果。

总结了在阿尔兰油田注聚丙烯酰胺和在依申拜油田注泡沫酸的强化采油和
提高采收率的矿场经验及其广泛运用的根据。

根据巴什基尔石油联合公司进行地质-技术措施的长期经验的总结, 拟定了
强化采油的选井方法, 选择深井泵的方法和用电子计算机选择堵水施工的方法。

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

М. Н. ГАЛЛЯМОВ
Р. Ш. РАХИМКУЛОВ
МОСКВА «НЕДРА» 1978

提高油田开发后期 油田开采效果

[苏] М. Н. 加里亚莫夫
Р. Ш. 拉希姆库洛夫

吴士华 译 牟而中 校

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京吴海印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米32开本8印张1插页166千字印1—2. 500

1988年12月北京第1版1988年12月北京第1次印刷

书号: 15037·3006 定价: 1.75 元

ISBN 7-5021-0158-6/TE·156

序 言

油井防水、堵水是油、气田开发的一个重要问题，其迫切性逐年增加。在苏联整个东部采油区中，巴什基尔的防水、堵水问题最为尖锐。这里许多油田已经或正在进入开发后期，油井和油层水淹日益严重。巴什基尔石油联合公司近90%的油井已经水淹，其中半数为强烈水淹，产水量比产油量多1—2倍。防止油井水淹的问题对处于开发早期的西伯利亚的一些油田亦具有意义。在阿塞拜疆、格罗兹内以及乌克兰等其他老采油区，这一问题也是很尖锐的。

油井水淹过程极为复杂，产水原因和水侵途径各种各样，增大了解决问题的难度。反对用封堵地层水流通道的方法来限制水侵的人臆断说：“油井水侵是不可防止的，是有规律的过程，防止水淹是无希望的”。这一论点是没有根据的。

近年来，对巴什基尔和鞑靼油井含水上升原因的研究已受到重视，尤其对研究堵水方法更为加强。然而，这些问题仍未得到足够广泛的研究。

作者发表本著作的目的是想根据对巴什基尔防止油井水侵的经验进行总结和对地质-技术措施(只限于作用于井底附近地层)效果的研究，提供限制地层水窜入油井新工艺的科学依据。同时，提供电子计算机选择地质-技术措施的方法，并更多地将采油企业的科学工作者和工程师的注意力吸引到这一问题上来。

H.H.潘费罗娃和B.П.鲍斯别洛娃参加了聚合物堵水材料的实验室研究和泡沫配方改进的工作。参加其工业性试验的有 A.Y.毕克布拉托夫、З.Е.加齐卓夫、A.M.叶尔绍夫、P.C.卡纽科夫、Б.А.卡林斯基、H.P.马赫穆托夫、A.H.维里巴、N.B.帕斯图霍夫和 П.Н.劳塔列夫。作者对以上同志致以谢意。

目 录

绪论	1
第一章 油田开发时油井含水的某些特点	4
§ 1—1 油田开发状况和油藏含水特点	4
§ 1—2 导致油井含水的地质-物理因素	10
§ 1—3 导致油井含水的技术-工艺因素	14
§ 1—4 油井含水原因分类及其确定方法	17
第二章 影响井底带地层渗透性能降低的因素	21
§ 2—1 钻井和诱导油流时影响井底带状况的因素	21
§ 2—2 油井生产过程中影响井底带状况的因素	26
§ 2—3 影响注水井井底带状况的因素	27
第三章 防止、封堵和限制油井见水的方法	31
§ 3—1 调整油藏开采防止油井见水	31
§ 3—2 防止因技术原因引起的油井水淹	33
§ 3—3 封堵或限制油井水侵方法的分类	40
§ 3—4 堵水隔障的水动力特性及其对降低水窜作用的影响	42
§ 3—5 封堵和限制产水的方法	44
§ 3—6 巴什基尔修井堵水施工概况	53
§ 3—7 在限制产水情况下提高油层采收率的因素	59
§ 3—8 结论	61
第四章 通过注泡沫提高含水井的开采效果	63
§ 4—1 泡沫的物理-化学和结构-力学性质	64
§ 4—2 用泡沫调整地层水推进的工艺	83
§ 4—3 依申拜一些油田的工业性试验结果	86

§ 4—4	曼查罗夫油田工业性试验效果分析.....	92
§ 4—5	用泡沫酸处理碳酸盐岩储集层.....	96
第五章	用某些粘-弹剂堵水	110
§ 5—1	聚合物水溶液的性质.....	111
§ 5—2	用聚合物溶液堵水的机理.....	117
§ 5—3	堵水过程中聚合物水溶液在饱和油水多孔介质中的 渗流特点.....	120
§ 5—4	用聚合物溶液处理油井水淹层工艺.....	124
§ 5—5	采用聚合物水溶液堵水的结果.....	127
§ 5—6	聚丙烯腈-福尔马林混合液 ($\Gamma\Phi C$) 及其物理-化学 性质.....	128
§ 5—7	聚丙烯腈-福尔马林混合物 ($\Gamma\Phi C$) 中的胶凝作用 和凝胶的物理-力学性质	131
§ 5—8	胶凝作用液在饱和油水多孔介质中的运动.....	143
§ 5—9	用凝胶选择性降低饱和油、水多孔介质的渗透率.....	148
§ 5—10	用 $\Gamma\Phi C$ 液体堵水作业的施工工艺	149
§ 5—11	采用 $\Gamma\Phi C$ 选择性堵水的结果	152
§ 5—12	采用 $\Gamma\Phi C$ 堵水效果的评价	164
第六章	阿尔兰油田注聚丙烯酰胺 ($\Pi A A$) 的工业性试验	166
§ 6—1	采用聚合物提高采收率的理论和试验性研究.....	166
§ 6—2	溶液的制备及其特性.....	167
§ 6—3	$\Pi A A$ 在添加化学剂水溶液中的吸附.....	170
§ 6—4	提高原油采收率方法的选择.....	171
§ 6—5	矿场试验结果.....	172
第七章	提高油田开发后期地质-技术措施的效果	184
§ 7—1	采用逐次判断程序预测堵水作业的成功率.....	185
§ 7—2	用电子计算机规划修井-堵水作业	189
§ 7—3	用电子计算机选择地质-技术措施的程序	199

结束语.....	231
附录.....	232
参考文献.....	236

绪 论

为完成苏共第 25 次代表大会提出的第十个五年计划中提高全国采油速度的重大任务，不仅要发现和投产新油田，而且要合理地开发老油田。加强地质-技术措施，提高油田开发后期的油井开采效果，对油层和井底带进行人工处理，充分地开采油层，这是摆在采油工业面前的任务。

为了对整个油层和井底带进行这种或那种处理而正确地选井，必须研究以前进行的地质-技术措施的大量资料，并系统地进行整理。正确利用这些资料是提高地质-技术措施效果的一个重要潜力。有了大量资料，就可以采用以概率论为基础预测地质-技术措施成功率和效果的统计方法。但是，在对有科学根据的概率统计法进行应有评价的同时，必须仔细地对现有经验和工程上的直观反映进行专门分析。

不管水窜是何种原因，油井含水总会使原油产量逐步下降。油井和油层提前水淹（即与油层充分开采过程无关的水淹），会降低最终采收率，并需要花费大笔用于采出、集输、处理伴生水和油矿设备防腐、油井防盐（石膏等）措施等非生产费用。同时，油藏的地层能量亦被浪费。在开发底水油藏过程中，特别在地层的均质程度和岩性的均一性较差时，由于形成水锥，导致油井水淹。

大多数油田广泛运用强注保持地层压力的方法，这就加速并复杂化了非均一构造地层的水淹过程。在缩小生产井排和注水井排的排距、加大压降的条件下，开采层段个别高渗透层经常发生水的突进。

在初次固井过程中（即在油层套管注水泥时），封隔地层质量低劣以及为强化采油而采用人工处理井底带的方法（压裂、酸化等造成新的通向井底的水流通道）后，也会导致油井含水。

巴什基尔油田在提高油井注水泥封隔地层的可靠性方面，已经取得了一定的成绩。然而，由于处理井底带的新方法增多，对水泥环密封性和强度的要求也在提高。

现今正在为封堵完全水淹的上部油层进行大量的工作，而且今后的堵水工作量将大大增多，并转向封堵下部的水淹油层。通过注水泥和采用封隔器装置封堵水淹层，效果较差，这种情况很值得重视，因为大部分油田都是多层的。

巴什基尔油田的特点是具有许多各种各样的地质-物理条件：储集层和地层结构不同；原油性质变化大（从纯凝析油到阿尔兰型高粘油）；地层压力范围广（0.5~20 兆帕，即 5~200 公斤/厘米²）。

这里，不仅水淹过程和水淹条件的复杂性造成了防水、堵水的困难，而且主要的困难是缺乏足够有效的、经过工业规模验证的选择性堵水方法，也缺乏广泛可行和廉价的选择性封堵水淹层的材料。在文献中常用的“堵水”或“封堵水流”等术语，应该直接理解为只是诸如恢复水泥环密封性和封堵完全水淹层等措施。在另外情况下可能只限制水流，因为在保持产油量情况下，不可以将其完全堵死，而且在实际上也并没有这种必要。

分析矿场试验和大量实验室研究成果，可以得出采用粘-弹系统（包括聚合物水溶液、聚合物凝胶和气-液混合物）防水、堵水效果最好的结论。阿塞拜疆科学院院士 A.

X. 米尔扎疆扎德及其合作者和学生成功地发展了采用粘-弹系统采油的科学依据。

粘-弹系统堵水的实用性不只是在于它的流变性能，而且无论是在这种系统的内部，还是在饱和某种地层流体的多孔介质与这种系统界面上的物理-化学作用也具有重要意义。不了解这些作用，就不可能有效地控制堵水和提高水淹层采收率的工艺作用。

本书提出的在巴什基尔油田堵水的牛顿系统的水动力学问题，仅仅从实用观点出发，对于了解书中叙述的问题和为进行某种工程计算的需要来加以研究。这些问题的详尽叙述（通用形式和某些局部工程问题），可以在主要的学术专著〔11.73〕中查找。

诸如井间干扰、井距的影响、适于最合理而有效地进行堵水作业的含水值、地层水淹段堵塞后的最佳产液量、选择深井泵等问题，均未列入本书作者的课题。这些与整个油田开发有关的问题，只是顺便提及，或在某些实例中有所反映。

第一章 油田开发时油井含水的某些特点

§ 1—1 油田开发状况和油藏含水特点

储集层类型是影响采油技术-经济效益的最重要地质-物理因素之一。陆相储集层油藏具有采收率高、产量稳、油井产量高的特点。在俄罗斯地台（其中包括巴什基尔）发现的砂岩和粉砂岩层的油田上成功地采用了简单而有效的油层增产方法——注水〔99〕。

巴什基尔地台区油田的碳酸盐岩储集层油藏产量和采收率均较低。前乌拉尔拗陷（依申拜地区）的几个此类油田虽然产量颇高，但不稳，且采收率也较低（高粘原油占其储量的一半以上）。

巴什基尔油田开发的经济指标见表 1。

原油储量的大小是进行有效开采的十分重要的地质-物理因素。

巴什基尔油田开发的特点是产量高，投资见效快，单位面积上人力、物力集中。

低粘的泥盆系油田（杜玛兹、什卡波夫、谢拉费莫夫油田）的技术-经济指标最高，高粘的阿尔兰油田开采效果较差（见表 1）。其他高粘油田（曼查罗夫、克拉斯诺霍尔姆组油田等）开发效果与阿尔兰油田相近。

高粘油藏的开采伴随着采出大量的水，为了采出与低粘油相同体积的原油，必须采出比低粘油条件下多 1—2 倍的水。尽管采取了强化注水系统，其采收率仍比泥盆系油藏低一半。小油田开采效果最差（见表 1）。

表 1 主要开采期内油田开发经济指标

（据 P. K. 帕纳瓦娅的资料）

油 田	年平均采 1 吨原油	折合费用	备 注
	投资 K, 卢布/吨	C+EK 卢布/吨	
杜玛兹	31.93	6.07	T=23 年（1944 年~1966 年）
阿尔兰（石炭系）	60.73	12.87	E=0.12（苏联科学院标准方法）
小油田	130.00	29.49	T=17 年（1944~1960 年）

注：C—成本；

K—年平均采 1 吨原油的投资，卢布/吨；

E—标准系数，即投资效果系数，等于 0.12；

T—主要开采期，年。

巴什基尔的油田基本上都采用强化注水方式（包括边内注水、切割注水、点状注水）开发，获得了较高的技术-经济开采指标。

保持地层压力开发的油田采油量 占总产量的 93%。
1975 年，共注水 1.48 亿米³，采油 9700 万米³。

原油粘度是影响油田开发效果的诸因素之一，它决定着目前产量水平、油藏水淹速度和油层最终采收率。

巴什基尔低粘原油储量在不断减少。

图 1 表明了原油粘度对油田水淹速度的重要影响。

虽然各油藏含水上升速度不同，但总的特点是在高含水期采出的油占总采油量的比例很小。

分析杜玛兹油田亚历山大罗夫区 II-I 层总的和目前产油量，产水量与原油含水程度的关系表明，油井含水大于

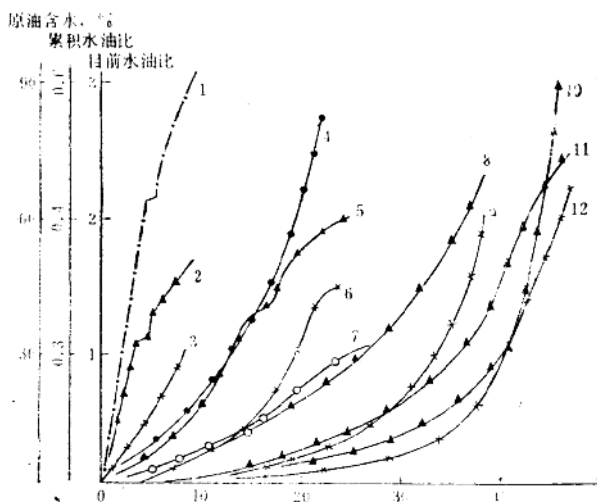


图 1 几个原油粘度不同油田的含水动态

1、2、3—阿尔兰油田 C_1 层， $\mu=18\sim30$ 兆牛顿·秒/米²；4、5、6—曼查罗夫油田 C_1 层， $\mu=14\sim18$ 兆牛顿·秒/米²；7、8、9—什卡波夫油田 II-I 层， $\mu=3$ 兆牛顿·秒/米²；10、11、12—杜玛兹油田泥盆系， $\mu=2.4$ 兆牛顿·秒/米²； μ —原油含水，%； $\Sigma B\Phi$ —累积水油比； $T\Phi$ —目前水油比

90% 后只能采出其总采油量的 2.5%，而且同时随之采出总产水量 40% 左右的水。伴随采出一半的水，仅能多采出 4% 的油。当油层产液量的平均含水达 85% 左右时，目前产油量与产水量分布指标差别更大。

表 2 为巴什基尔石油联合公司（不包括依申拜石油管理局）按原油含水高低统计的井数分布。由表可见，大约 50% 的油井含水高于 50% 条件下生产，这些井的产水量占总产水量的 75% 以上。

表 2 1975 年初按含水高低的分布

指 标	含 水 区 间					合 计
	<2%	2~20%	20~50%	50~90%	>90%	
井 数	431	1825	1527	2470	1463	7733
占总数百分比%	5.3	23.6	19.8	31.9	18.9	100

高含水井的开采可以使生产能力低的层段再洗出油来，但在这种情况下将有大量水流在高渗透层段作无效驱油的运动。

因为油层在大多数情况下是非均质的，故部分限制或完全制止注入水沿着已经水洗的高渗透层段运动是提高注入水利用效率的最适宜的方法。为此，应实施堵水措施，调整注入水沿该地层的运动。

已开发油田的潜力取决于原油储量减少的程度和各个油田的开发现状。每一类油田的目前开发状况（地层压力值、产液含水程度，油井开井数和状况及其工作制度）取决于采

油工艺和技术以及先前的开发史。

从上述各油田的开发史中，可以发现两个特点：(1)设计的开发系统实施迅速，不超过 5~6 年（杜玛兹和阿尔兰油田除外），而且许多油田仅用了 2~3 年。(2)在目前的开发系统和现有采油技术情况下，目前油田开发速度是高的，达到了最大的可能。

下面简要地探讨一下各类油田开发现状的基本特点及其进一步开发的主要工艺课题。

处于开发早期的油田拥有的剩余储量最大，该类油田储量的 97.3% 分布在陆相储集层内。碳酸盐岩储集层内的储量仅占 2.7%。属于这一类的油田有：阿尔兰、谢尔盖耶夫、切德尔马诺夫、伊格洛夫、库什库里、捷姆斯克-沃兹涅宪、萨塔耶夫、萨乌兹巴什-库巴诺夫、切克马古什、泰穆尔津、梅列乌卓夫、阿列巴什-切拉乌里、库兹巴耶夫、南马什-马克西莫夫。这些油田目前采出程度平均为 18%，从投产初期便采用注水开发，并且是强化方式——行列注水、切割注水、点状注水相结合。大多数油田均运用了可以获得最高采油水平的开发系统。

处于开发后期的油田，其剩余可采储量占次要地位，小部分为碳酸盐岩储油层和陆相小油藏所有，主要的储量集中在泥盆系储集层内（杜玛兹、什卡波夫和谢拉费莫夫油田）。在整个巴什基尔石油联合公司这类油田目前产油量所占的比例从 1967 年的 58% 下降到 1975 年的 15%，油井开井数的 90~98% 含水，1976 年初产油含水达 80~90%。油层压力保持在接近原始地层压力的水平上。由于水淹，生产井数减少（见表 3），从总井数的 85% 减少到 40%。

表 3 1975年初巴什基尔主要油田的开发指标

油田、油层	投产年限	年产量			每采1吨油时原油含水量 ³	年注水量 ³ 万米 ³	油井数	停产井占总井数%	采出补偿值%			
		油 万吨	液 万米 ³	水 万米 ³					目前	累积		
杜玛兹油田												
II-I层	29	252.4	2225.5	1872.1	7.4	84.1	2451.9	675	298	30.6	110	102
II-II层	30	69.1	601.4	504.6	7.4	33.9	677.6	148	52	26.2	112	136
谢拉费茨夫+廖尼多夫油田												
II-I层	25	60.4	472.0	390.1	6.4	82.7	388.9	319	145	31.2	82	102
康斯坦丁诺夫油田												
II-I层	23	15.3	93.2	85.4	5.6	91.7	87.7	36	25	40.9	94	112
什卡波夫油田												
II-I层	19	209.0	1234.5	962.7	4.6	75.6	1543.9	274	225	45.2	130	130
II-IV层	19	48.1	375.6	293.5	6.2	79.0	528.9	148	303	67.1	160	130
曼查罗夫油田·C层	17	152.1	618.7	439.1	2.8	72.0	701.6	336	50	12.9	113	105
阿尔兰油田·C层	15	1553.7	4799.8	2973.4	1.9	61.9	4661.3	359	10	0.3	97	97