

低渗透油气田 研究与实践

闵 琪 金贵孝 荣春龙 主编

石油工业出版社

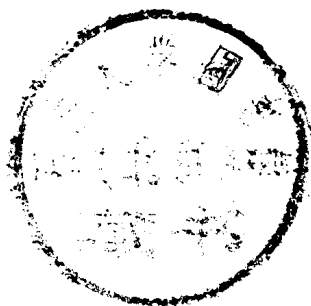
北京)

8

书号	124143
分类号	TE348
种次号	203

低渗透油气田研究与实践

闵 琪 金贵孝 荣春龙 主编



石油0116939

石 油 工 业 出 版 社

内 容 摘 要

本书收集了我国近两年来在低渗透油气田研究、勘探和开发方面的优秀论文,是我国在该领域中研究成果和实践经验的汇集。因此,本书中的内容无论在理论研究方面,还是在实践实用方面都极具参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

低渗透油气田研究与实践/闵琪等主编.

北京:石油工业出版社,1998.6

ISBN 7-5021-2282-6

I. 低…

II. 闵…

III. ①低渗透油层-油气勘探②低渗透油层-油田开发

IV. TE348

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 15665 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)

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

787×1092 毫米 16 开本 16¼ 印张 416 千字 印 1—1000

1998 年 6 月北京第 1 版 1998 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2282-6/TE·1900

定价: 32.00 元

序

随着我国油气勘探开发工作的深入与新技术、新理论、新方法的应用,90年代以来,在我国中西部地区的鄂尔多斯盆地、吐哈盆地和准噶尔盆地以及东部地区的松辽盆地,相继发现了一批大中型低渗透油气田。这些油气田的发现,为我国油气储量和产量的持续稳定增长起到了重要的作用。继鄂尔多斯盆地奥陶系大气田发现之后,新疆三大盆地侏罗系的油气勘探又获重大突破,发现了诸多的低渗透中型油田。据有关专家的统计,目前我国已发现的渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的低渗透油田的地质储量约占全国石油总储量的25%,而低渗透气田的天然气储量所占的比例则远大于这一比例。这说明低渗透油气资源在我国油气资源中占有重要地位。

尽管对于低渗透油气田的储层物性界限的划分在我国地质界与开发界目前尚无定论,但仅就储层的渗透性而言,渗透率的高低是相对的。它除表示储层的物理特征外,其所表现的渗流能力的特性在油气开发中则显得更为重要。因此,判断低渗透油气田的主要标志应是油气井的产能低、压差大,若不采取人工压裂改造措施,几乎没有自然产能。据此,我认为,划分低渗透油气田的渗透率界限,不但油田和气田应有所不同,而且也不宜定得过高。对于油田,其渗透率定为小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、而对于气田,其定为小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,应当说是比较合适的。至于渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层,国外分别定为致密层和特致密层。这两类油气储层在我国均有发现,但气藏居多。

实践是科研的源泉,科研是实践的先导。前者带动后者,后者推动前者,相辅相承,密不可分。在我国进行低渗透油气田勘探与开发的同时,一批具有较高学术水平和实用价值的科技论文不断出现。人们热切希望阅读到这些论文,并将其观点与方法应用到研究与实践之中去。这就是《低渗透油气田研究与实践》一书编辑出版的背景。闵琪、金贵孝和荣春龙三位同志,看到了这一客观的情况与需要,抓住时机,在百忙之中抽出时间,收集、整理、编辑这本书,是值得大加称道的。我承蒙三位热心编者的委托,为该书作序,甚感高兴。这样,我也就有幸成了这本书没有出版之前的第一位读者。粗读之后,该书给我的主要印象是,选题得当、内容丰富、实用性强。它汇集了我部分知名专家、教授和富有实践、创新精神的中青年同志在这一领域内近期所取得的科研成果,是一本比较好的论文集。因此,它定会受到广大读者的欢迎,并将在实际工作中起到积极的作用。本书有以下五方面的主要内容:

1. 低渗透储层的成因、结构、特征和模式。
2. 低渗透油气田的成藏条件与分布规律。
3. 低渗透油气田的开发模式、开采方式、开发实验和开发效果。
4. 低渗透油气田的开采工艺、技术与方法以及在提高采收率方面的研究。
5. 有关油气田开发管理与经营方面的综合性论文。

最后,我以一个热心读者的身份,祝贺《低渗透油气田研究与实践》一书的出版;感谢闵琪等三位同志为此书的出版所作的努力;期望广大读者喜欢这本书,并从中能得到有益的知识。

陈元千

1997年12月7日 北京

前 言

低渗透油气资源在我国相当普遍、相当丰富，低渗透油气田的开发在我国也有很长的历史和特别重要的意义。进入 90 年代以来，由于一批大中型低渗透油气田的相继发现，低渗透储层的油气储量增加很快，在全国油气总储量中所占的比例也越来越大。可以预料，在今后相当长的一个时期内，低渗透层的油气开发将是我国油气生产的重要研究课题。但低渗透油气田地质条件极其复杂，开发难度很大，所以大量已探明的低渗透油气资源难以动用，已动用的低渗透油气资源其开发状况又不理想。因此，如何动用和开发好低渗透油气田，就成为目前油气生产的一个十分紧迫而重要的任务。

为此，长庆石油勘探局于 1996 年创办了《低渗透油气田》期刊，为促进低渗透油气田勘探开发、学术交流、成果和经验的总结提供了一个园地，以提高我国对低渗透油气田的研究与开发的水平。

两年来，《低渗透油气田》期刊发表了大量有关低渗透油气田地质研究与开发方面的论文，其中不乏国内知名专家、教授和富有创新精神的中青年科技人员在近期所取得的研究成果和及其经验总结。为了使这些内容丰富、实用性强的研究成果能得到更广泛的应用，我们将其部分论文选编成集。希望能在我国低渗透油气田研究和开发方面贡献自己的一份力量。

本书由闵琪、金贵孝、荣春龙主编，负责全书的选题、审核和定稿。文字加工及统稿工作由荣春龙负责，参加文字加工工作的还有周季陶、谢国明、袁渊、陈占仁和袁开奇同志。

陈元千教授在百忙之中为本书作序，我们深表感谢！

编 者

1997.12.10

目 录

低渗透油田的概念及其在我国的分布	李道品 罗迪强 刘雨芬 (1)
我国陆相低渗透砂岩油层的粒度和孔隙系统	
的特征	严衡文 皮广农 吴震滨 单秀琴 陈 敏 (11)
煤系地层低渗透岩屑砂岩储层的成因机理及其储集特征	吴胜和 马晓芬 (20)
西北地区侏罗系盆地低渗透储层的形成	
与分布	吴因业 薛叔浩 郭宏莉 唐详华 祝厚勤 (26)
吐哈盆地台北凹陷侏罗系辫状三角洲的沉积模式及其储层特征	纪友亮 冷胜荣 (35)
鄂尔多斯盆地镇北地区延长组长 ₈ ¹ 低渗储层的成因机制	贺 静 黄月明 (43)
开鲁盆地陆西凹陷侏罗系高孔低渗致密储层的孔隙结构及其模型	寿建峰 陈和平 (47)
黄骅坳陷下第三系的低渗透储集层	于志海 高玉华 (53)
苏北盆地下、杨油区碎屑岩的地层裂缝特征及其形成条件	王忠和 (60)
安塞油田的裂缝特征及开发对策	吴志宇 (66)
鄂尔多斯盆地中部奥陶系风化壳岩溶岩及岩溶相模式	郑聪斌 贾疏源 (72)
深埋藏碳酸盐岩溶蚀成岩过程的实验	
模拟研究	张文正 杨俊杰 黄月明 刘桂霞 黄思静 (81)
辽河油田雷家低渗透白云岩储层特征研究	曾联波 田崇鲁 (86)
长庆气田白云岩储层的孔隙结构特征及其评价	吕 强 冀小玲 宋 凯 (91)
鄂尔多斯盆地侏罗系古地貌岩性油藏研究及其滚动勘探开发技术	曾正全 (96)
鄂尔多斯盆地中部隐蔽性气藏的成藏条件及勘探思路	马振芳 陈志远 (103)
鄂尔多斯盆地石炭—二叠系含气系统分析	郑承光 范正平 侯云东 (108)
深盆气藏的基本特征及其形成机制	荣春龙 闵 琪 (117)
用成像测井提高低渗透油气藏的勘探效益	谭廷栋 (123)
用测井和地震资料的分形特征描述储集体的非均质性	魏修成 侯哲国 (129)
低渗透油田的开发方式	李道品 (134)
低渗油藏的高效开采	朱兆明 (144)
对经济、有效开发低渗透油田的认识和建议	李道品 (148)
低渗透砂岩油藏的开发特征及调整效果分析	朱义吾 (158)
低渗透油田开发的特点、主要矛盾及基本做法	谢桂学 寇永强 黄琼冰 (164)
长庆低渗透油田注水工艺技术的配套与应用	朱国君 (169)
安塞特低渗透油田的稳产技术措施	李忠兴 龚克玉 潘增耀 (175)
安塞油田注水开发的技术措施	李恕军 (182)
安塞特低渗透油田水平井整体开发布井方式的数值	
模拟研究	闵 琪 张明禄 刘月田 何顺利 (187)
特低渗透油层水驱油效率的实验研究	陈付星 邹文选 韩翼云 (193)
安塞油田提高采收率方法的研究	龚克玉 (198)

提高区域间非均衡开采程度, 高效开发长庆气田	高承泰	杨 玲	张敏渝	(203)
低渗油藏的压裂开发技术			蒋 阒	(207)
低渗储层改造工艺技术的探讨		黄毓林	赵小充	(213)
安塞油田的压裂改造工艺技术	吴增智	宋振云	雷 群	(218)
长庆气田提高单井产量的工艺技术探讨	刘海浪		李宪文	(224)
提高砂岩酸化效果的探讨	黄琼冰	寇永强	姚 军	(230)
加强油气藏经营管理, 不断提高油气田开发水平和经济效益			刘宝和	(236)
关于储量管理工作的四个转变及其同国际接轨的问题			陈元千	(243)
油气开发建设项目经济评价的回顾与展望			蒋立江	(250)

低渗透油田的概念及其在我国分布

李道品 罗迪强 刘雨芬

(中国石油天然气总公司咨询中心)

摘要 低渗透储层广泛分布于各产油区的不同埋藏深度和不同时代的地层中,其可以形成不同规模、不同圈闭类型的油藏。截止 1994 年底,我国已探明低渗透油田 285 个(不包括地矿部油田),地质储量 $40 \times 10^8 \text{t}$,占全部探明储量的 24.5%。根据我国当前的勘探趋势,低渗透油田的比例将会越来越大,产量亦会越来越多。所以,分清低渗透油田的概念,搞清低渗透储层的分布状况、成因、储层的非均质特征,对勘探发现低渗透油藏、开发好低渗透油藏都具有非常重要的意义。

低渗透油田的概念和界限

所谓低渗透油田是一个相对的概念,世界上并无统一固定的标准和界限,其据不同国家、不同时期的资源状况和技术经济条件而划定,因此,其各项参数变化范围较大,根据我国生产实践和理论研究,对于低渗透油层的范围和界限,现在大家已有了比较一致的认识。

1. 低渗透油层上限

国内外学者、专家对低渗透油层的界限有过许多研究和报告。例如:前苏联将储层渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的油田算作低渗透油田(原苏联提高采收率部际科技委员会, M. И. 苏尔古伊耶夫^[1]);美国 A. I. Levenson 把渗透率大于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的算为好储层^[2],那么低渗透储层的上限就等于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,具体分类标准见表 1。

表 1 砂岩储层评价分类表(美国)

孔隙度 (%)	渗透率 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	评价分类
0~5		无价值
5~10		不好
10~15	1.0~10	中等
15~20	10~100	好
20~25	100~1000	较好

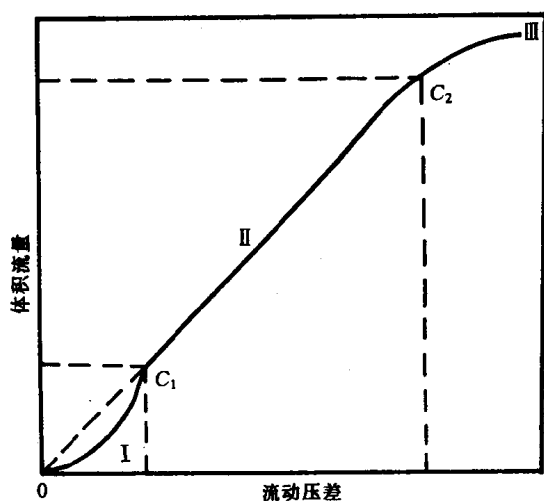
我国唐曾熊在其油气藏的开发分类及描述中^[3],建议以一个数量级作为划分各类渗透率的范围。即,对于油田,特低渗透率定为小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,低渗透率为 $10 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,中渗透率为 $100 \times 10^{-3} \sim 1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,高渗透率为大于 $1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

罗蛰潭、王允诚则将油层分为 4 类^[4],把渗透率小于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的称为低渗透油

层，具体分类标准见表2。

表2 储集岩按物性分类评价表（据罗蛰潭，1986）

类 别	亚 类	孔 隙 度 (%)	渗 透 率 ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)	评 价
I		>20	>100	好
II	a	13~20	10~100	中上等
	b	13~20	5~50	中 等
	c	12~18	1~20	中下等
III	a	9~12	0.2~1.0	差
	b	7~9	0.1~0.5	很差
IV		<6 (油) <4 (气)	<0.1	非储集层



I—低速非线性达西流；II—线性达西流；
III—高速非线性流

图1 不同流态的渗流曲线

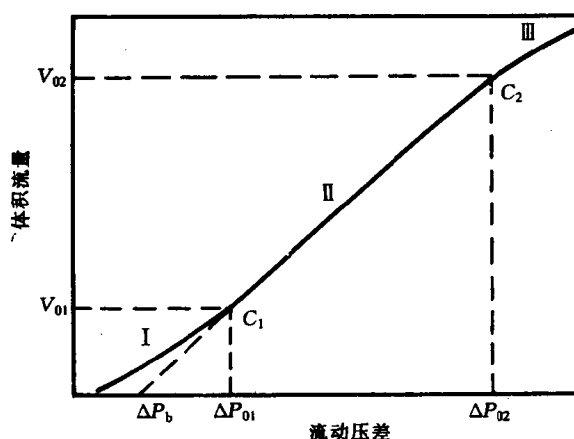


图2 低渗岩心中液体渗流曲线特征

1992年在西安国际低渗透油气藏会议上，严衡文在论文中把渗透率大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层分为好储集层， $10 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层分为低渗透储集层， $0.1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层分为特低渗透层^[5]。

上面资料主要是以储层特征为主进行分类评价的。西安石油学院和北京石油研究院渗流研究所的研究表明，低渗透层具有非达西型渗流特征。如阎庆来通过实验发现^[6]，低渗透储层有与一般中高渗透储层不同的渗流特征，其主要特点是：

①低渗透储层具有启动压力梯度。众所周知，达西渗流（见图1）基本特征是线性渗流段（II）的延长线通过坐标原点，这个规律对一般中高渗透储层是正确的，但当渗透率降低到一定程度后就不适用，其线性渗流段（图2中II段）的延长线不通过坐标原点，而与压力梯度轴相交，交点的压力梯度称为拟起始压力梯度，亦即低渗透储层具有的启动压力梯度，呈非达西型渗流特征。

②低渗透储层渗透率对原油采收率具有明显影响。大量实验研究成果说明，渗透率基本

不影响原油采收率,这对一般中高渗透储层是正确的,然而当渗透率降低至某个界限后,则对采收率产生明显影响,渗透率越低,影响越大,其采收率也就越低(图3)。

根据渗透率对采收率的影响程度及渗透率与临界压力梯度关系曲线(图4)的观察,渗透率在 $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 前后有较大的变化,即渗透率低于 $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 后,采收率明显降低,临界压力梯度明显加大,因而认为 $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 是低渗透油层的上限。

从油田生产实际看,渗透率低于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层,虽然具有工业油流,但一般都要进行压裂改造,经过增产措施后,才能有效地投入正常开发,如渤南、马岭油田等。

综上所述,我们认为在1990年12月召开的油田开发工作会议上,把低渗透油层上限定为 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 是比较恰当的^①。

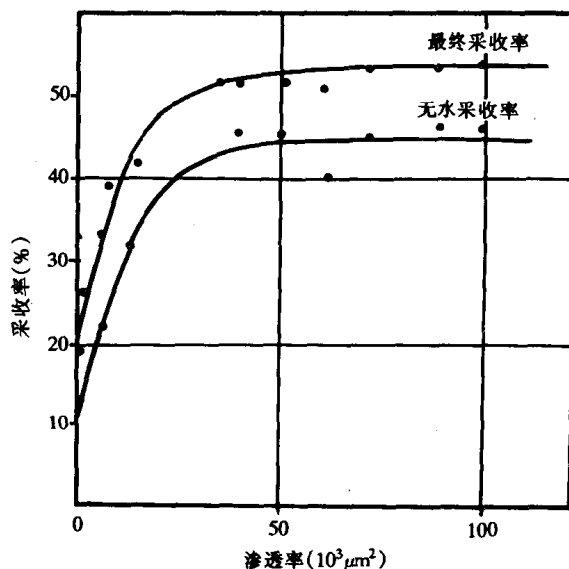


图3 驱替速度为0.52时采收率与渗透率关系

2. 低渗透油层下限

低渗透油层下限也就是通常所称的有效厚度下限(截止值),对低渗透油田来说这是一个十分重要的参数。

过去人们根据岩心含油产状和级别及岩石物性对比来确定有效厚度下限,这种方法准确度较差。现在已逐步积累和建立了一些比较严格的定量方法,例如:

流动孔喉下限:在渗透率贡献分布图上,对应于渗透率累积贡献为98%的孔喉半径即为有效孔喉半径下限,低于该下限的孔隙空间对渗透率基本上无贡献,液体基本上不流动。如濮城油田沙三中6-10层流动孔喉半径下限为 $0.35 \mu\text{m}$ (见图5)。老君庙M油层孔喉半径下限为 $0.691 \mu\text{m}$ (见图6)。

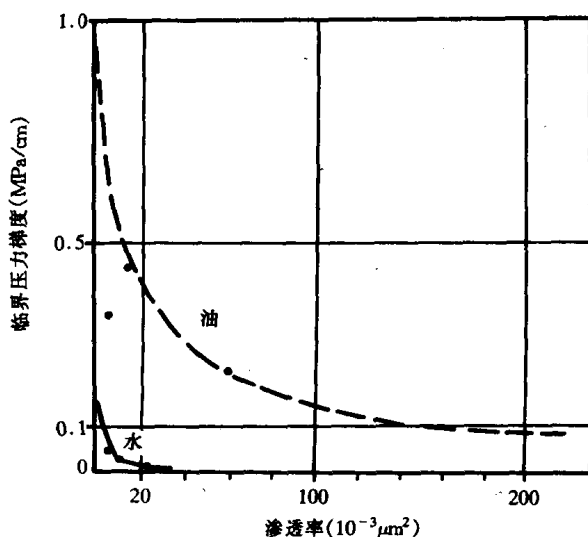


图4 油水渗流时临界压力梯度与渗透率关系

产油渗透率下限:通过单层试油确定能够产油的有效厚度渗透率下限值。单层试油是储集层物性、液体饱和度、流体性质和采油工艺技术的综合反映,是研究储层中原油流动与不流动的直接资料,准确性较高,代表性较强。将单层试油成果反映到岩心的物性参数上,建立采油量与油层渗透率的关系曲线,就可确定油层有效厚度渗透率下限。

① 李道品,采用先进配套技术开创我国低渗透油田开发新局面,1990年

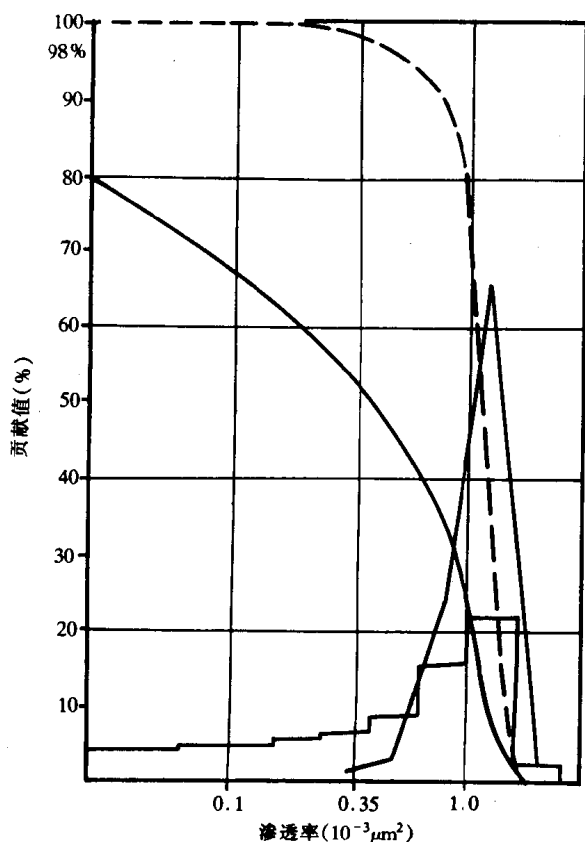


图5 濮城油田沙三中6~10层渗透率贡献分布图

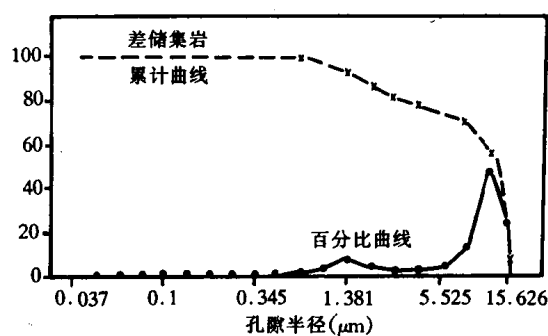
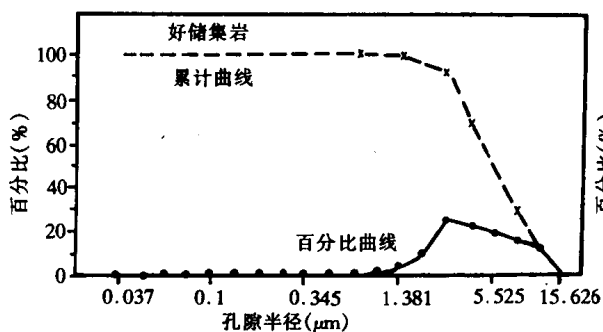


图6 渗透率沿孔径大小分布累积曲线图

美国、加拿大等国家有效厚度的渗透率截止值一般也定为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，如加拿大最大的油田帕宾那油田，总地质储量为 $92059 \times 10^4 \text{t}$ ，而渗透率为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的特低渗透油层储量就有 $40195 \times 10^4 \text{t}$ ，占总储量的 44%。

根据以上所述，我们认为可以把低渗透油田油层渗透率下限定为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。当然这是个总的极限值，各个油田可根据具体地质和技术经济条件的不同而有所差异。

3. 低渗透油田分类

例如大庆油田在外围三肇地区专门对特低渗透油层进行单层试油，证明渗透率低于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的油层经过压裂改造后仍有一定生产能力（表 3），并作了每米油层采油量与渗透率的关系曲线（图 7、图 8），最后确定有效厚度下限渗透率为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，孔隙度为 9.0%。

其实，我国开发最早的延长油田，其油层（三迭系延长统）渗透率就只有 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，经过简单压裂改造后，初期单井日产可达 0.3~1.0t。

80 年代以来，有的油田在计算石油地质储量时，把有效厚度下限渗透率值定为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，并得到全国储量委员会的审查批准。如 1988 年全国储委批准的油层平均渗透率为 $0.4 \times 10^{-3} \sim 0.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的就有 4 个油田区块，含油面积共 94.7km^2 ，探明石油地质储量 $7973 \times 10^4 \text{t}$ ，其有效厚度下限渗透率值都定为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。据初步统计，我国累计探明油层渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的石油地质储量共有 5 亿多吨。

表3 三肇地区有效厚度标准下限试油成果表

井 号	层 位	射开厚度 (m)	有效厚度 (m)	平均孔隙度 (%)	平均渗透率 ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)	试油方式	日产油量 (m^3)
树 3	扶 7	5.7	3.4	10.9	0.11	压后	2.20
树 14	杨 I 2	5.2	2.5	11.2	0.42	压后	1.55
树 16	扶 3	3.6	2.6	9.8	0.2	压后	2.46
州 11	杨 I 1	2.8	1.2	10.7	0.16	提携	0.005
州 6	杨 II	2.0	2.0	12.9	0.53	MFE	0.14

综上所述,我们把渗透率 $50 \times 10^{-3} \sim 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层统称为低渗透油层。

根据实际生产特征,按照油层平均渗透率可以进一步把低渗透油田分为三类:

第一类是一般低渗透油田,油层平均渗透率为 $50 \times 10^{-3} \sim 10.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这类油层接近正常油层,油井能够达到工业油流标准,但产量太低,需采取压裂措施,提高生产能力后才能取得较好的开发效果和经济效益。

第二类为特低渗透油田,油层平均渗透率为 $10.0 \times 10^{-3} \sim 1.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,这类油层与正常油层差别比较明显,一般束缚水饱和度增高,测井电阻率降低,正常测试达不到工业油流标准,必须采取较大型的压裂改造和其它相应措施后,才能有效地投入工业开发,例如长庆安塞油田、大庆榆树林油田、吉林新民油田等。

第三类属超低渗透油田,其油层平均渗透率为 $1.0 \times 10^{-3} \sim 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这类油层非常致密,束缚水饱和度很高,基本没有自然产能,一般不具备工业开发价值。但如果其它方面条件有利,如油层较厚、埋藏较浅、原油性质比较好等,采取既能提高油井产量,又能减少投资、降低成本的有力措施后,也可以进行工业开发,并可取得一定的经济效益,如延长油矿最近探明的川口油田等。

上述分类主要是按油层基质岩块渗透率,如果油层存在裂缝,其有效渗透率和生产能力可能会有变化,不一定按上述界限分类,需进行双重介质的专门研究。

对于油田按油层物性和生产特征的分类,除以渗透率为标准分类外,还有其它多种分类方法,如流度 (K/μ) 分类法,流动系数 ($K \cdot h/\mu$) 分类法,还有把孔隙度也考虑进去的 ($K \cdot h \cdot \phi/\mu$) 分类法等。

武若霞等对我国一部分低渗透油田流度与油井产量的关系进行了分析,发现有一定关系

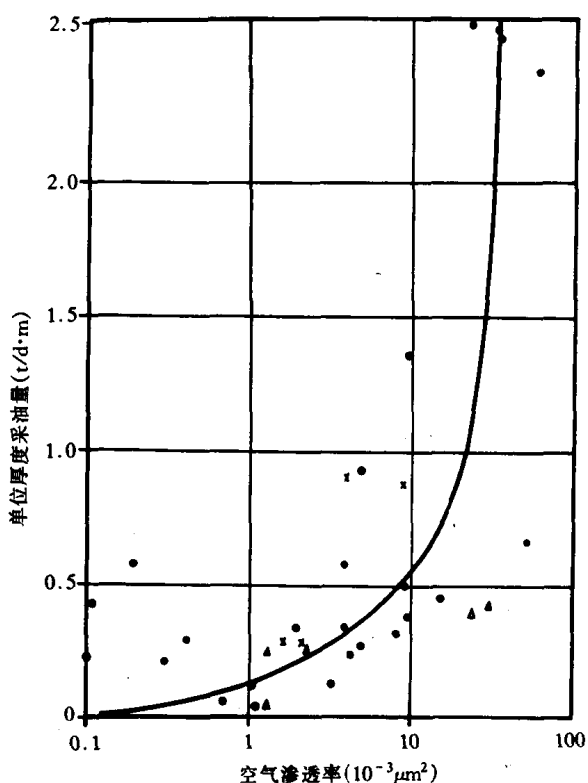


图7 榆树林油田单位厚度采油量与渗透率关系曲线

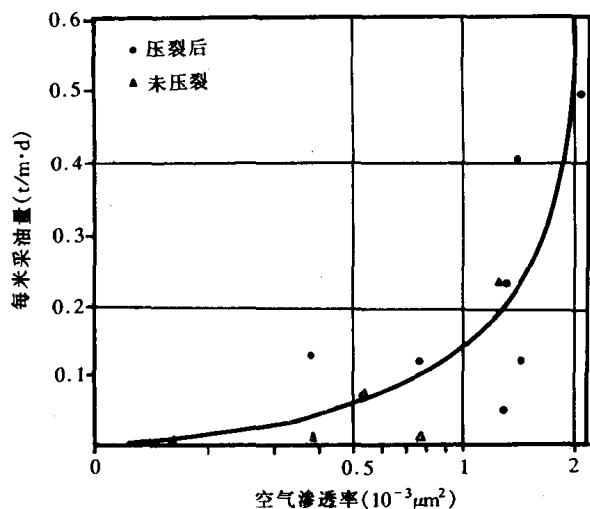


图8 肇州地区每米油层采油量与渗透率关系曲线

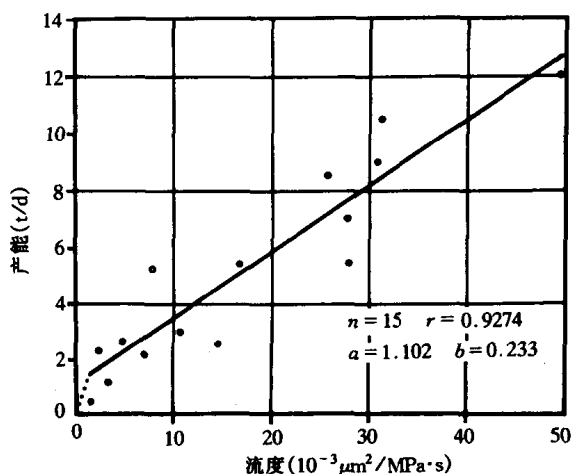


图9 全国部分低渗透油田流度与产能的关系

(见图9),并提出根据流度将低渗透油藏划分三类。一类油藏流度大于 $30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2/\text{mPa}\cdot\text{s}$,二类油藏流度为 $30 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2/\text{mPa}\cdot\text{s}$,三类油藏流度小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2/\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

考虑到低渗透油田在世界油田开发领域内已有比较明确的含义和概念,而且低渗透油田一般原油粘度也都比较低,故,按渗透率和按流度分类的方法矛盾不太突出,因而我们认为还是以渗透率为标准划分低渗透油田类别比较合适、简单明了和实用。

低渗透油田的分布状况

我国目前探明的油田大多数分布在陆相盆地中。勘探实践证明,陆相盆地具有良好的成烃条件,能够形成大量的石油及天然气,而且具备良好的成藏条件。原油广泛分布于不同类型的和不同物性的储层中,既有物性好的高渗透层,也有物性差的低渗透层。随着勘探程度的深入,油层改造工艺技术的不断提高和完善,低渗透储层油藏发现比例将不断增加,原认为没有经济价值的低渗透油藏经过储层改造,也能使其具有工业开采价值。如大庆朝阳沟油田,压裂前油井产量很低,压裂后产量大幅度提高,可达几吨到十几吨,而且经注水开发后效果很好,目前已大面积开发。陕北安塞油田以效益为中心,因地制宜,研究应用八项配套工艺技术,创特低渗油田开发新水平。

截止1994年底,我国已探明的低渗透储层油田地质储量约 $40 \times 10^8 \text{t}$,占全部探明地质储量的24.5%(图10)。因此,低渗透储层油田不可忽视。勘探的趋势表明,低渗透储层的比例将越来越增大,低渗透储层的产量亦将越来越多。搞清低渗透储层分布状况、成因、储层的非均质特性,对勘探发现低渗透油藏、开发好低渗透油藏都具有非常重要的意义。

据截至1994年底的储量资料统计分析,我国低渗透油田储量分布具有如下特征:

1. 低渗透油田广泛分布于各个油区

全国陆地发现并探明的低渗透储层油田(油藏)共285个(不包括地矿部油田),地质

储量约 $40 \times 10^8 \text{t}$ ，广泛分布于全国勘探开发的 21 个油区，虽然各油区分布状况不同，差别较大，但每个油区均有广泛分布。

21 个油区中，低渗透储层地质储量在 $1 \times 10^8 \text{t}$ 以上的有 11 个油区，占一半以上。低渗透储层地质储量最多的是新疆，达 $6 \times 10^8 \text{t}$ 以上，其余依次为大庆、胜利、吉林、辽河、大港、中原、延长、长庆、吐哈、华北等油区。

按照低渗透储层储量占油区储量百分数排列，最高的是延长、四川，全部为低渗透储层。占油区储量 50% 以上的有吐哈、长庆、吉林、玉门、二连。高于全国低渗透储层比例平均数 (24.5%) 的还有新疆、青海、滇黔桂、中原、江苏、江汉油田 (详见表 4)。

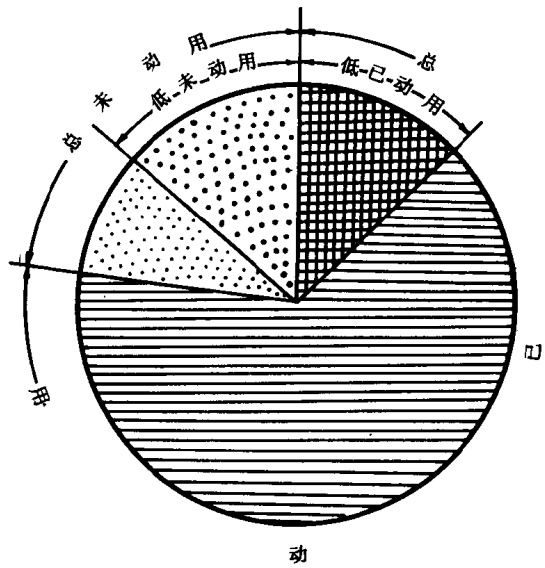


图 10 我国低渗透油田储量占总储量比例图

表 4 低渗透油田 (藏) 储量数据表

区 号	油 区	地质储量 (10^4t)	可采储量 (10^4t)	动用储量 (10^4t)	占油区储量比例 (%)	占全国低渗透储量比例 (%)
1	大 庆	58274	9423	16864	11.27	14.62
2	吉 林	37588	7769.84	10431	61.18	9.43
3	辽 河	35446	7007.5	25138	21.16	8.89
4	华 北	15615	2226.3	8379	18.74	3.92
5	二 连	7452	910.4	5573	53.28	1.87
6	大 港	24574	4997.2	10641	33.89	6.16
7	冀 东	620	105.6	246	5.38	0.16
8	胜 利	48982	10818.1	33767	14.76	12.28
9	中 原	23719	6249.9	11422	35.36	5.95
10	河 南	326	45.7	128	1.88	0.09
11	江 汉	2592	689.7	1887.5	26.51	0.65
12	江 苏	2950	361.5	2080.9	33.09	0.74
13	新 疆	62413	13284.2	38184	44.98	15.65
14	塔里木	1613	416	1155.0	7.00	0.40
15	吐 哈	16353	5223	3860	85.19	4.1
16	青 海	8445	1330.4	2734.0	44.92	2.12
17	玉 门	3422	1854.5	5421.8	60.20	1.36
18	长 庆	20372	4207.9	10507.8	67.69	5.11
19	延 长	22858.9	2162.4	2995.0	100	5.73
20	滇黔桂	693	94.5	273	38.37	0.17
21	四 川	2413	241	2413	100	0.61

上述数据说明，低渗透储层广泛分布于各个油区，且有的油区低渗透储层是主力油层，其他油区也都占有一定的比例。

2. 不同地质年代的地层都可形成低渗透储层，同一油区老地层低渗透储层所占比例较高

低渗透储层除广泛分布于各个油区外，不同地质年代的地层均有分布。如表 5，从古生代至上第三系地层均有低渗透储层。

表 5 不同地质时代低渗透储层储量数据表

时 代	古生代	三叠系	侏罗系	白垩系	下第三系	上第三系
储量 (10^4t)	72004	51013	34571	101087	124318	15727
比例 (%)	18.06	12.79	8.67	25.35	31.18	3.94

从上表可以看出：低渗透储层最多的是下第三系，其余依次为白垩系、古生代、三叠系、侏罗系，最少的是上第三系。除上第三系外，这一次序与全部储量次序大致相同。说明低渗透储层占有一定的比例，但不同年代地层所占比例有所不同。在同一个油区中，一般地层越老，低渗透储层所占的比例越高。如新疆油区，古生代二迭系低渗透储层占 70%，三迭系低渗透储层占 21%，侏罗系低渗透储层占 7%，上第三系低渗透储层占 2%。陕甘宁盆地低渗透储层主要集中在三迭系，占低渗透储层储量 84%，侏罗系仅占低渗透储量的 16%。

3. 目前发现的低渗透储层以中深埋藏深度为主

由各油区低渗透储层埋藏深度统计表明，目前发现的油藏以中深层为主，埋藏深度小于 1000m 的油藏约占 4.9%，1001~2000m 的油藏约占 44%，2001~3200m 的油藏占 42.5% (见表 6)。

表 6 低渗透储层埋藏深度统计表

埋深 (m)	<1000	1001~2000	2001~3200	3201~4000	>4000
储量 (10^4t)	19258	173320.9	167115	23405	10622
比例 (%)	4.9	44	42.5	5.9	2.7

出现上述结果的主要原因是中深层地层勘探程度高，发现低渗透储层油藏较多，另外由于技术条件和经济因素影响，对深层低渗透储层所做的工作还很不够。

4. 低渗透储层油藏以大中型油藏为主

根据陆上 285 个低渗透油藏统计，地质储量在 $10000 \times 10^4\text{t}$ 以上的大油田有 6 个，储量 $94721 \times 10^4\text{t}$ ，占 23.8%，地质储量在 $1000 \sim 10000 \times 10^4\text{t}$ 的中型油田有 82 个，储量 $237800 \times 10^4\text{t}$ ，占 59.6%，小于 $1000 \times 10^4\text{t}$ 的小油田 (藏) 有 197 个，储量仅为 $66199 \times 10^4\text{t}$ ，只占 16.6%。该统计说明占 80% 以上的储量集中在大中型低渗透油藏中 (见表 7)。

表 7 低渗透油层油藏规模统计表

规 模	大	中	小
个数	6	82	197
储量 (10^4t)	94721	237800	66199
比例 (%)	23.80	59.6	16.6

5. 低渗透储层分布于各种岩性中

低渗透储层在各种岩性的地层中均有分布，如表 8。

表 8 低渗透储层岩性统计表

岩 性	粉 砂 岩	砂 岩	砂 砾 岩	其 它 (变质岩、灰岩等)
储量 (10^4t)	131118	158696	62805	46101
比例 (%)	32.9	39.8	15.7	11.6

从表 8 统计中可以看出，砂岩低渗透层占主要地位，大庆、吉林、中原油区低渗透储层以粉砂岩占绝大部分（分别为 77%，100%，100%）；新疆、二连油区低渗透储层以砾岩、砂砾岩的储层占绝对优势（分别为 72.4%，58.3%）；辽河油田以变质岩、灰岩低渗透储层占主要地位（50%）。这些数字说明，粉砂岩、砂砾岩及变质岩容易形成低渗透储层。

6. 低渗透油藏类型以构造岩性油藏为主

低渗透储层可以形成不同类型圈闭的油藏，但据现在探明低渗透油藏统计，近一半属于构造岩性油藏（如表 9）。

表 9 低渗透油层油藏类型统计表

油藏类型	岩 性	构造岩性	背斜、断块	古潜山等
储量 (10^4t)	57238	191295	118709	31478
比例 (%)	14.3	48.0	29.8	7.9

大、中型低渗透储层油藏除长庆、延长为岩性油藏外，其余的大多数油藏与断块、背斜有关，形成构造岩性共同圈闭的油藏。如大庆长恒南部榆树林、新民、乾安、新立等油藏。

7. 低渗透储层中特低渗透层占有相当高的比例

如前所述，低渗透储层可根据渗透率情况，进一步细分为三类：第一类渗透率为 $10 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ；第二类渗透率为 $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ；第三类渗透率为 $1 \times 10^{-3} \sim 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。据统计，二类特低和三类超低渗透率储量为 $210278 \times 10^4\text{t}$ ，占 52.7%（见表 10）。

表 10 低渗透储层分类统计表

类 别	I 类	II 类	III 类
储量 (10^4t)	188442	154417	55861
比例 (%)	47.3	38.7	14.0

第三类超低渗透油田主要分布在延长油区和川中地区；第二类特低渗透油田，主要分布在大庆、吉林、新疆等油田；第一类低渗透油田主要分布在辽河、大港、胜利、吐哈、中原、华北等油田。上述所提到的油田各类低渗透储层总储量均在 1 亿吨以上。

8. 低渗透储层原油性质比较好

低渗透储层所储原油都具有较好的原油性质，据统计有 78.3% 低渗透储层原油地下粘

度小于 $10\text{mPa}\cdot\text{s}$ (见表 11)。这一点在一定程度上弥补了渗透率低的缺陷,使低渗透储层的原油地下流动状况较好,是低渗透油田获得工业性油流、具有经济价值的有利条件。

表 11 低渗透储层原油地下粘度分类统计表

原油粘度 ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	<1	1~10	>10
储量 (10^4t)	51362	260811	86477
比例 (%)	12.9	65.4	21.7

表11中大于 $10\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的油藏,其原油地下粘度一般都小于 $20\text{mPa}\cdot\text{s}$,很少超过 $20\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。超过 $20\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的油藏主要是一些中小油藏,如辽河油田冷家铺、高升等油田。

综上所述,低渗透储层广泛分布于各个油区,不同埋藏深度和不同时代的地层,均可以形成不同规模与不同圈闭类型的油藏,这些分布特征为进一步勘探低渗透油藏、增加地质储量、开发低渗透油藏、增加产量奠定了地质基础。

参 考 文 献

- 1 M.И. 苏尔古伊耶夫等. 低渗透油田开发的问题和原则. 杨俊杰编, 低渗透油气藏勘探开发技术. 北京: 石油工业出版社, 1993.136~138
- 2 A.I 莱复生. 石油地质学. 北京: 地质出版社, 1975
- 3 唐曾熊. 油气藏分类及描述. 北京: 石油工业出版社, 1994
- 4 罗蛰潭, 王允诚编. 油气储集层的孔隙结构. 北京: 科学出版社, 1986
- 5 严衡文, 周培珍, 皮广农. 冀东地区南堡潜山带深层油气储集性能评价研究. 杨俊杰编, 低渗透油气藏勘探开发技术. 北京: 石油工业出版社, 1993.32~40
- 6 阎庆来, 何秋轩等. 低渗透储层中油水渗流规律的研究. 杨俊杰编, 低渗透油气藏勘探开发技术. 北京: 石油工业出版社, 1993.91~96