

油气井酸化读本

四川省石油管理局《油气井酸化读本》编写组编
西南石油学院

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了碳酸盐油、气田酸化工艺技术，内容包括酸化地质知识，酸化原理，酸液和添加剂，常用的酸化工艺方法、施工，以及酸化设备和工具等。

本书可作新工人的培训教材，也可供老工人学习参考。

油气井酸化读本

四川省石油管理局 《油气井酸化读本》编写组编
西南石油学院

（限国内发行）

（根据石油化学工业出版社纸型重印）

石油工业出版社出版

（北京和平里七区十六号楼）

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $7^{3/4}$ 插页 1

字数 168千字 印数 1—2,750

1976年2月第1版 1979年2月新1版第1次印刷

书号 15037·2039 定价 0.55元

前 言

在毛主席革命路线指引下，我国的压裂酸化工作以“两论”为指导，经过不断实践、反复认识，在理论、工艺、装备等各方面都得到了较快的发展。特别是无产阶级文化大革命以来，通过大量科学试验和生产实践，压裂酸化已发展成为油、气田开发工艺的补充和配套工艺，是向油、气层进攻、搞好油、气田综合调整的基本措施。几年来，在碳酸盐油、气田进行了大量压裂酸化作业，效果显著。实践说明，压裂酸化有广阔的发展前途，为获得更多的油、气，应进一步大搞压裂酸化。

为适应我国石油和天然气工业大发展的形势，满足广大工人同志学习和掌握压裂酸化技术的迫切需要，我们编写了《油、气井酸化读本》。

本书取材内容，是以碳酸盐裂缝性油、气田酸化工艺为基础，并考虑了理论与实践、普及与提高、近期与发展相结合，着重介绍了现场实际经验。

本书可作为具有初中程度，参加生产实践2~3年工人同志的培训教材，同时可供现场酸化技术人员参考。

在编写过程中，局、院有关单位和很多同志提供了许多资料，给了大力支持，在此向这些单位和同志表示衷心感谢！

由于我们水平有限，时间仓卒，虽然作了努力，但仍难免存在不少缺点和错误，诚恳期望大家批评指正，以便逐步修改完善。

四川省石油管理局
西南石油学院《油、气井酸化读本》编写组

一九七四年十二月

目 录

前言

第一章 酸化的地质知识	1
第一节 孔、缝、洞的结构形状	1
一、孔隙	3
二、裂缝	7
第二节 孔隙度、渗透率、饱和度和毛细管现象	11
一、孔隙度	11
二、渗透率	12
三、饱和度	14
四、润湿现象	17
五、毛细管现象	19
第三节 油、气向井内渗流的基本情况	21
一、油、气是怎样流到井内的	22
二、油、气井生产时压力消耗特点	24
三、提高渗透率和油、气井增产量的关系	26
第二章 酸化增产原理	33
第一节 盐酸与碳酸盐岩石的化学作用	33
第二节 酸的有效作用距离和酸压裂缝的形成	40
一、酸的有效作用距离	40
二、酸压裂缝的形成	43
第三节 酸化为什么能增产	47
第四节 砂岩油(气)层的酸化处理	54
第三章 酸液和添加剂	57
第一节 配制酸液常用的酸	57

II

一、盐酸	57
二、氢氟酸	60
三、醋酸	62
四、甲酸	63
第二节 酸液的反应速度	64
一、反应速度的表示法	64
二、影响反应速度的因素	65
三、延长反应时间的方法	72
第三节 酸液添加剂	76
一、防腐剂	77
二、表面活性剂	84
三、稳定剂	87
四、减磨剂	88
第四节 配酸用料的检验和计算	88
一、用料的检验	88
二、各种组分用量的计算	90
第四章 井下工具	96
第一节 水力压差式封隔器及其配套工具	97
一、川451型封隔器	97
二、川452型封隔器	99
三、定压单流凡尔	100
四、水力锚	101
五、“川型”水力压差封隔器、水力锚及定压单流 凡尔的规范	103
第二节 川451型封隔器及其配套工具的组装、试泵、 保管和使用	104
一、封隔器的检查、组装和试泵	104
二、水力锚的检查、组装和试泵	106
三、定压单流凡尔的检查、组装和试泵	108

四、保管	109
五、使用	110
第三节 密闭式封隔器及其配套工具	110
一、结构原理	110
二、组装、试泵、保管和使用	114
三、密闭式封隔器与水力压差式封隔器的比较	115
第四节 川251型封隔器	116
一、结构原理	116
二、使用要点	118
三、与老式卡瓦封隔器的比较	119
四、与密闭式和水力压差式封隔器的比较	120
第五节 水力压缩式封隔器	121
第六节 深井封隔器	123
第五章 地面设备	128
第一节 压裂车	128
第二节 高压井口管汇	132
一、结构原理	132
二、组装、试泵	135
三、使用和保养	136
第三节 辅助车辆	137
一、目前使用的流程	137
二、试流程	139
三、使用坛装酸时的流程	141
第四节 储酸站	143
一、活动酸站	143
二、筒易酸站	146
第六章 酸化技术	149
第一节 选井选层	149
第二节 解堵酸化	150

IV

一、判断油、气井泥浆堵塞的方法	151
二、解堵酸化工艺参数	154
三、施工要点	155
第三节 压裂酸化(酸压)	155
一、使用高浓度盐酸	156
二、稠化酸的应用	157
三、油酸乳的应用	157
四、填塞酸压	159
第四节 选择性酸化	163
一、用封隔器进行选择酸化	163
二、用封堵球进行选择酸化	171
三、使用临时堵塞剂选择酸化	173
第五节 “空井”酸化	175
一、选井	175
二、施工前油、气井的准备	176
三、施工步骤	177
第六节 高含硫气井酸化	179
一、合理应用抗硫钢材	180
二、在酸液中添加抗硫缓蚀剂	181
第七章 施工	185
第一节 准备工作	186
一、井下准备	186
二、地面准备	187
第二节 酸化施工	189
一、下管串	189
二、装井口及管线	190
三、摆车	190
四、配酸	192
五、低压替酸	192

六、投球及胀封隔器	193
七、高压挤酸	193
八、高压挤活性水	195
九、关井反应	195
第三节 劳动组织和安全措施	195
一、各组的主要任务	196
二、施工中的安全注意事项	198
第四节 常见故障的预防和处理	202
第八章 酸化井的排液和效果分析	203
第一节 排液	203
一、放喷排酸	203
二、抽汲排酸	205
三、气举排酸	206
四、增注液体二氧化碳助喷排酸	210
第二节 工艺分析和效果对比	213
一、利用施工曲线检查施工是否达到工艺要求	213
二、通过电测判断吸酸层位	214
三、观察酸化关井反应期间压力的变化情况, 估计酸化效果	215
四、分析酸化前后关井压力恢复曲线, 对比酸化效果	215
五、油、气产量的对比	218
附录一 酸压计算	220
一、地层破裂压力和泵压的计算	220
二、盐酸有效作用距离的计算	223
三、酸压用酸量和增产效果预测问题	235
附录二 油管流量与压力损失关系图	237

第一章 酸化的地质知识

酸化是碳酸盐地层油、气井增产的重要措施。酸化斗争的对象是油、气层；油、气层的地质情况是选择酸化措施的基础和重要依据。要使酸化效果好，必须很好地熟悉并掌握油、气井的地质和生产资料，针对其特点确定适宜的酸化措施。

本章主要介绍油、气层的基本特性和油、气向井内渗流的特点。重点讨论三个问题：

1. 油、气层孔、缝、洞的结构形状；
2. 油、气层岩石的基本性质；
3. 油、气向井内渗流的基本情况。

第一节 孔、缝、洞的结构形状

岩石的孔隙、溶洞和裂缝是储集石油和天然气的空间，也是油、气渗流的通道。具有一定数量的油、气储集空间和渗透性能的岩层，称为油、气层。

常见的油、气层是砂岩层和碳酸盐层，这两种岩层的储集空间具有不同的结构特征。

砂岩是由碎屑颗粒（砂粒）和一部分胶结物胶结而成。碎屑颗粒主要是石英、长石等矿物颗粒和各种岩石碎屑；常见的胶结物为粘土、二氧化硅、碳酸钙和氧化铁等。一般粘土胶结的砂岩较疏松，二氧化硅胶结的砂岩最致密。

砂岩颗粒的直径绝大多数是0.1~1.0毫米，由胶结物胶

结在一起；颗粒之间（粒间）剩留的空隙称为孔隙，油、气就是储集在这些粒间孔隙中的。图 1-1 为砂岩孔隙结构的示意图。

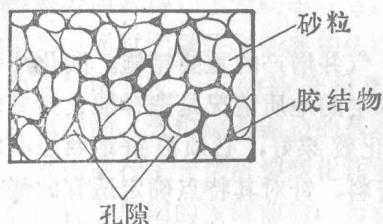


图 1-1 砂岩孔隙结构示意图

粒间孔隙有些是互相连通的，有些则是隔离的。连通孔隙构成的弯弯曲曲断面时大时小的细小孔道，是油、气渗流的通道。这些孔道的平均直径一般是十几微米到几十微米（1微米=1/1,000 毫米）。砂岩油、气层就是由这些头发粗细弯弯曲曲的大量细小孔道组成的。

砂粒的大小（称粒度）、均匀程度（称分选）和胶结物的多少，是决定孔道大小的主要因素。一般来说，颗粒大而均匀、胶结物又少时，则孔道直径较大（见图 1-2 A 和图 1-3 A）。反之，颗粒大小参杂不齐，大颗粒的孔隙被小颗粒填充，胶结物又多时，则孔道直径小，渗透性变差，油、气就不容易流动（见图 1-2 B 和图 1-3 B）。

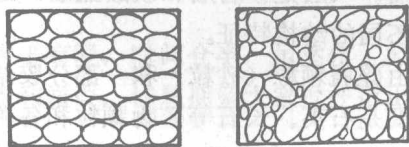


图 1-2 颗粒均匀程度对孔道大小的影响

由此看出，如果用酸把一部分胶结物和孔道中的细小砂粒溶蚀掉，则可增大孔道直径，提高渗透性，改善油、气渗流条件。

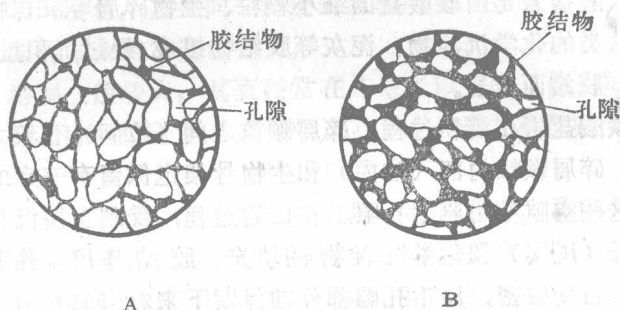


图 1-3 胶结物的多少对孔道直径的影响

碳酸盐岩的主要矿物成分为方解石 $[\text{CaCO}_3]$ 和白云石 $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ 。一般分两大类：方解石含量多于 50% 的为石灰岩类；白云石含量多于 50% 的为白云岩类。纯石灰岩中，碳酸钙 $[\text{CaCO}_3]$ 的含量占 90~95% 以上；纯白云岩中，碳酸钙镁 $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ 的含量占 90~95% 以上。

根据碳酸盐岩中的矿物成分、岩石结构及碎屑物质、泥质、生物化石的含量和种类，可将这两大类岩石细分为许多种，如石灰岩、灰质白云岩、白云岩、白云质灰岩、泥灰岩、晶粒灰岩、鲕状灰岩、介壳灰岩等。

碳酸盐油、气层的储集空间可分为孔隙和裂缝两种类型。这里结合碳酸盐油、气层的部分资料及照片，介绍一些基本知识。

一、孔隙

碳酸盐岩的组分较杂，在岩石形成（成岩）过程和岩石

形成后，经过各种物理、化学作用的改造，碳酸盐岩的结构变得很复杂。与砂岩相比，碳酸盐层的孔隙具有类型多、结构复杂和局部范围变化大的特点。

碳酸盐岩是由碳酸盐的细小颗粒、生物碎屑等沉积物和碳酸盐类的化学沉淀物、泥灰等胶结物组成，经过沉积过程，压紧、胶结而成岩。

碳酸盐岩在沉积过程，碎屑颗粒之间（粒间）有较大的空隙，碎屑颗粒内部（粒内）和生物骨架也保留有一定的空隙，这些空隙称为原生孔隙。在成岩过程，受到上覆沉积物的挤压（压实）和化学沉淀物的填充、胶结作用，孔隙减小，岩石变致密，原生孔隙部分地保留下来。

成岩过程和成岩后，常发生的主要物理、化学作用有以下几种作用：

1. 碳酸盐的重结晶作用

重结晶作用，使岩石的晶体变粗，生物结构破坏，有时会使岩石变得疏松多孔。

2. 白云岩化作用

碳酸盐岩中的方解石矿物变成白云石的作用，称为白云岩化。白云岩化使岩石体积缩小，形成和扩大岩石晶体之间的间隙。

3. 地下水流的溶蚀和沉淀作用

地下水流的溶蚀和沉淀作用，对岩石孔隙的结构形状影响很大。水流的溶蚀使岩石孔道扩大，同时形成很多大大小小的溶蚀孔洞和沟槽，使碳酸盐岩的孔隙性和连通性变好。但是在一定的条件下，地下水流中的化学溶解物、漂浮的泥灰，就会沉淀下来，填充孔道和缝洞。因此，在缝洞洞中常常见到方解石、白云石、泥质、石膏和石英晶体等充

填物，堵塞渗流通道。

由于成岩过程和成岩后发生的各种物理、化学作用，岩石孔隙变得很复杂：孔隙形状多样，孔道大小悬殊；不同地区，不同层位，甚至同一产层的纵横向上，孔隙的主要类型和孔隙的多少常常变化很大。

溶洞一般较大，其直径常在几毫米以上；其他孔隙一般较小，孔隙间的连通孔道（喉道）更小。通常碳酸盐岩孔道的平均直径多在几到十几微米以下。

常见的孔隙类型有：粒间孔隙、粒内孔隙、晶间孔隙、溶蚀孔洞和孔道、生物骨架孔隙等。现简要介绍如下：

1. 粒间孔隙：由碳酸盐颗粒、生物碎屑、鲕粒、球粒等粒间空隙构成。孔隙形状与砂岩孔隙相似，孔径细小，通常肉眼看不到。

2. 晶间孔隙：岩石晶体之间的孔隙。图1-4为晶间孔隙的放大照片，图中棱状白色体为白云石晶体，黑色间隙

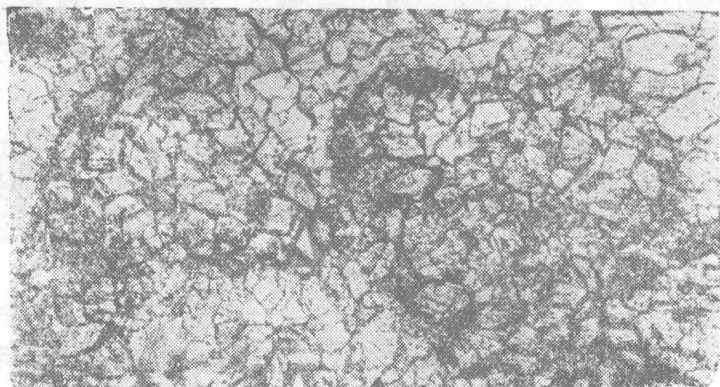


图 1-4 白云质灰岩薄片放大照片

为白云岩化造成的晶间孔隙。

3. 粒内孔隙：碳酸盐颗粒内部的原生孔隙和溶蚀孔隙，这类孔隙一般连通性较差。

4. 溶蚀孔洞：这类孔隙形状不一，大小悬殊，大者称为溶洞，小者称溶孔。大溶洞的容积可达几百立方米以上；小溶孔的直径只有1~2毫米甚至更小，如针孔状。溶洞被晶体充填的称为晶洞。这些溶蚀孔洞常由溶蚀孔道和裂缝沟通起来，成为油、气渗流的重要通道。图1-5和图1-6为溶蚀孔洞和晶洞的放大照片。

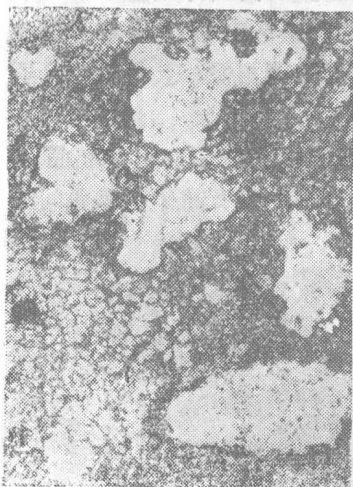


图 1-5 针孔状碎屑白云岩薄片放大照片

白色为岩体内的溶孔，孔隙度约为10%。粒间孔隙很小，薄片中很难看到



图 1-6 不等粒白云岩薄片放大照片

溶洞为白云石晶体充填，黑色部分是留下的空隙，孔隙度约为10%

5. 生物骨架孔隙：生物骨架构成的孔隙。孔隙性虽

好，但分布范围较局限。图 1-7 为骨架孔隙的放大照片，图中左下角为一梯状虫骨架，中部为球虫骨架。

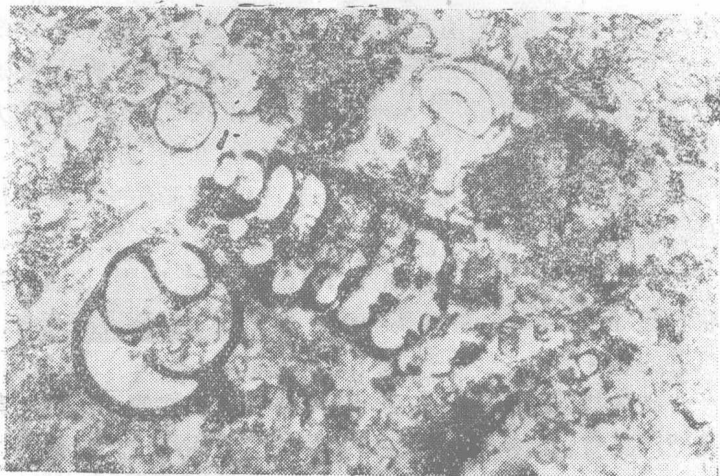


图 1-7 有孔虫灰岩薄片放大照片

二、裂 缝

裂缝也是油、气的储集空间和渗流通道。裂缝按成因可分为原生和次生两类。原生裂缝（又叫成岩裂缝）是在成岩过程中产生的；次生裂缝（又叫构造裂缝）是在成岩后受构造力破坏造成的。

原生裂缝，一般宽度较小（小于几十微米），延伸较短，裂缝壁面不规则，形状弯曲，有分枝象现，多被泥质、沥青等充填。

次生裂缝，包括扩大了的原生裂缝和新产生的裂缝，其宽度大小不一，大的有几十厘米，小的可小于0.1毫米以下，

甚至肉眼很难看到的微裂隙。次生裂缝常与层理面斜交或垂直，裂缝延伸较远，形状较直，壁面较光滑。充填物多为方解石、白云石、石膏和石英晶体。充填情况不一，有的充填，有的未充填或没有充填死，保留一定的张开宽度。裂缝的张开宽度一般是几到十几微米，这是油、气流的重要通道。图 1-8 为碳酸盐层岩心中、小裂缝照片，图 1-9 为放大的介壳灰岩微裂缝照片。

次生裂缝（构造裂缝）的分布和方向都有一定的规律性，明显地反映出构造形成时的受力关系。很多裂缝性油、气田，在局部构造受力较强烈的高点、长轴、断裂、扭曲、鼻状隆起等部位，构造裂缝最发育，是最有希望获得高产油、气井的地区。

碳酸盐层的几种储集空间，不是孤立存在的，而是既有孔隙，又有缝缝洞洞，往往由多种储集空间组成。根据油、

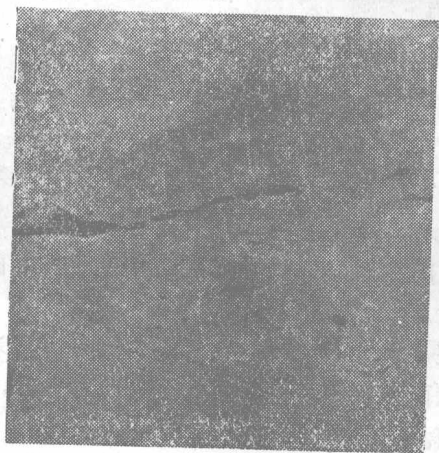


图 1-8A 岩心剖面上的原生毛毛缝照片
垂向毛毛缝为泥质充填，中部为一条半充填的张开缝

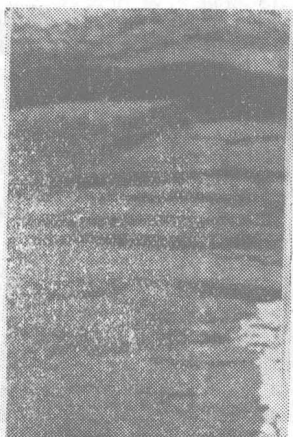


图 1-8B 千层饼状的岩心照片

裂缝（黑色）沿层理发育而成，呈千层饼状分布

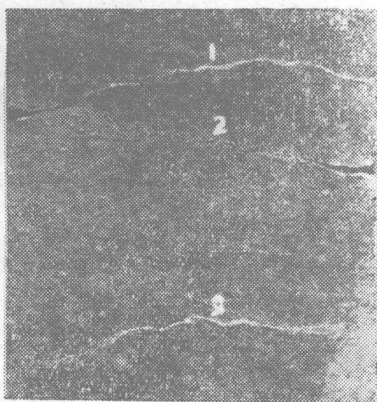


图 1-8C 介壳灰岩岩心低斜角度的构造裂缝照片

1,3—充填缝；2—张开缝



图 1-8D 岩心垂直裂缝的壁面照片

白色为充填的方解石晶体；黑色为泥质及沥青；壁面晶体凹凸不平，裂缝有一定的张开间隙