

高等学校教学用书

采油工程

第四分册

石油院校教材编写组编

只限学校内部使用



中国工业出版社

本书共有五篇,分四个分册出版。书中分别叙述了油层的地质-物理性质、油田和油井开采的基本方法、油井的分析与管理、增产措施和修井工艺,以及油田注水、注气工艺和提高采收率的新方法等内容。本书为第四分册,主要内容叙述了油井酸处理、爆炸、压裂、注水工艺、注气工艺以及互溶混相驱,往地层注入热载体和火烧油层等新的提高采收率的方法。本书可作为高等石油院校油田开采专业的主要专业课的教材。

采 油 工 程

第 四 分 册

石油院校教材编写组编

*

石油工业部编辑室编辑(北京北郊六铺炕石油工业部)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $13^{1/8}$ ·字数299,000

1962年1月北京第一版·1962年1月北京第一次印刷

印数001—710·定价(10-6)1.60元

*

统一书号: K15165·427(石油-64)

目 录

第四篇 增产措施与修井工艺

第十七章 油井酸处理2	第5节 压裂设备及地面流程.....57
第1节 概述.....2	第6节 重复压裂及分层压裂.....62
第2节 油井的盐酸处理.....3	第二十章 油井经常性的修理工作67
第3节 油井盐酸处理所用的药剂.....7	第1节 概述.....67
第4节 油井盐酸处理的施工工艺.....10	第2节 小修工具与设备.....68
第5节 土酸处理.....15	第3节 地面管线联接与水力计算.....90
第6节 热化学及热酸处理.....16	第4节 压井.....97
第十八章 油井爆炸增产21	第5节 小修打捞作业.....99
第1节 概述.....21	第6节 起下操作.....102
第2节 影响爆炸效果的因素.....22	第7节 起下操作的机械化与自动化.....106
第3节 炸药及炸弹.....26	第二十一章 油井大修111
第4节 爆炸施工.....31	第1节 概述.....111
第5节 爆炸在采油井中的其他应用.....33	第2节 套管事故的处理及其预防.....111
第6节 爆炸增产的发展方向.....37	第3节 打捞作业.....113
第十九章 油层水力压裂38	第4节 卡钻的预防和处理.....118
第1节 概述.....38	第5节 侧钻.....120
第2节 压裂增产机理及其影响因素.....40	第6节 回采工作.....123
第3节 压裂液及裂缝支护.....47	第7节 油井报废.....124
第4节 压裂施工工艺与技术.....51	

第五篇 注水、注气工艺和提高采收率

第二十二章 注水工艺与技术125	第2节 互溶混相驱工艺参数的确定.....174
第1节 概述.....125	第3节 互溶混相驱的采收率.....176
第2节 注水井和注水工艺流程.....127	第4节 水驱混相驱.....181
第3节 对注入水质的要求及其处理.....131	第二十五章 油层热驱法183
第4节 粘土和粘土膨胀.....134	第1节 油层的某些热学特性.....183
第5节 注水井的试注.....140	第2节 热驱的热力学特性.....185
第6节 注水系统的管理.....145	第3节 热载体的选择.....190
第7节 注水提高原油采收率.....148	第4节 加热油层的工艺方案及设备.....192
第二十三章 注气工艺与技术157	第5节 热力驱动法的现场实践.....195
第1节 概述.....157	第6节 火烧油层的机理及采收率.....196
第2节 对注入气的要求及其处理.....159	第7节 火烧油层的处理方案.....199
第3节 注气设备与工艺流程.....161	第8节 火驱的工艺参数.....200
第4节 注气系统的管理.....161	第9节 火驱油层的某些工艺问题.....205
第二十四章 互溶混相驱动采油法170	第10节 火驱法现场试验简介.....207
第1节 互溶混相驱的机理.....170	

第四篇 增产措施与修井工艺

第十七章 油井酸处理

第1节 概 述

开采的主要对象——油层，一般多为砂层、砂岩、石灰岩、白云岩或粘土、頁岩与砂岩的交互层。就原始渗透性而言，一般砂层最好，砂岩因其顆粒受某些物质胶結，渗透性比砂层差些；石灰岩与白云岩虽具有一定孔隙度但往往缺乏足够的渗透性；粘土层虽具有較大的孔隙度但多是不渗透或渗透性极差的，此即一般油层的本来面目。在钻井、射孔、修井及对油井进行其它措施的过程中，由于泥浆质量不好，井底压差大，泥浆浸泡時間长，泥浆中的水份大量渗入油层，使粘土顆粒体积发生膨胀或形成許多难以流动的水珠及水柱；泥浆中的粘土顆粒，井中腐蝕产物及其它机械杂质会堵塞油层孔隙；在生产过程中由于井底条件的改变，常引起瀝青、蜡质及盐类的析出，从而堵塞油层孔隙。所有这些都会在不同程度上改变油层的本来面目，使高渗透率降低，低渗透率变得更低，恶化石油流向井底的条件，在压力及其它参数不变时，也会引起产量的急剧下降。

因此，在合理开采油田的过程中，除积极保持地层压力充分利用油层能量外，千方百计維持并提高油层渗透率，也具有十分重要的意义。

为了排除钻井、修井及其它措施过程帶給油层的不良影响，恢复并提高其渗透率，曾采取了各种物理的或化学的人工处理措施。

利用盐酸可以溶解碳酸盐这一性质而对油井进行的处理称为“油井的盐酸处理”。用盐酸处理石灰岩及白云岩油层远在1894年就开始，但是，直到二十世紀的三十年代才获得較为广泛的工业性应用。目前除用于碳酸盐岩石构成的油层外，还被用于含碳酸盐較多的砂岩油层，用以增加油井产量或注水井的注入量。近年来，在广泛应用盐酸处理的同时，对含泥质較多的地层还采用了土酸（盐酸与氟氢酸的混合液）处理。对有瀝青，石蜡沉积物或岩石与酸作用极慢的油层采取热化学处理或热酸处理。由于运用了酸处理使許多油井（或注入井）的产量（或注入量）提高了，許多难于試采的油井及难于試注的注水井很快投入了产油或注水。因而酸处理已成了国内外油田上主要增产措施之一。据1958年的統計資料，仅在1958年以前的10年內，在苏联东部油区即进行酸处理达8000井次之多，增产原油估計在200万吨以上。在阿塞拜疆油区，仅1956年就进行了1007井次，淨增产原油20多万吨。目前在苏联除东部外，在土尔克明共和国的油区，酸处理也得到了推广。

在我国，远在1945年抗日战争的艰苦时期，即在当时由陝甘宁边区政府领导的延长油矿試用了酸处理油井，曾收到一定的增产效果。1954年以后，先后在玉門和四川等油区获得了应用。除用以增产原油外还較多的用来增加注入井的注入量。在增产原油方面，据統計，我国某矿場1959年就进行了196井次以上，增产原油占該矿全年产量的

18%以上。应用酸处理还可以提高試采及試注质量，如玉門油区某井，地层原始滲透性較差，泥浆浸泡時間过长(451小时)初次試油只有油花显示，經酸处理后，产量增至15~20吨/日。×井原为干井不自噴，处理后能自噴，最大产量达700吨/日。×井处理后注水量由21.6吨/日增至192吨/日。

虽然，采用酸处理能得到一定的增产效果，但是，另一方面，也应该看到，国内外目前酸处理效果是不够高的。例如我国玉門油区1954~1957年平均成功率仅46%，在苏联的阿塞拜疆到1956年为止，酸处理的成功率最高也不过65%；也就是說仍有40%以上的处理井次是无效的。多次酸处理时，如果仅增加酸量而不提高濃度，其效果亦会逐次降低。

不同的酸处理和施工方法，对不同的油层所得結果不同。从我国玉門地区1956至1957年酸处理結果看，酸处理与压裂的联合措施效果最好。在某些情况下，甚至出現处理后产量(或注入量)反而下降或較長時間不能正常生产，引起油井出水或过早的水淹。因此，在酸处理前，有必要深入了解該井井下情况，加以分析研究，在施工过程中也必须謹慎从事。

此外，目前尚无完备的酸处理专用设备。酸处理时虽然对酸液已进行过防腐处理，但仍不能完全避免设备被腐蝕的現象，同时也影响工人劳动条件和处理效果。

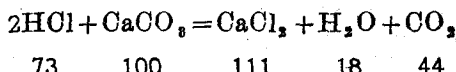
与爆炸，压裂相比，酸处理成本也較高。

所有这些都影响酸处理的推广，在原有的現場实践基础上，加以綜合分析，提高酸处理的效果，是十分重要的。

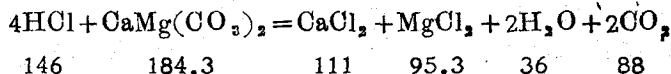
第2节 油井的盐酸处理

油井盐酸处理多用于低滲透率的碳酸盐油层及含碳酸盐的砂岩油层。其根据在于盐酸能够溶解碳酸盐岩石，其反应式如下：

对石灰岩：



对白云岩：



反应式下的数字，代表与参加反应物质的分子量相适应的重量。

盐酸与碳酸盐岩石反应結果生成的 CaCl_2 及 MgCl_2 极易溶于水中， CO_2 則以气泡状态逸出，从而使反应加速进行。在反应結束以后，溶于水中的 CaCl_2 及 MgCl_2 也容易自地层中排除。矿場实践表明，生产井(或注水井)經盐酸处理后，其产量(或注入量)可增加3~10倍以上。

用盐酸处理油井时其溶解作用表现在两方面：1)溶解井壁上的堵塞物质；2)溶解岩层中的碳酸盐。

根据苏联依兴巴矿場实际材料，用10% HCl 35米³，处理直径为30厘米的油井，当酸在井筒內之高度为50米时，在35分钟的注酸过程中井筒直径只增加2.5厘米。当其它条件不变时，B.H.謝尔卡乔夫根据下式

$$\frac{Q''}{Q'} = \frac{\lg \frac{R_0}{R_1'}}{\lg \frac{R_0}{R_1''}} \quad (17-1)$$

式中 R_0 ——油井影响半径，米；

R_1', R_1'' ——油井井径，米；

Q_1', Q_1'' ——油井产量，吨/日。

計算結果表明，当井径增加一倍时，产量仅增加 6.4%。因此，如果不考虑酸对井壁的清理作用，则可以认为，仅由于酸与井壁岩石的相互作用不会产生显著的增产效果。

对于盐酸与油层中岩石的作用，过去一些学者认为酸处理增产是由于盐酸沿径向均匀渗入油层，而在一定范围内溶解孔隙表面物质，增大地层渗透率的结果。但是这种见解并不能解释酸处理的实际效果。

为了估计近井地带渗透率之改变对产量的影响，苏联 B. H. 謝尔卡乔夫曾提出过如下的公式：

$$Q = \frac{2\pi K_{\text{近}} K_{\text{远}} b (P_0 - P)}{\mu \left(K_{\text{远}} \ln \frac{R_0}{R_1} + K_{\text{近}} \ln \frac{R_0}{R_2} \right)} \quad (17-2)$$

式中 Q ——井的产量；

R_0 ——井的影响半径；

R_1 ——井半径；

R_2 ——近井地带渗透率为 $K_{\text{近}}$ 延伸范围的半径；

$K_{\text{近}}$ ——近井地带由于酸之作用而改变的渗透率；

$K_{\text{远}}$ ——油层较远处的渗透率；

b ——油层厚度；

μ ——液体粘度；

P_0, P ——井底静止和流动压力。

当地层中渗透率均匀时，产量的增加为：

$$\frac{Q''}{Q'} = \frac{\lg \frac{R_0}{R_1}}{\lg \frac{R_0}{R_2} + \frac{1}{a} \lg \frac{R_2}{R_1}} \quad (17-3)$$

式中 $a = \frac{K_{\text{近}}}{K_{\text{远}}}$

根据此公式，B. H. 謝尔卡乔夫曾就达西渗滤定律及克拉斯諾鮑利斯基渗滤定律，进行了計算，并将結果列成表格（見表 17-1）。

由表 17-1 不难看出，即使在克拉斯諾鮑利斯基渗滤定律下，由于酸与近井地带某一距离內的岩石作用而使孔隙度及渗透率充分增大，也不可能获得較高的增产倍数。假定在距井中心半径为 1.5 米的范围内（ $\frac{R_2}{R_1} = 10$ ），岩石全部为盐酸所溶解（ $a = \infty$ ）则产量的增加也不过一倍左右（不到原来的 216%）。

而当地层厚度不大时，要溶解这些岩石则需要非常多的酸液——約需 15% HCl 475

表 17-1

渗 滤 定 律	α	2	4	20	∞
	$\frac{R_a}{R_1}$				
达 西	2	3.1	4.7	6.0	6.4
	3	5.0	7.8	10.0	10.6
	4	6.4	9.9	12.9	13.6
	10	11.1	17.7	23.5	25.0
克拉斯諾鮑利斯基	2	8	15	24	41
	3	11	22	44	73
	4	13	27	55	100
	10	16	35	22	216

米³。而在实际处理时,用4~6米³酸液(为上述酸量的1%)即可增产3~10倍(见表17-2)。

因此认为盐酸与油层岩石均匀作用的见解是与矿场实际处理结果相矛盾的。

为了证实油层岩石与盐酸溶解的特点,苏联B.Г.洛吉諾夫等,曾在实验室进行了模拟试验,经处理之岩样如图17-1,图17-2所示。试验结果表明,盐酸在岩石中,将形成

表 17-2

油 田	井 号	注 入 酸 量 (米 ³)	增 产 量 (%)
杜 瑪 茲	1	2.5	900
	2	4.0	∞
布谷魯斯兰	3	2.0	294
	4	2.5	900
	5	3.0	683
依 兴 巴	6	24.0	257
	7	23.6	400
	8	7.3	1300
	9	7.5	833
	10	12.0	270
	11	12.5	900

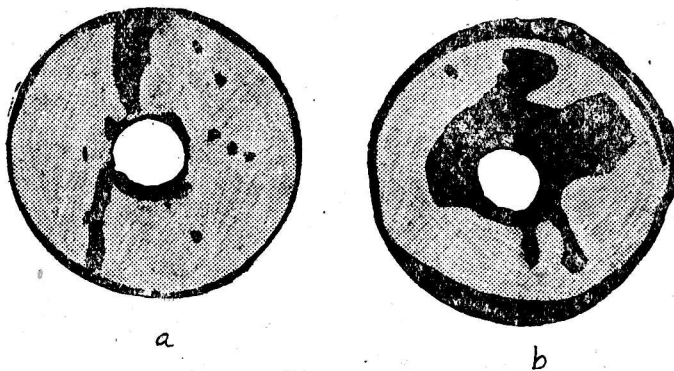


图 17-1 酸处理前后的白云岩

a—酸处理前; b—酸处理后

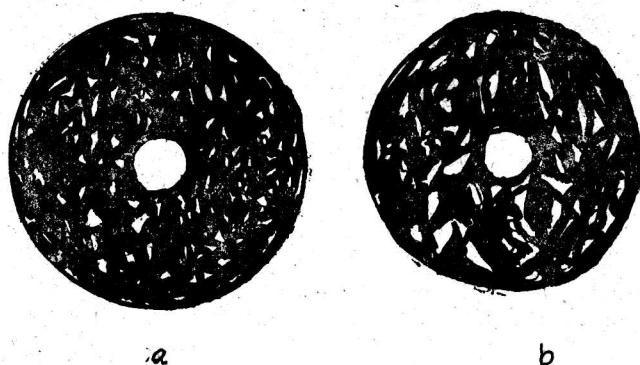


图 17-2 酸处理前后的石灰岩

a—酸处理前；b—酸处理后

几条延伸很长的腐蚀孔道。这种孔道的形成就大大增加了油井排油范围，而使油井产量大增。因而能解释矿场实际处理结果。这样，酸处理增产的原因可以归纳为：

1. 对多孔碳酸岩酸处理结果，将增大孔隙孔道、增加孔隙孔道网。这些孔道延伸愈长，地层之排液表面亦愈大，处理效果也愈好，增产也愈多；

2. 在多孔地层中，盐酸能溶解堵塞石油渗滤通路的外来质点，恢复近井地带地层的渗透能力，并扩大原有的孔隙孔道；

3. 在裂缝性岩层中，盐酸能溶解钻井过程中漏入地层的泥浆中的碳酸盐成分，并便于将其带入井中；

4. 对碳酸盐胶结的砂岩，盐酸能溶解其胶结物，而增大岩层的渗透率。此外，盐酸能促使顺利地自井壁清除泥饼，减小井底堵塞的紧密程度；

5. 对不均一的油层，盐酸深入油层后，能沟通油层中高渗透地带。

看来，其所以能大幅度地增产，在于形成延伸深远的腐蚀孔隙孔道。因此酸处理的主要任务在于尽可能地使酸液深远地进入地层，扩大孔隙孔道并改善其连通情况。

酸液以活性状态深入地层之深度，取决于酸与岩石的反应速度。试验表明，反应速度与岩石的化学成分，岩石单位表面上通过的酸液量、温度及地层压力有关。例如普通油层的碳酸盐孔道直径仅百分之几毫米，酸液被中和所需的时间仅需十分之几秒。

随着地层条件的不同，目前矿场实际所用的盐酸浓度一般为8~15%。当用浓度较低的盐酸时，必须于地层中注入大量酸液，结果使反应后的废液不易排除。当用浓度较大的盐酸时，反应后将使多孔介质为高粘度的 CaCl_2 及 MgCl_2 废液所饱和，同样难于排除。应用粘度较高的盐酸时还会使金属管类及设备之防腐感到困难。而且很浓（超过15%）的盐酸除与石灰岩、白云岩作用外还会溶解石膏形成沉淀，而堵塞地层孔隙。

升高温度，在很大程度上将增加酸液之溶蚀性。根据苏联 B. Г. 洛吉诺夫的试验，当温度由20°C增至60°C时，随着岩石成分的不同，反应速度将增加1.5~8倍。在浓度为5~15%时，冷酸或加热到60°C以下的热酸与岩石的反应速度与酸之浓度无关。

提高压力会降低盐酸与岩石的反应速度。苏联巴什吉里亚石油联合企业的试验表明，当压力在7大气压以下时，中和酸液浓度的75%所需时间增加6~10倍，压力增到

7.5~10大气压时，反应速度剧烈降低，中和所需时间增加到原来的30~35倍，当压力为20~60大气压时，反应速度降低约70倍。

每口井的处理工艺，取决于油井所在地层的具体状况。对难于溶解的岩石应该增加反应速度(例如加热)，而对易于溶解的碳酸盐岩石，不管地层压力是否会起作用(能在很大程度上减缓反应速度)，在多数情况下，尚应进一步延缓酸液作用以保证其能以活性状态进入地层。可以采取特殊的阻化剂来延缓反应速度。同时，酸液可在尽可能大的排量下注入。

在油井生产的初期进行酸处理，常能获得较好的效果。因为此时地层压力高能以最大限度的延缓反应速度，使酸液以足够的活性伸入地层的远处，并能在井底与地层间造成较大的压差以排除反应产物。

井底的清洁程度也是酸处理的重要条件。在井底存在着堵塞，将会阻碍盐酸与地层岩石相互作用。即使在堵塞物为大的碳酸盐岩石碎块不会阻挡盐酸进入地层的情况下，酸液在此种物质中渗滤也将失去一定的活度(有时是很大的)，结果使其与地层岩石之作用效果减弱，降低增产效果。

如果井底堵塞物与盐酸作用后会生成堵塞地层孔隙之物质时，问题就更加严重了。例如：当有水泥碎块时，溶解结果会生成硅酸，后者在适当的条件下，经过一些时间会变成凝胶体，而牢固地堵塞地层孔隙。管壁上的铁锈为盐酸溶解后，在液体中增加氧化铁。酸完全被中和后，当其在地层岩石中渗滤时，氧化铁即不再溶于酸中，而以氢氧化铁的形式大量沉淀出来，同样使地层渗滤能力恶化。

为了保证获得较好的酸处理效果，施工以前必须进行冲洗及其他清理工作。

第3节 油井盐酸处理所用的药剂

盐酸是酸处理的主要药剂。一般工厂可供应的工业盐酸浓度较大，使用时必须加水稀释。我国生产的工业盐酸的成份规格如表17-3所示。

表 17-3 国产工业用盐酸规格

中华人民共和国部定标准 重2009-55×12组工业用盐酸	HCl的重量含量 %，不低于	重量含量%，不高于		
		铁	砷	硫酸根 SO ₄ ²⁻
适用于电解食盐生成的氯(Cl) 和氢(H)化合生成的氯化氢 (HCl)气被水吸收而成之盐酸	31	0.01 (注1)	0.0002	0.007

注 1. 若氯化氢气是在铁制设备中生产的，则合成盐酸中允许铁含量不高于0.07%。

2. 部定标准盐每罐净重30公斤，罐上挂一标牌标明制造厂名、产品名称、生产日期、净重、毛重及标号“重2009-55”。

配制一定浓度的酸液所需工业盐酸的数量可以下式近似地加以计算：

$$C_{\text{稀}} = \frac{V_{\text{标}} C_{\text{标}}}{V_{\text{稀}}} \quad (17-4)$$

$$V_{\text{稀}} = V_{\text{标}} + V_{\text{水}} \quad (17-5)$$

式中 $C_{\text{标}}$ ——标准酸液所需之清水量，米³；

$C_{\text{稀}}$ ——所配稀酸濃度，%；

$V_{\text{标}}$ ——标准酸体积，米³；

$V_{\text{水}}$ ——稀釋标准酸液所需之清水量，米³；

$V_{\text{稀}}$ ——所配稀酸体积，米³。

多年矿場实践經驗表明，工业盐酸若不首先經過仔細地准备和处理，施工后将会产生以下的后果：

- 1) 腐蝕地面及井下金属設備；
- 2) 因酸和岩石中会有某些杂质，反应后产生不溶性盐类，会沉淀而堵塞油层孔隙；
- 3) 酸液与岩石作用后，其粘度及表面張力剧增，自地层中排出較為困难，从而阻碍油流入井。

为了防止发生不良后果，常于酸液中加入某些試剂，按其作用分則有：防腐劑、稳定剂、表面張力降低剂及反应速度控制剂。

防腐劑的作用原理是：其分子、离子或胶体顆粒，吸附在金属的阴极表面形成正电层，防止氢分子与金属直接接触及电解液中的氢离子放电，从而阻止鉄溶于酸中。

福尔馬林是广泛应用的一种防腐劑，把它加入酸中后不降低酸与岩石的反应速度。通常，市場上出售的福尔馬林为含甲醛(CH_2O) 38~40% 的溶液。其加入量一般为10~12% HCl 体积的0.6% (或6公斤/米³)。純甲醛之加入量为0.25% 不同的盐酸及甲醛濃度时加入量，可以下式近似地加以計算：

$$Q_{\text{福}} = \frac{25C_{\text{酸}}V_{\text{酸}}}{C_{\text{醛}}} \quad (17-6)$$

式中 $Q_{\text{福}}$ ——福尔馬林加入量；

$C_{\text{酸}}$ ——盐酸濃度，%；

$V_{\text{酸}}$ ——盐酸体积，米³；

$C_{\text{醛}}$ ——甲醛濃度，%。

近年来在国外多用烏尼闊尔为防腐劑。烏尼闊尔是木材和造紙工业的副产品，是一种良好的防腐劑，其加入后不仅防止酸与金属作用同时也延緩酸与岩石反应。在苏联石油矿場上应用的有Y-2, YK及MH三种。Y-2是一种半透明的棕黄色液体。其加入量对27% HCl为5% (按体积) YK是Y-2的濃縮物，是一种不透明的液体，加入量小于0.125%。MH是粉沫状的，其加入量为27% HCl 体积的1%。

当福尔馬林及烏尼闊尔在矿場条件下不易获得时，在我国及苏联矿場上也用盐酸与原油抽提液^①为防腐劑。

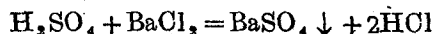
选择防腐劑必須考虑到是否要延緩酸与岩石之反应。福尔馬林不延緩反应速度，而烏尼闊尔則使酸与岩石之反应減緩。后者在多次酸处理的情况下，对防止酸与井底岩石很快的反应是有利的因素。

为防止盐酸中所含杂质与岩石反应后形成不溶性盐类的試剂称为“稳定剂”。根据工业盐酸中含有杂质成份及数量的不同，常用之稳定剂有氯化鋇(BaCl_2)，醋酸(CH_3COOH)

^① 盐酸原油抽提液，为水、原油与濃酸混合攪拌，靜置后，所得到的一种抽提液，其配制方法詳見采油技术手册。

檸檬酸及氟化氫(HF)等。

鹽酸中含硫酸時與岩石中碳酸鹽反應後，將會生成石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)沉淀堵塞地層孔隙。蘇聯規定當酸中含 SO_3 超過0.2%時即須用 BaCl_2 處理，其反應如下：



反應要在濃度小於15%的 HCl 中進行，因為在濃酸中不易溶解。 BaCl_2 用量依酸中 SO_3 之含量而定，實用時可按下式計算：

$$Q = 21.3V_{\text{酸}} \left(\frac{\alpha C_{\text{稀}}}{C_{\text{標}}} - 0.02 \right) \quad (17-7)$$

式中 Q —— BaCl_2 需用量，公斤；

α ——酸中 SO_3 含量，%；

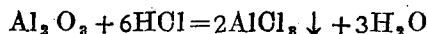
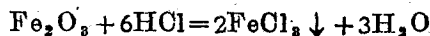
$C_{\text{標}}$ ——工業鹽酸濃度，%；

$V_{\text{酸}}$ ——稀酸體積，米³；

$C_{\text{稀}}$ ——稀酸濃度，%。

國產工業鹽酸，含 SO_3 少(僅0.007%)一般可不進行這一處理。

鹽酸與鐵、鐵銹(Fe_2O_3)及粘土(Al_2O_3)接觸會與之反應而生成鐵鋁鹽類沉淀，堵塞油層孔隙，降低處理效果，其反應是：



為使鐵鋁鹽類處於溶解狀態防止堵塞，通常用酸液體積0.8~2%的醋酸(CH_3COOH)作為穩定劑。其具體用量視酸液濃度及其中 Fe_2O_3 之含量而定，如下表17-4所示。

表 17-4

鹽 酸 濃 度	鹽 酸 中 Fe_2O_3 之 含 量，%				
	1	0.5	0.2	0.1	0.05
30%	1.6	1.4	1.0	0.9	0.8
15%	1.8	1.5	1.0	0.9	0.8

注。該表是按100% CH_3COOH 做出的。

在表列範圍以外時，醋酸用量可按下式計算：

$$Q_{\text{醋酸}} = \frac{1000\sigma_{\text{醋酸}}V_{\text{鹽酸}}}{C_{\text{醋酸}}} \quad (17-8)$$

式中 $Q_{\text{醋酸}}$ ——醋酸需用量，公斤； $V_{\text{鹽酸}}$ ——鹽酸液體積，米³；

$C_{\text{醋酸}}$ ——工業醋酸濃度，%； $\sigma_{\text{醋酸}}$ ——醋酸附加量，%。

國內外，有時運用檸檬酸為穩定劑，其加入量一般為0.1%，檸檬酸與鐵沉淀反應生成的絡合物在稀釋時也不沉淀。

鹽酸與井底水泥及砂岩作用後，往往會形成硅酸凝膠沉淀。為使水泥片溶于酸中防止形成硅酸凝膠，常附加1~2%的氟氫酸(HF)。

為了降低酸液表面張力，使在其作用後便於自地層中排除，使用的試劑稱“表面張力降低劑”(表面活性劑)。控制鹽酸與岩石反應所使用的試劑稱為“反應速度控制劑”(包

括阻化剂及催化剂)。不少化学试剂同时具备降低表面张力并延缓或加速反应过程的性质。通常所用的表面张力降低剂及反应速度控制剂有烷基苯磺酸钠(Д.С——苏联洗涤剂)、中性黑色接触剂(HЧК)、松节油、木焦油、亚硫酸纸浆废液(CCB)酒精及杂醇油等。

烷基苯磺酸钠(ArRSO_3Me)又称为烃基苯磺酸钠, 苏发努尔或简称为 Д.С (苏联洗涤剂之缩写)。我国玉门制备之试剂为玉门迭合汽油高于 130°C 的重质成份将苯烃烷基化(即将烷链接至苯环上), 并经过磺化、中和而成的。其特点是活性强, 能降低酸液与石油的界面张力使盐酸进入泥饼及粘土层中与大量粘土接触; 能使地层中的乳化原油破乳; 能降低油水界面之表面张力, 使水易于自地层中排除; 能使粘土体积收缩减少膨胀性。玉门石油研究所试验表明: 于每米³酸液中加入1公斤后, 能使火油—酸液之界面张力由11.47达因/厘米, 降至1.5达因/厘米; 因其分子吸附在酸分子周围阻止酸与岩石反应, 烷基苯磺酸钠又是良好的阻化剂。玉门石油研究所试验表明, 其加入后能使酸与泥浆泥饼的反应速度由十几分钟延缓到十几小时以上。因烷基苯磺酸钠与石油有较低的界面张力和选择性润湿岩石的能力, 加入酸中后对酸与油污泥饼及油包岩石的作用效果尤为显著。于酸液中加入烷基苯磺酸钠(0.1%)对生产井及注水井进行处理, 在我国玉门油区, 取得了极为满意的结果。

中性黑色接触剂(H.Ч.К)是炼油厂的副产品, 是用发烟硫酸($\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$)处理某些石油馏分后得到的。是一种具有臭味的黑色浓浆状液体。加到盐酸中可以调节反应速度, 降低表面张力, 并能处理乳化。于稀酸中加入0.25%可使酸—油之界面张力由26达因/厘米降至11达因/厘米。

亚硫酸纸浆废液(CCB)是一种造纸工业的废液。苏联经验表明这是一种强烈的阻化剂。如按5~6%的比例加入酸液中, 对反应速度之延缓为使用烷基苯磺酸钠时的15倍, 但一般用量较大。

松节油是新鲜松针的蒸馏产物。能与水成任何比例的混合物。与酸混合成乳化液。具有降低表面张力的能力, 亦能延缓反应速度, 适用于当酸与岩石作用较快的油层。其加入量对10% HCl 一般为0.25%。

木焦油是木材或煤炭干馏的产物。具有降低表面张力并加速反应的性能。适用于岩石与盐酸反应慢的油层。其加入量对5~15% HCl 一般为0.75~1%, 因来源不广, 应用也不甚多。

酒精和杂醇油具有降低表面张力和加速反应的性能。加入量一般对5~15% HCl 为1~3%。因为成本高, 应用不广。

配制酸液时, 不同试剂加入酸中之顺序是: 醋酸—水—防腐剂(甲酸, 乌尼阔尔等)—工业盐酸—稳定剂(醋酸、檸檬酸、氟化氢、氯化钡等)—催化剂及表面张力降低剂。

第4节 油井盐酸处理的施工工艺

油井与油层情况是千差万别的。因此, 酸处理工艺同采取其它增产措施时一样, 应当在具体分析研究油层和油井情况的基础上分别制订。

一、处理方法的确定

酸液质量与数量、油井洁净程度及施工工艺直接影响着处理效果, 而所需酸液的质量与数量及施工工艺程序等又与油层及油井特性, 如油层岩性、构造特征、厚度、饱和

油气水情况、地层压力、井底压力、油井生产历史、以前酸处理的工艺及效果等有关。

盐酸处理的对象首先应当是含碳酸盐成份较高的岩层（石灰岩、白云岩、碳酸盐胶结的砂岩等）。实践表明，凡是由此类岩石构成的油层，盐酸处理的结果一般较好。

原始渗透性较好、油层压力较高的孔隙性或裂缝性油层，若在钻井或修井后不出油或产量很低，往往是由于泥浆侵入的结果。这类井酸处理的效果也较显著。但是，此类井在进行酸处理之前，必须先进行酸浸，即用较低浓度（一般为8%左右）的盐酸浸泡井底。

在生产层中碳酸盐含量较低（低于5%）、生产层为泥质砂岩组成或泥质砂岩较多的情况下，在泥浆漏失较多，井底有较厚的泥饼、硅质胶结物或其它堵塞时，宜采用盐酸加氟氢酸处理，并在处理之前用盐酸加1~2%的氟氢酸进行酸浸。

注水层为金属腐蚀产物和注入水中矿化物沉淀及其它机械杂质堵塞时，可采用盐酸处理；如为粘土颗粒堵塞时，则应用盐酸加氟氢酸处理。

在选择酸处理对象时，必须考虑到固井及射孔质量。若生产井段内有含水或含气夹层，或有上层水及下层水，因固井及射孔质量不好而有窜通迹象时，必须进行封堵之后才能进行处理。对有同层水，而水层压力又较油层压力高的油井，一般不宜进行酸处理。当油层以下有底水时，为了避免盐酸与下部岩石作用而引起底水侵入，酸处理时应于井底填以比重1.2~1.3的氯化钙或比重较酸液大0.1~0.15的盐水。

为了提高处理效果，当生产层厚度大，分层多或有含水、含气夹层时，可用拍克或临时性堵塞剂，分层进行酸处理。

如油层为致密的石灰岩或白云岩组成，或岩石中有石蜡、沥青及盐类堵塞时，用盐酸处理无效或效果不显著，而且经过对作用后的乏酸的分析证明油层岩石中和盐酸的能力较弱，这时可采用热酸处理。

在分析油井情况，确定处理方法时，还应当参考前次处理的方法及效果。

二、注酸用料及施工措施

施工前应制订详细的施工计划，作好材料准备及施工组织工作。

1. 确定盐酸浓度及数量的一般原则 酸液浓度的大小取决于岩石中和酸液的能力、地层渗透率、地层压力、岩石中碳酸盐含量、处理方式（酸化、酸浸或酸洗）与次数以及前次处理效果等。实际工作中一般应用的酸液浓度为8~15%。

一般，对于压力高的油井，因处理后有可能建立起较大的压差而便于排除乏酸，可用较高的浓度（12~15%），对于压力不高的油井，为使乏酸便于排除，宜用较低的浓度（8~12%）；其中，渗透性好者用下限，渗透性差者用上限。

对于油层中碳酸盐含量高而胶结疏松的油井，盐酸处理时酸液浓度一般以不超过6~8%为宜；浓度过大，会引起塌陷造成砂堵。

用以进行酸洗及酸浸的酸液浓度，一般以4~8%为宜。对于注水井，在初次处理时，一般采用的酸液浓度为10~12%。

当用盐酸或盐酸与氟化氢的混合液溶解井壁水泥饼或井底水泥碎块时，因反应在井筒内进行，处理后无乏酸难于排除的后患，酸液浓度可取12~13%。

重复进行酸处理时，为了提高处理的效率，应适当提高酸液浓度。

实际处理时的用酸量，須根据油层岩石溶解性能，通过試驗确定。用酸量主要与下列因素有关：

- 1) 地层結構特征、厚度及岩性；
- 2) 饱和油气水的特性；
- 3) 地层压力及井底压力；
- 4) 油井生产历史及生产特征；
- 5) 以前进行酸处理的施工工艺及效果；
- 6) 酸液的濃度。

施工前可根据油井情况及欲处理井段的范围进行估計，这样結果往往不准。目前多用經驗数据。根据油层結構、渗透性及地层压力大小的不同，一般以射孔井段的厚度进行折算，每米需酸量为 $0.2 \sim 1.5 \text{米}^3$ 。

对碳酸盐含量高、胶結疏松的砂岩油层，一般以 $0.2 \sim 0.5 \text{米}^3/\text{米}$ 为宜，太多，可能破坏油层結構，造成垮塌和砂堵。

对渗透率低的油层，以 $0.4 \sim 0.6 \text{米}^3/\text{米}$ 为宜，中等渗透率的地层以 $0.8 \sim 1 \text{米}^3/\text{米}$ 为宜，对渗透率較高的地层以 $1 \sim 1.5 \text{米}^3/\text{米}$ 为宜；其中油层压力高时用上限，低时用下限。

酸浸时的用酸量取决于受浸泡井段的体积。酸洗时用酸量一般为 $1 \sim 2 \text{米}^3$ 。重复处理时，应逐次增加 $30 \sim 40\%$ 。

岩层渗透性較差时，若注入較多的酸量，排除乏酸就更加困难，因此渗透率是确定用酸量的重要依据。苏联全苏采油研究所建議，在渗透率低的岩层中第一次进行处理时，用最小的酸量，并提供了具体参考数据(表17-5)。

表 17-5

岩层渗透率(千分达四)	<100	100~300	300~600	>600
宜用酸量(米 ³ /米)	0.2	0.2~0.3	0.3~0.5	0.5~0.7

2. 添加剂 添加剂的种类和用量主要取决于欲处理井的地质及生产特征和所用盐酸的成份和性质，实际工作中，常根据具体条件通过試驗确定。

3. 注酸压力及排量 注酸压力和排量直接影响着酸液渗入地层的深度，压力愈高，酸液在保証較高的活性的条件下，深入地层的深度也愈大。而在某些情况下，除化学作用外，尚有物理作用(如将地层的原有微細裂縫压开)。排量大，注酸所用的時間就短，因而可使酸液保持較高的活性渗入地层較远的地段。但是，对于一定的設備來說，同时达到高压力和大排量是困难的。因此在保証注入和經濟的原則下，应首先满足对排量的要求，一般排量宜在 $60 \text{米}^3/\text{小时}$ 以上。对于地层压力低、漏失严重的井，增大排量更为重要。

4. 关井等候反应的時間的确定 关井等候反应的時間也是一个重要的参数。关井時間太长，不仅影响生产，而且还会形成沉淀；太短則反应不完全，影响处理质量。

反应時間与岩石成份、岩石与酸的接触面积、地层温度及压力等有关。其中在一般

酸处理过程中, 随着工艺方式的不同, 压力及接触面积变化较大, 因此一般多以此作为选择反应时间的依据。酸浸时, 酸液在井筒中停留时间, 可参考表17-6。

表 17-6 酸浸时酸液在井筒中停留的时间(小时)

井筒直径吋	压 力, 大 气 压						
	10	20	30	40	50	60	70
5 $\frac{1}{2}$	4	6	8	10	12	14	15
7 $\frac{1}{2}$	5	8	11	14	16	18	21
9 $\frac{1}{2}$	7	11	14	17	20	23	26
11 $\frac{1}{2}$	8	13	17	21	25	28	31

如果除将大部分酸液挤入地层后, 井底还留有酸柱, 则根据地层压力的大小, 等候反应时间可大致确定如下:

气力, 大气压

等候反应时间, 小时

< 7

3 ~ 6

7 ~ 10

12 ~ 24

20 ~ 60

30以下

一般情况下如井底未留酸柱, 注酸结束即可着手其他投产的准备工作。等候的时间也可以根据注酸后井口压力降落情况确定, 一般当井口压力降落平稳时即可开始进行下一步工作。

三、施工的組織

为了高速优质地完成施工计划, 必须首先作好准备工作。酸处理的准备工作主要包括: 材料运输, 设备及管线的安装、试井、洗井及配酸等。为了加速施工速度, 应合理调度车辆及劳动力, 采取边运输、边安装、边做其他准备工作的方法。

欲处理的生产井及注水井, 在施工前必须清洗干净, 为酸液以较高的活性深入地层远处创造条件。对于生产井及注入井井底之砂堵必须预先清理干净。生产井井底结蜡时必须预先进行热洗。对注水井在施工前须先经排液, 排除污物, 以保证近井地带之孔隙畅通。井中泥浆浸, 水泥浸严重或腐蚀物质较多时, 应先作酸洗或酸浸处理。

酸处理时所用的设备, 有水泥车(或洗井机)、地面高压循环管线(2"或2 $\frac{1}{2}$ "管子及其配件)、配酸池(常用泥泵池)及油罐等, 其布置情况一般如图 17-3 所示。地面管线安装好后, 须经试泵, 试泵压力为工作压力的120~150%, 不漏时, 方可应用。

当用酸量不大时, 配酸工作常在井场进行。配酸时必须按照操作规程进行。

一般用油管进行注酸, 其步骤如下:

1. 洗井结束后, 下油管到欲处理层的底部或稍高的位置, 完成井口;
2. 注酸前, 首先于井中灌满原油(或水)造成循环(如图17-4, I);
3. 注入配好之酸液, 使酸液达到处理层顶部附近(如图17-4, II), 此时可在井口对返油量加以控制;
4. 关套管闸门, 以最大的泵量打入其余的酸液, 此时, 部分酸液即开始进入地层

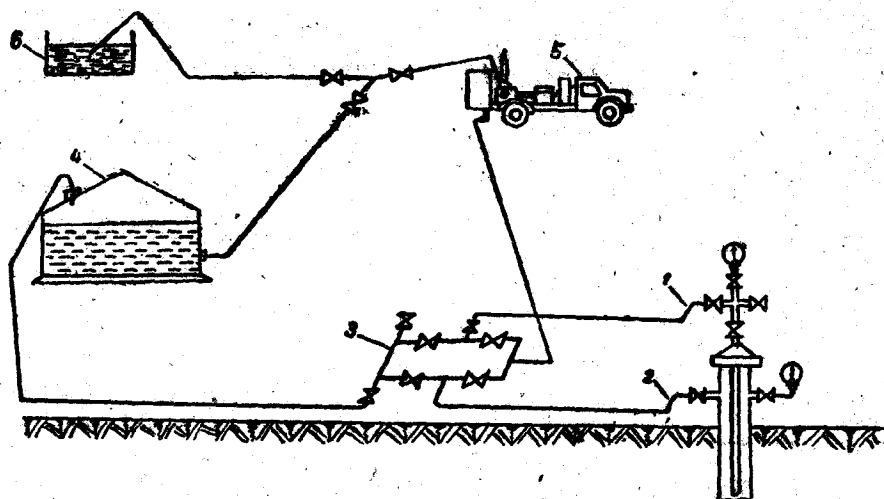


图 17-3

1—井口出油管；2—套管进出口；3—循环总机关；4—油管；5—水泥車(洗井机)；6—配酸池。

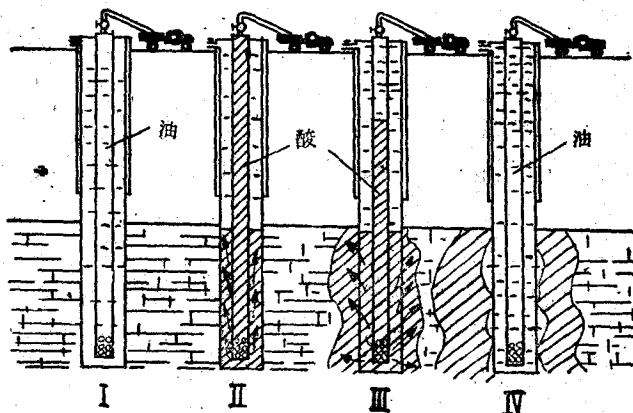


图 17-4

(图17-4Ⅲ)；

5.最后应用原油或水把油管及井筒内的酸液全部挤入地层(如图17-4Ⅳ)，关井等候反应。

遇到地层压力低吸收量大而不能造成循环时，应以最大的排量打入原油或清水，同时用回声仪或其他仪器探测套管中液面，一旦稳定，即以最大排量将所有酸液注入井中，并用原油或水将其挤入地层。然后关井等候反应。

当地层厚度大或岩性相差悬殊时，多采用分层处理的方法。处理时，可用氯化钙填塞井筒非处理部分，由上而下逐次按上法处理；或用拍克封堵非处理部分，由下而上地针对某一分层进行处理，处理方法与一般相同；或用临时堵塞剂堵塞非处理层，而针对某一分层施工，施工方法详见压裂部分。

遇地层渗透率极低，一次不可能挤入较多的酸量时，用分级注酸方法常能取得较好效果。此时，一般先在高压(如120~150大气压)下注入酸液2~3米³，稍停数小时，待井口压力降低后(如降至50~70大气压)，再将第二部分酸液注入。通常注入第二部分酸

液较为容易，压力多在90大气压以下。

注水井进行酸处理时，为了确保酸液在伸入地层前活性损失最小，在苏联常先用含1.5~2吨砂子的混砂液洗井，以除去管壁上的铁锈。此外在处理前还用较少的酸液进行“鏈式酸洗”。酸液常分三段打入油管中，每次打入1~1.2米³，每次注酸后都注水5~10分钟。注酸是在套管閘門开启下进行，乏酸由套管返至地面。返出的第一部分酸液往往最脏，气化程度也大，以后则逐渐变清。最后一部分酸液返出后即用水洗井，以防在处理时腐蚀产物进入酸液中。此后即进行正式酸处理，方法同一般生产井。

酸处理所用的盐酸及各种化学试剂，大多具有强烈的刺激性、腐蚀性及毒性，而且施工是在高压下进行的，稍有不慎即会造成中毒、烧伤等事故，因此施工中，必须注意安全。

四、处理后的投产准备工作

在关井等候反应期间，应仔细观察井口压力变化情况，一旦趋于稳定，即着手进行下步工作。通常，如酸液已全部挤入地层，反应时间往往比较短，在加压液注完后即可着手下步工作。

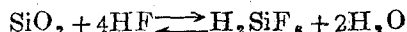
处理后，正式开井生产以前，应先通过自喷（用较正常生产时稍大的油嘴）、抽吸（包括深井泵抽吸）或提捞等方式，尽快地排出地层和井中的乏酸，并循环冲洗井筒。在排液和冲洗过程中，应在井口定时取样（一般为2~4小时一次），进行分析，以确定酸液被地层岩石中和之程度，判断地层清淨情况。

当返出物十分干净时，即上提油管到预定部位装好井口，准备投产。油井（或注水井）投入生产后，应再度试井，求得产量（或注入量）、压力、油气比、产油指数（吸水系数）、含水量、含砂量、砂面高度及砂面速度等。这样一方面可与处理前对比，判断处理效果；另一方面，如处理已经见效，则应在试井和系统的生产观察的基础上，确定新的工作方式。

第5节 土酸处理

在岩层中含泥质较多，含碳酸盐较少，油井泥浆浸与水浸较为严重而泥饼中碳酸盐含量较低的情况下，用盐酸处理常常得不到预期的效果。为了提高处理效果，近年来对这种油井或注入井多采用盐酸与氟氢酸的混合液进行处理，通常称为“土酸处理”。

土酸能溶解岩层中的泥质成分和部分石英颗粒，反应如下：



其反应结果就能清除井壁的泥饼及地层中的粘土堵塞，恢复或增加近井地带的渗透率。根据苏联全苏采油研究所试验，由15% HCl + 3% HF合成的土酸，对粘土的溶解量比不加 HF 时多 2~3 倍。试验又表明将含石英 55%；长石 10%；粘土 15%；氧化铁 10%；碳酸盐 10% 的岩心，置于 11.4% HCl + 3.7~5% HF 的土酸溶液中，比单独在 11.4% 的盐酸中溶解度增高 4.3~6 倍。当岩层中原始裂缝较为发育、或原始渗透性较好而泥浆浸泡时间较长、或岩层为泥质胶结致密而渗透率较低时，土酸处理后的效果往往较好。

但是在实际工作中，也遇到因土酸处理而减产的现象。原因是氟氢酸与碳酸盐接触后，反应生成不溶于水，油和酸液的 CaF_2 及 MgF_2 沉淀。其反应式如下：