

中国石油工程师学会专业丛书

油井酸化原理

[美]B.B.威廉斯

J.L.吉德里

R.S.谢克特 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系美国石油工程师学会专论丛书中的一本,是供从事油气井酸化基本理论研究和现场酸处理设计的采油工程技术人员使用的一本基础参考书。书中全面地介绍了与油气井酸化基本原理有关的基础理论知识,同时强调了酸化设计方法及酸液、添加剂的合理选用。

B.B.WILLIAMS J.L.GIDLEY
R.S.SCHECHTER

ACIDIZING FUNDAMENTALS

Society of Petroleum Engineers of AIME
New York 1979 Dallas

*

美国石油工程师学会专论丛书

油井酸化原理

美]B.B.威廉斯 J.L.吉德里 R.S.谢克特 著

罗景琪 译 罗梯夫 校

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

通县印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

950×1168毫米 32开本 8¹/₄印张 208千字 印1—3,100

1983年3月北京第1版 1983年8月北京第1次印刷

书号:15037·2399 定价:1.05元

前 言

近几年来,增产技术日趋复杂,它要求人们透彻理解与综合处理效果有关的各种机理。而这些机理大部分尚处于研究阶段,尚未达到全面现场应用。

本书是供从事酸化基本理论研究及现场酸处理设计的工程技术人员使用的一本基础参考书。因此,本书的内容结构既面向研究人员,亦面向现场工程设计人员。其中一些章节全面地介绍与酸化基本原理有关的基础理论知识。另一些章节则面向现场工程技术人员,强调设计方法及酸液、添加剂的合理选用。这些方法广泛应用于美国,某些程度上亦适用于世界其它地区。

凡在美国煤炭冶金石油协会石油工程师学会(SPE-AIME)丛书卷二《油层水力压裂》^①一书中由G.C.豪瓦德及C.R.法斯特详细作过论述的专题内容,本书均不再赘述。欲了解压裂酸化技术现场应用的读者请参阅《油层水力压裂》一书中的第一、二、三、八等章。它们为本书介绍的压裂酸化奠定了基础。

我们非常希望《油气井酸化原理》一书的读者都从第二、三章开始,重温酸化方法与酸反应的化学原理。然后阅读第五、七章的压裂酸化原理及设计方法,再其次是第九章或第十章关于砂岩与碳酸盐岩层基质酸化处理的设计。第四、六、八章是满足读者详细探讨需要的一些基本章节。虽然它们是其它关于设计方法章节的基础,但阅读设计章节前,并不要求必

^①[美]G.C.豪瓦德, C.R.法斯特著《油层水力压裂》(美国石油工程师学会专论丛书),石油工业出版社,1980年。

读这几章。第一、十一、十二章论述的是具有普遍意义的专题(酸化历史、酸添加剂及经济效果)。

只要可能，书中均列举实例以帮助理解数学模型或基本原理的实际应用。某些情况下，只限于满足利用掌式计算器作简单算术运算者的需要，故数学模型举例的应用范围就不十分广泛。除另作说明者外，本书所有方程均采用无因次形式。诸例一律采用大家都熟悉的常用工程单位。

目 录

第 1 章 酸处理的历史	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 佛拉施的酸处理专利	(1)
1.3 早期的除垢处理	(8)
1.4 酸化新时代的开端	(8)
1.5 酸化作业公司的形成	(4)
1.6 早期砂岩酸化历史	(5)
第 2 章 酸处理方法	(9)
2.1 引言	(9)
2.2 酸处理工艺简介	(9)
2.3 酸化增产的理论分析	(10)
第 3 章 酸的类型及其化学反应	(19)
3.1 引言	(19)
3.2 酸的类型与选择	(19)
3.3 酸与碳酸盐岩的反应化学当量	(24)
3.4 酸与碳酸盐岩反应的平衡	(28)
3.5 酸与砂岩作用的化学当量	(34)
3.6 酸与砂岩的反应平衡	(37)
第 4 章 反应动力学	(41)
4.1 引言	(41)
4.2 表面反应动力学	(42)
4.3 酸液中的质量传递	(47)
4.4 层流系统中的多相反应模拟	(52)
第 5 章 压裂酸化原理	(66)
5.1 引言	(66)
5.2 裂缝的形状	(66)

5.3	酸的穿透距离	(68)
5.4	裂缝传导率	(80)
第6章	压裂酸化处理的数学模型	(85)
6.1	引言	(85)
6.2	动态裂缝的形状	(85)
6.3	裂缝几何形状的定义方程	(91)
6.4	裂缝中的流体温度	(96)
6.5	酸沿裂缝的穿入	(99)
6.6	裂缝传导率	(112)
第7章	压裂酸化处理的设计	(123)
7.1	引言	(123)
7.2	确定地层基质及流体的特性	(124)
7.3	可变设计参量的选择	(136)
7.4	裂缝几何形状及酸穿距离的计算	(139)
7.5	裂缝传导率及增产率的估算	(145)
7.6	最经济处理方案的选择	(152)
7.7	非常规处理的设计要点	(153)
7.8	清除近井污染的压裂酸化处理设计	(154)
第8章	基质酸化的数学模型	(159)
8.1	引言	(159)
8.2	基质酸化模型	(159)
8.3	缓速酸的基质酸化模拟应用	(162)
8.4	低速反应系统的模拟应用	(164)
8.5	快速反应系统的模拟应用	(166)
8.6	砂岩酸穿距离的计算	(167)
8.7	碳酸盐岩酸化中溶蚀孔增长的模型	(172)
第9章	砂岩的基质酸化	(178)
9.1	引言	(178)
9.2	砂岩酸处理	(178)
9.3	酸蚀机理	(179)
9.4	酸作用半径的估算	(183)
9.5	砂岩酸化后的生产能力	(186)

9.6	砂岩酸处理设计方法	(189)
9.7	酸化处理中的常见问题	(193)
9.8	砂岩酸化的发展趋向	(195)
第10章	碳酸盐岩的基质酸化	(200)
10.1	引言	(200)
10.2	碳酸盐岩层的基质酸处理	(200)
10.3	酸蚀机理	(201)
10.4	作用半径的估算	(203)
10.5	基质处理使用的酸型	(205)
10.6	碳酸盐岩基质酸化的设计方法	(205)
10.7	碳酸盐岩的新型基质酸处理	(208)
第11章	酸的添加剂	(212)
11.1	引言	(212)
11.2	缓蚀剂	(212)
11.3	表面活性剂	(220)
11.4	互溶剂	(221)
11.5	减摩剂	(222)
11.6	酸的降滤剂	(224)
11.7	暂堵剂	(227)
11.8	络合剂	(232)
11.9	助排剂	(234)
第12章	酸处理的经济评价	(238)
12.1	引言	(238)
12.2	现金流量分析	(238)
12.3	清偿周期	(240)
12.4	投资收益率	(241)
12.5	折算现金流量法	(243)
12.6	经济标准的选用	(243)
附录	换算系数	(244)
	符号说明	(251)

第1章 酸处理的历史

1.1 引言

评价油气井增产处理工艺的历史时,在目前仍采用的古典工艺技术中,酸处理工艺仍属必须考虑之列。唯有硝基炸药井底爆破技术的使用早于酸处理。诸如水力压裂等其它技术都是最近才发展起来的。而酸化作为一种油气井增产措施始于上世纪。

根据早年记载,第一次酸处理作业大致始于1895年^[1]①。有趣的是,迄今仍普遍使用的盐酸在早年的试验中就已采用。赫曼·佛拉施(Herman Frasch),当时俄亥俄州利马市标准石油公司太阳炼油厂的总化学师,荣获了这项技术的发明权^[2]。在所有酸化专利中,佛拉施于1896年3月17日发表的专利^[3]是名列第一,也是最富有指导意义的。这份简短文献中记载了当今酸处理中仍使用的许多基本原理。而佛拉施的密友,太阳炼油厂总经理文恩·狄克(John W. Van Dyke)的另一同类专利采用硫酸,技术上虽不重要,但具有一定历史意义。后来,佛拉施及文恩·狄克将各自专利权的一半转让给对方,可能是因为他们对各自专利的成败尚无把握^[4]。

1.2 佛拉施的酸处理专利

佛拉施的专利采用试剂(盐酸)与石灰岩反应产生可溶性生成物——二氧化碳及氯化钙,它们可随井中生产油气排出地

①参考资料[2]常将第一次处理记为1894年,但日期无关重要。

层。相反，文恩·狄克则采用硫酸，生成物为难溶的硫酸钙，会导致地层堵塞。

佛拉施的酸化工艺含有许多现代技术要素。他在专利中指出：“一种关于化学作用的优异方法……（该方法）使用一种化学剂……溶蚀石灰岩。”他还预见到“施加强大压力挤注（酸）”的必要性，以便使酸“挤入岩石内，在离井筒一定距离处与之作用”。他还指出：在处理过程中“能形成长通道”。专利要求“使用工业氟化物酸或盐酸（酸中含HCl气重量达30~40%）”。下文还预见到后置液的应用：“将水一类的中性或廉价液体挤注入井内，以利于替酸，并使之挤入岩石深处”。

佛拉施当时未能确定酸的作用完全程度^①。为了防止活酸返回井内，他建议：“注入碱液（最好用石灰乳），以中和地层残酸。接着他指出，中和处理的好处“在于各种机具尔后免受腐蚀。”为了达到挤注强腐蚀性酸液的目的，他建议在管道内涂以“搪瓷或铅衬里”，或“作防腐处理。”他还与一家橡胶公司共同探讨了用橡胶作管了衬里的可能性。最后，佛拉施提出应采用胶料封隔器封堵环形空间，使酸进入处理层段。

佛拉施及文恩·狄克确信，酸处理工艺可作为产量占当时全国三分之一的俄亥俄州利马地区油井的增产手段^[5]。该地区一些井与高产邻井相比，产量很低。两位发明家认为，如果用酸疏通更多通往井筒的途径，这些低产井的产量完全可以增加^[6]。很明显，这一方法效果很好，而且很成功。当时《油城塔林》的一篇特写详细介绍了这一工艺。对其首次应用作了如下描绘：“两个月前，这一工艺在俄亥俄州利马附近俄亥俄石油公司的租赁地克洛斯雷农场的一口井上进行了现场试验。当时用了六十五桶酸。该井油层的流通缝隙很小，注酸压力800~900磅/英寸²，岩层每小时仅进酸一桶。但当酸起作用后，岩层缝隙逐渐增加，最后，岩层每小时可顺利进酸六桶。”

①看来佛拉施是在首次现场试验前大约两个月提出专利申请。

“酸处理后，该井泵抽达四十天左右。油产量增加了300%，气产量增加400%。继续采油期间，增产幅度一直保持稳定。”文章最后谈到：“虽然这一工艺看来似乎十分简单，但从构思发展到目前的完善程度需要独创和技巧，以及具有油井及化学过程的实际知识，因此，当一口井达到废弃程度时，目前可用酸处理使其产量马上上升。其效果是硝化甘油爆炸法所无从达到的。”〔1〕

虽然此后两、三年内，这项新工艺得到多次应用，但由于某种原因，后来的三十年中其应用减少，这方面的历史记载亦无据可考。

1.3 早期的除垢处理

盐酸在油井处理中的另一重要应用是由海湾石油公司的一家分公司，吉普西石油公司在俄克拉荷马州进行的〔7〕。当时吉普西公司面临的问题是，一些砂岩层油井的油管及设备发生钙质积垢。为了寻求除垢的有效方法，吉普西公司听取了米隆研究所的建议。布雷恩·威斯柯特(Blain Wescott)代表该所提交了报告，建议采用盐酸作除垢剂。有趣的是，威斯柯特在报告中提议使用当时钢铁厂沿用的抑制剂若丁二号〔8、9〕。很显然，由于当时这一技术仅被视为钢铁工业的一项老技术，它的抑制剂用途不会作为专利而提出申报①。

吉普西用盐酸除垢获得了成功。但是，早在三十年代，随着油品的跌价，这一技术的应用也越来越少〔7〕。

1.4 酸化新时代的开端

所谓酸化新时代是以1932年普尔石油公司与道化学公司之间的磋商为起点的。当时普尔公司在密执安拥有石油产权，并

①据科学文献记载，钢铁工业的酸洗抑制剂应用始于1845年〔9〕。

制订了该地区的有效开发方案。道公司在该地区打了一些盐水井。普尔公司向道公司索求作业资料，要求对方支持自己的方案。当时无意于采油的道公司同意普尔公司使用它的盐水井技术资料。在两家公司的继续磋商中，普尔公司的地质师W. A. 汤姆斯(W. A. Thomas)知道盐酸可与灰岩发生反应，但显然尚未知道佛拉施的早年工作，当时他建议采用酸处理来改善灰岩油层的油井产能。道公司物理研究实验室的负责人约翰·葛利伯(John Grebe)提出并赞同道公司用酸处理盐水井(砂岩完井)的经验。后来，普尔公司建议酸处理本公司一口井。试验井选定后，1932年2月11日，在密执安州伊萨比拉县吉皮娃·汤恩许坡十三区福克斯六号井中注入500加仑盐酸进行酸化。酸是装在一个直径36英寸，长12英尺的木槽内、靠罐车运往井场。根据葛利伯的建议，酸中加入了2加仑磷酸抑制剂，以减缓油管柱的腐蚀程度。通过橡胶管以虹吸方式将酸从槽内送入井内。当时注酸量达250加仑。继而又往油管柱泵入6桶油(使用手搖泵)。关井过夜，第二天早上抽汲。排出了大量乳化液。残酸被吸入油管柱内，通过油洗而替出^[10]。

这大概是缓蚀酸在石灰岩层的首次应用。处理前不出油的这口井后来产量达16桶/日。继后对其它井亦作了酸处理。其中一些井的效果比第一口井还好^[11~13]。

1.5 酸化作业公司的形成

酸化的技术经济影响迅速扩大，提供酸化服务的公司纷纷成立^[14~19]。原来道公司由主要负责盐水井的服务组进行井下处理。当时该组的作业量迅速增加，根据这一需要，道公司于1932年11月19日新成立一个专门经营这项业务的分公司。取原名道公司井下服务组前两个单词加以合并，发音不变，命名为道威尔公司^[10, 20]。

届时应运而生的其它公司有：1932年6月在密执安成立的

石油制造者公司〔9〕①，1932年10月在得克萨斯创立的化学工艺公司②，1932年4月在俄克拉荷马组成的威廉斯兄弟处理公司。以上各家公司的业务量迅速增长。1935年3月，赫利伯顿油井固井公司开始经营油井酸处理业务〔8〕。

1.6 早期砂岩酸化历史

石灰岩酸处理的成功启发了许多人，使其应用推广至砂岩层。1933年3月16日，J.R.威尔逊(Wilson)与印第安那的标准石油公司一起对氢氟酸处理砂岩工艺提出专利申请〔22〕③。该项工艺中，氢氟酸生成于井筒或地层内，以防在地面配制发生危险。威尔逊认为氢氟酸可与砂岩或其它含硅物质发生反应。从他的有关论述可以看出，当时他已预见这种处理方法对于清除地层污染非常有效：“细粒砂、其它硅质及各种岩屑有随流入井底流体而沉积下来的趋势，由于这将大大增加流阻，致使井底四周的地层孔隙或通道迅速堵塞。从此使我想到一种扭转这一状况的方法，即用一种合适的化学剂将沉积物溶去。对于砂岩，用氢氟酸或氟化氢较宜，它与砂岩反应……生成水及四氟化硅，后者是一种气体。使用这种方法的最大困难是，氢氟酸的处置危险性很大。将酸导入油井中要冒很大风险，这使我确信，这种尝试是前所未有的。”〔22〕

然而，其它一些人已在筹划进行这种尝试。1933年初，得克萨斯州威齐塔福尔斯A.M.麦克佛逊(McPherson)显然不知道威尔逊的工作，向赫利伯顿经理部提出用氢氟酸处理砂岩的建议。他相信其效果会与盐酸处理灰岩一样。麦克佛逊被赫利伯顿录用，在化学实验室进行氢氟酸处理油井实验。几个月

①成立时间不长。

②该公司在此名目下开业至1958年，然后合并入拜朗-杰克逊有限公司。

③与此同时，杰姆斯.G.任德格里夫特的同类专利(美国专利号 2,094,479)被批准，但这个以无机酸与氢氟酸混合物的工艺迟至1937年9月28日才发表。

后，王族公司的一口井被选作试验井。这口井是位于得克萨斯州阿基尔郡特里布恩新移民分公司88区的威尔逊B-24井，南距阿基尔城五英里，东距两英里。井深1532英尺，裸眼产层厚达11英尺^[23]。

1933年5月3日，威尔逊的申请提交美国专利局不到两个月，氢氟酸与盐酸组成的混合液被注入井中。当时对酸的处置采取了专门防护措施：有关人员均穿橡胶服，带橡胶手套和防毒面具。除麦克佛逊外，赫利伯顿公司还派遣菲尔·蒙特果米里(Phil Montgomery)和海登·罗伯兹(Hayden Roberts)参加了试验。处理完毕后，这三个人又继续工作了三个星期。

关于这项首次试验的氢氟酸及盐酸浓度尚无据可查。但试验结果令人失望。混合酸溶掉砂岩中的钙基质，在井筒内残留了大量非胶结性砂粒，这些砂子靠抽汲及泵抽才能清除。根据这些事实，“酸与砂岩反应的生成物看来具有堵塞地层，降低渗透率的作用。”赫尔伯顿后来中止了这项工作，直至五十年代中叶，氢氟酸与盐酸的混合物才获得工业应用。

虽然威尔逊的专利并未讨论效果最佳的氢氟酸浓度，但它承认处理过程中存在许多问题。威尔逊建议使用过量盐酸防止四氟化硅与水反应，这种反应往往“形成不溶性或胶性硅酸及氟硅酸，使地层堵塞。”他还建议采用前置液酸来防止不溶性或胶性物质沉积。他所列举的自生氢氟酸实例中，采用了氟化钠与盐酸反应这一方法。直至三十多年后，钠盐的有害性质才被充分认识^[24]。除此以外，威尔逊专利对存在的问题还作了极其深刻的论述，它推荐的技术迄今仍在采用。

盐酸与氢氟酸混合液的首次工业性应用是由道威尔公司于1940年着手进行的^[25~29]。当时所研制的这类产品称为土酸，其用途是溶解旋转钻井过程中以滤饼形式出现的钻井泥浆沉积物。第一次现场应用是在海湾沿岸进行的，这次成功使这项技术受到了更广泛的注意及应用。这种处理方法后经改进一直沿

用至今。

参 考 文 献

1. "A Great Discovery, "Oil City Derrick(Oct.10, 1895).
2. Putnam, S.W., "Development of Acid Treatment of Oil Wells Involves Careful Study of Problems of Each, "Oil and Gas J. (Feb.23, 1933)8.
3. Frasch, H., "Increasing the Flow of Oil Wells, " U.S. Patent No.556,669(March 17, 1896).
4. Fitzgerald, P. E., "A Review of the Chemical Treatment of Wells, "J.Pet.Tech.(Sept.1953)11-13.
5. Hidy, R.W.and Hidy, M.E.: *Pioneering in Big Business-History of Standard Oil Company (New Jersey) 1882-1911*, Harper & Brothers, New York(1955)156.
6. McCann, B.E., "Chemistry Dons a Hard Hat...The Saga of Acidizing Service, "Drilling(July 1968)35.
7. Chapman, M.E., "Some of the Theoretical and Practical Aspects of the Acid Treatment of Limestone Wells, "Oil and Gas J. (Oct.12, 1933)10.
8. Hathorn, D.H., personal communication, Halliburton Services, Duncan, Okla. (June 7, 1971).
9. "The Dow Chemical Company v. Halliburton Oil Well Cementing Company, " Opinion of Circuit Court of Appeals, Sixth Circuit, U.S. Patent Quarterly 90.
10. Fitzgerald, P. E., "For Lack of a Whale, "(unpublished notes on a history of Dowell) Dowell, Houston.
11. "Acid Treatment Becomes Big Factor in Production, "Oil Weekly(Oct.10, 1932)57.
12. Newcombe, R.B., "Acid Treatment for Increasing Oil Production, "Oil Weekly(May 29, 1933)19.
13. Putnam, S.: "The Dowell Process to Increase Oil Production, "Ind.Eng.Chem.(Feb.20, 1933)51.
14. Putnam, S.W. and Fry, W. A., "Chemically Controlled Acidation of Oil Wells, "Ind.Eng.Chem.(1934)26, 921.

15. "Chemical Treatment Halts Junking Breckenridge Wells, " *Oil Weekly* (Feb. 13, 1932) 40.
16. "North Louisiana Operators Pleased with Acid Results, " *Oil Weekly* (Dec. 19, 1932) 70.
17. Clason, C. E. and Staudt, J. G., "Limestone Reservoir Rocks of Kansas React Favorably to Acid Treatment, " *Oil and Gas J.* (April 25, 1935) 53.
18. Bancroft, D. H., "Acid Tests Increase Production of Zwolle Wells, " *Oil and Gas J.* (Dec. 22, 1932) 42.
19. Moore, W. W., "Acid Treatment Proved Beneficial to North Louisiana Gas Wells, " *Oil Weekly* (Oct. 29, 1934) 31.
20. "Chemical Company Forms Company to Treat Wells, " *Oil Weekly* (Nov. 23, 1932) 59.
21. Pitzer, P. W. and West, C. K., "Acid Treatment of Lime Wells Explained and Methods Described" *Oil and Gas J.* (Nov. 22, 1934) 38.
22. Wilson, J. R., "Well Treatment, " U. S. Patent No. 1,990,989 (Feb. 12, 1935).
23. Roberts, H., "Creative Chemistry — A History of Halliburton Laboratories 1930-1953, " Halliburton Oil Well Cementing Co., Duncan, Okla. (Jan. 7, 1959).
24. Smith, C. F. and Hendrickson, A. R., "Hydrofluoric Acid Stimulation of Sandstone Reservoirs, " *J. Pet. Tech.* (Feb. 1965) 215-222; *Trans.*, AIME, 234.
25. "Mud Acid, " *The Acidizer*, Dowell Inc. (June 1940).
26. Morian, S. C., "Removal of Drilling Mud from Formation by Use of Acid" *Pet. Eng.* (May 1940) 117.
27. Cannon, G. E., "Mud Acid and Formation Washing Agents, " Topic No. 31-B, Standard Oil Co. (New Jersey) special reports (1942).
28. Herrington, C. G., "Recent Developments in the Chemical Treatment of Wells, " Topic No. 31-C Standard Oil Co. (New Jersey) special reports (1942).
29. Flood, H. L., "Current Developments in the Use of Acids and Other Chemicals in Oil Production Problems, " *Pet. Eng.* (Oct. 1949) 46.

第2章 酸处理方法

2.1 引言

由于酸能够溶解地层矿物及钻井或修井作业时漏入地层的泥浆等外来物质，所以被用于油气井增产措施。溶解上述物质所获得的增产程度取决于许多因素，其中包括选用的酸处理工艺。常用的酸化工艺可粗分为三大类：酸洗、基质酸化及压裂酸化。

2.2 酸处理工艺简介

酸洗是一种清除井筒中的酸溶性结垢或疏通射孔孔眼的工艺。它不外乎是将少量酸定点注入预定井段，在无外力搅拌的情况下与结垢物或地层起作用。另外，也可通过正反循环使酸不断沿孔眼或地层壁面流动。以此增大活性酸到井壁面的传递速度，加速溶解过程。

基质酸化的含义是，在低于岩石破裂压力下将酸注入地层孔隙（晶间，孔穴或裂缝）。基质酸化的目的是使酸大体沿径向渗入地层。一般是通过扩大孔隙空间，溶解空间内的颗粒堵塞物，以消除井筒附近地层渗透率降低的不良影响（污染），从而获得增产效果。由于页岩的易碎，或者为了保持天然液流边界以减少或防止水、气采出，而不能冒险进行压裂酸化时，一般最有效的增产措施就是基质酸化。成功的基质酸化作业往往能够在不增大水、气采出量的情况下提高产油量。

压裂酸化是在足以压开地层形成裂缝或张开地层原有裂缝

的压力下,对地层挤酸的一种工艺。如果处理后高导流的通道仍旧张开,则可达增产目的。通道是由酸对裂缝酸溶性壁面的酸蚀作用而形成的。施工后压力消失、裂缝闭合时,裂缝的溶蚀壁面若不粘合,裂缝便具有很高的导流能力。压裂酸化形成的传导性人工裂缝长度取决于酸反应速度与酸从裂缝到地层滤失速度的综合效果。传导性裂缝的长度是决定增产效果的一个要素。

除上述应用外,酸还具有下列用途:

(1)用作压裂前置液,溶解射孔过程形成的细粉粒,使压裂液能进入所有射孔孔眼。

(2)当乳化液对pH值下降很敏感,或因酸溶性细粉粒促使乳化稳定时,可用作破乳剂。

(3)压裂处理用的酸敏性胶质在施工后尚不破胶时,可用来破胶。

(4)用作水泥挤注前的预洗液。

关于上述四种用途的工艺设计尚无明确规定。用酸量,通常指盐酸,一般根据设计人员的经验而定。由于这方面的研究成果发表甚少,也缺乏典型实践,对酸的这类用途,本文不准备进行详细讨论。

2.3 酸化增产的理论分析

基质酸化

对于近井地带液流受阻的井,即通常称之为污染井,基质酸化处理最有效。为了解释消除近井地带污染获得增产的可能性,现用图2.1的油井径向简化图加以说明。其中,介于井径 r_w 与半径 r_1 之间的地层渗透率降为 k_1 ,介于 r_1 与泄流半径 r_e 之间的地层渗透率为一常量 k ①。麦斯盖特(Muskat)[1]曾证明,这

①本书规定泄流半径等于井距的一半。另一种定义规定泄流半径等于面积为井距平方项一半的圆面半径(对均匀布井而言),用这样定义的泄流半径得到的计算结果略有不同。