

涪陵页岩气田深层气井酸处理技术研究

张 驰

(中国石化重庆涪陵页岩气勘探开发有限公司, 重庆 408014)

摘要:涪陵页岩气田进入二期产建阶段,页岩气井埋深增加,压裂改造难度增大,尤其是在设备限压仅为 93 MPa 的前提下,深井施工压力高,酸降效果不明显,严重限制了后期各项改造措施的执行。通过分析深层页岩气井酸降效果降低的主要原因,并在此基础上通过室内及现场试验研究了影响酸处理效果的主要因素,试验表明:提高酸处理排量、增加酸液浓度、合理优化酸液用量将有助于提高酸处理效果,为涪陵页岩气田深层页岩气井后续的压裂施工提出了优化建议。

关键词:深层页岩气井;压裂改造;酸处理;酸处理排量;酸液浓度;酸液用量;涪陵页岩气田

中图分类号:TE37 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)12-0030-04

Discussion on Acid Treatment Technology of Deep Well Fracturing in Fuling Shale Gas Field/ZHANG Chi (Sinopec Chongqing Fuling Shale Gas Exploration and Development Co., Ltd., Chongqing 408014, China)

Abstract: In the second production phase of Fuling shale gas field, the difficulties in fracturing treatment came along with the increasing buried depth, especially under the condition of only 93MPa limited pressure for equipments, acid reducing effect was not obvious in high pressure in deep well construction, which severely restricted the implementation of the later fracturing measures. By the analysis on the main causes of unsatisfactory acid reducing effect, the main factors affecting the acid treatment effect are studied through indoor and field tests on this basis. The tests show that the increase of acid treatment displacement, the increase of acid concentration and reasonable optimizing the amount of acid are helpful to improve the acid treatment effect. The optimization suggestions are put forward, which has important significance to the later fracturing construction of deep shale gas well in Fuling shale gas field.

Key words: deep shale gas well; fracturing; acid treatment; acid treatment displacement; acid concentration; acid dosage; Fuling shale gas field

0 引言

随着涪陵页岩气田二期区块埋深不断增加,页岩气井压裂改造难度也随之增大。目前涪陵页岩气田深层页岩气井借鉴浅井经验,采用前置 20 m³ 浓度为 15% 的盐酸以 2 m³/min 的排量处理地层来降低施工压力,但效果有限^[1]。针对深层页岩气井酸处理效果不佳的难题,调研分析了深层酸处理效果变差的原因,通过现场试验研究了影响现场酸处理效果的各项因素,探讨了针对深层页岩采用优化酸液配方、提高酸液浓度、提高酸处理排量、优化用量各项措施提高酸处理效果的可行性,为不断提升涪陵页岩气田深层气井前期酸处理效果,改善 93 MPa 限压下深层压裂改造效果明确了后期研究攻关方向。

1 深层酸处理不利条件分析

涪陵页岩气田深层页岩气井采用浅层页岩气井酸处理工艺出现酸降效果差、难以形成足够的压力窗口开展各项工艺措施的问题。通过调研分析认为以下几点不利因素则可能严重影响了深层酸处理的效果。

1.1 深层温度升高

由于涪陵页岩气田碳酸盐岩含量较高,一般采用盐酸进行前置预处理,降低岩石强度,为后期提供足够的压力窗口。但是随着页岩气井埋深的增加,地层温度逐渐升高,盐酸与碳酸盐的反应速率大幅加快^[2-4],酸液难以穿透到更深的地层,处理范围有限,不利于深层后续压裂施工。

1.2 深层压力升高

收稿日期:2017-06-18; 修回日期:2017-10-11

基金项目:国家科技重大专项“涪陵页岩气开发示范工程”(编号:2016ZX05060)

作者简介:张驰,男,汉族,1989年生,硕士,油气田开发工程专业,主要从事页岩气勘探开发工程工艺方面的研究工作,重庆市涪陵区焦石镇, zcunstoppable1@163.com。

埋深的增加还会造成压力的升高,有室内试验表明,虽然随着压力的升高,盐酸与碳酸盐岩的反应速率会逐渐减缓,但是在深层高温高压共同作用的条件下,酸岩反应速率还是主要受到温度的影响,远大于埋深较浅的低温低压条件下的反应速率^[5-6],酸处理范围受限。

1.3 矿物组分发生变化

涪陵页岩气田随着埋深的增加,部分气井的岩石矿物组分发生变化:通过常规测井结果可以看出,矿物组分中泥质含量明显增多(见表1);由于盐酸酸液体系仅能处理碳酸盐岩,无法处理泥质组分(粘土矿物),因此,涪陵页岩气田部分深层气井会由于泥质含量的增多而导致原有的盐酸酸液体系效果降低。

表1 涪陵页岩气田深浅井泥质含量对比 %

类型	井号	③小层 SH		①小层 SH	
		最大值	平均值	最大值	平均值
浅层	JYD-1HF	27.94	16.49	37.68	15.16
	JYE-3HF	39.11	26.71	72.19	29.80
	JYE-4HF	31.94	19.72	37.14	17.53
综合平均		20.97		20.83	
深层	JYA-2HF	53.45	29.16	45.02	26.48

1.4 深层缝宽减小

深层页岩气井地层压力增大,地层压实作用增强,裂缝扩展困难,缝宽相比于浅层明显变窄,室内试验表明:裂缝缝宽与反应速率成一定的反比关系^[7-8](见图1);因此,在深层压裂过程中若酸处理排量较低,由于酸液流经的裂缝缝宽不足,酸液反应速率较快,只能处理较小范围的地层,不利于酸液处理远端裂缝。

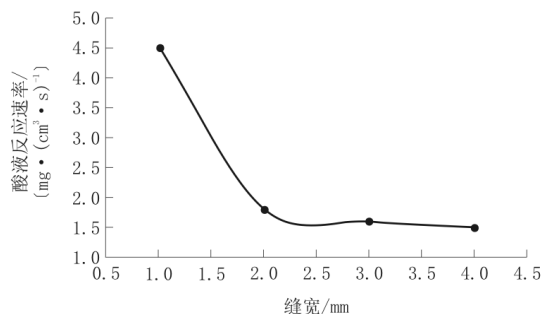


图1 缝宽对酸岩反应速率影响

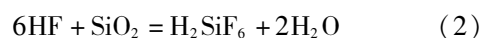
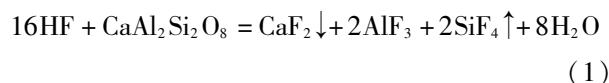
2 深层酸处理技术对策

针对浅层页岩气井,酸处理的目的是清理炮眼及近井污染,在形成快速酸降后可以快速提高

施工排量进行压裂施工,较低的裂缝延伸压力也保证了裂缝在高排量泵压下的延伸;但对于深层页岩气井,酸处理的目的不仅仅是清理炮眼及近井污染,更重要的是处理更大范围的地层,降低深层岩石的破压,确保在限压条件下裂缝更好地起裂、延伸。因此,对于深层页岩的酸处理,应当在保证酸蚀作用的基础上,延缓酸岩反应时间,尽量扩大酸处理范围。主要考虑从以下几个方面进行调整。

2.1 优化酸液体系配方

部分深层页岩气井粘土矿物成分增多,使用盐酸处理效果不佳,而有研究表明采用盐酸+土酸的酸液体系作用于粘土矿物含量较高的地层时,盐酸反应速率较快优先与碳酸盐岩反应,随后土酸中的HF处理粘土矿物,可有效降低岩石强度^[9],提高酸蚀效果(见式1、式2):



将涪陵页岩气田深层气井岩心进行室内试验,试验结果表明:岩心粘土矿物含量增多,采用盐酸+土酸酸液体系对岩心的溶蚀效果相比于单纯使用盐酸明显增强(见表2)。

表2 不同酸液体系溶蚀率试验结果 %

层位	15% HCl	15% HCl + 1.5% HF
①	8.2	17.8
④	16.5	34.2
④	16.4	38.6
⑤	8.4	20.1
⑥	11.6	24.4
⑦	10.6	22.3
⑧	9.0	22.2
⑨	15.5	18.5

2.2 提高酸处理排量

提高酸处理排量使地层中酸液流速更快,虽然会加快酸盐反应速率,但由于在高流速下酸液可以更快达到较远区域,因此,酸液穿透距离也随之增加^[10-12],室内试验也表现出相同的现象(见图2)。涪陵页岩气田深层气井现阶段主要采用2 m³/min的排量进行酸处理,排量明显较低,存在继续优化的空间。

但在现场压裂施工中,施工排量直接影响到压裂的施工压力,在深井压力窗口有限的前提下,也必须对施工排量严格限制,避免超过限压。因此,

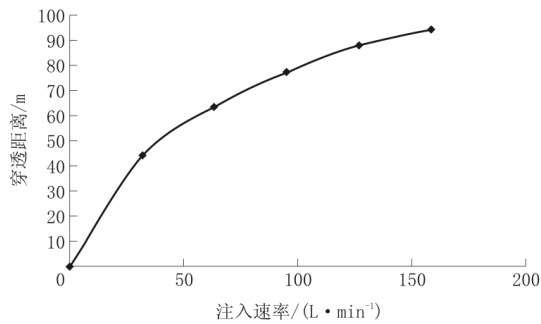


图2 酸液注入速率对穿透距离的影响

在现场实际施工中,应根据实时泵压调整酸处理排量。

2.3 提高酸液浓度

现阶段涪陵页岩气田主要采用15%的盐酸前置处理,室内试验结果显示在温度、压力一定的条件下,15% HCl 酸盐反应速率最快(见图3),对于浅层页岩气井使用该浓度盐酸可以较快反应形成压降便于提高施工排量,但对于深层页岩气井来说,应改变酸液浓度,减缓反应速率,考虑到低浓度的盐酸酸蚀作用减弱^[13],因此,考虑提高酸液浓度至20%。室内岩心试验结果也表明,使用20%浓度的盐酸相比于15%的盐酸反应速率更慢,穿透深度也随之增加(见表3)。

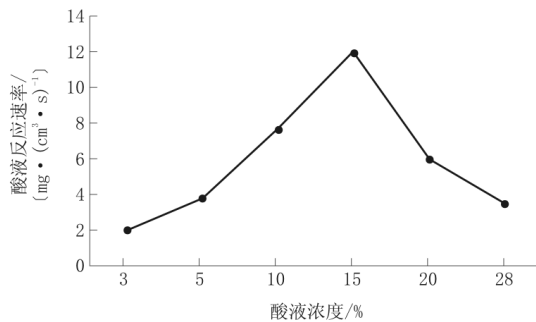


图3 不同酸液浓度酸盐反应速率

表3 不同浓度酸液穿透能力对比

酸液浓度/ %	37℃穿透 深度/m	71℃穿透 深度/m	104℃穿透 深度/m
15	36.3	26.7	24.2
20	44.2	41.3	39.8

2.4 优化酸液用量

有室内试验显示,酸液用量的增多可以提高酸液处理后残酸的浓度,可以增大酸液处理的距离^[14]。目前,涪陵页岩气田深层气井仍然主要采用前置20 m³的盐酸预处理的工艺,效果有限,因此,在室内试验的基础上考虑通过增大酸液用量,提高

酸处理效果;但酸液用量也并非越多越好,有研究表明酸液过多会导致滤失增加,不利于后期开展加砂压裂^[15-17]。因此,结合前期浅层气井施工经验,在深层增加酸液用量至40 m³,改善酸处理效果。

3 现场试验效果

针对深井开展了多井次的酸液现场试验,进一步分析对比各项调整措施在提高深层酸处理效果中的适用性。

3.1 “盐酸+土酸”体系试验

焦石坝区块 JYA-1HF 井第15、17段同穿行于⑥小层,两段垂深相近(3700~3800 m),射孔处石英含量45.25%,碳酸盐岩含量8.42%,粘土总量达到42.35%。酸处理排量均为2 m³/min,但第15段采用20 m³的15%盐酸体系,第17段采用20 m³的15%盐酸+1.5%土酸体系。从压裂施工来看,使用盐酸+土酸的酸液体系的第17段酸降压力达到16.8 MPa,明显高于使用盐酸体系第15段的9.8 MPa,为后期提高施工排量创造了更好的条件。

焦石坝区块 JYB-3HF 井前8段同穿行于③小层,各段垂深相近(3900~4000 m),射孔处石英含量53.43%,碳酸盐岩含量14.48%,粘土总量31.43%。酸处理排量为2 m³/min,第4段、第5段采用前置40 m³的15%盐酸+1.5%土酸体系,其余段前置30 m³的15%盐酸体系,从施工结果来看,在粘土含量相对较少的井段采用溶蚀效果更强的盐酸+土酸体系酸降效果相比于盐酸处理的压裂段并未有明显优势(见图4)。

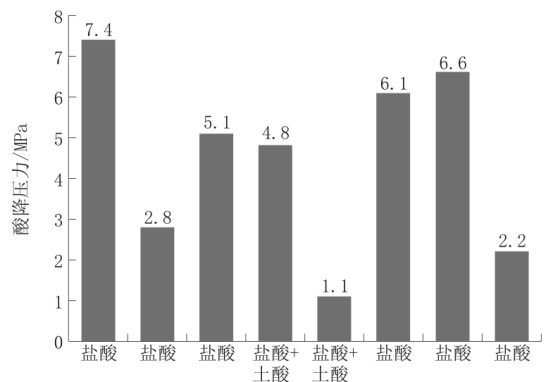


图4 JYB-3HF井不同酸液体系酸降压力对比

3.2 酸处理排量变化试验

对比分析了涪陵页岩气田平桥区块矿物组分含量相近的各井,在穿行相同小层、采用20 m³15%盐

酸体系的压裂段对比不同排量下的酸降效果,对比发现各井最终的酸降压力与气井的垂深并无明显相关性,而与酸处理排量呈现出一定的正相关关系(见图 5)。从现场试验结果来看,提高酸处理排量将有助于提高酸降压力。

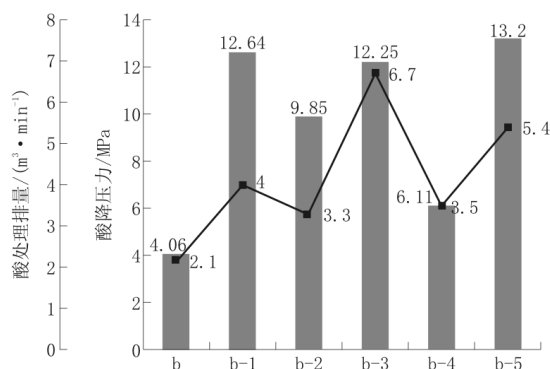


图 5 平桥区块各井相同小层不同酸处理排量酸降压力对比

3.3 盐酸浓度变化试验

在焦石坝区块西南区进行 15% 与 20% 盐酸效果对比试验,在地质条件相近、垂深相近的临井对比相同穿行小层、相同排量、用量条件下,不同盐酸浓度取得的酸降效果。对比结果显示采用 20% 浓度盐酸的压裂井段短期内酸降压力明显低于采用 15% 浓度盐酸的压裂井段,但在泵酸压力相当的情况下,使用 20% 浓度盐酸后,其破裂压力相比较与 15% 浓度的盐酸明显更低,分析认为提高酸液浓度至 20%,短期反应速率低于 15% 的盐酸,酸降压力相对较低,但由于残酸浓度较高,处理了更大的范围,提高排量时地层破裂明显降低。

表 4 不同酸液浓度现场试验对比结果

盐酸浓度 / %	井号	穿行小层	酸量 / m³	酸降压 / MPa	酸处理排量 / (m³·min⁻¹)	破裂压力 / MPa	
20	JYB-1HF	③	20	18.25	2.1	66.38	
			20	8.84	2.6	63.23	
			20	10.48	2.6	72.40	
			20	9.27	2.1	72.95	
	JYB-2HF	③	20	15.40	2.6	66.06	
			20	9.13	2.7	71.07	
	15	JYC-1HF	③	20	13.89	2.0	83.97
				20	30.42	2.1	79.71
20				41.26	2.0	85.05	
20				23.47	2.2	74.47	
JYC-3HF		③	20	39.84	2.0	85.79	
			20	22.97	2.0	83.35	
			20	26.70	2.0	80.04	
			20	32.55	2.0	85.23	
			20	29.96	2.0~2.5	84.75	

3.4 盐酸用量变化试验

焦石坝区块 JYC-2HF 井埋深达到 3900~4000 m,在施工井段矿物组分差异不大、穿行小层相同的前提下,对比分析了采用 15% 盐酸、2 m³/min 排量下,不同酸液用量的酸降效果(见表 5),通过对比结果可以看出,酸液用量的增多并不能带来酸降压力的提高。分析认为,深层酸液用量更多受到地层中天然裂缝滤失作用的影响,酸液用量的增多,若滤失严重,并不能增大处理地层的酸液量。而具体单段酸处理前天然裂缝发育情况目前通过常用的曲率评价方法难以精确评定,这也是现场合理优化酸液用量的一大难点。

表 5 不同酸液用量现场试验对比结果

酸液用量 / m³	酸前压力 / MPa	酸后压力 / MPa	酸降压力 / MPa	酸处理排量 / (m³·min⁻¹)
20	93.82	86.16	7.66	2
20	71.70	67.30	4.40	2
36	90.30	71.50	18.8	2
40	88.65	75.75	12.9	2

4 结论与认识

(1) 针对涪陵页岩气田深层页岩气井,通过试验调研以及现场试验对比可以发现,针对粘土含量较高的(>40%)井段,采用“盐酸+土酸”的前置酸液处理酸降效果明显好于采用盐酸前置处理的井段;但在粘土含量不高的井段使用“盐酸+土酸”体系,在成本增加的基础上,酸降效果并无明显优势。

(2) 提高前置阶段酸处理排量将有助于提高前期酸降效果,为后期大排量施工打好基础。但涪陵页岩气田深层页岩气井施工压力高,在限压控制在 93 MPa 的前提下,无法大幅提高酸处理排量,现场施工应根据实际压力窗口,在安全合理的条件下尽可能保证酸处理的排量,增大酸液处理范围。

(3) 在涪陵深层页岩气井使用 20% 浓度的盐酸短期内酸降效果并不如 15% 浓度的盐酸,但从随后施工来看,在泵酸压力相当的情况下,使用 20% 浓度盐酸的破裂压力明显低于 15% 浓度的盐酸。

(4) 从试验对比结果来看,对于涪陵深层页岩气井提高酸液用量效果并不明显,酸液的滤失作用可能是主要的影响因素;如何精确判断各压裂段

(下转第 58 页)

务,提高了钻探施工效率和工程质量,为矿区下一步钻探施工提供了技术保障,为深孔复杂地层钻探提供了可行的经验。

(2)《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227—2010)规定的钻探公称口径系列为150(S)、122(P)、96(H)、76(N) mm等,实际的钻头、扩孔器外径尺寸可根据不同的钻进方法和地层情况,在合理范围内适当调整。ZK1724孔据此大胆改进,使用的四级钻头外径为130、110、95、77 mm,同时,对钻具级配、套管结构也做出相应的调整。实践证明是可行的,适应矿区地层情况,满足地质要求,有利于提高钻效,节约成本。

(3)在地层漏失的情况下,坚持使用细分散低固相冲洗液,是保障正常钻进的关键。细分散低固相冲洗液的固相含量低,流动性好,润滑性能好,适应金刚石绳索取心钻探,且不易发生缩径、坍塌卡钻等事故。构造蚀变带复杂地层,岩石松散、破碎、胶结性差、有的层位具水敏性,细分散低固相冲洗液自由水含量少,能有效地阻止冲洗液中自由水向岩层中渗透,减少对岩层的干扰,保证钻孔的安全。

(4)尝试了顶漏钻进、随钻堵漏、专门堵漏、套管堵漏等方法,试用了惰性材料、桥接材料、水泥砂浆、溶胀型材料(凝胶)等堵漏材料,对漏失地层特性判断与堵漏方法、堵漏材料的关联性有了初步认

识。

参考文献:

- [1] 雷淮. 河南省内乡县板厂铜多金属矿床成因及成矿模式探讨[J]. 中国矿业, 2011, 20(9): 62-68.
 - [2] 朱恒银, 蔡正水, 王强, 等. 赣州科学钻探 NLS-D-1 孔施工技术研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 1-7.
 - [3] 曾石友, 杨宽才, 蔡记华, 等. 小秦岭金矿田 2000m 深孔钻探技术[J]. 地质与勘探, 2015, 51(1): 175-180.
 - [4] 王达, 何远信, 等. 地质钻探手册[M]. 湖南长沙: 中南大学出版社, 2014.
 - [5] 于辉, 史强, 叶兰肃, 等. 新疆阿舍勒铜矿 ZK2102 孔钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S2): 330-333.
 - [6] 段志强, 李生海. 低固相冲洗液在赣南再里地区的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(6): 26-29.
 - [7] 陶士先, 纪卫军, 等. 地质钻探复杂地层冲洗液对策及应用案例[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
 - [8] 张统得, 陈礼仪, 贾军, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目钻井液技术与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9): 139-142.
 - [9] 翟育峰, 陈师逊, 张英传. 水泥封孔技术在罗布莎科钻孔施工中的应用[J]. 西部探矿工程, 2013, 25(3): 70-72.
 - [10] 石立明, 曹灶开. 凝胶堵漏技术在阳山矿区漏失地层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(9): 22-24.
 - [11] 张所邦, 谭建国, 王爱军, 等. 宜昌磷矿北部整装勘查项目深孔复杂地层钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(4): 23-27.
-
- (上接第 33 页)
- 天然裂缝发育程度, 并针对性优化该段酸液用量将成为后续工作的难点。
- 参考文献:**
- [1] 周德华, 焦方正, 贾长贵, 等. JY1HF 页岩气水平井大型分段压裂技术[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(1): 75-80.
 - [2] 郝志伟, 王宇宾, 宋有胜, 等. 高温深井碳酸盐岩储层降滤失酸体系研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(4): 69-71.
 - [3] 陈冀崑, 雷鸣, 赵立强, 等. 川东北碳酸盐岩气藏酸-岩反应特征研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009, 31(4): 83-86.
 - [4] 陈庚良, 黄瑛. 碳酸盐岩酸化反应机理分析[J]. 天然气工业, 2006, 26(1): 104-108.
 - [5] 赵立强. 碳酸盐岩和盐酸反应动力学的试验研究[J]. 西南石油学院学报, 1988, 10(1): 34-41.
 - [6] 李颖川. 采油工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 214-216.
 - [7] 李力. 用人工模拟裂缝装置研究盐酸/白云岩反应速率的影响因素[J]. 钻采工艺, 2000, 23(1): 28-31.
 - [8] 李莹, 卢渊, 伊向艺, 等. 碳酸盐岩储层不同酸液体系酸岩反应动力学实验研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(33): 9010-9013.
 - [9] 曲占庆, 于姣姣, 温庆志, 等. 水平井分段酸化效果影响因素分析及优化[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(6): 63-68.
 - [10] 吕小明, 丁里, 石华强, 等. 长庆油田高桥区块碳酸盐岩储层酸岩反应基础研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2013, 35(6): 106-108.
 - [11] 刘如红. 酸岩反应速率影响因素的多元线性回归分析研究[J]. 石油化工应用, 2013, 32(3): 13-15.
 - [12] 满江红, 张玉梅. 深井碳酸盐岩储层深度酸压工艺技术探讨[J]. 新疆石油学院学报, 2003, 15(1): 77-80.
 - [13] 张建利, 孙忠杰, 张泽兰. 碳酸盐岩油藏酸岩反应动力学实验研究[J]. 油田化学, 2003, 20(3): 216-219.
 - [14] 刘飞, 赵立强, 孟向丽, 等. 前置缓速酸加砂压裂中酸岩反应模拟研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2014, 36(1): 104-108.
 - [15] 韩慧芬. 酸液滤失的影响因素分析[J]. 钻采工艺, 2002, 25(3): 29-31.
 - [16] 李年银, 赵立强, 刘平礼. 碳酸盐岩酸压过程中的酸液滤失研究[J]. 西部探矿工程, 2006, 18(3): 109-111.
 - [17] 潘琼, 段国彬. 酸液滤失实验模型的建立[J]. 钻采工艺, 2004, 27(3): 88-89.