

王再山 张成木 主编

# 大庆长垣东部

## 低渗透油田开发技术探索与实践文集

### 下册 采油工程与地面工程



石油工业出版社

# 大庆长垣东部

长垣油田开发技术总结与实践经验

大庆油田有限责任公司 编



石油工业出版社

# 大庆长垣东部低渗透油田开发技术 探索与实践文集

(下册 采油工程与地面工程)

王再山 张成木 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书分为油藏工程与信息工程和采油工程与地面工程上、下两个分册,精选了大庆长垣东部即第八采油厂区“十五”期间优秀科技论文,内容涉及精细油藏描述、特低丰度超薄油层水平井开发技术、特低渗透扶杨油层注气开发和有效动用、地面工程优化配套工艺技术以及油田开发综合信息平台建设等。

本书可供从事油藏工程、采油工程、地面工程和信息技术人员以及有关大专院校的师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

大庆长垣东部低渗透油田开发技术探索与实践文集/王再山,  
张成木主编.—北京:石油工业出版社,2006.9

ISBN 7-5021-5716-6

I.大…

II.①王…②张…

III.低渗透油层-油田开发-大庆市-文集

IV.TE348-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第107002号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:河北天普润印刷厂

---

2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:34.5

字数:872千字 印数1—700册

---

定价:90.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 《大庆长垣东部低渗透油田开发技术 探索与实践文集》

## 编 委 会

主 编：王再山 张成木

副主编：王德金 卢东风 姜洪福

编 委：罗中华 姬生柱 沈宝明 王 同

纪宝君 刘云秀 刘云燕 侯维前

徐晓娟 单春燕 吴北光 刘 渤

张 财 刘显庠 齐云阶 张百军

王庐峰 许庆军 程志学 彭启忠

孙 宏 郭军涛 王庆莲 杨 雷

管丽华 冯 俊 董春燕 曹宇静

李晓霞 张宏艳 艾春江 卢红梅

## 前 言

适逢“十一五”开局之际，大庆油田有限责任公司第八采油厂组织编写了这本凝聚了全厂广大科技工作者心血的《大庆长垣东部低渗透油田开发技术探索与实践文集》一书，旨在总结“十五”期间油田开发与科技创新所取得的经验与成绩，以开启“十一五”油田开发的新局面。

几年来，全厂广大科技人员发扬大庆精神、铁人精神，开拓创新、挑战极限，坚持以经济效益为中心，围绕油藏科学评价、难采储量有效动用、老油田递减控制和配套开发技术等油田开发重点工作，开展了广泛而深入的技术管理与科技攻关，在精细油藏描述、特低丰度超薄油层水平井开发技术、特低渗透扶杨油层注气开发和有效动用、地面工程简化优化配套工艺以及油田开发综合信息平台建设等方面均取得了丰硕的成果。而今汇集于此书，既是全厂优秀科技成果的集中展示，又是全厂科技精英的精彩写照。

希望本书的出版会带给广大外围油田科技工作者以新的启发与思考，为外围低渗透油田持续有效发展，为创建百年油田做出更新更大的贡献！

编 者  
2006年8月

# 目 录

## 采 油 工 程

肇州油田水平井开采增产工艺技术 .....	郭海斌	(285)
水平井酸化增产工艺技术试验研究 .....	朱秀峰	(289)
水平井射孔优化技术理论模型的建立 .....	王希涛 蔡拥军	李春艳 (293)
低渗透葡萄花油层水平井渗流机理研究 .....	杨 明	张玉柱 (300)
定向井采油、注水工艺在外围油田的适应性探讨 .....	王庆莲	孙 宏 (307)
长跨距、不同物性油层合采配套工艺技术研究 .....	陶 冶	吴北光 (313)
同井同层重复压裂新技术可行性探讨 .....		张新宇 (321)
大庆低渗透油田举升方式经济界限探讨 .....		李宏宇 (328)
油田注水系统结垢机理研究 .....		李 颖 (335)
复合射孔工艺技术试验应用 .....	顾 平 赖江敏	刘艳娟 (340)
关于“三低”油田油井流压对产量影响问题研究 .....	李春艳	郭士英 (346)
油井射孔下泵联作负压启爆工艺探讨 .....		刘艳娟 (351)
完井液不同浸泡时间对新井产能影响 .....		谢桂茹 (356)
中深井作业中疑难问题的处理技术 .....	黄忠胜 刘纯艳	王志贤 (363)
运用油藏流入动态理论优化油井工作制度 .....	修玉霞 夏雨晖	王立国 (368)
低产井合理工作制度探讨 .....		陈 峰 (374)
水井测试掉卡预防及处理技术 .....	艾春江 王 岩	张 超 (381)
地关井封井技术试验研究 .....	蔡拥军	雍安娟 (384)
油井化学堵水技术研究与应用 .....	雍安娟 李春艳	蔡拥军 (389)
新井防卡技术研究及应用效果 .....		潘华峰 (395)
不同类型油井压裂效果分析 .....	胡长松	于晓丽 (398)
提高机采井系统效率的方法与措施 .....	步 楠	冉南南 (405)
低渗透油田中深抽油井杆、管磨损原因分析及预防措施 .....	曲国君 冯 俊	杨红艳 (410)
油井抽油杆偏磨原因分析及对策 .....	高艳芹 李晓伟	胡晓东 (414)
液压钳造成油管损坏原因分析及对策 .....	刘 渤 高洪财	张艳波 (418)
油管、抽油杆检测技术发展现状 .....		吴 刚 (423)
高危机采井合理加药热洗周期的确定 .....	庞 庆 杜 岩	马 平 (428)
油井不同清防蜡工艺适应性评价与研究 .....		史红冰 (437)

## 地 面 工 程

低渗透油田二氧化碳注入工艺研究 .....	沈宝明 杨 雷	吴北光 (443)
地下、地上一体化优化外围油田钻井建设方式 .....	宫玉芹	程志学 (448)
高精度卫星遥感技术在地面工程中的应用 .....	杨 雷 曲 森	孙 宏 (453)

四合一组合装置应用效果分析 .....	杨军杰	王新刚	(456)
离心泵变频调速的经济分析与应用 .....		马矿召	(461)
连续复合管集油适应性分析 .....		华丽威	(466)
对水质过滤段的分析和认识 .....	刘春丽	华丽威	梁玉艳 (472)
油田水流量计应用的几点认识 .....	张莉	于春光	王晓川 (476)
围绕控制能耗优化脱水站系统运行 .....		梁玉艳	(481)
水套炉真空技术改造可行性分析 .....	程建平	宁晓飞	孙国锋 (484)
外围低渗透油田水质分析 .....	许庆红	刘春丽	徐晓娟 (489)
提高设计概算准确性 .....	于秀珍	孙巨良	刘景春 (494)
第八采油厂永三变电所电网谐波测试及谐波问题分析方案 .....	杨树德	李云艳	张秀娥 (498)
无人值守远程监控变所在油田的应用 .....		李云艳	张军 (502)
变电站微机防误操作技术的研究与应用 .....		张秀娥	王波 (505)
PT一次保险熔断原因分析与探讨 .....	张宏艳	李云艳	邵才 (510)
道路翻浆发生的原因及防治方法 .....		李卓义	(515)
沥青路面抗油浸蚀能力分析 .....		王旭臣	(518)
外围油田控制投资、降低运行成本的建设思路 .....		于晓辉	徐晓娟 (521)
第八采油厂电网技术状况分析 .....	杨传亮	张亚男	文斌 (528)
第八采油厂区域管网防腐技术研究 .....		桑淑华	(533)
降低集输系统用气的几点设想 .....		马海涛	王洪喜 (536)



# 采 油 工 程



# 肇州油田水平井开采增产工艺技术

郭海斌

**摘要** 大庆外围低渗透薄互层储量应用限流法压裂完井技术沟通水平井上、下未钻到储层及应用酸化工艺技术解除近井地带污染。本文阐述多层条件下水平井限流法压裂完井合理压裂部位、压裂规模、施工参数确定原则及人工裂缝方位监测情况；水平井储层污染原因分析，酸化药剂、酸化工艺的优选及试验应用情况。通过跟踪分析试验效果，论述水平井压裂、酸化工艺技术实施的必要性。

**关键词** 低渗透；薄互层储量；限流法压裂；酸化技术

为探索肇州油田低渗透、低丰度、薄互层储量有效动用途径，2002年以来，第八采油厂先后在肇405、州603及州11等区块开展了水平井开发试验，目前，共完钻水平井15口，投产10口。从已投产水平井开发情况看，水平井能够增加单井产能，与同期投产的周围直井相比，水平井产量是直井产量的2~4倍；同时降低了征地及地面基建费用，取得了较好效果。但在当前经济技术条件下，应用水平井开发低丰度、薄互层储量主要存在井眼钻遇层上、下被泥岩隔层分隔开的层段内储量无法动用及水平井钻井、完井及作业施工外来流体对储层造成污染，影响产能等问题，亟待研究完善相应工艺技术加以解决。本文重点介绍了水平井限流法压裂和水平井连续油管酸化工艺技术在肇州油田现场试验情况。

## 1 水平井限流法压裂完井技术试验研究

结合肇州油田地层主应力方位为近东西向的研究结果，2003年12月在州11区块选择井眼轨迹为近南北向的肇57-平33、肇57-平35两口水平井开展了限流法压裂完井现场试验，目的是沟通水平井眼未钻遇的层段，探索多层条件下水平井压裂工艺技术。

### 1.1 储层特征

肇州油田州11区块开发目的层为葡萄花油层，为三角洲前缘相沉积，发育三角洲前缘相的席状砂和短条带状沿岸砂坝，储层分布较稳定，单层厚度薄。统计周围7口直井资料，平均单井砂岩厚度6.3m，有效厚度2.2m，平均单井有效厚度层数2.1个，平均单层有效厚度1.0m。

### 1.2 优化压裂设计

两口井均为套管固井完井，采用YD-89枪向下120°定向射孔，限流压裂工艺。

#### 1.2.1 裂缝部位的确定

根据两口井实际钻遇砂体在实钻轨迹上的投影位置与周围水井的位置关系，纵向上，要有接替层，保证裂缝压开后能够有效沟通这些油层；横向上，在与注水井正对的砂体不布裂缝，在注水井附近布宽、短缝，确定两口井裂缝位置。

### 1.2.2 裂缝数量及规模的确定

根据目前压裂设备允许的最大施工排量 ( $8.5\text{m}^3/\text{min}$ ) 合理确定裂缝数量、每段射开孔眼数量 (每个孔理论排量为  $0.4\sim 0.5\text{m}^3/\text{min}$ )，控制每条裂缝规模。原则上要求裂缝数量和长度能够提供合理的油流通道；裂缝长度控制在水平井筒与注水井之间距离的一半内，避免注水突进。两口井设计结果见表 1：分 4 段射孔，平均间距 133m，每段 4~6 孔。

表 1 2 口水平井压裂裂缝参数优化表

序号	井号	射孔层位	射孔层段 (m)	孔数 (孔)	支撑裂缝半长 (m)	支撑裂缝总高 (m)	平均裂缝宽度 (cm)
1	肇 57-平 33	PI 3 <sup>2</sup>	2174.3~2174.0	4	81	36	1.02
		PI 3 <sup>2</sup>	2070.5~2070.0	6	106	37	1.05
		PI 2	1890.5~1890.0	6	97	40	1.06
		PI 2	1510.3~1510.0	4	80	37	0.86
平均					91	37.5	0.99
2	肇 57-平 35	PI 3 <sup>2</sup>	2050.3~2050.0	4	92	32	0.94
		PI 3 <sup>2</sup>	1910.4~1910.0	5	105	39	1.04
		PI 2	1750.5~1750.0	6	94	38	1.0
		PI 2	1650.3~1650.0	4	84	35	0.92
平均					93.75	36	0.98

### 1.2.3 施工参数的确定

压裂液选择改性胍胶压裂液，支撑剂选择高强度陶粒。单井压裂液  $590\text{m}^3$  (基液量为  $580\text{m}^3$ ，交联液量为  $10\text{m}^3$ )，压裂设计排量  $6\sim 8.5\text{m}^3/\text{min}$ ，加砂  $75\text{m}^3$ ，地面施工压力  $56\text{MPa}$ 。

### 1.3 现场试验情况

2003 年 12 月对肇 57-平 33 和肇 57-平 35 井进行压裂施工，现场实际施工参数见表 2。

表 2 2 口水平井压裂施工情况表

参数 井号	压裂液总量 ( $\text{m}^3$ )	加砂量 ( $\text{m}^3$ )	最大排量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	最高压力 (MPa)	破裂压力 (MPa)	闭合压力 (MPa)	平均砂比 (%)
肇 57-平 33 井	466.7	75.04	7.50	60.10	31.32	12.00	33.33
肇 57-平 35 井	478.7	75.00	7.00	53.20	32.09	11.51	33.48

为监测水平井人工裂缝的走向、长度及高度，采用微地震人工裂缝实时监测系统对 2 口压裂井进行了裂缝监测。从裂缝监测结果看，在实施压裂的 2 口水平井中，8 个射孔段全部形成裂缝，近井裂缝方位多为北西西向，仅肇 57-平 33 井的第三段射孔的人工裂缝方位为北东东向。

### 1.4 压裂效果分析

肇 57-平 33 投产初期日产液  $29.6\text{t}/\text{d}$ ，日产油为  $27.2\text{t}/\text{d}$ ，含水  $8.0\%$ ，动液面  $200\text{m}$ ；目前日产液  $12.1\text{t}/\text{d}$ ，日产油  $11.7\text{t}/\text{d}$ ，含水  $3.5\%$ ，动液面  $954\text{m}$ ，已累计产油  $4485\text{t}$ 。

肇 57—平 35 井投产初期日产液 24.3t/d，日产油为 21.9 t/d，含水 10.0%，动液面 565m；2004 年 8 月底产量下降到 7.5t/d。对肇 57—平 35 井进行了补孔试验，初期日产液 27.7t，日产油 26.7t，含水 3.5%。目前该井日产液 27.7t，日产油 26.6t，含水 4.0%，已累计产油 3624t。

对比同期投产水平井生产情况见表 3，射开孔数减少，累计产油增加。水平井压裂取得明显效果。分析认为，限流法压裂可以沟通裂缝所在位置处水平井眼未钻遇的 P I 2、P I 3、P I 4 油层。

表 3 同期投产的 6 口水平井生产情况统计表

序号	井号	投产时间	初期生产情况				生产情况				累计射孔(孔)	累计产油(t)
			产液(t)	产油(t)	含水(%)	液面(m)	产液(t)	产油(t)	含水(%)	液面(m)		
1	肇 57—平 33	2003-12-25	29.6	27.2	8.0	200	12.1	11.7	3.5	945	19	4485
2	肇 57—平 35	2003-12-23	24.3	21.9	10.0	565	27.7	26.6	4	1100	19	3624
3	肇 60—平 33	2003-12-17	15.8	14.5	8.1	1230	6.5	6.3	3.5	1260	5668	2226
4	肇 59—平 55	2003-12-17	19.9	16.2	18.4	545	8.0	7.7	3.5	853	3952	2595
5	肇 60—平 54	2003-12-17	22.3	18.2	18.5	911	8.5	8.2	3.5	1320	3736	1538
6	肇 53—平 37	2003-12-23	3.4	2.9	13.8	856	4.7	4.6	3	1180	1236	674

## 2 水平井酸化工艺技术试验研究

为解决水平井钻井、完井及作业施工外来流体对储层造成污染，致使投产后产量下降快的问题，开展了水平井连续油管酸化工艺技术试验研究。

### 2.1 储层污染原因分析

根据水平井钻井、完井、生产过程的实际情况，综合分析水平井储层可能产生的污染。

钻井过程伤害：已完钻的 14 口水平井水平段钻井至固井周期为 10.2d，相对于直井，水平井钻井泥浆浸泡时间长。水平井二开钻井液为油基钻井液体系，油水比 75/25~80/20。油基钻井液体系的多种乳化滤液与地层中原油、水发生乳化，易形成乳状液堵塞；产生油层润湿反转，降低油相渗透率。

完井过程伤害：由于水平井钻井泥浆浸泡时间长，浸入地层深，已投产的 10 口水平井全部采用 YD89—Ⅲ弹射孔完井，射孔穿深参数偏小，混凝土靶穿深只有 543 mm，另外水平井完井液长时间浸泡，造成地层伤害。

此外，水平井胶质、沥青质、含蜡量较高，由于外来流体进入地层，溶解气析出等原因，打破原有的平衡状态，形成有机沉淀。分析伤害原因，认为乳状液堵塞、粘土膨胀、水锁伤害以及有机沉淀是影响水平井产能的主要因素，经调研低碳混合有机酸药剂比较适合。

### 2.2 酸化处理半径确定

为充分解除油井近井地带伤害，提高措施有效率，需要保证油层足够的处理体积。考虑水平井油层平均厚度及射孔穿深，处理体积按椭圆柱进行设计（表 4）。

表 4 三口水平井酸化施工参数设计及实施情况

井号	油层平均厚度 (m)	处理半径 (m)		酸液用量 (m <sup>3</sup> )		酸化工艺
		纵向	横向	设计	实际	
州 62-平 61	1.5	0.6	1.6	290	280	连续油管
肇 53-平 37	1.9	0.8	2.1	119	120	分段酸化
肇 60-平 54	1.2	0.6	2.0	220	220	连续油管
平均						

### 2.3 现场试验情况

水平井酸化现场试验 3 口井，试验后，初期平均单井日增液 5t，日增油 5t。截至 2004 年底，3 口井平均有效期已达到 196d，单井平均累计增油 784t，取得了较好的增油效果。

## 3 认识及下步攻关方向

(1) 水平井限流法压裂工艺成功地沟通了未钻遇油层、达到了增加产量的目的，从现场试验情况看，该工艺是取得了较好的试验效果。水平井酸化能够解除近井地带污染，增加原油产量。

(2) 目前水平井限流法压裂完井工艺存在施工规模受限、裂缝规模难以控制的缺点，还应进一步开展适合的压裂工艺研究。水平井酸化施工参数的优化设计及酸化工艺有待于进一步攻关完善。

(3) 水平井开发低渗透油田是一项系统工程，布井时，应该结合地应力方位确定井身走向；射孔时，应该结合井筒上、下储层发育情况及注水井位置合理优化，以便为后续压裂改造留有余地。

(4) 对于水平井段已钻遇油层的储量是已经拿到手的储量，对于未钻遇层的储量，可以通过压裂沟通这些层段。因此，应用水平井开发低渗透薄互层油田，压裂工艺可以控制更多的储量。

### 参 考 文 献

[1] 万仁溥. 中国不同类型油藏水平井开采技术. 北京: 石油工业出版社, 1997

# 水平井酸化增产工艺技术试验研究

朱秀峰

**摘要** 本文简要介绍了第八采油厂 2003 年以来采用连续油管酸化施工 3 口井的试验效果,在此基础上,详细介绍了水平井分段酸化增产工艺管柱、室内模拟试验情况及取得的认识。

**关键词** 水平井;分段酸化;试验

大庆外围油田东部葡萄花油层未动用储量大部分是低丰度储量,丰度小于  $15 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$  的储量有近  $7000 \times 10^4 \text{t}$ ,单井厚度薄(1~2m),平均单层砂岩厚度只有 0.8m,有效厚度 0.6m,采用常规开采技术经济效益较差。为探索特低丰度葡萄花油层储量有效动用新途径,2002 年以来,第八采油厂开展了低渗透、低丰度油层水平井开发试验,截止到 2005 年 8 月份,肇州油田共完钻中曲率半径  $5 \frac{1}{2} \text{in}$  套管水平井 19 口,投产 14 口井,按照开发方案要求,2005 年底,第八采油厂水平井数量将达到 37 口井。

水平井开采井段长,在钻、完井过程中所需的钻井液、完井液液量较大。相对于一般的直井来说,存在着作业周期长、工作液浸时间长、井下条件复杂等特点,这会对地层造成较大的地层伤害,导致近井地带油层堵塞,产能下降,影响水平井开发的效果。在水平井的开发过程中经常采用酸化处理措施,以改善开发动态状况。然而,水平井和直井的酸化处理过程存在显著的差别,对水平井来说,其酸化长度较大、酸用量较大、费用较高。水平井酸化的难点在于整个水平段均匀酸化。2003 年以来,采用连续油管酸化工艺现场试验了 3 口井,取得了初期平均单井初期日增液 7.3t,日增油 6.7t,平均单井累计增油 1253t 的较好效果。2005 年为近一步提高单井酸化增产效果,配套水平井分段酸化工艺,试验研究了分段酸化工艺技术。本文详细介绍了水平井分段酸化工艺管柱、室内模拟试验情况及取得的认识。

## 1 水平井酸化工艺试验研究

### 1.1 水平井连续油管酸化工艺

2003 年以来,针对部分已投产水平井产量下降较快的实际情况,通过技术调研和水平井污染原因分析,确定了水平井连续油管酸化工艺,优选了低碳混合有机酸酸液体系。

考虑水平井油层平均厚度及射孔穿深,处理体积按椭圆柱进行设计(表 1)。现场试验 3 口井,酸化效果见表 2,平均单井初期日增液 7.3t,日增油 6.7t。目前平均单井日增液 2.1t,日增油 1.6t。平均单井累计增油 1253t,平均有效期 372d,酸化试验见到了较好效果。

表 1 3 口水平井酸化施工参数设计及实施情况表

井号	油层平均厚度 (m)	处理半径 (m)		酸液用量 ( $\text{m}^3$ )		注入压力 (MPa)		注入时间 (h)	酸化工艺
		纵向	横向	设计	实际	初期	结束		
州 62—平 61	1.5	0.6	1.6	290	280	24.0	23.0	16	连续油管
肇 53—平 37	1.9	0.8	2.1	119	120	13.0	10.0	14	笼统酸化

续表

井号	油层平均厚度 (m)	处理半径 (m)		酸液用量 (m <sup>3</sup> )		注入压力 (MPa)		注入时间 (h)	酸化工艺
		纵向	横向	设计	实际	初期	结束		
肇60—平54	1.2	0.6	2.0	220	220	26.0	23.0	16	连续油管
平均	1.5	0.7	1.9	210	207			15	

表2 水平井酸化效果对比表

井号	施工日期	射开砂岩 (m)	药量 (m <sup>3</sup> )	酸化前			酸化初期			目前			累计增油 (t)	有效期 (d)
				产液 (t/d)	产油 (t/d)	含水 (%)	产液 (t/d)	产油 (t/d)	含水 (%)	产液 (t/d)	产油 (t/d)	含水 (%)		
州62—平61	2003-09	461	280	2.9	2.8	3.5	16.4	15.4	6.0	8.0	6.7	16.5	1984	608
差值							13.5	12.6	2.5	5.1	3.9	13		
肇53—平37	2004-07	103	120	1.3	1.3	3	4.8	4.3	10	2.5	2.3	8	1028	312
差值							3.5	3.0	7	1.2	1.0	5		
肇60—平54	2004-09	266	220	3.5	3.4	3	8.5	7.9	10	3.6	3.4	5	747	197
差值							5.0	4.5	7	0.1	0	2		
平均							7.3	6.7		2.1	1.6		1253	372

## 1.2 水平井分段酸化工艺

从前期酸化试验的3口井生产情况看，水平井酸化见到了较好效果。水平井酸化工艺难点是如何实现整个水平井段的均匀酸化。为此，开展了水平井分段酸化工艺研究，保证各井段的酸化规模，进一步提高酸化效果。

### 1.2.1 水平井分段酸化工艺管柱

#### (1) 管柱结构。

该工艺管柱(图1)主要由安全接头、扶正器、喷砂器、K344-98封隔器、低密度密封球等组成。

#### (2) 工艺原理。

管柱下入时，喷砂器1与喷砂器2均用销钉锁定，当管柱下到预定位置，投球憋压将滑套2前推，剪断销钉打开滑套后，利用喷砂器的节流作用坐封封隔器，密封油套环形空间，

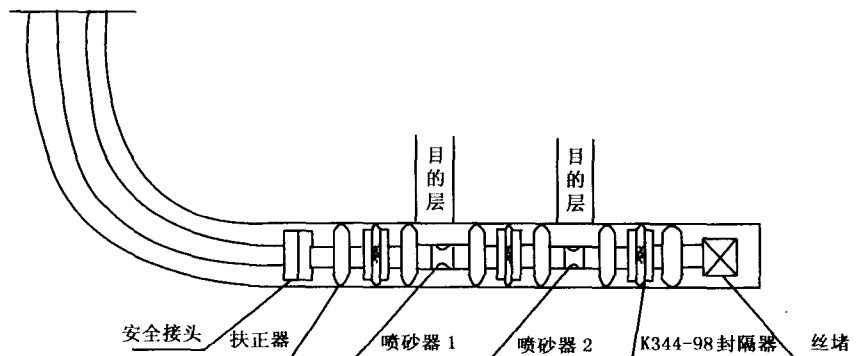


图1 小直径封隔器胶筒密封分段酸化管柱示意图



将目的层与非目的层隔开，对该目的层进行酸化；酸化后卸压，投球打开上部滑套后，即可依次对上部层段分段酸化。

(3) 室内模拟试验。

通过室内模拟试验检验由扶正器、K344-98 小直径封隔器、小直径喷砂器等组成的四级五段水平井分层酸化管柱应用于水平井分层酸化现场施工的可行性；在室内  $\phi 124.3\text{mm}$  套管内水平状态下通过分级投球检验喷砂器凡尔启开所需压力、低密度球及 K344-98 小直径封隔器的承压密封性能。

将工具串按图 2 连好后水平放入  $\phi 124.3\text{mm}$  套管实验装置内，通过投球器分别投入  $\phi 22\text{mm}$ ， $\phi 28\text{mm}$ ， $\phi 34\text{mm}$ ， $\phi 40\text{mm}$  低密度球后，打内压使球坐入小直径喷砂器内，观察并记录各级喷砂器凡尔启开所需压力、低密度球及上下封隔器的承压密封性能。

室内实验表明，低密度球可以顺利坐到喷砂器的滑套内；无内套喷砂器凡尔最大开启压力为 1.5MPa，经调节喷砂器的弹簧长度测得，当套喷砂器凡尔启动压力大于 0.8MPa 时，封隔器密封；由表 3 可知，滑套销钉剪断压力为 8MPa，从封隔器的密封情况看，各段密封良好，没有渗漏情况发生。因此，实现了投球打滑套分段的目的，经过 4 次投球可进行 5 段处理。

表 3 小直径胶筒密封分段酸化管柱室内模拟数据表

工 序	低密度球 (mm)	泵排量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	泵压 (MPa)	销钉剪断压力 (MPa)	封隔器密封情况
1	空套	0.5	8		密封
2	22	0.5	8	8	密封
3	28	0.5	8	8	密封
4	34	0.5	8	8	密封
5	40	0.5	10	10	密封

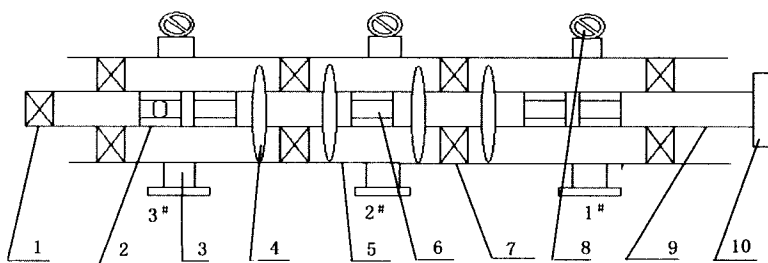


图 2 水平井分段酸化管柱室内模拟试验装置

1—丝堵；2—喷砂器（无套）；3—旁通；4—扶正器；5— $\phi 140\text{mm}$  套管；6—喷砂器（带套）；7—K344-98 封隔器；8—压力表；9—27/8TBG 油管；10—油管打压头

1.2.2 水平井分段酸化施工参数确定

(1) 处理半径的确定。

为充分解除油井近井地带伤害，提高措施有效率，需要保证足够的处理体积。考虑水平井油层平均厚度及射孔穿深，处理体积按椭圆柱进行设计 3 口井（见表 4）。