

中国石油天然气集团公司

井下作业承包商协会论文集 (2003)

CNPC Association of Downhole Services Contractors



中国石油工程技术承包商协会井下作业分会 编

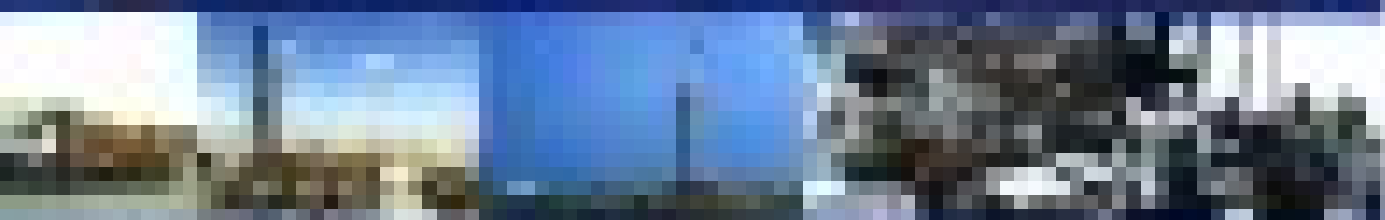
石油工业出版社
Petroleum Industry Press

中国环境科学出版社

井下作业井区环境安全规范

(2003)

SY/T 5052-2003 井下作业井区环境安全规范



本标准由石油天然气行业标准归口单位中国石油天然气集团公司提出

中国环境科学出版社

中国石油天然气集团公司

井下作业承包商协会论文集 (2003)

中国石油工程技术承包商协会井下作业分会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书包含了有关井下作业领域的侧钻、压裂、酸化、堵水、调剖、防砂、测试及企业管理、软件开发等相关专业论文 49 篇，具有一定的学术和实用价值。

本书可供井下作业方面的各级领导、工程技术人员、管理人员及大专院校师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国石油天然气集团公司井下作业承包商协会论文集：2003/
中国石油工程技术承包商协会井下作业分会编．北京：石油工
业出版社，2004.4

ISBN 7-5021-4608-3

I. 中…

II. 中…

III. 井下作业 (油气田) - 文集

IV. TE358-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 023642 号

中国石油天然气集团公司井下作业承包商协会论文集 (2003)

中国石油工程技术承包商协会井下作业分会编

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

总 机：(010) 64262233 发行部：(010) 64210392

经 销：全国新华书店

印 刷：河北省欣航测绘院印刷厂印刷

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本：1/16 印张：27

字数：680 千字 印数：1—3000 册

定价：98.00 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

《中国石油天然气集团公司井下作业承包商协会论文集(2003)》

编 委 会

主 任：王 革 安郁培

副主任：张凤山 秦文贵 何承仁

编 委：陈 岩 朱敬成 马永峰 齐振林 赵业荣

周荣阁 胥永杰 高云建 焦向民 郑 毅 王悦军

主 编：王计平

副主编：王 林 关玉双

编 辑：叶冬梅 罗怀达 王鹏飞 王凤和

审 定：刘兴和 石 林

前 言

井下作业行业是与油田生产息息相关的技术服务性行业。经过多年的探索和研究，在井下作业领域形成了成熟配套的特色修井技术及相关工具装备系列，企业管理水平逐步与国际接轨。井下作业承包商协会各会员单位愿以完善的装备、精湛的技术、优良的信誉、高质量的服务满足石油单位各行业的需要，加强中国石油井下作业行业间的交流与合作，促进其技术与质量的提高，增强本行业在国内外市场上的整体竞争能力，实现资源共享，优势互补，保证石油井下作业行业持续健康稳定发展。

本论文集收录了来自中国石油天然气集团公司 9 个管理（勘探）局 30 个处级井下作业单位及石油大学等技术人员、专家学者提供的 49 篇论文，包括大修、侧钻、压裂、酸化、堵水、调剖、防砂、测试及企业管理、软件开发等方面的内容。这些论文代表了我国石油井下作业技术发展的最新研究成果，具有较高的学术水平和实用价值。

本论文集的编辑出版得到了中国石油天然气集团公司石油工程技术承包商协会、井下作业分会理事会等领导的高度重视，各相关单位也给予了大力支持，井下作业分会秘书处做了大量细致的基础工作，在此谨向他们表示衷心的感谢！

因收录和编辑工作较为仓促，有不妥之处，还望读者指正。

目 录

双层筛管防砂技术·····	(1)
大庆油田薄隔层压裂技术的新发展·····	(5)
储层完全充填压裂工艺技术·····	(16)
玉门油田深井试油工艺技术·····	(22)
连续油管技术在四川油气田的应用和发展·····	(31)
液氮伴注压裂酸化工艺技术的应用及效果分析·····	(45)
依靠科技进步 提高市场竞争力 促进井下作业工艺技术的提高·····	(50)
特色修井新工艺新技术·····	(68)
高压油水井带压作业工艺·····	(84)
侧斜修井工艺技术·····	(92)
地应力分析解释技术在压裂中的应用·····	(105)
连续混气冲砂工艺技术研究与应用·····	(112)
套管内套铣打捞一次性作业的可行性报告·····	(116)
安塞低渗砂岩油藏增产技术探析·····	(119)
套管加固及加固管取出工艺技术·····	(146)
新型轮式通井机的开发与应用·····	(152)
吐哈油田采油新工艺、新工具及配套技术的研究及应用·····	(157)
硝酸粉末酸化工艺技术·····	(175)
油层部位取换套技术·····	(183)
注水井防喷作业技术·····	(189)
机械式套管除垢器的研究与应用·····	(195)
完善井下作业公司经营机制模式的探索·····	(199)
井下作业生产技术管理系统软件·····	(203)
分层改造合(分)层开采完井工具及其现场应用·····	(219)
浅谈青海油田转换机制、降低作业成本的做法·····	(224)
一种新型复合缝腔石油割缝防砂筛管·····	(227)
改进管式泵吸入结构 杜绝返工、减少损失·····	(232)
套管内多鱼头弯曲变形抽油杆打捞工具的研制与应用·····	(237)
塞平1井分段试油压裂工艺技术研究·····	(241)
机械除垢工具的改进及除垢工艺优化研究与应用·····	(253)
二次加砂压裂工艺技术研究·····	(264)
APR 全通径地层测试技术的应用·····	(273)
C2282 侧钻水平井技术·····	(284)
四 ₂ 区注采井过引鞋加深钻井技术·····	(292)
浅析大位移井、水平井大修的冲砂、打捞技术·····	(298)
压裂施工作业中的油气层保护技术·····	(308)

鹰眼视像技术的应用及展望	(313)
超声波增产增注工艺技术在准东油田的应用	(321)
SD—A 冲砂净化装置的技术应用	(329)
抓好 QHSE 体系的整合 促进修井质量管理升级	(334)
辽河油田人工井壁防砂技术研究及应用	(340)
热化学压裂液研究	(348)
套损井侧斜修井工艺技术	(362)
依靠科技进步努力促进井下大修侧钻技术的提高	(367)
漏失井机械冲砂工艺技术的应用	(374)
套管开窗侧钻技术研究与应用	(378)
辽河井下大修侧钻新工艺新技术	(398)
完善油井侧钻技术 为油田增产做贡献	(409)
套管内开窗侧钻工艺技术应用	(417)

双层筛管防砂技术

王树龙 李义富 王志华
(大港油田集团井下作业公司)

摘 要 机械防砂是目前使用最广泛的防砂方法,筛管又是机械防砂中实现挡砂、滤砂的关键工具。本文介绍一种双层筛管预充填预固化防砂技术,此工艺技术在境外施工中收到了明显的效果。本文给出了有关工艺技术参数、筛管、固化挡砂层的选择,供防砂工作者在实践中参考。

主题词 筛管 预充填

一、前 言

机械防砂和化学防砂工艺广泛应用于防砂作业中,而目前大家公认防砂效果最好的是筛管循环充填+压填工艺。筛管作为机械防砂中实现挡砂、滤砂的关键工具,目前还存在一定的问题,我们在原有筛管的基础上进行了改造。

本文介绍一种先进的防砂工具——预充填预固化双层防砂筛管和能与之配伍的防砂工艺。该工艺在陆上、海上已成功实施多口井,在苏丹施工中也收到了明显的效果。本文给出了该工艺有关的工艺技术参数、筛管、固化挡砂层的选择,供防砂工作者实际中参考。

二、双层预充填、预固化防砂筛管

1. 种类

我们研制的双层预充填、预固化防砂筛管分为三种,即:

- (1) 内外层均为绕丝筛管,中间预充填挡砂材料,并在地面预固化处理。
- (2) 内外层均为割缝筛管,中间预充填挡砂材料,并在地面预固化处理。
- (3) 内层为绕丝筛管,外层为割缝筛管,中间预充填挡砂材料,并在地面预固化处理。

2. 特点

三种筛管各具优缺点:第一种筛管由于内外均为绕丝筛管,渗透率相对较高,但存在筛管易脱落、不易打捞,易造成工程事故的隐患;第二种筛管由于内外均为割缝筛管,相对于第一种筛管而言渗透率相对较低,但整体强度较高,结构尺寸小,不易脱落;第三种筛管介于两者之间,由于挡砂材料采用地面预充填、预固化处理,外部割缝筛管的缝隙宽度可以适当加大,很大程度上克服了割缝筛管渗透率相对较低的问题,同时具有强度高、不易脱落的优点,使用场合较广。

下面重点介绍外割缝、内绕丝预充填、预固化筛管。

3. 外割缝、内绕丝预充填、预固化筛管的结构

外割缝、内绕丝预充填、预固化筛管的结构如图 1 所示。

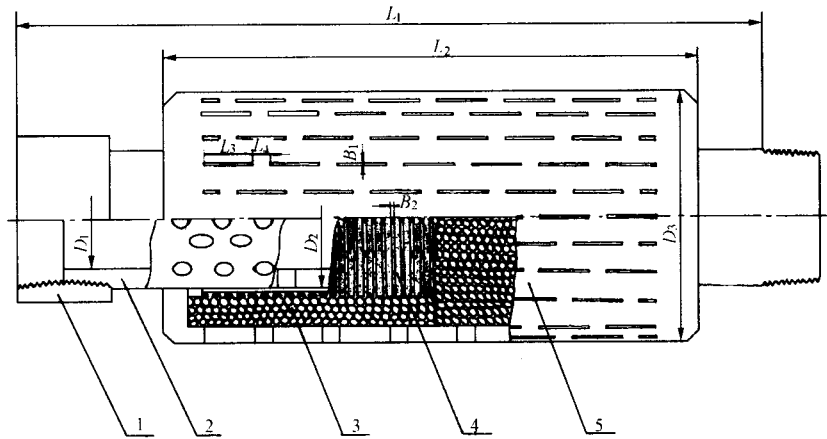


图 1 外割缝、内绕丝预充填、预固化筛管结构

1—连接接箍；2—带孔中心管；3—填砂固结层；4—绕丝筛管；5—割缝筛管

它由以下零部件组成：

- (1) 连接接箍：实现防砂管柱的连接。
- (2) 带孔中心管：实现防砂管柱的连接，允许液体通过。
- (3) 填砂固结层：实现以充填材料挡砂，所用材料为预包砂或陶粒砂。
- (4) 绕丝筛管：固结填砂层，允许经过滤的液体通过，为全焊式不锈钢筛管。
- (5) 割缝筛管：固结填砂层，允许油水井的液体进入，由油管或套管加工而成。

4. 筛管结构参数

外割缝、内绕丝预充填、预固化筛管结构设计，既要考虑筛管综合过滤面积尽可能大， L_2/L_1 的值尽可能大，又要确保填砂、固化稳定可靠，并兼顾冲砂、打捞的工艺性。我公司经过长期探索，在为满足特殊井防砂施工而对组合筛管进行结构设计的基础上，对于一般施工井已经形成了相对系列化的组合筛管结构参数，见表 1。

表 1 组合筛管结构参数

结 构 参 数	适用套管 (in)		
	5½	7	9⅝
带孔中心管内径 D_1 (mm)	62	76	112
绕丝筛管内径 D_2 (mm)	74	90	128
割缝筛管外径 D_3 (mm)	108	140	178
组合筛管长度 L_1 (mm)	3000	3000	3500
组合筛管割缝段长度 L_2 (mm)	2500	2500	3000
割缝筛管割缝长度 L_3 (mm)	100	120	120
割缝筛管割缝间距 L_4 (mm)	20	20	20

续表

结 构 参 数	适用套管 (in)		
	5½	7	9⅝
割缝筛管布缝方式	交错	交错	交错
割缝筛管每周布缝数量	26	30	36
中心管打孔直径 (mm)	10	10	12
中心管打孔数量	120	140	160
组合筛管上部连接螺纹	2⅞TBG	3⅞TBG	5CSC
组合筛管下部连接螺纹	2⅞TBG	3⅞TBG	5CSC

5. 组合筛管技术参数

结合施工实际、实验研究、历次防砂施工质量分析,根据地层砂粒度中值的不同、填砂固化层选择材料不同,我公司的组合筛管技术参数见表2。

表2 组合筛管技术参数

适用地层砂 粒度中值 (mm)	绕丝筛管 缝隙 (mm)	填砂固化层 填料粒径 (mm)	割缝筛管 割缝宽度 (mm)	预包砂作为 填料的强度 (MPa)	陶粒砂作为 填料的强度 (MPa)
0.1	0.3±0.05	0.5	0.4±0.05	5	15
0.2	0.6±0.05	1.0	0.8±0.05	5	15
0.3	1.0±0.05	1.5	1.2±0.05	5	15
0.4	1.5±0.05	2.0	1.8±0.05	5	15
0.5	2.0±0.05	2.5	2.0±0.05	5	15

6. 双层预充填预固化筛管适合的防砂工艺

双层预充填预固化筛管是对传统防砂筛管的改进,筛管本身由于地面预充填预固化,确保了挡砂固砂层的质量。组合筛管能够适合传统防砂筛管适用的防砂工艺,即可以作为滤砂管使用,可以配合托砂皮碗使用,可以配合循环充填、压填工具使用,实现多种防砂工艺。尤其是能配合我们研制的转换充填一次完成筛管防砂封隔器,一次管柱可完成封隔器坐封、锚定、挤压充填、循环充填、反洗井、丢手六项功能,既能满足防砂强度,保证质量,又降低了劳动强度,还具有安全、可靠的特点。同时,油溶性材料的使用,降低了打捞解卡的难度。

7. 双层预充填预固化防砂工艺技术的特点

该防砂工艺技术已应用于陆上、海洋油水井施工,近期又成功地应用于境外油田。相对于传统的机械防砂工艺技术,该工艺技术具有以下特点:

(1) 砂材料采用地面预充填预固化工艺可以确保填砂与固化的质量。防砂效果不理想多数是由于地下填砂固化质量不好造成的,不仅影响防砂周期、防砂质量,严重的还会造成施工失败。采用地面预充填预固化工艺可以有效地解决这个问题。

(2) 内绕丝、外割缝地面预充填预固化筛管巧妙地综合了绕丝筛管和割缝筛管的优点。由于采用了地面预充填预固化工艺,割缝筛管的割缝宽度可以加大4~5倍,渗流面

积增大4~5倍。弥补了割缝筛管的本身缺陷，在保证强度的基础上提高了防砂质量，确保施工工艺安全。

(3) 双层预充填预固化筛管在斜井、小井眼防砂施工中有独特的优势。斜井、小井眼防砂施工由于井下工具下入困难，不便于进行复杂的防砂施工，由于这种筛管将充填和固化工作在地面完成，使施工工艺简单化。对于小井眼防砂，内外割缝筛管+预充填预固化技术可以减小筛管的结构尺寸而几乎不影响强度，故这种筛管对于小井眼防砂更具优越性。

大庆油田薄隔层压裂技术的新发展

兰乘宇 赵恩远

(大庆油田有限责任公司井下作业分公司)

摘 要 本文立足大庆油田高含水后期开采薄差层,二、三次加密调整井挖潜的地质条件,评价了用于开采表外薄差层新井压裂完井的薄油层平衡限流压裂、常规射孔条件下老井的定位平衡压裂技术,在此基础上,重点介绍了新发展的适用于二、三次加密调整井改造的保护薄隔层压裂技术的技术原理、使用方法和应用效果,并对做好三次加密调整井压裂改造的有关问题进行了探讨。

主题词 薄隔层 平衡 压裂

一、前 言

油田进入高含水后期开采阶段,打加密调整井开采的表内薄差油层和表外储层,以及挖潜厚油层的低含水部位是油田产量接替的重要措施之一。二、三次加密调整井开采对象主要是表内的薄差油层和表外储层,开采目的层纵向上分散、厚度小、与高含水层相间分布且隔层薄;平面上砂体发育不均衡、非均质严重,与水淹层、带的接触关系较为复杂;油层孔隙度低、渗透率低、含油饱和度低,岩性、物性差,不经压裂改造难以达到设计的产能指标。为提高薄差层及表外储层的动用效果,压裂技术除要求一次完成多层处理外,还需要根据油层性质采取个性化改造措施,尤其是动用与高含水层相邻且隔层薄的目的层时,只有确保这些厚度小于2.0m的薄隔层在压裂过程中完好,才能以实现高含水层相邻目的层的有效动用,以增加加密井的可调厚度,保证开发效果。20世纪90年代以来,在普通限流法压裂完井技术的基础上,针对不同的改造对象,相继研究推广了用于新钻调整井开采薄差油层的薄夹层平衡限流法压裂完井技术和已射孔条件下老井的定位平衡压裂技术,这两项技术的应用为开采薄差油层发挥了重要作用。近年,针对三次加密调整范围的不断拓宽和压裂挖潜的实际,在前述两项工艺的基础上,重点发展了保护薄隔层压裂技术,较好地适应了二、三次加密井不同井况条件下及厚油层低含水部位改造挖潜的需要。

二、平衡限流法压裂完井技术

普通限流法压裂技术较好地解决了多个薄互油层改造问题,但是,对于部分与高含水层相邻且隔层较薄的这部分油层无法得到改造。为动用这部分距高含水层较近、又具有开采价值的薄油层,研究了薄夹层平衡限流法压裂完井技术。

1. 工艺原理

大庆油田水力压裂裂缝的特点主要为水平延伸，根据限流法压裂过程中，同一卡段内各目的层都处于同一压力系统中，当各目的层都被压开后，目的层间隔层上下压力平衡，不承受高压差的原理，将压裂目的层及与其相邻的高含水层都射开，并置于同一卡段内进行压裂，使它们之间的薄隔层上下压力平衡，达到保护薄隔层的目的。为了压裂后油井能正常投产，在适当时候还必须对高含水层（平衡层）进行封堵。封堵技术有其特殊性，要求一次堵多层，挤堵剂压力要低，封堵后承受压差要高。其技术关键是隔层在压裂过程中的平衡保护和压裂后高含水的封堵技术，前者靠压裂设计时平衡层与目的层的布孔方法来保证，后者在于研究成功一套高效安全的堵水管柱和选择有效的堵剂。

2. 达到的技术指标

(1) 固井质量合格的条件下，0.4m 以上的薄隔层在压裂过程中均可得到有效保护。

(2) 一次施工可完成 3~4 个薄隔层的平衡限流压裂。应用于 58 口井，施工一次成功率 100%，平衡层封堵成功率 95%，一口井最多完成了九个薄夹层的平衡压裂。

3. 适用的井层条件

平衡限流法压裂完井技术适用于水淹层与压裂目的层隔层厚度在 0.4m 以上的薄差油层的压裂改造，也适用于层内具有岩性或物性夹层的非均质水淹厚油层中低含水部位的改造挖潜。

4. 应用效果

现场应用 58 口井，施工一次成功率 100%，平衡层封堵成功率 95% 以上，统计 40 口井，平衡层 82 个，薄隔层 140 个，解放目的层 148 个，砂岩厚度 204.2m。压后平均单井日产油 16.1t，取得较好的完井效果。

5. 技术评价

该技术只适用于未射孔的新井压裂完井，不适用于已射孔老井的改造。同时，该技术对平衡层的射孔要求也比较严格，且在适当的时机对平衡层要进行封堵。因此，施工成本较高。

三、定位平衡压裂技术

对已按常规方法进行高密度射孔的老井无法进行薄夹层平衡限流法压裂，通常情况下，对这类井一般采用常规分段压裂技术。压裂时，卡距内的几个目的层中往往只能压开渗透率较高的主力油层，其他破裂压力较高的薄差油层不能得到压裂处理；虽然利用可溶性暂堵剂转向的方法也可以在常规射孔井中完成一层多缝，一井多层的压裂施工，但不能保护层段间的薄隔层。因此，为了实现在常规射孔条件下对薄差层和高含水层内部的低含水部位进行定点压裂，研究应用了定位平衡压裂技术。通过现场应用结果表明：该工艺既可实现常规射孔井的一次定点压裂多层，又可有效地保护高含水层与压裂目的层间的薄隔层。

1. 工艺原理

定位平衡压裂工艺技术，就是在常规射孔井中实施限流法压裂和薄夹层平衡限流法压裂。其工艺原理是利用定位平衡压裂封隔器上的长胶筒和喷砂体来控制压裂目的层的吸液

炮眼数量和位置,达到裂缝定位和控制目的层吸液量的目的。在需要保护薄隔层的高含水部位装有平衡装置,该装置只进液不进砂,使高含水层与压裂目的层处于同一压力系统中,隔层上、下压力平衡而得到保护。通过大排量施工,依靠压裂液通过吸液炮眼时产生的摩阻,大幅度提高井底压力,从而相继压开相近的各个目的层,达到一次施工压开3~5个目的层的目的。

2. 技术特点

定位平衡压裂技术主要特点是工艺与地质相结合,具有较强的针对性。工艺特点如下:

(1) 定位平衡压裂封隔器的胶筒和喷砂体的结合是根据目的层地质特征及厚度确定的,工艺与地质结合紧密是该工艺的主要特点。

(2) 封隔器上长胶筒与喷砂体合为一体,喷砂体长度很小,其直径与胶筒外径相同,避免了油套环形空间沉砂造成砂卡的问题。

(3) 在封隔器内装有平衡装置,它只进液不进砂,除起到导压平衡保护薄夹层的作用外,还相当于一个井下砂浆浓缩器,可以提高进入裂缝的砂比浓度,有利于改善压裂效果。而高含水层只吸液不进砂,产生的裂缝不支撑,以防止压裂后暴性水淹。

(4) 定位平衡压裂封隔器可用密封段串接起来,多级封隔器可以同时工作。一次可以压裂的目的层数除与排量、孔密及孔径有关外,还与定位平衡压裂封隔器的结构参数有关。

(5) 定位平衡压裂封隔器以上可以连接常规滑套式压裂管柱,实现定位平衡压裂与常规压裂相结合,使一趟管柱完成更多层的压裂。

3. 适用的井层条件

定位平衡压裂技术适用于与高含水层相邻且隔层薄的目的层及厚油层内低含水部位的改造挖潜。固井质量合格的前提下,薄隔层厚度可降到0.8m。

4. 应用效果

该技术共应用40口井,工艺成功率95%以上,据20口井资料统计,单井平均日增油9.8t,含水率平均下降8.3%。

5. 技术评价

定位平衡压裂封隔器使用的双层管和长胶筒封隔器等部件组装不方便,采用长胶筒连接的封隔器出现工程问题处理难度大。此外,该工艺对施工管柱的组配要求严格,压裂卡距要控制在18m以内,长胶筒封隔器组装长度要求在11m以内,使用效果受到限制。

四、保护薄隔层压裂技术

近几年,油田部署的三次加密井在调整井网的同时对开发层系进行了细分,开采的主要对象以表外储层为主,兼有表内薄差层,含油产状以油浸、油斑为主,岩性多为泥质粉砂岩、粉砂质泥岩。含钙质泥岩这部分油层具有单层厚度小、砂岩粒度细、渗透率低的特点,单层厚度多数在0.4~1.0m之间,从纵向上看,油层分布零散,分布区间达300~400m,目的层与高含水层相间分布、且隔层薄;从平面上看,被水淹带包围,油水关系复杂。单井可调的砂岩厚度只有5~13m。因此,压裂改造时,一是尽可能地提高储层动

用程序，二是要确保薄隔层不被压窜，三是要优化压裂参数，确保合理的施工规模，控制含水上升速度，保证调整井的开发效果。为此，在应用上述两项技术的同时，重点发展了保护薄隔层压裂技术，见到了较好的应用效果。

1. 工艺原理

根据压力平衡原理，采用平衡压裂管柱将薄隔层相邻的压裂层和平衡层分别卡在不同的卡段内，施工时向管柱内注入预前置液，封隔器坐封将压裂层与平衡层分隔开，使二者处于同一压力系统内，在平衡层和压裂层建立近似相同的压力。预前置液注入后投球打套，由平衡器控制平衡层进液不进砂，然后，对目的层进行压裂改造（见图1）。施工中由于平衡层与压裂层处于同一压力系统，薄隔层上下的压力趋于平衡，从而保证了薄隔层在压裂过程中不被压窜。

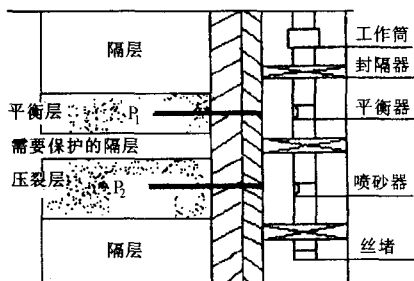


图1 保护薄隔层压裂技术

2. 压裂管柱

针对隔层与油层相对位置的不同，为了满足不同施工井对管柱功能的需要，将该管柱设计为五种类型，分别用于不动管柱坐压两层保护上隔层、保护下隔层、保护中间隔层；不动管柱坐压两层同时保护上下隔层；不动管柱坐压三层保护两个中间隔层。

1) 不动管柱坐压两层保护上隔层

管柱结构：工作筒 + K344—114 封隔器 + 平衡器 + 封隔器 + 喷砂器 + 封隔器 + 喷砂器 + 封隔器 + 丝堵，见图2。

工作原理：注入前置液，封隔器在液压作用下坐封。压裂下层后投球1将上层喷砂器的滑套打下落入下层喷砂器，关闭下喷砂器出口。投球2打开平衡器出液口，继续注入前置液，液体同时进入目的层和平衡层，在薄隔层上下建立起一定的平衡压力，然后投球3打下平衡器滑套，使平衡层进液不进砂，压裂上层。

2) 压裂两层保护中间隔层

管柱结构：工作筒 + K344—114 封隔器 + 平衡器 + 平衡喷砂器 + 封隔器 + 喷砂器 + 封隔器 + 丝堵，见图3。

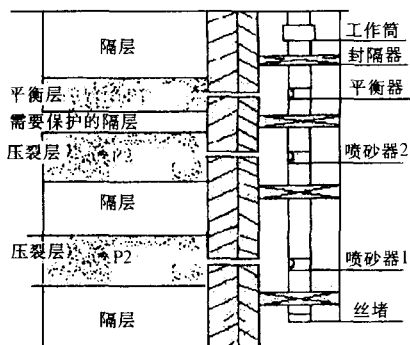


图2 压两层保护上隔层

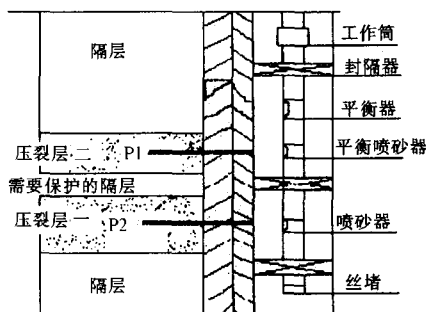


图3 压两层保护中间隔层

工作原理：注入前置液，封隔器在液压作用下坐封。此时平衡喷砂器不工作、平衡器工作，薄隔层上下的两个压裂层分隔开，液体通过平衡器和喷砂器同时进入两个压裂层，在薄隔层上下建立起一定的平衡压力，然后投球打下平衡器带有割缝的滑套，使上层进液不进砂，开始压裂下层。然后，投球打下平衡喷砂器的滑套，压裂上层时，液体通过平衡喷砂器内外中心管的桥式通道流经喷砂器进入下层，使薄隔层上下压力趋于平衡，完成上层施工。

3) 不动管柱坐压两层保护下隔层

管柱结构：工作筒 + K344—114 封隔器 + 喷砂器 + 封隔器 + 平衡喷砂器 + 封隔器 + 喷砂器 + 封隔器 + 丝堵，见图 4。

工作原理：注入前置液，封隔器在液压下坐封。此时薄隔层上下的压裂层和平衡层被分隔开，液体同时进入平衡层和压裂层，在薄隔层上下建立起一定的平衡压力，然后投球打套关闭平衡喷砂器的内部通道，部分液体通过平衡喷砂器中心管的桥式通道进入平衡层维持平衡压力，且平衡层只进液不进砂，进行下压裂层施工，然后投球将上层喷砂器的滑套打下落入平衡喷砂器，关闭平衡喷砂器出口，进行上压裂层施工。

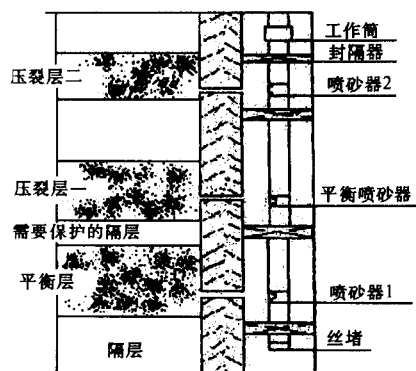


图 4 压两层保护下隔层

3. 配套工具

针对不同的井层条件对压裂工艺的要求，研制了平衡器和平衡喷砂器，与 K344—114 封隔器和滑套式喷砂器组配成上述五种不同功能的压裂管柱。

1) 平衡器

结构：由上接头、调节环、销钉、滑套 A、弹簧、滑块、密封圈、阀球、滑套 B、阀座、中心管、下接头组成，见图 5。

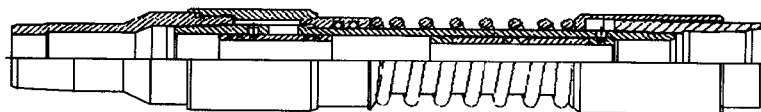


图 5 平衡器结构简图

技术参数：工具长度 750mm、最大外径 114mm、最小内径 39mm、最大工作压力 55MPa、最大抗拉载荷 574.6kN、阀的开启压力 1~1.3MPa。

工作原理：平衡器的作用是保护与压裂层相邻且位于压裂层上部的薄隔层。它工作时位于压裂层喷砂器的上部，所有打套的钢球都应通过平衡器，落于需要工作的喷砂器下部，以打开压裂管柱通道，保证压裂施工正常进行。该工具工作时，首先与喷砂器配套，同时向薄隔层的上下注入一定量液体，在薄隔层上下建立起平衡压力，然后投球打下带有割缝的滑套，确保压裂层被压开且加砂过程中平衡层进液不进砂。

技术关键：

滑套 B 设计。滑套 B 是为一趟管柱压裂多层，平衡器不工作时，由滑套 B 将平衡器