

提高 YLC-500 型压裂车阀门胶皮使用寿命的研究

车佳英

(辽宁省铁岭橡胶工业研究设计院 112002)

摘要 纯胶阀门胶皮的胶料配方为生胶体系选择丁腈橡胶-40/氯化聚醚;硫化体系采用过氧化物 DCP/硫黄/促进剂;补强体系选用高耐磨炭黑/混气炭黑。夹布阀门胶皮胶料配方为生胶体系采用 S 型聚氨酯橡胶;硫化体系为硫黄/多次甲基多苯基多异氰酸酯(PAPI)/促进剂/TDI 二聚体;补强体系为高耐磨炭黑;骨架材料用针织尼龙布。结构设计做了如下改进:将工作面圆弧半径由 R15 增加到 R17;唇口内径由 $\Phi 92\text{mm}$ 减小到 $\Phi 90.6\text{mm}$;内唇口由锐角改为 R0.5 的圆弧。产品的物理性能和使用寿命均超过了原产品水平。

关键词 阀门胶皮, 配方设计, 结构设计, 使用寿命

1 前言

阀门胶皮是油田压裂车上压裂泵用的密封件,它与阀盘、阀盖、阀座和导向爪、螺丝、螺母等配件组成阀总成,工作时起密封和缓冲作用。

阀门胶皮是在沙比达 20% 的压裂液中工作的(压力为 3.5~4.5MPa),使用条件恶劣,极易被损坏。油田原用产品一般只能使用 1~2 井次,即使采用聚氨酯橡胶夹布产品,最高也仅能使用 5~6 井次。由于阀门胶皮的使用寿命短,从而增加了压裂泵的检修次数,拆修频繁,劳动强度大,压裂施工效率低,影响钻井速度和增加成本,因此,开展提高 YLC-500 型压裂车阀门胶皮使用寿命的试验研究工作具有实际意义。

进行多次胶料配方选择试验和结构改进研究,在大量的配方中,优选出 3 种配方试制产品,并进行了实际使用试验。

2 阀门胶皮的工作原理及技术要求

2.1 工作原理

阀门胶皮的工作原理如图 1 所示,即当柱塞向左运动时,排液阀门关闭,室内处于负压,进液阀门打开,压裂液进入室内。当柱塞向右运动时,室内产生一定压力,进液阀门

关闭,而排液阀门打开,沙液进入管汇束。柱塞往复运动,使其循环进行工作。

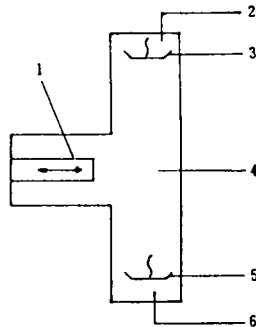


图 1 工作原理示意

1—柱塞;2—沙液出口;3—排液阀门胶皮;
4—阀门;5—进液阀门胶皮;6—沙液进口

2.2 技术要求

(1)使用条件。工作介质为活性水、龙胶液、田菁粉;含沙量为 20%,沙的粒径为 0.8~12mm; 工作温度:30~40℃; 工作压力:3.5~4.5MPa。

(2)使用寿命 5~10 井次。

3 胶料配方设计

3.1 生胶的选择

为提高阀门胶皮的使用寿命,所用胶料必须具有高强度、高弹性、高硬度、抗撕裂、耐磨损、耐油、耐水等性能,而抗撕裂和耐磨损性能是提高使用寿命的关键。

丁腈橡胶-40 具有良好的耐油性能,和工程塑料氯化聚醚并用,可得到强力高、抗撕裂、耐磨损的胶料,这种胶料吸水性低,尺寸稳定性高,混炼工艺性能良好,胶料不会因混炼温度过高而引起剧烈降解。此外,丁腈橡胶-40 与三元尼龙并用,亦能进一步提高物理性能,尤其是强力和耐磨性能有大幅度提高。通过变量对比试验表明,两种并用体系都采用 100/40(丁腈橡胶-40 为 100)的并用比例,产品的综合性能较好。

S 型聚氨酯橡胶,具有优异的耐磨性,磨耗减量(1.61km)为 0.01~0.07cm³,而且强度高,最高可达 30MPa。此橡胶抗撕裂,又耐油,虽然在较高温度(70℃以上)、潮湿条件下易水解,但阀门胶皮在常温水中使用,工作时间短,故对其影响不大,S 型聚氨酯橡胶是做阀门胶皮的佳材料。

3.2 硫化体系的选择

丁腈橡胶的性能除本身化学结构外,在很大程度上取决于硫化过程中分子链间的交联性质。对比试验结果表明,丁腈橡胶-40 与氯化聚醚并用的胶料,采用硫黄/过氧化物/促进剂硫化体系,可获得强力和高温强力高、耐磨、耐老化、耐水、抗撕裂等优异性能。丁腈橡胶-40 与三元尼龙并用胶料,采用过氧化物 DCP 硫化体系,其物理性能最佳。由于 S 型聚氨酯橡胶在分子结构中侧链上含有双键,引进了柔性很好的醚键($-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$)后,可用硫黄、异氰酸酯、过氧化物等进行硫化。因硫黄硫化的硫化胶强力高,TDI 二聚体能提高硫化胶硬度,故采用硫黄/多次甲基多苯基多异氰酸酯(PAPI)/促进剂/TDI 二聚体并用体系,再加活性剂 NH-1。从对比试验看,胶料硬度随 TDI 二聚体用量的增加而上升,弹性、抗撕裂性也随之提高,扯断永久变形减小。

3.3 补强体系的选择

丁腈橡胶与氯化聚醚或三元尼龙并用,因后两者都起补强作用,故补强体系采用高

耐磨与混气炭黑并用。聚氨酯橡胶是一种极性较强的自补强橡胶,胶料不加炭黑也有较

表 1 阀门胶皮配方和物理性能 份

	凡-3	213 [#]	U-6
NBR-40	100	100	—
氯化聚醚	40	—	—
三元尼龙	—	40	—
S 型聚氨酯	—	—	100
硫黄	0.2	—	2
促进剂 DM	1	—	4
促进剂 M	—	—	2
促进剂 D	0.4	—	—
交联剂 DCP	2	3	—
TDI 二聚体	—	—	10
多次甲基多苯基	—	—	—
多异氰酸酯 PAPI	—	—	2
活性剂 NH-1	—	—	1
硬脂酸镉	1	1	1
硬脂酸	2	0.5	—
氧化锌	8	—	—
防老剂 D	1	—	1
防老剂 MB	1	—	—
石蜡	—	0.5	—
蓖麻油	—	3	—
高耐磨炭黑	20	15	30
混气炭黑	20	15	—
癸二酸二丁酯	10	7	—
含胶率, %	48	52	65
物理机械性能			
邵尔 A 型硬度, 度	87	85	88
拉伸强度, MPa	27.3	29.9	26.4
扯断伸长率, %	246	280	557
扯断永久变形, %	17	11	32
撕裂强度, kN/m	7.7	8.0	7.8
回弹值, %	13.4	25	25
磨耗减量			
(1.61km), cm ³	0.06	0.07	0.08
压缩永久变形(100℃ ×24h, 压缩 20%), %	43.7	62.3	90.8

高的强力,但为了提高胶料的硬度和抗撕裂性能,降低成本,改善加工工艺性能,采用了高耐磨炭黑。

3.4 配方及性能

经过反复试验,确定了 3 个配方,并进行了成品物理性能测试,如表 1 所示。

4 结构改进

4.1 结构

阀门胶片的结构如图2所示。其装配图见图3。

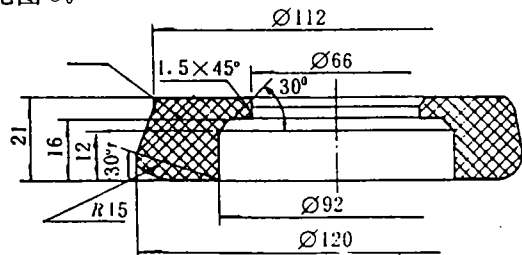


图2 结构图

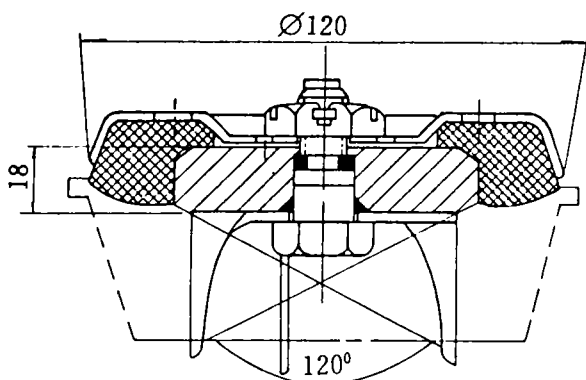


图3 装配图

4.2 结构对寿命的影响

产品损坏一般在内唇口部位,其原因是内唇口和阀盘之间有缝隙,在高压压裂液的频繁冲击下,沙子很容易从缝隙挤入。随着使用时间的增加,挤入缝隙的沙子越来越多,缝隙也越来越大,致使内唇口变形,应力集中,使产品失去密封性能。因此,阀门胶皮的寿命问题,不单纯是材质问题,结构设计是否合理也十分重要。

4.3 产品结构的改进措施

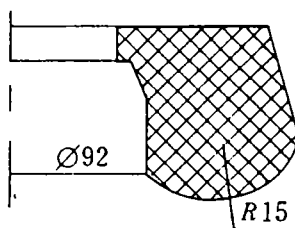
(1)将工作面的圆弧半径由 $R15$ 增加到 $R17$,唇口内径由 $\Phi 92\text{mm}$ 减小到 $\Phi 90.6\text{mm}$,使唇口和阀盘之间的缝隙减小。

(2)将内唇口由锐角改为 $R0.5$ 的圆弧,避免应力集中,如图4所示。

4.4 工作面内部加入骨架材料

为了提高内唇口部位的强度、抗撕裂及

耐磨性能,在改进后的工作面内部加入两层骨架材料,如图5所示。可加入的骨架材料品种:针织尼龙布、大网眼尼龙布、棉帆布及钢丝等。



a

图4 内唇口改进前后的对比

a—改进前;b—改进后

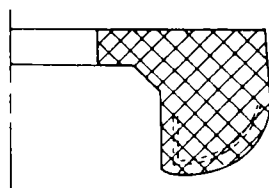


图5 工作面加入骨架材料示意图

5 试制工艺

5.1 胶料混炼要点

(1)凡-3胶料的高温混炼。将加有硬脂酸镉的丁腈橡胶-40 塑炼胶与已塑化的氯化聚醚在高温炼胶机上混炼成母炼胶。辊温 $175\sim 180^\circ\text{C}$,混炼时间 $5\sim 6\text{min}$ 。混炼操作要迅速,不允许有未溶化的氯化聚醚小颗粒存在,同时要严格控制辊温和时间,否则胶料易老化降解。混炼均匀的胶料呈棕黄色。混炼后在冷辊上薄通下片待用。

(2)213[#]配方胶料的混炼。213[#]胶料的混炼大体与凡-3胶料相同。只是由于三元尼龙在高温混炼时塑化成粘稠状,粘附在辊筒上,需用刮刀刮下捣匀,反复 $3\sim 4$ 次即可。辊温控制在 $180\sim 190^\circ\text{C}$ 。

(3)U-6胶料的混炼。首先检验聚氨酯橡胶的塑性值,如在 $0.3\sim 0.6$ 范围以内,则不

用塑炼,可直接上辊破料,薄通 2~3 次,放宽辊距加小料,前辊温度为 40~50℃,后辊温度为 45~50℃。加料顺序:硬脂酸镬、促进剂、防老剂、活性剂、液体硫化剂、补强剂、硫黄。混炼时要严格控制辊温,否则易焦烧。为防止焦烧,硫黄也可在返炼时加入。混炼时必须先加硬脂酸镬,以防粘辊。

5.2 半成品准备及硫化

(1) 半成品准备

粘合剂配比为聚异氰酸酯:信纳水=2:1。

胶浆配比为凡-3(或 213[#]或 U-6)胶料:醋酸乙酯=1:2。

尼龙布需经粘合剂处理和涂胶;棉帆布只需涂胶;钢丝涂列克纳。尼龙布浸渍粘合剂干燥后即可涂胶,一般涂刷 3~4 遍,胶布厚度达 1mm。

(2) 硫化

硫化设备为 400×400mm 平板硫化机。硫化条件为凡-3 或 213[#] 胶料 150℃×

50min,U-6 胶为 150℃×40min。

6 阀门胶皮实际使用试验

共进行两次试验,第一次试验凡-3、213[#]、U-6 三种胶料的纯胶和带骨架材料两类产品,产品均为改进后的 B 型结构。试验产品共 16 件,分别组装在 4 台 500 型压裂车上,总共压裂 316 口井。试验结果:凡-3 纯胶产品 3 件,其最高使用寿命为 11 井次,最低使用寿命为 5.3 井次,平均使用寿命为 8 井次;U-6 胶料夹针织尼龙布产品 3 件,最高使用寿命为 9.1 井次,最低使用寿命为 3.5 井次,平均使用寿命 7 井次;其它试验产品寿命都比较短。第二次试验是验证凡-3 纯胶产品和 U-6 胶夹布产品使用寿命的可靠性。二种胶料产品各 6 件。试验结果:凡-3 纯胶产品最高使用寿命为 10.5 井次,最低寿命 5.4 井次,累计加液量 156m³;U-6 胶夹布产品最高寿命 13.5 井次,最低 10.3 井次,累计加液量 207m³。详见表 2。

表 2 不同产品实际使用试验对比

	配方	结构	数量	平均工作时间,min	平均井次	备注
第一次试验	U-6	B	2	374	3.1	纯 胶
	U-6	B(布小)	3	823	7	针织尼龙布
	U-6	B(布大)	2	237	2	大网眼尼龙布
	U-6	B(钢丝)	1	253	2	钢 丝
	凡-3	B	3	969	8	纯 胶
	凡-3	B(布)	1	253	2	棉帆布
	213 [#]	B	2	320	2.5	纯 胶
	213 [#]	B(布小)	2	589	5	针织尼龙布
第二次试验	U-6	B(布小)	6	1458	12	针织尼龙布
	凡-3	B	6	1051	8.7	纯 胶
油田原件	丁腈橡胶	B	6	287	2.4	纯 胶
国内产品	聚氨酯	B	6	705	6	纯 胶

7 结语

纯胶产品以采用凡-3 胶料使用效果最好,在 U-6 胶料中夹入针织尼龙布,能显著提高其使用寿命。上述两种产品都能满足使用要求,使用寿命大大超过了原用产品。两种

产品的研制成功可为油田降低能耗 50%以上,经济效益可观;同时也大大减轻了油田工人的劳动强度,提高了油田钻井速度,具有一定的社会效益。

收稿时间 1993-06-16