

引用格式:虞晨阳,陈平,汪朝阳,等. 基于 ANSYS Workbench 的新型浮动式无骨架鞍形橡胶密封圈的有限元分析[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2020,47(3):107-113.

YU ChenYang, CHEN Ping, WANG ZhaoYang, et al. Finite element analysis of a new floating type skeletonless saddle rubber seal ring based on ANSYS Workbench[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2020,47(3):107-113.

基于 ANSYS Workbench 的新型浮动式无骨架鞍形橡胶密封圈的有限元分析

虞晨阳 陈平* 汪朝阳 郭文星 秦思萌

(北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

摘要:针对天然气输送管线过滤器锁环式快开盲板密封应用,提出一种新型浮动式无骨架鞍形橡胶密封圈。采用 ANSYS Workbench 有限元分析软件进行参数化仿真分析,得到橡胶密封圈应力分布、变形情况和密封接触处压力分布,并重点分析了装配间隙处局部橡胶挤出状态。结果表明改进后密封圈的密封性能良好,橡胶变形及局部挤出现象得以改善。该型密封圈与原金属弹簧嵌入式鞍形密封圈相比,具有结构简单、制造经济、使用寿命长等特点。

关键词:橡胶密封圈;超弹性材料;密封性能分析;快开盲板

中图分类号: TH136 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2020.03.014

引言

锁环式快开盲板主要应用于压力容器设备或管线的端部,通过快开机构的设计,实现密封承压结构的快速启闭^[1]。目前我国重要天然气输送管线上使用的过滤器容器端部快开盲板产品主要依赖进口^[2],为了逐步改变这一现状,实现快开盲板的国内自主设计制造,尤其是近年来随着高压大直径输送管线建设的加快,开展该领域产品的国产化设计研究显得更为迫切。

传统的快开盲板产品使用唇形密封圈较多,于振波等^[3]最先采用 ANSYS 对唇形密封圈进行了模拟分析,得到其接触应力的分布规律及变形状态。Chen 等^[4]借鉴英国 GD 唇形密封圈、德国 KEM-LOCK 等国外公司天然气过滤器相关的密封圈产品及设计原理,尤其是针对唇形密封圈在拆装上出现的由于密封面间隙要求较小而导致的锁环启闭困难等问题,提出了一种可轴向浮动的新型内嵌金属弹

簧式鞍形橡胶密封圈;周天旭^[5]、石莹^[6]和周淑敏^[7]运用 ABAQUS 对该鞍形密封圈进行了密封性能和浮动性能分析及结构优化与试验等。

目前内嵌金属弹簧式鞍形密封圈锁环式盲板已实现产品应用,实际使用情况良好,但也有的产品发生初始加压泄露现象,还有少量的产品出现卸压后锁环拆卸开门困难等问题。现场分析表明,问题的产生一般是由局部橡胶挤出较严重甚至局部撕裂等现象引起的。为此,本文介绍一种改进的新型浮动式无骨架鞍形橡胶密封圈,因其无内置金属弹簧,可降低制作工艺要求和生产成本,另外其应力及变形状态也将得以改善,从而可延长使用寿命。此外,通过 ANSYS Workbench 软件对其密封性能、应力分布状态及变形挤出情况等进行有限元仿真分析,以验证结构设计的合理性及防橡胶挤出效果。

1 浮动式无骨架鞍形橡胶密封圈设计原理

图1为新型浮动式无骨架鞍形橡胶密封圈结构截面示意图。图2为密封圈、高颈法兰及顶盖和锁环装配结构示意图。新型密封圈结构是将原鞍形密封圈(图3)镶嵌的内置弹簧部分去掉,形成一个阶

收稿日期:2019-12-09

第一作者:男,1995年生,硕士生

*通信联系人

E-mail: chenping_buct@163.com

梯状的凹槽,对应的顶盖底部密封部位处设置了一体的凸缘挡圈,可以嵌入密封圈凹槽处。

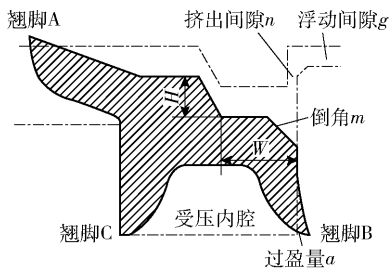


图1 密封圈的基本结构

Fig. 1 Schematic of the new floating type skeletonless seal ring

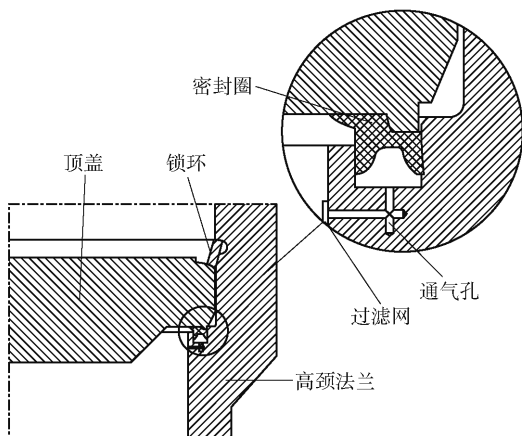


图2 新型密封圈在快开盲板中的装配情况

Fig. 2 Assembly of new floating skeletonless seal ring with rapid open end closure

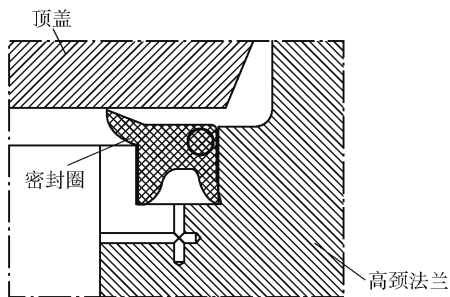


图3 原结构密封圈局部图

Fig. 3 Layout of the original seal ring

内嵌金属弹簧的鞍形密封圈与本文提出的新型无骨架鞍形密封圈在密封原理上基本一致,即图1所示密封圈的翘脚A与顶盖形成的密封面A,以及外侧面的翘脚B与密封槽形成的密封面B,均为主要的密封面(以下简称密封面A和B),内侧面的翘脚C是辅助装配密封面,截面形状成鞍形;初始安装时,将密封圈安放至高颈法兰密封槽中,其外侧翘脚B由于过盈配合可以紧贴密封槽外侧壁,产生初

始密封预紧;顶盖下压,其底部与密封圈密封面A接触并实现该密封面的初始密封,同时锁环与顶盖预留一定间隙,即锁环可以在无阻力状态下通过径向张开装置贴紧高颈法兰密封槽内壁。随后,压力开启,通过高颈法兰密封槽底部设置的几个与容器内部相通的进气道,密封圈内腔可以得到初步升压,在一定压力作用下,密封圈向上移动并贴紧顶盖底部(凹凸槽相合),且随压力进一步上升,顶盖(包括密封圈)在内压轴向力作用下完全贴紧锁环底部,达到工作状态,即内压由顶盖及锁环传递到高颈法兰上,主要密封面的压紧程度都是自紧式的。卸载过程中,待压力完全卸除后,顶盖及密封圈可通过轴向轻压,待顶盖与锁环接触部位脱开,锁环便可以在没有来自顶盖接触阻力作用状态下,通过机构实现径向收缩及快速打开^[8]。另外图2中设置过滤网是为了保证密封槽空腔的洁净,避免杂质堆积及堵塞造成装拆困难。

新型带槽密封圈及顶盖底部凸缘挡圈设计将在提升密封效果、减少挤出、增加密封圈使用寿命等方面起到有效作用。

2 密封性能有限元分析

2.1 橡胶材料非线性理论模型

选择丁腈橡胶作为新型浮动式无骨架鞍形密封圈材料,其强度极限为 20 MPa,顶盖和高颈法兰为 16Mn 锻件制造。

橡胶材料在力学分析上表现为非线性,体现在材料非线性、几何非线性和接触非线性 3 个方面。其中橡胶材料近似为一种超弹性材料,其非线性的应力应变关系本文采用 Mooney-Rivlin 模型,在 ANSYS Workbench 有限元软件中用两个材料参数表征,应变能函数表达式为^[9]

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) \quad (1)$$

式中, I_1 、 I_2 为应变不变量,与材料拉伸率有关,在有限元软件中默认提供; C_{10} 、 C_{01} 为橡胶材料常数,一般通过实验方法获得,根据实际橡胶材料测试数据可确定两参数分别取为 1.87 和 0.47。

另外接触非线性方面的接触类型选择 Frictional,摩擦系数取 0.05,接触行为选择非对称 Asymmetric,接触算法选择增广拉格朗日法 Augmented Lagarange。材料非线性方面选择大变形状态分析。

2.2 橡胶密封圈密封性能判据

对于橡胶密封圈密封性能判据,目前资料中尚

无统一的判定标准,但较通用的判定依据公式为

$$p_c = p_0 + kp \geq mp \tag{2}$$

式中, p_c 为操作工况下的最大接触压力,MPa; p_0 为预紧工况下的最大接触压力,MPa; k 为受压参数, $0 \leq k \leq 1$; m 为垫片参数; p 为工作压力,MPa。

对于密封圈所采用的丁腈橡胶材料,依据 GB 150.3—2011《压力容器 第 3 部分:设计》中对于垫片特性的相关规定,肖氏硬度大于或等于 75 的合成橡胶,其垫片系数 m 可以设定为 1.00,代入式(2)可得

$$p_c \geq p \tag{3}$$

据此,鞍形密封圈的密封性能判定依据为:当橡胶与金属结构的主要密封表面上的最大接触压力不低于介质的内部压力时,即可判定密封是可靠的;反之,密封圈会产生泄漏现象^[10]。故密封是否满足要求只需要看密封表面上的最大接触压力的分布情况。

2.3 初始参数设定

新型浮动式无骨架鞍形密封圈结构的基本尺寸是按照现有鞍形密封圈尺寸进行选取的,密封槽设定为宽 17.5 mm,高 16 mm。图 1 所示密封浮动间隙 g 初步选取 2 mm,密封圈宽度过盈量 a 取值为 1.2 mm,密封圈外侧凹槽宽度 $W = 7.5$ mm,凹槽深度 $H = 4$ mm。

密封圈靠顶盖凸缘外侧与高颈法兰密封槽壁之间的间隙为挤出间隙 n (图 1),其值的大小对挤出量有较大的影响,设定该数值为优化参数之一,初始设定为 0.7 mm;密封圈易挤出部位倒角 m 的大小对挤出程度也有较大的影响,也将该数值设定为优化参数之一,初始设定为 3 mm×3 mm;为减少应力集中,顶盖凸缘外沿的倒圆角 R 初定为 0.5 mm,其尺寸也对挤出量有影响,会在后续章节讨论。

2.4 模型建立

有限元分析软件采用 ANSYS Workbench。建模为二维轴对称模型,在顶盖凸缘外沿有圆角过渡。在预处理步骤中,所需要的参数均根据表 1 进行选取和设置,橡胶密封圈的材料本构模型为 Mooney-Rivlin 的超弹性材料。在网格划分步骤中,顶盖和高颈法兰相比于密封圈可视为刚体,网格属性设置为 hard,网格大小设为 1 mm,密封圈的网格属性设置为 soft,网格大小设置为 0.3 mm。网格划分模型如图 4 所示。

为模拟密封圈的装配情况,在载荷以及边界条

表 1 新型浮动式无骨架密封圈计算工况参数

Table 1 Working condition parameters of the new floating skeletonless seal ring

工况	参数
最大压力/MPa	12.6
筒体内径/mm	1 550
弹性模量 E /MPa	210 000
泊松比 μ	0.3
顶盖材料	16Mn
密封槽材料	16Mn
橡胶圈材料	丁腈橡胶

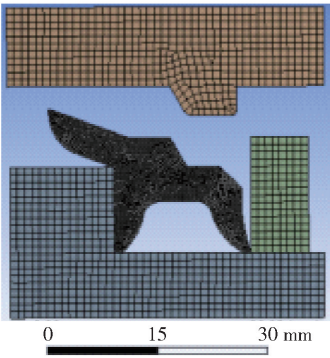


图 4 新型无骨架密封圈的网格划分模型

Fig. 4 Meshing model of the new floating skeletonless seal

件的加载步骤中共设置 3 个载荷步:1)右边界向左移动 1.2 mm,模拟密封圈装入密封槽的过程;2)上边界向下移动 5 mm,模拟顶盖关闭的过程;3)在密封圈与介质接触边界施加 12.6 MPa 的压力,模拟快开盲板内部加压过程。以上步骤有两点需注意:一是取位移边界时是选线而不可选面;二是在载荷施加过程中,需分步实施以防止计算过程中密封圈变形过大而导致计算结果不收敛。另外在求解设置中,必须打开大变形开关。

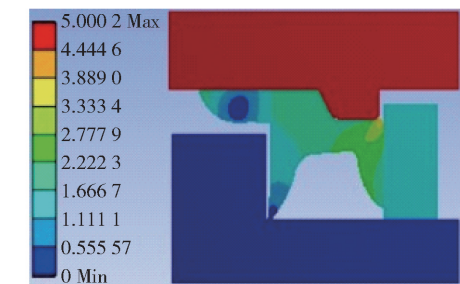
2.5 结果分析

2.5.1 应力变形结果分析

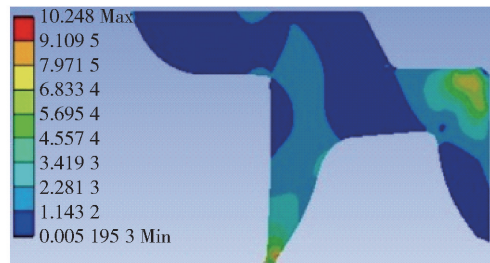
2.4 节模型求解完成后进入后处理步骤,分别提取位移云图和应力云图如图 5 所示。

图 5(a)位移云图显示出工作状态下橡胶密封圈截面的变形情况。现将密封圈挤出部分高于顶盖凸缘底面的高度定为挤出高度 H' ,用来比较挤出大小情况。通过观察可知两个密封面贴合情况良好;在密封槽外侧壁与顶盖凸缘外侧间隙处,橡胶挤出现象轻微,挤出高度经测算为 $H' = 0.113$ mm。

通过观察应力分布云图(图 5(b)),可以看出



(a) 位移云图



(b) 应力云图

图5 密封圈位移云图与应力分布云图

Fig. 5 Deformation contours and von Mises stress of the seal ring

其整体应力分布较均匀,最大应力出现在顶盖凸缘与密封圈凹槽的接触部位,该处受挤压压力作用,最大应力为 10.248 MPa,其值仅为丁腈橡胶极限应力强度(20 MPa)的 50%,可满足强度要求,由于橡胶材料具有良好的回弹性和补偿性,密封圈可以重复多次使用。

2.5.2 密封性能分析

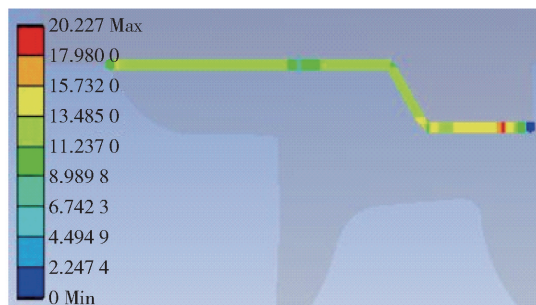
进一步调用软件接触工具 contact tool 提取新型密封圈两道关键密封面的接触压力,即上翘脚与顶盖底面之间的密封面 A 和外翘脚与密封槽之间的密封面 B,并与介质压力进行比较。

密封面上的接触压力分布云图如图 6(a)、(b)所示,图 6(c)是进一步提取的密封面 A 直线部分(不包括凹槽部分)和 B 接触压力随位置坐标变化分布图。

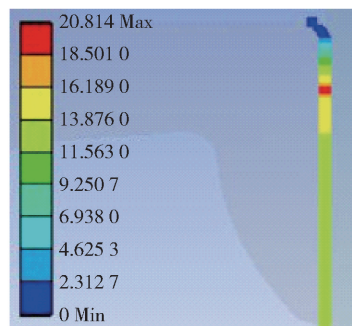
观察密封面 A 和 B 的接触压力分布情况,可见大部分区域的接触压力均超过介质内压,在密封面 A 翘脚起始处,接触压力已达 13.485 MPa,大于介质的内压 12.6 MPa,在顶盖凸缘接触处,最大接触压力达到 20.227 MPa,可见凸缘可增加密封可靠性;密封面 B 的最大接触压力达 20.814 MPa,说明两道密封面的密封性能良好。

2.5.3 尺寸参数对密封性能的影响

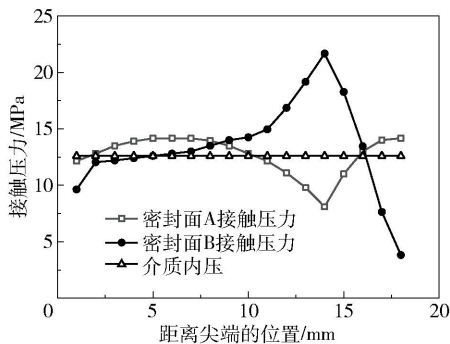
从 2.5.1 节的分析结果(图 5(a))中,可知密封圈外侧上角处有轻微的橡胶挤出现象,挤出程度主



(a) 密封面A



(b) 密封面B



(c) 密封面A、B接触压力与位置变化关系

图6 密封面 A、B 接触压力分布

Fig. 6 Contact pressure distribution of sealing surfaces A and B

要影响参数有挤出间隙 n 、倒角 m 、圆角 R ,这里作进一步的参数化分析。表 2 列出分别以挤出间隙 n 、倒角 m 、圆角 R 3 个变量为对照的 12 组尺寸参数,倒角或圆角为 0 即为不设置倒角或圆角的情况。对以上参数依照 2.4 节建模,并依照 2.5.1 节和 2.5.2 节进行后处理计算,得到结果如表 3 所示。

从应力整体分布情况来看,其最大应力均位于顶盖凸缘与密封圈凹槽相接触处。3 个尺寸参数对最大应力的影响较小,且均小于丁腈橡胶的极限应力 20 MPa,是其强度极限的 50%~65%。对接触压力影响较大的参数是倒角,如倒角为 0 的第 8 组,其计算得到的密封面 B 的最大接触压力仅为 12.883 MPa,该值仅略大于内压力,但是随着倒角 m 的增大,最大密封接触压力也逐渐增大。

表 2 各组关键的结构尺寸参数

Table 2 Key structural parameters of each group			
分组 编号	倒角大小 m / (mm × mm)	挤出间隙 n / mm	凸缘倒角 R / mm
1	3 × 3	1.5	0.5
2	3 × 3	1.0	0.5
3	3 × 3	0.7	0.5
4	3 × 3	0.5	0.5
5	4 × 4	0.7	0.5
6	2 × 2	0.7	0.5
7	1 × 1	0.7	0.5
8	0	0.7	0.5
9	3 × 3	0.7	1.5
10	3 × 3	0.7	1.0
11	3 × 3	0.7	2.0
12	3 × 3	0.7	0

表 3 各组有限元分析结果关键数据

Table 3 Key data in each group of the finite element analysis results				
分组 编号	密封面 A 最大接触 压力/MPa	密封面 B 最大接触 压力/MPa	整体 最大 应力/MPa	挤出 高度/ mm
1	21.866	20.954	13.646	0.488
2	20.731	20.669	10.252	0.212
3	20.651	20.850	10.208	0.113
4	20.233	20.541	10.195	0
5	22.502	21.929	10.547	0.052
6	19.511	19.526	9.766	0.263
7	17.495	18.865	9.957	0.605
8	18.635	12.883	9.452	0.979
9	21.471	21.024	10.365	0.307
10	20.724	20.754	10.287	0.198
11	20.004	21.730	12.713	0.514
12	20.206	20.226	10.234	0

从密封圈的截面变形情况来看,密封面贴合紧密,顶盖凸缘起到挡圈作用,可明显阻止缝隙处橡胶挤出,现具体分析不同变量对挤出量的影响。分析结果如图 7~9 所示。

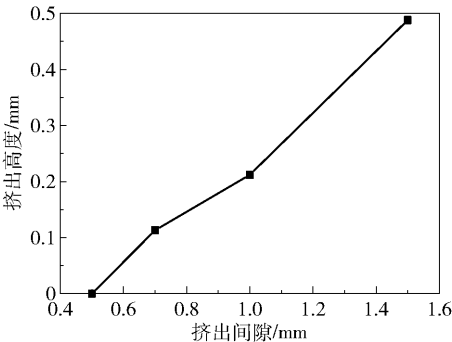


图 7 挤出间隙对挤出量的影响

Fig. 7 The influence of extrusion gap on extrusion quantity

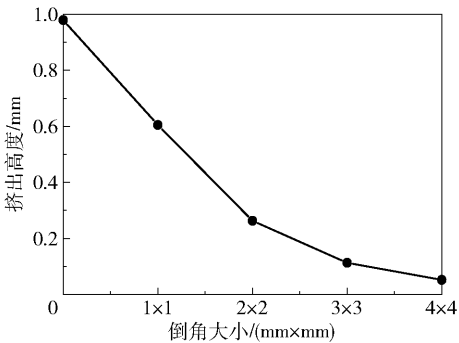


图 8 倒角大小对挤出量的影响

Fig. 8 The influence of chamfer size on extrusion quantity

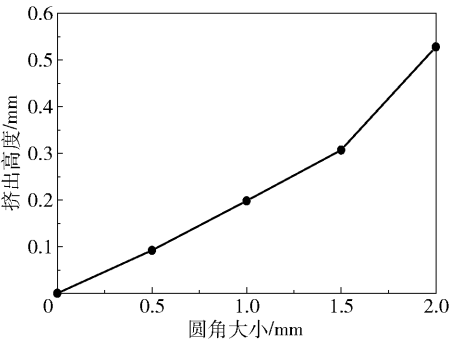


图 9 凸台外沿圆角大小对挤出量的影响

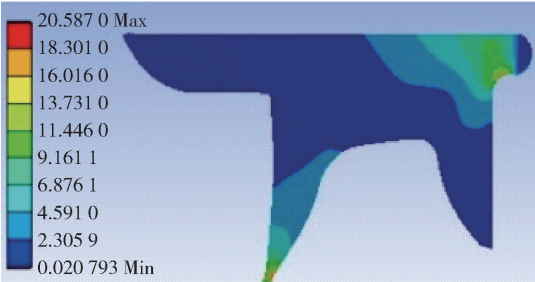
Fig. 9 The influence of the fillet size of the bulge outeredge on the extrusion quantity

表 2、3 中的第 1~4 组数据是以挤出间隙为变量,随着挤出间隙的减小,挤出高度逐渐减小。挤出间隙是密封圈挤出的主要空间,橡胶密封圈为超弹性材料,面对小间隙情况,会因表面张力等因素而不易进入间隙里;但是另一方面,若间隙过小,顶盖安装对中不易。所以这里选取挤出间隙为 0.5~0.7 mm 较为合理。第 3、5、6、7、8 组数据是以倒角大小为变量,随着倒角的增大,挤出量逐渐减小。对于第 8 组不设置倒角时的情况,挤出变形极为尖锐,挤出高度达到了 0.979 mm,而选取倒角为 4 mm × 4 mm 时,挤出量为 0,很好地避免了橡胶挤出。第 3、9、10、11、12 组数据是以凸台外沿圆角半径为变量,随着圆角的减小,挤出量逐渐减小。凸台主要起挡圈的作用,设置圆角的目的是一个是为了减小应力集中,另一个是为了方便装配。圆角大小取 0.5 mm 时,挤出高度仅为 0.092 mm,受到的轴向挤压可忽略不计。

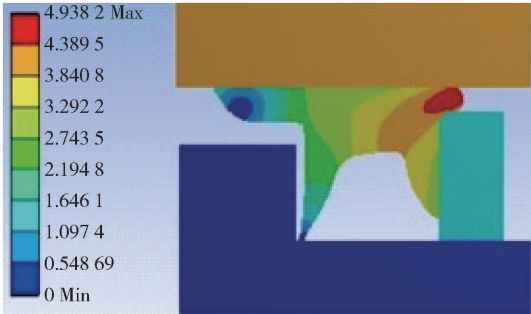
经上述分析可知新型无骨架密封圈设计是合理的,橡胶间隙处挤出现象可通过减小挤出间隙,适当倒角的方法得到有效缓解。

2.6 对比分析

图 10 为原鞍形圈(无骨架)有限元建模仿真分析得出的主要计算结果云图,图 11 为内嵌金属弹簧骨架的鞍形密封圈的有限元建模仿真分析主要计算结果,其中密封面的浮动间隙为3mm。由图10可

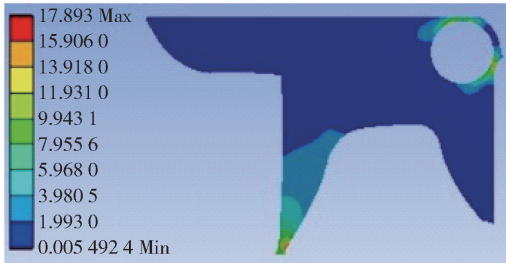


(a) 应力云图

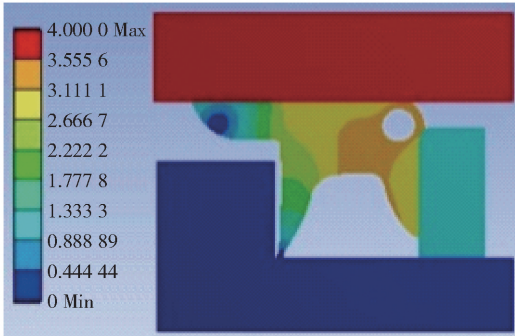


(b) 位移云图

图 10 传统鞍形密封圈有限元分析结果
Fig. 10 Analysis of the traditional saddle seal ring



(a) 应力云图



(b) 位移云图

图 11 内嵌金属弹簧鞍形密封圈有限元分析结果
Fig. 11 Analysis of the saddle seal ring with an embedded metal spring

见原无骨架鞍形密封圈在间隙处橡胶材料的挤出较严重,横向挤出高度达到了 2.65 mm,并且在挤出部位应力集中也很大,这意味着若经长时间挤压剪切作用,该处会失去回弹性能且降低使用寿命,同时挤出部分占用了浮动空间,不利于锁环装拆。

由于图 11 显示的是采用二维模型且用钢管替代弹簧建模所作的计算,可见由于局部刚性的增加,计算得到的横向挤出高度减少,但也有 0.486 mm 的挤出量。这里计算模型是相对低估的。实际使用显示弹簧加强的鞍形密封圈结合处的应力集中程度较大,通常会有局部撕裂现象,如图 12 所示,往往装拆情况也不是很顺畅。另外加强弹簧橡胶圈的制作工艺比较复杂,成本较高。



图 12 内嵌金属弹簧鞍形密封圈挤出变形照片
Fig. 12 Extrusion of the saddle seal ring with an embedded metal spring

3 结论

(1)针对锁环式快开盲板提出一种新型浮动式无骨架鞍形橡胶密封圈。该密封圈的可浮动性能有效降低了顶盖启闭过程中锁环可能遇到的阻力,避免卡死情况的发生,同时改善了橡胶密封圈的承压状态,有效防止密封圈橡胶挤出严重及潜在撕裂失效问题,延长使用寿命。

(2)用 ANSYS Workbench 软件对新型密封圈进行有限元分析,并与现有密封圈结构的有限元分析结果进行比较,结果表明新型橡胶圈应力分布状态良好,分析工况下应力水平远小于橡胶材料的极限应力,不会出现密封圈的剪切撕裂破坏。两个关键密封面上的大部分区域的接触压力都大于内压,并且密封圈与顶盖凸缘接触部位进一步增加了密封圈的密封可靠性。

(3)在设定的密封截面基本尺寸下,综合分析后建议密封圈外侧倒角取 4 mm × 4 mm,密封槽与顶盖凸缘的间隙取 0.5 ~ 0.7 mm,凸缘外沿圆角取 0.5 mm,能达到良好的密封圈防挤出效果。

参考文献:

- [1] 李广. 锁环式快开盲板原理和故障分析[J]. 管道技术与设备, 2017(4): 33–35.
LI G. Lock ring type fast opening blind plate principle and fault analysis [J]. Pipeline Technique and Equipment, 2017(4): 33–35. (in Chinese)
- [2] 王立, 刘占胜, 周萍, 等. 大直径高压快开盲板国产化研制[J]. 石化技术, 2015(4): 225–226.
WANG L, LIU Z S, ZHOU P, et al. Localization development of large diameter and high pressure quick opening closure [J]. Petrochemical Industry Technology, 2015(4): 225–226. (in Chinese)
- [3] 于振波, 蔡永梅, 唐晓初. C形密封圈结构的有限元分析[J]. 石油化工设备, 2008, 37(2): 25–28.
YU Z B, CAI Y M, TANG X C. Finite element analysis of C ring seal structure [J]. Petro Chemical Equipment, 2008, 37(2): 25–28. (in Chinese)
- [4] CHEN P, ZHOU S M, SHI Y. Structure design and analysis of a locking band type quick opening end closure using a new saddleshaped sealing ring for natural gas filters[C]//ASME 2015 Pressure Vessels and Piping Conference. Boston: American Society of Mechanical Engineers, 2015.
- [5] 周天旭. 大型锁环式天然气快开盲板结构优化设计与试验研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2014.
ZHOU T X. Optimized design and experimental research of large bandlock quick opening closure [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2014. (in Chinese)
- [6] 石莹. 新型天然气过滤器快开盲板橡胶密封圈仿真分析与性能试验[D]. 北京: 北京化工大学, 2015.
SHI Y. Analysis and performance test in new rubber ring of natural gas filter quick opening closure [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2015. (in Chinese)
- [7] 周淑敏. 锁环式天然气过滤器快开盲板结构分析与改进[D]. 北京: 北京化工大学, 2016.
ZHOU S M. Analysis and improvement of locking band type quick opening and closure for natural gas filters [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2016. (in Chinese)
- [8] 陈平, 王响心, 李琪琪, 等. 外嵌金属环式鞍形橡胶密封圈密封性能分析[J]. 润滑与密封, 2017, 42(7): 78–83.
CHEN P, WANG X X, LI Q Q, et al. Sealing performance analysis of a saddle-shaped rubber sealing ring with an outside metal ring [J]. Lubrication Engineering, 2017, 42(7): 78–83. (in Chinese)
- [9] 康家明, 宋鹏云. 沟槽形状对O形橡胶密封圈性能的影响[J]. 润滑与密封, 2019, 44(6): 17–24.
KANG J M, SONG P Y. Effect of seal groove shape on sealing performance of rubber sealing O-ring [J]. Lubrication Engineering, 2019, 44(6): 17–24. (in Chinese)
- [10] 解欢, 曾威. 带台阶的D形橡胶密封圈密封特性分析[J]. 润滑与密封, 2017, 42(11): 115–118.
XIE H, ZENG W. Sealing characteristics analysis of a stepped rubber D-ring [J]. Lubrication Engineering, 2017, 42(11): 115–118. (in Chinese)

Finite element analysis of a new floating type skeletonless saddle rubber seal ring based on ANSYS Workbench

YU ChenYang CHEN Ping* WANG ZhaoYang GUO WenXing QIN SiMeng

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: A new floating type skeletonless saddle rubber seal ring is proposed for use in a lock ring type quick opening blind cover in a natural gas filter in transmission pipelines. The ANSYS Workbench finite element analysis software was used to carry out the parametric simulation analysis. The values of the stress, deformation of the seal ring, the contact pressure distribution in the sealing surface and the rubber extrusion at the assembly gap were analyzed in detail. The results show that the sealing performance of the new sealing ring is good, and the rubber deformation and local extrusion phenomenon are greatly improved. Compared with the original metal spring embedded saddle shaped sealing ring, the new type of sealing ring has the advantages of simple structure, economic production, and long service life.

Key words: rubber sealing ring; hyperelastic material; sealing performance analysis; quick opening end closure