

工况参数对变截面密封圈密封性能的影响分析

祝娟

东北石油大学机械科学与工程学院 黑龙江 大庆 163318

摘要: 变截面密封圈常被应用于高压、高速等场合。密封圈尺寸固定的情况下,不同工况参数会对密封圈的密封性能产生影响。因此,本文对变截面密封圈建立三维有限元模型,并进行分析。研究密封圈在不同工况参数下的密封性能情况。研究表明:密封圈压缩率提高密封圈密封性能变优;但是在相同压缩率下,密封流体压力增加,密封性能变差。本研究能够为变截面密封圈的设计提供理论支撑。

关键词: 密封圈;变截面;有限元;接触分析;接触应力

Influence of operating parameters of variable section sealing ring on sealing performance

Zhu Juan

(College of Mechanical Science and Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing Heilongjiang 163318, China)

Abstract: Variable section sealing ring is often used in high pressure, high speed and other occasions. When the sealing ring size is fixed, different operating parameters will affect the sealing performance of the sealing ring. Therefore, a three-dimensional finite element model of variable section sealing ring is established and analyzed in this paper. The sealing performance of the seal ring under different working conditions is studied. The results show that the sealing performance of the sealing ring is improved with the increase of the sealing ratio. However, under the same compression rate, the sealing fluid pressure increases and the sealing performance deteriorates. This study can provide theoretical support for the design of variable section sealing ring.

Key words: Sealing ring; Variable cross-section; Finite element; Contact analysis; Contact stress

一、引言

密封圈尺寸固定的情况下,不同工况参数会对密封圈的密封性能产生影响。密封圈初始压缩率和流体介质压力都是关键影响要素。密封圈密封界面受挤压后,所形成的接触应力即为接触问题,接触问题目前选择有限元方法居多^[1-6]。本文所选择的有限元分析方法对不同工况参数下的密封圈进行接触分析,研究不同工况参数对密封圈密封性能的影响,为变截面密封圈的设计提供了理论支撑。

二、有限元模型的建立

(一) 几何模型

针对变截面密封圈有限元接触情况进行判断和分析,我们可以将密封圈、密封腔和轴等进行整体分析,由于密封圈的受力和边界条件与其与轴和密封腔的接触密不可分。

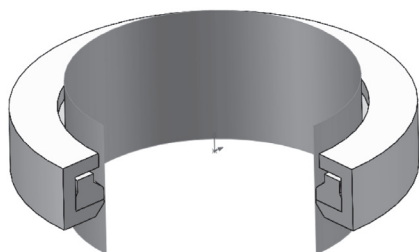


图1 有限元分析几何模型

建立的模型时进行了简化处理,处理后的有限元模型如图1所示。轴的刚度足够,因此计算过程中可直接忽略其形变的问题,设定为圆柱形刚性接触面,不仅能保证了计算精度,又提高了计算速度。

(二) 单元划分

选取 SOLID185 完成密封圈和密封腔的划分和设计,刚性接触面则用于模拟轴。针对模型中的装配体建立接触对,其中包含可能出现的接触面、已知的接触面等,创建 CONTA176 接触单元,具体参考图2,为接触单元的设置情况。

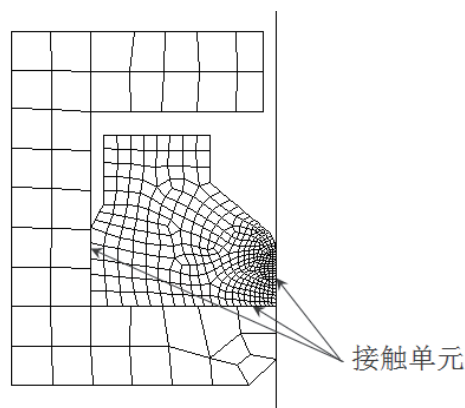


图2 有限元网格划分

(三) 边界条件

径向挤压过盈装配是实现变截面密封圈密封的原因,有限元分析过程中,施加径向位移在密封腔外圆柱面模拟分析密封圈产生的压缩力影响。在分析中不需要对密封圈设置边界条件和标准,其位移情况能利用接触情况进行确定。不计重力,流体压力选用面载荷施加在图3的三个面上。

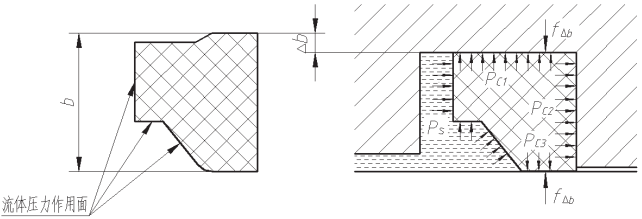


图3 受力分析图

三、压缩率对密封性能的影响

弹性体的材料属性、不能被压缩性、以及其存在欲压缩决定了弹性体能够自紧密封。压缩率应该适中,否则会发生泄漏或变形偏高的问题,研究分析压缩率对密封圈密封功能产生的影响,一方面需要分析接触应力的问题,同时需要思考结构应力的变动。

(一) 压缩率对密封圈应力的影响

在保持其他参数不变的前提下,设置初始压缩率为单独变量,可计算分析润滑曲线原点、波峰和波谷所对应的截面应力,如表1所示。密封圈的最大应力值会随压缩率的增加,呈现逐渐上升的趋势,同时应力分布也发生了相应的变化,密封圈压缩率的最小值为8%,最大值为20%。随着密封圈压缩率的提高,密封圈波峰和波谷处承受最高应力从外侧切口附近逐渐移动至密封圈底部,对应的密封圈底部应力也有显著的提升。

表1 不同压缩率下截面应力分布

压缩率 (%)	截面应力分布状况			最大 von Mises 应力 (MPa)
	原点	波峰	波谷	
8				1.25
10				1.39
12				1.56
14				1.76

续表

压缩率 (%)	截面应力分布状况			最大 von Mises 应力 (MPa)
	原点	波峰	波谷	
16				2.05
18				2.36
20				2.62

在不同压缩率时的密封圈最大应力变化趋势见图4。密封圈的应力随压缩率的增大而增大;当压缩率大于12%时,应力会因为压缩率的提升而快速提升,应力与压缩率也会建立非线性关系。

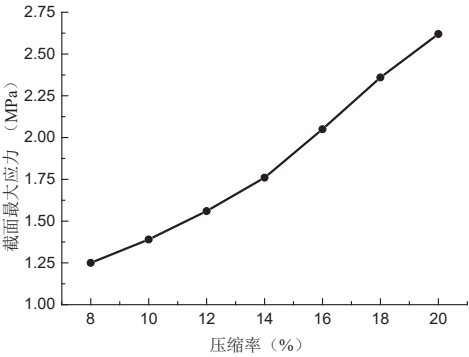


图4 压缩率与最大应力关系折线图

(二) 压缩率对密封圈接触应力的影响

表2列举了密封面在不同压缩条件下的接触应力分布情况,接触应力分布的改变趋势压缩率高于10%时基本保持相同。

表2 不同压缩率下密封面接触应力分析表

压缩率 (%)	密封面接触应力分布	接触应力 (MPa)
8		最小: 1.61 最大: 2.37
10		最小: 1.89 最大: 2.77
12		最小: 2.13 最大: 3.14
14		最小: 2.37 最大: 3.53

续表

压缩率 (%)	密封面接触应力分布	接触应力 (MPa)
16		最小: 2.62 最大: 3.91
18		最小: 2.87 最大: 4.30
20		最小: 3.06 最大: 4.60

密封面的最大接触应力和压缩率的关系折线图如图5所示。根据图5能够得出,压缩率的增加会使最大的密封面接触应力和最小的密封面接触应力都增大,且最大的密封面接触应力和最小的密封面接触应力追赶的差值也随着压缩率的增加而增大。

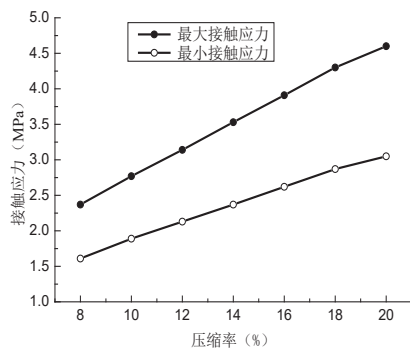


图5 压缩率与接触应力关系折线图

表3 不同压缩率下密封面接触比压

压缩率 (%)	密封面承载力 F0 (N)	密封面接触面积 (mm ²)	接触比压 (MPa)
8	628	430.85	1.71
10	720	448.97	1.96
12	813	464.28	2.21
14	908	482.15	2.47
16	1004	498.80	2.73
18	1102	513.38	3.0
20	1204	520.67	3.27

不同压缩率时密封面接触比压如表3所示。计算时的密封压力设置为1Mpa,密封面的面积设置为367.80mm²。若密封面承载力于压缩率同时提升,在密封面外其润滑边界圆角、内侧切口等位置都会直接和轴接触,径向接触面积也会同步提升,其密封效果也得到改善。

压缩率和接触比压之间的关系折线图见图6。能够看出

两者之间基本呈现线性增长的关系。

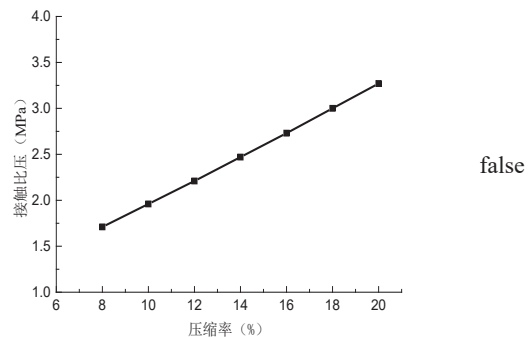
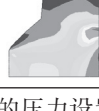


图6 压缩率与接触比压关系折线图

四、流体压力对密封性能的影响

(一) 流体压力对密封圈应力的影响

表4 不同流体压力下密封圈截面应力分布

流体压力 (MPa)	密封圈截面应力分布			最 von Mises 应力 (MPa)
	原点	波峰	波谷	
2				1.42
3				1.40
5				1.35
7				1.32
10				1.39
14				1.48

固定压缩率为10%,将密封流体的压力设置为变量进行有限元计算,得到截面应力在不同流体压力下的结果,如表4。最 von Mises 应力会随着流体压力的增大而产生微小的波动,但是最大应力的位置没有发生变化;润滑曲线的原点,波峰及波谷的应力分布的位置出现显著的变动,其截面底部应力差也会因为流体压力的提升而持续降低。

(二) 流体压力对密封圈接触应力的影响

在多种流体压力的影响下,密封面上接触应力分布情况如表5所示。不同流体压力下密封面的最大接触应力分布于润滑曲线波谷内,伴随着流体压力的递增,密封面波峰与波谷接触应力差异也在降低。在保持波谷区域外,在密封面中

接触力也保持均匀分布的情况。

表 5 不同流体压力下密封面接触应力分布

流体压力 (MPa)	接触应力的分布状况	接触应力 (MPa)
2	 CONTPRES=-384E+07	最小: 2.84 最大: 3.84
3	 CONTPRES=-493E+07	最小: 3.78 最大: 4.93
5	 CONTPRES=-710E+07	最小: 5.68 最大: 7.10
7	 CONTPRES=-924E+07	最小: 7.50 最大: 9.25
10	 CONTPRES=-12620E7	最小: 10.40 最大: 12.52
14	 CONTPRES=-16881E7	最小: 14.10 最大: 16.88

密封面在密封流体压力不同时的接触比压如表 6 所示, 计算时固定压缩率为 10%, 密封面面积 367.80mm²。通过对图 7 (横坐标为流体压力, 纵坐标为流体压力和接触比压的压力差) 的分析。图中能够得出, 压力差会随着流体压力的增大而降低。固定压缩率的情况下, 内侧企切口处流体产生压力的径向分量会随着流体压力的增高而增大, 因此密封面压力差就会随之降低。

表 6 不同流体压力下密封面接触比压

密封流体压力 (MPa)	密封面承载量 F_0 (N)	密封面接触面积 (mm ²)	接触比压 (MPa)
2	1072	443.89	2.91
3	1425	443.89	3.87
5	2136	441.14	5.81
7	2846	434.07	7.74
10	3906	428.59	10.62
14	5322	418.49	14.50

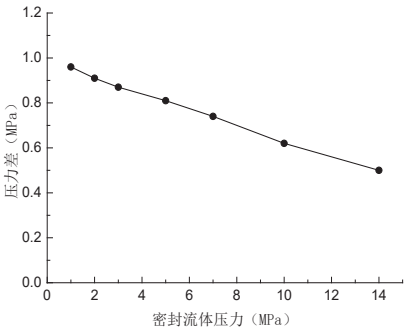


图 7 密封面压力差与密封流体压力之间关系

五、结论

本文对变截面密封圈建立了密封圈、轴和密封腔的装配体三维有限元接触分析模型。对不同工况参数下的密封圈进行有限元计算, 研究不同工况参数对密封性能的影响。结果表明:

- (1) 密封圈的应力与接触比压都随压缩率的增加而增加, 应力与压力与之间的呈现非线性的增长关系;
- (2) 由于自紧作用, 密封圈总是可以实现密封, 但在固定压缩率的情况下, 接触比压和流体压力之间的压力差会随着流体压力增加而降低, 密封的性能随之降低。

参考文献:

[1] 王帅, 李莹, 陈涛, 王喜良. 超低温弹簧蓄能密封圈动密封性能有限元分析与优化设计 [J]. 润滑与密封, 2022, 47 (10): 9-18.

[2] 马洋洋, 雷刚, 胡强松, 刘奔奇. 基于 ABAQUS 的变截面橡胶密封条热应力与密封性分析 [J]. 润滑与密封, 2019, 44 (11): 112-116+148.

[3] 祝娟, 邹龙庆. 变截面密封圈几何参数对密封性能的影响 [J]. 化工机械, 2019, 46 (01): 94-98.

[4] 王永茂, 申展. 基于 Ansys 的不同截面密封圈密封性能仿真分析 [J]. 包装工程, 2017, 38 (19): 158-163.

[5] 祝娟. 变截面弹性密封圈流体动压密封机理与实验研究 [D]. 东北石油大学, 2017. J

[6] IN Zhen-bang. Application and development of the fluid sealing technology by rubber and plastic seal in medium or high pressure hydraulic system [J]. Hydraulic pneumatic and seal, 2000, (2): 39-41. 1999, 15 (4): 541-544.

本文系校级课题研究成果, 项目编号: 2016YDL-04

项目名称为: 旋转轴变截面密封圈流体动压润滑特性研究