

# 快开阀芯橡胶密封垫密封结构的有限元分析

刘少春, 杨晓翔

(福州大学机械工程与自动化学院, 福建 福州 350002)

**摘要:** 建立快开阀芯橡胶密封垫密封结构的 Mooney-Rivlin 非线性有限元分析模型, 分析橡胶密封垫在装配状态下的等效 Von Mises 应力分布及等效 Von Mises 应力与橡胶密封垫轴向压缩量的关系, 研究橡胶密封垫在工作状态下的密封性能。橡胶密封垫装配时, 轴向压缩量增大, 应力较大的区域位置未发生变化, 基本在上、下接触面; 轴向压缩量增大, Von Mises 应力增大; 最大 Von Mises 应力与轴向压缩量呈非线性关系。设计合理的轴向压缩量对于保证橡胶密封垫的密封性能和使用寿命非常重要。本设计橡胶密封垫的合理轴向压缩量为 0.8 mm, 密封垫轴向压缩量和轴向预紧力的模拟结果与试验结果比较吻合。

**关键词:** 橡胶密封垫; 快开阀芯; 应力; 密封结构; 有限元分析

橡胶密封件因成本低廉、结构简单及安装方便等优点, 在水暖建材行业得到广泛应用。本工作以快开阀芯橡胶密封垫的静密封为例, 利用有限元软件对其密封结构建模, 计算和分析快开阀芯装配过程中橡胶密封垫所承受的应力, 分析在最大工作介质压力下橡胶密封垫的密封性能, 以期确定快开阀芯橡胶密封垫的轴向压缩量提供依据, 从而提高橡胶密封垫设计质量, 缩短研发周期。

## 1 有限元模型建立

快开阀和快开阀芯橡胶密封垫分别如图 1 和 2 所示。

橡胶材料本构关系的非线性以及橡胶制品应用时的大变形性、接触非线性边界条件使橡胶制品的工程模拟难度非常大。模拟的准确性与采用的本构



图 1 快开阀

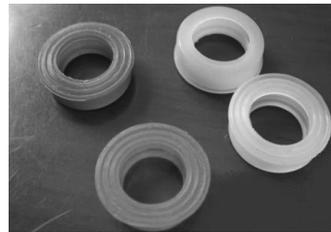


图 2 快开阀芯橡胶密封垫

关系模型以及模型中材料参数有密切关系。本工作选用 Mooney-Rivlin 模型作为材料的本构模型。

### 1.1 材料参数的确定

Mooney-Rivlin 模型中材料常数 ( $C$ ) 与材料弹性模量 ( $E$ ) 的关系为<sup>[1-2]</sup>:

$$E=6(C_{10}+C_{01}) \quad (1)$$

根据经验公式:

$$C_{01}=0.25C_{10} \quad (2)$$

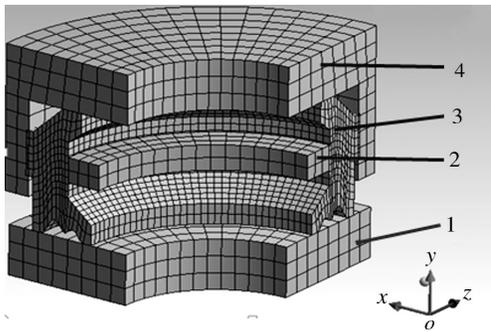
橡胶邵尔 A 型硬度 ( $A$ ) 与  $E$  的关系为<sup>[3]</sup>:

$$E=11.427A - 0.4445A^2 + 0.0071A^3 \quad (3)$$

本设计密封垫材料为硅橡胶, 邵尔 A 型硬度为 70 度, 从式 (1)~(3) 得出  $E$  为 7.29 MPa,  $C_{01}$  为 0.243 MPa,  $C_{10}$  为 0.972 MPa, 泊松比为 0.499。

### 1.2 分析模型

根据快开阀芯橡胶密封垫的对称性, 取密封结构的 1/4 建模, 模型的有限元网格如图 3 所示。



1—阀芯底座；2—阀芯 Pom 环；3—橡胶密封垫；  
4—阀芯阀壳（组合简化后）。

图3 快开阀芯橡胶密封垫密封结构的有限元网格

与橡胶密封垫接触的表面均视为刚性面，只有橡胶密封垫为变形体，由 6024 个 20 节点六面体单元 SOLID186 组成，接触单元为 TARGE170 和 CONTA174。密封是接触式密封，采用 ANSYS 软件提供的 Augmented Lagrange 接触迭代算法。采用滑动库仑摩擦模型，摩擦因数取 0.2。快开阀芯橡胶密封垫密封约束条件如图 4 所示。图 4 中，A 截面上设置  $xoy$  平面为对称面，B 截面上设置  $yozy$  平面为对称面，阀壳零件的 C 面约束所有自由度，底座零件约束外柱面 D 的圆周和径向自由度，释放轴向  $y$  方向的自由度，同时向底座零件底面 E 施加  $y$  方向的位移，使橡胶密封垫产生轴向预压缩。整个过程用来模拟快开阀芯的安装过程。

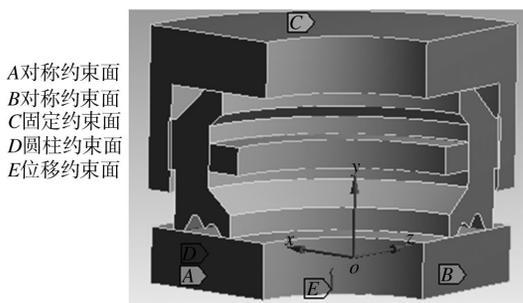


图4 快开阀芯橡胶密封垫密封的约束条件

## 2 有限元分析

### 2.1 装配应力分析

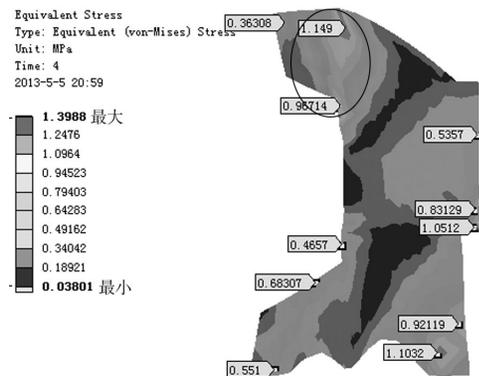
橡胶密封垫在装配时受到轴向预压缩，形成有效的密封带，保证快开阀芯在承受工作介质压力时不会泄漏。轴向压缩量为 0.4 mm，0.6 mm，0.8 mm

和 1.0 mm 时橡胶密封垫的 Von Mises 应力分布分别如图 5~8 所示。从图 5~8 可以看出：随着轴向压缩量增大，应力较大的区域位置未发生变化，基本上都在上、下接触面和图 5 圆圈标识处；随着轴向压缩量增大，应力增大。在较大应力作用下，橡胶会发生不可恢复的永久变形或材料失效，影响橡胶制品的密封性能。

橡胶密封垫最大 Von Mises 应力与轴向压缩量的关系如图 9 所示。从图 9 可以看出，最大应力与轴向压缩量呈非线性关系；随着压缩量增大，最大应力增长率增大，即曲线斜率增大。

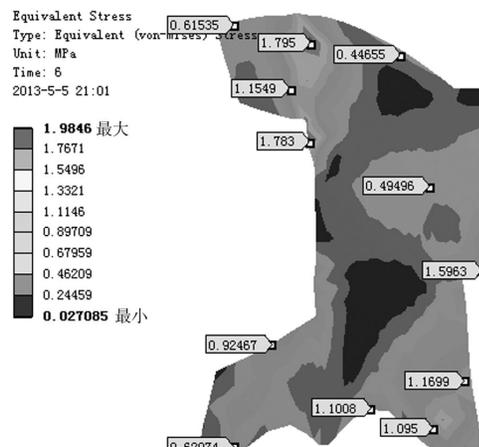
### 2.2 密封性能分析

橡胶密封的失效准则和失效判据目前普遍采用



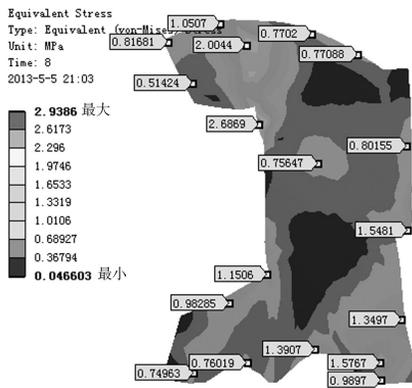
数据单位为 MPa。

图5 轴向压缩量为 0.4 mm 时橡胶密封垫的 Von Mises 应力分布



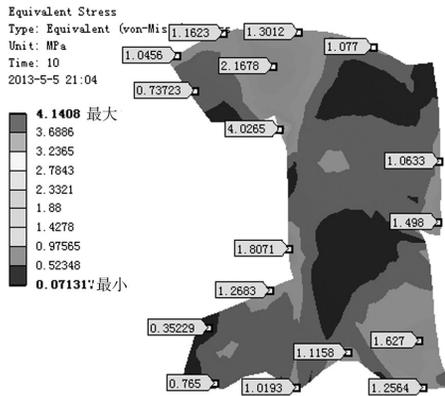
注同图 5。

图6 轴向压缩量为 0.6 mm 时橡胶密封垫的 Von Mises 应力分布



注同图5。

图7 轴向压缩量为0.8 mm时橡胶密封垫的 Von Mises 应力分布



注同图5。

图8 轴向压缩量为1.0 mm时橡胶密封垫的 Von Mises 应力分布

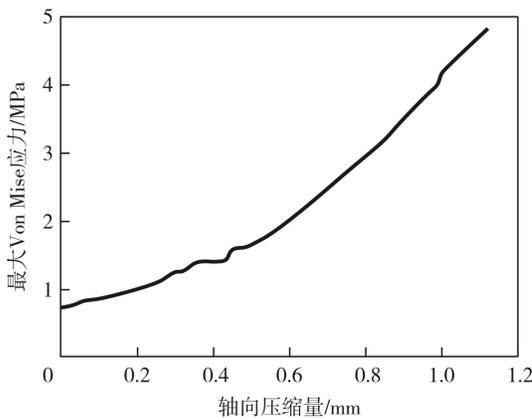
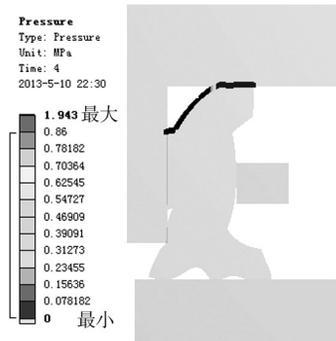


图9 橡胶密封垫轴向压缩量与最大 Von Mises 应力的关系的是最大接触应力大于工作压力<sup>[4]</sup>。根据美国卫浴排水产品标准 ASME A112.18.2-2011-CSA B125.2-

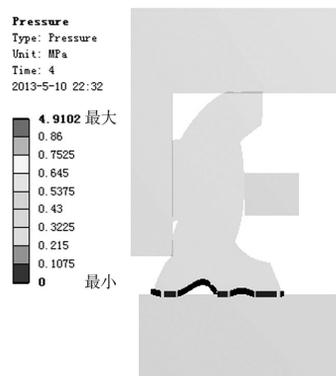
11, 水龙头承受的最高工作水压为 0.86 MPa。因此, 为保证快开阀芯能承受 0.86 MPa 工作水压, 橡胶密封垫上、下接触面的接触应力要大于 0.86 MPa。根据快开阀芯轴向装配尺寸计算, 橡胶密封垫的最小轴向压缩量一般为 0.4 mm。因此, 在快开阀芯工作水压为 0.86 MPa 和橡胶密封垫轴向压缩量为 0.4 mm 时, 橡胶密封垫上、下接触面的接触应力大于 0.86 MPa 才能保证快开阀芯的密封性能。

为了研究橡胶密封垫的密封性能, 模拟了快开阀芯工作水压为 0.86 MPa 和橡胶密封垫轴向压缩量为 0.4 mm 时橡胶密封垫上、下接触面的接触应力(如图 10 所示)。从图 10 可以看出, 接触面中接触区域的接触应力大于工作压力, 接触区域越长说明橡胶密封垫的密封效果越好。

综上所述, 设计合理的橡胶密封垫安装过盈量



(a) 上接触面



(b) 下接触面

工作水压为 0.86 MPa, 轴向压缩量为 0.4 mm。

图10 橡胶密封垫上、下接触面的接触应力

非常重要,既能保证密封,又能使橡胶密封垫的应力尽量小,以保证橡胶密封垫较长的使用寿命。

### 3 橡胶密封垫轴向预紧力模拟结果与试验结果对比

为了验证模拟结果的准确性,进行快开阀芯橡胶密封垫轴向压缩试验,得到橡胶密封垫轴向压缩量和轴向预紧力数据,并与有限元计算结果进行对比(如图11所示)。从图11可以看出:在轴向压缩量小于0.8 mm时,轴向预紧力模拟值稍大于试验实测值;在轴向压缩量大于0.8 mm后,轴向预紧力模拟值与试验实测值差别不大。从总体来看,模拟结果和试验结果比较吻合。在实际实施的设计方案中,快开阀芯橡胶密封垫轴向压缩量的设计名义值为0.8 mm左右。因此,本工作所构建的有限元分析模型及材料参数确定方法对类似的密封结构设计具有参考价值。

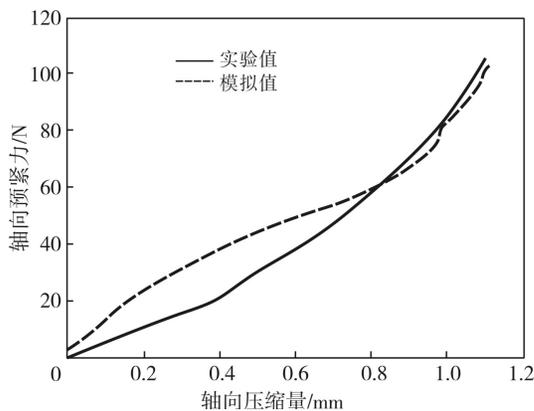


图11 橡胶密封垫轴向压缩量与轴向预紧力的关系

### 4 结论

(1) 通过建立快开阀芯橡胶密封垫密封结构的 Mooney-Rivlin 非线性有限元分析模型来模拟橡胶密封垫安装及工作密封过程,可以得到任意轴向压缩量下橡胶密封垫的应力和变形的变化规律,以便优化建立橡胶密封垫的设计。

(2) 有限元分析得出:快开阀芯橡胶密封垫装配时,随着轴向压缩量增大,应力较大的区域位置未发生变化,基本在上、下接触面;轴向压缩量增大, Von Mises 应力增大;最大 Von Mises 应力与轴向压缩量呈非线性关系,轴向压缩量增大,最大应力增长率增大。

(3) 为了保证橡胶密封垫的密封性能和使用寿命,在橡胶密封垫设计中确定合理的轴向压缩量非常重要。本设计橡胶密封垫的合理压缩量为 0.8 mm。

(4) 密封垫轴向压缩量和轴向预紧力的模拟结果与试验结果比较吻合。

### 参考文献:

- [1] 郑明军, 王文静, 陈政南, 等. 橡胶 Mooney-Rivlin 模型力学性能常数的确定 [J]. 橡胶工业, 2003, 50 (8): 462-465.
- [2] 王伟, 邓涛, 赵树高. 橡胶 Mooney-Rivlin 模型中材料常数的确定 [J]. 特种橡胶制品, 2004, 25 (4): 8-10.
- [3] Gobel E F. Rubber Springs Design [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1978.
- [4] 胡殿印, 王荣桥, 任全彬, 等. 橡胶 O 形圈密封结构的有限元分析 [J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31 (2): 255-260.

## Finite Element Analysis of the Sealing Structure of Faucet Cartridge Rubber Gasket

Liu Shaochun, Yang Xiaoxiang

(College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** In this study, the Mooney-Rivlin nonlinear finite element model of the sealing structure of faucet cartridge rubber gasket was established. The distribution of equivalent Von Mises stress and relationship between

equivalent Von Mises stress and axial compression ratio of the gasket were analyzed in the assembled state, in order to evaluate the sealing performance of the gasket. During the assembling, when the axial compression ratio increased, the Von Mises stress increased but the high stress location didn't change, which were substantially at the up and bottom contact surface. The maximum Von Mises stress showed nonlinear dependence on the axial compression ratio. It was found that the design of axial compression ratio was very important to ensure the sealing performance as well as the service life of rubber gasket. The optimized axial compression amount in this study was 0.8 mm, and it was demonstrated that the simulated results of the axial stress agreed well with the experimental test results.

**Keywords:** rubber gasket; faucet cartridge; stress; sealing structure; finite element analysis



## 三大天然橡胶生产国计划建立区域性橡胶期货市场

世界三大橡胶生产国——马来西亚、印度尼西亚和泰国计划在未来 18 个月内建立区域性橡胶期货市场。该市场可为橡胶生产者、消费者和市场参与者提供一个平台，以寻求更好的

价格和套期保值功能。印度尼西亚种植业与商贸部部长表示，天然胶期货市场的框架构建工作已经完成，但仍需进行一些微调。

国 艺

## 东洋公司召回 17.5 万条轮胎

东洋轮胎美洲公司宣布召回约 17.5 万条轻型卡车轮胎和 SUV 轮胎。召回的原因是这批轮胎有胎面与带束层脱离的危险。这批问题轮胎的美国运输部 (DOT) 代码分别为 CX 和 N3, 是东洋轮胎公司日本仙台工厂和桑名工厂的产品。其中, 轻型卡车轮胎是 2008 年 11 月至 2013 年 6 月生产的, 而 SUV 轮胎是 2007 年 5 月至 2012 年 4 月生产的。

东洋公司表示, 在相关的生产周期内, 由于工艺变动, 生产中轮胎带束层边缘部位受到的应力增大, 可能会导致轮胎胎面与带束层脱离及轮胎漏气, 增大轮胎出现故障和发生撞车的危险。东洋公司建议车主尽快到轮胎经销商处免费更换新轮胎。

国 笛

## 俄罗斯西伯尔公司开发出新牌号溶聚丁苯橡胶

俄罗斯西伯尔公司开发出 SSBR-HV 和 SSBR-LV 两个新牌号溶聚丁苯橡胶产品。这 2 种新产品主要用于低滚动阻力和高抓着力轮胎生产, 2015 年将在沃罗涅日橡胶厂进行商业化生产。沃罗涅

日工厂是西伯尔公司唯一一家溶聚丁苯橡胶生产厂。该厂的溶聚丁苯橡胶年生产能力为 2.3 万 t, 乳聚丁苯橡胶年生产能力为 8 万 t。

崔小明