产品・设计

# 储气罐橡胶密封膜的密封性能关键影响因素 对比分析

刘学婧<sup>1</sup>,黄修军<sup>1</sup>,金守峰<sup>1</sup>,张 彬<sup>1</sup>,王思清<sup>1</sup>,邢 宇<sup>1</sup>,李 阳<sup>2</sup>,赵翰辰<sup>2</sup> (1.西安工程大学机电工程学院,陕西西安 710048;2.西安热工研究院有限公司,陕西西安 710043)

摘要:针对储气罐的橡胶密封结构,分别建立了单层和层形橡胶密封膜的有限元模型,利用有限元软件Ansys对比分析单层橡胶密封膜在不同长度和厚度下的密封性能,并与其优化结构参数的添加增强层的层形橡胶密封膜进行比较。 结果表明:随着厚度的增大,单层橡胶密封膜的最大形变量和等效应力峰值整体上均先减小后趋于平缓;大工况压强下 采用添加增强层的层形橡胶密封膜的密封性能优于单层橡胶密封膜,层形橡胶密封膜具有较小的最大形变量和等效应 力峰值以及较大的安全因数量小值,有利于提高橡胶密封膜的密封性能和延长其使用寿命。

关键词:橡胶密封膜;密封性能;增强层;形变量;等效应力 中图分类号:TQ336.4<sup>+</sup>2 文献标志码:A

橡胶密封圈以成本低廉、结构简单、安装和 使用方便等优点,被广泛应用于汽车、医疗、建筑 及机械等领域<sup>[1]</sup>。目前橡胶密封圈的密封结构设 计以及选择和安装等均是按照传统经验进行,为 使橡胶密封圈在重要场合下能够正确应用,一些 学者通过有限元方法对橡胶密封圈进行理论分 析<sup>[2]</sup>。橡胶密封圈的结构是影响其密封性能的最 重要的因素,橡胶密封圈的结构决定了其接触压 力峰值和接触长度,这两者都是橡胶密封圈密封 性能的评价指标。L. ZHANG等<sup>[3]</sup>分析了几何形状 对橡胶密封圈的结构变形的影响,指出结构形状对 橡胶密封圈的密封性能有很大影响。C.L. ZHOU 等<sup>[4]</sup>在橡胶密封圈的结构设计方面做了大量工作, 指出各种类型的橡胶密封圈,如D形圈、T形圈、U 形圈、X形圈、Y形圈等被用于缓冲密封。王冰清 等<sup>[5]</sup>探讨了静压工作状态和往复运动状态下高压 星形橡胶密封圈的密封机理和密封性能,并预测 文章编号:1000-890X(2023)08-0601-08 DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2023.08.0601

其易发生失效的具体部位。Z.Q.HUANG等<sup>[6-7]</sup>指 出橡胶密封圈的密封结构是轴对称的,因此可以 采用二维轴对称模型对密封圈进行数值计算,并 利用Ansys软件建立了密封结构的二维轴对称模 型,通过对牙轮钻头轴承密封面和背支撑结构的 有限元分析,验证了二维轴对称数值模型的有效 性。Y.ZHOU等<sup>[8]</sup>分析了橡胶密封圈的应力、应变 和接触压力分布,以确定其对橡胶密封圈的应力、应变 和接触压力分布,以确定其对橡胶密封圈的失效 的影响,证明了密封部位存在应力集中和压力分 布不均匀的情况,并给出了一些降低应力集中的 方法。张建等<sup>[9]</sup>创建了格莱圈的建模与数值计算 专用模块,表明在一定范围内,适当的增大压缩率 能提高橡胶密封圈的密封性能。有限元分析是研 究橡胶密封圈的密封性能的有效方法<sup>[10-11]</sup>。

综上所述,许多研究者研究了不同结构的橡 胶密封圈的密封性能,分析了结构参数、材料参 数、工况参数等对密封性能的影响。然而,对储气



基金项目:国家级储能示范项目(HNKJ21-H33);中国博士后科学基金资助项目(2020M683682XB);陕西省高速公路施工机械重点实验室开放基金项目(300102251506)

作者简介:刘学婧(1989一),女,陕西西安人,西安工程大学副教授,博士,主要从事软体材料性能测试及仿真优化研究工作。

<sup>\*</sup>通信联系人 (reevesxing@163.com)

引用本文:刘学婧,黄修军,金守峰,等.储气罐橡胶密封膜的密封性能关键影响因素对比分析[J].橡胶工业,2023,70(8):601-608.

**Citation**:LIU Xuejing, HUANG Xiujun, JIN Shoufeng, et al. Comparative analysis on key factors influencing sealing performance of rubber sealing film for gas storage tank[J]. China Rubber Industry, 2023, 70 (8):601-608.

罐橡胶密封结构的几何参数的相关研究很少,并 很少有研究人员分析储气罐橡胶密封膜的密封性 能的关键影响因素。本工作利用大型通用有限元 分析软件Ansys对储气罐橡胶密封膜进行了14组 77次建模与仿真,以分析橡胶密封膜的结构参数、 几何形状对不同工况下橡胶密封膜的密封性能的 影响,以期为进一步优化储气罐的密封结构奠定 基础。

# 1 有限元模型

# 1.1 储气罐的密封结构

在对储气罐的橡胶密封膜进行有限元分析 时,考虑到其边界条件的复杂性,将橡胶密封膜 和储气罐的内壁、外壁作为整体分析。本工作研 究了不同结构的橡胶密封膜的密封性能和应力 状态,为了能够反映出复杂的密封结构和工作原 理,并完整地分析橡胶密封膜的密封性能,利用 SolidWorks软件建立了储气罐密封结构的三维装 配模型,如图1所示。





#### 1.2 有限元模型的建立

对于橡胶类非线性材料,其应力-应变关系通 常用应变能函数描述,而应变能函数本构模型的 选择要根据模型的材料及其变形程度综合考虑。 本工作研究对象橡胶密封膜存在大形变、大位移, 而且分析过程中存在复杂的接触问题,为了提高 有限元计算精度,采用了Ogden本构模型作为应 变能函数<sup>[12-14]</sup>。橡胶密封膜材料的三阶Ogden本 构模型相关参数为剪切模量 $(M)_1$  6.180 3×10<sup>5</sup> Pa, $M_2$  1 180 Pa, $M_3$  -9 810 Pa,应变硬化指 数 $(A)_1$  1.3, $A_2$  5, $A_3$  -2,可压缩参数 $(D)_1$ 4.825×10<sup>-9</sup> Pa<sup>-1</sup>, $D_2$  0, $D_3$  0。各结构的橡胶 密封膜使用的材料一致,而增强层材料可以有多 种。本工作选取了芳纶增强层和锦纶增强层,其 储能模量分别为6.32×10<sup>6</sup>和2.83×10<sup>7</sup> Pa,泊松比 分别为0.32和0.40。

对橡胶密封膜进行有限元分析时,鉴于其边 界条件复杂,故将橡胶密封膜及橡胶密封膜两侧 壁面作为整体进行分析。根据密封结构的几何形 状、材料、边界条件的特点和Ansys的功能,橡胶 密封膜的模型可简化为平面轴对称模型。本工作 通过二维平面轴对称模型来模拟三维结构,利用 Ansys中的扩展命令可以观察到三维模型的变化 情况,这样不仅不影响计算结果,而且可以提高计 算速度,从而节省大量的计算时间<sup>[15-16]</sup>。建立的储 气罐橡胶密封膜的平面轴对称模型及其结构参数 如图2所示,其中H为橡胶密封膜的厚度,δ为密封 间隙(6 mm),R为重物半径,罐壁厚度为2 mm。



#### 图2 储气罐橡胶密封膜的平面轴对称模型 Fig. 2 Plane axisymmetric model of rubber sealing film of gas storage tank

为增大橡胶密封膜的强度,将其设计成3层, 第1层和第3层为橡胶材料,第2层为强度较高的增 强层,厚度为0.3 mm,其余几何尺寸与单层模型一 致。为研究添加增强层对密封结构密封性能的影 响建立的层形橡胶密封膜的模型如图3所示。

## 1.3 定义接触和网格划分

在橡胶密封膜的密封结构中,考虑到橡胶密 封膜的不对称变形,在接触分析设置时,将储气 罐外壁的内侧面与橡胶密封膜的外表面建立接触 对,橡胶密封膜的外表面均为接触面,储气罐外壁 的内侧面为目标面;圆柱形重物外侧的圆柱面与



图3 层形橡胶密封膜的模型 Fig. 3 Model of layered rubber sealing film

橡胶密封膜的外表面也建立接触对,前者为目标 面,后者为接触面;接触类型选择无摩擦,接触行 为选择非对称,检测选择在高斯点上。

正确的网格单元类型和合适的网格单元划分 是有限元模型计算精确、收敛的前提<sup>[17-19]</sup>。本工作 网格划分时,14组模型所有部件均采用四边形结 构单元,在保证网格单元质量的前提下,网格大小 均设置为0.1 mm;在对3层橡胶密封膜的有限元模 型划分网格时,将橡胶密封膜中间增强层和外边2 层设置为1个部件,其他设置条件与单层橡胶密封 膜均一致<sup>[20-22]</sup>。由于模型较多,这里只局部展示厚 度为1.5 mm情况下,单层和3层橡胶密封膜的二维 轴对称网格划分模型,分别如图4和5所示。

## 2 结果与讨论

# 2.1 单层橡胶密封膜的分析

2.1.1 橡胶密封膜的厚度对密封性能的影响

控制变量法仅分析单一因素的变化对储能罐 密封性能的影响,可以有效地通过仿真试验得出 一组较为合适的结构参数。在后续研究中可以采



图4 单层橡胶密封膜的二维轴对称有限元模型 Fig. 4 Two-dimensional axisymmetric finite element model of single layer rubber sealing film



图5 三层橡胶密封膜二维轴对称有限元模型 Fig.5 Two-dimensional axisymmetric finite element model of three layers rubber sealing film

取多因素同时变化进行分析,定量研究橡胶密封 膜的材料参数与结构参数变化对储能罐密封性能 的影响,确定出最优密封结构参数值<sup>[23-25]</sup>。

由于密封间隙一定(6 mm),橡胶密封膜的厚 度变化范围只能是0~3 mm。本工作选取橡胶密 封膜的厚度为0.5,1.0,1.5,1.8,2.0,2.5和2.7 mm,长度为80 mm进行仿真试验。为了模拟真 实气压情况,设计了7组35次试验,每组工况压强 分别为0.4×10<sup>5</sup>,0.6×10<sup>5</sup>,0.8×10<sup>5</sup>,1.0×10<sup>5</sup>, 2.0×10<sup>5</sup> Pa,在橡胶密封膜的内表面均匀施加; 分析设置时,均给3个部件的底边施加固定约束; 利用Ansys软件中的Fatigue Tool将每个试验的循 环工作周期设置为10万次,在其他条件不变的情 况下对橡胶密封膜的变化规律进行分析。通过 Ansys分析计算,得到5种工况下橡胶密封膜的最 大形变量、等效应力峰值和最小安全因数随厚度 变化的曲线,分别如图6—8所示。

从图6-8可知,当橡胶密封膜的厚度增大



图6 单层橡胶密封膜的最大形变量随厚度的变化曲线
 Fig. 6 Variation curves of maximum deformations of single layer rubber sealing film with thicknesses



图7 单层橡胶密封膜的等效应力峰值随厚度的变化曲线 Fig. 7 Variation curves of von Mises stress peak values of single laver rubber sealing film with thicknesses



图8 单层橡胶密封膜的安全因数最小值随 厚度的变化曲线

Fig. 8 Variation curves of safety coefficient minimum values of single layer rubber sealing film with thicknesses

时,单层橡胶密封膜的最大形变量先显著减小,后 趋于平稳,橡胶密封膜的厚度大于2.5 mm时密封 性能稳定。不同厚度的橡胶密封膜形变的位置和 形态大致相同,发生最大形变量与最大等效应力 的位置也相同,不同的是总形变量与等效应力峰 值。橡胶密封膜的厚度增大时,单层橡胶密封膜 的等效应力整体处于下降状态。

从图6-8可以明显看出:当工况压强增大到 2.0×10<sup>5</sup> Pa时,单层橡胶密封膜的等效应力峰值 曲线出现最低点,安全因数最小值曲线出现最高 点;当橡胶密封膜的厚度为2.0 mm、工况压强为 2.0×10<sup>5</sup> Pa时,单层橡胶密封膜的最大形变量为 9.899 6 mm,等效应力峰值为1.157 3 MPa,安全 因数为1.728 1。 综上所述,与同种工况下其他厚度的单层橡胶密封膜相比,厚度为2.0 mm的单层橡胶密封膜 最符合密封要求。

#### 2.1.2 橡胶密封膜的长度对密封性能的影响

同理,在分析橡胶密封膜的长度对密封性能 的影响时,其基本分析方法与橡胶密封膜的厚度 分析方法一致,这里以橡胶密封膜的厚度为2.0 mm,长度分别为40,60,80,100和120 mm进行 仿真试验。设计了5组30次试验,每组工况压强 分别为1.0×10<sup>5</sup>,1.5×10<sup>5</sup>,2.0×10<sup>5</sup>,2.5×10<sup>5</sup>, 3.0×10<sup>5</sup>,3.5×10<sup>5</sup> Pa,循环工作周期仍设置为10 万次,在其他条件不变的情况下对橡胶密封膜的 变化规律进行分析,结果如图9—11所示。









Fig. 10 Variation curves of von Mises stress peak values of single layer rubber sealing film with lengths



图11 单层橡胶密封膜的安全因数最小值随 长度的变化曲线

# Fig. 11 Variation curves of safety coefficient minimum values of single layer rubber sealing film with lengths

从图9可见:随着橡胶密封膜的长度增大,单 层橡胶密封膜的最大形变量呈线性增大,且工况 压强越大增大得越明显;整体来看,当工作压强小 于2.0×10<sup>5</sup> Pa时,单层橡胶密封膜的长度对密封 性能有一定影响,但影响不大。

从图10可以看出,当橡胶密封膜的长度大于 100 mm时,单层橡胶密封膜的等效应力峰值变化 不明显。

从图11可以明显看出,在6种工况下单层橡胶 密封膜的安全因数最小值变化非常小,相对于10 万次工作周期而言,可以忽略不计。

以上说明,当橡胶密封膜的厚度一定时,橡胶 密封膜的长度对密封性能的影响不大,满足结构 需求即可。

# 2.2 层形橡胶密封膜的分析

对层形橡胶密封膜进行分析时,考虑到橡胶 密封膜的几何结构的影响,根据上节内容,直接选 取橡胶密封膜的长度为100 mm、厚度为2.0 mm, 设计了中间增强层为芳纶增强层和锦纶增强层 两组仿真试验,每组工况压强分别为1.0×10<sup>5</sup>, 1.5×10<sup>5</sup>,2.0×10<sup>5</sup>,2.5×10<sup>5</sup>,3.0×10<sup>5</sup>,3.5×10<sup>5</sup> Pa。考虑到各工况压强的结果云图很多,且各云 图相似,这里只展示了工况压强为3.0×10<sup>5</sup> Pa时 层形橡胶密封膜的最大变形量、等效应力峰值和 最小安全因数云图,由于模型细而长,云图只截取 重要部分,结构如图12和13所示,全部仿真结果如 表1和2所示。

图12展示了添加增强层的层形橡胶密封膜的

最大形变量和形变状态,可以看出,层形橡胶密封 膜的最大形变量越小,接触区域越少,对密封性能 的影响越小。

由图13可以明显看出,层形橡胶密封膜受到 的等效应力集中在了中间层,有效地减少了橡胶 密封膜在工作时受到的破环。

对比表1和2可以看出,添加增强层的层形橡 胶密封膜发生的形变量均减小,密封性能整体提 高,其中添加锦纶增强层的橡胶密封膜的形变量 减小得更明显,可以根据实际工况选择适合的增 强层材料。

#### 3 单层与层形橡胶密封膜的对比分析

两种增强层和无增强层的3种橡胶密封膜在 不同工况压强下的最大形变量、等效应力峰值和 安全因数最小值变化曲线分别如图14—16所示。

从图14可以看出,添加两种增强层的层形橡 胶密封膜的最大变形量均小于单层橡胶密封膜。

从图15可以看出:当工况压强大于2.5×10<sup>5</sup> Pa时,添加芳纶增强层和锦纶增强层的层形橡胶 密封膜的等效应力峰值均小于单层橡胶密封膜; 对于大工况压强而言,添加增强层的层形橡胶密 封膜的耐受性要优于单层橡胶密封膜。

从图16可以看出,随着工况压强的增大,添加 两种增强层的层形橡胶密封膜的安全因数最小值 减小趋势变平缓,且工况压强大于2.5×10<sup>5</sup> Pa时 大于单层橡胶密封膜。

综上所述,添加两种增强层的层形橡胶密封 膜均满足密封要求,且其使用寿命延长。

## 4 结论

利用有限元软件Ansys workbench分析计算 了在不同长度、厚度和结构下橡胶密封膜的最大 形变量、形变位置、等效应力峰值和安全因数最小 值,对比分析了层形橡胶密封膜与单层橡胶密封 膜的密封性能,结论如下。

(1)单层橡胶密封膜的长度和厚度对密封性 能都有一定的影响。在10万次循环工况下,随着 厚度的增大,橡胶密封膜的最大形变量和等效应 力峰值均逐渐减小后趋于平缓,安全因数最小值 先增大后减小;随着长度的增大,单层橡胶密封膜







Fig. 13 Nephograms of von Mises stress peak values of multi-layered rubber sealing films

表1 添加芳纶增强层的层形橡胶密封膜的有限元分析结果 Tab.1 Finite element analysis results of multi-layered of

rubber searing film with aramiu remitireu layer					
工况压强× 10 <sup>-5</sup> /Pa	最大变形量/ mm	等效应力峰值/ MPa	安全因数 最小值		
1.0	4.600 2	0.7379	2.710 80		
1.5	7.233 8	1.186 5	1.685 60		
2.0	10.282 0	1.6914	1.182 50		
2.5	13.975 0	2.2672	0.88215		
3.0	18.473 0	3.6755	0.544 14		
3.5	24.0570	5.7556	0.34749		

的密封性能参数变化较小,且为线性。

(2)添加两种增强层的层形橡胶密封膜的密 封性能均增强,因此可以根据实际工况选择合适 的增强层材料。

(3)采用增强层可以提高橡胶密封膜的密封 性能,还可以延长橡胶密封膜的寿命,因此在工 况压强较大时,可以选择使用层形结构的橡胶密

表2	添加	n锦纶	增强层的	的层形橡	胶密封	<b> </b> 膜的有	限元分析	f结果
Tab	. 2	Finite	element	analysis	s result	s of mul	ti-layere	d of
		h h				. : . <b>f</b>	Jane	

	rubber sealing film with hylon reinforced layer					
	工况压强×	L况压强× 最大变形量/		安全因数		
_	10 <sup>-5</sup> /Pa	mm	MPa	最小值		
	1.0	1.574 1	1.461 4	1.368 60		
	1.5	2.3462	2.232 3	0.89592		
	2.0	3.1192	3.022 5	0.66171		
	2.5	3.8991	3.8232	0.52312		
	3.0	4.6900	4.6288	0.432 08		
	3.5	5.4960	5.4373	0.36783		

封膜。

# 参考文献:

- ZHOU C L, ZHENG J Y, GU C H. et al. Sealing performance analysis of rubber O-ring in high-pressure gaseous hydrogen based on finite element method[J]. International Journal Hydrogen Energy, 2017,42 (16) ,11996–12004.
- [2] 陈国定, HAISER H, HAAS W, 等. O形密封圈的有限元力学分













Fig. 16 Variation curves of safety coefficient minimum values of rubber sealing films with working pressures

析[J]. 机械科学与技术,2000,19(5):740-741,744.

CHEN D G, HAISER H, HAAS W, et al. Analysis of elastomeric

O-ring seals using the finite element method [J]. Mechanical Science and Technology, 2000, 19 (5) : 740–741, 744.

- [3] ZHANG L, WEI X H. A novel structure of rubber ring for hydraulic buffer seal based on numerical simulation[J]. Applied Sciences, 2021,11(5):2036.
- [4] ZHOU C L, CHEN G H, LIU P F. Finite element analysis of sealing performance of rubber D-ring seal in high-pressure hydrogen storage vessel[J]. Journal of Failure Analysis and Prevention, 2018, 18 (4) : 846–855.
- [5] 王冰清,余三成,孟祥铠,等. 高压星形密封圈的密封性能分析[J]. 流体机械,2017,45(8):37-42,63.
  WANG B Q,YU S C,MENG X K,et al. Seal performance analysis

of a X-ring seal under high pressure[J]. Fluid Machinery, 2017, 45 (8):37-42,63.

- [6] HUANG Z Q, LI G. Optimization of cone bit bearing seal based on failure analysis[J]. Advances in Mechanical Engineering, 2018, 10(3). DOI:10.1177/1687814018767485.
- [7] HAO S H, YANG J. A novel quality requirement design method for the quality characteristic of rubber products based on the reliability constraint[J]. IEEE Access, 2018, 6:17887–17895.
- [8] ZHOU Y, HUANG Z Q, TAN L, et al. Cone bit bearing seal failure analysis based on the finite element analysis[J]. Engineering Failure Analysis, 2014, 45: 292–299.
- [9] 张建,熊庆辉,冀宏,等. 基于Abaqus/CAE的格莱圈参数化建模及 密封性能分析[J]. 液压气动与密封,2017,37(1):35-38.
   ZHANG J,XIONG Q H,JI H, et al. Parametric modeling and sealing performance analysis for Glyd-ring seals based on Abaqus/CAE[J].
   Hydraulics Pneumatics & Seals,2017,37(1):35-38.
- [10] YILDIZ Y, DUZGUN M. Stress analysis of ventilated brake discs using the finite element method[J]. International Journal of Automotive Technology, 2010, 11 (1): 133–138.
- [11] CHENG H M, CHEN X Y, CHEN X L, et al. Research on key factors of sealing performance of combined sealing ring[J]. Applied Sciences, 2022, 12 (2) :714.
- [12] 荣继纲,黄友剑,卜继玲,等. 隔振橡胶材料基于简单应变模式的 蠕变特性研究[J]. 橡胶工业,2022,69(7):506-511.
  RONG J G, HUANG Y J, BU J L, et al. Research on creep characteristic of damping rubber material on simple strain mode[J].
  China Rubber Industry,2022,69(7):506-511.
- [13] 陈晓栋. 高压容器密封结构有限元分析与优化设计[D]. 兰州:兰州大学,2015.

CHEN X D. Finite element analysis and optimization design on seal structure of vessel under high pressure[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2015.

[14] 张良,李忠华,马新强. 橡胶Mooney-Rivlin超弹性本构模型的参数特性研究[J]. 噪声与振动控制,2018,38(z1):427-430.
ZHANG L, LI Z H, MA X Q. Study on parameter characteristics of rubber Mooney-Rivlin model[J]. Noise and Vibration Control, 2018,38(z1):427-430.

[15] 赵敏敏,黄乐,张岐,等. 基于Ansys的O形橡胶密封圈密封性能及 可靠性研究[J]. 橡胶工业,2020,67(2):131-134. ZHAO M M, HUANG L, ZHANG Q, et al. Study on sealing

performance and reliability of rubber O–ring by Ansys[J]. China Rubber Industry, 2020, 67 (2) :131–134.

- [16] 杨博,黄乐,丁剑平,等. O形密封圈偏心情况下接触应力仿真研究[J]. 润滑与密封,2021,46(11):27-33.
  YANG B,HUANG L,DING J P,et al. Simulation study of O-ring seal eccentricity[J]. Lubrication Engineering, 2021, 46 (11):27-33.
- [17] 郑金鹏,沈明学,孟祥铠,等. 机械密封用O形橡胶密封圈微动特性[J]. 上海交通大学学报,2014,48(6):856-862.
  ZHENG J P, SHEN M X, MENG X K, et al. Fretting characteristics of the rubber O-ring for a mechanical seal[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University,2014,48(6):856-862.
- [18] 秦亚军. 基于有限元的O形橡胶圈密封性能分析[J]. 液压气动与密封,2014,34(8):31-33.
  QIN Y J. Sealing performance analysis of O-ring based on finite element analysis[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals,2014,34(8): 31-33
- [19] 任琪琛,孙志和,王沛,等. O形橡胶圈真空密封性能有限元分析[J]. 真空,2021,58(5):37-41.
   REN Q C, SUN Z H, WANG P, et al. Finite element analysis of

vacuum sealing performance of O-ring[J]. Vacuum, 2021, 58 (5) : 37-41.

[20] 刘俊. 基于ANSYS的橡胶O型密封圈仿真分析[J]. 工业技术创新,2016,3(6):1088-1090.

LIU J. Simulation analysis on O-type rubber sealing ring using ANSYS[J]. Industrial Technology Innovation, 2016, 3 (6) : 1088–1090.

- [21] 康家明,宋鹏云. 沟槽形状对O形橡胶密封圈密封性能的影响[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.
- [22] 张幼安. 机械密封中的O形密封圈设计研究[J]. 电子机械工程, 2018,34(3):23-26,39.
  ZHANG Y A. Study on design of O-ring used in mechanical seal[J].
  Electro Mechanical Engineering,2018,34(3):23-26,39.
- [23] CUI K B, QIN J Q, DI C C, et al. Finite element analysis and simulation of the sealing performance of Y-ring rubber seal[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 444/445:1379–1383.
- [24] ZHOU C L, CHEN G H, LIU P F. Finite element analysis of sealing performance of rubber D-ring seal in high-pressure hydrogen storage vessel[J]. Journal of Failure Analysis and Prevention, 2018, 18 (4) :846-855.
- [25] LIANG B L, YANG X, WANG Z L, et al. Influence of randomness in rubber materials parameters on the reliability of rubber O-ring seal[J]. Materials, 2019, 12 (9) : 1566.

收稿日期:2023-04-17

# Comparative Analysis on Key Factors Influencing Sealing Performance of Rubber Sealing Film for Gas Storage Tank

LIU Xuejing<sup>1</sup>, HUANG Xiujun<sup>1</sup>, JIN Shoufeng<sup>1</sup>, ZHANG Bin<sup>1</sup>, WANG Siqing<sup>1</sup>, XING Yu<sup>1</sup>, LI Yang<sup>2</sup>, ZHAO Hanchen<sup>2</sup>

(1. Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China; 2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd, Xi'an 710043, China)

**Abstract:** The finite element models of the single layer and multi-layered rubber sealing films were established for the rubber sealing structure of the gas storage tank, respectively. The sealing performances of the single layer rubber sealing films with different lengths and thicknesses were analyzed by using the finite element software Ansys, and compared with themulti-layered rubber sealing film with the reinforcing layer and optimized structural parameters. The results showed that, with the increase of the thickness, the maximum deformation and von Mises stress peak value of the single layer rubber sealing film with the reinforcing layer was better than that of the single layer rubber sealing film, particularly, under heavy-duty working pressure. Moreover, the multi-layered rubber sealing film had smaller maximum deformation and von Mises stress peak value of safety coefficient, which was conducive to improving the sealing performance and extending the service life of the rubber sealing film.

Key words: rubber sealing film; sealing performance; reinforcing layer; deformation; von Mises stress