

O 形橡胶圈真空密封性能有限元分析

任琪琛^{1,2}, 孙志和^{1,2}, 王 沛^{1,2}, 胡居利^{1,2}, 卢毛磊^{1,2}, 黄 倩^{1,2}

(1. 安徽万瑞冷电科技有限公司, 安徽 合肥 230088; 2. 低温技术安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230088)

摘 要: 真空容器通常采用 O 形橡胶圈配合矩形密封槽实现真空密封。本文介绍了 O 形橡胶圈真空密封的设计, 利用 ANSYS 建立了 O 形圈两种矩形密封槽非线性有限元分析模型, 研究了不同压缩率及真空度下 O 形圈 Von Mises 应力、接触应力、接触长度的变化, 计算分析了不同压缩率下真空泄漏率的变化。为真空容器 O 形圈真空密封可靠设计及性能优化提供了依据。

关 键 词: 真空密封; Von Mises 应力; 接触应力; 泄漏率

中图分类号: TB743

文献标识码: A

文章编号: 1002-0322(2021)05-0037-05

doi: 10.13385/j.cnki.vacuum.2021.05.05

Finite Element Analysis of Vacuum Sealing Performance of O-ring

REN Qi-chen^{1,2}, SUN Zhi-he^{1,2}, WANG Pei^{1,2}, HU Ju-li^{1,2}, LU Mao-lei^{1,2}, HUANG Qian^{1,2}

(1. *Vacree Technology Co., Ltd, Hefei 230088, China;*

2. *Anhui Key Laboratory of Low Temperature Technology, Hefei 230088, China*)

Abstract: Vacuum vessels usually use O-ring rubber with rectangular sealing groove to achieve vacuum sealing. In this paper, the design of O-ring vacuum seal is introduced. The nonlinear finite element analysis models of two kinds of rectangular sealing groove of O-ring are established by ANSYS. The changes of Von Mises stress, contact stress and contact length of O-ring under different compression ratio and vacuum are studied. The change of vacuum leakage rate under different compression rate is calculated and analyzed. It may provide a basis for reliable design and performance optimization of O-ring vacuum sealing of vacuum vessel.

Key words: vacuum sealing; Von Mises stress; contact stress; leak rate

随着科学技术的发展, 航天、加速器等科研行业对真空的要求越来越高^[1]。O 形橡胶密封具有成本低廉、结构简单、安装使用方便等优点^[2], 广泛使用在常温低真空和高真空系统中。目前常用的真空 O 形圈橡胶密封槽有矩形、燕尾形、V 形等多种形式, 其中矩形密封槽由于加工简单、安装方便而最为常见, 其可分为宽矩形密封槽和标准矩形密封槽, 密封槽结构对密封性能、使用寿命影响很大^[3]。同时, 橡胶材料的高度非线性, 以及 O 形圈压缩变形过程中的几何、接触非线性, 使得对 O 形圈压缩变形、应力分布及接触应力进行理论计算较为困难, 而 O 形圈对真空获得及维持具有重要作用, 采用有限元对其进行力学分析获得 O 形圈真空密封性能的相关数据对指

导真空密封设计、真空密封预测显得尤为重要^[4]。

国内外学者对于不同槽形下的真空密封进行了多方面的研究。Karaszkievicz 基于 Hertz 接触理论建立了 O 形密封圈的接触长度以及接触应力数学模型^[5]。关文锦等使用 ABAQUS 分析了压缩率和介质压力对 O 形圈接触应力、接触长度的影响^[6]。王波^[7]、王勇^[8]等基于 Roth A 密封理论对真空环境中橡胶密封圈的泄漏率进行了研究。李斌^[9]提出了真空环境受内压双重橡胶圈的漏率计算模型。张伟政^[10]分析了真空环境下压缩率和粗糙度对 C 形圈泄漏率的影响。刘维义指出当 O 形圈压缩比一定时, 槽越窄密封比压越高^[11]。但对于标准矩形密封槽的研究鲜见报道。

本文以 O 形橡胶圈与宽、标准矩形两种密封