

柱形杜瓦瓶端盖密封结构有限元分析

曹洋¹, 吴臣武², 金乘进¹

(1. 中国科学院 国家天文台, 北京 100012; 2. 中国科学院 力学研究所 北京 100080)

摘要:建立了针对柱形真空杜瓦容器端盖密封结构的轴对称模型。基于有限元软件 ANSYS 的结构非线性分析模块, 分析了内、外密封圈与端盖的接触响应, 得到了中心盖板的挠度、密封圈的变形与接触压力。求解了考虑密封圈的变形抗力时, 螺栓需提供的压紧力附加值, 其分析结果对类似结构杜瓦瓶的设计有一定的参考价值。

关键词:杜瓦容器; 端盖; 密封结构; 有限元; 接触

中图分类号:TH122; TH123.3

文献标识码:B

文章编号:1002-2333(2006)06-0114-02

Finite Element Analysis on the Sealing Structure of the Bulkhead for a Columniform Dewar

CAO Yang¹, WU Chen-wu², JIN Cheng-jin¹

(1. National Astronomical Observatories, Beijing 100012, China;

2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China)

Abstract: An axial symmetrical model is set up for the sealing structure of the bulkhead plate for a columniform dewar. The behaviors of contacts between the inner/outer sealing rings and the plate are investigated based on the FEA software ANSYS. The deflections of the central bulkhead plate, the deformation of the sealing rings and the contact pressure are obtained. The accessional pressure required when the deformation of the sealing ring is taken into account is calculated.

Key words: dewar; bulkhead plate; sealing structure; FEA; contact

1 引言

杜瓦瓶是射电望远镜接收机系统的前端低温系统的一个组成部分。本文讨论的是一个圆柱型的不锈钢真空杜瓦。用于射电天文观测上的真空杜瓦不同于其它工业上所用的杜瓦容器, 有其特殊的结构及使用要求。天线汇集到的射电信号通过杜瓦瓶上的特殊微波窗口进入杜瓦内部, 并为其内部安装排列着的一系列的微波器件进行放大、滤波等处理。这些微波器件较理想的工作条件是低温度, 以降低损耗和噪声水平。射电天文观测中杜瓦瓶在工作时间内应保持真空度在 10^{-3} Pa 以上、温度 10~20 K 左右的内部环境。杜瓦瓶内部装有制冷机, 但是要获得持续低温的一个重要条件是保持高真空度, 所以杜瓦瓶的密封结构及密封效果是设计中的主要问题之一。本文基于 ANSYS 有限元软件, 对我台目前正在研制的 L 波段脉冲星接收机的杜瓦瓶^[1]端盖的密封结构进行综合分析, 分析了密封圈的变形及接触压力, 校验其密封效果; 计算了中心盖板的变形, 以校验其强度; 估算了密封圈变形抗力作用下, 螺栓压紧力的附加值。

2 端盖密封结构及有限元模型

图 1 所示为杜瓦瓶的端盖密封结构。其中盖板 1 与底板以螺栓连接, 底板与盖板 2 以螺栓连接, 盖板 2 以焊接的方式与杜瓦瓶圆柱体连接。内、外密封圈采用 O 形密封圈及矩形密封槽^[2], 保证盖板与底板之间的密封。盖板与底板均使用不锈钢材料, O 形密封圈材料为丁腈橡胶, 肖氏硬度 75, 材料常数如下表所示。

本文在建立杜瓦密封端盖的有限元模型时, 将圆周均布的螺栓连接处理成该圆周上的连接环形式, 径向宽

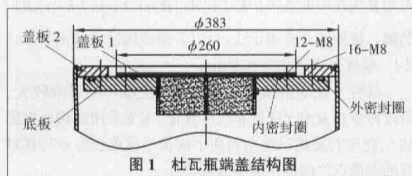


图 1 杜瓦瓶端盖结构图

材料弹性常数表

	弹性模量	泊松比	摩擦系数
丁腈橡胶	7.8×10^8 Pa	0.47	0.1
不锈钢	2.06×10^{11} Pa	0.3	--

度为 w 。即在螺栓位置的圆周上盖板与底板的界面节点耦合, 保持位移连续。于是模型可作轴对称问题处理如图 2 所示, 其中 Y 轴即为对称轴。盖板 1 和盖板 2 的上表面将承受大气压力 (1.01×10^5 Pa) 作用, 同时模型中 Y 方向的位移约束施加在盖板 2 的支撑面上, 这里不考虑杜瓦瓶圆柱体体的弯曲变形等。密封圈与密封槽、盖板以及盖板与底板之间采用接触单元^[3] (单元 TARGE169 和 CONTA172) 建立面-面接触对, “接触面” 定义在密封圈的边界单元上, “目标面” 定义在盖板及底板与密封圈可能接触的边界上。整个结构以 Plane 42 号单元离散成共计 16315 个单元。

3 结果与分析

3.1 盖板接触压力及变形

图 3(a) 显示了端盖板接触压力等值云图。可见在大气压、密封圈和圆周均布螺栓的共同作用下, 盖板 1 和盖板 2 的变形将如图 3(b)、(c) 所示。密封效果取决于密封圈与盖板及底板的接触面积与接触压力。

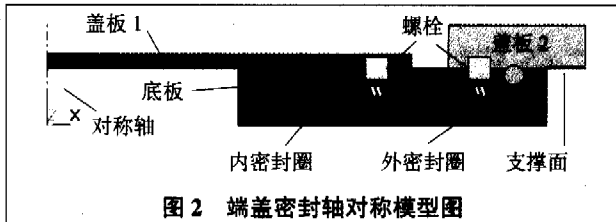


图2 端盖密封轴对称模型图

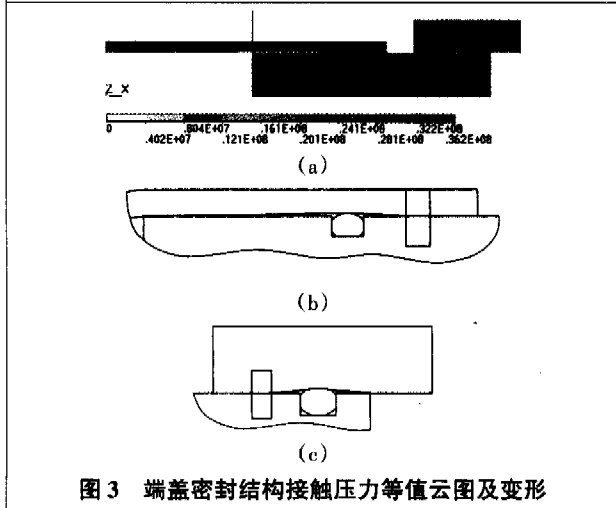


图3 端盖密封结构接触压力等值云图及变形

盖板1的y方向变形显示在图4中,盖板1的厚度设计为5mm,盖板中心的挠度仅为0.0512mm。这表明盖板1的厚度仍然存在相当大的可调整性。但还应综合考虑加工及装配时的影响。

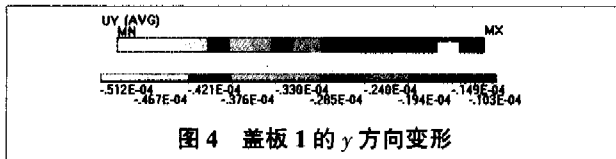


图4 盖板1的y方向变形

3.2 密封圈变形及接触压力

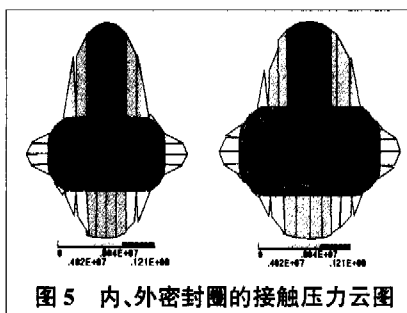


图5 内、外密封圈的接触压力云图

图5所示是密封圈的接触压力,其中左图为内圈,右图为外圈。可见,由于盖板和底板的刚度差异以及密封圈与槽壁面摩擦,导致密封圈接触压力上下并不完全对称。上方与盖板接触的压力峰值要比下方与底板接触的压力峰值高。

图6所示是内、外密封圈的等效应力云图,其中左图为内密封圈,右图为外密封圈,网状圆形表示的是密封圈初始状态的截面。密封圈承受着近似静水压力的载荷,其Von-Mises等效应力比较低。

图6所示是内、外密封圈的等效应力云图,其中左图为内密封圈,右图为外密封圈,网状圆形表示的是密封圈初始状态的截面。密封圈承受着近似静水压力的载荷,其Von-Mises等效应力比较低。

3.3 考虑密封圈的变形抗力时,螺栓受力估算方法及结果

盖板螺栓应提供的附加压紧力估算:首先计算螺栓位于交界面处的横截面上y方向正应力 σ_y ,其正应力分布如图7所示。结果表明,在密封圈变形抗力作用下,螺栓正应力分布并不均匀。对于盖板1的螺栓而言,密封圈

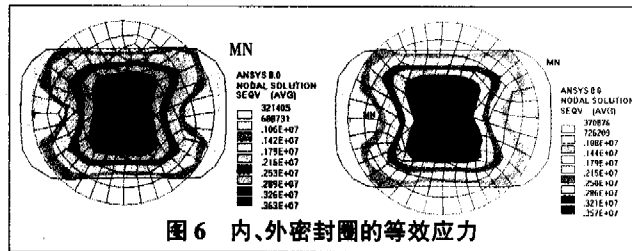


图6 内、外密封圈的等效应力

在内而螺栓在外,所以螺栓截面的正应力在内边界处为拉应力,随着距内边界距离增大,拉应力急剧减小,在外边界处甚至出现压应力。对于盖板2的螺栓,密封圈在外而螺栓在内,所以螺栓截面正应力分布规律恰好相反。

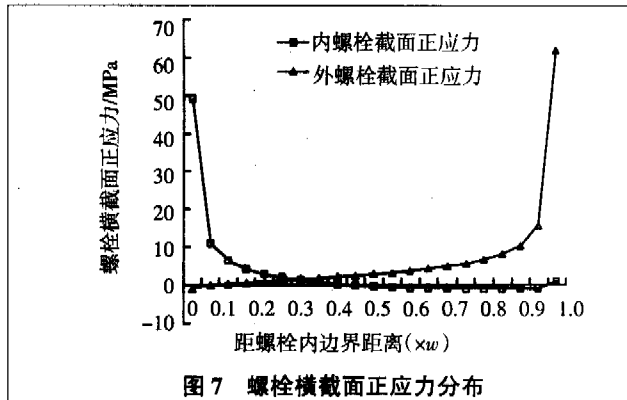


图7 螺栓横截面正应力分布

则螺栓应提供的总压紧力F为

$$F = 2\pi r \int_0^w \sigma_y dx$$

其中r为螺栓中心距端盖中心的距离。若盖板安装2n个螺栓,则每个螺栓所需提供的附加压紧力为F/2n。结合本文所设计的结构尺寸,内螺栓应提供的总的附加压紧力约为13250N,每个螺栓应提供附加压紧力为约1104N;外螺栓需提供的总的附加压紧力为40988N,每个螺栓应提供附加压紧力为约2561N。

4 结论

本文针对柱形杜瓦容器的端盖密封结构,建立了轴对称有限元模型。以面-面接触单元,模拟了结构的超弹性非线性行为。得到以下分析结果:

- (1)盖板1厚度为5mm时,大气压和密封圈作用导致盖板1的附加变形很小,中心最大挠度仅为0.0512mm。
- (2)O圈的变形比较均匀,接触长度大于密封槽宽度的60%;接触压力呈现平缓过渡。
- (3)由于密封圈的作用,内、外螺栓应提供的附加压紧力分别为13250N和40988N。

【参考文献】

[1] 曹洋,吴臣武,金乘清,等.柱形杜瓦容器圆端板的结构设计与分析[J].机械工程师,2005(9):105-107.
[2] 达道安.真空设计手册[M].北京:国防工业出版社,2004.

(编辑 立明)

作者简介:曹洋(1975-),女,工程师,主要从事射电望远镜接收机系统的机械结构设计工作。

收稿日期:2006-02-26