

文章编号: 1002-5855 (2008) 03-0032-04

527WS - 1 型舷侧舌阀阀体的有限元分析

易先中¹, 江山¹, 邓洋¹, 马卫国¹, 李爱平², 闵文涛²

(1. 长江大学 机械工程学院, 湖北 荆州 434023; 2. 武昌造船厂, 湖北 武汉 430063)

摘要 运用 ANSYS 和 Pro - E 软件的无缝连接技术, 对在水下高压状态下工作的 527WS - 1 型舷侧舌阀阀体进行了多种工况的有限元力学分析。研究表明在关闭、开启和强度试验等 3 种工况中, 以舌阀在开启状态工作时, 阀体所受的力最大, 但最大应力值只为其材料的塑性强度极限的 65%, 阀体表面将无塑性变形出现, 满足强度要求, 增加阀体内壁面两斜交中空圆柱体处的过渡圆角半径, 可显著改善阀体的应力集中状态。

关键词 船用阀; 舌阀; 阀体; CAD

中图分类号: TH134 **文献标识码**: A

Finite element analysis of valve body in 527WS - 1 type ship side flap valve

YI Xian-zhong¹, JIANG San¹, DENG Yang¹, MA Wei-guo¹, LI Ai-ping², MIN Wen-tao²

(1. School of Mechanical Engineering Yangtze University, Jingzhou, 434023, China; 2. Wuchang Shipyard, Wuhan 430063, China)

Abstract: Mechanical strength problems of the valve body in 527WS - 1 type ship side flap valve in underwater high pressure are analyzed elaborately, using the integrated technology between ANSYS software and Pro-E software. The obtained results show that all of three statuses whose are open, close and waterproof test, the biggest stress value occurs in the valve body when the flap valve is open. This stress value is approximately 65 percent the range of minimum yield strength, the strength condition of valve body is satisfied and the valve is safe in all three statuses. The stress concentration effect is weakened with increasing the internal transition radius between two hollow inter-secant cylinders of the valve body. It is recommended that the optimization transitional radius is nearly 0.5 ~ 0.8 the thickness of valve body in order to decrease the stress concentration.

Key words: hull valve; flap valve; valve body; CAD

1 概述

527WS - 1 型舷侧舌阀是大型船舶和水下潜艇中重要的关键部件。在使用过程中, 若舷侧舌阀的强度或刚度出现问题, 将会导致系统流体渗漏等严重事故。阀体是舷侧舌阀受力和承载的核心零件。采用有限元数值分析方法, 对阀体在不同工作状态下的力学行为进行分析, 判断其受力集中部位和薄弱环节, 并对应力集中严重的局部进行改进, 对于改善舷侧舌阀的工作性能和提高设计的可靠性具有重要意义。有限元数值分析方法 (Finite Element Method / Finite Element Analysis, 简称 FEM/ FEA)

是现行国际上大型高耸建筑、水下潜艇和宇航飞船等重要工程结构强度分析与安全性评价的通用数学手段^[1-3]。

2 结构特点

527WS - 1 型舷侧舌阀是一种手动控制的机械式旋塞阀, 具有环境介质的反向止回功能, 工作压力为 10MPa。阀门在管道上主要作切断用, 通常处于关闭状态或开启状态。另外, 阀在性能指标检验时需承受紧密性压力试验的非工作状态。

图 1 为 527WS - 1 型舷侧舌阀阀体的基本形状, 其主体部分系由两个斜交的中空圆柱体构成。

基金项目: 湖北省自然科学基金 (2005ABA310) 和湖北省教育厅科学技术研究项目 (D200612003)。

作者简介: 易先中 (1963 -), 男, 教授, 从事 CAD/ CAE/ CAM、先进钻采机械和机电一体化技术等研究。

阀体材料为 $ZCuAl18Mn13Fe3Ni2$ ，抗拉强度极限 $\sigma_b = 645\text{MPa}$ ，抗压强度极限 $\sigma_s = 280\text{MPa}$ ，适用于淡水、海水及油品等介质，满足 GB 600 - 91 验收技术条件。

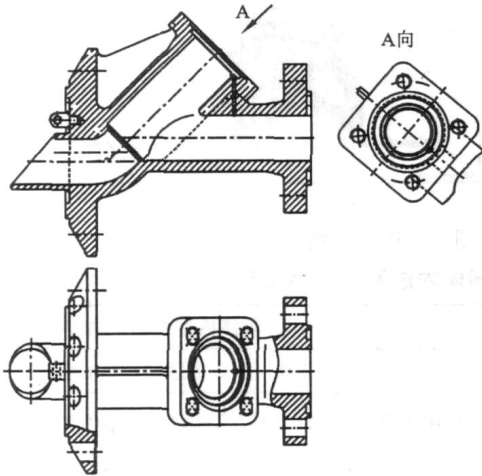


图 1 舌阀阀体结构模型

3 阀体建模

在舌阀阀体的有限元分析过程中，采用 Pro - E 软件制作三维实体模型，把 ANSYS 软件集成在 Pro - E 软件中，可从实体模型直接进入应力分析状态，实现了软件之间的无缝连接^[4]。

在 ANSYS 数值分析中，几何模型的精度十分重要。由于阀门中的阀体零件的形状比较复杂（如圆角、连接孔等），不论是自顶向下的布尔运算还是自底向上的建模方法都难以实现，所以采用了在 Pro - E 中创建舌阀阀体的真实形体几何模型，然后将模型导入 ANSYS 中进行有限元分析。由于 ANSYS 是直接集成在 Pro - E 之中，几何模型向分析模型的转换过程是在不脱离 Pro - E 和 ANSYS 这两个软件的环境下交互进行，从而实现了软件间的无缝连接，真正做到了 CAD/CAE 技术一体化。

3.1 三维模型的建立

按照舌阀设计图纸，用 Pro/E 完成阀体主体部份的三维造型（图 2）。由于阀体的物理形状、材料和载荷等都具有对称性，为了节省计算机资源，同时为了显示阀体内腔（便于后续过程的加载），将研究对象沿对称面截取其一半。

3.2 单元类型和材料数据

使用 ANSYS 9.0 软件在计算机上做 3 维线弹性静力分析，根据阀体的结构特点、载荷类型以及分析的需要，选择砖形六面体单元 Solid45，此单元有 8 个节点。每个节点有 3 个自由度，可以很好

地描述阀体的受力和变形情况，计算结果精度高。ANSYS 软件所有的分析都要输入材料的物理属性参数，例如阀体所采用材料的弹性模量和泊松比等。

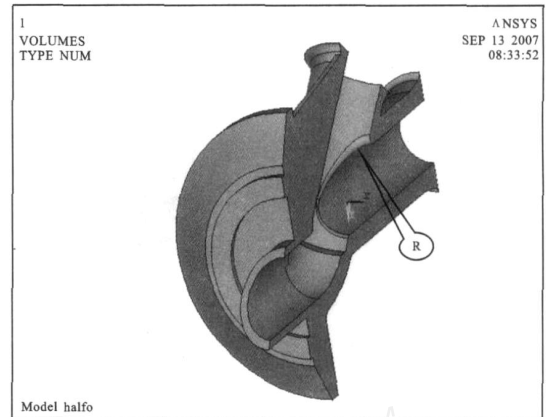


图 2 阀体实体模型（ R —过渡圆角， $R = 5\text{mm}$ ）

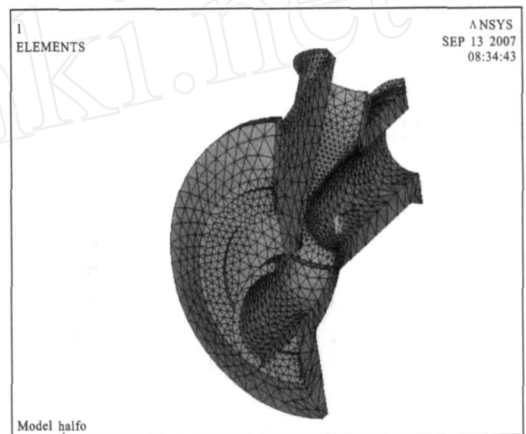


图 3 实体模型的网格划分

3.3 网格划分与约束条件

使用网格工具中的 Smart Size（智能分网）工具进行分网，并将划分精度定为 5，系统将自动根据阀体模型的形状和尺寸、模型局部的曲率、线与线之间的距离以及所设置的精度级别，自动选择合适的网格密度进行划分（图 3）。

在载荷的作用下阀体的对称面只存在 Y 和 Z 方向的变形，所以选择阀体模型的对称截面，并在垂直于纸面方向的截面上施加 X 方向的约束。最后根据舷侧舌阀的工作原理在图示的位置添加全约束（图 4 和图 5，其中只画出了圆角半径 $R5\text{mm}$ 的添加约束条件图，其他几个不同圆角半径的添加约束条件图与之完全相同）。

4 阀体典型状态下的有限元力学分析

4.1 关闭状态

关闭状态下阀体的位移变形和应力分布如图 6

所示。

4.2 阀体内壁

由图2知, R 为阀体主体结构中两斜交中空圆柱体内壁面的过渡圆角半径, 该半径的大小与两

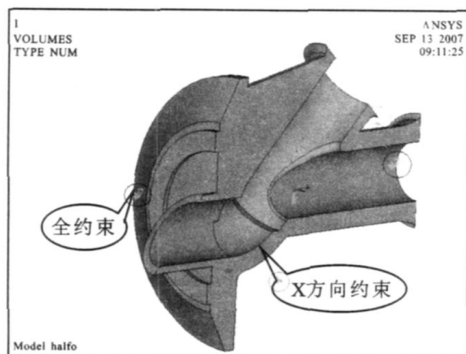


图4 实体模型的约束条件 ($R = 5\text{mm}$)

内壁面连接部位的应力分布情况直接相关。设 S_B 为阀体的壁厚, 表1列出了舌阀处于开启工况时, 不同阀体内壁相对圆角半径 ($R_0 = R / S_B$) 下阀体的最大应力值。

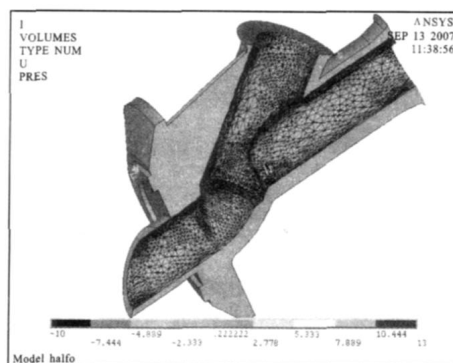


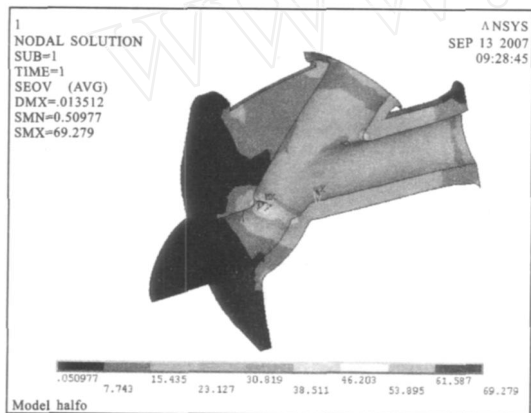
图5 开启时阀体载荷的施加 ($R = 5\text{mm}$)

表1 阀体内过渡圆角半径与开启工况最大应力值的关系

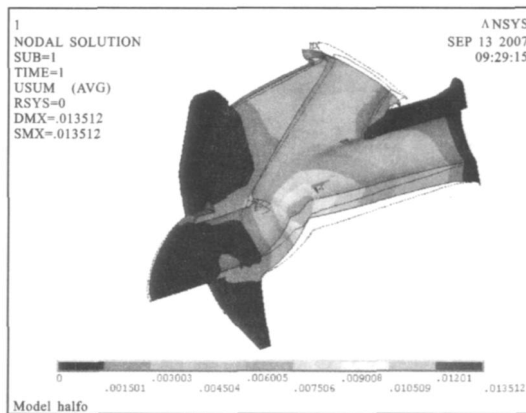
舌阀处于开启工况	阀体内壁相对圆角半径 R_0			
	0	0.5	0.8	1.0
最大应力值(MPa)	220.886	180.419	170.513	184.939
相对变化值(%)	1	18.32	22.80	16.27

4.3 开启状态

舌阀在开启时的位移变形和应力分布见图7。

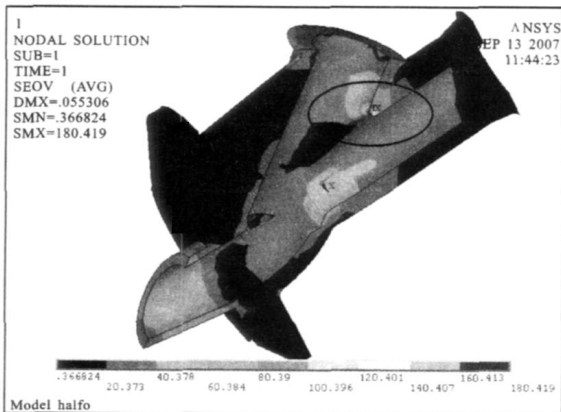


(a) 应力分布图

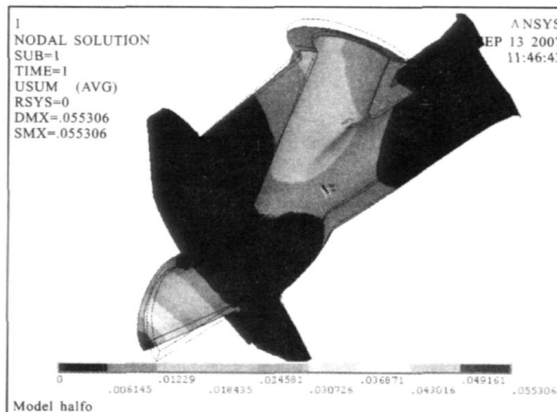


(b) 位移变形图

图6 舌阀在关闭状态 ($R = 5\text{mm}$)



(a) 阀体的应力分布图



(b) 阀体的位移变形图

图7 舌阀在开启状态 ($R = 5\text{mm}$)

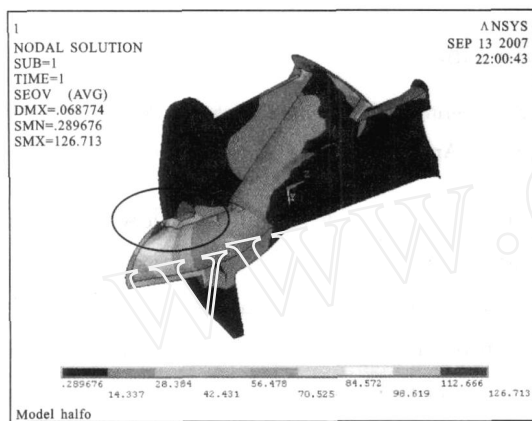
4.4 试压状态

舌阀在试压状态时的位移变形和应力分布见图8。

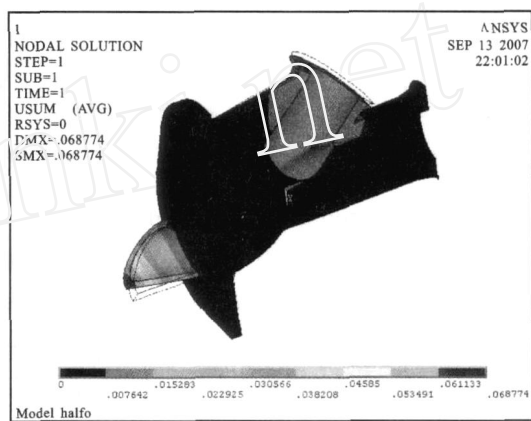
5 结语

(1) 舌阀在开启状态工作时, 阀体的受力最大, 但最大应力值只为其材料的塑性强度极限的65%。阀体表面将无塑性变形出现, 满足强度要求。527WS-1型舷侧舌阀有2种基本工作状态(即关闭状态和开启状态)和1种特殊状态(即强度试验工况)。对比图6a和图7a可知, 在舌阀开启时, 阀体的受力最大。最大应力出现在阀体内壁两接缝部位的上端局部(见图7a中的圆圈标记), 但应力集中的区域较小, 该处的圆角半径设计值为

5mm。当内压为10MPa时, 应力集中区域的最大应力值为180.419MPa。该应力值小于材料的抗压强度极限 $\sigma_s = 280\text{MPa}$, 将不会出现严重的塑性变形, 其强度是安全的。在舌阀关闭时, 阀体的受力最大部位是在阀瓣与阀体的密封面上, 最大应力值为69.279MPa。该值仅为舌阀开启时, 阀体在10MPa工作压力状态下最大应力值的38.4%, 完全满足强度要求。强度试验工况是舌阀的一种特殊状态。试验内压为12.5MPa时, 阀体的最大应力值出现在阀体的出口端, 位于圆周方向, 其值为126.713MPa, 仅为材料的塑性强度极限的45%, 满足强度要求。



(a) 阀体的应力分布图



(b) 阀体的位移变形图

图8 舌阀在强度试验状态 ($R = 5\text{mm}$)

(2) 舌阀在试压工况时, 其阀体的变形量大于关闭和开启工况的变形量, 但其位移值仅为 $10\mu\text{m}$ 量级, 小于壁厚的0.7%, 符合刚度条件要求。舌阀在关闭工况时, 阀体受力变形后的最大位移量出现在阀瓣与阀体接触部位, 其值约为0.014mm, 小于壁厚的0.2%, 具有足够的刚度条件。舌阀开启后, 阀体在10MPa压力状态下工作, 其阀瓣与阀体接触部位的应力得到释放, 应力分布发生变化。最大应力出现在阀体内壁两接缝部位的上部, 整体变形由于受到边界条件的约束和限制, 其最大位移量出现在阀体的出口端, 其值为0.055mm。该最大位移值不足壁厚的0.6%, 符合刚度条件。舌阀在强度试验状态下的内压为12.5MPa时, 其最大位移量也由于受到边界条件的约束, 出现在阀体的出口端, 其值为0.069mm。该最大位移值仅为壁厚的0.7%, 满足刚度条件要求。

(3) 改变阀体两斜交中空圆柱体内壁面的过渡圆角半径, 可改善阀体的应力集中状态。舌阀处于开启状态工作时, 阀体的受力最大。增加阀体两斜交中空圆柱体内壁面的过渡圆角半径 R , 可适当改善阀体的应力集中状态。由表1的数据可知, 当相对过渡圆角半径 $R_0 = 0.8$ 时, 开启工况时阀体的最大应力集中程度可下降22.8%。因此, 推荐阀体内壁斜交处的最佳过渡圆角半径为其壁厚的0.5~0.8, 该值可为设计时参考。

参 考 文 献

- [1] 周思柱, 袁新梅, 罗颖萍. 井口阀体有限元计算与简化计算的比较[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(2), 256-257.
- [2] 王敏, 刘金梁, 王加庆. 超临界截止阀阀体强度应力分析[J]. 阀门, 2006, (3), 20-23.
- [3] 曹国强, 包明宇. 基于ANSYS的节流阀阀体结构有限元分析[J]. 通用机械, 2002, 创刊号, 51-53.
- [4] 张波, 盛和太. ANSYS有限元数值分析原理与工程应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005, 1-494.

(收稿日期: 2007.11.08)