

EAST 外杜瓦泄放保护装置中爆破片的分析研究

盛道林¹, 武松涛¹, 朱银锋²

(1. 中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031; 2. 安徽建筑工业学院机电学院, 合肥 230022)

摘要: 在外杜瓦系统上设置了爆破片装置, 借助大型有限元分析程序 ANSYS, 对爆破片和托架进行了分析, 所得结果与实验结果良好吻合, 为同类装置的过压泄放提供了有益的参考。

关键词: 外杜瓦; 爆破片; 过压泄放装置; 有限元
中图分类号: TH49

文献标志码: A

1 引言

EAST 装置中的外杜瓦是超导磁体、冷却管路与外部电源和低温车间的连接界面, 为内部部件提供了一个高真空的环境, 减小了内部部件对流产生的热交换。在装置内部存在氦泄漏的状况下, 外杜瓦内部的压力将急剧升高, 可能会导致外杜瓦等部件的损坏, 因此必须对 EAST 装置的外杜瓦设置过压泄放装置。通过 ANSYS 数值模拟的方法, 对保护外杜瓦的过压泄放装置的爆破片进行了结构分析^[1]。

2 泄放装置结构设计

泄放装置的三维模型如图 1 所示。爆破片因反应灵敏、密封性能好、可靠性高、维修和更换方便, 被用于外杜瓦的过压保护。EAST 装置正常运行时爆破片处于密闭状态, 当其内部压力由于氦泄漏达到爆破片的标定爆破压力时, 膜片即自行爆破, 过压的氦气迅速泄放, 使外杜瓦得到保护。

EAST 外杜瓦系统泄放装置主要由爆破片和夹持器组成, 爆破片采用正拱环向开缝型, 它由三层膜片叠合在一起构成, 如图 2 所示。其中, 开有贯穿槽的爆破片是用来承受压力的强度膜, 材料采用无磁、低出气率的 316LN, 其机械强度如表 1 所示; 中间一层是起密封、传递压力的聚四氟乙烯密封膜; 下面一层是开有贯穿孔、槽, 用以增加刚度和

承受背压的 316LN 的托架。托架在正向爆破时不承受压力, 爆破压力主要由强度膜和密封膜承担^[2]。

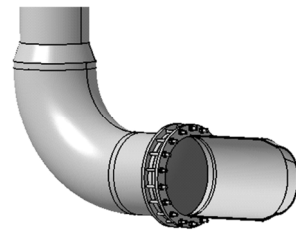


图 1 泄放装置三维模型

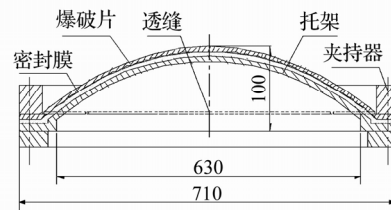


图 2 正拱型爆破片示意图

表 1 316LN 的机械强度

温度/K	机械强度/MPa	
	屈服强度	断裂强度
80	820	1360
300	310	620

收稿日期: 2009-07-15; 修订日期: 2010-03-22

基金项目: 国家“九五”重大科学工程资助项目

作者简介: 盛道林(1968-), 男, 安徽人, 副教授, 博士研究生, 核能科学与工程专业。

3 爆破片的结构分析

正拱环向开缝型爆破片在透缝端部加工有直径为 3mm 的终止小圆孔，通过调整相邻终止小孔中心间的大小，可获得结构所需的破裂压力^[3]。由于壳面已经有贯穿的透缝，介质的密封通过在受压侧加设厚度约为 0.05mm 的聚四氟乙烯薄膜来实现。根据设计要求，爆破片的相对爆破压力为 0.2atm。

对于爆破片的结构分析，假设超压过程是在短时间内进行的，并且把超压引起的压力载荷看成静载荷。定义爆破片和托架的材料属性，弹性模量为 192GPa，泊松比为 0.28。用 shell181 壳单元对厚度为 0.3mm 的爆破片划分单元，对爆破片模型的边缘施加全约束，对凹面施加 1.2atm，凸面施加 1atm。爆破片变形矢量图如图 3 所示，爆破片应力云图如图 4 所示。从图 3、4 的分析结果可知，爆破片的最大变形约为 9mm，最大应力约为 3400MPa，超过了材料的断裂强度，爆破片在桥长部位发生断裂而爆破。

当外杜瓦内部处于高真空时，2mm 厚的托架需承受外界大气压。用 shell181 单元对托架划分单元，对托架边缘的下平面施加全约束，对凸面施加 1atm。托架变形矢量图如图 5 所示，托架应力云图如图 6 所示。从图 5、6 的分析结果可知，托架的最大变形约为 0.03mm，最大应力约为 19.2MPa，远小于 316LN 的断裂强度，托架在外杜瓦正常运行时强度足够。

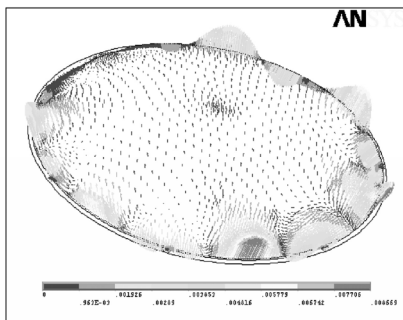


图 3 爆破片变形矢量图
单位为m。

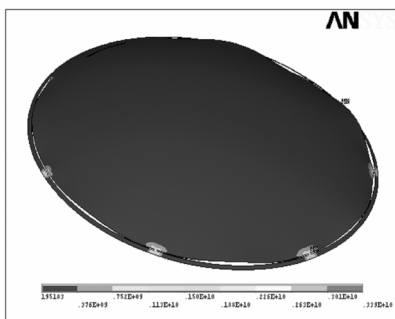


图 4 爆破片应力云图
单位为Pa。

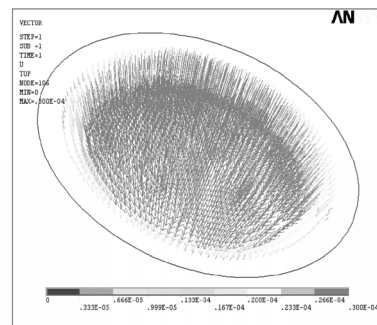


图 5 托架变形矢量图
单位为m。

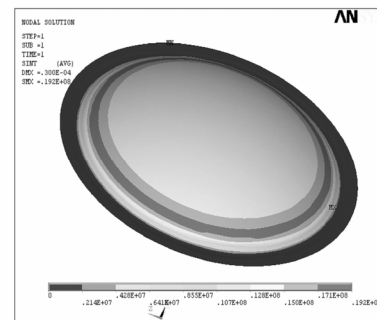


图 6 托架应力云图
单位为Pa。

4 实验验证

为验证分析结果的可靠性，对试制的爆破片进行了实验。爆破片爆破实验现场照片如图7所示，采集到的爆破片随压力变化发生爆破的关系曲线如图8所示，实验结果表明设计的爆破片满足EAST工程应用的要求。

5 结论

爆破片是EAST装置外杜瓦系统的过压保护部件，其较低的漏率能有效保证外杜瓦对高真空的要

求；而它的快速泄放能力能有效保证外杜瓦在超压状态下的安全。利用基于有限元技术的ANSYS软件，对爆破片和托架分别进行了过压和正常工作状态下的分析，由此得到的结果与实验结果能够良好吻合，对爆破片的进一步结构设计和优化提供了有益的参考。

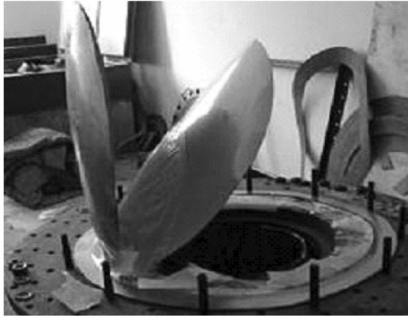


图 7 爆破片爆破实验照片

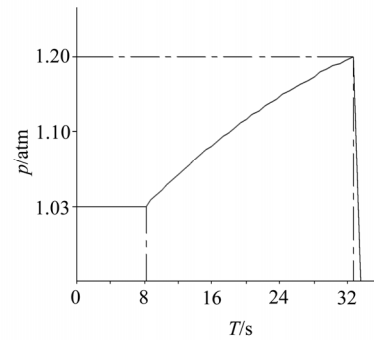


图 8 爆破片随压力变化发生爆破的曲线

参考文献：

- [1] Song Y T, Yao D M, Wu S T, et al. Temperature field and thermal stress analysis of HT-7U vacuum vessel [J]. Plasma Physics and Technology, 2000, 2(5): 443-448.
- [2] 顾雪铭, 杨秀霞. 密封膜对正拱开缝型爆破片爆破压力的影响 [J]. 化工装备技术, 2000, 21(5): 34-35.
- [3] 顾雪铭, 吴全龙, 杨秀霞. 正拱环向开缝型爆破片的爆破性能 [J]. 华东理工大学学报, 2004, 30(1): 99.

Analysis study on the bursting disc of overpressure venting device for vacuum vessel of EAST

SHENG Dao-lin¹, WU Song-tao¹, ZHU Yin-feng²

(1. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Anhui University of Architecture, Hefei 230022)

Abstract: The bursting disc was set on the vacuum vessel system. The bursting disc and the bracket were analyzed based on the finite element code, ANSYS. The results are in accord with the experimental results. All of the results provided a valuable reference to the design of similar overpressure venting devices.

Key words: Vacuum vessel; Bursting disc; Overpressure venting device; Finite element