

垂直发射装置排气道极限承压性能分析

任克亮, 吴利民

(中国船舶重工集团公司第七一三研究所, 郑州 450015)

摘要: 目的 研究导弹在意外点火时排气道的力学性能及导弹发射的安全性, 对排气道的极限承压性能进行研究。方法 建立排气道的极限承压的仿真模型, 通过水压试验及发射试验, 获取排气道不同种试验方式下的极限承压数据。结果 排气道在导弹正常发射时承压设计值为 0.3 MPa。极限承压仿真试验过程中, 排气道在受到 0.5 MPa 压强时, 所受应力超过材料最大抗拉极限。水压试验过程中, 排气道受 0.58 MPa 压强时, 其结构发生破坏。意外点火试验过程中, 排气道所受最大压强值为 0.24 MPa。结论 排气道的极限承压能力可以满足正常发射及意外点火的发射要求, 排气道的设计裕量充足。

关键词: 热发射; 排气道; 正常发射; 意外点火; 极限承压;

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.09.011

中图分类号: TJ393

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)09-0053-04

Limit Pressure Property of Vertical Launcher Exhaust Chimney

REN Ke-liang, WU Li-min

(713 Research Institute of China Shipbuilding Industry Corporation, Zhengzhou, 450015, China)

ABSTRACT: **Objective** To study limit pressure property of exhaust chimney, mechanical property of the exhaust chimney in unexpected ignition of missile and the safety of missile launching. **Methods** A simulation model for limit pressures of exhaust chimney was built. Water pressure experiment and launching experiment were carried out to obtain data on limit pressure of the exhaust chimney in different types of test. **Results** The design pressure of the exhaust chimney in abnormal launching was 0.3 MPa. The stress of the exhaust chimney surpassed the maximum tensile limit was 0.5 MPa. The structure was destroyed at 0.58 MPa in the water pressure experiment. The limit pressure of the exhaust chimney was 0.24 MPa in unexpected ignition. **Conclusion** The limit pressure of exhaust chimney meets the requirements of normal launching and unexpected ignition. The design allowance of the exhaust chimney is enough.

KEY WORDS: heat launch; exhaust chimney; normal launching; unexpected ignition; limit pressure

热发射技术^[1-2]可以应用到多种发射平台上, 基于热发射技术的垂直发射装置是导弹发射平台的一种, 可兼容多型号导弹的发射。燃气排导系统是垂直发射装置的重要组成部分, 将导弹产生的高温高压燃气流排入大气。以热发射为基础的燃气排导系统可分为公共排导方式和独立排导方式^[3-4]。其中同类型号的以公共排导为主要方式的发射装置燃气排导性能已有研究, 其计算结果定性地描述了燃气排导系统的

各项力学性能^[5-13], 但只描述了导弹正常发射情况下的燃气排导力学性能, 未对导弹意外点火时燃气排导的力学性能进行定量的分析和研究^[14]。

排气道是燃气排导系统的组成部分, 导弹在正常发射情况下, 排气道自身的设计裕度可满足发射要求。在意外点火情况下, 排气道的极限承压能力可能影响发射装置的安全性。研究排气道的极限承压性能有着重要意义。

通过建立某垂直发射装置的排气道的仿真计算模型,根据不同工况,计算出排气道所能承受的极限压力值。通过水压试验,对其力学性能进行分析,最后与发射试验结果进行对比,从而得到排气道的极限承压性能。为发射装置的安全性提供工程设计参考。

1 仿真试验

导弹正常发射时,排气盖打开,燃气流经排气道排入大气。意外点火时,排气盖关闭,燃气流聚集至排气盖,将排气盖涨破,然后燃气经排气道排入大气。排气道结构如图1和图2所示。

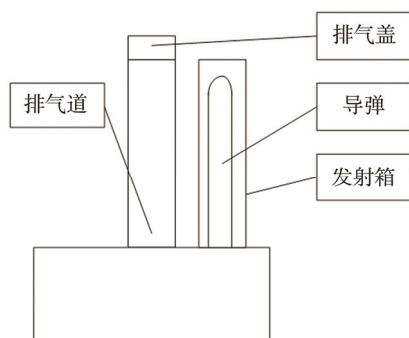


图1 导弹发射示意

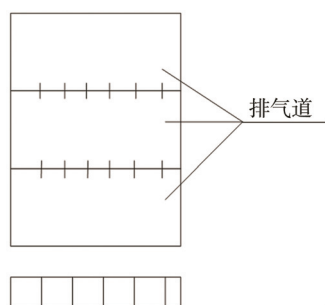


图2 排气道示意

1.1 基本假设

排气道金属基体焊接而成,成分为 Q345,材料的抗拉极限为 470 MPa。

1) 排气道为型腔结构,所有焊缝联接可靠,通过焊缝联接的各部件为一整体。

2) 排气道由上、中、下三段组成,由法兰与外蒙皮焊接而成,各段之间用螺栓方式进行连接,计算过程中,各段排气道上下法兰采用实体模型。

1.2 边界条件

采用 ANSYS 软件,采用 SHELL188 壳单元,材料的弹性模量为 206 GPa,泊松比为 0.3。

1) 排气道内腔上分别均匀分布 0.3, 0.4, 0.5 MPa 压强,共三种计算工况。

2) 将排气道出口和入口法兰约束,其变形为 0。

1.3 计算结果

计算结果如 3—5 所示,可以看出,排气道在承受 0.5 MPa 压强作用工况下,排气道所受最大应力为 570 MPa,大于材料的抗拉极限值。根据仿真试验结果,初步分析出排气道在承受 0.5 MPa 压强情况下承压性能可能失效。

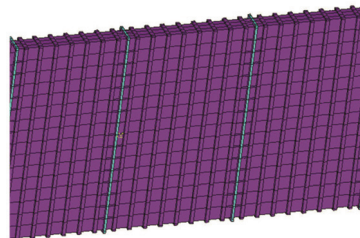


图3 计算模型

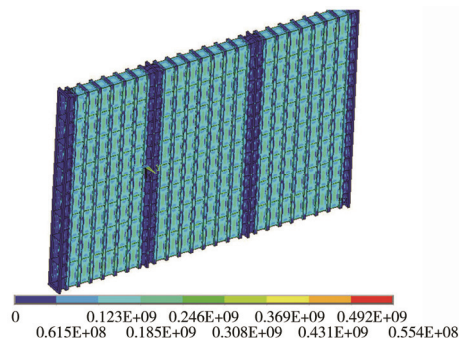


图4 计算云纹

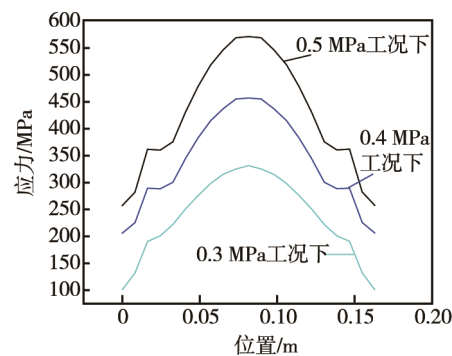


图5 不同工况下排气道最大应力结果

2 水压试验

由于排气道由多段组成,各段之间通过螺钉与密封垫联接,联接处涂有密封胶,保证其密封性。抽取一段,采用排气道工装对其进行固定,工装与排气道法兰间采用螺钉及密封垫并涂密封胶的形式进行联接,对其进行极限承压试验,排选取特征测试点,收集承压数据。

2.1 试验模型及方法

排气道工装与排气道连为一体,一端进水,一端出水。通过压力泵按照一定的水压梯度将水打压至排

气道型腔内，待排气道出现破坏时，停止打压，得出排气道极限承压最大值，试验结束后放水。其试验模型如图 6 示。

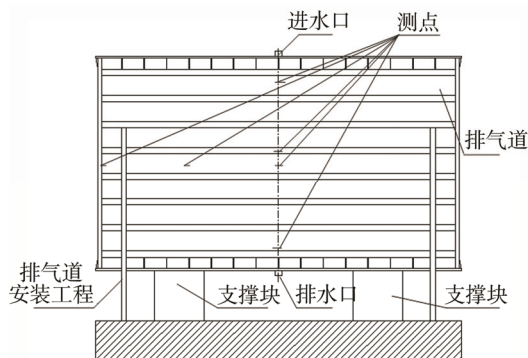


图 6 排气道水压试验模型

2.2 试验条件

- 1) 初始阶段，对排气道整个型腔注水，水注满后保压 3 min，使排气道保持平衡承压状态，材料处于受力状态开始弹性变形。
- 2) 待排气道水压保持平衡后，对排气道继续充水加压至 0.3 MPa，以 0.3 MPa 为基准，每隔 0.02 MPa 对排气道进行加压。
- 3) 当排气道出现裂纹，各边连接处焊缝局部出现开裂，排气道本体外围有水渗漏时可视为排气道已出现破坏，此时的压强值为排气道极限承压值。

2.3 试验结果

试验过程中，当排气道内承压达到 0.58 MPa 时，排气道焊缝开裂，出现漏水，排气道局部发生破坏。对排气道各测点测试数据进行分析，得出排气道最大应力及应变测试点变化规律，结果如图 7、图 8 所示。由图 7、图 8 可知，随着压强值的增加，排气道所受的应变与应力逐渐增大，呈线性关系。排气道金属基体逐渐由弹性变形向塑性变形发展，直至金属基体出现破坏。当排气道金属基体出现破坏时，此时测得最大压强值为 1 100 MPa，最大变形为 9 mm。

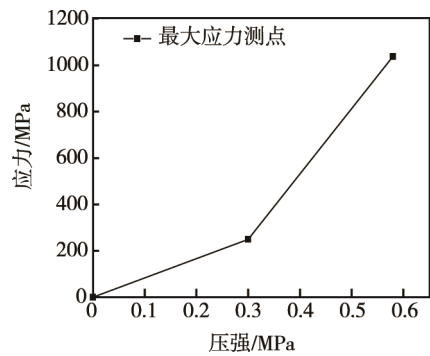


图 7 不同工况下排气道所受最大应力结果

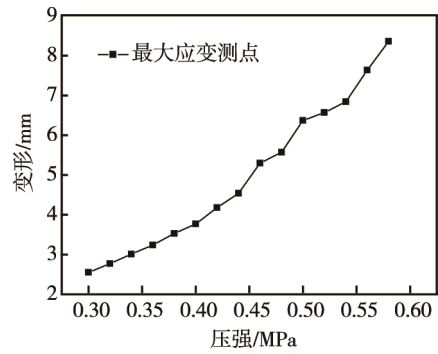


图 8 不同工况下排气道所受最大应变结果

3 发射试验

对于正常发射试验及意外点火试验，均在相同发射装置上进行。在排气道周围布置压力传感器，并对压力传感器进行标定，获取导弹在发射过程中排气道所受到的压力测试数据。发动机主推力最小为 2 kN，最大为 10 kN，近似呈线性变化趋势，稳定后其后保持不变。在正常发射及意外点火情况下排气道所承受的压强变化曲线如图 9 所示，其最大值分别为 0.11，0.24 MPa。

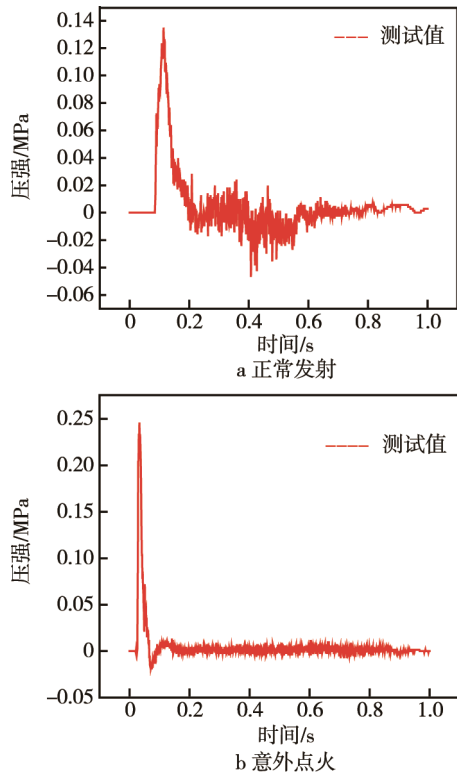


图 9 排气道压强变化曲线

排气道在意外点火情况下所受的压强值比正常发射情况下大，数值相差 2 倍。正常发射情况下，排气盖打开，发动机的推力短时间（几毫秒）内由 2 kN 上升至 10 kN，排气道所受的压强值小于设计值，可满足正常发射需求。在意外点火过程中，排气盖关闭，

当燃气聚集在整个排气道内,由于时间短(几毫秒),整个排气道形成一个密闭的压力容器,其所受压强值短时间内达到一致。当燃气压集聚到大于排气盖涨破压强值时,排气盖涨破,燃气排出,此时排气道内的压强大于0.2 MPa,但其所受的压变化规律在正常发射及意外点火中具有相应一致性。意外点火时排气道所受的压强高于正常发射情况,但量级相差不大。均能满足导弹发射时的使用要求,保证了发射装置在导弹发射时的安全性^[15]。

4 结论

1) 从仿真试验、水压试验、发射试验结果可以得出,导弹正常发射时,排气道的承压能力满足使用要求,排气道金属基体所受的应变与应力逐渐增大,符合金属材料力学变化规律,直至破坏。

2) 排气道的承压能力满足导弹正常发射及意外点火情况下的使用要求,且具有足够的设计裕度。

3) 根据试验结果,排气道的金属基体材料可进一步优选,优化排气道的重量,由于排气道承压性能有足够的设计裕度,可以在一定范围内承受其他型号的导弹发射,为新型发射装置的工程设计提供参考价值。

参考文献:

- [1] 邓科,周成康,于殿军,等. 导弹热发射增推效能研究[J]. 兵工学报, 2016, 36(5): 1038-1043.
- [2] 邹本贵,曹延杰,孙学锋,等. 一种新型舰载导弹垂直发射技术[J]. 固体火箭技术, 2013, 36(5): 586-589.
- [3] 马艳丽,姜毅,王伟臣,等. 湿式独立自排导垂直发射技术研究[J]. 导弹与航天运载技术, 2011, 312(2): 29-33.
- [4] 于勇,徐新文,傅德彬. 同心筒发射装置燃气排导的气体动力学原理分析[J]. 导弹与航天运载技术, 2011, 312(2): 29-33.
- [5] 张代国. 舰载导弹垂直发射装置燃气流场数值模拟[J]. 舰船科学技术, 2015, 37(5): 46-50.
- [6] 李翔,陈小庆,孟令涛,等. 舰船摇摆对舰载垂直发射导弹出筒影响分析[J]. 导弹与航天运载技术, 2014, 335(5): 19-21.
- [7] 杨继超,杨云. 多工舰载导弹垂直发射仿真分析[J]. 飞行器测控学报, 2014, 33(5): 406-409.
- [8] 徐悦,田爱梅,张振鹏,等. 基于虚拟样机技术的导弹垂直发射过程仿真[J]. 兵工学报, 2008, 28(4): 491-494.
- [9] 刘方,辜健,邱志明,等. 基于公共燃气排导结构的共架发射系统武器选择与布局方法[J]. 海军工程大学学报, 2012, 24(2): 53-56.
- [10] 单时卓,张艳. 舰载导弹垂直发射过程中甲板面燃气流场仿真分析[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(3): 73-80.
- [11] 汪波,林源. 舰载垂直发射系统内燃气流运动[J]. 海军航空工程学院学报, 2012, 27(1): 71-74.
- [12] 贾正荣,卢发兴,吴玲. 舰载共架垂直发射导弹发射时间协调[J]. 弹道学报, 2015, 27(1): 59-64.
- [13] 胡晓磊,盛文成,乐贵高,等. 车载导弹垂直发射系统双面导流器[J]. 火力与指挥控制, 2013, 11(11): 53-55.
- [14] 赵贤超. 意外点火时燃气排导系统流场仿真分析[J]. 实验流体力学, 2012, 26(4): 59-62.
- [15] 郑宏建,孙有田. 舰载导弹垂直发射与安全性分析[J]. 飞航导弹, 2009, 14(2): 17-19.