

仿真技术在深弹发射装置环境适应性分析中的应用

吕学能, 祝凌云, 徐巨华

(杭州航海仪器有限公司, 浙江 杭州 310024)

摘要 深弹发射装置安装在甲板部位,使用环境恶劣,过去均采用传统的试验方法进行环境适应性考核。最近几年,随着三维设计的广泛应用,仿真技术也开始发挥作用,以发射装置接线箱的冲击响应为例,介绍仿真技术在发射装置环境适应性分析中的应用。通过案例分析可知,仿真分析对于发现机械结构设计中的薄弱环节还是非常有效的,它突破了环境试验受限于试验样机和特定环境条件的限制,可以在较短的时间内得到仿真结果,对装备模型进行及时修正。

关键词 仿真;环境适应性;响应波谱分析;应力分布

中图分类号 TP391.9 文献标识码 A

Application of Simulation Technology in Environmental Suitability Analysis of Depth Charge Launcher

LYU Xueneng, ZHU Lingyun, XU Juhua

(Hangzhou Navigation Instrument Co., Ltd., Hangzhou 310024, China)

Abstract The depth charge launcher is installed on the deck section and the operation environment is very tough. In the past, the traditional test method was used to assess the environmental suitability. In recent years, with the wide application of three-dimensional design, simulation technology has also started to play a role. In this paper, the impulse response of the junction box of the launcher is taken as an example to introduce the application of simulation technology in the environment suitability analysis of the launcher. The case analysis shows that the simulation analysis is very effective in finding the weak links in the design of mechanical structures, and it breaks the limitation of environmental test, including the experimental prototype and the specific environmental conditions. The simulation results can be obtained in a relatively short period of time, and the equipment model is corrected in time.

Key words simulation; environmental suitability; response spectrum analysis; stress distribution

0 前言

装备的环境适应性关系到装备的作战效能、使用可靠性和持续作战能力,是装备的重要技术指标。深弹发射装置(以下简称发射装置)通常安装在甲板部位,海洋环境下的高、低温,湿热,淋雨会影响发射装置的机械强度、电气性能,加速设备老化;武器发射的冲击和舰船高海况摇摆引起的静应

力、动态力都有可能引起发射装置的结构破坏。因此,发射装置研制过程中需要完成一系列的强度试验、环境试验的考核。与物理试验相比,仿真技术具有独特的优势,在研制初期就采用仿真技术进行设计分析,可有效缩短研制周期,优化设计,避免研制过程的反复。

1 装备的环境适应性评价

环境适应性是指装备、分系统或部件在预期环境中实现其全套预定功能的能力^[1]。根据舰船环境条件要求,机械环境影响主要有:振动、冲击、空中核爆炸冲击波、倾斜与摇摆^[2]。就发射装置而言,机械环境主要影响装备的结构强度,对这些影响因素的考核包括试验考核和仿真分析。

随着计算机软、硬件和相关学科的发展,对装备的结构强度计算已不再局限于数值计算,而发展成计算机仿真^[3],通过仿真技术可提前发现薄弱环节,了解未知风险,提高工作效率。作为传统试验方法的补充,国外早已将仿真技术广泛应用在武器装备环境适应性试验与评估中^[4-5]。例如仿真设计技术已经作为美国国防部的指导性要求,广泛应用于装备的研制过程中,包括全数字化仿真、半数字化仿真、模拟试验仿真已经成为不同研制阶段中评价装备环境适应性、预测服役寿命时必须进行的辅助设计手段^[6]。根据军用设备实验室环境试验方法及相关要求,发射装置一般要参加高温试验、低温试验、喷淋试验、霉菌试验、盐雾试验、振动试验、冲击试验等环境试验,这类试验都是在样机试制完成后进行的,难以在研制初期发现设计上的不足。尤其是冲击试验,短时间内在装备上作用高量级输入力脉冲,对装备损坏较大,一旦试验出现问题将严重影响研制进度。以下就以冲击响应为例介绍其仿真技术在发射装置环境适应性分析中的应用。

2 发射装置接线箱冲击模型

2.1 接线箱 3D 模型

仿真分析工作首先应该根据分析需求定义产品的数字样机^[7],发射装置左、右两侧都装有接线箱,根据安装位置所承受冲击力学分析,建立受力模型如图 1 所示。与其他部件相比,接线箱属于电气设备,受冲击影响较大。初始设计为减小箱体重量,材料采用铝合金,箱体壁厚为 3 mm。接线箱采用 SolidWorks 建模,要知道接线箱受冲击时的峰值响应,可使用 Simulation 下的响应波谱分析。

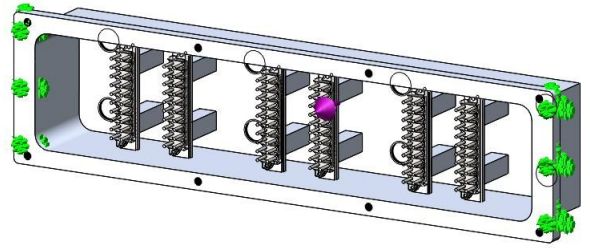


图 1 发射装置接线箱受力模型

Fig. 1 Force model of junction box of launcher

2.2 冲击机理

冲击是一种很复杂的物理运动,与随机振动一样,它具有连续的频谱,但又是一个瞬变过程,不具备稳态随机的条件。受冲击后,装备机械系统的运动状态要发生突变并将产生瞬间冲击响应,响应具有以下特征:高频振荡、短持续时间、明显的初始上升时间和高量级的正负峰值。装备受冲击(瞬态激励)后所产生的冲击响应的大小代表了产品实际所受到的冲击强度。若产品的瞬时响应幅值超过产品本身的结构强度,则将导致产品破损^[8]。

2.3 响应波谱分析

响应波谱分析又名冲击谱分析,是一种近似的方法用于预测受到基础激励(强迫振动)的结构峰值响应的分析方法。取代耗时的时间域瞬态分析,可以采用响应谱分析快速地近似分析结构的峰值响应(如动应力等)。响应谱分析可以作为一种设计工具。它用于计算结构对多频信息瞬态激励的响应,这些激励可能来源于地震、飞行噪声/飞行过程、导弹发射等,频谱是载荷时间历程在频率域上的表示法,可以使用响应波谱分析而非时间历史分析,来估测结构对随机载荷或与时间有关的载荷环境(例如地震、风载荷、海浪载荷、喷气发动机推力或火箭发动机振动)的响应。

响应波谱是自然频率 ω_i 或振动周期 T_i 的函数,它标绘了特定基准运动的单一自由率系统(SDOF)对不同自然频率振动器的峰值响应。每个响应波谱曲线相当于特定的模态阻尼比率 ξ_i 。相应波谱中标绘的典型值为

$$\text{最大位移 } S_d(\omega_i, \xi_i);$$

$$\text{最大虚拟速度 } S_v(\omega_i, \xi_i) = \omega_i S_d;$$

最大虚拟加速度 $S_a(\omega_i, \xi_i) = \omega_i S_v = \omega_i^2 S_d$ 。

特定阻尼比率 ξ_i 的相对位移响应波谱及响应曲线如图 2 所示。

$SD_n = \max |y_n(t)| (n=1, \dots, 4)$, 即 SD_n 等于每个 SDOF 振荡器的相对位移时间历史响应的最大绝对值。

$\omega_n = \sqrt{\frac{k_n}{m_n}}$, ($n=1, \dots, 4$), ω_n 为每个 SDOF 振荡器产生的振动的自然角频率。

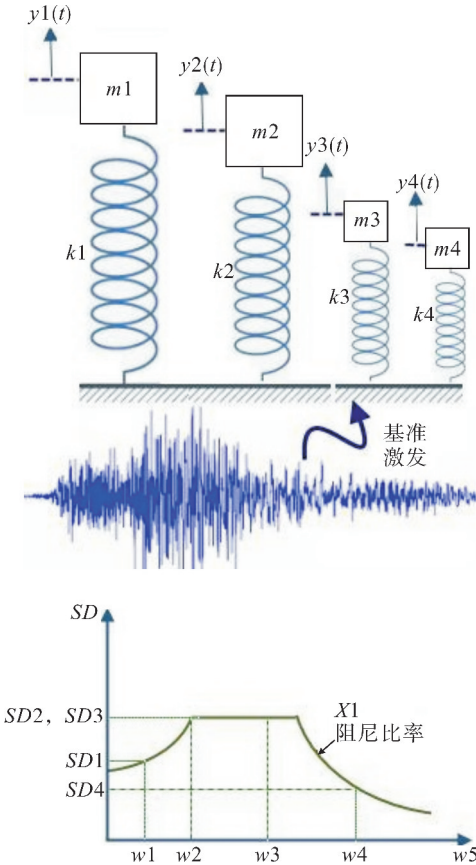


图 2 响应曲线

Fig. 2 Response curve

分析过程中先计算正态模型,供分离运动方程式与广义模态坐标使用。最大模态响应从基准激发响应波谱中确定,将 $S_d(\omega_i, \xi_i)$ 、 $S_v(\omega_i, \xi_i)$ 、 $S_a(\omega_i, \xi_i)$ 分别设定为位移、虚拟速度、虚拟加速度的输入响应波谱值。当每个模态可设定为 SDOF 系统时,就可以从输入相应波谱值中获取有关模态坐标的激发持续时间的最大响应:

$$x_{i,\max} = \Gamma_i S_d(\omega_i, \xi_i)$$

$$\dot{x}_{i,\max} = \Gamma_i S_v(\omega_i, \xi_i) = \Gamma_i \omega_i S_d(\omega_i, \xi_i)$$

$$\ddot{x}_{i,\max}^{abs} = \Gamma_i S_a(\omega_i, \xi_i) = \Gamma_i \omega_i^2 S_d(\omega_i, \xi_i)$$

式中: $x_{i,\max}$ 是模态相对位移; $\dot{x}_{i,\max}$ 是模态相对速度; $\ddot{x}_{i,\max}^{abs}$ 是模态绝对加速度; Γ_i 是每个模态 i 的模态参与因子, $\Gamma_i = \{\Phi\}^T [M] \{I_b\}$; $\{\Phi\}^T$ 是本征向量 i 的移项; $\{I_b\}$ 是将基体运动与刚性体结构位移相关的感应向量。对于每种模态,结构相对于模态坐标的最大响应是

$$\{u\}_{\max}^i = \{\Phi\}^i x_{i,\max} = \{\Phi\}^i (\Gamma_i S_d(\omega_i, \xi_i))$$

$$\{\dot{u}\}_{\max}^i = \omega_i \{u\}_{\max}^i$$

$$\{\ddot{u}\}_{\max}^i = \omega_i^2 \{u\}_{\max}^i$$

3 仿真分析与设计优化

对接线箱模型定义线性动力-响应波谱分析算例,分析共运行 65 个频率数, X、Y、Z 3 个方向的质量参与总和值均在 0.8 以上,如图 3 所示。在 Z 方向加载某典型冲击大小为 1 g,如图 4 所示为频率曲线。



图 3 列举质量参与

Fig. 3 Listing mass participation

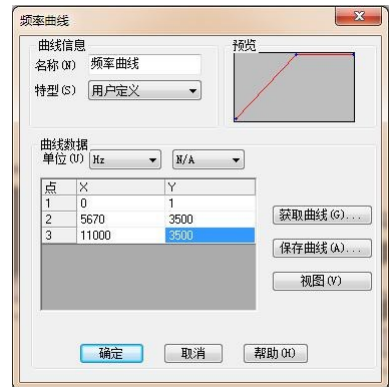


图 4 编辑频率曲线

Fig. 4 Editing frequency curve

运行后应力分布如图 5 所示。最大应力分布

在接线柱的支撑立柱边缘,局部存在应力集中,最大值约 614 MPa,已超过一般铝合金的屈服强度。

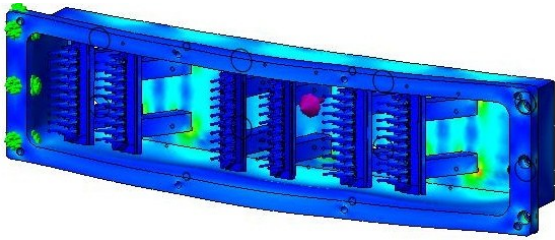


图 5 接线箱应力分布图(优化前)

Fig. 5 Stress distribution diagram of junction box (before optimization)

通过仿真及时发现了接线箱工艺细节处理不到位导致结构强度设计不足,对应力集中处进行 R5 mm 圆弧过渡,如图 6 所示,重新进行分析,得到图 7 所示应力分布,最大应力降到约 484 MPa。后期还能结合使用特点对发射箱进行结构上的更改,使其设计趋于优化。

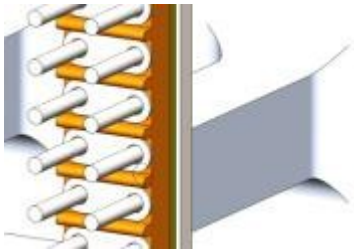


图 6 圆弧过渡

Fig. 6 Arc transition

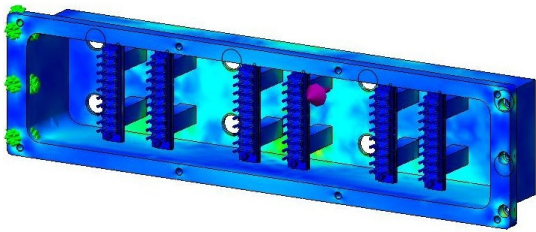


图 7 接线箱应力分布图(优化后)

Fig. 7 Stress distribution diagram of junction box (after optimization)

由此可见,仿真分析对于发现机械结构设计中的薄弱环节是非常有效的。仿真技术可以模拟装备在使用过程中可能遇到的各种环境,突破了环境试验受限于试验样机和特定环境条件的限制,并且可以在较短的时间内得到仿真结果,对装备模型进行及时修正。

4 结束语

仿真技术的应用是对装备环境适应性传统研究方法的一种补充,它可以利用先进的计算机技术对结构模型进行分析,根据要求的环境条件和结构特点建立数学模型,然后进行仿真分析,从而提前得知装备的环境失效模式,进行优化改进。目前,该发射装置研制还处于样机阶段,仿真技术在发射装置环境适应性分析中的应用还不够深入,仿真结果还需要通过冲击试验进行验证,随着试验数据的采集和积累以及相关技术的发展,仿真技术发挥的作用将会越来越显著。

参考文献

- [1] 中国航空工业总公司第三〇一研究所. MIL-STD-810F 环境工程考虑和实验室试验[S]. 北京:中国航空工业总公司第三〇一研究所,2000.
- [2] 海军装备论证研制中心标准规范研究室. GJB1060.1-991 舰船环境条件要求:机械环境[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,1994.
- [3] 张令弥. 计算仿真与模型确认及在结构环境与强度中的应用[J]. 强度与环境,2002,29(2):42-47.
- [4] 陈典斌,柯宏发,韩东霏. 仿真技术在装备环境适应性试验与评价中的应用[J]. 中国设备工程,2017,11(下):102-104.
- [5] 王宏伟,赵云峰,陶帅. 装备全寿命周期环境适应性评价若干问题探讨[J]. 装备环境工程,2013,10(1):70-72.
- [6] 朱蕾,王连杰,许明,等. 装备环境适应性仿真技术的发展思路探讨[J]. 装备环境工程,2007,4(3):91-97.
- [7] 罗成,徐文正,曾晨晖. 用于环境适应性分析的航电产品应力仿真技术[J]. 装备环境工程,2011,8(1):10-14.
- [8] 季馨,王树荣. 电子设备振动环境适应性设计[M]. 北京:电子工业出版社,2012.