

doi: 10.7690/bgzdh.2022.07.016

## 6 级海况下的某型发射平台回转俯仰耦合动力学研究

付京来<sup>1</sup>, 陈旭立<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军 91851 部队, 辽宁 葫芦岛 125000; 2. 郑州机电工程研究所第四研究室, 郑州 450015)

**摘要:** 针对某型靶弹通用发射平台, 开展该平台在摇摆载荷作用下的回转和俯仰耦合动力学特性的研究。将原有陆基发射平台的回转俯仰耦合动力学扩展到海上平台, 分析其在某型船 6 级海况下的运动特性和回转俯仰耦合动力学特性; 将 6 级海况等效为沿 3 坐标系的等效加速度, 基于 ADAMS 对该海况下的靶弹通用发射平台进行仿真分析。仿真结果表明, 该研究对复杂海况下发射平台的结构强度和运动规律均具有一定的指导意义。

**关键词:** 6 级海况; 通用发射平台; 耦合运动; 动力学

**中图分类号:** TJ768 **文献标志码:** A

## Research on Coupling Dynamics of Certain Type Launch Platform with Turning and Pitching in Level 6 Sea State

Fu Jinglai<sup>1</sup>, Chen Xuli<sup>2</sup>

(1. No. 91851 Unit of PLA, Huludao 125000, China;

2. No. 4 Laboratory of Zhengzhou Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Zhengzhou 450015, China)

**Abstract:** Aiming at the general launching platform of a certain type of target missile, the coupling dynamic characteristics of rotation and pitch of the platform under the action of swing load are studied. The coupling dynamics of rotation and pitching of the original land-based launch platform was extended to the sea platform, and the motion characteristics and coupling dynamics of rotation and pitching of the launch platform were analyzed under the 6-level sea state of a ship. The 6-level sea state was equivalent to the equivalent acceleration along the 3-coordinate system, and the simulation analysis of the target missile general launch platform under the sea state was carried out based on ADAMS. The simulation results show that the study has certain guiding significance for the structural strength and motion law of the launch platform under complex sea conditions.

**Keywords:** level 6 sea state; universal launch platform; coupling motion; dynamics

### 0 引言

随着军用科技的不断发展, 现有各型舰载导弹基本都采用发射箱进行发射<sup>[1-4]</sup>, 发射箱发射导弹可靠性高、成本低; 本文中所述某型靶弹同样采用发射箱进行发射。靶弹能够模拟对手来袭导弹的外形结构尺寸、空中运动特性、红外辐射特性、微波反射特性及电子对抗特性等<sup>[5-6]</sup>。考虑航向偏差是靶弹的一项重要设计指标<sup>[7]</sup>, 且舰船在行驶过程中会遭受风浪等复杂海况的影响<sup>[8]</sup>; 因此, 笔者针对高海况对发射装置的动力学影响进行了研究。

笔者以某型靶弹通用发射平台为研究对象, 其为该型发射平台在陆地上做回转俯仰耦合动力学<sup>[9]</sup>的延伸, 通过分析其在某型舰船 6 级海况下的运动特性, 进而分析其在该海况下的耦合动力学特性。基于 ADAMS 对该海况下的靶弹通用发射平台进行仿真分析。

### 1 某型舰船摇摆载荷等效计算模型

某型靶弹通用发射平台的基本运动结构由 2 部分组成: 回转部分和俯仰部分。图 1 为 3 维简化模型组成结构。整个发射平台在某型船的船艏部分。

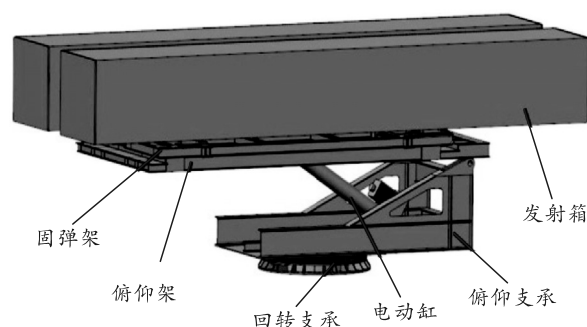


图 1 某型发射平台 3 维结构

根据国军标《舰船环境条件机械环境》GJB1060.1—1991 中的惯性摇摆载荷系数计算公式<sup>[10]</sup>:

收稿日期: 2022-03-29; 修回日期: 2022-04-28

作者简介: 付京来(1982—), 男, 黑龙江人, 硕士, 工程师, 从事武器系统发射技术研究。E-mail: liugang@zhonghaitech.com。

$$\begin{aligned}
 n_{XG} &= \sin \theta + \frac{S_u}{g} + \frac{4\pi^2}{gT_p^2} \theta^2 X + \frac{4\pi^2}{gT_p^2} \theta Y, \\
 n_{YG} &= 1.0 \pm \left( \frac{h_e}{g} + \frac{4\pi^2}{gT_p^2} \theta X + \frac{4\pi^2}{gT_r^2} \phi Z \right), \\
 n_{ZG} &= \sin \phi + \frac{1}{2} \times \frac{4\pi^2}{gT_p^2} \theta X + \frac{4\pi^2}{gT_r^2} \phi^2 Z + \frac{4\pi^2}{gT_r^2} \phi Y. \quad (1)
 \end{aligned}$$

式中： $\theta$ 、 $\phi$  为最大纵摇角和最大横摇角，rad； $T_p$ 、 $T_r$  为纵摇周期和横摇周期，s； $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为在  $\{G\}$  坐标系中计算点距舰摇摆重心的坐标绝对值，m； $h_e$  为垂荡加速度幅值， $m/s^2$ ； $S_u$  为纵荡加速度幅值， $m/s^2$ ； $g$  为重力加速度， $m/s^2$ ，一般取  $10 m/s^2$ ； $n_{XG}$ 、 $n_{YG}$ 、 $n_{ZG}$  为舰摇摆引起的过载系数在  $\{G\}$  坐标系中  $X_G$ 、 $Y_G$ 、 $Z_G$  方向上的投影。

根据相关文件可知：

$$\begin{aligned}
 h_e &\approx \pi/2 \approx 0.157 m/s^2; \\
 S_u &= 0 m/s^2. \quad (2)
 \end{aligned}$$

某型船的摇摆参数如表 1 所示。

表 1 摇摆参数

海况等级	垂荡		横摇		纵摇	
	$Z_{1/3}/m$	周期/s	$\phi_{1/3}/(^{\circ})$	周期/s	$\theta_{1/3}/(^{\circ})$	周期/s
3	$Z_{1/3} \leq 0.7$	4~6	$\phi_{1/3} \leq 5$	6~10	$\theta_{1/3} \leq 1.2$	5~7
4	$Z_{1/3} \leq 1.3$		$\phi_{1/3} \leq 9$		$\theta_{1/3} \leq 2.3$	
5	$Z_{1/3} \leq 2.0$		$\phi_{1/3} \leq 14$		$\theta_{1/3} \leq 3.7$	
6	$Z_{1/3} \leq 3.0$		$\phi_{1/3} \leq 21$		$\theta_{1/3} \leq 5.5$	

某型发射平台布置在船艏部，发射平台重心距舰摇心的坐标如表 2 所示。

表 2 发射平台船上安装坐标位置 m

坐标	艏部
$X_G, Y_G, Z_G$	(-14, 7, 0)

通常周期越大，幅值越大，笔者选取“周期平均，幅值最大”工况保守计算过载系数。规定“设备应能承受横摇  $\pm 45^{\circ}$  (周期 6~10 s)，纵摇  $\pm 10^{\circ}$  (周期 5~7 s)”，计算状态如表 3 所示。

表 3 高海况下各参数计算状态

计算状态	纵摇		横摇	
	$\theta/(^{\circ})$	$T_p/s$	$\phi/(^{\circ})$	$T_r/s$
6 级海况	5.5	6	21	8

根据前文公式和已知条件编制计算程序进行计算，惯性摇摆过载系数计算结果如表 4 所示。

表 4 高海况下惯性摇摆过载系数计算状态

计算状态	$n_{XG}$	$n_{YG}$	$n_{ZG}$
6 级海况	0.195	1.304	0.615

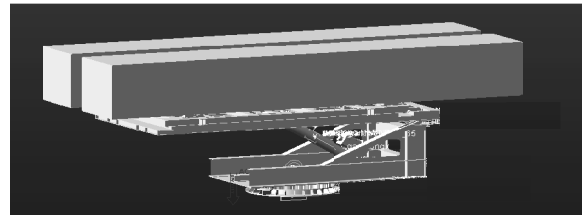
根据上表可得到 6 级海况下摇摆过载系数计算结果，在基于 ADAMS 的仿真计算过程中，将 6 级

海况下的惯性摇摆过载系数与重力加速度乘积添加到舰船发射装置整体加速度当中，将其等效为沿 3 坐标系的等效加速度，基于此仿真计算 6 级海况对发射装置动力学的影响。

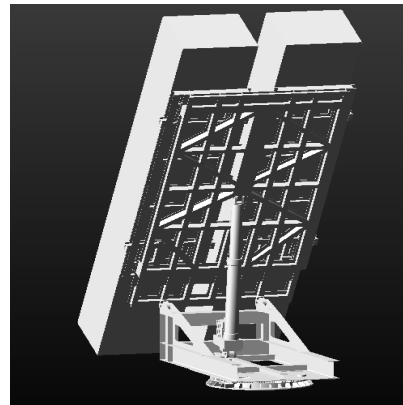
## 2 基于 ADAMS 的仿真计算

### 2.1 仿真计算模型的建立

笔者所述某型靶弹发射平台配备 2 枚通用型靶弹，通过发射平台的回转俯仰运动，来实时调整靶弹发射目标角度。发射平台在 ADAMS 中的简化仿真模型如图 2 所示。



(a) 发射平台仿真模型初始状态



(b) 发射平台极限状态 (俯仰  $60^{\circ}$ 、回转  $60^{\circ}$ )

图 2 发射平台动力学仿真模型

### 2.2 俯仰及回转运动输入

笔者所述某型发射平台驱动部分伺服电动缸在前 5 s 内先以恒定加速度做匀加速运动，随后在 5~115 s 内以恒定速度运行一段时间，最后在 115~120 s 的时间范围内做匀减速运动，匀速段的速度大小为 8.142 mm/s。电动缸速度曲线如图 3 所示。

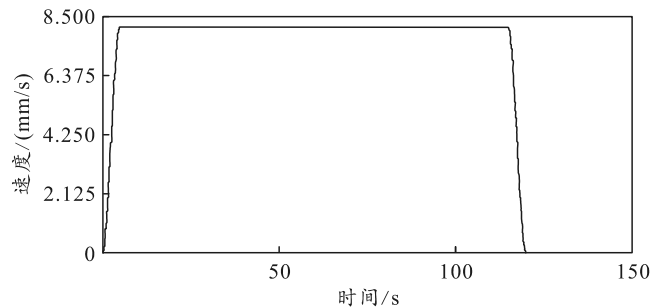


图 3 电动缸速度曲线

笔者阐明的是发射平台耦合运动，因此发射平台回转运动的同时需要考虑伴随俯仰运动。前文发射平台俯仰运动时间为 120 s，在这段时间内，笔者假设发射平台做匀速回转运动，回转行程为 60°，回转速度为 0.5 (°)/s。发射平台回转速度规划曲线如图 4 所示。

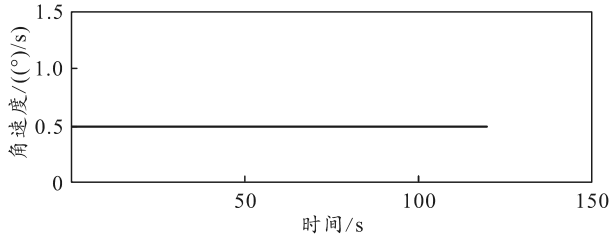


图 4 发射平台回转速度规划曲线

### 3 仿真结果及分析

#### 3.1 仿真结果

笔者基于 ADAMS 对所述发射平台进行动力学仿真，得到 6 级海况下该型发射平台俯仰角度变化曲线、回转角度变化曲线、电动缸推力随时间变化曲线、俯仰中心支点受力变化曲线、回转支承底座弯矩变化曲线如图 5—9 所示。

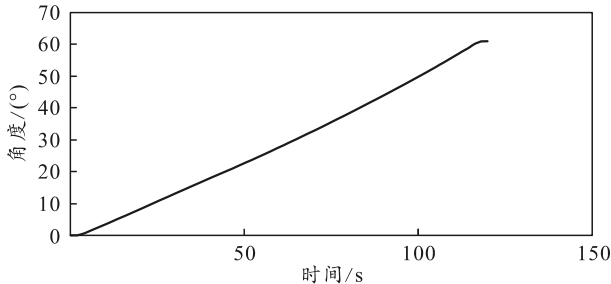


图 5 6 级海况下发射平台俯仰角度变化曲线

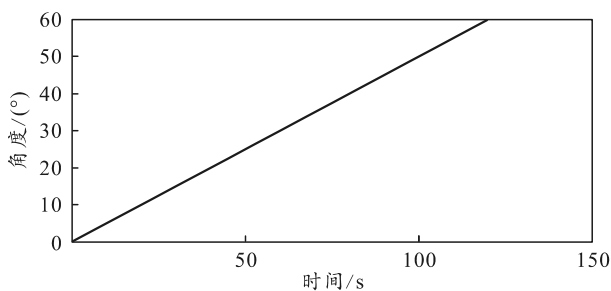


图 6 6 级海况下发射平台回转角度变化曲线

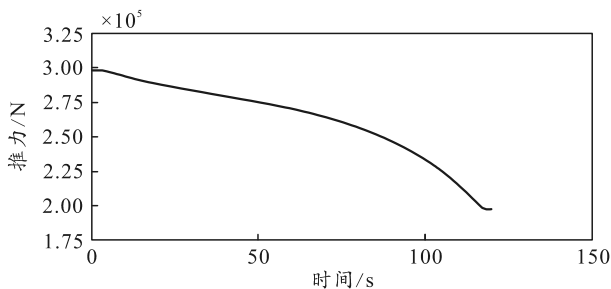


图 7 6 级海况下电动缸推力随时间变化曲线

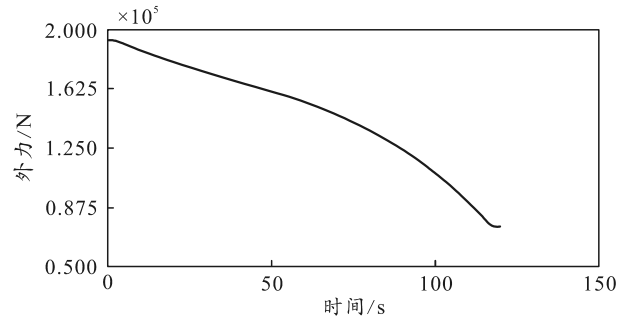


图 8 6 级海况下发射平台俯仰中心受力曲线

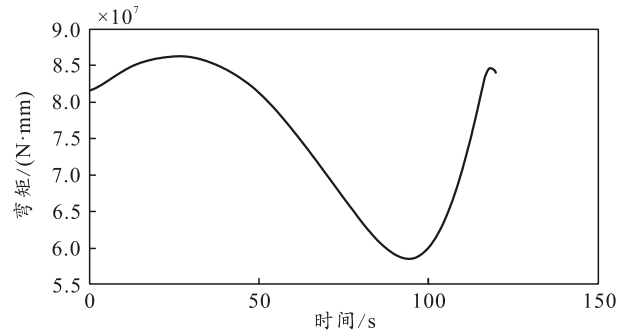


图 9 6 级海况下回转支承底座弯矩变化曲线

#### 3.2 结果分析

由图 5、6 可知，某型靶弹通用发射平台按照规划运动曲线运动平稳，能够使发射平台俯仰运动从 0°~60°同时发射平台回转运动在相同时间内从 0°~60°。由图 7 可以得到伺服电动缸在运动过程中最大受力在初始时刻，最大输出力为 29.8 t，随后不断减小至 19.9 t。由图 8 可以得到该型发射平台单个俯仰中心受力随着角度减小，力也不断减小，俯仰运动初始时刻外力最大为 19.5 t。由图 9 可以得到该发射平台回转部分所受弯矩初始为  $8.2 \times 10^7$  N·mm，随后先变大至  $8.6 \times 10^7$  N·mm 后减小至  $5.82 \times 10^7$  N·mm，最后逐渐增大至  $8.5 \times 10^7$  N·mm。

图 10—12 分别为该发射平台在陆地上的电动缸推力变化曲线、俯仰中心支点受力变化曲线、回转支承底座弯矩变化曲线。

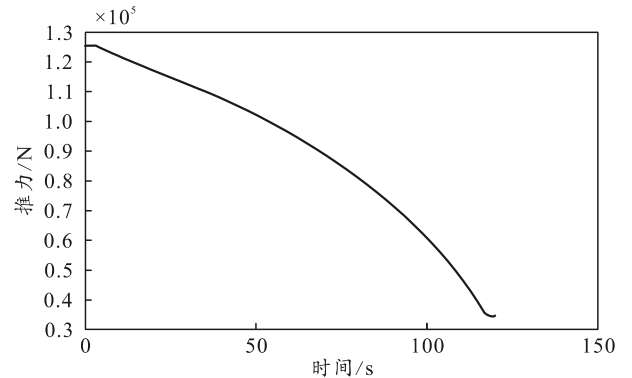


图 10 电动缸推力变化曲线

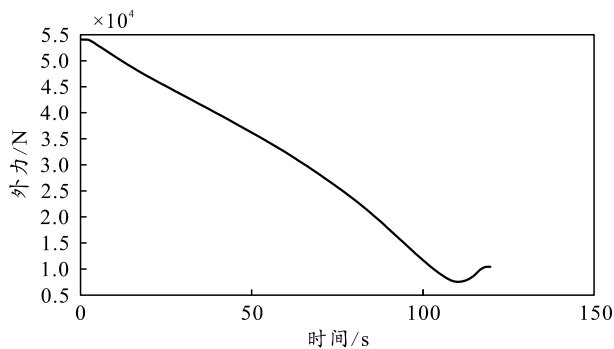


图 11 发射平台俯仰中心受力曲线

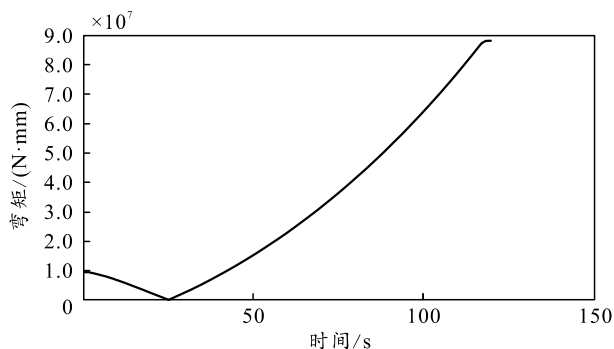


图 12 回转支承底座弯矩变化曲线

通过以上 ADAMS 动力学仿真分析以及与本文中靶弹发射平台陆地上动力学特性进行对比可知,本文中靶弹通用发射平台在 6 级海况下的回转和俯仰运动在各自速度规划曲线下的耦合运动能够平稳实现。同时伺服电动缸的最大推力由陆地上的最大 12.6 t 升至 6 级海况下的 29.8 t, 单个俯仰中心受力由陆地上的 5.4 t 升至 6 级海况下的 19.5 t。陆地上发射平台的回转支承底座弯矩先变小后变大, 最大为  $8.8 \times 10^7 \text{ N}\cdot\text{mm}$ , 6 级海况下的回转支承底座弯矩先变小后变大, 最大为  $8.6 \times 10^7 \text{ N}\cdot\text{mm}$ 。仿真结果表明, 6 级海况下靶弹发射对发射平台的强度要求非常苛刻, 需要进一步依据动力学仿真结果对发射平台的结构进行优化, 从而达到所需强度要求及电动缸的最大推力。得到的动力学仿真结果曲线能够为

后续发射平台上船的结构力学仿真提供力学依据。

#### 4 结束语

笔者以某型靶弹通用发射平台为研究对象, 将原来陆基发射平台的回转俯仰耦合动力学进行海上平台的延伸, 通过分析其在某型舰船 6 级海况下的运动特性, 进而分析其在该海况下的耦合动力学特性。将 6 级海况等效为笛卡尔坐标系下的加速度系数, 并基于 ADAMS 对该海况下的发射平台进行仿真分析。仿真结果表明: 该研究对某型发射平台在高海况下的结构强度优, 及运动规律均具有一定的指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 林昌杭. 轻质适配器设计与弹筒耦合动力学仿真[D]. 南京: 南京理工大学, 2018.
- [2] 崔寅. 倾斜式发射平台起竖控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- [3] 杨文, 卜忱, 睦建军. 某复杂构型飞机偏航-滚转耦合运动非定常气动力特性实验研究[J]. 实验流体力学, 2016, 30(3): 61-65.
- [4] 夏倩倩. 车载动能弹发射装置设计与动力学分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2015.
- [5] 郑旭, 杨锁昌. 靶弹系统技术现状及发展趋势分析[J]. 飞航导弹, 2019(2): 74-78.
- [6] 盛德林. 丛林狼超声速掠海飞行靶弹[J]. 飞航导弹, 2006(12): 2-5.
- [7] 杨选春, 陈光辉, 武有甫, 等. 风对靶弹航向偏差影响的分析与消除[J]. 战术导弹技术, 2008(4): 21-23, 36.
- [8] 王光源, 毛世超, 孙涛, 等. 基于舰艇摇摆的垂发型舰空导弹 3 维弹道仿真[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45(3): 64-68, 74.
- [9] 孙亚东, 李涌. 基于 ADAMS 的某型发射平台回转俯仰耦合动力学分析[J]. 现代制造技术与装备, 2020(7): 96-98, 101.
- [10] 李涌, 孙亚东. 基于摇摆载荷的舰船消防水柜结构强度数值研究[J]. 船舶物资与市场, 2020(1): 12-15.