

# 模块化设计在舰载导弹垂直发射装置的应用

刘永亮, 任克亮, 马旭轮, 穆永涛, 武令伟

(中国船舶集团有限公司第七一三研究所, 郑州 450015)

**摘要:** 分析国内外舰载垂直发射装置模块化设计的基本概况, 提高舰载垂直发射装置设计和维修过程中的效能与费用比。解释了舰载垂直发射装置中模块化设计的基本原则和概念, 以单元和模块为基本设计元素, 介绍了其基本组成, 并应用在以热发射、冷发射、电磁弹射为发射方式的舰载垂直发射装置设计上。结合通用化、系列化、适装性、维修性等要求, 开展新型舰载垂直发射装置的模块化设计。得出了在役的护卫舰、驱逐舰等舰载垂直发射装置的具体模块组成。模块化设计提高了舰载垂直发射装置研制与维修过程的效能与费用比, 降低了研制风险, 缩短了研制周期, 对新型电磁弹射舰载垂直发射装置的设计提供了参考。

**关键词:** 舰载垂直发射装置; 模块化; 单元; 电磁弹射; 护卫舰; 驱逐舰; 效能与费用比

**中图分类号:** TJ762      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-9242(2021)11-0077-06

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2021.11.011

## Modular Design on the Application of Ship Vertical Launch Device

LIU Yong-liang, REN Ke-liang, MA Xu-lun, MU Yong-tao, WU Ling-wei

(No.713 Research Institute of China State Shipbuilding Corporation Limited, Zhengzhou 450015, China)

**ABSTRACT:** The general situation of ship vertical launch device modular design at home and abroad was analyzed, the modular design is widely applied on ship vertical launch device, but the efficiency/expense ratio is low on vertical launch device design and maintenance. Aiming at the above problems, not only the basic principle and concept of modular design which contains module and unit elements is discussed, but also the basic composition is introduced which applies to the ship vertical launch device design by hot launch, cold launch, electromagnetic launch. The new ship vertical device modular design is developed combined with generalization, seriation, optimum, maintainability demand. The specific module composition was got on the maintenance of frigate, destroyer in service on which the ship vertical launch device development and maintenance, not only the modular design can improve efficiency/expense ratio, reduce the development risk, shorten the development cycle. But the new electromagnetic launch ship VLD design reference is obtained.

**KEY WORDS:** ship vertical launch device; modular; unit; electromagnetic launch; frigate; destroyer; efficiency/expense ratio

当前, 中国海军正朝深海洋作战方向发展, 舰载垂直发射装置作为舰上重要武器的组成部分, 发挥

收稿日期: 2021-03-23; 修订日期: 2021-05-24

Received: 2021-03-23; Revised: 2021-05-24

作者简介: 刘永亮(1978—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为舰载导弹发射装置技术。

**Biography:** LIU Yong-liang (1978—), Male, Senior engineer, Research focus: shipborne missile launcher.

通讯作者: 任克亮(1985—), 男, 工程师, 主要研究方向为舰载导弹发射装置技术。

**Corresponding author:** REN Ke-liang (1985—), Male, Engineer, Research focus: shipborne missile launcher.

引文格式: 刘永亮, 任克亮, 马旭轮, 等. 模块化设计在舰载导弹垂直发射装置的应用[J]. 装备环境工程, 2021, 18(11): 077-082.

LIU Yong-liang, REN Ke-liang, MA Xu-lun, et al. Modular design on the application of ship vertical launch device[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(11): 077-082.

着防空、反潜等重要作用<sup>[1-3]</sup>。随着国内外护卫舰、驱逐舰逐渐进入中修时代,国内外海军对舰载垂直发射装置提出了更高需求。新型舰的设计要求模块化程度高、设计费用及能效比低,作战里程突破 2000~3000 km;旧有舰艇维修和改造的要求是时间短、费用低。随着电磁弹射基础研究的深入,以电磁弹射为发射方式的舰载垂直发射装置的研制成为必然。因此,模块化设计在舰载垂直发射装置的应用显得更为迫切。

舰载垂直发射装置模块化<sup>[4-6]</sup>是指在解决舰载垂直发射装置贮存导弹和发射导弹的问题时自上而下逐层分成多个子模块的过程,每个模块具备独特属性,反映了舰载垂直发射装置系统内部之间的相互关系和特性,每个子单元模块完成某种特定的功能,这些特定的功能按照系统要求组建统一整体,宏观上通过普遍或特殊方法组装成一体,完成整个舰载垂直发射装置系统所要求的功能。

舰载导弹垂直发射装置是现代化水面舰艇的重要装置,具备贮存、发射导弹、火箭助飞鱼雷等功能,参与承担水面舰艇防空反导、反潜、反舰、对陆攻击等使命任务。美国装载的 MK41、MK57 舰载导弹垂直发射装置<sup>[7-11]</sup>和国外的潜载战略弹道导弹及巡航导弹垂直发射装置型号<sup>[12-16]</sup>在研制过程中贯彻模块化设计思想,能够有效提高其通用化、系列化程度,同

时也能够为其适装性、维修性、保障性等设计创造有利条件。

## 1 模块化设计原则

发射装置模块化设计<sup>[17-18]</sup>以其功能结构为基础,充分借用现有产品的通用零部件,做好顶层分解,在方案设计阶段就消除各功能模块中可能存在的矛盾,提高设计效率,降低研制成本。将产品按功能分解成多个模块化组件,一个模块化结构由多个单元组成,形成产品—功能模块—单元三层结构。模块化结构应具有标准化接口,具有系列化、集成化、层次化、灵便化、通用化、互换性、相关性,遵循从小到大、由简及繁的原则;遵循快速便捷安装、拆卸和回收的原则;便于效率化流水化制造;易于长短距离输送、吊装和贮存。

## 2 基本概念

### 2.1 单元

单元是指最小可更换的零件、部件、组件及元器件等,是整体的基本结构,是整体中自为一体的独立单元。多个单元的有效组合形成模块。如图 1 所示。

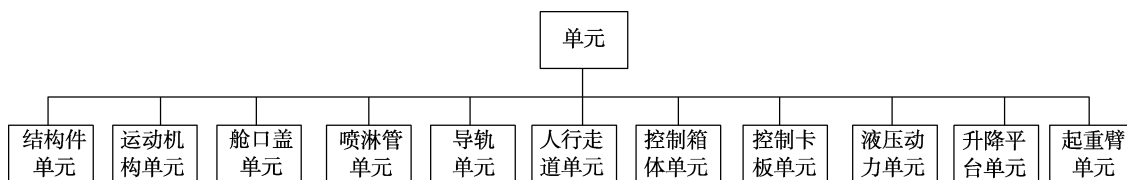


图 1 单元分解结构

Fig.1 The unit decomposition structure

结构件单元为焊接或螺接桁架结构,由若干个立柱、横梁、斜肋、加强筋及连接板组成,构建成一个整体。运动机构单元由多个零部件及电机装配而成,主要包含开盖机构单元、压紧机构单元。舱口盖单元是由盖本体及其运动机构组成的部件单元。喷淋管单元是以管式结构为主体,以固定管夹、阀门开关、管状接头等附件构成的集合体。导轨单元由弯板和内衬组成。人行走道单元由踏板和支撑杆等组成。箱体单元主要由支撑架、正面板、减振器、安装板、支撑板、各模块罩体等组成。控制卡板单元由印制板、元器件、安装板等组成。液动力单元主要由变量泵、溢流阀、减压阀、单向阀、电磁转向阀、换向阀、调速阀,油箱、油缸平衡阀,多级油缸、定位油缸、滑块油缸、液压绞车、液压马达、滤油器、空气滤清器及软管组成。起重臂单元主要由基本臂、主臂、伸缩臂、过线辊组件、吊钩和压绳器等组成,分别构成变幅机构、折叠机构、伸缩机构和卷扬机构。升降平台单元主要由升降平台、滑块组、授信仪组件等组成。

世界上多种军舰的舰载垂直发射装置中的热发射或冷发射模块都是通过上述各个单元组成的,如美国的驱逐舰朱姆沃尔特级舰、护卫舰阿利伯克;中国的 054A 护卫舰、052D 驱逐舰、055 大型驱逐舰;日本的摩耶级驱逐舰;俄罗斯的光荣级驱逐舰;英国的 45 型驱逐舰等。

### 2.2 模块

舰载垂直发射装置模块是一种为了便于总装、总调或使用、运输、拆卸方便而设计制造的一体化标准化、可更换的组合部件。它具有独立成型、通用成型、交叉混合组合的特点;具有单一或多种功能和结构,可以进行单个设计,可以为建造多样化的系统提供功能或结构组件<sup>[19-21]</sup>;具有自成一体的标准功能和结构接口,通过易操作的连接形式实现与其他不同模块的结构与功能的集成,建造新的功能子集和结构子集;具有通过逆向工程把单一模块从复杂系统中分解出来的能力。

舰载导弹垂直发射装置主要由发射模块、控制模块和装填模块组成。发射模块由结构件单元、运动件单元、舱口盖单元、喷淋管单元、导轨单元、人行走道单元等组成。控制模块主要由控制箱体单元和控制板卡单元等组成。装填模块主要由液压动力单元、起重臂单元、升降平台单元等组成。

图 2 为舰载导弹发射装置模块分解结构示意图，图 3 为大型驱逐舰上垂直发射装置的模块分解图，图 4、图 5 为发射模块的结构件单元，图 6、图 7 为以热发

射和冷发射为发射方式的垂直发射装置发射模块的舱口盖单元，图 8 为舰载垂直发射装置装填模块。

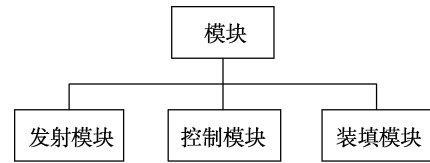


图 2 模块分解结构图  
Fig.2 The module decomposition structure



图 3 大型驱逐舰垂直发射装置模块分解图  
Fig.3 The vertical launch device module decomposition structure of china large destroyer



图 4 发射模块的结构件单元 1  
Fig.4 The structural component unit of launch module 1



图 6 发射模块的舱口盖单元 1  
Fig.6 The hatchcover unit of launch module 1



图 5 发射模块的结构件单元 2  
Fig.5 The structural component unit of launch module 2



图 7 发射模块的舱口盖单元 2  
Fig.7 The hatchcover unit of launch module 2



图8 装填模块  
Fig.8 The loading module

### 3 舰载发射装置模块化设计关键

#### 3.1 舰载发射装置模块标准化

舰载发射装置模块化设计<sup>[22-24]</sup>主要指不同模块的简单或复杂结构以及相互之间接口的单一标准化,不同结构模块之间的联接接口有效使用标准化最为重要。为了确保异种功能模块的组合和同一功能模块的互换,模块应具有可变化组合性和随机异向互换性两个特征,这两个特征主要体现在接口上,必须提高其单一标准化、异型通用化程度。

#### 3.2 舰载垂直发射装置模块的划分

舰载垂直发射装置模块化设计应缩减模块的种类和数量并兼顾加工效率<sup>[25-27]</sup>,在满足舰载垂直发射装置发射导弹和贮存导弹要求的基础上使垂直发射装置的装配安装精度高、功能性能稳定、结构简单易加工。因此,如何科学地做好模块划分,在模块化设计中非常关键。舰载垂直发射装置模块在安装、发射及贮存导弹功能结构上具有单一有效性和组部件组成整体性,模块要便于联接紧固和拆装,舰载垂直发射装置各分系统模块的拆解不能影响舰载垂直发射装置系统的主要性能和功能。

### 4 未来电磁弹射模式下新型通用垂直发射装置模块化设计

随着国内在役航空母舰电磁弹射系统的应用,已将舰载机成功弹射离舰,随着航线电磁弹射系统的成功研制,为适应下一代新型全电舰船和未来新型舰载中远程导弹发射装置、无人机电磁弹射发射装置的发展需求<sup>[28-30]</sup>,需开展电磁弹射模式下通用垂直发射装置的研究,为下一代新型全电舰船能够装载满足新型导弹发射需求的通用电磁发射系统装备提供技术支撑。通用电磁发射装置能够在导弹尺度不变的情况下有效提高导弹射程,为新型导弹的发展创造有利条件,同时能够有效降低导弹发射对新型舰船的不利影响。

电磁弹射模式下新型通用垂直发射装置功能结构复杂庞大,需重点解决如何实现模块化问题,在方案论证阶段需做好顶层策划,初步提出该发射装置模块的划分,如:发射模块、装填/转运模块、电磁弹射模块、通用发射控制模块等。发射模块主要由发射单元和控制单元组成;装填/转运模块主要由装填单元、转运单元、控制单元等组成;电磁弹射模块主要由弹射器单元、电源单元、储能单元、控制单元等组成;通用发射控制模块主要由配电单元、发射协调管理单元、通用发控单元、通用供电单元等组成。

### 5 舰载垂直发射装置模块化设计的效能与费用比

本文探讨的效能与费用比是指舰载垂直发射装置模块化设计生产所需的效率与其设计生产周期内耗费的时间和资金的比值。舰载垂直发射装置在国内舰载垂直发射武器系统研制体系内属于分系统,在同一型号研制周期内,需求方或工业部门投资的费用有限。例如,护卫舰全舰武器系统加舰体自身所花费的资金需要几十亿人民币,驱逐舰花费资金约百亿人民币,而载装舰载武器系统某个型号的导弹的研制时间约10年左右。在有限的费用内(护卫舰垂直发射装置研制周期内耗费上千万人民币),舰载垂直发射装置只有采用模块化设计,不断地提高设计效率和生产效率,才能将整个舰载垂直发射装置研制时间控制在5年左右,从而大大提高效能与费用比。特别是已经服役的护卫舰和驱逐舰的舰载垂直发射装置逐步进入修理期,模块化设计很好地满足了部队需求,换装周期短,修理费用减少。国际上首条服役的护卫舰垂直发射装置大修换装工程仅花了5个月完成,耗费约几百万人民币。舰载垂直发射装置模块化设计大大提高了不同型号舰艇的效能与费用比。

### 6 舰载垂直发射装置模块化设计与舰面环境适应性

舰载垂直发射装置模块化设计需满足舰面的环境适应性、电磁兼容性、维修性的要求。舰面环境大部分是以高湿热、高盐雾、高霉菌为主,舰载垂直发射装置在航行过程中会遇到不同的海况,一般的舰载垂直发射装置控制模块元器件要经过环境应力筛选,进行高低温工作、贮存、循环试验、冲击与振动试验、可靠性与维修性试验等。控制模块(主要指电气元器件及印制板)在装舰前要按照国军标要求完成环境试验,舰载垂直发射装置在高海情航行、作战状态下要满足相关维修性需求。另外,机械模块和控制设备模块必须能够在高海况下正常工作且不被破坏;装填模块必须能够在高海况的舰面环境下满足海上装填要求。在

舰载导弹垂直发射装置全寿命服役期间, 机械模块与控制模块的环境适应性, 尤其是抗海水腐蚀性能与抗电化学腐蚀性能要强, 舰载导弹垂直发射装置模块化设计必须与舰面环境相适应。

## 7 结束语

模块化设计在舰载导弹垂直发射装置研制过程中的应用, 能够有效提高其通用化和系列化程度, 同时也能够为其适装性、维修性、保障性等设计创造有利条件, 对降低研制风险、缩短研制周期、提高产品质量和可靠性、提高效能与费用比有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 孙东平, 冯林平, 范作娥. 舰艇垂直发射系统现状及发展趋势分析[J]. 飞航导弹, 2020(8): 78-81.  
SUN Dong-ping, FENG Lin-ping, FAN Zuo-e. The present situation and development on the warship vertical launch systems [J]. Aerodynamic missile journal, 2020(8): 78-81.
- [2] 刘永亮, 任克亮, 马旭轮, 等. 新形势下舰载垂直发射装置发展趋势[J]. 装备环境工程, 2019, 16(7): 60-63.  
LIU Yong-liang, REN Ke-liang, MA Xu-lun, et al. Development tendency of ship vertical launcher in new situation[J]. Equipment environmental engineering, 2019, 16(7): 60-63.
- [3] MAL P, ZHANG Y, JI J, et al. Research of Vertical Launching Missile Based on Turning Control Technology[J]. Computational Engineering in Systems Applications, 2006 4(6): 780-783
- [4] 王玉娟. 轻型护卫舰的模块化设计方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.  
WANG Yu-juan. The study of light frigate's modularization design method[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2009.
- [5] 孙洪源. 三体舰船总体初步设计及模块化技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.  
SUN Hong-yuan. Study on basic design and modularization of a trimaran warship[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2010.
- [6] 吴文强, 管贻生, 朱海飞, 等. 面向任务的可重构模块化机器人构型设计[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2014, 46(3): 93-98.  
WU Wen-qiang, GUAN Yi-sheng, ZHU Hai-fei, et al. Task-oriented configuration design of reconfigurable modular robots[J]. Journal of Harbin institute of technology, 2014, 46(3): 93-98.
- [7] 古荣亮. 美军 MK-41 垂直发射系统的关键技术分析[J]. 国防技术基础, 2010(4): 50-54.  
GU Rong-liang. The analysis about key technology of MK-41 vertical launch system for US army[J]. Technology foundation of national defence, 2010(4): 50-54.
- [8] 唐奕, 王建博, 王燕. 国外模块化制导航空炸弹发展概述[J]. 飞航导弹, 2018(1): 38-42.  
TANG Yi, WANG Jian-bo, WANG Yan. The development of modular guided aerial bomb abroad[J]. Aerodynamic missile journal, 2018(1): 38-42.
- [9] 张纯学. 美国和欧洲的模块化导弹计划[J]. 飞航导弹, 2006(3): 6-8.  
ZHANG Chun-xue. The Modularization Missile Plan in America and European[J]. Winged missiles journal, 2006(3): 6-8.
- [10] 王宗泽. 美军“模块化”计划的提出[J]. 时代汽车, 2019(15): 23-26.  
WANG Zong-ze. The proposal of the "modularization" plan of the US military[J]. Auto time, 2019(15): 23-26.
- [11] 张琳, 韩晓明, 李彦彬. 模块化、系列化防空导弹应用与发展研究[J]. 飞航导弹, 2014(10): 29-33.  
ZHANG Lin, HAN Xiao-ming, LI Yan-bin. The application and development of modularization, seriation anti-aircraft missile[J]. Aerodynamic missile journal, 2014(10): 29-33.
- [12] 任国光, 伊炜伟, 齐予, 等. 美国战区和战略无人机载激光武器[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(10): 100002.  
REN Guo-guang, YI Wei-wei, QI Yu, et al. U.S. Theater and strategic UVA-borne laser weapon[J]. Laser & optoelectronics progress, 2017, 54(10): 100002.
- [13] 张纯学, 魏国福. 法国空地模块化武器[J]. 飞航导弹, 2008(5): 6-8.  
ZHANG Chun-xue, WEI Guo-fu. The air-to-ground modularization weapon in France[J]. Winged missiles journal, 2008(5): 6-8.
- [14] 张义忠, 倪火才. 潜载导弹水下共架垂直发射方案探讨[J]. 舰船科学技术, 2005, 27(5): 55-60.  
ZHANG Yi-zhong, NI Huo-cai. The concept of submarine launched missile's common frame, modular and vertical launcher[J]. Ship science and technology, 2005, 27(5): 55-60.
- [15] 钟宏伟, 韩雪, 周辉, 等. 一种新型潜用鱼雷管模块化发射装置及贮运系统[J]. 舰船科学技术, 2013, 35(7): 62-66, 70.  
ZHONG Hong-wei, HAN Xue, ZHOU Hui, et al. A new modular torpedo launching equipment and storage system for submarine[J]. Ship science and technology, 2013, 35(7): 62-66, 70.
- [16] 姚奕, 孙东平, 范作娥. 潜射战术导弹垂直发射技术的发展及应用[J]. 飞航导弹, 2019(1): 79-81, 86.  
YAO Yi, SUN Dong-ping, FAN Zuo-e. The development and application of underwater tactical missile launcher[J]. Aerodynamic missile journal, 2019(1): 79-81, 86.
- [17] 贾燕军, 姜立新. 舰载战术打击武器装备模块化发展探讨[J]. 飞航导弹, 2010(10): 55-58.  
JIA Yan-jun, JIANG Li-xin. The development of shipborne tactics attack weapon modularization[J]. Aerodynamic missile journal, 2010(10): 55-58.

- [18] 周涛, 孙传军, 马霖, 等. 复杂轻武器产品通用化、模块化、系列化应用与发展对策[J]. 兵工学报, 2007, 28(6): 753-757.  
ZHOU Tao, SUN Chuan-jun, MA Lin, et al. Application and developmental countermeasures in generalization, modularization and seriation for products of complex small arms[J]. Acta armamentarii, 2007, 28(6): 753-757.
- [19] REDDY G S, KRISHNA G M. Alignment schemes for sea based flight vehicles[C]//Proceedings of Andhra Pradesh Akademi of Sciences (PAPAS). Hyderabad: [s. n.], 2013.
- [20] PETER H. Class 210 mod-a future-orientated submarine design[J]. Naval force journal, 2011(S): 26-29.
- [21] SVEN K. Class 216-cutting edge technology for long mission profiles[J]. Naval force journal, 2011(S): 38-41.
- [22] 刘钧圣, 王刚, 王琨, 等. 考虑不确定性的模块化战术导弹优化设计[J]. 兵工学报, 2020, 41(2): 270-279.  
LIU Jun-sheng, WANG Gang, WANG Kun, et al. Optimization design of modular tactical missile under uncertainty[J]. Acta armamentarii, 2020, 41(2): 270-279.
- [23] 张增磊, 胡利民. 基于需求的模块化组织结构设计[J]. 兵工自动化, 2007, 26(11): 35-36, 39.  
ZHANG Zeng-lei, HU Li-min. Modularization organizational structure design based on requirement[J]. Ordnance industry automation, 2007, 26(11): 35-36, 39.
- [24] 朱炜. 浅析舰载武器系统的模块化设计[J]. 上海造船, 2006, 22(2): 23-25.  
ZHU Wei. Modularized design of shipborne missile weapon system[J]. Shanghai shipbuilding, 2006, 22(2): 23-25.
- [25] 张国锋. 我军战略物资储备模块化研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.  
ZHANG Guo-feng. Study on the modularization of strategic material reserves of our army[D]. Changchun: Jilin University, 2010.
- [26] 韩华亭, 邹小伟, 丁尔启. 防空导弹共架发射装置通用化技术分析[J]. 弹箭与制导学报, 2003, 23(S1): 131-133.  
HAN Hua-ting, ZOU Xiao-wei, DING Er-qi. Explore aerial defencing missile sharing-rack launch device currency property[J]. Journal of projectiles, rockets, missiles and guidance, 2003, 23(S1): 131-133.
- [27] 高世桥. 引信模块化设计研究[J]. 兵工学报, 2001, 22(2): 185-188.  
GAO Shi-qiao. A study on the modularization design of fuse systems[J]. Acta armamentarii, 2001, 22(2): 185-188.
- [28] 郭芳. 高温超导磁悬浮连续脉冲磁行波电磁发射研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.  
GUO Fang. Research on HTS maglev continuous pulsed magnetic traveling wave propulsion[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2010.
- [29] 张冬燕, 张洁. 洛克希德·马丁公司激光武器新进展[J]. 光电技术应用, 2019, 34(1): 1-5.  
ZHANG Dong-yan, ZHANG Jie. The latest development of laser weapon of Lockheed Martin[J]. Electro-optic technology application, 2019, 34(1): 1-5.
- [30] ZHOU Zhi-tan, LU Chen-yu, ZHAO Chang-fang, et al. Numerical simulations of water spray on flame deflector during the four-engine rocket launching[J]. Advances in space research, 2020, 65(4): 1296-1305.