

武器装备

国外舰载导弹发射装置发展综述

刘永亮, 任克亮, 马旭轮, 穆永涛

(中国船舶集团有限公司第七一三研究所, 郑州 450015)

摘要: 介绍了国外舰载导弹发射装置的基本概况及发展历程, 分析了固定式发射装置、回转式发射装置、臂式发射装置、垂直发射装置的优缺点及适装范围。根据冷热发射方式的特点, 分析了 4 种发射装置安装方式、贮弹量、射界、发射效率、反应速度、可靠性、安全性等基本性能, 阐明了倾斜发射、垂直发射、冷热共架发射的基本原理。垂直发射装置以射界大、效率高、反应快、贮弹量多等优点成为舰载发射装置主流, 倾斜发射在近程末端区域防空方面, 可提前指向目标, 减少导弹近距离大幅机动时间, 提升末端拦截概率, 是垂直发射的有效补充。舰载导弹发射装置正在朝垂直化、通用化发展, 模块化发射和电磁垂直发射是下一代舰载发射的发展方向。

关键词: 舰载发射装置; 冷热共架发射; 倾斜发射; 通用化; 模块化发射; 电磁垂直发射

中图分类号: U74.703.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2023)07-0001-08

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2023.07.001

Development Overview of Domestic and Foreign Shipborne Missile Launcher

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

(The 713 Research Institute of CSSC, Zhengzhou 450015, China)

ABSTRACT: Not only the basic situation and development process of shipborne missile launchers at home and abroad are introduced, but also the fixed launcher, rotary launcher, arm launcher, vertical launcher which contained advantages and disadvantages are analyzed. According to the characteristics of hot/cold launch methods, basic performance of four launchers are analyzed in terms of installation methods, ammunition storage capacity, launch boundary, launch efficiency, reaction speed, reliability and safety. Basic principles of incline launch, vertical launch and hot/cold common frame launch are clarified. Due to the advantages of large firing range, high efficiency, fast response, and large amount of ammunition storage on vertical launchers, they become the mainstream of shipborne launching devices. Identically, inclined launch is an effective supplement to vertical launch in terms of short-range large maneuvering time of the missile and improve the terminal interception probability. Shipborne missile launchers are developing towards a vertical and general direction. Modular launch and electromagnetic vertical launch are the development direction of the next generation of shipborne launch.

KEY WORDS: shipborne missile launchers; hot and cold common frame launch; inclined launch; generalization; modular launch; electromagnetic vertical launch

收稿日期: 2023-02-16; 修订日期: 2023-07-06

Received: 2023-02-16; Revised: 2023-07-06

作者简介: 刘永亮 (1978—), 男。

Biography: LIU Yong-liang (1978-), Male.

通讯作者: 任克亮 (1985—), 男。

Corresponding author: REN Ke-liang (1985-), Male.

引文格式: 刘永亮, 任克亮, 马旭轮, 等. 国内外舰载导弹发射装置发展综述[J]. 装备环境工程, 2023, 20(7): 001-008.

LIU Yong-liang, REN Ke-liang, MA Xu-lun, et al. Development Overview of Domestic and Foreign Shipborne Missile Launcher[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(7): 001-008.

导弹已成为现代作战舰艇的主要武器,导弹发射系统的先进程度直接影响舰艇的战斗力。现代海战要求各个作战单元有较好的装备通用性,以实施水面、水下和空中目标的防御和对抗攻击,而导弹是现代海战作战制胜最主要的武器和打击手段,如何使导弹合理快速、可靠、准确、安全发射,先进、高效、安全的发射技术及其装置起着至关重要的作用,影响着战争的胜负。舰艇导弹发射装置的功能是存放和发射舰载导弹^[1-3],让导弹锁定目标后能够迅速指向目标,第一时间发射,并朝目标飞去。舰艇导弹发射装置已发展了多年,以美国、俄罗斯为代表的国家,走在技术的前列。

1 固定式发射装置

固定式导弹发射装置是舰载导弹发射装置中技术最为简单的一种。也正因为如此,固定式导弹发射装置成了目前各种舰载导弹发射装置中运用最为广泛的一种,并沿用至今,仍有多款现役主战舰艇使用固定式导弹发射装置。

固定式发射装置是将一个固定架支起一套导弹发射筒,没有其余配套设施。其安装位置灵活,可以安装在两侧船舷、舰桥后、机库上方,有时还能临时安装在飞行甲板上。固定式导弹发射装置结构简单,通用性强,适装范围广。大到万吨巡洋舰,小到百吨的导弹快艇上,都可见到固定式发射装置。如国外的俄罗斯 956EM 现代级、光荣级和无畏级驱逐舰固定式发射装置^[4-7],如图 1 所示。



图 1 俄式 956/956EM 现代级驱逐舰的固定发射装置
Fig.1 Russian 956/956E modern destroyer fixed launcher

固定式反舰导弹发射装置,通常布置在舰桥后方平台,朝向为艇舰两侧船舷。在攻击目标时,船需要根据目标位置调整位置,选择自己的一侧船舷对准目标,然后才能有效保证导弹的精度。但其风险较高,舰艇体积大,机动性差,调整位置的时间长,容易被敌方抢先发射摧毁。舰艇侧面积大,相对于正对目标时,雷达反射面积更大,容易被锁定和击中。前苏联提出正面布置方式,如俄罗斯现代级、光荣级和无畏级驱逐舰,可有效降低雷达探测风险。

由于舰船排水量的限制,舰船在海上的机动性相对陆地上的发射车、坦克等较差。20 世纪 30 年代至 50 年代,各国的造船水平存在差异,导弹的速度和射程相对 21 世纪前 20 年的水平存在较大差距,固定式发射装置解决了国内外舰船上发射导弹有无导弹发射装置的问题。因为其结构简单,体积大,经济成本相对低廉,得到国内外海军的青睐。其缺点是,由于固定式发射装置结构简单,不能有方位的转动,导致其作战的距离较近,在发现目标后进行打击过程中,发射装置本身的跟踪性、灵敏性较差,对导弹机动性要求较高,从而导致了只能在给定目标的情况下,才能释放打击威力,主要应用在反舰方面。

朝正面安装虽然不用将侧面面向目标,但仍需艇舰调整位置来实现导弹指向目标,跟踪目标机动性及效率不高。类比舰炮,将导弹安装一个“炮塔”,导弹自行旋转来指向目标,回转式导弹发射装置为此出现。

回转式发射装置包含有可转动的发射架,可以根据目标参数,在武控系统的命令下自动调整发射架角度,使导弹快速指向目标,不用特意调整舰艇自身的位置。

2 回转式发射装置

回转式发射装置有一个可转动的发射架,可以根据目标参数,在武控系统的命令下自动调整发射架角度,使导弹快速指向目标,这样就不用特意调整舰艇自身的位置^[8-9]。

随着导弹速度及射程的提高,舰船在防御方面,除了适应较大的反舰导弹外,从空中打击舰船的需求进一步提高,舰空导弹便应运而生。在舰空导弹领域,舰空导弹的体积较小,射程远,射界广,为了适应防空导弹,客观上需要一种射界广,机动性能好,能够快速反应,安装体积小,载舰安装位置灵活的发射装置,于是,回转式发射装置产生了。在固定式发射装置的基础上,增加了回转、俯仰性能。反舰导弹一般体积大,导致发射装置体积也大,只能安装在舰艇中部,前后都为船体结构,无法安装在舰艏或者舰艉。回转式发射装置体积小,其机械结构更为灵活,可以安装在舰艏或者舰艉,射界明显增加。另外,回转式发射装置在舰空导弹领域实现了海上再装填。其备弹放置在发射装置后的甲板下,导弹消耗完毕后,可直接装填。可携带更多导弹,战斗力更加持续。

20 世纪 70 年代,美国海军为应对近程拦截高超音速导弹的需求,研制了“海拉姆”回转式发射装置(如图 2 所示),一个自动化较高的近程防空系统,具有极高的机动性,导弹采用红外/无源制导方式,射程可达 8 km,可有效拦截高超音速反舰导弹、战斗机和无人机等高速空中目标。



图 2 “海拉姆”导弹发射装置及装填
Fig.2 "HLM" missile launcher and loading

回转式发射装置在一定时期只能承担中近程的舰对舰任务,传统的回转式发射装置主要定位是打击大中小型水面舰船。由于传统的导弹制导精度低,回转式发射装置也承担着一定的防空任务。随着防空导弹及巡航导弹速度的增大,制导精度的提高,导弹种类的增多,客观上要求回转式发射装置的反应效率要快,打击范围要广,反导精度要高。回转式发射装置的回转系统、俯仰系统、伺服控制系统、调平系统、制导系统、隐身性要有一新的突破。

回转式发射装置只能承担中近程的反舰和防空任务,不具备反潜的功能,由于其装载的反舰导弹体积小,导弹本身的射程近,使其不具备打击远程目标的能力。固定式发射装置和回转式发射装置都安装在舰船的甲板面上,隐身性较差,客观上要求对海洋环境的环境适应能力较强。

3 臂式发射装置

臂式发射装置是在回转式发射装置的基础上配备了一台自动装弹机和存放导弹的弹库,实现打一装一功能,提高了装弹的自动化程度。单臂发射架主要有俯仰和水平 2 个运动方向^[10]。臂式发射装置主要装载中远程舰空和反舰导弹,均配有自动化装弹装置,相对于固定式发射装置和回转式发射装置在装弹方面节省了大量人力,提高了拦截舰空导弹的发射效率。臂式发射装置装载的导弹推力大,弹身长,制导精度高,自动化装填速度快,具备中远程打击舰艇和防空导弹的能力,尤其是在打击驱逐舰和航母上能力凸显。因为臂式发射装置配备有自动化装填装置,导致其占有舰船弹库的体积较大,机电结构复杂灵巧,一旦被击中,弹药库损失不可估算,有可能波及至整个舰船的安全性,维修维保周期长,要求舰员级及基层级的维修水平较高。

其中俄罗斯的“施基利”就是单臂式导弹舰空导弹武器系统(如图 3 所示),其内部是一架体型较大的自动装弹机和多枚 SA-N-7 舰空导弹,这套复杂的

机械结构和配套占去了甲板下大部分的空间。整套发射系统反应时间不超过 20 s,可高效拦截反舰导弹和反空导弹。“施基利”主要搭载舰空导弹,载弹 24 枚,是一型专注舰空的单一功能发射系统。“施基利”早期采用 SA-N-7 型舰空导弹,后期改用 SA-N-12 型舰空导弹,射程提升到 38 km,最大飞行速度为 3.6 马赫,末端采用半主动雷达制导。“施基利”的俯仰范围为 $0^{\circ}\sim+70^{\circ}$,调整速度为 $90\sim 100 (^{\circ})/s$,水平方向可进行 360° 旋转,导弹发射时间为 10 s。



图 3 俄罗斯施基利发射装置及弹库内部
Fig.3 Russia's Skiri launcher and interior of ammunition depot

美国的 MK-13 也是单臂式舰空导弹发射装置(如图 4 所示),MK-13 能够搭载 SM-1 舰空导弹、“鱼叉”反舰导弹等多种导弹,是一型舰空反舰兼顾的多功能发射系统,其弹药舱为 2 个同心圆形的旋转结构,内圈装弹 16 枚,外圈装弹 24 枚,总计可容纳 40 枚各型导弹。MK-13 系统弹药舱能够辨识 64 种导弹,并且处理与存放其中 7 种,每一种数量可以按需搭配。MK-13 配备了 SM-1 系列舰空导弹,其中 SM-1 MR、SM-1 MR Block V 的最大射程分别为 38、46 km,最大飞行速度 2 马赫,发射时间为 10 s,采用全程半主动雷达制导。MK-13 的俯仰范围为 $-15^{\circ}\sim+95^{\circ}$,调整速度为 $45 (^{\circ})/s$,水平方向也可进行 360° 旋转。



图 4 美国海军 MK-13 发射装置
Fig.4 U.S. Navy MK-13 launcher

臂式发射装置实现了自动装填之后,进一步需求是直接备弹从弹库内垂直射出,在空中调整姿

态,使导弹指向目标。这样不仅解决了装填问题,且导弹指向目标更快,射界覆盖 360°,放置在舰舱的导弹也可攻击后方目标。此客观需求导致垂直发射装置的出现。

4 垂直发射装置

垂直发射装置能把导弹从弹库内垂直发射出去,然后在空中调整姿态,使导弹指向目标。在箱弹装填到位后,导弹指向目标更快,射界覆盖 360°,放在舰舱的导弹也能攻击后方目标。国内外比较先进的舰艇其主力导弹(尤其是舰空导弹)都采用垂直发射^[11-12]。垂直发射装置优点:打击速度快,导弹直接发射出来,追踪目标靠雷达全方位扫描指引,能减少反应时间;贮弹量大,是具有发射功能的弹库;发射流程简化,可靠性高^[13];发射装置安装在甲板下面,隐身性好。

国内外垂直发射装置不同于固定式、回转式和臂式发射装置,结构上均采用模块化设计、安装和拆卸,分为发射单元、控制单元、装填单元等。其发射方式分为冷热 2 种,贮弹量大,贮弹类型多,反应效率高,射界广,在海上基本无死角,能同时装载舰空、舰潜、舰舰导弹,承载舰对空、舰对舰、舰对潜近中远多重任务。因为箱弹为垂直装填,垂直发射装置可在码头起重机及海上装填起重机上配合下,进行快速有效地箱弹装填^[14]。

垂直发射装置系统在安全性方面存在一些缺陷,由于垂直发射的导弹贮存在发射箱内,如果导弹火箭发动机有问题,易造成发射任务失败^[15-19]。如果导弹未出筒,残留弹体会在发射筒内剧烈燃烧;如果导弹飞出发射筒,但动力不足,导弹可能随即下落,砸在甲板上。

美国和俄罗斯海军在 20 世纪 80 年代配备了垂直发射装置。全球第一型批量装备的舰载垂直发射装置是苏联的核动力巡洋舰上的“利夫”,美国“宙斯盾”舰上装备的 MK-41 型垂直发射系统也在其列,如图 5 和图 6 所示。“利夫”垂直发射装置衍生自陆基 S-300



图 5 俄罗斯“利夫”垂直发射装置
Fig.5 Russian "Liv" vertical launcher



图 6 美国 MK-41 垂直发射装置
Fig.6 U.S. MK-41 vertical launcher

系列舰空导弹,在 1979 年装备于 2 艘核动力导弹巡洋舰。美国的 MK-41 垂直发射系统 1986 年在巡洋舰上实现了首装。

发射装置贮存筒弹时,发射单元通过支撑圆筒上的贮弹导轨约束筒弹支脚,为筒弹提供侧向定位和固定;通过回转盘上的筒弹支承座和压紧机构为筒弹提供轴向支承和固定。发射装置发射导弹时,发射显控柜接收由发控机柜转发的武控系统指令,控制发射单元液压站驱动液压铰链将相应舱口盖迅速开启到位,为导弹飞离提供通道。同时,发射显控柜向发控机柜实时回送舱口盖状态和其他状态信息。当导弹发动机或筒内弹射器意外点火时,导弹可凭自身动能冲开剪切式应急盖飞出弹库。美国 MK41 垂直发射装置是可以发射多种导弹的热发射导弹垂直发射装置,通用性好^[20]。

垂直发射装置在进攻和防御方面扮演着重要角色。垂直发射装置可装载多型号、多用途导弹,导弹射界可覆盖 10~2 000 km,通用性强^[21-29]。随着无人作战体系的发展和电磁弹射技术的发展,垂直发射装置在能源弹射动力方面还以蒸汽或液压弹射为主,对电磁弹射的储能模块、发射模块等还是一片空白。美国采用的导弹适配发射装置的研制体系,发射装置的接口是公开的,导弹在设计和适配的过程中会有很大的开放性。

5 国外舰载导弹发射装置未来发展趋势

目前,美国、欧洲各国、以色列、日本、韩国等在役的驱护舰仍以垂直发射装置装载为主,主要以 MK-41 垂直发射装置为原型,进行延伸式发展^[21-29]。服役 30 余年的 MK-41 垂直发射装置兼容了多型反舰、反潜、对陆、舰空、反导导弹,未来还有望兼容高超音速武器,但美国海军高层已经认识到 MK-41 的潜力已经基本耗尽^[30-34]。在技术驱动和需求驱动双牵引下,美国下一代舰载垂直发射装置 MK-57 应运

而生, 相比 MK-41, 垂直发射装置的尺寸更大。各国紧跟美国步伐, 装载至 DDG-1000, 其发射隔舱尺寸比 MK-41 大, 贮运发射箱内径增大了 76.2 mm, 内高增加了 460 mm, 为其发展更大更重的导弹打下了基础, 但建造数量仅 3 艘, 相比 MK-41, 装备量少, 这导致美国海军搭载更大更重的导弹经济性较差。

美国海军在“朱姆沃尔特”级驱逐舰的基础上进行“未来巡洋舰”的规划发展时, 结合舰空反导的需求, 规划了 2 款新概念垂直发射装置, 以充分利用其 5 层甲板高度所带来的潜能。

第一款是“模块化发射系统”(MLS), 如图 7 所示。与 MK-41 的热发射方式不同, MLS 采用冷发射方式, 技术来源于潜射弹道导弹的发射系统, 相当成熟可靠。冷发射方式还可以减少舰艇维护时的工作量, 降低舰艇红外特征, 避免导弹点火后卡在垂直发射装置内造成的破坏, 同时对更大更重的导弹也有更好的兼容性。传统的设计理念为, 口径为一固定值, 高度可调, 从而制约了垂直发射装置的使用潜力和贮弹量。MLS 采用模块化设计, 不限定贮运发射箱的口径, 解放了导弹的尺寸。其中的标准型 MLS 口径比 MK-41 更大, 6 单元的标准型 MLS 空间和面积与 8 单元 MK-41 相近, 这为现役安装 MK-41 的水面舰艇返装 MLS 提供了方便, 也让未来发展的新导弹无需再硬性考虑和 MK-41 的兼容性; 而非标准型 MLS 则可以根据导弹量身定制, 用于发射远程弹道导弹这样的超大型导弹。标准型和非标准型 MLS 之间更换方便, 码头有吊车保障即可完成, 平衡了舰艇载弹量和垂直发射装置使用潜力间的矛盾。



图 7 模块化发射系统
Fig.7 Modular launch system

第二款则是电磁垂直发射装置, 如图 8 所示。相比传统冷发射方式, 电磁垂直发射装置使用线圈加速, 导弹的加速曲线更为平缓 and 稳定, 发射力度的调节也更为精确, 还有可观的升级潜力^[35-37]。美国已在国家实验室进行电磁垂直发射装置的研究, 并用原理

样机展示了发射导弹的可行性。由于技术原因, 美国 2 款电磁垂直发射装置从 2010 年后被搁置, 停留在了图纸和原理样机的阶段, 得以让 MK-41 继续称霸美国海军的水面舰艇。

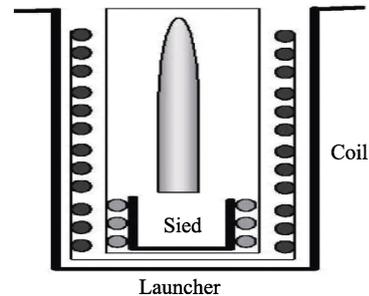


图 8 电磁垂直发射装置
Fig.8 Electromagnetic vertical launcher

2020 年, 美国海军加大了对“常规全球打击通用高超音速导弹”的研发, 其弹径大于 762 mm, MK-41 和 MK-57 垂直发射装置无法兼容, 为此“模块化发射系统”(MLS)重启是最佳选择, “模块化发射系统”(MLS)大概率会成为美国海军的下一代垂直发射装置。另一方面, 电磁垂直发射虽然理论上要比冷发射方式的“模块化发射系统”MLS 更加先进, 但是只在十几年前做过缩比原理样机, 许多关键技术未经过有效试验验证。因此, 电磁垂直发射作为中近期的下一代垂直发射是不切实际的想法, 可能在未来 50 年作为解决方案安装在后续的大型水面战斗舰上。

6 舰载导弹发射装置发展思考

4 种发射装置的发展是循序渐进的, 其结构由简单到复杂, 贮弹类型由单一到多种, 作战范围由近中程到近中远及超远程, 作战半径由局部到全方位, 作战效率由低到高, 装填补给能力由人工到智能, 装填地点由码头到海上。在能源方面, 发射装置逐步以适应裸弹及箱弹装填至发射装置利用导弹化学能发射为主, 向适应全舰船发射装置以电磁弹射射为主的转变, 以电磁为基础的通用垂直装置是各国发射装置发展的必然。

电磁弹射模式下通用垂直发射技术研究需重点解决以下问题: 电磁弹射模式下不同类型导弹通用发射问题; 实现相比现役通用垂直发射系统相同的发射率; 实现弹库内导弹快速姿态转换及装填转运; 提高通用电磁发射系统可靠性、电磁兼容性; 实现模块化。

7 结语

国外的舰载发射装置已经实现了模块化、系列化和通用化, 垂直发射装置以其射界大、反应快、可靠

性好的优点, 装载于在役的主力战舰上。倾斜发射装置在近程末端防空方面可提前指向目标, 减少导弹机动时间, 提升末端拦截概率, 是垂直发射装置的有效补充。另外, 国外在舰载发射装置上已经实现无人机的发射及回收, 无人艇已有小型垂直发射装置的安装, 并进行了海上实航导弹发射试验, 形成了中远程无人作战体系。在电磁弹射方面, 国外的电磁弹射发射装置仍停留在原理样机方面, 在实验室只进行了储能、发射等单项性能试验, 未开展工程阶段的研制试验。随着无人作战体系和电磁弹射技术的发展, 舰载导弹发射装置逐渐向无人和电磁弹射垂直发射装置上迈进, 无人控制技术、大容量电容技术、储能技术等将是舰载垂直发射装置将来突破的难点和方向。国外发射装置合理的舰面布局、前卫的发射方式值得国内借鉴。

参考文献:

- [1] 李敬堂. 舰载导弹发射装置结构与[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2006.
LI Jing-tang. Structure and Design of Shipborne Missile Launcher[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2006.
- [2] 高明坤, 宋廷伦. 火箭导弹发射装置构造[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.
GAO Ming-kun, SONG Ting-lun. Structure of Rocket and Missile Launcher[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1996.
- [3] 王瑞臣, 杨海波, 孙东平. 潜射导弹发射方式综述[J]. 舰船电子工程, 2021, 41(4): 8-12.
WANG Rui-chen, YANG Hai-bo, SUN Dong-ping. Overview of the Launch Modes for Submarine-Launched Missiles[J]. Ship Electronic Engineering, 2021, 41(4): 8-12.
- [4] 王玎楠, 王学智. 倾斜发射装置发射过程弹箱姿态仿真分析[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(10): 87-90.
WANG Ding-nan, WANG Xue-zhi. Missile and Launch Container Attitude Simulation of Incline Launching Vehicle in Launching Process[J]. Fire Control & Command Control, 2017, 42(10): 87-90.
- [5] 李敏, 王学智, 李超, 等. 某车载倾斜发射装置初始扰动影响因素分析[J]. 弹箭与制导学报, 2018, 38(5): 121-125.
LI Min, WANG Xue-zhi, LI Chao, et al. Influence Factors Analysis of Initial Disturbance for Inclined Vehicle Launcher[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2018, 38(5): 121-125.
- [6] 代程. 某多功能发射装置的建模与仿真分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
DAI Cheng. Modeling and Simulation Analysis of a Multifunctional Launcher[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014.
- [7] 何佳磊, 周川, 周宁波, 等. 基于动态设计分析方法的舰载鱼雷发射装置抗冲击特性研究[J]. 鱼雷技术, 2015, 23(2): 139-144.
HE Jia-lei, ZHOU Chuan, ZHOU Ning-bo, et al. Research on Anti-Shock Capability of Shipborne Torpedo Launcher Based on Dynamic Design Analysis Method[J]. Torpedo Technology, 2015, 23(2): 139-144.
- [8] 孙延超, 李军, 韩世东, 等. 火箭发射装置回转箱体拓扑优化设计方法研究[J]. 弹箭与制导学报, 2012, 32(1): 208-210.
SUN Yan-chao, LI Jun, HAN Shi-dong, et al. The Research of Topological Optimization Design for Rocket Launcher's Rotary Cabinet[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2012, 32(1): 208-210.
- [9] 王勇, 黄龙, 潘树国. 舰载发射装置捷联惯组正交安装误差标定方法[J]. 舰船科学技术, 2021, 43(9): 165-172.
WANG Yong, HUANG Long, PAN Shu-guo. Research on a Calibration Method for the Orthogonal Installation Error of SIMU on Ship-Based Launcher[J]. Ship Science and Technology, 2021, 43(9): 165-172.
- [10] 高慧杰, 张建, 周志卫, 等. 悬挂发射装置弹射力的光学测量方法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2013, 27(2): 111-115.
GAO Hui-jie, ZHANG Jian, ZHOU Zhi-wei, et al. Research on the Optical Measurement Method of the Airborne Ejection Force for Suspension Type Launch Equipment[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2013, 27(2): 111-115.
- [11] 常卫伟. 舰载导弹垂直发射系统综述[J]. 舰载武器, 2002(4): 47-52.
CHANG Wei-wei. A Comprehensive Survey of Ship-based Missile Vertical Launching System[J]. Shipborne Weapons, 2002(4): 47-52.
- [12] 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. Present Situation and Development Trend Analysis of Warship Vertical Launch System[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2020(8): 78-81.
- [13] 郑宏建, 张兴有, 马洪霞. 航空导弹垂直发射系统特点分析[J]. 战术导弹技术, 2002(1): 18-22.
ZHENG Hong-jian, ZHANG Xing-you, MA Hong-xia. Analysis for Ship to Air Missile Vertical-Launched Systems[J]. Tactical Missile Technology, 2002(1): 18-22.
- [14] 陈国峥. 舰载导弹发射装置箱弹装填技术研究[J]. 舰船科学技术, 2020, 42(13): 146-151.
CHEN Guo-zheng. Research on Missile Loading Technology of the Shipborne Missile Launcher[J]. Ship Science and Technology, 2020, 42(13): 146-151.
- [15] 杨培源, 王虹旋. 舰载垂直发射装置战损分析方法研究[J]. 舰船电子工程, 2018, 38(5): 119-121.
YANG Pei-yuan, WANG Hong-xuan. Study of Battle Damage Analysis Method on Vertical Launching System on Shipborne[J]. Ship Electronic Engineering, 2018,

- 38(5): 119-121.
- [16] 张代国. 舰载导弹垂直发射装置燃气流数值模拟[J]. 舰船科学技术, 2015, 37(5): 241-244.
ZHANG Dai-guo. Numerical Simulation of the Exhausted Gas Flow Fields about Vertical Launching System in Warship[J]. Ship Science and Technology, 2015, 37(5): 241-244.
- [17] 吴凡, 宋向华, 王敏毅, 等. 某型舰载发射装置后坐缓冲技术试验研究[J]. 机电工程技术, 2021, 50(1): 49-52.
WU Fan, SONG Xiang-hua, WANG Min-yi, et al. Experimental Research on Recoil Buffer Technology of a Ship-Based Launcher[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2021, 50(1): 49-52.
- [18] MA Pei-bei, ZHANG You-an, JI Jun, et al. Research of Vertical Launching Missile Based on Turning Control Technology[C]//The Proceedings of the Multiconference. Beijing: IEEE, 2007.
- [19] 谷荣亮, 朱志华, 庄彦. 箱式垂直发射装置燃气流排导[J]. 战术导弹技术, 2001(6): 46-49.
GU Rong-liang, ZHU Zhi-hua, ZHUANG Yan. Exhaust for Combustible Airflow of Box-Form Structure Vertical-Launching Device[J]. Tactical Missile Technology, 2001(6): 46-49.
- [20] 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. Key Technology Analysis of MK-41 Vertical Launch System of US Army[J]. Technology Foundation of National Defence, 2010(4): 50-54.
- [21] 郑宏建, 谷荣亮, 李守仁, 等. 舰载导弹共架发射技术的应用分析[J]. 导弹与航天运载技术, 2005(4): 57-62.
ZHENG Hong-jian, GU Rong-liang, LI Shou-ren, et al. Study on Common-Frame Launch Technique for Carrier-Based Missile[J]. Missiles and Space Vehicles, 2005(4): 57-62.
- [22] 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.
- [23] 郑宏建, 张爱华. 舰载导弹的共架发射[J]. 上海航天, 2004, 21(5): 44-47.
ZHENG Hong-jian, ZHANG Ai-hua. Common-Frame Launch Technology for Carrier-Based Missile[J]. Aerospace Shanghai, 2004, 21(5): 44-47.
- [24] 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.
- [25] 韩煜宇, 吴利民. 燃气流公共排导和同心筒技术在舰载导弹垂直发射装置中的应用分析[J]. 舰船科学技术, 2007, 29(S1): 76-78.
HAN Yu-yu, WU Li-min. Analysis of the Public Exhaust System Vs the Concentric Canister to the Vertical Launch System in Navy Ships[J]. Ship Science and Technology, 2007, 29(S1): 76-78.
- [26] 苗佩云, 袁曾凤. 同心发射筒结构及参数研究[J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(S2): 359-361.
MIAO Pei-yun, YUAN Zeng-feng. A Research on the Tructure and Parameters of Concentric Canister Launcher[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2005, 25(S2): 359-361.
- [27] 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.
LIU Fang, GU Jian, QIU Zhi-ming, et al. Methods of Weapon Selection and Layout in Common-Frame Launch System Based on Public Exhaust Launcher[J]. Journal of Naval University of Engineering, 2012, 24(2): 53-56.
- [28] 孙焕明, 刘雪涛, 赵惠平. 舰载导弹共架发射装置通用标准控制系统[J]. 舰船科学技术, 2003, 25(2): 27-30.
SUN Huan-ming, LIU Xue-tao, ZHAO Hui-ping. The Standard and Common Control System for Shipborne Missile Common Frame of Launching Equipments[J]. Ship Science and Technology, 2003, 25(2): 27-30.
- [29] 王晓铭, 臧晓惠. 基于共架发射的通用化发控系统的集成设计[J]. 海军航空工程学院学报, 2008, 23(4): 391-394.
WANG Xiao-ming, ZANG Xiao-hui. The Integrated Design of General-Purpose Launch Control System Based on Common-Frame Launch[J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University, 2008, 23(4): 391-394.
- [30] 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.
- [31] 谷荣亮, 杜江, 时继庆. 战术导弹垂直发射系统的现状及发展趋势[J]. 上海航天, 2003, 20(3): 28-32.
GU Rong-liang, DU Jiang, SHI Ji-qing. The Present Situation and Development for Tactical Missile Launch System[J]. Aerospace Shanghai, 2003, 20(3): 28-32.
- [32] 陈延伟, 王贝, 刘佳琳, 等. 舰载导弹发射装置轻量化技术研究[J]. 舰船科学技术, 2022, 44(14): 159-164.
CHEN Yan-wei, WANG Bei, LIU Jia-lin, et al. Research on Lightweight Technology of a Shipborne Missile Launcher[J]. Ship Science and Technology, 2022, 44(14): 159-164.
- [33] 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): 77-82.
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): 77-82.
- [34] 孙建中. 美国海军的新型舰载垂直发射装置[J]. *现代防御技术*, 2001, 29(6): 34-37.
- SUN Jian-zhong. New Shipboard Vertical Launcher of American Navy[J]. *Modern Defence Technology*, 2001, 29(6): 34-37.
- [35] 鲁军勇, 胡鑫凯, 谭赛等. 电磁轨道发射装置绝缘支撑体研究现状及展望[J/OL]. *华中科技大学学报(自然科学版)*, [2022-10-31]. <https://doi.org/10.13245/j.hust.230125>.
- [36] 李伟波, 曹延杰, 曲东森, 等. 舰载导弹电磁垂直发射装置电源系统仿真[J]. *弹箭与制导学报*, 2015, 35(6): 21-24.
- LI Wei-bo, CAO Yan-jie, QU Dong-sen, et al. Simulation on Power System of Electromagnetic Vertical Launcher for Shipborne Missile[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2015, 35(6): 21-24.
- [37] 田振国, 白象忠, 杨阳. 电磁轨道发射状态下导轨的动态响应[J]. *振动与冲击*, 2012, 31(2): 10-14.
- TIAN Zhen-guo, BAI Xiang-zhong, YANG Yang. Dynamic Response of Rail under a Launching State of an Electromagnetic Rail[J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2012, 31(2): 10-14.

责任编辑: 刘世忠