

# 国外主要战略导弹系列化发展及技术共用研究

邵世纲<sup>1</sup>, 杨泽萱<sup>2</sup>, 邢冠楠<sup>1</sup>, 崔慧<sup>1</sup>, 秦吉良<sup>1</sup>

(1. 中国运载火箭技术研究院, 北京 100076; 2. 北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

**摘要:** 纵观世界主要国家战略武器装备发展脉络, 基于成熟武器装备平台进行升级改造、提升装备总体性能, 可以有效提升导弹武器装备通用化、系列化水平, 缩短研制周期, 降低全寿命周期研制成本与风险, 已成为国外主要国家导弹武器装备发展的基本态势。通过研究国外导弹武器装备基本型、系列化发展情况, 探究其系列化发展思路, 并针对主要国家导弹典型型号进行技术共用度分析, 研究其技术发展脉络, 为我国导弹武器装备发展提供参考借鉴。

**关键词:** 国外战略导弹; 系列化发展; 技术共用

中图分类号: V421.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-4080 (2017) 03-0024-09

## Research on Serialization and Technology Sharing of Foreign Major Strategic Missiles

SHAO Shi-gang<sup>1</sup>, YANG Ze-xuan<sup>2</sup>, XING Guan-nan<sup>1</sup>, CUI Hui<sup>1</sup>, QIN Ji-liang<sup>1</sup>

(1. China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China;

2. Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076, China)

**Abstract:** In the major countries of the world strategic weapon equipment development process, based on the mature weapons and equipment upgrades, enhance the overall performance of equipment, equipment can effectively improve the generalization and seriation level, shorten the development cycle of life cycle, reduce research cost and risk, has become the main trend in the development of weapons and equipment in foreign countries missile. In this paper, through the study of foreign missile weapon equipment basic type, series development, explore the development of ideas, and sharing degree analysis technology for major national typical missile research context of its technology development, it can provide a reference for China's missile weapon equipment development.

**Key words:** Foreign strategic missile; Serialization development; Technology sharing

### 0 引言

世界主要国家在战略导弹武器发展过程中, 非常重视武器型号基本型、系列化研究, 通过对成熟武器装备平台进行升级改造, 提升装备战技性能, 优化导弹武器体系型谱, 形成系列化发展态势, 持续保持和提升导弹武器装备整体作战效

能。研究美国、俄罗斯、印度等主要国家导弹武器系列化发展情况, 选取国外典型导弹系列型号, 开展型号间技术共用程度分析, 分析其研制思路、梳理其共用技术, 研究型号技术共用模式和研制规律, 具有重要意义。实践证明, 较高的技术共用水平可有效降低导弹研制成本与风险, 缩短研制周期, 提升装备建设整体效益, 相关思路可为

收稿日期: 2017-05-15; 修订日期: 2017-07-25

作者简介: 邵世纲 (1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为武器装备发展战略。

E-mail: renrqshao@163.com

我国导弹武器发展提供参考借鉴。

## 1 国外战略导弹系列化发展及技术共用情况

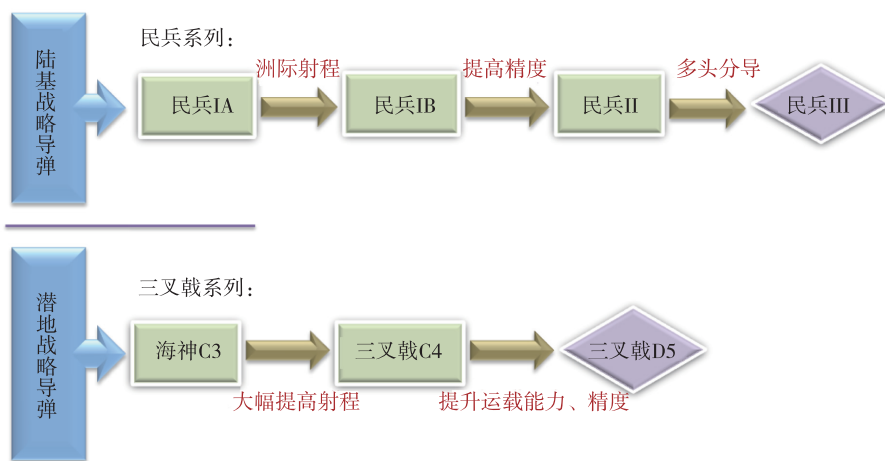
### 1.1 美国

#### 1.1.1 美国战略导弹系列化发展总体情况

纵观美国战略导弹装备发展历程，陆基核导弹方面，从早期的大力神系列液体导弹，到民兵系列固体导弹；潜基核导弹方面，从早期的北极星系列，到三叉戟系列潜射导弹，战略型号研制过程中始终贯彻着基本型、系列化思想<sup>[1-2]</sup>，如图 1 所示。

在民兵系列陆基战略导弹发展过程中，民兵

IB 是民兵 IA 导弹的改进型，民兵 II 则是在民兵 IB 的基础上通过更换新的第二级、新弹头及采用微电子技术，使作战能力大幅度提高，具有很高的继承性和通用性。民兵 III 导弹是在民兵 II 导弹的基础上提升了打击精度和投掷能力，成为美国第一种采用分导式多弹头的固体洲际弹道导弹<sup>[3]</sup>。美国持续对民兵 III 导弹进行升级改进，使其服役期限延长至 2020 年，改进计划包括快速执行与战斗瞄准、增强安全弹头计划、末助推发动机延寿计划、GPS 精确跟踪能力、环境控制系统替代计划等。民兵 III 导弹目前已经成为美国唯一的陆基核力量。



说明：方框表示已退役型号，菱形框表示在役型号；单向箭头表示存在技术继承关系。

图 1 美国战略导弹技术继承和发展路线图

Fig. 1 US strategic missile technology succession and development roadmap

潜地战略导弹从北极星系列到三叉戟系列，共发展了 3 代 6 型导弹，其潜地战略导弹均在原基础上采用新技术，使导弹的总体性能和技术指标稳步提高<sup>[4]</sup>。有效载荷由单弹头发展为分导式多弹头；结构材料从钢和铝发展到玻璃纤维、石墨环氧以及其他复合材料；结构质量不断减少，推进剂能量不断增加；射程由 2200km 逐步增加到 7900km；精度由 1.85km 逐步提高到 90m。在潜地战略导弹的发展过程中，其基本型、系列化的思想起到了极大的促进作用，其大部分技术共用、结合部分新技术的研制思路，促使导弹性能稳步提升的同时，大幅降低了技术风险。

#### 1.1.2 三叉戟 I (C4) 与三叉戟 II (D5) 导弹技术共用度分析

美国三叉戟 II (D5) 是世界上最成功的潜射弹道导弹，已完成 100 多次连续成功发射，是潜射

导弹战技指标、可靠性和先进性等综合性能突出的代表。

三叉戟 II (D5) 是三叉戟 I (C4) 的改进型，1984 年开展工程研制，1987 年完成首次研制性飞行试验，1990 年 3 月开始部署<sup>[5-6]</sup>。三叉戟 II (D5) 在三叉戟 I (C4) 基础上采用了大量的继承技术（如表 1 所示），其主要分系统技术共用情况对比分析如下：

1) 三叉戟 II (D5) 再入系统由弹头释放组件和弹头组成。弹头释放组件在三叉戟 I (C4) 基础上进行改进，其结构材料、发火管、推冲器药筒、锥形座、分离接头、分离程序装置等都和三叉戟 I (C4) 相同，可兼容 MK5、MK4 弹头。

2) 三叉戟 II (D5) 弹体结构布局与三叉戟 I (C4) 相似，总体尺寸略大，仪器舱、过渡段、整流罩结构形式、连接及分离方式都与三叉戟 I

(C4) 相同。整流罩前端的气动减阻杆也是在三叉戟 I (C4) 基础上按比例放大而成, 结构形式及材料也都相同。

3) 为提升运载能力和射程, 三叉戟 II (D5) 主动力系统在三叉戟 I (C4) 基础上有一定改进, 第一、二级发动机推进剂均改用聚乙二醇/硝化甘油, 为 MX 导弹第三级发动机研制的推进剂的改进配方, 其第三级发动机仍用三叉戟 I (C4) 第三级发动机技术方案。

4) 为提升制导精度, 三叉戟 II (D5) 采用 MK-6 型星光惯性制导系统, 是三叉戟 I (C4) MK-5 制导系统的改进型, 与 MK-5 制导系统相同, 采用平台-计算机制导方案加星光制导和末助推控制系统, 但陀螺、加速度表和星光敏感器都进行了改进和重新设计, 其尺寸与 MK-5 相同, 质

量增加了 60%。

5) 三叉戟 II (D5) 电源和配电分系统为导弹各分系统和各部件提供和分配电源, 对各分系统的供电电源电路进行控制和监视, 其技术方案与三叉戟 I (C4) 基本相同。三叉戟 II (D5) 飞行控制系统、末助推控制系统功能是在导弹助推段和末助推段控制导弹的飞行, 采用与三叉戟 I (C4) 相似方案。

在采用大量继承技术情况下, 三叉戟 II (D5) 主要在动力系统、制导系统上应用新技术进行改进, 其性能指标在三叉戟 I (C4) 的基础上射程和运载能力大幅提升, 命中精度 CEP 由 230m ~ 500m 提升到 90m; 从 1990 年服役以来, 一直是世界上最先进的潜射弹道导弹。

表 1 美国三叉戟 I (C4) 与三叉戟 II (D5) 技术共用情况

Tab. 1 Technology sharing of Trident C4 and Trident D5

序号	主要系统		三叉戟 I (C4)	三叉戟 II (D5)	
1	再入分系统		MK4 弹头	MK4/MK5 弹头 弹头释放装置改进, 可兼容 MK4 和 MK5 弹头	
2	弹体结构		技术共用		
3	主发动机	一级	普通复合推进剂	高能推进剂 新型绝热和壳体材料 发动机直径增大	发动机 级间比调整
4		二级	普通复合推进剂	高能推进剂 新型绝热和壳体材料 发动机直径增大 延伸喷管技术	
5		三级	基本共用		
6	制导分系统		MK-5 制导系统	MK-6 制导系统, 在 MK-5 基础上改进	
7	电源与配电系统		基本共用		
8	飞行控制分系统		基本共用		
9	末助推控制分系统		基本共用		

## 1.2 俄罗斯

### 1.2.1 俄罗斯战略导弹系列化发展总体情况

在战略导弹研制过程中, 俄罗斯非常重视采用通用性设计思路。近年来俄罗斯陆续发展了多种新型陆、海基战略导弹, 但就这些新型导弹系统的技术实质而言, 真正全新设计的战略武器系统较少。新研制的这些战略导弹主要以 2000 年前后和苏联时期部署的战略导弹为基础, 根据现阶段

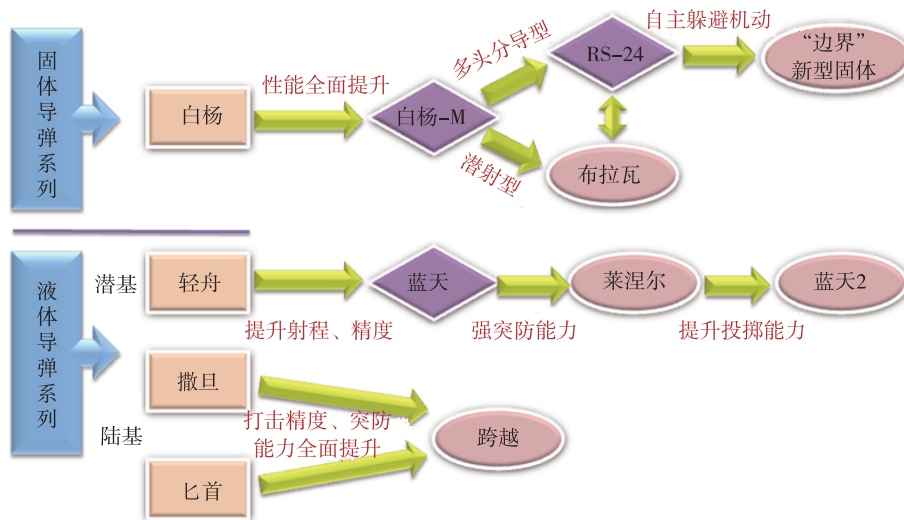
装备需求改进或更换战斗部和指控系统等重要部件, 获得更优性能, 具有明显的技术继承性。俄罗斯战略导弹技术继承和发展情况见图 2。

在固体战略导弹方面, 白杨导弹是在 SS-20 两级固体导弹基础上增加一个固体第三级构成的。白杨-M 是白杨导弹的改进型, 在推进、弹头、制导等分系统上应用了成熟的技术成果, 使导弹主要战技性能大大改进, 投掷质量和命中精度均明

显提高,并具有独特的突防反拦截能力。2009 年刚完成首次部署的 RS-24 新型战略导弹继承了白杨-M 导弹的大部分技术成果,具备了多头分导能力。布拉瓦作为俄罗斯研制的新一代固体潜射洲际弹道导弹,是白杨-M 导弹的潜射型,有报道称,该导弹与白杨-M 的通用性达到 70%<sup>[7]</sup>。俄罗斯新一代“边界”新型固体洲际导弹,与 RS-24 和布拉瓦导弹在技术上都有密切的联系,可能是

在 RS-24 导弹基础上,重新设计战斗部,提升其装载弹头数量。

在液体战略导弹方面,俄罗斯以 20 世纪 80 年代装备的轻舟导弹为基础,沿用轻舟导弹弹道控制、液体推进剂封装等技术,开发了蓝天、莱涅尔、蓝天 2 型导弹。其最新研制的“跨越”新型重型液体弹道导弹也是以 SS-18 导弹为基础进行改进设计的。



说明:方框表示 20 世纪 70~80 年代的服役型号,菱形框表示近年来部署的新型导弹,椭圆框表示在研导弹型号;单向箭头表示存在技术继承关系,双向箭头表示存在技术通用关系。

图 2 俄罗斯战略导弹技术继承和发展路线图

Fig. 2 Russian strategic missile technology succession and development roadmap

### 1.2.2 白杨-M 与白杨导弹技术共用度分析

白杨-M 是白杨导弹的改进型,1993 年年初俄罗斯开始进行白杨-M 工程研制,1997 年 7 月完成研制飞行试验,不到 5 年时间,部署前只进行了 4 次研制飞行试验,其工程研制时间之短,部署前飞行试验次数之少,在国外主要战略型号中是很少见的。白杨-M 导弹的发展途径体现了国外战略弹道导弹发展态势,即对于已有型号的升级改进,根据当前装备发展需求,结合相关技术进展情况,通过分系统采用先进技术成果或更换重要系统部件,以快速形成能力,获得更优总体性能。在型号研制改进过程中,重视技术继承性,采用通用化技术,应用比较成熟或经过试验验证的技术成果,可以降低研制成本,缩短研制部署时间,提升导弹升级换代速度。

白杨-M 是第一种完全在俄罗斯境内研制、生产的战略弹道导弹。俄罗斯核力量继承苏联,苏

联大部分战略导弹在俄罗斯境外生产,主要战略型号 SS-18、SS-24 由乌克兰扬格尔设计局研制,由南方机械科研生产联合体制造;苏联解体前发展的白杨导弹,虽然在俄罗斯境内总装,但其配套生产单位涉及乌克兰、白俄罗斯等苏联加盟共和国。通过白杨-M 的研制,俄罗斯整合了战略导弹研发资源,其主要系统研制单位均在俄罗斯本土,为战略导弹后续发展奠定了基础<sup>[8]</sup>。

白杨-M 导弹与白杨导弹的技术对比分析如下(具体见表 2):

1) 白杨-M 与白杨都是中型单弹头陆基机动洲际弹道导弹,白杨-M 采用与白杨导弹基本相同的三级固体发动机、单弹头及惯性制导总体方案,导弹直径、长度和发射质量仅略有增加。

2) 相比于白杨导弹搭载的惯性单弹头,白杨-M 采用了可机动再入弹头技术,大幅提升了突防能力和打击精度。早在苏联时期,就曾使用 SS-18

导弹开展 10 余次机动再入弹头飞行试验验证, 具备较好的技术成熟度。

3) 与白杨导弹相比, 白杨-M 的三级发动机直径增大, 增加了推进剂装药空间。白杨导弹一级发动机壳体采用玻璃钢圆筒段和钛合金前后封头, 而白杨-M 可能使用了有机纤维复合材料壳体, 并换装高能固体推进剂。与白杨导弹一级发动机燃气舵加空气舵的推力向量控制方式不同, 白杨-M 发动机采用了更先进的柔性摆动喷管技术。

4) 白杨-M 制导系统与白杨导弹一样, 助推段为计算机控制的惯性制导方式, 但由于其采用了机动再入弹头, 依靠经过苏联飞行试验验证的战略弹道导弹机动弹头末制导技术, 在再入过程中可实现目标地图匹配, 白杨-M 的命中精度比白杨导弹提高近 1 倍。

5) 白杨导弹是俄罗斯第一型公路机动部署的洲际弹道导弹, 而白杨-M 采用了公路机动和地下井混合部署方式, 地下井发射具有准备时间短、戒备率高、维护保障方便等优势, 而公路机动发射系统作战保障费用高昂, 这也对白杨-M 公路机动部署数量产生了一定影响。

在白杨导弹基础上, 白杨-M 在弹头、发动机、制导等主要分系统应用了新的成熟技术成果, 使导弹主要战技性能大大改进, 投掷质量和命中精度均明显提高<sup>[9-10]</sup>。与白杨导弹相比, 白杨-M 总质量仅增加了不到 5%, 投掷质量却提高了 20%, 命中精度提高 1 倍, 反拦截性能显著增强, 使用寿命从 10 年延长到 15 年。白杨-M 成为俄罗斯战略核导弹的核心力量, 为后续 RS-24、布拉瓦等新型号研制奠定了坚实的基础。

表 2 白杨与白杨-M 技术共用情况

Tab. 2 Technology sharing of Topol and Topol-M

序号	主要系统	白杨	白杨-M
1	核弹头	惯性单弹头	机动单弹头
2	制导控制系统	惯性制导	惯性制导+再入末制导
3	末助推动力系统	技术共用	
4	主动力系统	普通复合推进剂	高能推进剂, 装药量增加
5	姿控系统	固定单喷管, 燃气舵加空气舵控制	柔性摆动喷管控制
6	滚控系统	技术共用	
7	结构系统	技术共用	
8	发射系统	公路机动发射	公路机动发射/井基发射

### 1.3 印度

#### 1.3.1 印度弹道导弹系列化发展总体情况

印度弹道导弹的发展源自 1983 年制定“综合导弹研制计划”(IGMDP), 在印度国防工业基础相对薄弱的情况下, 通过仅 30 年左右的时间, 形成了大地近程、烈火中远程和 K 潜射 3 个系列的弹道导弹, 射程基本覆盖了 150km~6000km, 其通用化、模块化、系列化发展的研制思路发挥了极大的作用<sup>[11-13]</sup>。从技术层面看, 大地、烈火和 K 系列内部及各个系列之间, 基本不存在全新设计的型号, 其技术共用度非常高, 如图 4 所示。

大地系列导弹主要包括大地 1、大地 2、大地 3。大地 1 和大地 2 的动力系统仿制苏联 SA-2 导弹, 采用单级液体火箭发动机, 分别于 1994 年、1998 年部署装备军队, 已形成作战能力; 在大地 2 的基础上, 印度开展大地海军型(长弓型)弹道导弹, 已于 2003 年通过飞行试验。大地 3 正在研制中, 采用单级固体发动机技术, 并计划进行陆、海、空通用设计, 实现多种用途。从纵向看, 大地 1 射程为 150km, 大地 2 射程 250km, 大地 3 射程 350km~600km, 实现了从液体到固体的转变, 射程能力、打击精度、作战使用等性能逐步提高。从横向看, 大地 2、大地 3 都向陆、海、空通用化发展。

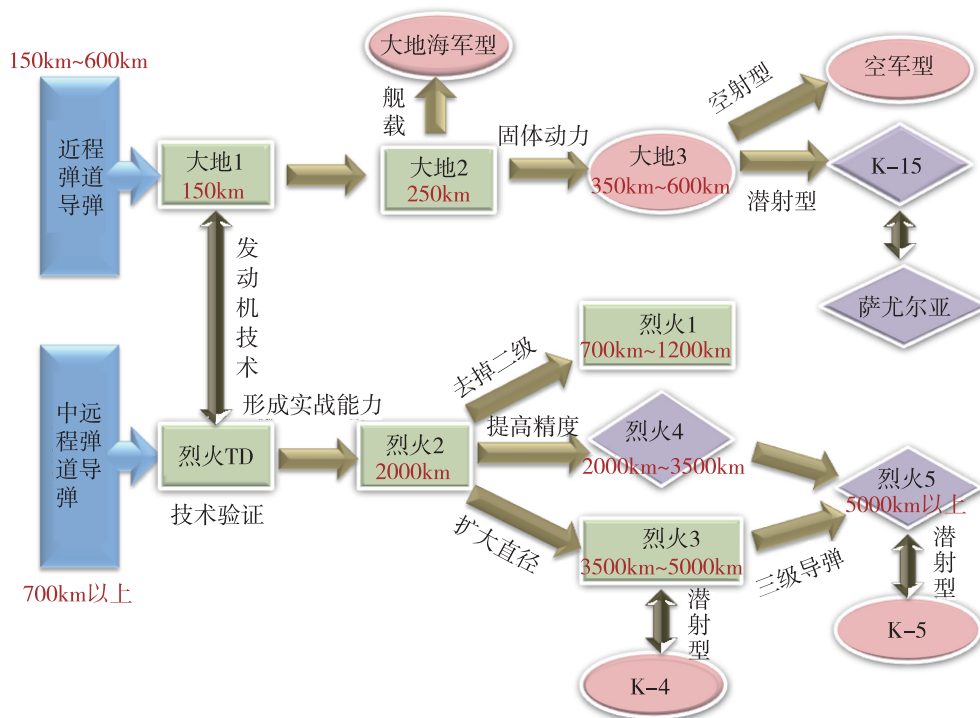
烈火导弹的发展始于 1989 年 5 月开始研发的烈火 TD/TTB, 其一级采用 SLV-3 运载火箭一级固体发动机, 二级采用大地 1 的液体发动机, 1994 年 2 月首次试验成功, 主要用于技术验证; 烈火 2 为两级固体导弹, 一级发动机与烈火 TD/TTB 相似, 二级为新研固体发动机, 于 1999 年 4 月首次试射成功, 2002 年投产并列装, 射程为 2000km。

以烈火 2 为基本型, 烈火 1、烈火 3、烈火 4 都是在其基础上改进研制的, 烈火 1 是在烈火 2 基础上去掉二级发动机, 于 2002 年首飞、2004 年装备部队, 射程为 700km~1200km; 烈火 3 与烈火 2 相比, 直径由 1.3m 增加到 2m, 其有效载荷更大, 射程更远, 结构更复杂, 目前已完成 3 次成功试射, 射程为 3500km~5000km; 烈火 4 在烈火 2 基础上, 采用了环状激光陀螺仪、复合材料发动机壳体等新技术, 于 2011 年 11 月首次试射成功, 射程为 2000km~3500km, 弥补了烈火 2 与烈火 3 之间的射程空白; 烈火 5 导弹是在烈火 3、烈火 4 的基础上发展出来的, 发动机由两级增加到三级, 射程达到 5000km 以上, 于 2012 年完成首次成功试射。

据称，印度后续将开展烈火 6 洲际弹道导弹的研究。

K 系列潜射弹道导弹是印度海基核打击和核威慑的主要力量构成，目前主要发展 K-15、K-4 和 K-5 三种型号。K-15 最初源自大地 3 的潜射型，后来由于发射平台等限制，改为重新设计，在其

研制过程中发展出陆基版的萨尤尔亚导弹，用于关键技术攻关和验证，射程 700km，可携带核弹头；正在发展的 K-4、K-5 潜射弹道导弹，分别为烈火 3、烈火 5 的潜射型。



说明：方框表示在役型号，菱形框表示已完成飞行试验的在研型号，椭圆框表示未进行飞行试验的在研型号；单项箭头表示存在技术继承关系，双向箭头表示存在技术通用关系。

图 4 印度弹道导弹技术继承和发展路线图

Fig. 4 India ballistic missile technology succession and development roadmap

### 1.3.2 烈火系列导弹技术共用度分析

烈火系列导弹是在 SLV-3 运载火箭和大地导弹的基础上发展而来的，目前在役共 3 型，分别为烈火 1、烈火 2、烈火 3；在研两型，分别为烈火 4、烈火 5。烈火系列导弹在烈火 2 基本型的基础上，以射程需求为牵引，多型号并举发展，通过不到 15 年的时间形成了 700km~5000km 以上射程衔接的导弹系列，是技术共用、系列化、通用化、模块化发展的典型。其技术共用图谱见图 5，以烈火系列弹道导弹为对象，进行印度弹道导弹技术共用情况的分析。

烈火导弹的发展始于 1989 年 5 月开始研发的烈火 TD/TTB，是烈火系列的技术验证导弹，用于验证再入大气层技术、控制系统性能、RV 碳纤维复合材料结构、惯性导航技术和导弹分离技术等，第一级采用 SLV-3 运载火箭的一子级发动机，

第二级采用大地 1 的液体发动机，于 1994 年 2 月首次试验成功。

烈火 2 为两级固体导弹，共用烈火 TD/TTB 的一级发动机技术、分离技术、控制系统技术；二级为新研固体发动机，配备矢量喷管，具备推力矢量调节能力；新采用了机动弹头技术，射程 2000km；在烈火 TD/TTB 的基础上，通过 5 年的时间首飞成功，8 年时间完成列装。

烈火 1 是在烈火 2 基础上，去掉二级发动机后研制成功的，共用了烈火 2 的一级主发动机技术、制导和控制技术，射程 700km~1200km，实现了烈火系列与大地系列弹道导弹的射程衔接，经过短短 3 年时间，2002 年完成首飞，2004 年装备部队。

烈火 3 导弹于 2003 年开始研制，是在烈火 2 的基础上与烈火 4 同期研制的一型固体弹道导弹，

与烈火2共用控制系统技术、制导技术、级间分离技术；发动机在1.3m直径基础上扩展为2m直径钢壳体发动机，两级发动机都采用推力矢量技术，新型HTPB/AP/AL推进剂；核弹头进行了小型化设计、采用了新型弹头防隔热材料；烈火3的射

程为3500km~5000km，2007年4月首次试射成功，烈火3实现了烈火系列从1.3m直径向2m直径的转变，运载能力大幅提升，除主发动机技术外，其他技术基本与烈火2共用，研制时间相对较短。

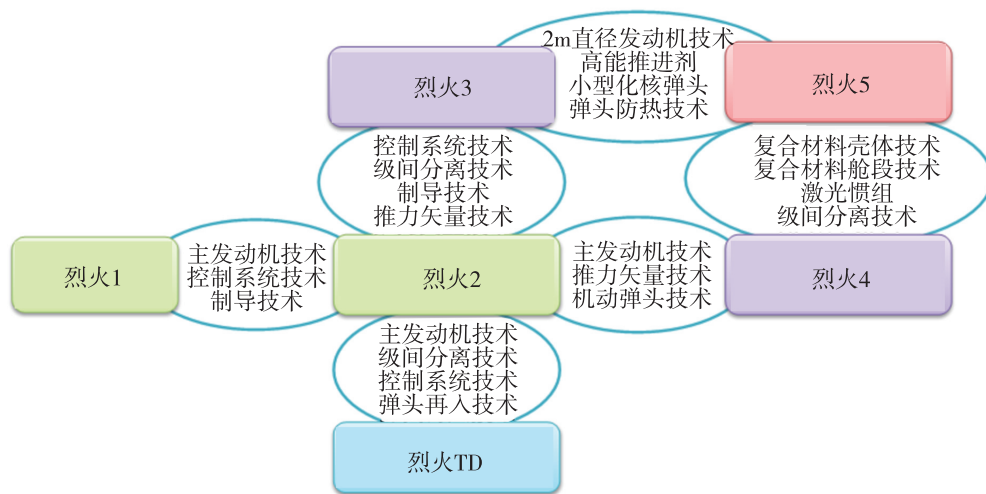


图5 烈火系列导弹技术共用图谱

Fig. 5 Technology sharing of Agni series missile

烈火4导弹是烈火2导弹的改进型，继承了烈火2的一级发动机技术、二级发动机推力矢量技术、机动弹头和热防护技术，采用了复合材料壳体、现代化电子设备、激光惯组等新技术。在弹体直径基本不变的情况下，射程从烈火2的2000km提升到3500km，精度等总体性能大幅提升，弥补了烈火2和烈火3之间的射程空白，于2011年首飞成功，比烈火3晚4年。

烈火5导弹是在烈火3、烈火4的基础上发展出来的。I级发动机继承了烈火3导弹钢壳体的I级发动机；II级发动机在烈火3的基础上，壳体由钢壳体更换为复合材料壳体，共用了烈火4的复合材料壳体技术，推进剂技术与烈火3共用；新研III级发动机为复合材料锥形固体发动机；各级发动机有可能采用柔性喷管推力矢量技术。级间段分离有可能从烈火3的热分离发展为冷分离，级间段由框架式结构更改为舱段式结构；共用了烈火4的环形激光惯组；弹头相对烈火3进行了一定程度小型化设计。烈火5实现了射程5000km以上，有报道称其射程达8000km，且总体性能、打击精度等各方面都有了较大程度的提高，烈火5经过5年时间研制，于2012年首飞成功。

## 2 国外导弹武器装备系列化发展及技术共用综合分析

### 2.1 技术共用层面分析

国外导弹武器基本型、系列化发展思路的本质是技术共用，也就是在开展型号设计时，尽可能多地采用共用技术，针对不同作战任务需求，进行模块化改进升级，以尽量小的代价换取总体性能的跳跃式提升。总体来看，导弹武器装备技术共用包括3个层面：

1) 产品层面，即某些硬件产品可以共用，包括电气设备、结构件、发动机、突防装置、弹头、发射装置等。如三叉戟II(D5)与三叉戟I(C4)都可搭载MK4弹头，共用三级发动机产品，弹头释放组件的结构材料、发火管、推冲器药筒、锥形座、分离接头、分离程序装置等基本相同。白杨导弹与SS-20两级固体导弹的一二级发动机基本共用。印度烈火TD导弹采用SLV-3运载火箭的一级固体发动机，二级采用大地1导弹的液体发动机。

2) 技术层面，包括总体集成与优化技术、弹头与突防设计技术、制导与控制技术、动力推进技术、结构及材料技术、发射技术等。如三叉戟II

(D5) 弹体结构布局与三叉戟 I (C4) 相似, 仪器舱、过渡段、整流罩都采用相同结构形式及分离方案, 电源和配电分系统、飞行控制系统、末助推控制系统技术方案类似。白杨-M 与白杨导弹都是三级固体发动机、单弹头及惯性制导总体方案, 采用大量通用化技术。

3) 使用模式层面, 即不同型号导弹使用模式相近, 其地面保障设备、发射平台共用。如三叉戟 II (D5) 与三叉戟 I (C4) 都采用“俄亥俄”级弹道导弹潜艇作为发射平台, 白杨-M 导弹与白杨导弹都采用公路机动发射平台等。

## 2.2 系列化设计原则及方法分析

2.2.1 采用预筹改进思想进行升级改进设计, 持续提升武器装备整体效能

重视装备体系顶层规划, 采用预筹改进思想进行装备体系型谱设计及升级改进<sup>[14]</sup>, 在设计之初就预先考虑到将来改进时可能采取的技术措施, 保持方案设计的弹性和可拓展性, 基于对装备未来发展所面临的形势需求及技术发展方向预测, 预先制定设计改进规划, 不采用风险大的超前技术, 而是综合应用一些经过验证的成熟技术, 使武器性能得到持续而有计划的改进和提高, 同时降低技术风险, 缩短改进周期和研制成本。

2.2.2 采用通用化、模块化设计思想进行基本型设计, 以主要模块升级方式提升导弹武器性能

在型号基本型设计时, 采用通用化、模块化设计思想, 考虑后续系列化发展对模块化设计的要求。如结构系统考虑气动外形、机械接口等的通用和互换; 制导控制系统、电气系统考虑满足多种发射平台、作战环境和国军标接口要求等; 动力系统考虑满足不同的任务载荷和飞行条件等。对于不同技术模块提升其通用性和可替换性, 对其进行预筹设计, 在先进技术成熟后适时进行改进替换, 以此不断扩展与提升导弹总体性能。

2.2.3 重视共用技术对装备发展贡献度分析, 从效费比角度研究装备与技术发展映射规律, 提升装备体系发展整体效益

从国外导弹武器装备发展历程上来看, 导弹共性技术发展存在不平衡性, 常常取决于该项技术成熟度、对导弹总体性能指标影响程度等。评估某项共用技术在现有技术水平条件下进行提升所获得的边际效益, 与提升该技术水平对导弹所造成边际成本进行比较, 从效费比角度研究共用

技术贡献度, 以此确定技术发展重点和优先次序, 使导弹装备体系发展效益最大化。

## 3 启示借鉴

3.1 贯彻基本型、系列化发展思想, 重视型号系列顶层规划, 持续开展在役型号升级改进

美国、俄罗斯等国导弹武器研制过程都贯彻基本型、系列化发展模式。相比而言, 我国导弹武器装备基本上是通过已有型号进行挖潜改进形成系列, 与预筹改进相比, 对后续型号发展的可拓展性考虑较少, 可能导致主导后续系列化发展的能力不强。还需要进一步加强导弹装备体系顶层设计, 科学建立系列化发展体系, 在平衡技术先进性与成熟度的基础上, 以预筹改进的方式进行系列化发展, 保证装备体系整体建设的高效发展。

3.2 以总体设计为核心, 采用通用化、模块化设计思想, 重视导弹技术的继承性和通用性

导弹武器装备基本型、系列化发展的一般规律是, 以总体设计为核心, 把握基本型的技术特征和发展方向, 以系统改进升级为手段, 支撑基本型的系列化发展。美国、俄罗斯、印度等国家在战略导弹发展途径上, 重视基础能力提升和核心技术推动, 加强不同装备型号间技术、产品、使用模式的继承及共用, 采取交叉研发、小步快跑的发展策略, 快速提高导弹总体性能。在开展武器型号总体方案设计时, 不仅考虑装备总体技术指标的可实现性, 还应着眼于装备未来发展, 从提升装备研制总体效能的角度进行统筹规划, 使装备技术、产品具有通用性、可继承性, 通过不同型号间技术共用, 或者少量技术更新就能获得满足需求的新型号。

3.3 重视技术共用度方法研究, 建立相应设计标准和设计方法

美国、俄罗斯等国非常重视导弹武器型号技术共用度研究, 在此基础上规划技术发展体系, 优化导弹装备型谱, 形成基本型、系列化发展态势, 保持和提升导弹装备整体作战性能。与国外相比, 我国导弹型号在技术共用设计方面开展了大量的工作, 但还没有建立起一套系统科学的技术共用设计标准和设计方法。开展技术共用度研究, 评定筛选对导弹研制贡献率较高的共用技术,



为重点技术投入提供参考借鉴,对于科学合理的规划导弹装备技术发展,提升导弹通用化、系列化、组合化水平具有十分重要的意义。

#### 4 结束语

从世界主要国家战略武器发展历程可以看出,走基本型、系列化发展途径,可以大幅度降低导弹武器系统研制和装备成本,持续提升装备总体性能,同时还可以降低维护使用费用,有利于部队训练、武器装备维修等方面统一协调,优化作战资源配置,提高装备建设整体效益。开展技术共用度研究,分析导弹装备技术共用模式,提炼总结技术共用设计方法,可以为提高我军导弹装备通用化、系列化、组合化水平奠定技术基础,具有重要研究意义。

#### 参考文献

- [1] Lin T C. Development of US Air Force intercontinental ballistic missile weapon systems [J]. Journal of Spacecraft and Rockets, 2003, 40 (4): 491-509.
- [2] 王鸿章. 世界弹道导弹 [M]. 沈阳: 辽宁人民出版社, 2009: 45.
- [3] 徐明. “民兵Ⅲ”号洲际弹道导弹 [J]. 中国航天, 1994 (5): 1-3.
- [4] 高智. 深海狂涛 美国潜射弹道导弹发展历程 (下) [J]. 现代兵器, 2008 (9): 13-18.
- [5] 李波. “三叉戟”潜射弹道导弹 [J]. 现代舰船, 1999 (6): 1-3.
- [6] 袁渭德. “三叉戟Ⅱ”潜地弹道导弹 [J]. 航天, 1995 (1): 14-16.
- [7] 刘颖. 从“白杨”到“布拉瓦”——俄罗斯战略弹道导弹走向通用化 [J]. 现代军事, 2007 (4): 42-45.
- [8] 刘晓恩. 俄罗斯白杨-M导弹的研制与装备 (上) [J]. 中国航天, 1999 (3): 42-45.
- [9] 秦之瑾, 张宗美. 俄罗斯的白杨-M洲际弹道导弹 [J]. 导弹与航天运载技术, 2001, 1 (1): 55-62.
- [10] 赵国柱. 白杨与白杨-M导弹系统的作战单元与使用分析 [J]. 飞航导弹, 2017 (2): 19-24.
- [11] 罗辉. 印度弹道导弹研制现状及发展特点分析 [J]. 中国航天, 2010 (3): 43-45.
- [12] 臧晓京. 印度导弹武器装备现状及发展态势 [J]. 飞航导弹, 2002 (8): 27-34.
- [13] 张佐成, 钟建业. 印度的导弹武器装备 [J]. 飞航导弹, 2006 (7): 7-16.
- [14] 沈如松, 张育林. 武器装备体系建设中 P<sup>3</sup>I 思想应用初探 [J]. 装备指挥技术学院学报, 2003, 14 (2): 8-10.