

导弹武器模块化设计与生产

邓 恒, 蒋 毅, 鲍福廷
(西北工业大学, 陕西 西安 710072)

摘 要: 阐述了模块化的基本思想及特点, 介绍了目前模块化技术的发展状况, 重点讨论了在导弹技术领域实施模块化技术的必要性和可行性, 并探讨了在我国导弹武器系统中实现模块化设计、生产的一些技术途径。

关键词: 模块; 模块化; 导弹武器

中图分类号: V421

文献标识码: A

文章编号: (2004)06-0036-06

Design and Manufacture of Missile Weapons with Modularization Technology

Deng Heng, Jiang Yi, Bao Futing
(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Modularization technology is an advanced method used in many modern industry world with its character of convenience, higher efficiency, lower cost, better quality and easy to be standard. However, the missile and rocket have poor character of modularization because the components of them are very complicated and the interfaces of different parts are not standard. This paper describes theory of modularization technology and tries to find a way to use this technology in missile and rocket design and manufacture process. Finally the application necessity and feasibility of the technology are discussed.

Key words: module; modularization; missile weapons

1 引言

现代高技术战争是一种高消耗、高投入的战争, 战争的需要对导弹武器提出了更高的要求。首先, 要求导弹武器型号齐全, 能够满足不同的

战场需求; 其次, 时间、技术、成本的压力又迫使国家尽可能地在满足要求的情况下, 降低武装力量导弹系统的复杂程度, 以期降低开发、生产、使用维护的费用, 并能够在战时进行比较迅捷的大规模生产, 使导弹武器的装备更加柔性化。在这两面对立的领域里, 模块化系统具有十分重

收稿日期: 2003-11-10; 修回日期: 2003-12-03。

作者简介: 邓恒, 男, (1979), 硕士研究生, 主要研究领域为火箭发动机设计 CAD 技术。

要的意义。如果能够将各类导弹武器系统用高度模块化的思想合理地分类、规划设计和生产,就能够达到上述目标,提高应对战争的灵活性。

“模块化”是一种现代设计方法,他是在对系统进行清晰的层次化分解的基础上,进行封装和抽象,使系统最终由一系列具有特定功能和通用接口的独立的模块组成。目前,模块化已经发展到分级模块化设计阶段,它以分解和组合为基础,以最少的模块组成尽可能多的品种,最大限度地满足用户需要为指导思想,从而开创了多样化、系列化产品的广阔前景。

模块化与标准化、系列化既有联系也有质的区别。标准化强调通过制定和实施统一标准达到统一的目的;系列化着眼于不同技术参数但具有类似原理和功能的一系列产品的设计,属于一种“族”的衍生关系;而模块化设计的目的是开发具有多种功能的不同产品,出发点是利用标准接口支配的不同功能模块间的横向互换、纵向组合来构造不同的产品,使产品的通用性、适用性更强。模块化是应对多样化、灵活生产的一个重要手段。模块化技术的应用将使导弹武器更好地适应多变的、微妙的战场环境。

模块化系统是现代战争及航天工程的需要,它不但意味着费用的节省,也意味着灵活性和高性能。随着技术的进步和国际环境的演变,我们所面对的威胁和目标也将发生相应转变,而模块化体系的实现,将使我国国防力量始终有许多选择来应对新的挑战,其优点主要还表现在:

(1) 模块化设计大大提高了设计、生产过程的效率,能够以较少的费用和时间达到设计目标、满足用户需求,从而也降低了成本。

(2) 应用模块化技术设计、生产的产品系统将具有极大的使用、维护灵活性和技术上的可持续发展性。

(3) 模块化系统具有简洁的体系结构、清晰的层次,因此提高了系统的可靠度和维修性。

本文不仅讨论了在产品设计中模块化技术的应用,而且提出了从国家战略需要出发,在整个导弹工业体系中应用模块化技术的思想。

2 导弹武器系统模块化技术的发展现状

西方发达国家在这方面开展应用较早,其许多已装备和在研的型号都采用了模块化思想。典型的一种应用是制导系统模块化,战时可根据作战对象的不同而更换不同的导引头,提高任务的灵活性。比较著名的有法国的“米卡”空一空导弹。该导弹由于采用了可互换的模块化主动雷达导引头和红外成像导引头组件,从而集先进的近距格斗导弹和中距拦截导弹的性能于一身,大大提高了战机作战的灵活性,作战范围从近距扩展到中距,从超低空扩展到高空。更为先进的是欧洲未来的面空导弹家族 FSAF。由于采用了模块化设计思想,采用不同的模块,FSAF系列可组成结构不同、功能各异的系统。另外,我国台湾地区近年来也大力提高模块化设计能力,并自行研发了“雄风 擎天”冲压式超音速通用推进模块。

从我国国内来讲,在导弹技术领域,模块化技术的工程应用仍不成熟。虽然各大研究单位经过多年的实践,通过制定相应的标准、规范,使我国在导弹武器研究生产领域已经全面实现了标准化、系列化,绝大多数研制、生产任务都有比较完善的标准指引,各个型号的系列化研制也大大提高了导弹武器系统间的通用性和继承性,产生了巨大的军事、经济效益。但是,目前总的说来,我们仍然处于以具体型号为中心展开研发、生产的模式,虽然在单位内部,可能按照专业化分为不同研发部门,但各个部门提供的产品并不是一个封装完好的模块。面对新的任务,整个研制生产流程将重新展开,除了技术上的继承性以外,先前型号的大多数组、构件都已经固化,不具有移植性。虽然产品的标准化、系列化减轻了军队型号要求对厂家的压力,也简化了相当数量型号系统的研制过程,但是大量重复的工作依然在各个阶段反复出现,消耗着有限的资源,且造成军队装备型号众多、各个型号自成系列、性能重复覆盖等等一系列问题,加大了我军导弹武器的储备及使用维护的技术保障复杂度,增加了国防建设的成本。

因此,目前国内有必要在这一领域进一步从各个方面开展相关研究。

3 导弹武器领域的模块化设计、生产与管理

3.1 模块化设计、生产

模块化设计包括三个方面的内容:一是模块化的产品系统设计,称为宏模型设计;另一方面是模块及产品结构设计,称为微模型设计;三是模块化系统组构模式的开发。

对于导弹武器,在宏模型设计阶段要完成如下工作:

- (1) 分析战场需求,对待开发系统提出宏观性能指标。
- (2) 对待开发系统的长远发展进行前瞻性的规划。
- (3) 分析现有生产条件,并对待开发系统的生产模式进行规划。
- (4) 建立产品系统的构造模式,系列型谱。
- (5) 界定模块,规划模块任务、功能。

这一阶段工作的完成,将使我们对待开发系统具有一个宏观的概念和目标,并以之指导下面的工作。

在微模型设计阶段,主要完成模块的内部详细设计,标准接口界面设计,并以之构成一个支持待开发系统的模块库。由于导弹武器系统的各个模块通常分属不同的学科和专业,因此标准接口的设计对导弹系统设计是至关重要的,将直接影响到模块间的匹配、最终产品的功能实现以及系统可靠性。

表1 模块化导弹武器系统设计的主要内容

Tab.1 Main items of modularization design for missile weapons

宏模型设计	作战对象是什么?	作战指标的区段划分
	可能的作战环境?	系列化、多样化型谱设计
	生产条件是否允许?	模块任务、功能规划
微模型设计	模块内部详细设计	标准接口界面设计
组构模式设计	有多少种组构模式?	每种组构模式下的系统性能指标如何?

在组构模式设计阶段,主要解决模块库中模块间如何组构的问题,给出符合战场要求的系统组构关系表和组构规范,并具体指出各种组构模式所针对的需求。表1表述了上述三个方面的主要内容。

模块设计中,由于服从了性能区段化的要求,降低了模块系统的复杂度。虽然对于某些特殊的需求,可能待选的模块都不是最佳方案,但是综合考虑系统的效费比,则是大大提高的。

设计好的模块封装在标准的接口界面之下,进入模块库储存。一个不断完善、丰富的模块库将成为产品开发和改进的素材库,类似于软件工程中的组件库,用户可以根据自己的具体需求,通过选用或重新设计相应的组构模式方便、快捷地使用库中模块。从模块的抽象性角度来看,所设计的产品就是一个由标准机械、电子接口连接的多个模块组构而成的,各个模块除了接口之外,其内部实现对用户是不可见的,也就是“黑匣子”,用户关心的将只是其通过接口的输出特性(功能)。也就是说,模块已经成为一种标准件。对于模块库的管理可以通过施行模块化体系表进行,它包括两个部分:产品体系表和实体结构体系表。

在模块化导弹系统设计方面,有一个典型的例子“FSAF—欧洲未来面空导弹家族”。FSAF系列具有一个基本的支持模块库,这个模块库的主要构成如表2所示。

表2 FSAF基本模块库的主要构成

Tab.2 Main configuration of FSAF basic module bank

探测制导模块	地面方舱型模块	舰载型模块
指挥控制模块	海陆统一模块	
敌我识别模块	海陆统一模块	
发射模块	地面垂直发射模块	舰艇垂直发射模块
阿斯特15导弹模块	点防御	射程较近 制导精度高
阿斯特30导弹模块	区域防空	射程较远 制导精度相对较低

FSAF系列可以采用不同模块构成不同系统。如:(1)SAAM“舰载面空反导武器系统”,满足舰用点防御要求,使用舰载型发射、探测、制导模块和阿斯特15导弹;(2)SAMP/N“舰载面空导弹武器系统”,主要用于舰队区域防空,使用相应探

测、制导、发射模块和阿斯特 30 导弹；(3) SAMP/T “地空导弹武器系统”，主要用于地面机动式中程防空，使用地面探测、制导、发射模块和阿斯特 30 导弹。这样的导弹武器系统的使用，将提高三军通用程度，降低研制、开发、使用维护的费用，并且可以通过模块的更新，改进和提高系统的性

能指标，具有较大发展、改进潜力。

即使对于一个相对较小的系统，如导弹本身而言，也可以用模块化思想进行模块规划，如可分为：(1)制导模块；(2)战斗部模块；(3)主推进系统模块；(4)助推模块等几个部分，如图 1 所示。

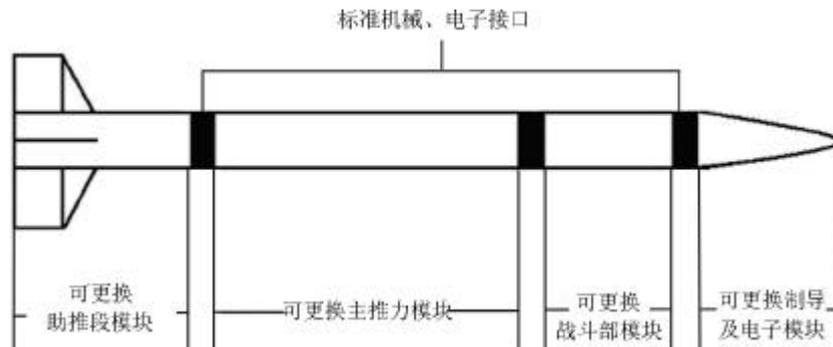


图 1 模块化导弹示意图

Fig.1 Schematic of modular missile

较为典型的例子除前文所提法国“米卡”空空导弹的“相同推进器+不同导引头”的模块化组构方案外，还有俄罗斯 S-300V 防空导弹系统中的两种导弹 9M82 和 9M83，它们创造了“相同拦截器+不同助推器”的组构模式，能够构成不同射程、射高的地空导弹，而将这两种导弹融合到同一个地空导弹武器系统中，就能够起到两种武器系统的作战效能（9M82 用于高空拦截，9M83 用于中低空拦截）。

模块化设计所得到的各种基础功能模块将进入模块化生产部门实现产品，也就是将模块分门别类地分别集中到有关的专业工厂里，按其具体功能的技术特性，借助先进制造技术进行高效率的批量生产以提高模块质量、降低模块制造成本、优化模块的管理并方便用户选择等。模块化生产部门与相应模块的设计部门是一体的，构成一个专业化企业，从事某个模块的专业化研究、生产。众多的专业化企业则构成一个模块化设计、生产网络，企业本身将成为网络中的结点，结点之间将通过密切的协调有机结合。在模块设计制造中，针对专业的 CAD、CAM、CAPP 软件的引进将大大提高制造的敏捷化、柔性化和稳定性。目前国内在这个领域已经有了一些比较好的应用。

3.2 适应模块化技术的管理

由于国内目前大部分研发、生产单位处于“大而全”的模式，每个单位都具有全面的设计、生产能力，因此他们的管理工作也都是以型号为中心展开的复杂模式，存在着管理环节众多，部门协调复杂，各个研发阶段间的信息流动、反馈困难，各个型号管理上自成一体等不利因素。

在引入模块化设计、生产网络体系后，则管理也将向着模块化、网络化方向发展。从微观管理上讲，主要针对模块研发进行。由于新的企业将是“小而精”的，在基于模块统一接口界面的条件下，这些企业的管理也将专业化、标准化。首先，各个企业的管理规模缩小了，环节减少了。第二，企业间的协调工作由于受模块化设计、生产的标准、通用规范制约，因此协调中的信息流也将简化。第三，专业的研发、生产将促进企业在自身领域提高对管理方法的针对性研究和应用。从宏观管理上讲，主要针对产品系列进行管理。各个企业将构成宏观管理的对象，宏观管理由于无需对企业内部微观管理进行干预，因此也将减小管理的规模和复杂度。

由以上两个方面可以看出，模块化网络化的管理体系将大大提高管理系统应对产品需求的灵

敏度,降低管理成本。

这种管理的实现首先需要具备以下条件:

(1) 类似 IT 技术领域,建立起一套严密的统一的机械、电子接口标准。

(2) 能对一个时期内战场环境要求作出比较准确的估计,提出应对要求的产品系列,明确宏观管理的出发点。

(3) 需要对武器系统根据性能、功能进行详细的分析和分类,科学地界定各个模块,明确企业微观管理的对象。

(4) 建立基于模块库的需求—研制供求关系(图2)。

(5) 需要进行全面、全生命周期的成本分析。

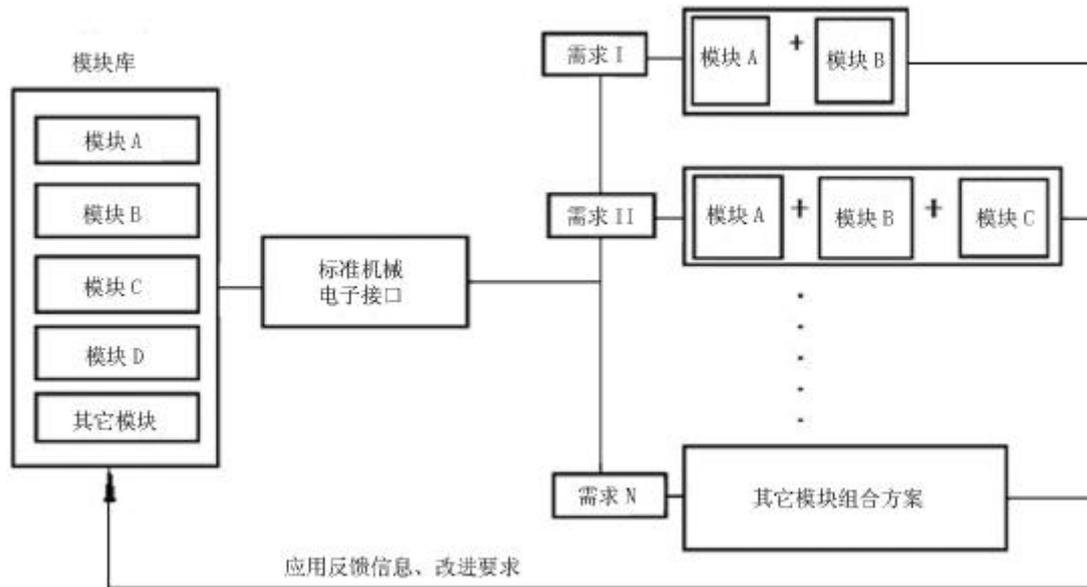


图2 基于模块库的需求—研制关系图

Fig.2 Requirement-development relation based on module bank

4 展望

模块化方法也是一种思维方式,从某种意义上说,它与目前在IT产业领域广泛应用的模块化、标准化思想是一致的。我们所希望达到的目标是:能够象组装电脑一样组合出与军队要求相符合的导弹系统。未来的研究生产的基本单位进行的不是大系统的开发,而是专业的某一个模块的开发,这个模块是满足一个时期战场环境要求的,而不是单单服务于某一个型号。各个厂家研发的基于统一标准和接口的各个模块就构成一个跨越三军需求的模块库,军队扮演的角色就相当于“装机者”的角色,能够根据自己的需求组装相应的大系统。模块化系统的灵活性也将使军队在战时面对多变的环境而作出最灵活的应对措施。未来战

备储备的将是“模块”,而非“型号”。如果这些模块的组合能够满足除边缘需求之外的相当一部分用户需求的话,那么就将产生相当的军事、经济价值。事实上,目前发达国家军队都已经在深化模块化技术的应用,美军早在上个世纪70年代便在其武装力量装备研发中大量应用了模块化技术,目前在其新一代武器系统的开发中更是广泛引入了“三军联合”、“三军通用”等先进思想。

从发展的趋势和国防建设的要求来看,我国应该大力开展模块化系统的研究。

5 总结

模块化设计是一种现代化设计方法,其实质是与现代化生产的柔性化、敏捷化、集成化、智能化相适应的,并且有利于并行工程等先进管理

思想的应用。在导弹武器技术领域及其工业体系中，模块化技术的发展和运用，将在尽可能少的投入下大大提高武装力量打击能力的灵活性和多选择性。同时，这也是一个大的系统工程，需要在实践中摸索前进。

参考文献：

[1] 朱辉. 关于模块和模块化概念探讨[J], 电子机械工程,

1997, (1),

[2] 杨淑梅. 论模块化设计与标准化[J], 机械工业标准化与质量, 1997, (4),

[3] 陈永亮, 徐燕申. 模块化制造技术与可持续发展[J], 机械制造, 1999, (12),

[4] 孙岗. 模块化设计是产品开发的方向[J], 发电设备, 1996, (12),

[5] 劳俊, 伍世虔, 杨叔子. 模块化与现代制造技术[J], 制造技术与机床, 1994, (9),

(编辑：陈红霞)

(上接第 14 页)

泵组件的功率，由泵的水力试验获得，通常按下面的公式来计算：

$$P = \alpha + \beta q_v + \gamma q_v^2 \tag{14}$$

式中， q_v 为泵在额定工况下的体积流量； α 、 β 、 γ 为计算常数。

将热试车实测的泵流量，按公式 (15) 换算至额定工况下的流量，代入公式 (14)，获取在额定工况下泵的功率，然后将此功率按公式 (16) 换算至试车工况，即可得到泵在试车工况下的功率：

$$q_v = \frac{q_m}{r} \left(\frac{n}{n_t} \right) \tag{15}$$

$$P_{0(f)} = P \left(\frac{n_t}{n} \right)^3 \tag{16}$$

图 3 中涡轮的热试效率是按照上面的计算方法获得的。从图中可以看到，热试车时涡轮在稳定工况的效率和相应的模拟试验工况得到的效率很接近，说明了涡轮模拟性能试验采用的准则与换算方法正确。需要注意的是：涡轮模拟试验得到的性能曲线均为稳态工况效率，适用于静态调整计算。而对于发动机动态过程的起动仿真计算，涡轮效率曲线只能作为参考。

6 结论

通过对液体火箭发动机涡轮性能模拟试验的研究及对热试车涡轮效率的反算，表明了模拟试验确定的模拟准则、主要模拟参数、数据处理方法、性能参数换算关系能真实反应涡轮实际性能的特点，模拟试验获得的涡轮性能满足发动机系统参数平衡调整的要求。

涡轮性能模拟试验是在某一稳定工况下进行的，获得的性能只能对应于所模拟的稳定工况，不能代表涡轮在热试车中的动态性能。

采用本试验系统进行涡轮性能模拟试验，获得的效率比热试车反算得到的效率偏高约 2% (多台涡轮的统计数据)，属于系统偏差，在应用效率特性时，可以按此偏差进行修正。

参考文献：

[1] 唐狄毅, 廉小纯著. 航空燃气轮机原理 [M]. 国防工业出版社, 1990.

[2] 任汉芬, 夏得新译. 液体火箭发动机涡轮泵装置原理与计算 [M], 1999.

(编辑：王建喜)