

舰船总体设计中的RMTSS研究

张磊,王平,李军

(中国船舶工业集团公司第七〇八研究所,上海 200011)

[摘要] 阐述了可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性(简称RMTSS)工作在舰船总体设计的论证、方案设计、深化方案设计、技术设计、施工设计、建造交付及使用等各阶段的工作项目及成果,并分别对各工作项目的要求进行了分析,最后根据在RMTSS工作中所面临的主要问题,提出了相应的建议。

[关键词] 可靠性;维修性;测试性;保障性;安全性;舰船总体

[中图分类号] U662 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)05-0020-05

1 前言

可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性(以下简称RMTSS)作为舰船装备的重要特性,直接影响着舰船的战备完好性和任务成功性,同时也是减少维修人力,降低寿命周期费用的重要保证^[1]。近年来,在各方的共同努力下,RMTSS工作已逐渐成为舰船总体设计中的常规工作,不仅在研制类舰船中普遍开展起来,而且也在复造类舰船

中相继开展。

2 舰船总体设计中的RMTSS工作

2.1 RMTSS工作项目

依据GJB 450A、GJB 368B、GJB 2547A、GJB 1371、GJB 900A,同时考虑舰船总体设计的自身特点,目前,在舰船总体设计中,RMTSS工作项目及各阶段成果如表1所示。

表1 RMTSS各阶段工作项目及成果^[2-6]

Table 1 RMTSS work items and achievements of each design stage^[2-6]

工作项目	设计阶段	成果
RMTSS 顶层要求	论证阶段	①《RMTSS 顶层要求》
编制工作管理办法、信息收集管理办法以及工作计划	方案设计阶段	①《RMTSS 工作管理办法》 ②《RMTSS 信息收集管理办法》 ③《RMTSS 工作计划》
可靠性维修性建模及初步的分配和预计		①《可靠性、维修性建模报告》 ②《可靠性、维修性分配报告》(初步) ③《可靠性、维修性预计报告》(初步)
初步的使用与维修保障方案和保障资源方案		①《使用与维修保障方案》(初步) ②《保障资源方案》(初步)

[收稿日期] 2015-03-05

[作者简介] 张磊,1980年出生,男,河南邓州市人,高级工程师,主要研究方向为舰船总体RMTSS设计;E-mail: zhangleitj2002@163.com

续表

工作项目	设计阶段	成果
进一步完善可靠性维修性建模、分配、预计	深化方案设计阶段	①《可靠性、维修性分配报告》 ②《可靠性、维修性预计报告》(初步)
RMTSS设计准则		①《RMTSS设计准则》
危险源识别		①《危险源清单》
初步危险分析		①《初步危险分析报告》
保障性分析与保障方案		①《保障性分析报告》 ②《使用与维修保障方案》(深化方案设计阶段) ③《保障资源方案》(深化方案设计阶段)
可靠性、维修性预计	技术设计阶段	①《可靠性、维修性预计报告》
故障模式、影响及危害性分析(FMECA)、关键件(特性)和重要件(特性)清单		①《故障模式、影响及危害性分析报告》 ②《关键件(特性)、重要件(特性)清单》
测试性设计与分析		①《测试性设计与分析报告》
RMTSS设计准则符合性检查		①《RMTSS设计准则符合性检查表》
危险分析与风险评价		①《危险分析与风险评价报告》
安全性评价		①《安全性评价报告》
规划使用与维修保障,规划保障资源		①《使用与维修保障规划》 ②《保障资源规划》
提出驻泊保障需求		①《驻泊保障建议书》
系统、设备可靠性、研制试验	施工设计阶段	①《系统、设备可靠性研制试验报告》
保障资源优化配置		①《保障资源优化配置方案》
提出综合保障建议		①《综合保障建议书》
系统、设备可靠性鉴定(或验收)试验	建造、交付与使用阶段	①《系统、设备可靠性鉴定(或验收)试验大纲》 ②《系统、设备可靠性鉴定(或验收)试验报告》
可靠性、维修性评估		①《可靠性、维修性评估报告》(交船后1年)
测试性评估		①《测试性评估报告》(交船后1年)
保障性评估		①《保障性评估报告》(交船后1年)

2.2 各工作项目浅析

2.2.1 RMTSS 顶层要求

RMTSS顶层要求规定了RMTSS的定量定性要求、验证评价要求、工作项目要求及各阶段工作要求,明确了内容、程序和方法,以及相应的任务剖面、寿命剖面、初步使用方案、初步保障方案,为开展RMTSS工作提供输入,是实现舰船整体战备完好性和任务成功性的顶层要求。

2.2.2 RMTSS 工作管理办法、信息收集管理办法、工作计划

工作管理办法:为有效推动工作、落实要求、确保RMTSS工作与研制同步,从总体、系统到主要设

备的各单位应建立相应组织机构、落实相关人员,明确职责,制定管理制度,根据各阶段的任务重点,合理安排、协调开展RMTSS工作,做到全过程的计划和协调管理^[7]。

信息收集管理规定:为开展RMTSS评估工作做前期准备、鉴于此类数据收集的困难,同时,又是RMTSS工作的基础,特别制定RMTSS信息收集管理规定,用以规定RMTSS信息的收集、管理、监督、传递和汇总反馈的范围、程序和办法。

工作计划:依据顶层要求,舰船总体和系统、设备研制单位制定RMTSS工作计划,作为开展RMTSS工作的顶层文件。工作计划必须明确并合

理安排所要完成的工作项目,实施细则,工作进度,保证工作有效展开的组织管理,以及评审节点和方式;说明各类工作之间以及与其他研制工作的协调关系,信息收集、传递要求^[8]。

2.2.3 可靠性维修性建模、分配、预计

可靠性维修性建模、分配、预计贯穿方案设计、深化方案设计和技术设计,是一项不断完善与反复迭代的工作。

建模:总体和系统单位在方案和深化方案设计阶段,根据相关标准规定的程序和方法建立以产品功能为基础的可靠性、维修性模型,模型包括框图和相应的数学模型。可靠性、维修性模型随着相关试验获得的信息,以及产品结构、组成、使用要求和约束条件等方面的更改而不断修改完善^[9]。

分配:总体和系统单位在深化方案设计结束前,在建模的基础上,合理地将顶层要求中的舰船总体定量指标分配到下一层次,直到主要设备,作为研制过程开展可靠性、维修性定量设计工作的依据。

预计:总体、系统和设备单位在技术设计阶段依据相关标准中提供的方法,进行可靠性、维修性预计,检验分配结果的可行性。确定可靠性、维修性指标是否达到,据此发现薄弱环节加以改进。

2.2.4 RMTSS设计准则及符合性检查

总体、系统和设备单位应根据RMTSS要求,以及使用特点,类似产品的经验,制定并落实RMTSS设计准则,保证RMTSS设计到装备中。

在技术设计阶段,进行设计准则符合性检查,形成符合性检查表。

2.2.5 故障模式、影响及危害性分析(FMECA)

FMECA是确定设备、系统以及软件在设计和制造过程中可能的故障模式,以及故障模式的原因及影响,并提出改进措施的可靠性分析方法。

FMECA在RMTSS中属于定性方面的工作,同时也是确定舰船关键件、重要件以及后续保障性、安全性及测试性分析的必要输入。

2.2.6 关键件(特性)和重要件(特性)清单

关键件和重要件指的是一旦发生故障,将会严重影响系统安全性、可用性、任务成功性、维修及寿命周期费用等的产品。其中关键件是具有关键特性的产品,其故障可能危及人身安全、导致舰艇不能完成任务或完成任务所需的主要系统故障。重要件是具有重要特性的产品,其故障可能导致最终

产品不能完成所要求的任务。关键件和重要件的区别在于是否危及人身安全。

可靠性关键件和重要件的确定采用以FMECA方法为主,结合可靠性预计和专家经验判断的方法:a.通过FMECA,能够得到产品的各类故障的危害度,危害度较高的应为关键件、重要件;b.在可靠性预计中故障率较高的产品应为关键件、重要件;c.依据可靠性关键件和重要件特性分析,确定产品的关键件、重要件^[10]。

2.2.7 测试性设计与分析

测试性设计与分析原则上要求全船所有设备在设计制造过程中都应进行,但是鉴于目前的现状,在新研设备中开展此项工作较为合适,测试性设计与分析包括:测试性建模、分配和预计,制定测试性设计准则等,同时需结合可靠性分析中的FMECA,收集和分析相应的故障信息,最终形成测试性改进方案。

2.2.8 保障性分析、使用与维修保障规划

各系统、设备责任单位按照总体提出的综合保障技术和管理办法,深入开展故障模式影响分析(FMEA)、以可靠性为中心的维修分析(RCMA)、修理级别分析(LORA)、使用与维修工作分析(OMTA)、保障系统标准化分析、比较分析等其他与保障性相关的工作,完成系统、设备使用保障和维修保障方案,最终提交总体,形成使用与维修保障规划^[11-12]。

2.2.9 保障资源规划

各系统、设备责任单位根据规划使用保障和规划维修过程形成的使用保障方案和维修保障方案,提出设备保障资源清单,逐步细化后,提交总体,由总体对保障资源进行最终优化,形成保障资源优化配置清单。

2.2.10 危险源识别

危险源主要包括一般危险源和故障危险源。

一般危险源:可能引起断裂、破碎(裂)、脱落、失控、泄漏、短路、漏电、火灾、爆炸和人员伤亡等的危险物品(如燃油、压力系统和其他能源等)。

故障危险源:在系统分析的基础上,结合FMECA,确定系统中的安全性关键项目,识别由于设备故障或误操作导致的潜在危险。

2.2.11 危险分析与风险评价

在危险源清单基础上,分析每一危险的原因以及对系统的影响,确定危险发生的可能性、严重性及风险水平,制定安全性关键项目清单。并通过各

种设计工作来消除或控制危险,使各种危险的风险减少到可接受水平,防止可导致人员伤亡和设备损坏事故的发生。

2.2.12 安全性评价

根据各研制单位提交的安全性信息文件,军方负责对全船安全性设计进行验证评价,各研制单位协助军方完成验证评价工作,并最终形成全船安全性评价报告。

2.2.13 驻泊保障建议书和综合保障建议书

在技术设计和施工设计阶段,总体单位分别编制驻泊保障建议书和综合保障建议书,确定码头各项保障资源备航流程及备航过程的工作项目,估算备航时间,提出包括驻泊保障、部署保障、技术阵地、基地定点修理厂所的修理保障、油料品种规格和数量、各种仓库、岸基培训场所、使用维修保障条件、试验保障条件、保障资源配置的建议。

2.2.14 系统、设备可靠性试验

对于系统、设备,特别是新研/研改的系统、设备,在施工设计和建造交付阶段分别开展可靠性研制试验和可靠性鉴定(验收)试验,可靠性试验一般在较低的产品层次开展。

2.2.15 可靠性、维修性、测试性、保障性评估

可靠性、维修性、测试性、保障性评估是一个不断进行,不断深入的过程,在建造交付阶段,军方可结合系统联调、系泊试验、航行试验、专项试验等工作,收集可靠性、维修性、测试性、保障性相关数据,对各类定量要求和定性要求进行评价,形成可靠性、维修性、测试性、保障性初步的评估报告;在交付部队使用后,军方以舰船在部队实际使用一年以上各类数据和相关试验数据为基础,对舰船的可靠性、维修性、测试性、保障性水平进行评价,验证其是否满足可靠性、维修性、测试性、保障性要求,并且针对存在的问题,从后续设计改进、维修和使用等方面提出意见和建议,最终形成可靠性、维修性、测试性、保障性评估报告。

3 RMTSS工作建议

3.1 人员与培训

作为一项庞大的系统工程,RMTSS工作无法由RMTSS专业人员单独完成,同时交由整个舰船设计师系统来独立完成也将带来诸多不便,因此,需要两者真正结合起来。从目前的RMTSS工作实践过程来看,较为有效的一种方法是除了在整个设计师

系统进行RMTSS培训外,在设计师系统的各个专业中挑选1~2名人员进行更为专业的RMTSS培训,再由RMTSS专业人员进行相应工作的协助,这样的作法不仅使RMTSS工作与设计结合更为紧密,而且也将大大提高RMTSS工作效率。

3.2 RMTSS数据信息的收集

RMTSS工作之所以被人诟病,很大部分原因是因为数据信息收集的困难与不真实,RMTSS工作基础的数据不够完善,将直接导致RMTSS最终评估的无法令人信服。因此,有必要将RMTSS数据信息的相应要求反映在更具有约束力的文件,比如技术规格书中。同时,由于目前舰船各系统设备单位的RMTSS水平相差较大,有必要采用定期召开工作会的形式,对系统设备单位特别是重要系统设备单位进行RMTSS工作的宣传,以此交流在RMTSS数据收集过程中的问题与经验。

3.3 舰船设备种类繁多,寿命分布函数仍需完善

目前,在舰船设计中,可靠性定量分析模型中的各类设备寿命多采用指数分布函数。但是,此种寿命分布函数模型更适用于电子类产品,而对于涵盖大量机械类、电子类等多种类型设备的舰船大系统而言,在可靠性模型越来越详尽复杂的情况下,这样的指数分布数学模型的不足之处愈来愈显现了出来。因此,有必要在可靠性定量分析过程中,根据不同的设备特性,采用更符合各类设备寿命分布的数学模型,使可靠性定量分析这项工作更为实用。

4 结语

随着舰船装备的日益复杂,作战性能的日益提高以及军方对舰船装备使用与维修保障的愈加重视,RMTSS工作在舰船设计中的作用越来越重要。近年来,军方对装备的环境适应能力提出了更高的要求,即装备的环境适应性,RMTSS与环境适应性通称“六性”,其作为舰船的质量特性,关系着舰船装备的效能发挥。目前在舰船设计中,“六性”工作虽已铺开,但是距离真正指导舰船设计与提高装备效能尚有不小差距,相信随着各方的不断重视与努力以及“六性”工作经验的不断积累,“六性”工作在提高舰船装备建设的整体效益和军事效益方面的作用将越来越明显。

参考文献

- [1] 宋太亮,王岩磊,方颖.装备大保障观总论[M].北京:国防工业出版社,2014.

- [2] 中国人民解放军总装备部 GJB 368B—2009 装备维修性工作通用要求[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2009.
- [3] 中国人民解放军总装备部 GJB 450A—2004 装备可靠性工作通用要求[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2004.
- [4] 中国人民解放军总装备部 GJB 900A—2012 装备安全性工作通用要求[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2013.
- [5] 中国人民解放军总装备部 GJB 2547A—2012 装备测试性工作通用要求[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2012.
- [6] 中国人民解放军总装备部 GJB 3872—1999 装备综合保障通用要求[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,1999.
- [7] 陈学楚,张净敏,陈云翔,等. 装备系统工程[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [8] 杨为民,阮 镰,俞 沼,等. 可靠性、维修性、保障性总论[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [9] 陆廷孝. 可靠性设计与分析[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [10] 黎 放,王志国,李 平,等. 舰船可靠性管理工程[M]. 北京:国防工业出版社,1997.
- [11] 单志伟,何成铭,刘维维,等. 装备综合保障工程[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [12] 马绍民,徐宗昌,单志伟,等. 综合保障工程[M]. 北京:国防工业出版社,1995.

Research of reliability, maintainability, testability, supportability and safety in the design of general design of warships

Zhang Lei, Wang Pin, Li Jun

(Marine Design & Research Institute of China, Shanghai 200011, China)

[Abstract] The reliability, maintainability, testability, supportability and safety (RMTSS) work items and achievements are presented. It includes the demonstration of the general design, scheme, further scheme, technology, detail, construction, and service in the every stage. Furthermore, this paper describes that the requirements of work item of each stage above. According to the main problems in the RMTSS, the suggestions can be showed in this research.

[Key words] reliability; maintainability; testability; supportability; safety; general design of ship