

# 规划维修及其在舰船装备维修保障中的应用

张文俊,王 苇,徐 巍,王 辉

(武汉第二船舶设计研究所,武汉 430064)

**[摘要]** 为解决舰船装备普遍存在的维修技术资料深度不够,以及预防性维修大纲与保障资源配置无依据的问题,通过借鉴国内外相似装备成功经验,提出了舰船装备规划维修流程与技术要求,给出了实施管理措施,并结合某型号工程实际进行了验证。

**[关键词]** 规划维修;预防性维修大纲;保障资源需求

**[中图分类号]** E925 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)05-0038-06

## 1 前言

现代舰船远离岸基执行任务,一旦出现故障要能在海上及时修复,加之当前对快速出动和在航率要求日益提高,故对提高各级维修保障能力、合理配置保障资源的要求也越来越高,维修保障已从一般的维修概念发展成为维持和提高战斗力的一项重要因素。我国开展舰船装备维修性、保障性设计以及维修保障活动已有几十年,积累了大量的设计与工程实践经验,为保障舰船全寿期安全可靠运行提供了重要支撑。但不可否认,对比国外先进舰船大国,我国舰船在科学维修、精确保障等方面还存在不小差距,如技术保障资料仅是设计文件的简单转化,其中的维修作业文件普遍未对应特定故障模式,缺少预防性维修大纲,维修指导性不强;保障资源配置普遍无依据等。

根据 GJB 3872<sup>[1]</sup>的定义,规划维修是指从确定装备维修方案到制定装备维修保障计划的工作过程,其输出结果是装备维修保障方案,主要包括修理作业文件和预防性维修大纲等文件。规划维修是综合保障要素之一,也是确定备品备件、维修工具、人力人员、技术资料、保障设施等综合保障其他

要素的核心。由上述定义可知,通过系统地开展规划维修,理论上就可以解决前述我国舰船维修保障上存在的不足。但由于国内标准、技术手册中缺少规划维修的具体实施要求,标准规定的有关保障性分析方法又过于复杂、晦涩,设计人员可操作性差,造成当前舰船装备规划维修开展困难,鲜有实施。

本文参考美军及国内航空装备规划维修实施经验,根据国内某型船舶装备研制需求,结合舰船维修保障特点,提出简化后的规划维修流程与分析技术要求,通过对典型设备开展规划维修实践,在船舶工程规划维修应用方面开展了一些有益的尝试。

## 2 规划维修流程

### 2.1 理论上规划维修流程

规划维修工作是多项分析技术的组合,根据美军装备保障规范<sup>[2-3]</sup>及国内航空装备维修保障专家的研究<sup>[4-9]</sup>,一般认为理论上的规划维修流程如图1所示。

该规划维修主要涵盖以下几项分析技术。

1)故障模式、影响及危害性分析(FMECA)。通过分析装备潜在故障模式,摸清其薄弱环节,并

**[收稿日期]** 2015-03-10

**[作者简介]** 张文俊,1978年出生,男,江西南昌市人,高级工程师,主要研究方向为舰船装备综合保障;E-mail:zwjun\_2002@sina.com

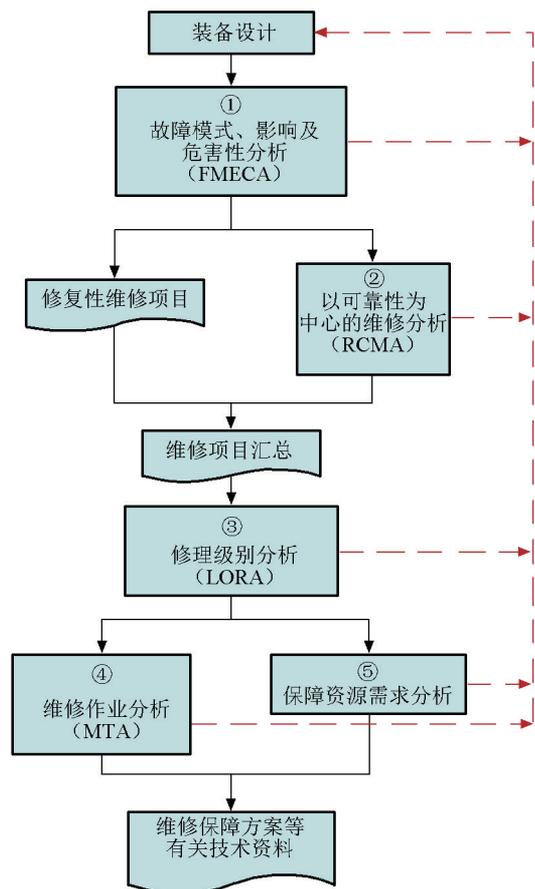


图1 理论上的规划维修流程图

Fig. 1 Theoretical maintenance planning flow chart

根据故障影响的严重程度及发生概率最终确定其修复性维修范围,并为可靠性为中心的维修分析提供设计输入。GJB/Z 1391<sup>[10]</sup>对该方法有具体规定。

2)以可靠性为中心的维修分析(RCMA)。针对设备故障危害程度大的故障模式,利用逻辑决断图分析确定预防性维修范围、维修类型、维修间隔期等数据。GJB 1378A<sup>[11]</sup>对该方法有具体规定。

3)修理级别分析(LORA)。针对每个维修项目(含修复性维修与预防性维修),分析确定舰船三级维修体系中的修理级别。GJB 2961<sup>[12]</sup>对该方法有具体规定。

4)维修工作分析(MTA)。针对不同维修级别的维修项目,分析确定其详细维修作业工艺、维修注意事项等内容。

5)保障资源需求分析。针对不同维修级别的

维修项目,列出支持每步维修作业的所需的备品备件、修理工具、保障设备、人力人员等保障资源,然后归并、整合上述保障资源,形成最终的保障资源需求。

上述几项分析技术得出的装备薄弱环节、预防性维修安排、维修保障资源需求等结果需及时反馈到装备性能设计中,如不满足订购方要求,或达不到装备使用与维修保障的设计目标,需重新调整装备设计。规划维修是一个动态过程,在整个研制阶段要反复迭代进行。

## 2.2 优化后的规划维修流程

本文研究的某型舰船装备,系统组成复杂、自动化程度高,采用的新技术多,新研设备比例大,为保证该装备投入运行后保持良好的技术状态及在发生故障后及时有效修复,需要在研制阶段针对其可靠性特征制定科学的预防性维修计划及详细的维修作业文件,并初步确定其维修保障资源。由于提出上述需求时,装备已进入施工设计阶段,面临工作量大、时间短、设备研制单位无经验等困难,需要对规划维修流程进行必要的简化。

为此本文提出的规划维修流程,比理论上的规划维修流程,主要有以下不同。

1)由于处于研制阶段末期,主要设备技术状态都已固化,规划维修结果主要服务于其全寿命期维修保障,无需对装备设计进行反馈,故规划维修流程简化为串行。

2)为确保故障模式、影响及危害性分析全面,根据舰船装备可靠性分析经验,以及部队使用与维修保障需求,在该分析方法前面增加具备艇员级、中继级维修的可维修单元分析。

3)考虑以可靠性为中心的维修性分析、修理级别分析,以及修复项目确定、维修项目汇总等几项工作都是故障模式、影响及危害性分析的输出,且它们内容之间的关系紧密,故对这4项工作进行了合并,简化为维修项目分析。

4)考虑维修保障资源需求分析与维修作业分析都是维修项目分析的输出,且两者的输出结果构成维修保障方案重要内容,故将这两项工作进行了合并,简化为维修作业与保障资源需求分析。

最终简化后的规划维修流程图如图2所示。

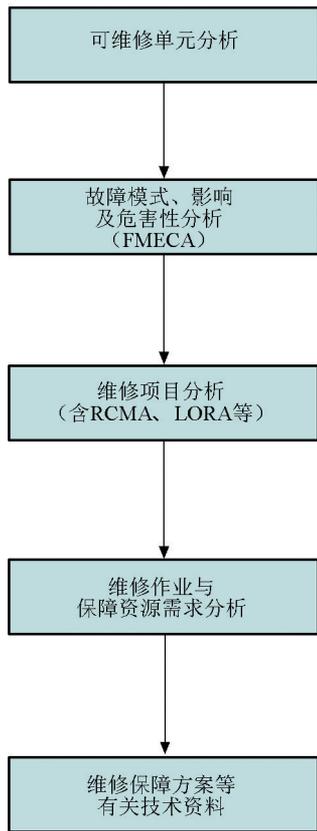


图2 简化后的规划维修流程图

Fig. 2 Predigested maintenance planning flow chart

### 3 规划维修分析技术要求

为了更好地支持规划维修分析深入、全面,本文通过工程规范、合并分析、优化流程,采用表格分析法,系统地提出了舰船装备规划维修分析技术要求。其中针对部分设备研制单位对部队维修保障体制不熟悉的现状,本文结合舰船装备维修保障实际,对有关国军标规定进行了注释和必要的裁剪。

另外,考虑交艇后故障数据统计、维修性与保障性评估、数字化维修保障支持等需要,增加了故障模式库规定、填写维修时状态、维修预估时间、作业操作录像等内容。

#### 3.1 可维修单元分析技术要求

为保证设备后续的故障模式分析全面、彻底,首先应按照硬件组成和结构层次划分,根据设计经验及相似产品使用情况,全面梳理本设备的支持艇员级、中继级维修的可维修单元(可拆卸、可更换或可维修的零部件)。具体分析表格如表1所示。

表1 可维修单元分析表

Table 1 Repairable structural unit analysis sheets

组成单元编号	组成单元名称 <sup>①</sup>	组成单元数量 <sup>②</sup>	单个组成单元编号说明 <sup>③</sup>	是否可维修 <sup>④</sup>

注:①设备组成单元名称应与随机设备总图保持一致;②填写对应组成单元的同类数量,如某设备电插板数量为3块等;③对单个组成单元的具体编号或位置进行说明,如某设备电插板按照从上到下标记为1号、2号、3号板;④若该组成单元可拆卸、可更换或可维修,则填写“是”,否则填写“否”

#### 3.2 故障模式、影响及危害性技术分析

对表1中清理出的所有可维修单元都应开展潜在故障模式、影响及危害性分析,具体分析表格如表2所示。

#### 3.3 维修项目分析

对表2中所有可维修单元的故障模式开展预防性维修和修复性维修项目分析,填写设备维修项目分析表,具体获得设备维修类型、维修间隔期、维修级别、维修预估时间等信息,具体分析表格如表3所示。预防性维修说明见表4。

表2 故障模式、影响及危害性分析表

Table 2 Failure modes, effect and criticality analysis sheets

可维修单元			故障模式		故障原因	运行状态	故障影响		故障检测方法 <sup>②</sup>	故障严酷度等级	故障概率等级 <sup>③</sup>	备注
编号	图号	名称	编号	名称 <sup>①</sup>			对可维修单元影响	对设备影响				

注:①故障模式名称一般按本型号故障模式库(按功能失效、功能失常、松脱漏、损伤等5大类归纳了102型故障模式)规定的故障模式填写;②故障检测方法一般应按目视检查、机内测试、自动传感装置检测、传感仪器检测、声光报警检测、显示报警检测等填写一项或多项;③为保证故障概率等级划分清晰,提出以下故障概率参考范围:A级(经常发生)为>10次数/年;B级(很可能)为1~10次数/年;C(偶然)为0.1~1次数/年;D(很少)为0.01~0.1次数/年;E(极少)为<0.01次数/年

### 3.4 维修作业分析

对表3中每个维修项目开展维修作业分析,填写设备维修作业分析表,具体分析表格如表5所示。对关键维修项目应提供维修操作示意图或拆解照片,并附录必要的文字表述;对于采用文字表述困难的复杂维修作业还应提供维修操作录像。

## 4 规划维修分析管理保证

由于规划维修分析工作涉及到多个单位多个部门,须依靠必要的管理措施保证执行。为此针对某型号规划维修实施,通过提出了一系列具体管理措施,确保了该项工作的顺利进行。主要管理措施如下。

表3 维修项目分析表

Table 3 Maintenance task analysis sheets

可维修单元		维修项目		维修类型 <sup>②</sup>	维修间隔期 <sup>③</sup>	维修级别 <sup>④</sup>	维修时设备状态 <sup>⑤</sup>	维修预估时间 <sup>⑥</sup>
单元名称	故障模式名称	编号	名称 <sup>①</sup>					

注:①填写涵盖所有可维修单元故障模式对应的维修项目,维修项目原则上按“可维修单元”+“维修类型”来命名,如XX插线板功能检测、XX电机绝缘使用检查等。若存在多个潜在故障模式引起的维修作业内容相同,可进行维修项目合并,如压力容器的多个零部件的定期拆检,可以合并为一个“XX开盖定期拆修”维修项目;②维修类型划分为预防性维修与修复性维修2大类。其中预防性维修又细分为:“保养”、“操作人员监控”、“功能检测”、“使用检查”、“定时拆修或报废”等。具体维修类型说明与适用原则如表4所示;③针对预防性维修间隔期,应填写单位为日、周、月、年的间隔期,或“停运后”、“启动前”的说明,对于有条件的可以填写累计运行小时、累计运行次数等。修复性维修项目则无需填写;④维修级别可按GJB 2961开展三级维修分析确定,也可按设备维修经验确定;⑤维修时设备状态为“运行期间”或“停运期间”;⑥维修预估时间不含维修等待时间、维修管理等维修延误时间

表4 预防性维修类型说明

Table 4 Type declaration of preventive maintenance

维修类型名称	类型说明	示例	适用原则
保养	保持设备固有的设计性能而进行的基层级维护	对产品表面清洗、擦拭、通风、添加润滑油、充电、充气、紧固和调整等	适用于对技术、资源要求低的维修类型
操作人员监控	操作人员在正常使用设备时对其状态进行的监控,以便及时发现设备的潜在故障	定时对油舱液位变化的观察、定时对电动机电压变化监控等	适用于操作人员能发现的潜在故障模式
使用检查	用于确定设备能否执行规定功能的检查工作	手动盘车、通电试运转、电机绝缘检查等	适用于操作人员不能发现的潜在故障模式
功能检测	指操作人员或维修人员通过内、外部监测仪器设备来检测设备潜在故障	电子式过流保护装置的自检、冷凝器中的换热管射线探伤、高能管道壁厚测量、振动检测等	适用于前三项维修类型都不能有效控制的重点故障模式
定时拆修或报废	设备使用到规定的时间予以拆修或废弃,通过修复或更换新品恢复到规定的状态	定时检查减速器齿面状况、定时更换防腐锌块、XX电路板定时更换等	不拆开就难以发现和预防的故障模式,或者使用到规定时间不必修理或修理不经济

表5 维修作业及保障资源需求分析表

Table 5 Maintenance activity and support resource demand analysis sheets

作业序号	作业名称 <sup>①</sup>	详细操作工艺 <sup>②</sup>	注意事项 <sup>③</sup>	维修及检测工具		备件及消耗品			维修人员要求 <sup>④</sup>	技术文件要求 <sup>⑤</sup>	备注 <sup>⑥</sup>
				工具名称	工具型号	备件名称	备件型号	数量			

注:①填写维修作业名称,其中修复性维修工序一般包括故障隔离、拆装、修复、复装、修后验收等;②填写每步维修作业的详细操作工艺。操作工艺描述中出现的可维修单元名称后应注释序号,序号应与随机设备总图中的序号保持一致。针对最后一步修后验收,要明确提出修后检验方法、验收要求;③填写每步维修作业应注意的操作、安全事项等;④填写每步维修作业所需人员操作技能和人数,其中操作技能按“初级技师”、“中级技师”、“高级技师”划分;⑤填写支持维修有关的技术文件名称、图号。如XX设备总图(图号);⑥填写维修空间要求(特指大型设备)、维修环境要求、维修设施要求等特殊保障资源要求

### 4.1 分步实施,减小风险

为有效减小全面开展某型舰船规划维修可能带来的技术风险,规划维修按照项目制管理,分步实施,其中项目一期首先按照船舶装备组成特点,选择了强电设备、控制台屏、监测仪器、旋转机械、压力容器等典型设备开展规划维修研究,为型号后续全面开展规划维修提供设计基础。

### 4.2 要求落实,强化验收

为保障规划维修分析技术要求得到具体贯彻,该要求通过型号评审,结合发文、技术规格书、订货合同的形式予以落实,并重点加强了对可维修单元、故障模式分析、维修项目分析、图形化维修作业显示等内容的验收。

### 4.3 平台支持,自动管理

项目一期中制定了详细的规划维修分析技术要求,但规划维修分析信息量巨大,涉及的多个表格间互为约束,仅靠设计与校对人员很难保证分析结果完整性及规范化。为此项目二期中通过建设信息平台,有效支持了35台设备的规划维修,并实现了平台自动生成预防性维修大纲与维修作业指导文件、合并维修保障资源需求等工作,减轻了设计人员工作量,保证了分析进度,减少分析错误,还方便设计人员准确地查找到所需信息。图3为信息平台对某控制台屏故障模式的分析支持。

## 5 结语

本文提出的规划维修流程与分析技术要求已

在我国某型号船舶研制工程中开展应用,通过两期项目运作,历时一年半,完成了45型新研及重大改进设备的规划维修,共确定了665项预防性维修项目和180项修复性维修项目,对应生成了845张维修作业表,236张关键维修作业图与12段维修演示录像,借助信息化技术,上述所有设备分别形成了各自的维修保障方案报告。

对比之前型号,通过实施规划维修,首次实现了通过维修性保障性分析确定的设备预防性维修大纲、保障资源需求等内容,生成的修理指导文件,其内容深度、适用性、表现形式都得到大幅度地提升,上述分析结果为后续数字化保障、维修保障评估等奠定了基础。

本文提出的规划维修流程与分析技术要求,为在较短时间内制定装备维修保障方案提供了主要支撑,但不可否认,当前实施的规划维修还存在一些不足。主要表现为,一是在项目实施过程中已发现了一些可靠冗余方案非最优,维修不可达、备品备件标准化不够等问题,但由于实施本项目规划维修时已为研制阶段中后期,装备技术状态大都固化,发现的问题都无法影响装备设计;二是针对修理级别、维修间隔期、备品备件数量等数据,大都还凭研制单位经验选取。故后续还将通过维修保障实际,积累相关数据,完善维修保障方案,细化部分舰船装备维修性保障性分析方法,期望未来通过规划维修来优化新型号全研制阶段可靠性维修性保障性设计结果。

可维修单元图号或标准号	故障模式名称	故障原因	运行状态	故障影响	故障检测方法	故障严重程度	故障频率等级
CAN集线器箱	无输出	接触不良	运行阶段	对集线器箱内影响: 影响集线器CAN总线网络, 整个CAN系统不能收发数据。	仪表指示	IV类(轻度的)	E(极少发生)
	无输出	保险丝损坏	运行阶段	对本接口箱无输出	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)
	零位漂移、移动	弹性光隔故障	运行阶段	对本接口箱电流采集偏差	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)
	无输出	CPU模块故障	运行阶段	对本接口箱CAN总线无输出	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)
1#接口箱	无输出	电源模块故障	运行阶段	对本接口箱无输出	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)
	无输出	光隔故障	运行阶段	对本接口箱开关量采集错误	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)
3#接口箱	无输出	CPU模块故障	运行阶段	对本接口箱CAN总线无输出	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)
	无输出	光隔故障	运行阶段	对本接口箱无输出	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)
数据显装置	无输出	数据显装置不供电	运行阶段	对本接口箱无输出	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)
	无输出	器件损坏	运行阶段	对本接口箱无输出	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)
电源开关	无输出	器件损坏	运行阶段	对本接口箱无输出	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)
	无输出	疲劳及磨损	运行阶段	对本接口箱无输出	目视检查	IV类(轻度的)	D(很少发生)

图3 信息平台对某控制台屏故障模式分析支持

Fig. 3 Information platform for automatic-controlled device of failure modes, effect and criticality analysis

## 参考文献

- [1] 装备综合保障通用要求. GJB 3872—1999[P]. 1999.
- [2] MIL-STD-1388-2A DOD requirements for a LOGISTIC support analysis record [R]. Department of Defense of USA, 1991.
- [3] QRMS-22 美军装备保障性设计和维修规划指南[M]. 北京:总装备部电子信息基础部技术基础局, 2003.
- [4] 章引平. 论规划维修的主要内容和基本程序[J]. 航空标准化与质量, 2000(4): 31-34.
- [5] 章引平. 规划维修的主要分析方法及其输入[J]. 航空标准化与质量, 2000(5): 40-42.
- [6] 吴昊. 民用飞机规划维修技术理论及应用研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2009.
- [7] 吴学良. 浅谈MSG维修思想与工程实践[J]. 航空维修与工程, 2004(1): 28-30.
- [8] 王首臻. 基于功能模拟的装备维修规划方法研究[D]. 北京:国防科学技术大学, 2006.
- [9] 马麟. 保障性设计分析与评价[M]. 北京:国防工业出版社, 2012.
- [10] 故障模式、影响及危害性分析指南. GJB/Z 1391—2006[P]. 2006.
- [11] 装备以可靠性为中心的维修分析. GJB 1378A—2007[P]. 2007.
- [12] 修理级别分析. GJB 2961—1997[P]. 1997.

# Maintenance planning and its application in the warship maintenance practice

Zhang Wenjun, Wang Wei, Xu Wei, Wang Hui  
(Wuhan Second Ship Design and Research Institute, Wuhan 430064, China)

**[Abstract]** In order to solve common problems in warship equipment maintenance that the depth of technical datum is not enough, and the preventive maintenance program and maintenance support configuration are no bases, the process of maintenance planning for warship equipment with technical requirement was presented by using the experience of other countries for reference, and the management measures were given out. The confirmations combined with a certain practical engineering were carried out.

**[Key words]** maintenance planning; preventive maintenance program; support resource demand