

doi: 10.7690/bgzdh.2023.04.014

舰炮装备通用质量特性指标体系

杨柯¹, 赵飞²

(1. 海装驻郑州地区军事代表室, 郑州 450015; 2. 郑州机电工程研究所第二研究室, 郑州 450015)

摘要: 针对舰炮装备通用质量特性指标体系存在难以量化筛选、适用性差等问题, 结合舰炮装备系统特点、作战使命及典型任务剖面, 在明确指标筛选原则的基础上, 运用专家打分法构建适用于舰炮装备的通用质量特性指标体系, 并给出关键指标的计算方法。结果表明, 该体系可为舰炮装备通用质量特性一体化设计、仿真及验证工作奠定基础。

关键词: 通用质量特性; 指标体系; 舰炮装备

中图分类号: TJ391 **文献标志码:** A

General Quality Characteristics Index System of Naval Gun Equipment

Yang Ke¹, Zhao Fei²(1. Military Representative Office of Naval Equipment Department in Zhengzhou, Zhengzhou 450015, China;
2. No. 2 Laboratory of Zhengzhou Institute of Electrical and Mechanical Engineering, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: Aiming at the problems of the general quality characteristics index system of naval gun equipment, such as the difficulty of quantitative screening and poor applicability, combined with the characteristics of naval gun equipment system, combat mission and typical mission profile, on the basis of defining the principle of index screening, the general quality characteristics index system suitable for naval gun equipment was constructed by using expert scoring method, and the calculation method of key indexes was given. The results show that the system lays a foundation for the integrated design, simulation and verification of the general quality characteristics of naval gun equipment.

Keywords: general quality characteristics; index system; naval gun equipment

0 引言

随着我国南海局势日趋紧张、沿海利益冲突逐渐凸显, 海军实战化演练任务不断增加, 舰炮装备因其反应速度快、持续作战能力强、费比高等优点, 常作为演练时的首战装备^[1-3]。为保证每次作战任务的顺利执行, 部队对舰炮装备的通用质量特性提出了更高要求。《质量管理体系要求》GJB9001B—2009对通用质量特性的内涵予以清晰的界定, 对通用质量特性的控制和管理提出了明确要求, 其中规定武器装备通用质量特性一般包括可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性和环境适应性, 简称“六性”。

舰炮装备通用质量特性指标作为“六性”设计和评估的输入和输出, 是通用质量特性设计和评估工作的基础, 指标体系构建的合理与否直接影响通用质量特性设计和评估的可信性。国内外专家针对通用质量特性指标重要度分析和指标体系构建进行了大量研究, 较为常用的指标筛选方法有专家打分法、层次分析法、主成分分析法、回归分析法等, 专家打分法和层次分析法适用于有设计专家队伍但

样本数据匮乏的装备, 主成分分析法和回归分析法适用于有大量样本数据的装备。

舰炮装备作为一种结构复杂、技术密集、使用环境恶劣的机电液一体化武器系统, 通用质量特性影响因素较为复杂, 现有装备通用质量特性指标体系难以满足舰炮装备的使用需求, 并且由于前期通用质量特性工作的不系统, 不管是设计、生产还是服役使用阶段的通用质量数据未能得到很好地管理, 导致相关数据的匮乏, 故笔者运用专家打分法, 结合舰炮装备功能特点及典型任务剖面, 在现有装备通用质量指标体系的基础上筛选指标, 构建适用于舰炮装备的通用质量特性指标体系。

1 现有通用质量特性指标体系

通用质量特性指标是武器装备开展研制设计、性能评估等工作的重要准绳, 根据现有国军标建立的武器装备通用质量指标体系如表 1^[4-5]所示。

不少学者在研究中发现, 由于武器装备种类各异、特点不同, 基于国军标的通用质量特性指标体系并不适用新型的武器装备, 陈春良等^[6-7]通过对新

收稿日期: 2022-12-20; 修回日期: 2023-01-28

作者简介: 杨柯(1981—), 男, 河北人, 硕士, 工程师, 从事舰载武器系统、光电系统研究。E-mail: yk_arnold@163.com。

型装甲装备通用质量特性影响因素进行分析,结合新型装甲装备特点,建立新型装甲装备通用质量特性评价指标体系,如表2所示。

表1 基于GJB的武器装备通用质量指标体系

类型	指标名称	GJB
可靠性	可靠度、平均故障间隔时间、平均严重故障时间、平均维修时间间隔、使用寿命、耐久性	GJB1909A-2009、GJB451A-2005、GJB899A-2009、GJB1391A-2006
维修性	平均修复时间、平均预防性维修时间、重要部件更换时间、标准化率	GJB368B-2009、GJB/Z145-2006、GJB1378A-2007
保障性	保障设备满足率、利用率、系统平均延误时间、备航时间	GJB 7686-2012、GJB/Z 151-2007、GJB4050-2000、GJB/Z147-2006
测试性	故障检测率、故障隔离率、虚警率、故障检测时间、故障隔离时间	GJB3385-1998、GJB2547A-2012、GJB 3966-2000
安全性	风险率、事故率、安全度	GJB900A-2012、GJB/Z99-1997、GJB/Z102A-2012
环境适应性	自然环境适应性、诱发环境适应性	GJB4239-2001、GJB8893-2017、GJB150A-2009、GJB6117-2007
综合性参数	可用度、可信度	GJB451A-2005、GJB1909A-2009、GJB/Z72-1995

表2 新型装甲装备通用质量特性评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
通用质量特性	可靠性	平均故障间隔时间、平均故障间隔里程、平均维修间隔时间、存储可靠度、平均维修活动间隔、平均维修活动间隔、任务可靠度、使用寿命、首次大修期限
	维修性	平均修复时间、平均预防性维修时间、重要零部件平均更换时间、恢复功能用任务时间、维修工时率、百公里预防性维修工时、百公里保养工时
	保障性	保障设施满足率、保障设施利用率、保障设施通用化程度、保障设备满足率、保障设备利用率、保障设备通用化程度、维修人员数量满足程度、备件利用率
	测试性	故障检测率、故障隔离率、虚警率、平均故障检测时间、平均故障隔离时间、平均虚警间隔时间、重测率
	安全性	人员事故率、一等事故频率、二等事故频率、三等事故频率、经济损失程度
	环境适应性	耐高温能力、耐严寒能力、耐潮湿能力、耐腐蚀能力、耐风沙能力、耐高原能力、耐雨雪能力

张志强等^[8]根据便携式AUV组成结构、使用方式和任务剖面,提出了适用于便携式AUV的通用质量特性指标体系。指标体系中:综合指标为战备完好率和任务成功率;可靠性指标为贮存可靠度、平均故障间隔时间、探测任务可靠度、作业任务可靠度、储存寿命和保障设备寿命;维修性指标为修复概率、平均修复时间;测试性指标为故障检测率、故障隔离率和虚警率;保障性指标为平均技术准备

时间、备件满足率和随舰备件利用率;安全性及环境适应性指标为安全跌落高度和环境适应性。

2 舰炮装备功能特点及典型任务剖面

舰炮装备作为海军舰艇主要的作战武器,与陆军自行火炮不同,通常需要具备多任务、多方面作战功能,如对海上舰艇、对岸精准目标、兼顾对空中目标进行打击,要求其自动化程度较高,具有全自动供弹装填功能^[9]。由于舰炮装备特殊的使用方式、作战环境和功能特点,其具有以下特点:

1) 自动化多功能复杂结构。

舰炮装备为提高火力密度作战要求,其发射率一般较高,对供弹装填自动化要求也较高,需配置速度快、全自动的供弹装填系统,是典型的机电液一体化机电产品,需要通过不同系统完成指定功能,涉及专业广,系统结构较为复杂。

2) 间歇式复进冲击运动模式。

舰炮装备为完成连续射击作战任务,其发射过程具有时间短、响应快、冲击载荷强等特点,大量机构在短时间内要进行高强度的间歇式往复冲击运动,频繁的振动冲击会对舰炮装备的射击精度、可靠性、安全性等特性造成影响,引起疲劳损伤、断裂等典型故障模式。

3) 复杂舰面海洋作战环境。

舰炮装备装载对象为海军舰艇,其在作战时不仅承受较大的后坐力还需要克服舰船摇摆的附加海况惯性力,要求各系统结构强度较高,且对瞄准系统的性能、精度及耐久性提出了更高要求;海上环境多风浪较为潮湿,盐雾环境恶劣,对舰炮装备的环境适应性要求较高;海上作战环境后勤保障能力有限,在一定程度上限制了舰炮装备的维修性和保障性。

舰炮作为常规武器系统,其典型任务剖面为:舰炮装备在进入作战任务前,有较长的备战状态,在作战任务前和作战任务时,可以进行计划性或非计划性维修保障工作,是典型的非成败型产品;同时,舰炮装备特别是大口径舰炮,由于其零部件数量较大、使用频率高,在使用过程中存在应急维修和预防性维修2种维修方式。

3 舰炮装备指标体系构建

3.1 通用质量特性指标筛选原则

为提高舰炮装备通用质量特性指标体系的科学性和可信度,其通用质量特性指标筛选应满足以下

原则:

1) 实用性: 舰炮装备通用质量特性指标体系服务于通用质量特性一体化设计和评估, 确定的指标必须统筹考虑舰炮装备的设计、研制生产和服役使用全过程, 并结合我国现阶段的研制和评估能力, 能够满足舰炮装备通用质量特性设计和评估要求, 建立在切实可行的基础上, 具有较好的操作实用性。

2) 针对性: 确定的指标必须能够反映舰炮装备的通用质量特性内涵, 在通用指标的基础上要能突出舰炮装备特有的结构特点和任务剖面, 不仅包含方案及技术设计阶段的质量特性指标要求, 而且要体现服役阶段中使用、维修、保障等过程的质量特性指标, 要考虑舰炮装备在整个寿命周期的任务剖面。

3) 全面性: 确定的指标必须能够反映通用质量特性的各方面, 采用定量与定性相结合的方式, 对难以量化的指标进行定性分析, 并明确定性指标的影响层级, 在保证指标科学性、客观性的同时, 也确保了指标体系的系统性和完整性。

3.2 舰炮装备通用质量特性指标体系

鉴于现阶段舰炮装备通用质量特性相关数据较为匮乏, 难以采用主成分分析法和回归分析法构建指标体系, 故笔者依据国内舰炮研制单位、生产单位和作战部队等多家单位在舰炮通用质量特性方面的工作, 组建专家队伍(装备研制设计、生产总装、维修保障方向各 2 名专家), 采用专家打分法构建适用于舰炮装备的通用质量特性指标体系。以可靠性为例, 针对现有可靠性参数指标, 专家组对筛选指标的重要程度进行打分, 重要程度分为重要、一般和不重要 3 级, 分别对应分值为 5、3、1, 得到的可靠性指标筛选结果如表 3 所示。

表 3 可靠性指标筛选结果

专家	可靠度	故障率	平均故障间隔时间	平均故障间隔发数	平均严重故障间隔时间	平均维修间隔时间	使用寿命
1	5	1	3	5	3	5	1
2	5	3	3	5	1	3	1
3	5	3	5	3	1	5	3
4	5	1	3	5	3	3	1
5	3	5	3	5	1	5	3
6	5	3	3	5	1	5	3

根据打分表可以确定可靠性指标中可靠度、平均故障间隔发数和平均维修间隔时间的重要度较高, 同理可对舰炮装备通用质量特性中其他五性指标进行筛选, 最终得到的指标体系如图 1 所示。

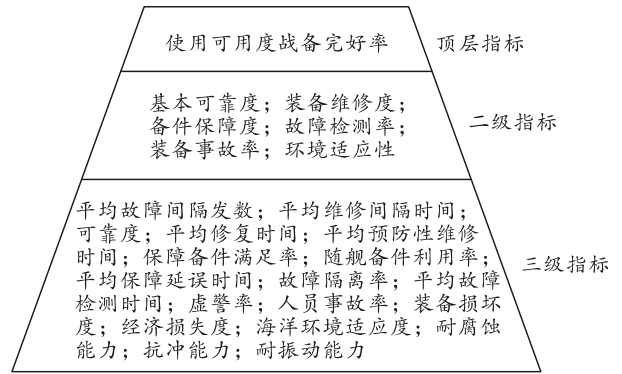


图 1 舰炮装备通用质量特性指标体系

3.3 关键指标确定方法

针对上述提出的舰炮装备通用质量特性指标体系, 在顶层指标和三级指标中选取能体现舰炮装备类型和特点的关键性指标进行说明, 并给出其数学描述。

1) 使用可用度 A_0 。

使用可用度是能够直接反映舰炮装备在需要时能够满足正常使用的程度, 其表达式为:

$$A_0 = \frac{\text{能工作时间}}{\text{能工作时间} + \text{不能工作时间}} \quad (1)$$

式中: 能工作时间可用平均维修间隔时间或平均故障间隔时间来表示; 不能工作时间包含平均维修时间、平均预防性维修时间、平均故障检测时间和平均保障延误时间。

2) 平均故障间隔发数 MRBF。

舰炮装备是以发射弹药为主要功能的作战武器, 其大部分机械部件只在执行射击任务时工作, 而在其他阶段均属于贮存状态, 故采用平均故障间隔发数更能体现舰炮装备的功能特点, 其表达式为:

$$MRBF = R/N_0 \quad (2)$$

式中: R 为一个统计周期内的射击总发数; N_0 为发生故障次数。

3) 随舰备件利用率。

舰炮装备由于其特殊的装载对象, 作战时通常远离港口和陆地的海洋环境, 在出现故障或零部件到寿时能够使用的备件多为随舰备件, 故可用随舰备件利用率来体现保障性, 其表达式为:

$$\text{随舰备件利用率} = \frac{\text{维修所需备件量}}{\text{随舰总备件量}} \quad (3)$$

4) 平均保障延误时间 T_{MLDT} 。

平均保障延误时间是一个组合参数, 主要是指舰炮装备为获得必要的维修保障资源而引起的延误时间, 其表达式如下:

$$T_{MLDT} = T_{MSRT} + T_{MADT} \quad (4)$$

式中: T_{MSRT} 为平均供应响应时间, 每次维修活动为获得备件和更换件的平均 0 中断工作时间; T_{MADT} 为平均管理延误时间, 除获得备件以外的中断工作时间, 如等待专业维修人员、技术指导和保障设施的时间。

5) 海洋环境适应度 D 。

舰炮装备由于其特殊的使用环境和任务剖面, 对环境适应性有海洋腐蚀、摇摆和盐雾等特殊要求, 采用海洋环境适应度来表示, 其表达式如下:

$$D = \alpha D_0 \quad (5)$$

式中: D_0 为初始适应度, 根据装备型号进行赋值; α 为适应系数, 根据适应程度由差到优根据 0.1、0.3、0.5、0.7、0.9 这 5 个等级依次赋值。

4 结束语

笔者在现有装备通用质量特性指标体现的基础上, 分析舰炮装备的功能特点和典型任务剖面, 依据国内舰炮行业在研制、生产和服役多个阶段的工作成果, 结合通用质量特性指标筛选原则, 建立适用于舰炮装备的通用质量特性指标体系。该体系可为后续舰炮装备的通用质量特性一体化设计、评估等方面研究提供理论基础, 并有助于提高新型号研

(上接第 69 页)

参考文献:

- [1] 李荣, 孔伟丽. 模糊层次分析法在物流中心选址中的应用[J]. 物流科技, 2019, 42(5): 10-12, 24.
- [2] 王亚莉, 宋占岭. 基于 F-AHP 法的物流配送中心选址研究[J]. 中国市场, 2008(19): 90-91.
- [3] 董艳萍. 基于模糊层次分析法的物流配送中心选址研究[J]. 科技创业, 2010, 23(10): 92-93, 100.
- [4] CHANG D Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP[J]. European Journal of Operational Research, 1996, 95(3): 649-655.
- [5] 逢海博. 基于模糊层次分析法的交通拥堵检测[D]. 大连: 大连理工大学, 2021.
- [6] 方坤, 郭婧, 王启同. 基于模糊层次分析的战役仓库航材保障能力评估[J]. 物流科技, 2021, 44(11): 139-141.

制的设计能力和现役装备的评估能力。

参考文献:

- [1] 刘亚杰, 张瑜. 舰炮武器智能化思考[J]. 兵工自动化, 2022, 41(3): 21-24.
- [2] 杨云生, 柴凯, 丰少伟. 舰船装备保障能力评估指标及建模方法[J]. 兵工自动化, 2022, 41(8): 20-26.
- [3] 张国兵. 水面舰艇信息作战仿真训练系统研究[J]. 兵工自动化, 2022, 41(5): 69-73.
- [4] 张磊, 王保青, 李军. 舰船通用质量特性设计分析研究[J]. 船舶, 2019, 30(5): 96-104.
- [5] 祝华远, 李军亮, 孙鲁青. 武器装备通用质量特性管理综述[J]. 兵工自动化, 2021, 40(2): 13-17.
- [6] 陈春良, 刘彦, 张雅卿. 基于 IGAHP—熵—博弈论—Choquet 积分的新型装甲装备通用质量特性评价模型研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(7): 2438-2442.
- [7] 刘彦, 陈春良, 石文华. 基于 RST-QFD-Bayes 的新型装甲装备通用质量特性评价指标体系构建研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(6): 2048-2052.
- [8] 张志强, 王胜兵, 杨波. 便携式 AUV 通用质量特性参数指标分析[J]. 数字海洋与水下攻防, 2019, 2(4): 16-20.
- [9] 彭松江, 张强, 李凡营. 关于大口径舰炮技术发展的思考[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(19): 189-191.
- [7] 陈松辉, 邱宏理. 基于 AHP 和模糊综合评判法的登陆作战效能分析[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(2): 91-93, 117.
- [8] 李晓慧, 刘小方, 周孟冉, 等. 基于模糊层次分析法的导弹装备保障能力评估研究[J]. 中国设备工程, 2021, 27(6): 155-156.
- [9] 刘海天, 徐文海. 基于 AHP 模糊综合评价法的导弹作战分队能力评估[J]. 信息系统工程, 2015(8): 140-142.
- [10] 陈飞翔, 郭三学, 牛良超. 基于模糊层次分析法的警用非致命空气炮作战效能评估[J]. 装备环境工程, 2019, 16(5): 101-105.
- [11] 刘耀辉, 刘小方, 张毅, 等. 某型导弹发射单元机动作战伴随保障能力评估[J]. 兵工自动化, 2018, 37(8): 73-77.
- [12] 吴祈宗, 侯福均. 运筹学与最优化方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015: 233-236.