

doi: 10.7690/bgzd.2021.02.004

武器装备通用质量特性管理综述

祝华远, 李军亮, 孙鲁青

(海军航空大学青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要: 为解决武器装备论证、设计、生产和使用中质量管理存在的问题, 提高武器装备通用质量特性管理水平。基于系统工程思想, 通过分析通用质量特性管理系统的运行原理、子系统交互作用, 构建其参数体系框架及相应的模型体系框架, 重点对通用质量特性管理体系、通用质量特性设计与评估等内容进行分析。该研究对武器装备通用质量特性管理有一定的指导意义, 可为装备全寿命周期内的通用质量管理以及装备在役考核的开展提供参考。

关键词: 武器装备; 通用质量特性; 在役考核; 质量管理体系

中图分类号: E241 **文献标志码:** A

Overview of Weapon Equipment General Quality Characteristics Management

Zhu Huayuan, Li Junliang, Sun Luqing

(Qingdao Branch, Naval Aviation University, Qingdao 266041, China)

Abstract: In order to improve the management level of general quality characteristics of weapons and equipment in the stage of demonstration, design, production and service. Based on the idea of system engineering, through analyzing the operating principle of the general quality characteristic management system and the interaction of subsystems, the parameter system framework and the corresponding model system framework are constructed, focusing on the general quality characteristic management system, general quality characteristic design and evaluation, etc. The research result can provide reference for the general quality characteristics management during the entire life cycle and equipment assessment in-service.

Keywords: weapons and equipment; general quality characteristics; assessment in-service; quality management system

0 引言

质量是指“客体的一组固有特性满足要求的程度”。其中, 客体是指可感知或可想象到的客观存在, 即质量所描述对象, 是质量的载体^[1]。武器装备质量是指部队在作战、训练等实践中, 装备的战术性能和可靠性、维修性、保障性等特性指标的满足程度^[2-3]。武器装备质量特性包含了专用质量特性和通用质量特性, 其中专用质量特性反映的是不同系统或者装备自身的特点和个性特征, 如某型飞机的最大(最小)飞行速度、巡航速度、飞行高度、载重、载荷强度等指标; 通用质量特性则表征不同装备的共性特征, 如可靠性、维修性、测试性、保障性、安全性、电磁兼容性等。GJB 9001B—2009《质量管理体系要求》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的要求, 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、环境适应性等。GJB 9001C—2017《质量管理体系》中, 要求武器装备承制单位在策划和控制过程中依

据 GJB 450 等通用标准的要求, 确定产品通用质量特性设计项目, 编制通用质量特性工作计划, 结合系统设计目标开展产品通用质量特性设计、分析、验证等工作^[4-5]。

随着科技的进步, 新型武器装备, 如舰船、飞机、装甲车等功能越来越强大, 结构也越来越复杂, 在使用过程中需满足高可靠、长寿命、易保障、易维修、易测试、易操作等要求。武器装备的专用和通用质量特性成为影响装备遂行作战和装备体系作战效能发挥的关键因素, 在现代质量观中具有战略性、全局性和基础性的地位和作用。合理科学地开展武器装备通用质量特性管理, 是一项亟待解决的问题。

1 通用质量特性研究的理论框架

1.1 通用质量特性管理的基本问题

通用质量特性管理就是运用系统工程的方法, 解决装备寿命周期内与装备通用质量特性相关的问题, 是一项复杂的系统工程, 涉及到装备订购方、

收稿日期: 2020-09-20; 修回日期: 2020-11-10

基金项目: 中国博士后科学基金面上项目(2019M653929)

作者简介: 祝华远(1975—), 男, 山东人, 博士, 教授, 从事航空装备综合保障研究。E-mail: zhuhy0532@126.com。

承制方、使用方等多种责任主体，贯穿于装备论证、设计、生产、使用、保障、退役的全过程，同时涵盖了多专业、多学科领域的知识。装备通用质量特性管理的总体目标是设计、保持、满足以及改进武器装备的通用质量特性指标要求，提高装备战备完好性和任务持续性，降低保障资源需求和装备寿命周期费用，而不同的特性指标要求则是管理的具体目标。

《装备通用质量特性管理工作规定》中明确装备通用质量特性工作的基本任务和装备综合保障的概念有很多重合部分。装备综合保障是在装备寿命周期内，为满足系统战备完好性和任务持续性要求，降低寿命周期费用，综合考虑装备保障问题，确定保障性要求，进行保障性设计，规划并研制保障资源，及时提供装备所需保障资源的一系列管理和技术活动^[6-7]。分析两者的基本概念可知：两者工作目标一致，即“满足系统战备完好性和任务持续性要求，降低寿命周期费用”，综合保障工作实现该目标的途径主要是“确定保障性要求，进行保障性设计，规划并研制保障资源”，而通用质量特性管理途径为“合理确定装备通用质量特性要求，监督控制装备全寿命各阶段通用质量特性工作”。这说明通用质量特性管理工作的内容更为宽泛和全面，除了考虑与保障性紧密相关的可靠性、维修性、测试性之外，还需考虑环境适应性、安全性等内容。

于永利等^[8]对综合保障的基本理论框架进行了分析和研究，认为作战任务驱动了装备的使用，而装备的使用牵动了装备保障；反之，装备保障效能和装备质量则影响着作战任务。三者之间的关系如图 1 所示。

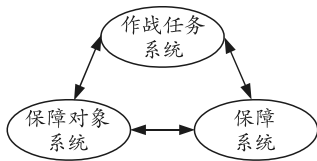


图 1 作战任务、保障对象和保障系统的运行机理

同理：作战任务驱动了装备的使用，装备的使用牵引着装备通用质量特性管理；反之，装备通用

质量特性管理水平则影响着装备质量和作战任务的执行。其中装备体系、装备作战单元、装备基本作战单元和装备等是通用质量特性的载体，是管理实施的客体^[9]。

基于系统工程思想，从时间维、逻辑维和专业维分析，通用质量特性管理的基本内容及要素如图 2 所示。

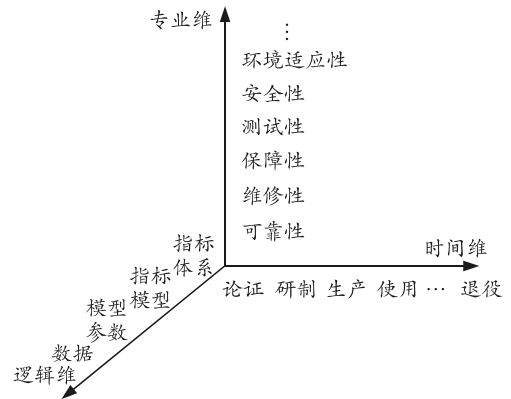


图 2 装备通用质量特性管理的基本内容及要素

1.2 通用质量特性管理的基础理论框架

装备通用质量特性各特性之间有独立的指标模型和研究方法，在同一装备载体中，各特性之间又有很强的关联。可靠性以减少或者消除故障为目标，维修性则以保持、恢复或者增长可靠性为目标^[3-12]，而维修行为又受测试性、保障性水平的制约；反之，较好的维修性、测试性和保障性则能更好地促进装备的可靠性和安全性。

如图 3 所示，围绕上述分析的基本问题，可以构建出武器装备通用质量特性管理的基础理论框架。框架以复杂系统的理论与方法为基础，从通用质量特性管理系统的基本概念出发，通过分析系统的运行原理、子系统交互作用，建立通用质量特性与属性的概念体系；分析不同质量特性与属性的作用机理，在相关方法学研究的基础上，确立参数体系框架并建立相应的模型体系框架。

其中，通用质量特性指标体系与模型体系是定量研究通用质量特性问题的重要基础。目前武器装备通用质量特性指标体系如表 1^[11]所示。

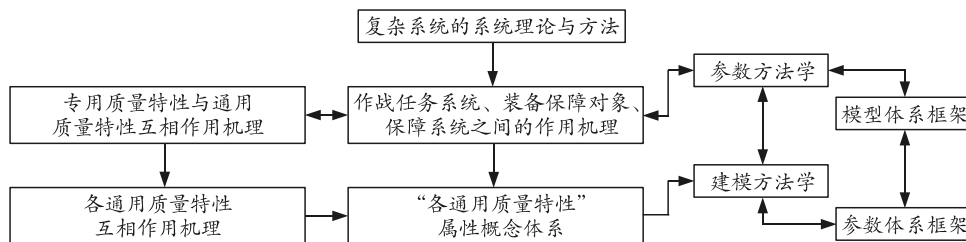


图 3 通用质量特性管理的基础理论框架

表 1 常用武器装备通用质量特性参数

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	GJB 1909A-2009《装备可靠性维修性保障性要求论证》、GJB 451A-2005《可靠性维修性保障性术语》、GJB 1407-1992《可靠性增长试验》、GJB 899A-2009《可靠性鉴定与验收试验》、GJB 3404-1998《电子元器件选用管理要求》、GJB/Z 77-1995《可靠性增长管理手册》、GJB 813-1990《可靠性模型的建立和可靠性预计》、GJB/Z 108A-2006《电子设备非工作状态可靠性预计手册》、GJB/Z 27-1992《电子设备可靠性热设计手册》、GJB/Z 768A-1998《故障树分析指南》、GJB 1391A-2006《故障模式、影响及危害性分析指南》、GJB/Z 89-1997《电路容差分析指南》、GJB/Z 299C-2006《电子设备可靠性预计手册》、GJB/Z 34-1993《电子产品定量环境应力筛选指南》、GJB 1775-1993《装备质量与可靠性信息分类编码通用要求》
		GJB 368B-2009《装备维修性工作通用要求》、GJB/Z 145-2006《维修性建模指南》、GJB 2072-1994《维修性试验与评定》、GJB/Z 57-1994《维修性分配与预计手册》、GJB/Z 91-1997《维修性设计技术手册》、GJB 2961-1997《修理级别分析》、GJB 1378A-2007《装备以可靠性为中心的维修分析》
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	GJB 7686-2012《装备保障性试验与评价要求》、GJB/Z 151-2007《装备保障方案和保障计划编制指南》、GJB 4050-2000《武器装备维修器材保障通用要求》、GJB 6388-2008《装备综合保障计划编制要求》、GJB/Z 147-2006《装备综合保障评审指南》、GJB 1371-1992《装备保障性分析》、GJB 3837-1999《装备保障性分析记录》、GJB 5967-2007《保障设备规划与研制要求》、GJB 7686-2012《装备保障性试验与评价要求》
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	
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	GJB 3385-1998《测试与诊断术语》、GJB 2547A-2012《装备测试性工作通用要求》、GJB 3966-2000《被测单元与自动测试设备兼容性通用要求》
安全性	风险率、事故率、安全度	GJB 900A-2012《装备安全性工作通用要求》、GJB/Z 99-1997《系统安全工程手册》、GJB/Z 94-1997《军用电气系统安全性设计手册》、GJB/Z 102A-2012《军用软件安全性设计指南》
环境适应性	自然环境适应性、诱发环境适应性	GJB 4239-2001《装备环境工程通用要求》、GJB 8893-2017《军用环境自然环境试验方法》、GJB 150A-2009《军用设备环境试验方法》、GJB 6117-2007《装备环境工程术语》
综合性参数	可用度、可信度	GJB 451A-2005《可靠性维修性保障性术语》、GJB 1909A-2009《装备可靠性维修性保障性要求及论证》、GJB/Z 72-1995《可靠性维修性评审指南》、GJB/Z 23-1991《可靠性和维修性工程报告编写一般要求》

2 通用质量特性管理体系建设现状

质量管理体系 (quality management system, QMS) 是指与质量有关的指挥、控制、组织与管理的体系^[12-13]。为了实现通用质量特性管理的目标, 必须有效、有序地开展各项质量管理活动, 建立相应的管理体系, 即构建通用质量特性管理体系。

目前企业质量管理体系主要是以过程管理方法进行的系统管理, 包括生产过程和生产要素管理, 其本质上就是过程优化和资源优化的结合, 最终以文件化的方式固化管理程序和要求, 达到效率最高、成本最低的目标。

相比于一般的企业产品, 武器装备有着更高的质量要求, 也需要更严密、更科学的质量管理体系。尤其是近年来, 武器装备通用质量特性工作的重要性在作战性能发挥中日益凸显, 装备设计、制造和使用单位也逐渐认识到其重要性, 在企业内部尤其是装备承制单位成立了相应的组织结构, 明确了责任分工, 采用了通用质量特性新技术, 极大地促进和推动了装备通用质量特性工作的开展, 但在各项工作的协同性、特性数据的一致性、管理流程的规范性等方面尚存在不足^[14-16]。

随着信息技术的发展, 提高通用质量特性信息

管理水平, 转变目前工作的模式和管理机制, 完善质量特性设计分析工具, 实现知识共享和信息共享, 是新时期装备研制的迫切需求^[14]。

马晓东等^[15]研究了基于知识的通用质量特性协同设计平台, 从平台架构、功能需求、实现途径等方面研究构建设计平台的必要性和构建方法。文洋等^[16]阐述了在信息化背景下, 融入通用质量特性仿真的技术途径, 主要分析了通用质量特性的综合管理、仿真和仿真验证等 3 方面的研究内容和方法。

不断完善质量管理体系运行效果评价方法, 通过能够体现其特点、量化可评价的指标与要素来评价单位的质量管理体系运行效果, 达到推动单位质量管理体系持续改进、促进产品质量提升的目的, 也是适应当前质量管理工作新形势、新任务和新的需要。

3 通用质量特性技术管理存在问题

3.1 通用质量特性一体化设计技术

通用质量特性技术是质量管理的基础和质量指标得以贯彻的保障。随着科学技术的快速发展, 在武器装备设计生产过程中各种技术相互渗透、系统之间相互影响, 从而牵引着装备向设计、制造、维

修和保障过程的综合化、系统化发展,推动了装备通用指标特性一体化设计的发展^[17-18],形成了比较复杂的装备通用质量指标体系。传统仅仅依靠专项技术的独立设计与应用已不适当当前装备研制周期短、指标要求高、耦合关系复杂的现实需求^[15]。需要开展装备通用质量特性一体化设计,而通用质量特性一体化设计包括 2 个层面的要义:一是性能与通用质量特性的一体化设计,二是各通用质量特性指标的一体化设计。

性能(专用质量特性)与通用质量特性一体化设计,就是消除目前工作过程中“两张皮”现象^[10-12],即性能设计和通用质量特性设计分别单独进行。装备质量特性指标体系一体化设计,应运用系统工程和军事运筹学理论方法,以多种通用质量特性和专用质量特性指标阈值、成本费用、资源为约束变量,以战备完好率、使用可用度等顶层指标为优化目标,建立装备综合保障一体化论证数据模型^[19]。首先要发展通用质量特性设计与论证的新理论和新技术,将通用质量特性工作要求融入装备型号研制的全过程。将通用质量特性与装备功能进行同步论证、设计、试验与改进,通过与装备功能、进度和费用等优化权衡达到最佳组合,使装备具有全面的质量特性和良好的作战效能。

通用质量特性一体化设计的内涵,就是对可靠性、维修性、保障性等的优化设计^[20]。优化设计的内容和目标,就是合理分配系统的可靠性、维修性、备件保障性等的定量指标,达到技术上可行、研制周期最短、寿命周期费用最低的目的。丁定浩^[21]以复杂电子系统为例,研究了复杂可修装备顶层综合指标的优化模型,可以有效指导复杂电子系统“五性”一体化设计。

3.2 通用质量特性评估方法

通用质量特性评估是指使用科学的评估理论和评估手段对装备的多种通用质量特性进行评估和验证,通过建立通用质量特性评估指标、模型和方法体系,评估通用质量特性真实水平,能有效地促进装备迭代发展和部队战斗力的显著提升,是装备在役考核^[22]和综合保障工作的主要组成部分。

从目前公开的研究成果来看,基于质量管理的视角,系统、科学全面地研究装备质量评估理论与方法的成果凤毛麟角。但是类似的评估系统作战效能、体系贡献率、保障效能的文献较多,一般常用的评估方法有:多元统计理论、不确定性理论、多

属性评估法、数据挖掘技术、交叉学科理论及组合模型等^[23-25]。

总体来讲,目前不少专家学者已经开始探索不同装备的通用质量特性评估方法,如舰船^[11-12,18]、飞机^[5]、装甲^[13,28]、导弹^[26-27]等。刘化深^[28]构建了一种基于工程能力的通用质量特性评价体系和方法;李元左等^[29]基于装备质量管理的特点,构建了基于网络层次分析法和粒子群优化算法的装备质量管理风险评估模型;刘彦等^[26]综合运用 QFD (quality function development) 和贝叶斯方法构建了新型装甲装备通用质量特性评价指标体系。

目前装备通用质量特性评估的方法还不具备国标/军标的约束力和效应,规范性有待提高。尤其是我军武器装备种类多、型号多、批次多,现评估方法和体系距离指导实际工作还有不小的差距。

3.3 通用质量特性数据管理

通用质量特性数据采集、分析、管理机制尚不健全。目前在装备设计、承制、使用单位之间存在严重的信息壁垒,故障、退化、试验等数据信息在各单位之间的流转程序不规范,数据格式不统一,验证方法不一致,为装备在全寿命周期内的通用质量特性评估带来了很大困难。尤其是对于长周期服役的复杂装备,使用周期比较长,使用阶段会产生大量的使用与故障数据,但是这些数据很难为装备设计和生产单位提供支撑,严重浪费了信息资源,导致武器装备通用质量特性指标的前期论证和交付后的在役考核存在很大困难。

通用质量特性数据采集是开展武器装备通用质量特性分析工作的基础,使用阶段收集的数据信息存在随机和测量误差,真实性和可信性有待提高^[30]。武器装备具有长寿命、高可靠、多型号、多批次的特征,产生的现场数据与内场试验数据相比具有变环境、异母体、非线性等特征;因此,需要丰富和发展现有的统计分析方法。

4 结束语

我军军事战略的调整极大地拓展了武器装备任务空间和任务环境。通用质量特性对武器装备效能的发挥起着越来越重要的作用,当前需要重点关注以下工作:

1) 将通用质量特性管理工作贯彻到装备的全寿命周期内。

需要在装备论证、设计、生产、使用、保障、退役等全寿命周期各阶段中全面开展通用质量特性

管理工作, 根据相应的国军标明确不同装备型号的工作内容和指标要求, 并通过设计、反馈、修改等迭代过程全面落实到新型装备的设计之中。尤其是在设计阶段要加强通用质量特性一体化设计技术, 在使用阶段要健全评估体系和方法^[17-21,31]。

2) 通用质量特性管理、综合保障与装备在役考核实施的有机统一。

如何利用现有的编制体制将通用质量特性管理、综合保障以及装备在役考核等工作有机统一起来, 建立健全工作机制, 形成科学完善的论证、设计技术, 从而提高装备完好率和任务持续能力, 降低寿命周期费用, 优化装备迭代设计与发展。

3) 基于大数据和人工智能的装备通用质量特性管理信息平台研究。

随着大数据技术和人工智能理论的发展, 智能优化算法、神经网络等多种数据分析技术的应用越来越广泛, 充分利用这些先进技术分析复杂装备在长寿命周期内的使用、环境、性能、故障、退化、维修和保障等海量数据, 从而准确分析装备的通用质量特性和性能特征。另外, 随着网络技术的进步, 发展满足多主体(订购方、承制方、使用方等)需求的远程协同操作可视化云平台也非常有意义。

参考文献:

- [1] 中国质量协会. 全面质量管理[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2018.
- [2] 崔向华, 方福生. 部队装备质量反馈问题研究[J]. 装备学院学报, 2014, 25(6): 22-25.
- [3] 康锐. 可靠性维修性保障性工程基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 27-33.
- [4] 康锐, 王自力. 装备全系统全特性-全过程-质量管理概述[J]. 国防技术基础, 2007(4): 25-29.
- [5] 祝华远, 马乃苍, 崔亚君. 基于 ADC 的军用飞机保障效能模型[J]. 兵工自动化, 2014, 33(11): 17-19.
- [6] 李军亮, 祝华远, 王利明. 综合保障理论之海军航空装备保障发展[J]. 国防科技, 2019, 40(3): 78-84.
- [7] 刘晓东, 张恒喜, 尚柏林. 装备综合保障模型及应用综述[J]. 装备指挥技术学院学报, 2001, 12(1): 69-72.
- [8] 于永利, 康锐. 装备综合保障基础理论及技术的若干问题[J]. 装甲兵工程学院学报, 2010(6): 1-8.
- [9] 张辉. 我国舰船综合保障研究综述[J]. 舰船科学技术, 2010(9): 128-132.
- [10] 刘强, 邵金华, 杨朝敏. 装备“六性”质量监督工作研究[J]. 航空标准化与质量, 2016(3): 33-36.
- [11] 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, 182(5): 96-104.
- [12] 方颖, 陈大圣, 刘柏. 舰船装备通用质量特性综述[J]. 船舶标准化与质量, 2009(4): 32-35.
- [13] 李宇恒, 刘福胜, 刘永权. 新型装甲装备通用质量特性评价方法研究[J]. 价值工程, 2016, 35(1): 228-231.
- [14] 温海青. 谈依据 GJB 9001B 对装备通用质量特性实施审核[J]. 电子质量, 2016(2): 60-62.
- [15] 马晓东, 洪东跑, 王尧, 等. 基于知识的装备通用质量特性协同工作平台设计[J]. 航天工业管理, 2018(4): 41-45.
- [16] 文洋, 刘舜鑫, 方子豪, 等. 装备通用质量特性数字化设计仿真探讨与实践[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2018, 36(2): 46-50.
- [17] 徐海, 丁定浩. 大型复杂电子系统开展“五性”一体化设计的必要性[J]. 环境技术, 2014(2): 36-39.
- [18] 姜华. 舰船通用质量特性设计要求浅析[J]. 广东造船, 2019(4): 33.
- [19] 王冬, 孙立敏, 刘艳, 等. 做武器装备的大设计师-防空导弹型号通用质量特性保证体系的构建与实施[J]. 中国质量, 2016(6): 10.
- [20] 丁定浩. RMS 军用标准亟待革新和提升[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2015, 33(4): 1-8.
- [21] 丁定浩. RMS 一体化设计及其验证方法[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2014, 32(1): 1-6.
- [22] 孟庆均, 郭齐胜, 曹玉坤, 等. 装备在役考核评估指标体系[J]. 装甲兵工程学院学报, 2018, 32(1): 28-24.
- [23] 帅勇, 宋太亮, 王建平, 等. 装备保障能力评估方法综述[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(3): 1-3.
- [24] 杨克巍, 杨志伟, 谭跃进, 等. 面向体系贡献率的装备体系评估方法研究综述[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(2): 311-318.
- [25] 罗承昆, 陈云翔, 项华春, 等. 装备体系贡献率评估方法研究综述[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(8): 1789-1794.
- [26] 刘彦, 陈春良, 石文华, 等. 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.
- [27] 代浩. 炮射导弹性能与通用质量特性综合设计技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2019.
- [28] 刘化深. 基于成熟度模型的装备通用质量能力评价构想[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2018, 36(9): 161-164.
- [29] 李元左, 姚宏林, 郭瑞平. 装备质量管理风险评估指标体系与评估模型[J]. 装备学院学报, 2013, 24(4): 127-131.
- [30] 黄超, 谷长超, 张磊刚. 武器装备研制通用质量特性工程能力评价方法[J]. 质量与可靠性, 2018(4): 26-30.
- [31] 李军亮, 滕克难, 徐吉辉, 等. 军用飞机机群战备完好性研究[J]. 现代防御技术, 2017(3): 147-154.