

装备可靠性工程实施过程的量化 评估研究及实践

丁丹丹¹, 陈伟¹, 马琛翔², 石孟兵¹

(1. 贵州航天计量测试技术研究所, 贵阳 550009; 2. 航天科工防御技术研究试验中心, 北京 100854)

摘要: **目的** 为装备可靠性工程实施过程探索一种量化评估方法, 改变现有可靠性工作要求不能通过量化评估直观反映装备可靠性工程完成情况的现状。**方法** 首先对装备可靠性工程中的可靠性管理、可靠性设计与分析、可靠性试验与评估、使用可靠性评估四个方面内容如何实施量化评估开展研究, 解决评估工作的主要问题; 其次明确评估基本要求, 制定量化评估工作流程; 最后以典型装备为评估对象, 采用上述评估方法和流程为其开展可靠性工程实施过程量化评估工作。**结果** 通过本次量化评估, 反映出该装备在可靠性工程实施过程较为完整和规范, 同时也发现该装备可靠性工程实施过程中还需进一步提高和改善的工作项目。**结论** 通过对典型装备可靠性工程实施过程开展量化评估工作, 可更直观地反映该装备可靠性工程实施成效, 有针对性地提升型号装备整体质量与可靠性水平, 以点带面, 也可为同类型装备的可靠性工作提供更好的参考。

关键词: 装备; 可靠性工程; 量化评估

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2020.10.020

中图分类号: E920

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2020)10-0131-05

Research and Practice on Quantitative Evaluation of Equipment Reliability Engineering Implementation Process

DING Dan-dan¹, CHEN Wei¹, MA Chen-xiang², SHI Meng-bing¹

(1. Guizhou Aerospace Institute of Measuring and Testing Technology, Guiyang 550009, China;

2. Defense Technology R & T Center of Aerospace Science & Industry Crop, Beijing 100854, China)

ABSTRACT: The work aims to explore a quantitative evaluation method for the implementation process of equipment reliability engineering, so as to change the current status that the reliability work requirements cannot directly reflect the completion of equipment reliability engineering through quantitative evaluation. First of all, the research was carried out on how to conduct quantitative evaluation on reliability management, reliability design and analysis, reliability test and evaluation, and reliability evaluation in the equipment reliability engineering to solve the main problems encountered in the evaluation work. Then, the basic evaluation requirements were clarified and the quantitative evaluation workflow was developed. Finally, with the typical equipment as the evaluation object, the above evaluation methods and processes were used to carry out a quantitative evaluation on the reliability engineering implementation process. The quantitative evaluation reflected that the equipment was relatively complete and standardized in the reliability engineering implementation process. At the same time, the work items required to be

收稿日期: 2020-05-08; 修订日期: 2020-07-11

Received: 2020-05-08; Revised: 2020-07-11

作者简介: 丁丹丹(1993—), 女, 工程师, 主要研究方向为环境与可靠性试验技术。

Biography: DING Dan-dan (1993—), Female, Engineer, Research focus: environment and reliability test technology.

further enhanced and improved were found out in the equipment reliability engineering implementation process. Through the quantitative evaluation on the reliability engineering implementation process of typical equipment, the effectiveness of the equipment reliability engineering can be more intuitively reflected, and the overall quality and reliability of the model and equipment can be improved from point to area, thus providing a better reference for the reliability work of similar types of equipment.

KEY WORDS: equipment; reliability engineering; quantitative evaluation

装备可靠性工程是指为了达到产品可靠性要求而进行的一系列技术与管理活动,可靠性工程作为提升装备质量和可靠性的一种有效手段,其完成质量是影响装备是否能达到规定的可靠性要求的一个重要因素^[1]。目前,GJB 450A《装备可靠性工作通用要求》规定了装备寿命周期内开展可靠性工作的一般要求和工作项目,为可靠性工程开展提供了依据和指导,但对于装备可靠性工程实施过程完成情况,未作出可量化考核的过程管理和评估要求^[2-3],不能直观地反映装备可靠性工程的完成现状,不能有针对性地制定装备可靠性工程实施成效的提升措施,助力提升武器装备的质量与可靠性水平,因此对可靠性工程实施过程的量化评估开展研究和实践是武器装备可靠性提升面临的较为紧迫的问题。为改变现有可靠性工作要求不能通过量化评估直观反映装备可靠性工程完成情况的现状,本文对装备可靠性工程实施过程量化评估内容、评估方法、基本要求和评估流程开展研究,并以某导引头为实践对象,对其开展量化评估工作,直观地反映出该导引头可靠性工程完成现状,以点带面,期望能对同类型装备可靠性评估工作提供参考。

1 量化评估方法

1.1 确定评估内容

按照 GJB 450A《装备可靠性工作通用要求》,装备可靠性工作包含了可靠性管理、可靠性设计与分析、可靠性试验与评价、使用可靠性评估与改进四个方面内容。

对装备开展可靠性管理过程的评估目的在于:评估装备的可靠性管理工作是否从系统观点出发,对装备寿命周期内各项可靠性活动进行规划、组织、协调与监督,是否秉承全面贯彻可靠性工作的基本原则,以实现既定的可靠性目标^[3,5]。

对装备在可靠性设计与分析的实施过程的评估目的在于:评估在装备研制过程中是否应用成熟的可靠性设计与分析技术,是否选择了一组对装备设计有效的可靠性工作项目,以通过设计来满足可靠性定量要求,是否尽早发现装备的薄弱环节或设计缺陷,并采取有效的设计措施加以改进,以提高装备的可靠性^[3,6]。

对装备可靠性试验与评价过程开展评估的目的

在于:评估装备的可靠性工程实施过程中有无通过充分的可靠性试验来发现装备在设计、材料和工艺方面的缺陷,确认装备是否符合可靠性定量要求^[3,7]。

对装备使用可靠性评估与改进过程开展评估的目的在于:评估承制方是否收集了装备使用期间的各项有关数据,对装备的使用可靠性评估,验证其是否满足规定的使用可靠性要求;是否对装备使用过程中暴露的可靠性问题采取改进措施,以提高装备的使用可靠性水平^[3,8]。

上述四个方面又可分解为多个可靠性工作项目,本文在每个可靠性工作项目基础上,进行进一步分解细化,为每个工作项目设置详细的评估点 N_i 个 ($i=1, \dots, 27$),规定每个评估点应提供的支撑材料。装备可靠性工程实施过程量化评估内容如图 1 所示。

图 1 中的内容是作为装备可靠性工程量化评估的通用评估项目,某些评估项目并不适用某些装备类型或被评时的技术状态,评估前应确定装备类型和技术状态,将不适用的评估项目进行剪裁,只保留适用的评估项目。

1.2 分配和计算评估分值

1.2.1 分配评估分值

开展评估工作时,给每个评估点分配的最大分值为 $score_m$ 分,若承制方没提供该评估点的任何评估支撑材料,则为 0 分,若提供了支撑材料,专家可根据该评估点的完成情况在 $0 \sim score_m$ 分范围内打分,此处应细化打分规则。

1.2.2 计算评估得分

假设图 1 中适用于某装备被评时技术状态的量化评估点为 M 个,则该装备本次评估的应得分为 sum_{max} :

$$sum_{max} = M \times score_m \quad (1)$$

假设评估专家组由 N 名专家组成,每位专家根据评估支撑材料对被评装备每个评估点进行打分,评估完成后统计每个专家评分结果 sum_i ($i=1, 2, \dots, N$),再换算为百分制后为每个专家对该装备的评估分值 sum_i^1 :

$$sum_i^1 = \frac{sum_i}{sum_{max}} \times 100 \quad (2)$$

将 N 个专家的评估分值求平均可得到该装备可

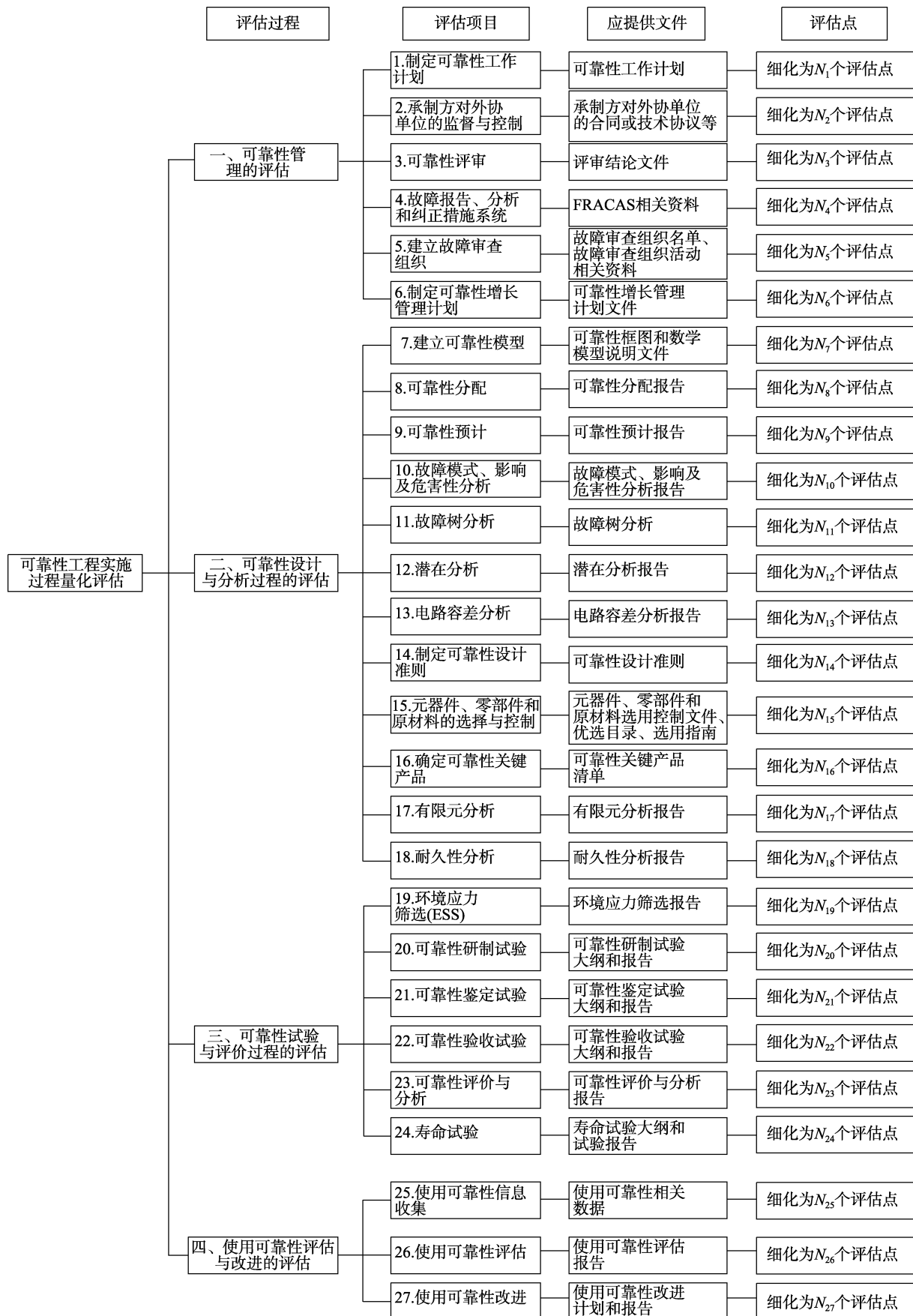


图 1 装备可靠性工程实施过程量化评估内容

Fig.1 Quantitative evaluation content of equipment reliability engineering implementation process

可靠性工程实施过程量化评估结果 sum_{eq} :

$$sum_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^N sum_i^1}{N} \quad (3)$$

1.2.3 划分评估等级

评估完成后可为评估结果划分等级, 评估结果 sum_{eq} 小于 60 分为不合格, 60~70 分为基本合格, 70~80 分为中等, 80~90 分为良好, 90 分以上为优秀。

2 量化评估工作流程

2.1 评估工作的基本要求

在开展可靠性工程实施过程量化评估工作时, 评估机构及评估专业人员开展可靠性工程实施过程评估应当遵守法律、可靠性相关规范的规定, 坚持独立、客观、公正的原则。评估机构及评估专业人员开展可靠性工程实施过程评估时, 应当独立进行分析和估算并形成专业意见, 拒绝委托人或其他相关当事人的干预, 不得直接以预先设定的目标作为评估结论。评估人员应具备相应的可靠性工程实施过程专业知识和实践经验, 能够胜任所开展的评估业务, 保持和提高专业能力, 评估机构执行评估工作缺乏特定的专业知识和经验时, 可采取专家工作等弥补措施^[9-10]。专家组成员中, 被评估装备相关技术专家应不少于 1/3, 可靠性专家应不少于 1/3, 其余部分由评估机构的专业评估人员和其他专家组成。

对被评估装备的可靠性工程实施过程开展评估首先应该对被评装备技术状态进行确认, 再分阶段、分工作项目开展评估工作, 以确保可靠性工程实施过程是按照 GJB 450A《装备可靠性工作通用要求》中规定的要求来进行, 在交付时能够达到规定的可靠性要求。装备可靠性工程实施过程相关资料文件是进行可靠性评估的主要判据, 由被评装备承研承制单位在评估工作前提供, 相关资料文件应当客观、完整和正确^[11]。

2.2 评估工作流程

参考 GB/Z 72《可靠性维修性评审指南》为装备可靠性工程实施过程量化评估工作制定流程: 由被评估方提出评估申请、由评估机构制定评估计划、组织形成评估专家组、召开评估会, 会上剪裁评估项目、评估打分、计算评估结果、出具评估报告、整理归集评估资料。评估工作流程如图 2 所示。

评估开展前, 提出评估申请的单位主管设计(论证)人员应根据相关文件规定的可靠性工作项目和要求向有关业务主管部门提出评估申请, 将该装备评估支撑资料文件提供给上级部门指定的评估机构, 评估机构负责组织和拟定装备可靠性工程评估计划, 并根

据装备类型和状态组建评估专家组。

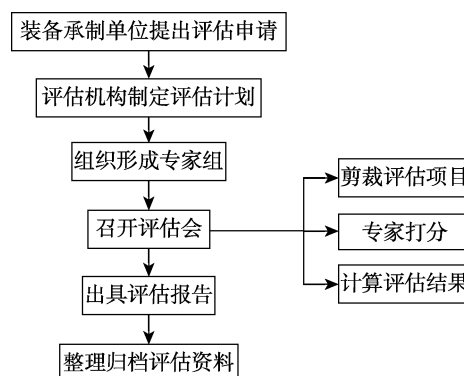


图 2 评估流程

Fig.2 Evaluation process

召开评估会, 评估过程中, 由专家根据装备类型和状态进行评估项目剪裁, 再对装备评估支撑材料进行审查, 按照评分规则进行打分, 评估中产生的技术疑问由装备承研承制单位负责解决, 评估规则疑问由评估机构负责解决, 评估机构负责计算评估结果。

评估完成后, 评估机构负责出具评估报告, 评估报告正文应当包括委托人及其他评估报告使用人、评估目的、评估对象和评估范围、评估依据、评估方法、评估结论等内容。评估机构还应将每次开展可靠性工程实施过程评估的评估申请表、评估记录、评估报告和评估结论按规定进行传递、分发和归档。

3 典型装备评估实践

以某设计鉴定技术状态的导引头为实践对象, 采用上述评估内容、评估规则、基本要求和评估流程为其开展了可靠性工程实施过程量化评估工作。评估前, 先将图 1 中的量化评估点细化为 106 个, 根据该导引头产品类型和状态, 剪裁出可靠性管理、可靠性设计与分析、可靠性试验与评价三个方面共 78 个适用于该导引头的评估点, 每个评估点应得分设置为 10 分, 因此该导引头本次评估应得总分为 780 分。本次评审专家组由 14 位专家组成, 各专家评分结果见表 1。

通过表 1 可知该导引头本次可靠性工程实施过程量化评估得分为 90.28 分, 评估等级为优秀。该结果反映出该导引头的可靠性工程实施现状较好, 但通过本次大部分评估专家的扣分项目也发现该导引头可靠性工程实施过程主要存在以下问题: 1) 未专门制定详细的可靠性工作计划, 将大部分的可靠性工作计划体现在设计文件中, 且当装备研制计划发生调整时, 未及时制定可靠性工作调整计划; 2) 承制单位对外协单位的监督与控制还不够全面和细致, 该导引头某部组件外协到某单位, 导引头承制单位在下发给外协单位的技术协议中未明确对外协单位可靠性工

表 1 某典型装备可靠性工程实施过程量化评估数据

Tab.1 Quantitative evaluation data of typical equipment reliability engineering implementation process

专家序号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#	13#	14#
评估分数	705	704	701	700	699	710	708	711	701	702	705	704	701	708
百分制结果	90.38	90.26	89.87	89.74	89.62	91.03	90.77	91.15	89.87	90.00	90.38	90.26	89.87	90.77
扣分项	①②	①②	①②	①②③	①②③	①②	①②	①②	①②	①②	①②	①②	①②	①②

备注：序号①表示在可靠性评审方面扣分；序号②表示在可靠性设计与分析方面扣分；序号③代表在可靠性试验与评价方面扣分。

作检查的安排和节点，虽实际参与外协件的可靠性试验，对其试验过程进行了监督，却未在技术协议里明确监督要求；3）在制定可靠性评审计划时，未关注计划与研制生产进度的协调性；4）在研制阶段的各类文件均有体现导引头故障处理、分析和纠正措施相关材料，但是没有专门建立故障分析报告，分析和纠正措施系统（FRACAS）；5）在该导引头可靠性与设计分析报告中通过故障树分析产品潜在的硬件、软件的设计缺陷时，分析不够全面和深入。

4 结语

装备的可靠性工程实施成效关系到装备是否能够通过完成一系列的可靠性工作来满足规定的可靠性要求，文中对装备可靠性工程实施过程量化评估内容和评估规则开展研究，明确评估基本要求，制定评估工作流程，并以典型装备为实践对象，对其开展了可靠性工程实施过程量化评估的工作，评估结果更直观地反映了装备可靠性工程实施现状和成效，找出该装备可靠性工程实施过程中存在的问题，也为后续装备的评估工作打下了基础，也可为同类型装备的可靠性工程开展提供改进思路，为装备可靠性提升工作提供了重要的数据支撑。

参考文献：

[1] 王勇. 武器装备可靠性工程研究及发展现状[J]. 卷宗, 2014(7): 390-390, 391.
WANG Yong. Weapon Equipment Reliability Engineering Research and Development Status [J]. Juanzong, 2014 (7): 390-390, 391.

[2] GJB 450A, 装备可靠性通用要求[S].
GJB 450A, General Requirements for Equipment Reliability[S].

[3] 时淑萍, 戴柏林. 浅论装备可靠性工程[J]. 环境技术, 2011, 32(1): 35-39.
SHI Shu-ping, DAI Bo-lin. Discussion on the Equip Reliability Engineering [J]. Environmental Technology, 2011, 32(1): 35-39.

[4] 袁洁. 强化航天型号可靠性工作深入推进航天型号精细化质量管理[J]. 质量与可靠性, 2011(1): 1-4.
YUAN Jie. Strengthening the Reliability of Aerospace Models and Deepening the Refined Quality Management of Aerospace Models [J]. Quality and Reliability, 2011 (1): 1-4.

[5] 孙华, 李瑞, 郭丽霞. 装备研制过程中可靠性管理探析[J]. 装备学院学报, 2012, 23(5): 109-112.
SUN Hua, LI Rui, GUO Li-xia. Analysis on Reliability Management in Equipment Development[J]. Journal of Academy of Equipment, 2012, 23(5): 109-112.

[6] 段志姣. 装备研制过程中的可靠性工作探讨[J]. 国防技术基础, 2010, (7): 24-27.
DUAN Zhi-jiao. Initial Analysis on Reliability Work of Scientific Research and Production[J]. Technology Foundation of National Defence, 2010, (7): 24-27.

[7] 崔侃, 王保顺. 美军装备试验与评估发展[J]. 国防科技, 2012, 33(2): 17-22.
CUI Kan, WANG Bao-shun. U S Military Equipment Test and Development Evaluation[J]. National Defense Science and Technology, 2012, 33(2): 17-22.

[8] 刘正高. 航天质量与可靠性技术的发展趋势简评[J]. 质量与可靠性, 2005(4): 35-38.
LIU Zheng-gao. Brief Comment on the Development Trend of Aerospace Quality and Reliability Technology [J]. Quality and Reliability, 2005(4): 35-38.

[9] 李飞, 王晓亮, 方颖. 舰船建造工艺可靠性设计评审要求与程序[J]. 船舶标准化与质量, 2011(6): 36-40.
LI Fei, WANG Xiao-liang, FANG Ying. Requirements and Procedures for Reliability Design Review of Ship Construction Process [J]. Shipbuilding Standardization & Quality, 2011(6): 36-40.

[10] 王笑. 某产品可靠性维修性保障性评审[J]. 电讯工程, 2006(002): 12-15.
WANG Xiao. Reliability and Maintainability Review of a Product[J]. Telecommunication Engineering, 2006(002): 12-15.

[11] GJB/Z 72, 可靠性维修性评审指南[S].
GJB/Z 72, Reliability Maintainability Assessment Guide [S].