

专题——单兵装备可靠性

单兵信息系统装备可靠性评估方法研究

李鹏杰¹, 王新蕊¹, 司访¹, 李小奇¹, 管小荣²

(1.中国兵器装备集团兵器装备研究所, 北京 102202; 2.南京理工大学, 南京 210094)

摘要: 首先介绍了士兵系统对环境适应性、信息安全、作战适应性、使用寿命等方面的需求, 提出了一种可靠性设计方法, 可有效解决单兵多模块信息系统可靠性评估问题, 大幅提升士兵信息系统的设计效率。同时以典型士兵信息系统为例, 进行了士兵结构可靠性、电气可靠性设计。

关键词: 士兵系统; 信息装备; 结构可靠性; 电气可靠性; 指标分配; 评估方法

中图分类号: TJ01

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2022)06-0001-05

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2022.06.000

Reliability Evaluation Method of Individual Soldier Information System Equipment

LI Peng-jie¹, WANG Xin-rui¹, SI Fang¹, LI Xiao-qi¹, GUAN Xiao-rong²

(1. Ordnance Equipment Research Institute of China Ordnance Equipment Group, Beijing 102202, China;

2. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

ABSTRACT: This paper first introduces the requirements of the soldier system in terms of environmental adaptability, information security, combat adaptability, service life, etc., and proposes a design method for reliability, which can effectively solve the issues on reliability evaluation of the individual multi-module information system, so as to greatly improve the the design efficiency of soldier's information system. Meanwhile, this paper takes the typical soldier's information system as an example to design the structural reliability and electrical reliability of soldiers.

KEY WORDS: soldier system; information equipment; structural reliability; electrical reliability; index assignment; evaluation method

士兵系统一般包括火力打击、侦察探测、指控通联、携行机动、伪装防护、构工克障等能力, 模块众多, 接口体系复杂。因此, 系统信息处理能力和稳定性与元器件可靠性相互依存关系较大。遍布士兵全身的功能模块, 众多的物理接口及繁杂的电气连线、导线没有与服装、头盔一体化集成, 士兵系统普遍存在可靠性差、维修保障困难等问题。

可靠性需求是士兵系统设计的重要需求, 在满足基本功能的前提下, 系统在全寿命周期内应能够保证安全使用且稳定持续运行的需求, 包括恶劣环境、使用需求变化以及系统内部恶化(如长时间运行发热、内存溢出等)情况下, 能够安全且稳定地正常运行。如系统能源不爆炸、不起火需求, 信息安全需求, 环境适应性、作战适应性、使用寿命需求, 软件响应时

收稿日期: 2022-04-29; 修订日期: 2022-06-15

Received: 2022-04-29; Revised: 2022-06-15

作者简介: 李鹏杰(1982—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为士兵装备集成及系统设计。

Biography: LI Peng-jie (1982-), Male, Senior engineer, Research focus: soldier equipment integration and system design.

通讯作者: 管小荣(1979—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向单兵助力外骨骼技术。

Corresponding author: GUAN Xiao-rong (1979-), Male, Doctor, Professor, Research focus: individual assisted exoskeleton technology.

引文格式: 李鹏杰, 王新蕊, 司访, 等. 单兵信息系统装备可靠性评估方法研究[J]. 装备环境工程, 2022, 19(6): 001-005.

LI Peng-jie, WANG Xin-rui, SI Fang, et al. Reliability Evaluation Method of Individual Soldier Information System Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2022, 19(6): 001-005.

间、中断切换重新进入时间、使用流畅度等。

目前,对于装备可靠性方面的研究成为了国内外专家学者的研究热点。郭亮^[1]提出了一种用于电子设备可靠性检测和故障率预测的方法,该方法可以帮助理解电子设备设计、制造过程中影响可靠性的工艺环节。闫俊岑等^[2]提出了一种新颖的可靠性评估方法,该方法可通过加工性能退化数据来估计设备的可靠性水平。该方法引入了最小二乘支持向量机(LS-SVM)来分析设备的性能退化过程,为了提高LS-SVM的回归性能,提出了一种两阶段参数优化和搜索方法,并建立了基于LS-SVM的可靠性评估模型。赵新俊^[3]分析了螺栓连接各种工艺和结构参数不确定性的来源、作用形式和程度,并筛选出了敏感参数,数值计算了不确定参数作用下随机临界横向载荷的分布,通过对概率密度函数进行积分,得到了螺栓连接的可靠性数据。国内外学者对于可靠性分析方法的研究较多,但是对于士兵系统可靠性方面的研究尚处于空白^[4]。本文以士兵系统信息装备为研究对象,研究其可靠性影响因素和评估方法,为士兵系统可靠性设计与评估提供理论支撑^[5]。

1 士兵系统可靠性内涵

士兵系统可靠性指标主要有功能模块之间的连接可靠性和工作稳定性、故障率、寿命、连接支架工作强度、光学器件耐冲击强度、可调节组件调节强度^[6]。士兵系统可靠性设计主要有结构可靠性设计、电气可靠性设计和连接可靠性设计^[7]。

1) 结构可靠性设计。在结构设计方面,主要对于系统中的连接件、受力件、频繁操作使用的结构件进行强度、疲劳性设计分析,保证结构的使用强度^[8]。系统中壳体采用密封性结构设计,提高其环境适应性。对于系统中发热模块,通过电气模块热设计和结构设计结合,减小系统工作时的热损耗及散热效果,提高系统的可靠性^[9]。

2) 电气可靠性设计。在电气设计方面,合理选择、使用元器件、操作系统及软件等,并进行环境适应性筛选,消除早期故障^[10]。在设计过程中,尽可能地简化控制电路,尽量实现集成电路设计,能够用软件实现的功能尽可能地减少硬件电路。各模块采用独立电路保护设计,确保单独模块出现故障时不会导致其他模块失效。

3) 连接可靠性设计。系统连接可靠性方面,选用具有密封性、自锁功能的连接器和耐强拉力的线缆,保证系统连接可靠。一方面,对系统线缆采用隐蔽处理,以模块之间连接线最短为原则,将线缆走线埋入装备内部,穿戴在士兵身上,尽可能避免作战过程中线缆被钩挂,影响系统工作的可靠性^[11]。当线缆由于不可抗外因受到拉扯时,应具备一定的抗拉能

力,保证不会断裂^[12]。另一方面,连接器应具备自锁功能,避免钩挂等外力直接将连接器插拔处断开,同时通过不同多键槽定位方式实现接插件防误插。

4) 信息通联可靠性。信息通联方面,通过将士兵系统中的电台、手机、耳机等模块进行高可靠性通联设计,在其中某一个模块损坏时,能够保证其他模块不受影响,继续保持通联畅通,实现士兵系统中的信息化设备可以降级使用^[13]。

2 士兵系统信息可靠性评估方法

2.1 基本可靠性数学模型

以士兵系统信息系统装备为例,介绍士兵系统装备可靠性评估方法。假定士兵系统信息系统有8个信息化模块,分别为模块1、模块2、模块3、模块4、模块5、模块6、模块7、模块8,则士兵系统信息系统可靠度:

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot R_5 \cdot R_6 \cdot R_7 \cdot R_8 \quad (1)$$

式中: R_i ($i=1, 2, \dots, 8$) 为各模块的可靠度。

2.2 可靠性指标分配

各模块按照研制要求分别进行可靠性分析。首先做概略预计,采取相似产品与评分法结合的方式进行预计^[14-15]。通过有经验的设计人员或专家对影响可靠性的因素进行评分,综合分析评分,进而获得各组成单元之间的可靠性相对比值,再以某一模块的可靠性数据为基准,预计产品中其他单元的可靠性^[16]。

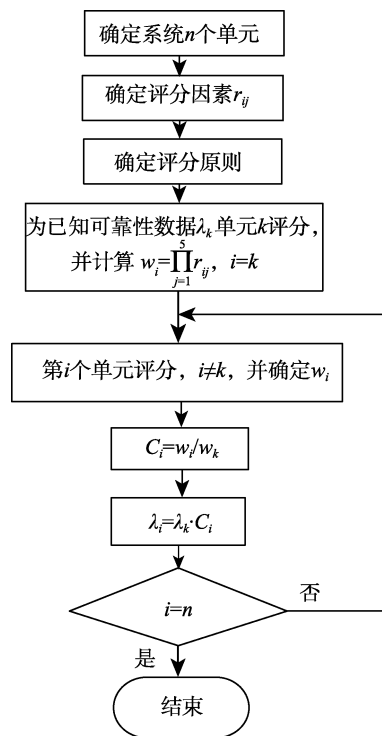


图1 评分预计法流程

Fig.1 Flow chart of scoring prediction method

1) 可靠性分配。已知某 k 单元的故障率为 λ_k , 则其他单元的故障率为 $\lambda_i^{[17]}$:

$$\lambda_i = \lambda_k \times C_i \quad (2)$$

式中: i 为单元数, $i=1, 2, \dots, n$; C_i 为第 i 个单元的故障率系数。

$$C_i = \omega_i / \omega \quad (3)$$

式中: ω_i 为第 i 个单元评分数; ω 为所有工作单元的评分总数。

$$\omega_i = \prod_{j=1}^5 r_{ij} \quad (4)$$

式中: r_{ij} 为第 i 个单元、第 j 个因素的评分数。

2) 考虑因素和评分原则。经过系统分析, 最终确定以下影响系统的 5 种因素: 对任务完成的重要度、系统结构的复杂程度、技术水平成熟度、工作频率和环境对系统的影响程度。各种因素的评分范围为 1~10。

对任务完成的重要度——考虑该系统故障对完成任务造成影响的程度, 影响程度越高, 其重要程度越高, 最高的评 10 分, 最低评 1 分^[18]。

系统结构的复杂程度——根据组成单元的元器件数量以及它们组装的难易程度来评定, 系统复杂程度越高, 越容易引发故障, 越有可能影响任务的完成。因此, 最复杂结构的评 10 分, 最简单的评 1 分。

技术成熟度——根据组成单元目前技术水平的

成熟程度来评定。沿用已有的相似系统的技术, 技术越成熟, 技术水平越高, 相对应的可以对其要求更高的可靠性, 更低的故障率^[19-20]。因此, 技术成熟度最高的评 1 分, 技术成熟度最低的评 10 分。

工作频率——根据组成单元的工作时间来评定。一般来说, 对于固定的故障率, 系统工作时间越长, 其可靠性越低。因此, 系统工作时, 单元一直工作的评 10 分, 工作时间最短的评 1 分。

环境条件——根据组成单元对所处的环境的敏感程度来评定, 对环境要求较高的单元, 工作过程中经受极其恶劣和严酷的环境条件的, 越容易发生故障^[21]。因此, 对环境敏感度最大的单元评 10 分, 而对环境敏感度最小的单元评 1 分^[22]。

3 士兵信息系统可靠性评价

3.1 评分值和评分系数获取

本文以士兵信息系统为例, 采用相似产品法, 以某核心模块 M_1 的可靠性数据为基准, 令信息系统的评分系数为 1, 请了解系统特点的 5 位专家, 分别对士兵信息系统的其他模块的重要度、复杂程度、技术水平、工作时间、工作环境等因素进行评分^[23]。与模块 M_1 进行对比计算, 得到当前系统的其他各模块的可靠性分配指标^[24], 见表 1。

表 1 各模块可靠性指标评分
Tab.1 Reliability index score table of each module

模块名称	重要度	复杂程度	技术水平	工作时间	工作环境	评分值	评分系数
M_1	7	8	8	7	7	21 952	0.133 6
M_2	9	6	8	9	8	31 104	0.189 2
M_3	6	5	8	8	9	17 280	0.105 1
M_4	8	8	7	8	7	25 088	0.152 6
M_5	8	8	7	8	7	25 088	0.152 6
M_6	9	8	7	10	7	35 280	0.214 6
M_7	7	5	5	7	7	8 575	0.052 2
信息系统						164 367	1

3.2 平均故障间隔时间计算

通过测量士兵信息系统各模块的故障率, 计算模块及系统的平均故障间隔时间, 具体数值见表 2。

表 2 各模块可靠性指标评分
Tab.2 Reliability index score table of each module

模块名称	故障率	t_{mtbf}/h
M_1	0.000 431	2 322
M_2	0.001 111	900
M_3	0.000 667	1 500
M_4	0.000 833	1 200
M_5	0.000 781	1 280
M_6	0.000 833	1 200
M_7	0.000 511	1 959

根据系统可靠性建模中的数学串联模型, 针对系统电子装备平均故障间隔时间 (t_{mtbf}), 按照公式

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_{mtbf_i}}, \text{ 经计算得 } t_{mtbf} = 303 \text{ h.}$$

4 结语

现代电子装备的复杂程度和集成度日益提高, 士兵系统通常工作在恶劣的自然环境和电磁环境中, 对于系统可靠性要求较高。本文以士兵信息系统为例, 通过分析信息系统的结构、电气、连接、通联等方面的可靠性, 提出了一种针对士兵信息系统的可靠性评估方法, 并结合典型士兵系统进行了可靠性分析, 研

究结果可为士兵系统信息系统可靠性设计提供理论支撑。

参考文献:

- [1] 郭亮. 单兵信息化系统及应用研究[D]. 昆明: 云南大学, 2012.
Zhang Xiaode.. Research on Individual Soldier Information System and Application[D]. Kunming: Yunnan University, 2012.
- [2] 闫俊岑, 石利霞. 高低温环境下的微光瞄具可靠性试验系统方案研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2012, 35(2): 64-66.
YAN Jun-cen, SHI Li-xia. Research of Reliability of Detection System Solutions under High and Low Temperature Environments Low-Light Sights[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2012, 35(2): 64-66.
- [3] 赵新俊. 士兵系统综合性能评价模型研究[D]. 北京: 解放军装甲兵工程学院, 1997.
Lin Qingyuan. Research on the Comprehensive Performance Evaluation Model of Soldier System[D]. Beijing: PLA Armored Forces Engineering College, 1997.
- [4] 刘松. 武器系统可靠性工程手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1992.
LIU Song. Weapon System Reliability Engineering Manual[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1992.
- [5] 孔晓健, 邹鹏, 周士兵, 等. 用于线阵探测器可靠性筛选的像元辐射响应标定方法: CN105547484B[P]. 2018-07-03.
KONG Xiao-jian, ZOU Peng, ZHOU Shi-bing, et al. Pixel Radiation Response Calibration Method for Reliability Screening of Linear Array Detector: CN105547484B[P]. 2018-07-03.
- [6] 任智源, 肖尧, 郭凯, 等. 适应低时延业务需求的分布式可穿戴单兵作战信息系统[J]. 国防科技大学学报, 2018, 40(4): 159-165.
REN Zhi-yuan, XIAO Yao, GUO Kai, et al. Distributed Wearable Individual Soldier Combat Information System for Low-Latency Business[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2018, 40(4): 159-165.
- [7] 曹炜. 某自动步枪典型故障可靠性分析及研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2018.
CAO Wei. Reliability Analysis and Research on Typical Failures of an Automatic Rifle[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2018.
- [8] 曹晓东. 从“陆地勇士”到“地面士兵系统”美军士兵系统发展浅析[J]. 现代军事, 2010(5): 50-54.
CAO Xiao-dong. From “Land Warrior” to “Ground Soldier System” the Development of US Soldier System[J]. Conmilit, 2010(5): 50-54.
- [9] 苏喜生, 胡安胜. 虚拟现实技术在士兵系统研制中的应用[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(S2): 350-351.
SU Xi-sheng, HU An-sheng. The Applications of Virtual Reality in Development of Soldier System[J]. Acta Simulata Systematica Sinica, 2001, 13(S2): 350-351.
- [10] 共田. 美军士兵系统发展综述[J]. 轻兵器, 2002(7): 7-9.
GONG Tian. A Review of the Development of the US Soldier System[J]. Small Arms, 2002(7): 7-9.
- [11] 杜木. 21世纪士兵系统的研究热潮正在兴起[J]. 现代兵器, 1997(1): 7-9.
DU Mu. The Research Upsurge of the Soldier System in the 21st Century is on the Rise[J]. Modern Weaponry, 1997(1): 7-9.
- [12] 刘国树. 未来士兵系统及其在高技术战争中的作用[J]. 现代军事, 2000(4): 42-43.
LIU Guo-shu. Future Soldier System and Its Role in High-Tech War[J]. Conmilit, 2000(4): 42-43.
- [13] 孙文, 马绍禄, 彭七四, 王南. 超级战士的行头——智能化士兵系统[J]. 国防, 2004(12): 49-51.
SUN Wen, MA Shao-lu, PENG Qi-si, et al. Outfits of Super Soldiers—Intelligent Soldier System[J]. National Defense, 2004(12): 49-51.
- [14] 小开. 法国萨吉姆公司为法国陆军升级 FELIN 士兵系统[J]. 轻兵器, 2015(18): 47.
XIAO Kai. French Sagem Company Upgrades FELIN Soldier System for French Army[J]. Small Arms, 2015(18): 47.
- [15] 谭晓通. 信息化条件下士兵系统在我国研发及列装展望[J]. 中国兵工学报, 2010(18): 21.
TAN Xiao-tong. Prospects for the Development and Deployment of Soldier Systems in My Country under the Condition of Informatization[J]. Chinese Academy of Ordnance Engineering, 2010(18): 21.
- [16] 谢婧. 印度国防部批准 F—INSAS 士兵系统项目[J]. 轻兵器, 2007(4): 50.
XIE Jing. Indian Ministry of Defense Approves F-INSAS Soldier System Project[J]. Small Arms, 2007(4): 50.
- [17] 陈亚来. 美军士兵系统再度“变脸”[J]. 现代军事, 2005(2): 21-25.
CHEN Ya-lai. The US Soldier System “Changes Its Face” Again[J]. Conmilit, 2005(2): 21-25.
- [18] 陈亚来. 外军士兵系统综述之二——美军“勇士”士兵系统(下)[J]. 现代军事, 2002(7): 47-49.
CHEN Ya-lai. The Second General Review of Foreign Soldiers: The “Warrior” Soldier System of the U.S. Army (Part II)[J]. Conmilit, 2002(7): 47-49.
- [19] 陈亚来. 外军士兵系统综述之一——美军“勇士”士兵系统(上)[J]. 现代军事, 2002(6): 35-37.
CHEN Ya-lai. One of the Systematic Reviews of Foreign

- Soldiers—The “Warrior” Soldier System of the US Army (Part 1)[J]. *Conmilit*, 2002(6): 35-37.
- [20] 刘葆利. 国外士兵系统仿真概况[J]. *现代轻武器*, 1999(5): 3.
- LIU Bao-li. Overview of Foreign Soldier System Simulation[J]. *Modern Light Weapons*, 1999(5): 3.
- [21] 双金. 澳大利亚陆军接收士兵系统的新型装备[J]. *轻兵器*, 2015(21): 16.
- SHUANG Jin. The New Equipment of the Australian Army’s Receiving Soldier System[J]. *Small Arms*, 2015(21): 16.
- [22] 觅海. 德国正在研制第三代 IdZ 士兵系统[J]. *轻兵器*, 2015(18): 37.
- MI Hai. Germany is Developing the Third-Generation IdZ Soldier System[J]. *Small Arms*, 2015(18): 37.
- [23] 孙耀峰. 渐进发展: 法国/德国/英国士兵系统最新跟进[J]. *轻兵器*, 2013(3): 10-15.
- SUN Yao-feng. Progressive Development: The Latest Follow-up of French/German/British Soldier System[J]. *Small Arms*, 2013(3): 10-15.
- [24] 共田. 西方国家积极开展士兵系统研究[J]. *轻兵器*, 2002(8): 12-14.
- GONG Tian. Western Countries Actively Carry out Research on Soldier Systems[J]. *Small Arms*, 2002(8): 12-14.

责任编辑: 刘世忠