

装备研制项目可靠性风险预警技术研究

李勘

(海军大连舰艇学院 科研部, 辽宁 大连 116018)

摘要: **目的** 研究装备研制项目可靠性风险预警技术及应用。**方法** 从可靠性风险预警技术对装备研制项目整体质量的影响度出发,对装备研制项目可靠性风险进行特征归类,分析现有装备研制项目可靠性风险预警流程的局限性。**结果** 提出了装备研制项目可靠性风险预警机构的组织管理和权限建议,引入风险阈值理论优化了装备研制项目险预警流程,并给出优化流程中不同风险分析子集的模式应用情景。**结论** 研究提出的装备研制项目可靠性风险预警体系框架和分析模型,可为可靠性风险预警实践提供理论支撑。

关键词: 装备研制; 可靠性; 风险预警

DOI:10.7643/issn.1672-9242.2014.04.025

中图分类号: E241 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)04-0125-06

Research on Pre-warning Technology for Reliability Risk of Equipment Research Project

LI Kan

(Department of Scientific Research, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

ABSTRACT: Objective To study the pre-warning technology for reliability risk of equipment research project and its application. **Methods** Starting from the influence of pre-warning technology for reliability risk on the whole quality of equipment research project, this paper classified the reliability risk of equipment research project based on characteristics, and analyzed the limitations of the current pre-warning process for reliability risk of equipment research project as well. **Results** This paper proposed the organization management of pre-warning provider for reliability risk and limits of authority, and introduced the risk threshold theory to optimize the pre-warning process of risk for equipment research project, and suggested the model application of different risk analysis subset in the optimization process. **Conclusion** The architecture framework and analysis model of pre-warning system for reliability risk of equipment research project proposed in this research could provide theoretical support for pre-warning technology for reliability risk in practice.

KEY WORDS: equipment research project; reliability; risk pre-warning

收稿日期: 2014-04-10; 修订日期: 2014-04-16

Received: 2014-04-10; Revised: 2014-04-16

作者简介: 李勘(1969—),男,辽宁沈阳人,博士,副研究员,主要研究方向为武器装备研制的风险管理。

Biography: LI Kan(1969—), Male, from Shenyang, Liaoning, Ph. D., Associate researcher, Research focus: risk management of weapon and equipment development.

装备(特指武器装备)研制涉及的军方、科研院所和工业部门多,它集高精尖、高投入、高密级和海量关联数据于一体,流程多、协调整合难度大,在装备研制的整个生命周期中,每个阶段都存在着不同的风险,为此在装备研制中引入可靠性这一概念。装备研制项目可靠性是指在计划的时间内和确定的条件下无故障完成装备研制任务的概率,用于描述研制的可靠性水平。可靠性风险不仅制约着项目可靠性的提升,更直接影响着装备研制项目的整体质量甚至是成败^[1]。为此,对装备研制项目可靠性风险加以研究,探寻装备研制项目可靠性风险预警新技术,及时发现装备研制过程中的潜在风险,采取相应的预控、规避、转移或承担等应对措施,进一步提高装备研制项目的成功率。

目前,我国对装备研制项目可靠性风险预警技术的研究还不成体系,国际上也缺少成熟的理论模型和专用工具。文中在已有的可靠性风险研究成果基础上,探寻针对装备研制项目可靠性风险的预警技术,完善装备研制项目可靠性风险预警技术的理论体系和实用模型。

1 风险分析

装备研制项目可靠性风险具有风险因素多、产生频率高、风险危害大、克服难度大的特点,建立和完善装备研制项目可靠性风险预警体系,提高预警的针对性和精确度尤为必要。装备研制过程中可能出现的项目风险已被业内专家归纳为4大类共19种,这里按照可靠性的概念指向性进行整合,可以将装备研制项目可靠性风险归结为以下3个方面^[2-3]:

1.1 技术风险

技术风险是指研制项目在规定时间内,一定的经费保障条件下达不到战术技术指标要求的可能性,或者说研制计划的某个部分出现意想不到的结果,从而对整个系统效能产生有害影响的可能性及后果。影响技术风险的主要因素有武器装备性能先进程度、武器装备自主创新程度、武器装备技术复杂程度、研制人员的科研能力、武器装备技术实施环境和武器装备技术的成熟度。在武器装备研制项目中,许多技术风险往往都是由于对新系统和新设备提出了多项前所未有的性能要求造成的,设计人员

和研制单位为实现具有综合目的、能达到理想性能水平的有效设计,每一项设计要求都可能成为一个风险源。

1.2 管理风险

管理风险是指在武器装备研制过程中由于计划、组织、协调、控制不当造成费用增多、进度延长、性能下降的后果。影响管理风险的主要因素有项目领导人员的决策水平、项目组织的激励体制、研制项目群的协调能力、项目组织后的勤保障能力、研制项目进度的合理程度、组织对项目各种资源的整合能力、项目团队人员的变动情况等。武器装备的研制过程是高度复杂的管理过程,协作面广、涉及单位多、参与人员多,需要严格周密的科学管理才能保证研制工作的顺利进行。装备研制项目可靠性风险预警是项目管理工作的重要方面,因任何一项管理不足都可能使得装备研制不能在规定的时间内完成,研究经费大大超过预算,甚至导致项目的失败。

1.3 条件风险

条件风险是指在装备研制项目开展的过程中,各参研单位为其提供的实验环境、设施设备、人力资源和经费保障不够充分,从不同方面阻碍了项目正常有序的开展,这类外部条件的风险直接影响着装备研制项目可靠性^[4-6]。影响条件风险的主要因素集中在研制费用方面,研制费用需求的不确定性越大,就越会导致武器装备研制项目绩效达不到预期目标。当项目需要增加投资时,或者项目预算不能满足要求时,保障和追加投资的能力低也会导致武器装备研制项目绩效达不到预期目标。资金在全寿命周期中分配、使用上的不确定性高,同样会导致武器装备研制项目绩效达不到预期目标^[7]。

2 风险预警体系的建立和运用

基于对装备研制项目可靠性风险种类和产生原因分析的基础上,从可靠性风险自身特点出发,选择合适的风险预警技术,明确装备研制项目可靠性风险的组织管理、预警流程和模型应用。

2.1 组织管理

装备研制项目可靠性风险预警管理应须设立风

险预警机构。风险预警机构职能是风险监测、发布预警消息、临时叫停项目,保障装备研制项目的安全性,维护装备研制团队和军方双方的利益^[8-10]。在决策层、总师单位、配套单位和一般项目组中建立多级风险预警部门,完全独立于各级行政和技术管理组织,具有自主权,可以协调军代表与装备研制团队,并根据军代表的要求制定相应的可靠性风险预警指标。在设计和装备研制过程中,保持实时监控和风险监测,机构内部能够信息畅通,人员权限清晰,能够实时将风险系数反馈给设计和执行部门。发现可靠性风险达到或超过预警指标时,立即执行预案或叫停项目,并建议决策层安排相关专业人员加入方案改进小组提供专业意见。为保证风险预警机构的权力不被滥用或者不作为,还必须在风险预警机构内部建立完善的风险权限体系,每一级的风险预警部门都有自己的权限范围,如果超过权限范围,向上级主管部门汇报情况后由上级部门决定。风险预警机构权限和风险预警等级见表 1。

表 1 风险预警机构权限和风险预警等级对照

Table 1 Limitation of risk pre-warning agency and level of risk pre-warning

风险等级	对应风险预警部门	建议措施
极高风险	风险预警总负责人	不可接受的风险;暂停项目,将预警信息通报给订购方,重新进行项目可靠性工作方案设计。
高风险	风险预警部门高层	不可接受的风险;暂停项目,将预警信息通报给可靠性工作部门高层,改善项目可靠性工作方案,同时报备风险预警总负责人。
中等风险	风险预警部门中层	不可接受的风险;保持实时监控,将预警信息通报给可靠性工作部门中层,改善项目可靠性工作方案,同时报备风险预警部门高层。
低风险	风险预警部门基层	可接受的风险;保持实时监控,将预警信息通报给可靠性工作部门基层,同时报备风险预警部门中层。

2.2 流程优化

装备研制项目可靠性风险的预警流程是预警体

系中的重要组成部分,风险预警流程是否合理将直接影响可靠性风险预警体系的实用性和有效性。当前装备研制项目可靠性风险预警流程还习惯于“回溯型”的管理模式(如图 1 所示),应对风险时往往处于被动,在重大研制项目预警中往往应对不及,威胁到整个装备研制项目的安全。为了避免这个弊端,在综合分析和实践纠偏的基础上改进风险预警流程(如图 2 所示)。首先建立风险分析指标体系,对装备研制项目可靠性风险进行全面评估,之后设立项目可靠性风险阈值,当可靠性风险的综合风险度超过阈值时立即采取风险处理措施,重新进行各项指标风险分析。如果综合风险度在阈值下,则进入到下一个阶段,再次重复风险预警流程,直至项目完成。通过这种及时评估、及时反馈、及时调整的机制,可以在第一时间发现潜在的可靠性风险,在风险刚刚发生时采取有效解决措施,避免风险的进一步提升,确保装备研制项目在低风险的情况下开展^[11-12]。

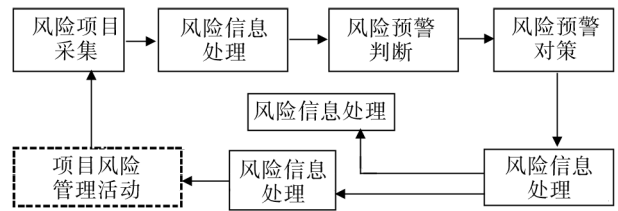


图 1 “回溯型”风险预警管理流程

Fig. 1 Backtracking risk pre-warning management process

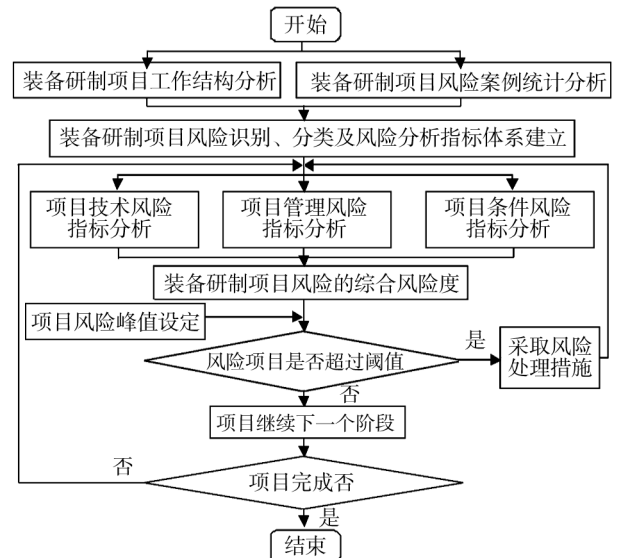


图 2 新型风险预警管理流程

Fig. 2 New risk pre-warning management process

2.3 风险分析子集的适应性模型情景分析

基于装备研制项目可靠性的概念属性和流程优化后的风险分析子集特性,必须将项目技术风险、管理风险、条件风险子集分析和综合风险度的确定作为预警的核心。风险分析领域中有许多种类的分析评估方法,都有各自的适应性。在建立一个可靠性风险预警技术模型的时候,如果风险分析评估方法不匹配,会将缺陷无限放大,不利于实现风险预警目标,因此确定各风险分析子集的适应性模型尤为重要。文中充分考虑各种风险分析评估方法,经过对数理理论、统计分析、计算机模拟三大类 14 种典型模型的对比分析和验证,为了得到一个相对准确的综合风险度预警信息,现建立如下模型应用情景^[13-14]。

1) 基于 Topsis 评价法的预警技术模型应用于项目技术指标风险子集分析。TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 评价法是有限方案多目标决策分析的一种科学方法,其基本原理是在基于归一化后的原始矩阵中,找出有限方案中的最优方案和最劣方案(分别用最优向量和最劣向量表示),然后分别计算出评价对象与最优方案和最劣方案间的距离,获得该评价对象与最优方案的相对接近程度,以此作为评价优劣的依据。其基本模型为:

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (1)$$

式中: D_i^- 为评价方案到最劣方案间的距离; D_i^+ 为评价方案到最优方案间的距离; C_i 为样本点到最优样本点的相对接近度; $C_i \rightarrow 1$ 时,评价方案越接近于最优方案。TOPSIS 评价法方法简单、排序明确,能充分利用原始数据信息,排序结果能定量反映不同技术性能指标的优劣程度,直观、可靠,与项目技术性能风险评价的适应性良好。

2) 基于集对分析评价法的预警技术模型应用于项目管理风险子集分析。集对分析是把不确定性与确定性作为一个系统来加以研究,根据项目进度 W 的需要对集对 H 的特性展开分析,共得到 N 个特性,其中有 S 个为集对 H 中的 2 个集合所共有,这两个集合在其中 P 个特性上相对立,在其余的 $F = N - S - P$ 个特性上既不对立,又不统一,即其性质不确定,则称比值: S/N 为这两个集合在问题 W 下的同一

度, F/N 为这两个集合在问题 W 下的差异度, P/N 为这两个集合在问题 W 下的对立度。这样建立起在制定问题背景下的一个联系度表达式:

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (2)$$

式中: N 表示集对特性总数; S 表示集对相同的特性数; P 表示集对中相反的特性数; F 表示集对中既不相同又不相反的特性数, $F = N - S - P$; i 表示差异度标示数, $i \in [-1, 1]$; j 表示对立度标示数,一般 $j = -1$ 。其决策思路是取“理想方案”与可行方案为一集合对子,对这集合对子做同异反决策分析,寻找与“理想方案”最近的那个方案,从而给出项目进度可行性方案的优劣排序。集对分析法能有效地刻画确定不确定系统的对立统一关系,评价结果直观、准确可靠、信息利用率高^[15],与决策水平、激励体制、协调能力、后勤保障、项目进度、资源整合、人员变动情况等项目管理风险评价适应性良好。

3) 基于模糊评价法的预警技术模型应用于项目条件风险子集分析。模糊评价法利用数学方法将模糊信息定量化分析,可以更加科学化和准确化地对费用风险性进行分析评估,得出的预警信息较为科学和准确,其基本原理是首先确定可靠性风险因素(指标)集 $U = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ 和评价集 $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$,其中 x_i 为各单项指标, v_i 为对 x_i 的评价等级层次,一般可分为 5 个等级(好、较好、一般、较差、差),再确定权重及隶属度向量,获得模糊评判矩阵,最后把模糊评判矩阵与因素的权重集进行模糊运算并进行归一化,得到模糊评价综合结果。装备研制的实验环境、设施设备、人力资源和经费保障等因素的标准界定相对模糊,影响因子多,而模糊评价模型就适用于不是绝对肯定或绝对否定的模糊风险因素的预警,与项目条件风险评价的适应性良好。

4) 基于功效系数法的预警技术模型应用于综合风险度的确定。功效系数法是综合评价及多目标决策的一种有效方法。用该法根据综合风险度目标规划,首先确定各类指标的满意值与不允许值,然后以满意值为上限,以不允许值为下限,计算各指标的满意程度,并转化为相应的评价分数即功效系数,再对各指标的功效系数按其权数经加权几何平均得出综合评价分数,对综合风险度的状况做出评估。综合功效分数越大,表明综合风险度越低,其数学模型为:

$$d_i = \frac{X_i - X_{si}}{X_{hi} - X_{si}} * 40 + 60 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$D = \prod_i^n d_i^{p_i} \quad (4)$$

式中: d_i 表示第*i*个指标的功效系数; D 表示评价对象的综合功效系数; X_i, X_{si}, X_{hi} 分别表示某指标的实际值、不允许值及满意值; p_i 表示某指标的权重。功效系数法是按人们习惯的百分制评分方法给出百分制的综合分数,含意明确,易于理解,评价指标的选择没有较大的限制,强相关联的指标也适应,对指标的处理保持了方向的一致性,不需要将逆向指标转向,并且灵敏度高,与研制项目综合风险度评价的适应性良好。

3 结语

防范装备研制项目可靠性风险需要风险预警系统的建立和完善,只有规范了风险预警系统的组织管理,完善了预警流程,综合选择基于不同分析方法的风险预警技术模型,才能提高风险预警的可靠性、及时性、准确性,帮助装备研制项目降低可靠性风险,进一步提高装备研制项目的成功率。

参考文献:

- [1] 符志民. 装备研制可靠性工作项目风险管理体系创建[J]. 项目管理技术, 2009, 7(7): 13—16.
FU Zhi-min. Construction on the Risk of Reliability Programs for Equipment Research and Development[J]. Project Management Technology, 2009, 7(7): 13—16.
- [2] 李勤. 武器装备研制项目风险管理研究[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
LI Kan. Research on Risk Management of Equipment Research and Development[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011.
- [3] GJB 5852—2006, 装备研制风险分析要求[S].
GJB 5852—2006, Risk Analysis Requirement of Equipment Research and Development[S].
- [4] 杨敏, 褚恒之. 装备研制可靠性工作项目风险评估综合模型[J]. 项目管理技术, 2009, 7(7): 32—37.
YANG Min, ZHU Heng-zhi. Comprehensive Evaluating Model of Reliability Programs for Equipment Research and Development[J]. Project Management Technology, 2009, 7(7): 32—37.
- [5] 常文兵, 关子明, 何益海. 基于 QFD 的装备研制可靠性

工作项目风险模糊综合评估[J]. 项目管理技术, 2009, 7(7): 45—48.

CHANG Wen-bing, GUAN Zi-ming, HE Yi-hai. Fuzzy Evaluation on the Risk of Reliability Programs for Equipment Research and Development based on QFD[J]. Project Management Technology, 2009, 7(7): 45—48.

- [6] JULIANA Y, HEATHER M. Comparison of Country Risk Models: Hybridneural Networks, Logit models, Discriminant Analysis and Cluster Techniques[J]. Expert Systems with Applications, 2005, 28: 137—148.
- [7] 吕建伟. 装备研制的风险管理方法探讨[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(5): 8—10.
LYU Jian-wei. Study on Risk Management in Weapon System Development[J]. System Engineering and Electronics, 2002, 24(5): 8—10.
- [8] WILLIAMS T M. Safety Regulation Changes during Projects: The Use of System Dynamics to Quantify the Effects of Change[J]. International Journal of Project Management, 2000, 18(1): 23—31.
- [9] 余冬云, 李小将. 装备研制风险管理综述[J]. 人力资源管理, 2013, (7): 248—250.
YU Dong-yun, LI Xiao-jiang. Risk Management of Equipment Research and Development[J]. Human Resource Management, 2013(7): 248—250.
- [10] NORMAN E F, MARTIN N. Using Ranked Nodes to Model Qualitative Judgments in Bayesian Networks[J]. IEEE Transactions On Knowledge And Data Engineering, 2007, 19(10): 1420—1432.
- [11] 惠宝聚, 杨茂胜. 基于可靠性为中心的航空保障系统特种装置维修决策研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 116—120.
HUI Bao-ju, YANG Mao-sheng. Research on RCM-based Maintenance Decision Making for Special Equipment of the Aircraft Guarantee System[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(1): 116—120.
- [12] 高社生, 张铃霞. 可靠性理论与工程应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 78—159.
GAO She-sheng, ZHANG Ling-xia. Reliability Theory and Engineering Application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002: 78—159.
- [13] 王洪波, 宋国良. 风险预警机制[M]. 北京: 经济管理出版社, 2002.
WANG Hong-bo, SONG Guo-liang. Risk Early-warning Mechanism[M]. Beijing: Economy Publishing House, 2002.
- [14] 王德言, 张建国. 环境试验与可靠性试验技术的发展

[J]. 装备环境工程, 2005, 2(5): 10—13.

WANG De-yan, ZHANG Jian-guo. Development of Environmental Test and Reliability Test Techniques [J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(5): 10—13.

[15] 邓林, 邓明, 张成伟, 等. 有源相控阵可靠性分析及设

计[J]. 装备环境工程, 2012, 9(2): 21—24.

DENG Lin, DENG Ming, ZHANG Cheng-wei, et al. Reliable Analysis and Design for Active Phased Array [J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(2): 21—24.

(上接第 101 页)

[5] NAGE D D, RAJA V S. Effect of Nitrogen Addition on the Stress Corrosion Cracking Behavior of 904L Stainless Steel Welds in 288 °C Deaerated Water [J]. Corrosion Science, 2006, 48: 2317—2331.

[6] MOAYED M H, NEWMAN R C. Deterioration in Critical Pitting Temperature of 904L Stainless Steel by Addition of Sulfate Ions [J]. Corrosion Science, 2006, 48: 3513—3530.

[7] 曾洪涛, 向嵩, 刘松林, 等. 904L 不锈钢在氢氟酸和浓硫酸混合液中的腐蚀行为 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2013, 33(3): 182—187.

ZENG Hong-tao, XIANG Song, LIU Song-lin, et al. Corrosion Behaviors of 904L Austenite Stainless Steel in Concentrated Sulfuric Acid Containing Hydrofluoric Acid [J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2013, 33(3): 182—187.

[8] BELLAOUCHOU A, KABKAB B, GUENBOUR A, et al. Corrosion Inhibition under Heat Transfer of 904L Stainless Steel in Phosphoric Acid by Benzotriazole [J]. Progress in Organic Coatings, 2001, 41: 121—127.

[9] GUO L Q, BAI Y, XU B Z, et al. Effect of Hydrogen on Pitting Susceptibility of 2507 Duplex Stainless Steel [J]. Corrosion Science, 2013, 70: 140—144.

[10] SATHIRACHINDA N, PETERSSON R, WESSMAN S, et al. Scanning Kelvin Probe Force Microscopy Study of Chromium Nitrides in 2507 Super Duplex Stainless Steel—Implications and Limitations [J]. Electrochimica Acta, 2011, 56: 1792—1798.

[11] 王文英, 周勇, 熊金平. 不锈钢在己内酰胺溶液中腐蚀行为的研究 [J]. 电镀与精饰, 2013, 35(12): 39—43.

WANG Wen-ying, ZHOU Yong, XIONG Jin-ping. Corrosion Behaviors of Stainless Steels in Caprolactam Solution by Electrochemical Methods [J]. Plating and Finishing, 2013, 35(12): 39—43.

[12] GB/T 16545—1996, 金属和合金的腐蚀 腐蚀试样上腐蚀产物的清除 [S].

GB/T 16545—1996, Corrosion of Metals and Alloys—Removal of Corrosion Products from Corrosion Test Specimens [S].

[13] GB/T 17899—1999, 不锈钢点蚀电位测量方法 [S]. GB/T 17899—1999, Method of Pitting Potential Measurement for Stainless Steel [S].

[14] WINSTON R R. Uhlig's Corrosion Handbook [M]. Third Edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2011.

[15] RICHARDSON T J A. Shreir's Corrosion [M]. Fourth Edition. Amsterdam: Elsevier Science, 2010.

(上接第 119 页)

[13] 装备运用与试验教研室. 坦克驾驶训练 [M]. 北京: 装甲兵工程学院, 2013.

Equipment Application and Trial Staff Room. Tank Driving Training [M]. Beijing: Academy of Armored Force Engineering, 2013.

[14] 张均享. 高机动性运载车辆动力系统 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2000.

ZHANG Jun-xiang. High Mobility Launch Vehicle Dynamic System [M]. Beijing: China Science and Technology

Publishing House, 2000.

[15] 董翔英, 谢鑫鹏, 于战果, 等. 柴油发动机寿命实时预测系统的设计与实现 [J]. 中国工程机械学报, 2008(4): 479—483.

DONG Xiang-ying, XIE Xin-peng, YU Zhan-guo, et al. Design and Implementation on Real-time Life-cycle Prediction System for Diesel Engines [J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2008(4): 479—483.