

doi: 10.7690/bgzdh.2025.06.003

基于改进风险优先数的装备配套产品监管范围研究

崔旭¹, 邓智昌¹, 朱庆伟¹, 卢阳², 陈佳利¹, 武官帅¹

(1. 陆军装备部驻包头地区第一军事代表室, 内蒙古 包头 014030;

2. 陆军装备部驻沈阳地区军事代表局, 沈阳 110015)

摘要: 为提升装备配套产品监管范围和配套产品验收范围划分的科学性, 建立适用于评价配套产品质量风险的改进风险优先数评价模型。给出模型中影响因素的评价准则并研究影响因素权重因子的获得方法; 以装甲装备为例, 对典型配套产品及典型质量特性风险优先数进行计算, 并列出监管范围调整建议和配套产品验收内容调整建议。结果表明, 该方法可为军方开展大型复杂武器装备的监管工作提供参考。

关键词: 风险优先数; 监管范围; 影响因素; 武器装备

中图分类号: TJ06; E257 **文献标志码:** A

Research on Supervision Scope of Equipment Accessory Products
Based on Improved Risk Priority NumberCui Xu¹, Deng Zhichang¹, Zhu Qingwei¹, Lu Yang², Chen Jiali¹, Wu Guanshuai¹

(1. No. 1 Military Representative Office of Army Equipment Department in Baotou District, Baotou 014030, China;

2. Military Representative Bureau in Shenyang District of Army Equipment Department, Shenyang 110015, China)

Abstract: In order to improve the scientificity of the division of supervision scope and acceptance scope of equipment accessory products, an improved risk priority number evaluation model suitable for evaluating the quality risk of accessory products is established, the evaluation criteria of the influencing factors in the model are given, and the method for obtaining the weight factors of the influencing factors is studied. Taking armored equipment as an example, the risk priority number of typical supporting products and typical quality characteristics is calculated, and the adjustment suggestions of supervision scope and acceptance content of supporting products are listed. The results show that this method can provide a reference for the military to carry out the supervision of large and complex weapons and equipment.

Keywords: risk priority number; scope of supervision; influencing factors; weapons and equipment

0 引言

为保证武器装备的高质量水平, 订购方通常会建立覆盖大型复杂武器装备整机和主要配套承制单位的监管体系^[1-3], 但是随着装备建设加速和生产过程的日益复杂, 人力资源不足矛盾凸显。

当前, 配套产品监管范围和质量特性验收范围主要依靠经验划定, 存在主观性过强问题, 可考虑通过量化评价来指导调减风险较小的监管和验收项目; 但很少针对配套产品和质量特性风险开展量化研究。对此, 笔者提出了改进风险优先数模型, 并对典型装备监管和验收范围开展了研究。

1 改进的风险优先数方法

目前, 常以风险优先数(risk priority number, RPN)量化零部件或其质量特性的风险:

$$RPN=S \cdot O \cdot D. \quad (1)$$

式中: S 为影响严酷度等级; O 为故障发生概率等

级; D 为故障检测难度等级。

实践中, 这 3 种因素对风险的影响程度并不一致, 笔者引入影响因素的权重因子 $\omega=[\omega_1, \omega_2, \omega_3]$, 则配套产品风险优先数进一步表达为:

$$RPN=S^{\omega_1} \cdot O^{\omega_2} \cdot D^{\omega_3}. \quad (2)$$

针对配套产品实际, 3 种影响因素可描述为:

- 1) 影响严酷度等级(S): 指配套产品出现故障后可能引起后果的严重程度, 越严重越应监管。
- 2) 发生概率等级(O): 指配套产品在整机生产过程中发生故障的概率, 概率越高越应监管。
- 3) 检测难度等级(D): 指配套产品故障在整机生产过程中检测出的难易程度, 越难则越应监管。

2 参数获得方法

2.1 影响因素量化评价准则

参考 GJB/Z 1391-2006, 建立影响因素的 5 分制评分准则, 如表 1—3 所示^[4]。

收稿日期: 2024-08-10; 修回日期: 2024-09-14

基金项目: 军队科研计划项目(LJ20232B030100)

第一作者: 崔旭(1987—), 男, 内蒙古人, 硕士。

表 1 失效影响严酷度(S)评价准则

严酷度	后果描述	记分
灾难	造成人员死亡或严重伤害、装备毁坏或其他严重损失的	5
致命	造成装备严重损坏、任务失败或其他重大损失的	4
中等	造成装备中等程度损坏、任务延误降级或其他中等程度损失的	3
轻度	造成产品轻度损坏或其他轻度损失的,但会导致非计划性维修	2
轻微	不足以导致装备损坏的、故障可现场排除的	1

表 2 失效概率等级(O)评价准则

失效概率	发生概率特征/%	记分
极高	≥10	5
较高	1~10	4
中	0.1~1	3
低	0.01~0.1	2
稀少	≤0.01 或从未发生	1

表 3 检测难度等级(D)评价准则

检测难度	判定准则	记分
极难	无法检测或需极高代价的整机试验才能被检测到	5
困难	需花很高代价的整机试验才能被检测	4
中等	通过一定时间的整机试验可被检测	3
简单	在整机装配调试时通过目视(含功能检查)即可检查	2
容易	可通过整机自动识别和主动报警的故障	1

2.2 计算权重因子

影响因素权重需要专家进行定性评价并转化为定量值。笔者选择 AHP 法获取权重因子，步骤如下^[5]：

1) 建立因素重要性判断尺度定义，如表 4 所示。

表 4 判断尺度定义

定义	判断尺度	定义	判断尺度
A 与 B 同等重要	1	A 比 B 强烈重要	7
A 比 B 稍微重要	3	A 比 B 绝对重要	9
A 比 B 明显重要	5		

注：若重要性介于各等级之间则取 2、4、6、8 中之一。
2) 邀请专家评分，并将结果汇总成为影响因素重要度评价矩阵 P ：

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} S & O & D \end{matrix} \\ \begin{matrix} S \\ O \\ D \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & p_1 & p_2 \\ 1/p_1 & 1 & p_3 \\ 1/p_2 & 1/p_3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} & \begin{matrix} S & O & D \end{matrix} \\ \begin{matrix} S \\ O \\ D \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 5 & 7 \\ 1/5 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

3) 判断一致性。
$$CR = \frac{(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)}{RI} \quad (4)$$

式中： $\lambda_{\max}$ 为 P 的最大特征根； n 为影响因素数量； RI 为平均一致性指标，其取值查表可得^[5]。当 $CR \leq 1$ 时，认为一致性可接受。

文中，计算评价矩阵 P 最大特征根 $\lambda_{\max}=3.0649$ ，查表得 $n=3$ 时 $RI=0.58$ ，计算得 $CR=0.056<0.1$ 。其后，计算 $\lambda_{\max}$ 特征向量 $\theta_A=[3.271, 0.844, 0.362]$ ，归一化处理获得权重因子： $\omega=[0.731, 0.188, 0.081]$ 。

4) 确定分组集。由建立的评价准则和式(2)可知，改进的风险优先数范围为 1~5 分。邀请专家建立 5 分制的改进风险优先数与配套产品监管范围的对应关系：应监管(3.5~5 分)、可协商监管(2.5~3.5 分)、不监管(1~2.5 分)。同理，建立配套产品质量特性与验收范围的关系：应验收(3.5~5 分)、可视情验收(2.5~3.5 分)、不验收(1~2.5 分)。

3 装备配套产品监管范围讨论示例

3.1 配套产品监管范围划分示例与讨论

选取某装甲装备部分配套产品，如表 5 所示。

表 5 配套产品示例

序号	配套产品	当前是否监管	序号	配套产品	当前是否监管
A ₁	变速系统	是	A ₆	蓄电池	是
A ₂	转向系统	是	A ₇	空调装置	是
A ₃	电子信息系统	是	A ₈	充放气系统	否
A ₄	加温器	是	A ₉	组合仪表	否
A ₅	电子观察装置	是	A ₁₀	数据记录仪	否

对各配套产品影响因素进行评分所得矩阵如下，列向量分别表示 $A_1 \sim A_{10}$ 各影响因素得分：

$$A = \begin{bmatrix} S \\ O \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & 5 & 4 & 3 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 1 & 2 & 3 & 2 & 3 & 2 & 4 & 4 & 1 \\ 3 & 3 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

将矩阵 A 代入式(2)可得配套产品风险优先数向量： $RPN=[3.702, 3.545, 3.138, 2.903, 2.543, 2.158, 2, 2.278, 2.154, 1.660]$ ，如图 1 所示。

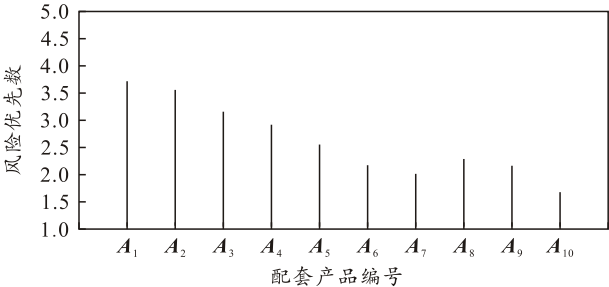


图 1 配套产品风险优先数

由图 1 可知：

1) $A_1 \sim A_5$ 产品 $RPN>2.5$ ，属应监管或协商监管范畴，实际其均已监管； $A_8 \sim A_{10}$ 产品 $PRN<2.5$ ，不属于应监管范畴，实际其均未监管。可以看出，改进风险优先数方法与实践经验有很强的一致性。另外 A_6 、 A_7 产品 $RPN<2.5$ ，建议不再监管。

2) 目前各配套产品 O 和 D 项集中于 1~4 分, 在此范围波动时不同等级 S 项下风险优先数变化如图 2 所示。可知 S 项为 4~5 级时优先考虑监管, S 项为 1~3 级时优先考虑不监管。

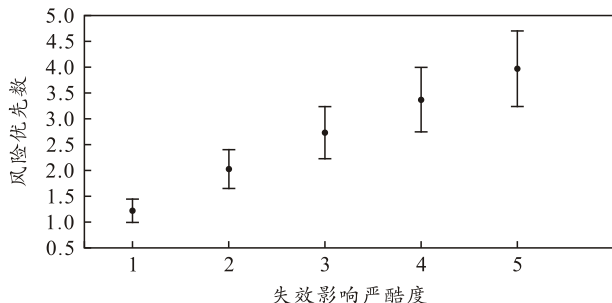


图 2 不同失效影响严酷度下的风险优先数区间

3.2 配套产品验收项点范围划分示例与讨论

选取电子观察装置部分质量特性, 如表 6 所示。

表 6 电子观察装置质量特性示例

序号	质量特性	当前是否验收	序号	配套产品	当前是否监管
B_1	外观尺寸	是	B_6	工况切换功能	是
B_2	能耗	是	B_7	图像质量	是
B_3	高低视界	是	B_8	低温工作性能	否
B_4	软件版本上报	是	B_9	电磁兼容性能	否
B_5	倒车辅助功能	是	B_{10}	可靠性	否

对各质量特性影响因素进行评分所得矩阵如下, 列向量分别表示 $B_1 \sim B_{10}$ 各影响因素得分:

$$B = \begin{bmatrix} S \\ O \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 & 2 & 3 & 2 & 3 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 3 & 2 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 2 & 1 & 1 & 1 & 3 & 4 & 4 & 5 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

将矩阵 B 代入式(2)可得质量特性风险优先数向量: $RPN = [1.058, 1.814, 1.756, 1, 1.660, 2.232, 2.230, 2.845, 2.115, 3.127]$, 如图 3 所示。

由图 3 可知:

1) B_8 和 B_{10} 质量特性风险优先数大于 2.5, 应优先考虑验收; 其他质量特性均小于 2.5, 建议不再验收。

2) 从质量特性分类角度出发, $B_1 \sim B_3$ 属物理

特性、 $B_4 \sim B_6$ 属功能特性, RPN 均较小, 主要原因是该 2 类特性在配套本级易于保证、在整机易于检出, 建议减小验收力度。而 $B_7 \sim B_{10}$ 属于性能特性, RPN 均较大, 原因与上述相反, 建议增大验收力度。

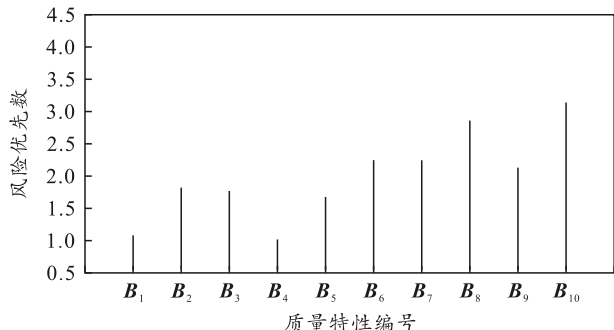


图 3 质量特性风险优先数

4 结论

1) 提出了考虑影响因素对评价结果重要程度的改进风险优先数评价方法。

2) 以装甲车辆为例, 计算了典型配套产品的风险优先数, 提出了调减风险优先数较小产品的建议。

3) 以电子观察装置为例, 计算了典型质量特性的风险优先数, 提出了调整验收范围的建议。

参考文献:

- [1] 中央军委装备发展部. 装备采购合同监管体系工作要求: GJB 3899B-2023[S]. 北京: 国家军用标准出版发行部, 2023: 1-3.
- [2] 黄平奇, 杨清文, 卢慧. 基于 ISM 的武器装备维修质量影响因素分析[J]. 兵工自动化, 2024, 43(2): 74-77.
- [3] 王茁, 王亚彬, 王帅. 数字孪生应用于装备质量管理的 AHP-SWOT 分析[J]. 兵工自动化, 2024, 43(3): 16-20.
- [4] 中国人民解放军总装备部. 故障模式、影响及危害性分析指南: GJB/Z 1391-2006[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2006: 27-30.
- [5] 黄洪钟, 邓哲, 黄山, 等. 基于改进 FCEM 的工业机器人可靠性分配与预测[J]. 电子科技大学学报, 2023, 52(1): 132-139.