

配套装备订购合同质量监督风险量化分析

叶卫民, 杨猛*, 李昊然

海军工程大学, 湖北武汉, 中国

*通讯作者

【摘要】 配套装备质量稳定性直接决定主装备作战性能与服役寿命, 而当前配套装备订购呈现供应商分散化、技术标准多元化等特点, 导致质量监督面临多重不确定性风险, 现有研究缺乏针对性的量化分析框架。本文以配套装备订购合同质量监督为研究对象, 通过文献梳理、专家访谈识别 4 个一级风险指标与 16 个二级风险指标, 构建多层次风险指标体系; 整合层次分析法 (AHP) 与二维云模型的优势, 设计风险量化分析模型——采用 AHP 确定指标权重, 借助二维云模型处理风险评估中的模糊性与随机性, 实现风险等级的精准划分; 以某型装甲装备火控系统配套订购合同为实证案例, 验证模型可行性与有效性。结果表明, 该合同综合风险值为 0.53, 对应风险等级为 III 级 (中等风险), 过程监督风险与供应商风险为核心管控重点。研究构建的风险量化体系为配套装备订购合同质量监督提供了科学工具, 对提升监管效能具有一定实践意义。

【关键词】 配套装备; 订购合同; 质量监督; 风险量化; 层次分析法; 二维云模型

1. 引言

配套装备作为武器装备的重要组成部分, 涵盖原材料、零部件、分系统等多个类别, 其质量稳定性直接决定主装备的作战性能与服役寿命。随着装备技术复杂度的不断提升, 配套装备订购呈现出供应商分散化、技术标准多元化、交付周期紧张化等特点, 给质量监督工作带来严峻挑战。例如, 部分配套供应商存在生产工艺不达标、质量检测流程简化等问题, 导致装备交付后频繁出现故障; 同时, 国防采购政策调整、原材料价格波动等外部因素, 进一步加剧了配套装备订购合同质量监督的不确定性。

杨文俊等学者通过数据驱动的 Apriori-RMM 模型, 证实装备采购合同履行阶段存在诸多隐性风险, 且风险因素间存在复杂关联关系[1]。然而, 现有研究多聚焦于主装备采购合同风险, 针对配套装备订购合同质量监督的量化研究相对匮乏, 难以满足实际监管需求。因此, 构建科学的风险量化分析体系, 对提升配套装备质量监督效能具有重要现实意义。

国内学者围绕装备采购合同风险开展了大量研究。李建民构建装备采购合同履行绩效模糊综合评估模型, 为合同风险评估提供了定性与定量结合的思路[2]。吴伟伟等从监管机制角度出发, 提出加强装备配套合同监管的实践建议, 但未涉及风险量化方法[3]。在风险量化

领域, 田爱民等采用二维云模型实现埋地管道腐蚀风险的精准量化, 证实该模型在处理不确定性风险方面具有显著优势[4]; 唐林兵等则通过风险识别与量化分析, 为项目进度管理提供有效支撑[5]。这些研究为配套装备质量监督风险量化提供了方法借鉴, 但针对配套装备订购合同的特殊性, 尚未形成完善的量化分析框架, 仍需进一步优化完善。

本文研究内容主要包括三个方面: 一是构建配套装备订购合同质量监督风险指标体系; 二是设计风险量化分析模型, 整合层次分析法与二维云模型的优势; 三是通过实证案例验证模型的可行性与有效性。

技术路线如下: 首先通过文献梳理与专家访谈识别风险因素; 其次构建多层次风险指标体系, 采用层次分析法确定指标权重; 然后基于二维云模型建立风险量化模型, 实现风险等级划分; 最后以某型配套装备订购合同为案例, 开展实证分析并提出风险管控建议。

2. 配套装备订购合同质量监督风险指标体系构建

2.1 风险指标识别原则

为确保风险指标体系的科学性与实用性, 指标识别遵循以下四项原则: 一是全面性原则, 覆盖配套装备生产全生命周期, 包括原材料采购、零部件加工、装配与总成、交付验收等各个环节; 二是针对性原则, 聚焦配套装备特点, 突出技术风险、监管风险等核心要素; 三是可

操作性原则，指标数据易于获取，符合实际监督工作场景；四是关联性原则，充分考虑风险因素间的相互影响，避免指标重复或遗漏。

2.2 风险指标识别与体系构建

结合部分现有研究成果与配套装备质量监督实践，通过专家访谈（选取 12 名来自军

队采购部门、军工企业、军事代表机构、科研院所的专家，其中高级职称 7 人，中级职称 5 人），最终识别出 4 个一级风险指标、16 个二级风险指标[6-9]，构建多层次风险指标体系，具体如表 1 所示。

表 1. 配套装备订购合同质量监督风险指标体系

一级指标	二级指标	指标含义描述
供应商风险	资质风险 (A1)	供应商生产资质不全、技术实力不足，不符合配套装备生产要求
	信誉风险 (A2)	供应商存在历史违约记录，履约积极性低，质量承诺难以兑现
	产能风险 (A3)	供应商生产设备老化、产能不足，无法保障按期交付
	供应链风险 (A4)	供应商上游原材料供应不稳定，关键零部件采购渠道单一
过程监督风险	生产工艺风险 (B1)	生产流程不规范，工艺参数未达到技术标准
	质量检测风险 (B2)	检测设备落后，检测项目不全，存在质量漏检问题
	人员管理风险 (B3)	生产人员技能不足，质量意识薄弱，操作失误率高
	进度管控风险 (B4)	生产进度安排不合理，与主装备研制进度脱节
技术风险	标准适配风险 (C1)	配套装备技术标准与主装备不兼容，接口匹配度低
	技术迭代风险 (C2)	技术更新换代快，现有生产技术落后于行业标准
	专利侵权风险 (C3)	配套装备涉及的核心技术存在专利纠纷，影响装备列装
	研发验证风险 (C4)	新技术应用缺乏充分验证，可靠性与稳定性不足
外部环境风险	政策法规风险 (D1)	装备采购政策、军工质量标准调整，导致合同条款变更
	经济波动风险 (D2)	原材料价格上涨、通货膨胀，导致生产成本增加
	监管政策风险 (D3)	质量监督法规不完善，监管权限划分不清晰
	不可抗力风险 (D4)	自然灾害、突发公共事件等导致生产中断

3. 配套装备订购合同质量监督风险量化模型构建

3.1 指标权重确定——层次分析法

采用层次分析法确定各风险指标权重，该方法能有效整合专家经验，实现指标重要性的科学排序，具体步骤如下：

3.1.1 构建判断矩阵

邀请专家依据 1-9 标度法，对同一层次指标的重要性进行两两比较，构建判断矩阵 A 。以一级风险指标为例，构建判断矩阵如下：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 3 & 4 \\ 1/2 & 1/3 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

3.1.2 计算判断矩阵的特征向量

归一化后得到各指标权重 (w_{ij} 为第 i 个一级指标下第 j 个二级指标的权重，满足：

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} = 1 \quad (1)$$

其中 m 为一级指标个数， n_i 为第 i 个一

级指标下的二级指标个数。

3.1.3 一致性检验

计算判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} ，并通过一致性指标 CI 、一致性比例 CR 进行检验。公式如下：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

其中， n 为指标个数， RI 为平均随机一致性指标。当 $CR < 0.1$ 时，判断矩阵通过一致性检验。经计算，一级风险指标判断矩阵 $\lambda_{\max} = 4.126$ ， $CI = 0.042$ ， $RI = 0.90$ ， $CR = 0.047 < 0.1$ ，符合一致性要求。

3.1.4 权重计算

对判断矩阵进行归一化处理，得到各指标权重。一级风险指标权重结果为： $W_A = 0.32$ ， $W_B = 0.38$ ； $W_C = 0.18$ ， $W_D = 0.12$ ，二级指标权重通过相同方法计算得出。

3.2 风险量化模型——二维云模型

二维云模型作为一种融合模糊数学与概

率统计的不确定性建模工具,能够同时处理风险评估中客观存在的模糊性(风险等级边界的模糊界定)与随机性(风险因素影响程度的波动特性),通过期望值(E_x, E_y)、熵(E_{nx}, E_{ny})、超熵(H_{ex}, H_{ey})三个核心数字特征,实现定性风险概念与定量评估数据的动态映射,尤其适用于配套装备质量监督这类多因素、强耦合的复杂风险场景[10]。结合配套装备订购合同质量监督的风险特征(如监督流程多节点、影

响因素多维度、风险后果多层次),构建二维云模型进行风险量化,具体步骤如下:

3.2.1 风险等级划分与定性描述

基于配套装备质量监督的实际需求(如合同执行周期、质量标准要求、故障影响程度),参考GJB(国军标)相关质量风险管理规范及行业实践经验,将配套装备订购合同质量监督风险划分为5个等级,各等级的风险值区间、定性特征及管控要求如下表2所示。

表2.风险等级划分标准

风险等级	风险值区间	风险定性特征	核心管控要求
I级(极低风险)	[0,0.2)	风险因素单一且影响极小,质量偏差在允许范围内,无潜在故障隐患	常规台账记录,无需额外管控措施,按原监督计划执行
II级(低风险)	[0.2,0.4)	风险因素影响范围有限,仅涉及非关键质量特性,通过常规监督流程可有效控制	强化过程巡检频次(如增加1次/周关键节点检查),保留完整监督记录
III级(中等风险)	[0.4,0.6)	存在2-3项关联风险因素,可能影响关键质量特性稳定性,存在潜在质量隐患	制定专项监控方案,重点跟踪风险源(如供应商生产工艺、原材料检验),每周提交风险评估报告
IV级(高风险)	[0.6,0.8)	风险因素交叉耦合,已出现明显质量异常征兆,可能导致产品关键性能不达标	启动专项整改程序,暂停相关批次产品验收,联合供应商分析根因并制定纠正措施
V级(极高风险)	[0.8,1]	多项核心风险因素集中爆发,极易引发重大质量事故或合同违约,影响装备交付与使用	立即暂停合同执行,开展全面质量复查,重新评估供应商资质,必要时更换供应商

3.2.2 二维云模型参数确定

表3.各风险等级二维云模型参数表

风险等级	期望值 (E_x, E_y)	熵 (E_{nx}, E_{ny})	超熵 (H_{ex}, H_{ey})	参数说明
I级(极低风险)	(0.1,0.1)	(0.05,0.05)	(0.01,0.01)	发生概率与影响程度均极低,概念模糊性最小,云滴集中分布于区间左端点附近
II级(低风险)	(0.3,0.3)	(0.08,0.08)	(0.015,0.015)	发生概率与影响程度较低,概念模糊性较小,云滴分布相对集中
III级(中等风险)	(0.5,0.5)	(0.1,0.1)	(0.02,0.02)	发生概率与影响程度中等,概念模糊性适中,云滴均匀分布于区间中部
IV级(高风险)	(0.7,0.7)	(0.08,0.08)	(0.015,0.015)	发生概率与影响程度较高,概念模糊性较小,云滴分布相对集中于区间右端
V级(极高风险)	(0.9,0.9)	(0.05,0.05)	(0.01,0.01)	发生概率与影响程度极高,概念模糊性最小,云滴集中分布于区间右端点附近

二维云模型的参数($E_x, E_y, E_{nx}, E_{ny}, H_{ex}, H_{ey}$)直接决定风险量化的准确性,需结合专家经验打分法与历史数据统计法综合确定:

(1) 参数定义

设二维云模型的两个维度分别为“风险发生概率(x 轴)”和“风险影响程度(y 轴)”,其中: E_x 为风险发生概率的期望值, E_y 为风

险影响程度的期望值; E_{nx}, E_{ny} 分别为对应维度的熵(反映定性概念的模糊程度); H_{ex}, H_{ey} 分别为对应维度的超熵(反映熵的随机性,即云滴的离散程度)。

(2) 确定流程

组建由质量监督专家、装备设计工程师、供应商技术负责人组成的专家组(不少于7

人), 采用德尔菲法对各风险等级的“发生概率”和“影响程度”进行 1-5 分制打分 (1 分=极低, 5 分=极高);

结合近 5 年配套装备订购合同质量监督的历史数据 (如故障发生频次、质量问题整改率、事故损失金额), 对初始参数进行修正, 最终确定各风险等级的二维云模型参数, 如表 3 所示。

3.2.3 风险量化计算流程

风险量化计算通过“正向云发生器”实现定性概念到定量云滴的转化, 结合指标权重进行加权求和, 最终得到综合风险值, 具体步骤如下:

(1) 正向云发生器生成云滴

正向云发生器是将定性风险等级转化为定量云滴的核心工具, 基于各二级指标的风险等级, 通过以下步骤生成云滴:

对于第 i 个一级指标下第 j 个二级指标, 根据其风险等级对应的云模型参数 $(E_x, E_y, E_{nx}, E_{ny}, H_{ex}, H_{ey})$, 生成服从正态分布的随机熵:

$$En'_x = N(En_x, He_x^2) \quad (4)$$

$$En'_y = N(En_y, He_y^2) \quad (5)$$

$$\begin{cases} E_x = \frac{1}{q} \sum_{k=1}^q x_k \\ E_{nx} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{q} \sum_{k=1}^q |x_k - E_x| \\ H_{ex} = \sqrt{|S^2 - E_{nx}^2|} \\ S^2 = \frac{1}{q-1} \sum_{k=1}^q (x_k - E_x)^2 \end{cases} \quad (6)$$

基于随机熵生成云滴的定量值, 即:

$$x_{ij} = N(E_x, En_x'^2) \quad (7)$$

$$y_{ij} = N(E_y, En_y'^2) \quad (8)$$

式 (7) 中, x_{ij} 表示第 i 个一级指标下第 j 个二级指标在 x 轴 (风险发生概率) 维度的定量值; 式 (8) 中, y_{ij} 表示第 i 个一级指标下第 j 个二级指标在 y 轴 (风险影响程度) 维度的定量值。

重复以上两个步骤, 生成 N 个云滴 (通常 N 取 1000), 确保统计显著性), 取云滴的均值作为该二级指标的风险量化值 R_{ij} , 即:

$$R_{ij} = \frac{1}{N} \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2} \quad (9)$$

通过欧氏距离将二维云滴转化为一维风险值, 范围[0,1]。

(2) 综合风险值计算

结合指标权重与二级指标风险量化值, 采用加权求和法计算综合风险值 R , 公式如下:

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} \cdot R_{ij} \quad (10)$$

式 (10) 中, w_{ij} 表示第 i 个一级指标下第 j 个二级指标的权重 (已通过 AHP 法确定);

R_{ij} 表示第 i 个一级指标下第 j 个二级指标的风险量化值 (正向云发生器输出结果)。

(3) 风险等级判定

将计算得到的综合风险值 R 与表 2 中的风险值区间进行匹配, 确定配套装备订购合同质量监督的最终风险等级。例如:

若 $R = 0.52$, 落在[0.4,0.6)区间, 判定为 III 级 (中等风险);

若 $R = 0.85$, 落在[0.8,1]区间, 判定为 V 级 (极高风险)。

4. 实证分析

选取某型装甲装备的火控系统配套订购合同作为实证对象, 该合同在前期质量监督中, 已发现部分供应商存在零部件精度不达标、交付延迟等问题, 亟需开展全面风险量化分析。监管团队通过入场检验、过程巡检、样品复检等多重手段, 已发现多家供应商存在明显问题: 其一, 零部件精度不达标问题突出, 其二, 交付延迟问题持续发酵, 其三, 部分供应商还存在质量管控体系执行不到位的隐患。

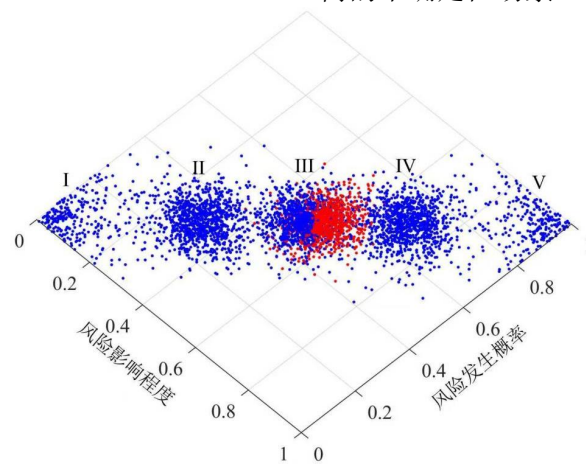
鉴于该型装备的高精密性、强关联性, 上述问题若持续蔓延, 不仅可能导致合同履行成本大幅增加、交付周期进一步拉长, 更可能影响装备列装后的稳定性与可靠性, 引发严重的装备质量风险与采购履约风险。因此, 亟需以该合同为核心, 开展全维度、精细化的风险量化分析, 精准识别风险源头、量化风险等级、制定针对性防控措施, 为后续合同履行管控、供应商考核及装备质量保障提供科学支撑。通过查阅合同档案、实地调研供应商生产现场、组织专家评分等方式, 收集各风险指标的原始数据。邀请 10 名专家按照 1-5 分制对二级指标进行打分, 1 分对应极低风险, 5 分对应极高风险, 将评分结果标准化后转化为风险量化值 R_{ij} , 部分二级指标风险量化值如表 4 所示, 通过利用 MATLAB 软件生成该合同的综合风险云图如图 1 所示。

表 4.部分二级指标风险量化值

一级指标	二级指标	权重 W_{ij}	专家评分均值	风险量化值 R_{ij}
供应商风险 (A)	资质风险 (A1)	0.08	3.2	0.45
	信誉风险 (A2)	0.07	2.8	0.38
	产能风险 (A3)	0.09	3.5	0.52
	供应链风险 (A4)	0.08	3.1	0.43
过程监督风险 (B)	生产工艺风 (B1)	0.10	3.8	0.58
	质量检测风险 (B2)	0.09	3.6	0.55

注：表 4 中，以中等风险（III级）为例，其参数设定依据为：历史数据显示该等级风险的平均发生概率为 50%（ $E_x=0.5$ ），平均影响程度为 50%（ $E_y=0.5$ ）；专家打分的标准差为

0.1（即 $E_{nx}=E_{ny}=0.1$ ），考虑到实际监督中风险波动的随机性，取超熵 $H_{ex}=0.2$ ， $H_{ey}=0.2$ ，确保云滴分布既符合统计规律，又能覆盖区间内的不确定性场景。


图 1.综合风险云图

根据构建的风险量化模型计算得出，该配套装备订购合同质量监督综合风险值 $R=0.53$ ，对应风险等级为III级（中等风险），同时结合图 1 来看，综合风险云图与III级标准云图最贴近，因此可判断该合同整体风险水平处于中等风险。从一级指标来看，过程监督风险的贡献度最高，风险值达 0.201，其中生产工艺风险（B1）和质量检测风险（B2）是关键风险点；供应商风险次之，风险值为 0.165，产能风险（A3）和资质风险（A1）需重点关注；技术风险和外部环境风险相对较低，风险值分别为 0.098 和 0.066。

该结果与实际监督情况高度契合，印证了量化模型的有效性。针对关键风险点，建议采取强化供应商生产工艺培训、引入第三方检测机构、建立供应链应急储备机制等管控措施，降低质量监督风险。

5.结论

本文围绕配套装备订购合同质量监督风险量化问题展开系统研究，通过指标体系构建、量化模型设计与实证验证，形成以下主要结论：

首先，基于全生命周期理论与专家经验，构建了涵盖供应商风险、过程监督风险、技术风险、外部环境风险的多层次风险指标体系，共 4 个一级指标、16 个二级指标，全面覆盖配套装备订购各关键环节，满足风险评估的全面性与针对性要求。其次，设计了 AHP-二维云模型融合的风险量化框架，通过 AHP 科学确定指标权重，解决了传统权重分配的主观性问题；利用二维云模型的数字特征（期望值、熵、超熵）处理风险的模糊性与随机性，实现定性概念向定量数据的动态转化，提升了风险量化的精准度。最后，实证案例分析表明，该量化模型计算得出的综合风险值（0.53）与实际监督情况高度契合，能够准确识别过程监督风险（生产工艺、质量检测风险）与供应商风险（产能、资质风险）等关键管控点，验证了模型的可行性与有效性。本文构建的风险量化分析体系，一定程度上可以弥补现有研究对配套装备订购合同质量监督量化关注不足的缺陷，为军队采购部门、军工企业开展质量风险管控提供一定的借鉴参考。后续研究可进一步扩大实证

案例范围,优化指标体系与模型参数;结合大数据、人工智能技术,实现风险的动态预警与实时管控,持续提升配套装备质量监督的智能化水平。

参考文献

- [1]杨文俊,谢力,卢毅,毛维平,王敦宇.基于数据驱动 Apriori-RMM 的装备采购合同履行风险评估[J].兵工自动化, 2025, 44 (3): 61-6572
- [2]李建民.装备采购合同履行绩效模糊综合评价模型[J].兵工自动化, 2014, 33 (8): 39-43
- [3]吴伟伟,杨磊,禹焱.加强装备配套合同监管工作的几点建议[J].中国军转民, 2018, 10 (5): 68-69
- [4]田爱民,白云霞,李志强,等.基于二维云模型的埋地管道腐蚀风险量化分析[J].石油管材与仪器, 2024, 10 (02): 41-46.
- [5]唐林兵,唐舜禹.项目进度管理风险识别及量化分析[J].中国战略新兴产业, 2024, (27): 182-184.
- [6]郭雪,卫斌,李忠权,等.基于风险量化的网络安全保险风险评估体系研究分析[J].中国信息化, 2025, (09): 22-25.
- [7]胡月琦,杨建雪.高速公路隧道驾驶人行车风险量化模型研究[J].汽车实用技术, 2025, 50 (18): 128-133.
- [8]窦欣.省级燃气安全风险量化评价体系建设研究[J].建设科技, 2025, (15): 23-25.
- [9]张明,白凤凯.装备采购合同履行监督风险管理研究[J].国防技术基础, 2009, (2): 3-6.
- [10]郭金,顾冲时,何菁.基于组合赋权二维云模型的堤防工程风险评价[J].水利水电科技进展, 2022, 42 (6): 117-122.