

基于SCOR模型的低空多元服务供应链风险识别与评估

张德慧 吴宇泽 余俊文 怀韵涵 严月

金陵科技学院, 中国·江苏 南京 210000

摘要: 随着低空经济上升为国家新兴支柱产业, 其多元服务供应链面临复杂管控挑战。本文基于 SCOR 模型, 将低空多元服务供应链解构为计划与供应、协同与管制、无人机作业、多元配送与服务交付、逆向服务与回收五大流程, 识别各环节风险, 构建含 5 个一级、17 个二级指标的风险评估体系, 综合运用层次分析法与模糊综合评价法进行评估, 并针对五大流程提出风险防范策略。研究拓展了 SCOR 模型在低空经济领域的应用, 为企业风险管控与政府监管提供了理论依据与实践参考。

关键词: 低空多元服务供应链; SCOR 模型; 风险识别与评估

Risk Identification and Evaluation of Low-Altitude Diversified Service Supply Chain Based on the SCOR Model

Zhang Dehui, Wu Yuze, Yu Junwen, Huai Yunhan, Yan Yue

Jinling Institute of Technology, China Jiangsu Nanjing 210000

Abstract: As the low-altitude economy emerges as a new strategic pillar industry in China, its multi-service supply chain faces complex management challenges. Based on the SCOR model, this paper deconstructs the low-altitude multi-service supply chain into five core processes: planning and supply, coordination and control, unmanned aerial vehicle (UAV) operations, multi-distribution and service delivery, and reverse service and recycling. Key risks in each process are identified, and a risk assessment system comprising 5 first-level and 17 second-level indicators is constructed. The analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy comprehensive evaluation method are comprehensively applied for risk assessment, and targeted risk prevention strategies are proposed for the five core processes. This study extends the application of the SCOR model to the low-altitude economy domain, providing theoretical foundations and practical references for enterprise risk management and government regulation.

Keywords: Low-altitude multi-service supply chain; SCOR model; Risk identification and assessment

0 引言

随着数字技术与航空技术的深度融合, 低空经济已成为全球竞相布局的战略性新兴产业。2026 年全国两会期间, 低空经济再次成为热议焦点, 国务院总理李强在政府工作报告中明确提出, 要“打造集成电路、航空航天、生物医药、低空经济等新兴支柱产业”, 标志着低空经济从“新增长引擎”升级为“新兴支柱产业”, 迈入规模化发展新阶段。据预测, 到 2030 年我国低空经济市场规模有望突破 2 万亿元, 涵盖无人机物流、城市空中交通、低空旅游、应急救援等多元服务场景。低空多元服务是一个由多主体、多环节、多要素构成的复杂服务供应链系统, 其运作呈现三大特征: 一是主体多元, 涉及军方空域管理部门、民航监管机构、地方政府、运营商、服务商等多方利益相关者; 二是流程异构, 既有实体产品配送, 也有非实体的飞行服务、空域资源服务; 三是风险交织, 安全、技术、政策、运营、环境等风险高度耦合。

沈映春教授提出随着低空经济规模的持续扩大和业态的日益复杂化, 亟须通过系统性治理框架的构建与完善为其健康发展保驾护航^[1]。马林基于 SCOR 模型构建了供应链风险识别、评估与一体化管理框架, 建立评估指标体系, 评估整体风险水平及各关键风险因素发生可能性^[2]。孙红冉、施彦采用 SCOR 模型, 结合生鲜农产品供应链企业运营特点, 构建某食材供应链企业的供应链绩效评价体系, 并运用模糊评价法进行绩效评价^[3]。路世昌、张彭涵为生鲜电商供应链建立了 SCOR 风险模型, 利用层次分析法分析各因素的权重占比, 为生鲜电商企业供应链优化提供参考^[4]。张水旺、李悦、毛祥战基于演化博弈理论, 分析低空物流中政府监管与企业合规的策略互动与演化规律^[5]。马里、杨招峰提出加强供应链管理基础及应对供应链风险的具体举措, 通过提升风险控制能力, 进而有效增强企业采购的安全性和稳定性^[6]。

当前低空经济研究多聚焦于技术突破或宏观产业规

划, 鲜有研究从供应链视角系统解构低空多元服务运作中的风险问题, 更缺乏基于 SCOR 模型对该领域风险的系统性识别与评估。基于此, 本研究将 SCOR 模型引入低空多元服务供应链领域, 通过对五大流程的重构与适配, 系统识别各环节的关键风险因素, 构建科学的风险评估体系, 旨在为低空经济健康有序发展提供理论支撑与实践参考。

1 基于 SCOR 模型的低空多元服务供应链风险识别

1.1 低空多元服务供应链的结构

SCOR 模型 (Supply-Chain Operations Reference model) 是 1996 年由国际供应链协会开发的适合于不同领域的供应链运作参考模型。本文通过对低空多元服务供应链相关运营企业、核心零部件供应商及起降场运营机构面临的供应链管理风险进行实地调研后, 提出低空多元服务供应链模型见图 1。结合 SCOR 模型的计划与供应、协同与管制、无人机作业、多元配送与服务交付、逆向服务与回收五个环节对低空多元服务供应链风险的关键因素指标进行识别。

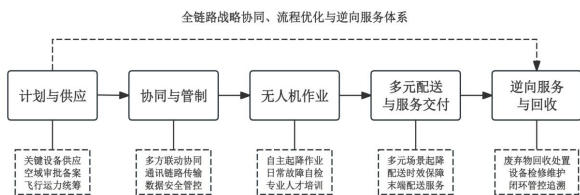


图1 低空多元服务供应链SCOR模型流程图

1.2 风险环节及风险因素识别

1.2.1 计划与供应环节风险

关键设备供应不稳定。低空作业核心设备高度依赖核心零部件, 上游产能波动、供应链断供频发, 行业配套与备用渠道不足, 易造成设备交付延迟、短缺, 影响运力部署与应急补仓。

空域使用计划审批低效。空域审批涉及多部门, 流程繁琐、跨区域标准不统一、衔接不畅, 易出现审批延误或驳回, 导致作业计划搁置、运力闲置、供需错配。

服务需求预测偏差。低空服务需求受天气、突发事件影响显著, 企业仅依托历史数据预测, 未纳入突发因素, 易出现预判失误, 引发运力不足或闲置, 推高运营成本。

1.2.2 协同与管制环节风险

多主体协同管理冲突。军、民航、地方监管标准与调度规则存在差异, 缺乏统一协同机制, 跨区域、跨场景衔接不畅、调度冲突, 降低空域利用效率, 加剧空中运行

风险。

通信链路传输故障。低空电磁环境复杂, 遮挡、干扰、信号覆盖不足易导致通信中断卡顿, 引发无人机失联失控、服务中断, 严重时造成设备损毁。

数据安全与隐私泄露。作业采集多类敏感数据, 行业加密传输、存储及权限管控不完善, 易引发数据篡改、盗用、泄露, 带来隐私侵权、合规风险与经济损失。

1.2.3 无人机作业环节风险

核心设备技术故障。无人机核心软硬件易故障, 部分电池续航不达标, 易引发失控迫降、服务中断、设备损坏, 极端情况造成安全事故与财产损失。

复杂运行环境风险。低空环境复杂, 高楼致定位偏差、鸟击频发、恶劣天气影响飞行稳定, 易引发无人机坠毁, 造成财产损失与空域安全隐患。

专业技术人员流失。行业专业人才储备不足, 核心人员流失易导致团队能力断层、运力调配受限、故障处置低效, 影响供应链运营稳定。

操作人员作业失误。企业培训体系不完善, 操作人员能力不足、操作不规范、应急处置不当, 放大设备与环境风险, 大幅提升事故概率。

1.2.4 多元配送与服务交付环节风险

复杂场景精准起降失效。起降点布局缺乏标准化设计, 复杂环境干扰定位, 起降能力不足, 易引发设备碰撞、货物损毁, 带来安全隐患与经济损失。

配送时效延误。空域管制、流量控制、航线调整等突发情况导致滞空绕行, 延误配送时效, 对高时效场景影响显著, 降低客户满意度与品牌口碑。

末端接驳对接失败。空对地信息对接机制不完善, 部分区域接驳资源不足, 易出现交接失败, 增加二次配送成本, 降低供应链运营效率。

1.2.5 逆向服务与回收环节风险

逆向作业重新派遣成本过高。服务失败等需开展逆向作业, 重复审批、调配运力人员产生额外成本, 推高整体运营成本, 降低资源利用效率。

设备回收、维修及再利用流程不畅。回收网络与标准化检修体系缺失, 回收不及时、维修低效、再利用周期长, 造成资源浪费, 推高设备使用成本。

售后服务纠纷。行业无统一售后标准, 纠纷处置机制不健全, 易引发客户投诉与纠纷升级。

法律合规风险。逆向作业空域使用、操作缺乏明确规范, 监管空白、合规界定模糊, 易引发法律纠纷, 加剧供

应链运营风险。

1.3 构建风险评估指标体系

低空多元服务供应链风险是指供应链各环节受技术、环境、政策、管理等内外不确定因素交织影响，导致低空服务运作流程受阻，引发服务履约失败、运营成本激增甚至供应链整体运作中断的现象。因此，需要建立一套适配低空行业特性的科学风险管理体系，保障低空多元服务供应链的稳定高效运行。本文基于文献理论研究与低空服务行业实践调研，识别出低空多元服务供应链五大环节中的核心风险因素，咨询低空经济、供应链管理领域的专家及低空服务运营企业相关工作人员，对供应链各环节风险影响因子的选取归类、内容相关性 with 行业适配性进行修正优化，初步构建包括5个一级指标、17个二级指标的low空多元服务供应链风险评估初始指标体系，如图2所示。

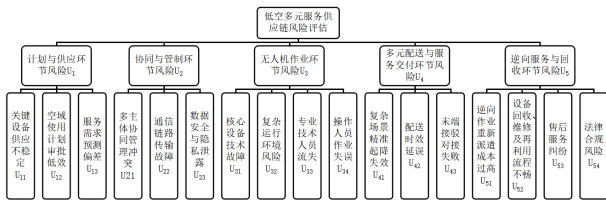


图2 低空多元服务供应链风险识别体系

2 低空多元服务供应链风险评估

2.1 确定层次结构模型及其权重

本文通过问卷调查，调查的对象涵盖高校物流与供应链管理领域专家学者、低空经济行业一线实务人员及相关企业从业人员。研究共计回收125份调查问卷，共剔除

无效问卷10份，最终有效问卷为115份，有效问卷率为92%。根据上述低空多元服务供应链风险因素分析，归纳为16个风险因素并确定了其层次关系，构建低空多元服务供应链风险层次结构模型。利用层次分析法得出各层指标的权重，低空多元服务供应链指标权重表如表1所示。

2.2 模糊综合评价

2.2.1 建立风险模糊评价集

风险模糊评价集即受访者对风险因素评价结果的集合，本文用大写字母B来表示，评价集合 $B = \{B1, B2, B3, B4, B5\} = \{20, 40, 60, 80, 100\}$ 分别代表供应链风险级别的很低、低、一般、高、非常高五个等级。其中风险级别和评分值呈同向变动，可判断低空多元服务供应链的风险程度大小。

2.2.2 计算模糊隶属矩阵

对问卷调查数据进行统计分析，通过频次统计法计算得出每一风险指标对应各风险等级的隶属度。建立低空多元服务供应链各环节风险的模糊综合评价矩阵，用R1、R2、R3、R4、R5分别表示计划与供应风险、协同与管制风险、无人机作业风险、多元配送与服务交付风险、逆向服务与回收风险的模糊评价矩阵，分别计算得出：

$$R1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.05 & 0.25 & 0.70 \\ 0 & 0 & 0.08 & 0.32 & 0.60 \\ 0 & 0.05 & 0.35 & 0.45 & 0.15 \end{bmatrix} \quad R2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.06 & 0.24 & 0.70 \\ 0 & 0 & 0.09 & 0.36 & 0.55 \\ 0 & 0.06 & 0.34 & 0.40 & 0.20 \end{bmatrix}$$

$$R3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.07 & 0.33 & 0.60 \\ 0 & 0 & 0.04 & 0.21 & 0.75 \\ 0 & 0.07 & 0.38 & 0.40 & 0.15 \\ 0 & 0.10 & 0.40 & 0.35 & 0.15 \end{bmatrix} \quad R4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.08 & 0.32 & 0.60 \\ 0 & 0 & 0.05 & 0.25 & 0.70 \\ 0 & 0.08 & 0.37 & 0.40 & 0.15 \end{bmatrix}$$

表1 低空多元服务供应链风险各指标权重表

一级指标	权重	二级指标	权重	综合权重
计划与供应风险U ₁	0.2800	SCR1: 关键设备供应不稳定 U ₁₁	0.4500	0.1260
		SCR2: 空域使用计划审批低效 U ₁₂	0.3500	0.0980
		SCR3: 服务需求预测偏差 U ₁₃	0.2000	0.0560
协同与管制风险U ₂	0.2200	SCR4: 多主体协同管理冲突 U ₂₁	0.4000	0.0880
		SCR5: 通信链路传输故障 U ₂₂	0.3500	0.0770
		SCR6: 数据安全与隐私泄露 U ₂₃	0.2500	0.0550
无人机作业风险U ₃	0.2500	SCR7: 核心设备技术故障 U ₃₁	0.3000	0.0750
		SCR8: 复杂运行环境风险 U ₃₂	0.3500	0.0875
		SCR9: 专业技术人员流失 U ₃₃	0.2000	0.0500
		SCR10: 操作人员作业失误 U ₃₄	0.1500	0.0375
多元配送与服务交付风险U ₄	0.1800	SCR11: 复杂场景精准起降失效 U ₄₁	0.3000	0.0540
		SCR12: 配送时效延误 U ₄₂	0.4500	0.0810
		SCR13: 末端接驳对接失败 U ₄₃	0.2500	0.0450
逆向服务与回收风险U ₅	0.0700	SCR14: 逆向作业重新派遣成本过高 U ₅₁	0.3500	0.0245
		SCR15: 设备回收、维修及再利用流程不畅 U ₅₂	0.3000	0.0210
		SCR16: 售后服务纠纷 U ₅₃	0.2000	0.0140
		SCR17: 逆向作业法律合规风险 U ₅₄	0.1500	0.0105

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0.05 & 0.30 & 0.45 & 0.20 \\ 0 & 0 & 0.10 & 0.35 & 0.55 \\ 0 & 0.10 & 0.40 & 0.35 & 0.15 \\ 0 & 0.08 & 0.38 & 0.39 & 0.15 \end{bmatrix}$$

2.2.3 模糊综合评价与风险等级判定

在计算得到各指标模糊向量的基础上，运用公式 $B_i = W_i * R_j$ (W 代表其权重) 构建评价模型，进行模糊综合评价，计算过程如下：

$$B_1 = W_1 * R_1 = [0, 0.0100, 0.1205, 0.3145, 0.5550]$$

$$B_2 = W_2 * R_2 = [0, 0.0150, 0.1405, 0.3220, 0.5225]$$

$$B_3 = W_3 * R_3 = [0, 0.0290, 0.1710, 0.3050, 0.4950]$$

$$B_4 = W_4 * R_4 = [0, 0.0200, 0.1390, 0.3085, 0.5325]$$

$$B_5 = W_5 * R_5 = [0, 0.0495, 0.2720, 0.3910, 0.2875]$$

将 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 进行归一化处理构造单因素评价矩阵，考虑权重因素，进行二级模糊综合评价。利用公式 $B_i = W_i * R_j$ ，计算整体综合评价结果得到：

$$B_{总} = W_{总} * R_{总} = [0, 0.0204, 0.1515, 0.3181, 0.5100]$$

2.3 评价结果分析

对各项指标的风险维度进行计算，结果如下：
 $S_1=88.29$ ， $S_2=87.04$ ， $S_3=85.32$ ， $S_4=87.07$ ， $S_5=78.33$ ， $S_{总}=86.35$ 。综合评价低空多元服务供应链得到总体评价结果，如表 2 所示。

表2 低空多元服务供应链整体评价结果

风险指标	评价结果	风险得分
计划与供应风险	[0,0.0100,0.1205,0.3145,0.5550]	88.29
协同与管制风险	[0,0.0150,0.1405,0.3220,0.5225]	87.04
无人机作业风险	[0,0.0290,0.1710,0.3050,0.4950]	85.32
多元配送与服务交付风险	[0,0.0200,0.1390,0.3085,0.5325]	87.07
逆向服务与回收风险	[0,0.0495,0.2720,0.3910,0.2875]	78.33
低空多元服务供应链风险	[0,0.0204,0.1515,0.3181,0.5100]	86.35

根据数据可知，低空多元服务供应链风险整体评价得分为 86.35，表明风险水平非常高，因此，低空多元服务供应链中各个关键环节的风险因素均需要重点防控。根据最后得分可知，除逆向服务与回收环节外，其余核心环节风险评价分数均超过 85，表明低空多元服务供应链核心环节风险水平整体极高，风险得分从低到高依次为：逆向服务与回收风险、无人机作业风险、协同与管制风险、多元配送与服务交付风险、计划与供应风险。

3 低空多元服务供应链风险防范策略

针对计划与供应环节风险点多涉及资源保障与需求匹配的特点，应当从源头增强要素供给的稳定性与响应效率。一方面，针对关键设备供应不稳定与空域审批低效问题，应推进核心部件国产化攻关，建立“主供 + 备供”双

源供应模式，同时推动空域管理数字化改革，通过智慧系统实现计划申报、审批“一窗通办”与“一次申报、全网通行”。另一方面，针对服务需求预测偏差风险，应构建多源数据融合的动态需求预测模型，并建立“弹性运力池”，通过运力众包、跨企业协同等模式快速调配备用运力，提升服务履约率。

针对协同与管制环节风险集中于主体协调、信息交互与安全保障的特征，应当着力打通跨部门协作壁垒，并完善基础设施、健全数据安全管控机制。在协同管理层面，需建立“军地民”三方协同议事机制，统一飞行规则与调度标准，企业应与空管部门建立常态化沟通渠道，作业前多方协调、作业中实时共享飞行动态。此外，还应完善低空通信导航监视网络，终端配置多模通信模块支持多链路备份与自动切换，同时部署数据加密传输通道，建立分级分类权限管控与可追溯机制，定期开展数据安全合规审计。

针对无人机作业环节风险主要源于设备可靠性、环境适应性与人为操作不确定性，应通过技术赋能与管理优化双管齐下。在技术风险得分与环境层面，应建立全生命周期设备健康管理体系，借鉴虚实融合孪生测试平台模式提升产品研发效能，在使用时引入预测性维护技术，对电池衰减、电机异常等提前预警，并配置多源感知融合系统提升复杂环境下定位精度与避障能力，接入实时气象预警建立应急迫降程序。在人员管理层面，可构建分级分类培训认证体系，将安全飞行时长、故障处置效率纳入绩效考核，推动操作流程标准化。

针对多元配送与服务交付环节风险集中于落地精准性、时效稳定性与末端协同性，应当围绕起降设施、动态调度与信息交互推进精细化管控。在起降与时效管控方面，应推进起降场标准化建设，利用激光雷达点云数据构建着陆性分析系统，快速识别安全降落位置；同时建立动态航线规划系统，实时接入空域管制及周边环境数据，对时效敏感场景设置优先级飞行通道。在末端协同方面，应统一信息交互标准，推动接驳设备间数据实时同步，通过需求预测模型优化接驳点布局与人员排班，提升首次接驳成功率。

针对逆向服务与回收环节风险集中在成本控制、流程效率与合规管理方面，应从标准化建设与前置审查入手完善闭环体系。制定逆向作业分级响应标准，简单故障可远程重启或就近降落；此外，还可与保险公司合作开发责任险，增强风险防范能力，降低逆向服务成本。构建回收网络与再制造体系，同时建立分拣、检测、维修全流程区域

性回收中心,对高价值部件开展梯次利用与再制造。在合规管理方面,由行业协会牵头制定售后服务团体标准,设立合规审查岗位,对逆向作业关键环节开展前置合规评估,确保全流程符合法规要求。

4 研究结论

本研究创新性地运用 SCOR 模型系统识别低空多元服务供应链五大环节的关键风险,构建了系统的风险评估体系,综合运用 AHP 与模糊综合评价法评估整体风险水平,并针对各环节提出管控策略。研究拓展了 SCOR 模型在低空经济领域的应用,为企业优化风险管控、政府完善监管政策提供了理论与实践参考。未来可进一步探讨风险动态传导机制,结合案例进行实证验证,并跟踪政策演变对供应链风险的影响。

参考文献:

- [1] 沈映春. 低空经济“管得住才能放得开”[J]. 人民论坛, 2026, (01): 66-71.
- [2] 马林. 基于 SCOR 模型的供应链风险识别、评估与一体化管理研究[D]. 浙江大学, 2005.

[3] 孙红冉, 施彦. 基于 SCOR 模型的 A 食材供应链企业供应链绩效评价研究[J]. 物流科技, 2026, 49 (05): 117-120+130.

[4] 路世昌, 张彭涵. 基于 SCOR 模型的生鲜电商行业供应链风险研究[A] 第十九届(2024)中国管理学年会——风险管理专题论坛论文集[C]. 中国管理现代化研究会, 中国管理现代化研究会, 2024: 8.

[5] 张水旺, 李悦, 毛祥战. 政策工具与物流企业低空服务拓展的演化博弈分析[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 1-12.

[6] 马里, 杨招峰. 工程企业供应链风险识别及管控措施[J]. 水泥工程, 2024, (05): 86-90.

基金项目: 2025 年省级大学生创新创业训练计划项目:《低空互联平台下多元飞行服务供应链风险管控研究(基金号: 202513573033Y)》。

作者简介: 张德慧(2005-), 女, 汉族, 江苏南京人, 本科在读, 研究方向: 物流与供应链管理。