# ESGT框架下低空经济活动风险的识别、评估与治理

梁丽芝，唐 婷，梅佳乐

（湘潭大学公共管理学院，湘潭 411105）

**摘要：**低空经济在蓬勃发展之时，低空活动中的风险也频现高发态势，针对风险诱因展开识别、评估与防范，对保障其健康、有序、长远发展具有重要意义。基于低空经济活动全流程视角，建构ESGT（环境-社会-治理-技术）四维风险识别框架，将其风险诱因划分为技术风险、环境风险、社会风险与治理风险4个大类。在此基础上，引入等级全息建模法（HHM）构建低空经济风险因子体系，共涵盖4个一级维度、12个二级维度和47个风险因子。进一步运用层次分析法（AHP）进行量化赋权评估，从而分层提炼出高风险因素框架。研究发现：技术层极高风险因子主要为“飞行器故障易发性”；环境层为“低空活动干扰生物栖息”；社会层为“低空服务公众接纳”与“低空配送职业替代”；治理层为“空域分类管理”与“跨域低空执法协作”。并从突破低空通航安全技术、打造生态协同共治格局、完善低空服务市场规范、优化空域治理制度体系4方面提供风险治理参考策略。

**关键词：**低空经济；ESGT（环境-社会-治理-技术）框架；等级全息建模；风险评估；风险治理

**中图分类号：**D035；F272 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)03－0090－08

2024年被广泛视为中国“低空经济元年”。年初，国家发展改革委专设低空经济发展司，加强了产业发展的顶层设计与统筹协调。2024年国务院工作报告亦明确将低空经济列为要积极培育的新增长引擎。在中央政策的有力引领下，全国已有30个省份在各自的年度规划中将低空经济列为重点发展方向，产业发展的热潮迅速兴起[1]。据《中国低空经济发展研究报告（2024）》预测，中国低空经济市场规模将保持高速增长，预计2025年可达1.5万亿元，到2035年有望突破3.5万亿元[2]，展现出巨大的发展潜力，正成为推动中国经济高质量转型的重要新动能。

然而，低空经济迅速跃升为国家政策议程并有望成为万亿级产业的同时，其活动所衍生的危害日益呈现出频发态势和高致害性，在迅猛发展中也伴生着空域运行冲突、安全事件隐患、隐私泄露担忧、监管滞后挑战以及生态环境影响等多重复杂风险[3]。依据风险发生根源与作用机制，可划分为内生性风险与衍生性风险两大维度。前者主要根植于低空经济活动自身的技术特性、制度环境与参与主体等核心要素失范所引致的；更为严峻的是后者，其影响范围已突破产业边界延伸至公共安全、数字治理与社会经济等多维领域。因此，如何系统性识别低空经济活动的风险样态并开展高效治理，以保障其健康、有序、可持续发展，上升为学界亟待回应的现实之问。

基于此背景，以低空经济的活动风险为研究对象，建构起ESGT（环境-社会-治理-技术）四维风险识别框架，系统性解构不同维度下低空经济风险的具体样态，进而运用等级全息建模法（hierarchical holographic modeling，HHM）构建覆盖全生命周期、贯穿多层级主体、兼顾多维度要素的低空经济风险因子体系，并采用层次分析法（analytic hierarchy process，AHP）法进行分级评估与防范路径探索，以期为低空经济风险防范与科学治理提供理论支撑和实践参考。

## 1 文献回顾

### 1.1 低空经济应用潜力释放

低空经济跃升为国家重要政策议题，相关学术研究也迅速涌现。目前学界普遍认为，低空经济蕴含巨大的发展潜力，无论是在产业融合层面，还是技术创新层面，抑或业态场景应用层面，都是当前

**收稿日期：**2025-08-04

**基金项目：**国家社会科学基金一般项目（23BSH032）；湖南省研究生科研创新重点项目（CX20250925）

**作者简介：**梁丽芝（1965—），女，广东高州人，教授，博士研究生导师，研究方向为国家公务员制度与公共部门人力资源管理；通信作者唐婷（2002—），女，四川成都人，硕士研究生，研究方向为低空经济与公共治理；梅佳乐（2002—），男，湖北黄冈人，硕士研究生，研究方向为经济与科技政策。

重要的经济增长点[4]。就产业融合性而言,低空经济除承继传统通用航空制造业外,其产业链还涵盖低空运营服务、空勤保障和基础设施建设等多维领域。周钰哲[5]认为,低空经济能进一步培育更多新业态,发挥"1+1>2"的产业融合应用价值,助益开放式的低空产业生态圈形成。就技术创新性而言,低空经济相关产业由能源动力、飞行控制、通信导航、探测遥感、低空起降等核心技术融合而成,低空经济不仅驱动上述尖端技术实现重大攻关突破,而且还能撬动实体经济的数字化转型。就场景应用性而言,蓝寿荣[6]指出"低空+$X$"的跨域融合应用催生了多个新业态,有力促进了传统行业与数字经济的深度耦合。在农业生产中,植保无人机助力实现农业精细化种植与农田管理[7];旅游业则借助低空观光、航拍体验及航空器试飞等低空消费项目,为游客提供全新样式的游览体验。物流领域受益于快递无人机,促进了同城即时配送、跨城急送、多线配送等现代物流服务模式的创新[8]。此外,在应急救援领域,监测无人机显著提升了火灾预警、水域污染监控、边境及海洋巡逻等应急任务的执行效率。整体而言,作为一体化融合一、二、三产业的新兴经济形态,低空经济已然成为新质生产力的典型样态,并渐趋成为引领区域经济高质量发展的新动能。

### 1.2 低空经济活动风险加剧

尼尔·波斯曼[9](Neil Postman)曾预言,技术与人的关系具有两面性。任何新兴产业的出现都伴随着新的社会问题与发展风险,低空经济也不例外。梳理既有研究发现,学界把低空经济活动风险大体归为 4 类:①飞行碰撞风险。基于现代城市空域的复杂性,余莎莎和陈星雨[10]指出低空飞行器在城市环境中易受建筑物、高压线等障碍物影响,与有人驾驶航空器的融合飞行存在高概率碰撞风险。李大朋[11]则进一步论证,当前低空市场飞行量的激增导致管理难度指数级上升,传统空管系统难以应对而事故攀升。②公共安全风险。由于无人机在人口密集区作业的特性,在物流配送、载人交通等场景中因通信中断或电池故障失控,可能直接威胁地面人员安全,甚至导致连锁性事故灾难。另外,郑文革和刘婕[12]还认为低空飞行器(如遥感无人机)的非法入侵可能对国家安全和关键基础设施造成严重侵损或数据泄漏威胁。③规范缺位风险。廖小罕等[13]指出,一则现行低空航路划设、避让规则、责任认定等标准尚未统一,导致不同设备兼容性差甚至供应商设备互斥的尴尬境地;二则低空技术及应用场景的创新远超法规的制定周期,法规碎片化和政策打架现象又进一步加剧执行困惑。④监管漏洞风险。李诚龙和曾新宇[14]发现,一方面传统监管雷达与现有反制手段对"低慢小"目标(如微型无人机)的漏报、误报率较高;另一方面现实监管中管制"真空地带"颇多,致使大量无人机未按规定报备"黑飞""乱飞",进一步放大安全风险。概言之,低空经济的迅猛发展与其风险显现相伴而生,如若任由风险放大而不及时预判和防范,势必不利于新兴产业的持续健康发展,甚至造成灾难性后果。因此,如何对低空经济活动风险进行识别与防范上升为重要的研究议题。

综上所述,目前低空经济相关研究多立足于积极层面,阐释低空经济赋能新质生产力的逻辑理路与产业体系化应用的市场潜力,而针对低空经济活动风险及危害防范的研究较少。既有风险研究的探讨则较为浅显,风险分类也相对粗糙,尚未形成系统化的风险体系。且鲜有针对低空经济活动的全流程进行风险分析,多采用质化研究而量化支撑不足。在此背景下,为进一步回应国家政策呼唤及现实治理困境,拓展低空经济既有研究视角和范畴,基于 ESGT 框架捕捉低空经济活动全流程中的风险诱因,并应用 HHM 法构建低空经济的风险全息图,进而系统性地识别、评估和防范各类风险,为低空经济的风险管理决策提供参考。

## 2 理论框架与研究设计

### 2.1 ESG 理论及应用

ESG 理念发轫于 2004 年联合国环境规划署所发表的报告,它是环境(environment)、社会(social)与治理(governance)的缩略语。作为社会责任(CSR)理念的进阶,该理念已成为评估组织管理、风险管理和非财务绩效的关键指标[15]。在全球经济一体化背景下,ESG 理念迅速传播并关注广泛。从具体内涵来看,环境(E)维度主要关注资源消耗、污染防控和气候变化等生态议题[16],社会(S)维度聚焦于劳动安全、雇员权益与社区和谐等社会议题[17],治理(G)维度则侧重于组织分权、顾客参与、风险管理等公司治理事项[18]。

国内学界对 ESG 理念的研究起步较晚,且对 ESG 应用于新兴技术产业中风险管理领域的探讨着墨甚少。既有研究呈现两大核心脉络:从宏观层面审视,新兴技术产业在 ESG 风险评估方面面临若干结构性难题。一则新兴产业发展历程较短,可用

历史风险数据较为匮乏且质量良莠不齐，导致风险评估结果的准确性难以保证[19]；二则缺乏统一规范的 ESG 行业评价标准，致使不同企业横向或内部间评价结论的可比性较低[20]。从微观层面考察，由于新兴技术行业具备技术迭代迅速、业务模式新颖等特性，其独特性风险往往难以被传统评估框架充分识别，且不同产业在引入 ESG 框架进行内部风险管理中重点指标选取存在差异，从而共同掣肘了评估的周全性与可靠性[21]。质言之，作为开放性较高的概念，ESG 框架具有较强的应变能力，不仅涉猎不同的领域和主题，更具有制度进化的特征[22]。它可不断吸收新的社会议题，并将新兴产业发展中的矛盾纳入分析框架，这一特性使得基于 ESG 视角来识别与分析低空经济活动中的风险具有可行性。作为新质生产力的重要构成，低空经济得以迅猛发展之时，其现实活动及应用场景的不断延伸也给环境、社会和治理等方面带来了新兴挑战，如何积极推动 ESG 发展模式与中国绿色低碳转型大背景相结合，实现低空经济的可持续发展成为亟待解决的现实课题。

### 2.2　ESGT 风险识别框架

从当下政策制定者及学界对 ESG 的探讨来看，ESG 几乎成为一个无所不包的伞概念，从不同维度可以深入挖掘 ESG 的不同意蕴[23]。而低空经济是以有人/无人驾驶航空器、电动垂直起降（eVTOL）飞行器、空中交通管理系统（UTM）等技术为核心载体的新兴经济业态，呈现出技术密集性、创新迭代快和系统集成度高等显著特征，传统 ESG 框架因难以全面覆盖其风险谱系而阐释力有限。因此，在低空经济风险管理领域中，可通过增设技术（T）维度构建出 ESGT（环境-社会-治理-技术）框架以实现分析框架的升级与适配。①为风险识别提供理论支撑。作为新兴产业形态，低空经济的风险谱系呈现出多维度交织、跨领域传导和高度复杂性的特征，而 ESGT 框架通过环境、社会、治理与技术 4 个维度的有机整合，能全面涵盖和透析核心风险领域。②为风险评估提供量化指标参考。ESGT 各维度下包络了不同关注议题，在运用 HHM 法解构低空经济活动风险时，能助益构建出一套详尽且具体的量化指标体系，从而强化风险评估的可操作性。③为风险治理提供宏观策略指引。ESGT 框架贯穿低空经济发展全流程，能提供体系化的风险识别方案和全链条的风险管控策略，助益决策主体提前预判风险与制定防范措施，推动低空经济长足良性发展。总的来说，虽然 ESGT 并非一个固定的概念，但是作为一个框架系统，为洞悉低空经济的活动风险提供了至关重要的认知前提，也为其风险治理路径的靶向构建提供了方向性参考。

基于 ESGT 风险识别四维框架，纵观低空经济研发与应用全流程，主要活动风险可划为 4 个大类，即技术风险、环境风险、社会风险与治理风险（图 1）。其中，技术风险源于底层数据的固有缺陷与算法模型误差，涵盖航空器技术、智能系统技术、基础设施技术 3 个维度，共同构成了低空经济系统的内生性风险源；环境风险则关注环境层面所衍生的地空安全、恶意使用与生态污染问题，标志着低空经济活动风险由内向外的扩散和蔓延；社会风险则体现为“低空＋$X$”新业态在空中交通、应急救援、公共服务等场景应用环节的潜在隐忧，一方面是公众对低空服务的接受信任度和消费意愿不振，另一方面是产业投资氛围与商业开发环境不佳，进一步形塑出其社会危害的隐匿性与扩散性；治理风险涉及运营与监管策略的有效性，凸显为空域管理混乱、法规标准缺失、执法监督乏力等现实难题，并受制于环境与社会风险源的传导影响。值得注意的是，低空经济 4 类主要风险并非多源异构的，而是在其活动不同环节中呈现高度交叉和深度互嵌的特征，从而构成一个闭环的低空经济风险谱系。

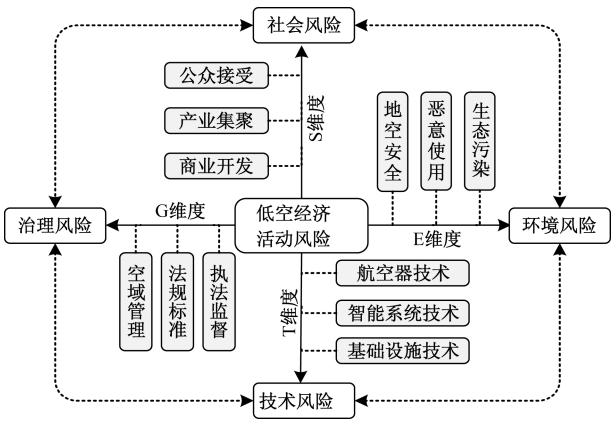



**图 1　低空经济活动风险 ESGT 识别框架**

### 2.3　研究设计

一般来说，ESGT 框架为低空经济风险识别提供了宏观指导和理论遵循，但难以全景扫描和归纳各维度下风险因子的具体样态。HHM 法则提供适切性的方法论补充，其核心思想是通过反复迭代和修正来建构风险因子体系，以规避传统风险评估中

的视角局限和扫描盲区[24]。低空经济是复杂适应性系统,具有多主体参与、多要素交互、多层级结构特征,与 HHM 法的风险分析思路高度适配,也契合低空经济风险防范的实践需求。基于此,在研究思路上,采用主观判断与客观分析相结合的方式(图 2)。首先前期结合文献资料搭建 ESGT 风险识别框架,进而遵照 HHM 法反复迭代的思想,得出初步的风险要素 HHM 分析框架。再由专家 1 组进行审核,其中包含 8 位来自低空经济产业研究所与高校的工作人员,以检验这一框架的科学性、穷尽性和可操作性。若审核通过,则依据此结果展开评估,否则,在专家 1 组提出意见的基础上进行修正,重复上述操作直至通过为止。进一步地,邀请 6 位专门从事风险与应急管理领域的学者组成专家 2 组,运用层次分析法(AHP)进行量化赋权和分层划设,最后过滤和提炼出高风险 HHM 框架,并针对高风险因子提出防范策略。

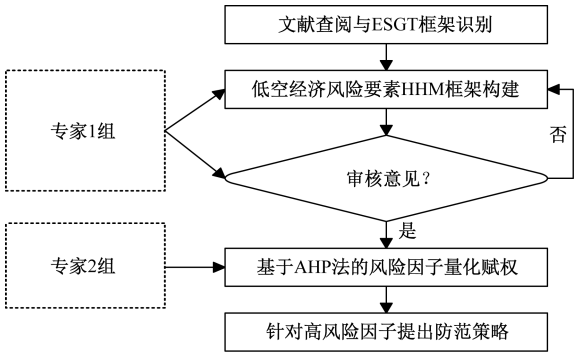



**图 2　研究思路与迭代流程**

## 3　低空经济活动风险因子识别

### 3.1　基于 HHM 法的风险识别框架构建

在前期海量文献阅读基础上,基于上述 ESGT 四维风险识别结果,进一步结合实践观察,收集各类低空经济产品的特征信息,包括但不限于飞行器性能参数、适航认证信息、空管系统数据、起降设施安全标准、用户协议、行业监管政策及低空事故报道内容等,据此析出潜在的三级风险因子;同时,应用 HHM 框架来验证风险源的覆盖度,如若不能完全穷尽或存在解释盲区,则增补新的风险维度或因子来修正框架;最后,结合专家 1 组的参评意见,经过多轮反复的校验和调整,建构出最终的 HHM 框架(图 3)。具体来看,低空经济风险 HHM 框架共涵盖技术通航、环境约束、社会规范、治理监管 4 个一级指标,12 个二级指标,各维度下梳理相关风险因子共 47 项。

### 3.2　HHM 风险情景子模型提取

除支持单诱因评估外,HHM 法还可以联立风险因子开展情景评估,这也是其区别于传统风险评估法的独有优势[25]。参照这一思路,以“治理监管—社会规范”这一情景子模型为例(图 4),将这两种视角的风险因子进行交错关联分析,可提炼出共 144 种风险情境。

以“治理监管”为基础,当其中空域管理(空域分类管理、空域开放管理、空域航线管理、跨境飞行管理)、法规标准(低空央地法规标准、低空适航认证标准、低空运营资质标准、低空数据保护标准)和执法监督(违规黑飞行为处罚、违法低空活动制裁、新兴低空业态监管、跨域低空执法协作)层面出现风险时,“社会规范”层面的风险漏洞也会随之凸显,进一步组成差异化的风险情景。如若基础视角中的“公众接受”“产业集聚”与“商业开发”风险因子处置到位,那么衍生风险情景的危害性将得到有效控制;而若其中任意子维度的风险管理出现问题,基础风险将被其上层风险进一步催化。同理,“公众接受”“产业集聚”和“商业开发”的风险程度也会对“治理监管”中的潜藏风险因子产生传导作用。以此类推,通过组合不同维度的风险因子,结合 HHM 框架可构建出上千种可能的衍生风险情景。

### 3.3　低空经济风险因子体系建构

等级全息建模法通过构建多层级 HHM 模型和双层子模型等网状结构,不仅能分析多维风险因子间的耦合关系,还可为风险量化测评提供体系化的指标参考。结合图 3 的 HHM 风险识别框架,构建出可量化测度的低空经济风险因子评估指标体系,具体包括 4 个一级指标、12 个二级指标和 47 个三级指标(表 1)。

## 4　低空经济活动风险因子评估与防范

基于前述风险因子评估指标体系,可进一步针对相关风险因子实施权重量化和层级划分。采用 AHP 法计算各项风险因子的相对权重,并通过五级分类标准对因子进行分层划设,以提炼出高风险 HHM 框架,为后续低空经济风险防范提供策略性参考。

### 4.1　基于 AHP 法的风险因子权重确定

层次分析法(AHP)是一种将复杂决策问题系统化分解的多准则决策方法。操作设计中,目标层为低空经济风险因子评估,准则层分别对应表 2 中的一级指标与二级指标,方案层则是三级量化指标。

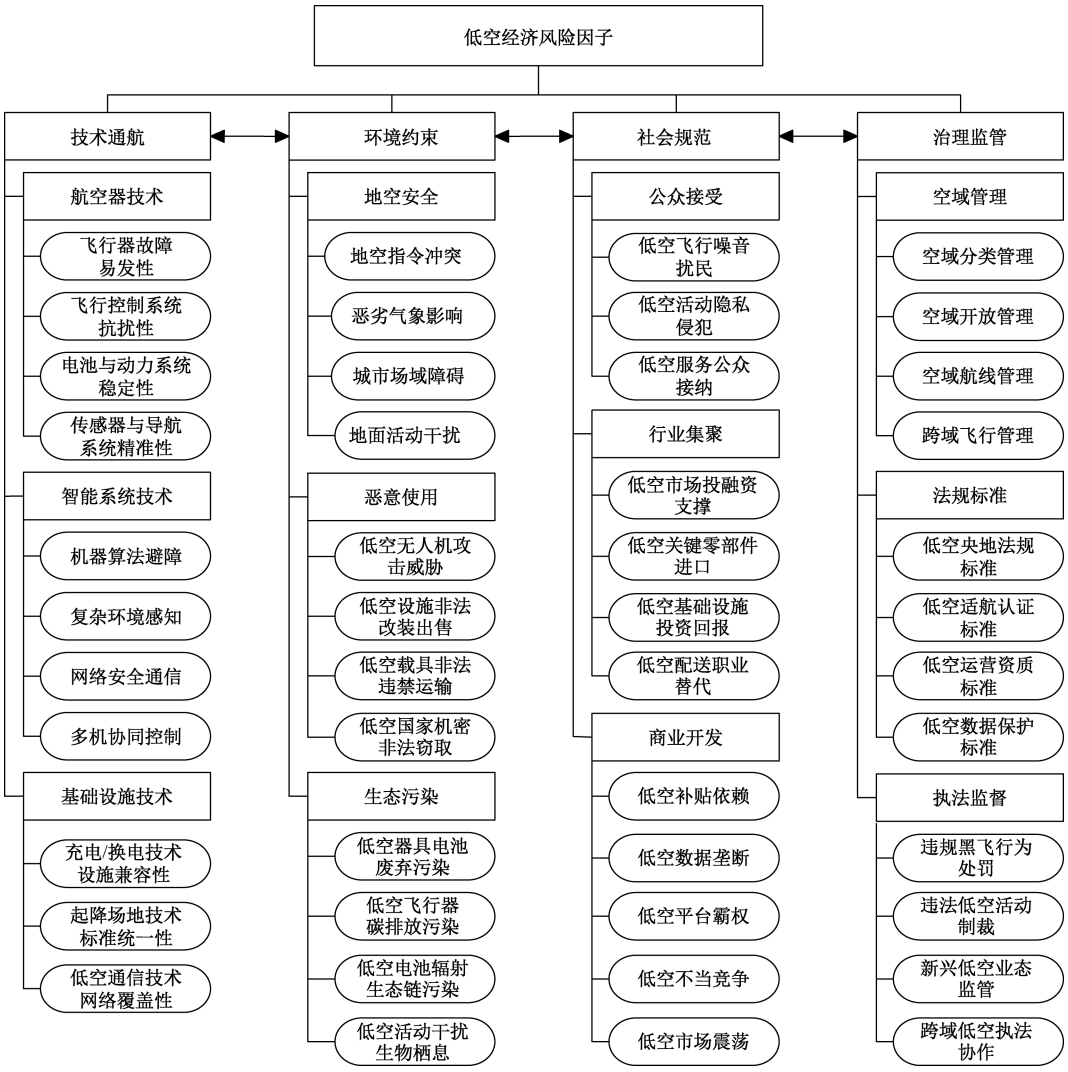



**图 3　低空经济风险因子 HHM 框架**

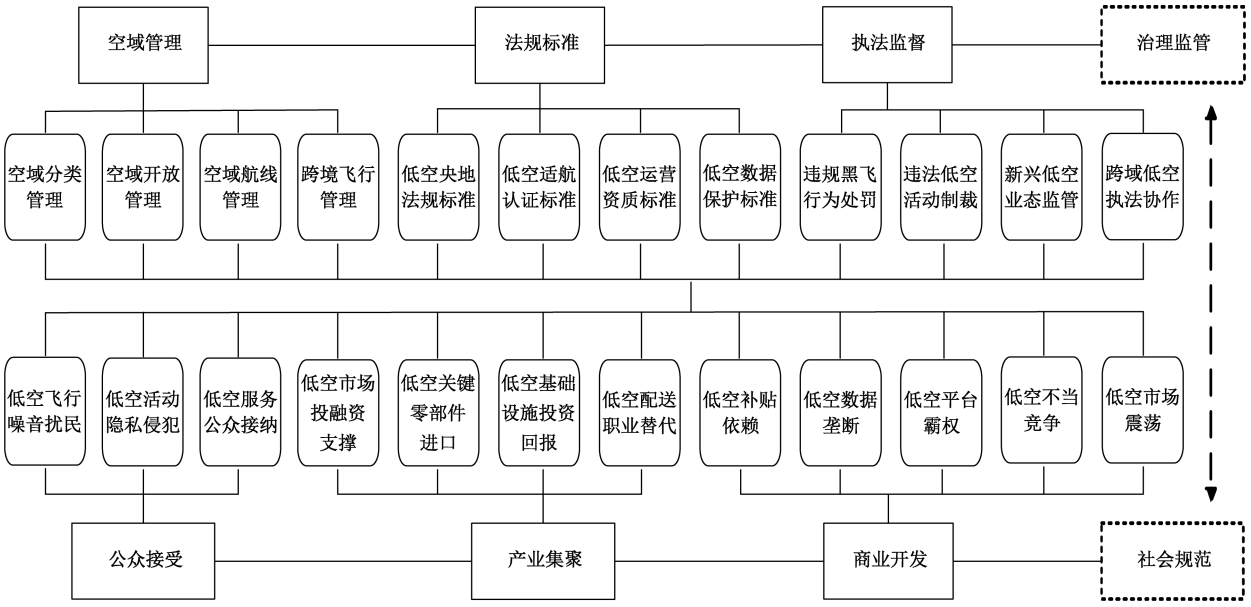



**图 4　“治理监管-社会规范”衍生风险情景**

**表 1　低空经济风险因子评估指标体系**

| 一级指标 | 二级指标 | 三级指标 |
|---|---|---|
| 技术通航 $A_1$ | 航空器技术 $B_1$ | 飞行器故障易发性 $C_1$、飞行控制系统抗扰性 $C_2$、电池与动力系统稳定性 $C_3$、传感器与导航系统精准性 $C_4$ |
| | 智能系统技术 $B_2$ | 机器算法避障 $C_5$、复杂环境感知 $C_6$、网络安全通信 $C_7$、多机协同控制 $C_8$ |
| | 基础设施技术 $B_3$ | 充电/换电技术设施兼容性 $C_9$、起降场地技术标准统一性 $C_{10}$、低空通信技术网络覆盖性 $C_{11}$ |
| 环境约束 $A_3$ | 地空安全 $B_4$ | 地空指令冲突 $C_{12}$、恶劣气象影响 $C_{13}$、城市场域障碍 $C_{14}$、地面活动干扰 $C_{15}$ |
| | 恶意使用 $B_5$ | 低空无人机攻击威胁 $C_{16}$、低空设施非法改装出售 $C_{17}$、低空载具非法违禁运输 $C_{18}$、低空国家机密非法窃取 $C_{19}$ |
| | 生态污染 $B_6$ | 低空器具电池废弃污染 $C_{20}$、低空飞行器碳排放污染 $C_{21}$、低空电磁辐射生态链污染 $C_{22}$、低空活动干扰生物栖息 $C_{23}$ |
| 社会规范 $A_2$ | 公众接受 $B_7$ | 低空飞行噪音扰民 $C_{24}$、低空活动隐私侵犯 $C_{25}$、低空服务公众接纳 $C_{26}$ |
| | 行业集聚 $B_8$ | 低空市场投融资支撑 $C_{27}$、低空关键零部件进口 $C_{28}$、低空基础设施投资回报 $C_{29}$、低空配送职业替代 $C_{30}$ |
| | 商业开发 $B_9$ | 低空补贴依赖 $C_{31}$、低空数据垄断 $C_{32}$、低空平台霸权 $C_{33}$、低空不当竞争 $C_{34}$、低空市场震荡 $C_{35}$ |
| 治理监管 A4 | 空域管理 $B_{10}$ | 空域分类管理 $C_{36}$、空域开放管理 $C_{37}$、空域航线管理 $C_{38}$、跨境飞行管理 $C_{39}$ |
| | 法规标准 $B_{11}$ | 低空央地法规标准 $C_{40}$、低空适航认证标准 $C_{41}$、低空运营资质标准 $C_{42}$、低空数据保护标准 $C_{43}$ |
| | 执法监督 $B_{12}$ | 违规黑飞行为处罚 $C_{44}$、违法低空活动制裁 $C_{45}$、新兴低空业态监管 $C_{46}$、跨域低空执法协作 $C_{47}$ |

随后,由专家 2 组进行指标评析,通过两两比较评估结果,来构造各层级元素的判断矩阵,并计算特征向量以确定要素的相对权重。最后,利用 yaahp 软件完成权重计算和一致性检验(CR 值),结果显示所有层级的 CR 值均小于 0.1,满足一致性要求,具有逻辑合理性。

在此基础上,参照应急管理领域中五级风险标准进行因子分层(表 3),其中极高风险指标(Ⅰ级)需要重点管控,较高风险指标(Ⅱ级)则需要持续关注,中度风险(Ⅲ级)执行常规管理,而低度风险(Ⅳ级)和极低风险(Ⅴ级)的危害相对有限。经统计,共有极高风险指标 6 个,高风险指标 7 个,中度风险指标 7 个,低度与极低风险指标各为 9 个与 18 个。以上因子分级结果,能为精准防范与分层治理低空经济风险提供方向性参考。

### 4.2　高风险因子 HHM 框架提炼

提炼高风险因子后,可进一步针对原始 HHM 框架进行简化和过滤,从技术层、环境层、社会层与治理层着手,构造高风险因素 HHM 框架(图 5),其中加粗的为需优先治理的极高风险因素。综合来看,在全息透视扫描下,低空经济极高风险因子包括技术层面的“飞行器故障易发性”;环境层面则是“低空活动干扰生物栖息”;社会层面为“低空服务公众接纳”与“低空配送职业替代”;治理层面囊括“空域分类管理”和“跨域低空执法协作”。同时,上述极高风险与高风险因子也是当前低空经济风险防范的关键切口和重点抓手。

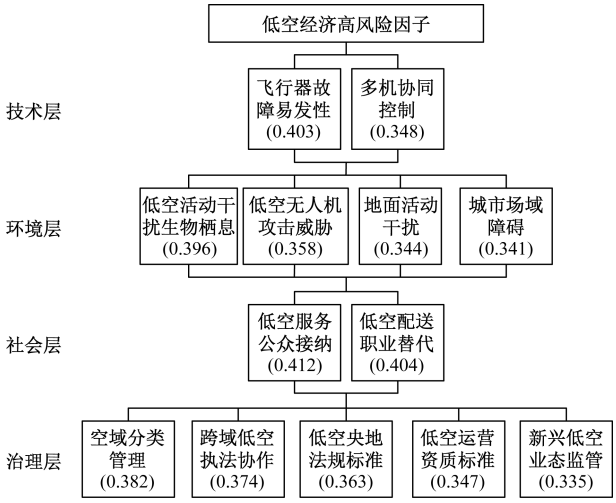
**表 2　低空经济风险因子指标权重值**

| 一级指标 | 二级指标 | 三级指标 |
|---|---|---|
| $A_1$(0.22) | $B_1$(0.624)、$B_2$(0.121)、$B_3$(0.255) | $C_1$(0.403)、$C_2$(0.321)、$C_3$(0.055)、$C_4$(0.221);$C_5$(0.144)、$C_6$(0.261)、$C_7$(0.247)、$C_8$(0.348);$C_9$(0.332)、$C_{10}$(0.334)、$C_{11}$(0.334) |
| $A_2$(0.272) | $B_4$(0.254)、$B_5$(0.121)、$B_6$(0.625) | $C_{12}$(0.184)、$C_{13}$(0.131)、$C_{14}$(0.341)$C_{15}$(0.344);$C_{16}$(0.358)、$C_{17}$(0.231)、$C_{18}$(0.197)$C_{19}$(0.214);$C_{20}$(0.297)、$C_{21}$(0.119)、$C_{22}$(0.188)、$C_{23}$(0.396) |
| $A_3$(0.165) | $B_7$(0.665)、$B_8$(0.177)、$B_9$(0.158) | $C_{24}$(0.332)、$C_{25}$(0.256)、$C_{26}$(0.412);$C_{27}$(0.154)$C_{28}$(0.332)、$C_{29}$(0.11)、$C_{30}$(0.404);$C_{31}$(0.33)$C_{32}$(0.217)、$C_{33}$(0.289)、$C_{34}$(0.145)、$C_{35}$(0.019) |
| $A_4$(0.343) | $B_{10}$(0.250)、$B_{11}$(0.450)、$B_{12}$(0.300) | $C_{36}$(0.382)、$C_{37}$(0.256)、$C_{38}$(0.26)、$C_{39}$(0.102);$C_{40}$(0.363)、$C_{41}$(0.191)、$C_{42}$(0.347)、$C_{43}$(0.099);$C_{44}$(0.131)、$C_{45}$(0.16)、$C_{46}$(0.335)、$C_{47}$(0.374) |
| CR≈0.02 | CR≈0.017 | CR≈0.031 |

注:括号内为权重。

**表 3　低空经济风险因子分级标准及结果**

| Ⅰ级 | Ⅱ级 | Ⅲ级 | Ⅳ级 | Ⅴ级 |
|---|---|---|---|---|
| 极高风险 | 高度风险 | 中度风险 | 低度风险 | 极低风险 |
| 0%～20% | 21%～40% | 41%～60% | 61%～80% | 81%～100% |
| $C_{26}$、$C_{30}$、$C_1$、$C_{23}$、$C_{36}$、$C_{47}$ | $C_{40}$、$C_{16}$、$C_8$、$C_{42}$、$C_{15}$、$C_{14}$、$C_{46}$ | $C_{10}$、$C_{11}$、$C_{31}$、$C_9$、$C_{24}$、$C_{28}$、$C_2$ | $C_{20}$、$C_{33}$、$C_6$、$C_{38}$、$C_{25}$、$C_{37}$、$C_7$、$C_{27}$、$C_4$ | $C_{32}$、$C_{19}$、$C_{18}$、$C_{41}$、$C_{22}$、$C_{12}$、$C_{45}$、$C_{27}$、$C_{34}$、$C_5$、$C_{13}$、$C_{44}$、$C_{21}$、$C_{29}$、$C_{39}$、$C_{43}$、$C_3$、$C_{35}$ |




括号内为因子权重

**图 5　高风险因子 HHM 框架**

### 4.3　高风险因子治理路径探索

总体而言，针对高风险因子 HMM 框架，基于 ESGT 风险分析框架，遵照“技术精益-环境约束-社会规范-治理防控”的风险演进链式，可从以下方面探索治理路径。

(1)在技术风险层面，需突破低空通航安全技术。针对“飞行器故障易发性”这一极高风险诱因，一方面在设计制造阶段采用轻质高强复合材料，并严格筛选符合航空级别的标准元器件；另一方面在低空作业阶段实时监控，在飞行器各关键部位部署传感器网络，实施数据预处理和初级故障诊断，从根本上削弱技术缺陷风险。

(2)在环境风险层面，应打造生态协同共治格局。①完善低空飞行环境影响评估体系，推动环保、林业、空管等跨部门间的数据共享互通，并鼓励公众举报违规违法飞行活动，从而形成社会共治格局；②强化生态协同管理，建立“低空生态保护区”名录，制定差异化飞行规则，加强飞手生态保护培训，并利用无人机开展生态巡护与物种监测，降低对生物栖息地的侵扰和破坏。

(3)在社会风险层面，需完善低空服务市场规范。低空服务业属于政策驱动型产业，既要强化政策激励和财政补贴，也要完善市场规范和严格法律惩戒，营造风清气正的行业生态，消弭群众的消费顾虑并激发市场投资热情。同时，面对“低空＋$X$”新业态持续应用所引致的“机器换人”的职业浪潮，必须通过定向职业技能培训和开发人机协作新岗位，系统缓解低空技术应用导致的职业替代冲击难题。

(4)在治理风险层面，需优化空域治理制度体系。针对空域分类混乱问题，应建立动态空域划设机制以优化空域使用，以及分级放权制度来强化“军地民”协同管理效率；针对执法协作困难问题，宜因地制宜建立跨省域协同规则试点或执法协作示范区，整合各地空管、公安、交通运输部门资源，进而提升执法联合处置响应效率。概言之，整个对策体系的核心在于以智能科技夯实安全底线，以生态协同实现环境和谐，以市场规范筑牢行业秩序，以制度创新保障发展质量，让低空经济的技术红利真正实现安全、有序、公平地落地。

## 5　结论与讨论

如何在系统识别低空经济全链条、多场景风险的基础上，建立健全精准高效的风险预警与安全管控体系，对于切实落实国家“无安全不低空”的政策愿景，保障低空经济健康、有序、可持续发展具有重大意义。本文中尝试建构基于 HHM 的低空经济风险因子体系，并运用 AHP 法展开风险量化评估与分级，旨在为风险防范提供有效策略。总的来说，研究的主要结论是：①基于 ESGT 风险识别框架，从低空经济活动全流程来看，其主要风险诱因可划分为技术风险、环境风险、社会风险与治理风险 4 个大类；②当前低空经济风险因子体系主要由技术通航、环境约束、社会规范和治理监管 4 个一级指标、12 个二级指标和 47 个风险因子构成；③在低空经济高风险框架中，技术层极高风险因子主要为飞行器故障易发性，环境层为低空活动干扰生物栖息，社会层为低空服务公众接纳与低空配送职业替代，治理层为空域分类管理与跨域低空执法协作；④针对高风险因素防范，可以从突破低空通航安全技术、打造生态协同共治格局、完善低空服务市场规范和优化空域治理制度体系 4 方面着手防控与治理。

整体而言，本文的边际贡献是：①在低空经济领域率先引入 HHM 方法，构建了相对全面的风险因子体系，弥补了现有研究风险分类笼统与量化支撑不足的缺憾；②对该体系进行层级化处理，形成高风险因子 HHM 框架，助益低空经济风险的分级管理与精准防范。另外，研究也具有以下不足以待深化：①框架仍难以覆盖低空经济全流程的所有风险，且各维度间的因子存在交叉，分类颗粒度需进一步细化；②受限于低空经济现实活动的复杂性，研究仅聚焦于高风险因子识别与评估，未涉及因子间的动态作用机理探讨。

## 参考文献


[1] 刘祖兵. 我国低空经济发展的“冷思考”与“因应策”:基于产业风险治理的研究[J]. 经济问题,2025(6):10-21.

[2] 前瞻产业研究院. 2024 年中国低空经济报告:蓄势待飞. 展翅万亿新赛道[R]. 深圳:前瞻产业研究院,2024.

[3] 李学彦,李鑫. 低空经济、新质生产力与现代化产业体系建设[J]. 深圳大学学报(人文社会科学版),2025,42(3):16-26.

[4] 宋丹,徐政. 低空经济赋能高质量发展的内在逻辑与实践路径[J]. 湖南社会科学,2024(5):65-75.

[5] 周钰哲. 低空经济发展的理论逻辑、要素分析与实现路径[J]. 东南学术,2024(4):87-97.

[6] 蓝寿荣. 低空经济产业促进法的法理逻辑与制度体系[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2025,46(3):140-153.

[7] 何勇,王月影,何立文,等. 低空经济政策和技术在农业农村的应用现状与前景[J]. 农业工程学报,2025,41(8):1-16.

[8] COLAJANNI G, SCIACCA D. Multi-Layer 5G network slicing with UAVs: an optimization model[J]. Networks and Spatial Economics, 2023, 23: 755-769.

[9] 尼尔·波斯曼. 技术垄断:文化向技术投降[M]. 何道宽,译. 北京:北京大学出版社,2007:84.

[10] 余莎莎,陈星雨. 城市空中交通领域关键技术创新与挑战[J]. 航空学报,2024,45(1):26-47.

[11] 李大朋. 论面向人工智能的无人机监管法律变革[J]. 政法论丛,2023(3):90-101.

[12] 郑文革,刘婕. 低空经济发展中的潜在风险及其应对[J]. 阅江学刊,2025,17(2):97-106,173.

[13] 廖小罕,徐晨晨,叶虎平,等. 无人机应用发展关键基础设施与低空公共航路网规划[J]. 中国科学院院刊,2022,37(7):977-988.

[14] 李诚龙,曾新宇. 民用无人机运行事故致害法律责任探究[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版),2019,32(4):103-107.

[15] 施锦诚,王国豫,王迎春. ESG 视角下人工智能大模型风险识别与治理模型[J]. 中国科学院院刊,2024,39(11):1845-1859.

[16] 周宏春. ESG 内涵演进、国际推动与我国发展的建议[J]. 金融理论探索,2023(5):3-12.

[17] STRINE L E, SMITH K M, STEEL R S. Caremark and ESG, perfect together: a practical approach to implementing and integrated, efficient, and effective caremark and ESG strategy[J]. Iowa Law Review, 2021, 106(4): 1185-1247.

[18] SCHANZENBACH M M, SITKOFF R H. Reconciling fiduciary and social conscience: the law and economics of ESG investing by a trustee[J]. Stanford Law Review, 2020, 72(2): 381-454.

[19] 宋献中,潘婧,李晓溪. ESG 二十年:回顾与思考[J]. 当代会计评论,2025,2(1):1-42.

[20] 杨有红. ESG 风险管理面临的挑战与对策[J]. 财务与会计,2023(18):6-8,13.

[21] 纪晓萌. ESG 视角下高科技企业的环境风险识别、评估与控制策略[J]. 上海企业,2025(5):111-113.

[22] 肖红军,丁凤茹. 中国 ESG 发展:“十四五”回顾与“十五五”展望[J]. 改革,2025(4):44-62.

[23] 郑少华,王慧. ESG 的演变、逻辑及其实现[J]. 上海财经大学学报,2024,26(4):124-138.

[24] 刘家国,崔进,周欢,等. 基于 HHM-RFRM 的船舶航行风险评估方法研究[J]. 中国管理科学,2019,27(5):174-183.

[25] 向安玲,陶炜. 基于等级全息建模的 AIGC 风险识别与评估[J]. 情报杂志,2025,44(4):190-199.


# Identification, Assessment, and Governance of Risks in Low-altitude Economic Activities under ESGT Framework


LIANG Lizhi, TANG Ting, MEI Jiale

(School of Public Administration, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)



**Abstract**: While the low-altitude economy flourishes, risks associated with low-altitude activities are also increasing. Identifying, assessing, and preventing the causes of these risks is crucial for ensuring its healthy, orderly, and sustainable development. From a full-process perspective of low-altitude economic activities, constructs a four-dimensional ESGT (environmental-social-governance-technical) risk identification framework, categorizing risk causes into technical, environmental, social, and governance risks. Hierarchical holographic modeling(HHM) was used to establish a risk factor system, comprising 4 primary dimensions, 12 secondary dimensions, and 47 risk factors. The analytic hierarchy process (AHP) was then applied for quantitative weighting assessment, leading to a stratified high-risk factor framework. Key findings identify extreme high-risk factors: “aircraft failure susceptibility” (technical), “disturbance to biological habitats by low-altitude activities” (environmental), “public acceptance of low-altitude services” and “job displacement in low-altitude delivery” (social), “airspace classification management” and “cross-regional law enforcement collaboration” (governance). Governance strategies focus on: enhancing low-altitude aviation safety technology, fostering collaborative ecological governance, refining low-altitude service market regulations, and optimizing airspace governance systems.



**Keywords**: low-altitude economy; ESGT (environmental-social-governance-technical) framework; hierarchical holographic modeling; risk assessment; risk governance