

李冰冰,张惠珍,马良,等. 基于 AHP-模糊综合评价的无人机配送风险管理[J]. 智能计算机与应用,2024,14(9):48-55.
DOI:10.20169/j.issn.2095-2163.240907

基于 AHP-模糊综合评价的无人机配送风险管理

李冰冰,张惠珍,马良,姜楠

(上海理工大学管理学院,上海 200093)

摘要:为贯彻落实碳达峰、碳中和政策,物流行业逐步走向更加智能化、低碳化的道路,末端配送作为物流重要环节之一势必与无人机等人工智能技术融合发展,因此尽早了解无人机配送存在的风险并提出相应解决方案,对未来无人机配送的发展意义重大。首先基于无人机配送发展现状和存在问题进行分析并识别相应风险,建立评价指标体系进行风险因素分析,利用层次分析和模糊综合评价法确定指标权重并进行评价。研究表明,无人机配送的关键风险为技术水平风险。此外,为更好应对无人机配送存在的风险挑战,针对其他风险因素提出相应建议,从而降低无人机配送面临的的风险,推动未来无人机末端配送的普及发展。

关键词: 双碳; 无人机; 末端配送; 风险管理

中图分类号: F570.6

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)09-0048-08

Risk management of drone delivery based on AHP fuzzy comprehensive evaluation

LI Bingbing, ZHANG Huizhen, MA Liang, JIANG Nan

(School of Management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: To implement the policy of carbon peak and carbon neutrality the logistics industry is gradually moving towards a more intelligent and low-carbon road. As an important part of logistics, terminal distribution is bound to integrate with drone and other artificial intelligence technologies. Therefore, it is of great significance to understand the risks of drone distribution as early as possible and propose corresponding solutions for the future development of drone distribution. Firstly, based on the development status and existing problems of drone distribution, the paper analyzes and identifies the corresponding risks, establishes an evaluation index system to analyze the risk factors, and uses AHP and fuzzy comprehensive evaluation to determine the index weight and evaluate. The research results show that the key risk of drone distribution is technical level risk. In addition, in order to better deal with the risk challenges of drone distribution, the article also puts forward corresponding suggestions for other risk factors, so as to reduce the risks faced by drone distribution and promote the popularization and development of drone terminal distribution in the future.

Key words: carbon peak and neutrality; drone; terminal distribution; risk management

0 引言

2021年两会期间政府工作报告明确提出,要做好碳达峰、碳中和的各项工作。2021年10月14日,第二届联合国全球可持续交通大会开幕,会议强调要坚持生态优先,大力发展智慧交通和智慧物流,推动大数据、互联网、人工智能、区块链等新技术与

交通行业深度融合,实现绿色低碳的可持续发展。2022年全国两会期间提出要落实碳达峰行动方案,发展智慧城市、数字乡村,培育壮大人工智能等数字产业。而末端配送作为物流的重要环节之一,同样需要与大数据、人工智能等相结合,无人机等智能化配送技术应运而生。因此,考虑无人机配送中存在的各种风险并提出相应的解决措施,对未来智能化

基金项目: 国家自然科学基金(72101149); 教育部人文社会科学研究青年基金(21YJC630087)。

作者简介: 李冰冰(1998-),女,硕士研究生,主要研究方向:“双碳”政策下的风险管理,协同配送; 马良(1964-),男,博士,教授,主要研究方向:系统工程,智能优化; 姜楠(2002-),男,本科生,主要研究方向:人工智能。

通讯作者: 张惠珍(1979-),女,博士,副教授,主要研究方向:运筹学,智能优化。Email:zhzusstougao@163.com

收稿日期: 2023-05-07

配送的发展具有重大意义。此外,绝大部分无人机为电力驱动,在提高配送效率的同时,也能够更好地降低碳排放^[1],从而实现物流配送业的可持续发展。例如:Lemardelé等^[2]将带有无人机的配送方式与传统配送方式进行对比发现,既降低了配送成本和时间,也使得碳排放有一定幅度的下降,并且无人机在农村等人口密度较低的地方更能发挥其优势。张杰^[3]基于疫情时期配送到家的需求,考虑利用无人机配送使得配送服务更为流畅、高效。然而仅考虑无人机配送的优点,而忽视其存在的风险和劣势,势必给无人机配送的普及发展带来一定程度的阻碍。因此,本文通过对无人机配送进行研究,了解无人机目前存在的弊端和风险,以及这些风险对于无人机配送的影响程度,以及如何解决无人机配送面临的风险,从而对未来无人机配送的发展提供更好的建议和展望。本文采用风险管理常用的模糊综合评价法对无人机配送进行研究,该方法将定性与定量相结合,通过模糊数学对无人机配送受到多种因素制约的情况做出一个总体的评价,结果清晰、针对性强,可以更好地解决像风险管理这种模糊、非确定性且难以量化的问题。尽管传统的评价方法有很多,但每种方法都有其侧重点和主要应用领域,像无人机配送这种较新的领域往往会出现新的问题,因此模糊综合评价法显然更为合适。首先分析了解无人机配送所面临的风险,然后通过问卷调查对各个风险进行评价,同时确定各个风险指标的权重,最终利用模糊综合评价法对比各个风险的影响程度,找出影响程度最高的指标,并针对其提出相应的解决措施。

1 文献综述

1.1 无人机应用领域

对于无人机目前的应用领域方面,在发生紧急灾难的情况下,配备摄像头的无人机可以迅速查看灾难情况,为后方响应团队收集关键数据;另外在农业方面,无人机用于药物喷洒,既提高了播种效率,又降低了农业成本^[4]。武彤等^[5]立足于无人机物流配送行业,从无人机产业特性出发,解析无人机配送所面临的挑战,并提出解决方案以降低配送成本,提高客户满意度。Lemardelé等^[2]从效率、成本及环境等多个维度深入分析,明确了无人机在物流行业中的优劣势。此外,无人机作为新兴技术在物流配送领域具有广阔的市场需求与较大发展潜力。京东作为中国的大型电子商务公司,一直在积极发展其

无人机交付服务,在中国的北京、四川、陕西和江苏4个省份测试或运行至少7种不同类型的无人机^[6]。谷歌、阿里巴巴和京东等许多科技公司以及UPS、DHL和联邦快递等传统物流提供商,一直在试验和采用无人机递送服务。无人机递送公司Flirtey和DHL成功地完成了第一次完全自主的递送,将一些包括瓶装水、应急食品和其他急需的货物,运送到无法提供传统配送服务的地区^[7]。

1.2 无人机配送路径规划

对于无人机配送的路径优化方面,任新惠等^[8]通过考虑无人机在技术问题方面存在的不确定性故障来建立无人机配送模型,并利用蚁群算法求解,提供更为可靠的配送方案,最小化故障发生时产生的物流成本。蒋丽等^[9]为满足高层住宅的配送需求,充分发挥无人机的飞行优势,利用变邻域下降的混合蚁群算法,合理设置配送路线,降低无人机的能耗成本,为高层送货上门服务提供参考。冯文静等^[10]考虑无人机续航能力有限的问题,建立充电设施选址及路径规划模型,利用CW-IRCSA算法提高求解精度,相对于传统的配送方式,成本得到大幅度降低。王佳雪等^[11]基于无人机配送的动态能耗问题,考虑配送中心的选址和路径规划,利用k-means算法和遗传算法求解,为城市配送中心选址和物流服务提供可行性建议。

综上所述,当下的研究更多考虑无人机的应用和路径规划,对于无人机配送所面临的风险考虑较少。无人机虽然应用领域广泛,但配送的应用场景有所限制。此外,尽管可以满足高层客户的上门服务,但其续航能力有限,需与充电设备配合才能配送远距离客户。因此,识别无人机现存的各种风险,通过不同策略解决相应的受限问题,对未来无人机配送的发展具有深远意义。

2 无人机配送现状及问题

2.1 配送现状

无人机配送目前主要是运用在办公楼、园区等城市半封闭性质的场所,以及农村等较为偏远的地区。这一技术在国内发展非常迅速,不仅在疫情期间因其自动化、高效率、低成本、零感染等特点发挥了重要优势,而且由于其电动化水平也为减少碳排放做出了一定贡献。在国外,车辆和无人机当日可以将客户的货物送达,不仅降低了时间成本,同时也提高了客户的满意度^[12]。2013年,全球最大的电子商务公司亚马逊,宣布使用无人机完成订单的想

法。该公司提供无人机交付服务,可通过其 Prime Air 无人机在 30 分钟内交付客户订单^[13]。

由此可见,虽然无人机配送在国内外都已有了一定规模,但目前众多的无人配送公司还处于早期研发或小规模运营的阶段,未来还需在人机交互、全球定位系统、人工智能、云计算、大数据等技术上不断更新迭代,以满足更多样、更复杂的需求场景,最终实现商业化全面普及。

2.2 现存问题

2.2.1 技术水平

目前,无人机使用领域还有所限制,并且由于无人机在高空进行自动行驶,存在掉落的安全风险,再加上国外无人机偶发的事故也让人们对无人机的可靠性和实用性产生疑虑。此外,无人机配送初期投入成本高,很多中小企业无法承担其建设成本,尽管在之后的运营中可以有效缓解劳动力不足和劳动成本压力,但是真正实现无人配送的盈利还需要一定时日。

2.2.2 电池回收

尽管无人机配送利用电力设备驱动可以减少碳排放,但是无人机电池报废后的回收问题,也是影响低碳发展的关键所在。目前关于电池的回收没有一个较为完整的体系,这也是未来无人机大批量普及所面临的必然问题。

2.2.3 政策法规不完善

由于无人机配送还处于早期的发展阶段,并且政策出台又需要大量试点测试论证,因此政策法规完善度还有待加强,虽有一些技术层面的政策法规在陆续颁布^[14],但还未完全延伸至航行层面,在未来的普及过程中还存在着诸多难点。

3 无人机配送风险因素分析

3.1 风险来源

通过对无人机配送问题的分析发现,无人机配送存在着各种风险。为更深入认识这些风险,本文主要从内部因素和外部因素来分析无人机配送的风险来源。

3.1.1 内部因素

无人机配送前期需要投入较大的建设成本,很多企业难以负担起无人机的初始成本。除此之外,无人机本身的安全性和容量又受自身技术的限制,给无人机配送带来了一定的风险。尽管可以利用无人机的容量共享从而降低初始投资成本,但是在共享过程中各个企业之间的合作博弈也给无人配送的发展带来

一定的风险。此外,一些核心零部件的供应商发展情况,也会给无人配送带来一定的风险挑战。

3.1.2 外部因素

尽管无人机配送目前发展迅速,可能会是未来物流末端配送的主流发展趋势,但是一些法规对于无人机配送的发展可能会起促进作用,但也存在一些对于无人机配送的载重、速度、应用场所及技术等方面的政策限制,可能会影响其发展速度。另外,市场的不确定性也给无人机配送带来一定的风险,未来如果无人机市场加速发展,整个行业的竞争必然越发激烈,无人机配送的一些运营风险也会随之增加。

3.2 无人机配送风险识别

针对无人机配送存在的问题,根据风险的来源,进一步识别无人机配送所面临的风险。由于无人机配送存在技术水平不足、电池回收体系不完善以及政策法规不全面等问题,因此结合其风险来源,无人机配送面临的三大风险为技术水平风险、电池风险以及政策法规风险。

3.2.1 技术水平风险

1) 载重及续航风险

无人机配送虽然可以在一定程度上提升配送的效率,但是仅能配送体积较小、重量较轻的物品,对于大件货物其配送受到限制,加之无人机续航能力受到技术水平的影响,无法配送远距离客户,如果根据射程范围设置充电装置,反而增加无人机配送的建造成本。因此,载重和续航能力受限是无人机配送面临的主要风险。

2) 技术创新风险

顾客在进行取件过程中,可能会因为快递所携带的一些病毒造成感染,给疫情防控带来一定的风险。此外,无人机制造成本较高,找到更为创新的生产方式或材料来降低无人机制造费用,从而大规模发展无人机优势具有极大的不确定性。

3) 应用场景风险

当下,无人机配送的主要应用场景是在半封闭或农村地区,但在面向更加开放的环境下推广时,由于人群中个体的多样性、环境的复杂程度、建筑分布情况等因素,无人机会面临更大的技术考量。譬如,在开放环境下,无人机在执行任务的过程中将遇到更多的建筑障碍、禁飞区等,与密度较为稀疏的农村环境不在一个量级。因此,要对不同环境下的情况进行因地制宜的分析,而这一步的实现,目前的技术与测试还远远不够。

4) 航行安全风险

目前,虽然无人机技术已经具备了为农村地区客户提供无人机配送的能力,但现阶段在配送过程中无人机还需具备对其周边环境精确感知,对自身位置高精定位,并对障碍物行为做出预测的能力,才能保证整个航行过程的安全。

5) 故障风险

无人机由于技术方面完善程度不足,很可能存在一些不确定性因素,导致在航行过程中出现故障。例如,无人机的桨叶失效、电池等问题^[7],从而导致无人机的航行里程、配送数量等均会受到影响,甚至无法将货物按时送达相应配送点。由于客户需求未能及时满足,致使物流服务可靠性降低,物流企业的配送成本上升。

3.2.2 无人机电池风险

1) 生产中碳排放量

无人机的运行需要配置相应的动力电池,一旦无人机配送规模化,则电池的需求量也必然会提高。欧洲运输与环境联合会的研究表明,动力电池生产的碳排放范围在 61~106 kg CO₂/(kW·h),该数值最高时可达无人机整个生产过程碳排放的 60% 以上^[15]。因此,为普及无人机配送发展,必须要解决好动力电池生产中碳排放的问题^[16],否则在“碳达峰、碳中和”的政策背景下,很难真正实现无人机的量产和利用。

2) 回收处理中碳排放量

无人机配置的电池在回收过程中需要消耗电能、双氧水、铁粉、酸等,再经历放电、拆解、沉淀等多道工序,最终收集可再利用材料,不同材料的消耗均会造成碳排放,相应的碳排放量见表 1。因此,如何做好回收处理,降低该过程的碳排放量,也是无人机大范围普及后需要考虑的关键问题。

表 1 输入能源及材料消耗碳排放因子数值

Table 1 Input carbon emission factor values for energy and material consumption

物质	碳排放因子	物质	碳排放因子
电能	0.525 70 kgCO ₂ e/kWh	铁粉	1.690 85 kgCO ₂ e/kg
天然气	2.184 03 kgCO ₂ e/m ³	双氧水	1.453 74 kgCO ₂ e/kg
蒸汽	0.110 00 kgCO ₂ e/m ³	P507 萃取剂	6.167 56 kgCO ₂ e/kg
氯化钠	0.115 00 kgCO ₂ e/kg	煤油	2.513 21 kgCO ₂ e/kg
硫酸	0.115 95 kgCO ₂ e/kg	氨水	5.527 69 kgCO ₂ e/kg
碳酸锂	2.111 80 kgCO ₂ e/kg	氢氧化钠	1.464 71 kgCO ₂ e/kg

数据来源:IPCC 2006 年国家温室气体清单编制指南、国家电网

3) 材料二次使用率

回收的电池经过加工处理能否进行二次使用,直接影响着回收成本和回收所得之间的比例。若回收电池绝大部分无法经过处理再使用,回收的成本超过了回收后可以得到的利益,则成本上升,风险也随之增大。

4) 回收材料成本

为了更好地促进物流业的可持续发展,做好碳达峰和碳中和的相关工作,无人机报废的电池也需要经过合理地回收处理,但由于无人机还处于早期发展阶段,报废电池的回收体系还不够完善,因此相应的回收成本风险较高。

5) 其他因素

无人机的发展目前存在着很多不确定性,回收流程和体系同样存在着很多难点,因此在回收过程中可能会出现很多突发状况,从而给回收带来一定

的风险。

3.2.3 政策法规风险

1) 事故责任限定

由于无人机本身的飞行特性,在运营过程中只能远程,如果无人机在飞行过程中掉落发生交通事故时,如何判定责任,由谁来承担相关刑事、民事与行政处罚等问题尚待确认。

2) 政府与企业协作

由于市政府、交通部和企业三方追求的目标不同,对于各因素的重视程度不同,因此制定一个三方均满意的政策解决方案还有待进一步加强测试与沟通。

3) 监管制度

当无人机投放后,因其本身价值高,可能被人恶意损坏,甚至出现偷盗其电子元件等现象,在其为人提供高效服务的同时,保障机器安全为主体的监管制度,维护物流企业的利益也同样重要。

4) 隐私泄露风险

无人机在配送过程中,由于无人机需要配备一定的监控设备收集环境数据,确定航行方向,提高无人机的避障能力。该过程中,势必会收集到地面客户信息,一定程度上侵犯客户的隐私,一旦数据泄露,客户和相关配送企业都会存在一定风险。

5) 碳交易政策

国家出台一系列碳交易政策机制鼓励企业保护环境^[17],降低碳排放,例如碳补贴、碳交易价格等^[18]。当政府实施碳排放交易政策时,电池的回收价格会更高,回收量更大^[19],从而推动电池的循环可持续发展。但无人机作为新兴产业,其闭环供应链缺乏全面性,无人机电池的碳交易政策完善性不

足,因此无人机企业的碳交易政策对未来无人机配送和电池的回收发展均存在一定的风险系数。

3.3 无人机配送的风险指标评价体系构建

3.3.1 评价体系

在3.2节中深入剖析了无人机配送中所面临的问题和风险,确定了无人机配送的风险指标。此外,分别为各指标设定权重值,至此,无人机配送风险指标评价体系构建完成,见表2。权重值的具体计算方式如3.3.2节所示。

3.3.2 指标权重确定

文章利用层次分析法来确定各个指标的权重,各风险指标判断矩阵及一致性检验见表3~表5。

表2 无人机配送风险指标评价体系

Table 2 Risk index evaluation system for drone delivery

一级指标		二级指标		
指标名称	符号	指标名称	权重	符号
技术水平风险	B_1	载重及续航风险	0.13	W1
		技术创新风险	0.24	W2
		应用场景风险	0.09	W3
		航行安全风险	0.36	W4
		故障风险	0.18	W5
无人机电池风险	B_2	生产中碳排放量	0.43	U1
		回收处理中碳排放量	0.25	U2
		材料二次使用率	0.18	U3
		回收材料成本	0.08	U4
		回收过程中其他因素	0.06	U5
政策法规风险	B_3	事故责任界定	0.26	P1
		政府与企业协作	0.15	P2
		监管制度	0.08	P3
		隐私泄露风险	0.23	P4
		碳交易政策	0.28	P5

表3 B_1-W 判断矩阵及一致性检验

Table 3 B_1-W judgment matrix and consistency testing

B_1	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	权重	一致性检验
W_1	1	1/2	2	1/3	1/2	0.125 7	$\lambda_{\max} = 5.130 1$ $RI = 1.120 0$ $CR = 0.029 0$
W_2	2	1	2	1/2	2	0.237 6	
W_3	1/2	1/2	1	1/3	1/2	0.094 9	
W_4	3	2	3	1	2	0.363 2	
W_5	2	1/2	2	1/2	1	0.179 5	

注: $CR < 0.1$, 通过一致性检验。

表 4 B_2-U 判断矩阵及一致性检验

Table 4 B_2-U judgment matrix and consistency testing

B_2	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	权重	一致性检验
U_1	1	2	4	4	5	0.431 8	
U_2	1/2	1	2	3	4	0.247 3	$\lambda_{\max} = 5.245 5$
U_3	1/4	1/2	1	4	4	0.183 7	$RI = 1.120 0$
U_4	1/4	1/3	1/4	1	2	0.081 7	$CR = 0.054 8$
U_5	1/5	1/4	1/4	1/2	1	0.055 4	

注: $CR < 0.1$, 通过一致性检验。

表 5 B_3-P 判断矩阵及一致性检验

Table 5 B_3-P judgment matrix and consistency testing

B_3	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	权重	一致性检验
P_1	1	2	3	1	1	0.254 6	
P_2	1/2	1	3	1/2	1/2	0.151 6	$\lambda_{\max} = 5.184 9$
P_3	1/3	1/3	1	1/3	1/2	0.084 2	$RI = 1.120 0$
P_4	1	2	3	1	1/2	0.227 4	$CR = 0.041 3$
P_5	1	2	2	2	1	0.282 2	

注: $CR < 0.1$, 通过一致性检验。

3.3.3 模糊综合评价

通过模糊综合评价法针对每个一级指标进行分析评价,进而对比各个一级指标的风险影响程度,找出影响程度最高的指标,针对该风险提出相应的解决措施,从而促进未来无人机配送的发展。

1) 技术水平风险

(1) 建立评价因素集 $W = \{\text{载重及续航风险, 技术创新风险, 应用场景风险, 航行安全风险, 故障风险}\}$ 。

(2) 建立评语集 $V = \{\text{低, 较低, 中等, 较高, 高}\}$, 然后对评语集赋值 $V = \{10, 20, 30, 40, 50\}$, 即将不同的评语量化, 以便在后续进行评价得分对比。

(3) 各评价因素在评语集上的模糊集为:

- $W_1 = (0.1 \quad 0.1 \quad 0.3 \quad 0.3 \quad 0.2)$
- $W_2 = (0.1 \quad 0.1 \quad 0.2 \quad 0.3 \quad 0.3)$
- $W_3 = (0.2 \quad 0.3 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.1)$
- $W_4 = (0.1 \quad 0.1 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.2)$
- $W_5 = (0.1 \quad 0.2 \quad 0.3 \quad 0.3 \quad 0.1)$

(4) 模糊评价矩阵为:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \\ 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 \\ 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \end{pmatrix}$$

(5) 根据权重集求得综合评价模型权重矩阵为:

$$A_1 = (0.13, 0.24, 0.09, 0.36, 0.18)$$

综合评价模型为:

$$B_1 = A_1 R_1 = (0.109, 0.136, 0.231, 0.327, 0.197)$$

归一化处理得到:

$$B_1 = (0.109, 0.136, 0.231, 0.327, 0.197)$$

2) 无人机电池风险

与技术水平风险模糊评价分析同理, 电池回收风险模糊评价矩阵为:

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.2 & 0.1 \end{pmatrix}$$

权重矩阵为:

$$A_2 = (0.43, 0.25, 0.18, 0.08, 0.06)$$

综合评价模型为:

$$B_2 = A_2 R_2 = (0.189, 0.224, 0.287, 0.200, 0.100)$$

归一化处理得到:

$$B_2 = (0.189, 0.224, 0.287, 0.200, 0.100)$$

3) 政策法规风险

与技术水平风险模糊评价分析同理, 政策法规风险的模糊评价矩阵为:

$$R_3 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \end{pmatrix}$$

权重矩阵为:

$$A_3 = (0.26, 0.15, 0.08, 0.23, 0.28)$$

综合评价模型为:

$$B_3 = A_3 R_3 = (0.159, 0.192, 0.264, 0.208, 0.177)$$

归一化处理得到:

$$B_3 = (0.159, 0.192, 0.264, 0.208, 0.177)$$

4) 计算各个一级风险的综合评价得分

$$D_1 = B_1 V^T = 33.67$$

$$D_2 = B_2 V^T = 27.98$$

$$D_3 = B_3 V^T = 30.52$$

5) 综合评价

计算结果表明,技术水平风险、电池回收风险以及政策法规风险的风险程度大小比较为 $B_2 < B_3 < B_1$, 因此需重点针对技术水平的风险做好相应的应对措施。

4 解决策略

由分析结果可知,技术水平是高风险要素,因此无人机配送要重点针对技术水平风险采取措施。对于采取的措施提出以下建议:

(1) 加强无人机配送技术创新方面的投入,提高无人机的配送数量,创新利用无人机和卡车相结合的配送模式,进一步提升其配送效率,降低无人机自身局限性对配送的影响。此外,无人机内部可以安装自动消毒技术,提高在疫情防控中的安全性。另外在实现产品功能的同时,降低技术成本,促进无人机未来的普及发展。

(2) 逐步扩大无人机配送的应用场景,增加不同环境下的测试。在车流与人流较少的时段,进行无人机配送测试,以此避免发生安全性事故。与此同时,也应尽快推动无人机与大型卡车之间的协作配送模式落地实施,并构建一套完善的持续跟踪与评估体系。最后,在测试完成后,针对存在问题提出解决方案与政策建议,逐步拓展到更多时段和区域。

(3) 优化无人机配送的路径问题,提升无人机的续航里程,通过利用不同规格的无人机降低配送时间。此外,合理设置无人机投递箱的位置,使得无人机配送更加高效便捷。提高无人机的安全性能,从而在更加复杂的环境下安全高效地运行。

(4) 对于无人机电池风险问题,要提高无人机电池生产设备的利用效率,尽量使用清洁能源,开设计电池新的制造工艺,优化车间制造流程,减少或合并不必要的环节,降低能源投入,减少生产过程的碳排放。此外,利用绿色能源处理无人机电池的回收,例如在煅烧过程中采用电力,用碳酸盐代替氢氧化钠等均可降低碳排放。要注重电池的全组分回收,在无人机逐渐普及的过程中,配备无人机的物流企业与无人机制造企业之间保持战略合作,形成闭环供应链,不断完善无人机电池回收体系。政府也要大力扶持无人机电池回收领域的企业,吸引更多人才进入回收领域,扩大回收规模,为无人机配送的发展提供基础保障。

(5) 对于政策法规风险,研究者在考虑无人机配送问题时,可适当引入禁飞区的概念,满足政策法规的要求,以更符合实际的情况不断优化配送方案。政府要加强监管制度,确定无人机的责任限定,全面考虑无人机配送中可能出现的各种问题,建立数据收集保密机制,避免因数据泄露侵犯客户个人隐私。此外,合理设定碳交易政策,降低无人机价格,提高无人机需求,约束企业减少碳排放,普及无人机配送发展,从而为农村物流发展和配送效率的提高做出贡献。

5 结束语

文章以物流行业中末端配送的智能无人机为例,分析智能化末端配送的风险,建议未来无人机的发展要加强创新投入,扩大应用场景,通过机器学习等人工智能算法,不断优化运行,从而加快未来无人机配送的广泛应用。未来在无人机逐渐投入使用的过程中仍然会面临很多未知的风险和挑战,末端配送需要与大数据、云计算、物联网、人工智能、区块链等新兴技术进一步融合,从而降低配送成本,促进物流业可持续化和智能化的发展。

在未来的研究中,注重卡车和无人机协同配送问题,完善无人机配送的基础设施建设,同时可将无人机配送的各种风险与实际相结合,应用于无人机配送的路径规划方面,将碳排放问题、禁飞区概念、载重和续航的实际情况等与配送路线相结合,从而找寻更加符合实际的最优解。

参考文献

- [1] FIGLIOZZI M A. Carbon emissions reductions in last mile and grocery deliveries utilizing air and ground autonomous vehicles [J].

- Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 85:102443.
- [2] LEMARDELÉ C, ESTRADA M, PAGÈS L, et al. Potentialities of drones and ground autonomous delivery devices for last-mile logistics [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2021, 149:102325.
- [3] 张杰,李妍峰. 疫情环境下生鲜配送的选址-路径问题[J/OL]. 中国管理科学, 1-12[2024-07-27]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0575>
- [4] GONZALEZ R P L, CANCA D, ANDRADE-PINEDA J L, et al. Truck-drone team logistics: A heuristic approach to multi-drop route planning [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2020, 114:657-680.
- [5] 武彤, 苟利珍, 王佳雪, 等. 无人机城市配送受扰延误后调度研究[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(15): 310-317.
- [6] 刘加仕. B2C 电商企业无人机物流网络设计与优化研究[D]. 北京:北京交通大学, 2022.
- [7] POIKONEN S, WANG X, GOLDEN B. Vehicle routing problem with drones: Extended models and connections [J]. Networks, 2017, 70(1): 34-43.
- [8] 任新惠, 苟利珍, 武彤. 不确定性故障下无人机末端配送[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2022, 47(3): 732-745.
- [9] 蒋丽, 杨露, 梁昌勇, 等. 基于无人机的高层住宅最后“一百米”配送优化[J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(4): 236-245, 292.
- [10] 冯文静, 卢福强, 王素欣, 等. 考虑充电设施的无人机配送路径规划研究[J]. 控制工程, 2024, 31(2): 331-340.
- [11] 王佳雪, 任新惠, 王梦琦. 考虑动态能耗的无人机配送选址路径规划研究[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(13): 273-280.
- [12] CHEN X, ULMER M W, THOMAS B W. Deep Q-learning for same-day delivery with vehicles and drones [J]. European Journal of Operational Research, 2022, 298(3): 939-952.
- [13] MEOLA A. Shop online and get your items delivery by a drone delivery service [J/OL]. Business Insider, 2017. <http://www.businessinsider.com/deliver-drones-market-service-1-2017-7>.
- [14] 李亚, 刘倩. 利益协调导向的民用无人机规制政策研究[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版), 2022, 35(2): 132-141.
- [15] Transport & Environment. How clean are electric cars? T&E's analysis of electric car lifecycle CO₂ emissions[R]. 2020.
- [16] 张继宏, 程芳萍. “双碳”目标下中国制造业的碳减排责任分配[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(9): 64-72.
- [17] 宋国君, 王语苓, 姜艺婧. 基于“双碳”目标的碳排放控制政策设计[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(9): 55-63.
- [18] 张桂涛, 王广钦, 赵欣语. 碳配额交易体系下闭环供应链网络的生产与碳交易策略研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(1): 97-108.
- [19] 李小燕, 王道平. 碳交易机制下考虑竞争和信息非对称的供应链协调研究[J]. 运筹与管理, 2021, 30(11): 47-52.