

# 考虑误差不确定性的航空安全预测新方法

周俞西

成都市实验外国语学校，四川成都，610000；

**摘要：**航空安全预测是保障航空运营安全的关键环节，其预测成效对安全决策有直接影响。文章聚焦于此，阐述航空安全预测现状及误差影响，把握安全预测新方法设计的核心原则。在此基础上，从误差识别、模型构建、参数优化、结果校验四个方面构建新方法，补充方法应用注意事项，旨在提升新时期预测的准确性，为航空安全管理水平的不断提升提供理论支持。

**关键词：**航空安全；安全预测；误差不确定性；新方法；预测模型

**DOI：**10.64216/3080-1486.26.03.058

航空运输业在快速发展的过程中，对安全管理提出更高要求。作为安全管理前置环节的航空安全预测，其重要性日益突出，它不仅能提前识别潜在风险，还能为风险防控提供科学依据。面对当前航空运营场景日益复杂、安全影响因素不断增多的现状，传统预测方法在数据采集、抗干扰能力、预测精准度方面凸显出诸多不足，迫切需要构建考虑误差不确定性的航空安全预测新方法，这对提升航空安全管理水平、降低安全风险具有重要的现实意义。

## 1 航空安全预测现状及误差影响分析

当前，航空安全预测多依赖统计分析、机器学习等方法。应用统计方法时，需整理分析历史安全数据，构建数据与安全事件之间的关联模型，由此完成预测；应用机器学习方法时，需依托算法对大量数据进行训练，深挖数据中的潜在规律，提升预测的智能化水平。这些方法都在一定时期内为航空安全预测提供了重要支撑，推动安全管理工作有序落实。

尽管上述方法的应用成效显著，但误差不确定性对预测结果的影响依旧不容小觑。在采集数据环节，数据会因为传感器精度不足、人工记录失误等原因产生误差；在数据处理中，也会因为数据清洗、转换等操作产生全新误差。另外，预测模型的假设条件与实际运营场景存在偏差，以及模型参数设置不合理等，也会让预测结果产生偏差。不论误差的产生原因为何，都会降低预测的准确性，进而导致误判或漏判潜在安全风险，甚至影响到最终安全决策的科学性，给航空运营安全带去不可控的严重隐患。

## 2 新方法设计的核心原则

### 2.1 误差导向原则

新方法需要聚焦误差不确定性，将误差处理贯穿预测始终。从数据采集到模型构建，再到结果输出，各个环节都需充分考虑误差的存在及影响，并且采取针对性的技术手段降低误差对预测结果的干扰。不再忽视误差的存在及影响，且将其作为影响预测精度的关键变量进行管控，确保预测过程有效应对各类误差带来的不确定性<sup>[1]</sup>。

### 2.2 实用性原则

新方法设计要充分考虑航空运营场景，确保操作流程简单易懂，技术门槛符合安全管理工作人员的能力水平。并且，不采用过于复杂的理论和技术，在保障预测精度的前提下，尽可能地简化模型构建和计算过程。另外，新方法需适配航空运营中常见的数据类型和格式，不用对现有数据采集体系进行大规模改造，便利后续的推广与应用。

### 2.3 动态适应性原则

航空运营环境处于不断变化之中，导致影响安全的因素及误差来源日益复杂多样。对此，新方法需具备动态调整能力，能够结合运营场景的变化、数据特征的改变、误差类型的新增，及时调整模型参数和针对性处理误差。也配备相应的动态更新机制，确保预测方法始终与实际运营情况相匹配，预测的时效性与准确性得以长期维持<sup>[2]</sup>。

## 3 新方法的构建与实现

### 3.1 识别多维度误差并分类

误差识别是处理误差不确定的基础，新方法应借助多维度排查全面识别误差并将其分类。

首先，明确误差识别的范围，涵盖数据采集、数据

处理、模型构建、结果输出等，贯穿预测始终。采集数据时，着重分析传感器性能、数据采集频率、采集人员操作规范等因素可能引入的误差；处理数据时，聚焦数据清洗规则、转换算法、缺失值填补方式等带来的误差；构建模型时，排查模型假设条件、变量选择、算法逻辑等方面的误差；输出结果时，探查结果转换、统计方式等产生的误差。

然后，构建误差分类标准，结合误差来源划分出数据类误差、模型类误差、操作类误差三类<sup>[3]</sup>。其中，数据类误差包括采集误差、传输误差等；模型类误差包括假设偏差、参数误差等；操作类误差包括人员操作失误、流程执行不规范等。在此基础上，结合误差性质划分出系统性误差、随机性误差、过失性误差三种。系统性误差由固定因素引起，具有一定规律性；随机性误差由偶然因素导致，不存在固定规律；过失性误差因人为失误产生，偏差较大。

### 3.2 构建基于误差修正的预测模型

在识别误差并将其分类的基础上，构建基于误差修正的预测模型，该模型的基础是传统机器学习模型，将误差修正模块嵌入其中，完成对误差的有效管控。

首先，选用合适的基础模型，立足航空安全数据特征，将基础预测模型确立为随机森林模型，该模型的优点是抗干扰能力和拟合能力十分优越，能够处理多维度数据，适用于当下航空安全预测场景中多因素影响的复杂情况。其次，设计误差修正模块，该模块针对不同类型的误差采用差异化的修正策略。针对系统性误差，分析误差产生的固定因素，构建误差修正函数；针对随机性误差，将滑动平均法和卡尔曼滤波算法联合应用，解决实际问题。其中，滑动平均法平滑数据波动，将短期随机因素的影响降到最低，而卡尔曼滤波算法多通过预测和更新状态，动态修正随机误差<sup>[4]</sup>。

此外，针对过失性误差，采取数据清洗和异常值剔除两种方式。设定数据阈值范围，标记超出阈值的异常数据，采用人工审核的方式判定数据是否为过失性误差导致，一旦确认，进行相应的剔除或修正。在此基础上，促成误差修正模块与基础模型的有机结合，形成完整的预测模型。使用该模型的过程中，先通过误差修正模块对输入数据进行预处理，待各类误差被修正，再将数据输入到随机森林基础模型中完成预测，获得初步预测结果。

### 3.3 动态优化模型参数

预测精度受模型参数的直接影响，所以新方法需要依托动态优化策略精准调控模型参数。

首先，将需要优化的关键参数逐一明确，针对随机森林基础模型，可选取的关键参数包括决策树数量、决策树深度、特征采样比例等；针对误差修正模块，选取的关键参数包括滑动平均窗口大小、卡尔曼滤波过程噪声协方差等。然后，构建参数优化目标函数，基于“预测误差最小化”这一根本目标，结合模型运行效率，构建多目标优化函数。目标函数的表达式为： $\text{Min}$ （预测误差率），同时满足模型运行时间 $\leq T$ （ $T$ 为预设的运行时间阈值），实现对模型的高效运用。

此外，采用粒子群优化算法动态优化参数。首先，初始化粒子群，每个粒子代表一组参数组合，将粒子的位置与速度范围科学设定。然后，计算每个粒子的适应度值，结合目标函数明确适应度值，数值越高，表明参数组合越优。随后，将粒子的全局最优位置和个体最优位置全面更新，结合粒子的速度与位置更新公式，将粒子的位置与速度调整至最优<sup>[5]</sup>。后续，重复上述过程，直到预设的迭代次数或适应度值达到既定要求，此时获取的全局最优位置对应的参数组合便为最优参数。

为达成动态优化参数的目的，还需构建参数更新机制。结合航空运营场景的变化周期，设定参数优化的时间间隔，多数情况下为一个优化周期为一个月。在周期内，需收集该周期内的实际运营数据和预测数据，计算预测误差，若误差超出预设阈值，则触发参数优化流程，参数的重新优化依赖粒子群优化算法；若误差未超出阈值范围，则微调参数，确保模型始终保持最佳运行状态。

### 3.4 多重校验与输出预测结果

为提升预测结果的可靠性，新方法需构建多重校验机制，全面校验预测结果后再进行输出。首先，完成内部校验，校验依据为模型自身的运行数据，包括残差分析和一致性检验。残差分析主要计算预测值与模型拟合值之间的残差，获悉残差的分布特征。若残差呈正态分布且均值接近0，表明模型拟合成效良好，预测结果可靠；残差分布异常，则重新检查模型参数或误差修正策略<sup>[6]</sup>。

一致性检验主要对比不同批次数据的预测结果，进而评判结果的稳定性。若不同批次数据的预测结果波动较小，表明模型的一致性较为突出；若波动较大，则有必要排查数据质量或模型结构问题。内部校验完毕后，开展外部校验，该校验需结合实际运营场景中的专家经验和历史数据对比实现。针对预测结果的专业评估，主

要由航空安全管理领域的专家完成,他们凭借经验做出具体判断。最后,将结果以报告的形式呈现。

结合预测结果报告能进一步明确预测的安全风险等级、可能发生的安全事件类型等;借助误差分析报告了解预测过程中存在的误差类型、误差大小等。输出形式可依托“可视化图表+文字说明”这一形式,借助图表直观地展示预测结果的变化趋势与风险分布情况,在文字说明中深化对预测结论和误差信息的理解,为安全管理人员开展工作提供重要依据。

## 4 新方法应用中的注意事项

### 4.1 重视数据质量管控

数据是预测的重要基石,数据质量紧密关乎预测结果的准确性。对此,针对新方法的应用,有必要构建严格的数据质量管控机制。

首先,规范数据采集流程,明确各类型数据的采集标准、采集频率和采集责任人,定期对采集人员进行专业培训,减少采集误差。在此基础上,定期维护和校准采集设备,减少设备故障导致的数据误差。其次,加大对数据预处理环节的质量管控力度。清洗数据时,采用“自动化清洗+人工审核”的方式,处理数据中的缺失值、异常值,清洗这两种数值对应的标准,避免因处理方式不当引发全新误差。在数据转换环节,选用合适的转换算法,使得转换后的数据准确反映原始数据的特征。最后,构建数据质量评估体系,定期评估数据的完整性、准确性、一致性等,结合评估结果科学应用数据,针对质量不达标数据,采取重新采集或处理两种方式。

### 4.2 界定模型适用场景

虽说新方法的适应性较为突出,但依旧会存在一定的适用场景范围,这需要重点界定。该方法多用于商业航空客运、货运等常规运营场景,侧重预测这些场景中的飞行安全、地面保障安全等常见安全风险。针对极地飞行、高原机场运营这类特殊运营场景,会因为环境特征、风险因素与常规场景的较大差异而导致误差处理策略和模型参数无法适配,进而影响到预测精度。因此,应用前需提前评估运营场景,判断场景是否特殊。若特殊,则结合场景特点调整方法,如优化误差识别维度、调整模型参数等,测试验证通过后再投入使用。此外,方法的应用方式因运营场景的变化而变化,提升方法应用灵活性和适用性,避免因场环境不匹配导致预测结果失真。

### 4.3 动态监控与维护

在应用新方法的过程中,有必要配备动态监控与维护机制,旨在保障其在应用中始终保持良好的运行状态。

首先,实时监控预测过程,借助监控系统完成对模型运行数据、误差数据、预测结果数据等多样数据的实时采集与分析,一旦发现模型运行异常、误差突然增大、预测结果波动剧烈等情况,立即发出警报信号,提醒相关人员及时进行处理。其次,定期维护方法,维护内容包括模型的性能评估、参数的重新优化、误差处理策略的更新等。可将常规维护设定为每个月一次,每半年开展一次全面维护。在常规维护中,着重检查模型的运行状态和参数合理性,将发现的问题进行及时解决;在全面维护中,系统排查方法的各个环节,参考年度运营数据和行业发展情况,对模型结构、误差处理策略等进行优化升级。在此基础上,建立维护档案,将每次维护的内容、时间、责任人及处理结果记录与存储,为后续维护工作的针对性展开提供重要参考。

## 5 结束语

考虑误差不确定性的航空安全预测新方法,能够有效管控预测全流程,进而大幅度提升预测结果的准确性与可靠性。该方法会先识别误差并将其分类,然后构建融入误差修正的预测模型,结合动态参数优化和多重校验机制,形成了一套完整的预测体系。虽说该方法存在一定不足,但相信会伴随科学技术的飞跃发展而逐步优化、升级,推动航空安全管理水平持续提升。

### 参考文献

- [1] 谷倩倩,徐超,谭学明.基于多变量灰色模型的航空安全预测方法[J].沈阳航空航天大学学报,2024,41(02):76-85.
- [2] 任博,岳珠峰,司勇,崔利杰,曾航.基于随机森林的航空安全因果预测新方法[J].系统工程与电子技术,2023,45(03):762-768.
- [3] 任博,曾航,刘敏,王芳,崔利杰,陈浩然.考虑误差不确定性的航空安全预测新方法[J].北京航空航天大学学报,2020,46(10):1916-1922.
- [4] 李伯阳.大型民航飞行管理系统四维航迹预测技术研究[D].中国民航大学,2024.
- [5] 姜高扬.基于数据驱动学习控制的航空器四维航迹跟踪控制研究[D].北京交通大学,2021.
- [6] 张军峰,葛腾腾,陈强,王菲.离场航空器四维航迹预测及不确定性分析[J].西南交通大学学报,2016,51(04):800-806.