

2023 年第十三届 MathorCup 高校数学建模挑战赛题目

D 题 航空安全风险分析和飞行技术评估问题

飞行安全是民航运输业赖以生存和发展的基础。随着我国民航业的快速发展,针对飞行安全问题的研究显得越来越重要。2022 年 3 月 21 日,“3.21”空难的发生终结了中国民航安全飞行 1 亿零 59 万飞行小时的历史最好安全记录。严重飞行事故的发生,不仅会给航空公司带来巨大的经济损失,更会对乘客造成极大的生命威胁。因而需要聚焦飞行安全问题,强化航空安全研究,综合利用现有数据强化科学管理,通过有针对性、系统性的管控手段有效提升从业人员的素质,监测和预警风险,进而降低飞行事故的发生几率。

航空安全大数据主要包括快速存取记录器(Quick Access Recorder, QAR)数据,该数据主要记录飞机在飞行过程中的各项飞行参数;在飞行品质监控(Flight Operational Quality Assurance, FOQA)中, QAR 中超出人为设定限制值的数据记为超限数据。除此之外,在实际研究过程中,还会涉及到飞行中的舱音数据等。本问题主要涉及的是 QAR 数据, QAR 数据相对比较规范。

在飞行品质监控具体研究和应用方面,目前我国民航业内的研究主要分为两个方面,一是针对超限事件的研究、分析和应用;二是对非超限数据的统计分析和应用。对于超限事件的研究,一般是通过规定飞行参数的集中区域设置超限阈值,将超出阈值部分的飞行记录找出来,进行重点分析,防范潜在隐患造成严重飞行事故。目前此类分析是飞行品质监控工作

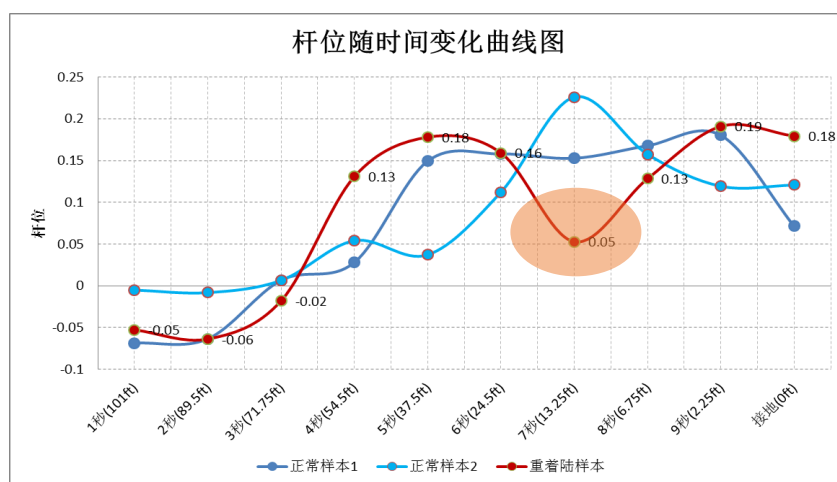
的主体，较好地保证了现阶段的安全工作，其不足之处在于缺少对超限原因的分析。由于超限并非全部是人为因素引发，例如许多是由于特殊环境条件造成的，甚至有可能是飞机本身的设计、制造因素所致，因此仅通过单纯的超限分析很难识别出来；如果仅基于超限事件对飞行机组进行管理，很容易误入歧途。QAR 超限可用于航空安全管理和飞行训练的数据支持。目前并不倾向于仅以少量的 QAR 超限数据为依据开展飞行训练工作，因此飞行品质监控工作逐渐衍生出另外一种倾向性，即通过挖掘 QAR 全航段数据开展分析，形成特定人员的飞行品质记录。基于不同飞行机组、飞行航线、机场、特定飞行条件下的飞行记录，通过对数据进行建模、分析，计算评估风险倾向性，开展有针对性的安全管理，排查安全隐患，改进安全绩效。目前类似研究主要是大规模读取飞行数据，并进行存储和分析，形成飞行品质服务平台，为风险评估和趋势分析提供数据基础。G 值是飞机飞行过程中过载情况的直接反应，在着陆安全分析中，G 值通常是描述落地瞬间安全性的重要指标。着陆瞬间 G 值指的是飞机接地瞬间前 2 秒和后 5 秒数据的最大 G 值。

基于以上背景，请你们团队解决以下问题：

问题 1：有些 QAR 数据存在错误，需要对数据进行预处理，去伪存真，以减少错误数据对研究分析带来的影响。请你们的队伍对附件 1 的数据质量开展可靠性研究，提取与飞行安全相关的部分关键数据项，并对其重要程度进行分析。

问题 2：飞机在从起飞到着陆的整个飞行过程中，通过一系列的飞行操纵确保飞行安全，这些操纵主要包括横滚操纵、俯仰操纵等。目前，国

内航空公司通过超限监控飞行操纵动作，这种监控方法虽然能够快速分辨出飞机的状态偏差，但是只能告诉安全管理人员发生了什么，而不能立刻得出发生这种偏差的原因。为此，可以通过操纵杆的过程变化情况分析产生这种偏差的原因。根据附件 1，请你们对飞行操纵进行合理量化描述。下图为 3 次着陆过程中的杆位变化曲线，其中红色曲线描述了一次重着陆（着陆 G 值超过给定限制值）过程，该重着陆主要是由于飞行机组在低空有一次不当松杆操纵所致，红色曲线中的接地前 5 秒有一个明显下凸，这就是需要进行量化描述的一次松杆操纵。



问题 3：导致不同超限发生的原因各不相同，有时是特定机场容易出现特定的超限，有时是特定的天气容易出现特定的超限，有时是特定的飞行员容易出现特定的超限。请研究附件 2 的数据，对超限的不同情况进行分析，研究不同超限的基本特征，如分析飞机在哪些航线或者在哪些机场容易出现何种超限等。

问题 4：飞机运行数据的研究一般分为两大类，一类是通过航线运行安全检查 (Line Operations Safety Audit, LOSA) 获取的飞行员的运行表现，另外一类是根据相关学者建议，基于飞行参数开展飞行技术评估。根据附

件 3, 请你们建立数学模型, 探讨一种基于飞行参数的飞行技术评估方法, 分析飞行员的飞行技术, 数据表中的“不同资质”代表飞行员的不同技术级别。

问题 5: 随着技术的进步, 未来在民航客机上安装实时传输的 QAR 数据记录系统已成为可能, 这种“实时飞行数据”技术, 可以在接近实时的情况下把航班飞行数据传输到地面分析系统, 极大地提高风险识别能力和预防水平。假设飞行数据已能实现陆空实时传输, 如果你是该航空公司的安全管理人员, 请建立航空公司实时自动化预警机制, 预防可能的安全事故发生, 结合附件 1 的数据, 给出仿真结果。