

文章编号: 1674-8190(2024)01-061-08

# 冲偏出跑道事件风险影响指标分析

齐心歌<sup>1</sup>, 毕晟<sup>2</sup>, 张楠<sup>1</sup>, 汪磊<sup>3</sup>

(1. 中国民航大学 安全科学与工程学院, 天津 300300)

(2. 中国民航大学 飞行分校, 天津 300300)

(3. 中国民航大学 研究生院, 天津 300300)

**摘要:** 目前对冲偏出跑道风险的研究多基于事故统计数据, 较少从飞行数据及飞行操作特征的角度进行分析。基于飞行数据, 对冲偏出跑道事件开展风险分析, 将飞行数据分为飞行状态、操作指令、信息3类, 以此研究飞机在起飞滑跑、着陆、着陆滑跑3个阶段的状况及风险影响指标; 通过数据所反映的操作特征, 结合标准操作程序, 推导出飞机偏离正常数据、与标准操作不相符的操作, 得到影响正常飞行的风险因素; 基于行为安全2-4模型, 建立冲偏出跑道风险评价指标体系, 对实际案例的事故致因机理进行研究, 着重分析操作特征及人为因素, 并提出冲偏出跑道风险防控措施。结果表明: 从操作类、数据类以及环境类3个维度建立风险影响指标体系, 可以降低指标因素对冲偏出跑道事件的影响; 从人、机、环、管方面提出改进措施, 可有效降低冲偏出跑道事件发生的概率。

**关键词:** 冲偏出跑道; 飞行数据; 风险影响指标; 操作特征

**中图分类号:** V328; X951

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16615/j.cnki.1674-8190.2024.01.07

## Risk impact indicator analysis of runway excursion event

QI Xinge<sup>1</sup>, BI Sheng<sup>2</sup>, ZHANG Nan<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>3</sup>

(1. College of Safety Science and Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

(2. Flight Academy, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

(3. Graduate School, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** Research on the risk of runway excursion events is mostly based on accident statistics. Analysis is rarely conducted from flight data and flight operation characteristics. Therefore, based on the QAR (quick access recorder) data, the risk analysis for runway excursion is performed. The QAR data is divided into three categories: flight status, operation instructions and information, so as to analyze the status of the aircraft in the three stages of take-off run, landing and landing run. Through the operating characteristics reflected by the QAR data, combined with the SOP (standard operating procedures), the operations that exceed the normal data and do not conform to the standard operations can be deduced, and the risk factors affecting the normal flight are obtained. Based on the 2-4 model of behavior safety, the risk assessment index system of runway excursion can be established. Based on the causative mechanism of an accident, focusing on the analysis of operational characteristics and human factors, the risk prevention and control measures for overshoot runway excursion are proposed. The results show that, a risk impact indicator system can be established from three dimensions: operation, data, and environment. This can reduce the impact of indicator factors on runway excursion events. Countermeasures and suggestions are proposed from the perspectives of personnel, aircraft, environment, and management, which can effectively reduce the probability of runway excursion events.

**Key words:** runway excursion; flight data; risk impact indicator; operation character

收稿日期: 2022-11-29; 修回日期: 2023-03-28

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(KJZ53420210090); 民航局安全能力建设资金项目(KJZ49420210076)

通信作者: 齐心歌(1991—), 女, 博士, 讲师。E-mail: xgqi@cauc.edu.cn

引用格式: 齐心歌, 毕晟, 张楠, 等. 冲偏出跑道事件风险影响指标分析[J]. 航空工程进展, 2024, 15(1): 61-68.

QI Xinge, BI Sheng, ZHANG Nan, et al. Risk impact indicator analysis of runway excursion event[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2024, 15(1): 61-68. (in Chinese)

## 0 引言

冲偏出跑道事件是中国民航不断致力于解决的重点安全问题,通过对国内外研究现状的分析,在多项统计中,冲偏出跑道是位列第一的严重事故征候,且着陆阶段占比显著<sup>[1-2]</sup>。

在多项事故调查中,影响冲偏出跑道的因素有机组操作失误、天气、飞机故障、空中交通管制(Air Traffic Control,简称ATC)指挥失误、跑道积水等<sup>[3]</sup>。但飞行机组人为因素占比最大,这些人为因素包括错误、过失、疏忽和模式失误。因此在各项风险因素中,应着重注意操作技能<sup>[4-7]</sup>。人为因素中机组的操作是关键因素,飞行数据则可以完整地反映机组操作。此前,分析冲偏出跑道事件鲜少从飞行数据本身着手,因此在分析人为因素造成的操作偏差上描述得往往不够详细,而在研究飞行员操作特征时也很少从数据方面入手<sup>[8]</sup>。

目前国内外已从不同角度对冲偏出跑道风险开展了大量研究。Hong等<sup>[9]</sup>基于风险需求三模型,从事发生的可能性、发生地点的可能性以及事故后果3个方面对冲偏出跑道的风险进行评估,结果表明该模型能够在给定环境条件下对冲偏出跑道事件进行风险评估;Valdés等<sup>[10]</sup>基于概率方法提出了起飞和着陆阶段冲偏出跑道的风险模型,可在有限的时间、计算能力和数据投入条件下获得高质量的结果,在机场规划、开发和运营中具有广泛适用性;2012年,英国民航局通过对飞行数据监测分析系统<sup>[11]</sup>中的数据分析,得出若干与跑道偏离相关的指标,用来预防和控制跑道偏离事件的发生。

通过数据统计,人的因素是着陆过程中造成冲偏出跑道事件的最主要因素<sup>[12-14]</sup>。崔振新等<sup>[15]</sup>通过多种事故分析模型对着陆过程中冲偏出跑道事故的因素进行分析,并采用灰色关联度分析法确定各因素的重要性程度,得出冲偏出跑道的主要原因是机组情景意识丧失和机组资源管理失效;张晓全等<sup>[16]</sup>运用寻因分析法(WBA),从人一机一环一管4个方面实现冲偏出跑道的危险源辨识,通过模糊层次分析法对危险源进行重要性排序,认为机组人员处置失误、飞行机组技术欠缺是

造成飞机冲偏出跑道的最主要因素。同时,各家航空公司制定了严格的标准操作程序(Standard Operation Procedure,简称SOP),通过标准化程序从操作层面避免事故或不安全事件的发生。

目前对冲偏出跑道风险的研究多基于事故统计数据,鲜少从飞行数据及飞行操作特征的角度进行分析。因此,本文基于飞行数据,对冲偏出跑道事件进行风险分析。以飞行数据为基础,汇总基本飞行操作数据,得到标准情况下飞行数据的正常状态;对于飞行数据反映的操作情况,结合标准操作程序分析操作特征。基于以上两点总结出风险因素,进而得到风险影响指标;采用行为安全2-4模型,深入分析导致事故发生的根本原因,并针对冲偏出跑道事件提出相应的对策和建议。

## 1 飞行数据及标准操作程序

### 1.1 飞行数据简介

快速访问记录器(Quick Access Recorder,简称QAR)作为一种机载飞行数据记录仪,可同时采集数百个数据,能够提供快速、方便的方式访问原始数据,QAR数据信息能够反映机组的绝大部分飞行操作,可作为飞行品质监控的重要部分<sup>[7]</sup>。因此,本文选用QAR数据,既能较全面地反映飞机的飞行状态,也能较直观地体现机组操作动作。由于飞行数据种类较多,体量较大,经筛选得到飞行中的关键数据,这些数据包含操纵飞机的基本数据和飞机状态数据。

### 1.2 冲偏出跑道相关飞行数据

根据飞机操作实际情况,选取起飞滑跑、着陆和着陆滑跑3个阶段的数据作为冲偏出跑道事件的研究依据,并将所选的飞行数据分为飞机状态、操控指令、信息3类数据,如表1所示。

飞机状态数据为飞机姿态和反映飞机状况等基本数据,操作指令数据为反映飞行员操作飞机所体现的飞机变化和对飞机设备进行操作的数  
据,信息数据为非飞机本身数据对飞机飞行有影响的数  
据。

| 表1 相关飞行数据汇总<br>Table 1 Summary of flight data |                       |         |
|-----------------------------------------------|-----------------------|---------|
| 飞行数据类型                                        | 参数英文名称                | 参数名称    |
| 飞机状态数据                                        | CAP DISP ROLL ATT     | 滚转姿态    |
|                                               | CAP DISP PITCH ATT    | 俯仰姿态    |
|                                               | CAP DISP HEADING      | 航向      |
|                                               | TRACK                 | 航迹      |
|                                               | AIRSPD                | 速度      |
|                                               | ALT                   | 高度      |
|                                               | VERT ACCEL            | 垂直加速度   |
| 操作指令数据                                        | VERT SPD              | 下降率     |
|                                               | THROTTLE RATE         | 油门功率    |
|                                               | FLAP HANDLE POSN      | 襟翼位置    |
|                                               | SPD BRAKE HANDLE POSN | 扰流板位置   |
|                                               | RUDD POSN             | 方向舵位置   |
|                                               | ELEV POSN             | 升降舵位置   |
|                                               | PITCH TRIM POSN       | 配平位置    |
| 信息数据                                          | RUDD PEDAL POSN       | 方向舵踏板位置 |
|                                               | CONTRL COLUMN POSN    | 操作杆位置   |
|                                               | LT/RT/NOSE GEAR DOWN  | 起落架位置   |
|                                               | LOC DEV (ILS)         | 航向道偏离   |
|                                               | G/S DEV (ILS)         | 下滑道偏离   |
|                                               | WIND DIR TRUE         | 风向      |
|                                               | WIND SPD              | 风速      |

1.3 飞行数据描述及反映特性

在飞机初始滑跑阶段:V1速度之后中断起飞、跑道污染和轮胎失效是起飞阶段冲偏出跑道的主要因素,并且存在程序遗落和飞行程序偏离的人为失误<sup>[17]</sup>。着陆阶段是飞行事故发生占比最高的阶段,飞行员往往需要更加集中精力进行着陆操作,因此着陆阶段十分考验飞行员的操作水平,此时飞行数据能够充分反映飞行员的操作特征。着陆滑跑阶段是飞机冲偏出跑道事件中占比最高的阶段(着陆阶段事故发生率最高),尽管此时飞机已落地,但飞机落地后过大的滑跑速速仍然存在风险。

上述3个阶段涉及的主要飞行数据包括方向舵踏板位置、油门功率、襟翼位置、操作杆位置、风向风速等,不同阶段飞行参数的影响如表2所示。

| 表2 飞行参数对不同阶段的影响<br>Table 2 Influence of flight parameters on different phases |        |                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------|
| 参数                                                                            | 阶段     | 影响                                                         |
| 油门功率                                                                          | 起飞滑跑阶段 | 两侧发动机功率应保持加速性一致                                            |
|                                                                               | 着陆阶段   | 随着拉平高度下降而减少                                                |
|                                                                               | 着陆滑跑阶段 | 收至慢车位,及时开启反推帮助减速                                           |
| 襟翼位置                                                                          | 起飞滑跑阶段 | 放在起飞位置可增加机翼升力,缩短滑跑距离                                       |
|                                                                               | 着陆阶段   | 随速度减小和高度下降逐渐放下到相应位置,下降率不宜过大                                |
|                                                                               | 着陆滑跑阶段 | —                                                          |
| 操作杆位置                                                                         | 起飞滑跑阶段 | 未达到抬轮速度前不应产生向后的角度偏差                                        |
|                                                                               | 着陆阶段   | 接地前拉出着陆姿态会有效减少飞机的下降率,使飞机下降率变为负值,有效抑制飞机下沉                   |
|                                                                               | 着陆滑跑阶段 | —                                                          |
| 拉平高度                                                                          | 起飞滑跑阶段 | —                                                          |
|                                                                               | 着陆阶段   | 高度过高时会导致飞机提前丧失动力,造成飞机落地时重着陆;过低则更加危险,会导致飞机下降时的能量过大,使飞机落地时弹起 |
|                                                                               | 着陆滑跑阶段 | —                                                          |
| 方向舵踏板位置                                                                       | 起飞滑跑阶段 | 方向舵踏板位置角度不应产生过大偏离(大风条件和其他紧急条件除外)                           |
|                                                                               | 着陆阶段   | —                                                          |
|                                                                               | 着陆滑跑阶段 | —                                                          |
| 起落架位置                                                                         | 起飞滑跑阶段 | —                                                          |
|                                                                               | 着陆阶段   | 是否放下并锁定                                                    |
|                                                                               | 着陆滑跑阶段 | —                                                          |
| 空速                                                                            | 起飞滑跑阶段 | 飞机出现故障决定中断起飞应在V1速度之前                                       |
|                                                                               | 着陆阶段   | 过大会造成拉平平飘时间过长,接地点远而滑行距离超过跑道长度冲出跑道                          |
|                                                                               | 着陆滑跑阶段 | 脱离跑道时如果速度太大会产生较大离心力将飞机“甩”出跑道,从而导致偏出跑道事件的发生                 |
| 扰流板开关                                                                         | 起飞滑跑阶段 | —                                                          |
|                                                                               | 着陆阶段   | —                                                          |
|                                                                               | 着陆滑跑阶段 | 开启,提升减速效果                                                  |
| 方向舵位置                                                                         | 起飞滑跑阶段 | —                                                          |
|                                                                               | 着陆阶段   | —                                                          |
|                                                                               | 着陆滑跑阶段 | 低速时可使用转弯手轮;高速接地时应确保较小的方向舵操作量                               |
| 风速风向                                                                          | 起飞滑跑阶段 | 顺风风切变会削弱升力,增加抬轮速度的时间,强侧风也影响了操作杆的横向控制和方向舵的蹬舵量               |
|                                                                               | 着陆阶段   | 强侧风所带来的影响会增加冲偏出跑道的风险;顺风风切变则会导致真空速减小,飞机升力减小,使飞机在拉平阶段提前接地    |
|                                                                               | 着陆滑跑阶段 | —                                                          |

## 1.4 标准操作对冲偏出跑道事件的规避

飞行数据可以反映机组的操作特征,在实际运用中,结合标准操作程序,研究在起飞滑跑、着陆及接地后滑跑的标准操作,以正确的飞行程序和操作方法来避免冲偏出跑道事件。

### 1.4.1 标准操作程序

标准操作程序(SOP)是操作层面具体的、可执行的、流程标准化的程序,它将相关操作步骤进行优化、量化、细化,是民航业不断总结正确操作特征,吸取经验教训以达到安全运行的目的而总结得到的操作规程。因此在实际飞行中各单位都会制定 SOP、来统一标准,保证飞行安全,实现机组操作的高质高效,提高飞行队伍的技术水平,使飞行机组的操作标准化、程序化和规范化。在飞行操作中必须严格执行 SOP 手册中规定的内容。

同时,因为要确保安全性,所以 SOP 中程序众多,对各阶段和各种情况都做了说明。各单位也针对不同机型有众多 SOP,本文选用两家航空公司和一所航空院校的 SOP,选取其中预先准备和起飞着落部分的程序,并针对与冲偏出跑道这一具体事件有关的部分,找到共同点和其中对安全运行有帮助的亮点。

### 1.4.2 飞行各阶段标准操作程序

通过引用标准操作程序来介绍飞机在起飞前准备、起飞滑跑、进近着陆及接地滑跑 4 个阶段的操作特征,突出部分操作的风险点和注意事项,如表 3 所示。

对于冲偏出跑道事件,主要发生在起飞和着陆滑跑阶段,因此需严格遵守标准操作程序(表 3),在起飞前的预先准备阶段及进近着陆阶段按照标准操作程序进行各项检查并按流程操作,充分考虑不利因素导致的风险。

另外,除标准操作程序之外,跑道污染对飞机滑跑也有关键影响。对于有积水、雪和冰的道面,会导致摩擦系数下降,因此需要在飞行前或着陆前进行跑道安全评估,做好异常情况应急预案。不在超限的跑道上起飞和着陆,也是预防冲偏出跑道事件发生的重要原则。

表 3 基于标准操作程序的各阶段操作特征  
Table 3 Operating characteristics of each stage based on SOP

| 飞行阶段  | 注意事项                                                                                                                                                    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 起飞前准备 | ①外部检查:发动机、轮胎、操作面、起落架支柱、刹车磨损指示器、空速管、静压孔<br>②飞行前程序检查:完功能性测试<br>③起落架手柄放下、扰流板手柄收上、襟翼在起飞位置、配平设定等部位处于正确位置<br>④检查方向舵、升降舵、副翼等操作面活动正常                            |
| 起飞滑跑  | ①核实飞机航向与指定的跑道航向一致<br>②起飞控制油门时调定起飞推力<br>③监视空速并注意异常指示<br>④操作杆避免出现横向操作量使飞机出现坡度<br>⑤若在 V1 速度前出现异常中断起飞,机长做出中断起飞的决策,立即关闭推力手柄并核实自动刹车或使用最大人工刹车,打开扰流板,监控速度和滑跑方向  |
| 进近着陆  | ①核实航向道和下滑道指针正确并注意航向道、下滑道截获<br>②核实速度高度逐步放襟翼<br>③随着高度的下降寻找目视参考并断开自动驾驶和自动油门<br>④确认能见到跑道环境进行着陆操作,此时要控制好飞机的合适速度、基准油门、基准姿态、保持航迹和无较大坡度;在跑道入口将目视观察点前移,建立正常高距比印象 |
| 接地滑跑  | ①核实推力手柄关闭,核实减速板手柄 UP 并确定减速板升起<br>②滑跑过程中利用方向舵控制好滑跑方向,控制并监控好减速率<br>③在滑行速度前解除自动刹车,按需使用人工刹车<br>④在低速时使用手轮控制好滑跑方向脱离跑道,同时要注意不能因急需脱离跑道而快速转弯                     |

## 2 基于行为安全 2-4 模型的冲偏出跑道事件的风险影响指标分析

由于人为因素是导致冲偏出跑道事件发生的主要因素,为避免冲偏出跑道事件的发生,应着重对机组的操作特征进行研究,操作特征可以通过飞行数据直观体现出来。因此基于飞行数据的冲偏出跑道事件风险影响指标也包括了对操作特征的风险评估。本文基于飞行数据及其反映的操作特征进行风险分析,得出风险影响指标,并与标准操作程序进行对照分析,对导致事故发生的根本原因进行深入挖掘。

### 2.1 行为安全 2-4 模型简介

行为安全 2-4 模型起源于 2005 年,基于瑞士奶酪模型和多米诺骨牌理论,近年来主要用于事故分析,同时逐渐被开发应用于安全培训、安全实践及安全管理等领域<sup>[18]</sup>。



行为安全 2-4 模型作为事故因果关系模型,主要从个人层面和组织层面对引起事故的外部原因和内部原因进行分析。目前,该模型已开发到第 6 版,进一步细化了事故原因的“2-4”结构——2 个

层级:从个人层面和组织层面展开分析;4 个阶段:明确导致不安全事件的直接原因、间接原因、根本原因和根源原因等。行为安全 2-4 模型分析流程如图 1 所示。

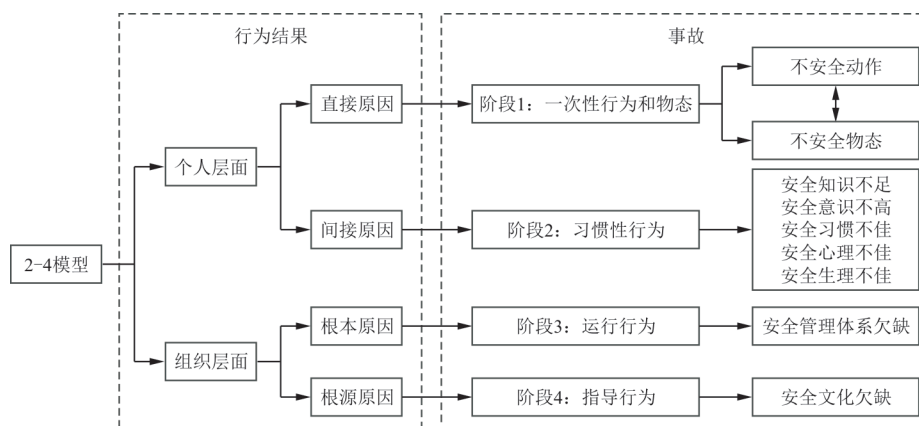


图 1 行为安全 2-4 模型分析流程

Fig. 1 Analysis process of behavioral safety 2-4 model

## 2.2 冲偏出跑道事件风险影响因素分析

通过对飞行数据和其反映的操作特征的分析可以看出,冲偏出跑道事件的发生受到多重因素的影响。基于行为安全 2-4 模型,从个人层面和组织

层面对导致事故发生的直接原因、间接原因、根本原因和根源原因进行分析,在标准操作程序及飞行参数的指导下,明确影响冲偏出跑道的风险影响因素。根据飞行阶段的不同,对风险影响因素的分析将分为起飞阶段和着陆阶段两部分,如表 4 所示。

表 4 基于行为安全 2-4 模型的冲偏出跑道影响因素分析

Table 4 Analysis of influencing factors based on behavioral safety 2-4 model

| 行为安全 2-4 模型 |                |             | 起飞阶段                                                                                                                                                                           | 着陆阶段                                                                                                                                                                                     |
|-------------|----------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 直接原因        | 阶段 1: 一次性行为和物态 |             | 中断起飞                                                                                                                                                                           | 不稳定进近,着陆载荷,着陆距离远                                                                                                                                                                         |
| 个人层面        | 间接原因           | 阶段 2: 习惯性行为 | 方向:跑道污染会破坏道面与轮胎的摩擦力,使轮胎抓地力变弱,对方向控制产生影响,积水和积冰可能会使机轮打滑偏出跑道;<br>升力:在升力获取方面,空气密度和速度都会对升力产生影响,同时襟翼的位置和扰流板的位置会直接影响机翼升力系数;<br>决策:中断起飞时,从发现异常到做出决策再到动作操作,中间的时间可能会使飞机已超过 V1 速度产生冲出跑道的风险 | 不稳定进近:恶劣天气产生的颠簸和乱流会使飞机难以保持状态,同时飞行员的修正不当或修正不及时将导致飞机在五边反反复复偏离标准的下滑曲线;<br>着陆载荷:下降率的控制、开始拉平高度、拉平至着陆时间;<br>着陆距离远:此拉平至着陆时间会影响飞机的接地点,速度会影响飞机的升力,使飞机在拉平和拉出着陆姿态后升力依然过大,导致飞机平飘,在接地后跑道距离不足而无法在跑道头刹停 |
|             | 根本原因           | 阶段 3: 运行行为  | 飞行员的操作失误和决策不当或不及时                                                                                                                                                              | 影响稳定性的因素有天气和飞行员本身操作                                                                                                                                                                      |
| 组织层面        | 根源原因           | 阶段 4: 指导行为  | 飞行员安全培训                                                                                                                                                                        | 飞行员安全培训                                                                                                                                                                                  |

从表 4 可以看出:对于冲偏出跑道的风险因素可以从个人层面和组织层面概括为操作类、数据类和环境类,操作类包括飞行器操作、拉平高度等,数据类包括速度、高度等,环境类包括天气和跑道情况等。

## 2.3 风险影响指标

风险影响指标是多维的<sup>[19-20]</sup>,根据风险影响因

素,明确风险评价指标。指标的确立包括操作类、数据类、环境类 3 个维度。

操作类指标是导致冲偏出跑道事件发生占比最大的因素,根据 SOP 反映的动作和其对飞行数据的直接影响,可以确立一类风险影响指标有操作失误和技术欠缺,其表现形式和内容可以形成二类风险影响指标。数据类指标主要包括操作导

致的航向角、下降率、方向偏离等。环境类指标包括气象变化情况、跑道情况以及机组资源管理等外部影响因素。具体指标内容如表 5 所示。

表 5 风险影响指标  
Table 5 Risk impact indicators

| 风险影响<br>指标维度 | 指标内容                                                                                                                                       |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 操作类          | 操作失误:起飞襟翼位置不正确、着陆襟翼位置不正确、起落架未放下、着陆时减速板未打开或打开时机晚、反推未打开或开启时机晚、中断起飞程序错误、油门手柄功率设定不正确、着陆后未收油至慢车、配平位置不正确、V <sub>r</sub> 前带杆、标准操作程序遗忘或执行错误、复飞意识欠缺 |
|              | 技术欠缺:进近不稳定、着陆姿态不当、中断起飞决策缓慢、操作杆过大横向输入、拉平高度判断不准确、拉平至接地时间长、刹车使用不当、带杆量粗猛、着陆收油门过快、修正偏差不及时                                                       |
| 数据类          | 起飞滑跑时航向偏差、下滑道和航向道偏差、下降率大、着陆载荷大、跑道入口高度高、着陆速度大、进近速度大、滑行速度大、转弯速度大、着陆滚转角大、着陆姿态小、拉平高度高、警告提示、着陆滑跑时方向偏离                                           |
| 环境类          | 跑道污染面积、跑道积水厚度、强侧风、顺风风切变、强气流、机组资源管理不佳、飞机设备故障                                                                                                |

表 6 事故致因模型  
Table 6 Accident causation model

| 行为安全 2-4 模型 |      |                   | 极地航空公司 26B-100 型飞机在德普塔特斯基机场着陆时冲出跑道事件                                                                                                                                                                                                                                                                |  | 对应风险指标                                                                 |
|-------------|------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------|
| 个人<br>层面    | 直接原因 | 阶段 1:<br>一次性行为和物态 | 不安全动作:<br>1. 机长的驾驶方法出现错误,他不断沿着跑道中心延长线纠正(飞行航迹),导致飞机在接地时相对跑道中线偏离了很大的角度,且在接地后偏向跑道左侧<br><br>不安全物态:<br>2. 未按照相关规章要求,设置带有斜坡(坡度小于 1:10)的跑道安全区;<br>3. 跑道结冰,飞机无法减速并冲出跑道末端大约 70 m;<br>4. 存在积雪,由于飞机在跑道中线左侧着陆,左侧主起落架进入高在 30~50 cm 之间的刚下的积雪内,两个轮子都被埋在雪中;<br>5. 由于电磁耦合失效,飞行数据记录器没有记录一致的信息;<br>6. 驾驶舱语音记录器在飞行过程中失效 |  | 操作类:<br>着陆姿态不当<br><br>数据类:<br>着陆滑跑时方向偏离<br><br>环境类:<br>跑道污染、<br>飞机设备故障 |
|             | 间接原因 | 阶段 2:<br>习惯性行为    | 安全知识不足:<br>1. 机场的准备工作不符合要求,尽管有规章要求,但机场没有沿全长、最小宽度 75 m 清扫跑道;<br>2. 对飞机所有的装载(物)称重后,确定飞机的起飞质量高于最大起飞质量 2 548 kg,着陆时高于最大着陆质量 658 kg,飞机在起飞和着陆时的重心都超出了规定的范围                                                                                                                                                |  | 环境类:<br>跑道污染<br><br>数据类:<br>着陆载荷大                                      |
| 组织<br>层面    | 根本原因 | 阶段 3:<br>运行行为     | 安全管理体系欠缺:<br>1. 机组排班违反了规定的程序;<br>2. 实际飞行条件不符合机场的要求,对于质量为 24 685 kg 的飞机要求的着陆距离是 2 400 m,超出可用着陆距离 300 m;<br>3. 运营人为该架由客运转为货运的飞机使用货运飞机运行程序,这不符合飞机制造商的要求;<br>4. 飞机的装载与建议的不相符                                                                                                                            |  | 环境类:<br>机组资源管理                                                         |
|             | 根源原因 | 阶段 4:<br>指导行为     | 安全文化欠缺:<br>1. 机场工作人员对安全重视程度不足;<br>2. 机组操作过程中事故预防意识有待加强;<br>3. 对于相关规章制度并未严格遵守;<br>4. 飞行前安全检查的重要性没有受到重视                                                                                                                                                                                               |  | 操作类:<br>标准操作程序执行不到位<br><br>环境类:<br>机组资源管理                              |

2.4 案例分析

基于上述风险影响指标对 2012 年 12 月俄罗斯极地航空公司 26B-100 型飞机在德普塔特斯基机场着陆时冲出跑道事件进行详细分析。根据行为安全 2-4 模型,构建该事件致因模型。

该事件发生时,事发航班当地时间 13:31(世界协调时 03:31)在德普塔特斯基着陆时冲出 10 号跑道,停在距离跑道末端大约 70 m 的软地面上。事故中 1 名乘客受重伤,5 名乘客和 1 名机组人员受轻伤,飞机受到严重的结构损坏。根据风险影响指标及行为安全 2-4 模型,构建该事件致因模型,如表 6 所示,可以看出:结合 SOP 与风险影响指标来看,从飞行前准备阶段到起飞及着陆阶段,均存在不同程度的违反 SOP 的操作,如:跑道积雪、结冰;机场清洁工作不符合要求;起飞和着陆载荷均超过规定要求;机长驾驶失误导致接地时偏离跑道中心线等。

该事件涉及到的风险指标,包括操作类指标:着陆姿态不当、修正偏差不及时等;环境类指标异常,包括:跑道污染、机组资源管理不佳、飞机设备故障等。在操作类和环境类指标的共同作用下,导致数据类指标异常,最终致使着陆载荷大、滑行速度大、着陆滑跑时方向偏离。

### 3 改进建议及对策

针对冲偏出跑道事件,对于飞行过程及飞行员的职能落实,分别就不安全行为、安全知识不足、安全管理体系不足以及安全文化不足等方面,提出全面提高飞行技术、严格遵守标准操作程序、加强安全管理体系建设、加强作风建设的相应安全对策,有效降低人为失误的影响,为避免冲偏出跑道事件提出合理化建议。

#### 1) 全面提高飞行技术

2.4节所述案例中,导致事故发生的直接原因为机长的不安全动作。因此对于飞行员应加强针对性应急处置训练。同时,在起飞和着陆的关键阶段,飞行员要加强技术练习,扎实基本功。通过模拟机加强飞行员的培训,提高其操作能力。在地面学好学通学精理论知识,通过精湛的理论储备指导实践促进飞行技术的提升。

#### 2) 严格遵守标准操作程序

标准操作程序作为飞行的基准和操作指南,是经过不断的实践总结出来的最优化的操作程序。上述案例中,在起飞前准备阶段,未按要求进行跑道清扫,且载重超过规定要求。

在实际飞行中,坚决做到各阶段贯彻落实标准操作程序,严格遵守其要求,避免主观随意性。对于程序要求的中断起飞和复飞,应在第一时间内完成决策和操作,以安全为最高标准进行飞行,切不可因其他因素而犹豫不决影响最终的安全。

#### 3) 加强安全管理体系建设

主要包括加强机组资源管理和加强机场地面安全措施两个方面。

机组资源管理的核心在于调动人的主观能动性,加强机组的协调配合<sup>[11]</sup>。上述案例中,关于机组排班等问题有待改进。实践表明,有效运行机组资源管理可优化机组的表现并减少人为因素造成的失误。

另外,针对机场跑道未按要求设置安全区,以

及由于气象原因引起的积雪、结冰未及时清除等导致的不安全物态,需要加强机场地面安全措施的管理。

#### 4) 加强作风建设

人为因素一直以来都是民航业中不安全事件和事故的主要原因,其根源原因在于安全文化欠缺,对飞行安全认识不到位。飞行过程中,飞行员是确保飞行安全的第一责任人和最后守护者,要心怀敬畏之心,深刻认识自身使命担当。在飞行中时刻紧绷安全的红线,做到严谨认真,态度端正,杜绝疏忽随性。因此,应加强作风建设,切实保障安全文化宣贯落实。

## 4 结 论

1) 本文结合飞行参数及标准操作程序分析,从操作类、数据类、环境类3个维度提出风险影响指标。其中操作类指标又包括操作失误和技术欠缺两类二级指标,是导致冲偏出跑道事件占比最大的因素。可见,人为因素是冲偏出跑道事件的重要致因。多维度的风险影响指标分析,为提高安全操作水平提供理论基础。

2) 结合实际案例分析,以提高飞行运行的安全性为目的,降低指标因素对冲偏出跑道事件的影响,从人、机、环、管等方面提出风险防控措施,包括:全面提高飞行技术、严格遵守标准操作程序、加强安全管理体系建设以及加强作风建设。可以从飞行操作层面有效提高运行安全性,有效降低冲偏出跑道事件发生的概率。

3) 飞行数据的分析需要大量数据作为支持,同时需要对不安全事件的数据进行着重分析。在未来的研究中,如果航空公司之间能够实现数据共享,收集更多数据进行大数据分析,则可增强结果的准确性。进行多维风险指标量化分析,在现有的基础上实现基于超限数据的量化分析,并结合具体飞行情境,以更加严谨的标准来规范操作,提升整体飞行运行的安全性。

## 参考文献

- [1] 中国民用航空新疆管理局航空安全委员会. 民用航空器事件调查报告: XJ2021002[R]. 乌鲁木齐: 民航新疆管理局航空安全办公室, 2021.  
Aviation Safety Committee of Xinjiang Administration of Civil Aviation of China. Civil aircraft incident investigation report: XJ2021002[R]. Urumqi: Aviation Safety Office of

- Xinjiang Administration of Civil Aviation of China, 2021. (in Chinese)
- [2] Boeing. Statistical summary of commercial jet airplane accidents worldwide operations 1959—2019[R]. Seattle, US: Boeing, 2020.
- [3] 中国民用航空局. 关于10月16日深航A319飞机在攀枝花机场跑道外接地事件处理情况的通报[R]. 北京: 中国民用航空局航空安全办公室, 2020.
- Civil Aviation Administration of China. Notice on the handling of the incident of landing the A319 aircraft of Shenzhen Airlines outside the runway of Panzhihua Airport on October 16[R]. Beijing: Aviation Safety Office of the Civil Aviation Administration of China, 2020. (in Chinese)
- [4] 王浩锋, 谢孜楠. 1997—2006年中国民航冲偏出跑道/场外接地事故症候的统计分析研究[J]. 中国民航飞行学院学报, 2008, 19(3): 3-9, 14.
- WANG Haofeng, XIE Zinan. A statistical analysis study of runway excursion/off-site landing incidents in China's civil aviation from 1997 to 2006[J]. Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2008, 19(3): 3-9, 14. (in Chinese)
- [5] FRICKE H, SCHLOSSER M, KALISKE G M. Embedding aircraft system modeling to ATM safety assessment techniques the runway excursion safety case for runway strips with reduced strength[J]. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 2021(3): 1-10.
- [6] 霍志勤. 基于历史数据的中国民航跑道安全管理关键问题研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
- HUO Zhiqin. Key issue research on runway safety management of China civil aviation based on historical data[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012. (in Chinese)
- [7] 占欣. 基于QAR数据的冲/偏出跑道风险评估研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2019.
- ZHAN Xin. Research on risk evaluation of runway excursion based on QAR data[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2019. (in Chinese)
- [8] NIX M, WANG H W, CHE C C, et al. Civil aviation safety evaluation based on deep belief network and principal component analysis—science direct[J]. Safety Science, 2019, 112: 90-95.
- [9] HONG S B, DILSHOD T, KIM D H. An application of the improved models for risk assessment of runway excursion in Korea[C]// The 7th International Conference on Information Science and Applications. Vietnam: ICISA, 2016: 113-119.
- [10] VALDÉS R M A, COMENDADOR F G, GORDÚN L M, et al. The development of probabilistic models to estimate accident risk (due to runway overrun and landing under-shoot) applicable to the design and construction of runway safety areas[J]. Safety Science, 2011, 49: 633-650.
- [11] CAA. Flight data monitoring based precursors project report part 1—runway excursions[R]. London: UK Civil Aviation Authority, 2012.
- [12] 杜红兵, 李珍香. 进近着陆运输飞行事故原因及预防对策研究[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(6): 118-122.
- DU Hongbing, LI Zhenxiang. Cause analysis on approach-and-landing loss accidents and their countermeasures[J]. China Safety Science Journal, 2006, 16(6): 118-122. (in Chinese)
- [13] KANDERA B, SKULTÉTY F, MESÁROOVÁ K. Consequences of flight crew fatigue on the safety of civil aviation[J]. Transportation Research Procedia, 2019, 43: 278-289.
- [14] CUI Q, LI Y. The change trend and influencing factors of civil aviation safety efficiency: the case of Chinese airline companies[J]. Safety Science, 2015, 75: 56-63.
- [15] 崔振新, 陆正, 汪磊. 基于灰色关联的飞机着陆冲出跑道事故影响因素研究[J]. 安全与环境工程, 2015, 22(3): 99-104.
- CUI Zhenxin, LU Zheng, WANG Lei. Evaluation of the influence factors of landing overrun accidents based on the grey relation theory[J]. Safety and Environmental Engineering, 2015, 22(3): 99-104. (in Chinese)
- [16] 张晓全, 李秋实. 基于WBA方法的冲出跑道事故风险管理研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(11): 67-73.
- ZHANG Xiaoquan, LI Qiushi. Study on risk management for overrun based on WBA[J]. China Safety Science Journal, 2012, 22(11): 67-73. (in Chinese)
- [17] 周易之, 舒平. 起飞阶段冲偏出跑道事故预防分析[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(1): 38-44.
- ZHOU Yizhi, SHU Ping. Analysis on prevention of runway overrun/excursion accident during takeoff[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(1): 38-44. (in Chinese)
- [18] WU Y L, FU G, WU Z R, et al. A popular systemic accident model in China: theory and applications of 2-4 model[J]. Safety Science, 2023, 159(3): 10601.
- [19] 龙江海. 基于QAR数据的重着陆分析研究[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2020.
- LONG Jianghai. Analysis of heavy landing based on QAR data[D]. Guanghan: Civil Aviation Flight University of China, 2020. (in Chinese)
- [20] 汪磊, 孙景陆, 王文超, 等. 基于QAR数据的着陆超限风险贝叶斯网络分析模型[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(1): 26-34.
- WANG Lei, SUN Jinglu, WANG Wenchao, et al. Bayesian network analysis model on landing exceedance risk based on flight QAR data[J]. Journal of Safety and Environment, 2023, 23(1): 26-34. (in Chinese)

(编辑: 马文静)