

基于HFACS-PE模型的川航3U8633航班成功备降人为因素解析与安全启示

焦 鹏¹, 刘宇麟¹, 李海君², 毛海涛¹, 赵 勇¹

¹中国人民解放军92728部队, 上海

²中国人民解放军91115部队, 浙江 舟山

收稿日期: 2026年3月17日; 录用日期: 2026年5月26日; 发布日期: 2026年6月2日

摘 要

为填补传统Safety-I安全管理理念及HFACS模型聚焦失效、缺乏正向经验系统化分析工具的缺口, 本文以川航3U8633航班遭遇极端险情成功备降案例为对象, 立足Safety-II理念, 采用HFACS-PE模型开展实证研究。结果表明, 正向组织支持、安全监督保障、良好行为前提与核心安全行为是成功备降的关键因素, 据此从以上四个维度提出针对性优化建议。研究证实, HFACS-PE模型可有效提炼成功经验, 推动航空安全管理从“规避失败”向“复制成功”转型, 为构建韧性安全体系提供理论与实践支撑。

关键词

HFACS-PE, 川航3U8633, 成功备降, 人为因素, 航空安全

Analysis of Human Factors in the Successful Diversion of Sichuan Airlines Flight 3U8633 and Its Safety Implications Based on the HFACS-PE Model

Peng Jiao¹, Yulin Liu¹, Haijun Li², Haitao Mao¹, Yong Zhao¹

¹Unit 92728, Chinese People's Liberation Army, Shanghai

²Unit 91115, Chinese People's Liberation Army, Zhoushan Zhejiang

Received: March 17, 2026; accepted: May 26, 2026; published: June 2, 2026

Abstract

To address the gap that traditional Safety-I safety management philosophy and the HFACS model

文章引用: 焦鹏, 刘宇麟, 李海君, 毛海涛, 赵勇. 基于 HFACS-PE 模型的川航 3U8633 航班成功备降人为因素解析与安全启示[J]. 国际航空航天科学, 2026, 14(2): 54-62. DOI: 10.12677/jast.2026.142007

focus on failures and lack systematic analytical tools for positive experiences, this study takes the successful emergency landing case of Sichuan Airlines Flight 3U8633 which encountered an extreme emergency as the research object. Based on the Safety-II philosophy, empirical research is conducted using the HFACS-PE model. The results show that positive organizational support, safety supervision guarantee, favorable preconditions for safe behaviors, and core safe behaviors are the key factors for the successful emergency landing, and targeted optimization suggestions are proposed accordingly. The study confirms that the HFACS-PE model can effectively extract successful experiences, promote the transformation of aviation safety management from “avoiding failures” to “replicating successes”, and provide theoretical and practical support for establishing a resilient safety system.

Keywords

HFACS-PE, Sichuan Airlines Flight 3U8633, Successful Diversion, Human Factors, Aviation Safety

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2018年5月14日,四川航空3U8633航班在9800米巡航高度遭遇右风挡爆裂脱落,座舱失压、多个系统故障的极端险情。机组在零下24℃低温、高风速、缺氧等恶劣环境下,凭借精准处置成功降成都双流机场,保障了机上128人的生命安全[1]。这起极端故障场景下成功处置的典型案列,为航空安全领域正向经验的挖掘提供了详实的实证参考,打破了传统安全研究对事故案例的依赖。

从国内外研究现状来看,人为因素和分类模型HFACS (Human Factors Analysis and Classification System)模型已被广泛应用于航空[2][3]、海运[4]、医疗[5]、煤矿[6][7]等领域的事事故根因分析,通过四层框架精准定位组织缺陷、人为失误等失效因素。但现有研究多聚焦查找失效原因,即属于传统的Safety-I安全管理理念,对正向经验的分析和总结方面存在缺口,缺乏系统化的分析工具和模型,导致传统事故分析长期聚焦失效因素的追溯与防控,忽视了对成功处置背后组织支持、机组能力等关键正向因素的提炼与转化。

鉴于此,本文立足Safety-II“从成功中学习”的安全管理理念,通过人为因素分析与分类系统-正向经验HFACS-PE (Human Factors Analysis and Classification System-Positive Experience)模型构建系统化的正向经验分析框架,实现从“规避失败”到“复制成功”的安全管理升级,为航空安全领域挖掘、转化类似川航3U8633航班的成功处置经验提供可操作的方法支撑,进而推动安全管理体系向“主动赋能成功”的方向优化。

2. 理论基础及模型构建

2.1. Safety-I 与 Safety-II 理念

2013年Erik Hollnagel首次明确区分Safety-I与Safety-II的核心定义[8],将传统安全管理范式命名为Safety-I,将聚焦成功因素的新型范式命名为Safety-II。2014年该学者在著作《Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management》中,系统阐述两类理念的哲学基础、适用场景与实践方法,正式确立Safety-II作为主动式安全管理的理论地位[9]。两类理念的核心在于传统Safety-I关注如何减少失

败，而 Safety-II 强调促进成功，二者共同构成完整的安全管理认知体系。

两种安全管理理念的核心目标、分析对象、典型工具、人员定位和适用场景等如表 1 所示，从表中对比结果可知，Safety-I 主要通过反应式防控筑牢风险底线，而 Safety-II 通过主动式优化提升系统的安全韧性。

Table 1. Comparison of two safety management concepts: Safety-I and Safety-II

表 1. Safety-I 和 Safety-II 两种安全管理理念对比

	Safety-I	Safety-II
核心目标	减少负面事件发生	促进日常成功实践
分析对象	事故/征候	日常操作、成功案例
典型工具	根本原因分析、HFACS	前瞻性事件调查
人员定位	潜在失效源	系统韧性支撑者
适用场景	标准化生产等明确、稳定的操作环境	航空、医疗等动态、不确定的环境

2.2. HFACS-PE 模型

HFACS-PE 模型以 Safety-II 理念为核心构建，即安全管理应分析并推广有效做法，而不仅是防控失败[10]。通过保留 HFACS 模型的四层递进结构，将其因果要素术语正向化，实现对人为成功原因的精准识别、分类与追踪，与聚焦失效因素的 HFACS 模型形成互补，共同支撑航空等领域的全面安全管理。

2.2.1. 组织影响

组织影响包括组织层面的资源投入、政策制定、流程设计等，为安全行为提供底层支撑，是成功处置的宏观保障，可分为资源管理，组织氛围和运营流程管理三个子类，如图 1 所示。

(1) 资源管理

资源管理包含人力资源、预算资源和设备/设施资源。

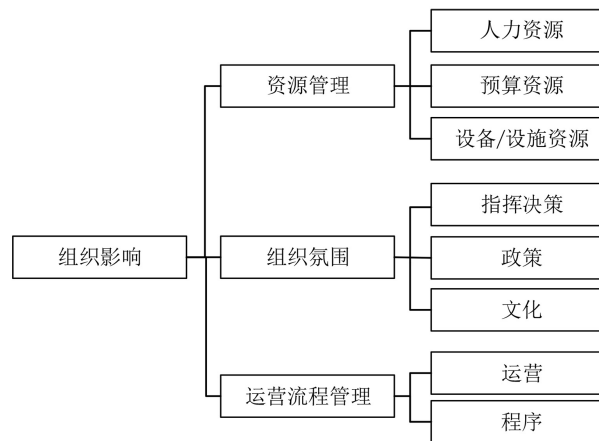


Figure 1. Composition of organizational influencing factors

图 1. 组织影响因素构成

人力资源方面，科学选拔、合理配置与充分培训，确保人员资质与岗位需求精准匹配。应当实现科学选拔、合理配置与充分培训，确保人员资质与岗位需求精准匹配。

预算资源方面，实施适度成本控制，保障资金供给充足，避免因成本削减影响安全与运营需求。

设备/设施资源方面,采用优良设计方案,采购与实际场景适配的设备,为安全高效运营提供物质支撑。

(2) 组织氛围

组织氛围包括指挥决策、政策和文化。

指挥决策方面,具备清晰的指挥链、合理的授权机制、顺畅的沟通渠道以及明确的问责机制,保障组织运行有序。

政策方面,基于公平规则开展招聘与晋升工作,营造公正透明的职业发展环境。

文化方面,建立规范的制度规则,传递正向的价值观与信念,保障组织公正,强化正向激励导向。

(3) 运营流程

运营流程包括运营和程序。

运营方面,保持合理的运营节奏,设置适度的时间压力与科学生产指标,完善激励机制与绩效评估体系,做好日程安排与充分规划,兼顾效率与可行性。

程序方面,制定明确的执行标准与清晰的工作目标,确保文档规范、指令明确,为操作执行提供清晰指引。

2.2.2. 安全监督

安全监督作为组织与个体的桥梁,通过有效监督、合理规划、问题纠正,为成功处置提供过程保障。可分为监督、问题纠正 2 个子类,如图 2 所示。

(1) 监督

提供清晰指导与明确操作准则,实施全流程监督保障执行效果;持续追踪人员资质达标情况与实际工作绩效,确保能力与职责匹配。严格禁止不必要的风险行为,坚决执行各项规则制度无偏差。

(2) 问题纠正

及时修正存在错误的文档资料,精准识别存在安全风险的相关人员;主动启动针对性纠正措施,第一时间上报各类不安全倾向,防患于未然。

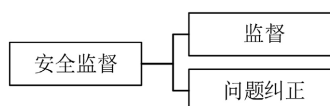


Figure 2. Composition of safety supervision factors
图 2. 安全监督因素构成

2.2.3. 安全行为前提

安全行为前提是个体执行安全行为前的环境适配、自身状态以及人员协作基础,是成功处置的直接前置条件,具体可分为环境因素、机组状态、人员因素三个子类,如图 3 所示。

(1) 环境因素

环境因素包含物理环境和技术环境。

物理环境是指驾驶舱外部具备适宜的天气、高度与地形条件,驾驶舱内部保障温度、振动、照明处于合理范围,无有毒物质干扰,为安全操作提供基础支撑。

技术环境是指驾驶舱内外的技术环境符合要求,包括人机工程学设计科学、系统自动化适配操作需求、明确操作及用户限制等,助力高效安全作业。

(2) 机组状态

机组状态包括心理状态和生理状态。



Figure 3. Composition of preconditions for safe acts
图 3. 安全行为前提因素构成

心理状态是指合理分配注意力，对飞行情境保持敬畏之心，持续保持专注，维持精力充沛的良好状态，保持可控的工作节奏，时刻维持情境意识，确保工作量合理无过载。

生理状态是指生理机能未受干扰，身体健康无异常，保持精力充足的身体状态，为应对飞行任务提供生理保障。

(3) 人员因素

人员因素包括机组资源管理和个人准备。

机组资源管理方面，开展高效的沟通与协调工作，进行充分的任务简报，充分利用所有可用资源，发挥良好的领导力，准确解读交通指令，保障机组协作顺畅。

个人准备方面，进行适度体能训练以保持良好体能，不自行用药避免影响状态，严格遵守机组休息要求，严格执行酒精管控规定，确保以最佳状态投入飞行。

2.2.4. 安全行为

安全行为是个体在紧急情境中直接采取的成功应对行为，是成功处置的核心执行环节，具体包括响应方式和临时处置措施两个子类，如图 4 所示。

(1) 响应方式

响应方式包含技能、决策和感知。

技能方面能够合理分配注意力优先级，恰当且适时使用飞行控制装置，正确执行各项程序，准确完成检查单项目，娴熟运用专业技术，对飞机进行适度操控，确保操作精准高效。

决策方面能够选择恰当的执行业程序，准确诊断紧急情况，制定合理有效的紧急响应方案，正视自身能力边界不盲目操作，根据场景适配机动动作，做出及时且恰当的决策，保障处置方向正确。

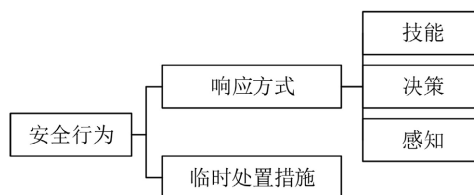


Figure 4. Composition of safety act factors
图 4. 安全行为因素构成

感知方面能够精准估算距离、高度与空速，保持良好的空间定向能力，提前预防飞行错觉，或对已出现的飞行错觉进行早期识别与及时补偿，避免感知偏差影响操作。

(2) 临时处置措施

临时处置措施是指面对突发、未经过演练或无既定程序的潜在危险情境，主动采取创造性的解决方案，确保最终达成正向结果，最大程度降低风险、保障安全。

3. 实证分析

3.1. 事件成功处置因果链

根据事件调查报告[1]，空客 A320 机型 AFM/FCOM 飞行手册程序、航空生理学理论[11]及 CRM 经典理论[12]，本次事件 HFACS-PE 四层正向传导成功路径模型如下：

- (1) 组织层面开展有效训练，以此筑牢安全监督基础；
- (2) 依托完善的训练体系，机组实现高高原资质达标，形成坚实的正向组织影响；
- (3) 当风挡裂纹出现后，机组第一时间作出快速响应，展现出精准的正确处置能力；
- (4) 座舱失压发生时，机组随即启动高效的 CRM 协作机制；
- (5) 凭借扎实充分的专业技能，通过人工操纵稳定飞机姿态；
- (6) 随后结合实时态势合理选择备降机场，完成科学精准的适时决策，最终实现安全落地的成功处置目标。

3.2. HFACS-PE 模型分析结果

HFACS-PE 模型分析结果如表 2 所示。

3.2.1. 正向组织影响

(1) 有效资源管理

川航按空客 A320 机型适航标准与 AFM 手册要求，建立风挡 4 个月内部目视、20 个月外部目视的常态化维修方案，事发前飞机持续适航[1][13]；机组训练体系贴合 FCOM 高高原运行程序，责任机长总飞行 13666 小时、A320 机型 7933 小时，3 名机组均持高高原资质，累计高高原飞行超 560 小时，专业资源匹配极端场景处置需求。

(2) 积极组织氛围

四川航空按照民航局高高原运行规章，落实“一套机组至少 3 名驾驶员”的派遣要求，且机组搭配经过合规审核，形成重视安全、规范操作的组织文化；事件后快速响应，更新 AFM、FCOM 等手册程序，体现组织对安全改进的快速迭代能力。

(3) 完善运营流程

四川航空《高原机场训练提纲》设置 4 小时高高原模拟机训练，覆盖座舱失压、紧急下降等核心程序，该运营流程直接通过安全监督传导至机组技能储备，使机组在 9800 米失压后，严格按照 FCOM 程序控制下降率与空速，完成精准人工操纵(安全行为)，避免失速与结构损伤[1][13]。

3.2.2. 安全监督

(1) 充分监督与培训

川航对机组实施严格的资质审核，包括年度航线检查、熟练检查与应急生存训练，确保机组技能持续达标；维修部门按手册完成航前、定检等检查，2018 年 4 月 12 日 4A5 定检中，风挡相关检查均正常，无故障保留。维修人员与空管、乘务人员均具备有效资质，航前维修按工作单执行，空管保障符合规章要求，形成全链条合规监督闭环。

(2) 问题纠正与预防

针对同型风挡存在的封严硅胶破损风险，川航在夏季换季检查中专项排查风挡密封胶条，虽本次事

件风挡封严破损未被提前发现，但常态化预防机制为风险管控奠定基础；事件后推动座舱高度采样率提升至 1 秒/次，强化了对潜在风险的监测。

3.2.3. 安全行为前提

(1) 有利的机组状态

机组飞行前无疲劳、体能良好；事发时零下 24℃低温、缺氧环境下，机长处于应激状态，中枢神经兴奋性提升、呼吸循环系统代偿增强，符合航空生理学中急性缺氧环境下人体应激反应规律[11]，耐受能力显著提升，未出现意识丧失，为安全操作提供生理保障。

(2) 充足的人员能力

机组具备强有效的 CRM (机组资源管理)能力符合机组资源管理经典理论[12]，风挡爆裂后，责任机长主导操纵，副驾驶返回座位后设置应答机 7700，第二机长进入驾驶舱后协助沟通、提醒氧气面罩佩戴，通过手势完成关键协作；机长熟悉飞机结构与气动特性，精准控制下降率与速度，避免飞机失速或结构损伤。

(3) 适配的环境支撑

事发航路无雷电、冰雹等极端天气，为机组目视判断与操作提供基础；成都双流机场具备完善的应急保障能力，为成功备降提供了地面支持。

3.2.4. 安全行为

(1) 正确响应

风挡出现裂纹后，机长第一时间申请下降高度、备降成都，符合手册中“优先控制飞机状态”的原则[13]；座舱失压后，按程序启动紧急下降，保持飞机在安全高度以上，避免低于 MORA (最低偏航高度)与雷达最低引导高度；落地前执行超重着陆检查单，规范完成着陆操作。

(2) 合理临场处置措施

极端环境下，机组突破常规沟通方式，通过拍肩、手势等完成信息传递与协作；机长在自动驾驶断开后，人工精准操纵飞机，应对侧杆异常输入等突发状况；第二机长为机组揉搓肢体缓解寒冷，优化机组生理状态。上述临场处置措施，属于无程序依托的临场创新行为，是 Safety-II 理念下“系统韧性发挥”的核心体现。

Table 2. Analysis results of the HFACS-PE model

表 2. HFACS-PE 模型分析结果

层级	可识别核心类别	具体对应事件信息
正向组织影响	有效资源管理、积极组织氛围	机组高高原资质齐全、训练体系完善； 公司应急程序明确
安全监督	充分监督、计划适当操作	机组定期熟练检查达标； 高高原航线派遣符合 3 人机组要求
安全行为前提	有利机组状态、有效机组资源管理	机组无疲劳、体能良好； 三人协作默契，非语言沟通有效
安全行为	正确响应、合理临场处置措施	及时申请备降、精准控制飞机； 手势沟通、协助佩戴氧气面罩

4. 基于 HFACS-PE 模型分析的航空安全启示

川航 3U8633 航班的成功备降案例，为行业安全管理的升级提供了重要借鉴，基于 HFACS-PE 模型

对该案例的系统分析结果，为构建同步推进的优化策略体系，可从以下方面开展相关工作。

4.1. 组织层面

(1) 针对风挡维修漏洞：推动空客制造商优化 A320 风挡密封结构与绝缘设计，将风挡封严、水汽侵入检测纳入航司季度定检必查项目，新增极端温变环境下的风挡可靠性测试。

(2) 针对高高原训练不足：将座舱失压、低温缺氧、通讯中断的组合场景，纳入高高原机组年度模拟机复训必修科目，直接对标本次事件处置技能需求。

(3) 针对正向经验转化：建立“成功处置案例库”，将本次事件 CRM 协作、手势沟通等经验纳入新雇员培训与年度复训，固化“从成功学习”的安全文化。

(4) 针对资源保障：增配高高原模拟机训练设备，确保机组每年不少于 4 小时极端场景实操训练。

4.2. 监督层面

(1) 提升维修监督的精准性，针对风挡等关键部件，优化检查周期与方法，引入绝缘性测试等专项检测手段，提前发现水汽侵入、绝缘性下降等潜在风险。

(2) 强化机组训练监督，增加极端环境如低温、缺氧、设备失效组合场景下的应急处置模拟训练，提升机组在复杂条件下的适应能力。

(3) 建立跨部门风险预判机制，结合同型设备故障历史，提前制定预防措施。

4.3. 行为前提层面

(1) 加强机组生理与心理建设，定期开展高空生理训练与心理疏导，提升机组对缺氧、低温等极端环境的耐受能力；建立机组健康监测机制，确保飞行前身心状态达标。

(2) 深化机组资源管理能力培养，将非语言沟通、应急协作等纳入常态化训练，提升机组在高噪音、强风等无法语音交流场景下的协作效率。

(3) 优化飞机环境适配设计，推动制造商改进风挡密封结构、增加电弧探测与防护功能，减少极端环境对机组操作的影响。

4.4. 行为层面

(1) 完善应急处置手册，将“系好肩带”“协助佩戴氧气面罩”等关键动作纳入记忆项目，明确极端场景下的操作优先级。

(2) 推广“正向行为清单”，总结机组在事件中精准控制下降率、合理选择备降机场等正确操作，形成标准化处置流程。

(3) 强化机组临场处置能力培养，在模拟训练中设置突发场景，鼓励机组在合规前提下灵活应对，积累非标准场景的处置经验。

5. 结论与展望

5.1. 结论

四川航空 3U8633 的成功备降，是 HFACS-PE 四层级(正向组织影响、安全监督、安全行为前提条件、安全行为)协同作用的结果。组织层面的安全体系，监督层面的全流程管控，前提条件层面的机组能力与环境适配，共同支撑了机组在极端场景下的精准处置。这一事件证明，航空安全不仅需要防控失效原因，更需要挖掘成功经验，通过正向经验的提炼与推广，可优化安全管理体系、提升机组应急能力，为航空

安全注入持久动力。未来,需持续深化 HFACS-PE 等正向分析工具的应用,从每一次成功处置中汲取智慧,构建更全面、更具韧性的航空安全体系。

5.2. 展望

本研究主要依赖事件调查报告、机型手册等资料,未开展机组访谈、模拟机实验等一手数据采集,分析维度存在一定局限性。同时,本次事件中机组非语言沟通、肢体保暖、临场创新操纵等行为,属于现有 HFACS-PE 模型未完全覆盖的临场韧性发挥行为,后续将对 HFACS-PE 模型进行修正,新增“临场创新”子类,收录无程序依托的创造性安全行为,完善模型的正向分析能力;未来可选取多起成功处置案例开展对比研究,进一步验证模型的普适性,为航空安全韧性体系建设提供更坚实的理论支撑。

参考文献

- [1] 中国民用航空局. 航空器严重征候调查报告(SWCAAC-SIR-2018-1): 风挡玻璃空中爆裂脱落四川航空 3U8633 航班 A319-133/B-6419 号机重庆至拉萨巡航阶段[R]. 成都: 中国民用航空局, 2020: 16-17.
<https://safety.caac.gov.cn/indexnewsdetail/init.act?args=B6B551E0DF6672F4E0531FDE010A7861>, 2020-06-01.
- [2] 赵赶超, 向小军. 基于多模型的国航 4·15 飞行事故人误分析[J]. 中国民航飞行学院学报, 2017, 28(4): 41-43.
- [3] Materna, M., Maternová, A., Kamenická, D. and Chodelka, F. (2023) The Influence of Human Factor on Aviation Accidents in Slovakia through HFACS Framework: A Comprehensive Study. *Transportation Research Procedia*, **75**, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.12.020>
- [4] 武晨. 基于 HFACS-BN 的智能船舶碰撞事故人为因素研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2024.
- [5] 宋雪青. 基于 HFACS 的重症医学科医院感染人为因素风险评估指标体系的构建研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2024.
- [6] Lenné, M.G., Salmon, P.M., Liu, C.C. and Trotter, M. (2012) A Systems Approach to Accident Causation in Mining: An Application of the HFACS Method. *Accident Analysis & Prevention*, **48**, 111-117.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.026>
- [7] Liu, R., Cheng, W., Yu, Y., Xu, Q., Jiang, A. and Lv, T. (2019) An Impacting Factors Analysis of Miners' Unsafe Acts Based on HFACS-CM and Sem. *Process Safety and Environmental Protection*, **122**, 221-231.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.12.007>
- [8] Hollnagel, E. (2013) A Tale of Two Safeties. *Nuclear Safety and Simulation*, **4**, 1-2.
- [9] Hollnagel, E. (2014) Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management. Ashgate.
- [10] Zavila, O. (2025) Human Factors Analysis and Classification System-Positive Experience (HFACS-PE): New Approaches to Aviation Accident and Incident Investigation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **94**, Article 105578. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2025.105578>
- [11] 航空生理学编写组. 航空生理学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2018.
- [12] Lauber, J.K. (2010) Crew Resource Management. Second Edition, Academic Press, 7-9.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374946-8.10025-1>
- [13] Airbus (2017) A320 Aircraft Flight Manual (AFM). Airbus S.A.S.