

基于HFACS的空中危险接近事故分析和启示

龚 奎, 朱友志, 王明华

空军工程大学空管领航学院, 陕西 西安

收稿日期: 2022年4月13日; 录用日期: 2022年5月21日; 发布日期: 2022年5月31日

摘要

据统计, 在已发生的空中交通事故中, 70%以上的致因都是人为因素。为了有效分析事故本质, 吸取经验以防止类似事故再次发生, 提出一种基于人为因素分析分类系统的分析方法, 即HFACS方法。此方法从表层的不安全行为进行分析, 直到深层次的组织影响层, 从显性因素到隐性因素, 解释事故发生的本质原因。本文基于HFACS模型对一起日本空中危险接近案例进行系统分析, 建立四层逻辑体系, 找到了本案例中航空事故诱因中的人为因素, 并根据相关分析提供保证飞行安全的意见建议, 案例分析表明HFACS方法适用于分析各类航空事故来找寻事故底层的诱因。

关键词

HFACS, 人为差错, 空中相撞

Analysis and Enlightenment of Air Danger Approaching Accident Based on HFACS

Xi Gong, Youzhi Zhu, Minghua Wang

Air Traffic Control and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi

Received: Apr. 13th, 2022; accepted: May 21st, 2022; published: May 31st, 2022

Abstract

According to statistics, more than 70% of air traffic accidents are caused by human factors. In order to effectively analyze the nature of the accident and learn experience to prevent similar accidents from happening again, an analysis method based on human factor analysis and classification system, HFACS method, is proposed. Methods from the unsafe behaviors on the surface to the deep

organizational influence, from explicit factors to implicit factors, the essential causes of accidents were explained. In this paper, based on HFACS model, a case of approaching air danger in Japan is systematically analyzed, and a four-layer logic system is established. The human factors in the cause of aviation accidents in this case are found, and suggestions for ensuring flight safety are provided according to relevant analysis. Case analysis shows that HFACS method is suitable for analyzing all kinds of aviation accidents to find the underlying cause of accidents.

Keywords

Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), Human Factors Error, Air Collision

Copyright © 2022 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

一次航空器相撞事故的发生不仅可能使航空业受到巨大影响，更使乘客承受生命不可承受之重，造成众多人员生命、财产损失。随着航空器性能和各项保障的不断完善，越来越多的人选择乘坐飞机出行，这直接导致了航空业空中交通流量激增，防相撞工作面临巨大挑战。根据民航局公布的数据，我们发现：人为因素越来越成为空中交通事故的主要诱因。另外，当空中飞行流量增加，空域保障任务的复杂度提升，需要依靠组织团队共同协作时，人为差错的影响会更加突出，所以，基于有效的人因分析与分类系统(HFACS)，对具体案例进行分析，研究出该案例背后的人为因素诱因，对于提高防相撞工作的决策和管理水平，保证航空器空中飞行安全，具有重要意义[1] [2]。

2. 人为因素分析方法(HFACS)

2001 年，Shappell 和 Wegmann 在 Reason “瑞士奶酪” 模型基础上，提出了“人因分析与分类系统(HFACS)” [3] (如图 1 所示)。HFACS 方法将“瑞士奶酪” 模型所描述的 4 个不同层级进行进一步分析、细化，形成了一套完整的理论体系来研究事故发生时各种复杂因素之间的作用关系。人为差错由高层级向低层级逐层施加影响，最终通过此方法找到事故发生最核心最本质的问题，提出相关意见建议，以期促进对人为因素潜在诱因的分析和评估[4]。

本文基于对 HFACS 现有成果的总结之上，完善其各层次的表现，使其适用于航空领域中进行航空事故的分析，并通过研究日本危险接近案例来验证其可行性[5] [6]。

2.1. 不安全行为的具体表现

不安全行为层是 HFACS 模型中的第一层，即反映表象的一层，一般为事故的直接诱因，本文从差错和违规两方面，将航空领域能涉及到的具体表现进行归纳总结，如表 1 所示。

2.2. 不安全行为前提条件的具体表现

每次出现不安全行为都会有其前提条件，一般与人的状态和在飞行过程中人的表现有关，有时也与环境条件有关，具体表现如表 2 所示。

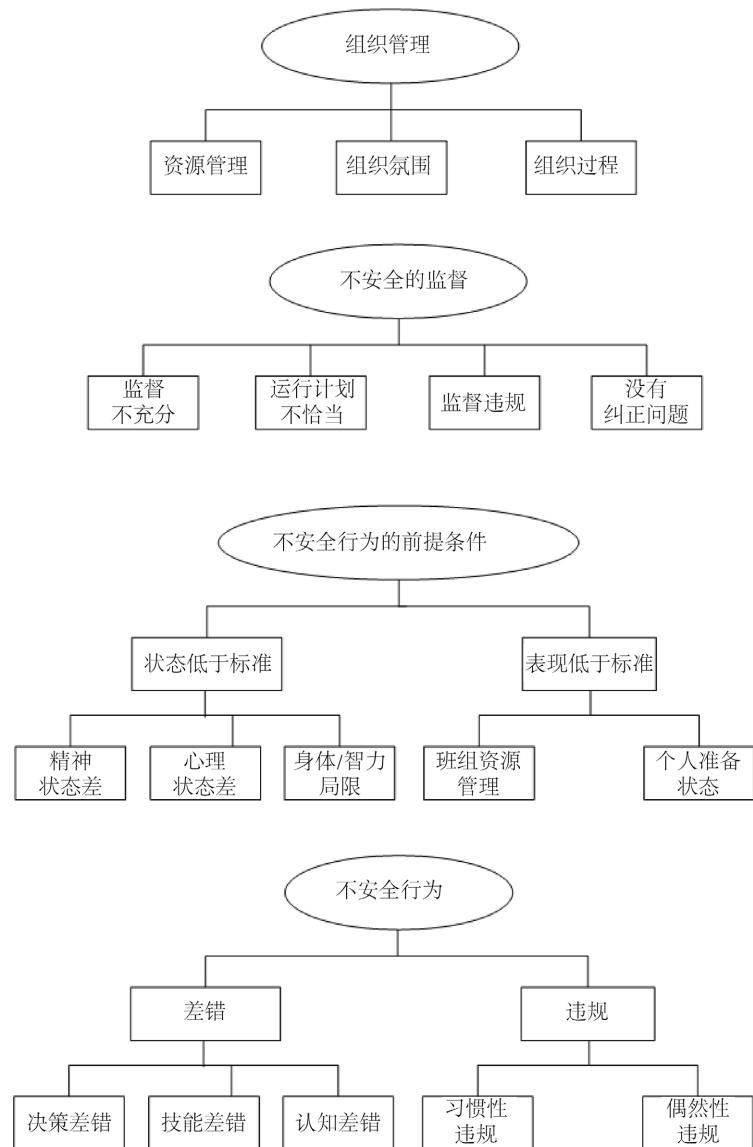


Figure 1. Human factor analysis and classification system

图 1. 人为因素分析分类系统

Table 1. Representation of unsafe acts

表 1. 不安全行为具体表现

影响因素		具体表现
差错	技能差错	专业技能缺失, 语言表述不正确, 省略程序步骤, 注意力分配不当, 分心, 记忆失能
	决策差错	程序错误, 选择不当, 特情处置不当, 问题处理差错, 不恰当的动机
	认知差错	错误判断/感知错误, 情境诊断错误, 没有认清情况, 失定向/眩晕所致
违规	习惯性违规	飞行简令掌握不充分, 不采纳管制员建议, 非授权的滑行或进近, 边缘气象条件下申请使用目视飞行规则, 违反命令、规章和标准操作程序, 未按正常程序交接班, 陆空通话用语不规范, 冒不必要的风险, 调度不合理
	偶然性违规	执行没授权的战术机动, 不当的起飞技巧, 没有获取正确的气象资料, 冒不必要的危险, 没有及时发布信息通报, 忽视或违反管制规章、程序和运行标准

Table 2. Representation of unsafe act preconditions
表 2. 不安全行为前提条件的具体表现

影响因素		具体表现
人员因素	班组资源管理	未充分通报, 缺少团队配合, 分工不明确, 人际关系失调, 缺乏自信, 部门间联络或协作不畅, 错误理解管制员指令, 不恰当的交接班
	个人准备状态	训练培训不足, 私自服药, 饮酒, 没有遵守休息时间规定, 体能训练过度
人的状态	精神状态差	睡眠缺乏, 失去情景意识, 过度关注任务, 警惕性低, 精神疲劳, 生理节律紊乱, 注意范围狭窄, 精力不集中, 自满, 自负, 不良动机
	生理状态差	没有遵守休息时间要求、饮酒、私自服用药物, 使工作能力严重下降, 无法完成工作内容; 生病、缺氧、疲劳和极度兴奋等, 产生视觉错觉、空间定向障碍, 注意力分散, 身心疲劳
环境因素	身体或智力局限	体能不适应, 缺乏所需技能, 智力或能力不足, 视觉天然局限、处理复杂情况的经验不足, 负荷过大
	物理环境	高温, 寒冷, 振动, 照明, 辐射
	技术环境	设备或控制装备的人机界面, 情报资料, 显示屏或界面特征, 任务紧急程度, 自动化

2.3. 不安全的监督的具体表现

不安全的监督反映的是监督不到位或没有监督对于飞行事故的诱因产生的影响, 第三层通过前两个层级对于表象因素的影响, 已经开始深入研究隐性层级的诱因, 具体表现如表 3 所示。

Table 3. Representation of unsafe supervision
表 3. 不安全的监督具体表现

影响因素		具体表现
监督违规		允许使用未经批准的程序, 授权不必要的冒险, 监督者故意不尊重权威, 授权不合格人员工作
没有纠正问题		没有纠正不适当的行为或发现危险行为, 没有纠正安全危险事件, 没有汇报不安全趋势并加以纠正
运行计划不适当		班组搭配不当, 没有为班组提供足够休息机会, 工作超负荷, 风险大于训练成效
监督不充分		没有合理培训, 丧失监督情景意识, 没有提供专业指导或监督, 没有持续监察人员资格认证, 没有提供操作标准, 违章成本过低或处罚力度不够导致冒风险违规工作

2.4. 组织管理的具体表现

组织管理层在 HFACS 四层逻辑体系中为最高层, 有着最深的影响力, 一般来说不易发掘, 发现问题后改正的代价很大, 但一旦改正就是从根本上解决问题, 将彻底改变安全现状。组织管理层主要涉及组织中运营中高层的管理决策, 管理的流程安排和组织文化、氛围等方面, 具体表现如表 4 所示。

3. 事故简述

2001 年 1 月 31 日, 两架隶属于日本航空的航机, 一架 B747-446D 航班(907 号)与另一架麦道航班 DC-10-40D (958 号), 在静冈县烧津市骏河湾附近上空发生了空中危险接近, 事故造成 907 号班机 100 人受伤。据调查, 事件是由管制员出现人为错误引起的。日方称此事故为“日本航空机骏河湾上空空中接近事故”。

Table 4. Representation of organization and management
表 4. 组织管理的具体表现

影响因素	具体表现
资源管理	选拔不当, 人员安置配备不合理, 人员培训不严格, 缺乏安全设备资金, 设备设施有缺陷, 采购不当且没有及时纠正已知的设备缺陷
组织氛围	行政管理系统结构, 信息沟通, 责任制度, 晋升, 招募, 解雇, 留职, 事故调查, 标准规章, 组织习惯
组织过程	操作节奏, 动机, 配额, 时间压力, 绩效标准, 目标, 程序指南, 制定安全计划与风险管理计划, 管理的监视和检查资源

下午 03:36, 日航一架 B747-400D 客机(907 号班机)从东京国际机场起飞至那霸机场降落。907 号班机经管制员允许后在静冈县烧津市骏河湾上空爬升至 37,000 英尺。几乎同时间, 另一架麦道 DC-10-40 型客机(958 号班机)由釜山金海国际机场起飞至成田国际机场准备降落。

下午 03:55, 两架当事客机机载 TCAS 系统突然警报。在同时收到 TCAS 指令和管制员指令时, 两名机长采取了相反的应对措施。907 号班机机长听从管制员指令实施下降, 而 958 号班机机长则按 TCAS 指示下降, 结果无需多说, 双方同时驶向一个致命的汇聚点, 从飞行冲突走向危险接近。幸运的是, 当时能见度高, 两架航班危险接近时机组均能目视发现对方, 因此才能在最后目视发现对方并做出规避。907 号班机加速下降, 958 号班机停止下降而转为爬升。最终, 907 号班机从 958 号班机机腹下方掠过, 最近时垂直高度差仅 40 米。虽然两架客机最终避免相撞, 但在千钧一发之际机长猛烈的规避动作还是致使 907 号班机上 100 人受伤, 且机舱内部受到轻微损毁。

4. HFACS 模型分析

4.1. 不安全行为

1) 技能差错

a) 在当事双方航空器的 TCAS 系统发出警报之前, 东京交通管制部门的一名实习管制员及另一名负责监督的管制员已经发现了双方航空器有相撞风险。然而, 虽已识别了冲突点, 但当事管制员却并没有进行调配, 是因为当时拿话筒进行指挥的实习管制员正在处理途径的其他航班, 这严重分散了管制员的注意力, 然后将原应向 958 号班机发出的下降指令误指示为 907 号班机, 最终造成危险接近的严重后果。(注意力分配不当)

b) 管制教员忙乱之中出错, 喊错航班号。在两架飞机飞到航线交叉点前 55 秒时, 东京空中交通管制中心系统发出空中接近警报。管制员听到此警告, 立即处理冲突点, 避免造成更大的安全隐患。但由于紧张, 管制员本想让 907 号航班上升、958 号航班下降, 却混淆了他们的航班号, 结果将“907 号航班”口误说为“957 号航班”, 而当时附近空域并没有 957 号航班。因此, 958 号航班与 907 号航班越来越接近。尽管管制员后来发现指令有误, 试图纠正, 却为时已晚。(通话或语言表达不当)

c) 由于情况紧急, 958 号航班依据 TCAS 系统提示下降高度, 但机长将全部精力用于处置与 907 号航班空间位置, 导致忘记及时将自身状况通报管制员。(记忆失能)

2) 认知差错

a) 管制员指挥 907 号航班与 958 航班飞行过程中, 没有及时意识到存在的危险接近;(没有认清情况)

b) 管制员将航班编号混淆, 发出错误指令。当发现两架航班有冲突时, 当事管制员本应让 958 号班机下降, 却误让 907 号班机下降, 且没有同时使 958 号班机爬升。由于当时情况紧急, 管制员对于当时

的情景判断不够清晰，导致不能准确识别航班编号，酿成大祸。(错误判断/感知错误)

3) 决策差错

- a) 在两机到达航线交汇点前 55 秒，警报声骤然响起。慌乱之中，管制教员接过管制权，却对 907 机组下达了与 TCAS 提示完全相反的指令；(紧急情况处置不当)
- b) 907 号班机机长无视空中防撞系统 TCAS 的上升建议，选择遵照管制员的指示下降高度，最终导致危险进近的发生。(选择不当)

4.2. 不安全行为的前提条件

1) 精神状态差

- a) 当事管制员在已经提前识别两架航班可能会有冲突后并没有及时进行调配，反而一直忙于处理其余途径航班，过度关注正在指挥的航班，没有大局观，未能合理分配自身的注意力，最终造成危险接近的严重后果。(过度关注任务；注意范围狭窄)
- b) 实习管制员由于刚刚步入岗位，对于各方面业务也不熟悉，很容易出现紧张情绪，害怕出错，导致注意范围狭窄，生理节律紊乱。(精力不集中，精神疲劳)
- c) 当时正在进行对数班经过的航班进行管制调配工作，本身工作负荷压力较大，同时由于是实习状态，对于突然出现的两架航班可能出现相撞的风险，他处理复杂情况的经验不足，导致他无法正确想到对策，同时又不得不忙于调配其他紧急的航班。(身体或智力受限)

2) 班组资源管理

- a) 两机危险接近时，702 机组并未向管制员报告本机出现了与管制员指令不相同的情况，导致管制员无法意识到自己的错误，按“TCAS 提示”下降，引起事故；(未充分通报)
- b) 由于管制教员监督不充分，未与实习管制员进行及时沟通交流，在可能发生空中交通安全隐患时未能及时交接管制权，这属于班组资源管理实效。(不恰当的交接班)

3) 个人准备状态

- a) 通过分析管制员的指挥表现，实习管制员在进行管制时过于紧张，可以看出，其对各类型飞机性能以及对空域的情况不够熟悉，平时的训练培训不够，对于紧急情况处理缺乏经验；(训练培训不足)
- b) 在已经提前识别两架航班可能会有冲突后，该实习管制员并没有及时进行调配，反而忙于处理途径航班，没有分清主次矛盾，并且混淆了航班编号，没有及时处理飞行冲突。(任务紧急程度)

4.3. 不安全的监督

1) 监督不充分

- a) 以当日指挥的管制员的业务水平和处置能力，很明显不具备特情处置能力和在空中交通流量较大的单独值班能力；(授权不合格人员工作；没有持续监察人员的资格认证)
- b) 发现即将出现事故，实习管制员没有及时察觉其危险性，正式管制员没有及时给予建议，解决调配不及时，并且慌乱中发出了错误指令。(没有提供专业指导)

2) 没有纠正问题

- a) 管制教员在识别冲突点之后，在实习管制员没有及时指挥当事航空器而去指挥过往航空器时，没有及时纠正安全危害，再接手时想实施指挥已经来不及了。(没有纠正不适当行为)

3) 运行计划不恰当

- a) 整个事故过程中，实习管制员多次做出了错误的动作，当时管制教员没有及时给出建议或者提醒，二者搭配效率低；(班组搭配不当)

b) 对于实习管制员，在接受紧急任务时，没有考虑实习管制员已经高强度工作很久，在这种高强度作业下，还要处理紧急情况属于高负荷工作。(工作超负荷)

4.4. 组织管理

1) 组织过程

- a) 管理部门没有制定绩效标准与目标，也没安排经常性的技能考核，造成管制员工作随意，对突发事件处置能力差，对特殊情况处置程序欠熟练，酿成悲剧；(绩效标准；目标)
- b) 并未制定合适的安全管理计划，且缺少必要监视与检查。对于松散、混乱的工作状态视而不见，没有很好掌握工作设备状态。(制定安全计划与风险管理计划；监视和检查)

2) 资源管理

实习管制员和管制教员在实施管制时手忙脚乱，先后出现指挥上的问题，反映出对管制员的训练 / 选拔等存在不足，最终导致管制员在面对特情时处置不当，酿成大祸。(训练 / 选拔等存在不足)

5. 安全启示

事故调查报告公布以后，日本有关部门修订了相关的安全规定，明确如果管制员指令与 TCAS 系统建议发生冲突时，机组应当遵循 TCAS 系统建议，以避免相同事故再次发生。根据 HFACS 找到本事故中的人为失误并不是最终目的，如何有效减少人为因素的失误，达到提高航空器飞行的安全性的目的，才真正具有意义，因此，根据上述案例的分析结果，提出减少管制员人为差错的相关建议。

1) 提高管制员能力素质

a) 能力素质是完成各项飞行任务的基本条件，是规避人为差错最有效的屏障。首先是严格把关管制员选拔过程，建立健全管制员选拔机制，运用科学的方法选拔出能力素质和心理素质过硬的人员。重点关注情绪控制能力、注意分配能力、沟通表达能力、立体感知能力和统筹规划能力等，使选拔出的管制员能够适应未来空中交通管制工作的特殊性。通过各种培训和学习，提高管制员的能力素质，包括学习、总结能力。

b) 通过各种培训和学习，提高管制员的能力素质，包括学习、总结能力。学习是指要始终保持强烈的本领恐慌感，扎实进行各类基础知识学习，打牢法规、制度和调配方法知识基础，坚持眼睛向前看，着眼于未来民航发展理念、紧跟时代步伐，不断向航空强国学习，开阔眼界、提高站位，强化双语指挥能力；总结指要在经常性模拟指挥训练和实际值班指挥中，注重记录琐碎的知识点和正确面对存在的我呢体和薄弱环节，定期进行梳理和总结，发生问题时要在事后不断反思和归纳。对于管制员的培养，对其进行性格、心理分析，在组织管理上为班组成员的搭配提供科学依据，进入管制岗位以后，时刻强化安全防范意识，培养良好的管制工作习惯，比如形成完整的陆空对话习惯，在处理局部区域飞行冲突时遵守工作规定，遵循工作流策，防止“错忘漏”现象发生[7]。

2) 完善各类规章制度

a) 对于已经发生的事故或者安全隐患，各部门应该及时对问题进行处理，建立健全法规体系，摒弃掉长期以来在工作过程中“约定俗成”的“土规定”“土办法”。例如，该事故中，由于两架航班的座舱语音记录器的记录时间有限(30 分钟)，调查组无法获取当时的机舱通话纪录，因此，在该事故进行调查后依据 ICAO 公约的规定，将客机语音记录器的录音时限扩大至 2 小时，并增加了飞行数据记录器对于 TCAS 等防撞装置警告信息的记录，以此来更好地协助事故调查，事实也证明，改进后大大减少了后续航空器出现此类问题的概率。

b) 各地区管制机构应该结合各单位特点，向其他先进的管制单位学习其管理理念及组织实施方法，

以完善自身,持续改进。对于故意违规的人员应大力惩治,对于表现突出的人员应予以奖励。结合管制员工作压力大、责任重、薪酬低的特点,应建立激励制度,以充分调动积极性,使管制员投身管制事业。另外,应建立非处罚安全监察体系,这也是未来空管安全的发展趋势[8]。

3) 改善管制硬件、软件环境

a) 当前的管制设备设施已经相当可靠,但在人机交互界面中仍存在很大的发展空间。未来应采用新理念新技术,不断增强管制系统运行的可靠性、稳定性和智能化水平,确保管制系统无论在平时运行还是在密集流量的情况下,都能保持良好的鲁棒性,让管制系统界面更具人性化,使机交互关系更加和谐,以期尽最大可能减少人为因素引发的安全隐患。

b) 例如,提高设备告警强度,使其足够引起管制员的注意,及时警醒管制员;在操作系统界面中增加防误触安全边界,防止因人为误触引发空中交通事故等。管制大厅中控制噪音分贝、合理调制室内光线,营造一种舒适的环境,对管制员精神状态产生正向积极作用,综合应用大数据采集与管理技术、思维空域态势感知和评估技术、自动化冲突探测与解脱技术等,高度智能自主的处理与分发信息,提高调配效率。

4) 强化应急情况处置

a) 应急情况对于个人来说,可能永远不会发生,但一旦出现了没有准备则是致命的疏忽,因此在空中交通管制中对于应急情况处置要提前准备,常思不懈。建议强化管制学员应急指挥培训,让学员在进行空中交通管制实际训练之前,对应急指挥有一定的认识。

b) 一方面保持忧患意识,每一个细节,都要引起足够的重视,在遇到特情时要预留手段进行特情通话,而不能为了修复设备,断绝相关通信设备,导致其他单位或者航空器无法联络,确保应急情况下无线电资源不被占用,另一方面重视对应急情况的研究,对各类航空运输机型发生故障的研究,作为空中航空器的第一收听者飞行员一旦发生任何的突发状况,都要在极端的时间内判明飞行员的报告内容并迅速定位其位置、高度,向上级报告同时初步判断应急情况性质,根据初步判断是否需要立即降落或者可以空中检查排除等相应的调配。

c) 针对航空器肇事、劫机、飞行故障、尾箱天气绕飞与迫降等特情,分类制定航管保障预案,集中业务骨干力量反复进行推演,不断细化完善特情处置流程,力求托底飞行安全。

5) 建立先进安全评价体系

随着国家现代化不断深入,机械设备及系统逐渐趋于智能化、互联化和复杂化,人机交互过程中管制员在飞行安全中的重要性愈发突出,在此背景下,提高对人为因素重要性的认识,吸收借鉴国外先进的空管人为因素研究,构建和完善国内空管安全评价系统,将会大大提高我国空管安全水平。

6. 结论

1) 本文简要介绍了 HFACS 模型,并结合日本航空一起危险接近事故进行了系统分析,找出的人为差错,尤其是确定的组织管理层差错,真实地指出了事故发生的主要致因,也据此提出了具体的安全建议,包括提升管制员综合素质、完善规章制度和建立先进安全评价体系等方面,具有重要的借鉴意义。

2) 从理论内容上看,利用 HFACS 模型对不安全事件进行分析,一般从显性原因入手,按照系统分析思路,逐步挖掘事件背后的深层次隐形原因,总结出系统自上而下的人为差错致因。

3) 从一起案例分析过程上看,利用 HFACS 模型对航空事故进行分析,逻辑清晰,层次有序,注重细节,可操作性较强,为航空事故的分析提供了一种简洁高效的分析方法。

4) 从所选案例分析的结果上看, HFACS 模型可以准确有效地分析出导致一场不安全事件的人为差错致因,同时可以对事故的细节进行科学的解释,根据事故分析结果,对航空业安全运行提出切实可行

的意见建议。

5) HFACS 模型是一种典型的人为差错分析方法, 在国内很多飞行事故中都得到了很好的应用, 但还存在一些问题, 例如: 如何对事故影响因子进行选取和对系统层次的评价等。

参考文献

- [1] 于郝欣, 谢中朋. 基于 HFACS 模型的通用航空飞行事故致因研究[J]. 安全, 2021, 42(12): 31-35.
<https://doi.org/10.19737/j.cnki.issn1002-3631.2021.12.006>
- [2] 庞兵, 于雯宇. 基于改进的 HFACS 和模糊理论的航空事故人因分析[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(5): 1886-1890.
<https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2018.05.042>
- [3] 甘旭升, 曲虹, 娄渊位, 李华平. 基于单一聚类方法的航空器相撞 HFACS 诱发模式分析[J]. 火力与指挥控制, 2016, 41(12): 125-129.
- [4] 江浩. 基于 HFACS 模型的航空事故人因分析及其安全管理体系研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 陕西师范大学, 2015.
- [5] 徐吉辉, 梁颖, 邹星琪, 等. 军用航空人因飞行事故改进 HFACS 模型风险评价研究[C]//航空安全与装备维修技术——航空安全与装备维修技术学术研讨会论文集. 北京: 国防工业出版社, 2014: 188-191.
- [6] 张正勋. HFACS 在民航训练飞行人为差错分析中的应用[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- [7] Aviation-Aviation Safety (2019) Reports from Hiroshima University Describe Recent Advances in Aviation Safety (A Hybrid HFACS-BN Model for Analysis of Mongolian Aviation Professionals' Awareness of Human Factors Related to Aviation Safety). Defense & Aerospace Week.
- [8] Aviation-Aviation Safety (2019) Findings from Hiroshima University Provide New Insights into Aviation Safety (A Hybrid HFACS-BN Model for Analysis of Mongolian Aviation Professionals' Awareness of Human Factors Related to Aviation Safety). Defense & Aerospace Week.