

基于HERA-JANUS模型分析航空器事故中的管制员失误因素

王源植, 刘 飞

空军工程大学, 陕西 西安

收稿日期: 2022年4月29日; 录用日期: 2022年6月28日; 发布日期: 2022年7月6日

摘 要

本文针对特内里费空难进行分析, 以空难中管制员人为差错为切入点, 利用HERA-JANUS模型系统性分析空管人员因素在航空事故中的影响, 通过HERA-JANUS模型本身的先进性得出科学的结论, 为我国航空安全提供可能的帮助。本文根据空难具体描述, 通过人误类型分析、人误认知分析、相关因素分析, 确定每个环节中管制人员人为失误因素的种类特征, 最后进行归纳总结, 得出结论, 为减少管制员人为失误, 加强相关监管, 提高航空产业安全高效发展提出切实可行的方法。

关键词

HERA-JANUS模型, 航空事故, 管制员人为因素

Analysis of Controller Error Factors in Aircraft Accidents Based on HERA-JANUS Model

Yuanzhi Wang, Fei Liu

The Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi

Received: Apr. 29th, 2022; accepted: Jun. 28th, 2022; published: Jul. 6th, 2022

Abstract

This paper analyzes the Tenerife air crash, takes the human error of controllers in the air crash as the starting point, systematically analyzes the influence of air traffic control personnel factors in air accidents by using HERA-JANUS model, and draws scientific conclusions through the progres-

siveness of HERA-JANUS model itself, so as to provide possible help for China's air safety. According to the specific description of the air crash, this paper determines the types and characteristics of human error factors of controllers in each link through human error type analysis, human error cognition analysis and relevant factor analysis. Finally, it summarizes and draws a conclusion, and puts forward practical methods to reduce human errors of controllers, strengthen relevant supervision and improve the safe and efficient development of aviation industry.

Keywords

HERA-JANUS Model, Aviation Accident, Controller Human Factors

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

1.1. 特内里费空难

2022年3月27日是特内里费空难的第45个哀悼日,45年前,西班牙特内里费机场发生过一次恶性的跑道侵入事件,此次航空事故也成为了世界上死亡人数最多的第一大航空器相撞事故。45年间,人们也在不断探索研究,利用不同的理论模型,分析空难事故的重要因素,最终得出科学、真实的结论,为航空器的安全运行不断积累宝贵经验。

1.2. 管制员因素是事故中人为因素的重要组成部分

公共运输航空不仅关系着国家航空产业和经济的发展,也和人民群众的生命安全、财产利益紧密相连。我国发生的航空器事故、事故征候中,百分之八十的事故或事故征候都和人为因素密切相关。管制员作为航空活动中重要的保障人员之一,由于管制员的疲劳、疏忽、注意力分配等问题进而直接或间接导致航空器事故的事件数目航空器总事故数中占有着较大的比例,因此,研究事故中的管制员因素对于空难事故研究有着极为重要的意义。

1.3. HERA-JANUS 模型简介

欧洲航空安全局与美国联邦航空局对比 HFACS 和 HERA 模型的理论背景、模型分析方法、概念描述等方面后合作开发了一种专门用来分析航空器事故中空管人因差错的模型:HERA-JANUS 模型[1]。

HERA-JANUS 模型可以较为全面地从深层次分析管制人员的人为误差,从人误分析、认知分析、相关因素三个流程对航空事故中管制员的因素进行具体分析,是专门用来针对空管人员差错量身定制的理论模型[2]。

分析空管人员在航空事故中的因素在航空事故人因分析中占有着重要的地位,本文以特内里费空难为例,利用 HERA-JANUS 进行多环节空管人员人因分析。系统性的对航空事故中管制员人误进行分析,以期对我国空管行业任务差错研究有所帮助,同时希望减少因为管制员差错而导致的航空事故的发生[3]。

2. 特内里费空难简介

1977年3月27日下午16时,在洛斯罗迪欧机场中停放的滞留航班客机收到通知:可以按计划起飞。

洛斯罗迪欧塔台通知一架航班号为泛美 1736 的波音-747 优先起飞离场, 27 日下午 16 时 56 分, 一架航班号为荷航 4805 的波音-747 航班加油完毕, 被塔台允许滑行、起飞, 此时机场已经被浓雾笼罩, 能见度仅有三百米, 为方便起见, 荷航、泛美、塔台三方使用同一频道无线电进行通讯, 在联系到荷航后, 塔台指示两架飞机继续滑行至起飞位置, 准备先后起飞。

按照原定调配计划, 荷航滑行至跑道头后掉头起飞, 泛美滑行至“主跑道第三个出口左转离开主跑道”然后通过滑行道滑行至跑道头后进跑道起飞。然而, 泛美机长发现 C3 联络道转弯难度大, 通过 C4 联络道脱离跑道较为容易。泛美机长随即向塔台询问是否向 C3 联络道驶出, 塔台给出的回复是:“左边第三个出口”, 泛美机长没有回复, 自行前往 C4 联络道退出跑道。

与此同时, 荷航已经到达了跑道头, 准备掉头起飞, 在未收到起飞许可的情况下擅自松开刹车, 推动油门开始起飞。在飞机加速之前, 副机长向塔台报告:“我们正在起飞”, 然而塔台管制员误听为“我们在起飞点”, 于是回答:“好的, 等待起飞”, 然而荷航机长只听到了“好的”, 于是自行起飞。

27 日下午 17 时 03 分, 泛美航班正准备驶入 C4 联络道, 就在此时, 两位机长看到了对方, 发现存在严重相撞隐患。两家航空器紧急采取措施, 但为时已晚, 起飞的荷航与滑行的泛美最终相撞, 这次跑道侵入事故, 造成了总计 583 人丧生, 空难场道情况见图 1。

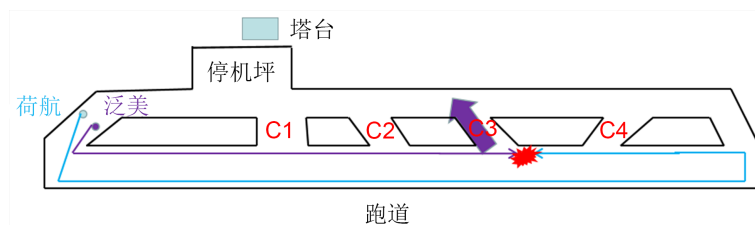


Figure 1. Schematic diagram of taxiway in Tenerife field
图 1. 特内里费场道滑行略图

3. 基于 HERA-JANUS 模型对事故进行分析

3.1. HERA-JANUS 模型分析方法

按照 HERA-JANUS 模型的分析原理, 一起人误事件可以做出以下描述: 由于诸多条件、背景因素的影响, 在执行飞行任务时, 空管人员发生了心理层面的变化, 导致某一种认知功能失效, 进而导致人误事件发生(见图 2)。

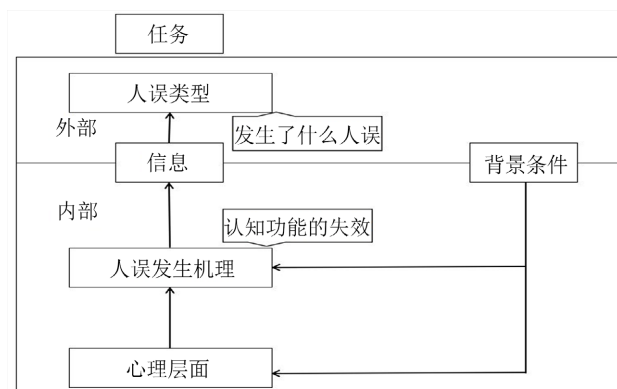


Figure 2. Analysis mechanism diagram of HERA-JANUS model
图 2. HERA-JANUS 模型分析机理图

该模型的分析流程主要有人误类型分析、认知分析、相关因素分析三方面[4]。

- 1) 人误类型分析：分析事故中出现的人误类型，并且辨认此类人误因素属于违规或差错。
- 2) 人误认知分析：对分析出的差错进行深入内在致因分析，在确定人误细节的同时，确定其内在的差错模式以及心里差错模式。
- 3) 相关因素分析：分析与管制员失误相关的外在条件，如管制员执行的飞行任务、相关信息设备的影响因素、背景条件。

根据以上描述：可以总结出 HERA-JANUS 模型的具体分析流程见图 3。

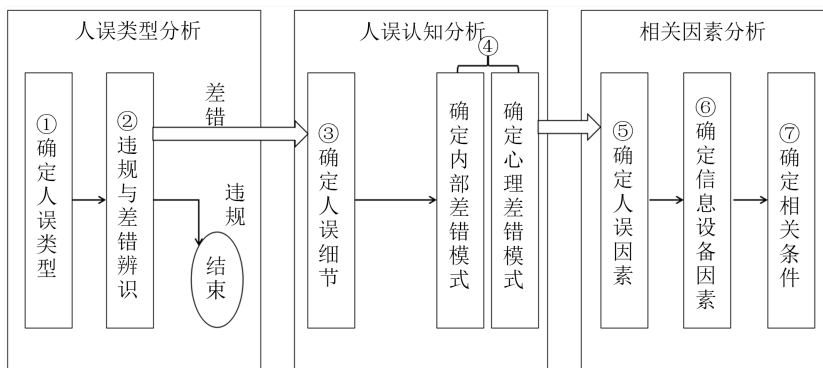


Figure 3. HERA-JANUS model analysis
图 3. HERA-JANUS 模型分析模型图

3.2. 利用模型进行事故分析

3.2.1. 人误类型分类分析

人误类型是人为误差的具体表现形式，即人为心理和内部误差共同作用的结果。根据第二章描述，特内里费航空事故主要存在 3 个管制员人误[5]：

- 1) 塔台管制员指挥泛美航空退出跑道时的通话术语不规范；
- 2) 塔台管制员在指挥荷航起飞时通话术语不规范；
- 3) 塔台管制员在不清楚场面情况时盲目指挥飞机滑行起飞，缺少复杂气象条件下指挥的专注。

人误类型数目多，种类复杂，为了能够对此次事故进行科学的分析，本文利用 HERA-JANUS 模型的分析方式对以上人误类型进行分析，具体分类见表 1：

Table 1. Classification of human error types
表 1. 人误类型分类表

差错种类	行为时间错误	行为选择错误	信息传输错误
人误类型	管制员动作太快	管制员忘记做	管制员发送信息不清
	管制员动作太慢	管制员未完成	管制员记录信息不清
	管制员动作太早	管制员做了太多/太少	管制员接收信息不清
	管制员动作太晚	管制员采取了错误行动	管制员未成功接收信息
	管制员重复错误操作	管制员采取了不必要行动	管制员未成功发送信息
	管制员以错误顺序执行	管制员对航空器发出了错误行动指令	管制员未成功记录信息
			管制员记录信息不完整 管制员撒送信息不准确 管制员记录信息不正确

从表 1 中可看出, 人误 1、2 管制员通话术语不规范属于: 信息传输错误——管制员发送信息不正确, 由于管制员在指挥荷航、泛美航班在跑道上行动时使用了不规范的术语“OK”, 从而导致机长听错, 如果使用规范术语顺序进行指挥, 航空器事故可能会被避免, 这并非管制员主观行为上选择了错误的调配方式, 故属于信息传递错误; 同理可得, 人误 3 管制员的人误属于: 行为选择错误——管制员做了太少。

人误也分为违规和差错, 差错是指操作者在无意中因为各种因素的影响而做出了错误的决策, 而违规是指操作者因为某种原因有意的违反某项规定, 进而导致了事故的发生, 对于差错, 可以继续认知分析, 而对于违规, 只需要判断违规所处的行为水平, 有关差错和违规的分析可以参考 HERA-JANUS 模型的差错、违规流程辨识图(见图 4)。

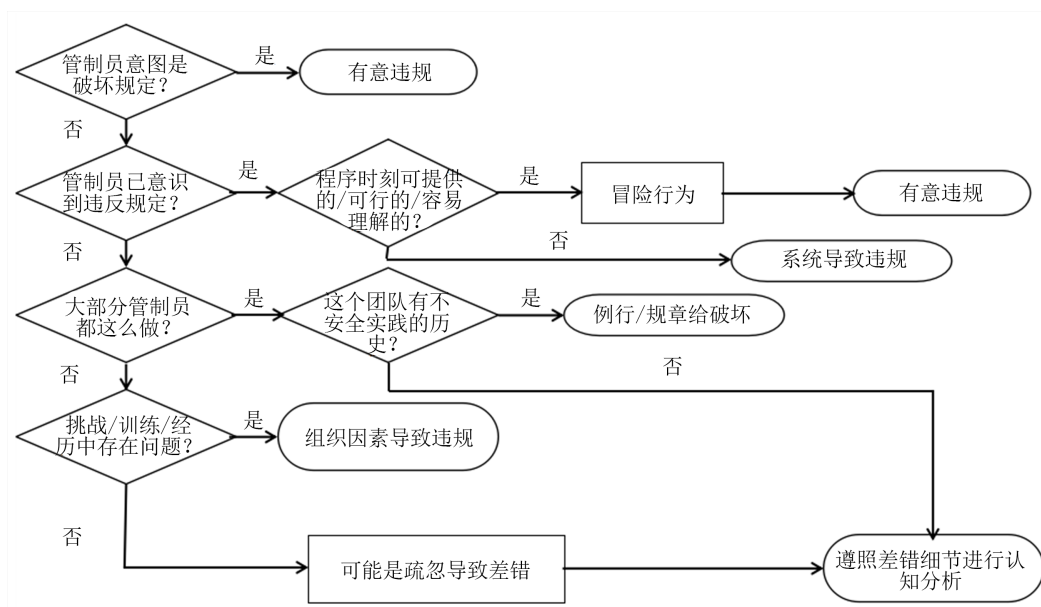


Figure 4. Flow chart of error and violation identification

图 4. 差错违规辨识流程图

如图 4 所示进行分析, 对于人误 1, 管制员意图是破坏规定? ——否; 管制员已意识到违反规定? ——否; 大部分管制员都会这么做? ——否; 挑战/训练/经历中存在问题? ——否; 故人误 1 可能是疏忽导致的差错, 可以进一步进行认知分析。

同理, 对于人误 2、3 进行差错违规判断, 可以得出结论: 人误 2、3 都属于疏忽导致的差错, 故都可进行认知分析, 来确定更深层的致因。

3.2.2. 人误认知分类分析

HERA-JANUS 模型中人误细节特指管制员的 4 个认知区域, 即感知和警觉性、工作记忆和长期记忆、计划和决策、响应执行。这显示了管制员在指挥时处理信息的具体流程。利用所学到的管制规则、以及记忆的任务要求等条件进行处理判断, 最后, 进行思考决策, 得出问题的解决方法, 进而开始执行形成决策[6]。

综上所述, 人误 1、2 属于处理发送决策信息时出现差错, 是执行区域出错; 人误 2 属于在进行决策时, 没有过多在意场道情况, 盲目指挥飞机同时滑行、起飞, 忘记了场道指挥的先决条件, 属于计划决策区域出错。

内部差错模式描述了每个认知区域差错的内在表现形式, 表现为管制员认知功能失效, 心理差错模

式主要描述导致认知失效的心理致因。利用 HERA-JANUS 模型的内部差错模式、心理差错模式汇总表进行分析见表 2。

Table 2. Summary of internal error mode and psychological error mode
表 2. 内部差错模式和心理差错模式汇总表

认知区域	感知和警觉性	工作记忆和长期记忆	判断、计划和决策	响应执行
内部差错模式	迟的/无探测 迟的/无听觉探测 迟的/无视觉探测 监听差错 听错 看错 读错	忘记监控 忘记计划的工作 忘记执行任务 忘记早期行为 忘记当前信息 回忆起了不正确信息 当时知识的无记忆性	判断差错 不恰当的决策或计划 迟的决策和计划 没有决策和计划 不充分的计划	输入差错 选择差错 定位差错 定时差错 信息的无传递/记录 不清楚的信息传递/记录 不正确的信息传递/记录
心理差错模式	期望倾向 联系偏差 知觉混乱 空间混乱 意识差错 分心/入神 外界信息超载 警戒差错	记忆容量过载 相似事件的影响 分心/专注 逆向转移 低频率倾向 错误的学习 不充足的学习 记忆障碍	不正确的知识 知识的贫乏 综合差错 拘泥固有的认知 不正确的假设 风险识别差错/失效 否认风险或容忍风险 信息的错误理解 有限次序失效 没能考虑侧面的或长期的影响 决策停滞	习性干扰 空间混乱 认知混乱 功能混淆 手动操作可变性 相似事物的影响 发音不准 发音不流畅 思想干扰 环境干扰 分心/入神

在进行内部差错模式分析时，可以直接依靠事故发生前管制员的不安全行为表现形式进行判定：如人误 1、2 属于响应执行——不清楚的信息传递，人误 3 属于判断、计划和决策——不充分的计划。

在进行心理差错模式的分析时，需要了解管制员当时的心理情况，不能以旁观者的角度武断臆断，根据事故后对管制员的相关采访资料中，可以得出结论：人误 1、2 属于响应执行——习性干扰，而人误 3 属于判断、计划和决策——风险识别失效。

3.2.3. 相关因素分类分析

HERA-JANUS 模型可以结合人误发生的环境因素，将任务放入真实的模拟环境中分析，这样可以更加全面、科学地了解人误发生的原因细节。相关因素分析共有三个模块组成：确定任务因素，信息、设备因素以及背景条件。

任务因素描述了管制员在差错发生时正在执行什么任务，任务因素的确定为人误分析提供了更充足的信息。结合 HERA-JANUS 模型中对管制员日常业务的分类列表和案例中对人误 1、2 的描述，容易辨识出人误 1、2 的人物因素为任务因素——管制员和飞行员的无线电交流和指令传输。同理可辨识出人误 3 的任务因素→塔台观测(见表 3)。

信息/设备因素说明了差错发生时的有什么信息发生了问题、有什么信息传输设备发生了问题。根据 HERA-JANUS 模型对空管信息/设备因素进行分析，可以得出结论：人误 1、2 - 信息设备因素 - ATC 活动与航空器信息 - 航空器可变信息 - 避让行动；人误 3 - 信息设备因素 - ATC 活动与航空器信息 - 航空器可变信息 - 避让行动(见表 4)。

Table 3. Task factors of ATC human error analysis**表 3.** 空管人误分析的任务因素

任务因素			
管制员的合作	塔台观测	计划	管制室通信
管制员和飞行员的无线电交流和指令传输	进程单任务	资料核查	雷达监控
人机界面输入和功能监督检查/考核	交接班工作前的业务情况简介	接班	训练

Table 4. Information equipment factors of ATC human error analysis**表 4.** 空管人误分析的信息设备因素

信息设备因素			
ATC 活动和航空器信息	空域和其他信息	设备	
航空器可变信息		管制员活动	
航空器固定信息		管制员业务相关材料	
避撞行动	爬升	下降	飞行高度层
高度	航线	飞行航线	净空
频率	特殊指令	紧急情况	无线电交流

背景条件被定义为管制员的内外部影响因素, 关系到管制员执行任务时的表现。对于背景条件的界定, 需要对相关人员、组织与环境进行较详细的了解。根据 HERA-JANUS 模型对背景条件的分类列表, 可以得出结论, 人误 1、2: 飞行员 - 管制员通信——飞行员/管制员无线电标准和措辞存在缺陷, 人误 3: 人为因素——管制员疏忽(见表 5):

Table 5. Background conditions of ATC human error analysis**表 5.** 空管人误分析的背景条件

背景条件		
飞行员行为	飞行员、管制员通信	交通和空域
天气	文件和程序	训练和经验
工作场设计和人机界面	环境	人为因素
团队因素	组织因素	

3.3. 结果讨论

综上所述, 将利用 HERA-JANUS 模型的各环节分析结果利用图表进行汇总, 得出结论, 具体结果见表 6。

HERA-JANUS 模型是依据人误事件发生的原理, 提出的一种空管任务分类分析的系统化方法, 相较 Reason 模型、HFACS 模型等研究人为差错的理论模型, 拥有更强的科学性、真实性。早在之前, 就有学者利用 HFACS 模型对特内里费空难的人为因素进行分析, 在结论中提到: 管制员通话用语不规范、没有做到良好的场面监视工作是重要的不安全行为因素前提, 属于人员因素中的个人准备状态不好。本文

表 6 中所得结论不但符合其分析, 同时 HERA-JANUS 模型还结合了任务因素、信息设备因素、背景条件专门对管制员的人为差错进行分析, 相较于 HFACS 模型的研究结论更加具有针对性。

Table 6. Classification summary of conclusions in each link of HERA-JANUS model
表 6. HERA-JANUS 模型各环节结论分类汇总表

分类	人误 1	人误 2	人误 3
ET	管制员发送信息不正确	管制员发送信息不正确	管制员做了太少
ED	响应 执行	响应 执行	计划与决策
EM	不清楚的信息传递	不清楚的信息传递	不充分的计划
IP	习性 干扰	习性 干扰	风险观测失效
Task	管制员和飞行员的无线电 交流和指令传输	管制员和飞行员的无线电 交流和指令传输	塔台观测
I/E	避撞 行动	避撞 行动	避撞行动
CC	飞行员/管制员无线电标准 和措辞存在缺陷	飞行员/管制员无线电标准 和措辞存在缺陷	管制员疏忽

通过 HERA-JANUS 模型对航空事故中的空管人员因素进行分析, 本文所列举的实例为西班牙特内里费空难事故, 最终得出以下结论:

1) 案例中的空管人员在执行任务的和过程中出现了三个明显的人误差错, 依据 HERA-JANUS 模型分析, 得出在特内里费航空事故中空管人员在 ET, ED, EM, IP, Task, I/E 和 CC 这 7 个小类中合计有 21 项人误致因结果, 其中人误 1 与人误 2 由于是同一种人误, 故以上参数大致相同。

2) 通过 HERA-JANUS 模型相关要求, 构建人误类型分类表、认知区域中的内部差错与心理差错模式表, 任务因素、信息/设备因素、背景条件因素汇总表。这些图表都为研究空管人员的任务因素提供了必要依据。该模型不同于 HFACS 模型, 它不光从人因的角度进行分析, 还考虑到了人因背后的相关因素背景, 得出的结论可以更好地指导相关人员进行管制员事故分析, 加强此类问题的保障, 防微杜渐。

3) 该模型仍处于不断的研究和开发中, 在国外的航空事故中已经开始普遍运用, 并在实践过程中体现出了该模型独有的优越性。我国在航空事故中研究管制员的任务工作略微滞后, 本文利用 HERA-JANUS 模型, 目的是体现出该模型在管制员人误研究工作中的先进性, 以便于引入国内航空部门并进行广泛应用研究。

参考文献

- [1] 吴聪, 解佳妮, 杜红兵, 袁乐平. 基于 HERA-JANUS 模型的空管人误认知分析[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(6): 92-99.
- [2] 倪端瑞. 面向空管人为差错分析的本体知识框架建模与实现技术研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 中国民航大学, 2018.
- [3] 左燕. 空管人为差错分析模型 JANUS 本体化建模[J]. 民航管理, 2017(11): 87-90.
- [4] 潘卫军, 许友水. 机场跑道入侵人为因素识别与预防研究[J]. 人类工效学, 2014, 20(3): 75-79.
- [5] 黄宝军. 空管人误分析方法(HERA-JANUS)及其应用[J]. 空中交通管理, 2008(9): 30-32.
- [6] 李保燊. 面向空管自动化系统的人为差错分析研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 中国民航大学, 2021.