

融合运行对管制员冲突探测绩效的影响研究

张兴俭¹, 刘铭远^{1,2}

(1. 中国民航大学空中交通管理学院, 天津 300300; 2. 天津港太平洋国际集装箱码头有限公司, 天津 300450)

摘要: 无人机技术的快速发展使得管制空域内无人机与有人机的融合运行(简称融合运行)成为未来发展的必然趋势,这对空中交通管制员开展冲突探测提出了挑战。为了明确融合运行对管制员冲突探测绩效带来的影响,本研究设计了雷达管制模拟界面场景,选取20名具备经验的见习管制员作为被试人员进行冲突探测实验,系统考察了高度层管理、汇聚角度、运行模式和高亮标记等因素对管制员冲突探测正确率、预判时间和主观负荷的影响。结果表明,传统运行模式的冲突探测正确率显著高于融合运行模式,且管制员的主观负荷更低;在同一高度层场景中,高亮标记明显提升了冲突探测正确率并降低了管制员的主观负荷;此外,异类航空器组合增加了冲突探测难度,而同类航空器组合的探测表现更优。本研究揭示了融合运行对管制性能的复杂影响,可为未来融合运行下的管制方式优化提供参考。

关键词: 无人机;融合运行;冲突探测绩效;模拟实验;管制性能

中图分类号: V279;X949

文献标志码: A

文章编号: 1674-5590(2026)02-0013-06

Research on the impact of integrated operation on air traffic controllers' conflict detection performance

ZHANG Xingjian¹, LIU Mingyuan^{1,2}

(1. College of Air Traffic Management, CAUC, Tianjin 300300, China; 2. Pacific International Container Terminal of Tianjin Port, Tianjin 300450, China)

Abstract: The rapid development of unmanned aerial vehicle (UAV) technology has made the integrated operation of UAVs and manned aircraft in controlled airspace an inevitable future trend, which poses challenges to air traffic controllers for conducting conflict detection. To clarify the impact of integrated operation on controllers' conflict detection performance, this study designed a radar control simulation interface scenario and conducted a conflict detection experiment with 20 experienced trainee controllers as participants. The effects of flight level management, convergence angle, operation mode, and highlight marking on controllers' conflict detection accuracy, anticipation time, and subjective workload were systematically analyzed. The results show that the conflict detection accuracy under the traditional operation mode is significantly higher than that under the integrated operation mode, with a lower subjective workload. In the same flight level scenario, highlight marking significantly improved conflict detection accuracy and reduced controllers' subjective workload. In addition, the combination of heterogeneous aircraft increases the difficulty of conflict detection, whereas homogeneous aircraft combinations yield better detection performance. This study reveals the complex impacts of integrated operation on air traffic control performance, which can serve as a reference for optimizing air traffic control strategies in future integrated operation scenarios.

Key words: unmanned aerial vehicle (UAV); integrated operation; conflict detection performance; simulation experiment; control performance

随着无人机技术的快速发展,大型无人机的研发与应用取得了显著进展^[1-3],其进入高空管制空域飞行

成为基本需求。中国民用航空局在《促进民用无人驾驶航空发展的指导意见(征求意见稿)》^[4]中明确了“先

收稿日期:2025-06-02; 修回日期:2025-10-22

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFB4300904);中央高校基本科研业务费专项(3122024027)

作者简介:张兴俭(1986—),男,河南开封人,副教授,博士,研究方向为空中交通管理、人为因素与航空安全等。

隔离后融合”的发展路径。技术与政策的发展,使得大型无人机与有人机的融合运行(简称融合运行)成为必然趋势,且要求无人机适应已有模式,在不改变当前管制运行方式的前提下实现融合运行成为基本共识^[5]。但无人机在性能特征及控制方式上与有人机存在明显差异,这对空管指挥提出了新的挑战。其中,冲突探测是空中交通管制员在指挥时保障飞行安全的核心任务^[6],明确融合运行对管制员冲突探测绩效的影响对支撑和优化管制方式至关重要。

为推进融合运行,国内外学者已经开展了许多探索研究。中国民用航空飞行学院在四川自贡已经开展多次融合运行试验,探索了融合运行的管理实施方式^[7]。美国航空航天局在2020—2021年进行了3次融合运行试验^[8],对远程飞行员与管制员的通信方式进行测试,并验证了融合运行的可行性。Dalamatidis等^[9]总结了融合运行条件下,空域面临的各种问题及当前航空法规存在的限制。Wolf^[10]提出了从隔离运行到融合运行的发展战略。Savas等^[11]针对融合运行场景设计了一种无人机路径模型,并通过仿真对该模型进行了验证和评估。韩鹏等^[12]基于有人机和无人机的运行特征,计算了融合运行模式下终端区的航空器空中碰撞概率。以上实践验证及理论探索为推进融合运行提供了重要参考。

针对冲突探测的研究集中在雷达管制场景中,管制员主要通过观察平面视图显示器上呈现的航班动态,两两查看潜在的动态冲突方式,实现冲突探测,管制员在显示器上花费的时间超过了75%^[13]。在进行冲突探测时,管制员需要准确感知航空器的高度、航向和速度等关键信息。研究表明,管制员更倾向于优先关注高度信息^[14-15],尤其在主观负荷较高时;而航向的汇聚角度^[16-17]和速度差异^[18]也会显著影响冲突探测的精度,较小的汇聚角度^[19]和相近的速度^[20-22]能提升冲突探测效率。此外,视觉注意力(即是否高亮标记)也是重要的影响因素,管制员需要高效扫视显示器上的动态信息,而视觉感知差距会直接影响其任务表现^[23]。这些研究表明,作为管制过程的核心任务,管制员冲突探测受到多重因素的影响。

然而,前述融合运行研究仍处于初步探索阶段,实验场景中的航空器数量偏少,无法明确融合运行时管制员面临的多航空器冲突探测性能特征,已有冲突探测研究也未考虑融合因素的影响。为了探究融合运行对管制员冲突探测绩效的影响,本研究通过模拟雷达管制屏幕场景,设计涵盖不同情景的实验环境,量化分析管制员的冲突探测表现,从而揭示融合

运行对管制性能的潜在影响。研究结果有望为未来融合运行下的管制方式及流程优化设计提供参考。

1 实验方法

1.1 实验对象

目前,中国一线管制员以年轻管制员为主^[24],管制队伍年龄偏小、经验不足带来的安全隐患也日益显著^[25],因此,选择年轻管制员作为实验对象更具有研究代表性。本研究选取20名具备雷达管制模拟机训练经验的见习管制员作为被试人员(男性16名,女性4名;年龄范围为21~25岁,平均年龄为22.5岁,标准差为1)。所有被试人员均具备基础冲突探测能力及管制操作经验,并签署知情同意书。

1.2 实验场景设计

实验基于雷达管制环境的平面视图显示器,使用Processing 4.3软件构建了冲突探测实验场景,如图1所示。该场景由两个主要区域组成:五边形内的冲突探测区和五边形外的信息观察区。实验界面中,每架航空器均配备雷达标牌:第1行显示航空器标识及尾流信息,第2行显示当前高度与速度。



图1 冲突探测实验场景

Fig.1 Experimental scenario of conflict detection

根据现有研究,管制员冲突探测绩效受到高度层管理、航向、速度及高亮标记等因素的综合影响。为此,实验设计6组场景(Test1~6),如表1所示,其中,根据当前典型有人机和无人机性能,有人机和无人机速度分别为400~420 km/h和260~280 km/h;高亮标记即用特殊颜色标记显示无人机,未标记航空器标识符颜色均为白色,标记颜色为黄色。

为保证实验难度适中,经预实验测试后,将航空器数量设定为30架,融合运行场景中有人机和无人机数量各为15架。每组Test中的航空器均在信息观察区生成并以随机方向飞行。当冲突探测区内的航空器对间隔小于最小安全间隔时,视为发生冲突,同时在信息观察区生成两架新的航空器。被试人员的主要任务是尽早发现可能发生冲突的航空器对,并使用鼠标

表 1 多因素实验设计

Tab.1 Multifactor test design

| Test 序号 | 高度层管理/m | 航向 | 运行模式 | 高亮标记 |
|---------|-------------|-------------|------|------|
| 1 | 1 800/2 100 | 各 Test 中均设置 | 传统运行 | — |
| 2 | 1 800/2 100 | 极端角度和中间 | 融合运行 | 无 |
| 3 | 1 800/2 100 | 角度冲突 | 融合运行 | 有 |
| 4 | 1 800 | | 传统运行 | — |
| 5 | 1 800 | | 融合运行 | 无 |
| 6 | 1 800 | | 融合运行 | 有 |

单击进行选定,选定后标识符颜色由白色变为绿色,标记标识符则由黄色变为蓝色;若产生误判,则可以再次单击取消选定。

1.3 实验流程

正式实验前,被试人员需接受培训并进行至少 10 min 的操作练习,以充分熟悉设备使用和实验要求。为避免实验顺序对研究结果的影响,采用拉丁方设计(Latin square design)^[26]对 6 组 Test 进行顺序平衡。对于每位被试人员,6 组 Test 测试的顺序随机,每组 Test 时间为 10 min,每 3 组 Test 后休息 10 min,以减少练习效应和疲劳因素的影响。每组 Test 完成后,立即使用 NASA-TLX 量表采集被试人员的主观负荷评价,该量表^[27]包括脑力要求、体力要求、时限要求、自我表现、努力程度和受挫感 6 个维度的评价。每个维度均采用 11 点量表,0 表示负荷非常低,10 表示负荷非常高;在“自我表现”维度中,0 表示非常好,10 表示非常差。实验记录数据包括航班航迹、点击操作对象及其时间、实际航班冲突及其时间等。

1.4 指标设计及数据分析

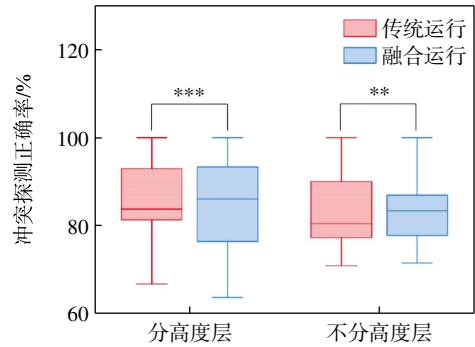
为研究各因素对管制员冲突探测绩效的影响,以高度层管理、汇聚角度、运行模式和高亮标记 4 种因素作为自变量,以主客观绩效指标作为因变量,分析被试人员的冲突探测绩效水平。设计绩效指标包括管制员冲突探测正确率、预判时间和主观负荷。冲突探测正确率即正确探测冲突次数与实际总冲突次数的比值;预判时间指从完成冲突探测到冲突发生的时间间隔;将 NASA-TLX 量表 6 个维度的得分进行平均,作为主观负荷指标。使用 SPSS Statistics 26.0 软件进行重复测量方差分析(repeated measures analysis of variance),研究管制员冲突探测绩效受影响特征。

2 实验结果

2.1 冲突探测正确率结果分析

通过系统比较不同场景下冲突探测正确率的差

异发现,在分高度层和不分高度层两种场景中,传统运行模式的冲突探测正确率均显著高于融合运行模式(分高度层下 $p < 0.001$,不分高度层下 $p = 0.004$),如图 2 所示。这表明无人机融入造成的融合运行环境增加了冲突探测的难度。

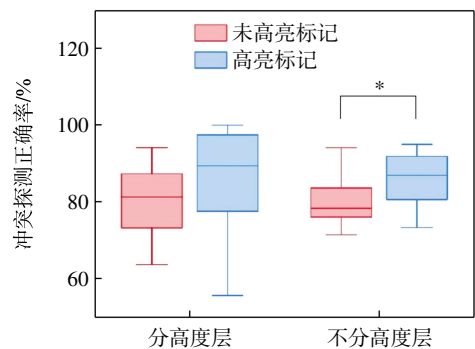


注:***为 $p < 0.001$,表示极高显著性;**为 $p < 0.01$,表示高显著性。

图 2 不同运行模式下的冲突探测正确率

Fig.2 Conflict detection accuracy under different operating modes

在高亮标记方面,结果如图 3 所示,显示其效果具有场景依赖性:在不分高度层场景中,高亮标记提升了冲突探测正确率($p = 0.029$),但在分高度层场景中未产生明显效果($p = 0.084$),表明视觉增强策略的效能可能受运行场景的影响。



注:*为 $p < 0.05$,表示一般显著性。

图 3 是否高亮标记下的冲突探测正确率

Fig.3 Conflict detection accuracy with and without highlight marking

在融合运行模式下,航空器组合对汇聚角度影响结果如图 4 所示。

由图 4 可知,两架航空器汇聚角度在 $(0, 45] \cup (135, 180]$ 范围(极端角度范围)的冲突探测正确率显著低于 $(45, 135]$ 范围(中间角度范围)($p = 0.002$),表明汇聚角度较为极端时会对管制员的冲突探测正确率造成消极影响,这一发现与已有研究结论一致^[7]。关于汇聚角度与航空器组合的交互效应,结果显示:汇聚角度在极端角度范围时,管制员对无人机-无人机组的冲突探测表现最优,其正确率显著高于有人

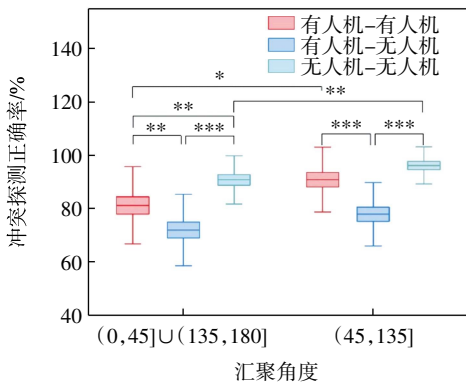


图4 不同汇聚角度范围下的冲突探测正确率

Fig.4 Conflict detection accuracy under different convergence angle range

机-有人机组合($p = 0.009$)和有人机-无人机组合($p < 0.001$),值得注意的是,在此角度范围内,有人机-有人机组合的冲突探测正确率仍显著优于有人机-无人机组合($p = 0.008$),这表明同类航空器组合对冲突识别具有积极影响;研究中间角度范围发现,有人机-无人机组合的冲突探测正确率显著低于有人机-有人机组合($p < 0.001$)和无人机-无人机组合($p < 0.001$),而后两者之间未呈现统计学差异,这与极端角度情况下的结果相似。此外,同类航空器组合在极端角度下的冲突探测正确率均显著低于中间角度范围(有人机-有人机组合 $p = 0.034$,无人机-无人机组合 $p = 0.004$),但这种效应在异类航空器组合中未达到统计显著性,表明航空器类型异质性可能掩盖或改变了角度因素对冲突探测的影响模式。

进一步分析高度层管理与高亮标记的联合影响,发现航空器组合效应在不同实验条件下表现出稳定的模式,结果如图5所示。

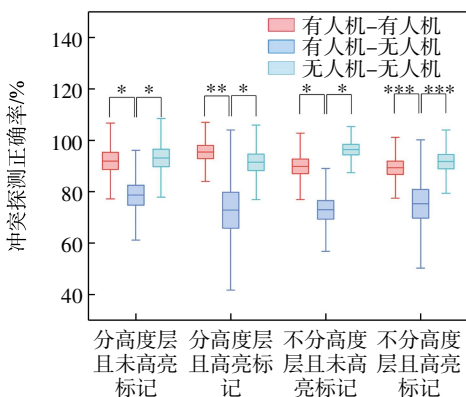


图5 多因素影响下的冲突探测正确率

Fig.5 Conflict detection accuracy under multifactor effects

由图5可知,在分高度层场景中,当无人机未进

行高亮标记时,有人机-有人机组合的冲突探测正确率显著高于有人机-无人机组合($p = 0.032$),同时无人机-无人机组合的表现也显著优于有人机-无人机组合($p = 0.020$)。当引入无人机高亮标记后,这种优势仍然保持,且显著性水平进一步提高(有人机-有人机组合 $p = 0.003$,无人机-无人机组合 $p = 0.017$)。在不分高度层场景中,该效应表现得更为显著,在无人机未高亮标记条件下,有人机-有人机组合的冲突探测正确率较有人机-无人机组合具有显著差异($p = 0.040$),无人机-无人机组合同样展现出明显优势($p = 0.013$)。即使高亮标记后,这种绩效差异依然显著存在(有人机-有人机组合 $p < 0.001$,无人机-无人机组合 $p < 0.001$)。这些现象表明,同类航空器组合相较于异类航空器组合更有利于冲突探测,高度层管理的实施虽然调节了效应大小,但并未改变基本的态势,而高亮标记的影响相对有限,主要反映在显著性水平的变化上。

2.2 预判时间结果分析

不同运行模式下的预判时间如图6所示,在分高度层场景中,融合运行模式的冲突探测预判时间显著高于传统运行模式($p < 0.001$),该现象在不分高度层场景中同样显著($p = 0.005$),表明管制员对融合运行环境具有更早的态势感知,融合运行提升了冲突探测的前瞻性。

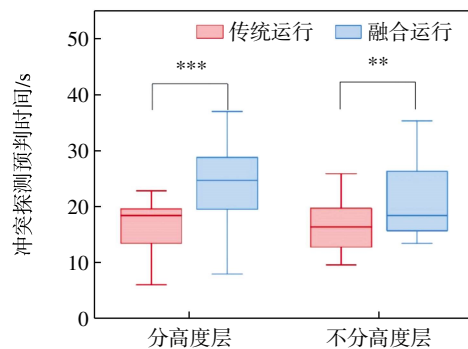


图6 不同运行模式下的冲突探测预判时间

Fig.6 Anticipation time of conflict detection under different operating modes

与冲突探测正确率相比,无人机高亮标记对预判时间的影响无显著差异(分高度层 $p = 0.694$,不分高度层 $p = 0.192$)。进一步分析不同汇聚角度范围下的预判时间,如图7所示。

从图7中发现,极端角度范围的冲突探测预判时间显著低于中间角度范围($p = 0.002$),表明汇聚角度过大或过小均会导致管制员需要用更长的时间进行冲突识别。而且,在预判时间方面,航空器组合类型与

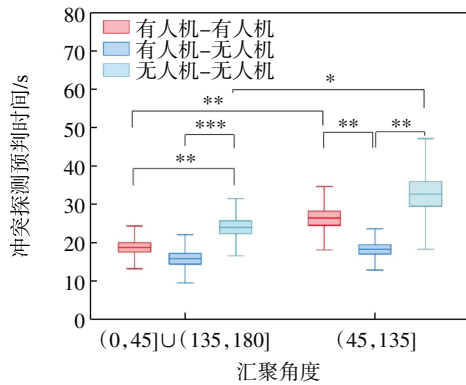


图 7 不同汇聚角度范围下的冲突探测预判时间

Fig.7 Anticipation time of conflict detection under different convergence angle ranges

汇聚角度之间也存在显著的交互作用。在中间角度范围内,同类航空器组合的预判时间显著高于异类组合(有人机-有人机组合 $p = 0.001$, 无人机-无人机组合 $p = 0.001$);而在极端角度范围下,有人机-有人机组合($p = 0.006$)与有人机-无人机组合($p < 0.001$)的冲突探测预判时间均显著低于无人机-无人机组合,且二者之间在统计学上无显著差异。此外,在有人机和有人机发生冲突时,极端角度范围下的预判时间显著低于中间角度范围($p = 0.004$),这一现象在无人机和无人机发生冲突时也同样显著($p = 0.015$),但在有人机和无人机发生冲突时无显著差异。

对融合运行模式下的冲突探测预判时间进行了多因素分析,如图 8 所示。图 8 表明,在不同高度层管理和高亮标记条件下,无人机-无人机组合的预判时间均显著高于有人机参与的组合。在分高度层场景中,无人机-无人机组合的预判时间均显著高于有人机-有人机组合(未高亮标记 $p = 0.001$, 高亮标记 $p < 0.001$)和有人机-无人机组合(未高亮标记 $p = 0.002$, 高亮标记 $p < 0.001$),该现象在不分高度层场景中表

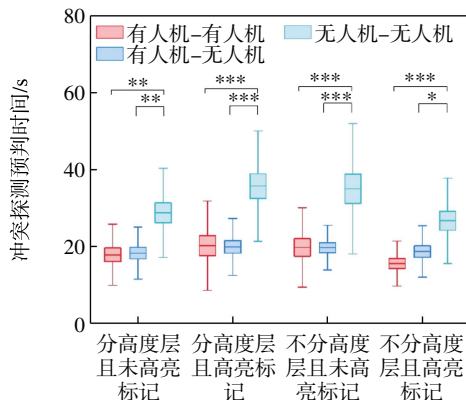


图 8 多因素影响下的冲突探测预判时间

Fig.8 Anticipation time of conflict detection under multifactor effects

现同样显著。这些结果一致表明,当冲突涉及无人机-无人机组组合时,管制员表现出对潜在冲突更敏锐的反应,并有更长的时间进行修正。

2.3 主观负荷结果分析

已有研究表明,无人机的激增会增加管制员的现有工作量^[28]。分析不同运行模式下管制员的主观负荷,如图 9 所示。结果显示,在分高度层场景中,传统运行模式下管制员报告的主观负荷水平显著低于融合运行模式($p < 0.001$);这一差异在不分高度层场景中同样具有统计学显著性($p < 0.001$)。

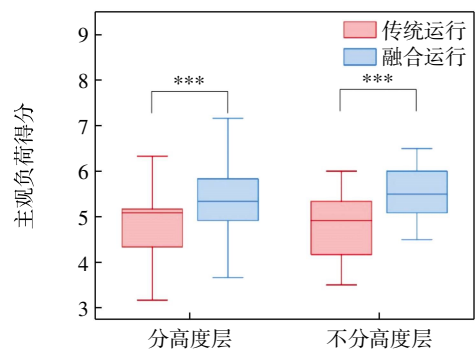


图 9 不同运行模式下的主观负荷

Fig.9 Subjective workload under different operating modes

同时,高亮标记对主观负荷的影响具有环境依赖性,如图 10 所示。在不分高度层场景中,实施无人机高亮标记后,管制员的主观负荷显著降低($p = 0.002$);然而,在分高度层场景中,高亮标记并未产生显著影响($p = 0.450$)。这表明无人机高亮标记可能通过优化信息获取效率来减轻管制员的认知负担,但其效果受到空域组织结构(高度层管理)调节作用的影响。

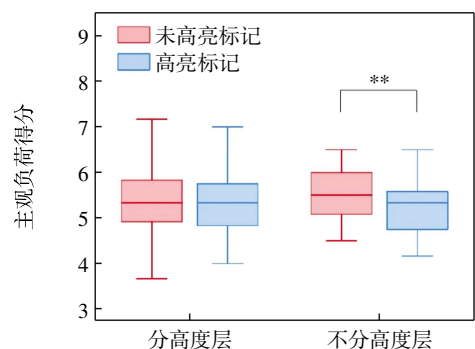


图 10 是否高亮标记下的主观负荷

Fig.10 Subjective workload with and without highlight marking

3 结语

本文系统考察了融合运行对管制员冲突探测绩效的影响,同时考虑了高度层管理、汇聚角度、高亮标

记等因素的影响,主要结论如下:

(1)融合运行显著增加了管制员的主观负荷,同时降低了冲突探测正确率,延长了预判时间;

(2)高亮标记的效果呈现显著的空域结构依赖性,无人机高亮标记仅在不分高度层场景中显著提升冲突探测正确率并降低管制员的主观负荷,而在分高度层场景中效果不显著;

(3)同类航空器组合在各类实验条件下均表现出了冲突探测正确率的优势,且无人机-无人机组在冲突探测过程中可以更早地得到预判。

综上所述,融合运行对管制员的冲突探测能力提出了更高要求,需针对异类航空器冲突场景开发专项训练程序,界面设计时可以采用无人机高亮标记方案,空域设计时应避免规划以极端角度汇聚的航线。未来研究应着重解析管制员在融合运行环境中的认知机制,以进一步优化人机协同效能,确保空域运行的安全与效率。

参考文献:

[1] 刘 亮. 2 吨级商载能力! 国产大型无人运输机成功首飞[EB/OL]. (2024-08-11)[2025-06-02]. <https://news.cctv.com/2024/08/11/ARTI-jWUFgLrjdqyO16LQpDhZ240811.shtml>.

[2] 浩 渺. 我国首台载重超 3 吨的大型无人运输机“SA750U”成功首飞, 国产产系统和材料[EB/OL]. (2024-08-22)[2025-06-02]. <https://www.ithome.com/0/790/502.htm>.

[3] 浩 渺. 全球最大无人货运飞机, 白鲸航线 W5000 在常州总装下线[EB/OL]. (2024-10-19)[2025-06-02]. <https://www.ithome.com/0/803/551.htm>.

[4] 中国民航局. 关于征求《促进民用无人驾驶航空发展的指导意见(征求意见稿)》意见的通知[EB/OL]. (2019-05-14)[2025-06-02]. http://www.caac.gov.cn/PHONE/HDJL/YJZJ/201905/t20190514_196175.html.

[5] EUROPEAN RPAS STEERING GROUP. Roadmap for the integration of civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System[R]. Brussels: European Commission, 2013.

[6] 王 超, 于超博, 王 敏. 基于注意力分配的管制员调配飞行冲突认知过程研究[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(4): 205-209.

[7] 欧阳锋. 无人机与有人机融合运行下的飞行冲突解脱研究[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2024.

[8] BANKE J, GIPSON L. A story for Axel: detect and avoid, command and control[EB/OL]. (2021-05-03)[2025-06-02]. <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/armstrong/a-story-for-axel-detect-and-avoid-command-and-control/>.

[9] DALAMAGKIDIS K, VALAVANIS K P, PIEGL L A. On unmanned aircraft systems issues, challenges and operational restrictions preventing integration into the national airspace system[J]. Progress in Aerospace Sciences, 2008, 44(7/8): 503-519.

[10] WOLF H G. Unmanned aircraft systems integration into the national airspace[C]//2013 IEEE Aerospace Conference, March 2-9, 2013, Big Sky, MT, USA. IEEE, 2013: 1-16.

[11] SAVAS T, USANMAZ O, SAHIN O, et al. Integration effects of UAVs in

non-segregated airspace[J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2021, 93(5): 842-846.

[12] 韩 鹏, 周 斌, 张恩宇. 终端区多场景有人机/无人机空中碰撞风险研究[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2022, 41(2): 8-11, 50.

[13] WILLEMS B, ALLEN R C, STEIN E S. Air traffic control specialist visual scanning II: task load, visual noise, and intrusions into controlled airspace[R]. Atlantic City, NJ, USA: William J. Hughes Technical Center (US), 1999.

[14] HELBING H. Proposal for a cognitive model of en-route air traffic control[M]//Don Harris. Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. London: Routledge, 2017: 177-184.

[15] SPERANDIO J C. Variation of operator's strategies and regulating effects on workload[J]. Ergonomics, 1971, 14(5): 571-577.

[16] BISSERET A. Application of signal detection theory to decision making in supervisory control The effect of the operator's experience[J]. Ergonomics, 1981, 24(2): 81-94.

[17] MARCHITTO M, DI STASI L L, CAÑAS J J. Ocular movements under taskload manipulations: influence of geometry on saccades in air traffic control simulated tasks[J]. Human Factors in Ergonomics & Manufacturing, 2012, 22(5): 407-419.

[18] LEPLAT J, BISSERET A. Analysis of the processes involved in the treatment of information by the air traffic controller[J]. The Controller, 1966, 5(1): 13-22.

[19] REMINGTON R W, JOHNSTON J C, RUTHRUFF E, et al. Visual search in complex displays: factors affecting conflict detection by air traffic controllers[J]. Human Factors, 2000, 42(3): 349-366.

[20] DELUCIA P R. Pictorial and motion-based information for depth perception[J]. Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance, 1991, 17(3): 738-748.

[21] DELUCIA P R, NOVAK J B. Judgments of relative time-to-contact of more than two approaching objects: toward a method[J]. Perception & Psychophysics, 1997, 59(6): 913-928.

[22] LAW D J, PELLEGRINO J W, MITCHELL S R, et al. Perceptual and cognitive factors governing performance in comparative arrival-time judgments[J]. Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance, 1993, 19(6): 1183-1199.

[23] YOSHIDA H, AOYAMA H, INOUE S, et al. Analyzing positive and negative effects of salience in air traffic control tasks[C]//AHFE 2017 International Conference on Human Factors in Transportation, July 17-21, 2017, Los Angeles, California. Cham: Springer, 2018: 70-78.

[24] 张兴俭, 白 鹏. 管制员不良工作状态特征调查研究[J]. 中国民航大学学报, 2018, 36(6): 21-26.

[25] 杜 毅, 谈 伟. 见习管制员和新放单管制员风险与对策分析[J]. 中国民航飞行学院学报, 2015, 26(5): 74-76, 80.

[26] 肖宇佳, 熊烽景, 李洪毅. 基于三种重复方式下超希腊拉丁方设计的方差分析[J]. 系统科学与数学, 2024, 44(4): 1147-1158.

[27] HART S G, STAVELAND L E. Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research[M]. Hancock PA, Meshkati N(Eds). Human Mental Workload. Amsterdam: North Holland Press, 1988: 239-250.

[28] JADHAV P, LERCEL D, HUBBARD S. UAS safety zones: a model for addressing increased air traffic controller workload[C]//21st International Symposium on Aviation Psychology. Columbus: International Association of Aviation Psychology (IAAP), 2021: 54.

(责任编辑:明 月)