

【航空管理与安全】

管制员疲劳国内外研究综述与展望

刘亚威, 孙延杰, 郭恒瑜, 冯禹扬, 郭昕曜

(郑州航空工业管理学院 民航学院, 河南 郑州 450046)

摘要:管制员疲劳是影响空中交通管理乃至民航系统安全的重要因素。为探究预防和控制管制员疲劳的可行对策,通过系统性的文献回顾梳理了国内外管制员疲劳的研究成果,并重点对比分析了各类管制员疲劳检测方法的优缺点。研究发现,目前国内管制员疲劳研究仍存在本土化的管制员疲劳量表匮乏、管制员疲劳检测指标因果关系探索不深、多级疲劳度的预测准确率不高等不足。最后对管制员疲劳的未来研究方向做出了展望,以期为民航安全保驾护航的研究者和相关管理部门提供参考建议。

关键词:管制员;脑力疲劳;疲劳检测;生理参数;行为特征

中图分类号: V 355 **文献标识码:** A **DOI:** 10.13486/j.issn.2097-4973.2024.01.014

安全高效的空中交通管理是民航系统安全运行的重要保障。然而随着空域的拥挤度越来越高,管制员工作负荷极重,加上管制工作安全压力大、需要白夜班轮休等工作性质的原因,管制员疲劳事件频发。疲劳会削弱个体正常的生理机能,导致其出现身心疲惫、注意力不集中、反应变慢等一系列能力下降的情况^[1]。疲劳能诱发甚至加重管制员的“错忘漏”行为,是造成管制员人因差错的主要因素之一^[2]。2001年7月,美国西雅图机场管制员(事后调查发现该管制员已经处于极度疲劳的状态)要求一架麦道80客机滑行穿过跑道,而此时一架波音767客机正在使用该跑道执行降落程序,两架飞机险些相撞;2011年美国发生多起管制员夜班睡岗事件,为此美国联邦航空局(Federal Aviation Administration, FAA)已在27座空管塔台取消单个管制员值夜班制度,代之为双岗制;2014年7月国内某塔台管制员“睡岗”导致航班无法建立通讯联系,只能在进近管制员的指挥下进行复飞;2016年10月国内某塔台管制员因疲劳未认真扫视跑道,盲目跟从飞行员请求指令,造成A类跑道侵入事件^[3]。据美国国家运输安全委员会(National Transportation Safety Board, NTSB)统计,2013—2019年的航空事故原因中人员疲劳因素占比28%^[4]。由此可见,管制员疲劳对民航安全危害极大。回顾梳理国内外管制员疲劳研究成果,探寻预防和控制管制员疲劳的可行对策,既有科研价值,又有实际应用的需求,对于保障空管乃至民航系统安全具有重大意义。

1 管制员疲劳定义

疲劳是一个融合了生理和心理因素的复杂现象,目前关于疲劳产生的原因和机理主要有衰竭学说、堵塞学说和保护性抑制学说等,但是并无公认的定义^[5-6]。FAA采纳的疲劳定义为“一种以不适感增加为特征,工作能力减弱,完成效率降低,丧失能力或无法对刺激做出反应的状态,并通常伴随着虚弱和疲倦的感

收稿日期:2024-02-29

基金项目:国家自然科学基金项目(72304253);河南省科技厅科技攻关项目(232102240016)

第一作者简介:刘亚威(1991—),男,河南郑州人,助教,硕士,主要从事航空人因工程研究。

E-mail: liuyawei@zua.edu.cn

觉”^[7]；国际民航组织将疲劳定义为“由于睡眠不足、长时间觉醒、昼夜节律和(或)工作负荷过重而导致的脑力或体力活动能力下降的状态”^[8]，这种状态会损害人的警觉度及其执行安全相关职责的能力。

综上所述，结合管制工作特点，管制员疲劳应包括脑力疲劳和体力疲劳两个方面(脑力疲劳占主要部分)，是“一种由休息不足、生理周期紊乱、高工作负荷和环境不良等因素复杂作用引起的身体疲乏，精神萎靡，警觉性、情境意识、认知和行为能力降低的状态”。疲劳的累积甚至会导致管制员出现失能现象，成为空管系统的重大安全隐患。

2 管制员疲劳研究现状分析

2.1 国外管制员疲劳研究成果分析

国外管制疲劳的研究主要集中在“管制员疲劳诱因”“管制员疲劳检测”和“管制员疲劳风险管理”三个方面，下面将从这三个方面以“预防-检测-管理”的逻辑展开论述。

2.1.1 管制员疲劳诱因研究 目前可追溯的最早的管制员疲劳的系统研究是美国 FAA 在 20 世纪 70 年代开始的；Melton 等^[9]研究了不同轮班模式对管制员疲劳状态的影响；Schroeder 等^[10]利用疲劳试验工具包研究了 4 天 10 小时工作制和 2-2-1 轮班模式下 8 小时工作制下管制员疲劳和警觉性的差异；Luna 等^[11]研究了昼夜节律对美国空军管制员疲劳的影响。1999 年美国民用航空医学研究所开展了大规模的管制疲劳调查，评估了年龄、睡眠、家庭责任和性别等多种因素对疲劳的影响^[12]。可以说，美国对管制员疲劳的研究走在了世界前列。随后，国际民航组织各成员国纷纷开展了管制员疲劳相关的研究^[13-17]。管制员疲劳诱因梳理汇总如表 1 所示。

表 1 管制员疲劳影响因素汇总

非工作因素	工作相关因素
生理因素：遗传、性别/年龄、气质、健康状况(药物治疗)、生物钟、昼夜节律	轮班与休息(值班时长、休息频率与时长、夜班等)
心理因素：人格结构、认知模式、行为模式、情绪压力、应激反应、应对策略	工作负荷
生活方式：饮食、睡眠、消遣娱乐、第二职业等	工作环境(空气质量、噪声、色彩、照明、岗位空间等)
社会因素：家庭属性、婚姻关系、伦理问题、经济情况、文化、宗教信仰	

管制员疲劳诱因研究的目的是为了阻断疲劳链条，从根本上降低管制员出现疲劳状态的可能性。美国 NTSB 自 1990 年就开始把管制员疲劳列在“通缉单”，致力于寻找疲劳应对策略，目前可供参考的方法有：优化排班制度；通过短暂的快速连贯呼吸提高疲劳恢复力^[18]，通过提高空中交通管理的自动化和智能化水平来降低管制员的工作负荷等。

2.1.2 管制员疲劳检测技术 管制员疲劳检测通过技术手段识别出管制员的疲劳状态并及时进行预警。目前国内外管制员疲劳的检测手段可分为主观评价和客观测量两种。主观评价多通过疲劳相关睡眠评估量表得以实现^[19-22]，如斯坦福嗜睡量表(SSS)、卡罗林斯卡嗜睡量表(KSS)、作业疲劳症状自评量表(WRFFQ)、疲劳量表FS-14和睡眠日志记录等。利用主观量表对管制员疲劳进行评价的研究起源较早，但由于主观量表具有标准不易统一、信效度较低和实时性差等缺点，客观的疲劳检测方法逐渐成为研究的热门和重点。目前客观的管制员疲劳检测方法主要包括生理参数、生化指标和管制员行为特征检测三大类，各类方法包含的详细指标和优缺点分析如表 2 所示。

总体而言，生理和生化方式检测疲劳均有较大的局限性，离实际应用也有一定的差距。而基于智能算法的面部状态识别、语音分析等技术凭借着非侵入性、可靠性高、实时性强等优点，有望成为理想的疲劳监测和预警方法。尤其是眼动分析技术，没有明显的技术缺陷，已经在众多领域的脑力疲劳检测中得到应用

和验证,可以用于实时在线式的管制员疲劳检测和预警。

表 2 管制员疲劳客观检测方法优缺点分析

类别	指标	优点	缺点
生理参数检测 ^[23-25]	心脑电图、眼电图、肌电和事件相关电位等	灵敏性好,可靠程度高。其中 EEG 更被认为是测量疲劳的“金标准”	对管制任务有侵入性;实验设备昂贵,检测程序复杂;目前还局限在实验室研究阶段
	血压检测、尿液成分检测、唾液皮质醇检测、羟基皮质类固醇检测等	从医学角度出发,识别疲劳准确性高,抗干扰性强	样本采集有限制,现场应用困难,实时性差
管制员行为特征检测 ^[26-27]	哈欠频率检测、眼动分析、语音分析	非侵入性,可靠性和准确性高,实时性强	基于嘴部状态识别的哈欠频率检测易受管制员正常语音普通话的影响;语音分析易受噪声影响,对环境要求较高
	CFF、精神运动警觉测试和反应时分析等	可靠性和准确性较高	实时性差,检测效率一般

2.1.3 管制员疲劳风险管理系统 疲劳风险管理系统(Fatigue Risk Management System,FRMS)是融合了多种疲劳检测手段,以数据为驱动对疲劳相关安全风险进行连续监测和管理的系统。国际民航组织对疲劳管理提出了 4 项科学原则:觉醒时间需要限制,规律的保质保量的睡眠是恢复大脑和身体所必需的;睡眠时间和质量的减少,哪怕只是一个晚上,也会降低个体的工作能力,增加疲劳程度;生物钟和昼夜节律影响个体睡眠的时间和质量,并影响个体面对不同操作任务的绩效高低;工作负荷会影响个人的疲劳程度。FRMS 的核心是闭环管理,示意图见图 1,包括:①持续监测疲劳等级;②识别疲劳可能构成危险的情况;③风险评估;④必要时引入风险缓解措施。缓解策略的有效性由步骤①持续监测疲劳等级进行评估^[28]。

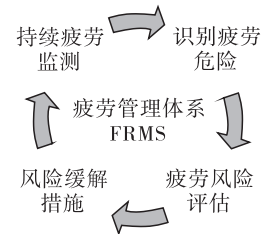


图 1 管制员疲劳管理体系闭环管理

加拿大基于生物数学模型建立了自动化的疲劳审计系统^[29];新西兰民航局在总结各国疲劳风险管理体系的基础之上,建立了融合事故征候报告、自愿疲劳报告、睡眠日志等疲劳检测手段,并提供疲劳缓解方案的风险管理系统。同时,各国民航主管部门都在积极推动将 FRMS 融入民航安全管理系统(Safety management system,SMS)^[30-31],充分地识别疲劳风险因素,保障民航安全。

2.2 国内管制员疲劳研究成果分析

下面也将从“预防-检测-管理”3 个方面对国内管制员疲劳研究成果展开分析论述。

2.2.1 管制员疲劳成因分析 张娇等^[32]通过分析对比各地区管制员轮班制度差异,发现上二休二的轮班模式可以更好地改善管制员的疲劳状况。孙瑞山等^[33-34]系统性地研究了生活事件对疲劳的影响,以及昼夜节律适应性、睡眠状况、工作负荷整体感受和执勤时间对疲劳的综合影响。

2.2.2 管制员疲劳检测研究 国内管制员疲劳检测方面的研究主要来自中国民航大学的孙瑞山团队和靳慧斌团队。两个团队在管制员疲劳检测方面的成果统计如表 3 所示。

此外,还有其他学者在管制员疲劳研究方面做出了新的探索,如 CHEN Z L 等^[44]和 CHEN M L 等^[45]分别利用生化指标,如尿液、血压等指标对管制员疲劳进行了测量;XU L 等^[46]利用卷积神经网络将管制员语音特征和面部特征相结合检测管制员疲劳状态,检测速度更快,检测精度达 98%;卫康凯^[47]探究了疲劳对管制员注视特征的影响;项悦^[48]利用卷积神经网络模型进行人眼和嘴部识别,开发了管制员疲劳检测系统;梁海军等^[49]提出了一种基于迁移学习的眼睛状态识别模型,用于检测管制员疲劳状态;陈

超^[50]基于卷积神经网络模型对疲劳语音进行检测,建立了一种基于注意力时序的语音疲劳检测模型;王超等^[51]提出了一种基于视频的结合卷积神经网络与长短期记忆网络的管制员嘴部行为识别方法,通过哈欠检测来判定管制员疲劳状态;徐斌^[52]结合客观眼动指标与主观 FS-14 疲劳量表对远程塔台工作场景下的管制员疲劳进行了检测分析,拟合度很好,可以作为远程塔台管制员疲劳检测的参考依据。

表 3 孙瑞山和靳慧斌团队管制员疲劳检测研究成果汇总

作者	检测指标	算法	检测准确率
孙瑞山,等	PERCLOS、平均闭眼时长、打哈欠频率、 数字光点测验 ^[35]	组合赋权算法	—
	语音反应时 ^[36]	相关性分析	—
靳慧斌,等	注视点、扫视速度、PERCLOS 和 CFF ^[37-39]	支持向量机/BP 神经网络	95.68%/91.67%
	瞳孔直径 ^[40]	受试者工作特征曲线检验	AUC≥0.653
	心率变异性(HRV) ^[41]	多元线性回归建模	拟合优度大于 0.5
	RR 间期、LF/HF、快慢波比值、PERCLOS 和扫视速度 ^[42-43]	CART 决策树 支持向量机	二分类 94.4%,5 级疲劳度为 77.5% 二分类 94.2%,5 级疲劳度为 78.1%

2.2.3 管制员疲劳管理研究 国内管制员疲劳管理研究方面,目前尚缺乏基于生物钟、昼夜节律等人体特性的科学量化的管制员疲劳管理和预警研究。行业指导规章《民用航空空中交通管理规则》也仅从管制员执勤时间单方面进行了明确要求,以预防管制员疲劳。总体来说,国内管制员疲劳管理方面的研究仍有待进一步加强。

2.3 管制员疲劳研究的不足

综合上述总结分析后发现,目前国内外管制员疲劳研究仍存在以下 3 个方面的不足:

(1) 管制员疲劳的金标准是什么? 目前大多数研究都认为脑电是检测疲劳的金标准,但是脑电指标依然需要与主观量表相结合才能确认个体的疲劳状态。相对主观量表,目前所有的客观检测指标(包括脑电指标)均无法独立完成疲劳的测量。事实上,管制员疲劳客观测量指标的研究始终都需要主观量表的辅助,纯粹的客观量化数据是无法对疲劳状态进行定性的。管制员疲劳客观测量指标想要发展成为可以独立使用的有效指标都需要经过来自主观量表的验证。由此看来,主观量表才是最主要的管制员疲劳检测的金标准。目前的主观疲劳量表以国外的量表为主,检测国内管制员疲劳状态的信效度如何? 采用通用量表还是需要结合管制员作业特点开发新的量表? 客观测量指标什么情况下可以成为完全替代主观量表的金标准? 这些都需要进行验证。

(2) 管制员疲劳测量综合指标体系的建立问题。一是更多客观指标的开发和验证,目前大多还局限在相关关系层面的探讨,而不是因果关系层面的探讨,需要多挖掘指标与疲劳的内在关联性。同时,在进行实验验证时,应注意脑力疲劳诱发模型的规范化。二是多指标的融合,目前疲劳和正常状态的二分类检测准确率很高,但是针对多级疲劳度的预测准确率仍有待提升。

(3) 可用于指导管制员疲劳预警系统建设的研究较少。管制员疲劳检测是工作中采用的手段。本着预防第一的原则,应加大对管制员疲劳诱因的系统研究,如基于人的生理特性和生物数学疲劳模型对管制员排班进行优化。同时,随着空管自动化水平的不断提升和管制员队伍的不断壮大,工作因素对管制员疲劳的影响占比将会缩减,对非工作因素疲劳诱因的研究需要重视。

3 管制员疲劳未来研究展望

综合国内外管制员疲劳的研究现状和不足,结合相关领域的最新研究进展,绘制下一步研究框架,见图 2。

如图 2 所示,管制员疲劳研究基本思路为:人的生理特性和心理机制→疲劳诱因→管制员疲劳→疲劳导致的外在行为表现和生理生化指标变化→利用各类工具方法捕捉指标变化检测疲劳。在此基础上,还可以利用智能算法进行多指标融合以提高管制员疲劳监测精度,并开发管制员疲劳预警管理系统,通过各种措施调节管制员的生理特性和心理机制,阻断疲劳诱因,形成闭环管理。未来管制员疲劳可以从以下 3 个方面继续深化研究:

(1) 通过脑科学、生理学、心理学、人机工程等多学科交叉融合深入研究管制员疲劳的形成机理,为管制员疲劳管理提供可靠的理论模型。构建疲劳与情境意识、注意力、记忆、工作负荷等心理学构念和现象的联系,建立管制员疲劳概念系统。

(2) 随着计算机和模式识别等技术的快速发展,基于图像处理的管制员行为特征检测(包括眼动分析和面部特征识别等)逐步成为理想的管制员疲劳检测方案。同时,随着智能手环等可穿戴设备的性能提升^[53],心电等指标也有望投入实际应用,可以继续对这类指标进行挖掘作为未来的技术储备。

(3) 管制员疲劳问题的最终解决还是要靠管理方式的革新和改善。一个成熟的管制员疲劳风险管理体系,不仅应包括从预防到检测和管理环环相扣系统的应对策略,还应充分利用智能传感器、多通道信息融合等技术,融合定性、定量的检测手段,不断提高疲劳检测的精度和可靠性,从阻断疲劳诱因和人体生理的刺激或抑制(如功能饮料等)的角度建立疲劳解决方案。

4 结语

管制员疲劳是威胁航空安全的重要因素,也是民航业建立主动安全系统不可回避的问题。本文通过对国内外管制员疲劳的研究成果进行系统的回顾和梳理,总结了目前研究的不足和局限,并建立了下一步的研究框架。未来的管制员疲劳研究突破点主要集中在理想的客观检测指标挖掘以及基于智能算法的多指标融合方面。而从根本上缓解或解决管制员疲劳问题,则需要科学的疲劳风险管理体系的支撑。本研究对于控制管制员疲劳风险,保障民航安全具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] MORRIS M B, WIEDBUSCH M D, GUNZELMANN G. Fatigue incident antecedents, consequences, and aviation operational risk management resources[J]. *Aerospace medicine and human performance*, 2018, 89(8): 708-716.
- [2] 王永刚,董保健. 管制员人为差错影响因素及指标权重分析[J]. *中国安全生产科学技术*, 2011, 7(2): 28-33.
- [3] 李康,李敬强. 管制员疲劳测量与缓解措施的研究进展[J]. *职业与健康*, 2018, 34(9): 1288-1292.
- [4] MICHAEL P, CHEN J L, BERENICE LUNA-GARCÍA, et al. Fatigue in NTSB investigations 2013-2019: evidence of accidents and injuries[J]. *International journal of occupational safety and ergonomics*, 2023, 29(2), 717-722.
- [5] 孙瑞山,田万里. 飞行疲劳检测方法研究进展[J]. *职业与健康*, 2015, 31(8): 1142-1146.
- [6] GÖKER, Z. Fatigue in the aviation: an overview of the measurements and countermeasures[J].

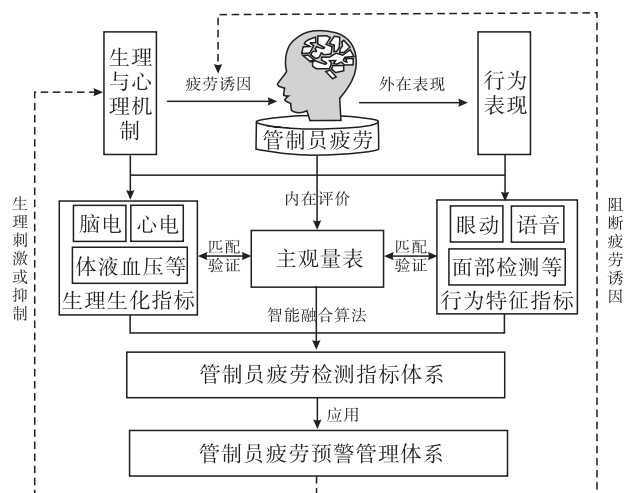


图 2 管制员疲劳下一步研究框架

- Journal of aviation,2018,2(2):185-194.
- [7] SALAZAR G J. Fatigue in aviation series; Medical facts for pilots (Tech. Rep. No. OK-07-193) [R]. Oklahoma City,OK:FAA Civil Aerospace Medical Institute,2007.
- [8] International Civil Aviation Organization. Doc 9966 Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches[Z]. Montréal,2020.
- [9] MELTON C E,MCKENZIE J M,SMITH R C, et al. Physiological, biochemical, and psychological responses in air traffic control personnel: Comparison of the 5-day and 2-2-1 shift rotation patterns [R]. Federal Aviation Administration Washington DC Office of Aviation Medicine,1973.
- [10] SCHROEDER D J,ROSA R R,WITT L A. Some effects of 8-vs. 10-hour work schedules on the test performance/alertness of air traffic control specialists[R]. Federal Aviation Administration Washington DC Office of Aviation Medicine,1995.
- [11] LUNA T D,FRENCH J,MITCHA J L. A study of USAF air traffic controller shiftwork: sleep, fatigue, activity, and mood analyses[J]. Aviation space & environmental medicine,1997,68(1): 18-23.
- [12] BECKER J T,NESTHUS T E,CALDARARO R, et al. The effects of shiftwork and fatigue on cognitive function among air traffic control specialists[C]//Presentation at the Aerospace Medical Association 72nd annual scientific meeting,2001.
- [13] MÉLAN C,CASCINO N. Contrasting effects of work schedule changes and air traffic intensity on ATCOs' fatigue, stress and quality of life[C]//The 33rd Conference of the European Association of Aviation Psychology, Dubrovnik, Croatia; HALSHS,2018.
- [14] RUSSENG S S, SALEH L M, MALLONGI A, et al. The relationship among working period, work shift, and workload to work fatigue in air traffic controllers at Sultan Hasanuddin Airport [J]. Gaceta sanitaria,2021,35:S404-S407.
- [15] BONGO M,SEVA R. Effect of fatigue in air traffic controllers' workload, situation awareness, and control strategy[J]. The international journal of aerospace psychology,2022,32(1):1-23.
- [16] TERENCE M, RICCIARDI O, DI NOCERA F. Rostering in air traffic control: a narrative review [J]. International journal of environmental research and public health,2022,19(8):4625.
- [17] SALEH L M, RUSSENG S S, TADJUDDIN I, et al. Identification of psychological conditions and feelings of fatigue among employees at Makassar Air Traffic Service Center[J]. Media kesehatan masyarakat indonesia,2023,19(3):141-148.
- [18] LI W C,ZHANG J,KEARNEY P. Psychophysiological coherence training to moderate air traffic controllers' fatigue on rotating roster[J]. Risk analysis,2023,43(2):391-404.
- [19] AGHDAM R S,ALIZADEH S S,RASOULZADEH Y, et al. Fatigue assessment scales: a comprehensive literature review[J]. Archives of hygiene sciences,2019,8(3):145-153.
- [20] TRIYANTI V,AZIS H A,IRIDIASTADI H. Workload and fatigue assessment on air traffic controller[C]//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing,2020,847(1):012087.
- [21] BENDAK S,RASHID H S. J. Fatigue in aviation: a systematic review of the literature[J]. International journal of industrial ergonomics,2020(76):102928.
- [22] KUNASEGARAN K, ISMAIL A M H, RAMASAMY S, et al. Understanding mental fatigue and its detection: a comparative analysis of assessments and tools[J]. PeerJ,2023,11:e15744.

- [23] MONTEIRO T G, SKOURUP C, ZHANG H. Using EEG for mental fatigue assessment: a comprehensive look into the current state of the art[J]. IEEE transactions on human-machine systems, 2019, 6(49): 599-610.
- [24] DÍAZ-GARCÍA J, GONZÁLEZ-PONCE I, PONCE-BORDÓN J C, et al. Mental load and fatigue assessment instruments: a systematic review[J]. International journal of environmental research and public health, 2022, 19(1): 419.
- [25] KOUBA P, ŠMOTEK M, TICHÝ T, et al. Detection of air traffic controllers' fatigue using voice analysis—An EEG validation study[J]. International journal of industrial ergonomics, 2023, 95: 103442.
- [26] BAFNA T, HANSEN J P. Mental fatigue measurement using eye metrics: a systematic literature review[J]. Psychophysiology, 2021, 58: e13828.
- [27] CAÑAS J J, MÚOZ-DE-ESCALONA E, FRUTOS P L, et al. Estimation of air traffic controllers' fatigue based on the analysis of the human voice's fundamental frequency[J]. International journal of human factors and ergonomics, 2022, 9(4): 311-327.
- [28] GANDER P H, WU L J, VAN DEN BERG M J, et al. Fatigue risk management systems chapter in PPSM[M]. Washington State University: Elsevier, 2017.
- [29] Project Team of FRMS. Fatigue Risk management system for Canada aviation industry: an Introduction to managing fatigue[R]. Transport Canada: TP 14572E, 2007.
- [30] STARR A W. Integrating fatigue management with safety management systems for commercial flight crew operations[J]. International journal of aviation, aeronautics, and aerospace, 2017, 4(1): 1-19.
- [31] SPRAJCER M, THOMAS M J W, SARGENT C, et al. How effective are fatigue risk management systems (FRMS)? A review[J]. Accident analysis & prevention, 2022, 165: 106398.
- [32] 张娇, 孙瑞山, 李敬强. 我国各地区管制员轮班制对比研究[J]. 职业与健康, 2015, 31(24): 3510-3513.
- [33] 孙瑞山, 皇甫光霞, 胡臻. 生活事件对管制员疲劳的影响[J]. 安全与环境工程, 2017(2): 178-182.
- [34] 孙瑞山, 李康, 李敬强. 空中交通管制员疲劳状态及影响因素分析[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(6): 2241-2246.
- [35] 汪磊, 孙瑞山. 基于面部特征识别的管制员疲劳监测方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2012(7): 66-71.
- [36] 孙瑞山, 马广福, 袁乐平. 语音反应时特性的管制员疲劳风险分析[J]. 中国安全科学学报, 2016(12): 7-12.
- [37] 刘亚威. 管制疲劳的眼动指标研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2018.
- [38] 靳慧斌, 刘亚威. 眼动指标检测管制疲劳的性能研究[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(3): 1004-1007.
- [39] 靳慧斌, 刘亚威. CFF 和 PERCLOS 检测管制疲劳的性能评估[J]. 中国科技论文, 2018(7): 836-839.
- [40] 靳慧斌, 于桂花, 刘海波. 瞳孔直径检测管制疲劳的有效性分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44(7): 1402-1407.
- [41] 靳慧斌, 张静, 吕川. HRV 在管制员疲劳检测中的适用性[J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44(11): 2292-2298.
- [42] 靳慧斌, 朱国蕾, 吕川. 基于 CART 决策树的管制员疲劳检测研究[J]. 航天医学与医学工程, 2018, 31(6): 601-606.
- [43] 靳慧斌, 朱国蕾, 吕川. 基于支持向量机的管制员疲劳检测模型研究[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(1): 99-105.
- [44] CHEN Z L, XU X F, ZHANG J P, et al. Application of LC-MS: based global metabolomic profiling methods to human mental fatigue[J]. Analytical chemistry, 2016, 88(23): 11293-11296.

- [45] CHEN M L, LU S Y, MAO I F. Subjective symptoms and physiological measures of fatigue in air traffic controllers[J]. International journal of industrial ergonomics, 2019, 70: 1-8.
- [46] XU L, MA S, SHEN Z, et al. Air traffic controller fatigue detection by applying a dual-stream convolutional neural network to the fusion of radiotelephony and facial data[J]. Aerospace, 2024, 11(2): 164.
- [47] 卫康凯. 疲劳状态下塔台管制注视特征研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2018.
- [48] 项悦. 基于认知科学的管制员疲劳状态检测方法研究与系统设计[D]. 德阳: 中国民用航空飞行学院, 2019.
- [49] 梁海军, 刘长炎, 陈宽明, 等. 基于 DCNN 的管制员疲劳状态检测[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(35): 15277-15283.
- [50] 陈超. 基于深度学习的管制员语音疲劳检测研究[D]. 德阳: 中国民用航空飞行学院, 2023.
- [51] 王超, 徐楚昕, 王志锋. 面向空中交通管制员疲劳识别的哈欠检测[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(6): 1970-1977
- [52] 徐斌. 远程塔台条件下管制员疲劳研究[D]. 德阳: 中国民用航空飞行学院, 2023.
- [53] KODITHUWAKKU ARACHCHIGE S N K, BURCH V R F, CHANDER H, et al. The use of wearable devices in cognitive fatigue: current trends and future intentions[J]. Theoretical issues in ergonomics science, 2022, 23(3): 374-386.

Review and Prospect of Research on Air Traffic Controllers' Fatigue at Home and Abroad

LIU Yawei, SUN Yanjie, GUO Hengyu, FENG Yuyang, GUO Xinyao

(School of Civil Aviation, Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: Air traffic controllers' fatigue is a major latent danger affecting the system safety of air traffic control and even civil aviation. To explore the measures to reduce and control the effects of fatigue, with systematical reviews of the documents, the research achievements on air traffic controllers' fatigue at home and abroad are sorted out, and the advantages and disadvantages of various air traffic controller fatigue detection methods are mainly compared and analyzed. Research has found that there are still shortcomings in domestic research on air traffic controllers' fatigue, such as a lack of localized air traffic controller fatigue scales, insufficient exploration of causal relationships in controller fatigue detection indicators, and low accuracy in predicting multi-level fatigue levels. Finally, a prospect of the overall development of the field of air traffic control fatigue is made in order to provide reference for researchers and related civil aviation management departments.

Keywords: air traffic controller (ATC); mental fatigue; fatigue detection; physiological parameters; behavior characteristics

(责任编辑: 唐立平)

引用格式 刘亚威, 孙延杰, 郭恒瑜, 等. 管制员疲劳国内外研究综述与展望[J]. 山东航空学院学报, 2024, 41(1): 107-114.
LIU Y W, SUN Y J, GUO H Y, et al. Review and prospect of research on air traffic controllers' fatigue at home and abroad[J]. Journal of Shandong University of Aeronautics, 2024, 41(1): 107-114.