

远程塔台运行评估研究综述



黄涛¹, 张朝²

1. 沈阳航空航天大学 通用航空产业发展研究中心, 辽宁 沈阳 110136

2. 沈阳航空航天大学, 辽宁 沈阳 110136

摘要:远程塔台通过远程监视信息替代现场目视观察,为客流量低、值守成本高的中小机场提供了传统塔台的代替方案。本文系统地介绍了远程塔台运行评估研究现状,主要分为情景感知评估和运行效率评估,对远程塔台发展现状进行了综述与总结,阐述了远程塔台功能模块与运行模式。通过现状综述,对比发现我国远程塔台评估研究与发展相较于国外处于跟跑阶段,大量人因工效指标有待研究与验证;提出远程塔台运行三级评估指标体系,为我国远程塔台评估提供科学支持。最后,指出我国远程塔台发展方向,为我国远程塔台研究提供了一定参考。

关键词:远程塔台运行; 评估指标; 人因工效学; 人机交互界面; 发展方向

中图分类号: V351.12

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2022.11.001

自20世纪以来,机场高耸的塔台一直是空中交通管制(ATC)的典型标志,随着航线干支网的发展、中小机场的兴建以及通用航空的兴起,中小机场昂贵的塔台建设成本与低效的管制收益比例不合理现象越发严重。随着高清视频、全景增强视频、网络传输等技术的发展,远程塔台技术为空中交通管制提供了新方向。

远程塔台是地理位置和高度不受机场位置和构型限制,通过远程监视信息替代现场目视观察来监视机场及其附近区域或者机坪责任区,为航空器提供机场管制服务(部分含进近管制服务)或机坪管制服务的设施设备集合,又称为数字塔台^[1]。一般包括相关席位设施设备、部署在远端机场的数据采集处理装置以及传输链路设备等^[2]。1996年,德国宇航中心(DLR)飞行制导研究所提出利用虚拟现实技术(VR)实现虚拟管制塔台新工作环境的建议,开始对欧洲和美国的最新VR技术进行调查,初步塑造远程空中交通管制概念^[3]。

安全是民航领域的第一要求。远程塔台的出现是空中交通管制的范式转换,对其进行全方位的评估对民航安全的影响不言而喻。我国远程塔台起步较晚,研究相对集中于技术系统与操作,对远程塔台效能评估方面的研究相对匮乏,科学系统的评价指标与评估方案还有待研究。对国内外远程塔台运行评估研究发展现状进行综述,可以对比总结远程塔台运行评估经验,完善评估指标,为远程塔台运

行验证提供理论依据,提升我国远程塔台运行评估工作,推广远程塔台运行,助力我国民航空中交通管制服务降本增效。

2019年,中国民用航空局第二研究所围绕远程塔台提出“可运行”“可视化”“可识别”“可通信”“可评估”的“五可”整体解决方案^[4]。本文基于“可评估”解决方案,论述国内外远程塔台运行评估现状,提出远程塔台运行三级评估指标体系,以便学者们展开深层次的指标测验研究,推动我国远程塔台发展。

1 远程塔台研究现状

1.1 国外远程塔台研究现状

自20世纪Fürstenau提出虚拟塔台概念后,欧洲一直致力于远程塔台运行的发展,并在技术操作与运行评估方面进行了大量研究(见表1),通过梳理文献可知,欧洲远程塔台的评估主要包括情景感知评估及管制效率评估;评估方法主要分为主观法及客观法,主观法主要为问卷调查,客观法包括视觉测试、眼动测试、脑电信号测试、人在环路仿真、现场验证以及影子运行。

1.1.1 情景感知评估

相较于传统塔台管制,情景感知评估是指在远程塔台单元内,对管制员对管制对象的行为感知能力进行评估,包

收稿日期: 2022-06-14; 退修日期: 2022-08-01; 录用日期: 2022-09-15

引用格式: Huang Tao, Zhang Chao. Review on evaluation of remote tower operation[J]. Aeronautical Science & Technology, 2022, 33(11): 1-10. 黄涛, 张朝. 远程塔台运行评估研究综述[J]. 航空科学技术, 2022, 33(11): 1-10.

表 1 远程塔台运行评估内容及方法

Table 1 Evaluation content and method of remote tower operation

评估角度	评估内容	评估方法
情景感知评估	人机交互界面	问卷调查法、视觉测试、 眼动测试、脑电信号测试、 人在环路仿真、现场验证 以及影子运行
	管制员主观接受度	
	疲劳程度	
	管制员注意力分布	
管制效率评估	操作环境复杂性	
	管制任务量	
	管制效率	

括对航空器运动、态势、距离等的判断能力,旨在提高管制员情景感知力。

Fürstenau 为确定人机交互界面所需的视觉帧数,组织多名现役管制员进行飞机着陆过程中高动态保真度模拟,为远程塔台视频技术最小视频帧数指标提供理论支撑^[5]。为提升管制员情景感知能力,2010年,Schaik 剖析传统管制任务的视觉特征,分析得出远程塔台操作的光学要求^[6]。荷兰国家航空航天实验室(NLR)在影子模式下进行实时试验高级远程塔台验证,并对传感器和人机界面进行设计和验证,以增强空中交通管制员在能见度降低的情况下的情景感知能力^[7]。高质量视频数据是远程塔台操作的核心组成部分,管制员可以根据这些信息做出决策^[8]。Barrowclough 通过解耦进程有效地处理在单个远程管制中心的所有数据,向管制员提供相关实时全景增强视频系统^[9]。

与主观评估相比,神经生理测量更加客观,Aricò 通过测量脑电信号(EEG)比较不同远程管制条件下工作量变化,为远程塔台系统评估提供客观定量的指标^[10]。管制员在人机交互界面系统之间的注意力分布是单个管制员执行多个管制任务的关键人机交互问题。Li 通过眼动参数试验验证多重远程塔台运行场景,发现管制员的视觉注意力与管制任务种类有明显相关性,影响视觉注意力的因素包括视觉信息的呈现方式、视觉信息的复杂性以及操作环境的特征^[11]。

为研究管制员在不同机场交通场景、远程辅助系统、工作场所设计对管制任务和管制工作量的影响,德国航空航天中心耦合实时仿真和快速仿真为一种新的仿真模型,高效验证各类管制情景下管制员的情景感知能力,从而为远程塔台运行验证了大量人因工效指标^[12-13]。

1.1.2 管制效率评估

管制效率评估是指对远程塔台管制员工作时间、工作强度、心理负荷、疲惫程度等方面进行评估,旨在改进工作

环境与工作程序,提高远程塔台管制效率。

为提升远程塔台管制效率,Papenfuss 通过追踪眼动数据、主观问卷数据及访谈,分析管制员在管制任务中的信息获取过程,模拟并评估低密度机场远程塔台管制的效率^[14];Ohneiser 进行了基于多重远程塔台人在环路模拟塔台管制命令的预测和提取研究,旨在减少管制员的工作量^[15];Josefsson 使用基于工作负载及特殊机场交通状况的多目标规划,提出了远程塔台中心管制员管制任务最佳分配方案,评估了远程管制不可预测的工作负载变化,为多重远程塔台管制任务分配提供客观解决方案^[16];Kearney 使用美国国家航空航天局任务负荷指数(NASA-TLX),通过综合心理需求、体力需求、时间需求、努力程度、绩效水平、挫折程度6个维度比较传统塔台操作和远程塔台之间的工作量^[17],发现空中交通管制员的精神需求、时间需求、努力和挫败感在远程塔台管制和传统塔台管制之间存在显著差异,为远程塔台管制员可以实现单一欧洲天空空中交通管理研究计划的目标提供了科学证据,应用于管制员的培训设计和远程塔台系统设计^[18]。

1.2 国内远程塔台研究现状

远程塔台可实现实时监控、目标识别及信息融合、自动预警及信息叠加等功能^[19]。结合远端传输的现场全景增强实时视频,远程塔台可以大幅增强管制员对机坪交通态势的感知能力,提高管制员在低能见度和繁忙条件下的运行指挥能力,促进机场容量、安全和效率的提升^[20]。我国远程塔台研究起步较晚,研究主要集中在技术系统的优化与模拟仿真方面,对于评估指标及方案的研究相对匮乏,相较于欧美国家,我国在技术系统与运行制度方面还处于跟跑阶段。

图像技术是远程塔台的关键技术,程擎通过梯度分水岭图像分割算法在运算时间以及正确率两个维度优化机场监控视频图像,在一定程度上解决了传统 SURF 计算重复率高、匹配时间长的缺点问题,提高了图像处理技术的效率及鲁棒性^[21]。基于视频 MLAT 的远程塔台能借助高清数字摄像机、气象传感器、麦克风和其他相关设备将偏远机场的实时情况准确地投影到大型机场塔台中心屏幕上,管制员通过视频来掌控机场信息^[22]。

运动目标跟踪是图像处理的关键技术之一^[23],为了提高运动分割的稳定性和实时性,杨璐提出运动历史图像(MHI)算法做运动分割,为远程塔台中的飞行器自动跟踪和冲突预警提供技术支持^[24]。针对远程塔台全景摄像机位置和高度选择具有经验性,机场运行存在安全隐患,刘颖

从塔台最低视线角和跑道的通视性、ILS 障碍物评定面和显示系统分辨率方面,提出了全景摄像机位置和高度约束方程组^[25]。

在远程塔台技术的模拟验证方面,程擎以树莓派 Raspberry Pi 3B 型机为搭建基础,搭建远程终端,模拟实现远程终端影像视频信息获取、传输,温湿度气象数据的获取,以及 ADS-B 信号接收等远程塔台技术基本功能^[26]。为了降低各个模块之间的耦合性,提高系统可靠性,杨璐基于微服务架构远程塔台系统,将微服务架构根据图像处理、基础服务、第三方接口等分类进行分布式处理,实现一个监控中心同时管制多个远端机场塔台的场景^[27]。刘亚威通过试验验证视听双通道能够显著增强管制员的情景意识,为提升远程塔台人机交互水平提供理论支撑^[28]。徐国标分析了远程虚拟塔台相关技术、系统的组成结构及与传统塔台的功能对比^[29]。徐斌等以新疆远程塔台系统为基础,通过 FMECA 可靠性分析方法对远程塔台各个子系统进行了可靠性分析,发现管制员情景意识建立程度对远程塔台系统可靠性影响最大^[30]。潘卫军详细介绍了几种可用于分析远程塔台系统可靠性的方法,总结了适用于我国远程塔架系统可靠性分析的方法^[31]。

由上述可以发现,我国对远程塔台评估的研究较为宏观,集中于对远程塔台系统整体可靠性的分析,对比国外丰富的情景感知和管制效率评估,缺少对人因工效指标的研究,对具体评估指标的研究相对匮乏,这也是本文的研究意义之一。

1.3 远程塔台发展现状

1.3.1 国外远程塔台发展现状

2014 年,单一欧洲天空空中交通管理研究计划 (SESAR) 联合执行机构 (SJU) 启动远程机场运行概念 (RACOON) 项目,旨在演示为多个机场提供远程塔台服务的可行性和成本效益^[32],正式拉开了远程塔台管制服务的序幕,如图 1 所示。

2015 年,第一个完全符合国际民航组织要求的远程塔台获得批准并在瑞典投入运行;同年,德国核准 Saarbrücken 机场进行远程塔台运行^[33]。2016 年,爱尔兰正式展开全世界第一个多重远程塔台试点研究,该研究进行了 50 次从单塔运行到多塔运行的远程塔台运行的大规模示范试验,供空中航行安全监管机构进行安全评估^[34]。2017 年起,德国空中导航服务提供商 DFS 为萨尔布吕肯这个中型机场提供机场控制服务,这使萨尔布吕肯成为德国第一个远程控制的机场^[35]。2018 年 3 月,挪威空中导航服务商 AVINOR 与

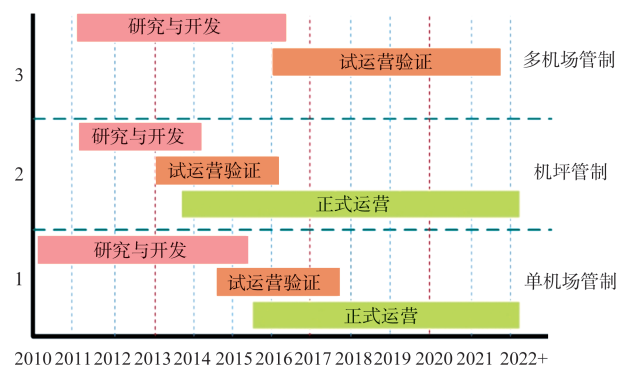


图 1 国外远程塔台发展时间线

Fig.1 Development timeline of foreign remote tower

英德拉对从一个远程地点同时管制多个机场进行了首次成功验证,管制员从一体化管制席位为三个机场同时提供管制服务,可以获得所有相关信息和控制功能,包括雷达交通图像、气象信息、电子飞行进程单等^[36];同年 8 月,立陶宛空中导航服务商 (ON)、德国航空航天中心在布伦瑞克对多重远程塔台进行了第二阶段的验证。

2019 年,巴西实施南美第一个远程空中交通管制塔,法西斯公司为巴西圣克鲁斯空军基地安装远程塔台技术^[37],至此远程塔台在民用航空与军用航空中皆有应用;同年,泽西机场成为英国第一个使用数字远程塔台技术管理空中交通的机场,标志着远程塔台首次被用于在英国商用飞机的管制^[38]。2020 年,丹麦航空公司利用 FREQUENTIS DFS AEROSENSE 集成的远程塔台和进近中心来解决空域效率和服务提供问题^[39];同年,英国皇家空军在其位于苏格兰的莱斯茅斯基地选择萨博数字空中交通解决方案进行数字塔台能力的作战概念论证^[40]。

1.3.2 国内远程塔台发展现状

2015 年,中国民航局印发《中国民航航空系统组块升级 (ASBU) 发展与实施策略》,明确提出发展远程塔台^[41]。2019 年 11 月 24 日,浙江省飞服中心远程塔台成功完成了中国民航史上首次航空器起降远程指挥试验^[42]。2020 年 5 月 21 日,新疆那拉提机场试运行远程塔台技术,成为国内首个成功试运行远程塔台的运输机场^[43];同年,民航安徽空管分局启动了与池州九华山机场联合开展远程塔台试点的工作,目前安徽空管分局远程塔台项目已进入建设阶段^[44]。2021 年,民航天津空管分局提出推进远程塔台管制工作来延长民航管制人员职业生涯的可行性^[45]。此外,广州白云机场、贵阳龙洞堡机场、珠海金湾机场探索远程塔台机坪管制服务并取得工程化应用^[46];内蒙古锡林浩特机场、二连浩特机场,云南宁蒗泸沽湖机场,青海远程塔台试点陆续开展

远程塔台试点工作,其中青海远程塔台试点试验开展多重远程塔台空中交通管制服务;顺丰无人机联合多家科技企业预打造“远程塔台+无人机”运行模式,共同开展通航远程塔台在国内的全面推广工作^[47]。

在规章制度方面,我国已颁布了《远程塔台技术需求(意见征求意见稿)》、《远程塔台运行评估规范(意见征求意见稿)》,对我国远程塔台的评估具有指导意义。

通过上述可知,虽然我国远程塔台发展势头强劲,但起步时间晚,各类模式验证时间较国外都有4~5年的差距,见表2。

表2 国内外远程塔台首次运行时间比较

Table 2 Comparison of first operation time of remote tower at home and abroad

模式	对比	
	国外	国内
机坪管制	2013年	2018年
	新西兰奥克兰机场	广州白云机场
单机场管制	2015年	2020年
	瑞典恩舍尔兹维克机场	新疆那拉提机场
多机场管制验证	2016年	2020年
	爱尔兰香农机场、科克机场	青海德令哈机场、曹家堡机场
应急远程塔台	2020年	暂无
	英国希思罗机场	

2 远程塔台运行评估概念

2.1 远程塔台功能模块及运行模式

2.1.1 远程塔台功能模块

远程塔台功能模块主要包括远程监视模块、语音通信模块、网络传输模块、管制人机交互管理模块、综合信息模块、远程控制模块、辅助功能模块、技术监控模块。

(1) 远程监视模块:用远程监视替代现场目视观察,为管制员提供感知远端机场及附近区域或完整的机坪责任区域实时运行状态的相关监视信息。

(2) 语音通信模块:为远程塔台单元与机场、航空器之间提供连续、稳定、可靠的语音通信。

(3) 网络传输模块:远程塔台单元与机场、航空器之间的网络传输链路,保障机场、航空器与远程塔台单元之间数据传输的连续性、稳定性和可靠性。

(4) 管制人机交互管理模块:为管制员提供图形用户界面及其他技术系统交互的接口,其主要功能是向管制员提供管制相关信息,管制员可通过人机交互界面输入新信息或修改已有信息。

(5) 综合信息模块:为管制员提供管制相关的航空情报、航空气象、静态资料等综合信息。

(6) 远程控制模块:远程监控远端机场助航灯光,并能获取远端机场照明、警报等相关基础设施的工作状态信息。

(7) 辅助功能模块:包括远程塔台单元正常运行所需的辅助功能,一般不直接影响远程塔台正常运行,如记录、回放、数据分析等。

(8) 技术监控模块:对远程塔台技术系统的运行情况进行监控,并输出相应的系统运行状态信息。

各功能模块相互关系如图2所示。

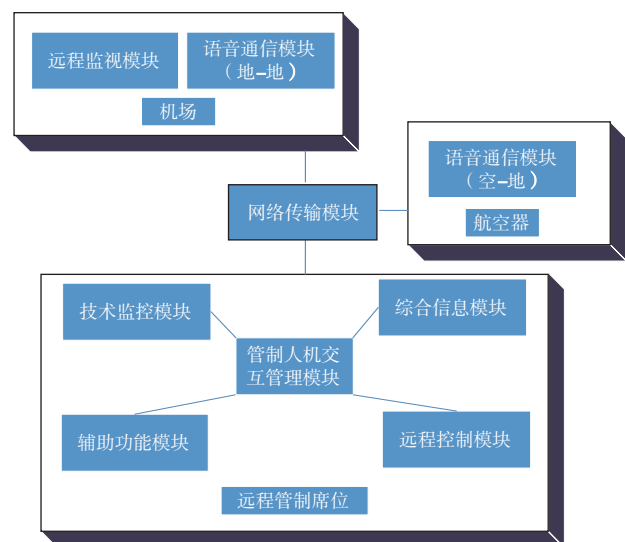


图2 远程塔台各功能模块相互关系

Fig.2 Relationship among function modules of remote tower

2.1.2 远程塔台运行模式

远程塔台作为空中交通管制的范式转换,国内已经开始探索远程塔台模式(见表3),参考欧美国家远程塔台运行经验,根据提供远程塔台服务的特征,远程塔台运行模式可分为:(1)I类远程塔台运行模式:用远程塔台替代传统塔台,为航空器提供机场管制服务(部分机场含进近管制服务);(2)II类远程塔台运行模式:在某一远程塔台单元为一个民用机场提供机坪管制服务;(3)III类远程塔台运行模式:应急远程塔台,即为应对突发事件,在某一远程塔台单元为一个民用机场提供机场管制服务(部分机场含进近管制服务)或机坪管制服务,以防止机场管制服务(部分机场含进近管制服务)或机坪管制服务中断或停止,作为原塔台备份使用。目前,我国I类、II类远程塔台运行模式均有试运行试点。

指标;(8)成本指标:包括建设成本和运营成本指标;(9)运行指标:包括运行环境和当地政策等。

2.2.2 技术指标

技术指标是确保远程塔台运行的关键指标^[49],其中包括:(1)可视图像指标:包括图像质量、图像帧数、可视图像可靠性、可视图像适用性、可视图像完整性、可视图像准确性、场面传感器环境保护性能、系统监控及失效检测性能、可视图像在所有情况下捕获和传输闪烁信标图像的能力。(2)网络传输指标:网络带宽、网络延迟、网络稳定性、可视图像从采集到呈现的端到端延迟、环境音频从采集到播放的端到端延迟、语音通信的端到端延迟。(3)远程监视指标:光学传感器采集图像能力、云台查看特定地点和物体的特写镜头能力、光学传感器数量、光学传感器安装位置、光学传感器高度、摄像机特性。

2.2.3 人因工效指标

人因工效学(HFE)评估是指对已有的产品或系统展开评估,常见的评估包括可视性、可达性、舒适性、疲劳、肌肉受力等指标,进而指导当前产品或系统进行完善或指导未来产品或系统的开发^[50]。人因工效学是远程塔台运行的重要评估原则,为提升管制员情景意识感知能力,远程塔台的技术系统和运行环境设计必须符合人因工效学原理^[51]。

(1) 工作环境指标

工作环境指标包括:远程塔台单元(中心)的噪声、温度、湿度、通风、光线等工作环境条件;远程塔台单元(中心)的位置、面积、布局、设备数量等指标^[52]。

(2) 人机交互指标

人机交互指标包括:可视图像屏幕布局,可视图像相比现实的还原度,可视图像覆盖区域,可视图像能否提供流畅、规律和操作上可接受的视觉效果(如呈现移动、闪烁、旋转物体),感知移动物体的性能(加速、减速、方向变化),可视图像能否支持管制员判断目标之间的距离,系统的信息和标牌管理功能,人机交互界面的显示效果(如颜色、亮度、对比度等),系统对身体和精神的疲劳诱发程度,全景视频拼接效果,显示屏与背景的对比度,显示屏布置,远程塔台单元的声学特性。

(3) 管制员指标

管制员指标包括:管制员指标管制员在岗执勤中需要使用脑部思考做预案、眼部监视航空器动态、口部发出管制指令、耳部听取机组通话、手部记录填写进程单等执行管制运行任务,远程塔台设计需要适应管制员脑部、眼部、口部、耳部、手部人因工效学需求^[53]。手部和行为姿态指标:人体

动作、关节角度、扭矩、时空行为、交互行为、呼吸频率、皮电活动、脉搏波^[54];眼部指标:兴趣区关联注视时间(兴趣区持续时间、次数、首次注视时间、总注视时间等)、兴趣区关联扫视时间(兴趣区持续时间、次数、首次扫视时间、总扫视时间等)、瞳孔大小、眨眼次数、眼跳、眼睑闭合度;口部和耳部指标:应答反应时,语义识别:重复(repeat),语义识别:纠正(correct);脑部指标: α (阿尔法)、 β (贝塔)、 θ (西塔)、 δ (德尔塔)波能量功率谱密度时间谱,包括额叶(语言、躯体运动)、顶叶(躯体感觉)、颞叶(听觉)、枕叶(视觉);脑皮层氧合血红蛋白(HbO)和脱氧血红蛋白(HbR)。

管制员工作资质指标包括:管制员的年龄、身体健康情况、工龄、管制员级别、是否接受过远程塔台管制培训等指标。

3 展望与未来

远程塔台是近年来国内民航领域的研究热点,涉及传感器技术、计算机科学、生理心理学、人因工效学等多门学科。远程塔台运营的主要目标是小型、低密度机场(通常是单次运营,很少超过两次同时运行)和偶尔具有中等交通密度(超过两次同时运营)的季节性旅游机场。截至2021年年底,我国境内共有运输机场(不含香港、澳门和台湾地区)248个,旅客吞吐量为90748.3万人次。其中,支线机场219个,旅客吞吐量为26498.5万人次,仅占2021年全国旅客吞吐量的29.8%,这些支线机场目前的业务利润率较低,远程塔台设施将产生较低的维护、人员配备和培训成本,并能够长期运行,从而将机场收入损失降至最低,在我国拥有良好的应用前景。尽管有良好的应用前景,目前我国远程塔台领域还存在大量人因工效指标待验证、缺乏行业内认可度、缺乏合理的规章制度等不足。对此,在运行模式、评估工作及规章制度方面有如下展望:

(1) 在运行模式方面,我国应加速发展单机场远程塔台运行模式,累积远程空中管制经验;推广大型机场远程塔台机坪管制模式;积极开展远程多机场管制试点,增大远程塔台应用比例,探讨远程塔台在多个机场之间灵活管制的可能性,实现我国远程塔台多种运行模式的应用。

(2) 在评估方面,需要细化评估指标,开展人因工效评估工作,用科学的模型确定远程塔台运行绩效和安全绩效相关数据与人因工效评估指标的关联性,建立符合我国远程塔台运行特征的评估指标网;结合定性定量多种方法对我国远程塔台运行综合评估,得出远程塔台的人—机—环境匹配程度及程序设计合理性,确保远程塔台安全、高效的

运行。

(3) 在规章制度发面,需要对原有管制流程进行有目的性的任务切割,对监视信息读取与处理、地空通信接收与发送、电报处理及协调组织等主要管制业务进行系统科学的分割,并将处理流程标准化,建立符合远程塔台中心运行特征及要求的管制任务标准化处理程序。

4 结束语

本文通过文献梳理,对国内外远程塔台评估研究现状进行分析。结果表明,远程塔台管制属于典型的人机交互范畴,需要依据人因工效原理从情景感知和管制效率两个方面进行评估;对国内外远程塔台运行研究发展现状进行了综述与比较,发现我国远程塔台距离国外成熟的应用还有4~5年的距离;阐述了远程塔台功能模块以及运行模式,根据国内外研究和规章制度,提出远程塔台运行三级评估指标体系。评估指标与远程塔台运行绩效和安全绩效的关联性有待深入探索与研究,因此下一步的研究是完善评估指标体系,建立合理完善的评估指标网络和评估模型,推动我国远程塔台运行评估工作。

AST

参考文献

- [1] 中国民用航空局. 远程塔台技术需求(意见征求稿)[S]. 北京: 中国民用航空局, 2021.
CAAC. Technical requirements for remote towers (draft submission) [S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2021. (in Chinese)
- [2] 中国民用航空局. 远程塔台运行评估规范(意见征求稿)[S]. 北京: 中国民用航空局, 2021.
CAAC. Specification for remote tower operation assessment (draft submission) [S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2021. (in Chinese)
- [3] Fürstenau N. Virtual and remote control tower[M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- [4] 张建平, 田小强. 远程塔台运行研究与应用综述[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(24): 9742-9750.
Zhang Jianping, Tian Xiaoqiang. A review on research and application of remote tower operation [J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(24): 9742-9750. (in Chinese)
- [5] Fürstenau N, Mittendorf M, Ellis S R. Remote towers: Videopanorama frame rate requirements derived from visual discrimination of deceleration during simulated aircraft landing [Z]. 2012.
- [6] Schaik F, Roessingh J, Lindqvist G, et al. Assessment of visual cues by tower controllers, with implications for a remote tower control centre[J]. IFAC Proceedings Volumes, 2010, 43(13): 123-128.
- [7] Schaik F V, Roessingh J, Bengtsson J, et al. Advanced remote tower project validation results[J]. IFAC Proceedings Volumes, 2010, 43(13): 135-140.
- [8] Schmidt M, Rudolph M, Werther B, et al. Remote airport tower operation with augmented vision video panorama HMI[C]// Icrat. DLR, 2006.
- [9] Barrowclough O, Briseid S, Muntingh G, et al. Real-time processing of high-resolution video and 3D model-based tracking for remote towers[J]. SN Computer Science, 2020, 1(5): 1-10.
- [10] Aricò P, Reynal M, Di Flumeri G, et al. How neurophysiological measures can be used to enhance the evaluation of remote tower solutions[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2019, 13: 1-10.
- [11] Li W C, Peter K, Graham B, et al. How much is too much on monitoring tasks? Visual scan patterns of single air traffic controller performing multiple remote tower operations[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2018, 67: 135-144.
- [12] Schier S, Walther J, Papenfu A, et al. An approach to support controller workplace design in a multi airport-environment using fast and real time simulations[J]. CEAS Aeronautical Journal, 2011(2): 185-193.
- [13] Christoph M, Anne P, Joern J, et al. The role of workload for work organization in a remote tower control center[J]. Air Traffic Control Quarterly, 2012, 20(1): 5-26.
- [14] Papenfuss A, Friedrich M, Möhlenbrink C, et al. Assessing operational validity of remote tower control in high-fidelity tower simulation[J]. IFAC Proceedings Volumes, 2010, 43(13): 117-122.
- [15] Oliver O, Hartmut H, Shruthi S, et al. Prediction and extraction of tower controller commands for speech recognition applications[J]. Journal of Air Transport Management, 2021, 95(7): 89-102.

- [16] Josefsson B, Polishchuk T, Polishchuk V, et al. Step toward remote tower center deployment: Optimizing staff schedules [J]. *Air Traffic Control Quarterly*, 2019, 27(3):121-130.
- [17] 罗渝川,高婧蕾,刘玉婷,等.国内管制员疲劳检测方法研究现状与展望[J].*中国民航飞行学院学报*,2022,33(1):5-9.
Luo Yuchuan, Gao Jinglei, Liu Yuting, et al. Research status and prospect of fatigue detection methods for domestic controllers[J]. *Journal of China Civil Aviation Flight University*, 2022,33(1):5-9. (in Chinese)
- [18] Peter K, Wen-Chin Li, Zhang Jingyi, et al. Human performance assessment of a single air traffic controller conducting multiple remote tower operations[J]. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*,2020,30(2):1-10.
- [19] 徐国标,侯明利.增强现实技术在远程塔台管制中的应用[J].*中国民航飞行学院学报*,2019,30(2):66-70.
Xu Guobiao, Hou Mingli. Application of augmented reality technology in remote tower control[J]. *Journal of China Civil Aviation Flight University*, 2019,30(2):66-70. (in Chinese)
- [20] 罗文渊,吴敏,张朝腾,等.基于全景增强视频的远程塔台管制技术研究[C]//第一届空中交通管理系统技术学术年会,2018:283-287.
Luo Wenyuan, Wu Min, Zhang Chaoteng, et al. Research on remote tower control technology based on panoramic enhanced video[C]// *The First Annual Conference of Air Traffic Management System Technology*, 2018:283-287. (in Chinese)
- [21] 程擎,唐伟瀚,李彦冬.基于分水岭算法的远程塔台图像拼接技术研究[J].*航空计算技术*,2021,51(5):6-9,14.
Chen Qing, Tang Weihang, Li Yandong. Research on remote tower image mosaic technology based on watershed algorithm [J]. *Aeronautical Computing Technique*, 2021,51(5):6-9, 14. (in Chinese)
- [22] 崔子洋.基于视频MLAT的远程塔台框架设计[C]//探索科学2016年6月学术研讨会,2016:205.
Cui Ziyang. Design of remote tower framework based on video MLAT[C]// *Academic Discussion on Exploration Science in June 2016*,2016:205. (in Chinese)
- [23] 施立瑞,王帅帅,肖昊.面向航空目标检测的神经网络加速器设计[J].*航空科学技术*,2022,33(5):89-96.
Shi Lirun, Wang Shuaishuai, Xiao Hao. Design of neural network accelerator for aeronautical target detection[J]. *Aeronautical Science & Technology*, 2022, 33(5): 89-96. (in Chinese)
- [24] 杨璐,赵昂.基于运动历史图像的远程塔台飞行器跟踪算法[J].*信息技术*,2020,44(12):102-104,110.
Yang Lu, Zhao Ang. Tracking algorithm of remote tower aircraft based on motion history image[J]. *Information Technology*, 2020,44(12):102-104,110. (in Chinese)
- [25] 刘颖,武丁杰,董川.远程塔台全景摄像机的选址[J].*价值工程*,2020,20(35):213-216.
Liu Ying, Wu Dingjie, Dong Chuan. Location of remote tower panoramic camera [J]. *Value Engineering*, 2020, 20(35): 213-216. (in Chinese)
- [26] 程擎,李建锋.基于树莓派的远程塔台技术模拟研究[J].*单片机与嵌入式系统应用*,2018,18(7):15-19.
Chen Qing, Li Jianfeng. Study on remote tower technology simulation based on raspberry Pi[J]. *Microcontrollers & Embedded Systems*, 2018,18(7):15-19.(in Chinese)
- [27] 杨璐,张泽辉.基于微服务架构的远程塔台系统研究[J].*自动化技术与应用*,2020,39(12):73-76.
Yang Lu, Zhang Zehui. Research on remote tower system based on micro service architecture[J]. *Techniques of Automation and Applications*, 2020,39(12):73-76. (in Chinese)
- [28] 刘亚威,李广春,佘庆民,等.视听双通道突显对远程虚拟塔台管制员情境意识的影响研究[J].*民航学报*,2021,5(3):45-50.
Liu Yawei, Li Guangchun, Si Qingmin, et al. Influence of visual and auditory dual channel highlighting on situation awareness of remote virtual tower controllers[J]. *Journal of Civil Aviation*, 2021,5(3):45-50. (in Chinese)
- [29] 徐国标,林泽龙,侯明利.远程虚拟塔台技术[J].*中国科技信息*,2017(20):19.
Xu Guobiao, Lin Zelong, Hou Mingli. Remote and virtual tower technology[J]. *China Science and Technology Information*, 2017(20):19. (in Chinese)
- [30] 徐斌,潘卫军,罗玉明,等.机场远程塔台系统故障模式影响及危害性分析[J].*舰船电子工程*,2022,42(2):115-119.
Xu Bin, Pan Weijun, Luo Yuming, et al. Failure mode effect and criticality analysis of airport remote tower system[J]. *Ship Electronic Engineering*, 2022,42(2):115-119. (in Chinese)
- [31] Pan W, Luo Y, Han S, et al. Summary of reliability analysis methods of remote tower system[J]. *IOP Conference Series:*

- Earth and Environmental Science, 2021, 693(1):12062.
- [32] 朱虹, 杨尚文. SESAR启动15个大型空中交通管理演示项目[J]. 指挥信息系统与技术, 2014, 5(6):90.
- Zhu Hong, Yang Shangwen. SESAR launched 15 large air traffic management demonstration projects[J]. Command Information System and Technology, 2014, 5(6):90. (in Chinese)
- [33] 环球网. 世界首个“无塔台”机场将在欧洲启用[J]. 空运商务, 2019(11):10-11.
- Global Times. The world's first towerless airport will be opened in Europe[J]. Air Transport & Business, 2019(11): 10-11. (in Chinese)
- [34] Kearney P, Li W C. Multiple remote tower for single European sky: The evolution from initial operational concept to regulatory approved implementation[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2018, 116:15-30.
- [35] DFS selects remote tower technology from Frequentis: Saarbrücken will be the first German airport under remote control[Z]. M2 Presswire, 2015.
- [36] 挪威首次成功验证远程管制多机场塔台概念[J]. 空运商务, 2018(6):11.
- Norway successfully verified for the first time the concept of multi-airport tower under remote control[J]. Air Transport & Business, 2018(6):11. (in Chinese)
- [37] Brazil implements South America's first remote air traffic control tower with FREQUENTIS: Frequentis installs remote tower technology for Santa Cruz Airbase in Brazil[Z]. M2 Presswire, 2019.
- [38] Broadbent M. Remote tower[J]. Air International, 2019, 97(1):97.
- [39] Denmark's NaviAir to tackle airspace efficiency and service provision with integrated remote tower and approach centre from Frequentis DFS Aerosense: Frequentis remote tower has already been selected by seven countries worldwide[Z]. M2 Presswire, 2020.
- [40] Craig H. RAF to trial digital tower technology Saab[Z]. UK, Craig H, 2020.
- [41] 中国民用航空局. IB-TM-2015-002 中国民航航空系统组块升级(ASBU)发展与实施策略[S]. 北京: 中国民用航空局, 2015.
- CAAC. IB-TM-2015-002 The development and implementation strategy of aviation system block upgrades (ASBU) in China[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2015. (in Chinese)
- [42] 鲁彦, 王义建. 通用机场远程塔台运行管理模式探析: 以建德机场远程塔台项目为例[J]. 民航管理, 2021(6):54-57.
- Lu Yan, Wang Yijian. Analysis on the management model of remote tower operation at general airports[J]. Civil Aviation Management, 2021(6):54-57. (in Chinese)
- [43] 余超. 新技术助力新疆机场探索中小机场空管岗位运行新模式[J]. 空运商务, 2020(6):45-46.
- Yu Chao. The new technology helps Xinjiang Airport to explore a new operation mode of air traffic control posts in small and medium-sized airports[J]. Air Transport & Business, 2020(6):45-46. (in Chinese)
- [44] 辛慰, 朱聃, 董若屿. 对安徽空域布局改造计划的实践与思考[J]. 民航管理, 2021(1):85-87.
- Xin Wei, Zhu Dan, Dong Ruoyu. Practice and reflection on the reconstruction plan of Anhui airspace layout[J]. Civil Aviation Management, 2021(1):85-87. (in Chinese)
- [45] 李群, 李俊桥. 关于延长民航管制人员职业生涯的探讨研究[J]. 民航管理, 2021(9):83-87.
- Li Qun, Li Junqiao. A study on extending the career of air traffic controllers[J]. Civil Aviation Management, 2021(9):83-87. (in Chinese)
- [46] 民航管理编辑部. 推进机坪管制运行工作研讨会在广州召开[J]. 民航管理, 2019(8):33.
- Civil Aviation Management Editorial Department. Workshop on control operation of propeller floor held in Guangzhou[J]. Civil Aviation Management, 2019(8):33. (in Chinese)
- [47] 张永丽, 余正宁. 远程塔台应用发展分析[J]. 民航学报, 2022, 6(2):66-70.
- Zhang Yongli, Yu Zhengning. Analysis on the application of remote tower system[J]. Journal of Civil Aviation, 2022, 6(2): 66-70. (in Chinese)
- [48] 张建平, 项悦, 张平, 等. 欧洲远程塔台运行概念及技术要求对我国的启示[J]. 航空计算技术, 2018, 48(6):122-126.
- Zhang Jianping, Xiang Yue, Zhang Ping, et al. Enlightenment of European remote tower operation concept and technical requirements for China[J]. Aeronautical Computing Technique, 2018, 48(6):122-126. (in Chinese)
- [49] Jakobi J. EUROCAE Industrial Standardisation - Minimum

- aviation system performance specifications for remote tower optical systems (WG100/ED240A) [C]// Digital Aerodrome Towers, 2018.
- [50] 周鑫,李淑玲,郑靖越,等.人因与工效学仿真及评价软件的文献分析[J].人类工效学,2020,26(6):61-65.
Zhou Xin, Li Shuling, Zheng Jingyue, et al. Literature analysis of human factors and ergonomics simulation and evaluation software[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2020,26(6):61-65. (in Chinese)
- [51] EASA. Guidance material on remote aerodrome air traffic services: ED Decision 2019/004/R[S]. Berlin: EASA, 2019.
- [52] 魏开明. 浅谈远程塔台及远程塔台中心[J]. 科学与信息化, 2021(13):1.
- Wei Kaiming. Discussion on remote tower and remote tower center[J]. Technology and Information, 2021(13): 1. (in Chinese)
- [53] 蒋浩,高鑫.人因工程在无人机中的应用及展望[J].航空科学技术,2019,30(5):9-13.
Jiang Hao,Gao Xin. Application and prospect of human factor engineering in unmanned aerial vehicle[J]. Aeronautical Science & Technology, 2019,30(5):9-13. (in Chinese)
- [54] Manghisi V M, Uva A E, Fiorentino M, et al. Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor[J]. Applied Ergonomics, 2017,10:481-491.

Review on Evaluation of Remote Tower Operation

Huang Tao¹, Zhang Chao²

1. General Aviation Industry Development Research Center, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China

2. Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China

Abstract: The remote tower replaces on-site visual observation with remote monitoring information. It provides an alternative to traditional towers for small and medium-sized airports with low passenger flow and high duty costs. This paper systematically introduced the current status of remote tower operation assessment research. There are two main types of assessment: situational awareness assessment and operation efficiency assessment. It reviews and summarizes the current status of remote tower development. It also describes the remote tower function module and operation mode. Through an overview of the current situation, the research and development of remote tower assessment in China is at a follow-on stage compared to foreign countries, so a large number of human factors ergonomics indicators are yet to be studied and verified. This paper proposed a three-level evaluation index system for remote tower operation to provide scientific support for remote tower evaluation in China. Finally, this paper points out the development direction of remote towers in China. It provides some reference for future research on remote towers in China.

Key Words: remote tower operation; evaluation index; human factors and ergonomics; human-computer interaction interface; development direction