

# 1 概述

国际民航组织（ICAO）和管制员协会国际联合会（IFATCA）将空中交通管制员疲劳描述成一种状态，具体指管制员精神或身体的表现能力下降，生理状态处于睡眠损失或导致延长觉醒状态，或由于工作量（精神和/或身体活动）和倒班时差而影响主观活动的状态，即管制员的警觉性和执行安全相关职责的能力降低的一种状态。

## 1.1 研究背景及意义

### 1.1.1 国际背景

全球经济一体化进程的加快，世界各地的交流往来日益频繁，驱动着民航业高速发展。但在航空运行活动中，睡眠缺失、生物节律紊乱所导致的从业人员疲劳问题已成为影响航空安全的重大因素之一。美国国家运输安全委员会（National Transportation Safety Board, NTSB）的报告指出，在商业航空运营中，由疲劳所引发的人为差错比例约为 15%~20%<sup>[1]</sup>。美国联邦航空局（Federal Aviation Administration, FAA）的一项关于管制员疲劳的调查结果表明，约 80%的管制员在执行管制任务时感觉到疲劳，其中甚至有 20%的管制员一直存在疲劳感<sup>[2]</sup>。英国航空安全自愿报告系统的数据表明，直接与管制员疲劳相关的运行差错约占 13%<sup>[3]</sup>。2006 年，由于管制员疲劳造成国外某机场接连发生两起严重的跑道侵入事件<sup>[4]</sup>。2016 年，ICAO 在蒙特利尔召开了疲劳风险管理制度论坛会议以及旨在“从驾驶舱向空管单位的演变”的专题研讨会，提出各国应加强对空管人员疲劳问题的研究。同年，ICAO 发布的《空中交通服务人员疲劳管理指南》，对管制员疲劳问题进行了深入分析，提供了管制员疲劳管理的实施流程和管理规范等<sup>[5]</sup>。2017 年，ICAO 修改了《国际民用航空公约》附件 11，加入了管制员疲劳问题防范的国际标准和建

议措施，预计于 2020 年生效实施。

根据美国 FAA 的统计数据，大约有 21% 的航空器事故与管制工作人员疲劳存在直接或间接的关系；美国新闻媒体报道，仅 2011 年前四个月，美国就发生了至少 7 起管制员睡岗的事件；英国安全报告系统（CHIRP）的数据显示，13% 的运行差错直接与管制员的疲劳有关。民航空中交通管制员担负着防止航空器相撞、保障空中交通畅通的使命。管制工作在民航事业快速发展的今天，已经变得越来越重要了。随着我国航班基数的不断增加，因管制员疲劳引发的空中交通不安全事件的数量也越来越明显。因此，我们很有必要对管制员的疲劳因素进行研究，以求对管制工作有所帮助，保障航班安全、正常的运行。

### 1.1.2 国内背景

随着我国经济的高速发展，航空业已成为经济发展的支柱性行业。就运输航空而言，整体发展趋势持续向好。资料显示，2017 年，全行业的运输总周转量达到 1 083.1 亿吨千米，同比增长 12.5%<sup>[6]</sup>。空管保障架次每年都以 10% 的速度增长，大流量、高密度的管制工作带来的影响是管制员疲劳问题日益凸显，疲劳所引发的风险呈现逐年上升的趋势。我国某地区空管安全报告系统数据显示，在空管不安全事件中与管制员疲劳相关的工作差错约占 18%<sup>[7]</sup>。

2013 年，民航局空管局下发了“防范管制员疲劳的风险通告”（ATMB-2013-02），介绍了管制员疲劳对民航运行安全所造成的严重威胁以及疲劳缓解方法<sup>[8]</sup>。2017 年 1 月，民航局下发了“民航管制员疲劳管理参考学习资料”（IB-TM-2017-01），要求各管制运行单位加强对管制员疲劳的管理和研究<sup>[9]</sup>。

管制员疲劳现象已成为我国空管行业重点关注的问题，疲劳所导致的管制员警觉性减弱、工作效能降低、“睡岗”、“暂时性失能”、“错忘漏”等问题都对航空器的安全运行造成了严重的威胁。例如 2008 年 10 月，华东地区某管制员在值班期间因睡岗导致飞行冲突。又如 2014 年 7 月，中南地区某两名管制员在执勤期间睡岗，导致某航班复飞。管制员疲劳已成为导致空管不安全事件发生的一个极大危险源，因此如何有效识别管制员的疲劳状态，评估管制员的疲劳风险等级，防控管制员的疲劳风险，在很大程度上影响着我国民航业的持续稳定发展。

### 1.1.3 研究意义

国内在管制员疲劳方面的研究正处于发展阶段，但目前对管制员疲劳状态量化测评的方法和疲劳风险定量评估的技术的研究较少，没有建立管制员疲劳程度和所导致的疲劳风险等级之间的科学联系，缺乏疲劳风险概率评估模型及算法等。总体来说，国内对于管制员疲劳定量研究的方法和理论还有待进一步丰富。

作为保障空中交通安全的管制部门，承担着促进空中交通安全、维护空中交通秩序以及保障空中交通畅通的重要使命。保持清醒的头脑和充沛的精力，具有良好的精神和身体状态，是空中交通管制员完成这一使命的前提。随着飞行流量持续高速增加，自动化程度不断提高和空管国际一体化进程加快，管制员工作负荷不断增加，以及当前空域及体制相关问题的制约，我国空管行业管制员疲劳问题带来的风险将会进入高压期。各种因素会造成管制员疲劳，导致其工作能力下降，产生注意力不集中、遗忘动态、应急处置能力下降甚至睡岗等不安全因素，从而威胁空管安全运行。正确有效地对管制员疲劳问题进行辨识与防范，对管制员疲劳致因机理进行深入挖掘，制定专门针对管制员疲劳问题的风险管理制度与预防措施，建立实施管制员疲劳风险管控体系，有效控制风险不仅成为必然选择，而且成为紧迫任务。因此，国内必须加强对管制员疲劳产生机理以及疲劳问题构成的研究，通过提出防控措施以促使空中交通管制员正确执行管制工作，保障飞行安全，促进国内民航事业的蓬勃发展。

## 1.2 国内航空疲劳管理现状

在空管安全人的因素领域，疲劳是一个重要研究方向，许多研究人员已在管制员疲劳研究方面取得了一定的成果，但大多数研究主要集中在疲劳致因分析、疲劳定性测量以及依靠传统风险评估技术对疲劳风险进行定性评估上。具体研究现状如下：

2005年，李京利和邹国良提出了管制员疲劳是空管不安全事件的间接诱发因素，疲劳能造成各种形式的工作效能下降，从而导致事故和不安全事件的发生<sup>[24]</sup>。2007年，丁松滨、石荣利用D-S证据理论构建了管制员风险评价指标体系，根据证据融合算法建立了管制员风险评价模型，通过仿真得到了管制员风险评价综合可信度分配表，结果表明该方法能很好地解决风险评

价过程中的不确定性问题<sup>[25]</sup>。2011年,杨智、罗帆针对管制员工作差错所造成的风险类型,基于粗糙集和BP神经网络的原理,构建了风险预警指标体系和实时预警模型,仿真结果表明该模型能够有效地预警管制员的工作差错风险<sup>[26]</sup>。2013年,汪磊、孙瑞山提出了运用面部基本特征对管制员疲劳进行实时监测的方法,构建了管制员疲劳状态监测模型并进行了实例验证,结果表明该方法在一定程度上能够有效地监测管制员的疲劳状态<sup>[27]</sup>。

2014年,袁乐平、孙瑞山等基于DORATASK方法对管制员的工作负荷进行了测量,将雷达管制操作时间和航空器架次作为输入指标,建立了管制员工作负荷测量模型,实例计算结果显示,该方法能准确地评估管制员的工作负荷<sup>[28]</sup>。高扬等通过分析管制运行设备的人机交互界面以及管制工作的特点,建立了基于云模型和模糊评价法的管制员岗位工效学评价体系,为管制员人因差错的研究提供了理论依据<sup>[29]</sup>。2016年,吴锋广基于SHEL模型分析了管制员疲劳影响因素,建立了管制员疲劳致因关系网络图,运用DEMATEL法修正了通过AHP法所确定的各影响因素的初始权重值,构建了基于组合权重的管制员疲劳灰色关联评价模型<sup>[30]</sup>。

2017年,Y. Zhao等利用贝叶斯网络模型对管制员的人因差错进行风险评估,研究结果显示,管制员发布错误指令与交流异常存在75%的相关性<sup>[31]</sup>。孙瑞山、马广福分析了管制员语音反应时与疲劳度之间的关系,结果表明管制员在正常情况下,其反应时呈正态分布,当管制员处于疲劳状态时,其反应时稳定性降低,甚至不再服从正态分布<sup>[32]</sup>。马广福通过对管制员的反应时间和自评量表分值进行建模,构建了一种嵌入式的疲劳风险测量方法。研究显示,该方法能有效地识别管制员的疲劳状态,实时测量管制员的疲劳风险<sup>[33]</sup>。

因此,正确地对管制员疲劳机理进行挖掘分析,研究针对我国管制员疲劳的监测方法和疲劳管理制度,加强管制员疲劳的高效识别与防范,对提高我国空管行业安全管理水平至关重要。

但是,我国对于管制员疲劳管理方面的研究与应用还处于初级阶段,与大部分国家一样,基本上都是参考ICAO的标准与建议,在规章中以规定工作时段的形式加以约束,无法客观反映管制员真实疲劳状况。

### 1.3 国外航空疲劳管理现状

2008年以来,ICAO和一些民航发达国家对飞行人员的疲劳管理研究取

得了长足进步。

2011年6月，国际民航组织（ICAO）颁布了“疲劳风险管理制度”的建议措施，要求航空公司运营人贯彻实施和监管机构实行监督。

2011年7月，ICAO、国际航空运输协会（IATA）和国际民用航空器所有者及驾驶员协会（IAOPA）共同发布了一份类似于监管机构指导手册的《商业航空公司运营人疲劳风险管理制度实施指南》。

2016年4月，ICAO在蒙特利尔召开了“疲劳风险管理制度论坛会议”以及旨在“从驾驶舱向空管单位的演变”的专题研讨会，对空管单位疲劳管理的关注度日益提高。

2016年，ICAO正式发布了《疲劳管理办法——监管手册（第二版，Doc 9966）》（曾于2012年发布《疲劳风险管理系统——监管机构手册（第一版，Doc 9966）》）。

2016年，ICAO发布的《空中交通服务人员疲劳管理指南》，旨在对空中交通服务人员的疲劳管理提供专门的指导。该指南说明了管制员疲劳的定义以及从工作负荷、生理、心理因素等方面分析管制员疲劳产生的原因，对疲劳产生的有关危害进行识别、分析，对管制员疲劳机理进行阐述，根据相关安全管理文件提出管制员疲劳管理的纲要参考。

目前，ICAO修订了《国际民用航空公约》附件11，加入了预防管制员疲劳的国际标准和建议措施，预计于2020年生效实施。

国外航空发达国家对民航从业人员的疲劳较早地进行了系统研究。如：

2009年，美国联邦航空管理局和交通部在芝加哥奥黑尔国际机场空中交通控制塔、芝加哥航路交通管制中心、芝加哥终端雷达控制中心的审计报告中阐述了轮班制度、工作时间、人员配备水平、工作负荷（交通量与复杂性）在职培训等管制员疲劳潜在的影响因素，并提出了相关缓解措施。

美国联邦航空局（FAA）开发的空中交通负荷输入技术（Air Traffic Workload Input Technique，ATWIT）是一种在标准时段内测量主观工作负荷的仿真技术。

FAA对美国国家运输、睡眠等因素引起的疲劳进行了详细分析，在对历年由管制员疲劳因素引起的航空安全报告“管制员疲劳对航空安全的威胁”中，对管制员在工作中排班、工作负荷不安全事件的基础上进行了分析，阐述了管制员疲劳的含义，分析了引起管制员疲劳的诸多因素，重点提出了对应措施，有效地管理疲劳，从而避免因管制员疲劳问题导致安全隐患，不断完善空中交通安全系统，保障飞行安全。

美国国家航空航天局（NASA）在美国宇航局对管制员疲劳的评估报告

中，美国联邦航空局通过开发疲劳风险管理系统，计划制定疲劳风险缓解策略。基于疲劳因素调查和管制员睡眠研究，对各个地区不同工作状态的管制员进行个人在线疲劳调查，疲劳因素的网络调查是对整个 ATC 劳动力和可用领域的一项研究，通过对不同睡眠质量下管制员的工作能力、工作状态、疲劳强度的评估分析，制订出合理的工作计划与排班方案。

NASA 开发了一套 NASA-TLX ( National Aeronautics and Space Administration-Task Load Index ) 量表。它是一种多维脑力负荷评价量表，以六个维度等级的平均权重为基础，即脑力需求 ( Mental Demand )、体力需求 ( Physical Demand )、时间需求 ( Temporal Demand )、业绩水平 ( Performance )、努力程度 ( Effort ) 和受挫程度 ( Frustration )。其中，脑力需求指管制员执行工作时观察、思考、决策的脑力需求；体力需求指管制过程中管制员所需消耗的身体能量；时间需求指管制员工作过程中所承受的时间压力；业绩水平指管制员对自己在管制工作过程中的能力表现的满意程度；努力程度指管制员在管制时为了达到自己的能力水平所做的努力 ( 精神和身体上的 )；受挫程度指管制员在管制过程中是感到安全和放松还是感到有压力。

加拿大航空业建立了适合本国的疲劳风险管理系统 ( Fatigue Risk Management System , FRMS )，其疲劳监测工具提供了评定员工睡眠时间是否充足的方法，但系统核心主要还是从员工工作负荷角度进行疲劳监测。

南澳大利亚大学睡眠研究中心和 Inter Dynamics 公司共同研发了一套疲劳监测软件 ( Fatigue Audit Inter Dyne Software , FAID )，通过执勤时间、睡眠时间、身体恢复能力等指标评定管制员疲劳指数；与此同时，FAID 被确定是目前最适合用于空中交通服务需求的疲劳管理软件，澳大利亚也将此款软件用于本国空管疲劳的监察、审计以及建立相应的疲劳风险管理系统的硬件设施部分。

新西兰的疲劳风险管理系统 ( FRMS ) 主要包括疲劳风险管理政策、疲劳管理委员会以及教育/训练程序这三部分。其中疲劳管理委员会制定并且更新相关的疲劳风险管理政策，指导进行培训教育。在疲劳风险管理系统中，疲劳管理委员会收集来自他人的与疲劳相关的事故征候报告、自愿疲劳报告、内部审计报告以及其他与疲劳相关的机组报告，同时还收集自己发起的这样一些信息：计划与实际工作的不同、值班模式、疲劳数据、客观飞行数据、监测未计划事件以及旷工追踪等。综合分析这些数据后，可以监测疲劳信息，了解趋势，制定并实施一些缓解疲劳的措施。对于不同的组织机构，其具体的疲劳风险管理系统不一样；对于同一个组织机构中的不同工作人员，其相应的疲劳风险管理系统也不一样。

欧洲一些研究人员提出，通过分析被测人员五方面的生理指数（皮肤电压、皮肤导电率、皮肤血流量、体温、即时心律），获取管制人员生理和心理状况，进而获得管制员工作负荷。

疲劳管理是一种基于科学原则、以数据驱动的管理方法，对特定运行活动类型有关的疲劳进行管理。虽然目前该制度主要针对的是驾驶舱和客舱机组人员，但 ICAO 希望将其广泛用于所有关键航空安全人员，如空中交通管制员和维修人员。

## 1.4 国内外管制员疲劳管理存在的问题

当前我国民航行业对管制员的疲劳研究、管理方面还存在以下问题：

（1）主流的管制员疲劳研究主要将管制疲劳单一地归结于管制员的工作量负荷，包括管制空域内的飞机架次和飞行冲突，忽略了管制工作的人机界面、工作环境及组织管理等外在影响因素，缺乏对班组搭配、工作程序、工作环境等方面寻求降低空中交通管制工作负荷的方法。

（2）对管制员进行生理和行为指标的测量不失为评估管制工作负荷的有效手段，在一定程度上，测量几个关键的生理和行为指标能够合理地反映管制员工作负荷水平。但人体是一个复杂的系统，众多的生理和行为指标的重要程度难以精确估量，指标之间的关联性也决定了指标的选择难度较大。当然在测量技术的手段和方法的正确性方面也存在很大的质疑，需要涉及心理学、医学等其他学科和理论方法，这使得该方面的研究更加难以深入。

（3）缺乏对管制员疲劳内在人因机理的深入挖掘，在管制效能层面中并未分解管制员在空管运行当中的人因可靠性行为，人的每个关键行为与工作负荷的研究尚需建立关联性。

（4）缺乏对管制员疲劳人体生化机理的研究，疲劳是人体由完全活跃、精力充沛到完全静息即睡眠过程中一个接近睡眠前的状态，人体生化机理研究将有助于理解疲劳生理和行为变化，并可为疲劳识别提供客观的生化指标。

（5）缺乏针对管制员疲劳问题的有效的管理制度与预防措施，缺乏科学的疲劳管理方法，管控措施比较传统和单一，不能预先识别管制疲劳风险继而预防不安全事件；没有建立系统的、高效的管制疲劳管控体系，由管制负荷带来的危险源预防还处于发展阶段，安全监督与审查机制也需要明

确和完善。

## 1.5 小 结

在我国民航运输业高速发展的今天，持续增长的空中交通流量使得管制员工作负荷不断增加，对空域运行效率及飞行安全带来不利影响，对于某些特殊机场和繁忙空域，高强度的管制工作负荷、管制员不规律的生活方式以及管制工作的特殊环境导致的管制员疲劳风险隐患不容忽视。如何正确识别管制员疲劳，分析管制员疲劳产生的机理和致因，做好预防和缓解疲劳的措施，对我国民航空管安全、高效、持续的发展将产生很大影响。本章在分析国内外航空疲劳管理现状的基础上，提出了管制员疲劳管理存在的问题，引出了本书后续论述内容。



