文章编号:1674-8190(2025)06-041-12

未来智能辅助飞行下大型民用飞机运行规章适用性分析

王文超[1],赖新[1],王婧婧[1],汪磊[2]
(1.中国民航大学 安全科学与工程学院,天津 300300)
(2.中国民航大学 研究生院,天津 300300)

摘 要: 规章修订作为民航规范化管理中的一项关键任务,其过程涉及同技术相发展的修订评估方法以及完备的修订策略。在系统梳理我国现行智能辅助飞行相关法律法规的基础上,对面向未来智能辅助飞行的运行规章进行分析;基于智能辅助飞行合理发展的需求,提出一种以奥斯本检核表法为主的适用性分析方法,并在CCAR-91部与CCAR-121部中分别应用;通过对相关规章修订策略的深入探讨,给出一条协同修订策略,并提出一些修订建议。结果表明:本文提出的适用性分析方法以及修订策略能够有效得到适用性分析结果,为面向未来的民航规章修订工作提供了理论依据。

关键词: 智能辅助飞行;运行规章;适用性分析;修订策略;修订建议
中图分类号: V323; V243 **文献标识码:** A
DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2025.06.05

Applicability analysis of operation regulations of large civil aircraft under intelligent assisted flight in the future

WANG Wenchao[1], LAI Xin[1], WANG Jingjing[1], WANG Lei[2]
(1. College of Safety Science and Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)
(2. Graduate School, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: Revising regulations, as a key task in standardizing civil aviation, its process involves a technologically developed revision assessment methodology and a well-developed revision strategy. Based on systematically combing domestic existing laws and regulations related to intelligent assisted flight (IAF), a basic analysis of future-oriented IAF′s operation regulations is carried out; Based on the demand for rational development of intelligent assisted flight, an applicability analysis method based on the Osborne checklist method is proposed and applied in CCAR-91 and CCAR-121. After an in-depth discussion on the revision strategy of the relevant regulations, a collaborative revision strategy is given and some revision proposals are made. The results show that the applicability analysis method and revision strategy established in this paper can effectively obtain the applicability analysis results, and can provide a theoretical basis for the revision of civil aviation regulations for the future.

Key words: intelligent assisted flight; operational regulation; applicability analysis; revision strategy; revision proposal

收稿日期: 2024-05-17; **修回日期:** 2024-08-11
基金项目: 中央高校基本科研业务费自然科学重点项目(3122024053); 工信部民机专项(MJZ1-6N22)
通信作者: 赖新(1999—),女,硕士研究生。E-mail: xlai0920@163.com
引用格式: 王文超,赖新,王婧婧,等. 未来智能辅助飞行下大型民用飞机运行规章适用性分析[J]. 航空工程进展, 2025, 16(6): 41-52.
WANG Wenchao, LAI Xin, WANG Jingjing, et al. Applicability analysis of operation regulations of large civil aircraft under intelligent assisted flight in the future[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2025, 16(6): 41-52. (in Chinese)

0 引 言

智能技术的快速发展不仅为社会经济发展带来了新引擎，同时也为商用飞机的发展带来了新的际遇，其正在改变着商用飞机驾驶模式的设计、操作、安全等，并引领飞行规则、飞行员资质等方面深层次的变化。基于人工智能的辅助飞行技术通过对飞机传感器的信息进行分析和融合[1]，将数据信息变换为事实信息，经过适当的推理决策出合理的方案，并随着飞行次数的增加，可以不断自主更新决策数据库和完善决策方法的技术[2]，帮助飞行员进行信息管理和飞行控制[3]，减少飞行员的工作负荷[4]，从而提高飞行安全[5]。在智能辅助飞行技术方面，欧洲航空安全局(European Union Aviation Safety Agency，EASA)在20世纪80年代的“自由飞行”愿景中提到“始终将推进安全自主化航空器作为战略重点”[6]，并开展了人工智能适航论等方面的研究[7]；美国开展了智能助手项目(Piliot′s Associate，PA)的研究工作[8]；美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration，NASA)与联邦航空局和其他相关机构协商，计划首先将单一飞行员驾驶(Single Pilot Operations，SPO)应用于商业航空货运，并开发地面站设备和驾驶舱技术，以支持智能辅助飞行的目标[9]。近年来，我国也开展了一些智能辅助飞行技术的研究，例如，将其广泛应用于军用航空领域[10-11]、民用航空领域[12]、无人机领域[13]和通用航空等领域[14-19]。其中，在商用航空领域中，对于辅助飞行模式下SPO的研究主要集中在概念设计[20]、人机功能分配[21]、驾驶模式设计[22]、工作负荷[23-24]、组织架构[25]等方面，将为航空技术的发展翻开新的篇章，不仅预示着飞行员角色的变化，也对航空法律法规提出了新的要求。

中国正通过强化民航规章制定与完善等任务，致力于2035年基本建成民航强国的目标[26]。除此之外，国内外研究者和研究机构对民航法律法规进行了数次的修订[27-28]，以适应技术的发展。因此，有必要对现行的运行规章进行优化以适应新的技术模式和民主法治建设的需要。为了解决这一问题，本文从智能技术对民航工作的影响入手，分析现行大型民用飞机运行规章对未来智能辅助飞行技术的适用性，针对大型民用飞机运行规章中与智能辅助飞行模式中相冲突的部分进行讨论，提出一种以奥斯本检核表法为主的适用性分析方法，识别现有规章中存在的缺陷和改进空间，并对其提出具体的修订建议，以推动规章的更新和完善。

1 智能技术发展对民航运行规章的影响

1.1 智能技术在民航发展中的应用进展

我国在2022年《交通领域科技创新中长期发展规划纲要(2021—2035)》中提出了关于我国民航业的中长期发展规划，提出需要促进我国交通装备运行的智能化，并构建高质量的技术标准和法规体系[29]。另外，基于NASA的《航空战略实施规划》[6]和EASA的《人工智能路线图》[7]发展智慧民航技术中对未来空地协同体系演化趋势的判断，中国企业也提出了“有人监督模式下的大型客机自主飞行技术研究”技术指南[30-31]，总结智能飞行愿景历程为从辅助到增强，最终到达完全智能的3个阶段，如图1所示。

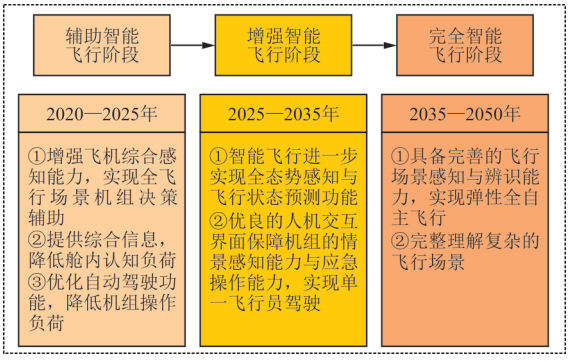

图1 智能飞行技术愿景

Fig. 1 The vision of intelligent flight technology

综上所述，根据民航科技规划，未来的发展趋势包括信息的可视化、智能化和信息交互等方面的创新。在面向民用飞机全生命周期的各种智能技术融合应用中，智能飞行致力于改变传统的飞行模式。因此，未来的运行规章将不可避免地涉及到对智能技术在飞行操作中的应用和监管。同时，也预示着运行规章需要适应这些技术的融合和应用，以适应技术进步和行业发展的需求。为了确保飞行安全以及促进航空业的智能化转型，民航管理体制机制有待健全，面向未来的智能辅助飞行模式下的现行运行规章需要逐步修订及完善。

1.2　智能技术对民用飞机合规运行的影响分析

民用飞机的运行工作涵盖了民用航空运输系统中的各项活动,智能技术对民用飞机运行的影响主要在飞行工作方式、飞行员职能、飞行安全和工作负荷4个方面,如图2所示。

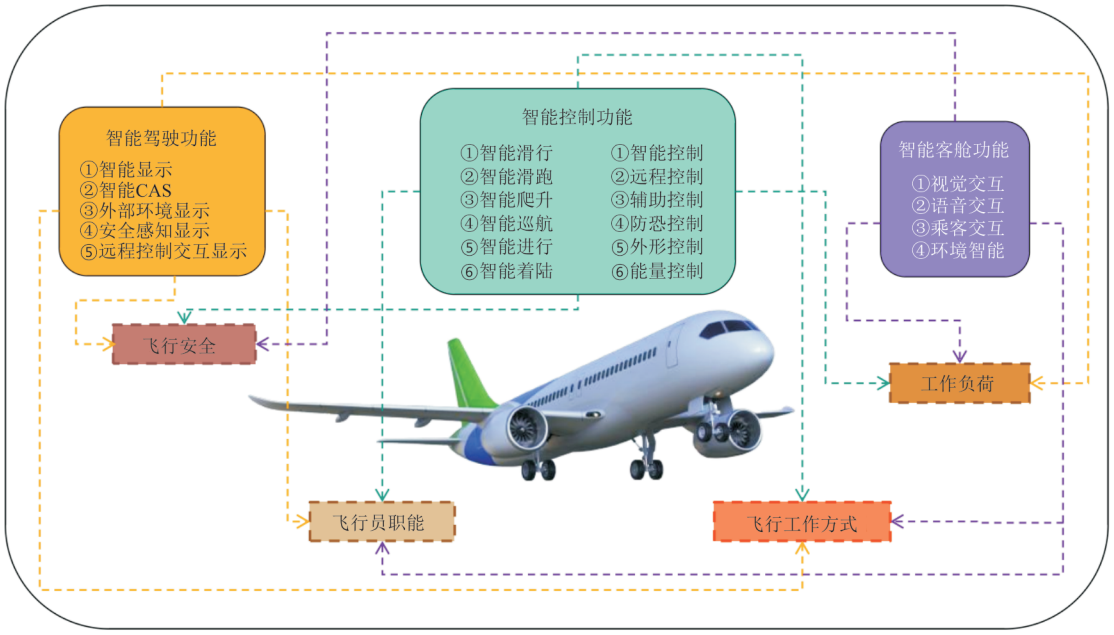

图2　智能技术对民航运行工作的影响

Fig. 2　The influence of intelligent technology on the operation of civil aviation

1)对飞行工作方式的影响

人工智能使飞行工作转变为以人为中心,扩展了现有自动驾驶能力的辅助驾驶技术,增加了对飞行员决策能力的辅助技术,可针对突发情况进行预警提示。智能辅助技术的引入也可以帮助人们进行地理测绘、物流运输、电力巡线、农业除虫等工作,利用其特有的优势,减少对工作人员的依靠,大幅降低成本[32]。另外,将人工智能运用在自动化飞行技术上使飞行器自主完成复杂操作,使驾驶人员专注于飞行策略和任务[33],使传统驾驶员的工作方式发生改变。因此,从现有运行规则考虑,对于CCAR-121部[34]、CCAR-91部[35]中机组人员工作内容、对机组人员以及其他航空人员的要求、机组成员合格要求章节与现有规章相冲突,存在不适用性,需要加以完善。

2)对飞行员职能的影响

飞行驾驶员从传统的双乘模式转变到单人驾驶模式,副驾驶的工作逐步被智能辅助系统所取代,这使机长需要承担监控飞行员的部分任务,而剩余部分职责将分配给自动飞行辅助驾驶系统或地面辅助驾驶员。飞行员的主要职责逐步转变为监督角色,仅在必要的情况下进行干预[36]。飞行员的职责发生变化,这也改变了飞行员所需要的技能[37]。不同操作下的人机交互如图3所示。

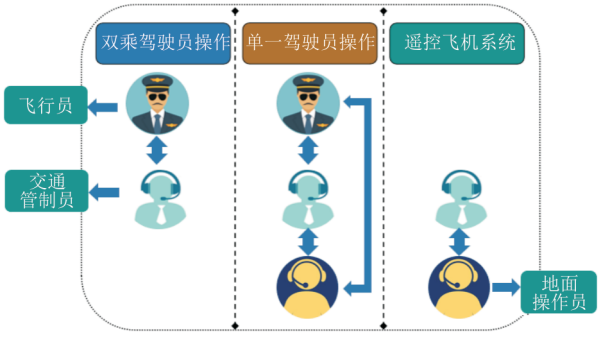

图3　不同操作下的人机交互

Fig. 3　Human-computer interaction under different operations

另外，随着大型民用飞机、重型直升机、智能化通用航空器、智能客舱等的研发[29]，飞行员还要学习相应的操作和维护过程，以适应新的工作系统以及工作环境。

因此，随着智能技术的发展，交互方式以及驾驶人数发生改变，而机组人员的角色需要随人机界面以及交互方式相应发展，这必然会引起飞行员工作职责以及驾驶模式的变化。因此，从运行规则角度考虑，对于CCAR-121部[34]、CCAR-91部[35]有关机组人员工作职责以及驾驶模式的部分应给予修订。

3）对飞行安全的影响

智能辅助飞行技术可以通过对飞行数据的提取和分析，为飞行员提供切实有效的飞行建议，以保障飞行安全。例如，美国国家航空航天局（NASA）和罗克韦尔国际公司率先提出机上“飞行员＋辅助飞行系统＋地面辅助驾驶员”的单一飞行员驾驶（SPO）解决方案[38-39]，其中，SPO可以减少驾驶舱资源配置，降低飞行员的决策冲突，提高飞行安全[18]。然而，这种飞行模式对飞行员的认知能力有更高的要求[40]，若飞行员的认知能力达不到条件，将对飞行员完成飞行工作产生不利影响。另外，在空中交通管理中，利用人工智能辅助技术可以帮助飞行员完成空中飞行任务，避免工作人员的失误，对飞行工作的顺利进行起到积极的作用[41]；在关键任务阶段增加自动故障检测辅助飞行技术[42]，智能反射面通信技术[43]可以减少设备、财产和环境的严重损失，甚至人员的死亡，提高飞行的安全性和可靠性。因此，从现有运行规则考虑，CCAR-121部、CCAR-91部有关智能技术合规要求方面应给予修订。

4）对工作负荷的影响

有研究表明，先进的自动化系统可以提高机组人员的工作效率，但同时也有可能增加飞行员的工作负荷[44]。从安全性以及以人为本的角度来看，在SPO模式下，由1名飞行员完成当前2名飞行员的驾驶任务，增加了飞行员的工作负荷，因此对飞行员的认知负荷提出了更高的要求。汪磊等[45]模拟了SPO情景中飞行员的脑力负荷，并对其进行测量和分析，研究结果表明单人制驾驶舱的任务设计及智能辅助系统使用对于降低飞行员的工作负荷及提升飞行绩效至关重要。另外，在空中交通管理中，依靠人工智能辅助性数据以及决策系统可以使航空资源得到合理的分配，能够减少空管人员的工作负荷[33]。还有研究表明，目前的智能驾驶舱可以进一步改善飞行员的工作环境，降低飞行员的工作负担，提高飞行的安全性[46]。

因此，智能技术的发展势必会对飞行员的工作负荷产生影响。有必要对CCAR-121部、CCAR-91部中的人机分配工作以及排班方式问题进行探讨、修订。

2 智能辅助飞行模式运行规章适用性分析

2.1 适用性分析路线设计与实施

首先，分析智能辅助飞行模式对飞行工作的影响；其次，选择CCAR-121部、CCAR-91部作为主要研究对象，剖析其在智能辅助飞行模式下存在的关键问题，并对CCAR-121部和CCAR-91部的主要章节内容进行适用性分析；最后，制定修订策略并提出修订建议[47]，适用性分析路线如图4所示。

在选择适用性分析方法方面，通过对2004—2024年的法律法规的适用性分析方法进行数据统计，发现法律法规的修订以及适用性分析通常采用文义解释法、德尔菲法、政策分析法、语义分析法、归纳推理法等，如图5所示。然而，单一的方法难以全面、深刻地分析法律法规的适用性。因此，定义“1＋2”的分析方法，其含义为以奥斯本检核表法为主，文献分析法以及KT（Kepner-Tregoe）决策法为辅助的分析方法，以全面地分析法律法规的适用性。

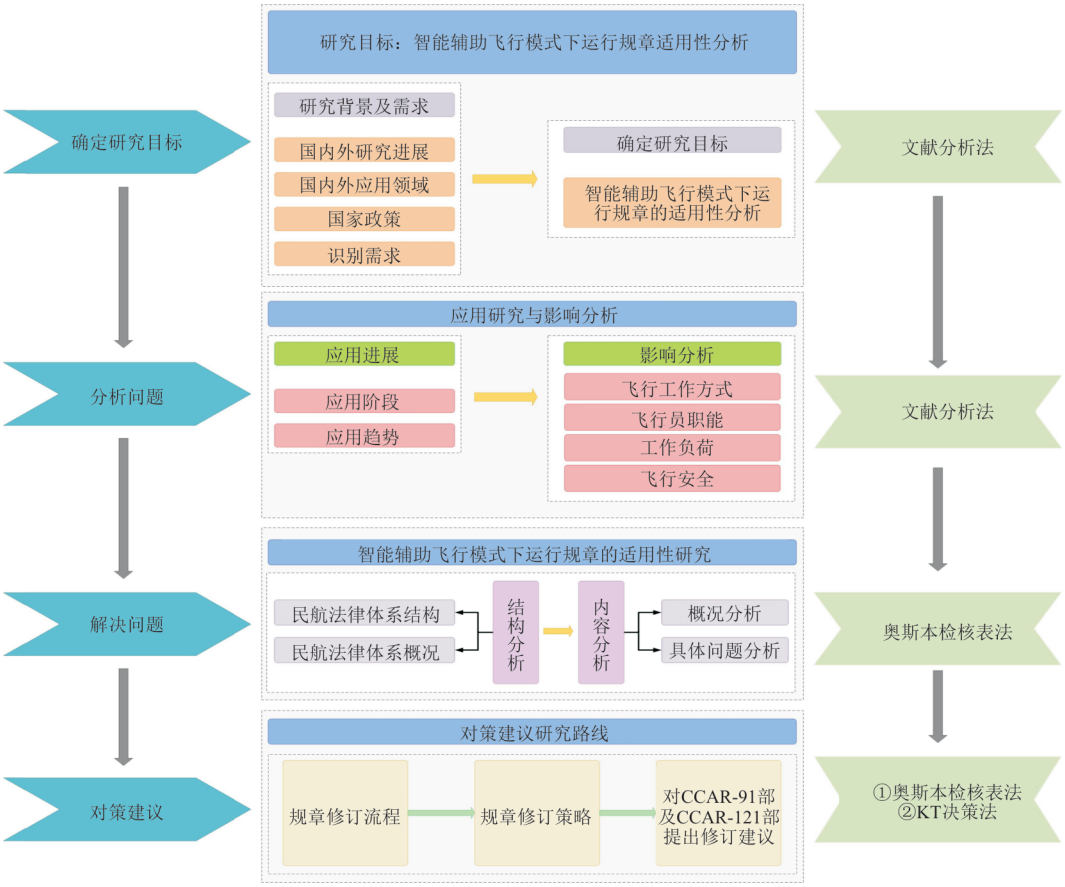

图 4　适用性分析路线

Fig. 4　Route of applicability analysis

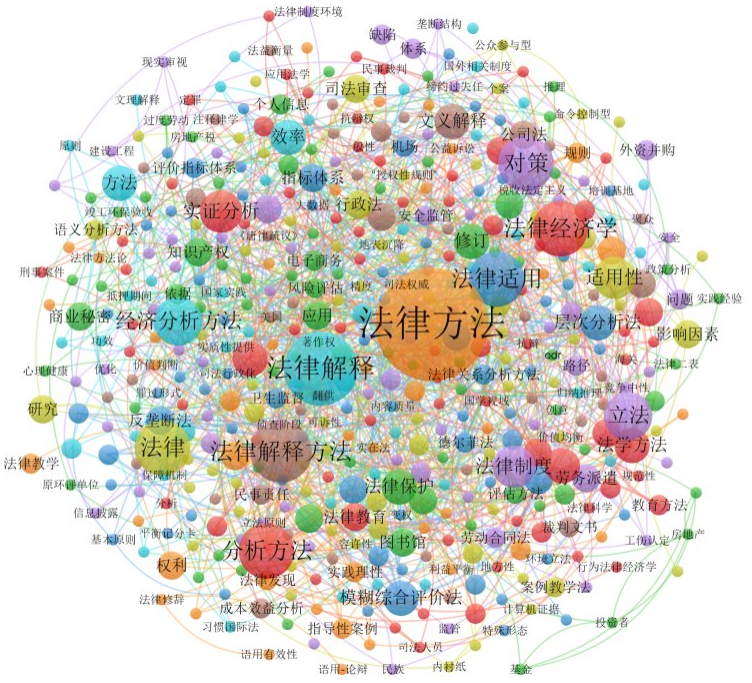

图 5　分析方法网络图

Fig. 5　Analysis method network diagram

2.2 面向未来智能辅助飞行的运行规章分析

我国民航法律法规体系，总体上可以分为民航法律、民航法规和民航规章3个层面，其主要是由1部民航基本法《中国人民共和国民用航空法》[48]、28部行政法规和行政法规性文件以及百余部现行有效规章以及相应规范性文件组成[49]。

根据智能辅助飞行技术的特点，智能辅助飞行模式下的规章主要应用在空中交通管理、航空服务、客舱服务、机场服务、安全管理、飞机运行中。因此，在智能辅助飞行模式下，智能辅助飞行技术分别对行政程序规则、运行、空管、航空器制造、航空器维修、航空人员、航空器搜寻救援和事故调查都会有所应用。

按照中国民用航空局制定的民用航空器运行规章体系的规划，航空器运行规章主要由《一般运行和飞行规则》《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》和《小型航空器商业运输运营人运行合格审定规则》[50]组成。我国民航运行规章体系如图6所示。

图6 中国民航运行规章体系

Fig. 6 China's civil aviation operating rules and regulations

对智能辅助飞行模式下的规章修订主要为解决大型公共运输的机组成本和飞行员需求问题。因此，主要适用的运行规章为《一般运行和飞行规则》和《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》。

2.3 智能辅助飞行现行运行规章的内容分析

2.3.1 智能辅助飞行相关规章概况分析

我国智能辅助飞行技术发展迅速，但相关规章尚未及时更新，现存的运行规章仍有许多修订之处。通过适用性分析发现部分内容重复且不统一、规章更新相对滞后、规章内容不够全面等问题。

1）部分内容重复且不统一的情况

我国民航相关法律法规发布和调整较为频繁，不同法规之间存在内容交叉的情况，导致部分法规存在内容重复的问题。例如《通用航空飞行管制条例》[51]对通用航空飞行和民用机场管理进行了详细规定，而《民用机场管理条例》[52]也对其进行了规范。这两部法规在飞行安全与空中交通管理的内容上存在重复，然而，由于两部法规的侧重点和具体要求有所不同，导致在实际操作中存在混乱或不一致的情况。

2）规章更新相对滞后

随着智能辅助飞行技术的发展，我国陆续开展了对规章的研究。在无人机领域，从2013年发布的《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》[53]到2018年由中国民用航空局飞行标准司印发的《民用无人机驾驶员管理规定》[54]，凸显了我国对民航规章修订的重视。然而，随着人工智能技术不断的发展，智能辅助飞行技术的应用不断扩大，规章更新的速度明显滞后于技术发展的速度，规章更新的全面性略显不足，部分基础规定与指引存在缺失，因此，在智能辅助飞行模式下规章的适用性稍显不足。

3）规章内容不够全面

尽管我国已经建立了相对完善的航空法规体系，但是在一些内容细节方面仍存在不足，航空规章内容的完善程度有待提高。例如，智能辅助飞行系统的引入，会导致飞行安全受到新的威胁，现行规章未充分考虑新型风险因素，并且对机组人员应急措施的规定不够具体和全面，导致机组人员在实际操作中难以得到充分保障，影响飞行安全。

2.3.2 CCAR-91部及CCAR-121部的具体分析

对CCAR-91部13个章节139条条款及CCAR-121部的25个章节268条条款运用奥斯本

检核表法进行了分析,结合法律法规的内容特征以及修订策略选择检核内容中的6个部分,通过对条款逐项从6个角度进行核对、设问,发现智能辅助飞行模式下运行规章存在的问题,如表1所示。

表1　检核内容
Table 1　Check the content

序号	检核内容	说明
1	能否改变	可否改变内容
2	能否引入	借鉴、利用其他方案
3	能否增加	可否增加条款内容
4	能否减少	可否减少条款内容
5	能否替代	还有什么别的方案替代
6	能否更换	有无互换的部分

规章中存在的问题主要集中在CCAR-91部、CCAR-121部的以下内容。

1) 当前研究积累难以支撑现有规章中安全设计

在现行规章中,如CCAR-91部C章“航空器及仪表和设备要求”、G章“航空器维修”,以及CCAR-121部中K章“仪表和设备要求”、L章“飞机维修”、M章“机组成员和其他航空人的要求”中将用到大量智能辅助飞行模式中的材料数据、可靠性数据等,而对于后发国家,数据积累在满足现行规章要求时存在不充分或不规范性。因此,在人机交互系统发生改变的前提下,CCAR-91部与CCAR-121部中部分章节在智能辅助飞行模式下存在不符合性,应增加其需要支撑现有规章中安全设计的内容。

2) 当前规章缺少人员资质要求

飞机运行的首要重点始于机长,智能辅助飞行模式下使得飞行员承担更多的职责和决策权。飞行员需要展现出更高的自我管理能力和应急处理能力,以确保飞行任务的安全、高效完成,然而,在CCAR-91部中的B章“飞行机组”,以及在CCAR-121部中的M章“机组成员和其他航空人员的要求”、O章“机组成员的合格要求”中,所提到的航空人员条件仅符合双乘驾驶模式,例如,在CCAR-121部第121.457条新机型和新职位上的运行经历要求运行经历中未提及有关智能辅助飞行模式下的内容,因此,对于驾驶员的评估和认证标准存在不符合的问题。

3) 当前规章设备缺乏适应新技术的创新

在智能辅助飞行模式下,飞机的构造和内部系统已经发生了变化,而模拟机还保留双乘模式下的设备,导致智能辅助飞行模式的工程问题以及在其模式下的技术创新脱节问题,并且智能辅助飞行系统对于故障的应对措施也会因飞行器类型和配置而有所不同,因此,应按照业界的最新认识和最新要求重新修订运行规章。从运行规则角度考虑,CCAR-91部G章“航空器维修”和C章“航空器及仪表和设备要求”以及CCAR-121部中的K章“仪表和设备要求”存在不符合性。

4) 当前机组成员职责存在不合理分配问题

在智能辅助飞行模式下,飞行员应始终保持对飞行状态的监控和控制,避免过度依赖智能辅助飞行。因此,在智能辅助飞行下,CCAR-91部中B章飞行机组的内容具有很强的不符合性,例如第91.103条民用航空器机长的职责和权限问题,在智能辅助飞行系统发生变化的情况下,机组人员的任务分配相应发生了变化,在B章中应进一步分析并进行修订。

在CCAR-121部中,飞行员必须经过专业的培训和考核,具备足够的飞行技能和应急处理能力。由于智能辅助飞行器的使用需要飞行员具备更高的技能水平和更丰富的经验,飞行员需要了解智能辅助飞行系统的原理、操作流程和限制条件,以便在飞行过程中正确使用该系统。因此,M章机组成员和其他航空人员的要求以及O章机组成员的合格要求存在不适用性,应针对该章节进行进一步的修订。

5) 当前规章训练大纲不够全面的问题

智能辅助飞行驾驶舱相比于传统驾驶舱包含了更多的自动化程度,这会导致当前规章的训练大纲出现一系列问题[18]。在CCAR-121部中N章第121.401条训练的基本要求、第121.403条训练大纲的制定要求、第121.511条持续资格保持课程中,未提到关于智能辅助飞行下对实施本规则训练和检查所需的合适的训练资料、考试题等,这会对机组成员的技能学习产生影响。第121.413条航空检查人员和教员的训练,在智能辅助飞行过程中,机组人员工作任务分配相应地发生了变化,对于航空检查人员及教员的训练也应进行改进,需要了解其对应的工作原理及功能等内容,确保

适应新的技术。智能辅助飞行模式要求飞行员具备更广泛的知识和技能,需要接受额外的培训,以适应新的职责和挑战,并不断学习和更新知识。

综上所述,现行运行规章条款主要存在飞行员资质、工作负荷、航空器及仪表和设备要求、训练大纲、任务分配等方面的问题。

3 智能辅助飞行模式下部分运行规章的修订方法与策略

3.1 智能辅助飞行模式下规章的制定及其修订流程

民航规章及规范性文件是适航管理中一项经常性的基础工作。民航规章的制定和修订程序,一般包括5个步骤:立项、起草、审查、决定、公布[55]。民航规章的修订程序与制定程序相通,在修订过程中应充分考虑政策及实际需要,确保其更好地服务于民航事业的发展。智能辅助飞行模式下的规章制定及修订规章参考路线如图7所示。

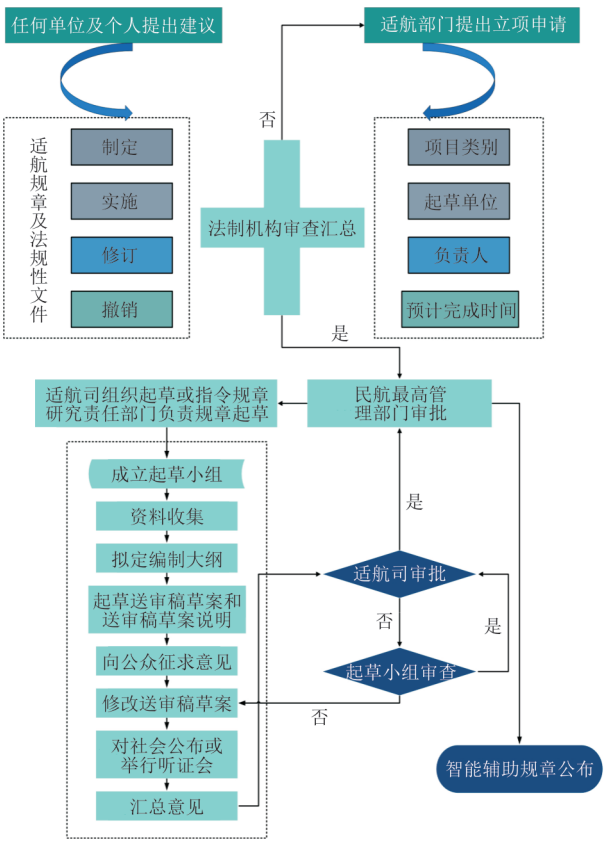

图7 修订规章路线图

Fig. 7 Civil aviation administration revised regulation roadmap

3.2 智能辅助飞行模式下运行规章的总体修订策略

为了建立智能辅助飞行模式下运行规章的修订策略,收集历年规章修订策略,总结发现我国现行规章的修订主要采取对规章进行局部修订、发布咨询通告、设立新规章的形式。面向智能辅助飞行模式下我国现行运行规章选择以下策略进行修订,具体内容如图8所示。

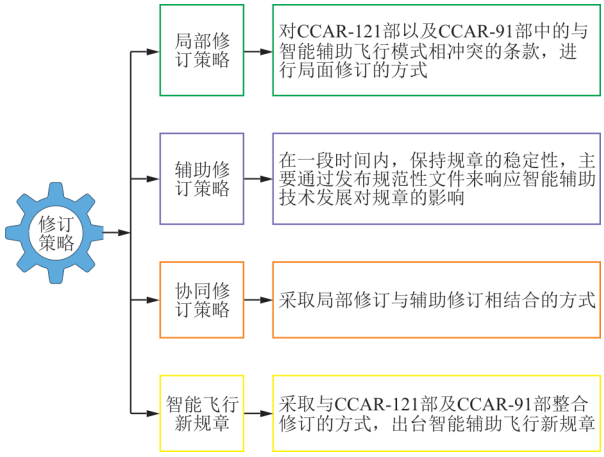

图8 修订策略

Fig. 8 Revised strategy

4种策略各有优缺点,运用KT决策法进行决策修订策略,其制定决策的3个主要步骤包括:对规章修订目标属性的认识、对方案进行评估、了解采用其他方法可能会导致的后果。其中评估从以下几个维度考虑:是否与我国当前法律法规政策保持一致(1~20分)、适应性(1~20分)、执行效率(1~15分)、创新性与前瞻性(1~15分)。为了选择最适用的修订策略,组织了10名专家进行打分,最终协同修订策略的评估分数最高,因此对于CCAR-91部以及CCAR-121部采取协同修订策略进行修订。

3.3 智能辅助飞行模式下对重点运行规章的修订建议

根据所选择的修订策略,以及运用奥斯本检核表法后得到的结论,对CCAR-91部以及CCAR-121部中与智能辅助飞行技术相冲突的条款进行修订,修订内容如图9所示。

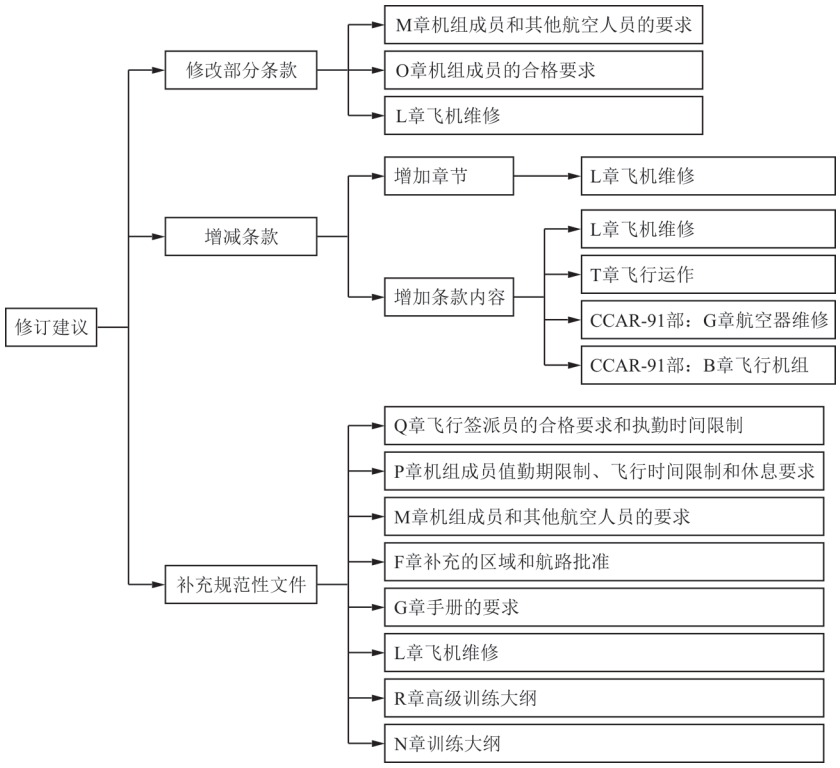

图 9　修订建议思维导图

Fig. 9　Revised suggested mind map

在智能辅助飞行模式下,对运行规章的修订建议主要包括以下 6 点。

1) 明确智能辅助飞行模式的定义和范围:在 CCAR-91 部和 CCAR-121 部中,应明确智能辅助飞行模式的定义,包括其功能、性能、使用条件等方面的具体要求。同时,应明确智能辅助飞行模式在不同飞行阶段(如起飞、巡航、进近、着陆等)的应用范围和限制。

2) 强化智能辅助飞行系统的设计和认证要求:对于采用智能辅助飞行模式的飞行器,应在 CCAR-91 部和 CCAR-121 部中增加对智能辅助飞行系统的设计和认证要求,确保其安全性、可靠性和有效性。包括对系统的人机交互设计的原理、软硬件组成、故障诊断和处理能力等方面的规定。

3) 完善飞行员培训、资质以及角色要求:在 CCAR-91 部和 CCAR-121 部中,应完善对飞行员在智能辅助飞行模式下的培训、资质以及角色要求。包括对飞行员进行智能辅助飞行模式的原理、操作方法、应急处理等方面的培训,对飞行员进行智能辅助飞行模式的实际操作考核,以及对机组人员的工作任务分配。

4) 制定智能辅助飞行模式下的飞行操作规程:在 CCAR-91 部和 CCAR-121 部中,应制定智能辅助飞行模式下的飞行操作规程,包括飞行计划、飞行监控、应急处理等方面的具体要求。同时,应明确在智能辅助飞行模式下,飞行员与智能辅助飞行系统的协作关系和职责划分。

5) 加强智能辅助飞行模式的监管和管理:在 CCAR-91 部和 CCAR-121 部中,应加强对智能辅助飞行模式的监管和管理,确保其在实际应用中的安全性和合规性。包括对智能辅助飞行系统的定期检查、维护、升级等方面的要求,以及对飞行器运营单位在智能辅助飞行模式下的安全管理体系的要求。

6) 鼓励创新和技术发展:在 CCAR-91 部和 CCAR-121 部中,应鼓励创新和技术发展,为智能辅助飞行模式的应用提供支持。包括对新技术、新方法、新设备的研究和应用的支持,以及对相关企业和研究机构的政策扶持。

4　结　论

1) 通过改进奥斯本检核表法,得到对运行规章适用性分析的方法,提高了修订工作的效率和

全面性，满足了对规章适用性分析的要求。

2）运用KT决策法对修订策略进行决策发现，采用协同修订策略对运行规章进行修订可以达到预期修订目标。

3）通过对我国法律法规的适用性分析方法数据以及现行大型民用飞机运行规章的相关分析，形成了一种面向未来的智能辅助飞行运行规章的适用性分析路线，为航空法规制定者提供参考。

参考文献

[1] 吴佳驹，苏幸君．飞机智能座舱发展研究[J]．航空电子技术，2022，53(1)：8-14.
WU Jiaju，SU Xingjun. Research on the development of aircraft intelligent cockpit [J]. Avionics Technology，2022，53(1)：8-14.(in Chinese)

[2] WANG J，ZHAO P，ZHANG Z，et al. Aircraft upset recovery strategy and pilot assistance system based on reinforcement learning[J]. Aerospace，2024，11(1)：70-78.

[3] TAVANA M. Intelligent flight support system (IFSS)：a real-time intelligent decision support system for future manned spaceflight operations at mission control center[J]. Advances in Engineering Software，2004，35(5)：301-313.

[4] STENGEL R F. Toward intelligent flight control [J]. IEEE Transactions on Systems，Man，and Cybernetics，1993，23(6)：1699-1717.

[5] HUSSEIN M，NOUACER R，CORRADI F，et al. Key technologies for safe and autonomous drones[J]. Microprocessors and Microsystems，2021，87：104348.

[6] National Research Council. Maintaining U. S. leadership in aeronautics：scenario-based strategic planning for NASA′s aeronautics enterprise [M]. USA：National Academies Press，1997.

[7] EASA. A human-centric approach to AI in aviation [R]. Germany：European Aviation Safety Agency，2020.

[8] BANKS S B，LIZZA C S. Pilot′s associate：a cooperative，knowledge-based system application [J]. IEEE Expert，1991，6(3)：18-29.

[9] MOEHLE R，CLAUSS J. Wearable technologies as a path to single-pilot Part 121 operations [J]. SAE International Journal of Aerospace，2015，8(1)：81-88.

[10] POPE A P，IDE J S，MIĆOVIĆ D，et al. Hierarchical reinforcement learning for air-to-air combat[C]// 2021 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). US：IEEE，2021：9476700.

[11] 章胜，周攀，何扬，等．基于深度强化学习的空战机动决策试验[J]．航空学报，2023，44(10)：122-135.
ZHANG Sheng，ZHOU Pan，HE Yang，et al. Air combat maneuver decision-making test based on deep reinforcement learning [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica，2023，44(10)：122-135.(in Chinese)

[12] 曹烨琇．空中交通管制智能化指挥的探索与研究[J]．软件工程，2019，22(8)：7-9.
CAO Yexiu. Exploration and research on intelligent air traffic control[J]. Software Engineering，2019，22(8)：7-9.(in Chinese)

[13] 张怀捷，马静雅，刘浩源，等．视觉与惯性融合的多旋翼飞行机器人室内定位技术[J]．航空学报，2023，44(5)：297-309.
ZHANG Huaijie，MA Jingya，LIU Haoyuan，et al. Indoor positioning technology of multi-rotor flying robot based on visual-inertia fusion [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica，2023，44(5)：297-309.(in Chinese)

[14] 宋利枝，季增栓，曾凤，等．面向大规模物联网的无人机通信感知一体化能效优化算法[J]．电讯技术，2024，64(7)：1042-1049.
SONG Lizhi，JI Zengshuan，ZENG Feng，et al. Energy efficiency optimization algorithm for UAV-enabled integrated sensing and communication in massive loT scenario [J]. Telecommunication Engineering，2024，64(7)：1042-1049.(in Chinese)

[15] 马利，封传红，郭永旺，等．四川省植保无人机的应用现状及前景展望[J]．中国植保导刊，2023，43(3)：89-91.
MA Li，FENG Chuanhong，GUO Yongwang，et al. Application status and prospect of plant protection UAV in Sichuan Province [J]. China Plant Protection，2023，43(3)：89-91.(in Chinese)

[16] 陈钊，赵飞翔，张怀清．无人机辅助的林业物联网系统技术研究综述[J]．世界林业研究，2024，37(2)：22-26.
CHEN Zhao，ZHAO Feixiang，ZHANG Huaiqing. A review of technology on UAV-assisted forestry IOT system [J]. World Forestry Research，2024，37(2)：22-26.(in Chinese)

[17] 郑超．浅谈低空无人机在铁路工程测绘中的应用[J]．科学技术创新，2024(8)：66-69.
ZHENG Chao. A brief discussion on the application of low-altitude unmanned aerial vehicles in railway engineering surveying[J]. Science and Technology Innovation，2024(8)：66-69.(in Chinese)

[18] 郭华，王明，姚雨暘，等．彩虹-4无人机航磁三分量测量系统研发及应用研究[J]．地球物理学报，2022，65(11)：4485-4494.
GUO Hua，WANG Ming，YAO Yuyang，et al. Development and application of the Ch-4 UAV aeromagnetic three-component measurement system [J]. Chinese Journal of Geophysics，2022，65(11)：4485-4494.(in Chinese)

[19] 许为，陈勇，董文俊，等．大型商用飞机单一飞行员驾驶的人因工程研究进展与展望[J]．航空工程进展，2022，13(1)：1-18.
XU Wei，CHEN Yong，DONG Wenjun，et al. Human factors engineering research on single pilot operations for large commercial aircraft：progress and prospect[J]. Advances in Aeronautical Science and engineering，2022，13(1)：1-18.(in Chinese)

[20] SCHMID D，KORN B. A tripartite concept of a remote-copilot center for commercial single-pilot operations [C]// 2017 AIAA Information Systems. Grapevine：AIAA，2017：1-13.

[21] 汪磊, 邵铿睿, 吴昌旭, 等. 基于QN-MHP模型的SPO人机功能分配研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(9): 183-189.
WANG Lei, SHAO Kengrui, WU Changxu, et al. Research on human-machine function allocations under SPO based on QN-MHP model[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2023, 19(9): 183-189. (in Chinese)

[22] 张炯, 曾锐. 商用飞机单一飞行员驾驶模式设计及测试[J]. 航空科学技术, 2020, 31(6): 42-49.
ZHANG Jiong, ZENG Rui. Mode design and test for commercial aircraft single-pilot operations [J]. Aeronautical Science and Technology, 2020, 31(6): 42-49. (in Chinese)

[23] 张同荣, 时统宇, 魏志强. 单人制机组运行自动化等级自适应调节方法[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(8): 155-164.
ZHANG Tongrong, SHI Tongyu, WEI Zhiqiang. Self-adaptive adjustment method of automation level for SPO [J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(8): 155-164. (in Chinese)

[24] 时统宇, 张同荣, 魏志强. 面向SPO的飞行员诱发振荡自适应抑制策略仿真研究[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(11): 3985-3992.
SHI Tongyu, ZHANG Tongrong, WEI Zhiqiang. Simulation research of pilot-induced oscillation adaptive suppression strategy in single pilot operation[J]. Journal of Safety and Environment, 2019, 23(11): 3985-3992. (in Chinese)

[25] 王淼, 肖刚, 王国庆. 单一飞行员驾驶模式技术[J]. 航空学报, 2020, 41(4): 202-220.
WANG Miao, XIAO Gang, WANG Guoqing. Single pilot operation mode technology[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2020, 41(4): 202-220. (in Chinese)

[26] 中国民用航空网. 中国民用航空局深入推进法治建设实施方案 2021—2025 年[EB/OL]. [2024-05-17]. https://www.ccaonline.cn/zhengfu/687354.html.
CCAonline. The civil aviation administration of China has further promoted the implementation plan of the rule of law (2021—2025)[EB/OL]. [2024-05-17]. https://www.ccaonline.cn/zhengfu/687354.html. (in chinese)

[27] 高国柱. 中国民用无人机监管制度研究[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版), 2017, 30(5): 28-36.
GAO Guozhu. On China's regulatory for civil unmanned aerial vehicle[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics (Social Sciences Edition), 2017, 30(5): 28-36. (in Chinese)

[28] 李大朋. 论面向人工智能的无人机监管法律变革[J]. 政法论丛, 2023(3): 90-101.
LI Dapeng. Study on the reform of AI-oriented UAV regulatory legal system[J]. Journal of Political Science and Law, 2023(3): 90-101. (in Chinese)

[29] 中华人民共和国交通运输部. 交通领域科技创新中长期发展规划纲要(2021—2035 年)[EB/OL]. [2024-05-17]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/kjs/202203/t20220325_3647752.html.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Transportation for long and medium-term technological innovation development plan outline (2021—2035)[EB/OL]. [2024-05-17]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/kjs/202203/t20220325_3647752.html. (in Chinese)

[30] 杨志刚, 张炯, 李博, 等. 民用飞机智能飞行技术综述[J]. 航空学报, 2021, 42(4): 265-274.
YANG Zhigang, ZHANG Jiong, LI Bo, et al. Reviews on intelligent flight technology of civil aircraft[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2021, 42(4): 265-274. (in Chinese)

[31] 董磊, 刘嘉琛, 陈曦, 等. 面向适航符合性的智能航电系统认证研究进展[J]. 航空工程进展, 2023, 14(3): 26-40.
DONG Lei, LIU Jiachen, CHEN Xi, et al. Airworthiness compliance oriented intelligent avionics system certification progress[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2023, 14(3): 26-40. (in Chinese)

[32] 鲜勇, 李扬. 人工智能技术对未来空战武器的变革与展望[J]. 航空兵器, 2019, 26(5): 26-31.
XIAN Yong, LI Yang. Revolution and prospect of artificial intelligence technology for air combat weapons in the future [J]. Aero Weaponry, 2019, 26(5): 26-31. (in Chinese)

[33] 韩佳澎, 薛华. 人工智能技术在航空领域的应用分析[J]. 科技创新导报, 2019, 16(9): 7-9.
HAN Jiapeng, XUE Hua. The application of artificial intelligence technology in aviation analysis[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2019, 16(9): 7-9. (in Chinese)

[34] 中国民用航空局. 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定: CCAR-129[S]. 北京:中国民用航空局, 2017.
Civil Aviation Administration of China. Large aircraft of public air transport carrier run qualified examination and approval rules[S]. Beijing: CAAC, 2017. (in Chinese)

[35] 中国民用航空局. 一般运行和飞行规则: CCAR-91[S]. 北京:中国民用航空局, 2007.
Civil Aviation Administration of China. General operation and flight rules [S]. Beijing: CAAC, 2007. (in Chinese)

[36] LIU J, GARDI A, RAMASAMY S, et al. Cognitive pilot-aircraft interface for single-pilot operations[J]. Knowledge-Based Systems, 2016, 112: 37-53.

[37] 单圣哲, 杨孟超, 张伟伟, 等. 自主空战连续决策方法[J]. 航空工程进展, 2022, 13(5): 47-58.
SHAN Shengzhe, YANG Mengchao, ZHANG Weiwei, et al. Continues decision-making method for autonomous air combat[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(5): 47-58. (in Chinese)

[38] COMERFORD D, BRANDT S L, LACHTER J B, et al. NASA's single-pilot operations technical interchange meeting: proceedings and findings[C]// 2013 Technical Interchange Meeting. Moffett Field: NASA, 2013: 1-3.

[39] NEIS S M, KLINGAUF U, SCHIEFELE J. Classification and review of conceptual frameworks for commercial single pilot operations[C]// 2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC). UK: IEEE, 2018: 1-8.

[40] GEORGE F. Safety keys to single-pilot jet OPS currency, training and the right attitude will help keep this burgeoning class of business aviation operation on the right side of the safety scale[J]. Business & Commercial Aviation, 2002, 91(5): 40-48.

[41] 朱永文, 陈志杰, 蒲钒, 等. 空中交通智能化管理的科学与技术问题研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(5): 174-184.
ZHU Yongwen, CHEN Zhijie, PU Fan, et al. Research and technology issues for intelligent management of air traffic [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(5): 174-184. (in Chinese)

[42] AHMAD M W, AKRAM M U, AHMAD R, et al. Intelligent framework for automated failure prediction, detection, and classification of mission critical autonomous flights[J]. ISA Transactions, 2022, 129: 355-371.

[43] MOHSAN S A H, KHAN M A, ALSHARIF M H, et al. Intelligent reflecting surfaces assisted UAV communications for massive networks: current trends, challenges, and research directions[J]. Sensors, 2022, 22(14): 30.

[44] SALAS E, MAURINO D. Human factors in aviation[M]. UK: Academic Press, 2010.

[45] 汪磊, 张之洋, 邵铿睿, 等. 模拟SPO情境中的飞行员脑力负荷测量与分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18(12): 26-32.
WANG Lei, ZHANG Zhiyang, SHAO Kengrui, et al. Measurement and analysis on mental workload of pilot in simulated SPO scenario[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2022, 18(12): 26-32. (in Chinese)

[46] 张新苗, 余自武, 杨雨绮. 人工智能在波音787上的应用与思考[J]. 工业工程与管理, 2017, 22(6): 169-174.
ZHANG Xinmiao, YU Ziwu, YANG Yuqi. Application and consideration to Boeing 787 influenced by artificial intelligence[J]. Industrial Engineering and Management, 2017, 22(6): 169-174. (in Chinese)

[47] 刘勤, 刘情唱. 论数智化环境下会计法规的优化与完善[J]. 财会月刊, 2023, 44(22): 49-55.
LIU Qin, LIU Qingchang. On the optimization and perfection of accounting regulations under the environment of number intelligence [J]. Finance and Accounting Monthly, 2023, 44(22): 49-55. (in Chinese)

[48] 中国民用航空局. 中华人民共和国民用航空法[EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/FLFG/201510/t20151029_2777.html.
Civil Aviation Administration of China. Civil aviation law of the People's Republic of China[EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/FLFG/201510/t20151029_2777.html. (in Chinese)

[49] 张浩洋. 基于知识地图的民航航空法规知识管理方法研究及应用[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2020.
ZHANG Haoyang. Research and application of knowledge management method of civil aviation regulations based on knowledge map[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2020. (in Chinese)

[50] 中国民用航空局. 小型航空器商业运输运营人运行合格审定规则[EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/MHGZ/201511/t20151102_8481.html.
Civil Aviation Administration of China. Small aircraft commercial transport operations people run qualified examination and approval rules[EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/MHGZ/201511/t20151102_8481.html. (in Chinese)

[51] 中国民用航空局. 通用航空飞行管制条例[EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/FLFG/201510/t20151029_2794.html.
Civil Aviation Administration of China. General aviation flight control ordinance[EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/FLFG/201510/t20151029_2794.html. (in Chinese)

[52] 中国民用航空局. 民用机场管理条例[EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/FLFG/201510/t20151029_2785.html.
Civil Aviation Administration of China. Civil airport regulations[EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/FLFG/201510/t20151029_2785. html. (in Chinese)

[53] 中国民用航空局. 民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定[EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/201511/t20151102_8242.html.
Civil Aviation Administration of China. Civil unmanned aircraft system driver management interim provisions [EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/201511/t20151102_8242.html. (in Chinese)

[54] 中国民用航空局. 民用无人驾驶员管理规定[EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/201811/t20181127_193181.html.
Civil Aviation Administration of China. Civil no driver management regulations [EB/OL]. [2024-05-17]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/201811/t20181127_193181.html. (in Chinese)

[55] 中国民用航空局. 中国民用航空总局规章制定程序规定[EB/OL]. [2024-05-17]. https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/MHGZ/201511/t20151102_8447.html.
Civil Aviation Administration of China. The Civil Aviation Administration of China rule-making procedures[EB/OL]. [2024-05-17]. https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/MHGZ/201511/t20151102_8447.html. (in Chinese)

(编辑:丛艳娟)