

高高原航空人因工程理论研究进展

陈农田, 宁威峰, 满永政, 李俊辉

中国民用航空飞行学院, 广汉 618307

摘要 从国内外高高原人因工程理论研究现状出发, 分析了高高原航空运行特性及关键风险; 结合航空人因工程理论 SHELL 模型, 从人(liveware, L)、硬件(hardware, H)、环境(environment, E)以及软件(software, S)4个层面, 综述了高高原航空人为因素、高高原航空器适航安全性、高高原航空运行环境及高高原航空运行规章标准研究成果; 提出高高原航空人因工程今后研究应聚焦在高高原航空人因生理医学、高高原航空人机交互适航验证、高高原航空人因工程规章标准以及高高原航空人因工程应急机制等领域。

关键词 高高原航空运行; 航空人因工程; SHELL 模型; 适航安全性; 航空规章标准

根据《航空承运人高原机场运行管理规定》(AC-121-21)定义, 高高原机场是指海拔高度在 2438 m(8000 ft)及以上的机场, 高原机场是指标高在 1524 m(5000 ft)至 2438 m(8000 ft)的机场^[1]。中国幅员辽阔, 山地众多, 海拔 1500 m 以上高原所占面积约为全国总面积的 1/3, 据统计, 全球有接近 4000 万人长期生活在高原地区^[2]。由于高高原特殊地理条件, 高高原航空安全运输对保障高原民生经济发展发挥了重要作用。高高原机场存在海拔高、气压低、空气稀薄、地形复杂和日照强烈且不平衡等特点, 运输环境的复杂性等易诱发不安全事

故, 使得对飞机性能和机组操纵提出更高要求。2016年5月, 中国东方航空公司国籍登记注册号为 B6430 的空客 A319 飞机执行从成都双流国际机场前往康定机场航班, 在执行仪表进近(instrument approach)过程中, 由于机场天气情况恶劣, 飞机于跑道外接地。返航成都降落后发现客机轮胎受损, 右水平安定面被一根管子插穿, 一套系统液压油漏光, 康定机场 4 排 6 个进近灯光损坏, 构成严重事故征候, 所幸没有人员伤亡, 其产生原因跟 8·24 伊春空难事故相同。2018年5月四川航空 3U8633 航班在成都区域巡航阶段, 驾驶舱右座前挡风玻璃爆裂

收稿日期: 2021-12-14; 修回日期: 2022-02-14

基金项目: 国家自然科学基金民航联合基金重点项目(U2033202); 中国民航局安全能力基金项目(2022J026); 四川省科技厅重点研发项目(2022YFG0213); 民航飞行技术与飞行安全科研基地开放基金项目(F2019KF08)

作者简介: 陈农田, 副教授, 研究方向为航空安全与适航技术、人机环境与系统工程, chennongtian@hotmail.com

引用格式: 陈农田, 宁威峰, 满永政, 等. 高高原航空人因工程理论研究进展[J]. 科技导报, 2022, 40(5): 105-114; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2022.05.012

脱落,机组实施紧急下降。在驾驶舱失压,气温骤降、仪器多数失灵的情况下,机长凭着高超的飞行技术以及心理素质,在民航各保障单位密切配合下,飞机安全备降成都双流国际机场。面对高高原航空高风险运行现状,开展面向高高原航空人因工程系统研究对保障高高原航空安全运行具有重要现实意义。

在高高原科学问题研究方面,国外在高高原气候环境方面开展了系列研究。2004年,Shigeto等^[3]为厘清人类活动与气候变化之间的关系,分析了21年(1978—1999年)高原牲畜肉类数据,得出结论人类活动导致气温上升,植被增加会降低升温速率。2010年Kang等^[4]基于气象站资料和遥感数据分析发现青藏高原在近几年呈现显著变暖趋势。2016年,Carter^[5]为研究季节性住宅供暖、烹饪对空气污染的状况,以青藏高原东部住宅区的204户家庭为研究对象,测量超过221 d连续48 h室内综合PM_{2.5}浓度以及户外PM_{2.5}浓度,并结合当地生活方式,得出在冬季PM_{2.5}浓度要比夏季高出2倍以上的结论。2020年Kukulies等^[6]研究了青藏高原降水时空变化特征,将卫星降雨产品GPM与另外3个高分辨降水产品进行结合选择最优数据集,分析不同数据集季节变化和季节性空间格局以及季节性降水的其他特征,得出总降水量和极端降水量月贡献以及夏季平均降水量和极端降水量空间分布基本一致的结论。

国内的高高原科学研究主要集中在环境对人体功能影响方面。为研究高高原地区的低氧环境对人体产生的影响,2013年,田志军等^[7]为使士兵能更好适应高原环境将180位士兵随机分为3组并采用不同的吸氧方式探索最佳吸氧方案,通过对比士兵状态发现,最佳方案为吸氧流量2.0 L/min,单次40 min并持续1周。2021年,罗勇军等^[8]将60名长期生活在高高原地区的成年男性士兵按照血红蛋白浓度从高至低划分为观察组与对照组,研究高血红蛋白士兵的血小板特征,通过指标检测发现高血红蛋白会明显提升血小板总数。针对高原寒区士兵的冻伤情况,韩德志等^[9]以中国北部驻训士兵为研究对象,对1000多例士兵发放调查问卷了解冻

伤具体情况,根据调查结果发现冻伤状况以新兵、南方籍士兵为主且冻伤部位主要位于四肢末端。

高高原特殊地理环境及气象条件引起了国内外研究人员关注,国内外研究人员在非航空领域主要集中在高高原气候环境以及对人员生理心理影响方面的研究^[10],在航空领域主要在从业人员高高原生理表征、航空器性能影响方面开展了系列研究^[11]。本研究聚焦高高原航空人因工程理论,通过分析高高原运行特点、高高原航空运行特性及关键风险,结合航空人因工程理论SHELL模型,分别从航空人因系统人(liveware, L)、硬件(hardware, H)、环境(environment, E)以及软件(software, S)4个层面系统总结高高原人因工程研究进展,并对高高原人因工程今后研究趋势进行展望。

1 高高原航空运行特征

1.1 高高原机场定义及分布

中国高高原机场主要集中于中国西南地区,国外高高原机场主要集中在尼泊尔、秘鲁、玻利维亚等国。

全球范围内的高高原机场有46个,中国有19个高高原机场,占全球总数量的约41%,主要位于中国的西藏、甘肃、青海、四川、湖北、云南6个省份,表1列出前10个高高原机场(按照机场海拔高低排序),其中海拔最高的机场是稻城亚丁机场。

1.2 高高原航空运行特性及风险

1.2.1 高高原航空运行特性

高高原自然环境特点是低压低氧、湿度低、风速大、太阳辐射线和紫外线照射强等,与平原相比,高高原特殊运行环境对航空运行的影响具有以下特征^[12]。(1) 高高原环境影响飞机运行性能。高高原低压低氧对飞机发动机推力产生影响,使飞机爬升越障能力降低,同时需要更长的起落距离。高高原风速变化大,易形成颠簸和风切变对飞行运行性能会产生不利影响。(2) 高高原环境对航空从业人员生理心理产生影响。高高原低压低氧、湿度低、风速大、太阳辐射线和紫外线照射强等气候条件会对航空飞行员、管制员及机务维修人员等生理心理产生影响。

表1 中国海拔前10位高高原机场分布

海拔排名	机场名称	所在省	所在地	海拔/m	跑道长度/m
1	稻城亚丁机场	四川	甘孜州	4411	4200
2	昌都邦达机场	西藏	昌都地区	4334	5500
3	阿里昆莎机场	西藏	阿里地区	4272	4500
4	康定机场	四川	甘孜州	4242	4000
5	玉树巴塘机场	青海	玉树州	3905	3800
6	果洛机场	青海	果洛州	3788	3800
7	日喀则和平机场	西藏	日喀则市	3782	5000
8	拉萨贡嘎机场	西藏	贡嘎县	3600	4000
9	红原机场	四川	阿坝州红原区	3535	3600
10	九寨黄龙机场	四川	阿坝州松潘区	3448	3400

1.2.2 高高原航空运行风险

高高原航空运行风险由多种因素导致,风险因素复杂,综合性较强,高高原航空运行风险主要包括:航空器失效风险、高高原航空从业人员失能风

险、高高原机场应急保障能力不足风险,针对运行风险形成原因制定相应防控措施才能有效降低风险(表2)。

表2 高高原航空运行风险

高高原航空运行风险	形成原因
航空器失效风险	高高原低压低氧、风切变等对飞行运行性能产生不利影响
高高原航空从业人员失能风险	高高原低压低氧、湿度低、风速大、太阳辐射线和紫外线照射强等对从业人员生理心理造成影响
高高原应急保障能力不足风险	高高原运行环境影响使得飞机着陆风险增大,高高原航空应急装备缺乏、应急经验能力不足

2 高高原航空人因工程理论研究

2.1 人因工程基本内涵

近年来,人因工程(human factors engineering, HFE)随着科技水平和工业化水平的提升得到快速发展,并在系统研发制造、运行使用等全周期过程中涉及人的因素问题都有体现^[3]。国际人因工程学会(International Ergonomics Association, IEA)给出人因工程学定义,是一门运用相关原理、理论、数据与方法开展系统设计以确保系统实现安全、高效且宜人的目标学科^[4]。人在航空活动中占据主导地位,在航空器设计到运营每个阶段都需要人参与,航空人因工程研究范围广阔,包括人的特征、环境因素、组织行为等,影响因素体现在个体因素、群体因素,操作对象设计和使用规程等方面^[5]。

2.2 航空人因工程研究方法

航空人因工程常用的方法有调查研究法、数学

模型模拟法、可视化人机工程仿真、故障和事故分析等,主要应用于人因设计评价与适用性验证^[6]。

2.2.1 调查研究法

调查研究法包括简单访问、专门调查,直至严密评分、心理和生理学分析判断等,常用调查研究法有访谈法、问卷调查等。其中访谈法和问卷法多是通过邀请人和受邀请人进行面对面的交流来收集所需信息的研究方法。

2.2.2 数学模型模拟法

数学模型能够用于发展复杂的模拟,一些特定系统的重要变量以及之间关系能通过数学建模并被编成可以运行的模拟程序,将不同的情况通过程序运行,观察会发生什么情况且模拟的预测可以和人的实际操作比拟。模拟法使得研究者可以不需要进行实验就可以预测实际变动所带来的影响。

2.2.3 可视化人机工程仿真

可视化人机工程仿真技术将人因工程学理论

与计算机图形仿真技术相结合,使设计者可以对还在设计中的人机系统进行数字化建模仿真。基本思路是用三维虚拟样机取代实物样机,用虚拟人体取代实际操作人员形成虚拟人操作虚拟设备的场景,从而实现对人机系统的可视化模拟及评价。

2.2.4 故障和事故分析

故障是指系统的运行已经有明显问题发生但还没有形成事故。预防事故是人因学专业的一项主要目标,特别是人在越来越大而复杂的系统中工作情况更是如此,无论事故是人引起的还是机器引起的或者是人机交互不良引起,都可以对事故进行系统分析以发现事故致因根源。

2.3 基于 SHELL 的高高原人因工程理论研究

SHELL 模型在航空领域广泛使用,被国际民航组织(International Civil Aviation Organization, ICAO)推荐作为航空人因事故调查分析模型^[17]。SHELL 模型将航空系统分为 4 个方面,软件(S)、硬件(H)、环境(E)和人(L)^[18]:S=software,指航空有关程序、文件、清单、计算机程序等;H=hardware,指航空设备,包括控制和工具等;E=environment,指航空运行环境,包括氧气、压力、温度也包括个人生活社会经济因素等;L=liveware,指工作场所任何人员,包括飞行员、空管人员、机务维修人员等。

2.3.1 高高原航空人为因素研究

航空器运行每个阶段需要相关人员协同配合,飞行过程中要求各成员之间具有高度协调性,按照社会心理模型,当群体交流紊乱时,人为差错和事故发生概率将会大大增加。

1) 飞行员人为因素研究。目前国际学术界已注意从人的因素角度对高高原飞行员飞行技术误差(flight technical error, FTE)进行研究。2012年,张薇^[19]采用调查问卷对 65 名具备 230 h 飞行训练经历的民航飞行学员进行高原缺氧环境下飞行员认知特征实验,结果表明高原缺氧环境对飞行员主要认知能力有明显影响。2014年,Ma^[20]选择 21 名男性飞行员在 2400 m 人造海拔条件下进行模拟飞行,采取主客观标准进行疲劳评估,得出心理生理指标反应工作负荷引起的生理变化。2016年,李海龙^[21]利用 O*NET 分析飞行员工作需要的知识、能

力等,采用问卷评测方法建立高高原航线飞行员胜任特征模型,提出了高高原航线飞行员人才选拔方案,表明飞行人员需要具备卓越技术才能胜任高高原复杂环境下的飞行任务。此外,有研究表明疲劳、自身能力不足以及低压低氧环境等都会对高高原飞行员工作负荷造成影响^[22-24]。

2) 机务维修人员人为因素研究。机务维修差错从系统工程角度来说是人与硬件、人与软件、人与环境之间相互作用结果。陆崑^[25]认为降低维修人员差错可以从合理安排人员工作时间、对维修人员进行培训选拔入手。2021年,顾金玲等^[26]针对高原环境对维修人员效能影响,以影响维修保障人员效能的主要因素分析为基础建立评估指标体系并确定各指标权重,实现对维修保障人员效能量化评估。航空器在高高原机场运行时会发生较为频繁的液压冲击、污染滑油等现象且对发动机系统和刹车系统维护的要求更高,这使得维修人员工作负荷大大增加^[27]。

3) 空中交通管理人为因素研究。空管人为差错是由于管制员错误行为或不作为导致空管系统出现了负面效应影响空中交通安全,引发空管人为差错不安全事件因素有很多,包括工作环境因素、管制软硬件等^[28-29]。高高原特殊环境下的低压缺氧会更容易使空管人员罹患急性高原病(acute mountain sickness, AMS)。2014年, Pan 等^[30]对空管自动控制系统进行分析,确定了自动控制系统对新型控制器及其工作影响,提出提高空管新员工高原环境适应能力策略。高高原管制员工作负荷是导致空管人员产生人为差错的重要原因,2015年,路娜^[31]以长期在高高原环境工作的空管人员为研究对象,采用数据包络分析法对管制员心理负荷进行分析,结果表明认知资源消耗水平是管制员工作负荷主要原因。

高高原特殊工作环境对航空从业人员作业环境和工作负荷造成很大影响,高高原医疗辅助应密切关注高高原航空从业人员生理心理健康状态,帮助高高原从业人员适应高原环境并有效缓解工作负荷。表 3 针对高高原运行环境对飞行人员、机务维修人员、空管人员的影响做出分析并提出了具体应对方式。

表3 高高原运行环境下航空人为因素影响表征及原因分析

航空人为因素	高高原环境人因影响表征	原因分析	应对方式
飞行人员	影响飞行员认知能力及操控能力;飞行员注意力难以集中、反应迟缓、认知能力下降;易产生恐惧心理且难以很好处理突发状况	高高原低压低氧影响飞行员行为能力,使得反应及认知能力降低,易产生恐惧心理	加强高高原飞行员训练和心理疏导;采用双机长模式
机务维修人员	维修工作负荷加大,出现缺氧现象;容易产生疲劳,身体机能降低,故障诊断和排除效率降低	低氧会降低人体内的血氧浓度,影响维修人员的故障诊断与排除能力	调整维修人员的工作时间会有效抑制疲劳对维修人员的影响,进行体格检查与训练会降低环境对人员的影响
空管人员	高高原高强度任务负荷易使管制人员产生行为错乱,增加塔台管制员人为错误率	低压、缺氧等环境会使得高高原空管工作负荷增大	合理安排管制工作排班和休息制度,有效降低高高原环境对空管人员影响

2.3.2 高高原航空器适航安全性研究

民用航空器适航安全性表现为设计制造阶段的初始适航性和维护使用阶段的持续适航性要求,高高原地区空气稀薄、地形复杂、气象多变,对飞机性能和运行支持保障能力提出了更高要求。在高高原航空器初始适航安全性研究方面,谭晓文^[32]将导航台信号遮蔽因素引入到一发失效应急程序(engine out standard instrument departure, EoSID)研究与设计中,提出了2种平飞加速段净轨迹距离算法并通过具体案例设计论证研究必要性和可行性。袁大天等^[33]为研究直升机航电系统对高原环境的适应性,分析严寒环境对系统的影响并采用模糊综合评价方法得到适应性评价值,结论表明直升机对高原寒冷环境适应性较好。李大为等^[34]针对高高原特殊环境对航空器性能产生影响会出现发动机在高原起动的超温现象,以某型航空发动机为研究对象,根据高原环境对发动机起动过程影响进行理论分析,得出不同措施对起动过程影响特性。2020年,中国ARJ21飞机103架机在全球海拔最高高原机场——稻城亚丁机场(海拔4411 m)完成最大起降高度扩展初始适航试飞试验,验证了ARJ21飞机在高高原机场环境下的起降能力,此次ARJ21飞机高高原符合性验证试验和试飞审定工作,也为中国后续C919、CRJ929等大型客机初始适航审定奠定了基础^[35]。

在高高原民用航空器持续适航安全性研究方

面,朱强等^[36]通过太阳辐射计算模型分析高高原地区太阳辐射对飞机复合材料等的影响,并给出了提升维修能力建议。孙瑞山等^[37]针对飞机在高原运行时易发生爆胎的情况结合轮胎受力、高原环境等多种情况进行故障树分析,发现造成该现象的主要原因来自飞行员的人为差错。赖安卿等^[38]基于QAR数据对某型大涵道比涡扇高高原发动机冷发起动失效和热发起动成功时的关键性能数据进行了对比分析;针对发动机起动时燃烧状态,设计了航空发动机在翼尾气测量系统,测量分析尾气主要成分实时浓度,结果表明,高高原无论冷发起动失败还是热发起动成功,起动机均需要单独带动发动机运转较长时间;受制于发动机排气温度(exhaust gas temperature, EGT)的限制,冷发起动第三阶段供油量基本维持不变,造成起动悬挂;热发与冷发相比,EGT温度较高,未燃碳氢化合物和一氧化碳的排放浓度较小,氮氧化物排放浓度差距不大,热发的燃油燃烧更充分。

2.3.3 高高原航空运行环境研究

SHELL模型中的航空运行环境(environment, E)包括自然环境和社会环境。在高高原自然环境方面,高高原运行的自然环境会对机场设备设施产生不利影响,普遍有甚高频(very high frequency, VHF)作用距离近,高频(high frequency, HF)通信质量不稳定情况等,复杂恶劣天气导致能见度降低和飞机颠簸会对飞行员造成心理和生理影响干扰

飞行员的判断,主要影响天气有冰雹、结冰、风切变、强降水、低云等^[39]。段炼等^[40]就九黄机场易出现低空风切变的现象展开研究,通过对机场特征的分析以及终端区风切变的探测现状设计了适用于九黄机场的风切变探测系统。2017年 Datong 等^[41]根据黑邦机场平均气温、降雨量和风速,开发出自回归综合移动平均 (ARIMA) 模型用于天气预报,模型的拟合结果显示在预测温度方面有较好效果。2021年, Huang 等^[42]提出了一种基于模糊聚类高维数据相似性权重自适应算法,用于描述相似性度量不确定性,在此基础上进一步提出可视化分析框架,用于气象预报数据不确定性探索和相似性度量方法优化。

在高原航空运行社会环境方面,高原从业人员所处社会环境与其他运行场景具有可参照性。2020年,王永刚等^[43]通过问卷调查得到与飞行作风有关的因素,并分析飞行员工作、生活和人格3个维度对飞行作风的影响程度,得出结论,3个维度中的人格特质具有最大影响。2021年,王永刚等^[44]采用 SEM 模型研究飞行员人格与安全绩效的关系,分析主动性人格对不同等级事件的影响并得出结论,主动性人格会提升安全绩效。根据研究表明合理的体育活动会提升飞行员体质,降低因肥胖导致的疾病,提高航空运行安全性^[45-46]。陈学东^[47]对600多名飞行员进行业余体育锻炼问卷调查,探索中国飞行员体育锻炼状况,分析发现有规律进行锻炼的飞行员数量较少,其主要原因是工作繁忙。高原缺氧环境对飞行员认知会产生负面影响,易出现高原反应,工作难度增大,压力增大,飞行员在仪表上的平均注视时间就会更高。长期高原飞行对飞行员工作及生活会产生影响,有必要从社会环境视角开展高原飞行员选拔和培养。

2.3.4 高原航空运行规章标准研究

在高原航空运行规章标准研究方面,2009年中国民用航空局(以下简称民航局)颁布特殊机场分类标准及运行要求咨询通告 (AC-121-2009-17R1),参照美国联邦航空局 (Federal Aviation Administration, FAA) 和欧洲航空安全局 (European Union Aviation Safety Agency, EASA) 有关规定,制

定在特殊机场运行的政策和对机长的资格要求。2014年,民航西南地区管理局组织编制了《西南地区高原机场运行飞机维修指导意见》(以下简称《指导意见》)对高原机场的运行特点及规律进行分析,对西南地区高原机场的维护经验以及典型不安全事件进行了回顾和分析,提炼和归纳了民航西南地区保障高原航线运行安全经验,梳理汇总了高原机场运行相关的术语定义、局方的相关规章、标准和规范性文件。《指导意见》对高原机场运行飞机的构型要求、维修组织以及执行高原飞行的不同机型关键系统、特检单和涉及高原飞行的最低设备清单 (minimum equipment list, MEL) 等提出了较为详细标准和要求,为进入高原航线运行的相关单位提供标准和依据。2015年11月民航局下发《高原机场运行》规范性文件 (AC-121-FS-2015-21R1),对中国民用航空规章 (Chinese Civil Aviation Regulations, CCAR) CCAR121部《大型飞机公共航空运输承运人合格审定规则》中有关特殊机场运行要求细化,为CCAR121部合格证持有人申请进入高原机场运行和在高原机场运行实施安全管理提供指导。2018年《西南地区高原机场运行适航管理标准》(以下简称《标准》)对高原机场运行适航管理的要求更加明确、具体和统一,对执飞高原航线飞机的维修和放行标准要求更加严格。《标准》根据机型的特点和构型,从飞机和发动机运行限制、MEL放行限制项目等方面进行了规范。2020年民航局颁发《航空承运人特殊机场的分类标准及运行要求》(AC-121-FS-17R2)规范文件,以风险管控为前提,进一步聚焦特殊机场安全风险成因,修订特殊机场分类标准确保其运行及管理能力和所运行机场和区域特点相匹配。在高原航空安全运行运输类飞机性能、程序以及设备要求需要遵循安全适航规定条款(表4)^[48-50]。

3 研究趋势

当前高原人因工程研究进展方面,在高原航空人因工程领域人(L)方面,主要在飞行员、机务维修人员以及空管人员生理心理方面开展了系

表4 高高原航空安全运行相关适航条款

条款	飞机性能、程序或设备	内容
CCAR25. 101(c)	飞机可用推进力	推进力必须与低于规定推力减去安装损失等推力相对应
CCAR 25. 101(f)(g)(h)(1)	飞机的形态、速度、功率	改变飞机形态时推力按照申请人为使用操作所制定的程序进行
CCAR 25. 841(a)(b)	座舱和隔舱	载人的增压座舱、隔舱必须装有设备且增压座舱必须有控制座舱的活门、控制器和指示器
CCAR 25. 903(d)(2)	涡轮发动机的安装	与发动机有关的设计产生的不利影响小于其使用限制
CCAR 25. 903(d)(2)	APU 系统的设计与安装	APU 系统设计与安装产生的不利影响小于其使用限制
CCAR 25. 939(a)	涡轮发动机工作特性的检查	使用期间不出现危险特性
CCAR 25. 1301(d)	功能与安装	安装后功能正常
CCAR 25. 1309(a)(c)	设备、系统及安装	设计要完成预定功能,提供警告信息
CCAR 25. 1581(a)(1)(2)	为每架飞机提供飞行手册	每架飞机需配有飞行手册
CCAR 25. 1585(a)	使用程序	提供有关飞机正常运行特点的资料及说明

列研究,特殊低温低压低氧的高高原作业环境是影响高高原航空从业人员工作表现的重要因素。在高高原航空器适航安全性(H)方面,更多关注了高高原民用航空器设计制造阶段的初始适航性和维护使用阶段的持续适航性要求。在高高原航空运行环境(E)方面,更多关注了高高原航空运行环境包括自然环境和社会环境特性研究,航空公司要重视人员特质及专业训练,并加强各部门人员的体育活动,提升高原环境适应性。在高高原航空运行规章标准(S)方面,高高原运行场景下的飞机性能、程序及设备需遵循相应适航规章标准。未来高高原人因工程研究更多可能聚焦在高高原航空人因生理医学、高高原航空人机交互适航验证、高高原航空人因工程规章标准以及高高原航空人因工程应急机制等领域。

3.1 高高原航空人因生理医学研究

从生理医学视角分析解决航空人员在高原环境的适应性问题,探究高高原航空作业环境对人的生理心理影响规律,通过数据研究分析识别高原环境影响航空人员行为、心理、大脑控制力等因素。在高高原航空从业人员生理心理医学生理表征、高原环境对航空从业人员心理影响机理方面开展基础理论研究。有针对性建立高原从业人员心理咨询以及新员工辅助训练方案来使其更快

适应环境,在治疗和预防如高空减压病、急性高原病等高原病应用研究方面也有待深入。由于高原驻训飞行人员更易受到高原环境的影响,在高原驻训飞行人员航空医学选拔标准、医学临时停飞标准、睡眠保障技术、体能训练方案、供氧体能训练室建设、心理卫生保障技术及飞行人员进驻高原前预适应训练方法研究等方面有待持续推进。

3.2 高高原航空人机交互适航验证研究

高原运行场景下的航空人机交互机制及适航验证技术是高高原航空人因工程研究重要内容。现代人机交互设备发展基于眼睛、手势、语音,飞机飞行时飞行员需要接收并回复空管指令,人机对话系统则需要能够提高通信对话质量进而减少航空中由于理解偏差而导致事故,实现管制培训中飞行员席位自动化等。探究高原运行场景下的航空人机交互机理,预测高原场景下飞行员脑力负荷,准确进行人机交互意图识别。此外,航空器在高原投入运行之前都要进行高原试飞适航验证从而检验飞机各零部件和设备在高原运行环境下的可靠性程度,科学构建高原人机交互适航验证场景及开发适航验证技术是面向高原航空人机交互适航验证的航空人因工程研究领域重要内容。

3.3 高高原航空人因工程规章标准研究

2020年《科技日报》刊登的中国35项“卡脖子”

关键技术中排在第11位的是“适航标准”。航空器在正式投入运营之前需获得适航证,其中必须经过一套非常严格的“适航”标准体系验证,涵盖设计、制造、维护和使用航空器全寿命周期。目前在国际上,以FAA和EASA的适航规章标准影响力最大且认可度高。尽管在规章标准层面,中国与FAA基本保持一致,但由于中国国产民机工程实践不足,中国适航规章缺乏相应工程验证技术支撑。实际型号的适航验证工作,成为被卡在别国空域之外的关隘。高高原航空安全运行的要求更严格,当前国际有关高高原航空运行规章、行业标准更是缺少,需重视高高原航空人因工程规章标准建设,为适合高高原运行的国产民机设计制造及维护运行提供规章标准支持。因此,面向高高原航空的人因工程规章标准制定及工程验证技术有待研究。

3.4 高高原航空人因工程应急机制研究

建立科学规范航空事故预防机制是规避航空事故灾害扩大的有效手段,科学制定和采取航空不安全事件应急处置方案能极大减少生命和财产损失。由于当前世界范围内高原航空安全运行管理经验普遍不足,不安全事件发生概率大。建立健全高高原民用航空器飞行事故应急机制,提高应对突发危机事件的能力,保证高高原民用航空器飞行事故应急工作协调、有序和高效进行,最大程度地减少人员伤亡对维护社会稳定和促进航空安全具有现实意义。因此,面向高高原航空事故防控的应急预案编制、应急信息大数据智慧化、应急演练与优化、应急恢复与事故调查以及高高原航空应急装备研发等应急系统性基础理论及工程技术研究有待开展。

4 结论

在把握高高原航空人因工程内涵基础上,通过分析高高原运行特点,归纳高高原航空运行特性及风险,结合航空人因工程理论SHELL模型,从航空人因系统人(L)、硬件(H)、环境(E)以及软件(S)4个层面系统总结高高原人因工程研究进展,得出主要结论如下。

1) 高高原特殊的环境是导致飞行人员、机务维修人员、空管人员等典型航空从业人员工作负荷增大的关键影响因素。高高原医疗辅助应该密切关注高高原航空从业人员生理心理健康状态,帮助高高原从业人员适应高原环境并有效缓解工作负荷。

2) 高高原气压低、空气稀薄、地形复杂和风切变等气象环境条件的存在是导致航空器飞行操纵难度加大、机动性能降低关键因素,需提高高高原航空运行安全保障技术和建立有效规范管理机制。

3) 在高高原航空运行环境方面,高高原自然环境会对机场设备设施产生不利影响,存在有甚高频(VHF)作用距离近,高频(HF)通信质量不稳定情况,复杂恶劣天气导致能见度降低和飞机颠簸会对飞行员造成心理和生理影响,干扰飞行员判断。

4) 在高高原运行规章标准方面,中国根据高高原运行特征,针对飞机构型要求、维修组织以及执行高高原飞行的不同机型的关键系统、特检单和涉及高高原飞行的MEL等制定了系列规章标准。

当前高高原人因工程领域研究聚焦高高原运行环境下的人因工效表征及致灾机理与事故防控机制研究。从高高原运行环境下的民用航空器全生命周期安全保障出发,以“人”为中心研究视角的人机交互基础理论与工程技术有待深入。因此,未来从生理医学视角分析高高原航空人因特征机理、高高原航空人机交互适航验证方法及技术、高高原航空人因工程规章标准以及高高原航空人因工程应急机制是今后研究发展趋势。

参考文献(References)

- [1] 中国民用航空局. 高原机场运行: AC-121-FS-2015-21R1[S]. 北京: 中国民用航空局, 2015.
- [2] 许琨, 徐阳, 胡蕾, 等. 基于位置大数据的青藏高原人类活动时空模式[J]. 地理学报, 2020, 75(7): 1406-1417.
- [3] Shigeto K, Ming D. Mutual influence between human activities and climate change in the Tibetan Plateau during recent years-ScienceDirect[J]. Global and Planetary Change, 2004, 41(4): 241-249.
- [4] Kang S, Xu Y, You Q, et al. Review of climate and cryospheric change in the Tibetan Plateau[J]. Environmental Research Letters, 2010, 5(1): 15101-15109.

- [5] Carter E, Archer N S, Ni K, et al. Seasonal and diurnal air pollution from residential cooking and space heating in the Easter Tibetan Plateau[J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50(15): 8353-8361.
- [6] Kukulies J, Chen D, Wang M. Temporal and spatial variations of convection, clouds and precipitation over the Tibetan Plateau from recent satellite observations. Part II: Precipitation climatology derived from global precipitation measurement mission[J]. *International Journal of Climatology*, 2020, 40(18): 4858-4875.
- [7] 田志军, 贺卫萍, 米安明. 高原驻训期间作业士兵最佳吸氧方案的探讨[J]. *人民军医*, 2013, 56(7): 750-752.
- [8] 罗勇军, 冉庄, 戴婷, 等. 世居高原男性高血红蛋白士兵肝功能及血小板特征分析[J]. *人民军医*, 2021, 64(9): 809-810, 820.
- [9] 韩德志, 陈向军, 姚兴伟, 等. 驻北方高原寒区某部官兵冻伤情况调查与分析[J]. *人民军医*, 2014, 57(1): 13-14.
- [10] Liu L B, Zhang H Y, Chen C, et al. Pilot study on long-term simulation of PCB-153 human body burden in the Tibetan plateau[J]. *Chemosphere*, 2021, 276: 1-7.
- [11] Shao Q, Dong M, Shen Z Y, et al. Integrating ergonomics into safety management: A conceptual risk assessment model for tower controllers at multiple altitudes[J]. *IEEE Access*, 2021, 9: 93364-93383.
- [12] 裴照, 谷雪娇, 庄媛. 我国高高原机场发展相关问题初探[J]. *民航学报*, 2021, 5(5): 19-23.
- [13] 陈善广, 李志忠, 葛列众, 等. 人因工程研究进展及发展建议[J]. *中国科学基金*, 2021, 35(2): 203-212.
- [14] IEA. What is ergonomics[EB/OL]. (2020-12-08)[2021-04-14]. <https://iea.cc/What-is-ergonomics>.
- [15] Shepherd W T, Johnson W B, Druray C G, et al. Human factors in aviation safety[J]. *China Civil Aviation*, 2008, 40(21): 1070-1071.
- [16] 顾铮. 航空人因设计与适航审定: 第1版[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2019: 12-15.
- [17] 周长春. 航空安全管理: 第2版[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2017: 58-59.
- [18] Perboli G, Gaietti M, Fedorov S, et al. Natural language processing for the identification of human factors in aviation accidents causes: An application to the SHELL methodology[J]. *Expert Systems with Applications*, 2021, 186(7): 115694-115702.
- [19] 张薇. 高原复杂机场终端区飞行飞行员行为特征的实验研究[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2012.
- [20] Ma J, Ma R M, Liu X W, et al. Workload influence on fatigue related psychological and physiological performance changes of aviators[J]. *PLoS One*, 2014, 9(2): 87121-87129.
- [21] 李海龙. 高高原航线飞行员胜任特征模型研究[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2016.
- [22] Luo X L, Chen D X. Research on risk evaluation using RNP technology for operation into high elevation airports with critical terrain[J]. *Procedia Engineering*, 2011, 17: 125-140.
- [23] 张子彦. 高原机场终端区飞行闭环稳定性分析[J]. *飞行力学*, 2013, 31(3): 209-212.
- [24] 唐孟军, 胡文东, 马进, 等. 应激条件下飞行能力评估及在飞行员选拔中的应用研究[J]. *航天医学与医学工程*, 2017, 30(6): 396-400.
- [25] 陆崑. 高原机场维修保障工作初探[J]. *航空维修与工程*, 2009(3): 62-63.
- [26] 顾金玲, 雷争军, 于海龙, 等. 基于AHP的高原环境下装备维修保障人员效能评估[J]. *现代雷达*, 2021, 43(7): 44-48.
- [27] 孙宏, 沈锋, 苏敏. 高原航线运行对航空器适航保障的特殊要求[J]. *航空维修与工程*, 2007(1): 41-43.
- [28] 倪端端. 面向空管人为差错分析的本体知识框架建模与实现技术研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2017.
- [29] 姚虹翔. 管制员工作负荷评估方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.
- [30] Pan W J, Wu D, Lu N. Analysis on plateau environment acclimatization strategy for new air traffic controllers[J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 838-841: 2513-2517.
- [31] 路娜. 基于DEA模型的高高原机场管制员工作负荷评估研究[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2015.
- [32] 谭晓文. 基于信号遮蔽的高高原复杂地形下EOSID研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2017.
- [33] 袁大天, 于芳芳, 李太平. 直升机航电系统高原高寒环境适应性评估[J]. *装备环境工程*, 2019, 16(10): 76-80.
- [34] 李大为, 李家瑞, 李锋, 等. 航空发动机高原起动性能改善措施[J]. *航空发动机*, 2020, 46(2): 47-50.
- [35] 李欣阳, 王脊梁. ARJ21飞机在全球海拔最高民用机场完成专项试验试飞[J]. *民用飞机设计与研究*, 2020, 138(3): 3.
- [36] 朱强, 陈云翔, 车飞, 等. 高原地区太阳辐射对飞机维修保障的影响[J]. *电光与控制*, 2014, 21(11): 88-92.
- [37] 孙瑞山, 孙立斌. 高原机场飞机起飞爆胎分析[J]. *中国科技信息*, 2017(21): 89-92.
- [38] 赖安卿, 付尧明, 闫锋. 民航涡扇发动机高高原起动失效机理试验研究[J]. *机械设计与制造*, 2020, 1(1): 101-104.

- [39] 王伟, 种小雷, 陈东方, 等. 高原危险气象下的机场端净空评定方法研究[J]. 飞行力学, 2021, 39(3): 20-26.
- [40] 段炼, 李爱国, 马艳. 九黄机场风切变与湍流探测研究[J]. 广汉: 中国民航飞行学院学报, 2010, 21(2): 6-10.
- [41] Datong G M, Goltong N E. The use of ARIMA models in weather forecasting: A case study of Heipang Airport-Jos, Plateau State, Nigeria[J]. International Journal of Innovative Scientific & Engineering Technologies Research, 2017, 5(2): 1-13.
- [42] Huang R, Chen L, Yuan X. A visual uncertainty analytics approach for weather forecast similarity measurement based on fuzzy clustering[J]. Journal of Visualization, 2021, 24(3): 317-330.
- [43] 王永刚, 左笑颖, 韩文娟. 飞行员飞行作风内在影响因素及对策研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(9): 173-179.
- [44] 王永刚, 秦凝双, 杨光. 基于SEM的飞行员主动性人格与安全绩效关系研究[J]. 中国交通观察, 2021, 43(5): 9-16.
- [45] 阮亚, 吴蕾聆, 史峰. 民航飞行员健康体检外科情况分析[J]. 航空航天医学, 2011, 22(5): 548-549.
- [46] 张平. 构建我国民航飞行大学生航空体育教学体系的探索[J]. 四川体育科学, 2007, 35(4): 125-128.
- [47] 陈学东. 我国民航飞行员业余体育锻炼行为调查研究[J]. 广州体育学院学报, 2016, 36(1): 48-51.
- [48] 徐骏驰, 孙有朝. 运输类飞机高原机场运行的适航验证方法[J]. 航空计算技术, 2018, 48(2): 129-134.
- [49] 中国民用航空局. 航空承运人高原机场运行管理规定: AC-121-21[S]. 北京: 中国民用航空局, 2007.
- [50] 中国民用航空局. 特殊机场的分类标准及运行要求: AC-121-2009-17R1[S]. 北京: 中国民用航空局飞行标准司, 2009.

Review of high plateau aviation human factors engineering theory

CHEN Nongtian, NING Weifeng, MAN Yongzheng, LI Junhui

Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China

Abstract The safety of high plateau aviation human factors engineering is a key factor affecting safe operation of high plateau aviation and has become a research hotspot of aviation human factors engineering interdisciplinary study. In this article, starting from the current research status of high plateau human factors engineering theory at home and abroad, we analyze the characteristics of high plateau aviation operation and key risks. Then combined with the SHELL model of aviation human factors engineering theory, we summarize high plateau aviation human factors, high plateau aircraft airworthiness safety, high plateau aviation operating environment and high plateau aviation operating regulations and standards from the four levels: human, hardware, environment and software. Finally, we point out that high plateau aviation human factors engineering research should focus on high plateau aviation human factors physiology, high plateau aviation human-computer interaction airworthiness verification, high plateau aviation human factors engineering regulations and standards, as well as high plateau aviation human factors engineering emergency mechanisms.

Keywords high plateau aviation operation; aviation human factors engineering; SHELL model; airworthiness safety; aviation regulations and standards ●



(责任编辑 傅雪)