

第十四届海峡两岸飞行技术暨飞行安全研讨会

智能化时代的飞行人因风险防控思考与探索

——认知与情绪的交互影响



汪磊

2026.10.14 杭州

目 录

CONTENTS

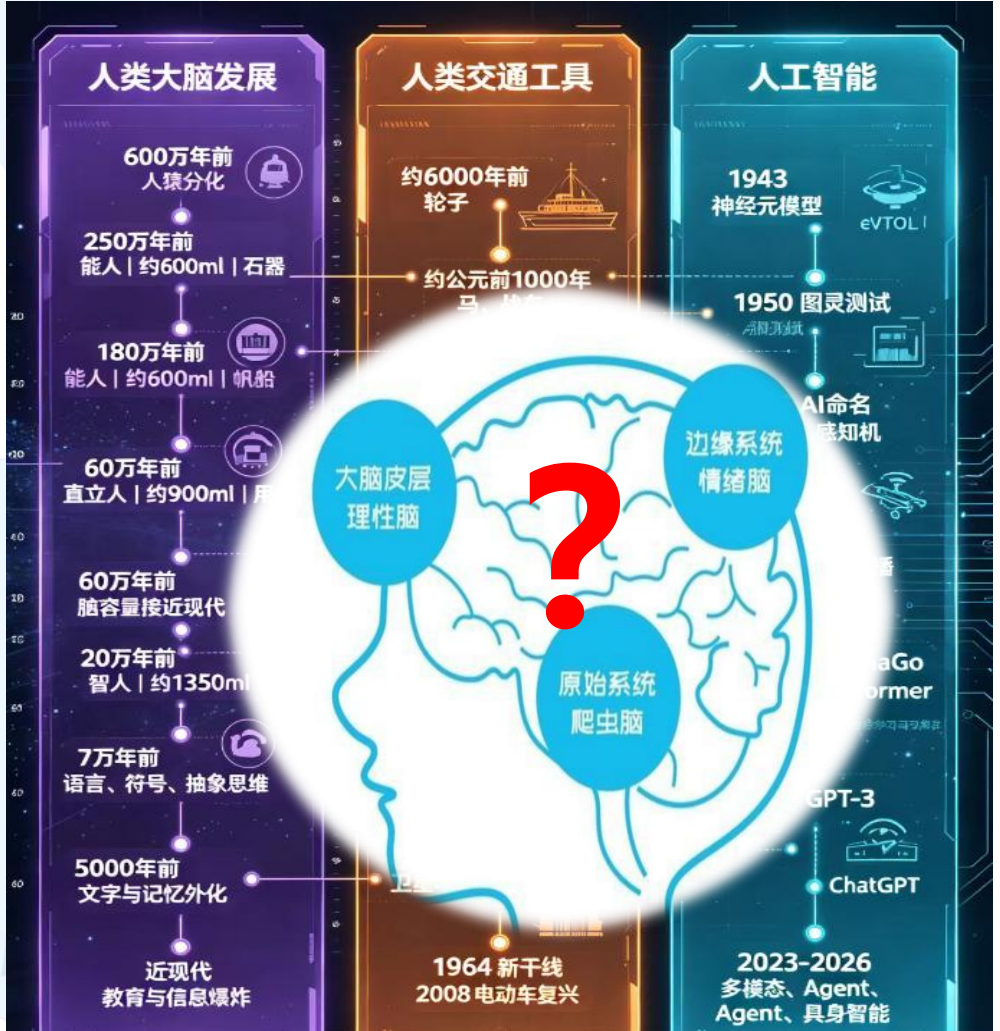
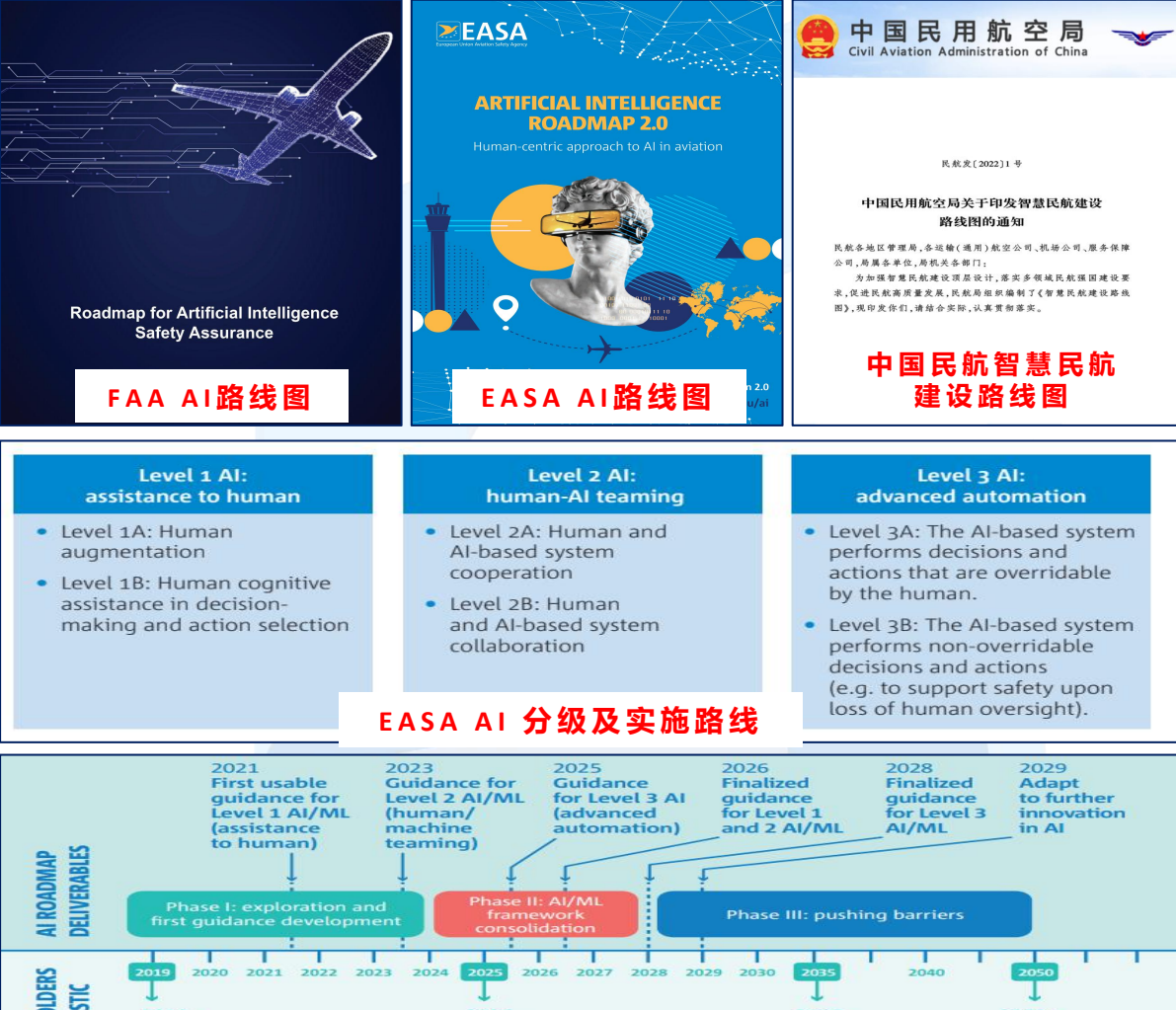
一 人因差错的心理机制

二 智能时代的人因问题

三 风险防控的方向思考

一、人因差错的心理机制

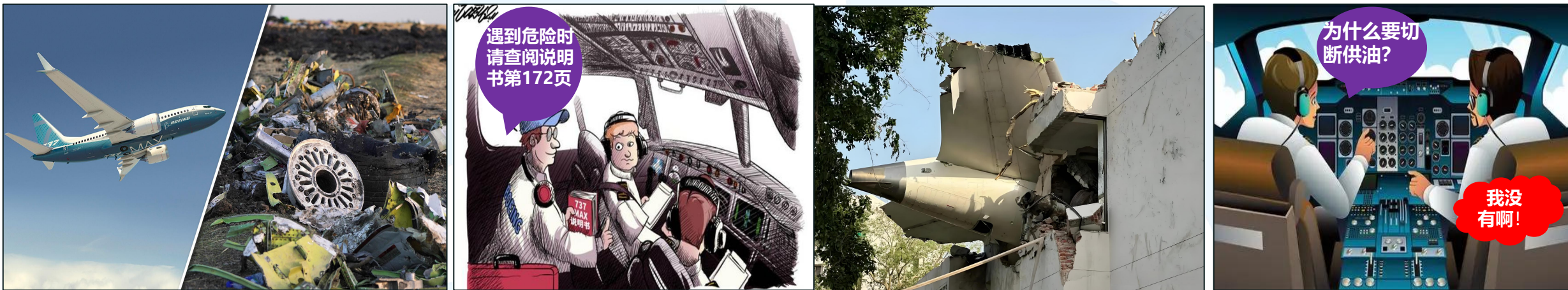
✈️ AI时代背景



智能化、信息化技术发展迅速，我们人类大脑是否做好了准备？？

一、人因差错的心理机制

✈ 事故/事件发生情境中的人



□ 人存在局限性（比如注意隧道效应），在**特情之下**的行为决策存在不确定性

□ 人因事件往往不是“人的问题”，而是“**系统问题**”（系统设计难以并行穷举各种特情以及人的局限性）

一、人因差错的心理机制

✈ 事故/事件发生情境中的人

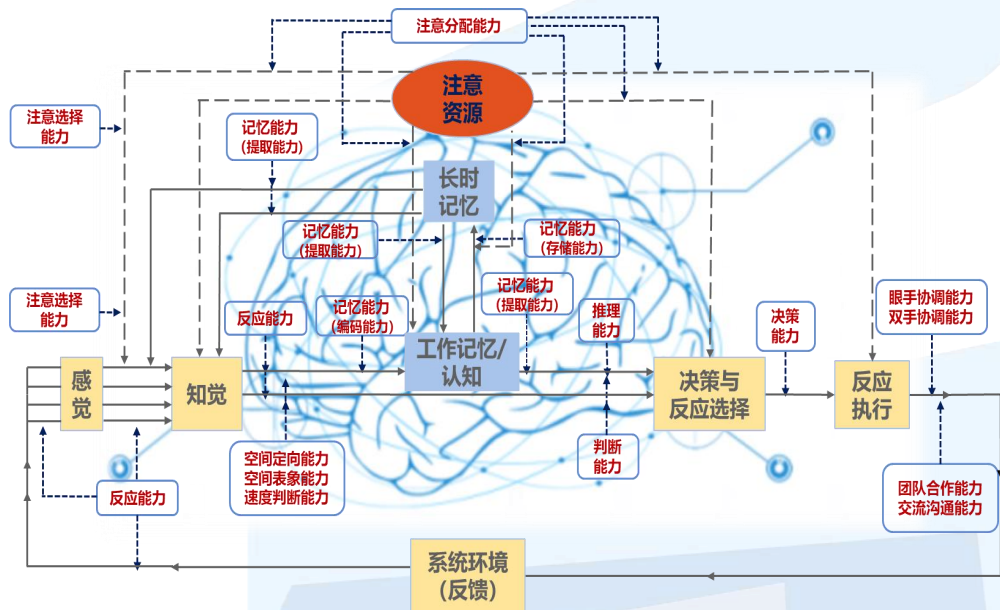


“为将之道，当先治心。泰山崩于前而**色不变**，麋鹿兴于左而**目不瞬**，然后可以制利害，可以待敌”

——苏洵《心术》

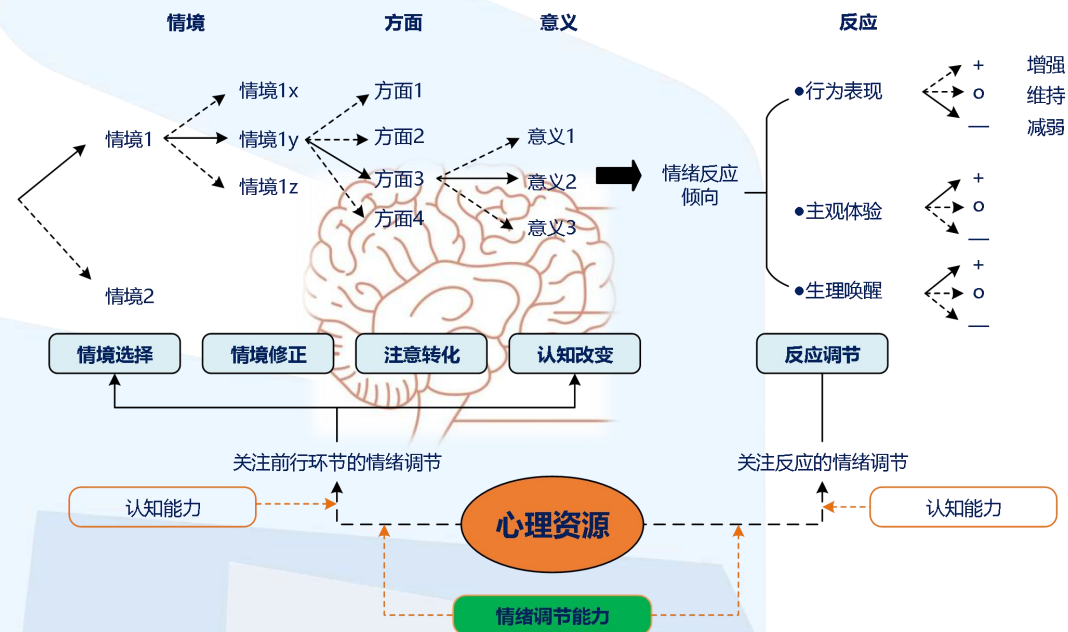
一、人因差错的心理机制

✈ 基本逻辑：人因差错是如何产生的？人在什么时候表现最好？



认知过程与能力

- Wickens C D. Multiple resources and mental workload[J]. Human factors, 2008, 50(3): 449-455.
- 汪磊,张梦茜,邹颖等.基于信息加工模型的飞行员能力测评指标研究[J].中国民航大学学报,2023,41(02)

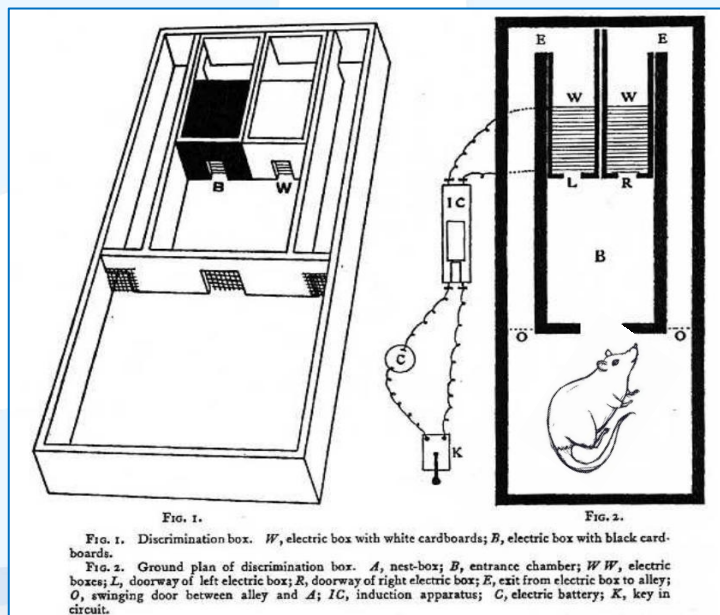
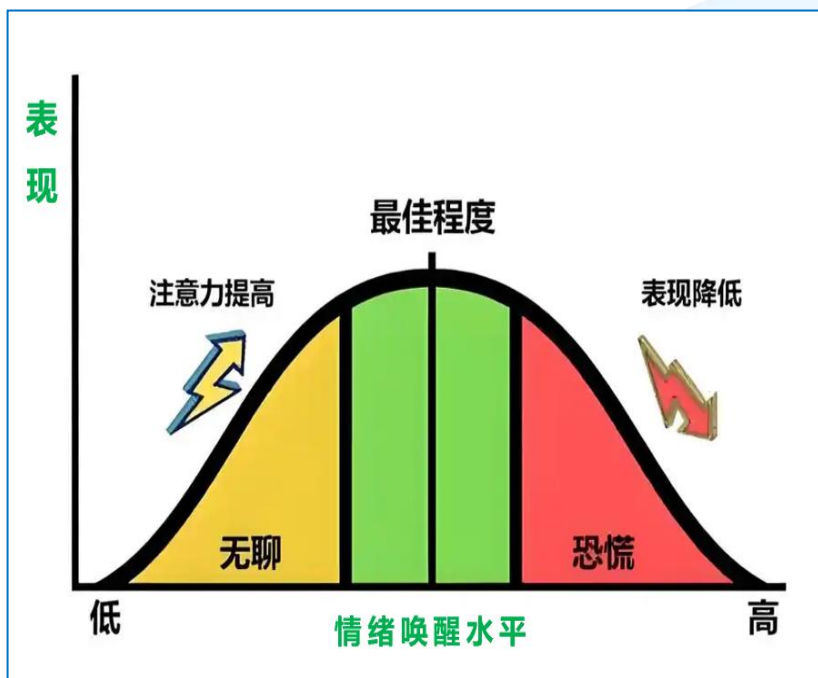


情绪过程与情绪能力

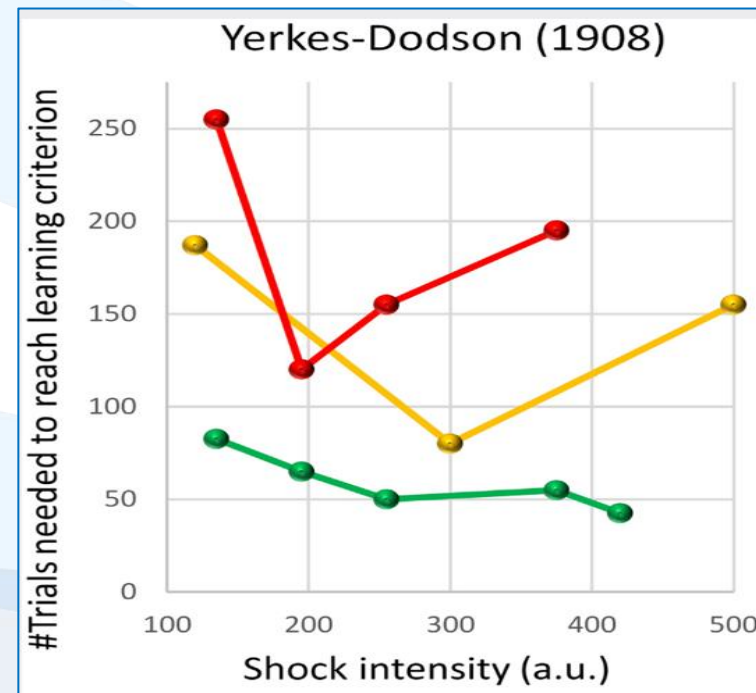
- Gross J J. Antecedent-and response-focused emotion regulation: divergent consequences for experience, expression, and physiology[J]. Journal of personality and social psychology, 1998, 74(1): 224.

一、人因差错的心理机制

→ 基本逻辑：人因差错是如何产生的？人在什么时候表现最好？



小鼠电击实验



认知与情绪的交互影响—耶克斯-道德森定律

- Yerkes R M, Dodson J D. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation[J]. 1908.
- Hebb D O. Drives and the CNS (conceptual nervous system)[J]. Psychological review, 1955, 62(4): 243.

目 录

CONTENTS

一 人因差错的心理机制

二 智能时代的人因问题

三 风险防控的方向思考

二、智能时代的人因问题

✈️ AI在航空领域的应用



飞机设计与运营

- 飞行控制优化
- 传感器校准
- 结冰检测
- 虚拟副驾驶
- 自主飞行

生产与维护

- 预测性维护
- 数字孪生
- 供应链优化

环境

- 轨迹优化
- 碳排放评估
- 噪音影响分析

空中交通管理

- 4D轨迹预测
- 冲突检测与解决
- 流量优化



机场

- FOD检测
- 鸟击雷达
- 无人机检测
- 安检

无人机与U-space

- *detect and avoid*
- 动态解冲突
- 无GPS导航

网络安全

- 漏洞自动检测

安全风险

- 风险建模
- 实时风险管理

二、智能时代的人因问题

→ 智能化驾驶舱的特征

多维感知与“静暗”显示、多模态自然交互、智能辅助与自适应决策、开放架构与个性化



FAA Grants STC for Wearable Head-up Display on 737NG

The STC enables a 50 percent reduction in minimum visibility requirements



The approval of the Universal Avionics ClearVision EPVS in the Boeing 737NG also offers the opportunity to install the dual-pilot wearable head-up display in Boeing Business Jets.



DOT/FAA/AM-26/02
Aviation Safety
Office of Aerospace Medicine
Washington, D.C. 20591

Use of a Monocular and Binocular Head-Worn Display in Lieu of a Head-Up Display During Approach, Landing, and Rollout: Human Factors Evaluation of Pilot Performance and Workload

David C. Newton, Ph.D.¹
Eric T. Greenlee, Ph.D.²
Theodore C. Mofa³
Farzaneh Shahini, Ph.D.³
Rebecca DiDomenica³
Indral Choh, Ph.D.³
Ryan Weaver⁴

¹Federal Aviation Administration
Civil Aerospace Medical Institute
Oklahoma City, OK 73169

³Cherokee Federal
Oklahoma City, OK 73169

²Texas Tech University
Department of Psychological Sciences
Lubbock, TX 79409

⁴Federal Aviation Administration
Flight Research and Analysis Group
Oklahoma City, OK 73169

January 2026



Head-wearable Display Obtains First Certification

The ClearVision EPVS and SkyLens head-wearable display will soon be flying operationally in regional airlines, then business jets and helicopters.



EASA has approved Universal's ClearVision system with SkyLens head-wearable display on the ATR 72-600.

□ 驾驶舱仪表信息化的变革
(HUD-HWD)

□ 飞机智能化驾驶舱的本质，是通过技术的深度整合，将飞行员从繁重的“**操作员**”角色中解放出来，转变为更高效的“**飞行管理者**”和“**决策者**”，最终目标是为了提升飞行的安全性和任务效能

二、智能时代的人因问题

✈ 智能化对认知行为过程的影响



飞行员需要从多个动态更新的数字屏幕中筛选关键信息，当信息量超出处理极限时，容易陷入“注意力隧道”，即只盯着单一任务而忽略整体态势。



- 科学已证实了智能手机使用时间
与注意力之间的负相关关系
(Aalbers et al., 2022; Schnauber-Stockmann et al., 2018; Stothart et al., 2015)

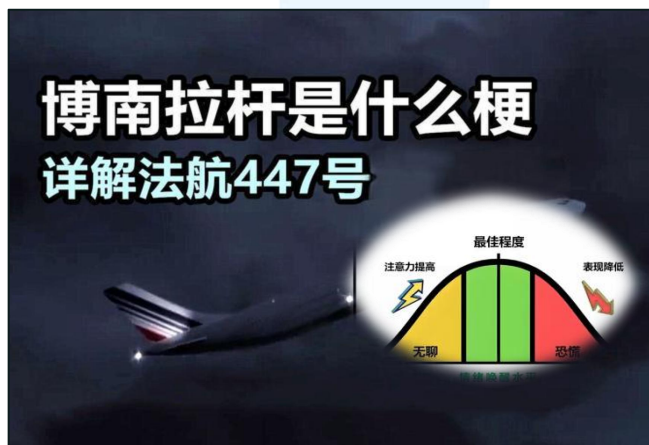
- 手动飞行技能衰退（感官与皮层用进废退、**陈述性知识与程序性知识区别**）、情境意识问题（B737MAX与自动化黑箱、Level 2A和 2B的差异）
- 信息过载（线性思维与图像思维）、注意分配能力变弱（注意力涣散、**注意分配与工作负荷管理密切相关**）

二、智能时代的人因问题

✈ 智能化对情绪情感过程的影响（1/3）



科尔根航空3407号航班
自动驾驶突然断开后，机长做出了一个与教科书**完全相反的动作**



维度	自动化惊奇	自动化惊吓
领域	航空、工业控制、人机交互	社会心理学、机器人伦理、公共安全
对象	专业操作者(如飞行员)	普通大众或特定个体
核心风险	决策失败、系统失控、安全事故	心理创伤、信任崩塌、社会抵触
解决路径	优化界面反馈、加强情景意识训练	增加声光提示、规范测试流程、伦理设计
惊奇是“脑子没跟上”——认知偏差 惊吓是“心理被吓到”——情绪应激		



人机信任



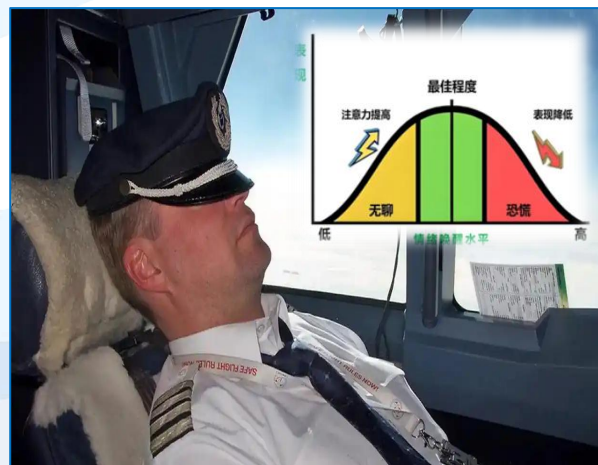
人际信任

□ 自动化**惊奇**与**惊吓**（耶克斯-道德森定律的实证）

□ **人机信任** vs **人际信任**（哪一种信任更容易被修复、为什么需要情绪价值）

二、智能时代的人因问题

✈ 智能化对情绪情感过程的影响 (2/3)



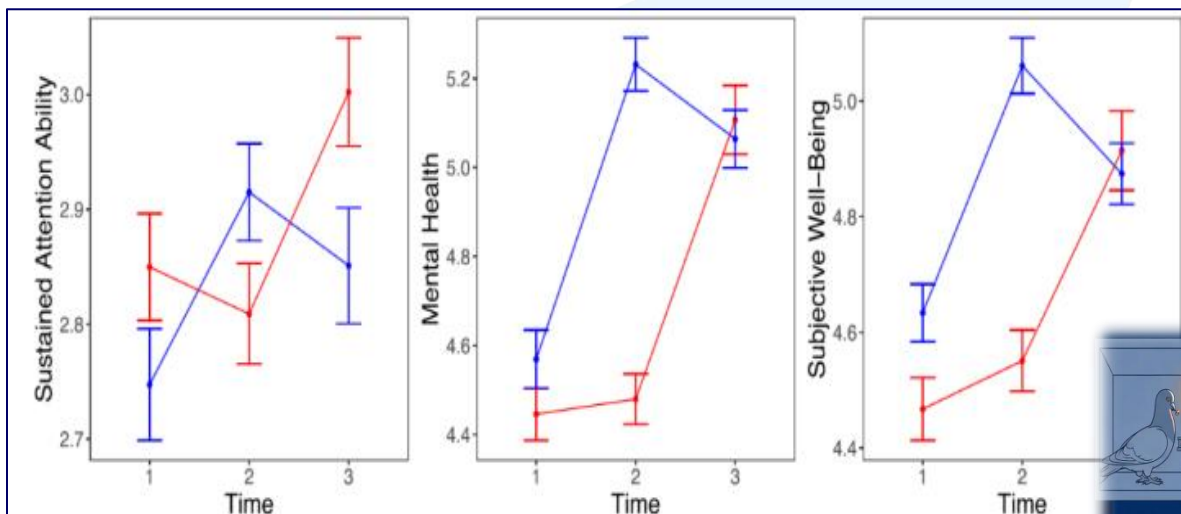
□ 工作负荷对情绪唤醒、认知疲劳的影响(ICA O: **认知疲劳和信息过载是新兴安全风险**)

□ 沟通与交流的重要性

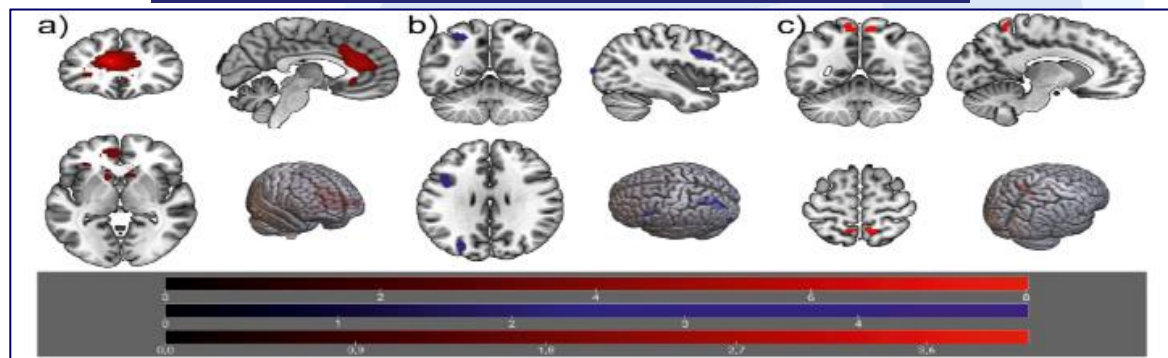
二、智能时代的人因问题

✈ 智能化对情绪情感过程的影响 (3/3)

□ 智能手机、智能算法对大脑机制的影响



阻断移动互联网显著提升主观幸福感、心理健康和持续注意力



斯金纳鸽子行为实验与多巴胺能系统机制

短视频训练大脑偏好快速奖赏、快速切换和情绪逃避

奖励系统

快速反馈和
即时刺激

注意力系统

快速切换和
浅层处理

情绪调节系统

通过外部刺激
逃避情绪

二、智能时代的人因问题

→ 智能化对情绪情感过程的影响 (3/3)

□ 焦虑、压力对个体的消极影响

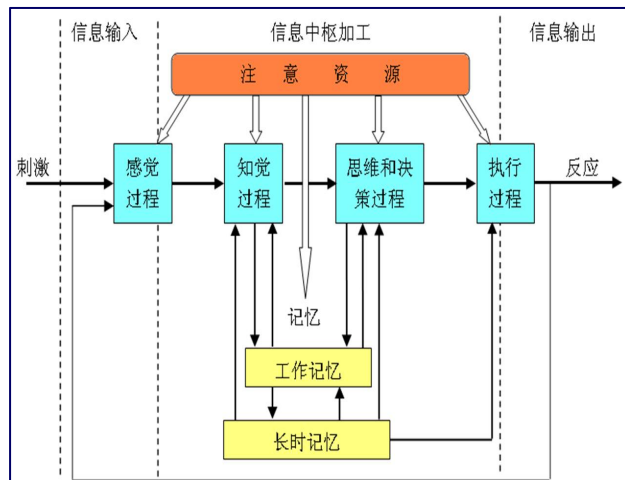
“执行猴实验” 1958年由约翰·霍普金斯大学的布雷迪教授做的经典心理学研究。

- 8只恒河猴两两配对，固定在相邻的特制约束椅上，脚上安装电极。
- 每20秒会自动电击一次，但其中一只猴子可以按压杠杆来延迟电击到20秒后。
- 这只按杠杆的叫“执行猴”，另一只只能被动等待的叫“伙伴猴”或控制组。
- 实验持续6小时就休息6小时，如此循环进行6-7周。

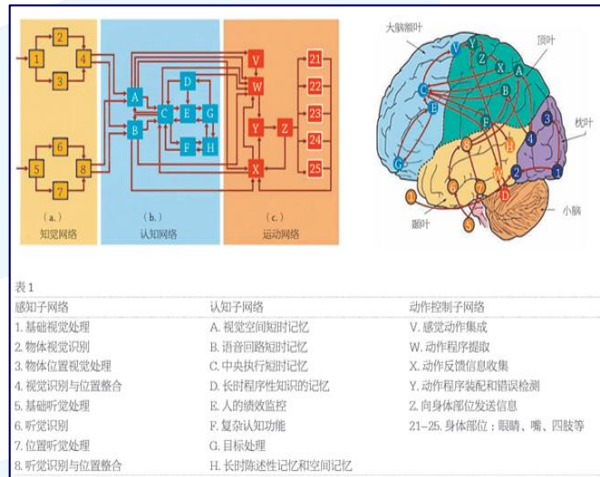


二、智能时代的人因问题

→ 认知与情绪的交互影响



Wickens信息加工模型



QN-MHP 认知建模



人类情绪大脑



情绪风格的六个维度

□ 认知加工的**7**个模块：感觉、知觉、决策、执行、工作记忆、长时记忆、**注意资源**

□ 情绪风格的**6**个维度：情绪调整能力、社交直觉、情境敏感性、自我觉察能力、生活态度（积极还是消极）、**专注力**

智能化时代给我们的认知和情绪过程带来巨大的影响和挑战，尤其是在**专注力维度**，大脑机制正在发生悄悄的变化！

目 录

CONTENTS

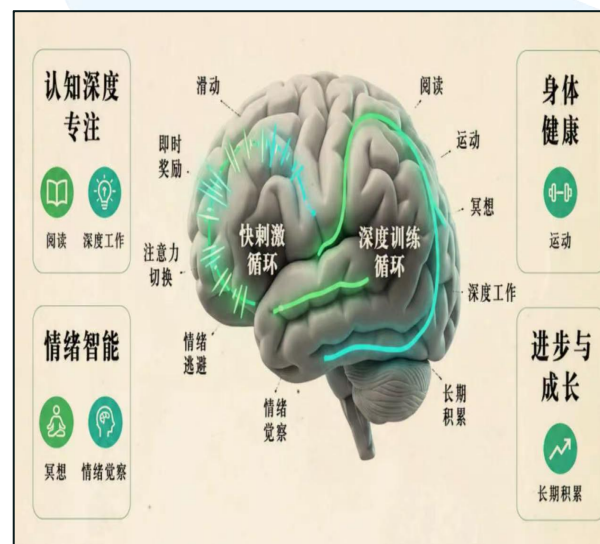
一 人因差错的心理机制

二 智能时代的人因问题

三 风险防控的方向思考

三、风险防控的方向思考

✈ 方向二：个体非技术能力与压力管理训练



□ 陈述性知识（纪律等）与程序性知识（核心胜任力）的区别训练（CRM培训）

□ 飞行员非技术性能力与情绪能力的提升（情绪能力提升、正念、冥想训练）

- Gao Shan., Liu Tianyuan, Bai Yu, & Wang Lei* (通讯作者). (2026). Sensation Seeking, Physiological Arousal, and Emotion Regulation Predict Risk-Taking Behavior? A Preliminary Flight-Simulation Study. IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, 1-16.
- Gao Shan, Lu Zhuoran, Luan Hao., Yin M, & Wang Lei* (通讯作者). (2024). AI pilot in the cockpit: An investigation of public acceptance. International Journal of Human-Computer Interaction, 41(1), 543-556.

三、风险防控的方向思考

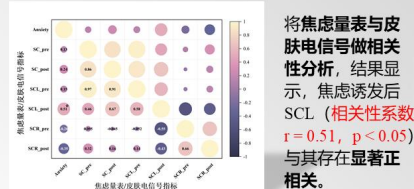
✈ 方向一：多维数据与AI驱动的技术能力训练



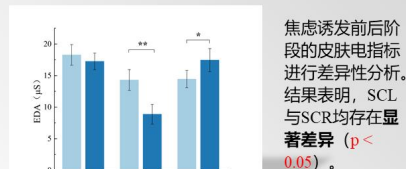
NASA-SOTERIA项目 (System-Wide Safety Operations and Technologies for Enabling Resilient In-Time Assurance)



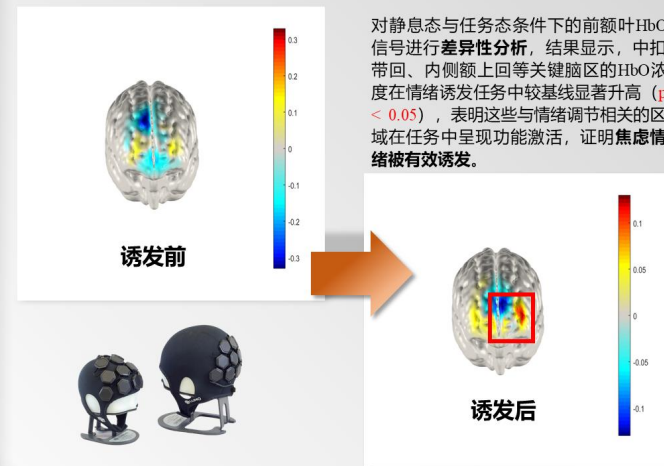
(1) 主观 - 客观指标的关联佐证



(2) 皮肤电的状态间差异



(3) 焦虑相关脑区的激活变化



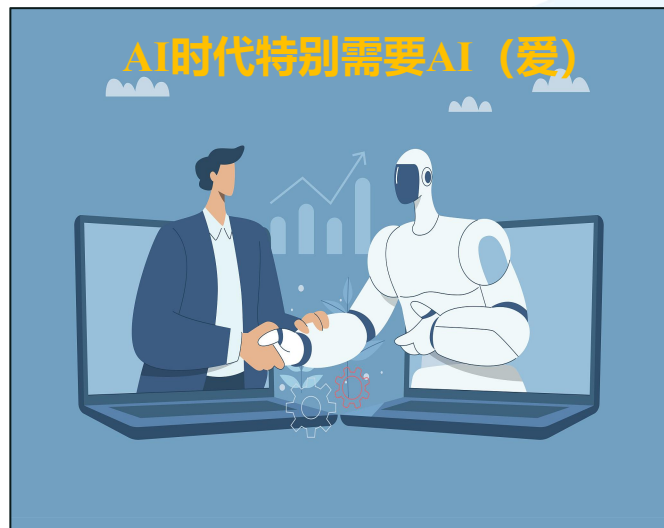
- 汪磊, 高茗倩, 洪瑞媛. 基于fNIRS技术的飞行员焦虑情绪测量方法研究[J]. 安全与环境学报
- Gao Shan, Bai, Yu., Hong Ruiyuan & Wang Lei* (通讯作者). (2025). Behavioral and psychophysiological responses of initial pilots in collaboration with an experienced but risky captain: A flight-simulation study based on social facilitation. *Safety Science*. 187 (2025): 106858.
- Gao Shan, Wang Lei* (通讯作者), Zhang Nan, Bai Yu, Tian Yu, Chen Shanguang, Zhang Yijing, & Zhou Hang. (2025). Pilot flying versus pilot monitoring: The effect of role assignment on pilots' perceived risk in flight simulation experiment. *Risk Analysis*, 45(9), 2759-2770.

□ 智能数据赋能训练 (NASA的韧性研究-SOTERIA)

□ 胜任力一体化分析 (能力特质、情绪状态、危险态度)、抗干扰与特情训练

三、风险防控的方向思考

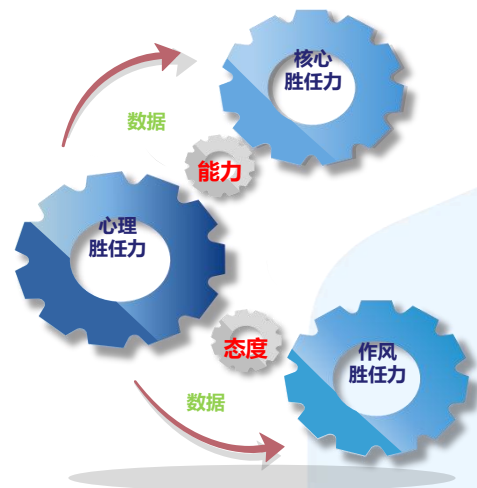
✈ 方向三：组织管理与安全文化的与时俱进



- AI时代为员工提供情绪价值
- 安全文化转变（压力分解，而不是传导）
- 增强组织的安全韧性（平衡效益与安全）

三、风险防控的方向思考

→ 我们的研究与尝试



- 心理胜任力、作风胜任力指标构建、模型建立、测试平台...
- 核心胜任力-航司成熟体系

现有问题：航司注重核心胜任力的评估，但岗位胜任力的三个维度之间缺乏联动。

研究目标：基于PLM，构建航线飞行员核心胜任力、作风胜任力及心理胜任力的全模型构建；
挖掘影响能力及态度的心理胜任力关键品质（如注意分配能力）。

训练方案第一步：理论授课

- 提供线上自助学习资源
- 掌握心理训练的目的意义，基本原则
- 完成心理胜任力测评（前测）

训练方案第三步：效果评估

- 完成心理胜任力测评（后测）
- 主观报告情绪体验变化
- 监控心率等生理数据动态变化

训练方案第二步：训练干预

- PC端进行一般胜任能力训练
- 全动模拟机提升飞行操作胜任能力
- **借助VR技术增强沉浸式训练体验**
- **融合正念呼吸，生物反馈等先进技术提升心理韧性水平**
- 结合人际交往等相关主题开展团体心理训练

训练方案第四步：结果反馈

- 个性化心理咨询
- 团体式针对训练
- 验证对核心胜任力、作风胜任力的迁移效果

- 汪磊*,杨麒玉,洪瑞媛. 基于聚类算法的民航飞行员心理健康画像研究[J].中国安全科学学报,2026,36(01):249-256.
- 汪磊等, 融合生物反馈的民航飞行员心理胜任力测评方法及系统, 发明专利, 202211642275.6

实现对关键心理品质“训练+评估+反馈”的闭环模型



三、风险防控的方向思考

→ 我们的研究与尝试



训练效果评估

单一
主观

AI

多维
客观

训练难度调控

静态
设定

AI

动态适应性

现有问题：目前的飞行模拟训练主要依赖教员的主观评价，缺乏结合人工智能的客观、科学化量化分析，难以实时准确地评估飞行员的心理状态与表现

研究目标：研究并实现“多模态数据融合+动态心理负荷监测+AI算法驱动”的飞行员飞行训练新模式。

目标一：飞行员动态心理负荷监测模块

- 训练系统嵌入
- 值勤运行嵌入
- 核心胜任力评估模块构建（负荷管理能力）

目标二：飞行员动态心理负荷监测模块

- 构建基于机器学习的训练调节机制：融合多模态数据，结合个体心理能力表现（如注意稳定性、情绪状态等），实现飞行仿真训练中任务内容与难度动态优化配置。

方 案

基于多模态数据融合算法，构建心理负荷识别模型，开发具备实时处理与反馈能力的原型系统，嵌入飞行训练与运行监控平台，实现心理负荷状态动态监测、可视化呈现与干预建议输出，为训练效果提供客观评价。

方 案

开发基于心理状态识别与绩效评估的任务调节模型，设计动态任务难度调整策略，并嵌入飞行仿真系统中进行迭代验证与效果评估，实现对个体训练状态的精准适应与能力引导，形成动态训练模式。

- Gao Shan & Wang Lei* (通讯作者). (2024). How flight experience impacts pilots' decision-making and visual scanning pattern in low-visibility approaches: Preliminary evidence from eye-tracking. Ergonomics, 67(10), 1284-1300.
- 汪磊*,王朔,高杉,等.面向特情的航线飞行员视觉注意分配研究[J].中国安全科学学报,2023,33(01):214-220.

集成人工智能技术，实现飞行训练品质的动态提升与个性化优化

三、风险防控的方向思考

✈ 未来规划——北京大兴民航科技创新基地-人机协同系统安全研究室（2027年完成建设）

未来智能飞行技术与
人因实验室



未来航空器客舱安全与
应急实验室

- 从“人”的角度：即从智能飞行运行安全、标准、胜任力、CRM角度解决问题。
- 从“机”的角度：即从智能驾驶舱安全性设计、适航角度解决安全与人因问题。
- 从“人机协同”角度：即从智能化/单一/无人驾驶飞行中人机协同、特情处置模拟仿真方面解决问题，提出面向人机协同特情处置的训练方案。

- 未来民机飞行中与应急情景下的乘员保护、乘员应急撤离、机组应急处置等领域的安全评估、仿真分析与应急演练技术。
- 未来非常规布局民机客舱安全的智能化、一体化技术和系统架构，识别可能的失效模式与安全需求，建立虚拟验证技术。

为未来智能化
飞行安全水平的提升
提供技术支撑



面向未来飞行员+AI+空地协同模式

为未来民机客舱智能
化技术研发与适航
提供支撑

人机
协同
系统
安全
研究
室

汇报完毕，敬请指正！



leiwang@cauc.edu.cn

13821300197

汪磊 研究员/常务副院长/所长/博导

2026.10