



第四军医大学

The Fourth Military Medical University

分类号	B849
U D C	159.98
密 级	公开

# 硕士学位论文

## 连续认知作业致脑力疲劳对风险和不确定性 决策的影响

毛 男

培 养 类 别	全日制
学位类型	学术学位
一级学科(专业类)	心理学
二级学科(专业)	应用心理学
研究方向	决策心理学
指导教师	肖玮 副教授
培养单位	医学心理系

二〇一七年五月

## 独创性声明

秉承学校严谨的学风与优良的科学道德，本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，不包含本人或他人已申请学位或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了致谢。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

论文作者签名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

## 保护知识产权声明

本人完全了解第四军医大学有关保护知识产权的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位为第四军医大学。本人保证毕业后，发表论文等使用本论文工作成果时第一署名单位仍然为第四军医大学。学校可以公布论文的全部或部分内容（含电子版，保密内容除外），可以采用影印，缩印或其他复制手段保存论文；学校有权允许论文被查阅和借阅，并在校园网上提供论文内容的浏览和下载服务。同意学校将论文加入《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》和编入《中国知识资源总库》等，并可浏览和下载，同时享受《中国优秀博硕士学位论文全文数据库出版章程》规定的相关权益。

论文作者签名：\_\_\_\_\_ 导师签名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

# 目 录

缩略语表 .....	1
中文摘要 .....	3
英文摘要 .....	6
前 言 .....	10
文献回顾 .....	11
正 文 .....	21
第一部分 实验室条件下脑力疲劳对风险和不确定性决策的影响 .....	23
1 材料 .....	23
2 方法 .....	26
3 结果 .....	27
4 讨论 .....	30
第二部分 现实情景下管制工作负荷致脑力疲劳对风险和不确定性决策的影响 .....	34
1 材料 .....	34
2 方法 .....	35
3 结果 .....	36
4 讨论 .....	38
第三部分 脑力疲劳影响决策的认知机制的初步探讨 .....	41
1 材料 .....	41
2 方法 .....	42
3 结果 .....	43
4 讨论 .....	44
小 结 .....	47
参考文献 .....	49
附 录 .....	55

个人简历和研究成果 .....	59
致    谢 .....	60

## 缩略语表

缩略词	英文全称	中文全称
MF	Mental Fatigue	脑力疲劳
IGT	Iowa Gambling Task	爱荷华博弈任务
CGT	Cambridge Gambling Task	剑桥博弈任务
SD	Sleep Deprivation	睡眠剥夺
FAI	Fatigue Assessment Instrument	疲劳评定量表
EEG	Electroencephalogram	脑电图
EOG	Electrooculomotogram	眼动电图
HRV	Heart Rate Variability	心率变异性
ERP	Event Related Potential	事件相关电位
SP	Static Posturography	静态姿势图
DDT	Delay Discounting Task	延迟折扣任务
CCT	Columbia Card Task	哥伦比亚纸牌任务
OFC	Orbital Frontal Cortex	眶额皮层
DLPFC	Dorsolateral Prefrontal Cortex	背外侧前额皮层
VPC	Ventromedial Prefrontal Cortex	腹内侧前额叶皮质
ATC	Air Traffic Control	空中交通管制
A-DMC	Adult Decision-Making Competence	成人决策能力量表
RF	Resistance to Framing	抵御框架效应
SN	Recognizing Social Norms	社会规则认知

UOC	Under/overconfidence	信心不足/过分自信
RP	Consistency in Risk Perception	风险感知一致性
DR	Applying Decision Rules	决策规则的使用
SC	Resistance to Sunk Costs	抵御沉没成本
BART	Balloon Analogue Risk Task	气球模拟风险任务

# 连续认知作业致脑力疲劳对风险和不确定性决策的影响

硕士研究生：毛 男

导 师：肖 玮 副教授

第四军医大学医学心理系航空航天心理学教研室，西安 710032

资助基金项目：陕西省自然科学基金(基金号：2014JM4130)

## 中文摘要

长时间脑力活动、睡眠不足或生物节律紊乱等导致的困倦、嗜睡或主观感觉到累的状态称作脑力疲劳(Mental Fatigue, MF)。在航空领域，由于脑力劳动强度大及不规律的作息，航空工作者常常处于脑力疲劳状态，进而会使个体的注意、记忆、警觉性、决策等多种认知功能受到不同程度的损害。由于脑力疲劳是造成航空安全事故的重要因素之一，因此对于脑力疲劳的研究已逐渐成为航空工作者关注的重点。飞行员、空管员等航空工作者常常需要在脑力疲劳状态下做出决策，容易造成决策偏差与失误，危及航空安全。但目前国内外关于脑力疲劳影响决策的研究尚无统一结论，部分研究者认为脑力疲劳会导致个体在决策中更倾向于冒险，同时也有研究表明脑力疲劳会导致个体风险规避。对于脑力疲劳影响决策的认知机制的研究更是凤毛麟角。所以本研究在归纳总结前人研究的基础上，采用实验室模拟飞行及现实管制任务两种情景诱发脑力疲劳，以连续作业时间作为脑力疲劳操作定义，以主客观相结合的方式评估疲劳水平，研究脑力疲劳对不确定性及风险决策的影响，并对脑力疲劳影响决策过程的认知成分做初步分析。

### 研究目的：

以不同方式诱发不同程度脑力疲劳水平，研究脑力疲劳对不确定性及风险决策的影响，并对其认知机制做初步探讨，为人们正确认识自身状态及决策变化特点，以及尽量避免因脑力疲劳造成决策偏差或失误提供理论依据。

### 研究方法：

1. 采用连续认知任务—模拟飞行任务，建立实验室条件下脑力疲劳诱导模型，验证模型对于疲劳的诱导效果，在此基础上探讨不同脑力疲劳水平时不确定性及风险决策变化特点。

2. 采用现场研究以验证实验室结论。选取脑力疲劳代表性岗位—空中交通管制员作为研究对象，探讨现实情境中脑力疲劳前后不确定性和风险决策如何变化以及提高疲劳强度后其对决策影响程度是否增加。

3. 采用成人决策能力量表测量空中交通管制员在脑力疲劳与休息良好状态下决策能力变化特点，分析脑力疲劳影响决策哪些特定认知成分。

### 研究结果:

1. 实验室条件下实验组完成 2h 模拟飞行任务后主观疲劳感明显高于任务前 ( $p<0.01$ )，模拟飞行任务前 30 min 综合作业绩效平均得分明显高于最后 30 min 的得分 ( $p<0.01$ )，主客观疲劳感分析表明成功建立了脑力疲劳诱导模型，达到模拟脑力疲劳的效果。

2. 采用爱荷华博弈任务 (Iowa Gambling Task, IGT) 模块 1、2 作为评估不确定性决策的工具。比较实验室条件下实验组与对照组的净分数，组间差异无统计学意义 ( $p>0.05$ )。现实情境下管制员完成 6h 管制任务前后在 IGT 模块 1、2 中的净分数也无差异 ( $p>0.05$ )。

3. 将 IGT 模块 3~5 作为评估风险决策工具。比较实验室条件下实验组与对照组以及现实情境下管制员完成 6h 管制任务前后，受试者在 IGT 模块 3、4、5 中的净分数差异均具有统计学意义 ( $p<0.01$ )，同时学习曲线趋势分析显示非疲劳状态下个体更多选择有利牌而回避不利牌，而脑力疲劳状态下随着学习次数的增加个体仍然不断选择不利牌。

4. 采用剑桥博弈任务 (Cambridge Gambling Task, CGT) 作为评估风险决策的工具，进一步揭示疲劳对风险决策的影响规律。实验室条件下实验组决策质量、冒险指数较对照组无差异 ( $p>0.05$ )，但决策时间延长 ( $p<0.05$ )，冲动指数增加 ( $p<0.05$ )，风险调节能力降低 ( $p<0.05$ )。现实情境下增加疲劳强度后，疲劳较休息良好状态除决策时间延长 ( $p<0.05$ )，冲动指数增加 ( $p<0.05$ )，风险调节能力降低 ( $p<0.05$ ) 外，冒险指数也明显增加 ( $p<0.01$ )。

5. 疲劳对决策行为影响的认知机制研究发现：完成 6h 管制任务后受试者抵御框



架效应能力降低 ( $p<0.01$ ), 无论正性还是负性框架, 脑力疲劳状态下受试者变得更加倾向于风险寻求; 疲劳后受试者变得信心不足 ( $p<0.01$ ), 风险感知一致性降低 ( $p<0.01$ ), 对于决策规则的坚持性变差 ( $p<0.01$ )。

**研究结论:**

1. 通过反馈调整决策策略的不确定性决策能力未受脑力疲劳的影响, 即增加了脑力疲劳强度后, 不确定性决策能力仍未受到明显影响。
2. 脑力疲劳主要影响风险决策, 使个体表现出冲动、冒险决策, 同时风险调节能力降低, 出现了不能很好地随着风险的不同对自身行为进行精细调节的现象。
3. 初步认为脑力疲劳使人们更容易受信息表征方式的影响, 对风险概率感知能力降低。脑力疲劳使个体低估自身决策能力水平, 夸大能力下降程度, 整合能力降低。

**关键词:** 脑力疲劳, 风险决策, 不确定性决策, 模拟飞行任务, 空中交通管制

# **The Influence of Mental Fatigue Caused by Continuous Cognitive Operation on Risky and Uncertainty Decision Making**

Candidate for master: Mao Nan

Supervisor: Xiao Wei

Department of Medical Psychology, Fourth Military Medical University,

Xi'an 710032, China

Sponsored Programs: Shanxi Provincial Natural Science Foundation (Grant No. 2014JM4130)

## **Abstract**

Mental fatigue refers to drowsiness or subjective tiredness of mental state caused by a long-term mental activity lack of sleep or biological rhythm disorders. In the aviation field, due to the mental strength and irregular work and rest, people are often in mental fatigue state, which will make individual's attention, memory, alertness, decision-making and other cognitive functions are different degrees of damage. Mental fatigue is one of the important factors causing aviation safety accident, the research on mental fatigue has gradually become the focus of aviation workers. Pilots, air traffic controllers and other aviation workers often make bad decisions in the state of mental fatigue, endangering aviation safety. However, there is no unified conclusion about the effect of mental fatigue on the decision-making of uncertainty. Some researchers consider that mental fatigue will lead individuals to take risks in decision-making, and some studies show that mental fatigue can lead to individual risk aversion. At the same time, it is very rare to study the psychological mechanism of mental fatigue. In this study, we summarized the study of predecessors and

used two scenarios to induce mental fatigue, the laboratory simulated flight task and the reality air traffic control task. The Continuous operation time was used as the definition of mental fatigue, and the fatigue level was assessed by subjective and objective methods. The effect and psychological mechanism of mental fatigue on uncertainty and risky decision making were studied.

Research purpose:

The study purpose is to induce different levels of mental fatigue in different ways, to study the effect and psychological mechanism of mental fatigue on decision making, which provides a theoretical basis for people to correctly understand the characteristics of their own state and decision-making changes, and how to reduce decision-making errors in mental fatigue.

Research methods:

1. Continuous cognitive task, simulated flight task, was used to induce mental fatigue, verify the fatigue effect and then discuss the characteristics of uncertainty and risky decision making.

2. This paper chooses the representative positions of mental fatigue - air traffic controller as the research object, and adopts field research to explore how the uncertain decision changes before and after mental fatigue in the real situation and to explore whether the effect of increasing fatigue strength on decision-making is increased.

3. The adult decision-making ability questionnaire was used to measure the change of decision-making ability of the air traffic controller in the mental fatigue and good rest state, and to analyze the deep-seated mechanism of the decision-making affected by mental fatigue.

Research result:

1. Mental fatigue was successfully induced as manifested by significant difference between subjective fatigue scale scores and after 2h simulated flight task ( $p<0.01$ ); The comprehensive work of simulated flight task in the first 30 min was significantly higher than that in the last 30 min ( $p<0.01$ ). The analysis of subjective and objective fatigue showed that a model of mental fatigue induction was successfully established.

2. The Iowa gambling task (IGT) module 1~2 are used as a tool for assessing uncertainty decisions. There was no significant difference between the two groups ( $p>0.05$ ), and so as in the real-world situation before and after the 6-hour control task ( $p>0.05$ ).

3. The IGT module 3~5 are used as a tool for assessing risk decisions. There were significant differences ( $p<0.01$ ) in module 3, 4, 5 between experimental group and control group, and so that before and after 6h air traffic control task. Learning curve trend showed that individuals in the non-fatigue state had more favorable cards and avoid adverse cards. With the increase in the number of learning the individual was still trying to unfavorable card.

4. The Cambridge Gambling Task is used as a tool for assessing risk decisions. There was no significant difference in the quality of decision-making and risk index between experimental group and control group ( $p>0.05$ ). The decision time prolonged ( $p<0.05$ ), impulse index increased ( $p<0.05$ ), risk-adjusted capacity decreased ( $p<0.05$ ). In addition to the decision-making time and the impulse index increase ( $p<0.05$ ), there is also a significant increase in the risk index ( $p<0.01$ ) in the real situation increasing the fatigue strength. The risk-adjusted capacity was significantly lower than the laboratory condition ( $p<0.01$ ).

5. Subjects' ability of resistance to framing reduced after 6h air traffic control task ( $p<0.01$ )., subjects in mental fatigue have become more inclined to risk-seeking in both positive and negative framework ( $p<0.01$ ). Subjects in mental fatigue became less confident ( $p<0.01$ ), consistency in risk perception decreased ( $p<0.01$ ), for the persistence of decision rules become worse ( $p<0.01$ ).

#### Research conclusion:

1. The uncertainty decision-making strategy through the feedback decision-making ability is not affected by mental fatigue. The uncertainty decision-making capacity has not been significantly affected although mental fatigue strength increased.

2. Mental fatigue mainly affects the risk decision-making, so that individuals show impulsive, adventure decision-making, while reducing the risk of adjustment, there can not be very good with the risk of their own behavior fine regulation of the phenomenon.

3. It is thought that mental fatigue makes people more susceptible to the way of

information representation, and the ability to perceive risk probability is reduced. Mental fatigue makes the individual underestimate the level of their own decision-making ability, exaggerate the ability to decline, reduce the ability to integrate.

**Key words:** Mental Fatigue, Risky Decision Making, Uncertainty Decision Making, Simulated Flight Task, Air Traffic Control

# 前言

在航空领域，无论科学技术如何发展，空间性、功能性和安全性、交互性、高风险这四点特征是始终不变的。飞机是运输工具，其安全性是首先需要保证的，而由于人固有的心理特征决定了人的失误是不可避免的，因此在人机交流互动过程中，失误也在所难免。航空作业中对于脑力活动的需求逐渐增加，连续的高负荷认知作业极易造成脑疲劳，而脑疲劳又是能够增加和加重各类失误的危险因素。美国联邦航空协会 2003 年的研究指出，当飞行员连续工作 12h 以上，飞行事故发生率将显著增加。New21 和 Washington—Based Center for Public Integrity 调查了美国民航从 1971~2010 年间所有的飞行事故，发现超过 320 起飞行事故与航空疲劳有关，导致近 750 人丧生<sup>[1]</sup>。

20 世纪 80 年代以来，对于航空疲劳的研究更多关注引起疲劳的原因和影响因素，以及探究对抗疲劳的有效措施和策略。对于脑力疲劳影响认知功能的研究，也仅关注视觉、听觉、注意等。而脑力疲劳不仅影响着人们的感受、注意等初级认知功能<sup>[2-4]</sup>，也会改变人们在风险状况下的决策行为<sup>[5]</sup>，增加人因事故的发生率。2016 年 10 月上海虹桥机场两架客机差 3s 险些相撞的严重事故症候，就是典型的塔台管制员疲劳所致决策失误。因此，针对航空决策者处于较高脑疲劳水平时，是否还能够进行理性判断，以及其决策的变化特征的研究变得尤为重要。本研究拟在实验室中采用连续性的认知作业作为脑力疲劳的诱导方式，探讨不同脑力疲劳水平时，不确定性及风险决策的变化特点。由于实验室与现实条件存在很大差异，现实中许多因素无法控制，而实验室实验条件控制严格，因此生态效度不高。为进一步验证实验室条件下结论，选取脑力疲劳状况比较典型的空中交通管制员作为研究对象，探讨现实情境中，疲劳导致的决策变化是否与实验室条件下有差异，实验室研究结合现场研究，结论更有说服力。同时对于脑力疲劳对决策影响的认知机制进行初步探讨，加深对脑力疲劳状态下决策行为的理解，为预防脑力疲劳状态下的决策失误提供理论依据。

# 文献回顾

随着我国航空运输业现代化、智能化建设的加快，飞行员、空管员等航空关键岗位人员疲劳上岗已成为航空业安全高效发展的瓶颈。以空管员为例，空中交通管制（Air Traffic Control, ATC）是一项高认知负荷作业，较大的工作负荷、安全压力及昼夜节律被打乱使管制员常常处于脑力疲劳状态。空管员的主要工作内容就是必须在极短时间内计算、判定飞机动态趋势，依据空域、航线、气象、飞行高度等方面信息，迅速准确地做出一个又一个管制决策。而目前学者关注的重点多倾向于疲劳对一些低级认知功能的影响，关于如何影响决策（Decision Making）这一复杂认知活动，却少有研究触及。因此，探索脑疲劳对高级认知功能——决策的影响，以及发掘其内部机制是心理学、航空医学、管理学等学科关注的重点。

## 1 脑力疲劳及其相关研究

### 1.1 脑力疲劳的定义

疲劳是一个多维度的概念，最常见的定义是由于长期觉醒、睡眠不足或昼夜生物节律紊乱导致的嗜睡或主观感觉到累的状态<sup>[1]</sup>。疲劳是一个复杂的状态，常见的心身反应见表 1。不同研究者根据不同的研究方式来确定疲劳的操作定义，因此学界对于疲劳的定义无法达成共识。

表 1 疲劳的身体、心理、情绪症状（摘自肖玮,苗丹民,航空航天心理学,2013）

身体症状	心理症状	情绪症状
反应时间变慢	注意力难以集中	更沉寂和封闭
缺乏活力，虚弱或轻微迟钝	走神	成功缺乏动机
不断打哈欠	遗漏重要信息	对亲友和同事变得不耐烦
眼皮沉重	预判能力下降	士气低落
视线固定	出错（甚至在擅长任务中）	情绪敏感性增强
打瞌睡	遗忘	
头痛、恶心、肠胃不适	思考困难	
	不理性决策	

Chalder<sup>[6]</sup>将疲劳分成脑力疲劳、体力疲劳两类。脑力疲劳时常出现易走神，反应变慢，萎靡不振、操作水平降低等，可以由睡眠剥夺，昼夜节律失调，以及连续的认知作业等多种因素引发，大于 30min 的认知作业就可能引起操作水平下降和出错率增加。体力疲劳（Physical Fatigue）是在进行体力劳动后出现的主观疲劳感，表现为身体的乏力感。另一种观点将疲劳分为体力、脑力、心理、病理疲劳四类。体力疲劳与上述相同。其中脑力疲劳是指长时间从事紧张的脑力劳动后大脑皮层和神经系统处于抑制状态时所出现的主观疲劳感。而心理疲劳则是因为现实刺激引起不良情绪，进而出现身体乏力、烦闷、焦躁的状态。此分类方法中心理疲劳与脑力疲劳并非同一概念。病理疲劳是由于躯体疾病伴随出现的倦怠、浑身无力的状态<sup>[7]</sup>。各种分类及定义均有各自的合理性和特定的适用范围，本实验采用完成连续认知任务付出长时间高负荷脑力劳动引起脑力疲劳，即采用此观点所提出的脑力疲劳概念。

## 1.2 脑力疲劳的实验室诱发模型

由于诱发脑力疲劳没有特异性方法，诱发脑力疲劳的同时容易产生其他干扰因素，同时不能损害参与者的健康，再者由于个体差异较大，不同受试者采用同一个疲劳模型诱导后，产生疲劳水平差异也较大，因此建立普遍适用的诱发模型是疲劳研究的困难之一。目前脑力疲劳的诱导方式主要有睡眠剥夺（Sleep Deprivation, SD）和连续长时间的认知作业两种。

睡眠剥夺是指机体由于各种原因而部分或全部丧失正常睡眠量的状态。由于睡眠剥夺具有很强的可实施性，同时又具有较好的可控性，可以将睡眠剥夺的时间作为脑力疲劳操作定义，因此被广泛应用于实验室条件下诱导脑力疲劳<sup>[8-9]</sup>。但是睡眠剥夺研究结果仅对夜班岗位有较好生态效度，连续认知作业诱导脑力疲劳与更多的脑力负荷大的岗位工作状态接近，实验室通过这种方式诱导的疲劳具有更好的生态效度，并能够在较短时间内让受试者产生疲劳感。使用的连续认知作业一般认知强度较高，进行一段时间之后必然诱发参与者产生疲劳感，同时认知作业的绩效水平可以量化，可以用来客观评价脑力疲劳。许多研究常采用连续认知作业的时间从 1.5-8h 不等，国外多采用 2-3h，而国内研究常用 6h 以上连续作业<sup>[10]</sup>。所采用的连续认知任务也不尽相同，例如需要持续注意的 AX-CPT 任务、飞行认知能力测验、Go/No-Go 任务、连线测验（TMT）等<sup>[10-12]</sup>。但是由于各研究目的不同，也造成不同认知作业形式之间不容易进行横向比较，同时需要受试者有较高的依从性。



### 1.3 脑力疲劳的评定方法

对于脑力疲劳的评定一般包括 4 个层次，一是从操作水平出发，脑力疲劳会造成操作水平的降低，这也是脑力疲劳后最直接的表现。二是从心理功能角度，疲劳后个体会出现注意、记忆、思维的变化，相应的可以通过心理测验进行测量。三是从生理心理学角度，疲劳后人体内环境如体液、神经放电等失去平衡，会使脑电图、心率等指标改变。四是从更深层次的脑力疲劳发生的神经机制角度进行评定<sup>[13]</sup>。在过去的 20 多年里，学者都采用测量以上指标的变化作为评定疲劳的方法，虽然使用的测量技术取得了较大的进步，但很多研究结果并不一致，因而需要多指标共同来评价疲劳。根据以上 4 个层次发展出来的评价指标分为主观和客观法，回顾如下：

#### 1.3.1 主观评定法

由于脑力疲劳常伴有主观感觉，如头脑昏沉、烦躁等，因而由个体自我陈述自身的疲劳感是十分必要的。主观疲劳感评估主要采用自陈问卷进行调查，不仅能够提供个体不适感受的程度、持续的时间等第一手信息，还能够分析引起疲劳的可能原因。脑力疲劳评定量表通常包含多个维度，如睡眠状况、情绪状态、躯体症状等，对每个维度进行分级，评定者根据自身状况选择相应等级，然后换算出标准化得分，不同受试者之间可以进行比较。常用量表有疲劳评定量表（Fatigue Assessment Instrument, FAI）、NASA-TLX（Task Load Index）量表、卫生领域广泛采用的主观疲劳症状问卷等<sup>[14-16]</sup>。

NASA-TLX 量表是通过评价主观脑力负荷水平来反映疲劳程度的常用量表，包括脑力需求（Mental Demand）、体力需求（Physical Demand）、时间需求（Temporal Demand）、业绩水平（Performance）、努力程度（Effort）、受挫程度（Frustration）六个维度。每个维度代表的意义都有详细描述，受试者根据自身当时状态进行打分，而后六个维度进行两两对比，选出与当前状况更符合的维度。受试者在每一个负荷因素上自我评分，并对各个因素负荷水平排序，通过加权得到分值，分值的高低即脑力负荷水平高低<sup>[15]</sup>。

卫生领域广泛采用的主观疲劳症状问卷列出了 30 种生理、心理和情绪感受，受试者需要依据自身情况对问卷中列出的感受进行“有”或“无”的回答。问卷包括一般状况、精神状况、身体不适三个方面，分别设置 10 个项目，采用两点记分<sup>[16]</sup>。

主观评定法因其简便易行，是脑力疲劳重要的评价方式。虽然主观评定存在标准不统一、容易受其它因素影响等缺点，但是由于疲劳时的感受难以确切地描述清楚，无法被他人体验，同时有研究表明受试者在 63h 睡眠剥夺后自我监控的元认知能力没有受到损害，说明受试者能正确感知自身状态<sup>[17]</sup>，因此至今仍作为评定脑力疲劳的重要组成部分，仍然具有重要的应用价值。

### 1.3.2 客观测量法

由于人们在疲劳状态下常伴有某些生理、心理等客观指标的改变，比如脑电信号、生化物质浓度或知觉反应的变化。这些指标试图排除主观成分对脑力疲劳评定的影响，不同研究之间也更具有可比性。

#### 1.3.2.1 心理行为学指标

采用心理行为指标监测脑力疲劳主要采用心理运动测验和心理测验的方法。心理运动测验能够测量受个体意识支配的精细动作能力，此类测验重点观察准确控制、四肢协调、速度控制、反应倾向等指标，例如飞行模拟、手指灵活测验、斯特龙伯格敏捷测验（Stromberg Dexterity Test）等<sup>[18]</sup>。心理测验主要观察注意、记忆等的改变，例如采用双作业操作测量注意的分配，采用数字广度测验测量觉醒状态。心理行为学指标的缺点在于增加受试者脑力劳动，使认知负荷增加，进而可能会使疲劳感的来源发生混淆<sup>[19]</sup>。

#### 1.3.2.2 生理指标

##### （1）脑电图（Electroencephalogram, EEG）

使用 EEG 测量脑力疲劳状态，需要记录从觉醒到睡眠接近开始这一段时间的脑电数据。脑电波主要有  $\delta$ 、 $\theta$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  波四种， $\alpha$  波在清醒状态下的安静和闭目时出现，在脑力疲劳的研究中  $\alpha$  波的变化常受到研究者的关注。利用飞行模拟器进行的航空疲劳研究显示，无论短途还是长途夜航飞行中，飞行员都会出现睡眠 EEG 波<sup>[20]</sup>。Caldwell 等在 F-117 模拟器中研究指出，EEG 慢波活动的显著增多可以作为生物节律和长时疲劳的监测指标<sup>[21]</sup>。

##### （2）眼动电图（Electrooculomotogram, EOG）

EOG 反应眼球运动时的电活动，它可以监测到眼球运动时的微小变化，包括眼球转动、眨眼频率等动作。人们困倦时，眼球活动减少，眨眼次数增加，眼睑闭合的时间也会延长。受试者在长时间模拟驾驶后，疲劳感增加，眼动表现出频繁又有节律

的眨眼<sup>[22]</sup>,而驾驶车辆时如果闭眼大于 0.15s,交通事故发生的可能性会大大增加<sup>[23]</sup>。但是 EOG 在应用时的缺点是电信号会受到皮肤清洁度、湿度、电极接触性以及人体本身电活动的影响。

### (3) 心率变异性 (Heart Rate Variability, HRV)

心率变异性是指窦性心律在一段时间内,每个心动周期之间的差异。在疲劳、紧张、恐惧等情况下,起兴奋作用的交感神经起主导作用,交感/副交感神经调节水平发生改变,HRV 作为衡量交感/副交感功能的一个指标,为评定疲劳状态提供生理学依据。Lal 等发现当长时间驾驶出现疲劳状态时,心电图上会表现出心率的大幅度减慢<sup>[24]</sup>。

### (4) 事件相关电位 (Event Related Potential, ERP)

事件相关电位是从脑自发电位中通过计算机重复叠加而提取得到的脑高级功能电位。在脑力疲劳的测量中 ERP 的兴起和应用受到越来越多的关注。出租车司机疲劳驾驶的研究发现,疲劳状态下的 P300 波幅较驾驶前明显增大,说明 ERpP300 的波幅变化可以为疲劳的评价提供客观依据<sup>[25]</sup>。Flower 发现当认知水平降低时, P300 的潜伏期延长<sup>[26]</sup>。由此研究者认为, P300 的振幅和潜伏期是评定脑力疲劳较为客观的指标。还有一些研究发现 MMN (失匹配负波) 和 N270 也能够为脑力疲劳的评定提供神经生理依据<sup>[10, 27]</sup>。

### (5) 静态姿势图 (Static Posturography, SP)

大脑通过搜集视觉、前庭觉等信息来保持姿势稳定、身体平衡。采用静态姿势图进行测量时,受试者站于压力平台,人体晃动时会在不同方向上产生压力变化,计算出人体压力中心、描绘晃动轨迹及其他一些参数可以反映疲劳水平。Vasiliki<sup>[28]</sup>指出脑力活动增加时,受试者在闭上眼睛后,身体动摇面积增大,身体倾斜角度增大。此方法初步在检测脑力疲劳方面应用,某些指标的有效性仍待进一步验证。

#### 1.3.2.3 生化指标

人体处于疲劳状态时身体多系统发生改变,其中血氧饱和度、唾液淀粉酶、糖皮质激素、免疫球蛋白等物质浓度与疲劳都有一定相关性。早期绝大多数生化指标都有赖于血液成分,难免需要进行有创检查,随着传感器技术的进步,无创测量方法的出现为采用生化指标评价疲劳提供可能。有学者发现,脑组织中的血氧水平与认知负荷

程度相关,脑力劳动后,血氧饱和度发生明显下降<sup>[29]</sup>。许多慢性疲劳综合征患者糖皮质激素异常升高<sup>[30]</sup>。

## 2 决策及其相关研究

### 2.1 决策定义

决策是指个体需要运用自己的感知觉、记忆、思维等认知能力,对情境做出判断与选择。Hastie<sup>[31]</sup>给决策下了一个概括而全面的定义:“判断与决策是人类根据自己的愿望(效用、个人价值、目标、结果等)和信念(预期、知识、手段等)选择行动的过程。”决策活动作为一种高级的认知功能,在人们工作、生活的各个方面它无处不在,一直是心理学的研究热点。

### 2.2 决策的分类及概念界定

现实生活中,人们经常会将“风险”与“确定性”进行区分,但总是混淆“风险”与“不确定性”,德国社会心理学家吉仁泽依据决策问题不确定性程度不同将决策分为三类:确定性决策(Certainty Decision Making)、风险决策(Risky Decision Making)和不确定性决策(Uncertainty Decision Making)<sup>[32]</sup>。

确定性决策满足四个条件:(1)决策者希望达到的目的明确;(2)决策者面对的客观环境条件完全确定,任何一个条件都只有存在和不存在两种可能;(3)存在多个备选方案;(4)每一备选方案的效用值能够被准确计算出来<sup>[33]</sup>。

风险决策是指决策的所有选择、可能的结果和每种结果出现的概率都已知,或者人们能预知事件发生的确切概率或概率可估计或预测,如掷骰子、掷硬币游戏等。因为风险已知,因此想要做出明智的决策,人们需要运用逻辑思维和统计学思维。研究者对风险决策进行了大量的研究,从行为到神经机制,研究对象不仅有正常人,还包括吸毒者和脑损伤病人。风险决策的行为学研究集中在其与人格、情绪、动机、能力等的关系。风险决策常采用剑桥博弈任务(Cambridge Gambling Task, CGT)、延迟折扣(Delay Discounting Task, DDT)、哥伦比亚纸牌(Columbia Card Task, CCT)等任务进行研究。所谓延迟折扣就是与某个立刻能获得的、但价值较小的奖励(如10元)对比,延长一定时间可以获得的、但价值较大的奖励(1周后20元)的价值会变小,大部分受试者会选择能够立刻获得的小奖励。DDT因其操作简单而被广泛应用于冲动性决策研究中,但DDT是在纯获益条件下评定决策,无法完全揭示现实决策过程。

近年来, 剑桥博弈任务在风险决策的研究中越来越受到重视, CGT 是在评估眶额叶皮层(Orbital Frontal Cortex, OFC)受损伤患者的决策障碍时发展出来的, Rogers 等<sup>[34]</sup>最早运用 CGT 探索正常成人哪些脑区参与了风险决策, 发现腹右侧前额叶皮层(Ventral Sectors of the Right Prefrontal Cortex)、OFC、前岛叶(Anterior Insular)等脑区较为敏感, 同时还指出 OFC 可能与感知获益损失的变化有关。CGT 主要观测人们在奖励与惩罚概率已知的情况下如何决策, 目的是评价人们的决策速度和质量、冲动性以及风险调节能力, 其最大优点是分离出风险决策的特定成分, 是风险决策良好的实验范式。

现实生活中存在许多未知的事物, 人们往往无法精确计算事件结果出现的概率, 如股票、地震、健康状况等是人们很难预知的, 此为不确定性决策。与风险决策相比, 不确定性决策的范围更大。选择与谁结婚? 买哪只股票? 某人是否可以信任? 在充满不确定的世界里, 人们无法通过准确地计算风险来做出最佳选择, 想要做出明智的决策, 需要直觉的参与和睿智的经验法则。不确定性决策的研究范式主要有 Ellsberg 选瓶任务、爱荷华博弈任务(Iowa Gambling Task, IGT)、封堵器任务等<sup>[35]</sup>。目前, 爱荷华博弈任务在不确定性决策的研究中应用广泛。该任务最初是 Bechara、Damasio 等<sup>[36]</sup>基于探索腹内侧前额叶皮质损伤患者的决策障碍所设计的, 很好地模拟了不确定性决策情景, 评估人们通过内隐学习盈利与损失的可能性而调整决策策略的能力。IGT 在药物成瘾、脑力疲劳的研究中应用较多, 此任务将时间和结果维度相结合, 考察人们在短期与长远利益相矛盾时怎样选择, 有效的模拟人们在现实生活中的决策过程。Bechara 的研究发现药物成瘾者在 IGT 中偏好较大的即时收益, 忽视了其带来的更大的长远损失<sup>[37]</sup>。Harrison 和 Horne 采用 IGT 研究睡眠剥夺受试者的决策行为, 发现 SD 会显著减低个体的风险感知能力<sup>[38]</sup>。对 IGT 是不确定性决策还是风险决策一直存在争议, 尽管一些研究者认为 IGT 是不确定性决策, 但也有部分研究者认为 IGT 不完全是确定性决策, 或只有最初部分是不确定性决策。任务之初, 受试者对 IGT 中 4 组纸牌的奖励、惩罚的概率和大小是一无所知的, 随着任务的进行, 通过经验总结出哪组牌有利或不利, 不确定情景下的内隐规律外显化, 然后将学习到的内隐规则应用到后续的赌博中, 若想赢得收益只需要多选有利牌, 仅承担有利牌的小损失即可, 此时不确定性决策转化为风险决策。根据以上分析, IGT 前 40 次(或前 20 次)的选择是不确定性决策, 学习到内隐规则后的选择应该是风险决策<sup>[39-40]</sup>。

### 2.3 决策能力的相关研究

人们的生活离不开决策，每个人都需要在各种不确定情况下进行判断与选择。不同的人面对相同的问题，做出的决策为什么会千差万别，除了人格、情绪、动机等因素作用外，其中一个非常重要的原因就是个体的决策能力（Decision Making Competence）有很大差别。近年来，决策领域专家 Fischhoff 和 Bruin 等重点关注决策能力的研究，使得决策领域的学者们逐渐重视因为人们决策能力的不同而导致的做出决策的不同。他们提出核心决策技能集（Core Decision Making Skills）的概念，是指决策者在做决策时需要提取相关的有用信息、运用普遍的规则以及将信息片段整合为决策规则的能力。并总结出四项核心决策能力：信念评估（Assessing Beliefs），即感知事件发生概率的能力；价值评估（Assessing Values），即评估选项后果，对决策相关信息敏感，而对决策不相关信息不敏感；整合能力（Integration），即决策者是否能够准确快速掌握决策规则，理性的决策者应能迅速发觉决策规则并且能按照决策规则进行推理判断；能力的元认知（Metacognition of One's Abilities），即对决策者清楚知道自己是否能够应对当前任务，既不盲目自信，也不因为信心不足而犹豫不决，对自身能力有清晰认知<sup>[41]</sup>。研究者发现在这些决策技能集上有缺陷的个体，在生活中更易表现出忽略基础概率、陷入沉没成本误区、受框架效应影响以及对自身水平缺乏有效判断等。这些决策偏差导致不同的决策后果，致使人们拥有千差万别的生活状态。

早期研究者常采用决策偏差任务来衡量个体的决策能力，例如 Stanovich 采用启发式偏差任务测量了决策能力与认知能力之间的相关关系<sup>[42]</sup>。Fischhoff 基于四项核心决策技能编制成人决策能力量表（Adult Decision-Making Competence, A-DMC），包括抵御框架效应（Resistance to Framing, RF）、社会规则认知（Recognizing Social Norms, SN）、信心不足/过分自信（Under/overconfidence, UOC）、风险感知一致性（Consistency in Risk Perception, RP）、决策规则的使用（Applying Decision Rules, DR）、抵御沉没成本（Resistance to Sunk Costs, SC）六个分测验<sup>[41]</sup>。该量表具有良好信效度和跨文化适用性，能够很好评估个体决策能力及预测决策行为。冯田、肖玮等<sup>[43]</sup>对此量表进行了修订与验证，适用于我国文化背景，采用军校学员和部队战士作为研究对象，有效地区分出了决策能力不同的群体。

### 3 脑力疲劳对决策影响的研究

对于决策影响因素的研究大多属于三个方面：情景因素、决策任务特征以及决策者的个体差异。近年来学者越来越多探讨人格、动机、认知能力、情绪等个体差异对决策的影响，但对于个体状态因素差异，比如疲劳状态对决策影响的研究却不多。

认知神经科学证据表明，SD 或连续认知负荷后前额叶皮层功能降低，导致警觉、注意、反应时、记忆等初级认知功能受损，而决策需要依赖前额叶皮层对初级认知功能获取的信息进行整合，因此也容易受到疲劳的影响。早期研究认为决策较为复杂，受需求、动机、情境等多种因素的影响较多，同时自身代偿机制的作用致使决策对脑力疲劳并不敏感<sup>[44]</sup>。后来的一些研究采用比较复杂的、旨在模拟现实情境的任务来研究疲劳对决策的影响，例如 Harrison 和 Horne 采用市场策略模拟游戏，受试者需要通过与其他参与者互动及获取外部信息来提升市场占有率、赚取利润。在这项研究中，受试者在睡眠不足的情况下不太成功地经营业务，沉溺于过去成功经验，不能适时调整决策策略，正确决策越来越少<sup>[45]</sup>。然而由于任务的设计，该研究无法确定任何特定决策或 SD 特定削弱的决策的特定组成部分。Bechara 在研究腹内侧前额叶皮质受损患者的决策障碍时设计的 IGT，很好地模拟了现实决策，在决策研究领域受到广泛关注。Killgore 等<sup>[46]</sup>采用 IGT 作为决策研究范式，采用疲劳与非疲劳对照实验，49.5hSD 后受试者大脑腹内侧前额叶皮质（Ventromedial Prefrontal Cortex, VPC）血流变慢，代谢活动减低，决策过程受到影响。疲劳前后受试者在 IGT 中对于风险牌的选择存在差异，疲劳后受试者学习隐含规律的能力降低，相比于休息良好状态，他们能够容忍更大的风险，更重视短期利益而不顾长远损失。Harrison 和 Horne<sup>[47]</sup>也发现疲劳状态下受试者对负面结果变得不敏感，在 IGT 中更倾向于高收益但长期损失的不利牌。Venkatraman 等<sup>[48]</sup>采用功能性神经成像技术研究发现脑力疲劳状态下面对风险选项，受试者伏隔核反应活跃，而岛叶与眶额皮层反应减弱，表示受试者对于更大奖赏的期待提升，而对于损失的反应降低。2011 年该课题组采用 fMRI 技术再次探讨脑力疲劳对决策的影响，结果显示实验组与获益相关的脑区如 VPC 较正常作息组有更显著激活，表明实验组更倾向于冒险<sup>[49]</sup>。多数研究结果认为脑力疲劳状态下个体对收益的敏感性增加，对损失的敏感性降低，做出判断与决策时容易冲动、冒险，进而出现决策的偏差或失误。也有研究持相反观点，Whitney 等<sup>[50]</sup>的研究发现认知负

荷会干扰风险决策过程，高认知负荷情况下，个体更倾向于保守选项。他认为脑力疲劳状态下个体容易受到无关刺激的干扰，消耗认知资源，因此，当个体面临风险任务时，可能会回避需要消耗认知资源的风险选项，而更倾向于选择认知加工较少的保守选项。王璐璐等<sup>[51]</sup>采用实验室诱导脑力疲劳，与非疲劳组对比也发现脑力疲劳个体在风险决策中更为保守，且此作用效果并不受框架因素调节。出现两种不同观点，可能由于后者采用的实验范式为二择一的风险框架问卷，受试者只需要在风险与保守之间进行抉择，而此时受试者更愿意选择占用心理能量较少的选项。

脑力疲劳影响风险决策的内在机制仍不清楚，一些国外学者认为脑力疲劳通过影响风险感知与风险容忍来影响人类的决策行为，脑力疲劳不仅降低了个体感知风险的能力<sup>[52]</sup>，同时提高了对于风险的容忍度<sup>[53]</sup>，进行决策时偏好风险寻求。脑力疲劳不仅损伤认知功能，而且诱导抑郁、愤怒等负性情绪，初级认知功能和情绪都能影响决策，彭家熙<sup>[54]</sup>总结前人研究提出脑力疲劳是通过情绪、初级认知加工来影响决策的理论假想模型，并得到国外学者的认同。脑力疲劳对决策的影响非常复杂，很多变量之间的关系仍存在争议，如情绪对决策影响有“情绪泛化假说”<sup>[55]</sup>和“情绪维持假说”<sup>[56]</sup>两种对立的理论，又各有证据支持，因此对于脑力疲劳影响决策的内在机制研究较为困难，目前呈现众说纷纭的状态。



# 正文

## 1 问题提出与研究意义

以往疲劳对心理功能的影响多集中于注意、感知觉、记忆等，对决策、推理等高级认知功能的影响研究比较薄弱。决策是飞行员和空中交通管制员的主要工作内容，决策失误常常产生严重后果。这两类人员又常常在疲劳状态下进行决策。因此以航空人员为研究对象，探讨疲劳对决策功能的影响有着重要的现实和理论意义。由于人们在睡眠缺乏时的状态与疲劳状态接近，国内外研究常以睡眠剥夺作为脑力疲劳的实验室诱导模型，存在的问题是现实生活中，脑力疲劳更多是由认知负荷作业引起，单纯采用睡眠剥夺并不能很好模拟现实状况。再则，实验室诱导疲劳与现实情境中疲劳状况对决策的影响是否一致，也并没有相关研究涉及。因此本研究以 IGT、CGT 作为决策研究工具，从模拟飞行任务诱导脑力疲劳与现实中空中交通管制员完成管制任务导致脑力疲劳两种条件下，探讨脑力疲劳对不确定性决策和风险决策的影响，并采用决策能力量表初步探讨脑力疲劳具体影响了决策能力哪些成分。研究航空疲劳，探讨其影响因素，开发相应的对抗措施，是航空管理者及航空生理、心理学研究者责无旁贷的使命，本研究考察个体不确定性和风险决策随疲劳状态的改变特征，为人们正确认识自身状态及决策变化特点，以及尽量避免因脑力疲劳造成决策偏差或失误提供参考依据。

## 2 研究设计

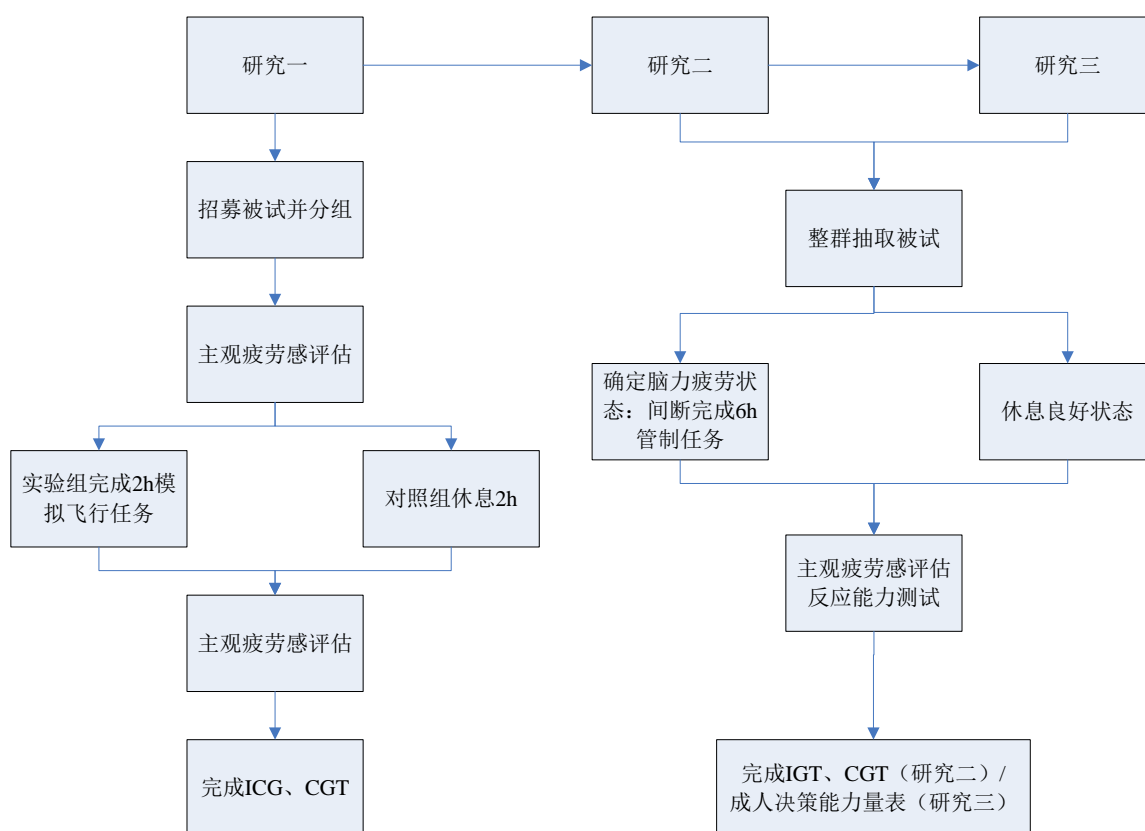
### 2.1 研究假设

- (1) 模拟飞行任务成功诱导出脑力疲劳，建立实验室模型。
- (2) 脑力疲劳并不会对风险概率未知的不确定状况下决策产生明显影响。
- (3) 风险决策任务中，被试在脑力疲劳状态下比休息良好状态更倾向于风险寻求。
- (4) 脑力疲劳使决策能力特定成分发生改变，进而影响决策者在风险和不确定性决策任务中的成绩。

## 2.2 实验流程

本实验试图探索风险和不确定性决策在脑疲劳状态下是否发生改变以及变化的倾向性特征,首先在实验室控制条件下,排除其他因素影响,通过模型诱发脑力疲劳考察对决策的影响。同时为提高实验的生态效度,验证现实情景下疲劳对决策的影响是否与实验室结果一致,即实验室结果是否能够进行推论,进行现实情景下实验。最后为探索疲劳影响决策的原因,通过探索决策能力哪些特定成分受脑力疲劳的影响进而解释风险和不确定性决策的变化特点。

具体实验流程如下:



## 2.3 数据统计处理

实验数据采用 SPSS22.0 软件进行统计分析,使用的统计方法有独立样本和相关样本  $t$  检验、重复测量方差分析和非参数检验等。以  $p < 0.05$  为差异具有统计学意义。

# 第一部分 实验室条件下脑力疲劳对风险和不确定性决策的影响

飞行员睡眠剥夺、连续任务和长时间工作以及高工作负荷是导致疲劳最主要的原因。飞行是一种高认知负荷作业，困倦和嗜睡、认知缓慢、注意力易分散、烦躁等是机组人员常见的疲劳症状。有研究结果显示，飞行员在飞行模拟器上连续操作 4.5h 即处于疲劳状态，飞行操作出错概率显著增加。飞行员大脑活动及眼球运动减慢多出现在长途飞行最后阶段，此时需要做出下降高度、进近、着陆等决策，是飞行员的高工作负荷期，此时的唤醒水平降低对飞行安全来说是非常可怕的<sup>[57]</sup>。然而，飞行人员由于困倦、唤醒水平降低等疲劳状况导致的判断偏差，因大部分并未引起严重事故而常常被航空研究者所忽视。在进行飞行这样高认知负荷工作时，个体能否保持理性，其决策的变化特征研究显得尤为重要。

## 1 材料

### 1.1 模拟飞行任务

计算机飞行模拟程序<sup>[58]</sup>是第四军医大学航空航天医学系编制的，用于高中生报考飞行员的筛选，很好的模拟了飞行任务操作，因此用做本实验的疲劳诱导模型。程序包括多重任务操作（确认光点个数和识别数字）、持续监控、准确控制和追踪。软件自动记录每次操作正确性及反应时间，并可换算出综合作业绩效得分。采用对比前 30min 与最后 30min 综合绩效得分作为评价客观疲劳感指标。该任务有效模拟飞行操作，对受试者的脑力需求较高，多重任务同时进行，受试者需要持续投入认知资源，会导致强烈的疲劳感并出现作业绩效水平下降。

（1）确认光点个数：界面上随机产生一组红色光点，受试者需清点光点个数，在小键盘上按住对应数字键不放，同时按下操纵杆后方键。

（2）识别数字：程序界面最右侧随机出现蓝色数字，受试者需按下小键盘对应数字不放，同时按下操纵杆 A 键。

（3）持续监控：即仪表监视。界面下方有编号为 1、2、3、4 的表盘，受试者需

监视表盘指针，当指针超过正常值时按下小键盘相应表盘编号，同时按操纵杆 B 键，使指针回到正常值。

(4) 准确控制与追踪：界面上的飞机会自由任意飞行，受试者需持续控制操纵杆，使红色光圈套住飞机，若两者分离则自动报警，受试者需及时调整<sup>[59]</sup>。



图 1 模拟飞行任务操作界面

## 1.2 主观疲劳感问卷

采用职业卫生领域广泛应用的主观疲劳症状问卷<sup>[16]</sup>，主要测量个体的一般状况、精神状况和身体不适情况。本研究中采用 0~4 五级评分，分数的高低即表示个体脑力疲劳水平的高低。

## 1.3 爱荷华博弈任务 (IGT)

IGT 设置 4 副牌，每副 100 张，而且每一张牌都有固定收益（牌 1、2 为¥100，牌 3、4 为¥50）。每副牌也都存在一定的损失概率，选择牌 1 则 50% 概率会输掉¥150~350；选择牌 2 则 10% 的概率会输掉¥1250；选择牌 3 则 50% 的概率会输掉¥25、50、75；选择牌 4 则 10% 的概率会输掉¥250。因此，牌 1 为大获益小损失，牌 2 为大获益大损失，牌 3 为小获益小损失，牌 4 为小获益大损失。从长远收益来看，前两副是不利的，后两副是有利的。实验设计受试者共翻牌 100 次，并把 100 次选择按照 20 次一个模块，划成 5 个模块。每一模块中选择有利牌的次数减去选择不利牌

的次数为净分数 (Net Score), 即[ (牌 3+牌 4) - (牌 1+牌 2) ]。对比净分数的差异, 同时分析其在 5 个模块中的趋势走向, 能够了解受试者在获益--损失情景下如何决策。本实验拟将 IGT 前 40 次选择用以评估不确定性决策, 后 60 次选择用以评估风险决策。

#### 1.4 剑桥博弈任务 (CGT)

CGT 设置了 10 个排成一排的格子, 颜色有红蓝两种。10 个格子中, 其中一个格子下面藏着黄色金币。受试者需要猜测金币藏在红色还是蓝色格子里, 而且需要下注, 受试者拥有本金¥100。红蓝格子的比例设置有 9 种: 9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8、1:9。赌注占受试者本金的比例设置有 5 种: 5%、25%、50%、75%、95%。赌注按升序或降序出现, 两种顺序随机呈现, 赌注显示: 总钱数的百分比和实际钱数, 3s 变换 1 次, 受试者选择下注比例, 若呈现到最后一个数字时受试者没有选择, 则默认为最后一个数字为赌注。受试者需要完成 36 次赌博, 每完成一次下注都会显示结果, 若猜对则增加下注对应的钱数, 猜错则减去下注对应的钱数。若受试者的本金剩余¥1, 则本金恢复¥100, 直到完成 36 次实验。CGT 的数据分析主要有六个变量<sup>[59]</sup>:

(1) 决策质量 (Quality of Decisions): 以受试者 36 次中选择比例较大的颜色的次数作为衡量指标 (5:5 的情况不做分析);

(2) 决策时间 (Decision Time): 是受试者思考哪个颜色的格子中会有金币的时间, 即受试者从格子出现到点击颜色按键的时间;

(3) 理性冒险指数 (Rational Adventure Index): 每次理性 (选择多数颜色) 决策下注的均值 (%) (不包括 5:5 且少数颜色也不算);

(4) 冒险指数 (Adventure Index): 每次押注的均值 (%) (36 次下注的比例除以 36);

(5) 冲动指数 (Impulse Index): 降序中下注的均值-升序中下注的均值 (%);

(6) 风险调节 (Risk-adjustment): 受试者所下的赌注占拥有钱数的比例, 每一轮赌博红蓝格子的比例会随机变化, 代表受试者每次决策面对的风险是有差异的, 个体须调整下注比率来尽可能多的赢得金币。随着奖惩概率改变而选择不同数量的赌注是一种风险调节行为, 但若受试者不顾红蓝格子的比率而一直选择较高赌注, 则可

能是一种冒险行为，计算风险调节能力方法为： $[2 \times (\text{下注 9:1 的 } \%) + (\text{下注 8:2 的 } \%) - (\text{下注 7:3 的 } \%) - 2 \times \text{下注 6:4}] / \text{平均下注 } \%$ 。

## 2 方法

### 2.1 实验对象

通过校内广告招募某军校学生 120 名，平均年龄  $(20.1 \pm 0.58)$  岁。受试者均为男性，裸眼或矫正视力正常，无器质性疾病，睡眠习惯良好，自愿参加实验。采用成组设计，采用简单随机化的方法将受试者分为两组，实验组与对照组各 60 人。由于实验组其中 2 人因特殊情况未完成实验，遂将数据剔除，故实验组 58 人，对照组 60 人。实验开始前 3d，所有受试者保证夜间有足够睡眠，不饮咖啡、浓茶以及服用能够兴奋中枢神经的药物。为保证受试者的依从性和动机，告诉受试者将会对所有人的博弈任务成绩进行比较，根据成绩发放不同奖品，成绩越高奖品越好。

### 2.2 实验过程

实验组受试者在实验前一天到实验室学习模拟飞行操作，要求达到熟练水平，以避免因新奇感与操作不当引起的误差。次日 12:30-13:00 到达实验室。所有受试者到达实验室后先进行主观疲劳感评估。之后实验组进行连续 2h 的飞行模拟任务，之后再次填写主观疲劳感问卷，最后进行 IGT、CGT。对照组在休息室休息 2h 后（可进行简单阅读和适当活动）同样再次进行主观疲劳感评估，然后进行 IGT、CGT。实验室隔音、恒温、安静，以减少实验中的偶然误差。

### 2.3 数据统计学分析

采用 SPSS22.0 统计软件分析数据。实验数据以  $(\bar{x} \pm s)$  表示，疲劳感差异比较采用相关及独立样本  $t$  检验，组间 IGT 净分数差异进行重复测量方差分析，对 4 副牌的选择次数的组间对比进行非参数 U 检验，组间 CGT 成绩差异采用独立样本  $t$  检验，以  $p < 0.05$  为差异具有统计学意义。

### 3 结果

#### 3.1 疲劳感检验

##### 3.1.1 实验组完成模拟飞行任务后疲劳感明显增加

实验组完成模拟飞行任务后主观疲劳感问卷得分明显高于诱导前 ( $p<0.01$ )。由于飞行任务持续时间是 30min, 所以要进行 4 次, 共 2h, 本研究采用比较第一次和第四次的作业成绩, 作为客观疲劳感的指标。实验组模拟飞行任务第一次综合作业绩效平均得分高于最后一次的得分, 差异具有统计学意义 ( $p<0.01$ ) (表 2)。主客观疲劳感分析表明经过脑力疲劳诱导后, 实验组受试者脑力疲劳水平有了明显变化。

表 2 实验组脑力疲劳诱导前后主客观疲劳感差异比较 ( $n=58$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

	诱导前	诱导后	<i>Df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
主观疲劳感	9.55 $\pm$ 5.59	36.58 $\pm$ 13.64	57	15.92	<0.001
客观疲劳感	7.32 $\pm$ 0.53	6.02 $\pm$ 0.85	57	13.78	<0.001

##### 3.1.2 实验组较对照组主观疲劳感明显增加

独立样本 *t* 检验结果显示, 脑力疲劳诱导前实验组与对照组之间主观疲劳感无差异 ( $p>0.05$ )。脑力疲劳诱导后实验组疲劳感显著高于对照组, 差异具有统计学意义 ( $p<0.01$ ) (表 3), 表明两组受试者脑力疲劳水平存在明显差异。

表 3 实验组与对照组脑力疲劳诱导前后疲劳感差异比较 ( $n=118$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

	实验组	对照组	<i>Df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
诱导前	9.55 $\pm$ 5.59	8.78 $\pm$ 5.88	116	1.75	0.078
诱导后	36.58 $\pm$ 13.64	7.95 $\pm$ 5.07	116	15.21	<0.001

#### 3.2 两组受试者在 IGT 中表现差异

独立样本 *t* 检验结果显示, 两组受试者在模块 1 与模块 2 中的净分数不存在明显差异 ( $p>0.05$ ) (表 4)。

原始 IGT 模块 3-5 实验数据的 Mauchly 球形检验显著性 $>0.05$  (表 5), 对模块 3~5 的重复测量方差分析显示 (表 6): 模块的主效应差异显著 ( $p<0.01$ ); 疲劳水平

的主效应差异显著 ( $p<0.01$ ) (表 5)。固定模块进行简单效应分析, 结果发现模块 4、5 中对照组净分数明显高于实验组 ( $t=2.171$ 、 $3.262$ ,  $p<0.05$ )。

表 4 实验组与对照组 IGT 各模块成绩差异比较 ( $n=118$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

IGT 模块	模块 1	模块 2	<i>Df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
实验组	-3.655 $\pm$ 7.208	-2.033 $\pm$ 7.667	116	1.183	0.239
对照组	0.069 $\pm$ 9.733	1.633 $\pm$ 7.987	116	0.956	0.341

表 5 实验组与对照组 IGT 各模块成绩差异比较

IGT 模块	实验组	对照组
模块 3	-1.448 $\pm$ 10.203	1.867 $\pm$ 9.566
模块 4	0.897 $\pm$ 12.198	5.167 $\pm$ 8.840
模块 5	1.603 $\pm$ 10.739	7.433 $\pm$ 8.589

表 6 实验组与对照组 IGT 风险决策阶段重复测量方差分析结果

	<i>Df</i>	F	<i>p</i>
模块	2	16.57	<0.001
组别	1	10.89	0.001
模块 $\times$ 组别	2	0.67	0.514

学习曲线 (图 2) 趋势分析也说明疲劳状态下受试者也能学习到潜藏的规律, 对有利牌与不利牌形成认知 (模块 1~2)。后 60 次选择中对照组更多选择有利牌而回避不利牌, 但实验组相对于对照组, 更多地选择了不利的牌, 即没有很好地利用先验经验优化后面的决策。



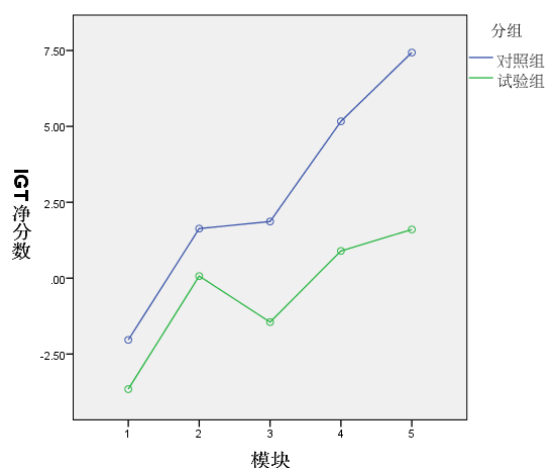


图 2 实验组与对照组 IGT 趋势分析曲线

对两组受试者在前 40 次及后 60 次选择中每组牌的选择次数进行正态性检验，因不符合正态分布故进行非参数 U 检验，结果显示，前 40 次两组受试者对各组牌的选择次数不存在差异。实验组在后 60 次的选择中点击大获益大损失的牌 2 的次数明显多于对照组 ( $p<0.01$ ) (表 7)，提示实验组受试者对较大损失的敏感性下降，更多选择大获益大损失的牌 2。

表 7 实验组与对照组 IGT 牌组选择次数比较 ( $n=118$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

牌组	不确定性决策阶段		Z	风险决策阶段		Z
	实验组	对照组		实验组	对照组	
1	7.10 $\pm$ 3.15	6.93 $\pm$ 3.40	-0.539	7.34 $\pm$ 5.40	6.73 $\pm$ 4.67	-0.010
2	15.21 $\pm$ 6.73	13.27 $\pm$ 5.81	-1.651	21.79 $\pm$ 12.78	16.03 $\pm$ 8.22	-2.506**
3	8.34 $\pm$ 6.17	9.42 $\pm$ 5.35	-1.840	15.21 $\pm$ 9.82	17.00 $\pm$ 12.01	-1.401
4	9.31 $\pm$ 7.60	10.38 $\pm$ 6.22	-0.244	15.69 $\pm$ 9.84	20.23 $\pm$ 12.73	-1.234
净分数	-4.66 $\pm$ 15.09	-0.40 $\pm$ 13.66	-1.614	1.76 $\pm$ 25.00	14.47 $\pm$ 19.77	-2.742**

注: \* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$

### 3.3 两组受试者在 CGT 中表现差异

独立样本  $t$  检验结果发现: (1) 不同疲劳水平受试者决策质量差异不明显 ( $p>0.05$ )。与对照组相比, 实验组受试者决策时间延长 ( $p<0.05$ ), 而且冲动指数增加 ( $p<0.05$ ), 且风险调节能力降低 ( $p<0.05$ )。 (2) 脑力疲劳水平不同的受试者决策时间、冲动指数以及风险调节能力差异显著 (表 8)。

表 8 实验组与对照组 CGT 成绩差异比较 (n=118,  $\bar{x} \pm s$ )

指标	实验组	对照组	Df	t	p
决策质量	28.97 $\pm$ 5.02	29.63 $\pm$ 3.83	116	0.815	0.417
决策时间	2.67 $\pm$ 1.39	2.17 $\pm$ 0.82	116	2.334	0.021
理性冒险指数	0.54 $\pm$ 0.15	0.55 $\pm$ 0.12	116	0.488	0.626
冒险指数	0.52 $\pm$ 0.15	0.52 $\pm$ 0.12	116	0.191	0.849
冲动指数	0.31 $\pm$ 0.25	0.22 $\pm$ 0.21	116	2.257	0.026
风险调节	4.83 $\pm$ 5.02	6.98 $\pm$ 4.56	116	2.440	0.016

## 4 讨论

### 4.1 脑力疲劳实验室诱导模型的建立

随着航空科技的进步以及智能化水平的提高, 飞行员需要监视与分析座舱内的各种仪表数据, 脑力负荷不断加重, 很容易引起脑力疲劳, 进而出现冲动、侥幸心理、风险评估偏差等影响飞行决策的不良心理因素<sup>[60]</sup>。面对复杂的飞行信息, 飞行人员的决策往往具有不确定性和风险性。本研究采用模拟飞行任务作为脑力疲劳诱导模型, 该任务有效模拟飞行操作, 对受试者的脑力需求较高, 多重任务同时进行, 受试者需要持续投入认知资源, 会导致强烈的疲劳感并出现作业绩效水平下降<sup>[59]</sup>。同时每个受试者都选择同一时间段进行测试, 即 12:30-13:00 到达实验室, 避免生物节律对实验的干扰。本研究采用主、客观结合的方式, 即主观疲劳感评估及客观作业绩效成绩对脑力疲劳进行评价。主观疲劳感问卷为自陈式, 结果显示实验组受试者的心理及生理疲劳症状增多, 尤其以精神状况分量表得分较高。模拟飞行任务操作得分作为脑力疲劳的客观评价指标, 能够直观反映受试者的操作水平, 即疲劳后出现了操作水平的下降。主客观结果均表明疲劳感是由飞行任务负荷引起, 达到了模拟飞行致脑力疲劳的预期效果, 成功建立了实验室脑力疲劳诱导模型。

### 4.2 脑力疲劳未对不确定性决策产生明显的影响

本研究将 IGT 前 40 次选择作为评估不确定性决策的工具, 用以测量受试者学习隐含规律的归纳推理与不确定性计算能力。这一阶段需要受试者在不断的输赢反馈中内隐的计算出盈利或损失的规律, 才能尽可能多的赢得金币, 需要个体拥有较强的学习能力<sup>[34]</sup>。本研究中的受试者均为 211 大学在读学生, 具有较高的认知能力,

无论是脑力疲劳状态还是休息良好状态，在完成 IGT 时均出现了学习效应，在 40 次的选择中已能够利用发现的规则较快地实现分数的递增，说明受试者通过不断反馈进而调整决策策略的能力并未受到脑力疲劳的明显影响。由于受试者事先并不知晓任务中牌的数量、奖惩的数量及概率分布情况，他们需要通过先前选择的输赢信息归纳推理出任务规则，Harrison 和 Horne<sup>[61]</sup>认为睡眠不足引起的脑力疲劳并不影响批判推理任务成绩，因此不确定性决策未受到脑力疲劳的影响。Benjamin<sup>[62]</sup>采用彩票选择任务探讨睡眠剥夺对不确定性决策和风险决策的影响，结果发现实验组和控制组在面对损失时选择确定选项和不确定性选项之间并无差异。

有研究者认为 IGT 所包含的信息较为复杂，如工作记忆（Working memory）是个体用来记住奖惩金额、惩罚的分布情况以及每次选择的输赢信息，抑制控制和转换能力与得失规则的计算速率相关<sup>[63]</sup>。而脑力疲劳不仅影响工作记忆，个体的执行控制功能也受到干扰，认知资源出现质的下降，从此角度出发，不确定性决策也可能会受到脑力疲劳的影响，本实验中不确定性决策未受到脑力疲劳的明显影响，若增加疲劳强度，不确定性决策是否会有变化？有待下一步实验进行验证。

### 4.3 脑力疲劳对风险决策的影响

#### 4.3.1 脑力疲劳使个体对冒险性增加，决策质量下降

受试者在 IGT 前面 40 次的学习中初步形成了每组牌的输赢的主观概率以及输赢大小的主观效用，因此将后 60 次选择作为评估风险决策的工具，在风险决策阶段，IGT 测量受试者应用已学到的主观概率和主观效用进行最优化决策的能力。模块 3~5 的结果显示不同疲劳水平之间选择净分数出现了差异，模块 4、5 中对照组净分数显著高于实验组。学习曲线趋势分析也发现对照组在了解哪组有利哪组不利后，更多选择有利牌以赢得金币，而实验组仍然不断尝试不利牌。相比于对照组，实验组受试者对损失变得不敏感或冒险性、投机性增强，在知道有利选择后依然尝试选择短期获益但长期损失的不利选项。牌组选择次数比较中发现，实验组尤其以选择牌 2 最多，即大损失大收益，表明疲劳状态下受试者不能衡量即时奖励与长远损失之间的利弊，更加重视短期利益而不顾长远损失，投机性和冒险性增加，与 Venkatraman 的研究结果一致<sup>[48]</sup>。Killgore 等<sup>[46]</sup>认为在不确定条件下做出有利决策的能力是执行控制功能的一部分，受腹内侧前额叶皮质的调控，且易受疲劳的影响。相对于休息良好状态，SD

后受试者的 IGT 净分数在不确定性决策阶段呈上升趋势，而在风险决策阶段逐渐下降。在风险决策阶段他们更多选择不利牌，更重视短期利益而不顾长远损失。本文研究结果与 Killgore 的研究结论不谋而合。

#### 4.3.2 脑力疲劳使个体信息加工速度变慢，冲动性增加，决策的精细调节能力下降

IGT 考察概率未知情况下人们如何决策，而 CGT 考察受试者在风险概率已知的情况下，能否衡量利弊选择胜算较大或获利较多的方案，这不仅需要准确的概率评估能力，也需要较强的根据不同风险调整决策策略的能力。CGT 的研究结果显示，实验组与对照组的决策质量没有明显差异，两组受试者都能根据颜色比例选择优势选项（即概率大的颜色），由于 CGT 红蓝格子概率分布较为明显，受试者都具有较高的认知能力，因此概率评估能力未受到脑力疲劳的明显影响，受试者都能准确选择优势选项。相对于对照组，实验组受试者决策时间延长，说明受试者反应能力降低，运用分析性思维进行推理判断的动机下降。有大量研究发现人们处于脑力疲劳时，注意与执行控制功能降低，接受和处理信息的速度减慢，即认知能力下降和认知速度变缓<sup>[64-65]</sup>，因此人们在脑疲劳状态下需要更多时间做出恰当的决策。

CGT 在模拟现实情境时能够将被试的风险偏好和冲动性进行有效分离，从而计算出被试的风险调节能力。在风险较小时（比如红蓝比率为 9:1）倾向于下高赌注，而在风险较大时（比如红蓝比率为 6:4）倾向于下低赌注，这样随着风险而调整赌注的能力高，不冲动下注则表示个体风险调节能力强。事实上，根据风险水平的不同调节自身决策的能力对人们在现实生活的决策有重要意义。实验组受试者较对照组冲动性增加，风险调节能力降低，受试者能够感受概率信息的变化，但不能很好的随着风险概率的不同调整下注比率的大小，不能够保持清晰思路，在情况变化时容易做出冲动行为，即不能较好地对自身风险行为进行精细调节。

综上所述，实验室诱导脑力疲劳个体在不确定情况下进行决策时，能够根据不确定性信息进行归纳推理，在推理得出损益概率后，虽然感知到了高风险，但是高收益会提高选项的吸引力，提高人们风险容忍的阈限值，在接下来的决策活动中表现出冒险倾向。同时在概率已知时，尽管脑力疲劳个体能够感受概率信息变化，但对自身风险行为进行精细调节的风险调节能力受到了明显影响。本研究采用模拟飞行任务主要是为探讨疲劳如何影响飞行员决策，上文中所述研究尚在实验室进行，受试者的决

策已发生变化,那么现实中更加复杂、认知负荷更大的真实飞行任务对决策必然会产生影响,本研究结果或许可以为飞行人员疲劳状态下自身决策变化特点提供参考。从某种程度上来说,心理学研究的最终目的就是将研究成果应用于实践,解决实际问题,下一步实验将从现实角度进一步探讨。

## 第二部分 现实情景下管制工作负荷致脑力疲劳对风险和不确定性决策的影响

空中交通管制员是空管运行体系中最直接的保障环节，他们准确的判断与果断的决策能力对航空安全高效运行至关重要。ATC 与飞行操作相似，也是一项认知负荷比较高的工作，管制员通过观察与判读雷达扇区上航班信息，形成各个航班的心里表象，同时还要与飞行员及其他部门通过对讲系统保持沟通，工作负荷高，又需要进行夜间倒班，因而时常处于脑力疲劳状态。空中交通管制员每天的主要工作内容就是下达一个又一个的航空指令，也就是在不断地在做出判断和决策，稍有差错，就会带来严重的后果。他们处在精神高度紧张、睡眠不足、倒班以及环境昏暗的工作状态中，致使管制员常常处于身心疲劳的状态，进而有可能影响判断决策，危及航空安全。已有研究证实，空管员脑力疲劳会造成认知水平和警觉性降低，进而导致遗忘航班信息、不按规定程序指挥等不安全行为以及易怒、焦虑等不良情绪，影响班组成员之间的协作配合<sup>[66]</sup>。目前极少有研究探讨脑力疲劳如何影响空管员决策，更缺乏深入空管现场进行的实地研究。本研究拟采用现场研究的方式，通过现实管制任务诱发脑力疲劳，以 IGT、CGT 为决策研究工具，旨在考察现实中常规管制工作引起的脑力疲劳对不确定性和风险决策的影响，同时对比第一部分实验，探讨增加脑力疲劳强度后是否会对不确定性决策产生影响。

### 1 材料

#### 1.1 客观疲劳水平测定

采用第四军医大学航空航天医学系编制的反应能力测试程序<sup>[67]</sup>，包括显示器和应答器。显示器上有红黄蓝三种颜色的指示灯，每种颜色各 3 个，共 9 个。应答器为不同颜色的 3 个按键，分别对应 Led 灯的颜色。显示界面在程序的控制下每次以伪随机方式亮起 1 个 Led 灯，受试者按下应答键做反应，如果反应正确，该灯熄灭，同时新的灯亮起；若是应答错误，此灯会持续点亮，直到按下正确按钮。测试持续时间为 2min，程序自动计算每分钟反应正确的个数、错误个数以及每次从灯亮起到按

键的平均反应时间,可以用来评价受试者的选择反应时,这里作为反映基本认知功能和疲劳水平的指标。

## 1.2 主观疲劳感问卷、IGT、CGT

同第一部分实验。

## 2 方法

### 2.1 实验对象

采取整群抽样方式,于中国民航西北空管局空中交通管制中心选取 1 组管制员(共 41 人,男 38 人,女 3 人),年龄为( $29 \pm 5$ )岁,身体健康,无器质性疾病。采用自身前后对照设计。由于管制员是倒班制度,每次上岗 2h,然后休息 2h,两组交替上岗,两组有主班、副班之分,主班早 8:00—10:00 为第一班,副班 10:00—12:00 为第一班。每一组管制员值班 2d(即值一个主班一个副班)后休息 2d。以休息 2d 之后的早接班前作为正常状态。选择 3 周后(消除练习效应)的受测管制员值主班的 16:00—18:00 上岗结束,即间断完成 6h 空中交通管制任务作为疲劳状态。

### 2.2 实验过程

实验准备:由于管制员工作任务繁重及课题研究需较长时间,可能存在管制员不配合情况,因此,为提高管制员参与实验研究的依从性,于正式实验开始前课题组进行一次实验意义集中讲解,使管制员对研究的目的、意义、研究过程有大概了解。同时与管制中心领导进行配合,告知管制员将此调查结果作为考核或绩效的部分依据,以引起管制员重视,积极配合研究。同时根据博弈任务成绩对受试者给予礼品奖励。实验前一天告知管制员实验当天不饮咖啡、浓茶或神经兴奋性药物。

正式实验:所有参与实验的管制员在休息良好状态下,完成主观疲劳感评估、客观疲劳水平评估,而后进行 IGT、CGT。3 周后的疲劳状态下,即间断完成 6h 空中交通管制工作后,重复以上测试。由于管制员工作时间限制,实验需分多次进行,实验时程过长,因而并未再次选择另一组管制员进行 ABBA 控制。

### 2.3 数据统计学分析

采用 SPSS22.0 统计软件分析数据。原始数据以( $\bar{x} \pm s$ )呈现,疲劳感差异比较采用相关样本  $t$  检验,IGT 成绩差异比较采用重复测量方差分析,对 4 组牌的选择次

数的分析采用非参数 U 检验, CGT 分数差异采用相关样本  $t$  检验。以  $p < 0.05$  为差异具有统计学意义。

### 3 结果

#### 3.1 管制任务后管制员疲劳感明显增加

管制员完成管制任务后主观疲劳感问卷得分明显高于任务前, 差异具有统计学意义 ( $p < 0.01$ )。管制任务后客观疲劳水平发生变化, 反应能力测试中每分钟应答正确的个数减少 ( $p < 0.01$ ), 错误个数增多 ( $p < 0.01$ ), 从灯亮起到按下相应颜色按键的时间延长 ( $p < 0.05$ ) (表 9)。主客观疲劳感分析表明经过 6h 管制任务后管制员脑力疲劳水平有了明显变化。

表 9 管制任务前后疲劳感差异 ( $n=41$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

	正常状态	疲劳状态	$Df$	$t$	$p$
主观疲劳感	18.69 $\pm$ 8.17	39.98 $\pm$ 13.55	40	10.34	<0.001
反应能力测试正确率 (个/min)	55.19 $\pm$ 8.68	49.43 $\pm$ 7.65	40	3.877	<0.001
反应能力测试错误率 (个/min)	0.80 $\pm$ 0.83	2.93 $\pm$ 3.38	40	4.297	<0.001
反应时间 (ms)	805.75 $\pm$ 105.06	860.42 $\pm$ 129.64	40	2.572	0.014

#### 3.2 管制员在 IGT 中的表现

对管制员在脑力疲劳及休息良好状态下的 IGT 各模块净分数进行相关样本  $t$  检验, 模块 1~2 的净分数差异均不具有统计学意义 ( $p > 0.05$ ), 模块 3~4 中休息良好状态下的净分数均显著高于完成管制任务后 ( $p < 0.01$ ), 模块 5 中休息良好状态下的净分数出现回落, 虽然仍高于完成管制任务后的净分数, 但差异不显著 ( $p > 0.05$ ) (表 10)。



表 10 管制员在两种状态下 IGT 各模块净分数比较 ( $n=41$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

IGT 模块	正常状态	疲劳状态	<i>Df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
模块 1	-2.34 $\pm$ 8.135	-3.27 $\pm$ 7.704	40	0.608	0.547
模块 2	2.54 $\pm$ 7.417	-0.63 $\pm$ 6.640	40	1.950	0.058
模块 3	5.32 $\pm$ 7.995	0.44 $\pm$ 9.513	40	3.388	0.002
模块 4	6.29 $\pm$ 11.069	-0.34 $\pm$ 9.131	40	3.798	<0.001
模块 5	3.12 $\pm$ 11.654	0.39 $\pm$ 9.211	40	1.337	0.098

学习曲线（图 3）趋势分析也说明疲劳状态下管制员也能在前 40 次的选择中内隐学习到潜藏的规律，对“好”牌与“坏”牌形成认知。在接下来的选择中休息良好时管制员更多选择有利牌而回避不利牌，而疲劳状态时随着选择的增加仍然不断尝试不利牌，在实验最后阶段，休息良好时管制员的成绩却出现回落。

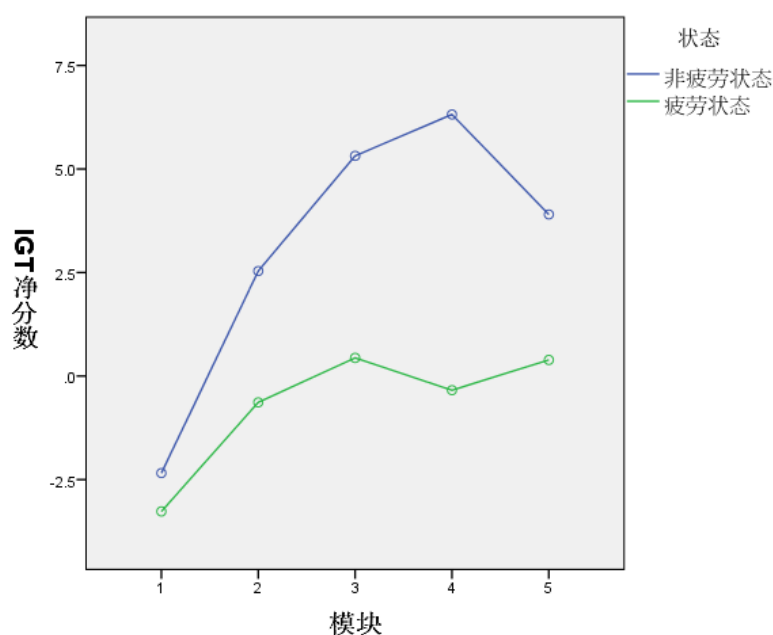


图 2 管制员在两种状态下 IGT 趋势分析曲线

对不同状态下管制员在前 40 次及后 60 次选择中每组牌的选择次数进行正态性检验，因不符合正态分布，进行非参数 Wilcoxon 秩检验，发现前 40 次管制员对各副牌选择次数不存在差异。后 60 次中，脑力疲劳状态下管制员选择牌 2 的次数明显高于休息良好状态 ( $p<0.01$ )，同时选择牌 3 的次数明显减少 ( $p<0.01$ )，净分数差异也非常明显 ( $p<0.01$ ) (表 11)。

表 11 管制员在两种状态下 IGT 牌组选择次数比较 ( $n=41$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

牌组	不确定性决策阶段		Z	风险决策阶段		Z
	任务前	任务后		任务前	任务后	
1	7.34 $\pm$ 5.204	7.59 $\pm$ 3.316	1.132	6.73 $\pm$ 5.532	8.10 $\pm$ 6.074	1.252
2	12.56 $\pm$ 5.971	14.37 $\pm$ 5.323	1.730	15.49 $\pm$ 11.104	21.46 $\pm$ 11.043	3.073**
3	8.66 $\pm$ 2.526	8.61 $\pm$ 3.924	0.254	16.15 $\pm$ 9.746	11.78 $\pm$ 4.942	3.021**
4	11.44 $\pm$ 5.870	9.44 $\pm$ 5.348	1.660	21.61 $\pm$ 14.00	18.68 $\pm$ 10.546	1.410
净分数	0.20 $\pm$ 13.519	-3.90 $\pm$ 12.938	1.181	15.54 $\pm$ 24.481	0.90 $\pm$ 21.957	3.351**

注: \*  $p<0.05$ , \*\*  $p<0.01$

### 3.2 管制员在 CGT 中的表现

不同脑力疲劳状态原始 CGT 数据的相关样本  $t$  检验发现: (1) 与休息良好状态相比, 脑力疲劳状态下管制员决策时使用的延长时间 ( $p<0.05$ ), 而且冲动指数增加 ( $p<0.05$ ), 冒险指数增加 ( $p<0.01$ ), 风险调节能力降低 ( $p<0.01$ )。 (2) 脑力疲劳水平不同的受试者决策时间、冲动指数、冒险指数以及风险调节能力差异显著(表 12)。

表 12 管制员在两种状态下 CGT 成绩差异 ( $n=41$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

指标	正常状态	疲劳状态	Df	t	p
决策质量	28.51 $\pm$ 4.86	27.05 $\pm$ 5.53	40	1.517	0.158
决策时间	2.16 $\pm$ 0.80	2.63 $\pm$ 1.08	40	2.929	0.024
理性冒险指数	0.64 $\pm$ 0.14	0.71 $\pm$ 0.13	40	2.473	0.013
冒险指数	0.60 $\pm$ 0.13	0.68 $\pm$ 0.10	40	3.144	0.003
冲动指数	0.15 $\pm$ 0.23	0.27 $\pm$ 0.27	40	2.326	0.031
风险调节	4.15 $\pm$ 3.73	1.72 $\pm$ 2.48	40	3.716	0.001

## 4 讨论

空中交通流量日益增加, 空域环境复杂多变使空管员面临的压力增大, 空管员承担着管理空中交通的重要任务, 其疲劳上岗已成为制约航空安全高效发展的瓶颈。疲劳状态下人们注意力难以集中, 容易遗漏重要信息, 预判能力下降, 并引起情绪变化, 工作中将会对加工后的决策方案和管制行为产生负面影响。本研究深入管制一线, 以在职空中交通管制员作为研究对象, 进行现场研究, 考察了空管员在间断完成 6h 管

制任务后不确定性决策及风险决策的变化特点,结果显示 IGT 早期阶段(不确定性决策)任务负荷前后成绩不存在差异,说明管制员不确定性决策能力未受到脑力疲劳的影响,与第一部分实验结果相比较,说明增加脑力疲劳强度不确定性决策能力仍然不受影响。Killgore 的研究也显示睡眠剥夺组在 IGT 的前 60 次选择中的净分数不断增加,说明即使在 49h 睡眠缺乏的状态下,个体仍能内隐觉察各组牌的奖惩规则,归纳推理与不确定性计算能力并未受到明显影响。而在后面的选择中,睡眠剥夺组的净分数呈快速下降趋势,本研究中管制员在任务负荷前后 IGT 后 60 次选择(风险决策)的成绩也出现明显差异,说明脑力疲劳状态下管制员也出现了对收益敏感,对损失敏感性减低,重视短期利益而不顾长远损失的现象,此结论与第一部分实验相同。学习曲线显示,休息良好状态下管制员在模块 5 中的成绩出现回落,可能由于管制员在了解了 IGT 隐含规律后,为了增大收益以获得更多奖励而出现“赌一把”的心理,即认为自己可能侥幸避免惩罚,而选择不利牌增多,最终使最后一个模块净分数降低。由于实际条件所限,本研究未能做到 ABBA 的平衡设计,导致休息组数据混杂了学习效应。此外,被试知道测验即将结束,因而冒险性增强。这和周梁的发现一致,他在对心理账户的研究中也发现,在最后一次的情景测验中受试者的冒险性反弹性升高,可能是由于情景测验中的收益并非真正的金钱,不能带给受试者足够的心理感受<sup>[68]</sup>。

CGT 结果与第一部分实验相似,管制任务负荷前后管制员的决策质量差异不显著。疲劳状态下管制员的决策速度降低,客观疲劳水平测试中反应时间也延长,说明脑力疲劳时管制员认知速度变缓、反应能力降低。CGT 测量冲动指数采用降序中下注的均值-升序中下注的均值,由于赌注显示每 3s 变换,受试者需要耐心等待预期赌注,在实验室及现实条件下脑力疲劳受试者的冲动指数都有所增大,说明疲劳后人们容易失去耐心,冲动决策。Ashley 等<sup>[69]</sup>采用气球模拟任务(Balloon Analogue Risk Task, BART)等四项风险决策相关任务,考察睡眠剥夺对不同性别个体冲动行为的影响,发现睡眠剥夺后男性冒险性和冲动性增加,女性更倾向于风险规避,但并不会导致冲动行为。本研究中受试者大部分都是男性,结果与 Ashley 的研究相似。相较于实验室条件下实验,管制员在疲劳状态下每次下注均值较休息良好时显著增大,希望通过加大下注比例增加收益,表现出冒险倾向。疲劳状态下管制员的风险调节能力降低,出现了不能够很好的随着风险的不同对自身行为进行有效调节的现象。空管员的主

要工作内容就是必须在极短时间内计算、判定飞机动态趋势,依据空域、航线、气象、飞行高度等方面信息,适时调整管制决策,将危险出现的几率降到最低。因此,风险调节能力对于空管员来说至关重要,如若不能够根据现实状况及时调整决策策略,高估或低估风险事件发生的概率,很容易出现管制决策偏差,进而危及航空安全。本研究结果为管制人员正确认知自身状态及决策变化特点,以及提示应进一步优化值班轮岗设计提供了参考依据,具有重要的现实意义。

通过实验一、二的研究结果证明决策功能会受到脑力疲劳的影响,但脑力疲劳具体影响了决策能力的哪些方面,致使决策出现上述改变,仍需下一步实验进行探讨。

## 第三部分 脑力疲劳影响决策能力认知成分的初步分析

决策作为高级认知活动，本身结构复杂，成分模糊，越来越多的研究者认为决策活动是具有多维度特性的，其受情感因素、社会文化、认知能力、个人价值观、动机等多种因素的影响，决策者也会因其所处的环境不同，受到社会文化及规则的影响。卡耐基梅隆大学社会与决策科学系教授 Baruch Fischhoff 领导的课题组，基于 Kahneman、Tversky、Edwards 和 West 等人的研究成果，明确了决策能力的定义及结构，开发了成人决策能力量表，实现了多维度全方位地对决策这一高级认知能力进行分析和测量。上述实验证明人们的决策能力会受到脑力疲劳的影响，而决策能力的哪些特定成分会随着脑力疲劳水平的不同而变化，进而造成相同条件下决策的差异，即本部分的实验目的。

### 1 材料

#### 1.1 成人决策能力量表

采用 2015 年冯田、肖玮等修订的成人决策能力量表<sup>[43]</sup>，包括 6 个分量表，总计 134 题，信效度分析显示该量表能够区分不同决策能力群体。

(1) 抵御框架效应 (RF): 检查受测者是否会被信息的呈现形式所影响，即是否容易出现框架效应。此分量表包含风险框架及属性框架问题各 7 对，每个问题都以损失和获得两种角度分别呈现一次，为消除短时记忆的影响，在量表开头部分呈现正性框架，最后部分呈现负性框架，受测者在正负性框架中选择的一致性越高，表明受测者在做决策时越能避免框架效应的影响。

(2) 社会规则认知 (SN): 此分量表包含两部分，首先要求受测者回答某负性事件是否可以接受，将回答“是”的人数除以受测总数，所得百分比为大众对这一问题的普遍看法。然后受测者需要回答 100 人中可能有多少人接受这一负性事件，将受测者认为的可能百分比与实际大众普遍看法进行相关分析，相关系数为分量表分数，分数越高表示对社会规范认知越准确。

(3) 过分自信/信心不足(UOC): 受测者需要回答某一陈述是否正确(对或错), 并且判断回答正确的可能性(50%~100%), 计分方式:  $1 - | \text{全部题目正确率} - \text{可能性判断平均数} |$ , 分数越高表示对自身认识越准确。

(4) 风险感知一致性(RP): 受测者需要对某事件在今后1年或5年内发生的概率, 采用相关记分的方式: 同一事件1年内发生的概率小于5年内则记1分, 发生概率低的事件小于发生概率高的事件记1分, 反之不计分。分值越高表示对于风险的感知越准确。

(5) 决策规则的使用(DR): 受测者需要根据限定条件在规定选项中做最佳选择, 回答正确率即为此分量表得分, 得分越高表明根据既定的决策规则解决实际问题的能力越高。

(6) 抵御沉没成本(SC): “沉没成本效应”是指人们对于某事件投入的时间、金钱、情感等越多, 后续的决策中会倾向于继续投入, 从而使决策变得不理性。此分量表包含10个问题, 采用6点记分, 受测者需要回答对某一事件选择的倾向性, 全部题目的平均分即为分量表得分, 分值越高表明决策时越能避免沉没成本效应。

## 1.2 主观疲劳感问卷、客观疲劳水平测试

同第一部分实验。

## 2 方法

### 2.1 实验对象

与第二部分实验相似, 同样采取整群抽样方式, 于中国民航西北空管局空中交通管制中心选取1组管制员(42名), 均为男性, 平均年龄( $28 \pm 6$ )岁。同样采用自身前后对照设计, 脑力疲劳与非疲劳状态的确定与实验二相同。

### 2.2 实验过程

所有参与测试的管制员在休息良好状态下, 完成主观疲劳感评估、客观疲劳水平评估, 而后完成成人决策能力量表。3周后的疲劳状态下, 即间断完成6h空中交通管制工作后, 重复以上测试。

### 2.3 数据统计学分析

采用SPSS22.0统计软件分析数据。实验数据以( $\bar{x} \pm s$ )表示, 疲劳感差异比较

及决策能力前后变化采用相关样本  $t$  检验, 框架效应分析采用重复测量方差分析。以  $p<0.05$  为差异具有统计学意义。

### 3 结果

#### 3.1 管制员疲劳感检验

相关样本  $t$  检验结果显示: 管制员完成管制任务后主观疲劳感问卷得分明显高于任务前 ( $p<0.01$ )。管制任务后反应能力测试中每分钟应答正确的个数减少 ( $p<0.01$ ), 错误个数增多 ( $p<0.01$ ), 从灯亮起到按下相应颜色按键的时间延长 ( $p<0.01$ ) (表 13)。主客观疲劳感分析表明经过 6h 管制任务后管制员脑力疲劳水平有了明显变化。

表 13 管制任务前后疲劳感差异 ( $n=42$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

	正常状态	疲劳状态	$Df$	$t$	$p$
主观疲劳感	23.00 $\pm$ 12.67	33.31 $\pm$ 16.60	41	4.981	<0.001
反应能力测试正确率 (个/min)	56.35 $\pm$ 7.74	48.69 $\pm$ 8.00	41	6.587	<0.001
反应能力测试错误率 (个/min)	0.99 $\pm$ 1.18	3.14 $\pm$ 3.30	41	5.156	<0.001
反应时间 (ms)	790.74 $\pm$ 96.78	869.23 $\pm$ 123.79	41	5.023	<0.001

#### 3.2 不同疲劳水平下决策能力量表得分差异

相关样本  $t$  检验结果显示, 间断完成 6h 管制任务后管制员抵御框架效应能力降低 ( $p<0.01$ ), 决策信心不足 ( $p<0.01$ ), 风险感知一致性降低 ( $p<0.01$ ), 根据决策规则进行最佳决策的能力降低 ( $p<0.01$ ), A-DMC 总分在脑力疲劳状态下有所下降 ( $p<0.01$ ) (表 14)。对抵御框架效应分量表进一步分析, 不同性质属性框架与不同疲劳水平之间两因素方差分析显示, 疲劳水平及框架性质的主效应均不显著 ( $p>0.05$ ); 不同性质风险框架与不同疲劳水平的两因素方差分析显示, 不同疲劳状态主效应显著 ( $p<0.05$ ), 不同性质风险框架的主效应也显著 ( $p<0.05$ ) (表 15-16)。

表 14 管制任务前后管制员决策能力量表得分差异 (n=42,  $\bar{x} \pm s$ )

分量表	正常状态	疲劳状态	Df	t	p
RF	3.93±0.59	3.60±0.54	41	3.183	0.003
SN	0.44±0.30	0.48±0.22	41	0.719	0.477
UOC	0.93±0.05	0.88±0.10	41	3.207	0.003
RP	0.74±0.07	0.67±0.12	41	3.326	0.003
DR	0.72±0.15	0.63±0.17	41	3.116	0.002
SC	4.38±0.85	4.23±0.77	41	1.072	0.290
A—DMC 总分	11.14±1.28	10.50±1.16	41	3.318	0.003

表 15 管制任务负荷前后框架效应分量表原始得分 (n=42,  $\bar{x} \pm s$ )

	正常状态	疲劳状态
正性风险框架	2.65±1.25	3.03±1.10
负性风险框架	3.02±1.29	3.48±1.20
正性属性框架	3.71±0.60	3.81±0.69
负性属性框架	3.71±0.75	3.78±0.62

表 16 管制任务负荷前后框架效应分量表的重复测量方差分析结果

	属性框架			风险框架		
	Df	F	p	Df	F	p
性质	1	0.622	0.431	1	4.739	0.031
疲劳水平	1	0.01	0.992	1	5.61	0.026
性质×疲劳水平	1	0.027	0.870	1	0.044	0.834

## 4 讨论

Fischhoff 等人根据其理论构想将决策技能集定义为四个部分, 又根据定义探索了六个分测验, 不仅对个体决策能力的准确性和一致性进行了测量, 而且实现了对决策能力特定成分的测量。本研究中实验对象是正式的空中交通管制员, 决策能力水平较为一致, 因此不存在因个体能力差异较大引起的系统误差, 管制任务负荷前后决策能力差异仅由脑力疲劳造成。



#### 4.1 脑力疲劳使个体更容易受信息表征方式的影响

Kahneman 和 Tversky 将同一个信息采用获得和损失两种方式呈现给受试者而产生决策不一致的现象称之为框架效应 (Frame Effect)。Fischhoff 编制的 A-DMC 中 RF 分量表采用风险框架与属性框架两种, 并分别包含正性框架与负性框架, 此分量表分值越高代表越能抵御信息框架的影响。管制员在间断完成 6h 空中交通管制任务后分数降低, 说明疲劳状态下管制员更容易受到信息描述方式的影响, 表现出框架效应。对此分量表进行详细分析发现, 无论在脑力疲劳还是休息良好状态下, 管制员并不受属性框架的影响, 即无论采用正性还是负性的方式描述事物的属性, 人们的选择较为一致。而面对风险框架时, 管制员在疲劳与非疲劳状态下均出现了框架效应, 面对获益较为保守, 面对损失较为冒险。面对相同性质 (正性或负性) 的信息框架, 脑力疲劳状态下管制员都变得更加倾向于风险寻求。第二部分实验中疲劳状态下的管制员在风险决策中都表现出冒险倾向, 对损失变得不敏感, 在损失框架下希望通过冒险决策来获取更多收益。

#### 4.2 脑力疲劳使个体低估自身决策能力水平

过分自信/信心不足分量表主要反映个体对自身能力的认知情况。脑力疲劳状态下管制员出现决策信心不足, 表明疲劳后管制员对所做决策的自信心下降, 受试者能够感知自身决策并非最佳决策。有研究显示作业疲劳感与自我效能感呈负相关, 而自我效能感不仅会影响自信心的建立, 还会影响自信心的发展。当连续作业使脑力疲劳感增强时, 自我效能感降低, 从而产生对自己能力的不确定性, 影响自信的正常程度<sup>[70]</sup>。管制员由于工作的特殊性, 每一个管制决策都应准确无误, 若管制员对自身能力状况不能准确认知, 做出决策时信心不足, 则有可能使管制员产生焦虑感, 进而影响判断决策, 出现危及航空安全的事件发生。

#### 4.3 脑力疲劳使个体对风险概率的感知能力下降

风险感知是指个体对各种客观风险的感受和认识, 强调由主观判断和感受而获得的经验对个体风险感知的影响<sup>[71]</sup>。Roszkowski 和 Davey 指出风险感知包括对情景不确定性的概率估计、对情景可控性的评价以及对估计的信心度, 其关键是确定潜在结果的相对风险水平<sup>[72]</sup>。Banks 等<sup>[52]</sup>证明了睡眠剥夺个体在模拟驾驶时, 碰撞风险的感知能力下降。脑力疲劳状态下个体注意视角变窄, 对收益的敏感性提高, 而对风险

敏感性降低, 风险感知相对下降。研究中管制员在脑力疲劳后也出现了风险感知一致性的降低, 脑力疲劳可能导致个体主观感知到的风险下降, 进而导致在风险决策中倾向于风险寻求。进而可以解释第一、二部分实验中脑力疲劳的受试者在 IGT 中虽然感知到哪组是不利牌, 但后期的选择中仍然不断尝试不利牌, 说明受试者能感知风险变化, 但主观感知到的风险降低, 进而导致在后期的决策中表现出风险寻求。

#### 4.4 脑力疲劳使个体综合多方面信息进行决策的整合能力降低

Fischhoff 所定义的整合能力即对决策规则的认知, 理性的决策者应该能够迅速发现决策规则, 并且控制自身行为使决策符合决策规则的要求。第一、二部分实验中受试者在脑力疲劳状态下也能够掌握博弈任务规则, IGT 的前 40 次选择中就能够发现“好”“坏”牌之分, 但是在风险决策阶段需要受试者应用掌握的规则进行决策时, 受试者显示出不断尝试“坏”牌, 对于决策规则的坚持性变差, 根据既定的决策规则、事件条件解决实际问题的能力有所降低, 即整合能力降低, 在本部分实验中管制员决策规则使用分量表分数降低。管制员做出每一个管制决策都需要综合雷达、航空器性能、气象条件、飞行任务、时间以及地域等多方面信息, 这就需要管制员保持高水平的整合能力, 因此, 脑力疲劳对于整合能力的影响不容忽视。

综上所述, 我们初步认为脑力疲劳影响决策主要是由于脑力疲劳使人们抵御框架效应能力降低, 容易受信息描述方式的影响。无论面对正性还是负性风险框架, 人们在疲劳状态下都更倾向于风险寻求。脑力疲劳使人们自我效能感降低, 出现决策自信心不足, 同时由于对风险的敏感性降低, 因而疲劳后决策者变得更重视眼前利益, 忽视风险。许多较大的人因事故都是由于未按标准程序进行操作造成的, 脑力疲劳后人们对于决策规则的坚持性变差, 也是造成决策偏差进而导致安全事故的重要原因。

## 小 结

现代航空已经发展成为一个全天候的运作体系，飞行员、空管员等相关工作人员的工作负荷也空前加大，他们经常会遇到工作时间延长、随时调整工作计划、频繁跨越时区等问题。这些对人体的睡眠觉醒生物节律是一个严峻的考验，持续的觉醒与认知负荷的增加均会引起疲劳及相关飞行事故。疲劳是一个复杂的状态，对生理、心理和情绪都有重要的影响，脑力疲劳对于航空工作者的影响越来越受到研究者的重视。本研究采用实验室模拟飞行及现实管制任务两种情景诱发脑力疲劳，以连续作业时间作为脑力疲劳操作定义，以主客观相结合的方式评估疲劳水平，研究脑力疲劳后不确定性及风险决策变化特征，并初步分析了脑力疲劳对决策能力认知成分的影响，本研究主要结果及结论总结如下：

1. 通过反馈调整决策策略的不确定性决策能力未受脑力疲劳的影响，即增加了脑力疲劳强度后，不确定性决策能力仍未受到明显影响。
2. 脑力疲劳主要影响风险决策，使个体表现出冲动、冒险决策，同时风险调节能力降低，出现了不能很好地随着风险的不同对自身行为进行精细调节的现象。
3. 初步认为脑力疲劳使个体更容易受信息表征方式的影响，对风险概率感知能力降低。脑力疲劳使个体低估自身决策能力水平，夸大能力下降程度，整合能力降低。

航空任务安排以及人固有的生理、心理特征是航空疲劳最核心的两大因素。当代航空的全天候化特点对人的生理、心理都是较大挑战。鉴于以上研究结果，首先应加强航空疲劳知识教育，包括疲劳的危险性、工作中打瞌睡的原因、睡眠的重要性、良好睡眠习惯等。其次，管理者在制定飞行计划以及管制员轮岗排班时需要考虑人员的生物节律、最近值班时间、休息和睡眠情况等。美国航空管理已将此应用于飞行员排班计划系统，若某一飞行员两次飞行间隔较短，排班系统将自动拒绝飞行请求。再次，为了防止航空疲劳所致的决策失误，可以尝试开发能够现场使用、科学灵敏的疲劳监测技术和对抗手段以及认知增强技术。最后，在航空人员选拔时，可加入人员抗疲劳性以及决策能力水平的检测，将抵抗疲劳能力高低和决策能力水平高低作为人员选拔指标。

研究不足与展望：

目前,评价脑力疲劳尚缺乏有效的、能够被广泛认可的指标,本研究采用主观疲劳症状问卷及作业绩效水平判定是否发生了脑力疲劳,指标略显粗糙,缺乏更加敏感、有效、客观的指标。其次,由于客观条件的限制,管制员被试样本量较小,而且不能进行随机选择,也未采用 ABBA 的平衡设计,结果受到顺序效应和学习效应的影响。所采用决策测量工具均为实验室研究所用,与管制员自身专业决策有较大差距,因此结果推论仍需谨慎。再次,对于将爱荷华博弈任务分为两部分进行讨论,其科学性有待验证。

本研究尚不深入,还有许多无法明确的问题有待进一步研究,例如,能否找到敏感、有效的客观指标用以评定脑力疲劳?能否确定疲劳水平等级,并绘制出决策能力随疲劳变化的曲线图?疲劳到底引起了大脑哪个环路或哪个部位的改变,进而使决策功能发生了改变?从心理层面讲,疲劳到底是对系统 1 产生了影响,使启发性特点变得更加明显,还是使系统 2 变得更加懒惰,不愿意接管决策任务,或是系统 2 中的信息处理和整合能力下降,导致决策失误?飞行员、管制员等的决策能力虽然受到了脑力疲劳的影响,但是并未对现实工作产生明显影响,是否疲劳水平并未达到使绩效水平产生质变的阈值?或者人们长期做某项工作,仅靠直觉系统即可完成任务,而疲劳并不影响直觉系统,因此并未对现实工作产生影响。随着脑力疲劳研究的深入,更多有效的决策研究范式的出现,特别是认知神经科学的蓬勃发展,相信人们最终能够迅速、准确、客观评估脑力疲劳水平,弄清脑力疲劳影响决策的神经机制,预防脑力疲劳造成错误决策,保证航空事业安全高效发展。

## 参考文献

- [1] 肖玮, 苗丹民. 航空航天心理学[M]. 第四军医大学出版社, 2013.
- [2] Durmer JS, Dinges DF. Neurocognitive consequences of sleep deprivation [J]. *Semin Neurol*, 2005, 25:117-129.
- [3] Kato Y, Endo H, Kizuka T. Mental fatigue and impaired response processes: Event-related brain potentials in a Go/No Go task [J]. *Int J of Psychophysiol*, 2013, 2(72): 204-211.
- [4] Van der Linden D, Frese M, Meijman TF. Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning [J]. *Acta Psychol*, 2003, 113 (1): 46-65.
- [5] Roehrs T, Greenwald M, Roth T. Risk-taking behavior: effects of ethanol, caffeine, and basal sleepiness [J]. *Sleep*, 2004, 27:887-893.
- [6] Chalder T, Berelowitz G, Pawlikowska T, et al. Development of a fatigue scale. *Journal of Psychosomatic Research*. 1993, 37(2):147-153.
- [7] 杨博. 长时间持续警戒任务下脑力疲劳对前注意和注意加工能力影响的 ERP 研究[D]. 陕西, 第四军医大学, 2013.
- [8] Mograss MA, Guillem F, Godbout R, et al. The effect of total sleep deprivation on recognition memory processes: A study of event-related potential [J]. *Neurobiology of Learning and Memory*, 2009, 91: 343-352.
- [9] Linde L, Bergstrom M. The effect of one night without sleep on problem-solving and immediate recall [J]. *Psychol Res*, 1992, 54: 127-136.
- [10] 宋健, 刘敏, 苗丹民. 36h 睡眠剥夺对非意识-意识转化影响的事件相关电位研究 [J]. *中华行为医学与脑科学杂志*, 2009, 9(18): 831-833.
- [11] Van der Linden D, Massar SA, Schellekens AF, et al. Disrupted sensorimotor gating due to mental fatigue: Preliminary evidence [J]. *Int J Psycho Physiol*, 2006, 62(1): 168-174.
- [12] Kato Y, Endo H, Kizuka T. Mental fatigue and impaired response processes: Event-related brain potentials in a Go/No-Go task [J]. *Int J Psychophysiol*, 2009, 72(2): 204-211.
- [13] 王斌. 连续工作负荷下脑力疲劳动态评价[D]. 陕西:第四军医大学, 2012.

- [14] Josoph E, Schwartz, Lina Jandorf, et al. The measurement of fatigue: a new instrument [J]. Journal of Psychosomatic Research, 1993, 37(7):753-762.
- [15] Hart SG, Staveland LE. Development of NASA-TLX (Task Load Index): result of empirical and theoretical research. In: Hancock PA, Meshkati N, Eds. Human Mental Workload [J]. North Holland: Elsevier Science Publishers.1998, 139-183.
- [16] Hideki F, Masaya T, Heihachiro A. Nurses' workload associated with 16-h night shifts on the 2-shift system. I: Comparison with the 3-shift system. Psychiatry Clin Neurosci, 1999, 53: 219-221.
- [17] 曹雪亮. 脑力疲劳的注意特征及主观评定方法的实验研究[D]. 陕西: 第四军医大学, 2003.
- [18] 马进. 健康青年脑力疲劳认知能力评定指标的实验研究[D]. 陕西:第四军医大学. 2005.
- [19] Grandjean E. Fatigue in industry [J]. British Journal of Industrial Medicine. 1979, 36 (3): 175-186.
- [20] Neri DF, Oyung RL, Colltti LM, et al. Controlled activity as a fatigue countermeasure on the flight deck [J]. Aviation Space & Environmental Medicine, 2002, 73(7):381-386.
- [21] Caldwell JA, Prazinko BF, Rowe T. Body posture affects electroencephalographic activity and psychomotor vigilance task performance in sleep deprived subjects [J]. Clinical Neurophysiology, 2003, 114:23-31.
- [22] Gerry E. Warning system for fatigued drivers nearing reality with new eye data [J]. Science Daily Magazine. 1999, 7: 25-30.
- [23] 郑培, 宋正河, 周一鸣. 机动车驾驶员驾驶疲劳测评方法的研究状况及发展趋势[J]. 中国农业大学学报. 2001, 6 (6): 101-105.
- [24] Lal SKL, Craig A. Driver Fatigue: psychophysiological effects [J]. The Fourth International Conference on Fatigue and Transportation, 2000a:
- [25] 宋健, 苗丹民, 李婧, 等. 出租车司机驾驶疲劳前后事件相关电位 P300 比较[J], 中华行为医学科学, 2006, 15(11): 1023-1024.
- [26] Fowler B. P 300 as a measure of workload during a simulated aircraft landing task [J]. Hum Factors, 1994, 36(4):670-683.

- [27] 杨博. 脑力疲劳状态下人脑自动信息加工和冲突信息加工能力变化的 ERP 研究[D]. 陕西, 第四军医大学, 2009.
- [28] Vasiliki S, Adolfo M, Bronstein. Hyperventilation effect on postural sway [J]. Arch Phys Med Rehabil, 1997, 78:730- 736.
- [29] 李增勇, 代师勋, 张小印. 驾驶员疲劳态下脑氧饱和度的近红外光谱法检测及其分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(1):58-61.
- [30] Noriyasu T, Masaki Y, Toshiaki A. Effect of psychological stress on the salivary cortisol and amylase levels in healthy young adults [J]. Archives of oral biology, 2004,49(12):963-968.
- [31] Hastie R. Problems for judgment and decision making [J]. Annual review of psychology, 2001, 52: 653-683.
- [32] 吉仁泽. 风险与好的决策[M]. 中信出版社, 2015:42-45.
- [33] 庄锦英. 决策心理学[M]. 上海教育出版社, 2006.
- [34] Rogers RD, Everitt BJ, Baldacchino A, et al. Dissociable deficits in the decision making cognition of chronic amphetamine abusers, opiate abusers, patients with focal damage to prefrontal cortex, and tryptophan-depleted normal volunteers: Evidence for monoaminergic mechanisms [J]. Neuropsychopharmacology, 1999, 20(4):322-339.
- [35] 张凤华, 张玉婷, 向玲, 等. 模糊决策的认知神经机制[J]. 心理科学进展, 2015, 23(3): 364-374.
- [36] Bechara A, Damasio AR, DamasioH, et al. Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex [J]. Cognition, 1994, 50(1/3): 7-15.
- [37] Bechara A. Decision making, impulse control and loss of willpower to resist drugs: a neurocognitive perspective [J]. Nature Neuroscience, 2005,8:1458-1463.
- [38] Harrison Y, Horne JA. Sleep loss affects risk-taking [J]. Journal of Sleep Research. 1998, 7(2):113.
- [39] Brand M, Heinze K, Labudda K, et al. The role of strategies in deciding advantageously in ambiguous and risky situations [J]. Cog Pro, 2008, 9(3), 159-173.
- [40] 蔡厚德, 张权, 蔡琦, 等. 爱荷华博弈任务(IGT)与决策的认知神经机制[J]. 心理科学进展, 2012, 20(9): 1401- 1410.

- [41] Bruine de Bruin W, Parker AM, Fischhoff B. Individual differences in adult decision-making competence [J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2007, 92(5): 938-956.
- [42] Stanovich KE, West RF. On the relative independence of thinking biases and cognitive ability [J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2008, 94(4):672-695.
- [43] 冯田, 彭家熙, 张家喜, 等. 决策能力量表在军校学员中的初步修订[J]. *中国临床心理学*, 2015, 23(6):1028-1031.
- [44] Wilkinson RT. Sleep deprivation. In: O. G.Edholm and A. L.Bacharach (Eds) *Physiology of Human Survival* [J]. Academic Press, London, 1965: 399-430.
- [45] Harrison Y, Horne JA. One night of sleep loss impairs innovative thinking and flexible decision making [J]. *Organ Behav Hum Decis Process*, 1999, 78: 128-145.
- [46] Killgore WD, Balkin TJ, Wesensten NJ. Impaired decision making following 49h of sleep deprivation [J]. *J Sleep Res*, 2006, 15 (1): 7-13.
- [47] Harrison Y, Horne JA. The impact of sleep deprivation on decision making: a review [J]. *J Exp Psychol Appl*, 2000, 6: 236-249.
- [48] Venkatraman V, Chuah YM, Huettel SA, et al. Sleep deprivation elevates expectation of gains and attenuates response to losses following risky decisions [J]. *Sleep*, 2007, 30(5): 603-609.
- [49] Venkatraman V, Huettel SA, Chuah LY, et al. Sleep deprivation biases the neural mechanisms underlying economic preferences [J]. *J Neurosci*, 2011, 31(10): 3712-3718.
- [50] Whitney P, Rinehart CA, Hinson JM. Framing effects under cognitive load: The role of working memory in risky decisions [J]. *Psychonomic Bulletin Review*, 2008, 15(6):1179-1184.
- [51] 王璐璐, 李永娟. 心理疲劳与任务框架对风险决策的影响[J]. *心理科学进展*, 2012, 20(11): 1546-1550.
- [52] Banks S, Catcheside P, Lack L, et al. Low levels of alcohol impair driving simulator performance and reduce perception of crash risk in partially sleep deprived subjects[J]. *Sleep*, 2004, 27(6):1063-1067.
- [53] Finger B, Mackinlay RJ, Wilkening F, et al. Affective and deliberative processes in



risky choice: Age differences in risk taking in the Columbia Card Task [J].Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition,2009,35(3):709-730.

[54] 彭家熙, 肖玮. 脑力疲劳对决策的影响及机制分析[J]. 中华航空航天医学, 2013, 24(1):75-79.

[55] Johnson EJ, Tversky A. Affect, generalization, and the perception of risk [J]. J Person Social Psychol, 1983, 45:20-31.

[56] Isen AM, Patrik R. The effects of positive effect on risk-taking: when the chips are down [J]. Organ Behav Hum Decis Process, 1983,31:194-202.

[57] Morris TL, Miller JC. Electrooculographic and performance indices of fatigue during simulated flight [J].Biol Psychol, 1996, 42(3): 334-360.

[58] 程珊. 立位平衡功能在飞行任务负荷所致疲劳评估中的作用[D].陕西:第四军医大学, 2015.

[59] 毛男, 黄荷, 冯田, 肖玮. 模拟飞行任务致脑力疲劳对不确定性决策的影响[J]. 中华航空航天医学杂志,2016,27(3):168—173.

[60] Acheson A, Richards JB, de Wit H. Effect of sleep deprivation on impulsive behaviors in men and women [J]. Physiol Behav, 2007, 91(5):579-587.

[61] Harrison Y, Horne JA. One night of sleep loss impairs innovative thinking and flexible decision making[J]. Organ Behav Hum Decis Process, 1999, 78(2): 128-145.

[62] Benjamin S, Mckenna DL, Dickinson HJ. The effects of one night of sleep deprivation on known-risk and ambiguous-risk decisions [J]. Journal of Sleep Research, 2007, 16(3):245-252.

[63] Demaree HA, Burns KJ, DeDonno MA. Intelligence, but not emotional intelligence, predicts Iowa Gambling Task performance [J]. Intelligence, 2010, 38(2):249-254.

[64] Boksem MA, Meijman TF, Lorist MM. Effects of mental fatigue on attention: An ERP study [J]. Brain Res Cogn Brain Res. 2005, 25(1): 107-116.

[65] 邵永聪, 叶恩茂, 王富贵, 等. 睡眠剥夺影响脑执行功能的心理生理研究[J]. 军事医学, 2011, 35(9):666-671.

[66] 孙涛, 陈宇. 空中交通管制的疲劳管理和预防[J]. 空中交通管理, 2005, 5:4-10.

- [67] 孙继成, 杨忠良, 沈超等. 精神疲劳状态下脑组织血氧饱和度的近红外光谱分析[J]. 现代生物医学进展. 2015, 34: 6697-6700.
- [68] 周梁. 风险决策中时间因素对意外之财心理账户的影响[D].第四军医大学,2015.
- [69] Ashley A, Jerry B. R, Harriet de W.Effects of sleep deprivation on impulsive behaviors in men and women [J]. Physiology & Behavior, 2007, 91:579–587.
- [70] 田益沁, 陈秀秀, 蔡云, 等. 二炮某部高原驻训期间作业疲劳状态与心理应激、压力感知和自我效能感的关系[J]. 第三军医大学学报, 2015, 37(21):2156-2159.
- [71] 谢晓非, 徐联仓. 风险认知研究概况及理论框架[J]. 心理学动态, 1995, 3(2):17-22.
- [72] Roszkowski MJ, Davey G. Risk perception and risk tolerance changes attributable to the 2008 economic crisis: A subtle but critical difference [J]. Journal of Financial Service Professionals, 2010, 64(4):42-53.

## 附 录

### 1、主观疲劳感问卷（部分）

姓名：

在本测验中，共有 30 个描述你当前感觉的形容词。确定出最符合你当前感觉数值，0 代表你没有这种感觉；4 代表你非常明显具有这种感觉。在数字上打“√”即可。

1 头部沉重	0	1	2	3	4
2 反应变慢	0	1	2	3	4
3 注意力难集中	0	1	2	3	4
4 想打哈欠	0	1	2	3	4
5 容易走神	0	1	2	3	4
6 思睡	0	1	2	3	4
7 视力疲劳	0	1	2	3	4
8 萎靡不振	0	1	2	3	4
9 头晕	0	1	2	3	4
10 恶心	0	1	2	3	4

### 2 成人决策能力量表（部分）

**A 指导语：**下列每一个问题都有 A、B 两套选择方案。每一个问题的回答采用 6 级评定：1：最倾向 A      2：较倾向 A      3：一般倾向 A  
4：一般倾向 B      5：较倾向 B      6：最倾向 B  
请通过在相应数字上画“√”来表示你的选择，每个问题只能选择一个数字。

5. 试想一下：医生告诉你，你已身患癌症，必须马上接受治疗。你可以在手术治疗（A 方案）与放射治疗（B 方案）中做出选择。两套方案历史资料如下：

A 方案：100 人接受手术治疗，90 人术后存活，34 人在术后五年仍存活。

B 方案：100 人接受放射治疗后全部存活，22 人在放射治疗后五年仍存活。

1	2	3	4	5	6
最倾向 A			最倾向 B		



### 3 模拟飞行任务

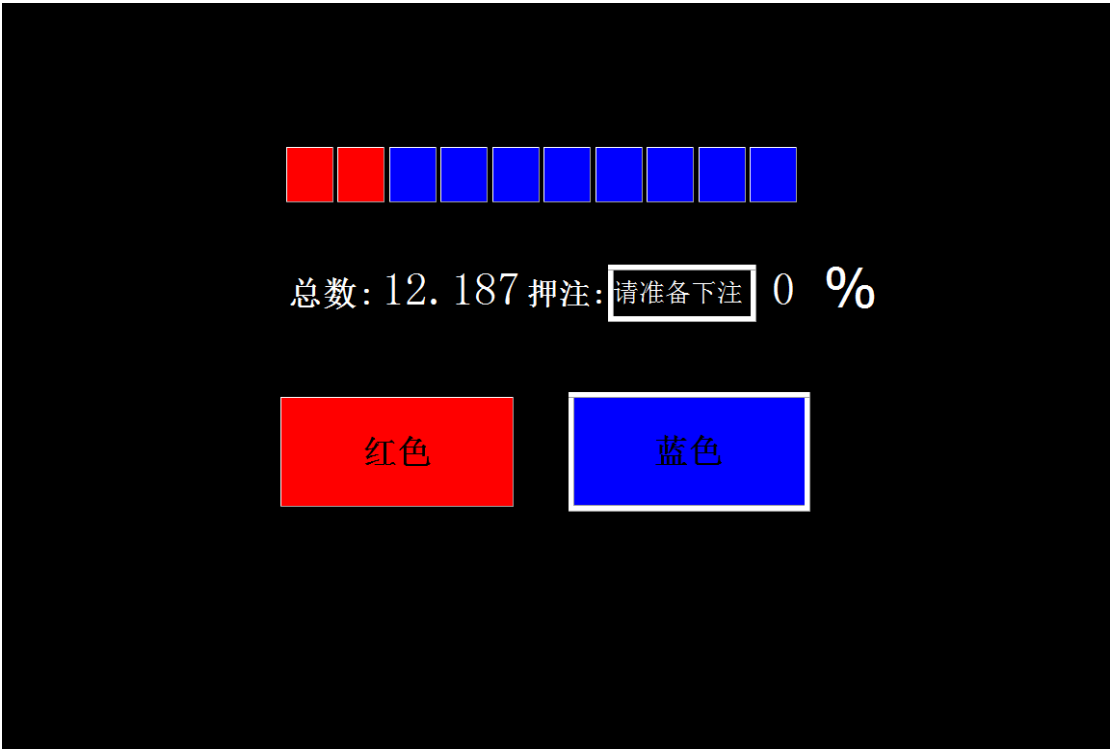




4 爱荷华博弈任务



5 剑桥博弈任务



## 个人简历和研究成果

### 个人简历:

姓名: 毛男

性别: 女

民族: 汉

籍贯: 辽宁葫芦岛

出生年月: 1987 年 8 月

政治面貌: 中共党员

主要经历: 2006.09—2011.06 第三军医大学医学检验专业

2011.07—2014.08 空军地面防空兵第二团

2014.09—2017.06 第四军医大学医学心理系

### 发表论文:

[1] 毛男, 黄荷, 冯田, 肖玮. 模拟飞行任务致脑力疲劳对不确定性决策的影响. 中华航空航天医学杂志, 2016, 27(3): 168—173.

[2] 黄荷, 宋蕾, 毛男, 肖玮, 苗丹民. 初探公平感在框架效应下对于风险决策的影响. 职业与健康 2017, 33(1): 77—79.

[3] 毛男, 黄荷, 魏巍, 肖玮. 脑力疲劳对空中交通管制员风险决策的影响. (已接收)

## 致 谢

三年时光好像眨眼间就过去了，在忙碌的准备毕业论文时，回想这三年时光，更多的是充实和幸福。我还记得第一次来心理系，第一次见到肖玮老师的情景。肖老师说在目前研究方向是“决策”，那时对“决策”一无所知，但是听到这个词的时候便也产生了兴趣，也是从那时开始便算是与肖老师和“决策”结下了不解之缘。

我的恩师肖玮副教授是一位学识渊博、又极具包容心的人，我不仅敬佩他广阔的视野，更为他的人品所折服。学习上无论何时有问题请教他，他都会耐心细致讲解，从来都是和颜悦色。我觉得自己对于科研应该是入门比较慢的人，实验设计了很久都不太让人满意，就边做实验边探索，肖老师一点一点将我的思路理顺，帮助我找被试，联系管制中心，多次亲自到管制中心进行沟通，实验完成后又多次对数据进行讨论，对我的论文进行细致修改，才能有今天的论文定稿。生活上，我因为一些个人的原因，给肖老师添了不少麻烦，心里着实有些过意不去，非常感谢肖老师三年来对我的指导和帮助，能成为您的学生，我荣幸之至。

我的研究能够顺利完成离不开系里许多老师同学的帮助，感谢苗丹民教授的精神指引作用，感谢航空航天医学系胡文东教授、马进主任、惠铎铎老师、孙继成硕士、肖潇硕士为我的课题研究提供的软件支持。特别感谢中国民航西北空管局空中交通管制中心张永宏主任、杨旭主任、李娟以及所有参与管制员对课题研究给予的配合和大力支持。特别感谢黄荷硕士对我整个课题研究提供的无私帮助，以及在生活中给予我的关怀和照顾。感谢王伟老师、牟海刚硕士、张亚娟硕士在我困难时伸出的援助之手，感谢买跃霞博士、冯田硕士、林鑫鑫硕士、王垒硕士对我课题研究提出的意见建议。同时感谢本次实验中被试学员的积极参与和认真配合。

最后感谢我的爱人对我的支持，感谢我的父母、公婆为我的付出，替我分担了照顾幼儿的重任，让我能专心学业。同时感谢儿子的到来，让我的生命变得更加幸福圆满。