

摘要

道路交通事故的发生,很大一部分原因是在行车过程中非驾驶任务占据了驾驶人大量的认知资源,导致其驾驶绩效不同程度的下降。而受影响的程度,与驾驶人的认知能力方面有很大的关系。工作记忆作为人们重要的认知能力,代表着个体的注意力控制能力,因此从认知负荷出发,研究工作记忆与驾驶行为的关系,可以为从驾驶人认知能力方面减少道路交通事故的发生提供理论基础。

本文在总结归纳工作记忆和认知负荷相关理论与国内外驾驶行为研究的基础上,以常见的换道行为作为研究主体,将换道行为切分为意图阶段和执行阶段。用心理学 n-back 任务作为调节驾驶员认知负荷的手段,建立换道模拟场景,通过模拟驾驶实验,以驾驶纵向操纵特性、横向操纵特性、换道安全特性出发,探究不同认知负荷对驾驶人换道行为的影响。同时把经典的工作记忆测量范式 Ospan、Rotspan、Sspan、Rspan 相结合,使用 z-score 标准化方法,测量驾驶人工作记忆容量,以探究不同认知负荷下驾驶人工作记忆对换道行为的影响。结果表明:

1.在换道意图阶段,认知负荷对驾驶人的纵向操纵表现方面影响不大,但对横向操控特性有显著性的影响。与无负荷驾驶相比,较小的认知负荷会提高驾驶人的横向稳定性,但认知负荷超过驾驶员认知极限时,驾驶人对横向的控制能力会减弱。

2.在换道过程中,无论有无认知负荷,驾驶人通常对目标车道前车的重视度最高,对当前车道前车的重视度最低。同时驾驶人对于目标车道后车最为敏感,当有认知负荷时,驾驶人会显著提高与目标车道后车的安全时距,以保证自车与目标车道后车的安全。

3.与无负荷驾驶相比,较小的认知负荷会减少驾驶人的意图阶段持续时间,但认知负荷到一定程度后,驾驶人会感到安全威胁,并做出时间补偿,通过增加意图阶段持续时间的方式来保证换道的安全。

4.工作记忆会影响驾驶人换道意图阶段的持续时间与横向操纵表现。高工作记忆容量驾驶人能表现出更好的横向稳定性,并且有相对较短的意图持续时间。在 1-back 任务下,工作记忆在认知负荷下保持弹性的能力能明显的表现出来,且工作记忆与 SDLP、意图阶段持续时间之间显著负相关。

关键词: 认知负荷、工作记忆、换道行为、n-back 任务、驾驶模拟器

Abstract

The occurrence of road traffic accidents is largely due to the fact that non-driving tasks occupy a lot of cognitive resources of drivers during driving, which leads to the decline of driving performance in different degrees. The degree of influence has a great relationship with the driver's cognitive ability. As an important cognitive ability of people, working memory represents the individual's attention control ability. Therefore, starting from cognitive load, studying the relationship between working memory and driving behavior can provide a theoretical basis for reducing the occurrence of road traffic accidents from the cognitive ability of drivers.

On the basis of summarizing the theoretical research on working memory and load and the research on driving behavior at home and abroad, this paper takes the common lane-changing behavior as the research subject, and divides the lane-changing behavior into intention stage and execution stage. Using psychological n-back task as a means to adjust drivers' cognitive load, a lane-changing simulation scene is established. Through a simulated driving experiment, the influence of different cognitive loads on drivers' lane-changing behavior is explored based on driving longitudinal control characteristics, lateral control characteristics and lane-changing safety characteristics. At the same time, the classic working memory measurement paradigms Ospan, Rotspar, Sspan and Rspan are combined, and the z-score standardization method is used to measure the capacity of drivers' working memory, so as to explore the influence of drivers' working memory on lane-changing behavior under different cognitive loads. The results show that:

1. In the phase of lane-changing intention, cognitive load has little influence on the driver's longitudinal handling performance, but has significant influence on the lateral handling characteristics. Compared with no-load driving, the lower cognitive load will improve the driver's lateral stability, but when the cognitive load exceeds the driver's cognitive limit, the driver's lateral control ability will be weakened.

2. No matter whether there is cognitive load or not, in the process of changing lanes, drivers

usually attach the highest importance to the car in front of the target lane, and the lowest importance to the car in front of the current lane. At the same time, the driver is most sensitive to the car behind the target lane. When there is cognitive load, the driver will significantly increase the safe time distance from the car behind the target lane, and ensure the safety of the own car and the car behind the target lane.

3. Compared with no-load driving, the smaller cognitive load will reduce the duration of the driver's intention phase, but when the cognitive load reaches a certain level, the driver will feel the safety threat and make time compensation to ensure the safety of lane change by increasing the duration of the intention phase.

4. Working memory will affect the duration of the driver's intention to change lanes and the performance of lateral manipulation. Drivers with high working memory capacity can show better lateral stability and have relatively short intention duration. Under the 1-back task, the ability of working memory to keep elasticity under cognitive load can be clearly demonstrated, and there is a significant negative correlation between working memory and SDLP and duration of intention stage.

Key words: Cognitive load, Working memory, Lane-changing behavior, N-back task, Driving simulator

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 认知负荷对驾驶行为的影响	2
1.2.2 认知能力与工作记忆的关系	2
1.2.3.工作记忆对驾驶行为的影响研究	3
1.2.4 研究现状分析	4
1.3 研究内容及技术路线	5
1.3.1 主要研究内容	5
1.3.2 技术路线	6
第二章 工作记忆与认知负荷理论	7
2.1 工作记忆理论研究	7
2.1.1 工作记忆概念及分类	7
2.1.2 工作记忆模型	7
2.1.3 工作记忆测量方法	9
2.2 认知负荷理论	10
2.2.1.认知负荷定义及分类	10
2.2.2 认知负荷有关理论	10
2.3 本章小结	11
第三章 工作记忆与换道模拟实验	12
3.1 实验目的	12
3.2 实验对象	12
3.3 实验设备	13
3.3.1 硬件平台	13
3.4 实验任务	15
3.4.1 工作记忆测量任务	15

3.4.2 模拟换道实验	17
3.5 数据处理及分析方法	20
3.5.1 数据预处理	20
3.5.2 数据分析	21
3.6 本章小结	21
第四章 不同认知负荷对换道行为的影响分析	23
4.1 换道阶段划分	23
4.2 车辆纵向操纵特性分析	24
4.2.1 意图阶段速度	25
4.2.2 意图阶段速度标准差	27
4.2.3 意图阶段纵向加速度标准差	29
4.3 横向操纵特性分析	31
4.3.1 方向盘转角标准差	31
4.3.2 意图阶段横向加速度标准差	32
4.3.3 意图阶段横向偏移距离标准差	34
4.4 车辆换道安全性分析	35
4.4.1 意图阶段时间	35
4.4.2 换道执行阶段最大方向盘转角	37
4.4.3 碰撞时间 (TTC)	39
4.5 主观感知驾驶负荷量表 (NASA—TLX)	44
4.6 本章小结	46
第五章 工作记忆对换道行为的影响分析	47
5.1 简易智力状态检查量表 (MMSE) 分析	47
5.2 工作记忆容量的测量	48
5.2.1 工作记忆实验统计	48
5.2.2 零-均值规范化 (z-score 标准化) 处理	49
5.2.3 工作记忆容量的划分	50
5.3 工作记忆对驾驶行为的影响分析	51

5.3.1 工作记忆对意图阶段车辆纵向运行状态的影响分析	51
5.3.2 工作记忆对意图阶段车辆横向运行状态的影响分析	52
5.3.2 工作记忆对换道安全性的影响分析	55
5.4 高认知任务下基于工作记忆容量的非线性模型	58
5.4.1 工作记忆在认知负荷下保持弹性能力分析	58
5.4.2 工作记忆容量与 SDLP 非线性模型	59
5.4.3 工作记忆容量与意图阶段时间非线性模型	62
5.5 本章小结	63
总结与展望	65
参考文献	67
攻读学位期间取得的研究成果	72
致 谢	73

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

随着我国交通事业的发展以及汽车保有量的提高，交通事故也越来越多，事故死亡人数也在日益加重^[1]。究其原因是人、车、路组成的闭环交通系统之间关系的不协调、不稳定，而这种不稳定与驾驶人自身在行车过程中分心、注意力不集中有很大的关系。特别是当视觉分心、操作分心、认知分心相结合时，需要调用驾驶人大量认知资源，因此驾驶人的驾驶绩效会受到不同程度的影响，而这种程度上的差异无疑表现在驾驶人的认知能力方面。相关研究表明，认知能力在安全驾驶行为中的重要作用已在许多驾驶性能研究中得到证实，特别是驾驶人在一定的认知负荷下驾驶时，认知能力表现得更为重要。事实上，驾驶任务可以被视为复杂的感知信息处理任务，因为它们需要整合各种过程，如感知、识别、反应选择等，因此一个重要的因素可能会影响一个人在驾驶时对认知分心的危害程度保持弹性的能力或在较长时间内保持和操纵大量信息的能力，这可能是工作记忆（Working Memory, WM）。拉维的负荷理论^[2-3]指出，在存在干扰（即分心）的情况下，积极维持目标导向行为（如驾驶）取决于备用工作记忆容量（Working Memory Capacity, WMC）。这意味着工作记忆容量越大的人越不容易受到干扰^[4]。工作记忆作为个体高级认知功能，是指在执行认知任务过程中，用于信息的暂时储存与加工的资源有限系统。它与人们的高级认知能力，比如语言理解、推理决策、流体智力等有很大的关系，代表着人们注意力控制的能力，因此从工作记忆出发，研究认知能力对驾驶行为的影响很有必要。

而换道是整个驾驶过程中最为普遍且内部机理最为复杂的行为之一，当受到一定的认知负荷时，驾驶人在换道过程中会在驾驶操纵方面上有明显的变化规律，而这种规律产生的机理与驾驶人认知能力的关系，现有的研究还未提及。另一方面，换道的主体是人，这里从认知学的角度出发，换道行为可以理解为驾驶人通过感知觉，收集道路及其周围的交通环境信息，把信息进行储存、加工、处理，然后进行判断决策，从所在车道转移到目标车道的过程，其间涉及到外界环境的感知、记忆、加工融合等过程。换道期间驾驶人主要通过视觉、听觉获取外界环境的信息，而获取信息的数量、类型、信息正确率等全都需要通过大脑进行储存、加工，这一过程必然与工作记忆有很大的关系。

因此, 本文探讨认知负荷、工作记忆对换道行为的影响关系, 以及工作记忆对认知负荷危害程度保持弹性的能力, 从认知的角度上, 解释不同工作记忆容量的驾驶人在不同的认知负荷下换道行为差异产生的内在机理, 为国内相关研究提供理论基础。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 认知负荷对驾驶行为的影响

认知负荷是在某一具体任务的执行给个体认知系统所施加的负荷, 他在驾驶行为的研究中主要表现在认知分心上。相关研究已经表明, 分心干扰不仅发生在感觉输入层面(例如视觉), 而且也发生在认知层面, 在认知层面上, 分心会导致工作记忆负荷^[5]。

Heenan 等人^[6]发现工作记忆负荷的增加会导致驾驶性能下降。具体而言, 参与次要任务可能会导致较差的态势感知, 在换道任务中出现更多的车道偏离, 以及较长的制动响应时间。这些研究通过辅助任务来控制工作记忆负荷。

Young 和 Regan^[7]的研究发现尽管免提技术不会导致视觉分心, 但它仍然会导致认知分心, 例如, 言语 WM 负荷研究。免提技术会降低驾驶性能, 这一点得到了支持。

Treffner 等人^[8]发现, 当驾驶与使用免提电话相结合时, 驾驶人更可能错过模拟交通信号, 或对模拟交通信号做出更慢的响应, 并且他们对制动任务期间即将发生的事件的预期信息变得不那么敏感。

肖书影^[9]等人设计了不同分心任务相结合的实验研究分心对弯道行驶的安全性, 结果表明, 分心驾驶对速度、横向加速度变化率和横向偏移量均有显著影响。

吕爱红^[10]等人利用驾驶模拟器研究认知分心对驾驶行为的影响, 结果发现: 认知分心会导致驾驶人眼睛搜索的有效视距范围变窄, 对加速踏板的操控能力变弱, 且认知分心时驾驶人的应激反应时间明显增加。

1.2.2 认知能力与工作记忆的关系

关于认知能力与工作记忆在安全驾驶行为中的重要作用, 已在许多驾驶性能研究中得到证实^[11]。

Weijer 等人^[12]发现许多认知功能, 如工作记忆、视觉注意能力、视觉空间工作记忆等, 都是驾驶行为的重要预测因子。

Kim 等人^[13]认为驾驶任务可以被视为复杂的感知信息处理任务, 因为它们需要整合

各种过程，如感知、识别、反应选择等认知过程，期间有工作记忆参与加工。

Underwood 等人^[14]研究视觉与认知的关系，发现视觉空间工作记忆可以为个人提供检测潜在危险情况的能力，以及对这些情况做出适当反应的能力，这对安全驾驶行为非常重要。例如，已经开发了危险感知系统来测量和训练驾驶过程中的感知技能。

1.2.3.工作记忆对驾驶行为的影响研究

关于工作记忆与驾驶行为的关系，Mattes 等人^[15]的一些研究表明，WMC 与分心驾驶表现有关，例如，WMC 与换道任务的驾驶性能有关。

Guerrier 等人^[16]的研究表明，WMC 的降低还与左转延迟、制动反应时间变慢、跟车距离增加和速度变慢有关。

Lambert 等人^[17]有研究表明，WMC 越大，驾驶性能越好。通常使用工作记忆任务作为干扰因素，如操作广度、n-back 或数字广度，考虑到这些任务已经是工作记忆的有效测量手段，这是一个有用的范例。此外，通过将分心任务作为认知负荷任务，WMC 预测分心期间驾驶表现的可能性也增加了。

Watson 等人^[18]在研究中，把 WM 划分为言语 WM 与视觉 WM，分别研究对驾驶行为的影响。研究间接表明，WM 容量资源被认知分心任务耗尽。将 WM 容量纳入研究，可以更直接地研究 WM 容量与 WM 负载对驾驶性能的影响之间的关系。

Engström 和 Markkula^[19]以换道行为作为对象，探究工作记忆与换道绩效的影响关系。这些研究通常使用平均车道变更路径偏差（MDEV）检查驾驶路线是否偏离标准或基线模型。

Fofanova 等人^[20]对换道行为的研究中主要分析横向控制（即车道保持）和事件检测过程。事件检测可以进一步细分为启动阶段（即车道变更启动：LCI）和执行阶段（正确车道变更的百分比：PCL）。结果发现，这些 LCT 指标对 WM 负荷敏感，视觉 WM 负荷导致与标准模型的平均偏差增加。

Lei 等人^[21]使用驾驶模拟器对换道进行研究，发现语言 WM 负荷对平均偏差以及车道改变的开始和正确执行产生负面影响。

Young 等人^[22]的研究表明，工作记忆会影响新手驾驶人与老手驾驶人的驾驶性能。新手驾驶人需要在驾驶任务中投入更多已经稀少的认知资源容量。

Neyens 等人^[23]的研究发现，年轻的新手驾驶人不仅拥有较少的 WM 容量资源，他

们还在执行驾驶任务时投入更多的 WM 容量。因此，用于执行次要任务的备用 WM 容量资源在年轻新手驾驶人中是有限的。当他们同时执行多个任务时，这些任务的性能可能会比成人驾驶人的性能下降更大。

Underwood 等人^[24]发现，尽管存在局限性，但与年龄较大的驾驶人相比，年轻的新手驾驶人更愿意接受和使用新技术，并且使用可能分散注意力的技术的风险较小。

Wood 等人^[25]一些研究发现，工作记忆能力较低的人在驾驶条件下的危险感知能力较差。

Zesiewicz 等人^[26]一些研究中称，视觉空间记忆与驾驶性能直接相关。在研究驾驶过程中的对话、工作记忆和情境意识的关系时，他们发现对话会加重工作记忆负荷，从而削弱情景意识。换句话说，高认知负荷可能会降低情景意识。

Heikkiläet 等人^[27]在一系列针对帕金森病患者的研究中发现，视觉空间工作记忆是与驾驶相关的一种重要认知能力。

Stolwyk 等人^[28]的研究发现，患有损害视觉空间工作记忆的帕金森病和视觉信息处理受损的患者驾驶表现会降低。换句话说，视觉空间工作记忆在驾驶行为中起着非常重要的作用。

1.2.4 研究现状分析

结合上文国内外文献的研究现状，梳理文献内容。总结如下：

1.国内关于认知负荷对驾驶行为的影响主要从视觉、操作、认知分心的角度上，分析分心行为对驾驶行为的影响，而国外的研究主要集中在认知负荷对驾驶行为的影响产生机理，从驾驶人的认知能力方面入手，探究驾驶人的认知能力与驾驶绩效的关系，期间使用免提通话、听音乐、心算等行为作为驾驶次任务。

2.国内关于工作记忆与驾驶行为相结合的研究较少，而国外的研究已有被广泛接受的成果。例如，工作记忆容量的高低会一定程度上影响驾驶绩效，这些影响在双任务驾驶时表现的会更突出。

3.在对工作记忆对驾驶行为的影响研究中，大部分学者研究的是跟车、应急行为制动、换道等行为，同时结合驾驶人年龄、驾驶习惯、疾病等因素，综合考虑对驾驶绩效的影响。然而在对换道行为的研究中，主要是通过驾驶模拟器让驾驶人在一定的认知负荷下根据换道指示牌的指引，进行向左向右换道，期间道路无其他车辆。然后研究工作

记忆对换道的准确率与驾驶表现之间的关系的影响。

综上所述，国内工作记忆与驾驶行为关系的相关研究相对缺乏。且在对驾驶行为的研究中虽然以换道行为为主，但大多数学者选取的实验场景仅仅只考虑自车、没有考虑与周围车辆以及环境的交互，因此不具有代表性，很难说明工作记忆对换道行为的具体影响效果。本文以 **n-back** 任务作为认知负荷，同时使用驾驶模拟器建立典型的城市换道场景，包括完整的车流、行人、交通设施等，同时在换道过程设计了车与车之间的交互，更真实地模拟真实驾驶，相比之下可靠性较高。同时本文考虑到换道时的意图阶段与换道执行阶段的本质区别，把换道过程中切分为两部分，在研究认知负荷、工作记忆对换道行为的影响的基础上，探讨工作记忆在应对认知负荷时保持绩效稳定的弹性能力，丰富了国内工作记忆与驾驶行为相结合的研究理论。

1.3 研究内容及技术路线

1.3.1 主要研究内容

本文主要研究内容包括以下三个部分：

1. 设计工作记忆容量测量实验及模拟驾驶换道实验。以驾驶人精神状态量表 **MMSE** 作为工作记忆测量实验的前提条件，并基于 **E-prime** 平台，编写工作记忆测量范式，以测量驾驶人工作记忆的操作跨度、空间对称跨度、阅读跨度以及旋转跨度。根据四种跨度的得分，使用数据标准化处理，计算出驾驶人的工作记忆容量并将其分为工作记忆容量高和低两个群体。基于驾驶模拟器 **SILAB** 的场景编辑软件 **SILABAEdit** 设计典型的城市道路换道实验，采用无负荷、**0-back**、**1-back**、**2-back** 任务作为不同的认知负荷，开展换道模拟驾驶实验。

2. 分析认知负荷对换道行为的影响。逐帧观看换道过程视频，把换道分为意图与执行阶段，通过四种不同认知负荷下的驾驶人换道行为数据，研究驾驶人在无负荷、**0-back**、**1-back**、**2-back** 任务的状态下换道意图阶段的纵向操纵表现（意图阶段速度、意图阶段速度标准差、纵向加速度标准差）、横向操纵表现（方向盘转角标准差、横向加速度标准差、横向偏移距离标准差）以及换道过程中换道安全特性（意图持续时间、执行阶段最大方向盘转角、碰撞时间 **TTC**）的变化规律，并探究具体影响关系。

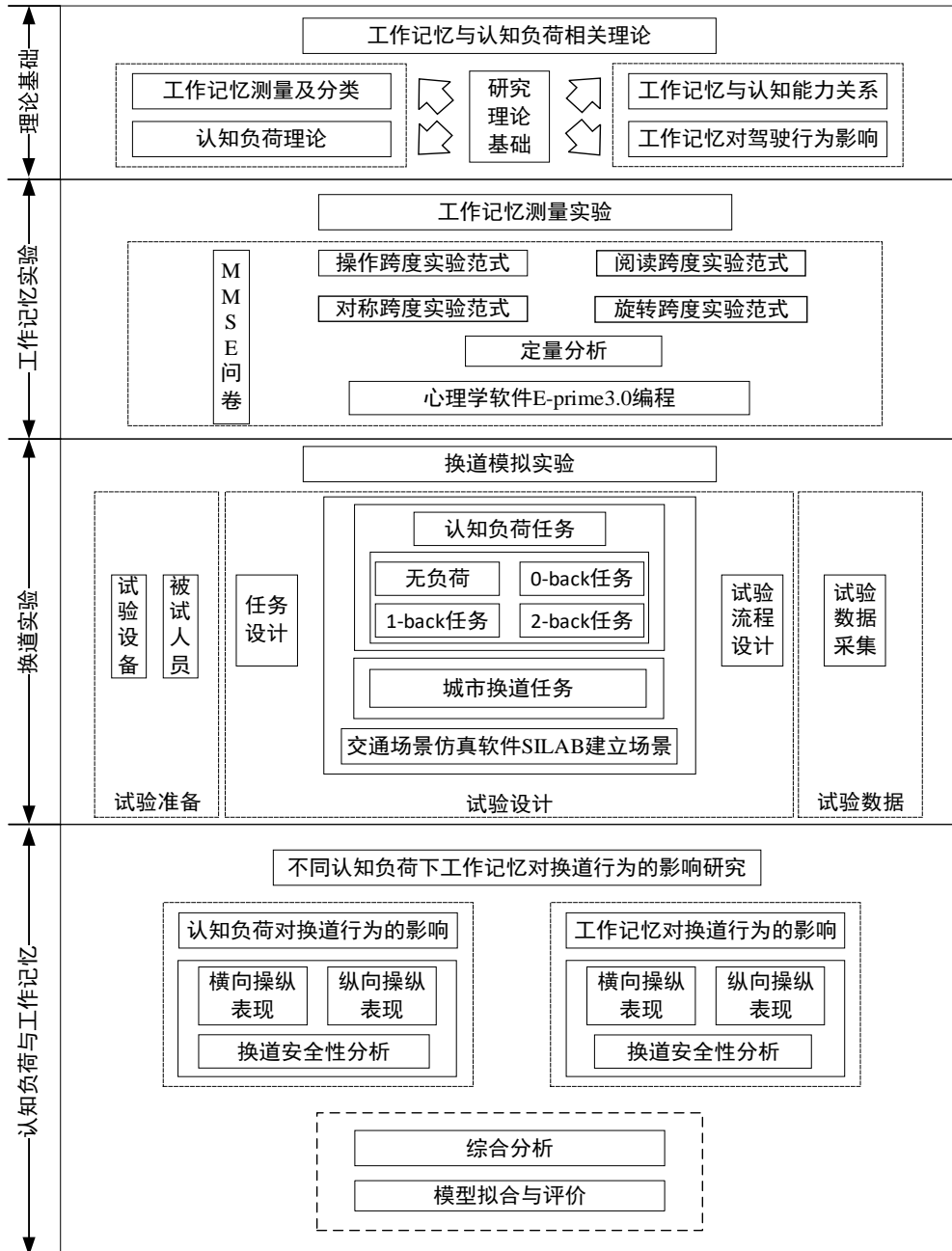
3. 与认知负荷相结合，分析工作记忆对换道行为的影响，并探究工作记忆在应对

认知负荷时的弹性能力。探究不同工作记忆容量驾驶人在驾驶操纵表现上的差异，以及工作记忆应对认知负荷时的弹性能力在驾驶行为上的表现，并深入探究具体的影响效果。

1.3.2 技术路线

本文技术路线如图 1.1 所示。

图 1.1 技术路线图



第二章 工作记忆与认知负荷理论

2.1 工作记忆理论研究

2.1.1 工作记忆概念及分类

个体在完成复杂的认知任务如言语理解、学习、决策与推理等，工作记忆都发挥着重要作用^[29]。因此，对复杂认知任务来讲，工作记忆的控制注意能力发挥着无以伦比的作用。工作记忆容量指个体在对信息加工的同时能够保持的信息量，它能综合反映工作记忆的储存能力、加工效率以及控制注意的能力^[30]，因此通常用工作记忆容量来衡量个体的工作记忆能力。工作记忆容量不仅涉及记忆，还与认知控制有关，由于工作记忆容量的不同，不同的个体之间还表现出年龄、智力等方面的差异^[31]。

2.1.2 工作记忆模型

(1) 嵌套加工模型

1999年，Nelson Cowan在前期研究的基础上，正式提出了嵌套加工模型，其主要目的是解释和说明注意力和工作记忆领域在同一个结构中时的观察结果^[32]。同时嵌套加工模型强调工作记忆中信息的保持不仅可以通过重复的形式获得，而且可使用一个可供选择的、独立于材料的内隐加工来获得。虽然嵌套加工模型与早期的工作记忆模型有相似之处，但它们之间还是有一些本质的区别。这些区别包括：嵌套加工模型把工作记忆看作是一个长时记忆的子系统，而不是一个专门的暂时储存系统；短时间内储存不同类型的刺激，是在长时记忆中进行的，而不是像三成分模型那样在储存具体材料的子系统中进行。

(2) 同心圆模型

在2002年，Oberauer在前期的研究基础上，提出的一种新的工作记忆模型：同心圆模型^[33]。他在探索注意焦点的基础上，把属于工作记忆范畴的信息分成了三个功能区。如图2.1所示，其中A代表长时记忆工作区，B代表直接存储区，C代表注意焦点。A区为长时记忆工作区，不仅可以对信息进行快速的记忆，而且还有对信息回忆的功能。B区为直接存储区，记忆并保持正在进行加工的信息，并保持相对应的认知资源容量。C区为注意焦点，在任何时候只维持一个组块，而这个组块为个体一次认知行为的客体。总体来说，同心圆模型是将工作记忆看成一个有相互关系的表征集，其特点是3个功能

区对认知行为加工的优先级按顺序递增，属于工作记忆范畴的信息呈现方式可以根据它们之间的优先级来区分。

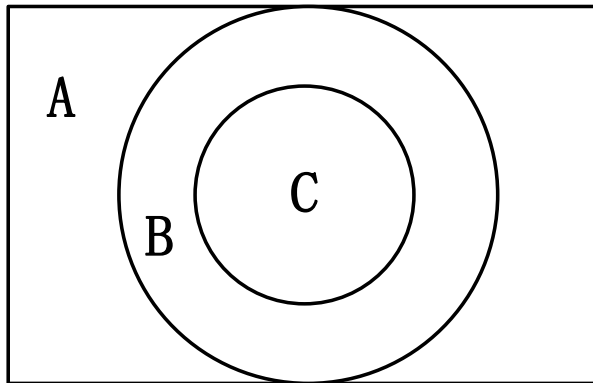


图 2.1 同心圆模型

(3) 工作记忆多成分模型

目前能被大家所广泛认同的模型是多成分模型。如图 2.2 所示，多成分模型分为三个层次：第一层是中央执行系统，负责最高级的认知控制过程；第二层包含三个辅助子系统分别为视觉空间模板、语音回路和情景缓冲区，负责对三个辅助子系统获得的三类信息进行临时加工；第三层是长时记忆系统，包括视觉语义、语音和情景长时记忆^[34]。第一、二层属于流体系统，属于先天性的、以生理为基础。第三层属于晶体系统，以后天性学习为基础。该模型强调了工作记忆和长时记忆之间的联系，同时解释了各子系统信息整合的加工过程。相关的研究已经证明了空间工作记忆与空间注意与眼动控制相互分享重要的资源^[35]。

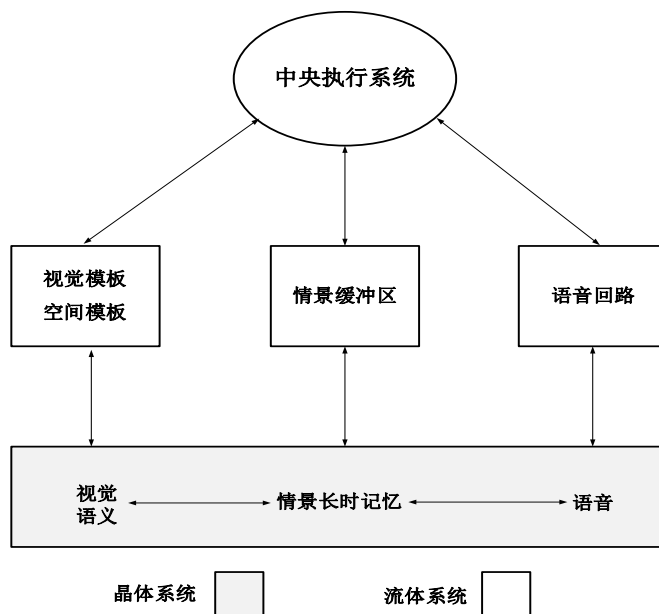


图 2.2 工作记忆多成分模型

2.1.3 工作记忆测量方法

(1) 工作记忆广度任务范式

工作记忆广度任务是一种在心理学上国际公认的双任务研究范式。一般包括阅读广度任务、对称广度任、旋转广度任务等，通过这些测量范式来测量某种类型的工作记忆。这些范式一般包括两种任务，分别为信息的储存与加工。如在阅读广度任务中要求被试阅读并理解一个句子，并判断这个句子是否符合逻辑，同时要记忆句子末尾的字或者单词。每听完一组个数不同的句子（一般为 3 到 7 个），要求被试按顺序回忆句子末尾单词，一般按照顺序，把回忆的正确个数作为个体工作记忆容量的大小。

(2) 自动化运算广度任务范式

自动化运算跨度任务是使用最广泛的工作记忆测量范式之一，此任务要求被试先依次完成字母回忆任务、数学算术任务以及字母回忆与数学算术混合任务。每个试次中被试需要完成 3~7 次这样的任务，并且每个试次结束之前，会出现字母矩阵让被试按照顺序记忆试次出现的字母。一般情况下，一次实验包括 5 个试次。当任务结束时，工作记忆容量为被试在测试中回忆的字母和其位置顺序都正确的项目总和。

(3) n-back 任务范式

n-back 范式是一种经典的工作记忆范式，它可以通过简单的方式来改变工作记忆负

荷的大小，因此 n-back 范式在工作记忆的相关研究中经常被采用。该任务会在呈现的一系列刺激中插入某种反应刺激，当反应刺激出现时，被试需要判断该反应刺激是否与以该反应刺激的呈现前的第 n 个刺激相同。另外，n-back 任务范式下一般会设计一个 0-back 的对照组，被试仅需要回应当前的刺激即可，此时工作记忆加工没有产生作用。

2.2 认知负荷理论

2.2.1. 认知负荷定义及分类

目前，被大家所广泛接受的定义是认知负荷分为外在认知负荷、内在认知负荷、相关认知负荷^[36]。外在认知负荷与任务的组织和呈现方式有关，是由执行任务的过程中对任务没有直接关系的心理活动引起的；内在认知负荷是由在工作记忆模型中任务资源的容量决定的^[37]；相关认知负荷产生于个体在执行单一任务未用完认知资源容量时，这时个体便可以把剩余的认知资源容量用到与任务有直接相关的加工中去，让个体在与任务直接相关的工作记忆活动中加入更高级的认知加工资源^[38]。认知负荷是建立在工作记忆容量基础之上的，一种负荷高了，另外两种负荷必然就低，如果三种负荷都高，就必然会阻碍学习的进行^[39]。相关研究证明，高工作记忆容量的个体在高认知负荷次任务下比低工作记忆容量的个体在任务中的表现要更好。

2.2.2 认知负荷有关理论

认知负荷是表示处理具体任务时加在学习者认知系统上的负荷的多维结构。一般认为，人在完成任务过程中进行信息加工所需要的认知资源的总量是有限的，其理论基础主要是资源有限理论和图式理论^[40]。

(1) 资源有限理论

资源有限理论包括单资源理论与多资源理论。无论是单资源理论还是多资源理论，其核心观点都认为人的认知资源与注意资源是有限的，如果同时进行不同的活动，资源就要在这些活动之间进行分配，资源的分配遵循此多彼少的原则^[41]。

(2) 图式理论

图式理论认为信息是以图式的形式储存在长时记忆中，在个体学习的过程中，长时记忆中的图式可以把学习过程有关的信息进行整理分类，这种分类是自动化完成的，它不需要有个体控制意识和消耗认知资源，因此可以弥补工作记忆容量的不足^[42]。

总的来说，认知负荷理论认为，人的认知资源主要表现在工作记忆容量方面，任何有意识的活动都需要消耗认知资源，而由于人的工作记忆容量是有限的，从而造成认知负荷。研究认知负荷的内在机理，可以很大限度地降低任务的认知负荷，使个体能够充分利用有限的认知资源，以达到任务完成最好的结果。

2.3 本章小结

本章对工作记忆概念、分类、测量范式、工作记忆模型以及认知负荷相关理论进行了总结，为后续选取适合的工作记忆测量实验提供理论基础，并为不同认知负荷等级的划分、工作记忆与认知负荷的关系分析提供了理论依据。

第三章 工作记忆与换道模拟实验

3.1 实验目的

本实验通过 SILAB 软件建立模拟换道场景，并以 n-back 任务作为驾驶次任务，探究驾驶人在不同认知负荷下换道过程的行为差异。使用心理学的实验范式测量驾驶人工作记忆容量，以探究驾驶人工作记忆容量与认知负荷对换道行为的影响规律，从驾驶人认知能力的方面，对高认知负荷下的换道行为过程进行干预及预防，丰富工作记忆在驾驶行为方面的研究。

3.2 实验对象

招募 56 名驾驶人，其中有 1 人在驾驶过程中出现眩晕感退出，1 人因光照强度等问题，导致其模拟器数据无法与眼动仪数据匹配，因此，仅使用 54 名驾驶人数据进行研究。54 名驾驶人均为右利手，身体健康且对驾驶模拟器没有眩晕感。其年龄平均为 21-28 岁（平均年龄为 23.68 岁，标准差为 1.51 岁），其中男性为 36 人（平均年龄为 23.22 岁，标准差为 1.18 岁），女性为 18 人（平均年龄为 24.5 岁，标准差为 1.69 岁）。均拥有中国 c1 及以上驾照，平均驾驶里程为 1458.2 公里，标准差为 255.34 公里，均没有发生过交通事故。由驾驶人信息知，实验选取的驾驶人年龄与驾驶里程均无明显差异，因此不会影响后续实验结果。保证被试实验前天睡眠充足，没有服用过精神药物等情况，承诺实验结束给与 80 元人民币的报酬。被试信息如表 3.1 所示。

表 3.1 被试基本信息表

编号	性别	年龄（岁）	驾驶年限（年）	驾驶里程（km）
1	男	23	4	1800
2	女	24	3	1200
3	男	24	6	2400
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
53	女	23	2	800
54	男	22	1	700

3.3 实验设备

3.3.1 硬件平台

(1) 驾驶模拟器

本文实验使用德国 WIVW 公司开发的 SILAB 驾驶模拟器。该模拟器包括交通场景仿真软件以及驾驶模拟器硬件，可以使用内部语言编程或者 2D 制图的方式设计不同的交通场景，同时精确地记录实验车的实时状态参数。此系统有着实验场景自主组合、安全可靠、数据采集精度高（采样频率为 60 Hz）等优势。可以进行真实驾驶所不具备的危险驾驶行为研究。图 3.1 为实验室的驾驶模拟器。



图3.1 驾驶模拟器

驾驶模拟器包括驾驶舱、音响、数据传输与记录等设备，具体如图 3.2 所示。

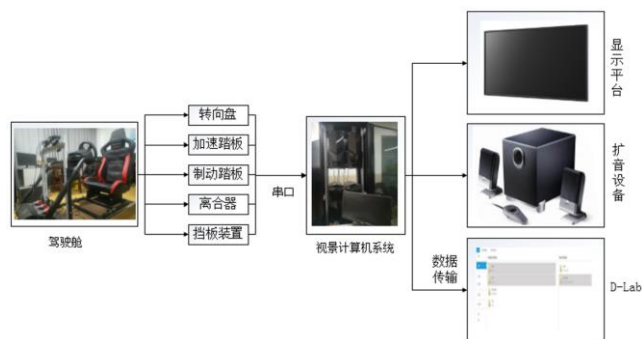


图3.2 驾驶模拟器硬件系统示意图

(2) 场景摄像机

本实验使用与实验室的 Smart eyes Pro8.0 非接触式眼动仪配套的场景摄像机来记录下驾驶人在模拟换道实验的全过程，该摄像机不仅拥有较高的像素，而且能拥有眼动仪的部分功能，能够在视频中显示时间点对应的帧数（频率为 60 Hz），同时能在视频中显示驾驶人眼睛注视点。对于本实验，有以下优点：一、通过视频中驾驶人的眼部动作及习惯动作，能够轻松地判断换道意图阶段的起始点。二、视频中显示的帧数能与驾驶模拟

器输出数据的采样频率（60 Hz）吻合，方便数据与视频的对应，减小了因时间问题造成的实验误差。图 3.3 为场景摄像机采集的视频画面，其中左上角为时间点对应的帧数，蓝圈为驾驶人眼睛注视点。

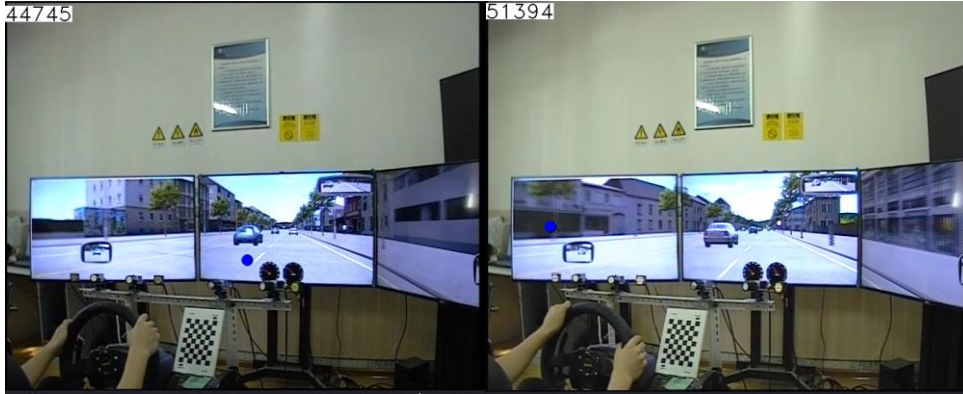


图 3.3 场景摄像机视频数据

3.3.2 软件平台

(1) 交通场景仿真软件

SILAB 拥有先进的交通仿真功能，既可以使用源文件输入，同样也支持编程语言外部导入数据，包括场景、车辆、交通设施、声音等，具有人性化的设计。软件的工作流程如图 3.4 所示。

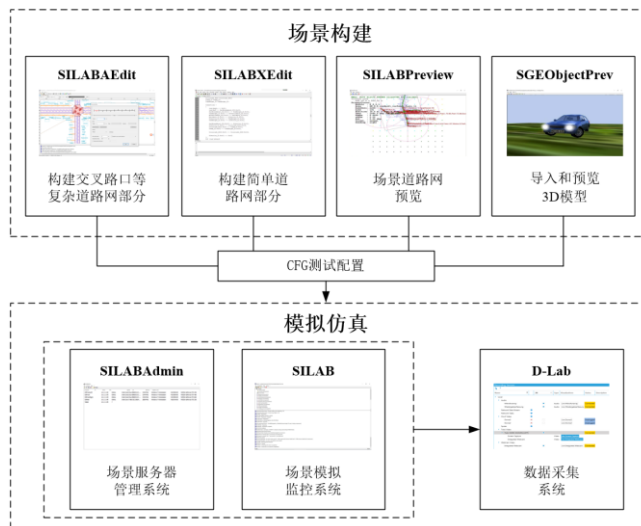


图 3.4 SILAB 工作流程

(2) 心理学软件 E-prime 软件

本实验使用 16.5 寸的微星笔记本电脑，并基于 E-prime3.0 软件，建立工作记忆跨

度范式。E-Prime 能呈现的刺激可以是文本、图像和声音（可以同时呈现三者的任意组合）提供了详细的时间信息和事件细节（包括呈现时间、反应时间的细节），可供进一步分析，有助于了解实际实验运行的时间问题。刺激呈现与屏幕刷新同步，精度可达毫秒^[43]。因此 E-Prime 成为国内外公认的工作记忆测量软件。

3.4 实验任务

本文实验任务共分为三部分，分别为驾驶人精神状态量表 MMSE 问卷调查、心理学工作记忆容量测量任务和模拟换道任务。MMSE 通常在测量工作记忆之前使用，确保驾驶人精神状态正常，才能开始工作记忆测量任务。工作记忆测量任务采用心理学操作跨度实验范式、阅读跨度实验范式、对称跨度实验范式以及旋转跨度实验范式相结合的方法进行测量。而模拟换道任务基于驾驶模拟器，设计常见的城市道路场景，诱发驾驶人在不同的认知负荷下进行强制换道，以探究驾驶人在不同负荷下的换道行为特征。

3.4.1 工作记忆测量任务

本实验综合了国内外学者工作记忆测量方法，把多种实验范式结合在一起，使用标准化方法处理各个任务的得分，然后相叠加，以此方法测量驾驶人工作记忆容量。

（1）操作跨度实验范式

实验开始需要进行预实验，正确率达到 85% 以上，才能进行正式实验。正式实验开始，电脑屏幕会出现一道简单的数学题，被试需要马上计算答案并判断程序出现的结果是否正确，1000ms 后，是记忆字母的练习，字母会逐个出现在屏幕上，被试需要记住字母及出现的顺序，字母会随机出现三到七个，被试需要记忆字母及出现的顺序，1000ms 之后，电脑屏幕会出现十二个备选字母，被试需要按照字幕出现的顺序进行选择，如果被试忘了其中一个字母，用空格键进行代替。图 3.5 为一个试次，本次实验一共包含 25 个试次，只有在算数题的正确率达到 85% 及以上，才统计任务的得分情况。每种字母个数的类型一共重复三次，因此 OSPAN 任务满分为 75 分 $[(3+4+5+6+7) \times 3]$ 。实验持续时间大概为 20 分钟。

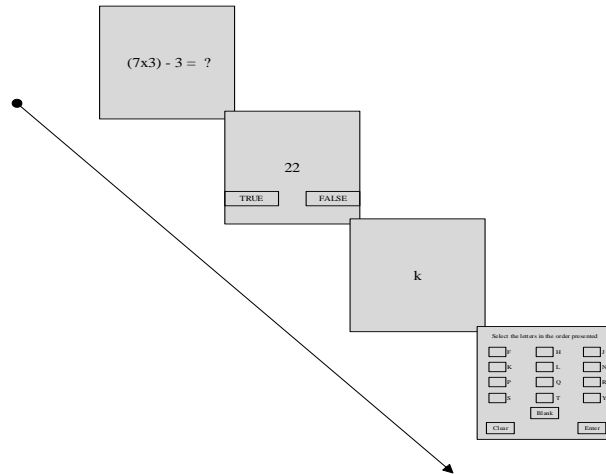


图 3.5 OSPAN 任务流程

(2) 空间对称跨度实验范式

实验开始需要进行预实验，正确率达到 85% 以上，才能进行正式实验。正式实验开始，电脑屏幕会出现一个几何图形，被试需要尽可能快的判断该图形是否沿垂直线对称并点击屏幕上的按钮，接着屏幕会白屏 1000 ms，之后是记忆位置的任务，红色格子会随机出现在一个 4×4 的方格中，被试需要记忆红色格子的位置及出现的顺序，1000 ms 后，会进入相同的流程，流程会随机出现两到七个记忆位置，被试需要在判断屏幕上的形状是否对称的情况下，记忆 3-7 个红色格子出现的位置及顺序，如果被试忘了其中一个位置，用空格键进行代替。共有 2 个试次，总分为 50 分。时间为 15 分钟，流程如图 3.6 所示。

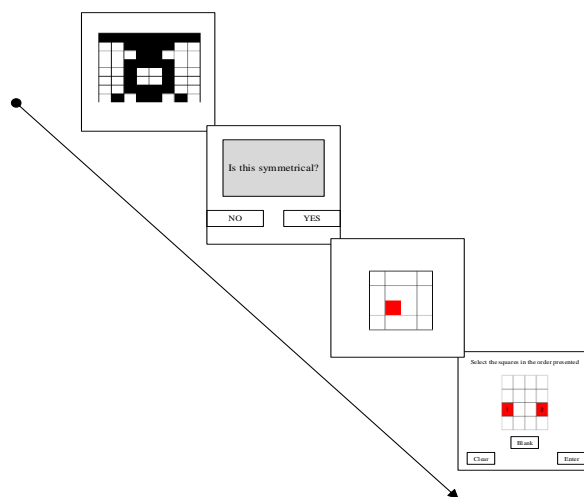


图 3.6 对称跨度实验流程

(3) 阅读跨度实验范式

阅读跨度实验范式与操作跨度实验范式相似，不同之处在于阅读跨度用判断一个句

子是否有意义来代替判断算数题的正确性。同样有 3 个试次，满分为 75 分，持续时间为 20 分钟。

(4) 旋转跨度实验范式

实验开始同样需要进行预实验，预实验正确率大于 85% 才能进入正式实验。实验开始屏幕上会出现一个旋转的英文字母，被试需要快速判断是否为正立的标准字母旋转的，字母为系统随机。被试选择后 1000 ms，屏幕上会出现一个长度不同且方位不同的箭头，被试需要记忆箭头的长短及出现的方向，被试答完 1000 ms 后，进入下一个重复的流程。一个回合有 3-7 个相同的流程，共有 2 个试次，总分为 50 分，持续时间为 15 分钟。

整个工作记忆容量实验的流程如图 3.7 所示。

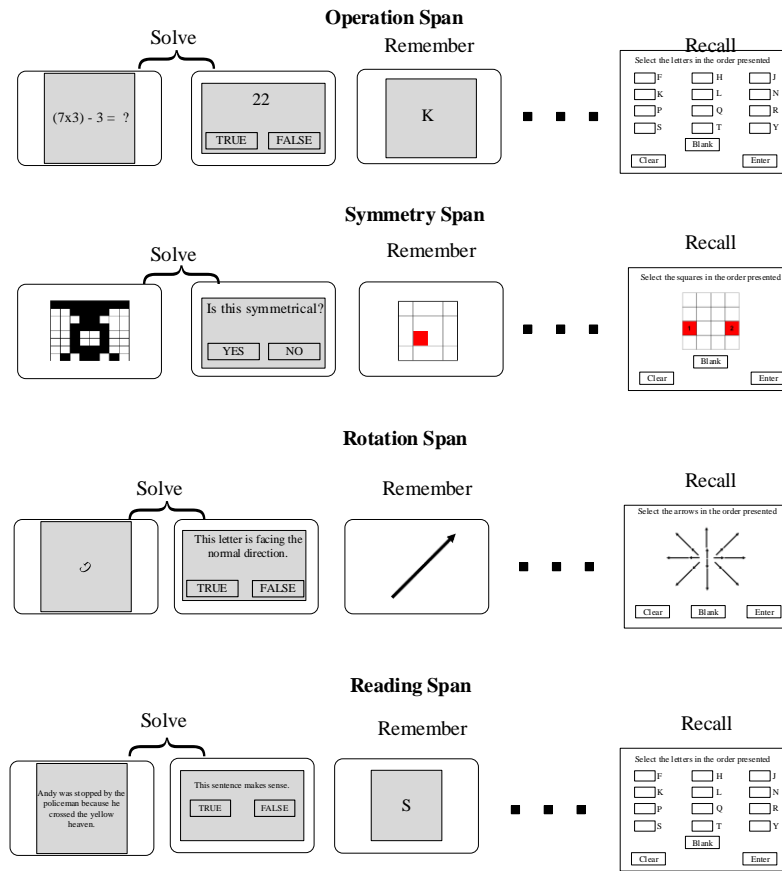


图3.7 工作记忆测量实验流程

3.4.2 模拟换道实验

(1) 认知负荷任务

大量的研究表明，n-back 任务中 n 值越大，个体受到的工作负荷也就越大，因此在

驾驶过程中，把无负荷、0-back、1-back、2-back 任务作为不同程度的认知负荷，并使用数字 n-back 任务。通过 Python 自动生成 300 个 1-9 的随机数字，并将其录制到自动播报的软件中，驾驶人在驾驶过程中听到一系列间隔时间相同的数字，他们需要在不同的 n-back 任务下回答相对应的数字。本次实验为被试在驾驶任务时会听到 1-9 之内的随机数字播报，时间间隔为 2.25 s，被试要根据需要执行的 n-back 任务进行回忆响应。为了避免被试重复记忆引起的误差，实验过程中 0-back、1-back、2-back 以随机的顺序出现在不同被试的任务中，实验期间记录被试在 1-back、2-back 任务下的数字正确率，部分随机数字如表 3.2 所示。

表 3.2 不同 n-back 任务下的随机数字

n-back	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	299	300
0	3	3	2	4	6	8	2	5	6	...	7	5
1	1	9	4	2	5	4	2	5	6	...	2	6
2	5	8	4	6	2	4	3	3	7	...	1	8

(2) 练习驾驶任务

为使驾驶人能够熟悉 n-back 任务的进行方式以及驾驶模拟器与真实驾驶的区别，须在正式实验前进行模拟驾驶预实验。预实验中驾驶人需要控制车速在 40-60 km/h，完成城市道路场景。预实验的场景采用城市双向 4 车道，对向车道设置随机交通流，与正式实验一致。驾驶人所在的自车道会随机出现不同的车辆，驾驶人需根据实际的驾驶状况进行跟车、减速避让、换道等操作。预实验中驾驶人在驾驶过程中需要进行认知负荷次任务，要求驾驶人达到一定的正确率(85%)才能进行正式实验，驾驶场景如图 3.8 所示。



图3.8 练习驾驶场景图

(3) 正式换道实验

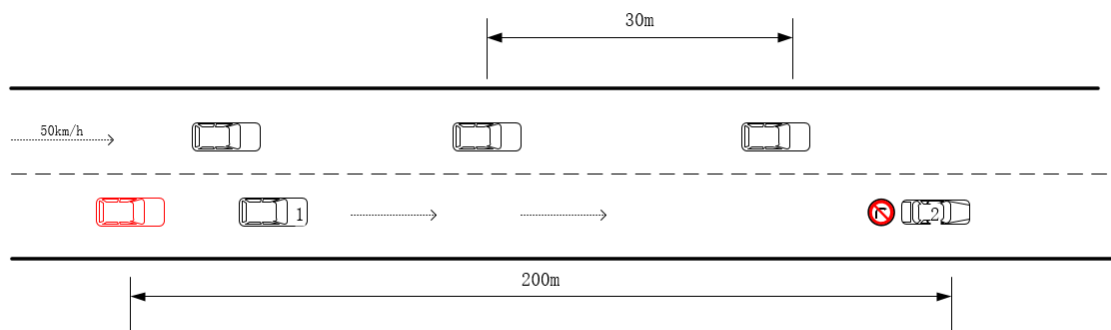


图 3.9 换道场景图

换道包括自由换道与强制换道。本次实验考虑到场景的设置条件以及自由换道的随机性与强制换道的风险性，因此设置相应的场景条件诱发驾驶人强制换道。另外，由于在执行驾驶任务的同时，设置了不同程度认知负荷的次任务，一定程度上增加了换道的难度，因此本次实验仅考虑换道难度相对较低的左换道任务，暂不考虑难度更大的右换道。

如图 3.9 所示，被试驾驶红色车以 40-60 km/h 车速行驶在城市道路，1 号车会以 50 km/h 的速度在实验车前方行驶，驾驶人首先被要求跟车，2 号车的作用是遮挡驾驶人的视线，使其无法发现前方的故障车辆 2 号车。当实验车距离 2 号车 200 m 时，1 号车辆会突然消失，这虽然不符合现实的逻辑，但用来模拟驾驶人在上坡、转弯或者车道合并处视野受限的情况下强制换道。当发现前方故障车后，驾驶人会察觉到前方的故障车辆，通过自己的注意力及判断能力进行向左换道规避，这里需要注意的是，左侧车道设置了速度为 50 km/h、距离间隔为 30 m 的稳定车流，因此被试需要在有限的时间内既要保证不与 3 号故障车相撞，同时要在换道过程与内车道的前后车保持安全的距离。本次实验包括 4 个场景，分别对应驾驶人在无负荷、0-back 任务、1-back 任务以及 2-back 任务。每个场景的区别在于周围的房屋建筑不同，这避免驾驶人根据熟悉感推测出故障车所在的位置，进而有提前的预警，影响时间结果。每个场景全长都为 8 km，双向四车道，每个车道宽 3.75 m，路肩宽 0.75 m，包括完整行人、交叉口、红绿灯等，换道片段设置在距离起点 4 km 处，期间驾驶人在规定的最右侧车道行驶，整个场景需要 10 min。被试在不同认知负荷状态下（正常状态、 $n=0、1、2$ ）进行模拟驾驶任务，同时被试在执行驾驶任务同时完成相应的次任务。每次实验完成后被试需完成驾驶人负荷量表（NASA-

TLX)进行评分。驾驶人在完成一个场景的实验后休息 3 min, 整个换道实验需要 50 min。

图 3.10 为驾驶人第一、第三人称视角的实验场景。



图 3.10 换道模拟实验场景

(4) 实验流程及注意事项

在实验开始前一天, 要求被试保证良好休息以便实验时有良好的精神状态, 同时避免饮酒以及服用精神药物。在被试到达之前, 清空实验室无关人员, 以降低外在因素的干扰, 同时实验人员应调试好驾驶模拟器及场景摄像机, 以保证实验正常进行。本次实验包括工作记忆测量任务和模拟驾驶任务, 大约需要一个小时左右。在被试到达后, 需要填写驾驶人个人信息表, 并通过微信扫码填写驾驶人简易智力状态检查量表(MMSE)。在模拟驾驶任务中, 如果被试感到头晕耳鸣等不适症状, 立即停止实验。如果症状严重, 需要更换被试。本文实验为了节省时间, 把被试分为两组, 分别在不同的实验房间进行工作记忆测量实验与模拟驾驶实验, 当两者都结束后, 互相交换。两者相互独立, 互不影响, 以免对实验结果造成影响。

另外, 为了避免参与者在驾驶的时候采取补偿策略, 当被试在同时完成 n-back 任务和换道的驾驶任务时, 要求他们不要优先考虑这两项任务, 而是尽可能在这两项任务上都表现良好^[44]。

3.5 数据处理及分析方法

3.5.1 数据预处理

(1) 数据导入

在驾驶人完成换道模拟实验后, 通过模拟器数据采集 D-Lab 系统采集驾驶运行参数, 并提取与之对应的场景摄像机里面驾驶模拟视频, 得到.asc 格式的驾驶模拟数据与 avi 格式的视频数据, 并及时检查是否有异常的数据。如果有异常数据, 需驾驶人重新

补足相对应的实验，重新收集数据。

(2) 数据截取

由于本文研究的是换道行为，而为了更加逼近现实情况，模拟实验场景包括完整的驾驶过程，因此需要截取相应的换道部分数据。为保证数据的精度，使用 Potplayer 视频播放器逐帧播放，确定换道意图阶段以及换道执行阶段的时间点，并与驾驶模拟器的数据通过时间逐帧对应，通过典型时间段的数据，检验两者的同步性。本次实验把驾驶人换道意图阶段定义为驾驶人开始进行换道操作之前的 5 s 内，驾驶人第一次注视后视镜及其相近的区域或者其他习惯性的视觉活动开始，到驾驶人开始进行换道操作所持续的时间。换道执行阶段为汽车方向盘开始有明显的偏转到汽车到目标车道稳定行驶的阶段。

3.5.2 数据分析

(1) 描述性统计

本文主要通过对数据参数的均值、标准差、最大值、最小值等分析驾驶人某种指标的主要分布情况及离散趋势，研究在不同认知负荷下，不同工作记忆容量的驾驶人在换道意图阶段的横向运行特性与纵向运行特性，以及整个换道过程中的安全性规律。

(2) 方差分析

使用方差分析时，需要满足相关假设。本文利用球形检验法 (Mauchly's Test of Sphericity) 对测量数据进行假设检验，发现测量数据符合 Huynh-Feldt 条件^[45]。因此可以使用单因素方差分析分析不同指标之间的差异性，通过事后检验的 LSD 法对组内数据进行差异性检验。

(3) 异常数据处理

异常值的处理方法：由于本文使用了方差分析，而此分析方法对数据的异常值极为敏感。箱线图能够直观地发现异常值，因此在做假设检验或相关性分析时，根据箱线图来剔除掉异常值，让变量之间的关系更加明显。

3.6 本章小结

本章首先基于驾驶人精神状态量表，对驾驶人实验前的精神状态进行调查，为工作记忆的测量提供前提依据。其次通过对国内外工作记忆测量方法的总结，确定以操作跨度范式、阅读跨度范式、对称跨度范式以及旋转跨度范式相结合的方法来测量驾驶人的

工作记忆容量。最后使用典型的数字 **n-back** 范式作为认知负荷任务，通过交通仿真软件 **SILAB** 建立城市强制换道实验场景，开展不同认知负荷下的换道模拟实验，为后续分析提供数据支持。

第四章 不同认知负荷对换道行为的影响分析

本章结合驾驶模拟器数据与相关文献研究，选取 9 个与换道行为有关的参数指标，如表 4.1 所示，来研究驾驶人在不同认知负荷下的纵向操纵特性、横向操控特性以及换道安全特性，并总结不同的认知负荷对驾驶人换道行为的影响规律。

表 4.1 换道行为表征参数

换道行为		表征参数
意图阶段	纵向操纵状态	纵向速度均值
		纵向速度标准差
		纵向加速度标准差
	横向操纵状态	方向盘转角标准差
		横向加速度标准差
执行阶段	运行安全状态	横向偏移距离标准差
		意图持续时间
		最大方向盘转角标准差
		碰撞时间

4.1 换道阶段划分

关于换道过程的划分，很多学者进行了研究。Worrall^[46]将车道变换过程分为扭角、靠拢、收角、调整 4 个阶段；黄秋菊^[47]基于库尔曼行为模式将车道变换过程划分为信息感知阶段、条件评价阶段和选择执行阶段；霍克^[48]将车道变换分为决策阶段、执行阶段和调整阶段；彭金栓^[49]由横向位置及方向盘转角数据共同确定，将车道变换过程划分为意图阶段与执行阶段。大多数学者把换道行为划分为意图、执行、调整阶段，笔者反复观看驾驶人在换道过程中的视频录像，同时考虑到模拟器的换道调整阶段并不明显，且持续时间很短，故把整个换道过程分为换道意图阶段和换道执行阶段。换道意图阶段定义为驾驶人开始进行换道操作之前的 5 s 内，第一次注视后视镜及其相近的区域或者其他习惯性的视觉活动开始，到方向盘有明显的偏转，驾驶人开始进行换道操作所持续的

时间。把车辆方向盘有大幅度的偏转到车辆在目标车道开始稳定行驶的阶段称为换道执行阶段。如图 4.1 所示。

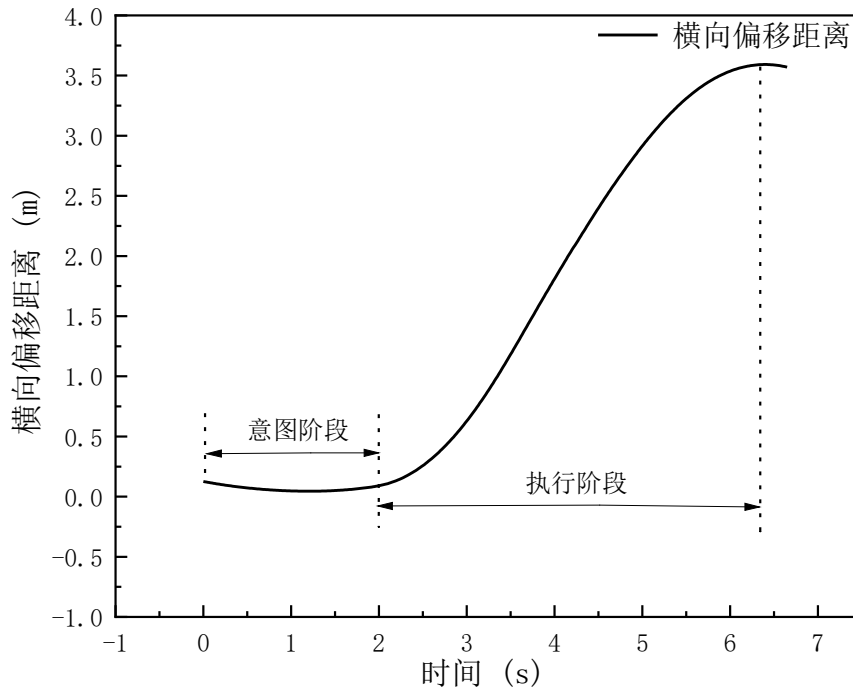


图 4.1 换道行为轨迹横向偏移

驾驶人在换道意图阶段主要是在保持与前后车的安全距离的前提下收集目标车道的车辆运行状态信息，进行判断与决策的过程。忽略微小的横向位移，进行的是纵向运动。在车辆的运行状态而言，类似于跟车，但是比跟车相比，需要更多的认知资源去判断换道的时机。而换道执行阶段是驾驶人通过转动方向盘，从当前车道位置变换到目标车道位置，进行的是纵向与横向的结合运动，此阶段更加注重换道行为的安全性。换道执行阶段程与换道意图阶段有明显的差异，因此有必要分开分析。

根据驾驶模拟器输出的车辆运行参数以及典型的换道行为特性参数，本实验选取车辆纵向特性参数（意图阶段速度、意图阶段速度标准差、意图阶段纵向加速度标准差）、横向特性参数（意图阶段方向盘转角标准差、意图阶段横向加速度标准差、意图阶段横向偏移距离标准差）、安全特性参数（意图阶段时间、执行阶段最大方向盘转角、碰撞时间）。

4.2 车辆纵向操纵特性分析

4.2.1 意图阶段速度

驾驶人在换道意图阶段主要是对外界环境的信息进行整合处理，进行换道决策的过程。驾驶人此阶段主要的操作为控制车速，保持前后车之间的安全距离，通过观察后视镜等区域，确定换道的时机。而意图阶段的速度能够很好地反映驾驶人在换道意图阶段的纵向操作特性，11号驾驶人在不同的认知负荷下意图阶段速度变化如图4.2所示。

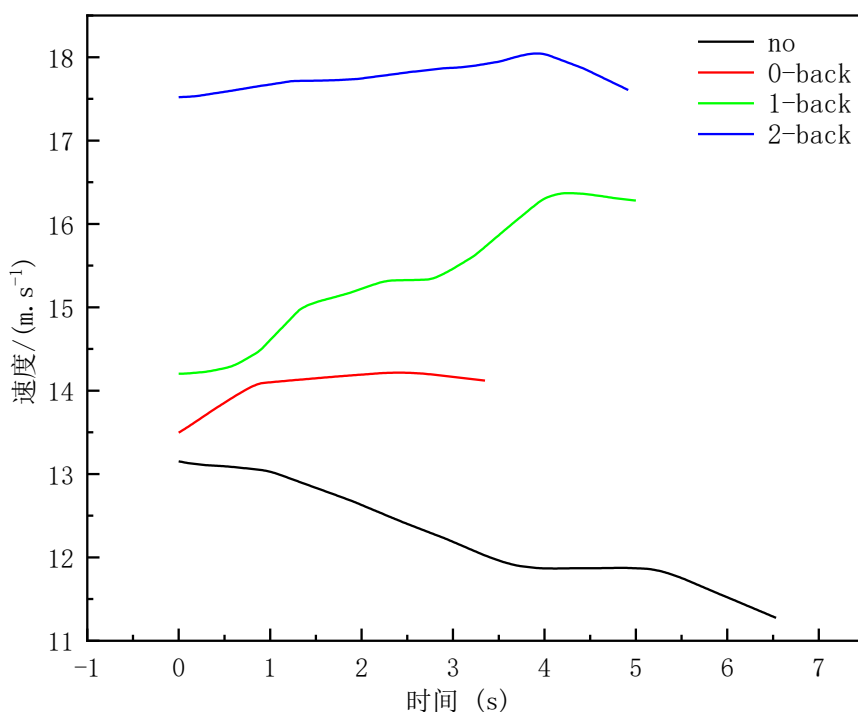


图 4.2 11 号驾驶人意图阶段速度变化图

由上图得，驾驶人在不同的认知负荷下换道意图阶段采取的策略不同。以 11 号驾驶人为例，驾驶人换道方式主要有两种，分别为减速观察，需找合适的时机换道，此时意图持续时间较长。另一种为充分考虑周围车辆运行状态下，加速切入换道，此时意图持续阶段较短。这可能与驾驶人的驾驶风格有关，不同驾驶风格的驾驶人采取的策略不同。

驾驶人在不同认知负荷下意图阶段速度箱线图如图 4.3，描述性统计如表 4.2，显著性检验如表 4.3、4.4 所示。

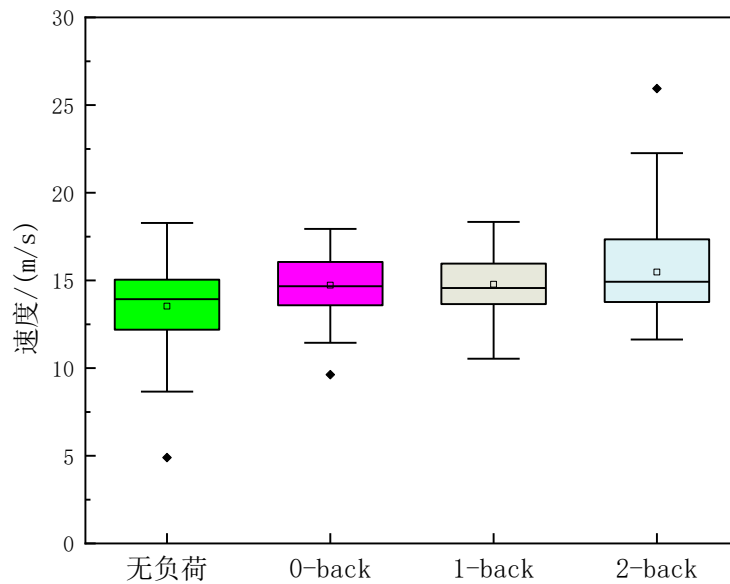


图 4.3 不同认知负荷下意图阶段速度分布箱线图

表 4.2 不同认知负荷下意图阶段速度描述性统计

	均值	标准差	最小值	最大值
无负荷	13.53	2.19	4.90	18.28
0-back	14.73	1.76	9.63	17.93
1-back	14.78	1.56	10.53	18.34
2-back	15.48	2.67	11.63	25.94

由上图4.3、表4.2可知，随着认知负荷的增大，驾驶人意图阶段的平均速度呈持续性增加的趋势。驾驶人在无负荷驾驶时意图阶段的平均速度为13.53 m/s，但在认知负荷最大的2-back任务下，驾驶人的意图阶段的平均速度为15.48 m/s，说明驾驶人的认知负荷增大，驾驶人的意图阶段速度会有一些的提高，但是整体增加的幅度不大，并没有超出实验中速度的限制（11.11 m/s-16.67 m/s）。究其原因因为驾驶人在驾驶所占用的认知资源会随着认知负荷的增大而减少，而人的认知资源是有限的，驾驶人在较大的认知负荷下会产生一定的心理压力，但又由于安全性考虑，加速踏板的开度相比之下会稍微加大，但对驾驶人的纵向操控能力影响不大。

表4.3 不同认知负荷下组内意图阶段速度显著性分析

	无负荷	0-back	1-back
0-back	0.003		
1-back	0.002	0.906	
2-back	0.000	0.065	0.084

表4.4 认知负荷对意图阶段速度显著性分析

		平方和	自由度	均方	F	P
意图阶段速度	组间	105.839	3	35.280	8.076	0.000
	组内	926.075	212	4.368		
	总计	1031.914	215			

由表4.3、4.4可知，当显著性水平为0.05时，认知负荷对意图阶段速度有极为显著性的影响（ $F=8.076$ ， $P=0.000$ ）。另一方面，不同的认知负荷与驾驶人意图阶段速度进行显著性差异分析。结果显示与无负荷相比，0-back任务、1-back任务、2-back任务下的速度差异均显著（ $p=0.003$ ， $p=0.002$ ， $p=0.000$ ），特别是驾驶人在无负荷与2-back任务之间，差异性极为显著（ $p=0.000$ ）。说明随着认知负荷的增大，驾驶人的意图阶段速度会有显著性增大。但是在0-back、1-back与2-back任务之间意图阶段速度均值虽然有着小程度的增大，但总体无明显差异。

总的来说，驾驶人在不同的认知负荷下意图阶段的速度有显著性差异，驾驶人意图阶段车速随着认知负荷的增大而增大，但整体车速控制在限速范围内，且彼此之间相差不大，因此可以认为认知负荷对驾驶人意图阶段车速的影响不大。

4.2.2 意图阶段速度标准差

速度标准差反映了车辆在行驶过程的纵向稳定性，驾驶人在不同的认知负荷下意图阶段速度标准差箱线图如图4.4所示，描述性统计如表4.5所示。

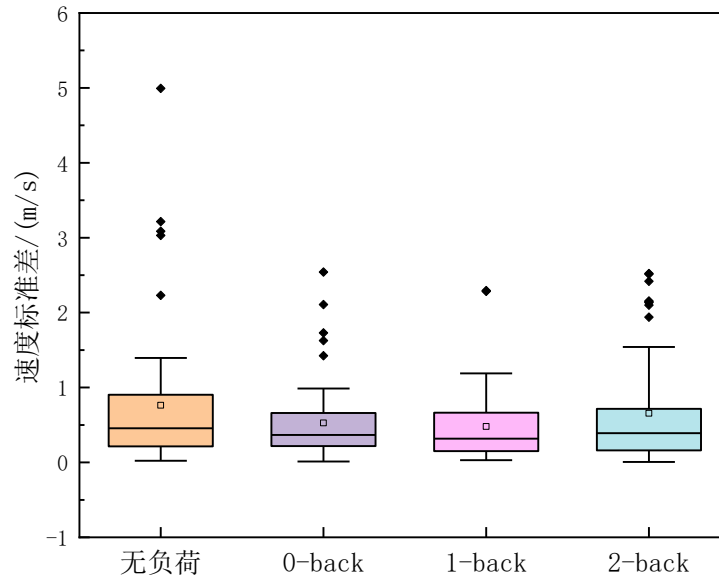


图4.4 不同认知负荷下意图阶段速度标准差箱线图

表4.5 不同认知负荷下速度标准差描述性统计

	均值	标准差	最小值	最大值
无负荷	0.76	0.94	0.02	4.99
0-back	0.53	0.50	0.01	2.54
1-back	0.48	0.47	0.03	2.29
2-back	0.66	0.73	0.01	2.52

由箱线图可知，不同的认知负荷对意图阶段速度标准差均值的影响不大，其中最大的差异在无负荷与1-back任务之间（0.28 m/s）。但是在相同负荷下，驾驶人意图阶段速度标准差极值相差较大（最大差值4.97 m/s）。另外驾驶人在无负荷的驾驶状态下意图阶段速度标准差分布范围明显比有认知负荷下的意图阶段速度标准差范围广，这是由于驾驶人在无负荷驾驶时能够更加从容地面对各种驾驶中的情况，因此速度可能有很大的起伏，进而导致其标准差分布的范围较广。而有认知负荷的情况下，驾驶人会表现得更为谨慎。

表4.6 不同负荷下组内意图阶段速度标准差显著性分析

	无负荷	0-back	1-back
0-back	0.108		
1-back	0.052	0.618	
2-back	0.510	0.290	0.142

表4.7 认知负荷对意图阶段速度标准差显著性分析

		平方和	自由度	均方	F	P
速度标准差	组间	2.661	3	0.887	1.865	0.136
	组内	100.800	212	0.475		
	总计	103.460	215			

上表4.6、4.7为认知负荷间意图阶段速度标准差差异性检验结果。在显著性水平 $P=0.05$ 的水平下，认知负荷与意图阶段速度标准差没有显著性差异（ $p=0.136$ ）。对不同负荷驾驶人意图阶段速度标准差进行差异显著性分析。结果表明，4种不同的驾驶状态与意图阶段速度标准差之间的差异均不显著。说明在不同的认知负荷下，驾驶人在意图阶段纵向速度标准差差异不大。

4.2.3 意图阶段纵向加速度标准差

纵向加速度标准差代表着车辆纵向运动中加速度的稳定程度。加速度标准差越小代表车辆行驶过程中纵向运动的加减速越平稳，可以从一定程度上反映驾驶人纵向操纵能力。尤其是当外界道路环境复杂时，纵向加速度标准差均值更能反映车辆在加速度上下的浮动情况。

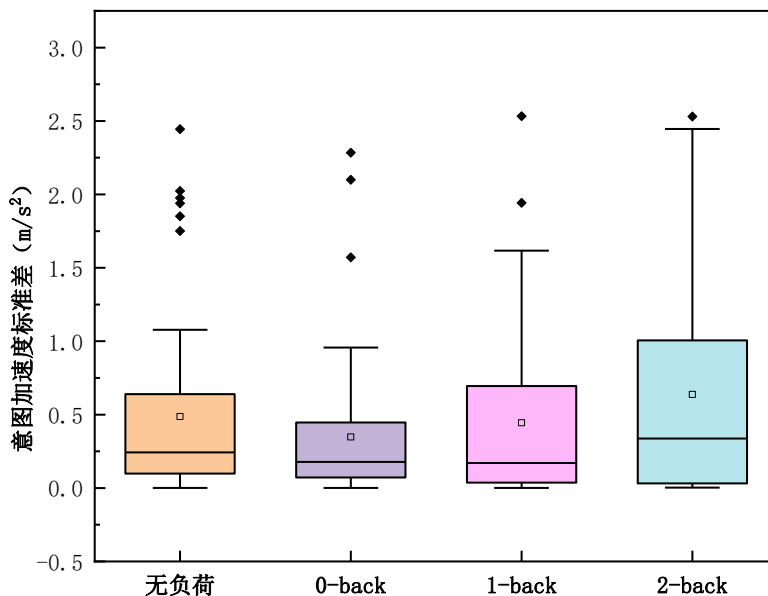


图4.5 不同认知负荷下意图阶段速度标准差箱线图

表4.8 不同负荷下纵向加速度标准差描述性统计

	均值	标准差	最小值	最大值
无负荷	0.48653	0.60813	0.0009	2.44475
0-back	0.34821	0.46433	0.00132	2.28423
1-back	0.44483	0.57726	0.0009	2.53321
2-back	0.63733	0.74521	0.00316	2.53108

由图4.5及表4.8可知，随着认知负荷的增加，意图阶段纵向加速度标准差呈先减小后增大的趋势。0-back任务作为极值点，在0-back任务下，驾驶人平均意图阶段速度标准差最小，且分布范围最为集中（ $M=0.34821$ ， $SD=0.46433$ ），当处于2-back任务时，驾驶人平均意图阶段速度标准差最大，且分布范围最广（ $M=0.63733$ ， $SD=0.74521$ ），说明处于此任务的驾驶人，对意图阶段速度稳定性的控制能力个体间差异较大。

表4.9 不同认知负荷间的纵向加速度标准差显著性分析

	无负荷	0-back	1-back
0-back	0.238		
1-back	0.721	0.409	
2-back	0.198	0.014	0.101

表4.10 认知负荷对纵向加速度标准差显著性分析

		平方和	自由度	均方	F	P
纵向	组间	2.344	3	0.781	2.120	0.099
加速度标	组内	78.122	212	0.368		
准差	总计	80.465	215			

由表4.9、4.10可得，在显著性水平 $p=0.05$ 下，认知负荷与意图阶段纵向加速度标准差没有显著性差异（ $p=0.099$ ）。当处于0-back任务后，随着认知负荷的增加，意图阶段纵向加速度标准差开始明显的增大，特别是当驾驶人处于2-back任务的认知负荷时，相比处于临界状态0-back任务，有显著性地增大（ $p=0.014$ ）。说明驾驶人对此指标比较敏感，当处于1-back任务时，大部分驾驶人已经达到了控制纵向加速度的认知资源容量极限，

以至于在认知负荷程度更大的2-back任务下,意图阶段纵向加速度标准差有明显的增大。

4.3 横向操纵特性分析

4.3.1 方向盘转角标准差

方向盘的转动影响着汽车的横向位移,因此方向盘转角标准差可以一定程度上代表车辆横向偏移的稳定性,本文通过模拟器数据的时间帧数所对应的方向盘转角,计算每位驾驶人在换道意图阶段的方向盘转角标准差,如图4.6所示。

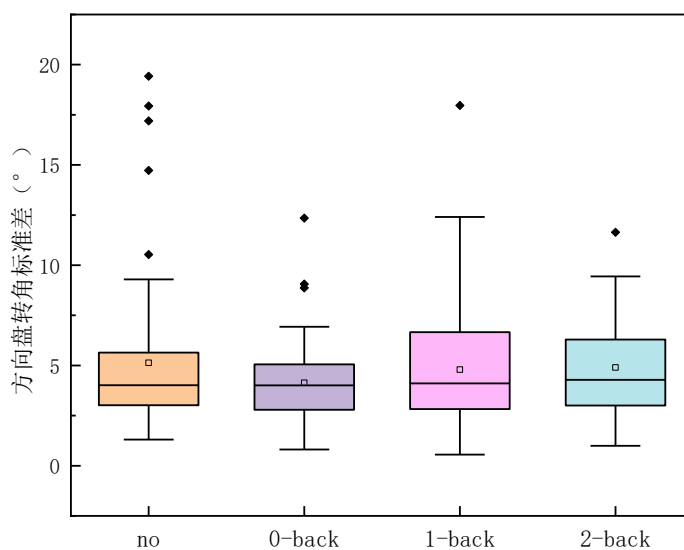


图4.6 不同认知负荷下方向盘转角标准差箱线图

表4.11 不同负荷下方向盘转角标准差描述性统计

	均值	标准差	最小值	最大值
无负荷	5.13589	4.027	1.30546	19.42295
0-back	4.13797	2.16696	0.81051	12.34542
1-back	4.79687	3.04144	0.55501	17.96199
2-back	4.90007	2.37175	0.99288	11.63778

从图4.6及表4.11可以看出,随着认知负荷的增加,意图阶段方向盘转角标准差同样是先减小后增大的趋势,当处于0-back任务下,意图阶段方向盘转角标准差最小,且变化幅度最小(M=4.13797, SD=2.16696)。这与前面某些指标的变化规律吻合,值得一提的是,在1-back与2-back任务下,意图阶段方向盘转角标准差组内的变化范围明显增大,

表现为箱体更宽。这说明，不同驾驶人在此任务下，表现出明显的差距。

表4.12 方向盘转角标准差显著性检验分析

	无负荷	0-back	1-back
0-back	0.107		
1-back	0.631	0.256	
2-back	0.762	0.190	0.859

表4.13 认知负荷对方向盘转角标准差显著性分析

		平方和	自由度	均方	F	P
方向盘转角标准差	组间	27.179	3	9.060	1.001	0.393
	组内	1919.405	212	9.054		
	总计	1946.584	215			

由表 4.12、4.13 可知，在显著性水平为 0.05 下，认知负荷与意图阶段方向盘转角标准差没有显著性差异 ($p=0.393$)，此外不同认知负荷组内的意图阶段方向盘转角标准差同样无显著性差异。这说明，认知负荷的大小对此指标影响不大，驾驶人在不同程度的认知负荷下的意图阶段方向盘转角标准差没有显著差异。

4.3.2 意图阶段横向加速度标准差

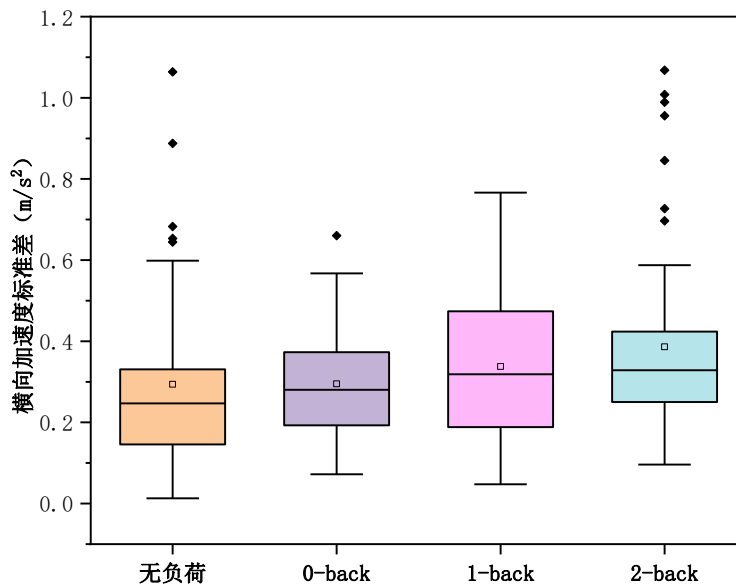


图4.7 不同认知负荷下横向加速度标准差分布箱线图

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/658124006025006037>