

注意和记忆表征对交通场景图像 转向中变化盲视的影响*

任如月 刘煜 兰继军 李苑 游旭群

(陕西师范大学心理学院暨陕西省行为与认知神经科学重点实验室, 西安 710062)

摘要 变化盲视是诱发交通驾驶人因失误的主要原因之一, 对公共安全构成严重威胁。本研究采用运动方向瞬态诱导变化盲视的实验方法, 通过 3 个实验系统考察了注意和记忆表征对交通场景图像转向中变化盲视的影响。实验 1 操纵场景的运动速度、运动路线和变化类型, 其中运动速度可能通过加剧转向瞬间的注意资源竞争影响变化探测, 发现快速运动仅在转向条件下显著加剧变化盲视, 而在直行条件下无显著影响。实验 2 控制运动速度, 操纵运动时间(变化前)、运动路线和变化类型, 其中原始场景呈现时长可能通过增加记忆表征精度来影响变化探测, 发现更长的记忆表征编码时间可在有限范围内缓解变化盲视。实验 3 控制运动速度与运动时间, 操纵场景期望水平下的运动路线与变化类型, 通过路线转向方向的概率分布建立先验预期, 发现个体对高期望条件下的目标变化表现出更好的探测绩效。结论: 交通场景转向中的变化盲视是注意资源竞争与记忆表征有限性共同作用的结果, 而期望可能内源性地调节注意分配和记忆表征的有效构建, 进而影响变化盲视的发生。研究结果支持并拓展了变化盲视的注意-表征理论。

关键词 变化盲视, 视觉搜索, 运动诱导盲视, 注意, 记忆表征

分类号 B842

1 引言

变化盲视(change blindness)指存在短暂的视觉中断或干扰时, 观察者难以探测到视觉场景中所发生变化的现象(Rensink, 2018; Simons, 2011)。该现象在动态复杂的交通驾驶场景中会引发严重的公共安全风险(Beanland et al., 2017; Zhao et al., 2014)。研究显示, 约 9%~12% 的重伤碰撞事故可归因于驾驶员未能成功探测交通驾驶场景的变化(Beanland et al., 2013)。因此, 理解并有效预防交通场景中的变化盲视已成为该领域的重要课题。

1.1 注意-表征理论框架

Simons 和 Rensink (2005) 的注意-表征理论观点指出, 变化盲视的发生可主要归因于注意失败与记忆表征不足(Henderson & Hollingworth, 2003;

Rensink, 2002; Simons & Levin, 1997)。注意失败观点强调, 变化探测依赖于注意资源的主动参与, 非注意区域即使发生显著变化也往往难以被觉察, 而获得优先注意的场景客体则更可能被编码和比较。例如, Rensink 等人(1997)开发的闪烁范式(flicker paradigm)通过交替呈现原始图像与变化后图像(间隔空白屏), 发现缺乏集中注意是变化盲视的关键成因。记忆表征观点则认为, 变化盲视源于表征编码不足(信息稀疏、结构不完整或完全缺失)和检索/比较失败。Hollingworth (2003)通过眼动研究进一步提出, 视觉注意定向通过整合局部信息并随时间推进逐渐形成更详细的场景表征, 从而支持细微的视觉判断, 且该表征在注意转移后仍可被准确检索。

然而, 上述理论在解释交通驾驶等复杂、动态背景下的变化觉察时仍存在明显局限。首先, 已有

收稿日期: 2024-12-12

* 国家自然科学基金项目(32000753)资助。

通信作者: 游旭群, E-mail: youxuqun@snnu.edu.cn; 李苑, E-mail: liyuan001@snnu.edu.cn

研究大多依赖静态视觉掩蔽技术,未能充分考察自然观察条件下完整视野中的变化探测过程(Beanland et al., 2017; Galpin et al., 2009);其次,视觉掩蔽本身可能干扰注意分配与记忆表征的连续性,加之以往研究往往侧重于单一机制的变量操纵,难以在同一框架内系统考察注意和记忆表征在复杂交通场景中的共同作用(Bonneh et al., 2001; Wu & Flombaum, 2024)。

1.2 基于运动方向瞬态的交通场景变化盲视研究

本研究将采用运动方向突变的方式来诱导交通场景变化盲视。研究表明,有效的视觉空间注意与记忆表征对目标特征的加工至关重要(游旭群,宋晓蕾,2009;游旭群等,2008)。因此,有必要在无掩蔽干扰条件下,系统考察完整视野中注意和记忆表征如何共同影响交通场景转向中的变化探测。Yao 等人(2019)为此提供了一种创新性实验方法。他们发现,当光栅阵列的整体运动方向发生突变时,目标光栅的同步瞬间旋转即可有效诱导变化盲视,而无需依赖任何外部视觉掩蔽;眼动数据进一步证实该现象并非由运动方向变化瞬间的眼跳干扰所致,而更可能源于注意分心的影响(Henderson & Hollingworth, 2003)。本研究将这种由运动方向突变诱发、可引起变化盲视的瞬态视觉信号定义为“运动方向瞬态”(transients,瞬态,指引入瞬时神经活动的瞬态刺激,通常表现为一种短暂的、突然变化的视觉信号)。相较于传统掩蔽范式,此方法的优势在于:其一,通过全局运动方向的突变引入一个内生于任务场景的视觉瞬态,无需额外的干扰、视觉遮挡或瞬时中断,从而在连续完整视野中诱发变化盲视;其二,避免外部掩蔽对注意和记忆表征的主动干扰,为分离操纵和独立评估二者在变化探测中的作用提供了更理想的实验条件。

1.2.1 交通场景的变化类型

本研究采用俯视视角的低空航拍交通场景图像作为实验材料,既规避驾驶视角中的视觉遮挡与比例失真问题,也兼顾全局空间分布、语义完整性和生态效度(Kondyli et al., 2023; Kvasova et al., 2024),从而可实现对变化目标和变化位置的精确操纵。本研究聚焦于交通场景中消失、出现与位置移动这三类典型变化(Murphy & Andalis, 2013; Türkan et al., 2016)。已有研究表明,不同类型变化所涉及的注意和表征机制存在差异:出现类型通常较消失类型具有更强的自下而上注意捕获优势(Donaldson & Yamamoto, 2016);消失类型缺乏显

著的行为紧迫性信号,可能更依赖于对任务背景的持续监控和检索比较(Brockmole & Henderson, 2005; Cole & Kuhn, 2010);而位置移动类型则可能同时调动空间注意和视觉工作记忆,并引发更大的视觉场景变化量(Martens, 2011; Murphy & Andalis, 2013)。据此预期,在本研究的交通场景转向任务中,出现类型的变化探测绩效受注意资源竞争影响最小,消失类型的绩效受损最为显著,而位置移动类型虽整体绩效最优,但仍会受到一定程度的干扰。

基于上述对变化类型的分析,为系统考察注意与记忆表征对交通场景转向中变化盲视的影响,本研究设计了三个实验,分别聚焦于运动速度(注意资源竞争)、运动时间(记忆表征编码精度)与期望水平(内源性预期的调节)三个核心变量的影响。

1.2.2 运动速度对转向盲视的影响:注意的作用

基于变化盲视的注意-表征理论,注意资源的分配和竞争被视为错失变化的关键成因之一(Rensink, 2002; Simons & Rensink, 2005)。为此,实验1引入运动速度作为操纵注意资源需求的实验变量(Milders et al., 2004; Tombu & Seiffert, 2008)。当运动转向信号与目标变化探测信号在时间维度上发生重叠,可能引发剧烈的注意资源竞争。这一机制可从注意瞬脱机制(Raymond et al., 1992)和双阶段加工模型(Chun & Potter, 1995)中得到理论支持。该模型指出,在快速序列视觉呈现(RSVP)任务中,时间上相近的两个目标刺激会竞争有限注意资源,导致对时序邻近目标的加工抑制,其本质是认知资源在时间维度上的序列分配冲突。更为关键的是,运动速度可能调节这种时间维度上的注意资源竞争。Tombu 和 Seiffert (2008)通过多目标追踪任务发现,提升目标运动速度会加剧其与时间重叠的音高辨别任务的注意资源竞争,导致后续任务绩效下降。

然而,既有研究尚不明确运动速度在变化盲视中的作用机制:其究竟是直接占用注意资源以干扰变化探测,抑或是通过与运动方向等特征的交互而间接施加影响?此为本研究要探讨的第一个研究问题。本研究推测,运动速度的提升可能加剧转向瞬间的注意资源竞争,从而使变化盲视显著加剧。

1.2.3 运动时间对转向盲视的影响:记忆表征的作用

注意-表征理论观点指出,表征不足或对比失败同样是引发变化盲视的重要因素(Simons & Rensink, 2005)。在实验1中,不同运动速度条件导致交通场景的呈现时长存在差异,快速运动可能压

缩可用于记忆表征编码的时间窗口,从而削弱对场景信息的表征质量。为此,实验2在控制运动速度的基础上,进一步引入运动时间作为操纵记忆表征精度的关键变量。虽然更长的视觉加工时间可能通过增强记忆表征精度和完整性以提高变化探测绩效(Bays et al., 2009; Gao et al., 2013; Martens, 2011)。然而,这一可能性尚未在连续、完整视野的实验范式中得到系统检验。Wright 等人(2024)近期尝试考察多重特征变化探测任务中记忆表征的作用,但其采用的闪烁范式本身可能引入额外干扰,导致视野信息缺失或表征不稳定,难以清晰揭示记忆表征的贡献。

值得注意的是,变化前信息的记忆表征对变化探测起到重要作用(Nishiyama & Kawaguchi, 2014)。因此,本研究提出了第二个研究问题:在控制运动速度的条件下,延长场景变化前的运动时间是否会通过增强记忆表征编码质量,进而缓解变化盲视?本研究推测,更长的视觉加工时间可能通过提升场景信息的记忆表征编码精度,从而使变化盲视程度降低。

1.2.4 期望水平对转向盲视的影响:注意-表征的动态优化作用

实验1和实验2分别探讨外源性注意干扰和记忆表征在交通场景变化盲视中的作用。然而,动态场景中的视觉探测过程往往同时受到外源性(刺激驱动)与内源性(目标驱动)注意共同作用影响。一方面,场景中的运动客体可自动捕获视觉注意(Abrams & Christ, 2003);另一方面,观察者可能通过内隐学习建立对场景变化规律的先验预期(Zuanazzi & Noppeney, 2020),优先将注意资源导向高概率变化区域或事件(Roth et al., 2024; Steelman et al., 2013),并促进形成更稳定精确的记忆表征(Awh & Vogel, 2008; Cohen-Dallal et al., 2023),以自上而下地优化视觉搜索效率。

由此,本研究提出第三个研究问题:在交通场景转向任务中,内源性期望能否通过调控注意资源的空间分配并优化记忆表征,从而有效调节外源性运动信号引发的注意干扰以提升变化探测绩效?本研究推测,当个体根据场景规律形成对转向方向的概率预期时,可能以内源性方式优先将注意资源分配至高概率方向,并增强其记忆表征编码精度,从而使变化探测绩效显著提升。

1.3 研究思路

基于三个研究问题,本研究以变化盲视的注意

-表征理论为框架(Simons & Rensink, 2005),采用运动方向瞬态诱导变化盲视的实验方法(Yao et al., 2019),以俯视视角的交通场景图像作为实验材料,对场景元素进行消失、出现和位置移动三类变化处理。研究设计两种运动轨迹条件(转向 vs. 直行),在交通场景运动至转向瞬间或直行中点时引入瞬时目标变化,旨在避免传统掩蔽混淆效应的前提下,系统考察注意和记忆表征对交通场景转向中变化盲视的影响。本研究共包含3个实验:实验1操纵场景的运动速度、运动路线和变化类型,重点考察运动速度是否通过加剧转向瞬间的注意资源竞争,进而影响变化探测绩效;实验2控制运动速度,操纵场景的运动时间(变化前)、运动路线和变化类型,探讨原始场景呈现时长是否通过增强记忆表征的编码质量来缓解变化盲视;实验3控制运动速度与运动时间,操纵场景期望水平下的运动路线与变化类型,通过设计不同概率分布的“+”形随机转向路径建立先验预期(Yao, 2013),以探究内源性期望对转向盲视的调节作用。

综上,本研究提出假设:(1)运动速度提升可能通过加剧交通场景图像转向瞬间的注意资源竞争,从而差异化影响不同变化类型的探测绩效,而直行条件下提高速度并不会显著加剧变化盲视;(2)延长原始场景的呈现时间可能通过有效增加场景记忆表征的编码精度,进而缓解变化盲视;(3)个体基于交通场景图像转向方向的概率分布形成空间转向预期,该预期可能自上而下地调节注意资源分配并促进记忆表征的有效构建,从而提高变化探测绩效。

2 实验1:运动速度对转向盲视的影响

实验1将交通场景设定两种运动速度(快/慢),沿两种运动路线(转向组/直行组),采用三种变化类型(消失/出现/位置移动),旨在检验运动速度是否通过加剧转向瞬间的注意资源竞争,进而差异化影响不同变化类型的探测绩效(假设1)。

2.1 方法

2.1.1 被试

采用G*Power 3.1软件计算样本量,预期的统计检验力为0.95,中等效应0.25, α 水平为0.05,计算得到样本量为18人(Faul et al., 2007)。实验1招募40名大学生被试,其中男性17名(42.50%),年龄 20.18 ± 1.72 岁。本研究所有被试均为右利手,视力或矫正视力正常,无色盲或色弱情况,均未参

加过类似实验。实验前所有被试签署知情同意书，实验后被试均获得适量报酬。本研究所有实验均经过陕西师范大学心理学院实验伦理委员会的审查(批准号：HR2024-09-03)。

2.1.2 实验材料

采用俯视视角下城市交通和海上交通的航拍场景图像作为实验材料。通过 Feng 等(2022)提出的基于计算机深度学习的复杂度预测模型 ICNet 预测图像复杂度分数，并估计图像的复杂度热度图，该模型在性能上优于传统手工特征和机器学习方法，同时契合心理学领域需求，可以与人类感知实现高匹配度。选取复杂度符合正态分布的 24 张图像作为实验刺激(见图 1)。使用 Photoshop CS 6.0 将图片像素大小按无人机显示屏常见分辨率等比例调整为 480 px × 270 px，并对图像中的车辆、船只或行人等进行消失、出现和位置移动三类变化处理(见图 2)。目标位置通过将图像均衡分为 2 行和 4 列来确定，目标变化范围大小控制在 62 px × 62 px (Yao

et al., 2019)，并平衡目标象限及中心/边缘分布 (Galpin et al., 2009)。实验刺激在 24 英寸的电脑显示器上呈现，屏幕分辨率为 1920 × 1080 像素，60 Hz 刷新率。实验过程中被试视距约 55~60 cm，实验环境保持明亮安静，避免无关噪音干扰。

2.1.3 实验设计

采用 2 (运动速度：快、慢) × 2 (运动路线：转向组、直行组) × 3 (变化类型：消失、出现、位置移动)的被试内设计，其中图像快速运动时速度为 19.14°/s，慢速运动为 13.92°/s。因变量为变化探测的正确率和反应时。

2.1.4 实验程序

实验程序采用 Psychopy 包编制。实验分为练习和正式实验两部分。被试进入实验室后填写知情同意书，然后主试向被试介绍指导语：本实验要求被试完成变化探测任务，实验过程中，屏幕上会呈现不同速度的运动图像，其会在转向瞬间或直行中点发生瞬间变化，被试需保持视线追踪运动图像，

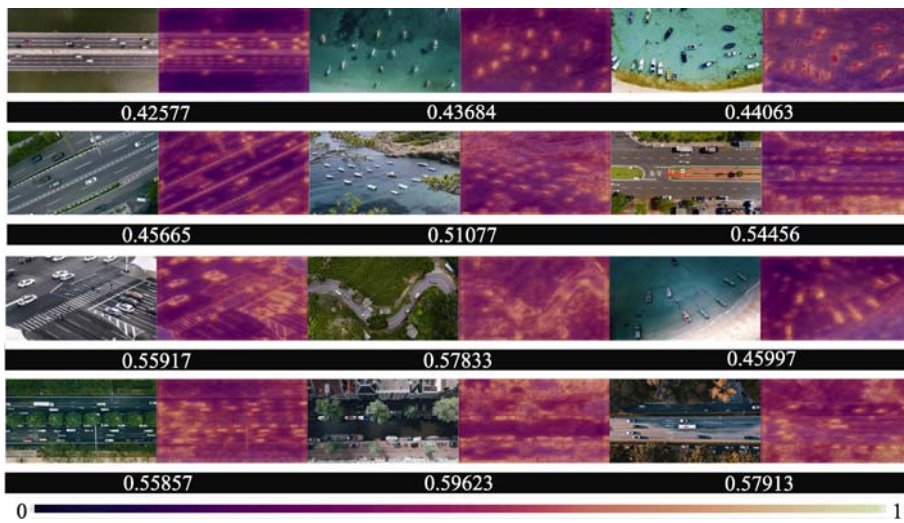


图 1 本研究交通场景复杂度可视化结果部分示意图

注：左侧为输入图像，右侧为预测的复杂度热度图，下方数字代表 ICNet 预测的复杂度分数。彩图见电子版，下同。

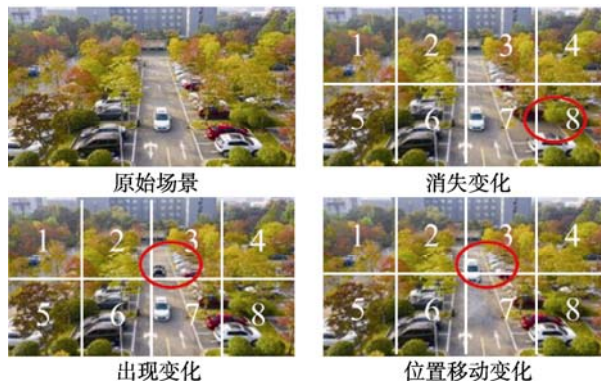


图 2 交通场景的变化类型示意图

注：图像变化后被划分为 8 个区域，分别对应小键盘上的 1~8 按键。

并对图中变化区域的编号做出相应按键反应。在充分理解指导语后, 被试需先完成练习组块 12 个试次, 然后进入正式实验阶段。练习任务与正式实验流程一致。实验流程如下:

首先, 在屏幕左侧呈现注视点“+” (500 ms), 注视点用来定位图像即将出现的位置, 500 ms 后交通场景图像出现, 呈现 200 ms 后开始运动。转向组图像从屏幕左侧开始以快速 19.14°/s 或慢速 13.92°/s 先向屏幕中心运动约 21.34°, 然后立即向下转向 90°后继续运动约 6.34°, 转向瞬间图像发生瞬时变化; 直行组图像只沿水平轴运动, 以不同速度先向右运动约 10.67°并在屏幕中线处瞬间发生变化, 然后继续向右运动相同距离(见图 3)。当图像运动至路径终点时消失, 100 ms 的空屏后屏幕中央出现变化后的图像并划分为 8 个数字编号区域, 分别对应小键盘上 1~8 按键。被试需根据图中变化区域的数字编号进行对应按键, 若错过变化应做出最好的随机猜测。5 s 内未做出按键反应则直接进入下一试次(见图 4)。正式实验分为 2 个组块, 共 288 个试次, 组块内试次随机呈现。完成每个组块后, 被试可休息 2 分钟, 实验总长约 0.5 小时。

2.2 结果与分析

(1) 正确率

对变化探测正确率进行统计分析, 重复测量方差分析结果显示, 运动速度的主效应显著, $F(1, 39) = 25.96, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.40$, 快速运动($M = 0.59$)的正确率显著低于慢速运动($M = 0.63$)。运动路线的主效应显著, $F(1, 39) = 814.84, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.95$, 转向组($M = 0.41$)的正确率显著低于直行组($M = 0.81$)。变化类型的主效应显著, $F(2, 78) = 10.90, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.22$, 消失($M = 0.58$)和出现($M = 0.60$)的正确率显著低于位置移动($M = 0.67$), 消失与出现类型的正确率之间无显著差异。贝叶斯三因素重复测量方差分析结果显示当前实验数据有极强的证据支持存在运动速度($BF_{incl} = 278.595$)、运动路线($BF_{incl} = 6.649 \times 10^{+24}$)和变化类型($BF_{incl} = 389.219$)的主效应。

运动速度与运动路线的交互效应显著(见图 5A), $F(1, 39) = 13.16, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.25$ 。进一步简单效应分析结果显示, 当转向运动时, 快速运动($M = 0.38$)的正确率显著低于慢速运动($M = 0.44$), $F(1, 39) = 28.76, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.42$; 当直行运动时, 运动速度对变化探测正确率的影响不具有显著差异, $F(1, 39) = 2.50, p = 0.122$ 。

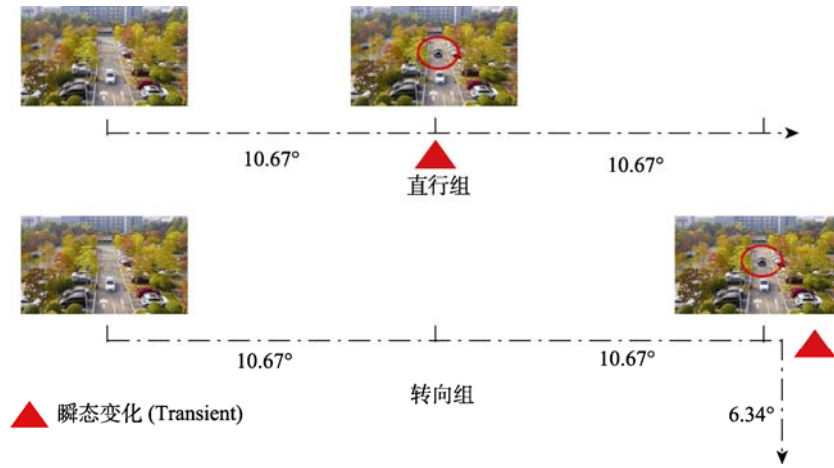


图 3 实验 1 转向组/直行组运动路线示意图
注: 图像运动到▲位置时, 场景发生瞬变, 下同。



图 4 实验流程图

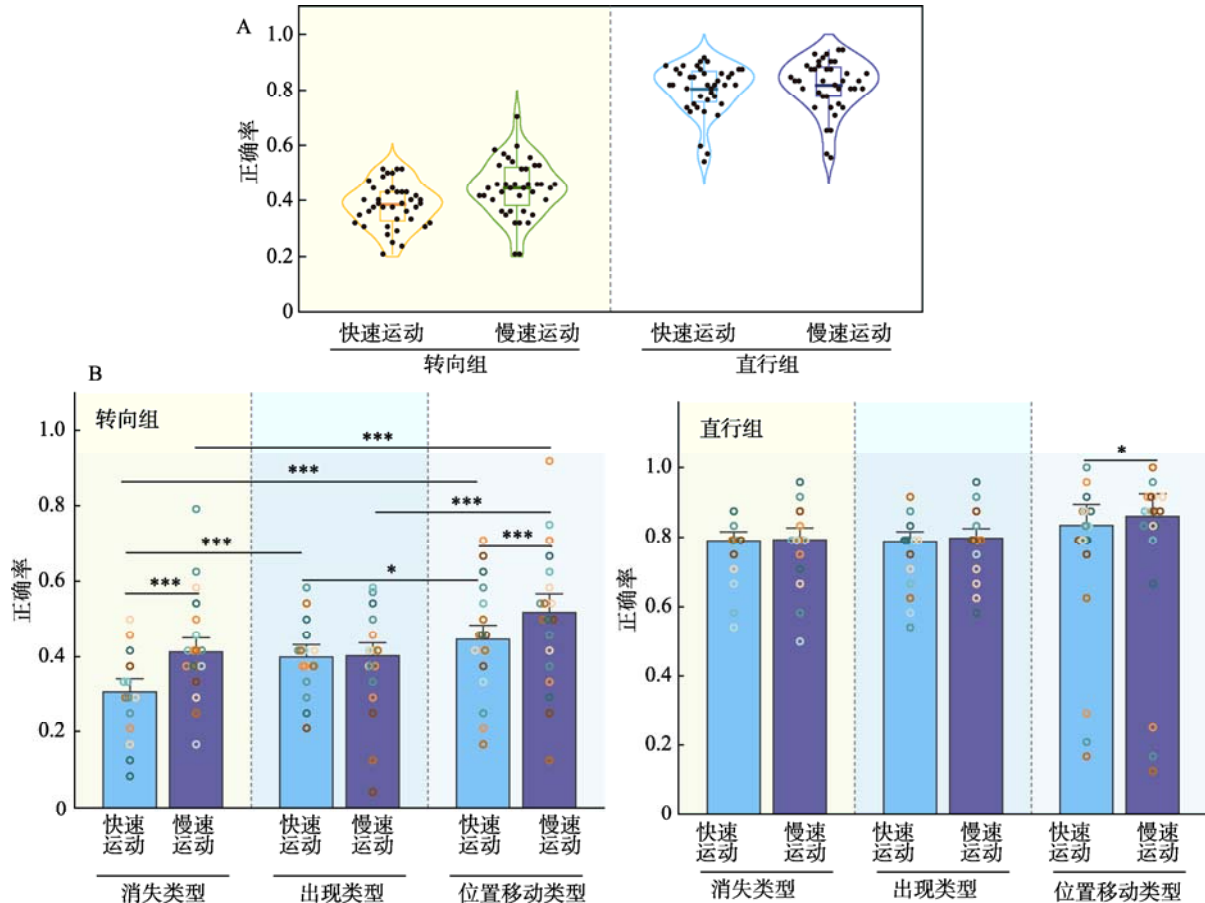


图 5 A: 不同运动路线下运动速度对变化探测正确率的箱型-小提琴图。B: 转向组与直行组中, 运动速度和变化类型对变化探测正确率的影响。注: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, 下同。

运动路线与变化类型的交互效应显著, $F(2, 78) = 4.35, p = 0.025, \eta_p^2 = 0.10$ 。进一步简单效应分析结果显示, 当转向运动时, 消失($M = 0.36$)、出现($M = 0.40$)和位置移动($M = 0.48$)的正确率依次升高并存在显著差异, $F(2, 78) = 21.77, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.36$; 当直行运动时, 变化类型对变化探测正确率的影响不具有显著差异, $F(2, 78) = 2.86, p = 0.091$ 。

运动速度与变化类型的交互效应显著, $F(2, 78) = 4.52, p = 0.014, \eta_p^2 = 0.10$ 。进一步简单效应分析结果显示, 当快速运动时, 消失($M = 0.55$)、出现($M = 0.59$)和位置移动($M = 0.64$)的正确率依次升高并存在显著差异, $F(2, 78) = 9.21, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.19$; 当慢速运动时, 变化类型对变化探测正确率的影响差异显著, $F(2, 78) = 10.47, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.21$, 消失($M = 0.60$)和出现($M = 0.60$)的正确率显著低于位置移动($M = 0.69$), 消失与出现类型的正确率之间无显著差异。

运动速度、运动路线与变化类型的三因素交互效应显著(见图 5B), $F(2, 78) = 5.25, p = 0.007, \eta_p^2 = 0.12$ 。进一步简单两因素交互效应的结果显示, 在

不同运动速度水平下验证运动路线与变化类型的交互效应, 在快速运动条件下, 运动路线与变化类型的交互效应显著, $F(2, 78) = 10.03, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.20$; 在慢速运动条件下, 运动路线与变化类型的交互效应不显著, $F(2, 78) = 1.42, p = 0.249$ 。此外进一步简单单独效应的结果表明, 在快速运动的前提下, 当转向运动时, 消失($M = 0.31$)、出现($M = 0.40$)和位置移动($M = 0.45$)的正确率依次升高并存在显著差异, $F(2, 78) = 20.01, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.34$; 当直行运动时, 变化类型对变化探测正确率的影响不具有显著差异, $F(2, 78) = 1.87, p = 0.173$ 。

(2) 反应时

对变化探测正确时的反应时进行统计分析, 重复测量方差分析结果显示, 运动路线的主效应显著, $F(1, 39) = 49.20, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.56$, 转向组($M = 1615.31$)的反应时显著高于直行组($M = 1407.78$)。变化类型的主效应显著, $F(2, 78) = 13.03, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.25$, 消失($M = 1578.21$)的反应时显著高于出现($M = 1485.46$)和位置移动($M = 1470.97$), 出现与位置移动类型的反应时之间无显著差异。运动速度

的主效应不显著, $F(1, 39) = 1.92, p = 0.174$ 。

运动路线与变化类型的交互效应显著, $F(2, 78) = 4.56, p = 0.020, \eta_p^2 = 0.11$ 。进一步简单效应分析的结果显示, 当转向运动时, 变化类型对正确变化探测反应时的影响差异显著, $F(2, 78) = 10.17, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.21$, 消失($M = 1711.80$)的反应时显著高于出现($M = 1592.97$)和位置移动($M = 1541.16$), 出现与位置移动类型的反应时之间无显著差异; 当直行运动时, 变化类型对正确变化探测反应时的影响差异显著, $F(2, 78) = 5.40, p = 0.006, \eta_p^2 = 0.12$, 消失($M = 1444.61$)的反应时显著高于出现($M = 1377.96$), 边缘显著高于位置移动($M = 1400.78$), 出现与位置移动类型的反应时之间无显著差异。

运动速度与运动路线的交互效应不显著(见图 6A), $F(1, 39) = 0.003, p = 0.960$ 。运动速度与变化类型的交互效应不显著, $F(2, 78) = 0.08, p = 0.926$ 。这表明运动速度对运动方向瞬态诱导变化盲视的反应时的影响在不同运动路线和变化类型条件下无显著差异。运动速度、运动路线与变化类型的三因素交互效应不显著(见图 6B), $F(2, 78) = 0.18, p = 0.838$ 。

2.3 讨论

实验 1 结果显示, 运动速度加剧了变化盲视, 快速运动条件下的变化探测正确率显著低于慢速运动条件, 但反应时指标无显著差异。运动路线主效应显著, 转向运动不仅正确率显著低于直行运动, 反应时也更长。这表明运动方向瞬态可有效诱导变化盲视(Yao et al., 2019)。值得注意的是, 消失类型正确率最低、反应时最长, 出现类型居中, 位置移动类型整体绩效最优, 验证了实验预期。

此外, 在变化探测正确率上, 在快速运动条件下, 转向组中不同变化类型的正确率差异显著, 而直行组无此差异; 慢速条件下则未出现这样的结果。进一步地, 转向组在快速运动时, 消失、出现和位置移动类型的正确率依次显著升高, 反应时则呈下降趋势。说明消失类型最易受到干扰, 运动速度作为视觉瞬态信号加剧了转向运动条件下的注意资源竞争, 进而差异化影响不同变化类型的探测绩效。该结果支持假设 1。

然而, 实验 1 中不同运动速度导致原始场景呈现时间存在差异, 慢速条件可能通过增强记忆表征精度和稳定性而影响变化探测(Bays et al., 2009;

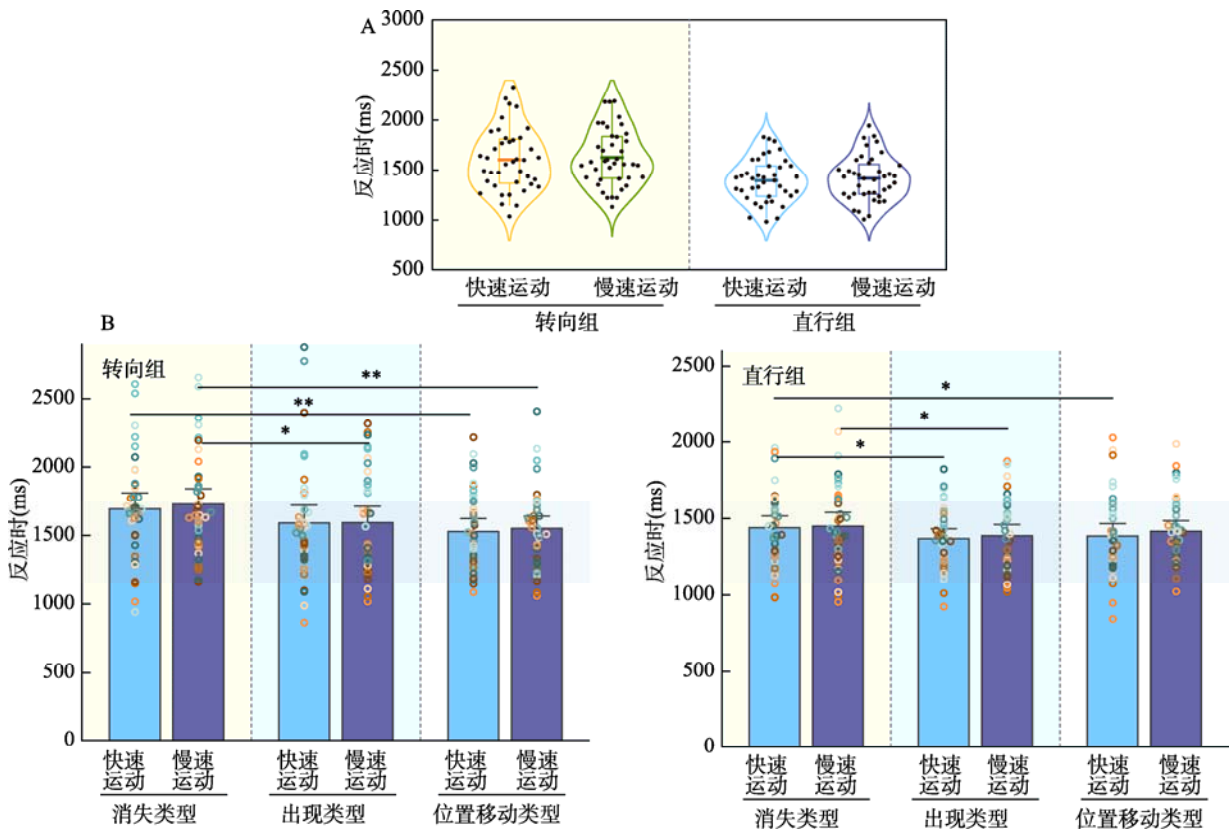


图 6 A: 不同运动路线下运动速度对变化探测正确时的反应时的箱型-小提琴图。B: 转向组与直行组中, 运动速度和变化类型对变化探测正确时的反应时的影响。

Gao et al., 2013)。因此, 实验 2 旨在考察记忆表征对转向盲视的影响。

3 实验 2: 运动时间对转向盲视的影响

实验 2 控制运动速度, 将交通场景设定两种运动时间(长/短), 沿两种运动路线(转向组/直行组), 采用三种变化类型(消失/出现/位置移动), 旨在探讨原始场景呈现时长是否通过增加记忆表征的编码精度, 进而缓解变化盲视(假设 2)。

3.1 方法

3.1.1 被试

采用 G*Power 3.1 软件计算样本量, 预期的统计检验力为 0.95, 中等效应 0.25, α 水平为 0.05, 计算得到样本量为 18 人。实验 2 招募 30 名大学生被试, 其中男性 14 名(46.67%), 年龄 19.90 ± 2.34 岁。实验 2 的被试未参加过实验 1。

3.1.2 实验材料

同实验 1。

3.1.3 实验设计

采用 2 (运动时间: 长、短) \times 2 (运动路线: 转向组、直行组) \times 3 (变化类型: 消失、出现、位置移动) 的被试内设计。实验 2 对图像运动速度进行控制, 采用快速运动 $19.14^\circ/\text{s}$, 图像垂直移动距离与实验 1 一致, 水平移动距离的计算基于实验 1 水平阶段不同运动速度所产生的时间 \times 快速运动条件。计算得到图像长运动时间的水平移动距离为 $19.14^\circ/\text{s} \times 21.3345^\circ / 13.92^\circ/\text{s} \approx 29.33^\circ$ 。自变量为运动时间(变化前)、运动路线和变化类型, 其中图像长运动时间的水平移动距离约为 29.33° , 短运动时间约为 21.34° 。因变量为变化探测的正确率和反应时。

3.1.4 实验程序

实验 2 程序与实验 1 基本一致。主试在指导语中告知被试, 实验过程中图像将保持一致的运动速度, 图像会在转向瞬间或直行中点发生瞬变, 但不同试次中变化前图像的运动时间存在差异, 被试需保持视线追踪运动图像, 并对图中的变化区域做出相应按键反应。实验 2 图像均控制为快速运动 $19.14^\circ/\text{s}$, 转向组图像从屏幕左侧开始先向屏幕中心运动约 29.33° 或 21.34° , 然后立即向下转向 90° 后继续运动约 6.34° , 转向瞬间图像发生瞬时变化(见图 7); 直行组图像只沿水平轴运动, 先向右运动约 14.67° 或 10.67° 并在屏幕中线处瞬间发生变化, 然后继续向右运动相同距离。正式实验分为 2 个组块, 共 288 个试次, 组块内试次随机呈现。完成每个组块后, 被试可休息 2 分钟, 实验总长约 0.5 小时。

3.2 结果与分析

(1) 正确率

对变化探测正确率进行统计分析, 重复测量方差分析结果显示, 运动时间的主效应显著, $F(1, 29) = 4.36, p = 0.046, \eta_p^2 = 0.13$, 长运动时间($M = 0.58$)的正确率显著高于短运动时间($M = 0.57$)。运动路线的主效应显著, $F(1, 29) = 802.48, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.97$, 转向组($M = 0.35$)的正确率显著低于直行组($M = 0.80$)。变化类型的主效应显著, $F(2, 58) = 49.48, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.63$, 消失($M = 0.52$)、出现($M = 0.57$)和位置移动($M = 0.63$)的正确率依次升高并存在显著差异。贝叶斯三因素重复测量方差分析结果显示当前实验数据有极强的证据支持存在运动路线($BF_{\text{incl}} = 6.899 \times 10^{+19}$)和变化类型($BF_{\text{incl}} = 2.587 \times 10^{+10}$)的主效应, 有较弱的证据支持不存在运动时间($BF_{\text{incl}} = 0.704$)的主效应。

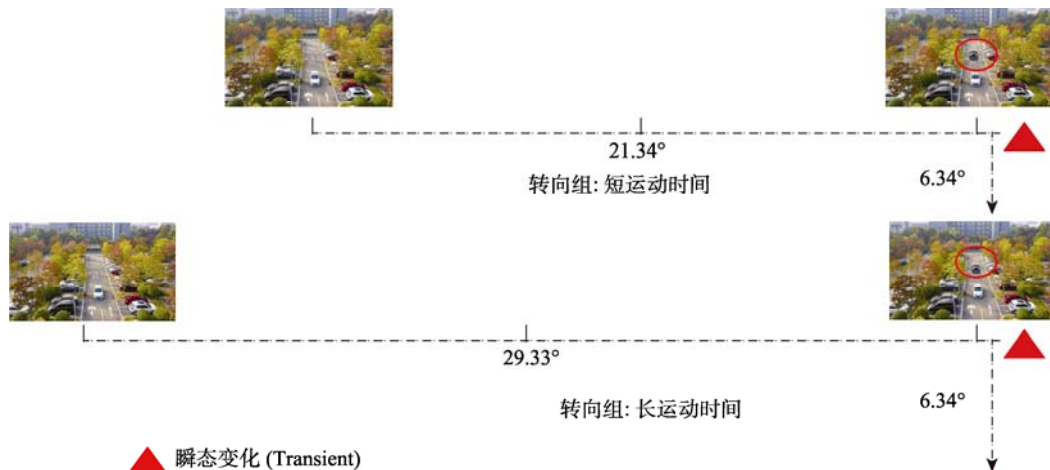


图 7 实验 2 转向组短运动时间/长运动时间运动路线示意图

运动路线与变化类型的交互效应显著, $F(2, 58) = 3.93, p = 0.025, \eta_p^2 = 0.12$ 。进一步简单效应分析结果显示, 当转向运动时, 变化类型对变化探测正确率的影响差异显著, $F(2, 58) = 23.39, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.45$, 消失($M = 0.28$)的正确率显著低于出现($M = 0.37$)和位置移动($M = 0.40$), 出现与位置移动类型的正确率之间无显著差异; 当直行运动时, 变化类型对变化探测正确率的影响差异显著, $F(2, 58) = 28.40, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.50$, 消失($M = 0.76$)和出现($M = 0.78$)的正确率显著低于位置移动($M = 0.86$), 消失与出现类型的正确率之间无显著差异。

运动时间与运动路线的交互效应不显著(见图 8A), $F(1, 29) = 1.61, p = 0.215$ 。运动时间与变化类型的交互效应不显著, $F(2, 58) = 0.10, p = 0.902$ 。这表明运动时间对运动方向瞬态诱导变化盲视的影响在不同运动路线和变化类型条件下无显著差异。

运动时间、运动路线与变化类型的三因素交互效应显著(见图 8B), $F(2, 58) = 3.28, p = 0.045, \eta_p^2 = 0.10$ 。进一步简单两因素交互效应的结果显示, 在不同运动时间水平下验证运动路线与变化类型的交互效应, 在长运动时间条件下, 运动路线与变化

类型的交互效应显著, $F(2, 58) = 3.35, p = 0.042, \eta_p^2 = 0.10$; 在短运动时间条件下, 运动路线与变化类型的交互效应显著, $F(2, 58) = 4.06, p = 0.022, \eta_p^2 = 0.12$ 。此外进一步简单单独效应的结果表明, 在长运动时间的前提下, 当转向运动时, 变化类型对变化探测正确率的影响差异显著, $F(2, 58) = 11.16, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.28$, 消失($M = 0.31$)的正确率显著低于出现($M = 0.38$)和位置移动($M = 0.40$), 出现与位置移动类型的正确率之间无显著差异; 当直行运动时, 变化类型对变化探测正确率的影响差异显著, $F(2, 58) = 27.37, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.49$, 消失($M = 0.75$)和出现($M = 0.78$)的正确率显著低于位置移动($M = 0.88$), 消失与出现类型的正确率之间无显著差异。在短运动时间的前提下, 当转向运动时, 消失($M = 0.26$)、出现($M = 0.35$)和位置移动($M = 0.40$)的正确率依次升高并存在显著差异, $F(2, 58) = 19.32, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.40$; 当直行运动时, 变化类型对变化探测正确率的影响差异显著, $F(2, 58) = 12.99, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.31$, 消失($M = 0.76$)和出现($M = 0.78$)的正确率显著低于位置移动($M = 0.85$), 消失与出现类型的正确率之间无显著差异。

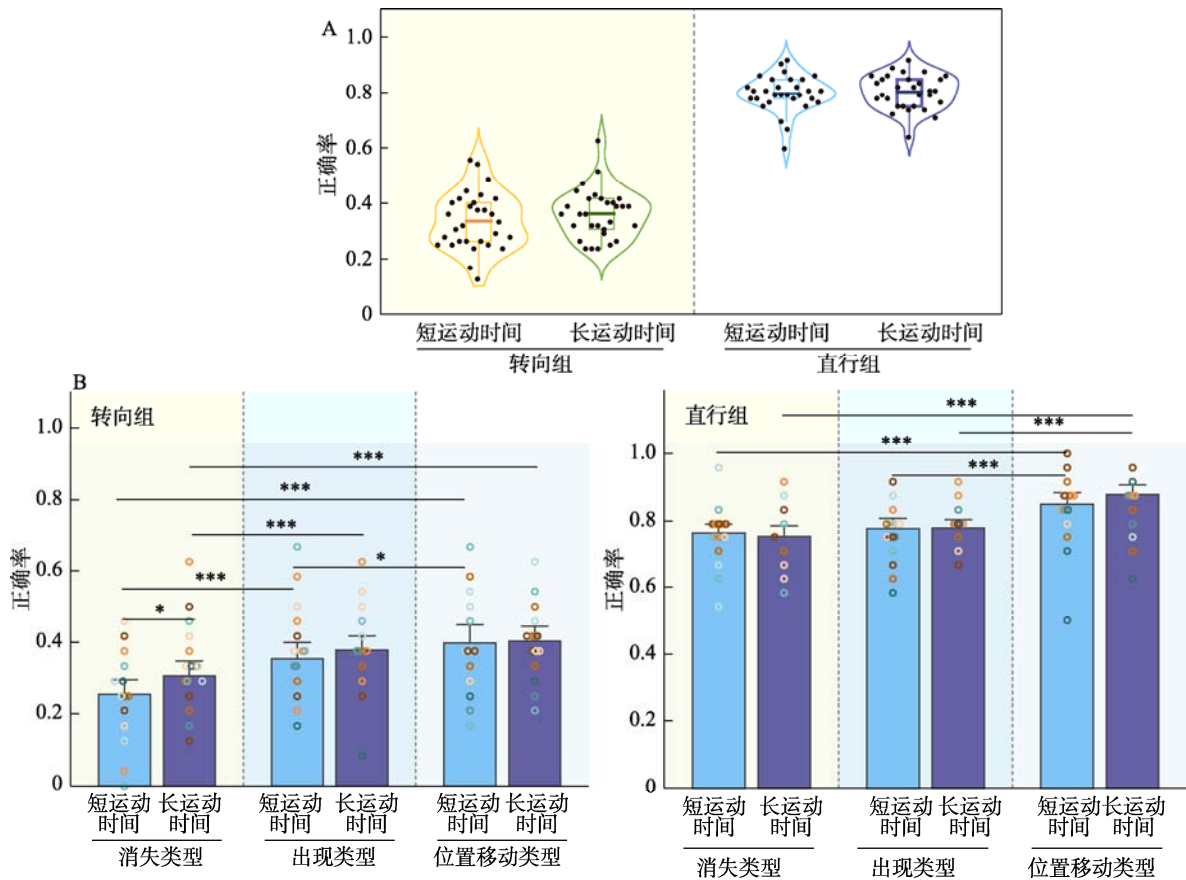


图 8 A: 不同运动路线下运动时间对变化探测正确率的箱型-小提琴图。B: 转向组与直行组中, 运动时间和变化类型对变化探测正确率的影响。

(2) 反应时

对变化探测正确时的反应时进行统计分析, 重复测量方差分析结果显示, 运动时间的主效应显著, $F(1, 29) = 8.09, p = 0.008, \eta_p^2 = 0.22$, 长运动时间 ($M = 1642.98$) 的反应时显著高于短运动时间 ($M = 1583.94$)。运动路线的主效应显著, $F(1, 29) = 80.97, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.74$, 转向组 ($M = 1770.13$) 的反应时显著高于直行组 ($M = 1456.79$)。变化类型的主效应不显著, $F(2, 58) = 1.51, p = 0.233$ 。

运动时间与运动路线的交互效应不显著(见图 9A), $F(1, 29) = 0.91, p = 0.349$ 。运动路线与变化类型的交互效应不显著, $F(1, 29) = 2.03, p = 0.156$ 。运动时间与变化类型的交互效应不显著, $F(2, 58) = 2.14, p = 0.140$ 。这表明运动时间对运动方向瞬态诱导变化盲视的反应时的影响在不同运动路线和变化类型条件下无显著差异。运动时间、运动路线与变化类型的三因素交互效应不显著(见图 9B), $F(2, 58) = 2.24, p = 0.130$ 。

3.3 讨论

实验 2 结果显示, 长运动时间条件下的变化探测正确率显著高于短运动时间条件, 但伴随反应时

延长, 表明更长的视觉加工时间有助于缓解变化盲视, 但需付出更多时间成本。基于 Hollingworth (2003) 的观点, 记忆阵列的呈现时长与视觉信息的编码完整性和记忆表征精度密切相关(Bays et al., 2009; Gao et al., 2013)。因此, 实验结果基本支持假设 2, 即延长原始场景的运动时间可通过提升记忆表征编码精度来改善变化探测绩效。

消失、出现和位置移动类型的正确率依次显著升高, 反应时则无显著差异, 再次验证不同类型变化在加工机制上的差异。值得注意的是, 尽管方差分析显示不同运动时间条件下的变化探测正确率存在显著差异, 但数值差距较小, 贝叶斯重复测量方差分析进一步提示数据为不存在运动时间主效应提供了较弱证据, 表明了记忆表征虽对变化探测存在一定影响, 但其贡献相对有限。此外, 正确率结果也显示, 转向组在快速运动时, 消失类型在长运动时间条件下的正确率显著提升, 而其他变化类型并未表现出显著差异。

鉴于实验 1 与实验 2 分别考察了注意与记忆表征对转向盲视的影响, 且二者可能受先验经验及期望的影响(Roth et al., 2024)。因此, 实验 3 旨在探究

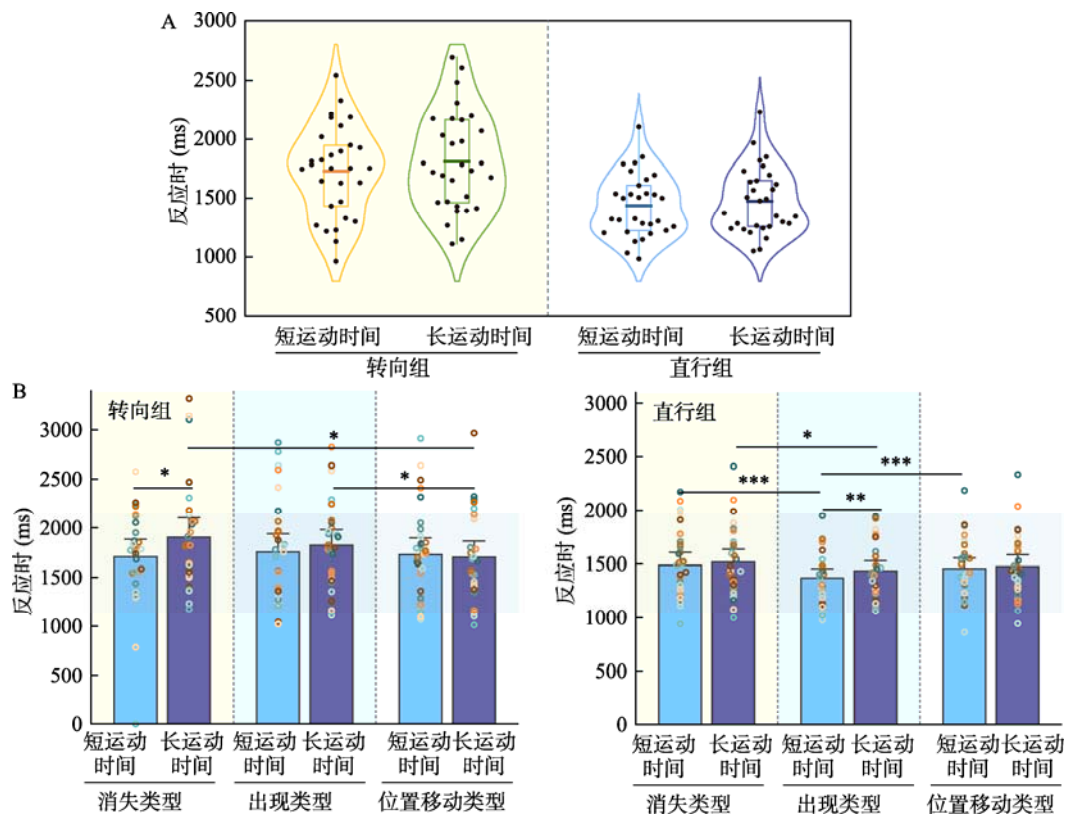


图 9 A: 不同运动路线下运动时间对变化探测正确时的反应时的箱型-小提琴图。B: 转向组与直行组中, 运动时间和变化类型对变化探测正确时的反应时的影响。

期望水平对转向盲视的影响。

4 实验 3: 期望水平对转向盲视的影响

实验 3 控制运动速度和运动时间, 将交通场景设定沿三种运动路线(高期望转向组/低期望转向组/直行组), 采用三种变化类型(消失/出现/位置移动), 旨在考察个体是否基于先验预期内源地调节注意资源分配并优化记忆表征质量, 进而提高变化探测绩效(假设 3)。

4.1 方法

4.1.1 被试

采用 G*Power 3.1 软件计算样本量, 预期的统计检验力为 0.95, 中等效应 0.25, α 水平为 0.05, 计算得到样本值为 22 人。实验 3 招募 36 名大学生被试, 其中男性 18 名(50%), 年龄 19.64 ± 2.34 岁。实验 3 被试仅参加本实验。

4.1.2 实验材料

同实验 1。

4.1.3 实验设计

采用 3(运动路线: 高期望转向组、低期望转向组、直行组) \times 3(变化类型: 消失、出现、位置移动) 的被试内设计。实验 3 对图像运动速度和运动时长进行控制, 采用快速运动 $19.14^\circ/\text{s}$, 图像垂直移动距离与实验 1 一致。自变量为图像期望水平下的运动路线和变化类型, 图像整体沿“+”形轨迹运动, 其中高期望水平转向运动时有 70.83% 的试次向下(向上)转向, 低期望水平转向运动时有 29.17% 的试次向下(向上)转向, 直行组只做水平运动。因变量为变化探测的正确率和反应时。

4.1.4 实验程序

实验 3 程序与实验 1 基本一致。主试在指导语中告知被试, 实验过程中图像将保持一致的运动速度, 当图像在接近屏幕中线处时可能出现三种运动轨迹: 向上转向、向下转向或保持直行继续移动。图像会在转向瞬间或直行中点发生瞬变, 被试需保持视线追踪运动图像, 并对图像中的变化区域做出相应按键反应。被试需要通过练习试次熟悉图像运动转向规律, 确认其完成所有练习试次并理解实验流程后进入正式实验阶段。练习组块有 45 个训练试次, 练习任务与正式实验流程一致。实验 3 图像均控制为快速运动 $19.14^\circ/\text{s}$, 图像从屏幕左侧开始先向屏幕中心运动约 10.67° , 然后高/低期望转向组图像以不同的概率分布向上或向下转向 90° 后继续运动约 6.34° , 转向瞬间图像发生瞬时变化; 直行组图像只沿水平轴运动, 先向右运动 10.67° 并在屏幕中线处瞬间发生变化, 然后继续向右运动相同距离(见图 10)。正式实验分为 2 个组块, 共 432 个试次, 直行组均衡分布在两个组块中。完成每个组块后, 被试可休息 5 分钟, 实验总长约 1 小时。

4.2 结果与分析

(1) 正确率

对变化探测正确率进行统计分析, 重复测量方差分析结果显示, 运动路线的主效应显著, $F(2, 70) = 698.37, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.95$, 低期望转向($M = 0.37$)、高期望转向($M = 0.39$)和直行组($M = 0.81$)的正确率依次升高并存在显著差异(见图 11A)。变化类型的主效应显著, $F(2, 70) = 64.24, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.65$, 消失($M = 0.44$)、出现($M = 0.54$)和位置移动($M = 0.59$)的正确率依次升高并具有显著差异。贝

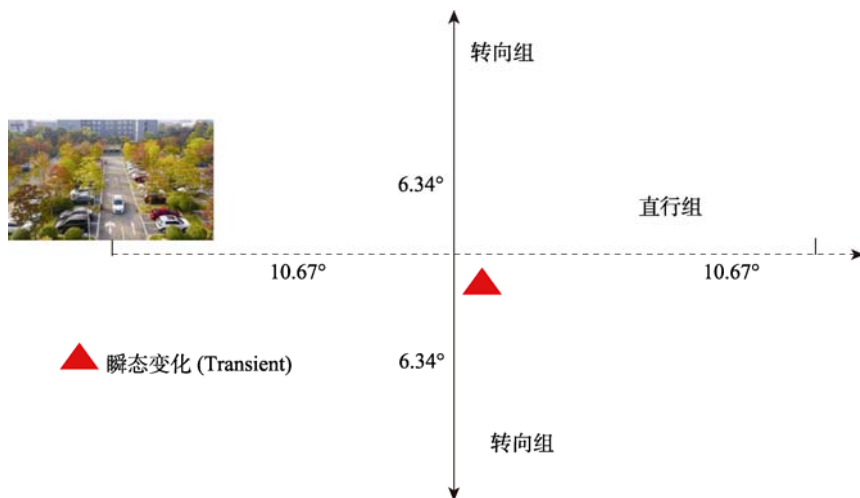


图 10 实验 3 运动路线示意图

叶斯重复测量方差分析结果显示当前实验数据有极强的证据支持存在运动路线($BF_{incl} = 2.025 \times 10^{+43}$)和变化类型($1.408 \times 10^{+13}$)的主效应。

运动路线和变化类型的交互效应显著(见图 11B), $F(4, 140) = 16.86, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.33$ 。进一步简单效应分析的结果显示, 当低期望转向运动时, 变化类型对变化探测正确率的影响差异显著, $F(2, 70) = 39.92, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.53$, 消失($M = 0.25$)的正确率显著低于出现($M = 0.44$)和位置移动($M = 0.42$), 出现与位置移动类型的正确率之间无显著差异; 当高期望转向运动时, 消失($M = 0.30$)、出现($M = 0.38$)和位置移动($M = 0.49$)的正确率依次升高并存在显著差异, $F(2, 70) = 67.16, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.66$; 当直行运动时, 变化类型对变化探测正确率的影响差异显著, $F(2, 70) = 13.56, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.28$, 消失($M = 0.77$)和出现($M = 0.80$)的正确率显著低于位置移动($M = 0.86$), 消失与出现类型的正确率之间无显著差异。

(2) 反应时

对变化探测正确时的反应时进行统计分析, 重复测量方差分析结果显示, 运动路线的主效应显著,

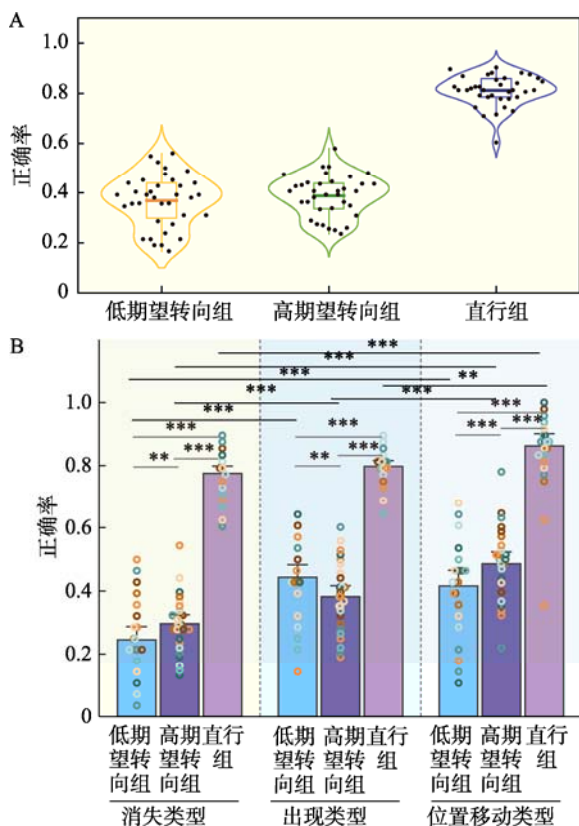


图 11 A: 不同运动路线下变化探测正确率的箱型-小提琴图。B: 运动路线和变化类型对变化探测正确率的影响。

$F(2, 70) = 40.23, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.54$, 低期望转向($M = 1625.59$)和高期望转向($M = 1575.96$)的反应时显著高于直行组($M = 1337.38$), 低期望转向的反应时高于高期望转向的趋势达到了边缘显著性水平(见图 12A)。变化类型的主效应显著, $F(2, 70) = 24.94, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.42$, 消失($M = 1631.92$)的反应时显著高于出现($M = 1451.90$)和位置移动($M = 1455.11$), 出现与位置移动类型的反应时之间无显著差异。

运动路线和变化类型的交互效应显著(见图 12B), $F(4, 140) = 6.03, p = 0.003, \eta_p^2 = 0.15$ 。进一步简单效应分析的结果显示, 当低期望转向运动时, 变化类型对正确变化探测反应时的影响差异显著, $F(2, 70) = 9.89, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.22$, 消失($M = 1810.50$)的反应时显著高于出现($M = 1543.68$)和位置移动($M = 1522.59$), 出现与位置移动类型的反应时之间无显著差异; 当高期望转向运动时, 变化类型对正确变化探测反应时的影响差异显著, $F(2, 70) = 35.06, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.50$, 消失($M = 1727.16$)的反应时显著高于出现($M = 1510.86$)和位置移动

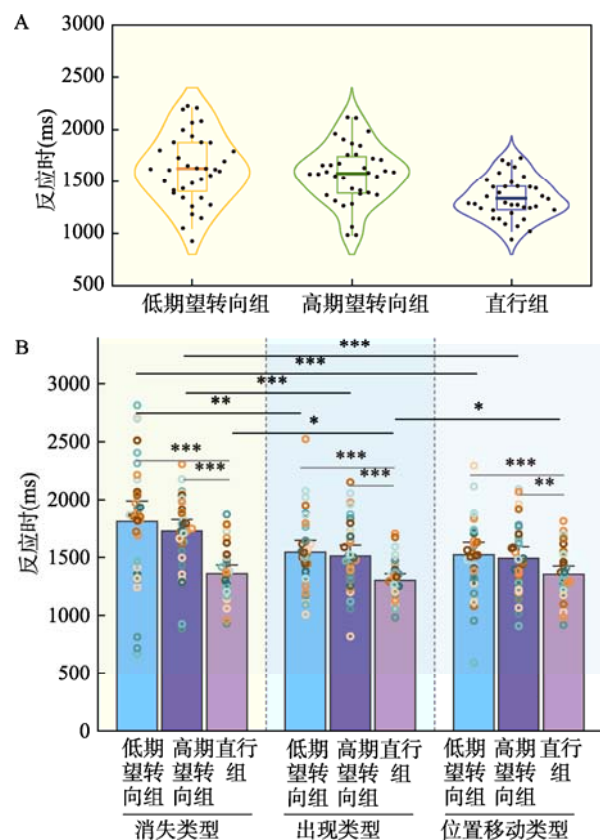


图 12 A: 不同运动路线下变化探测正确时的反应时的箱型-小提琴图。B: 运动路线和变化类型对变化探测正确时的反应时的影响。

($M = 1489.87$), 出现与位置移动类型的反应时之间无显著差异; 当直行运动时, 变化类型对正确变化探测反应时的影响差异显著, $F(2, 70) = 5.00$, $p = 0.009$, $\eta_p^2 = 0.13$, 出现($M = 1301.16$)的反应时显著低于消失($M = 1358.10$)和位置移动($M = 1352.88$), 消失与位置移动类型的反应时之间无显著差异。

4.3 讨论

实验3结果显示, 高期望转向组的变化探测正确率显著高于低期望转向组, 且反应时更短。由于实验3控制了图像运动速度和运动时间, 排除外源性注意瞬态强度和表征编码时长的混淆, 因此观测到的绩效差异可能主要源于内源性预期的调节作用, 基本支持了假设3。此外, 消失类型正确率最低、反应时最长, 仍具有较出现类型和位置移动类型更显著的变化盲视。

更重要的是, 与低期望转向组条件相比, 高期望转向组条件下消失类型与位置移动类型的正确率有显著提升, 而出现类型则具有相反的表现。这说明期望水平对运动图像变化探测的调节作用可能依赖于具体任务情境, 其中, 出现类型可能因内源性预期调控与外源性注意捕获优势之间的动态竞争, 导致其未能如预期从概率线索中获益(Theeuwes, 2010); 相比之下, 消失类型和位置移动类型可能由于更依赖任务情境中的注意调控和记忆表征质量(Brockmole & Henderson, 2005), 因而在高期望条件下表现出更好的变化探测绩效。

5 总讨论

本研究采用运动方向瞬态诱导变化盲视的实验方法(Yao et al., 2019), 将存在消失、出现和位置移动三类变化的俯视交通场景图像作为实验材料, 分别要求被试在不同运动速度(实验1)、运动时间(实验2)和期望水平(实验3)条件下进行变化探测, 通过3个实验考察注意和记忆表征对交通场景转向中变化盲视的影响。实验1操纵图像转向/直行时的运动速度快慢, 在转向瞬间或直行中点时引入瞬时目标变化; 实验2延长场景变化前的水平移动距离来操纵运动时间长短; 实验3则采用多条随机转向路径的概率分布来操纵期望水平高低。研究发现, 运动方向突变相较于单独的连续运动能更有效地掩蔽目标变化, 提升运动速度通过加剧转向瞬间的注意资源竞争损害变化探测; 延长运动时间(即增加编码时长)通过有限影响记忆表征的编码精度而缓解变化盲视; 提高期望水平可能动态优化内源性

预期对注意分配和记忆表征构建的调节作用, 进一步提升个体对目标变化的探测效率。

5.1 转向运动中运动速度加剧变化盲视: 注意资源的竞争

本研究首要验证了运动速度与运动方向的交互效应对变化盲视的影响, 结果显示, 仅在运动方向发生突变的转向条件下, 快速运动才会显著加剧变化盲视, 而直行条件下的绩效在不同速度间保持相对稳定, 结果支持假设1。这表明运动速度并非独立地影响注意, 而是需要结合运动方向的瞬时变化来共同影响变化探测。在本研究中, 运动方向的突变本身即构成一个内生于任务场景的、掩蔽目标变化的分心信号(Rensink, 2002; Yao et al., 2019)。根据注意瞬脱机制(Raymond et al., 1992)与双阶段加工模型(Chun & Potter, 1995)所揭示的时序邻近目标加工抑制机制, 运动速度的提升如同“催化剂”般放大了时间维度上重叠的运动转向信号与目标变化探测信号间的注意冲突, 进一步增强了转向瞬间的注意加工需求, 形成更激烈的注意资源竞争(Tombu & Seiffert, 2008), 进而显著损害变化探测绩效。这一发现拓展了注意-表征理论观点(Simons & Rensink, 2005), 也深化了对Tombu和Seiffert(2008)研究的理解——单纯提高运动速度(如直行加速)并不足以符合运动信号强度抑制或抢占注意资源的假设(Abrams & Christ, 2003; Suchow & Alvarez, 2011; Wallisch et al., 2023), 其干扰效应需在特定的任务冲突背景下(如运动方向突变)才会显现。

更为重要的是, 上述注意资源竞争机制进一步得到了实验1变化类型结果的支持: 直行条件下未发现变化类型间的显著绩效差异, 而转向条件下则存在显著差异。在转向运动时, 出现类型绩效未受运动速度的显著影响, 这种稳定性优势可能源于视觉系统对新客体出现的加工优先性, 出现类型较消失类型更具注意捕获优先权和反应时优势(Donaldson & Yamamoto, 2016; Franconeri & Simons, 2003; 沈模卫等, 2010), 其加工自动化程度最高, 能够在一定程度上“抵抗”此类干扰。消失类型绩效受损最为严重, 在快速转向运动条件下, 其所依赖的对任务背景持续监控和检索比较的机制(Brockmole & Henderson, 2005; Cole & Kuhn, 2010; Van Pelt et al., 2025)可能在更激烈的注意资源竞争中稳定性下降, 因而显著受到运动速度影响。而位置移动类型在两种速度条件下均保持最优绩效, 但其正确率仍随速度增加而显著下降, 本研

究推测, 尽管该类型可能得益于视觉空间工作记忆对空间位置信息的有效存储, 或由位置移动引发的显著视觉场景变化量而具备优势(Martens, 2011; Murphy & Andalis, 2013; Türkan et al., 2016), 但其较大的变化幅度也可能削弱信息加工的稳定性, 容易受到运动速度引发的注意干扰, 因此在快速运动条件下仍会表现出绩效的下降。

5.2 转向运动中运动时间缓解变化盲视: 记忆表征的作用

实验 2 通过系统操纵图像变化前的运动时间, 考察了记忆表征对交通场景变化盲视的影响。结果显示, 延长个体对原始场景的视觉加工时长, 变化探测正确率相应提升。该结果基本支持了假设 2。这表明在控制运动速度的前提下, 更长的视觉加工时间可能增强编码完整性和记忆表征精度(Bays et al., 2009; Gao et al., 2013; Martens, 2011), 从而在一定程度上缓解变化盲视。

然而, 值得注意的是, 尽管运动时间的主效应在统计学上显著, 但正确率实际数值差异较小。具体而言, 当转向组(变化前)运动时间从约 1115ms 延长至 1532ms 时, 正确率仅从约 33.67% 提升至 36.33%。且贝叶斯重复测量方差分析提供较弱证据支持不存在运动时间主效应, 这可能提示其实际解释力相对有限, 作用强度较低或不确定性较高。这一结果和以往研究一致。例如, Beck 等(2007)基于眼动研究的变化探测任务发现, 记忆编码失败仅能解释极小比例的变化探测失败事件, 并非其主要成因; Wood 和 Simons (2019)的研究发现, 将意外物体呈现时间减少 50%~70% 后, 注意比例仅受适度影响(5 s vs. 1.5 s 差异 = 12.7%), 即视觉注意在早期的快速加工阶段(最初 1.5 s)后趋于稳定, 延长呈现时间带来的增益逐渐衰减。基于这些发现, 本研究推论, 在交通场景转向任务中, 记忆表征精度的变化范围可能受表征系统固有属性限制, 当表征系统存储的信息接近其容量阈值时, 延长编码时间所带来的绩效增益也相对受限(Wood & Simons, 2019; Zhang & Luck, 2008)。

此外, 反应时的显著增加为理解记忆表征的作用机制提供了另一个视角。研究结果显示, 延长运动时间虽然提升了正确率, 但也伴随了更长的反应时。对这一结果的可能解释是, 更精细、更丰富的记忆表征可能扩展了视觉搜索和特征比较的心理空间范围, 这要求观察者在变化探测时执行更复杂耗时的检索与比较过程, 从而增加了检测匹配所需

的反应时(Gilchrist & Cowan, 2014)。实验 2 的发现为理解实验 1 结果提供了重要补充, 即快速运动导致的交通场景变化盲视加剧, 可能同时源于两类机制: 其一, 如实验 1 所揭示的, 运动速度可能加剧了转向瞬间的注意资源竞争; 其二, 快速运动缩短了有效编码时间, 可能导致了记忆表征质量的下降。

5.3 转向运动中期望降低变化盲视: 内源性预期的调节效应

低期望转向组被试的变化盲视程度显著高于高期望转向组, 当变化更可能发生在预期方向时(高期望条件), 处于准备状态的个体能更有效地处理转向瞬间并发的刺激变化, 调节外源性运动信号引发的注意干扰, 从而表现出更高的变化探测正确率和更短的反应时。该结果基本支持了假设 3。根据变化概率效应(Beck et al., 2007), 本研究推论, 个体可能基于交通场景图像转向方向的概率分布形成空间预期, 自上而下地将注意资源优先分配至高概率变化区域(Roth et al., 2024; Steelman et al., 2013; Zuanazzi & Noppeney, 2020), 并通过增强目标区域的编码优先性和表征精度(Awh & Vogel, 2008; Cohen-Dallal et al., 2023), 进而提升变化探测绩效。

对不同变化类型的分析进一步揭示了期望作用的复杂性。对于消失类型和位置移动类型, 这两类变化不具有加工优先性, 更易受到外源性干扰增强(实验 1)和内源性调节作用削弱(实验 3)的具体任务情境的影响。有趣的是, 出现类型在高期望转向组的正确率反而下降, 表现出与预期相反的趋势。本研究推测, 由于出现类型本身具有自下而上的注意捕获优势(Brockmole & Henderson, 2005; Donaldson & Yamamoto, 2016), 在高期望转向组中, 当注意被强烈地、持续地引导至预期方向, 这种内源性的反应偏向可能在一定程度上抑制了新客体出现的加工效率(Theeuwes, 2010; Yantis & Jonides, 1984), 即内源性预期导向与外源性注意捕获之间存在一种动态的竞争关系。而在低期望转向组中, 内源性引导较弱, 观察者更多地依赖即时刺激驱动加工, 从而使出现类型的注意捕获优势得以发挥更大效能。

综上分析可知, 交通场景转向中的变化盲视是注意资源竞争与记忆表征有限性共同作用的结果, 而期望水平可能内源地调节注意分配和记忆表征的有效构建, 以动态优化变化探测效率。研究结果支持并拓展了变化盲视的注意-表征理论

(Simons & Rensink, 2005)。

5.4 不足与展望

与以往多存在视觉中断或掩蔽的变化盲视研究不同, 本研究采用交通场景图像作为实验刺激, 探索运动转向信号诱导变化盲视的影响机制。然而, 本研究仍存在不足。第一, 实验刺激的目标变化、观测视角与真实驾驶情境存在差异, 难以直接解释交通驾驶中的变化盲视。未来可结合模拟驾驶器与增强现实技术, 在三维环境中深化转向盲视机制研究。第二, 实验3参考先前研究采用事件概率分布来操纵期望(Berggren & Eimer, 2019), 尽管被试的反馈可能表现出内隐学习的潜在影响, 但缺乏正式操纵检验确认被试感知到试次比例差异。后续需引入操纵检验和系统反馈调查。第三, 未引入眼动指标以考察场景路径划分的影响, 仅作为对运动场景转向盲视发生机制的探索性研究。未来研究仍需考虑电生理指标以更全面揭示转向中的变化盲视机制。

6 结论

本研究采用运动方向瞬态诱导变化盲视的实验方法, 使用不同变化类型的交通场景图像作为材料, 通过3个实验探究了注意和记忆表征对交通场景转向中变化盲视的影响, 主要结论如下: (1)提升运动速度会加剧变化盲视, 这可能因为快速运动通过加剧转向瞬间的注意资源竞争, 进而差异化影响不同变化类型的探测绩效, 但运动速度需与其他基本视觉特征变化共同作用来诱导变化盲视; (2)延长运动时间(即增加编码时长)可缓解变化盲视, 视觉加工时长可能通过增加场景记忆表征的编码精度影响变化探测, 但其作用有限; (3)提高期望水平能降低变化盲视, 个体对路线转向方向的空间预期可能会引导反应偏向, 内源性地调节注意预先分配和记忆表征的有效构建, 以实现变化探测的提质增效。

参 考 文 献

Abrams, R. A., & Christ, S. E. (2003). Motion onset captures attention. *Psychological Science*, *14*(5), 427–432. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01458>

Awh, E., & Vogel, E. K. (2008). The bouncer in the brain. *Nature Neuroscience*, *11*(1), 5–6. <https://doi.org/10.1038/nn0108-5>

Bays, P. M., Catalao, R. F., & Husain, M. (2009). The precision of visual working memory is set by allocation of a shared resource. *Journal of Vision*, *9*(10), 1–11. <https://doi.org/10.1167/9.10.7>

Beanland, V., Filtness, A. J., & Jeans, R. (2017). Change

detection in urban and rural driving scenes: Effects of target type and safety relevance on change blindness. *Accident Analysis & Prevention*, *100*, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.01.011>

Beanland, V., Fitzharris, M., Young, K. L., & Lenné, M. G. (2013). Driver inattention and driver distraction in serious casualty crashes: Data from the Australian national crash in-depth study. *Accident Analysis & Prevention*, *54*, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.043>

Beck, M. R., Peterson, M. S., & Angelone, B. L. (2007). The roles of encoding, retrieval, and awareness in change detection. *Memory & Cognition*, *35*(4), 610–620. <https://doi.org/10.3758/BF03193299>

Berggren, N., & Eimer, M. (2019). The roles of relevance and expectation for the control of attention in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *45*(9), 1191–1205. <https://doi.org/10.1037/xhp0000666>

Bonneh, Y. S., Cooperman, A., & Sagi, D. (2001). Motion-induced blindness in normal observers. *Nature*, *411*(6839), 798–801. <https://doi.org/10.1038/35081073>

Brockmole, J. R., & Henderson, J. M. (2005). Object appearance, disappearance, and attention prioritization in real-world scenes. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(6), 1061–1067. <https://doi.org/10.3758/BF03206444>

Chun, M. M., & Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*(1), 109–127. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.21.1.109>

Cohen-Dallal, H., Markus, O., & Pertzov, Y. (2023). Adaptive visual working memory: Expecting a delayed estimation task enhances visual working memory precision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *49*(1), 7–21. <https://doi.org/10.1037/xhp0001066>

Cole, G. G., & Kuhn, G. (2010). Attentional capture by object appearance and disappearance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*(1), 147–159. <https://doi.org/10.1080/17470210902853522>

Donaldson, M. J., & Yamamoto, N. (2016). Detection of object onsets and offsets: Does the primacy of onset persist even with bias for detecting offset? *Attention, Perception, & Psychophysics*, *78*(7), 1901–1915. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1185-5>

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>

Feng, T., Zhai, Y., Yang, J., Liang, J., Fan, D. P., Zhang, J., ... Tao, D. (2022). IC9600: A benchmark dataset for automatic image complexity assessment. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *45*(7), 8577–8593. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2022.3232328>

Franconeri, S. L., & Simons, D. J. (2003). Moving and looming stimuli capture attention. *Perception & Psychophysics*, *65*(7), 999–1010. <https://doi.org/10.3758/BF03194829>

Galpin, A., Underwood, G., & Crundall, D. (2009). Change blindness in driving scenes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *12*(2), 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2008.11.002>

Gao, Z., Ding, X., Yang, T., Liang, J., & Shui, R. (2013). Coarse-to-fine construction for high-resolution representation in visual working memory. *PLOS ONE*, *8*(2),

- e57913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057913>
- Gilchrist, A. L., & Cowan, N. (2014). A two-stage search of visual working memory: Investigating speed in the change-detection paradigm. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *76*(7), 2031–2050. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0704-5>
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (2003). Global transsaccadic change blindness during scene perception. *Psychological Science*, *14*(5), 493–497. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.02459>
- Hollingworth, A. (2003). Failures of retrieval and comparison constrain change detection in natural scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*(2), 388–403. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.29.2.388>
- Kondyli, V., Bhatt, M., Levin, D., & Suchan, J. (2023). How do drivers mitigate the effects of naturalistic visual complexity? On attentional strategies and their implications under a change blindness protocol. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *8*(1), 54–84. <https://doi.org/10.1186/s41235-023-00501-1>
- Kvasova, D., Coll, L., Stewart, T., & Soto-Faraco, S. (2024). Crossmodal semantic congruence guides spontaneous orienting in real-life scenes. *Psychological Research*, *88*(7), 2138–2148. <https://doi.org/10.1007/s00426-024-02018-8>
- Martens, M. H. (2011). Change detection in traffic: Where do we look and what do we perceive? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *14*(3), 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2011.01.004>
- Milders, M., Hay, J., Sahraie, A., & Niedeggen, M. (2004). Central inhibition ability modulates attention-induced motion blindness. *Cognition*, *94*(2), B23–B33. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.06.003>
- Murphy, S., & Andalis, J. (2013). Unconscious priming: Masked primes facilitate change detection and change identification performance. *International Journal of Psychological Studies*, *5*(1), 45–54. <https://doi.org/10.5539/ijps.v5n1p45>
- Nishiyama, M., & Kawaguchi, J. (2014). Visual long-term memory and change blindness: Different effects of pre-and post-change information on one-shot change detection using meaningless geometric objects. *Consciousness and Cognition*, *30*, 105–117. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.09.001>
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*(3), 849–860. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.3.849>
- Rensink, R. A. (2018). To have seen or not to have seen: A look at Rensink, O'Regan, and Clark (1997). *Perspectives on Psychological Science*, *13*(2), 230–235. <https://doi.org/10.1177/1745691617707269>
- Rensink, R. A. (2002). Change detection. *Annual Review of Psychology*, *53*(1), 245–277. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135125>
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, *8*(5), 368–373. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1997.tb00427.x>
- Roth, N., McLaughlin, J., Obermayer, K., & Rolfs, M. (2024). Gaze behavior reveals expectations of potential scene changes. *Psychological Science*, *35*(12), 1350–1363. <https://doi.org/10.1177/09567976241279198>
- Shen, M., Dong, Y., Zhou, J., Ma, F., & Zhang, H. (2010). The flash-lag effect: Latency difference is not the cause. *Chinese Journal of Applied Psychology*, *16*(1), 3–11.
- [沈模卫, 董一胜, 周吉帆, 马飞, 张海琦. (2010). 闪光滞后效应并非知觉延迟差异所致. *应用心理学*, *16*(1), 3–11.]
- Simons, D. J. (2011). Change blindness, representations, and embodied cognition: Comment on “Embodied cognition and the perception–action link” by Bridgeman and Tseng. *Physics of Life Reviews*, *8*(1), 86–87. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2011.01.009>
- Simons, D. J., & Levin, D. T. (1997). Change blindness. *Trends in Cognitive Sciences*, *1*(7), 261–267. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(97\)01080-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(97)01080-2)
- Simons, D. J., & Rensink, R. A. (2005). Change blindness: Past, present, and future. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(1), 16–20. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.11.006>
- Steelman, K. S., McCarley, J. S., & Wickens, C. D. (2013). Great expectations: Top-down attention modulates the costs of clutter and eccentricity. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *19*(4), 403–419. <https://doi.org/10.1037/a0034546>
- Suchow, J. W., & Alvarez, G. A. (2011). Motion silences awareness of visual change. *Current Biology*, *21*(2), 140–143. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.12.019>
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, *135*(2), 77–99. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>
- Tombu, M., & Seiffert, A. E. (2008). Attentional costs in multiple-object tracking. *Cognition*, *108*(1), 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.12.014>
- Türkan, B. N., Amado, S., Ercan, E. S., & Perçinel, I. (2016). Comparison of change detection performance and visual search patterns among children with/without ADHD: Evidence from eye movements. *Research in Developmental Disabilities*, *49–50*, 205–215. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.12.002>
- Van Pelt, J., Lowe, B. G., Robinson, J. E., Donaldson, M. J., Johnston, P., & Yamamoto, N. (2025). An event-related potential study of onset primacy in visual change detection. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *87*(4), 1219–1229. <https://doi.org/10.3758/s13414-025-03027-4>
- Wallisch, P., Mackey, W. E., Karlovich, M. W., & Heeger, D. J. (2023). The visible gorilla: Unexpected fast—not physically salient—Objects are noticeable. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *120*(22), e2214930120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2214930120>
- Wood, K., & Simons, D. J. (2019). Now or never: Noticing occurs early in sustained inattention blindness. *Royal Society Open Science*, *6*(11), 191333. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.191333>
- Wright, R. D., Pellaers, A. C., & Dekergommeaux, R. T. (2024). Detecting multiple simultaneous and sequential feature changes. *Frontiers in Cognition*, *3*, 1436351. <https://doi.org/10.3389/fcogn.2024.1436351>
- Wu, Q., & Flombaum, J. I. (2024). The motion-silencing illusion depends on object-centered representation. *Psychological Science*, *35*(5), 504–516. <https://doi.org/10.1177/09567976241235104>
- Yantis, S., & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention: Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *10*(5), 601–621. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.10.5.601>
- Yao, R. (2013). *The flick of the wrist and the wave of the wand: Low-level mechanisms for inducing change blindness* [Unpublished doctoral dissertation]. University of Illinois

- at Urbana-Champaign.
- Yao, R., Wood, K., & Simons, D. J. (2019). As if by magic: An abrupt change in motion direction induces change blindness. *Psychological Science*, 30(3), 436–443. <https://doi.org/10.1177/0956797618822969>
- You, X., & Song, X. (2009). Hemispheric specialization effects in visual image generation. *Acta Psychologica Sinica*, 41(10), 911–921. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2009.00911>
- [游旭群, 宋晓蕾. (2009). 视觉表象产生的大脑半球专门化效应. *心理学报*, 41(10), 911–921.]
- You, X., Zhang, Y., & Liu, D. (2008). The allocation of attention in judgment of categorical spatial relations on simulation scenes. *Acta Psychologica Sinica*, 40(7), 759–765.
- [游旭群, 张媛, 刘登攀. (2008). 仿真场景下类别空间关系判断中的注意分配. *心理学报*, 40(7), 759–765.]
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, 453(7192), 233–235. <https://doi.org/10.1038/nature06860>
- Zhao, N., Chen, W., Xuan, Y., Mehler, B., Reimer, B., & Fu, X. (2014). Drivers' and non-drivers' performance in a change detection task with static driving scenes: Is there a benefit of experience? *Ergonomics*, 57(7), 998–1007. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.909952>
- Zuanazzi, A., & Noppeney, U. (2020). The intricate interplay of spatial attention and expectation: A multisensory perspective. *Multisensory Research*, 33(4-5), 383–416. <https://doi.org/10.1163/22134808-20201482>

The effects of attention and memory representations on change blindness during global motion direction transients in traffic-scene images

REN Ruyue, LIU Yu, LAN Jijun, LI Yuan, YOU Xuqun

(School of Psychology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract

Change blindness typically refers to the phenomenon where observers fail to realize and detect changes in objects or scenes when there is a brief visual interruption, restriction, or disturbance in the visual environment. This phenomenon is considered a significant contributor to driver human factors errors, posing a serious threat to public safety. Prior research has often relied on static masking paradigms, which may not adequately reflect change detection during natural, full-field observation. Furthermore, by focusing on variables tied to a single cognitive mechanism, prior studies have struggled to examine the roles of attention and memory representations within a unified framework in complex traffic scenarios. This study aimed to examine how attention and memory representations affect change blindness in response to sudden shifts in the motion path of traffic-scene images.

The method of global motion direction transients was adopted to induce change blindness, employing images of real traffic scenes with different change types as experimental stimuli. The image moved along a certain path and changed instantaneously either at the moment of turning or at the midpoint of the straight line. In Experiment 1, a within-participants design was conducted with 2 (movement speed: fast, slow) × 2 (movement path: turning motion, straight motion) × 3 (change type: deletion, addition, location change). Forty participants were asked to detect the target changes. The results showed that fast motion significantly exacerbated change blindness solely under turning conditions, but had no significant effect during straight motion. In Experiment 2, the fast movement speed from Experiment 1 was used, a within-participants design was adopted, featuring 2 (movement time: long, short) × 2 (movement path: turning motion, straight motion) × 3 (change type: deletion, addition, location change). Thirty participants were requested to detect the target changes. The results indicated that longer encoding time for memory representations could mitigate change blindness within a limited scope. In Experiment 3, the fast movement speed was also used, a within-participants design with 3 (movement path: high-expectation turning motion, low-expectation turning motion, straight motion) × 3 (change type: deletion, addition, location change) was employed. Thirty-six participants were required to detect the target changes. The results suggested that individuals exhibited better detection performance for target changes under high-expectation conditions.

The main findings are as follows. (1) Increased movement speed exacerbated change blindness, likely because it intensified competition for attentional resources when the direction of movement suddenly changed. However, movement speed needed to interact with other basic visual feature changes to induce change blindness.

(2) Prolonging movement time, which refers to increasing encoding duration, could alleviate change blindness. Visual processing time might enhance change detection by improving the precision of scene memory representations during encoding; however, this effect appeared to be limited. (3) Heightened expectancy levels reduced change blindness. Individuals' spatial anticipation of the turning direction likely introduced a response bias, endogenously modulating the pre-allocation of attention and the effective encoding of memory representations, thereby improving the quality and efficiency of change detection.

In summary, change blindness in traffic-scene images during global motion direction transients arises from the interaction between competition for attentional resources and the limited capacity of memory representations. Expectations may endogenously modulate attentional allocation and the effective encoding of these representations, thereby influencing the likelihood of change blindness. These findings provide empirical support for and extend the attention-representation account of change blindness.

Keywords change blindness, visual search, motion-induced blindness (MIB), attention, memory representation