

不同反应通道(脚-手)和 Go-Nogo 反应 对驾驶操作的影响*

李永建 武振业

朱祖祥

(西南交通大学 成都 610031)

(杭州大学 杭州 310028)

摘要 实验结果证实在研究驾驶操作的交叠作业模拟实验条件下,是反应选择而不是反应触发对人类信息加工过程起着单通道限制,反应通道效应和 Nogo 效应产生于反应选择阶段,实验结果还提示在交叠作用中采用脚-手不同反应通道不能够提高作业绩效,这可能与采用的效应器有关;但是,减少交叠作业的外部动作反应可有效提高作业绩效。

关键词 驾驶操作 交叠作业 反应选择 反应触发 心理不应期

The Effects of Different Response Modality (foot-hand) and Go-Nogo Response on Driving Operations

Li Yongjian Wu Zhenye

Zhu Zuxiang

(Southwest Jiaotong University, Chendu)

(Hangzhou University, Hangzhou)

Abstract The results showed that there is no the nature of bottleneck in response initiation processing and that there is the nature of bottleneck in response selecting stage, and that Nogo and different response modality (foot-hand) effects are induced in the stage of response selecting in PRP experiments of simulated driving operations. The results showed that different response modality (foot-hand) could not raise performance of overlapping task, which could have relation to using effector. But reducing overt response times of overlapping task could raise performance of theirs effectively.

Key words Driving operations Selecting response Initiation response
PRP

人类工效学和安全人机工程学认为人是一个复杂的信息加工系统,人与汽车构成汽车人机系统,并把驾驶操作看成是由信号识别 反应选择和反应触发(包括执行)3个基本阶段组

* 博士后科学研究基金资助项目

收稿日期 1996-07-15 第一作者:男,1958年生,副教授

成的信息加工过程^[1-6]。在多路信息加工的交叠作业过程中必然会产生对多路信息加工的单通道限制作用。这种单通道限制作用又被称为心理不应期(简称 PRP)或瓶颈效应,或交叠作业干扰^[1,3-6]。交叠作业是复杂人-机系统操作者的基本活动方式。它是研究人类多系列同时并行反应的实验研究模型,也是研究驾驶操作的一种常用的实验室研究方法。在汽车人-机系统中,驾驶员准确及时到位的操作对安全行车起着决定性作用。但是,驾驶过程中人快速准确的操作必然受到 PRP的干扰,在应急状态下其干扰更甚。这种干扰势必致使人操作控制上的失误或延误,大大增加肇发事故的可能性。因而,如何控制并利用 PRP效应是亟待研究解决的课题^[1,3-6]。

人的能力限制是影响汽车人-机系统安全的一种常见干扰。PRP就是驾驶操作中人不可抗拒的重要干扰因素。本文旨在通过深入到操作动作层次的实验研究,进一步揭示 PRP现象和它产生的机理以及条件,为汽车人-机系统的优化设计、驾驶人员的培训和预防交通事故提供有关实验参数和理论依据。

1 交叠作业是驾驶过程的基本活动方式

1.1 对驾驶操作信息加工活动的基本分析

人同时进行一个以上的各种操纵活动可分解为离散动作(如按键、开关控制)和连续动作(如旋钮、追踪操作)两种基本的反应方式。这些操作在时间轴上构成同时性或继时性的时间关系。从人类信息加工方面来看,它们之间的典型加工关系可以归结为两个对信号反应过程的交叠,其实验研究模型是交叠作业实验方法。

依据人类工效学原理,驾驶操作是多系列 S-O-R的复杂交叠活动过程。它以方向追踪驾驶操作为主作业,主作业随机与速度、刹车、离合器等控制操作交叠并行处理。这种处理是多系列的刺激识别、判断抉择、反应选择和反应执行等加工活动的复杂交叠。因而,驾驶操作是典型的连续交叠作业方式。驾驶过程中常会遇到对突显信号的应急处理,必然会受到心理不应期的强烈干扰,使应急操作出现延误或失误而诱发事故。

1.2 交叠作业中的瓶颈干扰与资源干扰

瓶颈干扰与资源干扰是交叠作业中两类性质不同的干扰。瓶颈干扰是指信息在加工过程中,由于人类信息加工的某一阶段一次只能接受一个输入信息进行加工,即瓶颈加工。作业1的瓶颈加工阶段未完成时,作业2的瓶颈阶段的加工只能等到作业1完成瓶颈阶段加工后才能开始,因而 RT2增加;其增加的性质是插入了一段等待时距,即串行加工过程中某一加工阶段短暂的停顿现象(PR P)。资源干扰是指信息在加工过程中,由于两个作业分享有限的心理资源,使分配给每一作业的资源相应减少,这势必导致作业绩效下降,表现在 RT2增加。因而 RT2增加的性质是加工并未停顿,但加工速度降低的现象,即平行加工过程中的资源限制作用。这两类干扰对交叠作业的作用和影响是不同的。这样区分,可引出两点。第一,从理论上讲,在显示设计上完全可以利用作业1瓶颈加工对作业2的延迟时间,增大作业2瓶颈之前阶段的信息处理量。这在一定范围内不会降低交叠作业绩效。第二,实验表明交叠作业的刺激识别与 SOA无交互作用,即交叠作业刺激信号识别不受交叠程度的影响。这提示,把相当一部分人为交通事故唯一归为感知错误的论点值得商榷。以上两点将另文研究讨论。

1.3 反应选择和反应触发瓶颈理论

反应选择和反应触发是人类信息加工过程中的两个重要阶段。在交叠作业中,这两个加工阶段所受干扰的性质在理论和应用方面有着重要意义,其研究还在继续深入^[1,3-6]。

1.3.1 反应选择瓶颈理论

该理论认为交叠作业中的瓶颈位于决策反应选择阶段,故作业 1 和作业 2 的两个决策/反应选择不能被同时加工。S1 的决策反应选择加工阶段完成之后, S2 的决策反应选择加工阶段才能开始。这种决策反应选择加工阶段相继进行的方式,致使对 S2 的反应延迟。该理论以 Pashler 的决策反应选择延迟模型为代表^[3]。Pashler 分析了实验因素对作业 1 和作业 2 瓶颈之前、瓶颈之中和瓶颈之后加工的影响,从别人和自己的研究中提升出交叠作业瓶颈干扰测试 4 条原理^[3]。这些瓶颈测试原理常用在瓶颈问题研究中,作为考察瓶颈位置的理论。本文也多次应用瓶颈测试原理。

1.3.2 反应触发瓶颈理论

一些研究者发现,只要使用不同的反应通道或删除反应竞争, PRP 效应下降,由此而提出了反应触发延迟模型,以 Jong 等人提出的反应竞赛模型代表了当代对反应触发瓶颈的研究^[4-6]。他们从对突显信号应急操作的现实情况中抽象出中断实验模型,把对突显信号的反应看成是由控制过程(对第一信号的加工过程)、抑制过程(依据 Stoping 信号对第一信号反应的中断过程)和发射过程组成的操作活动。控制过程和抑制过程以无返回点为终点平行地展开竞赛。如果控制过程赢得竞赛,控制过程即刻转为外部反应,变为不受外周反馈控制的发射过程。如果抑制过程赢得竞赛,控制过程被抑制而不转为外部反应。控制过程与抑制过程串行加工的位置,即瓶颈,换句话说,控制过程与抑制过程的竞赛终点即瓶颈。他们的实验效应有 3 个指标: Go 反应时,被试抑制失败的 Stop 试验反应时和反应函数 $P(SOA)$,与此相对应定义 3 个独立的随机变量: T_C = 控制过程完成的时间, T_I = 抑制过程完成的时间, T_B = 发射过程完成的时间,并以此考察它们的平行加工或串行加工的关系。Go 反应时记为

$$RT_{Go} = T_C + T_B \quad (1)$$

它表明不存在竞赛,故反应时是 T_C 与 T_B 之和。被试抑制失败的 Stop 试验的反应时

$$RT_{Stop} = [T_C | (T_C < (T_I + SOA))] + T_B \quad (2)$$

说明存在竞赛,并且控制过程赢得了这场竞赛。所以, RT 是 T_C 战胜抑制过程的时间再加上 T_B 反应函数,或者说不响应 Stop 信号的概率可记为

$$Pr(SOA) = P[(T_C - T_I) < SOA] \quad (3)$$

显然,随着 SOA 的增加(两个作业交叠程度减小),反应抑制概率 $[1 - Pr(SOA)]$ 减小。

1.4 研究目的与实验假设

反应选择和反应触发哪一阶段对人类信息加工具有瓶颈限制作用,是反应选择和反应触发瓶颈理论争论的焦点。根据反应触发理论,利用不同的反应通道和 Nogo 试验条件等于删除了反应触发瓶颈。因此,不会产生 PRP 现象,而产生反应通道效应和 Nogo 效应。反应选择瓶颈理论则认为,采用不同的反应通道和 Nogo 试验条件也会产生 PRP 效应。

鉴于上述两个理论在理论和实验上的争论,本文实验的目的是利用不同的反应通道和 Go-Nogo 实验条件两种删除反应触发瓶颈的实验方式,考察反应选择与反应触发的加工关系,并检验它们在交叠作业中的干扰性质。

我们认为:人类信息加工阶段与加工任务并非机械对应,某一心理加工阶段(如反应选择加工阶段)可以同时完成多项加工任务,某一加工任务也可能影响几个加工阶段。因而,我们猜测所谓反应触发瓶颈的 Nogo 效应和反应相似性效应产生于反应选择加工阶段,反应选择加工阶段之后无瓶颈干扰,并拟定 3 个实验验证这一猜测。

2 驾驶操作的人类工效学实验室模拟研究

2.1 实验 1: 利用不同反应通道 (脚/手) 删除反应触发瓶颈实验

(1) 实验目的 考察交叠作用中实验因素与 SOA 交互作用和有无 PRP 干扰。

(2) 实验方法

被试是 12 名大学生 (6 男 6 女), 年龄 20~25 岁, 视觉和听觉正常, 都是右利手。

实验主要仪器是 1 台配有计时卡 (计时精度为 1ms) 的 IBM-AT386 计算机, 用于实验控制和反应记录。自制的脚反应器, 行程小于 2mm, 由计算机主机控制。实验程序用 C 语言和汇编语言编程。显示屏背景为黑色, 亮度为 0.5 cd/m^2 ; 刺激亮度为 75.5 cd/m^2 。刺激与反应的关系在被试中被平衡。刺激顺序按伪随机数排列。

实验作业 1 是听觉选择反应时作业, 刺激是 500Hz 和 1000Hz 持续 50ms 的两个声音, 分别用右脚和左脚踩脚反应器进行反应。

作业 2 是视觉简单选择反应时作业, 两个刺激分别是红或绿色块, 被试用右手食指按“1”键对绿色块进行反应, 右手中指按“2”键对红色块进行反应。

作业 2A 是视觉选择反应时作业, 4 个刺激为红、绿、黄、蓝色块, 红和黄色块用右手食指按小键盘上的“1”键进行反应, 绿和蓝色块用右手中指按小键盘上的“2”键反应。

显然, 作业 2A 的反应选择复杂度 (4 对 S-R 中选择一对) 大于作业 2 (两对 S-R 中选择一对)。

每个被试达到练习标准后开始正式实验。正式实验中, 每人试验的错误次数和太慢反应次数 ($PT > 800 \text{ ms}$, $PT_2 > 1000 \text{ ms}$) 实验数据作废, 休息 10min 后重做该实验。 SOA 分 100ms 和 300ms 两档。每名被试在每一实验因素的每一 SOA 试验次数为 100 次。用 SPSS 中 MANOVA 模块处理数据。

指导语: 实验的任务是依据实验要求对刺激尽可能既快又准确地进行按键反应, 对第一刺激要先反应, 要避免延迟第一反应并把第一反应和第二反应一起进行。

(3) 实验结果 SOA 的主效应显著, $F(1, 11) = 55.88, P < 0.001$ 反应选择复杂度的主效应显著, $F(1, 11) = 27.92, P < 0.001$ 反应选择复杂程度与 SOA 无交互作用, $F(1, 11) = 0.00, P = 0.971$, 如图 1 所示。

2.2 实验 2 Go-Nogo 方法删除反应触发瓶颈实验

(1) 实验目的 考察交叠作业中是否有瓶颈性质干扰和实验因素与 SOA 交互作用的情况。

(2) 实验方法 实验仪器、数据处理、作业 2、作业 2A 和被试同实验一。

作业 1 是刺激为 500Hz 和 1000Hz 两个声音的听觉选择反应时作业, 被试用左手食指按“Z”键对 1000Hz (Go 信号) 进行反应, 对 500Hz (Nogo 信号) 不要求进行外部反应。

指导语: 如 S1 是 Nogo 信号, 不进行外部反应; 如 S1 是 Go 信号, 应尽快进行外部反应。

(3) 实验结果 SOA 的主效应显著, $F(1, 11) = 28.66, P < 0.001$ Go-Nogo 试验条件差异显著, $F(1, 11) = 107.79, P < 0.001$ Nogo 试验条件在 SOA 上的简单效应差异显著, $F(1, 11) = 493.96, P < 0.001$ 反应选择复杂度的主效应显著, $F(1, 11) = 35.23, P < 0.001$ SOA 与 Go-Nogo 试验条件无交互作用, $F(1, 11) = 4.36, P = 0.061$ SOA 与

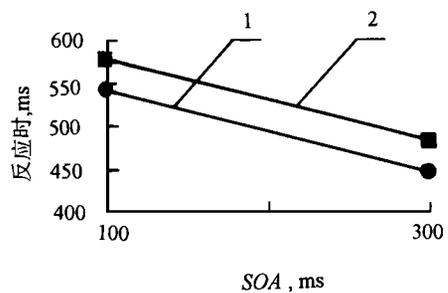


图 1 反应复杂度和不同反应通道对第二作业的影响在 SOA 上的反应时函数
图中 1—作业 2 2—作业 2A

反应选择复杂程度无交互作用, $F(1, 11) = 0.15$, $P = 0.709$ Go-Nogo 试验条件与反应选择复杂程度无交互作用, $F(1, 11) = 0.000$, $P = 0.984$ SOA Go-Nogo 试验条件和反应选择复杂程度三者之间有交互作用, $F(1, 11) = 4.85$, $P = 0.051$, 如图 2 所示

2.3 实验 3 反应选择复杂度对交叠作业的影响

(1) 研究目的 考察反应选择复杂度实验因素与 SOA 交互作用情况。

(2) 实验方法 实验方法同实验一, 只是作业 1 改为用手反应。

(3) 实验结果 SOA 的主效应显著, $F(1, 11) = 116.60$, $P < 0.001$ 反应选择复杂度的主效应显著, $F(1, 11) = 27.56$, $P < 0.001$ 反应选择复杂程度与 SOA 无交互作用, $F(1, 11) = 0.05$, $P = 0.825$

3 讨论

3.1 PRP 效应

3 个实验的 PRP 效应都十分显著。采用不同的效应器系统 (实验 1) 和 Go-Nogo 试验 (实验 2) 两种方式, 删除了所谓的反应触发瓶颈。但是, PRP 效应仍然都十分显著 ($P < 0.001$), 这只能说明瓶颈干扰不在反应触发阶段, 或 Go-Nogo 和反应相似性效应不产生于反应触发阶段。这一事实明显否定反应触发阶段的瓶颈性质, 支持反应选择瓶颈理论。

3.2 反应选择复杂度实验因素与 SOA 的交互作用

实验 1 和实验 3 的反应选择复杂度效应显著 ($P < 0.01$, $P < .001$), 选择复杂度不与 SOA 产生交互作用 ($P = 0.971$, $P = 0.825$), 这证实了: 如果一个实验因素只影响瓶颈阶段或瓶颈以后的加工阶段, 则这个因素与 SOA 只有相加效应。这个加上时间正好等于加工复杂反应选择所多花费的时间 (瓶颈测试原理 4)。假如瓶颈发生在反应选择之后的加工阶段 (如反应触发), 则实验因素应与 SOA 产生少加效应。因为在短 SOAs, 复杂反应选择的加工可以充分利用必须等待瓶颈的时间 (如瓶颈测试原理 3)。但是, 两个实验都无少加效应, 只有相加效应, 这说明反应选择之后无瓶颈性质的干扰。在交叠作业实验中, 如果一个实验因素只影响某一加工阶段, 并且这种影响与 SOA 产生相加效应, 就可以断定这个阶段是瓶颈加工阶段。显然, 该结果支持反应选择是唯一瓶颈的观点。

3.3 反应通道效应

比较实验 1 与实验 3 的结果, 未发现反应触发瓶颈预示的反应通道效应。反而, 脚-手 (实验 1) 比手-手 (实验 3) 的第二作业反应时长。这可能与被试的脚手协调有关。两个作业利用不同反应通道条件下, 口-手的干扰小于脚-手^[4]。这可能预示着反应通道效应是有条件的。

3.4 Go-Nogo 效应

Go 与 Nogo 试验差异显著 ($P < 0.001$), 这里面包含着复杂的机制。对随机中断反应的抑制过程的研究认为, 在人的心理加工系统中, 从中枢到外周结构有两种抑制机制: 中枢激活抑制过程和动作指令传输抑制, 并认为在人类信息加工系统中靠后的加工阶段也可中断 (抑

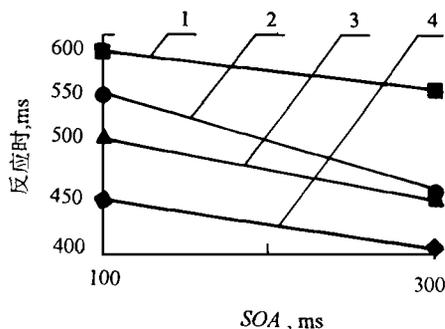


图 2 反应选择复杂程度和 Go-Nogo 试验条件对第二作业的影响在 SOA 上的反应时函数
图中, 1—Go 作业 2A; 2—Go 作业 2; 3—Nogo 作业 2A; 4—Nogo 作业 2

制)正在进行的加工^[4,6]。根据事件相关脑电位和肌电图连续测试显示:一个反应可能在任何时间被中断^[4,6]; Jong甚至认为基本的机制和阶段都可能有动作抑制器^[5]。这些研究说明,在人类信息加工系统中抑制过程和激活过程是两类性质不同的加工过程,抑制过程的加工速度大于激活过程的加工速度,这才有可能中断先前已经进行的加工。因此,“不反应”与“要反应”是两类性质不同和速度不同的信息加工过程。前者是抑制过程,后者是激活过程。在 Nogo 试验条件下,作业 1 的反应选择加工周期短,因而对作业 2 的瓶颈限制作用周期相应缩小,并反映在 RT2 中。在作业 1 中选择一个“要反应”比选择一个“不反应”更复杂,并且是两种性质不同的反应选择。因而,Go 与 Nogo 试验对 RT2 影响的差异发生于反应选择加工阶段,而不是反应触发阶段。实验一利用不同的反应通道(脚-手)删除反应触发瓶颈,其 PRP 效应照样显著也证实了这一点。

3.5 反应选择信息加工过程模型

如果仅把反应选择视为单通道,并且仅完成反应选择功能,这有悖于包括本研究在内的大量实验事实。为此,我们提出以下扫描选择反应过程的假设:反应选择是一个具有单通道性质的复杂加工过程,这一加工过程完成了多种加工任务。在这样的理论前提条件下,可以假设反应选择瓶颈加工过程是(如图 3):已识别的刺激信号进入反应选择加工阶段后,成为要求匹配相应反应的信号,

反应选择加工依据这一信号逐一扫描 S-R 表征表的每一表征(表征表提供了动作模块的信息及地址),然后提取适宜的代表信息送入匹配器,匹配器在动作模块库中匹配相应的模块后送去触发反应。

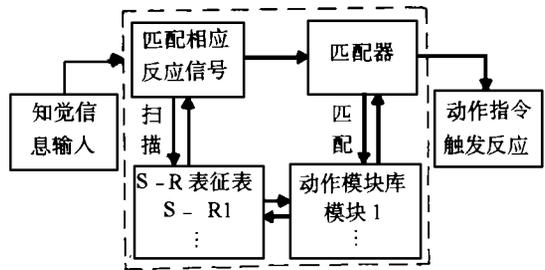


图 3 扫描选择反应假设示意图

4 小结

1. 在 PRP 实验条件下,反应通道效应和 Go-Nogo 效应产生于反应选择阶段。因此,实验结果未证实反应触发加工阶段的瓶颈性质,而证实反应选择是一个复杂的单通道加工过程。

2. 在交叠作业中采用不同反应通道(脚-手)未观察到作业绩效的提高。这可能与采用的效应器有关。但是,减少交叠作业的外部动作反应可有效提高作业绩效。

参考文献

- 1 李永建. 心理不应期的研究进展. 心理学动态, 1996 (1): 52~ 56
- 2 朱祖祥主编. 人类工效学. 杭州: 浙江教育出版社, 1995
- 3 Pashler H. Dual-task interference in simple tasks: data and theory. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1994, 16: 220~ 244
- 4 Jong R D. Multiple bottleneck in overlapping performance. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1993 (3): 965~ 980
- 5 Jong R D, Coles G H, Logan D. Strategies and mechanisms in non selective and selective inhibitory motor control. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1995, 21: 498~ 511
- 6 Allen Osman, Cathleen M Moore. The locus of dual-task interference & psychological refractory effects on movement-related brain potentials. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1993, 19: 1292 ~ 1312