文章编号: 1006-8309(2008)03-0027-05

车辆驾驶心理负荷测量工具的测评与发展:一个现场研究的尝试

孙向红[1],杨帆[1,2]

(1.中国科学院心理研究所,脑与认知科学国家重点实验室,北京　100101;
2.中国科学院研究生院,北京　100039)

摘要:测量言语交流对驾驶的影响进而探讨现实可行的驾驶心理负荷测量方法。采用客观驾驶难度(Objective Driving Difficulty, ODD)作为一种新的测量驾驶心理负荷的指标,测量司机在各种难度的路段上,一边完成驾驶任务一边完成言语交流任务时的心理负荷变化,其中,ODD =每分钟的刹车次数 + log2车速。7名出租汽车司机参与本实验,记录其言语任务的成绩、每分钟车速与刹车次数、对各路段难度的主观评价以及对完成各种任务时的心理负荷的主观评价(NASA-TLX)。结果显示,ODD与主观驾驶难度评价显著相关(r = 0.609),也与 NASA-TLX显著相关(r = 0.345),ODD可以动态地反映心理负荷的变化,也可以反映出不同的交流任务对驾驶负荷的影响。因此 ODD是用于现场实时、准确地测量驾驶心理负荷的行之有效的指标。

关键词:心理负荷;驾驶难度;交通安全

中图分类号: B849; U491.2 + 54　　**文献标识码**: A

A New Method to Measure Drivers' Mental Workload——A Field Study in China

SUN Xiang-hong[1], YANG Fan[1,2]

(1. State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Science, Beijing, 100101, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing, 100039, China)

Abstract: An index called objective driving difficulty (ODD) was used as a new measure of mental workload (MWL) in driving. ODD was based on braking times per minute (b/m) plus the log2 of vehicle speed. Seven taxi drivers performed four verbal communication tasks while driving under three conditions of road. Under each condition, their performance of verbal tasks, braking times and vehicle speed per minute, subjective difficulty ratings and NASA-TLX ratings were recorded. The main results showed that ODD significantly correlated with both drivers' subjective difficulty ratings (r = .609) and NASA_TLX ratings (r = .345). ODD could not only show the influence of verbal tasks to driving workload, but also an effective index to measure the dynamic variation of real time MWL.

Key words: mental workload; difficulty for driving; traffic safety

1　问题提出

随着移动通信技术的普及,手机持有率不断增长,而手机也不再仅仅是通话工具,还能照相、摄影、看电影、上网浏览各种信息等,人们对手机

基金项目:本研究受 Motorola实验室资助

作者简介:孙向红(1968-　),女,北京人,副研究员,研究方向:工程心理学,(电话)010-64837182(电子信箱)sunxh@psych.cn。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的依赖性也因而逐渐增强,在驾驶过程中使用手机的现象也日益普遍,由此带来的安全问题也日益严重。不管是手提电话还是免提电话,通话时都需要极大的心理资源,而使得司机不能安全驾驶或注意路面状况[1]。为此必须研究人在驾驶过程中的心理资源限制所在,从而进一步规范驾车行为,提高行车安全。而心理负荷就是反映人的心理资源变化的指标。

心理负荷 (Mental workload)是指单位时间内人脑承受的心理活动的工作量。它包括信息加工负荷和情绪负荷两方面[2]。驾驶过程同样也涉及到这两种负荷,但由于情绪负荷与疲劳、酒精中毒等因素一样,都是通过一些认知操作间接引起驾驶事故,因此这里的驾驶心理负荷主要指的是信息加工负荷,即认知负荷。

心理负荷的测量方法,应具备一定的敏感性、诊断性、特异性、抗干扰性和稳定性[3,4]。心理负荷的测量方法有很多,但基本可以归为三类:行为指标测量、生理指标测量和主观评价测量[5]。其中生理指标测量由于客观而且可能实时测量而逐渐受到重视,但是在驾驶心理负荷测量中,环境干扰太大,测量时对司机的驾驶操作也可能产生干扰,而且仪器成本较高。相比而言,行为指标测量和主观评价测量应用得比较多。行为指标测量是指将操作者的各项操作绩效作为一项心理负荷的指标,来推算某项工作施加于操作者的心理负荷。主观评价测量就是人们对任务执行难易的主观描述,目前运用较为成熟的主观评价测量方法是 NASA-TLX评价法。

有关驾驶的研究中,驾驶心理负荷的研究大多是在实验室中进行的,由于驾驶操作的复杂性,实验室所得的结论在现实中难以应用。鉴于驾驶在日常生活中的重要性,必须对驾驶行为进行规范,而一切法规条令又必须建立在实证研究的基础之上。因此, Zetlin[6]曾在美国交通部的支持下于 90年代中期尝试了现场实验,以求找到行之有效的测量驾驶心理负荷方法,但由于信息交流,尤其是言语交流已成为目前驾驶界面设计中的重要组成部分,当年 Zetlin使用的口头回忆方法已不再适用。因此,必须寻找另外的客观测量驾驶心理负荷的方法。

Zetlin[6],驾驶难度不仅取决于驾驶速度,还取决于周围环境的不确定性。这里,不确定性指驾驶路段上随时变化的路况,如红灯、阻塞、超车、路障、行人横过马路、刮风下雨造成车身不稳等,不确定性的量化指标是每分钟踩刹车的次数,一分钟内踩的次数越多,说明该路段遇到的意外情况也越多;反之,说明驾驶状态很稳定。同样,车速越快,驾驶难度也越高。驾驶难度的计算方法见下面公式 (1):

$$\text{驾驶难度} = \text{每分钟刹车次数} + \log_2 \text{车速} \qquad (1)$$

受以上公式启发,本研究将公式 (1)中的驾驶难度称为客观驾驶难度,简称 ODD,将其作为现场测量驾驶心理负荷的指标,比较不同难度的驾驶路段上,司机在驾驶的同时完成不同言语任务时的心理负荷的变化,进而考查 ODD作为心理负荷测量手段的适用性。

2　材料与方法

2.1　实验任务的设置与被试的选取

根据车流量大小、不同路段之间的连贯性以及道路的自身特点,选择清河至昌平的高速路段作为驾驶难度最低的路段;选择昌平至清河的辅路路段作为驾驶难度中等的路段;选择清河镇内先由东向西,继而向南,再由西向东的一条环状路段作为驾驶难度最高的路段。三条路段的详细描述见表 1。

表 1　实验路段描述

	长度 (km)	车速 (km/h)	车流量 (辆/min)	道路特点
高速公路	30	120	5 - 10	笔直宽阔
高速辅路	30	60 - 80	27 - 30	路稍窄,两处路口
城镇路段	5	5 - 40	>50	6处路口、多处弯路

实验所用车辆为神龙富康 988型,在车主的同意下,车上装有自制的刹车计数器一个。

言语交流过程按照言语过程与言语加工水平分解为句子理解、段落理解、造句、自由回答四种言语交流任务。

被试:驾龄 5年以上,年龄在 30～37岁之间的男性出租车司机 7名自愿参加本实验。

2.2　实验流程

整个实验过程都在汽车内进行,一个被试,两个主试。被试坐在驾驶位置;第一主试坐在副驾驶位置,负责宣布测试开始,并负责言语交流任务的呈现与录音记录;第二主试坐在汽车后座,负责

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

记录各测试路段内每分钟车速与刹车次数 (刹车计数器的读数)。每个路段内,都有 20min的驾驶作为测试阶段,其中前 16min被试在驾驶的同时,按照句子理解—造句—段落理解—自由回答的顺序完成言语交流任务,后 4min被试只有驾驶任务,但第二主试仍旧负责记录车速与刹车次数。

每个路段结束后,被试在主试的协助下,针对测试路段的驾驶任务与言语交流任务填写 NASA-TLX心理负荷主观评价量表,并对测试路段的主观驾驶难度在一维 Likert 7点量表上进行评价。整个实验历时 3h。

图 1是整个实验的路线示意图,其中实线为高速路,短划线为辅路,点线为城镇路。

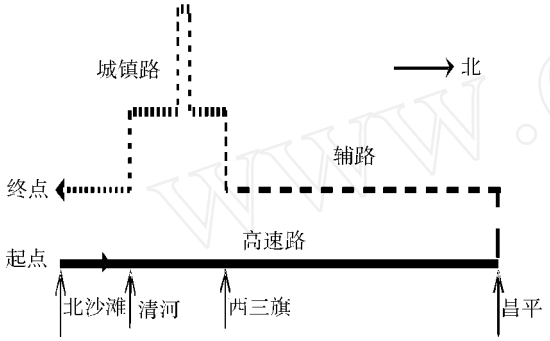

图 1　现场实验路线图

3　结果分析

3.1　ODD与 NASA-TLX评价、主观驾驶难度的相关分析

表 2第一行数据列出了被试对各路段驾驶难度的主观评价 (一维 Likert 7点量表)的平均值,可以看出,高速路最容易,城镇路驾驶最难,但分值范围都在 1～4之间,说明被试主观感觉各路段的驾驶难度都不大。第二行数据是根据采集到的车速与刹车次数,运用公式 (1)计算得到的 ODD平均值,同样是高速路分值最低,最容易,但另外两条路分值相等。两行数据均显示出随路段驾驶难度递增的趋势,经方差分析表明,两种测量方法都具有一定的区分度,差异显著性均达到 0.05水平。进一步通过相关分析发现,主观驾驶难度与 ODD之间呈显著相关,相关系数 $r=0.609$,相关显著性达到 0.01水平 ($P=0.001$)。

表 2的第三行数据是被试对不同路段填写 NASA-TLX量表的得分情况。可发现,主观驾驶难度、ODD与 NASA-TLX得分之间也同样存在着一定的相关性。经相关分析检验,NASA-TLX得分与主观难度的相关系数 $r=0.404$,显著性达到 0.05水平 ($P=0.035$);NASA-TLX得分与 ODD的相关系数 $r=0.345$,显著性达到 0.10水平 ($P=0.063$)。

表 2　主观驾驶难度、ODD以及 NASA-TLX得分的比较

	高速路	辅路	城镇路	差异显著性
主观驾驶难度	1.4(2.7)	2.7(1.6)	3.9(2.0)	$F(2)=4.1$ $P=0.033$
ODD	4.8(0.4)	6.4(1.5)	6.4(1.3)	$F(2)=4.5$ $P=0.025$
NASA-TLX得分	6.3(3.1)	8.7(3.9)	10.2(1.5)	$F(2)=3.0$ $P=0.073$

注:括号外数字为平均值,括号内为标准差

从以上相关分析可以得出结论,ODD可以作为测量驾驶心理负荷的一项有效的、可靠的且敏感的指标。不仅如此,它还具有主观评价无法比拟的优势,即客观性和实时性。其中客观性显而易见,而实时性是指 ODD可以随时进行采样和计算,采样的频率远大于主观评价,同时对被试的操作不存在任何干扰,任务结束后也无须要求被试做任何事后评价。最为重要的是,ODD可以动态地反映任务进行过程中的心理负荷变化。

3.2　不同的言语过程对驾驶负荷的影响

由于被试在每个路段都完成了四种言语交流任务,在 20min的 ODD记录中占去 16min,其中,句子理解、句子产生 (造句)、段落理解、段落产生 (自由回答)任务分别为 5min、3min、4min和 4min,而最后 4min只有驾驶任务,因此,可以根据每分钟记录的车速与刹车次数,计算出每分钟驾驶任务的 ODD作为不同言语任务条件下被试的心理负荷。从而反映出心理负荷随着言语任务的转换,同时也随着时间的变化而变化的动态过程。

图 2就是心理负荷在测试路段的 20min里随时间的推移而起伏变化的过程 (注:此处并非指心理负荷是时间的函数)。心理负荷在完成句子理解任务 (SU1)时为 5.5,完成造句 (SP1)时为 5.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

7,完成段落理解（SU2)时为 6. 0,完成自由回答（SP2)时为 6. 3,最后的驾驶任务的心理负荷降为 5. 7。可见,在完成不同的言语交流任务时,心理负荷是随时在变化的,其变化差异非常显著（$F(4) = 2.27, P = 0.07$)。

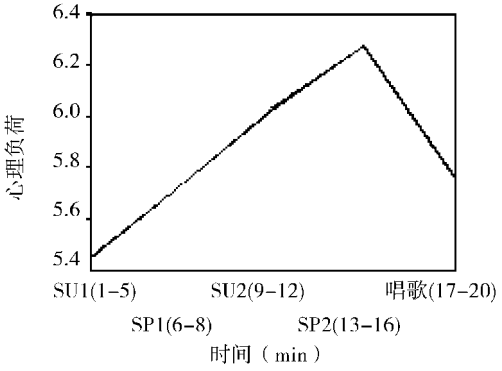

图 2　心理负荷值随时间变化的曲线

计算得出的不同言语任务在三个路段的心理负荷平均值与标准差见表 3。图 3是根据该表数据绘制的随路段难度增加而变化的心理负荷值。从图上心理负荷变化趋势可以看出,在驾驶的同时完成自由回答任务（SP2)或段落理解任务（SU2)所承受的心理负荷始终比驾驶单任务的心理负荷要高,其中自由回答任务（SP2)的心理负荷最高。驾驶单任务在高速路与辅路的心理负荷是最低的,但在城镇路段情况发生了变化,句子理解任务（SU1)与造句任务（SP1)的心理负荷均有所下降。经 GLM双因素（路段难度 ×任务类型）重复测量统计检验,路段难度主效应显著（$F(2) = 3.76, P = 0.048$),说明各言语交流任务的心理负荷随着路段难度增加而显著增加;言语交流任务类型的主效应显著性达到 0. 10水平（$F(2) = 2.27, P = 0.072$),说明不同的言语任务对心理负荷的影响是不同的。

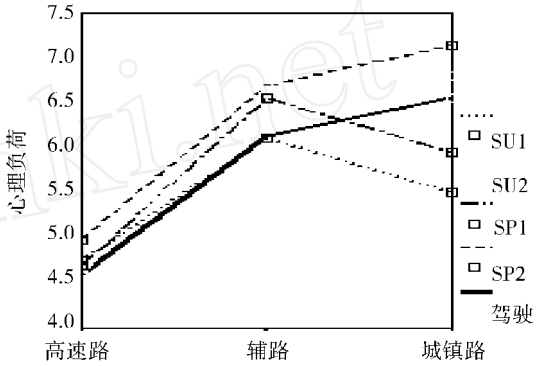

图 3　不同的言语任务对心理负荷的影响

表 3　不同路段被试完成各种任务的心理负荷

	句子理解（SU1)+驾驶	段落理解（SU1)+驾驶	造句（SP1)+驾驶	自由回答（SP2)+驾驶	驾驶
高速路	4. 8(0. 5)	4. 6(0. 2)	4. 7(0. 4)	5. 0(0. 6)	4. 6(0. 2)
辅路	6. 1(1. 7)	6. 7(1. 8)	6. 6(2. 2)	6. 7(2. 0)	6. 1(1. 1)
城镇路	5. 5(2. 3)	6. 8(0. 5)	6. 0(2. 0)	7. 1(2. 0)	6. 6(1. 3)

注:括号外数字为平均值,括号内为标准差

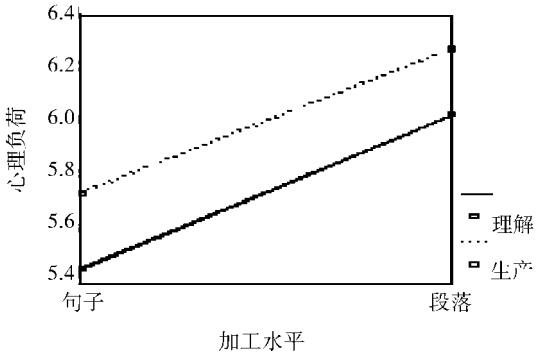

图 4　言语过程与言语加工水平对驾驶心理负荷的影响

为了进一步解释不同的言语交流任务对驾驶的影响程度,分别将四个言语交流任务按照言语过程不同分为言语理解过程与言语产生过程两类,按照加工水平分为句子和段落两个水平,如表 4所示,以四种任务条件下的心理负荷为因变量,针对言语过程和加工水平这两个被试内因素作统计检验,结果如图 4所示,加工水平的主效应显著（$F(1) = 7.39, P = 0.015$),说明段落加工比句子加工的心理负荷要高,对驾驶的影响程度更大;不同的言语过程的主效应不显著（$F(1) = 2.37, P = 0.14$),但从图上可以看出,言语产生过程比言语理解过程对心理负荷的影响更大,加工水平与言语过程之间不存在任何交互作用。

表 4　言语交流任务的划分

加工水平 \ 言语过程	言语理解过程	言语产生过程
句子水平	句子理解（SU1)	造句（SP1)
段落水平	段落理解（SU2)	自由回答（SP2)

当引入第三个因素路段难度时,三因素重复测量方差分析的结果如图 5和图 6所示,随着路段难度的加大,言语理解过程与言语产生过程对

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

驾驶负荷的影响始终保持同样的增长趋势;而不同言语加工水平对心理负荷的影响在随着路段难度的增加而增加的同时,还产生逐渐增大的差异(F(1) = 10.06, P = 0.006),被试在驾驶过程中,句子水平的言语交流在路段难度达一定水平后,驾驶心理负荷反而不再增加。这也许是由于现场实验的特殊性造成的,或者是由于本实验的被试量少造成的,而这正是需要日后作进一步的实验进行深入探讨。

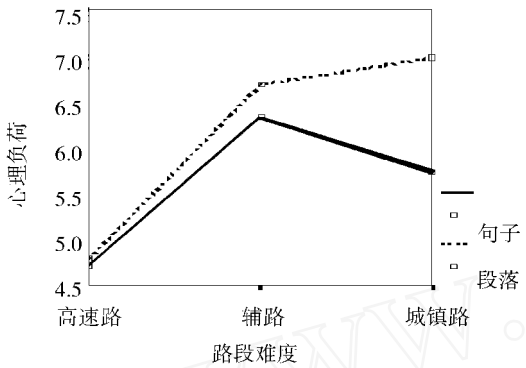

图 5　言语加工水平对心理负荷的影响

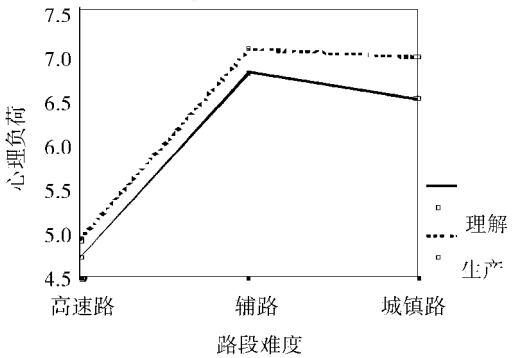

图 6　不同言语过程对心理负荷的影响

4　结论

本文就各实验条件下 NASA-TLX主观心理负荷评价量表的得分与各测试路段记录下来的主观驾驶难度值, ODD值进行分析,试图寻找行之有效地测量驾驶心理负荷的方法,并将实验中所涉及的不同的言语过程与加工水平综合起来进行考查,初步探讨了不同言语过程和加工水平两个因素对驾驶心理负荷的不同影响,结论如下:

(1)从相关分析的结果得出, ODD是一个客观而敏感的心理负荷测评指标。它可以动态地反映心理负荷的变化,也可以根据言语交流任务两个因素水平的变化揭示心理负荷产生的原因;

(2)言语理解与言语产生对驾驶心理负荷的影响程度不同,现场实验中后者稍大于前者,但差异不显著;句子水平的加工与段落水平的加工对驾驶负荷的影响也不同,后者显著大于前者。

参考文献:

[1] Roland Matthews, Stephen Legg, Samuel Charlton. The Effect of Cell Phone Type on Drivers Subjective Workload during Concurrent Driving and Conversing [J]. Accident Analysis and Prevention, 2003, 35 (5): 451-457.

[2] 朱祖祥. 人类工效学 [M]. 浙江: 浙江教育出版社, 1994.

[3] Wickens Christopher D. Processing Resources in Attention, Dual Task Performance, and Workload Assessment [R]. Illinois UNIV at Urbana Engineering-Psychology Research Lab, 1981.

[4] Parasuraman R, Davies DR, eds. Varieties of Attention [M], Orlando, FL: Academic Press, 1984.

[5] JA. Veltman. A Comparative Study of Psychophysiological Reactions During Simulator and Real Flight [J]. The International Journal of Aviation Psychology, 2002, 12 (1): 33-48.

[6] Zeitlin LR. Estimates of Driver Mental Workload: a Long-term Field Trial of Two Subsidiary Tasks [J]. Human Factors, 1995, 37 (3): 611-621.

[收稿日期] 2007-09-07
[修回日期] 2008-03-06

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net