

工作记忆中汉语反词长效效应机制*

徐 展¹ 李毕琴^{1,2}

(¹ 西南大学心理学院, 重庆 400715) (² 贵州师范大学教育科学学院, 贵阳 550001)

摘 要 工作记忆中的反词长效效应(reverse word-length effect)指在对长词和短词混合的词表进行即时序列回忆时, 独立长词回忆成绩优于独立短词的现象。以汉字词语为材料通过 3 个实验探讨反词长效效应的机制。实验 1 采用纯粹词表和长短词混合词表, 既得到纯粹词词长效应, 也得到独立词反词长效应。实验 2 削弱了长短词之间的词长差异, 结果独立词反词长效应消失, 且独立词回忆成绩优于纯粹词。实验 3 设计了视觉延迟条件, 得到与实验 1 类似的结果, 只是独立词反词长效应有所削弱。三个实验的结果并不一致, 无法用现有的语音回路理论或 SIMPLE 理论进行很好地解释, 理论的整合与创新显得非常重要。因此, 提出多重编码以既相互竞争又相互补充方式进行平行加工的观点进行更完整地解释。

关键词 词长效应; 反词长效应; 语音回路理论; SIMPLE 理论; CCPP 假设

分类号 B842

1 引言

工作记忆中的词长效应(word-length effect)是指要求被试对长单词或短单词组成的两列英文词表进行即时序列回忆, 结果长单词词表的回忆成绩比短单词词表的回忆成绩差, 即长单词的短时记忆广度不及短单词(李毕琴, 徐展, 徐丽, 2007)。诸多有影响的短时记忆或工作记忆模型的产生, 最初都源于对词长效应的解释。词长效应可以说是记忆痕迹消退及复述理论(trace decay plus rehearsal model)的基石(Tolan & Tehan, 2005)。

Baddeley, Thomson 和 Buchanan(1975)首先发现了词长效应, 短词词表比长词词表回忆正确率更高, 即使长短词的字母数量和音节数量都相同也如此。他们据此提出了言语短时记忆(verbal short-term memory)。随后 Baddeley 提出了语音回路(phonological loop)解释词长效应(Baddeley, 1997), 但受到多方质疑, 一直缺乏被普遍接受的理论解释(Nairne, 2002)。随着 Baddeley 的工作记忆模型不断发展, 理论本身对词长效应的解释也更有力量, 但

Baddeley(2007)始终持基于词表(list-based)的整体观, 强调语音存储和复述速度(rehearsal speed)在词长效应中的作用。他假设词表是一个系列, 词表中的任何一个单词的回忆成绩取决于系列的全局。长词词表之所以回忆成绩更差, 是因为无论存储或提取, 复述长词会造成同一词表中其他单词复述的延迟, 这意味着词表中的记忆痕迹消退得更多。

继 Baddeley 之后许多心理学家都验证了词长效应的存在, 他们的研究多采用纯粹的长词或短词词表, 通过变化词的音节数量、改变实验材料呈现方式和提取方式、加入发音抑制(Neath, Surprenant, 2002; Longoni, Richardson, & Aiello, 1993)、比较真词与假词(Service, 1998)、改变单词的发音时间(Cowan, Wood, Nugent, & Treisman, 1997; Cowan, Nugent, Emily, & Geer, 2000; Cowan, Nugent, & Elliott, 2000)等进行。但是, 但也有人发现词长效应消失(Lovatt, Avons, & Masterson, 2000), 甚至出现长词回忆成绩优于短词的反词长效应(reverse word-length effect) (Neath, Bireta, & Surprenant, 2003)。

整体观怎样解释反词长效应? Cowan 等人

收稿日期: 2008-03-26

* 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(教外司留[2007]1108 号)、贵州省教育厅高校人文社科项目(08QNO14)、西南大学基础心理学国家级重点学科项目(NKSF08003)资助。

通讯作者: 徐展, E-mail: xuzhan@swu.edu.cn

(Cowan, Baddeley, Elliott, & Norris, 2003)曾设计纯粹短词词表(list of pure short words)、纯粹长词词表(list of pure long words)、长短词混合词表(mixed list)要求被试记忆,结果发现随着长词在词表中所占比例减少,长词的回忆成绩越来越好,甚至比短词的回忆成绩更好。但是在发音抑制下,长词的这种回忆优势却消失了。他们认为反词长效应可能与注意分配方案变化有关,于是引入一个类似于记忆术的组织因素,用于解释混合词表中资源的分配。具体情况为,记忆长短词混合词表时,个体有选择性地编码并复述词表中那些相对长的、难的单词,因此长词回忆成绩更好;但是回忆仍基于对整个词表的复述,因此在发音抑制下对长词的回忆也受损。最后,他们把这个组织因素归于容量有限的注意集中系统(a capacity-limited focus of attention)(Cowan, 2000)或情景缓冲器(episodic buffer)(Baddeley, 2000)的作用。此外, Cowan 等人(2003)还提及混合词表中视觉空间存储的激活,但未做更多的解释。国内何先友、毛斌红和曾祥炎(2006)以中文字词为材料的实验也验证了基于词表的整体观,支持了语音回路的理论解释,同时认为项目的特异性也具有一定的作用。

同样用于解释词长效应,与整体观不同的是基于项目(item-based)的局部观。最早的理论解释是 Neath 和 Nairne(1995)提出的特征模型(feature model)。他们认为对词表中每个单词(项目)的回忆取决于单词本身特征,而与词表上下文无关,单词的长度影响其回忆。每个单词被看成是由若干成分组成的一个微形系列,系列中只要忘了一个成分就会危害到整个单词回忆。长词包括更多的成分,回忆时更可能遗忘掉必需的某一成分,因而回忆失败(Lovatt et al., 2000)。

新近发展的 SIMPLE(Scale invariant memory and perceptual learning)理论属于工作记忆局部观的代表。该理论强调构成词表的局部特异性,认为不管哪种研究范式,记忆任务成绩取决于项目在高维空间的定位(Surprenant, Neath, & Brown, 2006)。例如,词表中的单词至少可从三个维度表征,分别是时间维度、项目维度和类别维度。时间维度表现为知觉到的项目呈现时间;项目维度表现为项目本身是什么的区别;类别维度表现为信息的新异性,当长短词混合时被知觉为两类,类别维度便出现了(Hulme, Surprenant, Bireta, Stuart, & Neath, 2004)。SIMPLE 理论还指出,信息提取是对现有可得信息

的适当选择,人们表面忘记了词表中的某个项目,其实并没有真正忘记项目本身,忘记的是项目出现的确切位置和在词表中的时间次序,于是各维度的提取线索为我们提供了反应时所需的潜在信息(Nairne, 2005)。对于即时序列回忆任务,时间和位置被认为是信息提取的主要维度(Lewandowsky, Brown, Wright, & Nimmo, 2006),其他潜在维度的本质尚不清楚。因此, SIMPLE 理论否定词表总体语音存储和发音时间的作用,将词长效应归因为词表中单词本身的复杂性、项目间的独特性。与长词相比,短词有更简单的语音表征,短词间相互的区别也更易掌握,所以更易分辨。

SIMPLE 理论怎样解释反词长效应?如 Bireta, Neath 和 Surprenant(2006)报告的实验中不仅混合词表中的词长效应消失,而且混合组中的长、短词回忆成绩与纯粹短词组一样好。又如 Hulme 等人(2006)选择了音节长短不同的词,形成纯粹短词词表、纯粹长词词表、若干短词(或长词)作为背景词(background word)及一个长词(或短词)作为独立词(isolated word)的混合词表,要求被试即时序列回忆。结果发现词长效应消失,即短词不再具有回忆优势;混合词表比纯粹词表有更好的回忆成绩,且混合词表中的独立词回忆成绩优于背景词;甚至出现了反词长效应,即独立长词(isolated long word)回忆成绩优于独立短词(isolated short word)。Hulme 等人认为,反词长效应无法用基于词表的复述速度存在差异解释,即使是基于项目的观点,如词表间组装项目的难度(difficulty of assembling items)不同,也无法圆满地解释。需要说明的是,这种独立词回忆优势不能简单地用与众不同信息易被注意的独立性效应(Von Restorff effect)解释(Cowan et al., 2003)。Hulme 等人还认为,长短词混合在一起,激活了类别维度(项目可分为两类),有利于被试回忆;除此之外,还可能因为项目在不同心理空间的表征存在差异。值得一提的是,他们提及可能需要对原有的 SIMPLE 理论做出某种修订(modifications)才能完全解释反词长效应。

综上所述,基于词表的整体观和基于项目的局部观二者之间的争论从未停止过。它们都可以各自较好地解释词长效应,但对于反词长效应的解释力度都不够,尚未深入地揭示反词长效应的机制。如对语音回路理论的疑问:词表总的发音时间是否影响反词长效应?当记忆混合词表时只针对长短词的语音复述进行注意分配,是否存在其他形式的注

意分配? 如对 SIMPLE 理论的疑问: 混合词表的研究范式与传统研究范式在本质上有所不同, 只从字词本身特征维度考查, 解释能力似乎有限, 且不能完全否定对词表语音复述的作用; 如果说类别维度的激活是反词长效应的原因之一, 那么所谓的“不同心理空间的表征”实质又是什么? 因此, 有必要对反词长效应的解释进行更深入的理论探讨, 进一步整合与发展理论。

本研究拟以汉字词语为材料, 在验证词长效应、反词长效应的基础上进一步探讨机制, 从更加综合的角度予以解释。本研究总体假设如下: 首先, 词表语音存储和复述时间的不同将导致不同的注意分配方案, 从而影响记忆; 其次, 基于项目(长短词)存在不同的特异性表征也影响记忆, 这种表征并非一定是语音的; 再次, 从加工控制的角度考虑中央执行器(central executive)调节注意资源分配, 从编码的角度考虑视空画板(visuospatial sketchpad)参与编码、贮存等(Baddeley, 2002), 它们都影响对词表的记忆。本研究实验 1 验证汉语纯粹词表中的词长效应及混合词表中的反词长效应。实验 2 探讨混合词表总发音时间对独立词的反词长效应是否存在影响, 这是对语音回路理论的进一步检验。实验 3 探讨除语音复述外视觉编码是否参与了混合词表的记忆, 也对反词长效应起到了作用, 这是对 SIMPLE 理论的不同心理空间表征的检验。

2 实验 1

2.1 实验目的

验证纯粹词表中的词长效应, 及混合词表对词长效应的影响。预期得到纯粹词表中的词长效应及混合词表中独立词的反词长效应。

2.2 实验 1a

2.2.1 实验被试 西南大学 12 名本科生(6 名男生, 6 名女生), 自愿报名参加实验, 普通话标准。自陈视力正常或矫治视力正常, 听力正常, 右利手, 年龄 20~22 岁, 平均年龄为 21.03 岁。

2.2.2 实验材料和仪器 选取世界地名作为实验材料, 包括双字词(如: 瑞士)和四字词(如: 澳大利亚)各 10 个, 平均词频分别为 157.3、132.7; 词频频次介于 5~430 之间(刘源, 梁南云, 王德进, 1990)。材料的熟悉度由另外 20 名大学生分 1~5 等级事先评定, 分别为非常熟悉 1 分、较熟悉 2 分、一般熟悉 3 分、较不熟悉 4 分、非常不熟悉 5 分, 测得熟悉度平均分为 1.70、1.73, 表明均在较熟悉以上。

地名属于专有名词, 由双音节和多音节语素组成, 每个字本身不具有特别语义且不影响整个词义。

实验材料处理成尺寸为 450×150 像素的图片, 黑底白字。实验程序在联想计算机上运行, 显示器为 17 英寸, 分辨率为 1024×768 像素, 刷新频率为 75Hz。实验程序用 E-prime 编制而成, 在 Windows XP 操作系统上运行。

2.2.3 实验设计 采用 2×5 被试内重复实验设计。自变量一是词表类型, 包括纯粹短词表(双字词)和纯粹长词表(四字词); 自变量二是序列位置, 即刺激在词表序列中呈现的先后位置(1-5)。

2.2.4 实验程序 被试正坐在计算机前, 正式实验前先熟悉所有实验材料: 每词呈现 1000ms, 随后黑屏 2000ms(短词)或 4000ms(长词), 要求被试尽快读出并写在纸上。然后进入实验练习阶段: 屏幕上出现白色注视点“+”1000ms, 随后依次呈现 5 个词, 每词 1000ms, 间隔 250ms。呈现完后黑屏等待, 被试在实验用纸上按呈现顺序回忆。点击鼠标进入下一个序列。若被试回忆时间超过 1 分钟则自动进入下一个序列任务。实验过程中被试不能出声复述。被试熟悉实验过程后方可进入正式实验阶段。

正式实验时通过随机抽取方式组成词表, 长词和短词词表各 20 个, 平衡学习顺序等, 中间休息 1 分钟。实验结束后询问被试是否使用记忆策略并记录。

2.2.5 实验结果 以被试回忆成绩为因变量, 2×5 重复测量方差分析的结果显示: 在纯粹词表中, 长词记忆效果($M = 0.56$, $SD = 0.18$)显著低于短词($M = 0.79$, $SD = 0.11$), $F(1, 11) = 44.10$, $p < 0.001$, 表明词长效应存在; 序列位置效应显著, $F(4, 8) = 22.97$, $p < 0.001$; 词表类型与序列位置交互作用不显著, $F(4, 8) = 2.30$, $p = 0.15$ 。

2.3 实验 1b

2.3.1 实验被试 共 15 名在校本科大学生(7 名男生, 8 名女生), 自愿报名参加实验, 普通话标准。自陈视力正常或矫治视力正常, 听力正常, 右利手, 年龄 20~22 岁, 平均年龄为 20.64 岁。

2.3.2 实验材料和仪器 实验材料和仪器与实验 1a 相同。

2.3.3 实验设计 采用 2×5 被试内重复实验设计。自变量一是混合词表的组合方式, 包括四短一长组合(4 个双字词和 1 个四字词组成)和四长一短组合(4 个四字词和 1 个双字词组成); 自变量二是序列位置。因此, 混合词表由 80% 的背景词和 20% 独立

词组成,背景词和独立词在序列的每个位置随机出现。如在四长一短词表“阿尔卑斯、蒙古、巴基斯坦、澳大利亚、耶路撒冷”中,蒙古为独立词,阿尔卑斯等4词为背景词。

2.3.4 实验程序 实验程序与实验 1a 相同。

2.3.5 实验结果 使用 2×5 的重复测量方差分析得到结果如下。在混合词表中,混合词表的组合方式有主效应,四短一长组合回忆成绩显著优于四长一短组合, $F(1,14)=4.21, p<0.05$, 序列位置效应显著, $F(4,11)=18.61, p<0.001$, 两自变量间无交互作用, $F(4,11)=0.84, p>0.10$ 。

进一步分别以独立词和背景词为自变量进行方差分析。 $2(\text{独立词为长词或短词}) \times 5$ 方差分析发现独立长词回忆成绩优于独立短词, $F(1,14)=9.63, p<0.01$, 出现反词长效应; 序列位置效应显著, $F(4,11)=12.67, p<0.001$; 二者无交互作用, $F(4,11)=2.05, p=0.156$ 。 $2(\text{背景词为长词或短词}) \times 5$ 方差分析发现,背景短词的回忆成绩优于背景长词, $F(1,14)=14.16, p<0.01$, 表明词长效应仍存在; 序列位置效应显著, $F(4,11)=13.07, p<0.001$; 二者无交互作用, $F(4,11)=1.33, p=0.32$ 。

为了进一步研究混合词表中独立词的词长效应消失的原因,将实验 1 的 a 和 b 结合起来,以 One-way ANOVA 分别考察长、短词在作为背景词、独立词和纯粹词三种性质上的成绩,结果见表 1。短词在三种性质上的差异不显著, $F(2,39)=0.20, p=0.818$; 长词在三种水平上的差异显著, $F(2,39)=11.07, p<0.01$, 多重比较表明独立长词成绩显著优于背景长词($p=0.008$),背景长词显著优于纯粹长词($p=0.049$)。不管字词类型而从字词性质是独立词、背景词或纯粹词的角度以 One-way ANOVA 考察三者回忆成绩,发现存在显著差异, $F(2,39)=3.84, p=0.030$, 多重比较表明独立词成绩显著优于纯粹词($p=0.009$),背景词与纯粹词无差异($p=0.194$),独立词与背景词无差异($p=0.136$)。

表 1 不同字词类型回忆成绩的描述统计

字词类型	字词性质	<i>M</i>	<i>SD</i>
双字词(短词)	混合词表中的独立词	0.76	0.12
	混合词表中的背景词	0.79	0.11
	纯粹词	0.79	0.11
四字词(长词)	混合词表中的独立词	0.86	0.14
	混合词表中的背景词	0.69	0.18
	纯粹词	0.56	0.18

2.4 分析与讨论

实验 1 是以汉语材料对词长效应和反词长效应的验证性研究,结果发现:在纯粹词表中,存在词长效应、序列位置效应;在混合词表中,存在独立词的反词长效应,而背景词仍存在词长效应,另外有显著的序列位置主效应。这些结果与 Hulme 等人(2006)的实验结果是一致的。需要说明的是,本研究虽将序列位置作为自变量,但它并非关注的重点,且前人在该类研究中得到的序列位置效应及与其他变量的交互作用也不完全相同,故本研究对此只是验证性地考察,不做深入探讨。本研究关注的重点是混合词表中长词、短词分别作为独立词和背景词的时候回忆成绩的差异。对于实验 1 的结果中出现独立词的回忆优势,特别是独立长词回忆成绩最优的结果,可以利用 SIMPLE 理论类别维度激活的观点解释;有趣的是,语音回路理论也可以解释。因为从总发音时间来看,四短一长组合的词表明显快于四长一短组合的词表,所以混合词表中的独立长词回忆成绩优于独立短词。分析实验结束后的策略记录,多数被试报告使用了基于语音的策略。所以发音复述的确可能是影响反词长效应的一个因素。然而,哪种理论能够更好地揭示反词长效应的机制,需要进一步验证。

3 实验 2

3.1 实验目的

通过削弱独立词与背景词之间在发音时间上的差异,改变混合词表的总发音时间,探讨混合词表中独立词的反词长效应是否受词表总发音时间的影响,进一步检验语音回路理论。

3.2 实验被试

16 名在校本科大学生(8 名男生,8 名女生),自愿报名参加实验,普通话标准。自陈视力正常或矫正视力正常,听力正常,右利手,年龄 20~24 岁,平均年龄为 21.32 岁。

3.3 实验材料和仪器

实验材料仍选取世界地名,分为双字词、三字词和四字词,如:蒙古、奥地利、澳大利亚。每种情况下实验材料 10 个,共 30 个。平均词频分别为 157.3、129.6、132.7;词频频次介于 5~430 之间(刘源等,1990)。熟悉度同实验 1a 一样进行评定和平衡。实验仪器同实验 1a。

3.4 实验设计

采用 2×5 被试内重复实验设计。因素一是识记

材料的组合方式,包括双三组合(1个双字词和4个三字词)和四三组合(1个四字词和4个三字词);因素二是词表的序列位置。

实验2中混合词表仍由80%的背景词和20%独立词组成,背景词和独立词在每个序列位置随机出现。双字词视作短词,四字词视作长词。如双三组合:奥地利,蒙古,新西兰,华盛顿,维也纳,词表中蒙古为独立短词,其余三字词为背景词。

3.5 实验程序

实验程序与实验1a相同,正式实验过程中每个被试完成2种词表各20次。40次呈现顺序按拉丁方处理,完成20次后休息一次。实验结束后询问被试是否使用记忆策略。

3.6 实验结果

3.6.1 混合词表的方差分析及正确率比较 对被试回忆成绩 2×5 的重复测量方差分析结果表明,混合词表的组合方式无主效应, $F(1,15)=3.77, p>0.05$; 序列位置效应显著, $F(4,12)=15.42, p<0.001$; 二者无交互作用, $F(4,12)=1.287, p>0.10$ 。

进一步分别以独立词和背景词为自变量进行方差分析。 $2(\text{独立词为长词或短词}) \times 5$ 方差分析表明,在混合词表中独立短词回忆成绩优于独立长词, $F(1,15)=5.97, p<0.05$, 独立词出现词长效应; 序列位置效应显著, $F(4,12)=11.93, p<0.001$; 两者有显著的交互作用, $F(4,12)=4.310, p<0.05$ 。由于两类词表中的背景词均为三字词, $2(\text{背景词源于双三组合或四三组合}) \times 5$ 方差分析表明回忆成绩无差异, $F(1,15)=0.64, p=0.438$; 序列位置效应显著, $F(4,12)=14.64, p<0.001$; 两者有显著交互作用, $F(4,12)=4.00, p<0.01$ 。

不管字词类型,而从字词性质是独立词或背景词的角度进行配对 t 检验,结果发现混合词表中独立词回忆成绩显著优于背景词, $t=3.16, df=15, p=0.006$ 。

3.6.2 混合词表与纯粹词表回忆正确率比较 再将实验2的结果与实验1a的结果相比较,其描述统计见表2。不管字词类型而从字词性质是独立词、背景词或纯粹词的角度以 One-way ANOVA 考察三者回忆成绩,发现存在显著差异, $F(2,41)=3.79, p=0.031$, 多重比较表明独立词回忆成绩既显著优于纯粹词($p=0.021$),也显著优于背景词($p=0.026$),而背景词与纯粹词回忆成绩差异不显著($p=0.803$)。

表2 不同字词类型回忆成绩的描述统计

字词类型	字词性质	<i>M</i>	<i>SD</i>
双字词(短词)	混合词表中的独立词	0.83	0.12
	纯粹词	0.79	0.11
四字词(长词)	混合词表中的独立词	0.76	0.13
	纯粹词	0.56	0.18
三字词	双三混合词表中的背景词	0.68	0.16
	四三混合词表中的背景词	0.69	0.16

3.7 分析与讨论

实验2发现,混合词表中识记材料组合方式的主效应消失,这说明双三组合和四三组合之间的回忆成绩无显著差异。对于这一点,无论是语音回路理论或 SIMPLE 理论都可以很好地解释。根据语音回路理论,双三组合和四三组合两种混合词表之间总发音时间的差异不大,所以组合方式的主效应消失。而根据 SIMPLE 理论,双三组合和四三组合都属于混合词表,相对于纯粹词表而言都改变了类别维度,所以回忆成绩无显著差异。

然而,在实验1发现的混合词表中独立词的反词长效应在实验2中消失,出现了独立词的词长效应,即独立短词回忆成绩优于独立长词。语音回路理论更有利于解释这一结果:虽然双三组合和四三组合之间总发音时间无显著差异,但是同样作为独立词的长词和短词相比,前者本身的语音存储和发音时间会处于劣势,所以存在词长效应。而按照 SIMPLE 理论的假设,独立词反词长效应的原因在于,短词被置于长词词表中没有失去它本身的独特性;而被置于短词词表的长词获得了新的独特性。但实验结果发现,独立词与背景词的差异削弱后,类别维度仍被激活,但是反词长效应消失,这一点 SIMPLE 理论无法解释。

语音回路理论虽然可以解释独立词中的反词长效应,但对于独立词优于纯粹词的现象不能说明。在实验1中发现独立词优于纯粹词,语音回路理论认为词表整体发音是根本原因,那应该得到纯粹短词的回忆成绩最优才对,但是结果证实独立长词的成绩最好。同样在实验2中也出现了类似的结果,独立词回忆成绩不仅优于纯粹词,而且优于背景词。这说明除了语音存储和发音时间外,独立词应该还获得了一个新的特性(Cowan et al., 2003),对独立词回忆成绩有促进作用。而 SIMPLE 理论做出了合理的解释,认为独立词可能是获得了一个新的类型维度,因为项目在不同心理空间进行表征的

原因(Lewandowsky et al., 2006)。据本研究假设,很有可能是某种视觉性质的编码参与了加工过程,引起了非语音的表征,从而导致回忆结果发生变化。这一点从对被试报告的记忆策略分析中得到支持,将在实验 3 中进一步验证。

4 实验 3

4.1 实验目的

通过延迟输出,研究视觉编码对混合词表中独立词记忆优势的作用,探讨视空画板对反词长效应的影响。

4.2 实验被试

15 名在校本科大学生(7 名男生, 8 名女生), 自愿报名参加实验, 普通话标准。自陈视力正常或矫治视力正常, 听力正常, 右利手, 年龄 19~21 岁, 平均年龄为 20.47 岁。

4.3 实验材料和仪器

实验材料和仪器与实验 1b 相同。

4.4 实验设计

同实验 1b, 采用 2×5 被试内重复实验设计。自变量一为混合词表组合方式, 包括四短一长组合和四长一短组合; 自变量二为序列位置。

4.5 实验程序

实验程序与实验 1b 相似, 所不同的是在词表呈现完后, 出现白色条形掩蔽框, 高度、宽度与字词相同, 时长为 2s。被试必须注视白框, 等呈现结束黑屏后, 才能开始回忆。正式实验过程中每个被试完成 2 种词表各 20 次。40 次呈现顺序按拉丁方处理, 完成 20 次后休息一次。实验结束后询问被试是否使用记忆策略。

4.6 结果

4.6.1 混合词表的方差分析及正确率比较 2×5 重复测量方差分析结果表明, 在混合词表中, 识记材料的组合方式存在显著主效应, 四短一长组合回忆成绩显著优于四长一短组合, $F(1,14)=9.52$, $p<0.05$; 序列位置效应显著, $F(4,11)=14.52$, $p<0.01$; 二者交互作用不显著, $F(4,11)=1.57$, $p>0.10$ 。

进一步分别以独立词和背景词为自变量进行方差分析。 $2(\text{独立词为长词或短词}) \times 5$ 方差分析发现独立长词回忆成绩优于独立短词, $F(1,14)=5.98$, $p<0.05$, 表明出现独立词反词长效应; 序列位置效应接近显著, $F(4,11)=3.08$, $p=0.062$; 二者交互作用不显著, $F(4,11)=2.75$, $p>0.05$ 。实验 3 和实验 1b 结果相比, 虽然都出现独立词的反词长效应, 但是反

词长效应显著减弱($p<0.01$), 即独立长词与独立短词之间的差异在实验 3 虽然是显著的, 但是显著小于实验 1b 得到的差异。

$2(\text{背景词为长词或短词}) \times 5$ 方差分析表明, 在混合词表中背景短词回忆成绩优于背景长词, $F(1,14)=20.81$, $p<0.05$, 词长效应仍存在; 序列位置效应显著, $F(4,11)=5.10$, $p<0.05$; 二者交互作用显著, $F(4,11)=6.32$, $p<0.01$, 短词回忆成绩的曲线弧度更大。

不管字词类型, 而从字词性质是独立词或背景词的角度进行配对 t 检验, 结果发现延迟输出后混合词表中独立词回忆成绩与背景词无显著差异, $t=1.14$, $df=14$, $p=0.273$, 这与前面的实验结果均不同。

4.6.2 混合词表与纯粹词表回忆正确率比较 再将实验 3 的结果与实验 1a 的结果相比较, 以 One-way ANOVA 分别考察长、短词在作为背景词、独立词和纯粹词三种性质上的成绩, 其描述统计见表 3。短词在三种性质上的差异不显著, $F(2,39)=0.50$, $p=0.611$; 长词在三种水平上的差异显著, $F(2,39)=9.39$, $p<0.001$, 多重比较表明在延迟回忆条件下独立长词成绩既显著优于背景长词($p=0.025$), 也显著优于纯粹长词($p<0.001$), 背景长词显著优于纯粹长词($p=0.040$)。

表 3 不同字词类型回忆成绩的描述统计

字词类型	字词性质	<i>M</i>	<i>SD</i>
双字词(短词)	混合词表中的独立词 (延迟回忆)	0.76	0.16
	混合词表中的背景词 (延迟回忆)	0.80	0.13
	纯粹词	0.79	0.11
四字词(长词)	混合词表中的独立词 (延迟回忆)	0.81	0.15
	混合词表中的背景词 (延迟回忆)	0.63	0.21
	纯粹词	0.56	0.18

4.7 分析与讨论

实验 3 之所以设计延迟输出, 基于如下考虑。延迟输出对于语音复述有影响, 根据语音回路理论, 言语工作记忆广度与复述速率、保持时间有关, 即 $s_i = r_i \tau$, 其中 s_i 为某种刺激项目的记忆广度(span), r_i 为对项目语音复述的速率(articulation rate), τ 为言语痕迹(verbal trace)的保持时间间隔。大量研究表明对言语痕迹的保持时间在 1.5s~2s 之间(Hulme et

al., 2006)。因此 Baddeley 等认为, 短时记忆痕迹的衰退极为迅速, 痕迹一般只能维持约 2 秒, 如不即时在此期间加以再现或复述, 则将消退(王甦, 汪安圣, 1992)。如果混合词表反词长效效应仅是词表语音复述长短差异造成的, 那么记忆混合词表时延迟 2s 输出对不同词表的损害程度应该是相同的, 实验 3 应该得到和实验 1b 一样的反词长效效应。结果是独立长词与独立短词之间的差异在实验 3 虽然是显著的, 但是显著小于实验 1b 得到的差异($p < 0.01$), 表明反词长效效应减弱了。这暗示着有其他因素影响着反词长效效应。结合对被试报告的记忆策略分析, 本研究认为证实了视觉编码发挥作用。由于视觉编码与存储参与记忆加工, 且视觉编码消退的速度比语音编码的速度更快, 因此延迟时间设定为 2 秒不仅语音复述会受损, 将更多地损害视空画板对信息的存储。混合词表组合方式包括四短一长和四长一短两种组合, 它们激活的视觉编码有很大的差异, 因此受损的情况也不同。这就是实验 3 得到减弱了的反词长效效应的原因。实际上 Hendry 和 Tehan(2005)要求被试延迟再认长词或短词序列, 也得到了反词长效效应, 不过他们解释是由于被试在项目编码和位置编码间权衡(trade-offs between the encoding of item and order information)的结果。

实验 3 还得到一个有趣的结果, 从表 3 可见延迟输出后尽管长词作为独立词的回忆优势还在, 但是短词作为独立词的回忆优势丧失了。延迟输出对独立长词和独立短词的影响存在差异, 应该不仅是言语痕迹衰退造成的, 这也暗示了混合词表中视觉编码与存储在一定程度上被激活, 影响着独立词的优势作用。从以上结果看, 视觉编码与存储激活可视为不同于语音的一种类别维度, 是 SIMPLE 理论认为的“不同心理空间的表征”。但无法证实这就是独立词反词长效效应产生的主要原因, 相信语音存储和发音时间仍起着重要的作用。

5 总讨论

本研究 3 个实验的结果无法依据现有某一个工作记忆理论全面完整地做出合理解释。语音回路理论认为语音存储和复述时间是原因, 却不能很好解释独立词优于纯粹词的现象; 而 SIMPLE 理论从多维度心理空间表征来解释独立词与背景词的区别, 又无法拒绝语音复述的影响。因此, 本研究认为理论的整合与创新显得非常重要。

正如本研究最初假设那样, 认为词表的回忆成

绩既受词表整体语音存储和发音时间的影响, 也受项目本身性质的影响。基于词表和基于项目的解释可以整合到工作记忆的编码与贮存上, 即词表语音存储和发音时间不同, 项目间由于长短差异引起类别维度等都将影响中央执行器分配资源的变化, 而中央执行器的作用更多地体现在编码和贮存过程中。已知短时记忆主要存在语音、视觉和语义编码方式。假设一个记忆项目的理想成绩为 P_i , 则 P_i 可用如下公式表示: $P_i = r\{\omega \cdot f_1(V_i, t) + \mu \cdot f_2(Ph, t) + (1 - \omega - \mu) \cdot f_3(Se, t)\}$ 。 r 是项目可利用的心理资源, 受中央执行器的影响, 是 P_i 值的决定性因素。 ω 、 μ 是资源分配参数, 参数在一段时间内可能是恒定的, 也可能随任务、主观意志努力等变化。 V_i 是项目加工过程中与视觉有关的编码, Ph 是单词加工过程中与语音有关的编码, Se 是单词加工过程中与语义有关的编码。 t 是从识记到提取的时间间隔, t 对 V_i 、 Ph 和 Se 的作用是不一致的。 f 代表函数关系。单词的理想成绩 P_i 与实际成绩 P_v 之间还可能受额外变量 k 的影响, 即 $P_v = P_i \cdot k$ 。但本实验研究中变量 k 对成绩的影响不作讨论, 因为实验设计经拉丁方平衡处理, 故假定此处 k 值相同。

在实验 1a 中, 纯粹长词和纯粹短词词表在编码方式上无差异, 都是语音编码为主, 辅以视觉等编码, 但由于二者之间项目发音时间和总发音时间均存在差异, 因此它们的 r 值是不一样的。要达到相同的记忆效果, 长词比短词需要更多资源。在个体可得的总资源一定的前提下, 长词比短词得到更少的资源分配, 因此回忆成绩更差, 即产生词长效应。

在实验 1b 中, 四短一长组合和四长一短组合在序列的总发音时间上存在差异, 主要影响的是 r 值。同样是独立词, 独立长词的 r 值会比独立短词的 r 值更大, 因此 $P_i(\text{独立长词}) > P_i(\text{独立短词})$, 即产生反词长效效应。对比独立词与纯粹词, 由于独立词本身的特异性, 即词表中占更少比例且与背景词格格不入, 负责视觉空间存储的装置——视空画板被激活, 其 V_i 值将变大, 相对资源分配参数 ω 值也将增加, 因此 $P_i(\text{独立词}) > P_i(\text{纯粹词})$ 。而独立词与背景词差异不显著, 是因为尽管独立词在 V_i 上比背景词更大, 但两者在其余参数上的关系是不确定的。

在实验 2 中, 一方面削弱混合词表间总发音时间的差异, 另一方面也削弱了背景词与独立词之间的差异, 并使得背景词统一。此时背景词与独立词

的性质差异仍存在, 因此独立词的 V_i 值更高, 回忆成绩因此优于背景词。进一步分析独立词的 P_i 值, 由于系列整体发音时间上无差异, 意味着 r 值在独立长词或独立短词之间没有差异。两者的差异主要源于 Ph 上的不同, 由于独立短词 Ph 大于独立长词, 因此 $P_i(\text{独立短词}) > P_i(\text{独立长词})$ 。结实二的结果揭示了 SIMPLE 的解释局限及语音存储和发音时间在理论解释上的重要性。

在实验 3 中, 回忆前 2s 的视觉延迟导致独立词的反词长效应减弱, 长词受延迟的影响较短词更大。延迟的作用被认为影响着 V_i 、 Ph 和 Se 等, 受影响最大的是 V_i 值。结果独立词与纯粹词之间的差异消失, 说明了独立词回忆成绩优势与视空画板的激活有关。但是延迟后独立词仍存在反词长效应, 这说明反词长效应的产生不仅是因为视空画板的激活, 而且的确跟语音回路等有关系。四短一长组合的词表具有语音方面的优势, 涉及词表中资源的更多分配, 从而可以更多地复述单词。

基于对以上实验结果的综合分析, 本研究提出工作记忆的竞争-互补性平行加工 (competitive-complementary parallel processing, CCPP) 假设。假设在识记阶段多种编码方式都可被激活, 但由于资源有限, 以何种编码方式为主存储信息取决于中央执行器这一控制系统的判断。这种判断是以一种择优的、经济的形式, 选择哪种编码方式占优势。优势编码方式会自动与长时记忆发生联系, 非优势编码方式仍处于活动状态, 但与长时记忆的联系通路并不十分活跃。所以在识记阶段是各种编码相互竞争的平行加工。在信息提取阶段, 占优势的编码方式会首先进入整合装置, 这个整合装置与情景缓冲器在提取阶段的功能相同 (Baddeley, 2007)。如果信息线索充分, 那么刺激将很快被回忆出来; 如果这种编码方式提供的信息线索不足, 那么原先那些非优势编码方式的有限信息会被充分利用, 直到成功回忆, 否则回忆失败。所以在回忆阶段主要是各种编码之间作用的相互补充。CCPP 假设工作记忆主要的编码方式包括语音、视空、语义三方面。其中语音编码和视觉编码优势在实验中已经充分证实, 但语义编码作为一种潜在编码不是很明确。Romani 等人 (Romani, McAlpine, Olson, Tsouknida, & Martin, 2005) 发现, 在发音抑制下, 只有真词的词长效应才会消失或出现反词长效应, 非词的词长效应仍存在。他们认为标准的词长效应源于单词的音节数量。发音抑制下词长效应消失是由于促使单词加工

更多地依赖于语义表征。由于语义表征的使用, 即使在语音上优势不及短词, 长词也能很好的被整合并回忆出来。此外, 从被试实验后的记忆策略报告中同样发现, 语义编码是存在的, 少数情况下甚至成为优势编码。需要说明的是, CCPP 只是一个初步的假设, 有待进一步的研究验证。

6 结论

本研究以汉字词语为材料探讨反词长效应的机制, 结果发现: 在纯粹词表条件下存在词长效应; 在长短词混合词表条件下存在独立词反词长效应; 当削弱了长短词之间的差异后独立词反词长效应消失; 在视觉延迟条件下, 独立词反词长效应有所削弱。基于以上结果得到结论如下: 语音回路理论可以部分解释工作记忆中的反词长效应, 发音时间和语音存储是影响该效应的因素。SIMPLE 理论也可以部分地解释工作记忆中的反词长效应, 词表本身的特性所引起的类别维度也是影响该效应的因素。语音回路理论或 SIMPLE 理论都不够完善, 无法解释有关反词长效应的全部实验结果, 需要理论整合与创新。本研究认为工作记忆是一个多重编码在识记阶段彼此相互竞争, 在回忆阶段相互补充的平行的加工过程。

致谢: 本文写作过程中得到了英国 University of York 的 Alan Baddeley 教授和 Graham Hitch 教授的指导, 同时感谢 2 位匿名评审专家对本文早先版本提出的宝贵意见。

参 考 文 献

- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 14, 575-589.
- Baddeley, A. D. (1997). *Human memory theory and practice*. UK: Psychology Press.
- Baddeley, A. D. (2000) The magic number and the episodic buffer. *Behavioral & Brain Sciences*, 24, 117-118.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European psychologist*, 7, 85-97.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. New York: Oxford University Press.
- Bireta, T. J., Neath, I., & Surprenant, A. M. (2006). The syllable-based word length effect and stimulus set specificity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 434-438.
- Cowan, N., Wood, N. L., Nugent, L. D., & Treisman, M. (1997). There are two word-length effects in verbal STM: opposed effects of duration and complexity. *Psychological*

- Science*, 8, 290–297.
- Cowan, N. (2000). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral & Brain Sciences*, 24, 87–185.
- Cowan, N., Nugent, L. D., & Elliott, E. M. (2000). Memory-search and rehearsal processes and the word length effect in immediate recall: a synthesis in reply to service. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53A, 666–670.
- Cowan, N., Nugent, L. D., Emily, E. M., & Geer, T. (2000). Is there a temporal basis of the word length effect? A response to Service (1998). *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53A, 647–660.
- Cowan, N., Baddeley, A. D., Elliott, E. M., & Norris, J. (2003). List composition and the word length effect in immediate recall: A comparison of localist and globalist assumptions. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10, 74–79.
- He, X. Y., Mao, B. H., & Zeng, X. Y. (2006). A preliminary experimental study on the word-length effect in Chinese. *Psychological Exploration*, 26, 32–35.
- [何先友, 毛斌红, 曾祥炎. (2006). 汉语中词长效应的初步实验研究. *心理学探新*, 26, 32–35.]
- Hendry, L., & Tehan, G. (2005). An item/order trade-off explanation of word length and generation effects. *Memory*, 13, 364–371.
- Hulme, C., Surprenant, A. M., Bireta, T. J., Stuart, G., & Neath, I. (2004). Abolishing the word-length effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30, 98–106.
- Hulme, C., Neath, I., Stuart, G., Shostak, L., Surprenant, A. M., & Brown, G. D. A. (2006). The distinctiveness of the word-length effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, 586–594.
- Lewandowsky, S., Brown, G. D. A., Wright, T., & Nimmo, L. M. (2006). Timeless memory: evidence against temporal distinctiveness models of short term memory for serial order. *Journal of Memory and Language*, 54, 20–38.
- Li, B. Q., Xu, Z., & Xu, L. (2007). The word length effect in working memory. *Advances in Psychological Science*, 15, 768–773.
- [李毕琴, 徐展, 徐丽. (2007). 工作记忆中的词长效应. *心理科学进展*, 15, 768–773]
- Liu, Y., Liang, N. Y., & Wang, D. J. (1990). *Dictionary of modern common Chinese words frequency*. Beijing: Yuhang Press.
- [刘源, 梁南云, 王德进. (1990). *现代汉语常用词词频词典*. 北京: 宇航出版社.]
- Longoni, A. M., Richardson, J. T. E., & Aiello, A. (1993). Articulatory rehearsal and phonological storage in wording memory. *Memory and Cognition*, 21, 11–22.
- Lovatt, P., Avons, S. E., & Masterson, J. (2000). The word-length effect and disyllabic words. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53A, 1–22.
- Nairne, J. S. (2002). Remembering over the short-term: The case against the standard model. *Annual Review of Psychology*, 53, 53–81.
- Nairne, J. S. (2005). Modeling distinctiveness: implications for general memory theory. In R. R. Hunt & J. Worthen (Eds.), *Distinctiveness and memory*. New York: Oxford University Press.
- Neath, I. & Nairne, J. S. (1995). Word-length effects in immediate memory: overwriting trace decay theory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 429–441.
- Neath, I. & Surprenant, M. (2002). *Human memory: an introduction to research, data, and theory* (2nd ed.). USA: Thomson & Wadsworth Press.
- Neath, I., Bireta, T. J., & Surprenant, A. M. (2003). The time-based word-length effect and stimulus set specificity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10, 430–434.
- Romani, C., McAlpine, S., Olson, A. C., Tsouknida, E. & Martin, R. (2005). Length, lexicality, and articulatory suppression in immediate recall: evidence against the articulatory loop. *Journal of Memory and Language*, 52, 398–415.
- Service, E. (1998). The effect of word length on immediate serial recall depends on phonological complexity, not articulatory duration. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 51A, 283–304.
- Surprenant, A. M., Neath, I., & Brown, G. D. A. (2006). Modeling age-related differences in immediate memory using SIMPLE. *Journal of Memory and Language*, 55, 572–586.
- Tolan, G. A. & Tehan, G. (2005). Is spoken duration a sufficient explanation of the word length effect? *Memory*, 13, 372–379.
- Wang, S. & Wang, A. S. (1992). *Cognitive psychology*. Beijing: Peking University Press.
- [王甦, 汪安圣. (1992). *认知心理学*. 北京: 北京大学出版社.]

The Mechanism of Reverse Word Length Effect of Chinese in Working Memory

XU Zhan¹, Li Bi-Qin^{1,2}

(¹School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

(²School of Education Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract

One theoretically influential and much studied phenomenon related to working memory is the word-length effect: the finding that lists of short words are recalled at substantially higher rates than lists of long words

(Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1975). However, researchers have also found a reverse word-length effect for mixed word lists: isolated long words are recalled better than isolated short words within the same list (Hulme, Neath, Stuart, Shostak, Surprenant, & Brown, 2006). Current theoretical accounts of the word-length effect can be divided into two very different forms of explanation: primarily list-based or item-based. According to list-based explanations, the word-length effect is the product of some overall characteristic of the list. For example, the classic phonological loop hypothesis posits that there is a positive correlation between the rate of subvocal rehearsal and overt pronunciation time (Baddeley, 1986). In contrast, item-based explanations hypothesize that short words are inherently easier to recall than long words (Neath & Nairne, 1995). For example, the SIMPLE model assumes that word-length effects are due to item complexity, and this complexity affects the relative discrimination of items in a list. Unfortunately, the reverse word length effect contradicts models that explain the word-length effect in terms of list-based accounts of rehearsal speed or as item-based effects. Modifications to current models or new explanations should be generated. In the present study, three experiments were conducted not only to integrate list-based and item-based explanations to account for the reverse word-length effect but also to propose new ideas for the mechanism.

The study compared serial recall of word lists with varying lengths. Materials included three types of words: two-character, three-character and four-character Chinese words. The words were combined into four sets of word list, each of which consisted of five words: a pure short word list, a pure long word list, a mixed list containing four long words (background) and one short word (isolated word), and a mixed list containing four short words (background) and one long word (isolated word).

Fifty-eight undergraduates (28 males, 30 females) participated in the study. Experiment 1 found a word length effect in pure lists and serial position effect in all lists. Furthermore, short background words were still better recalled than the long background words and a reverse word length effect was observed in isolated words: Isolated long words were recalled better than isolated short words, and the isolated words were recalled more accurately than background words. Experiment 2 reduced the length difference of total pronunciation time for the two types of mixed lists. The reverse word length effect was eliminated and the rate of recall was still higher for isolated words than background words. These findings indicated that total pronunciation time had a role in recall performance. Experiment 3 used a technique of output delay. After the final item disappeared, a white crossband lasting 2 seconds was presented in the same location of a computer screen. An attenuated reverse word length effect was observed. However, there were no significant differences in recall performance for isolated, pure, or background words. These findings indicated that aside from phonological encoding, visual encoding, contributed to the memory process.

Taken together, the findings showed that the reverse word-length effect could be explained only if list-based and item-based theories were integrated. Furthermore, results implicated a hypothesis of competitive-complementary parallel processing (CCPP) in relation to immediate serial order recall. That is, working memory may involve multiple, parallel, and different encodings that are both competitive and complementary in memory processing.

Key words word-length effect; reverse word-length effect; phonological loop theory; SIMPLE theory; CCPP hypothesis