

工作记忆容量在语言理解中的作用及机制

张 璇^{1,2} 杨玉芳^{*1}

(¹中国科学院心理研究所,北京,100101) (²中国科学院研究生院,北京,100039)

摘 要 从工作记忆容量个体差异角度出发,对近年来工作记忆在语言理解中作用及机制的研究进展加以综述。首先从句法、语义、语法和语用加工水平等方面总结了工作记忆容量在语言理解中的作用,并简要介绍了工作记忆容量在语言理解中作用的发展性变化;然后从认知模型和神经机制两方面探讨工作记忆在语言理解中的作用机制;最后提出值得进一步研究的问题与方向。

关键词 工作记忆容量 个体差异 语言理解 加工水平

1 引言

工作记忆由 Baddeley 等人于 1974 年首次提出,用以表征对信息进行暂时存储与加工的系统。对工作记忆容量的测量始于 Daneman 和 Carpenter (1980)设计的阅读广度测验。时至今日,已发展出多种工作记忆广度任务,其测量结果体现了个体在信息加工的同时能够保持的信息量,综合反映工作记忆的存储能力和加工效率。近年来的大量研究表明,工作记忆容量有限且存在显著的个体差异,包括健康成年人之间的差异、儿童期和老年期的发展性差异、心理异常及疾病引发的差异^[1]。与此同时,越来越多的研究从工作记忆容量个体差异角度,对语言理解中工作记忆的作用及机制进行深入探讨。

2 工作记忆容量在语言理解中的作用

语言加工中对工作记忆的需求,一方面产生于语言形态与解释之间关系的不确定性,即一种形式可能有多种解释,一种意义也可能以多种形式来表达。对这些可能性的考虑就需要利用工作记忆,暂时保持几种备选或相互竞争的解释,直到不确定性被消除。另一方面,语言理解需要整合语义、句法等多水平信息,并利用个体已有的世界知识形成完整的心理表征,从而工作记忆的作用还体现在信息整合上。因此,对句法、语义、语法和语用等不同加工水平中工作记忆所起作用及其机制的研究,成为语言理解与工作记忆关系研究的基础。

2.1 工作记忆容量对语言理解中不同加工水平的作用

在句法加工水平上,一种观点认为言语工作记忆的个体差异不影响即时句法加工。早期,Zurif 等人发现自动化的句法加工不受因老化而衰退的工作记忆影响,从而提出老年人在加工句法复杂性高的

句子时,其表现出的困难与理解后的记忆要求有关,而与早期的句法结构建构无关^[2]。近年来,DeDe 等人使用结构方程模型的研究支持了这一观点^[3],Waters 和 Caplan 采用听觉动窗方法的研究也发现,无论句法复杂还是简单,工作记忆广度与即时建构句法的加工时间无关^[4]。

但是也有一些研究者认为,句法加工与其他非句法加工一样,利用共同的工作记忆资源,其证据来自于同时涉及语义和句法加工的研究。Gordon 等人研究发现,工作记忆中信息与句子语义内容的失匹配,会干扰被试对句法复杂性高的句子的理解,提出句法加工并非模块化的,而是与其他非句法加工利用共同的工作记忆资源^[5]。Fedorenko 等人也发现在高记忆负荷条件下,句法复杂度和语义范畴之间出现显著的交互作用^[6],扩展了 Gordon 等人对这种交互趋势的报告。最近,陈庆荣等人研究发现高容量者受句法复杂性影响较小,任务切换和语义提取能力强,加工不同判断句式及意义单元所需时间显著少于低容量者^[7],也支持了以上观点。

在语法加工水平上,McDonald 对晚期第二语言学习者的研究发现,工作记忆容量与第二语言语法判断的成绩存在显著正相关^[8]。Clahsen 和 Felser 也认为工作记忆容量可能是影响第二语言语法加工的重要因素^[9]。最近,陈宝国等人采用语法判断任务发现,高工作记忆负荷条件下的语法判断成绩显著低于低负荷条件^[10]。这些研究表明,个体工作记忆容量的限制是影响晚期第二语言学习者语法加工的重要因素之一。但是,也有少量研究没发现工作记忆在第二语言语法即时加工中的作用^[11,12]。不过由于这些实验中采用的句子虽然歧义但都语法正确,并不是严格意义上的语法判断任务;而且使用每个单词的阅读时间作为即时语法加工的指标来考察工作记忆的作用,并不意味着对延时加工没有影响,

* 通讯作者:杨玉芳。E-mail: yangyf@psych.ac.cn

因此不能否定工作记忆在第二语言语法加工中的作用。可见,工作记忆容量是否影响第二语言语法的即时加工,仍需进一步的研究。

值得注意的是,最近几年考察工作记忆在语用水平上作用的研究逐渐增多。Moran 等人研究发现,患有外伤性脑损伤者与同龄健康者对谚语的理解显著不同,而且所有被试的成绩都受到工作记忆容量的影响;并由此提出,在评估外伤性脑损伤青少年对形象语言的理解能力时,应重点考虑工作记忆的作用^[13]。Monetta 等人的研究发现,帕金森病症对隐喻理解的影响随着工作记忆容量受损程度而变化,而且帕金森病人的语言功能对工作记忆容量的降低十分敏感^[14]。但很少有实证性研究举例证明,帕金森病人究竟有哪些社会语用语言的加工是严重依赖于工作记忆功能的。Monetta 等人在进一步研究中使用了语篇理解测验,发现尽管帕金森组内隐理解题的正确率要显著低于健康组,但是只有工作记忆受损的病人绩效受到影响,工作记忆容量正常范围病人的正确率则没有显著降低^[15]。这项研究进一步表明,工作记忆容量的降低是帕金森病人语用语言缺陷的主要来源。

2.2 工作记忆容量在语言理解中作用的发展性变化

早期对工作记忆在语言理解中作用的研究多数集中在证实工作记忆容量和阅读理解之间的相关性,并没有阐述工作记忆对阅读理解贡献的发展性变化及其原因。近期研究表明,工作记忆在儿童阅读理解中所起的作用是随年龄的发展而变化的。Seigneuri 等人使用纵向研究方法对不同年级采用多元回归分析发现,工作记忆容量与阅读理解的关系是随着年级水平的变化而变化的^[16]。最近, Gilchrist 等人探究了老龄化造成的工作记忆容量降低的可能原因,发现老年人将相关内容形成组块的整合能力并不差于年轻人,但在以组块为单位的工作记忆容量上有所降低^[17]。

3 语言理解中工作记忆容量的作用机制

3.1 认知机制

研究者曾先后提出多种认知模型来解释工作记忆容量的作用机制,如资源共享模型、任务转换模型、控制性注意模型以及 T 资源共享模型。近期,通过探索工作记忆广度在阅读和推理之类复杂任务中的精确机制, Cowan 等人认为注意焦点的容量(可以同时占据注意焦点的表征数)和对注意的控制能力(诸如选择和抑制之类的认知控制)是不同的结构,任何之一都会造成认知绩效上的差异^[18]。

Unsworth 和 Engle 提出的理论框架认为,工作记忆的限制可以从两个子成分中产生:一是动态的注意成分,另一是概率性的、依赖于线索的搜索成分。使用此框架对前人研究进行的检验结果表明,工作记忆广度的个体差异部分源于在初级记忆中保持信息的能力,以及从次级记忆中搜索信息的能力^[19]。

值得关注的是,最近 Cowan 等人^[20]把工作记忆与物理事件进行类比,将工作记忆容量的受限类型分为三种:组块容量限制(空间)、消退和速率限制(时间)以及注意控制限制(能量)。从空间限制上来看,工作记忆中当前可以保持的信息数量是有限的,即组块容量限制。从时间限制上来看,表征有可能即便没有干扰也会随时间很快消退,也可能会持续保持在工作记忆中,直到被其他表征所取代。从能量限制上来看,某一表征或心理活动需要一定能量的参与,并会面临来自其他表征或心理活动的竞争,这种限制被称为资源限制,大脑的电生理活动可能就是这样一种能量。

此外,工作记忆容量与阅读理解中不同子加工成分之间的相关程度有所不同。工作记忆容量对于推理和语篇整合十分重要,但对于仅需要提取长时记忆中已有知识就可完成的理解则并不重要^[21]。当一些研究表明语言和一般认知加工产生于共同的脑区,另一些研究却发现了针对不同类型言语信息的多重工作记忆系统。因此,目前我们还不清楚工作记忆系统的差异究竟是由信息的语言属性还是认知属性造成的。将来可能会以加工信息的类型以及参与谈话者的交流目标,而非以一种语言特异性的系统,来探讨语言理解中工作记忆的作用^[22]。

计算模型可以为工作记忆容量有限性提供另一个角度的解释,对工作记忆整个加工的动态过程和阶段,如编码、存储和提取的机制进行阐释与模拟。Lewis 等人提出一个句子理解中工作记忆系统的计算模型,并从理论框架上指出几项原则:一个十分有限的注意焦点;对项目信息迅速而易受相似项目干扰的提取;以及激活的消退(随时间而发生的遗忘)。支持该模型的实验证据来自对编码、保持和提取限制的研究^[23]。

3.2 神经机制

随着认知神经科学技术手段与方法的不断发展与进步,近年来对工作记忆神经机制的研究也开始逐渐增多。就目前的研究结果来看,言语工作记忆的神经基础涉及到前额叶、前扣带回以及颞叶语言区域的激活,而且高广度个体还表现出背外侧前额叶与前扣带回之间更强的功能性连接。采用听觉呈现工作记忆广度任务的一项 fMRI 研究发现,前额

叶、前扣带回和颞叶语言区三处脑区显著激活,而且与低广度组相比,高广度被试由前扣带回支持的注意控制系统效率要更高^[24]。研究者进一步采用视觉呈现的阅读广度任务发现,高广度组在前扣带回和左额下回区的激活范围更大,而且两个区域的相关程度也更高^[25]。另外,一项对信息整合中工作记忆容量所起作用的 ERP 研究发现,低广度者比高广度者更容易受到刺激序列中局部变化的影响^[26]。近期, Martin 和 Hamilton 通过对大量脑损伤病人工作记忆研究的回顾与分析提出一个假说,健康成人个体内工作记忆的个体差异是由个体脑内神经递质的差异所造成,而脑损伤病人的工作记忆缺陷则是由中风、疾病或外伤导致的脑结构异常所造成^[27]。但是总体来说,目前对语言加工等高级认知活动中工作记忆容量神经机制的研究还相对较少,而且新近提出的理论假说以及多数实验结论还有待进一步验证和支持。

4 小结与展望

综上所述,工作记忆容量的测量引发了大量从个体差异角度对语言理解中工作记忆的作用及机制的研究工作,不仅促进了对工作记忆容量本质的探讨,而且推动了语言加工内在机制的深入研究。但是对语言理解中工作记忆作用的研究处于起步阶段,仍存在不少值得注意的事项和有待解决的问题。

首先,应该注意到,工作记忆对不同类型的语言加工测量结果可能产生不同的影响。前人研究中相反结果的产生可能是由于选取语言加工测量类型的不同——有些研究中包含了更多对延迟理解的测量,而另外一些则集中在对即时理解的测量。如果合并不同类型语言加工测量的研究,无法充分检验语言理解和其他认知过程之间的复杂关系。因此,未来的研究中应该更加注意语言加工测量类型的选择。

其次,应该谨慎选取个体差异研究对象,及其特异性来源和理论意义的探讨,对工作记忆容量的测量方法也有待精确与标准化。尽管无论是年龄上的发展性差异、由疾病伤病而造成的差异、还是正常成年人之间的差异,都可由工作记忆广度测验来测量,但是不同群体个体差异的来源与机制不一定全部相同,由此推及工作记忆在语言理解中的具体作用及机制时,应该尤为审慎。此外,由于大量研究中所使用的阅读广度材料实际上并没有对句法复杂度或命题个数进行控制,因此如何更精确地使用统一而标准的方法去测量工作记忆容量,将是对工作记忆与语言理解关系研究有效进展的保障。

再次,工作记忆在语言理解不同加工水平上作用的研究范围还有待进一步扩展。此外,目前研究多以书面语为材料探究阅读理解过程中工作记忆的作用,很少采用口语语料。实际上,由于口语稍纵即逝、可控性差,需要立刻对话语中的各种言语信息进行加工和存储,从而对工作记忆提出了更高的要求。而且除了句法和语义两个水平上的言语信息,连续的口语语流还含有独特的音系水平上的信息——韵律特征。因此,工作记忆如何在音系水平上影响口语语篇的理解,也是一个值得探究的方向。

最后,关于语言理解中工作记忆的作用机制,还有若干有待解决的争论和需要阐明的问题。比如,如何从 Cowan 等人提出的来自时间、空间和能量三方面的限制工作记忆容量的因素,分别解释和预测个体在语言理解中存在的差异性。再如,如何利用迅速发展的认知神经科学研究手段与方法,更加深入地探讨语言理解中工作记忆作用的神经加工机制。句子理解中工作记忆计算模型的建立与发展,也在呼唤语篇理解中工作记忆计算模型的出现。

5 参考文献

- 1 Conway, A., Moore, A., & Kane, M. Recent trends in the cognitive neuroscience of working memory. *Cortex*, 2009, 45: 262 - 268
- 2 Zurif, E., Swinney, D., Prather, P., Wingfield, A., & Brownell, H. The allocation of memory resources during sentence comprehension: Evidence from the elderly. *Journal of Psycholinguistic Research*, 1995, 24(3): 165 - 182
- 3 DeDe, G., Caplan, D., Kemtes, K., & Waters, G. The relationship between age, verbal working memory, and language comprehension. *Psychology and Aging*, 2004, 19(4): 601 - 616
- 4 Waters, G., & Caplan, D. Verbal working memory and on-line syntactic processing: Evidence from self-paced listening. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 2004, 57(1): 129 - 163
- 5 Gordon, P., Hendrick, R., & Levine, W. Memory-load interference in syntactic processing. *Psychological Science*, 2002, 13(5): 425 - 430
- 6 Fedorenko, E., Gibson, E., & Rohde, D. The nature of working memory capacity in sentence comprehension: Evidence against domain-specific working memory resources. *Journal of Memory and Language*, 2006, 54(4): 541 - 553
- 7 陈庆荣, 邓铸, 蒋波. 工作记忆和句法复杂性对汉语判断单句的影响. *心理科学*, 2008, 31(3): 633 - 637
- 8 McDonald, J. Beyond the critical period: Processing-based explanations for poor grammaticality judgment performance by late second language learners. *Journal of Memory and Language*, 2006, 55(3): 381 - 401

- 9 Clahsen, H., & Felser, C. How native-like is non-native language processing? *Trends in Cognitive Sciences*, 2006, 10(12): 564 - 570
- 10 陈宝国,高怡文. 工作记忆容量的限制对第二语言语法加工的影响. *外语教学与研究*, 2009, 41(1):38 - 45
- 11 Juffs, A. Representation, processing and working memory in a second language. *Transactions of the Philological Society*, 2004, 102(2): 199 - 225
- 12 Felser, C., & Roberts, L. Processing wh-dependencies in a second language: A cross-modal priming study. *Second Language Research*, 2007, 23(1): 9 - 36
- 13 Moran, C. A., Nippold, M. A., & Gillon, G. T. Working memory and proverb comprehension in adolescents with traumatic brain injury: A preliminary investigation. *Brain Injury*, 2006, 20: 417 - 423
- 14 Monetta, L., & Pell, M. D. Effects of verbal working memory deficits on metaphor comprehension in patients with Parkinson's disease. *Brain and Language*, 2007, 101(1): 80 - 89
- 15 Monetta, L., Grindrod, C., & Pell, M. Effects of working memory capacity on inference generation during story comprehension in adults with Parkinson's disease. *Journal of Neurolinguistics*, 2008, 21(5): 400 - 417
- 16 Seigneuric, A., & Ehrlich, M. Contribution of working memory capacity to children's reading comprehension: A longitudinal investigation. *Reading and Writing*, 2005, 18(7): 617 - 656
- 17 Gilchrist, A., Cowan, N., & Naveh-Benjamin, M. Working Memory Capacity for Spoken Sentences Decreases with Adult Aging: Recall of Fewer, but not Smaller Chunks in Older Adults. *Memory*, 2008, 16(7): 773 - 787
- 18 Cowan, N., Morey, C., Chen, Z., & Bunting, M. What Do Estimates of Working Memory Capacity Tell Us? In R. H. L. Naoyuki Osaka, Mark D'Esposito (Ed.), *The cognitive neuroscience of working memory*. Oxford: Oxford University Press, 2007: 43 - 58
- 19 Unsworth, N., & Engle, R. The Nature of Individual Differences in Working Memory Capacity: Active Maintenance in Primary Memory and Controlled Search from Secondary Memory. *Psychological review*, 2007, 114(1): 104 - 132
- 20 Cowan, N., Morey, C. C., et al.. Theory and Measurement of Working Memory Capacity Limits. In B. Aaron S. Benjamin (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*. New York: Academic Press, 2008, 49: 49 - 104
- 21 Daneman, M., & Hannon, B. What do working memory span tasks like reading span really measure? In R. H. L. Naoyuki Osaka, Mark D'Esposito (Ed.), *The Cognitive Neuroscience of Working Memory*. Oxford: Oxford University Press, 2007: 21 - 42
- 22 Nusbaum, H. C., Foraker, S., & Fenn, K. Working memory and language processing. In P. Hogan (Ed.), *Cambridge Encyclopedia of the Language Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007
- 23 Lewis, R., Vasishth, S., & Van Dyke, J. Computational principles of working memory in sentence comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, 2006, 10(10): 447 - 454
- 24 Osaka, M., Osaka, N., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., Aso, T., et al. The neural basis of individual differences in working memory capacity: an fMRI study. *Neuroimage*, 2003, 18(3): 789 - 797
- 25 Osaka, N., Osaka, M., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. The neural basis of executive function in working memory: an fMRI study based on individual differences. *Neuroimage*, 2004, 21(2): 623 - 631
- 26 Brumback, C., Low, K., Gratton, G., & Fabiani, M. Putting things into perspective: individual differences in working-memory span and the integration of information. *Experimental psychology*, 2005, 52(1): 21 - 30
- 27 Randi C. Martin, & Hamilton, A. C. Implications from cognitive neuropsychology for models of short-term and working memory. In R. Osaka (Ed.), *The cognitive neuroscience of working memory*. Oxford: Oxford University Press, 2007: 181 - 196

Effects and Mechanisms of Working Memory Capacity in Language Comprehension

Zhang Xuan^{1,2}, Yang Yufang¹

⁽¹⁾ Institute of Psychology, Chinese Academy Sciences, Beijing, China. 100101)

⁽²⁾ Graduate University of Chinese Academy Sciences, Beijing, China. 100039)

Abstract Recent development in the study of effects and mechanisms of working memory capacity in language comprehension was reviewed from the perspective of individual differences. The effects of working memory capacity in different levels of language processing, including syntactic, semantic, grammatical and pragmatic language processing, were illustrated through empirical studies. The developmental contribution of working memory capacity to comprehension was also briefly introduced. Cognitive and neural mechanisms underlying such effects were discussed. Some research questions and directions worthy of further exploration were raised.

Key words working memory capacity, individual differences, language comprehension, processing level