

# 短时记忆容量的重新思考<sup>1)</sup>

崔剑霞 吴艳红<sup>2)</sup>

(北京大学心理学系, 北京, 100871)

刘艳芳

(摩托罗拉实验室, 北京, 100022)

**摘 要** Miller(1956)通过研究发现,短时记忆(STM)的容量大小为 7? 2 个单位。但在随后的 50 多年,Miller 的理论受到了质疑。Cowan 通过总结大量的研究,提出了纯净的短时记忆容量和混合的短时记忆容量概念,并认为 Miller 的研究结果代表的仅仅是混合的短时记忆容量。

**关键词** 纯净的短时记忆容量; 混合的短时记忆容量; 块; 注意焦点; 时间限制

**中图分类号** B 842

记忆是人类高级心理功能,是心理学研究中最活跃的领域之一。记忆过程包括编码(encoding)、存储(storing)和提取(retrieving)3 个过程。其中,特别是短时记忆存储容量限制的研究一直受到记忆研究者的普遍关注。对短时记忆存储容量的研究是进行人机界面研究的基础,只有更准确地了解短时记忆存储容量后,才能设计出恰当的人机界面系统,以保证界面布局合理、操作方便,提供的信息数量既不会多得让人一时无所适从,又可以充分利用人的注意和记忆资源,实现设计的最优方案。

## 1 短时记忆的容量)) ) 7? 2

Miller(1956)通过总结大量的对线性刺激的绝对判断(absolute judgments of unidimensional stimuli)、速知(subitizing)、以及即时回忆广度(the span of immediate memory)的实验研究,发现被试的感觉通道容量或者回忆项目的数量,也就是记忆的容量在一个很小范围内波动,大概是 7? 2。但需要注意在不同的实验中 7? 2 所代表的项目是不同的,因此,Miller 使用了 bit 这个单位,一个 bit 的信息是指在 2 个几乎相同的项目之间进行判断时所需要的信息量。例如要求被试区分 2 个不同频率的纯音信号,显然区分 2 个纯音信号时,每个项目包含的 bit 信息较少;而对于单词的区分,每个项目所包含的 bit 信息就要多很多了,即使两种情况下被试记住的都是 7 个项目。Miller 认为再编码(recoding)对于每个项目中包含 bit 信息的数目的增加具有重要意义。虽然不同任务的机制可能不同,但却得到相同的容量范围 7? 2,说明短时记忆接受、加工、存储的容量限制为 7? 2 个/块0(chunks),但 Miller 并没有对/块0做出明确的定义。Miller 的理论提出后,长时间被人们广泛接受,而且写入教科书<sup>[1]</sup>。

1) 摩托罗拉实验室、国家自然科学基金(30170322)、国家攀登计划项目(95-专-09)资助项目

2) 通讯联系人, Tel: 86-010-62758965, E-mail: wuyh@pku.edu.cn

收稿日期: 2003-04-09; 修回日期: 2003-06-30

## 2 Cowan 理论框架

### 2.1 理论框架

Cowan 认为 Miller 的理论提出了 40 多年,但现在仍不清楚存储容量限制的性质,甚至不知道是否真的存在这样一个容量,因此不但要研究短时记忆(short term memory, STM)容量的大小,更重要的是研究它是否存在。因此, Cowan 于 2000 年总结了自己和他人的研究,重新考察了短时记忆的存储容量,提出了自己的理论。

先说明一下注意焦点的含义。注意焦点的概念由冯特在他 1908 年出版的《情感和注意心理学》中提出。冯特认为:注意是伴随着一种心理内容的清晰领会的状态;并指出注意的范围和作用:意识也与视野一样,是一个以一定的阈限为境界的有限领域,任何的心理内容只有进入这个领域,才有被领会的可能。在该领域内有一个范围狭小的中心区域,任何心理内容只有进入这个中心区域,才会获得最大的清晰性和鲜明性。这个中心区域被称为“注意焦点”。<sup>[2]</sup>

Cowan 的理论共有以下 4 条基本假设:第一,注意焦点是容量限制的;第二,正常成年人注意焦点限制的平均值为 4 个“块”;第三,不存在其他心理功能的容量限制;第四,任何有意回忆的信息,不论来自当前刺激还是长时记忆(LTM),都受到注意焦点的限制。第四条假设的前提是:只有在注意焦点中的信息才能够被意识到和报告出来<sup>[3]</sup>。

### 2.1.2 纯净的/混合的 STM 容量

Cowan 的理论基础有一个非常重要的前提,就是他对 2 种 STM 容量的定义。Cowan 认为虽然很多人承认短时记忆的存储容量是有限的,而且可以用“块”来估计它的容量,但有的时候“块”并不容易鉴别。因为人们可能利用已有的知识经验将单个项目或者较小的“块”组成较大的“块”;除此之外还存在一些受时间限制的过程,它们不是容量限制的,但可能与容量限制的存储过程混合在一起共同回忆信息,这种情况发生时,无法评估其他非容量限制机制的作用大小,所以 Cowan 把此时的估计结果称为混合的短时记忆容量估计,而把不受这些因素影响的称为纯净的短时记忆容量估计。如果能够找到一些方法,从中得出纯净的短时记忆容量限制,将十分有利于研究的深入。<sup>[3]</sup>

刺激呈现后,STM 中就会有相应的记忆痕迹,而这些痕迹保持激活的时间是有限的,如果在这有限的时间内对痕迹进行复述等加工,那么这些痕迹保持激活的时间就会延长,从而被记住并在提取过程中表现出来,否则这些痕迹就会消退。因此 Baddeley 等认为,在没有复述的情况下,短时记忆中信息保持激活状态的时间,称为时间限制。它是一种无需注意而在短时间内保持激活的存储机制。<sup>[4, 5]</sup>

Cowan 理论的提出具有重要意义,他从 2 个角度细化了 STM 容量的概念。一方面, Cowan 将短时记忆容量概念细分为纯净的和混合的 2 类,这是以前的研究者不曾涉及到的;另一方面, Cowan 强调了 STM 容量与注意焦点之间的关系,也就是明确指出,研究的 STM 容量针对被试能够报告出来的记忆,而不包括那些也许存在但不能被报告出来的记忆,因为有了更为详细和准确的概念,因此对 STM 容量的研究也会更明确和清晰。

### 2.1.3 能观察到纯净存储容量限制的 4 种情况

为了能够根据提出的理论研究纯净的 STM 容量, Cowan 深入研究了哪些实验情景可以观察到纯净的 STM 容量,大致可分为 4 种情况。

第一,信息超载限制新组块的形成。呈现刺激时使加工系统信息超载,由于信息过多,被试为了尽可能多的获得信息,因而不可能在刺激呈现的很短时间内对刺激进行复述或编码。既然在刺激呈现的时候,被试没有对信息进行再加工,那么刺激呈现之后,所存储的信息仍就保持刺激呈现时的状态。

第二,采取措施阻止对刺激项目再编码以形成较大的/块 $\theta$ 。例如,在每个 trail 中给被试呈现相同的几个刺激,但要求被试回忆刺激呈现的序列位置,这样被试设法记住所有刺激呈现顺序的能力就受到了限制。另外,在刺激呈现的过程中,通过要求被试不断重复一个单词,也可以阻止被试对所呈现刺激进行复述。

第三,检测由容量限制引起的操作的不连续性。实验中,如果被试仅仅依靠容量限制的存储就能完成当前的任务,对这个任务的操作水平就比较高;但如果不能单独依靠容量限制的存储完成任务,而是还需要长时记忆和时间限制的存储的支持,或者说操作过程中卷入了更多的存储机制,此时被试的操作水平就会下降,即准确率降低、反应时变长。以一次呈现刺激的项目数量为横坐标,反应时或正确率为纵坐标,可以发现在容量限制处,操作曲线的斜率会发生较大的变化,也就是发生了操作的不连续性。

第四,检测由容量限制引起的其他方面的效果。除了第 3 种情况,还可以观察到由容量限制引起的其他效果。例如,人们倾向于将 4 个项目组成一个/块 $\theta$ 来回忆;2 个词之间插入的项目为 3 个或少于 3 个的时候,前一个词对后一个词的启动效应会强于多于 3 个项目的情况。

上面 4 种情况都基于一个假设:被试不能将项目组成更高水平的/块 $\theta$ 。除此之外,Cowan 还做了一些其他限制:实验中每个项目本身就是记忆中的一个/块 $\theta$ ; /块 $\theta$ 内要有较强的相互关系,而不同/块 $\theta$ 之间的关系较弱或没有关系<sup>[3]</sup>。

### 3 容量限制的实验证据

#### 311 信息过载时的容量限制估计

Cowan(1999)曾做过忽略语音的整体报告的研究,他让被试匹配计算机屏幕上的几幅图画的同时听一系列数字。实验组要求被试忽略声音信号,最后一个听觉数字呈现后 1s,视觉任务突然停止,要求被试回忆数字系列;控制组被试则在做视觉任务的同时注意听觉信息。结果发现,不论声音系列长短,实验组被试成人的回忆成绩保持在 315 个左右,儿童成绩更低一些,还出现了个体差异。不论是成人还是儿童,实验组与控制组被试回忆数字数量的差异都在 114~116 之间,说明注意条件下可能加入了某种过程,并假定它独立于纯容量限制,且能反应形成大组/块 $\theta$ 时注意的使用。<sup>[6]</sup>

需要说明的是,这个结果与 Cowan 的理论并不矛盾。Cowan 假设由注意焦点的容量限制产生了 STM 容量限制,是指在提取的时候,处于注意焦点中的所有激活信息的一部分信息,注意决定哪些激活的项目处于注意焦点中,因此上述实验的实验组被试测量的正是这部分信息。

#### 312 通过阻碍长时记忆再编码、被动存储和复述估计容量限制

在 McKone(1995)的 4 个再认实验中,给被试呈现一系列 4 个字母的真词或假词(如: Mave),真词又分为高频词、低频词 2 类。每个实验中都有 1100 个词,分为 4 个 block 呈现: 300, 250, 250, 300。其中有一部分词只呈现过一次,而另一部分词是对原来呈现过项目的重复,被重复的词和重复的词之间的间隔有 9 种: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 9, 23, 1050, 要求被试判断当前呈

现的项目是否在前面呈现过, 测量被试的反应时间和正确率。这些实验中, 由于呈现的刺激序列非常长, 被试很难对项目进行复述, 因此符合 Cowan 观察到纯净存储容量限制的要求。结果发现不论真词还是假词, 也不管高频词还是低频词, 基本都在插入项目为 3 个的时候, 被试的操作曲线出现不连续现象。结果支持 Cowan 短时记忆的容量限制是 4 的理论<sup>[7]</sup>。

Rensink(2000)对简单项目进行了变化-检测实验(change-detection), 以检验人们每一次可以注意到多少个项目。他首先给被试呈现一幅真实景物的原始图像, 间隔很短一段时间后再呈现一幅改变的图像, 要求被试报告图像中哪里发生了变化, 第二幅图画呈现到被试报告出变化为止。在此研究中, 图片材料是难于复述的, 符合 Cowan 的要求。结果发现在没有变化的干扰项目中检测出变化的靶子项目所需的时间, 与所呈现的项目数量成正比。对于方向变化的检测, 当项目的呈现时间大于 600 ms 的时候, 操作曲线的斜率与图像的变化率成正比, 说明只有有限的信息能够进入视觉短时记忆, 呈现时间的延长并不能增加进入短时记忆的项目的数量; 另一方面, 当项目间隔时间(interstimulus interval, ISI)为 120 ms 时, 视觉短时记忆容量为 5~6 个项目, 但后来的实验表明这是一种混合的容量, 通过排除短时成分(short term component iconic)影响后, 容量下降到了 3~4 个项目<sup>[8]</sup>。

### 313 具有操作不连续性时的容量限制估计

Yantis(1992)做过多客体追踪实验。实验的过程是, 首先在计算机屏幕上呈现一些光点或者小的客体, 在这些光点或小客体运动之前, 其中有几个闪烁几下之后停止闪烁, 随后所有客体开始随机运动, 运动停止后要求被试报告哪些客体曾经闪烁过。Yantis 的实验结果是, 当追踪的客体数量从 3 个增加到 5 个的时候, 被试的操作水平明显下降, 也就是操作在 3~5 个项目之间发生了不连续。<sup>[9]</sup>

另外, Yantis 和 Johnson(1990)针对注意优先(attentional priority)机制问题进行了研究, 旨在探讨同时呈现多个项目的视觉情景中, 如果有另外一个项目突然出现, 它是如何抓住人们的注意, 从而使自己得到优先加工的。结果发现被试的注意转移后, 一次可以抓住 4 个项目<sup>[10]</sup>。

### 314 非直接效果估计容量限制

Nairne(1991)曾给被试声音呈现 5 个系列的项目, 每系列包括 5 个项目, 每个项目呈现 215s, 之后让被试做 2min 分散注意任务(distractor task), 测验时要求被试将项目放回的正确系列和位置中。结果发现当一个项目被放置到正确系列之后, 它的位置混淆最多发生在相邻的第三个位置。延迟时间不同, 操作的效果也会不同, 但位置混淆的范围没有变化。这一现象也许能用短时记忆容量限制为 4 的理论解释。<sup>[11]</sup>

Logan(1988)设计了一种任务, 让被试检验/B+ 3= E0这样的等式(B 后第 3 个字母时 E, 因此这个等式是对的), 加数可以是 2、3、4、5。发现当加数为 2~4 时, 实验结果都很好, 但当加数 5 的时候操错结果就比较差了; 也就是说有一个学习曲线的不连续性发生。这个不连续性与被试报告的策略转换有关: 被试报告加数是 5 的时候相对比较困难, 因此会有意学习某种策略帮助操作。<sup>[12]</sup>

### 315 其他支持证据

#### 31511 来自其他理论或模型的推导

Raffone 等用一个最近发现的神经生理学模型))) 皮层网络模型来解释短时记忆的容量限制问题并证实了 Cowan 短时记忆容量是 4 的理论。该模型认为在额叶(prefrontal, PF)和视觉

(visuo-temporal, 例如 inferotemporal cortex, IT) 区域之间存在视觉工作记忆的大脑皮层环路。外部刺激引起环路的振荡, 之后由反馈来保持从 PF 到 IT 的振荡。在这个模型中存在两种过程: 神经机制引起的项目间的分离和/块0内整合两个过程。前者要求在不同的分离集合(disjoined assemblies)之间存在足够的相位滞后以区分它们, 后者要求对同一/块0的内容, 神经系统要具有足够高的同步振荡频率, 这样在两种过程的共同作用下, 存在一个不同项目间的最佳的相位滞后。他们用这个模型进行模拟时发现 4 个独立形式(pattern) 是其中的关键容量, 从而证明了 Cowan 的理论, 而且这个模型的机制可以应用到工作记忆中的任何形式的信息, 而不是仅限于视觉信息<sup>[13]</sup>。

### 31512 其他领域的证据

Rypma 和 Gabrieli 使用 fMRI 技术对 STM 存储的神经机制进行了研究。他们以 Sternberg 的项目再认任务为基础, 进行了言语短时记忆任务研究。其中短时记忆负载分为同时呈现 1、3 和 6 个字母 3 种情况。前两种情况属于 Cowan 假设的纯净短时记忆容量范围内, 而 6 个字母负载则超过了这个范围。结果发现 1 个字母与 3 个字母相比, 后者左半球 Broca 区域的活动增加, 表示容量限制内 STM 负载的增加; 当 1 字母与 6 字母比较时, 不仅有 Boca 区域活动的大幅度增加, 还包括两半球 PFC 背外侧区域以及扣带回的大面积激活, 这个差异, 不仅意味着容量限制内 STM 负载的增加, 而且表示超出容量限制的活动。可能反应超过容量后记忆任务中卷入了其他执行过程<sup>[14]</sup>。

一些动物研究结果表明, 加工时信息的容量限制并非人类所独有, 在动物中也存在。有人研究过夜莺的序列结构信息获得过程, 即夜莺学习/唱歌0的过程。鸟类/歌唱0的发展是一种声音的学习, 在信息获得过程中, 一系列不同声音的编码受到名为/ package formation0机制的限制。/ package formation0现象反映了声音学习中 STM 的特性。研究结果表明, 这些/ package0的平均大小是 4? 2, 这说明人和其他动物的加工容量限制的发展可能是相似的, 同时也说明短时记忆的容量限制为 4<sup>[15]</sup>。

Wynn(1992)通过增加或减少物体数量的方法研究了婴儿的注视时间问题, 结果表明, 如果视野中的刺激数目少于 4 个(如 1、2、3 个时)的时候, 他们可以用眼睛追踪这些物体, 但多于 4 个的时候则不能完成任务<sup>[16]</sup>。

Dehaene 和 Cohen(1994)研究了 5 个 Balint 综合症顶叶双侧损伤病人的视觉记数(enumeration)能力, 在屏幕上随机呈现 1~ 6 个点, 呈现时间为 200ms, 点的位置是随机的, 要求被试判断屏幕上有几个点<sup>[13]</sup>。发现被试能正确记录 1、2 或 3 个点, 但多于 3 个点时无法完成任务<sup>[17]</sup>。

上面关于婴儿和脑损伤病人的研究虽然不能直接证明 Cowan 的理论, 但研究结果中, 他们的视觉短时记忆数量都没有超过 4 个项目, 至少说明 4 是一个具有限制作用的数字。

### 31513 本课题组的一些研究

2003 年, 北京大学心理系认知实验室进行了有关注意与工作记忆关系的研究。首先在计算机屏幕的某个位置呈现一个点, 1 000 ms 后呈现不等式, 例如:  $11+15 > 13+9$ , 不等式的呈现方式是, 每个数字或符号逐一呈现, 呈现方式有 2 种, 一种是所有符号都在屏幕中间呈现, 另一种是符号在屏幕 4 个不同位置随机呈现(这 4 个位置与前面点的位置不同)。最后屏幕上再次呈现一个点, 这个点的位置可能与第一个点相同, 也可能不同。要求被试在记住第一个点空间位置的同时, 判断不等式的正误, 再判断第二个点与第一个点的位置是否相同。结果发现中间

呈现不等式的条件下,被试的2种判断任务都完成得较好;而在分散呈现不等式的条件下,被试的位置判断任务操作成绩显著下降。2种条件下,被试完成位置判断任务的过程中都插入了分散注意的其他任务,差别仅在于中间呈现只需要被试记住一个位置就能完成任务,而分散呈现则需要被试在5个位置中区分出最初的那个位置后,才能完成任务。实验结果说明记忆1个位置和记忆5个位置的操作水平有明显差异。这个结果支持短时容量为4的说法。

## 4 对 Cowan 理论的质疑

Cowan 通过深入细致的研究,提出短时记忆容量为4的理论;而且有大量的研究结果支持他的理论,但同时也有很多人对Cowan的研究提出了疑问,还有一些人的研究结果与他的理论并不一致。

### 4.1 Cowan 对/块0的定义问题

如果不能真正的鉴别/块0,就无法根据/块0来量化容量限制。那么,来自不同实验报告的结果之间则不具有可比性,所得到的结论的可信度就会受到威胁。Cowan对/块0的定义是:/块0是一个概念的集合,其中的各概念之间具有很强的联系,而与同时使用的其他/块0间的联系很弱<sup>[2]</sup>。这个定义没有限制块的特征(nature)和数量<sup>[18]</sup>、不具有操作性<sup>[19]</sup>而且有循环论证的意味<sup>[20]</sup>。

### 4.2 Cowan 低估了短时记忆容量的大小

有人提出疑问:提取过程的瓶颈(如果存在)以及序列关系的记忆是否会影响测量的STM容量的大小<sup>[21]</sup>;还有人认为存在与注意焦点以外、不能报告的信息应该算做STM容量内<sup>[22]</sup>。

### 4.3 Cowan 的理论与已有的实验结果不符

Jou认为Cowan的理论不能解释Stemberg经典的序列记忆实验。因为按照Cowan的理论所得的结果与实际的实验结果的趋势是相反的。因此Cowan短时记忆容量为4的理论如要成立,他必须能解释这个矛盾<sup>[23]</sup>。

总之,很多研究者认为,短时记忆容量限制为4的理论,其条件限制合理、结果解释适当,支持证据有力,所以相对7/块0限制的理论,4/块0限制的说法更可信。但这并不是说4/块0限制就是最终的答案。科学研究处于不断发展进步的过程中,人们总是会通过不断发现问题,把对事物的研究推进更深的层次。在Miller的理论观点提出近50年后,Cowan等人对他进行反驳,即使此观点不完全正确,但他对原有理论的冲击力是不容置疑的,其中提出的各种问题正是得出与Miller理论相同结果的研究者应该考虑和解释的。同时,还应重视7这个神奇数字的价值,现在称它为混合容量限制,可为什么混合容量限制也具有相当的一致性呢?一致性的存在可能与短时记忆组/块0过程的机制有关系,这同样需要进一步研究。

## 参 考 文 献

- 1 Miller G A I. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity of Processing Information. *The Psychological Review*, 1956, 63(2): 81~ 97
- 2 朱滢主编. 实验心理学. 北京:北京大学出版社, 2000. 276
- 3 Cowan N. The Magical Number 4 in Short-Term Memory: A Reconsideration of Mental Storage Capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 87~ 185
- 4 Baddeley A D. *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press, 1986. 75
- 5 Richman H B, Staszewski J J, Simon H A. Simulation of Expert Memory Using EPAM 0. *Psychological Review*, 1995, 102: 305~ 330

- 6 Cowan N, Nugent L D, Elliot E M, et al. The Role of Attention in the Development of Short-Term Memory: Age Differences in the Verbal Span of Apprehension. *Child Development*, 1999, 70: 1 082~ 1 097
- 7 McKone E. Short-Term Implicit Memory for Words and Nonwords. *Journal of experimental psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1995, 21(5): 1 108~ 1 126
- 8 Rensink R A. Four-Sight in Hindsight: The Existence of Magical Numbers in Vision. *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 141
- 9 Yantis S. Multi-Element Visual Tracking: Attention and Perceptual Organization. *Cognitive Psychology*, 1992, 24: 295~ 340
- 10 Yantis S, Johnson D N. Mechanisms of Attentional Priority. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1990, 16(4): 812~ 825
- 11 Nairne J S. Positional Uncertainty in Long-Term Memory. *Memory and Cognition*, 1991, 19: 332~ 340
- 12 Logan G D. Toward An Instance Theory of Automatization. *Psychological Review*, 1988, 95: 452~ 527
- 13 Raffone A, Wolters G, Murre J M. A Neurophysiological Account of Working Memory Limits: Between-Item Segregation and Within-Chunk Integration. *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 139
- 14 Rypma B, Gabrieli D E. Functional Neuroimaging of Short-Term Memory: The Neural Mechanisms of Mental Storage. *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 143
- 15 Todt D. Studies of STM Properties in Animals May Help Us Better Understand the Nature of Our Own Storage Limitations: The Case of Birdsong Acquisition. *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 149
- 16 Wynn K. Addition and Subtraction by Human Infant. *Nature*, 1992, 358: 749~ 750
- 17 Dehaene S, Cohen L. Dissociable Mechanisms of Subitizing and Counting: Neuropsychological Evidence from Simultaneous Patients. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1994, 20(5): 958~ 975
- 18 Schneider W X, Deubel H, Wesenick M B. Characterizing Chunks in Visual Short-Term Memory: Not More than One Feature per Dimension? *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 144
- 19 Schubert T, Prensck P A. How Unitary is the Capacity-Limited Attentional Focus. *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 146
- 20 Beaman C P. The Size and Nature of A Chunk. *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 118
- 21 Nairne J S, Neath L. Long-Term Memory Span. *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 134
- 22 Oades R D, Jemel B. Where the Magic Breaks Down: Boundaries and the / Focus-Attention0 in Schizophrenia. *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 135
- 23 Jou J. The Magic Number Four: Can It Explain Sternberg's Serial Memory Scan Data? *Behavioral and Brain Sciences*, 2000, 24: 126

## Reconsideration of the Capacity Limits of Short-Term Memory

CUI J ianxia    WU Yanhong

LIU Yanfang

(Department of Psychology, Peking University, Beijing, 100871)    (Motorola Labs, Beijing, 100022)

**Abstract** Miller (1956) proposed the / magical number seven0 as the capacity for short-term memory. While after almost 50 years, Cowan summarized a lot of researches to propose the / magical number four0 as the capacity for short-term memory. Cowan distinguished two concepts: pure capacity limits and compound capacity limits. Furthermore Cowan advanced four conditions in which the pure capacity limits can be observed, they are: capacity limits estimated with information overload; capacity limits estimated by blocking long-term memory recoding, passive storage and rehearsal; capacity limits estimated with performance discontinuities; capacity limits estimated with indirect effects. There are a lot of researches prove these conditions and support Cowan's theory.

**Key words** pure capacity limits; compound capacity limits; chunk; focus of attention; time-limited