

工作记忆中央执行功能研究新进展

陈天勇, 韩布新, 李德明

(中国科学院心理研究所, 北京 100101)

摘要: 中央执行功能和工作记忆系统中最重要却又研究最少的一个成分。对中央执行功能的研究存在神经心理学、认知行为、脑成像, 以及计算模拟等多种途径。近年来研究较多的执行功能包括: 双任务协调、注意转换、抑制优势反应、记忆刷新等。目前该领域的研究热点是, 运用潜变量分析和脑成像等多学科的先进手段, 对执行功能的可分离性和结构有效性进行研究。

关键词: 工作记忆; 中央执行功能; 潜变量分析; 脑成像

中图分类号: B84 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4608(2003)05-0092-08

工作记忆(working memory)是当前认知心理学和认知神经科学研究的热点之一。它把人的记忆、注意和知觉过程联系起来, 负责在学习、理解和推理等复杂认知活动中, 对信息的暂时存储和处理。Baddeley 和 Hitch^[1]从认知心理学和神经心理学角度, 以大量实证研究论证了工作记忆的存在, 并提出工作记忆的三成分模型, 即一个中央执行(central executive)控制机制和至少两个从属的存储子系统: 语音回路(phonological loop)和视空间缓冲区(visuo-spatial sketchpad)。随后, Baddeley^[2,3]对工作记忆模型进行了完善。近年来, 中央执行逐渐成为工作记忆研究的焦点。本文通过回顾工作记忆研究近30年的发展历程, 将回答如下三个问题: 中央执行是什么? 心理学家们是如何研究中央执行的? 目前中央执行的研究热点是什么?

一、研究历史概述

1. 工作记忆及中央执行的提出

工作记忆是在短时记忆理论上发展起来的。20世纪70年代, 一些心理学家意识到, 尽管对短时记忆已进行十多年深入的研究, 但对它在人类信息加工中所扮演的角色却知之甚少。Atkinson 和 Shiffrin^[4]曾提出短时记忆就是一种工作记忆系统, 兼有两种功能: 一方面作为感觉登记和长时记忆之间的缓冲器, 起着暂时保持信息的作用; 另一方面又是信息进入长时记忆的加工器, 起着协调、监控信息加工的作用。然而, 该研究主要集中于记忆系统本身, 而对这种记忆系统在非记忆认知任务中的作用还只是理论猜测, 缺乏实验数据支持。

Baddeley 和 Hitch^[1]提出“短时记忆作用何在(What is short-term memory for)?”这样一

收稿日期: 2003 - 04 - 20

作者简介: 陈天勇(1973 -), 男, 中国科学院心理研究所博士生。韩布新(1966 -), 男, 中国科学院心理研究所副研究员。李德明(1939 -), 女, 中国科学院心理研究所研究员, 博士生导师。

个基本的问题,并利用双任务范式就短时记忆在复杂认知活动(推理、理解和自由回忆)中的作用进行了系统深入的实验研究。结果发现,当记忆负荷为3个数字时,各种认知任务基本上均未受影响;即使是在6个数字的高记忆负荷下(已接近正常人的记忆广度),各种认知任务所受的影响也不大。这一结果提示,短时存储成分在复杂认知活动中所起的作用是有限的,起重要作用的是一个具有通用加工器(general-purpose processor)性质的中央执行成分。

2. 北美对工作记忆中央执行的研究

遗憾的是,此后十几年 Baddeley 等欧洲心理学家未进一步研究工作记忆的中央执行成分。他们严格遵循由简到繁的研究准则,对语音回路和视空间缓冲区进行了大量系统的研究。然而,从20世纪80年代开始,北美心理学家对工作记忆的研究采取了另外一种途径。按照 Baddeley 的定义,他们把工作记忆理解为同步进行信息存储和加工的能力,进而研究这种能力对阅读理解、推理等复杂认知活动表现的预测效力。Daneman 和 Carpenter^[5]首先提出了测量工作记忆能力的方法:工作记忆广度任务。要求在阅读一系列句子的同时记住每个句子的最后一个单词,工作记忆广度即为正确回忆最后一个单词的句子数。他们的研究表明,工作记忆广度确实是预测阅读理解能力一个非常好的指标。后来, Kyllonen 和 Christal^[6]发现工作记忆广度与传统基于推理的智力测验成绩相关也非常高。此后,关于工作记忆的应用研究如雨后春笋般地开展起来,国内一些学者也就工作记忆在阅读理解^[7]、心算^[8]、儿童学习障碍^[9]等方面的作用进行了研究。北美心理学家认为,他们提出的工作记忆能力或工作记忆广度,不是指单独的存储能力或具体的加工操作,而是对应于 Baddeley 工作记忆模型中对存储和加工起协调作用的中央执行成分^[5]。

3. Baddeley 对中央执行的理论解释

由简到繁的研究准则使得对中央执行的研究在早期被有意忽略了。20世纪80年代中期,这种忽略使工作记忆模型的研究陷入尴尬境地。为了进一步完善工作记忆理论, Baddeley^[5]开始用 Norman 和 Shallice 的监控注意系统^[10](supervisory attentional system)来解释工作记忆的中央执行过程。这一理论认为人们对日常行为的控制存在两种情况,即习惯化模式导致的自动化行为和监控注意系统控制下产生的意图行为。Baddeley 运用这一理论对早期的随机生成(random generation)研究进行了解释。随机生成任务使用数字和字母作为实验材料,要求被试合着节拍随机说出一些数或字母。例如,对数字材料,随机的含义是指尽量避免同一数字的重复(如3,3)或相邻序列(如1,2,3或3,2,1)。Baddeley 认为,出现同一数字重复和相邻序列的原因在于习惯化的数字生成模式,而监控注意系统能够打破这种习惯化模式,导致随机数列的生成。监控注意系统理论进一步加深了对中央执行的理解,随机生成任务也成为一种测量和研究中央执行功能的新方法。

二、中央执行功能的研究途径

1. 中央执行功能与额叶皮层

大量神经心理学研究表明,执行功能与额叶皮层关系密切。事实上,以往对执行功能的理解和定义,主要就源于对额叶损伤病人行为和认知缺陷的观察。执行功能被看作是一种控制所有其它认知活动的元认知过程,具体包括警觉、处理新异信息、抑制任务无关信息、计划和策略的实施、行为监控、运用反馈对行为进行调节等^[11]。另一方面,由于额叶与脑干上部、丘脑结构,以及大脑皮层所有其它部分都有丰富的神经联系,因而从神经解剖结构上也表明额叶负

责最高级的大脑皮层活动,是执行功能的物质基础。基于这些原因,一些研究者认为执行功能和额叶功能实际上是同一概念,可以通过研究额叶的功能来理解执行功能,也可以用解剖定位的方式把中央执行定义为位于额叶的一个系统。

Baddeley^[12]认为,神经心理学证据虽然很有价值,但并不是研究中央执行的最有效途径。一方面,额叶是一个很大、很复杂的脑区,不仅有执行控制的功能,还负责其它一系列的加工过程;执行功能也不仅涉及额叶的一些脑区,也与后部其它一些脑区有关。也就是说,执行功能与额叶并不是一种简单的对应关系。因此,如果把执行功能等同于额叶功能容易犯两种错误,既可能忽略了一些不属于额叶的执行功能,又可能把额叶其它一些功能错误地视为执行功能。另一方面,工作记忆模型首先是一个功能层面的模型,即使执行功能与神经解剖结构不是一种简单的对应关系,功能模型仍然有其存在的价值。用神经解剖而非功能的方式来定义一个认知成分显然不合情理。

近年来,运用脑成像技术对中央执行的研究进一步证实了 Baddeley 的观点。Smith 和 Jonides^[13]最近在 Science 上的一篇综述提示,额叶不仅与执行功能有关,与各种信息的积极保持(复述机制)也有关,如言语信息激活 Broca 区、左侧辅助运动区和前运动区,空间信息激活右侧前运动区,而客体信息激活右侧偏腹侧的前额叶脑区。Collette 和 Van der Linden^[13]对 1993 年以来 40 余项中央执行脑成像研究的回顾中发现,执行功能不但激活额叶的一些脑区,同时也激活后部(主要是顶叶)的一些脑区。并且,多种执行任务激活一些相似的前额叶脑区(BA 9/46, 10 和前扣带回),但其它一些额叶脑区(如 BA 6, 8, 44, 45, 47)甚至顶叶脑区(BA 7, 40)也在部分执行任务中激活,提示多种执行功能既具有一定的共性,同时也具有一定的特异性。因此,不能把一种执行功能简单地对应于少数几个前额叶脑区,而应看成由一些脑区组成的神经网络内部交互作用的结果。

2. Baddeley 的双任务范式与执行功能研究

如前所述,Baddeley 正是运用双任务范式提出了工作记忆的中央执行成分。双任务范式的逻辑是,如果两项任务需要同一认知过程或认知资源,那么,在双任务条件下就不可能比在各自单独进行的情况下完成得更好。因此,如果研究者知道一项任务所涉及的认知过程,就可以把这项任务与另一项不太了解的任务结合起来,以判断后者是否涉及了同样的认知过程。Baddeley 和 Hitch^[1]在 1974 年的双任务研究中,发现数字广度和推理等任务同时进行只有一个较小的效应,因此提出推理等认知活动不太依赖于短时存储能力,对 Atkinson 和 Shiffrin 等认为短时存储在非记忆认知活动中起重要作用的看法提出了质疑。

双任务范式还可以在正常人身上模拟脑损伤病人执行功能受损的情况,从而对中央执行进行更直接的研究。例如,Roberts 等^[14]将反眼动任务(antisaccade task)与 Daneman 和 Carpenter 的工作记忆广度任务(涉及中央执行)相结合,发现在高工作记忆负荷下正常被试产生了与前额叶功能紊乱病人类似的抑制眼动的错误。Baddeley 等^[15]发明按键式的随机生成任务也是为了不占用视、听感觉通道,将其应用于双任务研究。

3. 北美关于工作记忆广度的个体差异研究

前面提到,北美心理学家对中央执行的研究采取了另外一条完全不同的途径,即相关分析和个体差异的研究途径。这一途径又反映为两个不同但又相互关联的研究取向。其一为传统的智力研究取向。传统的心理测量理论认为,智力测验反映的是一种中央认知加工器的功能,而这种中央认知加工器的作用等同于工作记忆的中央执行。这就引发了一个关于“智力或中

央执行功能是 Spearman 的 g 因素”,还是 Thurstone 所提议的那样“g 因素还可以划分为一些小的子因素”的争论(也即中央执行可分离性的争论)。另外,利用协相关或分层回归的方法还可以研究中央执行与加工速度^[18]或液态智力^[13]等心理结构间的相互关系。但是,这方面的研究结果明显依赖于执行功能测验和被试的选取情况,出现了大量不一致的结论。

其二为工作记忆广度取向。运用工作记忆广度任务对人的工作记忆能力进行测量,然后运用相关技术对工作记忆能力与人们在阅读理解或推理等复杂认知活动中的表现进行分析,发现工作记忆能力确实与阅读理解和推理能力有很高的相关。由于工作记忆广度的方法更少受教育文化因素的影响,被认为在人员测评和选拔方面具有重要的应用价值。然而,工作记忆广度的研究也受到了一些批评,认为工作记忆广度任务既涉及中央执行功能,也受工作记忆的存储成分和一些策略因素的影响。并且,工作记忆广度研究取向者往往假定,高广度的被试可激活的认知资源更多。然而,Engle^[17]通过研究工作记忆广度与记忆提取的关系后提出,工作记忆能力的有限性主要不是表现在激活上,而是表现在抑制无关信息的能力上,从而进一步阐明了中央执行的内在机制。

4. 量化建模的研究途径

量化建模(quantitative modelling)是通过开发一系列针对不同工作记忆任务的计算模型,然后在总体和个体水平上比较模型对行为数据的预测能力。比较典型的研究有 Lovett 等基于 ACT-R 的模型、Young 等基于 Sore 的模型,以及 Kieras 等的 EPIC 模型^[18]。计算模拟作为一种研究工具有许多优点。首先,帮助研究者排除错误的假设。如果这个假设是错误的,建立在该假设基础上的计算模型就不可能很好地模拟出人类的记忆行为。第二,变定性研究为定量研究。以往的工作记忆模型属于一种黑箱模型(black box model),是对人类认知的定性化描述。而数学和计算模型不但能够提出人类记忆行为过程更细致的假设,还可以量化地预测人的记忆行为。并且,量化模拟产生的数据将有利于构建人类记忆的新理论。最后,当前计算机模拟所取得的成功将激励研究者进一步细化各自的理论,为将来对其进行量化模拟提供必要的条件。

三、几种研究较多的中央执行功能

很长一段时间,无论是关于额叶的研究、认知行为研究,还是计算模型的研究,都试图对执行功能或额叶功能作出统一的解释,并将中央执行看作是单一结构的系统。然而,即使在非常简单的数字记忆广度任务中,也涉及到复杂的策略选择、计划和提取的检查等执行过程。各种对执行功能作出统一解释的努力,并没有改变心理学家对中央执行的基本看法,即被视为一个适意的“小矮人”(homunculus),在人脑中以某种神秘的方式做出种种重要的决策。但 Baddeley^[13]认为,“小矮人”的类比也是有益的,启示研究者可从功能层面上对“小矮人”肩负的功能进行系统的研究。对“小矮人”每项功能的剥离和解释,都是一种进步。如果能够定义并分析出一系列的执行过程,就使研究达到了一个新的水平,进而可对中央执行系统的可分离性、各执行功能间的关系,以及这些执行功能对工作记忆系统的调控机制等进行研究。下面是几种目前研究较多的中央执行功能。

1. 双任务协调(Dual-task Coordination)

对同时进行的两项加工的协调是一种重要的执行功能,在工作记忆中主要体现为对两个存储子系统的协调。这种协调能力通常用双任务范式来研究,并且两项任务应该分属不同感

觉通道的认知加工。例如, Baddeley 等在一项实验中, 要求被试在进行数字广度任务的同时用一支光笔追踪屏幕上一个移动的亮点。实验首先就任务难度针对每个被试进行调节, 使所有被试在单独完成两项任务时水平一致。然而, 在双任务范式中阿尔茨海默症(AD)病人比正常老年人和青年人都显著地差, 提示 AD 病人在双任务中的协调能力受到损伤^[19]。国内张达人等^[20]提出数字广度和 Corsi 木块测验组成的双任务可能是研究这种执行功能一个更好的方法。脑成像研究发现, 在双任务条件下背外侧前额叶皮层以及前扣带回明显激活, 但任一单任务操作都没有激活前额叶脑区; 即使增加单一任务的难度, 也只是增加了后部相应皮层的激活量^[21]。

2. 抑制优势反应(Inhibition of Prepotent Responses)

心理学上抑制的种类很多, 与负启动或返回抑制(inhibition of return)等不同, 这里讲的抑制强调对优势反应积极的、有意的抑制, 是一种内源性的行为控制。抑制优势反应比较典型的任务有 Stroop 任务和反眼动任务(antisaccade task)。例如, 在 Roberts 等^[16]的反眼动任务中, 先在计算机屏幕中央呈现一个注视点(1500-3500ms), 然后在注视点的一侧呈现一个线索刺激(400ms), 随后在线索刺激呈现的另一侧呈现目标刺激(向左、向右或向上的一个箭头, 150ms), 最后出现一个掩蔽刺激。要求被试尽快按键判断箭头的指向。与控制条件相比, 被试反应延迟的时间就代表被试抑制优势反应的能力。大量神经心理学和脑成像的研究表明, 这一类任务与前额叶和前扣带回等脑区关系密切, 是一种重要的执行功能。

3. 注意转换(Attention Switching)

注意转换能力无疑也是执行控制的一个重要方面, 在工作记忆中体现为对两项竞争同一认知资源的任务之间相互转换的控制过程。这种能力可以用转换代价来表示, 即用转换和不转换实验项目的反应时相减求得。Allport 和 Wylie^[22]认为注意转换能力可能与前摄抑制或负启动有关, 即完成一个新的操作(如减3)需主动克服前一操作(如加3)的干扰。需要强调的是, 这里提到的注意转换与视觉空间的注意转换不同。作为执行功能的注意转换是一种在指导语指引下的内源性的注意控制机制, 主要涉及额叶一些脑区和前扣带回组成的前注意网络(anterior attention network); 而视觉空间的注意转换是一种在线索指引下的外源性注意控制机制, 主要涉及的是顶叶和中脑组成的后注意网络(posterior attention network)。

4. 记忆刷新(Memory Updating)

对工作记忆内容的监控和刷新是另一种重要的中央执行功能, 它根据任务的需要使工作记忆的内容不断更新, 纳入有关的新信息, 抛弃无用的旧信息。记忆刷新功能一般用动态记忆范式(running memory paradigm)或 n-back 范式来研究。例如, 在 Morris 等^[23]的动态记忆任务中, 先在计算机屏幕中央以一秒一个的速度呈现一串辅音, 要求被试随时记住该串辅音的最后几个(如4和6个), 直到呈现完毕。由于被试不知道该串辅音何时呈现完毕, 因而辅音串越长, 需要刷新的次数就越多, 难度也就越大。脑成像研究表明, 记忆刷新过程与前额叶皮层(特别是背外侧部分)关系密切^[24]。

除上面四种中央执行功能以外, 已有研究涉及的执行功能还包括如下几种: 对进入工作记忆的信息进行临时标注和上下文编码(Jonides & Smith, 1997)、对意图行为计划和排序(Ward & Allport, 1997)、对长时记忆的选择性激活(Conway & Engle, 1994), 等等^[18]。

四、中央执行的可分离性研究及其方法学问题

目前关于工作记忆中央执行功能的研究虽然已有一定的进展, 提出了许多中央执行功能,

但针对这些功能间相互关系的研究还很缺乏。这些执行功能是否受一个共同的机制所支配?或者中央执行是否可分离为若干个子系统?这一问题正是目前研究的热点。

以往关于中央执行可分离性的证据主要来自两方面。一方面来自于临床个案的观察,发现在评价不同执行功能的测验间有相互分离的现象,如一些脑损伤病人不能完成威斯康星卡片归类(WCST)测验,但在汉诺伊塔(TOH)测验中却表现正常;而另一些病人的表现正好相反。另一方面证据来自个体差异的群组研究,发现多种人群(健康青、老年人或脑损伤病人)在不同执行测验或任务上的成绩,都一致表现出较低的相关。我们的一项研究在三项基本执行功能之间也发现了相似的结论^[25]。这些结果提示,中央执行不是单一的结构,需要进一步的分离。

然而,对中央执行更为深入的研究必须首先解决一些研究方法上的问题。首先,执行任务的纯度。以往使用的执行任务通常含有较多的非执行成分,特别是神经心理学上使用的一些执行功能测验(如威斯康星卡片归类测验、汉诺伊塔测验及其变式),这将导致一些理论解释上的困难。比如大量研究发现,执行任务间的相关,相对于它们与非执行任务间的相关更低。同时,这也反映在脑成像的研究上,即不能确定激活的大量脑区中哪些与执行功能有关。一种可能的解决方法是,设置一个类似但不需要执行控制的基线(baseline)任务,通过减去基线,从而尽量排除非执行成分的干扰。第二,执行任务的再测信度。大量研究发现,各种执行任务只要在具有新颖性时才有效,即存在再测信度较低的问题。有人认为这与被试在对任务逐渐熟练后,不断转变策略有关(更趋自动化)。第三,执行结构的有效性。以往研究往往由于执行任务的不同选择,从而产生了不一样的结论。因此,在中央执行研究中,确保所研究执行结构的有效性成为了一个至关重要的问题。

总之,以上问题对以往支持中央执行具有可分离性的证据提出了质疑。为了解决这些问题,近来一些研究者提出了一种新的研究方法:潜变量分析(latent variable analysis)。传统研究方法认为一个执行测验的成绩就能够代表一种执行功能,而潜变量方法采用多个测验对同一执行功能进行测量,并从中提取它们的共性,形成该执行功能的潜变量。需要注意的是,对测量同一执行功能的多个任务应涉及不同的实验刺激和实验程序,以避免在潜变量提取后的执行结构中仍含有非执行的成分。潜变量提取的方法在很大程度上缓解了诸如任务纯度、结构有效性等问题,有助于进一步探讨各执行功能间,以及执行功能与其它一些认知结构间的关系。Miyake等报告的一项研究表明,虽然三项执行功能(对优势反应的抑制、注意转换和记忆刷新)间存在一定的相关,但也清晰地表现出相互可分离性;并且,这三种执行功能在一系列复杂执行任务(包括前面提到的神经心理学测验)中的贡献是不一样的。然而,由于潜变量提取需要进行多项测验,结构方程建模还需要较大的样本量,使得这种研究方法在实施的过程中存在较大的困难。

五、结语

毋庸置疑,中央执行是工作记忆乃至人类整个认知结构中最复杂的一个成分。要想彻底摆脱“小矮人”的隐喻,需要把多途径、多学科的研究整合起来。认知行为研究主要在功能层面上勾画出中央执行系统的结构框架,神经心理学和脑成像技术为执行功能寻求脑结构上的证据,而计算模型将整合各方面的研究结构,实现人类执行功能的计算机模拟,从而最终揭示中央执行的本质。

参考文献:

- [1] Baddeley A D, Hitch G. *Working memory*. In: Bower G A. *The psychology of learning and motivation* (vol. 8). New York: Academic Press, 1974. 47-89.
- [2] Baddeley A D. *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press, 1986.
- [3] Baddeley A D. *The episodic buffer: a new component of working memory?* Trends in Cognitive Sciences, 2000, 4: 417-423.
- [4] Atkinson R C, Shiffrin R M. *The control of short term memory*. Scientific American, 1971, 225: 82-90.
- [5] Daneman M, Carpenter P A. *Individual differences in working memory and reading*. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 1980, 19: 450-466.
- [6] Kyllonen P C, Christal R E. *Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?!* Intelligence, 1990, 14: 389-433.
- [7] 崔耀, 陈永明. 阅读理解中的预期推理[J]. 心理学报, 1996, 28.
- [8] 刘昌, 李德明. 工作记忆在心算加工老化过程中的作用[J]. 中国科学院研究生院学报, 2000, 17, (1).
- [9] 金志成, 隋杰. 学习困难学生认知加工机制的研究[J]. 心理学报, 1999, 31.
- [10] Norman D A, Shallice T. *Attention to action: Willed and automatic control of behavior*. In: Davidson R J, Schwartz G E, Shapiro D. *Consciousness and self-regulation. Advances in research and theory* (Vol. 4). New York: Plenum Press, 1986. 1-18.
- [11] Baddeley A D, Emslie H, Kolodny J, et al. *Random generation and the executive control of working memory*. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1998, 51A: 819-852.
- [12] Rabbitt P. *Methodology of frontal and executive function*. UK: Psychology Press, 1997.
- [13] Baddeley A D. *Exploring the Central Executive*. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1996, 49A: 5-28.
- [14] Collette F, Van der Linden M. *Brain imaging of the entral executive component of working memory*. Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 2002, 26: 105-125.
- [15] Miyake A, Friedman N P, Emerson M J, et al. *The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis*. Cognitive Psychology, 2000, 41: 49-100.
- [16] Roberts R J, Hager L D, Heron C. *Prefrontal cognitive processes: Working memory and inhibition in the anti-saccade task*. Journal of Experimental Psychology: General, 1994, 123: 374-393.
- [17] Engle R W. *Working memory and retrieval: An inhibition-resource approach*. In: Richardson J T E, Engle R W, Hasher L, et al. *Working Memory in human cognition*. New York: Oxford University Press. 1996. 66-88.
- [18] Fisk J E, Warr P. *Age and working memory: The role of perceptual speed, the central executive, and the phonological loop*. Psychology and Aging, 1996, 11: 316-323.
- [19] Miyake A, Shah P. *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1999.
- [20] Baddeley A D, Logie R, Bressi S, et al. *Dementia and working memory*. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1986, 38A: 603-617.
- [21] 张达人, 江雄, 唐孝威. 视空间和听觉数字记忆的混合广度[J]. 心理学报, 1997, 29.
- [22] DeSposito M, Detre J A, Alsop D C, et al. *The neural basis of the central executive system of working memory*. Nature, 1995, 378: 279-281.
- [23] Allport A, Wylie G. *Task switching, stimulus-reponse bindings, and negative priming*. In: Monsell S, Driver J. *Control of Cognitive Processes: Attention and Performance XVIII*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.

- [24] Morris N, Jones D M. *Memory updating in working memory: The role of the central executive*. *British Journal of Psychology*, 1990, 81: 111-121.
- [25] Smith E E, Jonides J. *Storage and executive processes in the frontal lobes*. *Science*, 1999, 283: 1657-1661.
- [26] 陈天勇, 韩布新, 王金凤. 工作记忆中央执行功能的特异性和可分离性[J]. *心理学报*, 2002, 22.

(责任编辑: 蒋永华)

Review on Central Executive of Working Memory

CHEN Tian-yong, HAN Bu-xin, LI De-ming

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

Abstract: Central executive is the most important but least specified component of working memory. About four research approaches attempt to specify and analyse executive functions, which stem from neuropsychology, psychometric tradition, brain imaging, and computational modelling, respectively. In recent years, several executive functions have been studied, including dual-task coordination, inhibition of prepotent responses, attention switching, and memory updating, etc. Recently, latent variable analysis and neuroimaging approaches have been used to explore the diversity and validity of executive functioning construct.

Key words: working memory; central executive; latent variable analysis; brain imaging