

## 执行控制研究的重要范式——任务切换\*

史艺荃 周晓林

(北京大学心理学系, 北京 100871)

**摘要** 任务切换是当前研究执行控制的重要范式。被试完成切换任务要慢于完成重复任务, 并且往往有更高的错误率, 这种差异称为切换损失。该文对此领域的研究进行了回顾, 介绍了任务切换研究范式的发展, 重点阐述了对切换损失来源的三种主要解释: 任务重建、联结竞争和任务设置的惯性; 指出任务切换与其他范式的结合是更深入地了解执行控制的可行途径。最后进行了简要的总结与展望。

**关键词** 任务切换, 执行控制, 切换损失。

**分类号** B842.1

执行控制 (executive control) 对应着一个看似简单的问题<sup>[1]</sup>: 我们如何能够按照意愿调节自己的行为, 从而使事情像我们希望的那样进行。具体来说, 它包括很多内容<sup>[2]</sup>, 其中就有在多重任务情况下, 控制协调技巧和习惯, 调节与修正反应, 必要的时候改变执行的任务。对执行控制的研究是认知心理学、认知神经科学、精神病理学、发展心理学以及个体差异研究的重要内容。而任务切换 (task switching) 是当前研究执行控制的重要范式。虽然 1927 年就已经有任务切换的研究<sup>[12]</sup>, 但其研究真正的繁盛期开始于 20 世纪 90 年代的中后期, 对其进行大规模的实证与理论上的探讨仅发生在最近十年。

### 1 范式的发展

最初使用的范式为 Jersild 方法。Jersild 在 1927 年<sup>[12]</sup>使用区组设计, 分单一任务区组和切换区组, 任务序列如下 (以两种任务类型为例): AAAAA... BBBB... ABABAB...。在切换区组中进行的是尽可能频繁的切换。实验结果表明, 在切换区组中被试的反应慢于在单一任务区组中的反应。在此方法的切换区组中, 被试需要记住任务序列并且保持两种任务处于准备状态, 工作记忆的负担较重, 因此不能确定切换区组中被试反应的减慢是由于更重的工作记忆负担还是由于切换本身。为了解决这个问题, Roger 和 Monsell<sup>[7]</sup> 在 1995 年使用了交替转换范式 (Alternating-runs paradigm)。被试每执行 N 个同类任务切换一次, N 为一大于 1 的整数, 任务序列 (以 N=2 为例) 为 AABBAABBAABB..., 在这样的区组中切换试次与重复试次的工作记忆的负担相当, 因此反应上的差异来自于切换。

收稿日期: 2004-08-30

\* 本研究得到国家攀登计划 (批准号: 95-专-09) 教育部科学技术重点项目基金 (01002, 02170) 和中国科学院知识创新工程方向性项目 (KGCX2-SW-101) 的资助。

通讯作者: 史艺荃, Email: s3331\_new@sohu.com

目前最常用的是任务线索范式 (Task-cueing paradigm)。在前面两种范式中,任务序列可以预测,但在任务线索范式中,任务序列是不可预测的,在每个靶子出现之前或者同时,会有线索提示要执行的任务类型。应用此范式,重复和切换试次的工作记忆的负担也可以平衡。

此外还有指示转换范式 (Intermittent-instruction paradigm)。被试一直执行一组同类任务,直到被告知接下来要进行的任务类型,然后继续执行下一组任务。当得到指示进入到另一组任务时,即使任务类型没有发生变化,被试的反应也会变慢,但幅度会小于进入到一组不同类型的任务的情况,这之间的差异被用来衡量切换损失。

目前研究执行控制的一个趋势是将任务切换范式与其他范式结合,如与 stroop、go/no go 等范式的结合,本文将在第 3 部分给出介绍。

## 2 对切换损失来源的争议

任务切换范式常用于比较不同人群在执行控制上的差异。比较的指标可以是切换损失的大小,也可以是切换损失与其他控制功能的行为指标之间吻合与分离的程度。这样的研究有许多,包括对不同年龄和不同障碍人群的研究<sup>[4,5]</sup>。

虽然任务切换已被作为研究认知控制的重要范式而广泛应用,但任务切换在多大程度上体现了执行控制的作用,对这一问题还存有争议。目前对切换损失的来源主要有三种解释,任务重建 (task-set reconfiguration)、联结的竞争 (task set priming /associative retrieval) 以及任务设置的惯性 (task set inertia)。其中任务重建最为强调执行控制在切换过程中的作用,即强调自上而下的控制;而第 2 种假设强调刺激-反应联结 (S-R association) 的作用,即强调自下而上的刺激驱动。本节重点介绍对切换损失的这两种解释。任务设置的惯性将会在第 3 部分介绍。

### 2.1 任务重建

因为同一刺激在不同的情况下对应的反应往往不止一种,在特定的条件下需要进行内部设置,使得将会执行的是当前任务对应的反应而不是其他的反应,这种内部设置被称为任务设置 (task-set)。Monsell 等人认为<sup>[3]</sup>,相对于重复试次只需保持之前任务设置而言,在执行切换试次时首先需要有一个“任务重建”的过程,它包括注意的转移,将当前任务的反应规则装载到工作记忆中以及改变之前的反应规则。这个过程包含了抑制之前的任务设置和激活当前的任务设置。正是由于这个额外过程的存在造成了切换损失。最近 Monsell 等人对脑损伤病人的 fMRI 研究<sup>[6]</sup>定位出任务切换过程中的两个成份,这两个成份分别是抑制另一任务设置和自上而下地控制当前任务设置,它们的敏感区域分别位于右侧额下回和左侧额中回。

按照任务重建的观点,如果有足够的时间用于任务重建,切换损失将会减小。这种改善称为准备效应 (prepare effect)。Rogers 和 Monsell 的研究<sup>[7]</sup>表明了准备效应的存在。但在此实验中,600ms 后更长的准备时间已不能使切换损失减少,剩下的这部分差异称为剩余损失 (在有的实验中,长达 5 秒甚至更长时间的准备仍不能使剩余损失消失)。根据此实验结果,Rogers 和 Monsell 认为<sup>[7]</sup>,有一部分任务重建过程必须要等到靶刺激出现后才能执行,

这一部分由外源性刺激触发。

对于任务重建的具体过程还存有争议。有一些研究者,如 Kluwe<sup>[31]</sup>,认为任务设置是可以逐步准备的,因为随着可预期内容的增加,被试的反应会加快。而有的研究<sup>[8, 9]</sup>认为,在切换的试次,靶刺激呈现前被试就已经开始进行任务重建,但并不是所有的重建过程都会成功,只有将目标和规则成功地提取到工作记忆中才能成功地完成任务重建,而提取成功是一个全或无(all or none)的过程,所以任务重建是全或无的过程。

到目前为止,fMRI的研究<sup>[10]</sup>表明,相对于重复试次,切换试次并不对应于某特定脑区,即在切换的试次中激活的脑区在重复试次中也会激活。不过,这些脑区在切换试次中激活强度较大。这个结果看起来对任务重建理论不利,因为此理论认为切换试次比重复试次额外地多出了任务重建的过程,但在脑的活动中并没有额外的区域参与。任务切换并不对应于特异脑区这一结果更符合后面将要提到的竞争假设,因为此假设认为切换试次和重复试次的进程类似,只不过在切换试次中竞争更为激烈。另外,按照任务重建的观点,线索-靶子(cue-target)阶段显示了主动的控制。Brass和 von Cramon<sup>[11]</sup>使用了只有线索(cue-only)的试次,即线索后面没有任务,实验结果显示了左侧额下联合(left inferior frontal conjunction)以及前辅助运动区(pre-SMA)和线索的相关性,但无法确定到底是与任务重建相关还是与对线索进行解释相关。

## 2.2 刺激-反应联结竞争

在任务切换的最初研究中,Jersild<sup>[12]</sup>使用了以下两套任务,其中一套是将数字加3或减3;另外一套任务是将数字加3或报告给定形容词的反义词。前一套任务中每个刺激对应着两种可能的反应,称为双向(bivalent)刺激;后一套任务中每个刺激只对应着一种反应,称为单向(univalent)刺激。在前一套任务中发现了切换损失,而在后一套任务中不存在切换损失。这一现象在Biederman和Spector 1976年的实验<sup>[13]</sup>中得到了重复。这表明,只有当刺激对应于多个刺激-反应联结时才存在切换损失。但也有少量反例存在<sup>[7, 14]</sup>。

对这种解释,Allport等人进行了一系列的研究,如他们1994年的实验<sup>[15]</sup>分3个模块,在第一个模块(作者称之为pure block)中,被试先重复执行色词stroop任务的颜色命名任务,然后重复执行数字stroop任务的报告数组大小任务,再进行上述两种任务的切换,此时没有切换损失;在第二个模块,被试重复执行色词stroop任务的读词任务,然后重复执行数字stroop任务的读数字任务,再进行切换,存在切换损失;第三模块的任务与第一阶段完全一样,但经过第二个模块,刺激已对应两种联结,因此也存在切换损失。此实验结果进一步表明了非单一联结在任务切换中的重要影响,并且这种影响是长期的,即使间隔了几百个试次仍然存在。

根据Allport等人一系列的研究<sup>[16, 17]</sup>以及Mayr等人的研究<sup>[18, 19]</sup>,切换损失可以用竞争假设<sup>[20]</sup>进行解释:当靶刺激是双向刺激时,在所有的试次中包括切换的和重复的,都存在竞争,最后被执行的是竞争胜出的任务。并且每执行完一个任务,其对应的联结会得到加强。例如,如果任务A对应于重复试次,则它在之前的试次中得到了加强,相对更容易在竞争中

胜出；反之，如果任务A对应于切换试次，在之前得到加强的是另一任务，任务A竞争胜出更为困难，相应的耗时更长，于是产生了切换损失。

综上所述，虽然上述两种解释强调的重点不同，但任务重建理论认为，切换损失也有刺激驱动的成份，而联结竞争也并不否认控制过程的存在。目前大多数研究者认为切换损失的来源是多样的，既有自上而下的控制成份也有自下而上的刺激触发成份，也许正是需要从这两端不断地推进中才能看清执行控制“小矮人”的真面目。

最近的一个 fMRI 研究<sup>[20]</sup>借鉴了 Allport 等人 1994 年的研究范式<sup>[15]</sup>，实验材料如图 1 所示，两组图片中一组同时具有面孔与颜色的特征，一组同时具有空间频率和运动的特征：



图 1：三个模块中的实验材料都相同。在第一个模块（pure block）中，一组被试先重复执行面孔任务（判断是否是名人），然后重复执行空间频率任务（判断高频还是低频），最后在面孔和频率任务之间转换。由于此时刺激是单向刺激，没有切换损失存在。模块 2 中，任务为另外一组：辨别颜色和辨别运动模式。被试在模块 3 中的任务和 pure block 完全一样，不同的是，经过第 2 个模块后，刺激变为双向刺激，这时存在切换损失。

由于作者选用的任务都对应于已知的特定区域，如梭状回（fusiform）对面孔敏感，MT 区对运动敏感<sup>[21]</sup>等，这为分析带来了很大的方便。此研究发现，当执行最后一个模块的面孔任务时，尽管被试已被告知在模块 3 中只有面孔任务而无需执行颜色任务，负责颜色的区域仍与在模块 2 中的活动程度相当；同样，在执行运动模式辨别任务时，负责频率的区域仍与在模块 2 中的活动程度相当。据此，作者认为，切换损失很大程度上来源于非当前任务的反应联结的存在。由于两种任务都是潜在可能的任务，既然两种任务的信息都被接收了，需要控制过程参与的关键是如何决定合适的反应。作者根据成像结果认为，大范围的额顶网络参与到此控制之中。

任务切换的研究在最近十年虽然得到了很大发展，但仍存在一些待改进的地方。就像 Logan 所批评的<sup>[2]</sup>，在任务切换的研究中，许多研究者不应该只关注自己感兴趣的任務，将得出的结论认为是一般性的结论。对执行控制的研究需要更多类型任务，这样才能够了解任务切换和其他控制过程的关系。有的研究注意到了这个问题，下面介绍一些任务切换与其他范式以及概念结合的研究。

### 3 与其他范式以及概念结合的研究

#### 3.1 stroop 任务的切换

在 stroop 任务中，读词比颜色命名更容易完成，而在这两种任务之间切换时，Allport

等人<sup>[15, 16]</sup>发现, 被试更难切换到读词的任务中去(切换损失更大)。在用母语和第二语言命名数字的实验<sup>[22]</sup>中, 被试也更难切换到用母语命名的任务中。Allport 等人提出了任务设置的惯性这一解释, 认为任务设置在执行后一段时间内还会存在。被试在完成较弱的任务时需要对强势的任务进行额外的抑制, 因此较弱任务的设置中包含了对强势任务的抑制, 如果从较弱的任务切换到强势任务, 则强势的任务由于受到了抑制从而切换损失更大。这是目前对切换损失来源的三个主要解释之一。

一些实验支持此解释<sup>[23, 24]</sup>。它们表明, 通过延长反应与下一个刺激出现的时间间隔给任务设置以消退的时间, 会使得切换损失减少。还有实验<sup>[18]</sup>发现 ABA 中最后一个任务 A 的反应慢于 CBA 中任务 A 的反应<sup>[18]</sup>, 这表明对新近发生的试次存在抑制, 此抑制用来脱离新近的任务设置, 从而顺利进行接下来的任务设置。具体来说, 当执行 ABA 的 B 任务时, 之前刚执行过 A 任务, 由于惯性, 任务 A 的设置在一定程度上还存在着, 为了顺利地执行 B 任务, 进行 B 的任务设置时会相应地抑制任务 A 的设置, 因此此任务设置(包含抑制成分)的惯性, ABA 中最后的 A 任务受到了抑制。

也有对这一解释的质疑。Monsell 等人提出了一个数学模型<sup>[25]</sup>, 根据此模型, 假设控制过程对任务总是提供最小的内源控制, 也可以解释为什么更难切换到比较容易完成的任务。他们认为 Allport 的上述实验使用的都是 stroop 类型的刺激, 得出的结论不具有一般性。

### 3.2 任务广度(task span)的研究

Logan 的实验将任务切换与工作记忆结合起来<sup>[26]</sup>。被试先要记住 1 - 10 个任务的名称, 然后呈现 1 - 10 个刺激, 被试按照记住的任务序列相应地完成。任务广度是成功地完成任务的个数。研究发现任务切换的次数对任务广度的影响很小, 据此作者认为, 任务切换对应的控制过程独立于储存的过程, 控制不是单一的过程, 而是包含多个过程。

### 3.3 与 go/no go 范式的结合

Schuch 和 Koch 的一个实验<sup>[33]</sup>将任务切换范式与 go/no go 范式结合起来。在第一个小实验中他们发现, 发生在 no go 试次后的切换试次没有切换损失。并且在接下来的实验中, 当 ABA-CBA 中 B 为 no go 试次时, 对 ABA 中最后一个任务 A 的反应不再慢于对 CBA 中任务 A 的反应。作者认为, 关键是因为 no go 试次不需要反应选择, 实验结果表明了反应选择对切换损失的贡献至关重要。另外 2003 年的一个 ERP 和 fMRI 的研究<sup>[34]</sup>同时使用任务切换范式与 go/no go 范式, 分离出加工反应冲突的敏感区域(喙部 ACC, rostral ACC)以及克服前一个反应抑制的区域(尾部 ACC, caudal ACC)。

### 3.4 内部言语(inner speech)

在实验中, 被试常会以默念指示自己的反应, 比如: “A 任务”, “如果是\*\*按左键”之类。Mecklinger 等人对 18 名脑损伤病人的研究<sup>[27]</sup>发现, 当要求病人在视觉分类任务之间快速转换时, 左半脑损伤的病人的切换损失比右半脑损伤的病人更大, 事后检验表明, 这种差异在很大程度上是由于左半脑损伤病人中的大部分存在言语障碍。Mecklinger 等人推测, 新任务的启动需要有效的言语表征, 而那些有言语障碍的左半脑损伤病人不能产生适当的表

征,所以需要更长的时间进行任务的转换。Monsell 提到<sup>[3]</sup>Goschke 在 2000 年发现在任务准备阶段要求被试念无关的单词会增大切换损失。这很可能与工作记忆的语音回路有关<sup>[28]</sup>。也有的研究者认为,这可能和练习不够有关,因为按照技巧获得理论<sup>[29]</sup>,我们不熟悉任务时,会让规则不断地回响,但熟练了以后就不再需要这样。

### 3.5 调控预期

Kluwe 等人认为<sup>[30, 31]</sup>,重复试次在两方面受益:一方面来自执行控制,一方面来自预期,因为被试总倾向于预期出现重复的任务。他们提出一种实验处理的方法,通过变化线索对随后任务指示的正确性(probability cue)来操纵被试的预期。他们认为,准备过程包括兴奋预期的任务和抑制无关的任务。

## 4 小结

任务切换研究中最大的争议是,这一过程在多大程度上体现的是自上而下控制的作用。争议的关键集中在对切换损失来源的解释上,竞争假设是比较有力的解释,但竞争假设仍然是比较笼统的概念,竞争具体是如何体现的还需要研究。

在任务切换的研究中,除了有许多争议以外仍然有许多疑问,比如:为什么有的实验采用单向刺激也存在切换损失<sup>[7]</sup>,在眼动任务实验中<sup>[14]</sup>采用双向刺激也曾发现切换损失的存在;为什么当前试次反应与前一试次反应一致时切换损失会增大<sup>[7]</sup>;切换至最近练习过的任务会更困难,但为什么这种效应却仅限于两个新近练习过的任务之间<sup>[32]</sup>。Monsell 认为<sup>[3]</sup>,面对众多的变量,借助数学模型和计算机仿真可以加深对问题的理解。从前文对成像实验的介绍可以看出,借助成像技术和巧妙的实验设计,可以有力地验证理论,让任务切换的过程明朗化。我们希望看到,随着对任务切换研究的进一步深入以及此范式与其他范式的更多结合,我们对执行控制的认识能越来越深入。

## 参考文献

- [1] Editors. Exorcizing the homunculus. *Acta Psychologica*, 2004, 115: 99~104
- [2] Logan G D. Executive control of thought and action: in search of the wild homunculus. *Current Directions In Psychological Science*, 2003, 12(2): 45~48
- [3] Monsell S. Task switching. *Trends in Cognitive Science*, 2003, 7(3): 134~140
- [4] Kray J, Li K Z, Lindenberger U. Age-related changes in task-switching components: the role of task uncertainty. *Brain and cognition*, 2002, 49(3): 363~381
- [5] Woodward T S, Bub D N, Hunter MA. Task switching deficits associated with Parkinson's disease reflect depleted attentional resources. *Neuropsychologia*, 2002, 40(12): 1948~1955
- [6] Aron A R, Monsell S, Sahakian B J, Robbins T W. A componential analysis of task-switching deficits associated with lesion of left and right frontal cortex. *Brain*, 2004, 16: 1~13
- [7] Rogers R D, Monsell S. The costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1995, 124: 207~231
- [8] Mayr U, Kliegl R. Task-set switching and long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 2000, 26: 1124~1140
- [9] Sohn M H, Anderson J R. Task preparation and task repetition: two-component model of task switching. *Journal of Experimental*

- Psychology: General, 2001, 130: 764~778
- [10] Dove A, Pollmann S, Schubert T, et al. Prefrontal cortex activation in task switching: a event-related fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 2000, 9: 103~109
- [11] Brass M, von Cramon D Y. The role of the frontal cortex in task preparation. *Cerebral Cortex*, 2002, 12: 908~914
- [12] Jersild A T. Mental set and shift. *Archives of Psychology*, 1927: 89
- [13] Spector A, Biederman I. Mental set and mental shift revisited. *American Journal of Psychology*, 1976, 89: 669~679
- [14] Hunt A R, Klein R M. Eliminating the cost of task set reconfiguration. *Memory and Cognition*, 2002, 30: 529~539
- [15] Allport D A, Styles E A, Hsieh S. Shifting intentional set: exploring the dynamic control of tasks. In: Umiltà C, Moscovitch, editors. *Attention and performance XI*. Cambridge, MA: MIT Press, 1994. 107~132.
- [16] Allport D A, Wylie G R. Task-switching: positive and negative priming of task-set. In: Humphreys G W, Duncan J, Treisman A M, eds. *Attention, space and action: studies in cognitive neuroscience*. Oxford: Oxford University Press, 1999. 273~296
- [17] Allport D A, Wylie G R. Task-switching, stimulus-response bindings, and negative priming. In: Monsell S, Driver J S, ed. *Control of cognitive processes: attention and performance XVIII*. Cambridge, MA: MIT Press, 2001. 35~70
- [18] Mayr U, Keele S W. Changing internal constraints on action: the role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2000, 129: 4~26
- [19] Mayr U, Kliegl R. Task-set switching and long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 2000, 26: 1124~1140
- [20] Wylie G R, Javitt D C, Foxe J J. Don't think of a white bear: An fMRI Investigation of the effects of sequential instructional sets on cortical activity in a task-switching paradigm. *Human Brain Mapping*, 2004, 21: 279~297
- [21] Snaert S, Van Hecke P, Marchal G, et al. Attention to speed of motion, speed discrimination, and task difficulty: an fMRI study. *Neuroimage*, 2000, 11: 612~623.
- [22] Meuter R F I, Allport A. Bilingual language-switching in naming: asymmetrical costs of language selection. *Journal of Memory and Language*, 1999, 40: 25~40
- [23] Meiran N, Chorev Z, Sapir A. Component processes in task switching. *Cognitive Psychology*, 2000, 41: 211~253
- [24] Sohn M H, Anderson J R. Task preparation and task repetition: two-component model of task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2001, 130: 764~778
- [25] Yeung N, Monsell S. Switching between tasks of unequal familiarity: the role of stimulus-attribute and response-set selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Perform*, 2003, 29(2): 455~469
- [26] Logan G D. Working Memory, Task Switching, and Executive Control in the Task Span Procedure. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2004, 133(2): 218~236
- [27] Mecklinger A, von Cramon D Y, Springer A, et al. Executive Control Functions in Task Switching: Evidence from Brain Injured Patients. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 1999, 21(5): 606~619
- [28] Emerson M J, Miyake A. The role of inner speech in task switching: A dual-task investigation. *Journal of Memory and Language*, 2003, 48: 148~168
- [29] Fitts P M, Posner M I. *Human Performance*. Brooks-Cole, 1967
- [30] Dreisbach G, Haider H, Kluwe R H. Preparatory processes in the task-switching paradigm: evidence from the use of probability cues. *Journal of Experimental Psychology: Learning memory and cognition*, 2002, 28(3): 468~483
- [31] Hubner M, Kluwe R H, Luna-Rodriguez A, et al. Task preparation and stimulus-evoked competition. *Acta Psychologica*, 2004, 115: 211~234
- [32] Yeung N, Monsell S. The effects of recent practice on task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2003, 29 (5): 919~936
- [33] Schuch S, Koch I. The Role of Response Selection for Inhibition of Task Sets in Task Shifting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2003, 29 (1): 92~105

- [34] Swainson R, Cunnington R, Jackson G M, et al. Cognitive control mechanisms revealed by ERP and fMRI: Evidence from repeated task-switching. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2003, 15 (6): 785~799

## Task Switching, A Paradigm in the Study of Executive Control

Shi Yiquan, Zhou Xiaolin

(Department of Psychology, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract:** Task switching is an important paradigm in the study of executive control. Switch cost refers to the performance difference in task-switch and task-repeat trials, which is an indicator of executive control. The mechanisms of switch cost are complex and there are many controversies in this field. Three of the most popular theories were reviewed in this paper: task-set reconfiguration, task set priming and task set inertia, together with experimental evidence supporting or refuting these theories.

**Key words:** task switching, executive control, switch cost.