

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：认知控制的层级性：来自任务切换的脑电证据

作者：吴建校 曹碧华 陈云 李子夏 李富洪

第一轮

审稿人 1 意见：

该研究采用层级嵌套结构的两层级任务结合 ERP 技术考察了任务层级对认知控制的影响。在行为和脑电水平也有一些有意思的发现。但是有待商榷和进一步说明的主要问题：

意见 1：实验设计：层级的概念是什么？

回应：根据您的意见，我们在修改稿中增加下述关于层级概念的描述。（第 25 页第 2 段蓝色部分，下同）

层级表征已被证明在感知（Hommel et al., 2000）、工作记忆（Nie et al., 2017）以及动作执行（Rosenbaum et al., 1983）等诸多认知过程中存在。在日常生活中，某一任务及动作执行通常由多个步骤组成，这些步骤可以层级的形式表征（Lashley, 1951）。例如，‘煮咖啡’这一任务是由一系列嵌套的子任务（研磨咖啡豆、冲泡等）构成。层级表征是一种由相互嵌套的成分及其子成分构成的心理表征，其中上位信息对下位子成分产生影响（Schneider & Logan, 2006）。

意见 2：该研究所采用的实验任务与层级任务切换模型之间的关联是什么？

回应：非常感谢您提出的宝贵意见。Kleinsorge 和 Heuer（1999）利用‘任务集（task-set）’的维度组织结构探索维度数量及维度的层级水平对切换代价的影响，并提出了层级任务切换模型。该模型包含了任务判断类型、S-R 联结一致性以及反应是否切换三种不同层级水平。其中，任务判断类型为最高层级，S-R 联结一致性为中间层级，反应切换与重复层级最低。研究者采用线索与目标相结合的实验范式，通过呈现于屏幕中心点上下两个方框的空间线索提示被试需要执行的任务是判断中央数字的大小还是判断一侧数字所处方位（左或右）；通过数字的颜色提示被试应当选用与日常行为一致或不一致的 S-R 联结规则（如对于数字大小任务，绿色表示采用一致规则，即左小右大的按键规则，红色表示采用不一致规则，即左

大右小的按键规则)；反应是否切换是指前后两个试次的物理按键是否相同。结果发现，当任务判断类型切换时，其切换代价最高；当任务判断类型重复，S-R 联结规则切换相比 S-R 联结规则重复时切换代价更大，但当任务判断类型切换，其切换代价更小；另外，当任务判断类型和 S-R 联结规则均重复，反应切换会产生切换代价，反之会降低切换代价。他们认为，在一个任务集中，若层级结构的顶层发生变化，所有层级都须重新设置；相反，若最低层级发生变化，只有该层级参与重新设置。当个体切换某一层级，他们也会自动切换所有较低层级。因此，当任务判断类型和 S-R 联结规则都发生切换时，与只有一个任务判断类型发生切换时相比，切换代价更小。简言之，在一个任务集里，做什么（即任务目标），怎么做（即反应规则）以及动作执行是以由高到低的层级形式被表征的。

在本研究中所使用的实验任务借鉴于 Brade (2018) 的规则嵌套模式，在低层级任务中，被试在每一试次只加工数字的一种语义维度（如奇偶或大小判断类型），在高层级任务中，被试在每一试次需要加工数字的两种语义维度（如对大数进行奇偶判断或对偶数进行大小判断），执行高层级任务时，对先决条件的加工决定了后续任务是否需要进一步加工。本实验任务与 Kleinsorge 和 Heuer (1999) 的层级任务均考察了切换维度的数量以及层级水平对切换代价的影响，且都发现高层级的切换比低层级的切换代价更大。但两个研究具有如下不同。第一，层级的定义不同，Kleinsorge 和 Heuer (1999) 所操纵的是‘任务集 (task-set)’的层级结构，在他们的任务中，任务判断类型为最高层级，S-R 联结一致性为中间层级，反应是否切换层级最低。而我们操纵的是任务集内的元素之一，即任务本身的层级。我们对层级的操作定义是任务维度数量，在低层级任务中的每一试次，个体只需要加工刺激的一个语义维度，如判断数字的奇偶（或大小），而在高层级任务中的每一试次，个体需要加工刺激的两个语义维度，如对大数进行奇偶判断；第二，研究目的不同，Kleinsorge 和 Heuer (1999) 设计了一个具有四个子任务的维度组织的任务集，考察这些子任务之间的切换代价来验证层级任务切换模型。本研究主要探索不同层级任务切换过程中认知控制的层级性及其神经机制。我们以线索-任务范式考察线索加工相关的主动性控制与目标加工相关的反应性控制是否会受任务层级性的调节。重点关注不同层级内的任务切换代价差异背后的神经机制。因此，本研究所采用的实验任务可看作是 Kleinsorge 和 Heuer (1999) 的层级切换模型的纵向拓展。

意见 3：任务的层级性等同于任务的复杂性吗？如果有区别，区别在哪里？作者提到“在低层级任务中，个体需要判断数字大小（或奇偶），而高层级任务则更为复杂...” (1.3)，所以

该研究中高层级任务其实可以看作是一个比低层级复杂的任务？换句话说，该研究发现的高层级任务与低层级任务之间的差异可能来自于任务的复杂性，而不是层级性？

回应：层级控制的定义因研究者的侧重点不同而有所区别，强调“过程”要求在较长的时间尺度上运行的高层级不对称地调节低层级处理过程（Broadbent & Donald, 1977）；而侧重“表征”则要求高层表征能够通过低层表征形成概括、抽象的内容，允许信息能够从高层级传递至低层级水平，注重一般性而非细节（Cohen, 2000）。前人研究总结了四种不同的层级控制类型：策略抽象（Policy abstraction）、领域一般性（Domain Generality）、关系复杂性（Relational Complexity）和时间抽象（Temporally abstract）。此外，层级表征可以通过调控不同复杂程度进行操纵，一组简单的刺激-反应（S-R）联结如果成为上级任务表征的子成分，从而构成一个层级结构。例如，Dreisbach 等（2007）比较了基于任务规则的任务表现和基于单一 S-R 联结的表现。他们要求被试学习八个不同的 S-R 联结，无论是否预先知道两个基本任务集，在没有任务集信息的情况下，切换和重复之间没有区别，而在开始时就引入任务集则导致了显著的转换代价。最重要的是，在实验中间引入任务集也导致了显著的转换代价。同样，Brade（2009）通过操纵 S-R 联结的抽象程度来表示不同的层级，如，最低层级水平是个体根据 S-R 联结（颜色-按键）做出反应，随后的每一级增加反应选择所需的背景条件（颜色-特征-按键，颜色-尺寸-特征-按键，情景-颜色-尺寸-特征-按键）。据此来看，层级的变化不可避免地会伴随着任务的复杂性的变化（即层级越高，任务越复杂）。在未来的研究中，如何将层级和复杂性进行有效的区分值得我们进一步去探索。

因此，我们在讨论部分中的局限部分增加以下内容。（第 39 页第 3 段）

本研究在已有研究基础上通过线索任务切换范式进一步探讨了认知控制的层级性，但存在如下不足之处。第一，在本研究中，层级的变化不可避免地伴随着任务的复杂性的变化（即层级越高，任务越复杂）。在未来的研究中，如何将层级和复杂性进行有效的区分值得进一步去探索。

意见 4：统计方法：作者在结果部分增加了配对样本 t 检验，由于方法部分已经指出使用方差分析，再进行 t 检验不仅没有意义而且还会增加假阳性结果。例如，3.2.2 目标锁时 ERP N2 波幅在方差分析中未发现层级、任务类型与脑区之间的交互作用，而作者对六个分区做配对样本 t 检验后发现在左侧中央区有差异显著，“高层级任务切换与任务重复间的 N2 波幅差异显著大于低层级任务切换与任务重复间的波幅差异， $t[27] = 2.46, p = .021, d = .42$ ”。

如果用 Bonferroni 法计算校正后显著水平为 0.008, 则 $p = .021$ 未达到显著水平。

回应：根据已有文献（Karayanidis et al., 2003; Liu et al., 2020）我们对行为数据的分析分两步进行，首先进行 2（层级：高，低）* 2（任务类型：重复，切换）的方差分析，目的是考察层级主效应、任务类型主效应、以及两者的交互作用，如果存在交互作用，就通过简单效应分析揭示在高层级（或低层级）是否存在显著的切换代价。如果两个层级均存在显著的切换代价，且从数据上我们发现高层级任务切换代价大于低层级任务切换代价，此时就需要进一步采用 t 检验比较高层级任务切换代价和低层级任务切换代价是否在统计学意义上存在显著差异，这也是审稿专家 3 第二条意见所指出的，对高、低层级任务切换代价的比较可以更清楚地探究认知控制的层级性。

与行为数据的分析方法一致，我们对 ERP 数据也分两步进行，首先对原始波进行常规的分析，然后对差异波进行分析。由于在上一版本的稿件中我们没有在方法部分清楚地描述统计分析的步骤与理由，在结果部分也没有正确地对目标诱发的 N2 的差异波（任务切换减去任务重复）进行分析，导致审稿人产生“彼分析可能出现假阳性结果”的疑虑。

因此，我们在修改稿的方法和结果部分，增加如下关于分析步骤的描述：

.....为了更为直观地展现不同层级下切换代价在不同脑电成分上的特点，我们进一步对切换试次与重复试次间的差异波（任务切换减任务重复）进行配对样本 t 检验。（第 30 页第 2 段）

.....此外，对 N2 的差异波进行 2（层级：高、低） \times 2（前后脑区：额区、中央区） \times 2（左右半球：左、右）的重复测量方差分析；对 P2、P3 和 LPC 的差异波幅进行 2（层级：高、低） \times 3（前后脑区：额区、中央区和顶区） \times 2（左右半球：左、右）的重复测量方差分析。（第 30 页第 2 段）

在结果部分，N2 差异波的分析结果报告如下：对差异波进行重复测量方差分析发现，层级主效应显著， $F(1, 27) = 4.82, p = .037, \eta_p^2 = .152$ ，与低层级相比，高层级任务切换与任务重复的 N2 波幅差异显著更大；左右半球主效应显著， $F(1, 27) = 6.10, p = .020, \eta_p^2 = .185$ ，左半球差异波（ $-0.69\mu V$ ）相比右半球差异波（ $-0.40\mu V$ ）更大；其他主效应及交互作用不显著（ $ps > .050$ ）。（第 33 页第 2 段）

意见 5：结果解释：作者将线索出现后 800-1000 毫秒的 ERP 命名为 LPC，并解释为一种主动性控制加工。但是，这一成分也可能包含了 CNV。从任务上看，线索之后 1500-1800ms

出现数字刺激，这个时间间隔足够长使得被试可能进行预期或心理准备，诱发 CNV。从波形图上看，这个时间窗内的波形明显是负走向，而 LPC 则是正波，测量时至少有一部分是正走向。作者也在文中（1.1 节第一段）中提到“研究发现在目标即将呈现之前的时间窗口，任务切换和重复均在额中区域诱发了 CNV，这一成分可能和预期性注意（Brunia, 1999）或反应准备过程相关（Karayanidis & Jamadar., 2014）。”作者有必要对 LPC 和 CNV 进行界定，进而明确说明线索出现后 800-1000 毫秒究竟是何 ERP 成分？再由此对结果进行解释。

回应：正如审稿专家所述，Contingent negative variation (CNV) 一般是在线索加工完成后目标即将呈现之前出现，反映了个体对任务预期或心理准备（Poljac & Yeung, 2014）。从 CNV 出现的时间来看，CNV 出现于上一刺激加工结束后与下一伴随性的刺激（如本研究中的靶刺激）呈现前（Karayanidis & Jamadar., 2014）。在本研究中，四种实验条件的平均反应时在 1000ms 左右，高层级任务切换的反应时为 1211ms，因此被试对线索的加工结束时间大概是线索呈现后 900-1100ms 左右，因此，从时间界限来看，1000ms 之后的负走向可看作 CNV，而 1000ms 之前的可看作 LPC。从图 2 的波形来看，1000ms 之后确实有负走向的趋势，但在 1000ms 之前，ERP 成分依然表现为正波；而且，任务切换相比任务重复在 LPC 上的波幅更正，这一结果与以往相关研究发现的切换正波是一致的，即任务切换相比任务重复诱发更正的波，反应了线索加工的主动性控制过程（Han et al. 2018, 2019; Kieffaber and Hetrick 2005; Goffaux et al. 2006; Lavric et al. 2008; Karayanidis et al. 2011; Poljac & Yeung, 2014）。另外，CNV 成分多分布于额中区域，本研究晚期成分的切换正波则在顶叶区域。因此，将该时间窗口的成分定义为晚期正成分（LPC）较为合理。

其他问题见审改稿批注

意见 6：建议把切换正波标注英文名称，

回应：根据您的建议，已经标出切换正波的英文名称 Switch-related positivity。（第 24 页第 2 段）

意见 7：补充中英文名称，并描述该成分特征（1.1 节第一段）。

回应：已补充该内容。（第 24 页第 2 段）

意见 8：第 5 页第一段‘这一减小的 P3b 可能反映了任务切换相比任务重复具有更高的任务要求和更大的工作记忆负荷（Barceló et al., 2000; Karayanidis et al., 2003）。’通常来说波幅越大，提示任务的认知负荷越大。

回应：以往研究在采用线索-任务切换范式的脑电结果通常会出现极性反转，即在线索锁时阶段任务切换相比任务重复会诱发更大的 P3 成分；相反，在目标锁时阶段任务切换相比任务重复会诱发更小的 P3 成分（Barceló et al., 2000; Han et al., 2018; Karayanidis et al., 2003）。

意见 9：层级的定义是什么？任务切换模型中的三个层级水平的具体含义是什么？能否举例说明？术语应保持一致。

回应：在修改稿中添加了层级的定义、任务切换模型中三个层级水平的具体含义和例子，并让术语保持一致。具体见修改稿。（第 25 页至第 26 页）

意见 10：高低层级任务具体所指代的是何种任务，建议说明一下（1.2 节第二段）。

回应：已在修改稿中补充说明。（第 26 页第 2 段）

意见 11：明确说明不同层级任务所指代的是不同层级内还是不同层级间？

回应：不同层级任务所指代的是不同层级内。已在修改稿中说明。（第 27 页第 2 段）

意见 12：“尚无研究者考察不同层级的任务切换代价差异背后的神经机制。Lu 等（2017）设计了三层级任务，但他们没有关注切换代价；Li 等（2019）也设计了三层级任务，但关注的是不对称性的切换代价；另外两项研究（Collins et al., 2014; Han et al., 2018）关注的是刺激或规则的层级性，并没有涉及任务的层级性。”这些研究的关注点不同，导致了什么相互矛盾的结果或发现？

回应：根据您的建议将如下描述添加到修改稿中。（第 27 页第 2 段）

现有行为研究表明，任务切换中的任务集和其中的元素（如刺激的知觉特征与反应规则）的表征存在层级性，高层级表征间的切换代价高于低层级表征间的切换代价（Collins et al., 2014; Han et al., 2018, 2019）；现有脑电研究却因为不同研究者的关注点不同得出不尽相同的结论。例如，Li 等（2019）采用了嵌套的三层级任务，关注切换代价的层级不对称性的，即不同方向的跨层级切换问题，发现由低向高跨级切换的认知控制的增大与 N2 波幅的增大

相联系；另外三项研究（Collins et al., 2014; Han et al., 2018, 2019）关注的是刺激知觉维度或反应规则的层级性。Collins 等（2014）发现，高层级的知觉维度切换相对于低层级知觉维度切换在顶叶皮层诱发了更负的晚期负波；Han 等（2018, 2019）发现，高层级的反应规则切换条件下的靶刺激诱发了比低层反应规则切换更负的 N2 波幅。本研究与已有两个研究（Han et al., 2018, 2019）一样，依然围绕认知控制的层级性及其神经机制进行探索。不同的是研究切入点有所不同，Han 等（2018, 2019）的研究切入点是反应规则切换的层级性，即比较两个高层规则（如规则 1 “如果线索字母 R 为实体则根据颜色选择不同的任务”与规则 2 “如果线索字母 R 为空心则根据方向选择不同的任务”）之间的切换代价与两个低层规则（如规则 3 “如果实体线索字母 R 为红色则做大小判断任务”与规则 4 “如果实体线索字母 R 为绿色则做奇偶判断任务”）之间的切换代价的差异。而本研究的切入点是任务切换的层级性，即比较两个高层级任务（如任务 1 “判断大数的奇偶性”与任务 2 “判断奇数的大小”）之间的切换代价与两个低层级任务（如任务 3 “判断数字的大小”与任务 4 “判断数字的奇偶”）之间的切换代价的差异。本研究特别关注不同层级内的任务切换代价差异背后的神经机制。简言之，大量行为研究已经揭示高层级任务切换的代价大于低层级任务切换的代价，但至今无人采用 ERP 技术揭示任务集内另一重要的元素，即任务本身的层级性所诱发的认知控制的神经机制，尽管部分研究者从刺激的知觉维度的层级性（Collins et al., 2014）与反应规则的层级性（Han et al., 2018, 2019），以及跨层级切换的不对称性（Li et al., 2019）进行了一些探索，但这些研究都未涉及任务的层级性。

意见 13：“我们假设：（1）高层级任务相较于低层级任务可能诱发更长的反应时与更高的错误率；而且高层级任务切换代价相较于低层级任务切换代价更大。（2）任务切换与重复的 ERP 波幅差异可能受到认知控制层级性的调节并体现于 N2、P3 或 LPC 等反映主动性与反应性控制的成分上，即在这些成分上高层级任务切换与重复的波幅差异可能大于低层级任务切换与重复的波幅差异。”建议分别对这两个假设的推理过程进行简要描述。

回应：根据您的建议，增加了下述关于两个假设的推理过程。

本研究假设：（1）低层级任务和高层级任务之间存在维度数量的不同，低层级任务只需加工一个维度，而高层级任务需要加工数字的两个维度；因此，高层级任务相较于低层级任务可能诱发更长的反应时与更高的错误率；高层级任务切换时，两个维度均需要切换，受前一任务的干扰可能更高，以至重置新任务集时间更长；因此，高层级任务切换代价相较于低

层级任务切换代价更大。(2) 现有关于线索-任务切换范式下的脑电研究表明, 在线索锁时阶段的任务切换相对于任务重复诱发更小的 N2 和更大的 P3 (即切换正波), 但目标刺激诱发的 N2 和 P3 波幅在任务切换与任务重复之间的差异却出现了反转 (即切换负波); 本研究假设, 无论是线索诱发的切换正波还是目标诱发的切换负波, 都可能受到任务层级性的调节, 并体现于 N2、P3 (或 LPC) 等反映主动性与反应性控制的成分上, 即在这些成分上高层级任务切换与重复的波幅差异可能大于低层级任务切换与重复的波幅差异。(3) 根据 Kleinsorge 和 Heuer (1999) 层级任务切换模型, 与 S-R 联结规则相比, 任务目标的层级更高, 其认知控制的需求也更高, 完成控制加工的时间可能也更长, 因此, 其认知控制的层级性在切换正波 (或负波) 上的出现时间可能较 Han 等 (2018) 的规则切换的层级效应出现时间更晚。(第 28 页第 2 段)

意见 14: 设置的预期效应量是多少?

回应: 在修改稿中我们注明: 采用 G-power 软件计算, 使用中等的效果量 ($\eta_p^2 = .25$), 期望的功效值 ($1 - \beta = 0.80$) 以及显著性水平 ($\alpha = .05$), 计算需要被试样本量为 24, 因此实际样本量符合要求。(第 28 页第 3 段)

意见 15: 多重检验时 p 值用什么方法校正?

回应: 多重检验时采用 Bonferroni 方法对 p 值进行校正。(第 30 页第 2 段)

意见 16: 交互作用未达显著水平, 不应进行简单效应分析。

回应: 已对交互作用未达显著水平的简单效应分析进行删除。

意见 17: 第二篇参考文献缺卷号和页码

回应: 已增加文献缺卷号和页码, 并逐一检查、修改其他参考文献的格式等问题。(第 41 页)

新增加的参考文献:

Broadbent, & Donald, E. (1977). Levels, hierarchies, and the locus of control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29(2), 181-201.

Cohen, G. (2000). Hierarchical models in cognition: do they have psychological reality? *European Journal of*

- Cognitive Psychology*, 12(1), 1-36.
- Hommel, B., Gehrke, J., & Knuf, L. (2000). Hierarchical coding in the perception and memory of spatial layouts. *Psychol Res*, 64(1), 1-10.
- Lashley, K.S. (1951) The problem of serial order in behavior. In *Cerebral Mechanisms in Behavior* (Jeffress, L.A., ed.), pp. 112–136, Wiley.
- Liu, H., & Zhang, Q. (2020). Neural correlates of the mechanism underlying negative response repetition effects in task-switching. *Brain and Cognition*, 145, 105627.
- Nie, Qi-Yang, Mueller, Hermann, J., & Conci, et al. (2017). Hierarchical organization in visual working memory: from global ensemble to individual object structure. *Cognition: International Journal of Cognitive Psychology*, 159, 85-96.
- Rosenbaum, D. A., Kenny, S. B., & Derr, M. A. (1983). Hierarchical control of rapid movement sequences. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 9(1), 86-102.
- Schneider, Darryl W.; Logan, Gordon D. (2006). Hierarchical control of cognitive processes: Switching tasks in sequences. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135(4), 623–640.
- *****

审稿人 2 意见：

此项研究采用 ERP 探究了高、低层级任务切换效应在 ERP 成分上的差异。实验结果显示反应时上的切换效应在高层级比低层级任务中更大。在任务切换线索锁时的 LPC 成分发现切换效应与任务层级的交互作用：高层级大于低层级。在靶刺激锁时的 N2 成分和 LPC 成分也发现切换效应和任务层级的交互作用：高层级大于低层级。

意见 1：作者根据现有理论对结果进行了讨论。这项研究的一个主要问题是与已有研究相比较，不清楚“新”在何处，是要回答一个新问题，还是对老问题提出了一个新假设，这些在整篇文章中都没有阐明。例如此项研究与 Han 等人（2018, 2019）的研究很相似，相比较而言：

1) 本文似乎不研究新问题？

回应：确如审稿专家所言，本研究与已有两个研究（Han et al., 2018, 2019）一样，依然围绕认知控制的层级性及其神经机制进行探索。不同的是研究切入点有所不同，Han 等（2018, 2019）的研究切入点是反应规则切换的层级性，即比较两个高层规则（如规则 1 “如果线索字母 R 为实体则根据颜色选择不同的任务”与规则 2 “如果线索字母 R 为空心则根据方向选择不同的任务”）之间的切换代价与两个低层规则（如规则 3 “如果实体线索字母 R 为红色则做大小判断任务”与规则 4 “如果实体线索字母 R 为绿色则做奇偶判断任务”）之间的切换代价的差异。而本研究的切入点是任务切换的层级性，即比较两个高层级任务（如任务 1 “判断大数的奇偶性”与任务 2 “判断奇数的大小”）之间的切换代价与两个低层级任务（如任务 3 “判断数字的大小”与任务 4 “判断数字的奇偶”）之间的切换代价的差异。本研究特别

关注不同层级内的任务切换代价差异背后的神经机制。简言之，大量行为研究已经揭示高层级任务切换的代价大于低层级任务切换的代价，但至今无人采用 ERP 技术揭示任务集内另一重要的元素，即任务本身的层级性所诱发的认知控制的神经机制，尽管部分研究者从刺激的知觉维度的层级性（Collins et al., 2014）与反应规则的层级性（Han et al., 2018, 2019），以及跨层级切换的不对称性（Li et al., 2019）进行了一些探索，但这些研究都未涉及任务的层级性。

为在修改稿中体现本研究的创新性，我们在修改稿前言部分增加上述说明。（第 27 页第 2 段）

意见 2：此项研究与这两项研究的假设不同在何处？

回应：Han 等（2018）关注的是当线索与目标分开呈现时的规则层级性。他们假设，在线索加工阶段，规则切换相比规则重复会诱发切换正波，且高层规则切换相对低层规则切换更为抽象，在任务重构时更难，需要给予更多的认知资源于选择性注意线索特征和信息更新，因此，高层规则切换相比低层规则切换可能诱发更大的 P2 和 P3 波幅；而在目标锁时阶段，可能诱发切换负波，且其切换效应先于层级效应出现。Han 等（2019）主要关注的问题是当线索与目标绑定时的规则切换的层级性，他们假设：当线索-目标绑定同时呈现时，规则切换将更复杂，认知资源更有可能用于记忆更新和新刺激-反应（S-R）规则的高层级规则重构等主动控制过程，而不是用于规则应用的反应性控制过程。因此，脑响应可能会和 Han 等（2018）中的线索锁时阶段相似。Han 等（2019）预计与线索加工相关的 P3a 可能会在额叶被清楚地观察到，与目标加工相关的 P3b，或者 P3a 和 P3b 的混合物，将在顶叶观察到，因为在线索-目标转换任务中，当线索-目标间隔为 0 ms 时，主动控制似乎是线索加工的主导过程。因此，他们认为高层规则切换条件可能比低层规则切换条件引起更大的 P300/LPC 振幅。此外，他们还预计层级效应的时间窗比切换效应的时间窗要早，因为与规则有关的信息应该在进入反应阶段之前就已经被加工。

综上，Han 等（2018, 2019）采用的线索-任务切换范式探讨了规则切换的层级效应，本研究关注不同层级内的任务切换代价差异的加工过程，也采用线索-任务分离的切换范式，根据已有关于任务切换的脑电研究，本研究假设在线索锁时阶段同样诱发切换正波，而目标锁时则刚好相反，诱发切换负波。因此，关于切换正波（与线索加工关联）与切换负波（与目标加工关联）的假设，我们的假设与 Han 等（2018, 2019）的假设是相同的，因为无论是

Han 等（2018, 2019）研究中的规则切换还是本研究中的任务切换都涉及线索加工的主动性控制和目标加工的反应性控制。不同的是，在我们预期任务的层级性可能体现于与主动性控制相联系的切换正波和与反应性控制的切换负波的同时，还提出以下假设。（第 28 页第 2 段）

……（3）根据 Kleinsorge 和 Heuer（1999）层级任务切换模型，与 S-R 联结规则相比，任务目标的层级更高，其认知控制的需求也更高，完成控制加工的时间可能也更长，因此，其认知控制的层级性在切换正波（或负波）上的出现时间可能较 Han 等（2018）的规则切换的层级效应出现时间更晚。

意见 3：前人研究已经发现了 ERP 成分中的切换效应受到任务层级的影响，为什么还要做目前这个研究？

回应：现有行为研究表明，任务切换中的任务集和其中的元素（如刺激的知觉特征与反应规则）的表征存在层级性，高层级表征间的切换代价高于低层级表征间的切换代价（Collins et al., 2014; Han et al., 2018, 2019）；现有脑电研究却因为不同研究者的关注点不同得出不尽相同的结论。例如，Li 等（2019）采用了嵌套的三层级任务，关注切换代价的层级不对称性的，即不同方向的跨层级切换问题，发现由低向高跨级切换的认知控制的增大与 N2 波幅的增大相联系；另外三项研究（Collins et al., 2014; Han et al., 2018, 2019）关注的是刺激知觉维度或反应规则的层级性。Collins 等（2014）发现，高层级的知觉维度切换相对于低层级知觉维度切换在顶叶皮层诱发了更负的晚期负波；Han 等（2018, 2019）发现，高层级的反应规则切换条件下的靶刺激诱发了比低层反应规则切换更负的 N2 波幅。本研究与已有两个研究（Han et al., 2018, 2019）一样，依然围绕认知控制的层级性及其神经机制进行探索。不同的是研究切入点有所不同，Han 等（2018, 2019）的研究切入点是反应规则切换的层级性，即比较两个高层规则（如规则 1“如果线索字母 R 为实体则根据颜色选择不同的任务”与规则 2“如果线索字母 R 为空心则根据方向选择不同的任务”）之间的切换代价与两个低层规则（如规则 3“如果实体线索字母 R 为红色则做大小判断任务”与规则 4“如果实体线索字母 R 为绿色则做奇偶判断任务”）之间的切换代价的差异。而本研究的切入点是任务切换的层级性，即比较两个高层级任务（如任务 1“判断大数的奇偶性”与任务 2“判断奇数的大小”）之间的切换代价与两个低层级任务（如任务 3“判断数字的大小”与任务 4“判断数字的奇偶”）之间的切换代价的差异。本研究特别关注不同层级内的任务切换代价差异背后的神

经机制。简言之，大量行为研究已经揭示高层级任务切换的代价大于低层级任务切换的代价，但至今无人采用 ERP 技术揭示任务集内另一重要的元素，即任务本身的层级性所诱发的认知控制的神经机制，尽管部分研究者从刺激的知觉维度的层级性（Collins et al., 2014）与反应规则的层级性（Han et al., 2018, 2019），以及跨层级切换的不对称性（Li et al., 2019）进行了一些探索，但这些研究都未涉及任务的层级性。我们在修改稿的前言部分增加上述说明（第 27 页，第 2 段）

另外，我们在修改稿的讨论部分增加如下关于本研究新发现的论述。（第 40 页第 1 段）

根据 Kleinsorge 和 Heuer（1999）层级任务切换模型，与 S-R 联结规则相比，任务目标的层级更高，其认知控制的需求更高，层级性对任务目标的影响可能不同于对 S-R 联结规则的影响。与 Han 等（2018）中关于层级规则的重构过程相关的 ERP 成分即切换负波所体现的层级效应相比，本研究在任务重构上的层级效应出现较晚。在 Han 等（2018）的研究中反应任务集重构的层级效应出现在 P3 窗口（350-450ms），而本研究出现于 LPC（600-1000ms），对这一研究结果的差异我们认为可能是这两个研究操纵的任务集元素不同。如 Han 等（2018）通过对线索特征指示的反应规则的操纵来探究规则的层级属性。而本研究操纵的是任务的层级属性。因为任务比反应规则的层级更高、更抽象（Kleinsorge & Heuer, 1999），其重构也更困难。因此，其重构过程中所体现的层级性也可能较晚出现。

意见 4：作者在讨论部分比较本研究与 Han 等人研究结果的差异，但是似乎也只是从实验材料的角度探讨了为什么有这些差异，没有从理论角度提出新的观点。

回应：根据您的建议，我们在讨论部分除了分析两个研究的研究目的与方法上的差异外，也增加如下观点。（第 40 页，第 2 段）

据此，本研究认为，在一个任务集内，不仅存在任务-联结-反应间的层级组织，一个特定任务集内的刺激、任务或规则本身也可能以层级的形式被表征。无论这一层级表征是内隐（Collins et al., 2014）还是外显（Han et al., 2018, 2019），不同层级的切换，其需要的认知控制也不同，导致的切换代价也不同，高层级（任务或规则）切换代价高于低层级切换代价。另外，在一个特定的任务集内，认知控制对任务目标的层级控制也可能不同于对反应规则的层级控制，对前者的控制要求可能更高，所需时间更多。

意见 5：层级的概念不清晰。文中的高层级任务似乎只是两个低层级任务的组合，只是顺序

的完成了两个任务，层级性体现在何处？

回应：我们在前言部分补充了层级的相关概念。（第 25 页，第 2 段）

层级表征已被证明在感知（Hommel et al., 2000）、工作记忆（Nie et al., 2017）以及动作执行等诸多认知过程中存在（Rosenbaum et al., 1983）。在日常生活中，某一任务及动作执行通常由多个步骤组成，这些步骤可以层级的形式表征（Lashley, 1951）。例如，‘煮咖啡’这一任务是由一系列嵌套的子任务（研磨咖啡豆、冲泡等）构成的。因此，层级表征是一种由相互嵌套的成分及其子成分构成的心理表征，其中上位信息对下位的子成分产生影响（Schneider & Logan, 2006）。因此，在本研究中，对层级的操作定义是任务维度数量的变化，在低层级任务中的每一试次，个体只需要加工一个语义维度，如数字的奇偶（或大小），而在高层级任务中的每一试次，个体需要加工数字的两个语义维度（如对大数进行奇偶判断）。

意见 6：实验设计需要补充更多信息。1）实验总共有多少个试次，总时长；其中多少个高低层级切换/重复试次、多少个层级内任务切换/重复试次。

回应：我们在方法部分补充了上述信息（第 29 页，第 3 段）。

采用 2（切换类型：任务重复，任务切换）× 2（层级：低层，高层）的被试内设计。根据前后两个试次间的关系，设定低层级任务重复、低层级任务切换、高层级任务重复、高层级任务切换四种实验条件；每种条件的试次数为 85 个。其它条件（如由高层级任务切换到低层）为填充试次，其中由高层级任务切换到低层级任务及由低层级任务切换到高层级任务的试次数均为 85 个；nogo 试次数 115 个，随后的试次数 115 个，共计 740 个试次。分 4 个 Block 进行，每个 Block 一共有 185 个试次。整个实验耗时约 60 分钟左右。

意见 7：请在波形图中标注每种成分的时间窗。

回应：我们重新标注了每种成分的时间窗，具体如下。

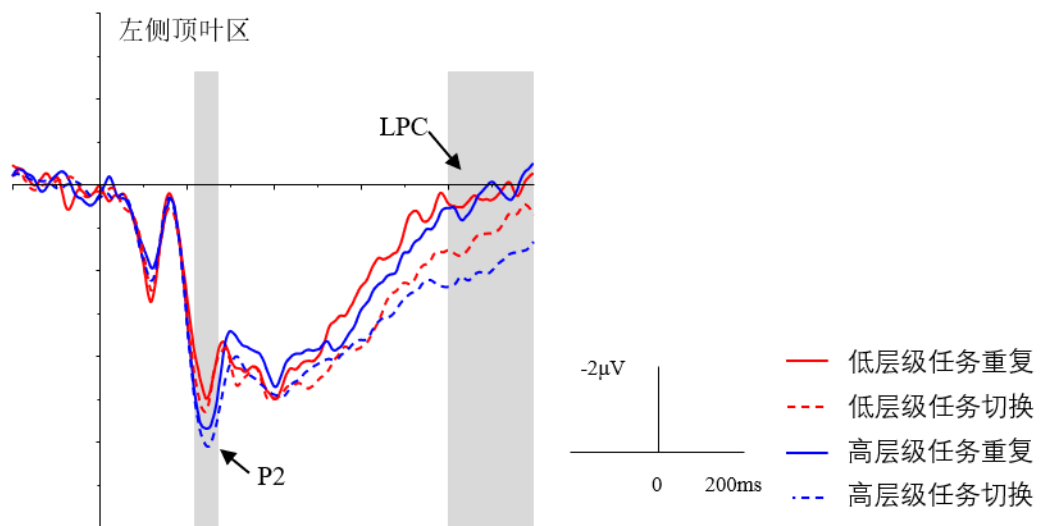


图2 线索锁时不同条件的 ERP 波形

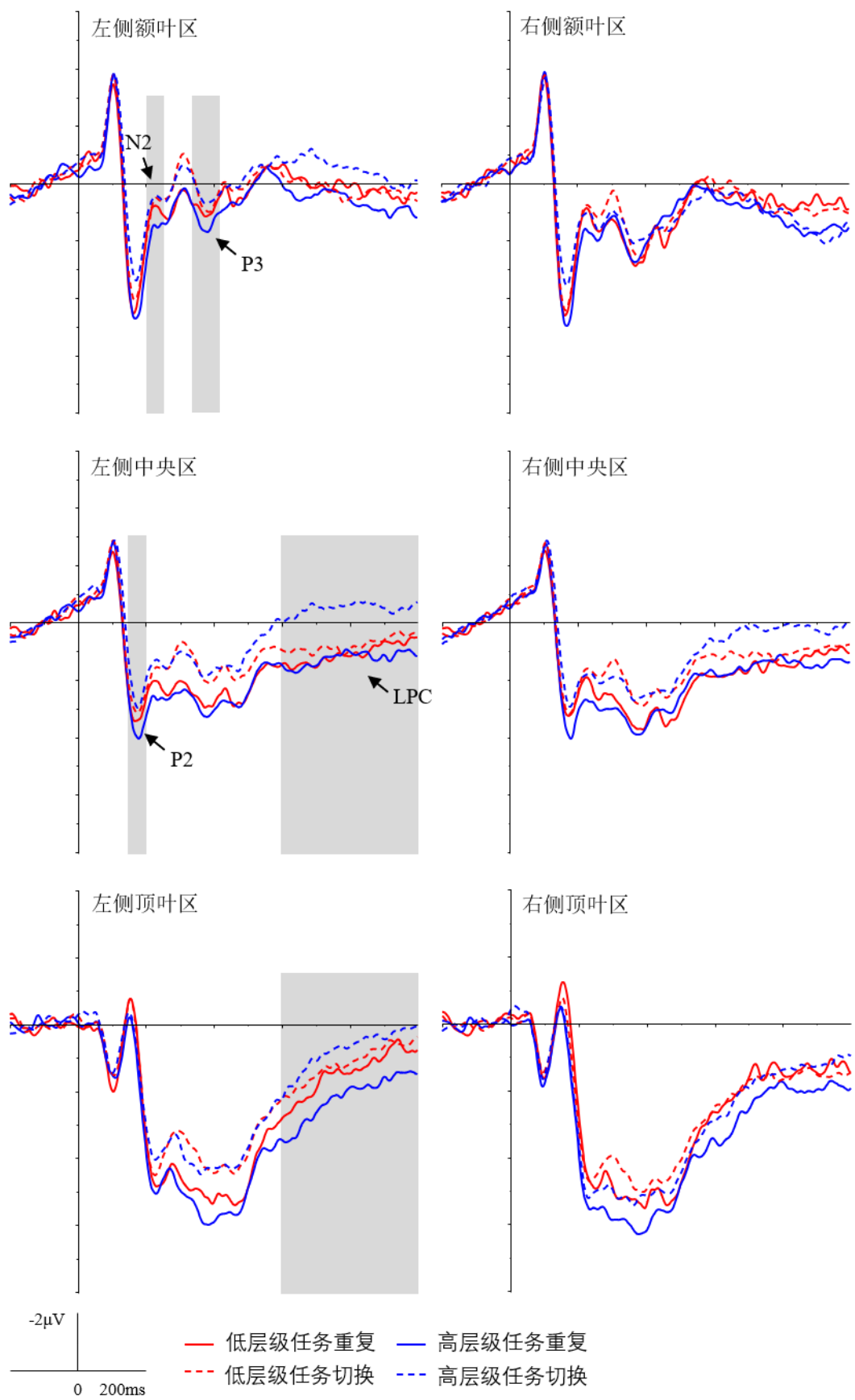


图3 目标锁时不同条件的 ERP 波形

意见 8：结果分析与报告。1）分析中涉及 4 因素方差分析，后续简单效应分析，是否考虑多重比较校正问题。

回应：根据您的意见，[多重检验时采用 Bonferroni 方法对 \$p\$ 值进行校正](#)。（第 30 页，第 2 段）

意见 9：2）在行为与 ERP 统计分析中，请报告每种效应的具体数值。例如切换效应、层级效应的大小。3）错误率的交互作用没有报告。4） $p=.000$ 请改为 $p<.001$ 。

回应：在结果部分补充、更改了第 2、3 和 4 个问题。具体如下：

在结果部分补充了不同条件下的切换效应、层级效应的大小。（见结果部分多处）

错误率的交互作用不显著，因此补充了错误率的交互作用的 p 值。（第 31 页，第 2 段）

将 $p=.000$ 改为 $p<.001$ 。（见结果部分多处）

参考文献：

Collins, A. G., Cavanagh, J. F., & Frank, M. J. (2014). Human EEG uncovers latent generalizable rule structure during learning. *Journal of Neuroscience*, 34(13), 4677-4685.

Han, J., Dai, Y., Xie, L., & Li, F. (2018). Brain responses associated with different hierarchical effects on cues and targets during rule shifting. *Biological Psychology*, 134, 52-63.

Kleinsorge, T., & Heuer, H. (1999). Hierarchical switching in a multi-dimensional task space. *Psychological Research*, 62(4), 300-312.

审稿人 3 意见：

该研究采用嵌套的线索-任务切换范式考察不同层级结构任务切换代价的差异及其神经机制。实验要求被试完成高低两种层级任务，低层级任务要求被试判断数字大小（或奇偶）；高层级任务则须先加工数字的某一语义特征（如当前数字是否是偶数），然后进行大小判断。行为结果表明高层级任务切换代价显著大于低层级任务切换代价。线索锁时的脑电结果表明，层级效应最早出现于 P2 成分，LPC 成分上的切换效应受到任务层级的调控，反映了在任务目标重构阶段给予高层级任务更多的选择性注意以及更高的主动性控制。相应脑电结果表明，与任务重复相比，任务切换诱发更负的 N2 成分、更小的 P3 和 LPC 成分；在 N2 及 LPC 成分上，高层级任务切换与重复的波幅差异相比低层级任务显著更大，反映了在抑制旧任务集与重构新反应集的过程中增强的反应性控制。这些结果为任务设置重构论和认知控制的层级性提供了新的证据。该研究的研究问题新颖，方法恰当，研究结果符合实验假设，具有较好的理论贡献。 建议作者按照以下意见修改后发表。

次要评论和建议：

意见 1： 本文所用的 cued task switching 范式，同时也涉及 cue repetition 和 cue switching, 请在前言部分说明 cue repetition/switching 效应和 task switching 的区别和联系。

回应： 非常感谢评审专家的宝贵意见。在标准的线索-任务切换范式中，任务切换总是与提示任务的线索切换混在一起 (Logan & Bundesen, 2003; Mayr & Kliegl, 2003)。当任务切换时，线索也随之切换；每当任务保持不变时，线索也保持不变。切换代价可能会受到线索切换和任务切换双重影响。因此，他们引入新的变量，其中每个任务都有两个线索，通过线索与任务的 2:1 的映射，形成三种不同的任务类型，线索-任务均重复、线索切换-任务重复以及线索-任务均切换。进而将线索切换效应量与任务切换效应量分离。

因为本研究不涉及这一问题，为使前言更简洁明了，我们认为不回顾此类研究为妥。

意见 2： 文章结果部分虽然强调突出高层级和低层级内部 task repetition 和 switching 的效应差异，但层级间的 repetition/switching 效应似乎更能说明到底是高层级还是低层级在认知控制中更加 dominant, 比如比较高层级到低层级，和低层级到高层级 switching cost 的差异。能否补充这一部分的行为和脑电结果？

回应： 确如审稿专家所言，本研究主要关心的是高低层级内切换代价的差异及其 ERP 相关的成分，我们发现高层级任务切换相比低层级任务产生的代价更大，这一增大的代价对应于线索诱发的 LPC 成分，目标诱发的 P2、N2 及 LPC 成分。跨层级的切换代价的差异并不是本研究的重点，因为 Li 等（2019）已经对这一问题进行了研究。

意见 3： 该文在对脑电结果的讨论中利用早期和晚期 ERP 成分强调主动性控制和反应性控制的贡献，但在实验设计中并没有 voluntary task switching 任务条件，请在讨论部分说明。

回应： 在自主任务转换范式中，不出现提示被试进行何种任务的线索，而只呈现目标刺激，被试可以自主选择进行何种任务，并对目标刺激做出按键反应。毋庸置疑，Arrington 和 Logan （2004）设计的自主任务转换范式可以有效地反映个体主动的、对任务设置自上而下的执行控制过程。需要说明的是，Braver 等（2007）提出的认知控制的双理论模型（Dual Mechanisms of Cognitive Control Account, 简称 DMC 理论）指出，认知控制包含主动性控制（Proactive control）和反应性控制（Reactive control）。前者指在任务前期准备阶段，有选择

地对任务相关的线索信息进行注意加工，并在随后的时间内（线索信息呈现到开始反应的时间间隔）在工作记忆中积极地表征和维持这一线索信息，从而形成相应的反应准备，运用线索信息预测接下来所要做出的反应。这个阶段所对应的是本研究线索锁时阶段。后者指在将要做出反应时，灵活地运用即时出现的任务相关信息解决冲突，并在需要运用先前的线索解决当前的冲突时，通过检索来重新激活先前的线索信息，以指导当前的反应并修正可能存在的错误反应倾向，所对应的就是目标锁时阶段。因此，线索-任务切换范式也是有效考察主动性控制和反应性控制的有效方式（Karayanidis et al., 2003）。

根据您的意见，我们将以下内容补充到前言和讨论部分。

认知控制的双理论模型(Dual Mechanisms of Cognitive Control Account, 简称DMC理论, Braver et al., 2007)指出认知控制可区分为主动性控制(Proactive control)和反应性控制(Reactive control)。……（第24页第2段）

在线索任务切换的研究中，研究者常常将线索加工阶段定义为主动性控制的过程（Karayanidis et al., 2003），即被试有选择地对任务相关的线索信息进行注意加工，并在随后的时间内在工作记忆中积极地表征和维持这一线索信息，从而形成相应的反应准备。本研究发现，在线索锁时的P2时窗上存在明显的层级效应，这一结果与Han等（2018）的结论一致。这说明不论是Han等（2018）中的层级规则，还是本研究中的层级任务，高低层级间的差异都最早在线索呈现后200ms左右被大脑感知。……（第37页第3段）

反应性控制指在将要做出反应时，灵活地运用即时出现的任务相关信息解决冲突，并在需要运用先前的线索解决当前的冲突时，通过检索来重新激活先前的线索信息，以指导当前的反应并修正可能存在的错误反应倾向（Braver et al., 2007）。在本研究的低层级任务中，个体已经在线索呈现后的任务准备过程中进行了有效的准备，待目标出现时直接提取线索信息进行按键反应；而在高层级任务中，目标刺激出现之后，仍需要检索激活先前的线索信息所代表的规则对目标刺激的第一个维度（先决条件）进行加工，判断该任务是否需要按键反应，如需则提取反应按键规则，并根据规则进行按键反应。因此，在高层级任务中需要更多的反应性控制。……（第38页第3段）

意见4：层级表征（global vs. local or holistic vs. local in face/biological motion perception）在注意和工作记忆中已有系列相关研究，请在文章合适位置引用以下相关文献：

Nie, Q.-Y., Maurer, M., Müller, H.J. & Conci, M. (2016) Inhibition drives configural

superiority of illusory Gestalt: Combined behavioral and drift-diffusion model evidence. *Cognition*, 150, 150-162

Nie,

Q.-Y., Müller, H. J., & Conci, M. (2017). Hierarchical organization in visual working memory: From global ensemble to individual object structure. *Cognition*, 159, 85-96.

Sun, Y., Stein, T., Liu, W., Ding, X., & Nie, Q.-Y. (2017). Biphasic attentional orienting triggered by invisible social signals. *Cognition*, 168, 129-139.

Nie, Q.-Y., Ding, X., Chen, J., & Conci, M. (2018). Social attention directs working memory maintenance. *Cognition*, 171, 85-94.

回应：非常感谢评审专家提供的系列文献，认真研读后已在合适位置引用。

意见 5: 本文在实验任务中设置了 nogo 试次，却并没有展示 response inhibition 对 subsequent trial 影响的任何结果，能否在文章中简要说明，并在讨论中添加 response inhibition 和 backward inhibition 在当前任务中的不同贡献？

回应：在本研究中，nogo 试次是填充试次，其接下来的 go 试次是随机呈现的高、低层级任务中的任何一个。由于其所设 nogo 试次的试次数较少，也未设置 Mark，因此本研究未考察反应抑制对随后的试次影响。但是，我们对整个任务中的 nogo 试次的击中率进行了分析，发现其击中率 94.7%，说明被试在整个实验中，都认真地按照规则进行反应。后续研究可将其作为一个变量纳入进来以考察反应选择、反应抑制，以及向后抑制对层级任务切换的影响。我们在讨论部分补充了研究不足。具体如下：

第二，在本研究中，设置 nogo 试次的目的是确保被试能够按照既定规则进行按键反应，虽然 nogo 试次数量较少，仅仅作作为填充试次未纳入数据分析，后续研究可将其作为一个变量纳入进来以考察反应选择、反应抑制，以及向后抑制对层级任务切换的影响。（第 40 页第 3 段）

参考文献：

Braver, T. S., Gray, J. R., & Burgess, G. C. (2007). Explaining the many varieties of working memory variation: Dual mechanism of cognitive control. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake, & J. N. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp. 76–106). New York: Oxford University Press.

Weaver, S. M., & Arrington, C. M. (2013). The Effect of Hierarchical Task Representations on Task Selection in Voluntary Task Switching. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 39(4), 1128-1141.

第二轮

审稿人 1 意见：

作者认真全面地回答了大部分的问题。目前主要的问题是对成分的命名和解释。通常脑电成分的定义包括极性，时间窗和头皮分布三个特征。建议作者围绕这三个特征，分别对线索呈现后 800-1000 毫秒和目标呈现后 600-1000 毫秒的脑电成分进行分析，从自身实验数据的角度出发找出相应的证据说明它们究竟是 LPC 还是 CNV。

回应：非常感谢审稿专家的意见，让我们进一步厘清这一脑电成分。根据您的建议，我们结合自身数据详细回顾并梳理了任务切换中晚期成分的相关文献。

在任务切换的部分文献中，线索锁时阶段有两个常见的 ERP 成分，一个是 P3a，另一个是负向慢波(slow potentials, SP)，后者通常被称为伴随性负波(Contingent negative variation, CNV; Brunia, 1999; Brunia and van Boxtel, 2001)、目标前负波 (Karayanidis et al., 2011; Karayanidis and Jamadar, 2014) 或持续额叶负波 (Karayanidis et al., 2010; Kopp et al., 2014)，负向慢波在目标呈现前达到最大值且分布于头皮中央，反映了为即将到来的任务做准备的过程，如目标呈现前任务集的检索和维持的需要。而在另一些文献中，研究者根据其出现的脑区位置进行定义，如 Poljac 和 Yeung (2014) 将头皮中央的晚期成分定义为 CNV，头皮后部晚期成分定义为顶叶正成分 (posterior positivity)，这两种成分均被解释为对任务的准备过程。类似地，也有研究将其定义为晚期正成分 (Late positive component, LPC; Han et al., 2018, 2019) 或正慢波 (Positive slow waves, PSW; Lu et al., 2017)，被解释为与复杂认知任务的预期和任务执行所需的所有准备过程。

综上，已有文献更多地将线索诱发的晚期慢波命名为 CNV (见表 1)，并认为其反映了为即将到来的任务做准备的过程，即主动性控制的过程；少数文献将其命名为 LPC (Han et al., 2018; Gerhold et al., 2017)。本研究在线索锁时的晚期成分所发现的层级效应对任务切换的调节作用可能反映了这一主动性控制过程。结合本实验的波形走势以及大多文献的命名习惯，我们在修改稿中将之改为“**CNV**” (见论文多处红色字体)。而在目标锁时阶段，经典的成分主要涉及早期的 N2 成分以及随后的 P3b 成分，多数研究者将晚期成分命名为 P3b 成分 (Kopp et al., 2014) 或慢波成分 (Slow potential, SP; Adroverroig and Barceló 2010)，当然也有研究者根据其极性特征称为 LPC (Liu et al., 2018)，未见研究者将其称为 CNV，由于本研究目标锁时的慢波的极性特征不明显，因此，我们在修改稿中将 600-1000ms 称为‘慢波成分 (**SP**)’ (见论文多处红色字体)。

另外，我们在修改稿的讨论部分对线索锁时的“CNV”的讨论也做了相应修改。具体如下：

.....这一任务切换与重复的差异波在两层级间的差异源于高层级任务切换相比低层级任务切换诱发波幅更正的走向。有研究表明 CNV 作为主动性控制的有效指标，对困难任务相对简单任务的准备更需要主动性控制（Poljac & Yeung, 2014），并且受到任务集维度数量的调控（Kieffaber et al., 2013），任务集的维度越多，需要的主动性控制越强，诱发的 CNV 波幅就越正。在应对具有不同维度参数的任务切换时，大脑给予多维度任务切换更多的主动性控制（Kleinsorge & Heuer, 1999）。本研究认为线索诱发的 CNV 成分可能反映了对不同任务的准备过程，即当任务重复时，个体只需要重复应用上一个任务规则即可完成任务的准备，因而其诱发的 CNV 波幅较负，但当任务线索发生切换时，个体维持在工作记忆的规则已不再适用，需要重新从工作记忆中提取与当前线索匹配的规则才能完成任务的准备，进而诱发更正的 CNV 波幅。与低层级任务切换相比，高层级任务切换需要在记忆中提取的线索信息更复杂，重构任务规则的时间更长，因此其诱发的 CNV 波幅的正走向更明显。（第 43 页第 2 段）

表 1. 任务切换研究中线索锁时的晚期成分命名汇总

作者	电极点	时间窗	成分
Capa et al., 2013	FCz	1150-1750ms	CNV
Chevalier et al., 2020	Fz/ F1/ F3/ F5/ FCz/FC3	1200-1500ms	CNV
Gaal & Czigler, 2015	Fz/Cz/Pz	600-700ms	CNV
Gajewski. et al., 2010	Fz/FCz/Cz/CPz/Pz	500-700ms	CNV
Gajewski. et al., 2015	Fz	1000-1300ms	CNV
Gerhold et al., 2017	Fz/Cz/Pz	500-1050ms	LPC（反应抑制）
Han et al., 2018	头皮前、后部簇	500-1000ms	LPC
Hsieh & Chen, 2006	Fz/Cz/Pz	目标出现前 100ms	CNV-like negativity
Jongen et al., 2006	C3/Cz/C4/Pz	800-1200ms	CNV
Kang et al., 2014	Fz/Cz/Pz	400-800ms	CNV
Kristine et al., 2011	头皮中部簇	500-700ms	LPC
Kostandyan et al., 2019	FCz/ Cz	700-1500ms	CNV
Liu et al., 2020	头皮前、后部簇	400-600ms	LPC
Liu et al., 2018	头皮前、中、后部簇	350-500ms	LPC
Poljac & Yeung, 2014	头皮前、后部簇	550-1150ms	前部：CNV；后部： posterior positivity
Reiser et al., 2021	Fz	400-500ms	CNV
Shangguan et al., 2019	FCz/Cz/C1/C2/CPz	1600-1900ms	CNV
Timmer et al., 2017	头皮中、后部簇	325-400ms	P3/LPC
Wu et al., 2021	F1/Fz/F2/FC1/FCz/FC2	850-1000ms	CNV

再次感谢审稿专家的宝贵意见！

参考文献：

- Brunia, C. H. M. (1999). Neural aspects of anticipatory behavior. *Acta Psychologica*, 101, 213–242.
- Brunia, C.H., van Boxtel, G.J. (2001). Wait and see. *Int. J. Psychophysiol.* 43, 59–75.
- Capa, R. L., Bouquet, C. A., Dreher, J. C., & Dufour, A. (2013). Long-lasting effects of performance-contingent unconscious and conscious reward incentives during cued task-switching. *Cortex*, 49(7), 1943-1954.
- Chevalier, N., Meaney, J. A., Traut, H. J., & Munakata, Y. (2020). Adaptiveness in proactive control engagement in children and adults. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 46.

- Daniel Adroverroig; Francisco Barceló (2010). Individual differences in aging and cognitive control modulate the neural indexes of context updating and maintenance during task switching. *Cortex*, 46(4), 434–450.
- Gaal, Z. A., & Czigler, I. (2015). Age-related processing strategies and go-nogo effects in task-switching: an ERP study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 177.
- Gajewski, P. D., Wild-Wall, N., Schapkin, S. A., Erdmann, U., Freude, G., & Falkenstein, M. (2010). Effects of aging and job demands on cognitive flexibility assessed by task switching. *Biological Psychology*, 85(2), 187-199.
- Gajewski, P. D., & Falkenstein, M. (2015). Long-term habitual physical activity is associated with lower distractibility in a Stroop interference task in aging: Behavioral and ERP evidence. *Brain and Cognition*, 98, 87-101.
- Gajewski, P. D., Ferdinand, N. K., Kray, J., & Falkenstein, M. (2018). Understanding sources of adult age differences in task switching: Evidence from behavioral and ERP studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 92, 255-275.
- Gerhold, M. M., Jacobson, S. W., Jacobson, J. L., Molteno, C. D., Meintjes, E. M., & Andrew, C. M. (2017). An ERP Study of Response Inhibition in the Auditory Domain in Children with Fetal Alcohol Spectrum Disorders. *Alcoholism-Clinical and Experimental Research*, 41(1), 96-106.
- Han, J., Dai, Y., Xie, L., & Li, F. (2018). Brain responses associated with different hierarchical effects on cues and targets during rule shifting. *Biological Psychology*, 134, 52-63.
- Han, J., Xie, L., Cao, B., Li, J., Chen, Y., & Li, F. (2019). More abstract, more difficult to shift: Behavior and electrophysiological evidence. *Behavioural Brain Research*, 362, 273-278.
- Jongen, E. M. M., Smulders, F. T. Y., & Van Breukelen, G. J. P. (2006). Varieties of attention in neutral trials: Linking RT to ERPs and EEG frequencies. *Psychophysiology*, 43(1), 113-125.
- Karayanidis and Jamadar (2014). Event-Related Potentials Reveal Multiple Components of Proactive and Reactive Control in Task Switching. In: Grange J.A., Houghton, G. (Eds.), *Task Switching and Cognitive Control*. Oxford University Press, New York. pp.200–236.
- Karayanidis, F., Jamadar, S., Ruge, H., Phillips, N., Heathcote, A., & Forstmann, B. U. (2010). Advance preparation in task-switching: converging evidence from behavioral, brain activation, and model-based approaches. *Frontiers in Psychology*, 1, 25.
- Karayanidis, F., Whitson, L.R., Heathcote, A., Michie, P.T. (2011). Variability in proactive and reactive cognitive control processes across the adult lifespan. *Front. Psychol.* 2, 318.
- Kopp, B., Lange, F., Howe, J., Wessel, K. (2014). Age-related changes in neural recruitment for cognitive control. *Brain Cogn.* 85, 209–219.
- Kostandyan, M., Bombeke, K., Carsten, T., Krebs, R. M., Notebaert, W., & Boehler, C. N. (2019). Differential effects of sustained and transient effort triggered by reward - A combined EEG and pupillometry study. *Neuropsychologia*, 123, 116-130.
- Kristine A. Wilckens; Joshua J. Tremel; David A. Wolk; Mark E. Wheeler (2011). Effects of task-set adoption on ERP correlates of controlled and automatic recognition memory. *Neuroimage*, 55(3), 1384–1392.
- Liu, Huanhuan; Xie, Ning; Zhang, Man; Gao, Xiang; Dunlap, Susan; Chen, Baoguo (2018). The electrophysiological mechanism of joint language switching: Evidence from simultaneous production and comprehension. *Journal of Neurolinguistics*, 45(5), 45–59.
- Liu, H. H., Zhang, Y. Y., Blanco-Elorrieta, E., He, Y. Y., & Chen, B. G. (2020). The role of proactive control on subcomponents of language control: Evidence from trilinguals. *Cognition*, 194, 104055.
- Lu, M., Doñamayor, N., Münte, T. F., & Bahlmann, J. (2017). Event-related potentials and neural oscillations dissociate levels of cognitive control. *Behavioural Brain Research*, 320, 154-164.

- Poljac, E., & Yeung, N. (2014). Dissociable Neural Correlates of Intention and Action Preparation in Voluntary Task Switching. *Cerebral Cortex*, 24(2), 465-478.
- Reiser, J. E., Wascher, E., Rinkenauer, G., & Arnau, S. (2021). Cognitive-motor interference in the wild: Assessing the effects of movement complexity on task switching using mobile EEG. *European Journal of Neuroscience*, 54(12), 8175-8195.
- Schapkin, S. A., Gajewski, P. D., & Freude, G.. (2014). Age differences in memory-based task switching with and without cues. *Journal of Psychophysiology*, 28(3), 187-201.
- Shangguan, C. Y., Wang, X., Li, X., Wang, Y. L., Lu, J. M., & Li, Z. Z. (2019). Inhibition and Production of Anger Cost More: Evidence from an ERP study on the production and switch of voluntary facial emotional expression. *Frontiers in psychology*, 10.
- Timmer, K., Grundy, J. G., & Bialystok, E. (2017). Earlier and more distributed neural networks for bilinguals than monolinguals during switching. *Neuropsychologia*, 106, 245-260.
- Wu, Y. F., Ma, S. L., He, X. X., Xiang, S. Q., & Qi, S. Q. (2021). Trait anxiety modulates the temporal dynamics of Stroop task switching: An ERP study. *Biological Psychology*, 163.

审稿人 2 意见：

作者已经根据审稿意见对文章进行了认真的修改，建议发表。

回应：感谢审稿专家的认可。

编委意见：基于外审意见和作者回复，文章修改后达到接受标准，建议录用。

主编意见：文章经三位评审人多轮评审，从评审过程来看，尽管初稿论文在创新性方面论述有所不足，也存在关键术语定义不清的问题，但审稿人提供了非常详尽的评审意见，同时作者也能根据审稿人的建议对全文进行仔细的修改，并将创新点进行更清楚地阐述，基本上解决了评审人提出的问题。整个评审流程规范严谨，作者也对几位评审人的建议都有清楚的回应。经过修改，论文达到接受标准。同意录用。