

# 《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：密集追踪数据的有调节的中介效应分析

作者：方杰 温忠麟 王惠惠 顾红磊

## 第一轮

### 审稿人 1 意见：

文章针对密集追踪数据，讨论了有调节的中介效应分析的动态结构方程模型和残差动态结构方程模型方法，同时给出了 Mplus 分析程序。本文提出的有调节的中介有助于研究者分析各类复杂的密集追踪数据，具有较好的创新性、理论意义和应用价值，文章脉络清晰，行文规范，图表直观。作为心理学方法文章，作者在理论方法的推导和讨论之外、还应更多关注方法的心理学实际应用场景。以下是具体意见和建议。

**意见 1：**最近发表在 SEM 期刊上的一篇文章 Fang, Wen & Hau (2024) 讨论了密集追踪数据中介分析的动态结构方程模型，尽管该文未重点讨论有调节的中介，但也有涉及。本文需进一步论述与 Fang, Wen & Hau (2024) 一文的区别。

**回应：**本文和 Fang 等人的区别如下：

第一，本文基于动态结构方程模型(DSEM)和残差动态结构方程模型(RDSEM)构建了被层 1 变量调节的密集追踪中介模型，并在文末给出了层 1 变量调节的密集追踪中介效应分析的 Mplus 程序，这是 Fang 等人没有涉及的新内容。也可见审稿专家 2 的第一个问题的回答。

第二，本文改进了 Fang 等人提出的 2-1-1 密集追踪中介模型，然后根据新的 2-1-1 密集追踪中介模型，用 DSEM 和 RDSEM 建构了新的被层 2 变量调节的 2-1-1 密集追踪中介模型，并给在文末给出了被层 2 变量调节的 2-1-1 密集追踪中介效应分析的 Mplus 程序。详见审稿专家 2 的第十个问题的回答。

第三，本文基于 DSEM 和 RDSEM 构建了被层 2 变量调节的 2-2-1 密集追踪中介模型，并在文末给出了被调节的中介效应分析的 Mplus 程序，这是 Fang 等人没有涉及的内容。

第四，本文将 Fang 等人讨论的被层 2 变量调节的一阶滞后的 1-1-1 密集追踪中介模型改成被层 2 变量调节的二阶滞后的 1-1-1 密集追踪中介模型，详见审稿专家 2 的第二个问题的回答。另外，Fang 等人并没有给出被层 2 变量调节的 1-1-1 密集追踪中介效应的示例，本文给出了示例，展示了如何应用 DSEM 和 RDSEM 进行层 2 变量调节的 1-1-1 密集追踪中介效应分析。

**意见 2：**摘要和引言中提到共有 9 种方法\模型，文中以章节明确区分了 3 种中介类型，但对 3 种调节类型未明确区分。建议作者在正文中明确 9 种方法\模型，比如是否也可在图 2 中展示不同调节类型？

**回应：**修改稿在正文中明确用“模型 1”~“模型 9”明确指明了这 9 个模型的区别。在文末的附录中，给出了所有 9 种模型的 Mplus 程序。修改稿用文字描述了如何可在图 2 中进行修改变成不同的调节类型。例如“如果只调节中介的前半路径和直接路径(模型 2)，则去掉方程(5)的  $kZ_j$  (删除图 2 中  $Z_j \rightarrow b_j$  的路径)即可”。

**意见 3：**引言和第 2 节中提到以往方法难以进行因果推断，故基于密集追踪数据，提出可进

行因果推断的有调节的中介效应分析方法。但后文中并未讨论如何使用本文方法进行因果推断。

回应：修改稿将“基于密集追踪数据，提出可进行因果推断的有调节的中介效应分析方法”改为“基于密集追踪数据，提出考虑变量间时间先后关系的有调节的中介效应分析方法”。以往方法难以进行因果推断的重要原因是，以往方法忽略了变量之间的时间先后关系。因此本文目的是，提出考虑变量之间时间先后关系的有调节的中介效应分析方法。

意见 4：本文的论述更多关注方法原理，建议作者结合心理学实际研究（可以非真实数据，只是心理学变量），在讨论方法的同时，也给出有调节的中介在密集追踪数据中的具体应用场景。例如 McNeish & Hamaker (2020, *Psy. Meth.*), McNeish & Mackinnon (2022, *Psy. Meth.*), Zhou, Wang & Zhang (2021, *ORM*)文中都使用心理学示例展示方法的应用场景。此外，作者在 3.1 节第一段提到，“研究最多的是将自变量、中介变量和因变量都放置在层 1，将调节变量放置在层 2”，是否能结合具体实例说明在应用中，这类情形是最常见的。

回应：本文讨论了被层 2 变量调节的 1-1-1、2-1-1 和 2-2-1 密集追踪模型，被层 1 变量调节的 1-1-1 密集追踪调节模型，修改稿对这四类模型，给出了四个应用研究例子，说明了具体应用场景。

在 3.1 节第一段提到“研究最多的是将自变量、中介变量和因变量都放置在层 1，将调节变量放置在层 2”时，我们结合具体实例，“例如，Zhang 等(2018)研究了每天的积极情绪在每天感受的压力和每天的消极情绪之间的 1-1-1 密集追踪中介效应，并考察了被层 2 变量(如性别)调节的 1-1-1 密集追踪中介效应”，说明在应用中，这类情形是最常见的。

意见 5：作者在第 6 节和附录中，只给出了不考虑直接路径是否被调节的 1-1-1 的数据例子和 Mplus 代码，建议说明其他有调节的中介模型的分析操作存在哪些不同，比如需对 Mplus 代码做哪些修改可以得到 2-1-1 的分析结果。

回应：修改稿在附录的 Mplus 代码部分，详细说明了其他有调节的中介模型的分析操作存在哪些不同，说明了需对 Mplus 代码做哪些修改。

意见 6：第 6.1 节的数据生成是否考虑随机误差的影响。比如，真值  $a=0.6$ ，而表 1 中存在高估。此外，表 1 中 IND1、IND2 的真值是什么，真实效应量大小如何。若 6.1 节的数据只是以特例说明如何进行参数估计和结果解释，那么部分结论可能不具有可推广性。比如，“当数据有明显的时间趋势时，如果忽略时间趋势会造成两个较为严重的后果”的结论是否只在“ $DY_j=0.2$ ,  $DX_j = DM_j=0$ ，且限制趋势在个体间不变化( $\text{var}(\mu_{13j}) = \text{var}(\mu_{14j}) = \text{var}(\mu_{15j}) = 0$ )”和其他效应量给定的情况下成立。此外，若是特例，为何不使用真实数据。

回应：第一，第 6.1 节的数据生成是考虑了随机误差的。修改稿补充了“ $a_j$ 、 $b_j$  和  $c'_j$  都服从正态分布，即  $a_j \sim N(0.6, 0.16)$ ， $b_j \sim N(0.6, 0.16)$ ， $c'_j \sim N(0.2, 0.04)$ 。”

第二，修改稿补充了 IND1、IND2 的真值信息，“设  $Z_j$  的均值(0)加一个标准差(0.92)为  $Z_{high} = 0.92$ ， $Z_j$  的均值减一个标准差为  $Z_{low} = -0.92$ ，则根据方程(9)计算得到， $Z_{high}$  时的条件中介效应的真值是 1.005， $Z_{low}$  时的条件中介效应的真值是 0.167，条件中介效应之差的真值是 0.838”。示例分析的结果表明，不去趋势的 DSEM 的分析结果和真值偏差较大，去趋势的 DSEM 和 RDSEM 的分析结果都和真值很接近。

第三，6.1 节的数据只是以特例说明如何进行参数估计和结果解释，因此修改稿删除了“当数据有明显的时间趋势时，如果忽略时间趋势会造成两个较为严重的后果”的结论。

第四，本文没有采用真实的数据的原因是“与实际数据相比，模拟数据更能代表典型的有调节的密集追踪中介模型，相应的 Mplus 代码更具一般性，更便于读者理解”，详见“5 密集追踪数据的有调节的中介效应分析示例”的第一段话。

**意见 7:** 第 7 节讨论部分第三点指出本文方法可拓展到二分类别自变量的情形，也说明对二分因变量还需进一步研究。是否表示也可拓展到二分调节变量，但还不能分析二分中介变量的情形。

**回应:** 本文的方法确实可以拓展到二分调节变量的情况，但还不能分析二分中介变量的情况。修改稿在讨论部分详细说明本文的方法可以拓展到二分变量，其中包括二分类别自变量，二分类别调节变量和二分类别因变量的情况。

.....

**审稿人 2 意见:**

文章围绕密集追踪研究这一热点话题展开研究，研究选题有意义。但是文章质量仍有较高提升空间，主要有以下问题需要作者考虑。

**意见 1:** 在题目上加以限定，本文只讨论了第二水平调节变量的情况。考虑第二水平的跨级调节，在统计模型上的定义类似于多水平模型，有直接的解决方案。而在 DSEM，略具挑战的话题可能是 DSEM 应该如何处理第一水平的调节。建议将题目加以限定，限定为调节变量是第二水平的变量。

**回应:** 修改稿中，增加了“4 被层 1 变量调节的密集追踪中介效应分析”，讨论了如何利用 DSEM 和 RDSEM 建构被层 1 变量调节的密集追踪中介模型，以及如何进行有调节的中介效应分析。在文末的附录中，还给出了相应的 Mplus 程序。解决了审稿人提出的 DSEM 如何处理第一水平的同层调节问题。这也成为本文的第一个亮点。

**意见 2:** 文中讨论的中介效应模型是基于二阶滞后效应模型的，大量的关于追踪研究滞后效应的分析强调  $X$ 、 $M$  和  $Y$  的时间先后，例如在长时追踪中要求至少有 3 个时间点，即讨论  $X_{(t-2)j} \rightarrow M_{(t-1)j} \rightarrow Y_{ij}$  的模型。文中虽在讨论部分提到本文的方法可以拓展到此种情况，但作为追踪研究这一情况更值得关注。因此，建议直接结合  $X_{(t-2)j} \rightarrow M_{(t-1)j} \rightarrow Y_{ij}$  中介模型，讨论有调节的中介，以进一步突出本研究的价值和意义，也能在最近 Fang 等人在 SEM 上发表的文章基础上有所推进（这篇文章中他们已经讨论了有调节的中介）

**回应:** 修改稿中，直接结合  $X_{(t-2)j} \rightarrow M_{(t-1)j} \rightarrow Y_{ij}$  中介模型，讨论有调节的中介，以进一步突出本文的价值和意义，也在最近 Fang 等人在 SEM 上发表的文章基础上有所推进。在讨论部分介绍了如何将本文的方法拓展到二阶滞后效应模型的情况。

同时，修改稿的“5 有调节的密集追踪中介效应分析示例”也修改为，以  $X_{(t-2)j} \rightarrow M_{(t-1)j} \rightarrow Y_{ij}$  中介模型为例进行示例分析。此外，示例还有一个改进在于，原示例的模拟数据只有因变量  $Y_{ij}$  具有时间趋势，修改稿中，我们修改了模拟数据的生成程序，使得模拟数据的自变量、中介变量和因变量都具有时间趋势，使得示例更具一般性。

**意见 3:** 作为心理学报投稿的论文，整个文章的内容显得略微单薄，主要是介绍了方法，然后模拟研究只做了一个条件的一次，结果基本没有提供更多有用的信息。所谓的 9 种方法涉及到的实质上有突破的内容也不多，很多内容是重复的。本文整体看起来更像介绍性的文章。但如果以介绍性文章来定位，例子给的也不全，至少每种情况的语句都应该给一下。

**回应:** 修改稿中，给出了每种情况的 Mplus 语句。

本文的突破表现在：

第一，本文提出了如何用 DSEM 和 RDSEM 构建被层 1 变量调节的密集追踪中介模型，并在文末给出了被层 1 变量调节的密集追踪中介效应分析的 Mplus 程序。  
第二，本文改进了 Fang 等人提出的 2-1-1 密集追踪中介模型，然后根据新的 2-1-1 密集追踪中介模型，用 DSEM 和 RDSEM 构建了新的被层 2 变量调节的 2-1-1 密集追踪中介模型，在文末给出了被层 2 变量调节的 2-1-1 密集追踪中介效应分析的 Mplus 程序。

意见 4：文中“方程(1)~(3)增加时间变量  $time_{ij}$  为自变量的去趋势方法会导致不正确的方差估计(Asparouhov, 2018)”这一引用有些片面。感觉在讲以往研究不足时，作者更应该参考 Asparouhov 等(2018)的研究。Asparouhov 等(2018)的模拟研究没涉及到使用时间作为协变量的比较。他们提到加入随时间变化的协变量  $X_t$  作为直接影响  $Y_t$  的变量 (RDSEM) 还是间接影响  $Y_t$  的变量 (DSEM)，背后隐含的是说两种设定下  $X_t$  对  $Y_t$  的影响是不同的。但确实如果是时间  $t$  的话可能造成平稳性假设不一定满足的问题，但 Mplus 中的模型估计对此没有要求，只有使用涉及到 Yule-Walker 算法的内容 (tech4, residuals, standardization) 时必须要求趋势与自回归分离开。所以文中“导致不正确的方差估计”这句话感觉没能反应目前研究的进展。并且，如果是已经发现会影响方差估计，那后文是不是就没必要考虑 DSEM 去趋势的建构了？

回应：修改稿删掉了“方程(1)~(3)增加时间变量  $time_{ij}$  为自变量的去趋势方法会导致不正确的方差估计(Asparouhov, 2018)”这一引用。

意见 5：模拟研究表述请仔细检查，例如，“真值设定为  $a_j=b_j=0.6$ 、 $c'_j=0.2$ ”，这里有个下标  $j$  吗？如果是随机参数，这几个参数的方差是如何设置的？“且限制趋势在个体间不变化 ( $\text{var}(\mu_{13j})=\text{var}(\mu_{14j})=\text{var}(\mu_{15j})=0$ )，形成最终数据”，这里有个下标  $j$  吗？

回应：修改稿将“真值设定为  $a_j=b_j=0.6$ 、 $c'_j=0.2$ ”改为“ $a_j$ 、 $b_j$  和  $c'_j$  都服从正态分布，即  $a_j \sim N(0.6, 0.16)$ ， $b_j \sim N(0.6, 0.16)$ ， $c'_j \sim N(0.2, 0.04)$ ”。 $a_j$ 、 $b_j$  和  $c'_j$  是随机参数， $a_j$ 、 $b_j$  的方差设定为 0.16， $c'_j$  的方差设定为 0.04。另外，“且限制趋势在个体间不变化 ( $\text{var}(\mu_{13j})=\text{var}(\mu_{14j})=\text{var}(\mu_{15j})=0$ )，形成最终数据”，这里有个下标  $j$ 。

意见 6：模拟研究条件只有一种条件的模拟吗？目前模拟数据的生成方式（两步法）对应于 RDSEM 为真实模型。而 DSEM 模型估计时得到的参数就是偏回归系数（由于存在趋势， $t$  和  $Y_{t-1}$  存在相关），直接将其比较合理吗？文章没有提到 DSEM 和 RDSEM 在这种情况下，得到参数的意义和参数还等价吗？是可以直接比较还是存在转换关系？直接将两个不同模型估计参数直接比较合理吗？如果用 DSEM 生成数据，又会是怎样的结果呢？具体而言，“第一，后者的趋势参数  $D_Y$  估计是 0.198，相比前者的趋势参数估计(0.143)更接近真值(0.2)。”不同模型得到的这两个系数可以直接比较吗？

回应：本文是利用模拟的方法生成一个示例数据（因此用一个条件进行了模拟），并非是做一模型研究。修改稿在标题上明确是“密集追踪数据的有调节的中介效应分析示例”，并明确说明“本例用两步法模拟产生最终的示例数据”。

由于本文没有进行模拟研究，因此修改稿在示例数据的结果分析中，删掉了 DSEM 和 RDSEM 的较的内容，例如“第一，后者的趋势参数  $D_Y$  估计是 0.198，相比前者的趋势参数估计(0.143)更接近真值(0.2)。”

意见 7: 如果本研究建构了新的模型, 建议进一步丰富模拟研究的内容, 将重点放到文章的主题“有调节的中介效应”估计的精度以及影响因素。

回应: 感谢审稿人的建议。目前国内外的研究现状是, 还不清楚如何进行密集追踪数据的被层 1 变量或层 2 变量调节的中介效应分析, 本文首先解决这个问题。下一步, 我们将另用模拟研究探讨“有调节的中介效应”估计的精度以及影响因素问题。

意见 8: (19) 式下面的这段话“...因此  $D_{X_j}$ 、 $D_{M_j}$  和  $D_{Y_j}$  不会受时间间隔大小的影响, 部分解决了动态结构模型的第一个不足。”请作者仔细阅读文献核对此处的说法是否准确。RDSEM 提出的目的不是为了解决第一个不足的, 而且这里说的解决, 和前文提到的第一个不足也对不上。

回应: 修改稿将“...因此  $D_{X_j}$ 、 $D_{M_j}$  和  $D_{Y_j}$  不会受时间间隔大小的影响, 部分解决了动态结构模型的第一个不足。”改为“...因此  $D_{X_j}$ 、 $D_{M_j}$  和  $D_{Y_j}$  不会受时间间隔大小的影响。而在动态结构方程模型中, 相邻两次测量的时间间隔会影响层 1 自回归和滞后效应的估计(Hamaker et al., 2018; Zhou et al., 2021), 从这个角度来看, 残差动态结构方程模型优于动态结构方程模型”。同时, 还删除了原文中“部分解决了动态结构模型的第一个不足”这句话。

意见 9: (19) 式下面的这段话“另外, 去趋势部分的残差是  $e$  而不是  $\varepsilon$ , 残差  $e_{X_{tj}}$ 、 $e_{M_{tj}}$ 、 $e_{Y_{tj}}$  表示  $X_{tj}$ 、 $M_{tj}$  和  $Y_{tj}$  的方差中不能被时间变量解释的部分, 因此  $e_{X_{tj}}$ 、 $e_{M_{tj}}$ 、 $e_{Y_{tj}}$  是去除了趋势的残差, 是独立于趋势的。”这句话中因此.....说的是不是太绝对了, 所有模型去除掉的只是假设模式的趋势, 例如这里的模型考虑的只是线性趋势。或者换一句更严谨的说法, 在.....前提下.....是独立于趋势的。

回应: 修改稿将“ $e_{X_{tj}}$ 、 $e_{M_{tj}}$ 、 $e_{Y_{tj}}$  是去除了趋势的残差, 是独立于趋势的”改为“ $e_{X_{tj}}$ 、 $e_{M_{tj}}$ 、 $e_{Y_{tj}}$  是去除了趋势的”, 删除了“独立于趋势的”这句话。

意见 10: 图 4 上一段文字的内容, 在文中多次重复, 建议重新组织文章的表述, 尽可能减少重复。

回应: 修改稿重新组织了文章的表述, 尽可能减少了重复。

意见 11: 文中存在一些表述不规范和不准确的地方, 例如, 标题 2 中的最后一段话中: “它能在个体内水平(层 1)和个体间水平(层 2)分别建立模型”, DSEM 是两水平同时建模, 并非分别建模。“此外, 动态结构方程模型采用贝叶斯估计法, 相比于传统的多水平模型(采用极大似然估计)可以更灵活地估计参数的随机效应(如参数的个体间差异)。”这里究竟是想比较模型还是估计方法? 多水平模型也可以采用贝叶斯估计。

回应: 修改稿将“它能在个体内水平(层 1)和个体间水平(层 2)分别建模”改为“它能在个体内水平(层 1)和个体间水平(层 2)同时建模”。将“动态结构方程模型采用贝叶斯估计法, 相比于传统的多水平模型(采用极大似然估计)可以更灵活地估计参数的随机效应(如参数的个体间差异)。”改为“动态结构方程模型采用贝叶斯估计法, 相比极大似然估计可以更灵活地估计参数的随机效应(如参数的个体间差异)”, 这里是比较估计方法, 不是比较模型。

意见 12: 文中(9)式请将其表示为给定  $Z_j$  时的条件均值; (10)(11)(12)等文中多处请做类似修改。式(16)后面的文字应补充说明层 2 的其他设定同前面的式 4~7。

回应: 修改稿将方程(9)、(10)、(11)、(12)的条件中介效应明确定义为“条件中介效应(即调节变量取值为  $Z_j$  时的中介效应, 以下类同)”、条件直接效应明确定义为“条件直接效应(即调节变量取值为  $Z_j$  时的中介效应, 以下类同)”。在方程(16)后面的文字补充“方程(16)的其他设定与方程(4)~(7)类似, 不再赘述。”

意见 12: 2-1-1 的中介效应, 是不是在第二水平考虑  $X$  影响  $M$  的层 2 均值, 而  $M$  的层 2 均值影响  $Y$  的层 2 均值(但模型没设置这个路径)在实际中更常见或更容易解释? 而不是跨层去影响  $Y_c$  的个体内波动? 能不能举例说明本研究此种设计的实际意义和合理性?

回应: 修改稿在 2-1-1 的中介效应中增设了  $M$  的层 2 均值  $I_{Mj}$  影响  $Y$  的层 2 均值的路径  $I_{Yj}$ , 明确了 2-1-1 的中介效应是在第二水平考虑  $X$  影响  $M$  的层 2 均值  $I_{Mj}$ , 而  $M$  的层 2 均值  $I_{Mj}$  影响  $Y$  的层 2 均值  $I_{Yj}$  的中介效应(即  $X_j \rightarrow I_{Mj} \rightarrow I_{Yj}$ )。详见“3.2 被层 2 变量调节的 2-1-1 密集追踪中介效应分析”部分。

第二, 由于 2-1-1 密集追踪中介效应只能发生在层 2(即  $X_j \rightarrow I_{Mj} \rightarrow I_{Yj}$ ), 因此只有层 2 变量可以调节 2-1-1 密集追踪效应, 有此产生的新问题: “Mplus 软件目前无法直接生成调节项  $I_{Mj}Z_j$ (因为 Mplus 软件目前无法直接生成时间序列变量的调节项, 而  $I_{Mj}$  是时间序列变量  $M_{tj}$  的一部分), 也就无法直接进行  $Z_j$  对中介后半路径( $I_{Mj} \rightarrow I_{Yj}$ )的调节效应分析。”本文提出了解决方法, 并在文末给出了 Mplus 程序。

综上, 有调节的 2-1-1 密集追踪效应分析方法的提出, 成为本文的第二个亮点。

意见 13: 文献引用规范性和准确性的问题。文中存在多处你先引用不规范, 请逐一检查引用的文献以及文中涉及到的原文的观点, 逐一核对修改。现简要列举几处:

(1) 本文引用的“McNeish & McKinnon, in press”这篇文献应在这篇文章写作时已经在线, 而作者在“论文自检报告”和正文的引用中都没有规范引用;

回应: 修改稿将“McNeish & McKinnon, in press”改为“McNeish & McKinnon, 2022”。

(2) 文中存在多处引用格式不规范和作者姓名大小写的错误, 例如: Hamaker & wicers, 2017; bauer et al., 2006; hayes, 2015 等等;

回应: 修改稿仔细核查并修改了引用格式不规范和作者姓名大小写的错误。

(3) 另外文章中也存在一些与原文献不符合的内容, 例如, 文中写到“.....值得注意的是, 二者的残差方差估计相当, 这和 Asparouhov(2018)的结果不一致。可能的原因是模型差异, Asparouhov(2018)研究的是单水平动态结构方程模型(没有随机效应)、本文的模型是两水平动态结构方程模型(有大量的随机效应)”关于 Asparouhov (2018)和 Asparouhov et al. (2018)的文章中提到的是单水平 DSEM? 本研究的模型上并没有创新, 这一段话有夸大自己贡献的嫌疑, 也没能客观反映引文的贡献。

回应: 修改稿中删掉了这部分内容。

(4) 增加这一领域最新的研究文献, 例如 Fang et al (2024)在 SEM 上的成果。

回应: 修改稿增加了 Fang et al (2024)在 SEM 上的成果。

意见 14: 讨论部分, 作者明确指出, 本文提出了基于动态结构方程模型和残差动态结构方程模型的密集追踪数据的 9 种有调节的中介效应分析方法。这九种模型在模型建构上有何本质不同? 建议在讨论中对其进行总结。建议给出所有 9 种模型的语句, 如果由于篇幅所限请以在线形式提供。

回应: 修改稿在正文中明确用“模型 1”~“模型 9”明确指明了这 9 个模型是哪 9 种, 并阐述了模型之间的区别。在文末的附录中, 给出了用 DSEM 和 RDSEM 分析 9 种有调节的中介模型的 Mplus 程序。

9 种有调节的中介模型指的是 3(中介类型) $\times$ 3(调节的中介路径)共 9 种。3 种中介类型是 1-1-1、2-1-1 和 2-2-1 中介效应模型, 3 种调节的中介路径是调节中介的前半路径、调节中介的后半路径、同时调节中介的前后路径。

但是, 这 9 种模型都是被层 2 变量调节的密集追踪中介模型, 修改稿中还增加了被层 1 变量调节的密集追踪中介模型, 因此本文共讨论了 10 种有调节的中介模型。

意见 15: 文中最后一段“第六,.....”, 不能对面板数据应用密集追踪的分析思路没什么疑问, 没有必要在这里讨论。

回应: 修改稿删除了文中最后一段“第六,.....”。

---

## 第二轮

### 审稿人 1 意见:

文章修改稿较好地回答了我的上轮审稿意见, 特别是明确了模型 1-9 和图示, 以及说明了具体应用场景。针对作者的回答, 我还有以下意见:

意见 1: 第 5 节分析示例, 作者在意见回复中提到, “模拟数据更能代表典型模型”, 需进一步说明为何  $a$ 、 $b$ 、 $c$  等参数的取值或分布是典型的。

回应: 修改稿增加了“5 模拟研究”, 在模拟研究中, 所有参数的设置都是源于已有文献。并且在 6.1 部分, 明确说明了, 在示例数据的模拟产生过程中, 参数除了  $a = b = 0.6$ (Kenny et al., 2003),  $g = k = 0.4$ , 其余参数设置都和模拟研究的设置相同。第二, 为了便于读者练习和使用, 示例数据可在 <https://osf.io/e273c/> 下载。第三, 本文在示例中采用模拟数据, 是模仿了已有研究(McNeish & MacKinnon, 2022; Fang et al., 2024)用模拟的数据作为示例的做法。并且这些研究都认为: “与实际数据相比, 模拟数据更能代表典型的密集追踪中介模型, 相应的 Mplus 代码更具一般性”。

意见 2: 本文展示了很多模型, 建议作者在第 6 节讨论开始部分, 对这些模型做一个总结讨论比较, 便于读者提取关键信息。

回应: 修改稿在“7 讨论”增加了对这些模型的总结, 便于读者提取关键信息。

意见 3: 第 5.2 节第一段最后一句: “第四, 三种分析的残差方差都显著不等于 0...”, 方差显著不等于 0 的结果是如何得出的(区间估计无法判断非负参数的显著性), 表 3 中的信息还是否有必要报告。

回应: 区间估计确实无法判断方差是否显著, 示例的方差显著不等于 0 是通过显著性检验的  $P$  值小于 0.001 判断的。修改稿删掉了原文的表 3。

意见 4: 本文一些文字表述还需凝练或修正。例如 3.1.1 节第一段, “因此本研究也首先讨论这种...”。3.2.1 节第一段, “研究者接着可以进一步考察...”等可以凝练。第 5.1 节第一段, “真值设定为  $a_j$ 、 $b_j$  和  $c_j$  都服从正态分布”中的文字错误。

回应: 修改稿中对部分文字表述进行了凝练和修正。删除了 3.1.1 节第一段的“因此本研究也首先讨论这种被层 2 变量调节的 1-1-1 密集追踪中介模型”和 3.2.1 节第一段的“研究者接着可以进一步考察被层 2 变量  $Z_j$  (如性别)调节的 2-1-1 密集追踪中介效应”, 并将“真值设定为  $a_j$ 、 $b_j$  和  $c_j$  都服从正态分布”改为“真值设定为  $a_j$ 、 $b_j$  和  $c_j$  都服从正态分布”。

.....

### 审稿人 2 意见:

修改后作者增加了一些内容, 但是从目前文章的结构和一些细节来看, 仍存在较大改进空间。建议从文章内容聚焦、结构上考虑处理以下几个问题:

**意见 1:** 文章引言和文献回顾: 补充最新研究进展, 尤其是本文借鉴的主要文献。需要补充已有有关密集追踪研究的进展和密集追踪研究中交互效应分析的文献。后面研究中的模型定义和拓展都是基于这些已有研究, 请在文献综述部分规范叙述和引用。例如, 研究中采用的交互效应定义和处理的方法大多都是借鉴已有文献, 例如 Speyer et al.(2024)的研究提出的潜变量交互效应的思路, 而不是作者首次提出。建议作者规范引用, 谨慎采用本人首次提出, 首次解决等类似夸大贡献的叙述。

**回应:** 修改稿中明确说明了, 本文的有调节的密集追踪中介效应分析方法都是基于这已有研究(McNeish & McKinnon, 2022; Fang et al., 2024; Speyer et al., 2024)。具体地, 在“2 有调节的纵向中介效应分析的当前困境”部分的第一段就明确说明“最近有研究者提出了密集追踪数据的中介效应分析方法(McNeish & McKinnon, 2022; Fang et al., 2024)和调节效应分析方法(Speyer et al., 2024), 但如何将中介效应和调节效应整合在同一个模型中, 进行有调节的中介效应分析, 还函待进一步探索”。

第二, 我们在文中规范引用 Speyer et al.(2024)的研究提出的潜变量交互效应的思路, 在文中明确指出“Speyer 等(2024)建议采用两步法分析层 1 的同层调节效应”, 并且在第 4 部分详细介绍了 Speyer et al.(2024)提出的潜变量交互效应的思路和实施步骤。

第三, 我们仔细核查全文, 没有出现“首次”字眼, 避免夸大本文的贡献的叙述。

**意见 2:** 文章结构调整: 建议去掉去趋势部分的内容。去趋势是密集追踪中比较关注的重要议题, 去趋势的方法有很多种, 且目前在研究中也并没有一致的公认的去趋势的方法。就目前文章的研究内容, 有关去趋势的结论和建议缺乏深入的论证和证据。这篇文章的主题主要是密集追踪研究中有调节的中介效应, 不用掺入去趋势的讨论。重点讨论清楚不同情境下有调节的中介如何建模和分析更加聚焦, 也更容易让读者抓住重点。因此, 建议本文不要涉及去趋势的话题。

**回应:** 修改稿删除了去趋势部分的内容。仅仅在文章最后的讨论部分讨论了有调节的密集追踪中介效应分析中的去趋势问题。

**意见 3:** 关于平稳性的理解请查阅文献正确理解。正文中这一段话“文中引出去趋势的逻辑有调节的中介模型(方程(1)~(7))假设自回归效应和滞后效应具有稳定性(stationarity), 即自回归效应和滞后效应不随时间而变化(Zhang et al., 2018)。但密集追踪数据往往难以满足稳定性假设, 从而导致参数估计出现偏差。常见的违背稳定性假设的情况是变量随时间出现规律性的增加或减小的趋势(trend, McNeish & Hamaker, 2020)。出现趋势时, 一种可行的去趋势办法是将时间作为层 1 自变量纳入有调节的中介模型中(Fang et al., 2024)。此时, 方程(1)~(3)变化为……”。文章中 (1) - (7) 中假设的影响系数不随时间变化与密集追踪中或时序分析中提到的“平稳性假设”并非一个概念, 请作者仔细阅读文献。关于这一点, 请作者考虑 McNeish & McKinnon, 2022 的文章中的“Dynamic mediation”是否需要平稳性假设? 去趋势模型的提出并非针对自回归效应和滞后效应稳定性不成立时提出的, 请作者正确理解本领域的基础文献, 严谨表述。

**回应:** 第一, 去趋势模型的提出是针对时间序列分析中的“平稳性假设”提出的, 时间序列分析中的“平稳性假设”是指变量的均值、方差以及自相关都不会随着时间发生系统性变化(Hamilton, 1994)。我们在修改稿中明确了这一点。详见“7 讨论”部分。

第二, 自回归效应和滞后效应具有稳定性(stationarity), 即自回归效应和滞后效应不随时间而变化, 这个假设的前提是重复测量的时间间隔相等。详见“7 讨论”部分。

第三, McNeish 和 McKinnon(2022)的文章中的“Dynamic mediation”是需要平稳性假设的。McNeish 和 McKinnon 在文章的讨论部分(P18)明确指出“*As a first limitation, the models we*



present in this article assume that the time-series is stationary”。

**意见 4: 模拟研究的问题:** 建议增加模拟研究。如果像作者所言本研究的目的是提出新模型或新方法, 则最好通过模拟研究来验证所提出处理方法的科学性和合理性, 以及采用该方法所得到的参数估计的精度。在上一轮问题的回应中(对第 11 问的回答), 作者提到本文解决了 Mplus 中无法构建一个交互项的问题, 那最起码应该检验构建方法是否合理, 交互项估计精度如何? 而且本文是作为《心理学报》的文章。如果只是提供一个模拟示例, 显然从文章论证的严谨性上有缺陷。另外, 本文模型构建的思路和处理方法大多借鉴了已有文献中的处理思路, 可能本研究可以突出自己贡献的地方可以是进行一些模拟研究, 探讨这种处理方法的效果。例如, 两步法处理方式的参数估计精度如何, 可以由一个小的模拟研究得以论证。因此, 作为方法类的心理学报的文章, 我强烈建议文章增加模拟研究, 而非仅提供一个示例。

**回应:** 修改稿增加了“5 模拟研究”, 通过模拟研究来验证所提出处理方法的参数估计的精度。结果表明, 当样本容量  $N$  大于等于 100 且重复测量次数大于等于 10 的情况下, 参数估计是准确的。

**意见 5: 文章示例部分的完整性:** 既然是采用模拟生成的数据, 建议示例部分呈现所有的情况, 如果由于篇幅, 可以在正文中重点介绍一两种, 其他的在线资源提供。

**回应:** 修改稿限于篇幅, 在正文中只介绍了被层 2 变量调节的 1-1-1 中介模型。其他的模型(被层 2 变量调节的 2-1-1 中介模型、被层 2 变量调节的 2-2-1 中介模型、被层 1 变量调节的 1-1-1 中介模型)都在文后的附录中提供了相应的 Mplus 程序。更进一步, 我们提供了其他的模型(被层 2 变量调节的 2-1-1 中介模型、被层 2 变量调节的 2-2-1 中介模型、被层 1 变量调节的 1-1-1 中介模型)的示例(包括数据, Mplus 程序和运行结果)放在 <https://osf.io/c4dqr/>, 供读者下载。

**意见 6: 文章示例部分的推断严谨性:** 文中一段“示例数据是存在时间趋势的, 如果忽略时间趋势, 则没有去趋势的动态结构方程模型的 DIC 值最大(见表 2), 表明没有去趋势的模型和数据拟合程度最差。就参数的估计准确性而言, 没有去趋势的分析的条件中介效应估计值出现了明显差异(表 2)。但是去趋势的两种分析的 DIC 值和条件中介效应估计结果都相近, 因此, 当数据有时间趋势时, 有必要进行去趋势分析, 即使用去趋势的动态结构方程模型和残差动态结构方程模型进行有调节的中介效应分析。”基于一次数据做此推断, 缺乏严谨性。另外, 作此推断也应关注 DIC 指标本身的局限性, 应采用多种模型拟合比较的指标。

**回应:** 修改稿根据审稿人的建议, 去掉文章里的去趋势部分的内容, 因此示例数据也删除了这段话。

**意见 7: 图 1(b)标注的是纵向数据? 文本中描述的是“多水平数据”, 文字和图中标注不一致。**

**回应:** 图 1(b)显示的既是多水平数据的有调节的中介模型, 也是纵向数据的有调节的中介模型, 因为纵向数据可看成时间点  $t$  嵌套于个体  $j$  的多水平数据。修改稿将图 1(b)标注为“多水平数据(纵向数据), 使文字和图中标注一致。

**意见 8: 表 1 的标题“被层 2 调节变量调节的  $1 \times (1 \rightarrow 1)$  密集追踪中介效应分析的数据示例 ( $t=20$ )”中的“ $1 \times (1 \rightarrow 1)$ ”代表什么? 另外, 所举例子的数值不恰当, 容易对读者造成不必要的困惑, 例如:  $Z$  的取值 888,999 容易被理解为缺失数据;  $X$ 、 $M$ 、 $Y$  的趋势会如此明显? 这类数据是不是更适合探讨趋势而非动态波动?  $X$ 、 $M$ 、 $Y$  之间过高的相关也不契合实际。**

建议换一个实际密集追踪的例子（例如，可以采用文献公开的数据）。

回应：原文中的“ $1 \times (1 \rightarrow 1)$ ”是笔误，修改稿改为“ $1 \rightarrow 1 \rightarrow 1$ ”，即表 1 的标题改为“被层 2 调节变量调节的  $1 \rightarrow 1 \rightarrow 1$  密集追踪中介效应分析的数据示例( $t=20$ )”。修改稿将表 1 的数据换为文献公开的数据作为示例。

意见 9：“……但从截面数据到纵向数据的拓展却比较欠缺”，这句话欠妥，截面数据到纵向数据的模型拓展在 SEM 框架下很多情况下都很直接，从本文关注的重点来看，应该是“结合纵向数据中时序特点的模型比较欠缺”

回应：修改稿中，将“但从截面数据到纵向数据的拓展却比较欠缺”改为“但现有的有调节的纵向中介效应分析方法还存在不足。”

意见 10：3.3.1 “使用动态结构方程模型”小节中列举的“Taylty 等(2023)考察了师生关系( $M_j$ ) 在负性教养经历( $X_j$ )和消极情绪( $Y_{tj}$ )之间的 2-2-1 密集追踪中介效应”，这一项研究采用的是 DSEM 吗？请确认。

回应：我们核查了 Taylty 等(2023)的论文，确认 Taylty 等(2023)是利用 DSEM 考察了师生关系( $M_j$ )在负性教养经历( $X_j$ )和消极情绪( $Y_{tj}$ )之间的 2-2-1 密集追踪中介效应。见 Taylty 等(2023)的 Fig2。

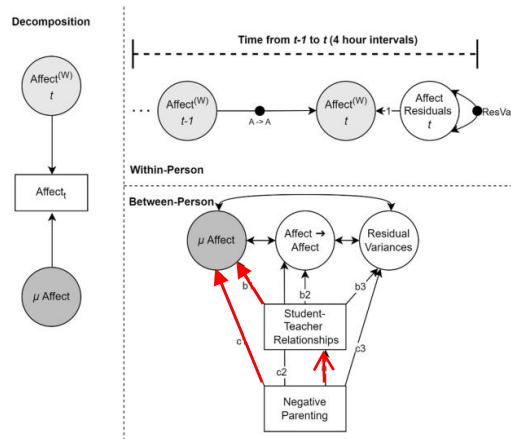


FIGURE 2 DSEM mediation model.

意见 11：层 1 变量调节 1-1-1 中介的介绍只有调节前半路径的情况，对此在讨论中应予以更多的说明和解释。

回应：在讨论部分，将前半路径被层 1 变量调节 1-1-1 中介推广到了前、后路径和直接路径都被层 1 变量调节 1-1-1 中介。

### 第三轮

审稿人 1 意见：

文章修改稿较好地回答了我的上轮审稿意见。对于新增加的小节“5 模拟研究”，我还有以下建议：

意见 1：表 2 标题“参数、方差和协方差”改成“系数、方差和协方差”更为合理，参数包括方差。此外，可适当说明方差偏差较大的原因，方差被限制大于 0，偏差模拟结果会天然

地正偏。

回应：修改稿将表 2 标题“参数、方差和协方差”改为“系数、方差和协方差”。另外，在“7 讨论”部分的第二段话，补充了“残差方差的相对偏差较大，这是因为方差是非负数，相对偏差的模拟结果会天然地正偏”。

意见 2：建议报告一类和二类错误，这样表 3 中结果更清晰。目前表 3 用 pow 同时表示检验力和一类错误，容易产生误解。此外，表 3 中不包括方差协方差参数的结果，在前文第 5.2 节中可说明。

回应：修改稿在表 3 的下半部分增加了标题行，以区分检验力和第一类错误，避免读者产生误解。另外，修改稿在 5.2 节补充了“使用相对偏差(relative bias)、均方误差(MSE)、95%可信区间的覆盖率、检验力和第一类错误率 5 个指标评估系数(a、b、g、k、E(a<sub>j</sub>b<sub>j</sub>)、diff)估计的精度，使用相对偏差和均方误差 2 个指标评估 a<sub>j</sub>、b<sub>j</sub> 的方差和协方差估计的精度 (Zhang et al., 2018)”。

意见 3：建议修改第 5 节部分文字表述。第 5.2 节，“无信息的先验分布”改为“无信息先验分布”，“采用逆 Gamma 分布的先验”改为“采用逆 Gamma 先验分布”。第 5.3 节中的“可靠区间”改为“可信区间”。

回应：修改稿将 5.2 节的“无信息的先验分布”改为“无信息先验分布”，“采用逆 Gamma 分布的先验”改为“采用逆 Gamma 先验分布”，5.3 节的“可靠区间”改为“可信区间”。

意见 4：最后，修改稿全文最后一句中“只考虑调节后半路径，则需要继续去掉回归系数 h 即可”，是否表述有误，去掉回归系数 g？

回应：如果只考虑调节后半路径，则需要同时去掉回归系数 d、g 和 h，由于表 5 中已经去掉了回归系数 d、g，所以这里写的是“继续去掉回归系数 h 即可”。

.....

审稿人 2 意见：

文章修改后，质量有了明显提升，建议修改后录用。

意见 1：表 3 的下半部分增加标题行，以区分检验力和第一类错误；

回应：修改稿在表 3 的下半部分增加了标题行，以区分检验力和第一类错误。

意见 2：仔细核对文章中的公式，以及公式中字母符号的说明，确保前后一致；仔细核对附录中的代码以及语句说明，以及在正文中引用的位置；检查参考文献，补充遗漏的参考文献，删除文中没有引用的文献。

回应：修改稿仔细核对了文章中的公式，以及公式中字母符号的说明，确保前后一致。修改稿仔细核对了附录中的代码以及语句说明，以及在正文中引用的位置。修改稿仔细检查了参考文献。

---

#### 第四轮

编委意见： I recommend the acceptance of the paper and ask the authors to make necessary changes according to the reviewers comments

**主编意见：**

稿件存在以下问题：

1、题目有 2 个“的”，可以将后一个去掉。

答：“有调节的中介效应”是固定用法，表明中介效应随着调节变量的取值变化而改变。因此本文仍保留“的”字。

2、个别地方有文字表述问题，如“结果发现”等。

答：已修改文字表述问题。

3、“2 有调节的纵向中介效应分析的当前困境”的第一段最后一句话“……进行有调节的中介效应分析，还函待进一步探索。”中“函待”意思不明。

答：将“如何将中介效应和调节效应整合在同一个模型中，进行有调节的中介效应分析，还函待进一步探索”改为“如何将中介效应和调节效应整合在同一个模型中，进行有调节的中介效应分析，还不清楚”。

4、图 5 中缺少图例。

答：已补充图例。