

青少年网络适应的拓扑结构分析： 基于纵向追踪数据*

董王昊 张 杰 孟素洁 贾 敏 王伟军

(青少年网络心理与行为教育部重点实验室；人的发展与心理健康湖北省重点实验室；
华中师范大学心理学院，武汉 430079)

摘 要 网络适应作为当代青少年成长至关重要的环节，其复杂多维的内部属性仍未得到系统探讨。本研究首次采用网络分析方法探讨青少年网络适应的核心特征、动态演变以及外部联结。横断网络分析揭示了青少年网络适应中好奇心的“双刃剑”作用，即过高或过低的好奇心均不利于网络适应的发展。网络比较结果显示，青少年的网络适应具有整体的稳定性，但其拓扑属性会发生内部流转。交叉滞后网络分析表明，网络自我效能在网络适应发展过程中起“总舵手”作用，而网络学习能力和网络信息搜索是青少年网络适应的重要“落脚点”。二元交叉滞后网络分析指出，网络信息保护对网络成瘾具有最显著的直接影响。本研究不仅为理解青少年在数字世界中的成功适应提供了全新视角，也为新时代的数字化教育实践提供了重要启示。

关键词 青少年，网络适应，网络成瘾，拓扑结构，网络分析

分类号 B844.2

1 引言

生成式人工智能的兴起极大地增强了互联网的工具属性，网络搜索、网络学习与网络社交等涉及自然语言的活动均迎来了新的革命(Lim et al., 2023; Urban et al., 2024)。这种技术进步导致青少年所处的网络环境发生了根本性变化，原有的网络适应模式面临被动失衡的风险(Du et al., 2024; Neugnot- Cerioli & Laurenty, 2024)。例如，个人数据的广泛利用与隐私保护需求的上升要求青少年具备更全面的信息保护能力，以应对日益增多的网络风险。人工智能技术的普及也对青少年的控制能力和自我认知提出了新的挑战，敦促他/她们在享受科技便利的同时提升批判性思维能力，并建立健康的网络使用习惯。因此，适应日新月异的网络环境仍然是青少年健康发展的重要课题。

网络适应是指个体在与网络环境动态交互过程中形成的网络适应性和网络适应状态(王伟军

等, 2021)。其中，网络适应性指个体为了生存与发展，与网络环境保持和谐关系所具备的个体特征。如网络人际适应和网络自我效能。网络适应状态则是个体在经历网络适应过程后最终呈现的平衡(适应良好)或不平衡状态(适应不良)。实际上，适应并非仅是个体对环境的顺应，还包括更深层次的主体与客体之间的动态关系(陈建文，王滔, 2003)。适应意味着个体在面对环境变化时，能够根据自身的需要和价值取向，调整思维、情感和行为，以更好地适应环境的变化，或主动改变环境以满足自身的需求。换言之，青少年的网络适应并不完全取决于网络内容，还受到个人适应方式和网络使用策略的影响(Fumero et al., 2018)。例如，拥有较高网络自我效能和较强在线社交能力的青少年，通常能更有效地利用网络资源，进而获取更多的社会支持与有效信息(姜永志 等, 2016; Zheng et al., 2020)。相比之下，性格较为内向或害羞的青少年可能更倾向于将网络视为休闲娱乐的途径，以此来缓解现实生活中

收稿日期: 2024-05-23

* 国家自然科学基金项目(71974072)

通信作者: 王伟军, E-mail: wangwj@ccnu.edu.cn

的社交压力(Ryan & Xenos, 2011; Wang et al., 2015)。

青少年的网络适应状况对其自身发展无疑是重要的。元分析研究表明,当青少年以教育为目的使用网络时,其学业成绩往往呈现上升态势;反之,娱乐驱动的网络使用可能导致学业成绩的下滑(Wang et al., 2024)。当前,生成式人工智能的加持使得网络用户的感知有用性、感知易用性以及感知个性化增加,进一步加剧了网络成瘾的可能性(Zhang et al., 2024; Zhou & Zhang, 2024)。而不恰当的网络使用行为,如过度沉迷网络游戏或社交媒体,可能导致青少年出现孤独感、抑郁情绪、睡眠障碍和攻击行为等内外化问题(Moretta & Buodo, 2020)。这些问题不仅会影响青少年的学业发展和社会交往,还可能对他/她们的身心健康造成长期的不良影响。

目前已有研究探讨了青少年网络适应的概念、结构、测量和影响关系(如,赵航等, 2022; Yang et al., 2024),但多采用传统的变量间分析视角,忽略了青少年网络适应的内部拓扑性质。由于青少年的网络适应是一个多维且复杂的网络系统(王伟军等, 2021),对其内部拓扑性质的探讨将有助于进一步厘清与掌握青少年的网络适应问题。此外,为探讨青少年网络适应良好与否的后果及关键影响通道,本文还将探讨网络适应不良的典型表现(网络成瘾)与网络适应之间的关系。总体上,本研究旨在探讨青少年网络适应的拓扑结构和内外部属性,以回答下面三个核心问题:

问题 1: 青少年网络适应的核心特征与内部结构如何?

问题 2: 青少年网络适应的跨时间稳定性如何?

问题 3: 青少年网络适应与网络成瘾内在联系如何?

为此,本研究首先采用横断网络分析技术识别青少年网络适应的关键维度与核心关联;其次,通过网络比较和交叉滞后网络分析探究青少年网络适应的跨时间稳定性及其变化趋势;最后,构建交叉滞后二元网络以明晰网络适应与网络成瘾之间的联系节点及关键路径。基于上述方案,本研究将从网络分析视角全面揭示青少年网络适应的核心特征、内部结构、动态演变以及其与网络成瘾的关联。这不仅有助于理解青少年在数字世界中的成功适应,也为预防和干预青少年网络成瘾提供科学启示和实践指导。

2 文献回顾

2.1 网络适应的概念和结构

网络适应是指个体在与网络环境互动中不断适应的动态过程(王伟军等, 2021)。如引言部分提及的,适应是主体与客体之间的动态关系,青少年的网络适应也不例外。网络适应强调青少年于不断变化的网络环境中对自身行为和心态进行调整。这是一个动态的、持续发展的过程,需要个体不断地学习和适应新兴技术、社交规范和网络文化。同时,这种适应是反应性的,通常由外部环境的变化驱动,例如新的社交媒体平台的兴起、网络风险的变化或数字技术的更新。青少年的网络适应状态还具备动态性,会随着经验的累积和技能的提升而变化。但部分个体总是能在变化的网络环境中更快地实现适应状态,可见网络适应性具有个体层面的相对稳定性。因此,青少年的网络适应被概括为个体在与网络环境动态交互过程中形成的网络适应性和网络适应状态(王伟军等, 2021)。青少年需要不断提升他/她们的网络适应能力来应对数字世界的快速变化。

网络适应作为中心概念,由适应准备、适应过程和适应持续三个阶段组成(如图 1 所示)。适应准备阶段包含了网络好奇心与网络自我效能两个维度,形成青少年在进入网络适应过程的初始准备。适应过程阶段包含了网络自我控制、网络信息保护和网络积极应对三个维度,是青少年在网络环境中进行实时调适的过程。适应持续阶段包含了网络信息搜索、网络学习能力和网络人际交往三个维度,指向青少年在长期使用网络过程中所形成的最基本的三种能力状态,亦是个体网络适应良好与否的直接指标。随着外部网络环境的更新迭代,青少年在上述维度不断发展,其整体网络适应状态也随之变化。其中适应持续阶段指向网络适应(见图 1),旨在表明青少年与网络环境的交互过程中,其适应能

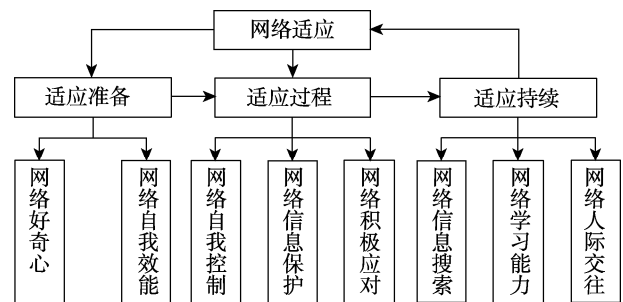


图 1 网络适应动态过程示意图(参考:王伟军等, 2021)

力会得到持续反馈和提升。这种提升不仅意味着应对新挑战能力的增强, 还对整个网络适应过程的循环和优化具有推动作用。总之, 网络适应体现了青少年在面对不断变化的网络环境时, 通过多阶段协调发展以实现良好适应的动态过程。因此, 欲有效提升青少年的网络适应能力, 必须深入理解网络适应的概念内涵, 进而制定个性化的干预措施和支持策略。

2.2 网络分析方法及应用

网络分析是一种将系统特征与信息以网络结构进行展示和分析的方法。网络分析可将心理行为系统内的相互作用描述为由“节点”与“连线”构成网络结构, 从而识别网络节点的中心地位以及节点之间的关系(Borsboom et al., 2021; Epskamp et al., 2018)。该方法提供了有关哪些变量是网络中最重要或最具有影响力的信息, 能够从探索性/非理论驱动的角度为实践层面的探索和理论驱动的研究做准备(Li & Kwok, 2023)。

网络分析的一个突出特征是它能够将复杂的动态联系可视化, 直观地呈现网络中的节点及其关联(Borsboom et al., 2021; Bringmann & Eronen, 2018)。网络分析中引入了偏相关系数, 以更精确地描绘节点之间的真实联系。偏相关网络是一种基于加权相关网络的模型, 它控制了其他节点对两节点间关系的影响, 从而为探究节点间的准确关系提供了方法(Borsboom & Cramer, 2013)。此外, 交叉滞后数据与网络分析相结合产生了交叉滞后网络分析。这种方法可以揭示随着时间的推移, 网络结构内部和结构之间发生的纵向过程(Funkhouser et al., 2021)。

网络分析的特点是在没有关于变量如何相关的先验理论时, 仍可有效探索高维数据的结构(Borsboom et al., 2021)。在心理学实证研究中, 网络分析具有以下显著优势: 其一, 网络分析不依赖于潜变量的定义, 而是基于观测变量构建模型, 从而实现了对各观测变量间关系的直接分析; 其二, 网络分析技术可在完整系统中解析出两变量间的“独立”关系, 减少传统分析中“虚假相关”带来的混淆; 其三, 网络分析将所有观测变量纳入一个统一的网络框架之中, 可实现从网络整体变化的角度考察某一心理或行为系统的发生和发展过程(蔡玉清等, 2020)。因此, 网络分析方法是研究青少年网络适应不可或缺的工具, 有助于揭示青少年在数字世界中的适应模式, 并为精准支持方案提供设计

基础。

现有的研究中, 网络分析已展现出其独特的价值。在心理健康领域, 研究者通过网络分析构建了自杀意念变量网络, 揭示了变量间的潜在相互作用, 并发现了挫败感的核心地位(Ordóñez-Carrasco et al., 2023)。在教育领域, 研究者通过建立交叉滞后网络分析模型, 探索了小学教师职业倦怠的发展关系, 并提出了有效的干预措施(谢敏 等, 2022)。在社会层面, 有研究利用网络分析方法构建了COVID-19 疫情期间中国人精神病症状网络, 并发现了不同阶段网络中心特征的变化(Wang et al., 2020)。在个体层面, 研究者通过对不同国家的样本进行网络比较, 揭示不同文化背景下人格中心特质的差异(Ramos-Vera et al., 2023)。这些研究例证表明了网络分析在识别关键特征和明晰动态演变过程中的重要作用, 为本研究探索网络适应内部结构提供了方法论支撑。

综上, 本研究将从局部到整体, 同时结合时间维度, 深入探讨网络视角下青少年网络适应的拓扑性质及演变规律。

3 方法

3.1 参与者

本研究选取湖北和湖南两地区多所学校的学生进行问卷调查, 并提前获得了通讯作者所在单位伦理审查委员会的批准。数据收集已征得学生本人、班级负责人以及学校层面的同意。参与者被告知允许在参与调研的任意时间点退出。问卷数据全部通过纸笔作答的形式获取, 非认真作答的样本在整理时被剔除。最终, 初次(T1)收集了 5783 名参与者的有效数据, 其中男性 2162 名, 占 37.4%。平均年龄为 17.20, 标准差为 2.62; 5 个月(T2), 追踪了其中 1235 名参与者的数据, 其中男性 469 名, 占 38%。平均年龄为 14.98, 标准差为 1.66。

3.2 测量工具

网络适应。青少年网络适应通过网络适应量表测量(Wang et al., 2023)。该量表包含 8 个维度, 由 39 个条目组成, 分别是网络好奇心(5 个题项, 如“网络中那些陌生的人和事常常让我感到很好奇”)、网络信息搜索(3 个题项, 如“感兴趣的文字, 图片或者视频, 我都有方法在网上搜到”)、网络学习能力(4 个题项, 如“我会利用网上的学习资源提升自己的能力”)、网络人际交往(7 个题项, 如“我在网上认识了更多志同道合的朋友”)、网络自我控制(5 个

题项,如“我会有计划地安排自己的上网时间”)、网络自我效能(5 个题项,如“我相信自己能在较短的时间内掌握最新的网络技术”)、网络信息保护(4 个题项,如“我不会随意点开未知链接”)以及网络积极应对(6 个题项,如“在网络中遇到困难时,我会尝试换一个视角去看待”)。所有题项(内容见网络版附录表 S1)采用 6 级计分,平均得分越高表示网络适应越好。本研究中该量表的克隆巴赫 α 为 0.954。

网络成瘾。通过 Young 氏网络成瘾诊断自评问卷中文版进行测量(李毅 等, 2012)。该问卷共包含 8 个条目:渴求性(我会全神贯注于网际或在线服务活动,并且在下网之后总念念不忘网事);耐受性(我觉得需要花更多的时间在线上才能得到满足);行为失控(我曾努力过多次想控制或停止使用网络,但没有成功);戒断性(当企图减少或停止使用时,我会感到沮丧、心情低落或脾气暴躁);时间延长(我的上网时间比原先计划的要长);负面后果(我曾为了上网甘冒重要人际关系、教育或工作机会损失的危险);欺骗性(我曾向家人、朋友或他人说谎以隐瞒上网的状态);逃避性(我上网是为逃避问题或释放无助、罪恶感、焦虑或沮丧)。采用 5 级计分,平均得分越高表示网络成瘾越严重。本研究中该问卷的克隆巴赫 α 为 0.912。

3.3 数据分析

3.3.1 横断网络分析

本研究主要使用 R (4.3.2 版本)进行统计分析。其中采用 bootnet 包(Epskamp et al., 2018)内的 EstimateNetwork 函数(高斯图模型 GGM)估计横断网络。使用最小绝对值收缩与选择算子(LASSO)对网络进行正则化(Tibshirani, 1996),该算子计算偏相关并通过将强度较弱或虚假估计的边线系数减少至零以去除假阳性(即较弱的或虚假估计的边线)(Epskamp et al., 2018)。之后还利用了扩展贝叶斯信息准则(EBIC)进行最终的网络模型选择。模型选择过程中的超调整参数 γ 值被设置为 0.5,有助于平衡边线估计的灵敏度和特异性,并最大化选择真实估计边线的机会(Epskamp et al., 2018)。

本研究计算了强度和预期影响作为横断网络节点的中心性指标。节点强度表示节点的直接连接性,是连接到其他各节点的边线权重绝对值之和。强度值越高表明其在网络中的影响力越大(Epskamp, Borsboom & Fried, 2018)。预期影响则是在强度的基础上考虑了网络内的正向和负向关系,能够提供更为全面的对网络整体的影响力评估

(Bekkhuis et al., 2023; Robinaugh et al., 2016)。

3.3.2 网络比较

网络比较的目的是通过置换检验来发掘不同网络间的结构差异,利用 R 软件中的 Network ComparisonTest 包内的 NCT 函数实现。本研究将采用包括网络不变性、总体强度不变性、边线不变性、节点强度不变性及节点预期影响不变性在内的 5 项检验方法对网络结构在不同时间点的一致性进行系统性的检验(van Borkulo et al., 2023)。这些检验彼此关联,分别从不同层面评估网络的稳定性与变化。首先,网络不变性检验作为整体结构的评估工具,旨在比较不同时间点网络的全局拓扑特征,其零假设是两个网络中所有对应边线均相等。相比之下,总体强度不变性检验更聚焦于网络全局连通性(Overall level of connectivity),通过评估网络中所有边权重的总和或节点强度的平均值,探讨网络整体连接强度的稳定性。此外,边线不变性、节点强度不变性和节点预期影响不变性则提供了更为精细的局部结构分析。这些检验分别评估了具体边的连接强度、单个节点的连接强度及节点在网络中的预期影响力,旨在揭示局部网络特征的变化如何影响整体网络结构。通过整合这 5 项检验,能够从整体与局部、多层次、多维度地评估网络适应内部的跨时间变化情况。

除此之外,上述不变性检验结果将为后续交叉滞后分析提供重要背景信息。具体而言,如果 5 项检验全部通过,则说明本研究关注的青少年网络适应存在跨时间稳定性。如果整体网络不变性和强度不变性检验未通过,则需要通过交叉滞后网络来反映出结构的动态变化以及节点之间的影响关系。局部特征的变化(如节点强度或边线强度的变化)可以进一步帮助识别哪些节点或连接在网络中发挥了重要的作用,为交叉滞后网络更精准地捕捉跨时间影响机制提供依据。

3.3.3 交叉滞后网络分析

交叉滞后网络模型通过一系列正则化回归来估计随时间变化的自回归系数和交叉滞后系数。其中,自回归系数反映了某一变量在前一次测量中的状态对其下一次测量时状态的预测作用,即变量自身随时间的延续性;而交叉滞后系数则表示某一变量在前一次测量中的状态对另一变量在下次测量时状态的预测作用,即变量之间的相互影响(Wysocki et al., 2022)。本研究将使用 R 中的 glmnet 包(Friedman et al., 2010)估计两个时间点的网络适

应交叉滞后网络模型以及网络适应和网络成瘾的交叉滞后网络模型。为了增强结果的可解释性并创建更加直观的网络结构, 本研究通过 10 倍交叉验证确定了调整参数 γ 的最优值, 并在估计的回归系数上应用图形化的最小绝对收缩与选择算子 (Glasso), 以将不显著的路径收缩至零 (Wysocki et al., 2022)。交叉滞后网络模型中存在较多的负边, 因此本研究采用了入预期影响 (In expected influence) 和出预期影响 (Out expected influence) 作为交叉滞后网络模型的中心性指标。前者是 T2 中某个节点受到 T1 中其他节点直接影响之和, 后者则是 T1 某节点对 T2 其它节点直接影响之和。

在交叉滞后网络中, 入预测性是指在某一测量时间点下, 某个节点的变异由前一时间点的所有节点所解释的程度的占比; 出预测性是指在某一测量时间点下, 所有节点的变异由前一测量时间点某个节点所解释程度占比。入预测性和出预测性分别表示每个节点被其他节点预测的程度, 以及对网络中其他节点的预测程度 (Wysocki et al., 2022)。在此基础上, 考虑到网络适应与网络成瘾网络的二元属性, 本研究通过计算跨集群指标, 包括跨集群入预测性和跨集群出预测性 (即 T2 上某一节点的变异被另一个集群的 T1 所有节点解释的程度以及某个 T1 节点占其他集群中所有 T2 节点变异的程度) 对不同集群的节点之间的相互预测的程度进行区分 (Haslbeck & Fried, 2017; Haslbeck et al., 2021)。较高的跨集群入预测性表明节点受前一个时间点外集群所有节点的影响程度较大; 较高的跨集群出预测性则表明节点对后一时间点的外集群所有节点的影响较大 (Wysocki et al., 2022)。

3.3.4 可视化与稳健性评估

横断网络和交叉滞后网络的可视化均通过 qgraph 包 (1.9.5 版本) 实现 (Epskamp et al., 2012)。网络中所有节点的位置由 Fruchterman-Reingold 算法决定, 该算法将关联更强的节点放置在彼此更近的位置 (Fruchterman & Reingold, 1991)。网络中的边线代表控制了其他变量影响后两个节点之间的偏相关系数, 更粗和更饱和的线条表明关系更强。节点之间的蓝线代表正相关关系, 红线代表负相关关系。为了清晰呈现网络图, 交叉滞后网络中的自回归路径予以省略。边线估计的准确性通过 Bootstrap 法对网络进行 1000 次迭代以绘制各条边线的 95% 非参数自举置信区间进行检验 (Epskamp, Borsboom & Fried, 2018)。所有中心性指标 (节点强度、节点

预期影响、出预期影响和入预期影响) 的稳健性通过 Case-dropping 方法进行检验, 并以相关稳定性系数 (CS 系数) 作为结果 (Borsboom et al., 2021)。CS 系数 ($cor = 0.7$) 表示在 95% 的置信区间内, 通过 Case-dropping 方法获得的自举样本的中心性指标与原始样本的中心性指标之间可以保持至少 0.7 的相关性时的样本占比。CS 系数在 0.25 ~ 0.50 之间时, 表明该中心性指标稳健性较好, CS 系数大于 0.5 则表示稳健性强 (Epskamp, Borsboom & Fried, 2018; Isvoranu et al., 2022)。

4 结果

4.1 描述性统计结果

青少年网络适应和网络成瘾各维度的均值和标准差见表 1。所有项目的偏度 (-0.38 ~ 1.36) 和峰度 (-0.94 ~ 1.03) 表明数据基本呈正态分布 (Byrne, 2010; Curran et al., 1996), 满足进行网络分析的条件。

4.2 青少年网络适应的横断网络

青少年网络适应各维度的横断网络如图 2 所示。在该网络中, 节点代表网络适应的维度, 边代表维度之间的正则化偏相关。8 个节点通过 28 条边线连接构成了青少年网络适应的维度网络, 网络密度为 1, 各条边的权重从 -0.11 到 0.52 不等, 平均权重为 0.12。网络适应横断网络的边线系数见网络版附录表 S2。在网络适应的维度网络中, “网络好奇心” (强度 = 1.18) 是强度最高的节点, 并且其强度显著高于其余节点, 表明“网络好奇心”对网络中其他节点的影响最强。“网络积极应对” (预期影响 = 1.04) 和“网络自我效能” (预期影响 = 1.08) 是预期影响最高的两个节点, 且这两个节点的预期影响显著高于其余其他节点, 表明两者是对网络适应整体结构影响最强的两个节点 (见图 3, 网络版附录图 S1 和 S2)。强度和预期影响的 CS 系数均为 0.75, 表明该指标的稳定性良好 (详见网络版附录图 S3)。网络中权重最高的边线是“网络信息保护-网络积极应对” ($r = 0.52$) 和“网络好奇心-网络自我效能感” ($r = 0.43$), 这两条边线显著强于网络中的其余边线 (见网络版附录图 S4)。值得注意的是, 在网络适应的横断网络中, 存在几条权重为负的边线, 分别是“网络自我控制-网络好奇心” ($r = -0.11$) 和“网络信息保护-网络好奇心” ($r = -0.02$)。边线估计的准确性检验表现良好, 见网络版附录图 S5。

表 1 网络适应和网络成瘾的各维度描述性统计结果

维度	N = 5783			N = 1235 (T1)			N = 1235 (T2)		
	Mean (SD)	偏度	峰度	Mean (SD)	偏度	峰度	Mean (SD)	偏度	峰度
网络自我控制	3.95(1.07)	0.11	-0.15	4.13(1.06)	0.03	-0.43	4.49(0.93)	-0.25	-0.28
网络人际交往	3.87 (1.06)	-0.04	-0.08	3.93(1.07)	-0.17	-0.13	4.44(0.92)	-0.19	-0.27
网络信息搜索	4.07(1.15)	-0.21	-0.13	4.07(1.17)	-0.31	-0.11	4.36(1.06)	-0.41	0.00
网络信息保护	4.39(1.09)	-0.26	-0.44	4.50(1.06)	-0.38	-0.42	4.53(0.96)	-0.40	-0.10
网络积极应对	4.54(1.05)	-0.32	-0.31	4.72(0.99)	-0.38	-0.52	4.65(0.93)	-0.43	0.25
网络学习能力	4.06(1.04)	-0.06	0.13	4.05(1.06)	-0.13	0.06	4.49(0.95)	-0.29	-0.04
网络自我效能	3.97(1.11)	0.01	-0.10	3.94(1.15)	-0.08	-0.20	4.48(0.98)	-0.31	-0.08
网络好奇心	4.11(1.02)	-0.08	0.12	4.13(1.03)	-0.18	0.10	4.42(0.93)	-0.18	-0.11
渴求性	-	-	-	2.41(1.00)	0.41	-0.11	2.72(1.08)	0.14	-0.49
耐受性	-	-	-	2.28(1.04)	0.44	-0.38	2.57(1.13)	0.20	-0.66
行为失控	-	-	-	2.24(1.07)	0.52	-0.36	2.48(1.15)	0.32	-0.66
戒断性	-	-	-	2.00(1.08)	0.84	-0.08	2.25(1.13)	0.53	-0.55
时间延长	-	-	-	2.57(1.16)	0.31	-0.70	2.66(1.13)	0.16	-0.71
负面后果	-	-	-	1.62(0.93)	1.36	1.03	2.01(1.12)	0.71	-0.57
欺骗性	-	-	-	1.94(1.06)	0.91	0.11	2.22(1.15)	0.48	-0.73
逃避性	-	-	-	2.24(1.18)	0.62	-0.45	2.52(1.28)	0.30	-0.94

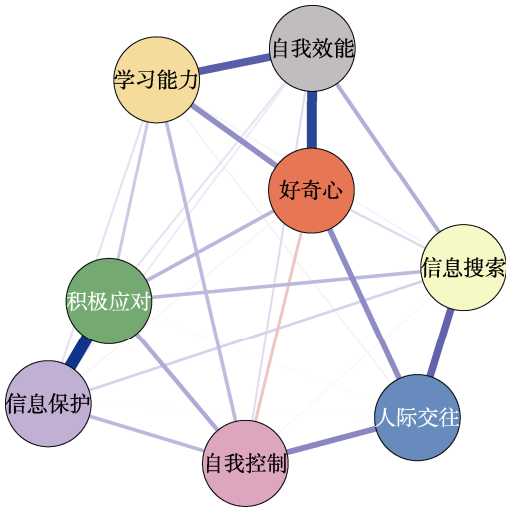


图 2 网络适应内部维度的正则化偏相关网络

注：边线越宽，表示节点间的有条件相关性越强；蓝色边线表示正向关系，红色边线表示负向关系。彩图见电子版

4.3 青少年网络适应的交叉滞后网络

网络比较结果显示，T1 网络(总体强度 = 3.52)与 T2 网络(总体强度 = 3.79)的总体强度差异不显著 ($p = 0.120$)，而网络不变性检验未通过($p < 0.001$) (见图 4，边线系数见网络版附录表 S3 和 S4)。两个时间点的网络在总体强度上未表现出显著差异，表明网络连接的整体强度保持了相对稳定。然而网络不变性检验结果表明，网络适应网络的整体拓扑结构在这两个时间点之间发生了显著变化。局部分析发现，节点强度存在显著差异的比例为 3/8，节点

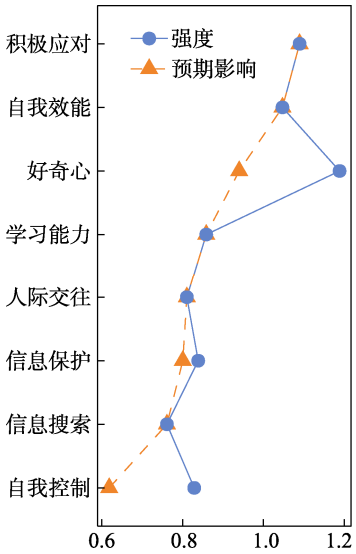


图 3 网络适应节点强度与预期影响

预期影响存在显著差异的比例为 5/8，边线系数存在显著差异的比例为 11/28 (详见网络版附录表 S5、S6 和 S7)。这些变化揭示了某些关键节点和边线在不同时间点之间的作用发生了显著变化。虽然这些局部特征的变化未显著影响网络的总体强度，但对网络适应网络的整体结构产生了重要的重构效应，可能导致内部功能和信息流转方式的调整。

青少年网络适应的交叉滞后网络如图 5 所示，在这个网络中，各个节点代表网络适应的一个维度，边线是各个维度之间的正则化回归系数。8 个节点

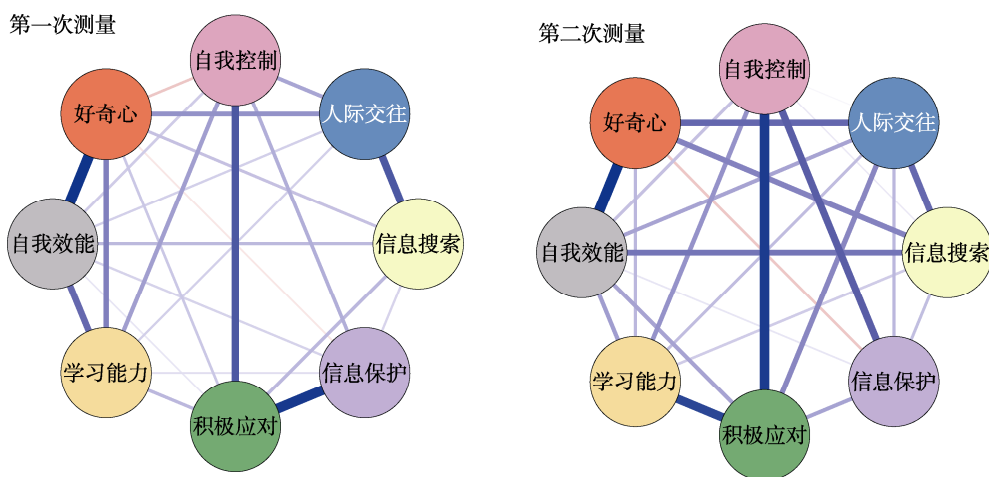


图4 T1和T2时间点的横断网络

注: 为了便于直观比较, 此处选择以环形网络呈现。

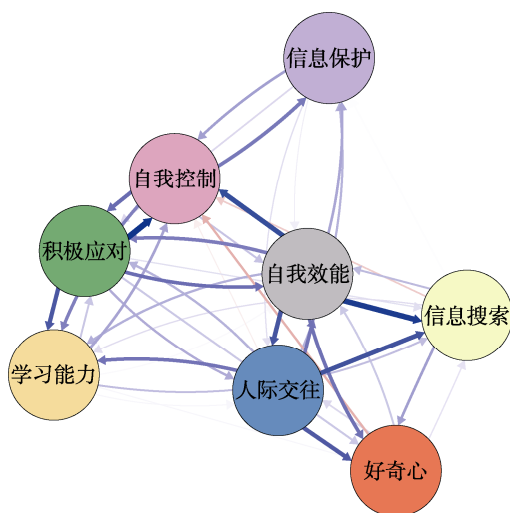


图5 青少年网络适应交叉滞后网络(省略自回归路径)

通过 43 条有向边线连接构成了青少年网络适应的跨时间交叉滞后网络模型。网络密度为 0.76, 各条边的权重从-0.04 到 0.14 不等, 平均权重为 0.03 (边线系数详见网络版附录表 S8)。如图 6 所示, “网络学习能力”(入预期影响 = 0.31)和“网络自我效能”(出预期影响 = 0.60)是网络中出预期影响最强的节点; “网络信息搜索”(入预期影响 = 0.30)是入预期影响最强的节点。出预期影响和入预期影响的 CS 系数分别为 0.361 和 0.361, 表明这两个指标的稳定性是可接受的(见网络版附录图 S6)。上述结果表明网络适应的交叉滞后网络中最具有预测作用的节点是“网络自我效能”, 而受预测最强的节点则是“网络学习能力”和“网络信息搜索”。

Bootstrap 法估计的各边线权重的 95%置信区间表明边线的估计较为准确(见网络版附录图 S7)。网络中最强的边线为“网络积极应对”对“网络自我

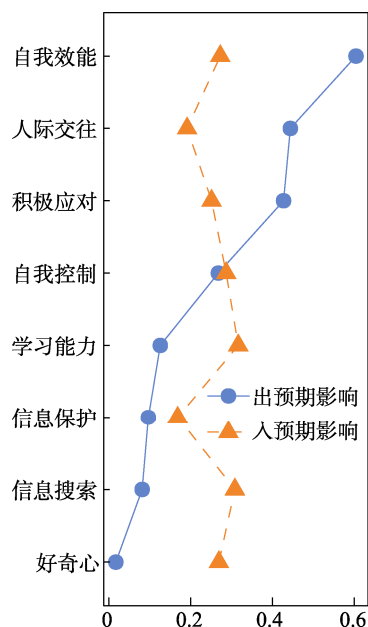


图6 网络适应交叉滞后网络的出预期影响与入预期影响

控制”的直接预测作用($r = 0.15$), 以及“网络自我效能”对“网络信息搜索”的直接预测作用($r = 0.13$), 且这两条边分别显著强于网络中 74.54% 以及 54.54% 的边线(见网络版附录图 S8)。除此以外, T1 的“网络好奇心”对 T2 的“网络自我控制”具有较强的负向预测作用, 值得进一步探讨。

4.4 青少年网络适应和网络成瘾的交叉滞后网络

青少年网络适应和网络成瘾的交叉滞后网络如图 7 所示, 16 个节点通过 168 条有向边线连接构成了青少年网络适应的跨时间交叉滞后网络模型。网络密度为 0.65, 各条边的权重从-0.16 到 0.16 不等, 平均权重为 0.02 (边线系数详见网络版附录表 S9)。

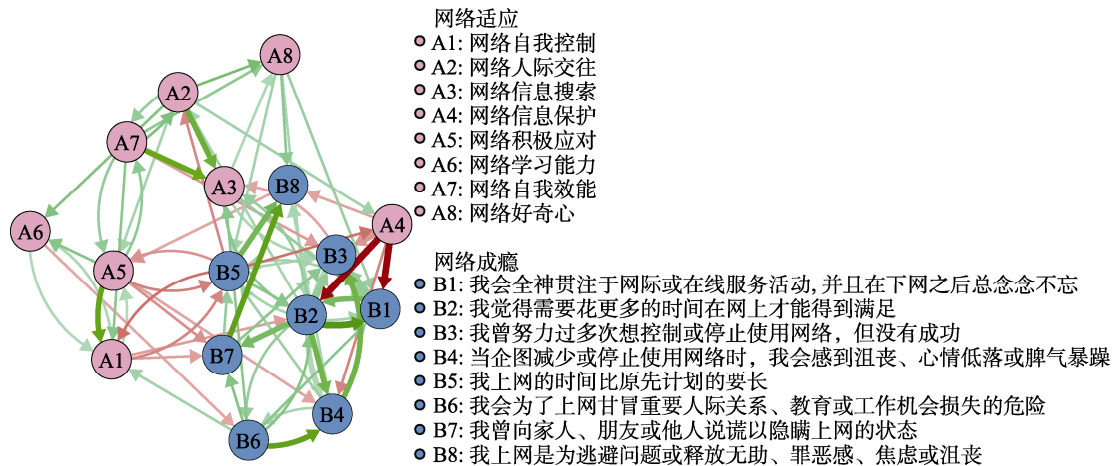


图 7 T1 网络适应与 T2 网络成瘾的交叉滞后网络模型

考虑到本研究关注的内容在于青少年网络适应对于网络成瘾的预测作用, 因此专门计算了跨集群入预测性和跨集群出预测性与桥边线。跨集群入预测性和跨集群出预测性可以揭示各个节点被外集群节点预测的程度以及对外集群某节点的预测程度。桥边线是指位于两个不同集群的节点之间连接所形成的边线。交叉滞后网络分析显示, “网络信息保护”(跨集群出预测性 = 0.06, $CS = 0.439$)是网络适应集群中跨集群出预测性最强的节点, 表明“网络信息保护”是网络适应集群中对网络成瘾集群内节点的预测作用最大的节点。各节点的跨集群入预期性均较为接近, 没有突出的节点, 因此不再做深入分析(见图 8)。总体上连接网络适应集群和网络成瘾集群的桥边线主要是由网络适应集群的节点指向网络成瘾集群, 最强的桥边线是: “网络信息保护”对“B1”、“B2”的直接预测作用($r = -0.16/-0.15$), 且分别显著强于网络中 92.91%以及 90.55%的桥边线。

5 讨论

正所谓“适者生存, 优胜劣汰”。当前互联网成

为信息获取、社交互动和教育学习的关键渠道, 且瞬息万变。青少年的网络适应能力必须不断提高, 以紧跟快速前进的信息步伐。网络适应本身是一个错综复杂的多维系统, 它涉及多个演进阶段与不同维度要素(王伟军 等, 2021)。然目前仍缺乏对网络适应内部拓扑性质和作用机制的探讨。因此本研究首次采用网络分析方法探讨青少年的网络适应问题, 内容主要从以下三个层面展开: 首先, “一维”层面, 利用横断网络分析探讨青少年网络适应的核心特征, 以提供对青少年在数字世界中成功适应的全面理解; 然后, “二维”层面, 通过网络比较深入研究青少年网络适应内部结构的跨时间演变, 以更好地揭示青少年网络适应的动态变化; 最后, “三维”层面, 通过构建交叉滞后二元网络模型, 深入探讨网络适应对外部变量形成影响的核心节点与关键通路。下面将对研究的主要发现进行提炼与讨论。

5.1 青少年网络适应的核心成分

横断网络分析结果指出, “网络好奇心”是强度最高的节点。作为网络适应条件准备阶段的关键成分, 网络好奇心在青少年的网络适应中占据核心地位, 反映出青少年对互联网信息和技术进行自主探

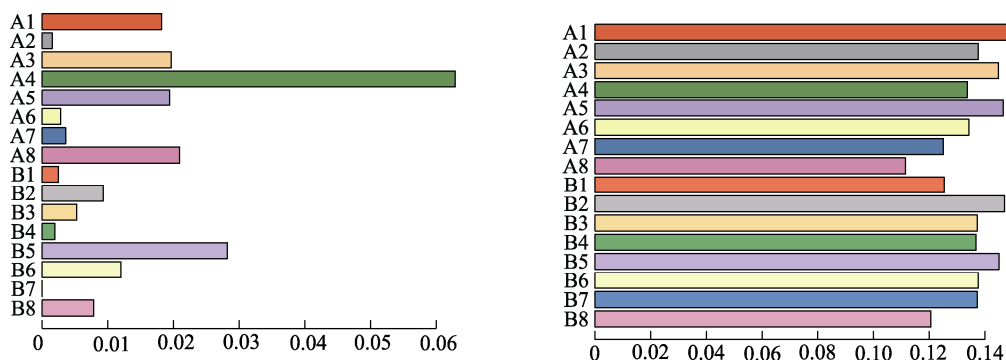


图 8 网络适应与网络成瘾交叉滞后网络的跨集群出预测性(左)和跨集群入预测性(右)

索的重要性。好奇心本质上是一种情感和认知的复合体验,它激发个体探索未知、解决不确定性(Loewenstein, 1994)。从横断网络图可直观看出,网络好奇心与网络自我效能、网络人际交往以及网络学习能力的联结较强。这表明网络好奇心不仅是推动应用技能和信息获取的内在动力,也是社交扩展和自我效能感提升的重要源泉(黄骐 等, 2021)。然而,“网络好奇心”与“网络自我控制”之间的负性连接揭示了一个复杂而重要的关系:尽管好奇心促进了青少年的探索和学习,但它也可能影响个体管控自身在线行为的能力(Bowler, 2010)。根据自我控制理论,个体的自我控制资源是有限的(Muraven & Baumeister, 2000)。青少年在网络环境中探索新网站或应用时,虽然能增长知识和信息,但可能会过度消耗认知资源,降低自我控制力(Baumeister et al., 2007; 黎建斌, 2013),导致难以抵制干扰和诱惑,引发问题性使用和沉迷。

5.2 青少年网络适应的关键内部机制

在网络适应网络中,权重最高的边线是“网络信息保护-网络积极应对”和“网络好奇心-网络自我效能”,且这两条边线显著强于网络中的其余边线。这不仅说明了这些维度之间的强相关性,还反映了它们在整个网络适应框架中的关键作用。“网络信息保护-网络积极应对”这一较强连接表明,信息保护意识强的青少年更可能识别出潜在的网络风险,从而有效地采取防范措施。同时,网络信息保护还通过网络自我控制与网络积极应对产生间接联系(如图2所示)。计划行为理论(Ajzen, 1985)提供了对这一过程的解释。具体而言,个体的行为意图是预测实际行为最直接的因素,而行为意图受态度、主观规范和感知行为控制三个因素的影响。相对应地,在青少年网络适应情境中,网络信息保护既反映了维护个人隐私信息的态度倾向,又反映了对网络环境中隐私侵犯风险与主观信息保护规范的对照过程。网络自我控制则可以视作影响个体行为意图的第三个因素——感知行为控制。因此,具有较强网络信息保护能力的青少年能够更快地识别潜在的网络风险,进而采取应对措施(Vance et al., 2014)。总之,网络信息保护是网络适应行为的基础,而网络积极应对策略则是网络适应行为的深化和拓展。两者相辅相成,共同促进个体在网络环境中的良好适应。

“网络好奇心-网络自我效能”这一边线的突出强度表明,青少年的网络好奇心显著提升了他/她

们的网络自我效能。网络好奇心是驱动个体在网络环境中自发地探索和学习的一种内在动机(Loewenstein, 1994)。这种动机不仅能够激发持久的行为参与,还能通过自主探索带来正向反馈,进一步增强个体的自我效能感(Ryan & Deci, 2000)。根据自我效能理论,自我效能感是个体对自身成功应对特定任务或挑战的信心(Bandura, 1977)。在网络环境中,青少年的网络好奇心促使他/她们不断探索、尝试和掌握新技能,这些积极的体验和成功的经历使其在面对网络挑战时表现出更强的信心和能力。因此,网络好奇心不仅是青少年网络行为的内在驱动力,也是提升其网络自我效能的关键因素。

5.3 青少年网络适应的跨时间稳定性

横断网络比较分析表明,网络适应的总体强度在时间维度上表现出稳定性,但其内部各成分的中心性以及部分边线强度随时间的推移发生变化。这一结果与现有文献中提到的青少年网络适应的过程性、阶段性和复杂性相一致(王伟军 等, 2021),强调了青少年在网络环境中的适应状态并非一成不变,而是受多种因素的影响并可能随时间而发生动态变化。此外,网络适应内部的动态变化揭示了网络适应的可塑性。这种可塑性不仅体现在青少年网络适应的个体差异上,还表现在适应过程的多维度和多层次特征上。也即,网络适应各成分的中心地位以及成分之间的联系可能在不同时间阶段发挥不同的作用。因此,网络适应在时间维度上的动态变化也为进一步探讨其内部成分之间的跨时间有向网络关系提供了理论基础。

网络适应交叉滞后网络模型的结果显示,“网络自我效能”在青少年网络适应过程中具有最强的出预期影响,表明其不仅影响青少年自身的网络行为,还在更广泛的动态适应过程中发挥着关键作用。这种动态影响力体现在网络自我效能对青少年如何选择性地使用网络资源(网络自我控制和网络信息搜索)、处理网络互动(网络人际交往)以及应对在线挑战方面(网络积极应对)的持久作用。因此,网络自我效能不仅是驱动个体网络使用行为的基础因素,还是其长期网络适应力和韧性的根本来源。结合上一段关于“网络好奇心-网络自我效能”关系的探讨,有理由做如下解释:好奇心为青少年探索网络空间提供了最初的心理动力,激发其主动接触新信息、发掘新资源的倾向。而网络自我效能在这一过程中扮演了重要的转化角色,将青少年的探索动机转化为有效的网络适应行为。例如,具备

较高网络自我效能的青少年更有可能在遇到网络挑战时展现出应对能力,在网络学习、信息检索以及社交互动中表现得更加自信和适应(Wang et al., 2022; Wang & Wu, 2008)。换言之,网络自我效能可在青少年网络适应过程中起着“总舵手”的作用,引导他/她们更好地整合外部网络资源与自身网络需求。

“网络学习能力”和“网络信息搜索”具有最高的人预期影响,意味着这两个节点在 T2 的状态受 T1 其他节点较多的影响,是青少年网络适应的重要“落脚点”。该结果也呼应了它们在整个网络适应的发展中所处“适应持续”阶段,同时指明青少年的网络学习能力和网络信息搜索能力具备较强可塑性(王伟军等, 2021)。在数智化时代,青少年面临的信息环境复杂多样,既为网络学习和信息搜索带来了机遇,也提出了新的挑战。首先,信息获取的多样性使得青少年可以随时随地访问海量学习资源,满足个性化的学习需求。这种环境下,青少年利用网络平台进行有效学习的能力尤为关键。通过提升网络学习能力,青少年可以更好地利用网络资源进行自主学习和知识扩展,形成一种终身学习的意识和习惯。然而,信息的爆炸式增长也带来了“信息过载”和“信息迷失”的问题,青少年在面对海量信息时,如何进行筛选、分析和判断成为适应网络环境的关键。这种背景下,网络信息搜索能力的提升不仅关乎信息的获取效率,更涉及到信息质量的把控与思辨能力的培养。具备良好的网络信息搜索能力能够帮助青少年有效地在网络空间中提取有用信息,并基于对信息的理解作出合理判断,从而避免被虚假或低质量信息误导(Al-Maskari & Sanderson, 2011; De Simone et al., 2022)。总之,提升青少年的网络学习能力和信息搜索能力不仅是对技术技能的培养,更是对认知能力和思辨能力的全面塑造。

5.4 青少年网络适应与网络成瘾的关系

网络适应与网络成瘾的交叉滞后网络分析结果显示,网络信息保护对网络成瘾网络的直接影响最大。该结果主要源于网络信息保护对网络成瘾网络中“我会全神贯注于网际或在线服务活动,并且在下网之后总念念不忘网事”和“我觉得需要花更多的时间在线上才能得到满足”两个节点的强负向预测作用。这表明网络信息保护意识不仅影响个体的行为模式,还会影响心理状态。结合前文 5.2 对于“网络信息保护-网络积极应对”边线的强连接的

讨论,笔者认为在网络适应网络的不同阶段,网络信息保护的作用有所差异。在初始阶段,网络信息保护主要起到预防作用;而在后续阶段,网络信息保护能力则支持个体更好地实施网络积极应对策略。因此网络信息保护不仅在认知层面上增强了他/她们对网络风险的敏感度和防范意识,还在行为层面上促进健康网络使用习惯的形成(Li et al., 2019; Mamonov & Benbunan-Fich, 2018; van der Schyff & Flowerday, 2021)。

此外,网络适应网络的节点对之后时间的网络成瘾的预测作用中,“网络好奇心”的预测作用均为正向,且同时指向了 B1、B2 和 B8 节点。该结果再次反映了网络好奇心在青少年网络适应过程中的“双刃剑”作用。尽管好奇心通常被视为推动知识探索和技能学习的正面特质,但在网络使用中,过高的好奇心可能促进了对网络活动的 unhealthy 依赖,加剧了网络成瘾的风险(Hsu et al., 2009)。结合前文 5.1 对“网络好奇心”和“网络自我控制”的结果阐释,此处还存在另一种可能的解释,即个体较强的网络好奇心如果未得到满足,这种对信息的需求会转化为对即时奖励的普遍渴望,进一步可能引起放纵和成瘾行为(Wiggin et al., 2019)。总之,在鼓励青少年发展网络好奇心的同时,也应引导他/她们建立健康的网络使用习惯,以防止过度好奇心引发失控的网络使用行为。

5.5 不足与展望

本研究仍存在以下局限性:其一,本研究的样本仅来自湖北和湖南两个地区,可能影响结果的普遍性和外部效度。未来研究应扩大取样范围,以涵盖更多地区和不同社会经济背景的青少年,提高研究结果的代表性和普适性。其二,本研究的数据全部来自于青少年的自我报告,不可避免地带来了社会赞许效应的影响。未来研究可考虑更直接的行为数据。其三,当前研究仅选取了网络成瘾作为网络适应的外部联结,可能未能全面覆盖青少年网络适应的各个方面。未来研究可引入更多元的指标,如心理健康、学业表现和社会交往能力等,以更全面评估青少年网络适应情况对自身发展的影响。

6 结论

本研究首次采用网络分析方法深入探讨青少年网络适应的内外部性质。主要结论如下:

- (1)青少年网络适应具备动态性与阶段性;
- (2)网络自我效能对总体网络适应发展过程影

响最强,起“总舵手”作用;

(3)网络好奇心在网络适应过程中发挥“双刃剑”作用,过低会导致网络自我效能的不足,过高会引起网络自我控制的缺乏;

(4)网络学习能力和网络信息搜索在网络适应过程中受到最多的内部影响,是青少年网络适应的重要“落脚点”;

(5)网络信息保护对网络成瘾网络的负向预测性最强,是青少年网络适应的“守护者”。

参 考 文 献

- Al-Maskari, A., & Sanderson, M. (2011). The effect of user characteristics on search effectiveness in information retrieval. *Information Processing & Management*, 47(5), 719–729.
- Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behavior. In Kuhl, J., Beckmann, J. (Eds.), *Action control* (pp. 11–39). Springer.
- Bandura A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84(2), 191–215.
- Baumeister, R. F., Vohs, K. D., & Tice, D. M. (2007). The strength model of self-control. *Current Directions in Psychological Science*, 16(6), 351–355.
- Bekkhush, M., McVarnock, A., Coplan, R. J., Ulset, V., & Kraft, B. (2023). Developmental changes in the structure of shyness and internalizing symptoms from early to middle childhood: A network analysis. *Child Development*, 94(4), 1078–1086.
- Borsboom, D., & Cramer, A. O. (2013). Network analysis: An integrative approach to the structure of psychopathology. *Annual Review of Clinical Psychology*, 9(1), 91–121.
- Borsboom, D., Deserno, M. K., Rhemtulla, M., Epskamp, S., Fried, E. I., McNally, R. J., ... Waldorp, L. J. (2021). Network analysis of multivariate data in psychological science. *Nature Reviews Methods Primers*, 1(1), 1–18.
- Bowler, L. (2010). The self-regulation of curiosity and interest during the information search process of adolescent students. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 61(7), 1332–1344.
- Bringmann, L. F., Elmer, T., Epskamp, S., Krause, R. W., Schoch, D., Wichers, M., ... Snippe, E. (2019). What do centrality measures measure in psychological networks?. *Journal of Abnormal Psychology*, 128(8), 892–903.
- Bringmann, L. F., & Eronen, M. I. (2018). Don't blame the model: Reconsidering the network approach to psychopathology. *Psychological Review*, 125(4), 606–615.
- Byrne, B. M. (Ed.) (2010). *Structural equation modeling with AMOS: Basic concepts, applications, and programming*. Routledge.
- Cai, Y., Dong, S., Yuan, S., & Hu, C. P. (2020). Network analysis and its applications in psychology. *Advances in Psychological Science*, 28(1), 178–195.
- [蔡玉清, 董书阳, 袁帅, 胡传鹏. (2020). 变量间的网络分析模型及其应用. *心理科学进展*, 28(1), 178–195.]
- Chen, J. W., & Wang, T. (2003). On social adaptation: Mental mechanism, structure and function. *Journal of Educational Science of Hunan Normal University*, 2(4), 90–94.
- [陈建文, 王滔. (2003). 关于社会适应的心理机制、结构与功能. *湖南师范大学教育科学学报*, 2(4), 90–94.]
- Curran, P. J., West, S. G., & Finch, J. F. (1996). The robustness of test statistics to nonnormality and specification error in confirmatory factor analysis. *Psychological Methods*, 1(1), 16–29.
- De Simone, C., Battisti, A., & Ruggeri, A. (2022). Differential impact of web habits and active navigation on adolescents' online learning. *Computers in Human Behavior Reports*, 8, 100246. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2022.100246>
- Du, H., Niyato, D., Kang, J., Xiong, Z., Zhang, P., Cui, S., ... Kim, D. I. (2024). The age of generative AI and AI-generated everything. *IEEE Network*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1109/MNET.2024.3422241>
- Epskamp, S., Borsboom, D., & Fried, E. I. (2018). Estimating psychological networks and their accuracy: A tutorial paper. *Behavior Research Methods*, 50(1), 195–212.
- Epskamp, S., Cramer, A. O., Waldorp, L. J., Schmittmann, V. D., & Borsboom, D. (2012). Qgraph: Network visualizations of relationships in psychometric data. *Journal of Statistical Software*, 48(4), 1–18.
- Epskamp, S., Waldorp, L. J., Möttus, R., & Borsboom, D. (2018). The Gaussian graphical model in cross-sectional and time-series data. *Multivariate Behavioral Research*, 53(4), 453–480.
- Friedman, J., Tibshirani, R., & Hastie, T. (2010). Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent. *Journal of Statistical Software*, 33(1), 1–22.
- Fruchterman, T. M., & Reingold, E. M. (1991). Graph drawing by force-directed placement. *Software: Practice and Experience*, 21(11), 1129–1164.
- Fumero, A., Marrero, R. J., Voltes, D., & Peñate, W. (2018). Personal and social factors involved in internet addiction among adolescents: A meta-analysis. *Computers in Human Behavior*, 86, 387–400.
- Funkhouser, C. J., Chacko, A. A., Correa, K. A., Kaiser, A. J., & Shankman, S. A. (2021). Unique longitudinal relationships between symptoms of psychopathology in youth: A cross-lagged panel network analysis in the ABCD study. *Journal of child psychology and psychiatry*, 62(2), 184–194.
- Haslbeck, J. M. B., & Fried, E. I. (2017). How predictable are symptoms in psychopathological networks? A reanalysis of 18 published datasets. *Psychological Medicine*, 47(16), 2767–2776.
- Haslbeck, J. M. B., Borsboom, D., & Waldorp, L. J. (2021). Moderated Network Models. *Multivariate Behavioral Research*, 56(2), 256–287.
- Hsu, S. H., Wen, M. H., & Wu, M. C. (2009). Exploring user experiences as predictors of MMORPG addiction. *Computers & Education*, 53(3), 990–999.
- Huang, Q., Chen, C., Luo, Y., & Wu, H. (2021). The mechanism and function of curiosity. *Advances in Psychological Science*, 29(4), 723–736.
- [黄骐, 陈春萍, 罗跃嘉, 伍海燕. (2021). 好奇心的机制及作用. *心理科学进展*, 29(4), 723–736.]
- Isvoranu, A.-M., Epskamp, S., Waldorp, L., & Borsboom, D. (Eds.). (2022). *Network Psychometrics with R: A Guide for Behavioral and Social Scientists*. Routledge.
- Jiang, Y. Z., Bai, X. L., A, Latanbagen., Liu, Y., Li, M., & Liu, G. Q. (2016). Problematic social networks usage of adolescent. *Advances in Psychological Science*, 24(9), 1435–1447.
- [姜永志, 白晓丽, 阿拉坦巴根, 刘勇, 李敏, 刘桂芹. (2016). 青少年问题性社交网络使用. *心理科学进展*, 24(9), 1435–1447.]
- Li, J. (2013). The mechanism of why self-control resources and cognitive resources influence each other: An integrated

- model. *Advances in Psychological Science*, 21(2), 235–242.
- [黎建斌. (2013). 自我控制资源与认知资源相互影响的机制: 整合模型. *心理科学进展*, 21(2), 235–242.]
- Li, L., He, W., Xu, L., Ash, I., Anwar, M., & Yuan, X. (2019). Investigating the impact of cybersecurity policy awareness on employees' cybersecurity behavior. *International Journal of Information Management*, 45, 13–24.
- Li, Y., & Kwok, S. Y. (2023). A longitudinal network analysis of the interactions of risk and protective factors for suicidal potential in early adolescents. *Journal of Youth and Adolescence*, 52(2), 306–318.
- Li, Y., Zhong, B. L., Liu, X. B., Zhang, Y., Zhu, J. H., & Hao, W. (2012). Reliability and validity of the Chinese version of self-rating Young's diagnostic questionnaire of internet addiction: A preliminary study. *Chinese Journal of Drug Dependence*, 21(5), 390–394.
- [李毅, 钟宝亮, 刘学兵, 张尧, 朱军红, 郝伟. (2012). 自评 Young 氏网络成瘾诊断问卷中文版信效度的初步研究. *中国药物依赖性杂志*, 21(5), 390–394.]
- Lim, W. M., Gunasekara, A., Pallant, J. L., Pallant, J. I., & Pechenkina, E. (2023). Generative AI and the future of education: Ragnarök or reformation? A paradoxical perspective from management educators. *The International Journal of Management Education*, 21(2), 100790.
- Loewenstein, G. (1994). The psychology of curiosity: A review and reinterpretation. *Psychological Bulletin*, 116(1), 75–98.
- Mamonov, S., & Benbunan-Fich, R. (2018). The impact of information security threat awareness on privacy-protective behaviors. *Computers in Human Behavior*, 83, 32–44.
- Moretta, T., & Buodo, G. (2020). Problematic Internet use and loneliness: How complex is the relationship? A short literature review. *Current Addiction Reports*, 7, 125–136.
- Muraven, M., & Baumeister, R. F. (2000). Self-regulation and depletion of limited resources: Does self-control resemble a muscle? *Psychological Bulletin*, 126(2), 247–259.
- Neugnot-Cerlioli, M., & Laurenty, O. M. (2024). The future of child development in the AI era: Cross-disciplinary perspectives between AI and child development experts. *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.19275>.
- Ordóñez-Carrasco, J. L., Sayans-Jiménez, P., & Rojas-Tejada, A. J. (2023). Ideation-to-action framework variables involved in the development of suicidal ideation: A network analysis. *Current Psychology*, 42(5), 4053–4064.
- Robinaugh, D. J., Millner, A. J., & McNally, R. J. (2016). Identifying highly influential nodes in the complicated grief network. *Journal of Abnormal Psychology*, 125(6), 747–757.
- Ramos-Vera, C., O'Diana, A. G., Villena, A. S., Bonf á -Araujo, B., Barros, L. D. O., Noronha, A. P. P., G ó mez-Acosta, A., Sierra-Bar ó n, W., Gerymski, R., Ogundokun, R. O., Babatunde, A. N., Abdulahi, A. T., & Adeniyi, E. A. (2023). Dark and Light Triad: A cross-cultural comparison of network analysis in 5 countries. *Personality and Individual Differences*, 215, 112377.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54–67.
- Ryan, T., & Xenos, S. (2011). Who uses Facebook? An investigation into the relationship between the Big Five, shyness, narcissism, loneliness, and Facebook usage. *Computers in Human Behavior*, 27(5), 1658–1664.
- Tibshirani, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 58(1), 267–288.
- Urban, M., Dëchtërenko, F., Lukavský, J., Hrabalová, V., Svacha, F., Brom, C., & Urban, K. (2024). ChatGPT improves creative problem-solving performance in university students: An experimental study. *Computers & Education*, 215, 105031.
- van Borkulo, C. D., van Bork, R., Boschloo, L., Kossakowski, J. J., Tio, P., Schoevers, R. A., ... & Waldorp, L. J. (2023). Comparing network structures on three aspects: A permutation test. *Psychological Methods*, 28(6), 1273–1285.
- Vance, A., Anderson, B. B., Kirwan, C. B., & Eargle, D. (2014). Using measures of risk perception to predict information security behavior: Insights from electroencephalography (EEG). *Journal of the Association for Information Systems*, 15(10). DOI: 10.17705/1jais.00375
- van der Schyff, K., & Flowerday, S. (2021). Mediating effects of information security awareness. *Computers & Security*, 106, 102313.
- Wang, F., Ni, X., Zhang, M., & Zhang, J. (2024). Educational digital inequality: A meta-analysis of the relationship between digital device use and academic performance in adolescents. *Computers & Education*, 213, 105003.
- Wang, J. L., Jackson, L. A., Wang, H. Z., & Gaskin, J. (2015). Predicting social networking site (SNS) use: Personality, attitudes, motivation and internet self-efficacy. *Personality and Individual Differences*, 80, 119–124.
- Wang, S., & Wu, P. (2008). The role of feedback and self-efficacy on web-based learning: The social cognitive perspective. *Computers & Education*, 51(4), 1589–1598.
- Wang, W. J., Dong, R. C., Huang, D. W., & Zhou, Z. K. (2021). Internet adaptation: Concept and model. *Journal of Nanchang University (Humanities and Social Sciences)*, 52(2), 45–54.
- [王伟军, 董柔纯, 黄大炜, 周宗奎. (2021). 网络适应: 概念与模型. *南昌大学学报(人文社会科学版)*, 52(2), 45–54.]
- Wang, W., Ma, S., Han, X., & Zhao, X. (2023). The impact of internet adaptability on internet addiction: The serial mediation effect of meaning in life and anxiety. *Frontiers in Psychiatry*, 14, 1268539.
- Wang, Y., Cao, Y., Gong, S., Wang, Z., Li, N., & Ai, L. (2022). Interaction and learning engagement in online learning: The mediating roles of online learning self-efficacy and academic emotions. *Learning and Individual Differences*, 94, 102128.
- Wang, Y., Hu, Z., Feng, Y., Wilson, A., & Chen, R. (2020). Changes in network centrality of psychopathology symptoms between the COVID-19 outbreak and after peak. *Molecular Psychiatry*, 25(12), 3140–3149. <https://doi.org/10.1038/s41380-020-00881-6>
- Wiggin, K. L., Reimann, M., & Jain, S. P. (2019). Curiosity tempts indulgence. *Journal of Consumer Research*, 45(6), 1194–1212.
- Wysocki, A., van Bork, R., Cramer, A. O. J., & Rhemtulla, M. (2022). Cross-lagged network models. *PsyArXiv preprint*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/vjr8z>
- Xie, M., Li, F., Luo, Y. H., Ke, L., Wang, X., Wang, Y. (2022). A developmental model of job burnout dimensions among primary school teachers: Evidence from structural equation model and cross-lagged panel network model. *Acta Psychologica Sinica*, 54(4), 371–384.
- [谢敏, 李峰, 罗玉晗, 柯李, 王侠, 王耘. (2022). 小学教师职业倦怠维度发展顺序探究——来自结构方程模型和交叉滞后网络分析模型的证据. *心理学报*, 54(4), 371–384.]
- Yang, Y., Zhan, J., Ni, Y., Fan, Y., Zhang, Y., & Fang, Y. (2024). The influence of adolescents' internet adaptation on internet addiction: The mediating role of internet cultural adaptation. *Frontiers in Psychiatry*, 14, 1338343.
- Zhang, S., Zhao, X., Zhou, T., & Kim, J. H. (2024). Do you have AI dependency? The roles of academic self-efficacy, academic stress, and performance expectations on problematic AI usage behavior. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 1–14.
- Zhao, H., Ji, A. T., & Jin C. C. (2022). The relationship between family function and adolescent Internet adaptation: A dual moderating model. *Psychology: Techniques and*

Applications, 10(10), 596–606.
[赵航, 计艾彤, 金灿灿. (2022). 家庭功能与青少年网络适应的关系: 同伴关系和年龄的双重调节作用. *心理技术与应用*, 10(10), 596–606.]
Zheng, F., Khan, N. A., & Hussain, S. (2020). The COVID 19 pandemic and digital higher education: Exploring the

impact of proactive personality on social capital through internet self-efficacy and online interaction quality. *Children and Youth Services Review*, 119, 105694.
Zhou, T., & Zhang, C. (2024). Examining generative AI user addiction from a CAC perspective. *Technology in Society*, 78, 102653.

The topological structure of adolescents' internet adaptation: A longitudinal tracking study

DONG Wanghao, ZHANG Jie, MENG Sujie, JIA Min, WANG Weijun

(Key Laboratory of Adolescent Cyberpsychology and Behavior (CCNU), Ministry of Education; Key Laboratory of Human Development and Mental Health of Hubei Province; School of Psychology, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract

As the saying goes, “Survival of the fittest”. Nowadays, the Internet has become a critical channel for information acquisition, social interaction, and educational learning. Adolescents' internet adaptation capabilities must be continuously improved to adapt to this rapidly developing information age. Internet adaptation is inherently a “multidimensional system” encompassing various stages and dimensions. However, there remains a gap in the research exploring the internal topological characteristics and functional mechanisms of internet adaptation. Consequently, this study aims to employ network analysis techniques to elucidate the core characteristics, internal structure, dynamic evolution, and relationships with external variables of adolescents' internet adaptation through network analysis. This approach will offer a comprehensive framework for understanding adolescents' successful adaptation in the digital age and provide scientific insights for preventing and intervening in adolescent internet addiction.

This study collected all data through paper-and-pencil questionnaires. At Time 1, valid data were obtained from 5783 participants (Males for 37.4%, $M_{age} = 17.20$ years, $SD = 2.62$). Five months later, data from 1235 of these participants were tracked (Males for 38%, $M_{age} = 14.98$ years, $SD = 1.66$). Based on the research objectives, we conducted cross-sectional network analysis, network comparison, and cross-lagged network analysis. All cross-sectional and cross-lagged network analyses were primarily conducted using R (V.4.3.2). Network visualizations were created with the qgraph package (version 1.9.5). The accuracy of edge estimates was assessed by performing 1000 bootstrap iterations to construct 95% non-parametric bootstrap confidence intervals for each edge.

In the cross-sectional network of internet adaptation, “Internet curiosity” is the node with the highest strength (1.18). Network comparison results indicate no significant difference in the overall strength between the T1 (3.52) and the T2 network (3.79) ($p = 0.120$), although the network invariance test result is significant ($p < 0.001$). The cross-lagged network analysis shows that “Internet self-efficacy” has the strongest out-expected influence (0.60), “Internet learning ability” and “Internet information searching” has the strongest in-expected influence (0.31 & 0.30). Additionally, the cross-lagged network analysis of internet adaptation and internet addiction reveals that “Internet information protection capability” exhibits the strongest outgoing predictive ability.

The main conclusions are as follows: (1) Adolescent internet adaptation is characterized by its dynamic and staged nature; (2) Adolescents' internet curiosity plays a multifaceted role in their internet adaptation process: insufficient curiosity can lead to low internet self-efficacy, while excessive curiosity can result in poor internet self-control; (3) Internet self-efficacy has the most significant impact on the overall development of internet adaptation, serving as the “primary driving force”. (4) Internet learning ability and internet information search receive the most internal influence, constituting the main “landing point” of adolescents' internet adaptation. (5) Internet information protection is the strongest predictor of cross-cluster outgrowth of internet addiction networks, acting as a “guardian” of adolescents' internet adaptation.

Keywords adolescents, internet adaptation, internet addiction, topological structure, network analysis

附录

表 S1 网络适应与网络成瘾各题项

	节点	内容
网络自我控制	A1	我可以很好的利用网络来服务于我生活。
	A2	上网或者玩手机的时候,我通常都有明确的目的。
	A3	我的上网时间非常有规律。
	A4	网络对我来说就是一个工具。
	A5	我会有计划的安排自己的上网时间。
网络人际交往	A6	我在网上认识了更多志同道合的朋友。
	A7	在我喜欢的群里面,我会很积极的参与交流,表达自己的想法。
	A8	网上交友拓宽了我的视野。
	A9	如果没有触及底线,那我很乐意和观点不同的网友讨论问题。
	A10	我喜欢读网友们的评论,觉得能学到很多。
	A11	只要没有危害别人,网络中不同喜好的言论我都能接受。
	A12	在不违背公序良俗的前提下,我希望网络上可以多一些不同的想法。
网络信息搜索	A13	身边的朋友在网上搜不到自己想要的信息时,会向我求助。
	A14	感兴趣的文字,图片或者视频,我都有方法在网上搜到。
	A15	在网上,我通常可以准确地搜索到自己想要的信息。
网络信息保护	A16	我会使用不同的密码管理不同的账户。
	A17	我不会轻易连接那种没有密码的公共 WiFi。
	A18	我不会随意点开未知链接。
	A19	在发微博、玩 QQ 空间或者贴吧的时候,我会注意抹去和个人信息有关的图片或者文字。
网络积极应对	A20	在网络中遇到困难时,我会调整好自己的情绪去接受它。
	A21	在网络中遇到困难时,我会放松自己的心情,去排解它的压力。
	A22	在网络中遇到困难时,我会尝试换一个视角去看待。
	A23	在网络中遇到困难时,我会吸取别人或自己先前的经验,以求解决问题。
	A24	在网络中遇到困难时,我会努力去改变现状,使情况向好的一面转化。
	A25	在网络中遇到困难时,我会定一个解决方案。
网络学习能力	A26	在网上学习知识已经成为了我的习惯。
	A27	我喜欢在网上主动学习。
	A28	我会利用网上的学习资源提升自己的能力。
	A29	我会利用网络解决自己在学习上遇到的问题。
网络自我效能	A30	我相信自己能在较短的时间内掌握最新的网络技术。
	A31	我身边的大多数人能掌握的网络技能,我自信能很快掌握。
	A32	我有自信我可以非常熟练使用网络上的基本功能。
	A33	我有信心可以在网络中创造属于自己的作品。
	A34	当别的同学上网遇到问题时,我有自信我能帮到他。
网络好奇心	A35	学会一门新的网络技术常常使我感到兴奋。
	A36	网络中那些陌生的人和事常常让我感到很好奇。
	A37	我不会排斥网络上的新事物。
	A38	对于网络中的事物,我喜欢去探索我不熟悉的功能。
	A39	面对新的网络场景或者软件时,我会积极搜索更多的信息来使用它。
网络成瘾	B1	我会全神贯注于网际或在线服务活动,并且在下网之后总念念不忘网事。
	B2	我觉得需要花更多的时间在线上才能得到满足。
	B3	我曾努力过多次想控制或停止使用网络,但没有成功。
	B4	当我企图减少或停止使用,我会觉得沮丧、心情低落或是脾气容易暴躁。
	B5	我上网的时间比原先计划的要长。
	B6	我会为了上网而甘冒重要人际关系、工作、教育或工作机会损失的危险。
	B7	我曾向家人、朋友或他人说谎以隐瞒我涉入网络的状态。
	B8	我上网是为可以逃避问题或试着释放一些感觉诸如无助、罪恶感、焦虑或沮丧。

表 S2 网络适应横断网络的边线系数表

变量	自我控制	人际交往	信息搜索	信息保护	积极应对	学习能力	自我效能	好奇心
自我控制	0.00	0.24	0.01	0.13	0.16	0.12	0.06	-0.11
人际交往	0.24	0.00	0.31	0.00	0.01	0.02	0.00	0.23
信息搜索	0.01	0.31	0.00	0.08	0.13	0.02	0.15	0.06
信息保护	0.13	0.00	0.08	0.00	0.52	0.05	0.04	-0.02
积极应对	0.16	0.01	0.13	0.52	0.00	0.09	0.05	0.13
学习能力	0.12	0.02	0.02	0.05	0.09	0.00	0.33	0.22
自我效能	0.06	0.00	0.15	0.04	0.05	0.33	0.00	0.43
好奇心	-0.11	0.23	0.06	-0.02	0.13	0.22	0.43	0.00

表 S3 T1 时间点横断网络各边线系数

变量	自我控制	人际交往	信息搜索	信息保护	积极应对	学习能力	自我效能	好奇心
自我控制	0.00	0.14	0.00	0.13	0.29	0.15	0.08	-0.09
人际交往	0.14	0.00	0.29	0.00	0.00	0.07	0.07	0.18
信息搜索	0.00	0.29	0.00	0.06	0.11	0.00	0.11	0.09
信息保护	0.13	0.00	0.06	0.00	0.40	0.05	0.07	-0.04
积极应对	0.29	0.00	0.11	0.40	0.00	0.11	0.03	0.08
学习能力	0.15	0.07	0.00	0.05	0.11	0.00	0.25	0.21
自我效能	0.08	0.07	0.11	0.07	0.03	0.25	0.00	0.43
好奇心	-0.09	0.18	0.09	-0.04	0.08	0.21	0.43	0.00

表 S4 T2 时间点横断网络各边线系数

变量	自我控制	人际交往	信息搜索	信息保护	积极应对	学习能力	自我效能	好奇心
自我控制	0.00	0.01	0.03	0.26	0.36	0.16	0.09	0.00
人际交往	0.01	0.00	0.23	0.10	0.18	0.09	0.13	0.23
信息搜索	0.03	0.23	0.00	0.09	0.00	0.07	0.21	0.19
信息保护	0.26	0.10	0.09	0.00	0.13	0.00	0.03	-0.08
积极应对	0.36	0.18	0.00	0.13	0.00	0.33	0.13	0.00
学习能力	0.16	0.09	0.07	0.00	0.33	0.00	0.14	0.10
自我效能	0.09	0.13	0.21	0.03	0.13	0.14	0.00	0.40
好奇心	0.00	0.23	0.19	-0.08	0.00	0.10	0.40	0.00

表 S5 T1 和 T2 网络节点强度差异检验结果

节点	强度差异(T1-T2)
人际交往	-0.24***
信息搜索	-0.16**
自我效能	-0.11
积极应对	-0.10*
学习能力	-0.06
自我控制	-0.03
信息保护	0.04
好奇心	0.11

表 S6 T1 和 T2 网络节点预期影响差异检验结果

节点	预期影响差异(T1-T2)
自我控制	-0.20***
人际交往	-0.24***
信息搜索	-0.16**
信息保护	0.13**
积极应对	-0.10*
自我效能	-0.11
学习能力	-0.06
好奇心	0.03

注：图中***表示节点强度差异的 bootstrap 检验 p 值小于 0.001；
**表示节点强度差异的 bootstrap 检验 p 值小于 0.01；*表示节点
强度差异的 bootstrap 检验 p 值小于 0.05 (下同)

表 S7 两时间点网络边线差异

边线	边线加权值差异(T1-T2)	边线	边线加权值差异(T1-T2)
信息保护-积极应对	0.27***	信息搜索-信息保护	-0.03
自我控制-人际交往	0.13*	自我控制-信息搜索	-0.03
信息搜索-积极应对	0.11*	人际交往-好奇心	-0.06
学习能力-好奇心	0.11*	人际交往-自我效能	-0.06
学习能力-自我效能	0.11	自我控制-积极应对	-0.07
积极应对-好奇心	0.08	信息搜索-学习能力	-0.07*
人际交往-信息搜索	0.06	自我控制-好奇心	-0.09
信息保护-学习能力	0.05	信息搜索-好奇心	-0.10
信息保护-好奇心	0.04	积极应对-自我效能	-0.10**
信息保护-自我效能	0.03	人际交往-信息保护	-0.10**
自我效能-好奇心	0.03	信息搜索-自我效能	-0.10*
自我控制-学习能力	-0.01	自我控制-信息保护	-0.13**
自我控制-自我效能	-0.01	人际交往-积极应对	-0.18***
人际交往-学习能力	-0.02	积极应对-学习能力	-0.22***

表 S8 网络适应交叉滞后网络的边线系数表(省略自回归)

变量	自我控制	人际交往	信息搜索	信息保护	积极应对	学习能力	自我效能	好奇心
自我控制	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	0.07	0.03	0.00
人际交往	-0.01	0.00	0.11	0.04	0.04	0.08	0.08	0.10
信息搜索	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.05
信息保护	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
积极应对	0.15	0.05	0.02	0.00	0.00	0.10	0.08	0.03
学习能力	0.05	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
自我效能	0.12	0.11	0.13	0.05	0.08	0.04	0.00	0.08
好奇心	-0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00

表 S9 网络适应和网络成瘾的交叉滞后网络的边线系数表

变量	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
A1	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.05	0.02	0.00	-0.02	-0.06	-0.04	-0.05	-0.08	0.00	-0.06	-0.04
A2	0.00	0.00	0.11	0.06	0.06	0.09	0.07	0.10	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.04	0.00	0.00
A3	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.03	0.05	0.07	0.08	0.05	0.04	0.04	0.04	0.00	0.02
A4	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.16	-0.15	-0.06	-0.08	-0.03	-0.04	-0.03	-0.05
A5	0.13	0.04	0.03	0.00	0.00	0.09	0.08	0.04	-0.01	-0.04	-0.05	-0.05	-0.08	-0.04	-0.07	0.00
A6	0.05	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.05	0.00	0.00
A7	0.08	0.09	0.12	0.05	0.08	0.04	0.00	0.08	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A8	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.07	0.06	0.04	0.01	0.06	0.03	0.00	0.08
B1	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.10	0.07	0.01	0.06	0.02	0.00	0.00
B2	0.00	0.06	0.07	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.15	0.00	0.07	0.11	0.03	0.07	0.10	0.01
B3	-0.04	-0.03	-0.05	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00
B4	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.11	0.00	0.06	0.06	0.00	0.06
B5	-0.09	-0.07	-0.02	-0.09	-0.07	-0.01	0.00	-0.02	0.06	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.11
B6	0.06	0.00	0.08	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.08	0.09	0.00	0.13	0.02	0.00	0.09	0.00
B7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.08	0.00	0.07	0.04	0.00	0.14
B8	-0.03	0.00	-0.02	-0.04	-0.05	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

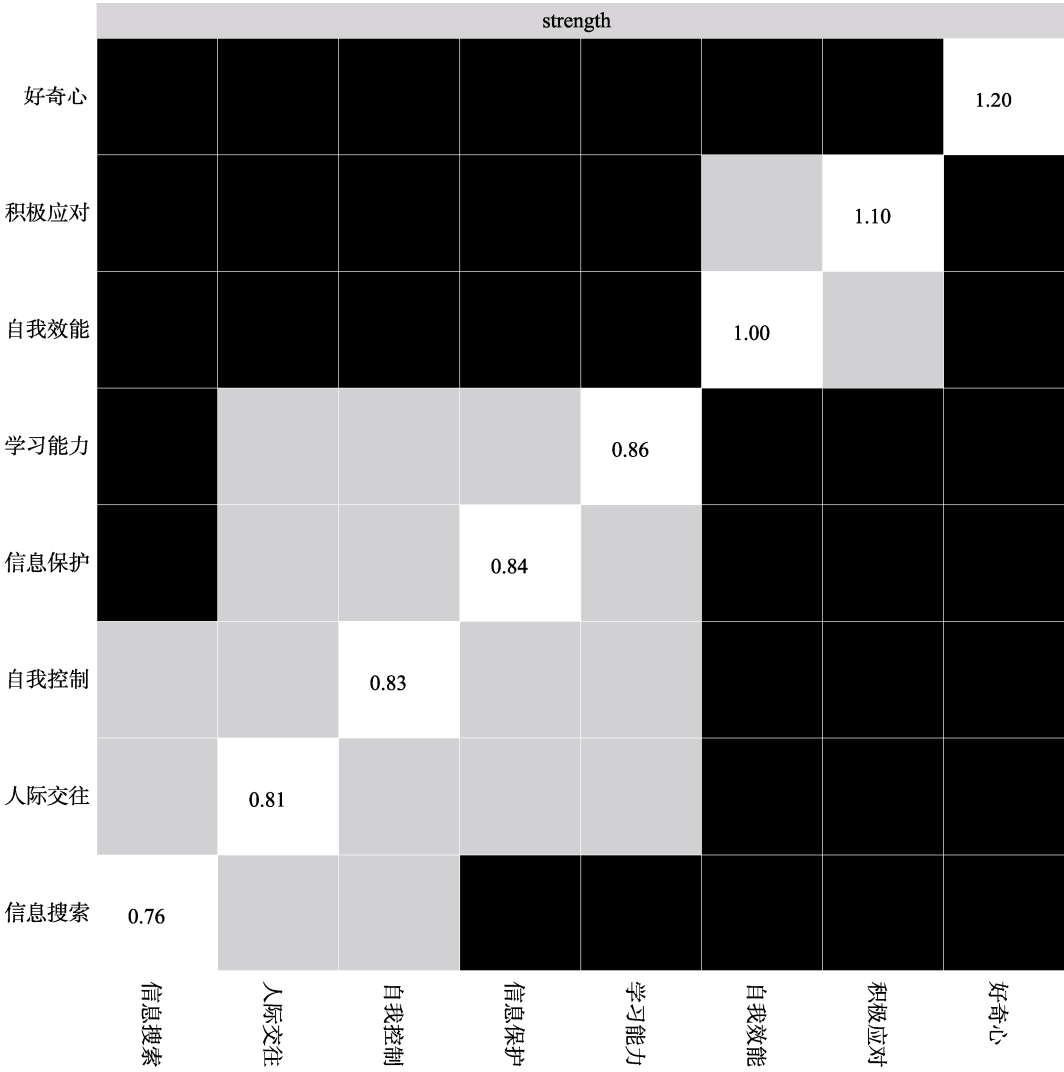


图 S1 非参数自举法检验网络适应横断网络各个节点强度差异

注：图中的黑色方块表示 bootstrap 方法得出的对应两个节点强度差异的 95%置信区间不包含零，灰色方块表示对应两个节点强度差异的 95%置信区间包含零。对角线表示各个节点强度的大小(下同)。

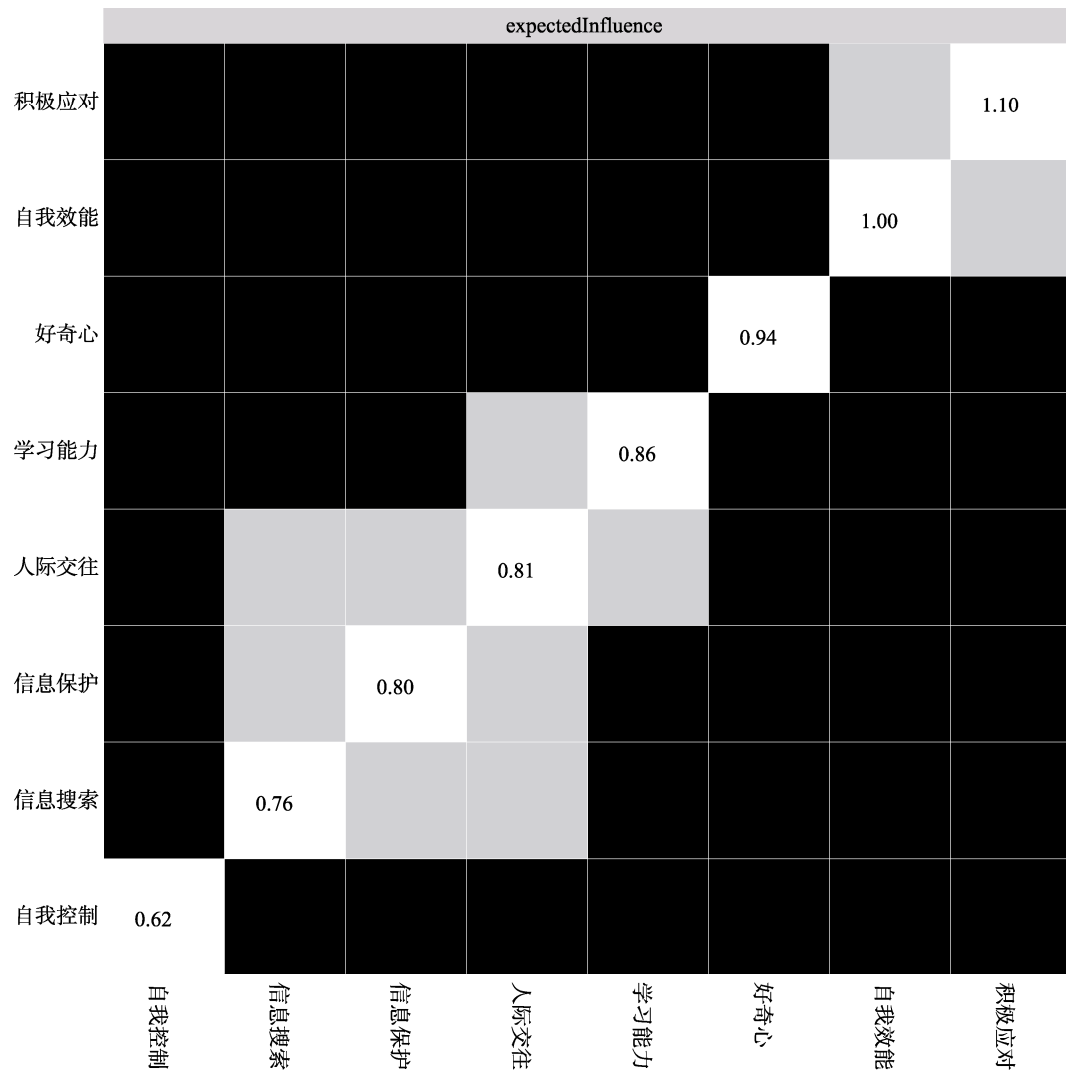


图 S2 非参数自举法检验网络适应横断网络各个节点预期影响差异

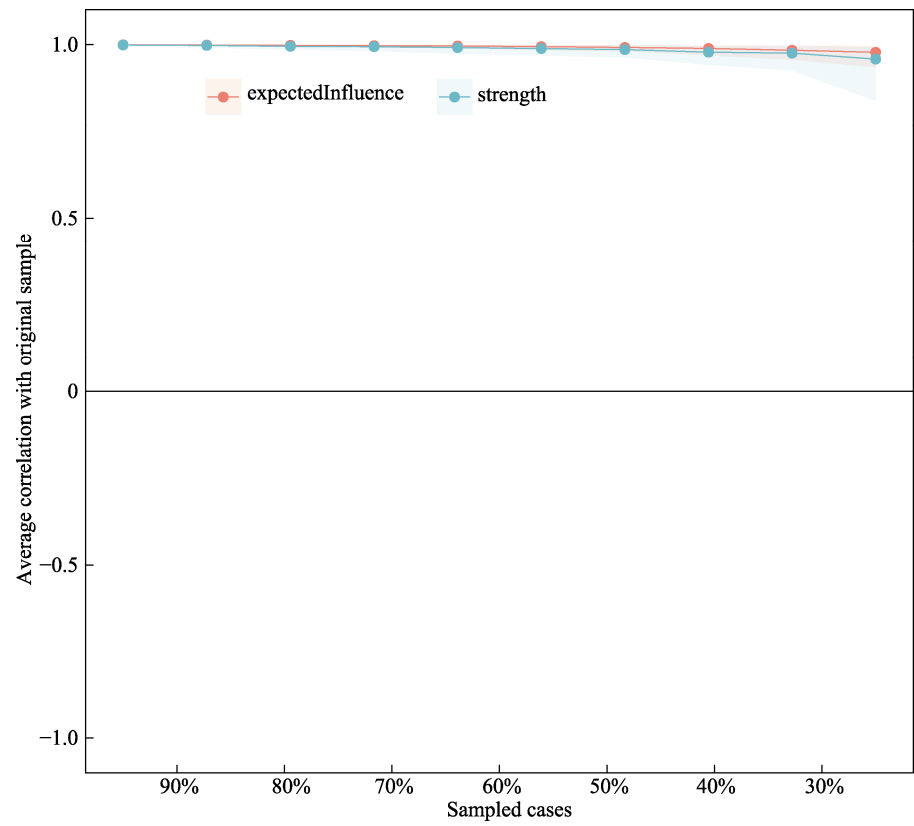


图 S3 Case-dropping 方法检验网络适应横断网络中强度和预期影响的稳定性检验结果

注: X 轴表示原始样本上随机丢弃样本后的剩余量占比; Y 轴表示剩余样本和原始样本之间的中心性指标的相关性。图中线条上各点表示完整样本中估计的强度与在仅保留一定比例案例的随机子样本上估计的强度之间的平均相关性(从 90%到 10%)。阴影区域表示相关性估计的 95%自举置信区间。较高的值表明中心性估计稳定性更好。(下同)

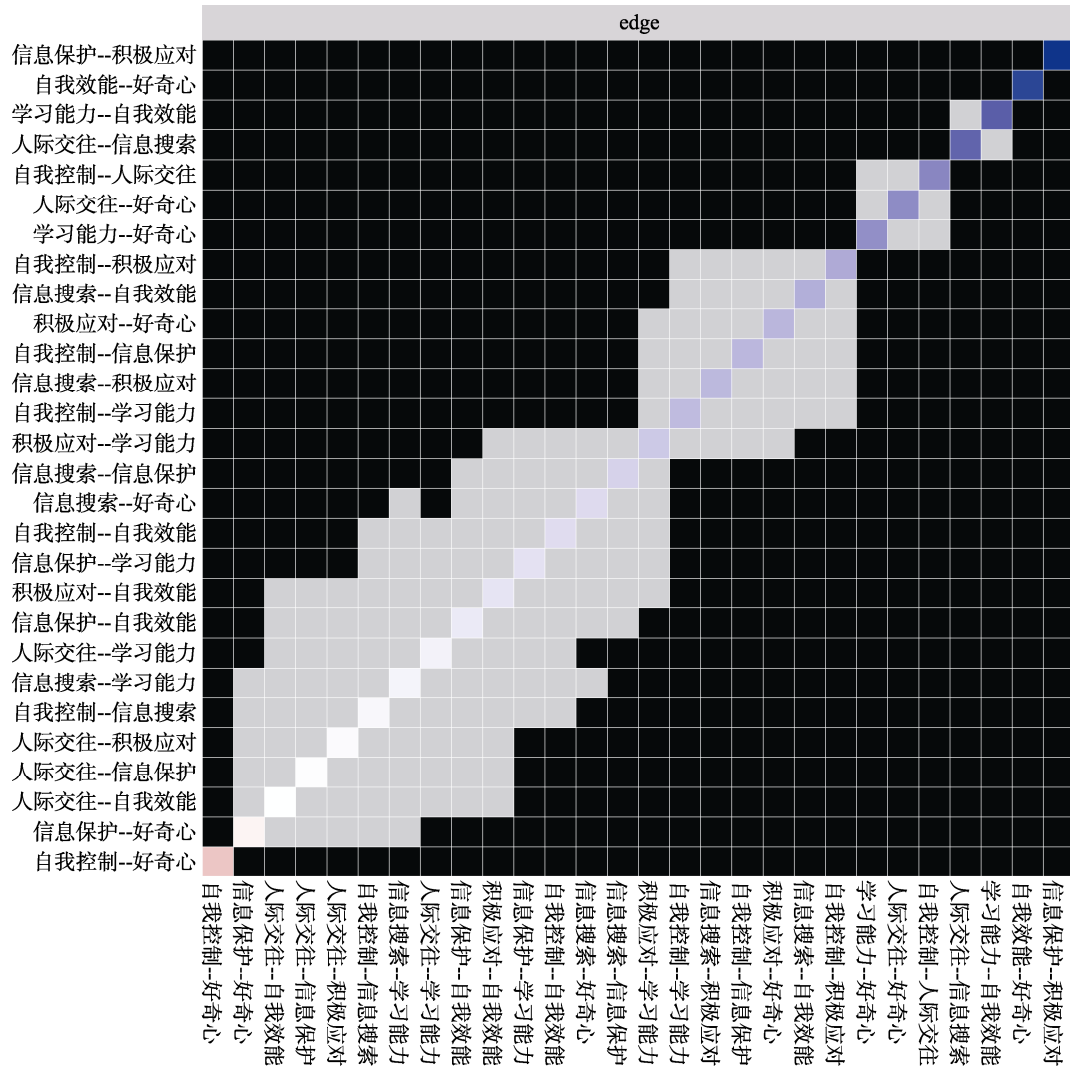


图 S4 非参数自举法检验网络适应横断网络中边线差异

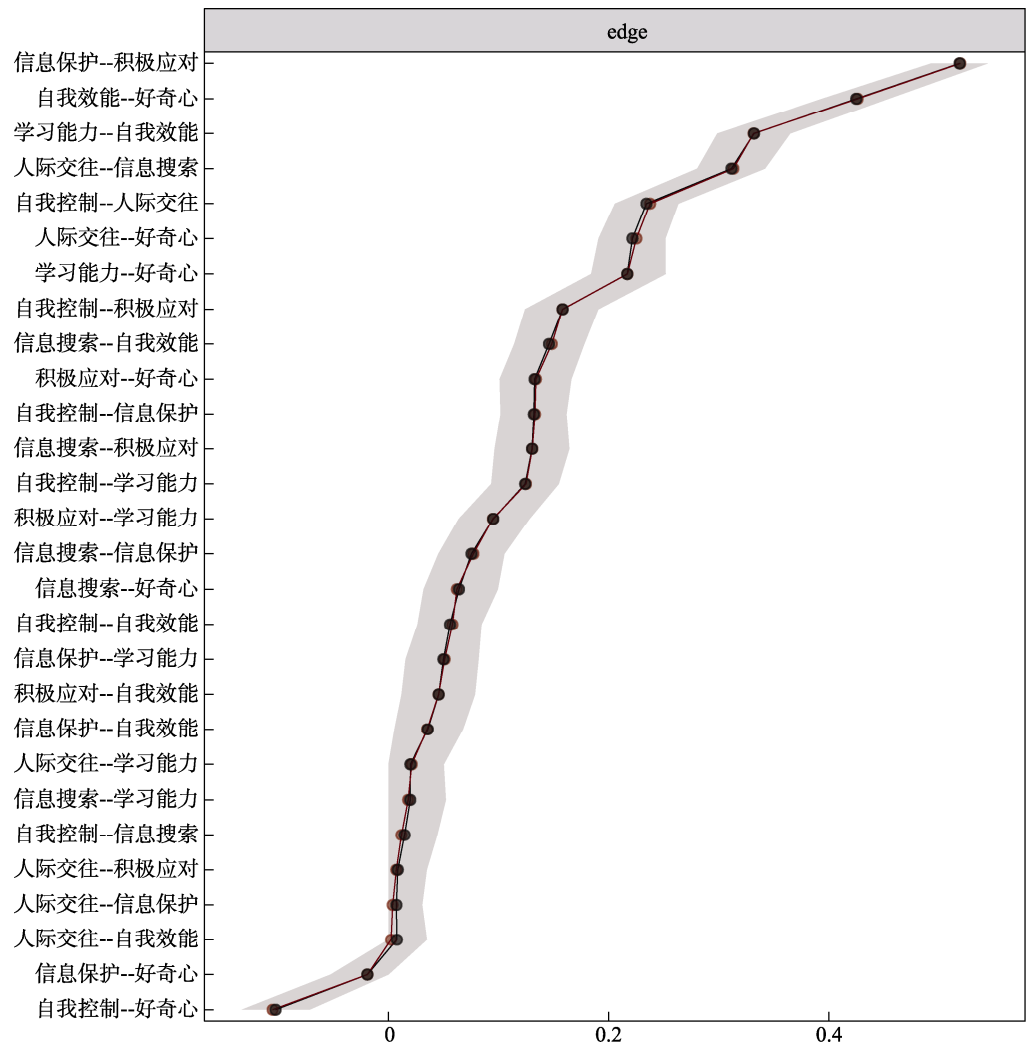


图 S5 非参数自举法检验网络适应横断网络中边线估计的准确性

注：每条水平线上的红点和黑点分别表示边线的样本值和估计的 bootstrap 均值。每条水平线上的阴影部分为 bootstrap 方法得出边线估计的 95%置信区间，灰色阴影越窄意味着边线估计的准确性越高。(下同)

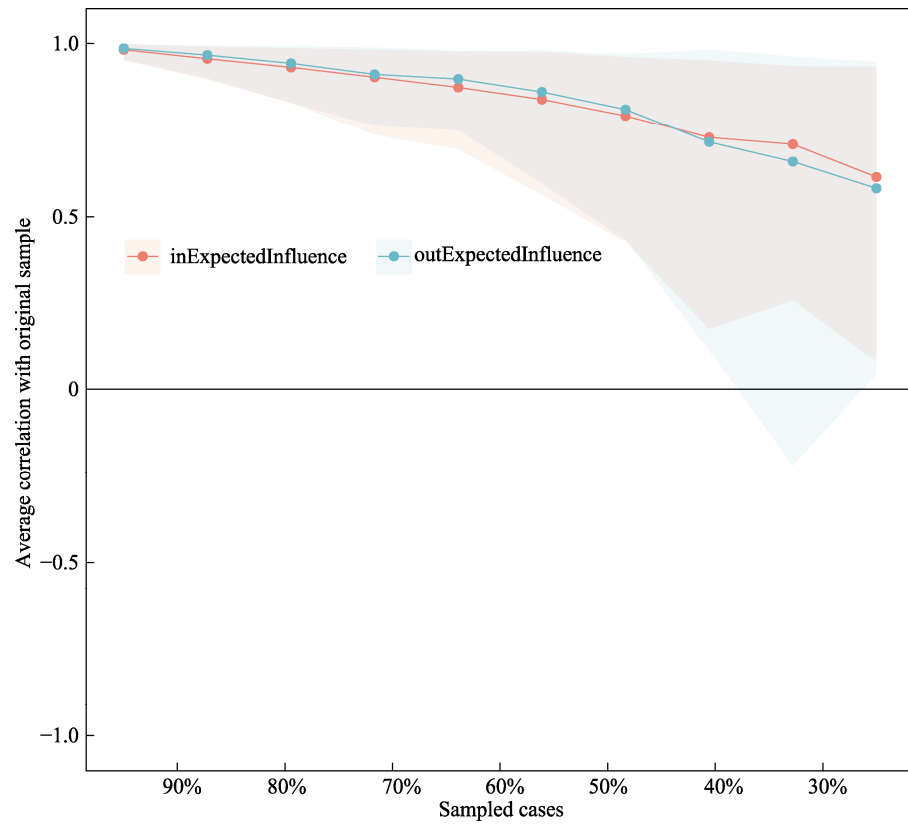


图 S6 Case-dropping 方法检验网络适应交叉滞后网络中入预期影响和出预期影响的稳定性

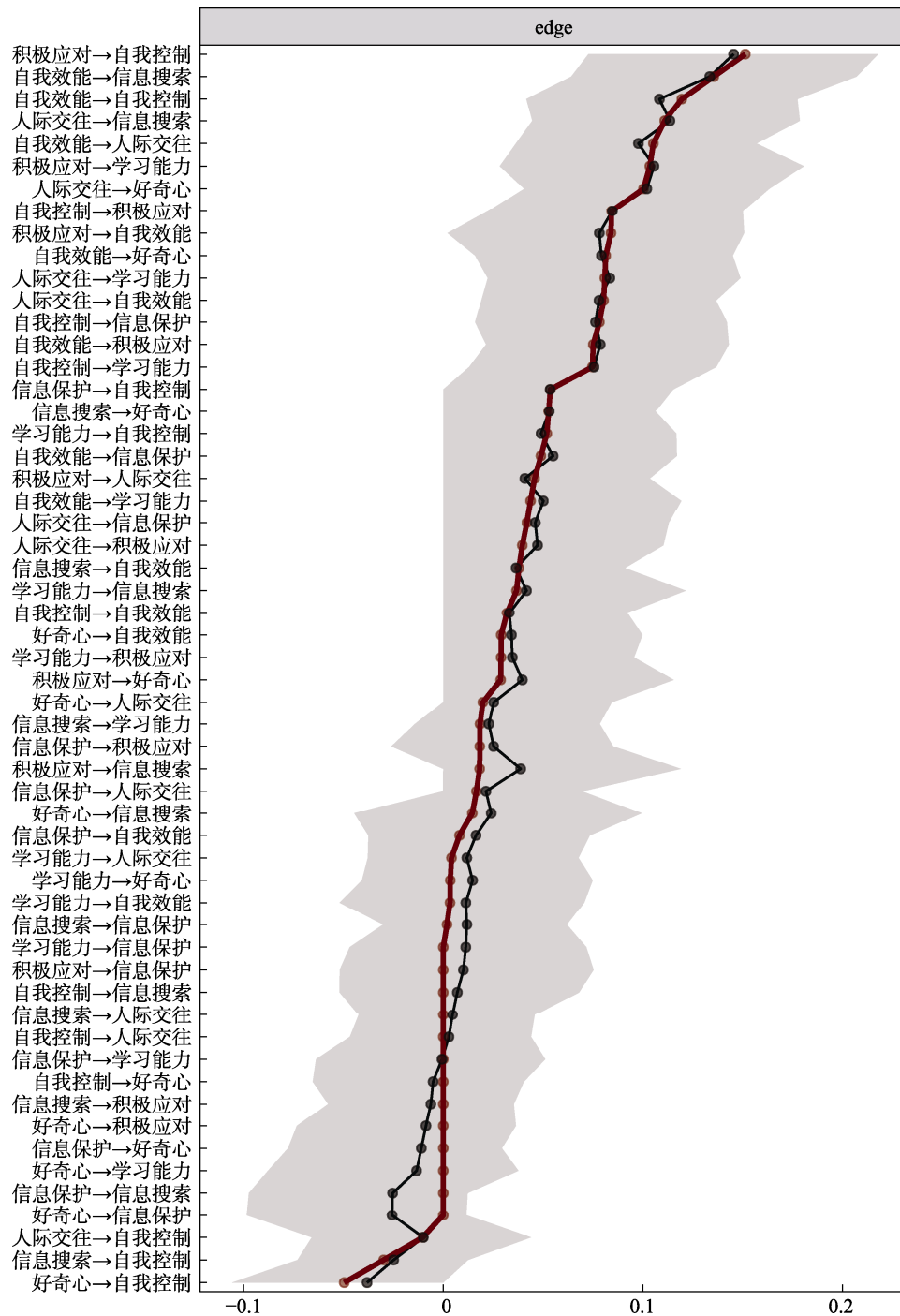


图 S7 非参数自举法检验网络适应交叉滞后网络中边线估计的准确性

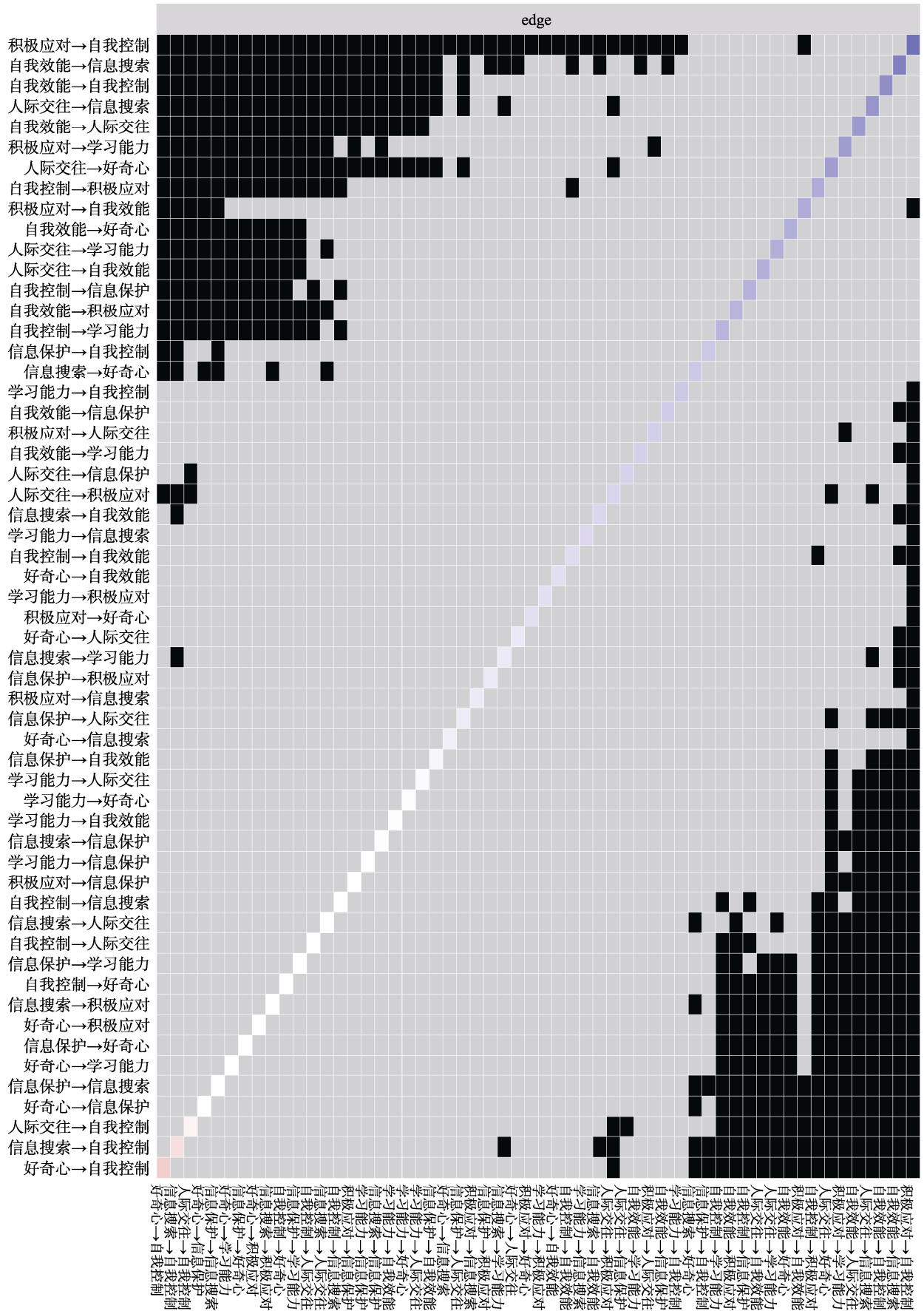


图 S8 非参数自举法检验网络适应交叉滞后网络中边线差异