

复杂问题解决:计划与目标导向行为的动态耦合关系探究*

田伟 高沁晖 辛涛 张佳慧

(北京师范大学中国基础教育质量监测协同创新中心,北京 100875)

摘要:提升学生的复杂问题解决能力是当前心理和教育研究的重要课题。本研究利用计算机模拟测试工具和行为序列分析方法,探讨了42个国家/经济体27,802名15岁学生在复杂问题解决过程中计划与目标导向行为的动态耦合关系。研究发现:(1)成功组表现出更多目标导向行为,而不成功组倾向于更多计划和非目标导向行为;(2)两组在计划行为序列上均呈现出显著的类型差异,反映了参与动机、认知负荷和人格特质等个体因素的影响;(3)成功组能维持计划与目标导向行为的动态耦合,而不成功组则较为不足。这些发现揭示了维持计划与目标导向行为的动态耦合在复杂问题解决中的关键作用,并为教学干预策略设计提供了理论依据。

关键词:复杂问题解决;计划;目标导向行为;过程数据;行为序列分析

分类号:B844

1 引言

复杂问题解决能力和计划能力是高阶认知能力和适应性行为的核心组成部分,对个体生存和社会经济发展具有深远影响(Eichmann et al., 2019; Kyllonen, 2018; Mustafić et al., 2019)。研究表明,认知过程和行为模式在解决新颖且复杂的问题时起着关键作用(Csapó & Funke, 2017; Grežo & Sarmány-Schuller, 2022; Kyllonen, 2018)。其中,计划作为复杂认知过程的核心要素尤为重要(Csapó & Funke, 2017; Eichmann et al., 2019; Kyllonen, 2018; Zhang et al., 2024)。现有研究指出,计划能够显著提升复杂问题解决能力和目标导向行为(Eichmann et al., 2019; Zhang et al., 2024)。然而,学界虽对计划与目标导向行为间的关系日益关注,但计划作为动态过程(Zhang et al., 2024),其与目标导向行为间的动态耦合关系对复杂问题解决成功与否的影响仍然研究不足。这一理论上的局限制约了我们对复杂问题解决能力提升机制的认识。因此,迫切需要深入研究以探讨这一动态耦合关系。

1.1 计划与目标导向行为的耦合关系

问题解决本质上是一种目标导向活动,旨在实现特定目标(Newell & Simon, 1972; Unterrainer &

Owen, 2006)。计划作为未来目标和行为的心理表征,构成了解释目标导向行为的理论基础。在问题解决过程中,个体需要在不同时间节点形成心理表征,并在行动之前确定执行的具体行为及其顺序(McCormack & Atance, 2011)。

大量研究表明,前额叶受损患者在计划和问题解决方面存在显著障碍,这凸显了计划过程与前额叶功能之间的内在联系(Colvin et al., 2001; Goel & Grafman, 1995; Goel et al., 2013; Szczepanski & Knight, 2014)。作为一个通用系统,前额叶皮层负责行为的排序和指导,以实现即时或远期目标,并在未来行为计划中发挥核心作用(Szczepanski & Knight, 2014)。这些神经生理学证据强调了计划与目标导向行为在问题解决过程中的核心地位。

研究者将计划过程划分为计划制定和计划执行两个主要阶段。这两个阶段构成了一个连续的动态过程:个体首先形成初步计划,随后根据问题情景的变化不断调整和执行后续计划(Crescentini et al., 2012)。计划的制定和执行通常以所需时间来量化,以反映个体在行动之前或过程之中的思考投入(Naglieri & Das, 2005)。例如,首次移动潜伏期——即个体开始解决问题前的等待时间——是评估计划程度的经典指标,研究发现其与一般问题解决

* 基金项目:国家自然科学基金研究项目“中文写作能力及其发展的自动化诊断研究”(32071093);科学技术部国家重点专项项目“学生综合素养测评模型构建”(2021YFC3340801);科大讯飞高校创新研究专项“多目标自适应学习方式下学习材料设计与推荐效益分析”(2024XF012)。

通讯作者:辛涛,E-mail:xintao@bnu.edu.cn

决能力呈正相关(Albert & Steinberg, 2011)。

1.2 计划与复杂问题解决

近年来,计划在复杂问题解决过程中的关键作用已引起学界广泛关注(Eichmann et al., 2019; Greiff et al., 2016; Mustafić et al., 2019)。复杂问题因其多重复杂特性(Eichmann, Goldhammer, et al., 2020; Mustafić et al., 2019),对问题解决者的认知和行为能力提出了更高要求。具体而言,问题解决者需要通过持续的逐步推理来缩小初始状态和目标状态之间的差距,在此过程中,计划作为指导认知和行为的核心要素尤为重要(Grežo & Sarmány - Schuller, 2022; Mustafić et al., 2019)。

复杂问题解决中的计划过程主要包括三个阶段:探索和理解、表征和表述、计划和执行(Eichmann et al., 2019; OECD, 2013)。其中,探索和理解、表征和表述阶段旨在构建当前问题状态和目标状态的心理模型,为后续计划的制定奠定基础。计划和执行阶段则侧重于设定目标和子目标,并选择、执行具体步骤以实现这些目标(Eichmann et al., 2019; Grežo & Sarmány - Schuller, 2022; Zhang et al., 2024)。有效的计划不仅需要在目标的指引下持续评估和调整策略,还需要不断核查计划在执行过程中目标与预期目标的一致性(Kreibich et al., 2022; Unterrainer & Owen, 2006)。因此,问题解决者需要在探索的各个阶段不断制定、调整和执行计划(Eichmann et al., 2019; OECD, 2013)。在此动态过程中,计划与目标导向行为可能形成有效的动态耦合关系,从而提升复杂问题解决的效率和成功。

研究者主要通过两种方法研究复杂问题解决中的计划:基于行为序列提取过程指标的变量中心方法(Eichmann et al., 2019)和基于行为序列分析的个人中心方法(Eichmann, Greiff, et al., 2020; Zhang et al., 2024)。传统计划指标仅能揭示计划和复杂问题解决能力间的静态关系,而忽视了计划的动态轨迹和个体差异。最新研究开始关注复杂问题解决的动态过程和计划过程,揭示了成功组和不成功组在计划行为和计划行为序列上的显著差异(Eichmann, Greiff, et al., 2020; Zhang et al., 2024)。研究发现,成功组表现出更高比例的计划和目标导向行为,而不成功组则倾向于非目标导向行为。两组在计划行为序列类型上也存在显著差异,进而揭示了计划动态轨迹的个体差异,为理解复杂问题解决过程中的计划和目标导向行为提供了新视角。

然而,现有研究主要从变量和静态视角揭示了

计划对目标导向行为的促进作用(Zhang et al., 2024),尚未充分阐明计划与目标导向行为在动态过程中的耦合关系及其对复杂问题解决成功与否的影响,这一局限使得现有研究难以揭示复杂问题解决过程中的关键心理机制。此外,现有研究大多采用有限状态自动机理论框架,较少关注线性结构方程理论框架下的计划和认知过程。这两种理论框架存在本质差异(Zhang et al., 2024),可能导致对计划过程的理解产生偏差。因此,有必要在线性结构方程的理论框架下,深入探讨成功组和不成功组在计划行为模式和序列类型上的差异,以此为基础全面理解计划与目标导向行为的动态耦合关系。

1.3 研究问题与研究假设

基于前述理论分析,本研究采用线性结构方程理论框架,重点探讨以下三个核心问题:

(1)成功组和不成功组在计划、目标导向行为以及非目标导向行为等的表现上是否存在显著差异?

假设1:相较于不成功组,成功组表现出更高比例的计划和目标导向行为、更低比例的非目标导向行为。

(2)成功组和不成功组在计划行为序列上是否存在显著的类型差异?这些差异是否显著影响学生的复杂问题解决能力?

假设2:成功组和不成功组在计划行为序列上均呈现出显著的类型差异,且这些差异显著影响学生的复杂问题解决能力。

(3)在复杂问题解决过程中,计划与目标导向行为之间是否形成动态耦合关系?这种耦合关系是否影响复杂问题解决成功与否?

假设3:成功组和不成功组在计划与目标导向行为的动态耦合关系上存在显著差异,其中有效的动态耦合关系构成复杂问题解决成功的关键机制。

2 方法

2.1 被试

本研究采用2012年PISA(国际学生评估项目)复杂问题解决能力评估的日志数据。该数据集包含42个国家/经济体的学生记录。经数据清理后,最终有效样本量为27802名15岁学生。样本构成如下:男生占比49.20%,留级生占比13.05%,移民学生占比11.11%,平均年龄15.78岁。其中,16927名成功完成了所选任务,10875名未能成功完成任务。

2.2 工具

本研究采用线性结构方程框架下的经典任务——“空调”任务(图 1)。该任务要求学生探索三个输入变量(顶部、中部和底部控制滑块)与两个输出变量(温度和湿度)之间的关系,并确定各控制滑块的功能。

在解决此类复杂问题时,VOTAT(vary - one - thing - at - a - time)策略具有关键作用(Greiff et al., 2015)。具体操作步骤如下:学生需要改变一个变量(如将顶部控制设置为“++”),同时保持其他变量不变(如中部和底部控制保持在“▲”),点击“应用”按钮进行探索。每次点击“应用”按钮完成一轮探索,学生可根据需要进行多轮操作。需要说明的是,“空调”任务的输出变量不会在没有学生操作时自动变化。完成探索后,学生需在图 1 底部绘制箭头,表示其对输入输出变量关系的理解。

计算机模拟测试系统详细记录了学生完成“空调”任务过程中的每一步操作,包括移动滑块、“应用”按钮点击和箭头绘制等,这为深入分析学生计划的动态过程提供了可能。任务评分通过比较学生

的假设与实际的输入输出变量关系来完成。

2.3 数据编码

本研究依据现有行为分类标准(Eichmann, Greiff, et al., 2020; Zhang et al., 2024),将学生的问题解决行为划分为六类。这一分类体系旨在捕捉学生在复杂问题解决中的计划行为序列,为深入理解其解决过程提供结构化的数据框架。具体行为分类及其操作性定义见表 1。

2.4 统计分析

首先,行为频次差异分析。采用 Mann - Whitney U 检验比较成功组和不成功组在六类行为相对频次上的差异,并评估效应大小。效应量依据 Cohen(1988)的标准, r 值 0.1、0.3 和 0.5 代表小、中和大效应。

其次,计划行为序列分类。使用 R 软件 TraMineR 包(Gabadinho et al., 2011)进行序列分析。具体步骤如下:采用最佳匹配算法和层次聚类分析对计划行为序列进行分类,并通过归一化点两列相关(PBC)、平均轮廓宽度(ASW)和 Hubert C 指数(HC)确定最优聚类数。理想情况下,PBC 和 ASW

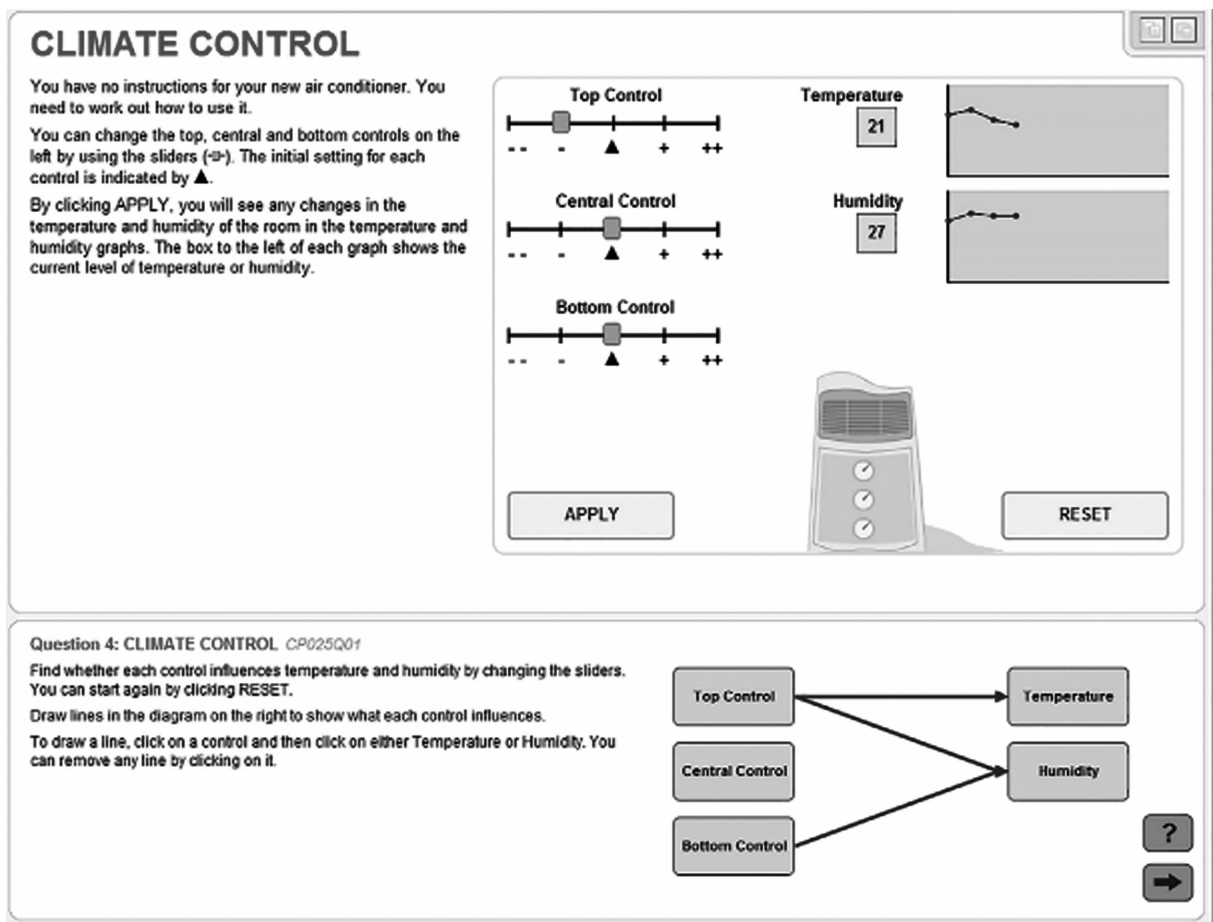


图 1 “空调”任务的操作界面

表 1 “空调”任务行为分类及其定义

行为类别	操作性定义
重置	学生点击“重置”按钮
计划	相邻两个交互行为之间的时间间隔达到或超过 4.4 秒(75 分位数阈值),推断为计划行为
目标导向	应用 VOTAT 策略的 12 种标准操作。顶部控制滑块操作:(-2, 0, 0) (-1, 0, 0) (1, 0, 0) (2, 0, 0);中部控制滑块操作:(0, -2, 0) (0, -1, 0) (0, 1, 0) (0, 2, 0);底部控制滑块操作:(0, 0, -2) (0, 0, -1) (0, 0, 1) (0, 0, 2)
重复目标导向	重复使用同一种 VOTAT 策略操作
非目标导向	除目标导向行为外的 113 种其它操作组合(非 VOTAT 策略)
重复非目标导向	重复使用同一种非 VOTAT 策略操作

应达到最大值,而 HC 应为最小值 (Eichmann, Greiff, et al., 2020; Zhang et al., 2024)。随后,使用方差分析比较不同类型间的能力水平差异,并通过 Bonferroni 校正控制多重比较中的 I 型错误。

最后,动态耦合关系分析。通过滞后行为序列分析考察计划与目标导向行为的动态耦合关系,行为转换序列的筛选标准如下 (Lämsä et al., 2020): (1) 统计显著性标准:校正后残差 $Z > 1.96$,表示观察的行为转换模式频率显著高于期望频率;(2) 效应量标准:Yule $Q > 0.3$,其值范围在 -1 到 +1。Yule Q 值大于 0 表示转换模式 $A \rightarrow B$ 存在正相关,0.3 代表中等强度的正相关。基于这些标准绘制行为转换图,圆圈代表各种计划行为,连线代表两个行为之间的转换具有统计显著性,箭头指示转换方向。

3 结果

3.1 成功组和不成功组的行为模式差异

Mann - Whitney U 检验结果 (表 2) 显示,成功组和不成功组在六类计划行为的相对频次上均呈现

显著差异 ($p < 0.001$)。在目标导向行为方面,成功组表现出显著更高的比例,其中首次目标导向行为 (10.9% vs. 2.5%) 和重复目标导向行为 (29.3% vs. 4.3%) 的差异均达到大效应量水平 ($r = 0.84$ 和 0.62)。相比之下,不成功组在非目标导向行为方面表现出显著更高的比例,包括首次非目标导向行为 (20.6% vs. 10.4%) 和重复非目标导向行为 (43.9% vs. 16.5%),但这些差异的效应量较小 ($r = 0.05$ 和 -0.03)。在计划行为方面,不成功组表现出更高的比例 (21.8% vs. 19.4%),效应量达到中等水平 ($r = 0.43$)。这些发现表明,成功解决复杂问题与目标导向行为的使用频率密切相关,而过多的非目标导向行为和计划行为可能不利于问题解决。

表 2 成功组和不成功组计划行为频次差异检验结果

行为类别	行为比例 (%)		U	r
	成功组	不成功组		
重置	13.6	6.9	146179711.50 ***	0.51
计划	19.4	21.8	138868225.50 ***	0.43
首次目标导向	10.9	2.5	176261182.50 ***	0.84
重复目标导向	29.3	4.3	155259029.50 ***	0.62
首次非目标导向	10.4	20.6	97156612.00 ***	0.05
重复非目标导向	16.5	43.9	88999928.50 ***	-0.03

注: *** $p < 0.001$; $U =$ Mann - Whitney U 统计量; $r =$ 效应量。

3.2 计划行为序列的类型差异

3.2.1 计划行为序列的最优聚类数

聚类指标分析结果 (图 2) 显示,在成功组的三类 (左侧) 聚类中,ASW 和 PBC 指标达到相对最高值,HC 指标降至最低,表明三类聚类可获得较好的聚类效果。对于不成功组 (右侧),当聚类数增至六类时,HC 指标进一步降至最低值,而 ASW 和 PBC

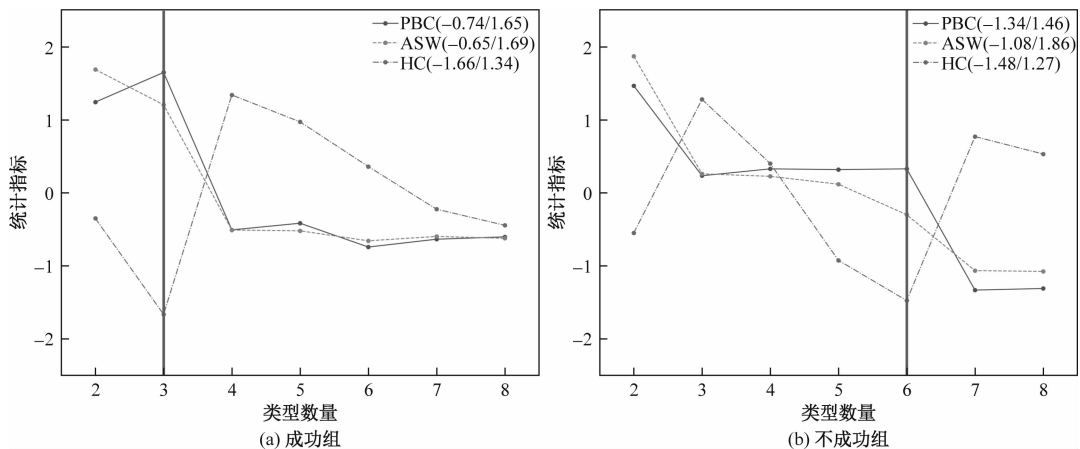


图 2 成功组和不成功组聚类评价指标的变化趋势

表 3 成功组和不成功组的计划行为序列类型特征及其分布

类型编号	类型名称	类型占比	序列长度	行为特征
成功组				
类型 1	策略型计划者	72%	平均 14.8 个行为, 最长 33 个行为	重置(18.4%)、计划(27.3%)、首次目标导向(17.4%)和首次非目标导向行为(12.0%)比例最高,而重复目标导向(18.7%)和重复非目标导向行为(6.2%)比例最低
类型 2	坚持型计划者	12%	平均 68.9 个行为, 最长 296 个行为	重复目标导向(40.1%)和重复非目标导向行为(30.7%)比例最高,重置(7.7%)、计划(9.8%)、首次目标导向(4.1%)和首次非目标导向行为(7.6%)比例最低
类型 3	灵活型计划者	16%	平均 34.3 个行为, 最长 54 个行为	各类行为比例介于策略型计划者和坚持型计划者之间,表现出较强的计划调整能力
不成功组				
类型 1	未参与型探索者	62%	平均 3.1 个行为, 最长 14 个行为	缺失行为比例最高,任务参与度不足
类型 2	固着型探索者	11%	平均 17.5 个行为, 最长 33 个行为	重复非目标导向行为(64.2%)比例接近最高比例,但首次非目标导向行为(11.3%)比例最低
类型 3	坚持型探索者	6%	平均 32.2 个行为, 最长 44 个行为	重复非目标导向行为(64.4%)比例最高,但首次非目标导向行为(12.7%)比例接近最低比例
类型 4	策略缺乏型探索者	11%	平均 12.9 个行为, 最长 21 个行为	计划(34%)和首次非目标导向行为(34.8%)比例较高,策略缺乏导致计划未能有效改善问题解决过程
类型 5	固着坚持型探索者	4.5%	平均 60.5 个行为, 最长 208 个行为	重复非目标导向行为比例(64.3%)接近最高比例,计划(11.4%)和首次非目标导向行为(11.6%)比例最低
类型 6	策略缺乏坚持型探索者	5.4%	平均 21.4 个行为, 最长 35 个行为	计划(36.7%)和首次非目标导向行为(37.6%)比例最高,策略缺乏导致计划未能有效改善问题解决过程

指标依然保持较高水平,说明六类能揭示更细致的计划行为序列特征。

3.2.2 计划行为序列的类型特征

通过分析类型内不同行为的比例分布以及每次交互中不同行为的比例分布(图 3 和图 4),可识别出成功组和不成功组的计划行为序列类型特征(表 3)。在图 3 和图 4 中,x 轴代表计划行为序列中交互行为的顺序,y 轴表示在相同交互顺序下各种行为的相对频次。

3.2.3 计划行为序列类型与复杂问题解决能力

成功组的方差分析表明三种计划行为序列类型在复杂问题解决能力上存在显著差异 [$F(2, 16924) = 7.57, p < 0.001, \eta^2 = 0.001$]。灵活型计划者(类型 3)的复杂问题解决能力显著高于策略型计划者(类型 1),而坚持型计划者(类型 2)与这两类无显著差异。

不成功组的方差分析表明六种计划行为序列类型在复杂问题解决能力上存在显著差异 [$F(5, 10869) = 141.59, p < 0.001, \eta^2 = 0.061$]。具体表现为:策略缺乏型探索者(类型 4)和策略缺乏坚

持型探索者(类型 6)的复杂问题解决能力最高,坚持型探索者(类型 3)和固着坚持型探索者(类型 5)次之,未参与型探索者(类型 1)和固着型探索者(类型 2)最低。

3.3 计划与目标导向行为的动态耦合关系

3.3.1 成功组计划行为的转换特征

图 5 呈现了成功组三类计划者的行为状态转换模式。结果表明:(1)计划与目标导向行为之间形成了有效的动态耦合关系($P \rightarrow FG: Z = 80.73 \sim 131.76, Q = 0.67 \sim 0.83; FG \rightarrow P: Z = 23.37 \sim 76.33, Q = 0.39 \sim 0.44$);(2)重复目标导向行为表现出较强的持续性($G \rightarrow G: Z = 58.04 \sim 223.08, Q = 0.37 \sim 0.93$),表明有效计划对维持目标导向行为的促进作用;(3)在出现首次非目标导向行为后,能够及时调整并转入计划状态($FNG \rightarrow P: Z = 48.49 \sim 79.42, Q = 0.51 \sim 0.54$),体现了较强的自我监控和校正能力;(4)重置后能够有效转向计划制定或首次目标导向行为($R \rightarrow FG: Z = 58.34 \sim 79.67, Q = 0.49 \sim 0.75; R \rightarrow P$ (类型 2 和类型 3): $Z = 49.17 \sim 71.67, Q = 0.48 \sim 0.68$),反映了其

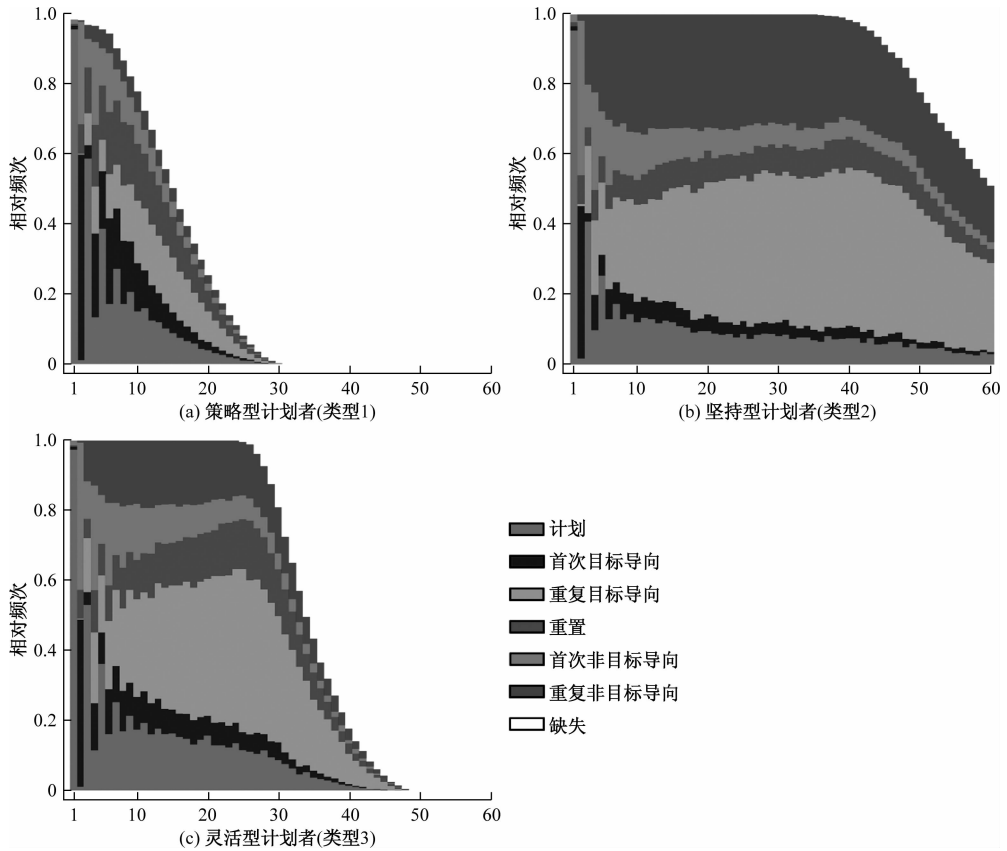


图 3 成功组三种计划行为序列类型的时序行为分布特征

计划的适应性调节功能。

3.3.2 不成功组计划行为的转换特征

图 6 揭示了不成功组六类计划者的行为状态转换模式。结果表明:(1)计划行为更倾向于转向首次非目标导向行为而非首次目标导向行为($P \rightarrow FNG$; $Z = 54.53 \sim 93.93$, $Q = 0.78 \sim 0.94$; $P \rightarrow FG$; $Z = 16.28 \sim 34.07$, $Q = 0.69 \sim 0.89$),反映了计划对行为的引导功能受限;(2)计划与首次目标导向行为间存在高频往复($P \rightarrow FG$; $Z = 16.28 \sim 34.07$, $Q = 0.69 \sim 0.89$; $FG \rightarrow P$; $Z = 8.55 \sim 19.05$, $Q = 0.49 \sim 0.65$),但缺乏实质性进展,呈现出无效循环特征;(3)虽表现出重复目标导向行为的持续倾向($G \rightarrow G$; $Z = 17.38 \sim 133.15$, $Q = 0.77 \sim 1.00$),但陷入机械性重复模式,说明目标导向行为量的增加并不等同于高质量的计划。同时,重复非目标导向行为呈现高度固化($NG \rightarrow NG$; $Z = 24.98 \sim 101.21$, $Q = 0.63 \sim 0.91$),反映了策略调整能力的缺失;(4)重置后的计划调整能力不足($R \rightarrow P$; $Z = 21.38 \sim 47.69$, $Q = 0.49 \sim 0.84$),表明计划缺乏必要的动态适应性。

4 讨论

本研究探讨了青少年在复杂问题解决过程中认知机制的动态特征,即计划与目标导向行为的动态耦合关系。研究发现,成功解决复杂问题的关键在于计划与目标导向行为的有效耦合。成功组能够实现计划与目标的密切耦合,而不成功组的计划往往缺乏明确的目标导向。这种行为模式的差异反映了个体解决复杂问题能力的区别。

4.1 计划行为模式的差异及其影响

成功组和不成功组在计划行为模式上存在显著差异,其中计划质量和目标导向行为是成功的关键因素。结果显示,成功组表现出更高比例的目标导向行为,而不成功组则表现出更高比例的计划和非目标导向行为。这一差异模式验证了研究假设 1,总体与先前研究结论吻合 (Eichmann, Greiff, et al., 2020; Zhang et al., 2024),进一步验证了目标导向行为在成功解决不同类型复杂问题中的核心作用。然而,在线性结构方程框架下,不成功组虽表现出更多的计划行为,却未能有效促进复杂问题解决,这与 Zhang 等人(2024)基于有限状态自动机框架的研究结论有所不同。这一发现凸显了计划行为

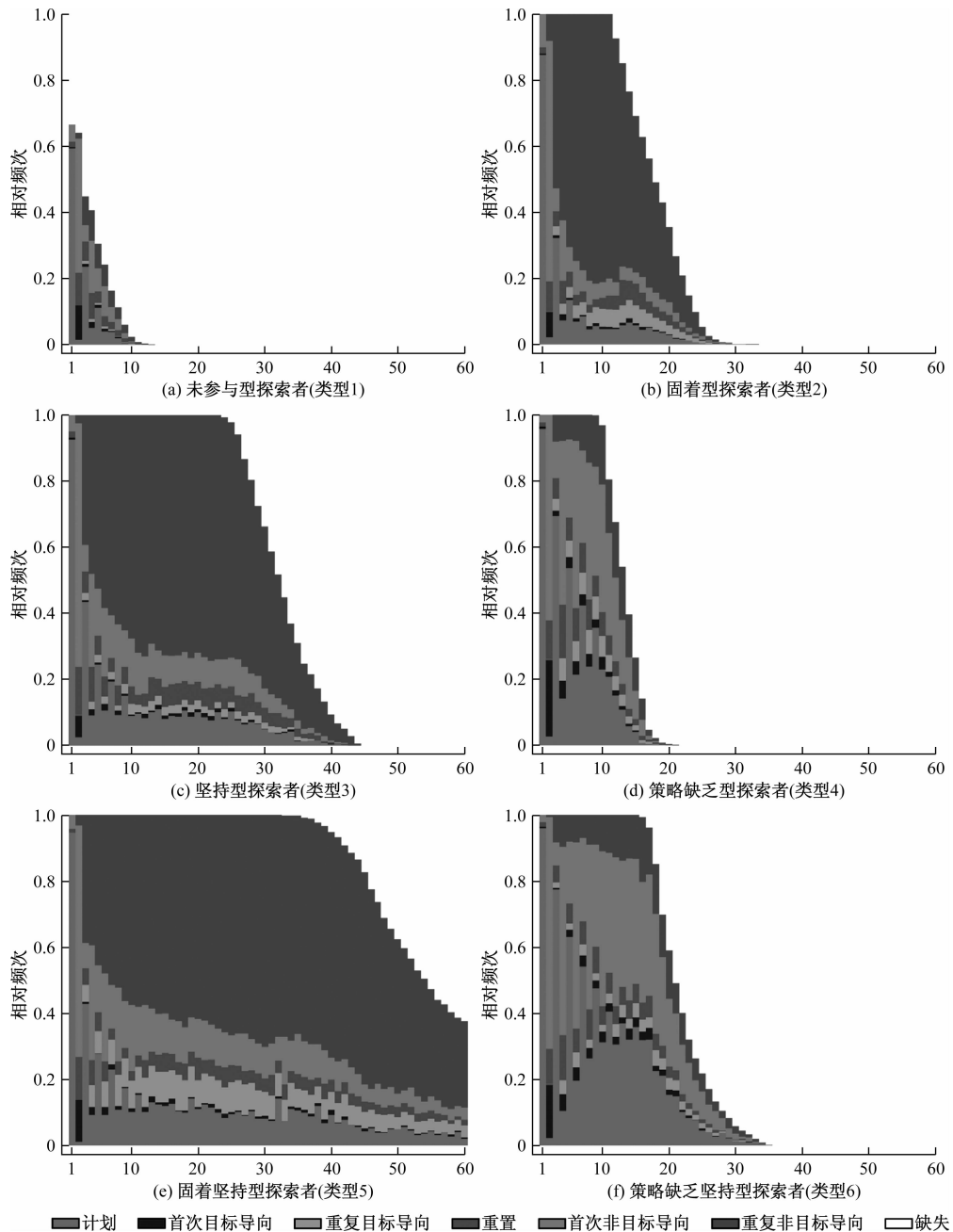


图 4 不成功组六种计划行为序列类型的时序行为分布特征

的质量和有效性,而非单纯的频率,才是成功解决复杂问题的关键。

4.2 计划行为序列类型及其与问题解决能力的关系

成功组和不成功组在计划行为序列上存在显著差异,这反映了个体差异并影响复杂问题解决能力,验证了研究假设 2。基于线性结构方程框架,本研究识别出了两组不同的计划行为序列类型。

第一,理论框架的影响。这些类型与基于有限状态自动机框架的研究结论存在差异,凸显了不同理论框架在刻画复杂问题解决认知过程时的系统性

差异 (OECD, 2013; Zhang et al., 2024),强调了理论框架选择对复杂问题解决认知过程解释的重要性。

第二,计划行为序列类型特征的一致性。一些类型与先前线性结构方程框架的研究发现一致 (Eichmann, Greiff, et al., 2020)。例如,成功组的策略型计划者(类型 1)表现为较短的行为序列、较多的首次目标导向行为和较少的非目标导向行为,类似于“高效”策略;坚持型计划者(类型 2)则类似于“双重核查”和“混合方法”策略,通过重复目标导向和非目标导向行为进行探索。不成功组中的未参

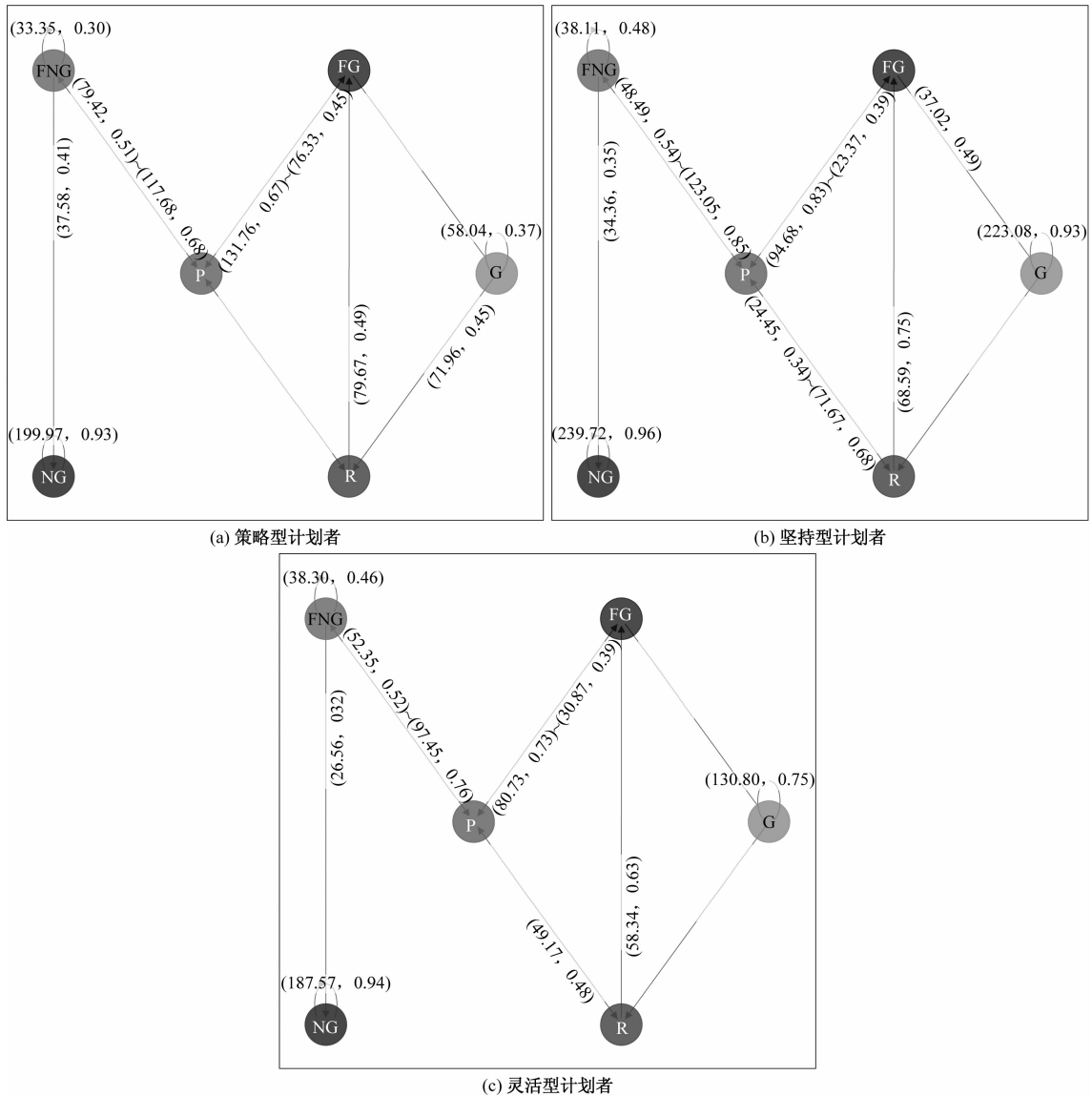


图 5 成功组计划行为序列的状态转换

(R = 重置, P = 计划, FG = 首次目标导向, G = 重复目标导向, FNG = 首次非目标导向, NG = 重复非目标导向)

与型探索者(类型1)类似于“过早放弃”策略,表现为不作答或随机猜测;固着型探索者(类型2)类似于“不断重复”策略,学生反复探索与问题无关的同一内容;坚持型探索者(类型3)表现出“非系统性试验”策略,尝试以无系统性的方式解决问题。这种一致性提高了研究结果的可靠性,也增强了实践干预的可信度。

第三,个体差异影响复杂问题解决能力。这些计划行为序列类型揭示了学生在元认知、参与动机、认知负荷和人格特质等方面的个体差异。例如,成功组中较多的重复目标导向行为可能反映了学生的坚持和认真态度,这种适应性策略有助于提升复杂问题解决能力。相比之下,不成功组学生在持续参与不足、坚持使用无效策略和缺乏系统性策略方面

的问题可能是动机不足和认知负荷过重导致的非适应性行为模式,从而降低了复杂问题解决能力。这些个体差异导致的复杂问题解决能力差异与前人的研究结论一致(Eichmann, Greiff, et al., 2020; Zhang et al., 2024),强调了计划行为序列类型作为预测复杂问题解决能力的重要指标的作用。

4.3 计划与目标导向行为的动态耦合关系

计划与目标导向行为的动态耦合是复杂问题解决成功的核心机制,这一结果验证了研究假设3。这一发现不仅拓展了先前关于计划与目标导向行为变量关系的研究(Zhang et al., 2024),还系统阐明了复杂问题解决中这两个核心要素的动态交互机制。在成功组中,计划不仅能够帮助学生识别、选择和执行有效的复杂问题解决策略,而且在自我监控

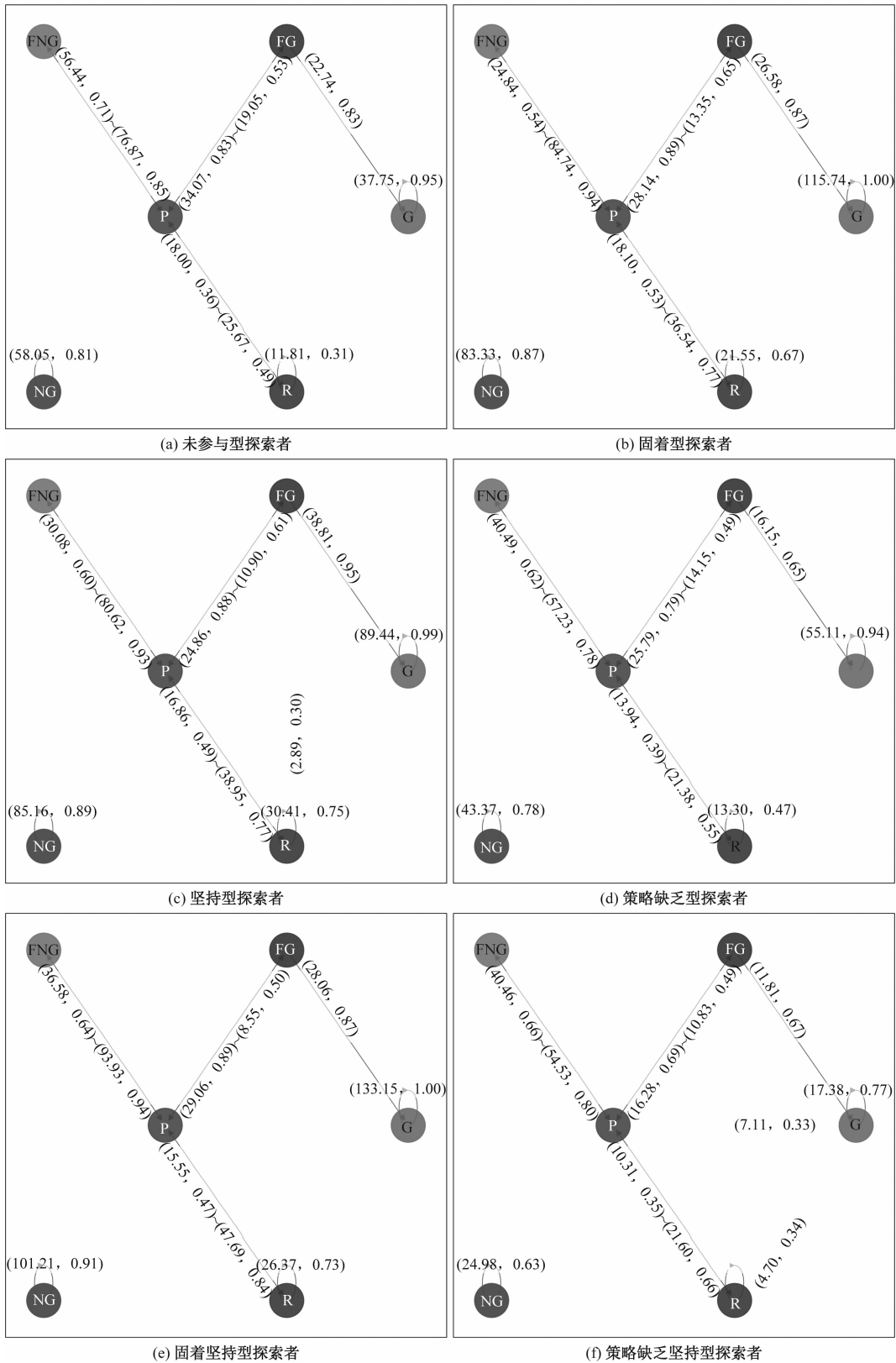


图 6 不成功组计划行为序列的状态转换

(R = 重置, P = 计划, FG = 首次目标导向, G = 重复目标导向, FNG = 首次非目标导向, NG = 重复非目标导向)

和自我校正阶段起到评估和调整策略的关键作用, 进而确保目标导向行为的持续性 (Albert & Stein-

berg, 2011; Asato et al., 2006)。这种动态耦合关系使成功组能够在复杂问题解决过程中保持高效和

适应性,即使遇到障碍也能迅速调整。因此,计划与目标导向行为的动态耦合不仅是有效计划的心理表征,也构成了计划的核心特征(Asato et al., 2006; Newell & Simon, 1972; Szczepanski & Knight, 2014)。相比之下,不成功组在建立和维持这种动态耦合关系方面明显不足,导致其问题解决效率低下。其计划行为往往未能有效推进问题解决,反而计划之后更容易转换到非目标导向行为。这一发现强调了计划与目标导向行为之间有效动态耦合的关键作用,为理解成功问题解决过程的机制提供了新视角。

4.4 对教育心理的启示

本研究的发现不仅为复杂问题解决中计划与目标导向行为的耦合关系提供了新的理论支持,还为教育心理学领域中的教学干预和学习策略优化提供了重要启示。研究结果对教育实践具有以下启示:(1)强化计划能力培养:设计基于真实情境的复杂问题解决任务,培养学生制定、执行和调整计划的能力,促进计划向目标导向行为的有效转化;(2)实施差异化教学:根据学生的计划行为序列类型,制定针对性的教学干预策略。例如,对计划行为较多但目标导向行为较少的学生,通过设定子目标提升计划的可操作性;对参与度较低的学生,增强任务的相关性和真实性,激发参与动机。这种个性化的教学支持能更好地满足不同特征学生的需求。

4.5 不足与展望

本研究结果不仅为现有理论提供了实证支持,还为教育心理学的研究与实践应用奠定了重要基础。然而,本研究仍存在一些局限。首先,本研究主要依赖计算机日志数据,尚未能直接测量学生的认知过程、元认知策略和参与动机。未来研究可结合神经科学技术,从多维度深入探讨复杂问题解决过程;其次,本研究采用的主要是探索性和相关性分析方法,研究结果有待进一步验证和拓展,以增强结论的普遍性;第三,本研究的样本仅限于15岁学生群体,可能限制了结果的推广范围。未来研究应扩展至不同年龄阶段,系统探讨计划与目标导向行为的动态耦合关系在各年龄阶段的发展特点,从而更全面理解其发展规律;最后,虽然本研究数据涵盖多个国家/经济体,但未深入分析文化因素对复杂问题解决过程的影响。未来研究应着重关注文化背景对计划与目标导向行为的作用,探讨不同文化背景下复杂问题解决能力发展的共性和差异,以期提供更具普适性的理论支持。

5 结论

本研究揭示了计划与目标导向行为的动态耦合是复杂问题解决成功的关键机制。研究发现,成功组学生能够有效维持计划与目标导向行为的耦合关系,展现出更强的问题解决能力。相比之下,不成功组虽有较多计划行为,但缺乏有效的耦合机制,导致问题解决效果不佳。这些发现深化了对复杂问题解决认知机制的理解,为教育实践提供了新的理论视角和实践指导。未来研究可进一步探索这一机制在不同年龄阶段和文化背景下的发展规律,以期建立更完善的理论体系。

参考文献:

- Albert, D., & Steinberg, L. (2011). Age differences in strategic planning as indexed by the tower of London. *Child Development*, 82(5), 1501 - 1517.
- Asato, M. R., Sweeney, J. A., & Luna, B. (2006). Cognitive processes in the development of TOL performance. *Neuropsychologia*, 44(12), 2259 - 2269.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Taylor & Francis Group.
- Colvin, M. K., Dunbar, K., & Grafman, J. (2001). The effects of frontal lobe lesions on goal achievement in the water jug task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(8), 1129 - 1147.
- Crescentini, C., Seyed - Allaei, S., Vallesi, A., & Shallice, T. (2012). Two networks involved in producing and realizing plans. *Neuropsychologia*, 50(7), 1521 - 1535.
- Csapó, B., & Funke, J. (2017). *The nature of problem solving: Using research to inspire 21st century learning*. Educational research and innovation, OECD Publishing, Paris.
- Eichmann, B., Goldhammer, F., Greiff, S., Brandhuber, L., & Naumann, J. (2020). Using process data to explain group differences in complex problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 112(8), 1546 - 1562.
- Eichmann, B., Goldhammer, F., Greiff, S., Pucite, L., & Naumann, J. (2019). The role of planning in complex problem solving. *Computers & Education*, 128, 1 - 12.
- Eichmann, B., Greiff, S., Naumann, J., Brandhuber, L., & Goldhammer, F. (2020). Exploring behavioural patterns during complex problem - solving. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(6), 933 - 956.
- Gabadoh, A., Ritschard, G., Müller, N. S., & Studer, M. (2011). Analyzing and Visualizing State Sequences in R with TraMineR. *Journal of Statistical Software*, 40(4), 1 - 37. <https://doi.org/10.18637/jss.v040.i04>
- Goel, V., & Grafman, J. (1995). Are the frontal lobes implicated in "planning" functions? Interpreting data from the Tower of Hanoi. *Neuropsychologia*, 33(5), 623 - 642.
- Goel, V., Vartanian, O., Bartolo, A., Hakim, L., Ferraro, A. M.,

- Isella, V. , ... Nichelli, P. (2013). Lesions to right prefrontal cortex impair real – world planning through premature commitments. *Neuropsychologia*, 51(4), 713 – 724.
- Greiff, S. , Niepel, C. , Scherer, R. , & Martin, R. (2016). Understanding students' performance in a computer – based assessment of complex problem solving: An analysis of behavioral data from computer – generated log files. *Computers in Human Behavior*, 61, 36 – 46.
- Greiff, S. , Wüstenberg, S. , & Avvisati, F. (2015). Computer – generated log – file analyses as a window into students' minds? A show-case study based on the PISA 2012 assessment of problem solving. *Computers & Education*, 91, 92 – 105.
- Grežo, M. , & Sarmány – Schuller, I. (2022). It is not enough to be smart: On explaining the relation between intelligence and complex problem solving. *Technology, Knowledge and Learning*, 27(1), 69 – 89.
- Kreibich, A. , Hennecke, M. , & Brandstätter, V. (2022). Therole of self – awareness and problem – solving orientation for the instrumentality of goal – related means. *Journal of Individual Differences*, 43(2), 57 – 69.
- Kyllonen, P. C. (2018). Inequality, education, workforce preparedness, and complex problem solving. *Journal of Intelligence*, 6(3), 33. <https://doi.org/10.3390/jintelligence6030033>
- Lämsä, J. , Hämäläinen, R. , Koskinen, P. , Viiri, J. , & Mannonen, J. (2020). The potential of temporal analysis: Combining log data and lag sequential analysis to investigate temporal differences between scaffolded and non – scaffolded group inquiry – based learning processes. *Computers & Education*, 143, 103674. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103674>
- McCormack, T. , & Atance, C. M. (2011). Planning in young children: A review and synthesis. *Developmental Review*, 31(1), 1 – 31. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2011.02.002>
- Mustafic, M. , Yu, J. , Stadler, M. , Vainikainen, M. – P. , Bornstein, M. H. , Putnick, D. L. , & Greiff, S. (2019). Complex problem solving: Profiles and developmental paths revealed via latent transition analysis. *Developmental Psychology*, 55(10), 2090 – 2101.
- Naglieri, J. A. , & Das, J. P. (2005). Planning, attention, simultaneous, successive (PASS) theory: A revision of the concept of intelligence. In D. P. Flanagan, & P. L. Harrison (Eds.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (pp. 120 – 135). The Guilford Press.
- Newell, A. , & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Prentice – Hall.
- OECD. (2013). *PISA 2012 assessment and analytical framework: Mathematics, reading, science, problem solving and financial literacy*. OECD Publishing, Paris.
- Szczepanski, S. M. , & Knight, R. T. (2014). Insights into human behavior from lesions to the prefrontal cortex. *Neuron*, 83(5), 1002 – 1018.
- Unterrainer, J. M. , & Owen, A. M. (2006). Planning and problem solving: From neuropsychology to functional neuroimaging. *Journal of Physiology – Paris*, 99(4 – 6), 308 – 317.
- Zhang, X. – Q. , Gao, Q. – H. , Tian, W. , & Xin, T. (2024). Dynamic and typological explanations of planning in complex problem – solving. *Learning and Individual Differences*, 110, 102417. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102417>

Complex Problem-solving: An Investigation into the Dynamic Coupling of Planning and Goal-directed Behaviors

TIAN Wei GAO Qinhui XIN Tao ZHANG Jiahui

(Collaborative Innovation Center of Assessment for Basic Education Quality, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: Enhancing students' complex problem-solving skills is a crucial focus in contemporary psychological and educational research. This study utilizes computer-simulated tests and behavioral sequence analysis to investigate the dynamic coupling relationship between planning and goal-directed behaviors in complex problem solving among 27802 fifteen-year-old students from 42 countries/economies. The findings are as follows: (1) The successful group demonstrated more goal-directed behaviors, while the unsuccessful group tended to engage in more planning and non-goal-directed behaviors; (2) Both groups exhibited significant typological differences in planning behavior sequences, reflecting the influence of individual differences in engagement motivation, cognitive load, and personality traits; (3) The successful group maintained dynamic coupling between planning and goal-directed behaviors, while the unsuccessful group showed relative inadequacy. These findings highlight the crucial role of maintaining dynamic coupling between planning and goal-directed behaviors in complex problem-solving and provide a theoretical basis for the design of educational intervention strategies.

Key words: complex problem-solving; planning; goal-directed behavior; process data; behavioral sequence analysis