

# 不同搜索空间限制下创造性问题解决的过程性搜索机制\*

刘迪<sup>1</sup> 王彦悦<sup>1,2</sup> 陈群林<sup>1</sup> 邱江<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 西南大学心理学部, 教育部“认知与人格”重点实验室, 重庆 400715);

(<sup>2</sup> 西南民族大学, 成都 610041)

**摘要** 尽管创造性思维的过程机制日益受到重视, 但在远距离联想问题解决等领域, 许多研究仍主要依赖正确率、反应时等结果性指标, 对该时间进程中搜索策略、模式变化关注相对不足。基于此, 研究通过两个研究考察不同搜索空间限制下创造性问题解决的过程性搜索机制。实验 1 针对远距离联想测验(RAT)在过程测量及线索维度控制上的局限, 开发多维度 RAT 材料库并验证其信效度, 结果发现任务表现与效标显著相关, 能有效测量不同搜索空间限制下的创造性思维过程; 实验 2 加入语义分析检验不同搜索空间限制条件下的行为表现与过程性指标, 结果发现高限制空间下个体倾向线索引导的局部搜索并在接近目标时呈突变式变化, 其语义跳跃更频繁, 低限制下倾向全局搜索, 以渐进式趋近目标。综上, 研究为考察不同搜索空间限制中联想-控制交互支持创造性问题解决提供了工具, 并为理解该过程性搜索机制提供了新的视角。

**关键词** 创造性问题解决, 搜索空间, 搜索策略, 搜索模式, 语义网络

**分类号** B842

## 1 前言

创造性思维作为人类高阶认知的核心能力, 是个体在面对复杂或模糊问题时, 能够生成新颖且适宜解决方案的思维能力(Runco, 2025), 其不仅对科学发现、艺术创作和技术革新具有重要价值, 也在教育、管理及日常问题解决中扮演着不可替代的作用。随着认知科学的发展, 创造性思维逐渐被理解为多个相互关联的认知过程协同作用的结果, 其中联想激活与认知控制被认为是构成创造性加工的两个核心子系统(Beaty et al., 2016)。联想激活支持远距离新颖信息的激活与组合, 而认知控制是个体在目标导向的认知活动中, 灵活调节信息加工过程的高阶执行功能, 负责调节策略方向、选择路径并抑制不相关信息, 两者的动态协同作用被认为是创

造性思维加工过程的基本机制之一。

在创造性问题解决过程中, 个体在寻找解决方案时可能探索的所有状态和路径的集合被定义为搜索空间(Simon & Newell, 1971), 其直接影响联想路径的展开方式与认知资源的调控。认知科学领域, 通常利用心理词汇所构成的语义网络来表征语义记忆结构或概念系统(Cai & Brysbaert, 2010), 语义空间是由心理词汇及概念关联构成的网络, 以语义词转向量后计算其构成的网络特征为核心特征, 已有研究通过模拟在特定语义网络结构上发生的认知过程, 推论创造性个体对语义网络中概念检索的认知加工特点(Kenett & Austerweil, 2016; Kenett et al., 2019), 而本研究即是以相同逻辑建立在个体语义网络中去探索目标答案的潜在路径集合来定义搜索空间。

收稿日期: 2026-03-30

\* 国家社科重大项目(21&ZD312)资助。

刘迪和王彦悦为共同第一作者。

通信作者: 邱江, qiujiang@swu.edu.cn; 陈群林, chenqunlin@swu.edu.cn

搜索空间的结构特征的限制通过调节联想激活与认知控制的相互作用,系统性地影响了创造性问题解决思维过程。这种空间限制不仅调控了潜在搜索范围,也显著影响个体的搜索策略。搜索策略指个体在创造性问题解决的语义空间中,探索目标答案时所采用的核心方式。局部-全局模型为理解这一策略的选择与动态调节提供了核心理论框架,局部搜索依赖“局部线索”,表现为围绕核心线索进行深度探索。全局搜索依赖“全局线索”(如类别语境、概念词频),表现为跨越不同语义簇的跳跃式探索。个体在联想生成过程中通常先采用局部搜索的策略,围绕当前激活的语义区域进行深度搜索;当局部搜索不能产生有效解答时,转而进行跨语义簇的跳跃式搜索(Hills et al., 2012)。本研究通过计算解答之间间隔对语义相似性的影响,捕捉被试在思考过程中是“聚焦某一语义簇”(局部搜索)还是“频繁跨越语义簇”(全局搜索)。

此外,搜索空间限制不同的情况下其搜索模式也会有所差异,搜索模式指个体在语义搜索过程中,响应与目标答案的语义关联程度随时间的动态变化特征,可分为渐进式和突变式。漂移扩散模型指出,创造性思维中的语义搜索模式并非建立在完全随机的基础上,而是在语义空间中呈现出一定的过程连续性与顺序依赖性,以相对平稳且持续的方式逐步接近目标答案(Hills et al., 2012; Kenett et al., 2014),是一种渐进式的搜索模式。而表征重构理论(Representational Change Theory, RCT)认为当面对具有结构限制的问题时,个体容易受到表征结构的影响而陷入思维定势(Ohlsson, 1992)。问题解决的关键在于个体对问题表征进行重组(Knoblich et al., 1999)。重构后的语义结构更容易激活原先不可达的路径,从而一瞬间突破解题瓶颈,更类似一种突变式的搜索模式。通过不同理论模型比较发现,创造性问题解决的过程不仅依赖联想过程中语义节点的激活,同时也受到搜索空间限制下的路径选择与动态模式变化。

对于考察创造性问题解决的自动激活过程与执行控制机制之间的动态交互,广泛应用远距离联想测验(RAT)这一任务(Becker et al., 2020; Benedek et al., 2014)。在完成 RAT 任务的过程中,个体通常需在初始阶段激活大量潜在的语义关联概念,并依赖认知控制系统对这些激活内容进行筛选与评估,找到关联全部线索词的最优答案。该过程不仅涉及语义信息的激活,也需要对联想路径或搜索策略进

行认知调节,体现了联想与控制系统在创造性加工中的协同作用。有研究通过 RAT 探索联想激活对认知控制的影响(Smith et al., 2013),发现与线索词相关的联想激活可能会影响主动搜索潜在答案这一认知控制过程,但研究对搜索空间限制的操纵相对简单,仅探讨线索词之间联结的语义相似性造成的搜索空间限制对问题解决的影响,有必要对搜索空间及可能的搜索路径进一步精细化控制,比如线索词之间联结维度的差异。

另外,经典 RAT 研究多聚焦于结果层面的测量,如正确率、反应时间等结果性指标,对个体在联想生成过程中的搜索策略、模式关注较少。虽然已有研究尝试通过操纵线索词之间或线索词与答案之间的语义相似度,探讨语义距离对问题解决效率的影响以及创造性加工过程中的语义导航机制(Bernard et al., 2019; Kenett et al., 2014),但尚未深入探讨联想路径的构建方式以及时间展开过程中的变化特征。所以本研究期待通过收集思维过程中所有响应进行进一步的语义计算,如相邻响应、响应与线索词、目标之间语义相似性及类别切换等指标变化了解创造性问题解决的过程性机制。此外,经典 RAT (Mednick, 1962)及其衍生版本,包括复合远距离联想测验(CRAT, Bowden & Jung-Beeman, 2003)、联合联想任务(CAT, Bendetowicz et al., 2017, 2018)、非言语远距离联想测验(LI-RAT, Becker & Cabeza, 2023)等其材料多基于英语语境,并且缺乏对搜索空间的精细化控制,有必要对现有范式及材料进行改进以更细致操纵创造性思维搜索空间中搜索路径差异。

综上所述,本研究旨在基于语义视角回答创造性问题解决过程中搜索空间限制对搜索策略和模式的调节作用。首先实验 1 针对已有 RAT 任务在中文语境下的适用性及限制性操纵的系统性不足,拓展中文词语 RAT 材料库,开发了一套多维度 RAT (Multi-dimensional RAT, MD-RAT)材料,通过控制线索词与目标词之间联结的维度提示信息数量来改变搜索空间的限制程度,为后续研究提供可靠的实验工具。在联结维度的设置上,考虑到中文在语法结构、词汇构成、联想模式以及文化语境方面的显著差异,采纳了形状维度(线索与答案在形状上相似),功能维度(线索与答案在功能上相似)及配对维度(线索与答案的语义联结近)。其次,实验 2 通过操纵线索词与目标词之间联想维度的数目,改变个体在语义空间下的搜索路径数目,进而影响搜

索空间的限制大小,并探索创造性思维加工过程中搜索策略与模式的差异。具体来说,在MD-RAT任务中,收集被试答案搜索过程中所有的响应,通过构建语义网络,探索相邻响应、响应与线索词、目标之间语义相似性及类别切换等指标变化揭示搜索过程中的策略、模式。本研究提出以下假设:(1)MD-RAT材料的信度良好,并与效标相关显著,能够有效解码创造性问题解决过程;(2)搜索空间限制能够显著影响创造性行为表现及过程性指标,如响应数量、类别切换次数;(3)高、低限制搜索空间下的搜索策略(全局搜索与局部搜索)与搜索模式(渐进式搜索与突变式搜索)存在差异。

## 2 实验1:多维度RAT材料库编制

实验1首先针对已有远距离联想测验(RAT)在中文语境下的适用性及限制性操纵的系统性不足,拓展中文词语RAT材料库,开发了多维度RAT(MD-RAT)材料,为后续研究提供可靠的实验工具。MD-RAT材料的编制为研究提供了全新的实验工具,通过系统控制线索维度数,从而操纵搜索路径的数量以及搜索空间的结构特征,提供了新的研究范式。

### 2.1 被试

实验共在健康大学生中招募被试265名。其中MD-RAT材料的编制与筛选阶段招募被试28名(平均年龄20.12岁, $SD = 1.78$ 岁,年龄范围18~25岁,男生9名),被试对材料的各项参数进行了初步评分。材料的效标验证阶段招募被试237名,删除5名数据不完整的被试,余232名(平均年龄20.10岁, $SD = 1.62$ 岁,年龄范围18~25岁,男生43名)。被试随机分为三组,分别完成不同限制条件下的RAT材料及效标问卷。所有被试均自愿参与,并签署知情同意书,实验后获得相应报酬。

### 2.2 实验流程

#### 2.2.1 材料初步编制和筛选流程

经典RAT要求被试在三个相关性低的线索找到共同联结词(答案),线索和答案间联结方式包括近义词、语义联结(配对)和复合词(Mednick, 1962)。Huang等(2012)根据经典英文RAT的原理,构建了中文词语远距离联想测验(Chinese Word RAT, CWRAT),共涵盖三种经典RAT中的联结方式。然而,现存CWRAT并未考虑条目异质性、形象性以及创造性体验高度相关的顿悟感、趣味性等重要参数,并且部分条目中线索间语义激活空间重叠较

广,对答案进行严格唯一规定可能造成其他正确或更富创造性的答案被忽略。Becker和Cabeza(2023)开发了语言独立的图形远距离联想测验(LI-RAT),其主要包含两种联结方式:形状维度和功能维度。鉴于本研究的目的,根据经典远距离联想测验(RAT)材料线索组成规则,在LI-RAT(Becker & Cabeza, 2023)与CWRAT(陈静等, 2024)材料的基础上,结合网络,生活以及《中国汉语词典》选择了12个语义类别:农具、动物、饮料、花朵、乐器、厨具、香料、蔬菜、水果、海洋生物、建筑、教学工具,组成98个条目,每个条目包括3个线索和1个参考答案。线索与参考答案的联结方式包括形状维度,功能维度以及配对维度。其中,形状维度是指两个物体在形状上是相似的,例如罐头盒(线索1)与摇篮(参考答案)。功能维度是指两个物体具有相似的或者可以相互替代的功能,例如吊床(线索2)与摇篮(参考答案)都能坐或躺下并提供运动的感觉,有助于休息放松。配对概念是指联系紧密、时常同时出现的一对概念,例如婴儿(线索3)与摇篮(参考答案)。邀请3名创造性领域的研究者对线索词与目标词搭配的合理性以及本项目适用于研究目的和创造性测试程度进行5点评分,修订后确保每个条目的合理性和适宜性评分均在3.5以上。此外,招募了28名被试对每个条目的各项参数进行初步评分。首先,向被试呈现三个线索词,被试有30s的时间进行思考,当被试按键输入答案或者时间截止后,呈现参考答案,被试需要对条目的难度、匹配度、顿悟感、趣味性进行5点评分。最终根据顿悟感、趣味性、难度、匹配度筛选出54个条目。评分流程见图1。

#### 2.2.2 正式实验流程

正式实验包括54个条目,通过Eprime 2.0软件记录反应时与作答情况(实验流程见图2)。被试需要根据条目中给定的3个不相关线索,输入1个能够同时与3个线索分别建立联结的答案,联结包括形状,功能与配对维度三种方式,每个条目限时30s。将被试随机分为三组,完成高、中、低限制中一种条件下的任务。高限制条件下提示所有线索词对应的维度,中限制条件下随机提示其中1个线索词对应的维度(即形状,功能,配对中的1个),低限制条件下无线索词对应的维度提示。在完成MD-RAT后,所有被试均需要完成创造性成就问卷、大五人格-开放性维度简式量表以及言语流畅性测验。

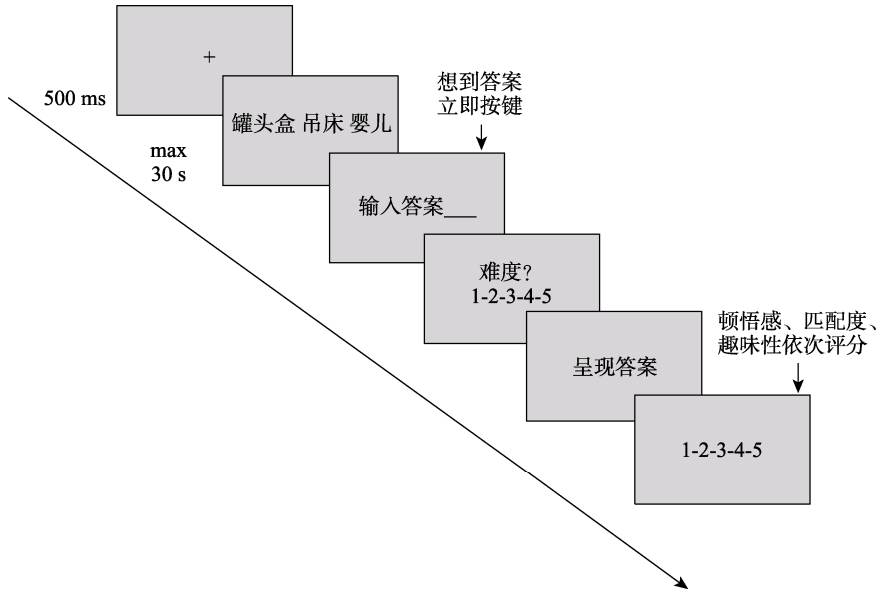


图 1 MD-RAT 材料评分任务

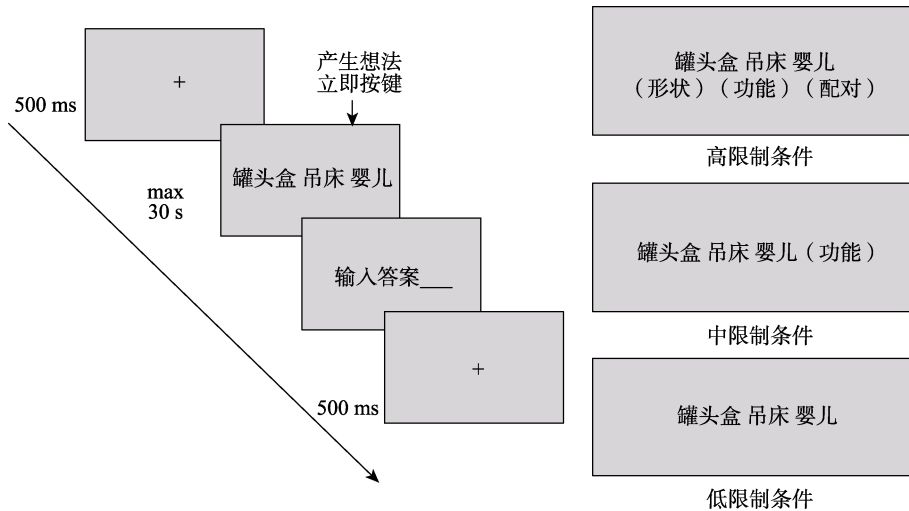


图 2 实验 1 流程示意图

### 2.3 计分标准与效标效度测量

首先,邀请 3 名创造性领域的研究者对 MD-RAT 中被试的答案进行评分:回答完全不符合要求计 0 分;回答为参考答案,或根据客观知识符合要求的答案计 1 分。完成评分后,将 3 名研究者的平均分数作为该题目得分,将所有题目的分数累计相加后除以总题目的数量得到个体 RAT 正确率。评分者内部一致性信度(ICC)为 0.82。

其次,实验 1 采用创造性成就问卷(Creative Achievement Questionnaire, CAQ)、大五人格-开放性维度简式量表(NEO-FFI Openness)及言语流畅性测验(VFT)作为多维度 RAT 的创造性效标,以评估 MD-RAT 的外部效度。其中 CAQ 测量个体在多个创造性领域成就的标化工具,常被用作创造

性测量工具的效标(王战旗,张兴利,2020),涵盖视觉艺术、音乐、写作等 10 个领域。大五人格理论中的开放性维度反映了个体对新奇、复杂和多样化经验的接受程度,是重要的创造性人格特质(Christensen et al., 2018; Zare & Flinchbaugh, 2019),创造性测量工具的编制通常采用经验开放性 NEO-FFI Openness 作为效标。言语流畅性测验(Verbal Fluency Test, VFT):言语流畅性是创造性思维的核心成分之一,反映了个体在特定时间内生成大量语义相关词语的能力。研究表明,VFT 能够有效预测个体在创造性问题解决中的表现,并与创造性思维中的联想能力具有稳定的相关性(Silvia et al., 2013)。其内部一致性信度为 0.85,能够有效评估个体的言语联想能力和创造性潜能。

## 2.4 实验结果

利用 SPSS 27.0 对数据进行统计分析, RAT 材料难度、趣味性等参数的描述性统计如表 1 所示。对随机分配的三组被试的人口学变量及测量指标(言语流畅性、创造性成就和经验开放性得分)进行单因素方差分析,结果均不存在显著差异( $p > 0.05$ ),表明三组被试同质。限制性 RAT 的内部一致性分析显示, Cronbach's  $\alpha$  值为 0.87, 表明该任务具有良好的信度。

表 1 MD-RAT 材料难度、顿悟感等指标的描述性统计

指标	最小值	最大值	平均值	标准差
通过率	0.25	0.89	0.65	0.16
反应时	10.05	30.97	19.86	5.61
难度	2.29	3.68	2.93	0.39
顿悟感	2.21	3.86	3.02	0.36
匹配度	3.68	4.57	4.23	0.23
趣味性	3.46	4.18	3.81	0.15

在任务表现方面,不同限制条件对远距离联想任务的正确率存在显著影响,  $F(2, 229) = 26.15, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.18$ 。不同限制条件对远距离联想任务的反应时存在显著影响,  $F(2, 229) = 12.74, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.10$ 。事后检验发现,高限制组与低限制组的正确率具有显著差异,高限制组正确率( $0.76 \pm 0.084$ )显著高于低限制组( $0.64 \pm 0.13$ )。高限制组与低限制组的反应时具有显著差异,高限制组反应时( $16.25 \pm 7.14$  s)显著低于低限制组( $23.16 \pm 10.24$  s)。中等限制条件下的正确率与反应时与另外两组无显著差异。结果见表 2。

表 2 不同限制条件下正确率与反应时间的单因素方差分析

指标	组别	N	平均数	标准差	F	p
正确率	高	78	0.76	0.08	26.15	< 0.001
	中	79	0.74	0.11		
	低	75	0.64	0.13		
反应时	高	78	16.25	7.14	12.74	< 0.001
	中	79	19.96	7.83		
	低	75	23.16	10.24		

进一步将被试的 MD-RAT 得分(正确率)与创造性成就、开放性以及言语流畅性得分进行相关性分析。结果显示,在高限制条件下, MD-RAT 正确率与创造性成就得分显著正相关( $r = 0.26, p = 0.019$ ),与开放性得分显著正相关( $r = 0.24, p = 0.034$ ),与言语流畅性得分显著正相关( $r = 0.34, p = 0.003$ )。在

低限制条件下, RAT 正确率与创造性成就得分显著正相关( $r = 0.27, p = 0.020$ ),与开放性得分显著正相关( $r = 0.29, p = 0.013$ ),与言语流畅性得分显著正相关( $r = 0.32, p = 0.006$ ),见表 3。在中等限制条件下,并未发现与 MD-RAT 正确率显著相关的指标。实验 1 在构建 MD-RAT 材料的基础上,通过控制线索词与目标词之间联结的维度提示信息数量来改变搜索空间的限制程度,为后续研究提供了实验工具。

表 3 不同空间限制条件下 MD-RAT 任务正确率与效标的相关性分析

条件	正确率	言语流畅性	创造性成就
言语流畅性			
高	0.34**		
中	0.20		
低	0.32**		
创造性成就			
高	0.26*	0.28*	
中	0.16	0.22	
低	0.27*	0.30**	
经验开放性			
高	0.24*	0.13	0.30**
中	0.09	0.02	0.15
低	0.29*	0.27*	0.11

注: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ 。

## 3 实验 2: 不同问题空间限制中创造性问题解决过程中的行为表现

实验 2 进一步考察了被试在高、低问题空间限制中创造性问题解决过程中的行为表现,并通过过程性指标的计算揭示了搜索策略及搜索模式。具体来说,与实验 1 任务流程不同,被试在思考过程中一旦有想法产生,无论这个想法是否正确,所有想法都将被记录,并对每一个试次间产生想法过程中的语义指标计算。高限制条件下,提示全部维度,被试倾向于自上而下进行问题搜索,这时认知控制主导,抑制无关联想,引导联想聚焦核心线索;低限制条件下,无维度提示,被试倾向于自下而上进行问题搜索,这时联想生成主导,激活更多远距离语义节点,而认知控制调节策略切换。

搜索策略:为深入探究个体在问题解决空间中的语义搜索策略,研究聚焦于“局部搜索”与“全局搜索”两种语义搜索策略。局部搜索指个体在语义空间中围绕某一核心线索或语义簇展开的集中式

搜索活动, 相邻响应对的语义相似性较高, 表现为在较短时间内生成一系列语义相近或高度相关的反应; 而全局搜索则指个体在搜索过程中跨越不同语义区域或线索簇, 具有较强的跳跃性和发散性的特点, 表现为更广范围的语义探索。

搜索模式: 为进一步理解个体在问题解决空间中的动态语义搜索模式, 研究聚焦于渐进式搜索与突变式搜索两种模式。其中, 渐进式搜索是指个体在认知加工过程中, 以相对平稳且持续的方式逐步接近目标答案, 语义搜索路径具有较高的一致性和线性特征, 表现为个体响应与目标答案之间的语义相似性随响应顺序的增加呈缓慢上升趋势。突变式搜索指个体在初期阶段倾向于采用发散性搜索策略, 在不同语义簇之间进行广泛探索, 而在接近正确答案的阶段, 则会出现语义变化的“跃迁”, 表现为在搜索路径的最后阶段中语义相似性的显著上升。

### 3.1 被试

通过 G\*power 3.1 计算所需被试量为 23 人(效应量  $d$  值 0.80, 功效值 0.95), 实验共招募在校健康大学生 42 名, 删除 3 名数据不完整的被试, 余 39 名被试(平均年龄为 20.21 岁,  $SD = 1.72$  岁, 年龄范围 18~24 岁, 男生 12 名), 所有被试均为右利手, 视力或矫正视力正常, 当前或过去没有中枢神经系统疾病或药物史。被试在实验室完成线下数据采集, 需要完成高限制与低限制两种水平下的 MD-RAT 任务, 使用 E-Prime 2.0 软件记录被试的反应时与作答情况。所有被试自愿参与, 并签署知情同意书, 实验后获得相应报酬。

### 3.2 实验任务

#### 3.2.1 实验材料

根据实验 1 的结果, 选择高限制与低限制两种条件开展实验 2。从实验 1 编制好在顿悟感、趣味性、难度、匹配度方面无显著差异的材料中选择 40 个条目, 随机分为两组, 每组 20 个(见表 4)。其中一组作为高限制条件下的材料, 另一组为低限制条件材料。在高限制组中, 每一试次中 3 个线索词下方都有一个符号用来提示该线索对应的维度, 保证被试在正式实验前有充足的练习时间, 能够熟练记住每个符号对应的维度含义, 而低限制组中则没有维度提示。在正式实验开始前, 每一组都有 3 个条目作为练习试次, 以使参与者熟悉任务要求与流程。

表 4 实验 2 材料难度、顿悟感等指标的  
描述性统计及差异性检验

变量名	组别	平均值	标准差	$t$ 值	$p$ 值
难度	高限制组	2.78	0.42	-0.41	0.684
	低限制组	2.83	0.34		
顿悟感	高限制组	2.95	0.32	-0.02	0.986
	低限制组	2.95	0.35		
匹配度	高限制组	4.33	0.19	-0.24	0.811
	低限制组	4.34	0.14		
趣味性	高限制组	3.82	0.15	-1.03	0.308
	低限制组	3.86	0.13		

#### 3.2.2 实验设计

正式实验采用被试内设计, 包含两个水平(高限制条件和低限制条件), 每个水平下包含 20 个试次。实验分为 4 个 Block, 每个 Block 中包括同一种限制条件下的 10 个试次, Block 之间休息 3 分钟。为了排除顺序效应的影响, 高限制条件和低限制条件的呈现顺序采用 ABBA 的方式平衡。每一个 Block 中试次和试次间有数秒(均值为 2 s)的空屏间隔。正式实验前会进行相应练习, 确保被试熟悉整个实验流程。

#### 3.2.3 实验流程

首先, 屏幕中央会出现一个 2 秒的十字注视点, 紧接着会呈现三个线索词, 这三个线索词以随机的顺序在屏幕中显示。被试在每个试次中有 45 秒的时间进行思考。与实验 1 任务流程不同的是, 被试在思考过程中一旦有想法产生, 无论这个想法是否正确, 立即按“1”键并在文本框中输入产生的这个想法。45 秒时间结束后, 被试需要在文本框中输入 1 个自己认为最恰当的想法, 即同时与三个线索词都有联结关系作为最终的答案, 接着通过询问被试是否产生“灵光一现”来确保创造性问题解决中顿悟感的出现。实验流程见图 3。

### 3.3 统计分析

#### 3.3.1 语义分析

基于语义网络视角, 研究引入语义相似性和类别切换指标计算线索词和答案词之间的关系。语义相似性指不同词语或概念的相关程度, 数值越高, 表明两个概念在语义网络中所属的语义簇更接近, 共享的语义特征越多; 类别切换指个体从一个语义类别转换到另一个不同语义类别的认知操作, 转换次数越多, 表明个体在语义空间中跨越不同簇群的探索越频繁, 反映出更强的认知灵活性与策略调节能力。

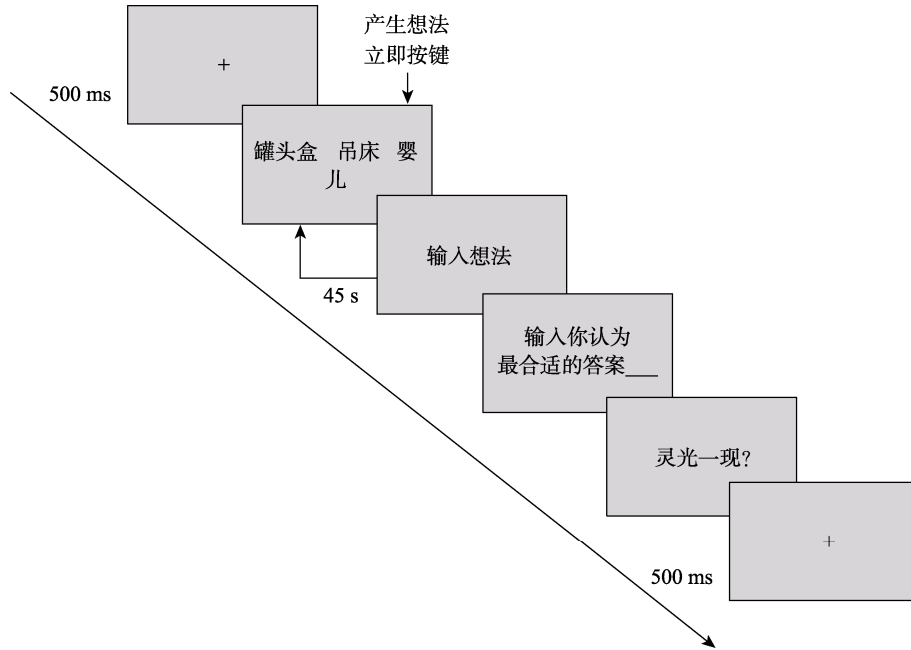


图 3 实验 2 流程示意图

(1)语义相似性: 基于 word2vec 工具包(<https://ode.google.com/archive/p/word2vec/>), 利用维基百科与百度百科联合构建的约 10 亿词汇的中文语料库进行词向量训练, 为每个词语生成 1 个 300 维的向量来表征其语义特征, 然后通过计算任意两个词语对应向量夹角的余弦值来量化其语义相似性, 其中余弦值趋近于 1 时表明语义高度相似。本研究中, 对于每个 RAT 试次, 分别计算了每一个响应与每个线索词、正确答案以及同一试次中其他响应的语义相似度。

(2)类别切换: 首先提取所有被试作答中涉及的词汇, 在计算所有词汇两两之间语义距离的基础上, 构建语义距离矩阵。然后采用 Ward 方法进行层次聚类, 通过轮廓系数评估聚类效果, 并在设定的类别范围(最小 15 类, 最大 35 类), 选择最佳轮廓系数对应的类别数  $k$  作为最终聚类数。根据最佳聚类数  $k$  对所有答案进行聚类, 并为每个答案分配相应的类别标签。最后将聚类得到的类别标签对应到原始数据中, 计算被试在每个试次中的类别转换次数, 将每种条件下所有试次的平均类别转换次数作为个体在该任务条件下的类别切换指标。

### 3.3.2 数据分析

首先实验 2 分析了空间限制条件对被试在创造性问题解决表现上的影响, 利用 SPSS 27.0 对正确率、顿悟感、响应数量、正确答案的位置以及类别切换次数进行配对样本  $t$  检验。响应数量指被试在每个试次的 45 秒思考时间内, 主动按键记录的“过

程性想法”总数。正确答案位置指正确答案在被试所有过程性想法中的输入顺序序号, 反映正确答案出现的早晚, 以正确答案对应的输入顺序序号为得分。顿悟感指被试在确定最终正确答案时, 是否产生“灵光一现”的主观体验, 0、1 记分。

其次, 探究被试在解决 MD-RAT 问题时的搜索策略是否遵循聚集性策略, 该策略假设被试在解题时优先选择某一核心线索进行搜索, 而非同时整合所有三个线索的关联范围。为了验证这一假设, 需要确定每个被试每个试次中的主要线索词, 依据是该被试的响应与题目中三个线索词的语义相似度, 选择相似度最高的线索词作为主要线索词。在每个试次中, 将相邻的两个响应对分为两种类型, 主线索词不同的为“跨线索对”, 相同则为“内线索对”。例如, 某被试在线索为“莲蓬、水枪、浴球”, 答案为“花洒”中的试次中, 响应“莲花(主线索词: 莲蓬)、手枪(主线索词: 水枪)”为“跨线索对”, 响应“莲花(主线索词: 莲蓬)、花洒(主线索词: 莲蓬)”为“内线索对”。采用方差分析比较跨线索对与内线索对是否具有显著差异。

最后, 为了探究搜索过程使用的策略, 即被试是否主要依赖局部搜索或进行全局搜索, 实验 2 还检验了答案间的顺序依赖效应。为了分析被试在同一试次内相邻或间隔一定数量的答案在语义相似性上的变化模式, 计算每位被试在同一试次中所有响应两两之间的语义相似度, 并按照响应的间隔数量进行分组。例如, 相邻答案(间隔为 0)、间隔 1

个答案、间隔 2 个答案等。采用线性混合效应模型 (Linear Mixed Model, LMM), 考察语义相似性如何随响应间隔(lag)的变化, 以及任务类型(task)的调节作用。模型如下:

$$\text{Similarity} \sim \text{lag} * \text{task} + (1|\text{subject}) + (1|\text{trial})$$

响应间隔(lag)和限制条件(高 vs. 低)作为固定效应, 并考虑二者的交互作用。同时, 考虑到不同被试及实验试次可能对语义相似性产生系统性影响, 将被试(subject)和试次(trial)设为随机截距项, 以控制潜在的个体差异和试次间变异。

最后, 为了探究高限制条件与低限制条件下响应路径的相似性变化模式(搜索模式), 计算每个响应与该试次正确答案之间的语义相似性, 进一步考察回答顺序对语义相似性的影响。采用线性混合效应模型(Linear Mixed Model, LMM), 探究语义相似性如何随响应顺序(response\_order)的变化而发生动态改变, 并检验限制条件(task)在此过程中的调节作用。模型如下:

$$\text{Similarity} \sim \text{response\_order} * \text{task} + (1|\text{subject}) + (1|\text{trial})$$

响应顺序(response\_order)和限制条件(high vs. low)作为固定效应, 并考虑二者的交互作用(response\_order × task)。同时, 考虑到不同被试及实验试次可能对语义相似性产生系统性影响, 将被试(subject)和试次(trials)设为随机截距项, 以控制潜在的个体差异和试次间变异。

### 3.4 实验结果

#### 3.4.1 任务表现与过程性指标

首先对 RAT 任务评分, 计分方法与实验 1 中的标准相同, 两种条件下个体 RAT 正确率, 评分者内部一致性信度为 0.88。接下来利用配对样本 *t* 检验分析探究搜索空间限制对正确率、顿悟感、平均响应数、正确答案位置、类别切换的影响, 结果发现

(图 4), 高限制条件与低限制条件的正确率具有显著差异,  $t(38) = 6.32, p < 0.001, \text{Cohen}' d = 1.01$ , 高限制条件下的正确率( $M \pm SD = 0.68 \pm 0.18$ )显著高于低限制条件( $M \pm SD = 0.52 \pm 0.22$ )。平均响应数量在高低限制条件下存在显著差异,  $t(38) = -3.84, p < 0.001, \text{Cohen}' d = -0.61$ , 低限制条件下的平均响应数量( $M \pm SD = 4.19 \pm 1.57$ )显著高于高限制条件( $M \pm SD = 3.64 \pm 1.50$ )。类别切换次数在高低限制条件下存在显著差异,  $t(38) = -3.97, p < 0.001, \text{Cohen}' d = -0.63$ , 低限制条件下的类别切换次数( $M \pm SD = 3.06 \pm 0.92$ )显著高于高限制条件( $M \pm SD = 2.65 \pm 0.93$ )。对于正确答案的位置和顿悟感在高低两种条件下不存在显著差异。

#### 3.4.2 搜索策略: 局部策略与全局策略

对两种线索对的相似性差异进行比较, 验证个体在 MD-RAT 任务中是否倾向于围绕某一主线索词展开搜索。对数据进行了两因素方差分析(任务: 高、低限制条件; 线索对类型: 内、外线索对), 因为可能存在被试多个响应的现象, 我们对同一被试同一条件下的多个线索对相似性进行了平均, 进行后续分析。结果发现, 任务主效应显著, 高限制条件下线索对相似性( $0.39 \pm 0.01$ )显著高于低限制条件( $0.32 \pm 0.01$ ),  $F(1, 24) = 21.02, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.47$ ; 线索对类型主效应显著, 内线索对相似性( $0.42 \pm 0.01$ )显著高于外线索对( $0.29 \pm 0.01$ ),  $F(1, 24) = 126.85, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.84$ ; 交互效应不显著,  $F(1, 24) = 1.63, p = 0.215$ 。

通过个体在任务过程中生成的连续响应之间的语义相似性变化, 检验搜索路径是否存在顺序依赖特征, 这反映了被试是采用局部搜索策略还是全局搜索策略。线性混合效应模型结果表明, 响应间隔的主效应显著( $\beta = -0.02, p < 0.001$ ), 随着响应间

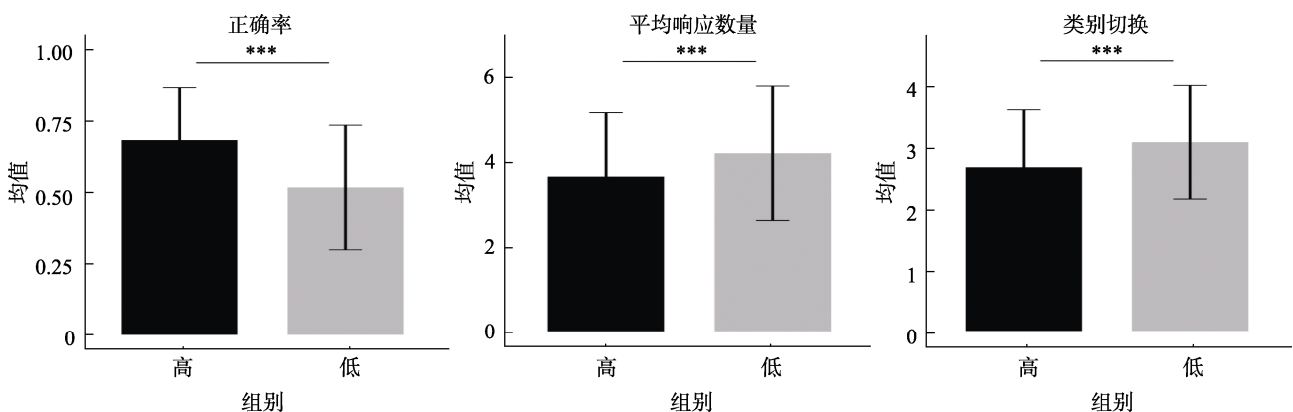


图 4 限制性 RAT 任务正确率、响应次数、类别切换指标柱状图

隔的增加, 语义相似性呈现显著下降趋势。任务类型的主效应显著( $\beta = -0.06, p < 0.001$ ), 低限制条件下的语义相似性显著低于高限制条件。任务类型与响应间隔之间的交互作用显著( $\beta = 0.01, p = 0.012$ ), 限制条件会调节响应间隔对语义相似性的影响, 见表 5。

表 5 响应间隔影响语义相似性变化的线性混合效应模型

效应	Beta	SE	t	p
固定效应				
截距	0.39	0.01	30.27	< 0.001
间隔	-0.02	0.004	-5.57	< 0.001
任务	-0.06	0.01	-6.72	< 0.001
间隔×任务	0.01	0.004	2.56	0.012
随机效应				
方差		标准差		
被试	0.003	0.06		
试次	0.001	0.03		
残差	0.02	0.13		

进一步统计检验发现, 在高限制条件下, 语义相似性随响应间隔的增加而显著下降( $b = -0.02, SE = 0.004, t = -5.56, p < 0.001$ ), 而在低限制条件下该下降趋势显著但较为缓慢( $b = -0.01, SE = 0.003, t = -3.19, p = 0.002$ )。两条件间的斜率差异显著( $\Delta b = -0.01, SE = 0.005, t = -2.56, p = 0.011$ ), 表明搜索空间限制对语义激活模式的变化斜率具有显著调节作用(图 5)。

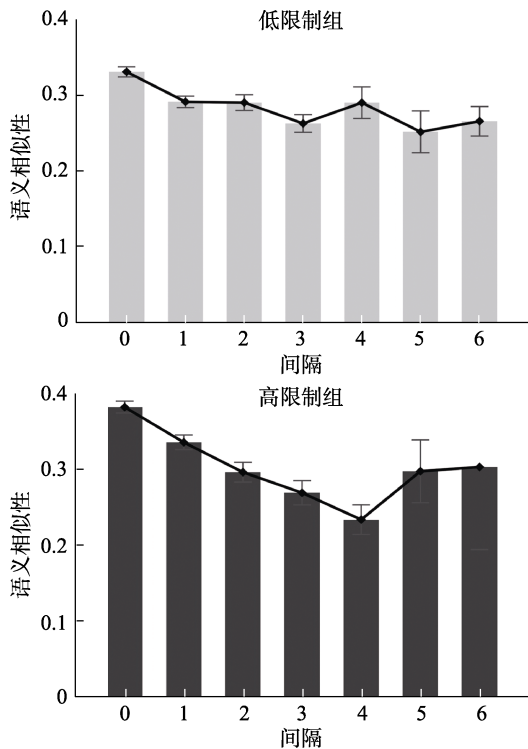


图 5 高、低限制条件下语义相似度随响应间隔变化的柱状图

### 3.4.3 搜索模式: 渐进式与突变式

对于高限制条件与低限制条件下响应路径的相似性变化模式, 计算每个响应与该试次正确答案之间的语义相似性。线性混合效应模型分析表明, 响应顺序的主效应显著( $\beta = 0.12, p < 0.001$ ), 随着回答序列的增加, 语义相似性呈现显著上升趋势。限制条件的主效应显著( $\beta = -0.36, p < 0.001$ ), 低限制条件下的语义相似性显著低于高限制条件。任务类型与响应顺序的交互作用显著( $\beta = -0.10, p = 0.011$ ), 限制条件影响了不同响应顺序下语义相似性的变化, 高限制条件下, 语义相似性随响应顺序的上升趋势较为陡峭, 低限制条件下的上升幅度较为平缓, 见表 6。

表 6 响应路径相似性变化的线性混合效应模型

效应	Beta	SE	t	p
固定效应				
截距	0.78	0.02	33.02	< 0.001
响应顺序	0.12	0.01	15.45	< 0.001
任务	-0.36	0.02	-14.88	< 0.001
响应顺序×任务	-0.10	0.01	-9.62	0.011
随机效应				
方差		标准差		
被试	0.008	0.09		
试次	0.0009	0.03		
残差	0.03	0.19		

进一步事后检验发现, 在早期响应阶段, 低限制条件下的语义相似性显著高于高限制条件; 而在中后响应阶段, 低限制条件下的语义相似性显著低于高限制条件(图 6)。

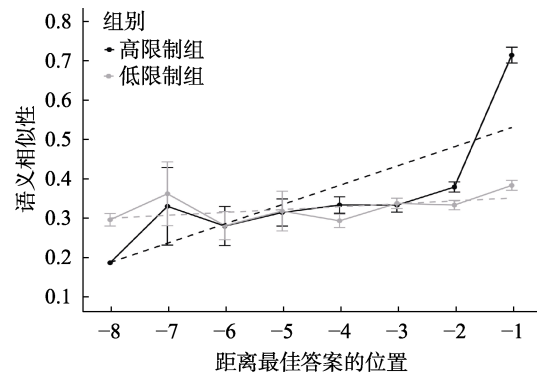


图 6 联想路径的语义相似性变化折线图

## 4 讨论

实验基于语义视角通过探讨创造性问题解决中搜索空间限制对搜索过程中行为表现及其搜索策略、模式的影响来拓展对创造性思维中联想-控

制交互作用的理解。实验 1 开发了具有良好信、效度的 MD-RAT 材料,通过操作线索词与答案间的联结维度,实现对搜索空间限制结构的精细控制;实验 2 结合任务表现与过程性指标分析了个体在搜索空间的搜索策略与动态搜索模式。首先实验 1 发现了任务的正确率与创造性成就、经验开放性、言语流畅性均显著相关,并发现不同限制条件下的远距离联想任务表现存在显著差异。实验 2 发现搜索空间的限制会系统性地影响远距离联想任务中语义搜索的效率、策略选择以及搜索路径的动态变化特征。

#### 4.1 基于多维度 RAT 解构创造性思维的优势及过程性特征

本研究通过构建 MD-RAT 材料库对创造性思维的加工过程进行了深入探索。一方面,MD-RAT 任务为搜索空间限制的可操纵性奠定了基础,为创造性思维加工过程的研究提供了新的视角。远距离联想任务解决过程涉及了联想生成、潜在语义概念筛选以及控制加工的认知过程,能够有效捕捉个体在信息检索以及认知调节过程中的差异与动态变化(Beaty & Kenett, 2023; Beaty et al., 2014; Becker et al., 2020)。MD-RAT 在经典任务范式的基础上,引入“形状”、“功能”与“配对”三类标准化联结方式,通过操纵线索维度的数目来影响潜在的联想路径范围,从而构建限制程度不同的语义搜索空间,弥补了仅依赖线索词与目标词之间语义相似性作为潜在语义空间指标的局限。

另一方面,通过过程性特征分析,完成了从“静态测量”到“动态建模”的转变。不同于传统研究中仅关注正确率、反应时间等结果性指标,本研究还从平均响应数量、正确答案的位置以及类别切换次数等指标出发,并结合创造性加工过程中搜索策略与搜索路径模式的探索。结果发现了高、低限制条件下远距离联想任务的行为表现与认知过程的差异,搜索空间的限制程度直接影响个体的搜索策略选择与信息整合效率。在受限的搜索空间中,个体更容易聚焦于与目标相关的线索,从而减少无关信息干扰并提升问题解决效率(Beaty et al., 2023)。在低限制条件下,个体产生了相对于高限制条件更多的响应数量和更高的类别切换频率,在搜索空间相对开放、不确定性较高的条件下,个体需投入更多认知控制资源,以支持策略执行、监控搜索过程并抑制无关信息的干扰(Hills et al., 2015),这可能激发了个体更具发散性的策略,个体倾向于在语义

空间中频繁跨越不同的语义簇进行探索。同时,顿悟感与答案生成位置在高、低限制条件下无显著差异,表明限制程度主要影响个体的行为策略与效率,而非顿悟体验本身。顿悟体验更多取决于线索整合难度与答案突现性,而非搜索路径本身(Davidson, 2003)。此外,中等限制条件下 RAT 得分与效标变量之间的相关性并不显著,这可能是因为中间限制线索维度模糊,高限制对应“认知控制的聚焦能力”,低限制对应“联想激活的发散能力”,而中等限制的“模糊性”破坏了任务与创造性核心机制(联想激活-认知控制协同)的对应关系。总之,MD-RAT 构建了能够操控搜索空间并捕捉其动态变化的创造性任务范式,对于深入揭示联想生成与认知控制在动态认知中的协同机制具有重要意义。

#### 4.2 搜索空间限制对搜索策略与搜索模式的动态调节

研究进一步分析了搜索空间限制对搜索策略与搜索模式的影响,结果发现,个体在高、低两种限制条件下会采用不同的搜索策略以及搜索模式。局部-全局搜索模型(Hills et al., 2012)提出,个体的语义搜索会遵循“先局部搜索(聚焦当前语义簇),局部搜索无效后切换至全局搜索(跨语义簇跳跃)”。研究通过分析内线索对与跨线索对的语义相似性,内线索对的语义相似性显著高于跨线索对,验证了被试在 MD-RAT 任务中是否采用了“以线索词为中心”的局部搜索模式。此外,研究发现较小的搜索空间中被试的响应围绕着核心线索、语义簇展开集中探索,相邻想法的语义相似性高,呈现出一种局部聚集性(Ovando-Tellez et al., 2022);但在更开放的搜索空间下,个体对策略的依赖性会增强(Lezama et al., 2023),响应更容易分布在多个不相关语义簇,导致整体语义相似性偏低,个体的想法则更具跳跃性,不仅依赖于其中一个线索词或是前一个生成的响应,而是表现为一种更加发散的搜索模式(Hills et al., 2008)。同时,MD-RAT 的行为表现也验证了上述的发现,低限制条件下表现为更高的响应数量与语义类别切换频率。更发散的搜索策略虽拓宽了搜索广度,但可能提升了认知负荷,导致信息筛选与问题解决效率的降低。需要注意的是,局部-全局搜索模型(Hills et al., 2012)中的“策略动态切换”这一假设在本研究中未进行验证,而只是通过分析个体在任务过程中生成的连续响应之间的语义相似性变化,检验搜索路径是否存在顺序依赖特征,来验证两种条件下更倾向于哪种搜索策略。

响应与目标之间语义相似性的动态变化揭示了不同限制条件下的搜索模式。个体在 RAT 任务中的搜索行为均表现出一定的目标指向性,响应与目标之间的语义相似性随响应序列的推进而逐步上升。然而,在低限制条件下,语义相似性随时间逐步趋近最终目标,搜索路径呈现出“渐进式”的变化特征,这种过程连续性和顺序依赖性符合漂移扩散模型的假设。低限制条件下语义空间更广且结构不明确,个体需要在多种可能路径中进行探索,路径跳跃性更高,策略调节的负荷显著增加,进而削弱了语义信息的有效整合效率(Beaty & Johnson, 2021; Frith et al., 2021; Hass, 2017; Wiley & Jarosz, 2012)。而在高限制任务下,早期阶段的相似性变化较小,但在接近目标的最后阶段呈现出“突变式”的变化特征。高限制条件通过提供明确的联结维度,增强了个体对线索信息的目标指向性,也增加了个体在解决问题过程中的定势,在重组线索关系后,进行了表征重构,激活原先不可达的路径,从而一瞬间突破解题瓶颈,这符合表征重构理论的假设(Kenett & Faust, 2019; Ovando-Tellez et al., 2023)。总之,研究系统揭示了不同搜索空间限制下创造性思维加工的联想策略与搜索模式的差异。不仅实现了对创造性问题解决进程的动态解码,也为理解创造性联想-控制交互机制提供了实证支持。

#### 4.3 不足与展望

尽管本研究在探索创造性问题解决中,在不同搜索空间限制下的过程性机制方面取得了有意义的发现,但仍存在一些限制,需要在未来研究中进一步完善和拓展。首先,任务生态效度仍有限。本研究采用的多维度远距离联想测验(MD-RAT)尽管在搜索路径的控制上具有实验优势,但本质上仍为高度简化的语言类认知任务。相比现实中的创造性问题解决,RAT 任务结构较为封闭,答案单一,缺乏过程中的情境复杂性与多元反馈机制,可能难以充分激发真实的创造性思维加工。因此,未来可引入更具生态效度的任务范式,如开放式命题生成、多媒体联想、跨模态整合等,以提高研究结果的外部推广性。其次,搜索路径的分析方法有待进一步拓展。本研究虽尝试通过语义相似性、类别切换、响应序列等指标描绘个体在任务中的搜索路径的动态变化,但仍主要依赖于个体的显性报告。联想过程中潜在的内部搜索轨迹、隐性激活路径以及非语言化的加工策略尚无法被充分还原。未来研究可考虑结合眼动追踪、鼠标轨迹、实时思维口述等

过程数据,进一步捕捉个体创造性问题搜索的过程性机制。

## 5 结论

本研究通过材料编制与任务开发、行为实验及语义指标分析,系统考察了搜索空间限制对创造性思维表现的影响及过程中的动态搜索策略模式。本研究主要得到以下结论:(1)开发的多维度 RAT 材料具有良好的信效度,任务表现(正确率)与创造性成就、经验开放性和言语流畅性得分显著相关,验证了该任务在评估创造性思维能力的有效性。(2)搜索空间的限制程度系统性地调节了创造性思维加工过程中的搜索策略选择:在高限制条件下,个体更依赖线索引导的局部搜索策略;在低限制条件下,个体倾向于进行全局搜索,表现出更大的语义跳跃与策略切换。(3)搜索空间的限制程度系统性地影响了创造性思维加工过程中的动态搜索模式:低限制条件下表现为语义相似性逐步趋近目标的渐进式搜索,而高限制条件下,语义相似性在接近目标的短时间内显著增大,表现为突变式搜索模式。

## 参 考 文 献

- Beaty, R. E., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2016). Creative cognition and brain network dynamics. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(2), 87-95.
- Beaty, R. E., & Johnson, D. R. (2021). Automating creativity assessment with SemDis: An open platform for computing semantic distance. *Behavior Research Methods*, 53(2), 757-780.
- Beaty, R. E., & Kenett, Y. N. (2023). Associative thinking at the core of creativity. *Trends in Cognitive Sciences*, 27(7), 671-683.
- Beaty, R. E., Kenett, Y. N., Hass, R. W., & Schacter, D. L. (2023). Semantic memory and creativity: The costs and benefits of semantic memory structure in generating original ideas. *Thinking & Reasoning*, 29(2), 305-339.
- Beaty, R. E., Silvia, P. J., Nusbaum, E. C., Jauk, E., & Benedek, M. (2014). The roles of associative and executive processes in creative cognition. *Memory & Cognition*, 42(7), 1186-1197.
- Becker, M., & Cabeza, R. (2023). Assessing creativity independently of language: A language-independent remote associate task (LI-RAT). *Behavior Research Methods*, 55(1), 85-102.
- Becker, M., Sommer, T., & Kühn, S. (2020). Verbal insight revisited: fMRI evidence for early processing in bilateral insulae for solutions with AHA! experience shortly after trial onset. *Human Brain Mapping*, 41(1), 30-45.
- Bendetowicz, D., Urbanski, M., Aichelburg, C., Levy, R., & Volle, E. (2017). Brain morphometry predicts individual creative potential and the ability to combine remote ideas. *Cortex*, 86, 216-229.
- Bendetowicz, D., Urbanski, M., Garcin, B., Foulon, C., Levy, R., Bréchemier, M. -L., ... Volle, E. (2018). Two critical

- brain networks for generation and combination of remote associations. *Brain*, 141(1), 217–233.
- Benedek, M., Jauk, E., Sommer, M., Arendasy, M., & Neubauer, A. C. (2014). Intelligence, creativity, and cognitive control: The common and differential involvement of executive functions in intelligence and creativity. *Intelligence*, 46, 73–83.
- Bernard, M., Kenett, Y. N., Ovando-Tellez, M., Benedek, M., & Volle, E. (2019). Building Individual Semantic Networks and Exploring their Relationships with Creativity. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 41, 138–144.
- Bowden, E. M., & Jung-Beeman, M. (2003). Normative data for 144 compound remote associate problems. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35, 634–639.
- Cai, Q., & Brysbaert, M. (2010). SUBTLEX-CH: Chinese word and character frequencies based on film subtitles. *PLoS ONE*, 5(6), e10729.
- Chen, J., Xu, T. W., & Chen, Q. L. (2024). Development and preliminary exploration of Chinese word remote associates test. *Psychology: Techniques and Application*, 12(5), 283–295. [陈静, 许天委, 陈群林. (2024). 中文词语远距离联想测验的编制及初步探索. *心理技术与应用*, 12(5), 283–295.]
- Christensen, A. P., Kenett, Y. N., Cotter, K. N., Beaty, R. E., & Silvia, P. J. (2018). Remotely close associations: Openness to experience and semantic memory structure. *European Journal of Personality*, 32(4), 480–492.
- Davidson, J. E. (2003). Insights about insightful problem solving. In J. E. Davidson & R. J. Sternberg (Eds.), *The psychology of problem solving* (pp. 149–175). Cambridge University Press.
- Frith, E., Kane, M. J., Welhaf, M. S., Christensen, A. P., Silvia, P. J., & Beaty, R. E. (2021). Keeping creativity under control: Contributions of attention control and fluid intelligence to divergent thinking. *Creativity Research Journal*, 33(2), 138–157.
- Hass, R. W. (2017). Semantic search during divergent thinking. *Cognition*, 166, 344–357.
- Hills, T. T., Jones, M. N., & Todd, P. M. (2012). Optimal foraging in semantic memory. *Psychological Review*, 119(2), 431–440.
- Hills, T. T., Todd, P. M., & Goldstone, R. L. (2008). Search in external and internal spaces: Evidence for generalized cognitive search processes. *Psychological Science*, 19(8), 802–808.
- Hills, T. T., Todd, P. M., Lazer, D., Redish, A. D., Couzin, I. D., & Cognitive Search Research Group. (2015). Exploration versus exploitation in space, mind, and society. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(1), 46–54.
- Huang, P., Chen, H., & Liu, C. (2012). The development of Chinese word remote associates test for college students. *Psychological Testing*, 59(4), 581–607.
- Kenett, Y. N., Anaki, D., & Faust, M. (2014). Investigating the structure of semantic networks in low and high creative persons. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 407.
- Kenett, Y., & Austerweil, J. L. (2016). Examining Search Processes in Low and High Creative Individuals with RandomWalks. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 38, 313–318.
- Kenett, Y. N., & Faust, M. (2019). A semantic network cartography of the creative mind. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(4), 271–274.
- Knoblich, G., Ohlsson, S., Haider, H., & Rhenius, D. (1999). Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(6), 1534–1555.
- Lezama, R., Gómez-Ariza, C. J., & Bajo, M. T. (2023). Individual differences in semantic priming and inhibitory control predict performance in the Remote Associates Test (RAT). *Thinking Skills and Creativity*, 50, 101426.
- Mednick, S. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review*, 69(3), 220–232.
- Ohlsson, S. (1992). Information-processing explanations of insight and related phenomena. In M. Keane & K. Gilhooley (Eds.), *Advances in the psychology of thinking* (pp. 1–44). Harvester-Wheatsheaf.
- Ovando-Tellez, M., Benedek, M., Kenett, Y. N., Hills, T., Bouanane, S., Bernard, M., ... Volle, E. (2022). An investigation of the cognitive and neural correlates of semantic memory search related to creative ability. *Communications Biology*, 5(1), 604.
- Ovando-Tellez, M., Kenett, Y. N., Benedek, M., Bernard, M., Belo, J., Beranger, B., Bieth, T., & Volle, E. (2023). Brain connectivity-based prediction of combining remote semantic associates for creative thinking. *Creativity Research Journal*, 35(3), 522–546.
- Runco, M. A. (2025). Updating the standard definition of creativity to account for the artificial creativity of AI. *Creativity Research Journal*, 37(1), 1–5.
- Silvia, P. J., Beaty, R. E., & Nusbaum, E. C. (2013). Verbal fluency and creativity: General and specific contributions of broad retrieval ability (Gr) factors to divergent thinking. *Intelligence*, 41(5), 328–340.
- Simon, H. A., & Newell, A. (1971). Human problem solving: The state of the theory in 1970. *American Psychologist*, 26(2), 145–159.
- Smith, K. A., Huber, D. E., & Vul, E. (2013). Multiply-constrained semantic search in the remote associates test. *Cognition*, 128(1), 64–75.
- Wang, Z. Q., & Zhang, X. L. (2020). The Validity and reliability of the Chinese version of the Creative Achievement Questionnaire. *Studies of Psychology and Behavior*, 18(3), 390–397.
- [王战旗, 张兴利. (2020). 创造力成就问卷的中文修订. *心理与行为研究*, 18(3), 390–397.]
- Wiley, J., & Jarosz, A. F. (2012). Working memory capacity, attentional focus, and problem solving. *Current Directions in Psychological Science*, 21(4), 258–262.
- Zare, M., & Flinchbaugh, C. (2019). Voice, creativity, and big five personality traits: A meta-analysis. *Human Performance*, 32(1), 30–51.

## Processual search mechanisms in creative problem solving under different search space constraints

LIU Di<sup>1</sup>, WANG Yanyue<sup>1,2</sup>, CHEN Qunlin<sup>1</sup>, QIU Jiang<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Faculty of Psychology, Southwest University; Key Laboratory of Cognition and Personality (Ministry of Education),  
Chongqing 400715, China) (<sup>2</sup> Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China)

### Abstract

Creative thinking relies on dynamic interactions between associative idea generation and cognitive control, and semantic search processes are at the core of this system. However, traditional Remote Associates Test (RAT) paradigms lack fine-grained control over search space constraints and overlook the dynamic nature of the creative thinking process. This study aimed to explore how search space constraints modulate semantic search strategies and patterns during creative problem-solving, using a newly developed Multi-dimensional RAT (MD-RAT) to address these limitations.

We ran two separate experiments for this research. In Experiment 1, we developed and validated the MD-RAT. This task adjusts search space constraints by changing the number of cue dimensions (shape, function, pairing) that link cue words to the target word. A total of 265 healthy undergraduates participated in material validation and psychometric testing. We measured participants' task accuracy and response times, and tested how these task results correlated with their creative achievement, personality openness, and verbal fluency. In Experiment 2, we recruited 42 participants and used a within-subjects design to directly compare high- and low-constraint conditions. We analyzed both behavioral performance (accuracy, number of responses) and fine-grained process indicators, including semantic similarity, category switching, and the sequential dependency of responses.

Our results first confirmed that the MD-RAT has good reliability and validity. Across both high- and low-constraint conditions, participants' task accuracy was significantly correlated with creative achievement, openness, and verbal fluency. We also found clear differences between the two conditions: the high-constraint condition had higher accuracy and fewer total responses than the low-constraint condition, while the low-constraint condition saw far more category switching. Our semantic similarity analyses gave a clear view of the search strategies participants used: in high-constraint conditions, people adopted local search strategies centered on dominant cues, with higher intra-cue than inter-cue similarity. In contrast, low constraints led to global search with more frequent semantic jumps. Besides, we found that search patterns differed that low constraints showed progressive increases in semantic similarity to targets, while high constraints displayed abrupt similarity spikes near solutions.

These findings make it clear that search space constraints systematically shape the creative thinking process. High constraints support focused, efficient local search, while low constraints encourage open, divergent global exploration. Beyond this, the MD-RAT provides a robust tool for investigating dynamic semantic search mechanisms, and helps us better understand how associative strategies and cognitive control work together to support creative problem solving.

**Keywords** creative problem solving, search space, search strategy, search pattern, semantic network