

• 研究方法(Research Method) •

认知努力如何测量：方法、问题与改进^{*}

杨艺琳 杨文登 郑 亚

(广州大学教育学院奖赏与社会认知研究中心, 广州 510006)

摘 要 认知努力是个体为克服既有习惯并实现目标所主动投入的意志性心理活动。受限于理论框架的异质性与方法论标准化的不足, 认知努力测量领域尚缺乏能精准反映其多维特征的测量方法。概括起来, 当前测量方法可总结为量表法(2种)和实验法(11种)。量表法易受其自身运用于认知努力领域测量的信效度问题、元认知、个体差异、测验环境和文化等因素干扰; 实验法易受努力与难度混淆、个体认知能力差异、时间、理论模型的差异等因素制约。未来应提升量表使用的准确性与可靠性; 融合跨学科技术, 分离认知努力与难度水平; 动态校准个体差异, 多模态验证认知努力; 创新测量方法及理论以适应不同的研究需求。

关键词 认知努力, 测量方法, 改进建议

分类号 B848

1 引言

认知努力(cognitive effort), 亦称心理努力(mental effort), 是个体在处理信息、进行思考和做出决策的过程中(Tyler et al., 1979), 为克服既有习惯、达成既定目标而投入的主动的、意志性的心理活动(Hayakawa, 1987)。这种努力不仅涉及对高要求任务的投入程度(Westbrook & Braver, 2015), 还通常伴随着一种厌恶性的主观体验(Vogel et al., 2020)。在日常生活中, 社会大众需要付出认知努力的情境比比皆是, 如: 学生在期末考试中需要投入大量认知资源以获得满意成绩, 消费者在“双十一”等活动中需要精细计算以最大化满减优惠, 工人在作业中需要高度集中注意力以完成零件组装。不仅如此, 心理疾病患者, 包括抑郁症患者(温秀娟 等, 2025; Ang et al., 2023; Harvey et al., 2005; Tran et al., 2021; Treadway et al., 2012; Vinckier et al., 2022; Westbrook et al., 2023; Wood-Ross et al., 2020)、亨廷顿氏病患者(Atkins et

al., 2024)、精神分裂症患者(Culbreth et al., 2018; Gold et al., 2015)、双向情感障碍患者(Barch et al., 2023)等, 在康复过程中均可能用到认知重构、认知训练等心理干预方法, 同样需要付出认知努力。

关于认知努力的研究由来已久。早在 1880 年, 威廉·詹姆斯(William James)在其著作中提到“认知努力”的概念, 认为认知努力源于个体对内部冲突的解决(James, 1880)。随后, Hull (1943)提出“最小努力原则”, 奠定了努力需要最小化成本的核心假设。在此基础上, 认知资源模型(Kahneman, 1973)、动机强度理论(Brehm & Self, 1989)等理论相继出现, 均强调认知资源的有限性, 需要个体付出认知努力。近年来, 研究者明确将“努力”区分为认知努力和体力努力(温秀娟 等, 2025; Ang et al., 2023; Tran et al., 2021; Wolpe et al., 2024), 认为认知努力是个体在认知过程中所主动投入的, 需要意志参与的一种多维动态心理活动。它反映了对高要求任务的投入程度(Westbrook & Braver, 2015), 是主动的、需要意志参与的过程, 与个体能力及目标任务属性有关(易伟 等, 2019)。

但总体而言, 认知努力的概念仍然不够明确。它不等同于动机、意志力与难度, 也不等同于注意力或认知控制(Westbrook & Braver, 2015), 却又与这些概念密切相关。当前学界从不同视角

收稿日期: 2025-03-27

^{*} 国家社科基金后期资助项目(23FJKB005); 广东省哲学社会科学规划一般项目(GD23CJY13)资助。

通信作者: 杨文登, E-mail: yangwendeng@163.com

出发, 围绕认知努力开展了大量实证研究。如, 有研究者从工作记忆(Ang et al., 2023; Desjardins et al., 2024; McLaughlin et al., 2021; Westbrook et al., 2023; Wood-Ross et al., 2020)、注意力资源的分配及控制(Atkins et al., 2024; Bogdanov et al., 2022; Fleming et al., 2023; Lopez-Gamundi et al., 2024; Wen et al., 2024;)等角度来研究认知努力; 还有部分研究者运用心算任务来探讨认知努力与个体主观体验、奖赏、决策等因素间的作用机制(Depow et al., 2022; Mason et al., 2024; Milyavskaya et al., 2021; Vassena et al., 2014; Vassena et al., 2015; Vassena et al., 2019;)。

这些实证研究基于不同的研究目的, 对认知努力概念的理解不同, 突出认知努力内涵的维度不同, 提出的操作定义存在显著差异, 进而开发了多种不同的测量方法与实验范式。其在总体上推进了认知努力的研究, 但其在测量指标、对认知努力核心功能及努力水平的操纵等方面各不相同, 使得学界对认知努力的测量缺乏公认、可重复且能精准适配认知努力多维特征的测量方法与实验范式。本文基于认知努力多维内涵的特征及跨领域测量的多样性需求, 对现有国内外相关文献进行了综述, 将所有认知努力的测量方法分为量表法和实验法两大类, 剖析两者的不足并为未来建构匹配研究目标的标准化测量方法提供了可能的改进建议。

2 认知努力的多元测量方法

认知努力的测量方法按其研究类型的不同可分为两类: 量表法与实验法。这两类方法能够评估个体在不同任务中的所投入的认知努力程度, 揭示认知努力的主观体验与其行为表现之间的关系。

2.1 主观途径: 量表法

在认知努力的研究中, 为深入了解其作用机制, 研究者常采用量表以期能够直接测量个体对认知努力的主观体验。当前在国内外被广泛应用于认知努力测量的量表主要是认知需求量表(Cacioppo et al., 1984)及美国国家航空航天局任务负荷指数(Hart & Staveland, 1988)。

2.1.1 认知需求量表

Cacioppo 和 Petty 在 1982 年编制了认知需求量表(Need for Cognition Scale, NCS)以评估个体在认知需求上的差异。随后在 1984 年将其进行修订, 将原先包含 34 个条目的量表缩减为 18 个条

目, 以提高认知需求量表的实用性与效率(Cacioppo et al., 1984)。而邝怡等人在 2005 年将认知需求量表应用于中国大学生群体中, 对其进行中文版的修订工作。修订后的量表重测信度为 0.86, 且分半信度和内部一致性信度均高于 0.89, 表明修订后的中文版认知需求量表具有较高的信度。

2.1.2 美国国家航空航天局任务负荷指数

Hart 和 Staveland 在 1988 年为能够更准确地评估和测量个体在执行不同类型任务时的主观任务负荷程度, 开发出了美国国家航空航天局任务负荷指数(NASA Task Load Index, NTLX)。梁丽玲等人在 2019 年将 NTLX 应用于我国护士群体中进行汉化, 结果显示该量表的重测信度为 0.81, Cronbach's α 系数为 0.71, 具有较高的信度。

对于上述所提及的认知努力自陈量表的具体内容及特点请见表 1。

2.2 客观途径: 实验法

在探讨认知努力的实验中, 通常以个体选择高努力任务的意愿、反应的准确率及反应时为测量指标, 旨在研究个体投入认知努力的主观意愿及其实际行为表现。根据认知努力测量方法所涉及的核心认知功能的不同, 可将多样化的测量认知努力的实验划分为以下 4 类: 基于工作记忆的实验、基于反应冲突的实验、基于注意力的实验以及基于数字运算的实验。

2.2.1 基于工作记忆的实验

工作记忆作为有限的认知资源, 其负荷的变化可以直接反映个体付出认知努力的程度(Crawford et al., 2021; Forsys et al., 2024)。工作记忆任务的难度可以通过调整工作记忆容量或任务的复杂程度来灵活操纵, 使得研究者能够精确量化个体在不同难度的任务中所付出的认知努力程度。此外, 工作记忆任务激活的脑区与认知努力的神经基础密切相关, 其外在的行为表现也能有效反映认知努力的投入程度(Clay et al., 2022; Kardan et al., 2020)。因此, 众多学者使用工作记忆任务来研究认知努力的具体作用机制(Ang et al., 2023; Desjardins et al., 2024; McLaughlin et al., 2021; Tran et al., 2021; Vogel et al., 2020; Westbrook et al., 2019; Westbrook et al., 2023; Wood-Ross et al., 2020)。当前基于工作记忆来研究认知努力的实验主要有以下 3 种: N-back 任务、认知挑战任务以及认知努力动机任务。

表 1 认知努力自陈量表的具体内容及特点

量表名称	版本	源文献	维度	总题数	特点
认知需求量表	第一版	Cacioppo & Petty, 1982	1 个维度：认知需求	34 题	测量个体参与和享受努力认知活动的倾向。
	修订版	Cacioppo et al., 1984		18 题	将原量表进行缩减，以提高其实用性与效率。
	中文版	邝怡 等, 2005		17 题	以中国大学生为被试群体对 Cacioppo 和 Petty 所开发的 NCS 量表进行中文版修订。
美国国家航空航天局任务负荷指数	第一版	Hart & Staveland, 1988	6 个维度：心理需求、体力需求、时间需求、任务表现、努力程度和挫败感程度	6 题	评估和测量个体在执行不同类型任务时的主观工作负荷
	中文版	梁丽玲 等, 2019	6 个维度：脑力要求、体力要求、时限要求、自我表现、努力程度和受挫感	6 题	以中国上海市 1300 名护士为被试，对美国国家航天航空局任务负荷指数量表进行汉化

第一, N-back 任务(N-back Task)。N-back 任务是一种广泛应用于认知努力测量的经典实验范式。该任务最初由 Kirchner (1958) 提出, 由 Westbrook 等人(2013)将其应用于认知努力领域的研究中。该任务要求被试判断当前屏幕上呈现的英文字母是否与先前特定位置(由 N 值决定)的字母一致, N 值越大, 任务难度和工作记忆负荷越大。通过操纵 N 值, 研究者可评估被试在不同工作记忆负荷下的认知努力。

第二, 认知挑战任务(Cognitive Challenge Task)。认知挑战任务是 Wood-Ross 等人(2020)为评估抑郁患者在认知任务中的行为表现而开发的一项实验, 通过任务难度的变化以评估个体在实验中的认知努力投入程度。该任务要求被试扮演战场指挥官, 记住并定位以颜色、形状和徽章区分的盟友盾牌。被试需在包含目标盾牌和混淆盾牌的地图中检索出目标盾牌, 共 10 个难度级别。随任务难度的递增, 被试需在复杂情境中投入更多的认知努力以完成目标定位。

第三, 认知努力动机任务(Cognitive Effort Motivation Task, CEMT)。认知努力动机任务由

Ang 等人(2023)开发, 旨在探究重度抑郁障碍与为获取奖励而投入认知努力的动机关系。该任务含决策、记忆和测试三阶段。决策阶段, 被试在低努力低奖励与高努力高奖励选项间进行选择; 记忆阶段, 被试需记住屏幕上所呈现的网格(6×6、5×5 或 4×4)中的红色高亮方块; 测试阶段, 目标字母“T”随机出现在网格方块中, 被试需判断其是否在记忆阶段的红色方块上, 5 次测试中至少 4 次正确才能获得相应奖励。

对于测量认知努力的基于工作记忆的实验的测量指标、实验中对认知努力水平及难度水平的操纵均总结于表 2 中。

2.2.2 基于反应冲突的实验

反应冲突会引发认知努力, 个体在解决反应冲突的过程中, 大脑需要调动执行功能的动作控制, 这种调动涉及认知努力的参与(Dreisbach & Fischer, 2012)。反应冲突不仅会改变被试的选择行为, 还会影响任务表现(Schouppe et al., 2014)。当参与者面临反应冲突时, 他们必须主动调整认知策略, 以克服自动反应的干扰, 这种调整需要投入额外的认知资源, 从而导致反应时间的延长

表 2 基于工作记忆的实验

任务名称	实验指标	对认知努力水平的操纵	对难度水平的操纵
N-back 任务	准确率与反应时	N 值的变化	N 值的变化
认知挑战任务	准确率与反应时	工作记忆内容、线索呈现时间、检索时间的变化	工作记忆内容、线索呈现时间、检索时间的变化
认知努力动机任务	对高努力高奖励选项的选择意愿	需记忆项目的数量	需记忆项目的数量

和正确率的下降。因此,有研究者使用基于反应冲突的实验任务来量化认知努力的投入(Clairis & Pessiglione, 2024; Harmon-Jones et al., 2024; Kool et al., 2010; Lin et al., 2024; Lopez-Gamundi et al., 2024; Ritz & Shenhav, 2019; Vinckier et al., 2022)。当前基于反应冲突研究认知努力的实验主要包括以下三种: 认知表现任务、数字判断任务和西蒙点运动冲突任务。

第一, 认知表现任务(Cognitive Performance Task)。有研究基于 Stroop 效应的基本原理(Stroop, 1935)创新性地开发了认知表现任务以研究认知努力(Clairis & Pessiglione, 2024; Vinckier et al., 2022)。在该任务中, 被试需判断每对数字中数值更大的一侧并按键。数字范围为 0 至 9, 数值差距在 1 至 5 之间。实验中会有两种字号以区分数字的物理大小, 每对数字在数值和物理大小上可能一致或不一致。当两者不一致时, 被试需克服干扰, 投入更多认知努力以做出正确判断。

第二, 数字判断任务(Number Judgment Task)。数字判断任务是一种典型且广泛使用的认知努力测量任务, 其本质上是一种任务切换(Task Switching)。任务切换范式在认知上要求较高, 通常表现为反应时增加和准确率降低(Kool et al., 2010), 且被试倾向于选择任务切换次数较少的实验任务。当前, 数字判断任务及其变式已被广泛应用于其它实验中以操纵认知努力(Barch et al., 2023; Botvinick et al., 2009; Croxson et al., 2009; Harmon-Jones et al., 2024; Horan et al., 2015; Kool et al., 2010; Lopez-Gamundi et al., 2024; Lopez-Gamundi & Wardle, 2018)。该任务需要被试根据屏幕上的提示线索对随后所呈现的一系列数字(1 至 9, 但不包括 5)进行奇偶判断或大小判断。在这两类判断任务的切换中, 被试需转换认知策略与思维模式, 其间因任务差异需投入不同程度的认知努力。

第三, 西蒙点运动冲突任务(Simon-like Dot-Motion Task)。在探讨认知努力与注意力的研究中, 西蒙点运动冲突任务主要用于研究个体对刺激源方向的反应(Danielmeier et al., 2011; Lin et al., 2024; Ritz & Shenhav, 2019)。在该实验任务中, 被试需依据点阵的颜色执行相应的按键反应, 其中不同颜色对应键盘上不同侧的按键位置。与此同时, 被试必须忽略点阵的左右运动方向这一干扰信息。该任务创设了按键位置线索与点阵运动方向线索相冲突的情境, 被试需付出认知努力, 投入认知资源以克服干扰, 进而做出正确的按键反应。

对于测量认知努力的基于反应冲突的试验的测量指标、实验中对认知努力水平及难度水平的操纵均总结于表 3 中。

2.2.3 基于注意力的实验

注意力也是一种有限的认知资源, 注意力的分配和维持会受认知努力的影响, Kahneman (1973)认为, 认知努力是个体在不同任务间分配注意力的能力, 这意味着个体在执行高认知努力任务时, 需要调用更多的注意力资源以完成任务。Braver (2012)和 Shenhav 等人(2013)指出, 认知努力涉及对注意力的调控和管理, 包括在面对干扰或冲突时及时调整注意力的能力。此外, Ortega 等人(2015)和 Toplak 等人(2011)认为, 认知努力会影响个体在复杂或不确定情况下如何分配注意力以做出最佳决策。因此有学者采用基于注意力研究的实验任务来研究认知努力(Apps et al., 2015; Atkins et al., 2024; Bogdanov et al., 2022; Chiu & Yantis, 2009; Fleming et al., 2023; Guitart-Masip et al., 2011; Wen et al., 2024; Yantis et al., 2002)。当前基于注意力研究认知努力的实验主要包括以下 4 种: 数字转换任务、快速序列视觉呈现任务、奇异球辨别任务和视觉模糊搜索范式。

表 3 基于反应冲突的实验

任务名称	实验指标	对认知努力水平的操纵	对难度水平的操纵
认知表现任务	准确率与反应时	被试对数字的物理大小和数字大小间的反应冲突的抑制	反应时间的限制
数字判断任务	对高努力水平任务的选择意愿、准确率	任务类型的切换概率	任务类型的切换概率
西蒙点运动冲突任务	准确率	被试对按键位置线索与点阵运动方向线索的反应冲突的抑制	实验中出现反应冲突的概率

第一, 数字转换任务(Number Switching Task, NST)。Fleming 等人(2023)为测量认知努力提出了数字转换任务。该任务要求被试将 1 至 9 的随机数字序列中的每个数字分类为奇数或偶数。任务包含 4 个努力水平, 奇数与偶数间的切换概率越高, 被试所需投入的认知努力水平则越高。被试需尽快对每个数字的奇偶属性做出判断, 并按键反应, 只有在限定时间内完成序列且错误不超过一次才会标记为“正确”。该任务与任务切换范式的区别在于, NST 任务中, 被试只需对屏幕上出现的数字进行奇偶判断, 任务类型从始至终保持一致, 不涉及其他任务。

第二, 快速序列视觉呈现任务(Rapid Serial Visual Presentation, RSVP)。Chong 等人(2017)为探究努力成本与奖赏间的关系, 改编了 Yantis 等人(2002)的快速序列视觉呈现任务, Atkins 等人(2024)将其应用于亨廷顿氏病患者的认知努力研究中。改编后的 RSVP 任务要求被试监测屏幕中快速变化的字母, 寻找目标字母“T”。试验开始时, 饼图线索提示认知努力水平, 共 6 个水平。饼图色块数越多表示随后屏幕上呈现的字母数量越多, 即被试所需付出的认知努力水平会随之升高。成功完成每个努力水平的任务后, 被试会获相应反馈。

第三, 奇异球辨别任务(Odd-ball Discrimination Task)。在认知努力的研究领域内, 部分学者采用了奇异球辨别任务作为其研究的实验范式。该任务要求被试在有限时间内快速识别三个视觉刺激中的“不同项”, 且通过改变潜在奖励金额以影响被试的动机水平、提供或隐藏进度条信息以影响被试对任务进度的感知等方式来操纵认知努力(Beierholm et al., 2013; Devine et al., 2024; Guitart-Masip et al., 2011), 当被试为获得更多奖励金额或可依据进度条信息直观了解与奖励目标的接近程度时, 会加快反应速度, 进而投入更多认知努力。

第四, 视觉模糊搜索范式。Zheng 等人(2023)为研究认知努力与奖赏的关系, 改编了 Bastiaansen 等人(2002)的时间估计任务中所运用到的视觉模糊搜索范式, 该范式要求被试识别特定目标。实验开始时, 屏幕出现注视点, 随后呈现两种认知努力水平的搜索任务。在低认知努力水平下, 屏幕上呈现清晰的白色视觉刺激(背景为黑色); 在高认知努力水平下, 视觉刺激被多个小白方块遮挡或叠加, 被试为正确按键反应需要克服视觉障碍识别线索, 从而付出认知努力。

对于测量认知努力的基于注意力的实验的测量指标、实验中对认知努力水平及难度水平的操纵均总结于表 4 中。

2.2.4 基于数字运算的实验

个体在进行数字运算的过程中涉及认知努力的付出, 通过操纵算数任务的难度可以量化个体的认知努力。近年来, 有众多学者利用基于数字运算的实验——心算任务(Mental Arithmetic Task), 以深入探讨认知努力与个体的主观体验、奖赏、决策等因素间的关系与作用机制(Depow et al., 2022; Fleming et al., 2023; Mason et al., 2024; Milyavskaya et al., 2021; Vassena et al., 2014; Vassena et al., 2015; Vassena et al., 2019)。心算任务主要包括以下两种形式。

第一种形式的心算任务涉及连续的加减法(Gheza et al., 2023; Vassena et al., 2014; Vassena et al., 2015; Vassena et al., 2019)。任务开始时, 屏幕上会随机呈现一个 1 至 9 的数字, 随后屏幕会依次显示加号或减号及相应数字, 要求被试在规定时间内对这些数字进行连续的加减运算。最后, 屏幕上会呈现两个选项, 包括一个正确答案和一个错误答案, 被试需要选择正确的答案以获得奖励。

第二种形式的心算任务要求被试对三位数序列中的每个数字分别进行加法运算(Depow et al., 2022; Milyavskaya et al., 2021)。在正式实验中, 被试在“加 1”(简单任务)和“加 3”(复杂任务)中选

表 4 基于注意力的实验

任务名称	实验指标	对认知努力水平的操纵	对难度水平的操纵
数字转换任务	准确率与反应时	对奇偶数字的交替判断	奇偶数字的切换概率
快速序列视觉呈现任务	准确率	屏幕所呈现的字母数量	屏幕所呈现的字母数量
奇异球辨别任务	准确率与反应时	奖励金额的变化、提供或隐藏进度条信息	反应时间的限制
视觉模糊搜索范式	准确率	是否对视觉刺激添加模糊处理	是否对视觉刺激添加模糊处理

择。在“加 1”任务中, 被试将每个数字加 1 并输入结果, 如“3 6 2 9”对应“4 7 3 0”; 在“加 3”任务中, 被试将每个数字加 3 并输入结果, 如“3 6 2 9”对应“6 9 5 2”。

对于测量认知努力的基于数字运算的实验的测量指标、实验中对认知努力水平及难度水平的操纵均总结于表 5 中。

综上所述, 量表法通过主观报告的形式, 直接量化个体对认知资源投入程度的主观感知, 使研究者能够直接获取被试对认知努力的主观体验, 从而深入理解认知过程中的个体主观感受。这种直接性不仅能够揭示被试对认知努力的自我认知, 还为研究者提供了一个独特的视角来探究个体在认知任务中的心理状态和主观感受, 为认知努力的多维度理解提供了重要的补充。而实验法则通过设计特定的实验任务, 观察和记录被试在任务中的行为表现, 评估认知努力的投入程度, 且上述的实验任务在实际应用中均根据其特定的研究目标和数据特性, 有针对性地结合了事件相关电位(ERP)、功能性磁共振成像(fMRI)或计算建模等前沿技术, 使研究者能够从不同维度推断出认知努力的心理过程和作用机制, 显著提升了实验结果的精确性与可靠性。这两类方法的发展与应用, 为认知努力的测量提供了切实可行的工具。但这些测量工具仍存在一定的局限性, 下文将剖析这两类测量方法面临的挑战与反思, 并提出可能的改进建议。

3 认知努力测量面临的挑战与反思

3.1 量表法的挑战与反思

尽管主观测量工具如认知需求量表(NCS)、美国航空航天局任务负荷指数(NTLX)等量表已经被广泛使用于认知努力的研究中, 但由于最初开发这些量表的目的并非是为了测量认知努力, 因此将其运用于认知努力领域的实际研究中的信效度仍然有待检验。例如, Westbrook 等人(2013)发现, 在实验中被试的美国航空航天局任务负荷指数(NTLX)的得分并非努力的主观价值的稳定

预测因子。

此外, 自陈量表测量结果的准确性和可靠性易受个体元认知能力的干扰。在完成自陈量表的过程中, 元认知能力较高的个体能更准确地评估自己的心理状态和行为, 而元认知能力较低的个体则可能因对自己认知过程的不敏感或不准确, 导致测量结果与真实情况出现偏差。

最后, 自陈量表还易受个体差异、测验环境和文化的影响。个体差异(解学慧, 2007), 如年龄(Westbrook et al., 2013)、受教育水平和精神病史(Ang et al., 2023)等, 会导致个体对量表题目及自身认知努力的主观成本理解的不一致。例如, 较为年长的或受教育水平较低的个体均可能难以理解较为复杂的量表题目; 相较于正常健康的个体, 精神病患者可能因认知功能受损, 对量表题目的理解存在偏差。测验环境(张作记 等, 2006)也会影响个体在完成自陈量表时的表现。例如, 在完成对认知努力的主观评估中, 若个体面临时间限制时, 他们可能会感到焦虑和紧张, 从而高估完成任务所需的认知努力; 处于焦虑状态的个体可能会低估自己的认知能力, 从而高估完成任务所需投入的认知努力水平。此外, 文化差异也会影响个体对量表题目的理解。例如, 西方文化中认知努力的表述可能会被理解为个体在完成任务过程中需要保持专注投入, 而东方文化中对于认知努力的理解还可能与社会责任感相关。

3.2 实验法的挑战与反思

第一, 实验中对认知努力与难度的操控不当, 易致两者混淆。例如, 在认知挑战任务中, 高难度任务不仅增加认知努力需求, 还因任务复杂性降低被试成功完成任务的概率, 使被试的回避行为受努力成本、成功概率及奖励获得概率的多重影响(Fleming et al., 2023)。又如, 在认知努力动机任务中, 虽然根据被试的工作记忆能力来改变被试所使用的网格, 但在该实验中高努力水平需要被试记住更多信息, 这就使得努力和任务难度同时变化, 无法完全分离。

表 5 基于数字运算的实验

心算任务的形式		实验指标	对认知努力水平的操纵	对难度水平的操纵
第一种形式	准确率与反应时		数学运算	是否涉及进位或借位
第二种形式	对复杂任务的选择意愿、准确率与反应时		数学运算	“加 1”或“加 3”

第二,个体间认知能力的差异会影响其对任务难度的感知。认知能力的个体差异会直接影响个体对任务负荷的主观评估,当任务难度未标准化时,易引发系统误差,如天花板效应或地板效应。此时,对认知努力的主观评估更多地反映出个体对任务难度的感知水平,而非对认知努力的真实敏感性。例如,精神疾病患者因相关脑区受损,导致其认知能力与正常健康个体相比存在差异(Atkins et al., 2024),可能会觉得任务难度较大。此外,正常健康个体间也存在个体差异,例如在 N-back 任务中,个体工作记忆容量的差异会影响其任务表现和反应准确率,工作记忆容量较大的个体能较好完成任务,而工作记忆能力容量较小的个体准确率较低。

第三,实验任务的难度水平不同,易引起时间折扣效应。实验任务难度的增加不仅需要更多的认知努力,还可能导致完成任务所需时间更长(Ang et al., 2023),例如视觉模糊搜索范式和心算任务。认知努力水平越高或任务难度越大,被试则需要越多时间来处理和比较信息,这可能会导致奖励的延迟。如果任务设计中没有控制时间因素,被试可能会因为等待奖励的时间更久而降低任务的主观价值。这种时间折扣效应可能被误认为是认知努力成本的增加。

第四,认知努力的理论异质性导致测量方法的多元化,各测量工具的效度有待检验。Allport (1954)在其关于偏见研究的文章中提出人类是“认知吝啬鬼”。Kahneman (1973)在其著作《注意与努力》中提出资源限制理论,认为个体每执行一个任务都需要花费心理资源,但个体认知系统中可调用的心理资源是有限的。当前有大量实证研究表明认知努力是令人厌恶的,付出认知努力需要耗费成本(Apps et al., 2015; Clay et al., 2022; Depow et al., 2022; Desjardins et al., 2024; Embrey et al., 2023; Fleming et al., 2023; Forys et al., 2024; Inzlicht et al., 2018; Kool et al., 2010; Vassena et al., 2014; Westbrook et al., 2013;)。基于认知努力主观成本的复杂性,当前主要有 3 种关于认知努力成本的理论模型:内部成本模型认为,认知努力本身携带一种主观成本,这种成本源于有机体内部的资源有限性,个体在进行复杂的认知任务时,需投入有限的认知资源,这种资源耗竭会产生主观认知成本(Inzlicht & Schmeichel, 2012; Muraven

& Baumeister, 2000),即该模型侧重于解释为什么个体为了达到目标而愿意投入更多的认知努力;机会成本模型指出,个体在执行认知任务时,需评估选择当前任务所隐含的“机会成本”——即放弃执行其他潜在任务可能获得的收益(Kurzban et al., 2013),机会成本并非任务本身的难度,而是被放弃的“次优选项”的价值,即该模型侧重于解释为什么个体为了达到目标而愿意舍弃其他机会;信号模型指出,付出认知努力不仅消耗个体有限的认知资源,还会引发诸如疲劳、焦虑等负性情绪,这些负性情绪信号会促使个体调整自己的行为,回避认知资源的消耗与认知努力的付出,以减轻个体主观上的认知负荷与情绪不适(Inzlicht et al., 2014; Inzlicht & Schmeichel, 2012),但需要注意,个体的努力虽然受到负性情感信号的影响,但是在努力过程中所产生的正性情感也能够降低甚至抵消努力产生的固有的负性情感,从而促进个体的努力行为(易伟等, 2019),即该模型侧重于解释为什么个体愿意选择完成某件其原先不想做的事情。这三种理论模型可为前述的 11 种实验提供不同的理论参考。当前所述的 11 种实验难度增大时,被试需要投更多的认知资源,这便使有限认知资源成为内部成本,符合内部成本模型;且这 11 种实验都涉及结果的反馈,由结果所引起的情绪又会作为信号,促使个体重新评估任务的价值与自身认知努力投入的程度,进而影响后续实验任务的选择及认知努力投入程度,故符合信号模型;另外,认知努力动机任务、数字判断任务以及心算任务的第二种形式又以个体对不同认知努力水平任务的选择意愿为测量指标,这符合机会成本模型的观点,即个体在选择高认知努力水平任务时会权衡潜在任务的收益及机会成本。前述的 11 种实验与不同理论模型间的适配关系均总结于表 6 中。

然而,由于不同认知努力理论存在差异,不同的测量方法可与不同的理论模型相匹配,且基于不同的理论与不同的研究需求,导致不同的测量方法在测量指标、对认知努力核心功能及努力水平的操纵等方面各不相同,这便使得当前认知努力的测量工具多样化,不同的测量工具从不同的维度对认知努力进行测量,但这些测量工具能否真正测出它所希望测量的认知努力的效果和程度则有待进一步验证。

表 6 与实验相匹配的理论模型

实验的类别	实验名称	与之相匹配的理论模型
基于工作记忆	N-back 任务	内部成本模型、信号模型
	认知挑战任务	内部成本模型、信号模型
	认知努力动机任务	内部成本模型、机会成本模型、信号模型
基于反应冲突	认知表现任务	内部成本模型、信号模型
	数字判断任务	内部成本模型、机会成本模型、信号模型
	西蒙点运动冲突任务	内部成本模型、信号模型
基于注意力	数字转换任务	内部成本模型、信号模型
	快速序列视觉呈现任务	内部成本模型、信号模型
	奇异球辨别任务	内部成本模型、信号模型
	视觉模糊搜索范式	内部成本模型、信号模型
基于数字运算	心算任务的第一种形式	内部成本模型、信号模型
	心算任务的第二种形式	内部成本模型、机会成本模型、信号模型

4 改进建议：建构匹配研究目标的标准
化测量方法

4.1 提高量表使用的准确性与可靠性

为提升自陈量表在测量认知努力过程中的可靠性与精确性，可以从多方面着手优化：

第一，将认知需求量表(NCS)和美国国家航空航天局任务负荷指数(NTLX)结合使用(Westbrook et al., 2013)，为了更精准地捕捉个体在实验过程中对认知努力的评估的即时性，研究者可以在每个实验任务的休息间隔期间，让被试对该阶段完成的实验任务进行 NTLX 量表的评分，再在所有实验任务完成后，让被试完成 NCS 量表的填写，以全面评估个体在整个实验过程中参与和享受认知努力活动的程度。

第二，未来研究应基于成熟的认知努力理论构念，开发出专门测量认知努力的自陈问卷，并在量表开发过程中，需严格执行心理测量学的科学流程，在实际应用中对量表信度进行检验，确保其信度指标达到心理学研究的公认标准。此外，为验证量表的效度，可将认知需求量表(NCS)与美国国家航空航天局任务负荷指数(NTLX)作为效标，通过实证研究检验新开发量表与这两者之间的关联性，进而为新量表的效标关联效度提供实证依据。最终，经严谨的信效度检验流程，形成一份在统计学上稳健可靠的自陈量表，为认知努力的精准测量提供有力工具。

第三，未来还可从测量流程的关键环节入手实施系统性改进，以优化认知努力测量中量表法的应用。例如，可在被试填写量表前对其进行简短的元认知能力讲解培训，帮助他们更直观地理解和评估自己的认知努力水平，从而避免出现天花板效应或地板效应；为减少测量过程中的即时环境的干扰，应确保不同被试在填写量表过程中的外界环境保持一致或稳定，以控制无关变量对数据结果的影响；为减少个体差异对量表数据的影响，研究者还可关注个体的年龄、受教育程度或精神健康状况，对相关人口统计学变量进行数据收集与分析；还可将自陈量表与其他测量方法相结合，例如将量表法与实验法或生理测量等技术相融合，或借助统计学、机器学习等技术(苗丹民 等, 2023)，尝试从不同渠道获取关于认知努力的数据，从而实现不同测量工具间的相互验证与补充，以提高测量结果的全面性与可靠性。此外，为使量表在不同文化环境下保持较高的信效度，可将其应用于不同文化背景下的群体，并考虑语言体系、经济发展水平等差异(朱腊梅，王小晔，2000)，根据统计结果对量表内容或结构进行适度修订。

4.2 融合跨学科技术，分离认知努力与难度水平

未来研究可进一步加强不同学科间的方法融合，引入多种技术手段，深化对认知努力的内在机制的探讨。当前认知努力研究领域已形成以实验法与量表法相结合的研究路径，但未来仍需继

续整合多学科的研究方法,例如引入经济学、神经科学等领域的技术工具。其中,行为经济学为认知努力的量化提供了一种新的视角——基于经济决策的实验范式。该范式将认知努力视作一种成本,通过分析个体在不同任务难度情境下对不同选项的选择行为,以量化认知努力的主观价值。例如,Kool 等人(2010)研发的基于认知努力的决策任务;Westbrook 等人(2013)提出的认知努力折扣范式(The Cognitive Effort Discounting Paradigm, COG-ED); Lopez-Gamundi 和 Wardle (2018)开发的认知努力付出的奖励任务(The Cognitive Effort Expenditure for Rewards Task, C-EEfRT)。

除了传统的行为实验设计,研究者还可根据研究目的采用不同的测量指标,引入更多样化的技术手段。在当前心理学领域的研究中较为常见的则包括神经影像学技术,例如,脑电图(EEG)、功能性磁共振成像(fMRI)和功能性近红外光谱(fNIRS)等。借助神经影像学的研究工具,再结合计算机领域的机器学习算法,有望能够建立起认知努力与神经信号之间的预测模型,从而区分任务难度与认知努力投入程度间的神经表征差异。此外,还可引入人机交互技术中的虚拟现实(VR)情景模拟(周广鹏, 2018),让被试在虚拟环境中完成实验任务,同步采集用户的行为数据、交互数据、环境数据、生理数据及设备数据等多类数据,从而在接近真实情境的条件下实现对认知努力与难度水平的监测和分离。

4.3 动态校准个体差异,多模态验证认知努力

未来研究需将个体化实验设计与标准化实验设计相结合,构建二者协同变化的实验任务,并引入计算模型,例如混合效应模型(郭小军 等, 2024),利用数学概念和计算机技术来描述、模拟和研究个体的复杂行为,以提高测量工具的精确性和可重复性,从而能较好地控制实验中由个体认知能力差异和时间折扣效应所引起的干扰。个体化实验设计,即根据被试自身的实时认知能力的外在行为表现来动态调整计算机程序的任务参数。例如,在以 N-back 任务操纵认知努力时,可基于被试的工作记忆能力动态调节程序中所设定的“N”值大小,确保任务难度适中,避免天花板或地板效应。标准化实验设计,即强调通过保证实验条件的统一,以保障实验结果具有可比性。例如,在奇异球辨别任务中,可以统一任务呈现方

式、严格规范各难度水平的试验时长,确保每个被试都能够在相同的实验条件下完成任务,避免无关变量干扰对认知努力的测量。个体化实验设计与标准化实验设计的协同并非将二者简单叠加,而是需要通过“动态基线校准”,在保持核心任务结构不变的前提下,实现实验程序参数设计的灵活性与严谨性,即允许计算机程序中的关键实验参数(如线索呈现时间、不同难度任务的呈现频率)根据不同个体的任务表现进行实时微调(Clairis & Pessiglione, 2024; Lopez-Gamundi et al., 2024)。以数字判断任务为例,当被试连续正确完成低难度任务时,可通过运行预先编写好的代码,提高实验程序中数字切换的频率以增加认知负荷,同时仍需维持实验流程设计及实验环境设置的标准化。且为进一步探讨个体差异对认知努力机制的影响,研究者还可基于先前的理论模型、实验数据的采集、计算建模分析数据等构建新的理论模型(王国华 等, 2024)。例如,可将机会成本模型与强化学习算法相结合,通过分析被试在高低认知努力选项中的决策模式,借助计算模型动态拟合其在实验任务中的认知努力的折扣率,量化个体对认知努力成本的敏感程度;或可基于内部成本模型,在实验的数据分析过程中尝试利用计算模型构建“认知资源-任务需求”匹配模型,以探索个体的认知资源分配策略。

此外,鉴于同一维度下存在多种认知努力测量范式,未来研究者可着手开展认知努力测量的多维度验证研究,即研究者可聚焦于同一维度下不同测量范式的构念效度验证。以工作记忆维度为例,研究者可综合运用 N-back 任务、认知挑战任务及认知努力动机任务,通过两两结合或三者联动的方式,系统考察这些任务间的效标关联效度。在此基础上,未来研究者在选择认知努力测量的实验任务时,应以其具体的研究目标为导向,精准选取并使用与研究目标相匹配实验任务,以提高实验结果的有效性和可靠性。另外,在未来的认知努力测量研究中,研究者还从认知努力的不同维度出发,采用多维度的测量范式,系统考察认知努力在不同维度中的作用机制,通过构建多任务测量矩阵,将各维度的测量结果进行交叉验证,以全面检验各维度对认知努力测量的结构效度。

4.4 创新测量理论及方法,适应不同的研究需求

在探讨认知努力的本质时,研究者发现它不

仅仅是一种成本。还有研究发现,个体在任务中投入的认知努力能够提高任务结果在主观认知层面的价值评估,即为任务结果赋予更高的价值属性。对此,认知失调和努力的合理化模型认为,人们会倾向于赋予需要更多努力完成的结果更高的价值评估,从而合理化个体自身付出的努力(Aronson & Mills, 1959)。认知需求理论强调,个体的认知需求特质会影响其对认知努力的主观价值评估。具有较高认知需求的个体更愿意参与具有挑战性的任务,并从中获得更高的内在价值感(Cacioppo et al., 1984)。习得性勤奋理论认为,通过多次将高努力水平的任务与高水平的奖赏相联结,努力本身则会逐渐成为一种强化手段,驱使个体更倾向于付出努力(Eisenberger, 1992)。此外, Wu 等人(2023)的研究还发现,当个体面临“完成认知努力任务”与“什么都不做”这两个选项时,并不总是回避认知努力任务,有时甚至更倾向于选择认知努力任务以避免无聊。这一发现挑战了传统的“最小努力原则”,并提示研究者应对认知努力的动机机制就继续进行更深入的探讨。

因此,未来研究可以围绕认知努力的悖论展开,结合当前已有的理论模型,编制创新性的实验任务,以更全面地探讨认知努力在不同条件下的影响因素与具体作用机制。在设计实验范式的过程中,研究者不必局限于某个单一实验范式的开发或改编,而是可将多个前人的实验范式与自己创新的实验设计相结合,例如,可在传统的“努力-奖赏”权衡范式中引入“无聊规避”选项,同时结合漂移扩散模型(Roxin, 2019)量化个体在决策中对于努力成本与无聊厌恶的权重差异,从而实证检验“认知努力悖论”假设。此外,在理论层面上,可以尝试对现有模型进行整合。例如,研究者可以尝试将内部成本模型、信号模型与习得性勤奋理论有机结合,构建“动机-努力-强化”的理论框架,强调认知努力的主观价值评估不仅受成本收益的驱动,还受个体先前行为强化历史及其情绪体验的影响。并以此为理论基础,尝试编制相应的实验任务,并结合多种技术手段,收集不同类别的实验数据,以验证该理论框架的合理性及其实际应用价值,从而为理解认知努力的作用机制提供更为全面、更创新的理论视角。

此外,未来在测量认知努力时,其测量维度不应局限于上文所提及的4个维度,即工作记忆、

反应冲突、注意力和数字运算,还应探讨个体在其他维度上的认知努力作用机制,开发出适合不同目标、不同领域、不同场景的测量认知努力的实验任务,并且在开发的过程中需选取合适的测量指标。例如,在道德决策领域,通过道德两难任务,如电车困境(foot, 1967),同步采集决策时间、反应交感神经系统的相关皮肤电反应与事件相关电位(ERP)数据,特别是与努力相关的前扣带皮层活动,构建道德认知努力的计算模型;在亲社会行为领域,可采用亲社会努力任务(Lockwood et al., 2017),结合经颅磁刺激(TMS)来调节前扣带皮层的活动,并收集个体在实验任务中的眼动轨迹、瞳孔扩张与心率变异性,量化利他决策中的认知努力付出程度;在感觉加工领域,可采用多感觉整合范式(管蕾等, 2022),如感觉转换任务(Barutchu & Spence, 2021),并结合功能性磁共振成像(fMRI)来观察与努力相关的脑区活动,如前扣带皮层,以及与奖励处理相关的区域,如尾状核、伏隔核和纹状体等(Inzlicht et al., 2018),揭示感觉调控中的认知努力的神经激活模式。此外,研究者在进行数据分析时还可结合贝叶斯模型建立跨领域认知努力预测模型,并通过跨层次结构方程模型检验领域特异性认知努力的调节效应。

参考文献

- 管蕾, 罗文佩, 韩佳慧. (2022). 多感觉整合范式中潜在的跨通道转换效应. *心理科学进展*, 30(5), 1018-1027.
- 郭小军, 焦玉月, 柏小云, 罗照盛, 李弘. (2024). 心理实验数据的联合建模: 反应与反应时的混合影响. *心理学报*, 56(11), 1619-1633.
- 解学慧. (2007). 心理测量本身及其在应用中的问题. *心理科学*, 30(2), 422-424+399.
- 邱怡, 施俊琦, 蔡雅琦, 王垒. (2005). 大学生认知需求量表的修订. *中国心理卫生杂志*, (1), 57-60.
- 梁丽玲, 赵丽, 邓娟, 叶旭春. (2019). NASA-TLX 量表的汉化及信效度检验. *护理研究*, (5), 734-737.
- 苗丹民, 曹爽, 刘治, 李晨曦, 刘旭峰. (2023). 多质融合心理测量技术的发展与挑战. *空军军医大学学报*, (10), 909-915.
- 王国华, 田梁浩, 俞树煜. (2024). 基于生理计算的认知负荷测评: 动因、关键问题与特征——兼论认知状态评估的生理计算框架. *数字教育*, (6), 23-28.
- 温秀娟, 马毓璟, 谭斯祺, 李芸, 刘文华. (2025). 身体还是认知努力的损害? 抑郁症状努力奖赏动机评估及计算模型应用. *心理科学进展*, 33(1), 107-122.
- 易伟, 梅淑婷, 郑亚. (2019). 努力: 成本还是奖赏? *心理科学进展*, 27(8), 1439-1450.
- 张作记, 戚厚兴, 冯学泉. (2006). 我国心理行为测评工具

- 研究中存在的问题. *中国行为医学科学*, 15(1), 79-80.
- 周广鹏. (2018). 基于虚拟现实的情境模拟训练在大学生关键素质拓培中的应用. *心理月刊*, (9), 30-31.
- 朱腊梅, 王小晔. (2000). 中国心理测量近二十年发展的述评与思考. *心理科学*, 23(2), 223-226.
- Allport, G. W. (1954). *The nature of prejudice*. Addison-Wesley.
- Ang, Y. S., Gelda, S. E., & Pizzagalli, D. A. (2023). Cognitive effort-based decision-making in major depressive disorder. *Psychological Medicine*, 53(9), 4228-4235. <https://doi.org/10.1017/S0033291722000964>
- Apps, M. A., Grima, L. L., Manohar, S., & Husain, M. (2015). The role of cognitive effort in subjective reward devaluation and risky decision-making. *Scientific Reports*, 5, 16880. <https://doi.org/10.1038/srep16880>
- Aronson, E., & Mills, J. (1959). The effect of severity of initiation on liking for a group. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 59(2), 177-181. <https://doi.org/10.1037/h0in047195>
- Atkins, K. J., Andrews, S. C., Stout, J. C., & Chong, T. T. J. (2024). The effect of Huntington's disease on cognitive and physical motivation. *Brain: A Journal of Neurology*, 147(7), 2449-2458. <https://doi.org/10.1093/brain/awae023>
- Barch, D. M., Culbreth, A. J., Ben Zeev, D., Campbell, A., Nepal, S., & Moran, E. K. (2023). Dissociation of cognitive effort-based decision making and its associations with symptoms, cognition, and everyday life function across schizophrenia, bipolar disorder, and depression. *Biological Psychiatry*, 94(6), 501-510. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2023.04.007>
- Barutcu, A., & Spence, C. (2021). Top-down task-specific determinants of multisensory motor reaction time enhancements and sensory switch costs. *Experimental Brain Research*, 239(3), 1021-1034. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-06014-3>
- Bastiaansen, M. C., Böcker, K. B., & Brunia, C. H. (2002). ERD as an index of anticipatory attention? Effects of stimulus degradation. *Psychophysiology*, 39(1), 16-28. <https://doi.org/10.1017/S0048577202000483>
- Beierholm, U., Guitart-Masip, M., Economides, M., Chowdhury, R., Düzel, E., Dolan, R., & Dayan, P. (2013). Dopamine modulates reward-related vigor. *Neuropsychopharmacology*, 38(8), 1495-1503. <https://doi.org/10.1038/npp.2013.48>
- Bogdanov, M., Renault, H., LoParco, S., Weinberg, A., & Otto, A. R. (2022). Cognitive effort exertion enhances electrophysiological responses to rewarding outcomes. *Cerebral Cortex*, 32(19), 4255-4270. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab480>
- Botvinick, M. M., Huffstetler, S., & McGuire, J. T. (2009). Effort discounting in human nucleus accumbens. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 9(1), 16-27. <https://doi.org/10.3758/CABN.9.1.16>
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: A dual mechanisms framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010>
- Brehm, J. W., & Self, E. A. (1989). The intensity of motivation. *Annual Review of Psychology*, 40, 109-131. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.40.020189.000545>
- Cacioppo, J. T., & Petty, R. E. (1982). The need for cognition. *Journal of Personality and Social Psychology*, 42(1), 116-131. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.42.1.116>
- Cacioppo, J. T., Petty, R. E., & Kao, C. F. (1984). The efficient assessment of need for cognition. *Journal of Personality Assessment*, 48(3), 306-307. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4803_13
- Chiu, Y. C., & Yantis, S. (2009). A domain-independent source of cognitive control for task sets: Shifting spatial attention and switching categorization rules. *The Journal of Neuroscience*, 29(12), 3930-3938. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5737-08.2009>
- Chong, T. T., Apps, M., Giehl, K., Sillence, A., Grima, L. L., & Husain, M. (2017). Neurocomputational mechanisms underlying subjective valuation of effort costs. *PLOS Biology*, 15(2), e1002598. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002598>
- Clairis, N., & Pessiglione, M. (2024). Value estimation versus effort mobilization: A general dissociation between ventromedial and dorsomedial prefrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 44(17), e1176232024. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1176-23.2024>
- Clay, G., Mlynski, C., Korb, F. M., Goschke, T., & Job, V. (2022). Rewarding cognitive effort increases the intrinsic value of mental labor. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(5), e2111785119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2111785119>
- Crawford, J. L., Eisenstein, S. A., Peelle, J. E., & Braver, T. S. (2021). Domain-general cognitive motivation: Evidence from economic decision-making. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s41235-021-00272-7>
- Croxson, P. L., Walton, M. E., O'Reilly, J. X., Behrens, T. E., & Rushworth, M. F. (2009). Effort-based cost-benefit valuation and the human brain. *The Journal of Neuroscience*, 29(14), 4531-4541. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4515-08.2009>
- Culbreth, A. J., Moran, E. K., & Barch, D. M. (2018). Effort-based decision-making in schizophrenia. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 22, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.12.003>
- Danielmeier, C., Eichele, T., Forstmann, B. U., Tittgemeyer, M., & Ullsperger, M. (2011). Posterior medial frontal cortex activity predicts post-error adaptations in task-related visual and motor areas. *The Journal of Neuroscience*, 31(5), 1780-1789. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.4299-10.2011>
- Depow, G. J., Lin, H., & Inzlicht, M. (2022). Cognitive effort

- for self, strangers, and charities. *Scientific Reports*, 12(1), 15009. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19163-y>
- Desjardins, S., Tang, R., Yip, S., Roy, M., & Otto, A. R. (2024). Context effects in cognitive effort evaluation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 32, 407–416. <https://doi.org/10.3758/s13423-024-02547-8>
- Devine, S., Roy, M., Beierholm, U., & Otto, A. R. (2024). Proximity to rewards modulates parameters of effortful control exertion. *Journal of Experimental Psychology: General*, 153(5), 1257–1267. <https://doi.org/10.1037/xge0001561>
- Dreisbach, G., & Fischer, R. (2012). Conflicts as aversive signals. *Brain and Cognition*, 78(2), 94–98. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.12.003>
- Eisenberger, R. (1992). Learned industriousness. *Psychological Review*, 99(2), 248–267. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.99.2.248>
- Embrey, J. R., Donkin, C., & Newell, B. R. (2023). Is all mental effort equal? The role of cognitive demand-type on effort avoidance. *Cognition*, 236, 105440. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2023.105440>
- Fleming, H., Robinson, O. J., & Roiser, J. P. (2023). Measuring cognitive effort without difficulty. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 23(2), 290–305. <https://doi.org/10.3758/s13415-023-01065-9>
- Foot, P. (1967). The problem of abortion and the doctrine of the double effect. *Oxford Review*, 5, 5–15.
- Forys, B. J., Winstanley, C. A., Kingstone, A., & Todd, R. M. (2024). Short-term memory capacity predicts willingness to expend cognitive effort for reward. *eNeuro*, 11(7). <https://doi.org/10.1523/eneuro.0068-24.2024>
- Gheza, D., Kool, W., & Pourtois, G. (2023). Need for cognition moderates the relief of avoiding cognitive effort. *PLOS ONE*, 18(11), e0287954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287954>
- Gold, J. M., Kool, W., Botvinick, M. M., Hubzin, L., August, S., & Waltz, J. A. (2015). Cognitive effort avoidance and detection in people with schizophrenia. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 15(1), 145–154. <https://doi.org/10.3758/s13415-014-0308-5>
- Guitart-Masip, M., Beierholm, U. R., Dolan, R., Duzel, E., & Dayan, P. (2011). Vigor in the face of fluctuating rates of reward: An experimental examination. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(12), 3933–3938. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00090
- Harmon-Jones, E., Matis, S., Angus, D. J., & Harmon-Jones, C. (2024). Does effort increase or decrease reward valuation? Considerations from cognitive dissonance theory. *Psychophysiology*, 61(6), e14536. <https://doi.org/10.1111/psyp.14536>
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*, 52, 139–183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Harvey, P. O., Fossati, P., Pochon, J. B., Levy, R., Lebastard, G., Lehericy, S., Allilaire, J. F., & Dubois, B. (2005). Cognitive control and brain resources in major depression: An fMRI study using the n-back task. *NeuroImage*, 26(3), 860–869. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.048>
- Hayakawa, S. I. (1987). *Choose the right word: A modern guide to synonyms*. Harper & Row.
- Horan, W. P., Reddy, L. F., Barch, D. M., Buchanan, R. W., Dunayevich, E., Gold, J. M., ... Green, M. F. (2015). Effort-based decision-making paradigms for clinical trials in schizophrenia: Part 2-external validity and correlates. *Schizophrenia Bulletin*, 41(5), 1055–1065. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbv090>
- Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior: An introduction to behavior theory*. Appleton-Century.
- Inzlicht, M., & Schmeichel, B. J. (2012). What is ego depletion? Toward a mechanistic revision of the resource model of self-control. *Perspectives on Psychological Science*, 7(5), 450–463. <https://doi.org/10.1177/1745691612454134>
- Inzlicht, M., Schmeichel, B. J., & Macrae, C. N. (2014). Why self-control seems (but may not be) limited. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(3), 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.009>
- Inzlicht, M., Shenhav, A., & Olivola, C. Y. (2018). The effort paradox: Effort is both costly and valued. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(4), 337–349. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.01.007>
- James, W. (1880). *The feeling of effort*. The Boston Society of Natural History.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice-Hall.
- Kardan, O., Adam, K. C. S., Mance, I., Churchill, N. W., Vogel, E. K., & Berman, M. G. (2020). Distinguishing cognitive effort and working memory load using scale-invariance and alpha suppression in EEG. *NeuroImage*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116622>
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 352–358. <https://doi.org/10.1037/h0043688>
- Kool, W., McGuire, J. T., Rosen, Z. B., & Botvinick, M. M. (2010). Decision making and the avoidance of cognitive demand. *Journal of Experimental Psychology: General*, 139(4), 665–682. <https://doi.org/10.1037/a0020198>
- Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., & Myers, J. (2013). An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(6), 661–679. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12003196>
- Lin, H., Westbrook, A., Fan, F., & Inzlicht, M. (2024). An experimental manipulation of the value of effort. *Nature Human Behaviour*, 8(5), 988–1000. <https://doi.org/10.1038/s41562-024-01842-7>
- Lockwood, P. L., Hamonet, M., Zhang, S. H., Ratnavel, A., Salmony, F. U., Husain, M., & Apps, M. A. J. (2017). Prosocial apathy for helping others when effort is required.

- Nature Human Behaviour*, 1(7), 0131. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0131>
- Lopez-Gamundi, P., Mas-Herrero, E., & Marco-Pallares, J. (2024). Disentangling effort from probability of success: Temporal dynamics of frontal midline theta in effort-based reward processing. *Cortex*, 176, 94–112. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2024.03.014>
- Lopez-Gamundi, P., & Wardle, M. C. (2018). The cognitive effort expenditure for rewards task (C-EEfRT): A novel measure of willingness to expend cognitive effort. *Psychological Assessment*, 30(9), 1237–1248. <https://doi.org/10.1037/pas0000563>
- Mason, A., Sun, Y., Simonsen, N., Madan, C. R., Spetch, M. L., & Ludvig, E. A. (2024). Risky effort. *Cognition*, 251, 105895. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2024.105895>
- McLaughlin, D. J., Braver, T. S., & Peelle, J. E. (2021). Measuring the subjective cost of listening effort using a discounting task. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 64(2), 337–347. https://doi.org/10.1044/2020_jslhr-20-00086
- Milyavskaya, M., Galla, B. M., Inzlicht, M., & Duckworth, A. L. (2021). More effort, less fatigue: The role of interest in increasing effort and reducing mental fatigue. *Frontiers in Psychology*, 12, 755858. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.755858>
- 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. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.2.247>
- Ortega, P. A., Braun, D. A., Dyer, J., Kim, K., & Tishby, N. (2015). Information-theoretic bounded rationality. *ArXiv*, *abs/1512.06789*.
- Ritz, H., & Shenhav, A. (2019). Parametric control of distractor-oriented attention. *Proceedings of the 41st Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. Cognitive Science Society. <https://escholarship.org/uc/item/62394748>
- Roxin, A. (2019). Drift-diffusion models for multiple-alternative forced-choice decision making. *Journal of Mathematical Neuroscience*, 9(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s13408-019-0073-4>
- Schoupe, N., Ridderinkhof, K. R., Verguts, T., & Notebaert, W. (2014). Context-specific control and context selection in conflict tasks. *Acta Psychologica*, 146, 63–66. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.11.010>
- Shenhav, A., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2013). The expected value of control: An integrative theory of anterior cingulate cortex function. *Neuron*, 79(2), 217–240. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.07.007>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2011). The cognitive reflection test as a predictor of performance on heuristics-and-biases tasks. *Memory and Cognition*, 39(7), 1275–1289. <https://doi.org/10.3758/s13421-011-0104-1>
- Tran, T., Hagen, A. E. F., Hollenstein, T., & Bowie, C. R. (2021). Physical- and cognitive-effort-based decision-making in depression: Relationships to symptoms and functioning. *Clinical Psychological Science*, 9(1), 53–67. <https://doi.org/10.1177/2167702620949236>
- Treadway, M. T., Bossaller, N. A., Shelton, R. C., & Zald, D. H. (2012). Effort-based decision-making in major depressive disorder: A translational model of motivational anhedonia. *Journal of Abnormal Psychology*, 121(3), 553–558. <https://doi.org/10.1037/a0028813>
- Tyler, S. W., Hertel, P. T., McCallum, M. C., & Ellis, H. C. (1979). Cognitive effort and memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5(6), 607–617.
- Vassena, E., Cobbaert, S., Andres, M., Fias, W., & Verguts, T. (2015). Unsigned value prediction-error modulates the motor system in absence of choice. *NeuroImage*, 122, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.07.081>
- Vassena, E., Deraeve, J., & Alexander, W. H. (2019). Task-specific prioritization of reward and effort information: Novel insights from behavior and computational modeling. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 19(3), 619–636. <https://doi.org/10.3758/s13415-018-00685-w>
- Vassena, E., Silvetti, M., Boehler, C. N., Achten, E., Fias, W., & Verguts, T. (2014). Overlapping neural systems represent cognitive effort and reward anticipation. *PLOS ONE*, 9(3), e91008. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091008>
- Vinckier, F., Jaffre, C., Gauthier, C., Smajda, S., Abdel-Ahad, P., Le Bouc, R., ... Pessiglione, M. (2022). Elevated effort cost identified by computational modeling as a distinctive feature explaining multiple behaviors in patients with depression. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 7(11), 1158–1169. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2022.07.011>
- Vogel, T. A., Savelson, Z. M., Otto, A. R., & Roy, M. (2020). Forced choices reveal a trade-off between cognitive effort and physical pain. *eLife*, 9, e59410. <https://doi.org/10.7554/eLife.59410>
- Wen, H., Wu, M., Wang, Z., Gao, B., & Zheng, Y. (2024). Aberrant effort-based reward dynamics in anhedonia. *Cerebral Cortex*, 34(5), bhae193. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhae193>
- Westbrook, A., & Braver, T. S. (2015). Cognitive effort: A neuroeconomic approach. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 15(2), 395–415. <https://doi.org/10.3758/s13415-015-0334-y>
- Westbrook, A., Kester, D., & Braver, T. S. (2013). What is the subjective cost of cognitive effort? Load, trait, and aging effects revealed by economic preference. *PLOS ONE*, 8(7), e68210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068210>

- Westbrook, A., Lamichhane, B., & Braver, T. (2019). The subjective value of cognitive effort is encoded by a domain-general valuation network. *The Journal of Neuroscience*, 39(20), 3934–3947. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3071-18.2019>
- Westbrook, A., Yang, X., Bylsma, L. M., Daches, S., George, C. J., Seidman, A. J., Jennings, J. R., & Kovacs, M. (2023). Economic choice and heart rate fractal scaling indicate that cognitive effort is reduced by depression and boosted by sad mood. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 8(7), 687–694. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2022.07.008>
- Wolpe, N., Holton, R., & Fletcher, P. C. (2024). What is mental effort: A clinical perspective. *Biological Psychiatry*, 95(11), 1030–1037. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2024.01.022>
- Wood-Ross, C., Best, M. W., Milanovic, M., & Bowie, C. R. (2020). Brain of thrones: Cognitive effort and perceived performance during a cognitive task in major depressive disorder. *Cognitive Therapy and Research*, 45, 986–999. <https://doi.org/10.1007/s10608-020-10145-w>
- Wu, R., Ferguson, A. M., & Inzlicht, M. (2023). Do humans prefer cognitive effort over doing nothing? *Journal of Experimental Psychology: General*, 152(4), 1069–1079. <https://doi.org/10.1037/xge0001320>
- Yantis, S., Schwarzbach, J., Serences, J. T., Carlson, R. L., Steinmetz, M. A., Pekar, J. J., & Courtney, S. M. (2002). Transient neural activity in human parietal cortex during spatial attention shifts. *Nature Neuroscience*, 5(10), 995–1002. <https://doi.org/10.1038/nm921>
- Zheng, Y., Zhang, M., & Wu, M. (2023). Effort discounts reward-based control allocation: A neurodynamic perspective. *Psychophysiology*, 61(2), e14451. <https://doi.org/10.1111/psyp.14451>

Measurement of cognitive effort: An overview of methods, challenges, and potential enhancements

YANG Yilin, YANG Wendeng, ZHENG Ya

(Center for Reward and Social Cognition, School of Education, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Cognitive effort refers to the volitional mental activities individuals actively engage in to overcome habitual responses and achieve goals. Current research in cognitive effort measurement remains constrained by theoretical heterogeneity and insufficient methodological standardization, lacking precise multidimensional assessment approaches. Existing measurement paradigms can be categorized into self-report scales (2 types) and experimental methods (11 types). Self-report scales are susceptible to validity and reliability in assessing cognitive effort, metacognition, individual differences, testing environments, and cultural factors, while experimental methods face limitations such as the conflation of cognitive effort and task difficulty, individual variations in cognitive capacity, temporal factors, and divergent theoretical models. Future research should prioritize enhancing the accuracy and reliability of self-report instruments, integrate interdisciplinary technologies to disentangle cognitive effort from task difficulty levels, optimize the measurement of cognitive effort, dynamically calibrate individual differences, and conduct multi-modal verification, and innovate measurement methods and theories to meet different research needs.

Keywords: cognitive effort, measurement methods, improvement recommendations