

复杂问题解决(CPS): 理论构念、测评范式与影响机制的研究综述

马立波

西南大学心理学部, 重庆

收稿日期: 2026年1月15日; 录用日期: 2026年1月30日; 发布日期: 2026年2月26日

摘要

在全球化与信息爆炸背景下, 复杂问题解决(Complex Problem Solving, CPS)作为衡量个体应对动态、不确定及非透明情境能力的核心构念, 已成为教育心理学领域高阶认知研究的焦点。本文系统梳理了CPS从“问题空间搜索”到“双重空间理论”的理论演进, 阐明了其知识获取与知识应用的双阶段认知加工特征。文章重点评述了计算机模拟微世界、形式化框架及多重复杂系统(MCS)等测评范式的更迭, 并从个体差异、系统特质及发展心理学视角剖析了CPS的影响机制。尽管CPS在实证评估与干预实践中展现出显著的应用前景与生态效度, 但仍面临心理测量学标准化不足、纵向追踪研究匮乏以及理论与实践转化断裂等挑战。未来研究应致力于优化测评工具的测量等价性, 深化影响机制的路径分析, 并强化跨学科视域下的教育干预实证研究。

关键词

复杂问题解决(CPS), 认知加工, 综述

Complex Problem Solving (CPS): A Review of Theoretical Constructs, Assessment Paradigms, and Influencing Mechanisms

Libo Ma

Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing

Received: January 15, 2026; accepted: January 30, 2026; published: February 26, 2026

Abstract

In the era of globalization and information explosion, Complex Problem Solving (CPS), as a core

construct for measuring an individual's capacity to navigate dynamic, uncertain, and non-transparent environments, has become a focal point of higher-order cognitive research in educational psychology. This paper systematically reviews the theoretical evolution of CPS, transitioning from "Problem Space Search" to "Dual Space Theory," and delineates its cognitive processing across two distinct stages: knowledge acquisition and knowledge application. The review evaluates the shift in assessment paradigms—from computer-simulated Microworlds and Formal Frameworks to Multiple Complex Systems (MCS)—while elucidating the influencing mechanisms of CPS through the lenses of individual differences, systemic features, and developmental psychology. Although CPS has demonstrated significant predictive power and ecological validity in empirical assessments and interventions, the field continues to grapple with challenges such as insufficient psychometric standardization, a paucity of longitudinal research, and a disconnect between theoretical constructs and practical applications. Future research should prioritize enhancing the measurement invariance of assessment tools, deepening path analyses of influencing mechanisms, and strengthening empirical evidence for educational interventions within interdisciplinary frameworks.

Keywords

Complex Problem Solving (CPS), Cognitive Processing, Review

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球化进程加速与信息过载常态化的社会情境中，学习者与工作者所面对的任务日益呈现出多变量耦合、动态演化与高不确定性的特征。此类情境下的有效应对不再仅依赖基础认知加工或单一规则的程序性操作，而更取决于个体能否在认知资源受限的条件下完成信息搜寻与整合、生成并检验假设、实施策略选择与执行、以及开展元认知监控与自我调节。复杂问题解决(Complex Problem Solving, CPS)因此成为教育心理学与认知科学交叉领域的重要研究建构，其核心关切在于揭示个体在复杂动态系统中形成心理表征、获取系统知识、做出决策并实现目标调控的心理过程与行为机制。尤其在教育评价与能力培养议程中，CPS 被视为能够补充传统智力测验、并更贴近真实学习与实践情境的一类关键高阶能力指标 (Beckmann et al., 2017; Süß & Kretschmar, 2018)。

1.1. 问题解决(Problem Solving)

在认知心理学视角下，问题解决被视为个体实现目标导向的行为过程，其核心在于消除初始状态与目标状态之间的认知差异。当个体面临既定目标且缺乏现成算法式路径时，便激活了问题解决程序。Mayer (1992)将其定义为一种旨在通过一系列认知操作来转换特定情境的加工过程。Newell and Simon (1961; 1971)进一步提出了“问题空间”(Problem Space)这一理论构念，认为问题解决本质上是个体在心理表征的空间内，通过搜索初始状态、中间状态及目标状态之间的最优路径，实现状态表征转换的过程。

1.2. 复杂问题解决(Complex Problem Solving, CPS)

根据问题情境的复杂程度，问题可以分为简单问题(simple problem)和复杂问题(complex problem)。简单问题通常结构良好，提供了解决问题的所有相关信息，有明确的目标和有限的解决方法。复杂问题则是结构不良，初始状态信息不足，目标不清晰的，需要在与任务的交互过程中探索和搜集信息，构建问

题表征(Funke, 2003)。复杂问题解决(Complex Problem Solving, CPS)研究的初衷是将复杂现实生活中问题的认知需求引入实验室情境,以研究受控条件下的问题解决行为和表现(Süß & Kretzschmar, 2018)。Dörner and Funke (2017)进一步指出,复杂现实问题应当成为 CPS 研究的重要组成部分。为弥合内部效度与生态效度之间的张力,研究者需要采用多元化的研究方法论路径。

复杂问题解决(CPS)的概念最早由 Dörner and Kreuzig (1983)提出,是一种涉及处理复杂系统的高阶认知活动复杂问题具有变量的多维性和交互性、问题解决过程的不透明性、结果的多样性、情境的动态性以及目标的多元性等特征(Schoppek & Fischer, 2015)。因此, CPS 过程可解构为知识获取和知识应用两个关键阶段(Funke, 2001),涉及问题的多维度分析、归纳推理、发散思维以及元认知策略的应用等一系列复杂的认知操作(Beckmann et al., 2017),其最终目的是探索和控制复杂动态系统。因此, CPS 测评被视为衡量个体在不确定性环境下认知效能的有效效标,相较于测量通用认知能力的传统智力测验, CPS 在预测真实情境表现方面表现出更强的解释力,是一个更具生态有效性的评估方法。

1.3. 理论基础

信息加工理论。该理论构成了 CPS 研究的底层架构,主张人类认知本质上是一个符号运算过程,问题解决则是对环境信息进行编码、存储、提取并生成策略的动态循环。该理论揭示了 CPS 的核心——即如何在资源有限的认知架构内,通过实时监控与反馈调节,处理系统的动态变化与不确定性(Osman, 2017)。

问题空间搜索与双重空间理论。Simon and Newell (1971)的“问题空间”理论强调了个体对外部任务环境的内部表征质量决定了搜索效率。在此基础上, Klahr and Dunbar (1988)提出了“双重空间搜索模型”(SDDS),认为科学发现与复杂问题解决是学习者在“假设空间”(Hypothesis Space)与“实验空间”(Experiment Space)之间进行的协同搜索过程。这一模型为 Fischer 等人的 CPS 过程模型奠定了理论根基:即 CPS 实质上是个体通过持续的信息获取,不断修正心理模型,进而在动态博弈中执行决策与评估的循环过程(Fischer et al., 2012)。

2. 复杂问题解决研究的进展与发展趋势

2.1. 复杂问题解决的理论建构

复杂问题解决(Complex Problem Solving, CPS)的系统性研究肇始于 20 世纪 70 年代,经合组织(OECD, 2017 年)建立了定义 CPS 中认知过程的框架。该框架识别了关键流程,如探索与理解、表述与表述、规划与执行,以及监控与反思。与此同时,学界围绕复杂问题的概念界定、本质特征、分类体系以及其内在心理结构仍存在持续讨论。Funke 与 Frensch 系统阐述了复杂问题解决与“良构问题”解决之间的概念边界与区分度(Funke & Frensch, 2017)。Kretzschmar et al. (2016)梳理了复杂问题解决与传统智力测量之间长期存在的两种理论立场:其一为冗余性假说,将复杂问题解决视为智力测量的补充性效标;其二为独特性假说,将复杂问题解决界定为一种独立的认知建构。后续研究进一步探究了复杂问题解决与其他认知因子之间的关联,涉及推理能力(Greiff & Fischer, 2013; Neubert et al., 2015)、流体智力(Kretzschmar et al., 2016)、工作记忆容量(Süß & Kretzschmar, 2018)等核心认知变量。Stadler et al. (2019)提出 CPS 的双阶段模型可进一步细分为四维结构,将系统连通性与动态性作为两个正交维度分别嵌入知识获取阶段与知识应用阶段。

2.2. 复杂问题解决能力的测评范式

当前 CPS 能力的评估主要依托三种测评范式:计算机模拟微世界实验、形式化框架测量及多元复杂系统(Multiple Complex Systems, MCS) (张生等, 2019)。计算机模拟微世界范式采用计算机化情境作为任

务刺激, 此类微世界可被概念化为具有输入 - 输出映射关系的动态系统(Brehmer & Dörner, 1993)。研究者通过对被试在微世界中的操作行为(输入变量)及其引发的系统状态变化(输出变量)进行算法化编码, 进而评估其复杂问题解决能力(Beckmann et al., 2017)。典型任务情境包括生产工厂操控模拟(Morris & Rouse, 1985)、供水系统运营模拟等, 强调生态效度与情境真实性; 鉴于微世界测量存在施测时间冗长、成本较高、跨任务可比性不足等方法学局限, Funke 提出引入标准化因果结构框架以提升测量的可比性(Csapó & Funke, 2017), 即形式化框架测量范式。然而该范式的单一性与复杂性制约了其在个体能力评估中的应用价值, 由此催生了整合多个简化系统的多元复杂系统范式。代表性工具包括: Greiff et al. (2012)开发的基于线性结构方程系统(Linear Structural Equation, LSE)的 MicroDYN (Schweizer et al., 2013), 以及基于有限状态自动机(Finite State Automata)原理开发的 MicroFIN (Buchner & Funke, 1993; Greiff & Fischer, 2013)。上述工具已获国际大规模教育评估项目认可, 作为认知能力评估的补充性任务纳入国际学生评估项目(PISA) (张生等, 2019)。

2.3. 复杂问题解决能力的影响机制

复杂问题解决(complex problem solving, CPS)能力的影响机制可从个体层面因素与系统层面因素两个维度加以审视。

就个体层面而言, CPS 能力的个体差异是一个多因素交互作用的复杂现象, 涵盖认知能力、领域知识、先验经验、认知风格、成就动机、性别、年龄、情境脉络及情绪状态等变量。首先, 动机变量在 CPS 中的作用日益受到关注。多项研究指出, 在考察 CPS 表现时有必要将动机变量纳入理论分析框架(Dörner & Funke, 2017; Güss et al., 2017)。尽管该观点在理论上具有合理性, 相关实证研究却往往难以验证整体性动机变量对 CPS 表现的稳定预测效应, 这一结果可能与动机概念的多维性及测量方式的差异有关。其次, 知识在 CPS 中扮演着复杂而多元的角色。相关研究表明, CPS 所涉及的知识类型涵盖从基于学习实例的经验性知识, 到关于系统结构与因果关系的明确知识等多个层面(Csapó & Funke, 2017)。例如, Wüstenberg 等(2014)考察了策略性知识在交互式 CPS 任务中的调节作用。进一步研究发现, 先验知识对 CPS 绩效的影响呈现出双向性特征: 一方面, 先验知识有助于个体理解系统结构并提高问题解决成功率(Süß & Kretzschmar, 2018); 另一方面, 在特定情境下, 过度或不恰当的先验知识也可能对问题解决过程产生干扰效应(Beckmann et al., 2017)。尽管“知识”被认为是 CPS 研究领域中最为核心且复杂的主题之一, 但目前尚缺乏能够将不同类型知识整合于统一理论框架中的系统模型。再次, 策略运用始终是 CPS 研究的核心议题之一。现有研究对策略的考察主要集中于知识获取阶段, 其中包括 VOTAT 策略(逐一变量操控策略)、VONAT 策略(无变量操控策略)以及 PULSE 策略(脉冲观察策略)等(Molnár & Csapó, 2018; Schoppek & Fischer, 2015, 2017)。除上述具有明确程序性特征的策略外, 研究者还识别出若干较为隐性的认知倾向, 例如基于显著变量的优先操作原则以及基于变量相关性的启发式探索方式。这类策略往往依赖于具体问题情境与个体经验, 而非严格的系统性变量控制, 体现了 CPS 在实际情境中的多样性与情境依赖性(Todd et al., 1999; Funke, 2001, 2014; Schoppek & Fischer, 2015)。最后, 从认知加工过程视角出发, 研究者尝试对 CPS 的影响机制进行整合性解释。Funke (2003)从个体特征、情境特征与系统特征三个层面构建了 CPS 影响因素的整合框架。Wu and Molnár (2022)基于认知加工视角, 探究了问题探索策略(归纳策略与组合策略)对学生问题解决绩效的中介效应。Zhang et al. (2024)探索了规划作为元认知策略在 CPS 过程中的动态作用和影响机制。此外, Süß and Kretzschmar (2018)的研究表明, 认知能力与先验知识能够对 CPS 能力产生显著预测效应。基于情感 - 认知交互理论, 相关研究还发现, 积极情绪诱发与消极情绪诱发对 CPS 绩效具有差异化影响(D'Mello & Graesser, 2011, 2012)。

就系统层面而言, Funke (1985)通过系统性操纵动态系统中的因果关系数量及动态特征的有无, 发现

系统复杂度与问题解决质量呈负相关关系。进一步研究指出,针对不同的 CPS 测评工具,研究者需相应调适所采用的因果建模策略与文化适应性框架(Funke, 2014)。

2.4. 发展心理学取向的复杂问题解决研究

发展心理学取向的 CPS 研究主要关注个体 CPS 能力在不同发展阶段的变化轨迹及其影响因素,旨在为教育干预与能力培养提供发展性证据支持。Chen and Klahr (1999)以及 Kuhn et al. (2000)的研究表明,儿童在 CPS 发展早期仅凭自发探索难以有效协调多重变量,而系统化的变量控制与问题解决策略教学能够显著提升其因果推理能力,并为后续策略迁移与科学思维发展奠定基础。随着测评工具的发展,研究者开始采用标准化的 CPS 测评范式系统考察 CPS 能力在青少年阶段的发展特征。Schweizer et al. (2013)采用 MicroDYN 对等德国高中生(N = 855)进行 CPS 能力评估,证实 CPS 的因子结构在青少年期具有测量不变性。Frischkorn et al. (2014)运用潜在增长曲线模型(Latent Growth Curve Model)探究 CPS 能力的发展趋势,并将流体智力、年龄与性别作为预测变量纳入模型,结果显示个体认知能力与人口学变量对 CPS 发展轨迹具有显著解释作用。在纵向发展视角下, Greiff et al. (2015)将 CPS 作为青少年期的发展性结果变量加以考察,发现儿童期的工作记忆容量与流体推理能力能够显著预测青少年期的 CPS 能力水平。该研究从认知发展角度揭示了 CPS 能力的早期基础,为理解复杂问题解决能力的长期发展路径提供了经验证据。

3. 复杂问题解决的实践应用与不足

3.1. 复杂问题解决的实践应用

3.1.1. 个体能力评估工具的应用

复杂问题解决在个体评估中的应用主要聚焦于对个体 CPS 能力的诊断性评估与形成性评估,其应用领域涵盖教育评价、职业发展、临床心理咨询与治疗等多个专业领域。在教育评价领域, CPS 能力评估被广泛应用于学业成就预测与认知发展监测。Schweizer et al. (2013)的实证研究表明, CPS 对学业成绩的预测效度显著优于工作记忆。Lotz et al. (2016)进一步证实 CPS 能够有效测量传统智力测验所无法捕捉的高阶思维技能。Stadler et al. (2015)开展的一项涵盖 47 项实证研究(总样本量 N = 13,740)的元分析发现, CPS 与智力之间存在中等程度的相关性($M(g) = 0.43$),这一发现既确认了二者之间的关联性,也证实了 CPS 作为独立建构的测量价值。与此同时, CPS 测评作为传统智力评估的补充性指标,已被纳入国际大规模教育评估项目,包括国际学生评估项目(PISA)与国际成人能力评估项目(PIAAC) (Greiff & Fischer, 2013)。在 PISA 2015 协作问题解决评估框架中,评估维度被系统地组织为 12 项目矩阵(12-cell matrix),该矩阵由四个问题解决过程维度(探索与理解、表征与建构、计划与执行、监控与反思)与三个协作维度(建立与维持共同理解、采取适当行动解决问题、建立与维持团队组织)交叉构成(OECD, 2017)。这一评估框架为教育实践中的能力诊断提供了详尽指标体系,有助于识别学生在不同子技能上的优势与不足。在职业发展领域, CPS 能力评估可服务于员工职业胜任力与情境适应性的诊断。在临床心理咨询与治疗领域, CPS 能力评估有助于临床工作者全面了解来访者的认知功能、情绪调节能力及压力应对策略,进而为制定个性化干预方案提供循证依据。

3.1.2. 复杂问题解决能力的培养与促进

近年来,多项元分析研究为 CPS 能力培养的有效性提供了系统性证据。Chernikova 等(2020)开展的一项纳入 145 项实证研究的元分析发现,基于模拟的学习环境对复杂技能发展具有显著的促进效应,总效应量达到大效应水平($g = 0.85, SE = 0.08, 95\% CI [0.69, 1.02]$)。该研究进一步揭示了脚手架支持与学习者先验知识之间的交互效应:高先验知识学习者从反思阶段(reflection phases)类脚手架中获益更多,而

低先验知识学习者则从范例支持(examples)中获得更大收益。

首先, 系统性训练与明确的策略指导被认为是促进 CPS 能力发展的关键因素。Kretzschmar and Süß (2015)开展了一项包含 110 名大学生被试的实证研究, 采用五组实验设计, 各组分别接受不同复杂问题情境的训练干预(干预时长为 7 小时)。研究结果表明, 系统性训练对知识获取阶段的 CPS 加工过程产生了显著的促进效应。在策略层面, 已有研究一致表明, 相较于单纯的重复练习(pure practice), 明确的策略指导(explicit strategy instruction)对 CPS 能力的提升具有更为显著的效果。其中, VOTAT 策略(Vary One Thing At A Time)被证实是 CPS 任务中最有效的探索策略之一。Molnár and Csapó (2018)对 4371 名 3 至 12 年级学生(9~18 岁)的大规模实证研究发现, 有意识地使用 VOTAT 策略的学生表现出最优的问题解决绩效。Wu and Molnár (2018)的研究亦证实, 能够有效运用 VOTAT 策略的学生在 MicroDYN 测评中的表现显著更优。基于此, Nicolay et al. (2022)提出教育者可通过诱发学生元策略知识层面的认知冲突, 优化培训方案的设计与实施, 从而有效提升学生的问题解决能力。

其次, 数字化学习环境为 CPS 能力培养提供了新的实践路径。近年来, 游戏化学习作为提升学生 CPS 能力的新兴路径日益受到关注。Eseryel et al. (2011)聚焦于一款专为支撑跨学科 STEM 教育而设计的大型多人在线游戏(MMOG), 该游戏通过模拟真实世界的问题解决情境, 促进学生跨学科问题解决技能与社会性技能的协同发展。此外, 相关研究表明, 从 MicroDYN 到更复杂的 Dynamis2 存在正向迁移效应, 这提示 MicroDYN 类任务可作为 CPS 能力培养的有效训练工具(Schoppek & Fischer, 2017)。

再次, 混合式学习模式在 CPS 能力培养中的应用亦显示出积极成效。整合传统面授教学与在线学习的混合式学习模式, 综合运用探究式学习、协作学习与自主学习等教学策略, 为 CPS 能力培养提供了有效途径。Fitri et al. (2022)采用准实验设计发现, 地理探究学习模式结合 SETS (科学 - 环境 - 技术 - 社会)教学法, 不仅能够显著提升学生的 CPS 能力, 还能够深化其对地理学科知识的概念性理解。

最后, 基于既有实证研究与理论框架, 本文进一步提供一个示例性教学设计案例, 以说明 CPS 能力在中学教学情境中的潜在培养路径。该示例性教学设计以“生态系统动态平衡问题解决”为主题, 参考 MicroDYN 动态系统范式与 PISA 问题解决能力框架, 对教学目标、学习活动、脚手架支持及评价维度进行结构化呈现(Fischer et al., 2012; Greiff et al., 2012, 2013; OECD, 2017)。教学单元共设置 8 课时, 围绕 CPS 能力的两个核心维度——知识获取与知识应用展开, 并在后期引入协作问题解决要素, 以展示 CPS 教学设计在不同能力层面的应用方式。各教学阶段的活动安排、脚手架支持及相应评价指标之间的对应关系如表 1 所示。

Table 1. Illustrative phases of CPS instructional design with corresponding scaffolds and evaluation dimensions

表 1. 示例性 CPS 教学设计阶段、脚手架与评价维度

教学阶段	课时	教学活动	脚手架支持	评价维度
知识获取	1~2	探索生态系统模拟情境, 识别关键变量及其关系	VOTAT 策略指导; worked examples 示范	变量识别完整性(识别的有效变量数/总变量数); 因果关系推断准确性(正确识别的关系数/总关系数)
策略训练	3~4	系统性变量操控; 小组讨论探索路径;	元认知提示; 同伴反馈	探索策略有效性(VOTAT 使用频率与质量); 协作维度: ① 共同理解的建立与维持; ② 行动协调与执行; ③ 团队组织与管理效能
知识应用	5~6	在约束条件下调控系统以达成目标	渐进式任务复杂度; 即时反馈	目标达成准确度(实际输出值与目标值偏差); 操作效率(达成目标所需操作步数); 策略调整灵活性(基于反馈的适应性调整)
迁移与反思	7~8	新情境迁移任务; 反思问题解决过程	反思性日志; 跨情境比较讨论	策略迁移表现; 元认知知识水平

Note. 本表基于相关理论与实证研究提出一个示范性的 CPS 教学设计框架,用于呈现不同教学阶段中教学活动、脚手架支持与评价维度之间的对应关系,旨在为复杂问题解决能力培养的教学设计提供结构化参考,而非对具体教学实施效果进行检验。脚手架设计主要依据认知负荷理论与引导式探索学习相关研究(Alfieri et al., 2011; Sweller, 2011),并在教学过程中根据学习者表现进行动态调整。各阶段评价维度的设置主要参考 MicroDYN 测评范式及 PISA 问题解决与协作问题解决框架(Fischer et al., 2012; OECD, 2017)

然而,必须审慎指出的是,当前针对 CPS 能力培养的教育干预研究在数量上仍显不足,且干预设计的系统性与精细化程度有待提升。此外,现有研究以横断研究为主,即便是纵向追踪研究亦多聚焦于短期干预效果的即时评估,对干预效果的长期保持性与迁移性关注不足。元分析证据亦显示,采用延迟后测的研究所报告的训练效应($g = 0.40$)显著低于即时后测研究($g = 0.86$) (McKay et al., 2024),这提示未来研究亟需关注干预效果的持久性问题。

3.2. 复杂问题解决研究中的不足

测量工具的心理测量学局限。尽管 CPS 测量工具持续迭代发展,但其标准化程度仍有待提升(Greiff et al., 2013),这可能导致测验结果的稳定性与一致性不足,进而影响测量的信度与效度。此外,现有测量方法在追求标准化的同时,可能牺牲了任务的复杂性特征,从而削弱了生态效度(Csapó & Funke, 2017),限制了测验对真实情境中 CPS 能力的预测效力。张生等(2019)指出, CPS 测量工具亟需在任务异质性与跨任务可比性之间寻求平衡:基于计算机的微世界测量虽具有较高生态效度,但存在施测时间冗长、成本高昂、跨任务可比性不足等问题;形式化框架测量与多元复杂系统虽提升了可比性,却牺牲了任务的异质性与复杂性特征。

纵向研究设计的匮乏。CPS 作为涵盖动态性、复杂性与交互性等多维特征的能力建构,需要采用多视角、多层次的分析框架予以考察。然而,囿于研究设计的复杂性、实施难度及资源投入等客观限制,当前研究以横断设计为主,纵向追踪研究严重不足,制约了对 CPS 能力发展轨迹与因果机制的深入探究。Molnár et al. (2013; 2018)的跨年龄研究虽揭示了 CPS 能力在 6~7 年级期间发展最为迅速的规律,但此类发展性研究仍属少数。

理论-实践转化的断裂。CPS 研究的最终目的在于指导教育实践与能力培养。然而,当前研究成果向实践领域的转化应用尚不充分,理论研究与教育实践之间存在明显的断裂,限制了研究成果对实际问题解决的贡献度与应用价值。尽管元分析证据为脚手架设计、策略指导等干预要素提供了明确指导,但如何将这些原则转化为可操作的课堂教学实践仍需进一步探索。

4. 讨论

复杂问题解决(CPS)作为心理学与认知科学领域的核心建构,旨在探究个体处理复杂现实问题的认知机制与能力结构。本文首先厘清了 CPS 的概念界定与理论渊源,继而从理论建构、测评范式、影响机制及发展心理学取向四个维度,系统梳理了 CPS 领域的研究进展,最后审视了 CPS 研究在实践应用层面的现状及现存的方法学局限。

基于上述分析,未来研究可从以下方向深入推进:第一,进一步完善 CPS 的理论框架与概念模型,提升测评工具的心理测量特性,特别是在保持生态效度的同时提高跨任务可比性;第二,深入探究 CPS 能力形成与发展的影响机制与作用路径,基于元分析证据构建整合性的理论解释模型,明确不同脚手架类型与学习者特征之间的匹配机制;第三,加强跨学科研究合作,拓展 CPS 研究的应用领域与实践价值,开发基于循证原则的教学干预方案并验证其长期效果;第四,关注不同发展阶段与群体 CPS 能力的发展

规律与个体差异, 开展更多纵向追踪研究, 为差异化教育干预提供实证依据。通过持续深入的理论探索与实证研究, CPS 领域有望取得更多突破性进展, 为人类应对复杂现实问题提供更具科学性与实效性的解决方案。

参考文献

- 张生, 任岩, 骆方(2019). 学生高阶思维能力的评价: 复杂问题解决的测量述评. *中国特殊教育*, (10), 90-96.
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does Discovery-Based Instruction Enhance Learning? *Journal of Educational Psychology*, 103, 1-18. <https://doi.org/10.1037/a0021017>
- Beckmann, J. F., Birney, D. P., & Goode, N. (2017). Beyond Psychometrics: The Difference between Difficult Problem Solving and Complex Problem Solving. *Frontiers in Psychology*, 8, Article ID: 1739. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01739>
- Brehmer, B., & Dörner, D. (1993). Experiments with Computer-Simulated Microworlds: Escaping Both the Narrow Straits of the Laboratory and the Deep Blue Sea of the Field Study. *Computers in Human Behavior*, 9, 171-184. [https://doi.org/10.1016/0747-5632\(93\)90005-d](https://doi.org/10.1016/0747-5632(93)90005-d)
- Buchner, A., & Funke, J. (1993). Finite-state Automata: Dynamic Task Environments in Problem-Solving Research. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 46, 83-118. <https://doi.org/10.1080/14640749308401068>
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70, 1098-1120. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>
- Chernikova, O., Heitzmann, N., Stadler, M., Holzberger, D., Seidel, T., & Fischer, F. (2020). Simulation-Based Learning in Higher Education: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 90, 499-541. <https://doi.org/10.3102/0034654320933544>
- Csapó, B., & Funke, J. (2017). *The Nature of Problem Solving: Using Research to Inspire 21st Century Learning*. OECD Publishing.
- D'Mello, S., & Graesser, A. (2011). The Half-Life of Cognitive-Affective States during Complex Learning. *Cognition and Emotion*, 25, 1299-1308. <https://doi.org/10.1080/02699931.2011.613668>
- D'Mello, S., & Graesser, A. (2012). Dynamics of Affective States during Complex Learning. *Learning and Instruction*, 22, 145-157. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.10.001>
- Dörner, D., & Funke, J. (2017). Complex Problem Solving: What It Is and What It Is Not. *Frontiers in Psychology*, 8, Article ID: 1153. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01153>
- Dörner, D., & Kreuzig, H. W. (1983). Problemlösefähigkeit und Intelligenz. *Psychologische Rundschau*, 34, 185-192.
- Eseryel, D., Ge, X., Ifenthaler, D., & Law, V. (2011). Dynamic Modeling as a Cognitive Regulation Scaffold for Developing Complex Problem-Solving Skills in an Educational Massively Multiplayer Online Game Environment. *Journal of Educational Computing Research*, 45, 265-286. <https://doi.org/10.2190/ec.45.3.a>
- Fischer, A., Greiff, S., & Funke, J. (2012). The Process of Solving Complex Problems. *The Journal of Problem Solving*, 4, 19-42. <https://doi.org/10.7771/1932-6246.1118>
- Fitri, L., Rosyida, F., Putra, A., Ariani Wirahayu, Y., & Selviana, N. (2022). The Effect of Geographical Inquiry Learning Using SETS Approach to Complex Problem-Solving Abilities on Environmental Conservation Material. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 12, 61-69.
- Frischkorn, G. T., Greiff, S., & Wüstenberg, S. (2014). The Development of Complex Problem Solving in Adolescence: A Latent Growth Curve Analysis. *Journal of Educational Psychology*, 106, 1007-1020. <https://doi.org/10.1037/a0037114>
- Funke, J. (1985). Steuerung dynamischer systeme durch aufbau und anwendung subjektiver kausalmodelle. *Zeitschrift Für Psychologie*, 193, 435-457.
- Funke, J. (2001). Dynamic Systems as Tools for Analysing Human Judgement. *Thinking & Reasoning*, 7, 69-89. <https://doi.org/10.1080/13546780042000046>
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. W. Kohlhammer GmbH. <https://doi.org/10.17433/978-3-17-022830-6>
- Funke, J. (2014). Analysis of Minimal Complex Systems and Complex Problem Solving Require Different Forms of Causal Cognition. *Frontiers in Psychology*, 5, Article ID: 739. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00739>
- Funke, J., & Frensch, P. A. (2017). Complex Problem Solving: The European Perspective—10 Years After. In D. H. Jonassen (Ed.), *Learning to Solve Complex Scientific Problems* (pp. 25-48). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315091938-2>
- Greiff, S., & Fischer, A. (2013). Measuring Complex Problem Solving: An Educational Application of Psychological Theories. *Journal of Educational Research Online*, 5, 28-58.

- Greiff, S., Holt, D. V., & Funke, J. (2013). Perspectives on Problem Solving in Educational Assessment: Analytical, Interactive, and Collaborative Problem Solving. *The Journal of Problem Solving*, 5, 71-91. <https://doi.org/10.7771/1932-6246.1153>
- Greiff, S., Wüstenberg, S., & Funke, J. (2012). Dynamic Problem Solving: A New Assessment Perspective. *Applied Psychological Measurement*, 36, 189-213. <https://doi.org/10.1177/0146621612439620>
- Greiff, S., Wüstenberg, S., Goetz, T., Vainikainen, M., Hautamäki, J., & Bornstein, M. H. (2015). A Longitudinal Study of Higher-Order Thinking Skills: Working Memory and Fluid Reasoning in Childhood Enhance Complex Problem Solving in Adolescence. *Frontiers in Psychology*, 6, Article ID: 1060. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01060>
- Güss, C. D., Burger, M. L., & Dörner, D. (2017). The Role of Motivation in Complex Problem Solving. *Frontiers in Psychology*, 8, Article ID: 851. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00851>
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search during Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1201_1
- Kretzschmar, A., & Süß, H. M. (2015). A Study on the Training of Complex Problem Solving Competence. *Journal of Dynamic Decision Making*, 1, Article 4.
- Kretzschmar, A., Neubert, J. C., Wüstenberg, S., & Greiff, S. (2016). Construct Validity of Complex Problem Solving: A Comprehensive View on Different Facets of Intelligence and School Grades. *Intelligence*, 54, 55-69. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2015.11.004>
- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000). The Development of Cognitive Skills to Support Inquiry Learning. *Cognition and Instruction*, 18, 495-523. https://doi.org/10.1207/s1532690xci1804_3
- Lotz, C., Sparfeldt, J. R., & Greiff, S. (2016). Complex Problem Solving in Educational Contexts—Still Something Beyond a “Good G”? *Intelligence*, 59, 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2016.09.001>
- Mayer, R. E. (1992). *Thinking, Problem Solving, Cognition* (2nd ed.). W.H. Freeman.
- McKay, A. S., Reiter-Palmon, R., Coombes, S. M. T., & Coombs, J. E. (2024). A Meta-Analysis of Creativity Training in Organizational Settings. *Creativity and Innovation Management*, 33, 587-602. <https://doi.org/10.1111/caim.12605>
- Molnár, G., & Csapó, B. (2018). The Efficacy and Development of Students’ Problem-Solving Strategies during Compulsory Schooling: Logfile Analyses. *Frontiers in Psychology*, 9, Article ID: 302. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00302>
- Molnár, G., Greiff, S., & Csapó, B. (2013). Inductive Reasoning, Domain Specific and Complex Problem Solving: Relations and Development. *Thinking Skills and Creativity*, 9, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.03.002>
- Morris, N. M., & Rouse, W. B. (1985). The Effects of Type of Knowledge Upon Human Problem Solving in a Process Control Task. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15, 698-707. <https://doi.org/10.1109/tsmc.1985.6313453>
- Neubert, J. C., Kretzschmar, A., Wüstenberg, S., & Greiff, S. (2015). Extending the Assessment of Complex Problem Solving to Finite State Automata. *European Journal of Psychological Assessment*, 31, 181-194. <https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000224>
- Newell, A., & Simon, H. A. (1961). Computer Simulation of Human Thinking. *Science*, 134, 2011-2017. <https://doi.org/10.1126/science.134.3495.2011>
- Nicolay, B., Krieger, F., Stadler, M., Vainikainen, M., Lindner, M. A., Hansen, A. et al. (2022). Examining the Development of Metacognitive Strategy Knowledge and Its Link to Strategy Application in Complex Problem Solving—A Longitudinal Analysis. *Metacognition and Learning*, 17, 837-854. <https://doi.org/10.1007/s11409-022-09324-9>
- OECD (2017). *PISA 2015 Results (Volume V): Collaborative Problem Solving*. PISA. <https://doi.org/10.1787/9789264285521-en>
- Osman, M. (2017). Problem solving: Understanding Complexity as Uncertainty. In Csapó, B., & Funke, J. (Eds.), *Educational Research and Innovation* (pp. 47-57). OECD Publishing.
- Schoppek, W., & Fischer, A. (2015). Complex Problem Solving—Single Ability or Complex Phenomenon? *Frontiers in Psychology*, 6, Article ID: 1669. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01669>
- Schoppek, W., & Fischer, A. (2017). Common Process Demands of Two Complex Dynamic Control Tasks: Transfer Is Mediated by Comprehensive Strategies. *Frontiers in Psychology*, 8, Article ID: 2145. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02145>
- Schweizer, F., Wüstenberg, S., & Greiff, S. (2013). Validity of the MicroDYN Approach: Complex Problem Solving Predicts School Grades beyond Working Memory Capacity. *Learning and Individual Differences*, 24, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.12.011>
- Simon, H. A., & Newell, A. (1971). Human Problem Solving: The State of the Theory in 1970. *American Psychologist*, 26, 145-159. <https://doi.org/10.1037/h0030806>
- Stadler, M., Becker, N., Gödker, M., Leutner, D., & Greiff, S. (2015). Complex Problem Solving and Intelligence: A Meta-analysis. *Intelligence*, 53, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2015.09.005>

- Stadler, M., Niepel, C., & Greiff, S. (2019). Differentiating between Static and Complex Problems: A Theoretical Framework and Its Empirical Validation. *Intelligence*, 72, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2018.11.003>
- Süß, H., & Kretschmar, A. (2018). Impact of Cognitive Abilities and Prior Knowledge on Complex Problem Solving Performance—Empirical Results and a Plea for Ecologically Valid Microworlds. *Frontiers in Psychology*, 9, Article ID: 626. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00626>
- Sweller, J. (2011). Cognitive Load Theory. In Mestre J. P., & Ross, B. H. (Eds.), *Psychology of Learning and Motivation* (pp. 37-76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-387691-1.00002-8>
- Todd, P., Ortega, J., Davis, J., Gigerenzer, G., Goldstein, D., Goodie, A., Hertwig, R., Hoffrage, U., Laskey, K., Martignon, L., & Miller, G. (1999). *Simple Heuristics That Make Us Smart*. Oxford University Press.
- Wu, H., & Molnár, G. (2018). Interactive Problem Solving: Assessment and Relations to Combinatorial and Inductive Reasoning. *Journal of Psychological and Educational Research*, 26, 90-105.
- Wu, H., & Molnár, G. (2022). Analysing Complex Problem-Solving Strategies from a Cognitive Perspective: The Role of Thinking Skills. *Journal of Intelligence*, 10, Article 46. <https://doi.org/10.3390/jintelligence10030046>
- Wüstenberg, S., Stadler, M., Hautamäki, J., & Greiff, S. (2014). The Role of Strategy Knowledge for the Application of Strategies in Complex Problem Solving Tasks. *Technology, Knowledge and Learning*, 19, 127-146. <https://doi.org/10.1007/s10758-014-9222-8>
- Zhang, X., Gao, Q., Tian, W., & Xin, T. (2024). Dynamic and Typological Explanations of Planning in Complex Problem-Solving. *Learning and Individual Differences*, 110, Article 102417. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102417>