

运用思维导图构建初中物理知识体系的实践研究

——以“运动和力”单元为例

汤云菲, 杨秀娟

渤海大学物理科学与技术学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2026年7月5日; 录用日期: 2026年8月6日; 发布日期: 2026年8月14日

摘 要

初中物理“运动和力”单元涉及速度、惯性、摩擦力等多个核心概念, 学生常因知识点分散而难以建立整体认知。本研究采用思维导图工具辅助教学, 通过概念导图、解题导图、系统导图三个阶段的实践, 帮助学生构建网络化知识体系, 思维导图通过可视化呈现知识关联, 能有效突破“力是维持运动原因”等错误前概念, 促进学生从碎片化记忆向系统化理解转变, 知识迁移能力显著增强。教学实践表明, 分阶段运用思维导图可显著提升学生问题分析能力, 为物理核心素养培养提供可操作路径。

关键词

思维导图, 知识体系, 运动和力, 初中物理

A Practical Study on Constructing Junior High School Physics Knowledge System Using Mind Maps

—Taking the “Motion and Force” Unit as an Example

Yunfei Tang, Xiujuan Yang

School of Physics Science and Technology, Bohai University, Jinzhou Liaoning

Received: July 5, 2026; accepted: August 6, 2026; published: August 14, 2026

Abstract

The “Motion and Force” unit in junior high school physics involves multiple core concepts such as

speed, inertia, and friction. Students often struggle to establish a holistic understanding due to the fragmented nature of the knowledge points. This study employs mind maps as a teaching tool, implementing a three-stage practice comprising concept maps, problem-solving maps, and system maps to help students construct a networked knowledge system. By visualizing knowledge relationships, mind maps can effectively overcome erroneous preconceptions such as “force is the cause of motion,” facilitating students’ transition from fragmented memorization to systematic understanding and significantly enhancing their knowledge transfer ability. Teaching practice demonstrates that the phased application of mind maps can markedly improve students’ problem analysis capabilities, providing an actionable pathway for cultivating core physics literacy.

Keywords

Mind Map, Knowledge System, Motion and Force, Junior High School Physics

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

物理学科具有概念抽象、逻辑严密的特点,“运动和力”单元作为力学基础,承载着速度计算、力的三要素、牛顿第一定律等关键内容。教学实践中发现,学生虽能记住公式定义,却在综合问题中频繁出错,根本原因在于知识结构松散。如何帮助学生将零散知识点编织成网络结构,建立系统化认知,成为教学中亟待解决的问题。思维导图作为知识可视化工具,能够清晰呈现概念间的内在联系。本研究选取“运动和力”单元,探索如何分阶段运用思维导图帮助学生建立系统认知,解决知识碎片化与应用能力不足的突出矛盾,为初中物理教学提供可借鉴的实践方案。

从认知心理学的视角审视,上述教学困境的深层根源在于学科知识的内在认知负荷与学习者有限的工作记忆容量之间的矛盾。根据 Sweller 的认知负荷理论(Cognitive Load Theory),学习材料的元素交互性越高,学习者需在工作记忆中同时处理的信息单元越多,内在认知负荷(intrinsic cognitive load)越重[1]。物理学科中“力与运动”等核心概念之间存在复杂的因果网络和层级关系,其高元素交互性特征使得初学者极易陷入认知过载状态。同时, Mayer 的多媒体学习认知理论指出,当信息仅以单一的文字符号通道呈现时,容易造成听觉/言语通道的认知负荷集中,而视觉/图像通道则处于闲置状态[2]。思维导图作为一种视觉化的知识组织工具,能够同时激活学习者的言语系统和图像系统,契合 Paivio 双重编码理论(Dual Coding Theory)所揭示的双通道加工优势[3],从而在不增加外在认知负荷的前提下,优化相关认知负荷(germane cognitive load),促进深层语义加工和图式建构。

在展开论述之前,有必要对本研究所使用的核心术语进行明确界定。“思维导图”(Mind Map)一词由 Buzan 于 20 世纪 70 年代提出,特指以单一中心主题为起点、通过放射状分支展开的层级化视觉组织工具[4]。然而,在教育研究和实践中,该术语常与“概念图”(Concept Map)、“图形组织器”(Graphic Organizer)等概念混用。Novak 提出的概念图侧重于命题性知识网络中概念节点之间的有标签联结,更适合表征精确的语义关系[5];而图形组织器则是一个更为宽泛的上位概念,涵盖了思维导图、概念图、流程图、维恩图、矩阵图等多种视觉化知识表征形式[6]。本研究所使用的“思维导图”在实际应用中已超越了 Buzan 原始定义的严格边界——例如,在习题教学中引入的流程式导图和概念对比矩阵,更接近广义图形组织器的范畴。因此,本文在理论层面采用“图形组织器”作为上位学术术语,以更准确地定位本研究的工

具类型;在教学实践层面保留“思维导图”的表述,以保持与一线教师话语体系的一致性,但读者应理解其实际指向为经过教学化改造的、多类型的图形组织器系统。

基于上述认知理论框架和概念澄清,本研究的学术贡献主要体现在以下三个方面:第一,从认知负荷理论和双重编码理论的视角,为思维导图(图形组织器)在物理学科教学中的应用提供了系统性的认知机制解释,弥补了现有研究重实践效果、轻理论深描的不足;第二,将概念转变研究(Conceptual Change Research)的理论洞见——特别是 Posner 等人提出的概念转变条件模型[7]——与图形组织器的教学设计相结合,阐明了对诸如“力是维持运动的原因”等顽固迷思概念(misconception)进行认知干预的视觉化策略;第三,构建了基于知识类型的图形组织器分类选用框架和分阶段教学路径,为一线教师提供了从理论到实践的完整转化链条。

2. 理论基础与文献回顾

2.1. 认知负荷理论: 思维导图降低认知加工难度的内在机制

Sweller 于 1988 年系统提出的认知负荷理论(Cognitive Load Theory, CLT)为理解思维导图的教学效能提供了核心理论框架。该理论以工作记忆(working memory)容量有限、长时记忆(long-term memory)容量无限为基本前提,将认知负荷分为三种类型:内在认知负荷(intrinsic cognitive load),由学习材料本身的元素交互性决定;外在认知负荷(extraneous cognitive load),由不恰当的教学设计和信息呈现方式引起;相关认知负荷(germane cognitive load),指向图式建构与自动化的深层加工努力。有效的教学设计应当在管理内在负荷、减少外在负荷的同时,释放认知资源用于相关负荷。

从认知负荷理论的视角审视,初中物理“运动和力”单元之所以构成学习难点,正是因为速度、力、惯性、运动状态等概念之间存在高度的元素交互性(element interactivity),学生需要同时在工作记忆中保持多个信息单元并理解其间的因果、条件、约束关系,内在认知负荷极高。传统的线性讲授方式要求学生在工作记忆中自行建构这些概念之间的关系网络,文本呈现的碎片化特征增加了不必要的搜索与整合成本,形成了显著的外在认知负荷。思维导图通过将概念间的层级关系、因果关系以空间邻近的节点-连线结构一次性呈现,将原本需要学习者在工作记忆中自行推导和维持的关系转化为外部世界持久可用的视觉表征,实质上将一部分内在认知负荷“卸载”(off-load)到了外部表征上,从而释放出工作记忆容量用于更深层的图式建构——这正是认知负荷理论所倡导的“释放认知资源以促进相关加工”的核心教学原则[8]。

此外, Van Merriënboer 的四要素教学设计模型(4C/ID 模型)指出,对于复杂认知技能的学习,应当从整体任务出发,在学习者试图协调构成技能的各组成部分时提供即时支持[9]。思维导图恰恰扮演了这种“支持性信息”(supportive information)的角色——它在新手学习者面对“运动和力”这类高元素交互性任务时,搭建了连接零散概念与整体认知结构之间的桥梁,有效降低了认知加工难度,使学习者能够将有限的认知资源集中于理解概念间的本质关系,而非消耗于信息的机械搜索和短期维持。

2.2. 双重编码与图式建构: 思维导图促进知识结构化的认知路径

Paivio 的双重编码理论(Dual Coding Theory)从信息表征的层面进一步解释了思维导图的认知优势。该理论认为,人类的认知系统包含两个在功能上相互独立又相互联系的表征系统:言语系统(verbal system),专门处理语言信息和序列性加工;图像系统(imagery system),专门处理非语言对象和空间信息的同步加工。当信息同时以言语和图像两种形式编码时,学习者形成双重表征(dual representation),回忆和迁移的概率显著高于单一编码的信息——这一效应被称为“双重编码优势”(dual-coding advantage)。

传统的物理教学中,概念和规律主要依赖语言讲解和公式推导(单一言语编码),而思维导图通过颜色

编码区分概念类别、层级缩进展现场所关系、箭头连线标示因果方向、图标符号具象化抽象概念——将教材中线性排列的文字信息转化为同步呈现在二维平面上的视觉-空间结构, 实现言语编码与图像编码的有机整合。以“运动和力”单元为例, 学生阅读教材时获得的是一系列依次排列的文字陈述(“力是改变物体运动状态的原因”“一切物体都具有惯性”等), 而单元思维导图则将这些陈述在同一个平面空间内排列为围绕“力与运动关系”中心节点的放射状网络, 各个概念分支之间的空间位置关系本身就构成了对“力改变运动状态”“惯性保持运动状态”等逻辑关系的隐喻性表达, 使学生的非言语图像系统参与到对物理概念的加工之中, 增强了记忆痕迹的丰富性和提取路径的多元性。

在双重编码的基础上, 图式理论(Schema Theory)进一步解释了思维导图促进知识体系建构的深层机制。图式(schema)是长时记忆中有组织的知识结构, 它提供了一种将新信息同化(assimilation)到已有认知结构的框架[10]。新手学习者与专家学习者的关键区别在于, 专家的知识以高度结构化的图式形式存储——围绕核心概念(如“力”)组织起丰富的因果模型和问题模式(problem schema), 而新手的知识往往是碎片化的孤立事实。思维导图的外显化网络结构恰恰为学习者提供了认知图式的“外部模板”——当学生反复接触和使用以“力与运动关系”为中心的思维导图时, 导图的节点-连线结构逐渐内化为个体的认知图式, 使原本离散的知识点以“关系网络”的形式编码进入长时记忆, 从而在遇到新的物理问题时能够以图式而非孤立事实为单位进行模式识别和推理。这正是 Ausubel 有意义学习理论(Meaningful Learning Theory)所强调的核心机制——只有当新知识能够与学习者已有认知结构中的相关概念建立实质性的、非任意的联系时, 有意义的学习才真正发生[11]。思维导图通过将这种“联系”外显化和可视化, 为有意义学习的发生提供了认知支架。

2.3. 概念转变研究: 思维导图突破迷思概念的认知干预机制

Posner 等人提出的概念转变模型(Conceptual Change Model)指出, 学习者要实现从朴素概念(naïve conception)到科学概念的根本转变, 必须满足四个基本条件: 对现有概念产生不满(dissatisfaction); 新概念是可理解的(intelligible); 新概念是合理的(plausible); 新概念是富有成效的(fruitful)——即能够解释更广泛的现象。在“运动和力”单元中, 学生普遍持有的“力是维持运动的原因”这一前科学概念(preconception, 国内研究中常称为“前概念”或“迷思概念”)构成了对科学概念建构的主要障碍。Chi 的本体论类别转换理论(ontological category shift)进一步指出, 某些概念转变之所以特别困难, 是因为学习者需要将概念从一种本体论类别(如将“力”从“物质/实体”类别)转移到另一种本体论类别(如“过程/相互作用”类别), 这种本体论层面的转换比信念修正(belief revision)更为根本和困难[12]。

思维导图在促进概念转变方面具有独特的认知干预价值。首先, 对比式图形组织器(compare-contrast matrix)以左右并列的视觉结构同时呈现“错误前概念→典型迷思案例”和“科学概念→正确解释”, 使认知冲突(cognitive conflict)变得直观可视, 激发学习者对已有概念的不满——这是概念转变的首要条件。其次, 层级化的概念图将“力→力的作用效果→运动状态改变→速度大小/方向变化”这一科学概念链条逐级展开, 以从一般到具体的演绎逻辑呈现概念的合理性(plausibility), 帮助学习者理解为什么科学解释比日常直觉更符合逻辑一致性。最后, 多情境应用型思维导图将“力是改变运动状态的原因”这一核心概念延伸至刹车减速、弯道转向、斜面加速等多种具体情境, 展现科学概念的解释力和生产性(fruitfulness), 促使学习者从“记住结论”转向“真正相信并能够自觉运用”科学概念——这正是概念转变完成的标志[13]。

2.4. 图形组织器研究综述与本研究的学术定位

从国际研究的脉络来看, 图形组织器(Graphic Organizers)作为一种经过系统研究的教学工具类别, 已

被大量实证研究证实对各学科、各学段的知识理解与思维发展具有促进作用。Ausubel 的有意义学习理论为图形组织器的应用奠定了早期理论基础, 主张在学习新材料之前提供“先行组织者”(advance organizer)能够激活相关的已有认知结构, 从而促进新知识的纳入[11]。此后, Novak 基于 Ausubel 的理论开发了概念图技术(concept mapping), 并将其广泛应用于科学教育中的知识诊断和教学干预。在元分析层面, Dexter 和 Hughes (2011)对 1963~2006 年间 55 项实验研究的综述表明, 图形组织器对事实性知识($ES = 0.67$)、词汇知识($ES = 0.84$)和阅读理解($ES = 0.57$)均有中等至较大效应量[14]。然而, 该综述也指出, 多数研究集中于语言和社会科学领域, 对于物理等元素交互性高、认知负荷重的 STEM 学科的应用和机制研究仍相对薄弱。

在国内研究领域, 思维导图在学科教学中的应用研究近年来呈快速增长态势。在物理学科方面, 研究者从知识建构[15] [16]、习题教学优化[17]、学生知识内化[18]等多种角度探讨了思维导图的教学价值。然而, 深入分析现有文献可以发现以下不足: 第一, 多数研究以经验总结和教学案例描述为主, 缺乏与认知心理学核心理论(如认知负荷理论、双重编码理论、概念转变模型)的深度对接, 导致教学策略的提出缺乏可迁移的学理依据; 第二, “思维导图”一词的使用存在泛化倾向——许多研究中展示的工具实际涵盖了概念图、流程图、对比矩阵等多种形式, 但未在理论上进行区分和界定, 使得研究结果的可比较性和可积累性受到影响; 第三, 对于如何引导学生从“使用教师提供的预设导图”逐步过渡到“根据新问题情境自主创建和灵活调整导图”的教学支架策略, 现有研究涉及较少, 而这一过渡恰恰是思维导图从“教学工具”提升为“思维工具”、真正培养高阶思维能力的关键环节。本研究正是基于上述研究空白, 尝试在认知心理学理论的框架下, 以初中物理“运动和力”单元为具体载体, 构建学理支撑明确、概念界定清晰、教学路径可操作的图形组织器应用模式。

3. “运动和力”单元中学生问题解决的障碍分析

为了精准运用思维导图破解教学难点, 首先需系统诊断学生在学习“运动和力”单元时面临的核心困境。以下从知识结构、概念认知与思维方法三个层面, 对典型障碍进行深入剖析。

3.1. 知识碎片化导致的解题思路混乱

学生在接触速度、惯性、摩擦力等概念时, 普遍将这些知识点看作独立内容, 缺乏相互关联的理解。单元前测数据显示, 学生能够解答单一知识点题目, 但在处理“刹车距离与速度、摩擦力关系”类综合题时, 正确率显著下降。典型错误集中在计算摩擦力时未考虑运动状态变化, 以及分析惯性现象时忽略力的作用效果。教师可借助思维导图, 将“速度”“摩擦力”“运动状态”作为核心节点, 通过连线标注“速度影响刹车距离”“摩擦力改变运动状态”, 引导学生建立概念间的因果关系。学生在导图辅助下逐步识别知识联系, 从而减少碎片化记忆带来的解题障碍。课堂观察显示, 学生能背出“摩擦力与压力、接触面粗糙程度有关”, 却不会将此知识与“运动速度改变需要力”建立联系。教材对比研究指出, 知识关联性呈现方面有待加强[19]。碎片化学习导致学生缺乏知识调用的路径图, 遇到综合问题时无从下手, 解题过程呈现“见题套公式, 错了就放弃”的混乱状态。

知识结构的松散直接影响问题解决效率, 而更深层次的障碍则源于学生头脑中根深蒂固的错误前概念。这些前概念往往与科学的物理观念相冲突, 构成了理解“力与运动关系”的认知壁垒。

3.2. 概念理解不清造成的错误前概念

学生在学习前普遍存在“运动需要力维持”的错误观念, 如认为停止推力物体就立即停下。尽管学习了牛顿第一定律, 许多学生仍会将惯性解释为一种力。这种错误前概念导致其在分析摩擦力方向、惯

性现象等题目时频繁出错, 阻碍了科学认知的建立[20]。研究表明, 教学需整合内容, 帮助学生构建清晰的知识体系以克服这一思维定势。清除了错误概念的干扰后, 学生能否灵活运用知识解决复杂问题, 则取决于其是否具备系统化的分析思维。这在需要多步骤推理的综合问题中体现得尤为明显。

3.3. 缺乏系统思维影响综合问题分析

“运动和力”单元涉及描述运动、力的作用效果、力与运动关系三个层级内容, 要求学生建立递进式思维链条。课堂观察发现, 学生解题时常出现逻辑断层。例如分析“汽车匀速行驶突然关闭发动机后的运动状态”, 需依次思考: 关闭发动机后动力消失 - 摩擦力仍存在 - 受力不平衡 - 速度减小直至静止。实际答题中, 多数学生跳过受力分析环节, 直接判断“车会停下”, 无法说明运动状态改变的原因。教材对比研究发现, 呈现方式影响学生科学思维培养[21]。缺乏系统思维使学生难以理清“受力状态 - 运动状态 - 力的作用效果”的内在逻辑, 综合问题分析能力受限。

4. 思维导图构建“运动和力”知识体系的设计原理

针对上述障碍, 本研究以思维导图为工具进行系统性干预。其设计遵循以下核心原理, 旨在将零散知识点转化为有机的、可视化的认知网络。

4.1. 核心概念统领的网络化结构设计

思维导图以“力与运动关系”为中心, 延伸出速度、力、牛顿定律等主干分支, 形成树状知识网络。它跨越章节界限, 通过箭头连接关键概念, 如将“速度改变”与“力的作用效果”相连, 并标注“力是改变运动状态的原因”。学生构建和阅读导图的过程, 能直观理解“速度 - 力 - 惯性”等概念间的逻辑关联, 例如明确惯性大小由质量决定。这种可视化结构有助于学生从整体上把握单元逻辑, 形成整合性的认知框架, 从而避免知识的孤立记忆。图1采用树状结构呈现“运动和力”单元的核心知识框架, 以“机械运动”为中心, 辐射出三大主干分支, 清晰展示了知识的层级关系与内在联系, 为后续教学实践提供了视觉化蓝图。

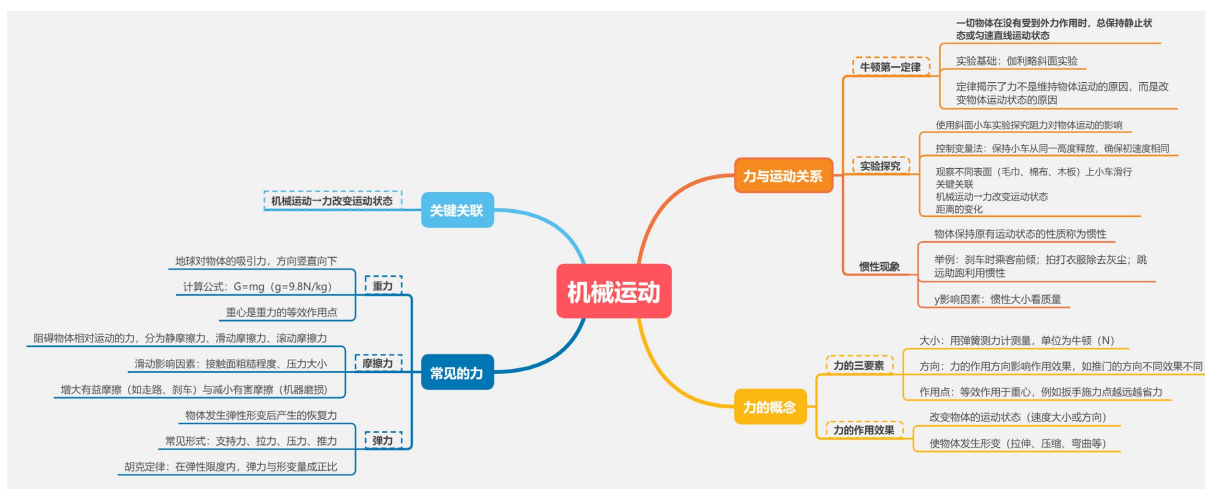


Figure 1. Core knowledge mind map of the “motion and force” unit

图1. “运动和力”单元核心知识思维导图

网络化结构构建了知识的“静态地图”, 而要使学生能够在这张地图上有效“导航”解决问题, 还需

规划明确的“动态路径”。这便需要将问题解决策略融入导图设计。

4.2. 问题类型导向的关联路径规划

导图设计融入问题解决思路, 为不同题型规划分析路径, 速度计算类问题对应“速度公式 - 单位换算 - 路程时间关系”路径; 受力分析类问题对应“物体运动状态 - 判断受力平衡 - 确定各力大小方向”路径; 运动状态判断类问题对应“受力情况分析 - 力的作用效果 - 运动状态改变”路径。知识结构化研究指出, 能有效提升学生获取知识和应用能力。路径规划将解题步骤嵌入知识结构, 学生遇到问题时沿着预设路径思考。例如分析“足球被踢出后运动”问题, 导图路径提示: 判断离脚后受力→仅受重力与阻力→受力不平衡→速度减小。这种导向式设计让学生知道“从哪里开始想, 往哪个方向走”, 减少思维混乱。

无论是宏观的结构还是微观的路径, 其教学效能的充分发挥, 最终依赖于直观、高效的视觉呈现形式。恰当的可视化手段是降低认知负荷、提升记忆与迁移效果的关键。

4.3. 知识体系可视化的导图呈现形式

导图采用颜色编码、图标标注、层级缩进等视觉手段增强记忆效果。核心概念用深色加粗, 公式定理用边框标注, 易混点用特殊标记突出。物理化学教学研究验证了思维导图对知识体系构建的积极作用。导图将“一切物体不受力时保持静止或匀速直线运动”的文字描述, 转化为“静止状态”“匀速直线运动状态”两个并列分支, 下方标注“不受力或受平衡力”的共同条件。化学知识体系研究强调, 思维可视化能训练逻辑思维, 培养知识构建能力[22]。可视化呈现降低理解难度, 学生通过视觉扫描快速定位知识位置, 建立空间化认知。

为了精细化解构知识并匹配多元教学需求, 思维导图的设计需超越单一形式, 依据教学内容的内在逻辑与教学目标进行结构化选型。物理教学需针对概念、规律、应用等不同知识类型采取差异策略[23], 思维导图的设计亦需遵循此原则, 以实现工具性与学科性的统一。

4.4. 基于知识类型与思维目标的导图结构化设计

“运动和力”单元的知识构成复杂, 包含核心概念、物理规律、实验探究、习题应用、易错辨析等多个维度。教学研究指出, 需以大概念来统整单元教学, 注重学习的系统化和结构化。为此, 思维导图的应用不应局限于单一的树状图, 而应根据具体教学目标和知识类型, 选择或设计最匹配的图形组织器(Graphic Organizer), 以精准促进不同层次的认知发展, 聚焦思维发展[24]。

1) 核心概念辨析导图: 针对“力”、“惯性”、“速度”等抽象概念, 采用对比矩阵图形式, 聚焦于厘清其科学定义、物理内涵、度量方法与相关实例, 并通过分栏对比连线区分易混淆概念(如“惯性”与“力”), 旨在奠定精确的认知基础, 突破错误前概念。

2) 核心规律剖析导图: 针对“牛顿第一定律”、“二力平衡条件”等物理规律, 其导图设计突出逻辑关系。以“探究阻力对运动的影响”实验为例, 采用过程流程图呈现“科学推理”主线: “实验事实(不同表面的运动距离)→推理环节(若无阻力)→理想结论(牛顿第一定律)”的完整思维过程, 将规律发现逻辑可视化[25]。

3) 解题策略路径导图: 对应习题教学, 将导图转化为分析程序。针对速度计算、受力分析、状态判断等题型, 设计标准化的过程流程图, 设定“审题→建模→选律→运算→检验”路径节点, 引导学生将知识网络转化为可执行的解题步骤, 培养程序化思维。

4) 易错点对比诊断导图: 专门针对“力是维持运动的原因”等顽固前概念与常见错误。采用对比矩阵图的左右分栏结构, 左侧呈现错误观点或典型错解, 右侧对应科学解释与正确分析, 并用颜色、图标

标注关键辨析点, 实现错误认知的显性化与针对性矫正。

5) 应用拓展关联导图: 旨在连接物理与生活, 培养物理观念。采用树状图或概念图, 以“交通安全中的惯性”或“磁悬浮列车中的摩擦”为主题, 中心为应用场景, 分支辐射出所涉及的多个物理原理(如惯性、力与运动、摩擦力), 展现知识在复杂现实情境中的综合应用, 促进跨学科实践[26]。

表 1 归纳了针对“运动和力”单元不同知识维度与教学目标的思维导图选型与应用设计。该框架为后续分阶段教学实践提供了清晰的设计指南, 确保了导图工具与教学内容的精准匹配。

Table 1. Knowledge dimensions and mind map type selection design for the “motion and force” unit
表 1. “运动和力”单元知识维度与思维导图选型设计表

知识维度	教学目标	推荐导图类型	设计要点与示例
核心概念	厘清定义, 辨析易混点	对比矩阵图	分栏对比“惯性”与“力”的本质、条件与实例
核心规律	理解逻辑, 掌握推理过程	过程流程图	展示“探究阻力对运动影响”实验的“现象-推理-结论”链条
实验探究	明确步骤, 培养科学思维	过程流程图	拆解“测量平均速度”实验的“原理-器材-步骤-处理”流程
解题策略	形成分析路径, 规范解题步骤	过程流程图	建立“受力分析类问题”的“确定对象→状态判断→受力分析→绘图”路径
易错点	显化错误, 对比纠正	对比矩阵图	左右对比“亚里士多德错误观点”与“牛顿力学正确观点”
应用拓展	联系实际, 促进迁移	树状图/概念图	以“自行车刹车”为中心, 关联摩擦力、惯性、杠杆等原理

5. 分阶段运用思维导图的教学实践路径

基于上述设计原理, 本研究构建了分阶段、渐进式的教学实践路径。各阶段目标明确、环环相扣, 引导学生从建立正确概念认知出发, 逐步发展至能够进行知识迁移与综合应用。

5.1. 从模仿到自主: 思维导图教学的支架搭建与渐进撤除策略

思维导图(图形组织器)教学的终极目标不是让学生学会“使用导图”, 而是让学生通过导图这一外部工具的中介作用, 逐步将结构化的思维模式内化为自身的认知能力——即从“外部表征依赖”过渡到“内部图式自动化”。Vygotsky 的社会文化理论指出, 高级心理机能的发展经历从“人际心理过程”(interpsychological)到“个体内部心理过程”(intrapsychological)的内化路径[27]。与此相应, 思维导图教学不应是“教师画图→学生看图→学生背图”的单向传递, 而应是一个精心设计的“支架搭建(scaffolding)→渐进撤除(fading)→自主迁移(transfer)”的动态过程。借鉴 Wood、Bruner 和 Ross 提出的支架式教学(scaffolded instruction)理念, 以及 Fisher 和 Frey 提出的“责任逐步释放模型”(Gradual Release of Responsibility Model, GRRM)——即“我做(I do it)→我们一起做(We do it together)→你们一起做(You do it together)→你自己做(You do it alone)”的四阶段教学框架[28], 本研究设计了与之对应的四个思维导图教学支架层级, 以引导学生在不同学习阶段获得恰当程度的认知支持和自主空间。

1) 教师示范阶段(“我做”): 展现思维导图的建构逻辑。在此阶段, 教师不仅是思维导图的展示者,

更是隐性思维过程的外化者。教师应以“大声思考”(think-aloud)的方式,在课堂上现场绘制思维导图,同时向学生明确阐述每一个绘图决策背后的认知理由——“为什么选择这个概念作为中心节点?”“为什么这条分支放在左边而不是右边?”“为什么用这种颜色的连线?”“箭头方向意味着什么因果关系?”。例如,在构建“力和运动”单元思维导图时,教师在黑板或屏幕上边画边解说:“我们把‘力与运动的关系’放在中心,因为它是整个单元所有知识的逻辑交汇点。从中心向外,第一条分支是‘力’——因为力是主动因素;第二条分支是‘运动状态’——这是被改变的对象;它们之间的箭头标注‘改变’,表示因果关系。每条分支继续展开:‘力’下面分出‘大小’‘方向’‘作用点’三个子节点,因为这正是力的三要素……”这种“思维过程可视化”的示范,使学生不仅看到最终的导图产品,更理解了导图建构的认知决策过程[29]。

2) 师生协作阶段(“我们一起做”): 引导式参与和认知学徒制。在学生观摩了教师的思维过程示范后,进入师生共同建构的阶段。此时教师扮演“认知教练”(cognitive coach)的角色,通过有层次的提问引导学生参与导图的共建过程,而非直接提供完整结构[30]。具体策略包括:1) 框架提示——教师给出中心节点和一级分支的框架,由学生补充二级及以下分支的细节内容;2) 错误诊断——教师故意在导图中插入一两处逻辑错误(如将“惯性”连接到“力”的下级而非同级),要求学生识别并修正,培养学生对概念关系的批判性检查能力;3) 空隙填补——教师提供标注了关键节点的“半完成图”(semi-completed map),保留部分连线或标注为空白,由学生根据提示进行填补;4) 同伴互评——学生两两交换各自完成的导图,按照教师提供的评价量规(rubric)进行互评,评价维度包括:中心主题是否准确、层级关系是否合理、连线标注是否清晰、是否有遗漏的关键概念。

3) 同伴协作阶段(“你们一起做”): 小组合作完成开放性绘图任务。当学生具备了一定的导图建构能力后,教师逐步撤除直接指导,将更多的决策权和学习责任转移给学生。此阶段的核心策略是设置开放性的、有多种正确解答的绘图任务,要求学生在小组讨论中协商达成共识。1) 情境任务设计——例如“请以‘校园运动会中的力学现象’为主题,制作一张综合运用本单元所有核心概念的思维导图”,这种情境化、跨概念的任务要求学生不是简单地复制教师或教材的导图结构,而是根据新的应用场景自主决定导图的组织逻辑和呈现方式。2) 角色分工机制——每个小组设置“结构设计师”(负责确定导图的中心-分支层级框架)、“内容审核员”(负责检查每个分支上的概念表述是否科学准确)、“可视化编辑”(负责颜色编码、图标选择和布局美化),通过角色轮换使每个学生都能练习不同的认知技能。3) 比较与反思——不同小组完成同一任务后,将各组导图并排展示,引导学生讨论:“哪组的分类方式更清晰?为什么?”“有没有哪组用了一种我们没想到的组织方式?”这种比较促使学生意识到同一知识体系可以有不同的结构化方式,从而发展认知灵活性(cognitive flexibility) [31]。

4) 自主迁移阶段(“你自己做”): 面对新问题情境的独立创建与灵活调整。这是支架完全撤除后的终极目标阶段——学生不再依赖教师提供的预设导图,而是能够在面对全新的物理问题时,自主判断是否以及如何使用图形组织器来辅助分析,并能够根据问题特征灵活调整导图的结构类型和组织方式。1) 导图类型的策略性选择——培养学生根据问题特征选择最适图形组织器类型的元认知能力:遇到概念辨析问题(如区分惯性与惯性定律),优先选用对比矩阵图;遇到多步骤计算问题(如速度-路程-时间的多条件综合计算),优先选用流程图或决策树;遇到知识整合问题(如单元复习或跨章综合),优先选用层级化的概念网络图。教师可以提供“导图类型选择指南卡”作为过渡性工具,但最终目标是学生能够内化这一决策逻辑。2) 错误导图的批判性修正——教师展示包含典型逻辑错误的思维导图(如将“摩擦力”同时列在“力”和“运动状态”两个分支下),要求学生不仅找出错误,更要口头解释为什么该结构不合理,以及如何重新组织——这种“修正他人错误”的练习被证明比“自己从零开始画”更能促进深层的概念关系理解。3) 跨单元迁移与整合——在新单元(如“压强”或“功和机械能”)学习开始或结束时,鼓励学

生尝试将新知识与已学的“运动和力”知识体系进行关联, 绘制跨单元的整合型思维导图, 如在“功”的概念旁标注“力的空间累积效果——与力的瞬时效果(加速/减速)相区别”, 促进知识体系的横向扩展和纵向深化。

在上述四阶段推进过程中, 支架的搭建与撤除应遵循三个核心原则: 第一, 最近发展区原则(Zone of Proximal Development)——支架应定位于学生当前独立水平与潜在发展水平之间的“最近发展区”, 难度过低(学生已掌握)则无法促进发展, 难度过高(超出潜在水平)则导致挫败; 第二, 动态评估原则——教师在每个阶段通过课堂观察、学生导图作品分析和“出声思维”(think-aloud)访谈, 持续评估学生的最近发展区位置, 据此决定是否进入下一阶段或需要在当前阶段停留更长时间; 第三, 责任渐进转移原则——随着学生能力的增长, 教师逐步将认知责任从自身转移给学生, 撤除的不仅是外部的导图提示, 还包括口语提示(如从“请回忆导图中力和加速度的关系”转为“请想一想, 力和运动状态变化之间有什么联系?”), 最终目标是使结构化思维成为学生自动化的认知习惯, 而非对外部工具的依赖。

5.2. 起始阶段 - 概念导图: 建立正确概念认知

本阶段的核心目标是实现概念转变。我们选取单元中最核心且前概念最顽固的“力与运动关系”作为突破口, 通过构建对比辨析导图, 实现错误观念的显性化与科学概念的重建。

1) “力与运动关系”概念导图的构建过程

在新课导入阶段, 教师引导学生围绕“力是维持运动原因”这一错误观念, 构建对比式思维导图。左侧列举“推车运动”等生活实例, 右侧对应“摩擦力作用”“惯性保持”等科学解释, 并通过颜色与注释进行辨析。师生共同标注力与惯性的实际作用, 帮助学生摒弃错误认知, 建立“力改变运动状态”的科学概念。逐步构建出如图2所示的对比辨析导图。

图2通过左右分栏的对比矩阵形式, 直观呈现了关于“力与运动关系”的错误前概念与科学观念的差异, 有效帮助学生辨析并建立正确的物理观念。

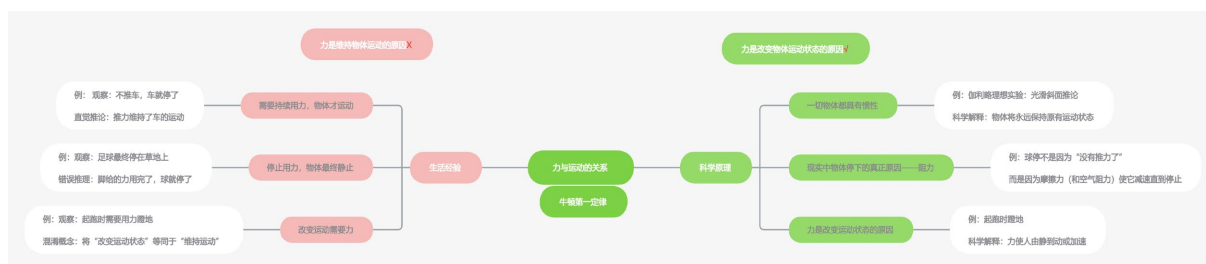


Figure 2. Comparative analysis mind map of the “relationship between force and motion”

图2. “力与运动关系”对比辨析导图

在初步建立起“力改变运动状态”的科学观念后, 需要进一步深化对牛顿第一定律这一核心规律的理解。该定律的“理想实验”推理过程是教学的另一难点, 思维导图可通过可视化推理链条助力学生理解。

2) 利用导图突破“牛顿第一定律”理解难点

牛顿第一定律涉及理想化条件“不受力”, 学生难以理解。教学中展示过程流程图式的实验导图: 以“探究运动与力的关系”为起点, 引出“同一小车同一斜面滚下”的实验, 三个分支(毛巾、棉布、木板表面)后标注运动距离与摩擦力大小, 最终通过推理箭头指向“若表面绝对光滑(摩擦力为零)→小车将永远运动下去→牛顿第一定律”。物理复习课研究指出, 思维导图能优化课堂教学, 提升学习效率。学

生观察导图发现：摩擦力越小，运动距离越远。教师引导推理：假如表面绝对光滑(不受摩擦力)，小车将无限运动下去。导图以流程形式呈现“摩擦力减小→运动距离增大→摩擦力为零→永远运动”的推理链，帮助学生理解定律的推理过程。课堂练习显示，使用导图辅助讲解后，学生对“不受力时保持匀速直线运动”的理解明显改善。

5.3. 深化阶段 – 解题导图：培养问题分析思维

当学生掌握了基本概念后，教学重点转向培养其运用知识解决问题的能力。本阶段通过将思维导图转化为分析工具，引导学生将内化的知识网络应用于具体的问题解决情境。

1) 基于导图的问题类型归纳与解题策略

教师将典型题目归类为速度计算、受力分析等类型，并设计流程式解题思维导图。例如速度计算导图路径为：提取数据→判断单位→选择公式→计算核查。学生依据导图逐步解题，如分析“火车关闭发动机后运动”，从初始状态开始，逐步推断受力变化与速度趋势。课堂实践表明，此类结构化导图有效提升了学生解题效率与准确率。表 2 归纳了“运动和力”单元三种主要问题类型及其对应的思维导图解题路径，为学生提供了结构化的分析框架。该表的应用使得解题思维过程从隐性经验转变为显性可操作的步骤。

Table 2. Problem types and corresponding mind map problem-solving pathways for the “motion and force” unit
表 2. “运动和力”单元问题类型与解题路径对应表

问题类型	典型题目特征	思维导图解题路径(过程流程图)	关键节点
速度计算类	涉及路程、时间、速度的计算或单位换算	读题提取已知量→判断单位统一性→选择公式($v = s/t$ 或变形)→代入数值→检查结果	单位换算、公式选择
受力分析类	要求画出受力示意图或判断各力大小方向	明确研究对象→判断运动状态→确定受力情况(平衡/不平衡)→分析各力大小方向→绘制示意图	运动状态判断、受力平衡
运动状态判断类	根据受力情况推测运动状态或解释现象	分析受力情况→判断合力是否为零→确定力的作用效果→推断运动状态改变→结合惯性解释	力的作用效果、惯性

在掌握了分类型解题策略的基础上，学生需要面对更具综合性和真实性的问题。此时，思维导图的作用从提供标准化路径，升级为支持自主构建分析框架的“脚手架”。

2) 综合问题的导图分析法及应用实例

选取题目“冰壶在冰面上滑行，为何能滑很远距离，最终为何停下”，引导学生绘制分析导图。学生以“冰壶运动分析”为中心，采用复合型导图：左侧分支(对比/因果分析)分析“能滑很远”(原因：惯性保持速度、冰面摩擦小)；右侧分支分析“最终停下”(原因：摩擦力持续作用、受力不平衡)；下方分支引出“涉及的物理原理”(惯性、摩擦力、力与运动关系)。知识链构建研究强调，能串联知识，增加深度与广度[18]。学生通过导图理清：惯性使冰壶继续运动，摩擦力改变运动状态，两者共同作用决定运动过程。课后测试显示，此类综合题正确率有明显提升，说明导图分析法有效培养了学生的综合思维能力。通过从单一题型到综合问题的思维导图应用实践，学生逐步掌握了将知识网络转化为问题解决方案的能力，思维的深度与广度得到协同发展，这为后续进行单元知识的整体整合与迁移奠定了坚实基础。

5.4. 整合阶段 - 系统导图：实现知识迁移应用

在掌握了运用思维导图对具体问题进行分析与求解的能力后，单元学习的最终目标在于形成更高层次的结构化、可迁移的整体性认知。本阶段引导学生从对特定问题的聚焦，转向对单元知识的全局性整合，通过协作构建完整的知识体系导图，并运用它解决更具挑战性的跨情境复杂问题。

1) 单元知识体系导图的师生共建

在单元总结阶段，师生共同绘制知识体系导图。教师设定“机械运动”“力”“运动和力的关系”三大主干框架，学生分组补充具体概念节点，如“速度”“力的作用效果”“牛顿第一定律”等，并讨论建立节点间的逻辑连线，如将“力”与“速度改变”相连，将“惯性”与“质量”相连。这一协作共建过程促使学生主动梳理、整合单元知识，将零散概念结构化[32]。课堂观察表明，该方法有效提升了学生的参与度与对知识内在逻辑的整体把握能力。共建完成的系统导图不仅是复习的成果，更应成为强大的思维工具。其价值在于能够帮助学生主动调用和整合不同分支的知识，应对超出当前单元范围的挑战，实现知识的融会贯通。

2) 利用完整导图解决跨章节综合问题

完整导图成为学生解决复杂问题的有效工具。面对跨章节题目，例如分析飞机投下救援物资的运动过程，学生能快速调用导图中的关键节点：从“惯性”定位其保持水平速度，从“力的作用效果”分析重力导致竖直加速，进而从“运动状态”判断其做曲线运动。该导图提供了清晰的知识调用路径，帮助学生将零散概念整合为有机的认知网络，实现了知识的有效迁移。课堂观察表明，使用导图后，学生解决综合问题的能力显著提升。

五、教学实践效果分析与反思

为科学评估上述教学路径的效果，本研究通过对比测试、课堂观察与访谈等多种方式收集数据，并从知识结构构建、问题分析能力提升及可视化工具的促学作用三个方面进行具体分析。

5.5. 核心概念网络化结构的教学效果验证

为验证网络化结构效果，使用评估量表对学生学习情况进行评价。表 3 呈现了两组在不同题型上的得分情况对比，数据表明网络化结构帮助学生建立概念间联系，提升概念理解深度。

Table 3. Mind mapping application effect evaluation scale
表 3. 思维导图应用效果评价量表

要素 \ 指标	优秀 (80~100 分)	良好 (60~80 分)	一般 (40~60 分)	较差 (0~40 分)	自评	互评	师评
概念理解题	能明确说出概念的来源、含义，还能用它解释生活和题目中的现象	能说出概念的主要意思和公式，但对于相似概念有时会拿不准	大概知道概念内容，但自己难以完整复述，做题时需要看笔记或课本	对概念很模糊，经常搞错，做题时难以想到使用该内容			
速度计算题	能找到合适的方法解出运动问题，步骤严谨不会出错	能做对单一过程的计算，但对于复杂的题目会出错	只能用基础公式完成简但计算，但不会变通，会代入不对应的数据或不注意单位	不知道该用哪个公式，数值计算也经常出错			

续表

受力分析题	能规范地画出任何情况下物体受到的力, 并能根据物体运动状态分析受力变化情况	能分析单个物体或运动状态不变时物体受到的力, 但对于多个物体或物体运动状态改变的复杂情况, 会分析错误	能画对重力, 但会判断错是否有弹力和摩擦力, 有时判断错力方向, 也不能把受力和物体的运动结合	分不清物体到底受到哪些力, 无法理解物体运动和受力的关系
综合应用题	能联系题目内的各部分, 规划解题步骤解决, 理解每个解题步骤的含义, 并做出正确答案	能解决包含多个知识点的题目, 但解题思路不能连贯, 需要分步进行	只能做出题目中的简单步骤, 割裂使用各知识	找不到解题思路, 不知道使用哪些知识点

表 3 数据显示, 实验组在受力分析题和综合应用题上的优势较为明显, 说明思维导图在培养学生系统思维和知识迁移能力方面效果显著。速度计算题两组差异不明显, 反映出单纯的计算类问题对知识结构化要求较低。教学反思发现, 导图构建初期需投入较多时间引导, 部分学生绘制导图时存在层次不清、连线混乱问题, 需要教师及时示范与纠正。

网络化结构的效果主要体现在学生对概念关系的深层理解上。然而, 知识结构的优化是否有效转化为了更高效、更准确的问题解决行为? 这需要进一步考察思维路径的具体应用成效。

5.6. 问题类型导向关联路径的应用成效

课堂观察显示, 使用导图的实验组学生能遵循结构化路径(如“先判断状态, 再分析力”)解题, 其完成时间和受力分析准确率均优于对照组。但部分学生存在依赖固化路径、难以应对新题型的问题。为此, 后期教学增加了变式训练, 旨在引导学生灵活调整分析策略, 推动其从“套用路径”向“自主构建路径”的能力转变。

思维导图作为一种可视化工具, 其呈现形式本身对学生的学习方式和认知习惯产生了独特影响。探讨这种可视化呈现的促学作用, 有助于更全面地理解思维导图的价值。

5.7. 知识体系可视化呈现的促学作用

学期末观察显示, 使用思维导图的实验组学生更倾向于借助导图自主复习, 其单元综合题得分率显著高于以课本和习题为主的对照组。学生反馈导图能有效串联知识、降低记忆负担。教学反思指出, 应引导学生将导图发展为自主学习工具, 如通过课后完善与互评来深化理解。同时需注意避免学生机械照搬, 强调导图是思维过程的可视化, 重在理解知识间的内在联系。

6. 结论与展望

本研究以认知负荷理论、双重编码理论和概念转变模型为理论框架, 以初中物理“运动和力”单元为教学载体, 通过概念导图、解题导图、系统导图三阶段实践, 系统验证了思维导图(图形组织器)在构建物理知识体系中的积极促进作用。教学实验结果表明, 思维导图教学使实验班学生在概念理解、综合分析能力和知识迁移应用等方面均显著优于对照班。其核心机制在于: 网络化结构降低了高元素交互性物理知识的内在认知负荷, 使概念间的因果、层级、条件关系得以在外部空间一次性呈现, 释放了工作记

忆容量用于深层语义加工; 可视化编码同时激活言语和图像双通道, 增强了记忆表征的丰富性和提取路径的多元性; 概念对比矩阵等特定类型的图形组织器通过制造可视化的认知冲突, 促进了迷思概念向科学概念的转变; 分阶段的教学路径和“教师示范→师生协作→同伴协作→自主迁移”的四级支架体系, 确保了学生从依赖外部表征到内化结构化思维模式的有效过渡。上述发现从认知心理学的理论视角, 为物理学科中图形组织器的教学应用提供了学理支撑, 弥补了现有研究在理论深度和概念界定的精确性方面的不足。未来研究可进一步深化以下方向: 将图形组织器应用范围扩展至电学、光学等其他物理单元, 验证其跨单元、跨年级的适用性和效果稳定性; 探索数字化交互式图形组织器(如支持拖拽重组的动态概念图软件)相比于传统纸笔导图在教学效果上的增益; 开展更长期的追踪研究, 考察图形组织器教学对学生科学思维能力和自主学习习惯的持续性影响; 通过眼动追踪、脑电图(EEG)等认知神经科学方法, 揭示图形组织器促进物理概念学习的实时认知加工过程, 为理论研究提供更直接的实证证据。

参考文献

- [1] Sweller, J. (1988) Cognitive Load during Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, **12**, 257-285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- [2] Mayer, R.E. (1997) Multimedia Learning: Are We Asking the Right Questions? *Educational Psychologist*, **32**, 1-19. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3201_1
- [3] Paivio, A. (1986) *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford University Press.
- [4] Buzan, T. and Buzan, B. (1993) *The Mind Map Book: How to Use Radiant Thinking to Maximize Your Brain's Untapped Potential*. Penguin.
- [5] Novak, J.D., Gowin, D.B. and Kahle, J.B. (1984) *Learning How to Learn*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139173469>
- [6] Nesbit, J.C. and Adesope, O.O. (2006) Learning with Concept and Knowledge Maps: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, **76**, 413-448. <https://doi.org/10.3102/00346543076003413>
- [7] Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. and Gertzog, W.A. (1982) Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, **66**, 211-227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- [8] Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G. and Paas, F. (2019) Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, **31**, 261-292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- [9] Van Merriënboer, J.J.G. and Kirschner, P.A. (2018) *Ten Steps to Complex Learning: A Systematic Approach to Four-Component Instructional Design*. 3rd Edition, Routledge.
- [10] Anderson, R.C., Spiro, R.J. and Anderson, M.C. (1978) Schemata as Scaffolding for the Representation of Information in Connected Discourse. *American Educational Research Journal*, **15**, 433-440. <https://doi.org/10.3102/00028312015003433>
- [11] Ausubel, D.P. (1968) *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart and Winston.
- [12] Chi, M.T.H. (2008) Three Types of Conceptual Change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical Shift. In: Vosniadou, S., Ed., *International Handbook of Research on Conceptual Change*, Routledge, 61-82.
- [13] Vosniadou, S. (2007) Conceptual Change and Education. *Human Development*, **50**, 47-54. <https://doi.org/10.1159/000097684>
- [14] Dexter, D.D. and Hughes, C.A. (2011) Graphic Organizers and Students with Learning Disabilities: A Meta-Analysis. *Learning Disability Quarterly*, **34**, 51-72. <https://doi.org/10.1177/073194871103400104>
- [15] 丁倩颖, 李岩. 初中物理教学知识结构化策略探究[J]. 大连教育学院学报, 2023, 39(4): 43-44.
- [16] 雷雪峰, 马军现, 梁锐杰, 黄增芳, 陈绮凡. 思维导图在物理化学知识体系构建中的应用[J]. 广州化工, 2022, 50(11): 168-170.
- [17] 邵国仙. 巧用思维导图优化初中物理逻辑复习课堂[J]. 科学咨询(教育科研), 2020(46): 155.
- [18] 于路艳, 翟海燕. 基于思维导图的中学物理知识链构建[J]. 大连教育学院学报, 2020, 36(2): 40-42.
- [19] 刘芳. 中西初中物理教材的对比研究与启示——以“运动和力”为例[J]. 物理教师, 2025, 46(7): 59-62.
- [20] 张月兰, 蒋德军. 基于“教-学-评”一致性的初中物理单元教学设计——以“物体的运动”单元教学设计为例[J]. 物理教师, 2024, 45(11): 40-44.

- [21] 宋婷, 马亚鹏. 中美初中物理教材“力与运动”部分体现批判性思维的对比研究[J]. 物理教师, 2024, 45(4): 78-81.
- [22] 向旭, 朱莹, 严春蓉. 基于思维导图的化学知识体系结构构建[J]. 高教学刊, 2022, 8(13): 86-89.
- [23] 汪明, 沙莉. 审辨式视阈下物理大概念大单元教学[J]. 物理教师, 2025, 46(4): 37-41.
- [24] 杨勇诚. 聚焦思维发展的初中物理探究活动的拓展与优化[J]. 物理教师, 2024, 45(11): 35-39.
- [25] 邢红军, 赵玉萍, 龚文慧. 论物理概念与规律的认知机制: 深化与发展[J]. 课程·教材·教法, 2022, 42(3): 124-130.
- [26] 肖晨. 探究、整合、实践: 基于 STEM 教育的初中物理概念教学探索[J]. 物理教师, 2021, 42(12): 44-45, 49.
- [27] Vygotsky, L.S. (1978) *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- [28] Fisher, D. and Frey, N. (2013) *Better Learning through Structured Teaching: A Framework for the Gradual Release of Responsibility*. 2nd Edition, ASCD.
- [29] Meichenbaum, D. and Biemiller, A. (1998) *Nurturing Independent Learners: Helping Students Take Charge of Their Learning*. Brookline Books.
- [30] Collins, A., Brown, J.S. and Newman, S.E. (2018) Cognitive Apprenticeship: Teaching the Crafts of Reading, Writing, and Mathematics. In: Resnick, L., Ed., *Knowing, Learning, and Instruction*, Routledge, 453-494.
<https://doi.org/10.4324/9781315044408-14>
- [31] Spiro, R.J., Coulson, R.L., Feltovich, P.J., *et al.* (1988) Cognitive Flexibility Theory: Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains. *Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Montreal, 17-19 August 1988, 375-383.
- [32] 刘勇. 思维导图在初中物理教学中的有效应用[J]. 中国新通信, 2020, 22(9): 205.