

态度与动机如何塑造科学学习者？初中生潜在心理类别的识别及其在科学观念、思维与实践中的差异

How Do Attitudes and Motivations Shape Science Learners? Identification of Latent Psychological Profiles in Middle School Students and Their Differences in Scientific Concepts, Thinking, and Practice

李翠欣¹, 郑娅峰^{2*}, 杨洋²

¹北京师范大学 教育学部 教育技术学院

²北京师范大学 人文和社会科学高等研究院教育科技中心

* cuixinli12@gmail.com

【摘要】 本研究采用个体为研究单位的分析视角，探究初中生科学学习的心理异质性及其与多维科学素养表现的关系。使用潜在剖面分析方法对 288 名初中生的自我效能感、内外动机、深度学习倾向及价值认同五个变量进行聚类，识别出三种典型类别：（1）低投入-低效能型（24.31%）；（2）适中均衡型（53.47%）；（3）高投入-高效能型（22.22%）。方差分析表明，三类学生在科学实践及总分上差异显著或边缘显著，高投入型显著优于低投入型，但科学观念与思维维度未见显著差异。本研究揭示了初中科学学习者心理类型与能力结构的精细关联，为实施精准教学提供了实证依据。

【关键词】 初中生；科学素养；潜在剖面分析；动机；科学学习态度

Abstract: This study employs a person-centered research paradigm to explore the psychological heterogeneity in junior high school students' science learning and its association with multidimensional scientific literacy. Using latent profile analysis, 288 junior high school students were clustered based on five variables: self-efficacy, intrinsic and external motivation, deep learning tendency, and value identification. Three typical profiles were identified: the low engagement and low efficacy type (24.31%), the moderate and balanced type (53.47%), and the high engagement and high efficacy type (22.22%). Analysis of variance indicated significant or marginally significant differences among the three profiles in scientific practice and total scores, with the high engagement type significantly outperforming the low engagement type. However, no significant differences were found in the dimensions of scientific concepts and thinking. This study reveals the nuanced relationship between psychological profiles and competency structures among junior high school science learners, providing empirical evidence to support precision teaching.

Keywords: Junior high school students, Scientific literacy, Latent profile analysis, Motivation, Science learning attitude

1. 前言

在世界范围内，培养青少年的科学素养已成为提升国家竞争力的关键。国际学生评估项目 PISA 将科学素养定义为“运用科学知识识别问题、获取新知识，并基于证据得出结论的能力”，重点关注意释科学现象、设计与评估科学探究、以及解读数据三大维度（OECD，

2007)。另一项大型国际测评, TIMSS 则长期追踪学生在科学内容知识和认知应用能力上的发展轨迹(Bybee & McCrae, 2011)。这些国际评估共同指出, 优秀的科学素养不仅依赖于对事实性知识的记忆, 更需要批判性思维、证据推理以及解决真实世界问题的能力

(Bybee & McCrae, 2011; OECD, 2007)。这一共识正推动全球科学教育评价体系的深刻变革。例如, 中国 2022 年颁布的《义务教育科学课程标准》明确提出, 要从“科学观念、科学思维、探究实践、态度责任”四个维度综合评价学生发展, 强调知识、思维与实践的整合

(教育部, 2022)。这就要求教育实践必须关注学生的个体差异, 实现更有针对性的教学支持。PISA 和 TIMSS 的跨国数据也一致显示, 学生科学素养表现存在显著的个体与群体差异。大量实证研究表明, 这种差异与学生的学习动机、自我信念和态度密切相关。因此, 理解学生科学学习成效, 必须深入考察其内在心理状态, 如自我效能感、价值认同与学习动机等(Berger et al., 2020)。

然而, 在教育系统从“标准化”向“个性化”转型的宏观背景下, 当前研究范式的局限性愈发凸显。传统以“变量为中心”的方法虽能揭示单一心理变量与学业成绩的整体关联, 却无法捕捉学生内在心理结构(如动机、信念、策略等)的复杂组合模式及其形成的异质性群体

(Berger et al., 2020; Watt et al., 2019)。学生的科学学习并非由孤立心理因素简单叠加驱动, 而是由自我效能感、内在与外在动机、价值认知、深度学习倾向等多个核心维度以特定方式交互作用所形成的整体“心理构型”。这些不同的心理组合, 很可能对应于不同的学习行为模式与能力发展路径。因此, 从“个体中心”的视角出发, 系统识别科学学习者中自然存在的心理类型, 对于理解学生群体的真实异质性、打破“平均学生”的假设, 具有重要的方法论革新意义。同时, 科学素养本身是多维的, 包含知识观念、科学思维与实践能力等不同层面。若仅以单一总分来衡量学业表现, 便可能掩盖不同心理类型学生在特定能力维度上的优势与短板。

为此, 本研究采用个体为研究单位的分析视角, 以科学自我效能感、内在动机、外在动机、深度学习倾向及科学学习价值认同认知五个关键心理变量为基础, 运用潜在剖面分析

(Latent Profile Analysis, LPA) 这一能够有效识别群体异质性的统计方法, 对中国 288 名初中生进行潜在心理类型的探索与识别。在此基础上, 我们进一步系统检验不同心理类型学生在科学观念、科学思维与科学实践等多维科学学业表现上的差异。本研究旨在超越对“平均效应”的描述, 从群体差异的视角揭示中国情境下初中生科学学习的典型心理动力剖面及其与多维能力结构的关联, 从而为构建更精准、更具包容性的科学教育支持体系提供实证依据, 服务于提升全民科学素养的国家战略目标。

2.文献综述

2.1. 影响科学学习的关键心理因素

学生如何学习科学, 不仅取决于其所处的教学环境, 更深受其内在心理状态的影响。在认知驱动层面, 学生是否选择参与并坚持科学学习, 取决于两个核心信念。一是对成功可能性的判断(即“我能行吗?”), 通常以科学自我效能感衡量。二是对任务主观价值的评估(即“这值得我投入吗?”), 即科学学习价值认同认知(Wigfield & Eccles, 2000)。高自我效能感的学生更可能在面对复杂科学问题时保持坚持和努力, 而当学生认为科学学习对其未来职业、个人发展或社会生活具有实用或内在价值时, 他们更愿意投入时间和精力(Tuan et al., 2005)。

在动机特质层面, 自我决定理论进一步区分了动机的内化程度: 内在动机源于对科学本身的好奇与享受, 而外在动机则由外部奖励(如成绩、表扬)或避免惩罚所驱动(Ryan & Deci,

2000)。尽管外在动机在短期内可能促进任务完成,但大量实证研究一致表明,内在动机更能激发深度加工策略、持久兴趣和自主探究行为(Berger et al., 2020)。例如, Berger 等人(2020)基于 TIMSS 2015 对逾万名澳大利亚八年级学生的分析发现,“积极投入型”学生(高内在动机、低感知成本)在数学与科学成就上显著优于其他类型。

在行为表现层面,上述认知与动机因素最终通过学生的学习策略体现出来。深度学习倾向指学生倾向于理解概念间的逻辑联系、批判性整合信息并应用于新情境。与之相对的是浅层学习,即依赖机械记忆和碎片化知识(Tuan et al., 2005)。Tuan 等人(2005)在开发科学学习动机问卷时明确将“深度学习策略”作为动机的外显行为指标,并证实其与科学成绩显著正相关。

然而,现有研究存在明显局限。大多数文献采用“变量中心”方法,将自我效能感、价值认知、内在/外在动机等视为独立预测变量,分别考察其与学业成绩的线性关系(Fleming & Malone, 1983; Germann, 1988)。这种做法忽视了一个基本现实。这些心理因素在个体身上并非孤立存在,而是以特定方式组合,形成稳定的“心理剖面”。例如,一名学生可能同时具备高自我效能、高内在动机但低外在动机;另一名学生则可能依赖外在激励却缺乏内在兴趣。目前,系统识别初中生科学学习者中这些潜在组合模式的研究仍较为稀缺(Berger et al., 2020; Hong et al., 2020)。

为回应这一缺口,本研究聚焦五个与 PISA 科学素养框架高度契合的核心心理变量,包括科学自我效能感、科学学习价值认同认知、内在动机、外在动机及深度学习倾向。这些变量在 Tuan 等人(2005)开发的《学生科学学习动机问卷》中已被操作化并验证其结构效度。通过聚类分析,旨在揭示中国初中生中自然存在的、具有不同心理动力特征的潜在类别,并进一步探讨这些类别在多维科学能力上的分化表现。

2.2. 关键心理维度和科学学习/素养之间的关系

当代科学教育评价范式已发生深刻转型。已经从传统的单一知识测验转向以核心素养为导向的多维能力评估体系(National Research Council [NRC], 2012; OECD, 2019)。这一转变在国际大型测评中得到充分体现。具体来说, PISA 自 2006 年起将科学素养操作化为三个相互关联的能力维度,包括科学观念(解释现象)、科学思维(基于证据推理)和探究实践(设计与评估调查)(OECD, 2007, 2019)。中国《义务教育科学课程标准(2022 年版)》亦明确将“科学观念、科学思维、探究实践、态度责任”作为课程目标的四大支柱(Ministry of Education of China, 2022)。这意味着,真正具备高科学素养的学生,应在知识理解、逻辑推理与问题解决三个层面协同发展,而非仅依赖碎片化记忆。

大量跨国实证研究一致表明,学生的科学成就不仅受认知能力影响,更与其非认知心理因素密切相关,如科学态度、学习动机与自我信念。PISA 2006 数据显示,在 52 个参与国家和地区中,“一般科学学习兴趣”是预测科学成绩的最强非认知指标之一(OECD, 2007)。类似地, Shen 和 Tam (2008) 基于 TIMSS 数据发现,学生对科学的内在兴趣与其在科学内容知识和应用任务上的表现均呈显著正相关($r = .38-.45$)。Fleming 和 Malone (1983) 的元分析进一步证实,科学态度($r = .43$)和认知水平($r = .48$)均与学业成就高度相关,强调了情感与认知的共同作用。

近年来,研究者逐渐从变量中心视角转向个体中心方法以识别学习者的心理类型

(psychological profiles),并考察不同类型学生的科学成就差异,相关研究在心理与教育领域已揭示出丰富的人群异质性。例如, Watt 等人(2019)对澳大利亚青少年数学学习动机的潜在剖面分析识别出“高度投入型”“挣扎进取型”等五类动机剖面,并发现其在性别与社会经济地位上存在差异。在科学教育领域,个体中心方法的应用正逐步扩展。如 Hong 等人

(2020) 基于大学生样本发现“高自主-高胜任”类学生成绩更优且科研志向更强, 而“外控依赖型”学生则兴趣持续性不足; Ma 等人 (2022) 则基于 PISA 2015 中国数据识别出“高兴趣-高价值型”及“低兴趣-工具导向型”等四类科学态度剖面, 并指出类别间在整体科学成绩上存在显著差异, 且性别分布具有不同特点。

然而, 多数现有研究仍将科学成就视为单一总分进行分析, 未能系统考察不同心理类型学生在多维科学能力结构上的分化模式, 这一局限可能掩盖重要的教育信息。事实上, 如 Köller 等人 (2001) 和 McDowell (2019) 的研究所示, 科学兴趣、自我效能感、自我概念等心理因素对不同认知过程 (如知识记忆与探究实践) 的预测作用具有特异性, 内在动机主导的学生可能在科学思维与实践任务中表现突出, 而外在动机驱动的学生则可能在基础科学观念类任务中占优, 这种“能力结构异质性”难以通过总分分析揭示, 却对教学干预具有重要指导意义。

因此, 本研究将采用潜在剖面分析 (LPA), 基于科学自我效能感、科学学习价值认同认知、内在动机、外在动机及深度学习倾向五个核心维度, 系统探索中国初中生科学学习者的潜在心理类型, 并进一步考察不同类别学生在科学观念、科学思维与科学实践等多维能力表现上的分化模式, 以期为推动精准化、差异化的科学教育提供实证依据。

2.3. 本研究

综合上述, 当前研究存在三个关键局限。第一, 样本代表性不足, 绝大多数潜在剖面分析 (LPA) 集中于西方高收入国家或大学生群体 (Berger et al., 2020; Hong et al., 2020), 针对中国等发展中国家初中生、小学生, 这一认知与身份发展的关键期群体的科学学习心理剖面研究极为稀缺。而深入探究该群体的心理与能力特征, 对于把握中国作为全球科技创新重要引领者背景下青少年科学素养的培育路径, 具有深远的理论与战略意义 (Ministry of Education of China, 2022); 第二, 心理构念整合薄弱, 许多研究仅考察动机、态度或自我效能等单一维度 (Ma et al., 2022), 未能对自我效能感、价值认知、内外动机及深度学习倾向进行多维建模 (Guay et al., 2010; Li et al., 2025); 第三, 能力关联分析粗放, 即便识别出心理类型, 也只分析了其与学生整体科学学业表现的关系, 极少研究能够将其与科学观念、科学思维和探究实践三个科学核心素养维度进行精细化映射, 导致难以揭示更有意义的教育启示 (Schneider & Hardy, 2013; Marsh et al., 2021)。

为回应上述缺口, 本研究采用潜在剖面分析这一个个中心方法 (Morin et al., 2018), 旨在: (a) 识别中国初中生在五个关键心理变量上的自然聚类; (b) 系统检验不同心理类型在多维科学能力上的分化模式。本研究不仅有助于超越“平均学生”假设, 更能为发展精准化科学教育提供实证依据 (Martin et al., 2021)。

本研究旨在回答以下两个核心研究问题:

RQ1: 基于科学学习自我效能感、内在动机、外在动机、深度学习倾向及科学学习价值认同认知这五个关键心理维度, 初中生科学学习者会自然呈现为哪几种具有不同特征的心理类型 (潜在剖面)?

RQ2: 这些不同的潜在心理类型, 在科学观念、科学思维和科学实践三个维度的标准化能力表现上, 是否存在差异?

3. 研究方法

3.1. 参与者

为解答研究问题，我们在中国华南地区开展了一项针对初级中学的问卷调查和科学素养测试。研究对象为来自中国珠海市某中学的 7 至 8 年级学生。其中，7 年级 139 人（男生 68 人，女生 71 人），8 年级 149 人（男生 81 人，女生 68 人），共 288 人。

3.2. 数据收集

本研究主要收集了两类数据。首先，是学生的科学学业表现数据，其测量工具为研究团队依据教育部 2022 年《义务教育科学课程标准》自主研发的交互式科学素养测评任务，任务主题是《心率测量》，要求学生在计算机教室完成，并以得分形式记录。其次，是学生的问卷数据，包括学校、姓名、学号、年级、性别、班级的背景信息和科学学习态度与动机的条目，量表工具为改编自 Tuan 等人（2005）的量表，量表内容涵盖以及自我效能感、深度学习倾向、科学学习价值认同、外在动机和内在动机五个维度的科学学习态度与动机条目，原量表各维度信度均已达到心理测量学可接受标准（ $\alpha > 0.70$ ），在本研究中，该量表整体信度为 0.869，各维度信度分别为 0.738、0.843、0.877、0.753 和 0.841，表明具有良好的信度。

3.3. 数据处理与分析

为探析不同心理类型学生的多维科学素养表现的差异，本研究采用多步骤统计分析方法。首先，通过描述性统计（均值、标准差、相关性分析）呈现 7-8 年级学生科学测试分数和科学态度的问卷得分。接着，本研究采用潜在剖面分析对学生科学态度与动机的五个关键变量（自我效能感、内在动机、外在动机、深度学习倾向及科学学习价值认同）进行聚类，以识别学生群体中的异质类型。选择该方法基于以下考虑：传统变量中心方法（如线性回归、结构方程模型）虽能有效估计某一心理变量对学业结果的平均预测效应（如 Eccles 等，1983；Wigfield & Eccles，2000），但其假定所有个体遵循相同的参数关系，未能充分捕捉心理变量间的非线性、交互性与组合多样性。为此，个体中心方法得到发展。潜在剖面分析作为其中一种基于概率模型的聚类技术，能够通过识别个体在多变量反应模式上的共性，将样本划分为具有不同心理构型的潜在类别（Muthén & Muthén，2000；Morin 等，2018）。相较于传统 K-means 聚类，LPA 不仅能提供类别归属的概率化估计，还可依据信息准则（如 BIC）和似然比检验（如 BLRT）对类别数目进行统计推断，从而提高分类的科学性与可解释性（Nylund 等，2007）。然后，使用单因素方差分析不同心理类型在总体样本水平上科学测试分数是否存在显著差异。其次，为深入探究这些不同心理类型的学生在科学观念、科学思维、探究实践三个具体维度上的科学素养差异，继续采用单因素方差分析去比较不同心理类型学生群体的科学素养三个维度的得分差异。

4. 研究结果

4.1. 描述性统计分析

本研究对科学态度动机与学业表现进行描述性统计分析。各动机变量均值介于 2.42 至 3.98 之间，其中深度学习、科学学习价值认同与内在动机得分较高（ $M > 3.59$ ），外在动机较低（ $M = 2.42$ ）；学业表现方面，科学学业表现总分平均为 47.74 ± 13.19 分（满分 83 分），其中科学实践得分最高（ $M = 34.32$ ），科学观念次之（ $M = 8.36$ ），科学思维最低（ $M = 5.06$ ）。相关分析表明，深度学习、科学学习价值认同与内在动机两两间呈显著正相关

（ $r = 0.436 \sim 0.732$ ， $p < 0.01$ ），外在动机与自我效能感正相关（ $r = 0.245$ ， $p < 0.01$ ），但与深度学习、科学学习价值认同及内在动机显著负相关（ $r = -0.166 \sim -0.189$ ， $p < 0.01$ ），自我效能感与其他变量相关性不显著。

4.2. 初中生科学态度动机的类别识别

首先，研究使用 Mplus 8.3 软件对学生科学态度与动机的五个关键变量的 18 个观测变量数据集进行潜在剖面分析，通过系统比较 1 至 4 类模型的拟合指标与实质性特征，因为 3 类模型在统计严谨性、模型稳定性、类别可解释性以及理论实用性方面均表现最优，最终确定 3 类模型为最优解决方案。

其次，基于潜在剖面分析结果所揭示的三类学生在科学学习动机与策略上的系统性差异，我们遵循“特征描述-理论关联”的原则，为三个潜在类别命名如下：第一类命名为“低投入-低效能型”，该类学生在自我效能感、深度学习策略、科学学习价值认同和内在动机等所有积极维度上均表现为最低水平，同时在外在动机维度上得分相对最高，反映出其学习状态主要受外部驱动且缺乏内在的能动性信心，约占总样本的 24.3%；第二类命名为“适中均衡型”，作为占比最大的群体（53.5%），该类学生在各项指标上均处于中间水平，呈现出一种相对平衡但不够突出的学习模式，代表了科学学习者中的典型多数；第三类命名为“高投入-高效能型”，该类学生在所有积极维度上均表现出显著优势，尤其在科学思维价值认同

（4.91）、内容内在兴趣（4.72）和深度学习策略使用（4.93）上接近满分，展现出强烈的内在动机、高超的学习策略与高度的自我效能感，约占总样本的 22.2%。这一命名体系不仅直观反映了各类学生在关键变量上的得分模式，也契合教育心理学中关于学习投入与自我效能的理论框架，为后续深入探讨各类学生的前因后果提供了清晰的概念基础。

4.3. 初中生科学态度动机类别与科学学业表现的关系

本研究采用单因素方差分析（ANOVA）考察了不同科学态度动机潜在类别（类别 1、2、3）在初中生科学学业表现各维度上的差异（见表 1）。结果显示，在科学学业总分上，不同类别间的差异达到边缘显著水平（ $F(2, 285)=2.744, p=0.066$ ）。进一步使用 LSD 法进行事后比较发现，仅类别 3 的科学学业总分显著高于类别 1（ $MD=5.082, p=0.026$ ），其余类别间的两两比较均未达到统计显著性（ $p > 0.05$ ）。在科学素养的各子维度上，科学观念在不同潜在类别之间未呈现显著差异（ $F(2, 285)=0.931, p=0.395$ ）。科学思维在不同潜在类别之间亦无显著差异（ $F(2, 285)=1.597, p=0.204$ ）。科学实践得分在不同类别间存在显著差异（ $F(2, 285)=4.057, p=0.018$ ）。事后检验表明，类别 3 的科学实践得分显著高于类别 1

（ $MD=5.117, p=0.006$ ）和类别 2（ $MD=3.359, p=0.034$ ），而类别 1 与类别 2 之间的差异不显著（ $p=0.250$ ）。综上所述，本研究发现初中生的科学态度动机类别主要在与实践相关的态度及整体学业总分上体现差异，而在科学观念与科学思维两个态度维度上，不同动机类别学生之间未表现出显著的统计差异。

表 1
潜在剖面各观测变量均值及类别分布

因变量	方差分析（ANOVA）			LSD 多重比较		
	F	p	组间比较	平均值差 值	标准误 差	p
总分	2.744	0.066	3 vs 1	5.082*	2.266	0.026
科学观念	0.931	0.395	—	—	—	—

因变量	方差分析 (ANOVA)			LSD 多重比较		
科学思维	1.597	0.204	—	—	—	—
科学实践	4.057	0.018	3 vs 1	5.117*	1.831	0.006
			3 vs 2	3.359*	1.574	0.034

注：LSD 多重比较仅报告了显著差异的数据。组间比较中的类别 1、2 和 3 分别为低投入-低效能型、适中均衡型和高投入-高效能型。

5.研究讨论

本研究通过潜在剖面分析成功识别出初中生科学学习者中三种典型的心理动力类别，分别为“低投入-低效能型”、“适中均衡型”与“高投入-高效能型”。这一分类结构与 Berger 等人（2020）和 Hong 等人（2020）在科学动机剖面研究中的发现具有一致性，进一步证实了学习者心理动力系统的异质性特征。值得关注的是，“高投入-高效能型”学生在自我效能感、内在动机及深度学习策略等维度上的优势表现，呼应了 Ryan 和 Deci（2000）自我决定理论关于内在动机对深度认知投入的促进作用，也与 Wigfield 和 Eccles（2000）的期望价值理论中关于自我效能与任务价值认知共同影响学习行为的观点相契合。进一步分析发现，“高投入-高效能型”学生在科学实践及学业总分上显著优于“低投入-低效能型”，但在科学观念与科学思维维度上未呈现显著差异。这表明内在动机主导的学习者更可能在需要主动探究和实践操作的任务中表现突出。然而，科学观念与思维维度未能区分不同心理类别。此发现对教育实践具有重要启示。在实施差异化教学时，应注重通过激发内在动机和提升自我效能来强化学生的科学实践能力，同时在评估体系中加强对科学思维与实践的考查，以更全面地诊断和促进不同心理类型学生的素养发展。

6.研究结论、局限性和未来发展方向

本研究针对中国初中生群体，整合了自我效能、动机、价值认知与深度学习策略等多个心理维度，识别出三种典型的科学学习心理类型（低投入-低效能型、适中均衡型、高投入-高效能型），并精细化考察了其科学观念、思维、实践三类能力的关联。研究发现，高投入型学生仅在科学实践能力上显著占优，凸显了心理动力与特定能力之间的匹配关系，为中国情境下开展精准科学教育提供了关键依据。然而，本研究仍存在三方面局限：一是样本仅来自一所学校，代表性有限；二是采用横断面设计，无法揭示心理类型的动态发展。未来可开展大规模追踪研究，开发能够自动诊断的评估工具与更有针对性的科学教学干预方案，真正实现因“型”施教。

参考文献

教育部. (2022). 《义务教育科学课程标准（2022 年版）》. 北京师范大学出版社.

Berger, N., Mackenzie, E., & Holmes, K. (2020). Positive attitudes towards mathematics and science are mutually beneficial for student achievement: A latent profile analysis of TIMSS 2015. *The Australian Educational Researcher*, 47(3), 409-444.

- Bybee, R., & McCrae, B. (2011). Scientific literacy and student attitudes: Perspectives from PISA 2006 science. *International Journal of Science Education*, 33(1), 7-26.
- Eccles, J. S. (1983). *Expectancies, values, and academic behaviors*. In Achievement and achievement motives (pp. 75-146). Freeman.
- Fleming, M. L., & Malone, M. R. (1983). The relationship of student characteristics and student performance in science as viewed by meta-analysis research. *Journal of Research in science teaching*, 20(5), 481-495.
- Germann, P. J. (1988). Development of the attitude toward science in school assessment and its use to investigate the relationship between science achievement and attitude toward science in school. *Journal of research in science teaching*, 25(8), 689-703.
- Hong, W., Bernacki, M. L., & Perera, H. N. (2020). A latent profile analysis of undergraduates' achievement motivations and metacognitive behaviors, and their relations to achievement in science. *Journal of educational psychology*, 112(7), 1409.
- Köller, O., & Baumert, J. (2001). Leistungsgruppierungen in der Sekundarstufe I. Ihre Konsequenzen für die Mathematikleistung und das mathematische Selbstkonzept der Begabung [Ability-grouping at secondary level 1. Consequences for mathematics achievement and the self-concept of mathematical ability]. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie / German Journal of Educational Psychology*, 15(2), 99–110. <https://doi.org/10.1024/1010-0652.15.2.99>
- Ma, Y. (2022). Profiles of student science attitudes and its associations with gender and science achievement. *International Journal of Science Education*, 44(11), 1876-1895.
- Marsh, H. W., Pekrun, R., Parker, P. D., Murayama, K., Guo, J., Dicke, T., & Arens, A. K. (2019). The murky distinction between self-concept and self-efficacy: beware of lurking jingle-jangle fallacies. *Journal of educational psychology*, 111(2), 331.
- McDowell, L. D. (2019). The roles of motivation and metacognition in producing self-regulated learners of college physical science: a review of empirical studies. *International journal of Science education*, 41(17), 2524-2541.
- Morin, A. J., Bujacz, A., & Gagné, M. (2018). Person-centered methodologies in the organizational sciences: Introduction to the feature topic. *Organizational Research Methods*, 21(4), 803-813.
- Muthén, B., & Muthén, L. K. (2000). Integrating person-centered and variable-centered analyses: Growth mixture modeling with latent trajectory classes. *Alcoholism: Clinical and experimental research*, 24(6), 882-891.
- National Research Council, Division of Behavioral, Social Sciences, Board on Science Education, & Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.
- Nylund, K. L., Asparouhov, T., & Muthén, B. O. (2007). Deciding on the number of classes in latent class analysis and growth mixture modeling: A Monte Carlo simulation study. *Structural equation modeling: A multidisciplinary Journal*, 14(4), 535-569.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *PISA 2018 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematics, financial literacy and global competence*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>

- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2007). *PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World, Volume 2: Data*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, 55(1), 68.
- Shen, C., & Tam, H. P. (2008). The paradoxical relationship between student achievement and self-perception: A cross-national analysis based on three waves of TIMSS data. *Educational research and Evaluation*, 14(1), 87-100.
- Tuan, H.-L., Chin, C.-C., & Shieh, S.-H. (2005). The development of a questionnaire to measure students' motivation towards science learning. *International Journal of Science Education*, 27(6), 639–654. <https://doi.org/10.1080/0950069042000323737>
- Watt, H. M., Bucich, M., & Dacosta, L. (2019). Adolescents' motivational profiles in mathematics and science: Associations with achievement striving, career aspirations and psychological wellbeing. *Frontiers in Psychology*, 10, 990.
- Wigfield, A., & Eccles, J. S. (2000). Expectancy–value theory of achievement motivation. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 68-81.

信息技术学科多智能体的构建与应用研究

Research on the Construction and Application of Multi-Agent Systems in the Information Technology Subject

赵程启^{1*}, 蒋昊天², 胡静¹, 王文杰¹, 陈佳坤¹

¹ 华南师范大学 教育信息技术学院

² 四川省蓬安县徐家中学

* zhaochengqi@163.com

【摘要】 针对基础教育中单智能体交互受限以及学科专属智能体研究不足的现状，本研究聚焦高中信息技术学科，构建了一个基于大语言模型（LLM）的多智能体。基于一线教师需求调研，本系统设计了集解答、提问、交互评价与无关问题引导于一体的四大核心智能体模块。研究采用准实验设计，对 80 名具备编程基础的高中生开展了为期四周的教学干预，并使用自编的人工智能能力量表进行评估。独立样本 t 检验结果表明，实验组后测整体能力显著优于对照组。特别是在“技术应用与创新”和“交流互动”维度上，实验组提升极显著。而在“伦理准则”与“问题解决”维度上，组间差异未达显著水平。本研究验证了多智能体系统在激发学生主动探究与提升创新实践能力方面的人机协同优势，并为学科智能体的高阶思维培养与常态化应用提供了实证参考。

【关键词】 教育智能体；信息技术；大语言模型；多智能体；人机协同

Abstract: To address the interaction limitations of single agents and the scarcity of discipline-specific intelligent agents in basic education, this study develops a Large Language Model (LLM)-based multi-agent system for high school Information Technology courses. Informed by frontline teacher needs assessments, the system integrates four core agent modules: answering, questioning, interactive evaluation, and irrelevant-question guidance. Employing a quasi-experimental design, a four-week instructional intervention was conducted with 80 high school students possessing foundational programming skills, with their capabilities assessed using a self-developed artificial intelligence competency scale. Independent samples t-test results indicated that the experimental group significantly outperformed the control group in overall post-test scores. Notably, the experimental group exhibited highly significant improvements in the dimensions of "technological application and innovation" and "interactive communication." However, between-group differences in the "ethical guidelines" and "problem-solving" dimensions did not reach statistical significance. This study validates the human-machine collaborative advantages of multi-agent systems in stimulating active student inquiry and enhancing innovative practical skills, providing empirical references for the cultivation of higher-order thinking and the routine application of discipline-specific agents.

Keywords: Educational Agent, Information Technology, Large Language Model, Multi-agent, Human-Machine Collaboration

1. 引言

当前教育智能体通过分析多维数据，能够精准识别学生需求并提供个性化学习方案。然而，单智能体受限于单一角色视角与固定逻辑，难以模拟真实课堂中师生、生生间复杂

的动态交互与多维协作。为突破此瓶颈，基于大语言模型的多智能体系统应运而生，为解决上述问题提供了新思路。

目前，多智能体在教育领域应用的核心作用主要体现在以下两个维度：

其一，在促进协作互动与复杂问题解决方面展现卓越性能。研究表明，多智能体框架在复杂学习问题解决中成效显著（翟雪松等人，2024）。在此基础上，研究者进一步探索了多智能体在协作支持中的机制，如构建 ABCKC-AI 系统，从参与、论证、认知和社会共建四个维度提供自适应协作支持（欧阳璠等人，2025）；或是将认知与社会性调节支架融入系统设计，从而有效提升群体的论证质量（舒杭等人，2025）。此外，这种多智能体协同机制在提升学习者协作问题解决技能与知识精加工水平方面亦具有突出优势（Zheng et al., 2025）。

其二，在深化学科认知与促进教育公平方面发挥关键作用。在具体学科教学中，多智能体相较于单智能体更能促进学生的深层认知发展（黄昌勤等人，2025；游霖玮等人，2025）。例如在医学领域，多智能体 LLM 框架显著提升了生成报告的平衡性与清晰度（Cai et al., 2025）。更重要的是，多智能体系统能有效支持差异化参与，在缩小不同先备知识学生间的成绩差距、提升整体学习成就方面展现出巨大潜力（Hao et al., 2025；Zheng et al., 2025）。

尽管多智能体应用前景广阔，但当前面向特定基础教育学科的常态化干预实证研究仍显不足。信息技术作为培养学生智能技术应用能力与数字思维的重要载体，其普遍配备的微机室为多智能体系统的规模化应用与实证验证提供了适宜的硬件支撑与实践场景。基于此，本研究旨在构建信息技术学科的多智能体系统，并评估其在教学环境中的应用效果。

2. 多智能体的设计与开发

前期对 43 位信息技术教师的调研表明，教学中亟须能实时答疑与分析学情的智能辅助工具。据此，本研究依托 Coze 平台与豆包 1.5pro 模型，构建了基于 workflow 架构的学科多智能体系统（见图 1），以支撑课堂互动与学习反馈。系统包含四大核心协同模块：①解答智能体：响应课堂疑问但不直接提供任务答案；②提问智能体：主动挖掘延伸问题，引导学生举一反三；③评价智能体：分析交互质量与思维层次，输出个性化学习建议；④无关信息应答智能体：过滤非学习提问，引导学生回归课堂主题。

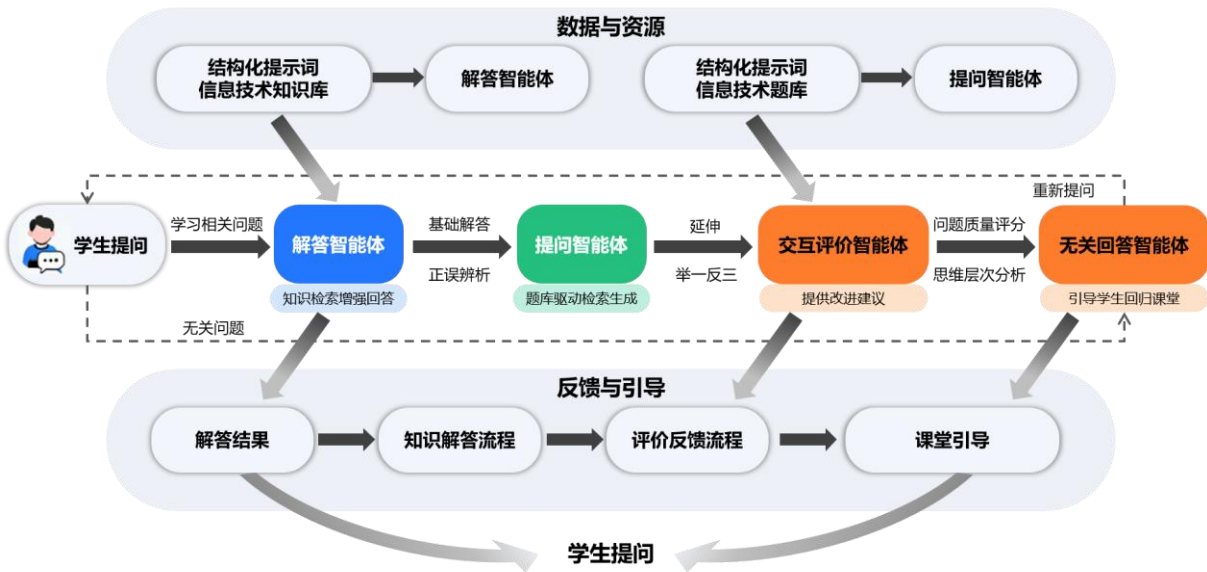


图 1 信息技术学科多智能体的结构

3.多智能体应用实践

3.1. 研究对象

本研究选取 X 高中一年级两个自然班共 80 名具备一定编程基础的学生为研究被试。干预内容为《数据与算法》模块的“算法与程序设计”（共 4 周）。为控制无关变量，两班由同一资深教师执教并使用统一资源包。前测结果证实两班初始人工智能能力无显著差异，符合等组实验要求。本研究严格遵守学术伦理，数据均已脱敏处理。

3.2. 研究工具

研究基于联合国教科文组织《学生人工智能能力框架》的核心理念，结合人教版必修一信息技术课程教材的教学目标编制了学生人工智能能力测评框架（见表 1）（苗逢春，2024）。

表 1 信息技术学科多智能体应用学生人工智能能力测评量表结构与核心指标

测评维度	包含题项	核心观测指标概括
技术应用 与创新	Q1,Q8,Q11,Q13	涵盖提示词优化、Python 基础操作，强调将 AI 与传统方法结合以突破技术瓶颈的能力。
伦理准则	Q2,Q5,Q10	聚焦 AI 生成内容规范处理，对违背伦理的生成内容的敏锐度与主动修正。
交流互动	Q3,Q6,Q14,Q15	评估清晰描述需求、准确理解智能体反馈、通过追问获取精准支持的能力。
问题解决	Q4,Q7,Q9,Q12	测量拆解问题要素、匹配智能体适用场景、设计完整解决方案及排查系统逻辑漏洞的能力。

测量工具采用李克特五点量表，以量化完全不符合至完全符合的程度。通过 SPSS27.0 对量表进行分析，如表 2 所示，本研究量表的标准化的 Cronbach's α 为 0.924，KMO 值为 0.760 ($p<0.001$)，表明该量表具有良好的内部一致性信度与结构效度，适合进行后续分析。

表 2 学生人工智能能力测评量表信效度检验结果

检验维度	统计指标	实测值
信度分析	标准化 Cronbach's α	0.924
	KMO 抽样适度测定值	0.760
效度分析	Bartlett 球形检验近似 χ^2	401.049
	自由度 (df)	55
	显著性 (p 值)	<0.001

3.3. 实验操作

本环节采用非等价控制组前后测准实验设计。实验组（40 人）使用本研究构建的多智能体，对照组（40 人）仅使用解答智能体。干预共持续四周，每周 1 课时。两组学生均需通过人机对话获取代码示例与代码勘误等学习支架，以自主完成“气温分布特征”与“素数查找”两项典型的编程实践任务。

3.4. 数据收集与分析

通过制作交互文档的方式收集了实验组和对照组学生的对话文本，选取典型对话辅助教师使用量表评分。通过对实验组和对照组的数据对比分析，独立样本 T 检验判断实验组和对照组的后测水平是否存在显著差异。

表 3 实验组和对照组能力后测及组间差异检验结果

维度	实验组后测均值	对照组后测均值	t 值	组间 p 值
整体能力	15.65	14.13	2.185	0.032
技术应用与创新	14.40	12.20	2.956	0.004
交流互动	15.10	13.60	2.721	0.008
伦理准则	17.20	15.90	1.734	0.087
问题解决	15.90	14.80	1.452	0.150

由表 3 及组内检验可知，实验组在干预后整体能力显著提升，且后测表现显著优于对照组。从具体维度看，多智能体在促进“交流互动”与“技术应用与创新”方面效果显著，印证了其在激发学生主动探究与创新应用上的优势。然而，在“伦理准则”与“问题解决”维度上，两个组间差异较小，这表明对于高阶思维和价值认知的培养，目前的干预周期与系统功能仍存在一定局限，需在后续研究中长效推进。

4.讨论与总结

本研究构建的信息技术学科多智能体有效实现了人机协同的个性化支持，印证了其作为智能伴学工具的潜力。然而研究仍存局限：一是样本量小且地域集中，外部效度有限；二是干预周期较短，难以评估对长期学习行为的影响；三是系统对高阶学习场景的自适应支持尚有不足。未来将扩大样本规模，并持续深化系统的高阶交互模型。

参考文献

苗逢春（2024）。为智能社会公民素养奠基的《学生人工智能能力框架》。《中国电化教育》，(11)，1-12

欧阳璠和付宏杰（2025）。多智能体支持论证式协作知识建构：ABCKC-AI 系统设计与准实验评估。《远程教育杂志》，43(5)，41-56。

- 游霖玮、宋韬、李箭、江丰和梁昱（2025）。基于大模型的地理教育多智能体的构建、运用与评估。《地理教学》，(7)，8–12
- 舒杭、刘文平和马志强（2025）。融入认知与社会性调节的教育多智能体驱动协同论证实证研究。《现代远距离教育》，(4)，43–56。翟雪松、季爽、焦丽珍、朱强和王丽英（2024）。基于多智能体的人机协同解决复杂学习问题实证研究。《开放教育研究》，30(3)，63–73。
- 黄昌勤、钟益华、王希哲、韩中美和魏同权（2025）。从单智能体到多智能体：大模型智能体支持下的激励型学习活动设计与实证研究。《华东师范大学学报（教育科学版）》，43(5)，44–56。
- Cai,C., Hong, S., Ma, M., Feng, H., Du, S., Chow, M., Teo, W. L.-L., Liu, S., & Fan,X. (2025). Analyzing the teaching and learning environments through student feedback at scale: A multi-agent LLMs framework.*Education and Information Technologies*,30(15),21815–21847.
- Hao, Z., Cao, J., Li, R., Yu, J., Liu, Z., & Zhang, Y. (2025). Map student-AI interaction dynamics in multi-agent learning environments: Supporting personalized learning and reducing performance gaps.*Computers & Education*,241, 105472.
- Zheng,L.,Shi,Z., & Gao,L. (2025). A generative artificial intelligence-enhanced multiagent approach to empowering collaborative problem solving across different learning domains.*Computers & Education*,241,105489.