

从静态漫画到智能学伴

——基于结构化标注的初中物理学习系统设计与原型实现

郑 富^{1*}, 高陈欣玥², 高陈欣钰³

¹河南大学生命教育研究中心, 河南 开封

²齐齐哈尔高等师范专科学校智能工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔

³保定市第十七中学, 河北 保定

收稿日期: 2026年9月20日; 录用日期: 2026年10月17日; 发布日期: 2026年10月23日

摘 要

学科漫画能够以连续画面和生活情境呈现抽象物理过程, 但整图资源缺少分镜级知识、教学功能和题源关系, 难以支持精确检索、学习诊断和反馈。本研究采用文献分析、系统设计与原型开发方法, 提出“情境表征-语义结构-学习调节”范式, 构建漫画单元与分镜项目两级标注模型, 并据此实现初中物理智能学伴原型。系统将245张九格漫画拆解为2205个可定位分镜, 组织3430道题目, 使阅读、复习、闭图考察、提示、重试和薄弱分镜回看形成可追溯的数据链。研究表明, 结构化标注能够把静态漫画转化为可定位、可检索和可诊断的教学资源; 原型验证了数据链与业务规则的可运行性, 但学习效果仍需在真实课堂中检验。

关键词

学科漫画, 教育智能体, 智能学伴, 结构化标注, 形成性评价, 初中物理

From Static Comics to an Intelligent Learning Companion

—Design and Prototype Implementation of a Junior High School Physics Learning System Based on Structured Annotation

Fu Zheng^{1*}, Chenxinyue Gao², Chenxinyu Gao³

¹Life Education Research Center, Henan University, Kaifeng Henan

²School of Intelligent Engineering, Qiqihar Teachers College, Qiqihar Heilongjiang

³Baoding No. 17 Middle School, Baoding Hebei

Received: September 20, 2026; accepted: October 17, 2026; published: October 23, 2026

*通讯作者。

文章引用: 郑富, 高陈欣玥, 高陈欣钰. 从静态漫画到智能学伴[J]. 教育进展, 2026, 16(10): 1706-1718.
DOI: 10.12677/ae.2026.16102278

Abstract

Subject-specific comics can represent abstract physics processes through sequential images, but resources stored as whole pictures lack panel-level knowledge, pedagogical functions, and links to assessment items. This limits precise retrieval, diagnosis, and feedback. Using literature analysis, system design, and prototype development, this study proposes a framework of contextual representation, semantic structure, and learning regulation. It develops a two-level annotation model for comic units and individual panels and implements a junior high school physics learning companion. The prototype decomposes 245 nine-panel comics into 2205 addressable panels and organizes 3430 questions. Reading, review, closed-book assessment, prompts, retries, and panel-specific review are connected through traceable data relationships. Structured annotation can therefore turn static comics into locatable, retrievable, and diagnosable learning resources. The prototype demonstrates the operability of the data chain and business rules; improvements in learning outcomes still require classroom-based evaluation.

Keywords

Disciplinary Comics, Educational AI Agent, Intelligent Learning Companion, Structured Annotation, Formative Assessment, 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

1.1. 问题提出

初中物理研究声音、光、力、热、电和能量等自然现象，既强调从生活经验进入科学概念，也要求学生逐步形成模型建构、科学推理、实验探究与证据意识。《义务教育物理课程标准（2022年版）》提出从真实问题和生活情境出发，引导学生经历观察、解释、推理和应用的过程[1]。然而，物理概念具有抽象性，教材中的文字、公式和静态示意图未必能够完整呈现现象发生的时间顺序与因果条件。一些学生能够记住结论，却不能把结论还原到具体情境；另一些学生被计算和符号挡在概念理解之前，逐渐形成“物理难学”的印象。

漫画以画面序列组织事件，以人物行动和对话呈现问题，能够将抽象规律嵌入可观察的生活情境。郑娅峰等将多模态内容生成与知识整合、精准意图识别与推理决策、个性化学习支持和多场景交互概括为新阶段教育智能体的核心特征，并指出科学教育需要以专业知识、教学策略、技术工具和人机协同共同增强智能体[2]。这一观点说明，漫画的图像、文字与叙事优势只有进入受学科知识和教学规则约束的交互系统，才可能由“吸引注意的材料”转化为能够支持解释、诊断和持续学习的资源。

现实中的漫画应用仍面临三重断裂。第一，漫画与知识结构断裂。整幅九格漫画通常以图片文件存在，智能系统只知道文件名和图片地址，不知道第几格在解释什么现象、对应哪个物理概念、与前后格是什么关系。第二，漫画与学习任务断裂。学生完成阅读后，系统难以判断其是理解了画面中的物理关系，还是仅浏览了故事。第三，漫画与持续学习断裂。一次阅读和一次答题结束后，错误没有回指到具体分镜，掌握状态也没有用于安排后续复习。结果是，漫画虽然“可看”，却仍然不可计算、不可诊断、

不可持续调用。

大语言模型为图文理解和自然语言交互提供了新条件，但把漫画图片直接交给通用模型并不能自动解决上述问题。模型可能忽略教学目标，也可能引用学生尚未学习的内容，甚至生成看似合理但缺少漫画证据的解释。教育应用真正需要的不是无限制的对话，而是能够在课程边界内选择资源、识别学习状态、调用适当支架并记录过程证据的智能学伴。因此，静态漫画智能化的核心不是“给漫画加一个聊天框”，而是先建立漫画内容的教育语义结构，再让智能体在结构化资源和学习记录的约束下行动。

1.2. 研究目标与研究问题

本研究以初中物理九格漫画为对象，尝试回答以下三个问题：

第一，学科漫画有效赋能学习应遵循怎样的基本范式？即漫画如何由吸引注意的图文材料，转变为促进概念理解、练习诊断与迁移应用的学习载体。

第二，面向智能体理解与调用，漫画应采用怎样的结构化标注方式？即如何描述漫画、分镜、知识点、认知层级、题目和来源关系，使机器能够准确定位和组合资源。

第三，如何以漫画为核心构建智能学伴学习闭环？即如何把阅读、测评、错因定位、提示、重试、掌握更新与薄弱分镜回看衔接起来。

围绕上述问题，本研究构建了面向初中物理漫画学习的智能学伴原型系统，以 245 张九格漫画及其分镜、题库为内容基础，在统一的数据模型和学习流程中连接结构化标注、顺序学习、已学范围控制、题源关系、掌握诊断和薄弱分镜回看。本文重点报告标注模型、学习机制和原型实现，不开展学生学习成效的实证比较。

2. 相关研究与研究缺口

2.1. 学科漫画：从趣味呈现到认知情境

漫画的教育作用首先来自图像与文字的互补。画面能够保存物体位置、运动方向、人物表情和实验现象，语言则适于命名概念、说明条件和表达因果。连续分镜进一步把“发生了什么”组织为具有时间顺序的事件链。按照多媒体学习的基本观点，学习者在适当的教学设计下对言语表征和图像表征进行选择、组织与整合，可能形成比单一文本更丰富的心理模型[3]。但多模态并不天然等于有效学习。如果画面装饰过多、知识焦点不明，或文字与图像相互重复，漫画同样可能增加无关认知负荷。

郑娅峰等认为，多模态知识整合有助于组织科学概念，多元交互则可丰富科学学习体验[2]。这一论述并不直接证明漫画能够提高学习成绩，却为漫画与智能体的结合提供了功能依据：初中物理漫画可以承担四类作用，一是以生活冲突或反常现象引发问题，二是以连续动作外显物理过程，三是以角色对话呈现常见直觉和概念辨析，四是以分镜序列组织“现象 - 条件 - 规律 - 应用”的推理链。能否产生学习价值，仍取决于这些表征是否与概念、任务和反馈建立明确联系。

现有漫画教学研究常以整幅作品或一节课为分析单位，较少回答数字系统如何识别单个分镜的教学功能。对教师而言，“这一格在设置问题，下一格给出证据，最后一格完成迁移”可以通过专业经验判断；对智能体而言，如果这些关系没有被明确编码，漫画仍只是图片集合。由此，漫画的教育潜力与智能系统的可用性之间存在“语义鸿沟”。

2.2. 教育资源结构化与知识图谱

结构化标注的基本思想，是把非结构化资源转化为具有稳定字段、标准概念和明确关系的数据对象。郑娅峰等在科学知识增强策略中提出，应建设专业、高质量的学科知识库，并利用跨学科知识图谱组织

概念联系,以增强智能体的专业性并降低通用模型知识偏差[2]。该观点为漫画智能化提供了方法论依据:系统不仅要知道“有一张关于惯性的漫画”,还应知道哪个分镜呈现惯性现象、哪个分镜解释条件、哪个题目检测该知识点,以及学生在哪个分镜对应的任务上发生错误。

漫画结构化不能简单等同于一般图片分类。一般图像标签常回答“画面里有什么”,例如人物、车辆、斜面或温度计;教育语义标注还要回答“为何在此处呈现”、“希望学生形成什么认识”“怎样检测是否理解”。因此,漫画标注至少包含客观内容层和教学解释层。前者记录资源身份、画面位置和物理对象,后者记录知识标签、教学功能、认知层级、易错点、题目来源和学习关系。

基于这一思路,结构化并非字段越多越好。标注模型必须服务具体用例:检索需要标准术语和别名;题目回看需要题目与分镜的来源关系;学习路径需要先修关系和顺序;智能回答需要证据片段;质量管理需要版本、审核状态和置信度。如果字段不能支撑检索、诊断或反馈,就会成为高成本而低价值的装饰性数据。

2.3. 智能体支持的“教-学-评”与诊断闭环

张勇、王莉莉以“奋斗者号潜水器上浮方案”为例,将情境任务、方案设计、实验数据、智能评价和方案再提交组织为项目式学习流程,强调学生根据评价经历“评价-反思-优化”,并结合自评、互评和机评形成“教学-评价-改进”循环[4]。该案例说明,评价不宜停留在结果判定,而应成为推动学习方案修正和教师教学调整的中间环节。不过,该文主要提供课例设计与实践描述,不能据此直接推断本系统的学习效果。

在学习诊断机制方面,笔者前期围绕初高中数学错题处理,构建了“采集-解析-诊断-报告”的智能体工作流,并通过结构化知识、错误模板和 Agent Skill 约束模型输出[5]。该成果提出,诊断结果应同时包含结论、证据和知识点定位,并具备可解释、可校正和可追溯等特征。本研究在此基础上,将诊断对象由单道数学错题扩展到物理漫画学习过程:学生的错误不仅关联具体物理概念和推理环节,还进一步回指来源分镜,从而为渐进提示、二次作答和后续复习提供依据。

徐言先基于 SOLO 理论提出“课前引导-课中追踪-课后迁移-全程反馈”的物理教学模式,主张按认知层级推送不同任务,并用过程数据支持分层反馈[6]。这一模式为闭环的阶段连续性和反馈差异化提供了启示。不过,数学错题智能体以题目和学生作答为起点,SOLO 智能体应用以课堂思维表达为重点,均未直接处理“漫画中先学什么、答错后回看哪一格”的资源定位问题。因而,本研究进一步增加资源回指、状态更新和复习调度,形成“资源-任务-证据-调节”相互连接的机制。

2.4. 教育资源语义组织与智能体调用

学习对象研究强调,数字教育资源应具有适当粒度、相对完整的教育含义以及可重组、可调用的结构[7]。这一思想为连续漫画的资源拆分提供了依据:整幅九格漫画构成完整的叙事情境,单个分镜则承担不同的知识内容和教学作用。因此,本研究采用“漫画单元-分镜项目”的双层结构,在保留整体语境的同时,使具体分镜成为可独立定位和调用的教学单元。

语义标注使学习资源中的知识及其关系能够被机器识别,并支持语义检索、资源聚合和知识服务[8]。面向教育智能体,还需要说明资源适合何种教学活动以及题目证据来自哪里。本研究使用图描述、内容摘要、主次知识、教学功能、Bloom 目标、SOLO 结果结构和题源关系支持资源描述、检索与诊断解释,并为后续教学策略开发提供字段基础。已有对话式教育智能体能够依据领域知识和学习状态提供提示与后续任务[9],但本文不把标签存在本身视为策略已经自动实现。

RAG 能够从外部课程资源和结构化知识库中检索证据,提高教育回答的事实性和可验证性[10]。但

在教学情境中，语义上最相关的知识不一定是学生当前适合学习的知识。若仅依据相似度检索整个课程知识库，可能提前调用尚未学习的概念。因此，本研究进一步将学习进度作为资源调用边界，形成“未学内容不前置、已学内容可回溯”的原则，使智能体调用的内容既与当前问题相关，也符合学生的实际学习进程。

2.5. 研究缺口与本研究定位

综上所述，虽然已有工作分别解决了数字教育资源的对象化、元数据描述、语义标注、智能辅导以及知识检索增强等问题，但将这些机制应用于连续漫画学习仍存在三个需要进一步衔接的问题。

第一是资源表征粒度问题。学习对象研究已经强调资源应具有适当粒度和相对完整的教育含义，但对于九格漫画而言，整幅漫画作为一个教学对象仍然过粗。学生的理解困难往往发生在某一个现象、关系或解释环节，因此需要在保留漫画整体叙事关系的同时，将单个分镜进一步建模为可独立定位和调用的教学语义单元。

第二是标注到教学行为之间的控制问题。已有教育资源元数据与语义标注主要支持资源描述、机器可读、检索、聚合、共享和推荐。本研究进一步提出，教学语义标注还应进入智能体运行过程：图描述用于提供具体画面细节，内容摘要用于快速语义定位，知识主次标签限定讲解的核心范围与允许关联范围，Bloom 标签规定所需认知活动类型，教学功能决定分镜在教学过程中承担的作用，SOLO 标签表征预期学习结果的结构复杂程度，标注依据则为教师审核和修订提供解释。

第三是检索相关性与学习適切性之间的差异问题。RAG 通常依据问题与资源之间的相关性进行检索，但学生在某一时刻能够合理调用的知识还受到实际学习进度约束。本研究因此将学习历史进一步转化为动态检索边界：尚未学习的知识不前置调用，已经学习过的内容则允许跨漫画、跨分镜回溯关联。

这种回溯机制尤其针对一种常见学习困难：学生能够意识到“这一处不明白”，却不一定能够准确判断造成当前困难的是哪个知识点或哪个先前概念。系统因而依据当前分镜的知识标签、图像语义、资源关系和学生既往学习记录，在已经学习的内容中寻找可能相关的前置知识和历史薄弱点，并将其作为解释、提示或回看建议。由于这种判断仍属于基于学习证据的推断，系统使用“可能相关”“建议回看”等审慎表述，而不把回溯结果直接等同于确定的认知诊断。

本研究的核心并非再提出一套一般意义上的智能导学系统，而是尝试建立一个分镜级教学语义控制层：将原本静态、整体化的漫画转化为具有视觉语义、知识语义、认知语义和教学语义的教学单元，并利用这些语义共同约束智能体“谈哪一格、讲什么、怎么讲、讲到何种结构复杂度，以及当前允许调用哪些知识”。

3. 理论与设计依据

3.1. “情境表征 - 语义结构 - 学习调节” 范式

依据相关研究，本研究提出学科漫画有效赋能学习的三层范式。

第一层是情境表征。漫画需要把抽象概念还原为可观察的对象、动作、条件和结果。例如，惯性不是先以定义出现，而是通过车辆突然启动或制动时人物状态变化进入学习。该层的目标是形成共同观察对象，回答“看到了什么”和“发生了什么”。

第二层是语义结构。学生需要把画面事件转换为物理语言，区分研究对象、条件、变量、规律和适用边界。系统通过分镜标题、内容摘要、知识标签、主次概念、Bloom 认知目标和 SOLO 学习结果层级，把情境中的隐性关系显性化。该层回答“为什么发生”和“用什么概念解释”。

第三层是学习调节。漫画必须进入任务和反馈循环，才能由信息呈现转为学习活动。系统让学生完

成看图填空、闭图选择、解释或迁移任务，根据作答定位薄弱分镜，先给提示再允许重试，随后更新掌握状态并安排复习。该层回答“是否理解”“哪里不足”和“下一步做什么”。

三层缺一不可。只有情境而没有语义结构，漫画容易停留在故事欣赏；只有结构而没有情境，系统又退回抽象知识表；只有测评而没有前两层，题目与资源无法形成可解释关联。三层共同构成“漫画情境引发认知－结构化标注组织知识－学习证据驱动调节”的基本范式。

3.2. 认知层级与渐进支架

为描述分镜所要求的认知活动，系统引入修订版 Bloom 目标分类和 SOLO 学习结果分类。Bloom 标签主要描述学习活动要求学生进行何种类型的认知加工，如记忆、理解、应用、分析、评价和创造[11]；SOLO 标签则用于表征预期学习结果的信息组织与关系建构复杂程度[12]。二者承担不同功能：Bloom 回答“要求学生做什么”，SOLO 回答“学生需要把信息组织到什么程度”。

在当前原型中，Bloom 标签和 SOLO 标签主要用于描述任务要求与预期学习结果结构，为教师设计、资源检查和后续策略开发提供结构化依据。系统可以据此区分记忆、理解、应用等活动以及信息组织复杂程度，但现阶段不把这些标签本身等同于自动生成教学策略的充分证据。

在具体支架设计上，系统遵循由少到多的原则。第一次答错不立即显示答案，而是给出指向条件、关系或来源分镜的提示；第二次仍错时再呈现答案、解析和回看位置。对基础较弱的学生，反馈更具体，并缩小到某一格；对掌握较好的学生，系统减少提示，增加比较、解释和迁移任务。这样的支架既避免无提示反复试错，也避免智能体代替学生完成推理。

3.3. 可解释、可校正与可追溯

教育智能体的可靠性不能只依靠模型参数。系统需要在数据、检索、生成和记录环节建立约束：数据来自待审核的漫画标注和题库；检索限定在当前学科和已解锁内容；回答使用分镜标题、摘要与标签等结构化上下文；作答记录保留题目、正误与提示使用情况。低置信度标注和多重错因应交由教师复核。

这一设计对应科学教育智能体的四类增强要求：专业知识库与关系数据提供科学知识增强，认知层级和反馈规则提供教学策略增强，分镜检索、题库与版本校验提供工具增强，教师复核和学生自主修正体现人机协同增强[2]。因此，可解释、可校正与可追溯不是生成答案之后附加的说明，而是智能体运行的前置约束。

4. 物理漫画教学语义标注模型

4.1. 标注对象与基本粒度

九格漫画既是一个完整叙事单元，又由九个具有不同功能的分镜构成。若只以整幅漫画为最小单位，系统无法定位学生究竟在哪个环节理解受阻；若把每一格完全拆散，又会破坏情境和推理顺序。因此，本研究采用“漫画单元－分镜项目”双层粒度：整幅漫画负责主题、顺序、总览和综合测评，分镜负责局部内容、知识标签、教学功能和精确回看。

在此基础上，系统建立五类标注字段，如表 1 所示。

Table 1. Structured annotation model for physics comics
表 1. 物理漫画结构化标注模型

标注层	核心字段	主要作用
资源定位层	学科、年级、章节、漫画 ID、漫画标题、分镜号、行列位置、媒体地址	唯一定位资源，支持顺序展示与来源引用

续表

内容语义层	分镜标题、内容摘要、物理知识主标签、子标签、标准名称、别名、公式或条件	支持语义检索、概念匹配和问答上下文构造
教学认知层	教学功能、Bloom 标签、SOLO 标签、重点等级、重要度、典型易错点	支持任务选择、难度匹配和认知诊断
关系调用层	前后分镜、主分镜、辅助分镜、先修知识、关联题目、覆盖分镜、推荐回看关系	支持智能体组合证据、题目回指和学习路径
质量治理层	来源文件、标注依据、审核状态、置信度、内容版本、指纹、修订记录	支持人工复核、题目快照和责任追溯

当前物理数据已稳定使用漫画序号、漫画主题、原文件名、分镜序号、格子位置、格子标题、Bloom 标签、SOLO 标签、物理知识标签和分镜图片路径等基础字段；题库和运行数据进一步加入内容摘要、教学功能、重点等级、重要度、选择依据、题目来源格、覆盖分镜、审核状态与版本信息。表 1 中的标准名称、别名、先修关系和主辅分镜等字段属于系统统一数据模型中的扩展字段，用于解决跨学科检索、同义表达和多证据回答问题。

4.2. 教学语义字段及其智能体运行作用

本研究中的标注不是彼此孤立的资源属性。图描述和内容摘要说明资源内容，主次知识标签限定解释范围，教学功能说明分镜在学习过程中的作用，Bloom 与 SOLO 标签描述任务及预期结果层级，题源关系则把作答证据定位到具体分镜。这些字段共同为检索、复习和诊断提供可核查的数据基础。

4.3. 标签体系及其约束

知识标签应采用“规范概念 + 必要别名”的方式。例如“机械运动”为标准名称，“物体运动”“位置发生变化”等可作为检索别名，但不能把一句完整解释全部塞入标签。标签粒度应与课程目标和题目诊断保持一致：过粗的“力学”不能定位错误，过细的“某道题第 2 步”又难以复用。比较合适的粒度是可以被独立讲解、检测和回看的概念、规律、方法或易错边界，如“参照物选择”“平均速度不是速度的算术平均”“平面镜成像大小关系”。

教学功能描述分镜在学习过程中的角色，可划分为情境导入、问题提出、现象观察、概念解释、规律建构、方法示范、易错辨析、应用迁移和归纳总结。它不同于知识标签：两个分镜可以都涉及“惯性”，但一个负责呈现生活现象，另一个负责辨析“惯性大小与速度大小”的错误认识。智能体只有同时读取知识内容和教学功能，才能决定是调用画面作证据、作解释还是作纠错材料。

主分镜与辅助分镜用于处理一个问题需要多个证据的情况。主分镜直接回答问题，辅助分镜补充条件、反例或后续应用。系统首先检索主分镜，再根据问题复杂度和学生已学范围补充辅助分镜。这样既避免把整张漫画全部投入模型造成干扰，也避免只截取一格导致语境缺失。

4.4. 标注关系与资源组织

标注后的资源可表示为一个小型教育知识网络：漫画包含分镜，分镜表征知识点，知识点之间具有先修、并列、因果、对比和应用关系；题目检测一个或多个知识点，并由某一主分镜及若干辅助分镜提供依据；学生作答产生错误、提示使用和掌握事件，再反向关联知识点与分镜。

以“长度的单位”漫画为例，整幅漫画包含 9 个分镜，题库中的填空题关联其中 5 个题源分镜。系统可从 7 道填空题中随机抽取 3 题形成快速复习，也可使用全部 7 题完成完整复习。当学生在单位换算

方向上连续出错时，推荐对象不是整章知识，而是题目实际关联的分镜及其换算图。

4.5. 标注生产与质量控制

漫画标注涉及教学判断，不能完全交给模型自动完成。较稳妥的流程是“机器预标 - 规则校验 - 教师复核 - 版本发布”。机器可提取候选标题、知识点与摘要；规则校验检查漫画 ID、格号、图片路径、标签格式和题目来源；教师重点判断物理表述、教学功能、认知层级和易错点。当前原型尚未实现完整的题目与标注快照机制，正式应用前还需补充历史版本关联与回溯策略。

质量控制至少包括完整性、一致性、正确性和可用性四类检查。完整性要求每幅九格漫画有 9 个有效分镜；一致性要求标准名称、别名和章节归属统一；正确性要求知识解释不超出课程标准且无科学性错误；可用性要求字段能够真正支持检索、出题、回看和诊断。置信度只表示需要复核的优先级，不能替代教师判断。

5. 基于标注的智能学伴系统设计

5.1. 总体架构

系统由资源层、语义层、智能编排层、学习交互层和学习者模型层组成。资源层保存漫画、分镜、题库和课程结构；语义层保存表 1 所列标注及其关系；智能编排层完成范围过滤、检索、排序与提示生成；学习交互层提供漫画阅读、填空复习、选择题考察和随便问；学习者模型层记录解锁范围、答题结果、提示次数、掌握状态和薄弱点。

五层之间不是单向的“资源输入 - 答案输出”，而是循环关系：标注决定系统可以调用什么；任务生成学习证据；学习证据更新学习状态；学习状态又决定下一次检索、提示和推荐。

5.2. 基于教学语义与学习进度边界的资源调用机制

学生提出问题后，系统首先读取当前漫画、分镜和解锁范围，只在当前学科与已学习资源中形成候选集合。未解锁内容不提前展示，已经学习的漫画和分镜可以参与回看与解释。该边界由课程顺序和学习状态确定，不交由语言模型自由判断。

在候选集合内部，原型依据双字重合、标签命中和意图关键词等信号进行结构化词法排序，并向模型提供分镜标题、摘要和知识标签等文本上下文。当前实现不是向量或知识图谱 RAG，也不直接把漫画图片作为在线模型上下文。

当学生只能表达“这里不懂”时，系统可以结合当前知识标签、历史错题和已学资源关系提出回看建议。该建议用于提供可能相关的前置线索，不自动认定学生的认知原因；教师和学生仍可根据实际情况修正。

5.3. 漫画阅读与两级复习

每个学习单元先展示九格总览，帮助学生形成故事和问题的整体框架，再按 1 至 9 格逐格阅读。分镜页提供标题、现象概括、物理解释和关键词，鼓励学生按“看到什么 - 为何如此 - 用什么物理概念概括”的顺序表达。未解锁漫画只显示序号或锁定状态，不提前展示标题、知识点和答案。

阅读后提供快速复习和完整复习。当前题库为每幅漫画配置 7 道填空题，覆盖 5 个题源分镜；快速复习从 7 题中随机抽取 3 题，完整复习使用全部 7 题。填空阶段允许查看相应漫画，用于建立画面与物理语言之间的联系，不承担解锁功能。系统记录题目得分与来源分镜，以区分整幅漫画未掌握和局部知识薄弱。

5.4. 闭图考察、诊断与渐进反馈

完成阅读和复习后,学生进入“考考你”闭图选择题。当前题库为每幅漫画配置7道选择题,共1715道,用于考查整幅漫画的主线、现象条件、概念辨析和应用。第一次答错时,系统根据题目关联的知识点和来源分镜给出提示;再次提交后显示答案、解析与回看位置。首次答对、经提示答对和再次答错形成不同学习证据。

这一机制把“评价-反思-优化”[4]压缩为可重复的微循环:首次作答形成评价证据,提示引导反思,二次作答检验修正;若仍未掌握,则进入资源回看和后续复习。诊断输出采用“表现-证据-行动”三段结构,与错题智能体强调的结论、证据和知识定位相衔接[5]。表现说明学生在哪个知识点或推理环节出现困难;证据列出相应题目、错误选项、来源分镜和提示使用情况;行动给出可执行的下一步,如回看第6格、完成快速复习或比较两个相近概念。对于仅凭一次选择题无法判断的深层错因,系统使用“可能混淆”“需进一步确认”等审慎表述,不把推测包装为确定诊断。

5.5. 掌握更新、解锁与薄弱分镜推荐

系统以70分作为当前原型的单元通过阈值。达到阈值后解锁下一幅漫画;未达到阈值时,系统依据错题、分镜得分和历史掌握记录生成优先回看建议。掌握状态划分为“需要复习、初步掌握、基本掌握、掌握扎实”等层级,并同时保留最好成绩、最近成绩、尝试次数和提示使用信息。阈值用于维持学习顺序,并不等同于心理测量意义上的真实能力分数,后续应通过实证研究校准。

推荐逻辑优先处理近期答错、来源明确且掌握较弱的分镜,并结合学生主动收藏形成回看顺序。建议应说明原因,例如指出具体错误和对应格号,而不是只给出不可解释的资源列表。

6. 系统实现与典型场景

6.1. 系统资源与功能实现

本研究实现的漫画智能学伴系统面向八、九年级物理学习,当前组织245张九格漫画,其中八年级143张、九年级102张,共包含2205个分镜。题库共收录3430道题,其中选择题1715道、填空题1715道,即每幅漫画7道选择题和7道填空题。系统以“漫画-分镜-题目-练习记录-掌握状态”为数据链,支持顺序解锁、快速与完整复习、闭图考察、渐进提示和薄弱分镜回看。

如图1所示,系统在同一界面中呈现九格漫画总览、分镜序列及当前分镜的知识与认知标签,并将分镜内容与快速复习、完整复习和闭图考察等任务入口相连接,从而建立漫画整体、分镜语义与学习活动之间的对应关系。

6.2. 典型标注实例

以“长度的单位”九格漫画为例,本文选取第7至9格说明标注关系。第7格呈现单位换算规则,第8格用换算图说明进率关系,第9格通过应用题检测估测与单位选择;三格分别承担方法形成、关系分析和迁移应用功能。它们是该漫画5个题源分镜中的示例,系统保留教师修正知识标签、教学功能和题源关系的入口。

学生完成总览和逐格阅读后,快速复习从7道填空题中随机抽取3题。若单位换算题答错,系统把错误关联到题目来源分镜;闭图考察中再次出现同类错误时,系统先提示判断换算方向,再在第二次提交后呈现解析和回看位置。新的成绩与提示使用情况继续写入学习记录,用于调整相应分镜的复习优先级。



Figure 1. Comic overview, panel-level decomposition, and learning task entries
图 1. 漫画总览、分镜解构与学习任务入口

6.3. 不同学习状态下的交互

对于首次学习者，系统强调总览、逐格观察和看图填空，智能体回答优先引用当前漫画，避免跨章节扩展。对于已经通过但近期出现错误的学生，系统减少重复讲解，直接指出差异条件并推荐薄弱格。对于掌握扎实的学生，系统可调用辅助分镜提出比较和迁移问题，例如要求解释同一规律在不同生活情境中的表现。对于问题超出已学漫画或初中物理范围的情况，系统明确标记为“超纲拓展”，先用已学概念建立边界，不提前泄露后续漫画内容。

系统依据考察成绩、错题记录和来源分镜形成不同掌握状态，并将诊断结果转化为具体到漫画格号的回看建议。文中成绩与推荐内容均为功能测试情境下的示例，不作为学生学习效果证据。

7. 讨论

7.1. 从“可阅读漫画”到“可计算学习资源”

传统数字化常把纸质漫画扫描为图片，其变化主要发生在载体层面。本研究所说的“可计算”则意味着系统能够识别资源内部的教学单位和关系：知道哪一格呈现现象，哪一格建构规律，哪一格适合检测，学生的错误又应回到哪一格。结构化标注不是为漫画附加若干关键词，而是为后续检索、诊断和学习调节建立操作接口。

这一变化也重新定义了漫画创作。未来的学科漫画可以在创作阶段同步考虑分镜功能、概念边界、证据关系和检测任务，而不是作品完成后再勉强贴标签。漫画作者、学科教师和技术人员需要共同决定画面叙事与知识结构如何对应。

7.2. 从“可计算资源”到“智能学伴”

资源可计算仍不等于系统具有学习陪伴能力。智能学伴的关键在于依据学生状态选择行动：何时解释、何时追问、何时给提示、何时要求重试、何时安排复习。“教-学-评”一体化案例表明，评价需要进入学生的反思、方案再提交与教师改进过程[4]；SOLO 智能体应用强调依据认知层级组织差异化任务

与全过程反馈[6]；错题智能体研究则要求诊断包含证据、知识定位和人工校正机制[5]。本研究将三者落实到漫画场景，使每条反馈都尽量关联到具体分镜和任务，并由新的作答证据继续更新学习状态。

因此，漫画智能学伴不是拟人化形象或自然语言界面的同义词。它至少应具备范围感知、资源调用、学习诊断、支架反馈、状态记忆和任务调度六项能力，其中任何一项脱离结构化数据都难以稳定运行。

7.3. 与通用大模型对话的差异

虽然通用大模型能够快速生成通顺解释，但却不知道学生的课程顺序、漫画版本和历史错误。其回答往往以语言合理性为目标，而教学系统还要考虑内容是否已学、是否对齐课程标准、能否提供证据、是否适合当前水平以及后续如何验证。标注驱动的系统把大模型限制为语义理解与表达组件，课程内容、学习规则和评分逻辑由可审查的数据与程序控制。

这并不意味着规则可以完全消除风险。标注本身可能有误，检索可能漏掉关键分镜，模型也可能误解画面。系统必须允许教师修订标签、调整题目来源和否决诊断；对低置信度或多重错因问题，应呈现不确定性而非制造权威感。

7.4. 理论与实践贡献

本研究的理论贡献主要体现在三个方面。

第一，将学习对象的粒度思想扩展到连续漫画内部的分镜级教学语义单元。传统学习对象研究强调资源应具有合适粒度、模块化和完整教育含义，本研究进一步指出，对于具有连续叙事关系的学科漫画，最小教学单位既不能停留在整幅漫画，也不能脱离整体语境孤立处理单格，因此提出“漫画单元-分镜项目”的双层结构，使分镜成为可以被定位、引用、检测和回看的教学语义单元。

第二，将教学语义标注由资源描述机制扩展为资源调用与学习诊断的数据基础。图描述和摘要支持语境检索，主次知识与教学功能限定解释范围，Bloom 和 SOLO 标签描述任务及结果层级，题源关系则把作答证据连接到具体分镜。当前原型主要验证这些字段之间的数据连接，自动策略仍需后续完善。

第三，提出学习进度约束下的回溯式资源调用机制。相较于一般 RAG 主要依据问题与资源相关性进行检索，本研究进一步把“学生是否已经学习”作为知识调用条件，形成“未学内容不前置、已学内容可回溯”的动态知识边界。当学生无法准确指出自身知识缺口时，系统可以在既往已经学习的漫画和分镜中寻找与当前困难可能相关的前置知识和历史薄弱点，使智能体不仅回答当前问题，还能够在不超前教学的前提下帮助学习者重新建立当前知识与已有知识之间的联系。

实践上，本研究将 245 张九格漫画拆解为 2205 个可定位分镜，并通过 3430 道题目和学习记录连接资源调用、作答证据、提示、重试与回看。其价值在于提供一条可由教师检查和修订的技术路径，而不是证明漫画或人工智能必然提高学习成绩。

7.5. 研究边界与局限

本文属于系统设计与原型实现研究，现阶段仍存在以下局限。

第一，本文尚未开展学生层面的对照或准实验研究，因此只能证明标注模型和学习闭环在技术上能够运行，不能据此推断其能够提高物理学习成绩、概念理解或长期保持。

第二，分镜级教学语义标注具有一定专业成本。图描述和内容摘要可以较大程度借助多模态模型生成，但知识主次关系、教学功能、Bloom 目标、SOLO 结构以及标注依据仍包含教师专业判断。现阶段采用“机器预标-规则校验-教师复核”的方式降低成本，但 245 张漫画能够实施的人工复核流程能否稳定扩展到更多学科、更多教材和更大规模资源库，仍需进一步验证。

第三，漫画内容本身也可能成为偏差来源。生活情境、人物角色、语言表达和视觉叙事可能隐含特定生活经验、文化背景或刻板表达；为了增强故事性而简化物理过程，也可能使学生形成不完整甚至错误的科学表征。因此，质量治理不应只审核标签是否准确，还需要审核原始漫画本身的科学性、代表性和潜在误导。

第四，目前系统大量使用选择题和填空题形成学习证据，这类任务有利于快速自动判断，却难以充分诊断科学解释、复杂建模、开放探究和高阶迁移能力。后续需要增加解释题、情境迁移题以及基于量表评分的开放性任务，避免把客观题正确率直接等同于完整的物理解水平。

第五，“未学内容不前置、已学内容可回溯”的机制依赖于学习进度记录、知识标签和资源关系的准确性。如果学生实际已经在其他环境中掌握相关知识而系统没有记录，或者标签和前置关系本身存在错误，检索边界和回溯结果都可能产生偏差。因此，系统应允许教师调整资源关系，并将回溯结果表述为待进一步确认的学习假设，而不是自动认定为确定的认知原因。

7.6. 未来研究

后续研究将从学习效果验证和机制验证两个层面展开。

首先，可在真实初中物理教学中采用班级为单位的准实验设计。选择教学进度和原有学业水平相近的平行班，设置实验组与对照组，进行约 8~12 周干预。两组使用相同的漫画主题和核心知识内容，实验组使用完整的标注驱动智能学伴，包括分镜级上下文、学习进度约束、渐进提示、薄弱分镜回看、间隔复习和回溯式已学资源调用；对照组使用相同漫画资源和题目，但不启用上述自适应资源调用和学习调节机制。

研究采用“前测 - 教学干预 - 后测 - 延迟后测”的方式进行。主要评价指标包括物理概念理解、近迁移与远迁移任务表现、错误修正率、经提示后独立作答能力、延迟保持效果以及开放性科学解释与推理表现。其中，高阶能力评价不只采用选择题和填空题，而应增加开放解释题，并由两名以上教师依据统一评分量表进行评分。

其次，在整体效果得到初步验证后，可进一步开展机制消融研究，例如分别关闭学习进度边界、主次知识标签约束、教学功能控制或分镜回溯机制，比较不同版本在回答越界率、知识定位准确度、学生错误修正和学习保持方面的差异，从而判断不同教学语义字段及运行机制的实际作用。

8. 结论

本研究围绕漫画赋能范式、分镜级结构化标注和智能学伴学习闭环，提出并实现了一套面向初中物理的设计方案。系统把漫画单元、分镜项目、题目来源和作答记录连接起来，使静态漫画成为可定位、可检索和可诊断的教学资源。

结构化标注在漫画资源与教育智能体之间形成教学语义层，把“资源中有什么”进一步转化为“当前可以调用什么、错误对应哪一格以及下一步回看什么”。

原型验证了数据链与核心业务规则的可运行性，但尚未证明学习效果。后续仍需完成数据终审，并在真实课堂中检验概念理解、迁移和保持效果。

系统将 245 张九格漫画拆分为 2205 个可定位分镜，并以 3430 道题目建立资源与学习证据之间的联系。其意义不在于证明 AI 能够替代教师，而在于展示一种可审查的技术路径：让智能体在结构化课程资源中寻找证据，在明确规则下提供支架，在学习记录中选择下一步。由此，静态漫画才可能从“被观看的作品”转化为“能参与诊断和调节的智能学习资源”。后续研究需要在真实教学环境中检验其效果，并持续完善教师复核、学生隐私和算法透明机制。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022 年版) [S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022.
- [2] 郑娅峰, 黄璟玥, 包昊罡. 教育智能体赋能科学教育: 概念特征、应用价值与实施策略[J]. 远程教育杂志, 2025, 43(3): 24-32.
- [3] Mayer, R. (2020) *Multimedia Learning*. 3rd Edition, Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781316941355>
- [4] 张勇, 王莉莉. 基于“教-学-评”一体化智能体的物理项目式活动设计——以奋斗者号潜水器上浮方案设计为例[J]. 中学物理, 2026, 44(2): 14-19.
- [5] 郑富, 王雨墨. 初高中数学错题智能体技能的设计与实践[J]. 教育进展, 2026, 16(5): 774-782.
- [6] 徐言先. 基于 SOLO 理论的高中物理思维可视化教学研究——智能体的交互应用实践[J]. 数理天地(高中版), 2026(6): 153-155.
- [7] 李玉顺, 武林, 顾忆岚. 基于学习对象的教学资源设计及流程初探[J]. 中国电化教育, 2012(1): 78-85.
- [8] 丁国柱, 余胜泉, 潘升. 学习资源的语义众包标注系统设计[J]. 中国电化教育, 2016(9): 91-95, 127.
- [9] 屈静, 刘凯, 胡祥恩, 杨钊, 蒋卓轩. 对话式智能导学系统研究现状及趋势[J]. 开放教育研究, 2020, 26(4): 112-120.
- [10] Li, Z., Wang, Z., Wang, W., Hung, K., Xie, H. and Wang, F.L. (2025) Retrieval-Augmented Generation for Educational Application: A Systematic Survey. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **8**, Article ID: 100417.
<https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100417>
- [11] Anderson, L.W. and Krathwohl, D.R. (2001) *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman.
- [12] Biggs, J.B. and Collis, K.F. (1982) *Evaluating the Quality of Learning: The SOLO Taxonomy*. Academic Press.