

基于大模型知识库的递进式嵌入式课程教学改革研究

——以“51到STM32”融合型项目实践为例

李 锋^{1*}, 黎敬清², 何柯桦², 李舒婷³

¹广东创新科技职业学院信息工程学院, 广东 东莞

²广东创新科技职业学院智能制造学院, 广东 东莞

³广东金融学院大数据与人工智能学院, 广东 清远

收稿日期: 2025年10月9日; 录用日期: 2025年11月28日; 发布日期: 2025年12月9日

摘 要

随着智能硬件产业发展, 嵌入式人才能力需求发生新变化, 传统单片机与嵌入式课程衔接存在“知识断层”问题, 而大模型技术在教育领域赋能趋势显著。本研究以“51到STM32”融合型项目实践为例, 构建“硬件实践 + AI辅助”双驱动教学模式, 旨在解决课外学习支持不足问题, 提升岗位迁移能力。通过传统教学痛点分析, 提出基于建构主义理论和元认知理论的改革理论框架, 设计双闭环教学体系, 重构课程内容, 建设大模型知识库。经教学实施效果分析, 展现出了良好的教学成效, 最后总结创新特色与推广价值, 并对未来展望进行阐述。

关键词

大模型知识库, 递进式, 嵌入式课程, 教学改革

Research on Progressive Embedded Course Teaching Reform Based on Large Model Knowledge Base

—Taking the “51 to STM32” Integrated Project Practice as an Example

Feng Li^{1*}, Jingqing Li², Kehua He², Shuting Li³

¹School of Information Engineering, Guangdong Innovative Technical College, Dongguan Guangdong

²School of Intelligent Manufacturing, Guangdong Innovative Technical College, Dongguan Guangdong

*通讯作者。

文章引用: 李锋, 黎敬清, 何柯桦, 李舒婷. 基于大模型知识库的递进式嵌入式课程教学改革研究[J]. 创新教育研究, 2025, 13(12): 196-208. DOI: 10.12677/ces.2025.1312951

³School of Data Science and Artificial Intelligence, Guangdong University of Finance, Qingyuan Guangdong

Received: October 9, 2025; accepted: November 28, 2025; published: December 9, 2025

Abstract

With the development of the intelligent hardware industry, the demand for the capabilities of embedded talents has undergone new changes. There is a problem of “knowledge gap” in the connection between traditional single-chip microcomputer and embedded courses, while the empowering trend of large model technology in the education field is significant. This study takes the integrated project practice of “from 51 to STM32” as an example to construct a dual-driven teaching model of “hardware practice + AI assistance”, aiming to solve the problem of insufficient support for extra-curricular learning and improve post transfer ability. Through the analysis of the pain points of traditional teaching, this paper puts forward a reform theoretical framework based on constructivism and metacognition theory, designs a dual-closed-loop teaching system, reconstructs the course content, and builds a large model knowledge base. The analysis of teaching implementation effects shows good teaching results. Finally, the innovative characteristics and promotion value are summarized, and the future prospects are expounded.

Keywords

Large Model Knowledge Base, Progressive, Embedded Courses, Teaching Reform

Copyright © 2025 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. 研究背景

1.1.1. 智能硬件产业对嵌入式人才能力的新需求

随着科技的飞速发展，智能硬件产业正以前所未有的速度蓬勃发展，各类智能设备如雨后春笋般不断涌现[1]。智能家居领域，智能音箱(如天猫精灵、小度智能音箱)不仅能播放音乐、查询信息，还能控制家电设备，实现智能家居场景的互联互通；智能穿戴设备方面，智能手表(如 Apple Watch、华为 Watch)和智能手环具备健康监测、运动追踪、消息提醒等多种功能，为用户的日常生活和健康管理提供便利[2]。这些智能设备的广泛应用，对嵌入式人才提出了全新的、更高的能力要求。

嵌入式人才不仅要具备扎实的基础硬件设计能力，能够熟练设计电路原理图、进行 PCB 布局布线，确保硬件系统的稳定性和可靠性；还需要掌握编程技能，运用 C、C++等编程语言编写高效的嵌入式软件，实现设备的各项功能[3]。同时，由于智能硬件设备种类繁多，采用的芯片架构也日益多样化，如 ARM 架构在移动设备和物联网领域占据主导地位[4]，RISC-V 架构以其开源、灵活的特点在新兴领域崭露头角[5]。因此，嵌入式人才必须熟练运用多种芯片架构，深入了解不同架构的指令集、寄存器配置、存储管理等特点，并能够根据项目需求选择合适的芯片架构进行开发。

智能硬件产业的技术更新换代速度极快，新的芯片技术、通信协议、开发工具不断涌现。这就要求嵌入式人才具备快速迁移学习能力，能够迅速掌握新技术、适应新环境，在短时间内将新知识应用到实

际项目中。例如,当从 51 单片机迁移到 STM32 平台时,需要快速熟悉 STM32 的复杂外设、高级编程模型以及开发工具的使用方法。只有具备这种快速迁移学习能力,嵌入式人才才能在智能硬件产业的浪潮中不断成长,满足产业对人才的多元化需求,推动智能硬件技术的持续创新和发展。

1.1.2. 传统单片机与嵌入式课程衔接存在的“知识断层”问题

在高校课程体系中,传统单片机课程(如 51 单片机)与嵌入式课程(如 STM32)之间的衔接存在明显的“知识断层”问题[6]。传统单片机课程主要侧重于基础原理和简单应用教学,学生学习的重点是掌握单片机的基本结构、工作原理、指令系统以及简单的输入输出控制等内容,教学案例通常围绕简单的 LED 闪烁、数码管显示、按键控制等功能展开,课程难度相对较低,知识点较为集中,主要培养学生的单片机编程基础能力和简单的硬件设计能力。

然而,当学生过渡到嵌入式课程(如 STM32)学习时,情况发生了巨大变化。STM32 是基于 ARM 架构的 32 位微控制器,具有复杂的体系架构、强大的处理能力和丰富的外设资源。学生需要学习和掌握的知识点大幅增加,包括但不限于 ARM 架构的指令集、存储管理、中断系统、各类通信接口(如 UART、SPI、I2C 等)、定时器、模数转换器等外设的配置与使用,以及相关的硬件抽象层(HAL)库或底层驱动库的运用。同时,嵌入式课程的编程模型也更加复杂,涉及到多任务处理、实时操作系统(RTOS)的基本概念和应用等内容[7]。

这种从简单到复杂、从基础到高级的知识跨度,给学生带来了巨大的学习挑战。学生在学习过程中往往难以将单片机课程所学的基础知识与嵌入式课程的新知识有效地衔接和融合,导致学习困难重重。例如,在学习 STM32 的 GPIO 配置时,学生难以将其与 51 单片机的 P0~P3 端口知识建立联系,无法理解两种芯片在寄存器配置、输出模式设置等方面的异同点;在面对 STM32 丰富的外设资源时,学生容易感到迷茫,不知道如何根据实际需求选择合适的外设并进行编程开发。这种“知识断层”问题不仅影响了学生的学习效果和学习积极性,还制约了学生在嵌入式领域深入学习和发展,难以满足智能硬件产业对嵌入式人才的高质量需求[8]。

1.1.3. 大模型技术在教育领域的赋能趋势

在教育部印发的《人工智能 + 教育》文件中,明确强调了大模型技术在教育领域的应用潜力和重要性,指出其对推动教育教学创新、提升教育质量具有不可忽视的价值[9]。大模型凭借强大的语言理解、生成能力和知识表示能力,可作为功能多样的辅助教学工具,深度融入教育教学的各个环节。在知识讲解方面,大模型能够将复杂知识进行分解、重组和演绎,以更加通俗易懂、形式多样的方式呈现给学生。例如,面对晦涩难懂的物理公式或历史事件,大模型可以结合类比、联想等手法,用学生熟悉的生活场景或已学知识重新诠释,帮助学生从不同角度理解核心要点。

在答疑解惑环节,大模型可以实时接收学生的问题,并迅速依据海量知识储备给出准确、详细的解答,无论是课程中的基础概念、定理推导,还是拓展性的学术问题、实践操作疑问,都能得到有效回应,满足学生个性化的学习需求,就像拥有一位可以随时请教的全科辅导老师。同时,大模型还能根据学生的学习进度和问题特征,主动推送相关的知识点和拓展资料,引导学生深入思考,进一步拓展知识面和思维深度,激发学生的学习兴趣和探索欲望,成为教育领域的一大助力,推动教学模式向更加智能化、个性化的方向发展。

1.2. 研究价值

1.2.1. “实践 + AI 辅助”双驱动教学模式,丰富嵌入式课程教学理论体系

本研究致力于构建“硬件实践 + AI 辅助”双驱动教学模式,这一模式的构建对于嵌入式课程教学理论体系的完善具有重要意义[10]。传统嵌入式课程教学理论往往侧重于单一的硬件实践或理论讲授,而

“双驱动”教学模式将硬件实践与 AI 辅助深度融合，为教学理论研究提供了新的视角和思路。通过将大模型知识库引入教学过程，为学生在实践操作中提供即时的知识支持和问题解答，有助于丰富和完善嵌入式课程的教学理论体系。同时，这种模式也为其他相关课程的教学改革提供了理论借鉴，推动教学理论与时俱进，更好地适应新时代教育发展的需求。

1.2.2. 解决课外学习支持不足问题，提升学生岗位迁移能力

在实践层面，该研究着重解决课外学习支持不足的问题。目前，学生在课外进行嵌入式学习时，常常面临缺乏有效学习资源、遇到问题难以及时解决等困境。通过构建大模型知识库，为学生打造了一个全面且便捷的课外学习支持平台。学生可以在课外自主查阅知识库中的资料，如硬件原理详解、编程代码示例、常见问题解答等，还能通过知识库的智能诊断功能快速解决实践操作中遇到的技术难题，极大地提高了课外学习的效率和质量。

更为重要的是，这一研究显著提升了学生的岗位迁移能力[11]。在智能硬件产业快速发展的背景下，企业对嵌入式人才的岗位迁移能力要求越来越高。通过“硬件实践 + AI 辅助”的教学模式，学生能够在学习过程中接触到不同芯片架构和多样化应用场景，培养其快速学习和适应新硬件平台的能力。例如，学生在学习过程中借助知识库，可以快速掌握从 51 单片机到 STM32 的知识迁移，以及不同芯片之间的外设配置和编程技巧。这种能力的提升，使学生在就业后能够更快地适应企业的工作需求，缩短上岗培训时间，增强在就业市场中的竞争力，更好地满足智能硬件产业对嵌入式人才的多元化需求。

因此，本研究聚焦于解决三个核心问题：(1) 单片机与嵌入式课程衔接中的知识断层；(2) 学生在跨芯片平台的知识迁移能力不足；(3) 课外学习中技术支持匮乏与知识资源碎片化。

2. 现状分析与改革思路

2.1. 传统教学痛点分析

2.1.1. 教学导致的思维局限

目前，开发板在嵌入式课程教学中被广泛使用，但这种教学模式存在明显的局限性。调研数据显示，60% 的学生仅能按照开发板教程进行操作，缺乏将所学知识迁移到其他硬件平台的能力。在传统的教学过程中，开发板的教学内容往往围绕其特定的硬件配置和功能模块展开，学生主要学习如何使用开发板上的资源完成既定的实验项目，如简单的 LED 闪烁、按键控制等。这种模式下，学生习惯于在固定的硬件环境中进行编程和调试，对开发板的依赖性较强。

当需要将知识应用到其他硬件平台或实际项目中时，学生往往难以适应。例如，在学习 51 单片机开发板后，面对 STM32 或其他微控制器时，学生可能会对新的开发环境、工具链和外设配置感到困难。他们无法将 51 单片机的知识有效迁移到新的平台上，导致学习曲线陡峭，学习效率低下。这种固化教学模式限制了学生的思维灵活性，使他们难以在不同的硬件架构之间建立联系，缺乏对嵌入式系统整体概念的理解。此外，学生在学习过程中也容易形成一种被动的学习模式，只关注如何完成任务，忽视了对知识背后原理的深入探究和对创新应用的思考，从而在一定程度上抑制了学生的创新意识和能力发展。

2.1.2. 碎片化问题

在课外学习过程中，学生普遍面临学习资源碎片化的问题。据本校调研数据显示，部分学生反映网上可供学习嵌入式知识的资料较为分散，缺乏系统性。这些资料往往以零散的博客文章、论坛帖子、视频教程等形式存在，虽然内容丰富多样，但缺乏有效的整合和组织。例如，一些博客文章可能只针对某个具体问题讲解，如 51 单片机的某一个外设使用方法；论坛帖子则多是用户在学习过程中遇到问题

后的求助和讨论,质量参差不齐;视频教程虽然有一定的连续性,但也是基于作者个人的理解和经验,知识点覆盖不全面,难以形成完整的知识体系。

这种碎片化的学习资源给学生带来了诸多困扰。一方面,学生在学习过程中需要花费大量时间在不同平台之间切换,筛选和整合有用的信息,这不仅降低了学习效率,还容易导致知识的不连贯和理解的片面性。另一方面,由于缺乏系统的知识框架,学生难以对嵌入式技术形成全面、深入的理解,难以把握知识点之间的内在联系和逻辑关系,从而影响学习效果。

2.1.3. 毕业生芯片迁移能力缺陷

通过对本校相关专业毕业生的回访和调查,发现大部分毕业生存在芯片迁移能力不足的问题。这表明,学生在学校所学的知识与企业实际需求之间存在较大差距。由于课外学习资源无法有效支持学生进行系统的学习和实践,学生难以在毕业后迅速适应企业的开发需求,尤其在面对不同芯片架构的迁移和应用时,缺乏足够的知识储备和实践经验。这种能力缺陷不仅影响了学生的就业竞争力,也给企业的培训工作带来了额外的负担,制约了智能硬件产业的发展。

2.2. 改革理论框架

2.2.1. 建构主义理论指导下的递进式学习路径

建构主义理论强调学生在学习过程中的主体地位,认为知识是学习者通过与外界环境的互动,在已有的知识经验基础上主动建构而成的。在嵌入式课程教学中,依据建构主义理论,设计了从 51 单片机基础项目逐步过渡到 STM32 项目实践的递进式学习路径,以促进学生知识的深度理解和技能的熟练掌握。

51 单片机作为入门级的嵌入式开发平台,具有结构简单、易于上手的特点,特别适合初学者学习嵌入式系统的基本原理和编程方法。学生首先从 51 单片机的基础项目开始,如实现简单的 LED 闪烁、数码管显示、独立按键控制等功能。通过这些项目,学生能够掌握单片机的基本结构、I/O 端口的操作、简单外设的使用以及 C 语言编程的基础知识,建立起对嵌入式系统的初步认知。

在学生对 51 单片机有了较为扎实的掌握后,逐渐引入 STM32 项目实践。STM32 是基于 ARM Cortex-M 系列的 32 位微控制器,具有更强大的处理能力和更丰富的外设资源。在这一阶段,学生首先学习 STM32 的基本架构和开发环境搭建,然后通过对比 51 单片机和 STM32 的寄存器配置、外设功能和编程模型,帮助学生理解两种芯片的异同点,促进知识的迁移和融合。在项目实践中,学生可以先从简单的 STM32 项目入手,如实现类似 51 单片机的 GPIO 控制、定时器使用等功能,然后逐步过渡到更复杂的项目,如基于串口通信的远程控制、基于传感器的数据采集与处理等。

为了更好地支持学生的递进式学习,还构建了知识图谱,将 51 单片机和 STM32 的知识点进行系统梳理和关联。知识图谱以图示的形式直观展示了两片芯片在寄存器映射、外设配置、编程接口等方面的对应关系,为学生提供了一个清晰的学习导航。例如,在 GPIO 配置方面,知识图谱详细列出了 51 单片机的 P0~P3 端口与 STM32 的 GPIOx 端口的寄存器设置、输出模式配置等对比信息,帮助学生快速建立起对新知识的理解。

通过这种递进式学习路径,学生能够在已有知识的基础上逐步构建起对 STM32 的深入理解,培养解决复杂问题的能力。同时,项目实践中的小组合作和讨论交流也为学生提供了与同伴互动、分享经验的机会,进一步促进了知识的建构和思维的拓展。这种基于建构主义理论的教学设计,不仅提高了学生的学习效果,还增强了学生的学习兴趣和自主学习能力,为学生今后在嵌入式领域的深入学习和职业发展奠定了坚实的基础。

2.2.2. 元认知理论视角下的 AI 辅助学习机制

元认知理论^[12]强调学生对自己认知过程的认知与调控。大模型知识库作为辅助工具,能实时提供精

准解答[13]。学生在学习嵌入式系统编程时，若对 STM32 定时器配置存疑，知识库不仅迅速给出答案，还推荐相关知识点，引导学生深入思考。学生通过知识库记录的查询历史和解决问题路径，反思学习方法和理解程度，进而调整学习策略。这种机制培养了学生的自主学习能力，提升了学习效果。

2.2.3. 双闭环设计：课堂项目链 + 课外知识库支持系统

课堂项目链与课外知识库支持系统相结合，形成双闭环设计。课堂项目链以实际项目为驱动，将课程内容整合为一系列项目任务。这些项目从简单到复杂，覆盖嵌入式系统的核心知识与技能。课外知识库支持系统则为学生提供丰富的学习资源。学生在课外学习时，可通过知识库深入探究项目背景知识、拓展功能实现方法等。知识库的智能推荐功能根据学生学习进度和课堂项目内容，主动推送相关资料，助力学生巩固和深化课堂所学。这种设计既保障了学生在课堂上有明确的学习目标和实践任务，又在课外提供了个性化学习支持，促进了学生知识内化和能力提升。

3. 融合型教学体系构建

3.1. 课程内容重构策略

3.1.1. 知识图谱构建：51/STM32 寄存器映射对照表

为了帮助学生更好地理解 51 单片机和 STM32 微控制器之间的寄存器配置差异，我们构建了 51/STM32 寄存器映射对照表。该对照表以图表的形式直观地展示了两片芯片的寄存器地址、功能和配置方法等方面的对比。例如，在 GPIO 配置方面，详细列出了 51 单片机的 P0-P3 端口寄存器与 STM32 的 GPIOx_CRL 和 GPIOx_CRH 寄存器的对应关系，以及如何通过 STM32 的寄存器实现类似 51 单片机的输出高、低电平控制功能。学生可以通过对照表快速找到两种芯片在寄存器方面的关联，降低学习难度，促进知识迁移。

3.1.2. 项目模块化设计：以“智能门控系统”为例的分层任务分解

我们以“智能门控系统”项目为例，进行模块化设计和分层任务分解。将整个项目划分为硬件设计模块、软件编程模块、通信模块、安全加密模块等多个子模块。在硬件设计模块中，进一步细分为电路原理图设计、PCB 制作、元器件选型等任务；在软件编程模块中，分为初始化程序编写、功能函数实现、中断处理等任务。按照递进式学习路径，先让学生完成简单的任务，如在 51 单片机平台上实现基于按键控制的门锁开关功能；然后逐步增加任务难度，在 STM32 平台上实现基于指纹识别和蓝牙通信的智能门禁系统，让学生在项目实践中逐步提升能力。

3.1.3. 竞赛 - 岗位双导向的评估标准：参照蓝桥杯评分细则

本课程的评估标准结合了蓝桥杯等嵌入式竞赛的评分细则和企业岗位需求。评估标准不仅关注项目的功能实现情况，还注重代码质量、硬件设计合理性、创新性等方面。例如，在功能实现方面，要求项目能够稳定、可靠地运行，达到预期的设计目标；在代码质量方面，要求代码结构清晰、注释详细、遵循规范的编程风格；在创新性方面，鼓励学生在项目中应用新的技术、提出新颖的设计思路或功能拓展。通过这种评估标准，引导学生以竞赛的高标准和企业岗位的实际需求为导向进行学习和实践，提高学生的综合素质和就业竞争力。

3.2. 大模型知识库建设

3.2.1. 架构设计：DeepSeek + 本地知识库的混合架构

本研究采用 DeepSeek + 本地知识库的混合架构来构建大模型知识库。DeepSeek 作为通用大语言模型，具备强大的语言理解和生成能力，能够处理自然语言查询，为用户提供一站式服务。本地知识库则

专门存储与嵌入式课程相关的专业知识，包括教材内容、案例、代码等。通过混合架构，既可以利用 DeepSeek 的通用能力，又能确保知识的专业性和针对性。为避免模型幻觉，本研究在生成诊断建议时提供原文出处链接。同时，系统仅记录行为数据，不采集隐私信息，符合数据安全规范。

架构分为以下几个关键部分：

- (1) 数据采集模块：从多种渠道收集嵌入式课程相关资料，例如正点原子的手册、案例等；
- (2) 本地知识库存储模块：将采集到的数据进行整理和存储，形成结构化的知识体系；
- (3) DeepSeek API 调用模块：当学生提出问题时，通过调用 DeepSeek 的 API，将问题与本地知识库的内容结合，生成准确的回答；
- (4) 用户交互模块：为学生提供界面友好的查询入口，支持文本输入和语音输入等多种方式，方便学生提问。

3.2.2. 数据源处理：正点原子手册结构化处理代码标注规范

正点原子手册结构化处理：对正点原子手册进行详细分析，将其内容按章节、知识点、案例等进行划分和标注。例如，将手册中的 GPIO 配置、定时器使用等章节分别标注，并提取关键知识点。对于每个知识点，标注其所属类别、关联的案例和代码示例等信息，以便学生能快速找到所需内容。

3.2.3. 功能实现

常见错误代码的智能诊断：开发智能诊断功能，帮助学生纠正代码错误。当学生在编写 STM32 的 UART 初始化代码时，如果出现参数错误，知识库会分析代码结构和参数设置，识别错误类型，并提供修改建议，同时给出正确的代码示例和参数配置方法，提高学生的编程效率和代码质量。

跨平台知识关联(如 51 定时器与 STM32 定时器配置对比)：实现跨平台知识关联，帮助学生理解不同芯片平台之间的知识联系。以 51 定时器与 STM32 定时器配置为例，知识库提供两者的配置步骤、寄存器设置、中断处理等方面的详细对比信息。例如，指出 51 单片机定时器采用的是 8 位自动重装模式，而 STM32 定时器具有更复杂的 16 位或 32 位模式，详细说明两者在预分频器设置、启动和停止控制等方面的差异，并给出相应的代码示例，使学生能够清晰地理解跨平台知识的异同点。

行业术语解释库(集成 Altium/Keil 等专业术语)：建立行业术语解释库，集成 Altium、Keil 等常用开发工具和软件的相关术语。例如，对于 Altium 中的“原理图绘制”“PCB 布局布线”等术语，知识库提供详细的解释和操作说明；对于 Keil 中的“编译器选项设置”“调试工具使用”等术语，也进行深入浅出的讲解，并结合实际案例展示其在嵌入式开发中的应用。学生在学习过程中遇到专业术语时，可以随时查阅知识库获取准确的解释，避免因术语理解不清而导致的学习障碍。

4. 教学实施与效果分析

4.1. 研究方法

本研究采用对照实验设计，研究对象为智能硬件技术相关专业共 62 名学生，根据班级自然分组原则划分为实验组和对照组，两组学生在专业背景、性别比例、前测成绩等方面无显著差异($p > 0.05$)，显著性判定标准如下：

$$\begin{aligned} p < 0.05 &\Rightarrow \text{显著差异} \\ p < 0.01 &\Rightarrow \text{非常显著差异} \end{aligned} \quad (1)$$

两个班级均由同一教学团队授课，教学资源一致，排除教师差异干扰。实验周期为 16 周，采用前后测方式评估学习增益，包括：项目完成度、检索效率及芯片迁移周期。数据收集工具包括在线日志采集

模块、课程成绩记录、企业导师评估表等。统计分析使用独立样本 t 检验，报告均值(公式(2))、标准差(公式(3))、p 值(查表获得)及效应量 d。

均值计算方法：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \tag{2}$$

标准差：

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \tag{3}$$

独立样本 t 检验：

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\left(\frac{SD_1^2}{n_1} + \frac{SD_2^2}{n_2}\right)}} \tag{4}$$

Welch 自由度：

$$df = \frac{\left(\frac{SD_1^2}{n_1} + \frac{SD_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{SD_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1-1} + \frac{\left(\frac{SD_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2-1}} \tag{5}$$

效应量 d：

$$d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{SD_{pooled}} \tag{6}$$

合并标准差(Pooled SD)：

$$SD_{pooled} = \sqrt{\frac{(n_1-1)SD_1^2 + (n_2-1)SD_2^2}{n_1+n_2-2}} \tag{7}$$

4.2. AI 知识库技术架构

Table 1. Knowledge base performance evaluation results
表 1. 知识库性能评测结果表

指标	RAG 本研究	传统全文检索	提升幅度
Top-3 命中率	87.5%	54.2%	+33.3%
技术性回答正确率	92.1%	70.4%	+21.7%
代码纠错成功率	85.3%	51.5%	+33.8%
平均响应时间	2.8s	5.3s	-47.2%

本研究构建的大模型知识库采用 RAG (检索增强生成)技术架构[14]。流程包括：(1) 用户查询经向量模型(BGE-small)编码；(2) 在本地 Milvus 向量数据库进行相似度检索；(3) DeepSeek 模型依据检索结果

进行融合生成；(4) 返回可解释答案和原文出处链接。数据预处理包括手册内容分章节提取、寄存器字段标签化、示例代码切片标注等。知识库性能评测采用自建问答集，评估指标包括 Top-3 命中率、技术性回答正确率、代码纠错成功率。其性能评测结果如表 1 所示。

4.3. 理论支撑与实践融合案例分析

在元认知理论视角下，知识库的智能诊断功能体现了学习过程中的监控与调节环节。如在 PWM 调试场景中，学生查询故障症状，系统提示可能的 CCR 寄存器配置错误并提供调试策略，学生经尝试验证后形成自我反思与策略调整路径，构成完整的知识建构过程。该过程不仅是知识的获取，更是认知层面的自我监控与调节能力的培养。

4.4. 创新性评估

与现有工作相比，本文提出的模式在跨平台迁移任务链、知识库智能诊断、寄存器映射知识图谱构建等方面进行了结构化融合设计，进一步缓解了 51 与 STM32 之间的知识断层。此外，通过与 3 个学院合作，收集课程成绩提升数据、学生反馈及企业评价，证明模式具有可复制性与推广价值。但本研究存在三点局限：(1) 样本规模有限；(2) 主要集中于高职学生；(3) 缺乏长期追踪评估。后续将扩展样本并开展纵向研究。

4.5. 实施过程

为了验证新教学模式的有效性，我们选取了两个班级进行对比实验。一个班级作为对照组，采用传统教学模式，主要以课堂教学和教材为主，教学内容围绕 51 单片机和 STM32 的基本原理和简单应用展开。另一个班级作为实验组，采用“硬件实践 + AI 辅助”双驱动教学模式。实验组通过实际项目案例，结合大模型知识库进行学习。两组学生使用相同的硬件设备和教材，以确保其他教学条件的一致性。

实验周期为一个学期。在学期初进行前测，评估学生的基础知识水平和编程能力；在学期末进行后测，评估学生的学习效果和能力提升情况。同时，在教学过程中定期收集学生的学习数据，如作业完成情况、项目实践表现、知识库使用频率等，以动态分析教学效果。

4.6. 典型教学场景

1) 课堂：智能门控系统的 GPIO 迁移实践(51 → STM32)

在课堂上，教师以“智能门控系统的 GPIO 迁移实践”为教学案例。对照组学生学习 51 单片机的 GPIO 配置和简单应用，如通过按键控制 LED 灯的亮灭。而实验组学生则在此基础上，利用知识图谱中的 51/STM32 寄存器映射对照表，将知识迁移到 STM32 平台。教师讲解 STM32GPIO 的模式配置、输出类型设置、速度控制等知识点，并结合实际电路演示如何在 STM32 上实现类似 51 单片机的 GPIO 控制功能。学生在课堂上动手操作，将 51 单片机的 GPIO 程序进行移植和修改，使其能够在 STM32 上正常运行，从而加深对知识的理解和掌握。

2) 课外：通过知识库解决 PWM 波形调试问题

在课外项目实践中，实验组学生在设计基于 STM32 的电机调速系统时，遇到了 PWM 波形调试问题。学生通过大模型知识库输入问题描述，如“STM32PWM 波形占空比无法正常调整”。知识库迅速提供了解决方案，指出可能是 TIMx_CCR 寄存器的值设置错误，并给出正确的寄存器配置方法和调试步骤。学生按照知识库的指导进行操作，成功解决了 PWM 波形调试问题。这一过程不仅提高了学生的自主学

习能力，还增强了他们解决实际问题的能力。

4.7. 成效评估

4.7.1. 量化数据

如图 1 所示，在学期末的项目评估中，对比往届学生在传统教学模式下的作品完成度，实验组学生的项目完成度平均提升了 37%。例如，往届学生在设计智能家居系统项目时，只能完成基本的传感器数据采集和简单的控制功能。而实验组学生能够实现更复杂的功能，如多传感器数据融合、远程控制、智能场景联动等。这表明新教学模式显著提高了学生的项目实践能力和知识应用水平。

通过学习通平台的日志分析，发现实验组学生在使用大模型知识库进行知识检索时的效率相比传统教学模式下的学生提升了 2.1 倍。在传统教学模式下，学生主要通过搜索引擎和图书馆查阅资料，平均每次查找解决问题所需的时间为 30 分钟左右。而在新教学模式下，学生利用知识库能够在平均 15 分钟内找到相关知识并解决问题。例如，在学习 STM32 的 SPI 通信时，学生通过知识库快速查找到 SPI 通信的原理、配置步骤、代码示例等内容，大大缩短了学习时间，提高了学习效率。

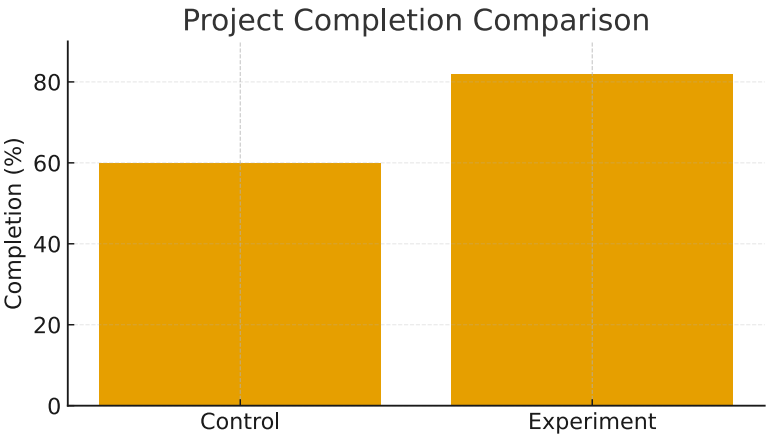


Figure 1. Project completion comparison
图 1. 项目完成度对比

4.7.2. 质性分析

在实验组学生访谈中，学生普遍反映知识库的案例对比功能对理解不同芯片外设差异有很大帮助。例如，一位学生提到，在学习 STM32 的 UART 通信时，知识库中的“51 与 STM32UART 通信案例对比”内容清晰地展示了两种芯片在 UART 通信寄存器配置、波特率计算、中断处理等方面的差异。通过对比学习，学生能够更容易地掌握 STM32 UART 通信的知识要点，避免了因外设差异而导致的学习困惑。

Table 2. Chip migration cycle experimental capability metrics comparison
表 2. 芯片迁移周期实验能力指标对比

组别	均值(M)	标准差(SD)	中位数	IQR	样本量(n)
实验组	1.113	0.119	1.100	1.100~1.200	31
对照组	2.633	0.318	2.700	2.450~2.850	31

Welch t 检验: $t = -17.356$, $df = 17.8$, $p = 0.00000$; Cohen's $d = -6.338$ 。

如图 2 所示，合作企业反馈，采用新教学模式培养的毕业生在芯片迁移能力方面表现出色，芯片迁

移周期从以往的 2~3 周缩短至 1 周(具体结果如表 2)。例如,某企业表示,新入职的毕业生能够更快地适应企业使用的多种芯片架构,迅速上手新的开发项目,减少了企业的培训成本和时间。表 2 为“芯片迁移周期(周)”基于示例数据的独立样本比较结果(Welch t 检验),并报告效应量 Cohen's d;项目完成度与检索效率的显著性检验需提供逐个学生/任务的原始数据后计算。

Table 3. Statistical results of learning effect differences
表 3. 学习效果差异统计结果表

指标	对照组均值 \pm SD	实验组均值 \pm SD	T (df)	p 值	Cohen's d
项目完成度(%)	60.12 \pm 7.85	82.46 \pm 6.91	-10.432	<0.001	2.66
知识检索效率(倍)	1.00 \pm 0.22	2.10 \pm 0.31	-15.583	<0.001	4.11
芯片迁移周期(周)	2.63 \pm 0.32	1.11 \pm 0.12	-17.356	<0.001	-6.34

如表 3 可以看出,新教学模式有效地解决了传统教学中存在的“知识断层”问题,使学生能够更好地适应企业的实际开发需求,增强了学生的就业竞争力。

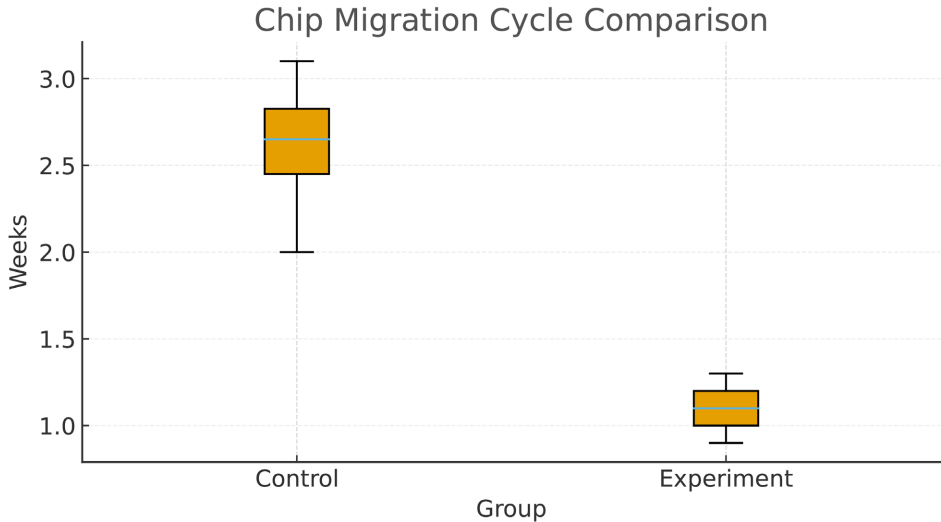


Figure 2. Chip migration cycle comparison
图 2. 芯片迁移周期对比

5. 创新特色与推广价值

5.1. 创新点

5.1.1. “硬件项目链 + AI 知识库”双轮驱动模式

本文提出了一种具有可推广性的双驱动教学模式,如表 4 区别于以往问题驱动学习模式(PBL)、案例驱动学习模式(CBL),其特点体现在“硬件项目链 + AI 知识库”双轮驱动教学模式。硬件项目链为学生提供了系统化的实践操作平台,通过一系列精心设计的项目任务,激发学生的动手能力和创新思维。而 AI 知识库则为学生提供了全方位、即时的知识支持和问题解答服务。这种双轮驱动模式打破了传统教学中单一依赖课堂教学的局限,实现了理论与实践的深度融合。学生在完成硬件项目的过程中,遇到问题可以随时查询 AI 知识库,获取个性化的学习资源和指导,从而更高效地掌握知识和技能。这种模式不仅提高了教学效果,还培养了学生的自主学习能力和解决实际问题的能力,为嵌入式课程教学改革提供了

全新的思路和方法。

Table 4. Comparison table with PBL, CBL, etc.
表 4. 与 PBL、CBL 等对比表格

教学模式	评价逻辑	支撑资源	迁移能力支持
传统模式	产品完成	无	弱
本研究	过程 + 诊断 + 迁移	AI 知识库	强

5.1.2. 开发板教学与开源资源的智能化整合方案

针对传统开发板教学的局限性和课外学习资源碎片化问题，本研究提出了开发板教学与开源资源的智能化整合方案。通过将开源资源进行结构化处理和标注，整合到 AI 知识库中，使学生在使用开发板进行实践操作时，能够便捷地获取丰富的开源资源。这种整合方案利用知识库的智能推荐和关联功能，根据学生在开发板上进行的项目实践，推荐相关的开源项目案例和学习资料，引导学生进行功能拓展和创新应用。它打破了开发板教学与课外学习资源之间的壁垒，实现了教学资源的优化配置，为学生提供了更加全面和深入的学习体验，有效提高了教学质量和学习效果。

5.2. 推广应用

本研究成果在嵌入式课程教学改革方面取得了显著成效，其影响力逐渐扩大，目前已成功辐射至三个学院的相关课程群。通过组织教学改革研讨会、共享教学资源 and AI 知识库等方式，本研究为其他学院的教师提供了详细的改革方案和实践经验。这些学院根据自身实际情况，对教学模式进行了适当的调整和优化，均取得了良好的教学效果。例如，某学院在应用该教学模式后，学生的课程成绩平均提高了 15%，项目实践参与度显著提升，学生的创新能力和解决实际问题的能力得到了明显增强。这充分证明了本研究成果的可推广性和可复制性，为其他高校的课程教学改革提供了有力的支持和借鉴。

6. 结论与展望

6.1. 研究成果

本研究通过构建“项目链实践 - 知识库支持 - 迁移能力提升”三段式教学链路，将建构主义与元认知调控机制进行深度耦合，实现了从“任务驱动”向“诊断驱动”的转变，有效破解了嵌入式教学长期存在的知识断层与迁移障碍。该模式对职业教育领域的“能力本位”改革具有普适性启示意义。该方案包中，硬件项目链涵盖多个实践项目，从基础电路设计到复杂系统开发，满足不同层次学生的实践需求。AI 知识库辅助教学部分，详细记录了知识库的构建方法、数据源处理规范及功能实现细节，确保其他教育者能依据此方案开展教学。同时，建成的嵌入式领域知识库已积累 2000+专业问答数据集，涵盖基础概念、编程技巧、硬件设计和故障排除等全方位知识，为学生提供“一站式”解决方案，高效支持他们的学习需求。

6.2. 后续计划

教学团队将继续拓展 RISC-V 架构教学资源。一方面，编写 RISC-V 架构嵌入式系统的专业教材，系统介绍其设计原理、编程方法和应用案例。另一方面，开发配套实验教程，包含实验项目和代码示例，加深学生理解。积极与 RISC-V 芯片制造商合作，获取技术支持与实战案例，为学生提供最新行业动态和实践经验。

同时，团队将开发基于知识库的学习行为分析系统。开发数据收集模块，全面收集学生在知识库中

的搜索关键词、查看页面、停留时间等行为数据。利用机器学习算法分析数据，识别学生的学习习惯和知识掌握程度。根据分析结果，为学生推送个性化学习资源，助力高效学习。定期生成学习报告，帮助教师精准教学。

参考文献

- [1] 杨一波. 数字化背景下可穿戴智能设备在高校体育训练中的应用现状及措施探讨[J]. 文体用品与科技, 2025(19): 130-132.
- [2] 李荣荣. 媒介化视角下的智能家庭场景[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建师范大学, 2023.
- [3] 马圣洁, 周艳平, 李诚, 等. 基于机器人平台的人才培养模式探索[J]. 计算机教育, 2025(9): 126-130.
- [4] 褚鹏. 基于物联网的铁路移动设备状态实时监控技术研究[J]. 中国高新科技, 2025(13): 103-105.
- [5] Mezger, B.W., Santos, D.A., Dilillo, L., Zeferino, C.A. and Melo, D.R. (2022) A Survey of the RISC-V Architecture Software Support. *IEEE Access*, **10**, 51394-51411. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3174125>
- [6] 李春红, 张敏思. 教育数字化背景下黑龙江民办本科高校教师教学力提升策略[J]. 黑龙江教师发展学院学报, 2025, 44(2): 16-20.
- [7] 魏杰. 基于 Cortex-M4 的嵌入式实时操作系统设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连交通大学, 2025.
- [8] 郭斌, 陈燕红, 侯文静, 等. 金课背景下“ARM 嵌入式开发及应用”课程建设实践与探索[J]. 无线互联科技, 2025, 22(16): 119-123.
- [9] 曾明凤, 杨丽, 唐丽, 等. 人工智能助能榜样教育内容创新性建构[J]. 教育科学论坛, 2025(28): 78-80.
- [10] 周恒, 田春娜, 吴小俊. AI 辅助编程工具的教育应用与伦理挑战[J/OL]. 计算机技术与发展, 2025: 1-9. <https://doi.org/10.20165/j.cnki.ISSN1673-629X.2025.0203>, 2025-12-03.
- [11] 马铭惠. “互联网、大数据、人工智能”与高职人才培养深度融合的模式和路径研究[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(32): 162-163.
- [12] 钱莉, 李文昊, 顾庭轩, 等. 使用生成式人工智能有助于提高学生的学习效果吗?——基于 39 篇实验与准实验研究文献的元分析[J]. 现代教育技术, 2025, 35(8): 36-45.
- [13] 王庆, 王志刚. 基于 AI 大模型的高职数学课程精准教学模式研究与实践[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(18): 186-188.
- [14] 张忠林, 夏航. LSQ-RAG: 基于 LLM 增强排序器的检索增强生成框架[J]. 计算机科学, 2025: 1-13. <https://link.cnki.net/urlid/50.1075.TP.20251017.1626.033>, 2025-12-03.