

《材料热力学》课程知识图谱的构建与应用

王锦程 李俊杰 王志军

西北工业大学材料学院, 陕西 西安 710072

[摘要]《材料热力学》是材料科学与工程专业的重要基础课程,其核心任务在于帮助学生理解能量转化与物质平衡的基本规律。然而传统教学模式下,知识点呈线性、碎片化分布,学生难以建立系统的知识网络。随着智慧教育与人工智能技术的发展,基于知识图谱的课程体系构建成为教学改革的新方向。文中结合《材料热力学》课程教学实践,探讨课程知识图谱的构建方法与教学应用,介绍知识点提取、本体建模、语义关系设计、图谱存储及可视化的全过程,并通过智慧教学平台实现学生个性化学习与教师教学决策支持。研究表明,知识图谱技术能显著提升课程知识结构的可视化程度与学习效率,为工科课程数字化与智能化改革提供可复制路径。

[关键词]材料热力学; 知识图谱; 智慧教学; 教育技术; 课程改革

DOI: 10.33142/fme.v6i9.17834

中图分类号: G301

文献标识码: A

Construction and Application of the Knowledge Graph for the Course of Materials Thermodynamics

WANG Jincheng, LI Junjie, WANG Zhijun

School of Material Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi, 710072, China

Abstract: Thermodynamics of Materials is an important foundational course for materials science and engineering majors, with the core task of helping students understand the basic laws of energy conversion and material equilibrium. However, under the traditional teaching mode, knowledge points are distributed linearly and in fragments, making it difficult for students to establish a systematic knowledge network. With the development of smart education and artificial intelligence technology, the construction of a curriculum system based on knowledge graphs has become a new direction for teaching reform. Based on the teaching practice of the course Thermodynamics of Materials, this article explores the construction method and teaching application of the course knowledge graph, introduces the entire process of knowledge point extraction, ontology modeling, semantic relationship design, graph storage, and visualization, and realizes personalized learning for students and teaching decision support for teachers through a smart teaching platform. Research has shown that knowledge graph technology can significantly improve the visualization level and learning efficiency of course knowledge structure, providing a replicable path for the digital and intelligent reform of engineering courses.

Keywords: thermodynamics of materials; knowledge graph; smart teaching; educational technology; curriculum innovation

《材料热力学》是材料科学的重要基础课程之一,是材料类专业学生的核心必修课程^[1]。早在 20 世纪 60 年代,美国麻省理工学院(MIT)在成立材料系时便将《材料热力学》设为其首门专业课^[1],国内一流高校的材料专业也大多开设该课程。然而,传统教学模式下教学内容往往线性碎片化,知识点缺乏有机联系,学生难以构建系统的知识网络^[2]。大量抽象概念和公式缺乏直观关联,导致学习难度大、理解障碍多。亟需一种工具和方法来将分散的知识点有机整合,帮助学生形成体系化认知。知识图谱(Knowledge Graph)作为新兴的结构化知识表示技术,有望突破传统教学局限^[1]。基于此背景,本文将知识图谱技术应用于《材料热力学》课程,探讨课程知识图谱的构建方法与应用价值,以期改善知识碎片化难题,为智慧教育提供新范式。

课程知识图谱是一种结构化、可视化的课程知识网络,描述了课程全部知识点、教学资源、教学活动和测评方式

之间的关联^[3]。它将课程内容与相关资源以节点和关系形式链接起来,直观展现课程知识体系^[3]。例如,在《材料热力学》课程知识图谱中,“热力学第一定律”可以作为实体节点,其属性包括定义、公式等,与其它实体(如“能量守恒”“内能”“功”“热量”)通过语义关系相连^[1]。通过这些关联,知识图谱将孤立知识点编织成可视化的知识网络,使课程的知识结构和逻辑联系清晰呈现^[3]。近年人工智能的发展正推动知识图谱构建与应用的智能化,知识图谱与生成式 AI 的协同成为新热点。大规模语言模型(如 ChatGPT、DeepSeek 等)具备强大的语义生成能力,但缺乏精确的领域知识和推理能力^[3];而知识图谱提供结构化的背景知识和逻辑约束,将二者结合有望构建更智能的教学系统^[4]。知识图谱为教育信息化提供了关键支撑,它将复杂知识结构化表示并融入教学全过程,代表了智慧教育的重要发展方向。本文结合《材料热力学》课程教学实践,探讨课程知识图谱的构建方法与教学应用,介绍知识

点提取、本体建模、语义关系设计、图谱存储及可视化的全过程,并通过智慧教学平台实现学生个性化学习与教师教学决策支持。

1 知识图谱的构建思路与步骤

1.1 构建思路

《材料热力学》课程知识图谱的构建以“知识—问题—能力—资源”为核心框架,如图1所示,旨在通过系统化和可视化的方式整合课程内容,促进学生对抽象热力学概念的理解与应用。该框架遵循从知识获取到能力生成的学习路径设计,体现了“以学生为中心、以问题为驱动”的教学理念。

首先,知识体系是图谱的基础层,涵盖热力学的核心概念、定律、状态函数及其相互关系。通过节点间的逻辑关联,学生能够直观地把握知识的结构与演化路径,形成系统的认知框架。其次,问题体系是知识与能力之间的桥梁。以课程中的典型问题(如化学势、相平衡计算、自由能变化分析等)为核心,将知识点与具体应用场景相连,引导学生通过问题解决实现知识迁移与能力生成。第三,能力体系以行业需求和学习目标为导向,通过对学生分析推理、模型构建与数据处理等能力的分层提炼,形成可视化的能力模型。最后,教学资源体系整合教材、视频、课件与拓展资料,为学生自主学习和教师教学提供多维支撑,实现知识与资源的双向联动。

1.2 构建步骤

构建课程知识图谱一般包括以下几个步骤:知识点提取与本体建模、语义关系设计、图谱生成与存储,以及可视化呈现与系统架构搭建。下面以《材料热力学》课程知识图谱构建为例,分别加以阐述。

(1) 知识点提取与本体建模

首先需从课程内容中抽取知识点,即确定图谱的节点集合。以现行教材和教学大纲为依据,梳理出核心概念和知识单元。例如,本课程的关键知识点实体可包括“热力学第一定律”“能量守恒”“内能”“功与热量”“热

力学第二定律”“熵”“吉布斯自由能”“相律(相图)”“相变驱动力”等。这一过程通过人工与智能结合完成:教师人工列出知识点清单的同时,引入自然语言处理(NLP)技术从教材和讲义中自动识别术语。在获得高质量知识点集合后,设计课程本体(Ontology),即定义知识点的层次结构和属性。常采用自顶向下的层次化本体设计:构建“课程层—知识单元层—知识点层”的三层结构。具体而言,根据课程教学目标和章节内容,将教材章节归并为若干知识单元,每个单元下细化为具体知识点,并明确知识点之间的先后关系(如基础概念先于高级概念)、包含关系(如总括与分支)、对比关系等^[3]。这种本体框架凸显知识的逻辑组织,有助于学生理解知识间的从属和关联。

(2) 语义关系设计

在确定知识点及本体层次后,需要设计知识点之间的语义关联关系,即图谱的“边”类型。关系设计应结合课程知识的内在逻辑和教学认知规律。通常可分为基础层面的通用关系和本课程特有的定制关系两类^[4]。基础通用关系例如:“先修/依赖”(prerequisite)表示某知识点是另一知识点的前置基础,“包含/整合”表示整体与部分的关系,“对比”表示概念差异关系,“实例”表示具体案例等。定制关系则针对课程特点进行补充,如材料热力学中可能定义“递进关系”^[5]、“顺序关系”“共生关系”^[3]等。这些关系类型在课程图谱构建前应形成关系词典,确保后续标注关系时有统一标准^[3]。低层次知识点与高层次知识点之间往往存在“掌握基础→应用提升”的递进关系,对应图谱中的学习路径关系;而不同类别知识点(如概念性知识与程序性知识)之间可设置“关联”关系,以强调概念理解对解题方法的支撑。此外,结合材料热力学学科特点,可以定义如“热力学定律→推导公式”的推导关系,“理论概念→工程应用”的应用关系等。通过引入认知分类和课程逻辑设定关系类型,能够让图谱更好地表达知识之间的教学语义。



图1 《材料热力学》课程知识图谱构建的“知识-问题-能力-资源”架构

(3) 图谱生成与存储

在知识点和关系类型确定后,即可将课程知识实例化为知识图谱。主要步骤包括:①三元组生成:根据设计的本体和关系字典,将知识点实体两两建立语义连接,形成“三元组”知识记录。例如,可生成“《热力学第一定律》-定义→“能量守恒””,“《相图热力学》-应用→“材料设计””等三元组。可以利用本体推理发现一些隐含关系,例如通过规则推理自动添加“热力学第一定律”对“内能”的影响关系等,使图谱更趋完备。②数据导入存储:选择合适的图数据库来存储这些三元组。这样《材料热力学》课程的知识要点及其关联关系就被有机地映射到图数据库中。图谱存储完成后,系统即拥有一个可查询、可扩展的课程知识网络,为上层应用提供支持。图2所示为最后形成的《材料热力学》课程知识点关系示意图及其局部细节图。

(4) 可视化呈现与系统架构

图谱构建完成后,进一步搭建前后端系统将其应用于教学实践。前端主要负责可视化交互,后端负责业务逻辑和数据服务。知识点显示为节点,可用不同颜色或大小表示知识类型或权重,关系显示为连线并可附加标签说明关系类型。学生或教师可以拖拽、点击节点来查看详细信息,比如点击“吉布斯自由能”节点,界面侧栏会展示其定义、相关公式、应用场景,以及与之关联的教学视频、例题等资源。由前端发出查询请求(例如学

生在搜索框输入“相律”),后端接收后通过调用数据库查询得到结果子图或路径,然后将结果返回前端进行渲染。此外,后端还负责监控学生的学习行为数据(如节点点击、浏览时长、答题成绩),将其存入数据库用于学习分析。系统将学生测验成绩等数据映射到知识图谱上,使教师能够直观看到哪些知识点普遍掌握较弱,从而针对性调整教学^[6]。最终形成的系统架构包括数据层(课程内容及资源)、模型层(本体和知识图谱构建)和应用层(面向学生和教师的应用功能)。这一架构将课程内容、知识图谱和教学应用有机结合,打造出一个集知识管理与智能服务于一体的智慧教学平台。

2 应用场景

构建好的《材料热力学》课程知识图谱可以在教学中创造多种应用场景,以提升学生自主学习效率和教师教学质量。下面详细阐述几项典型的应用实践路径:

(1) 学生个性化学习路径

知识图谱帮助学生打破章节顺序的限制,实现可视化、自主化学习。系统根据学生测验数据与节点访问频率自动标识知识点掌握情况:绿色为“已掌握”,灰色为“未学习”。系统可根据学习轨迹生成个性化路径,如从“热力学第一定律→第二定律→熵→吉布斯自由能→相图”。当检测到某节点学习困难时,系统推送相关视频、题库与拓展案例,实现“精准补弱”。这种动态学习路径让学生清晰了解自身知识状态与进度,提升学习动力与效果。

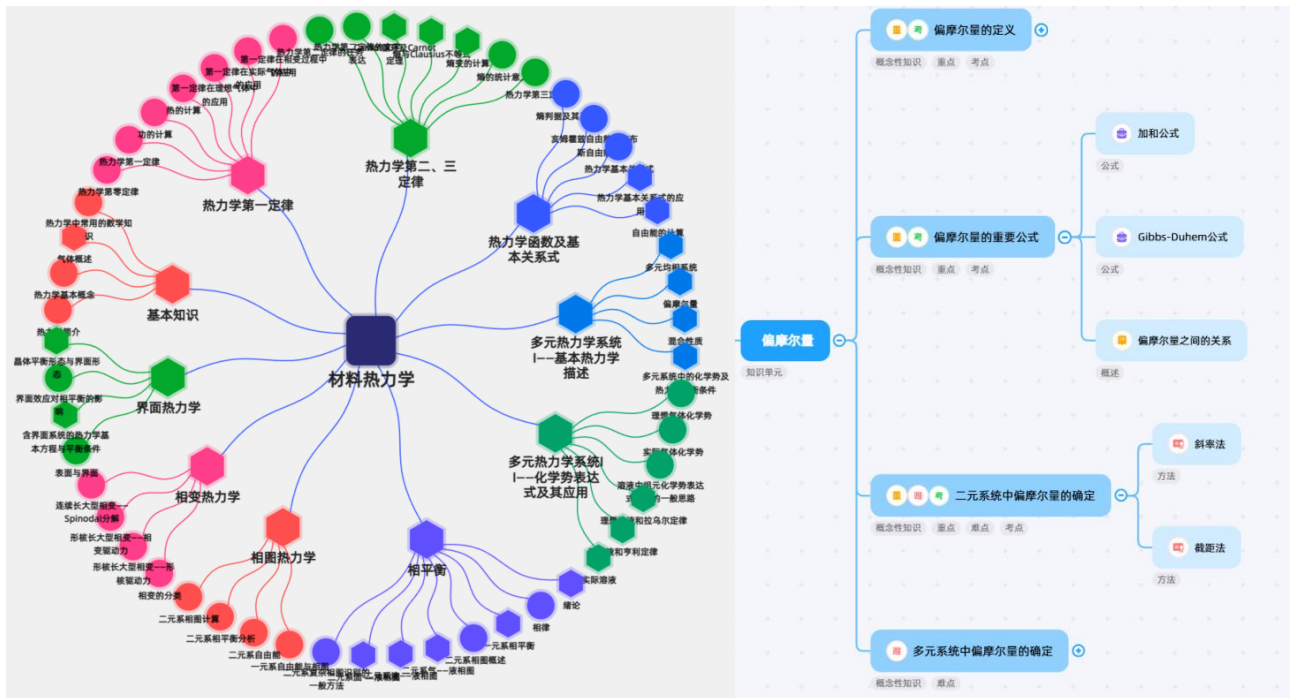


图2 《材料热力学》课程知识点关系示意图及其局部细节图

（2）教师教学与资源管理

教师端可利用知识图谱实现课程设计与资源监控。首先，系统自动生成课程知识结构图，便于教师检查教学覆盖率，识别知识盲区。其次，知识点节点与教材章节、课件、视频、测试题库一一对应，教师可快速整合教学资源，构建多模态课程包。此外，通过学习数据统计，教师可分析学生对各知识点的掌握度，及时调整授课策略。例如，当系统显示“熵”的掌握度较低时，教师可增加该部分的讨论与教学，实现数据驱动的精准教学。

（3）智能推荐与学情分析

结合学习行为数据，系统可进行智能资源推荐与群体学情分析。学生端基于掌握度矩阵匹配相似学习者，推荐适合的学习资源；教师端则可查看知识点热力图，分析全班学习瓶颈。通过可视化仪表盘，教师可识别关键知识点的平均掌握度及其影响链条，如“第二定律→熵→自由能”路径上的衔接弱点，从而优化教学设计。学情分析结果还可生成报告，为课程改进提供客观依据。

3 结论与展望

本文从教育技术视角出发，提出《材料热力学》课程知识图谱的构建方案与教学应用框架。通过知识点提取、本体建模、语义关系设计、图谱生成与可视化展示，实现了课程知识体系的系统化与可视化。结果表明，知识图谱不仅能帮助学生构建完整的知识网络，还能辅助教师开展数据化教学与智能评估，显著提升课程教学质量。未来工作将聚焦以下方向：（1）图谱动态演化与 AI 融合：结合大语言模型，实现教材更新自动识别与知识图谱迭代；（2）跨课程知识网络构建：联通《材料科学基础》《相变原理》等课程，实现跨学科知识共享；（3）智能助教系统：将知识图谱与生成式 AI 结合，构建能回

答学生问题、推送个性化任务的虚拟助教系统。随着人工智能与教育技术的深度融合，课程知识图谱将在高校智慧教学中发挥更广泛的支撑作用。

基金项目：西北工业大学 2025 年度教育教学改革研究项目（《材料热力学》课程知识图谱的构建与应用）及 2025 年校级本科课程建设项目（《材料热力学》课程）。

【参考文献】

- [1]王锦程,李俊杰,吴镭.材料热力学[M].北京:机械工业出版社,2024.
 - [2]崔岩,张青,罗宝晶,等.新工科背景下 PBL 教学法在材料热力学课程中的应用探索[J].工业技术与职业教育,2023,21(3):55-58.
 - [3]张维.基于知识图谱的课程知识体系构建[J].信息与电脑,2025,37(19):30-32.
 - [4]周海.物理化学 I 课程知识图谱设计与建设初探[J].大学化学,2026(41):1-3.
 - [5]张涛,刘红.材料力学课程知识图谱的构建与应用[J].力学与实践,2024(4):833-840.
 - [6]张杨.智慧教育中基于大语言模型的课程内容知识图谱构建与推荐研究[D].四川:四川师范大学硕士学位论文,2024.
- 作者简介：王锦程（1972—），男，汉族，西北工业大学材料学院教授，主要从事凝固科学相关的科学研究工作及主讲《材料热力学》课程；李俊杰（1982—），男，汉族，西北工业大学材料学院教授，主要从事多尺度材料模拟相关的科学研究工作及主讲《材料热力学》课程；王志军（1984—），男，汉族，西北工业大学材料学院教授，主要从事先进金属材料设计相关的科学研究工作及主讲《材料热力学》课程。