ISSN：3080-2660
EISSN：3080-2679

农林院校《物理化学》知识图谱模块化构建——以胶体与界面化学为例

徐 华 李英玲 穆筱梅 王蔚琳 叶荣达 郝 丽

仲恺农业工程学院化工与材料学院，广东 广州 510000

摘 要：针对农林院校《物理化学》课时压缩与专业分化双重压力下的教学困境，提出模块化知识图谱构建方案。以胶体与界面化学板块为例，构建“理论概念—表征方法—农林应用”三层贯通架构，面向多专业以模块权重、场景挂载、深度分层三维差异化配置，区分核心模块与标志模块，实现“共享骨架、专业配置”。以资环专业为例给出图谱样图，为农林院校物理化学知识图谱建设提供可操作的试点路径。

关键词：知识图谱；模块化；胶体与界面化学；农林院校；物理化学

DOI：10.64649/yh.jydk.issn3080-2660.202611026

0 引言

物理化学作为化学学科的理论基石，在化学、化工、材料、能源及环境等领域具有不可替代的地位[1]。在传统教学中，教师难以将抽象理论转化为学生易理解的具体实例，学生则因记忆负担重、应用能力不足、个性化学习需求难以满足而感到学习困难[2]。在线课程虽在一定程度上拓展了学习资源，但海量信息带来的“认知超载”等问题日益凸显，学生“挂机学习”现象屡见不鲜，综合运用能力偏低[3]。随着课程体系改革，除化学类专业外，物理化学的开课专业和授课时长逐渐缩减。以仲恺农业工程学院为例，非化工专业《物理化学》学时已压缩至 48 学时。课时压缩的直接后果是教学内容的结构性取舍，化学热力学因其在后续课程中的基础地位而占据最大比重，而与农林学科密切相关的胶体与界面化学则被压缩为若干孤立章节，表面张力、双电层、DLVO 理论等内容往往仅作概念性介绍，表征方法与农林应用场景的关联被大幅删减。这种内容配置上的错位，使学生在有限的课时内既难以建立胶体与界面化学的理论框架，更无从体会其与土壤、农药、食品、林业等专业问题的内在联系，“学不懂—不想学—更学不懂”的恶性循环由此形成。

知识图谱是以节点—边结构系统化、网络化、可视化展示课程知识点及其内在关联的语义知识库[4]。知识图谱作为一种结构化知识表示与组织工具，以其在信息整合、知识发现和智能推理方面的独特优势，为农林院校非化工类专业物理化学课程教学的数字化转型提供了新的技术路径[5,6]。但本文的核心主张并非泛泛讨论知识图谱的一般价值，而是聚焦“模块化”这一特定构建策略，如何将胶体与界面化学的理论骨架拆解为可独立调用、可组合扩展的知识单元，使同一套共享骨架能够通过模块权重、应用场景挂载与深度分层的差异化配置，精准适配农林院校多专业的教学需求。这一策略试图回应的，正是课时压缩与专业分化双重压力下理论统一性与应用分散性之间的结构性矛盾。

1 知识框架与构建思路

胶体与界面化学在农林院校具有天然优势，根源在于农林科学的核心对象，土壤、植物、食品、木材、水体和大气，本质上都是胶体与界面体系。相较于综合性大学，农林院校在这一方向拥有更丰富的应用场景和更迫切的现实需求，因而具备突出的教学价值与特色建设空间，适合作为知识图谱建设的试点。本文以胶体与界面化学的核心理论为骨架，以土壤、农药、食品、林业等农林场景中的胶体与界面问题为应用关联，构建一个“理论概念—表征方法—农林应用”三层贯通的模块化领域知识图谱，作为农林院校物理化学知识图谱建设的试点与示范。

2 模块化构建方法

农林院校内部的专业分化极为显著，但理论体系却高度统一，各个领域共享同一套界面热力学与 DLVO 框架。若为每个专业单独建设一套知识图谱，成本高昂且重复严重；若强行统一，则各专业都会感到学非所用。模块化图谱的解决思路是：建立一套共享的理论概念骨架与方法接口，各专业通过“模块选择 + 应用场景挂载 + 权重配置”生成差异化的专业子图谱。共享骨架保证理论一致性，差异化配置保证专业相关性。

2.1 核心模块

可将胶体与界面化学的理论底座拆分为六个核心模块， M1 界面热力学与润湿、M2 吸附

ISSN：3080-2660
EISSN：3080-2679

与界面膜、M3 双电层与 DLVO、M4 分散体系动力学与光学、M5 Pickering 乳液与颗粒稳定化、M6 高分子絮凝与空间稳定，六模块构成共享骨架。每个模块包含标准化的概念节点、方法节点与接口定义，作为所有专业子图谱的“公共底座”。以仲恺农业工程学院农林专业为例，模块配置见表 1。

表1 专业模块配置表

专业	核心模块	标志模块	标志性应用
食品	M2、M5	M5	可食用颗粒界面工程
包装	M1、M5	M1	超疏水 / 超亲水界面构建
环工	M3、M6	M6	胶体稳定性调控的工程化操作
资环	M3、M6、M4	M3	天然土壤胶体电荷行为
给排水	M3、M6	M6	混凝 - 絮凝工艺的胶体化学
生技	M2、M5、M6	M2	蛋白质界面吸附与构象
中草药	M5、M2、M6	M5	挥发油 Pickering 乳液稳定化

不同专业共享 M1−M6 六个理论模块的骨架，差异化体现在权重配置、场景挂载与深度分层三个维度。这种“共享骨架 + 专业配置”的模块化架构，使同一套胶体与界面化学知识图谱能够精准适配农林院校多学科的教学需求，既避免了重复建设，又保证了知识供给与专业问题的精准对接。

在模块化知识图谱中，“核心模块”与“标志模块”承担不同的教学功能。核心模块回答的是“这个专业的理论底座是什么”。标志模块回答的是“这个专业的辨识度在哪里”。它是该专业区别于其他专业的特色模块，是专业身份的标签。核心模块与标志模块并非互斥，一个模块可以同时是核心模块和标志模块。当某模块同时被标记为核心与标志时，意味着它既是该专业的理论底座，又是该专业的辨识度来源。这种区分对教学实施的意义在于，核心模块决定“必须教什么、必须考什么”，标志模块决定“用什么案例讲、用什么问题牵引”。核心模块保证理论体系的完整性，标志模块保证专业培养的辨识度。两者协同，才能实现共享骨架不丢、专业特色不弱的模块化图谱建设目标。

2.2 知识单元

前文确立了 M1−M6 六个核心模块作为共享骨架。但在实际建设中，六个模块的粒度仍然偏粗，每个模块内部包含多个理论概念、多种表征方法、多个应用接口，若以模块为最小单元进行配置，不同专业之间的差异化只能停留在“选模块”的层面，无法实现更精细的“选概念”、“选方法”。因此，需要将每个核心模块进一步分解为可独立调用的知识单元，知识单元的拆分遵循概念原子性与接口标准化两条原则，分解结果如表 2 所示。

表2 知识单元拆分

单元编号		单元名称	核心概念
M1	M1-1	表面张力与表面自由能	表面张力 σ、表面自由能 G、热力学基本方程、表面张力影响因素
	M1-2	Laplace 方程与曲率效应	附加压力、Laplace 方程、毛细管现象、Kelvin 方程
	M1-3	Young 方程与接触角	Young 方程、接触角 θ
	M1-4	铺展与润湿类型	铺展系数 S、沾湿功、浸湿功、铺展功
	M1-5	物质的亚稳状态	过热液体、过冷液体、过饱和溶液、过饱和蒸汽
M2	M2-1	Gibbs 方程	Gibbs 方程、正吸附、负吸附
	M2-2	Langmuir 吸附等温式	Langmuir 单层吸附模型、吸附常数、最大吸附量
	M2-3	BET 多层吸附	BET 模型、多层吸附、比表面积测定
	M2-4	表面活性剂	阴 / 阳 / 非 / 两性离子表面活性剂、HLB 值、亲水亲油平衡
M3	M3-1	表面电荷起源	永久电荷、可变电荷
	M3-2	双电层结构	Stern 模型、扩散层、双电层厚度
	M3-3	Zeta 电位与电动现象	Zeta 电位、剪切面、电泳、电渗、流动电势
	M3-4	范德华力与 Hamaker 常数	色散力、Hamaker 常数
	M3-5	DLVO 势能曲线	总势能、势垒、临界聚沉浓度 CCC

ISSN：3080-2660
EISSN：3080-2679

M4	M4-1	Brown 运动与扩散	Brown 运动、Einstein 扩散方程、扩散系数 D
	M4-2	沉降与离心	Stokes 沉降公式、沉降平衡、离心沉降
	M4-3	Tyndall 效应与光散射	Tyndall 效应、Rayleigh 散射、Mie 散射
	M4-4	动态光散射（DLS）	流体力学半径、自相关函数、多分散指数
	M4-5	胶体稳定性光学评估	吸光度 - 时间曲线、沉积速率常数
M5	M5-1	三相接触角与颗粒润湿性	三相接触角 θ、颗粒在界面的位置、O/W 与 W/O 型
	M5-2	颗粒吸附自由能	吸附自由能、不可逆吸附
	M5-3	界面颗粒膜结构与力学	颗粒膜覆盖率、颗粒间相互作用、膜屈曲与渗透性
	M5-4	Pickering 乳液类型调控	颗粒润湿性调控、相转变
M6	M6-1	高分子吸附构型	吸附量、链段密度
	M6-2	桥联絮凝	桥联絮凝、高分子浓度效应、絮体结构
	M6-3	空间位阻稳定	空间位阻、渗透压排斥、混合自由能
	M6-4	耗散絮凝	耗散絮凝、自由高分子排斥
	M6-5	复合凝聚与静电复合	复合凝聚、静电复合、pH 与离子强度响应

2.3 设计案例——以资环专业为例

资环专业的胶体与界面化学图谱需求，围绕土壤作为天然胶体体系这一核心对象展开，其标志性不在于双电层理论本身，而在于 M3 在天然土壤胶体语境中的特定应用，永久电荷与可变电荷的区分、盐碱土板结的 DLVO 解释、胶体促进的污染物迁移等。因此，图谱设计以 M3 为深度展开的核心，M6 与 M2 作为土壤有机 – 无机复合与团聚体稳定化的支撑，M4 提供表征方法接口，设计示意图如图 1 所示。

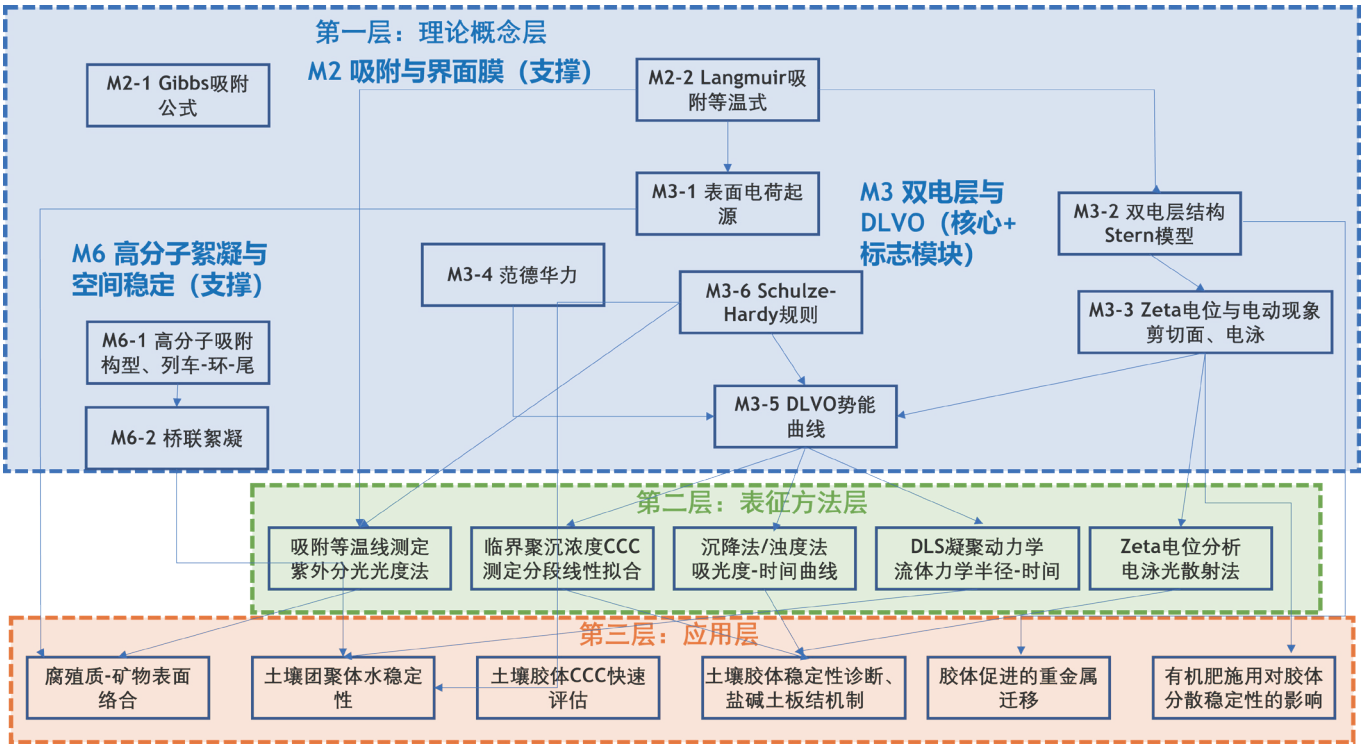


图1 资环专业的胶体与界面化学方向知识图谱设计示意图

图 1 展示了资环专业胶体与界面化学模块化知识图谱的三层贯通结构。图谱以 M3（双电层与 DLVO）为核心模块与标志模块，以 M6（高分子絮凝与空间稳定）、M2（吸附与界面膜）为支撑模块，以 M4（分散体系表征）提供方法接口，整体按“理论概念—表征方法—农林应用”三层组织，最小节点为知识单元。

理论概念层深度展开M3的六个知识单元，分别是 M3−1 表面电荷起源（永久电荷与可变电荷、IEP/PZC），M3−2 双电层结构（Stern 模型、Debye 长度），M3−3 Zeta 电位与电动现象，M3−4 范德华引力，M3−5 DLVO 势能曲线，M3−6 Schulze−Hardy 规则。表征方法层配置五个方法节点，分别是 Zeta 电位分析（电泳光散射法）、DLS 凝聚动力学、沉降法 / 浊度法、吸附等温线测定、CCC 分段线性拟合。方法节点与理论节点以“测量—被测量”关系连接，如 Zeta 电位分析对应 M3−3，DLS 对应 M3−5。农林应用层挂载六个资环专业专属应用场景，分别是盐碱土板结机制、团聚体水稳定

ISSN：3080-2660
EISSN：3080-2679

性（钙质土 vs 钠质土）、胶体促进的重金属迁移、腐殖质 / 矿物表面络合、土壤胶体 CCC 快速评估、有机肥施用对胶体分散稳定性的影响。应用节点通过“适用于”关系与方法节点连接，通过“解释—被解释”关系与理论节点连接。

3. 结语

本文以胶体与界面化学为试点，构建农林院校《物理化学》知识图谱模块化方案。核心创新在于“共享骨架 + 专业配置”，六个核心模块与 28 个知识单元构成共享底座，各专业通过模块权重、场景挂载、深度分层三维配置生成差异化子图谱，兼顾理论统一与专业适配。三层贯通架构以三类语义关系连接理论概念、表征方法与农林应用，使学生沿路径从问题反向追溯理论，实现知识记忆向迁移应用的转变。后续在资环、食品专业先行试点，以“节点填充—路径选择—闭图手绘”三层任务链评价效果，检验共享骨架是否转化为学生认知结构，为农林院校物理化学知识图谱建设提供可复制的示范路径。

参考文献：

[1] 隋铭悦 , 李明阳 , 任悦 , 等 . 四维联动模型提升高校物理化学教学质量的路径研究 [J], 广东化工 ,2026,53(7):150-153

[2] 葛明 , 周亚男 , 刘栋 , 等 . 知识图谱在物理化学课程教学中的应用 *——以热力学定律为例 [J], 化工高等教育 ,2025,42(6):38-45

[3] 施伟梅 , 廖俊招 , 李珊 , 等 . 药学专业物理化学课程“知识图谱 + 项目式”双驱教学新模式的研究与实践 [J], 赣南医科大学学报 ,2025,45(4):411-416

[4] 张国艳 , 朱万春 . 数智赋能高校教学评价改革的理论与实践——以物理化学教学为例 [J]. 高等理科教育 , 2026(3):85-92.

[5] 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 (4), 127 -132

[6] 周鑫 , 李轶楠 . 基于知识图谱的职业教育评价方法研究 [J], 工业技术与职业教育 ,2024, 22(06):27-32

作者简介：徐华（1983.05—），男，汉族，湖北洪湖人，博士研究生，研究方向：农药制剂、涂料等，教学方向：无机化学、物理化学。

项目信息：广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目“产教融合的多学科交叉‘智慧化工’人才培养体系研究与实践”（粤教高函〔2024〕30 号）；仲恺农业工程学院 2025 年校级本科教学质量与教学改革工程项目“基于‘知识图谱’的智慧课程评价体系建立——以《物理化学》为例”。