

工程化导向下土建类线性代数课程教学改革探索

王旭东

西安建筑科技大学理学院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年6月3日; 录用日期: 2026年7月21日; 发布日期: 2026年7月29日

摘 要

新工科建设背景下, 土建类专业对学生数学基础、工程建模能力与数字化分析能力提出了复合性要求。线性代数课程中的矩阵、向量、线性方程组、特征值与最小二乘法等核心内容, 不应局限于符号演算与手算训练, 而应转化为学生理解结构计算、空间定位、工程数据处理与工程决策的基础工具。针对当前土建类线性代数教学中存在的内容学科化倾向突出、工程背景弱化、计算工具应用不足以及评价方式单一等问题, 文章提出工程化导向的课程教学改革框架。该框架以土木工程典型问题为牵引, 以矩阵和向量为知识主线, 以计算工具为技术支撑, 以专业衔接为培养出口, 构建“结构矩阵基础、空间几何变换、工程数据求解”三模块递进式内容体系, 并设计“问题导入-数学抽象-软件赋能-工程反思”四步课堂教学法。通过桁架内力计算、构件坐标转换、沉降观测数据拟合等典型案例, 实现数学知识传授、工程应用能力培养、职业责任塑造与价值引领的有机融合。同时, 文章加入准实验验证方案、实施挑战与应对策略及附录化教学设计样例, 明确该框架仍需通过实验班-对照班比较、学习过程数据和质性反馈持续检验, 以增强改革结论的证据支撑和可复制性。

关键词

土建类专业, 线性代数, 矩阵与向量, 工程化教学, 课程改革

Exploration on Engineering-Oriented Teaching Reform of Linear Algebra for Civil Engineering Majors

Xudong Wang

College of Science, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi

Received: June 3, 2026; accepted: July 21, 2026; published: July 29, 2026

Abstract

Under the background of emerging engineering education, civil engineering majors are required to have comprehensive abilities in mathematical foundation, engineering modeling and digital analysis. The core contents of linear algebra, including matrices, vectors, systems of linear equations, eigenvalues and the least-squares method, should not be limited to symbolic manipulation and manual calculation. Instead, they should be transformed into fundamental tools for students to understand structural computation, spatial positioning, engineering data processing and decision-making. In view of the prominent problems in current teaching, such as discipline-centered content, weak engineering context, insufficient application of computational tools and single assessment method, this paper proposes an engineering-oriented teaching reform framework for linear algebra courses. Guided by typical civil engineering problems, organized by matrices and vectors, supported by computational tools and oriented toward professional connection, the framework constructs a progressive three-module content system consisting of “structural matrix foundation, spatial geometric transformation and engineering data solution”, and designs a four-step classroom teaching method of “problem introduction-mathematical abstraction-software empowerment-engineering reflection”. Through typical cases such as truss internal force calculation, component coordinate transformation and settlement observation data fitting, the organic integration of mathematical knowledge teaching, engineering application ability training, professional responsibility shaping and value guidance is realized. In addition, this paper supplements a quasi-experimental verification design, an analysis of implementation challenges and countermeasures, and an appendix-based teaching design example, emphasizing that the framework should be continuously examined through comparisons between experimental and control classes, learning-process data and qualitative feedback.

Keywords

Civil Engineering Majors, Linear Algebra, Matrices and Vectors, Engineering-Oriented Teaching, Teaching Reform

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. 研究背景与现实问题

线性代数是土建类专业公共数学课程体系中与高等数学并列的核心基础课程，其知识体系不仅直接支撑材料力学、结构力学、土力学、工程测量、结构动力学及有限元分析等后续专业课程的学习，更是学生未来从事工程设计、施工管理、智能建造和基础设施运维等工作中开展数学建模与数据分析的必备工具。随着智能建造、数字孪生、BIM 技术、结构健康监测及工程大数据技术的快速发展，土建行业对矩阵运算、向量表示、线性方程组求解、坐标变换、特征值分析与数据拟合等数学工具的需求日益凸显 [1]-[3]。

然而，当前土建类线性代数教学与专业人才培养需求之间存在明显脱节。一方面，课堂教学普遍遵循教材章节逻辑展开，过度强调概念、定理、公式的完整性与推导的严谨性，工程情境引入不足，导致学生难以建立矩阵、向量与结构计算、空间几何和工程监测之间的内在联系。普遍将线性代数视为“应

试课程”而非“专业工具”。另一方面，教学过程仍以教师单向讲授和手算技巧训练为主，对 MATLAB、Python、Excel、GeoGebra 等数值计算与可视化工具的应用严重不足，学生难以完成从“会算一道题”到“会建立工程问题数学模型”的能力迁移[4]-[6]。

从土建类专业人才培养目标看，线性代数教学不应仅满足基础运算训练，还应帮助学生建立工程问题意识、数量化表达能力、模型化求解思维以及严谨负责的职业态度。尤其在结构安全、基础沉降、构件定位和工程监测等场景中，数学计算结果往往关系到工程质量与人民生命财产安全[5]-[8]。因此，如何将抽象线性代数知识转化为土建类学生可理解、可迁移的工程工具，是当前课程改革亟待解决的核心问题。

1.2. 核心矛盾

当前土建类线性代数教学的核心矛盾集中体现在三个方面：

其一，学科体系完整性与专业应用指向性的失衡：传统教学过度追求数学学科自身的逻辑严谨性，孤立地讲解定义推导与公式演算，忽视了土建专业的应用需求。学生将矩阵视为符号表格、向量视为空间计算公式、特征值视为抽象代数运算，未能与杆系结构平衡方程、坐标转换、振型分析及工程数据处理建立稳定的认知关联，导致学习动机不足，后续专业课程中难以主动调用数学工具。

其二，手算技巧训练与工程建模能力培养的错位：土建工程问题普遍具有变量多、数据量大、过程复杂及结果需验证的特点，单纯依靠手算无法体现工程计算的真实逻辑。学生即便掌握了线性方程组求解方法，也未必理解节点平衡方程组的建立过程；即便会计算特征值，也未必知晓其与结构动力特性的内在联系；即便能套用最小二乘公式，也未必能解释沉降观测数据拟合中的误差来源与工程意义。

其三，结果性评价与能力发展评价的不协调：传统以期末考试为主的结果性评价，仅能检验学生对概念、公式与计算过程的掌握程度，无法反映学生在工程问题抽象、计算工具使用、结果解释、团队协作及职业责任意识等方面的发展。若评价仍围绕标准题型与手算结果展开，学生的学习行为将持续聚焦于“背公式、套步骤、刷题型”，难以形成面向复杂工程问题的深度学习[9]-[11]。

上述矛盾的提出并非单纯来自经验判断，而是基于三类依据：第一，政策与产业依据，即新工科建设、智能建造和工程数字化转型对土建类人才的数据分析、模型表达和工具应用能力提出更高要求；第二，课程链条依据，即结构力学、工程测量、土力学、有限元分析等后续课程普遍依赖矩阵方程、向量变换、特征值分析和数据拟合等线性代数工具；第三，教学诊断依据，即可通过课前基础测验、模块任务完成质量、学生学习反思、后续课程教师反馈等过程性证据检验学生是否真正实现从“会做线性代数题”到“会用线性代数分析工程问题”的迁移。因此，本文将“课堂观察 - 文献分析 - 课程链条需求 - 后续实证验证”作为问题提出和改革评价的共同依据。

1.3. 解决思路

针对上述问题，本文以土建类专业线性代数课程为改革对象，提出工程化导向的教学改革思路。所谓工程化导向，并非削弱数学理论的严谨性，而是在保证基本概念、基本方法和基本运算训练的基础上，将知识组织方式、课堂活动方式和学习评价方式重新嵌入土建工程问题情境，使学生在真实或准真实的工程任务中理解线性代数知识的来源、用途与边界。

1.4. 文献综述与理论定位：PBL、OBE 与计算思维的本地化改造

从国际工程教育研究看，本研究的改革逻辑与 PBL、OBE 和计算思维教育具有内在关联，但又不是对既有理论的简单移植。PBL 强调以真实问题或项目组织学习过程，相关综述表明，其优势在于促进学生在真实情境中整合知识、技能、价值和专业责任[12][13]。本文借鉴 PBL 的问题情境与任务驱动思想，但将问题规模控制在线性代数课堂可承载的“微任务”层面，如桁架内力、坐标转换和沉降拟合，避免

直接引入过大工程项目导致数学目标被弱化。

OBE 强调以可测量的学习产出反向设计课程目标、教学活动与评价方式,尤其重视课程目标与毕业要求之间的映射关系[14]。本文的工程化框架将“矩阵表达能力、空间变换能力、工程数据求解能力、结果解释能力”作为线性代数课程层面的学习产出,并通过模块任务、软件实践报告和综合项目进行证据化评价,这实质上是对 OBE 理念在土建类线性代数课程中的本地化应用。

计算思维教育强调抽象、分解、算法设计、调试与迭代等能力培养,在高等教育 STEM 课程中的价值日益受到关注[15]。本文中的“软件赋能”并非单纯增加工具操作,而是让学生经历“工程问题分解-矩阵模型构造-算法或软件求解-结果验证与反思”的计算思维过程。与一般计算思维课程不同,本文将计算思维嵌入土建专业情境,使其服务于结构分析、空间定位和工程数据解释。

由此可见,本文的理论贡献不在于提出全新的教育理论,而在于将 PBL 的真实问题导向、OBE 的成果反向设计和计算思维的算法化问题解决路径,嵌入土建类线性代数课程的知识结构和专业课程链条之中,形成“工程问题牵引-线性代数抽象-软件工具求解-工程责任反思”的本地化教学框架。

具体而言,改革以“土建工程问题牵引”为起点,将杆系结构、空间定位、结构动力、沉降观测、稳定判断等专业场景转化为可教学、可计算、可评价的数学任务;以“矩阵和向量”为知识主线,打通线性方程组、线性变换、特征值、二次型和最小二乘法之间的内在联系;以“计算工具”为技术支撑,引导学生使用软件完成可视化演示、数值求解和结果验证;以“专业衔接”为培养出口,使课程学习成果能够有效支撑结构力学、工程测量、土力学、有限元和工程监测等后续课程。最终形成“数学基础-工程案例-软件实践-价值引领-能力评价”的闭环。

2. 工程化教学改革总体框架

2.1. 核心理念与角色转变

工程化教学改革核心理念可概括为“四个转向”:

一是从“章节顺序”转向“问题牵引”。课程内容不再单纯按照教材知识点线性展开,而是以土建工程中常见的计算与分析任务为切入点,促使学生在问题中发现数学需求。

二是从“公式记忆”转向“模型建构”。教学重点从让学生记住矩阵运算、线性方程组求解和向量坐标公式,转向引导学生识别工程量、建立变量关系、构造数学表达并解释计算结果。

三是从“手算单一”转向“手算与工具协同”。基础手算用于帮助学生理解算法逻辑,软件计算用于处理工程规模问题、开展可视化和结果验证,实现二者的优势互补。

四是从“课程孤立”转向“专业出口”。线性代数教学主动对接土建类专业课程链条,使学生清晰看到数学知识在专业学习和工程实践中的延伸路径。

在该理念下,教师角色需从单一的数学知识讲授者,转变为工程任务的设计者、学习过程的组织者、计算工具的引导者和价值意义的阐释者。学生角色则从被动的知识接受者,转变为主动的问题分析者、模型构建者、工具使用者和结果解释者。通过人机协同、案例教学和任务驱动,学生能够在较低认知门槛下进入工程应用场景,同时保留对数学本质与逻辑严谨性的理解。

2.2. “三模块”递进式内容重构

根据土建类专业后续课程的核心需求,本文打破传统教材的章节界限,将矩阵与向量相关内容重构为“结构矩阵基础、空间几何变换、工程数据求解”三个递进式模块。三个模块既覆盖线性代数的核心知识点,又对应土建工程的典型承载场景,形成由基础计算到空间表达、再到数据分析的能力培养链条,具体内容如表 1 所示。

Table 1. The “Three-Module” content reconstruction system for linear algebra in civil engineering
表 1. 土建类线性代数内容的“三模块”内容重构体系

模块名称	对应知识内容	工程承载场景	能力培养指向
模块一： 结构矩阵基础	矩阵表示、矩阵加法与乘法、 逆矩阵、矩阵初等变换、 线性方程组求解	杆系结构关联矩阵、节点平衡 方程组、桁架内力计算、 结构刚度方程初步认识	建立“工程量－方程组－矩阵 表达”的系统思维，理解结构 计算中的整体性与耦合关系
模块二： 空间几何变换	向量运算、线性变换的矩阵 表示、旋转矩阵、坐标变换、 特征值与特征向量	构件空间定位、施工测量坐标转 换、三维模型几何变换、 结构动力特性中的频率与振型	建立空间表达和变换意识， 理解向量、矩阵与工程空间 问题的对应关系
模块三： 工程数据求解	数据拟合、最小二乘法、 二次型、矩阵正定性、 误差分析初步	沉降观测数据处理、混凝土材料 试验曲线拟合、结构稳定判断、 应变能表达	培养数据处理、模型评价和 工程解释能力，形成由计算 结果返回工程判断的思维

结构矩阵基础模块强调从工程平衡关系出发理解矩阵的本质。以简单平面桁架为例，引导学生从节点受力平衡条件出发列出线性方程，再将其转化为 $Ax = b$ 的矩阵形式，使学生理解系数矩阵本质上是杆件与节点之间的关联关系的压缩表达，矩阵运算对应着力的传递与平衡过程。

空间几何变换模块强调从构件空间定位和坐标转换出发理解向量与线性变换。例如，在装配式建筑构件吊装、测量放样或 BIM 模型坐标转换等场景，构件位置和方向需要通过向量坐标、旋转矩阵和平移变换进行描述。教学中可通过二维、三维图形动态演示，让学生直观观察旋转角度、缩放系数和变换矩阵对构件位置的影响，从而理解矩阵乘法的几何意义。

工程数据求解模块强调从观测数据和工程判断出发理解最小二乘法、二次型与矩阵正定性。例如，在地基沉降观测中，引导学生分析观测数据波动的原因，运用最小二乘法建立拟合模型，并通过残差分析判断模型可靠性。在结构稳定和能量法初步教学中，可将二次型正定性与“系统能量是否始终为正”联系起来，帮助学生建立从数学判别到工程安全判断的迁移意识。

3. 改革实施内容与方法

3.1. 教学内容工程化重组：从“章节罗列”到“任务驱动”

传统教学通常以“概念－性质－例题－练习”的章节逻辑展开，易导致学生碎片化学习。工程化改革则以任务为基本教学单元，将若干关联知识点整合到一个具有明确工程背景的问题中，使学生围绕任务完成知识学习与方法应用。任务设计应满足三个核心条件：第一，工程情境真实或准真实，能够体现土建专业特征；第二，数学知识边界清晰，能够对应课程重点；第三，任务结果可表达、可验证、可评价，便于形成学习闭环。典型任务驱动教学内容重组示例如表 2 所示。

Table 2. Example of “task-driven” teaching content reorganization
表 2. “任务驱动”教学内容重组示例

教学任务	导入问题	涉及核心知识点	工具支持	预期学习产出
桁架内力的 矩阵求解	给定节点荷载与支座约束， 如何快速求解多根杆件内力？	线性方程组、 矩阵表示、初等变换、 矩阵秩	Excel、MATLAB 或 Python 求解 $Ax = b$	节点平衡方程组、矩阵 表达式、内力计算结果及 工程解释
构件空间坐 标转换	构件从设计坐标系转换到施工 测量坐标系时，坐标如何更新？	向量运算、旋转矩阵、 线性变换、矩阵乘法	GeoGebra、Python 可视化	坐标转换计算表、变换 前后图形对比、误差讨论
结构动力特 性初步识别	为什么结构会存在不同振型， 特征值与振动频率有何联系？	特征值、特征向量、 矩阵对角化初步	MATLAB 求特征值 与绘制振型图	小型质量－刚度模型分析 报告、振型工程意义解释
沉降观测数 据拟合	观测点沉降数据存在波动， 如何获得总体发展趋势？	最小二乘法、误差 分析、矩阵方程	Excel 拟合、Python 回归分析	拟合方程、残差图、工程 沉降趋势判断建议

以“桁架内力的矩阵求解”为例，教师可先给出一个由 3~5 根杆件组成的简化桁架，引导学生从每个节点的水平与竖向平衡条件出发列式。学生在列式过程中会发现，未知杆力之间并非孤立，而是通过节点共同约束形成整体关系。此时引入矩阵表达，不仅可以提升求解效率，更重要的是帮助学生理解结构计算的整体观。随后，教师可将手算结果与软件求解结果对比，引导学生讨论矩阵奇异、方程无解或多解在工程中的含义，如约束不足、机构不稳定或信息冗余等。

以“沉降观测数据拟合”为例，教师可提供若干期沉降观测数据，让学生先绘制散点图，再讨论数据波动原因，包括测量误差、施工扰动、地基固结过程和环境因素等。学生在此基础上使用最小二乘法建立线性或二次拟合模型，并通过残差大小、趋势合理性和预测风险进行解释。该任务能够将最小二乘法从单纯公式推导转化为工程数据分析工具，同时引导学生认识到数据处理中的真实性、规范性和责任性。

3.2. 课堂教学模式改革：“问题导入 - 数学抽象 - 软件赋能 - 工程反思”四步法

工程化教学改革需彻底改变单向讲授的课堂模式，本文提出“问题导入 - 数学抽象 - 软件赋能 - 工程反思”四步法，实现课堂从知识传授向问题探究与工具协同的转变。

第一步是问题导入。教师以土建工程典型案例开场，将抽象知识放入学生能够感知的专业场景。例如，在讲授矩阵乘法时，不直接从代数定义进入，而是提出“结构中多个荷载工况作用下，如何同时计算不同杆件或构件的响应”；在讲授旋转矩阵时，以“施工放样中局部坐标系如何转换到整体坐标系”为问题导入；在讲授特征值时，以“结构为何存在不同振动频率和振型”为导入。问题导入的关键不在于案例复杂，而在于让学生意识到数学知识有明确的工程需求。

第二步是数学抽象。教师引导学生从工程问题中提取变量、条件和关系，将工程语言转化为数学语言。比如，将“节点平衡”转化为线性方程组，将“坐标旋转”转化为矩阵乘法，将“观测数据趋势”转化为拟合模型。此环节重点突出数学建模的基本流程：识别对象→确定变量→建立关系→选择方法→解释结果，使学生理解公式是工程关系经过简化、提炼和符号化后的产物。

第三步是软件赋能。对于小规模问题，学生应先进行必要手算，掌握算法逻辑；对于稍复杂问题，引导学生使用 MATLAB、Python 或 Excel 等工具进行求解和可视化。软件赋能的目的不是替代数学学习，而是释放学生在重复计算上的负担，使其将更多注意力投入模型选择、参数意义和结果解释。教师可设置“手算 - 软件 - 验证”的递进式小任务，如先手算 2×2 矩阵变换，再用软件展示图形变化；先用消元法求解小型方程组，再用程序求解扩展方程组并比较结果。

第四步是工程反思。学生完成计算后，需要回答“结果在工程上意味着什么”“模型包含哪些假设”“误差可能来自哪里”“若用于实际工程应注意什么”等核心问题。工程反思是课程价值引领的关键环节。比如，在结构内力计算中强调计算误差对安全储备的影响；在坐标转换中强调测量误差和数据复核的重要性；在沉降拟合中强调不能为了得到漂亮曲线而随意舍弃异常数据。通过反思，将数学严谨性转化为工程责任意识，计算规范被转化为职业伦理要求。

3.3. 评价体系改革：从“手算技巧”转向“建模与应用能力”

与工程化教学相适应，课程评价应由单一结果性考试转向过程性、应用性与综合性评价。评价目标不只是判断学生是否会套用公式，还要考察其是否能够理解工程问题、建立数学模型、合理使用计算工具、解释计算结果并反思工程意义。为此，可构建“基础知识 - 工程任务 - 软件实践 - 综合项目 - 反思表达”五维评价体系。(如表 3 所示)

在具体实施中，期末考试仍应保留必要比例，以保证课程基础性和规范性；但工程任务作业、软件

实践报告和综合项目应成为促进学生持续学习的重要抓手。教师可在每个模块结束后布置一个小任务，使学生将本模块知识用于工程情境。例如，结构矩阵基础模块提交“节点平衡方程组建立与求解”任务单；空间几何变换模块提交“构件坐标转换与图形验证”任务单；工程数据求解模块提交“沉降观测数据拟合报告”。

Table 3. Design of course evaluation system under the framework of engineering orientation
表 3. 工程化导向下课程评价体系设计

评价维度	评价内容	建议比例	评价重点
基础知识与基本运算	章节测验、随堂练习、期末基础题	30%	核心概念理解、公式正确应用、必要手算能力
工程任务作业	桁架内力、坐标转换、沉降拟合等模块任务单	20%	工程问题抽象能力、方程建立规范性、计算过程规范
软件实践报告	MATLAB、Python 或 Excel 计算与可视化报告	20%	计算工具使用熟练度、结果验证合理性、图表表达规范性
综合项目展示	小组完成土建类线性代数应用案例	20%	数学模型构建合理性、团队协作能力、工程解释与表达能力
反思与互评	学习反思日志、同伴互评、职业责任讨论	10%	价值理解深度、规范意识、持续改进能力

综合项目可采用小组形式完成。项目题目不宜过大，应突出“数学知识可见、工程背景清晰、成果表达完整”的原则。学生最终提交的成果包括问题背景、数学模型、计算过程、软件代码或操作说明、结果图表、工程解释和反思。评价采用教师评价与学生互评相结合的方式，教师重点把握数学正确性和工程合理性，学生互评重点关注任务分工、表达清晰度和团队协作。

反思评价是工程化教学区别于普通应用题训练的核心环节。要求学生在每次任务后说明“本次任务中最关键的数学概念是什么”“软件结果是否可靠”“若将模型用于真实工程还需补充哪些信息”，引导学生不仅关注答案的正确性，更关注模型的合理性、数据的可信性与结果的工程意义，逐步形成面向复杂工程问题的责任意识与判断能力。

3.4. 典型教学案例：基于节点平衡方程的桁架内力求解

为说明改革路径的可操作性，以“基于节点平衡方程的桁架内力求解”为例进行教学设计：

课前预习：教师在学习平台发布简化桁架示意图、节点编号、杆件连接关系和外荷载信息，并提出预习问题：“为什么每个节点都能列出水平与竖向两个平衡方程？”“未知杆力之间为什么会相互关联？”学生完成基础预习后，可尝试手动列出其中一个节点的平衡方程。

课中实施：教师首先回顾力的平衡条件，再引导学生按照“节点 - 杆件 - 方向余弦 - 未知量”的顺序建立完整方程组，随后将方程组整理成矩阵形式 $Ax = b$ ，重点解释系数矩阵 A 中每一项的物理含义：非零元素代表某根杆件对某个节点平衡方程的贡献，正负号代表方向关系。接着，学生分组使用软件求解，并将结果与手算小样本进行核对。对于零杆、拉压杆判别和矩阵秩等问题，教师可引导学生从结构几何稳定和约束条件角度讨论。

需要指出的是，本文目前主要完成了理论框架、教学路径、评价方案和实验设计的建构，尚不能以未经检验的数据直接证明改革效果。因此，文中关于改革成效的表述应理解为基于理论推演、课程链条需求和初步教学诊断形成的研究假设。后续研究应按照本文提出的准实验路径开展至少一轮完整教学实验，并将期末考试成绩、模块任务得分、后续课程表现、问卷访谈和学习反思等证据综合起来，以更加

稳健地判断工程化教学改革的实际效果。

课后拓展：学生提交一份简短报告，内容包括方程组建立过程、矩阵表达、软件求解结果、杆件受拉受压判断以及工程反思。工程反思可围绕三个问题展开：“若某个节点方程漏列，结果会出现什么问题？”“若结构几何布置不合理，矩阵求解会给出哪些提示？”“为什么真实工程中结构计算需要复核和审查？”

该案例既完成了线性方程组和矩阵表示的教学目标，又将数学严谨性与结构安全责任紧密结合，实现了知识传授与价值引领的统一。

4. 教学实验设计与成效验证路径

针对“改革有效性缺乏数据支撑”的问题，本文不宜仅以经验性表述断言改革效果，而应采用至少一轮完整的教学实验进行验证。考虑高校自然班教学组织难以完全随机分班的现实条件，可采用准实验设计，即选择同一年级、同一专业、入学基础相近的两个自然班作为实验班和对照班[16]。实验班实施“问题导入－数学抽象－软件赋能－工程反思”四步法和三模块任务体系，对照班采用常规线性代数教学模式；两班使用同一课程大纲、同一教材和同等难度期末考试，以降低教师、考试和课程内容差异带来的干扰。

教学实验周期建议覆盖一个完整学期。实验前进行线性代数基础水平前测和工程问题意识问卷，实验过程中采集模块任务得分、软件实践报告、学习平台访问数据、课堂参与记录和学习反思，实验后采集期末考试成绩、综合项目成绩、课程满意度问卷、半结构化访谈材料，并在后续结构力学或工程测量课程中跟踪相关知识迁移表现。量化数据可采用独立样本 t 检验、协方差分析或效应量分析，质性数据可采用主题编码法分析学生对“数学工具－工程问题－职业责任”关系的理解变化。

为避免实验结论过度外推，本文建议将“有效性验证”表述限定在具体样本和教学情境之内。若实验班在模块任务、软件实践、工程解释和学习投入方面表现优于对照班，而期末基础题成绩未下降，则可初步说明工程化改革在不削弱基础知识教学的前提下，有助于提升学生应用迁移能力。若差异不显著，也应进一步分析是任务难度、学时投入、教师培训还是评价标准导致改革效果不足。本研究拟采用的数据类型、采集内容、采集时间及其分析用途见表 4。

Table 4. Teaching experiment design and effect verification path
表 4. 教学实验设计与成效验证路径

数据类型	采集内容	采集时间	分析用途
量化数据	前测成绩、期末考试成绩、模块任务得分、软件实践报告得分、综合项目得分、后续课程相关单元成绩	实验前、实验中、实验后及后续课程阶段	比较实验班与对照班在基础掌握、应用迁移和持续学习表现上的差异
质性数据	学生问卷开放题、半结构化访谈、学习反思日志、教师课堂观察记录、项目报告文本	各模块结束后及课程结束后	分析学生学习动机、工程意识、工具使用体验和职业责任理解的变化
控制变量	任课教师、教材版本、考试命题难度、班级基础、学时安排、作业量	实验设计阶段与实施全过程	降低非教学改革因素对结果解释的影响

5. 实施挑战与应对策略

工程化导向下土建类线性代数教学改革具有较强现实适用性，但其落地并非没有成本。若忽视师资、学时、班级规模和评价操作性等约束，改革容易停留在方案层面，甚至造成教师负担过重和学生认知超载。因此，有必要在论文中单列现实挑战与保障机制，提升改革路径的可信度和可推广性。

第一，师资挑战。线性代数教师通常具有较强数学背景，但未必熟悉桁架分析、结构动力、测量坐标转换和沉降监测等土建场景；专业课教师熟悉工程背景，但未必能够将问题转化为适合低年级学生学习的线性代数任务。应建立“数学教师 + 专业教师 + 信息化教师”联合备课机制，由专业教师提供真实或简化工程情境，数学教师负责知识目标与难度控制，信息化教师或助教提供软件模板和代码支持。学校层面可将跨院系课程共建、案例库开发和教学资源建设纳入教学工作量或教改绩效，形成稳定激励。

第二，资源挑战。软件实践需要机房、平台、数据集、案例素材和操作指南支撑。解决策略是优先采用 Excel、Python、GeoGebra 等低门槛或开源工具，建设可复用的计算模板、工程简化数据集和可视化微课，避免每位教师重复开发资源。对于不同基础学生，可提供“基础版 Excel 模板”和“拓展版 Python 代码”两套路径，降低工具学习对数学学习的挤压。

第三，学时与班级规模挑战。线性代数课时有限，若过多加入工程案例，可能影响基础知识讲授；大班教学中也难以逐一指导学生完成软件操作和项目报告。应采用“核心概念课堂完成、软件操作课前微课完成、项目讨论分组完成、反馈评价采用 Rubric 完成”的混合流程，将复杂任务拆解为可管理的短任务。大班教学中可设置组长制度、助教答疑和自动化测验，减少教师单点指导压力。

第四，评价操作性挑战。工程任务评价涉及模型合理性、工具使用、结果解释和反思表达，若标准不清容易导致主观性过强。应制定细化 Rubric，将评价指标拆分为数学正确性、工程合理性、工具规范性、表达质量和责任反思五个维度，并通过样例报告和评分说明提升师生对标准的一致理解。上述现实挑战及其针对性应对策略汇总见表 5。

Table 5. Challenges and countermeasures in the implementation of linear algebra teaching reform for civil engineering courses
表 5. 土建类线性代数教学改革的实施挑战与应对策略

现实挑战	具体表现	应对策略
师资协同不足	数学教师工程案例储备不足，专业教师难以把握线性代数教学深度	建立跨院系联合备课和案例评审机制，将共建资源计入教学工作量
资源支持不足	软件模板、工程数据、可视化案例和操作指南缺乏	建设共享案例库、数据集和分层软件模板，优先采用低门槛工具
学时压力较大	工程案例可能挤压基础概念与运算训练时间	采用课前微课、课堂短任务、课后项目报告的混合安排
大班组织困难	学生软件操作差异大，教师反馈负担重	采用小组协作、助教答疑、自动化测验和同伴互评
评价标准复杂	应用任务评分主观性强，学生不清楚如何达到要求	提供 Rubric、样例报告和评分说明，保证评价透明可操作

6. 结论与展望

本文面向土建类专业线性代数教学中存在的“数学知识抽象、工程联系薄弱、工具应用不足、评价方式单一”等问题，构建了工程化导向下的课程改革框架。该框架以土建工程问题为牵引，以矩阵和向量为主线，以计算工具为支撑，以专业衔接为出口，将课程内容重构为三个递进式模块，并设计了四步课堂教学法。通过桁架内力计算、坐标转换、结构动力特性识别和沉降数据拟合等典型任务，学生能够在工程情境中理解线性代数知识的本质，在软件实践中提升计算与可视化能力，在结果解释中形成职业责任意识。

与传统教学相比，本改革的核心价值体现在四个方面：一是增强了线性代数与土建类专业课程之间的内在联系，使学生能够较早建立“数学工具服务工程问题”的认知；二是改变了单纯依靠手算训练的

学习方式,形成了“手算理解逻辑、工具解决问题”的协同模式;三是拓展了课程评价维度,将建模能力、应用能力、表达能力与价值判断纳入评价体系;四是为线性代数与结构力学、工程测量、土力学及智能建造等课程的协同育人奠定了基础。

后续研究将从三个方面持续深化改革:一是建设土建类线性代数工程案例库,形成覆盖不同知识点、不同难度层次和不同专业方向(如建筑工程、道路桥梁、地下工程)的任务资源体系;二是开发配套的数字化教学资源,包括动态演示课件、软件计算模板、工程实测数据集与自动反馈题库,提高教学实施效率;三是开展多轮教学效果实证研究,从学习兴趣、知识迁移能力、工程建模能力与课程满意度等维度进行持续跟踪评价,进一步优化教学设计。通过持续改进,力争将土建类线性代数课程打造为连接数学思维、工程能力和价值引领的重要平台。

基金项目

本论文受陕西省研究生教育综合改革研究与实践项目(项目编号:YJSZG2025098)和陕西本科和高等继续教育教学改革研究项目(项目编号:25BY100)的支持和资助

参考文献

- [1] 教育信息化 2.0 行动计划[EB/OL].
https://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/201804/t20180425_334188.html, 2018-04-18.
- [2] 教育部高等教育司关于开展新工科研究与实践的通知[EB/OL].
https://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201702/t20170223_297158.html, 2017-02-23.
- [3] 周义. 探索大数据时代高校线性代数的教学改革[J]. 信息记录材料, 2021, 22(1): 38-39.
- [4] 李晓莎. 信息化教学的时代背景下“高等代数”课程教学改革的一点思考[J]. 科技风, 2022(10): 113-115.
- [5] 冯英华. 信息化时代高等数学教学探析[J]. 吉林农业科技学院学报, 2020, 29(6): 118-121.
- [6] 关丽红, 朱天晓. “互联网+”时代高等数学课程混合式教学改革的探讨[J]. 长春大学学报, 2021, 31(10): 101-104.
- [7] 王珂, 李怡馨. 人工智能时代下线性代数的教学改革[J]. 教育进展, 2026, 16(1): 1128-1136.
- [8] 尹富纲. 计算思维融入近世代数课程的教学改革研究[J]. 教育进展, 2026, 16(1): 386-392.
- [9] 李岚, 刘孝艳, 钱婷, 陆爱国. 人工智能赋能地方高校分析类课程教学改革和实践[J]. 教育进展, 2026, 16(4): 874-878.
- [10] 范存辉, 周翊, 连承波, 等. 能源类专业基础地质类课程群思政育人创新与实践[J]. 高教学刊, 2025, 11(16): 193-196.
- [11] 陈晓娟, 王少峰, 郭晓峰. 基于 OBE 理念的机械类专业课程思政建设与探索——以热工基础及流体力学课程为例[J]. 吉林教育, 2025(32): 36-38.
- [12] Guo, P., Saab, N., Post, L.S. and Admiraal, W. (2020) A Review of Project-Based Learning in Higher Education: Student Outcomes and Measures. *International Journal of Educational Research*, **102**, Article 101586.
<https://doi.org/10.1016/j.ijer.2020.101586>
- [13] Chen, J., Kolmos, A. and Du, X. (2020) Forms of Implementation and Challenges of PBL in Engineering Education: A Review of Literature. *European Journal of Engineering Education*, **46**, 90-115.
<https://doi.org/10.1080/03043797.2020.1718615>
- [14] Premalatha, K. (2019) Course and Program Outcomes Assessment Methods in Outcome-Based Education: A Review. *Journal of Education*, **199**, 111-127. <https://doi.org/10.1177/0022057419854351>
- [15] Lyon, J.A. and J. Magana, A. (2020) Computational Thinking in Higher Education: A Review of the Literature. *Computer Applications in Engineering Education*, **28**, 1174-1189. <https://doi.org/10.1002/cae.22295>
- [16] Capili, B. and Anastasi, J.K. (2024) An Introduction to Types of Quasi-Experimental Designs. *AJN, American Journal of Nursing*, **124**, 50-52. <https://doi.org/10.1097/01.naj.0001081740.74815.20>

附录 A. “沉降观测数据拟合” 任务教学设计示例

一、任务主题。以某建筑物沉降观测数据为背景，要求学生利用最小二乘法建立沉降发展趋势模型，完成散点图绘制、模型拟合、残差分析和工程解释。该任务对应线性代数中的矩阵方程、最小二乘法、误差分析和结果解释等知识点，适合安排在“工程数据求解”模块结束时实施。

二、教学目标。知识目标：理解最小二乘法由“误差平方和最小”转化为矩阵方程求解的基本思想。能力目标：能够将沉降时间 - 沉降量数据整理为矩阵形式，使用 Excel 或 Python 完成拟合、绘图和残差分析。素养目标：能够说明观测误差、异常值处理和趋势预测的工程风险，形成尊重数据、谨慎判断和规范表达的职业意识。

三、“四步法”时间分配。建议按 90 分钟组织：问题导入 15 分钟，展示沉降观测曲线和工程背景，提出“如何从波动数据中判断沉降趋势”；数学抽象 25 分钟，引导学生建立 $y = a + bt$ 或 $y = a + bt + ct^2$ 模型，写出设计矩阵 X 、观测向量 y 和正规方程；软件赋能 30 分钟，学生使用 Excel 或 Python 完成拟合、绘图和残差计算；工程反思 20 分钟，小组讨论模型适用条件、异常值处理原则和预测风险，并提交简短结论。

四、软件操作指南。Excel 路径：输入时间 t 和沉降量 s 两列数据；插入散点图；添加线性或二次趋势线并显示方程和 R^2 ；使用“数据分析 - 回归”或 LINEST 函数获得参数；新增残差列并绘制残差图。Python 路径：使用 numpy 读取 t 和 s ；构造 $X = \text{np.column_stack}([\text{np.ones_like}(t), t])$ 或二次项矩阵；用 $\text{np.linalg.lstsq}(X, s, \text{rcond}=\text{None})$ 求参数；用 matplotlib 绘制散点、拟合曲线和残差图。

五、提交成果。学生需提交一页任务报告，包括工程背景、数据表、矩阵模型、软件截图或代码、拟合曲线、残差图、工程解释和反思问题回答。反思问题包括：是否可以随意删除异常点？拟合曲线能否直接用于长期预测？若沉降速率未趋于稳定，应如何向工程管理人员表达风险？本任务教学成果的评价标准见表 A1。

Table A1. Evaluation criteria for the task titled “Data Fitting in Settlement Observation”

表 A1. “沉降观测数据拟合” 任务评价标准

评价项目	优秀(90~100)	良好(75~89)	需改进(60~74)	权重
数学模型	变量选择准确，矩阵表达完整，能说明最小二乘法思想	模型基本正确，但矩阵表达或说明略不完整	模型选择不清，公式套用明显	25%
软件操作	图表清晰，参数计算正确，残差分析规范	能完成基本拟合和绘图，残差分析较简单	工具使用错误较多，结果难以复核	25%
工程解释	能结合沉降趋势、误差来源和预测边界进行合理判断	能说明基本工程意义，但风险分析不足	只给出计算结果，缺少工程解释	25%
规范与反思	报告结构清楚，数据处理真实，能讨论异常值和职业责任	报告较规范，反思有一定深度	报告零散，缺少数据伦理和责任意识	25%