

# 理论力学教学方法探讨与实践

王 林, 张浩然

合肥学院土木工程系, 安徽 合肥

收稿日期: 2022年3月24日; 录用日期: 2022年5月3日; 发布日期: 2022年5月10日

## 摘 要

随着我校对专业课程和学分设置的改革, 土木工程专业理论力学课时数降至为48课时。为帮助学生建立理论力学知识体系并培养他们的工程计算实践能力, 教学团队对理论力学课程的教学方法进行了改善。首先我们在课程开始阶段强化学生薄弱的数学基础, 在此基础上对教学组织, 包括教材选用、教学内容和流程、工程计算实践能力培养方式上都进行了优化。同时我们还采用多种方式丰富教学质量过程控制手段, 为激发学生的学习自主性提供外部动机。特别地, 我们采用了复杂问题案例教学方法, 以少数复杂问题覆盖该章节知识体系并以小组协作实践培养学生的工程计算能力。实践结果表明, 改善后的教学方法能在有限课时前提下有效激发学生的学习兴趣和学习自主行为, 明显提高教学质量并取得良好的学生反馈。

## 关键词

理论力学, 教学方法, 复杂问题, 过程控制

# Discussion and Practices on Teaching Method of Theoretical Mechanics

Lin Wang, Haoran Zhang

Department of Civil Engineering, Hefei University, Hefei Anhui

Received: Mar. 24<sup>th</sup>, 2022; accepted: May 3<sup>rd</sup>, 2022; published: May 10<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

As a consequence of the reform for major courses and credits in our university, the class teaching of Theoretical Mechanics reduces to 48 class hours in the major of Civil Engineering. To establish the knowledge system and the ability for engineering problem solving of students, our teaching team improves the course teaching method. We first intensify students' week foundation of Mathematic in the beginning of course. On this basis, we improve the organizational form of teaching,

including the selection of textbook, contents and process of courses, practical ability of solving engineering problems. Also, several manners are adopted for process monitoring of teaching quality to provide the external motivation for students' independent study. Specifically, we apply the case teaching of complex problems covering the knowledge system of the chapter and team collaboration to cultivate the ability of solving engineering problems. The results indicate that the application of improved teaching method could effectively motivate the learning interest and self-regulated learning behavior, and obviously promote the teaching quality and achieves good feedbacks from students under the condition of limited course hours.

## Keywords

Theoretical Mechanics, Teaching Method, Complex Problem, Process Monitoring

Copyright © 2022 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

理论力学是现代科学技术的自然科学基础学科。理论力学的研究极大促进了基础知识体系的发展。通过现代高等教育手段使学生(未来的专家)具备科学分析所学(从事)专业领域的技术问题,能够独立应用所获得的基础知识解决工程实践问题是理论力学教育的基本目标[1]。理论力学一直是合肥学院土木工程专业重要的专业基础课程,本课程的教学目标是让学生能够清晰认识理论力学概念和原理、准确分析物体(系)的受力和平衡计算、熟练进行质点(系)和刚体的运动分析与计算、灵活运用动量、动量矩和动能定理等进行质点(系)和刚体的动力学求解等,建立扎实的理论基础和工程计算能力,为后续力学课程和土木工程结构设计等课程学习夯实基础。

我校近年根据《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》(2018 版本)并结合专业认证要求对合肥学院本科专业课程和学分设置等进行了调整,将包含土木工程在内的理工科专业总学分由 240 个降低至 180 个。同时,为体现我校应用型办学特色,实践类教学学分在理工科中占比不低于 30%。在最新的土木工程专业人才培养方案中,理论力学课程由 4 个学分降低为 3 个,总课时数降至 48 课时。因而,理论力学课程教学必须克服学分不足和课时缩减现状激发学生学习能动性取得预期良好教学效果,本研究在教学团队已有教学经验基础上对理论力学教学方法和实践流程进行了改良,用以建立一种有机融合的理论知识传递和工程计算实践能力培养行之有效的教学方法向我校土木工程专业的学生进行理论力学课程教学。

## 2. 教学方法

改进理论力学教学是一项涉及多年的任务,在我校土木工程专业学分和课时缩减趋势下教师可用于课堂上进行例题演练和习题讲解的时间十分有限。对于数学基础薄弱的大学新生来说,相当比例的学生无法独立进行工程计算实践,这给理论力学授课教师带来额外的任务。因此,教师有必要对现有教学方法进行改善,激发学生的学习兴趣帮助学生建立理论力学知识体系。

### 2.1. 强化数学基础

理论力学的学习要求学生具备必要的数学训练。理论力学中诸如力、速度和加速度等重要的研究内

容都是矢量, 因而向量代数贯穿于理论力学课程始终, 诸如矢量投影、矢量和、点积和矢量积和矢量微分计算与特性等都应清晰。运动学分析中, 准确计算单变量函数微分、曲线曲率(半径)、简单函数积分, 多变量函数的偏和全微分以及一阶和二阶微分方程都是学习理论力学的必备数学基础。过去多年来, 教学团队意识到我校土木工程专业学生的数学基础较为薄弱, 多数学生对向量代数的原理和计算规则记忆不清, 对于向量和张量分析基础知识, 他们要么未学过, 要么只熟悉直角与正交曲线坐标的特殊情况, 而对自然轴系中的呈现形式则完全不清楚。另一方面, 这些知识在数学教科书中的表达形式又不能完全满足描述理论力学问题的需要。因此, 我们在理论力学教学的第一部分就矢量分析、张量分析以及便于力学问题物理现象表述的单(多)变量函数微积分、函数展开等进行必要介绍。尽管这一部分数学知识的讲解会进一步挤占课程有限的课时, 但过去两年的教学效果表明, 当学生具备必要的数学基础时, 他们可以明确教材中每个公式的数学本质, 理解力学相关定理和公式推导证明的逻辑并独立进行定理的自我推导, 这些都对理论知识的理解和工程计算实践能力的培养大有裨益。相反, 试图仅仅记忆定理的行为, 并不会对理论力学知识体系的建立带来明确好处。

## 2.2. 优化教学组织

现代信息教学技术的应用极大丰富了教学内容, 包括大量音视频工程实例展示, 典型和特定问题解法演练, 以及多种教学质量过程反馈和控制手段等。这些技术要求教师花费大量精力开发复合的教学方法和教学组织, 这是现代高等教育的特点并促使教学团队不断发展和教学技能提升, 并且有助于解决教学课时不足的问题。我们的课程教材选用了 R.C. Hibbeler 的国际经典教材上, 该教材以实际工程出发深入浅出讲解理论力学知识体系, 同时该教材没有现成习题解答集, 这可以激发学生独立工作的动力。我们在教学中结合其他教材和参考文献对理论知识进行分析、概括和系统化并结合已有教学经验和实际工程应用组织教学。课堂教授课程内容全面, 知识结构合理清晰, 以幻灯片和专题演示为基础, 保持授课内容的整体性。在首次讲座中勾勒理论力学的教学大纲, 并对每个章节进行简要说明。随后, 在章节开始时, 明确指出该章节计划及其在学科体系的位置, 并简要回顾上次课程内容。讲课时对理论力学定理、基本公式、解题思路和重难点等进行着重强调。章节结束时教师对章节内容进行精炼总结并就章节内容进行讨论。最后阶段的任务是掌握学情评估教学效果, 为此我们列出了一系列关于章节内容的简短问题, 学生应能快速地回答并准确写出基本公式等。比如在刚体的平面运动章节, 关于章节内容的快速提问可以包括:

- 刚体平面运动的定义。
- 何谓转轴?
- 刚体平面运动方程包括什么?
- 刚体平面运动由哪两个运动组成?
- 请举一个刚体平面运动的例子。
- 平面运动刚体中任一点的速度由哪些分量组成?
- 平面运动刚体速度投影定理的表述。
- 什么是瞬时速度中心?
- 如何找到刚体的速度瞬时中心?
- 如何利用瞬时速度中心确定平面图形上一点的速度?

理论力学的学习应注重解决问题能力的培养, 理论知识应在实践中予以消化。章节教学中, 我们采用复杂问题来培养学生解决理论力学问题的能力, 这些复杂问题由教学团队采用组合原则编写而成。一般地, 每个章节两至三个复杂问题即可覆盖此章节的所有知识要点, 复杂问题的正确解答要求学生充分

熟悉章节内容。教学时对复杂问题的团队协作形式有助于培养学生的工程实践计算能力。在复杂问题实践教学过程中,我们首先对章节知识进行快速考察以唤醒学生的学习记忆。之后,教师以复杂问题为例,讲解问题涉及的知识点、原理和定理以及可能的求解思路,并给学生分配独立解决的复杂问题。学生以3到4人为组且成员可随章节变化,每个小组旨在由最有能力(课程掌握程度最好)的学生带领队友在规定时间内完成。先行完成任务解答的小组学生可以加入未完成小组,与他们共同完成复杂问题的作答。在规定时间内,首先(大致)正确完成特定问题解答的学生邀请其在黑板上向其他同学进行演示,学生间可就特定问题表达自我观点并进行课堂讨论。小组工作使所有学生,包括内向但成功的学生都可以参与工作。采用这种形式的班级组织执行特定形式的任务,使学生能够获取他们应用理论力学理论知识解决特定问题所必需的技能。复杂问题往往存在多种解法,这有助于激发学生的兴趣。不同解答方案也提高了习题的质量,给学生带来满足感,进一步激发学生的专注力、组织性和责任感。

### 2.3. 调动自主学习

任何学科(包括理论力学)学习成功的首要条件是激发学生的能动性和独立学习的行为[2],调动学生自主学习是获取良好教学效果的重要步骤。教学中我们要求学生在章节开始时就章节内容进行预习,预习时学生集中阅读该主题(段落)的所有材料而不停留在部分不理解的内容上,后续内容的阅读通常会使得这些内容变得明确。借助于学习通 APP,我们发布了章节阅读材料,学生需在章节内容教学开始前完成对应任务节点。课前预习有助于学生了解章节内容和难点,提升课堂教学效果,而快速提问环节强化学生课后学习的持续性。章节结束时,我们为学生提供一份问题清单,供学生自我评估。对于课外独立练习,我们建议使用包括理论知识和工程实例的理论力学教科书和手册。对力学的方法和原理及其在解决静力学、运动学和动力学问题中的应用应给予重点关注。学生应理解教材中的例题解答,尤其注意其中的解答思路,然后在教材习题中独立解答几个相似题目,并留意在求解过程中应用了哪些知识点。完成章节课程学习后,学生可以自测的方式检查对章节知识的掌握程度。对于那些学有余力的学生,教师可以给他们推荐高级教材,这些教材除包含理论力学基础知识外,还涵盖了运动矢量理论、可变成分系统的运动等。每个章节还提供参考文献,明确需要阅读的部分,便于学生更好吸收本章节已学内容。

教师的重要职责是为学生学业(尤其是独立工作)的成功创造足够外部动力和必要的条件。基于复杂问题的小组协作形式有助于学生创造性活动的发展并融入个人特性。现代科学表明,创造力不是自然赋予人的,而是人在训练和教育过程中获得的。独立寻找新的解决方案,解决理论和实践问题的方式有助于培养真正的学生创造力[3]。通过教师的指导和控制,以小组形式组织学生进行复杂问题解答创造的满足感、专注力和责任感等带来了积极的内驱力。教学过程中我们为学生提供集体或单独咨询,每周开放办公时间进行课程答疑。学生也可在学习通 APP 上提出问题由教师或其他学生予以解答。

### 2.4. 注重过程控制

理论力学同样进行期末考试,在期末试卷中将对理论力学知识体系进行全面考核,但我们同样注重教学的过程控制。学生的最终成绩由期末考试、过程考核和平时表现组成,分别占比 50%, 40%和 10%。我们采用过程考核形式评估学生对章节知识的掌握程度,考核通常以书面形式在学期中进行,考核前 1 周学生就考核主题内容进行独立准备,如阅读教材、讲课笔记和其他文献等。考核时学生收到该章节问题集(8 个题目)并对至少 6 个题目进行解答,如力矩的代数大小、平面力系的主矢和主矩计算、平面力系简化的结果等。学生应尽可能详细地回答问题,准确回答 6 个及以上问题的学生定为优秀,5 个则为良好,4 个为满意,若少于 4 个则不令人满意。过程考核采用教师评阅、学生自评和生生互评形式开展,考核结果将在一周内反馈给学生,通过过程考核教师能够评估学生对该章节内容的理解程度,并让学生

了解到自己的学习效果。学生的平时表现也非感性流于表象而体现在教学的整个过程中。借助学习通 APP, 我们可以跟踪学生课前预习任务的完成情况, 通过该任务节点的学生获得相应分数。在快速提问环节、复杂问题案例解答中表现突出的学生以及在学习通 APP 内解答其他学生问题的学生也将在课程最终成绩中有所反应。

理论力学教学团队在过去两年内采用本文所提教学方法, 累计参与学生 243 人, 学生的期末考试平均成绩由实行前的 58.6 提高到 65.3 和 67.2, 卷面不及格率由 37.1% 降低至 18.2%, 学生评教由 9.15 提升至 9.51 (满分 10 分), 这些数据都表明我们所采用的教学方法能有效调动学生主动学习的动机, 明显提升课程教学质量, 获得了良好的教学效果。

### 3. 复杂问题案例教学

为进一步说明本文中采用的复杂问题的案例教学法, 我们在此就静力学和动力学两部分中的复杂问题为例进行演示。静力学主要教授物体受力分析和力系简化的研究方法, 研究受力物体(系)平衡时作用力所应满足的条件。在平面力系章节, 我们构建图 1 所示复杂问题, 旨在帮助学生掌握静力学的基本概念、考察学生受力分析和力系平衡的计算能力。在任务开始前, 我们帮助学生回顾以下静力学内容:

- 静力学的主要规定和公理。
- 力系主矢和主矩。
- 平面力偶。
- 平面任意力系。
- 平面图形的重心。

在此之后, 请学生就图 1 所示作用于结构的力系进行独立解答。其中, 该结构所受主动力包括分别与竖直方向呈  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  角的 3 个集中力、最大集度为  $q$  的线性分布载荷和大小为  $m$  的力偶组成。该任务由以下部分组成:

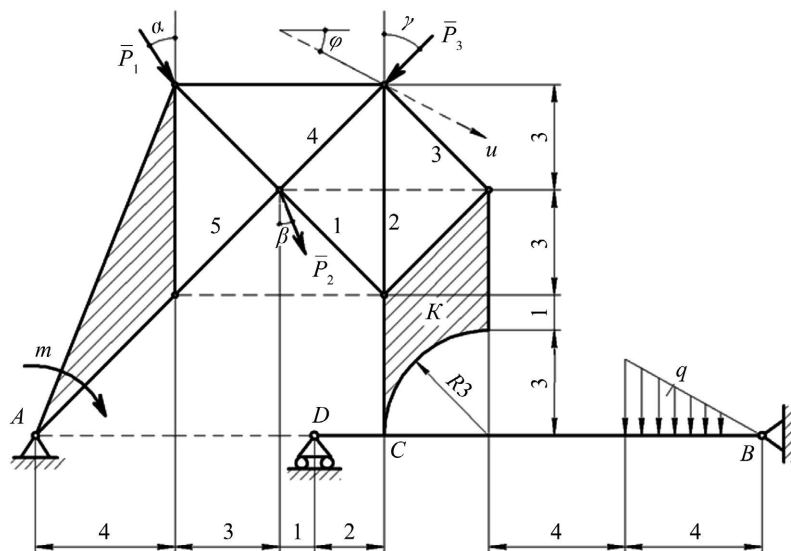


Figure 1. Schematic diagram of structure under plane force system

图 1. 结构与平面力系示意图

1) 使用力的平移定理对力系分别向 A 点和 C 点进行简化, 学生需要找到该平面任意力系的主矢以及相对于矩心 A 点和 C 点的主矩, 并比较相对于不同矩心, 力系主矩的改变。

2) 以结构整体为研究对象, 绘制系统整体的受力图。分别绘制 AC 部分和 BD 部分的受力图。若 AC 和 BD 两部分由铰链 C 链接, 再次绘制 AC 部分和 BD 部分的受力图。采用绘制的受力图, 计算结构支座处的约束力。当不考虑或考虑未知力偶  $m$  时, 判定结构是否静定。

3) 采用截面法计算杆 1~5 的内力, 试以物体 K 的平衡为例, 验算步骤 2、3 所得结果。

动力学研究物体的运动与所受力之间的关系, 在动能定理章节的复杂问题涵盖超过 8 个主题, 请就图 2 所示电机 - 滑轮 - 小车系统完成如下任务。

1) 对于图 2 所示系统, 试计算:

- 系统中每个物体的质心速度和角速度的时间函数, 假设初始时刻系统处于静止状态。
- 系统中每个物体的运动定律。
- 任何时刻各约束(绳索、铰支座和光滑斜面)提供的约束力。
- 系统运动方程的时间函数。
- 系统动能的时间函数。

2) 分别采用以下三种不同方法, 确定系统中每个物体质心处的加速度的和角加速度。

- 刚体平面运动微分方程;
- 系统的动能定理;
- 一般动力学方程;

通过不同方法求得加速度后, 验证结果的一致性。这些复杂问题可以有机结合理论力学的不同章节, 这将优化它们的学习过程, 并进一步激发学生的学习兴趣。

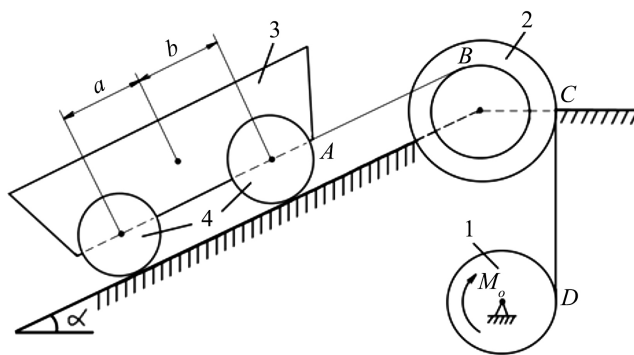


Figure 2. Schematic diagram of motor-pulley-trolley system  
图 2. 电机 - 滑轮 - 小车系统示意图

通过上述列出的静力学和动力学篇两个复杂问题的计算实践, 我们可以准确把握学生对章节主要知识体系的理解程度并有效培养学生解决工程计算能力, 又因在复杂问题的实践教学覆盖多数知识要点从而克服了课程学分缩减导致的实践教学课时紧缺的重要问题。

#### 4. 结论

在有限课时前提下我们对理论力学的教学方法进行了探讨、改善和实践。在课程开始时强化学生数学基础有助于学生理解课程中的定理和公式的数学本质。通过合理选择课程教材、优化教学内容、组织和流程可以为学生描绘清晰的理论力学知识结构体系。复杂问题案例实践可以少量习题考察学生对章节内容的认知程度, 小组协作实践则进一步提升了学生的工程问题计算能力。课前预习、课后自检、延伸阅读和畅通的师生交流明显激发了学生的自主学习行为。通过课堂快速提问、过程考核和学习通 APP 应

用等多种手段加强了教师对于课程教学质量的过程控制。着重地, 我们通过案例展示了复杂问题如何全面地覆盖章节知识体系从而有效克服课时缩减对课程教学的影响。过去两年教学实践表明, 我们采用的教学方法可以为学生自主学习提供积极的外部动力, 有助于培养学生扎实的理论力学知识体系和工程计算实践能力。

## 基金项目

安徽省质量工程线下课程《理论力学》(2020kfk454)。

## 参考文献

- [1] 李俊峰. 理论力学课程体系改革探索与实践[J]. 中国大学教学, 2008(4): 10-13.
- [2] De Jong, J.P. and Den Hartog, D.N. (2008) Innovative Work Behavior: Measurement and Validation. *EIM Business and Policy Research*, **8**, 1-27.
- [3] Daminov, O.O. (2019) Game Competence as the Process of Professional Competition on the Professional Education Teacher. *International Journal of Advanced Science and Technology*, **28**, 890-896.