



编者按：本刊本着百花齐放、百家争鸣的方针，在本期发表了洪嘉振和杨长俊、冯立富和郭书祥、傅恩泽和任爱娣、冯振宇的关于力学课程改革的意见，供参考。稍后，我们又收到了江苏省镇江市船舶工业学院力学教研室景荣春同志、合肥工业大学机械工程系吕新生和高洪同志的文章，也提出了类似意见，限于本刊篇幅，不再刊登。在此谨向他们致谢。

## 工科理论力学教学体系改革的探索与实践

洪嘉振 杨长俊

(上海交通大学工程力学系，上海 200030)

**摘要** 本文针对目前工科理论力学教学体系的现状，从当前工程的需要、计算技术的冲击与面向 21 世纪等角度提出理论力学教学体系必须进行改革的原因。重点介绍了所编写的理论力学教材新体系。

**关键词** 理论力学，教学体系，改革

### 1 目前理论力学教学体系存在的问题

理论力学是工科院校机类专业重要的技术基础课之一。教学内容是系统介绍静力学、运动学与动力学的基本概念、基本原理以及处理问题的基本方法，为机械系统的设计与参数优化的后续课程打下基础。传统的理论力学教材的特点是：

(1) 由牛顿定律展开，强调基本概念完整性；

(2) 对于运动学与动力学问题，强调瞬时分析能力的培养；

(3) 对于动力学以介绍建立动力学方程的基本原理为主要内容。

理论力学的上述体系与内容尚存在不少问题，主要有：

(1) 理论力学中的很大一部分基本概念与学生在中学与大学物理课程中已学过力学的基本内容相重复。

(2) 瞬时分析能力的培养过于依赖解题的技巧，不能解决复杂机械系统静力学、运动学与动力学的性态分析问题。

(3) 传统教材重点介绍的动力学基本方法对建立复杂机械系统的动力学方程不实用。

由于上述几点，在教学的过程中出现如下的现象：在传统的瞬态分析的教学中，由于没有引入先进的数学工具，在处理运动学与动力学问题时，在技巧上很难突出求解问题的共性与程式化。学生在学习理论力学时，面对理论力学的问题，如果没有想到某题

的解题技巧或面对较复杂的动力学对象，学生将无能为力。学生普遍反映理论力学不好学。由于理论力学的教学内容与后续课程的脱节，故学完不久很快就丢失。这种情况在研究生考试的复习迎考时，在学生的答疑中得到明显的反映。理论力学教师也普遍感到利用理论力学目前的教学内容与方法很难解决工程复杂问题的运动学与动力学分析。

(4) 近一二十年来，由于计算机技术的冲击，国外在复杂机械系统设计与优化方面已经发生很大的变革。面对 21 世纪，没有考虑到这些变革对理论力学的教学内容与体系提出的要求。

在基于有限元理论，通用的计算机辅助分析软件广泛用于结构分析之后，基于多刚体系统动力学的静力学、运动学与动力学计算机辅助分析的技术也已得到愈来愈广泛的应用。多刚体系统动力学的思想是根据力学基本原理建立适合于复杂系统的通用程式化的运动学与动力学模型，在此基础上静力学问题作为动力学的特殊情况也得到了解决。它是计算技术对理论力学传统建模思想的革命，即从以具体对象为目标的建模方法改变为面对一类系统通用的程式化的建模方法。这种新方法目前已经为国外产品的设计广泛应用，我国也开始引用这一先进的产品设计与优化的技术。对此，国内机械领域的工程师已提出知识更新的要求。显然，所要更新的知识均属理论力学范畴。因此，如果还以目前的教学内容与体系培养工程师，是不符合面向 21 世纪的需要的。

综上所述，面对 21 世纪高质量工科人才的培养，在理论力学的内容与体系方面确实必须进行改革。需要理论力学的教学工作者在数学描述体系，基本概念、瞬态分析方法、先进的计算机辅助分析的基本概念与方法等方面进行深入的研究与探索。

本文于 1999-03-28 收到。

## 2 理论力学课程的新体系

根据面向 21 世纪理论力学教学的需要, 为培养学生既有扎实的理论力学的基本知识, 又有处理分析工程问题的能力, 我们在理论力学课程体系与教学内容改革方面进行了探索与实践. 编写了新教材《理论力学》与开发了配套的计算机辅助教学软件“理论力学问题求解器”. 考虑到学生在中学与大学物理中有关力基本概念与定理的学习, 新教材整个体系以刚体与刚体系为主要研究对象, 淡化质点与质点系在理论力学教学中的地位. 与传统的理论力学相比, 新教材的教学体系上作了较大的变动.

(1) 数学工具引入了矢量代数与矩阵运算相结合的方法. 以不同基(坐标系)的姿态关系(方向余弦阵)与不同基(坐标系)下矢量的普遍关系为全书的数学基础. 这样不仅使理论力学的数学描述与推导变得简洁, 而且便于计算机辅助分析软件编程.

### (2) 运动学

传统的理论力学以描述点的运动学为主线, 在运动学分析上以点的速度与加速度的矢量几何分析为基础, 研究各相关点的速度与加速度的关系. 在教学内容上以点的复合运动为重点进行介绍. 引入了定系、动系、定点、动点、牵连点的概念, 在运动学分析中, 上述概念的理解、选取的技巧与方法成为理论力学教学中的一个难点.

新教材在运动学中只建立有明确物理意义的两个概念, 即刚体的连体基(坐标系), 刚体上的点(连体基上的给定点). 以刚体位形(刚体的位置与姿态)为主线, 对于平面运动的刚体, 其位形坐标为连体基基点的两个笛卡尔坐标与一个姿态角坐标. 刚体上的所有给定点的运动学统一由刚体的位形、速度与加速度来描述. 动点的运动学通过解析的方法引入, 可以很方便得到相对运动、绝对运动与牵连运动等概念. 将传统理论力学中点的运动学瞬时分析的矢量方法与解析方法紧密地结合起来.

由于运动学的视点由孤立的点转向刚体的位形, 这样为解决复杂刚体系的运动学的分析成为可能. 新教材在体系上引入了约束方程来描述刚体系的构型, 刚体系的运动学归结为对位置约束方程、速度约束方程与加速度约束方程的处理. 当刚体系中每个刚体的运动学得到解决, 实际上系统上所有点的运动学已经迎刃而解.

运动学体系的这样改变不仅让学生建立了先整体, 后局部的概念, 而且使学生以程式化的方式解决运动学问题成为可能, 不为解题的技巧所制约. 同时

为与动力学的贯通打下基础.

### (3) 动力学

传统的理论力学的主线是利用矢量动力学或分析动力学的基本原理建立质点系动力学方程. 在此基础上, 利用运动学的点的速度与加速度的关系, 进行动力学瞬时分析. 尽管从原理上有普遍的意义, 但在处理有多个自由度系统动力学问题时将遇到困难.

新教材保留了上述建模的基本原理与原理的介绍, 在矢量动力学中突出动量定理与动量矩定理在刚体系动力学建模的地位. 在动力学问题的处理上与运动学贯通, 引入刚体系运动学约束方程, 进行处理. 在分析动力学中突出达朗贝尔原理在动力学瞬时分析中的地位.

在复杂刚体系的动力学过程分析中, 新体系突出带乘子的第一类拉格朗日动力学方程的地位. 结合刚体系的运动学约束方程构成刚体系的动力学模型. 这种模型是目前大型工程分析软件的基础. 新体系中重点介绍如何以此模型解决刚体系动力学正问题、逆问题与正逆混合问题的过程分析.

### (4) 静力学

传统的理论力学以力系平衡为基础, 根据不同的对象解决约束力与主动力关系为主.

新教材将静力学分为两个层次, 第一个层次是精简以力系平衡为基础的内容, 重点介绍利用虚位移原理解决静力学问题的方法. 第二个层次是将静力学问题作为特殊的动力学逆问题处理, 以程式化的方式同时完成刚体系约束力与主动力的关系及刚体系平衡位形的确定.

上述理论力学新体系的特征是:

(1) 通过运动学、矢量动力学与分析动力学等理论力学基础内容的学习, 让学生掌握运动学与动力学的基本概念, 学会处理运动学、动力学与静力学瞬时分析的方法, 培养学生正确判断分析结果的正确性.

(2) 以刚体位形坐标、刚体系约束方程、加上拉格朗日第一类动力学方程等基本概念与方法的介绍, 实现了运动学过程分析、动力学过程分析与静力学分析的贯通. 通过学习, 让学生掌握如何根据物理对象与要求解决问题的目的与建立刚体系力学模型的能力, 掌握根据力学模型建立相应数学模型的原理与通过数值仿真得到分析结果的方法, 掌握利用辅助分析软件(理论力学问题求解器)进行分析的过程. 通过实践完成对学生处理复杂问题能力的培养.

与新体系教材配套的电子出版物《理论力学问题求解器》是培养学生利用计算机辅助分析方法处理复

杂理论力学问题的工具。该软件开发的基本原理即为新体系教材中较传统教材增加的新内容。软件处理理论力学问题的模式与先进工程分析软件解决工程问题的模式一致。该软件是全开放的,问题可由教师与学生自己提出。培养学生利用软件解决理论力学问题的过程,不仅可以让学生提高建模的能力、分析判断分析结果的正确性、与应用大型工程软件分析问题接轨,而且可以通过过程分析的时间历程的数据分析、动画演示加深对运动学、动力学、静力学物理现象的理解。由于该软件是全开放的,因此也可帮助教师根据需要设计理论力学问题,进行课堂上的计算机辅助教学。

### 3 理论力学新体系的实践

新教材已在我校机械工程学院机电一体化 976 班进行试用,效果较好。整个教学时数为 72 学时。尽管新教材在教学体系作了较大的变动,教学内容起点较高,学生完全能适应。最直接的反映是,学生理解了先修的数学、计算方法和计算机编程与当前学习的理论力学以及为解决工程实际问题的关系。第一次将原来在相互独立的课程中学到的内容得到了联系,培养了

处理运动学、动力学与静力学问题的能力。至于对他们在学习后续课程的影响,尚有待跟踪调查。

在教材的编写与教学实践的过程中,笔者始终注意新体系教材的教学内容是否覆盖了传统理论力学教材中重要的基本概念与处理问题的方法。为了测试教学效果,在理论力学期末检查中,将考试分两个环节,闭卷考试与编程大作业(运动学计算机辅助分析)。在闭卷考试的 5 题中,有 4 问考题涉及传统理论力学的教学内容,有 1 问涉及系统建模的考题。结果有 2/3 的学生考试成绩优良,1/10 的学生不及格。编程大作业绝大多数学生均能完成。

最后需要特别指出的是新体系的设想早在两年前曾与北京航空航天大学王琪副教授、清华大学的李俊峰副教授、哈尔滨工业大学的赵经文教授共同讨论,得到理论力学前辈谢传峰教授与梅凤翔教授的鼓励,教育部基础力学课程指导小组组长范钦珊教授给予了有力的支持。新教材在撰写过程中与上海交通大学朱本华副教授进行了深入的讨论,并引用了刘延柱教授与吴镇教授编写的理论力学的许多例题与习题。作者感谢上述各位的关心与帮助。

## 工科理论力学教学改革刍议

冯立富 郭书祥

(空军工程大学工程学院,西安 710038)

**摘要** 本文分析了工科理论力学教学改革的几种传统作法,阐述了当前教学中存在的主要问题及相应的改革措施。

**关键词** 理论力学,教学改革,工程实际

随着科学技术的发展,力学的新知识不断涌现,工程技术对力学的要求越来越高,而高校给予各门力学课程的教学时数却越来越少,因此力学教学必须进行改革。

以往的基本作法是,你压缩多少学时,我就相应地减少多少内容。

近年来出现了一种模块式的教学改革路子。即将理论力学、材料力学等课程的内容,分成若干个较小的单元,也就是模块。同时规定完成每个模块的教学内容所需要的学时,各专业可根据自己的不同情况进

行选择。这种作法在形式上虽与上述基本作法有所不同,但在效果上二者大体上是相同的。

第三种作法是将理论力学和材料力学合并,有的甚至还包括了结构力学、弹性力学和计算力学等,从而构造出一门新的课程,一般称为“工程力学”。这种作法对由于学时偏少,因而理论力学和材料力学不宜单独设课的各种非机械类和非建筑类专业是有一定意义的,但对于各种机械类和建筑类专业则是值得讨论的。这是因为,虽然理论力学和材料力学联系紧密,但它们是两门不同的技术基础课。首先,二者的研究对象不同。理论力学研究的是物体机械运动的一般规律,它的研究对象是质点系,其中包括刚体、离散系统、流体和变质量物体等;而材料力学主要研究杆件的应力、变形和材料的宏观力学性能,它的研究对象基本上是变形固体。其次,二者的发展方向也不同。

本文于 1998-12-15 收到。