
结构设计竞赛与材料力学课程教学融合探索

——以吉首大学张家界学院为例

代坤¹

(吉首大学张家界学院, 湖南 张家界 427000)

【摘要】: 材料力学作为工科重要的专业基础课, 有效的教学方式是理论与实践相结合。但对于独立学院来说, 由于教学条件和学生层次等原因, 普遍难以达到理想的教学效果。本文以吉首大学张家界学院为例, 介绍了一种将结构竞赛的力学概念融入材料力学课程中的教学模式。实践证明, 该教学模式对于提升学生的学习热情 and 实践能力具有一定促进作用。

【关键词】: 教学改革 结构设计竞赛 材料力学 土木工程

【中图分类号】: G4 **【文献标识码】:** A

0 引言

材料力学作为工科的专业基础课程, 其力学基础概念与分析方法的掌握, 对后续相关设计类专业课程至关重要。该课程具有较强的系统性和理论性, 并且与工程实际联系十分紧密。但对于大多数土木工程专业学生而言, 由于缺乏实际工程经验, 很难将课程中的力学概念与工程实际问题联系在一起, 其结果就是学生对材料力学课程的学习与理解大多停留在较浅的知识层面, 在面对实际工程问题时无从下手。

现阶段对于我国土木工程专业而言, 如何有效地改善材料力学课程的教学效果, 是一个值得深入研究的问题。国内诸多工科类高校教师对材料力学课程的教学改革进行了多方面的尝试, 如翻转课堂、信息化教学等, 目的是将课堂从“以教师为中心”的灌输模式转换为“以学生为中心”, 但对于大部分基础薄弱或是缺乏学习动机的学生来说, 这类教学手段往往存在一定的局限性。此外, 也有学校为更好地实现理论与实践相结合的目标, 开设了结构模型设计和制作课, 并取得了非常不错的教学成效。但因为各高校的教学条件和学生层次存在差距, 特别是对于一些民办高校或独立学院, 实行起来存在较大的困难。以笔者所在的吉首大学张家界学院的土木工程专业为例, 存在如下两个较为突出的问题:

(1) 师资与硬件条件不足。

以笔者所在的土木工程专业为例, 讲授力学课程的老师仅有两人, 教学任务繁重。笔者除了要讲授两门力学课程外, 还承担了三门专业课的教学和相关的学科竞赛指导工作。与此同时, 目前一些专业课程所需的相关硬件和场地也不完善, 专业课程的实践教学难以持续推进。

作者简介: 代坤(1987-), 男, 土家族, 湖南张家界人, 工学硕士, 吉首大学张家界学院助教, 研究方向: 结构工程。

(2) 学生的基础较差。

学生的基础不牢固也是较为普遍的问题，主要体现在学生前序课程的知识储备不足以及缺乏学习动机两个方面。若通过降低课程知识的难度来满足教学要求，不仅效果甚微，同时也不能满足专业人才培养的知识和能力目标。对于大部分缺乏学习动机的学生而言，这样的做法也无法起到令人满意的教学效果。

1 结构竞赛与材料力学课程融合

笔者近几年一直对本专业学生的结构设计竞赛进行指导工作，在指导过程中发现，大部分学生对竞赛都表现出较高的积极性。主要原因在于对学生而言，相比教材中的力学概念和例题，竞赛中的模型更直观，制作模型也更有成就感，加载过程更是可以直接感受力学的魅力。正是基于这些原因，学生更愿意参与到实际结构模型的制作中。但遗憾的是，对于多数学校，特别是独立学院，若安排本专业所有学生进行分组制作模型，所需的教学场地、教学时间、加载设备和耗材等条件都较难实现。基于此背景，更合适的方法是将结构竞赛所包含的力学概念融入材料力学课堂中，从而实现以赛促教的目的。

表 1 竞赛专题与材料力学课程知识点融合

序号	竞赛专题	理论知识点	教学目标
1	竹材力学性能测定	材料的拉压力学性能	测试竹材(顺纹)的弹性模量及强度极限
2	拉杆的截面设计	轴心受拉力学计算	通过竹子拉伸极限强度，设计规定荷载下的截面尺寸
3	抗扭设计	扭转力学计算	发掘提高杆件抗扭能力的措施
4	水平跨越平面结构设计	弯曲、剪切力学计算	通过弯曲、剪切内力图优化设计结构方案
5	水平跨越空间结构设计	组合受力计算	分析水平跨越空间结构在多种荷载组合下的受力
6	压杆截面设计	压杆失稳力学计算	发掘提高压杆抗失稳能力的措施

结构竞赛融入材料力学课程，首先要将竞赛训练过程中包含的力学知识点拆解出来，再融入课程相关章节的具体教学中，并以合适的难度和层层递进的问题引导学生。竞赛案例的融入，使得学生对力学概念的学习过程更直接、更易于理解，不仅可以激发出学生的学习热情，也能使学生获得解决问题后的成就感。结构设计竞赛应用到的材料力学概念主要为杆件的五个基本内力：“拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转”，以及各基本内力之间简单的内力组合。表 1 展示了结构竞赛训练专题与材料力学课程对应知识点的融合。

2 融合教学设计模式

下面以第八届湖南省大学生结构设计竞赛赛题为例说明具体的融合教学设计模式。该赛题改编自 2020 年全国大学生结构设计竞赛赛题，赛题模型为单跨外伸桥梁结构，主要考察模型在竖向和扭转荷载作用下的承载力(图 1)。在教授学生材料力学课程中弯曲和剪切计算知识点时，将竞赛专题中关于水平跨越平面结构设计的内容融入进来。下面分析在第一阶段荷载作用下，模型产生弯曲和剪切变形的力学原理，并讲解如何根据内力图优化设计结构方案。

该教学设计模式分为四步：第一步由教师讲解基础力学概念；第二步由学生计算赛题的计算简图并画出其内力图；第三步由教师演示模型及加载视频，学生讨论相关问题；第四步由教师讲解模型中包含的相关力学问题，学生继续思考拓展后的问题。

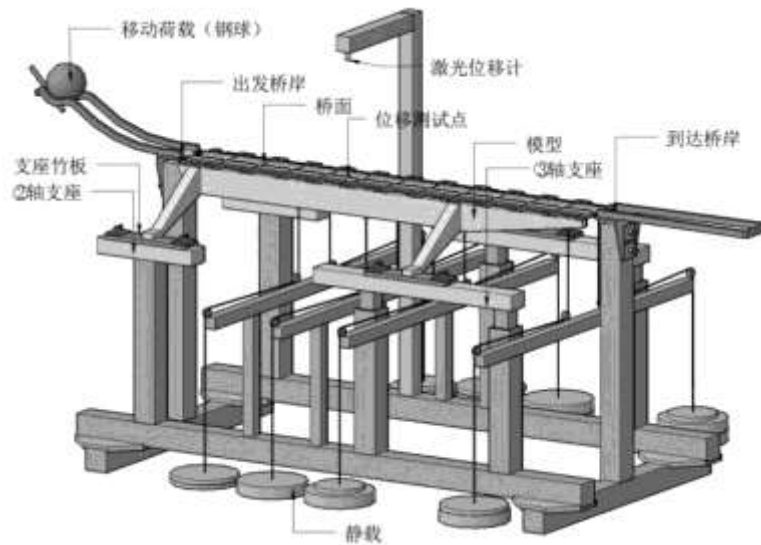


图1 第八届湖南省大学生结构设计竞赛模型示意图

2.1 讲解基础力学概念

第一步由教师讲解弯曲、剪切变形的核心原理和内力计算方法，以便在随后讲解竞赛案例时，学生能听懂其中的力学概念，并对计算简图完成基础的受力分析。这一步教师在讲解基本概念和知识点时，不需要追求全面和深入，而应通过随后引入的竞赛案例，让学生在案例的引导下，由浅入深地思考和掌握本章的力学概念。

2.2 分析赛题计算简图

第二步是由教师解读赛题规则，根据赛题中对模型的约束条件和加载工况，建立合适的计算简图(图2)。学生根据该计算简图和施加的荷载作受力分析。这一部分往往是学生比较擅长的，大部分学生都能求解出正确的结果，并画出计算模型剪力图(图3)和弯矩图(图4)。

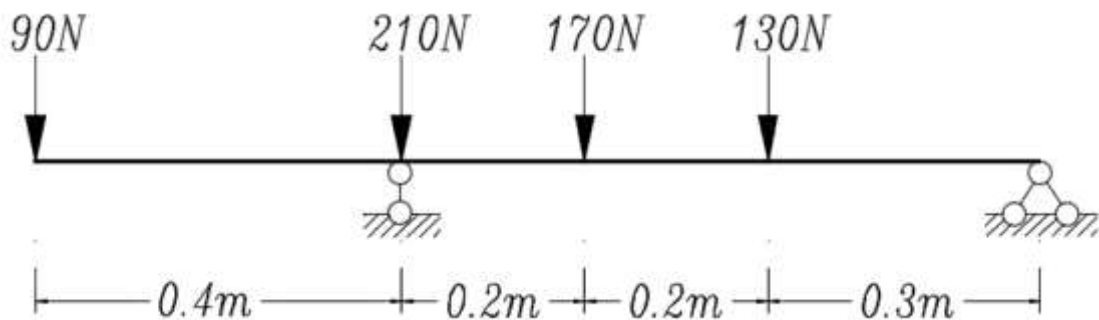


图2 计算简化模型

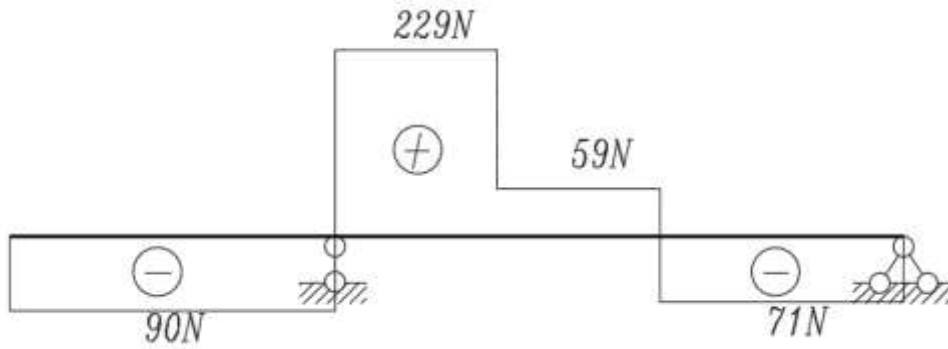


图3 计算模型剪力图

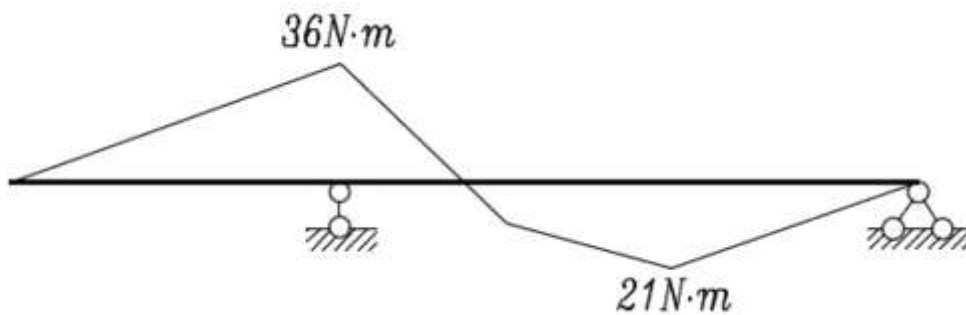


图4 计算模型弯矩图

2.3 演示加载视频及讨论

第三步是待学生完成内力图的计算和绘制后，教师在课堂中展示本校参赛时的结构模型(图5)，并播放备赛训练时拍摄的加载视频。学生观察模型及加载视频后将对模型的受力有一个较为感性的认识，此时教师再提问引导学生逐步深入思考，如桁架中的斜腹杆为什么是这个方向?桁架中的斜腹杆的倾斜角度如何设置?模型中哪些杆件受压，哪些杆件受拉?为什么模型的结构侧面是这个形状?当学生头脑中积累了足够多的疑惑，就更愿意主动思考和尝试解决难题。此时，教师切记不要着急给出答案，而是要留出充裕的时间，让学生进行分组讨论，鼓励学生在课堂上回答这些问题。



图5 制作模型侧立面

2.4 教师讲解及问题拓展

第四步是教师结合学生讨论情况,用学生已掌握的力学概念进行详细讲解。接下来以学生算出的剪力图和弯矩图为基础,说明模型构造中包含的力学原理。通过理论计算与模型实物的对比,学生对力学概念的应用能获得更直观的感受。

通过剪力图说明桁架中的斜腹杆为什么是这个方向的问题。首先用截面法取模型右支座一小段作为隔离体(图 6),再通过力平衡关系画出支座力及杆轴力方向。由于竹材顺纹抗压极限强度远小于顺纹抗拉极限强度,因此通过剪力图的正负方向,设置斜腹杆的方向如模型所示(图 5),目的是尽量使斜腹杆只承受拉力。

对于斜腹杆的倾斜角度同样可以由剪力图判断。由图 6 所示隔离体,可以看到斜腹杆的竖向分量 V 与支座力 R 平衡,斜腹杆的水平分量 H 与上弦杆的压力 C 平衡。假设拉压杆之间的夹角为 θ ,那么上弦杆的压力 C 可用下面的式(1)表示。由剪力图可知,整根梁在外力之间的各梁段处剪力值为常数,所以当拉压杆之间的夹角 θ 变小时(如图 6 所示),拉杆和压杆的轴力都将增大,轴力增大对于竹制压杆将十分不利。

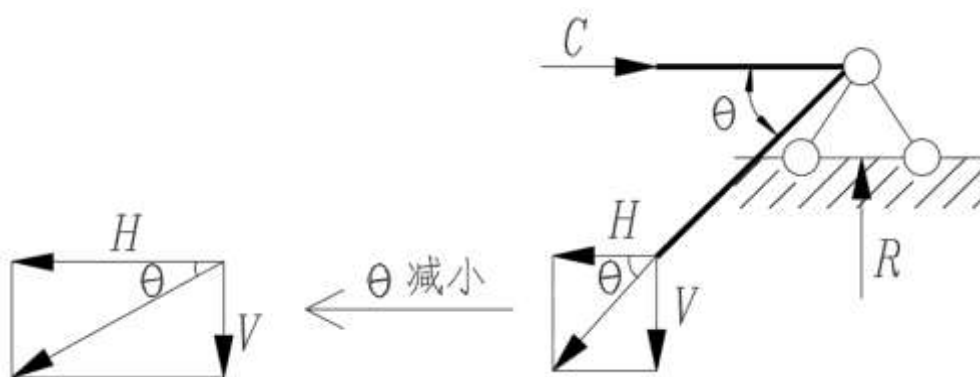


图 6 右支座隔离体示意图一

$$C = \frac{V}{\tan\theta}$$

对图 3 的剪力图中剪力较大的梁段,比如左支座右侧剪力值为 229N 的梁段。由式(1)可以看出,增大拉压杆间的夹角能有效减小上弦杆的轴压力,同时也能减小斜腹杆的轴拉力。

而对于模型中哪些杆件受压,哪些杆件受拉这个问题,可以通过计算模型的弯矩图进行说明。依然取模型右支座一小段作为隔离体进行分析(如图 7 所示)。通过力矩平衡容易推导出模型的上弦杆受压,下弦杆受拉的计算结果。因为横截面的弯矩值为固定值,若想减小上下弦杆件的轴力,可以通过增大桁架高度 h 实现。此时,可继续引导学生思考为什么模型的结构侧面是这个形状?实际上模型的桁架高度如果随着弯矩图的大小设计,能让上下弦杆的截面尺寸既能满足强度要求,又能经济合理。

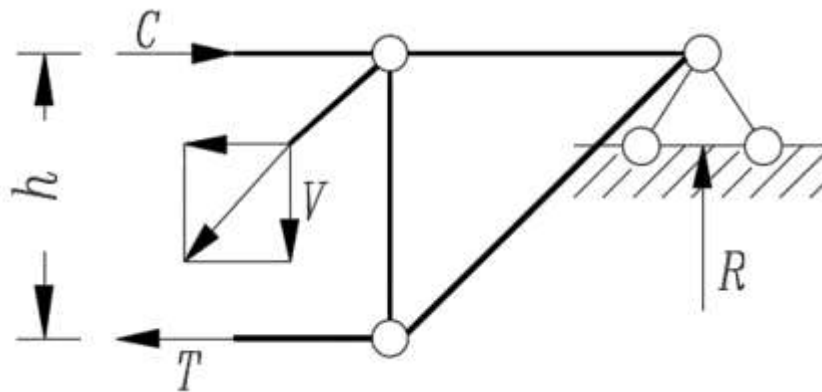


图7 右支座隔离体示意图二

为了合理利用竹材抗拉能力远大于抗压能力极限强度的特点，又可将模型拉杆都换成截面更小的竹条。此时，可将钢筋混凝土梁中的纵向钢筋与竹条作类比，以此引出钢筋混凝土梁中的钢筋布置原则：抗拉性能好的钢筋布置在梁的受拉侧，承受拉应力。通过竞赛专题与工程实例的对比讲解，学生对工程构件受力特性的印象也能更深刻。

最后，在原案例的基础上做适当修改，将其作为思考题，用来启发学生进一步思考并整合理论知识。比如改变模型的约束条件或者加载工况后，模型的结构方案将如何优化？桁架的杆件又如何调整？

该融合教学设计模式是在讲授完基本的概念后，便立马让学生在特定的赛题背景中进行思考和讨论。赛题中隐含的力学问题，架起了理论与实践的桥梁，启发学生提问、思考、讨论、总结。学生在尝试回答这些结构竞赛的问题时，专业知识和解决问题的能力也逐渐得到了有效提高。

参考文献：

[1] 范钦珊，殷雅俊，唐静静，等. 改革教学，创新教学——“材料力学”课程教学改革实践与体会[J]. 力学与实践，2018, 40(05): 543-549.

[2] 范建辉. SPOC 教学模式在《材料力学》课程中的应用研究[J]. 知识经济，2019, (25): 33-34.

[3] 吴守军. 基于信息化技术的《材料力学》教学改革探索[J]. 教育现代化，2019, (06): 95-97.