

doi: 10.11835/j.issn.1005-2909.2018.04.003

欢迎按以下格式引用:鲁正,翁渝峰.中外土木工程防灾专业结构动力学课程比较研究[J].高等建筑教育,2018,27(4):13-17.

# 中外土木工程防灾专业 结构动力学课程比较研究

鲁正,翁渝峰

(同济大学 土木工程学院 结构工程与防灾研究所,上海 200092)

**摘要:**在土木工程高等教育系列课程中,结构动力学课程作为不可或缺的重要分支,对在动力荷载作用下的结构进行受力及传力规律分析,并对相关工程结构进行优化等方面有重要作用。文章主要以新加坡国立大学、加州大学伯克利分校、麻省理工学院和同济大学为例,从课程要求、课程内容等多个层面对该课程设置进行探索和对比研究,发现各大学结构动力学课程的设置情况和课程内容,与大学研究生教育的特点和研究方向,以及所处国家或地区地理位置等因素有关。最后根据分析结果,提出相应的适合中国国情的教学建议。

**关键词:**结构动力学;课程设置;教学改革;高等工程教育;中外教育比较

**中图分类号:**G642.0;TU3 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2018)03-0013-05

土木工程防灾是一门以实现土木工程防灾减灾为目的,利用工程技术为手段的隶属于土木工程学科的二级学科<sup>[1]</sup>,其核心内容包括工程结构抗震、工程结构抗风以及工程结构抗爆等。随着社会经济水平的提高以及人们安全意识的增强,国家对工程防灾的要求也逐渐提高。在此背景下,设立防灾减灾工程及防护工程二级学科,旨在建立和发展工程结构抵御自然或者人为灾害的科学理论,提出工程措施和设计方法等,以此最大程度上减轻灾后受损程度,以保障人民群众的生命财产安全,提高国家的防灾减灾能力。而要发展一门学科,教育无疑是不可或缺的重要一环,因此,工程防灾方向的高等教育也愈来愈受到重视<sup>[2]</sup>。

作为工程防灾高等教育的一门重要基础课程,结构动力学与工程实际有着十分密切的联系,它在结构工程、防灾减灾工程及防护工程、地震工程、抗风工程等领域都有十分广泛的应用。因此,可以通过以结构动力学课程为代表,直接对比国内外课程教学情况来探析国内外防灾学科发展的差

修回日期:2017-11-13

基金项目:同济大学教学改革研究与建设项目(11080)

作者简介:鲁正(1982—),男,同济大学土木工程学院教授,博士,主要从事结构振动控制和工程结构抗震的理论研究和教学工作,(E-mail)luzheng111@tongji.edu.cn;翁渝峰(1996—),男,同济大学土木工程学院本科学学生,主要从事结构振动控制和工程结构抗震研究,(E-mail)1351072@tongji.edu.cn。

异。为保证对比的一致性,本文选取了国内外几所学制接近的典型高校——新加坡国立大学、加州大学伯克利分校、麻省理工学院和同济大学进行对比,以期为教育变革者提供多元信息和有效建议。

## 一、课程概况

结构动力学是一门主要为硕士研究生开设的课程,相比本科阶段学习的结构静力学课程,其引进了时间因素,因此更为复杂<sup>[3]</sup>。课程主要讲述结构在动力荷载作用下的受力分析及计算<sup>[4]</sup>,是建立在材料力学和结构静力学基础上的进阶性课程。

同济大学结构动力学课程由土木工程学院结构工程与防灾研究所开设,是一门2学分34学时的硕士必修课程。课程采用课堂电子课件授课、课后小作业、课后大作业的形式开展教学,最终由期末考试确定成绩。

新加坡国立大学土木工程专业虽没有设置防灾二级学科,但在结构工程专业仍有开设结构稳定性即动力特性这一课程,其教学内容与同济大学开设的结构动力学课程相似。此外,作为专业的核心课程,其所占学分也较高,为4学分。

加州大学伯克利分校土木结构工程专业开设的课程较为全面,虽没有单独设置防灾方向,但设有结构工程和材料力学两个相关方向。在所有自然灾害中,地震由于其突发性和常见性,特别是其发生时所带来的巨大破坏性,因此地震工程在土木工程结构防灾方向中一直有着举足轻重的地位。该校身处地震频发的加州地区,且设有著名的太平洋地震工程中心,因此地震工程一直是该校重要的研究方向和教学内容。与地震工程息息相关的结构动力学课程在相应的研究生课程中也一直处于核心课程位置,所设学分为3分。

麻省理工学院无防灾专业,但其开设了工程风险评估、工程经济学等与防灾相关的课程。此外,也开设了与结构动力学相关的课程:动力学与控制,并将其作为本科生必修课程。

从四所学校的课程设置可以看出,同济大学、新加坡国立大学考虑了不同灾种的防护,更为全面,而加州大学伯克利分校则主要偏重于地震灾害,在地震灾害方面进行了更为细化深入的教学研究。这可能与不同学校所在地区与国家面临的主要灾害有关。而麻省理工学院相比上述三个学校则将结构动力学等课程作为基础性课程放在了本科阶段,在研究生课程中更注重计算机领域等相关内容在土木工程中的应用。

## 二、课程要求

以同济大学、新加坡国立大学、加州大学伯克利分校为例,对其课程要求列表对比见表1。

从学时要求来说,上述三所学校的结构动力学课程学时均为每周3小时,但是同济大学与新加坡国立大学为必修课程,而加州大学伯克利分校则为选修。此外,加州大学伯克利分校还规定了每周的课外作业量为5小时,这在其他几所学校中都没有明确规定。同济大学规定了课程每周均有相应的小作业,整个学期还需要完成一项实际地震动时程数值积分或结构动力分析的大作业。麻省理工学院则在整个学期中布置了12次小作业,考虑到国外教学周较短,故其相当于每周布置一次作业,且其作业内容大部分与计算机编程相结合,难度也相应较大。

表1 同济大学、新加坡国立大学、加州大学伯克利分校课程要求

学校名称	课程名称	课程性质	学时
同济大学	结构动力学 (Structure Dynamics)	必修	3小时/周
新加坡国立大学	结构稳定性与动力特性 (Structure Stability and Dynamics)	必修	3小时/周
加州大学伯克利分校	结构动力学 (Dynamics of Structures)	选修	3小时/周

课程的评分体系,四所学校均比较注重测试成绩,测试成绩在总评中占比均在70%~80%。麻省理工学院将测试分成了四次,穿插在学期间进行,而其他四所学校则均只有一次期末测试。

### 三、课程内容

课程内容的设置将直接决定课程教学内容的广度和深度,因此,通过直接比较各所学校的课程内容,可以得出其在教学研究的侧重点以及要求程度上的差异性。

新加坡国立大学、加州大学伯克利分校、麻省理工学院和同济大学具体课程内容的对比分析如表2。

表2 同济大学、新加坡国立大学、加州大学伯克利分校和麻省理工学院结构动力学课程内容

学校名称	课程名称	课程内容
同济大学	结构动力学 (Structure Dynamics)	结构动力学的科学与技巧;结构动力学基础与运动方程的建立,单自由度体系动力问题回顾;自由振动、对简谐荷载、周期荷载和任意荷载的反应,自振频率、振型、阻尼比等;结构动力学中的能量与阻尼问题;复频响应与隔振原理;多自由度体系的特征方程和频率方程;振型的正交性与振型叠加法;阻尼矩阵的构造与振型加速度方法;梁的偏微分运动方程以及自振频率和振型求解;分布参数结构的动力;解动力反应数值分析的显式方法与隐式方法;数值算法中的基本问题;结构实用振动分析方法;结构动力分析的离散化方法概述;专题介绍
新加坡国立大学	结构稳定性与动力特性 (Structure Stability and Dynamics)	结构稳定性与动力特性的基本原理;梁、柱以及框架的失稳;局部以及整体的稳定性设计;单自由度体系动力特性;多自由度体系的动力特性;连续结构系统的动力特性;计算结构稳定性和动力特性的数值方法以及电脑编程应用;结构稳定性与动力特性在实际工程中的应用
加州大学伯克利分校	结构动力学 (Dynamics of Structures)	计算结构在理想单自由度体系、离散参数下的多自由度体系的动力响应以及结构变形;计算地震荷载下结构的变形与内力;利用反应谱计算结构的最大响应;非弹性性质下的影响;实验验证
麻省理工学院	动力学与控制(Dynamics and Control)	多自由度体系下结构的动力特性;刚体的平面运动;虚功原理的应用;拉格朗日方程在质点与刚体平面运动上的应用;自由状态下多自由度体系的振动特性;外加激励作用下多自由度体系的振动特性;矩阵特征值问题;利用数值方法以及MATLAB解决动力与振动问题

这几所大学在课程设置和教学内容上体现了不同国家地区背景的教育特点。

在加州大学伯克利分校,地震工程人才的培养主要是以研究生的方式,同时其工学院设置有美国地震工程研究中心和太平洋地震工程中心,并配有大型地震模拟振动台<sup>[5]</sup>。因此,其在地震工程方面的研究十分突出,同时也更加注重地震工程人才的培养。这在其结构动力学课程内容上也可以得到一些验证,其教学大纲中约有一半是在介绍如何将结构动力学应用在实际地震工程中,其内

容更接近于同济大学开设的另一门防灾课程抗震结构设计。

新加坡国立大学开设的课程结构稳定性与动力特性,顾名思义,这门课前半部分是在介绍结构的稳定性,下半学期才开始涉及结构动力学部分内容。动力学这部分内容主要涉及单、多自由度体系的动力特性计算,内容相对较简单。

同济大学的结构动力学课程大纲则较为详细,但可以归结为单、多自由度体系动力特性计算,结构动力特征参数求解,数值方法介绍以及实际应用等几个方面。由于本科阶段的结构力学(2)课程中已经涉及到部分结构动力学的知识,因此在研究生阶段简单的单、多自由度体系动力特性计算等内容学时便相应较少,重点内容放在了本科未涉及的阻尼计算,以及更为复杂的偏微分方程求解、数值方法介绍等等。单从课程难度上来看,同济大学的结构动力学课程难度是最大的,这应该也与同济大学在抗震领域研究较为领先有所关系。此外,由于中国现在的研究生教育正在从规模大向质量高转变,因此对于课程的具体内容、难度等方面都提出了新的要求<sup>[6]</sup>。

麻省理工学院的动力学与控制课程,与其他四所学校不同之处在于其是本科阶段的课程,而且是由物理学院授课。因此与传统土木工程学院授课的结构动力学课程相比而言,其在内容上涉及的东西更多、广度更广,涵盖了刚体动力学以及结构动力学等内容;且对每个内容版块的要求都较高,不仅每节课的课后作业习题量较大,而且均要求使用 MATLAB 进行编程计算,这对于计算机的应用能力要求也较高,因而麻省理工学院的动力学与控制课程难度也是较高的。

综上所述,就课程难度而言,通过综合比较各大学的课程教学内容的广度和每个内容板块的深度、课后作业情况以及考试情况,可知同济大学的结构动力学课程与麻省理工学院的动力学与控制课程在难度上均较高。同时,由于所处的地区以及国情、研究专长等的原因,加州大学伯克利分校与同济大学的结构动力学课程均涉及较多其在地震工程领域上的应用。对比上述国外高校与同济大学,还可以发现国外课程对计算机编程能力的要求较高,在课程中都会涉及一些编程项目,这也反映了与计算机紧密结合是国外高等教育发展的一个重要趋势。

## 四、教学发展建议

通过上述比较研究可以看出,不同高校土木工程专业结构动力学课程的设置与其所处国家和地区的地域特点、研究水平以及研究生培养模式密切相关。由于学科研究特点以及专长不同,同济大学与加州大学伯克利分校在结构动力学课程中更注重其在地震工程领域的应用,其他院校则注重基本原理的讲授。此外,国外高校更注重计算机在土木工程领域的应用,因此在相关课程中计算机编程等占比较大,而同济大学在课后作业中虽也有部分涉及到编程,但所占比重较国外仍是较少的。

改革需要循序渐进地不断吸收其他学校的精粹,再根据自身实际情况进行相应提升。在此提出部分建议:

### (一) 内容进一步深入细化

就同济大学而言,由于本科阶段已经开设了结构力学课程,且有部分涉及结构动力学的基本原理知识,因此在研究生阶段可将课程进一步深入细化,减少重复部分的授课学时。与此同时,也可开设一些结构动力学的相关选修课程,如能量与阻尼问题、数值方法在结构动力学中的应用等,以供有兴趣以及研究领域相近的学生进一步深入了解,这也符合研究生的研究学习目的,有利于他们

更好地进行科学研究<sup>[7]</sup>。

## (二) 增加计算机编程应用

随着计算机的飞快发展,未来土木工程领域的发展也将与计算机领域息息相关,因此国内高校在进行授课的同时应增强锻炼学生利用计算机解决问题的能力,才能培养出具有未来视野、能够独立解决问题的符合未来人才需求的学生。与此同时,研究生不同于本科生,研究生担有研究的责任与义务,而现代的科学研究的离不开计算机,无论是从实验数据处理还是到结构有限元分析,均少不了计算机的辅助,因此在课程学习中应增加计算机应用的比例,尤其是计算机编程的能力,让学生不仅会使用现成软件,同时也有能力把自己的解题思路、逻辑内容等用计算机语言表达出来,从而方便自己解决问题。这不仅能发挥学生之前所学课程的优势<sup>[8]</sup>,也能帮助他们在接下来的时间里更好更快地深入到研究工作中去。

### 参考文献:

- [1]周福霖,崔杰.土木工程防灾的发展与趋势浅论[J].黑龙江大学学报,2010(1):3-10.
- [2]鲁正,杨玉玲.中外土木工程防灾专业高等混凝土课程比较研究[J].高等建筑教育,2017,26(1):61-64.
- [3]蔡东升,刘荣桂.土木工程大类专业结构力学教学探讨[J].高等建筑教育,2012,21(4):62-65.
- [4]李廉锴.结构力学[M].5版.高等教育出版社,2010.
- [5]陈聃.美国大学的地震工程研究力量和教学方式[J].地震工程动态,1979(1):35-37.
- [6]别敦荣,易梦春.中国高等教育发展的现实与政策应对[J].清华大学教育研究,2014(1):11-16.
- [7]万顺.数值计算方法在结构动力学中的应用[J].城市建设理论研究:电子版,2013(16).
- [8]孙明,周磊.基于地方本科院校应用型“卓越计划”的《结构力学》教改研究[J].教育教学论坛,2014(14):35-36.

## A comparative study on structural dynamics course of disaster prevention specialty in Chinese and foreign universities

LU Zheng , WENG Yufeng

(College of Civil Engineering , Research Institute of Structural Engineering and Disaster Reduction , Tongji University , Shanghai 200092 , P. R. China)

**Abstract:** As an indispensable part of civil engineering higher education courses, structural dynamics is applied to help designers to analyze and optimize the structural response under dynamic loadings. This paper studied the curriculum provision of structural dynamics course of Tongji University, UC Berkeley, National University of Singapore and Massachusetts Institute of Technology, and compared each of them by course requirements, course contents and so on. Conclusions that the curriculum provision of structural dynamics course is connected with research features, characteristics of graduate education and locations were drawn. The corresponding reform schemes suitable for China conditions were put forwarded.

**Key words:** structural dynamics; curriculum provision; teaching reform; higher engineering education; comparison of Chinese and foreign education