

# 机构学研究生课程中美大学比较分析

吴宇列, 吴学忠, 席翔

(国防科学技术大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 高等机构学是一门机械类研究生的专业基础课, 在国内外不少高校都有开设。通过对该课程在中美高校的设置、教材使用、课程内容, 讲授方式、评价方式等情况进行调研和对比分析, 可以为改进该课程的教学内容和提高授课质量提供有益的参考。

**关键词:** 高等机构学; 研究生课程; 比较

**中图分类号:** G643 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-8874(2016)03-0064-07

## Comparisons on Graduate Course of “Advanced Mechanisms Analysis and Synthesis” between Chinese Universities and American Universities and Reflections on Course Development

WU Yu-lie, WU Xue-zhong, XI Xiang

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** As a core course in mechanical engineering, Advanced Mechanisms Analysis and Synthesis is offered at a few domestic universities. It is necessary to conduct detailed analyses and comparisons for this course between Chinese universities and American universities on course settings, textbooks, course topics, teaching methods, course assessment, etc., which will be helpful to improve the course contents and teaching quality.

**Key words:** Advanced Mechanisms Analysis and Synthesis; graduate courses; comparisons

### 一、概述

高等机构学, 又称为高等机械原理、机构分析与综合, 它是在机械原理课程的基础上继续深入研究机构结构、机构运动学、机构动力学以及其他相关内容的课程<sup>[1]</sup>。机械原理是机械类本科生重要的专业基础课, 它的核心内容是介绍常用机构如平面连杆机构, 齿轮、凸轮、棘轮等机构的原理、应用及设计。而高等机构学则是机械类研究生的一门重要专业课, 它是在机械原理的基

础上采用专门分析理论、现代数学分析工具, 对机构进行深入的分析, 或者对某类型机构进行专门的分析与综合。高等机构学作为机械专业的研究生课程, 虽然在国内外不少高校都有开设, 但是这门课程并不属于热门课程, 往往不被重视, 似乎可有可无。实际上, 机构学所研究的结构设计、机构运动学分析、动力学分析、奇异性分析等内容对机械产品的设计、制造、控制等具有重要的基础意义。机构学也是制造业的基础, 是机械产品发明创造的源泉, 是提高国家制造业水平和国际竞争力的关键<sup>[2]</sup>, 因此有必要加强对该研

研究生课程的重视。为此, 本文对机构学在国内外高校的开设情况进行了详细的调研和比较分析, 其中国外高校以研究生教育最为发达的美国大学为例, 并根据调研和分析结果为该课程的建设提出了发展思路。本文的研究对改进该课程的课程内容和提高授课质量具有较好的参考意义。

## 二、美国大学机构学研究生课程情况

### (一) 美国大学机构学研究生课程开设情况

机械工程是比较传统和经典的学科, 国外大学一般都设有独立的机械工程系。国外大学的机械工程系对机械方面的专业基础课程都比较重视, 一般都开设了与机构学相关的研究生课程, 但是这些课程中和国内“高等机构学”课程名称完全一致, 内容也相近的课程还是不多, 大部分课程都只涉及机构学部分内容。

我们以美国大学为例对机构学研究生课程的开设情况进行分析。麻省理工学院(MIT)机械工程系为研究生开设了两门机构学相关课程, 分别是“Introduction to Kinematics and Robotics”和“Robotics”, 这些课程主要介绍与机器人相关的机构

学。斯坦福大学的机械工程系开设了三门可供研究生选择的机构学相关课程, 即“Introduction to Robotics”, “Kinematic Synthesis of Mechanisms”, “Advanced Kinematics”, 主要介绍了机器人、连杆等机构的分析方法和数学计算方法。加州理工学院开设了一门与机构学相关的研究生课程: “Introduction to Kinematics and Robotics”。佐治亚理工学院有两门相关的研究生课程, 即“Dynamics of Mechanical Systems”和“Robotics”。密歇根大学也有两门相关的研究生课程, 即“Mechanisms Design”和“Robot Kinematics and Dynamics”。卡内基梅隆大学的机器人研究所开设了一门与机器人机构学相关的研究生课程“Kinematics, Dynamic Systems, and Control”, 威斯康辛大学开设了与国内课程相对比较接近的机构学课程, “Kinematics and Dynamics of Machine Systems”, 该课程对一般机构的运动学和动力学进行了分析。美国其他一些大学的机构学研究生课程的开设情况也大都与此类似, 一般都是开设关于机器人或连杆机构的运动学和动力学分析的课程。根据以上美国大学官方网站所提供的研究生课程信息, 我们把美国几个主流大学的机构学开设情况整理和总结如表1所示。

表1 美国大学机构学研究生课程开设情况

序号	大学名称	机构学课程	与国内课程相似程度
1	麻省理工学院 <sup>[3]</sup>	1. Introduction to Kinematics and Robotics 2. Robotics	中
2	斯坦福大学 <sup>[4]</sup>	1. Introduction to Robotics 2. Kinematic Synthesis of Mechanisms 3. Advanced Kinematics	中
3	加州理工学院 <sup>[5]</sup>	Introduction to Kinematics and Robotics	中
4	佐治亚理工 <sup>[6]</sup>	1. Dynamics of Mechanical Systems 2. Robotics	中低
5	密歇根大学 <sup>[7]</sup>	1. Mechanisms Design 2. Robot Kinematics and Dynamics	中
6	卡内基梅隆大学 <sup>[8]</sup>	Kinematics, Dynamic Systems, and Control	中
7	威斯康辛大学 <sup>[9]</sup>	Kinematics and Dynamics of Machine Systems	中高
8	明尼苏达大学 <sup>[10]</sup>	Advanced Mechanism Design	高
9	俄亥俄州立大学 <sup>[11]</sup>	1. Advanced Kinematics and Mechanisms 2. Mechanics and Control of Robots	中高
10	加州大学洛杉矶分校 <sup>[12]</sup>	1. Kinematics of Robotic Systems 2. Dynamics of Robotic Systems	中

在美国大学的机械工程系中,和国内“高等机构学”课程名称和内容最为接近的是美国明尼苏达大学机械工程系开设的研究生机构学课程“Advanced Mechanism Design”。其教材采用明尼苏达大学的 Sandor and Erdman 教授 1984 年编写的《Advanced Mechanism Design: Analysis and Synthesis, Volume 2》。这本教材的第一卷 Volume. 1 是为本科生编写的,而第二卷则适合于研究生。教学内容以该教材为蓝本,主要内容涉及连杆机构、机器人机构、平面和空间机

构的类型综合、静态、运动学、动态力分析,机构平衡等内容。该教材内容与国内的机构学体系有很多相似之处,因此很早就被翻译成中文引入国内。

## (二) 美国大学机构学研究生课程教学情况

下面我们就以明尼苏达大学的“Advanced Mechanism Design”课程为例来分析美国大学同类课程的教学情况。根据美国明尼苏达大学机械工程系官网所提供的课程信息<sup>[13]</sup>,我们把该课程的基本情况整理和总结如表 2 所示。

表 2 课程基本情况

课程名称	Advanced Mechanism Design
课程教材	Advanced Mechanism Design: Analysis and Synthesis, Volume 2, by Sandor and Erdman, Prentice-Hall, 1984
课程负责人	Arthur G. Erdman, (教材的作者之一)
主讲教师	Jim Van deVen
教学助理	Anirudh Reddy Ravula 和 Isaac Willard
开课时间	2015 年秋季学期
教学课时	42 学时,每周 3 次,每次 1 课时
课程内容	1. 机构运动学分析与综合基本方法简介; 2. 机构系统型综合; 3. 四杆机构的综合分析; 4. 计算机辅助的连杆机构的分析与综合; 5. 机构求解校正方法; 6. 多连杆机构的综合; 7. 曲线理论; 8. 机构高阶综合方法。

### 1. 教学方法和手段

该校采用课堂讲授、分组讨论、课程设计相结合的教学方式。在课堂讲授方面,由主讲教师课堂教授,两个教学助理负责作业收集与批改,主讲教师和教学助理都提供每周 2 次答疑时间。

课程特别注重学生的参与性和主动性,首先在课程设计方面,要求学生 3 人一组,自己选定一个相对较难的机构进行设计。学生需要对所选机构进行分析,设计,仿真,制造出原型机,提交设计报告。其次,课程设计报告的评价引入类似期刊和会议论文的评审方式,要求每组的报告提交给其他 2-3 组进行相互评议。在教师的指导下,评审组给出评审意见,每个设计组再根据评审意见进行修改。第三,每个设计组都要求在全班面前口头介绍自己所设计的机构。第四、课堂上经

常有关于一些问题的分组讨论,要求学生积极参与,课堂表现情况在总成绩中会有体现。

由于国外高校教学网络使用非常普及,因此课程的主讲教师建立了一个本课程的专门网站,与本课程相关的内容,如大纲,课程安排,作业,课程设计内容等都会发布在网上。主讲教授临时的通知也会及时公布在网上。学生与教师的主要联系也是通过 Email。在课程网站上还提供了比较丰富的辅助资料,如:专利网站查询,Linkages 软件包的使用,Matlab 软件的使用,与本课程相关的几篇期刊论文等等。因此,选修该课程的学生,通过该网站就可以获得本课程及时而完备的信息,大大方便了学生对课程的学习以及和老师的交流。

### 2. 考核方式

该校的考核方式分为五个部分,包括课程设

计、小考、课后作业、期末考试、课堂表现。每个部分占比均不一样, 具体分配如下:

课程设计: 35%, 课后作业和小考: 30%, 终考: 25%, 课堂表现: 10%。

其要求是课程结束时交作业, 迟交会扣分, 答案公布后再交不记分。学生必须到课, 有事必须事先通知。其中终考、课后作业和课程设计对最后得分有重要影响。

### 三、国内机构学研究生课程情况

#### (一) 国内机构学研究生课程开设情况

作为机械类研究生的专业课, 国内有不少高

校开设了机构学课程, 如哈尔滨工业大学、北京理工大学、北京航空航天大学、北京科技大学、东南大学、天津大学、上海交通大学、浙江大学等, 其中一些学校还把该课程作为博士生入学考试课程之一。由于各高校机械工程专业的研究方向和研究重点不同, 各个学校的课程名称不尽相同, 课时设置也不一样。有不少高校因为没有相关的研究, 因此也没有设置机构学相关的研究生课程。根据国内高校官网所提供的研究生课程信息, 我们把国内部分主流高校机构学研究生课程的开设情况整理和总结如表 3 所示。

表 3 国内部分高校机构学研究生课程开设情况

序号	学校名称	课程名称	课时
1	哈尔滨工业大学 <sup>[14]</sup>	高等机构学	32 学时
2	北京交通大学 <sup>[15]</sup>	高等机构学	32 学时
3	北京理工大学 <sup>[16]</sup>	高等机构学	54 学时
4	上海交通大学 <sup>[17]</sup>	高等机构学	48 学时
5	浙江大学 <sup>[18]</sup>	机构分析与综合	32 学时
6	北京航空航天大学 <sup>[19]</sup>	高等机械原理	32 学时
7	东南大学 <sup>[20]</sup>	高等机构学	36 学时
8	西北工业大学 <sup>[21]</sup>	现代机构综合与分析	40 学时
9	燕山大学 <sup>[22]</sup>	高等机构学	24 学时
10	中南大学 <sup>[23]</sup>	高等机构学	24 学时
11	北京科技大学 <sup>[24]</sup>	高等机构学	36 学时
12	天津大学 <sup>[25]</sup>	机构分析与综合	24 学时

国内的机构学研究生课程是在参照国外相关课程的基础上, 并结合国内机构学研究现状发展起来的。目前国内使用的课程教材种类不多, 一些教材的体系和部分内容是以 1984 年版的 *Advanced Mechanism Design: Analysis and Synthesis, Volume 2* 为基础进行编写的, 同时一些教材根据不同学校的研究情况和机构学的新进展增减了相应的内容。目前主要的教材有白师贤编著的《高

等机构学》, 楼鸿棣、邹慧君的《高等机械原理》, 陆震的《高等机械原理》, 韩建友的《高等机构学》, 张春林的《高等机构学》, 黄真的《高等空间机构学》等。有的学校则直接使用翻译的教材。

#### (二) 国内机构学研究生课程教学情况

我们以哈尔滨工业大学开设的高等机构学为例进行介绍。根据该课程的教学大纲<sup>[26]</sup>, 我们把该课程的基本情况整理和总结如表 4 所示。

表4 国内机构学课程基本情况

课程名称	高等机构学
课程英文名称	Advanced kinematics and Dynamics of Mechanisms
课程教材	自编讲义
参考教材	1. 张春林. 高等机构学. 北京理工大学出版社, 2005. 2. 白师贤. 高等机构学. 上海科学技术出版社, 1998. 3. 张启先. 空间机构分析与综合. 机械工业出版社, 1984. 4. 韩建友. 高等机构学. 机械工业出版社, 2004.
先修课程	理论力学、机械原理、机构综合等
教学课时	36
开课时间	2015年秋季学期
课程目的	以机构学的基本理论为基础, 以机构的应用为目的, 结合在该领域应用实践和研究设计的经验, 使学生加深对机构应用的理解、拓宽机构应用的领域, 提高机构创新设计的能力。
课程内容	1. 高等机构学基本理论(高等机构学的数学基础; 机构的结构理论; 机构的运动分析; 低副机构的运动综合; 高副机构基础; 平面机构的平衡; 机构弹性动力学; 凸轮机构、连杆机构、简单机械系统弹性动力学); 2. 机构创新应用(机器人机构; 特种机构; 仿生机构)。
教学方法	本课程以课堂讲授为主, 并结合一些学术报告。
考核方式	作业加笔试

从上表可以看出, 国内研究生课程的内容相对比较丰富, 即涉及了基础内容, 也包含了一些现代机构学的内容。但是国内课程的授课方式相对比较传统, 考核方式也比较单一。

开设该课程的国内其他学校, 一般由于所选教材和各自科研的方向不同, 教学内容与上表有所不同, 但在教学方式、考核方式方面与上表大致相同。

#### 四、情况比较分析

综合国内外情况, 可以看出, 国内外偏工科的著名高校一般都会开设与机构学相关的研究生课程, 以提升学生在机构分析与设计的能力。但是国外高校一般都是开设偏机构某方面特性介绍的课程, 如运动学分析、动力学分析、平面机构分析等等, 或者开设偏重机器人机构介绍的课程, 机构综合性介绍的课程相对比较少。而国内一般都是开设机构综合性介绍的课程, 名称一般也都是“高等机构学”。这主要体现了国内外机械学科课程体系和研究生培养理念的不同。

在具体教学内容上, 国内外侧重点也有所不同。国外的课程内容侧重基础, 仍然沿用经典教材。但是国外课程内容生动, 丰富, 教材上还会列举大量生产和生活实际中应用的机构, 有利于启发学生的创新意识。但是随着计算机和控制技术的发展, 某些内容稍显陈旧, 比如机构的图解法。国内高等机构学教材在整体框架有相似之处, 但在不同方面有所取舍, 同时添加了编著者本人的一些研究内容。同国外教材比, 国内教材内容上更为广泛些, 某些方面更深入些, 但是教材一般都是比较生硬的描述, 缺乏生动有趣的实例。

在教学方法上, 国外的教学方式更为生动活泼, 而不呆板, 它设计了分组讨论、分组课程设计、课程报告同学评审机制等环节, 这对加强学生的参与性和主动性很有意义, 同时也锻炼了学生的团队协作能力。国内教学方法上一般还是以课堂讲授, 或加入了一些课堂报告。学生一般还是以听课、做笔记为主, 互动性、参与性不强。

国外教学助理制度比较完善, 教学助理一般由高年级的硕士生或博士生担任, 他们能在很大程度上分担主讲教师的事务性工作, 指导学生的

课程设计, 加强教师与学生的沟通, 这对提高授课质量有很多的帮助。而国内在研究生课程的教学助理制度虽然已经开始实行, 但是教学助理在课程上发挥的作用却不明显。

在课程网络资源上, 国外课程的网络建设比较完善, 每门课程都有自己的网站。在网站上可以查到各种教学信息、教学资料和相关辅助信息, 教师在网站上会经常发布通知, 方便学生了解和跟踪课程的进度。而国内虽然网络也已经十分普及, 但是在课程教学网站的建设上并不完善, 课程网站上的信息也不全面和及时, 缺乏一种老师与学生之间互动交流的方式和气氛。

在考核方式上, 国外一般是多重考核方式相结合, 并且注重学生实践能力与主动学习能力的考核。贯穿整个课程的课程设计对学生的实践能力和科研学术能力锻炼很大, 在总成绩中占比例也最大。国内在实践性方面的考核相对比较少, 一般只要求学生完成作业, 通过考试。

从上面分析可知, 高等机构学国内外在教学内容、教学方式、考核方式等方面都存在一定的区别和差距。国外重基础、重能力、重参与的教学模式值得我们学习和借鉴。

## 五、课程建设思考

高等机构学是机械学科研究生非常重要的专业基础课程, 它也是高性能机构设计、制造和控制的基础。因此, 国内有必要加强对该课程的重视程度。参考国内外该课程的开设情况, 为加强该课程的建设, 应该从以下几个方面着手:

### 1. 梳理和整合课程内容

现在国内高校采用的教材各不相同, 教学内容也不相同, 但一般也是以国外教材为蓝本, 加入自己的研究内容编著而成。国外采用的教材虽然比较经典, 但是随着现代技术的发展, 新的分析理论、方法和软件不断出现, 如旋量理论、微分几何理论、多体动力学等, 教材原来的一些内容还是偏陈旧。因此新的课程内容应该兼顾基础, 同时引入新的机构分析理论、方法, 介绍现代机构学最新的研究成果。

### 2. 改革教学方式

高等机构学是一门理论性和实践性都很强的课程, 国外的教学方式强调互动和参与, 对加强学生对知识的理解和运用具有很大的促进作用,

国内在这方面还是有所欠缺。因此, 在教学方式上, 国内应加强学生的主动性和参与性, 促使他们思考起来, 而不是填鸭式的接受知识, 以一种科研的态度对待课程的学习。比如国外课程报告的同学评审机制就很值得借鉴。

### 3. 加强课程网络建设

国外课程网络方面做得比较好, 学生在课程专门网站上可以查询到非常丰富的信息。国内网络虽然近年来已经很普及了, 高校上网的硬件环境已经大大改善。但是在课程网络建设上还是有所欠缺, 很多课程信息和相关辅助信息在网站上还是无法获得。因此, 国内应该加强课程的网络建设, 对课程开设专门的网站, 把课程从选课, 开课、到期末考试所涉及的一系列信息和文档都及时发布在课程网站上, 学生通过网站就可以全面了解和跟踪课程的情况。

### 参考文献:

- [1] 张春林. 高等机构学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006: 1.
- [2] 高峰. 机构学研究现状与发展趋势的思考[J]. 机械工程学报, 2005(8): 3-17.
- [3] MIT Department of Mechanical Engineering. Graduate Courses[EB/OL]. (2016-01-01) [2016-06-15]. <http://catalog.mit.edu>.
- [4] Stanford Department of Mechanical Engineering. Graduate Courses[EB/OL]. (2015-01-01) [2016-06-15]. <http://exploreddegrees.stanford.edu>.
- [5] Department of Mechanical and Civil Engineers, Caltech. Graduate Courses[EB/OL]. (2015-01-01) [2016-06-15]. <http://catalog.caltech.edu>.
- [6] School of Mechanical Engineering, Georgia Tech. Graduate Courses[EB/OL]. (2016-01-01) [2016-06-15]. <http://me.gatech.edu/graduate/courses>.
- [7] Department of Mechanical Engineering, University of Michigan. Graduate Courses[EB/OL]. (2016-01-01) [2016-06-15]. <http://www.engin.umich.edu/college/academics/bulletin/courses/mecheng>.
- [8] Robotics Institute, Carnegie Mellon University. MS Program in Robotics Institute[EB/OL]. (2014-01-01) [2016-06-15]. [http://www.ri.cmu.edu/ri\\_static\\_content.html?menu\\_id=469](http://www.ri.cmu.edu/ri_static_content.html?menu_id=469).
- [9] Department of Mechanical Engineering, University of Wisconsin. Graduate Courses[EB/OL]. (2012-01-01) [2016-06-15]. <http://courses.engr.wisc.edu/me>.

- [10] Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota. Graduate Courses ME5243 [EB/OL]. (2015-08-11) [2016-06-15]. <http://www.me.umn.edu/courses/me5243/>.
- [11] Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Ohio State University. Graduate Courses [EB/OL]. (2016-01-01) [2016-06-15]. [https://mae.osu.edu/courses?page=4&subject=all&campus=COL&level=all&course\\_name=&acad\\_career=GRAD](https://mae.osu.edu/courses?page=4&subject=all&campus=COL&level=all&course_name=&acad_career=GRAD).
- [12] Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of California, Los Angeles. Graduate Courses [EB/OL]. (2016-01-01) [2016-06-15]. <http://www.registrar.ucla.edu/schedule/catalog.aspx?sa=MECH%26AE&funsel=3#grad>.
- [13] Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota. Graduate Courses ME5243 [EB/OL]. (2015-08-11) [2016-06-15]. <http://www.me.umn.edu/courses/me5243/>.
- [14] 哈尔滨工业大学机电工程学院. 博士生培养方案 [EB/OL]. (2015-03-30) [2016-06-15]. <http://sme.hit.edu.cn/5d/fd/c6494a155133/page.htm>.
- [15] 北京交通大学研究生院. 研究生培养方案 [EB/OL]. (2016-05-19) [2016-06-15]. <http://mece.njtu.edu.cn/yjsjy/yjspy/pyfa/2016ssyjspyfa/37989.htm>.
- [16] 北京理工大学研究生院. 研究生培养方案 [EB/OL]. (2013-03-25) [2016-06-15]. <http://grd.bit.edu.cn/py-gz/pyfa/20704.htm>.
- [17] 上海交通大学研究生院. 研究生培养方案 [EB/OL]. (2012-01-01) [2016-06-15]. <http://www.gs.sjtu.edu.cn>.
- [18] 浙江大学研究生院. 研究生培养方案 [EB/OL]. (2014-03-06) [2016-06-15]. [http://grs.zju.edu.cn/py/com\\_mon/pyfagl.htm](http://grs.zju.edu.cn/py/com_mon/pyfagl.htm).
- [19] 北京航空航天大学研究生院. 研究生培养方案 [EB/OL]. (2013-12-24) [2016-06-15]. <http://graduate.bu-aa.edu.cn/ch/xbpyfa/1818.jhtml>.
- [20] 东南大学研究生院. 研究生培养方案 [EB/OL]. (2014-04-05) [2016-06-15]. <http://me.seu.edu.cn/45/84/c1328a17796/page.htm>.
- [21] 西北工业大学研究生院. 研究生培养方案 [EB/OL]. (2015-08-28) [2016-06-15]. <http://gs.nwpu.edu.cn/info/1278/2968.htm>.
- [22] 燕山大学研究生院. 研究生培养方案 [EB/OL]. (2015-09-09) [2016-06-15]. [http://gs.yzu.edu.cn/colu\\_mn\\_show.asp?EnBigClass-Name=yjspy&id=606](http://gs.yzu.edu.cn/colu_mn_show.asp?EnBigClass-Name=yjspy&id=606).
- [23] 中南大学研究生院. 研究生培养方案 [EB/OL]. (2013-01-01) [2016-06-15]. <http://gra.its.csu.edu.cn/yjsy/>.
- [24] 北京科技大学研究生院. 研究生课程大纲 [EB/OL]. (2010-07-17) [2016-06-15]. <http://222.28.66.251/bencandy.php?fid=3024&id=598>.
- [25] 天津大学研究生院. 研究生培养方案 [EB/OL]. (2014-05-01) [2016-06-15]. <http://gs.tju.edu.cn/yjspy/py2005/gcss2008/G20101.htm>.
- [26] 哈尔滨工业大学机械设计系. 高等机构学课程大纲 [EB/OL]. (2012-02-21) [2016-06-15]. <http://www.docin.com/p-684693643.html>.

(责任编辑:陈勇)

(上接第16页)

- [2] 温才妃. 就业质量如何脱下“皇帝的新装” [N]. 中国科学报, 2016-02-25(5).
- [3] 陈其荣. 诺贝尔自然科学奖与跨学科研究 [J]. 上海大学学报: 社会科学版, 2009(9): 48-62.
- [4] [美] 沃尔特·艾萨克森. 史蒂夫·乔布斯传 [M]. 北京: 中信出版社, 2014: 35.
- [5] 胡望斌. 美国大学生创业见闻与思考 [N]. 中国科学报, 2016-03-03(7).

- [6] 熊丙奇. 教育老大难问题要从供给侧破冰 [N]. 中国教育报, 2016-03-04(2).
- [7] 胡望斌. 美国大学生创业见闻与思考 [N]. 中国科学报, 2016-03-03(7).
- [8] 司林胜. 依托协同创新中心可建众创空间 [N]. 中国科学报, 2015-06-25(7).
- [9] 朱亚宗. 近观与反思——美国一流大学初识 [J]. 学位与研究生教育, 2007(7): 1-10.

(责任编辑:胡志刚)