

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2016.01.003

# 重大基础设施建设对美国土木工程高等教育的推动作用

## ——以 UIUC 土木系为例

王楠, 杨成, 蒲黔辉

(西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031)

**摘要:** 中国已经经历了近 20 年的大规模基础设施建设期, 土木工程学科如何抓住国家大建设的机遇, 全面提升自己的办学水平, 是当前面临的主要问题。而美国历史上也经历了多次基础建设高潮, 也随之诞生了一批蜚声世界的土木工程高等教育办学典范。文章以伊利诺伊大学香槟分校土木系为例, 介绍了其主要学科方向在不同历史时期介入大型工程项目, 积极创新, 将基础理论研究和教学水平提升到世界领先地位的经验; 分析了我国高校土木工程办学中存在的问题, 以及如何依托当前大规模基础建设的机遇全面提升办学水平的策略, 以期为中国土木工程高等教育的发展献计献策。

**关键词:** 土木工程; 基础建设; 科技服务; 学科发展

**中图分类号:** G40-059.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1005-2909(2016)01-0011-05

近 20 年来, 中国的基础建设规模逐步扩大, 一系列大型基础建设项目得以实施, 特别是以高速铁路网、高速公路网及大型公共建筑为代表的重点项目, 特别是以“一带一路”高铁建设为代表, 其中相当一部分建设难度或建设水平都处于世界前列, 中国部分高等院校的土木工程学科负责了其中部分项目的关键科学和技术问题研究, 并通过承担这些使自身的研究能力和办学水平得到了一定发展, 但也随之凸显了一些矛盾和问题, 如: 土木工程高等教育办学重科研、轻教学, 基础理论研究的积极性和水平有待提高等问题。无独有偶, 美国现代历史上也经历了数次基础建设高潮期, 一批美国高校的土木工程院系充分把握了历史机遇, 无论在基础理论还是工程实践性研究, 乃至专业教学水平上都得到了全面的发展, 一跃成为美国和世界土木工程高等教育的翘楚, 而且将其优势保存至今。

为了探究如何利用国家大规模基础建设机遇促进土木工程专业高等教育办学发展的经验, 笔者通过在美国为期一年的考察, 系统研究了长期位于 US news 土木工程专业排名前列的著名大学的学科发展史, 分析其借力于国家重大基础设施项目, 以实现学科提升的过程; 同时介绍美国高等院校土木工程系当今学科战略布局的特点, 以及其为长期可持续发展所秉持的一些重要办学理念, 以期为中国土木工程高等教育办学提供参考。

收稿日期: 2015-10-12

基金项目: 成都市科技局资助项目(wz0100111011402)

作者简介: 王楠(1978-), 女, 西南交通大学土木学院职员七级, 硕士, 主要从事实验室管理研究, (E-mail) wangnan@home.swjtu.edu.cn。

## 一、UIUC 土木系在美国重大建设项目中的参与及学科发展

伊利诺伊大学香槟分校 (University of Illinois at Urbana - Champaign, 简称“UIUC”) 土木工程及环境工程系 (后简称“土木系”) 自 1867 年建系以来, 一直在美国工程教育界享有至高声誉<sup>[1]</sup>, 据 US news & Report 美国高校土木工程专业排名显示, UIUC 土木系 2012 年位列第二, 2013 - 2014 年排名第一, 2015 年排名第二<sup>[2]</sup>。在近 150 年办学历史上, 培养了许多知名学者和工程师。如设计了 Hancock 和 Brunswick 大厦, 并开创了新型结构形式“筒中筒”的著名工程师 Fazlur R. Khan<sup>[3]</sup>; 动力积分方法 Newmark -  $\beta$  法的创始人 Nathan M. Newmark; 中国著名水利工程专家黄万里等。目前共有教职工约 100 人, 其中正式教师 (Faculty) 50 余人, 涵盖了环境工程和土木工程两个主要方向, 并通过学科交叉探索基于“可持续发展”和“社会风险分析”等前沿问题的学科建立模式。

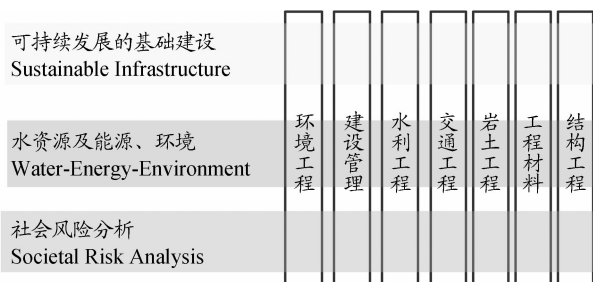


图1 UIUC 土木系专业设置

如今, 上述学科分布虽然较为完备, 但历史上, UIUC 土木系是在不同时期, 借助于不同类型的大规模基础建设, 着力提升了不同的学科分支而发展成为今天所看到的如此完备的专业体系。从 19 世纪初的大北方铁路, 到 50 年代州际国防高速公路体系建设, 再到 60 年代冷战战备建设高潮, UIUC 抓住机遇分别提升了铁道工程、道路工程、结构工程、结构动力学等学科的办学水平和研究条件, 并不断调整得以持续发展。

### (一) 铁道工程

1870 ~ 1900 年, 美国铁路运营里程从 85 000 公里, 扩张到 305 775 公里, 铁路网全面形成<sup>[4-6]</sup>。恰逢 UIUC 土木系建系伊始, 就迎来了铁路建设的突飞猛进, 所以最初设立的培养方向与此紧密相关。根据 1870 ~ 1871 年的学校董事会记录, 该校主要进行铁道线路设计、地形地质勘测、桥梁建造等专业培养, 工程实践部分着重强调了线路测量能力; 又如 Ira Osborn Baker 在 1878 ~ 1915 年任系主任期间, 先后亲自讲授

工程制图、测量、铁道工程、隧道工程等课程。可见这一时期办学是以铁道为重点, 所培养的毕业生也陆续在圣菲铁路和大北方铁路中担任技术骨干。作为合作的一部分, 各铁路公司也为 UIUC 测量实验室的筹建从实习基地和设备两个方面提供了相应的帮助, 成为 UIUC 土木系早期办学的重要基础。基于 19 世纪末和 20 世纪初土木系深度参与铁道建设的成果, 一些经典的轨道和车辆分析模型得以发展, 并被 UIUC 土木系的教授们写入课本成为经典教材。即便在二战后的美国铁路发展低潮期, 这些经典铁路技术理论也保持了一定程度的发展。1983 年起, 美国铁路协会 (AAR) 将三个附属实验室中的一个设置在 UIUC 土木系, 自此该系开始系统承接或协同研究 AAR 研究项目<sup>[1]</sup>。

进入 21 世纪后, 受全世界高速铁路建设高潮以及美国既有铁路设施老化且事故频发的影响, 铁路建设技术重获重视。1998 年起, 在首席教授 Christopher Barkan 带领下, 重组并快速扩大了 UIUC 铁道技术的研究队伍, 成立了铁道研究中心 (RailTech) (图 2), 现已成为全美高校最大的铁道科学研究中心, 是美国客运铁道公司 (Amtrak), 美国交通技术中心 (TTCI) 和美国铁路协会主要的科研合作机构<sup>[7]</sup>。



图2 UIUC 铁道中心枕轨试验系统

### (二) 军事及防灾减灾工程

在二战以前, UIUC 土木系对军事工程介入甚少, 主要以民用建设工程教育为主。二战结束后, 情况得以改变。二战接近尾声时, 美军各兵种都选送了相当数量的技术军官到知名工科院校进修深造 (包括完成因战争中断的本科课程或读研究生), UIUC 因为过去卓越的工科办学成绩, 成为战后美军官兵进修的首选。基于与军方良好的合作关系, 土木系不仅从国防部得到了大量的项目和经费支持, 且美国军方还罕见地将位于内华达州和太平洋上的核试验基地向 UIUC 土木系的项目开放, 用于进行大比例结构模型的抗爆

炸冲击试验。

20 世纪五十年代末,随着冷战局势和核战争危险的加剧,为了准确计算结构物在动力冲击下的反应,美国军方不再满足频域分析和功率谱形式的动力学概率分析,需要较为准确的时程响应表达,因此在军方项目资助下,Nathan M. Newmark 于 1959 年提出了 Newmark- $\beta$  法,可以较为精确地进行动力时程响应分析。该方法强有力地奠定了 UIUC 土木系在计算力学、结构控制工程研究领域的领先地位,至今仍然是计算结构动力响应的主要方法之一。今天,以 Newmark 命名的 UIUC 土木系结构实验室(图 3)是全球知名的大型结构试验研究中心<sup>[1]</sup>。

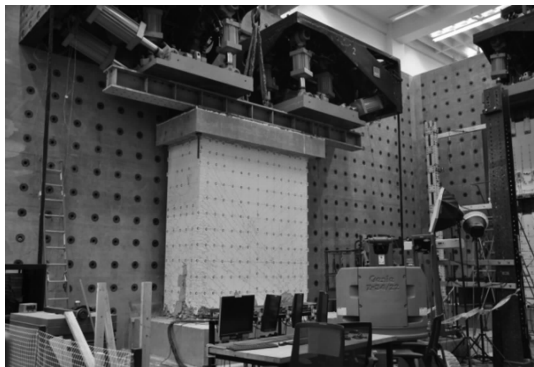


图 3 Newmark 实验室结构加载系统

1994 年北岭地震后,美国军方和政府开始关注交通网络震后最大通行能力及修复成本,以保证震后交通顺畅。美国陆军工程兵团(USACE)和紧急状态委员会(FEMA)决定对以孟菲斯和圣路易斯为中心的美国中部公路铁路交通网进行抗震灾害评估。以 UIUC 土木系为依托的美国中部地震工程研究中心(MAE)承担了这一项目,进行了长达数年的调研,给出了震后灾害预测报告;同时,以保证震后路网的基本通行能力,促进交通尽快恢复为目标,提出了交通系统网络的最优加固方案。如今 MAE 已经成为包括 NEES (Network for Earthquake Engineering Simulation) 在内的美国多个重大研究项目的合作成员<sup>[2]</sup>。

除了上述介绍,UIUC 土木系还承担着相当一部分美国军方的长期研究项目,如在抗冲击和减震技术方面与陆军工程兵团,在重载铁路运输技术与海军的固定合作等<sup>[1]</sup>。

### (三) 交通工程

UIUC 的交通工程办学随着美国公路系统发展也经历了三个主要阶段<sup>[1],[7]</sup>。

#### 1. 主干公路建设阶段

1916~1939 年,依据政府公路建设法案,联邦政

府总投资约 5 亿美金,建设连接首都及各大重要城市的主干公路。基于对公路路面工程和桥梁工程技术发展的需要,1910 年代在伊利诺伊交通署资助下,成立了“水泥及混凝土实验室”,后发展为著名的“Talbot 材料工程实验室”,它是美国公路工程早期重要的研究基地。这一时期 Harald Westergaard 教授提出了第一个混凝土路面的力学模型,奠定了美国混凝土路面设计的理论基础。由于 UIUC 土木系在公路工程上卓有成效和特色的工作,1941 年,伊利诺伊交通署与 UIUC 正式签订了在交通工程方面的合作协议,土木系开始长期、系统地与州政府合作办学。

#### 2. 地区公路建设阶段

1939~1956 年,美国城市化进程发展迅猛,地区性公路建设成为重点,一些著名城市的公路桥建造技术成为关注焦点,此时 Wilbur M Wilson 教授在桥梁研究方面进展卓著,他系统分析了钢筋混凝土拱桥、连续刚构桥、圆柱及薄壁壳体构件的行为特征,其成果在加州旧金山-奥克兰海湾大桥、金门大桥等一系列重要的桥梁工程上应用。这一阶段土木系在交通土建工程上的成就,不仅体现在实际工程项目的科技服务中,而且还使得工程理论积累有了很大进步,例如 Hardy Cross 教授在这一时期发明的用于高次超静定体系分析的“弯矩分配法”,至今仍是结构力学的经典教学内容。

#### 3. 州际国防公路体系建设阶段

1956~1989 年,出于冷战产生的国防需求,美国政府依据《联邦政府资助公路法案》,兴建了规模庞大的“州际国防公路体系”。虽然州际国防公路占美国公路总里程 4%,但承担了美国运输量的 70%,建设标准必然高于普通的地区性公路。基于这项庞大、高标准的工程所需要的科学研究支撑,UIUC 土木系积极投身其中。从 1950 年代中期起,通过伊利诺伊交通署设立的长期资助项目“伊利诺伊公路及交通联合研究计划”(ICHTR)的资助,Newmark 联合了力学系的 Richart 教授,对公路桥面板力学性能进行了长达十年的系统研究,全面掌握了各类型板结构的特点,对美国公路协会(ASSTO)的相关结构规范产生了深远影响。

20 世纪上半页,为了解决重载卡车运输的问题,在 ASSTO 资助的渥太华道路测试项目中,UIUC 土木系在全美最早展开了软路面试验研究,该研究有针对性地考虑了不同车载重量和轴距的卡车作用对路

面的影响,极大地促进了弹性路面的研究(如图4)。在此基础上,Barenberg教授完善了路面的半力学半经验设计框架,所提出的微观力学演变模型能够较好地预测路面的长期工作状态。此外,他还与Thompson教授一起在石灰粘土路基稳定性方面进行了开创性研究。



图4 1930年代UIUC卡车路面试验

从1993年起,为致力于发展环保和可持续性强的新型道路,由伊利诺伊州交通署(IDOT)和联邦公路管理处(FHWA)投入1 800万美金,在含室外实验场地在内的47英亩占地上,建立了全美最大的道路工程实验室(Advanced Transportation and Research Engineering Laboratory,简称“ATREL”),该实验室自成立至2012年,已承担了130余项科研项目,年度科研经费在600万美金以上,协作研究单位多达16家,成为美国交通部最重要的科技合作对象之一<sup>[7]</sup>。

## 二、基础理论研究和教学水平的提高

在参与国家重大工程项目,实践性工程研究能力提高的同时,如何兼顾专业基础理论研究提升,保证教学水平的提高,是促进高水平工程教育可持续发展必须考虑的问题。

UIUC土木系在百余年的办学历史上高度重视土木工程的基础——力学,UIUC土木系长期保留了专门从事力学研究的固定岗位,并高度重视力学研究的传承,没有落入“土木办学工程技术化”的不利循环。

1930年代Hardy Cross建立了“弯矩分配法”超静定结构力学经典求解方法。

1960年代Hardy Cross的学生Newmark创立了第一个动力学时程分析解法“Newmarke- $\beta$ 法”。

70年代Alfredo H-S. Ang奠定了现代结构可靠度计算理论的基础。

80年代W K Wen在非线性动力响应的等效线性化的研究过程中提出了今天得到广泛应用的Bouc-

Wen模型。

上述里程碑式的原创性力学成就奠定了UIUC土木系深厚的发展基础,大量的应用性研究成果依托其得以产生,也使得学校在USnews土木排名长期稳居全美前三。无独有偶,分析加州大学伯克利分校土木系历史可以发现,有从40年代起Clough到Wilson, Kiureghian到Chopra这样的有限元和结构动力学研究承袭,而土木工程排名不及这两所学校的其他美国院校就无法溯源出如此悠久的工程力学研究历史。

在科学研究取得巨大进展的同时,教授们将最新的研究成果及时写入教材,教学内容体现了当时土木工程科学发展的前沿水平,教学质量得到了根本性提高,毕业生广受欢迎。据UIUC土木系档案记载,到1970年代末,全美60%的知名土木设计公司结构首席工程师都毕业于UIUC土木系。至1945年,土木系自编教材已超过50种,几乎都成为经典,名扬中外。如Bauer撰写的《公路工程》、Pickel的《线路勘测》、Huntington的《建筑施工》、Shed的《钢结构设计》,等等,随着这些教材被美国乃至世界其它高校所采用,为UIUC土木系赢得了良好的声誉。“教研并重”也成为UIUC土木系的优良传统,UIUC土木系档案记载,从1950年代后期Newmark执掌土木系之后,原有的“教学型”和“科研型”两种教师类型逐渐融合成“教研合一”的教师队伍,这种转型引领了二战以后美国公立大学高等工程教育的发展模式<sup>[1]</sup>。

## 三、对中国高校工科办学的启示

### (一)对专业院校学科发展的启示

基于1952年的院校调整,中国有一批专业性非常突出的工科院校,往往全校都围绕某个固定行业进行学科建设,相比综合型大学,这些高校进行学科调整和大学科交叉的难度更大<sup>[5]、[8]</sup>,因此,在经济时代,要根据建设需求,适时调整与土木相关的“小专业”的发展,而不定格于某个固定的专业方向。要凭借敏锐的建设发展意识,抱着积极服务社会的态度,面向工程需求开展教学和研究。要通过多方合作,在不同时期借助不同的建设机遇发展不同的专业方向,逐步提高学科发展整体水平。

同时,强化基本工程理论的积累与发展,拓展基本工程理论的应用面,在大专业背景下通过教学、科研及社会服务多方参与国家的建设发展,寻求自身发展动力。

## (二)对高校专业教学建设的启示

UIUC 土木系不断将前沿科研成果转化为教学内容。通过对经典课程教学的长期更新完善,补充最前沿的研究进展,间接地实现了“教研并重”的目的。这对于改善中国当前教研分离现象,在及时更新教学内容的同时,系统整理提升科研成果有重要的启示。事实上,由完成项目的具体带头人负责专业课程教学建设,是国外大学普遍采用的方式,这不仅有利于将最新的科研成果纳入教材,还保持了一线教学教师的科研素质。中国高校学科带头人和专业课程建设负责人存在分离现象,其不足之处显而易见<sup>[5],[8-9]</sup>。

综上所述,在 UIUC 土木系百年发展史中,敏锐地洞察国家建设需求,积极调整学科发展的重点,保持良好的社会服务意识,多方合作,拓宽学科发展路径;同时注重工程理论深化和积累,将最新的科研成果融入教学内容,上述举措使这一传统专业总在不同时期能够捕捉到发展机遇,获取充分的社会资源,促进学科发展和自我提升,提高办学影响力。其经验和办学理念对于中国当前的土木工程专业,乃至工科高等教育的发展有很好的借鉴意义。

## 参考文献:

- [1] Haltiwanger J D. CEE history and Heritage [R]. Urbana IL: CEE department of UIUC. 2008.
- [2] USnews: Best Graduate Schools - Civil Engineering [DB/OL] <http://grad-schools.usnews.rankingsandreviews.com/best-graduate-schools/top-engineering-schools/civil-engineering-rankings>. 2013-6-14.
- [3] Fazlur R Khan. International Association for Bridge and structural Engineering [J]. 蒋大骅,王庆扬,等译. 结构工程师, 1987(2):70-75.
- [4] 朱寿清. 美国 19 世纪铁路建设的特点及影响 [J]. 昆明学院学报 2010(2):75-79.
- [5] 陈艾华,吴伟大,陈勇. 美国工科院校创新型工程科技人才培养 [J]. 现代管理教育 2012(9):124-128.
- [6] 陈东丰. 美国高速公路建设和发展的启示 [J]. 吉林交通科技, 2006(S0):57-60.
- [7] Myrick L. Illinois Highway Research [R]. Urbana IL: CEE department of UIUC. 2011.
- [8] 林健. 形成具备竞争优势的卓越工程师培养特色 [J]. 高等工程教育研究. 2012(6):7-21,30.
- [9] 杨成. 布里斯托大学工学院 Masterclass 课程点评 [J]. 高等工程教育研究. 2012(4):142-145,152.

# The promotion of the major infrastructure construction to the higher education of civil engineering in American: taking CEE Department of UIUC as an example

WANG Nan, YANG Cheng, PU Qianhui

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, P. R. China)

**Abstract:** The recent 20 years of infrastructure construction in China makes a great opportunity for the self-improvement of civil engineering higher education. Compared with the corresponding construction history of America, it is found that a number of universities upgraded their civil engineering education by participating in practical engineering. This paper introduces the academic innovation activity of CEE UIUC in different period of construction in America, and the history about the theoretical research and engineering education were promoted to the world leading level. Finally, the problems of Chinese civil engineering higher education are analyzed, and the tactics about how to solve them in current surge of infrastructure construction period is presented, all that can be taken as reference for higher engineering education.

**Keywords:** civil engineering; infrastructure construction; science service; discipline development

(编辑 梁远华)