

文章编号: 2095-1663(2020)04-0085-07

DOI: 10.19834/j.cnki.yjsjy2011.2020.04.14

世界一流工程学科研究生课程体系的生态布局与衍生逻辑

——以加州理工学院机械工程学科为例

王红雨, 马梦迪, 闫广芬

(天津大学 教育学院, 天津 300350)

摘要: 作为世界一流工程学科的代表, 加州理工学院机械工程学科研究生课程以未来需求为基点, 设定“倒看板”式课程目标; 注重“均布—贯通”式课程结构的生成; 在课程内容上以交叉知识、前沿议题与方法探究为中心; 提供高水平资源的支持并落实“复诊式”评价的实践。这样“五位一体”的课程生态布局以服务未来需求为动力, 明确学科目标的发展定位; 以实践问题导向为能量, 保证课程内容的多元特色; 以保障师生的学术自由为根基, 促进课程主体间的协同发展。这为我国工程研究生教育课程改革提供了启示。

关键词: 一流学科; 研究生课程体系; 生态布局; 衍生逻辑; 加州理工学院

中图分类号: G643

文献标识码: A

一、问题的提出

2017年2月, 教育部发布《关于开展新工科研究与实践的通知》, 紧循以基础科学支撑技术创新的逻辑, 将建设“新工科”视为引领高等教育变革的重要力量。^[1]同年9月, 教育部、国家发展改革委、财政部印发《关于公布世界一流大学和一流学科建设高校及建设学科名单的通知》, 工程学科在“一流学科建设名单”中占比最高, 这更是标志着我国工程学科的建设迈入了一个新的战略实施阶段。在“新工科”“双一流”等政策的引领下, 各高校工程学科改革如火如荼。时至今日, 改革在取得一些成效的同时仍有诸多问题亟待解决: 中国高等教育学会工程教育专业委员会秘书长陆国栋指出, 各高等工程学科“重科研而轻教学”, “水课”较多, “精课”较少, “金课”缺失的现象比比皆是。^[2]课程建设不足成为制约一流工程学科生成与长远发展的不利因素, 在一定程度

上制约着“新工科”建设由“轰轰烈烈”的项目建设走向“扎扎实实”的长效机制。作为人才培养的最小单位, 课程是教学活动的最基本构成元素, 其“传递固有知识”的本质属性决定了其是研究生教育“创造全新知识”的重要基础, 教学对科研与生俱来的支持与反哺功能从根本上决定了课程建设同样是创建一流学科、培养学术创新型人才中的应有之意。为此, 从课程建设的微观视角探讨“新工科”建设的提升路径与长效机制无疑是一种有益的探索。

加州理工学院(以下简称 Caltech)是世界闻名的科学与工程学院, 也是精英教育的典范学府之一。自建校以来, 其毕业生共有 38 人问鼎诺贝尔奖, 获奖率近千分之一, 为世界高校诺奖密度之冠。^[3]机械工程学科则是 Caltech 的支柱性学科, 该学科以培育未来的领导者和解决当今世界的关键技术障碍为使命。在机械工程学科近期毕业的研究生中, 大约 30% 的学生获得终身制的学术职位, 50% 进入工业界开展应用与研发, 还有 20% 开展博士后研究项

收稿日期: 2020-02-26

作者简介: 王红雨(1987—), 女, 河北东光人, 天津大学教育学院讲师, 硕士生导师, 博士。

马梦迪(1995—), 女, 山西大同人, 天津大学教育学院硕士研究生。

闫广芬(1964—), 女, 河北沧州人, 天津大学教育学院院长, 教授, 博士生导师, 博士。

基金项目: 教育部哲学社会科学研究重大攻关项目“毕业生就业率、就业质量、职业发展与高等教育事业发展研究”(15JZD043)

目,^[4]毫无疑问,如此精英化的人才培养质量与其高水平课程建设密切相关。因此,笔者以 Caltech 机械工程学科为例,管窥其研究生课程体系的生态布局与衍生逻辑。

二、生态布局:在“五位一体”中全面推进

Caltech 机械工程学科研究生课程体系是推动其学科优化的有效动力,在课程目标、课程结构、课程内容、教学手段、课程资源以及课程评价五位一体的协同发展中,构建生态系统。

(一)面向未来社会需求的“倒看板”^①式课程目标

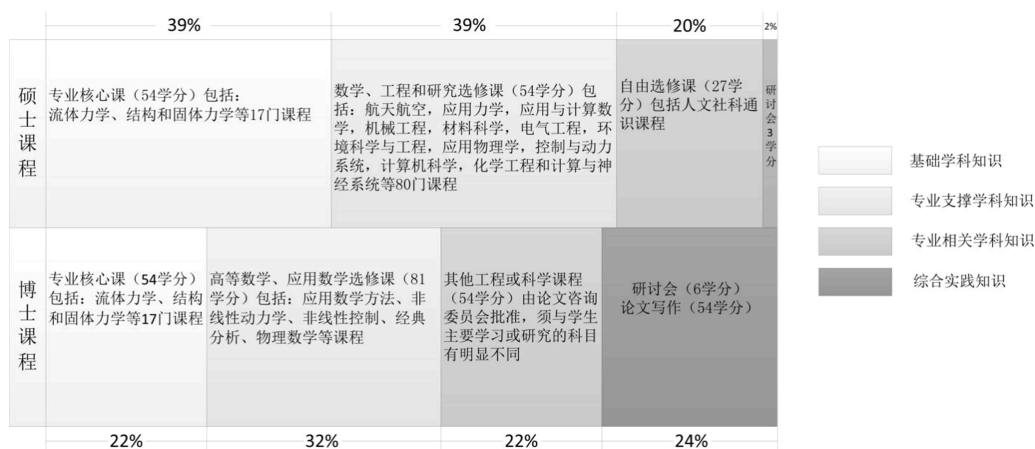
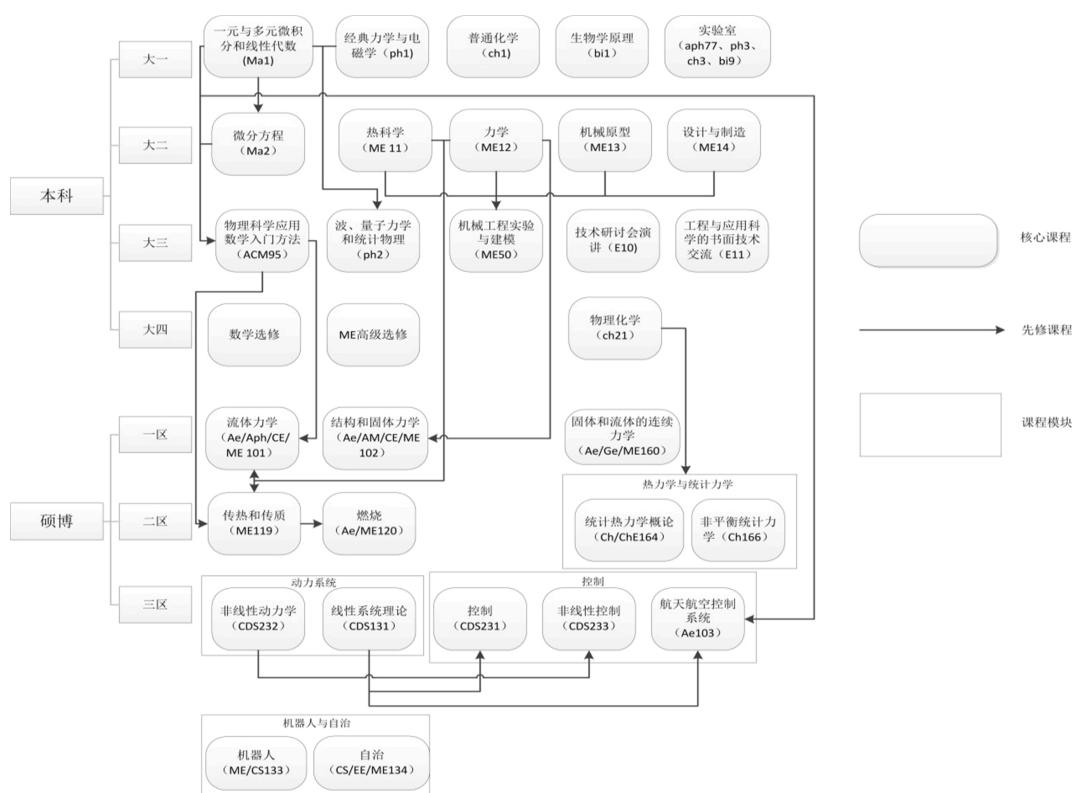
高等教育带有与生俱来的滞后性特征,这种属性从根本上决定了各学科在办学过程中必须超越当下,着眼于未来,设定“倒看板”式课程目标正是这种原则的具体体现。这是学校以未来社会需求为基准,不断逆推各环节人才培养标准,并最终落脚至前瞻性课程目标的过程。Caltech 教育目的面向未来社会需求,致力于以扎实的基础知识为工具来研究具有挑战性和前瞻性的相关议题,通过教研融合的方式来推进知识创新并造福人类社会。^[5]在此核心使命的引导下,机械工程学科的培养目标是让学生在专业实践与科学创新方面满足跨学科技术时代的人才需求,^[6]不断培养学生的专业独立性、创造力、领导力以及持续学习能力。这一培养目标又被进一步分解并落实到不同的研究生课程目标中,以“机械原型”课程为例,该课程根据获得技术、培养能力的最终“看板”,将 3D 打印技术、激光切割技术和水射流切割技术等前沿科技融入到课程内容之中,使学生获得诸如设计详细图纸、构建零件与装配体参数化模型等基本技能的同时,更切身感悟到前沿科技的重要影响与发展趋势、提高实践操作力与思维创新能力。^[7]这样的课程目标不仅考虑到课程内容如何为经济与社会的可持续发展服务,还兼顾到学科自身该如何根据未来需求进行改革,使学生适应未来变化、面向未来技术和产业,为实现 Caltech 最终的教育目的奠定基础。

(二)“均布一贯通”式课程结构

“均布”指向学科内部不同属性知识间的横向关系,这直观体现在为保证学生全面、自由发展而设定的均衡、调和的课程类型及其分布比例上。图 1 所示。从类别上看,课程一般均包含四类知识形态,分别是基础学科知识、专业支撑学科知识、专业相关学科知识及综合实践知识,四者共同构成严密合理的

知识体系;从学分比例上看,Caltech 机械工程学科将基础学科知识、专业支撑学科知识及综合实践知识列入必修属性,占全部学分权重的 70%~80%以夯实学生的专业素养;专业相关学科知识则多列入选修之中,占比 20%~30%以拓展学生多维发展的可能。这不仅体现了知识在性质上由基础到高深、由既有到探究的变化,还保证了机械工程学科研究生课程结构的多样性和异质性。如此的学分布局使学科内部不同属性的知识类型能够彼此支撑、互相提供发展动力,更促使学生在获得较为全面知识素养的同时,扎实推进学科知识的纵深发展。

“贯通”则指向纵向的不同培养层次,它既体现在不同阶段的课程衔接之中,又体现在本学科与相关学科于某一课程主题上的系列化及深化。“衔接”集中表现在 Caltech 机械工程学科“硕—博”课程主题的承接之中,如关于“力学”这一主题,硕士阶段要求学生必修“流体力学”“结构和固体力学”等核心课程,博士阶段则开设“计算流体力学”等高阶课程,如此的课程设置使学生能够在不同阶段获得对某一主题课程螺旋上升式的认识。“深化”则体现在以下三个方面:(1)通过难度提升进行深化。Caltech 机械工程学科“本—硕—博”核心课程循序渐进、由浅入深,其本科一年级的专业核心课涉及面较广,包括数学、物理、化学、生物等基础科目构成的主干课程及实践课程。此后三年,课程设置的口径逐渐变窄,更注重学生学科专业素养的夯实。在“硕—博”课程中,其专业核心课程相同,且大部分以本科阶段的先修课程为基础,这使“硕—博”课程在避免成为“补本”课程的同时较本科阶段来说有了更加复杂、深入的模块与方向。(2)通过不同研究视角进行深化。如图 2 所示,硕博阶段的“控制”课程模块建立在本科数学课程与控制与动力系统课程的基础上,由“控制”“非线性控制”以及“航空航天控制系统”等具有相通联系形式的课程共同构成了研究视角多元但研究对象同一的课程群体。不同学科课程间的相互作用不仅促进着课程模块的协同进化,也让学生更为深入地进行专业学习。(3)通过实践进行深化。相较于硕士阶段而言,博士阶段更注重实践创新能力的培养,这就要求博士生将先前获得的多学科知识进行融合渗透,再将其运用至实践情境。因此,Caltech 在此阶段专门设计了综合实践课程模块,给予博士生们大量时间独立研究、撰写论文。课程主题的持续衔接与课程难度的持续深化使该学科学生的专业知识不断巩固加深,这是 Caltech 机械工程学科人才辈出的关键之所在。

图1 Caltech 机械工程学科研究生课程设置概况^②图2 Caltech 机械工程学科“本—硕—博”核心课程拓补图^③

(三)关注交叉知识、前沿议题与方法探究的课程内容

课程教学是培养研究生各项能力的重要环节,课堂传授的知识对于提高研究生综合素质来说至关重要。Caltech 机械工程学科纵横交叉的课程结构覆盖了包罗万象的知识网络,让学生在新兴交叉领域关注热点研究、学习实践方法,锻炼其发现问题的探究意识,培养其解决问题的动手能力。

1. 关注交叉领域

机械工程学科之教师具备多元化学科背景,这使得跨学科教学成为可能,其课程内容首先体现出

关注交叉领域之特征。

机械工程学科的交叉课程主要有三种类型:(1)通识知识与学科知识的交叉。以问题为中心进行“通专结合”的课程设置已日益成为培养交叉学科研究生的普遍选择。^[8]“20 世纪和 21 世纪的新媒体艺术”一课便将学科知识之“专业”与人文领悟之“通识”结合起来,该课程需要学生对 19 世纪末至今的主要艺术展览、艺术家及艺术著作进行调查与解读,并运用其学科知识与专业技术来设计原创的新媒体艺术作品,以透过作品来展现人文层面的体悟。^[9]这样的课程不仅有利于学生实践应用本学科知识,更

实现了专业知识向通识人文的有效迁移,以此达到通识素养与学科素养的有效结合。(2)本学科知识与相关学科知识的交叉。相近学科之间具备知识可迁移的明显特点,例如机械工程与航天航空、应用物理学、土木工程间知识交叉产生的“结构和固体力学”课程,与材料科学、医学工程知识交叉产生的“材料的机械性能”课程等均是此方面的代表。这些学科的有机结合一方面促进了边缘、交叉学科的发展,另一方面又通过交叉学科方向课程引导学生找到自己的研究旨趣所在。(3)实践取向下的知识交叉。这是一种试图重建学科的尝试,即通过“基于问题的实践”方式把一切类似、相近的知识群与问题群比合而观,以此将人为分类所造成的学科分割现象重新还原为其原本统整的知识姿态。例如“设计和制造”课程通过一系列简短的设计项目和强调物理概念的设计竞赛来教授基本概念,^[7]把课程所囊括的一切类似的学科群加以整合,使机械工程设计、制造和视觉传达等广域知识在实践的基础上相互渗透、重组优化,促使学生更完整、系统地吸收学科知识。不同学科间以及学科内部的通融交叉打破了学科壁垒和知识界限,进而创建了有效的学术交流平台,不断推动着 Caltech 机械工程学科产出突破性科研成果。

2. 关注前沿问题

Caltech 机械工程学科的课程内容立足时代前沿,关注研究热点。例如“机器人”课程重点介绍机器人操作和传感领域机器人研究的社会前沿,如“移动机器人”“多腿步行机”和“导航系统中的视觉使用”^[7]等都是当今社会炙手可热的前沿议题;“闭环流量控制”课旨在向学生介绍控制和应用于流动现象、流体系统的理论方法以及实践方面的最新进展,^[7]使学生在实验室工作中关注方法论前沿;“研究生工程研讨会”则由教师以讲座的形式介绍具体研究领域的已有成果,引导学生关注科技前沿,如近期研讨会的主题涉及“细胞—纳米材料相互作用的机制”“硅光子学的革命”“悬浮液尺寸的颗粒分离”等。^[10]不同类型的前沿课程微观且具体,更与学生的研究实践息息相关,这在引导学生创造性地思考,提高其学术敏锐性与学术探究能力方面具有重要意义。

3. 关注方法类课程的学习

Caltech 机械工程学科开设了一批方法类课程,不仅强调基础性方法的学习,还特别强调不同方法与不同实践情境的紧密结合。基础性方法强调纯粹方法及其支撑性理论的学习,例如博士课程中“计算固体力学”一课在回顾硕士阶段学习过的变分原理、

有限元分析等理论的基础上,介绍在固体力学和多尺度力学问题中所使用的光谱方法、原子建模和原子连续耦合等实用技术;^[7]情境性应用的方式则是验证方法类课程学习的最佳途径,例如“非线性控制”课程通过前期的基础知识学习,将理论应用于实际并在实践中学习控制约束方法,“机器人系统的控制方法”就是其中的一个课程单元。^[11]这类课程对研究生的学习和科研起到了实际的促进作用,使研究生在学习过程中有效运用所学知识,在科研中保证研究的信度和效度。

(四)高水平的课程资源支持

一流学科的建设不仅要在课程设置上下功夫,还须注重配套资源之建设。导师是研究生成长发展的第一责任人,研究生学术水平的提高离不开优秀的导师培养;而要完成教学知识的实践,又离不开高水平研究中心及实验室的资源支持。为此,Caltech 机械工程学科形成了一批高水平师资团队与一流的研究实验中心。

Caltech 绝大部分教授都来自于美国及其他国家或地区的一流高校与研究机构(如图3),高水平的师资队伍使科研创新成果在第一时间转化为课堂教学内容成为可能。有研究表明,获得博士学位的导师更倾向于在博士生培养中采用规范的课程教学模式。^[12]规范的课程教学模式尤其注重突出学生的探究主体地位,教师在精心设计课程目标与内容的同时,更需要为学生的探究活动创设适当的探究情境并提供相应的探究资源。这种课堂教学模式不仅帮助学生系统掌握学科知识,更充分培养了其沟通交流、动手实践等软能力。卓越的教学实践也让机械工程学科的众多教师多次获得加州理工学院研究生会(GSC)指导奖、加州理工学院联合学生(ASCIT)卓越教学奖等荣誉。这些奖项名额有限,旨在表彰那些“作为教师和导师的角色对加州理工

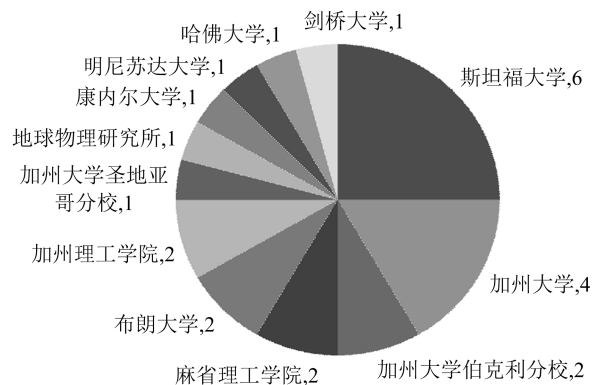


图3 Caltech 机械工程学科师资来源分布图

学院研究生产生非凡影响的人”,^[13]由此可见 Caltech 对该学科教师教学成果的充分肯定。

如果说一流的师资队伍是必备的教学人力资源,那么一流的研究中心及实验室的建设则是不可或缺的教学环境资源。吉姆霍尔设计与原型实验室是机械工程学科的主要实验室,其占地 5854 平方英尺,配备有大小型机床、手动工具和各种制造材料,同时提供有限数量的紧固件等相关硬件。^[14]该实验室为“工程设计导论”“工程设计实验室”等专业课程提供全面支持。作为一个开放的教学环境,本学科的任何学生、教师和工作人员均可以在这里为已经获批的研究计划配备专属设备和信息资源。此外,机械工程学科的教师还参与了各种以研究中心为载体的研究计划,这些计划是 Caltech 最令人兴奋的“前沿”计划,如“计算地质力学”,该计划在火星探测器探测、滑坡模拟、液化模拟等领域与世界各地的顶级实验者合作进行基本实验,使其研究模型具有预测性,体现学院最高的学术水平和成就。正是这些卓越教师团队与研究环境的存在,才使得 Caltech 的学术研究始终立于不败之地。

(五)复诊式课程评价

“复诊式”评价是一种定期监测的多向反馈评价

表 1 Caltech 课程评价之字母等级表^[15]

A	B	C	D	E	F	I
excellent	good	satisfactory	poor	conditional	failed	incomplete

三、衍生逻辑:明确学科目标、多元课程内容、保障学术自由

Caltech 在学科建设过程中,始终服务国家与社会的未来需求,尊重知识的生成逻辑,坚持特色的办学理念,并融入到课程体系建设当中。这个形成知识系统及组织系统的过程就如同动植物摄入能量、繁衍生息以形成生态系统的过程,其中,学科目标为动力促进学科演化成长、授课内容的多元特色为能量保证资源输入、课程主体的学术研究为根基提供学科立身之本。

(一)以服务未来需求为动力,明确学科目标的发展定位

高等教育的发展历史已然证明,大学只有适应社会政治经济的发展,为未来生活持续提供高品质人才方可基业长青,这一点在以“实用主义”和“工具理性”为价值追求的工程教育领域尤为凸显,“如何培养适应未来实践需求的工程人才”成为工程学科发展中的重要议题。Caltech 机械工程学科在美国

制度,它不以一次终结性评价为标准,而是要像医生诊断病人一样需要多次的问诊与会诊,在人才培养之全部流程中进行多次特定评价,一般包括入学初诊、过程监控及最终效果评价三个环节,具有实时性和动态性特征。在入学测评环节,学生需要参加本学科设计的摸底考试,测试其对学科原理的理解以及在实践中运用知识的能力。该考试成绩不计入学生的档案,仅为帮助学生选择适合自己修读水平的相应课程,导师和指导委员会也会结合考试结果和学生兴趣设计适合每位研究生修读的课程计划。在过程监控环节,复诊式评价注重对修课学时的精准控制,以“计算固体力学”课程为例,该课的学时规定是“3-5-1”,即规定学生每周的课堂学习时长为 3 小时、实验室实验时长为 5 小时、外部准备时间为 1 小时,这表明学生的课堂表现及课下实践情况均会计入课程成绩之中。在最终效果评价环节,Caltech 对学生学习效果的评价在形式上主要有“通过与否”“字母等级”(如表 1)两种方式,机械工程学科一般要求学生的课程考核成绩在 C 级及以上,这种评价标准在减轻学生课业负担的同时又切实起到筛选、分层的作用,从而有效保证人才培养质量。

工程与技术鉴定委员会(ABET)所指出的“工程人才必须具备鉴别、阐述和解决工程问题的能力以及在工程实践中使用技术、技能和现代工具的能力”的原则指导下,^[16]设置了“让学生在快速发展的跨学科技术时代为研究和专业实践做好准备”的学科发展目标。该目标表明,Caltech 的培养体系是面向未来需求的一个连续系统,在这个过程中,学生的准入、能力的培养以及最终教育目的的达成都围绕未来需求展开。同时,为帮助学生夯实基础知识、增强创新及实践能力,机械工程学科设置了关注交叉知识、前沿议题与方法探究的课程内容,并配之以定制化的教学手段与高水平的课程资源。如此,整个学科的课程体系犹如几个齿轮组成的传动结构(如图 4),经学科目标因势而动,可带动与其高度耦合的机械工程研究生课程目标及其实践的共同发展。

(二)利用基于问题的课程模块以保证课程内容的多元特色

Caltech 机械工程研究生课程内容的多元特色,离不开其以问题为中心而划分的课程模块。例如为解决动力系统的若干问题,该学科设置了“非线性动

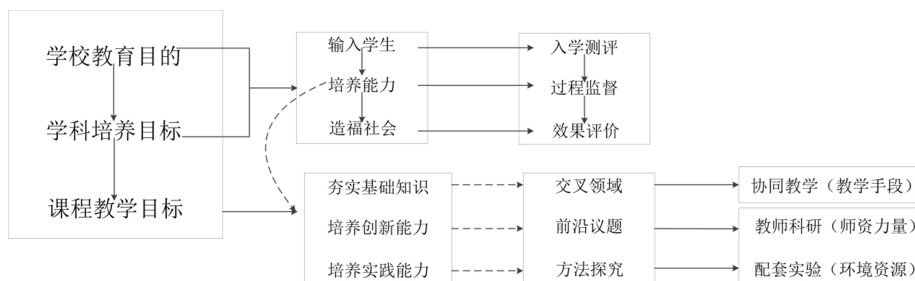


图4 Caltech 机械工程学科目标联动作用示意图

力学”“线性系统理论”课程;为更好地研究机器学习和机器人技术交叉的自治基础知识,又以“机器人”“自治”等课程形成模块。这些以问题为中心的课程模块与不同类型的学科知识紧密联系、相互融合,例“自治”课程由计算机科学、电气工程、机械工程等学科联合开课,并以某一个问为主线,将散落在各个学科集群中的多门课程进行整合,实现了知识在学习过程中的交叉与重构,^[17]由此构成了一个“基于问题、关涉学科”的金字塔型课程结构(如图5)。其中,基础学科课程面向全校开设,在课程体系起基础支撑作用,大多为研究生阶段核心课程模块的先修课程;与机械工程相关的学科课程则促进知识的迁移与融合,成为课程体系的中坚力量;机械工程专业支撑课程及综合实践环节则立于“金字塔”的尖端位置,且博士课程较硕士课程来说更注重夯实基础及综合实践,这使得学生在理论学习和专业实践过程中不断发现问题、探究未知,以此引领学科发展、保持学科特色。

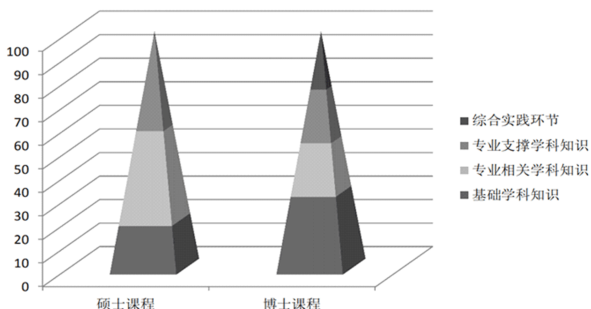


图5 Caltech 机械工程学科研究生课程结构示意图

(三)保障师生的学术自由以促进课程主体间的协同发展

Caltech 机械工程学科师生作为课程实践的双元主体,有其各自充分的学术自由,这是 Caltech 最显著的办学特色。所谓学术自由,是指创造高深知识的研究主体在遵从一定伦理道德和法律条件下,自由地选择研究对象、自由地开展研究过程、自由地发表研究结果而不受来自任何方面限制或干扰的权力。^[18]教师享有教学自由,广泛的“教”的自由

体现在他们可以自行选择教科书、在教学过程中自主制定教学计划和讲授方法、向学生公布自己的研究成果等方面,Caltech 的教学、学习和推广中心(CTL)对教师的这些权利予以充分保障,例如它为教师所开展的全校范围内的教学和学习庆祝活动——Teach Week。^[19]在这个充满活力的短期系列讲座中,教师们将分享他们在课堂上开发和实施的新想法,包括主动学习实验、社区参与式学习以及通过虚拟现实方式学习等。如此教法,使教师与课程、科研与教学充分融为一体,从而在一定程度上缓解教师“重科研轻教学”的现象,使其走向更为自由、民主的学术部落。

研究生也有“学”的自由,他们可就感兴趣的领域自由选择课程、在课堂中自由发问、在论文写作上自主选择研究方法工具。Caltech 研究生学术委员会(GSC)还组织了“带一位教授吃午餐”的计划,即每位研究生每月可以申请与一位教授在午餐时进行交流,教授在申请人员中随机选择 8~12 名学生共进午餐。^[20]这为研究生提供了与其部门以外的教师讨教经验和自由交流的机会。唯有如此保障师生的学术自由,Caltech 才能吸纳到更多优秀的教师及学生,并促使其形成个性化的研究方向和独特的思维方式,从而推动学科的发展与进步。

中国工程院院士李培根指出,“新工科”计划的推进关键在于培养当代中国工程学生的新型工程素养,而培养这种“新”的第一着眼点则在于课程的改革与重构。^[21]但纵观我国工科研究生课程系统,仍存在很多不足。有研究指出,当前我国高等院校研究生课程体系庞杂零散,课程结构碎化老化,课程知识迟滞落后,授课形式单一同质,课程师资则亟待高水平建设与后备有力梯队的储备,^[22]面对以上问题,“新工科”建设如何从课程实践的微观视角落到实处、从轰轰烈烈的项目建设阶段走向扎扎实实的持续性、深入性的推行阶段?也许,Caltech 机械工程学科的发展经验可为我们提供一些借鉴。

注释:

- ① “看板”概念最早来源于日本丰田企业的一种管理手段,是用于标记产品信息与生产顺序的视觉工具。“倒看板”即是以最终市场需求为标准不断逆推各阶段产品生产标准的一种管理方式。
- ②③ 由笔者根据 Caltech 官网 (<https://www.caltech.edu/>) 内容整理而来。

参考文献:

- [1] 吴爱华,杨秋波,郝杰.以“新工科”建设引领高等教育创新变革[J].高等工程教育研究,2019(01):1-7,61.
- [2] 陆国栋.治理“水课”打造“金课”[J].中国大学教学,2018(09):23-25.
- [3] 樊鹏,李忠云.美国加州理工学院办学特色及启示[J].教育与职业,2012(11):21-23.
- [4] Graduate Degree in Mechanical Engineering [EB/OL]. [2019-03-21]. http://www.mce.caltech.edu/academics/grad_me.
- [5] Facts & History [EB/OL]. [2019-03-19]. <http://eas.caltech.edu/about>.
- [6] Areas of Study and Research [EB/OL]. [2019-03-21]. http://www.catalog.caltech.edu/documents/2755/caltech_catalog-1819-section_2.pdf;160.
- [7] Course Descriptions [EB/OL]. [2019-08-01]. http://www.mce.caltech.edu/academics/course_desc.
- [8] 李雪飞,程永波.交叉学科研究生培养的三种模式及其评析[J].学位与研究生教育,2011(08):10-15.
- [9] HSS Undergraduate Courses [EB/OL]. [2019-08-01]. <http://www.hss.caltech.edu/courses/undergrad>.
- [10] Upcoming Seminars [EB/OL]. [2019-05-20]. <http://www.mce.caltech.edu/seminars>.
- [11] Control and Dynamical Systems [EB/OL]. [2019-08-01]. <http://catalog.caltech.edu/current/cds>.
- [12] 包水梅.中国学术型博士研究生课程建设研究[M].北京:科学出版社,2016:129.
- [13] Professor Lapusta Receives GSC Mentoring Award [EB/OL]. [2019-05-20]. <http://www.mce.caltech.edu/news/1141>.
- [14] Facilities [EB/OL]. [2019-08-01]. <http://www.mce.caltech.edu/research/facilities>.
- [15] CaltechCatalog [EB/OL]. [2019-07-21]. http://www.catalog.caltech.edu/documents/2754/caltech_catalog-1819-section_1.pdf;44.
- [16] 徐晓飞,丁效华.面向可持续竞争力的新工科人才培养模式改革探索[J].中国大学教学,2017(06):6-10.
- [17] 林健.多学科交叉融合的新生工科专业建设[J].高等工程教育研究,2018(01):32-45.
- [18] 周治富.学术特质与学术自由:兼论当代博士研究生如何践行学术自由[J].中国高教研究,2012(02):20-24.
- [19] Teach Week [EB/OL]. [2019-08-01]. <http://www.ctlo.caltech.edu/universityteaching/events/teachweek>.
- [20] Programs [EB/OL]. (2019-03-27) [2019-04-01]. <https://gsc.caltech.edu/programs/>.
- [21] 李培根.工科何以而新[J].高等工程教育研究,2017(04):1-4,15.
- [22] 陈谦,李爱东,叶鹏飞.新型工科研究生课程体系建设探索:以南京大学现代应用与工程学院为例[J].中国大学教学,2018(12):56-60.

**Ecological Layout and Derivative Logic of the Curriculum System for
Postgraduates of the World-class Engineering Discipline:
A case study on the mechanical engineering of Caltech**

WANG Hongyu, MA Mengdi, YAN Guangfen

(School of Education, Tianjin University, Tianjin 300350)

Abstract: The engineering discipline in Caltech is a world-class representative that has designed courses for postgraduates in mechanical engineering in a reverse "Kanban" pattern, with full consideration of the future needs of the students. Specifically, it pays attention to the generation of a curriculum structure in a "uniform distribution-running through" manner. In terms of the curriculum contents, it focuses on interdisciplinary knowledge, cutting-edge topics and method exploration. The school provides support from high-quality resources and carries out practice with a "re-diagnosis" evaluation method. Such a "five-in-one" curriculum layout is driven by the need for future serve, which clarifies the development orientation for the fulfillment of the discipline objectives. The curriculum takes problem-addressing practice as the energy to ensure the characteristics of its diversified contents, and the school advocates academic freedom for both teachers and students as the foundation to promote a coordinated development of different courses. All above mentioned could be used as reference for the present curriculum reform for postgraduates in engineering in the construction of a "new engineering" discipline in China.

Keywords: first-class discipline; postgraduate curriculum system; ecological layout; derivative logic; Caltech