



清华大学工业工程系  
Department of Industrial Engineering, Tsinghua University

# 清华大学工业工程系 课程体系改革项目 国际一流院系调研

2022.02.22



## 负责教师

谢小磊 刘响 白茜文 梁正霖

## 学生志愿者

张文心 王雪宁

## 摘要

随着我国经济社会转型和科学技术发展，工业工程学科正面临难得的机遇与全新的挑战。培养我国亟需的既扎根中国又具备国际视野、兼备工程与管理知识的“臻于至善”的工业工程人才，是本学科教育者肩负的重要使命。

为更好地执行这一使命，清华大学工业工程系成立了 IE 课程体系改革项目组，围绕优化工业工程专业课程体系设置开展工作，其中之一是对标国际一流大学的工业工程院系，系统地调研对标院系的课程体系建设情况，梳理可借鉴的经验，为本系课程体系改革提供参考依据。

专项工作小组参考专家建议和国际排名，选择了 30 所国际一流大学的工业工程院系作为对标院系。通过查阅官网、学生手册以及与校友交流等方式，收集项目的相关信息，并基于此对这些院系的本科生与博士生项目分别进行系统分析，具体内容包括院系基本情况、课程设置、培养方案等。工作小组不断通过小组讨论、专家咨询等方式，迭代调研需求和重点。此外，工作小组也通过案例分析、桑基图等多种文字和图表分析方法，对国际一流工业工程院系的课程体系特色进行分析，并以案例形式具体展示了工业工程教育的前沿实践者在改革中做出的探索、尝试与成果。

通过调研，工作小组总结出对标院系的特点。其中，本科生课程体系的五个最突出特点包括：因地制宜 / 与时俱进 / 战略转型；沟通与表达能力的培养；理论深度的强化；培养方案的多元化；与系友和业界的互动。博士生的课程体系的两大特点为强化理论课程的建设 and 博士生全过程培养。

基于上述结论，工作小组也对清华大学工业工程系课程体系改革提出了一系列建议。希望本白皮书中的内容和建议可以为本系的课程体系改革提供参考，也可以对其他高校和业界的同行有所借鉴，为我国工业工程学科的发展做出点滴贡献。

# 目录

第 1 章 调研概况	1
------------	---

第 2 章 本科生课程体系调研情况	4
-------------------	---

2.1 因地制宜 / 与时俱进 / 战略转型	4
------------------------	---

2.2 沟通与表达能力的培养	9
----------------	---

2.3 理论深度的强化	11
-------------	----

2.4 培养方案的多元化	15
--------------	----

2.5 与系友和业界的互动	17
---------------	----

第 3 章 博士生课程体系调研情况	19
-------------------	----

3.1 课程理论深度的强化	19
---------------	----

3.2 博士培养全过程把控	20
---------------	----

第 4 章 总结与展望	23
-------------	----

# 第 1 章

## 调研概况

工业工程 (Industrial Engineering, IE) 是关于复杂系统有效运作的科学, 将工程技术与管理科学相结合, 以“人”为核心, 开发和应用定量严谨的数学模型和方法进行复杂系统的优化, 重点考虑安全、质量、成本和效率等指标。工业工程本质上是交叉型学科, 而这一特点也在近十年间数据科学和机器学习的发展浪潮中得到进一步的体现。

2021 年 9 月, 习近平总书记在中央人才工作会议上强调, 当前, 我国进入了全面建设社会主义现代化国家、向第二个百年奋斗目标进军的新征程, 我们比历史上任何时期都更加接近实现中华民族伟大复兴的宏伟目标, 也比历史上任何时期都更加渴求人才。党的十八大以来, 党中央作出人才是实现民族振兴、赢得国际竞争主动的战略资源的重大判断。站在新的历史起点上, 我国正在从教育大国向教育强国迈进。同时, 2021 年是“十四五”规划的开局之年, 我国将强化国家战略科技力量投入, 瞄准人工智能、量子信息、空天科技等前沿领域。在不远的将来, 互联网、大数据、先进制造等同各新兴产业深度融合, 将会出现全新的技术、产品和业态。进入新时代、面对新形势, 工业工程学科的发展面临着难得的机遇和全新的挑战, 需要 IE 人探索创新性方法, 并进一步发展工业工程理论。与此同时, 也亟需培养出扎根中国、具有国际视野的“臻于至善”的工程与管理复合型人才, 以服务国家和社会。

清华大学工业工程系的人才培养体系面向第四次工业革命的“数字工程”转型战略, 肩负培养以“理工”、“工工”、“工文”交叉融合为特色的复合型“新工科”人才的使命, 尤其注重系统思维、运筹帷幄、以人为本。为了实现这样的愿景, 在 2020 年初, 清华大学工业工程系 11 名教师、3 名教务老师、3 名实验室老师和 4 名学生志愿者组成了 IE 课程体系改革项目组, 开启了以“夯实理论基础、拥抱时代变化”为主题的课程体系改革。改革的总体目标为: 以适应国家和时代需求为基准, 全面深化课程改革, 提升专业建设质量, 搭建高水平人才培养体系。项目组按照知识体系梳理、课程体系建设、课程-师资匹配的“三步走”计划, 围绕优化工业工程专业课程体系设置展开工作, 受到了学校的高度关注和支持。项目组的一项重要工作是对标国际一流大学的工业工程院系, 4 名教师和 2 名学生志愿者组成了专项工作小组, 系统调研目标院系的课程体系建设情况, 梳理可借鉴的经验, 为清华 IE 课程体系改革提供参考依据。本报告将集中展示国际一流院系调研的内容, 并总结归纳研习成果。

在对标院系的选择方面, 工作小组参考了专家意见以及各类国际院系排名, 在全球不同区域选择了 30 所学校。根据 2020 US News 最佳工业工程项目排名榜单<sup>1</sup>, 工作小组选取佐治亚理工学院 (Georgia Institute of Technology)、哥伦比亚大学 (Columbia University)、康奈尔大学 (Cornell University) 等 13 所美国高校作为研究对象。根据 2020 QS 世界大学工程与技术学科排名榜单<sup>2</sup>和专家推荐, 在欧洲地区选择苏黎世联邦理工学院 (ETH Zurich)、剑桥大学 (Cambridge University)、牛津大学 (Oxford University) 等 13 所高校进行分析。此外, 工作小组也补充了亚洲地区的新加坡国立大学 (National University of Singapore) 等 4 所高校。表 1 中展示了具体的对标高校信息。

1 <https://www.usnews.com/best-graduate-schools/top-engineering-schools/industrial-engineering-rankings>

2 <https://www.topuniversities.com/university-rankings/university-subject-rankings/2020/engineering-technology>

表 1 对标高校信息及选取标准

序号	学校简称	学校全称（中文）	地域	选取依据	排名*
1	GATech	佐治亚理工学院	北美	2020 US News 最佳工业 工程项目排名榜单	1
2	UMich	密西根大学			2
3	UCB	加州大学伯克利分校			3
4	Stanford	斯坦福大学			4
5	Cornell	康奈尔大学			5
6	NU	西北大学			5
7	MIT	麻省理工学院			5
8	Virginia Tech	弗吉尼亚理工大学			8
9	UW	威斯康星大学麦迪逊分校			8
10	Purdue	普渡大学			10
11	Upenn	宾夕法尼亚大学			11
12	Texas A&M	得克萨斯农工大学			11
13	Columbia	哥伦比亚大学			11
14	Cambridge	剑桥大学	欧洲	2020 QS 世界大学工程与 技术学科排名榜单（欧洲排 名）	1
15	ETH	苏黎世联邦理工大学			2
16	Oxford	牛津大学			3
17	IC	帝国理工学院			4
18	EPFL	洛桑联邦理工学院			5
19	TU Delft	代尔夫特理工大学			6
20	Polimi	米兰理工大学			7
21	TUM	慕尼黑工业大学			8
22	KTH	皇家理工学院			9
23	Polito	都灵理工大学			10
24	TU/e	埃因霍芬理工大学		-	
25	IMT Atlantique	大西洋 - 布列塔尼 - 卢瓦尔地区国 立高等矿业与电信学院		专家推荐	-
26	CS	巴黎中央理工学院			-
27	HKUST	香港科技大学	亚洲	专家推荐	-
28	NUS	新加坡国立大学			-
29	PolyU	香港理工大学			-
30	SUTD	新加坡科技设计大学			-

\* 如选取依据为专家推荐，则不提供相应排名。

通过查阅官网、学生手册以及与校友交流，工作小组收集整理了大量项目相关的信息，并由此分析院系的项目设置情况，包括课程设计、培养方案、师资配置和特色课程等。在此过程中，工作小组不断迭代调研需求和重点，针对本科项目和博士项目的不同培养目标进行差异化剖析。工作小组利用文字、图表等形式对上述 30 个项目进行研习，发现了五个最突出的特点：

- 1、项目设置因地制宜、与时俱进，体现了当前工业工程及时跟进新兴领域，进行战略转型的特点；
- 2、特别注重学生的沟通和表达能力培养，鼓励学生展示和输出；
- 3、注重理论课程，通过对本科生开放研究生课程、严格要求博士生成绩等方式强化深度；
- 4、注重培养方案的多元化与全程性，利用荣誉项目、培养导向、博士培养委员会制度等给予学生个性化支持；
- 5、注重与系友和业界的互动，开展丰富的系友活动并建设稳定的系友网络。

下面将针对本科生与博士生的课程体系调研情况根据其特点分别进行汇报。

## 第 2 章

# 本科生课程体系调研情况

本章节将具体阐述所调研院系的本科生课程体系的五个突出特点，以实际案例说明各个院系的本科生课程体系在这些方面的具体工作及特色。

### 2.1 因地制宜 / 与时俱进 / 战略转型

在调研中，我们发现，很多国际一流工业工程院系都具备因地制宜、与时俱进、战略转型的特点。其中，因地制宜指院系的课程设置贴近其地缘经济特点；与时俱进指在教学内容中不断纳入新兴研究领域和新兴科学技术。

#### 2.1.1 因地制宜：根据当地产业特点设置特色课程

在对标院系中，大多数院系结合当地产业特点，设置了部分特色课程，既可以充分利用当地的产业资源作为教学资源，也可以为当地产业输出大量专业对口的人才。

##### 案例 1：

**UCB, Stanford 位于硅谷，特色课程聚焦创业、科技、产品经理、数据分析，提供丰富的就业指导（毕业生进入管理咨询的比例约为 29%）**

伯克利大学工业工程与运筹系开设了多门有硅谷特色的课程。其中广受欢迎的是《Data-X》课程。此外，该系还开设了《产品管理》（针对硅谷科技企业培养产品经理技能）与《科技企业领导力》（针对创业学生培养创业领导力）等特色课程。秉承伯克利的创业创新精神，该系为硅谷科技企业与初创公司输出了大量人才。

斯坦福大学临近硅谷，背靠丰富的高新科技企业资源和广阔的技术转化渠道，学校和企业进行充分合作，使得在教学环节产生的创新想法易于落地和实施。因此，斯坦福大学也聚焦创业、科技、政策等专题，设置了一系列特色课程，例如《科技创业》《创新、创造力和变革》等课程。这些课程通过校外专家指导进行项目研究等方式，对接硅谷的世界级企业家、风险投资家资源，为学生们提供高质量的创新创业入门教学。同时，教师和校外导师团队也着重挖掘学生们的创新想法，鼓励同学们利用硅谷资源，将课堂中产生的想法进一步落地和转化。

##### 案例 2：

**NU 位于芝加哥，特色课程聚焦咨询、金融、管理、沟通与领导力**

西北大学工业工程与管理科学系针对芝加哥管理咨询与金融特色产业，开展了多门管理类特色课程。其中《谈判与冲突解决》课程着重培养沟通与表达能力，为学生在咨询行业就业提供重要支持。《数据科学与分析》《社交网络分析》《组织行为》《金融工程》等课程也为学生从事技术与管理咨询提供坚实理论基础。

**案例 3:****UMich 位于汽车城，研究领域聚焦制造、人因、交通**

密西根大学位于美国制造业发达的中西部，坐落在汽车城底特律周边，与汽车、制造相关的生产制造、人因、交通等是其工业与运作工程系的强项。该系针对这三个领域的课程设置完备，并与机械工程系、土木系等深度合作聚力发展。

**案例 4:****HKUST 位于香港，专业细分方向聚焦咨询、金融、数据分析**

坐落于国际金融与咨询中心，香港科技大学工业工程和决策分析学系设有决策分析专业（BEng in Decision Analytics），下设金融工程与咨询两个细分方向。其中金融工程方向包含《数据驱动的投资组合优化》《金融工程概论》《金融科技工程基础》《系统风险管理》《金融服务运营管理》等 7 门课程；咨询方向开设《电子商务技术与应用》《需求与供应分析》《集成生产系统》《服务工程与管理》《数据驱动的供应链管理》《动态定价与收益优化》共 6 门课程。学生需在每个方向选修 5 门课程以满足毕业要求。

**案例 5:****IMT Atlantique 位于法国西部最大工业城市南特，重视工业生产现代化与数字化转型**

IMT Atlantique 是专家调研问卷中推荐的学校，具有较好的工业工程课程体系。该校的自动化、生产、计算机系位于南特校区。南特是法国西部最大工业城市，重视现代化工业生产与数字化转型。因此，在院系培养方案中也强调了工业效益、数字化商业模式以及数字化转型等方面。院系开设四个方向的专业课程，包括自动化与网络物理系统；工业系统设计、优化、控制；风险与汇报管理；机器人与互动。其中每个方向各包含四个核心内容与多个任选内容。其中课程如《现代管理问题》《机器人系统原型设计》《分布式实时信息系统》《基于运行就绪度的维修》《效益评估》等课程均体现了该系课程设计因地制宜的特点。

## 2.1.2 与时俱进：及时跟进新兴技术与领域

目前，数据科学、人工智能等新兴技术蓬勃发展，工业工程的主要研究领域（如制造、物流等）也面临转型。大部分对标院系也都及时跟进新兴技术与领域，在教学环节中纳入新的教学内容和培养方向。

**案例 1:****GATech 于 2017 年新增本科专业方向数据科学与分析培养方向**

佐治亚理工工业与系统工程系于 2017 年新增数据科学与分析 (Data Science & Analytics) 培养方向，选修课程包括数据分析、机器学习，以及运筹学和统计学高阶课程。

**案例 2:****UCB 于 2015 年开设《Data-X》课程，聚焦数据分析与数据科学，强调落地与创业**

2015 年伯克利开设了《Data-X》课程，广受学生与业界合作企业好评。该课程是一门以开放式项目为主的课程，其项目来源于硅谷企业与学生创业创新思路。学生们在课上学习应用人工智能与数据科学等新兴技术，在理论与实践间架起桥梁。其企业合作伙伴包括通用电气、本田、NBA 等，为学生提供了宝贵的实践经验与就业桥梁。

**案例 3:****UMich 从传统制造业与金融工程转向医疗、能源与可持续性、交通与无人驾驶等新兴领域**

由于美国制造业外流，中西部也逐渐变为“锈带”，加之 2008 年金融危机，传统的制造业研究与金融工程相关培养项目受到了冲击。密西根大学工业工程与运筹系在 21 世纪重点关注医疗、能源与可持续性、交通与无人驾驶等新兴领域，加强相关科研与教学，抓住了发展机遇，建设了医疗工程与患者安全中心、交通研究中心等，使这几个方向成为了该系特色与优势。

**案例 4:****Penn State 于 2018 年开设服务企业工程辅修方向，并和国际工业与系统工程学会深度合作**

宾夕法尼亚州立大学于 2018 年开设服务企业工程 (Service Enterprise Engineering, SEE) 辅修方向，主要面向工业工程、健康政策管理 (Health policy analysis, HPA) 以及人类发展和家庭研究 (Human Development and Family Studies, HDFS) 的本科生。该项目主要培养学生使用工业工程的方法在医疗保健和服务领域创新优化能力。SEE 辅修课程为一系列工业工程系与健康政策管理系相关课程。其中，必修课包括《服务系统工程》《零售服务工程》，同时要求学生从工业工程系课程与健康政策管理系课程分别选修 6 学分课程。SEE 辅修可以帮助工业工程系学生更多地了解医疗保健和社会服务领域，帮助健康政策管理、人类发展和家庭研究等相关专业的学生学习工业工程系技能，并提供相关服务行业机遇。此外，由于国际工业与系统工程协会 (Institute of Industrial and Systems Engineers, IISE) 的部分学术研究及应用与 SEE 的教学内容高度相关，宾夕法尼亚州立大学工程学院在 2020 年赞助了 IISE 年会与博览会上颁发的服务系统工程杰出创新奖 (Outstanding Innovation in Service Systems Engineering Award)。

**案例 5:****HKUST 于 2018 年 1 月将工业工程及物流管理学系更名为工业工程及决策分析学系，更加侧重数据分析**

2018 年 1 月，香港科技大学工业工程及物流管理学系 (Department of Industrial Engineering and Logistics Management, IELM) 更名为工业工程及决策分析学系 (Department of Industrial Engineering and Decision Analytics, IEDA)，以反映决策分析在教研方面持续增加的比重。该系同时增设决策分析本科学位与相关课程，旨在通过新技术和思维模式解决工业工程的相关问题，并更有效满足当下学生与社会的需求。决策分析本科专业毕业生可以在包括银行、保险、管理咨询等行业工作。

**案例 6:****SUTD 作为新建大学，办学和课程设置理念体现时代性**

新加坡科技设计大学工程系统与工程系于 2012 年开始招收首届本科生。该项目有四方面办学与课程设置理念，包括“设计焦点和以人为本”“数字能力为基础”“面向客户的课程”“跨学科学习与研究”。具体而言，“设计焦点和以人为本”：课程设置强调设计与人文思维，本科生需必修《设计概论》并选修 5 门人文、艺术和社会科学方向课程，以培养在社会、文化、政治和经济多维度的认知。“数字能力为基础”：课程设置包含《数据和商业分析》《分析边界》《互联网生活》等多门数据与决策分析课程。与传统工业工程毕业生相比，很多该系学生毕业后选择数据分析师等工作。“面向客户的课程”：课程中加入与业界的互动，例如在《数据和商业分析》课程中，每个小组会被分配真实的业界客户，并需要解决客户面临的实际问题。“跨学科学习与研究”：

课程设计强调跨学科的交流，例如大四的毕业设计由小组进行，每个小组需包含来自不同专业的学生。

#### 案例 7：

##### Oxford 新增人工智能和区块链等方向内容

牛津大学开设区块链与人工智能等多个线上教学项目。其中，《区块链策略》课程通过展示区块链行业的最佳案例、价值主张和实施策略，为学生集中讲解区块链如何工作、区块链将如何影响未来企业以及如何提高企业决策能力等相关知识。《人工智能》课程除了讲解机器学习、深度学习等相关理论知识外，还针对人工智能使用中的社会与道德问题进行分析。

#### 案例 8：

##### Cambridge 新增机器学习课程内容

在剑桥制造工程系，《工业工程》《生产机器与系统》等课程新加入了机器学习的相关内容。同时，《制造系统工程》中有关机械臂控制的内容中也加入了增强现实和虚拟现实（AR/VR）等相关知识的讲解。

此外，对于所调研院系的课程，我们按照五大应用领域进行划分，并在表 2 中展示了部分所调研 IE 院系和清华 IE 在各领域上专设课程的必修、选修课程学分。其中，括号中的数字代表所属领域开设课程学分。判定某课程是否属于某应用领域的标准，是该课程是否专注于该应用领域展开讲授（若仅有习题或理论涉及，则不计入）。

表 2 各院系 IE 应用领域课程开设情况

学校	Manufacturing	Trans. & Logistics	Healthcare	Finance & Econ.	Public & Society
GATech	选修 (3)	设有 Supply Chain Engineering 方向	-	必修 (1) 设有 Econ. & Financial Systems 方向	选修
UMich	选修 (12)	-	选修 (3)	必修 (2) 选修 (6)	选修 (3)
Cornell	-	选修 (2)	-	-	-
Columbia	必修 (4) IE 方向	必修 (3) Analytics 方向	选修 (3) OR 方向	设有 Financial Engineering 方向	选修 (3) OR & IE 方向
UCB	选修 (3)	选修 (3)	-	选修 (3)	选修 (3)
NUS	选修 (4)	选修 (8)	选修 (4)	选修 (4)	选修 (4)
清华	必修 (5)	必修 (10)	选修 (2)	必修 (2)	-

从表 2 中，我们可以看到上述提到的院系针对生产制造系统、交通与物流系统、医疗卫生系统、经济金融以及公共政策等应用领域有所涉及。其中，例如 GATech 和 Columbia 也特设了金融工程的方向。

### 2.1.3 战略转型：结合地缘因素、时代发展，制定发展战略

部分对标院系在教学环节中结合地缘因素，紧跟时代发展，注重与业界的互动。其中，部分课程项目与业界实际项目结合，部分课程教学内容贴近业界实际需求。

#### 案例 1：

##### Stanford 在课程教学环节中跟进创新创业方法

斯坦福大学管理科学与工程系为学生开设多门课程教授创新创业方法，包括《创造未来》《科技创业》《创业决策原理》《创新、创造和变革》等。这些课程的教授内容包括企业的创建和成长、企业家影响力的塑造、创新技巧和思维工具、创业团队组建和资源收集方法、创业公司发展重大事件（尤其是困难）的处理方式等。此外，课程大多包含项目实践，并邀请企业导师参与项目指导。依靠硅谷的地缘优势，结合时代发展，斯坦福大学管理科学与工程系为有志于创业的同学提供了充分的理论和实践支持。

#### 案例 2：

##### Virginia Tech 在课程教学环节中注重产学研结合

弗吉尼亚理工大学重视本科阶段的高级设计课程，每年与多家公司深度合作，在为期 9 个月的课程中，高年级本科生以团队的形式工作，将所学技能应用于制造业或服务业的实际问题中，在完整的项目规划、分析、管理和实施过程中提升专业能力和创新能力，并为合作伙伴带来收益，最终通过高级研讨会（公司代表、学生、教师共同参与）分享项目成果，并从工业与系统工程工具的应用、效益影响、创新创造和数字化转型四个方面分别评选最优秀的项目。

#### 案例 3：

##### UMich 鼓励学生到业界实地实践并以此为学生搭建就业桥梁

密西根大学工业工程系开设两门本科毕业设计课程供学生选择，其中 IOE424 为业界毕设，项目源自企业实际需求。学生组成 4 人小组深入到企业调研、收集数据、对接需求、并提供工程解决方案。IOE481 则为医疗方向毕设，学生组成 4 人小组到密西根大学医院系统的各个部门解决实际运营问题。此外，密西根大学工学院与商学院联合成立了陶伯全球运营研究所 (Tauber Institute for Global Operations)，为学生提供实习机会。来自工学院与商学院的学生组成小组，配以工学院与商学院各一位导师，以暑期实习的方式深入到全球一线企业，解决运营管理问题。许多学生在实习后都能得到企业的留用通知书 (return offer)，因此该项目颇受欢迎。将工科学生与商科学生交叉组合的方式，也让学生之间能互取所长，增加跨专业团队协作能力。

#### 案例 4：

##### NUS 在教学中注重业界实践与业界实际问题相结合

新加坡国立大学工业系统工程与管理系本科项目中会要求其所有的本科学生参加一个时长两学期的系统设计项目。在此项目中，学生会被委派到一家公司作为咨询师来学习并分析业界实际遇到的问题，学生会与公司代表共同合作来了解问题，并开发出可行的解决方案。在项目的最后，学生将会把他们的发现与建议对公司的管理层进行汇报，有不少学生也能在实习过程中拿到工作邀约。

**案例 5：****SUTD 面向客户的课程设置**

新加坡科技设计大学工程系统设计系开设了一系列的面向客户需求的课程设计。本科生会在第 4 学期参与一个解决实际客户需求的项目，需要解决的问题例如新店选址、航空公司员工管理、预测飞机故障等，这些实际问题有着非常广的知识及技能要求。在第 5 学期，这个项目的广度会进一步加深，将同时涉及多个学科的知识，例如统计学与制造服务运营知识的结合。在第 7、8 学期，学生还将与其他学科的学生合作，共同完成客户需求的项目。在整个项目过程中，课程会结合社会、文化、政策、经济等方面的因素，对学生的设计能力提出要求，使学生对问题建立更整体全面的理解。最后作为处理这些因素的工具，学生需要具备扎实的数据分析能力，并结合机器学习、仿真、优化等方法来实现系统的优化与设计。

**案例 6：****Cambridge 与企业合作项目**

在剑桥，各教学模块与企业项目的合作体系已经初具规模，参与的企业包括劳斯莱斯（Rolls-Royce）、捷豹路虎（Jaguar Land Rover）、卡特彼勒（Caterpillar）等数十家国际知名企业。企业和学校共同制定简报，概述希望学生解决的现实问题。学生会针对该问题展开实践调研，甚至加入公司组织的现场工作，并在项目结束时以书面汇报的形式展示他们的成果并提出建议。通过此类项目，学生不仅可以获得重要的行业经验，还可以锻炼解决实际问题的能力。公司也可以从高素质学生的调研中受益，在具有挑战性的运营、商业问题上获得免费咨询。项目实现了双方的互惠互利，受到学生和公司的欢迎。

## 2.2 沟通与表达能力的培养

在对标院系中，绝大多数院系都非常重视对学生沟通与表达能力的培养。这些院系大多通过开设沟通表达课、注重毕业设计的展示性和商用潜力等方式，训练学生的沟通表达、公众展示、团队合作等能力。

**观察 1：****绝大多数对标学校的本科项目均设有沟通表达必修课**

在所对标的 13 所美国院系中，其中有 9 所都在本科培养体系中设置有交流沟通表达的必修课。

密西根大学工业工程与运筹系本科开设《技术交流》课程，学分为 2 学分，通过针对工业工程领域的书面报告和口头陈述，培养有效论证与说服策略、语言方式和风格。在该课程中，学生组队完成书面报告与展示，锻炼了沟通与表达技能。相应的，该院系的博士培养方案也设有一门 1 学分的博士必修课，讲授基金申请书的撰写，课程结束时，每位学生将完成一份可以提交给美国国家科学基金会（National Science Foundation, NSF）的研究生研究奖学金项目申请（Graduate Research Fellowship Proposal）。同时，密西根大学工学院设有一个技术交流（Technical Communication）部门，共有 28 位讲师，其中多数具有丰富业界经历，但并不要求具备博士学位。例如工业与运作工程系的 Mary Lind 曾在工程技术型企业内供职多年，负责产品使用说明书与技术文档的撰写与编辑。这些有着丰富业界经历的老师为学生在日后职业生涯中需要的交流与写作技能提供了更务实的培养。

西北大学工学院要求所有本科生在《公开演讲》《表演文学分析》《表演文化与交流》中选择一门作为沟通与表达的要求。对比其他工程学院，可以看到西北大学更强调面对面的交流与表达，在商务管理场景中更加

适用。

伯克利在所有工科本科项目中设置必修课《制造与设计中的沟通》，一方面讲授制造与设计中的基本工程方法与原理，另一方面训练学生的表达能力，包括书面表达与口头表达。最终设计项目的考核标准也包含工程设计角度与表达角度两方面。

康奈尔大学要求所有工学院本科生在 5 门沟通与交流课程中选择一门完成，可选范围包括《项目团队沟通》《数字化沟通与设计》《工程管理沟通》《工程沟通独立研究》和《工程沟通》。

麻省理工学院对其商学院商务分析（Business Analytics）专业的学生要求必修《用数据沟通》。该课程强调用数据说话，锻炼数据可视化以及商务场景中的沟通与表达。

宾夕法尼亚州立大学开设《高效演讲》课程，学分为 3 学分，主要探讨人们如何使用口头交流技巧解决实际问题。该课程旨在向学生介绍有效的公开演讲准则。课程将内容与实践联系起来，通过发表个人演讲的形式帮助同学巩固知识，提升技能。该课程需要每个同学至少演讲三次，并且每次发表演讲之后，学生需要撰写批判性报告，对自己和他人的作品进行评价。

德克萨斯 A&M 大学开设沟通与表达能力选修课，学分为 3 学分，学生需要从《专业技术演讲与沟通》《文学写作》《技术与商务写作》中选修一门。该系列选修课旨在培养学生沟通表达、报告写作等方面的能力。

威斯康星大学麦迪逊分校的本科生进入工业与系统工程系后需要按照培养方案的学分要求选修交流与沟通能力相关的课程。在该方向，院系开设了《演讲基础》《科学故事讲述》《学术写作》和《工程交流》等课程，从公众演讲、学术写作和工程交流等多个方向培养学生的沟通和表达能力。

普渡大学工业工程专业的通识教育培养方案要求学生在大一年级的两个学期选修《口语沟通》和《写作沟通》两门课程。

香港科技大学工业工程与决策分析学的本科生需必修两门沟通相关课程，分别在大二和大三。但这两门课程不计学分，成绩记分方式为通过或不通过。

## 观察 2:

### 毕业设计注重演示与展示

密西根大学工程设计学院博览会每年举行两次，为工程学生提供一个公开论坛，以展示他们的研究在现实生活中的应用。通过介绍他们的科研与设计，学生可以获得宝贵的经验并与来参观的其他院系学生、企业雇主展开交流。该展示会邀请企业、学生家长、高中学生及媒体，产生了广泛的影响力与曝光度。工学院各个系的所有毕设小组都会参加该展示，促进跨学科合作和交流。

弗吉尼亚理工大学工业与系统工程系的毕业设计中，学生们以团队的形式工作，将所学到的技能应用到制造业或服务业的现实问题中。在最终展示时各团队通过海报展示与口头展示来介绍各自的项目。院系将从工业与系统工程方法的应用、对合作方的贡献度、创新性与创造力，以及对合作方数字化转型的影响这四个方面来分别评选优胜团队。

## 观察 3:

### 注重毕业设计商业应用潜力

在部分学校，本科项目的课程设计会注重学业知识与商业应用的结合，尤其重视项目成果的可展示性。此外，项目也会通过组队完成的方式，训练学生的团队沟通能力。例如，剑桥大学工程学院制造工程项目（Manufacturing Engineering Tripos）的学生需要在大三组队完成一个产品设计项目。学生将以 3-4 人为

一组，根据给定的主题，设计出一款具有商业应用潜力的产品。这一课程设计要求学生提供解决思路、设计原型、技术路线、商业策划等方面的详细介绍，并鼓励学生拿出初步的工作原型。以 2019 年的设计展为例，设计主题为“Manufacturing a Better World”，最终的设计案例不乏新奇而实用的产品，例如使用椰子壳制造可生物降解的纤维板、在灯柱上加装静电除尘装置以减弱空气污染等。

## 2.3 理论深度的强化

部分对标工业工程院系非常重视本科教学的理论深度，他们通过增设课程、开设拔高课程、为本科生开放研究生课程等方式，提升教学的理论深度。此外，我们也观察到，部分对标院系对于数学基础有较高的要求。

### 观察 1:

#### 本科必修正理论课七个重要基础方向及课程分布

在所对标的工业工程本科培养方案中，专业必修正理论课分布在七个方向，在每个方向均至少有一门 2 至 4 学分的必修课。其中有人因方向的项目还包括必修实验课程。表 3 概括了对标院系的本科培养方案中专业必修正理论课的分布情况。

表 3 对标院系的本科培养方案中专业必修正理论课的分布

理论	优化	统计	概率	随机过程	仿真	编程 / 数据	人因	经济
必修课数量 (至少)	1	1	1	1	1	1	1+ (含实验)	1

### 观察 2:

#### 部分学校在本科设置两门优化必修课，加强深度

在所对标的院系中，部分院系在本科必修培养方案中对理论课程的深度尤为重视。其中伯克利在本科阶段要求学生必选两门优化理论课程，包括一门线性优化和一门非线性优化。康奈尔大学则要求必修一门线性优化与一门整数优化。

### 观察 3:

#### 本科阶段提供基础理论课的拔高选修课

在本科选修方案里，对标院系也提供多门理论课程（多分布在大四）供学生选修。其中佐治亚理工开设了高级随机系统（ISYE 4232 – Advanced Stochastic Systems）、高级运筹学（ISYE 4133 – Advanced Optimization）、约束规划（ISYE 4134 – Constraint Programming），密西根大学开设了排队系统（IOE 416 – Queueing Systems）等高阶本科理论课程。

### 观察 4:

#### 研究生课开放给本科生（MIT 在此尤为突出）

在所对标的院系中，本科生可以比较自由地选修研究生课程作为拔高。其中麻省理工学院在此尤为突出。其开设的研究生课程分析边界（The Analytic Edge），也是本科培养体系的选修课。麻省理工学院的许多课程都同时列为为本科和研究生课程，对于研究生学生附有额外的作业和要求。

**观察 5:****部分学校对数学有较高要求**

在数学选修课方面，康奈尔大学、佐治亚理工、西北大学在本科选修课里纳入了数学系的实分析、抽象代数等高阶数学课。在数学必修课方面，德克萨斯 A&M 大学要求本科生完成五门数学必修课，共 17 学分，涉及线性代数、常微分方程、级数解、拉普拉斯变换、微分方程等知识。弗吉尼亚理工大学工业与系统工程系的本科生必修课程中数学类课程达 23 学分，占总必修学分的 1/4，课程包括一元微积分（两学期）、线性代数、多元微积分、微分方程、统计学理论、工程统计，还包括专业数学类必修课——确定性运筹学 I 与随机性运筹学。普渡大学工业工程系本科课程安排与培养方案更加注重培养学生的数理基础，在本科阶段前两年，其教学安排较少涉及工业工程专业领域，而是设置了较多的数学必修课程，包括平面解析几何与微积分、多元微积分、工程中的概率统计、线性代数、常微分方程等，直到大三年级才开始讲授运筹学。佐治亚理工本科学位中的运筹与高级运筹方向分别要求 5 门和 7 门数学必修课，包括实分析、离散数学等。

**观察 6:****丰富的选修课内容与知识覆盖**

工作小组也对对标院系与清华大学工业工程系的课程体系进行了系统的梳理和分析。工业工程学科下开设的专业课可以按照涉及方法与应用领域两个维度进行分类梳理。其中方法主要知识点的梳理可以参照 IISE 发布的 Body of Knowledge。在应用领域方面，我们梳理了课程名称关键词与工业工程相关研究论文的关键词。在这项分析中，我们以开课范围广、课程列表详实的 UCB 和 NU 的工业工程系本科课程为例，绘制课程与关键词的多对多映射关系图（桑基图）。其中左侧为课程名称，中间为关键词，课程名称与关键词之间的连线代表了该门课程涉及到了关键词相关的知识点；右侧代表学校院系的节点和关键词之间的连线则展示了该院系对于知识点的整体覆盖情况。每门课程节点的连线反映了该课程的知识频谱宽度，每个关键词节点的连线则反映了该关键词被覆盖的热度。课程、关键词和学校院系这三列节点的柱状高度则与相应的学分数量成正比。UCB 与 NU 的工业工程系本科课程体系桑基图如图 1 所示。

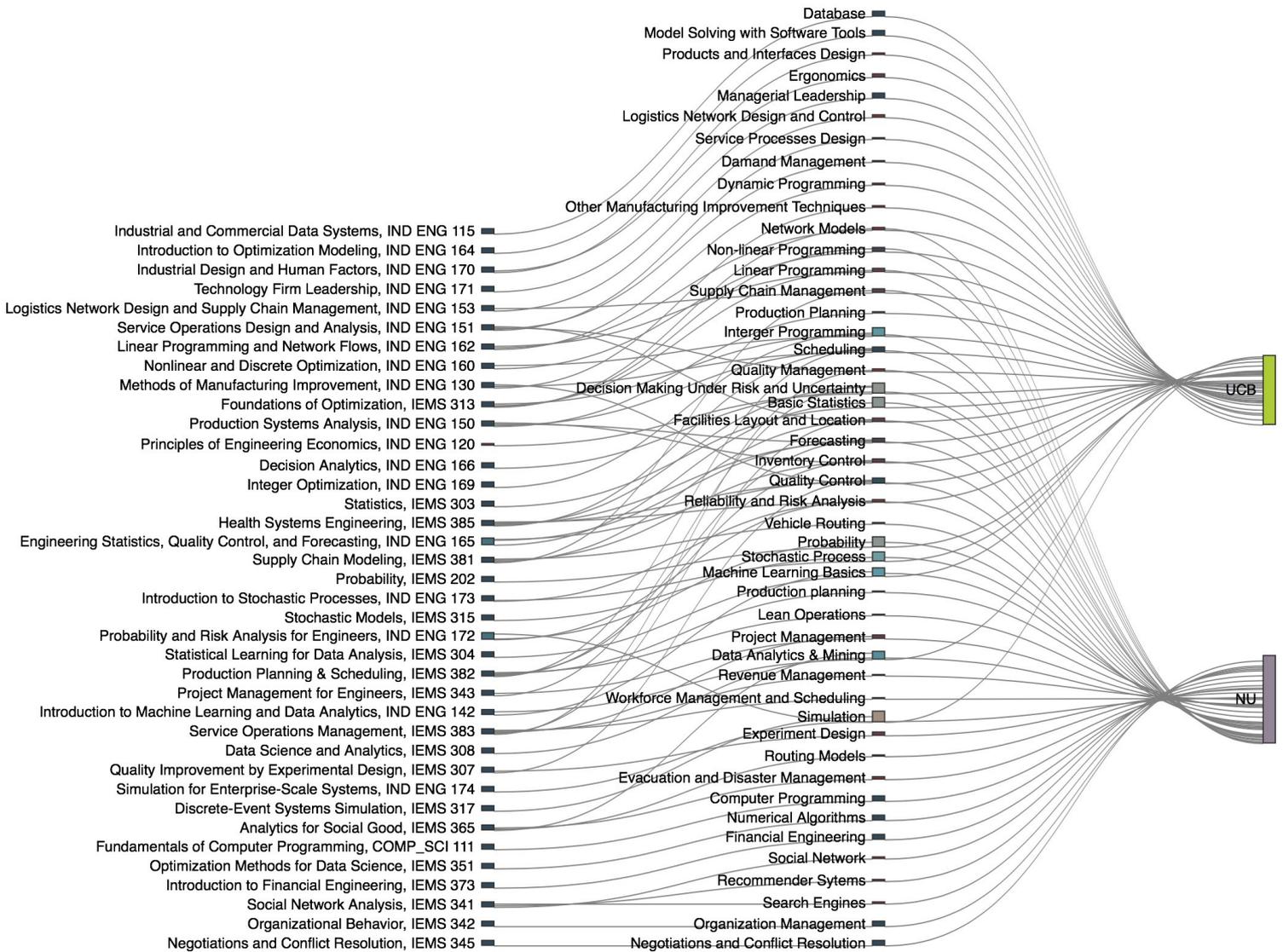


图 1 UCB 与 NU 的工业工程系本科课程体系桑基图

使用同样的方法,我们对清华大学工业工程系本科课程绘制桑基图,如图2所示。

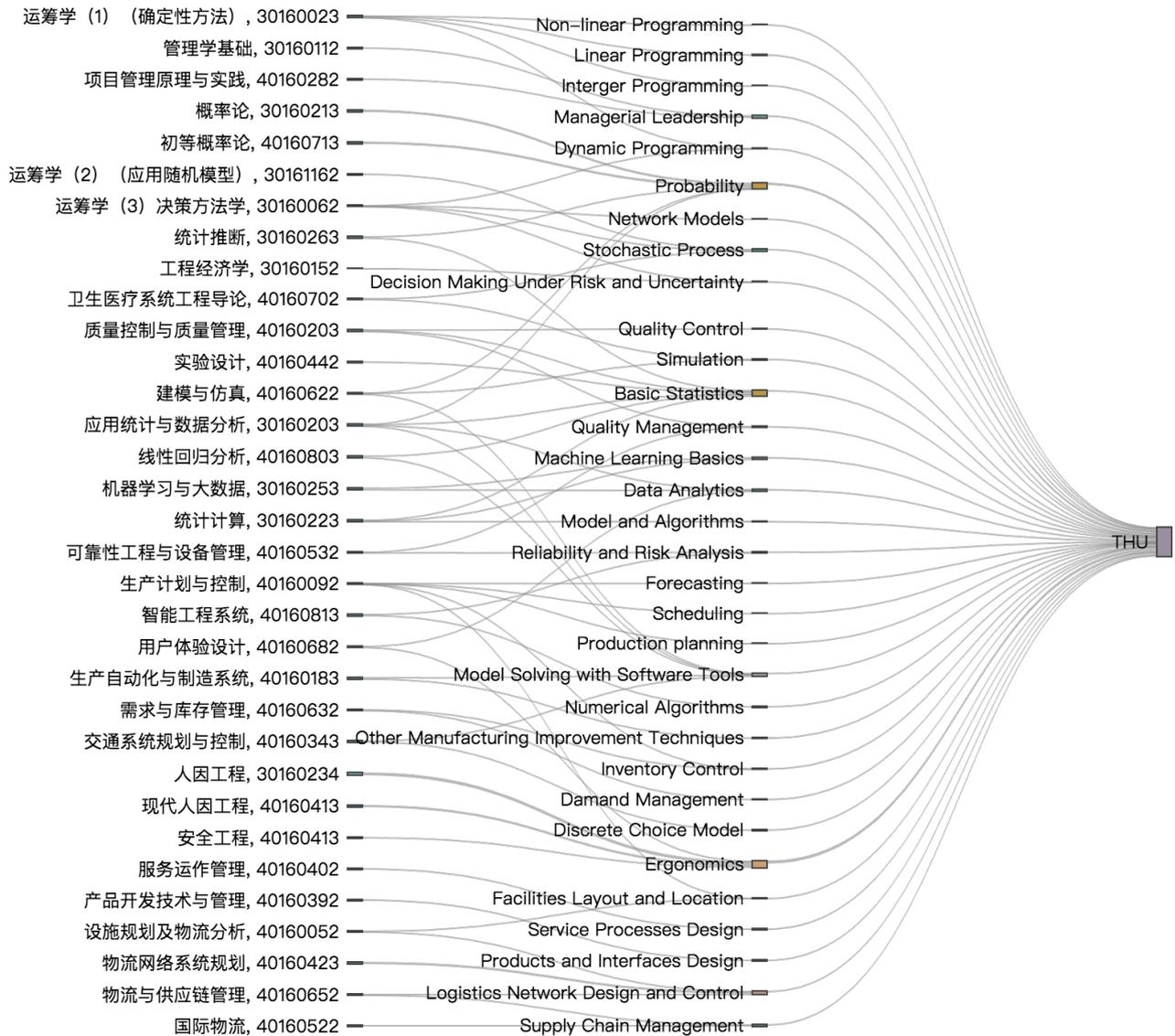


图2 清华大学工业工程系本科课程体系桑基图

根据关键词节点的连线数量和柱状高度,可以发现在UCB、NU和清华大学的本科课程体系中,数学规划、概率论以及数理统计都是重点关键词,牵涉课程多、学分比重高。然而,相比于UCB和NU课程体系,清华大学工业工程系在决策方法、随机过程、数据分析和挖掘、机器学习、仿真等方向开设课程相对较少。在这些方向中,清华大学工业工程系大多以一个关键词对应一门课主要讲解的形式,实现知识点的覆盖;而UCB和NU的课程体系中,每个关键词所代表的知识点可能在多门课程中被穿插讲授。

在基础课程之外,UCB和NU的课程体系中还涵盖了一些在IE领域较为新鲜的关键词,比如NU开设的IEMS 341 社会网络分析课程涵盖社交网络和社交媒体、推荐系统等主题,且UCB和NU都专门开设有领导力相关的课程(IND ENG 171 科技公司领导力和IEMS 345 谈判与冲突解决等)。从这个维度上来说,UCB和NU的课程对新业界发展形态和新人才需求的响应更为及时。

## 2.4 培养方案的多元化

大多数对标院系均为本科生制定了多元化、全程性的培养方案，包括额外选修课程、设置最低 GPA 标准、强化理论深度等，既保证整体的教学质量，也给予学生个性化的支持。很多对标院系还为学有余力的提供了选修理论难度较高课程的机会，为后面的深造打下基础。

### 案例 1：

#### GATech 的高级运筹学与统计培养方向

佐治亚理工工业与系统工程系设有 7 个本科培养方向，包括数据分析与数据科学、经济与金融系统、运筹学、高级运筹学与统计、质量与统计、供应链工程和通用工业工程，每个方向具体培养方案深度细化。其中高级运筹学与统计方向要求 7 门数学必修课，包括实分析、离散数学等，还要求学生额外选择高阶理论课程作为理论加深强化。

### 案例 2：

#### UMich 工程荣誉项目

密西根大学开设工程荣誉项目（Engineering Honors Program），该项目在培养学生领导能力的同时，还可以提高学业的广度和深度。项目参与者与教师和学生紧密合作，完成一个业界实习或校内科研项目，并参与定期的讨论会与社区公共服务，培养拔尖人才。该项目要求学生维持最低 3.6/4.0 的 GPA。

### 案例 3：

#### Cornell 运筹学荣誉项目

康奈尔大学为运筹学与信息工程学本科生设置荣誉项目（Honors Program），额外要求 9 个学分的课程和科研或助教经历。其中本科生需选择一门研究生课程（5000-level）并且保持最低 3.5/4 的 GPA。在其本科生手册中，有专门的一个章节标题为“为博士项目作准备”，其中具体列出了本科期间对博士项目学习与科研有重大帮助的课程与选课建议，为拔高学生提供了指导和建议。

### 案例 4：

#### Columbia 本科进阶班

哥伦比亚大学工业工程与运筹学系为学生提供了多元化的选择，针对学习能力强的本科生提供了更具挑战性的培养方案。他们在培养方案中设立了本科进阶班（Undergraduate Advanced Track）。该项目的性质类似于清华大学设立的“荣誉学位”，加入该项目的本科生需要选修高阶的研究生课程以替代培养方案内的本科生课程，完成所有替代要求的学生将获得成绩单上的官方认证。目前该项目的课程要求是：学生需选修四门 IEOR 系内的高阶课程，包括《优化模型与方法》《随机模型》《量化公司金融》和《仿真》，并另外选修数学系开设的《分析与优化》。希望加入该方向的本科生需要在大二学年结束时进行申请，申请者的总 GPA 需达到 3.4，并且需要教授的推荐。在申请系统中，申请者需要阐述申请加入该方向的原因以及该方向对自身学业的帮助。

**案例 5:****NUS 的研究导向与就业导向**

新加坡国立大学工业系统工程与管理系本科教育区分研究导向与就业导向，并分别制定不同的培养方案。选择研究导向（Research-Focused Pathway, RFP）的本科生需额外满足以下要求才能毕业：进行本科生研究实践（Undergraduate Research Opportunities Programme）；进行与研究相关的暑期实践；选修 2 门研究生课程，可选课程包括《高级工程统计》《随机模型与优化》《决策分析》等。另一方面，选择就业导向（Practising Professional Pathway, PPP）的本科生则需要额外选修《建模与分析》和《项目管理》两门课程，并参与业界相关的实习（Industrial Attachment Programme）。

同时，我们按照培养方案中的课程类别（必修核心课 / 必修非核心课 / 选修课）统计了部分所调研院系的学分布，在图 3 中展示了各院系学分比例。根据培养方案中是否提到专门的学术研究和业界实践环节，在表 4 中展示了部分院系这两方面的情况。

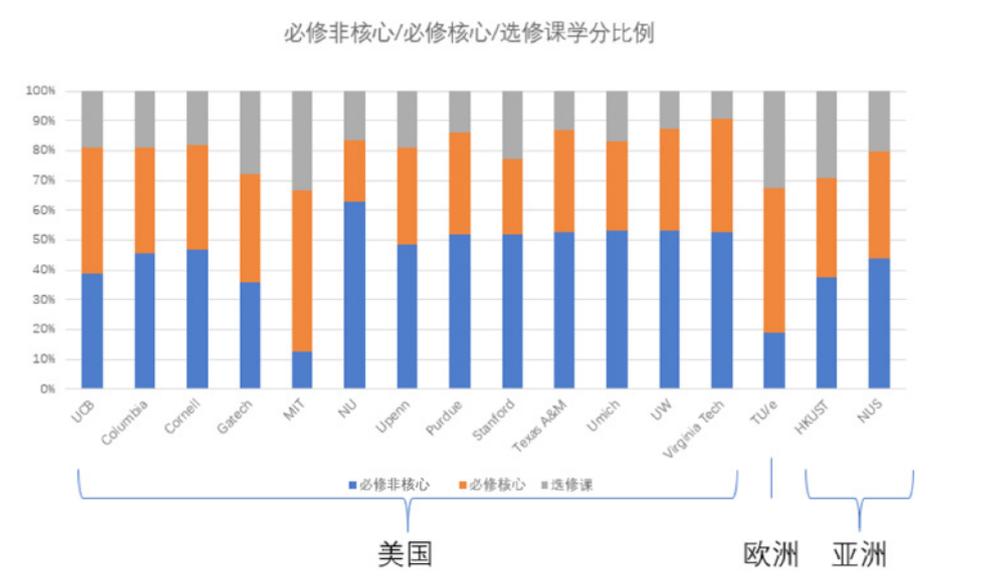


图 3 对标院系必修非核心 / 必修核心 / 选修课学分比例

从图 3 中我们可以发现，对标院系在必修非核心 / 必修核心 / 选修课三类课程各有侧重，其中美国和亚洲大部分院系以必修非核心课程为主，欧洲以及麻省理工学院则以必修核心为主。

表 4 部分院校 IE 实践开设情况

学校	排名	研究类实践	业界实践
GATech	1	√	
UMich	2		√
UCB	3	√	
Stanford	4	√	√
Cornell	5	√	
NU	5		√
MIT	5	√	√
Virginia Tech	8	√	√
UW	8		
Purdue	10		
Upenn	11		√
Texas A&M	11		
Columbia	13	√	√

从表 4 中我们可以看到, US News 专业排名靠前的美国工业工程院系多设有研究类实践和业界实践, 其中, 斯坦福大学、麻省理工学院、弗吉尼亚理工大学和哥伦比亚大学对两类实践均有涉及。

## 2.5 与系友和业界的互动

大部分对标院系均与业界和系友建立了紧密的合作, 利用业界和系友的丰富资源, 提升本科生教学质量。

### 观察 1:

#### 多数学校毕设均与业界紧密合作, 设立企业支持项目 (Sponsored Projects)

斯坦福大学管理科学与工程系在部分课程中 (例如《科技创业》《创业决策原理》等), 会邀请硅谷知名企业、投资者作为客座导师, 与学院教师共同组成教学团队, 对同学们进行讲授和指导。

哥伦比亚大学工业工程与运筹学系专门设置了与业界合作的实践课程 (IEOR E4561 Launch Your Startup)。在这一课程中, 学校将支持学生开展一次创业活动。学生将在行业专家组成的委员会面前展示自己的商业计划, 并有机会寻求资金与运营的支持。

弗吉尼亚理工大学工业与系统工程系的毕设与业界合作, 解决实际的项目管理问题。第一学期中, 学生将重点放在制定技术建议以及执行相关的技术分析上; 第二学期中, 学生将专注于设计和实现, 以及磨练专业写作和口头表达能力。在课程最终的技术研讨会上, 公司代表、学生、顾问与教职员代表共同交流和评估项目成果。

威斯康星大学麦迪逊分校的学生可以在学习期间参加暑期实习和合作教育等活动, 参加实习的学生会获得 1-2 学分的奖励。在暑期实习方面, 系里为学生提供的实习合作机会一般在 1 月至 8 月或 5 月至 12 月这两个时间窗口, 一般为全职实习。学生可以在实习期间完成完整的八个月带薪的工作, 获得相关的工作经验, 并有

机会获得相关的工作机会。通过这些实习的训练，系里的同学们的就业机会显著增加，毕业后的起薪也显著增加。在合作教育方面，院系为想进一步读研的同学提供了帮助，学生可以参加科研项目和学术合作，并获得每小时 20 美元的薪酬等奖励。合作教育的周期一般比暑期实习更长，学生有机会接触到更复杂的团队合作项目，并深度参与。

密西根大学毕业设计有两个课程供学生选择，一门为业界提供的实操项目，项目来源与企业深度合作，包括福特、通用汽车、底特律机场等，学生组队与企业的客户深度对接，完成可落地的工业工程改善设计项目。另外一门与密西根大学医院系统深度合作，由医院管理者与医生提供项目，在医院内实地调查设计优化改善项目，积累了大量优秀项目集中展示在课程网页上<sup>3</sup>。

## **观察 2：**

### **部分学校对系友有亮点报道，积极建设丰富的系友活动**

斯坦福大学管理科学与工程系在系主页中进行了丰富的系友介绍，包括近年各项目毕业系友就业情况介绍（总体介绍、数据概览）、系友职业生涯详细介绍（逐人介绍）、系友问答板、近年系友实习经历等。系友可以自己填写、编辑相关的宣传信息，分享自己对于本专业看法、在实际工作中产生的新见解、回答同学们提出的问题并为同学们提出相应的建议。

3 见 [http://umich.edu/~ioe481/ioe481\\_past\\_reports/](http://umich.edu/~ioe481/ioe481_past_reports/)

## 第 3 章

# 博士生课程体系调研情况

本章节将具体阐述所调研院系的博士生课程体系的两个突出特点，并以实际案例说明各个院系的博士生课程体系在这些方面的具体工作及特色。

### 3.1 课程理论深度的强化

在博士生课程设置上，所对标的院系均着重强化理论课程的建设。其中工业工程与运筹方向主要包括三个方面的理论课程，均至少设有 2 门 3 至 4 学分的必修课，并对博士生成绩设置了较为严格的要求，提供了丰富的理论选修课程。

#### 观察 1:

#### 博士必修理论课三个重要基础方向及课程分布（人因除外）

表 5 总结了对标院系的博士培养方案中专业必修理论课的分布情况。可以看到优化方法和随机过程方法是博士生理论培养的两个重要支柱。此外，面向不同行业与领域的应用建模课程也是重要方向。

表 5 对标院系的博士培养方案中专业必修理论课的分布

理论	优化	随机过程	应用建模 (生产服务系统、物流、供应链、医疗等)
必修课数量(至少)	2	2	2

#### 观察 2:

**对博士生的课程成绩有较严格要求，普遍要求 GPA 3.0（满绩 4.0）以上，部分学校对修读学分也有较严格要求**

在对标院系博士生培养的调研中，我们发现大部分院系对博士生的课程成绩均有比较严格的要求。大多数院系均要求博士生的课程成绩在 3.0（满绩 4.0）以上，部分院系则对总学分有较高要求。

斯坦福大学管理科学与工程系对博士生的课程成绩有严格的要求。院系的培养方案要求博士生前两年每年至少修读 30 学分，且需要完成绝大多数必修课程的学习。在成为正式的博士研究生的考核要求中，其中一项是前两年的课程成绩是平均学分绩需要高于 3.4（满绩 4.0）。

哥伦比亚大学工业工程系也有类似的要求。在该院系的博士生资格考核中，第一项内容是学生需在第一年的四门核心课程的平均成绩取得 A- 及以上。在博士生第一年结束时，院系会核查该项指标，没有达到要求的学生会被要求退出该博士生培养项目。

类似的，新加坡国立大学工业系统工程和管理系博士生的最低课程成绩要求为 3.5（满绩 5.0）。

普渡大学工业工程系对博士生的课程要求同样十分严格，博士生需要完成高达 90 学分的课程学习。而且无论具体研究方向是什么，所有学生都必须学习决策、人因、制造和运筹相关课程，这既体现了普渡大学工业工程系对学生课程学习的严格要求，也体现出了该院系全领域的博士生基础教育。

**观察 3:****提供基础理论课的博士生选修课**

所对标院系在博士生课程体系中都设立多门理论课程，包括非线性优化、随机优化、鲁棒优化、动态规划、随机过程、大规模优化、排队系统等等。此外，对于博士生跨院系选修经济、金融、商学院、计算机系、机械系、生物统计与统计系的课程也均给予很大的自由度和学分认可。

弗吉尼亚理工大学结合不同方向的特点，鼓励博士生选修数学系、统计学、计算机科学等外系的课程，例如，对于运筹学方向，数学系的基础实分析课程和统计系的统计推断为核心必修课程，数学系的图理论、组合数学，统计系的非参数统计、马尔科夫链与更新理论，计算机系的算法理论，生医系的高级流行病学，公管系的公共政策程序和分析方法等课程也均在培养方案的选修课中，为运筹学的不同应用领域提供方法论基础。

斯坦福大学管理科学与工程系为不同方向的博士生都提供了大量的基础课程，例如，在决策分析与风险分析方向下，该院系开设了《动态系统》《优化简介》《概率分析》《随机模型》《仿真》《经济分析》《工程风险分析》《应用随机控制简介》《决策分析（1-3）》等。博士生可以根据自己的兴趣或者具体研究内容，选修不同的课程。此外，该院系也鼓励同学们在全校范围内选择课程并进行课程替代。

新加坡国立大学工业系统工程与管理系也为博士生设置了多方向的基础理论选修课程，例如运筹方向的随机过程、动态规划等，经济学方向的应用计量经济学、高级宏观 / 微观经济学、行为和实验经济学等。香港科技大学则要求至少跨系选修一门课程。

剑桥大学制造系中博士生需要根据导师的培养方案进行选课，主要分为三个方面：（一）偏向研究方法论方面的定量、定性研究等课程；（二）侧重理论基础方面的课程，如复杂系统、随机过程等，其中根据博士研究课题需要可选择工程系、物理系、数学系部分课程；（三）为提高科研能力开设的研究与交流（research and communication）和读书会（reading club）等。

## 3.2 博士培养全过程把控

我们观察到，部分对标院系通过建立培养委员会制度、设置获取博士资格的要求等方式，对博士生培养的全过程进行把控。

**观察 1:****博士培养委员会制度**

部分对标院系采用博士生培养委员会制度，对博士生的培养进行全程性管理。常见的博士生培养委员会制度包括以下三个特点：

- 早期成立委员会，深度介入，要求包括外院系老师
- 要求撰写工作进展报告
- 导学关系的明确

其中，密西根大学要求博士培养委员会中必须包括外院系老师，以此鼓励跨院系合作，并保证博士选题、答辩与写作在“大同行”视角里的认可度与可行性。每学期要求学生撰写工作进展报告，在全系教师会议中对每位博士生的进展与状态进行评估，并给予导师和学生反馈意见。

斯坦福大学管理科学与工程系同样采用博士生培养委员会制度。他们要求博士生在第一年，通过合作研究项目等方式，与有可能成为自己培养委员会成员的教师建立联系。院系管理者认为，在教师对学生的能力、主

动性、创新性等方面有更多了解后，他们会更好的完成相应的监督和指导工作。

在剑桥大学制造业系，每名博士由博士生导师（supervisor）和指导教授（adviser）共同指导。每年分别在 Michaelmas Term、Lent Term、Easter Term 结束后，由博士生导师向院系提交博士生在该学期研究进展评估报告。

## 观察 2：

### 获取博士资格的要求

表 6 展示了部分对标院系获取博士研究生资格（Qualification）的相关要求。

表 6 部分对标院系获取博士资格的要求

学校	Qualifying Process 时间	最低 GPA 要求	研究要求	考试要求
GATech	最晚在第六个学期末	-	A Thesis Topic Approved By Thesis Advisory Committee And The Associate Chair For Graduate Studies	Comprehensive Examination
MIT	第二年开始	-	-	Two-Part, Written Exam
UMich	第一年结束	3.65	需要完成一个 Directed Research Project	-
UCB	在完 Doctoral Entrance Exam 的三个学期内	3.0	需要一个 Approved Course Of Study Plan	Written and Oral
Stanford	最晚在第二年的五月	3.4	One Or Two Preliminary Papers With Close Guidance From Two Faculty Members	Written, Oral, or Both
UW	第一年结束	3.0	Satisfactory Research Progress	Written
Columbia	第一年	A-	A Research Report (Paper) At The End Of The Third Semester.	-
PolyU	第一年结束	3.0	Submission Of Written Report And Conduct Thesis Proposal Confirmation	-
Cambridge	第一年结束	-	Research proposal, Approved by Advisory committee, and head of department	-

从表 6 中我们可以看到，对标院系对博士生获取博士资格的要求不仅限于博资考，而且对博士生的成绩以及研究都提出了要求。

其中，在斯坦福大学管理科学与工程系，博士生需要完成课程成绩、研究论文和考试三项要求。在课程成绩方面，学生需要在每年保质保量的完成课程学习，既需要达到相关方向的总学分要求，也需要保证成绩在 3.4 以上。在研究论文方面，学生有两个选择，既可以与一位教师合作完成一篇研究论文，或者在两位不同教师的

指导下分别完成两篇相对较短的研究。在考试方面，院系为不同领域 / 方向准备了不同的考试，学生可以自行选择参与考试的领域 / 方向，由该方向的命题人决定考试的形式（可能是笔试、口试或二者兼备）。

哥伦比亚大学工业工程系在博士生资格考核中，同样对课程成绩有较高要求（平均成绩大于等于 A-）。在第一个学期结束后，成绩没有达到上述标准的学生会被直接劝说退出博士生培养项目。此外，博士生需要在第一个暑假（鼓励更早开始）进行科学研究，在第三学期初在研讨会上进行初步展示，并在第三学期末提交研究报告（论文）。

剑桥大学制造业系，要求博士生在第一年结束时提交一份研究计划，并通过两轮答辩，其中第一轮由不包含导师组成的系答辩委员会进行评定，第二轮由指导教授和系主任进行评定。

## 第 4 章

# 总结与展望

综上，IE 课程体系改革工作小组围绕全球 30 所一流工业工程项目进行了全面深入的调研，总结出本科课程的五大特点：（1）因地制宜 / 与时俱进 / 战略转型；（2）沟通与表达能力的培养；（3）理论深度的强化；（4）培养方案的多元化；（5）与系友和业界的互动。在博士生课程设置上，所对标院系的两大特点为强化理论课程的建设 and 博士生全过程培养。本白皮书集中展示了调研结果，并以案例形式具体展示了工业工程教育的前沿实践者在改革中做出的探索、尝试与成果。

在此基础上，项目组希望参考对标院系，为深化清华 IE 课程体系改革提供借鉴。基于项目组内部多次讨论会议以及本科生问卷、座谈，本项目组提出以下具体举措：

### 1. 结合“智能制造”、“质量强国”的国家战略，在课程体系中突出生产系统运营管理、质量可靠性管理等 IE 制造业应用，鼓励学生在模范工厂实验室中实操体验。

结合国家发展战略，围绕前沿和重点应用领域，在课程体系中引入更多项目实践环节，增加同学们的项目实战经验。在部分课程中，邀请企业导师参与项目开展的全流程，并为同学们提供指导和评价。此外，进一步建设模范工厂实验室，对多种智能制造、生产运营管理的场景进行模拟，鼓励同学们进行实操体验。同时，对优秀的项目实践案例进行梳理，形成“清华 IE 应用案例集”，每学期末不断补充新案例、淘汰过时案例，供授课教师和同学们参考。

### 2. 在部分课程中试点沟通表达能力的培养，鼓励同学进行书面和口头表达。

目前，我系很多专业课程中已经涉及书面和口头的团队项目展示环节。未来，将进一步强化课程体系对同学们沟通表达能力的培养。在本科生和博士生入学后的必修专业课中，适当增加关于口头报告和学术表达的相关原则与技巧的教学（促使同学们尽早掌握沟通与表达的相关技能）。此外，鼓励所有同学均参与团队项目的最终展示（而非小组长一人展示）。在课堂展示和书面报告提交后，教师应对同学的表达能力进行评价和反馈。

### 3. 新增理论课程，并且鼓励本科生选修研究生课程。

综合国际一流工业工程院系课程设置，建议我系进一步强化专业课程体系理论深度。在未来，可以考虑为本科生和博士生新增若干比较深入的理论选修课程，例如排队论、动态规划等。同时，通过专业课学分替代、本科学分保留至博士培养阶段（针对本系直博同学）等方式，鼓励学有余力、有志于科学研究的本科生同学选修研究生课程，提前帮助这些同学打牢理论基础。

### 4. 梳理专业基础课程，并总结需要加强的数学内容。

对课程体系进行整体梳理，明确基础课与本科专业课、博士专业课之间的对应关系。对于重要的知识点或技能，需要在多门课程中穿插讲授和训练，而非仅用一门课程实现“覆盖”。同时，总结需要加强的数学课程内容，例如实分析、抽象代数、微分方程、离散数学等。对当前课程体系中的基础课程部分进行补充。鼓励未来希望从事科学研究的同学选修更深入的数学基础课程。此外，对于系内暂时无法开课的内容，建议整理一份其他院系（例如自动化系、数学系、经管学院等）的相关课程清单，供同学们参考，并提供学分替代方案。

#### **5. 建设健全系友网，组织定期的亮点报道以及系友活动，形式包括但不限于座谈、沙龙和参观。**

不断建设和健全系友网络。首先，进一步丰富我系系友的介绍专栏，包括毕业与就业情况、系友职业经历、系友对我系以及工业工程专业的看法（包括系友在实际工作中产生的新想法和见解）、系友对学弟学妹的意见和建议等，开放部分接口供系友自己填写和编辑相关宣传信息。其次，定期组织系友亮点报道和交流活动，包括座谈、学术沙龙、企业参观等，定期收集同学们对于系友的问题，在活动中进行互动，对亮点活动进行系内宣传和报道。

#### **6. 加强与业界的互动，组织就业引导 / 行业聚焦性活动。**

在对标院系的培养方案中，均强调与业界充分的接触和互动。未来，我系将进一步强化与业界的合作，助力学生培养。依托院系与企业、教师与企业的合作关系，扩充一批重点共建企业，建设校外实践基地，为暑期实践 / 实习、课程设计、毕业设计等教学环节提供支持。支持学生与系友 / 企业深度沟通合作，建立和疏通全过程沟通渠道。丰富业界合作项目的选题范围，可包括制造、医疗、金融、交通等多个方向。邀请企业导师参与部分教学环节，并给出评价和反馈。此外，还将邀请系友、企业导师等开设关于就业引导、行业介绍等相关的课程或讨论沙龙，拓宽学生视野，对同学们的就业选择、求职技巧等进行指导。

此外，在 2020 年初开始的新冠疫情的影响下，工业工程系的师生为了保障教学工作的顺利进行做出了巨大努力。在线教学对教学方法产生了巨大的冲击，但在此期间也诞生了新的教学理念。处在学科交叉前沿的工业工程系也会继续探究新的教学形式与课程体系，对标国际一流院系，倾听学生的需求与意见，紧跟时代因地制宜地前行。接下来，我们也会结合系内实际情况逐步开展工作，将课程改革落到实处。

我们相信，清华 IE 能够胜任时代赋予我们的使命。



# 清华大学 工业工程系

Department of Industrial Engineering, Tsinghua University

