

世界一流大学本科课程结构：多元适应与功能网络——以 CMU 计算机专业本科课程为例

汪 洋

华中科技大学教育科学研究院，湖北 武汉 430074

1156059954@qq.com

The undergraduate curricula structure of the world's first-class universities: multiple adaptation and functional network

——Take CMU computer science undergraduate curricula as an example

Wang Yang

School of Education, Huazhong University of Science and Technology

1156059954@qq.com

Keywords: Carnegie Mellon University(CMU), Undergraduate Curricula Structure, Computer science, multivariate adaptation, functional network

Abstract: Carnegie Mellon University's computer science major is one of the best in the world, thanks in large part to its unique curricula structure, which is characterized by the satisfaction of multivariate demands in the content aspect, namely, through carefully choosing the contents of specialized courses, general courses and free electives, the content structure balanced personal and social demands, actual problems and subject logic, and current needs and long-term interests. In the curricula arrangement aspect, longitudinally, the courses promote infiltration among different-level courses, thus followed the rule of knowledge evolution logic and the students' cognitive development; horizontally, expand the students' field of vision by choosing courses across the faculties and departments, as well as encouraging "far" elective principle; also an introduction to the mixed mode, built a function network of mutual promotion. Therefore, in the process of first-class universities development, we should pay more attention to the exploration of the common elements of the course contents, and adapt maximally to the multivariate demands. Meanwhile, we should put more emphasis on the construction of functional network in the curricula organization, so as to realize the goal of curriculum co-construction and sharing.

关键词 卡内基梅隆大学;本科课程结构;计算机专业;多元适应;功能网络

摘要 卡内基梅隆大学计算机专业课程结构特色：在内容上表现为多元适应，即通过精心选择专业课、通识课和自由选修课课程内容，平衡了个人与社会需求、实际问题与学科逻辑以及现时需求和长远利益；在课程组织安排上，各层次和类型的课程相互促进渗透，纵向上

四年贯通的序列模式和“先同后异”的设计遵循了知识演化逻辑和学生的认知发展规律，横向上跨院跨部并鼓励“就远”选修的原则，拓展了学生的视野，促进了学系间功能网络的搭建。因此，我国在一流大学建设过程中，应关注课程内容共同要素的挖掘，最大限度地适应多元需求；同时，在课程组织安排上注重功能网络的搭建，以调动各院系互动积极性，实现课程共建和共享。

前言

在建设世界一流大学过程中，本科教育质量成为重要的指标。而教育质量的重要影响因素为专业和课程。课程作为专业的细胞直接关联到一流人才的培养，体现着一所学校的特色。因此，分析世界一流大学本科课程结构，发现课程内容选择和课程组合方式的特点，对于我国建设世界一流大学、提高人才培养质量具有重要借鉴意义。卡内基梅隆大学（CMU）是一所后发优势强劲的世界一流大学，其计算机专业经过几十年的发展，已成为该领域在世界范围内的翘楚。该专业本科课程多年来在美国权威杂志《美国新闻与世界报道》的大学课程排行榜上位列榜首，亦被企业招聘人员评为最佳。本研究以 CMU 的计算机科学（CS）专业本科课程结构为研究对象，探究其课程结构和特点，为我国计算机科学本科课程结构优化和卓越工程人才培养提供参考。

一 卡内基梅隆大学计算机专业本科课程结构

课程结构就是课程内部各要素、各成分的内在联系和相互结合的组织形式，^[1]规定了组成课程体系的学科门类及学科内容的比例关系，如必修课与选修课、专业课与通识课程等的搭配等，体现着一定的课程理念和课程设置价值取向。在课程结构中，课程的内容，即知识构成是核心问题，课程内各要素间的比例关系是课程各要素组合方式最重要的方面，它直接影响到课程的结构状况和功能的效度，从而影响到学校人才培养目标的实现与否；课程的形态结构，即组织方式是课程结构的骨架，如果课程内各相邻要素间关系协调，就可以形成课程功能耦合，使课程产生“非加和性”的整体效应^[2]。CMU 的计算机专业本科课程内容为“专业基础课”+“广博通识课”+“自由选修课”，课程组织方式为纵向序列递进式、横向交叉渗透。

（一）课程内容的选择

1、专业课程内容：基础夯实

CMU 计算机专业的专业课程(见表 1)由专业基础课程和专业相关课程构成,其中专业基础课程(15 门)包括专业核心课程(8 门,至少 79 个单元^①)和非核心课程(7 门,至少 66 个单元)^[3]。专业核心课程全部都由计算机学院开设,且为必修课程,包括新生入门课程、计算机原理、函数编程原理、计算机科学的数学基础、数据结构和算法、计算机系统简介、计算机科学的理论思想和工程观念、算法设计与分析。非专业核心课程为限制性选修课程,由计算机学部和英语学部、哲学部、数学部、计算生物学部、人机交互部、语言技术系、机器学习部、机器人学部共同提供,将课程分为 6 大板块,分别是交流性课程、算法、逻辑/语言、软件系统、应用、计算机科学,每板块提供 3-10 门课程,学生从中选择一到两门修习,共修 7 门。专业相关课程为数学类(4 门,至少 39 个单元),由数学部提供的微积分、集成与近似为必修课,矩阵课程为限制性选修,概率课程则可以从计算机学部、数学部和统计学部中选择 1 门。专业课程共计 19 门,合 184 个单元,占毕业要求总学分的 51%。从专业课与其他类课程的比例来看,CMU 计算机学院对学生专业基础高度重视;从专业课内部结构来看,必修课和选修课分别为 8 门和 11 门。近年来,学院通过及时开设新的专业课程和有点跨领域的比较专门的课程,例如网络应用开发、错误捕获:自动化程序验证和测试以及认知机器人课程、机器人玩具的未来等来减少计算机必修课程数^[4]。

表 1 CMU 计算机科学本科课程构成

^① 卡内基梅隆采取“单元(或单位)”记分法,用于计算学生毕业所需工作量。1 单元代表 1 小时课程时间,一个 9 单元的课程即每个学生每周需要在该课程上花费 9 小时。例如,化学课可能需要 3 小时在实验室,3 小时在讲座或背诵以及 3 小时在准备工作上,总工作时长 9 小时,即 9 单元。3 个单元相当于一个传统的学期学分。CMU 对学生一学期(CMU 一学年分为秋季和春季学期)至少要完成 5 门课程(至少约 45 单元),则该学生可在 4 年毕业。学生在满足相应条件和教师许可后也可申请超负荷课程,即学生一学期最多可注册 6 门课程(每门课程在 6-12 单元不等),则该学生可在 3 年本科毕业。(参见 <https://www.cmu.edu/dietrich/advisory-center/undeclared/grades.html>)

课程类及选课数		课程名称	修读方式	学分		
专业 课程	专业 核心 课程 (8) ②	新生入门课程、计算机原理、函数编程原理、计算机科学的数学基础、数据结构和算法、计算机系统简介计算机科学的理论思想和工程观念、算法设计与分析	必修	79		
	非专 业核 心课 (7)	交流性课程 (1)	限制性选修	9	6	
		算法&复杂性 (1)		9		
		逻辑&语言 (1)		9		
		软件系统 (1)		12	6	
		应用 (1)		9		
		计算机科学 (2)		18		
	专业 相关 课程	数学 (4)	微积分 集成和近似 矩阵 概率	必修	10	3 9 9
					10	
				限制性选修	10	
9						
通 识	理 / 工 (4)	实验性课程 ^④ (>=1) 同一院系的选修 ^⑤ (>=2)	限制性选修	36	9 9	
		写作：解析和论证 (1)	必修			

360

③

② 表格括号中的数字表示最低选课数，如专业核心课程要求最低修 8 门。

③ 毕业最低要求为 360 单元（且每门课程的 QPA 不低于 2）；360 单元要求体育和/或军事科学 (ROTC) 和/或学生领导 (Stu-Co) 课程不得超过 9 单元。

④ 3 门非技术性课程是从人文社科、艺术和商学院开设的课程中选修，但这些学院提供的课程由于专业性过强的原因而无法满足通识教育在此部分的要求，因此学生可从工商管理部 (BA) 和环境与公共政策部选择符合此部分要求的课程。学生也可以将人文/艺术课程与较低学分的课程结合在一起，形成一个 9 个单元或更多单元的课程。

⑤ 实验性课程包括定量细胞分析和分子生物实验、现代生物学实验、实验化学导论（需要与现代化学导论 I 组合修读）、实验 I——化学分析导论、未来材料设计、实验物理学、生物医学工程实验、认知心理学研究方法、认知神经学研究方法

资料来源:

课 程	人 文 / 艺 术 (7)	知识宽度课 (3)=认知、选择和行为类 (1) +经济、政治、社会制度类 (1)+文化赏析 类 (1)	限制性选修	63
		非技术性课程 ^⑥ (3)		
自由选修 ^[5]		自由选修/辅修 ^⑦ (8)	选修	74
计算@CMU	Computing @ Carnegie Mellon (1) ^⑧		必修	3

<http://coursecatalog.web.cmu.edu/schoolofcomputerscience/undergraduatecomputerscience/#bscurriculumtext>

2、通识课程内容：能力培养、视野拓展

CMU 计算机专业学生的通识课程由两大部分构成，理工类和人文艺术类。该专业通识课程要求最低修满 11 门，99 个单元的课程，占学位要求总学分的 27.5%，其中理工类（4 门，至少 36 个单元）较为强调作为理工科学生的科学素养和能力，要求学生从 7 个学部开设的实验性课程中选择至少一门，从人文社科学院心理学部、计算生物学部等部门选修至少两门（必须来自同一的部门）。理工类选修课强调学生科学素养的养成：通过实验性课程，如定量细胞分析和分子生物实验、现代生物学实验、实验化学导论、实验物理学等课程使学生理解和掌握物理和生物科学等基本概念和方法，习得批判性和建构性的科学思维；同时通过全真的实践环境，激发和陶冶学生的智慧和创意，像科研工作者一样形成问题意识和解决思路。

通识课程的另一部分为人文&社科&艺术类，主要由人文社科学院和美术学院提供，要求至少修满 7 门，63 个单元的课程。该部分课程更为强调视野的拓展，分为三大板块，各自承担不同的任务。三大板块课程包括：写作课——解析和论证；知识宽度课和人文艺术选修课程^[6]。其中写作课由英语部提供，为新生必修课，旨在引导学生从材料阅读到构建高阶、归纳性的论证，促使学生从多角度、多学科的视角探究问题，以提高写作和分析技能。知识宽度

^⑥理工类课程必须有两门来自同一部门，学生可从蒂泽人文社科学院的（行为的生物基础、认知心理学研究方法、认知神经学研究方法）课程中任选两门；从计算生物部（个性化医疗：了解自我基因组、计算生物学导论、定量细胞分析和分子生物实验）中任选两门，也可以从中选一门与一门生物学部的课程组合选修
^⑦辅修课程是某部门指定的系列课程，所有计算机科学专业的学生都必须完成一门。第二专业（或双学位）完成的学分也可用于满足该要求。

^⑧ Computing @ Carnegie Mellon 课程要求所有学生必修，旨在帮助学生发展基础计算能力和信息素养。该课程以混合模式实施，通过开放学习行动(Open Learning Initiative's, OLI)在线课程环境推进，在线完成作业并执行一个面对面的讨论以得到补充性指导

课（见表 2）为分布必修型，是从人文社科学院、艺术学院、工学院和商学院的 13 个学部开设的 100 余门通识课程中选修 3 门，这 3 门课程又分为以下三大类并分别从中各选修一门：由哲学部和心理学部提供类 1——认知、选择和行为类；由历史部、经济学部等提供的类 2——经济、政治、社会制度类以及艺术部和音乐部等提供的类 3——文化赏析类。三大类分别关注学生思维和决策过程以及行动能力、逻辑推理能力、批判性思维能力培养；学生对美国国家制度及美国各级政府组织在

处理国际政治事务中的立场和行动、社会经济问题、国内外发展史和人类文明进程以及传统哲学理论结合当下社会热点问题探讨等；以及识别已经塑造和仍将继续形成人类经验的文化等。第三大板块是人文艺术选修，要求完成 3 门非技术性课程，学生主要从其他部门，如社会计算部、工程和公共政策部（EPP）、海军科学部、工商管理部等选修，像社会计算部的计算伦理和政策问题、海军科学部的海军和海洋事务、工商管理课程受到鼓励，而设计部的高级网页设计、经济学部的量化经济研究、社会和决策科学部的社会科学回归方法等都不允许选修，以规范学生的选课方向，保障学生得到基本技能以外能力的发展或视野的拓宽。

表 2 CMU 计算机专业通识课程——知识宽度板块

认 知、 选 择 与 行 为	部门	课程
	工商管理部	组织行为
	哲学部	伦理学导论、推理的本质、语言的本质、社会科学哲学、道德论、职业道德评判、冲突和争
	心理学部	心理学导论、认知心理学、儿童发展规律、社会心理学、个性心理学、变态心理学
	社会决策科学部	推理&激情&认知、组织学
经 济、 政 治、 社 会 制 度	工程和公共政策部	工程和公共政策导论
	统计学部	社会抽样调查
	工商管理部	商业&社会&道德
	经济学部	经济学原理、中级微观经济学、中级宏观经济学
	哲学部	政治哲学导论、社会结构&公共政策&伦理、领袖伦理学、环境伦理学、医疗伦理学、经济学
	政治和战略研究所	美国政治机构决策过程、政治学比较、国际政治经济和组织、国内政治和国际事务、非暴力
	社会和决策科学部	政策分析 I、实验经济学
	历史部	从牛顿到原子弹爆炸：1750-1950 科学史、美国公共政策史、女性&政治&反抗、政策主体：
文 化 赏 析 类	音乐部	西方音乐史调查
	艺术部	现代视觉文化 1789-1960
	工商管理部	跨文化管理
	英语部	名著阅读、喜剧（研究）、美国黑人文学导论、电影业导论、性别研究导论、
	历史部	全球史、人类学导论、肉体与精神：早期现代欧洲（1400-1750）、欧洲文化发展史、革命期间现代拉丁美洲的发展、非洲历史：追溯到 1780、阿拉伯-以色列冲突的起源（1880-1948）、美国文化发展史、非裔美国人历史等

哲学部	哲学导论、古典哲学、现代哲学、欧洲大陆哲学、分析哲学、实用主义、经验主义和理性主义
现代语言部	日本语言和文化导论、俄罗斯文化导论、法国文化导论、法语文化区文化导论、德语世界的出现、中国语言和文化导论、西班牙语语言和文化、拉美语言和文化、美国拉丁裔语言和文化、西班牙文学和文化研究导论

资料来源：<http://coursecatalog.web.cmu.edu/schoolofcomputerscience/#genedtext>

3、自由选修课程内容：学科交融和兴趣取向

自由选修课程板块是由辅修的课程串和自由选修课组成的，要求修满 8 门，74 个单元的课程，占学位要求总学分的 20.6%。其中辅修是学生在主专业外通过辅修其他领域知识作为专业补充来拓宽学生的教育，是完成学位要求的必修模块，其课程由各系的课程计划决定（通常为一个课程串），课程结构都基本由核心课程和选修课程构成^[7]，学习量较第二专业或双学位较轻，而且学生通过第二专业或双学位完成的学分也可用于满足辅修的学分要求。辅修课程跨学科特点明显，计算机学院的计算生物学部、语言技术部、机器学习部、神经计算部、机器人学部、软件工程部为该专业本科生提供辅修，辅修课程由各学院结合自身的学科优势资源，将本部或系的知识与计算机科学进行整合，开设两者互为关系的交叉课程，使学生不仅就某一学科知识进行深化，而且可以融合相关学科领域的知识进行综合性的迁移和探讨，在实际问题的分析对比中提高专业深度，以满足不同专业人才对辅修课程内容的不同诉求。自由选修课则主要体现兴趣取向，选择范围是该校的所有课程，但是体育和/或军事科学 (ROTC) 和/或学生领导 (Stu-Co) 课程不得超过 9 单元。

（二）课程组织方式

1、专业课程组织方式——纵深渗透、横向开拓

一方面，专业课程的设置应该有一定的顺序，前面出现的课程应该为后面的打下基础，课程的深度和难度应该逐步增加，需要根据学科自身的逻辑合理安排顺序。同时，这种逻辑顺序也应符合学生认知发展和知识内化规律。CMU 计算机专业课程的组织形式为纵深排列，主要表现为两方面：首先是先修课程的设置。CMU 计算机专业很多课程都有先决条件 (Prerequisite) 要求，它们一般是相对某一待选课程（即后修课程）较为基础的课程，后修课程在难度和深度上强化先决课程，这些课程按知识内部结构由易至难进行安排，从基础向高深渗透。如计算机核心课程必要的计算原则必须以程序和计算机科学基础课为先决条件，同时它自己也是计算机系统导论课的先决条件。其次，CMU 计算机专业的四年专业安排序列符合以下划分，即专业基础课、中级课程、高级课程和毕业设计^[8]。其中专业基础课，如

新生入门课程、计算机原理等可以让学生熟知本学科的主要分支领域、区别于其他学科的基本概念和思想；中级课程包括数据结构和算法、计算机系统简介、计算机理论以及数学中的矩阵和概率等，可以让学生掌握本学科获取和分析信息的方法；高级课程包括算法设计与分析、操作系统设计与运用、编译程序设计等可让学生把之前所学的知识与方法用于解决本学科的重要问题；最后，通过撰写研究论文，学生在所学内容的基础上搜集、分析信息，独立完成一项学术研究，以展示自己深入探究问题的能力。值得提及的是，研究论文一般要求在大三第一个学期甚至更早提出研究计划并且开始筹备，筹备工作一般建立在独立研究经验的基础上，而独立研究在大一学年就受到了鼓励和支持。因此，对于科研兴趣浓厚或有志于继续深造的本科生来说，科研训练是一个贯穿本科四年、纵向深入的过程。以上按学科知识逻辑顺序和问题（或课题）深度和难度安排的课程序列既保障了课程之间的逻辑连续性也尊重了学生知识接受能力和心理发展规律。另外，在专业课与其他课程安排的时序比例上，基本以低年级专业基础课为主，高年级通识课和自由选修（包括辅修）比例不断增大、专业课比例愈发缩小为特征。

另一方面，专业课的横向安排，要能起到鼓励学生积极参与的作用。CMU 计算机学院为促进学生参与研究组活动，把更多的课余精力花在研究上，按参加的深度、广度给不同学分（同类系列课程）^[4]，例如：计算机科学的本科独立研究课程被设置为 3-18 单元不等，鼓励学生在教师监督指导下进行项目研究（项目一般持续一个学期，需要得到老师和学部的同意和支持）；另外计算机学院本科生荣誉研究论文计划（课程）也是 3-18 单元，但是该课程只对注册了高级研究论文计划的学生开放^[9]。同时，为鼓励学生科研参与热情，举办全校规模的论坛，促进跨院系的横向交流。每年春季，计算机学院从事研究论文和独立研究的学生可以参加全校规模的“智者集会”庆祝本科期间的研究。^[10]

2、通识课程安排：混合模式——分布必修为主，概论和探究为辅

CMU 通识课程的混合模式——一种融合了分布必修模式、探究模式、概论模式特点于一体的模式，促进了学系间功能网络的搭建，保障了通识课程纵横方向上的质量。分布必修模式规定了学生从各个领域及类别中修读的课程门数或最低学分数，但给予了学生在各类别中选课的自由。CMU 计算机专业学生的通识教育课程从大类上分为理工和人文两类，在两大类中又细分出各种亚类，将各种必须的素质划分成横向平行分布的子类，每一类要求学生必修一定的科目，学生可在子类中选修。概论模式由一系列导论课程组成，如英语部的美国黑人文学导论、电影业导论，历史部的全球史、人类学导论，全景式地向学生展现人类文明

的进程。探究模式倡导向学生传授学者和科学家们探究科学知识的方法，如物理课应向学生传授定律和定理是如何被发现的，科学家又是如何进行推倒并证明其正确性的。在探究课程的设置上，CMU 计算机专业主要向学生提供了化学和物理实验性课程，通过在实验环境中学习，使学生不仅了解科学发现的过程，也通过动手实践培养科学精神和灵感。混合模式克服了三种模式单一运行的缺点，避免了分类必修模式因课程目标不明确而选课分散无序、概论课程演化为事实资料堆积的风险以及探究课程形式化的缺点，分别吸取了三种模式的优点，使通识课程不仅能够激发各系开设面向多种知识领域和能力培养的课程的兴趣，又提高了通识课程本身的质量——由相互联系并要实现既定课程目标的各领域知识组成。另外，CMU 的通识课程从大一的注重写作和论证训练向高年级的视野拓展纵向贯通大学四年，在层次和逻辑上鼓励了课程、系（部）、年级之间的相互协调和合作。

3、自由选修课程安排：利用“后发优势”

CMU 的自由选修课程在总学分要求中的比例不高，约占总学分的四分之一。但是，在总体布局中却发挥着不可替代的作用，承担着满足学生个性化需求的责任。这类课程对学生知识基础有一定要求，主要分布在本科教育的后半阶段。但是申请一般可以在主修专业申请后的任何时间进行，尤其是辅修一般在大二上学年，至少应早于申请毕业时的截止时间^[4]。课程设计师相信只有当学生在完成了大部分基础专业课之后，对所学专业、个人知识结构以及未来职业选择和兴趣所在有一个较为深入和全面的把握后，才能更明确自己的不足之处，以查漏补缺或深化发展某一领域，才能更为科学有效地发挥自由选课的优势。

二 CMU计算机专业本科课程结构特色

衡量课程结构適切性和合理性要关注课程内容选择对多方需求的平衡，是否从总体上综合考虑了学生知识和能力的提高；课程安排方式是否具有知识上的连贯性，是否平衡了知识的广度和深度^[11]等。CMU 计算机专业一方面在课程内容的选择上遵循人才培养的整体性原则，保障学生知识学习和能力发展的交融共进以及个人和社会需求、社会问题和学科逻辑、现时和长远需求的平衡；在课程的安排方面，横向上各类课程既交叉促进又体现“就远”原则，保障了知识面的扩展也促进了知识的迁移；纵向上秉持连续性原则，使学生课程知识学习的顺序符合知识逻辑和学生的身心发展规律。

(一) 课程内容知识选择：多边平衡，多元适应

布鲁贝克综合布鲁纳、巴宗和亚伯拉姆斯等人的研究，认为知识要进入课程必须经过适切性的检验，需要回答：对谁、对什么或多长时间是适切的？适切性的对象是学生个人，还是整个社会？是些实际的社会问题，还是一门学科的逻辑体系的完善？适切性的对象是短暂的现时，还是长期的未来？^[12]。可见，课程内容适切与否取决于其适切对象。故这里可将布氏课程内容检验标准归纳为几对关系，即个人需求和社会需求、实际社会问题和学科逻辑、现实需求和长远需求的平衡，然后从课程内容选择的整体情况入手进行分析。

1、个人需求与社会需求的平衡

专业课程以其对学生从事某一职业所需技能及知识的满足受到学生的欢迎。要培养学生严谨的思维方式和解决问题的能力，就必须让他们深入钻研某一复杂学科——不仅要会分析问题，还要能合理地解释解决问题的过程^[8]。专业课上训练的思维和问题解决能力，是任何其他课程无法比拟的。但是，庞大的专业课课业量，如 CMU 的计算机专业专业课程和数学课程的要求占总课业量的一半，可能挤占学生选修其他课程的空间，导致学生无法接受完整的本科教育。而高等教育的突出特点为高级性和专业性，博耶对“专业能力是为了达到什么目的？”这一问题的回答是：既满足个体需求也满足社会需求。“只有既掌握了坚实的职业技能又具有坚定的道德信念的大学生才能面对未来世界的挑战”。因此，所有学生都应该学会从历史、社会和伦理的角度看待自己的专业。^[13]普通教育与专业教育的相互渗透、融合是实现该目标的有效手段，学生将不再仅仅集中于专业技能的训练，而是集中于最好的普通教育上。CMU 计算机专业的通识课程通过相应课程的设置，如批判性思维、写作、外语等能够终身受用并且能够满足学生持续自我学习、自我提高的知识和技能以及其他强调公民道德和责任、文化陶冶方面的课程促进了学生对所学专业的理解和公民社会责任意识觉醒，达到了个人和社会需求的统一。

2、实际社会问题与学科逻辑的平衡

大学教育究竟应该研究和讨论现实社会问题，还是遵循学科逻辑向学生传授更为系统和严密的知识体系早已不是非此即彼、二者必取其一的问题，尤其在 CMU 这类国际一流大学，如何实现二者的协调，共同促进本科教育质量的提高才是课程设置应该关注的问题。随着大学不断向社会的中心迈进，本科教育也被赋予越来越多的责任，数理素养、道德推理以及其他民族和文化研究的兴起对传统通识课程体系发起了挑战。不少学者要求大学“对外开放”，

积极履行社会责任。同时，学生对未来职业成功的渴望，对物质生活的迷恋可能或正在消减学生对道德问题、环境问题、多元文化问题等的关注，成为浮躁的、单向度的人，偏离大学促进民主社会建设的目标。以上各种问题的出现使各种实际社会问题类课程陆续进入课堂，如通识课程认知&选择与行为板块哲学部的道德论、职业道德评判、冲突和争端化解等课程主要用于应对道德培养问题。在公共生活中，必须让公民了解的问题其范围涉及战争也涉及和平；即涉及州政府也涉及白宫；即涉及劳动也涉及管理；即涉及贫穷也涉及富裕^[12]，因此，经济&政治&社会制度板块的政治和战略研究所及社会决策部的美国政治机构决策过程等应对公民教育问题。

但是，传统通识课程的重要元素——人文、社会和自然科学三大领域是人类文明的基础^[8]，相应学部开设的课程不仅是教师擅长和兴趣所在，也彰显着严密的学科逻辑。其中自然科学包含人类发展史上重大的科学成果；历史提供了解人类发展进程和客观看待历史事件和社会变迁的新视角；文学可以修身养性、陶冶情操等。在 CMU 计算机专业通识课程中，包括大量的实际社会问题类课程，人文、社会和自然科学仍旧是主体。学科逻辑更多暗含在导论性课程设置和学科基本结构的重视；而对实际社会问题的关注则主要诉诸通识课程中对美国社会制度、美国在国际事务中的立场和决策等来体现，满足课程適切性的需要必须把两种学说结合起来^[12]。

3、现时需求和长远需求的平衡

课程持久的適切性必须是与整个过去和未来有关的，重视现时的適切性往往趋向于学生所希望的东西而不是有价值的东西^[12]。这一表述一方面可以从学生的成熟度不够，不足以做出理智的、对未来负责的决定中寻求答案，一方面可以从知识本身的晦涩或简易程度出发寻求解释，因为简单的课程需要更少的精力和时间，可以为学生留出更多空闲时间用于社交或休闲。但是，课程内容的选择应更多关注社会和人的发展的长远需求。大学的主要精力不能放在现时的事件上，教育的目的是将人与人、现在与过去联系起来，增进人类的思维，不能将教育屈从于本科生零星的和自发的兴趣^[14]，适应学生未来发展需求的课程应该是能鼓励学生运用批判性思维对事物做出独立判断，并且通过写作和交流将自己的想法明确表述，这种能力关系着学生求职、婚恋、社交等生活的方方面面。这种课程不仅指通识课程中哲学部开设的批判性思维相关课程，也指全校必修的写作课程等训练学生理智能力的课程，也指一切与学生未来生活、职业、价值观等相关的课程，如为学生从事计算机专业相关工作设置的专

业基础课、为学生形成良好的文化修养和公民意识开设的通识课程以及为满足学生现时学习兴趣和好奇心的自由选修课程，它们都有指向未来的意蕴。

（二）课程安排方式：整合关联，功能网络

课程安排方式是继课程内容选择后另一决定课程结构好坏的重要因素，它主要关注每类课程内部的纵向关联性，即课程的先后难易逻辑；各类课程之间的横向交叉渗透性，即专业课程、通识课程和自由选修课程的组合是否唤起了教师的责任心，是否增强了各学系间的凝聚力，是否增进了全校师生对本科教育的理解^[8]。参照以上标准，可以发现 CMU 计算机专业课程的安排方式主要表现出了以下特点：

1、前期趋同，后期分化：整合关联

大学是教育的开始而不是完成。要获得完整教育所必需的统一课程，不能根据学生的爱好、天资和未来职业进行课程选择……基本原理是获取更高知识的共同基础，只有对其有了初步的了解，学生们才能知道他们对哪个学科有爱好和资质，从而进行正确选择。^[15]因此，满足学生兴趣需求，发展学生个性的课程应安排在基础知识掌握以后。CMU 计算机专业课程前期趋同指的是学生在低年级时修读的课程同质性较强，即基础性专业课程、全校性写作课、数学课等较大比例的分布在低年级，为学生深化专业学习、掌握研究方法和理智训练奠定基础；后期分化主要是指在高年级，学生一方面可以自选辅修专业，一方面可以更多的结合自己的兴趣安排自由选修课的学习；同时，有意向进入研究生院学习的学生可以与导师协商以后进行论文研究计划的撰写和研究，为继续深造打下基础，尊重了学生多样化的发展需求。因此，将自由选修和辅修专业安排在高年级不仅遵从了学科知识的发展逻辑，更是顺应学生知识累积、心理成熟规律，有利于学生个性的发展。

2、互动促进，网络搭建

首先，CMU 计算机专业学生通识课程的安排与日本“名古屋大学改革方案研究委员会”的经典思想不谋而合——“实施普通教育必须贯穿于大学四年始终，即学生在接受专业教育的同时接受普通教育……普通教育课程的教学不应只由固定的部分教师担任，而应由全校教师共同负责。”^[16] CMU 通识课程纵向上的全程贯通，将专业教育与通识教育交叉进行；横向上的混合模式使通识课程的要素和功能形成了一个互动协调的网络，使全校之力，共同促进课程总目标的实现。

其次，CMU计算机专业学生的选修课表现出跨院跨部、“就远”选修、迁移拓展的特色。各学院之间“各自为政”，在课程组织上“互不干涉”的弊病历来为学者和学生所诟病。因此，提出课程组织能否清除学科之间的种种分裂问题是恰如其分的。CMU计算机专业的课程结构从专业基础课程、专业相关课程到通识课程和选修课程都有跨院、跨学部选修的要求，以使学生在学习过程中实现知识的迁移和应用。不仅如此，通识课程选修中的“就远原则”更是一大亮点，鉴于理工科学生在专业学习中接触人文和艺术的机会较少，而计量方法等技能型学习机会较多，加之未来社会知识界限的不确定和不清晰性，较远跨度的知识领域产生更具创造性想法的可能性较大，所以在某些选修课程上有就远要求，是使学生最大限度地拓展知识视野的举措。

三 CMU计算机专业课程结构对中国大学课程建设的启示

CMU 计算机学院闻名全球的卓著声望归根结底得益于其优质的本科课程。为了确保学生专业教育的质量，计算机学部给学生规定了艰巨的课程任务，专业课程（包括数学）占了课程总量的一半（但是专业选修课比重可观，学生享有充分选择权）；在通识课程的设置上，安排了大量的理工课程，占通识课程的 36%，以保障工科学生拥有良好的科技背景，为学习专业课程和未来从事相关工作或研究打下坚实的基础。在强调科学教育的同时，还对学生人文素养、公民意识、理智能力、文化理解、道德品质、全球意识等的提高非常重视，较具代表性的便是 CMU 蒂泽人文学院通识课程体系的建立，以培养学生在打下坚实的理工知识和技能的基础上，成为具有广博的知识、开放视野、理性思维和富有责任感的公民。在强势的专业课、广泛的通识课之外，学生还享有一定的自由选修（包括辅修）机会，进行个人兴趣的培养和某领域知识的深入钻研。这种课程结构贯穿着实用主义的价值导向，因为不论是专业课、通识课还是自由选修课都为理智塑造、专业培养和兴趣满足所引导，在个人和社会需求、社会问题和学科逻辑、现时和长远需求之间达成了平衡；在不同层次、不同类别的知识之间构建了交叉网络；在尊重学生自由和保障教育质量之间架起了桥梁，为我国研究型大学计算机专业本科课程结构优化提供了借鉴。

我国的研究型大学与美国同类大学在发展模式上存在较大的差异，受政治论哲学的影响较大，因此在学科专业建设和课程设置上表现出显著的市场导向和政治导向。尤其是近年来

产学研合作、协同创新等理念的流行，有可能导致大学课程设置在各方需求中无所适从。因此，结合 CMU 计算机专业课程特点，我们可以从以下着手：

首先，在课程内容上挖掘异类课程间的共同元素，促进专业课和通识课程、必修和选修课程的共生共荣，适应多元需求。有研究发现，专业课能对本科教育的其他重要目标产生意料之外的影响——理想情况下，良好的专业课能够强化这些目标^[8]。如果课程设置得当，专业不但能提高学生的探究与分析能力，提升学生的写作和研究水平，还能明显地扩大学生的知识面。甚至能为学生未来继续涉猎该领域打好基础——或者仅仅出于个人的兴趣爱好，以丰富未来人生^[8]。另外，教育的重点是帮助学生发展智力，培养学生对各种认识论及其优缺点的识别和评价以及学生处理多元文化和公民问题的能力，这些能力和认知的培养与主修专业课程一样，同样是通识教育的任务^[17]，即通识教育也可以实现专业课的目标，如通过批判性思维能力的培养，学生会改变盲信和肤浅的学习方式，将高阶思维能力运用于专业课程学习。如通过科技史的学习，了解计算机科学的发展历程，并且感受科学家们的科研探究精神，促进专业能力的提高。因此，在课程知识选择环节不妨将专业课程和通识课程统一起来，转变观念，寻找两类课程中的共同元素，着重促进多种学习体验的融合。面对知识更新日益加速的背景，唯一可行的教学方式是基于最重要的主题促进多样化的学习体验，以此增加后续学习的可能性，最大限度地帮助学生保持所学知识和继续学习的能力^[18]，更好的实现知识和技能的迁移。同时，在自由选修课程的选择上也要注意与专业课程和通识课程的联系，在充分尊重学生选择自由前提下，对辅修专业设置一定的限制（规定可选和禁选专业），避免学生因“过度自由”而出现的无效选课现象。

其次，在课程安排上，注重功能网络的搭建。功能网络是结构整体中各子系统纵横交织，相互作用，在完成各自任务前提下，一定程度上实现其他系统目标的过程和状态。因此，在课程内容确定后，课程组织的合理性可以通过搭建功能网络来实现。基于CMU计算机科学专业的经验，我们应该：首先，尊重课程难易度的学科逻辑，在学生课程的序列安排上遵循“先后异”的培养原则，在确保学生基础知识扎实之后，允许自由选修以张扬个性，发挥基础课程对个性发展的奠基作用；其次，每门课程所包含的概念和主题也都应该注意在引入新主题之后，应逐渐加深任务的复杂性和综合性并涉及更多的主题，以优化课程结构，帮助教师判断学生是否能够应付越来越具复杂性和挑战性的任务。同时，注意科学分配每一项任务的具体时间；再次，在横向上，在通识能力的培养中采用“有限的自由”原则，以保障选课的

有效性，辅以概论和探究模式，强化知识和方法的掌握，通过三者合力的发挥促进学生批判性思维的形成，促进专业学习的深化和个性的发展。最后，鼓励相关院系结合自身优势，与其他学院进行资源共享共建，为学生提供更多交叉色彩的辅修，在自由选修课程上采取“就远”选修原则，以使不同学科知识交融碰撞出新的火花。

大学课程要在教育实践中取得理想成效，一定是各实践主体的能动性都得到了极大的发挥，表现出了积极的合力。因此，以上建议都需要通过加强学校对课程整体结构的宏观监管，采取激励措施引导不同学系间的合作，才能协调促进人才培养目标的实现。尽管只有相关院系才有权决定专业课程的教学内容，但是学校还是有必要从宏观上监督专业课程的实施，确保专业课不妨碍本科教育的其他重要目标。这里的其他目标，主要就指通识性目标和个性化目标，这类目标的实现必须依靠大学内部资源的整合渗透。鉴于我国高校内部各院系间行政壁垒较国外更为森严的现实，发挥校级力量，从全局视角加强不同院系教师交流、促进课程共享意义更为重大。

作者简介：汪洋，华中科技大学教育科学研究院高等教育学博士研究生，研究方向：高等教育学。邮箱：1156059954@qq.com, d201678012@hust.edu.cn 电话：15927239710。

参考文献：

[1] 廖哲勋, 田慧生. 课程新论[M]. 北京: 教育科学出版社, 2006: 231.

[2] 姜凤春. 中美研究型大学本科课程结构比较研究[J]. 中国高教研究, 2008 (6) : 45-49.

[3] Undergraduate Computer Science Program[EB/OL]. [2017-08-12].

<http://coursecatalog.web.cmu.edu/schoolofcomputerscience/undergraduatecomputerscience/#bscurriculumtext>

[4] 李文新, 胡薇薇. 北京大学信息科学技术学科课程体系[M]. 清华大学出版社, 2008: 401, 400, 382-383.

[5] Requirements [EB/OL]. [2016-10-11].

<https://www.csd.cs.cmu.edu/academics/undergraduate/requirements#minorreq>

[6] General Education Requirements [EB/OL]. [2017-06-12].

<http://coursecatalog.web.cmu.edu/schoolofcomputerscience/#genedtext>

[7] Other Programs for CS Undergraduates[EB/OL]. [2017-08-24]

<https://www.csd.cs.cmu.edu/academics/undergraduate/other-programs#minors>

[8] [美] 德雷克·博克著, 侯定凯等译. 回归大学之道——对美国大学本科教育的反思与展望 [M]. 华东师范大学出版社, 2008:82, 81, 167, 163, 83, 84, 84.

[9] SEARCH FOR COURSES[EB/OL]. [2017-07-23].

<https://enr-apps.as.cmu.edu/open/SOC/SOCServlet>

[10] CS Undergraduate Research Options[EB/OL]. [2017-05-31].

<https://www.csd.cs.cmu.edu/content/cs-undergraduate-research-options>

[11] 黄维. 本科立人, 本科立校——构建“中国特色, 世界一流”本科教育体系初探[J]. 中国高教研究, 2016 (8) :2.

[12] [美] 约翰·S·布鲁贝克著, 王承绪, 郑继伟等译. 高等教育哲学[M]. 浙江教育出版社, 2002:103, 95, 109, 104.

[13] 李新月. 个体需求与社会需求的统一——欧内斯特·博耶的大学公民教育思想探析[J]. 教育探索, 2010 (11) :150-153.

[14] [美] 赫钦斯著, 汪利兵译. 美国高等教育[M]. 浙江教育出版社, 2001:42.

[15] 钱铭, 汪霞. 大学课程的使命与价值追求——基于对《1828年耶鲁报告》的研究[J]. 高校教育管理, 2013 (6) :111-115.

[16] 胡建华. 面向21世纪的日本大学课程改革[J]. 高等教育研究, 1998, (2). 94-97.

[17] 朱清时. 21世纪高等教育改革与发展——国外部分大学本科教育改革与课程设置[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001:145.

[18] 钟丽佳, 盛群力, 柴巧君. 促进意义学习体验的新路径——“大学课程设计综合方式”的架构[J]. 高校教育管理, 2015 (2) :101-106.