



普通高等教育“十三五”规划教材



光电信息科学与工程类专业规划教材

光电测控系统 设计与实践

周雅 胡摇 董立泉 刘明 赵跃进 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材
光电信息科学与工程类专业规划教材

光电测控系统设计与实践

周 雅 胡 摇 董立泉 刘 明 赵跃进 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是北京理工大学测控技术与仪器专业设置的综合实践类必修课程“光电测控系统专项实验”的配套教材。该课程是北京理工大学重点建设的研究型课程之一，本书为其重要组成部分。

本书分为两大部分，第一部分分别从教师角度和学生角度，系统讨论综合实践类课程的目的和意义，以及研究型课程的设计思路和实施。第二部分是教材的主体，分为三篇。第一篇简述光电测控仪器设计的总体思路和方法，包括文献检索的方法和技巧，项目设计任务的启动思路和模块划分，以及科技文献写作的原则和方法等。第二篇以光电测控系统的各功能模块为纲，分析了光电测控系统中涉及的光机电系统选择和设计的主要思想和方法。第三篇为部分学生设计实例，精选了几个综合性较强的光电测控系统课题，全面展现了学生在整个课程训练过程中的各阶段的工作和进展，既可作为学生研究型课程项目设计的参考，也可以供从事实践教育的教师作为应用实例。

本书是一本综合性的教材，既可以作为工科专业（尤其是光电测控类专业）综合实践类课程的配套教材，也可以作为从事工程实践教育研究的师生和其他人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

光电测控系统设计与实践 / 周雅等编著. —北京：电子工业出版社，2017.4

光电信息科学与工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-30961-8

I. ①光… II. ①周… III. ①光电检测—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 029683 号

责任编辑：韩同平 特约编辑：李佩乾 李宪强 宋 薇

印 刷：三河市华成印务有限公司

装 订：三河市华成印务有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：20.25 字数：680.4 千字

版 次：2017 年 4 月第 1 版

印 次：2017 年 4 月第 1 次印刷

定 价：55.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：88254113。

前 言

高等教育教学过程是一个特殊的认识过程,在继承已有知识和学习间接经验的基础上,逐步在实践中巩固所学理论,进而努力使学习过程与实际科学研究工作一致起来。综合性的实践类课程是高等教育,尤其是工科高等教育课程设置中不可缺少的重要环节。在本科教学中设置综合性实践类必修课程,让每个学生都得到解决实际工程问题的锻炼机会,教会学生综合应用基础知识的方法,促进学生将掌握的知识转化为能力,对于提高工科类本科学生创新能力和实践技能意义重大。“光电测控系统专项实验”课程正是以加强学生创新精神和工程实践能力培养为主要目标的一门研究型课程,是北京理工大学测控技术与仪器专业的综合实践类学科基础教育必修课。课程的目的是结合本学科其他基础理论课程,培养学生初步形成仪器设计和系统构成的基本思想,加强培养学生的动手能力和在实际工作中独立发现问题、分析问题与解决问题的能力,以及表达能力和团队合作精神等其他科研能力,并将这种教学模式或教学思想推广到整个专业课程的建设中。

“光电测控系统专项实验”课程的实质是仪器类专业的综合性课程设计。课程的内容涵盖了设计性实验课程的内容,还包含了其他科研相关能力的训练。作为综合性、设计性的实验课程,为了保证课程教学的开展兼具开放性和规则性,课程教材的建设是必不可少的一环,也是课堂教学模式的一个有力补充。从目前调研结果来看,工科光电类实验课程的教材已有不少,大都是验证性、训练性实验;部分现有教材包含个别综合性和设计性实验,侧重点是教材理论技术的应用举例。对于以综合设计和能力训练为侧重点的实践类课程,基本都在探索阶段,针对性教材基本还是空白。

到本书出版时为止,“光电测控系统专项实验”课程已经进行了 8 年。课程的设计和实施已经从最初的尝试探索,发展到今天逐步成熟。在多年的教学中,不管是在测控技术与仪器专业的技能训练方面,还是在工科实践教育方面,编者都积累了一些经验。在对课程不断完善的同时,我们也希望把这些知识和经验总结提炼形成文字,不仅为课程教学的继续完善提供有力支持,也为工科类专业课程的立体化教学与实践研究贡献微薄的力量。

编著本书的目的旨在为工科光电类综合设计实验课程提供系统化的教学素材和参考书,帮助具备光、机、电、算、材、物等知识基础的青年学人,学会综合应用基础知识的方法,促进他们将掌握的知识转化为工程能力,提高工科类本科学生创新能力和实践技能。并借此抛砖引玉,吸引更多对工程教育和综合性实践类课程教学有兴趣和热情的教育工作者,共同思考此类课程的实施方法和发展方向,提升实践教学效果。

本书的特色主要体现在以下几个方面:

(1) 教材内容以光电测控类系统设计能力培养和实践能力训练为本,不局限于具体的理论和技术细节,而更侧重授人以渔,从总体设计和应用角度,帮助读者掌握工程设计实践的思路和方法。与常见的以实验为纲的指导书不同,本书偏重工科实践类教育的设计和实施,既包括光电测控仪器系统的总体设计和模块分析,也包括通用的文献检索和科技文献写作知识等,还包括了编者在工程实践类教育设计方面的经验分享。

(2) 教材组织采用从总到分,从知识到实践,从基础到应用的结构。从工科实践课程的设计和通用基础出发,在基本实践能力训练基础上,以光电测控系统的总体设计思路和方法步骤为入口,以光电测控系统功能模块为纲,就各模块分别展开讨论,包括设计选型思路和使用原则,最后以学生综合训练作品为例,给出了研究型课程项目设计的参考。

(3) 教材面向工科实践课程教学双方广泛的读者群。本书定位不局限于课程配套教材,除了针对学生和技术人员的工程能力基础训练和光电测控系统的设计指导之外,还包括了工程实践类课程

设计方面的讨论。本书除了可以作为学生综合实践类课程的教材，也可以作为光电测控技术类设计人员的参考手册，还可以作为工程教育类教师设计研究型课程的参考资料。

本书分为两大部分，第一部分从工科实践教育的发展和国内外工程教育认证相关规范和标准出发，分别从教师角度和学生角度，系统讨论综合实践类课程的目的和意义，以及研究型课程的设计思路和实施方法。第二部分是教材的主体，分为三篇。第一篇共两章，系统论述了光电测控仪器设计的总体思路和方法，并给出了系统设计中相关有用知识，包括文献检索的方法和技巧，项目设计任务的启动思路 and 模块划分，以及科技文献写作的原则和写作方法等。第二篇共四章，以光电测控系统的各功能模块为纲，分析光电测控系统中涉及的光机电系统选择和设计的主要思想和方法。第三篇为应用前两篇部分知识的几个综合实践设计实例，精选几个综合性较强的光电测控系统课题，全面展现了学生在整个课程训练过程中各阶段的工作和进展，既可以作为学生研究型课程项目设计的参考，也可以供从事实践教育的教师作为案例分析使用。

本书第一部分由周雅执笔，第二部分第一篇第1章由赵跃进执笔，第2章由周雅执笔，第二篇第3章、第4章由胡摇执笔，第5章由刘明、董立泉执笔，第6章由董立泉执笔，第三篇学生实例由胡摇、周雅整理点评。

由于编著者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者在使用过程中批评指正。

作者联系方式：zhouya@bit.edu.cn

编 者
于北京理工大学

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一部分 大工程时代,你准备好了吗?

教 师 篇

I 工科实践教育的发展和启发	(5)
I.1 国际工程师互认相关协议简介	(5)
I.2 几种国际国内的工程教育认证和规范的相关标准准则	(7)
I.2.1 美国工程教育专业认证 ABET	(8)
I.2.2 澳大利亚工程师协会 IEAUST 专业认证	(11)
I.2.3 CDIO 教育模式	(14)
I.2.4 中国全国工程教育专业认证	(17)
I.2.5 教育部卓越工程师教育培养计划	(19)
II 研究型教学和研究型课程设计	(21)
II.1 研究性学习和研究型教学的概念	(21)
II.2 研究型课程的特征和设计依据	(23)
II.2.1 研究型课程教学方法的特征	(23)
II.2.2 研究型课程的设计依据	(23)
II.3 研究型课程的教学设计	(26)
II.3.1 研究型课程“光电测控系统专项实验”的教学环境分析	(26)
II.3.2 研究型课程“光电测控系统专项实验”的教学组织	(27)
II.3.3 研究型课程“光电测控系统专项实验”的学生自主学习阶段设计	(29)
II.3.4 研究型课程“光电测控系统专项实验”的教学设计评价	(31)
II.4 研究型课程的设计理念和项目式教学中的一些问题	(31)
II.4.1 研究型课程中实验专题项目内容的扩展	(33)
II.4.2 研究型课程中学生的自我认识和资质挖掘	(34)
II.4.3 研究型课程中的团队合作	(34)

学 生 篇

III 成为一名合格工程师应具备哪些素质	(36)
IV 如何准备研究型课程的学习	(38)
参考文献	(40)

第二部分 光电测控系统设计

第一篇 光电测控系统设计总体

第1章 光电测控系统设计的一般方法和步骤	(42)
第2章 系统设计的一些知识	(46)
2.1 文献检索的方法和技巧	(46)

2.1.1 文献检索有什么用	(46)
2.1.2 文献检索怎么用	(47)
2.1.3 常用的文献检索工具	(48)
2.1.4 常用的文献检索语法	(51)
2.1.5 文献检索技巧	(53)
2.1.6 文献检索示例	(57)
2.2 如何开始一个设计任务/项目	(59)
2.2.1 立项阶段: 需求和问题分析	(60)
2.2.2 明确问题阶段: 技术路线的分析与确定	(61)
2.2.3 项目进行的关键问题: 模块划分和管理	(62)
2.2.4 系统设计、模块划分和进度管理表格使用举例	(71)
2.3 设计技术工作总结和报告的撰写	(74)
2.3.1 文献综述报告的提纲和撰写	(76)
2.3.2 开题报告的提纲和撰写	(78)
2.3.3 结题报告的提纲和撰写	(82)
2.3.4 课题研究中的团队写作	(84)
2.3.5 科技写作的一些其他提醒	(85)
参考文献	(90)

第二篇 光电测控系统基本模块

第3章 光信息的产生模块	(91)
3.1 光电测控系统中的光源及辐射源	(91)
3.1.1 光源的几个基本概念	(91)
3.1.2 测控系统中的光源选择	(94)
3.1.3 测控系统中的几种常用光源及其特性	(95)
3.1.4 光信号的调制	(114)
3.2 光电测控系统中的光学系统和常用光学元件	(121)
3.2.1 测控系统中的成像光学系统选择	(121)
3.2.2 几种常用光学系统的特点和主要应用范围	(130)
参考文献	(135)
第4章 光信息的获取和转换模块	(137)
4.1 光电探测器	(137)
4.1.1 光辐射探测器的性能参数和噪声	(137)
4.1.2 光电探测器件的工作原理和特性	(140)
4.2 光电成像器件	(149)
4.2.1 光电成像器件的应用领域	(149)
4.2.2 像管和摄像管的工作原理和特性简介	(151)
4.2.3 固体成像器件的工作原理和主要特性	(156)
参考文献	(166)
第5章 光电信息的处理模块	(168)
5.1 光电检测与光电测控系统中的电路设计	(168)
5.1.1 概述	(168)
5.1.2 基本电路元器件介绍	(168)
5.1.3 常见光电元器件检测方法	(189)

5.2 电子电路设计制作的一般方法	(193)
5.2.1 电子电路的设计过程	(193)
5.2.2 印制电路板的设计方法和技巧	(194)
5.3 软件开发环境	(196)
5.3.1 MATLAB	(197)
5.3.2 Visual C++	(208)
5.3.3 单片机开发	(218)
参考文献	(227)
第6章 光电测控系统的执行模块	(228)
6.1 光电测控系统中的机械结构	(228)
6.1.1 测控系统中机械结构设计的要求、方法和基本准则	(228)
6.1.2 测控系统中光学零件的固紧结构设计	(234)
6.1.3 测控系统中常用的几种传动机构	(238)
6.2 光电测控系统中的控制执行机构	(244)
6.2.1 机械伺服系统设计	(244)
6.2.2 导向机构设计	(247)
6.2.3 微位移机构设计	(250)
参考文献	(251)

第三篇 实 例 篇

第7章 测控系统设计举例	(252)
7.1 压电陶瓷移相干涉法测量光学元件微面形	(252)
7.1.1 开题报告	(253)
7.1.2 结题报告	(256)
7.1.3 项目研究报告	(257)
7.1.4 教师点评	(263)
7.2 激光反射法音频声源定位与语音内容解析	(264)
7.2.1 开题报告	(264)
7.2.2 结题报告	(269)
7.2.3 项目研究报告	(270)
7.2.4 教师点评	(283)
7.3 复杂表面物体体积的非接触光学测量	(284)
7.3.1 开题报告	(284)
7.3.2 结题报告	(290)
7.3.3 项目研究报告	(292)
7.3.4 教师点评	(302)
7.4 基于光电导航的智能移动测量小车	(302)
7.4.1 开题报告	(303)
7.4.2 结题报告	(308)
7.4.3 项目研究报告	(309)
7.4.4 教师点评	(316)

绪 论

——你离一个合格的工程师有多远？

教育教学是以学生为最终产品的，高等院校的产品是学生，工科院校高等教育教学的产品，是合格的工程技术人才。在高等学府中，将自然科学原理应用至工业、农业、服务业等各个生产部门所形成的诸多工程学科也称为工科或工学。工学，也可以称为工程学，是通过对应用数学、自然科学、经济学、社会学等基础学科知识的研究与实践，来达到改良各行业中现有建筑、机械、仪器、系统、材料和加工步骤的设计和应用方式的一门学科。实践与研究工程学的人就是工程师。那么工科大学教育的目标，简言之就是培养出合格的工程师。

什么是工程师（Engineer）？我们可以查找一下词典和百科全书，或者搜索一下网络资源。你可以得到很多种不同的解释：有人说，工程师，顾名思义，就是指具有从事工程系统操作、设计、管理，评估能力的人员；有人说，工程师是职业水平评定（职称评定）的一种，是对从事工程建设或管理人员技术水平的一种标定；还有人说，工程师的称谓，通常只用于在工程学其中一个范畴持有学术性学位或相等工作经验的人士。工程师（Engineer）一词习惯上在多种意义上使用，他们的功能包括设计（design）、规划（plan）、策划（mastermind）、指挥（direct）等。比较接近现代思想的是这样一条“工程师”定义：工程师是把数学与自然科学知识用于实际目的（如设计、建造结构并加以操作）的人（Someone who applies a knowledge of math and natural science to practical ends, such as the design, construction and operation of structures）。

相比于职称评定类的定义，编者更喜欢维基百科上的解释：

An engineer is a professional practitioner of engineering, concerned with applying scientific knowledge, mathematics, and ingenuity to develop solutions for technical problems. Engineers design materials, structures, and systems while considering the limitations imposed by practicality, regulation, safety, and cost. The work of engineers forms the link between scientific discoveries and their subsequent applications to human needs and quality of life. In short, engineers are versatile minds who create links between science, technology, and society.

工程师是工程技术领域的专业从业者，他们关心的是如何将科学知识、数学和新颖的设计应用到技术问题的解决方案开发中，他们在充分考虑实用性、法律法规、安全性和经济成本的前提下设计材料、结构、系统，他们的工作是在科学发展和后续应用之间建立桥梁和联系，以满足人类的生活需要和提高生活质量。简而言之，工程师是在科学、技术和社会之间创造出纽带的万能头脑。

那么什么是合格的工程师呢？就像不同领域的产品有不同的质量标准，工程师应该有什么样的合格标准呢？对于合格工程师的认定，暂时没有也很难有一个绝对统一的标准。目前认可度较大的有美国 ABET（Accreditation Board for Engineering and Technology，美国工程教育专业认证机构）的十一条评估标准和 CDIO（构思 Conceive、设计 Design、实现 Implement 和运作 Operate）工程教育模式的评估标准等。

ABET 的评估标准要求工程领域类专业必须保证学生学完后，具有下列能力：（a）应用数学、自然科学和工程知识的能力；（b）设计和进行实验操作，并分析和处理数据的能力；（c）根据需求设计系统、单元或过程的能力；（d）在多学科团队开展工作的能力；（e）验证、指导和解决工程问

题的能力；(f) 对职业道德和责任感的理解能力；(g) 有效的交流能力；(h) 知识面宽广，能够认识到工程问题的解决在世界和社会范围内的影响；(i) 认识到终身教育的必要性，并有能力通过不断学习而提高自己；(j) 了解当今社会的诸多问题；(k) 能够在工程实践中应用各种技术、技能和现代工程工具的能力。

MIT 提出的工程教育模式 CDIO 培养大纲则将工程类毕业生的能力分为工程基础知识（包括基础知识和专业知识）、个人能力（包括问题发现和解决、实验技巧、系统思维和专业能力）、人际团队能力（团队能力和交流能力）和工程系统综合能力四个层面，要求以综合的培养方式使学生在四个层面达到预定目标。

这两种不同机构的标准虽然表达上有所区别，但可以看出其本质是相近的，其他国家的一些工程教育标准也类似（如澳大利亚的 IEAUST）；这也是我们工科专业工程教育的目标。我国目前推行的“卓越工程师教育培养计划”、“全国工程教育专业认证”等也都是我国为促进工程教育发展，规范考核高校“产品”培养质量的重要举措。作为整个工科教育体系中的一门课程，虽然我们的努力目标都是使学生最终达到合格工科毕业生标准，但在一门课程里肯定是无法兼顾所有标准的。本书的目的，是紧密围绕上述工程师标准，合理设计改进课程的教学模式、教学内容；改善教学条件，完善教学平台；将综合创新的工程教育理念引入课程的教学设计，探索以研究为主体的创新性教学模式，讨论大学本科学生的综合性全方位的培养方式，促进学生将掌握的知识转化为能力，提高工科类本科学生创新能力和实践技能。同时，将工程教育理念中基于项目（Project-Based）和基于问题（Problem-Based）的教学思路引入到课程的建设实践中，探索适合国情校情，具有可操作性可推广性的新型工科人才教学培养模式。

第一部分 大工程时代，你准备好了吗？

——研究型课程的机遇与挑战

随着科学社会化、社会科学化以及科学技术一体化的程度逐渐加深，人类社会已经进入一个大科学时代；同样，随着经济全球化、科学技术综合化的发展以及工程规模的日益扩大，工程正在向着大工程的方向演化，大工程时代已经来临。美国“曼哈顿”工程的成功实施，成为大科学、大工程时代来临的重要标志。大工程是指工程项目规模大、涉及领域广、系统复杂程度高、参与主体多、知识和技术密集，对经济、社会和环境的影响大，需要大量工程人员参加和投入大量资金的大规模工程活动。

工程是反映多种社会需求、综合多种社会资源、依据多重客观规律、有多种社会角色参与的、具有集成性的建造活动。大工程的意蕴和特点主要体现在几方面：工程规模和投资强度大；涉及领域广，多学科交叉融合；系统复杂程度高，社会影响大；高度的集成性和协同性。科学重在分析，工程重在综合，任何一项工程都是多学科的综合体。工程科技内部各学科、各个技术领域之间以及与系统工程等横断学科之间的交叉、渗透与融合程度越来越高，形成了一个不可分割的有机整体和学科群体。现代工程活动无论在系统复杂程度上，还是在社会影响上，都达到了前所未有的高度。需要多学科的理论支撑和交叉融合，需要跨学科、多领域的科学技术的综合运用。

总之，在大工程时代，工程活动具有系统性、组织性和协同性的特点，工程项目已不能凭借个人的力量及手工作坊式的操作来完成，而需要各学科、各领域专家的共同努力和团队协作。大工程还体现为解决当今复杂工程问题的整体配合性，即需要多部门、多单位的整体参与和密切协同。

面对大工程时代的挑战和传统工程教育的弊端，如何促进高等工程教育的改革与发展，培养与大工程相适应的高素质工程人才，越来越受到世界各国工程界的高度重视。为应对日益加剧的国际竞争，扭转工程教育过分科学化、学术化而偏离以实践为基础的工程教育本质的现象，自 20 世纪 90 年代以来，美国工程教育界掀起了“回归工程”的浪潮，其核心内容就是要使建立在学科基础上的工程教育回归其本来的含义，更加重视工程实际以及工程教育本身的系统性和完整性。“大工程观”教育思想是在 20 世纪 90 年代美国工程教育界掀起的“回归工程”浪潮中提出的。1994 年，美国 MIT 工学院院长乔尔·莫西斯（Joel Moses）提出了工程教育的改革方向是要使建立在学科基础上的工程教育更加重视工程实际以及工程本身的系统性和完整性的思想。它主要是针对传统工程教育过分强调专业化、科学化，从而割裂了工程本身这种现象提出的。所谓“大工程观”就是建立在科学与技术之上的包括社会、经济、文化、道德、环境等多因素的完善的工程涵义，建立在大工程基础上的工程教育思想即为“大工程观”教育思想。他在该院 1994—1998 年长期规划《大工程观与工程集成教育》中指出：“大工程观的术语是对为工程实际服务的工程教育的一种回归，而与研究导向的工程科学观相对立。”并认为工程教育必须回归工程的本质，重视培养学生知识体系的系统性和实践性。

莫西斯首倡的“大工程观”，是以“整合、系统、应变、再循环的视角看待大规模复杂系统”的现代工程观，是在工程教育改革实践中形成并逐步完善的一套指导工程教育改革实践的教育教学体系。对于大工程观的本质内涵，可以将其概括为“四个强调”：①强调工程本真。莫西斯提出的大工程观，强调要远离“纯粹”的工程科学导向，扭转工程科学学术化的趋势，认为高等工程教育要回归到为工程实际服务本质的工程教育，而不是固守以研究为导向的科学教育。也就是在经历了“技术模式”与“科学模式”之后，走向将科学、技术、非技术融为一体的“工程模式”，突出工程的实践性、综合性与创造性。②强调综合交叉。大工程观的核心是工程系统学，认为要更加重视工程本身的系统性和整体性，这个系统既是工程技术本身所形成的系统，又是工程与其相关的非技术因素所形成的系统。工程教育需要从“重视工程科学理论的分科教育”向“更多地重视工程系统及背景的教育”转变，通过多学科和交叉学科教育，把被学科割裂开来的工程再还原为一个整体，使受过工程教育的学生具有集成的知识结构和整体性的思维方式；工程教育需要与科学、人文、社科教育相融合，为学生提供综合的知识背景，并增进学生对更大范围内经济、社会、环境和复杂工程系统的了解。③强调实践创新。大工程观更加强调工程的实践性，要求工程教育回归工程实践，以实际工程为背景，培养学生的工程实践能力和创新能力。④强调责任伦理。大工程观强调在当前和未来社会，任何工程的实施不仅要考虑工程建设的可能性和经济性，还要考虑环境、文化和伦理等因素。工程教育要强化工程伦理教育，使未来的工程人才具有正确的伦理观，良好的职业道德和社会责任感。通过将工程的人文性、生态性等内容纳入工程教育范畴，增强学生的工程伦理意识和环境保护意识，提高学生对复杂工程问题和利益冲突问题作出合理伦理判断的能力。

教 师 篇

从大工程观教育思想指导下的美国工程教育改革和未来工程师素质标准中，我们可以得到这样的启示：面对变化了的当今世界特别是大工程时代的挑战，工程教育必须面向未来，加强综合工程素质教育，培养知识、能力、人格全面发展的未来工程师。实践是工程的本质，创新是工程的灵魂。在培养学生良好的专业技术水平和人文素质的基础上，要更加强调工程的实践性和创新性，从过分重视工程科学理论和知识传授的“科学模式”回归到更加重视实践和工程系统的“工程模式”，培养学生的个性特长和多方面的能力，特别是系统思维能力、工程实践能力和创新创业能力。同时，要重视培养学生的伦理道德和社会责任感，特别是要把可持续发展观和生态文明思想贯穿到工程教育中，培养学生的全球意识、生态意识和综合考虑问题的意识，以期在工程实践中能将科学、技术、经济、社会、环境生态、文化以及伦理道德等多元价值观整合起来，追求人与人、人与工程、人与自然、人与社会的和谐发展。

“大工程观”是一种思想，其含义丰富，无法面面俱到，只能以一些教学环节和教学活动作为载体，将其中一些先进的工程理念贯彻进去，让学生融会贯通，使自身的综合工程素质得以全面提升。为此，在“大工程观”背景下，应当从学生的工程意识、质量意识、系统意识、成本意识和环保意识等方面，结合相关的专业人才培养体系构建“大工程观”教育思想指导下的专业课程体系。

高等教育正呈现出基础化和综合化的趋势，大学本科工程教育要树立“大工程观”的教育思想，高等工程教育应由专业教育转变为工程基础教育，应尽量拓宽学生的知识面，培养新型复合型人才。这种教育思想的转变，是时代发展的必然结果。

I 工科实践教育的发展和启发

高等教育教学过程是一个特殊的认识过程，在继承已有知识、学习间接经验的基础上，逐步在实践中巩固所学理论，进而努力使学习过程与实际科学研究工作一致起来。在理工科高等教育教学中，教学计划的安排一般是基础课程、专业基础课程、专业课程和毕业设计这四个阶段。这样四个阶段，循序渐进地帮助学生从中学阶段培养继续求学的 ability 逐渐过渡到培养某一专业领域内的独立工作能力。

然而近年来，由于各种主观客观因素的影响，工科高等教育人才培养模式与社会和企业需求之间出现了明显的不同步和不匹配。工科教育中以教师为主体和讲授为主导的课程设置，在一些专业教学中形成了学生重研究轻工程、重理论轻实践的培养误区。工科学生的综合创新能力与工程实践能力的平均水平有所下降。

这个问题的存在具有一定的普遍性，不只是国内的工科院校，国外的大学教育近年来也出现了类似的不均衡发展。为恢复高等工程教育的平衡发展，培养达标的优秀工程技术人才，各国的教育学者和教育研究人员都在为高等工程教育做出努力。国际工程师互认协议体系的形成，就是其中一项重要工作。

I.1 国际工程师互认相关协议简介

为适应经济全球化发展的需要，20 世纪 80 年代美国等一些国家发起并开始构筑工程教育与工程师国际互认体系，其内容涉及到工程教育及继续教育的标准、机构的认证，以及学历、工程师资格认证等诸多方面。该体系现有的六个协议，分为互为因果的两个层次，其中《华盛顿协议》、《悉尼协议》、《都柏林协议》针对各类工程技术教育的学历互认，《国际专业工程师协议》、《亚太工程师计划》、《国际工程技术员协议》针对各种工程技术人员的执业资格互认。

《华盛顿协议》(Washington Accord) 于 1989 由来自美国、英国、加拿大、爱尔兰、澳大利亚、新西兰等 6 个国家的民间工程专业团体发起和签署。该协议主要针对国际上本科工程学历（一般为四年）资格互认，承认签约国所认证的工程专业（主要针对四年制本科高等工程教育）培养方案具有实质等效性，认为经任何缔约方认证的专业的毕业生均达到了从事工程师职业的学术要求和基本质量标准，并建议毕业于任一签约成员认证的课程的人员均应被其他签约国（地区）视为已获得从事初级工程工作的学术资格。协议规定任何签约成员须为本国（地区）政府授权的、独立的、非政府和专业性社团。

《华盛顿协议》每两年联合其他协议成员一起召开国际工程大会，会议期间除交流和讨论有关重要事项外，还讨论有关预备会员和正式会员的吸纳事宜。每次大会结束时，必须指派一名成员作为主席成员，由该成员任命的人员作为大会主席，任期至下次大会结束。大会同时指派一名成员承担秘书处的工作，任期至下次大会结束。秘书处应保留每次大会所作的讨论和决定的记录，帮助各签约成员进行交流，并纪录交流内容，应向签约成员或其他有关方面提供能有效执行本协议的措施和手段。主席和秘书处应来自不同的签约成员。

《华盛顿协议》规定，各申请组织首先被接纳为预备会员，最快须在成为预备会员两年后才能成为正式会员；正式会员对新会员加入拥有一票否决权；递交预备会员申请的时间须在每届国际工程大会前六个月；申请时，必须有《华盛顿协议》的一个或多个正式成员作为联系和辅导，并在申请中须有至少 2 个《华盛顿协议》正式会员为申请预备会员组织提名。

关于国际工程专业互认的华盛顿协议正在不断地发展壮大。截至 2015 年 11 月，《华盛顿协

议》有正式签署成员 17 个，分别来自英国（Engineering Council UK，1989）、美国（Accreditation Board for Engineering and Technology，1989）、澳大利亚（Engineers Australia，1989）、加拿大（Engineers Canada，1989）、爱尔兰（Engineers Ireland，1989）、新西兰（Institution of Professional Engineers NZ，1989）、中国香港（The Hong Kong Institution of Engineers，1995）、南非（Engineering Council of South Africa，1999）、日本（Japan Accreditation Board for Engineering Education，2005）、新加坡（Institution of Engineers Singapore，2006）、中国台北（Institute of Engineering Education Taiwan，2007）、韩国（Accreditation Board for Engineering Education of Korea，2007）、马来西亚（Board of Engineers Malaysia，2009）、土耳其（Association for Evaluation and Accreditation of Engineering Programs MUDEK，2011）、俄罗斯（Association for Engineering Education of Russia，2012）、斯里兰卡（Institution of Engineers Sri Lanka，2014）和印度（National Board of Accreditation，2014）。预备成员 6 个，分别来自孟加拉（Board of Accreditation for Engineering and Technical Education）、中国（中国科学技术协会 China Association for Science and Technology）、哥斯达黎加（Association of Engineers and Architects of Costa Rica）、巴基斯坦（Pakistan Engineering Council）、秘鲁（ICACIT）和菲律宾（Philippine Technological Council）。

《悉尼协议》（Sydney Accord）于 2001 年首次缔约，是学历层次上的权威协议，主要针对国际上工程技术人员学历（一般为 3 年）资格互认。该协议由代表本国（地区）的民间工程专业团体发起和签署，目前成员有澳大利亚（Engineers Australia，2001）、加拿大（Canadian Council of Technicians and Technologists，2001）、爱尔兰（Engineers Ireland，2001）、新西兰（Institution of Professional Engineers NZ，2001）、南非（Engineering Council of South Africa，2001）、英国（Engineering Council UK，2001）、中国香港（The Hong Kong Institution of Engineers，2001）、美国（Accreditation Board for Engineering and Technology，2009）、韩国（Accreditation Board for Engineering Education of Korea，2013）及中国台北（Institute of Engineering Education Taiwan，2014）10 个国家和地区。

《都柏林协议》（Dublin Accord）于 2002 年签订，它是针对一般为两年，层次较低的工程技术人员的学历认证，其目前正式会员有 8 个：加拿大（Canadian Council of Technicians and Technologists，2002）、爱尔兰（Engineers Ireland，2002）、南非（Engineering Council of South Africa，2002）、英国（Engineering Council UK，2002）、澳大利亚（Engineers Australia，2013）、新西兰（Institution of Professional Engineers NZ，2013）、韩国（Accreditation Board for Engineering Education of Korea，2013）和美国（Accreditation Board for Engineering and Technology，2013）。

《国际专业工程师协议》（International Professional Engineers Agreement，IPEA）的前身是《工程师流动论坛协议》（Engineers Mobility Forum agreement），发起于 1996 年。当时，《华盛顿协议》成员希望把学历层次的资格互认扩展至专业资格，遂开展《工程师流动论坛协议》讨论。2001 年协议正式签署，后更名为《国际专业工程师协议》。IPEA 是一个多国工程技术组织之间的协议，签署成员均为民间工程专业团体；成员建立并确认各成员国之间的“国际专业工程师”的标准；并授权各成员在协议成员经济区各自建立区内的“国际专业工程师”注册。现在协议的正式成员国有 15 个：澳大利亚（Engineers Australia，1997）、加拿大（Engineers Canada，1997）、爱尔兰（Engineers Ireland，1997）、英国（Engineering Council UK，1997）、新西兰（Institution of Professional Engineers NZ，1997）、美国（National Council of Examiners for Engineering and Surveying，1997）、中国香港（The Hong Kong Institution of Engineers，1997）、南非（Engineering Council of South Africa，1997）、日本（Institution of Professional Engineers Japan，1999）、马来西亚（Institution of Engineers Malaysia，1999）、韩国（Korean Professional Engineers Association，2000）、新加坡（Institution of Engineers Singapore，2007）、斯里兰卡（Institution of Engineers Sri Lanka，2007）、中

国台北 (Chinese Institute of Engineers, 2009) 和印度 (Institution of Engineers India, 2009)。预备成员有 3 个: 孟加拉 (Bangladesh Professional Engineers, Registration Board), 巴基斯坦 (Pakistan Engineering Council) 和俄罗斯 (Association for Engineering Education of Russia)。

《亚太工程师计划》(Asia Pacific Economic Cooperation (APEC) Engineer) 为政府行为。1996 年开始由亚太经合组织人力资源小组发起, 亚太经合组织各经济区可在亚太工程师资格互认蓝图下推展互认工作。《亚太工程师计划》是亚太经合组织成员国之间的协议, 目的是承认“实质等同”的工程专业能力。该计划现在核准成立“亚太工程师”名册的经济区包括: 澳大利亚 (Engineers Australia, 2000)、加拿大 (Engineers Canada, 2000)、日本 (Institution of Professional Engineers Japan, 2000)、韩国 (Korean Professional Engineers Association, 2000)、马来西亚 (Institution of Engineers Malaysia)、新西兰 (Institution of Professional Engineers NZ, 2000)、中国香港 (The Hong Kong Institution of Engineers, 2000)、印度尼西亚 (Persatuan Insinyur Indonesia (Institution of Engineers), 2001)、美国 (National Council of Examiners for Engineering and Surveying, 2001)、菲律宾 (Philippine Technological Council, 2003)、泰国 (Council of Engineers Thailand, 2003)、新加坡 (Institution of Engineers Singapore, 2005)、中国台北 (Chinese Institute of Engineers, 2005) 和俄罗斯 (Association for Engineering Education of Russia, 2010)。

《国际工程技术人员协议》(International Engineering Technologist Agreement, IETA) 的前身是《工程技术人员流动论坛协议》(Engineering Technologist Mobility Forum Memorandum of Understanding), 2001 年由民间工程专业团体发起, 于 2003 年首次签订。其目的是为了推动工程技术人员资格互认, 此协议签署成员均为民间工程专业团体; 成员建立确认工程技术人员流动论坛协议内“国际工程技术人员”的标准。协议成员经济区有 6 个: 加拿大 (Canadian Council of Technicians and Technologists, 2001)、爱尔兰 (Engineers Ireland, 2001)、新西兰 (Institution of Professional Engineers NZ, 2001)、南非 (Engineering Council of South Africa, 2001)、英国 (Engineering Council UK, 2001) 和中国香港 (The Hong Kong Institution of Engineers, 2001)。澳大利亚 (Engineers Australia) 目前是预备成员。

除国际性互认协议外, 目前世界上还有三个地区性的工程师资格互认体系。一个是欧洲国家工程协会联合会开创的、在欧洲联盟框架内的“欧洲工程师”注册制度。第二个是在北美自由贸易协定 (North American Free Trade Agreement, NAFTA) 框架内建立的专业工程师相互承认文件 (Mutual Recognition Document, MRD)。第三个就是前面提到的亚太经合组织的亚太工程师计划。

I.2 几种国际国内的工程教育认证和规范的相关标准准则

《华盛顿协议》的核心内容是经过各成员组织认证的工程专业培养方案具有实质等效性 (substantial equivalence)。等效性是指任何成员在认证工程专业培养方案时所采用的标准、政策、过程以及结果都得到其他所有成员的认可。这不仅需要每个成员认真履行自己的职责, 严格认证本国或本地区的工程专业培养方案, 而且要承认其他成员的认证结果。由于有严格的定期审查和相互监督机制, 各成员组织都为保证本国或本地区的高等工程教育做出了不懈的努力, 而且通过这项协议使这些努力的认可度更高、范围更广。

认证 (Accreditation) 是高等教育为了教育质量保证和教育质量改进而详细考察高等院校或专业的外部质量评估过程 (Council for Higher Education Accreditation, 美国高等教育认证机构 CHEA)。认证是认证机构颁发给高校或专业的一种标志, 证明其现在和在可预见的将来能够达到办学宗旨和认证机构规定的办学标准 (U.S. Department of Education, 美国联邦教育部 USDE)。专业认证 (specialized/professional programmatic accreditation, 即专门职业性专业认证): 由专业性

(professional) 认证机构针对高等教育机构开设的职业性专业教育 (programmatic) 实施的专门性 (specialized) 认证, 由专门职业协会会同该专业领域的教育工作者一起进行, 为相关人才进入专门职业界从业的预备教育提供质量保证。专业认证强调工程教育的基本质量要求。专业认证是一种合格评估, 认证结论为合格或不合格, 强调基本要求而非专业评比和排名, 鼓励学校在满足基本要求基础上发展多样性。

工程教育专业认证, 是指政府指定认可的认证机构或社会团体对高等学校工科专业的认证工作。随着经济全球化的发展, 高等工程教育的国际化将越来越清晰。发达国家一般通过非政府组织对工程教育专业进行认证, 各国的认证组织通过一些协议互相认可认证工作。签署时间最早、缔约方最多的是《华盛顿协议》, 也是世界范围知名度最高的工程教育国际认证协议。在这个协议下, 各国也针对协议制定了相应的工程教育认证标准或工程教育规范, 一些相关的先进工程教育理念也相应产生。

1.2.1 美国工程教育专业认证 ABET

ABET 是 Accreditation Board for Engineering and Technology (美国工程与技术鉴定委员会) 的简称, 创建于 1932 年, 是专门从事工程 (Engineering)、技术 (Technology)、电脑 (Computing)、应用科学 (Applied Science) 四大领域的学术机构工程及技术教育认证的, 具有公正性与权威性。ABET 的专业鉴定得到美国教育部、各州专业工程师注册机构, 以及全美高等教育鉴定机构的民间领导组织——高等教育鉴定委员会 (Council for Higher Education Accreditation, CHEA) 的承认。所以, 可以说 ABET 是得到美国官方和非官方机构承认, 得到美国高教界和工程界广泛认可和支持的全国唯一的工程教育专业鉴定机构。它的专业鉴定具有不可忽视的权威性。ABET 又是华盛顿协议 (Washington Accord) 的 6 个发起工程组织之一, 这意味着它的专业鉴定已获得广泛的国际承认。

ABET 的前身是 1932 年在纽约创办的工程师专业发展理事会 (Engineering Council on Professional Development, ECPD), 最初由美国土木工程师协会、美国机械工程师协会和美国电气工程师协会等 7 个协会组成, 现已发展成为由 30 个专业和技术性协会组成的联盟。

ABET 作为一个非官方的中介性、非营利认证机构, 其专业认证的权威性得到了美国教育部 (USDE) 和美国高等教育委员会 (CHEA) 的双重认可。ABET 目前主要在工程、技术、计算机科学以及应用科学 4 大学科领域开展专业认证。ABET 多年来一直为大学和学院中相关领域内的专业提供质量保证, 它的主要工作是为各相应专业点进行专业鉴定, 让考生和家长知道哪些专业点是符合合格标准的; 帮助各工学院的院长、管理人员和教师正确评价本专业点的强项和弱点何在, 以及如何改进; 使雇主知晓哪些专业点的毕业生是为专业执业作好准备的; 使纳税人清楚他们的钱用得适得其所; 也使公众放心毕业生会为他们的身心健康和公共安全着想。

ABET 工程教育专业认证的组织架构是一个会员制机构, 会员大都来自工程实业界, 分为正式会员单位和准会员单位, 正式会员单位由美国主要的工程师学会组成并负责对工程有关学科专业进行认证; 准会员单位由对相关专业认证及教育感兴趣并对 ABET 的工作有所支持的学会组成。ABET 决策权力集中在最高董事会, 它由所有加盟学会代表和公众代表组成, 全面负责 ABET 的正常运作, 包括拟定和修改章程、政策、年度预算、认证标准和程序等。按职能分工不同, 最高董事会下设工程认证委员会 (Engineering Accreditation Commission, EAC)、技术认证委员会 (Engineering Technology Accreditation Commission, ETAC)、计算机科学认证委员会 (Computing Accreditation Commission, CAC)、应用科学认证委员会 (Applied Science Accreditation Commission, ASAC) 4 个认证委员会; 认证理事会 (AC)、工程咨询理事会 (IAC)、国际事务理事会 (INTAC) 3 个理事会和选举委员会、财务委员会、审计委员会等多个特别委员会。其中, 认证委员会负责根据各自制定的专业标准、政策和程序开展评估认证活动; 理事会负责就 ABET 的相

关政策提供建议；特别委员会负责董事会的日常运作及对外联系工作。

ABET 工程教育专业认证以 6 年为一个评估周期，其操作程序主要包括自我评估、现场考察、评估报告和认证结论 4 个步骤。自我评估阶段历时 5 个月，高校在规定日期前向 ABET 提出某个或某些专业点的认证申请，一旦申请被 ABET 接受，高校便按照相关格式准备各种数据、起草自我评估报告，进行专业自评。

现场考察阶段历时 8 个月，ABET 遴选出高校现场访问评估专家组进校访问和现场勘查，详细考察高校的组织架构、授予学位、仪器设备、毕业生就业情况等，旨在对高校无法在书面自评报告中表述的因素进行定性评估以及帮助高校评价其优势和弱点。撰写评估报告阶段历时 6 个月，评估专家组在实地考察的基础上起草评估报告，并送交被评高校进行核对，被评高校除改正错误之外，必要时可向 ABET 递交补充报告反馈意见，评估专家组再根据高校的反馈意见对评估报告（草稿）中的错误进行修改并形成最终报告。在形成认证结论阶段，ABET 认证委员会召开会议，根据评估专家组递交的最终评估报告和高校的反馈意见做出认证结论，并向申请认证的高校通告评估结果，整个认证过程宣告结束。

ABET 的一大贡献就是推出“工程准则 2000”（Engineering Criteria 2000, EC2000）。它的精华在于准则的焦点放在学生“学到了什么”，而不像以往强调的是学校“教了什么”。它要求学校和专业按照事先制定的使命和目标，不间断地改进质量。它鼓励对学生成绩使用新的评价方法。现在 EC 2000 的精神已经体现在 ABET 各学科的鉴定准则之中。随后 ABET 又开展了长期的研究，以评定这种鉴定精神和实践的得失。并做进一步的改进。

制订“工程准则 2000”的目的在于保证工程教育的质量，并使之得到系统的改进，以满足受众在充满活力和竞争的环境中的需要。对于一个正在申请工程专业鉴定的学校，其责任是清楚地证实该专业满足下列准则。

适用于基本水平专业的通用准则（General Criteria for Basic Level Programs）：

准则 1：学生（Students）

在工程专业评估中，学生和毕业生的质量和成绩是重要的考虑因素。学校必须对学生进行评估、指导和监控，以检验学生在达到专业目标方面的成效。

学校必须制定并执行有关政策，以接受转学学生，并承认外校课程的学分。学校还必须采取措施，以保证所有学生都能达到专业的各项要求。

准则 2：专业的教育目标（Program Educational Objectives）

各校所用的术语不尽相同，准则 2 所说的专业教育目标，指的是学生从本专业毕业后的前几年内，在学识和技能等方面预期能达到的程度。

每一个申请初次鉴定或再次鉴定的工程专业都必须具有：

（a）有关教育目标的详细刊印材料。该目标应与学校的使命以及 ABET 的准则相一致。

（b）执行适当的程序，以保证在制定专业教育目标并对之做定期评估时，把专业教育受众的各种要求作为考虑问题的基础。

（c）适当的教学计划和教学方法，以保证学生达到教育目标。

（d）常设的评估体系，以证明实现专业教育目标的成就，以及运用评估结果改进专业教学的效果。

准则 3：专业的产出和评价（Program Outcomes and Assessment）

各校所用术语不尽相同，准则 3 所说的专业产出指的是学生从本专业毕业时预期应掌握什么知识或者会做什么。

工程专业必须证实他们的毕业生具有：（a）数学、自然科学和工程学知识的应用能力；（b）制定实验方案、进行实验、分析和解释数据的能力；（c）根据需要，设计一个系统、一个部件或一个