

# 工程教育专业认证要求下的现代控制理论课程教学改革

高瑜 陈良

苏州大学机电工程学院

DOI:10.32629/mef.v2i7.180

**[摘要]** 工程教育是我国高等教育的重要组成部分,也是国家工业化进程中的重要环节,专业认证的实施有助于提升高校工程教育的质量,同时实现教育体系与国际化标准的接轨。作为工科自动化专业的一门专业必修课程,现代控制理论已逐渐取代经典控制理论占据主导地位。本文主要分析该课程的特点和教学目标,探讨在工程教育专业认证的背景下,具体的教学改革措施与实施方案,目标是提高学生解决复杂工程问题的能力。

**[关键词]** 工程教育; 专业认证; 现代控制理论; 复杂工程问题

## Teaching Reform of Modern Control Theory Course under the Requirements of Engineering Education Professional Certification

Gao Yu, Chen Liang

School of Mechanical and Electrical Engineering, Soochow University

**[Abstract]** Engineering education is an important part of higher education in China and an important link in the process of national industrialization. The implementation of professional certification will help to improve the quality of engineering education in colleges and universities, and at the same time realize the integration of education system and international standards. As a compulsory course for engineering automation, modern control theory has gradually replaced the dominant theory of classical control. This paper mainly analyzes the characteristics and teaching objectives of the course, and discusses the specific teaching reform measures in the context of engineering education professional certification. With the implementation plan, the goal is to improve students' ability to solve complex engineering problems.

**[Key words]** engineering education; professional certification; modern control theory; complex engineering problems

自2016年我国成为《华盛顿协议》的正式成员,国内各大院校陆续参照国际工程联盟规定的各项工程教育专业认证标准进行专业建设和教学工作,志在使自身的工科教育达到“双一流”水平,并与国际化标准接轨。通过工程教育认证的院校,其认证专业的毕业生在相关国家申请硕士就读资格及工程师执业资格时,将享有与该国家毕业生同等待遇。《工程教育认证标准》中规定毕业要求指标点必须与课程目标相对应,同时需要构建合理的课程体系和培养机制以提高学生解决复杂工程问题的能力。

“现代控制理论”作为自动化专业的重要课程,内容涵盖了智能控制、优化控制、神经网络等领域的基础知识,在工业生产过程中多变量复杂控制问题日益增多的今天,基于状态空间模型的控制方法已逐渐替代经典控制理论并彰显其主导地位,如何使自动化专业本科毕业生掌握现代控制理论并解决实际控制问题显得尤为重要。由于该课程包含大量理论性内容,知识点与难点较为抽象,如果使用传统的照本宣科教学手段,容易造成学生对公式及推导方法的死记硬背,将控制课程学成了数学课程,导致理论部分浮于表面而与实际应用相互脱节。本文结合作者近几年的教学实践体会,以

工程教育专业认证为契机,针对如何培养学生解决复杂工程问题的能力这一主要问题,提出了具体的教学改革措施与实施方案。

### 1 课程特点及教学目标

#### 1.1 课程性质

“现代控制理论”是自动化专业的一门专业必修课程。区别于经典控制理论,现代控制理论以状态空间模型为基础,主要研究系统内部状态量的运动规律,并提出了能控性、能观测性、李雅普诺夫稳定性理论、极点配置、状态观测器设计、最优控制等线性系统分析方法。重在培养学生扎实的理论基础及控制系统的设计能力。

#### 1.2 教学目标

通过本课程的教学,使学生掌握现代控制理论的基本内容,为后续课程的学习以及从事复杂的过程控制工作打下基础。

本课程的具体教学目标如下:

1.2.1 掌握如何根据系统物理机制建立状态空间表达式的具体方法,培养学生对电路、机械装置等实际控制系统的建模能力。

1.2.2掌握如何运用状态空间方法对实际系统进行分析,培养学生对现代控制方法的设计能力。

1.3教学目标与毕业要求的关系

结合工程教育专业认证标准给定的12条毕业要求,围绕电气系统、工业自动化系统的信息与控制问题,提出了符合自动化专业实际情况的毕业要求。毕业要求能否达成的落脚点是课程教学大纲,因此,教学大纲和教学环节的设计需保证教学活动对毕业要求指标点有明确的、可衡量的依据。

首先,现代控制理论课程教学大纲中应明确课程教学目标与相关毕业要求的支撑关系,如表1所示:

表1 毕业要求与教学目标的对应关系

| 国家工程专业认证标准  | 毕业要求分项描述                          | 对应教学目标 | 对应关系说明  |
|---|-----------------------------------|--------|---|
| 标准4研究:能够基于科学原理并采用科学方法对复杂工程问题进行研究,包括设计实验、分析与解释数据、并通过信息综合得到合理有效的结论。 | 4-1能够基于电气和自动化专业知识,选择研究路线,设计实验方案   | 教学目标①  | 建立实际系统的状态空间数学模型,是设计相关实验、分析系统性能的基础。                |
| 标准12终身学习:具有自主学习和终身学习的意识,有不断学习和适应发展的能力。                            | 12-1能认识不断探索和学习的必要性,具有自主学习和终身学习的意识 | 教学目标②  | 具备控制方法的初步设计能力,为学生在今后持续学习及工作过程中解决实际控制问题奠定了一定的理论基础。 |

其次,按照专业认证要求对课程教学内容及学时重新分配,包括课程教学、自学、作业、讨论等内容和要求,指明重点内容和难点内容,表2所示为教科书第一章内容的范例(重点内容用表示;难点内容用Δ表示)。

表2 教学大纲内容

| 第一章. 控制系统的状态空间表达式(8学时)(支撑教学目标1) |   |
|---------------------------------|---|
| 教学内容                            | 1) 状态变量及状态空间表达式<br>2) 状态空间表达式的模拟结构图<br>3) 状态空间表达式的建立★<br>4) 状态矢量的线性变换Δ<br>5) 从状态空间表达式求传递函数矩阵<br>6) 状态变量及状态空间表达式<br>7) 状态空间表达式的模拟结构图<br>8) 状态空间表达式的建立★<br>9) 状态矢量的线性变换Δ<br>10) 从状态空间表达式求传递函数矩阵 |
| 目标及要求                           | 1) 了解状态空间法的基本概念。<br>2) 掌握根据系统物理机理来建立状态空间表达式的具体方法。<br>3) 掌握系统模拟结构图的绘制方法。<br>4) 掌握如何利用线性变换改变状态空间表达式的结构形式。<br>5) 掌握状态空间表达式与传递函数矩阵间互相转换的计算方法。   |
| 讨论内容                            | 同一系统状态空间表达式的非唯一性。   |
| 作业内容                            | 1) 给定电路及机械运动系统求状态空间表达式。<br>2) 给定系统传递函数求四种状态空间表达式的标准形式。<br>3) 给定系统状态空间表达式求传递函数。  |
| 自学拓展                            | 利用状态空间法对某一实际控制系统进行数学模型的建立。  |

最后,教学大纲中明确说明该课程的考核形式与要求,以及对毕业要求的具体支撑及如何考核和评价达成这些毕

业要求。通过命题审核表实现预先设计的教学目标对毕业要求指标点的支撑关系,范例参见表3。在期末考试结束后,任课教师按照教学目标和毕业要求指标点对课程试卷进行分析,提交《试卷分析表》。同时,按照毕业要求指标点对每门课程进行总结,填写《课程总结表》,目的是对毕业要求达成度进行反向评价。

表3 试卷命题审核表

| 毕业要求指标点 | 教学目标  | 考核知识点       | A卷     | B卷     | 分值 | 总分 |
|---------|-------|-------------|--------|--------|----|----|
| 10-2    | 教学目标1 | 基于状态空间的数学模型 | 二. 6   | 二. 6   | 15 | 30 |
|         |       | 状态空间表达式的解   | 二. 3   | 二. 3   | 15 |    |
| 12-1    | 教学目标2 | 系统可控性与可观性   | 一. 1-4 | 一. 1-4 | 20 | 70 |
|         |       | 稳定性与李雅普诺夫方法 | 二. 4   | 二. 4   | 15 |    |
|         |       | 线性定常系统的综合   | 二. 2   | 二. 2   | 10 |    |
|         |       | 最优控制        | 二. 1,5 | 二. 1,5 | 25 |    |

2 复杂工程问题描述

培养本科生分析、解决复杂工程问题的能力是工程教育认证的核心关注点之一,结合自动化专业教学的特点,针对国内先进工业与制造业对掌握智能化控制技术人才的需求,选择“智能电表的自动化生产线”作为复杂工程问题的载体,模拟生产、检测及总装过程,通过立体仓储、机械手臂、AGV小车的协作,构建闭环的智能制造全部流程。

该复杂工程问题的课程体系包括11门基础理论课、3个进阶性课程设计和1个企业生产实习环节,最后通过2周的课程设计和6周的自动化综合实践收尾。依托一系列教学环节,从工程基础理论课程的学习、基础知识验证、实验课、课程设计到企业的生产实习,都汇聚于最终的“自动化产线的设计、集成和控制”问题。其中,现代控制理论为基础理论课中的主要课程。“自动化产线”的多个环节需要进行模型分析、系统优化,只有针对被控对象的工程特性建立状态空间数学模型,控制系统的控制效果才能达到被控对象的工艺要求。本问题为学生设置了较多的进阶要求,比如控制算法的改进,识别准确率的提高,更快速的步进电机和伺服电机控制要求等,这些都需要学生先建立模型,因此现代控制理论内容的教学显得尤为重要。

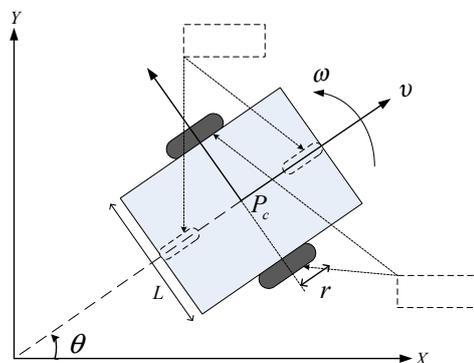


图1 轮式小车示意图

以AGV小车的控制为例,首先要建立连续时间运动学模

型,图1所示为常见的两轮驱动轮式小车俯视结构,驱动轮外半径为 $r$ ,两轮间轴长度为 $L$ ,设轴中心 $P_c$ 与该小车的质心在地面的投影重合,前后配有两个支撑作用的方向轮保持车身平衡。图1中全局坐标系为 $X-Y$ ,小车前进方向与 $X$ 轴夹角为 $\theta$ ,小车实时位置可由点 $P_c$ 在坐标系中的位置表示,设为列向量 $q = [x \ y \ \theta]^T$ 。 $v$ 为小车前进方向的线速度,可根据左右驱动轮线速度 $v_l$ 、 $v_r$ 计算得到

$$v = \frac{v_l + v_r}{2} \quad (1)$$

$\omega$ 为偏离 $X$ 轴方向的角速度,可根据以下式子计算得出

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{L} \quad (2)$$

根据教科书第一章知识,选取 $q$ 作为状态空间模型的状态向量, $u = [v \ \omega]^T$ 为控制向量,可得到系统状态方程如下:

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} u \quad (3)$$

该式为连续时间下的非线性状态方程,即 $\dot{q} = f(q, u)$ 。

基于式(3)所示的数学模型,学生可运用MATLAB软件中的控制工具箱和库函数,设计不同的控制器并对系统进行仿真实验,观察不同的控制方法所实现的控制效果,加深对理论知识的理解。最后,在课程设计与综合实践环节中,选择最佳的控制方法并应于AGV小车的运动控制任务,此举能够提

高学生解决实际工程问题的能力,真正实现学以致用。

### 3 结束语

针对工程教育专业认证具体要求,结合现代控制理论课程自身特点和教学目标,对教学大纲的内容、学时进行重新分配,阐明考核形式对毕业要求指标点的具体支撑,以及如何考核和评价达成这些毕业要求。同时,本文对现代控制理论在复杂工程问题课程体系中的具体作用做了说明,提出了全面提升学生工程实践和综合创新能力的有效途径。

### 参考文献

- [1]林健.如何理解和解决复杂工程问题——基于“华盛顿协议”的界定和要求[J].高等工程教育研究,2016(5):17-38.
- [2]中国工程教育专业认证协会秘书处.工程教育认证工作指南[Z].2016(1):01.
- [3]刘豹,唐万生.现代控制理论(第三版)[M].北京:机械工业出版社,2015:3-4.
- [4]侯媛彬,嵇启春,张建军,杜京义.现代控制理论基础(第一版)[M].北京:北京大学出版社,2006:12-13.
- [5]刘成林.工程教育认证背景下现代控制理论课程教学分析与改革[J].中国教育技术装备,2016(18):106-108.
- [6]高瑜,陈良.复杂工程问题在自动化专业本科教学中的实施方案探讨[J].现代教育论坛,2018(2):20-22.

### 作者简介:

高瑜(1982—),男,江苏苏州市人,汉族,博士,讲师,研究方向:模型预测控制、自动控制原理。