

# “新工科”背景下智能控制实验(实践)建设研究

罗航<sup>1</sup>, 朱君<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>四川大学机械工程学院, 四川 成都

<sup>2</sup>成都农业科技职业学院马克思主义学院, 四川 成都

收稿日期: 2022年3月13日; 录用日期: 2022年4月14日; 发布日期: 2022年4月21日

## 摘要

面向实际应用是“新工科”建设的根本要求与改革方向。针对传统智能控制课程实验(实践)教学存在目标定位不明确、体系设置零散、任务界定模糊、开展效率不佳、师资工程经验缺乏等问题, 剖析了问题产生的根源, 阐明智能控制实验(实践)建设的意义和特征。围绕任务驱动下实验(实践)基础验证技能培养、开放设计实践、“微”工程问题解决目标, 重点研究了智能控制实验(实践)相关的背景、内容、方法和保障相融合的建设问题。所设计的技术路线呈现了建设的各个环节, 每个环节的信息和指向最大程度地保证了建设的可行性。

## 关键词

智能控制, 实验, 建设, 目标, 任务驱动, 硬件平台

# Research on Experiment (Practice) Construction of Intelligent Control under the Background of “New Engineering”

Hang Luo<sup>1</sup>, Jun Zhu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>School of Marxism, Chengdu Agricultural College, Chengdu Sichuan

Received: Mar. 13<sup>th</sup>, 2022; accepted: Apr. 14<sup>th</sup>, 2022; published: Apr. 21<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

Practical oriented application is the fundamental requirement and reform direction of “new engi-

\*通讯作者。

neering” construction. However, many problems exist in traditional experiment (practice train) teaching mode of intelligent control course, such as unclear objectives, scattered system, fuzzy tasks, poor efficiency, lack of experimental teachers with rich engineering experience. In this paper, the significance and characteristics of the construction of intelligent control experiment (practice) are illustrated based on analyzing the causes of the exposed problems, and then the construction system of intelligent control experiment (practice), combined with background, content, method and guarantee, is emphasized to research skill training of basic verification, open-designed practice and solving of “small” engineering problem under the goal of task-driven. The designed technical route presents various aspects of the construction, and the direction and information of each link ensure the feasibility of construction to the great extent.

## Keywords

Intelligent Control, Experiment, Construction, Goal, Task-Driven, Hardware Platform

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 序言

随着我国加入《华盛顿协议》正式成为国际工程教育联盟成员国, 国家从国际化层面对工科人才的培养提出了新的高度和要求。这不但有助于促进我国按照国际标准培养工程师, 提高工程技术人才培养质量, 提升我国工程教育水平, 而且对于推动我国工程师资格与国际互认, 使我国工程技术走向世界具有重要意义[1]。

教育部于 2017 年在全国高校中开启了中国特色的新型工科教育模式(即: “新工科”), 从而将大类工科教育有机地融合在国际工程教育大发展轨道中。作为实现国际“工程教育”目标、要求、方式和手段的重要途径, “新工科”是一项与国际化要求和标准相融合的和传统工科教育有着本质区别的创新性变革, 它对工科教育的人才培养体系结构、人才培养模式提出了新的挑战, 其核心在于契合国际要求和标准, 实现多学科融合、交叉、实践和应用相结合, 从多维(域)视角解决工程实际问题。

在“新工科”背景下, 文章针对传统智能控制课程的实验(实践)教学存在目标定位不明确、体系设置零散、任务界定模糊、开展效率不佳、师资工程经验缺乏等问题, 剖析了问题产生的根源, 阐明了智能控制实验(实践)建设的意义和特征, 进而重点研究了智能控制实验(实践)建设体系。

将智能控制实验(实践)体系作为课程建设来研究, 既有现状梳理、问题剖析, 又有特征分析、意义阐述, 也有方法探索, 更有目标和内容的建设构架, 突出系统性。围绕任务驱动下实验(实践)基础验证技能培养, 开放设计实践, “微”工程问题的解决目标, 重点关注和解决智能控制实验(实践)相关的背景、内容、方法和保障相融合的建设问题。

## 2. 智能控制实验(实践)建设的背景

作为新兴的交叉学科, 智能控制涵盖控制论、人工智能、运筹学和信息论等多门学科, 它主要用来解决传统控制方法无法解决的复杂非线性系统的控制问题, 因而在当今自动化科学中始终保持较高的热度, 具有较强的挑战性[2]。人工智能(比如机器学习、深度学习等)的出现促进了智能控制发展——模拟实现人类大脑进行识别、分析、控制和执行相结合的过程, 具有智能性和控制性。智能控制的属性使其

在军事、航空航天、信息检索与利用、生物、医疗、工业制造和控制等方面有较强的交叉性、融合性和应用性,体现了“新工科”工程类专业的特点,显示出了重要研究价值和广阔的应用前景。

## 2.1. 现状梳理

在智能控制实验(实践)教学体系、学习方式、采用技术和评价手段上,许多学者研究了方法、原理、经验和改革措施,积累了诸多宝贵经验。

Zilouchian, A [3]利用控制平台进行开放式课程考核,其主要理念在于提高学生动手能力和创新实践能力,从而开启了智能控制理论与实践相结合的考核评价模式。Liu Chao Ying [4]等将计算机仿真技术和课程理论有机结合,强化智能控制实践工具的应用及解决问题能力的考核。Min Xie [5]等在教学中通过精细设计、简化课程内容,充分利用 MATLAB 软件工具设计典型实验教学内容,在调动学生的积极性、提高教学质量方面进行了探索。赵新龙[6],陈洋[7]等分别从教学内容、教学方法、考核方式等方面进行课程改革研究——通过优化设计教学体系结构、知识点、实践教学环节的综合考核评价载体和机制,在培养学生的创新思维方式和实际动手能力方面进行了探索。陈锡爱[8]等将卓越工程师培养计划融于智能控制教学之中,围绕工程应用能力锻炼目标,采用“做学教合一”的教学理念,进行“软硬结合”,设计“教学项目”,在培养学生主动参与、协作和创新方面进行了有效探索。李中华[9],韩立强[10],黄苏丹[11]等基于结果导向(Outcome Based on Education, OBE)理念,从广度和深度两个方面聚焦具体了智能控制问题的根本,通过教学问题提炼、引导与解剖等环节,在培养学生学习能力提高方面上进行了研究。

从 1988 年开始,国内出现了以蔡自兴为代表的第三代教材[12]到近年以黄从智[13],刘金琨[14]为代表的第三代教材。早期的教材侧重于对框架形成探索以及对经典问题进行理论和原理分析,其知识较为抽象、深奥,直观性不足,因而应用方式有限。随着计算机软件技术的进步(比如 MATLAB 智能控制工具箱的开发)和硬件控制性能的提高,教材不但在框架理论、技术集成、应用方法上推进并更新,更在硬件在环仿真及半物理验证上提出了方向性要求。

宋原[15]等从智能控制实验教学体系上和考核角度上研究了实验环境、对象、内容和考核方式的优化要求,提出了递进式实践教学方式。魏世勇[16]借助教学实验系统 TD-ACC,验证了利用单神经元控制器对时变系统进行自适应控制的方法和技术。通过动手实践,使学生将感性和理性相结合,深刻理解神经元在智能控制中的训练和学习作用。但是,受限于平台的功能,这仅是一种验证性实验。刘瑞明等[17]利用 MATLAB 的 GUI 设计功能,研制了一套智能控制课程教学演示系统,从而展示了典型智能算法的理论、公式及原理图等信息。王志忠等[18]以 MATLAB 和 VRML (Virtual Reality Modeling Language)为手段,通过虚拟手段设计了具有一定交互性的倒立摆模型。韩治国等[19]采用 MATLAB 语言编写 BP 神经网络训练程序,并利用 Simulink 对一阶倒立摆系统的运行控制进行了仿真。然而,无论是 GUI 设计与演示,还是虚拟仿真,利用纯软件技术都不能精确反映真实系统运行参数变化及其约束关系,其所揭示的探究信息有限,因而本质上是一种“看一看”式的模拟性实验。

## 2.2. 问题剖析

上述状况表明,研究者从不同层面研究并初步回答了“智能控制”实验(实践)建设的基本问题。代表了国内外“智能控制”实验(实践)教学的基本情况。总的说来,实验(实践)教学的研究、分析和论证有一定的针对性。然而,从“新工科”工程应用的结果导向上评价,我国“智能控制”课程的实验(实践)教学的整体效果并不如意。概括起来,有如下几方面的突出问题:

### 1) 实施教学的目标不明确

为什么要开展“智能控制”实验(实践)教学?要解决什么?其目标是什么?部分教师并没能准确把

握“智能控制”实验(实践)教学的真正含义。许多现行“智能控制”实验(实践)教学在这方面缺乏深层次挖掘。

一方面,部分教师过度夸大了实验(实践)的理论学习,把“智能控制”实验(实践)仅仅定位于提高学生对智能性控制的原理进行推理、证明或验证上,从而将实验(实践)的客观现象与过程上升到抽象推导过程,忽略了该课程实验(实践)目标活的灵魂——任务驱动下的基础验证-开放探究-问题解决的递进式教学,实际上造成与“新工科”方向和要求脱节,进而使“智能控制”实验(实践)教学变成了纯理论教学。

另一方面,部分教师尽管从思想上认识到通过强化智能控制实验(实践)解决实际工程问题的意义,但受客观条件限制,仅能“按图索骥”式地“搭建”仿真系统,“调几个参数、看看效果、写写报告”就草草了事。没能以一种“探究式”方式去挖掘“智能控制”实践(实验)中蕴含的丰富变化因素及其相互间的影响作用,因而对学生动手能力,观察能力,分析交流、表达和协作能力的培养和锻炼提高不足。

上述两方面的问题,暴露出智能控制课程实验(实践)教学目标定位模糊,缺乏科学的宏观规划与具体可操作的教学设计,因而导致实践、量化和评估的品质较为薄弱。

#### 2) 教学体系设置的科学性不够

实验(实践)体系设置的科学性不足体现在以下几个方面:

第一,目标制定没能经过反复实践、推敲和论证,缺乏层次性布局和研究(如:基于任务驱动的递进式基础验证、开放探索和“微”工程问题解决)。

第二,实验(实践)的理论、技术和方法设计缺乏有机的联系,逻辑性和连贯性考虑不足。

第三,内容的选取、甄别和设计上较为粗糙,缺乏典型性和细节性规划和考虑。

第四,理论、软件工具和硬件平台应用的结合度不够。“一台计算机包打天下”常常成为主流。

教学体系设置的科学性不足常常使得实验(实践)开展缺乏依据,易陷入随意而为、可深可浅的尴尬境地。

#### 3) 师资的理论、能力和工程背景不足

“智能控制”实验(实践)教学对师资的要求比较高。它需要师资不仅拥有扎实的专业理论知识(涉及到诸多现代控制理论和智能算法),还要具备有较强的研究与探索能力和水平,更要有丰富的智能控制实践经验和工程经历。由于多种原因,目前许多高校的智能控制实验(实践)实验员在专业能力、工程经验背景上与“新工科”的要求存在一定差距,这些差距是影响课程实验(实践)开展深度和广度的短板。

#### 4) 缺乏优质的教材

优质的“智能控制”实验(实践)教学书籍缺乏。其主要原因在于三方面:

第一,实验(实践)教材的设计往往流于一种传统模式,其总体思想、设计方法和编排体例较为陈旧,对解决问题焦点的把握度不够。

第二,实验内容相对基础,大多包括模糊逻辑、人工神经网络、遗传算法等,鲜有涉及机器学习(深度学习)算法的实验与应用。

第三,教材内容过多关注验证,开放探索性和任务驱动性(“微”工程项目解决)设计不足。

#### 5) 学生缺乏探索的积极性和主动性

学生对智能控制实验(实践)探索的积极性和主动性普遍不足,具体说来,主要有以下几方面的原因。

其一,大部分学生只经历了自动控制原理的基础性学习,没有系统地接受控制理论与应用性实践,甚至在利用计算机工具(比如 Matlab 软件)进行辅助设计、仿真、分析等训练上普遍薄弱,对控制理论与实际应用的结合缺乏直观性理解。

第二,智能控制课程的理论深奥抽象,知识结构复杂,学生在理解消化上存在固有困难。这种困难

常常制约着学生对实验本身进行深层次理解和探索。

第三, 学生实验(实践)训练不足, 部分学生对专业理论和实践训练进行相互支撑的观念模糊, 缺乏关注意识, 对关键现象的敏感性不足, 对本质问题和现象缺乏关联性思维。

第四, 智能控制实验(实践)内容设置不合理、教学方法不恰当, 实验人员专业水平和工程实践能力不足等。

### 2.3. 问题评述

实验(实践)环节是智能控制教学中的一个重要子环节。尽管诸多高校逐步开始加强实验室资源利用和实验平台整合。但是, 这些仍然存在一些问题。首先, 利用平台进行实验(实践)环节大多止步于仿真与验证层面, 仅仅是增加学生编程工作量或修改实验参数, 对学生的动手实践能力的培养和提升有限。其次, 资源利用存在较大的依赖性, 这和主动开发(发现问题, 分析问题和解决问题)迎接挑战有着本质的区别。对于理论的理解与应用, 前者是浅尝辄止的, 而后者是根深蒂固的。

总之, 传统智能控制教学与实验(实践)缺乏系统性研究。研究大多是局部地、蜻蜓点水式地就事论事, 过多关注问题暴露, 缺乏深层次的理论研究与科学分析, 没能从目标、任务、措施、方法等层面深入进行系统性、实验(实践)性、工程应用性研究[1]。智能控制实验(实践)建设是一个涵盖诸多环节的复杂体系, 其核心是智能控制理论与工程性训练和实践相结合。在质和量上, 目前的实验(实践)体系对于工程应用的促进服务和支撑还相对落后, 这离“工程应用型人才”的培养目标还有很长的路要走。

## 3. 智能控制实验(实践)建设的特征

### 3.1. 理论支撑性

智能控制实验(实践)理论和智能控制实验(实践)建设理论具有明显区别。前者从专业角度谈实验(实践)对象本身(验证什么问题, 解决什么问题, 关键核心问题等), 具有技术与自然属性, 而后者则从教育原理、方法、规律层面研究建设课题, 涉及教育学、心理学、系统工程等, 具有较强的理论性。

从源泉上讲, 没有理论指导的智能控制实验(实践)建设是无源之水、无本之木, 甚至是天马行空。从品质上讲, 没有理论指导的智能控制实验(实践)建设又可能陷入一系列方法、经验之谈, 有可能格局不高, 甚至根基不牢; 从认知上讲, 没有理论指导的智能控制实验(实践)建设可能违背学生心理认知规律, 从实验(实践)教学一开始就陷入拔苗助长、急功近利的困境, 或者落入“形似而非神似”的“走秀透”过场, 对学生智能控制实验(实践)兴趣的建立和探索产生负面影响; 从保障上讲, 没有组织、约束和规范的智能控制实验(实践)建设可能轰轰烈烈开始而草草应付收场, 出现“虎头蛇尾”式结果。

### 3.2. 系统架构性

系统观点是智能控制实验(实践)建设的核心。没有一套完整的设计体系, 智能控制实验(实践)建设很可能是零星碎片化的、孤立分散的。只有构建好体系, 设计好框架, 进而科学地充实并落实其中的内容、方法、手段和技术, 才能是使智能控制实验(实践)建设有的放矢, 方向清晰, 目标明确。

### 3.3. 应用目标性

工程应用性目标和原则是智能控制实验(实践)建设的灵魂。智能控制实验(实践)建设的落脚点是通过对一系列环节的相互促进与配合, 培养“智能 + 控制”的专业“应用型”人才。“应用型”不仅以专业理论本身为基础, 更以实验(实践)技能培养和“微”工程问题解决为依托。而应用的最后一里路的关键是充实工程性实验(实践)建设。要实现这样的目标, 只能以课程本身的理论为基础, 通过课程实验(实践)建设

的各个环节来推动和保障。

### 3.4. 结果导向性

智能控制实验(实践)建设的目标始终与“新工科”建设的要求相契合,其问题驱动与解决的理念和“国际工程教育”的成果导向(即所谓 OBE 教育)思想是一脉相承的。实验(实践)目标需要通过一系列产出(成果)来表征,而结果导向是新要求和评价下课程学习效果的直接规定和体现,它们具有一系列前后相承的关系——解决取得成果的驱动力(国际化工程要求,国家及经济社会发展需要),研究取得成果的表现形式(“微”工程问题的解决),设计取得成果的载体(实验实践平台、方法和手段),评价取得成果的方式(手段和策略)。

智能控制实验(实践)建设的成果导向性是对从传统智能控制实验(实践)理论与工程实践脱节、单纯通过“机(计算机)上谈兵”仿真、“调调参数、看看结果”验证模式的否定。

### 3.5. 持续改进性

在国际化工程教育大发展潮流中,“新工科”智能控制技术研究的热点,经验和成果处在日新月异的更新换代之中,相应的实验(实践)建设思想、理论、方法、技术及实现手段等需与时俱进更新。正如建设研究方法之一——灵活性研究(动态更新)一样,因应新形势人才培养要求的变化而变化,智能控制实验(实践)建设需要通过目标达成评价与促进提高机制来动态调整,因而建设是动态的、闭环持续改进的。

综上所述,智能控制实验(实践)建设将理论、目标和结果等关系用系统的加以描述,并用持续改进的闭环形式加以表征(图 1)。

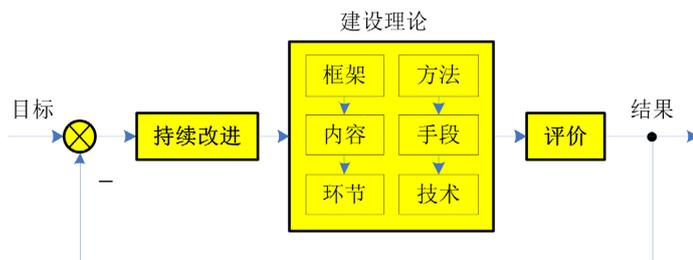


Figure 1. Closed-loop characteristics of intelligent control experiment (practice) construction

图 1. 智能控制实验(实践)建设的闭环特征

## 4. 智能控制实验(实践)建设的意义

智能控制实验(实践)建设事关应用人才培养落地,其最终指向是学生具有解决智能控制“微工程”问题的技能。具有极其重要的意义。

### 4.1. 实验优化性意义

针对工程实践需求及传统实验(实践)方式陈旧落后的现状,通过课程建设方式,强化实验(实践)体系平台建设支撑性作用。其优化意义主要体现三个方面:

第一,控制与参数优化需要。通过面向验证、设计和问题解决的在线系统设计,将被控对象的运行状态及各种参数处于全程监控和量化比较之中,使得控制器的性能得到直观呈现,避免控制过程抽象笼统。这不但能提示控制器的改进方向、促进对被控对象参数进行优化设计,而且对于聚焦问题本质、促进学生实验(实践)技能提升具有指导性意义。

第二,内容与模式优化需要。实验(实践)内容的层次性设计是体系建设的根本性要求和原则。故无论

软件还是硬件部分, 均需考虑内容的可拆分性、组合性、专属性(具体对象和任务)和通用性(公共通道和模块)。建设一体化平台(体系)实验(实践)为内容的层次性设计和多样化模式提供最直接的手段和保障。

第三, 考核与评价优化需要: 智能控制实验(实践)考核的内容是多方面的, 不但涉及控制算法的设计与测试, 而且需要搭建硬件系统进行调节(试), 更需要联合测试。在这个过程中, 考查学生协作交流、实验操作、问题解决能力的方式是形成性评价, 需要借助多元化评价手段。建设统一型号、统一质量标准的高可靠智能控制实验系统(平台)将为实验考核方式的优化设计提供重要基础。

## 4.2. 改革创新性意义

传统智能控制课程的实验(实践)通常借助 Matlab/Simulink 进行离线设计和理想化仿真验证。但理想化的仿真条件往往不能真实地描述、解释实际系统的条件, 因而仿真与系统的实际结果相差很大。不仅如此, 纯粹仿真不易监控, 存在实验抽象、解释力弱、适应性差的弊端。传统智能控制实验(实践)模式已不能满足新形势下学生创新能力培养的需求。

快速建立系统控制原型(半物理对象)并对其进行有效性验证已越来越重要。以智能控制理论和技术为支撑, 人机交互为工具、平台解析手段为原则的硬件在环智能控制实验(实践)教学改革已迫在眉睫。在建设过程中, 集智能控制算法、硬件在环测试、参数状态监测、在线模型参数修正、I/O 板卡管理与测试、仿真全过程实时监控于一体的实验(实践)平台, 将对传统智能控制的仿真实验带来变革性突破。

## 4.3. 工程实践性意义

作为手段和载体, 建设优质硬件在环智能控制实验(实践)平台是智能控制本身从理论走向实践的必由之路, 它将变革传统智能控制实验教学的方法、手段和技术。通过吸收已有实验(实践)平台的建设的优点, 整合并借鉴优秀的建设方案和技术, 从大视角、大格局、高起点、高标准地建设智能控制实验(实践)平台系统, 这对建立一整套较为完善的智能控制实验(实践)教学体系, 促进我国“新工科”关于实践性建设要求的落地无疑具有重要价值和积极推动意义。

## 5. 智能控制实验(实践)建设内容

智能控制实验(实践)建设是一项集理论、原则、思想、方法和技术于一体的系统性工程, 它们共同服务于智能控制工程应用性人才培养。建设内容主要包括以下 5 个方面。

### 5.1. 实验(实践)教学大纲

大纲制定是课程建设的首要问题。它通过制定规范性文件指导实验(实践)教学工作的开展。课程大纲要遵循正确的指导思想——不仅要符合专业培养目标要求, 而且要服从智能控制课程体系结构及教学计划安排的整体要求(注: 专业培养目标和实验(实践)课程教学目标有着明显的区别。前者从人才的综合性素养来界定, 契合“新工科”人才标准, 具有宏观属性, 而后者从课程角度出发, 借助实验(实践)手段, 运用理论、方法和知识解决具体问题而所做的规定, 强调解决问题的技能, 具有微观属性)。在“国际工程教育”、“新工科”建设要求下, 大纲需要明确课程的性质、任务和目标, 着重研究四方面的内容: 教学目标, 教学内容, 教学环节, 教学目标达成(措施、设计、分析与改进)。

### 5.2. 实验(实践)教学开展

厘清理论线索, 聚集问题根本, 解析任务层次, 掌握操作技能是对传统智能控制实验(实践)教学开展模式的根本性变革。与此同时, 通过发扬和否定(所谓扬弃), 对智能控制实验(实践)教学开展过程进行策略和方法上的研究和探索, 无疑会对实验(实践)教学效率的提升起到事半功倍的效果。实验(实践)教学开

展重点关注两方面策略的运用: 其一, 罗森塔尔心灵契合效应[20], 其二, “探究式”氛围设置[21]。

### 5.3. 实验(实践)教材建设

作为智能控制实验(实践)课程建设的重要组成部分, 教材是教学内容和课程体系的集中体现, 是师生开展实验(实践)教学的主要依据。一般说来, 教材建设包含指导思想、组织机构和编写原则。下面主要对指导思想和编写原则进行分析。

#### 1) 教材建设的指导思想

教材建设的指导思想重点考察两点:

第一, 符合时代要求, 高起点、高要求和高标准谋篇布局, 契合“国际工程教育”“新工科”要求, 具备前瞻性。

第二, 体现学校“工科”工程应用性人才培养的办学方向, 结合教学改革, 促进智能控制师资特别是实验教师在理论和实践水平上提升。

#### 2) 教材的编写原则

对于编写原则, 重点关注四方面内容。

第一, 兼收并蓄优秀实验(实践)经验、案例, 保持先进性。

第二, 规划层次, 研究梯度, 设置发现 - 分析 - 解决的逻辑关系, 突出科学性。

第三, 立足基础验证巩固, 开放实践训练, 聚焦“微”工程问题解决主线, 具备系统性。

第四, 在不失专业用语严谨的条件下, 力求语言表达简洁明了, 描述或解释直达主题, 体现实用性。

总之, 教材建设需在广泛调研国内外智能控制实验(实践)教材优缺点的基础上, 充分论证既符合中国国情又适应“工程应用型”人才标准的编写思想和原则, 进而根据实验(实践)教学过程的理论分析、调研结论和经验总结, 出版具有鲜明专业特色的智能控制实验(实践)教材。

### 5.4. 实验(实践)师资建设

智能控制实验(实践)对实验师资的专业素养要求较高。考虑到智能控制实验(实践)师资是“工程化”人才培养的执行者和落地者, 因此, 建立一支兼具专业水平和实践能力, 同时又有教学经验的实验师资队伍是实施“智能控制”实验(实践)建设的关键, 具有重要战略意义。

师资建设研究需要关注两个方面的内容。

#### 1) 师资队伍建设的指导思想

第一, 考虑到智能控制实验(实践)师资兼具理论和实践(特别是工程背景)水平, 成长不易, 因此, 建设必须首先考虑长效性思想。

第二, 如果智能控制实验(实践)师资身兼数岗或频繁调动, 则很难保证课程建设成功, 因此, 稳定性建设思想需重点关注。

第三, 智能控制实验(实践)特别是开放设计与“微”工程问题的解决具有临场性, 因而具有很大的不确定性, 挑战性较强, 实验师资所付出的时间、精力和劳动需要得到特别关注, 因此建设的保障性思想不可或缺。

#### 2) 师资队伍的建设方法

师资队伍建设方法从内外两方面进行考虑。

第一, 外因促进。包括选贤用能(德才兼备, 爱岗敬业), 培训进修, 产教融合, 协同育“师”和技能传承(所谓“传帮带”)。

第二, 内省修为。包括师资终身学习自觉、竞争挑战自律、协作合作自为的“修炼”[22]。

## 5.5. 实验(实践)体系建设

智能控制实验(实践)的有效开展依赖于优质的智能控制算法、高速稳定的硬件处理系统和被控对象的准确模型(信息)。实验(实践)建设体系的内容是综合多样的。涉及建设原则、评价和板块。

第一,实验(实践)体系的原则主要包括理论支撑、任务驱动和人机交互。将这三方面的原则有机结合,突出实践性、训练性和融合性的实验(实践)是将“工程教育”“新工科”从学科及人才培养落到实处的重要途径。

理论支撑的核心在于对理论进行阐释、挖掘、推导、应用、评价、改进等进行剖析,夯实学生理论基础和研究思想,从实验(实践)角度交给学生“授人以渔”的探索方法,以促进学生对实验(实践)目标和任务进行理性思考;任务驱动的本质是“给定问题、任务和目标”进行开放性实验(实践),以训练学生对的实际工程性问题的解决能力。在硬件平台(即:控制对象的专用软件硬件)支撑下,人机交互的本质是 Matlab/Simulink 软件和被控物理对象的信息进行实时传递和相互作用,以实现精准控制。

第二,梯度性实验(实践)成效需要通过评价模式设计和执行加以确认。首先,结果导向使得任务驱动下的量化目标变得清晰,由此细化各种评价指标;其次,形成性评价贯穿于实验(实践)活动的全过程。通过对学生实验(实践)的协作能力、交流品质、技能操作、方案构思、控制执行、分析评价等过程的监测,使考核形式多元化并具调节性,从而明确实验(实践)中存在的问题和改进的方向,为持续改进奠定基础;最后,受多种不确定性因素的影响(比如:主体认知、理解和设计水平)智能控制实验(实践)目标达成常常不会立竿见影,甚至会出现差异,这就需要根据形成性评价中各种问题的暴露进行闭环调节——所谓持续改进。

第三,控制系统性能优劣与否,主要取决于控制器的结构、规则、决策及推理算法。为了提高系统执行的精确性,控制器的算法全部通过实时、在线的 Matlab/Simulink 设计来完成。控制器算法实验(实践)是系统的核心。因此,建设以专题的形式研究典型智能控制问题的控制理论、系统结构和实验(实践)要求。进而以基础验证实践、开放设计和“微”工程形式递进开展。

将工程实际中的任务以专题形式加以描述和设计是智能控制验证(实践)面向“产出”(即:“微”工程问题解决)的最终目标。该目标需要在集控制算法、操作界面、硬件处理系统和被控对象于一体的平台上加以实现。因此,硬件在环平台(半物理平台)的研究是实现建设目标的重要内容。该内容主要包括:主控(嵌入式)系统设计和 OPC (OLE for Process Control, OPC)技术实现。前者通过目标性能、接口控制和定制设计保证平台能够借助 Simulink 工具箱对可控对象进行解释与精准控制,而后者则保证应用程序(软件界面)对控制过程的信息进行准确解析。

智能控制实验(实践)建设的五大部分内容是课程建设的核心,但它们并不是建设的全部。课程建设的科学性和保障性需要通过一系列建设方法和制度来保障。建设方法和保障措施通过下文的总体技术路线加以反映。

## 6. 智能控制实验(实践)建设的技术路线

为了使智能控制实验(实践)建设有的放矢,需要设计为实现研究目标而采取准备采取的技术手段、具体步骤及解决关键性问题的研究途径(框架结构及流程)。下面分别给出实验(实践)建设体系和硬件平台建设体系的技术路线。

### 6.1. 智能控制实验(实践)建设的技术路线

建设的总体技术路线如图 2 所示,它包括四个模块,即:建设背景,建设内容,建设方法和建设质量保证。它们之间具有较为密切的关系,其逻辑指向具有以下特点。

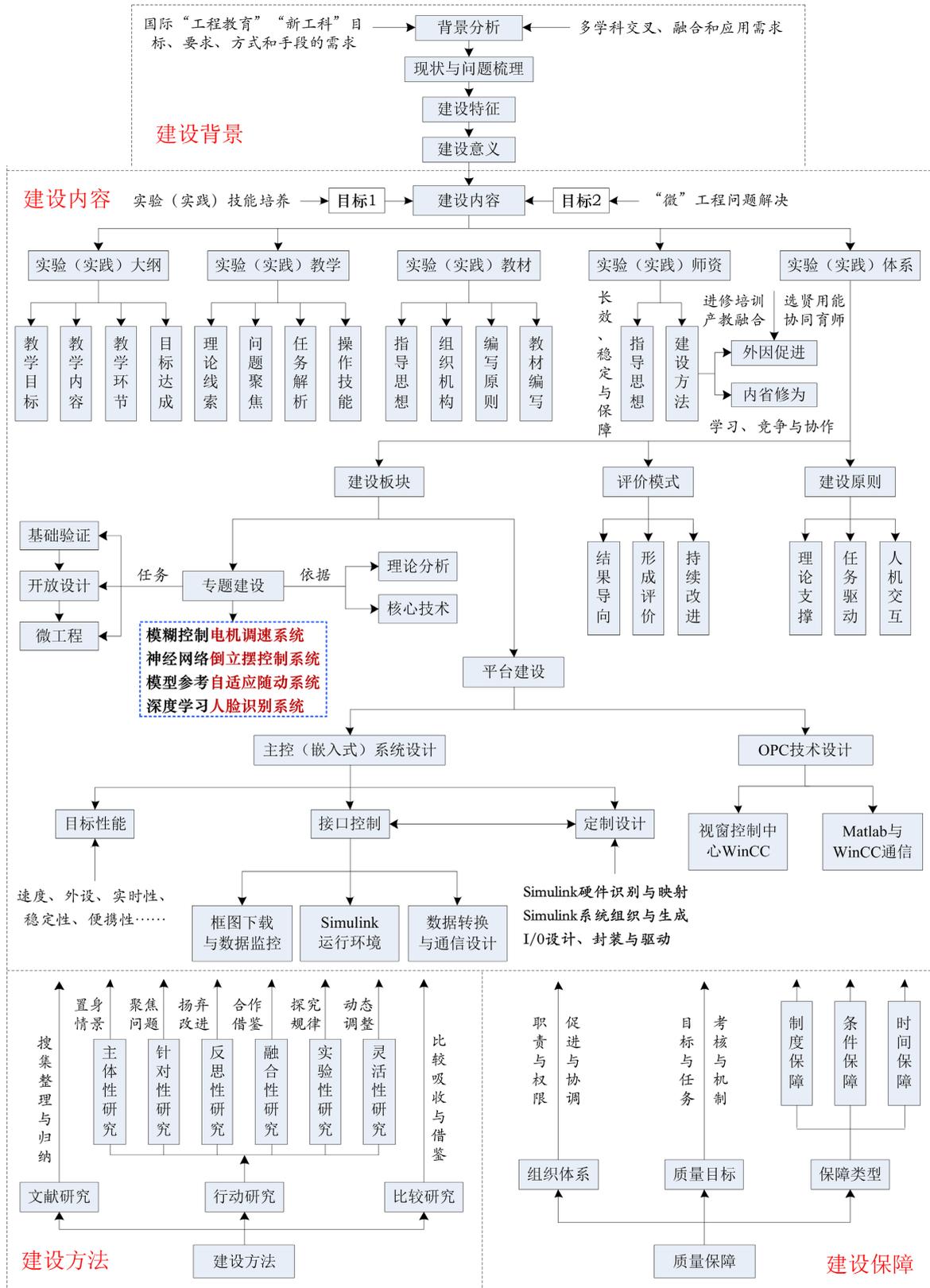


Figure 2. Technical route of intelligent control experiment (practice) construction  
图2. 智能控制实验(实践)建设的技术路线

第一, 研究内容是核心, 具有多分支性, 主要分成 5 个子模块而分级展开, 它们贯穿于整个建设的始终。

第二, 建设背景是纲, 它是建设开展的依据, 具有统领方向的作用。

第三, 建设方法是手段, 它们从不同角度保证研究的科学性, 具有系统性、认知性和规律性。很明显, 智能控制实验(实践)建设本身具有显著的实践性、动态性和改进性, 绝不可能通过一劳永逸或想当然地闭门造车而获得。行动研究方法[23] (Action Research)是保障建设科学性的重要方法。

第四, 质量保障是促进和约束机制, 它为整个实验(实践)建设的推进建立一套规范化的具有约束性的措施。

## 6.2. 实验(实践)硬件平台的技术路线

硬件平台是实验(实践)开展的载体(桥梁)。控制算法借助硬件平台的高速信息处理技术对被控对象进行实时精准控制。因此, 高质量的硬件在环平台是智能控制实验(实践)建设由理论走向实践的重要支撑手段。硬件平台的总体技术路线[24] (图 3)包括三个模块, 即: 被控对象(实体), 控制设备(含接口与通信协议), 上位机(含 Matlab 控制算法和操作界面)。其中, 控制设备(硬件平台)通过定制设计, 识别被控对象的信息, 并将其映射至 Simulink 系统进行封装与驱动。接口控制技术则通过定制的外部 S-Function 实现框图下载、指令监控、维护 Simulink 环境(实现精准调度)、数据转换和通信等功能。

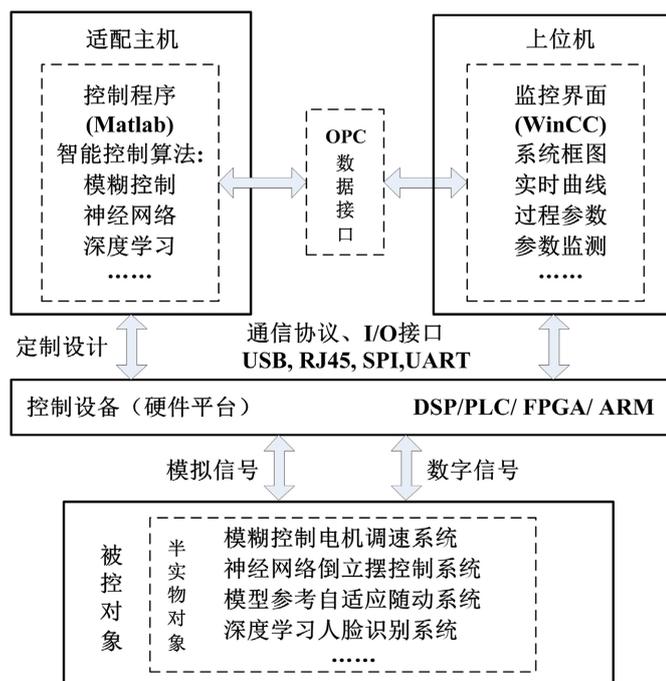


Figure 3. Technical architecture of hardware-in-the-loop simulation platform

图 3. 半实物仿真平台的技术架构

清晰合理的技术路线是顺利实现既定目标的重要保障。建设(设计)的技术路线尽可能地呈现了开展研究所需的各个环节, 每个环节的指向和信息是明确的。这种设计最大程度地保证了建设的可行性。

## 7. 结束语

面向实际应用是“国际工程教育”“新工科”建设的根本要求及改革方向。本文剖析了现行智能控

制实验(实践)的现状及问题,从建设的角度阐明了智能控制实验(实践)建设的意义和特征,研究了智能控制实验(实践)建设的内容和技术路线(总体设计与平台设计)。以基础验证、开放设计和“微”工程问题解决为导向目标的实验(实践)建设是对传统智能控制实验(实践)教学内容和实现方式的根本性变革。

智能控制实验(实践)建设是一套包含多个环节的科学体系,各环节之间相互促进,相互制约。从理论和实践上进行智能控制实验(实践)建设有助于为决策部门从顶层设计并制定高校智能控制实验(实践)建设方案、落实必要的保障措施提供重要参考。

## 基金项目

四川大学新世纪高等教育教学改革工程项目(SCU9162)。

## 参考文献

- [1] 罗航, 朱君, 徐晓秋, 等. 高校全英文专业课程建设及质量保障研究[J]. 教育进展, 2020, 10(4): 550-565.
- [2] 胡蓉, 钱斌, 祝晓红. 研究生“智能控制”课程教学改革与实践[J]. 电气电子教学学报, 2015, 37(5): 33-34, 50.
- [3] Zilouchian, A. (2003) A Novel Intelligent Control Laboratory for Undergraduate Students in Engineering. *Proceedings of the 2003 American Control Conference*, Vol. 1, 633-638.
- [4] Liu, C.Y., Song, Z.Y. and Song, X.L. (2010) Teaching Reform Based on the Combination of Computer and Curriculum Group. *Proceedings 2010 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications*, Wuhan, 22-23 May 2010, 1-4. <https://doi.org/10.1109/IWISA.2010.5473631>
- [5] Xie, M., Wei, D., Ke, H.S., et al. (2013) Reform and Practice on the Course of Intelligent Control. 2013 *The Fourth International Conference on Information, Communication and Education Application*, Hong Kong, 1-2 November, 2013, 521-524.
- [6] 赵新龙. 智能控制课程应用型教学改革探析[J]. 中国电力教育, 2014(8): 27-28.
- [7] 陈洋, 吴怀宇, 程磊. 研究生课程“智能控制”教学改革与实践[J]. 电气电子教学学报, 2017, 39(4): 76-79.
- [8] 陈锡爱, 卫东, 王凌, 等. 项目教学在智能控制终端技术课程教学中的应用和研究[J]. 教育教学论坛, 2014(51): 172-173.
- [9] 李中华, 林柏顶, 李晓东. 问题教学法驱动的智能控制与计算智能课程教学研究[J]. 计算机教育, 2017(10): 97-99.
- [10] 韩立强, 谢平, 童凯. “智能控制”课程综合教学改革研究[J]. 电气电子教学学报, 2016, 38(5): 38-39, 52.
- [11] 黄苏丹, 胡智勇, 曹广忠, 等. 基于 OBE 理念的智能控制课程教学改革[J]. 高教学刊, 2020(14): 109-113.
- [12] 蔡自兴. 智能控制(全国统编教材) [M]. 北京: 电子工业出版社, 1990.
- [13] 黄从智, 白焰. 智能控制算计及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [14] 刘金琨. 智能控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2020.
- [15] 宋原, 郭磊, 孙腾跃. 《智能控制》递进式实验教学环节设计[J]. 中国多媒体与网络教学学报, 2020, 10(28): 102-104, 242.
- [16] 魏世勇. 智能控制课程实验教学探讨[J]. 科教导刊, 2017(2): 114-115.
- [17] 刘瑞明, 王经卓, 龚成龙. MATLAB 辅助智能控制课程教学实践[J]. 重庆与世界, 2015(11): 8-12.
- [18] 王志忠, 王松伟. 基于虚拟实验室的智能控制教学模式与方法研究[J]. 福建电脑, 2012, 28(12): 175-176.
- [19] 韩治国, 陈能祥, 许锦, 等. 基于 BP 神经网络的倒立摆智能控制研究[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(6): 101-106.
- [20] Rosenthal, R. and Jacobson, L. (1968) *Pygmalion in the Classroom: Teacher Expectation and Pupils' Intellectual Development*. Holt, Rinehart & Winston, New York.
- [21] 朱君. “探究式”小班化教学的理论及实践研究[J]. 当代教育科学, 2013(19): 58-59.
- [22] (美)彼得·圣吉. 第五项修炼——学习型组织的艺术与务实[M]. 郭进隆, 译. 上海: 上海三联书店, 2001.
- [23] Nunan, D. (1990) *The Teacher as Researcher*. In: Brumfit, C. and Mitchell, R., Eds., *Research in the Language Classroom*, Modern English in Association with the British Council, London, 16-32.
- [24] 阎群, 李擎, 李希胜, 等. 基于 OPC 技术的先进控制半实物实训平台设计[J]. 实验技术与管理, 2020, 137(7): 100-104.