# 《工业过程控制》课程教学大纲

|  |  |
| --- | --- |
| 课程名称：工业过程控制 | 课程代码：ELEA2022 |
| 英文名称：Industrial Process Control | |
| 课程性质：专业选修课程 | 学分/学时：2学分/36学时 |
| 开课学期：第6学期 |  |
| 适用专业：电气工程及其自动化 | |
| 先修课程：自动控制原理、检测技术与仪表、单片机原理与应用、信号与系统 | |
| 后续课程：无 | |
| 开课单位：机电工程学院 | 课程负责人：杨歆豪 |
| 大纲执笔人：胡学武 | 大纲审核人：余雷 |

## 一、课程性质和教学目标（在人才培养中的地位与性质及主要内容，指明学生需掌握知识与能力及其应达到的水平）

**课程性质：**工业过程控制是电气工程及其自动化专业的一门专业选修课程。本课程针对电气工程及其自动化专业的特点，聚焦在过程控制的研究性学习，为从事石油、化工、冶金、电力、轻工、纺织、医药、建材、食品等工业部门中的温度、压力、流量、液位、成分等过程变量的过程控制系统的研发与生产工作，积累基本的自动化技术及其应用的理论基础和工程实践知识。

**教学目标：**过程控制技术是工业部门生产过程的自动化技术，过程控制系统设计是根据工业过程的特性和工艺要求，通过选用过程检测控制仪表构成反馈系统，再通过控制器参数整定，实现对生产过程的最佳控制，从而提高产品数量与质量、节能降耗与保护环境、增长经济效益与社会效益。本课程的主要内容包括：（1）工业过程控制的特征；（2）生产工艺设备过程建模、过程变量检测与变送、控制器（调节器）和执行器（调节阀）；（3）过程控制系统的控制方案设计和工程设计要点、检测控制仪表的选择要求、直接数字控制技术、控制器参数的工程整定方法、串级控制及其工作特点；（4）复杂控制方式：前馈控制、大滞后补偿控制、比值控制、均匀控制、分程控制、选择性控制、多变量解耦控制；（5）计算机过程控制系统、液位控制系统演示实验。通过上述相关内容的学习，将努力使学生掌握过程控制系统分析、设计和优化的基本原理和方法，为从事其工程技术的设计与制造、安装与调试、安全与维护等具备工程师素养而打下坚实的基础。

本课程的具体教学目标如下：

1. 掌握过程控制的特征和过程控制系统中的四个基本单元的特性（过程建模方法，各种过程参数检测变送的原理与功能、量程与精度、选用与安装，电动调节阀和气动调节阀的工作原理，控制器在过程控制系统中的作用）。培养学生对工业生产中的不同装置和部件的工程技术识别处理能力；
2. 熟悉过程控制系统的工程设计的要求、步骤、内容和安全意识，掌握过程控制的方案设计、检测控制仪表的选择方法、数字控制器的模拟化设计处理、控制器参数的工程整定方法、串级控制的工作特点。培养学生具备设计工业自动控制系统的工程技术分析计算能力；
3. 掌握复杂过程控制系统中的各种控制策略及其解决过程控制中的特殊专题，了解计算机过程控制系统及其在工业控制领域的影响。培养学生应对工业生产过程中复杂多变情形下的工程技术综合运用能力。

**教学目标与毕业要求的对应关系：**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 毕业要求 | 指标点 | 课程目标 | 对应关系说明 |
| 毕业要求1：  工程知识 | 1-2 掌握自动控制、计算机、检测技术与仪表的基础知识，能用于自动化系统的反馈和控制问题 | 教学目标1 | 要求掌握被控过程、检测变送器、调节阀和调节器，具备工程技术识别处理能力。 |
| 教学目标2 | 要求掌握过程控制系统的工程设计全过程，具备工程技术分析计算能力。 |
| 毕业要求3：  设计/开发解决方案 | 3-3 能够对软硬件的部件进行设计和实现，并对设计方案进行优选，体现创新意识 | 教学目标3 | 要求掌握各种控制策略解决特殊专题，具备工程技术综合运用能力。 |

## 二、课程教学内容及学时分配（含课程教学、自学、作业、讨论等内容和要求，指明重点内容和难点内容。重点内容：★；难点内容：∆）

1. **绪论（2学时）（支撑教学目标1）**
   1. 过程控制发展简介
   2. 过程控制的特点
   3. 过程控制系统的组成
   4. 过程控制系统的性能指标
   5. 本课程的教学内容、课程特点和学习要求

* **目标及要求：**

1. 了解被控对象具有大惯性、大滞后、非线性等多样性；
2. 熟悉过程控制的控制过程多属于慢过程、控制方案具有针对性；
3. 掌握过程控制系统的组成：被控过程、检测器、执行器和控制器，从工艺和控制两方面读懂过程控制系统结构图★；
4. 掌握评价过程控制品质的性能指标★；
5. 了解课程的主要教学内容、学习方法和主要参考资料。

* **讨论内容：**

简要介绍过程控制和运动控制的应用例子，讨论过程控制的主要特征。

* **作业内容：**

1. 强化从工艺和控制的角度读懂过程控制系统结构图；
2. 强化过程控制系统阶跃响应性能指标的计算。
3. **过程建模（3学时）（支撑教学目标1）**
   1. 过程建模的基本概念，自衡过程和无自衡过程的定义
   2. 机理法建模
   3. 测试法建模

* **目标及要求：**

1. 了解过程的数学模型的两种表示方式：参数模型和非参数模型；
2. 理解过程的自衡能力、无自衡能力★∆；
3. 掌握下列过程的机理法建模：自衡过程（单容过程、多容过程、滞后过程）、无自衡过程（单容过程、多容过程、滞后过程）★；
4. 掌握如何由矩形脉冲响应曲线计算获取阶跃响应曲线★∆；
5. 掌握下列情形的测试法建模：由阶跃响应曲线确定一阶环节、一阶加滞后环节的特性参数★；
6. 了解由阶跃响应曲线确定二阶环节及其以上环节的特性参数。

* **讨论内容：**

结合自动控制原理，讨论过程建模的目的。

* **作业内容：**

强化机理建模法和测试建模法的分析计算。

* **自学拓展：**

对于有志继续深造的同学，可以尝试学习最小二乘法建模。

1. **过程变量检测仪表（3学时）（支撑教学目标1）**
   1. 测量误差及其分类、自动化仪表的性能指标与选用
   2. 温度检测与变送
   3. 压力检测与变送
   4. 流量检测与变送
   5. 液位检测与变送

* **目标及要求：**

1. 了解测量的过程、测量误差分类的意义、测量误差的处理；
2. 掌握确定仪表的精度等级与选择仪表的精度等级的区别★∆；
3. 理解从工艺、生产、安全等要求选择确定仪表的功能、量程、精度★；
4. 熟悉各种过程参数传感器的工作原理、变送器的功能；
5. 掌握各种过程参数检测变送器的选用原则、安装原则，以及安全方面的注意事项★∆。

* **讨论内容：**

应用自动控制原理，结合过程控制系统的结构，讨论检测变送器在系统中的作用、以及对其要求。

* **作业内容：**

强化检测变送仪表功能的确定、量程与精度的计算

* **自学拓展：**

针对工业生产对过程参数采集的需求，学习计算机数据采集系统。

1. **执行器（调节阀）（2学时）（支撑教学目标1）**
   1. 调节阀概述
   2. 气动调节阀
   3. 电-气阀门定位器
   4. 电动调节阀
   5. 安全栅

* **目标及要求：**

1. 了解气动调节阀、电动调节阀、液动调节阀的特点；
2. 熟悉气动调节阀的基本结构（执行机构+阀体）、气开气关型式、流量特性（理想流量特性+工作流量特性）★；
3. 了解电-气转换器和电-气阀门定位器的工作原理和作用；
4. 熟悉电动调节阀的结构及其与气动调节阀的不同之处；
5. 了解安全栅的用途、不同类型安全栅的原理。

* **讨论内容：**

针对工业生产中存在的危险性，讨论安全防爆的重要性及措施。

* **作业内容：**

强化工程上执行器气开气关型式的确定主要是服从生产安全的需要。

* **自学拓展：**

用调节阀对流量进行调节的传统方法已受到新技术的挑战，这种新技术就是变频调速，结合运动控制课程学习变频调速，认识其在过程控制中的应用。

1. **控制器（调节器）（2学时）（支撑教学目标1）**
   1. 比例-积分-微分（PID）控制规律及其特点
   2. 模拟控制仪表（简介DDZ-Ⅲ控制器）
   3. 数字控制仪表（简介P900控制器）

* **目标及要求：**

1. 掌握P、I、PI、D、PD、PID控制规律的特点和注意事项★；
2. 通过简介DDZ-Ⅲ控制器，了解模拟调节器的结构和使用；
3. 通过简介P900控制器的特点、技术指标、外部特征、参数设置、通讯等，了解数字调节器的结构和使用。

* **讨论内容：**

控制器是调节过程控制系统性能的关键部件，讨论其与人的关系。

* **作业内容：**

强化PID控制规律的优点及其对过程控制系统性能的影响。

* **自学拓展：**

当今智能控制型式众多，学习实现智能控制器的其他方式。

1. **过程控制设计概要（3学时）（支撑教学目标2）**
   1. 过程控制设计的要求、步骤、主要内容、安全意识
   2. 被控量的选择和控制量的选择
   3. 检测控制仪表的选择

* **目标及要求：**

1. 理解工业生产对过程控制的安全性、稳定性和经济性的要求；
2. 熟悉过程控制系统设计的步骤、内容和安全措施；
3. 掌握方案设计中被控量和控制量的选择原则与方法★；
4. 掌握工程设计中：检测变送器的选择要点、执行器（调节阀）的选择要点（口径大小与工作区间、流量特性、开/关形式）、控制器（调节器）的选择要点（控制规律与过程特性的匹配、正/反作用方式）★∆。

* **讨论内容：**

如何调整控制器的正/反作用方式来保证过程控制系统构成负反馈？

* **作业内容：**

强化过程控制系统方案设计和工程设计的内容。

* **自学拓展：**

方案设计与工程设计既有联系又有区别，探讨他们的重要性。

1. **直接数字控制技术（2学时）（支撑教学目标2）**
   1. 直接数字控制（DDC）
   2. 模拟调节器的离散化方法
   3. 数字PID控制算法
   4. 数字处理

* **目标及要求：**

1. 熟悉过程计算机控制系统和直接数字控制结构；
2. 掌握离散化方法：差分变换法、零阶保持器法★；
3. 掌握位置型PID控制算式和增量型PID控制算式★；
4. 熟悉数字处理技术。

* **讨论内容：**

为什么在实时数字PID控制算式一定要用增量型？不能用位置型？

* **作业内容：**

强化数字控制器的模拟化设计处理。

1. **控制器参数的工程整定方法（3学时）（支撑教学目标2）**
   1. 过程控制系统的投运
   2. 控制器参数的工程整定方法
   3. 单回路过程控制系统设计举例

* **目标及要求：**

1. 了解过程控制系统的投运过程；
2. 掌握控制器参数的工程整定方法：响应曲线法（动态特性参数法）、临界比例度法（稳定边界法）、衰减曲线法（阻尼振荡法）、经验整定法（凑试法）★∆；
3. 熟悉喷雾式干燥工艺设备控制系统设计。

* **讨论内容：**

控制器参数的整定有：工程整定法和理论整定法，讨论其优缺点。

* **作业内容：**

强化控制器参数工程整定方法的计算。

1. **串级控制（3学时）（支撑教学目标2）**
   1. 串级控制系统的提出与结构
   2. 串级控制系统的特点与分析
   3. 串级控制系统的设计与整定
   4. 串级控制系统的工业应用举例

* **目标及要求：**

1. 了解单回路过程控制系统中问题的出现，引发串级控制方案的提出；
2. 掌握串级控制系统的特点和分析过程：改善了被控过程的动态特性、提高了系统的工作频率、对进入副回路的干扰具有较强的抵御能力、具有一定的自适应能力★∆；
3. 掌握串级控制系统的设计方法和其控制器整定方法★；
4. 熟悉加热炉串级控制系统设计。

* **讨论内容：**

结合自动控制状态反馈，进行串级控制结构上的分析。

* **作业内容：**

强化串级控制特点分析和系统设计。

* **自学拓展：**

定量证明串级控制的优点。

1. **前馈控制、大滞后补偿控制（时延控制）（2学时）（支撑教学目标3）**
   1. 前馈控制
   2. 大滞后补偿控制（时延控制）

* **目标及要求：**

1. 掌握前馈控制的概念与特点、实现形式（特别是与反馈相结合）、工业应用★；
2. 理解时延的存在给反馈控制系统带来的影响★∆；
3. 掌握Smith预估补偿控制器的设计方法及实现后系统的量化分析★∆。

* **讨论内容：**

前馈控制和时延控制的控制思想非常理想，但是实现后的效果却经常达不到预期，讨论这两种控制策略的局限性。

* **作业内容：**

强化前馈控制和时延控制的控制策略的分析计算。

* **自学拓展：**

学习预估补偿控制的改进方案。

1. **比值控制、均匀控制、分程控制、选择性控制（2学时）（支撑教学目标3）**
   1. 比值控制
   2. 均匀控制
   3. 分程控制
   4. 选择性控制
   5. 相关工业应用举例

* **目标及要求：**

1. 掌握常用的比值控制方案（特别是单闭环比值控制和双闭环比值控制）和比值控制系统设计（特别是主/副流量的确定和比值系数的计算）★；
2. 熟悉常用的均匀控制方案；
3. 掌握分程控制的类型（调节阀同向/异向动作）、实现（调节阀门定位器或改变控制信号）、分程后调节阀的可调比计算和流量特性的变化★∆；
4. 熟悉选择性控制的特点（采用选择器）和设计方法。

* **讨论内容：**

工业过程的多样性对过程控制提出了不同的要求，讨论为满足这些特定要求应采用哪些技术设备？具备哪些知识？。

* **作业内容：**

强化这四种控制策略的分析计算。

* **自学拓展：**

总结已学习过的各种工业生产过程中出现的问题，及解决这些问题的控制策略思想和方法。

1. **多变量解耦控制（2学时）（支撑教学目标3）**
   1. 举例说明耦合现象对控制性能的影响、耦合系统的数学描述
   2. 耦合程度与性质
   3. 耦合系统过程控制通道的选择（变量配对）
   4. 解耦控制系统的设计
   5. 解耦控制中的其他问题

* **目标及要求：**

1. 理解过程的耦合现象对控制性能的影响，熟悉耦合系统的矩阵描述；
2. 掌握描述耦合程度的量化指数相对增益的定义、求解方法（实验法、解析法、间接法）和相对增益矩阵的性质★∆；
3. 掌握耦合系统中控制量与被控量的配对选择，并由此判断是否需要采取解耦措施★；
4. 掌握下列解耦设计方法：对角矩阵法、单位矩阵法、前馈补偿法★∆；
5. 熟悉解耦控制中的下列问题：部分解耦、解耦系统的简化。

* **讨论内容：**

稳定性是任何控制系统必须首要面对的问题，讨论由耦合引起的不稳定问题。

* **作业内容：**

1. 强化相对增益的求解计算；
2. 强化解耦器的设计。

* **自学拓展：**

耦合系统中的控制器参数整定。

1. **计算机过程控制系统（2学时）（支撑教学目标2、3）**
   1. 集散控制系统
   2. 现场总线控制系统
   3. 工业以太网控制系统

* **目标及要求：**

1. 熟悉集散控制系统的主要特点；
2. 熟悉现场总线控制系统的主要特点；
3. 熟悉工业以太网控制系统的主要特点。

* **自学拓展：**

查阅相关文献，进一步了解计算机过程控制的应用。

1. **锅炉设备的控制（2学时）（支撑教学目标2、3）**
   1. 锅炉设备生产蒸汽流程
   2. 汽包水位控制系统
   3. 锅炉燃烧控制系统
   4. 过热蒸汽温度控制系统

* **目标及要求：**

1. 熟悉锅炉设备生产蒸汽流程；
2. 熟悉汽包水位控制系统的设计；
3. 熟悉锅炉燃烧控制系统的设计；
4. 熟悉过热蒸汽温度控制系统的设计。

* **自学拓展：**

查阅相关文献，进一步了解锅炉设备在工业生产中的应用。

1. **液位控制系统演示实验（3学时）（支撑教学目标1、2、3）**
   1. 介绍过程控制教学实验台、检测控制仪表、液位控制系统的组成、二级计算机管理系统
   2. 进行液位控制系统实验（共4组PID参数）
   3. 用记录的实验数据来计算系统的性能指标

* **目标及要求：**

1. 识别工业生产中的检测控制仪表、过程控制系统构成★；
2. 体验工业过程控制的特征★；
3. 加深对PID控制律影响控制系统性能指标的认识★。

## 三、教学方法

工业过程控制这门课程是控制工程应用的主要领域之一，涉及的基础知识较多，如自动控制理论、计算机原理与应用、检测技术与仪表、信息网络与通信等，对教学提出了较高的要求，授课教师与听课学生都要做好课前准备、课堂上课和课后总结这三个基本环节的教学工作。

教学目标1是本课程的基础部分，也是授课的第一阶段要讲授的教学内容，可以通过举例说明过程控制的特征，针对过程建模的数学要求要有严格的推导过程，对检测控制仪表的授课重点可以放在阐述其工程上的使用事项。

教学目标2是本课程的核心部分，也是授课的第二阶段要讲授的教学内容，要紧紧抓住过程控制系统工程设计这一关键点，突出控制理论与控制工程的结合，特别要讲透过程控制工程技术的分析计算处理方法，必要的数学推演是合适的。

教学目标3是本课程的提高部分，也是授课的第三阶段要讲授的教学内容，通过提出工业生产中遇到的各种特殊问题，阐明如何从控制的角度来应对，如何从工程的角度来实现，如何应用新技术提升过程控制的发展。

在教学方式上，根据具体教学内容，综合运用课堂讲授、课堂讨论、课堂练习、发现学习法和自学指导法，通过引入问题和启发式教学，使学生更加明确教学内容的知识体系，引导学生主动学习，激发内在学习动机，提高课堂的积极性。

在教学方法的实际执行过程中，每个教学环节都应具有明确的目的性。根据教学过程中的实际效果、学生对知识点的掌握和应用情况来不断改进。教学效果不好、学生对知识点理解程度不高时，应适当调整教学方法，或在讲授后续教学内容时，引导学生前后联系，结合前置难点内容进行讨论，强化知识掌握。在学生对知识掌握情况较好，系统性较好的情况下，适当提高教学内容的难度，设置具体应用问题，引导学生探索解决方案。

## 四、考核及成绩评定方式

**考核方式**：开卷笔试，平时测验及作业

**成绩评定方式**：笔试成绩70%，平时成绩30%

## 五、教材及参考书目

**教材：**

[1] 徐湘元，过程控制技术及其应用，清华大学出版社，2015。

[2] 邵裕森，过程控制工程（第2版），机械工业出版社，2003。

**参考书目：**

1. 李国勇，过程控制系统（第2版），电子工业出版社，2013。
2. 张宏建，过程控制系统与装置，机械工业出版社，2012。
3. 刘波峰，过程控制与自动化仪表，机械工业出版社，2012。
4. 林锦国，过程控制（第3版），东南大学出版社，2009。

**2016年7月修订**