

# 课程思政示范课程、教学名师和团队申报书

课程名称： 控制工程基础

课程负责人： 李小伟

联系电话： 18839052368

推荐类别：  职业教育

继续教育

申报学校： 济源职业技术学院

推荐单位： 济源职业技术学院

二〇二二年四月

## 填 报 说 明

1. 每门课程均需明确“推荐类别”，只能从“职业教育”、“继续教育”中选择一个选项填报。
2. 申报课程可由一名教师讲授，也可由教学团队共同讲授。
3. “学科门类/专业大类代码”和“一级学科/专业类代码”请规范填写。没有对应具体学科专业的课程，请分别填写“00”和“0000”。
4. 申报书按每门课程单独装订成册，一式两份。
5. 所有报送材料均可能上网公开，请严格审查，确保不违反有关法律及保密规定。

## 一、课程基本信息

课程名称	控制工程基础																																																																																																																																																																																																																																																							
课程类型	<input type="radio"/> 公共基础课程 <input checked="" type="radio"/> 专业教育课程 <input type="radio"/> 实践类课程																																																																																																																																																																																																																																																							
所属学科门类/ 专业大类代码	装备制造大类/46																																																																																																																																																																																																																																																							
一级学科/专业类代码	机械设计制造类/4601																																																																																																																																																																																																																																																							
课程性质	<input checked="" type="checkbox"/> 必修 <input type="checkbox"/> 选修																																																																																																																																																																																																																																																							
开课年级	三年级																																																																																																																																																																																																																																																							
学时	32																																																																																																																																																																																																																																																							
学分	2																																																																																																																																																																																																																																																							
最近两期开课时间	<p>2021年8月23日—2022年12月31日（附教务系统截图）</p> <p style="text-align: center;">济源职业技术学院全校课表(按课程) 2021-2022学年第一学期</p> <table border="1" style="width: 100%; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th colspan="13">2022-04-18 14:19</th> </tr> <tr> <th>课程</th> <th>学分</th> <th>总学时</th> <th>理论学时</th> <th>实验学时</th> <th>实习学时</th> <th>教师</th> <th>上课班级代码</th> <th>上课班级名称</th> <th>上课组名称</th> <th>上课人数</th> <th>上课人数</th> <th>上课班级构成</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[03700051]控制工程基础</td> <td>2.0</td> <td>32</td> <td>28</td> <td>4</td> <td></td> <td>李小伟[高级工程师]</td> <td>03700051-001</td> <td></td> <td></td> <td>33</td> <td>33</td> <td>机制(本)1901</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>32</td> <td>28</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1901</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>32</td> <td>28</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1901</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>32</td> <td>28</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1901</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>32</td> <td>28</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1901</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>32</td> <td>28</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>03700051-002</td> <td></td> <td></td> <td>32</td> <td>32</td> <td>机制(本)1902</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>32</td> <td>28</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1902</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>32</td> <td>28</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1902</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>32</td> <td>28</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1902</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>32</td> <td>28</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1902</td> </tr> </tbody> </table> <p>2021年2月9日—2021年6月30日（附教务系统截图）</p> <p style="text-align: center;">济源职业技术学院全校课表(按课程) 2020-2021学年第二学期</p> <table border="1" style="width: 100%; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th colspan="13">2022-04-18 14:20</th> </tr> <tr> <th>课程</th> <th>学分</th> <th>总学时</th> <th>理论学时</th> <th>实验学时</th> <th>实习学时</th> <th>教师</th> <th>上课班级代码</th> <th>上课班级名称</th> <th>上课组名称</th> <th>上课人数</th> <th>上课人数</th> <th>上课班级构成</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[037301014]控制工程基础</td> <td>2.0</td> <td>40</td> <td>36</td> <td>4</td> <td></td> <td>李小伟[高级工程师]</td> <td>020751-001</td> <td></td> <td></td> <td>34</td> <td>34</td> <td>机制(本)1801</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>40</td> <td>36</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1801</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>40</td> <td>36</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1801</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>40</td> <td>36</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>020751-002</td> <td></td> <td></td> <td>33</td> <td>33</td> <td>机制(本)1802</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>40</td> <td>36</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>机制(本)1802</td> </tr> </tbody> </table>	2022-04-18 14:19													课程	学分	总学时	理论学时	实验学时	实习学时	教师	上课班级代码	上课班级名称	上课组名称	上课人数	上课人数	上课班级构成	[03700051]控制工程基础	2.0	32	28	4		李小伟[高级工程师]	03700051-001			33	33	机制(本)1901			32	28	4								机制(本)1901			32	28	4								机制(本)1901			32	28	4								机制(本)1901			32	28	4								机制(本)1901			32	28	4			03700051-002			32	32	机制(本)1902			32	28	4								机制(本)1902			32	28	4								机制(本)1902			32	28	4								机制(本)1902			32	28	4								机制(本)1902	2022-04-18 14:20													课程	学分	总学时	理论学时	实验学时	实习学时	教师	上课班级代码	上课班级名称	上课组名称	上课人数	上课人数	上课班级构成	[037301014]控制工程基础	2.0	40	36	4		李小伟[高级工程师]	020751-001			34	34	机制(本)1801			40	36	4								机制(本)1801			40	36	4								机制(本)1801			40	36	4			020751-002			33	33	机制(本)1802			40	36	4								机制(本)1802
2022-04-18 14:19																																																																																																																																																																																																																																																								
课程	学分	总学时	理论学时	实验学时	实习学时	教师	上课班级代码	上课班级名称	上课组名称	上课人数	上课人数	上课班级构成																																																																																																																																																																																																																																												
[03700051]控制工程基础	2.0	32	28	4		李小伟[高级工程师]	03700051-001			33	33	机制(本)1901																																																																																																																																																																																																																																												
		32	28	4								机制(本)1901																																																																																																																																																																																																																																												
		32	28	4								机制(本)1901																																																																																																																																																																																																																																												
		32	28	4								机制(本)1901																																																																																																																																																																																																																																												
		32	28	4								机制(本)1901																																																																																																																																																																																																																																												
		32	28	4			03700051-002			32	32	机制(本)1902																																																																																																																																																																																																																																												
		32	28	4								机制(本)1902																																																																																																																																																																																																																																												
		32	28	4								机制(本)1902																																																																																																																																																																																																																																												
		32	28	4								机制(本)1902																																																																																																																																																																																																																																												
		32	28	4								机制(本)1902																																																																																																																																																																																																																																												
2022-04-18 14:20																																																																																																																																																																																																																																																								
课程	学分	总学时	理论学时	实验学时	实习学时	教师	上课班级代码	上课班级名称	上课组名称	上课人数	上课人数	上课班级构成																																																																																																																																																																																																																																												
[037301014]控制工程基础	2.0	40	36	4		李小伟[高级工程师]	020751-001			34	34	机制(本)1801																																																																																																																																																																																																																																												
		40	36	4								机制(本)1801																																																																																																																																																																																																																																												
		40	36	4								机制(本)1801																																																																																																																																																																																																																																												
		40	36	4			020751-002			33	33	机制(本)1802																																																																																																																																																																																																																																												
		40	36	4								机制(本)1802																																																																																																																																																																																																																																												
最近两期学生总人数	132人																																																																																																																																																																																																																																																							
教学方式	<input checked="" type="checkbox"/> 线下 <input type="checkbox"/> 线上 <input type="checkbox"/> 线上线下混合式																																																																																																																																																																																																																																																							
线上课程地址及账号																																																																																																																																																																																																																																																								

注：（教务系统截图须至少包含开课时间、授课教师姓名等信息）

## 二、授课教师（教学团队）基本情况

课程团队主要成员								
（序号1为课程负责人，课程负责人及团队其他主要成员总人数限8人之内）								
序号	姓名	院系/部门	出生年月	职务	职称	手机号码	电子邮箱	教学任务
1	李小伟	机电工程系	198306	教师	副教授	18839052368	0001226@jyv tc.edu.cn	主讲教师

2	高清冉	机电工程系	197010	教师	副教授	13838902296	1000195@jyv tc.edu.cn	资源搜集、资源整合
3	卫官	机电工程系	199406	教师	助教	18300622322	0001279@jyv tc.edu.cn	主讲教师
4	赵海发	机电工程系	197909	教师	副教授	15660101153	0001228@jyv tc.edu.cn	资源搜集、资源整合
5	秦国防	机电工程系	196009	系主任	教授	15660109588	1000144@jyv tc.edu.cn	资源搜集、资源整合
6	孔宁宁	机电工程系	199001	教师	讲师	13838939625	0001227@jyv tc.edu.cn	主讲教师
7	任艳霞	机电工程系	197904	教师	副教授	13569113097	1000512@jyv tc.edu.cn	主讲教师
8	李艳钰	机电工程系	198605	教师	讲师	15517752922	0000669@jyv tc.edu.cn	资源搜集、资源整合

### 三、授课教师（教学团队）课程思政教育教学情况

课程负责人 情况	<p>（近5年来在承担课程教学任务、开展课程思政教学实践和理论研究、获得教学奖励等方面的情况）</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 河南省高校黄大年式“机电一体化技术”教师团队核心成员（2021年9月，河南省教育厅）。</li> <li>2. 荣获教育部高职高专校长联席会线上教学案例“网上金课”荣誉称号（2020年5月），全国12个优秀案例之一，高职高专线上“高职大讲堂”面向全国直播展示。</li> <li>3. “课程负责人说课”竞赛，校级第二名（2019年5月，济源职业技术学院）。</li> </ol>
-------------	--

	<p>4. 荣获 2019 年济源职业技术学院优秀教师荣誉称号。</p> <p>5. 近五年来主要承担机电工程学院机械设计制造及其自动化应用型本科专业的《控制工程基础》、《测试技术》、《机电一体化系统设计》以及高职机电一体化技术专业的《工业机器人应用》等专业核心课程。</p> <p>6. 持续开展课程思政教学活动；作为控制工程基础课程负责人对课程思政进行了系统、持续的教学实践和课程建设。</p> <p>7. 《控制工程基础》课程思政建设项目，2021 年校级立项。</p> <p>8. 坚持参加“河南省级课程思政教学大赛备赛研讨会”等课程思政教育教学系统培训活动。</p>
教学团队情况	<p>（近 5 年来教学团队在组织实施本课程教育教学、开展课程思政建设、参加课程思政学习培训、集体教研、获得教学奖励等方面的情况。如不是教学团队，可填无）</p> <p>1. 2021 年获批建设河南省高校黄大年式“机电一体化技术”团队</p> <p>2. 2021 年获批建设河南省“机电一体化”教学创新团队。</p> <p>3. 2021 年获批建设教育部就业育人项目。</p> <p>4. 2021 年获批建设河南省职业教育示范性虚拟仿真实训基地。</p> <p>5. 2021 年建设省级在线课程《机械零件典型机构数字化设计》。</p> <p>6. 2021 年主持省级重点项目“高职院校新工科创新创业教育服务区域智能制造实践平台建设的研究与实践”，荣获省二等奖。</p> <p>7. 2022 年 参加首届“中望杯”全国教师信息化创新教学能力大赛（本科组）荣获金奖。</p> <p>8. 2021 年获批济源市人造钻石深加工工程技术研究中心。</p> <p>9. 2020 年主持院级在线课程《机械原理》、《产品数字化设计与》。</p> <p>10. 2021 年立项建设院级课程思政。</p> <p>11. 坚持参加“河南省级课程思政教学大赛备赛研讨会”等课程思政教育教学系统培训活动。</p>

#### 四、课程思政建设总体设计情况

（描述如何结合本校办学定位、专业特色和人才培养要求，准确把握本课程的课程思政建设方向和重点，科学设计本课程的课程思政建设目标，优化课程思政内容供给，将价值塑造、知识传授和能力培养紧密融合等情况。500字以内）

《控制工程基础》课程是学院高水平专业群“机电一体化技术专业群”中机制专业（应用型本科）的专业基础课程。控制工程基础中蕴含着许多深刻的工程哲学思想，完全能够从思想观念、价值取向和行为方式等诸多方面对学生进行潜移默化的影响。

##### 1. 建设方向和重点

本课程结合我院主动服务区域经济社会发展、主动服务社会人才需求、主动服务中原经济区建设的办学定位，根据专业对智能制造职业人才培养的要求，在进行课程思政建设中，合理设置思政点，将思政内容有机融入到课程的教学过程中；依托专业课为载体，深入挖掘控制学科与哲学、社会学的内在联系，推动专业课和思政课同向同行，协同育人；持续更新思政素材，将国家主流意识形态所倡导的道德要求、价值观念、思想认识和政治理念传递给学生，课程思政要跟上学科发展趋势，要紧跟时代发展。

一条主线：传承弘扬新时代愚公移山精神		
教学模块	思政元素	预期效果
控制系统基本认知	国家战略、行业发展、时事政治，如工业4.0，中国制造2025，助力疫情防控等。	激发学生的家国情怀和使命担当，发扬愚公移山敢于梦想、勇于挑战困难的精神，为实现中华民族的伟大复兴贡献自己的一份力量。
数学模型和传递函数	由传递函数、结构图阐述如何发现科学问题、如何认识自我。	引导学生内外兼修，发扬愚公移山勇于坚持、目标坚定的精神，启发学生的人生观。
瞬态响应和误差分析	从动态性能指标，正切看待矛盾的折中与转化。	启发学生的世界观和价值观，发扬愚公移山团结一心、众志成城的精神，坚定理想信念，强化学生的工程伦理教育。
频率特性分析	从频域指标阐述行动力在个人职场的重要性。	强化学生的行动力，激发学生科技报国的信念，发扬愚公移山不怕困难、锲而不舍的精神，激发学生科技报国的信念。
系统稳定性分析	从稳态精度指标阐述职场中敬业、专注、高效的重要性。	启迪学生人生的中庸之道，警醒学生明白社会和谐稳定的重要性，践行社会主义核心价值观。
系统校正	选用实际案例对系统进行设计和校正，引导学生从哲学角度思考创新，探索新发现，精益求精。	启发学生的辩证思维和创新思维，发扬愚公移山苦干实干、勇于担当责任的精神，培养学生精益求精的大国工匠精神。

图 1 控制工程基础课程思政总体设计方案

## 2. 建设目标

结合以上课程思政设计的理念和方法，团队教师共同研究制定贴合专业特色的思政点与思政元素，探索并形成以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为思政教育主线。根据岗位职业能力要求和典型工作任务，将课程内容划分为控制系统基本认知、数学模型和传递函数、瞬态响应和误差分析、频率特性分析、系统稳定性分析和系统校正等6个模块，每个模块又有对应的思政目标，多维度的培养学生的爱党爱国情怀与职业素养，具体设计如图1所示。

## 3. 课程思政优化融合

根据课程不同教学单元的内容和特点，结合愚公移山精神内涵，提炼出以“敢于梦想、勇于挑战”、“勇于坚持、目标坚定”、“团结一心、脚踏实地”、“践行社会主义核心价值观”、“苦干实干、勇于担当”等课程思政内容，使控制工程基础课程的课程思政完整化、体系化，通过课程思政的建设和实施，达到控制工程基础课程思政有主线、有主题，具有完整性和系统性，实现了课程思政和专业教学互融互促。

## 五、课程思政教学实践情况

（描述如何结合办学定位、专业特色和课程特点，深入挖掘思想政治教育资源，完善课程内容，改进教学方法，探索创新课程思政建设模式和方法路径，将课程建设目标融入课程教学过程等情况。1000字以内）

在全国高校思想政治工作会议上，习近平总书记指出，要用好课堂教学这个主渠道，使各类课程要与思想政治理论课程同向同行，形成协同效应，把“立德树人”作为教育的根本任务。从专业层面加强顶层设计，结合办学定位、专业特色和课程特点探索课程思政建设模式和方法路径。

### 1. 做好贯穿式互融互创的课程思政顶层设计

首先，专业培养的是智能制造类学科的专业人才，这是其基本使命，所以要保证专任教师有过硬的专业素养。同时，充分考虑专业教师在思政方面的薄弱环节，帮助教师对课程思政形成正确认识，使其对课程思政的重要性形成更深刻的理解，不要排斥课程思政，不要把思政教育与专业教育对立起来。正确认识课程思政的丰富内涵，使专任教师意识到，课程思政绝不仅仅是对学生进行政治教育，而是对教书育人的教学本质的回归。

### 课程思政建设模式：贯穿式互融互创

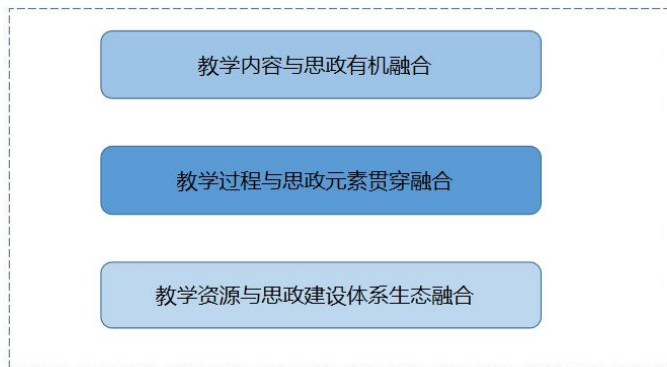


图2 课程思政建设模式

## 2. 确立“传承弘扬新时代愚公移山精神”的政治主线

深入分析课程优势和特色，明确专业职业素养、职业精神和职业道德，以爱党、爱国、爱社会主义、爱人民、爱集体为主线，围绕政治认同、家国情怀、文化素养、宪法法治意识、道德修养等重点优化课程思政内容供给，深入挖掘教学内容所蕴含的习近平新时代中国特色社会主义思想教育、中国梦教育、社会主义核心价值观教育、法治教育、劳动教育、心理健康教育、中华优秀传统文化教育，从职业素养、职业精神、职业道德三个维度提炼思政内容，结合区域特色思政内容，并在注重强化学生工程伦理教育，培养学生精益求精的大国工匠精神，激发学生科技报国的家国情怀和使命担当，以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为主线实施课程思政教育。

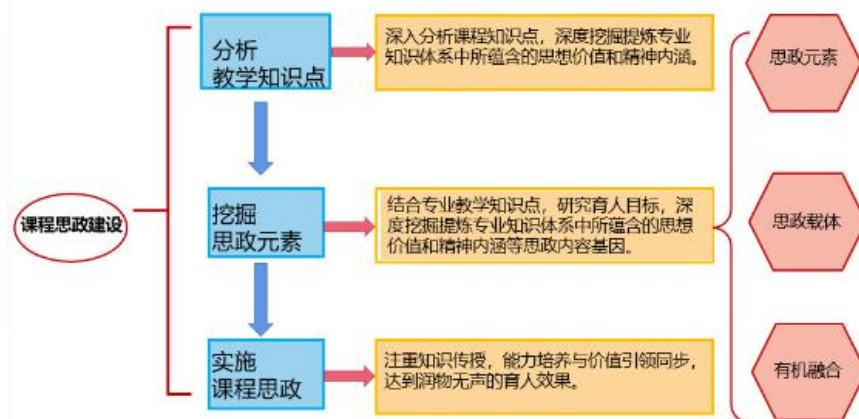


图3 课程思政建设思路

## 3. 创新教学环节，实现第一课堂和第二课堂联动育人

以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为主线，将爱党、爱国、爱社会主义、爱人民、爱集体等内容有机融入控制工程基础教学的内容并贯穿于教学全过程，实现课程



思政与专业教学的互融互创，解决好专业教育和思政教育“两张皮”问题，强化实践基地育人功能，带领学生深入实践基地开展思政教育。



图 4 第二课堂

坚持理论与实际结合，历史与现实结合，引导学生厚植爱国情怀，做社会主义核心价值观的坚定信仰者、积极传播者和模范践行者，在“润物细无声”的第一课堂和第二课堂学习中，坚持知识传授与价值引领相结合，全面提高大学生缘事析理、明辨是非的能力，让学生能为德才兼备，全面发展的高素质应用型人才。

## 六、课程评价与成效

（概述课程考核评价的方法机制建设情况，以及校内外同行和学生评价、课程思政教学改革成效、示范辐射等情况。500 字以内）

控制工程基础课程考核评价的方法机制主要有：课程思政实施方案评价、实施过程的评价、实施效果评价等。本课程思政教学深受学生欢迎，学生和同行评价较高。本课程思政教学改革的成效：

1. 在近两年的实际教学中，通过课程教学回访和学生反馈信息看，学生比较认可这种科学合理的课程思政。同时，经过教学实践证明，所设计的课程思政取得了一定的成效，学生的精神面貌，思想素养较往届学生有了明显的提升，此外控制工程基础课程的成绩也有了大幅度的提升。

2. 本思政课程的实施实现了立德树人的目标，并称为教书育人的重要途径和方式。本课程以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为课程思政主线，将其有机地融入课程的教学环节，使之成为控制工程基础课程不可或缺的一部分，实现了立德树人的目标。

3. 实现了课程思政教学的完整性和系统性，解决了过去课程思政教学中对于教学环节、教学内容、教学方法等缺乏整体性、系统性设计的问题，实现了课程思政和专业教学的互融互促，为我校课程思政建设方面提供了一定的经验。

## 七、课程特色与创新

（概述在课程思政建设方面的特色、亮点和创新点，形成的可供同类课程借鉴共享的经验做法等。须用 1—2 个典型教学案例举例说明。500 字以内）

### 1. 找准一个主线

以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为主线，结合课程每个教学单元的内容和特点，结合愚公移山精神内涵，提炼出以“敢于梦想、勇于挑战”、“勇于坚持、目标坚定”、“团结一心、脚踏实地”、“践行社会主义核心价值观”、“苦干实干、勇于担当”等课程思政内容。

### 2. 贯穿式互融互促

以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为主线贯穿于整个课程，每个教学单元又有相契合的主题，实现了课程思政有主线、有主题，具有完整性和系统性，实现了课程思政和专业教学的互融互创。

### 3. 思政素材持续更新优化

课程思政的素材要跟上学科发展趋势，紧跟时代发展，将国家主流意识形态所倡导的道德要求、价值观念、思想认识和政治理念传递给学生。

#### 以系统的校正的教学环节设计为例：

以“苦干实干、勇于担当”为主题，将控制工程核心思想——误差校正引申至人生的发展中，引导学生学会建立阶段人生目标并制定相应方案，进行阶段总结，自我反思与目标是否有所偏差并能相应调整，家长、朋友、师长只能给出建议，引导学生胸怀大志、坚强勇敢、不断总结反思、调整，启发学生的辩证思维和创新思维，要求学生发扬愚公移山苦干实干、勇于担当责任的精神，培养学生精益求精的大国工匠精神。

## 八、课程建设计划

（概述今后 5 年课程在课程思政方面的持续建设计划、需要进一步解决的问题、主要改进措施、支持保障措施等。300 字以内）

### 1. 课程思政持续建设计划

1.1 持续推进实施控制工程基础课程思政建设，争取在河南省乃至全国产生示范引领作用。

1.2 将课程思政教学和实践教学相结合、与三全育人相结合，解决课程思政教学的社会实践不足的问题。

1.3 推进控制工程基础精品在线开放课程建设，全面深化线上教学，扩大课程思政的影响力和育人效果。

### 2. 需要进一步解决的问题

随着生源的不断变化，需要进一步加强课程组教学团队的学习和培训，不断提高教学团队的课程思政能力。

### 3. 改进措施和支持保障

依托学校“双高”建设项目，在制度保障、资金落实、人员配备等方面大力支持课程思政建设，加强教师课程思政教学能力培训和培养，积极探索“线上、线下”等专家培训，文献阅读、教研活动探索等多种方式，加强教师课程思政理论的研究，不断学习、时间和探索更多适合所在学校学生特点、专业特点及课程特点的课程思政教育理念的实施方法和路径。

## 九、附件材料清单

### 1. 教学设计样例说明（必须提供）

（提供一节代表性课程的完整教学设计和教学实施流程说明，尽可能细致地反映出教师的思考和教学设计，在文档中应提供不少于 5 张教学活动的图片。要求教学设计样例应具有较强的可读性，表述清晰流畅。课程负责人签字。）

### 2. 最近一学期的课程教案（必须提供）

（课程负责人签字。）

### 3. 最近一学期学生评教结果统计（选择性提供）

（申报学校教务部门盖章。）

4. 最近一次学校对课堂教学评价（选择性提供）

（申报学校教务部门盖章。）

以上材料均可能网上公开，请严格审查，确保不违反有关法律及保密规定。

十、课程负责人承诺

本人已认真填写并检查以上材料，保证内容真实有效，不存在任何知识产权问题。如有违反，本人将承担相关责任。

课程负责人（签字）：李小伟

2022年4月22日

十一、申报学校政治审查意见

该课程内容及上传的申报材料无危害国家安全、涉密及其他不适宜公开传播的内容，思想导向正确，不存在思想性问题。

该课程负责人（教学团队）政治立场坚定，遵纪守法，无违法违纪行为，不存在师德师风问题、学术不端等问题，五年内未出现过重大教学事故。

学校党委（盖章）

2022年4月22日

## 十二、申报学校承诺意见

学校进行择优申报推荐，并对课程有关信息及课程负责人填报的内容进行了认真核实，保证真实性。

该课程如果被认定为“省级课程思政示范课程”，系部承诺为课程建设提供政策、等方面的支持，确保该课程继续建设五年，并监督课程负责人经审核程序后更新资源和数据。

主管校领导签字：\_\_\_\_\_

(学校公章)

2022年4月27日



## 十三、教育行政部门推荐意见

(单位公章)

年 月 日







济源职业技术学院  
JIYUAN VOCATIONAL AND TECHNICAL COLLEGE

传承弘扬新时代愚公移山精神



《控制工程基础》课程思政  
佐证材料







济源职业技术学院  
JIYUAN VOCATIONAL AND TECHNICAL COLLEGE

传承弘扬新时代愚公移山精神



《控制工程基础》 课程思政  
教学设计样例

任课教师：李小伟



# 目 录

1 课程情况 .....	1
1.1 课程基本信息 .....	1
1.2 课程性质 .....	1
1.3 课程目标 .....	1
1.4 教学内容 .....	2
2 课程思政情况 .....	4
2.1 课程思政来源基础 .....	4
2.2 课程思政的整体设计 .....	4
2.3 课程思政的实践路径 .....	5
2.4 课程思政的改革成效 .....	7
2.5 课程思政特色 .....	8
3 教学设计样例 .....	9
4 教案 .....	17
教案一： 控制系统的概念及发展 .....	19
教案二： 自动控制系统的的基本控制方式 .....	25
教案三： 系统的数学模型 .....	29
教案四： 拉普拉斯变换和控制系统的传递函数 .....	35
教案五： 典型环节的传递函数 .....	41
教案六： 系统的框图、信号流图及梅森公式 .....	47
教案七： 时间响应及系统的输入信号 .....	53
教案八： 一阶系统的时间响应 .....	61
教案九： 二阶系统的时间响应 .....	67
教案十： 频率特性的基本概念 .....	73
教案十一： 系统的对数频率特性 .....	79
教案十二： 线性系统的稳定性分析 .....	87
教案十三： 稳定性余量 .....	93
教案十四： 控制系统的综合与校正 .....	99
教案十五： 根轨迹法 .....	106

教案十六： 控制工程基础课程总结 .....	113
5 最近一学期学生评价结果统计 .....	118
6 学校对课堂教学评价 .....	119

# 1 课程情况

## 1.1 课程基本信息

课程名称：控制工程基础

课程代码：31111002

课程类别：专业必修

学时：32 其中讲授：28 学时 实践：4 学时

学分：2 学分

开设学期：第五学期

先修课程：高等数学、大学物理、电路、模拟电子技术等

后续课程：过程控制、机电一体化、计算机控制技术

## 1.2 课程性质

本课程是机械设计制造及其自动化专业一门重要的工程基础理论课，本课程的理论性和工程应用性都很强，是数学思维在工程实践中的应用拓展；主要针对复杂工程系统的控制问题，基于传递函数这一数学模型，应用时域、复域和频域等理论方法进行分析，并对系统存在的问题进行综合校正，实现有效控制，达到满意的效果。

本课程按照培养机械设计制造及其自动化专业人才的要求，遵循以能力培养为导向的指导思想，学生能够获得控制理论与工程应用相关的基本知识和基本技能，具备严谨的科学作风，为学习后续课程及从事本专业的工程技术工作和科学研究打下基础。

## 1.3 课程目标

1. 通过学习本课程，达到以下目标：

(1) 了解机械控制理论的基本概念、基本知识与基本方法，掌握拉普拉斯变换与逆变换，学会建立系统数学模型，理解系统微分方程与传递函数的关系。（**支撑毕业要求指标点 1.3**）

(2) 掌握控制系统的时间响应分析和频率特性分析方法，使学生具备讨论控制系统的稳定性，以及系统分析和校正等问题的能力。（**支撑毕业要求指标点 2.1**）

(3) 使学生能根据控制系统的性能指标设计合理的闭环控制系统，并进行准确性、快速性与稳定性验证分析，掌握基本的 PID 控制系统设计方法。（**支撑毕业要求指标点 3.1**）

## 2. 课程目标与毕业要求关系

课程目标	毕业要求指标点		
	(1)	(2)	(3)
1.3 掌握机械设计原理与方法、机械制造工程原理与技术、机械系统中的传动与控制、计算机应用技术等专业知识，能够将其用于机械装备、控制系统及工艺流程等的设计、评价与优化，解决复杂机械工程问题	√		
2.1 能应用数学、自然科学及工程学知识判断、识别复杂机械工程问题的关键环节与参数		√	
3.1 能针对特定需求确定复杂机械工程问题的设计目标			√

## 1.4 教学内容

### 1. 理论部分

章、标题	教学内容	教学要求	学时	教学方式	对应课程目标
第1章 绪论	讲解教学大纲，阐述本课程的意义，介绍控制工程的基本思想、基本概念、控制系统的分类和基本要求。 重点：机械工程控制论的研究对象与任务。 难点：反馈。	了解机械工程控制论的研究对象与任务和系统、模型等知识，深刻理解反馈和反馈控制。	4	讲授 作业	(1)
第2章 系统的数学模型	微分方程的列写方法及相关知识，传递函数的概念和特点，典型环节的传递函数，传递函数方框图及其简化，相似系统及 MATLAB 对数学模型的描述。 重点：系统的数学模型：微分方程和传递函数，系统的传递函数方框图及其简化。 难点：系统传递函数方框图的建立。	掌握两种数学模型：微分方程和传递函数，熟悉典型环节的传递函数，掌握系统传递函数方框图的化简，了解用 MATLAB 建立系统的数学模型。	8	讲授 作业	(1)(3)
第3章 系统的时间响应分析	时间响应及其组成，一阶、二阶系统的时间响应分析，一阶、二阶系统的时域性能指标计算，系统误差分析与计算方法，MATLAB 对时间响应的分析。 重点：一阶、二阶系统的时间响应分析，系统的误差分析。 难点：系统的误差分析。	熟悉系统时间响应及其组成，熟悉一阶、二阶系统时间响应的基础上，掌握一阶、二阶系统时域性能指标的计算，熟悉误差和偏差的概念，掌握稳态误差和稳态偏差的计算，了解用 MATLAB 对系统进行时域分析。	6	讲授 作业	(2)(3)
第4章 系统的频率特性分析	频率特性及其相关概念，频率特性的图示方法，最小相位系统与非最小相位系统的概念，频域性能指标，MATLAB 对频率特性的分析。 重点：系统频率特性的求解，频率特性的图示方法。 难点：频率特性的图示方法。	掌握频率响应及频率特性的求解，掌握频率特性的图示方法，了解最小相位系统与非最小相位系统的概念，了解频域性能指标，了解用 MATLAB 对系统进行频率特性分析。	4	讲授 作业	(2)(3)

第5章 系统的稳定性	系统稳定性的概念和相关提法, Routh 及 Nyquist 稳定判据, Bode 稳定判据, 系统相对稳定性的概念和求法, MATLAB 对系统稳定性的分析。 重点: 系统稳定的重要条件, 判断系统稳定性的稳定判据。 难点: 几何判据。	了解系统稳定性的概念和相关提法, 掌握系统稳定的充要条件, 掌握 Routh 及 Nyquist 稳定判据, 熟悉 Bode 稳定判据, 熟悉系统相对稳定性的概念和求法, 了解 MATLAB 对系统稳定性的分析。	6	讲授 作业	(2)(3)
第6章 系统的性能指标与校正	系统的性能指标, 系统各种校正方法的基本概念。 重点: 校正的概念。 难点: PID 校正。	了解系统的性能指标, 了解系统各种校正方法的基本概念。	4	讲授	(2)

## 2. 实验部分

实验名称(实验类型)	实验内容	实验目的	实验任务	基本要求	实验设备	学时	安排方式	对应课程目标
典型环节与系统的模拟与分析(验证型)	1. 设计并组建各典型环节的模拟电路; 2. 测量各典型环节的阶跃响应, 并研究参数变化对其输出响应的影响。	1. 熟悉并掌握 THZK-1 型测控技术综合实验装置的使用方法; 2. 熟悉各典型环节的传递函数及其特性, 掌握典型环节的电路模拟; 3. 测量各典型环节的阶跃响应曲线, 了解参数变化对其动态特性的影响。	根据所测的典型环节阶跃响应曲线, 分析参数变化对动态特性的影响。	1. 利用实验箱上的模拟电路单元, 构建各典型环节的模拟电路。待检查电路接线无误后, 将直流稳压电源接入实验箱中。 3. 对各典型环节加阶跃信号电压, 用示波器观察其阶跃响应, 并将每一组参数对应的响应曲线描绘下来, 研究参数变化对输出响应的影响。	1. THZK-1 型测控技术综合实验装置; 2. 示波器; 3. 直流电压表。	2	每次进实验室 15 个人, 共有 6 个实验台, 2~3 个人一个小组, 共同完成相关实验。	(1) (2) (3)
频率特性的测试与分析(验证型)	1. 惯性环节的频率特性测试; 2. 由实验测得的频率特性曲线, 求取相应的传递函数。	1. 掌握系统的频率特性曲线的测试原理及方法; 2. 根据实验求得的频率特性曲线求取相应的传递函数。	实验测得的数据和理论计算数据列表, 绘出 Bode 图。	1. 利用实验箱上的模拟电路单元, 设计一个惯性环节的模拟电路。当电路接线检查无误后, 将直流稳压电源接入实验箱。 2. 用示波器观测该环节的输入与输出波形的幅值, 随着正弦信号频率的不断改变, 可测得不同频率时惯性环节输出的增益和相位, 画出该环节的频率特性。	1. THZK-1 型测控技术综合实验装置; 2. 示波器; 3. 直流电压表。	2	每次进实验室 15 个人, 共有 6 个实验台, 2~3 个人一个小组, 共同完成相关实验。	(1) (2) (3)

## 2 课程思政情况

### 2.1 课程思政来源基础

《控制工程基础》是我校机械设计制造及其自动化专业一门专业基础课程，“控制工程基础”是控制论与机械工程技术理论之间的交叉学科，侧重介绍机械工程的控制原理，同时密切结合工程实际，通过对这门课程的学习，要求学生学会运用控制理论的基本原理和思想方法，初步学会分析和研究机、电、液系统中信号的传递、反馈与控制，以及机、电、液系统的动态特性，并结合后续专业课的学习，为将来在机械工程中解决一些实际问题打下一定的基础。

授课过程中可以发现控制工程基础是一门相对难学，枯燥的课程，通过挖掘控制论中的哲学思想和德育元素进行课程内容的顶层设计，引导学生形成正确的世界观、人生观、价值观，培养学生大工程观，力求在讲课时将思想政治教育自然和谐地引入专业课学习，加入思政内容教学设计，融入爱国精神、工匠精神、团队精神；提高学生稳定意识、大局意识、协作意识、规划意识、底线意识；培养工科人文情怀、专业素养等，实现价值观的引领，使课程内容变得更鲜活、更有感染力，着眼学生爱国主义情怀和综合能力的培养、运用理论知识解决实际工程问题的能力和奋斗精神的培养，提高学生的道德情操、法律意识、专业素养和工程素质。课程总的育人方针为：

1. 通过优秀科学家的重要贡献和爱国情怀，引导学生的爱国意识和奉献意识。
2. 通过控制的理论原理引导学生从不同角度看问题，提升学生的思想境界，树立良好的人生观、世界观、价值观。
3. 引导学生不断加强个人修养，内外兼修，迎接不断变化的社会挑战。

### 2.2 课程思政的整体设计

本课程结合我院主动服务区域经济社会发展、主动服务社会人才需求、主动服务中原经济区建设的办学定位，根据专业对智能制造职业人才培养的要求，在进行课程思政建设中，合理设置思政点，将思政内容有机融入到课程的教学过程中；依托专业课为载体，深入挖掘控制学科与哲学、社会学的内在联系，结合国家发展方向及行业内部需求，针对每一章深刻挖掘出思政元素，推动专业课和思政课同向同行，协同育人，将思政教育过程贯穿于整个自动控制原理的学习中，实现全过程育人；持续更新思政素材，将国家主流意识形态所倡导的道德要求、价值观念、思想认识和政治理念传递给学生，课程思政要跟上学科发展趋势，要紧跟时代发展。

结合以上课程思政设计的理念和方法，经过深入的分析和挖掘，在借鉴已有研究的就出上，控制工程基础课程探索并形成以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为思政教育主线的贯穿式互融互促教学模式，根据课程不同教学单元的内容和特点，结合愚公移山精神内涵，提炼出以“敢于梦想、勇于挑战”、“勇于坚持、目标坚定”、“团结一心、脚踏实地”、“践行社会主义核心价值观”、“苦干实干、勇于担当”等课程思政内容，使控制工程基础课程的课程思政完整化、体系化，通过课程思政的建设和实施，达到控制工程基础课程思政有主线、有主题，具有完整性和系统性。

一条主线：传承弘扬新时代愚公移山精神		
教学模块	思政元素	预期效果
控制系统基本认知	国家战略、行业发展、时事政治，如工业4.0，中国制造2025，助力疫情防控等。	激发学生的家国情怀和使命担当，发扬愚公移山敢于梦想、勇于挑战困难的精神，为实现中华民族的伟大复兴贡献自己的一份力量。
数学模型和传递函数	由传递函数、结构图阐述如何发现科学问题、如何认识自我。	引导学生内外兼修，发扬愚公移山勇于坚持、目标坚定的精神，启发学生的人生观。
瞬态响应和误差分析	从动态性能指标，正切看待矛盾的折中与转化。	启发学生的世界观和价值观，发扬愚公移山团结一心、众志成城的精神，坚定理想信念，强化学生的工程伦理教育。
频率特性分析	从频域指标阐述行动力在个人职场的重要性。	强化学生的行动力，激发学生科技报国的信念，发扬愚公移山不怕困难、锲而不舍的精神，激发学生科技报国的信念。
系统稳定性分析	从稳态精度指标阐述职场中敬业、专注、高效的重要性。	启迪学生人生的中庸之道，警醒学生明白社会和谐稳定的重要性，践行社会主义核心价值观。
系统校正	选用实际案例对系统进行设计和校正，引导学生从哲学角度思考创新，探索新发现，精益求精。	启发学生的辩证思维和创新思维，发扬愚公移山苦干实干、勇于担当责任的精神，培养学生精益求精的大国工匠精神。

## 2.3 课程思政的实践路径

在全国高校思想政治工作会议上，习近平总书记指出，要用好课堂教学这个主渠道，使各类课程要与思想政治理论课程同向同行，形成协同效应，把“立德树人”作为教育的根本任务。从专业层面加强顶层设计，结合办学定位、专业特色和课程特点探索课程思政建设模式和方法路径。

### 1. 做好贯穿式互融互创的课程思政顶层设计

首先，专业培养的是智能制造类学科的专业人才，这是其基本使命，所以要保证专任教师有过硬的专业素养。同时，充分考虑专业教师在思政方面的薄弱环节，帮助教师对课程思政形成正确认识，使其对课程思政的重要性形成更深刻的理解，不要排斥课程

思攻，不要把思政教育与专业教育对立起来。正确认识课程思政的丰富内涵，使专任教师意味到，课程思政绝不仅仅是对学生进行政治教育，而是对教书育人的教学本质的回归。

**课程思政建设模式：贯穿式互融互创**

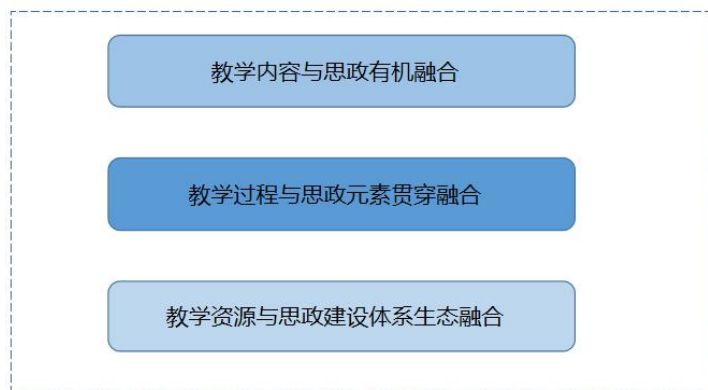


图2 课程思政建设模式

## 2. 确立“传承弘扬新时代愚公移山精神”的政治主线

深入分析课程优势和特色，明确专业职业素养、职业精神和职业道德，以爱党、爱国、爱社会主义、爱人民、爱集体为主线，围绕政治认同、家国情怀、文化素养、宪法法治意识、道德修养等重点优化课程思政内容供给，深入挖掘教学内容所蕴含的习近平新时代中国特色社会主义思想教育、中国梦教育、社会主义核心价值观教育、法治教育、劳动教育、心理健康教育、中华优秀传统文化教育，从职业素养、职业精神、职业道德三个维度提炼思政内容，结合区域特色思政内容，并在注重强化学生工程伦理教育，培养学生精益求精的大国工匠精神，激发学生科技报国的家国情怀和使命担当，以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为主线实施课程思政教育。

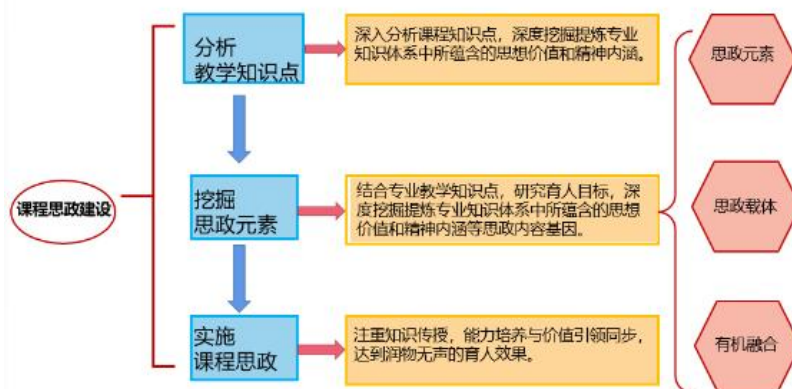


图3 课程思政建设思路



### 3. 创新教学环节，实现第一课堂和第二课堂联动育人

以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为主线，将爱党、爱国、爱社会主义、爱人民、爱集体等内容有机融入控制工程基础教学的内容并贯穿于教学全过程，实现课程思政与专业教学的互融互创，解决好专业教育和思政教育“两张皮”问题，强化实践基地育人功能，带领学生深入实践基地开展思政教育。



图 4 第二课堂

坚持理论与实际结合，历史与现实结合，引导学生厚植爱国情怀，做社会主义核心价值观的坚定信仰者、积极传播者和模范践行者，在“润物细无声”的第一课堂和第二课堂学习中，坚持知识传授与价值引领相结合，全面提高大学生缘事析理、明辨是非的能力，让学生能为德才兼备，全面发展的高素质应用型人才。

## 2.4 课程思政的改革成效

1、按照调整后的授课方案，授课过程井然有序的完成，从学生的课堂的反应，课后的作业以及最后的成绩来看，都取得了满意的成绩。可以说，在思政理念的指导下，经过教师的精心设计和准备，授课中结合实践案例，解决了难学习、难理解、难掌握的理论知识学习。

2、参与进来的教师经过政治理论和专业理论知识的学习、讨论，不断的摸索、总结教学方法，不仅提升教师个人魅力和思想素质，在与学生接触过程中，不断与学生进行讨论，思想和专业水平教学相长，成绩喜人。

3、努力完善课堂教学，充分利用图片等素材，把抽象的理论教学与形象的直观教育结合起来，调动学生参与课堂的热情和兴趣。为了补充、拓展和深化课堂教学内容，将授课第一课堂与智慧课堂平台慕课第二课堂结合起来，增强教学活动的时代感和吸引

力。

4、实现了在线实验仿真教学。也通过网络平台留作业，网上批改，及时有效掌握学生的实际学习情况。“无效果，不思政”。实施“课程思政”一学期以来，“课程思政”的效果与意义日益明晰。让学生发掘专业学习的现实意义，满足学生内在需求；以学生的话语体系，适应学生的接受习惯；构建政治认同与文化自信，直面学生思想困惑，引导大学生在国家发展和个人前途的交汇点上思考人生。

## 2.5 课程思政特色

### 1.找准一个主线

以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为主线，结合课程每个教学单元的内容和特点，结合愚公移山精神内涵，提炼出以“敢于梦想、勇于挑战”、“勇于坚持、目标坚定”、“团结一心、脚踏实地”、“践行社会主义核心价值观”、“苦干实干、勇于担当”等课程思政内容。

### 2.贯穿式互融互促

以“传承弘扬新时代愚公移山精神”为主线贯穿于整个课程，每个教学单元又有相契合的主题，实现了课程思政有主线、有主题，具有完整性和系统性，实现了课程思政和专业教学的互融互创。

### 3.思政素材持续更新优化

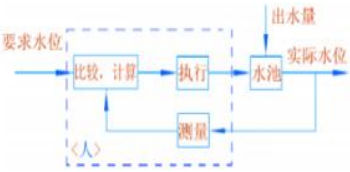
课程思政的素材要跟上学科发展趋势，紧跟时代发展，将国家主流意识形态所倡导的道德要求、价值观念、思想认识和政治理念传递给学生。

### 3 教学设计样例

## 教学设计样例

课程说明			
授课内容	控制系统的概念及发展	课 时	2（90 分钟）
课程类型	专业基础课	授课对象	机制 1801-1802 班
使用教材	《机械控制工程基础》，朱冀北主编，机械工业出版社，2020.		
教学目标			
知识目标	<p>1. <b>基础目标</b>：掌握自动控制系统的概念及组成；</p> <p>2. <b>提高目标</b>：利用自动控制概念解释有关控制系统工作原理。</p>		
能力目标	<p>1. <b>思维能力</b>：初步具备独立分析自动控制工作原理的思维，培养学生的想象力和理解力。</p> <p>2. <b>自学能力</b>：能够将“自顶向下，逐步求精”的思维方式应用于后续内容及其他课程的学习中。</p> <p>3. <b>拓展能力</b>：能够通过本次内容学习，灵活运用所学，分析日常生活中各事物的控制原理具备一定举一反三的拓展能力。</p>		
思政育人目标	<p>1. 学生能够积极参与课堂讨论活动，并能够在课堂讨论活动中，主动思考，提出自己的观点和疑惑，具备一定<b>批判性思维能力</b>。</p> <p>2. 学生能够在上述学习活动中体会自动控制技术的社会价值，明确学习知识的目标并非应付考试，而应该是通过学以致用，在祖国和社会需要的时候尽一己之力，发扬<b>愚公移山精神</b>，为实现<b>中华民族的伟大复兴</b>贡献自己的一份力量。</p> <p>3. 学生能够通过控制技术学习，养成利用所学，<b>科学看待一切表象</b>，通过自己的科学认识，<b>主动传递积极正能量</b>，践行每个公民爱国爱社会爱人民的基本责任，做高学历高水平高品德高素养的公民。</p>		
教学重点	教学重点	自动控制的概念	
	突出重点策略	从简单案例抛砖引玉，由浅入深，通过问题的解决引导学生反复加深对词自动控制概念的理解。	

教学难点	教学难点	控制系统工作原理及画框图的方法	
	破解难点的策略	一步一步用问题驱动，引导学生发现问题并提出解决方案，在试错中破解难点，并让学生通过动手实践检测学习效果。	
<b>课程资源</b>			
参考书目	1 《自动控制原理》，嵩天主编，高等教育出版社，2016. 2 《机械控制工程基础》，朱冀北主编，机械工业出版社，2013.		
网络教学平台	<b>MOOC:</b> <a href="https://www.icourse163.org/learn/UESTC235010?tid=1463287529#/learn/announce">https://www.icourse163.org/learn/UESTC235010?tid=1463287529#/learn/announce</a> <a href="https://www.icourse163.org/learn/XJTU-46018?tid=1460621443#/learn/announce">https://www.icourse163.org/learn/XJTU-46018?tid=1460621443#/learn/announce</a>		
<b>教学方法与手段</b>			
教学方法	采用混合课堂教学方式组织教学。 1. 课前：学生通过阅读教材、指定参考书和学习在线视频，在超星学习通按学习引导单完成相关内容的自学任务。 1. 课中：采用问题导向和内容导向相结合，问题导入→启发思考→共同分析→构建知识的讲授式教学法。通过问题的设计和引导，体现教师的主导作用；以问题解决为主线，通过关联旧知、示证新知、应用新知，在师-生互动中有效激发学生的学习主观能动性，充分体现学生的主体作用。 课后：学生通过个人思考拓展问题→完成指定任务→预习下次课程内容。		
教学手段	1. 课前和课后：校内教学平台下载课件，智慧课堂（教学视频，实验素材，自测题和讨论）。 2. 课中：多媒体课件配以动画演示。		
教学过程	<b>教学设计与内容</b>		<b>教学设计意图</b>
问题引入 (15分)	<b>提问式开讲法：</b> <b>问题引入：</b> 同学们，今天是“控制工程基础”课程的第一次课，		通过问题的设计和引导，体现教师的主导作

	<p>控制一词在我们的生活中应用非常广泛，那么到底什么是控制？什么是自动控制呢？我们来看一个例子，这是一个水位控制系统，请同学们讨论分析水位控制系统的工作原理。</p>  <p>图1 人工控制的水位保持系统</p>  <p>图2 人工控制的水位保持系统方框图</p>	<p>用；以问题解决为主线，通过关联旧知、示证新知、应用新知，在师-生互动中有效激发学生的学习主观能动性，充分体现学生的主体作用。</p>
<p>新课讲授 (60分)</p>	<p><b>同学回答并老师总结：</b></p> <p>若要求在出水量随意的条件下，保持水位高度不变：操作人员需先测实际水位，并在脑子中与要求的水位进行比较。若低于要求的水位，则需开大进水阀门。否则应关小进水阀门。若两者正好相等，则进水阀门不动。</p> <p><b>教师提问：</b></p> <p>自动控制如何实现呢？</p> <p><b>同学回答并老师总结：</b></p> <p>可将水池改为由自动控制装置：由浮子（测量元件）测出实际水位，再与要求的水位比较。然后得出偏差再由调节元件根据偏差的大小和正负产生控制信号。最后由执行元件根据信号产生控制作用。</p>  <p>图3 自动控制的水位保持系统</p>  <p>图4 自动控制的水位保持系统方框图</p> <p><b>在此：</b>浮子测水位，由连杆和电位器进行比较：浮子低则电位器上得到正电压，经放大后使电机向进水阀门开大的方向旋转；反之，当浮子高时，电位器上得到负电压，电机向阀门关小的方向旋转；若水位正好，则</p>	<p>从简单案例抛砖引玉，由浅入深，通过问题的解决引导学生反复加深对词自动控制概念的理解。</p>

电位器上电压为零，电机不转，阀门不动。

### 1. 自动控制

指在无人直接参与的情况下，利用外加的设备或装置（称为**自动控制装置或控制器**），使生产过程（称为被控对象）的某个工作状态或参数（称为**被控制量**）自动地按照预定的规律（**给定量**）变化。

(1)控制装置—外加的设备或装置，亦叫控制器。

(2)受控装置—被控制的机器或物体。

(3)被控量—表征被控对象工作状态的物理参量，也叫输出量。

(4)给定量—要求被控量所应保持的数值。也叫输入量或叫参考输入。

(5)干扰量—系统不希望的外作用，也叫扰动输入。

#### 教师提问：

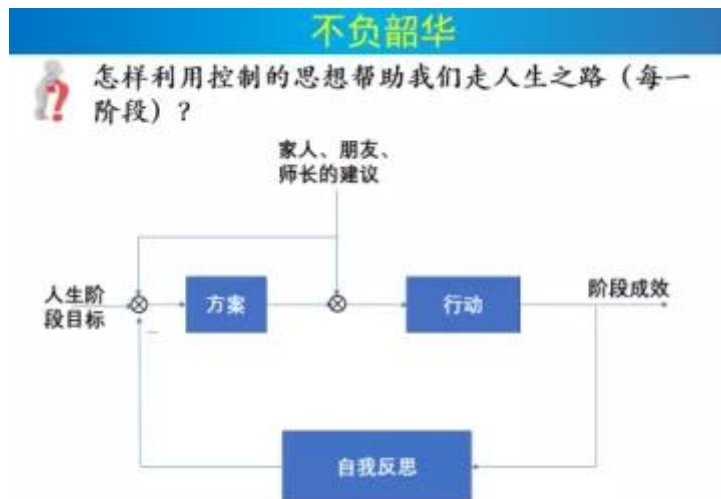
水位控制系统的组成？

#### 同学回答并老师总结：

水池—受控对象，要求水位—给定量，实际水位—输出量，出水量—干扰信号，浮子—测量元件，连杆、电位器—比较元件，放大器、电极、减速器—调节和执行元件。

**自动控制系统：**由被控对象和自动控制装置按照一定的方式连接起来，组成一个有机的整体。

引导学生建立人生目标，进行阶段总结，学习和人生路上不断总结，反思，引导学生胸怀大志，坚强勇敢，面对人生一个又一个阶段目标，不负韶华。



**自动控制系统性能要求：**

**稳：**扰动下不发散，安全性

**准：**与设定值的偏差小

**快：**用最少的达到要求

**壮：**适应宽范围工况

**省：**控制能量最省（优化）

**教师提问：**

是否可以同时满足 5 个或其中多个性能指标呢？

**同学回答并引出课程思政：**

“鱼和熊掌不可兼得”，这个五个指标中：

(1) **稳定性是控制系统最重要的指标**，系统不稳定便无法分析其他几个性能指标。

(2) 国家、社会这个复杂的大系统也是一样，正如邓小平所说“**稳定压倒一切**”。

(3) 其余四个指标通常无法同时满足，需要设计者**从全局出发，系统、折中考虑，根据实际应用需求来抓主要矛盾**。

**视频播放：**自动控制的应用场景



**教师解析：**2020 年 12 月 6 日凌晨，嫦娥五号上升器成功与轨道器返回器组合体交会对接，并将月球样品容器安全转移至返回器中。这是我国航天器首次实现月球轨道

介绍社会大系统观，让学生理解社会稳定是第一要务，启迪学生人生的中庸之道，警醒学生明白和谐稳定的重要性，在日常学习生活中，身体力行，践行社会主义核心价值观。



交会对接。其中，通过远程导引和近程自主控制，轨道器返回器组合体逐步靠近上升器，以抱爪的方式捕获上升器，完成交会对接。从“东方红一号”到“嫦娥五号”，希望同学们能在学习中国航天举世瞩目的伟大成就与永攀高峰的伟大精神的同时**崇尚科学，发展科技，强化培养科学思想和科学精神，融专业知识与科技强国于一体。**

自动控制技术是伴随着世界工业的发展需求而逐步丰富与完善，当前，几乎所有工业领域都离不开自动控制相关技术，因此，**自动化发展水平也直观反映了一个国家的核心科技竞争力。**

**选派学生梳理控制理论发展简史，教师总结：**

## **2. 控制理论的发展简史**

公元 132 年张衡制造的地动仪，就是一个典型的控制系统。

工业革命时期英国的瓦特(J.Watt)发明的蒸汽机上应用的离心调速器，这时候的理论还不太多。



图 6 地动仪

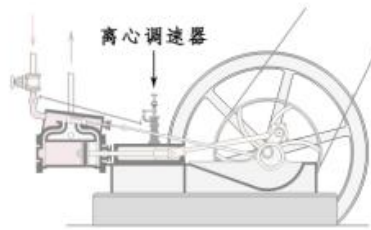


图 7 离心调速器

真正地最终形成完整的自动控制理论体系，是在 20 世纪 40 年代末。

1947 年，美国数学家诺伯特·维纳完成了划时代的著作《控制论》，宣告了控制论作为一门学科的产生。

中国是国际自动控制联合会（IFAC）的创始国和成员国之一，也是国际上较早开展现代控制理论研究的国家之一。

1954 年，我国科学家钱学森在美国运用控制论思想

要实现现代化，必然离不开自动化，让学生认识到课程的重要性，也认识到目前我国在科学技术上的不足，激发学生的家国情怀和使命担当。

通过视频及图片了解自动控制的发展历程，培养学生热爱专业、爱岗敬业，认真专注的工匠精神。要求同学们发扬愚公移山敢于梦想、勇于挑战困难的精神，为实现中华民族伟大复兴的伟大复兴



	<p>和方法，用英文出版《工程控制论》，首先把控制论推广到工程技术领域。</p> <p><b>视频播放：</b>初心之路   我的父亲钱学森：五年归国路，十年两弹成。</p>  <p><b>同学们发表感言，教师总结：</b></p> <p>通过进一步了解自动控制的发展历程，希望学生们弘扬钱老刻苦勤奋的学习精神、攻坚克难精神、创新精神以及其“学成必归”、“五年归国路”、“十年造两弹”报效祖国的爱国精神，实现自己的人生价值。</p>	<p>贡献自己的一份力量。</p>
<p><b>内容总结、归纳，作业布置(15分)</b></p>	<p><b>内容总结：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 自动控制概念</li> <li>2. 自动控制的发展历程</li> </ol> <p><b>课后习题：</b> 1-2 1-3</p> <p><b>思考题：</b> 自动控制在日常生活中的应用？请举例说明？在国家发展战略中的应用？如何才能科技报国？请查阅相关资料回答。</p>	





济源职业技术学院  
JIYUAN VOCATIONAL AND TECHNICAL COLLEGE

传承弘扬新时代愚公移山精神



《控制工程基础》课程思政  
教 案

任课教师：李小伟



## 教案一： 控制系统的概念及发展

授课内容	控制系统的概念及发展		
课程名称	控制工程基础	单元名称	控制工程绪论
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	掌握自动控制的基本概念及相关知识。	
	能力目标	会分析简单自动控制系统的组成和工作原理的能力。	
	思政目标	引入国家战略、行业发展等内容，激发学生的家国情怀和勇于挑战的愚公移山精神。	
教学重点	内容	控制系统的基本概念及类型。	
	解决策略	案例分析	
教学难点	内容	系统原理图画框图的方法。	
	解决策略	微视频	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	情景教学法、任务驱动法、讲授结合法、案例教学法等	
	学法	自主学习法、小组讨论法、探究学习法、合作学习法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>控制系统的概念及应用</b>			
<b>(课前) 课程教学内容设计</b>			
观看视频			
(1)：控制系统的组成原理及应用，推荐网址：			
<a href="https://www.bilibili.com/video/BV1ZJ411c757?from=search&amp;seid=3621535801677373658">https://www.bilibili.com/video/BV1ZJ411c757?from=search&amp;seid=3621535801677373658</a>			
(2)：电影《钱学森》			
<b>(第 1-20 分钟) 课程教学内容设计</b>			
1. 自动控制的基本概念			

观看液位人工控制和自动控制视频结合课前观看的控制系统的组成原理及应用视频，引出自动控制的基本概念，让同学们有直观的认识，而非停留在书本文字的想象上。

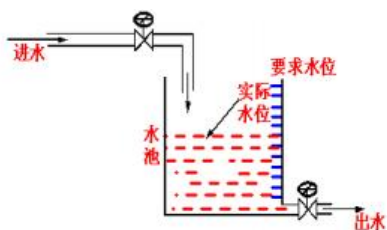


图1 人工控制的水位保持系统

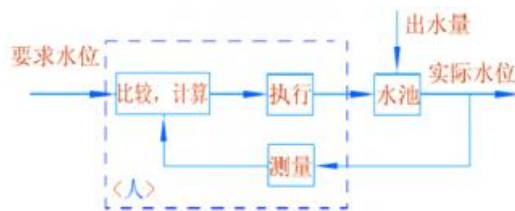


图2 人工控制的水位保持系统方框图

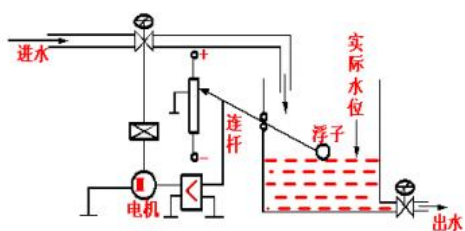


图3 自动控制的水位保持系统

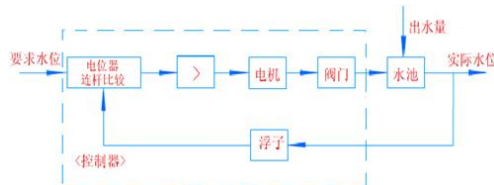


图4 自动控制的水位保持系统方框图

**自动控制概念：**指在无人直接参与的情况下，利用外加的设备或装置（称为自动控制装置或控制器），使生产过程（称为被控对象）的某个工作状态或参数（称为被控制量）自动地按照预定的规律（给定量）变化。

## 2. 控制系统的工作原理

- 1) 检测被控制量或输出量的实际值。
- 2) 将实际值与给定值进行比较得出偏差值。
- 3) 用偏差值产生控制调节作用去除偏差。

**（第 20-45 分钟）结合课程内容融入课程思政**

### 【案例 1——中国梦】

**教学引入：**通过播放“自动控制理论的发展变迁和前沿方向”进一步引导学生熟悉自动控制在高精度、高难度、高复杂性系统工程的应用，以及在实现伟大中国梦的过程中起到的至关重要的支撑作用，激励学生自觉融入到实现中华民族伟大复兴中国梦的进程中去，使同学们认真学习作为 20 世纪上半叶人类科学发展的三大伟绩之一的自动控制理论的重要性，激发同学们的学习热情和积极性。

播放视频 <https://v.qq.com/x/page/d0347ycr3yk.html>



图 5 自动控制理论发展视频节选

(第 45--65 分钟) 课程教学内容设计

## 2. 控制理论的发展简史

通过视频“改变生活的智能控制技术”进一步熟悉自动控制理论发展简史，控制理论体现着人类认识与改造自然的探索过程，它的很多原理和应用成果很早就出现在人们的生产生活中。

公元 132 年张衡制造的地动仪，就是一个典型的控制系统。

工业革命时期英国的瓦特 (J. Watt) 发明的蒸汽机上应用的离心调速器，这时候的理论还不太多。



图 6 地动仪

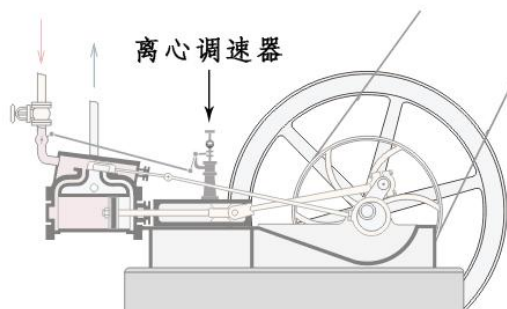


图 7 离心调速器



真正地最终形成完整的自动控制理论体系,是在 20 世纪 40 年代末。

1947 年,美国数学家诺伯特·维纳完成了划时代的著作《控制论》,宣告了控制论作为一门学科的产生。

中国是国际自动控制联合会(IFAC)的创始国和成员国之一,也是国际上较早开展现代控制理论研究的国家之一。我国著名科学家钱学森先生出版的《工程控制论》早已称为控制论研究领域的经典之作。



图 8 钱学森

**(第 65—85 分钟) 结合课程内容融入课程思政**

**【案例 2——初心之路】**

**教学引入:** 通过播放“初心之路 | 我的父亲钱学森: 五年归国路, 十年两弹成”视频, 让同学们进一步了解自动控制的发展历程, 同时引导学生弘扬其刻苦勤奋的学习精神、攻坚克难精神、创新精神以及其“学成必归”、“五年归国路”、“十年造两弹”报效祖国的爱国精神, 实现自己的人生价值, 由此吸引学生思考, 激发学生学习兴趣。

播放链接:

[https://www.thepaper.cn/newsDetail\\_forward\\_12676943](https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_12676943)





图9 我的父亲钱学森视频节选

### （第 85 - 90 分钟）课程教学内容设计

内容总结、归纳，作业布置。

1. 自动控制概念
2. 自动控制的发展历程

### （课后）课程思政教学内容设计

课后习题：1-2 1-3

**思考题：自动控制在日常生活中的应用？请举例说明？在国家发展战略中的应用？请查阅相关资料回答。**



## 教案二： 自动控制系统的的基本控制方式

授课内容	自动控制系统的的基本控制方式		
课程名称	控制工程基础	单元名称	控制工程绪论
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	了解自动控制系统的的基本概念；掌握控制系统的两种基本类型，会分析两种类型的定义和结构特点。	
	能力目标	初步建立自动控制问题分析思路，建立反馈思想，具备理论联系实际的良好学风的能力	
	思政目标	<b>通过正面典型介绍与反面案例教育，引导学生不忘初心，始终牢记使命，引导学生敢于梦想、坚定信念的愚公移山精神。</b>	
教学重点	内容	开环和闭环控制的基本原理	
	解决策略	小组讨论	
教学难点	内容	负反馈控制的基本原理	
	解决策略	案例分析	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	案例教学法、多媒体教学法、探究教学法	
	学法	作业练习、理论仿真教学法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>自动控制系统的的基本控制方式</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
<p>阅读文献资料：青青蒿草 拳拳报国——诺贝尔奖获得者屠呦呦</p> <p><a href="http://www.xinhuanet.com/tech/2021-03/22/c_1127241490.htm">http://www.xinhuanet.com/tech/2021-03/22/c_1127241490.htm</a></p>			
<b>(第 1-30 分钟) 课程教学内容设计</b>			
1. 自动控制系统两种基本的形式			
一、开环控制系统结构及其特点			
1. 定义: 只有正向作用，没有反馈控制作用的控制系统。			

## 2. 开环控制系统的结构:



图 1 开环控制系统

## 3. 开环控制系统的优点:

- 只有正向作用，没有反馈作用；
- 控制精度取决于元器件的精度和系统调整精度；
- 没有抑制内、外干扰的能力；
- 系统结构简单、成本低。

## 二、闭环(反馈)控制系统结构及其特点

定义:既有正向作用，又有反馈控制作用的控制系统。

闭环控制系统的结构:将系统的输出信号引回输入端，与输入信号相比较，利用所得的偏差信号进行控制。达到减小偏差、消除偏差的目的——构成闭环控制系统的核心。

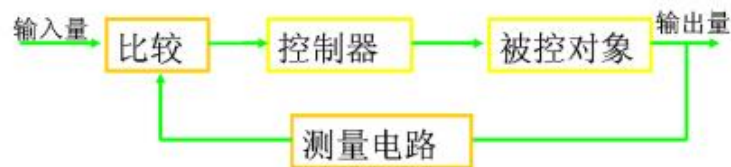


图 2 闭环控制系统

## 闭环控制系统的优点:

- 系统内部存在反馈，信号流动构成闭回路；
- 既有正向作用，又有反馈控制；
- 控制精度与元件精度、控制方法、调整精度有关，控制精度较高；
- 有抑制干扰的能力；
- 结构复杂，成本相对较高；
- 偏差起调节作用。

**(第 30-45 分钟) 结合课程内容融入课程思政**

**【案例 1——践行社会主义核心价值观】**

**教学引入:**控制工程课程的教学目标之一是培养高级科研人才，学生在未来从事科学研究的过程中，需要把自己的工作和国家利益紧密相扣，以社会需求为导向，牢记时代赋予的使命，发挥才干，展示风貌，一步一个脚印，为社会进步贡献力量，为

国家繁荣昌盛添砖加瓦。这里引入屠呦呦女士的经历作为正面典型加以介绍，在树立榜样的同时对学生社会主义核心价值观的引导。科研人员要端正自己的科研态度，要严谨执着，面对枯燥的工作保持持久的本心，不仅要守住学术诚信，还要将国家安全摆在首位，时刻保持警惕，坚决抵制一切诱惑，维护国家利益，保护国家机密，忠于党和人民。通过正面典型介绍与反面案例教育，将思政融入点与课程知识点相结合，容易引起青年学生在情感上的共鸣，激发学生的兴趣，从而产生学习专业知识的内在动力，只有将思政教育的“盐”融入自动控制原理的“水”，才能在潜移默化中达到立德树人的目标。更为重要的是能够使学生在毕业工作或者研究生学习阶段，持续不忘初心，始终牢记使命，坚定的信仰社会主义核心价值观，做到以身作则、模范践行。

正面典型案例	反面教育案例
<p><b>人物介绍</b></p> <p>屠呦呦，1930年12月出生，浙江宁波人，1955年北京医学院药学系毕业后，分配到中国中医科学院中药研究所工作至今。中国中医科学院终身研究员、首席研究员，中国中医科学院青蒿素研究中心主任。</p>	<p><b>人物介绍</b></p> <p>郭某某，1942年出生于哈尔滨市，毕业于南开大学物理系，是当时的高材生，而后进入中国航天科技集团担任高级工程师，成为一名导弹技术专家，参与了我国最重要一款导弹东风-31的设计。</p>
<p><b>获奖感言</b></p> <p>2015年12月7日，屠呦呦因青蒿素抗疟研究的杰出贡献获颁诺贝尔生理学或医学奖。在诺贝尔奖讲台上屠呦呦说到：“有机会接受如此重任，我体会到了国家对我的信任，深感责任重大，任务艰巨。我决心不辜负使命，努力拼搏，尽全力完成任务。”</p>	<p><b>所犯罪行</b></p> <p>上世纪90年代初，结识了为境外间谍组织工作的沃某某，郭某某见钱眼开、利欲熏心，为沃某某提供了大量关于东风31导弹的情报，大大降低中国核反击力量的威慑能力，某种程度上，东风31对境外间谍组织已经没有什么秘密可言了。</p>
<p><b>人物事迹</b></p> <p>屠呦呦将自己获得的诺贝尔奖金大部分都捐献出来，在中国中医科学院中药研究所和母校北大医学部，为年轻研究人员设立奖励基金并激励后辈：“我希望年轻人多考虑党和国家的需要，把中国的优势、把自己传统的东西跟现代科学结合起来，多做创新性贡献。这是我最大的愿望。”</p>	<p><b>最终结果</b></p> <p>2005年初，两人被国家安全机关抓获归案，通过对相关证据的反复查证，法院审理认定，郭某某、沃某某所获情报的泄露，对国家安全与国防建设造成了特别巨大的危害，后果特别严重，判处两人死刑。2005年11月28日，两人被执行死刑。</p>

图3 正面典型案例与反面教育案例

(第45—65分钟) 课程教学内容设计

2. 复合控制系统

定义: 给定补偿或干扰补偿与反馈控制结合起来就组成复合控制。

复合控制系统的结构:

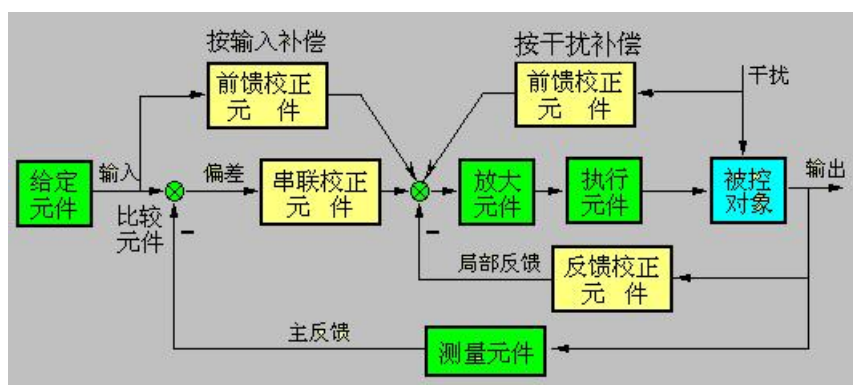


图4 复合控制系统

**（第 65--85 分钟）结合课程内容融入课程思政**

**【案例 2——不忘初心，牢记使命】**

**教学引入：**将人生比作一个自动控制系统，如果只是勇往直前，而不回头反省，那就如同开环控制一样，无法对行进过程中的偏差进行修正。不忘奋发图强的初心，牢记科学报国的梦想，为祖国的科研事业贡献力量，这是**新时代大学生的使命与责任**，也是该系统的“给定量”，将扪心自问、反躬自省作为系统的“反馈环节”，当理想信念因为外界诱惑偏离初心时形成“反馈”通道，做到实时修正，不断减小偏差，这样才能去除杂质、坚定信念，实现初心不改。古人云：“古之欲明德于天下者，先治其国；欲治其国者，先齐其家；欲齐其家者，先修其身”，在工作与学习过程中我们要善于使用“反馈控制”方式，及时校正思想上的偏差，抵抗诱惑与干扰，提高个人修养，在反思中砥砺前行，成为建设中国特色社会主义的合格人才。

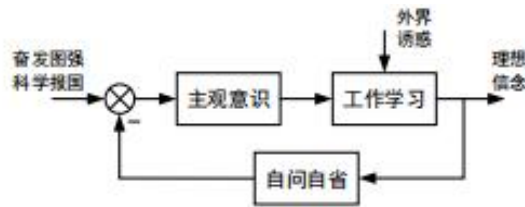


图 5 “不忘初心，牢记使命”反馈控制示意图

**（第 85 - 90 分钟）课程教学内容设计**

内容总结、归纳，作业布置。

自动控制系统两种基本的形式 { 开环控制系统  
闭环控制系统

**（课后）课程思政教学内容设计**

课后习题：1-5 1-6

**思考题：**如何开展“吾日三省吾身”，工程实践中如何应用？

### 教案三： 系统的数学模型

授课内容	系统的数学模型		
课程名称	控制工程基础	单元名称	物理系统的数学模型及传递函数
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	了解建立自动控制系统的数学模型的基本要求；掌握数学模型建立过程及规范步骤。	
	能力目标	能够根据具体的自动控制问题，利用电路分析原理、机械力学运动规律等知识建立系统的数学模型的能力。	
	思政目标	<b>对于控制系统的设计与分析都是以数学理论为基础，引导学生从不同角度看问题，引导学生由辩证唯物主义的认识论，阐述如何发现生活中的科学问题，进而如何认识自我，树立良好的人生观、世界观、价值观。</b>	
教学重点	内容	数学模型的建立	
	解决策略	例题讲解、作业练习	
教学难点	内容	数学模型的建立	
	解决策略	例题讲解、作业练习	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	任务驱动教学法、课堂讲授法	
	学法	自主学习法、小组讨论法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>控制系统数学模型的建立</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
阅读文献资料：			
(1) 高教杯全国大学生数学建模竞赛赛题“嫦娥三号软着陆轨道设计与控制策略”。			
<a href="https://blog.csdn.net/yaoning6768/article/details/82318093">https://blog.csdn.net/yaoning6768/article/details/82318093</a>			



(2) 蓝桥杯-----2017 Java B组 国赛：第二题 生命游戏

<https://www.pianshen.com/article/4676417295/>

观看视频：中国探月工程

<https://haokan.baidu.com/v?vid=17450297280955029&pd=bjh&fr=bjhauthor&type=video>

## (第 1-15 分钟) 课程教学内容设计

### 1. 控制系统模型描述方法

为了使所设计的自动控制系统能满足性能指标要求，须对系统的过度过程在理论上进行分析，掌握其内在规律。为此将系统的过度过程用一个反映其运动状态的方程式表达出来，再加以分析和计算，即为**建模**。它是分析、设计控制系统的的第一步。

#### 控制理论中控制系统模型描述方法

- 时域：微分方程、差分方程、状态方程
- 复域：传递函数、动态结构图
- 频域：频率特性

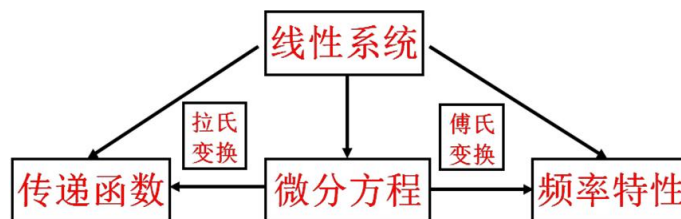


图 1 数学模型的相互关系

数学模型建立的一般步骤：

- (1) 确定系统的输入量和输出量；
- (2) 分析系统的工作原理，作合理的假设；
- (3) 根据物理或化学定律例写描述系统运动的方程；  
(常用定律：基尔霍夫定律、牛顿定律、能量守恒定律)
- (4) 消去中间变量求出描述系统输入输出关系的微分方程；
- (5) 标准化——将与输入有关的各项放在等号的右边，与输出有关的各项放在等号左边，各阶导数按降幂排列。

**(第 15-30 分钟) 结合课程内容融入课程思政**

#### **【案例 1——科学精神】**

**教学引入：**通过介绍英国数学家约翰·何顿·康威提出的**生命游戏**，用简单的数



学与计算规则，引发学者研究和探索复杂生命现象的背后规律；美国经济学家托马斯·谢林构造的隔离模型，揭示出种族隔离可能跟种族歧视毫无关系，颠覆了人们对于种族隔离现象的理解；英国经济学家加勒特·哈丁提出的“公地悲剧”模型，给出了环境破坏和资源过度开采的主要原因，为环境保护提供了有效措施。引导学生认识到优秀的价值观不仅蕴含在数学概念之中，而且也蕴藏于经典数学模型之中，提升学生的学习兴趣 and 学术抱负。

### 蓝桥杯-----2017 Java B组 国赛：第二题 生命游戏

技术标签：蓝桥杯

#### 题目描述：

康威生命游戏是英国数学家约翰·何顿·康威在1970年发明的细胞自动机。这个游戏在一个无限大的2D网络上进行。

初始时，每个小方格中居住着一个活着或死了的细胞。  
下一时刻每个细胞的状态都由它周围八个格子的细胞状态决定。

图2 蓝桥杯赛题-生命游戏

#### (第 30-60 分钟) 课程教学内容设计

##### 2. 机械系统数学模型的建立

例 1：列写弹簧阻尼系统的微分方程，图中质量为  $m$  的物体受到外力  $F$  的作用，产生位移  $y$ 。

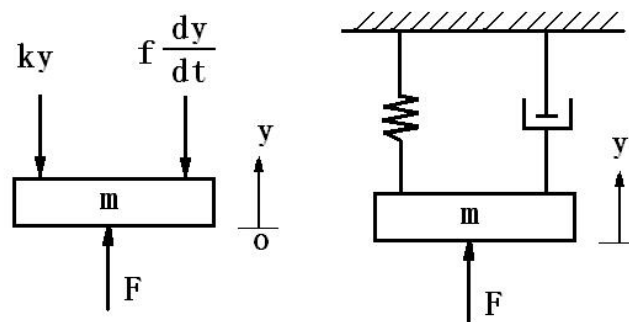


图3 弹簧阻尼系统

- 解：（1）分析物体  $m$  的受力情况，假设  $k$  为常数、 $f$  为常数；  
（2）输入量为  $F$ ，输出量为  $y$ ；  
（3）根据牛顿定律列写方程

$$\sum F = F - F_k - F_f = ma, \quad F_k = ky, \quad F_f = f \frac{dy}{dt}$$

(6) 消去中间变量求出描述系统输入—输出关系的微分方程

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + f \frac{dy}{dt} + k y = F$$

### 【案例 2——社会主义核心价值观】

**教学引入：**通过数学模型的等价变换映射自由、平等、诚信、公正、法制原则。同一系统可以采用不同的数学模型，如微分方程、传递函数、方框图、信号流图、频率特性来描述，微分方程、传递函数、频率特性可以相互转换，方框图和信号流图可以通过等价变换法则求典型的传递函数，变换的目的是进行系统性能分析，先等价变换哪部分是人的自由，但必须遵循等价原则。数学模型的等价变化如同人与人相处之道，必须互相尊重，遵守自由、平等、诚信、友爱、公正的原则。失去这个基础，人与人之间便不会融洽、和谐相处。



图 4 社会主义核心价值观

(第 60-75 分钟) 课程教学内容设计

### 3. 电路系统数学模型的建立

例 2：如图为两个形式相同的 RC 电路串联组成的滤波电路，建立输入电压为  $u$ ，求电容 C2 两端电压  $u_c$  为输出的微分方程。

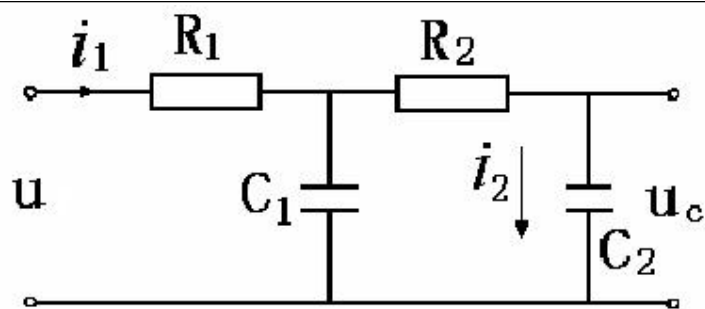


图5 电路系统

解：（1）分析电路的工作原理，假设电阻是理想电阻器，电容也是理想的电容器；

（2）输入量为  $u$ ，输出量为  $u_c$ ；

（3）根据基尔霍夫定理列写方程

节点方程：

$$i_1 = i_2 + C_1 \frac{du_1}{dt}$$

$$u = i_1 R_1 + u_1$$

回路方程：

$$u_1 = i_2 R_2 + u_c$$

$$i_2 = C_2 \frac{du_c}{dt}$$

（4）消去中间变量，求出描述系统输入—输出关系的微分方程：

$$R_1 C_1 R_2 C_2 \frac{d^2 u_c}{dt^2} + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2) \frac{du_c}{dt} + u_c = u$$

三、线性元件的微分方程列写方法：

（1）确定元件的输入、输出变量。

（2）从输入端开始，根据物理、化学基本定律写出原始方程式。

（3）消去中间变量，写出只含输入、输出变量的微分方程。

（4）标准化——将与输入有关的各项放在等号的右边，与输出有关的各项放在等号左边，各阶导数按降幂排列。

(第 75-85 分钟) 结合课程内容融入课程思政

【案例 2——让前沿科技照亮青春梦想】

教学引入：选取全国大学生数学建模赛题“嫦娥三号软着陆轨道的控制策略”引入,通过视频“中国探月工程”了解案例背景,介绍 2019 年 1 月 3 日,我国研制的嫦娥四号成功着陆在月球背面,这是人类历史上的首次月球背面软着陆,标志着我国从航天大国迈向航天强国,中华民族为人类探索宇宙奥秘做出了卓越贡献.通过案例背景介绍,激发学生的爱国热情,进行爱国主义教育,培养求真务实的科学精神、精益求精的工匠精神、不拘一格的创新精神,树立读书报国、科技强国的理想信念,激发了民族自豪,更埋下了为祖国强大而努力读书的种子。

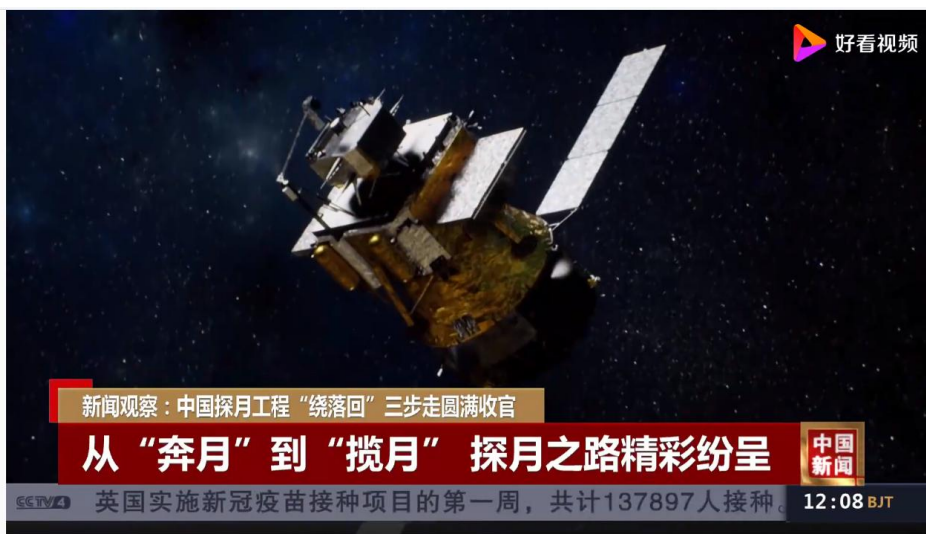


图 6 中国探月工程

(第 85 - 90 分钟) 课程教学内容设计

内容总结、归纳, 作业布置。

控制理论中控制系统模型的描述方法

- 时域：微分方程、差分方程、状态方程
- 复域：传递函数、动态结构图
- 频域：频率特性

(课后) 课程思政教学内容设计

课后习题：2-1 2-3

思考题：微分方程的求解需要特解和通解,对高阶微分方程而言这是非常困难的,根据所学知识有没有更为简便的方法? 比如引入复数?(引出下节课——传递函数)

## 教案四： 拉普拉斯变换和控制系统的传递函数

授课内容	拉普拉斯变换和控制系统的传递函数		
课程名称	控制工程基础	单元名称	物理系统的数学模型及传递函数
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	能理解引入拉普拉斯变换的背景和意义，明确传递函数是研究系统动态性能的主要数学模型。	
	能力目标	初步训练自动控制工程问题的分析思路和研究方法，获得系统分解和综合的基本技能。	
	思政目标	<b>引导学生知道关键核心技术是国之重器，勉励同学们担起科技强国的责任，让“科技强国”的理念根植于心中。</b>	
教学重点	内容	拉普拉斯变换与逆变换	
	解决策略	作业练习	
教学难点	内容	传递函数的建立	
	解决策略	案例分析	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	讲授结合法、案例教学法	
	学法	小组讨论法、合作学习法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>控制系统的传递函数</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
观看视频：			
1. 拉普拉斯简介			
<a href="https://v.youku.com/v_show/id_XNDcyNjM1MDY0OA==">https://v.youku.com/v_show/id_XNDcyNjM1MDY0OA==</a>			

2. 纪录片《创新强国》第三集《创新中前行》

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1655254666843763393&wfr=spider&for=pc>

3. 告诉你一个真实的傅里叶

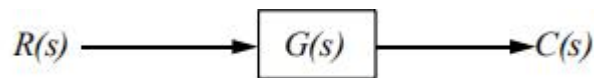
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/31371519>

### (课中第 1-20 分钟) 课程教学内容设计

用拉氏变换求解微方，虽思路明确，简单实用。但如果系统参数改变，特征方程及其解 都会随之改变。要了解参数变化对系统动态响应的影响，就必须多次计算，方程阶次愈高， 计算工作量越大，故引入另一种数学模型—传递函数。它是控制理论中的重要概念和工具，也是 经典理论中两大分支—根轨迹和频率响应的基础。利用传递函数不必求解微方就可研究初始 条件为零的系统在输入信号作用下的动态过程

#### 1. 传递函数的定义

线性定常系统的传递函数，定义为零初始条件下，系统输出量的拉氏变换与输入量的拉氏变换之比。**零初使条件是指当  $t \leq 0$  时，系统  $r(t)$ 、 $c(t)$  以及它们的各阶导数均为零。**



$$\text{则 } G(s) = \frac{C(s)}{R(s)}$$

例 1: 求下图 RC 电路的传递函数

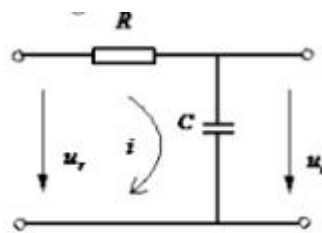


图 1 RC 电路

解:

由基尔霍夫定律有:

$$RC \frac{du_c}{dt} + u_c = u_r$$

对微分方程两端进行 Laplace 变换，且已知其初始条件为 0，有:



$$RCsU_c(s) + U_c(s) = U_r(s) \longrightarrow (RCs + 1)U_c(s) = U_r(s)$$

该电路的传递函数为：

$$G(s) = \frac{U_c(s)}{U_r(s)} = \frac{1}{RCs + 1}$$

G(s)反映了系统自身的动态本质，表达了传递信号的性质和能力，故称它为 RC 网络的传递函数。

**（第 20-30 分钟）结合课程内容融入课程思政**

### **【案例 1——科技强国】**

**教学引入：**通过观看短视频《分秒必争、打好医疗物资保障战》结合疫情使用的仪器设备，红外测温枪、CT 机、呼吸机、监护仪和 ECMO 等引导同学们认识到这些设备都需要用到智能控制的知识，需要控制技术进一步优化产品的工艺，更需要**科技创新**，只有不断创新，我们才能有更好的生命支持系统。在这门课程中将技术创新与重大社会课题联系在一起，勉励同学们担起科技强国的责任，让“**科技强国**”的理念根植于心中。

同时结合课前观看的纪录片引导学生知道关键核心技术是**国之重器**，创新思想的实现过程更是艰难的。**坚守科技创新，坚守荣誉使命**，需要付出一生的勇气与毅力。如果说一个人的创新，源于对个体成功的渴望，那么一群人的创新坚守，则呈现出对使命和信念的极致忠诚。来自中国各行各业创新的浪潮，将成为推动中国经济发展的新引擎，是中国经济发展的持续动力和持久活力。



图 2 分秒必争-打好医疗物资保障战

## (第 30-70 分钟) 课程教学内容设计

### 2. 传递函数性质与说明

(1) 传递函数是复变量  $s$  的有理真分式，具有复变函数的所有性质，且所有系数均为实数。

(2) 传递函数是一种用系统参数表示输出量与输入量之间关系的表达式，它只取决于系统或元件的结构和参数，而与  $r(t)$  的形式无关，也不反映系统内部的任何信息

(3) 传递函数是描述线性系统动态特性的一种数学模型，而形式上和系统的动态微方一一 对应。但只适用于线性系统且初始条件为零的情况下，原则上不能反映系统在非零初始条件下的全部运动规律。

(4) 传递函数是系统的数学描述，物理性质完全不同的系统可以具有相同的传函。在同一系统中，当取不同的物理量作输入或输出时，其  $G(s)$  一般也不相同，但却具有不同的分母。该分母多项式称为特征多项式。（形成的方程叫特征方程）。

(5) 传递函数是在零初始条件下定义的，控制系统的零初始条件有两方面的含义：  
①指  $r(t)$  是在  $t=0$  时才作用于系统，在  $t=0^-$  时， $r(t)$  及其各阶导数均为零。

②指  $r(t)$  加于系统之前，系统处于稳定的工作状态，即  $c(t)$  及其各阶导数在  $t=0^-$  时的值也为零。

### 4. 传递函数的局限性

(1) 原则上不反映非零初始条件时系统响应的全部信息；

(2) 适合于描述单输入/单输出系统；

(3) 只能用于表示线性定常系统。

例 2：由电阻  $R$ 、电容  $C$  和电感  $L$  组成的电气网络，可以应用复数阻抗的概念直接写出相应的传递函数。

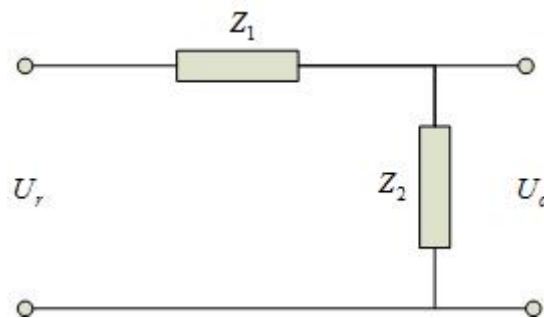


图 3 复阻抗电路



$$I = \frac{U_r(s)}{Z_1 + Z_2} = \frac{U_c(s)}{Z_2}$$

$$\frac{U_c(s)}{U_r(s)} = G(s) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

解：

（第 70-85 分钟）结合课程内容融入课程思政

【案例 2——文化自信】

**教学引入：**在教学过程中，引入傅里叶、拉普拉斯著名科学家对“控制工程基础”这门课程的贡献，用他们探索科学的过程、**追求真理**的历程，引导、教育学生在学习过程中体会到**科学家的钻研精神**，从而树立远大目标，为社会发展做出自己的贡献，鼓励学生**不言放弃，努力奋斗**，只要想学习，任何时间、任何环境都不是问题，通过不断奋斗，终将获得成功，并且要让学生深信通过自身的努力，我国教育是能够培养出大师来的自信。



图 4 拉普拉斯



图 5 傅里叶

（第 85 - 90 分钟）课程教学内容设计

内容总结、归纳，作业布置。

1. 传递函数定义为零初始条件下，系统输出量的拉氏变换与输入量的拉氏变换之比。

2. 传递函数的数学基础是拉普拉斯变换和逆变换

(课后) 课程思政教学内容设计

课后习题：2-4 2-5

思考题：传递函数在进行逆变换时，采用部分分式法，有不同的根、相同根和共轭复根的解题思路有何不同？

## 教案五： 典型环节的传递函数

授课内容	典型环节的传递函数		
课程名称	控制工程基础	单元名称	物理系统的数学模型及传递函数
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	理解比例、惯性、积分、微分、振荡环节的表述及典型模型。	
	能力目标	能够借助变换工具分析(Laplace 变换)并研究系统的基本环节，获得其典型特征和指标的能力。	
	思政目标	<b>一个完整的控制系统是由若干个不同的元件形成的一个有机整体，各个元件在系统中各司其职，保证系统能够良好运行。学习过程中引导学生认识到科学研究也需要团队合作精神，做自己善长的工作，发挥长处，协调好与他人的关系。</b>	
教学重点	内容	典型环节传递函数	
	解决策略	案例分析	
教学难点	内容	典型环节物理系统	
	解决策略	微视频	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	情景教学法、任务驱动法	
	学法	自主学习法、小组讨论法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>典型环节的数学模型</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
观看视频：			
1. 中国古代的顶级数学家			
<a href="https://www.bilibili.com/video/BV117411M7Mc?from=search&amp;seid=13454071">https://www.bilibili.com/video/BV117411M7Mc?from=search&amp;seid=13454071</a>			

33572353983

## 2. 通俗易懂的 PID 控制算法讲解

<https://www.bilibili.com/video/BV1et4y1i7Gm?from=search&seid=14848670>

225366063590

### (课中第 1-25 分钟) 课程教学内容设计

#### 1. 典型环节的基本概念

定义：不同的物理系统是由许多元件、按不同结构和不同运动原理构成的。但抛开具体的结构和物理特点，研究其运动规律和数学模型的共性可以划分成为数不多的几种典型的数学模型，称为典型环节。

常见典型环节：

比例环节、惯性环节、积分环节、微分环节、振荡环节和迟后环节。

#### 2. 比例环节

特点：输入量输出量之间的关系为固定比例关系。

$$c(t) = Kr(t)$$

传递函数为：

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = K$$

输出与输入成比例，不失真也不延时，如无弹性变形的杠杆、放大器、分压器、齿轮、减速器等等。

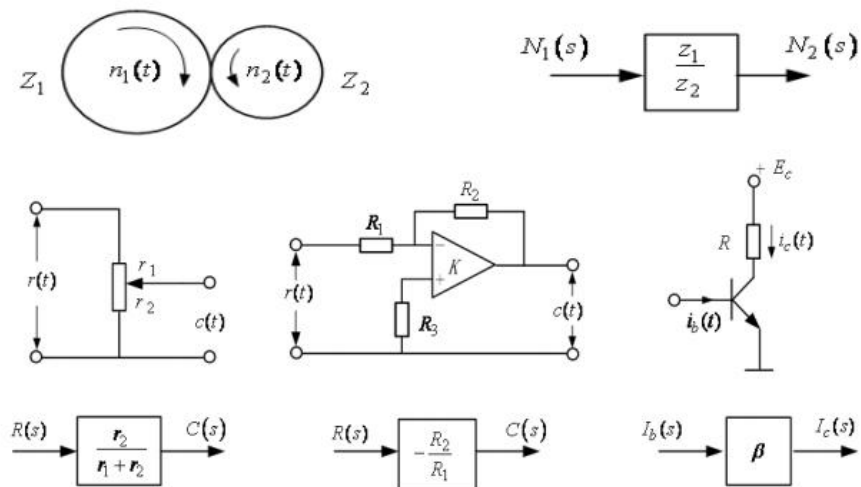


图 1 常见的比例环节

#### 3. 积分环节

特点:输入量输出量之间的关系满足下列方程

$$\frac{d}{dt}c(t) = Kr(t) \quad \text{或} \quad c(t) = K \int r(t)dt$$

传递函数:

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{s}$$

常见物理系统:电机拖动系统。

**(第 25-45 分钟) 结合课程内容融入课程思政**

**【案例 1——坚定四个自信】**

通过介绍中国古代科学家们对数学模型（微分环节、积分环节）的贡献，引导学生逐步了解历史，极限的思想在我国古代形成比较早，从庄子的“一尺之锤，日取其半，万世不竭”到刘徽的割圆术，无不闪烁着微积分的原始之光。《九章算术》对东方数学所产生的影响是非常深刻的。在中国，它在一千多年间被直接用作数学教育的教科书。它还影响到国外，朝鲜和日本也都曾拿它当作教科书。比欧洲同类算法早出一千五百多年。讲解中使学生坚定民族文化的自信心，提高爱国主义情绪，从而坚定四个自信。借此还可以让学生懂得，每一代人有每一代人的责任、使命和担当。大学生应该以主人翁精神学习科学知识、以工匠精神努力探索未知世界，在教学过程中弘扬社会主义核心价值观，传播爱国、爱党、爱社会主义的正能量。

$$\text{Value} = \int_{\text{Birth}}^{\text{Death}} \text{Study } d(\text{Time})$$

图 2 人生积分公式

**(第 45-75 分钟) 课程教学内容设计**

4. 惯性环节

特点:输入量输出量之间的关系满足下列微分方程

$$\tau \frac{d}{dt}c(t) + c(t) = Kr(t)$$

传递函数:

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

常见物理系统:直流电机

## 5. 微分环节

特点:输入量输出量之间的关系满足下列方程

$$c(t) = \tau \frac{d}{dt} r(t)$$

传递函数:

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \tau s$$

## 6. PID 控制

特点:根据给定值和实际输出值构成控制偏差,将偏差按比例、积分和微分通过线性组合构成控制量,对被控对象进行控制。常规PID控制器作为一种线性控制器。

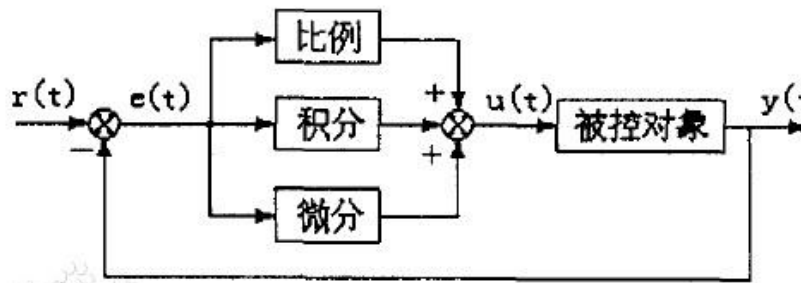


图4 PID控制

PID控制器各校正环节的作用如下:

**比例环节:**即时成比例地反应控制系统的偏差信号  $e(t)$ , 偏差一旦产生, 控制器立即产生控制作用以减小误差。当偏差  $e=0$  时, 控制作用也为 0。因此, 比例控制是基于偏差进行调节的, 即有差调节。

**积分环节:**能对误差进行记忆, 主要用于消除静差, 提高系统的无差度, 积分作用的强弱取决于积分时间常数  $T_i$ ,  $T_i$  越大, 积分作用越弱, 反之则越强。

**微分环节:**能反映偏差信号的变化趋势(变化速率), 并能在偏差信号值变得太大之前, 在系统中引入一个有效的早期修正信号, 从而加快系统的动作速度, 减小调节时间。

从时间的角度讲, 比例作用是针对系统当前误差进行控制, 积分作用则针对系统误差的历史, 而微分作用则反映了系统误差的变化趋势, 这三者的组合是“过去、现在、未来”的完美结合。

**(第 75-85 分钟) 结合课程内容融入课程思政**

**【案例 2——实事求是】**

通过对 PID 算法发展历史的阅读使同学们了解并认识到: 一是 PID 控制算法不是

理论推导出来的，而是自动化工程师在实践中总结出来的，并在实践中得到了丰富和发展，这符合马克思主义基本原理，即**认识与实践是辩证统一的**；二是从局部看比例控制可以快速消除误差，但容易产生静态误差；积分控制可以消除静态误差，但容易产生积分饱和；微分控制可以快速克服干扰的影响，但容易引起系统振荡。因此，局部有各自的优缺点，把局部整合在一起可以发挥整体优势，以己之长克彼之短；同时，比例控制、积分控制和微分控制这些局部控制只有在整体中才能发挥作用，部分服从和服务于整体；三是个人与集体的辩证关系。每个人都有自己的长处和不足，做一件事情，单凭一己之力难以做好，只有发挥集体的力量，才能做大事。比例控制、积分控制和微分控制在实际应用中不会被单独使用，一般是比例控制和积分控制相组合，或比例控制与微分控制相组合，或三者结合使用。要求同学们具备贯彻**实事求是的精神，活学活用**；坚持**理论联系实际，坚持科技创新**，鼓励学生积极参加各类竞赛，将所学知识与实践结合起来，在实践中创新。

#### **（第 85 - 90 分钟）课程教学内容设计**

内容总结、归纳，作业布置。

##### 1. 常见典型环节：

比例环节、惯性环节、积分环节、微分环节、振荡环节和迟后环节。

##### 2. PID 控制

#### **（课后）课程思政教学内容设计**

课后习题：2-6 2-7

**思考题：复杂系统传递函数的求解不能通过计算来实现，如何实现？（引出下节课——信号流图及梅森公式）**





## 教案六： 系统的框图、信号流图及梅森公式

授课内容	系统的框图、信号流图及梅森公式		
课程名称	控制工程基础	单元名称	物理系统的数学模型及传递函数
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	能够利用梅森公式计算系统的传递函数。	
	能力目标	在理解系统结构图与传递函数关系的基础上，明确结构图等效变换的本质和变换技巧的能力。	
	思政目标	<b>通过列举历史上不守纪律、不讲规矩的许多反面典型案例，让同学们认识到纪律规矩的重要性，引导学生正确树立规矩意识、纪律意识。</b>	
教学重点	内容	利用梅森公式求取传递函数	
	解决策略	微视频	
教学难点	内容	闭环系统有关传递函数的一些基本概念	
	解决策略	案例分析	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	情景教学法、讲授结合法、案例教学法	
	学法	自主学习法、探究学习法、合作学习法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>信号流图及梅森公式</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
观看视频：			
1. 大型反腐专题片《永远在路上》，推荐网址： <a href="https://tv.cctv.com/2016/10/18/VIDARkmmgzM99Z0JY5JNyGDX161018.shtml">https://tv.cctv.com/2016/10/18/VIDARkmmgzM99Z0JY5JNyGDX161018.shtml</a>			
2. 中国自动控制教育的开拓者钟士模教授 <a href="https://www.doc88.com/p-3863501358760.html?r=1">https://www.doc88.com/p-3863501358760.html?r=1</a>			

(课中第 1-25 分钟) 课程教学内容设计

1. 认识信号流图 信号流图是由节点和支路组成的信号传递网络。系统元件的传递函数可以由连接两个节点的有向支路表示。如图 1。

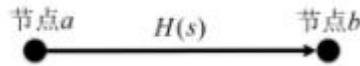


图 1 传递函数的信号流图表示

节点有三种类型：

- 1) 输入节点 (源点)：仅有输出支路，它一般表示系统的输入变量。
- 2) 输出节点 (阱点)：仅有输入支路，它一般表示系统的输出变量。
- 3) 混合节点，既有输入支路又有输出支路的节点称为混合节点，它一般表示相加点、分支点、接点。

**通路：**从某一节点开始沿支路箭头方向经过各相连支路到另一节点所构成的路径称为通路。通路中各支路增益的乘积叫做通路增益。

**前向通路：**从输入节点开始并终止于输出节点且与其它节点相交于不多于一次的通路。该通路的各增益乘积称为前向通路增益。

**回路：**通路的终点就是通路的起点，并且与该通路内任何其它节点相交不多于一次的通路称为回路。回路中各支路增益的乘积称为回路增益。

**不接触回路：**一个信号流图可能有多个回路，各回路之间没有任何公共节点。

通路或环	原始图	等效图
(1) 串联通路		
(2) 并联通路		
(3) 反馈环		
(4) 串联双环		 其中 $H = \frac{H_1 H_2 H_3}{1 - G_1 H_1 - G_2 H_2 + G_1 G_2 H_1 H_2}$
(5) 相邻双环		 其中 $H = \frac{H_1 H_2}{1 - G_1 H_1 - G_2 H_2}$
(6) 交叉反馈环		 其中 $H = \frac{H_1 H_2 H_3}{1 - G_1 H_1 H_2 - G_2 H_1 H_3}$

(第 25-45 分钟) 结合课程内容融入课程思政

【案例 1——规矩意识】

在信号流图中，信号只能沿着支路箭头的方向传输，不能逆着箭头方向传输。如果违反这一基本规则的话，根据梅森公式则会求出不正确的系统函数。因此，可以由信号流图引出规矩意识。在课堂上介绍由于违反规矩而引发的灾难性后果，如违反交通规则引发的交通事故，从而引导学生在任何时候都要遵纪守法，不能违法违纪。结合课前观看视频，认识到现实生活中，那些丧失信仰、违规违纪、贪赃枉法的“老虎”落入法网，无不印证了陈毅同志的名言“手莫伸，伸手必被捉”。



图2 反腐倡廉

(第 45--75 分钟) 课程教学内容设计

## 2. 梅森公式的形式和应用

梅森公式，或称梅森增益公式，是在控制理论、自动化领域用于求取系统传递函数的公式。应用梅森公式将大大简化结构变换的计算。公式如下：

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \Delta_i}{\Delta}$$

$\Delta$ ：系统的特征式

$$\Delta = 1 - \sum_j L_j + \sum_{m,n} L_m L_n - \sum_{p,q,r} L_p L_q L_r + \dots$$

$\sum_i L_j$  是所有不同回路的增益之和； $\sum_{m,n} L_m L_n$  是所有两两不接触回路的增益乘积之和；

和； $\sum_{p,q,r} L_p L_q L_r$  是所有三三不接触回路的增益乘积之和。

$n$ ：前向通路总数

$i$ ：源节点和阱节点之间的第  $i$  条前向通路的标号

$\Delta_i$ ：将与第  $i$  条前向通路相接触的回路的增益除去后所余下的部分，称为余因

子式；相当于在系统特征式内部去掉相关项

例 1:

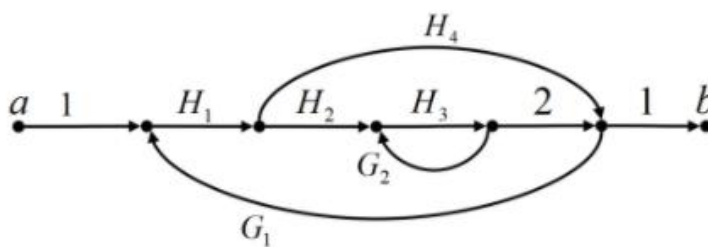


图1 信号流图示例

(1) 首先找出所有回路：

$$L_1 = G_2 H_3$$

$$L_2 = 2 G_1 H_1 H_2 H_3$$

$$L_3 = G_1 H_1 H_4$$

(2) 求特征行列式：

$$T_1 = 2 H_1 H_2 H_3$$

$$T_2 = H_1 H_4$$

(3) 求各前向通路的余因子式：

$$\Delta_1 = 1$$

$$\Delta_2 = 1 - L_1 = 1 - G_2 H_3$$

(4) 根据梅森公式得系统的增益（源点到阱点）：

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \Delta_i}{\Delta} = \frac{T_1 \Delta_1 + T_2 \Delta_2}{\Delta} = \frac{2 H_1 H_2 H_3 + H_1 H_4 \cdot (1 - G_2 H_3)}{1 - (G_2 H_3 + 2 G_1 H_1 H_2 H_3 + G_1 H_1 H_4) + G_1 G_2 H_1 H_3 H_4}$$

**（第 75-85 分钟）结合课程内容融入课程思政**

**【案例 2——家国情怀】**

在讲解知识难点和易错知识点时，教师可以引出中国科学家钟士模的故事。中国自动化先驱钟士模，师从“控制论”之父维纳，亲手缔造清华计算机系，钟士模以他在科研和教学两个方面的远见卓识和身体力行，他在美国的麻省理工学院最早接触并且深入系统学习了电子技术、自动控制、远程控制这些未来将大发展的新学科，终于

克服了由于资料、设备和经验的缺乏而带来的种种困难，保证了教学任务的完成，为正处于创建时期的我国国防尖端工业解决了燃眉之急。1956年，钟士模与童诗白、郑维敏合作，完成我国第一台脉冲调节器的研究；钟士模还组织研制成功我国高等院校第一台大型通用电子管计算机；组织研究成功我国第一台三自由度飞行试验平台和改进型的由16阶模拟计算机控制的电动试验平台，我国自行研制的几种型号的歼击机驾驶仪就是在这一试验平台上完成地面试验；组织研究成功我国第一台6阶非线性小型模拟计算机；组织研究成功我国高校第一台全晶体管通用数字计算机……

钟士模是我国自动化界的一位前辈，但他的身上丝毫没有专家学者的架子，他作风民主、质朴热情、待人宽，律己严，1971年，钟士模不幸逝世，年仅60岁。他逝世之后，人们整理他的遗稿时发现，他在与病魔作斗争中仍以顽强的毅力研究《控制理论》教学中的某些难点，不禁使人肃然起敬。“春蚕到死丝方尽”，钟士模为造就我国的自动化科技人才，尽心尽力，战斗到了最后一息。通过钟士模的人格魅力和科学精神，鼓励学生要正确面对挫折和失败，敢于探索、刻苦钻研，为祖国的繁荣和强大而努力学习。引导学生继承钟先生的精神，不管遇到什么样的困难都要迎难而上，始终牢记所肩负的国家的责任，牢记使命，不断进取，在新的历史条件下，发扬光荣传统，争取新的光荣。

#### （第 85 - 90 分钟）课程教学内容设计

内容总结、归纳，作业布置。

1. 信号流图是由节点和支路组成的信号传递网络
2. 梅森公式

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \Delta_i}{\Delta}$$

#### （课后）课程思政教学内容设计

课后习题：2-9 2-10

思考题：信号流图引入干扰后会不会影响系统？如何影响？如何判断其影响程度？（引出下节课——时域频域分析性能指标）





## 教案七： 时间响应及系统的输入信号

授课内容	时间响应及系统的输入信号		
课程名称	控制工程基础	单元名称	瞬态响应及误差分析
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	知道并理解自动控制系统的典型要求：稳定性，准确性（稳态误差指标）和快速性（暂态性能指标）；知道并识记典型时域信号。	
	能力目标	具备借助 Laplace 变换工具研究典型系统的时域约束关系，分析系统的各种典型性能指标的能力。	
	思政目标	<b>控制技术广泛地应用于电视、雷达、通信、电子计算机、自动控制、航天等科学技术领域。让学生认识到每一个领域的应用都推动着国家科技的发展与进步，引导学生要有专研和工匠精神，认真真学好这门课，为国家的繁荣富强贡献自己的力量。</b>	
教学重点	内容	时域分析的基本概念	
	解决策略	微视频	
教学难点	内容	系统的典型响应及性能指标	
	解决策略	小组讨论	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	任务驱动法、讲授结合法	
	学法	小组讨论法、探究学习法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>线性系统的时域分析</b>			
<b>（课前）课程思政教学内容设计</b>			
观看视频：			
1. 航空航天时代，推荐网址：			
<a href="https://www.bilibili.com/video/BV1ZJ411c757?from=search&amp;seid=3621535801">https://www.bilibili.com/video/BV1ZJ411c757?from=search&amp;seid=3621535801</a>			

677373658

2. 榜样 5, 推荐网址:

<https://tv.cctv.com/2021/03/24/VIDEmCVgXQ1KRA6LzAc5oT7H210324.shtml>

(课中第 1-30 分钟) 课程教学内容设计

### 1. 时域分析法的基本概念

**定义:** 根据系统的微分方程, 以拉氏变换为工具, 直接解出系统的时间响应即方程的解。

**典型输入信号:**

(1) 阶跃函数 (位置函数)

阶跃函数的数学表达式为

$$r(t) = \begin{cases} A & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

它表示一个在  $t = 0$  时出现的、幅值为  $A$  的阶跃变化函数, 如图所示。在实际系统中, 如负荷突然增大或减小, 流量阀突然开大或关小, 均可近似看成阶跃函数的形式。

(2) 斜坡函数 (等速度函数)

斜坡函数的数学表达式为

$$r(t) = \begin{cases} At & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

它表示一个从  $t = 0$  时刻开始、随时间以恒定速度  $A$  增加的变化函数

(3) 抛物线函数 (等加速度函数)

抛物线函数的数学表达式为

$$r(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} At^2 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

(4) 脉冲函数

脉冲函数的数学表达式为

$$\delta_{\Delta}(t) = \begin{cases} \frac{A}{\Delta} & 0 \leq t \leq \Delta \\ 0 & t < 0 \text{ 及 } t > \Delta \end{cases}$$

### (5) 正弦函数

正弦函数的数学表达式为

$$r(t) = \begin{cases} A \sin \omega t & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

应该指出，对实际系统进行分析时，应根据系统的工作情况选择合适的典型输入信号。例如 具有突变的性质，可选择阶跃函数作为典型输入信号；当系统的输入作用随时间增长而变化 时，可选择斜坡函数作为典型输入信号；当系统输入具有周期性变化时，可选择正弦函数作为典型输入信号。

**(第 30-45 分钟) 结合课程内容融入课程思政**

#### **【案例 1——家国情怀】**

时域分析中结合观看“航空航天时代”纪录片让同学们了解过去 100 年来的航空工业历史。从莱特兄弟的首次飞行到“阿波罗”系列飞船登月成功，引导学生了解重一家公司、一个国家，及其人民的历程，尤其是他们对于科技、文化、和历史的无数贡献，“家是最小国，国是千万家”激发同学们的家国情怀。再从我国航空航天谈信号的跟踪对航天发射的意义，鼓励同学学习和弘扬大国工匠精神，努力学习，同时很自然的引出要介绍的信号内容。

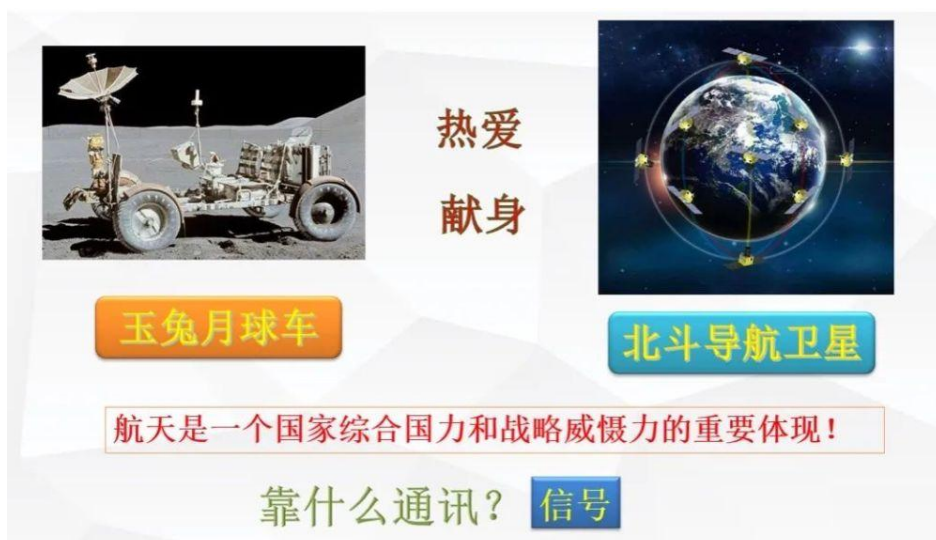


图 1 家国情怀

## (第 45--75 分钟) 课程教学内容设计

### 2. 线性定常系统的时域响应

控制系统模型建立后, 就可以分析控制系统的性能。时域分析就是研究系统的动态性能和稳态性能, 动态性能可以通过在典型输入信号控制系统的过渡性能来评价。稳态性能则是根据在典型输入信号作用下系统的稳态误差来评价。

#### (1) 单位阶跃响应

如给定输入  $r(t)$  为单位阶跃函数, 系统的输出即为单位阶跃响应, 一般用  $h(t)$  表示。

单位阶跃响应特点:

阶跃输入对系统来说是最严格的工作状态, 如果系统在阶跃作用下的动态性能满足要求, 系统在其它输入信号作用下, 其动态性能一般满足要求。

#### (2) 单位脉冲响应

如给定输入  $r(t)$  为单位脉冲函数, 系统的输出即为单位脉冲响应, 一般用  $g(t)$  表示。

单位脉冲响应的特点:

系统的脉冲响应中只有暂态响应, 而稳态响应总是为零, 也就是说不存在与输入相对应的稳态响应。所以系统的脉冲响应更能反映系统的暂态性能。

### 3. 控制系统时域响应的性能指标

稳定的线性控制系统的时域响应曲线如图所示:

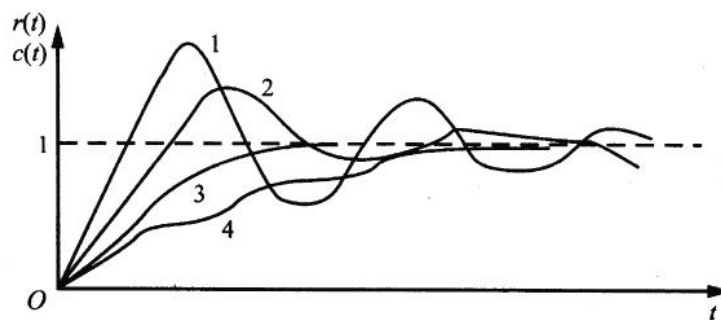


图 2 时域响应曲线

其中:

曲线 1----强烈振荡过程

曲线 2----振荡过程

曲线 3---单调过程

曲线 4---微振荡过程

系统响应由稳态响应和暂态响应组成：

暂态响应：系统在某一输入信号作用下，其输出量从初始状态到进入稳定状态前的响应过程。

稳态响应：系统在某一输入信号作用下，经过一定时间后，进入稳定状态时系统的输入输出。

#### 4. 线性控制系统的性能指标

线性控制系统性能评价方法：在单位阶跃函数的作用下，根据系统阶跃响应的特征来评价。

线性控制系统时域性能指标体系：

- (1) 评价系统快速性的性能指标
- (2) 评价系统平稳性的性能指标
- (3) 评价系统准确性的性能指标

下面分别予以介绍：

- (1) 评价系统快速性的性能指标

A. 上升时间：响应第一次达到稳态值  $c(\infty)$  的时间。当无超调时，指响应从  $c(\infty)$  的 10%—90% 的时间。

B. 峰值时间：响应超过  $c(t)$  达到第一个峰值的时间

C. 调节时间：在  $c(t)$  曲线的  $c(\infty)$  附近，取其 2% 或 5% 称为误差带，或叫允许误差。

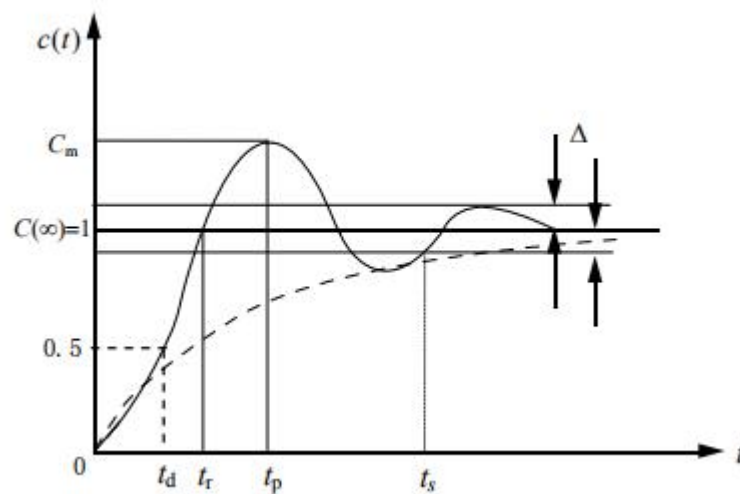


图 3 时间响应曲线

(2) 评价系统平稳性的性能指标

A. 超调量  $M_p$  ( $\delta\%$ )：响应的最大值  $c_{\max}$  超过  $c(\infty)$  的百分数。即

$$\sigma\% = \frac{c_{\max} - c(\infty)}{c(\infty)} * 100\%。$$

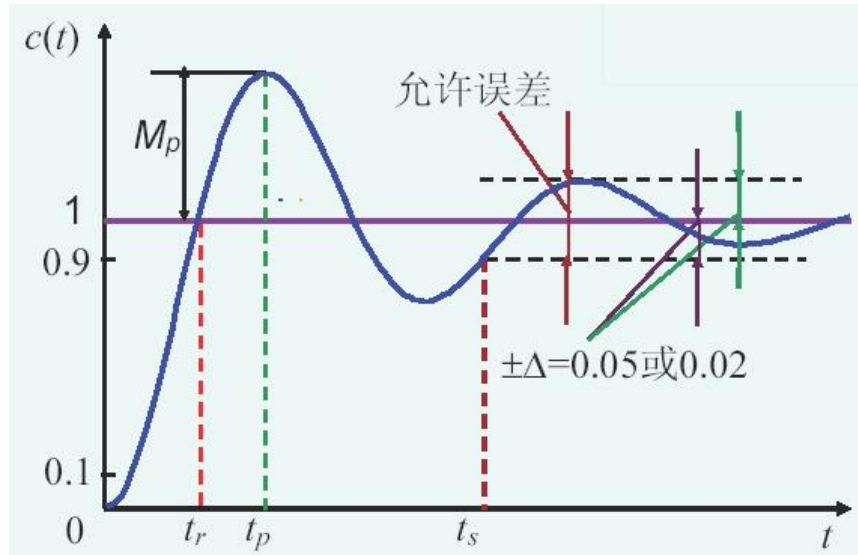


图4 误差响应曲线

B. 振荡次数 N：在  $t_s$  内， $c(t)$  偏离  $c(\infty)$  的振荡次数；或在  $t_s$  内， $c(t)$  曲线穿越  $c(\infty)$  的次数的  $1/2$ 。

**(第 75—85 分钟) 结合课程内容融入课程思政**

**【案例 2——弘扬时代正能量】**

教学引入：该部分加入课程思政内容，人体是一个精密且复杂的系统，我们输入的信号都会产生相应的响应。输入的信息决定输出的行为，鼓励学生应该广泛的获得多方面的知识，多听、多读、多看有益的知识，屏蔽网络上不健康的传播内容，避免在自己的内心深处产生不良的“响应”，学习先进榜样，引导学生见贤思齐、向善向上，弘扬时代正能量。



图5 弘扬时代正能量

**(第 85 - 90 分钟) 课程教学内容设计**

内容总结、归纳，作业布置。

1. 典型输入信号：阶跃信号、斜坡信号、抛物线信号、脉冲信号、正弦信号
2. 动态性能指标：上升时间、峰值时间、超调量

**(课后) 课程思政教学内容设计**

课后习题：3-1 3-4

**思考题：控制系统的准确性由哪个指标反映，快速性由哪个指标反映，那么稳定性呢？（引出下节课——稳定性分析）**





## 教案八：一阶系统的时间响应

授课内容	一阶系统的时间响应		
课程名称	控制工程基础	单元名称	瞬态响应及误差分析
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	了解系统时间响应的组成；初步掌握系统特征根的实部和虚部对系统自由响应项的影响情况；掌握典型一阶系统的动态特性。	
	能力目标	能利用 MALAB 软件建立控制系统仿真模型的方法。	
	思政目标	<b>通过理论学习、培养学生辩证唯物主义世界观、科学素质和科学思维方法，帮助学生增强爱国主义观念并建立辩证唯物主义世界观。</b>	
教学重点	内容	一阶控制系统综合分析与设计	
	解决策略	预习新知、复习巩固、自主学习	
教学难点	内容	一阶控制系统综合分析与设计	
	解决策略	线上讨论、虚拟实验、设计方案、孰能生巧	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	情景教学法、讲授结合法	
	学法	自主学习法、小组讨论法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>线性系统的时域分析</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
观看视频：			
1. 一心在一艺 匠心铸重器，推荐网址： <a href="https://baijiahao.baidu.com/s?id=1708015450063117928&amp;wfr=spider&amp;for=pc">https://baijiahao.baidu.com/s?id=1708015450063117928&amp;wfr=spider&amp;for=pc</a>			
2. 榜样 5，推荐网址： <a href="https://tv.cctv.com/2021/03/24/VIDEmCVgXQ1KRA6LzAc5oT7H210324.shtml">https://tv.cctv.com/2021/03/24/VIDEmCVgXQ1KRA6LzAc5oT7H210324.shtml</a>			
<b>(课中第 1-30 分钟) 课程教学内容设计</b>			

在典型输入信号作用下，控制系统的时间响应是由**动态响应**和**稳态响应**组成。

### 动态响应 Transient Response

又称为过渡过程或瞬态过程，指系统在典型输入信号作用下，系统输出量从初始状态到最终状态的响应过程

### 稳态响应 Steady-state Response

指系统在典型输入信号作用下，当时间趋于无穷时，系统输出量的表现形式。

#### 一、一阶系统的数学模型

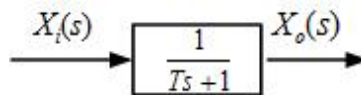
一阶微分方程描述的系统称为一阶系统

$$T \frac{dx_o(t)}{dt} + x_o(t) = x_i(t)$$

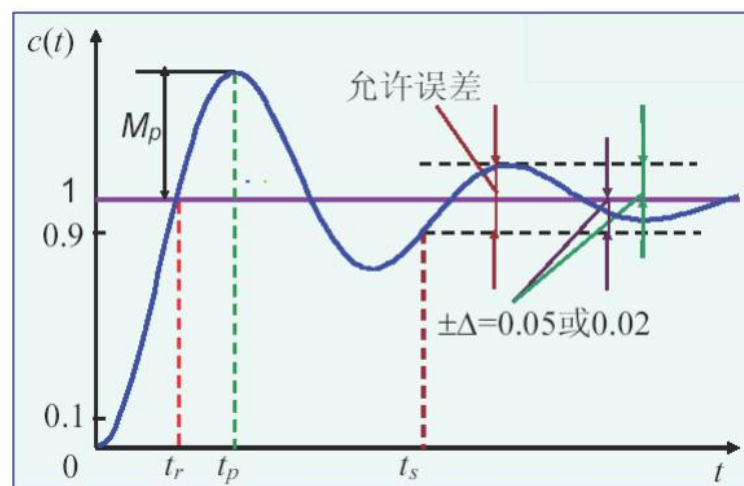
一阶系统的**传递函数**：

$$G(s) = \frac{1}{Ts + 1}$$

一阶系统的**方框图**：



应该指出，对实际系统进行分析时，应根据系统的工作情况选择合适的典型输入信号。例如 具有突变的性质，可选择阶跃函数作为典型输入信号；当系统的输入作用随时间增长而变化 时，可选择斜坡函数作为典型输入信号；当系统输入具有周期性变化时，可选择正弦函数作为典型输入信号。



线性控制系统性能评价方法：在单位阶跃函数的作用下，根据系统阶跃响应的特征来评价。

线性控制系统时域性能指标体系：

- (1) 评价系统快速性的性能指标
- (2) 评价系统平稳性的性能指标
- (3) 评价系统准确性的性能指标

**(第 30-45 分钟) 结合课程内容融入课程思政**

**案例引入：**讲解控制系统的“稳、快、准”三大性能时，可以从系统稳定性入手来培养学生的**爱国情怀**以及自身抗挫折能力，教会学生认识到维护国家意识形态安全，做好民族团结工作的重要性。如果从自身角度出发，要具有抵抗外界“干扰”的能力，维持个体“系统”稳定。从系统快速性和准确性方面，阐述执行能力在个人职场中的重要作用，工作中要讲究效率。理论和实践中出现误差也是不可避免的，要学会思考减小误差的方法，引导学生深刻理解**练就一流技艺，树立一流标准，铸造大国重器；多思考多发现多钻研，困难就能迎刃而解；一毫一厘，追求极致的大国工匠精神。**



**(第 45—80 分钟) 课程教学内容设计**

## 二、一阶系统的单位阶跃响应

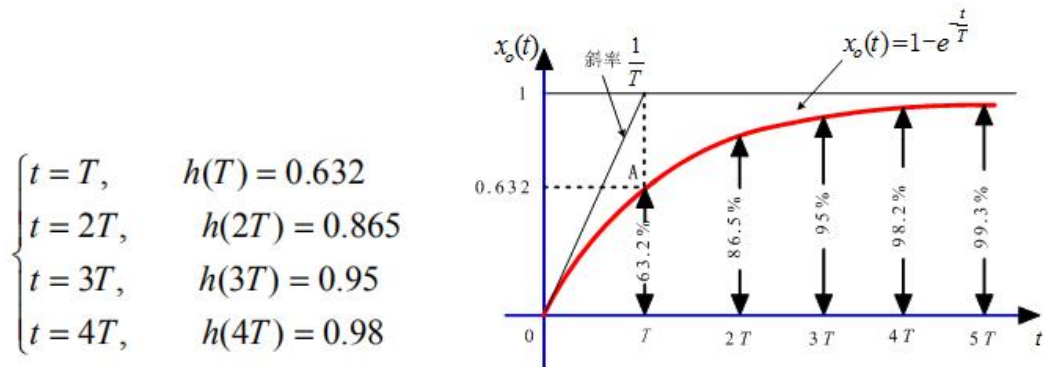
输入：

$$L[1(t)] = \frac{1}{s}$$

输出：

$$x_o(t) = L^{-1} \left[ \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{Ts + 1} \right] = L^{-1} \left[ \frac{1}{s} - \frac{1}{s + \frac{1}{T}} \right] = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \quad (t \geq 0)$$

图形:



$$\begin{cases} t = T, & h(T) = 0.632 \\ t = 2T, & h(2T) = 0.865 \\ t = 3T, & h(3T) = 0.95 \\ t = 4T, & h(4T) = 0.98 \end{cases}$$

分析:

1. 1 是稳态分量，由输入信号决定。
2. 瞬态分量(暂态分量)，它的变化规律由传递函数的极点 $-1/T$  或时间常数  $T$  决定。
3. 一阶系统的单位阶跃响应是一条指数上升、渐近趋于稳态值的曲线。在  $t=0$  时的切线斜率等于  $1/T$  。
4. 一阶系统时间常数  $T$ ，反映了一阶系统惯性的大小；
5. 一阶系统总是稳定的，无振荡；
6. 调整构成系统的元件参数，减小  $T$  值可提高系统的快速性。

### 三、一阶系统的单位斜坡响应

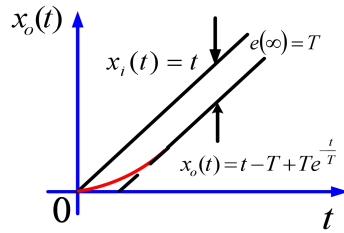
输入:

$$X_i(s) = \frac{1}{s^2}$$

输出:

$$\begin{aligned} x_o(t) &= L^{-1} \left[ \frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{Ts + 1} \right] \\ &= L^{-1} \left[ \frac{1}{s^2} - \frac{T}{s} + \frac{T}{s + \frac{1}{T}} \right] \\ &= t - T + Te^{-\frac{t}{T}} \quad (t \geq 0) \end{aligned}$$

图形:



分析:

1. 当输入信号为单位斜坡信号时，一阶系统的稳态误差为  $T$ ，时间常数越小，系统的稳态误差越小，精度越高。

#### 四、一阶系统的单位脉冲响应

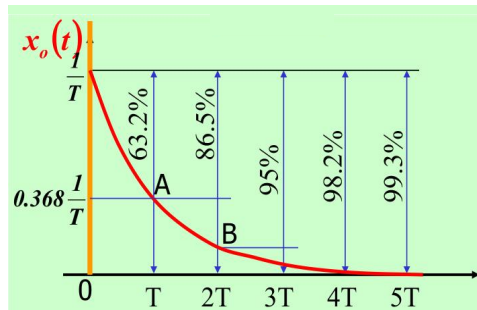
输入:

$$X_i(s) = 1$$

输出:

$$x_o(t) = L^{-1} \left[ 1 \cdot \frac{1}{Ts + 1} \right] = \frac{1}{T} \frac{1}{s + \frac{1}{T}} = \frac{1}{T} e^{-\frac{1}{T}t} \quad (t \geq 0)$$

图形:



#### 五、响应之间的关系

$x_i(t)$	$x_o(t)$
$\delta(t)$	$\frac{1}{T}e^{-\frac{t}{T}}$
$1(t)$	$1 - e^{-\frac{t}{T}}$
$t$	$1 - T + Te^{-\frac{t}{T}}$
$\frac{1}{2}t^2$	$\frac{1}{2}t^2 - Tt + T^2 - T^2e^{-\frac{t}{T}}$

(第 80 - 90 分钟) 课程教学内容设计

内容总结、归纳，作业布置。



(课后) 课程思政教学内容设计

课后习题：3-2 3-3

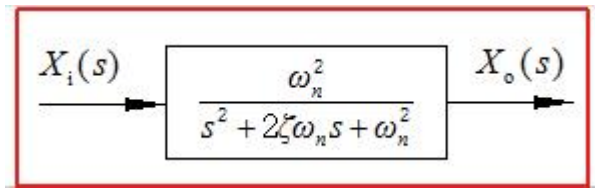
思考题：汽车悬架系统是什么系统？（引出下节课——二阶系统）



## 教案九：二阶系统的时间响应

授课内容	二阶系统的时间响应		
课程名称	控制工程基础	单元名称	瞬态响应及误差分析
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	掌握典型二阶系统传递函数的参数表达式。	
	能力目标	建立采用积分控制器的二阶系统仿真模型，并观察信号变化。	
	思政目标	<b>培养学生端正的学习态度，求实的科学态度，使学生确立对真善美的价值追求以及人与人的和谐相处的理念。</b>	
教学重点	内容	二阶控制系统综合分析与设计	
	解决策略	实验仿真、作业练习	
教学难点	内容	二阶控制系统综合分析与设计	
	解决策略	小组讨论、图形绘制	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	案例教学法、比较教学法和讨论教学法	
	学法	自我探究学习、思辨性学习等方法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>二阶系统的时间响应</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
观看视频：			
1. 观看太钢集团的宽幅超薄精密不锈带钢（手撕钢）视频，分析从 0.05mm 到 0.02mm 技术提升的难度及实现途径。推荐网址：			
<a href="https://www.pearvideo.com/video_1726685">https://www.pearvideo.com/video_1726685</a>			
<b>(课中第 1-30 分钟) 课程教学内容设计</b>			
为了兼顾控制系统的稳定性和快速性相矛盾的瞬态指标，我们总希望系统阶跃响应是衰减振荡过程，这一过程与二阶系统欠阻尼阶跃响应非常相似，又因二阶系统			

在数学分析、模型设计上都比较容易，而且高阶系统又能转化（简化）成二阶系统（主导极点），所以二阶系统是我们研究的重点。

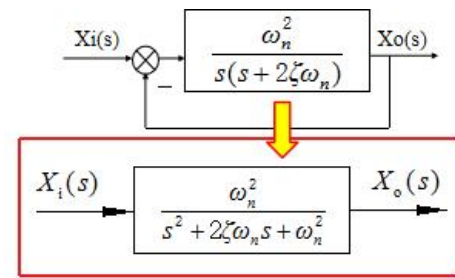


### 一、二阶系统的数学模型

$$G_K(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s + 2\zeta\omega_n)}$$

$$G_B(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

框图：



二阶系统特征方程：

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

特征方程的根：

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1} \quad (\text{系统的极点})$$

(1) 欠阻尼

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$

(2) 临界阻尼

$$s_{1,2} = -\omega_n$$

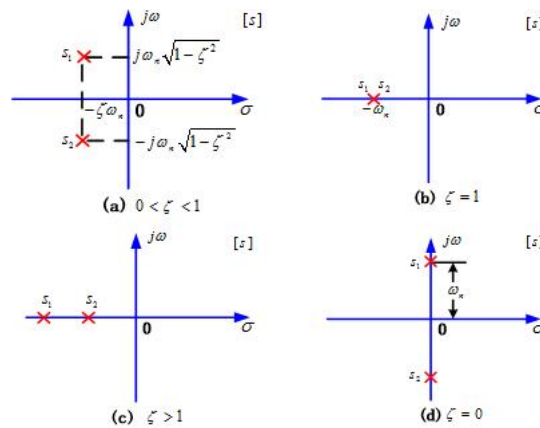
(3) 过阻尼

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1}$$

(4) 零阻尼

$$s_{1,2} = \pm j\omega_n$$

图形：



**（第 30-45 分钟）结合课程内容融入课程思政**

**案例引入：**习总书记三年之内两赴太钢 太钢“手撕钢”真刚。

宝剑锋从磨砺出，梅花香自苦寒来。成功从来都不是一蹴而就。从 2016 年起，太钢成立了宽幅超薄精密不锈带钢创新研发团队开展联合攻关。项目团队坚守自主创新、产业报国的初心，坚持边摸索边生产，经过两年多的不懈努力，历经 700 多次的试验，先后攻克了 170 多个设备难题、450 多个工艺难题，实现了一系列关键工艺和生产制造技术的重大突破，于 2018 年成功生产出厚度 0.02 毫米、宽度 600 毫米的不锈钢精密带材，工艺技术和产品实物质量达到国际领先水平，太钢也因此成为全球唯一可批量生产宽幅超薄不锈钢精密带钢的企业，引导学生了解关键核心技术是国之重器，必须牢牢掌握在自己手中，太钢将坚守自主创新、产业报国初心，牢记锻造“大国重器”使命，为中国制造和中国创造贡献更大力量！

**（第 45—80 分钟）课程教学内容设计**

## 二、二阶系统的单位阶跃响应

输入：

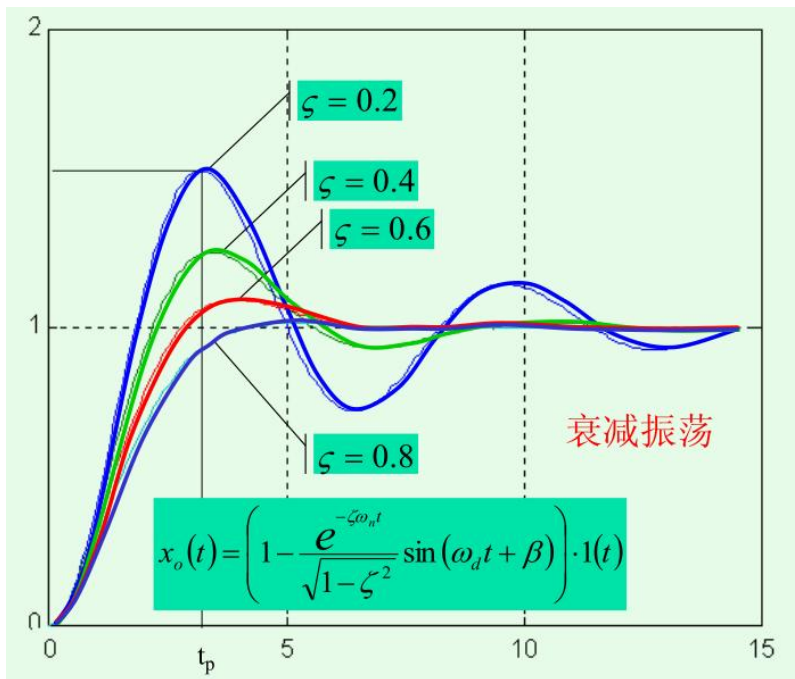
$$X_i(s) = \frac{1}{s}$$

输出：

$$x_o(t) = 1 - e^{-\zeta\omega_n t} \left( \cos \omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \omega_d t \right) \quad (t \geq 0)$$

$$= 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\omega_d t + \beta) \quad \beta = \arctan \left( \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} \right)$$

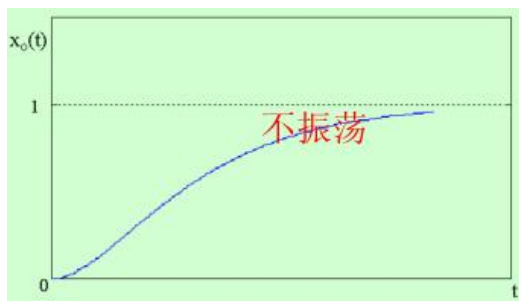
图形：



欠阻尼

分析:

1. 瞬态分量是一个随时间增长而衰减的振荡过程，衰减的快慢取决于指数
2. 阻尼减小，振荡幅度加大



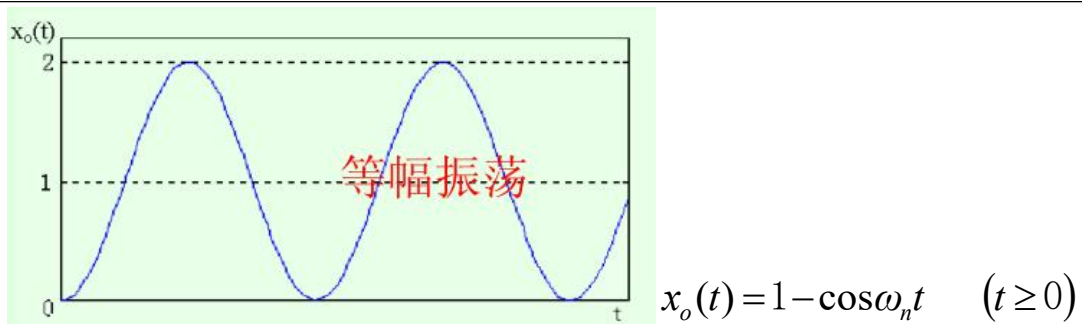
$$x_o(t) = 1 - e^{-\omega_n t} (1 + t\omega_n) \quad (t \geq 0)$$

临界阻尼

过阻尼:

$$x_o(t) = 1 + \frac{\omega_n}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}} \left( \frac{e^{s_1 t}}{s_1} - \frac{e^{s_2 t}}{s_2} \right)$$

零阻尼:



### 三、二阶系统的脉冲响应

输入：

$$x_i(t) = \delta(t)$$

输出：

欠阻尼：

$$x_o(t) = \frac{\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin \omega_d t \quad (t \geq 0)$$

临界阻尼：

$$x_o(t) = \omega_n^2 t e^{-\omega_n t} \quad (t \geq 0)$$

过阻尼：

$$x_o(t) = \frac{\omega_n}{2\sqrt{\zeta^2-1}} (e^{s_1 t} - e^{s_2 t})$$

因为单位脉冲函数是单位阶跃函数对时间的导数，所以单位脉冲的时间响应可以由单位阶跃响应进行微分得到。同样，单位斜坡响应可以由单位阶跃响应积分得到。

#### 融入思政点：

通过二阶系统的分析，强调二阶系统性能在设计过程中的重要性，培养学生认真负责、踏实敬业的工作态度和严谨求实、一丝不苟的工匠精神。

#### （第 80 - 90 分钟）课程教学内容设计

内容总结、归纳，作业布置。

欠阻尼 $0 < \xi < 1$			系统稳定
临界阻尼 $\xi = 1$			系统稳定
过阻尼 $\xi > 1$			系统稳定
零阻尼 $\xi = 0$			系统临界 稳定
负阻尼 $\xi < 0$			系统不稳 定

### 融入思政点：

引导学生有意识的总结归纳，分析问题的能力。

### （课后）课程思政教学内容设计

课后习题：3-5 3-6

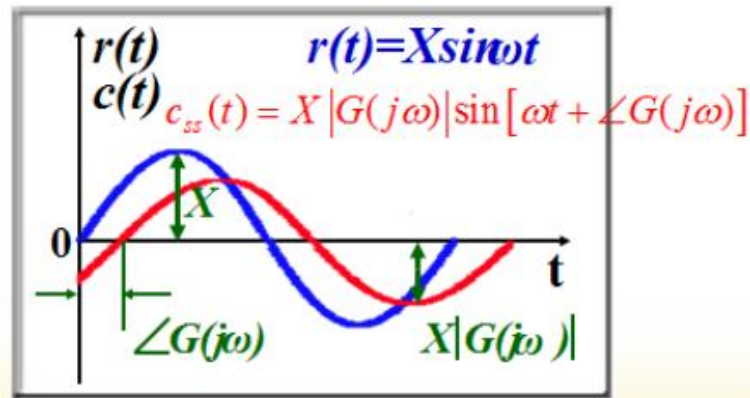
思考题：回顾二阶系统阶跃响应曲线，回顾误差传递函数和干扰误差传递函数，系统的调整时间的确定与进入误差带相关，对比一阶系统和二阶系统的差异，对比两个传递函数的分母。

## 教案十： 频率特性的基本概念

授课内容	频率特性的基本概念		
课程名称	控制工程基础	单元名称	频域特性分析
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	掌握系统的频域特性，频域稳定判据； 会绘制奈奎斯特图、伯德图。	
	能力目标	具备观察分析图形和性能指标的能力，并能提出改进措施。	
	思政目标	<b>引导学生在不同阶段做好人生规划，阐述行动力的重要性，强化学生行动力，增强同学不怕困难、锲而不舍的愚公移山精神。</b>	
教学重点	内容	为什么用频域法分析系统。	
	解决策略	对比教学、小组讨论、案例分析	
教学难点	内容	频率特性形状对频域指标的影响。	
	解决策略	总结归纳、习题练习、相互提问	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	情景教学法、讲授结合法	
	学法	小组讨论法、合作学习法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>频率特性的基本概念</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
1. 奈奎斯特生平简介			
推荐网址： <a href="https://zhuannlan.zhihu.com/p/393137992">https://zhuannlan.zhihu.com/p/393137992</a>			
2. 伯德生平简介，推荐网址：			
<a href="https://tv.cctv.com/2021/03/24/VIDEmCVgXQ1KRA6LzAc5oT7H210324.shtml">https://tv.cctv.com/2021/03/24/VIDEmCVgXQ1KRA6LzAc5oT7H210324.shtml</a>			
<b>(课中第 1-30 分钟) 课程教学内容设计</b>			
<b>频域分析法：</b>			
是一种图解分析方法，它依据系统的又一种数学模型—频率特性，不必求解系统			



的微分方程就可以根据系统的开环频率特性分析闭环系统的性能，并能方便的分析系统中的各参数对系统性能的影响，指明改进系统性能的途径。是一种工程上另一种广泛应用的方法。



研究的问题仍然是系统的稳定性、瞬态性能、稳态性能。

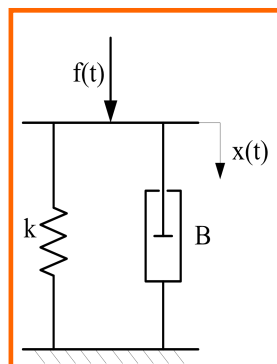
### 一、概念

控制系统对正弦信号的稳态响应称为频率响应。

输入信号： $f(t) = F \sin \omega t$

数学模型： $B \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = f(t)$

传递函数： $\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Bs + k} = \frac{1/k}{Ts + 1} (T = B/k)$



输出：

$$x(t) = \frac{F/k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \sin(\omega t - \arctan \omega T) + \frac{\omega TF/k}{1 + \omega^2 T^2} e^{-t}$$

一个稳定的线性定常系统，输入正弦信号时，输出稳定后也是同频正弦信号，并且输出信号的振幅和相位均为输入信号频率的函数。

**频率特性**是线性系统或环节在正弦函数作用下，稳态输出与输入之比的关系特性，又称正弦传递函数。

## 二、研究频率特性的意义

1、频率特性是控制系统在频域中的一种数学模型，是研究自动控制系统的另一种工程方法。

2、根据系统的频率性能间接地揭示系统的动态特性和稳态特性，可以简单迅速地判断某些环节或参数对系统性能的影响，指出系统改进的方向。

3、频率特性可以由实验确定，这对于难以建立动态模型的系统来说，很有用处。

**(第 30-45 分钟) 结合课程内容融入课程思政**

### **【案例 1——刻苦专研】**

奈奎斯特在科研过程中碰到很多困难，但他不惧困难、刻苦钻研，最终总结出的奈奎斯特采样定理是信息论、特别是通信与信号处理学科中的一个重要基本结论，为近代信息理论发展做出了突出贡献。以此为例鼓励学生不言放弃，努力奋斗，只要想学习，任何时间、任何环境都不是问题，通过不断奋斗，终将获得成功。

3. 由于第二次世界大战需要控制系统具有准确跟踪与补偿能力，1932年奈奎斯特(H.Nyquist)提出了频域内研究系统的频率响应法，为具有高质量的动态品质和静态准确度的军用控制系统提供了所需的分析工具。



奈奎斯特

**(第 45--75 分钟) 课程教学内容设计**

## 二、频率特性的求取及表示方法

(1) 频率响应→频率特性

利用在已知系统的微分方程或传递函数的情况下，当输入为正弦函数时，求其稳态解，再求  $G(j\omega)$ ；

(2) 传递函数→频率特性

利用将传递函数中的  $s$  换为  $j\omega$  来求取；

(3) 实验法

是对实际系统求取频率特性的一种常用而又重要的方法。如果在不知道系统的传递函数或数学模型时，只有采用实验法。

## 三、频率特性的物理意义和数学本质

**例4-2** 图示机械系统中，输入幅值为1N的正弦力，两种频率下  $f(t) = \sin t$  和  $f(t) = \sin 100t$  时，求系统的稳态位移输出。其中  $k = 10\text{N}/\text{m}$ ,  $B = 10\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}$

**解：** 由频率特性的幅值和相角来求稳态位移输出，系统的频率特性可直接由其传递函数获得，即：

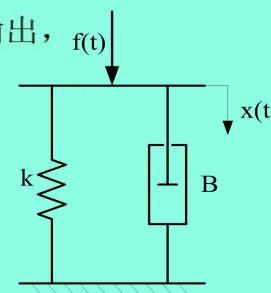
$$G(j\omega) = \frac{1/k}{1 + j\omega T} = \frac{0.1}{1 + j\omega}$$

$\omega = 1\text{s}^{-1}$ 时,

$$A(\omega) = \left| \frac{0.1}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \right| = \frac{0.1}{\sqrt{2}}$$

$$\varphi(\omega) = \angle \frac{1/k}{1 + j\omega T} = -45^\circ$$

$\Rightarrow x(t) = \frac{0.1}{\sqrt{2}} \sin(t - 45^\circ)$



系统的位移幅值随着输入力的频率增大而减小，同时位移的相位滞后量也随频率的增高而加大。

#### 1、频率特性的物理意义

- (1) 频率特性表示了系统对不同频率正弦信号的复现能力和跟踪能力；
- (2) 系统中含有储能元件，所以频率特性随频率而变化；
- (3) 频率特性取决于系统结构本身，与外界因素无关。

#### 2、频率特性的数学本质

以不同的数学形式表达系统的运动关系，它们从不同的角度揭示出系统的内在运动规律。

#### 四、频率特性和传递函数的关系：

频率特性是传递函数的特例，是定义在复平面虚轴上的传递函数，因此频率特性与系统的微分方程、传递函数一样反映了系统的固有特性。

尽管频率特性是一种稳态响应，但系统的频率特性与传递函数一样包含了系统或元部件的全部动态结构参数，因此，系统动态过程的规律性也全寓于其中。

应用频率特性分析系统性能的基本思路：实际施加于控制系统的周期或非周期信号都可表示成由许多谐波分量组成的傅立叶级数或用傅立叶积分表示的连续频谱函数，因此根据控制系统对于正弦谐波函数这类典型信号的响应可以推算出它在任意周期信号或非周期信号作用下的运动情况。

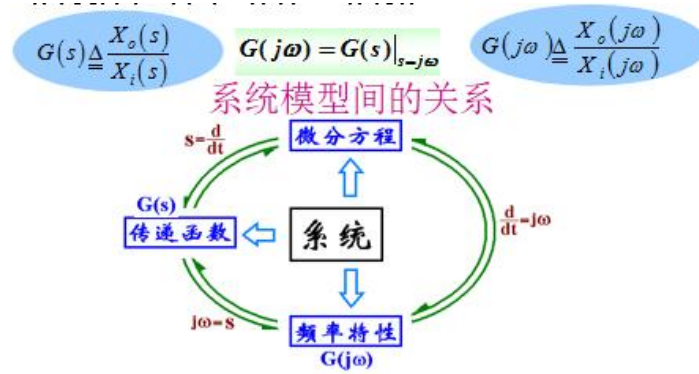
**(第 75--85 分钟) 结合课程内容融入课程思政**

**【案例 2——追求真理】**

通过对傅里叶、拉普拉斯和奈奎斯特等著名科学家对“控制工程基础”这门课程的贡献，用他们探索科学的过程、追求真理的历程，引导、教育学生在学习过程中体会到科学家的钻研精神，从而树立远大目标，为社会发展做出自己的贡献。

**(第 85 - 90 分钟) 课程教学内容设计**

内容总结、归纳，作业布置。



**(课后) 课程思政教学内容设计**

课后习题：4-1 4-2

**思考题：**频率特性内容较多用名人名字命名的判据和曲线,如奈奎斯特判据、尼科尔斯曲线、伯德图等,请结合讨论一下科技的发展。

这些名人与理论成果的关系反映了一个事实:理论体系的形成不是一人的力量能够轻易完成的,而是经过多名学者辛勤劳动和努力的结果。



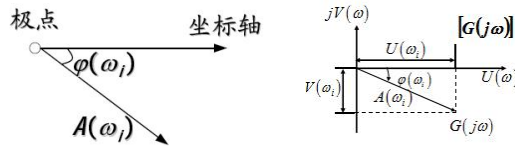
## 教案十一： 系统的对数频率特性

授课内容	系统的对数频率特性		
课程名称	控制工程基础	单元名称	频域特性分析
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	掌握频率特性的定义和代数表示法；理解传递函数、单位脉冲响应函数和微分方程之间的关系。	
	能力目标	理解典型环节奈奎斯特图在工程实际中的意义的意义的能力。	
	思政目标	<b>带领学生认识一些基本的工程哲学，引导学生从工程的角度思考理论问题；引导学生理论和实践相结合，教会学生一些基本的职业素养。</b>	
教学重点	内容	用波德图设计系统	
	解决策略	微视频、小组讨论	
教学难点	内容	难点在于不同系统所要求的期望波德图是不同的，而被控对象的波德图是一定的。这样，确定校正环节的波德图就有一定难度，而且结果不是唯一的	
	解决策略	讲清时——频指标之间的关系，给出时域指标之后就能确定出相应的波德图，画出被控对象和期望的波德图。	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	课堂讲授、理论仿真教学法、作业练习、任务驱动教学法	
	学法	以 4-6 人为一小组，进行课堂讨论	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>频率特性的基本概念</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
1. 对数频率特性的应用			
参考网址：			
<a href="https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx">https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx</a>			

(课中第 1-30 分钟) 课程教学内容设计

### 一、幅相频率特性曲线 (Nyquist 图)

频率响应  $G(j\omega)$  是输入频率  $\omega$  的复变函数, 是一种变换, 当  $\omega$  从 0 逐渐增长至  $+\infty$  时,  $G(j\omega)$  作为一个矢量, 其端点在复平面相应的轨迹就是频率响应的极坐标图, 又称 Nyquist 图。



典型环节的幅相频率特性曲线

#### 1. 比例环节

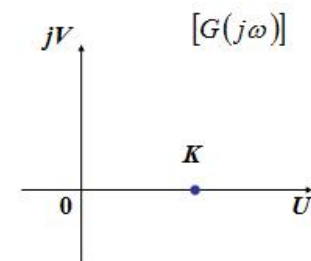
传递函数

$$G(j\omega) = K$$

幅相频率特性

$$G(j\omega) = K + j0 = U(\omega) + jV(\omega)$$

Nyquist 图



▲ 是一个点, 不是线

#### 2. 一阶惯性环节

传递函数

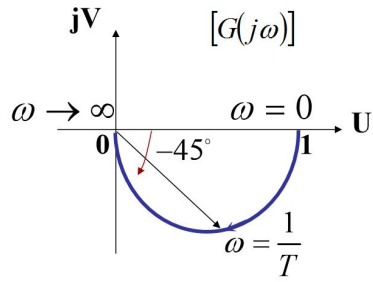
$$G(j\omega) = \frac{1}{j\omega T + 1}$$

幅相频率特性

$$\begin{aligned} G(j\omega) &= \frac{1}{1 + j\omega T} = \frac{1 - jT\omega}{(1 + jT\omega)(1 - jT\omega)} \\ &= \frac{1}{1 + \omega^2 T^2} - j \frac{\omega T}{1 + \omega^2 T^2} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} e^{-j \arctan T\omega} \end{aligned}$$

Nyquist 图





当  $\omega$  从  $0 \rightarrow \infty$  时, 其Nyquist图为正实轴下的一个半圆, 圆心  $(1/2, j0)$ , 半径为  $1/2$ 。

### 3. 微分环节

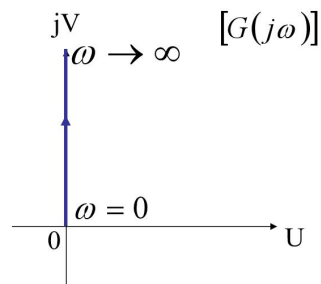
传递函数

$$G(j\omega) = j\omega$$

幅相频率特性

$$G(j\omega) = 0 + j\omega = \omega e^{+j\frac{\pi}{2}}$$

Nyquist 图



虚轴的上半轴, 由原点指向无穷远处。

### 4. 积分环节

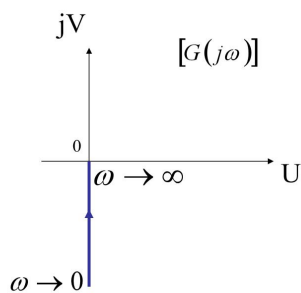
传递函数

$$G(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$$

幅相频率特性

$$G(j\omega) = 0 - j\frac{1}{\omega} = \frac{1}{\omega} e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

Nyquist 图



虚轴的下半轴，由无穷远点指向原点。

## 5. 二阶振荡环节

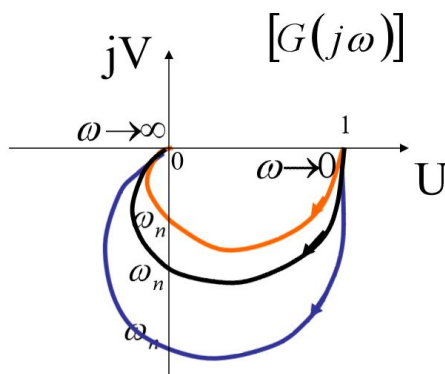
传递函数

$$G(j\omega) = \frac{1}{-T^2\omega^2 + 2\xi Tj\omega + 1}$$

幅相频率特性

$$G(j\omega) = \frac{1}{1 + 2\xi Tj\omega - T^2\omega^2} = \frac{1}{\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2\xi T\omega)^2}}$$

Nyquist 图



幅相频率特性曲线绘制步骤

- (1) 令  $s=j\omega$ ，将传递函数写成频率特性的形式。
- (2) 写出  $A(\omega)$ ， $\phi(\omega)$  的表达式（或  $U(\omega)$ ， $V(\omega)$ ）。
- (3) 分别求出  $\omega=0$  时和  $\omega=\infty$  时的  $A(\omega)$ ， $\phi(\omega)$ 。
- (4) 求出幅相频率特性曲线与实轴和虚轴的交点。
- (5) 在  $0<\omega<\infty$  范围内，取点分别求出  $A(\omega)$ ， $\phi(\omega)$ 。
- (6) 画出大致曲线。

**（第 30-45 分钟）结合课程内容融入课程思政**

**【案例 1——家国情怀】**

前面主要讲述频域特性基本概念、绘制 bode 图和 Nyquist 图、奈奎斯特稳定判据、

相对稳定性等。在讲述闭环频率特性时,系统的响应越快,其截止频率越大,谐振频率越大,带宽越宽,抗干扰性能变差,当闭环系统的带宽大于截止频率时,系统将出现较大的衰减。引导学生在做人做事时要遵守原则、守住底线,要遵守社会公德,遵守国家和行业标准。

(第 45--75 分钟) 课程教学内容设计

## 二、系统开环 Nyquist 图的绘制

$$G(s) = \frac{K \prod_{n=1}^{\mu} (\tau_n s + 1) \prod_{k=1}^{\eta} (\tau_k^2 s^2 + 2\zeta_k \tau_k s + 1)}{s^{\nu} \prod_{i=1}^{\rho} (T_i s + 1) \prod_{j=1}^{\sigma} (T_j^2 s^2 + 2\zeta_j T_j s + 1)}$$

$$G(j\omega) = \frac{K \prod_{n=1}^{\mu} (j\omega \tau_n + 1) \prod_{k=1}^{\eta} [(j\omega)^2 \tau_k^2 + 2\zeta_k \tau_k (j\omega) + 1]}{(j\omega)^{\nu} \prod_{i=1}^{\rho} (j\omega T_i + 1) \prod_{j=1}^{\sigma} [(j\omega)^2 T_j^2 + 2\zeta_j T_j (j\omega) + 1]}$$

幅频特性=组成系统的各典型环节的幅频特性之乘积。

相频特性=组成系统的各典型环节的相频特性之代数和。

### (一) 系统开环 Nyquist 图及绘制

绘制的一般方法:

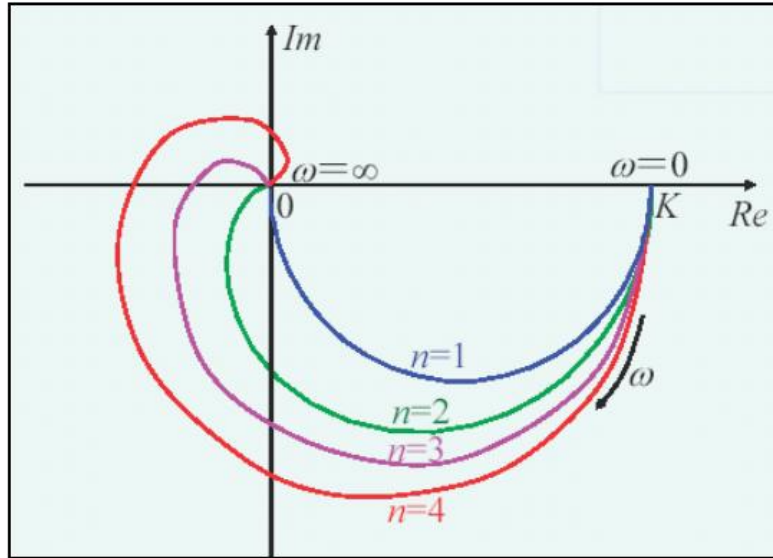
- 1、 $\omega=0$  时,  $A(0)$ 、 $\varphi(0)$ ;
- 2、 $\omega=\infty$  时,  $A(\infty)$ 、 $\varphi(\infty)$ ;
- 3、补充必要的特征点(如与坐标轴的交点)
- 4、根据  $A(\omega)$ 、 $\varphi(\omega)$  的变化趋势, 画出 Nyquist 图的大致形状。

**例 5-3-1:** 已知系统的开环传递函数为:  $G(s)H(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)}$  试绘制系统的

开环 Nyquist 图。

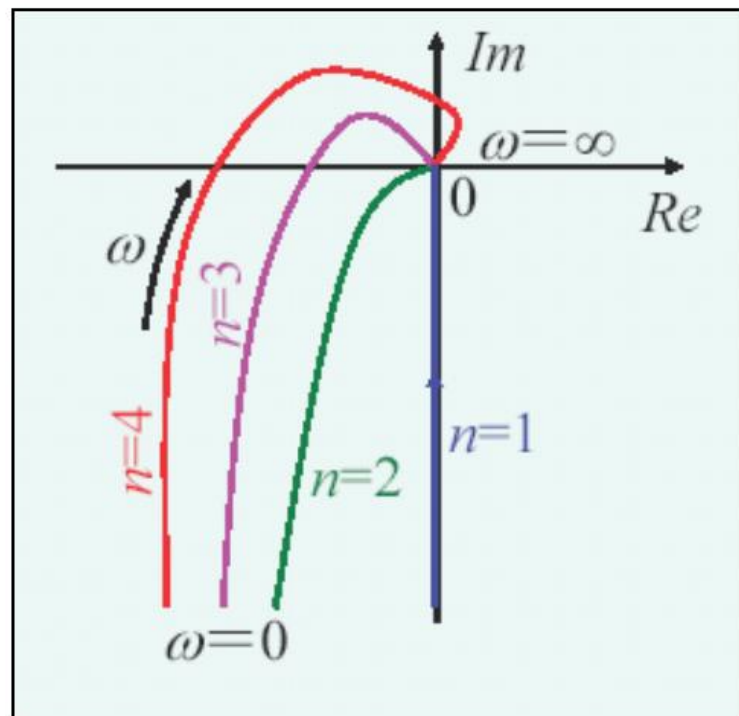
### (二) 系统开环 Nyquist 图的一般形状

- 1、0 型系统 ( $\nu=0$ )



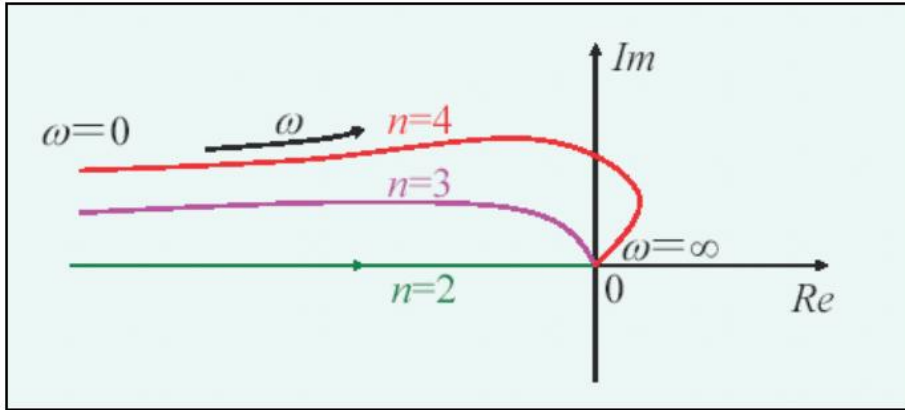
0 型系统 Nyquist 图

2、I 型系统 ( $v=1$ )



I 型系统 Nyquist 图

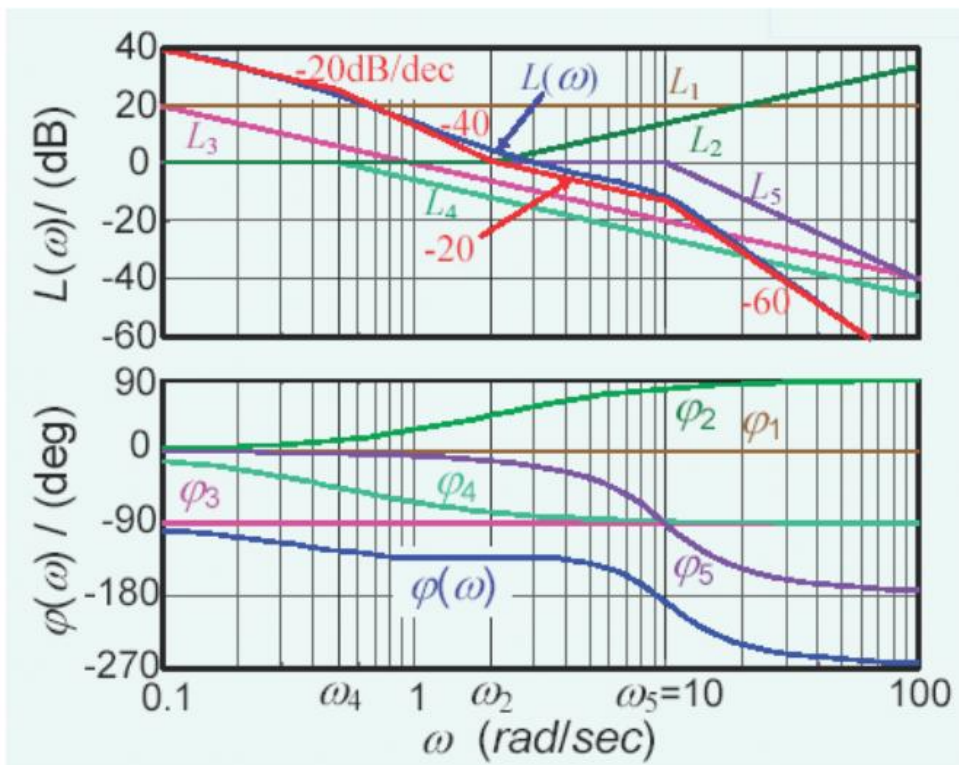
3、II 型系统 ( $v=2$ )



II 型系统 Nyquist 图

已知系统的开环传递函数，试绘制系统的开环 Bode 图。

$$G(s)H(s) = \frac{1000(0.5s+1)}{s(2s+1)(s^2+10s+100)} = 10(0.5s+1) \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{2s+1} \cdot \frac{100}{s^2+10s+100}$$



(第 75—85 分钟) 结合课程内容融入课程思政

**【案例 2——弘扬时代正能量】**

引导学生对职业要保持敬畏，不忘初心，践行社会主义核心价值观，做有责任、有担当、有理想、有原则底线的人。在讲述相对稳定性时，让学生了解在设计系统时不仅要求系统是稳定的，还要求系统距临界点有一定的稳定性裕度（幅值裕度、相位裕度）。

引导学生做事时要做好充分准备,不打无准备之仗,遇到突发事件要保持沉着冷静。只有具备了扎实的专业基础知识、良好的个人修养和优秀的综合实践能力,才能在以后的工作、学习或创业时,立于不败之地。

**(第 85 - 90 分钟) 课程教学内容设计**

内容总结、归纳, 作业布置。

**(课后) 课程思政教学内容设计**

课后习题: 4-5 4-7

思考题: 频域分析在信号传递过程中重要作用?

## 教案十二： 线性系统的稳定性分析

授课内容	线性系统的稳定性分析		
课程名称	控制工程基础	单元名称	频域特性分析
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	能从系统特征方程的角度理解自动控制系统稳定的充分必要条件，能够利用劳斯判据判定系统的稳定性。	
	能力目标	具备能够从关注性能指标角度建立相对稳定性的概念，理解稳定性分析在工程实际中的意义的能力。	
	思政目标	<b>从系统的稳定性和准确性引导学生正确对待“矛盾论”和“成功与幸福”的关系；从系统的快速性，阐述执行能力对个人在职场中的重要作用；从系统的抗干扰能力，阐述提高个人自身能力的重要性，引导学生不断加强个人修养，内外兼修，迎接不断变化的社会挑战。</b>	
教学重点	内容	劳斯—赫尔维茨稳定判据	
	解决策略	微视频、小组讨论	
教学难点	内容	劳斯—赫尔维茨稳定判据	
	解决策略	作业联系、仿真实验	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	情景教学法、仿真实验法、讲授结合法	
	学法	自主学习法、小组讨论法、仿真实验法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>线性系统的稳定性分析</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
观看视频 (1)：超级工程 3 第四集《中国制造》，推荐网址			
<a href="https://tv.cctv.com/2017/10/21/VIDEu5W7smsjB5geVYtxzJKu171021.shtml?spm">https://tv.cctv.com/2017/10/21/VIDEu5W7smsjB5geVYtxzJKu171021.shtml?spm</a>			



(课中第 1-15 分钟) 课程教学内容设计

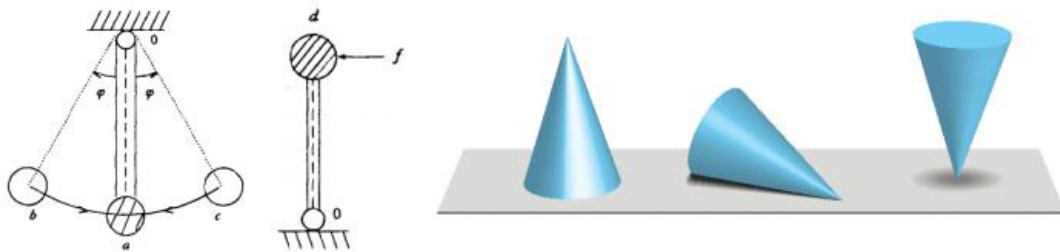
1. 稳定的基本概念

一个线性系统正常工作的首要条件是系统必须保持稳定。这向我们提出两个问题：

- ①什么样的系统是稳定的；
- ②线性系统稳定的充分必要条件是什么。

稳定系统的定义（线性定常系统）：一个控制系统，如果在扰动的作用下，偏离了原有的平衡状态，而当扰动消失后，又能回到原来的平衡状态，则该系统为稳定系统；

不稳定系统的定义（线性定常系统）：一个控制系统，如果在扰动的作用下，当扰动消失后，系统不能回到原有的平衡状态，或偏离量随时间增长而增长，则该系统为不稳定系统



控制系统稳定的定义：假设系统在初始条件为零时，受到单位脉冲信号  $\delta(t)$  的作用，此时系统的输出增量（偏差）为单位脉冲响应，这相当于系统在扰动作用下，输出信号偏离平衡点的问题，显然，当  $t \rightarrow \infty$  时，若：
$$\lim_{t \rightarrow \infty} x_{0\delta} = 0$$
，则系统（渐近）稳定。

2. 系统稳定的充要条件为：系统特征方程的根（即闭环极点）都为负实数或都具有负的实部。亦即，特征根都严格位于  $s$  半面上。因此，要判断一个系统是否稳定，需求出系统的全部特征根。

(第 15-25 分钟) 结合课程内容融入课程思政

【案例 1——矛盾论】

教学引入：在讲解稳定性内容的同时，介绍社会大系统观，让学生理解社会稳定

是第一要务。同时系统的三种性能有时相互矛盾，引导学生抓住主要矛盾，要识大体、顾大局，合作共赢。



(第 25-70 分钟) 课程教学内容设计

### 3. 劳斯—赫尔维茨稳定判据

线性系统的稳定与否，取决于特征根的实部是否均为负值（左半 S 平面）。但是求解高阶系统的特征方程是相当困难的。

劳斯判据，避免解特征方程，只需对特征方程的系数进行代数运算，就可以判断系统的稳定性，因此这种数据又称为代数稳定判据。

#### (1) 劳斯表

将系统的特征方程写成如下标准形式

$$a_0s^n + a_1s^{n-1} + a_2s^{n-2} + \dots + a_{n-1}s + a_n = 0$$

列劳斯表：

$s^n$	$a_0$	$a_2$	$a_4$	.....
$s^{n-1}$	$a_1$	$a_3$	$a_5$	.....
$s^{n-2}$	$b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1}$	$b_2 = \frac{a_1 a_4 - a_0 a_5}{a_1}$	$b_3$	.....
$s^{n-3}$	$c_1 = \frac{b_1 a_3 - a_1 b_2}{b_1}$	$c_2 = \frac{b_1 a_5 - a_1 b_3}{b_1}$	$c_3$	.....
$s^{n-4}$	$d_1 = \frac{c_1 b_2 - b_1 c_2}{c_1}$	$d_2 = \frac{c_1 b_3 - b_1 c_3}{c_1}$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
$s^2$	$e_1$	$e_2$		
$s^1$	$f_1$			
$s^0$	$a_n$			

(2) 劳斯判据

★系统稳定的充要条件：劳斯表中第一列元素的所有值均大于零，否则系统不稳，且第一列各元素符号的改变次数，代表特征方程正实部根的数目。

3. 劳斯判据的应用

例 1 设系统的特征方程为  $s^3 + 41.5s^2 + 517s + 2.3 \times 10^4 = 0$ ，试判断系统的稳定性。

$s^3$	1	517	0
$s^2$	41.5	$2.3 \times 10^4$	
$s^1$	-38.5	0	
$s^0$	$2.3 \times 10^4$		

解：

由于该表第一列系数的符号变化了两次，所以该方程中有二个根在 S 的右半平面，因而系统是不稳定的

两种特殊情况的处理：

A、劳斯表中的某一行中第一个元素为零，而其余各元素不为零或部分不为零：

处理方法：可用一个有限小的正数 代替为零的那一项，然后继续计算，结果若是为零的上一项和下一项符号相反，则记作一次符号改变。

例 2:  $s^4 + 2s^3 + s^2 + 2s + 1 = 0$ 。

$$\begin{array}{r|l}
 s^4 & 1 & 1 & 1 \\
 s^3 & 2 & 2 & 0 \\
 s^2 & 0 \approx \varepsilon & 1 & \\
 s^1 & 2 - \frac{2}{\varepsilon} < 0 & 0 & \\
 s^0 & 1 & & 
 \end{array}$$

解：

显然系统不稳，且有两个右根。

B、劳斯表的某一行各元素均为零，说明特征方程有关于原点对称的根：

处理方法：

第一步：取元素全为零的前一行，以其系数组成辅助方程，式中的S均为偶次。

(∵ 根是对称出现的)

第二步：求辅助方程对S的导数，以其系数代替全为零值的一行。

第三步：用通常的方法继续求下面各行的系数，并判断稳定性。

第四步：解辅导方程，得各对称根。出现全行为0时系统特征根在s平面有对称分布。

例3：

$$s^5 + s^4 + 3s^3 + 3s^2 + 2s + 2 = 0。$$

解：

$$\begin{array}{r|l}
 s^5 & 1 & 3 & 2 \\
 s^4 & 1 & 3 & 2 \leftarrow \text{辅方: } s^4 + 3s^2 + 2 = 0. \text{求导: } 4s^3 + 6s = 0. \\
 s^3 & 0 & 0 & 0 \\
 & 4 & 6 & \\
 s^2 & \frac{12-6}{4} = \frac{3}{2} & 2 & \\
 & 3 & 4 & \\
 s^1 & \frac{18-16}{3} = \frac{2}{3} & & \\
 s^0 & 2 & & 
 \end{array}$$

所以系统虽不稳，但无右根。

求对称根：

$$s^4 + 3s^2 + 2 = (s^2 + 1)(s^2 + 2) = 0, \text{故 } s_{1,2} = \pm j \text{ 及 } s_{3,4} = \pm j\sqrt{2}。$$

(第 70-85 分钟) 结合课程内容融入课程思政

### 【案例 2——内外兼修】

**教学引入：**结合稳定分析的含义引导学生做事要留有余地，要多加强个人修养，内外兼修，迎接不断变化的社会挑战。



(第 85 - 90 分钟) 课程教学内容设计

内容总结、归纳，作业布置。

1. 系统稳定的充要条件是系统的特征根位于左半 S 平面

(课后) 课程思政教学内容设计

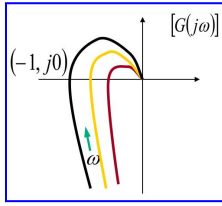
课后习题：3-7 3-8

**思考题：**如果特征方程的阶次比较高，求解方程过程困难，如何进行稳定性分析  
(引出下节课——根轨迹法)



### 教案十三： 稳定性余量

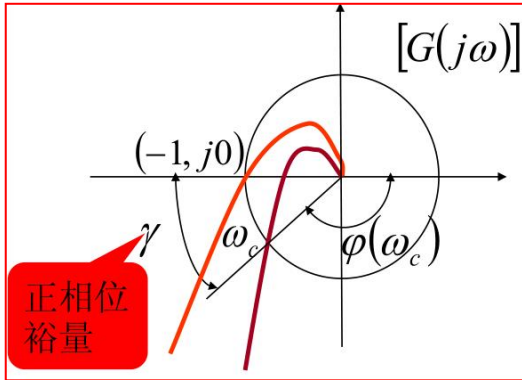
授课内容	稳定性余量		
课程名称	控制工程基础	单元名称	稳定性分析
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	理解系统相对稳定性的概念，会求相位裕度和幅值裕度。	
	能力目标	具备能够从关注性能指标角度建立相对稳定性的概念，理解稳定性分析在工程实际中的意义的意义的能力。	
	思政目标	<b>教导学生做事要有余地，应对变化。防患于未然，事先谋划。</b>	
教学重点	内容	小参量处理问题	
	解决策略	微视频，精讲多练	
教学难点	内容	小参量处理问题	
	解决策略	作业练习，虚拟仿真	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	情景教学法、任务驱动法、讲授结合法、案例教学法等	
	学法	自主学习法、小组讨论法、探究学习法、合作学习法	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>稳定性余量</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
观看视频 (1)：《号角：党史上的口号》—“稳定压倒一切”，推荐网址 <a href="https://www.ixigua.com/6972368124951659041">https://www.ixigua.com/6972368124951659041</a>			
<b>(课中) 课程教学内容</b>			
从奈奎斯特曲线可知：若开环右极点个数为 0，且闭环系统稳定，则 $G(j\omega)$ 的轨迹离 $(-1, j0)$ 点越远，稳定性程度越高； $G(j\omega)$ 的轨迹离 $(-1, j0)$ 点越近，稳定性程度越低。			



这便是通常所说的相对稳定性，它通过对  $(-1, j0)$  点的靠近程度来度量。

## 一、相位裕量和幅值裕量

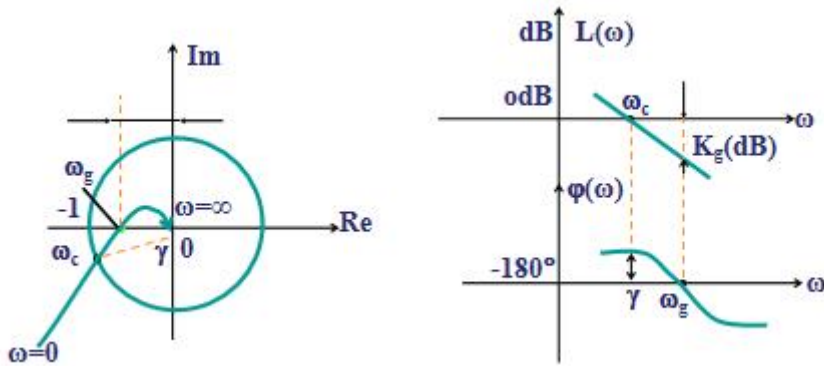
### 1、相位裕量 $\gamma$



在  $\omega_c$  时，若系统从稳定变为临界稳定，允许相位再增加一个相位裕度  $\gamma$  的相位。具有正相位裕量的系统不仅稳定，而且还有相当的稳定储备，它可以在  $\omega_c$  的频率下，允许相位再增加  $\gamma$  度才达到临界稳定条件。

### 2、幅值裕量 $K_g$

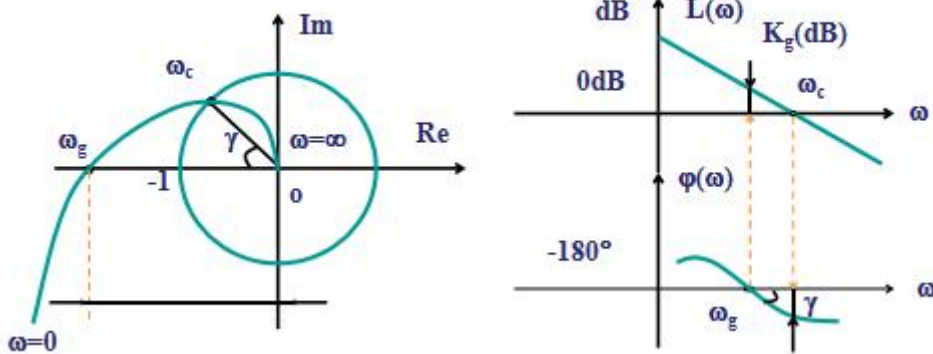
开环幅频特性的倒数，称为幅值裕量。



$$K_g = \frac{1}{|G(j\omega_g)H(j\omega_g)|}$$

对于最小相位系统，具有负幅值裕量及负相位裕量时，闭环不稳定。





## 二、关于相位裕量和幅值裕量的一些说明

1、工程实践中，为使系统有满意的稳定储备，一般希望

$$\gamma = 30^\circ \sim 60^\circ;$$

$$K_g > 2 \text{ (或 } 20 \lg K_g > 6 \text{ dB)}$$

2、对于最小相位系统，只有当幅值裕量和相位裕量都为正时，系统才是稳定的。

3、对于最小相位系统，开环幅频和相频特性之间有确定的对应关系， $30^\circ - 60^\circ$ 的相位裕量，意味着在开环伯德图上，对数幅频特性曲线在幅值交界频率处的斜率必须大于  $40 \text{ dB/dec}$ 。

### 结合课程内容融入课程思政

通过分析控制系统稳定的重要性，引导认识社会稳定的重要意义及自身责任。稳定性是系统能够正常运行的首要条件、先决条件，对于控制系统，不论是时域分析法、根轨迹分析法还是频域分析法，都要对系统稳定性做出判定。只有当系统是稳定的，我们研究系统的动态性能和稳态性能才有意义，才能讨论系统的快速性和准确性，实现预定的控制任务和基本要求。

对于社会这个大系统也是一样。社会稳定是第一要务，只有稳定的社会环境，人民才能安居乐业，国家才能更好地进行物质文明、精神文明建设。邓小平提出“稳定压倒一切”“发展才是硬道理”，为几十年的经济大发展提供了保障。人民的物质生活条件有了明显改善，精神生活日益丰富。在社会多元价值交织、渗透的复杂背景下，当代大学生得益于社会稳定，也要高度重视维护社会稳定，善于发现存在于身边的不稳定因素，提高自身素质，来化解不稳定因素。维护社会稳定，良好意识是做好一切工作的前提。大学生要培养好“三识”，即大局意识、责任意识、超前意识。同时，应当重点学理论、学法律、学政策，夯实党的基本理论，用理论丰富头脑，遇事抓住根本；加强法律学习，用法律武装自己，更好地化解矛盾；学懂出台的新政策，有策可

凭，按策办事。有了以上维护社会稳定的前提和基础，“动之以情，晓之以理，明之以法”，用情、用理、用法就是最终解决社会矛盾的有效手段。新形势下，维护社会稳定是重要任务，大学生义不容辞，小到“宿舍的稳定”“班级的稳定”“家庭的稳定”，大到“学校的稳定”“社会的稳定”“国家的安全稳定”，从而为实现国家“富强、民主、文明、和谐”尽自己的努力，做出应有的贡献。

### 三、小参量处理问题

小参量处理问题:在某种前提条件下，用各种方法，或将其忽略不计，或将其做变通处理，使数学模型降阶或简化成易于应用线性系统理论的近似形式。

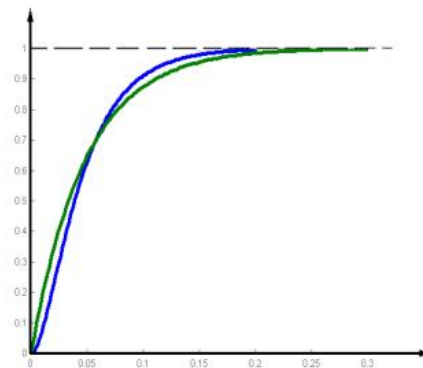
例如:处理高阶系统时，根据闭环主导极点的概念，可将高阶系统视为二阶系统。

研究小参量处理问题的目的和意义:简化数学模型、使系统的阶次降低

### 四、将小参量忽略不计使模型降阶的分析

1、对于开环系统忽略小参量只需考虑系统的时间常数的数值相对大小这一条件即可。

例如:开环系统的传递函数为:



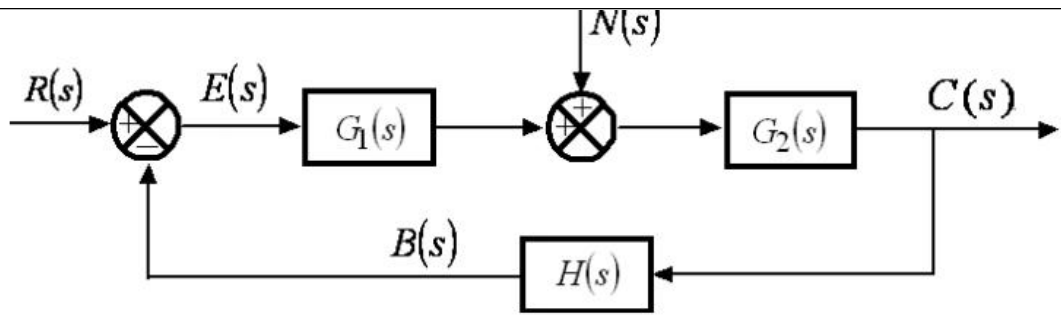
2、对于闭环系统忽略小参量不仅需考虑系统的时间常数的数值相对大小，而且还必须考虑系统的开环放大系数(或开环增益)。

3、闭环控制系统忽略小参量的前提条件:

- (1)系统中时间常数相对值的大小
- (2)必须同时考虑系统的开环增益

4、实质:当系统的开环增益比临界开环增益小很多时，系统中时间常数相对值很小的参数可以近似为零。

典型控制系统结构图如下



**结合课程内容融入课程思政：**

由自主研发的 MATLAB 虚拟仿真实验系统引出浙江乌镇召开的第六届世界互联网大会。物联网、大数据、人工智能、5G 等新技术与自动化的等专业休戚相关，激发同学们学好专业，做到专业自信。



（第 85 - 90 分钟）课程教学内容设计  
内容总结、归纳，作业布置。



(课后) 课程思政教学内容设计

课后习题: 3-7 3-8

思考题: 请谈谈我们在网络时代中, 应该坚持的底线和原则: 坚守社会主义核心价值观, 坚守职业素养, 发扬中华民族传统美德, 死守法律法规的红线。

## 教案十四： 控制系统的综合与校正

授课内容	控制系统的综合与校正		
课程名称	控制工程基础	单元名称	稳定性分析
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	了解系统校正的基本概念；熟练掌握相位超前校正装置、滞后校正装置的模型及有关量的概念和求法及意义。	
	能力目标	理解系统校正在工程实际中的意义的意义的能力。	
	思政目标	<b>引出安全问题，增强安全意识。</b>	
教学重点	内容	掌握系统校正的方法并能进行系统校正。	
	解决策略	微视频、小组讨论、案例分析	
教学难点	内容	串联超前校正、串联滞后校正	
	解决策略	微视频、小组讨论、案例分析	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	任务驱动法、讲练结合法、案例教学法等	
	学法		
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			
<b>控制系统的综合与校正</b>			
<b>(课前) 课程思政教学内容设计</b>			
观看视频 (1) : 8 分钟带你了解中国共产党波澜壮阔的 100 年发展历程, 推荐网 址: <a href="https://3g.163.com/v/video/VWD95UME9.html">https://3g.163.com/v/video/VWD95UME9.html</a>			
观看视频 2: 成功入轨! 300 秒细看“天问一号” 远征火星全过程, 推荐网址: <a href="https://haokan.baidu.com/v?pd=wisenatural&amp;vid=8678247258154881132">https://haokan.baidu.com/v?pd=wisenatural&amp;vid=8678247258154881132</a>			
<b>(课中第 1-25 分钟) 课程思政引出本节内容</b>			

“2021年5月15日，经过295天的太空之旅，我国首个火星探测器天问一号成功着陆火星。中国首次火星探测任务一战即胜，一气呵成。这一落，是中国智慧、中国方案与中国力量的结晶。这一天，中国问天之路再上新台阶，中华民族向更遥远的深空又迈出了一大步。”



火星与地球距离遥远，信号还没跑到地球，探测器已经“收工”了。对于身在遥远异乡的天问一号来说，所有动作触发条件的测量、判断以及执行，均是自主测量、自主判断、自主控制。课程上介绍“控制系统的综合与校正”时，适时提出了“天问一号”实际工作环境所遇到的困难。让学生了解航天控制的难度，更是对中国航天的强大实力充满了自豪感。

### 系统校正：

为了使原系统在性能指标上的缺陷得到改善或补偿而按照一定的方式接入校正装置和选定校正元件参数的过程就是控制系统设计中的综合与校正问题。

改善系统的性能有两种途径，一种是调整参数，另一种就是增加校正环节。

(1) 稳态精度指标，包括静态误差系数  $K_p$ ,  $K_v$  和  $K_a$ 。

(2) 稳定裕量指标。通常希望相角裕量、增益裕量  $K_g$ 、谐振峰值、超调量、阻尼比。

(3) 响应速度。

如果性能指标以时域形式给出，一般用时域法进行校正较为方便；如果性能指标以频域形式给出，一般采用频率法进行校正。

目前工程技术界多习惯采用频率法。

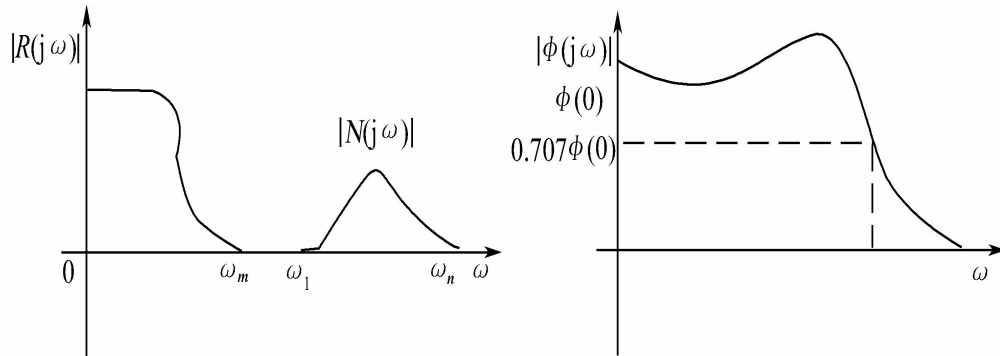
无论采用哪种校正方式，都要求校正后的系统既能以所需精度跟踪输入信号，又



能抑制噪声扰动信号。在控制系统实际运行中输入信号一般是低频信号，而噪声信号则一般是高频信号。

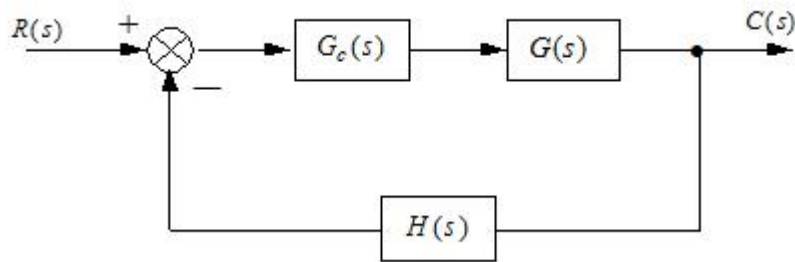
为了准确复现输入信号，要求系统具有较大带宽；而要抑制噪声，则不想系统带宽过大。

因此，合理选择控制系统的带宽，在系统设计中是一个很重要的问题。



按照校正环节在系统中的连接方式，控制系统校正方式可分为：

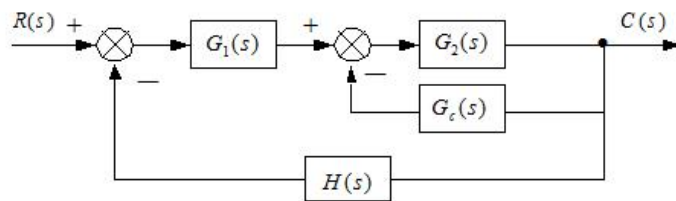
### 串联校正 (cascade compensation)



从设计到实现均较简单，最为常使用。

因前部信号的功率较小，为了减少校正装置的输出功率，以降低成本和功耗，常将串联校正装置安置在前向通道的前端。

### 反馈校正 (feedback compensation)

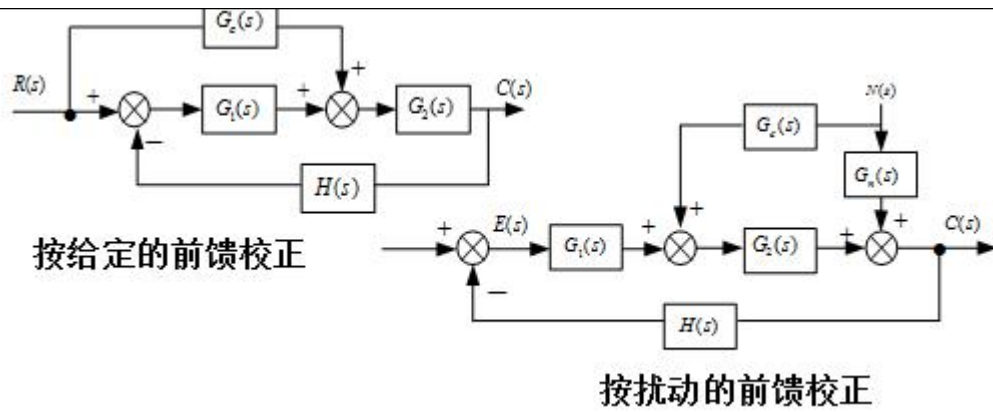


反馈校正可抑制系统参数波动及非线性因素对系统性能的影响，设计相对较为复杂。

反馈校正的信号是从高功率点传向低功率点，不需附加放大器。

### 前馈校正 (feedforward compensation)



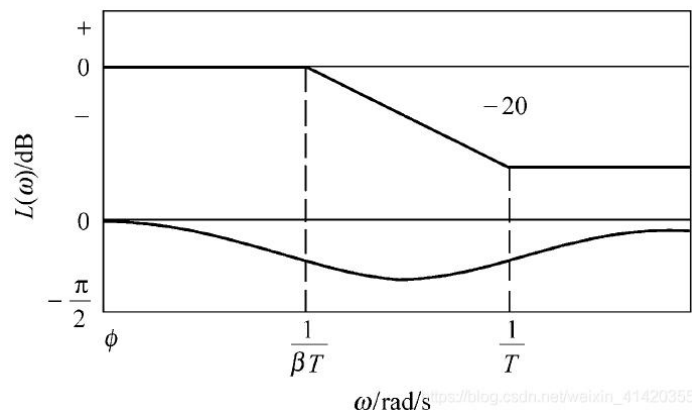
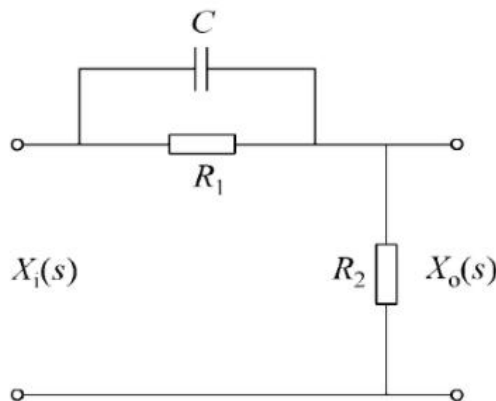


前馈校正的输入取自闭环外，是基于开环补偿的办法来提高系统的精度，不影响系统的闭环特征方程。

复合校正即在反馈控制回路中加入前馈校正构成有机整体。

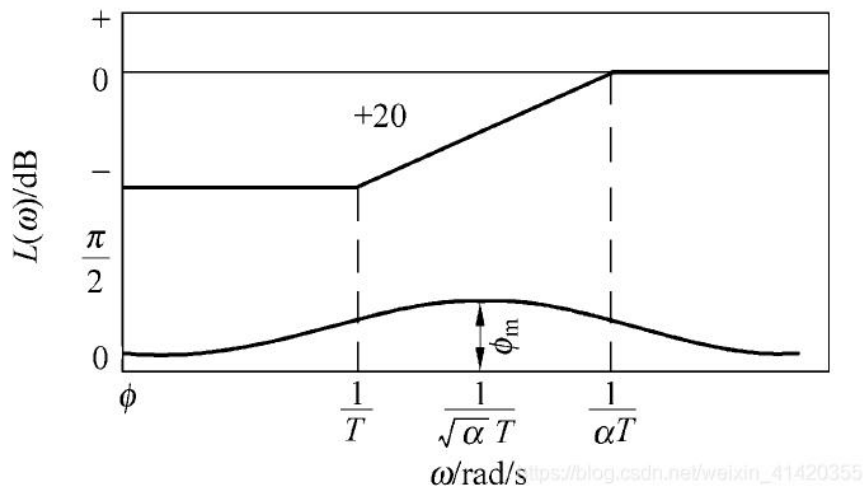
### 无源校正装置

自身无放大能力，通常由 RC 网络组成，在信号传递中，会产生幅值衰减，且输入阻抗低，输出阻抗高，常需要引入附加的放大器，补偿幅值衰减和进行阻抗匹配。无源串联校正装置通常被安置在前向通道中能量较低的部位上。



### 有源校正装置

常由运算放大器和 RC 网络共同组成，该装置自身具有能量放大与补偿能力，且易于进行阻抗匹配，所以使用范围与无源校正装置相比要广泛得多。

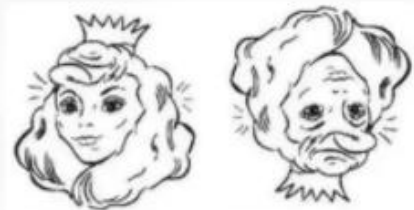


**结合课程内容融入课程思政：**

个人也应该自我调整，自我纠正，在人生偏离预期时，“三省吾身”，及时的自我反思校正可以避免误入歧途。

### 系统校正的启示

- 采用超前校正改善系统暂态特性，利用它的超前相位特性增加相位裕量。
- 采用滞后校正改善系统暂态特性，利用它的高频幅值衰减特性。

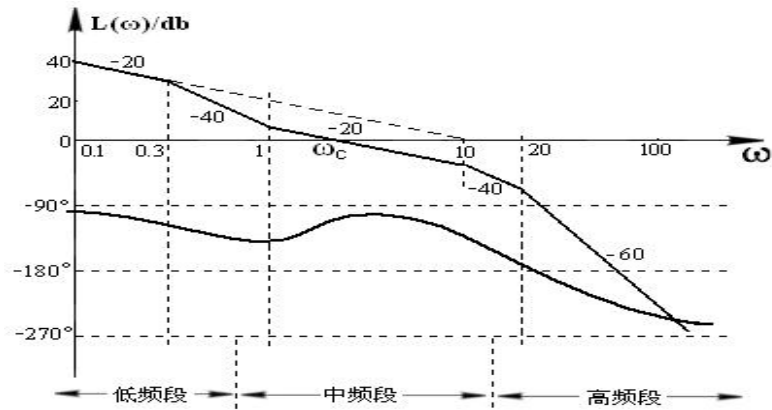


**辩证看待事物的好与坏，尽量利用其优点，避免其缺点。**

(第 25-75 分钟) 课程教学内容设计

3. 劳斯—赫尔维茨稳定判据

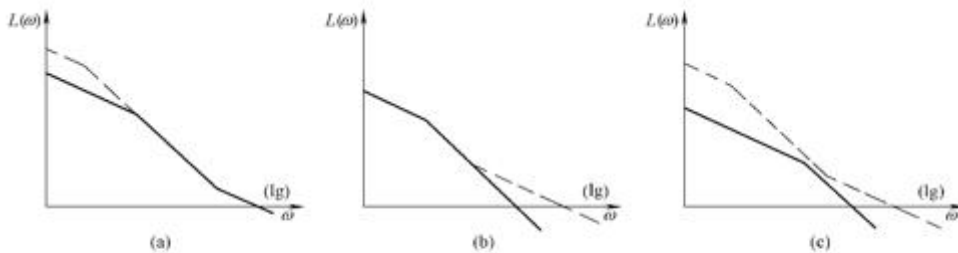
三频段理论



各频段分界线没有明确的划分标准，与无线电的“低”、“中”、“高”频概念不同。

频段	对应性能	希望形状
低频段	开环增益 $K$ 系统型别 $v$ 稳态误差 $e_{ss}$	陡, 高
中频段	截止频率 $\omega_c$ 相角裕度 $\gamma$ 动态性能 $\left\{ \begin{array}{l} \sigma\% \\ t_s \end{array} \right.$	缓, 宽
高频段	系统抗高频干扰的能力	低, 陡

改变频率特性形状，使之具有合适的高频、中频、低频特性和稳定裕量，以得到满意的闭环品质。在初步设计时，常常采用波德图来校正系统。



- ① 增加低频增益    ② 改善中频段特性    ③ 兼有前两种补偿

结合课程内容融入课程思政：

教学引入：通过频域三频段理论映射做人要根据不同阶段，规划好不同阶段的目标，有了目标才有努力的方向。国家发展要五年规划、十年规划，为节能减排，电力系统新能源发展要规划，2020年、2035年、2050年的规划，大学生活也要做好规划，请大家谈谈在大三这一年的规划，以及大四的选择，毕业后希望出国、考研、工作或

是更多的选择，有了规划目标才有前进的方向，同时做好充分准备，应对不确定性，以便相时而动。

频率三频段理论中，低频代表控制系统稳态性能，要有积分环节和较大的开环增益，对数幅频特性曲线要抖要高；中频代表控制系统的稳定性和动态性能，对数幅频特性曲线要缓要宽；高频代表抗干扰性能，要抖要低。对于同学们也是一样，不同年龄阶段要求不同，现在有的同学没有规划，目标不明确，行动没方向，失去了青年人应有的活力、斗志和责任意识。

推荐阅读：人民日报：沉睡中的大学生，你不失业，天理难容。

希望同学们能认真负责的规划人生，确立远大的奋斗目标，把理想目标同祖国的发展需要相结合，实现人生价值，为两个百年梦想的实现贡献自己的力量。

### **（第 75 - 90 分钟）课程教学内容设计**

内容总结、归纳，作业布置。

1. 系统稳定的充要条件是系统的特征根位于左半 S 平面
2. 劳斯判据不仅可判定系统的稳定性，还可给出使系统稳定的某一参数的范围。

### **（课后）课程思政教学内容设计**

课后习题：3-7 3-8

**思考题：**从分离到着陆的短短 9 分钟内，天问一号着陆巡视器的运行时速从约 2 万公里/小时降为零，其间需要经历气动减速、降落伞减速、动力减速、着陆缓冲等多个环节。作为着陆巡视器的主发动机，7500N 变推力发动机是动力减速环节的主要工具，使天问一号实现“最后一脚”稳准刹车。其中的动力减速环节可以利用本课程的哪些知识实现？

## 教案十五：根轨迹法

授课内容	根轨迹法		
课程名称	控制工程基础	单元名称	根轨迹法
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	了解系统校正的基本概念；熟练掌握相位超前校正装置、滞后校正装置的模型及有关量的概念和求法及意义。	
	能力目标	理解系统校正在工程实际中的意义的意义的能力。	
	思政目标	<b>引导学生抓住主要矛盾，遇到问题要抓主要问题，关键问题，解决难点问题。</b>	
教学重点	内容	用根轨迹法设计系统。	
	解决策略	微视频、小组讨论	
教学难点	内容	其难点在于系统零、极点在 $s$ 平面分布对系统输出响应的影响和根轨迹的准确画法。	
	解决策略	精讲多练，讲练结合	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	情景教学法、任务驱动法、讲授结合法	
	学法	课堂联系、课后习题、实验	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	
<b>教学实施过程</b>			
<b>教学环节</b>			

## 根轨迹法概述

### (课前) 课程思政教学内容设计

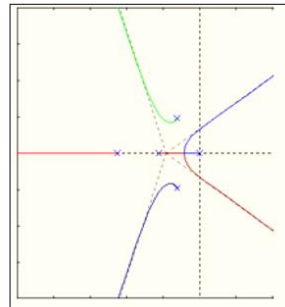
观看视频(1): 超级工程3 第四集《中国制造》, 推荐网址

<https://tv.cctv.com/2017/10/21/VIDEu5W7smsjB5geVYtxzJKu171021.shtml?spm=C55924871139.PT8hUEEDkoTi.0.0>

### (课中) 课程教学内容:

1948年, 伊万斯(W. R. Evans)根据反馈系统开、闭环传递函数之间的内在联系, 提出了直接由开环传递函数寻求闭环特征根移动轨迹的方法, 即根轨迹法。1932年奈奎斯特提出了研究控制系统的频率法。1948年伊文思提出了根轨迹法, 这两大重大贡献, 是自动控制理论和控制技术发展史上的里程碑。建立在频率法和根轨迹法基础上的控制理论成为经典控制理论。

当闭环系统没有零点与极点相消时, 闭环特征方程式的根就是闭环传递函数的极点。当系统中某一参数由零变到正无穷大时, 闭环系统特征方程的根在s平面上形成的轨迹称系统的根轨迹。



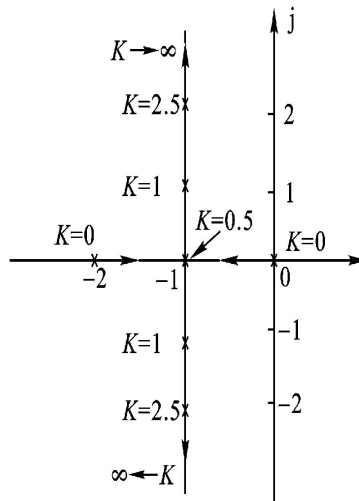
绘制系统根轨迹时, 选择的可变参量可以是系统的任意参量。

$$\text{开环传函 } G(S) = \frac{K}{S(0.5S+1)} = \frac{2K}{S(S+2)}$$

$$\text{系统闭环函数为: } \frac{C(S)}{R(S)} = \frac{2K}{S^2 + 2S + 2K}$$

$$\text{特征根: } S_{1,2} = -1 \pm \sqrt{1-2K}$$

根轨迹图:



### 性能分析：

- (1) 稳定性；
- (2) 稳态性能；

判断系统的“型”，从而计算系统稳态特性；也可根据系统稳态误差要求来得到  $K$  的范围，从而得出闭环极点位置容许范围。

- (3) 动态性能；

判断该系统在  $K$  取值在何范围时处于过阻尼、临界阻尼和欠阻尼状态（特别对二阶系统）；

**融入课程思政：**前几篇文章涉及了传递函数、指标、稳定性判据、稳态误差计算和一些工程案例，到这里，似乎工程用的系统分析理论已经齐备，剩下的就是设计控制器的问题了。但是，数学上暂时没问题不一定其他地方没有不足，最主要的是，工程师不喜欢看公式是真的传统，都喜欢看图、看仪表的数字，或者直接看状态，你摆一堆公式给工程师，工程师当然不怎么接受。这也是为什么现在的大部分理论文章得不到应用的一个原因，当然其他更重要的原因不作展开。所以一个很自然的想法就有了，能不能把公式变成图呢？伊文思就是这样一位工程师，伊文思所从事的是飞机导航和控制，其中涉及许多动态系统的稳定问题，因而他又回到了 70 多年前麦克斯韦和劳斯曾做过的对特征方程根的研究，但他使用了一种新的方法来讨论这个问题。激励同学们以中华民族的伟大复兴为使命，脚踏实地，学好专业知识，报效祖国。





### 一、绘制根轨迹的基本条件

$$G(S)H(S) = -1 \quad \text{-----根轨迹方程}$$

$$\text{幅值条件} \quad |G(s)H(s)| = 1$$

$$\text{相角条件} \quad \angle G(s)H(s) = (2k+1)\pi \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots)$$

#### 规则 1：根轨迹的分支数和连续性与对称性

根轨迹的分支数等于特征方程的阶数  $n$  (闭环极点的数目)；

根轨迹是连续的且对称于实轴。

#### 规则 2：根轨迹起始于开环极点，终止于开环零点

$$\frac{\prod_{i=1}^m (s - z_i)}{\prod_{i=1}^n (s - p_i)} = -\frac{1}{K}$$

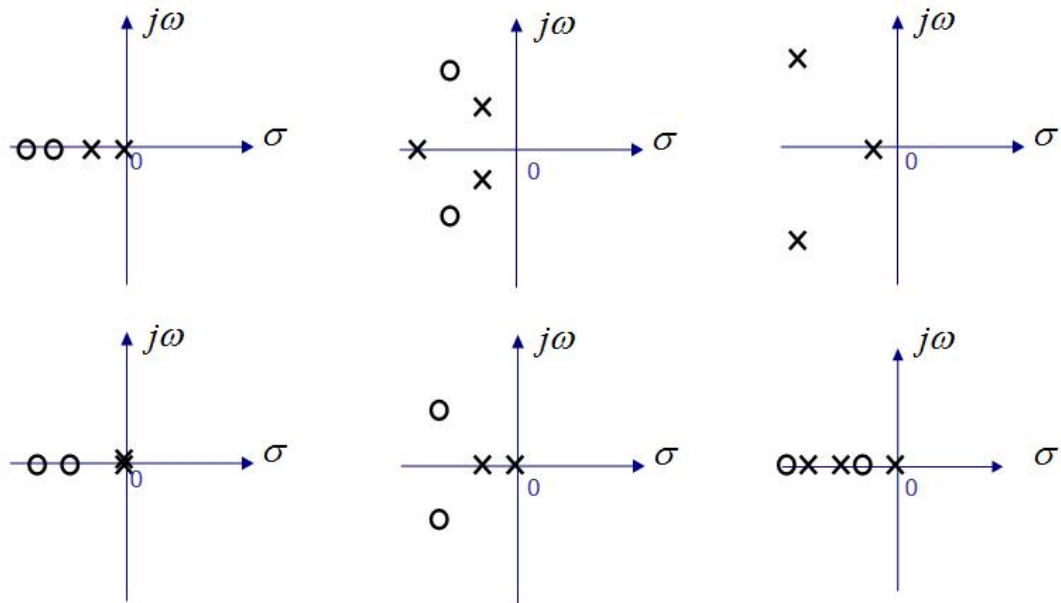
(1) 当  $K=0$  时, 特征根等于开环极点  $p_i$ , 即根轨迹起始于开环极点

(2) 当  $K$  趋向于无穷时, 特征根等于开环零点  $z_i$ , 即根轨迹终止于开环零点, 即有  $m$  条分支趋向开环零点;

(3) 另外  $n-m$  条分支趋向无穷远处, 需要确定其方位和走向。

#### 规则 3：实轴上的根轨迹

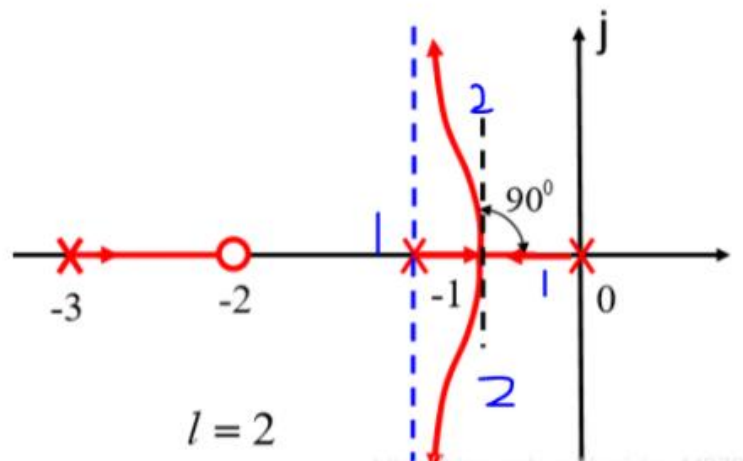
实轴上的某一区域, 若其右边开环实数零、极点个数之和为奇数, 则该区域是根轨迹。



规则 4: 根轨迹的渐近线

规则 5: 实轴上的分离点、会合点和分离角

两条或两条以上的根轨迹分支在  $s$  平面上相遇而又立即分开的点, 称为根轨迹的分离点(会合点)。



分离点特性:

因为根轨迹是对称的, 所以根轨迹的分离点位于实轴上, 或以共轭形式成对出现在复平面中。

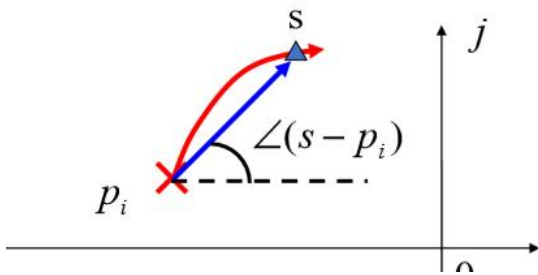
一般情况下, 常见的根轨迹分离点是位于实轴上的两条根轨迹分支的分离点。

如果根轨迹位于实轴上两个相邻的开环极点之间, 其中一个可以是无限极点, 则在这两个极点之间至少存在一个分离点;

如果根轨迹位于实轴上两个相邻的开环零点之间, 其中一个可以是无限零点, 则

在这两个零点之间也至少有一个分离点。

### 规则 6：根轨迹的出射角和入射角



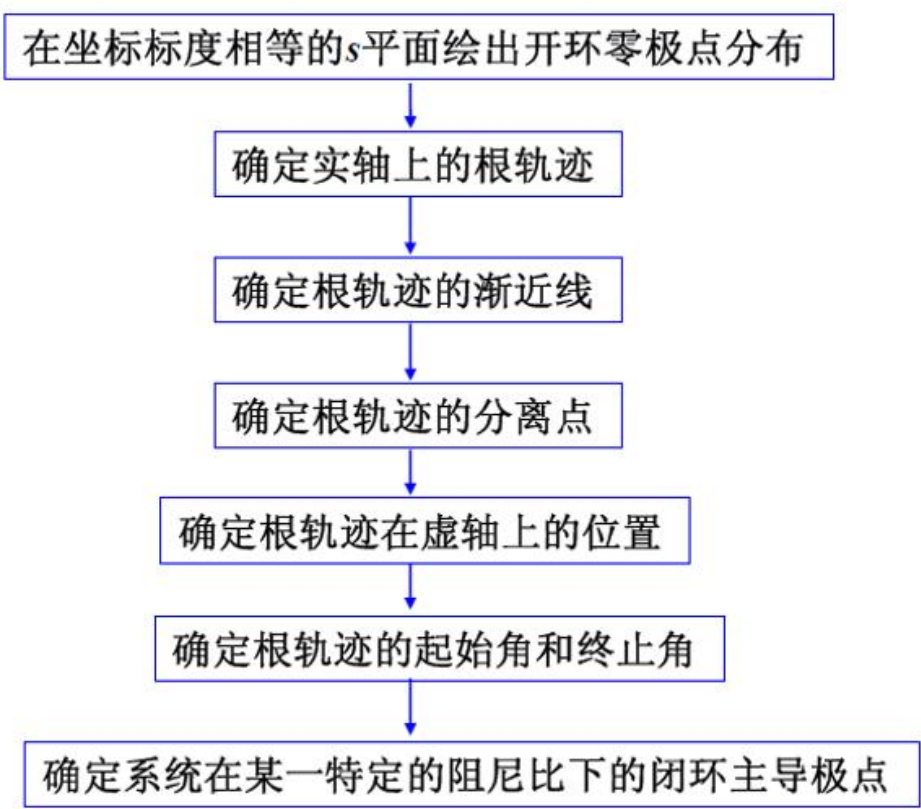
$$\theta_{p_i} = \lim_{s \rightarrow p_i} \angle(s - p_i)$$

### 规则 7：根轨迹与虚轴的交点

在根轨迹与虚轴的交点处，存在系统的纯虚根，实际上是系统的临界稳定点。

### 规则 8：闭环极点的和与积

### 绘制根轨迹的一般步骤



### 融入课程思政：

根据根轨迹图分析系统的性能，抓住根轨迹是否与虚轴有交点，引导同学们无论做什么事都要抓主要矛盾、关键问题、寻根溯源。解决了主要问题，其他问题就会迎刃而解，不要不分主次，眉毛胡子一把抓，做科学研究也一样，要抓主要问题，关键问题，解决难点问题。

## 根轨迹的启发

- 与虚轴的焦点 稳定临界条件
- 与实轴的焦点 振荡临界条件



- ① 遇到问题要抓**主要问题，关键问题，解决难点问题。**
- ② 要**动态分析问题，要用发展的眼光看待事物的好和坏。**

(第 85 - 90 分钟) 课程教学内容设计

内容总结、归纳，作业布置。

1. 根轨迹的绘制方法。
2. 根轨迹与系统性能。

(课后) 课程思政教学内容设计

课后习题：3-7 3-8

思考题：生活哲学“用发展的眼光看问题”。

## 教案十六： 控制工程基础课程总结

授课内容	控制工程基础课程总结		
课程名称	控制工程基础	单元名称	课程总结
授课对象	机制三年级学生	班级人数	35
授课地点	多媒体教室	授课学时	2 课时
授课形式	线上线下混合式教学，以线下教学为主		
教学目标	知识目标	要求学生学会运用控制理论的基本原理和思想方法，初步学会分析和研究机、电、液系统中信号的传递、反馈与控制，以及机、电、液系统的动态特性，并结合后续专业课的学习，为将来在机械工程中解决一些实际问题打下一定的基础。	
	能力目标	掌握机械工程控制论的基础知识和基本分析方法，能够将这些知识应用于机械控制论系统的分析及控制中；通过综合性的设计和校准来综合应用所学的基本知识和技能，具有初步设计机械控制系统方案的能力，并具备客观评价机械控制系统方案的优缺点的能力；具备分析和解决工程实践问题的创新意识和创新设计能力；具有与本课程相关的传统的演示性、验证性实验，并利用 matlab 等仿真实验工具进行综合性、设计型实验，尝试进行研究型实验，掌握相关实验结果的理论分析与解释等方面的基本技能，能够根据控制目标设计合理的 PID 经典控制模型环节及系统。	
	思政目标	<b>通过归纳总结，让学生提高整体性和系统性认识。</b>	
教学重点	内容	课程的系统性、整体性知识的分析和应用。	
	解决策略	微视频、小组讨论、案例分析	
教学难点	内容	综合大作业	
	解决策略	以 4-6 人为一小组，进行课堂讨论	
<b>教学策略</b>			
教学方法	教法	总结归纳教学法、对比讲解教学法、仿真模拟教学法	
	学法	自主学习法、小组讨论法、作业练习	
教学资源	课堂环境	多媒体教室	
	教学平台	智慧课堂	
	信息化手段	微视频、智慧课堂、MOOC	

### 一、学习要点

#### 1. 数学模型的数学表达式形式

- (1) 物理系统的微分方程描述
- (2) 数学工具——拉氏变换及反变换
- (3) 传递函数及典型环节的传函

#### 2. 数学模型的图形表示

- (1) 结构图及其等效变换
- (2) 信号流图及梅逊公式

3. 基本概念: 典型输入信号、稳定性、时域响应、动态性能指标、误差与稳态误差等。

#### 4. 控制系统的稳定性

- (1) 劳斯稳定判据;
- (2) 赫尔维茨稳定判据

#### 5. 控制系统的动态性能

- (1) 一阶系统的暂态响应;
- (2) 二阶系统的暂态响应

#### 6. 控制系统的稳态性能

### 二、基本要求

1、正确理解数学模型的特点, 对系统的相似性、简化性、动态模型、静态模型、输入变量、输出变量、中间变量等概念, 要准确掌握。

2、了解动态微分方程建立的一般方法及小偏差线性化的方法。

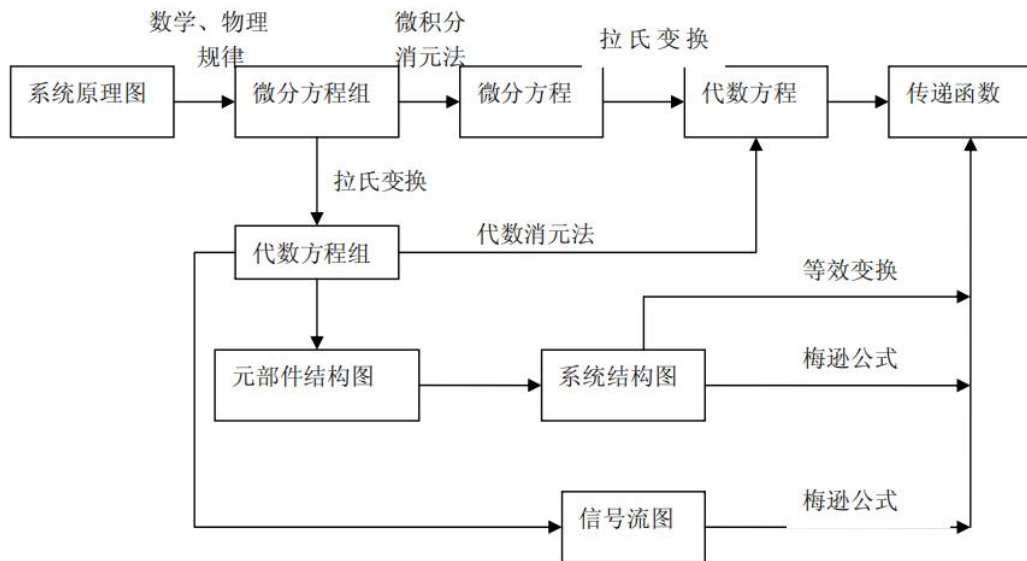
3、掌握运用拉氏变换解微分方程的方法, 并对解的结构, 运动模态与特征根的关系, 零输入响应, 零状态响应等概念, 有清楚的理解。

4、正确理解传递函数的定义、性质和意义。熟练掌握由传递函数派生出来的系统的开环传函、闭环传函、误差传函、典型环节传函等概念。

5、掌握系统结构图和信号流图两种数学模型的定义和绘制方法, 熟练掌握控制系统的结构图及结构图的简化, 并能用梅逊公式求系统传递函数。

6. 了解控制系统的典型输入信号
7. 了解线性定常系统的时域响应组成，熟悉控制系统暂态响应性能指标的定义。
8. 掌握一阶系统的暂态响应及性能指标。
9. 掌握二阶系统的暂态响应分析及其与极点之间的关系，重点掌握二阶系统的暂态响应性能指标公式及计算。
10. 一般了解高阶系统的暂态响应，掌握闭环主导极点的概念。
11. 了解稳定性的概念，掌握线性定常系统稳定的充要条件。
12. 重点掌握判断稳定性的Routh代数判据及应用，对Hurwitz判据有一般了解。
13. 了解稳态误差的概念、定义、产生原因、类型。
14. 重点掌握给定稳态误差终值的计算，掌握扰动稳态误差终值的计算及减小稳态误差的方法，掌握稳态误差系数的计算。

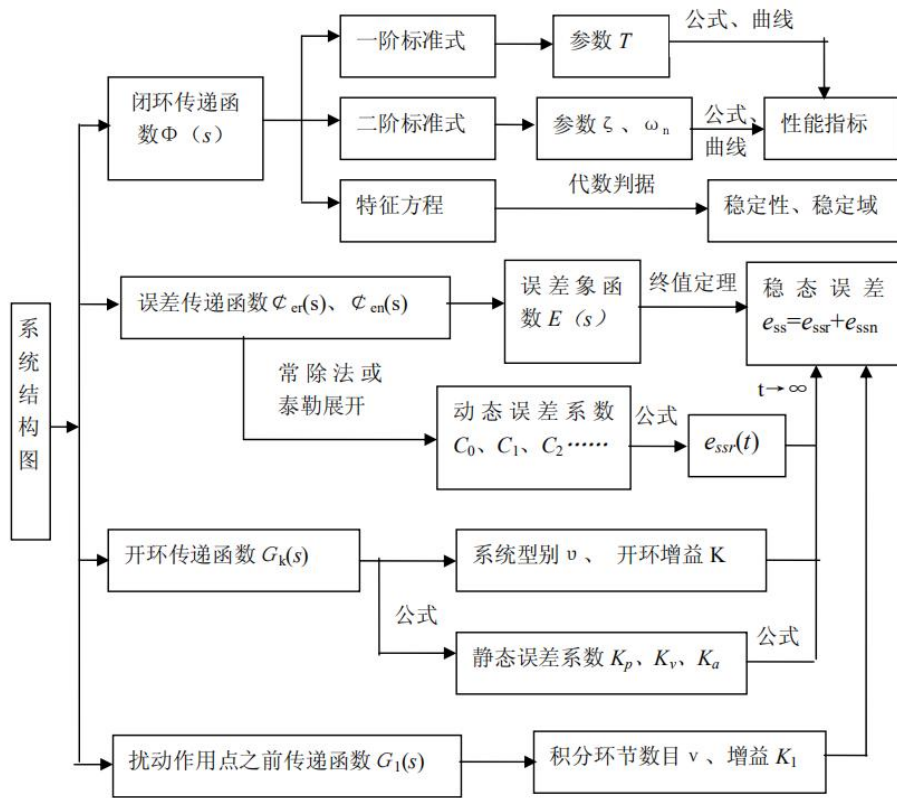
### 三、知识结构图



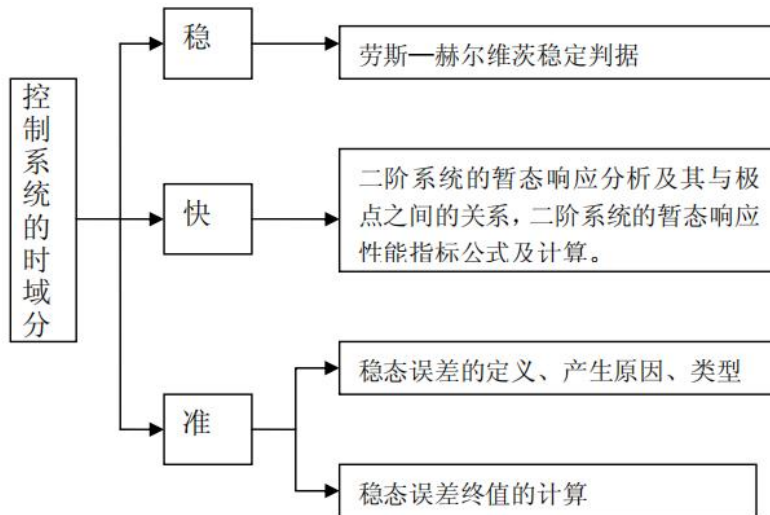
1.



2.



3.



#### 四、教学重难点及解决办法

**难点 1:** 为什么用频域法分析系统。用时域法分析系统的性能指标，概念上比较直观，学生容易接受，因为其变量是时间的函数。而用频域法分析系统时，其变量为频率  $\omega$ ，当  $\omega$  从  $-\infty \rightarrow \infty$  变化时，其频率指标为何能反映出系统的性能指标，这是学生难以理解和接受的。

**解决办法:** 首先说明在时域分析时输入信号多为  $1(t)$ 、 $\delta(t)$  等标准的典型函数，求出系统对这些函数的输出响应，就能表示系统的各项品质。其次说明  $1(t)$ 、 $\delta(t)$  等函数均可通过富氏

级数展开成一系列正弦函数。这相当于系统的输入量为不同幅值、不同频率的正弦函数同时作用到系统上,然后按照线性系统的叠加原理求出其输出量。最后通过非周期函数的频谱分析,将  $1(t)$ 、 $\delta(t)$  等函数进行富氏级数展开。从而说明频率分析法也是间接地用不同幅值、不同频率的正弦函数作为输入量去分析系统。再通过频率法中系统的时域响应和频域响应的相互对照,进一步说明用频域法分析系统是可行的。

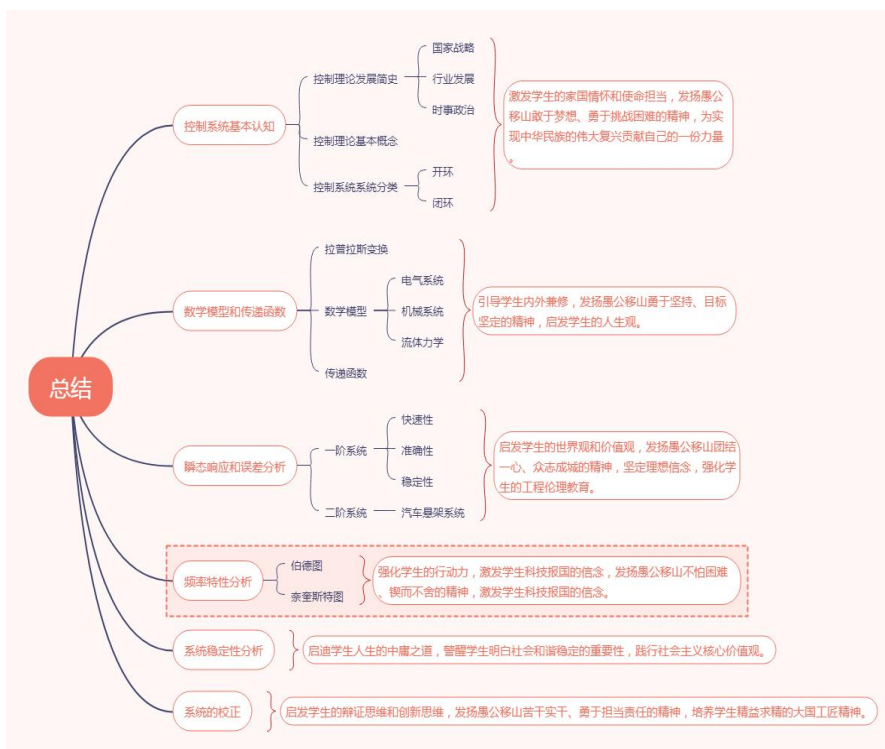
**难点 2:**用根轨迹法设计系统。其难点在于系统零、极点在  $s$  平面分布对系统输出响应的影响和根轨迹的准确画法。

**解决办法:**首先在一、二阶系统的时域分析时就引出极点在  $s$  平面的分布对系统性能指标的影响,这给用极点配置设计系统打下了一定的基础。其次在根轨迹一章里也特别强调零、极点在  $s$  平面的分布对系统响应的影响,最后可以用 MATLAB 画出准确的根轨迹。这样就可以用根轨迹方法设计系统了。

**难点 3:**用波德图设计系统。难点在于不同系统所要求的期望波德图是不同的,而被控对象的波德图是一定的。这样,确定校正环节的波德图就有一定难度,而且结果不是唯一的。

**解决办法:**首先讲清时-频指标之间的关系,给出时域指标之后就能确定出相应的波德图,画出被控对象和期望的波德图,就可以按照不同的校正方法(串联、反馈、前馈等)和原则,求出校正环节的传递函数。其中频率特性形状对频域指标的影响是分析和设计的基础,因为用频率法设计系统的实质就是通过改变频率特性形状来改善系统的性能指标,使之满足要求的。

## 五、思政融合图



## 5 最近一学期学生评价结果统计

**济源职业技术学院教学评价结果教师排名**  
2021-2022学年第一学期

平均得分：17.19

部门：机电工程系

序号	学号	姓名	性别	参评人数	综合得分
46	1000191	林九强	男	135	18.79
47	1000181	孙海杰	女	61	18.34
48	1000144	李国防	男	49	18.33
49	782	解军艳	女	78	18.28
50	554	刘红艳	女	215	18.26
51	1226	李小伟	女	117	18.11
52	1000512	任艳霞	女	64	18.06
53	1279	卫官	男	129	18.05
54	WP00572	吴超	男	8	18
55	572	李加	男	65	17.86
56	543	牛艳平	女	107	17.66
57	643	杨玉霞	女	176	17.59
58	186	朱晓利	女	236	17.41
59	1311	申艺方	女	346	17.4
60	669	李艳钰	女	82	17.34
61	900	靳峰峰	男	145	17.32
62	620	张明伟	男	229	17.26
63	545	王战军	男	100	17.21
64	187	崔沛	女	159	17.18
65	79	吕书勇	男	129	17
66	1000193	丁刚	男	71	16.94
67	1194	解向阳	男	145	16.91
68	899	屈科科	男	133	16.89
69	1000195	高清冉	女	210	16.88
70	406	苗雅丽	女	114	16.87
71	209	商冬青	女	121	16.86
72	757	赵会娟	女	166	16.86
73	1175	蒋晓	女	136	16.79
74	569	刘波	男	198	16.78
75	1310	聂超超	男	47	16.77
76	978	汤金金	男	166	16.74
77	805	张新富	男	40	16.73
78	1000207	张学明	男	117	16.69
79	845	赵敏	女	149	16.67
80	688	李涛	男	39	16.62
81	208	赵小芳	男	134	16.57
82	1000190	姚亚平	女	87	16.43
83	1266	赵博深	男	432	16.42
84	1227	孔宁宁	男	109	16.39
85	616	唐光胤	男	131	16.38
86	1000035	雷勇	男	132	16.23
87	178	郑铁明	男	137	15.97
369	1000196	陈英	女	34	17.38

## 6 学校对课堂教学评价

### 6 学校对课堂教学评价

李小伟老师负责课程思政《控制工程基础》课程，能将思政内容和专业内容有机结合，教学理念先进，教学形式创新，教学效果良好，具有一定的推广意义。

课程教学目标设定准确，能有效支撑机制专业人才培养目标。线下课堂教学形式多样，教学目的强，学生参与度较高，学生学习效果较显著。课程的教学方案设计严谨、有序，紧紧围绕教学目的而设定，教学活动设计经过一定的教学研究，设计合理有效。课程学习成绩评价采用平时过程性评价，观测点多样，能真实反应学生平时学习的状态；期末考试采用面试形式，实现了学生个性化的评价。李小伟老师教学态度严谨，教学方式多样，授课逻辑性强，教学语言感染力强，学生反馈良好。建议在今后的课程改革中，进一步扩充线上教学的资源，加强课程的实践性。

