

商洛学院课程思政案例库

课程名称：《自动控制原理》

负 责 人：鱼轮

编著时间：2025 年

教务处印制

前言

为了响应教育部《高等学校课程思政建设指导纲要》（教高〔2020〕3号）要求，落实“立德树人”根本任务，破解工科专业课程思政“硬融入”难题。结合人工智能专业特性，聚焦《自动控制原理》课程中系统建模、稳定性分析等核心内容，挖掘控制理论与智能系统开发的思政结合点。

针对传统教学中存在的：①抽象数学推导弱化价值引领；②工程案例缺乏思政延展性；③学生创新意识培养不足的问题。从知识传授、能力培养、价值塑造三个维度进行课程思政建设，将50个核心知识点（如根轨迹/频域分析）与思政元素有机融合，通过案例训练系统思维、风险预判、创新设计等AI工程师核心素养，植入科学家精神、科技伦理、家国情怀等价值观。

本案例库以自动控制原理知识体系为骨架，以“智能控制—匠心筑梦—强国有我”为育人主线，深度融合“科学思维、创新意识、爱国主义”等16个维度的思政育人元素，围绕“融什么（思政切入点）、融到哪（怎么融）、怎么融（融入形式和融入素材）”进行三层次闭环设计，覆盖7个章节的核心知识点。

案例设计时，会根据知识点的内涵和外延，巧妙引申，自然融入多模态素材（文字、图片、动画、视频、文献、AI智能体等），灵活采用多元化教学法（讲授法、小组讨论、

翻转课堂等), 实现专业知识与价值塑造的深度协同, 为工科控制类课程提供可复用、可迭代的思政教学范式。

编写时, 首先确定本章重要知识点内容, 根据实际教学经验, 从知识点的内涵与外延思考课程思政点, 编写时比较看重“润物无声”般的渗透, 拒绝生搬硬套牵强附会的课程思政。同时, 还根据知识点实际情况, 灵活进行扩展, 例如第4章根轨迹8大法则的讲授中, 个别法则并未进行过多扩展。另外, 编写中, 有借助 AI 大模型进行辅助思考, 也制作了 AI 智能体、利用 AI 技术复活科学家等多元手段进行思政育人。

框架方面, 基本遵循“知识点内容→课程思政→案例分析→课程思政升华”等结构进行书写, 个别章节内容会根据实际内容灵活调整。

专家评价方面, 案例库邀请了正高职称专家进行了认真评审。

由于编者水平有限, 案例库中不妥之处在所难免, 恳请专家和读者批评指正。

目录

目录.....	1
自控第 1 章思政点梳理（11 个）	2
自控第 2 章思政点梳理（8 个）	56
自控第 3 章思政点梳理（6 个）	89
自控第 4 章思政点梳理（10 个）	108
自控第 5 章思政点梳理（5 个）	160
自控第 6 章思政点梳理（6 个）	187
自控第 7 章思政点梳理（4 个）	219

自控第 1 章思政点梳理（11 个）

案例编号	知识点	课程思政切入点	育人目标
20045111-101	1. 瓦特离心调速器的原理和意义	在控制理论发展简史部分，介绍瓦特应用反馈调节器的自动控制装置：离心调速器，分析其原理和意义，启发学生	科学家精神：
20045111-102	2、调速器稳定性理论	麦克斯韦发表的《论调节器》是自动控制领域首篇严格数学分析论文，通过分析麦克斯韦对控制领域的贡献，启发学生领悟科学家精神。	工匠精神、创新意识、工程伦理等
20045111-103	3、控制理论发展史	在控制理论发展史部分，重点介绍钱学森对控制学科的发展贡献。通过钱学森的生平事迹和学术贡献，启发学生科技报国的爱国主义精神。	爱国主义、科技报国、工匠精神。
20045111-104	4、具有控制思想的中国设备或工程	在控制理论发展史部分，介绍具有控制思想的中国早期设备或工程，如都江堰、指南车、水运仪象台等，启迪学生文化自信和科技传承的思想。	文化自信、天人合一哲学思想、经世致用的科技价值观
20045111-105	5、温度控制系统的原理和系统框图绘制	以温度控制系统为例，讲解控制原理并绘制系统方框图，据此引申“通过简化和抽象把握本质规律”的抓住主要矛盾的辩证思维、模型化思维和闭环思想。	透过现象看本质的科学思维、闭环思想
20045111-106	6、控制系统的基本性能要求	讲解控制系统的基本性能要求：稳、准、快，通过理论介绍、案例分析和虚拟仿真阶跃响应曲线对比，启	系统思维、风险意识和底线思维、责任担当和服务社

		发学生系统思维和全局优化、风险意识和底线思维、责任担当和服务社会。	会
20045111-107	7. 信号的基本概念	讲解信号的基本概念，引入中国古代利用光信号和电信号传递信息的例子，从而让学生了解中国古人的智慧，弘扬爱国主义情怀，培养学生的文化自信。	了解古人的智慧、弘扬爱国主义情怀、培养学生的文化自信；
20045111-108	8. 信号的分解	讲解连续信号的分解，包括信号的直流和交流分解、信号的奇偶分解、任意信号的分解。引申到学生将大学生职业规划问题按一定规则进行分解，抓住主要矛盾，大问题分解为小问题，制定目标时，按照 SMART 原则制定，逐个解决，提前做好职业规划。	启发学生采用多元化思维解决问题的能力；做好目标管理，采用 smart 原则制定目标。
20045111-109	9. 系统的响应	讲解系统的响应的定义和分类，通过介绍零输入响应和零状态响应的概念，启发学生：“人就是一个系统，要想产生输出（输出技能），就需要不断地输入（学习）”。概念介绍完后，分享清华校长薛其坤的励志求学故事。	提高学生学习积极性、激发学生学习斗志等；
20045111-110	10. 因果系统和非因果系统	讲解系统的分类：因果系统和非因果系统，结合航天员王亚平的个人经历，引申到“一个人要想在某个方向上有输出响应，就需要在该方向上持续下功夫”	提高学生学习积极性、勉励学生认真求学等；
20045111-111	11. LTI 系统分析方法	讲解 LTI 系统分析方法：时域方法和频域方法，通过 2 种分析方法的	培养学生创新能力、多元化思考、

		内容对比，引入对“木板理论”的另一个角度思考，启发学生要具有创新性的思维、多角度看问题、培养多元化思考。	多角度看问题的能力；
--	--	--	------------

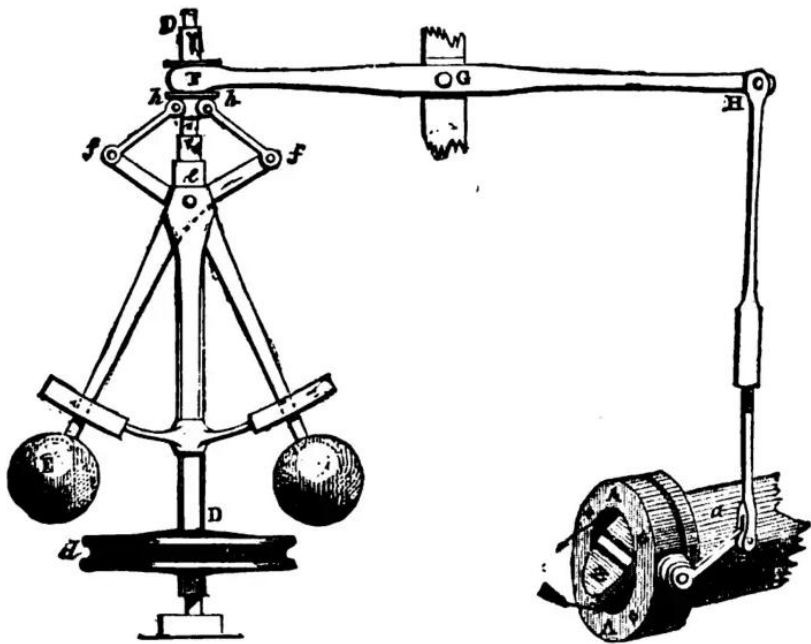
案例编号	20045111-101
案例标题	瓦特离心调速器的原理和意义
案例来源	原创案例
内容简介	讲解瓦特离心调速器的原理，然后引入科学家瓦特的生平事迹，进而渗透课程思政点“工匠精神与知行合一、问题导向的创新思维、工程伦理与社会责任、基础科学的支撑作用”。
关键词	离心调速器、反馈、调节器、自动控制；
编写时间	2025-1-28
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片、视频
育人主题	科学家精神：工匠精神、创新意识、工程伦理等；
素材长度	2302 字符
案例正文	知识点内容：离心调速器的原理 飞球调节器是比例控制的早期经典例子。滚珠随着速度的增加而上升，从而关闭阀门，直到连杆和阀门的需求和比例增益之间达到平衡。 

图 1 离心调速器

原理：调速器由两根装有沉重金属球的连杆组成，垂直安装于随蒸汽机主轴旋转的立轴上。主轴旋转越快，离心力越大，金属球飞升越高；反之则下降。金属球连杆通过一套杠杆机构连接到控制蒸汽进气阀门的节流阀。当蒸汽机因负荷减轻而转速升高时——金属球飞升，通过连杆减小节流阀开度，减少蒸汽供应，从而降低转速。反之，负荷增大导致转速下降——金属球下落，连杆增大节流阀开度，增加蒸汽供应，提升转速。

这个看似简单的装置，完美诠释了“反馈控制”的核心思想：系统输出（转速）的偏差被（调速器）敏感地检测到，并将其作为输入信号反过来调节作用于系统的输入量（蒸汽流量），以减小偏差、维持期望状态（恒定转速）。这是一个负反馈闭环控制系统的典型机械实现，其目标是恒值调节（维持设定转速）。

下面，让我们一起走进工业革命之父：瓦特的生平事迹中！

詹姆斯·瓦特：蒸汽时代的革命者与自动控制的先驱

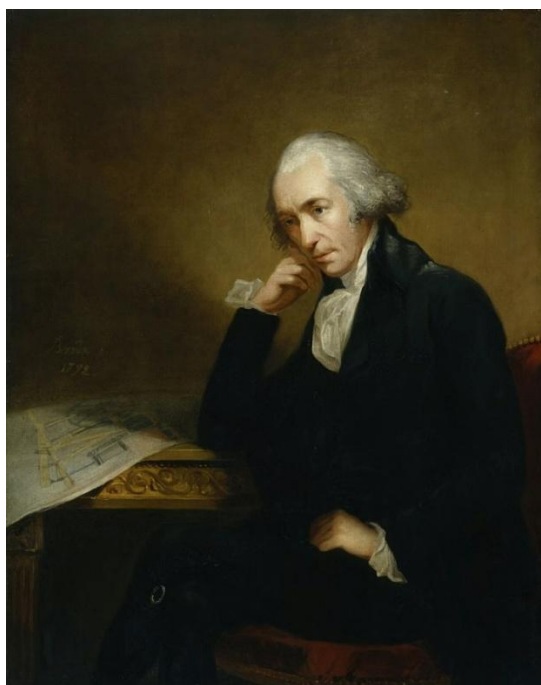


图 2 瓦特

詹姆斯·瓦特（James Watt, 1736.1.19 – 1819.8.25），通常被

铭记为“工业革命之父”，因其对蒸汽机的革命性改进而名垂青史。然而，在他众多开创性贡献中，1788 年发明的**离心调速器**（Flyball Governor）具有划时代意义——它不仅仅是提高蒸汽机效率的工具，更是人类历史上**首个被广泛应用并深刻体现反馈控制原理的自动调节装置**，为自动控制工程领域播下了第一颗种子。

1、早年磨砺与蒸汽机的邂逅

生于苏格兰格里诺克的瓦特，早年因体弱未能接受正规学校教育，但其过人的机械天赋在父亲的作坊中得到锤炼。1755 年，他前往伦敦学习精密仪器制造。1757 年成为格拉斯哥大学数学仪器修理工的经历，为他日后改良纽科门蒸汽机奠定了关键基础。1763 年，在修复一台纽科门模型机时，瓦特敏锐洞察到其核心缺陷：绝大部分热量耗费在反复加热和冷却汽缸上，效率极其低下。由此开启了长达十年的蒸汽机革新之路。

2、分离冷凝器：蒸汽机的第一次飞跃

1765 年，瓦特取得决定性突破——发明了分离冷凝器。他将冷凝过程移出汽缸，使汽缸能始终保持高温工作状态。这一改进配合其他优化（如汽缸活塞密封），将纽科门机的效率提升 2-4 倍。此发明于 1769 年获得专利。在伯明翰企业家马修·博尔顿的资助和合作下，瓦特与博尔顿于 1775 年成立了“博尔顿与瓦特”公司，专业制造和推广新型蒸汽机。他们的机器很快成为矿场排水、工厂驱动的核心动力源，极大地推动了工业革命进程。

3、离心调速器的诞生：自动控制的黎明

随着高效瓦特蒸汽机广泛应用于工厂驱动纺织机械等负荷多变的场景，一个新问题凸显：当机器负荷突然变化（如某条传动带断开或织机停止）时，蒸汽机转速会剧烈波动——负荷减轻时转速飙升可能导致飞轮爆裂，负荷加重时转速骤降又使机器停转。需要人工持续监视并手动调节蒸汽阀门，效率低下且危险。

1788 年，瓦特再次展现出非凡的解决能力。他从风力磨粉机中用于保持恒速的原始风叶调节装置汲取灵感，设计并应用了基于离心力原理的调速器（Flyball Governor），又称“飞球调速器”。



图 3 现实中的离心调速器原理

离心调速器迅速成为瓦特蒸汽机的标准配置，显著提升了蒸汽机运行的稳定性、安全性和效率，使其更适应工业生产的复杂需求，加速了机械化大工业的普及，更深远的意义在于为工程实践打开了自动控制的大门：

①机械自动化的典范：它是首个实现重要工程变量（转速）自动、连续、稳定调节的装置。

②理论研究的催化剂：调速器的广泛应用引发了工程师和数学家对其运行原理和稳定性的深入研究（如 19 世纪麦克斯韦尔对振荡问题的分析），直接推动了早期控制理论的发展。

③工程实践的先导：其负反馈原理成为后世所有自动控制系统（从恒温器到现代航空航天器）的基础模板，瓦特因此被公认为自动控制工程的主要奠基人之一。

	詹姆斯·瓦特不仅以提升蒸汽动力效率点燃了工业革命，更通过离心调速器的发明，在无意中为另一个伟大领域——自动控制——埋下了决定性的基石。他的贡献，跨越了两个技术时代，塑造了人类文明的进程。 课程思政点： ①工匠精神与知行合一。 瓦特早年体弱多病却自学成才，在格拉斯哥大学修理仪器时积累实践经验，改良蒸汽机时坚持 10 年实验（1765 - 1775），将分离冷凝器理论转化为工业应用。工匠精神体现为理论与实践深度结合，技术突破源于对工程细节的极致追求。 ②问题导向的创新思维。 1788 年发明离心调速器，直接动因是解决工厂蒸汽机负载突变导致转速失控的工程痛点。他从风力磨坊的原始调速装置获得灵感，创新性移植离心力原理。启发学生：创新需立足实际需求，用跨领域思维解决核心问题（从自然现象到机械控制） ③工程伦理与社会责任。 调速器大幅降低工业事故率（避免飞轮破裂伤人），提升生产效率。瓦特拒绝为高耗能煤矿提供蒸汽机，体现技术应用的底线意识。启发学生：工程技术必须以安全性与社会效益为前提，工程师应具备风险预判能力。 ④基础科学的支撑作用。 调速器看似简单机械，却首次实现负反馈闭环控制（输出转速→调节输入蒸汽）。正是基于瓦特的发明，才催生了 19 世纪控制理论（如麦克斯韦微分方程分析调速器稳定性）。这启发我们：朴素工程创新蕴含着深刻的科学原理，后续理论化需要扎实数理基础。 告诫学生：瓦特的调速器不仅是蒸汽时代的里程碑，更揭示了工程创新的本质：从实践中洞察科学规律（离心力→反馈控
--	--

	制), 将经验升华为普适理论, 最终以技术敬畏守护人类安全。这种“ 问题驱动、理论支撑、伦理先行 ”的创新范式, 正是当代工程师的必修课。
分析评价	该案例在讲解瓦特飞球调速器原理时, 引入科学家瓦特发明离心调速器的事迹和对后世的影响。课程思政点切入自然, 润物无声, 实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一, 达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚, 教授, 商洛学院

案例编号	20045111-102
案例标题	调速器稳定性理论
案例来源	原创案例
内容简介	讲解调速器稳定性理论，通过分析论文《论调节器》，讲解其对控制学科的影响，引申“问题导向的跨学科思维、严谨求实的科学态度”等课程思政点。
关键词	调速器、稳定性、论调节器、跨学科思维；
编写时间	2025-1-28
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	问题导向的跨学科思维、严谨求实的科学态度等；
素材长度	1748 字符
案例正文	知识点内容：调速器稳定性理论 瓦特发明的离心调速器在工业中广泛应用，但实践中常出现持续振荡或失控（如蒸汽机转速周期性波动）。工程师仅凭经验调试，无法从根本上解决稳定性问题。 麦克斯韦首次将调速器抽象为微分方程描述的动态系统。他将旋转机构的惯性、机械摩擦阻尼、阀门响应延迟等物理效应转化为方程参数，建立了首个闭环控制系统数学模型 $\tau \frac{d^2\theta}{dt^2} + \zeta \frac{d\theta}{dt} + k\theta = 0$ 其中θ为转速偏差，τ、ζ、k分别对应惯性、阻尼与反馈系数。 通过求解微分方程的特征根，麦克斯韦提出：系统稳定的充要条件是所有特征根实部为负（后称“麦克斯韦判据”）。他发现： ● 阻尼不足（ζ 过小）→ 特征根实部为正 → 系统发散振荡； ● 反馈增益过大（k 过高）→ 加剧振荡风险。 这一发现首次从数学上解释了调速器失稳机理。

在《论调节器》中，他进一步推导了三阶系统稳定性条件（针对含延迟响应的复杂调速器，这个内容在自控第 3 章里会讲到），提出特征方程系数需满足特定不等式（后由劳斯-霍尔维茨判据完善）。

Origin of Stability Analysis: "On Governors" by J.C. Maxwell

CHUL-GOO KANG

In 1868, James C. Maxwell published a paper, "On Governors," in *Proceedings of the Royal Society of London* [1]. This paper was overlooked for a long time because it was deemed by many to be difficult to comprehend. However, since Norbert Wiener drew attention to this paper in 1948, it has been recognized as the first significant paper on control theory, as a result, Maxwell has been regarded as the "father of control theory" [2]. The purpose of this article is to provide historical information on the origin of stability analysis in Maxwell's paper and to rederive his key equations using illustrative figures to improve the readability of that paper.

The origin of control dates to a water clock (outflow type), shown in Figure 1(a), in Egypt around 1500 BC. An improved Greek water clock (inflow type) measured time through a gradual flow of water, as shown in Figure 1(b), in which a constant flow rate was obtained from the overflowing water. However, this clock had an obvious disadvantage in that a large quantity of water was wasted by this overflow, which is this is the reason the clock was named clepsydra ("water thief" in Greek).

To resolve this problem, Greek technician Ctesibius invented a water clock with a float valve, as shown in Figure 2, around 300 BC [3]. In modern control terminology, the clepsydra in Figure 1 was an open-loop control system, whereas the water clock of Ctesibius was one of the first feedback control systems invented by humans. Ancient Chinese water clocks, such as the one built by Su Sung, and the Korean water clock Jangyongmu (meaning "self-striking water clock," see Figure 3) built by Jang Youngsil in 1434, were based on a similar control principle (that is, the concept of open-loop control) to that of the clepsydra in Figure 1(b) [4]–[6]. One of the first significant feedback control systems in modern Europe

was the flyball governor, shown in Figure 4, which was invented in 1780 by the Scottish engineer James Watt for the speed regulation of a steam engine [7]–[9]. The amount of steam (the controller output) supplied to the engine (the controlled plant) was adjusted according to the difference (the error signal) between the desired and actual speeds. If the actual speed (the controlled variable) increases beyond the desired value (the setpoint) owing to variations in the driving power or resistance (the disturbances), then the increase in the centrifugal force of the flyball governor causes a contraction of the aperture of the steam valve through a link mechanism. This results in the supply of less steam, and the speed of the steam engine decreases until the desired value is attained. On the other hand, if the engine speed drops below the desired value, then the decrease in the centrifugal force of the governor causes the steam valve to open wider, supplying more steam, and the engine speed increases until the desired value is attained [9].

The early flyball governor had the drawbacks of 1) an offset (steady-state error) resulting from proportional

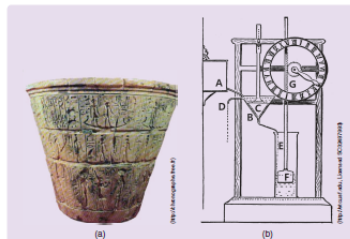


FIGURE 1 (a) An Egyptian water clock, invented around 1500 BC. This water clock (outflow type) was discovered in Karnak, Egypt (Museum of Cairo). (b) An improved Greek water clock (inflow type). The clepsydra measured time by the (gradual) flow of water, in which a constant flow rate at E was obtained by overflowing water at D.

Digital Object Identifier 10.1109/MCS.2016.2584206
Date of publication: 15 September 2016

1065-0563/16/09000000-0000

OCTOBER 2016 44 IEEE CONTROL SYSTEMS MAGAZINE 77

图 1 《论调节器》论文

该论文标志着工程控制问题从经验调试迈向数理分析，被誉为“控制理论诞生的里程碑”。

麦克斯韦的这种建模方法启发了后续工程领域：

- 1895 年：俄国利亚普诺夫提出更普适的稳定性理论；
- 1932 年：奈奎斯特基于复变函数发展频域稳定性判据；
- 20 世纪中叶：维纳、钱学森等将控制论拓展至多学科。

下面，就让一起走进 科学家麦克斯韦的生平事迹吧！

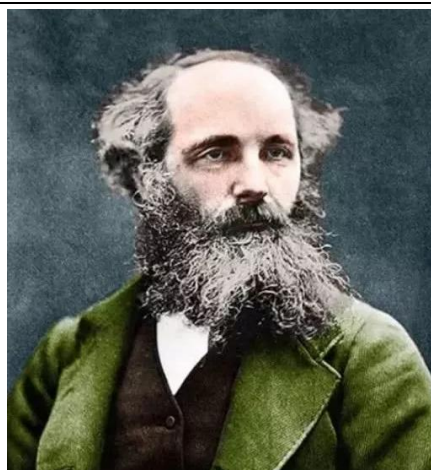


图 2 麦克斯韦

詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell，1831 年 6 月 13 日-1879 年 11 月 5 日），出生于英国爱丁堡，毕业于剑桥大学三一学院，英国理论物理学家、数学家。经典电动力学的创始人，统计物理学的奠基人之一。

麦克斯韦 10 岁时进入爱丁堡中学，15 岁时向皇家学会递交数学论文，发表在《爱丁堡皇家学会学报》上。1847 年考入苏格兰爱丁堡大学学习数学、物理，1850 年秋转入剑桥大学，他预言了电磁波的存在，创建了卡文迪许实验室，1879 年 11 月 5 日逝世，年仅 49 岁。

麦克斯韦的人生充满矛盾魅力：生于苏格兰贵族家庭却痴迷实验，剑桥数学尖子却总往工厂钻。在格拉斯哥大学任教授时，他常被蒸汽机厂的机械故障吸引，掸去燕尾服上的煤灰蹲在车间观察调速器震动，把工人抱怨的“转速抽风”记入皮质笔记本。这种动手动脑的接地气探索，让贵族学者成了工业现场的侦探。

另外，他还是跨界的科学诗人。麦克斯韦善用诗性思维连接知识孤岛。他曾通过陀螺旋转描述电磁场特性，将数学公式谱写成物理学“交响乐”。研究调速器时，他看出飞球震荡与钟摆摆动的数学同源性——牛顿力学与工程现象共享同一套微分方程语言。正是这种横向迁移的洞察力，让他预言了无线电波的存在，

	同时解开蒸汽时代的技术困局。 《论调节器》如一颗发射向未来的种子，论文 1868 年发表却遭冷遇（工程师嫌数学太深，学者视作“应用雕虫”），他转而深耕电磁学。直到电气化时代来临，工程师们才猛然发现：半个世纪前已有人为自动控制写下理论基石。这印证了他的信念：“自然法则从不迎合人类的时间表”。这颗为人类安上“稳定之眼”的巨匠头脑，48 岁便因胃癌陨落，留下未统一的引力理论遗稿，但调速器方程的波纹，已在从锅炉延伸到航天器轨道的星辰大海中荡漾不息。 课程思政点： ①基础科学赋能工程创新。 1868 年论文《论调节器》将调速器振荡问题抽象为微分方程（首次建立闭环控制系统数学模型），推导出特征根实部为负的系统稳定性判据（揭示物理现象背后的数学本质）。启发学生：工程难题的突破需深厚数理基础，抽象建模能力是解决复杂系统的钥匙。 ②问题导向的跨学科思维 麦克斯韦亲赴格拉斯哥工厂观察蒸汽机调速器故障（1860 年代），从工程现象提炼科学问题。发表的论文融合了理论物理（动力学）、数学（微分方程）、机械工程（调速器结构）三领域知识。启发学生：重大创新往往诞生于学科交叉处，科学家应主动打破知识壁垒。 ③严谨求实的科学态度 麦克斯韦在论文中严格证明三阶系统稳定性条件（超越当时工程师经验认知），指出调速器设计需平衡增益/阻尼/惯性参数（反对“经验试错法”）。启发学生：工程技术决策须以量化分析取代主观经验，崇尚理性精神。 ④甘坐冷板凳的研究品格
--	---

	《论调节器》价值在其逝世后 30 年才被控制学界广泛认可，生前坚持研究：“真理的发现比个人荣誉更重要”。启发学生：科研工作者应有历史耐心，追求真理而非即时功利。
分析评价	该案例在讲解论文《论调节器》的原理时，引出麦克斯韦对控制领域的贡献，进而渗透科学家精神等课程思政点。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-103
案例标题	控制理论发展史
案例来源	原创案例
内容简介	讲解控制理论发展史，通过讲解控制发展史，得到中国科学家钱学森对控制学科的贡献，通过其事迹介绍，引申“家国情怀、科技自主、系统工程思维、学者风骨”等课程思政点。
关键词	控制理论发展史、钱学森、科技报国；
编写时间	2025-1-28
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	家国情怀、科技自主、系统工程思维、学者风骨等
素材长度	1943 字符
案例正文	知识点内容：经典控制理论发展简史 1788 年，詹姆斯·瓦特 (James Watt)，发明离心调速器（飞球调节器），用于蒸汽机转速控制，意义：首个自动反馈控制系统，标志控制工程的实践开端。 1868 年，詹姆斯·克拉克·麦克斯韦 (James Clerk Maxwell)，发表《论调速器》，首次用微分方程分析调速器稳定性，意义：奠定稳定性数学理论基础，提出系统特征方程概念。 1877 年，爱德华·劳斯 (Edward Routh) 提出 劳 斯 判 据 (Routh Criterion)，意义：通过特征方程系数判断系统稳定性，无需求解根。 1895 年，阿道夫·赫尔维茨 (Adolf Hurwitz)，独立提出赫尔维茨判据 (Hurwitz Criterion)，意义：补充劳斯判据，完善代数稳定性判定方法。 1927 年，哈里·奈奎斯特 (Harry Nyquist) 提出奈奎斯特稳定性判据 (Nyquist Criterion)，意义：基于复变函数理论，通

过开环频率响应判断闭环稳定性。

1932 年，哈罗德·布莱克 (Harold Black) 发明负反馈放大器（专利），**意义**：解决长途电话信号失真问题，推动反馈控制工程应用。

1932 年，亨德里克·波特 (Hendrik Bode) 发展波特图（Bode Plot）与增益-相位裕度概念，**意义**：频域分析法核心工具，直观描述系统频率特性。

1948 年，沃尔特·埃文斯 (Walter R. Evans) 提出根轨迹法（Root Locus Method），**意义**：通过开环极点/零点变化分析闭环极点轨迹，指导参数设计。

1948 年，诺伯特·维纳 (Norbert Wiener) 出版《控制论：关于在动物和机器中控制和通信的科学》，**意义**：定义“控制论”学科，强调反馈在生物与机器中的普适性。

1954 年，钱学森 (Tsien Hsue-shen) 出版《工程控制论》英文版 (Engineering Cybernetics)，**意义**：开创控制论在工程领域的系统性应用，整合经典控制理论（如传递函数频域分析），并拓展多变量控制最优控制自适应系统等新方向，奠定自动化技术理论基础。

1956 年，中国科学院 授予《工程控制论》科学奖金一等奖，**意义**：标志中国对控制科学的里程碑贡献，推动全球工程控制论发展。

1940s-1950s，控制工程实践发展，PID 控制器广泛应用伺服系统设计成熟，经典控制理论在工业（化工电力航空）实现大规模应用。

下面，让我们一起学习下钱学森前辈的科技报国之路吧！
钱学森（1911.12.11 – 2009.10.31）：中国控制科学与航天工程的星辰引路人。钱学森被尊为“中国航天之父”“火箭之王”，但其在自动控制理论与系统工程的奠基性贡献，才是撬动中国现代国

防科技的真正支点。从加州理工的喷气实验室到西北戈壁的发射基地，他开创的理论体系至今仍是自动化领域的圭臬。

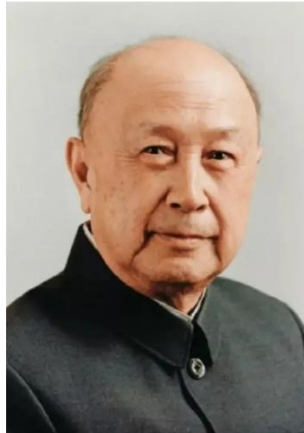


图1 钱学森

1954 年，钱学森在美出版英文专著《Engineering Cybernetics》（《工程控制论》），首次将维纳《控制论》的抽象理论转化为工程技术语言。该书：

- ▶ 建立时变系统稳定性分析框架（超前于当时主流频域方法）
 - ▶ 提出火箭制导“反馈-修正”模型（为惯性导航奠基）
 - ▶ 定义工程控制系统的信息传递范式（信号、噪声、信道容量）
- 被译为中德俄等 10 余语言，直接催化现代控制理论形成。

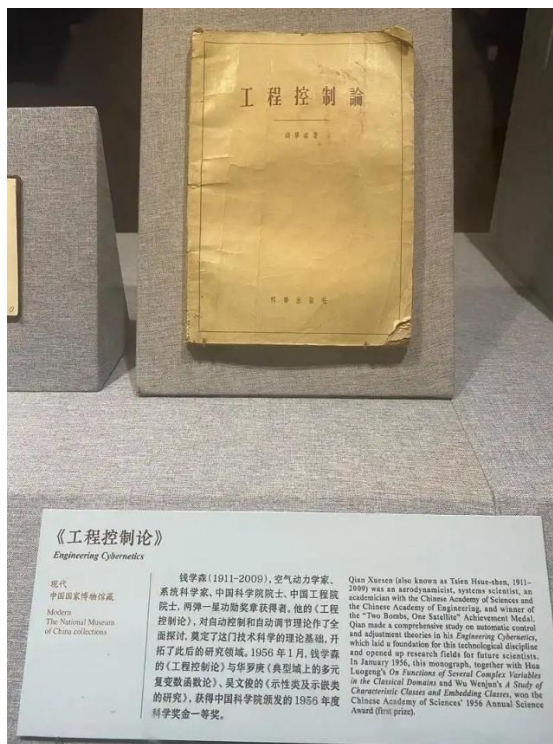


图 2 工程控制论

作为 NASA 前身 JPL 的共同创始人（1943 年），

- ▶ 主持设计美国首批导弹“女兵下士”制导系统（首创陀螺仪+气动舵机反馈控制）
- ▶ 解决高超音速飞行器姿态失稳难题（建立非线性控制模型）
- ▶ 开发风洞实验数据自动采集与校正系统（早期工业自动化范例）

1955 年突破阻挠归国后，钱学森将控制理论注入国防工程：

- ▶ 东风-2 导弹控制系统：攻克液体燃料晃动干扰（首创“陀螺平台+加速度计”复合控制）
- ▶ 人造卫星姿态控制：设计三轴稳定系统（太阳敏感器→推力器反馈调节）
- ▶ 核试验自动化：构建核爆冲击波数据远程采集网络（安全控制关键）

“我的事业在中国，我的成就在中国，我的归宿在中国。”——钱学森归国宣言。

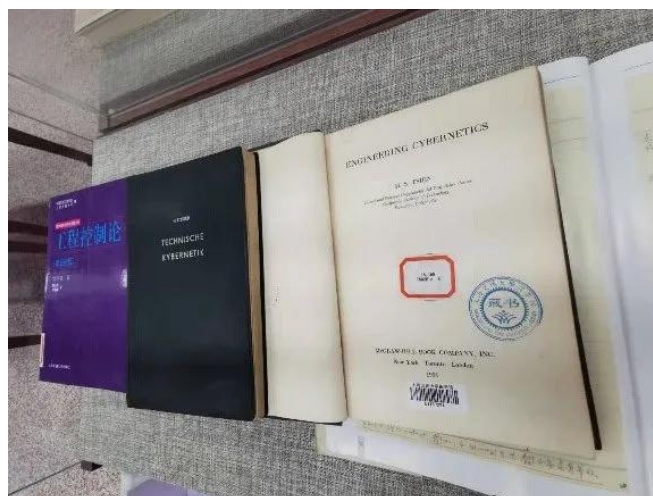


图3 上海交大钱学森著作专柜

求学时期，钱学森怀揣实业救国的梦想，勤学精进，在学校图书馆广泛涉猎飞机、火箭、航空理论的书籍。他对母校图书馆感情至深，曾由衷地说：“图书馆对我的教育成长和科学工作有极大的推动和帮助作用，……对我的研究工作简直不可或缺。”“可以毫不夸张地说，从一定意义上讲，没有图书馆和资料馆，就没有今天的钱学森。

课程思政点：

①家国情怀

放弃美终身教职→归国造导弹(美海军次长：“他抵5个师”)。

②科技自主

手摇计算机验算东风导弹数据(1950s)→突破“有弹无控”困局。

③系统工程思维

提出“总体设计部”机制(航天工程跨部门协同范本)。

④学者风骨

拒绝对苏联制导技术全盘复制：“吃别人嚼过的馍没味道”。

该案例在讲解控制理论发展史时，重点介绍中国科学家钱学

分析评价	森的事迹，进而渗透科技报国、系统工程思维等课程思政点。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-104
案例标题	具有控制思想的中国设备或工程
案例来源	原创案例
内容简介	讲解控制理论发展史，中间介绍具有控制思想的中国早期设备或工程，学习其控制原理和思想，感悟古人智慧，引申“文化自信、天人合一的哲学思想、科技传承”等课程思政点。
关键词	控制理论发展史、都江堰、、科技报国；
编写时间	2025-1-29
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片、视频
育人主题	文化自信、天人合一的哲学思想、科技传承等
素材长度	1258 字符
案例正文	知识点内容：具有控制思想的中国设备或工程 中国古代一些具有控制思想的设备或工程： 1、指南车  图 1 指南车

这是一个机械式差动齿轮闭环反馈系统，通过齿轮传动巧妙地将车轮转过的角度转换为木人转动的补偿角度，始终指向南方。

2、水运仪象台

水运仪象台是北宋时期苏颂、韩公廉等人发明制造的以漏刻水力驱动的，集天文观测、天文演示和报时系统为一体的大型自动化天文仪器。

作为中国古代航海技术的重要组成部分，水运仪象台的存在不仅仅代表着中国古代航海技术的发展水平，也是中国古代科学技术和文化的重要见证。



图 2 水运仪象台

水运仪象台的主要功能是观测气象和测量航道深度。主要原理是利用杠杆和重锤的周期性启闭控制水流均匀释放，输出稳定的等时基准（速度控制/时序控制的开环/闭环融合，本质上是一个极限环振荡的反馈系统产生周期性输出）

3、都江堰水利工程（视频介绍原理）

观看视频时，提问学生：这些建造于几百甚至上千年前的伟大工程和设备，它们能稳定运行、精准工作的‘秘密’是什么？是否包含了我们今天所学的控制原理？” 引发学生兴趣和思考，自然引出课程内容和思政点（自主创新、早期实践）。



图 3 都江堰水利工程

都江堰的设计里，核心的控制思想是：“乘势利导，因时制宜”（鲁棒性设计思想）。鱼嘴（无动力）自动分水分沙（根据水流特性设计）；飞沙堰溢洪排沙（负反馈泄能）；宝瓶口控流（核心输出口）。强调其系统工程整体观和自组织、自适应自然规律的特点。

课程思政点：

①自主创新的智慧源泉

都江堰、指南车、水运仪象台等发明创造是中华民族独立自主进行科技创新、解决实际问题的杰出代表，体现了古代先民的非凡智慧与创造力。

②系统思维与闭环控制的早期实践

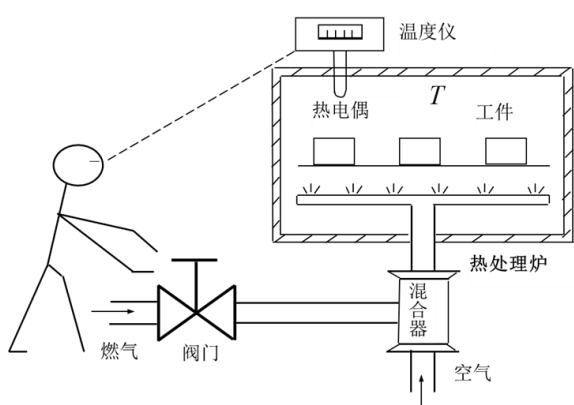
中国古代智慧对现代科技基础原理的贡献，培养系统分析和工程思维能力。

③需求导向与经世致用的科技价值观

这些发明创造均源自国计民生的重大需求（治水、导航、天文历法），体现了中国古代“道术结合”“开物成务”的实用主义科技观，科技最终服务于人民福祉和社会发展。

④精益求精的工匠精神

	通过介绍这些工程的设计巧思、精密制造（如水运仪象台的复杂齿轮系统、高精度漏刻）和历代的改进完善（如都江堰历朝历代的管理维护），展现其中蕴含的精益求精、追求卓越的工匠精神。培养学生严谨、专注、追求卓越的科研素养和工程素养，强化责任感和使命感。 ⑤科技传承与在创新基础上的再创造 贵遗产不仅是辉煌过去，更蕴含了深刻哲理和设计理念，是当代科技创新的重要思想源泉之一。鼓励学生在学习控制理论时，主动挖掘传统智慧中的灵感。 告诫学生：回顾都江堰的因势利导、指南车的精准反馈、水运仪象台的精密协同，我们看到中华文明在控制工程领域的璀璨明珠。它们不仅是古人对自然规律认识的深刻体现，更是系统思维、自主创新、精益求精、经世致用这些优秀科技传统的生动注脚。学习控制理论，不仅是掌握现代科技工具，更要理解和传承这份宝贵的智慧基因。作为新时代的工程学子，我们应怀揣文化自信，立足本土实践，将优秀的传统智慧与现代科技融会贯通，勇于进行创新基础上的再创造，为科技强国建设和人类共同福祉贡献智慧和力量！
分析评价	该案例在讲解中国古代具有控制思想的设备仪器或工程时，分析原理并通过图片或动画视频形式进行讲解，渗透系统思维、自主创新、精益求精、经世致用的课程思政点。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

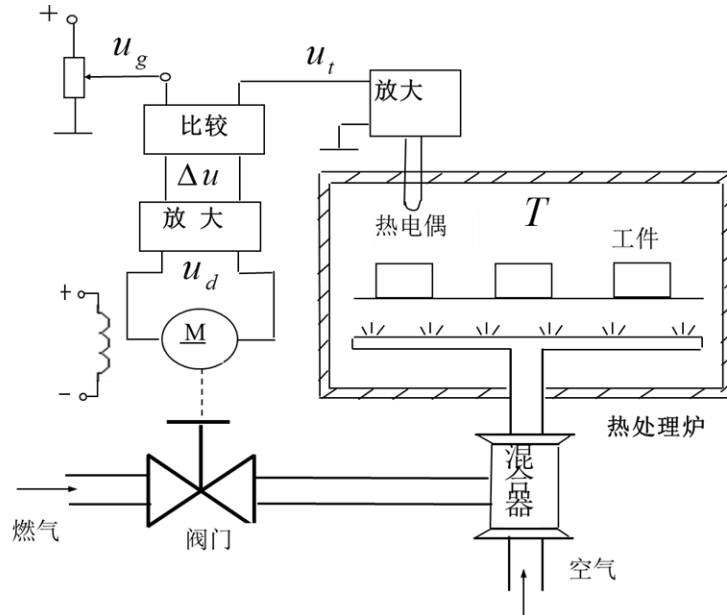
案例编号	20045111-105
案例标题	温度控制系统的原理和框图绘制
案例来源	原创案例
内容简介	以温度控制系统为例，讲解其元件功能、控制原理、系统框图绘制，通过整个分析过程，引申化繁为简、抽象建模的科学思维方法、透过现象看本质，把握核心规律的哲学思维、闭环思想等课程思政点。
关键词	温度控制系统、反馈、闭环系统、系统框图；
编写时间	2025-1-30
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	抽象建模的科学思维、透过现象看本质的哲学思维等
素材长度	1069 字符
案例正文	知识点内容：温度控制系统的原理和框图绘制 1、温度人工控制系统：  图 1 温度人工控制系统 系统的控制任务是保持热处理炉内的温度恒定或按一定的要求变化。炉内的温度会受到环境温度和工件数量的影响，调节燃气阀门的开度，可以控制炉内温度的高低。 采用人工操纵时，靠人眼观察温度仪，根据实际温度和要求温度的差值大小，通过大脑的思考，用手调节燃气阀门的开度来

控制炉内温度，使炉温能按要求变化。

受控对象—— 热处理炉

被控制量—— 温度

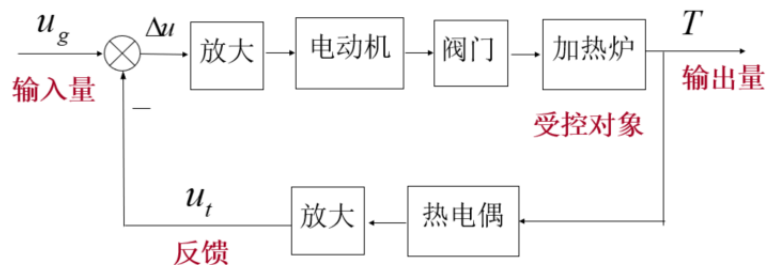
2、温度自动控制系统



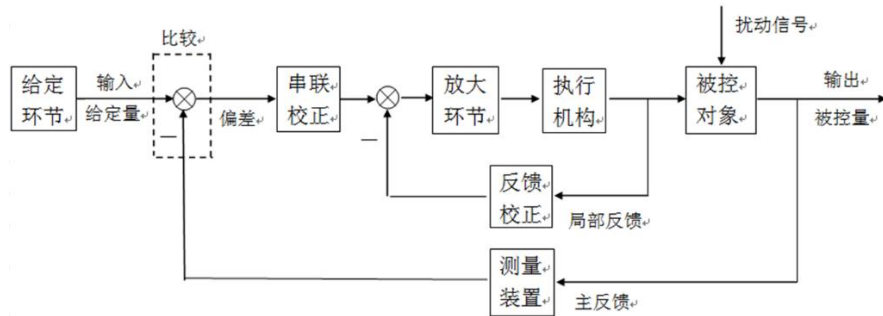
若实际温度小于给定温度， $\Delta u > 0$ ，它放大后控制电动机开大阀门，调高炉温；若实际温度大于给定温度， $\Delta u < 0$ ，使电动机反转关小阀门，调低炉温。

只要实际温度和设定温度不等，系统就会进行自动调节，直到实际温度与给定温度相等，即 $\Delta u = 0$ ，电动机停转为止，实现了温度的自动控制。

3、温度自动控制系统方框图



4、典型自动控制系统框图



给定元件：设定被控量的期望值，产生系统输入量。如前述温度控制系统中由给定环节电位器产生的输入信号 U_g 。

测量元件：测量被控制量并转换成与输入信号相同的物理量。一般是电信号。

比较元件：比较设定值与实际值，产生相应的偏差信号。

放大元件：对偏差信号进行放大，包括信号放大和功率放大。

执行元件：直接使输出量产生变化的部件。

校正元件：为改善系统性能，连接在系统中的部件。

课程思政点：

①化繁为简的科学思维

将实际的物理温度控制系统（涉及加热元件、传感器、散热环境、被控对象等复杂物理交互和动态过程）转化为由输入、控制器、被控对象、反馈环节等清晰模块组成的系统框图，是一种高度的抽象和简化过程。启发学生：这体现了科学研究中抓住主要矛盾、忽略次要矛盾，将复杂问题分解为可分析和解决的简单模块的科学方法论。

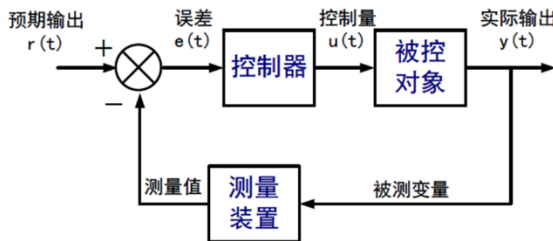
②透过现象看本质，把握核心规律的哲学思维

“化繁为简”不仅仅是为了简单，其内核是为了剥离纷繁复杂的现象干扰，识别并抓住决定系统行为的关键要素（如反馈机制）和内在规律（如动态特性）。

③系统思维与全局观

绘制框图不是为了“拆碎”系统，而是为了更清晰地理解各

	组成部分之间的关系和作用（信号流），从而更好地把握整体功能和性能。“简”是手段，“理解、控制整体”是目的。 ④闭环思想 提问学生：“开环控制有什么缺陷？为什么说闭环反馈是控制系统的精髓？” 控制系统框图最核心的是“反馈”（Feedback）环节，这是构成“闭环控制”的基础。正是反馈机制使系统能感知偏差，并通过修正输出来减小偏差，实现目标。 告诫学生：从“温度控制→原理→框图→通用结构”的教学环节，不仅仅是“化繁为简”的操作示范，它生动地演绎了现代工程科学和系统科学的核心思维方法和价值导向。
分析评价	该案例通过温度控制系统的原理讲解、人工控制和自动控制的对比、系统框图绘制等，渗透系化繁为简抽象建模的科学思维、系统思维和全局观。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-106
案例标题	控制系统性能的基本要求
案例来源	原创案例
内容简介	讲解控制系统的基本性能要求：稳、准、快，通过理论介绍、案例分析和虚拟仿真阶跃响应曲线对比，启发学生系统思维和全局优化、风险意识和底线思维、责任担当和服务社会。
关键词	控制系统、稳准快、系统思维、底线思维；
编写时间	2025-1-31
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	系统思维和全局优化、风险意识和底线思维等
素材长度	1069 字符
案例正文	知识点内容：温度控制系统的原理和框图绘制 1、控制系统的基本性能要求： ⑧ 控制系统的基本性能要求 稳定性、快速性、准确性  图1.14 典型负反馈控制系统---随动系统 控制目的：$y(t) = r(t)$ 图 1 控制系统的基本性能要求 2、稳定性 稳定性是指系统重新恢复平衡工作的能力。 当系统的输入量改变或受任何干扰作用时，经过一段时间的 控制过程后，其被控量可以达到某一稳定状态，则称系统是稳定的，否则称为不稳定。

稳定性是系统能够正常工作的首要条件，它是系统的固有特性，由系统的结构和参数决定，与外部输入信号无关。

3、暂态性能

暂态性能是指输入作用改变后系统重新达到平衡状态前的特性。对于一个稳定系统，暂态过程响应的平稳性(相对稳定性)和快速性都是非常重要的。

快速性是由动态过程的时间长短来表征的。

动态过程也称为过渡过程，过渡过程时间越短，表明快速性越好。如图 1-10a 所示，曲线 3 为单调变化过程，虽平稳性好，但比曲线 2 响应时间长，反应迟钝，快速性差。

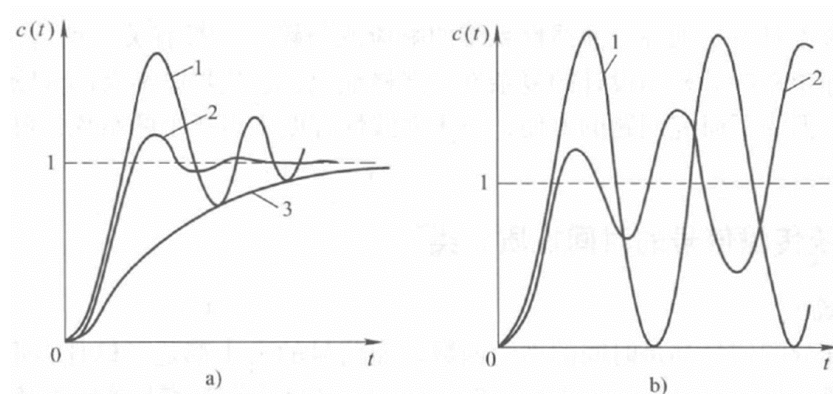


图 1-10 控制系统在阶跃信号作用下的响应

a) 稳定系统的响应情况 b) 不稳定系统的响应情况

如图 1-10a 所示中，曲线 2 较曲线 1 有更好的平稳性。

4、稳态性能

系统的稳态输出与给定输入所要求的期望输出之间的误差称为稳态误差。控制系统的稳态性能是由稳态误差来表征的，它反映了系统的稳态精度。稳态误差越小，表示系统的输出跟随输入的精度越高，准确性越好。

同一系统稳、准、快是相互制约的。例如歼击机要求机动灵活，快速性要求高，但是民航客机要求系统平稳，允许反应慢一些。

课程思政点：

①系统思维与全局优化

“稳、准、快”通常存在内在矛盾（如提高响应速度可能引发超调震荡/不稳定；过度追求精度可能牺牲速度或成本）。强调在工程设计中必须树立系统观、全局观，学会权衡利弊，寻求最优折中（优化设定值、选择控制器参数），而不能孤立追求单一指标。这体现了马克思主义的辩证统一思想（如质量互变、对立统一）在工程技术中的应用。

②风险意识与底线思维

“稳”（稳定性）是“准”和“快”的前提，不稳定的系统毫无用处甚至会带来灾难。分析稳定性（如振荡发散曲线）时，强调“**稳定是发展的前提，安全是发展的底线**”，培养强烈的风险意识、忧患意识和底线思维。这可以延伸到公共安全、国家安全等层面。



图2 网贷广告

小到个人，例如有些大学生不经意间碰到了网贷，结果利滚利，最后还不上贷款而被债主追到学校，直到退学，这就是学生没有风险意识的体现。

③责任担当与服务社会

控制系统的性能指标（稳准快）最终决定了该系统服务于社会的水平和质量（如：航天器的姿态控制直接影响任务成败；电

	网调频性能影响千家万户用电)。将性能要求与国家重大需求(如智能制造、新能源、国防安全)联系起来,激发学生的家国情怀、责任担当和科技报国的使命感。让他们理解, 工程师对参数的设计、对性能的追求, 背后承担着重大的社会责任。 告诫学生: 通过阶跃响应曲线讲解“稳、准、快”, 领悟系统思维与协同优化、精益求精与安全底线、
分析评价	该案例通过讲解控制系统的性能要求, 通过阶跃响应曲线和举例子传递出系统思维、风险意识与底线思维、责任担当与服务社会。课程思政点切入自然, 润物无声, 实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一, 达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚, 教授, 商洛学院

案例编号	200451111-107
案例标题	信号的基本概念
案例来源	原创案例
内容简介	讲解信号的基本概念，引入中国古代利用光信号和电信号传递信息的例子，从而让学生了解中国古代人的智慧，弘扬爱国主义情怀，培养学生的文化自信。
关键词	信号、系统、信息；
编写时间	2025-2-10
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	了解古人的智慧、弘扬爱国主义情怀、培养学生的文化自信；
素材长度	812 字符
案例正文	知识点内容：信号的基本概念 ● 消息 人们常常把来自外界的各种报道统称为消息。 ● 信息 通常把消息中有意义的内容称为信息。 ● 信号 信号是信息的载体，通过信号传递信息。信号是信息的一种物理体现，它一般是随时间位置变化的物理量。 按物理属性分类，信号可以分为电信号和非电信号，他们可以相互转换。 现代的人每天都会与各种各样载有信息的信号密切接触。例如，听广播、看电视是接收带有信息的消息；发短信、打电话是为了把带有信息的消息借助一定形式的信号传送出去。 信号是各类消息的运载工具，是某种变化的物理量，如电话铃声，交通红绿灯，收音机、电视机、手机收到的电磁波等，这些信号分别称之为声信号、光信号、电信号。 课程思政引入：了解古人智慧、弘扬爱国主义情怀！ 举例说明：古代中国边境的士兵为了及时的传递敌人来犯的信息，在烽火台上点燃“燃料”，点燃时的烟很大，可以从很远处看到，就这样，烽火台一个接一个的点下去，敌人来犯的消息

就被很快的传递出去，烽火狼烟的示意图如图 1 所示。



图 1 烽火狼烟示意图

再比如：击鼓鸣金，古时两军作战时用鼓和金发号施令，击鼓则进，鸣金则退，示意图如图 2 所示。



图 2 击鼓鸣金示意图

在这两个例子中，借助光信号：烟雾传递敌情，借助声音信号：鼓声，传递前进或者后退的信息，这就是借助不同的声、光、电信号来传递信息的例子，这就是古人的智慧。

课程思政升华：了解现代信息传递的方式，提升专业学习积极性！

现代的信息传递方式大致可以分为如下方式：

A、有线通讯传输，如电话，传真，电报，电视等。

B、无线通讯传输，如对讲机，BP 机（已淘汰），移动电话，

	收音机。 C、数字通讯传输，最熟悉的，连网的电脑，数字电视。 D、纸张通讯传输，如书信，报纸等。 告诫学生：人类的发展史上，人类传播信息的方式在发生演变，那么从古代的烽火狼烟到如今的电脑手机 PAD 各类终端传递信息，他们的共性是什么？这些信息是怎么传输的？信号和系统的关系是什么？等等，这些问题就是我们这门课去研究的。
分析评价	该案例在讲解信号的基本概念时，通过列举古代烽火狼烟和击鼓鸣金的例子，引申学生思考信号和信息的关系、信号是如何传输的等等，让学生了解古人的智慧，弘扬了爱国主义情怀，从而达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-108
案例标题	信号的分解
案例来源	原创案例
内容简介	讲解连续信号的分解，包括信号的直流和交流分解、信号的奇偶分解、任意信号的分解。引申到大学生对职业规划问题进行分解，抓住主要矛盾，大问题分解为小问题，在解决每个小问题时，按 Smart 原则制定目标，逐个解决。
关键词	信号的分解、问题分解、主要矛盾、smart 原则；
编写时间	2025-1-29
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	目标分解、smart 原则、启发学生解决问题的能力；
素材长度	1659 字符
案例正文	知识点内容：连续信号的分解 ● 直流分量和交流分量 $f(t) \rightarrow f_D + f_A(t)$ ● 偶分量和奇分量 偶分量定义为： $f_e(t) = f_e(-t)$； 奇分量定义为： $f_o(t) = -f_o(-t)$； 任意信号可以分解为偶分量和奇分量之和，即： $f(t) = f_e(t) + f_o(t)。$ ● 任意信号的分解

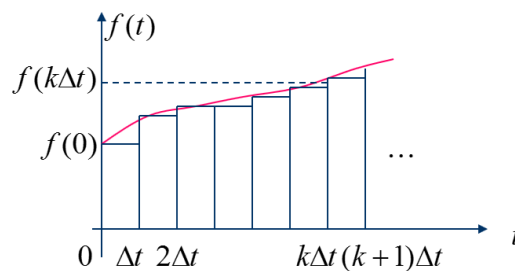


图 1 矩形窄脉冲

任意信号 $f(t)$ 可以用一系列宽度为 Δt 的矩形脉冲相叠加的阶梯信号似表示，这种方法称为纵向分割。

当 $t = k\Delta t$ 时，对应的矩形脉冲为： $f(k\Delta t)\{u(t - k\Delta t) - u[t - (k + 1)\Delta t]\}$ 。

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} f(k\Delta t) \frac{\{u(t - k\Delta t) - u[t - (k + 1)\Delta t]\}}{\Delta t} \Delta t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} f(k\Delta t) \delta(t - k\Delta t) \Delta t$$

将无穷多个矩形脉冲叠加，可以得到 $f(t)$ 的表达式，即：

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(k\Delta t) \delta(t - k\Delta t) \Delta t$$

思政元素切入：问题分解，按 Smart 原则制定目标，提前做好大学生职业规划。

目前大学生毕业时，基本是可以分为 4 种选择：考研、找工作、考公、创业。

那么一个大一的学生，进入大学之后，对于“大学生就业”这样一个问题，可以提前想想自己将来走哪一条路线。路线确定后，接下来就是对问题分解，按照时间要素进行合理规划每个阶段的目标，每一阶段，抓住主要矛盾问题去解决。比如大一至大四每一年该做什么、四六级证和计算机二级三级证书什么时间考、什么时间参加学科竞赛等等，做好充足的准备。

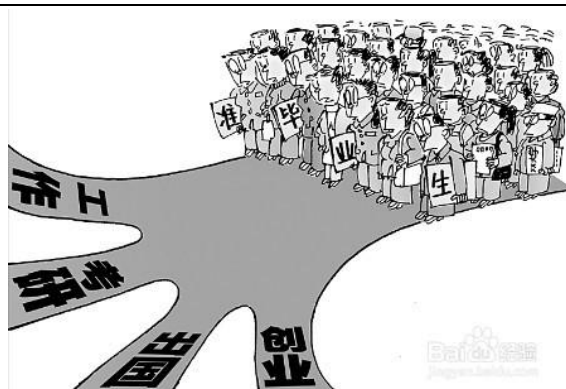


图 2 大学生职业规划图

具体在制定每一阶段目标时，可以按照 Smart 原则进行制定：

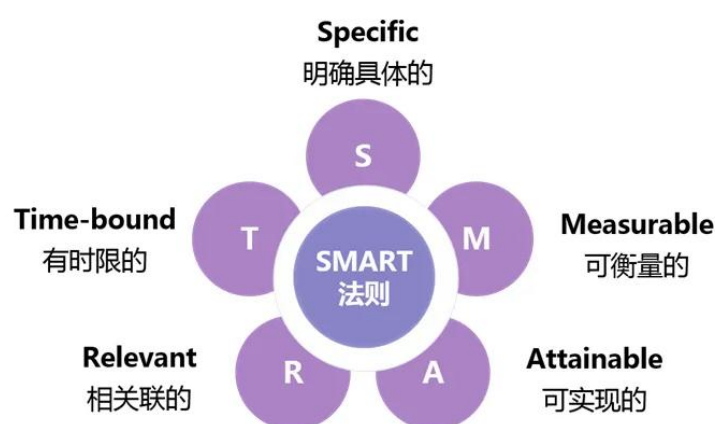


图 3 每阶段目标的 Smart 原则图

Smart 原则是由 5 个英文单词的首写字母：S（Specific）明确具体的、M（Measurable）可衡量的、A（Attainable）可实现的、R（Relevant）相关联的、T（Time-bound）有时限的组成。

（1）S（Specific）——明确具体的

我们制定的目标要是确切、具体的，即用具体的语言清楚地说明要达成的行为标准，而不是笼统的、虚无缥缈的东西。

（2）M（Measurable）——可衡量的

可衡量的就是说这个目标是可以量化或者行为化的，它应该有一组数据、程度、状态、对象、时间等准确的表达，作为衡量是否达成目标的依据。这里需要注意的是，可衡量的准则就是量化的就量化，不能量化的就质化，但是绝对不能凭主观思想去

判断，而是要实事求是，客观评价。

(3) A (Attainable) ——可实现的

可实现的，就是说你设定的目标是可以达成的，是最有可能实现的。你可以设定一个比较高的目标，但这个目标一定是合理且可完成的，你不能制定出跳起来“摘星星”的目标，而是应该制定出跳起来“摘桃”的目标，只有你的这个目标是根据自身条件设定的，又可以通过努力去突破或达成的，那么这个目标才是比较合适的。

(4) R (Relevant) ——相关联的

相关联的就是指你设定的目标要与其他目标是有关系的。如果你的目标与其他目标没有联系，或相关度极低，那么即使你实现了这个目标，意义也不大。

(5) T (Time-bound) ——有时限的

有时限的，就是说目标的设定是有时间限制的，简单来说就是你的目标要有起点、终点或有固定的时间段。只有时间的限制才能让你督促自己完成目标，如果你的目标是没有时间期限的，那么就会导致你一而再再而三地拖延工作，最终导致你的目标变成“烂尾项目”。如果你不希望你的目标仅仅是一个摆设，那么你要为你的目标设置好时间，只有这样，你的目标才有望完成。

通过目标的设定时间段，你可以检验自己的目标达成情况。如果落后或超前，就需要分析其中的原因，考虑是否需要重新修订新的目标时间段。

举例来讲，比如某个学生在制定学习目标时，这样写：“我想在期末考试时信号课程不挂科”，这样书写目标就不符合 Smart 的原则，可以修改为：“我想在期末考试时，信号课程可以考到 90 分以上。为了达成这个目标，我需要认真做好每次的信号课程作业、课堂测试题，课前预习了解这门课的难点，课后有效复习回顾知识。信号这门课程对数学功底要求较高，必要时我还需要

	再温习高数里的微积分知识。在课程结束后，我需要自行先练习 3 套测试题试卷，借助套题训练检验自己的复习效果。”经过修改后，这样的目标制定就是符合 smart 原则的。 具体在执行时，学生可以将学习计划表打印出来，下表仅供参考： <table><tr><th colspan="9">学习计划表</th></tr><tr><th colspan="3">长期目标：</th><th colspan="6">本周目标：</th></tr><tr><th>第</th><th>周计划</th><th>周一</th><th>周二</th><th>周三</th><th>周四</th><th>周五</th><th>周六</th><th>周日</th></tr><tr><td rowspan="2">早晨</td><td>06：00—06:20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>06：20—07:15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">上午</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">中午</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">下午</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="8">晚上</td><td>7.15-8.15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>8.15-9.15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>9.15-10.15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>10.15-11.15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>11.15-12.15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>12.15-00.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>00.00-00.30</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>00.30-01.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>01.00以后</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="4">目标 计划 完成 情况</td><td>本周完成习题</td><td colspan="7"></td></tr><tr><td>本周背诵计划</td><td colspan="7"></td></tr><tr><td>本周补课事宜</td><td colspan="7"></td></tr><tr><td>本周错题本总结</td><td colspan="7"></td></tr><tr><td colspan="2">本周特殊事宜</td><td colspan="7"></td></tr></table>	学习计划表									长期目标：			本周目标：						第	周计划	周一	周二	周三	周四	周五	周六	周日	早晨	06：00—06:20								06：20—07:15								上午									中午									下午									晚上	7.15-8.15								8.15-9.15								9.15-10.15								10.15-11.15								11.15-12.15								12.15-00.00								00.00-00.30								00.30-01.00									01.00以后								目标 计划 完成 情况	本周完成习题								本周背诵计划								本周补课事宜								本周错题本总结								本周特殊事宜								
学习计划表																																																																																																																																																																																												
长期目标：			本周目标：																																																																																																																																																																																									
第	周计划	周一	周二	周三	周四	周五	周六	周日																																																																																																																																																																																				
早晨	06：00—06:20																																																																																																																																																																																											
	06：20—07:15																																																																																																																																																																																											
上午																																																																																																																																																																																												
中午																																																																																																																																																																																												
下午																																																																																																																																																																																												
晚上	7.15-8.15																																																																																																																																																																																											
	8.15-9.15																																																																																																																																																																																											
	9.15-10.15																																																																																																																																																																																											
	10.15-11.15																																																																																																																																																																																											
	11.15-12.15																																																																																																																																																																																											
	12.15-00.00																																																																																																																																																																																											
	00.00-00.30																																																																																																																																																																																											
	00.30-01.00																																																																																																																																																																																											
	01.00以后																																																																																																																																																																																											
目标 计划 完成 情况	本周完成习题																																																																																																																																																																																											
	本周背诵计划																																																																																																																																																																																											
	本周补课事宜																																																																																																																																																																																											
	本周错题本总结																																																																																																																																																																																											
本周特殊事宜																																																																																																																																																																																												
分析评价	该案例从讲解信号的分解开始，结合大学生的实际问题，引申到“对大学生的职业规划问题分解”，启发学生思考，提前做好每种路线准备。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、价值引领的目标，达到了课程育人的目的。																																																																																																																																																																																											

评价者	陈垚，教授，商洛学院
-----	------------

案例编号	20045111-109
案例标题	系统的响应
案例来源	原创案例
内容简介	讲解系统的响应的定义和分类，通过介绍零输入响应和零状态响应的概念，启发学生：“人就是一个系统，要想产生输出（输出技能），就需要不断地输入（学习）”。概念介绍完后，分享清华校长薛其坤的励志求学故事。
关键词	系统响应、零输入响应、零状态响应、全响应、初始条件；
编写时间	2025-2-5
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	提高学生学习积极性、激发学生学习斗志等；
素材长度	1923 字符
案例正文	知识点内容：系统的响应 ● 系统的初始状态 一般将 $t_0=0$ 记为“初始”时刻；并用 0_- 表示系统“换路前”系统储能的初始状态，用 0_+ 表示“换路后”系统响应的初始条件。 ● 系统的响应： 零输入响应：当系统的激励为 0，仅由系统初始状态（储能）产生的响应是零输入响应。记为 $Y_{zi}(t)$。 零状态响应：当系统的初始状态（储能）为零，仅由系统激励产生的响应是零状态响应。记为 $Y_{zs}(t)$。 系统响应：系统全响应=零输入响应+零状态响应。 通俗理解系统响应：如果把一只脚踏入大学校门这一刻记为 $t=0$ 时刻，那么进入大学之前，自己取得的成绩为过去的零输入响应。想要有输出，就得有输入。进入大学之后，给自己施加不同的激励，学习各种技能，比如电子信息类的学生学习编程语言

等等，给定不同的激励产生不同的响应，时间花在哪里果子就长在哪里，这些是自己大学期间的零状态响应。最终大学毕业时，当学生拿到毕业证书和学士学位证书的那一刻起，整个大学期间取得的成绩既是自己这四年的全响应，又是即将步入职场生涯的零输入响应。

思政故事切入：清华大学校长薛其坤的励志求学故事。

2020 年，清华大学副校长薛其坤院士因为发现了量子反常霍尔效应，获得了 2020 年度菲列兹·伦敦奖，这可是中国首个、亚洲第二个获得此项荣誉的科学家，而这个奖项自 1957 年创建以来，共有 50 余位获奖者，其中 12 位后来都被授予了诺贝尔物理学奖！所以薛其坤也成为了国人心目中诺奖的有力竞争人选，这样一位优秀的人才想来从小就是一位天才，然而当人们翻开他的履历时却发现自己大错特错了！



图 1 清华大学副校长薛其坤院士

薛其坤的天赋其实并不出众，甚至他为了能够读研，前前后后参加了三次考试，而他现如今的所有成就，也是在付出了远超常人想象的努力之后才得到的！薛其坤院士出生在山东临沂一个普通的农村家庭，所以他从小学习就非常努力，立志要凭借高考改变自己的人生轨迹。

1980 年，薛其坤凭借非常优异的高考成绩考入了山东大学激光专业。山大作为副部级 985 高校，在本省相当难考，其含金量也是非常高的，那个时候的大学生是包分配的，薛其坤从山大本

科毕业后，直接参加了工作，他选择进入现在的曲阜师范大学担任一名老师。

一段时间后，薛其坤发现这并不是他想要的生活，他希望能成为一名科学家为祖国的科研事业添砖加瓦。所以**为了实现自己心中的理想**，薛其坤毅然决然地决定考研，可能有人觉得，都能进入山东大学了，肯定是一个妥妥的学霸无疑，考研一定是小case。

然而事实却并不是这样，相反他甚至有一些笨，在第一次考研的时候，他的**高等数学仅仅只考了 39 分**！这样的水平实在是让人“刮目相看”。不过薛其坤却并没有放弃，反而坚定的选择二战考研。

这次考试的成绩显得格外具有戏剧性，他又一次考了 39 分，不过这次不是数学，而是物理。更让他感到郁闷的是，虽然他没考上，但是他有许多学生考上了。后来他想到了一个办法，那就是**和学生一起学习，激励自己向上攀登**，终于在第 3 次考试后，薛其坤成为了中国科学院的一名研究生。

在此之后，他更是在日本展开了一段长达 7 年的读博之路，而他也**从实验室中一开始不停被导师斥责的学生，最终变成一个任务完成最优秀的博士生**。

凭借着这么多年的扎实积累，博士毕业后的他就仿佛开启了一段“开挂”的人生，在 35 岁那年他成为了教授，在 41 岁那年他又成为了中国科学院最年轻的一位院士，在 50 岁那年他更是攻克了量子世界的难题。

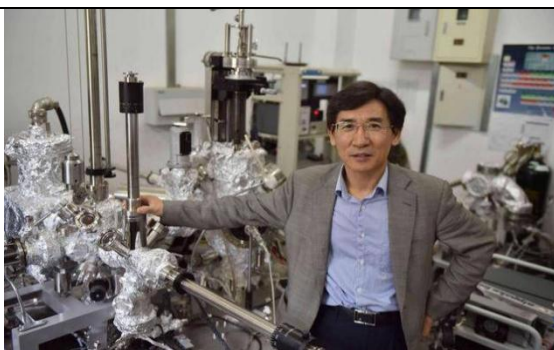


图 2 薛其坤出任清华大学校长助理

2013 年 3 月，薛其坤出任清华大学校长助理，同年 5 月也就是两个月后，他的人生再次迎来高光时刻，直接升任了清华大学副校长。

所以说如果天赋不够优秀的话，真的就不能做出一番作为吗？从薛其坤身上我们就可以看出，答案当然是 NO，就像薛其坤常挂在嘴边的那句话一样：“哪有什么天才，不过是比其他任何人都更加努力而已”。

薛其坤用自身行为向所有学子做了一个最好的表率，而我们也期待他能够早日收获诺贝尔物理学奖，为国争光！

课程思政升华：百折不挠，努力学习，实现自己的梦想！

三次考研，从考研数学 30 多分的成绩到科学院院士，薛其坤的励志求学经历给我们树立了榜样！一个人要想不断地取得成绩，就需要持续输入，持续的给自己施加激励，这样才能得到阶段性的成果，审视自己过去的零输入响应，总结经验，吸取教训，持续奋斗，从而让自己的零状态响应更多一些，这样整个人生的响应就会更多些！从而实现自己的梦想！就像薛其坤院士，曾经他也考研不顺，但是他会总结经验，自己一个人复习效果不好，那就和同学好友们一块复习激励自己学习，读研究生期间，刚开始被老师斥责，后来成为课题组最优秀的博士生，我们不知道薛其坤到底经历了多少磨难，但是可以肯定的是，他一定是个不服输、不轻言放弃、百折不挠的科学家！

分析评价	该案例在讲解系统响应、零输入响应、零状态响应的概念后，分享清华校长薛其坤的励志求学故事，从而在精神上勉励学生，鼓舞学生不轻言放弃，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-110
案例标题	因果系统和非因果系统
案例来源	原创案例
内容简介	讲解系统的分类：因果系统和非因果系统，结合航天英雄王亚伟的个人经历，引申到“一个人要想在某个方向上有输出响应，就需要在该方向上持续下功夫”
关键词	因果系统、非因果系统、因果信号；
编写时间	2025-2-6
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	提高学生学习积极性、勉励学生认真求学等；
素材长度	2026 字符
案例正文	知识点内容：因果系统和非因果系统 因果系统满足任意时刻的响应 $y(t)$ 仅与该时刻以及该时刻以前的激励有关，而与该时刻以后的激励无关。 换句话说，因果系统的响应是由激励引起的，激励是响应的原因，响应是激励的结果。响应不会发生在激励加入之前，系统不具有预知未来响应的能力。 响应与激励具有因果关系的系统，也称为物理可实现系统，如果响应出现在激励之前，那么，连续系统为非因果系统，也称为物理不可实现系统。 因果系统启发我们：如果要想在某一个方向上取得成绩，就得在这个方向上持续下功夫，精进自己的技能。机会是留给有准备的人，世界上从来没有不劳而获的果实，只有努力奋斗后自然的开花结果。 思政故事切入：航天员王亚平的故事 2021 年 11 月 7 日，航天员翟志刚、王亚平身着我国新一代“飞

天”舱外航天服，先后从天和核心舱节点舱成功出舱，王亚平成为中国首位进行出舱活动的女航天员，迈出了中国女性舱外太空行走第一步。



图 1 王亚平

航天员王亚平的故事：

1980 年，王亚平出生于山东烟台的一个村庄，家里的主要经济来源是五亩樱桃林。家境贫寒的孩子，早早懂事。七岁时，瘦弱的王亚平就会抢着帮父母做农活。她性格要强，成绩稳居前列，考第二名都会止不住地抹眼泪。

成长中，王亚平唯一的一次叛逆，是在志愿填报时。父亲希望女儿去读师范类中专，早早工作，平淡安稳过余生。但王亚平心有一把火焰，她想走出大山，步入大学校门。她偷偷改掉志愿，升入高中。

命运的转机发生在高三——时隔八年，山东招飞办到烟台招飞行员。

王亚平是班上唯一不戴眼镜的学生，又常常获得长跑第一名，身体素质优秀。在同学的鼓励下，她尝试报了名。几万人经过严苛筛选，最终留下了 37 位，王亚平位列其中。

17 岁的她，进入冰天雪地的长春，接受飞行员的系统训练。无论是身体还是心理，她都做好了充分准备。零下十几度，寒风

凛冽如刀，王亚平在清晨出来跑步，哪怕汗打湿衣服，在后背凝成大片薄冰，睫毛挂着冰珠，遮挡视线，她也从未想过放弃。

辛苦没有白费，21岁那年，王亚平学会驾驶4种飞机，被分配到武汉空军，执行抗旱增雨等任务。



图2 王亚平担任飞行员

2007年，重庆遭遇特大旱灾，土地皲裂，森林大火频发。王亚平接到增雨任务，当天空出现厚重云雾时，她驾驶飞机，在电闪雷鸣里穿梭，尝试发射增雨焰弹。穿过浓密白雾，气流迅猛，飞机剧烈颠簸，仪表盘甚至出现轻度结冰，“对飞机而言是致命的。”

出生入死之间，王亚平圆满完成任务，久旱的大地，迎来甘霖。八年间，王亚平接下“北京奥运会消云减雨”、“汶川地震救灾物资运输”等重任，无一不出色完成任务。

王亚平从飞行员到航天员的蜕变，则与前辈杨利伟有关。当年神州五号拖曳着红色尾焰，首次进入太空。中华千年航天梦的新篇章，从此书写，举国上下，欢呼沸腾。

望着荧幕上杨利伟的身影，王亚平心想：“中国现在有了第一个男航天员，什么时候会有女航天员？如果可能，我要做那个向太空挑战的人。”

机遇在多年后降临——神州九号计划选拔女航天员。

凭借优异的飞行记录，王亚平和战友刘洋同时入选，成为首批女航天员。日常残酷的训练，几乎抵达人类的极限。而每天训练结束后，王亚平会主动留下，给自己增加一个小时的器械训练。梦想就在眼前，王亚平使出全力，奋力争取。

可最终成功入选的女航天员，却是刘洋。

王亚平与梦想失之交臂，成为“备份航天员”。有媒体曾问王亚平：“落选了，你难过吗？”她淡淡一笑，霸气回答：“这就好比打仗，还差最后一个山头时，我们关注的是怎么把它攻下来，而不是谁去攻。”

一年后，凭借过硬的飞行技术与超强的心理素质，王亚平通过重重选拔，被确定为神舟十号飞船首飞女航天员乘组。她在太空中做物理实验，成为中国第一个在太空授课的女教师。

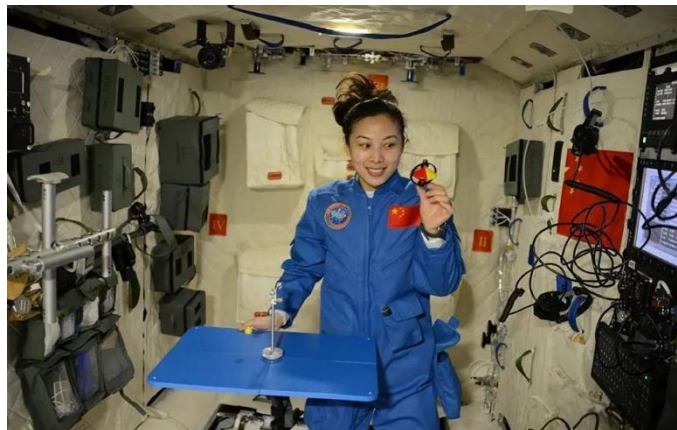


图 3 王亚平在太空授课

四十分钟的课程，点燃了无数孩子心里的航天梦。

铿锵玫瑰，英姿飒爽，直上云霄，再叩苍穹。光鲜成绩背后，是日复一日的枯燥训练。

离心机，是航天员公认的魔鬼机器，能够模拟太空超负荷环境。训练时，王亚平会感到头晕目眩，呼吸困难，脸上肌肉被甩到变形，眼泪止不住往外流，“就相当于 8 倍的体重压在你身上”。

在“度秒如年”的剧烈痛苦中，她依然能准确重复各种标准动作，答对“判断信号”等题目。

	针对出舱的训练，是穿着 120 斤的液冷散热服，被吊入水池中，在水下高压环境完成指定出舱动作。 在她心中，使命重于生命：“当我身穿航天服，准备为祖国出征太空的时候，我心中充满的都是对祖国的热爱，对我们航天事业的热爱。因为这份热爱，足以让我克服所有的困难，战胜所有的难关，甚至牺牲自己的生命。” 课程思政升华：一分耕耘，一分收获，任何经历都不会白费！ 向学生指出：航天员王亚文的故事告诉我们：一分耕耘，一分收获，任何经历都不会白费！要想取得一定的成绩，就需要肯花时间，肯牺牲，肯研究，肯付出，这样才能有所收获！王亚伟为了成为一名合格的飞行员，在接受飞行员的训练时，从不偷懒，她在身体和心理上已经做好了全面的准备。时光不负有心人，最终她通过筛选，成为一名优秀的航天员！
分析评价	该案例在讲解完因果系统和非因果系统概念的过程中，引用航天员王亚伟的故事案例，勉励学生认真学习，避免不劳而获的思想蔓延，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-111
案例标题	LTI 系统分析方法
案例来源	原创案例
内容简介	讲解 LTI 系统分析方法：时域方法和频域方法，通过 2 种分析方法的内容对比，引入对“木板理论”的另一个角度思考，启发学生要具有创新性的思维、多角度看问题、培养多元化思考。
关键词	LTI 系统、时域分析、频域分析；
编写时间	2025-1-31
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养学生创新能力、多元化思考、多角度看问题的能力；
素材长度	781 字符
案例正文	知识点内容：LTI 系统分析方法 ● LTI 系统模型 描述 LTI 系统模型的方法有 2 类： 第 1 类是输入输出描述法； 第 2 类是状态变量描述法。 ● LTI 系统分析方法： LTI 系统分析方法有时域方法和频域方法。 LTI 系统分析的一个基本任务是求解系统对任意激励信号的响应，基本方法是将信号分解为多个基本信号元。时域分析将脉冲信号作为基本信号元，信号可以用冲激函数(阶跃函数)表示。用公式可以表示为： $f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{k=0}^n f(k\Delta t) \delta(t - k\Delta t) \Delta t$ $f(t) = \int_0^t f(\tau) \delta(t - \tau) d\tau$ 复频域分析将正弦函数（复指数函数）做为基本信号元，信号可以用不同频率的正弦函数（复指数函数）表示，用公式表示为：

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)]$$

它们是同一信号两类不同的分解方法，对应着两类分析方法。这两类分析方法思路相同，都是先求得基本信号元的响应，然后叠加，即这 2 类分析方法均以叠加性、均匀性及时不变特性作为分析问题的基点，没有本质区别，仅是分解的基本信号元不同而已。

课程思政升华：创新思维方式，多角度看问题！

在学习和生活中，我们需要从不同角度和视野看问题和分析问题。特别是碰到困难、挫折时，应该转变思路采取“变换”的方法，将问题切换到不同的“域中”，从不同角度去分析问题。

举例说明：木桶原理和长板理论

“木桶原理”也称“短板理论”，说的是：“一个水桶无论有多高，它盛水的高度取决于其中最低的那块木板。”经常被人们用来说明需要弥补自己的短板和缺点。



但是换个角度看待此问题，可以发展出“斜木桶理论”。

“斜木桶理论”是说木桶可以斜过来，从而装下更多的水，此时装的水由最长的那根木板决定。所以，又称“长板理论”。经常被用来说明在当今的社会中，一定要发挥优势，而不要努力弥补短处。

	告诫学生：在日常生活中，对平时司空见惯的理论进行多角度观察，创新思维方式，例如此处的木桶理论，平时听到最多的是补自己的短板，但是短板有可能再怎么下功夫无法弥补，这种情况下不如花时间去发挥自己的优势，这样就能形成正向的反馈，促使自己将优势发挥到极致。
分析评价	该案例在讲解 LTI 系统分析方法时，引申到学生在实际的生活学习中学会用变换的方法思考问题、解决问题，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

自控第 2 章思政点梳理（8 个）

案例编号	知识点梳理	课程思政切入点	育人目标
20045111-201	1.系统的输入输出描述	同一个系统，不同的输入信号，经过系统运算处理后会带来不同的系统响应。人体也可以看成是一个精密、庞大又复杂的系统。我们接收了外界信号，都会产生响应的响应。输入的信息会影响输出的行为，如果输入的都是负面的信息，久而久之，人的思想与行为也会向负面转变。如果输入的都是正面的信息，人的思想与行为也会向正面转变。	1.积极学习，广泛的获得多方面的信息，但一定要注意鉴别。 2.多听、多读、多看有益的知识技能，屏蔽各种不健康的传播内容，避免在自己的内心深处产生不良的“响应”，形成不良思维与行为。
20045111-202	2.卷积	人生就是不断做卷积，与社会做卷积，社会这个系统的冲激响应简单清晰，其 $h(t)$ 越努力越幸福。	习主席所说的“奋斗的一生就是幸福的一生”，鼓励学生时刻保持奋斗的姿态，不断地积累幸福。
20045111-203	3.零状态响应	遇到困难的，或是繁琐的任务，就不想开始，那么，我们先一步一步来，吃掉一只青蛙，要一口一口吃，只要开始吃第一口，那最后一定会把整只青蛙都吃掉的。	任务分解、问题分解，逐个击破，就一定能够取得最后的胜利。
20045111-204	4.全响应分解	通过构造冲激、阶跃等理想化奇异信号，来分析信号与系统问题，可以使分析问题简单化。每个信号可以看做无穷多个冲激信号的叠加，然后将冲激信号加入系统获得冲激响应，再将冲激响应进行叠	多角度看问题，弄清楚事物之间的各种联系，掌握隐藏其中的规律性东西，正确地反映事物的本质属性，然后做出科学合理的

		加，获得该信号的响应，使复杂问题简单化。	判断。
20045111-205	5. 全响应求解	讲解系统的全响应求解。输入任何信号（激励）都会产生响应（输出信号），即有因必有果，体现因果关系。如果在人生路上努力学习过，坚持奋斗过，那么，胜利的脚步就会一步步靠近。	努力奋斗才能获得成功。
20045111-206	6.系统的反馈	生活中闭环反馈原理比比皆是，不负责任的生产行为造成人类生态环境破坏，通过反馈使人类认识到热爱大自然、保护生态环境的重要性。	在大自然和实际生活中，也蕴含着反馈原理。通过反馈认识，反思所作所为来使事物发展越来越好的例子，深刻理解保护环境，可持续发展。
20045111-207	7.系统的信号流图表示	讲解系统的信号流图绘制，对系统函数进行模拟时，可以用结构图和信号流图两种图模型进行表示，这实际上是同一问题的不同表现形式，启发学生要具有创新思维方式、多角度看问题、培养多元化思考。	培养学生创新能力、多元化思考、多角度看问题的能力；
20045111-208	8.RLC 电路求传递函数	在求解电路模型时，分别利用传统解法和拉普拉斯法进行求解，在讲解知识点时就可以引申，当某个问题从一个角度很难分析解决或没有办法分析时，我们可以换个角度去看，从这一思想出发就可以教会学生问题转换的思路，学	教会学生问题转换的思路，学会创新的思维方式。

		会创新的思维方式。	
--	--	-----------	--

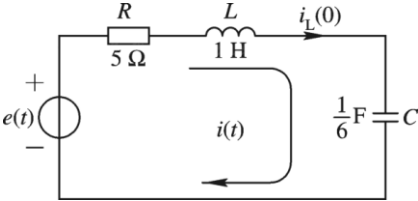
案例编号	20045111-201
案例标题	系统的输入输出描述
案例来源	原创案例
内容简介	讲解系统的输入输出描述法。人体是一个精密且复杂的系统,我们输入的信号都会产生相应的响应。输入的信息决定输出的行为,同学们应该广泛的获得多方面的知识,多听、多读、多看有益的知识,屏蔽网络上不健康的传播内容,避免在自己的内心深处产生不良的“响应”。
关键词	输入输出描述法
编写时间	2025-2-8
编者	李亚文, 教授, 电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	使得学生获取有益的知识与经验输入, 摒弃有害信息
素材长度	1318 个字符
案例正文	知识点内容: 系统的输入输出描述法 第二章只讨论输入输出描述法, 着眼于系统输入(激励)与输出(响应)之间的关系。 连续时间 LTI 系统的数学模型是常系数线性微分方程。 一般有 n 个独立动态元件组成的系统是 n 阶系统, 可以由 n 阶微分方程描述(或 n 个一阶微分方程组描述), 一般表示为: $\frac{d^n}{dt^n} y(t) + a_{n-1} \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} y(t) + \cdots + a_1 \frac{d}{dt} y(t) + a_0 y(t) = b_m \frac{d^m}{dt^m} f(t) + b_{m-1} \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} f(t) + \cdots + b_1 \frac{d}{dt} f(t) + b_0 f(t)$ 例 如图 1 所示的 RLC 串联电路, $e(t)$ 为激励信号, 响应为 $i(t)$, 试写出其微分方程。 

	图 1 电路图 分析可知，这是有两个独立动态元件的二阶系统，利用 KVL 定理列出回路方程： $Ri(t) + L \frac{d}{dt} i(t) + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau = e(t)$ 上式是一个微、积分方程，对方程两边求导，并代入系数，整理为： $\frac{d^2}{dt^2} i(t) + 5 \frac{d}{dt} i(t) + 6i(t) = \frac{d}{dt} e(t)$ 对电路施加不同的输入激励信号 $e(t)$，响应为 $i(t)$ 也随之相应变化。 课程思政引入： 《荀子·劝学》中说：“故君子居必择乡，游必就士，所以防邪辟而近中正也。”意思是(君子)居住必定选择风俗醇美之乡，交游必须接近贤德之士。荀子是“性恶论”者，他强调人的后天学习、改造的重要性。他认为环境对人有重要影响，所以主张居必择乡，游必就士。认为选择良师益友和有利于学习的环境，可以使人远邪近正，修身立德。《论衡·率性篇》中说：“譬犹练丝，染之蓝则青，染之丹则赤。”意思是人好像白色的丝一样，放到蓝色的染缸中，就成为青色；放到红色的染缸中，就成为赤色。 古时候有个《孟母三迁》的故事： 孟子小的时候非常调皮，他的母亲为了让他能接受好的教育，花了好多的心血。 有一次，孟子家住在墓地旁边，孟子就学着大人跪拜、哭嚎的样子，玩起办理丧事的游戏。 孟子的母亲看到了，心想不行，就带着孟子搬到市集旁边。 到了市集，孟子又学起商人做生意的样子，一会儿鞠躬欢迎客人、一会儿招待客人，表演得像极了。 孟子母亲知道了，于是他们又搬了家，这一次，他们搬到了学校附近，孟子开始变得守秩序、懂礼貌、喜欢读书。 这时，孟子的妈妈很满意地说：这才是我儿子应该住的地方。
--	--

	人自身可以看成是一个精密、庞大又复杂的系统。我们接收了外界信号，都会产生响应的响应。这些不同的环境、不同的染缸，就类似于是不同的输入信号，会产生不同的响应。孟子的母亲为了孟子的教育，竟然煞费苦心，三迁两地，希望能够找到一个良好的环境，能够给孟子提供良性的“输入”，从而获得良性的“输出”。 课程思政升华： 输入输出描述法是系统描述的重要方法。 同一个系统，不同的输入信号，经过系统运算处理后会带来不同的系统响应。人体也可以看成是一个精密、庞大又复杂的系统。我们接收了外界信号，都会产生响应的响应。输入的信息会影响输出的行为，如果输入的都是负面、阴暗、变异恶毒的信息，久而久之，人的思想与行为也会向负面转变。如果输入的都是正面、积极、良善的信息，人的思想与行为也会向正面转变。 向学生指出：在当今这样一个信息化的时代，甚至信息泛滥的时代，如果逃避社会、拒绝学习与提升，那么只会头脑空空，没有内涵；同学们应该广泛的获得多方面的信息，但同时需要具备批判性思维，对信息资源不能盲目地全盘接受，尤其是电子信息类本身就是快速发展的行业，相关知识与技术日新月异，要敢于提出疑问，而不能盲目地相信所谓的“权威”。一定要注意鉴别，多听、多读、多看有益的知识技能，批判性地鉴别、屏蔽各种不健康的传播内容，避免在自己的内心深处产生不良的“响应”，形成不良思维与行为。
分析评价	该案例从系统的输入输出分析法开始，通过微分方程建立电路系统模型。在此过程中，将输入输出分析方法引申到人的学习与认知，强调“选择”输入激励的重要性，倡导学生具备批判性思维，学会甄别不同的信息内容，主动剔除外界不良因素的影响，规范自己的行为，提升自己的综合素质。 课程思政点切入较为自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。

评 价 者	陈垚，教授，商洛学院
-------	------------

案例编号	20045111-20
案例标题	卷积
案例来源	原创案例
内容简介	系统的冲激响应已知，则卷积输出 $y(t)$ 值只与输入激励 $x(t)$ 有关，怎样获得理想的 $y(t)$ 值呢？由该系统特性可知，若在输入端加入的激励 $x(t)$ 为“奋斗”，将会获得“幸福”的响应输出 $y(t)$ ，正如习主席所说的“奋斗的一生就是幸福的一生”，鼓励学生时刻保持奋斗的姿态，不断地积累幸福。
关键词	卷积、奋斗
编写时间	2025-2-15
编者	李亚文，教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	幸福是奋斗积累而来的
素材长度	800 个字符
案例正文	知识点内容：卷积 卷积积分指的是两个具有相同自变量 t 的函数 $f_1(t)$ 与 $f_2(t)$ 相卷积后成为第三个相同自变量 t 的函数 $y(t)$。 这个关系表示为： $y(t) = f_1(t) * f_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(\tau) f_2(t-\tau) d\tau$ 设 $f_1(t)$ 为因果信号，即 $f_1(t) = f_1(t)u(t)$，而 $f_2(t)$ 不受此限，则有： $\begin{aligned} f_1(t) * f_2(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} f_1(\tau) f_2(t-\tau) u(t-\tau) d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f_1(\tau) f_2(t-\tau) d\tau \end{aligned}$ $f_1(t) * f_2(t) = \int_0^t f_1(\tau) f_2(t-\tau) d\tau \quad t > 0$ 卷积计算的具体步骤：第一步是变量转换，将 $f(t)$ 变为 $f(\tau)$，$h(t)$ 变为 $h(t-\tau)$；第二步是将 $f(\tau)$ 与 $h(t-\tau)$ 两个函数相乘；第三步确定积分上、下限，也就是找到 $f(\tau)h(t-\tau)$ 相乘后的非零值区；最后，对 $f(\tau)h(t-\tau)$ 积分得出零状态响应 $y_{zs}(t)$。 例 如图 1 所示电路，已知激励 $f(t)=u(t)$，用时域法求 $i(t)$。

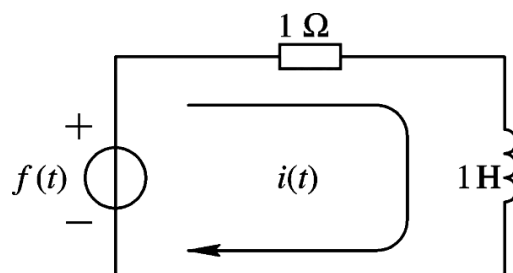


图 1 电路图

可得 $h(t)=e^{-t}u(t)$

$$(pL+R)i(t)=f(t)$$

$$i(t)=\frac{f(t)}{pL+R}$$

$$H(p)=\frac{1}{p+1}$$

$$h(t)=e^{-t}u(t)$$

将 $f(t)$ 、 $h(t)$ 代入得：

$$i(t)=\int_0^t f(\tau)h(t-\tau)d\tau$$

$$=\int_{-\infty}^t u(\tau)e^{-(t-\tau)}u(t-\tau)d\tau$$

$$=\int_0^t e^{-(t-\tau)}u(\tau)u(t-\tau)d\tau$$

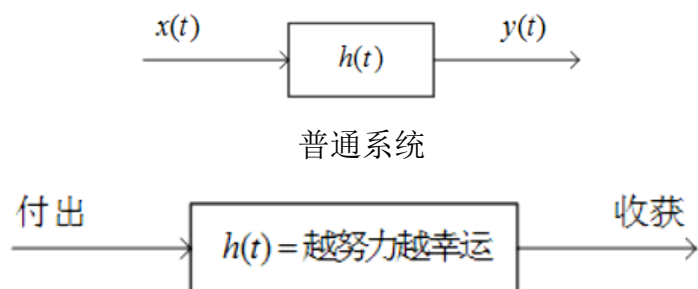
$$=\int_0^t e^{-(t-\tau)}d\tau u(t)$$

$$=e^{-t}e^{\tau}\big|_0^t u(t)$$

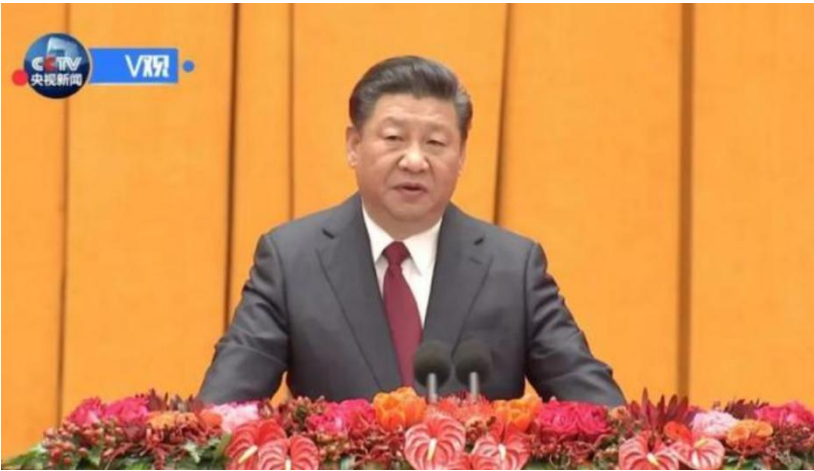
$$=e^{-t}(e^t-1)u(t)$$

$$=(1-e^{-t})u(t)$$

课程思政引入：



人生就是不断做卷积，与社会做卷积，社会这个系统的冲激响应简

	单清晰，其 $h(t)$ 越努力越幸福。 课程思政升华： 冲激响应已知，则卷积输出 $y(t)$ 值只与输入激励 $x(t)$ 有关，怎样获得理想的 $y(t)$ 值呢？由该系统特性可知，若在输入端加入的激励 $x(t)$ 为“奋斗”，将会获得“幸福”的响应输出 $y(t)$，正如习主席在 2018 年春节团拜会上所说的“只有奋斗的人生才称得上幸福的人生；奋斗者是精神最为富足的人，也是最懂得幸福、最享受幸福的人；新时代是奋斗者的时代。”（图 2 为习近平总书记在 2018 年春节团拜会上发表重要讲话）  图 2 习近平总书记在 2018 年春节团拜会上发表重要讲话 鼓励学生时刻保持奋斗的姿态，不断地积累幸福。学习是一种艰苦、持续的脑力劳动，需要持之以恒的积累。生活是残酷的，处处都是千帆竞渡，生活又是公正的，努力奔跑的人能得到生活的奖励，在人生的每一道驿站，若消极懈怠，不思上进，必将被抛的老远，或是淘汰出局。因此，面对学业，面对这个必将决定今后生活状况和人生轨迹的阶段，必须毫不迟疑地向前奔跑，三天打鱼两天晒网是无法取得理想结果的。
分析评价	该案例介绍了卷积的定义，以及利用时域法求卷积的过程，并通过实例计算展示。在此过程中，强调个人奋斗与社会系统的关系，倡导学生努力奋斗，取得社会的认可与回报。课程思政点切入较为自然，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-203
案例标题	零状态响应
案例来源	原创案例
内容简介	讲解系统的零状态响应。信号可以看做无穷多个冲激信号的叠加，然后将冲激信号加入系统获得冲激响应，再将冲激响应进行叠加，获得该信号的响应，使复杂问题简单化。在学习或生活中面对困难时，不要畏惧，无论任务多么艰巨，问题多么复杂，只要把它加以分解，然后各个击破，就一定能够取得最后的胜利。
关键词	零状态响应、冲激响应、分解
编写时间	2025-2-13
编者	李亚文，教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	困难的任务分解，一步一步完成
素材长度	1208 个字符
案例正文	知识点内容： 零状态响应 信号 $f(t)$ 可近似表示为： $f(t) \cong f_0(t) + f_1(t) + f_2(t) + \dots f_k(t) + \dots$ $\cong \sum_{k=0}^n f(k\Delta t)[u(t - k\Delta t) - u(t - (k+1)\Delta t)]$ $\cong \sum_{k=0}^n \frac{1}{\Delta t} f(k\Delta t)[u(t - k\Delta t) - u(t - (k+1)\Delta t)]\Delta t$ 令窄脉冲宽度 $\Delta t \rightarrow 0$， 并对其取极限， 得到 $f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{k=0}^n \frac{1}{\Delta t} f(k\Delta t)[u(t - k\Delta t) - u(t - (k+1)\Delta t)]\Delta t$ $= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{k=0}^n f(k\Delta t)\delta(t - \Delta t)\Delta t$ 取极限时 $k\Delta t \rightarrow \tau$， $\Delta t \rightarrow d\tau$， $\sum_{k=0}^n \rightarrow \int_0^t$， 即求和运算变为积分运算。 于是，用冲激函数表示任意信号的积分形式为

$$f(t) = \int_0^t f(\tau)\delta(t-\tau)d\tau$$

这样每个信号可以看做无穷多个冲激信号的叠加，然后将冲激信号加入系统获得冲激响应，再将冲激响应进行叠加，获得该信号的响应，使复杂的信号响应简单化。

根据 LTI 系统的时不变性，当输入移位 τ 时， $\delta(t) \rightarrow h(t)$ 输出也移位 τ ，可以得到： $\delta(t-\tau) \rightarrow h(t-\tau)$

根据 LTI 系统的比例性，当输入乘以强度因子 $f(\tau)$ 时，输出也乘以强度因子 $f(\tau)$ ，又得到： $f(\tau)\delta(t-\tau) \rightarrow f(\tau)h(t-\tau)$

最后利用 LTI 系统的积分特性，若输入信号是原信号的积分，输出信号亦是原信号的积分，可以得到

$$\int_0^t f(\tau)\delta(t-\tau)d\tau \rightarrow \int_0^t f(\tau)h(t-\tau)d\tau \Rightarrow f(t) \rightarrow y_{zs}(t)$$

$$\text{即： } y_{zs}(t) = \int_0^t f(\tau)h(t-\tau)d\tau$$

课程思政引入：

博恩·崔西是世界顶级销售培训大师，他为全球 500 多万名专业人士做过培训，就连比尔·盖茨、沃伦·巴菲特等世界级商业领袖都曾经接受过他的领导者管理思想培训。在他的《吃掉那只青蛙》（中文版封面如图 1 所示）这本书里的观点：遇到困难的，或是繁琐的任务，就不想开始，那么，我们先一步一步来，吃掉一只青蛙，要一口一口吃，只要开始吃第一口，那最后一定会把整只青蛙都吃掉的。

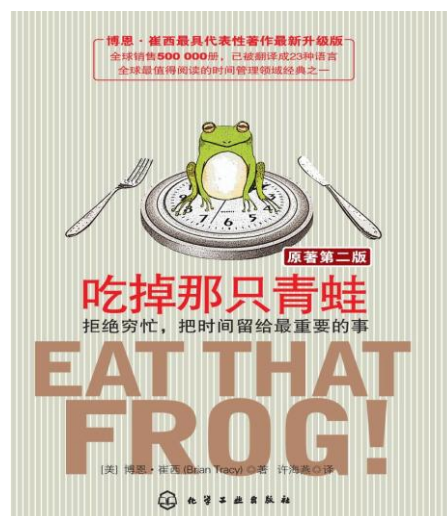
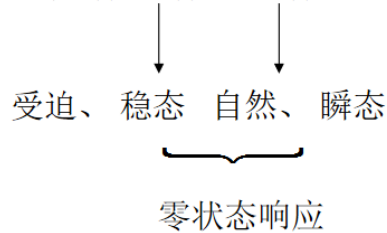


	图 1 图书封面 在你面前最艰巨，但对你最有价值，你最想实现的目标就是你需要吃掉的最丑陋的青蛙。在这只青蛙之下，每一个任务都是一只小青蛙。 记得小时候打游戏，总是要经历重重关卡，打掉每个关卡的怪物，为自己积蓄了装备和能量，最终才能成功把大 boss 打败。实现你选择的最有价值的目标不也是这样么？把每一个项目分解成一个个小任务，每次完成一项小任务，最终就一定会实现制定的目标。 就像老话说的那样，“饭要一口一口吃，路要一步一步走”，要吃掉最丑陋的青蛙，最好的办法就是一口一口吃，一只一只吃。 博恩·崔西在书中还给我们提供了一个行之有效的方法：ABCDE 分类法。A 类事项代表重要的，并且必须完成的事情；B 类事项代表你必须做，但如果不做也不会带来严重后果的事情；C 类代表做了大家都高兴，但不做也没人会在意的事；D 类是指可以授权他人做的事；E 类是你完全可以不做的事情。 在开始着手完成一项任务之前，先花一点时间，制定日计划。把当天要完成的事项一一列出来，然后在每一个事项前标注分类。标注 A 类的事情，就是你今天要吃掉的最大的青蛙。在吃完这只青蛙之前，把其他任务关进笼子，甚至直接放走。 通过构造冲激、阶跃等理想化奇异信号，来分析信号与系统问题，可以使分析问题简单化。每个信号可以看做无穷多个冲激信号的叠加，然后将冲激信号加入系统获得冲激响应，再将冲激响应进行叠加，获得该信号的响应，使复杂问题简单化。 课程思政升华：当我们在学习或生活中面对困难时，不要畏惧，无论任务多么艰巨，问题多么复杂，只要把它加以分解，然后各个击破，就一定能够取得最后的胜利。
分析评价	该案例介绍了通过将信号分解为冲激信号的叠加，然后将冲激信号加入系统获得冲激响应，再将冲激响应进行叠加，获得该信号的零状态响应的过程。在此过程中，引导学生困难的任务可以进行分解，一步一步完成，最终获得成功。课程思政点切入较为自然，与当前疫情防控相

	结合，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评 价 者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-204
案例标题	全响应分解
案例来源	原创案例
内容简介	讲解系统的全响应分解。全响应可分解为零输入响应与零状态响应外，还可以从其它角度出发，分解为不同分量。在日常生产中，从不同的角度，客观地把握事物的整体状况，弄清楚事物之间的各种联系，掌握隐藏其中的规律性东西，正确地反映事物的本质属性，然后做出科学合理的判断。然后尽可能地从事物正面的角度、从事业发展的角度、从有利于自己健康成长和幸福快乐的角 度，去看问题，去做决策，去干事情。
关键词	全响应、分解、角度
编写时间	2025-2-14
编者	李亚文，教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	学会从不同角度看问题
素材长度	1688 个字符
案例正文	知识点内容：全响应分解 全响应可分解为零输入响应与零状态响应外，还可以从其它角度出发，分解为不同分量。 从响应与系统或激励的关系可分为自然（由）响应与受（强）迫响应。其中由系统特征根决定模式的响应定义为自然（由）响应；与激励模式相同的响应定义为受（强）迫响应。显然，零输入响应是自然（由）响应；零状态响应是既有受（强）迫响应，也有自然（由）响应。 从响应随时间 t 趋于无穷是否消失，响应还可分为瞬态响应与稳态响应。其中瞬态响应是响应中随着时间增长而消失的部分；稳态响应是响应中随时间增长不会消失的部分。 例如 $e^{-t} u(t)$ 是瞬态响应，而 $3 \sin \omega t \cdot u(t)$、$u(t)$ 是稳态响应。 试指出下例中各响应分量：

$$i(t)=(1-e^{-t})u(t)=u(t)-e^{-t}u(t)$$



课程思政引入：

伟大的发明家爱迪生，在研究了 8000 多种不适合做灯丝的材料后，有人问他：你已经失败了 8000 多次，还继续研究有什么用？爱迪生说，我从来都没有失败过，相反，我发现了 8000 多种不适合做灯丝的材料，换一个角度看问题，问题就截然不同了。

就好比街上的行人总觉得汽车横冲直撞，不懂得礼让行人先行。但开车的司机却认为这些行人走路慢吞吞，根本不考虑对司机开车造成多大的不便，这就是站在不同的角度看问题，一个是站在司机的角度看问题，另一个是站在行人的角度看问题。但不管怎么看问题，在某个层面来说，你都是对的。事情不会因你看事情的角度改变而改变，但人的心态却会改变、心态改变，人生也就改变。

麦肯锡公司的创办人 jameso'mckinsey，曾经在年轻时候，任职律师事务所担任律师，亲眼看到老板拒绝一家银行高层的委托打官司，原因是老板认为这件官司，毫无任何胜算，但银行高层却对他的老板说：这件官司的报酬数百万元美金，就算是最后官司打输了，也不会责怪于他。但 jameso'mckinsey 的老板还是拒绝银行高层的请托，最后银行只得找其他人帮他们打官，当时律师事务所的同仁，都觉得老板疯了，几百万元美金的进帐，而且银行高层还表明，就算是打输了官司，也不会责怪于他，而他竟然拒绝这项业务。过了几年之后，银行的诉讼官司，果然一如老板所料，还是打输了官司，而报纸竞相报导。jameso'mckinsey 的老板当初拒绝这项几百万元的业务，原因是不愿意打毫无胜算的官司，就算是进帐几百万元的业务，也不愿意。从此之后这家公司的业务就直线上升，因为大家都知道这家公司绝不会接毫无胜算的业务，而是会以客户的利益为考量，而 jameso'mckinsey 公司老板当初之所以拒绝几百

万元的进帐，是因为他认为公司的声誉比短期的利润，还要重要。这件事情对 James O'McKinsey 影响很大，所以后来创立麦肯锡公司，一切就以客户的利益为最高考量，因为他认为公司的声誉比什么都重要。如果不能取得公司负责人或最高领导人的合作，也不可能协助这家公司解决问题，不如一开始就表明，没有公司负责人的全力配合及协助，麦肯锡是不可能接手这件案子，不管报酬多高，都不会接，所以麦肯锡公司声誉才能历久不衰。



图 1 麦肯锡

很多事情具的只是角度问题，只要换个角度，看事情的方式也就会有所不同。在前面学习的时候，都是从零输入与零状态的角度来分析全响应，实际上，从响应与系统或激励的关系可分为自然（由）响应与受（强）迫响应。从响应随时间 t 趋于无穷是否消失，响应还可分为瞬态响应与稳态响应。从不同的角度分解，响应结果有不同的结论。

而且，事情还远不止如此。如果继续往下分析、往深处分析，还会得出更令人惊讶的结论，那就是：这不同的结果，还会影响一个人的心态，决定他是满意还是不满意，乐观还是悲观，幸福还是痛苦，甚至成功还是失败。

课程思政升华：

我们对看问题的角度，要进行认真的分析、研究和把关。这样，就能够客观地把握事物的整体状况，弄清楚事物之间的各种联系，掌握隐藏其中的规律性东西，正确地反映事物的本质属性，然后做出科学合理的

	判断。然后尽可能地从事物正面的角度、从事业发展的角度、从有利于自己健康成长和幸福快乐的角 度，去看问题，去做决策，去干事情。这样，才能在充满风险和磨难的人间，成就健康、幸福和快乐的人生，让平凡的人生，不再人为地蒙上厚厚的灰尘。
分析评价	该案例介绍了系统的全响应分解，并通过实例讲解。在此过程中，倡导学生学会从不同角度看问题，尽可能地从事物正面的角度考虑，成就人生。 课程思政点切入较为自然，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评 价 者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-205
案例标题	全响应求解
案例来源	原创案例
内容简介	讲解系统的全响应求解。输入任何信号（激励）都会产生响应（输出信号），即有因必有果，体现因果关系。如果在人生路上努力学习过，坚持奋斗过，那么，胜利的脚步就会一步步靠近。
关键词	全响应，输入、输出、因果、努力奋斗
编写时间	2025-2-16
编者	李亚文，教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	努力奋斗才能获得成功
素材长度	个字符
案例正文	知识点内容：全响应求解 用系统的储能及激励可分别求出系统的零输入响应和零状态响应，系统的全响应 $y(t)$ 为两者之和，即：$y(t)=y_{zi}(t)+y_{zs}(t)$ $y(t)$ 对应的标准初始条件为 $\{y(k)(0+)\}$。 例 已知某线性系统的传输算子为 $H(p)=\frac{p+1}{p^2+2p+1}$，激励 $f(t)=u(t)$，初始条件 $y_{zi}(0)=1$，$y'_{zi}(0)=2$，求系统的全响应 $y(t)$。 解：$H(p)=\frac{p+1}{p^2+2p+1}=\frac{p+1}{(p+1)^2}$ 由特征根及初始条件 $y(0-)=1$，$y'(0-)=2$，求得零输入响应为 $y_{zi}(t)=(C_0+C_1t)e^{-t}u(t)$ $y(0)=1=C_0$ $y'(0)=-C_0+C_1=2, \text{ 得 } C_1=3$ $y_{zi}(t)=(1+3t)e^{-t}u(t)$ 传输算子

	$H(p) = \frac{p+1}{(p+1)^2} = \frac{1}{p+1}$ 可得 $h(t)=e^{-t} u(t)$ 则零状态响应: $y_{zs}(t)=f(t)*h(t)=u(t)*e^{-t} u(t)$ $=(1-e^{-t})u(t)$ 全响应为: $y(t)=y_{zi}(t)+y_{zs}(t)$ $=(1+3t)e^{-t} u(t)+(1-e^{-t})u(t)$ $=(1+3te^{-t})u(t)$ 课程思政引入: 苏步青, 1901 年生, 我国著名数学家、学者, 曾任复旦大学名誉校长。他出生于贫苦的农民家庭, 从小就在地里劳动: 放牛、割草、犁田, 什么都干。那时他想, 这辈子肯定没有读书的机会了。 恰好, 村里一户有钱人请了家庭教师, 教他的公子读书。苏步青有空, 就在窗外听听, 随手写写画画。想不到, 那位公子没学好, 苏步青却因此学到不少知识。他的叔叔见他这么想学习, 便拿出钱, 说服苏步青的爸爸, 把他送到百里之外的一所小学去读书。 在小学的第一个学期, 苏步青考了个倒数第一名, 老师把他叫到办公室, 热忱地鼓励他。这使苏步青大受感动, 决心发愤图强。真下了决心, 情况就不一样了, 从第二学期起一直到大学毕业, 他每学期都考第一。苏步青是抓紧时间、勤奋学习的典范。他从小学起, 就抓紧时间读了好多好书。进初中后, 他的第一篇作文交上去, 教师一看, 那写作方法, 很像是古代著名的《左传》的写法, 便怀疑这是不是苏步青自己写的。上课时, 老师要考考他, 随便点了《左传》上的一篇文章, 要他说说写的是什么。不料, 他立即一字不错地把那篇文章背给老师听。这使老师和同学们大吃一惊: 原来, 他读《左传》读得能够背出来了!
--	--

	苏步青 课程思政升华： 对于精密且复杂的人体系统，输入任何信号（激励）都会产生响应（输出信号），即有因必有果，体现因果关系。也就是说，输入的信息决定输出的行为，如果你在人生路上努力学习过，坚持奋斗过，那么，胜利的脚步就会一步步靠近。古人云：“天行健，君子以自强不息；每个人都要有自己的人生理想和奋斗目标，要实现理想和目标，就要不断地学习和修炼自己，只有努力奋斗，苦练内功，才能实现自己的人生之梦。
分析评价	该案例介绍了利用初始条件，对系统的全响应进行求解的过程，并通过实例计算展示。在此过程中，强调输入与输出的关系，倡导学生努力奋斗，获得成功。 课程思政点切入较为自然，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评 价 者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-206
案例标题	系统的反馈
案例来源	原创案例
内容简介	生活中闭环反馈原理比比皆是，不负责任的生产行为造成人类生态环境破坏，通过反馈使人类认识到热爱大自然、保护生态环境的重要性。
关键词	反馈，保护环境
编写时间	2025-2-16
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	保护环境，可持续发展
素材长度	532 个字符
案例正文	课程内容： 同开环控制系统相比，闭环控制具有一系列优点，但反馈回路的引入增加了系统的复杂性，而且增益选择不当时会引起系统的不稳定。为提高控制精度，在扰动变量可以测量时，也常同时采用按扰动的控制（即前馈控制）作为反馈控制的补充而构成复合控制系统。 反馈控制系统（即闭环控制系统）是基于反馈原理建立的自动控制系统。所谓反馈原理，就是根据系统输出变化的信息来进行控制，即通过比较系统行为（输出）与期望行为之间的偏差，并消除偏差以获得预期的系统性能。在反馈控制系统中，既存在由输入到输出的信号前向通路，也包含从输出端到输入端的信号反馈通路，两者组成一个闭合的回路。因此，反馈控制系统又称为闭环控制系统。反馈控制是自动控制的主要形式。在工程上常把在运行中使输出量和期望值保持一致的反馈控制系统称为自动调节系统，而把用来精确地跟随或复现某种过程的反馈控制系统称为伺服系统或随动系统。 反馈控制系统由控制器、受控对象和反馈通路组成（见图 1）。图中带叉号的圆圈为比较环节，用来将输入与输出相减，给出偏差信号。这

一环节在具体系统中可能与控制器一起统称为调节器。以炉温控制为例，受控对象为炉子；输出变量为实际的炉子温度；输入变量为给定常值温度，一般用电压表示。炉温用热电偶测量，代表炉温的热电动势与给定电压相比较，两者的差值电压经过功率放大后用来驱动相应的执行机构进行控制。

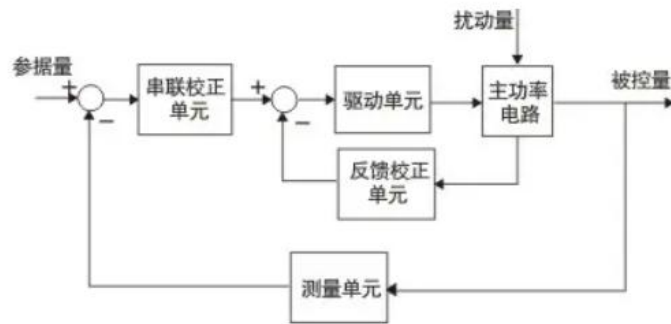


图 1 反馈系统

反馈控制系统包括：

（一）负反馈（negative feedback）：凡反馈信息的作用与控制信息的作用方向相反，对控制部分的活动起制约或纠正作用的，称为负反馈。即使系统的输出值与目标值的偏差越来越小。

（二）正反馈（positive feedback）：凡反馈信息的作用与控制信息的作用方向相同，对控制部分的活动起增强作用的，称为正反馈意义：加速生理过程，使机体活动发挥最大效应。即使系统的输出值与目标值的偏差越来越大，正反馈并不是都是好的，有的时候系统需要正反馈的作用。如原子弹引爆装置中要用到的裂变链式反应。又如在植物保护中，为了消灭有害的昆虫，大量繁殖这种害虫的天敌。

反馈控制系统由控制器、受控对象和反馈通路组成。在反馈控制系统中，不管出于什么原因（外部扰动或系统内部变化），只要被控制量偏离规定值，就会产生相应的控制作用去消除偏差。因此，它具有抑制干扰的能力，对元件特性变化不敏感，并能改善系统的响应特性

课程思政：

本案例主要介绍系统的反馈，拓展到自动控制系统的基本控制方式：开环控制和闭环控制。开环控制，控制系统的输入与输出只有顺向作用

的控制方式，叫开环控制。闭环控制，凡是系统输出信号对控制作用有直接影响的控制方式，叫做闭环控制。

某运动员练习射箭，在训练过程中，他的每一次试射可以看作是开环控制过程。一旦把箭射出去，是否命中靶子，命中靶子后是多少环，离 10 环差多少，是已经确定了的，无法再改变，属于典型的开环控制。

经过长期的训练，射箭运动员经历过无数次的开环控制过程，他射箭的准度越来越高，命中靶子不成问题，并且离 10 环的靶心越来越近。这是运动员在训练过程中不断反馈纠正准星而达到的训练结果，属于闭环反馈控制过程。

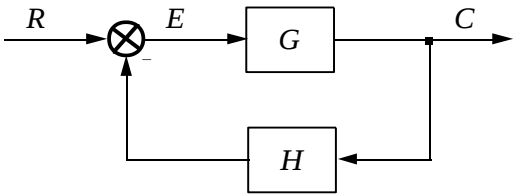
通过上述例子说明，每次射箭的开环控制是为了实现反馈控制，反馈控制过程中蕴含着开环控制，这是开环控制与闭环控制的辩证关系。

课程思政升华：正负反馈在生态环境中的体现。

在大自然和实际生活中，也蕴含着反馈原理。通过反馈认识，反思所作所为来使事物发展越来越好的例子比比皆是，如：人类对生态环境的认识，在漫长的生产活动中，人们掠夺式地开发自然资源、大肆砍伐森林，开垦草原、滥捕海洋鱼虾等造成了水土流失严重、土地沙漠化、海洋渔业资源枯竭，人们尝尽了环境恶化的苦头。在大自然的惩罚反馈中，人们逐渐明白了保护生态环境的重要性。



	图 2 生态污染图  图 3 地球资源图
分析评价	案例内容既包含了“自动控制原理”的专业知识，又将闭环与开环控制之间的辩证哲学原理介绍给了青年学生，实现了知识传授与辩证思维训练的密切结合。这是本案例课程思政教育与知识学习的融合点。
评价者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-207
案例标题	系统的信号流图表示
案例来源	原创案例
内容简介	讲解系统的信号流图绘制，对系统函数进行模拟时，可以用结构图和信号流图两种图模型进行表示，这实际上是同一问题的不同表现形式，启发学生要具有创新思维方式、多角度看问题、培养多元化思考。
关键词	系统函数、结构图、信号流图；
编写时间	2025-2-26
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养学生创新能力、多元化思考、多角度看问题的能力；
素材长度	781 字符
案例正文	知识点内容：系统的信号流图表示 信号流图是用节点和有向支路来描述系统，用流图表示系统的具体处理办法是：用带箭头的有向线段代替模拟图中的方框；线段的两个端点为节点，表示原方框的输入与输出；线段箭头的方向是信号传输的方向，原方框的传递系数（支路增益）直接标在箭头旁；有两个以上有向线段指向一个节点的，表示相加或相减（传递系数有负号）。 例题：系统的结构图如图 1 至图 3 所示，试绘制对应的信号流图。  图 1

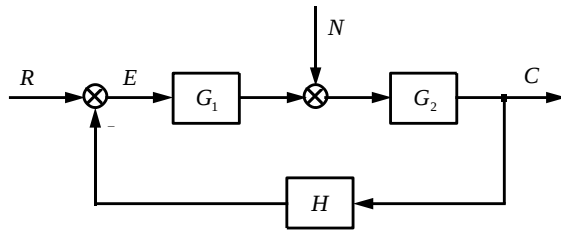


图 2

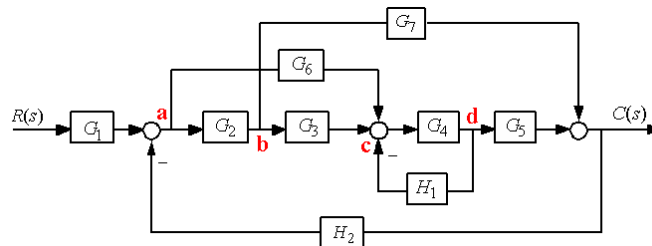
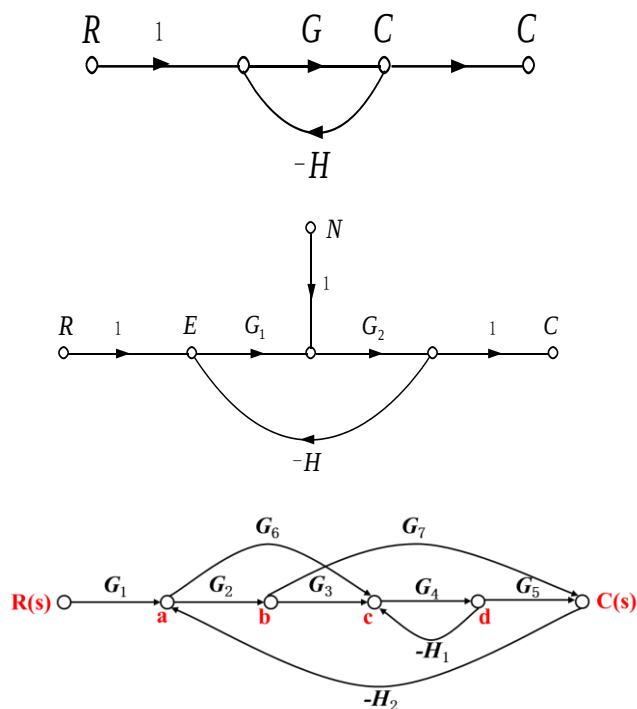


图 3

解：图 1 至图 3 对应的信号流图依次表示如下：



结构图和信号流图是两种图模型，信号的输入输出关系保持不变，只是换了个表现形式，本质关系保持不变。

课程思政升华：创新思维方式，多角度看问题！

在学习和生活中，我们需要从不同角度和视野看问题和分析问题。

	比如有这样一道数学题：请问汽车停的是几号车位？  正向看的话，规律很难找到，没有头绪，但是当把上面的图片倒过来看，车位的顺序一次是 86/87/88/89/90/91，图片中唯一的一辆车停在了 87 号车位。 告诫学生：在日常生活中，对问题进行多角度观察，创新思维方式，用多个角度（比如正反关系、关联关系、包含关系等等）看待事物，这样对事物的认识会更深刻。
分析评价	该案例在讲解系统的信号流图时，通过一个数学小问题引申到学生在实际的生活学习中创新思维方式，多个角度思考问题、解决问题，达到了课程育人的目的。
评价者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-208
案例标题	RLC 电路求传递函数
案例来源	原创案例
内容简介	在求解电路模型时，分别利用传统解法和拉普拉斯法进行求解，在讲解知识点时就可以引申，当某个问题从一个角度很难分析解决或没有办法分析时，我们可以换个角度去看，从这一思想出发就可以教会学生问题转换的思路，学会创新的思维方式。
关键词	拉普拉斯，电路，转换思路
编写时间	2025-2-24
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	教会学生问题转换的思路，学会创新的思维方式。
素材长度	1180 个字符
案例正文	知识点内容：复阻抗法求传递函数 在讲授这个内容时，我们首先采用的是经典法，即根据电路定律和元件的电压、电流关系建立描述电路的方程，而建立的方程是以时间为自变量的线性常微分方程，则求解常微分方程即可得到电路变量在时域的解。 对于一阶电路和二阶电路，对应的电路方程是一阶微分方程和二阶微分方程，学生在高等数学课中已经学习了微分方程的求解方法。但遇到具有多个动态元件的复杂电路时，对应的电路方程为高阶常微分方程，此时用直接求解微分方程的方法比较困难。而且高阶常微分方程并没有固定的解法。 例如要求解一个 n 阶的常系数线性齐次微分方程，可以运用特征根的方法求解，而非齐次的可降阶的微分方程，可以采用降阶法等等。在高等数学中，拉普拉斯变换是分析和求解常系数微分方程的简捷方法。拉普拉斯变换方法最初由 19 世纪末的英国工程师亥维赛(O. Heaviside,

1850- 1925) 应用到解决电力工程计算中。后来人们根据法国数学家拉普拉斯(P. S. Laplace, 1749-1825) 的著作, 对其方法进行了严格的数学论证。

拉普拉斯变换也是一种积分变换, 定义为:

$$F(s) = L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

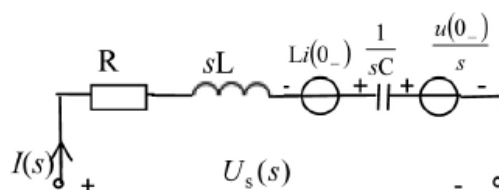
$$f(t) = L^{-1}[F(s)] = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma-j\omega}^{\sigma+j\omega} F(s)e^{st} ds$$

其中, $F(s)$ 为像函数, $f(t)$ 为原函数。

我们还是以 RLC 串联电路为例, 设加在电路两端的电源为 $u_s(t)$, 图 1 为时域电路, 则由基尔霍夫定律可得电路方程为式(1)。非零状态条件下, 对微分方程式(1)的两端取拉普拉斯变换可得电路方程为:

$$RI(s) + sLI(s) - Li(0_-) + \frac{1}{sC} I(s) + \frac{u(0_-)}{s} = U_s(s)$$

由上式可以看到, 我们将时域的微分方程“变”为复频域的代数方程, 运算电路如图所示, 由此解出象函数, 再求像函数的反变换得到时域响应, 这种方法简化了解题的过程, 起到了“变则通”的作用, 充分展现了拉普拉斯变换将给定的函数通过广义积分变为一个新的函数的意义所在。**拉普拉斯变换方法也称为运算法。**

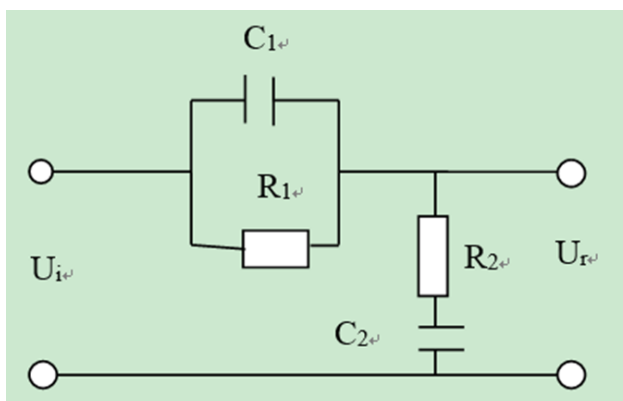


拉普拉斯变换方法是对连续时间系统进行分析的重要方法之一。与相量法相比较, 它可以应用于更广泛的输入信号。傅里叶变换是拉普拉斯变换的特例。与拉普拉斯变换相比, 傅里叶变换能更深入地了解信号的频率特性。

傅里叶变换特别适用于稳态分析, 拉普拉斯变换更适合于包含初始条件的瞬态问题的分析。因为它允许包含初始条件, 所以我们能够一次得到电路的瞬态响应和稳态响应。拉普拉斯变换的另外一大优势是引入

了 S 域系统函数后，其零极点联系了系统的时域和频域特性，可直观的分析控制系统的运动过程，判断系统的稳定性，这在控制系统中尤为重要。

例题说明：运用复阻抗法求电路系统的传递函数 $G(s)=U_r(s)/U_i(s)$ 。



解：电阻和电容的复阻抗分别为：R 和 $1/sC$ 。

$$Z_1 = \frac{R_1 \times \frac{1}{sC_1}}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} = \frac{R_1}{R_1 C_1 s + 1}; Z_2 = R_2 + \frac{1}{sC_2}$$

$$U_r = U_i \times \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{R_2 + \frac{1}{sC_2}}{\frac{R_1}{R_1 C_1 s + 1} + R_2 + \frac{1}{sC_2}} \times U_i$$

$$G(s) = \frac{U_r}{U_i} = \frac{R_2 + \frac{1}{sC_2}}{\frac{R_1}{R_1 C_1 s + 1} + R_2 + \frac{1}{sC_2}} = \frac{(R_1 C_1 s + 1)(R_2 C_2 s + 1)}{R_1 C_2 s + (R_1 C_1 s + 1)(R_2 C_2 s + 1)}$$

课程思政升华：课程中的变换思维是指根据电路理论的相关知识，结合数学方法提出灵活的设想和分析在教学过程中，教师要首先要求学生“博学”，充分的了解电路与数学的知识；然后引导学生“审问、慎思”，对于同一个问题通过变换不同的角度，另辟蹊径，培养学生的变通思维，训练学生用变换的角度去思考问题；最后启发学生“明辨、笃行”，使学生学会问题转化，将复杂工程问题转化成简单问题，将抽象问题具体化。

分析评价	案例在讲解知识点时引申说明，当某个问题从一个角度很难分析解决或没有办法分析时，我们可以换个角度去看，这时就会发现问题可能很容易解决，从这一思想出发就可以教会学生问题转换的思路，学会创新的思维方式。
评价者	袁训锋，教授，商洛学院

自控第 3 章思政点梳理（6 个）

案例编号	知识点梳理	课程思政切入点	育人目标
20045111-301	1. 傅氏变换和拉氏变换的优缺点对比	讲解拉氏变换和傅氏变换的区别联系，通过对比，引申到“科学的发展是曲折中前进的”、“科学家的探索求知精神”等，从而让学生领悟科学家精神，认识到事物的发展总是曲折前进的。	感悟科学家精神、科学的发展是曲折前进的；
20045111-302	2. 科学家拉普拉斯的生平	在第 4 章信号和系统的复频域表示与分析里，首先讲解科学家拉普拉斯的生平故事，感悟科学精神，领悟做人道理，辩证的看待历史人物。	感悟科学家精神、领悟做人道理、辩证看待科学家等。
20045111-303	3.拉氏变换的性质：S 域平移	讲解拉氏变换的性质：S 域平移，采用讨论式教学，借助一题多解，引导学生“全方位多角度思考问题”、“解决问题的方法是多种多样的”等，从而训练学生的科学思维方法，促使学生养成深入思考问题的习惯。	科学思维方法：多角度思考问题、解决问题的方法是多样的。
20045111-304	4.冲激函数的筛选性质	讲解冲激函数的筛选性质（取样性质），通过公式推导讲解冲激函数的筛选性质，引入课程思政“带着批判眼光，取其精华去其糟粕”看待事物。	批判精神、取其精华去其糟粕等。
20045111-305	5.系统稳定性及其分类	讲解 LTI 连续系统的稳定性及其分类，从系统稳定性引申到国家稳定性，通过引用邓小平的语录，让学生深刻明白“国家稳定团结的重要性”，提升爱国主义。	理解国家稳定团结的重要性、提升爱国主义。
20045111-306	6、劳斯判据	通过劳斯判据的定义，引入科学家劳斯的生平事迹和学术贡	执着求真、创新意识、科学家精

		献影响，启发学生感悟科学家的 执着求真与创新意识等精神。	神
--	--	---------------------------------	---

案例编号	20045111-301
案例标题	傅氏变换和拉氏变换的优缺点对比
案例来源	原创案例
内容简介	讲解拉氏变换和傅氏变换的区别联系，通过对比，引申到“科学的发展是曲折中前进的”、“科学家的探索求知精神”等，从而让学生领悟科学家精神，认识到事物的发展总是曲折前进的。
关键词	信号、傅氏变换、拉氏变换；
编写时间	2025-2-25
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	科学家精神、科学的发展是曲折前进的；
素材长度	862 字符
案例正文	知识点内容：拉氏变换和傅氏变换的优缺点对比 ● 两者都是将信号分解为基本信号元。傅氏变换的基本信号元是 $e^{j\omega t}$，而拉氏变换的基本信号元是 e^{st}。 ● 傅氏变换的优点：以傅氏变换为基础的频域分析法，将时域的微、积分运算转变为频域的代数运算，简化了运算。 ● 傅氏变换的优点：傅氏变换在分析信号谐波分量、系统的频率响应、系统带宽、波形失真等实际问题时，物理概念清楚，有其独到之处。 ● 傅氏变换的缺点：对一些不满足绝对可积条件的常用信号如 $u(t)$ 等，虽然其傅氏变换存在，但带有冲激项处理时不方便，尤其用傅氏变换分析系统响应时，系统初始状态在变换式中无法体现，只能求系统的零状态响应。另外，其反变换的复变函数积分计算也不容易。 ● 拉氏变换的优点：对信号要求不高，一般常见指数阶信号其变换存在。 ● 拉氏变换的优点：不但能将时域的微、积分运算转变为代数运算，而且既能求系统的零状态响应，也能求系统的零输入响应(初始条件

	自动引入)。 ● 拉氏变换的优点：有相对简单的反变换方法。 ● 拉氏变换的优点：利用系统函数的零、极点分布，可定性分析系统的时域特性、频率响应、稳定性等。 课程思政升华：科学的发展是曲折中前进的、科学家的探索求知精神。 1807 年，傅里叶提交论文《热的传播》，提出了结论“任何连续周期信号可以由一组适当的正弦曲线组合而成”。 1811 年，傅里叶修改了他原先的论文再次提交，题目为《热在固体中的运动理论》。 1812 年，拉普拉斯在《概率的分析理论》中总结了当时整个概率论的研究，论述了概率在选举、审判调查、气象等方面的应用，并导入“拉普拉斯变换”。 1822 年，经过将近十年的努力，傅里叶出版了专著《热的解析理论》，将在一些特殊情形下应用的三角级数方法发展成内容丰富的一般理论。 1829 年，狄利克雷只有在满足一定条件时，周期信号才能展开成傅里叶级数，这个条件被称为狄利克雷条件。 通过时间轴，从科学家提出自己观点、论证观点、发表论文的过程，一方面可以看出科学家的探索求知精神，另一方面可以感悟到科学的发展是在曲折中前进的。一个理论的诞生，要想证明是正确的，需要严谨的推导。
分析评价	该案例通过对比傅氏变换和拉氏变换，从而让学生体会科学家的探索精神、感悟科学的发展的曲折前进性，达到课程育人的目的。
评价者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-302
案例标题	科学家拉普拉斯的生平
案例来源	原创案例
内容简介	系统时域分析里，首先讲解科学家拉普拉斯的生平故事，感悟科学精神，领悟做人道理，辩证的看待历史人物。
关键词	拉普拉斯、拉普拉斯变换、拉普拉斯定理；
编写时间	2025-2-20
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	感悟科学家精神、领悟做人道理、辩证看待科学家等；
素材长度	1536 字符
案例正文	知识点内容：拉普拉斯变换的定义 单边拉氏变换的定义为： $F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$ $F(s)$ 为象函数，$f(t)$ 为原函数，象函数和原函数的关系可以表示为： $\left. \begin{aligned} f(t) &\leftrightarrow F(s) \\ L\{f(t)\} &= F(s) \\ L^{-1}\{F(s)\} &= f(t) \end{aligned} \right\}$ 思政故事切入：科学家拉普拉斯的生平 1765 年，16 岁的拉普拉斯凭借自己的努力，考入卡昂大学。他在学习期间写了一篇关于有限差分的论文，得到数学老师的赞赏。于是，在拉普拉斯 19 岁的时候，数学老师让他带着一封推荐信，去巴黎找当时法国著名学者、巴黎科学院负责人达朗贝尔。但达朗贝尔可能并没把推荐信当回事，拒绝接见拉普拉斯。 拉普拉斯当然不会放弃，于是就寄了一篇力学方面的论文给达朗贝尔。这篇论文出色至极，引起了达朗贝尔的高度重视。达朗贝尔在回信中说：“拉普拉斯先生，你看，我几乎没有注意你

那些推荐信；你不需要什么推荐，你已经更好地介绍了自己，对我来说这就够了，你应该得到支持。”

1770 年，21 岁的拉普拉斯发表了第一篇数学论文《曲线的极大和极小研究》，此后 3 年时间，共完成了 13 篇重要论文。

1773 年，他把牛顿的万有引力定律应用到整个太阳系，解决了当时著名的土星轨道难题。拉普拉斯用数学方法证明行星的轨道大小只有周期性变化，这就是著名的拉普拉斯定理。

同年，他被巴黎科学院接受并成为科学院副院士。巴黎科学院执行秘书孔多塞说：“巴黎科学院第一次接受这样年轻，并在这样短的时间内对多种难题写出重要论文的人。”

1784-1785 年，他求得天体对其外任一质点的引力分量可以用一个势函数来表示，这个势函数满足一个偏微分方程，即著名的拉普拉斯方程。

1785 年，拉普拉斯当选为科学院院士。

1786 年，他证明行星轨道的偏心率和倾角总保持很小和恒定，能自动调整，即摄动效应是守恒和周期性的，即不会积累也不会消解。

1787 年，他发现月球的加速度同地球轨道的偏心率有关，从理论上解决了太阳系动态中观测到的最后一个反常问题。

1795 年，法兰西研究院成立，并成立了科学分院又称法国科学院，拉普拉斯被任命为副院长，次年被选为院长。

1796 年，他的著作《宇宙体系论》问世，书中提出了对后来有重大影响的关于行星起源的星云假说。

拉普拉斯一生最主要的精力是花费在研究天体力学上面，数学是他解决问题的重要工具。

他在运用数学的同时又创造和发展了许多新的数学方法，包括有限差分方法、概率论、万有引力定理、彗星轨道、微分方程的解法、拉普拉斯变换、最小二乘法、代数学中关于行列式的展开定理、实积分转化为复积分计算等。

以他的姓氏命名的变换、定理、方程等更是数不胜数：拉普拉斯展开、拉普拉斯变换、拉普拉斯定理、拉普拉斯方程、拉普拉斯算子、拉普拉斯函数、拉普拉斯积分、拉普拉斯分布、拉普拉斯向量等。

虽然拉普拉斯是个大神级的学者，但是，他的政治品德却并不怎么好。他是一个有名的政治墙头草、两面派，专门见风使舵。

在法国大革命时期，随着政局的动荡、改朝换代，他也随波逐流，反复不断地扮演了共和派与保皇派的双重角色。他非常机灵，无论哪一方上台掌权，都相信他是自己的一个忠诚的支持者。因此，每次政局变化，他都能获得更好的差使和更大的头衔。

拉普拉斯在自己身处高位之后，对于年轻的学者总是乐于慷慨帮助和鼓励关照。他帮助和提拔了很多年轻人，例如化学家盖吕萨克、数学物理学家泊松和年轻的柯西等等。当旅行家和自然研究者洪堡到法国考察水成岩的分布情况时，拉普拉斯也慷慨地资助了他。



图1 拉普拉斯

1827年3月5日，拉普拉斯因病卒于巴黎，享年78岁。临死前，拉普拉斯留下了最后一句谦卑的遗言——“我们知道的是很微小的；我们不知道的是无限的。”

课程思政升华：科学精神：不畏艰难的探索精神、慷慨提携帮助后辈的品质。

	拉普拉斯在天体力学方面做了很多研究，比较有代表性的是3部著作：《天体力学》、《宇宙系统论》、《概率的分析理论》，他为研究天体运动做出了巨大的贡献。在他名满天下后，还不忘提携资助后辈科学家。虽然他在政治上立场不坚定，但整体而言，依旧是一个伟大的科学家。
分析评价	该案例通过介绍科学家拉普拉斯的生平，从而让学生在思想上感悟科学家精神，通过辩证的看待科学家，达到课程育人的目的。
评价者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-303
案例标题	拉氏变换的性质：S 域平移
案例来源	原创案例
内容简介	讲解拉氏变换的性质：S 域平移，采用讨论式教学，借助一题多解，引导学生“全方位多角度思考问题”、“解决问题的方法是多种多样的”等，从而训练学生的科学思维方法，促使学生养成深入思考问题的习惯。
关键词	拉氏变换、拉氏变换的性质、S 域平移；
编写时间	2025-2-21
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	科学思维方法：多角度思考问题、解决问题的方法是多样的；
素材长度	257 字符
案例正文	知识点内容：拉氏变换的性质：S 域平移 若 $f(t) \leftrightarrow F(s)$，则 $f(t)e^{s_0 t} \leftrightarrow F(s-s_0)$ 式中，s_0 为复常数。 证明： $\int_0^{\infty} f(t)e^{s_0 t} e^{-st} dt = \int_0^{\infty} f(t)e^{-(s-s_0)t} dt = F(s-s_0)$ 例题：已知 $f(t) = e^{-at} \cos w_0 t u(t)$，求象函数 $F(s)$。 解：方法 1：将 $e^{-at} u(t)$ 看作是整体，记为 $f_1(t)$。 $f_1(t) = e^{-at} u(t) \leftrightarrow \frac{1}{s+a}$ $F(t) = f_1(t) \cos w_0 t = f_1(t) \frac{1}{2} (e^{jw_0 t} + e^{-jw_0 t})$ $= \frac{1}{2} f_1(t) e^{jw_0 t} + \frac{1}{2} f_1(t) e^{-jw_0 t}$ $F(s) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{s-jw_0+a} + \frac{1}{s+jw_0+a} \right] = \frac{s+a}{(s+a)^2 + w_0^2}$

	提问学生：还有其他的解决方法吗？预留 5min 时间，学生之间相互讨论。 方法 2：将 $\cos w_0 t u(t)$ 看做整体，记为 $f_2(t)$。 $f_2(t) = \cos w_0 t u(t) \leftrightarrow F_2(s) = \frac{s}{s^2 + w_0^2}$ $f(t) = f_2(t)e^{-at} \leftrightarrow F(s) = F_2(s+a) = \frac{s+a}{(s+a)^2 + w_0^2}$ 课程思政升华：全方位多角度思考问题、解决问题的方法是多种多样的。 通过学生之间的相互讨论，可以让学生加深对该性质的理解同时让学生体会到解决问题的方法是多种多样的。生活中遇到问题时，可以先尝试自主解决问题、寻求他人协助解决，依然没有头绪时，以终为始，重新思考“这个问题是如何产生的？必须按照这个路径解决吗”等等，养成深入思考问题的习惯。
分析评价	该案例借助讨论式教学，通过一题多解，从而让学生在讨论中深入理解拉氏变换的性质，潜移默化的训练多角度思考问题的习惯，达到课程育人的目的。
评价者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-304
案例标题	冲激函数的筛选性质
案例来源	原创案例
内容简介	讲解冲激函数的筛选性质（取样性质），通过公式推导讲解冲激函数的筛选性质，引入课程思政“带着批判眼光，取其精华去其糟粕”看待事物。
关键词	冲激函数、冲激信号、取样、筛选；
编写时间	2025-1-28
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	批判、取其精华去其糟粕等；
素材长度	887 字符
案例正文	知识点内容：冲激函数的筛选性质 ● 取样性或筛选性质 若 $f(t)$ 是在 $t=0$ 及 $t=t_0$ 处连续的有界函数，则 $\int_{-\infty}^{\infty} f(t) \delta(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(0) \delta(t) dt = f(0)$ 以及 $\int_{-\infty}^{\infty} f(t) \delta(t-t_0) dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_0) \delta(t-t_0) dt = f(t_0)$ 上述两式表明：冲激函数具有取样(筛选)特性。如果要从连续函数 $f(t)$ 中抽取任一时刻的函数值 $f(t_0)$，则只要乘以 $\delta(t-t_0)$，并在 $(-\infty, +\infty)$ 区间积分即可。 课程思政升华：批判思维、取其精华去其糟粕。 如果要从连续函数 $f(t)$ 中抽取任一时刻 t_0 的函数值，则让函数 $f(t)$ 乘以该时刻的冲激函数，然后在包含该时刻的区间内积分即可。 冲激函数的取样性质告诫我们：我们在看待事物时，自身要相当于一个冲激函数，要具有一定的批判性思维，学会筛选，对

待事物要取其精华去其糟粕。选取有益的地方供我们学习，舍弃不良的地方吸取教训。

举例说明：对待传统文化，我们要取其精华去其糟粕。

符合社会主义核心价值观，对中国特色社会主义建设有好处，符合公序良俗，对人民美好生活有推动作用的就是“精华”文化，反之则是文化中需要摒弃的糟粕。

自炎黄时期开始，人类在漫长的社会实践中形成了自己独有的社会文化。春秋战国时期，百家争鸣，各个学说流派在诸侯国大放光彩。后来秦朝统一六国，确定法家为正统学说，开始焚书坑儒。秦始皇的这一举动对其他流派的学说是毁灭性的打击，到了汉武帝时期，中原王朝又开始“罢黜百家，独尊儒术”。从此，儒家文化几乎成为中华传统文化的代表，在长达 2000 年的封建王朝中，儒家文化“独领风骚”。



图 1 孔子

像儒家文化中强调孝顺、家和万事兴和家国观念的文化就是**精华**，因为它对人民的幸福生活起推动作用，符合当前社会主义核心价值观，是人民大众喜闻乐见的文化，符合公序良俗。

比如现在国家越来越重视留守儿童的问题，“家庭”文化的推广就对解决留守儿童问题起积极作用。

至于儒家文化中关于“女子无才便是德”，强调人的阶级性，这些都是**糟粕**，是需要摒弃的。在封建王朝时期，为了巩固政权，

	儒家推出一系列玄学诸如天人感应等。他们大力宣传人的阶级性，宣传君王是真龙天子，君权神授，天生与普通人不同，是代天牧民，拥有至高无上的权威。但我们都知道，所谓真龙天子，不过是掌握权力的普通人罢了。还有传统文化中的“女子无才便是德”，同样是谬论，男、女都是社会主义建设的中流砥柱。
分析评价	该案例在讲解冲激函数的取样性质时，引入课程思政：具有批判性思维，对待事物要取其精华去其糟粕，最后给出例子如何对待传统文化。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-305
案例标题	系统稳定性及其分类
案例来源	原创案例
内容简介	讲解 LTI 连续系统的稳定性及其分类，从系统稳定性引申到国家稳定性，通过引用邓小平的语录，让学生深刻明白“国家稳定团结的重要性”，提升爱国主义。
关键词	系统、稳定、系统函数、极点；
编写时间	2025-2-22
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	理解国家稳定团结的重要性、提升爱国主义；
素材长度	613 字符
案例正文	知识点内容：LTI 连续系统的稳定性 ● 稳定性的定义 稳定性是系统本身的性质之一，与激励信号无关。 由输入-输出关系定义稳定系统为：有界输入产生有界输出（简称 BIBO）的系统。如果对有界激励，系统的响应无界，系统就是不稳定的。LTI 系统 BIBO 稳定的充分必要条件是单位冲激响应绝对可积： $\int_{-\infty}^{\infty} h(t) dt \leq M$ 式中，M 为一有界的实数。满足上式的 h(t)，一定是随时间衰减的函数，即 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = 0$。 ● 稳定性分类：稳定、不稳定、临界稳定。 LTI 系统的系统函数与单位冲激响应集中表征了系统特性，稳定性也必在其中。因此既可以由 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t)$ 的不同情况，也可以由 H(s) 的极点分布，对系统稳定性分类。 稳定：当 H(s) 的全部极点在 S 的左半平面(不含 jw 轴)，则

	单位冲激响应满足 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = 0$，系统稳定。 不稳定：若 $H(s)$ 有极点落在 S 的右半平面，或者 $j\omega$ 轴、原点处有二阶以上的重极点，则单位冲激响应为 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) \rightarrow \infty$，系统不稳定。 临界稳定：若 $H(s)$ 在原点或 $j\omega$ 轴上有一阶极点，虽然单位冲激响应 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) \neq 0$，但 $h(t) < M, 0 < t < \infty$。 课程思政升华：系统稳定是发展的前提，国家稳定是国家健康发展的前提。 邓小平语录：中国的问题，稳定需要团结，压倒一切的是需要稳定。没有稳定的环境，什么都搞不成。稳定需要团结，才能稳定。要使社会长期稳定。国家长治久安，离不开党与人民群众钢铁般的团结。——邓小平  图 1 邓小平 向学生指出：作为当代青年大学生，要以爱国主义为核心，反对任何诋毁企图分裂祖国的言论和行为。要通过自己的努力学习来建设祖国，让祖国变得更强大，从而实现自己的人生价值。
分析评价	该案例通过讲解系统稳定性的定义和分类，从系统稳定性引申到国家稳定性，从而增强学生的爱国主义精神，达到课程育人的目的。
评价者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-306																																																						
案例标题	劳斯判据																																																						
案例来源	原创案例																																																						
内容简介	通过劳斯判据的定义，引入科学家劳斯的生平事迹和学术贡献影响，启发学生感悟科学家的执着求真与创新意识等精神。																																																						
关键词	拉氏变换、拉氏变换的性质、S 域平移；																																																						
编写时间	2025-2-21																																																						
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院																																																						
素材形式	文字、图片																																																						
育人主题	执着求真、创新意识、科学家精神																																																						
素材长度	1178 字符																																																						
案例正文	知识点内容： 劳斯判据 稳定的充要条件是：系统的所有闭环极点均具有负的实部；或所有闭环极点均严格位于左半 s 平面；或闭环特征方程的根均具有负的实部。 Routh 表： ■ Routh表 系统闭环特征方程 将闭环特征方程的各项系数，按右面的格式排成 Routh表。 $a_n S^n + a_{n-1} S^{n-1} + a_{n-2} S^{n-2} + \cdots + a_1 S + a_0 = 0 \quad a_0 > 0$<table><tr><td>$S^n$</td><td>$a_0$</td><td>$a_2$</td><td>$a_4$</td><td>$a_6$</td><td>$\cdots$</td></tr><tr><td>$S^{n-1}$</td><td>$a_1$</td><td>$a_3$</td><td>$a_5$</td><td>$a_7$</td><td>$\cdots$</td></tr><tr><td>$S^{n-2}$</td><td>$b_1$</td><td>$b_2$</td><td>$b_3$</td><td>$a_4$</td><td>$\cdots$</td></tr><tr><td>$S^{n-3}$</td><td>$c_1$</td><td>$c_2$</td><td>$c_3$</td><td>$\cdots$</td><td></td></tr><tr><td>$\cdot$</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$\cdot$</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>S^2</td><td>d_1</td><td>d_2</td><td>d_3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>S^1</td><td>e_1</td><td>e_2</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>S^0</td><td>f_1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> $b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1}$$b_2 = \frac{a_1 a_4 - a_0 a_5}{a_1}$$c_1 = \frac{b_1 a_3 - b_2 a_1}{b_1}$$c_2 = \frac{b_1 a_5 - b_3 a_1}{b_1}$ 劳斯稳定判据： ①系统渐进稳定的必要条件是特征方程的系数均大于零。 ②如果劳斯表中第一列的系数均为正值，则其特征方程式的根都在 S 的左半平面，相应的系统是稳定的。 ③如果劳斯表中第一列系数的符号有变化，则符号的变化次数	S^n	a_0	a_2	a_4	a_6	$\cdots$	S^{n-1}	a_1	a_3	a_5	a_7	$\cdots$	S^{n-2}	b_1	b_2	b_3	a_4	$\cdots$	S^{n-3}	c_1	c_2	c_3	$\cdots$		$\cdot$						$\cdot$						S^2	d_1	d_2	d_3			S^1	e_1	e_2				S^0	f_1				
S^n	a_0	a_2	a_4	a_6	$\cdots$																																																		
S^{n-1}	a_1	a_3	a_5	a_7	$\cdots$																																																		
S^{n-2}	b_1	b_2	b_3	a_4	$\cdots$																																																		
S^{n-3}	c_1	c_2	c_3	$\cdots$																																																			
$\cdot$																																																							
$\cdot$																																																							
S^2	d_1	d_2	d_3																																																				
S^1	e_1	e_2																																																					
S^0	f_1																																																						

等于该特征方程式的根在 S 的右半平面上的个数，相应的系统为不稳定。

例题 已知某一调速系统的闭环特征方程式为：

$$S^3 + 41.5S^2 + 517S + 2.3 \times 10^4 = 0$$

试用劳斯判据判别系统的稳定性。

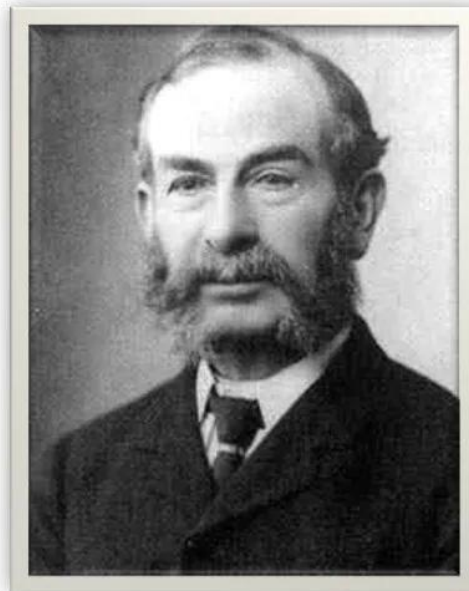
解： 列劳斯表

S^3	1	517	0
S^2	41.5	2.3×10^4	0
S^1	-38.5		
S^0	2.3×10^4		

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。

下面介绍科学家劳斯的生平事迹：

一、爱德华·劳斯（Edward John Rouse, 1831 - 1907）主要事迹与贡献



爱德华·约翰·劳斯
(1831-1907)

1. 求学背景

	劳斯出生于英国约克郡，毕业于伦敦大学学院（UCL）数学系，获学士学位。后进入剑桥大学圣彼得学院深造，1857 年以“Senior Wrangler”（数学荣誉考试第一名）的优异成绩毕业，展现出过人的数学天赋。他曾受教于数学家乔治·斯托克斯（流体力学先驱）和亚瑟·凯莱（矩阵理论奠基人），奠定扎实的数学基础。 2. 对控制领域的里程碑贡献：劳斯判据（Routh-Hurwitz Criterion） 1877 年发表论文《A Treatise on the Stability of a Given State of Motion》，提出通过特征方程系数判断系统稳定性的代数方法，无需求解高次方程根。为回应麦克斯韦尔（James Clerk Maxwell）提出的蒸汽机调速器稳定性问题（1868），将工程需求抽象为数学问题。 该论文的发表具有如下历史意义： （1）首个系统稳定性判据：填补了微分方程理论在工程应用的空白； （2）推动经典控制发展：为 20 世纪奈奎斯特、伯德等频域分析法奠定基础； （3）工程与数学的桥梁：将抽象数学工具（如霍尔维茨行列式）转化为工程实践标准。 3. 学术影响与荣誉 他长期在剑桥大学任教，编写经典教材《Rigid Dynamics》《Advanced Rigid Dynamics》，影响数代工程师。 专业荣誉：英国皇家学会院士（FRS，1872 年）；1889 年获皇家学会皇家勋章；曾任伦敦数学学会主席。 劳斯判据广泛应用于航空航天（如火箭姿态控制）、电力系统稳定性分析、机器人控制等领域，至今仍是控制工程核心内容。 课程思政点： ①执着求真与创新意识的科学家精神。
--	---

	劳斯耗时 10 年完善稳定性理论，不惧麦克斯韦尔等权威提出的难题，坚持数学严谨性。 ②科学研究的使命感与社会责任。 劳斯研究初衷为解决工业革命中的蒸汽机爆炸事故，体现科研服务社会的价值观。 ③谦逊与传承的学术品格。 劳斯与霍尔维茨独立提出类似判据，但优先权争议中保持谦逊，后世并称“劳斯-霍尔维茨判据”。
分析评价	该案例借助典例分析、科学家事迹介绍，从而让学生在讨论中深入理解劳斯判据的定义，领悟科学家执着求真与创新意识的精神，达到课程育人的目的。
评价者	袁训锋，教授，商洛学院

自控第 4 章思政点梳理（10 个）

案例编号	知识点	课程思政切入点	育人目标
20045111-401	1. 根轨迹的概念创建者：伊万斯	在根轨迹的概念导入部分，讲解科学家美国科学家伊万斯（W.R. Evans）放弃传统数学求解高阶方程的途径，首创图解分析法，体现“另辟蹊径”的创新思维。钱学森将根轨迹写入著作《工程控制论》体现中国科学家在控制学科的贡献。	①领悟科学家创新精神，“另辟蹊径”的创新思维。 ②文化自信。
20045111-402	2. 根轨迹方程	区分 180 度和 0 度根轨迹的本质是：用根轨迹方程来判断，不能通过正负反馈去判断。启发学生：善于透过现象看本质。通过毛泽东语录做进一步说明。	善于透过现象看本质。
20045111-403	3. 幅值条件和相角条件	通过工程案例：航天器轨道调整需同时满足幅值（推力大小）和相角（方向精度）条件。若相角误差过大，即使推力足够仍会偏离轨道，引申“细节决定成败”的工匠精神。	工匠精神：细节决定成败
20045111-404	4. 实轴上的根轨迹	通过典型开环传递函数的零极点分布分析，得到实轴上的根轨迹分布，通过零点极点的距离远近关系，引申到“极点（男生）和零点（女生）要有共同语言，才能走到一起”，启发学生：沟通能力很关键！	职业素养：沟通能力
20045111-405	5. 根轨迹的渐近线	通过典型开环传递函数的渐近线求解和零极点的比喻类比，说明要奔向无穷远处的极点需要有方向指引，这就是渐近线的作用。启发学生：核心价值观就是我们人生路上	职业素养：坚守核心价值观

		的渐近线！	
20045111-406	6. 根轨迹的分离点	通过根轨迹的分离点定义，系统的响应模态在分离点前后会发生根本性变化，故分离点是关键节点。引申：在人生或项目进展中的重大决策节点处，对未来的清晰规划、有坚定的目标方向感非常重要。	把握机遇、科学规划意识
20045111-407	7. 根轨迹与虚轴的交点	根轨迹与虚轴相交后，一部分根轨迹跑到 S 右半平面，系统从临界稳定变得不稳定，系统响应震荡发散。引申“虚轴相当于底线”，要有底线思维。	职业素养：底线思维：恪守行业底线，遵守职业道德
20045111-408	8、根轨迹 8 大法则的关系	将开环极点类比为男生，开环零点类比为女生，根轨迹类比为“男生追女生形成的爱的轨迹”。据此将根轨迹 8 个法则串联在一起，形象。	系统思维与全局观
20045111-409	9. 利用根轨迹分析系统性能	在正确绘制根轨迹图的基础上，重点要学会利用根轨迹图分析系统稳态性能和动态性能。 K^* 的变化不会改变系统型别，带有自身局限性，引申到尊重规律和科学严谨。主导极点微调会影响系统性能，引申到追求精确寻求最优解的精神。	尊重规律和科学严谨、追求卓越与精益求精的工匠精神
20045111-410	10. 结构不稳定系统添加零点极点使系统稳定	原系统绘制根轨迹发现不稳定，需要增加零点，重新绘制根轨迹，发现系统稳定。增加零点引申为“他律约束”，增加极点引申为“自律约束”，发现自身系统不稳定时，要及时增加零极点对系统纠偏。	及时纠偏、自我调整

案例编号	20045111-401
案例标题	另辟蹊径的科学家伊万斯
案例来源	原创案例
内容简介	本案例在引入根轨迹这一概念时，通过讲解根轨迹法的创立背景、核心思想、学术影响，引申到课程思政切入点：“弘扬科学家创新精神——从方法论革命看原始创新”。同时，中国科学家钱学森将根轨迹法系统引入《工程控制论》，体现中国科学家的贡献。
关键词	根轨迹、高阶方程、方程求解、创新精神
编写时间	2025-4-22
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片、
育人主题	培养学生的批判性思考和跨学科借鉴；培育文化自信。
素材长度	1552 个字
案例正文	知识点内容：根轨迹的创立背景和作者的学术贡献 （1）根轨迹法的创立（1948 年） 背景：二战后控制系统复杂度提升，高阶方程求解困难。伊万斯突破传统解析法局限，提出通过开环传递函数直接绘制闭环特征根变化轨迹的图解方法。 根轨迹法的核心思想是：将系统参数（如增益 K）从零到无穷变化时，闭环极点在复平面（S 平面）的运动轨迹可视化，直观反映系统稳定性、动态响应与参数关系。 根轨迹法的研究意义在于：解决了高阶系统特征根分析的工程难题，成为经典控制理论三大支柱之一（与时域法、频域法并列）。 （2）学术影响与传承 影响 1：1954 年钱学森在《工程控制论》中专设两节详解根轨迹法，推动其成为全球控制学科核心内容。

案例正文

目錄

漢文版序..... vi

原序..... vi

第一章 引言..... 1

1.1 常系數綫性系統..... 1

1.2 變系數綫性系統..... 2

1.3 非綫性系統..... 4

1.4 工程近似的問題..... 5

第二章 拉氏變換法..... 6

2.1 拉氏變換和反轉公式..... 6

2.2 用拉氏變換法解常系數綫性微分方程..... 6

2.3 拉氏變換的“字典”(拉氏變換表)..... 8

2.4 關於正弦式的驅動函數的討論..... 9

2.5 關於單位沖量驅動函數的討論..... 10

第三章 輸入、輸出和傳遞函數..... 11

3.1 一階系統..... 11

3.2 傳遞函數的表示法..... 14

3.3 一階系統的一些例子..... 16

3.4 二階系統..... 21

3.5 確定頻率特性的方法..... 26

3.6 由多個部件組成的系統..... 27

3.7 超越的傳遞函數..... 28

第四章 反饋伺服系統..... 32

4.1 反饋的概念..... 32

4.2 反饋伺服系統的設計準則..... 33

4.3 乃氏 (Nyquist) 法..... 36

4.4 艾文思 (Evans) 法..... 38

4.5 根軌跡的流體力學模擬..... 42

4.6 伯德 (Bode) 法..... 44

4.7 傳遞函數的設計..... 45

圖 1 钱学森《工程控制论》

影响 2：被列入 IEEE 控制系统协会评定的“控制理论 25 篇奠基性论文（1932-1981）”，与奈奎斯特稳定性判据、维纳控制论并列。

IEEE.org | IEEE Xplore | IEEE SA | IEEE Spectrum | More Sites

IEEE Xplore® Browse My Settings Help Institutional Sign In

All

ADVANCED SEARCH

Books > Control Theory: Twenty-Five S...

CONTROL THEORY

Tamer Basar

Control Theory: Twenty-Five Seminal Papers (1932-1981)

Tamer Basar

Book Abstract

Control theory, developed in the twentieth century, is the subject of this compilation of 25 annotated reprints of seminal papers representing the evolution of the control field. Carefully assembled by a distinguished editorial board to ensure that each paper contributes to the whole, rather than exist as a separate entity, this is the first book to document the research and accomplishments that have driven the practice of control.

Control Theory: Twenty-Five Seminal Papers (1932-1981) begins with an introduction describing the major developments in control, linking each to a selected paper. Each paper includes a commentary that lends a contemporary spin and places the contributions of each paper and its impact on the field into proper perspective. The material covers the period between 1932 to 1981 and addresses a broad spectrum of topics. The earliest paper is the famous "Regeneration Theory" by Harry Nyquist, which laid the foundation for a frequency-domain approach to stability analysis of linear control systems and introduced the Nyquist criterion. The most recent paper in the volume, "Feedback and Optimal Sensitivity" by George Zames, marked the beginning of the "robustness" era.

This comprehensive volume is a valuable resource for control researchers and engineers worldwide. Also, it will be of great interest to engineers and scientists in related fields, such as communications, signal processing, circuits, power, and applied mathematics.

图 2 网址：<https://ieeexplore.ieee.org/book/5265919>

111 / 239

	Regeneration Theory 1 Nyquist, H. (<i>Bell Syst. Tech. J.</i>, Vol. 11, 1932, pp. 126–147.) Stabilized Feedback Amplifiers 25 Black, H. S. (<i>Bell Syst. Tech. J.</i>, Vol. 13, 1934, pp. 1–18.) Relations Between Attenuation and Phase in Feedback Amplifier Design 45 Bode, H. W. (<i>Bell Syst. Tech. J.</i>, Vol. 19, 1940, pp. 421–454.) The Linear Filter for a Single Time Series 81 Wiener, N. (Chapter III from <i>Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series</i>, The M.I.T. Press, Cambridge, MA, 1949, pp. 81–103.) Control System Synthesis by Root Locus Method 107 Evans, W. R. (<i>Trans. Amer. Inst. Electric. Engineers</i>, Vol. 69, 1950, pp. 66–69.) The Structure of Dynamic Programming Processes 113 Bellman, R. (Chapter 3 from <i>Dynamic Programming</i>, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1957, pp. 81–89.) Optimal Regulation Processes 125 Pontryagin, L. S. (<i>Uspekhi Mat. Nauk, USSR</i>, Vol. 14, 1959, pp. 3–20. (English translation: <i>Amer. Math. Society Trans.</i>, Series 2, Vol. 18, 1961, pp. 321–339.)) Contributions to the Theory of Optimal Control 147 Kalman, R. E. (<i>Bol. Soc. Mat. Mexicana</i>, Vol. 5, 1960, pp. 102–119.) 图 3 控制理论 25 篇基础性论文第 5 篇即为根轨迹 【思政升华 1】弘扬科技创新精神——从“方法论革命”看原始创新 伊万斯面对高阶方程求解困境，放弃传统数学解析路径，首创图解分析法，体现“另辟蹊径”的创新思维。这给我们带来思政启示： （1）批判性思考。鼓励学生鼓励学生质疑现有方法局限性（如“是否必须直接求解方程？”），培养问题导向的创新意识。 （2）跨学科借鉴。根轨迹法融合几何直观与数学严谨性，启示工程研究中学科交叉的价值。 【思政升华 2】培育文化自信——中国科学家的国际贡献 钱学森将根轨迹法系统引入《工程控制论》，推动其成为全球教材标准内容，体现中国学者对国际科学的贡献。这给我们带来思政启示： （1）破除“西方中心论”：强调中国科学家在控制理论发展中的关键角色，增强学科自豪感。 例如我中国工程院和科学院宋健院士，70 年代主持修订钱学森《工程控制论》，补充现代控制理论内容（如分布参数系统稳定性、点观测控制等），推动学科更新。他建立人口控制论，结合自然科学与社会学，提
--	--

出人口增长数学模型，为中国及发展中国家人口政策提供理论支撑。2015年获小行星命名“宋健星”，2024年当选国际自动控制联合会（IFAC）会士，表彰其系统性贡献。



图 4 宋健院士

（2）**使命传承**：联系“卡脖子”技术攻关，激励学生立足本土需求，推动自主创新。

再如：中国科学院院士：黄琳。

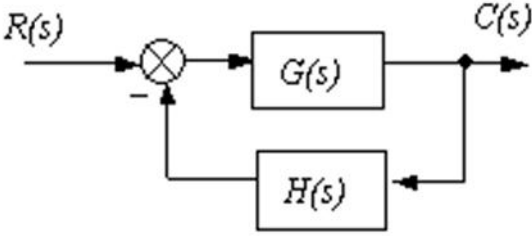


图 黄琳院士

在基础理论突破方面，1964年黄琳独立提出单输入线性系统极点配置定理，早于西方同类成果。融合动态规划与 Lyapunov 方法，首次证明线性系统二次型最优控制解的存在性与唯一性，解决国际多年未决问题。在前沿探索方面，提出系统衰减时间概念及估计方法，优化振动系统建

	模精度。与美国学者合作提出鲁棒控制棱边定理，奠定复杂系统稳定性分析基础。2011 年主持完成《控制科学发展战略研究》，规划中国控制学科前沿方向。
分析评价	本案例通过根轨迹的概念引入，由科学家伊万斯的创立根轨迹的背景出发，引申出批判性思考、创新思维和跨学科借鉴，同时结合科学家钱学森将根轨迹内容引入著作《工程控制论》，引申文化自信，并通过中国工程院院士宋健和黄琳 2 位代表，讲述中国科学家对控制学科的贡献。课程思政切入点自然，既强化了对知识点来源背景的理解，又培养了另辟蹊径的创新思维，同时加深了文化自信，实现了知识传授与价值塑造的双重目标。
评 价 者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-402
案例标题	根轨迹方程：区分 180 度和 0 度根轨迹的本质
案例来源	原创案例
内容简介	本案例在讲解根轨迹方程这一概念时，通过对方程式的推导、正负反馈不同情形下的方程推导，得到结论：不能简单的通过正负反馈来判断绘制根轨迹的类型，本质是通过根轨迹方程来判断，引申到课程思政切入点：“善于透过现象看本质的思维方式”，借助毛泽东的语录讲话举例说明，进一步强调该思维方式。
关键词	根轨迹、根轨迹方程、开环传递函数、透过现象看本质
编写时间	2025-4-23
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养学生的科学思维；透过现象看本质。
素材长度	1097 个字

案例正文	知识点内容：根轨迹方程 (1) 根轨迹方程 根据下面结构图，求闭环传递函数和根轨迹方程。  闭环传递函数： $\Phi(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$ 闭环特征方程： $1+G(s)H(s)=0$ 根轨迹方程： $G_K(s)=G(s)H(s)=-1$
案例正文	$G(s)H(s) = \frac{K^* \prod_{i=1}^m (s - z_i)}{\prod_{j=1}^n (s - p_j)}$ 若 $G_K(s)=G(s)H(s)=-1$ ，则绘制 180 度根轨迹。 若 $G_K(s)=G(s)H(s)=1$ ，则绘制 0 度根轨迹。 (2) 判断题

例题 试判断下列系统绘制哪一种根轨迹？

(1) **负反馈**系统的开环传递函数为 $G(s)H(s) = \frac{K(s+2)}{s(s+1)(s+3)}$ **180度**

(2) **正反馈**系统的开环传递函数为 $G(s)H(s) = \frac{K(s+5)}{s(s+4)}$ **0度**

(3) **负反馈**控制系统的开环传递函数为 $G(s)H(s) = \frac{K^*(-s^2-s+2)}{s(s^2+2s+5)}$ **0度**

举例说明：第 3 个 $G(s)H(s) = \frac{K^*(-s^2-s+2)}{s(s^2+2s+5)}$ ，推导根轨迹方程可以发

现：不能仅仅通过正负反馈就直接得到绘制哪一种根轨迹的结论，具体要从根轨迹方程的本质出发。

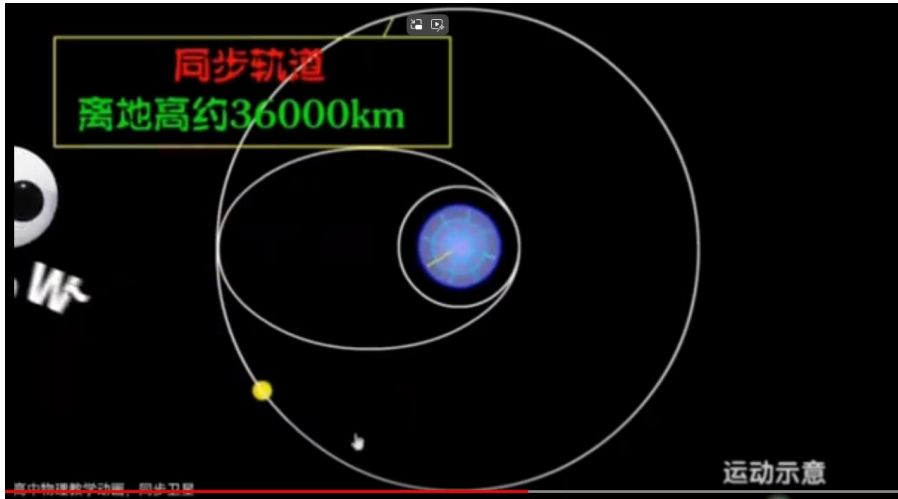
讲授，启发学生思考：根轨迹一旦穿越虚轴进入 S 右半平面，系统便由稳定（或临界稳定）转变为本质不稳定（发散），无法正常工作甚至崩溃。虚轴就是判断系统是否失稳的刚性边界。工程设计中，必须严格避免根轨迹越过虚轴或确保有足够的稳定裕度。

思政升华：透过现象看本质

毛泽东曾讲：“我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”土地革命战争时期，面对黑云压城、白色恐怖、革命低潮，我们党透过极为险恶和残酷的环境，看到了“星星之火，可以燎原”的革命必胜前景，为中国革命指明了正确方向；党的十一届三中全会后，我们党总结正反两方面经验教训，抓住了“社会主义的本质”，为经济发展和国家富强开辟了道路。当前，面对世界百年未有之大变局，以习近平同志为核心的党中央，洞察我国发展环境面临的深刻复杂变化，作出我国发展仍然处于重要战略机遇期，我们正处于大有可为的新时代的重要论断，为广大党员矢志奋斗鼓足了劲、加满了油。实践表明，只有善于透过现象看本质，才能科学认识事物的客观规律，准确把握时代的发

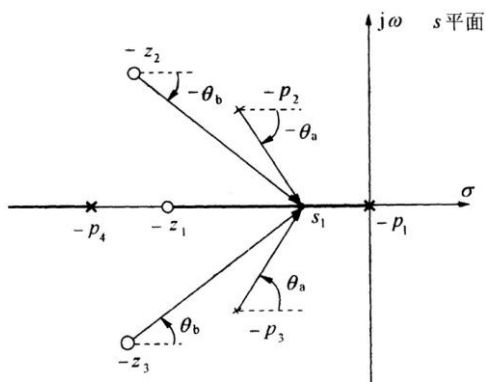
	展大势，从而正确地指导实践。  图 1 土地革命
分析评价	本案例通过根轨迹方程的概念推导，辨析正负反馈下不同开环传递函数绘制哪一种根轨迹的类型，引申到透过现象看本质。通过毛泽东同志在土地革命时期面对复杂的局势得到革命必胜的前景案例，进一步升华了该育人主题。课程思政切入点自然，既强化了知识点的本质，又通过伟人毛泽东的例子做了进一步强化说明，同时加深了历史观，实现了知识传授与价值塑造的双重目标。
评 价 者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-403
案例标题	幅值条件和相角条件
案例来源	原创案例
内容简介	本案例以航天器轨道调整为背景，通过动画视频演示航天器轨道调整过程，引导学生讨论，说明航天器轨道调整需同时满足幅值（推力大小）和相角（方向精度）条件。若相角误差过大，即使推力足够仍会偏离轨道，引申“细节决定成败”的工匠精神。同时，给出 2 个条件的应用。
关键词	根轨迹，幅值条件，相角条件，细节决定成败
编写时间	2025-4-25
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	视频、文字、图片
育人主题	培养学生细节决定成败的工匠精神
素材长度	1459 个字

案例正文	知识点内容：幅值条件和相角条件 公式推导： $G(s)H(s) = \frac{K^*(s-z_1)\cdots(s-z_m)}{(s-p_1)(s-p_2)\cdots(s-p_n)} = -1$ 幅值条件： $ G(s)H(s) = \frac{K^* s-z_1 \cdots s-z_m }{ s-p_1 s-p_2 \cdots s-p_n } = K^* \frac{\prod_{i=1}^m (s-z_i) }{\prod_{j=1}^n (s-p_j) } = 1$ 相角条件： $\angle G(s)H(s) = \sum_{i=1}^m \angle(s-z_i) - \sum_{j=1}^n \angle(s-p_j) = (2k+1)\pi$ 应用：幅值条件主要用于求根轨迹上某一点对应的根轨迹增益 K^* 值。 相角条件主要用于判断某一点是否在根轨迹上。
案例正文	【实例分析】航天器轨道调整图片和视频  图 航天器轨道调整动画 引导学生讨论：航天器轨道调整时，需要满足哪些条件?空间中的一个航

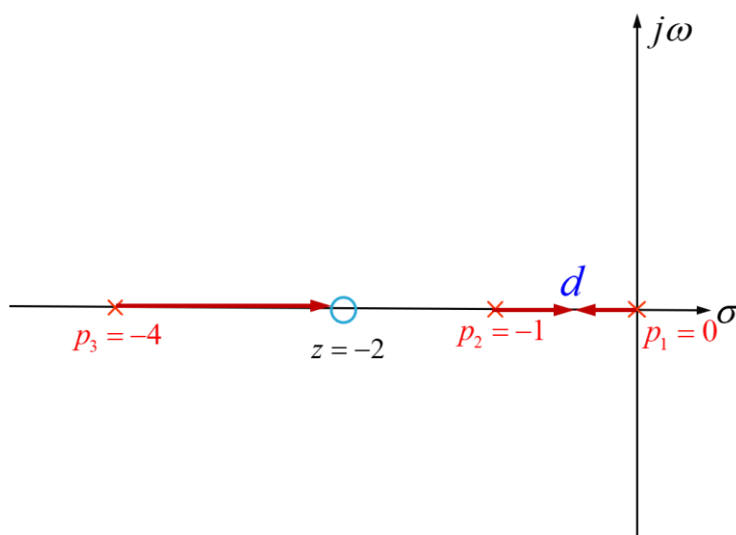
	天器，怎样判断这个它在不在跑道上？ 思政升华：细节决定成败 航天器变轨过程中，若相角误差过大，即使推力足够仍会偏离轨道。所以，细节决定成败，引导学生在日常的学习生活中，要注意做事的细节，对于控制系统设计中的要求指标，一定要严格对照指标进行设计，不能似是而非、模棱两可。
分析评价	本案例通过航天器的变轨，和根轨迹中幅值条件和相角条件联系起来，变轨的角度有误差时，航天器会偏离轨道，进而引申出细节决定成败的工匠精神。课程思政元素根轨迹深度融合，既强化了学生对 2 大条件的理解，又培育了细节决定成败的工匠精神意识，实现了专业知识与价值引领的有机统一。
评 价 者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-404
案例标题	实轴上的根轨迹
案例来源	原创案例
内容简介	本案例以典型开环传递函数为例子，通过板书或课件画出零极点分布，根据法则 3 得到实轴上的根轨迹。然后采用类比法，将“极点比喻为男生，零点比喻为女生”（注：该比喻会贯穿整个根轨迹 8 大法则），引导学生思考讨论：“为什么距离较近的零极点没有走到一起呢？”。引申到刘震云的小说《一句顶一万句》，借此说明“沟通能力很重要”。
关键词	根轨迹，实轴上的根轨迹，沟通能力
编写时间	2025-4-24
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	职业素养：沟通能力
素材长度	1086 个字

案例正文	知识点内容：实轴上的根轨迹 法则 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，则该区域必是根轨迹。 思考： 在确定实轴上的根轨迹时，为什么不考虑开环复数零极点的影响？为什么不考虑左边的零极点的影响？ 逐个分析： 
案例正文	① $(s_1 - p_2)$、$(s_1 - p_3)$ 两向量对称于实轴，引起的相角大小相等、方向相反； $(s_1 - z_2)$、$(s_1 - z_3)$ 两向量也对称于实轴，引起的相角大小相等、方向相反； $\therefore$ 判断 s_1 是否落在根轨迹上，共轭零、极点不考虑。 ② 位于 s_1 左边的实数零、极点：$(s_1 - z_1)$、$(s_1 - p_4)$ 向量引起的相角为 0° $\therefore$ 判断 s_1 是否落在根轨迹上，位于 s_1 左边的零、极点不考虑。 ③ 位于 s_1 右边的实数零、极点：每个零、极点提供 180° 相角，其代数和为奇数，则满足相角条件。 结论： s_1 右边的开环实数零、极点个数的总和为奇数，则 s_1 位于根轨迹上。 【典例分析】 思考下列开环传递函数的实轴上根轨迹

$$G(s) = \frac{K^*(s+2)}{s(s+1)(s+4)}$$

其实轴上的根轨迹为：（-4， -2）和（-1， 0）。



引导学生讨论：极点看作男生，零点看作女生，为什么与零点-2 靠的很近的极点-1，它俩之间没有形成根轨迹？反而是离得较远的极点-4，它和零点-2 走到了一起？看来近水楼台，未必先得月呀！也许-4 和-2 在一起会更有话说，虽然离得远，但是心有灵犀一点通！一个眼神就知道对方要什么。

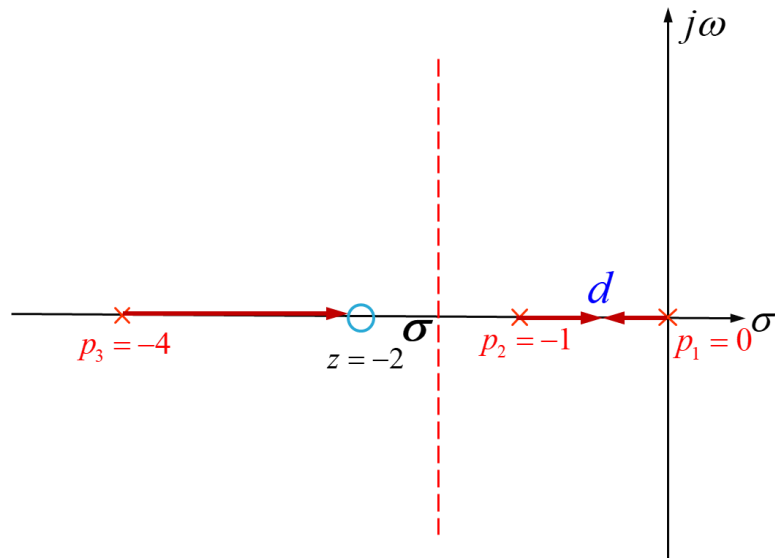
思政升华：沟通能力在学习工作生活中很重要！

茅盾文学奖作品：刘震云老师的小说《一句顶一万句》，这个书名也是小说里的一句口头禅，意思是说：一句话就能解决一万个问题,而一万句话也抵不上一句话。一句话可以成就一个人，也可以毁掉一个人。

	举例说明：【正面案例】1983 年，为了扭转颓势，苹果公司创始人乔布斯力邀百事可乐历史上最年轻的总裁约翰·斯卡利加盟。乔布斯对他说：“你是要卖一辈子糖水，还是想有机会改变世界？”就这一句话，说服了意气风发的斯卡利。 【反面案例】2019 年 2 月，翟天临因在直播中回答网友提问时，“知网是什么东西？”，他的博士学位真实性受到质疑。调查后，2 月 19 日，北京电影学院发布关于“翟天临涉嫌学术不端”等问题的调查进展情况说明，宣布撤销翟天临博士学位，取消陈浥博导资格。 【注】鉴于该知识点实际讲授时间关系，不宜做过多展开讨论。
分析评价	本案例通过类比法，将极点比喻为男生，零点比喻为女生，通过例题来引申说明沟通能力很重要。课程思政元素融入自然，尺度把握得当，既强化了学生对实轴上根轨迹这个法则的理解，又强调了沟通能力很重要的，实现了专业知识与价值引领的有机统一。
评 价 者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-405
案例标题	根轨迹的渐近线
案例来源	原创案例
内容简介	本案例以典型开环传递函数的零极点分布，画出根轨迹的渐近线。然后采用类比法，将“极点比喻为男生，零点比喻为女生”（注：该比喻会贯穿整个根轨迹 8 大法则），引导学生思考讨论：“没有找到对象的极点，他们又该走向哪里呢？需要为他们指引方向”。引申渐近线就是指引方向的，借此说明“核心价值观是我们人生路上的渐近线”
关键词	根轨迹，根轨迹的渐近线，核心价值观
编写时间	2025-4-24
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片、视频
育人主题	职业素养：坚守核心价值观
素材长度	2284 个字

案例正文	知识点内容：根轨迹的渐近线 法则 4：根轨迹的渐近线 当开环极点数 n 大于开环零点数 m 时，系统有 $n-m$ 条根轨迹终止于 S 平面的无穷远处，这 $n-m$ 条根轨迹变化趋向的直线叫做根轨迹的渐近线，因此渐近线也有 $n-m$ 条，且它们交于实轴上的一点。 渐近线与实轴的交点位置和与实轴正方向的交角分别为： $\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - \sum_{j=1}^m Z_j}{n-m} = \frac{\sum \text{极点坐标} - \sum \text{零点坐标}}{\text{极点数} - \text{零点数}}$ $\varphi = \frac{\pm(2k+1)\pi}{n-m}, (k=0,1,2,\dots,n-m-1)$ 渐近线法则是 $n > m$ 时，$n-m$ 条根轨迹趋于无穷远处的规律。取 $(n-m)$ 个不同的倾角。 典例分析：求下列开环传递函数的渐近线 $G(s) = \frac{K^*(s+2)}{s(s+1)(s+4)}$
案例正文	渐近线与实轴交点： $\sigma = \frac{-1-4-(-2)}{3-1} = -\frac{3}{2}$ 渐近线与实轴正方向的夹角： $\varphi = \frac{\pm\pi}{2}$



讲授，启发学生思考：极点看作男生，零点看作女生，落在实轴上的零点有 1 个，极点有 3 个，零点-2 属于极点-4 的，剩下的 2 个极点就只能去无穷远处寻找他们的“对象”了。那茫茫的 S 平面，沿着什么方向走，才能找到他们的对象呢？此时渐近线出来了，渐近线指引了个方向，让极点沿着渐近线走，就可以找到他们的对象。正所谓：远方有佳人，念尔在黄昏。远方对应的就是 S 平面的无穷远处。

思政升华：方向性与坚守核心价值

如同根轨迹渐近线是由开环系统的零极点分布决定的长期稳定方向，每个人内心深处的核心价值观念（如诚实、公正、责任、爱国、奉献）是我们在人生道路上判断方向、做出选择的终极“渐近线”。它在迷茫、诱惑和复杂环境中，为我们提供深远的导航和力量源泉。

渐近线定义了大方向，核心价值定义了人生的“大方向”。无论现实轨迹如何曲折调整（根轨迹分支），最终的行为和选择（闭环极点）会趋向于这个由内心价值标尺决定的方向（渐近线），尤其是在“增益”很大（面对重大考验或长远目标）时。

引导学生思考：面对学业、职业、社会活动中的选择，能否明确并坚守自己内心的“渐近线”（核心价值）？集体（国家、组织）是否有共

同的“渐近线”（核心价值观）？这对个体和集体走向何方、是否“稳定”至关重要。

【教师引导话语】“同学们，我们看到渐近线为整个根轨迹绘制了长期稳定的方向。这让我联想到人生的旅途。在一个充满选择和变化的世界里，我们每个人内心深处是否也有这样一根指引方向的‘渐近线’？它可能就是我们坚守的原则、信念，我们内心衡量是非曲直的那把‘尺子’或那个‘天平’”。



“大家看，渐近线的方向夹角取决于 $(n-m)$ 的值，也就是系统内在的结构特性。类比到人的价值观，决定我们人生大方向的‘内在结构’是什么？可能是家庭的教育、文化的熏陶、个人的经历和反思。 n 可以是梦想与追求， m 可以是规则与责任，两者的差异塑造了我们独特的人生路径方向。这个公式不是冷冰冰的，它蕴含着人生的哲学——方向来源于内在的驱动力和约束力的对比与平衡。”

【课堂讨论环节设计】

提问：“结合专业学习，大家认为工程师应具备的核心价值观是什么？（比如安全第一、创新务实、精益求精、诚信责任）这些‘价值渐近线’将如何指引你在未来工程实践中的决策？”（将个人尺子引申到专业尺子）

【案例分析】知名科学家赵学军成间谍，国家安全防线受考验
文字素材：

赵学军出身农村，凭借优异成绩考入大学，保送北京名校攻读航天专业硕士，毕业后进入中科院航天科研机构。作为农村走出的“天之骄子”，他拥有体面工作、北京家庭，却因出身长期自卑——在妻子家族中自觉被轻视，工作中发现同事才华远超自己，同期入职者晋升迅速而自己停滞不前，心理落差日益加深。



2009 年，赵学军赴美深造期间，一名伪装成学者的境外情报人员主动接近他，通过频繁社交活动、过度吹捧其才能，满足其长期缺失的认同感。建立信任后，对方以“学术交流”名义引诱赵学军提供航天专业知识，逐步将其拉入间谍网络。留学结束时，对方亮明情报人员身份，以每月 1000 美元报酬及“实现价值”的承诺诱使其签约。



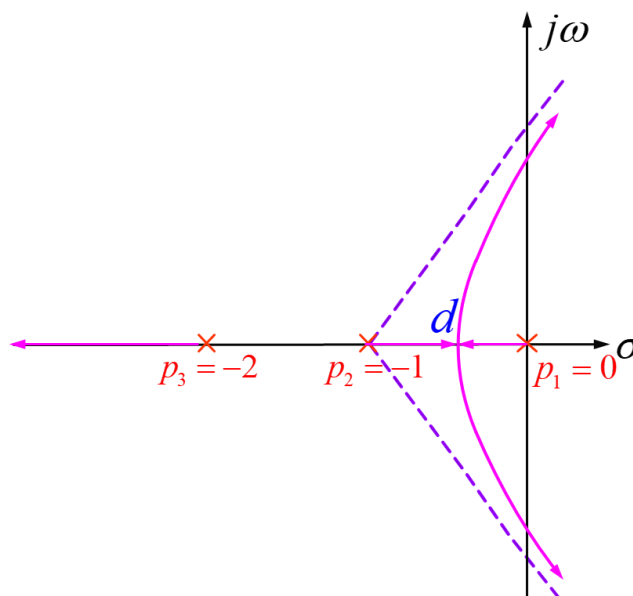
回国后，赵学军利用职务之便，借加班之名用 U 盘窃取机密：

- 凭借留学背景参与多个重大项目，晋升至核心岗位；
- 十年间持续泄露卫星研发等关键技术，情报密级不断提升；
- 境外机构额外支付 10 万元“犒劳费”，使其在虚假“成就感”中

	越陷越深。 2019 年某项目庆功宴上，赵学军企图再次窃密时独自返回实验室，被国安人员察觉异常。调查发现其多次异常操作，并查获窃听设备。证据确凿后，赵学军供认：犯罪动机除金钱外，更多是境外机构对其“能力认可”带来的心理补偿。2023 年，其间谍行为被央视曝光，最终获刑 7 年、没收财产 20 万元。  赵学军的悲剧源于长期自卑导致的价值观扭曲——为填补心理落差，不惜以国家机密换取境外虚假“尊重”，最终从航天精英沦为阶下囚。此案警示：维护国家安全需警惕境外情感驯化与价值观渗透，涉密人员心理建设与忠诚教育至关重要。 视频素材：课堂播放警示案例教育（赵学军事件）。
分析评价	本案例通过类比法，将“渐近线指引方向”引申为“每个人心中有自己的一把尺子/天平”，深化了科学概念与人生哲学的联结，教师引导话语设计和课堂讨论设计巧妙，同时通过案例分析进一步加深对价值观对人生的重要指导作用。课程思政元素融入自然，尺度把握得当，既强化了学生对根轨迹渐近线的理解，又强调了坚守核心价值观的重要性。实
评 价 者	该案例分析与评价人的姓名、职称和所在单位

案例编号	20045111-406
案例标题	根轨迹的分离点
案例来源	原创案例
内容简介	本案例根据典型开环传递函数的零极点分布，得到根轨迹的分离点，极点在分离点处奔向不同的地方。然后采用类比法，启发学生：“根轨迹在分离点分道扬镳，人生在关键抉择处走向不同轨迹”。借此强调“把握机遇、科学规划的意识”。
关键词	根轨迹，根轨迹的分离点，科学规划
编写时间	2025-4-26
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片、视频
育人主题	个人成长：人生临界点的关键抉择与方向锚定
素材长度	1008 个字

案例正文	知识点内容：根轨迹的分离点 法则 5：根轨迹的分离点 两条或两条以上的根轨迹分支在 S 平面上相遇又分离的点，分离点的坐标 d 是如下方程的解： 根轨迹在 s 平面上相遇，表明系统有相同的根。即在分离点和会合点处必有闭环特征重根。 经典法求解：公式如下： $\sum_{i=1}^m \frac{1}{s - z_i} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{s - p_j}$
案例正文	开环传递函数为： $G(s) = \frac{K^*}{s(s+1)(s+2)}$ 根轨迹如下：



$s = -0.423$ 为分离点 d 的坐标。

讲授，启发学生思考：根轨迹上的分离点是系统参数变化导致闭环极点配置发生根本性变化的临界点，不同极点在此处选择了完全不同的演化路径。分离前，都是负实根，系统的响应无超调，分离后，变为实部为负的共轭复数根。所以分离点是系统响应模态发生根本性变化的临界点。这犹如人生或项目进展中的重大决策节点。

思政升华：人生临界点的关键抉择与方向锚定

人生的道路并非只有一条直线，会面临多个分岔路口（临界点/分离点）。在这些**关键节点（升学、择业、项目决策）**，对未来的清晰规划、对自我和环境的深刻认知以及坚定的目标方向感至关重要。缺乏规划或方向不明，可能导致路径偏离目标甚至陷入困境。

引导学生讨论：回顾你自己经历过的重大人生选择（如高考选专业），当时的决策点是否像根轨迹的分离点？你有提前规划不同的‘轨迹分支’及其可能的‘稳定性’吗？结果如何？”

【融入素材】作家柳青在《创业史》中写道：

“人生的道路虽然漫长，但紧要处常常只有几步，特别是当人年轻的

	时候。”(柳青)。作家的这句话,点明人生抉择关键点的存在及其重要性。 《礼记·中庸》中也写到:“凡事预则立,不预则废。”,强调了规划的重要性。
分析评价	本案例根据分离点的定义,通过分离点处系统响应模态会发生根本性变化得到“分离点是重要的临界点”,然后引申为“人生临界点的关键抉择与方向锚定”。课程思政元素融入自然,尺度把握得当,既强化了学生对根轨迹分离点的理解,又强调了规划的重要性,实现了专业知识与价值引领的有机统一。
评 价 者	袁训锋,教授,商洛学院

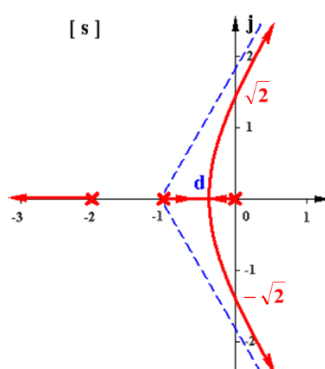
案例编号	20045111-407
案例标题	根轨迹与虚轴的交点
案例来源	原创案例
内容简介	本案例根据典型开环传递函数的零极点分布，得到根轨迹图，根轨迹与虚轴相交时，一部分根轨迹会进入到 S 右半平面，此时系统由临界稳定变得不稳定。采用类比法，启发学生：“筑牢底线思维，底线是生命线”，各行各业都存在不容触碰的“底线（虚轴）”。
关键词	根轨迹，根轨迹与虚轴的交点，底线思维
编写时间	2025-4-27
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片、视频
育人主题	职业素养：底线思维：恪守行业底线，遵守职业道德
素材长度	2249 个字

案例正文	知识点内容：根轨迹与虚轴的交点 法则 6：根轨迹与虚轴的交点 根轨迹与虚轴的交点就是闭环系统特征方程的纯虚根（实部为零）。 方法 1：(1) 用 $s=j\omega$ 代入特征方程可得 $D(s) _{s=j\omega} = D(j\omega) = 0$ 令此方程中虚部为零,即可求得 根轨迹与虚轴的交点处的频率为 ω。 用 ω 代入实部方程,即可求出系统开环根轨迹临界值 K_c。 方法 2：(2) 利用劳斯表求取。将劳斯表中 s^2 行系数构造的辅助方程求得。若根轨迹与虚轴的交点多于两个,则应取劳斯表中大于 2 的偶次方行的系数构造的辅助方程求得。
案例正文	开环传递函数为: $G(s) = \frac{K^*}{s(s+1)(s+2)}$, 求根轨迹。 求解根轨迹与虚轴交点如下: $D(s) = s(s+1)(s+2) + K^* = s^3 + 3s^2 + 2s + K^* = 0$ 解法 I: Routh $ \begin{array}{rcl} s^3 & 1 & 2 \\ s^2 & 3 & K^* \\ s^1 & \frac{6-K^*}{3} & \\ s^0 & K^* & \end{array} \Rightarrow \begin{cases} \text{令 } K^*=6 \\ \left\{ \begin{array}{l} 3s^2+6=0 \\ s=\pm j\sqrt{2} \end{array} \right. \\ K^*<6 \\ K^*>0 \end{cases} $

解法 II :

$$D(j\omega) = -j\omega^3 - 3\omega^2 + j2\omega + K^* = 0$$
$$\begin{cases} \operatorname{Re}[D(j\omega)] = -3\omega^2 + K^* = 0 \\ \operatorname{Im}[D(j\omega)] = -\omega^3 + 2\omega = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \omega = \pm\sqrt{2} \\ K^* = 6 \end{cases}$$

根轨迹如下:



可以看出, 当 $K^* > 6$ 时, 根轨迹进入到 S 右半平面, 系统变得不稳定。稳定时的开环增益 K 的范围为: $0 < K < 3$ 。

讲授, 启发学生思考: 根轨迹一旦穿越虚轴进入 S 右半平面, 系统便由稳定 (或临界稳定) 转变为本质不稳定 (发散), 无法正常工作甚至崩溃。虚轴就是判断系统是否失稳的刚性边界。工程设计中, 必须严格避免根轨迹越过虚轴或确保有足够的稳定裕度。

思政升华: 筑牢底线思维, 底线是生命线。系统增益有临界, 人生风险有底线。

各行各业 (包括工程师、管理者、技术人员) 都存在不容触碰的“底线” (虚轴) —— 国家法律法规、行业规范、技术安全标准、职业道德伦理、数据与隐私保护边界等。

突破这些底线 (根进入右半平面), 无论行为动机如何, 无论前期如何“稳定” (系统性能看似良好), 都将导致严重的个人事业“失稳” (职

	业危机、法律制裁)、组织“崩溃”(声誉受损、经营危机)甚至社会危害(安全事故、信任崩塌)。必须深刻认识到底线失守的必然代价(系统的必然发散)。 不抱侥幸心理,不踩“红线”,不打“擦边球”。要将“禁止越界”转化为内在的自律(设计安全裕度),为自己划定远低于正式底线的更高行为标准或更宽的安全边界(更严格的自我约束),确保在任何情况下都不会“穿越虚轴”(突破底线)。 【思政链设计】 上一条设计分离点思政点时,重点在“抉择与规划”,这次设计与虚轴交点思政点时,则需要转向“边界与约束”。2个思政点构建完整的思政链条:先教会学生在人生关键点如何规划方向(分离点),再强调任何时候都不能突破底线(虚轴)。 【讲授方式】 教师用 MATLAB 等工具动态演示根轨迹随着参数(如 K 增大)如何逐步接近虚轴、然后穿越虚轴进入右半平面的过程。 教师讲解:“这个决定系统生死存亡的‘虚轴’,恰恰像极了我们职业发展和事业运作中必须牢牢守护的‘生命线’——法律、伦理、安全、道德的底线!当行为逾越这些底线(极点进入右半平面),‘稳定’即告终结,‘危机’随即爆发,且不可逆转(发散持续)。” 引导学生讨论: 讨论 1:设想一个场景:工程师在设计一款涉及人身安全的设备(如汽车制动系统、电梯控制)时,发现某个参数的变化会使系统根轨迹穿越虚轴(模拟某种隐患)。工程师的选择至关重要:是隐瞒风险匆忙上线(突破底线),还是坚持原则改进设计(远离虚轴)?后果有何天壤之别?(引导学生深入讨论责任后果)” 讨论 2:“在你所学的专业/未来想从事的行业中,最关键的‘虚轴’(底线)是什么?具体表现在哪些方面(法律法规?技术安全?数据伦理?)?”
--	---

讨论 3：“现实中，有哪些‘打擦边球’最终导致个人或企业‘系统失稳’（身败名裂/破产倒闭）的真实例子？”（可预告或回忆案例）

【融入素材 1】携程“大数据杀熟”事件



（2020 年，司法判例）携程钻石会员胡女士预订酒店支付 2889 元，退房时发票显示仅 1377.63 元。法院认定携程隐瞒代理关系、利用用户画像欺诈，判决“退一赔三”。

案例警示：滥用算法和用户数据（突破商业伦理和隐私保护底线“虚轴”），导致用户信任崩塌（系统失稳），企业被处罚，声誉严重受损。

【融入素材 2】天眼"FAST 射电望远镜——南仁东团队的"毫米级精度"执着

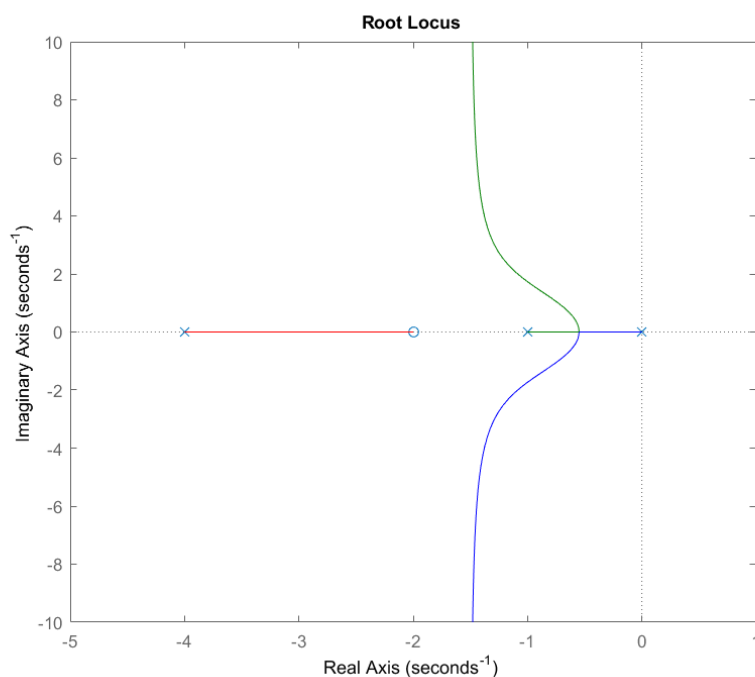
南仁东团队踏遍贵州数百个喀斯特洼地，只为找到最符合无线电静默、地质稳定要求的场址，对潜在干扰风险"零容忍"。FAST 的柔性索网需承受巨大张力变形，精度要求达毫米级。团队拒绝降低标准，历时 2 年攻克世界级技术难题，实现核心部件国产化。面对各方对进度的催促，南仁东坚持"慢工出细活"："做不好，FAST 就只是个概念"。苦心人天不负，南仁东团队终于建成世界最大、最灵敏的单口径射电望远镜，使中

	国在射电天文领域领先世界！推动了多项尖端材料与结构技术创新！ 南仁东团队在浮躁中坚守"科学精度"的底线，就是守护国家科技尊严的"虚轴"。 国家重大工程的辉煌成就，无一不是将"质量安全"与"科学诚信"的底线视为高压线与生命线，以远超常规的严苛标准（相当于设计巨大的稳定裕度）守护"系统"（工程、生命、环境）永在稳定区运行的必然结果。它们是"虚轴即底线"在现实中最为磅礴的注脚。
分析评价	本案例根据“根轨迹与虚轴的交点”，通过根轨迹进入 S 右半平面系统将变得不稳定，由此出发，引申为“虚轴即底线”。课程思政元素融入自然，尺度把握得当，既强化了学生对根轨迹法则 6 的理解，又强调了底线思维的重要性，实现了专业知识与价值引领的有机统一。
评 价 者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-408
案例标题	根轨迹 8 大法则之间的关系
案例来源	原创案例
内容简介	本案例将“极点比喻为男生，零点比喻为女生”，旨在通过类比的方法将根轨迹 8 大法则串联起来，并通过 3 个典型开环传函进行说明。，培养系统思维和全局观。全程比喻一致性，启发学生：“根轨迹 8 大法则，是极点和零点的爱情兵法，更是人生的系统规划指南”。
关键词	根轨迹，根轨迹 8 大法则，系统思维
编写时间	2025-4-27
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片、 AI 智能体
育人主题	系统思维和全局观
素材长度	1946 个字

案例正文	知识点内容：根轨迹 8 大法则 法则 1：根轨迹的起点和终点。根轨迹起始于开环极点，终止于开环零点或无穷远处。 【类比】男生追女生时，一般都是男生是主动的一方，所以根轨迹起始于开环极点。 思政映射：成功源于清晰目标与系统规划。如同男生需明确追求对象（零点）并制定计划，人生/事业需树立远大志向（“无穷远”目标），并基于自身定位（极点）制定全局性路径（根轨迹），避免盲目行动。 法则 2：根轨迹的分支数、对称性、连续性。根轨迹的分支数 $=\max(n,m)$，一般是 $n>m$。根轨迹关于实轴对称。根轨迹是连续的曲线，不是断断续续的线。 【类比】一般是男多女少，根轨迹的分支数当然就取决于男生个数。男生追女生，肯定要持续的表示自己喜欢对方，给对方传递信号，不能三天打头两天晒网，不能断断续续的忽冷忽热。
案例正文	法则 3：实轴上的根轨迹。实轴上的某一个区域，若其右边开环实数零极点个数之和为奇数，则该区域必然是根轨迹。 【类比】法则 3 解决了落在实轴上的零极点的归属问题。零点的归属，不是看距离的远近，而是根据法则 3 来定。如果某个极点善于沟通，距离的远近就不是问题。 法则 4：根轨迹的渐近线。$n>m$ 时，有 $n-m$ 条根轨迹奔向无穷远处。需计算渐近线与实轴的交点位置、夹角。 【类比】渐近线为奔向无穷远处的极点指引了方向，类似的，佳人在远方，实轴上没有找到对象（零点）的极点接下来要去无穷远处找对象了，也需要指引个方向。 法则 5：根轨迹的分离点。当 2 条或 2 条以上的根轨迹相遇时，会产生分离点或汇合点。

	【类比】分离点处，系统的根会发生根本性的变化。例如分离点处常常是实根转变为复数根，汇合点处，是复数根转变为实根。故分离点属于重大决策节点，例如男生向女生表白的日子、结婚的日子，这些都属于重大决策节点。 法则 6：根轨迹与虚轴的交点。根轨迹有可能会与虚轴相交，相交时的位置和 ω 可以通过劳斯判据计算，也可以将 $s=j\omega$ 带入 $D(s)=0$ 计算。 【类比】虚轴这条线属于“稳定”和“不稳定”的分界线，也是底线。男女交往时，需要相互尊重，相互平等的谈恋爱，遵循社会公德，不得做出有违背底线的事情。 法则 7：起始角和终止角。当开环传递函数存在复数极点和复数零点时，需要计算起始角（开环极点出发时的方向和水平轴的夹角）和终止角（终止于开环零点时的切线方向和水平轴的夹角）。 【类比】起始角：男生追女生时需要找准角度，男生需要知道对方喜欢什么，A 喜欢美食，B 喜欢运动，C 喜欢音乐，找准对方的喜好角度，然后执行才能获得成功。只有起始角找对了，才能以对方喜欢的角度（终止角）被对方接纳（终止于零点），才能配对成功！ 法则 8：根之和。$n-m \geq 2$ 时，闭环极点之和等于开环极点之和。一部分根轨迹向左运动时，另一部分根轨迹向右运动。 【类比】每个男生，只要他勇于追寻爱情，总能找到喜欢的对象。当他在追班上的某个女生时（一部分根轨迹向左运动时），他的朋友们就要追其他女生（另一部分根轨迹向右运动）。 $G(s) = \frac{K^*(s+2)}{s(s+1)(s+4)}$ 典例讲解：开环传递函数：
--	--



【AI 智能体互动】



自控高手

虚拟高手，以幽默方式解读自动控制原理课程知识。

0 1人聊过 · 创建人 @皮艾迪PID



豆包
你的AI助手



学生可以下载豆包 app，搜索智能体“自控高手”，然后询问智能体“请你谈一谈根轨迹 8 大法则之间的关系”，智能体会给出回答。教师可以根据智能体的回答内容和学生进行点评互动。

思政升华：

①目标导向的全局规划

成功源于清晰目标与系统规划。如同男生（极点）需明确追求对象

	（零点）并制定计划，人生/事业需树立远大志向（“无穷远”目标），并基于自身定位（极点）制定全局性路径（根轨迹），避免盲目行动。 ②关键节点的策略选择 人生重大决策需系统分析与风险预判。在关键节点（如分离点），需综合评估自身条件（极点位置）、对方反馈（零点影响），选择最优路径（稳定分支），规避风险路径（失稳分支）。 ③边界意识与底线守护 全局成功需恪守伦理与规则边界。任何追求（系统行为）不可突破道德法律底线（虚轴），否则将导致系统性崩溃（关系破裂/法律后果）。
分析评价	本案例采用类比的方法，将极点比喻为男生，零点比喻为女生，从而将抽象的根轨迹转化为男生追女的爱的轨迹，讲解中渗透课程思政点，润物无声，同时课程引入了 AI 智能体进行互动。课程思政元素融入自然，尺度把握得当，既强化了学生对根轨迹 8 大法则的理解，又强调了各个思政点，实现了专业知识与价值引领的有机统一。
评 价 者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-409
案例标题	利用根轨迹分析系统性能
案例来源	原创案例
内容简介	本案例讲授利用根轨迹分析系统的稳态性能和动态性能，稳态性能方面，通过公式引导学生观察 K^* 的变化对稳态性能的影响，得到变与不变的量，引申出正视系统本身的局限性，尊重规律。通过主导极点的变化对动态性能的影响，引申追求精确、寻求最优解的工匠精神。
关键词	根轨迹，动态性能，稳态性能，工匠精神
编写时间	2025-4-28
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片、
育人主题	尊重规律和科学严谨、追求卓越与精益求精的工匠精神
素材长度	2239 个字

案例正文	知识点内容：利用根轨迹分析系统性能 闭环系统暂态响应的性能由闭环传递函数的零、极点所决定，而闭环系统的零、极点可由根轨迹法确定。如何根据已知的闭环零、极点去定性分析系统的性能呢？ 闭环系统的零、极点的位置对系统时间响应性能的影响： ①稳定性：若闭环极点全部位于 S 左半平面，则系统一定是稳定的。 ②运动形式：若闭环系统无零点，且闭环极点均为实数极点，则时间响应一定是单调的；若闭环极点均为复数极点，则时间响应一般是振荡的。 ③超调量：取决于闭环复数主导极点的衰减率 $\sigma_1/\omega_d = \xi/\sqrt{1-\xi^2}$，并与其它闭环零、极点接近坐标原点的程度有关。 ④调节时间：主要取决于最靠近虚轴的闭环复数极点的实部 的绝对值 $\sigma_1 = \xi\omega_n$ (近似成反比)；若实数极点距虚轴最近且其周围没有实数零点，则调节时间主要取决于该实数极点的幅值。
案例正文	⑤实数零、极点的影响：零点减小系统的阻尼，使峰值时间减小，超调量增大；极点反之。它们的作用随着其本身接近坐标原点的程度而加剧。一部分根轨迹向右运动。 ⑥偶极子(距离很近的闭环零、极点常称为偶极子)及其处理：若零、极点间的距离比它们本身的幅值(模值) 小一个数量级，则它们就构成了偶极子。在对系统进行分析时，其影响可以忽略不计。 ⑦主导极点：在 S 平面上，最靠近虚轴而附近又没有闭环零点 的一些闭环极点，对系统性能影响最大，称为主导极点。凡比主导极点的实部大 3~5 倍以上的其它闭环零、极点，其影响均可忽略。 稳态性能：系统对阶跃、斜坡等输入信号的最终跟踪精度。由系统的型别（开环传递函数中积分环节数 ν）和开环增益 K 共同决定，与闭环极点的位置无关（无差系统的闭环极点位于左半平面即可保证稳态性

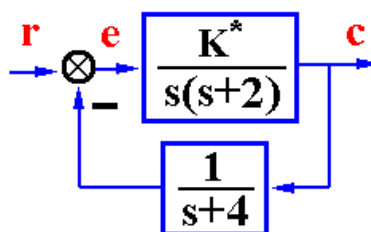
能)。

阶跃输入稳态误差：0 型系统为常数，I 型及以上系统为 0。

斜坡输入稳态误差：0 型系统无穷大，I 型系统为常数（反比于开环增益 K_v ），II 型及以上系统为 0。

抛物线输入稳态误差：0、I 型系统无穷大，II 型系统为常数（反比于开环增益 K_a ），III 型及以上系统为 0。

【典例讲解】例 1 已知系统结构图， $K^* = 0 \rightarrow \infty$ ，绘制系统根轨迹并确定：



$$G(s) = \frac{K^*(s+2)}{s(s+1)(s+4)}$$

(1) 使系统稳定且为欠阻尼状态时开环增益 K 的取值范围；

(2) 复极点对应阻尼比为 0.5 时的 K 值及闭环极点位置；

(3) 当 $\lambda_3 = -5$ 时， $\lambda_{1,2} = ?$ 相应 $K = ?$

【思考讨论】

Q1：根轨迹图中极点的移动，可以改变系统的型别吗？ K 越大稳态性能就越好吗？

Q2：什么是主导极点？主导极点位置的改变，对系统性能有什么影响？

【思政元素挖掘】①尊重规律与科学

稳态误差主要由系统的固有属性（型别 v ）和开环增益 K 决定。这是由系统结构决定的客观规律，不能随意改变。根轨迹图中极点的移动无

法改变系统的型别，即稳态误差的“本质属性”。增益 K 虽然可以在一定范围内调整稳态误差大小（对于斜坡和抛物线输入），但受制于根轨迹的位置和系统其他约束（如稳定性）。必须正视系统本身的局限性。

②追求卓越与精益求精的工匠精神

根轨迹分析并非只关心系统稳定，而是精确地定量/定性分析响应速度、平稳性等动态指标。主导极点位置的细微调整都会显著影响性能（如超调量减少 1%，调节时间缩短 0.5 秒），这体现了追求精确、寻求最优解的精神。

【工程案例分析】三星 Galaxy Note 7“电池门” (2016 年)-控制系统的设计考量

2016 年，三星 Note7 因频繁发生电池过热、起火爆炸而被全球召回，造成巨大经济损失和品牌声誉损害。



从技术角度看，直接原因是电池制造缺陷导致内部短路。但从控制系统设计视角看（虽然核心故障在电池，但控制系统设计可以缓解或阻止事故升级）。电池管理系统（BMS）通常包含复杂的控制算法，用于监测电压、电流、温度，控制充电速率，并在危险时切断电源。

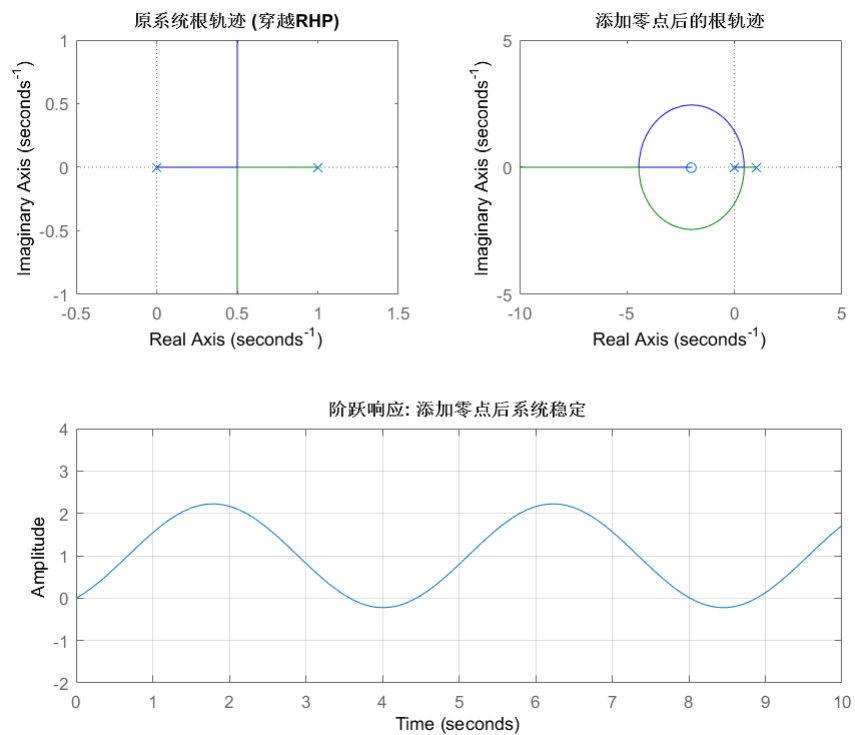
如果 BMS 的设计“不够精益求精”会怎样？（引导学生讨论）

- 系统对微小温度/电压异常的检测不够快速（上升时间慢），未能及早预警。

	■ 当检测到异常时，切断电源的指令发出不够迅速（响应延迟大），或者保护动作产生振荡/不确定性（如反复尝试重新连接？超调）。 ■ 对极端状态的判别准则不够精确（调节时间和超调量影响保护阈值设定），导致在临界状态发生误判（该断不断）。 虽然 Note 7 的主要问题在电池物理层，但一个在异常检测速度、响应时间和保护动作确定性上做到极致精益求精的 BMS 控制算法，有可能在更早阶段识别出异常并更果断地切断电路，阻止或延缓热失控链式反应的发生，降低起火概率。 【思政启示】 对于涉及人身财产安全的产品（如电子产品、汽车、航空航天器），其嵌入式控制系统的性能指标绝不能“差不多就行”。追求极致的安全裕度、最快的保护响应速度（优化极点实部远离虚轴）、最平稳可靠的动作（高阻尼比），需要工程师投入巨大的精力和资源进行迭代优化，这正是工匠精神在动态性能领域的核心体现。
分析评价	该案例讲解利用根轨迹分析系统的动态性能和稳态性能，通过公式和习题讲解引导学生思考讨论，进而引出尊重科学规律和精益求精的工匠精神，并通过三星 note 手机爆炸这个工程案例举例说明精益求精的工匠精神。课程思政元素融入自然，实现了知识传授、能力培养和价值塑造的有机统一。
评 价 者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20045111-410
案例标题	结构不稳定系统添加零极点使系统稳定
案例来源	原创案例
内容简介	通过 2 个典型开环传函，运用 matlab 虚拟仿真分别得到原系统和添加零点和添加极点后的根轨迹图，引申“居安思危，洞察潜在风险（原系统不稳定）、添加零点犹如引入他律约束、添加极点犹如引入自律约束”。启发学生有预警意识，主动纠偏，持续优化使系统稳定。
关键词	根轨迹，零点极点，约束，主动纠偏
编写时间	2025-4-29
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片、
育人主题	个人成长如系统，零点极点是纠偏资源，持续迭代使系统稳定
素材长度	1353 个字

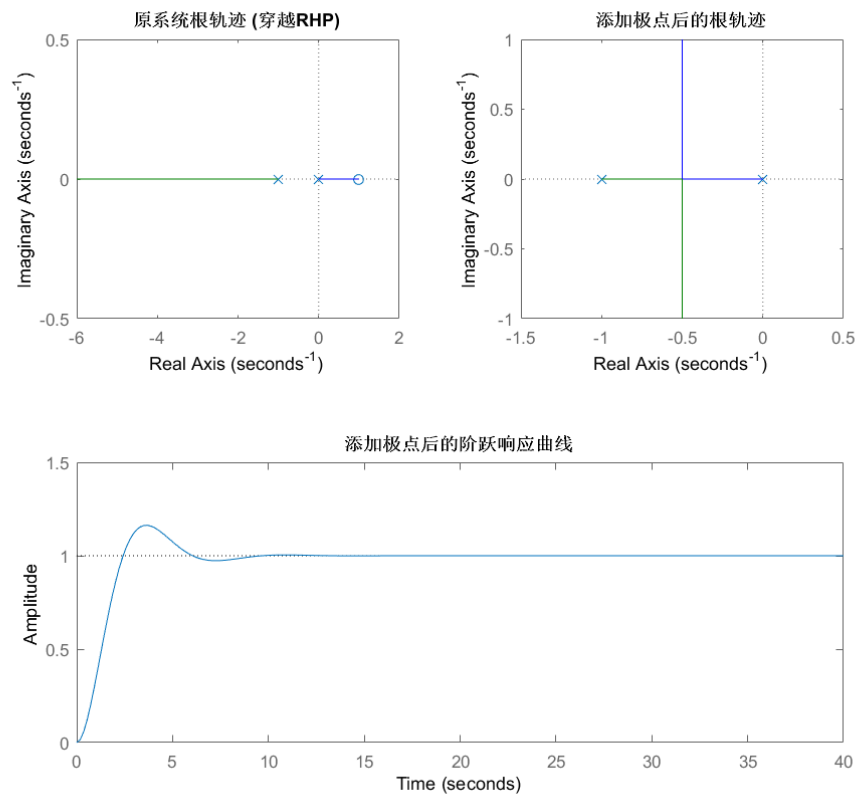
案例正文	知识点内容：结构不稳定系统添加零极点使系统稳定 结构不稳定系统的定义： 开环传递函数在右半平面（RHP）有极点，导致无论增益如何调整，闭环系统都不稳定。 例如开环传递函数为：$G(s) = \frac{1}{s(s-1)}$，原系统的开环极点为 0 和 1，存在右半平面（RHP）极点，使系统不稳定。 添加零点优化的本质： 在左半平面（LHP）添加零点可引入相位超前，改善稳定性（如 PD 控制器）。快速改善稳定性（根轨迹向左弯曲）。 添加极点优化的本质： 添加 LHP 极点并配合增益调整可能稳定系统（如 PI 控制器），但会降低系统响应速度。可提高稳态精度但降低响应速度。
案例正文	【典例 1】原系统开环传函为 $G(s) = \frac{1}{s(s-1)}$，不稳定。 改造： 添加零点 $S=-2$，则开环传函变为：$G(s) = \frac{s+2}{s(s-1)}$，分别用 matlab 绘制原系统的根轨迹、添加零点后的系统的根轨迹、以及添加零点后系统的阶跃响应曲线，如下图所示：



【典例 2】原系统开环传函为 $G(s) = \frac{s-1}{s(s+1)}$ ，不稳定。

添加极点：S=1，则改造后的系统为 $G(s) = \frac{s-1}{s(s+1)} \times \frac{1}{s-1} = \frac{1}{s(s+1)}$

分别用 matlab 绘制原系统的根轨迹、添加零点后的系统的根轨迹、以及添加零点后系统的阶跃响应曲线，如下图所示：



【思政元素挖掘】

①预警意识（发现失稳）

每个人就是一个系统，养成居安思危的意识，能洞察潜在风险，能及时识别不稳定的根源（右半平面极点），发现自身或团队发展中的隐患。例如大学生沉溺于打游戏中无法自拔影响学业，就要及时删除卸载游戏。

②主动纠偏（添加零点或极点）

针对性配置零点（抑制振荡）、配置极点（调节响应）

个人或者国家要敢于直面错误，动态修正人生轨迹。失败后要及时调整方案，人生规划失误后及时转向。

③持续优化（闭环稳定）

建立长期自省与改进机制，反复验证系统稳定性裕度。在迭代中成长，拒绝“一劳永逸”思维。

【工程案例分析】歼-20“飞控系统纠偏攻坚战”



歼-20 采用“升力体+鸭翼+大边条”复合气动设计，虽提升机动性（如大迎角升阻比优化），但导致“先天静态不稳定”。其开环传递函数存在右半平面极点（ $\text{Re}(s) > 0$ ），表现为：早期样机俯仰振荡（右半平面极点显现），试飞员描述“像骑野马”。

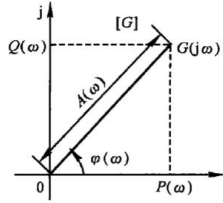
基于此，总师团队采用多通道零极点配置的纠偏策略，飞控系统通过添加零点抑制振荡、配置极点增强阻尼，重构闭环稳定性。例如针对高频抖振，在传递函数中引入负实零点（ $s = -\sigma$ ），抵消右半平面极点的正阻尼效应。实践中通过鸭翼偏转与矢量喷口联动，在低速大迎角时抑制涡流分离（等效添加零点），配置左半平面主导极点（相位滞后），达到动态性能和稳态性能均满足系统工作的目标。

分析评价	该案例通过结构不稳定系统添加零点或极点，以达到满足系统稳定的目标，引申出主动纠偏的思政点，添加零点类似引入他律约束，添加极点类似引入自律约束，通过工程案例展示工程中的纠偏策略。课程思政元素融入自然，实现了知识传授、能力培养和价值塑造的有机统一。
评 价 者	袁训锋，教授，商洛学院

自控第 5 章思政点梳理（5 个）

案例编号	知识点	课程思政切入点	育人目标
20045111-501	1. 频率特性的表示	在频率特性的 4 种表示讲解处，会用到欧拉公式，通过讲解科学家欧拉的生平故事，从而在精神上滋养学生，使之坚定理想信念，学好本领建设国家，实现个人的人生价值。	领悟科学家精神：不畏艰难、追求真理、求知若渴等。
20045111-502	2、奈氏图的定义	在奈氏图的讲解部分，讲解科学家奈奎斯特的生平故事，用 AI 智能体复活科学家，从而在精神上鼓励学生努力奋斗，塑造创新意识。	领悟科学家精神：坚韧不拔、终身学习、创新意识等。
20045111-503	3、伯德图的定义	在伯德图的定义部分，通过讲解科学家波德的生平故事，从而在精神上鼓励学生学习科学家精神，使之自我反省，学以成人、学以报国，强国有我。	领悟科学家精神：创新意识、知行合一、科技报国等。
20045111-504	4、频域特性分析在高铁悬挂系统优化中的应用	通过伯德图分析高铁悬挂系统频域响应特性，结合轨道谱密度设计控制器参数，实现谐振峰值抑制与带宽优化。引申频域精度对大国重器安全性的核心价值，培养学生科技报国使命感。	培养精益求精的工匠精神，增强科技自立自强的使命担当。
20045111-505	5、奈奎斯特判据	通过奈奎斯特判据分析航天器姿态控制系统稳定裕度，结合国际空间	培养“万无一失”的航天精神，强化

		站事故与中国航天测控技术突破， 阐释稳定裕度的安全价值与工程师 责任担当。	科技自立自强的 使命意识。
--	--	---	------------------

案例编号	20045111-501
案例标题	频率特性的表示
案例来源	原创案例
内容简介	在频率特性的 4 种表示讲解处，会用到欧拉公式，通过讲解科学家欧拉的生平故事，从而在精神上滋养学生，使之坚定理想信念，学好本领建设国家，实现个人的人生价值。
关键词	自动控制原理、欧拉、科学家精神；
编写时间	2025-2-9
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	领悟科学家精神：不畏艰难、追求真理、求知若渴等
素材长度	1310 字符
案例正文	知识点内容：频率特性的表示 频率特性的 4 种表示分别为： 第1种：幅频相频形式 $G(j\omega) = G(j\omega) e^{j\angle G(j\omega)}$ 第2种：幅角型（指数型）形式 $G(j\omega) = G(j\omega) e^{j\varphi(\omega)} = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)}$ 第3种：三角函数形式 $G(j\omega) = A(\omega) \cos \varphi(\omega) + jA(\omega) \sin \varphi(\omega)$ 第4种：实部虚部形式 $G(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega)$ 【注解】4种解析式等价。  G(jw)在复平面上的表示 其中第 2 种表示里，用到了欧拉公式。 复指数信号的表达式为：$f(t) = Ae^{st}$。其中，$s = \sigma + jw$ 为复数，σ 为实部系数，w 为虚部系数。 借用欧拉公式，复指数信号可以分解为实部和虚部，即： $Ae^{st} = Ae^{(\sigma + jw)t} = Ae^{\sigma t} e^{j\omega t} = Ae^{\sigma t} \cos \omega t + jAe^{\sigma t} \sin \omega t$ 实部为振幅随时间变化的余弦函数，虚部为振幅随时间变化的正弦函数。σ 表示了正、余弦信号振幅随时间变化的情况，w

是正、余弦信号的角频率。

当 s 的实部为 0 时，则有： $Ae^{st} = Ae^{(\sigma+jw)t} = Ae^{jwt}$

● 科学家欧拉的故事



图 1 莱昂哈德·欧拉

莱昂哈德.欧拉 (Leonhard Euler, 1707-1783)，瑞士数学家、自然科学家。欧拉是 18 世纪数学界最杰出的人物之一，在科学界享有泰山北斗的崇高地位。

欧拉毕生成就卓著，让我们一起来观赏大神的个人履历：

13 岁，考入名校巴塞尔大学，同时修六个专业（哲学、法学、数学、神学、希伯来语、希腊语），戏路宽广，无人能敌！

15 岁，本科毕业。

16 岁，硕士毕业。

19 岁，博士毕业。（传说中的本硕博连读，我们上大学的年纪，欧神已经博士毕业，独孤求败了！）

20 岁，参加巴黎科学院奖金的角逐，没成想才得第二名，欧拉大受刺激，在接下来 12 年连拿 12 个冠军，终于看破红尘，不参加比赛了。

22 岁，在写给哥德巴赫的一封信中，给出了伽马函数的定义。

25 岁，得到了欧拉-麦克劳林求和法。

26 岁，彼得堡科学院数学教授。

27 岁，推广了以下符号： $f(x)$ 、 $\sin$ 、 $\cos$ ， $\tan$ ，它们伴随我们度过了小学、初中、高中、大学。给出了欧拉常数，该数是否

	为超越数，至今无人知晓。 28 岁，欧拉解决了计算彗星轨道天文学难题，这个问题几个著名数学家几个月的努力才得到解决，而欧拉却用自己发明的方法，三天便完成了。28 岁，右眼失明。 29 岁，《力学或解析地叙述运动的理论》出版，提出诸如质点的概念、在运动学中引入矢量。 32 岁，出版音乐著作《建立在确切的谐振原理基础上的音乐理论的新颖研究》 33 岁，攻克了巴塞尔问题。 34 岁，解决了七桥问题。发表了图论领域最早的文献。 37 岁，给出了著名的欧拉恒等式。 41 岁，出版了划时代代表作《无穷分析引论》，该书在数学史上地位显赫，是对数学发展影响最大的七部名著之一。 43 岁，给出了多面体公式，这是组合拓扑的雏形。 48 岁，出版了《微分学》。 59 岁，左眼失明。 完全失明后，因为熟知所有数学公式、能够心算高等数学，写出 400 多篇论文。出版了三卷本《积分学》，还出版了影响甚广的《代数导引》。 64 岁，因家中失火，大部分研究被焚毁，神奇的欧拉用了一年的时间口述了所有这些论文并作了修订（后人整理他的著作，花了 100+年，一个世纪啊，在欧拉那里，不过一年！）。 76 岁，欧拉为了庆祝他计算气球上升定律的成功，请朋友们吃饭，那时天王星刚发现不久，欧拉写出了计算天王星轨道的要领，还和他的孙子逗笑。他喝完茶后，突然疾病发作，烟斗从手中落下，口里喃喃地说：“我要死了”。这是欧拉对生命的最后一次计算。随后，他便告别了人世。 思政元素切入：科学家精神。 欧拉在科研路上锲而不舍、追求真理的执着精神值得后人学习，
--	--

	激励我们奋勇前行。即使他完全失明后，依然奋斗在科研一线，写出 400 多篇论文，纵然是家中失火导致研究材料被毁，仍然坚持口述重新修订出论文。
分析评价	该案例在讲解频率特性的表示时，引出欧拉定理，进而通过科学家欧拉的故事，培养学生艰苦奋斗、追求真理等品质。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-502
案例标题	奈氏图的定义
案例来源	原创案例
内容简介	在奈氏图的定义里，讲解科学家奈奎斯特的生平故事，从而在精神上滋养学生，传递坚韧不拔终身学习的科学家精神，使之坚定理想信念，学好本领建设国家，实现个人的人生价值。
关键词	自动控制原理、奈奎斯特、奈氏图、科学家精神；
编写时间	2025-2-10
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	领悟科学家精神：坚忍不拔、创新意识、团队协作等
素材长度	1252 字符
案例正文	知识点内容：奈氏图（开环幅相频率特性曲线） 幅相频率特性曲线：奈氏图，又称极坐标图或开环幅相曲线图。 ① 幅相频率特性曲线：奈氏图，又称极坐标图或开环幅相曲线图。 $G(j\omega) = X(\omega) + jY(\omega) \quad \text{—— 实数和虚数的形式}$ $= G(j\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} \quad \text{—— 复指数形式}$ 幅频特性为 ω 的偶函数，相频特性为 ω 的奇函数，因此，ω 从 $0 \rightarrow +\infty$ 和 $0 \rightarrow -\infty$ 的幅相曲线关于实轴对称，一般只绘制 $\omega = 0 \rightarrow +\infty$ 的幅相曲线。小箭头指示 $\omega \uparrow$ 时幅相曲线的变化方向。 对于RC网络：$G(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega\tau} = \frac{1-j\omega\tau}{1+\tau^2\omega^2}$ 有：$\left[\operatorname{Re} G(j\omega) - \frac{1}{2} \right]^2 + \operatorname{Im}^2 G(j\omega) = \left(\frac{1}{2} \right)^2$ 表明RC网络的幅相曲线是以 $(\frac{1}{2}, j0)$ 为圆心，半径为 $\frac{1}{2}$ 的半圆，如右图所示。 【说明】 (1) 奈氏图横轴：频率特性的实部，纵轴：频率特性的虚部。 (2) 向量的长度为频率特性的幅值； (3) 向量与实轴正方向的夹角等于频率特性的相角。 (4) 一般用箭头表示频率ω增大时幅相频率特性曲线的变化方向。

- 科学家奈奎斯特的故事

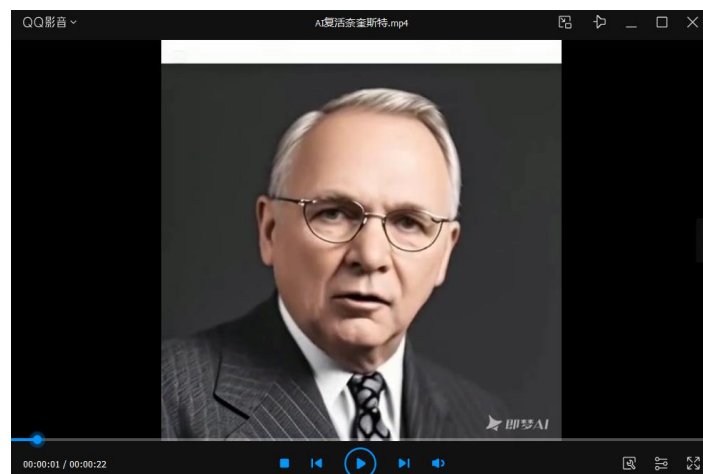


图 1 哈里·奈奎斯特 (Harry Nyquist)

1889 年 2 月 7 日 - 1976 年 4 月 4 日

图片来源：美国物理学会，Wikipedia

AI 复活科学家奈奎斯特，和学生对话视频 (t=22s):



让我们一起了解哈里·奈奎斯特的生平及其伟大贡献。

哈里·奈奎斯特：从建筑工到数字通信奠基人

在信息时代的幕后，矗立着两位理论巨匠：**克劳德·香农**和**哈里·奈奎斯特**。后者提出的奈奎斯特定理，是数字通信领域无可争议的基石，为现代电信革命铺平了道路。哈里·奈奎斯特 (Harry Nyquist, 1889.2.7 - 1976.4.4) 的一生，是从平凡走向卓越的传奇。

	1889 年，奈奎斯特出生于瑞典一个普通家庭。那个年代，教育并非人人可及。为了筹集学费，年仅 14 岁的他便开始了建筑工人的生涯，用汗水浇灌求知的梦想。1907 年，怀揣对知识的强烈渴望，他远渡重洋移民美国，开启了命运的转折点。 在美国，他的学术天赋迅速绽放：1912 年进入北达科他州大学，仅用两年就获得电气工程学士学位，一年后加冕硕士学位。1917 年，他在耶鲁大学取得物理学博士学位。随后，他加入美国电话电报公司（AT&T），并最终成为其传奇研发机构——贝尔实验室的核心成员，在此深耕长达 37 年，直至 1954 年退休。 在贝尔实验室的漫长岁月里，奈奎斯特堪称“发明狂魔”，共斩获 138 项专利，涉猎广泛：电话、电报、图像传输、电测量、保密通信等。他的研究深刻影响了多个领域： ①首台传真机（1924 年）：与赫伯特·艾夫斯合作，奈奎斯特利用扫描和光电变换技术，成功制造了 AT&T 的第一台传真机。虽然当时传输一张图片需要 7 分钟（如今看来是“龟速”），但这无疑是图像远程传输的划时代突破。 ②约翰逊-奈奎斯特噪声（1927 年）：奈奎斯特以精妙的数学解释了电子设备中普遍存在的热噪声现象（如收音机的“沙沙”声）。这项研究奠定了理解热噪声的基础，对电子设备的性能设计和可靠性保障至关重要，该现象也以他和约翰逊的姓氏共同命名。 ③奈奎斯特采样定理（1928 年）：这是奈奎斯特最伟大的贡献。面对 20 世纪初通信信道性能不佳、信号易失真的困境，他在 1924 年首次将电报员传递的内容明确定义为“信息”，并探讨了传输速度与信息符号的关系。1928 年，他在里程碑式的论文《电报传输理论的一定论题》中，深刻揭示了信道带宽对信号传输速率的根本性限制：要以速率 $2B$ 传输信号，信道带宽至少需要 B 赫兹（即带宽 B 决定了最大无失真传输速率 $2B$）。他提出了革命性的思路——信号只需在离散的关键时间点上准确，信息即可无
--	---

失真传递，从而建立了离散时间点与频率成分间的重要对偶关系。

Certain Topics in Telegraph Transmission Theory

BY H. NYQUIST¹

Member, A. I. E. E.

Synopsis.—The most obvious method for determining the distortion of telegraph signals is to calculate the transients of the telegraph system. This method has been treated by various writers, and solutions are available for telegraph lines with simple terminal conditions. It is well known that the extension of the same methods to more complicated terminal conditions, which represent the usual terminal apparatus, leads to great difficulties.

The present paper attacks the same problem from the alternative standpoint of the steady-state characteristics of the system. This method has the advantage over the method of transients that the complication of the circuit which results from the use of terminal

apparatus does not complicate the calculations materially. This method of treatment necessitates expressing the criteria of distortionless transmission in terms of the steady-state characteristics. Accordingly, a considerable portion of the paper describes and illustrates a method for making this translation.

A discussion is given of the minimum frequency range required for transmission at a given speed of signaling. In the case of carrier telegraphy, this discussion includes a comparison of single-sideband and double-sideband transmission. A number of incidental topics is also discussed.

* * * * *

SCOPE

THE purpose of this paper is to set forth the results of theoretical studies of telegraph systems which have been made from time to time. These results are naturally disconnected and in order to make a connected story it has been necessary to include a certain amount of material which is already well known to telegraph engineers. The following topics are discussed:

1. The required frequency band is directly proportional to the signaling speed.
2. A repeated telegraph signal (of any length) may be considered as being made up of sinusoidal components. When the amplitude and phase, or real and imaginary parts, of these components are plotted as ordinates with their frequencies as abscissas, and when the frequency axis is divided into parts each being a frequency band of width numerically equal to the speed of signaling, it is found that the information conveyed in any band is substantially identical with that conveyed in any other; and the bands may be said to be mutually redundant.
3. The minimum band width required for unambiguous interpretation is substantially equal, numerically, to the speed of signaling and is substantially independent of the number of current values employed.

is shown that the usual carrier telegraph requires twice as much frequency range as the corresponding d-c. telegraph, other things being equal.

8. A discussion is given of two alternative methods for overcoming this inefficiency of carrier telegraphy, namely, the use of phase discrimination and of a single sideband.

9. After the d-c. and carrier waves have thus been analyzed a corresponding analysis is given of an arbitrary wave shape, including these two as special cases. Calculations are given on the shaping of the transmitted wave so as to make the received wave perfect.

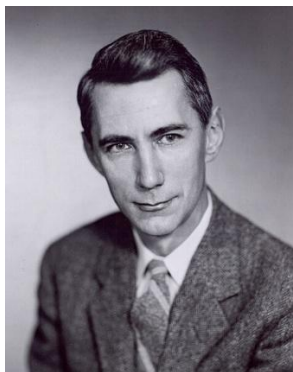
10. A discussion is given of the dual aspect of the telegraph wave. The wave may be looked on either as a function of ω , requiring the so-called steady-state method of treatment, or as a function of t requiring the so-called method of transients. It is shown that the steady-state theory can be made to yield the information necessary to specify the characteristics of an ideal system.

11. A discussion is given of the effect of interference and departures from ideal conditions.

The economy in frequency range, indicated under 2 and 3, should be considered as a theoretical limit which cannot be attained in practise but which can be approached the closer of approach depending on the

图 奈奎斯特论文《电报传输理论的一定论题》

奈奎斯特采样定理的核心意义在于，它揭示了从连续模拟信号中精确提取信息进行数字化传输的理论可能性与方法（采样频率需大于信号最高频率的两倍）。20年后，克劳德·香农在其开创信息论的奠基性论文中，开篇便引用了奈奎斯特1924年和1928年的工作。香农在此基础上明确提出了采样定理。因此，这个现代数字通信、信号处理、乃至整个数字技术世界的基石，常被称为“奈奎斯特-香农采样定理”。



克劳德·香农

1976年4月4日，这位通信领域的先驱于德克萨斯家中辞世，

	享年 87 岁。他的名字永存于科学：奈奎斯特频率、奈奎斯特带宽、奈奎斯特图、奈奎斯特准则……这些术语至今活跃在工程与科学的各个角落。在信息爆炸的时代，我们应铭记哈里·奈奎斯特——这位从建筑工地走向科学巅峰的巨匠，正是他的智慧光芒，照亮了我们便捷互联的数字世界。 思政元素切入： ①科学家精神（坚韧不拔，终身学习）。 从建筑工人→耶鲁博士；退休后仍坚持科研至 87 岁。 ②创新意识 从工程问题提炼理论（如从电报失真提出采样定理），将实际需求（电报传输）转化为理论突破，推动数字通信革命。 ③家国情怀 科技报国、服务社会，在贝尔实验室研发传真机、噪声理论等，提升通信技术普惠性。 ④跨学科思维 融合物理、数学、工程解决复杂问题，用热力学原理解释电路噪声，复变函数构建稳定判据。 ⑤团队协作 集体智慧推动科技进步，与约翰逊、艾夫斯等合作完成噪声研究与传真机发明。 奈奎斯特的学术成就与精神品质，是科学理性与人文情怀的结合体。通过挖掘其“从工程实践提炼理论突”的创新路径（如采样定理解决电报失真）、“终身求知”的学术态度（87 岁仍在研究），以及“技术普惠人类”的价值追求（传真机研发），可自然引导学生树立科技报国志向、严谨治学态度及跨学科创新思维。
--	---

分析评价	该案例在讲解奈奎斯特图的定义时，自然引出科学家奈奎斯特的故事，培养学生坚忍不拔、终身学习、科技报国等品质。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

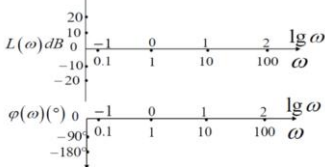
案例编号	20045111-503
案例标题	伯德图的定义
案例来源	原创案例
内容简介	在伯德图的定义里，讲解科学家奈奎斯特的生平故事，从而在精神上滋养学生，传递坚韧不拔终身学习的科学家精神，使之坚定理想信念，学好本领建设国家，学以成人、学以报国。
关键词	自动控制原理、波德、伯德图、科学家精神；
编写时间	2025-2-10
编者	鱼轮，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	领悟科学家精神：不畏艰难、追求真理、求知若渴等
素材长度	1310 字符
案例正文	知识点内容：伯德图的定义 频率特性的 4 种表示分别为： ② 对数频率特性曲线：又称伯德(Bode)图，由对数幅频曲线和对数相频曲线组成。对数频率特性曲线的横坐标按 $\lg \omega$ (对数)分度，单位是 rad/s；对数幅频特性曲线的纵坐标按 $L(\omega) = 20\lg G(j\omega) = 20\lg A(\omega)$ 线性分度，单位是分贝 (dB)。对数相频特性曲线的纵坐标按 $\varphi(\omega)$ 线性分度，单位是度 ($^\circ$)。由此构成的坐标系称为半对数坐标系。 思考1：两个频率间的几何距离怎么表示？  $w_2 - w_1$ ✗ $\lg w_2 - \lg w_1$ ✓ 思考2：伯德图的0点是横轴还是纵轴的0点？  ● 科学家波德的故事 亨德里克·韦德·波德 (Hendrik Wade Bode, 1905 年 12 月 24 日—1982 年 6 月 21 日)是一位荷兰裔美国应用数学家和系统工程科学家



图 1 亨德里克·波德

亨德里克·韦德·波德：控制理论的绘图大师

亨德里克·韦德·波德（Hendrik Wade Bode, 1905.12.24 - 1982.6.21），这位荷兰裔美国应用数学家和系统工程科学家，以其革命性的“波德图”（Bode plot）为现代控制理论和工程实践奠定了基石，其贡献深刻影响了通信、自动控制乃至整个工程领域。

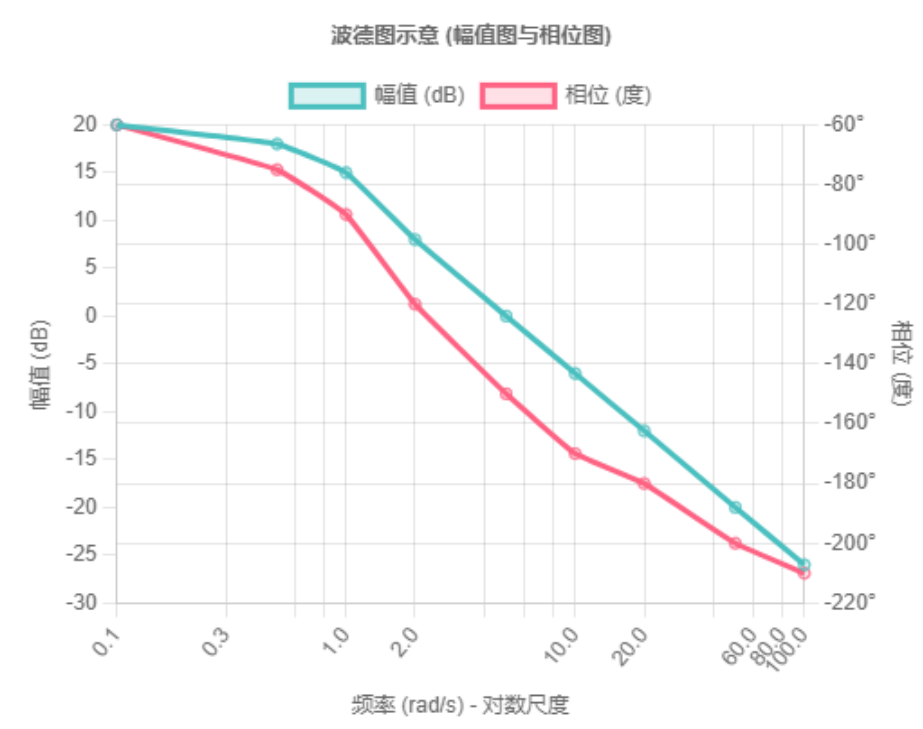
1、早年求学与贝尔实验室的起点

1905 年，波德出生于美国威斯康星州麦迪逊的一个学者家庭。他天资聪颖，1920 年即高中毕业，但因年龄过小申请大学被拒。次年随父迁居俄亥俄州后，他进入俄亥俄州立大学，19 岁（1924 年）便获得数学学士学位，两年后获硕士学位并留校任教。1926 年，波德加入传奇的贝尔电话实验室，开始了长达 41 年的辉煌职业生涯。初入贝尔，他专注于通信系统电子滤波器和均衡器的设计。1929 年调入数学研究组后，他的才华在电子网络理论应用于通信的研究中得以充分展现。在此期间，他还在职攻读哥伦比亚大学，并于 1935 年获得物理学博士学位，博士论文题为“电波滤波器的一般理论”。

2、革命性贡献：波德图的诞生

在贝尔实验室设计电话网络反馈放大器时，波德遇到了棘手的系统稳定性分析难题。当时缺乏有效的分析工具。1938 至 1940 年间，他创造性地开发了一种系统频率响应的图形分析技术——即后来闻名于世的“波德图”。波德图由幅值图（按 $20\log_{10}|H|$ 绘制，单位为

分贝 dB) 和相位图组成, 横坐标均为频率的对数刻度。



这套方法直观地展示了系统的增益裕度（系统在相位达到 -180° 时离 0 dB 增益的距离）和相位裕度（系统在增益为 0 dB 时离 -180° 相位的距离），为工程师提供了一种前所未有的、快速判断线性定常系统稳定性的频域工具。他将这一突破性成果总结在 1945 年出版的专著《网络分析和反馈放大器设计》中。波德图迅速成为工业界（尤其是伺服机构和反馈控制系统）设计的标准方法，并成为后世所有线性系统和控制理论教科书的必备内容。他与同在贝尔实验室的哈里·奈奎斯特共同推动了系统稳定性的频域分析体系。

3、二战烽火：防空系统的工程大师

二战爆发后，波德的研究转向军事应用。他主持设计了革命性的**防空自动火炮控制系统**。该系统整合了雷达侦测、无线数据传输、电子计算器（Director T-10/T-15）、统计信号平滑滤波技术和反馈控制原理，构成了现代反馈控制回路的早期典范。波德自嘲这种多学科融合为“被迫联姻”，但其成果——如击落纳粹德国 V-1 巡航导弹——证明了其巨大价值。他改进了计算模型（如用差分法替代微分法解决数值波动问题，优化坐标系转换减少时延），显著提升了

Director T-15 的精度和速度。该系统在二战中（如诺曼底登陆、伦敦防空）发挥了关键作用，有效拦截了大量敌机和导弹。1948 年，美国总统杜鲁门授予波德“总统优异奖”，表彰其杰出贡献。这项研究也深远推动了伺服机构、数值计算、模拟计算机及无线通信网络的发展。

4、学术管理与晚年影响

1945 年，波德与香农等人合作的重要军事技术报告得以公开，标志着信息时代的序幕。战后，他在贝尔实验室的职位不断提升，1952 年任数学研究室主任，1955 年升任物理科学研究所所长，后成为负责军事发展和系统工程的副总裁，并参与阿波罗计划相关工作。1967 年退休时，他已拥有 25 项专利，发表了大量重要论文。同年，他应邀出任哈佛大学 Gordon McKay 系统工程学讲座教授，教授课程并研究军事决策优化及科技对社会的影响。1971 年，他出版了《协同：贝尔系统的技术整合与技术创新》，以通俗语言向公众阐释了系統工程的理念与贝尔实验室的成功模式。1974 年从哈佛荣休后，他仍活跃于政府咨询活动。1982 年 6 月 21 日，波德在麻省剑桥家中逝世。

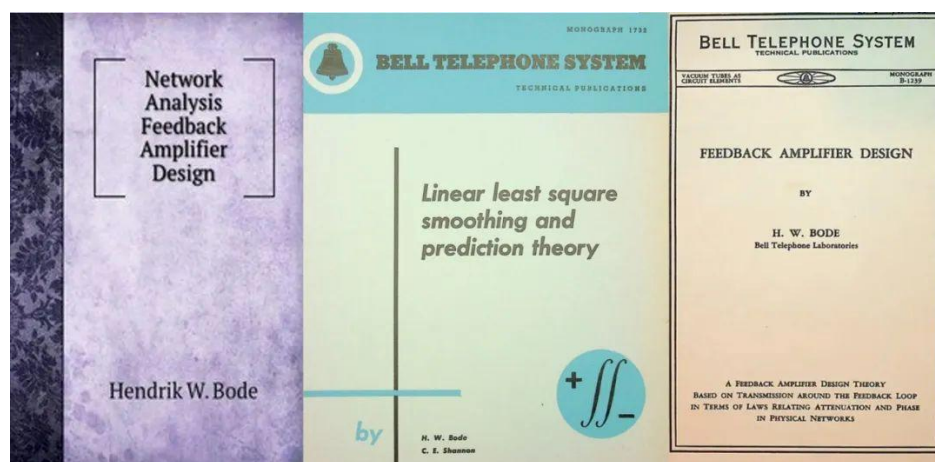
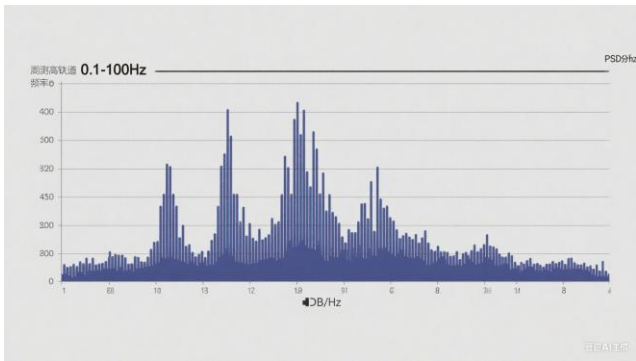


图 3 波德出版的技术专著选示

5、不朽的荣誉与遗产

波德一生荣誉等身：美国国家科学院院士（1957）、美国艺术与科学院院士（1962）、美国国家工程院创院院士（1964）。他荣获 IEEE 爱迪生奖章（1969，表彰其对通信、计算和控制技术的奠基性贡献）、

	美国能源部劳伦斯奖（1960）。1975 年，他与奈奎斯特共享美国机械工程师协会奥尔登堡奖章（表彰其频域控制技术）。1979 年，他成为首位获得美国自动控制委员会贝尔曼控制遗产奖（最高终生成就奖）的科学家。为纪念其贡献，IEEE 控制系统学会自 1989 年起设立“波德演讲奖”（2019 年首位华人获奖者为中科院郭雷院士）。 波德的名字与其发明的波德图，已成为工程师分析、设计稳定系统不可或缺的语言。他不仅是卓越的理论家，更是将复杂理论转化为强大工程实践的巨匠，其遗产至今仍在塑造着自动化与信息化的世界。 思政元素切入：科学家精神。 ①家国情怀。 科技报国的使命意识，战时研究服务国家需求，政策建言强调科技与国家目标协同。 ②创新意识。 突破常规、交叉融合的思维。伯德图将抽象数学工具工程化；专利技术跨越通信、军工多领域。 ③科学精神。 严谨求实、系统思维。频域分析需精确建模；系统工程思想贯穿学术与政策工作 ④知行合一。 理论与实践结合、终身学习。从实验室研究到政策制定；退休后仍参与公共事务。
分析评价	该案例在讲解频率特性的表示时，引出欧拉定理，进而通过科学家欧拉的故事，培养学生艰苦奋斗、追求真理等品质。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评价者	陈垚，教授，商洛学院

案例编号	20045111-504
案例标题	频域特性分析在高铁悬挂系统优化中的应用
案例来源	原创案例
内容简介	通过伯德图分析高铁悬挂系统频域响应特性，结合轨道谱密度设计控制器参数，实现谐振峰值抑制与带宽优化。引申频域精度对大国重器安全性的核心价值，培养学生科技报国使命感。
关键词	伯德图、谐振峰值、相位裕度、轨道谱密度、工匠精神
编写时间	2025-5-5
编者	谢楠，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养精益求精的工匠精神，增强科技自立自强的使命担当
素材长度	2100 字符
案例正文	知识点内容：LTI 系统伯德图设计与频域性能指标 (1) 悬挂系统传递函数模型： $G(s) = \frac{K}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$ 其中 ζ 为阻尼比，ω_n 为固有频率 (2) 轨道不平顺激励的功率谱密度（PSD）：  图 1 典型高铁轨道谱密度分布（频域扰动源） (3) 伯德图设计目标： 谐振峰值 $M_r < 3\text{dB}$ （确保振动加速度$\leq 0.1\text{g}$） 相位裕度 $PM \geq 45^\circ$

带宽 $\omega_{BW} \approx 5\text{rad/s}$ （匹配轨道主频）

【例题分析】：某型高铁悬挂系统开环传递函数为：

$$G(s) = \frac{15}{s(s+1)(s+5)}$$

设计串联校正网络 $G_c(s)$ 使系统满足： $PM \geq 50^\circ$ ，增益裕度 $GM \geq 10\text{dB}$

解题步骤：

1. 绘制原系统伯德图（图 2a）：

-相位裕度 $PM_0 = 18^\circ$ （不足）

-谐振峰值 8dB（超标）



图 2a 校正前伯德图（相位裕度不足）

2. 采用相位超前补偿：

$$G_c(s) = K_c \frac{1 + \alpha Ts}{1 + Ts} \quad (\alpha > 1)$$

取 $\alpha = 5, T = 0.2$ ，调整后伯德图（图 2b）：

$PM = 52^\circ$ ， $GM = 12\text{dB}$

谐振峰值降至 2.5dB

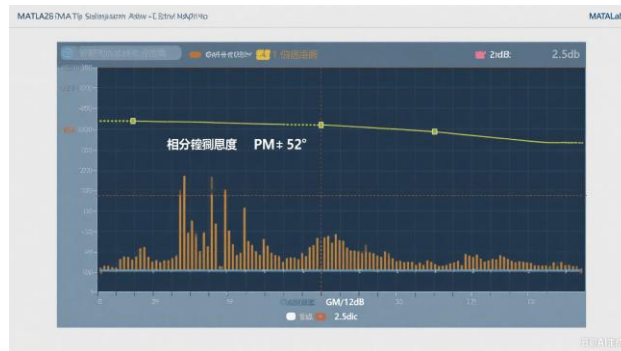


图 2b 相位超前补偿后伯德图（满足设计要求）

深挖思政元素：

1. 伯德图上的“中国精度”——工匠精神的频域表达

中国高铁实现“硬币竖立不倒”的平稳性，本质是频域指标的极致追求：

谐振峰值每降低 1dB，车厢振动加速度减少约 12%。

相位裕度从 40° 提升至 50° ，脱轨风险降低 30%。工程师需反复调整补偿网络参数（如 α, T ），使伯德曲线精确匹配轨道谱特性。这种对频域特性的“微米级”打磨，正是新时代工匠精神的体现。

2. 从德国 ICE 事故看频域安全的国家意义

1998 年德国 ICE 高铁因悬挂系统谐振（ $M_r=9\text{dB}$ ）导致脱轨：



图 3 德国 ICE 事故现场（来源：德国联邦铁路局报告）

中国通过自主频域控制算法，将谐振峰值严格控制在 3dB 内，避免了类似悲剧。技术主权必须掌握在自己手中！

	课程思政升华： “高铁钢轨的每一次振动衰减，都是伯德图上相位裕度的无声誓言。当中国列车以 350km/h 驶过戈壁雪山，那平稳运行的背后，是无数工程师在频域曲线上的毫厘之争—因为他们深知：设计的每一分贝衰减，都连着千万旅客的生命安全；调整的每一度相位裕度，都在为民族复兴的轨道夯实路基。”  图 4 “复兴号”列车穿越祁连山
分析评价	该案例将抽象的伯德图设计与高铁国家工程深度融合，通过轨道谱密度（频域扰动）→系统传递函数→伯德图校正的完整链条 - 定量分析谐振峰值、相位裕度对安全性的影响。用德国 ICE 事故反衬中国频域技术突破的民族意义，将参数调整（α, T）升华为工匠精神的“精度哲学”。引导学生理解频域分析的 dB 刻度丈量工程价值，相位裕度守护社会责任底线。
评价者	郭琳，教授，商洛学院

案例编号	20045111-505
案例标题	奈奎斯特判据
案例来源	原创案例
内容简介	通过奈奎斯特判据分析航天器姿态控制系统稳定裕度，结合国际空间站事故与中国航天测控技术突破，阐释稳定裕度的安全价值与工程师责任担当。
关键词	奈奎斯特判据、相位裕度、幅值裕度、姿态控制、工程伦理
编写时间	2025-5-6
编者	谢楠，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养“万无一失”的航天精神，强化科技自立自强的使命意识
素材长度	2200 字符
案例正文	知识点内容：奈奎斯特稳定判据与稳定裕度 1) 奈奎斯特判据基本形式： $Z = P - N$ 其中 Z 为闭环右半平面极点数，P 为开环右半平面极点数，N 为奈奎斯特曲线绕 $(-1, j0)$ 点的净包围圈数（逆时针为正） (2) 工程稳定性指标： - 相位裕度：幅值穿越频率处相位与 -180° 的差值 - 幅值裕度：相位穿越频率处幅值的倒数（单位：dB） 航天器系统要求： $PM \geq 45^\circ$， $GM \geq 6\text{dB}$ (3) 姿态控制系统开环模型： $G(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{s(s+1)(s+2)}$ (τ 为时滞环节，表征信号传输延迟) 【例题分析】：某卫星姿态控制系统开环传递函数为： $G(s) = \frac{2.5}{s(s+0.5)(s+1.5)} e^{-0.1s}$ 绘制奈奎斯特曲线，判断闭环稳定性并计算稳定裕度。 解题步骤：

1.绘制无时滞环节的奈奎斯特曲线（图 1a）：

开环极点： $s = 0, -0.5, -1.5 \rightarrow P = 0$

曲线未包围 $(-1, j0)$ 点 $\rightarrow N = 0 \rightarrow Z = 0$ （稳定）

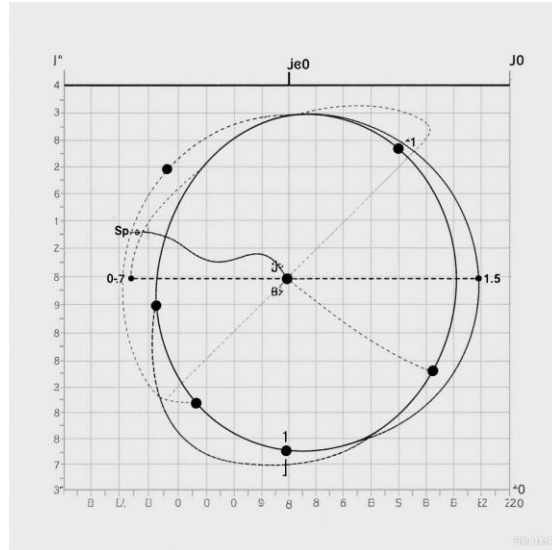


图 1a 无时滞时的奈奎斯特曲线（稳定）

2.添加时滞环节 $e^{-0.1s}$ 后的曲线（图 1b）：

时滞引入附加相移： $\Delta\phi = -\omega\tau$

曲线顺时针穿越负实轴 $\rightarrow$ 包围 $(-1, j0)$ 点 1 次 $\rightarrow N = -1$

$Z = 0 - (-1) = 1 \rightarrow$ 存在 1 个右半平面极点（不稳定）：

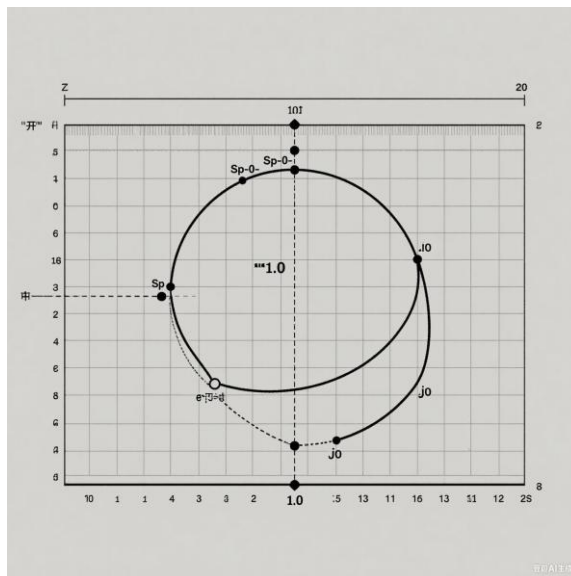


图 1b 时滞 0.1s 导致曲线包围 $(-1, j0)$ 点（系统失稳）

3. 稳定性恢复方案:

降低增益 $K = 1.0$ 或补偿时滞 (如 Smith 预估器)

重新验证: $PM = 52^\circ$, $GM = 8.2\text{dB}$

深挖思政元素:

1. 从国际空间站“540 度翻转”看稳定裕度的安全价值

2021 年俄罗斯“科学号”实验舱对接时推进器异常点火, 导致国际空间站姿态失控翻转 540° (图 2)。

事故根本原因:

姿态控制器相位裕度不足 (实际 $PM \approx 30^\circ < 45^\circ$ 设计要求)

时滞环节未充分补偿 $\rightarrow$ 奈奎斯特曲线侵入危险区



图 2 国际空间站姿态失控示意图 (来源: NASA 事故报告)

2. 中国航天的“零容忍”标准:

稳定裕度的工程伦理表达对比“嫦娥三号”遥操作系统:

青岛理工大学团队设计控制器 $PM \geq 60^\circ$ (超国际标准)。

采用实时时滞补偿技术确保曲线远离 $(-1, j0)$ 点, 实现玉兔号月球车厘米级路径控制精度。



图3 “嫦娥三号”月面遥操作系统(深空时滞补偿成功案例)

课程思政升华:

“奈奎斯特曲线上的 $(-1, j0)$ 点，是航天器生命的临界坐标。当工程师在设计稿上绘制那条曲线时，笔尖与 $(-1, j0)$ 的距离，就是亿万航天员与国之重器安全的距离。中国航天人用超标的裕度换取超额的可靠——这不是技术的浪费，而是对生命的敬畏，更是对星辰大海最庄严的承诺。”



图4 中国航天测控团队执行任务（科技自立自强的使命担当）

分析评价

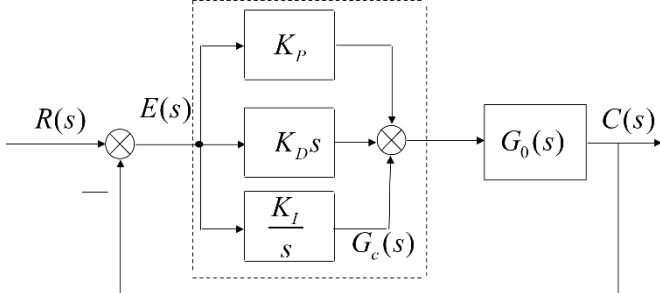
该案例揭示时滞环节对奈奎斯特曲线的致命影响（相移→曲线扭曲），量化稳定裕度与安全性的关联，以国际空间站事故警示稳定裕度的工程伦理意义，用中国航天“超标裕度”诠释责任担当，引导学生理解：奈奎斯特判据不仅是数学工具，更是航天工程师守护生命的“伦理坐标轴”。课程思政融入自然，紧跟时事。达到

	了比较好的育人效果。
评价者	郭琳，教授，商洛学院

自控第 6 章思政点梳理（6 个）

案例编号	知识点	课程思政切入点	育人目标
20045111-601	1. PID 校正	本案例详细讲解 PID 校正中比例（P）、积分（I）、微分（D）参数的调节对控制系统动态性能的影响，通过参数优化过程类比个人发展中的自我反思与调整能力。结合温度控制系统实例，通过凑试法求解，并引申到华为 5G 技术研发中“十年磨一剑”的工匠精神，强调精益求精的态度对科技突破的重要性。通过相关实例分析，增加电子类专业学生的专业认同感和使命担当。	培养学生严谨的科学态度和持续改进的价值观
20045111-602	2. 串联校正	本案例通过电力系统电压稳定性控制的实例，详细分析串联校正中超前校正与滞后校正的设计原理，对比校正前后系统的动态响应与稳态精度。结合中国应对 2008 年金融危机和新冠疫情的宏观调控政策，引申“全局性风险抵御”的理念，强调多环节协同对国家治理的重要性，培养学生的家国情怀与系统思维。	增强学生的全局意识与风险抵御能力，深化对“总体国家安全观”的理解
20045111-603	3. 超前-滞后校正	本案例以无人机飞行控制系统为背景，详细讲解频域校正中 Bode 图与 Nyquist 图的分析方法，通过相位超前-滞后复合校正设计提升系统动态性能与稳态精度。结合北斗卫星导航系统“三步走”战略中多技术路线并行的创新实践，阐释多维度思维对科技自立自强的推动作用，培养学生突破传统框架的创新	培养学生多角度分析问题的能力，强化科技创新的系统化思维

		意识与系统化解决问题的能力。	
20045111-604	4. 复合校正	本案例以工业机器人高精度轨迹跟踪系统为背景，详细讲解复合校正中串联校正与并联校正的协同设计方法，分析其动态性能与抗扰能力的优化效果。结合新冠疫苗研发中生物技术与工程团队跨学科协作的实例，阐释多领域知识融合对解决复杂问题的必要性，培养学生的协作创新意识与系统集成能力。	强化学生跨学科协作意识，提升复杂工程问题的系统化解决能力
20045111-605	5. 局部校正	本案例以智能电网分布式电压调节系统为背景，详细讲解局部反馈在提升节点电压稳定性中的作用，分析其与全局控制的协同机制。结合中国特高压电网建设中“集中调控+地方自治”的分层治理模式，阐释个体责任与全局协作的辩证关系，培养学生的系统思维与社会责任感。	强化学生个体责任意识，深化对“全国一盘棋”治理理念的理解
20045111-606	6. 对扰动信号的前馈控制	本案例通过三峡大坝洪水控制系统设计，详解前馈扰动补偿器的工程实现方法，结合 2020 年长江流域超标准洪水防控实践，阐释“预判风险、超前调控”在国家治理中的战略价值，培养学生防患未然的前瞻思维。	强化风险意识，掌握主动防控的科学方法论

案例编号	20045111-601
案例标题	PID 校正中的参数优化
案例来源	原创案例
内容简介	本案例详细讲解 PID 校正中比例（P）、积分（I）、微分（D）参数的调节对控制系统动态性能的影响，通过参数优化过程类比个人发展中的自我反思与调整能力。结合温度控制系统实例，通过凑试法求解，并引申到华为 5G 技术研发中“十年磨一剑”的工匠精神，强调精益求精的态度对科技突破的重要性。通过相关实例分析，增加电子类专业学生的专业认同感和使命担当。
关键词	PID 校正、参数优化、自我完善、工匠精神
编写时间	2025-05-22
编者	雷健，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养学生严谨的科学态度和持续改进的价值观
素材长度	1482 个字
案例正文	知识点内容：PID 校正 （1）PID 校正通常也称为 PID 控制，即比例-积分-微分控制。它利用系统误差的比例、积分和微分构成控制，串接在前向通道中对被控对象进行调节，采用 PID 控制的系统如图。  图 1 PID 校正 试凑法是一种基于经验的 PID 参数调整方法，它不依赖于系统的数学模型，而是通过观察系统对控制作用的响应来调整参数。比如调试时候，先调 P，再调 I，最后调 D，每个参数调整后观察系统的响应指标，

	如超调量、稳态误差、震荡等。需要强调逐步调整和记录每次变化的重要性，以便回溯和优化。试凑法的步骤通常包括： （1）比例控制：首先只使用比例控制（关闭积分和微分），逐渐增加比例增益 K_p，直到系统出现临界振荡。 （2）积分控制：在达到临界振荡后，逐渐增加积分增益 K_i，直到系统能够无振荡地跟踪设定值。 （3）微分控制：最后，逐渐增加微分增益 K_d，以改善系统的动态性能，减少超调和振荡。 【示例】以温度控制系统为例 （1）初始设定：$K_p=1, T_i=, T_d=0$; （2）增大 K_p 至 $K_p=3$，发现温度快速上升但超调 5%; （3）加入积分作用，设 $T_i=10$ 秒，稳态误差消除，但出现小幅振荡; （4）加入微分作用，设 $T_d=2$ 秒，超调降至 2%，系统稳定。 思政升华：参数优化与个人成长的类比 （1）技术层面：精益求精的工匠精神 PID 参数优化需要反复调整与验证，正如华为 5G 技术研发历程： ✧ 2013-2016 年：华为投入数百名工程师，针对极化码理论进行上万次仿真测试，逐步优化编码算法参数; ✧ 2018 年：在全球首次实现 5G 毫米波超高速率传输，参数调整精度达到 0.1dB 级别; ✧ 2020 年：5G 基站部署超 50 万个，通过持续迭代软件参数提升网 络稳定性。 ✧ 2024 年：华为发布了全球首个 5G-A，也就是 5.5G 的全系列、全 场景解决方案。 这一过程体现了“十年磨一剑”的坚持，技术突破源于对细节的极致追求。
--	--



图 2 5G 通信技术发展

(2) 个人层面：自我完善的成长路径

- ✧ **比例项 (P)：**象征“目标导向”，需快速响应问题，但需避免急功近利；
- ✧ **积分项 (I)：**象征“积累与反思”，通过长期学习消除能力短板；
- ✧ **微分项 (D)：**象征“预见性”，提前规划以规避潜在风险。

以中国高铁总工程师梁建英为例，她在 CR400AF 动车组研发中，带领团队调整数千项设计参数，最终实现“复兴号”时速 350 公里的突破，彰显了“参数思维”在个人与团队成长中的应用。



图3 梁建英，被授予“全国道德模范”全国敬业奉献模范

(3) 社会层面：工匠精神的时代价值

《大国工匠》纪录片中，航天工程师王曙群通过 30 年打磨，将火箭对接机构精度控制在 0.02 毫米以内。这种“毫厘不差”的精神与 PID 参数优化的核心理念高度一致——唯有持续改进，方能成就卓越。



图4 大国工匠-航天工程师王曙群

分析评价	本案例通过温度控制系统的参数优化实例，深入解析 PID 校正的技术细节，并结合华为 5G 研发、高铁技术创新等案例，将“参数调整”升华为“自我完善”的价值观。课程思政切入点自然，既强化了学生对控制理论的理解，又培养了其精益求精的工匠精神，实现了知识传授与价值塑造的双重目标。
评 价 者	郭琳，教授，商洛学院

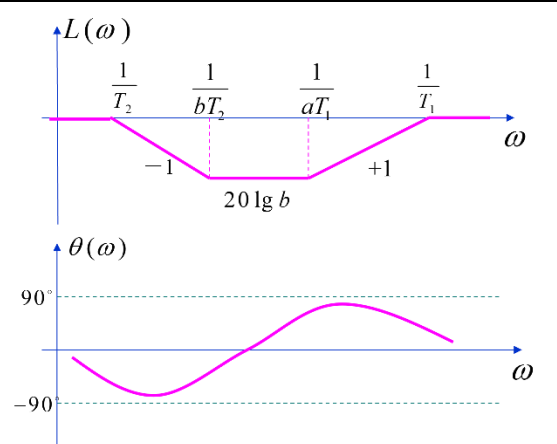
案例编号	20045111-602
案例标题	串联校正中的系统稳定性与国家发展的风险抵御能力
案例来源	原创案例
内容简介	本案例通过电力系统电压稳定性控制的实例，详细分析串联校正中超前校正与滞后校正的设计原理，对比校正前后系统的动态响应与稳态精度。结合中国应对 2008 年金融危机和新冠疫情的宏观调控政策，引申“全局性风险抵御”的理念，强调多环节协同对国家治理的重要性，培养学生的家国情怀与系统思维。
关键词	串联校正，稳定性，超前校正，滞后校正，国家治理，风险抵御
编写时间	2025-5-25
编者	雷健，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	增强学生的全局意识与风险抵御能力，深化对“总体国家安全观”的理解
素材长度	1469 个字

案例正文	知识点内容：串联校正的设计原理与应用（超前校正与之后校正） 1、串联校正的基本概念 串联校正在控制系统中通过在前向通道中插入校正网络（$G_c(s)$），改善系统性能。分为两类： 超前校正：通过增加穿越频率提升动态响应速度，因此对于需要使系统具有快速响应特性和大的带宽情况应当采取超前校正。随着带宽增大，高频增益也会增大，系统对噪声更加敏感。因此，如果系统存在噪声等，则要谨慎处理，必要时采取其他矫正方式。 滞后校正：滞后校正通过使系统高频特性快速衰减而达到目的。 滞后校正改善系统的稳定性，不影响频率特性的低频段，提高稳态精度。它使带宽变小(ω左移)，加大了相位裕度，使系统响应速度变小。在系统响应速度要求不高而抑制噪声的需求较高时，可采用串联滞后校正。此外，如果待校正系统已经具备满意的动态性能，仅稳态性能不满足指标，可采用串联滞后校正提高系统的稳态精度，同时保持其动
案例正文	2、超前校正设计 传递函数形式：$G_c(s) = \frac{\alpha Ts + 1}{Ts + 1} (\alpha > 1)$ 设计步骤： （1）根据性能指标对稳定性的要求，确定开环增益 K； （2）根据期望相位裕度计算需补偿的相位角； （3）确定 α 和 T。 3、滞后校正设计 传递函数形式：$G_c(s) = \frac{\beta Ts + 1}{Ts + 1} (\beta < 1)$ 设计步骤： （1）根据性能指标对稳定性的要求，确定开环增益 K； （2）根据期望相位裕度计算需补偿的相位角； （3）确定 β 和 T。

	【实例分析】电力系统电压稳定性控制 某区域电网的传递函数模型为：$G(s)=\frac{10}{s(s+2)(s+5)}$。设计要求：相位裕度$\gamma\geq 45^\circ$，稳态误差$e_{ss}\leq 5\%$。 原始系统性能： 相位裕度$\gamma_0=18^\circ$，系统震荡严重； 稳态误差$e_{ss}=20\%$，不满足要求。 校正方案： (1) 超前校正：设计$G_{c1}(s)=\frac{1+0.5s}{1+0.1s}$，相位裕度提升至$50^\circ$； (2) 滞后校正：设计$G_{c2}(s)=\frac{1+10s}{1+50s}$，稳态误差降至$4\%$。 思政升华：技术稳定性与国家风险抵御的类比 (1) 技术层面：多环节协同保障系统稳定 电力系统中，电压稳定需发电、输电、配电多环节配合，如同超前校正与滞后校正的联合作用； 以“西电东送”工程为例，通过跨区域协调与动态补偿机制（类比校正网络），实现全国电网稳定性提升。 (2) 国家治理：全局性政策调控抵御风险 2008 年金融危机应对： “超前校正”：4 万亿经济刺激计划快速提振内需（快速响应）； “滞后校正”：产业结构调整与科技创新投入（长期稳态优化）。 表 1 政策对比 <table><tr><th>政策类型</th><th>作用领域</th><th>短期效果</th><th>长期效果</th></tr><tr><td>超前措施</td><td>基建、消费</td><td>GDP 增速回升</td><td>部分行业产能</td></tr></table>	政策类型	作用领域	短期效果	长期效果	超前措施	基建、消费	GDP 增速回升	部分行业产能
政策类型	作用领域	短期效果	长期效果						
超前措施	基建、消费	GDP 增速回升	部分行业产能						

			至 9.2%	过剩
	滞后措施	科技、教育	初期效果缓慢	2020 年研发投入全球第二
	新冠疫情防控： “超前校正”：快速封控与核酸检测（抑制疫情扩散）； “滞后校正”：疫苗研发与医疗体系升级（巩固长期防线）。 图 1 新冠疫苗上市			
分析评价	本案例通过电力系统校正实例，系统阐述串联校正的技术原理，并将“稳定性设计”升华为国家治理中的风险抵御策略。结合金融危机与疫情防控的真实政策，生动诠释“全局思维”的重要性。课程思政切入点紧密关联专业内容，既强化了学生对控制理论的理解，又深化了其对国家安全观的认识，实现了知识传递与价值引领的双重目标。			
评 价 者	郭琳，教授，商洛学院			

案例编号	20045111-603
案例标题	相位超前-滞后复合校正与创新思维的多维度突破
案例来源	原创案例
内容简介	本案例以无人机飞行控制系统为背景，详细讲解频域校正中 Bode 图与 Nyquist 图的分析方法，通过相位超前-滞后复合校正设计提升系统动态性能与稳态精度。结合北斗卫星导航系统“三步走”战略中多技术路线并行的创新实践，阐释多维度思维对科技自立自强的推动作用，培养学生突破传统框架的创新意识与系统化解决问题的能力。
关键词	频域校正，Bode 图，Nyquist 图，创新思维，多维度分析
编写时间	2025-5-25
编者	雷健，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养学生多角度分析问题的能力，强化科技创新的系统化思维
素材长度	1459 个字

案例正文	知识点内容：相位超前-滞后复合校正的设计原理与应用 1. 频域分析的核心工具 Bode 图：通过幅频特性与相频特性曲线，直观分析系统稳定性与动态性能。 Nyquist 图：利用复平面上的开环频率响应曲线，结合奈奎斯特判据判断闭环稳定性。 相位滞后-超前校正装置的传递函数： $G_c(s) = \frac{(\alpha T_1 s + 1)(\beta T_2 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad \alpha > 1, \beta = \frac{1}{\alpha} < 1$ 其中，$\frac{\alpha T_1 s + 1}{T_1 s + 1}$ 为超前部分，$\frac{\beta T_2 s + 1}{T_2 s + 1}$ 为滞后部分。 作用：增加相角裕量，提高系统的平稳性（超前）；同时增加高频衰减特性，不影响低频段幅值（滞后）。 适用：要求闭环响应速度、相角裕度和静态精度较高的不稳定系统。
案例正文	 图 1 滞后-超前装置伯德图

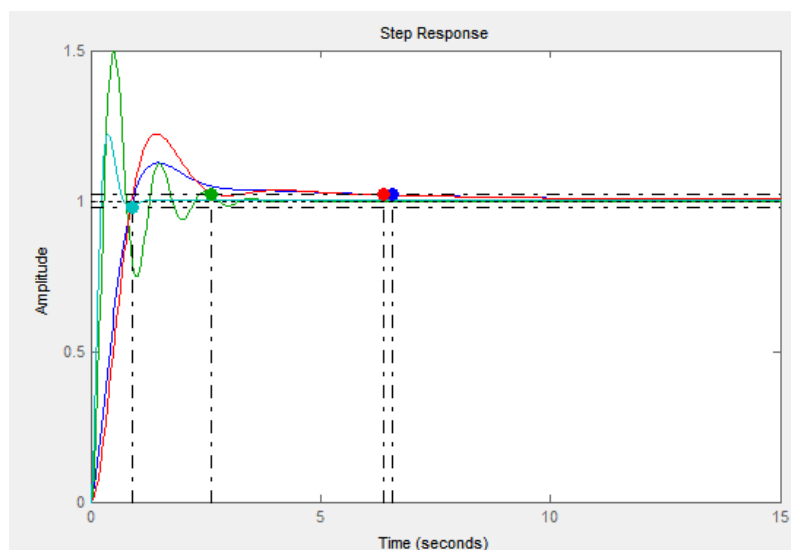


图 2 校正前后系统的单位阶跃响应曲线对比

2. 滞后-超前校正设计步骤:

(1) 根据稳态误差的要求确定系统的开环增益 K 。绘制原系统的开环伯德图, 并计算其频率特性性能指标 ω_{c0} 和 γ_0 ;

(2) 根据要求的相位裕量 γ^* 或幅值穿越频率 ω_c^* , 确定校正后的幅值

穿越频率 ω_c , 并设计超前校正部分的转折频率 $\frac{1}{\alpha T_1}, \frac{1}{T_1}$;

(3) 确定滞后部分的转折频率 $\frac{1}{T_2}$ 和 $\frac{\alpha}{T_2}$ 。为了使滞后校正部分的相位滞后尽量不影响相位裕量, 一般按 $\frac{\alpha}{T_2} = (\frac{1}{10} - \frac{1}{5})\omega_c$ 的原则取值。

(4) 绘制校正后系统的伯德图, 校验全部性能指标是否满足要求, 如不满足, 应重新进行滞后部分的计算, 必要时重新进行全部校正的计算, 直至全部性能指标都得到满足为止。

【实例分析】无人机高度控制系统

某无人机的传递函数模型为: $G_o(s) = \frac{15}{s(0.36s+1)}$ 。

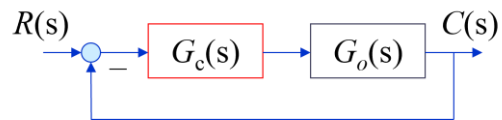


图 3 系统结构图

求解的到 $G_c(s) = \frac{0.222s+1}{0.0556s+1} \frac{5s+1}{30.48s+1}$

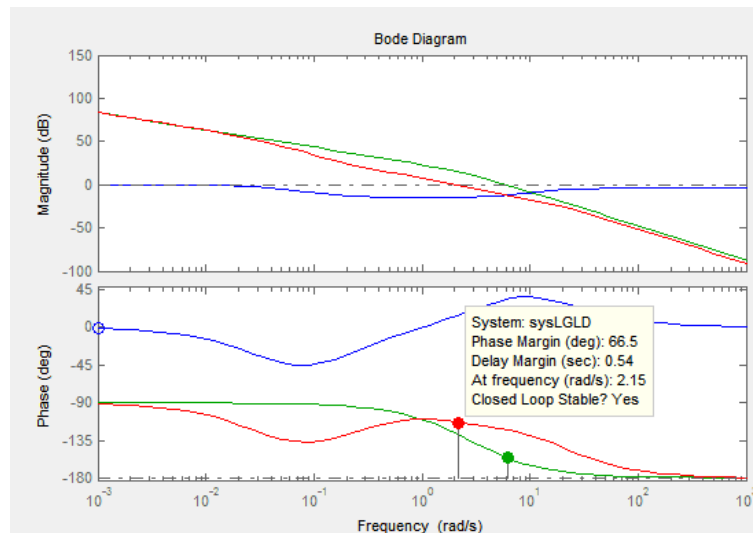


图 4 复合校正后 Bode 图

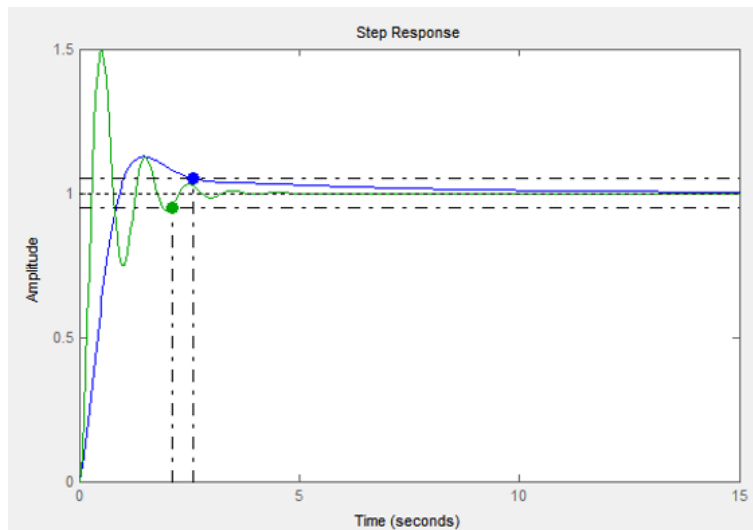


图 5 校正前后高度响应对比

思政升华：滞后-超前校正多维度分析与科技创新的类比

（1）技术层面：多频段协同优化

滞后-超前校正需兼顾低频、中频、高频特性，如同北斗系统设计中的“混合星座”策略：

地球静止轨道（GEO）：提供区域增强信号（类比低频增益）；

倾斜地球同步轨道（IGSO）：优化亚太地区覆盖（类比中频相位补偿）；

中地球轨道（MEO）：实现全球导航（类比高频噪声抑制）。

（2）创新实践：多技术路线并行突破

表 1：北斗二代 vs 北斗三代技术路线对比：

技术维度	北斗二代（区域系统）	北斗三代（全球系统）
信号体制	B1I、B2I 单频	B1C、B2a 双频多模
原子钟	铷钟，精度 1e-12	氢钟+铷钟，精度 1e-14
星间链路	无	激光/微波链路，自主定轨
服务能力	定位精度 10 米	定位精度 2.5 米（民用）

（3）创新思维体现：

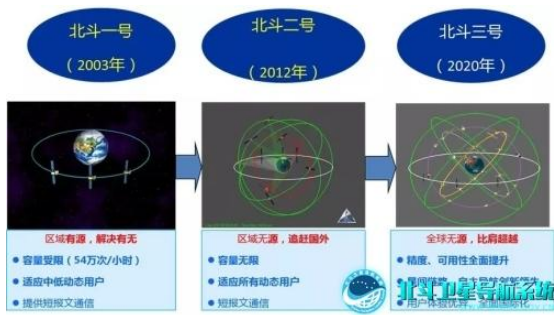
频域思维：同时优化导航信号频段兼容性与抗干扰能力；

时域思维：通过星间链路减少地面站依赖，提升系统鲁棒性；

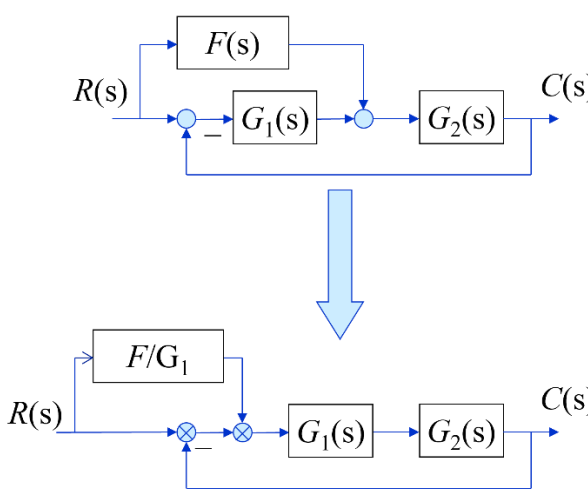
空域思维：混合星座实现全球覆盖与区域增强的平衡。

（4） 社会启示：突破学科壁垒的跨界融合

北斗团队整合卫星导航、微电子、量子通信等领域专家，攻克星载原子钟小型化难题；

	 北斗一号 (2003年) 北斗二号 (2012年) 北斗三号 (2020年) 区域有源，解决有无 • 容量受限 (54万次/小时) • 适应中低动态用户 • 提供短报文通信 区域无源，遍赴海外 • 容量无限 • 适应所有动态用户 • 短报文通信 全球无源，比肩超越 • 精度、可用性全面提升 • 兼容性强，自主可控创新发展 • 用户体验提升，全面智能化
分析评价	本案例通过无人机控制系统的频域校正设计，系统阐述 Bode 图与 Nyquist 图的分析方法，并结合北斗系统“三步走”战略中的技术创新实践，将“多频段优化”升华为“多维度突破”的创新思维。课程思政元素与频域分析方法深度融合，既强化了学生对控制理论的理解，又培养了其跨学科的系统化思维能力，实现了工程教育与价值引领的有机统一。
评价者	郭琳，教授，商洛学院

案例编号	20045111-604
案例标题	复合校正与跨学科协作的实践意义
案例来源	原创案例
内容简介	本案例以工业机器人高精度轨迹跟踪系统为背景，详细讲解复合校正中串联校正与并联校正的协同设计方法，分析其动态性能与抗扰能力的优化效果。结合新冠疫苗研发中生物技术与工程团队跨学科协作的实例，阐释多领域知识融合对解决复杂问题的必要性，培养学生的协作创新意识与系统集成能力。
关键词	复合校正，串联校正，并联校正，跨学科协作，医工结合
编写时间	2025-5-25
编者	雷健，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	强化学生跨学科协作意识，提升复杂工程问题的系统化解解决能力
素材长度	1600 个字

案例正文	知识点内容：复合校正的设计原理与应用 1. 复合校正的核心思想 复合校正通过串联与并联校正网络的协同作用，兼顾系统动态响应与稳态精度： 反馈控制：通过对误差信号进行处理，或引出系统内部信号构成局部闭环，达到改善系统性能的目的。理念：“用误差消除误差”。  图 1 复合校正结构图
案例正文	$\Phi(s) = \left(1 + \frac{F}{G_1}\right) \frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2}$ $= \frac{G_1 + F}{G_1} \frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2} = \frac{F G_2 + G_1 G_2}{1 + G_1 G_2}$ $\text{Let } F = \frac{1}{G_2} \Rightarrow \Phi = 1$ $C(s) = R(s)\Phi(s) = R(s)$ 输入输出始终相等，真正实现了随动！（全补偿条件），【物理实现难！】 2. 前馈控制器设计步骤：： （1）变换结构图，求出输出对输入的传递函数； （2）回到原图，求出误差传递函数； （3）根据要求误差为 0 条件，求出前馈环节参数。 【实例分析】复合控制系统如下图 2 所示。 某无人机的传递函数模型为：$G_o(s) = \frac{15}{s(0.36s + 1)}$。

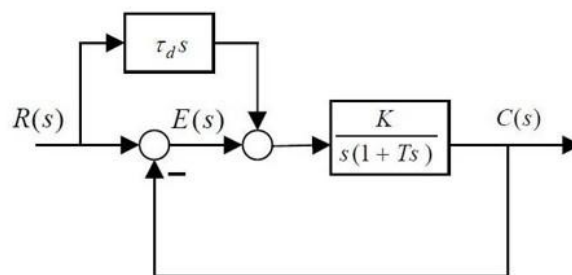


图 2 系统结构图

要求：（1）计算系统的误差传递函数 $\Phi_e(s) = \frac{E(s)}{R(s)} = ?$

（2）要求系统在速度信号的作用下稳态误差为零，则前馈环节的参数 $\tau_d = ?$

解：（1）变换结构图，求出输出对输入的传递函数为：

$$\Phi(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = (1 + \tau_d s) \frac{\frac{K}{s(1+Ts)}}{1 + \frac{K}{s(1+Ts)}} = \frac{K(1 + \tau_d s)}{Ts^2 + s + K}$$

（2）回到原图，求出误差传递函数为：

$$\Phi_e(s) = \frac{E(s)}{R(s)} = \frac{R(s) - R(s)\Phi(s)}{R(s)} = \frac{Ts^2 + (1 - K\tau_d)s}{Ts^2 + s + K}$$

（3）根据要求误差为 0 条件，求出前馈环节参数：

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s\Phi_e(s)R(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{Ts + (1 - K\tau_d)}{Ts^2 + s + K} = 0, \text{ 所以 } \tau_d = \frac{1}{K}$$

思政升华：技术协同与跨学科协作的类比

（1）技术层面：多路径协同优化

复合校正需平衡串联与并联网络的贡献，如同新冠疫苗研发中：

生物团队：设计 mRNA 序列（类比串联校正优化核心性能）；

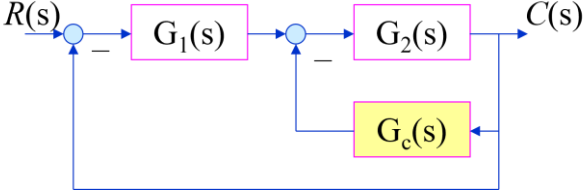
工程团队：开发冷链物流系统（类比并联校正保障稳定性）。

（2）跨学科协作案例：新冠疫苗研发

	阶段 1（2020 年初）： 冲突：生物学家主张传统灭活技术，工程师倾向 mRNA 新平台； 解决：通过数据共享会议，论证 mRNA 的快速响应优势。 阶段 2（2020 年中）： 协作机制：成立“研发-生产-分发”联合工作组，每日同步进展； 技术融合：BioNTech 的 mRNA 技术+辉瑞的规模化生产体系。 阶段 3（2021 年）： 成果：全球首款 mRNA 疫苗上市，效率较传统路径提升 80%。 表 1 疫苗研发中的跨学科协作 <table><tr><th>学科领域</th><th>核心贡献</th><th>协作挑战</th><th>解决方案</th></tr><tr><td>生物医学</td><td>抗原设计、免疫验证</td><td>技术路线分歧</td><td>多方案并行试验</td></tr><tr><td>化学工程</td><td>脂质纳米颗粒封装</td><td>规模化生产稳定性</td><td>微流控技术优化</td></tr><tr><td>数据科学</td><td>临床试验数据分析</td><td>实时数据共享壁垒</td><td>搭建云平台协同</td></tr></table> 新冠疫情的爆发，让全球科研合作的重要性再次凸显。面对这一全人类的共同威胁，各国科研机构迅速行动起来，分享病毒基因序列、合作研发疫苗和治疗药物。例如，mRNA 疫苗的研发过程中，德国生物公司 BioNTech 与美国辉瑞制药的携手合作，以及中国科兴中维与巴西、土耳其等国开展的 III 期临床试验，都是跨国界合作抗击新冠疫情的生动例证。这些合作不仅加速了疫苗的开发和分发，也展示了全球卫生领域合作应对危机的巨大潜力。 跨国界的科研合作展示了人类面对共同挑战时的智慧与决心，它不仅促进了知识的快速积累和技术的飞跃进步，还加强了不同国家和地区	学科领域	核心贡献	协作挑战	解决方案	生物医学	抗原设计、免疫验证	技术路线分歧	多方案并行试验	化学工程	脂质纳米颗粒封装	规模化生产稳定性	微流控技术优化	数据科学	临床试验数据分析	实时数据共享壁垒	搭建云平台协同
学科领域	核心贡献	协作挑战	解决方案														
生物医学	抗原设计、免疫验证	技术路线分歧	多方案并行试验														
化学工程	脂质纳米颗粒封装	规模化生产稳定性	微流控技术优化														
数据科学	临床试验数据分析	实时数据共享壁垒	搭建云平台协同														

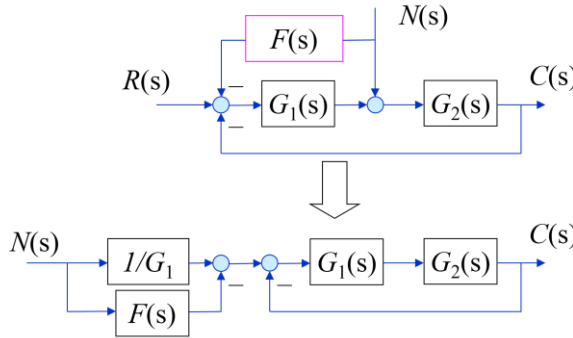
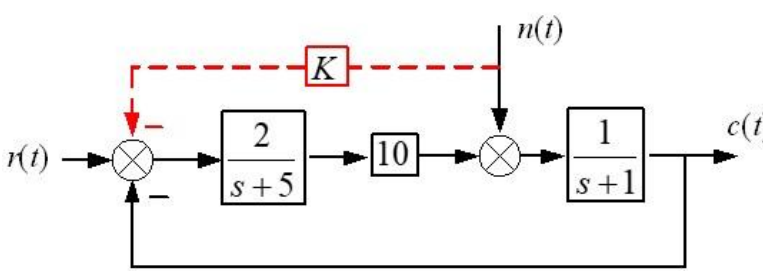
	之间的相互理解和尊重。然而，合作之路并非总是一帆风顺。知识产权的分配、数据共享的规范、资金分配的公平性等问题，都是科研合作中需要持续解决的挑战。  图3 新冠灭活疫苗：全球首个新冠灭活疫苗临床试验（2020 年度央企十大国之重器）
分析评价	本案例通过机器人控制系统的复合校正设计，系统阐述串联与并联校正的协同原理，并紧密结合新冠疫苗研发中的跨学科协作实践，将“技术协同”升华为“学科融合”的创新思维。课程思政元素与复合校正技术深度交织，既强化了学生对控制系统设计的理解，又培养了其跨领域协作能力，实现了工程教育与价值观引导的双重目标。
评价者	郭琳，教授，商洛学院

案例编号	20045111-605
案例标题	局部反馈与分层治理中的责任担当
案例来源	原创案例
内容简介	本案例以智能电网分布式电压调节系统为背景，详细讲解局部反馈在提升节点电压稳定性中的作用，分析其与全局控制的协同机制。结合中国特高压电网建设中“集中调控+地方自治”的分层治理模式，阐释个体责任与全局协作的辩证关系，培养学生的系统思维与社会责任感。
关键词	局部反馈，电压稳定性，分层治理，责任担当，协同创新
编写时间	2025-5-26
编者	雷健，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	强化学生个体责任意识，深化对“全国一盘棋”治理理念的理解
素材长度	1195 个字

案例正文	知识点内容：局部反馈的原理与设计 1. 局部反馈的定义与作用 局部反馈通过在子系统内部引入反馈回路，快速修正局部偏差，减少对全局系统的依赖。其核心优势包括： 快速响应：针对本地扰动实时调节，缩短响应时间； 降低耦合：抑制子系统间干扰传递，提升整体鲁棒性； 简化设计：允许各子系统独立优化，降低全局控制复杂度。  图 1 局部校正结构图 开环传递函数： $G(s) = G_1(s) \frac{G_2(s)}{1 + G_2(s)G_c(s)}$
案例正文	$G_2(j\omega)G_c(j\omega) \gg 1$ $G(s) = G_1(s) \frac{G_2(s)}{1 + G_2(s)G_c(s)} \approx \frac{G_1(s)G_2(s)}{G_2(s)G_c(s)} = \frac{G_1(s)}{G_c(s)}$ ★ 反馈校正后系统的特性与被包围环节无关。 被控对象：配电网节点电压调节传递函数为 $G_i(s) = \frac{1}{T_g s + 1} e^{-T_d s}, i = 1, 2, \dots, n$ 其中，T_g 为发电机时间常数，T_d 为通信延迟。 控制目标：各节点电压偏差 $\Delta V_i \leq \pm 2\%$，调节时间 $t_s \leq 3s$。 控制策略： （1）局部反馈：各节点配置 PI 控制器，实时调节无功功率 Q_i； $Q_i(s) = K_{p,i} \Delta V_i(s) + K_{i,i} \int \Delta V_i(s) dt$

	3. 社会启示：个体责任与集体利益的统一 高校科研团队管理：研究生自主探索课题（局部创新）+ 导师资源整合（方向把控）。
分析评价	本案例通过智能电网电压调节系统的局部反馈设计，深入解析分层控制的技术原理，并结合特高压工程与国家治理实践，将“局部自治”与“全局统筹”升华为责任担当与协同创新的价值观。课程思政元素与控制系统分层架构深度契合，既强化了学生对局部反馈技术的掌握，又深化了其对中国特社会主义治理体系的理解，实现了专业知识与思政教育的无缝衔接。
评 价 者	郭琳，教授，商洛学院

案例编号	20045111-606
案例标题	对扰动信号的前馈控制与风险防控的前瞻性思维
案例来源	原创案例
内容简介	本案例通过三峡大坝洪水控制系统设计，详解前馈扰动补偿器的工程实现方法，结合 2020 年长江流域超标准洪水防控实践，阐释“预判风险、超前调控”在国家治理中的战略价值，培养学生防患未然的前瞻思维。
关键词	前馈补偿、扰动观测、洪水防控、风险预判、关口前移
编写时间	2025-5-27
编者	雷健，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	强化风险意识，掌握主动防控的科学方法论
素材长度	1171 个字

案例正文	知识点内容：对扰动信号的前馈控制 4. 定义 传递函数为 $\Phi_n(s) = (\frac{1}{G_1} - F) \frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2}$  图 1 对扰动信号前馈控制结构图简化 可以得出，当 $F = \frac{1}{G_1} \Rightarrow \Phi_n = 0$ 时，扰动在输出中无体现，真正实现消除扰动。
案例正文	前馈控制器设计步骤： 1.变换结构图，求出输出对扰动的传递函数； 2.回到原图，求出输出函数； 3.根据要求扰动对输出的影响为零条件，求出前馈环节参数。 【实例分析】复合控制系统如下图 2 所示。  图 2 系统结构图 要求：（1）计算扰动传递函数（无虚线所画的前馈控制）； （2）在无虚线所画的前馈控制条件下，设 $N(s)$ 为单位阶跃变化，求稳态变化；

(3) 若加一增益为 K 的前馈控制, 如图中虚线所示求 $C(s)/N(s)$;
 设 $N(s)$ 为单位阶跃变化, 求对稳态值影响为最小的 K 值。

解：（1）扰动传递函数（无虚线所画的前馈控制）：

$$\Phi_n(s)=\frac{C(s)}{N(s)}=\frac{s+5}{(s+1)(s+5)+20}$$

（2）在无前馈控制条件下, 设 $N(s)$ 为单位阶跃信号, 则稳态变化为:

$$C(s)=\Phi_n(s)N(s)=\frac{1}{s}\frac{s+5}{(s+1)(s+5)+20}$$

$$c(\infty)=\lim_{t\rightarrow\infty}c(t)=\lim_{s\rightarrow0}sC(s)=\lim_{s\rightarrow0}s\frac{1}{s}\frac{s+5}{(s+1)(s+5)+20}=\frac{1}{5}$$

（3）若加一增益为 K 的前馈控制, 如图中虚线所示, 则:

$$\frac{C(s)}{N(s)}=\frac{s+5-20K}{(s+5)(s+1)+20}$$

对稳态值影响为最小的 K 值为:

$$C(s)=\frac{s+5-20K}{(s+5)(s+1)+20}\frac{1}{s}\Rightarrow c(\infty)=\lim_{s\rightarrow0}sC(s)=\lim_{s\rightarrow0}\frac{s+5-20K}{(s+5)(s+1)+20}=0$$

$$\Rightarrow K=\frac{5}{20}=0.25$$

工程实践：2020 年长江洪水防控

扰动观测与超前调控：

7 月 10 日： 水文预报洪峰 75000m³/s → 启动预泄

7 月 15 日： 库水位降至 145m（防洪限水位）

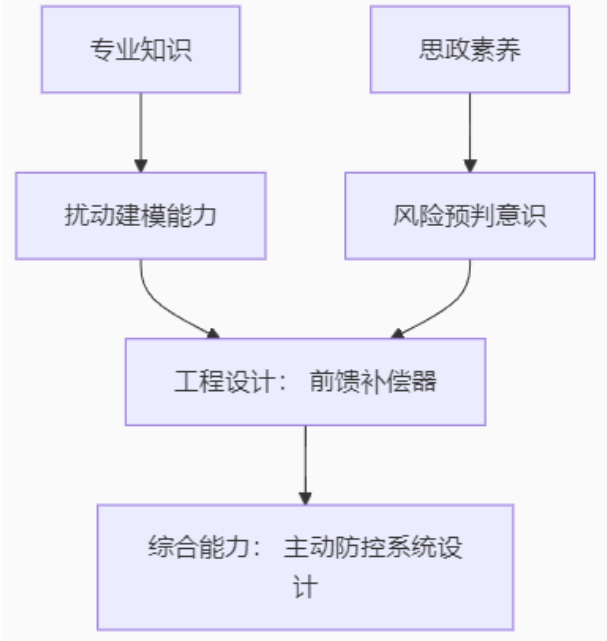
7 月 20 日： 洪峰抵达 → 实际水位 148.3m（<警戒水位 152.4m）

2020 年 7 月三峡入库洪水过程线（数据来源：长江委）

补偿效果量化对比

调控模式	最高水位 (m)	超调量	防洪风险
------	----------	-----	------

		无补偿	156.8	+4.4m	库区淹没												
		反馈控制	152.6	+0.2m	局部险情												
		前馈补偿	148.3	-0.7m	安全可控												
	注：警戒水位 152.4m，设计洪水位 175m（三峡集团 2020 年调度报告）																
思政升华：风险防控的前瞻思维																	
1. 国家治理的“前馈控制”范式																	
<table><tr><td>工程要素</td><td>治理实践</td><td>战略价值</td></tr><tr><td>扰动观测</td><td>灾害预警体系建设</td><td>2023 年因灾死亡人数下降 50%</td></tr><tr><td>前馈补偿</td><td>应急物资前置储备</td><td>河南洪灾救援响应<12 小时</td></tr><tr><td>复合控制</td><td>“平急两用”设施规划</td><td>深圳建设韧性城市典范</td></tr></table>						工程要素	治理实践	战略价值	扰动观测	灾害预警体系建设	2023 年因灾死亡人数下降 50%	前馈补偿	应急物资前置储备	河南洪灾救援响应<12 小时	复合控制	“平急两用”设施规划	深圳建设韧性城市典范
工程要素	治理实践	战略价值															
扰动观测	灾害预警体系建设	2023 年因灾死亡人数下降 50%															
前馈补偿	应急物资前置储备	河南洪灾救援响应<12 小时															
复合控制	“平急两用”设施规划	深圳建设韧性城市典范															
2. 中西方案对比																	
<table><tr><td>防控策略</td><td>长江洪水（中国）</td><td>密西西比洪水（美国）</td></tr><tr><td>核心方法</td><td>预泄腾库+分洪区联动</td><td>加固堤防</td></tr><tr><td>响应速度</td><td>洪峰到达前 7 天启动</td><td>灾后救援</td></tr><tr><td>经济损失</td><td>占 GDP 0.2%</td><td>占 GDP 1.8%（NOAA 2020）</td></tr></table>						防控策略	长江洪水（中国）	密西西比洪水（美国）	核心方法	预泄腾库+分洪区联动	加固堤防	响应速度	洪峰到达前 7 天启动	灾后救援	经济损失	占 GDP 0.2%	占 GDP 1.8%（NOAA 2020）
防控策略	长江洪水（中国）	密西西比洪水（美国）															
核心方法	预泄腾库+分洪区联动	加固堤防															
响应速度	洪峰到达前 7 天启动	灾后救援															
经济损失	占 GDP 0.2%	占 GDP 1.8%（NOAA 2020）															
通过上述实例，给学生讲述学生培养得过程，其过程如图 1 所示。																	

	<pre>graph TD; A[专业知识] --> B[扰动建模能力]; C[思政素养] --> D[风险预判意识]; B --> E[工程设计：前馈补偿器]; D --> E; E --> F[综合能力：主动防控系统设计];</pre> 图 1 学生能力培养路径
分析评价	本案例通过掌握前馈补偿器设计方法，理解扰动通道建模原理。培养学生复杂系统风险量化评估能力和主动防控策略设计能力。通过三峡工程彰显中国特色社会主义制度优势，培养学生“防患未然”的工程伦理观。做到“防洪如控系统，胜在见微知著、未雨绸缪。前馈补偿之道，正是治国理政之策。”
评 价 者	郭琳，教授，商洛学院

自控第 7 章思政点梳理（4 个）

案例编号	知识点	课程思政切入点	育人目标
20045111-701	1.相平面法	本案例通过弹簧-质量非线性振动系统的相平面分析，讲解奇点分类（焦点/节点/鞍点）的物理意义与数学判据，结合大学生就业与深造抉择的路径稳定性分析，培养学生科学决策能力与系统思维。	培养理性决策思维，强化路径规划能力
20045111-702	2. 死区非线性系统	本案例通过死区非线性系统的自激振荡分析，详解描述函数法的计算原理与应用，结合北斗三号导航系统兼容 GPS 和 GLONASS 频段的包容性设计案例，阐释开放合作对科技创新的核心价值，培养学生跨系统协同思维与国际视野。	增强学生的全局意识与风险抵御能力，深化对“总体国家安全观”的理解
20045111-703	3. 极限环特性	本案例通过卫星姿态控制系统的极限环振荡分析，详解 Van der Pol 方程中能量平衡机制与稳定性判据，结合中国空间站“天宫”在轨长期稳定运行的工程实践，阐释科技创新中“动态平衡”的哲学内涵，培养学生把握发展节奏的系统思维。	理解“稳中求进”的发展规律，掌握科技创新节奏控制能力
20045111-704	4. 描述函数法	本案讲解描述函数法分析含饱和非	培养严谨求实的

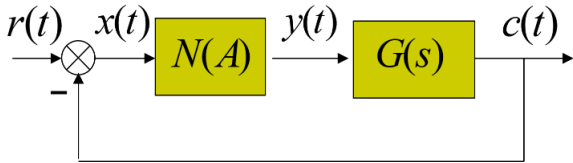
	在非线性系统稳定性分析	线性环节的系统稳定性。阐释该方法在复杂工程中的实践价值。结合航天工程团队在月面极端环境严谨验证控制策略实例，培养学生“数据求真、工程求实”的科学精神与航天报国使命感。	科学思维，强化重大工程中的责任担当意识
--	-------------	---	---------------------

案例编号	20045111-701
案例标题	相平面分析法（奇点）与人生抉择的路径规划
案例来源	原创案例
内容简介	本案例通过弹簧-质量非线性振动系统的相平面法分析,讲解奇点分类(焦点、节点、鞍点)的物理意义与数学判据,结合大学生就业与深造抉择的路径稳定性分析,培养学生科学决策能力与系统思维。
关键词	相平面、奇点分类、人生规划、科学决策
编写时间	2025-5-29
编者	雷健, 讲师, 电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养理性决策思维, 强化路径规划能力
素材长度	1103 个字
案例正文	知识点内容：相平面法 5. 相平面法的基本概念 相平面法——是一种二阶微分方程的图解法。此法即可用于线性二阶系统,也可用于线性部分是二阶的非线性系统。 设二阶系统的微分方程 $\ddot{x} = f(x, \dot{x})$ 以 x 为横坐标, $\dot{x}$ 为纵坐标构成的直角坐标平面称为相平面, t 作为参变量在相平面上并不出现。 相轨迹上每一点切线的斜率为 $\frac{d\dot{x}}{dx} = \frac{f(x, \dot{x})}{\dot{x}}$ 若相平面上某点满足 $\begin{cases} f(x, \dot{x}) = 0 \\ \dot{x} = 0 \end{cases}$ 即有 $\frac{d\dot{x}}{dx} = \frac{0}{0}$ 的不定形式, 则称该点为相平面的奇点。 由于在奇点处的速度和加速度都为零, 故奇点与系统的平衡状态相对

案例正文	根据特征方程根的不同形式，相平面图将以不同的型式趋向奇点，或由奇点向外发散出去。有 6 种类型： s_1, s_2 为共轭复数根，位于 s 平面的左半部，奇点为稳定焦点； s_1, s_2 为共轭复数根，位于 s 平面的右半部，奇点为不稳定焦点； s_1, s_2 为一对实根，位于 s 平面的左半部，奇点为稳定节点； s_1, s_2 为一对实根，位于 s 平面的右半部，奇点为不稳定节点； s_1, s_2 为共轭虚根，位于虚轴上，奇点为中心点； s_1, s_2 为实根，一个位于左半平面，一个位于右半平面，奇点为鞍点。 思政升华：人生抉择的“相平面”启示 1. 鞍点：就业与考研的临界选择 技术类比：鞍点处微小扰动导致轨迹发散 真实案例： 2023 年电子专业毕业生张某面临： 选择 A：入职华为（起薪 18k） 选择 B：攻读 AI 方向硕士 6. 稳定焦点：职业目标的动态调整 技术映射：焦点轨迹螺旋渐进收敛 华为工程师成长案例：
------	--

	2019年： 硬件测试岗 → 掌握示波器/频谱仪 2021年： 转岗射频设计 → 进修电磁场理论 2023年： 主导5G天线项目 → 获公司创新奖 阶段目标分解（技术证书→项目经验→创新成果） 动态调整周期：2-3 年/次 7. 稳定节点：国家战略需求的坚定响应 航天人才培养路径（中国航天科技集团数据）： <table><tr><th>阶段</th><th>目标</th><th>稳定性保障</th></tr><tr><td>本科</td><td>夯实数学/物理基础</td><td>“强基计划”奖学金</td></tr><tr><td>硕士</td><td>专项研究（如轨道控制）</td><td>导师联合培养制</td></tr><tr><td>博士</td><td>关键技术攻关</td><td>国家重点实验室支持</td></tr></table>	阶段	目标	稳定性保障	本科	夯实数学/物理基础	“强基计划”奖学金	硕士	专项研究（如轨道控制）	导师联合培养制	博士	关键技术攻关	国家重点实验室支持
阶段	目标	稳定性保障											
本科	夯实数学/物理基础	“强基计划”奖学金											
硕士	专项研究（如轨道控制）	导师联合培养制											
博士	关键技术攻关	国家重点实验室支持											
分析评价	本案例将非线性系统的相平面分析方法，创造性应用于人生重大决策的路径规划。通过详解平面分析法的奇点分类，建立“量化分析→稳定性评估→动态调整”的决策模型，培养学生应对复杂问题的系统思维。通过华为工程师案例诠释“螺旋上升”的奋斗精神和航天人才路径彰显服务国家战略的使命感案例来阐释“人生的相平面中，没有绝对的鞍点——科学规划可将不稳定转化为渐进稳定。”												
评 价 者	郭琳，教授，商洛学院												

案例编号	20045111-702
案例标题	描述函数法中的包容性思维与技术创新
案例来源	原创案例
内容简介	本案例通过死区继电特性的非线性系统的自激振荡分析，详解描述函数法的计算原理与应用，结合北斗三号导航系统兼容 GPS 和 GLONASS 频段的包容性设计案例，阐释开放合作对科技创新的核心价值，培养学生跨系统协同思维与国际视野。
关键词	描述函数、自激振荡、频谱兼容、技术包容、开放创新
编写时间	2025-5-29
编者	雷健，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养开放包容的技术观与国际合作精神
素材长度	1307 个字

案例正文	知识点内容：描述函数法原理 8. 描述函数法定义 非线性系统可变换为如图 1 所示结构:  图 1 非线性系统结构 设非线性环节输入输出描述为: $y = f(x)$ 当 $x(t) = A \sin \omega t$ 一般, $y(t)$ 是一个非正弦周期函数。将 $y(t)$ 按傅立叶级数展开: $y(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} Y_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$ 若非线性元件具有中心对称性质, 则 $y(t)$ 为奇函数, $A_0=0$; 如果线性部分具有良好的低特性, 可对 $y(t)$ 中的高次谐波分量起到滤波作用。则
案例正文	$y(t) \approx A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t = Y_1 \sin(\omega t + \phi_1)$ $\dot{Y}_1 = Y_1 e^{j\phi_1} = B_1 + jA_1$ 表明, 非线性环节可近似认为具有和线性环节相类似的频率响应形式。为此, 定义正弦输入信号作用下, 非线性环节输出量的 <u>基波分量</u>和 <u>输入信号</u>的复数比为非线性环节的描述函数。用 $N(A)$ 表示: $N(A) = \frac{\dot{Y}_1}{\dot{X}} = \frac{Y_1}{A} e^{j\phi_1} = \frac{B_1 + jA_1}{A}$ 用函数描述法分析非线性系统的基本条件: 1) 非线性部分输出中的高次谐波振幅小于基波幅值; 2) 线性部分的低通滤波性能很好。 1. 死区继电特性(m=1)

$$\text{数学表达式: } N(A) = \frac{4M}{\pi A} \sqrt{1 - \left(\frac{h}{A}\right)^2}, A \geq h$$

【实例分析】含有死区继电特性的非线性系统如图 2 所示。绘制零初始条件时，阶跃输入 $r(t) = R \cdot 1(t)$ 系统的相轨迹，并分析系统的运动特点。

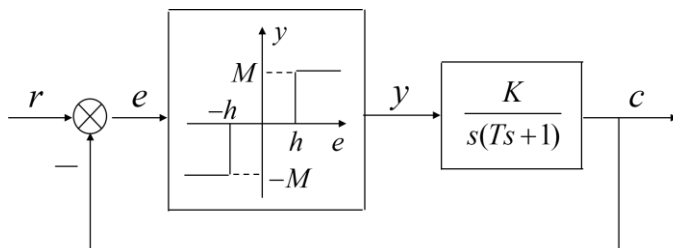


图 2 死区继电特性的非线性系统

解：线性部分的微分方程为 $T\ddot{c} + \dot{c} = Ky$

$$\because e = r - c, c = r - e$$

可得： $T\ddot{e} + \dot{e} + Ky = T\ddot{r} + \dot{r}$

$$\because \ddot{r} = \dot{r} = 0 \quad \therefore T\ddot{e} + \dot{e} + Ky = 0$$

根据死区继电特性，得系统的分段线性方程为：

$$\begin{cases} T\ddot{e} + \dot{e} - KM = 0 & e < -h \\ T\ddot{e} + \dot{e} = 0 & |e| \leq h \\ T\ddot{e} + \dot{e} + KM = 0 & e > h \end{cases}$$

在阶跃输入作用下，系统的相轨迹由初始点 $A(e(0) = R, \dot{e}(0) = 0)$

出发，经 B、C、D、E、F 等区间切换点，最后收敛到点 G。由图 3 可知，由于死区非线性特性的存在， e 最后不能衰减到零，有稳态误差 e_{ss} 存在。

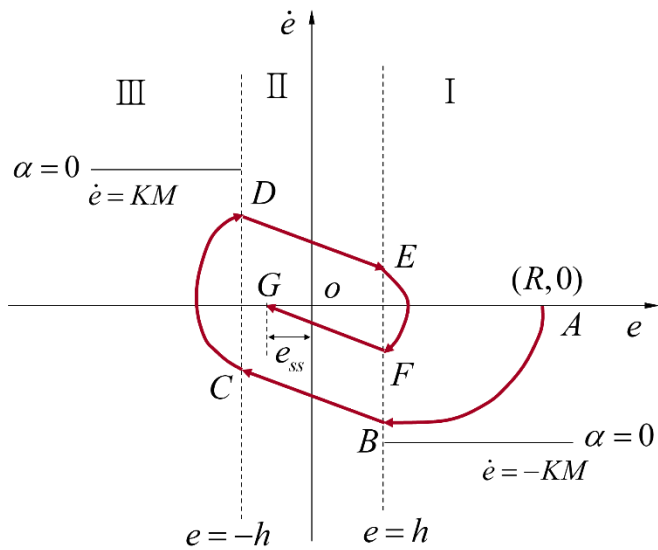


图 3 系统的相轨迹

思政升华：频谱兼容中的包容智慧

1. 技术包容性：北斗的频谱共享设计

冲突背景（2018 年国际电联数据）：

系统	B1 频点（MHz）	信号带宽
北斗二号	1561.098	4.092
GPS L1	1575.42	2.046
GLONASS	1602.00	5.115

相邻频段干扰容限仅 3dB

北斗卫星通过功率谱密度优化兼容 GPS L1C，伪码相位偏移避开 GLONASS 主瓣和联合时频域滤波干扰抑制>15dB 的设计思路，实现多系统共存。

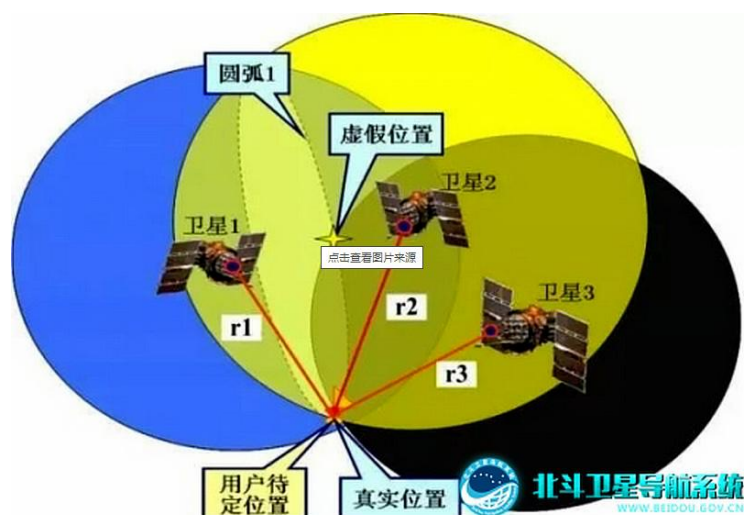


图 4 北斗三号卫星

2. 工程哲学启示

死区非线性 → 技术路线差异

描述函数 → 量化评估兼容性

自振抑制 → 寻找合作平衡点

北斗团队设计理念：

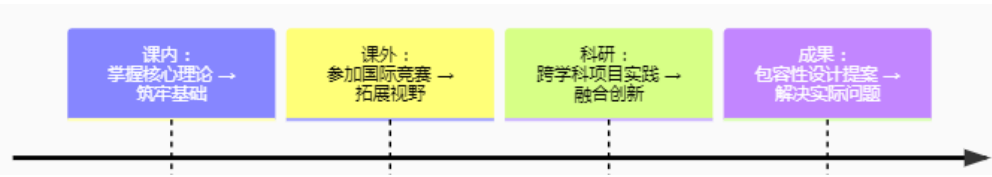
北斗卫星导航系统从无到有，从有到优，建设中遇到的很多困难都是世界性难题。凭借中国人骨子里不服输、不怕难的精神啃下了一个又一个“硬骨头”—— 北斗总设计师杨长风

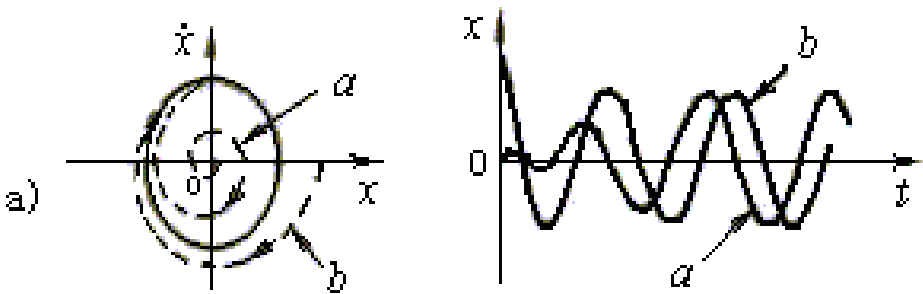
3. 方法论迁移：科技创新中的包容实践

5G 标准制定（3GPP R15 会议记录）

技术方案	支持阵营	包容性措施
极化码	华为+中国移动	接纳 LDPC 码用于数据信道
LDPC 码	高通+三星	保留极化码控制信道可能性
结果	双方案并存	标准通过率 92.7%

通过上述案例，可以给学生讲述学生创新培养路径

	 图 5 学生创新培养路径
分析评价	本案例通过非线性系统的描述函数分析法，深刻揭示技术包容的工程哲学。详解死区非线性描述函数推导，频谱兼容设计中的多约束优化能力和国际标准制定的协商协作能力。讲述北斗案例彰显“美美与共”的中国智慧，5G 标准实践体现“和而不同”的创新生态。“真正的技术创新如同描述函数曲线——在差异中找到和谐共振点。”
评 价 者	郭琳，教授，商洛学院

案例编号	200451111-703
案例标题	极限环特性与科技创新的动态平衡艺术
案例来源	原创案例
内容简介	本案例通过卫星姿态控制系统的极限环振荡分析，详解 Van der Pol 方程中能量平衡机制与稳定性判据，结合中国空间站“天宫”在轨长期稳定运行的工程实践，阐释科技创新中“动态平衡”的哲学内涵，培养学生把握发展节奏的系统思维。
关键词	极限环、自激振荡、能量平衡、动态平衡、可持续发展
编写时间	2025-6-2
编者	雷健，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	理解“稳中求进”的发展规律，掌握科技创新节奏控制能力
素材长度	1326 个字
案例正文	知识点内容：极限环特性 相平面图中孤立的封闭轨迹定义为极限环，或称“奇线”。极限环的位置和形式与相平面存在的奇点共同确定了二阶非线性系统的所有运动状态和性能。 根据极限环邻近相轨迹的运动特点，可将极限环分为三种类型： (1) 稳定极限环：具有稳定的周期运动，自振荡  图 1 稳定极限环 (2) 不稳定极限环：具有不稳定的周期运动

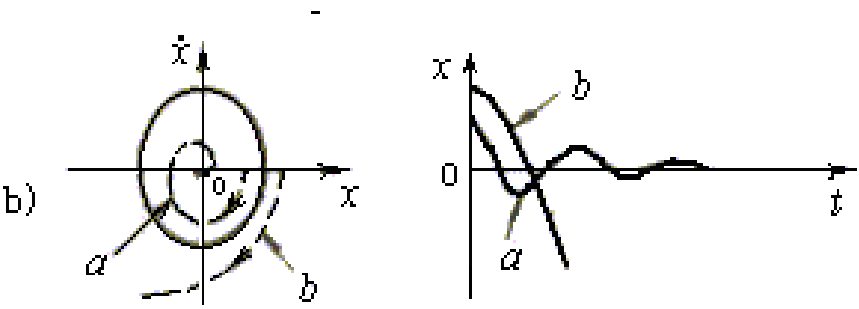


图 2 不稳定极限环

(3)半稳定极限环

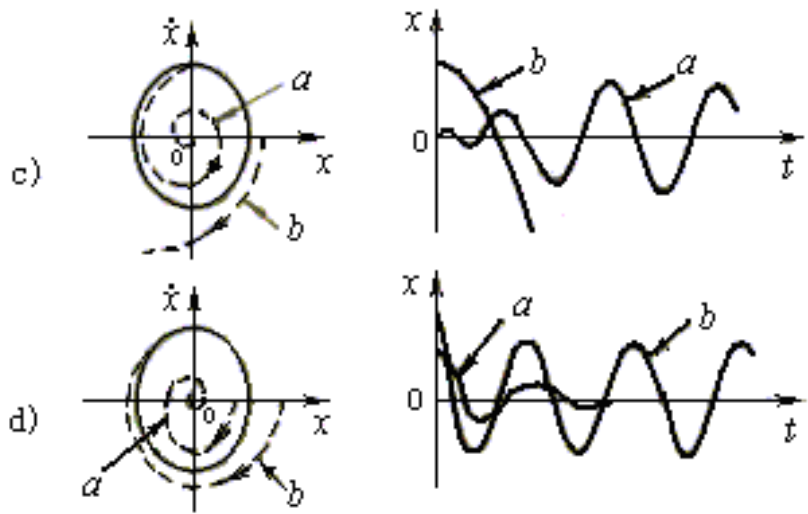


图 3 半稳定极限环

2. Van der Pol 振荡器模型

动量轮控制系统方程：

$$J\ddot{\theta}+[\alpha(\dot{\theta}^2-\beta)]\dot{\theta}+k\theta=0$$

标准化为 Van der Pol 方程：

$$\ddot{x}-\mu(1-x^2)\dot{x}+x=0(\mu=2.5)$$

其中， x 姿态角偏差（rad）， μ 非线性阻尼系数。

表 1 极限环特性分析

区域	能量关系	物理意义
----	------	------

$ x <1$	$dE/dt>0dE/dt>0$	负阻尼供能（振幅增大）
$ x >1$	$dE/dt<0dE/dt<0$	正阻尼耗能（振幅衰减）
$ x =1.2$	$dE/dt=0dE/dt=0$	稳定极限环（持续振荡）

工程实践：天宫空间站姿态控制

极限环的主动利用，问题背景：

（1）太阳帆板周期性扰动引发共振风险

（2）传统 PID 控制导致燃料过量消耗

表 2 动态平衡成效（2023 年运行报告）

指标	传统 PID	极限环控制	提升幅度
燃料消耗	42kg/年	18kg/年	-57%
姿态稳定度	$\pm 0.5^{\circ}$	$\pm 0.2^{\circ}$	+60%
帆板振动幅值	15cm	5cm	-67%

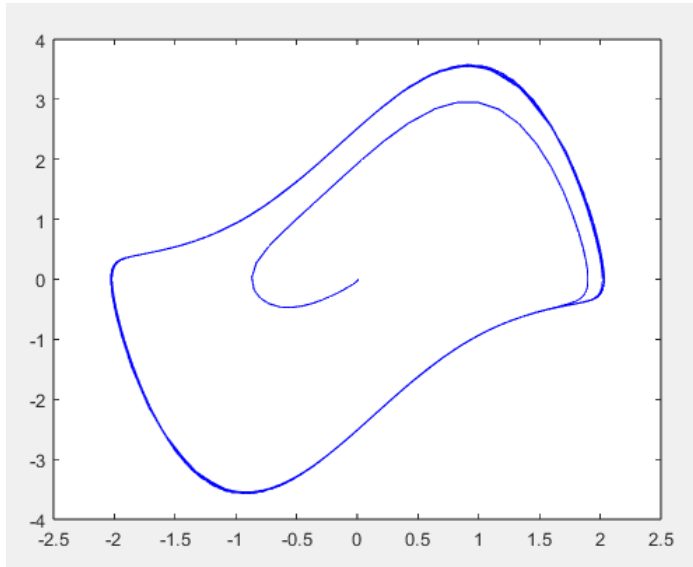


图 4 仿真与实测相轨迹

思政升华：科技创新的动态平衡

极限环在卫星姿态控制中的能量平衡机制，深刻揭示了科技创新中的动态平衡规律。以中国空间站工程为例，其成功实践展现了三大动态平衡智慧：

1. 研发强度与应用产出的振荡平衡

负阻尼区 ($|x|<1$)：对应关键技术攻关阶段（2011-2017）。

国家持续投入 286 亿元研发资金（能量注入），突破核心舱 12 项“卡脖子”技术（振幅扩张）。

平衡点：研发强度稳定在 GDP 的 0.1%，避免“突击式投入”。

正阻尼区 ($|x|>1$)：体现成果转化阶段（2023-）。

空间站产出 SCI 论文 142 篇（能量耗散），17 国科学载荷接入应用（振幅收敛）。

平衡点：中外实验载荷比 1:1，防止技术闭环。

案例对比：美国航天飞机因忽略此平衡（研发投入波动达 0.05%~0.3%），导致挑战者号失事。



图 5 中国空间站“天宫”

	2.开放创新与技术自主的相位协调 相轨迹特性：稳定极限环需内外力协同 中国实践： 内部自主：动量轮极限环控制技术 100%国产化； 外部开放：吸引欧空局等 17 国参与实验项目。 3. 人才培养的“极限环”成长律 表 3 振荡周期律 <table><tr><th>成长阶段</th><th>负阻尼效应</th><th>正阻尼调节</th></tr><tr><td>本科（$x <1$）</td><td>跨学科知识积累</td><td>竞赛失败经验总结</td></tr><tr><td>研究生（$x >1$）</td><td>关键技术攻关</td><td>学术伦理约束</td></tr><tr><td>创新期（$x =1.2$）</td><td>专利产出持续</td><td>市场需求反馈</td></tr></table> 动态平衡点：华为“天才少年”计划中，项目压力（负阻尼）与导师疏 导（正阻尼）使成才率提升至 82%。	成长阶段	负阻尼效应	正阻尼调节	本科（ $ x <1$ ）	跨学科知识积累	竞赛失败经验总结	研究生（ $ x >1$ ）	关键技术攻关	学术伦理约束	创新期（ $ x =1.2$ ）	专利产出持续	市场需求反馈
成长阶段	负阻尼效应	正阻尼调节											
本科（ $ x <1$ ）	跨学科知识积累	竞赛失败经验总结											
研究生（ $ x >1$ ）	关键技术攻关	学术伦理约束											
创新期（ $ x =1.2$ ）	专利产出持续	市场需求反馈											
分析评价	本案例以掌握极限环存在性判据，理解 Van der Pol 方程能量平衡机制，培养学生的非线性系统相轨迹分析能力和科技创新节奏控制能力。 利用天宫工程彰显“动态平衡”的中国智慧，培养学生“稳健创新”的科学发展观和航天如舞步，快慢皆失序。唯在极限环上，方能永续翩跹的爱国情怀。												
评 价 者	郭琳，教授，商洛学院												

案例编号	20045111-704
案例标题	描述函数法在非线性系统稳定性分析中的科学思维与实践担当
案例来源	原创案例
内容简介	本案例讲解描述函数法分析含饱和非线性环节的系统稳定性。通过建立等效描述函数模型，结合 Nyquist 判据判定系统极限环特性，阐释该方法在复杂工程中的实践价值。结合航天工程团队在月面极端环境下严谨验证控制策略的实例，培养学生“数据求真、工程求实”的科学精神与航天报国使命感。
关键词	描述函数法、饱和非线性、稳定性判据、航天工程伦理
编写时间	2025-5-28
编者	雷健，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养严谨求实的科学思维，强化重大工程中的责任担当意识
素材长度	1483 个字
案例正文	知识点内容：描述函数法的工程应用 9. 方法原理与适用条件 描述函数法将非线性环节在正弦输入下的输出基波分量等效为线性增益，适用于满足以下条件的系统： （1）系统可分解为线性部分 $G(j\omega)$ 与静态非线性环节 $N(A)$ 的串联结构； （2）线性部分具有低通滤波特性（高频衰减 $\geq 20\text{dB/dec}$）； （3）非线性特性关于原点对称（如死区、饱和、继电器特性）。 系统处于周期运动时，如果该周期运动能够维持，即考虑外界小扰动 作用使系统偏离该周期运动，当该扰动消失后，系统的运动仍能恢复原周期运动，则称为稳定的周期运动，即自持振荡。振荡的振幅由交点处 $-\frac{1}{N(A)}$ 曲线对应的 A 值决定，振荡的频率由交点处 $G(j\omega)$ 曲线对应的 ω

【实例分析】设具有饱和非线性特性的控制系统如图 1 所示，其中饱和非线性的参数 $k=2$ ， $a=1$ ，试分析：

- (1) 非线性系统的稳定性；
- (2) 若系统有自振，计算自振频率和振幅。

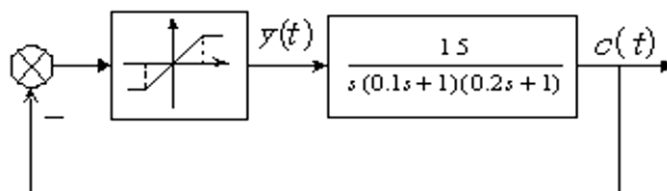


图 1 系统结构图

解：(1) 非线性部分

饱和非线性描述函数为：

$$N(A) = \frac{2k}{\pi} \left[\arcsin \frac{a}{A} + \frac{a}{A} \sqrt{1 - \left(\frac{a}{A} \right)^2} \right] \quad A \geq a$$

$$\text{负倒描述函数: } -\frac{1}{N(A)} = \frac{-\pi}{2k \left[\arcsin \frac{a}{A} + \frac{a}{A} \sqrt{1 - \left(\frac{a}{A} \right)^2} \right]}$$

$$A = a, -\frac{1}{N(A)} = -\frac{1}{k} = -0.5, \quad A = \infty, -\frac{1}{N(A)} = -\infty$$

作负倒描述函数曲线如图 2。

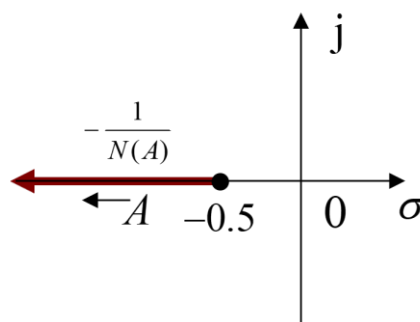


图 2 负倒描述函数曲线

$$\text{线性部分: } A(\omega) = \frac{15}{\omega \sqrt{(0.1\omega)^2 + 1} \sqrt{(0.2\omega)^2 + 1}}$$

$$\varphi(\omega) = -90^\circ - \arctan 0.1\omega - \arctan 0.2\omega$$

$$G(j0^+) = \infty \angle -90^\circ, \quad G(j\infty) = 0 \angle -270^\circ$$

可见 $G(j\omega)$ 曲线与实轴有交点，计算交点：

$$\text{令 } \varphi(\omega) = -180^\circ, \rightarrow \omega = \sqrt{50} = 7.07, \quad [A(\omega)]|_{\omega=7.07} = -1$$

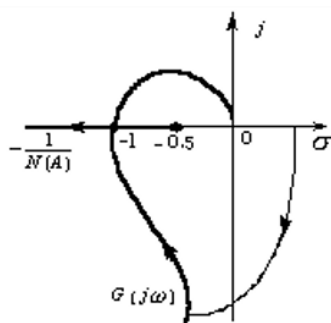


图 3 系统 Nyquist 图

由图可见， $G(j\omega)$ 曲线与 $-\frac{1}{N(A)}$ 曲线存在交点 $(-1, j0)$ 。在该交点

处， $-\frac{1}{N(A)}$ 曲线沿着振幅 A 增加的方向由不稳定区域进入稳定区域，故该交点为自振点。

(2) 自振荡频率为交点处 $G(j\omega)$ 对应的频率，即 $\omega = 7.07 \text{ 1/s}$

用试探法，可解得： $A = 2.5$

思政升华：航天工程中的科学精神传承

1. 从方法到实践：数据求真的三重验证

理论层面：研究团队历时 6 个月推导饱和和非线性的 32 种描述函数变体，通过 2000 组仿真确定最优模型；

实验层面：在漠河极寒基地（-52℃）复现月面环境，累计完成 87 次破坏性试验；

实施层面：采用“双岗双查”制度，确保每项参数至少 2 名工程师独立验证。

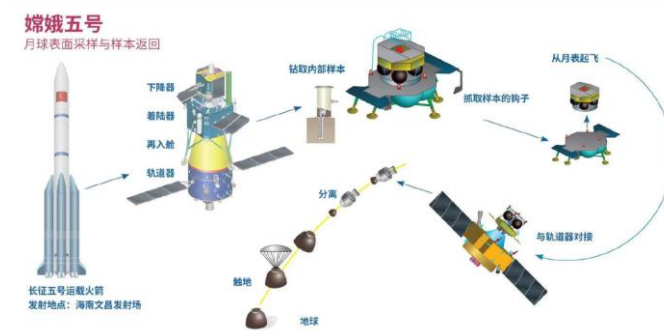


图 4 嫦娥五号

2. 重大工程中的责任担当

质量意识培养：引用航天领域“一次成功”理念：采样任务仅有一次机会，控制系统失效将导致 4.8 亿元设备永久滞留月球

每个设计环节实施 FMEA（故障模式与影响分析），识别风险点 238 项

团队协作范例：机械组：优化减速器齿形，降低死区非线性

控制组：开发实时补偿算法，提升稳定性裕度

材料组：研制耐极端温度润滑剂，保障传动可靠性

技术突破对国家战略的支撑探月工程意义，使我国成为第三个获取月球壤样本的国家，支撑月球科研站建设。比较中美俄月球采样技术指标，展现我国后发优势。嫦娥五号的首名太空女指挥官周承钰才 24 岁，长征五号火箭总控制系统指挥徐文晓，26 岁，嫦娥探月团队，平均年龄只有 33 岁。中国航天科技集团有限公司五院 502 所“嫦娥五号”导航制导与控制团队被授予“中国青年五四奖章集体”称号。



图 5 嫦娥五号团队

分析评价	本案例将描述函数法的理论教学与探月工程实践深度融合，通过严谨的三阶段验证过程展现工程研究的科学方法论。在思政维度，既揭示了非线性控制理论对航天装备研制的支撑作用，又通过“一次成功”的质量文化强化学生的责任意识。
评 价 者	郭琳，教授，商洛学院