

DOI: 10.3969/j.issn.1672-8874.2012.02.026

# 关于《鲁棒控制》课程教学的思考

刘恒坤, 李云钢, 龙志强

(国防科学技术大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

**[摘要]** 《鲁棒控制》课程理论性强, 在不断涌现的问题面前, 学生难以保持学习的主动性; 加之课程颇为抽象, 学生课上对知识的理解往往不够深入, 后期效果欠佳。针对这些问题, 围绕培养学生学习积极性, 提高鲁棒控制课程教学质量, 作者结合授课经验, 提出对该课程的教学的三点思考: 准确定位课程授课目标、有针对性地讲解相关基础知识及明确课程学习目标。

**[关键词]** 鲁棒控制; 教学; 基础知识; 学习目标

**[中图分类号]** G642.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8874(2012)02-0080-03

## Reflections on the Teaching of "Robust Control"

LIU Heng-kun, LI Yun-gang, Long Zhi-qiang

(College of Mechatronic Engineering and Automation, NUDT, Changsha, 410073, China)

**Abstract:** The students lack learning motivation for "robust control" study. They find it hard to learn the course. Because the course is abstract and difficult to understand clearly, the teaching result is not satisfactory. In order to increase the students' interest in learning the curriculum and improve the learning efficiency, this paper presents three points for consideration in teaching "robust control", namely: make clear the aim of "Robust Control", explain the basic relevant knowledge, and clearly define the goal of this curriculum.

**Key words:** robust control; teaching; basis information; learning objectives

《鲁棒控制》课程具有抽象性和强理论性, 是教学工作的一个难点。首先, 鲁棒控制课程比较抽象, 它涵盖的内容丰富, 需要的基础知识面广, 而且章节之间缺乏连贯性。因此, 学生在学习这门课程的过程中, 往往是抱着极大的学习兴趣来, 而随着课程的加深, 有的学生逐渐失去学习的兴趣, 如果没有学习兴趣, 学生很难学好一门课程。学生在选课时, 以为通过这门课程的学习, 能够很好地解决很多实际的控制问题, 然而在学习的过程中, 他们会发现这门课程的许多内容似乎与实际问题毫无关系, 而且所学的理论知识极难应用于实际的工程研究中, 这无疑会打击他们的学习积极性。其次, 鲁棒控制课程具有强理论性。学习这门课程要求学生要有很好的数学和控制理论基础, 很多有关的知识在上课过程中只是几句话带过, 对于那些基础不够扎实的学生来说, 仅靠听课难以跟上老师的进度, 进而会逐渐的失去听课兴趣。基于这些原因, 这门课程教学过程中经常遇到的现象是, 初期选课学生较多, 随着课程的推进, 学生数量会减少, 而坚持到最后的学生寥寥无几。通过《鲁棒控制》授课经历及与选课学生的交流, 作者发现, 如果要讲好鲁棒控制的课程, 需要注意以下三个方面。

### 一、课程教学目标的定位

鲁棒控制课程的初学者对课程教学目标的理解决存在偏差, 这是学生在听课过程中遭遇挫败感, 失去学习兴趣的重要原因之一。从笔者自身的经历看来, 首次接触“鲁棒控制”, 曾误以为该方法能够解决经典控制理论在鲁棒性方面存在的不足, 可以不需要系统模型, 或者说在外界或者模型干扰很严重的情况下, 依然能够保持系统的稳定性。在后来的教学过程中发现, 这种想法代表了很多学生对“鲁棒控制”初步理解。实际上, 这样的看法是相当不准确的, 如果在学习过程中抱着这样的想法, 随着学习过程的深入, 会发现这种控制方法完全与上述想法不一致, 以至于对本课程的失望情绪逐渐增加, 最后失去学习的兴趣。为了避免这种情况的发生, 在鲁棒控制课程的开始, 老师要向学生认真讲解“鲁棒控制”的含义。

“鲁棒控制”是在经典和现代控制理论的基础上形成的一套控制理论。为加深理解, 应采用对比讲解的方法, 重点在于鲁棒控制与经典控制理论在研究对象和控制律设计方面的异同。

首先, 讲解鲁棒控制理论研究对象的特点。与经典和现代控制理论相同, 控制对象的描述是系统分析的基础,

**[收稿日期]** 2012-02-13

**[作者简介]** 刘恒坤(1975-), 男, 重庆江津人, 国防科学技术大学机电工程与自动化学院讲师, 博士。

是鲁棒控制器设计的第一步。此外，要向学生强调以下几点：①“鲁棒控制”所处理的对象，是严格明确的。当前广泛使用“不确定性模型”来称呼“鲁棒控制”所处理的对象，这容易导致误解。读者会认为对象是虚无飘渺的，甚至认为其控制器也是虚无飘渺的，其实不然。②“鲁棒控制”所处理的对象，是单一对象，而非“一族对象”。比如某机构长1米，据此可以设计容器把它装进去。严格来说，这个机构的真实长度是不知道的，正确的说法是这个机构长 $1+0.01a$ ，或者 $1+0.02a$ ，其中， $|a|<1$ 。可见，不确定性模型是真实对象的更为严格的数学描述。③不要因为“鲁棒控制”是处理不确定性模型的，就随意放宽对建模精度的要求。实际上，不确定性越小，设计出来的控制器就越好。简单地说，对于 $1+0.02a$ 对象，容器长度应为1.02米，而且容纳机构时，可能要垫0.04米的垫块；如果对象能精确到 $1+0.01a$ ，则容器长度为1.01米，而最大垫块仅0.02米。

由此可见，“鲁棒控制”并不推翻已有理论的严格结论，只是站在更高的角度来研究控制问题。它并不是不需要模型，只不过“鲁棒控制”认为，系统都是不能准确得到数学模型的，或者说，对象的模型是变化的。

其次，要强调“鲁棒控制”的目的在于设计一个控制器，使得模型变化之后，仍然能保证稳定，或者同时保证一定的性能。为此，鲁棒控制采取的方法是设定标称对象，而认为实际对象是围绕标称对象波动的，且不会超出某一范围。标称对象的邻域是基于范数来定义的。单就标称对象而言，鲁棒控制和经典及现代控制理论是相同的，其目的在于对象的稳定控制和性能优化。不同之处在于，鲁棒控制理论要兼顾加摄动后系统的稳定性，即在标称对象稳定的基础上保证对象变化后系统仍能稳定。要求由控制器和标称对象组成的闭环系统的增益，越小越好。这个增益越小，那么，当对象变化后，可以稳定的可能性越大。对象的变化也用范数来表示。前向增益与对象变化范围之间的关系，通过小增益定理来约定。因此，H无穷控制问题，是要求使得标称对象稳定，同时使得闭环系统的无穷范数最小的控制器，以保证对象有最大的变化范围。也就是说，“鲁棒控制”同样要以模型为基础来进行控制器的设计，只不过设计出来的控制器能够确保对象在某个范围内变化时，系统仍然是稳定的，另外，对象的变化范围也不能过大，在对象变化范围过大的情况下，这种控制方法同样也不能确保系统的性能满足要求。

只有让学生弄清楚了上述关于“鲁棒控制”的含义以及它与学生之前所学习的控制方法的关系，才能消除学生学习的盲目性，才能在学习过程中做到踏踏实实。

## 二、有针对性地讲解相关基础知识

线性代数和线性系统理论的知识贯穿鲁棒控制课程的始末，是学好鲁棒控制的基础。尽管，课程要求学生学过这两方面的知识，但总会有不同程度的遗忘，引导学生回顾并掌握相关基础知识才能有效接收鲁棒控制理论的新知识。线性代数和线性系统理论各自是一门课程，在学习这两门课程时，每一门课程就需要几十个学时，而《鲁棒控制》这门课在复习这两方面知识时只有几个课时的时间。

在如此短的时间内要将这两方面的知识给学生讲清楚，讲透彻，具有一定的难度。这就要求老师对这两方面的知识要非常的熟悉，而且要清楚本课程需要的这两方面知识的具体细节，对某些在后续内容中应用较多，而且又难以理解和记忆的，在授课过程中要有针对性的详细的讲述和推导。线性代数和线性系统讲解过程中需要注意的事项如下。

### （一）数学基础知识的讲解重点

《鲁棒控制》是一门数学性非常强的课程，它的许多的结论和推理过程都离不开数学工具，特别是离不开许多关于矩阵和空间的这些线性代数的知识。一般情况下，选修《鲁棒控制》这门课程的学生都是研究生，而线性代数是他们在本科阶段学习的课程。如果学生在学习了线性代数之后没有对相关的理论进行应用，到了研究生阶段，必然会遗忘很多的线性代数的知识，因此老师在上课时必须要对线性代数的相关知识进行讲解。

特别强调的是在本课程中数学基础知识是学习的工具，而非目的，因而独立讲解数学知识和鲁棒理论都不能达到预期的教学效果，有效方法是将数学基础知识融入鲁棒理论的讲解过程中，有重点地讲解。对于一些基本的概念，如：标量、向量、矩阵、空间等，只要简单地提及即可。因为这些概念在通常的控制理论中也会涉及到，因此学生对这部分知识通常不会感到陌生。通过实践发现，关于线性代数这部分内容，必须要花较多的时间来讲解“奇异值分解”这个知识点。原因在于，当学生作为本科生学习线性代数的时候，对“奇异值分解”这部分内容没有作要求，而且当初考试也不会考这部分内容，故而学生对这部分内容相当陌生，对于什么是“奇异值”毫无基础。但是，《鲁棒控制》这门课程的许多知识都要涉及到“奇异值”的概念。因此，老师要对这部分内容的许多定义和推论都要熟悉，必要时给学生讲解推导的过程。为此，在讲解这部分内容时，首先要让学生理解什么是“奇异值”，它的来源是什么，让学生弄明白奇异值的数学意义，比如将“奇异值”与“特征值”结合起来讲解，由于通常学生对“特征值”比较熟悉，这样一来，便能让学生相对轻松地理解“奇异值”的数学意义；其次，要讲透彻“奇异值”的物理意义，让学生明白它在实际工程中或者实验中的作用是什么，在讲这部分内容时，可以将其物理意义与现代控制理论中的信号输入输出结合起来，这样才可以引导学生去关注“奇异值”的作用；另外，要让学生搞清楚相关的定理和推论，清楚各个定理和推论的来龙去脉。这样才能在后续内容的学习过程中做到心中有数。

### （二）控制理论的讲解重点

“鲁棒控制”是在经典控制和现代控制理论的基础上发展起来的。现代控制和经典控制的研究对象都是线性系统。“鲁棒控制”的设计过程离不开线性系统知识。因此，需要对这方面的知识进行分析。

对于控制理论专业的学生来说，线性系统的相关知识并不陌生。因此对于许多线性系统的知识，只要简单的提及即可。但是，对于一些并非控制专业的学生而言，要在短短的几个学时内，弄清楚线性系统的相关知识，显然有些不切实际，对于这部分学生，在第一次上课时就要提醒他们注意，要求他们自己在课下自学这部分内容。这样一

来,老师在讲解线性系统这部分内容时,就能够分清主次进行讲解。实践表明,关于线性系统理论,重点需要讲解状态观测器和状态空间实现两部分内容:状态观测器是用来计算系统的状态的,对于一些没有工程实践的学生来说,他们会误以为状态观测器能够将系统的状态都观测出来,然后进行控制器的设计,实际上并非如此,系统的状态并非都能通过观测器观测出来,只有那些能观的状态才能通过设计一定的观测器来观测到,另外,对于某些能够用传感器检测的状态,就没有必要用观测器来观测,这些都是部分学生对观测器的误解;状态空间的实现方法是许多控制理论的设计基础,“鲁棒控制”的对象通常也是以状态空间模型给出的,因此学习“鲁棒控制”必须要学会状态空间实现,状态空间实现的方法多种多样,什么样的实现是最小实现,如何做到状态空间的最小实现,教学实践表明,这是许多学生没有搞清楚的问题,因此在授课过程中需要对此进行详解。

### 三、明确课程学习目标

学习的目标是学习动力的源泉,没有学习目标,自然没有学习的兴趣。《鲁棒控制》这门课程的章节之间联系不是很紧密。课程的内容相当丰富,基本上是每一个章节自成体系,如果要深入的学习各部分的内容,需要花费相当多的时间,这在有限的课堂内显然是不现实的。在各个章

节的教学过程中,授课的目的是要学生对“鲁棒控制”这种控制方法有一个全面的了解,对它的一些概念有正确的认识,对这种方法的控制器的设计能按步骤进行。而不要要求学生各个问题都要有详细的认识,也不能要求学生对一些理论进行推导和证明。实际上,对于控制理论专业的学生来说,只要能够针对某一个具体的对象,可以按照书本上的步骤进行控制器的设计,并且对设计过程中的一些变量或控制量的物理意义能够有正确的理解即可。有了这样的目标,学生在学习过程中就不至于好高骛远,也不至于到课程学完之后感到一无所获。

### 四、结束语

《鲁棒控制》这门课程涵盖的知识面广,数学性强,所涉及的理论知识丰富,对于那些基础薄弱的学生,这些过高的基础要求会导致他们对这门课程的学习提不起兴趣,从而失去学习的动力,最终在学完这门课程之后感到没什么收获。针对《鲁棒控制》这门课程的特点,本文从课程目标的定位、老师对基础知识的讲解和学生学习目标的明确等三个方面提出一定的教学建议,为解决学生在学习这门课程时所出现的一些问题提供一定的参考。

(责任编辑:赵惠君)

(上接第76页)

的新军事变革,培养高素质的新型军事人才是军校教育担负的重大神圣职责。千里之行,始于足下,教学设计的改进和创新是教学和人才培养质量的基本保证。

针对工程硕士和任职培训学员的特点,在教学设计中以学员为本,重视学员主体活动设计,提倡和促进学员自我教育,设计形式多样的小组研讨活动,突出教学过程的创新性,设计丰富的教学互动是改进教学设计的发展趋势和必然要求。只要能够“精心谋划,谋而后动”,切实提高教学设计创新性和水平,一定能够确保教学质量,完成好军事人才培养的重任!

### [参考文献]

[1] 钟志贤.论教学设计的发展走势[J].外国教育研究,2005,

32(6).

- [2] 井建辉,张延生,高凤岐.外军院校教育发展的特点与趋势[J].党史博采,2008(8).
- [3] 刘超.外军院校任职教育探析[J].西安政治学院学报,2007,20(5).
- [4] 李现平.美国西点军校荣誉体系:历史久远的道德教育传统[J].高等教育研究学报,2011(3).
- [5] 美国西点军校.西点军校2004-2005目录[M].解放军理工大学,译.南京:解放军理工大学出版社,2005.
- [6] 李现平,等.加拿大国防军学院“辛迪加”小班教学模式[J].军事,2008(8).

(责任编辑:林聪榕)