

DOI: 10.3969/j.issn.1672-8874.2011.03.028

# 《状态监控与故障诊断技术》课程 改革实践与思考

秦国军, 胡雷, 于慧颖, 胡萋庆

(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]** 针对机械状态监控与故障诊断方向研究生核心课程——《状态监控与故障诊断技术》的持续建设问题, 在分析装备保障需求的基础上, 从国内外相关科学研究前沿和研究生创新所需知识基础出发, 结合十余年课程建设和教学经验, 分析了该课程教学内容历史沿革与建设所面临的主要矛盾, 介绍了最新的课程内容, 并对持续改革所应采取的对策和措施进行思考。

**[关键词]** 内容建设; 研究生课程; 前沿和需求; 《状态监控与故障诊断技术》

**[中图分类号]** G642.0 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8874(2011)03-0083-04

## Content Promotion and Consideration of the Course “Condition Monitoring and Fault Diagnosis Technology”

QIN Guo-jun, HU Lei, Yu Hui-ying, HU Niao-qing

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha, 410073, China)

**Abstract:** Some problems about the continuous promotion of the contents of “condition monitoring and fault diagnosis technology”, one of the key postgraduate courses of mechanics condition monitoring and fault diagnosis, are discussed. After the analysis of the demand of equipage support, the frontier of related studies and basic knowledge of innovation, the historical evolution and contradictions for the development of the course content are firstly introduced based on the author's ten-year teaching experience. Then the up-to-date course content as well as some ideas about the methods to promote the postgraduate course content to adapt the research and application continuously is given.

**Key words:** contents promotion; postgraduate course; research frontier and demand; “condition monitoring and fault diagnosis technology”

《状态监控与故障诊断技术》是国防科学技术大学机械工程学科机械电子工程专业硕士研究生必修的技术基础课程之一, 也是状态监控与故障诊断研究方向的核心课程。笔者承担相关教学工作10余年来, 经历了该课程从36学时(1998-2003年)到48学时(2004-2009), 再到36学时(2010开始)的演变过程。随着装备向着大型化、精密化和复杂化发展, 以及各种相关技术的不断进步, “状态监控与故障诊断”相关领域的研究内容越来越多, 理论、技术、方法的内涵和应用外延越来越广泛。如何对该课程进行持续不断的建设, 在短短的36学时内, 既为学生夯实相关理论基础, 又提高后续应用能力, 便成为摆在授课主讲教师、实验指导教师等课程建设人员面前的一个需要认真研究的课题。为此, 本文基于“需求牵引、技术推动”的原则, 首先分析高技术装备保障和创新研究的迫切需求, 在此基础上, 通过对课程内容历史沿革和建设面临矛盾的

探讨, 提出不断改革教学内容, 达到课程与时俱进的若干方法。

### 一、高技术装备综合保障对课程内容的的需求分析

目前, 以信息化为突出特点的新军事变革和大量高技术装备的应用使装备综合保障技术的研究和应用需求日益迫切。在装备保障中, 装备技术状态感知是所有活动实施的信息源头和基本依据, 准确获取装备的技术状态是实现精确保障的前提。在复杂战场条件下, 只有全面掌握装备体系中各个层次的技术状态, 才有可能实施装备的精确保障, 从而在一体化联合作战的体系对抗中保证装备的完好率和任务完成率。装备技术状态感知包括装备测试、故障诊断与预测、战场损伤评估等诸多方面。其中, 状态监控、故障诊断与预测对于技术密集型武器装备十分重要, 是实现复杂装备战场保障态势感知的重要信息来源和技术手段,

**[收稿日期]** 2011-02-16

**[基金项目]** 国防科学技术大学研究生重点课程建设项目(1152C024)

**[作者简介]** 秦国军(1970-), 男, 河北卢龙人, 国防科学技术大学机电工程与自动化学院副教授, 博士。

包括状态信息获取、精确控制、一致性理解和未来状态信息预测等要素,涵盖了传感器信号拾取、特征提取、信息识别与传递、趋势分析与预测等与装备状态监控与故障诊断密切相关的技术问题<sup>[1]</sup>。因此,为了培养适应信息化条件下联合作战所需的保障人才和从事相关技术创新人才,需要根据装备综合保障的需求,紧贴装备实际,开展以相关理论、技术与方法为核心的教学工作,为研究生从事的课题研究以及未来的装备保障工作奠定坚实的基础。

## 二、装备故障诊断技术的研究前沿与研究生创新所需的知识基础

研究生课程内容的设置,不仅要考虑研究生未来工作的需要,还要兼顾创新研究所应掌握的知识基础,同时使研究生了解国内外在相关领域的研究前沿。具体讲,对于《状态监控与故障诊断技术》而言,就是要需要兼顾装备故障诊断技术的研究前沿,并在分析研究生创新所需知识的基础上,考虑课程内容的设置问题。

### 1、装备故障诊断技术的研究前沿分析

随着机械振动理论、系统动力学分析理论、信号处理理论、传感技术、计算机技术等不断发展,装备故障诊断的研究前沿不断发生着变化。经过近50年的发展,装备故障诊断技术在信号获取与分析、模式识别与诊断决策、系统构建与现场应用等方面均取得了一系列成果。目前,该领域的研究前沿主要体现在:

(1) 在状态信息获取方面,为了自动识别装备健康状态,实现部件与结构运行状况信息的实时跟踪,目前的研究主要集中在采用新的感知手段,提高状态信号检测的信噪比。前沿主要体现在新型传感器、嵌入式传感器、智能传感器网络、智能结构与智能材料的应用研究等。

(2) 在故障特征提取方面,为了敏感提取早期故障特征,目前新的信号处理方法及其应用研究受到了广泛关注,主要体现在各种先进信号处理方法及非线性理论的深入发展与应用等。

(3) 在实时故障检测方面,为了提高故障检测的准确性,降低虚警率,目前相关的研究主要体现在测试性设计、多实时故障检测模型融合、智能降虚警技术等。

(4) 在故障诊断与决策方面,考虑到服役于严酷环境下的复杂装备系统往往需要在缺乏先验知识、缺少充分样本数据的情况下进行监控与诊断,各种从非线性理论、统计学习理论等出发建立未知异常/故障检测与识别模型的新异类检测技术研究受到较多关注。

(5) 在故障预测方面,复杂装备系统的故障预测是目前故障诊断领域最富有挑战性的探索问题之一,也是目前的研究热点。当前的研究前沿主要体现在基于动力学分析的故障演化模型、基于多数据信息源并结合数据驱动模型和动态响应模型的综合预测等方面。

### 2、装备故障诊断相关领域研究生创新所需的知识基础分析

对于装备故障诊断相关领域研究生而言,为了在本领域前沿开展创新研究,需要掌握一系列基础知识。其中,在《状态监控与故障诊断技术》课程中,应主要掌握与机

电系统状态监控与故障诊断系统密切相关的基本理论、技术与方法。主要包括:

### (1) 机电系统故障模式分析与故障建模仿真技术基础知识

对故障模式进行分析与建模仿真,是进行装备故障诊断技术研究和构建诊断系统的前提和基础,尽管相关课程对机电系统的设计进行的大量介绍,但对故障模式进行分析、建模与仿真相关知识的学习还明显不足。

### (2) 状态监控与故障诊断系统设计与构建基础知识

状态监控与故障诊断系统的设计与构建,不仅涉及一般测试系统构建所需要的硬件和软件知识,而且需要先进信号处理、机电分析动力学等的相关应用技术和方法,需要深入理解各种技术与方法相关的物理意义。

### (3) 机电系统诊断工程的一般方法

在一般系统设计中,在目标和约束给定的前提下,需要解决的往往是实现路径优化的问题;而诊断工程的思维方式则完全不同,在诊断之前,对象的正常状态往往唯一的,而故障的原因和表现却千差万别。因此,机械诊断工程的一般方法具有其自身的特殊性,主要包括演绎与归纳相结合、故障监测—诊断—预测相统一、实践—理论—再实践相递进等诸多方面<sup>[2]</sup>。

## 三、《状态监控与故障诊断技术》课程教学内容持续改革的思考

### 1、课程内容的历史沿革与演化分析

表1给出了2002、2005和2009年度《状态监控与故障诊断技术》相关课程的教学内容(括号内为单元学时数)、总学时数与讲授方式的对照表。从中可以看出,由于2002年的课程名称为《模式识别与状态监控》以及技术发展的原因,其内容主要以模式识别基础理论讲授为主(约31课时,占全部课时数的86%),与状态监控直接相关的背景和案例很少(3课时,占全部课时数的8%),未涉及与故障模式分析、故障诊断系统设计、故障预测等内容;2005年,虽然课程名称改为《状态监控与故障诊断》(48学时),但由于历史沿革的原因,总体上看,仅在授课方式上采用了多媒体课件教学,增加了“线性与非线性分类器”、“基于模型的故障诊断”内容和部分案例,课程各部分内容的比例(模式识别理论占73%、状态监控与故障诊断直接相关其它内容占19%)相对2002年变化不大;经过4年的建设和调整,2009年的内容与2005年有了较大变化,增加了与机械故障模式分析、状态感知、信号特征提取、诊断专家系统有关的内容,模式识别理论内容的比例进一步下降到50%并更加侧重其在故障诊断分类中的应用,状态监控与故障诊断直接相关内容比例提高到了42%(含背景和案例),但故障模式分析还仅限于机械系统,且仍未涉及故障预测等研究最前沿的内容。

### 2、课程建设所面临的矛盾分析

借助2009年学校对研究生教学大纲统一修订的契机,在对国内外相关教学大纲进行广泛调研的基础上,笔者分析了《状态监控与故障诊断技术》课程建设所面临的主要矛盾。

表1 不同年度《状态监控与故障诊断技术》相关课程的教学内容、学时和讲授方式对照

年度	主要授课内容	总学时数	讲授方式
2002	模式识别与状态监控基本概念(2)、Bayes决策(10)、聚类分析(4)、模糊识别(4)、人工神经网络识别方法(6)、特征选择与特征提取(6)、应用案例(2)	36(含2学时考试)	板书讲授
2005	模式识别与状态监控基本概念(2)、Bayes决策(10)、线性与非线性分类器(6)、聚类分析(4)、基于模型的故障诊断(4)、模糊识别(4)、人工神经网络识别方法(4)、特征选择与特征提取(6)、应用案例(4)	48(含2学时申讲和2学时考试)	多媒体课件讲授
2009	绪论(2)、机械传动系统典型故障(4)、设备状态现代感知技术(4)、状态信号描述与处理(2)、模式识别理论基本概念(2)、Bayes决策理论与技术(4)、线性与非线性分类器(4)、聚类分析(2)、基于模糊理论的识别方法(4)、人工神经网络分类器(4)、支持向量机分类器(2)、状态模式特征表达、提取与选择(2)、故障诊断专家系统(4)、应用案例(4)	48(含2学时考试)	多媒体课件讲授

## (1) 内容的完整性与学时数的矛盾

从机电系统状态监控与故障诊断技术的内涵上看,课程应涵盖机电系统故障模式与影响分析、基于机电动力学的故障建模与仿真分析、状态信号感知与传输、状态信号描述与处理、状态特征提取与选择、实时状态监控、故障识别与决策、故障预测、剩余寿命预测、监控诊断系统设计及实现、监控诊断系统框架与标准化等众多内容。但其中的任何一项,都有其相对独立的理论、技术与方法,都可以作为一门课程或专题进行系统介绍。因此,在短短的36学时内,不可能对每一项内容的所有技术均面面俱到,必须有所取舍,在保持内容相对完整性的同时,突出课程特色。

## (2) 基础知识与前沿理论讲授比例的矛盾

状态监控与故障诊断属于典型的交叉学科技术,所涉及的基础知识众多,既包括与被监控诊断对象有关的基础知识,也包括与测试、信号处理、机器学习等构建监控诊断系统有关的基础知识,同时,如前所述,该领域近年的发展又形成了一系列新的前沿理论与技术。由于该研究方向的研究生本科专业存在很大差异,因此如何兼顾基础知

识的系统性,又全面考虑国内外前沿研究的新理论新知识,便成为课程内容选择和设置所必须考虑的矛盾。

## (3) 课程讲授与应用能力锻炼的矛盾

归根结底,状态监控与故障诊断是工程学科的一项技术,其目的在于通过对技术状态的感知、识别和预测,为装备综合保障提供信息基础和决策支持。因此,通过研究生应用能力的培养,为课题研究和任职应用奠定基础,是《状态监控与故障诊断技术》课程的重要任务之一。但由于学时数限制和知识点众多,用于阐述基础知识的课堂讲授与锻炼应用能力的课程实验之间,在学时配置、内容安排、相互关联等方面,便构成了另一个需要认真考虑的矛盾。

## 3、最新课程内容分析与发展的思考

## (1) 2010年课程内容分析

在上述分析和研究的基础上,笔者撰写了2009年《状态监控与故障诊断技术》教学大纲,并依此确定了2010年课程的教学内容(如表2所示)。从表中可以看出,与表1所示2002年、2005年和2009年的教学内容相比,2010年教学内容在结构上有了根本性变化:

表2 2010年《状态监控与故障诊断技术》课程主要内容与学时数

章节名称	主要内容	学时
第一章 绪论	状态监控与故障诊断的目的和意义、技术概念与系统组成、技术发展历程,状态监控与故障诊断的主要方法及评价,状态监控的标准化问题	2
第二章 典型系统故障分析	动力系统(内燃机、电动机)、传动系统(齿轮、轴承)、液压系统、结构件等装备典型系统主要故障模式与表现分析、故障模拟仿真技术	4
第三章 状态特征获取与提取	状态信号分类及其常见获取方法,监控测点选择方法,状态特征生成技术,特征选择准则与特征集搜索算法,特征提取技术	6
第四章 诊断决策技术	聚类分析,线性分类器,人工神经网络分类器,支持向量机分类器,故障诊断专家系统	10
第五章 故障预测技术	故障预测基本问题,基于模型(疲劳物理模型、ARMA模型、粒子滤波模型)的预测方法,基于概率的预测方法,数据驱动的预测方法	4
第六章 状态监控与故障诊断技术应用	舰船动力装置运行状态监控与故障诊断系统,火箭发动机涡轮泵实时状态监控系统,直升机健康与使用监控系统(HUMS),直升机传动链关键部件故障预测应用,其它应用	4
实验	典型故障模式分析与模拟实验(3选1)、在线状态监控系统构建实验(3选1)、诊断决策系统设计实验	6

① 模式识别理论内容的比例下降到约 21%，并结合故障诊断案例进行讲授；

② 突出了故障模式分析及故障建模仿真，涉及对象按动力、传动、液压、结构件进行划分，基本涵盖了装备的主要子系统；

③ 增加了目前研究前沿的故障预测的内容（占全部课时的 8%），便于听课研究生对学科前沿的掌握；

④ 结合科研成果有针对性设置了 4 个应用案例，使听课研究生进一步了解相关技术在实际装备上的应用途径；

⑤ 依托机械工程研究生学科综合实验中心，设施了 6 个学时的实验教学环节，以增强听课研究生对理论讲授内容的应用能力。

总体上讲，新的教学内容更加贴近装备实际，更加贴近研究前沿，也更加注重理论与实践的结合。经过一年的教学实践，取得了较好的效果。

## (2) 课程内容持续改革的思考

状态监控与故障诊断技术针对的对象和应用领域众多，经过多年研究，积累了大量相关技术和案例，同时新的理论和方法不断涌现，如何协调众多的知识点并结合应用，在有限的时间内使学生系统掌握所需的知识和提高能力，是一个课程建设和建设人员需要持续思考的问题。概括而言，主要有如下几点：

① 注重从应用需求出发开展课程内容改革和教学工作。在课程的绪论和故障模式分析等的介绍中，要不断将

新型装备及其信息化建设的需求，以及国际前沿研究热点引入教学之中<sup>[3]</sup>，与时俱进地提高课程的时效性。

② 适当压缩传统方法的内容比例，加强新理论新方法的介绍内容。为研究生即将进行的课题研究奠定知识基础<sup>[4]</sup>。

③ 将最新的科研成果作为案例引入课堂。将国内外，特别是教师自身的最新相关研究成果作为课程内容引入课堂，从系统角度为听课研究生展示所学知识的应用途径和思考问题的方法。

④ 适当增加实验课程，增强听课研究生对知识的应用能力。

## [参考文献]

- [1] 温熙森. 模式识别与状态监控[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [2] 秦国军, 高经纬, 胡芑庆. 机械诊断工程方法论与研究生创新能力培养[C]. 2010年湖南省高等教育学会教学管理专业委员会学术年会论文集, 2010.
- [3] 涂丹, 王芸. 研究生专业课程建设的几点思考[J]. 高等教育研究学报, 2007, 30(2): 71-73.
- [4] 刘永泉. 加强研究生课程建设, 推进研究生课程改革[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 1998(5): 26-28.

(责任编辑: 卢绍华)

(上接第 82 页)

CPU、内存、总线、外设角色，运行给定的程序，使学生体会到所介绍的知识是如何融合在一起工作的。在课程教学过程中，组织实施了编解码、计算机工作原理、Internet 工作原理、数模转换、二进制编码和进制转换、字符压缩等课堂游戏，从课后调查看，效果较好，既活跃了气氛，在游戏中学习知识；又将很多看不见摸不着的东西表现了出来，理解更深。

## 2、类比方法引导计算思维，形象生动

计算思维是本课程新引入的知识点，而此时学生刚学习完计算机系统原理和网络等基础知识，还没有程序设计等概念。此外，考虑到后续的《计算机程序设计》课程与本课程的关系，在教学实施中，偏重于计算思维原理和基本问题求解方法的介绍，而不涉及程序等内容，即强调“computing without computer”。

首先，从“人要成功融入社会所必备的思维能力，是由其解决问题时所能获得工具或过程决定的”，引出信息社会中，如何从利用信息工具解决问题，发展到创造信息和创造信息工具解决问题，即——人类思维与计算机能力的综合。此后引出计算思维的核心内容——算法与数据结构。在算法与数据结构的讲授中，没有采用计算机专业术语来讲解，而是通过各种生活中的事例，如游戏、魔术、走迷宫等实际问题，采用讲故事的形式，介绍数组、栈、队列、图等常用数据结构，顺序、分支和循环等表达算法的常用

结构，递归、贪心、分而治之等常用问题求解策略，以及搜索和排序等常用问题求解算法等知识。

为了使学生能掌握这些常用数据结构、算法表达和问题求解策略，提倡学生带笔记本进课堂，基于我们选择的算法流程图可视化编辑调试工具——Raptor<sup>[5]</sup>，随时进行课堂练习，做到当堂内容当堂理解掌握。学生完成了任意个点的黑白子游戏、矩阵运算算法库的实验。从课后统计和完成作业看，学生利用该工具能很快上手，并能对同一个问题采用多种解决方法的尝试，取得了很好的效果。

## [参考文献]

- [1] 张艳, 姜薇, 管红杰, 等. 非计算机专业“大学计算机基础”课程分类分层次教学改革探索[J]. 计算机教育, 2010(16): 14-16.
- [2] 夏秦, 冯博琴, 陈文革, 顾刚. 浅析“大学计算机基础”课程中的案例设计[J]. 中国大学教学, 2009(9): 41-44.
- [3] 何明瑞, 胡绪英. 高校大学计算机基础课程教学相关问题的研究[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(1): 151-153.
- [4] 陈青, 刘强, 沈智慧, 等. “大学计算机基础”理论课程教学改革的探讨与实践[J]. 计算机教育, 2009(12): 98-99.
- [5] Raptor - Flowchart Interpreter. <http://raptor.martincarlisle.com/>.

(责任编辑: 卢绍华)