

DOI: 10.3969/j.issn.1672-8874.2009.01.016

# 美国马里兰大学可靠性工程专业与课程体系建设浅析<sup>\*</sup>

陶俊勇, 任志乾, 陈 循

(国防科学技术大学 可靠性工程研究室, 湖南 长沙 410073)

[摘要] 本文以作者在美国马里兰大学帕克分校 (College Park) 可靠性工程专业学习与工作的经历为背景, 系统介绍了马里兰大学可靠性工程专业的学科建设, 主要研究方向, 以及科研项目来源与类型等情况。对其可靠性工程专业研究生课程设置与教学情况进行了较详细的总结, 并与国内的可靠性学科建设情况进行了对比, 希望能为国内可靠性工程学科建设与发展提供借鉴与参考。

[关键词] 马里兰大学帕克分校 (College Park); 可靠性工程; 学科建设; 课程体系

[中图分类号] G642.3 [文献标识码] A [文章编号] 1672-8874 (2009) 01-0051-03

## Study on Reliability Engineering and Course Construction of University of Maryland College Park

TAO Jun-yong, REN Zhi-qian, CHEN Xun

(Reliability Engineering Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** The paper first introduces the reliability engineering academic program of University of Maryland College Park, including the discipline construction, research directions and research projects. Then it analyzes its course system of the postgraduate students and teaching situation, and compares with the reliability engineering discipline construction of our country in order to provide experience and reference for the development of reliability engineering in China.

**Key words:** university of maryland college park; reliability engineering; discipline construction; course system

美国马里兰大学帕克分校 (College Park) 可靠性工程学科建设在美国可靠性工程领域中处于前列, 可靠性领域的人才培养与科研工作由马里兰大学詹姆斯·克拉克工程学院机械工程系承担, 并主要由两个研究中心完成: 可靠性与风险性研究中心 (The Center for Risk and Reliability CRR), 主要为政府部门提供系统级可靠性与风险性评估分析, 风险决策技术支撑, 为工业部门提供产品及生产过程的可靠性保障技术支持等, 该中心承担了马里兰大学可靠性工程专业的主要教学工作; 先进寿命工程研究中心 (The Center for Advanced Life Cycle Engineering CALCE), 主要从事电子器件与产品的可靠性研究, 涉及电子器件封装, 电子器件失效物理, 电子器件及产品可靠性分析, 电子产品加速试验与环境应力筛选等, 是面向工业部门的开放型实验室, 主要以从事工程应用技术研究为主, 并为工业部门与企业, 如微软、波音公司, 美国空军, 霍尼韦尔公司, 通用电气公司, 华为公司等开设专门的可靠性工程领域培训课程。

## 一、马里兰大学可靠性工程专业现状及分析

### (一) 马里兰大学可靠性工程专业情况

可靠性与风险性研究中心共有教师 8 名, 其中教授 5 名 (包括一名退休名誉教授), 副教授 2 名, 助理教授 1 名。研究涉及可靠性与风险性分析的诸多领域, 主要研究

方向如下: 系统动态可靠性与风险性评估, 人的可靠性分析方法, 软件可靠性分析与评估, 基于 Bayesian 理论的小样本可靠性分析与评估技术, 不确定性分析与推断方法等。研究对象涉及: 系统级产品 (从复杂大系统到微纳米系统的各层次系统)、软件、人、结构、复杂过程以及自然环境等。其 2003 年至今的大部分科研项目主要来源于政府部门, 包括: 海军航空兵、国家航空与宇宙航行局、美国国家标准与技术研究所、美国能源部、美国联邦航空局、喷气推进实验室。

先进寿命工程研究中心共有教师以及研究人员 20 名, 其中教授 6 名, 副教授 3 名, 研究员 1 名, 助理研究员 3 名, 以及其他从事试验研究的工程技术人员 7 名。研究工作以电子器件及产品为主要对象, 研究方向包括: 电子器件及产品的可靠性, 电子封装, 航空航天电子的可靠性, 电子元器件的选择与管理, 电子元器件及产品的合格检验, 产品组装、生产程序及质量控制, 半导体元器件的生产与测试, 光电器件可靠性等。该中心由三个大的研究组构成:

• 电子产品与系统研究组 (Electronic Products And Systems (EPS) Consortium) 以电子产品为对象开展可靠性建模分析、失效机理研究、评估设计等方面的工作, 以器件封装设计、焊点与管脚失效机理、电容以及电器连接件等电子器件可靠性分析等微观层面研究为主。此外, 也开展电路版可靠性设计分析等模块级和系统级产品的可靠性研究, 并与国际许多著名企业建立了学术研究关系。

\* [收稿日期] 2008-05-26

[作者简介] 陶俊勇 (1969-), 男, 河北吴桥人, 国防科学技术大学机电工程与自动化学院副教授, 博士。

• 健康管理及预测研究组 (Prognostics and Health Management (PHM) Consortium) 研究重点是先进的传感器和数据采集技术、基于条件的维修、原位诊断技术、基于经验模型与物理模型的预测技术, 以及基于失效物理与数据驱动的精确诊断预测技术等。研究领域涉及可靠性建模与预测、模式识别、时间序列预测、机器学习与融合等, 旨在发展应用于电子产品全寿命周期建模与管理的智能推理技术。

• 试验服务与故障分析实验室 (Test Services and Failure Analysis (TSFA) Laboratory) 主要为用户提供依据相关标准和用户定制条件的试验服务, 并进一步提供故障分析服务。如电子产品失效原因分析、电子产品寿命评估、电子器件及电路板可靠性试验与评估, 可靠性设计与评估等。主要设备包括: 环境与可靠性试验设备、可靠性分析软件、纳米级 X 光分析仪器等。

该中心的科研项目来源于工业界以及政府部门, 如获得 NASA 资助的部分项目, 获得美国海军、陆军等资助的项目, 获得洛克马丁公司, 戴尔公司, 华为公司等资助的项目。

(二) 马里兰大学可靠性工程专业分析

马里兰大学可靠性工程专业包含了与可靠性密切相关的系统安全性、风险性分析等研究方向, 可靠性工程学科涵盖面广, 相关研究方向的设置使得学科交叉充分, 便于不同专业间的交流与融合。此外, 马里兰大学可靠性工程专业包括了人的可靠性、软件可靠性等涉及系统级产品、软件、人、结构、复杂过程以及自然环境等多因素在内的复杂大系统可靠性分析与研究, 能够独立的为政府部门提供系统级可靠性与风险性评估分析, 风险决策等技术支持。

此外, 马里兰大学可靠性工程研究注重基础研究与应用相结合, 从其课题的来源可知: 其研究课题的很大一部分来源于洛克马丁公司, 戴尔公司等大型的装备、设备生产企业, 这些企业与马里兰大学的合作研究项目不仅只限于针对某一工程型号的具体可靠性工程问题, 还资助了大量的基础性研究项目, 其有利于将产品研发过程中的可靠性问题纳入到产品研制的早期进行, 加强了产品设计阶段的可靠性工作, 为高可靠产品的研制提供了保障。

二、马里兰大学可靠性工程专业课程体系

(一) 马里兰大学可靠性工程专业课程设置

马里兰大学每学年共有 3 个学期, 即春季学期、夏季学期和秋季学期, 其中大部分课程在春季和秋季学期讲授, 夏季学期课程较少且专业性更强<sup>[2]</sup>。可靠性工程课程多数没有专门教材, 以授课老师的课件和提供的相关材料为主要参考学习资料, 课程讲授过程的录像可供选课学生下载, 以便课后复习。课程学习期间一般布置大量自学内容, 以及较多作业, 由辅助教学人员给出作业成绩, 每门课程讲授期间会安排 2 次考试。课程作业、中间考试成绩与最后一次考试成绩一起作为学生本门课程学习成绩评定的参考, 学生最后的学习成绩评定为 A、B、C、D 四个等级<sup>[2]</sup>。可靠性工程专业课程大致可分为 400 级, 600 级和 800 级三个层次, 400 级和 600 级一般为专业课程, 800 级一般为专题讲座或研究生单独指导课程, 主干课程名称及关系图如图 1 所示, 其中 ENRE620 是这一课程体系的基础课程。

ENRE602 和 ENRE600 以该课程为基础, 其它课程以此类推。各课程的主要内容如下:

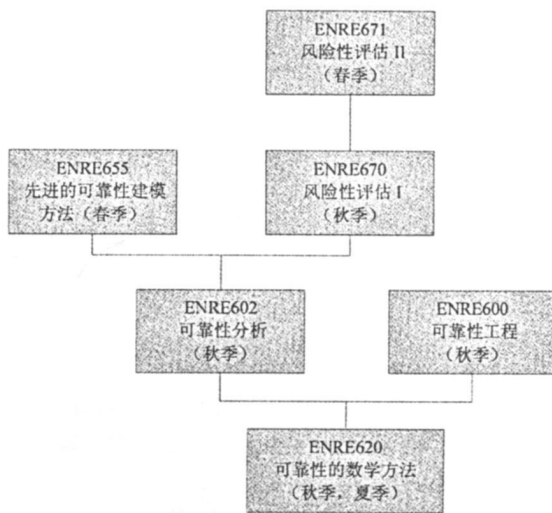


图 1 马里兰大学可靠性工程主干课程关系图

• 可靠性工程的数学基础, 如复数、向量、张量、微分方程、积分变换, 以及与可靠性相关的概率分析与数理统计等。(ENRE620)

• 可靠性分析的基本方法, 如故障树、可靠性框图、故障模式与影响分析、事件树、可靠性数据收集与分析以及可靠性分析的建模方法。(ENRE602)

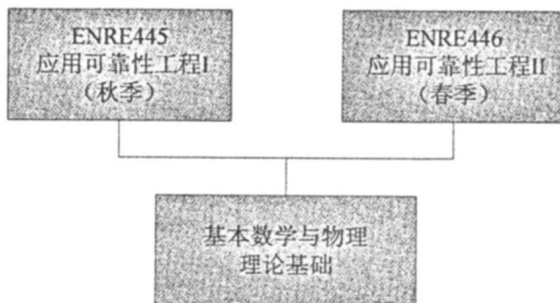
• 失效物理、失效机理、故障率确定方法、可靠性与维修性设计方法、全寿命周期费用与备件策略, 可靠性增长等。(ENRE600)

• Bayesian 方法与应用、小概率事件估计、不确定性分析与预计方法、动态系统可靠性分析、关联故障分析、可维修系统可靠性、人的可靠性分析方法, 系统可靠性逻辑图理论与应用等。(ENRE655)

• 风险性概念内涵、概率风险评估程序、影响风险接受的因素、统计风险接受分析、风险感知、风险结果分析、风险评估, 轻水反应堆、化工企业和大坝风险分析案例等。(ENRE670)

• 先进的定量风险评估技术、系统风险建模理论、潜在隐患辨识方法、风险事件预计与概念评估, 以及案例分析等。(ENRE671)

在应用可靠性工程方面, 主要开设了两门课程, 如图 2 所示, 课程要求具备基本的数学和物理基础。主要讲授产品失效分析、故障的概率描述模型、不可修产品的寿命模型、可靠性数据收集分析与定性评估、正态分布模型、Weibull 分布模型、



指数分布模型、二项分布模型、gamma 分布模型等。(ENRE445); 在此基础上, 进一步介绍系统建模与分析、可靠性设计、可靠性试验、可靠性管理和增长、故障树分析、可靠性框图、割集分析、潜在通路分析等<sup>[3]</sup>。(ENRE446)

除了上述课程外, 可靠性工程专业的其它课程主要有: ENRE625 材料筛选与机械可靠性(春季), 讲授微结构, 金属、聚合物、陶瓷以及半导体机械力学特性, 疲劳分析, 蠕变、裂纹微观与失效分析等; ENRE641 加速试验(春季), 讲授恒定应力下寿命试验模型, 加速试验方案, 步进和时变应力下试验模型与数据分析, 试验方案优化技术, 竞争失效模型与尺度效应分析等; ENRE642 可靠性工程管理(夏季), 讲授可靠性工程管理的系统分析法, 系统评价与试验草案管理, 风险管理, 以及由可靠性工程师完成的系统功能管理等; ENRE684 信息安全(秋季), 该课程分为三部分, 即绪论, 概念内涵以及工程技术。主要包括: 从技术与管理的角度阐述一般安全性的概念和内涵, 安全性的原理, 结构, 控制技术多层次安全, 木马, 防火墙, 硬件安全机理, 安全模型, 网络与分布式系统的风险分析等。

此外, 还开设了专题讲座课程并举办研讨会, 如 ENRE489 可靠性工程专题(春季, 秋季), 以及 ENRE648 可靠性工程的特别问题研讨(春季, 夏季, 秋季), 这些课程属于单独指导课程, 主要针对可靠性工程领域的专门问题进行研讨<sup>[3]</sup>。以 ENRE648 为例, 其中春季学期的 ENRE648C、ENRE648D 和 ENRE648P, 主要讨论工程决策, 失效机理与可靠性, 基于风险性设计的先进方法这三方面的问题; 夏季学期的 ENRE648O 主要讨论 Bayesian 可靠性分析; 秋季学期的 ENRE648A 主要讨论电子系统的机械原理。研讨会方面如 ENRE607 可靠性工程研讨会(春季), 主要关注可靠性工程领域最新研究热点和研究进展, 邀请从事可靠性工程研究的专家就其研究工作介绍, 邀请从事可靠性工程管理, 制定相关标准的专家就相关可靠性政策进行讲解, 也邀请国际从事可靠性工程的专家开设讲座。其它与可靠性工程相关的课程则由机械系开设, 如对流传热课程 ENME 632, 线性振动课程 ENME 662, 实用有限元分析课程 ENME 710 等等, 有十几门之多。

在研究生培养和指导方面开设单独指导课程, 如 ENRE799 硕士论文研究指导课程(夏季, 秋季), ENRE898 候选研究人员指导课程(春季, 夏季, 秋季), ENRE899 博士论文研究指导课程(春季, 夏季, 秋季)。此外还面向工业界开设相关的培训课程, 如实用可靠性工程 ENRE445(489C) 以及 ENRE 446(489D) 等等。总之, 马里兰大学可靠性工程的课程体系建设较完备, 从基本理论到专业课程, 从实用技术到专门技术, 从面面俱到的课程到专题讲座和专门指导课程都有涉及, 这些课程各有侧重, 但相互之间也有一些基本的内容是重复的。

### (二) 马里兰大学可靠性工程专业课程分析

马里兰大学的课程设置注重基础课程教育, 课程的设置系统性强。由于采用学分制, 使得不同专业的学生能够有针对性地选择与自身专业相关的课程, 而马里兰大学的研究生课程往往没有专门的教材, 授课内容保持实时更新, 在课堂上除了讲授经典成熟的理论方法外, 也十分强调本领域新方法、新理论的讲授, 并开展课堂讨论, 从而使得

研究生对于本专业的研究现状和最新的研究成果有较深入地了解, 为后期的研究选题和课题研究奠定基础。

## 三、国内可靠性工程专业建设的思考

我国可靠性工程发展至今, 尤其是近十年来已取得了长足的进步, 并于 2006 年在大学本科招生专业中新增了质量与可靠性工程专业, 充分说明可靠性工程专业得到了教育部和国家的高度重视, 但与国外可靠性工程专业相比较, 仍有许多工作要做<sup>[4]</sup>。作为国际知名的可靠性工程研究机构, 马里兰大学在可靠性工程专业的学科设置、课程体系建设为更好地发展我国可靠性工程专业提供了很好的借鉴。

在可靠性工程课程体系方面, 需要进一步拓展课程体系、充实课程内容。就马里兰大学可靠性工程而言, 其课程体系涉及到了可靠性、风险性和安全性的各个方面, 而且从最为基本的数理基础到工程实用技术(包括可靠性管理), 再到目前研究的前沿领域都有讲授, 课程内容涉及面很广。以可靠性分析课程(ENRE602)为例, 其不仅涉及可靠性的基本概念, 而且对产品的各种寿命分布类型、工程实用方法、先进的可靠性分析技术都做了详细的介绍, 并将该授课教授 2007 年刚毕业的博士研究生的工作内容, 在 2007 年当年就在课堂上讲授, 课程内容相当充实并保持实时更新。此外, 应充分利用相关学科的基础课程加强可靠性工程的课程体系建设, 可靠性工程是建立在数理统计分析、失效物理与材料分析、系统建模与辨识等理论与工程技术上的交叉学科, 充分融合这些相关学科的建设成果将为可靠性工程的建设提供帮助。

在可靠性工程人才培养与科研方面, 可靠性工程发展至今其研究对象早已从电子产品扩展到其它产品领域, 从宏观拓展到微观领域, 因此对从事可靠性工程的科技人员知识结构提出了新的要求。如马里兰大学可靠性工程专业从事元器件封装、器件失效物理、电子产品可靠性等方面研究的人员, 一般具备微电子、物理以及电机工程方面的知识背景, 而从事可靠性分析与评估、大型复杂系统(如核反应堆)可靠性与风险性评估的研究人员, 一般具备核工程、机械工程等方面的知识背景。因此, 在招收和培养可靠性工程专业方向的研究生时应注重其相关知识背景的考察, 以便将来更好地为可靠性工程的发展服务。因此, 在可靠性工程领域的科研工作中应注重工程需求, 切实解决实际工程问题, 同时注重工程问题的提炼总结, 开展相关深层次的科学问题研究。

### [参考文献]

- [1] Undergraduate Catalog 2006/2007, University of Maryland.
- [2] University of Maryland Schedule of Classes, second edition fall 2007, University of Maryland.
- [3] University of Maryland Schedule of Classes, second edition spring 2008, University of Maryland.
- [4] 孙权, 龚时雨, 朱志伟. 美国马里兰大学可靠性工程教育的研究与借鉴[J], 高等教育研究学报, 2000, (3).

(责任编辑: 范玉芳)