

高电压与绝缘技术课程实验教学改革与实践^①

桂银刚¹, 段书凯², 祝诗平¹, 唐超¹, 周渠¹, 徐苓娜¹

1. 西南大学 工程技术学院, 重庆 400715; 2. 西南大学 电子信息工程学院, 重庆 400715

摘要: 高电压与绝缘技术课程是电气工程及其自动化专业核心基础课程之一, 但该门课程在本科教学过程中存在实验课程结构分配不合理、教学内容体系不健全、教学方式多样性缺乏等核心问题. 研究试从教学内容改革、教学设备系统化及教学方式改革等方面入手, 完善该课程教育体系, 提升本科生的实验动手能力、团队协作能力以及在研究领域的适应能力, 提高该课程的实验教学质量, 培养新型高素质人才.

关键词: 高电压与绝缘技术; 实验教学改革; 改革方式

中图分类号: G642.0

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2018)12-0152-06

高电压与绝缘技术是电气工程学科的重要研究领域之一, 随着电压等级的升高, 随之伴随着绝缘强度提升的要求, 因此高电压与绝缘技术作为一个不可分割的整体被学习、研究和应用. 目前, 我国已经建成以 500 kV 为骨干的交流输电网络和±500 kV 的直流输电网络^[1]. 随着我国电网整体的飞速发展, 对电力技术人员的专业知识和技能提出了更高的要求. 仅仅依靠书本内容学习到的电气基础知识不足以应对实际输配电工作中的具体问题, 因此必须通过实验教学强化学生的专业技能, 巩固、强化课堂所学的专业知识, 培养面向应用与创新的电气领域综合人才.

目前, 高电压与绝缘技术实验教学面临以下主要问题: 实验设备不完善, 只能开设部分高电压与绝缘技术实验内容; 实验流程繁琐, 实验过程具有危险性; 实验教学内容设置不合理、知识体系不完善、教学方式单一^[2]. 这些问题的存在导致在教学过程中只侧重理论教学, 不开设或少开设实验教学内容. 为解决上述问题, 本文提出在实验教学内容方面实行项目化教学, 并详细介绍了项目化教学内容和教学过程设计, 强化教学内容改革的可行性; 在教学方式改革方面, 结合高电压与绝缘技术实验的特殊性, 针对性地提出自主学习、研究项目驱动、教学科研相结合及完善教学评价等改革内容^[3]. 通过以上改革, 提升本科学生对电气工程专业知识和专业技能的掌握程度, 提高学生对工作和研究领域的适应性, 落实高等学校以人为本的教学根本目的.

1 教学内容体系改革

1.1 项目化实验内容

如图 1 所示, 将高电压与绝缘技术实验项目化为四大综合项目: 绝缘介质放电实验、高压输电线路实验、避雷器实验和电力变压器实验. 四大综合项目的子项目大致涵盖了高电压与绝缘技术领域面临的主要问题. 通过上述项目的学习, 建立了完善的高电压与绝缘技术实验内容体系, 清晰的实验内容脉络, 更利

① 收稿日期: 2018-08-02

作者简介: 桂银刚(1988-), 男, 讲师, 博士, 主要从事高电压与绝缘技术的研究.

通信作者: 桂银刚, 讲师, 博士.

于学生对知识的学习和掌握。此外, 实验所涉及的实验设备、材料价格适中且易于购买, 提高了项目化实验的可行性。

绝缘介质放电实验主要介绍了 3 种类型放电实验: 局部放电实验、沿面放电和击穿放电实验, 涉及的绝缘介质分别为: 空气、SF₆ 绝缘气体和绝缘油以及常见的瓷绝缘子、玻璃绝缘子和复合绝缘子。该部分着重分析了不同绝缘介质在 3 种放电实验下的绝缘特性。

高压输电线路实验的项目化实验分别为: 开路和断路实验、电磁波传输速度测量实验、故障定位实验。该部分的测试设备和测试原理与电力变压器实验部分类似。避雷器实验首先介绍了避雷器的构造、类别、工作原理和保护范围等基础知识, 并对避雷器的泄露电流和介质损耗进行测量, 测试避雷器在额定工作电压下的绝缘情况, 衡量避雷器性能。

电力变压器实验主要包括: 绝缘电阻测量、空载电流测量、空载损耗、短路电压、介质损耗测量、工频耐压实验、直流耐压实验等。绝缘电阻测量常用于变压器出厂检测或运行检测, 该项测量是排查变压器绕组接触不良、断路、匝间短路及其它运行故障的有效方法; 空载电流测量可用于快速确定变压器的受潮严重程度; 空载损耗测量可有效测试变压器内部绕组等所带来的能量损耗; 短路电压测试是判断变压器能否并列运行和单独运行的重要依据; 而工频耐压实验和直流耐压实验用于验证变压器在指定电压和电流下的运行稳定性, 在设备投运前及时排除绝缘故障。其中, 绝缘油耐压实验用于测试绝缘油对不同等级电压的耐受能力, 能有效判断绝缘油内部是否含有杂质。

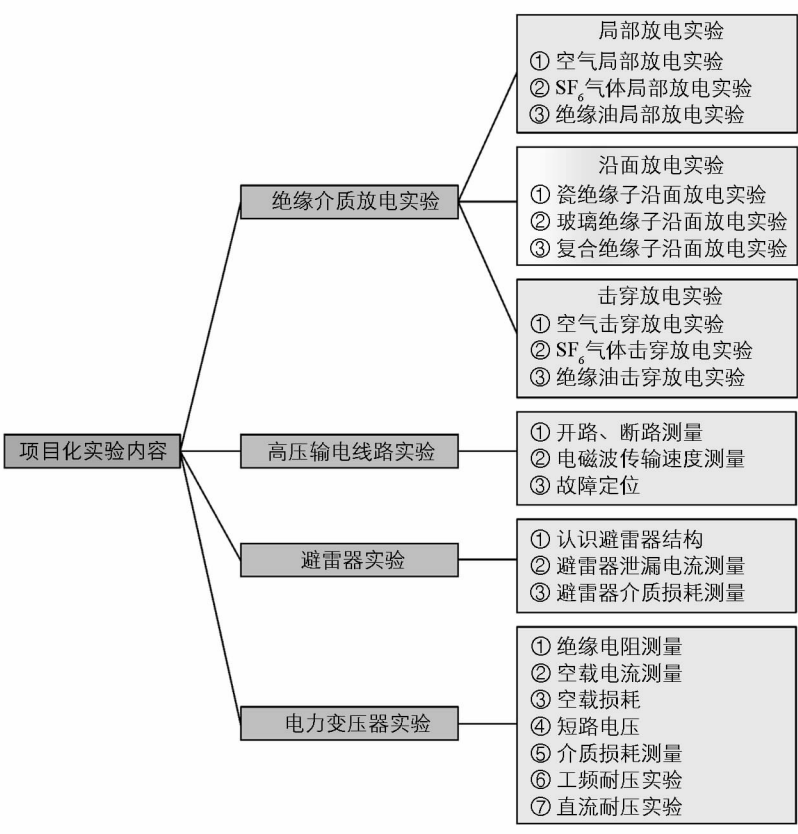


图 1 项目化实验内容

1.2 系统化教学实验设备

为了达到更好的教学目的, 在项目化实验内容基础上, 必须配备相应的系统化教学设备, 学生通过实际动手操作, 能够更好地理解、巩固理论学习所掌握的知识。

1.2.1 高压升压实验设备

高压实验平台如图 2 所示, 该系统主要由无晕试验交流变压器 T、保护电阻 R₁ 和 R₂、C₁ 和 C₂ 为电压

分压器、放电气室、检测阻抗 Z_m 、耦合电容 C_3 及数字示波器组成, 该系统的电压调控范围为 $0\sim50\text{ kV}$. 放电量检测主要通过以下步骤获得, 被测信号经过耦合电容 C_3 后传输到连接有数字示波器的检测阻抗 Z_m 上, 最后利用示波器实时采集放电产生电压信号. 通过放电量标定, 得到放电产生的局部放电的放电量值. 通过该设备的操作, 让学生在学习理论知识的基础上, 掌握高电压设备的运行原理、高电压检测方法和安全操作规范.

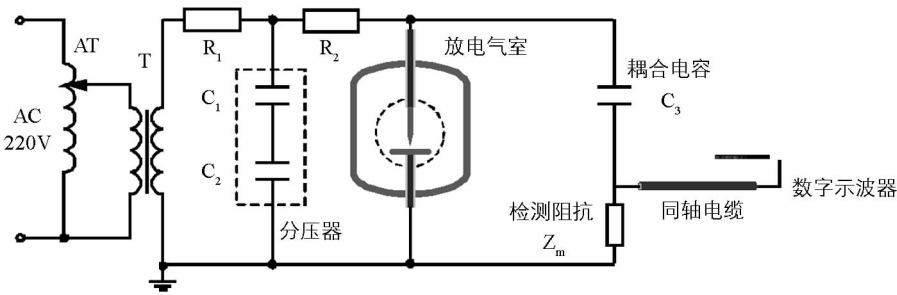


图 2 高压试验平台

1.2.2 高压输电线路实验设备

如图 3 所示为扬州鹏翔电力设备厂设计生产的 PX9019 型高压输电线路故障测试系统, 该系统由以下主要部分构成: 笔记本电脑、故障测试软件、测试信号发生器、测试信号接收器以及定位设备等. 笔记本电脑和故障测试软件相互配合主要用于测试过程控制、数据处理和存储. 测试过程中为了避免工频输电信号对检测结果的干扰, 由测试信号发生器向输电线路注入不同于工频信号的断续正弦波特征电脉冲信号, 频率 15 kHz , 最大幅度为 30 V . 脉冲产生方式包括低压脉冲、直闪和冲闪. 测试信号接收器用于实时接收由信号发生器产生的特征电脉冲信号, 该系统可准确测试高压输电线路的开路、断路、电磁波传输速度测量和故障定位, 实验证实该检测方法具有较强的抗干扰能力、准确性和灵活性, 完全满足高压输电线路故障的常规测试. 通过该部分实验的学习, 达到学生熟练掌握高压输电线路故障的常见测试方法和判断方法.

1.2.3 避雷器实验设备

氧化锌避雷器目前最常用于高压输电线路保护、变电站设备保护以及配电系统中开关柜保护等. 氧化锌避雷器在长周期运行过程中可能由于内部受潮导致阀片老化, 有必要定期对其进行检测、维护和故障修复. 如图 4 所示, 实验室采用 PX8201 型氧化锌避雷器带电测试仪对氧化锌避雷器进行测试, 设备抗干扰能力强、功能齐全、操作方便、易于携带. 该设备可用于准确测量不同电压等级氧化锌避雷器的参数, 包括避雷器泄漏电流和避雷器介质损耗, 通过该部分实验, 首先掌握避雷器的避雷原理以及避雷器的避雷特性测试方法.



图 3 高压输电线路工频参数测量系统



图 4 氧化锌避雷器带电测试仪

1.2.4 电力变压器实验设备

如图 5 所示, 作为本科教学演示和科学研究实验, 实验室采用由华电美伦电力技术有限公司生产的

S11M/10kV 型高压变压器，该变压器以绝缘油为绝缘介质，封装于永久密封的波纹油箱内部，变压器铁芯通过高性能冷轧晶粒取向硅钢片组成，所有绕组线圈均由无氧铜线绕制而成，并选取多层圆筒式结构所组成。此外，通过采用防松动的紧固件对设备进行加固。该变压器由于功能齐全、可靠度高、运行稳定且价格适中，被广泛应用于教学和科研领域。如图 6 所示为 PX3013 型变压器容量及损耗参数测试仪，可准确测试高压变压器的绝缘电阻、空载电流、空载损耗、短路电压以及介质损耗等多项参数，可测试的电容量范围为：20 kVA~1×10⁵ kVA。此外，基于如图 1 所示的高压试验平台，可对高压变压器进行工频耐压实验和直流耐压实验。



图 5 S11M/10 kV 高压变压器



图 6 PX3013 型变压器容量及损耗参数测试仪

1.3 教学过程设计

如图 7 所示为基于项目化实验内容的教学过程设计。教学过程以教师和学生为主体，在教师教学方面，对项目化实验教学内容进行讲解和演示，让学生对实验内容获得深入学习，引导部分学生参加大学生项目，倡导学生加入教师研究团队，与团队老师合作从事科研项目研究。

在学生方面，针对高电压与绝缘技术的实验特点，建立实验学习互助小组，明确小组成员分工，共同制定和实施实验方案。在实验内容方面，完善高电压与绝缘技术实验教学内容，以项目化实验内容为教学核心，以大学生项目和科研项目为教学辅助。其中，大学生项目和科研项目的内容均以项目化实验内容为基础，是项目化实验内容的拓展与延伸，极大地提高了本科实验教学效果。大学生项目主要包括校级、省部级或者国家级大学生创新、创业或比赛等实践项目。参与的科研项目主要包括国家自然科学基金项目，省部级研究项目，校企合作项目，特别参与国电电网的研究项目。

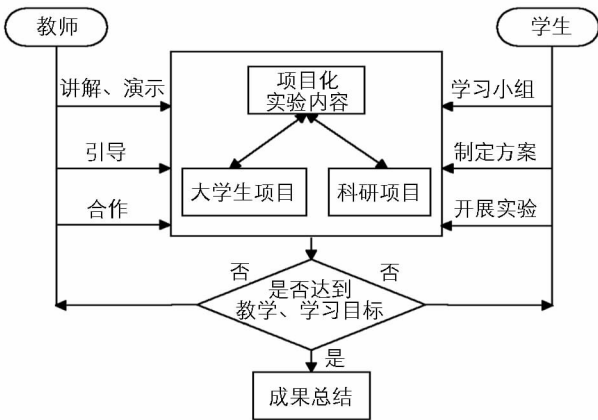


图 7 教学过程设计

2 教学方式改革

2.1 自主学习

开展高电压与绝缘技术实验的自主学习，强化学生带着实际问题自主学习的意识，可有效巩固已有知识，提高学生实际动手能力^[4]。学生按照项目化教学内容，自主设计实验方案、实施实验内容，这种教学方式不仅能在很大程度上提高了学生学习的主观能动性，还激发了学生的独立思考能力和创造力。此外，该种教学方式能很好地对每个学生的知识体系查漏补缺，巩固学习重点、突破学习难点。

根据学生学习情况，分配多个学习互助小组，针对同一理论学习内容和实验内容共同学习、相互帮助，

在注重共同学习成果的同时,强调共同学习过程的重要性.在主动学习过程中,学生由传统“填鸭式”学习方式转换到自主探索知识的过程,已经掌握知识点的同学在帮助其他尚未掌握知识点的同学的过程中,进一步巩固、深化和理清学习的内容;而尚未掌握知识点的同学在其他同学的帮助下更好地理解知识点,并找到自身学习方法存在的问题,达到举一反三的效果.这种互助式自主学习方式,使得学习的目的性更强、协调默契程度更高,使学习从传统枯燥无味的被动学习转变为生动有趣的主动学习.

2.2 项目驱动

根据学生掌握理论知识和实验技能的实际情况,倡导部分学生积极申请校级、省部级或者国家级大学生创新、创业或比赛等实践项目.在项目研究过程中培养积极主动的学习习惯、自主探索的科研精神和求真务实的实践能力,将学生所学知识用于解决实际问题^[5].此外,基于研究项目驱动的教学方式使学生学习知识与实际问题相互联系,通过实际问题引导学生学习的方向,达到深化学生对知识点的掌握程度,培养实际动手能力.

在科研项目方面,凭借学校在电气学科领域优良的师资团队,发挥团队研究方向覆盖电气各个领域的优势.学生结合自身学习所具有的特长,选择性加入教师科学研究团队,从事国家自然科学基金项目、省部级研究项目,校企合作项目,特别是国电电网的研究项目,通过参与科研项目,将学生所学知识转化为科技成果,提高学校教学质量.

2.3 教学评价

教学评价作为评估学生学习成果的重要环节,是提高学习质量的有效保障^[6].需要制定包括考勤登记表、实验分组记录表、提问和讨论成绩记录表、考试成绩登记表等学习考核方案,制定教师评教表、学生评教表等教学评价方案,对学生的学习效果 and 教学开展情况进行评价和问题查找,提出改进方案.

针对高电压与绝缘技术实验,教学评价主要包括两个阶段:实验过程考核和实验成果考核.在实验过程考核方面,建立周报制度,学生首先针对上一周布置的实验内容进行汇报,包括实验目标、实验方案和实验成果;其次,汇报下一周实验的准备情况,拟定实验方案和人员分工^[7].在实验成果考核方面,以实验报告为考核依据,规范实验报告格式,要求实验报告字迹工整、条理清楚、数据真实可靠.通过教学评价对学生学习行为进行有效的督促,提高高电压与绝缘技术实验的教学质量^[8].

在实际教学过程中,通过对比教学改革前后学生的学习效果,有效印证了教学改革方案的可行性和有效性.首先,通过多类型、多维度的项目化实验内容,深化了学生对知识的掌握程度;其次,学生的动手操作能力得到明显的提高,团队协作配合能力增强;另外,通过科学研究、科研项目与本科教学相结合,提升了学生的科研素养,为热衷科学研究的学生打下了基础;最后,由于改革后的实验内容与电气领域工作内容的高度契合,提高了学生的就业潜力和社会适应能力.因此,高电压与绝缘技术课程实验教学改革的实验过程中收到了良好的教学效果.

3 结 论

针对现阶段高电压与绝缘技术实验课程的现存问题和发展方向,对实验教学内容体系、教学设备体系和教学方式进行了改革.在教学内容体系方面,以教师和学生为教学主体,以项目化实验内容为教学核心,详细介绍了各个教学项目的实验内容和实验设备等信息,提高项目化实验教学的可行性.基于完善的教学设备体系,让学生在实际行动操作过程中,形成完整的知识体系.在教学方式方面,提出了自主学习为主导、项目教学为驱动、教学评价为保障的教学方式改革,提高了高电压与绝缘技术实验课程的教学质量.

参考文献:

- [1] 王 鑫.浅析高电压与绝缘技术的新发展[J].科技创新导报,2015(20):64.
- [2] 冯德仁.高电压技术课程实验教学探索[J].安徽工业大学学报(社会科学版),2013,30(1):108—109.
- [3] 黄志先,张 弘.高电压技术课程项目化教学探索[J].科教导刊(上旬刊),2017(4):137—138.

[4] 程紫娟. 自主学习在“高电压技术”教学中的应用 [J]. 科教导刊, 2016(30): 95—96.

[5] 张 琰, 魏晓艳, 李 秋. 基于“工程项目”的高电压技术课程改革 [J]. 科技资讯, 2017, 15(18): 191—193.

[6] 杨友平, 翁惠辉. “高电压技术”课程教学改革与实践 [J]. 考试周刊, 2016(101): 9—10.

[7] 丁思丹, 屈廖健. 基于“双维度”的大学生学习参与行为研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(10): 157—164.

[8] 孟二从, 余亚琳, 鲍安红, 等. 参与式教学在土木工程实验课程中的应用 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(4): 161—166.

On Reform and Practice of Experimental Teaching of High Voltage and Insulation Technology

GUI Yin-gang¹, DUAN Shu-kai², ZHU Shi-ping¹,
TANG Chao¹, ZHOU Qu¹, XU Ling-na¹

1. College of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. College of Electronic and Information Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: High voltage and insulation technology is one of the core basic courses of electrical engineering and automation. There are some essential problems in the undergraduate teaching of this course, such as unreasonable allocation of experimental course structure, imperfect teaching content system, and teaching methods lack of diversity. We try to improve the education system from reforming the teaching content, teaching equipment systematization, and teaching methods, aiming to improve the practical ability, teamwork ability and adaptability in the research field of undergraduate students, and improve the quality of experimental teaching and cultivate new high-quality students.

Key words: high voltage and insulation technology; experimental teaching reform; reform methods

责任编辑 汤振金