



新工科背景下 VR 在高压教学中的应用

耿江海, 林 果, 范晓舟*, 梁海峰, 刘云鹏, 张 航

(华北电力大学 电力工程系, 保定 071003)

摘要: 实验教学的升级创新对新工科人才培养至关重要。该文针对传统高压实验危险系数较高、操作流程复杂的作业特点, 提出将虚拟现实技术 VR 融合于高电压实验课程教学中, 以高压开关柜局部放电多参量测试虚拟实验和变压器绕组变形测试虚拟实验为例, 进行了三维场景建模, 在 Visual Studio 中编程实现实验的交互性, 搭建虚拟实验平台, 开展了基于虚拟现实技术的新型高压实验教学。实践证明, 有趣的 VR 实验方式能够充分保证实验安全性、提高实验室资源利用率、调动学生学习积极性, 满足新工科背景下高电压与绝缘技术专业类专业人才培养工程训练要求。

关键词: 新工科; VR 技术; 高电压实验; 工程训练; 人才培养

中图分类号: G431

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230307

Application of VR in High Voltage Teaching under the Background of New Engineering

GENG Jianghai, LIN Guo, FAN Xiaozhou*, LIANG Haifeng, LIU Yunpeng, ZHANG Hang

(Department of Electric Power Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The upgrading and innovation of experimental teaching is crucial to the cultivation of new engineering talents. Aiming at the high risk factor and complex operation process of traditional high-voltage experiments, this article virtual reality integrates (VR) technology into the teaching of high-voltage experiment courses. Taking the virtual experiment of high-voltage switchgear partial discharge multi-parameter testing and transformer winding deformation testing as examples, three-dimensional scene modeling and programming in Visual Studio are conducted to achieve the interactivity of the experiment, and a virtual experiment platform is established. Subsequently, a new high-voltage experimental teaching based on the virtual reality technology is carried out. Practice has proven that interesting VR experimental methods can fully ensure experimental safety, improve the utilization rate of laboratory resources, mobilize students' learning enthusiasm, and meet the engineering training requirements for the cultivation of high-voltage and insulation technology professionals under the background of the new engineering.

Key words: new engineering; VR technology; high-voltage experiment; engineering training; personnel training

随着科学技术的高速发展, 当代中国对创新意识好、动手能力强、知识涉猎广的复合型人才的需求愈发迫切^[1-2]。因此, 教育部近年来不断推进工程教育改革, 对工程训练提出了更高的要求 and 目标。中国于 2016 年加入国际工程教育《华盛顿协议》组织, 始终贯彻三大教育理念: 以学生为中心、以产出为导向、持续改进, 致力于培养学生处理复杂工程问题的能力^[3-5]。“新工科”建设理念于 2017 年由教育部提出, 创建各种新型工科专业的同时, 也对传统工科专业进行升级改造, 逐步实现跨学科和跨专业的融合发展, 不断

提升学生的综合实践能力^[6-8]。为贯彻落实教育部“新工科”建设理念, 培养工科学生的创新意识、动手能力以及综合素质, 实验教学至关重要。

如今国内外高校越来越重视对理论知识的实际应用, 同时学生也对体现个人综合素质的实践学习给予高度重视。在 2020—2022 年疫情防控期间, 线上学习的模式已经得到推广普及, 网课、视频教育已经成为大多数学生不可替代的学习途径和手段, 互联网教学已经融入学生的学习生活。恰逢虚拟现实技术发展的浪潮兴盛, 传统电力实验教学也有着迫切的虚拟教学需求和大量亟

收稿日期: 2023-06-19; 修回日期: 2023-09-05

基金项目: 河北省新工科研究与实践项目(2020GJXGK066)。

作者简介: 耿江海(1980-), 男, 博士, 正高级实验师, 主要从事高电压与绝缘技术相关教学和科研工作。

*通信作者: 范晓舟(1990-), 男, 硕士, 高级实验师, 主要从事高电压与绝缘技术相关教学和科技工作。E-mail: 1014638113@qq.com

待丰富的作业内容, 开发虚拟电力实验教学的平
台势在必行。

高电压与绝缘技术作为电气工程的重要二级
学科之一, 已成为高端电气装备、国防安全与战
略能源安全等重要领域发展的基础, 在该学科中
融入教育部所倡导的“新工科”教育理念对学生
培养的长远发展具有重要意义^[9-10]。该学科所涉
及的知识范围广泛、理论性较强且抽象, 如何通
过实验教学不断加深对理论知识的理解并将其运
用到实际工程技术中至关重要^[11-13]。然而, 高
压实验需要大型仪器设备, 实验成本、危险系数
以及操作难度都较高。

VR 技术具有人类感知系统, 可以实现人机交
互^[14-17]。在国家政策激励下, VR 技术在影视
娱乐、新型教育、房屋设计、医学领域、军事领
域、航空航天等方面已蓬勃发展, 为 VR 实验应
用于高压实验教学中提供了高度可行性^[18-22]。将
VR 技术应用于耗资大、操作繁琐的高压综合实
验中, 既增加学生实验兴趣, 又提高实验教学的
教学效率, 降低危险系数。

1 实验科目扩充背景下的 VR 建议必要性

1.1 适应人才培养要求的实验科目扩充

华中电力大学高压实验室始建于 1995 年, 实
验室占地面积约 1 000 m², 各类仪器设备 300 余
台套, 是电气工程学科重要的教学和科研实验基
地。2015 年之前主要开设“高电压技术”“电力
系统过电压”“高电压绝缘”和“电气设备高压
实验”4 类课程实验, 授课对象涵盖电力系所有
专业学生, 年均实验工作量为 500 人次。2016 年
对教学大纲进行了修订, 高电压与绝缘技术成为
校内平台课程, 并同步开设本科生实践环节——
高电压综合实验课程。高电压综合实验课程作为
电力系实践教学的平台课和必修课, 高压实验
室每年要承担电气工程、农业电气化等专业 3 500
余人次的本科实验。

在实验科目划分上, 根据高压学科的知识
体系特点、发展趋势和工程实际要求, 高电压
综合实验课程共包含有 4 个实验模块, 如图 1
所示。

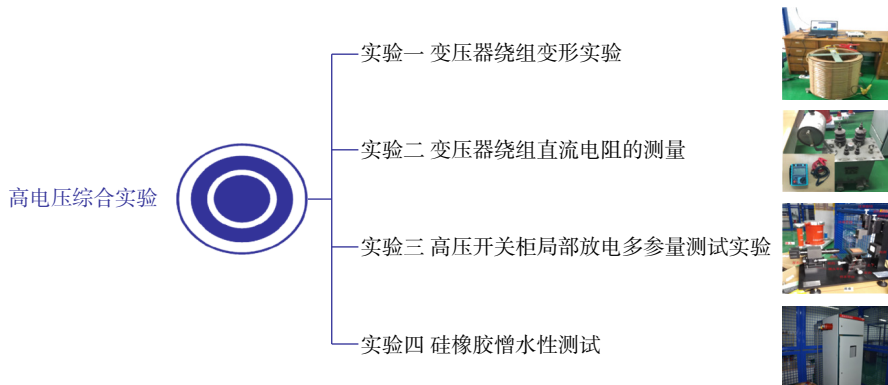


图 1 高电压综合实验类型

1) 变压器绕组变形实验

电力变压器的绕组在电动力的作用下会出
现绕组变形, 进而影响到设备的绝缘性能。此实
验的目的是让学生掌握利用频响法检测绕组变
形的基本方法和思路, 对比了解传统硅钢片铁
芯和非晶合金铁芯在电动力下的性能差异, 培
养学生将相关的理论知识与工程实际相结合的
能力。

2) 变压器绕组直流电阻的测量

实验目的是让学生熟练掌握变压器变比和
绕组直流电阻的测试方法以及如何判断绕组极
性。

3) 高压开关柜局部放电多参量测试实验

局部放电是表征设备绝缘状态的重要征兆信

号, 目前在电力系统的预防性实验中得到了十
分广泛的应用。通过实验有助于让学生更深入
地认识放电物理特性, 掌握多参量的局部放电
测试方法。

4) 硅橡胶憎水性测试

复合绝缘子具有憎水性, 目前在电力系统
中的应用越来越广泛^[23]。目的是让学生充分
理解憎水性的含义以及评价憎水性的方法——
工频耐压实验。工频耐压实验是现场预防性
实验中一种非常重要的实验项目, 为让学生掌
握耐压实验的步骤和加压方式等知识。

1.2 高校电力实验教学瓶颈和痛点分析

高电压实验是设备种类繁多、操作繁琐危
险

的工作，在实验中会产生高电压及大电流，如果操作人员操作步骤不当或者准备措施薄弱，极有可能造成人身的伤害和设备的损坏。因此，提高高校电力实验教学安全性与“真实性”的关键在于提高学生的实际操作能力，降低习惯性违章和误操作率，从而减少电力安全事故。“操作流程化、流程表单化、检查可视化、考核清晰化”是电力实验教学的内在要求也是未来发展趋势，而对标当前国内外电力实验现状，仍发现存在以下痛点。

1) 设备结构复杂，培训成本高昂

电力实验教学属于重资产、操作密集型实验，电力设备繁多，传统的实验教学投资大、占地广，设备型号单一，实验设备的投入高、维护费用高。随着电力设备更新换代的速度越来越快，对高校电力专业学生的专业知识素养、技术操作水平、故障应急能力提出了更加严苛的要求，与之相适应的实验实践及考核必须紧随其后。这不仅对高校实验室设备的功能和数量提出了要求，而且还需要投入大量的运行维护费用。

2) 学习形式单一，内容更新效率低

传统高校电力实验教学通常选择典型设备及典型场景进行培训，同时二维化的课堂模式对于三维化的操作场景呈现方式十分有限，学习形式相对单一；高校实验室设备落后，推陈出新的速度无法与电力自动化的技术发展相比拟。这一系列弊端造成校内学习内容与现实部分脱节。

事实证明，因高电压综合试验等课程知识本身就具有非常强烈的抽象性，若通过沉浸感不足、参与度不高的现场试验更无法帮助学生充分理解书本的理论知识。电力试验因设备庞大、价格昂贵、危险系数高，在时间和空间上对师生造成很大的限制，同时设备需要定期维护，在教学环节甚至有可能因为实践教学的操作不当而对试验设备造成不必要的损坏。为了改善传统的电力试验教学中存在的弊端，提高电力试验教学的质量，必须运用现代科学技术手段来优化教学方式。

1.3 VR 技术应用于高校实验教学的必要性

虚拟现实技术是在多学科相互交错融合下形成的新兴领域，它的核心是建立数字化模型与环境，用户通过借助一些特定的设备与模拟环境中的对象进行交互，产生一个逼真的三维视觉、触觉、嗅觉等多种感官体验的虚拟世界。在教育领域，虚拟现实技术已取得相应的成就，为学生打造了多功能化、多元化教学环境，可多角度观察

解决问题，激发学生学习的热情，唤醒课堂活力，提高整体教学品质。此外，通过打造虚拟实验室，为学生试验操作提供新场所，与传统实验室相比，能有效减少资源浪费，打破时间与空间对人员和技术的限制。

鉴于高电压综合试验危险系数较高、操作流程复杂的作业特点，华北电力大学采用 VR 技术进行多场景互动教学。通过生动形象的 VR 技术进行预习、复习，既可提高试验效率，又能有效降低高压试验设备的维修运行成本，高效保障师生人身安全，提高试验教学质量。

下面以变压器绕组变形测试和高压开关柜局部放电多参量测试实验为例，介绍基于 VR 虚拟与现实结合的高电压综合实验。

2 基于真实场景的高压开关柜局部放电多参量测试虚拟实验研究

2.1 系统设计

在对高低压开关柜教学软件进行开发时，先去配电所的主控室，对主控室中的各个高低压开关柜进行拍照取景；然后通过易于上手的 3D Max 软件对各设备进行建模；再由 Photoshop 软件对贴图图片进行处理，从而对建好的模型进行优化处理。完成上述操作后将模型导出为 Unity3D 可以兼容的 FBX 格式，通过灯光、摄像机等工具完成高低压开关柜教学场景的建立，最后由 C#脚本语言完成“交互设计”。高低压开关柜教学包含场景漫游、设备信息、设备实操 3 个模块，建立了沉浸式培训交互系统，其总体设计流程图如图 2 所示。

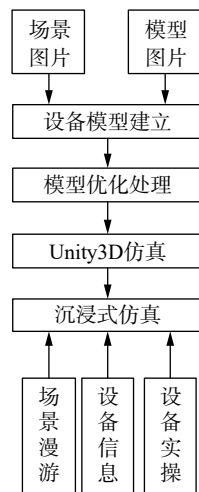


图 2 沉浸式培训交互系统流程图

2.2 高压开关柜仿真系统的三维场景建模

本文建模使用的软件主要是 3DMax 和 Unity, 两者配合进行开关柜模型的建立与色彩的渲染补充。

1) 数据搜集与整理

首先是对虚拟环境的数据采集, 将收集到的地形图数据以及校园内部的规划数据一起导入计算机, 对地形图以及校园内部设计进行配准操作形成矢量化的操作数据, 之后将使用到的相关场景图画复制到计算机里, 同时利用 Photoshop 对图片进行精修, 为后面的模型表面贴图做好准备。

2) 模型建立

如图 3 所示, 运用 3DMax 将实验导线、接地导线、开关柜、安全工器具、绝缘手套、测试线、测量导线、安全围栏、标识牌构建完成, 运用各种基本元素, 通过搭建、合成构建整体结构。

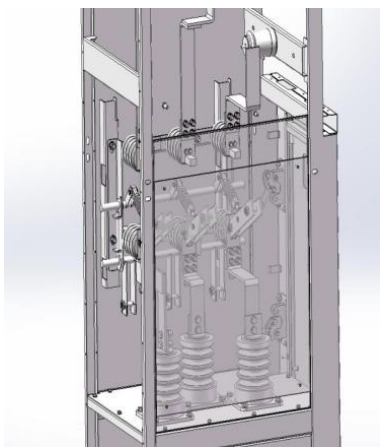


图 3 开关柜模型图

3) 渲染模型

如图 4 所示, 在 Unity 中打开此试验基础元素, 并运用相关功能进行渲染, 如通过添加灯光、阴影等提高其真实性, 现实生产过程中主要的照明情况都是用背景灯照射来完成的。



图 4 开关柜局部放电 3D 模型图

4) 成果输出

对于灯光的设置必须要经过严格的设计, 放置好位置后进行地图的渲染, 在完成地图的渲染操作后就可以生成文件输出。

2.3 在 Visual Studio 中实现实验的交互性

学生与实验的交互性对于实验教学的效果和学生参与度至关重要。为了实现这一目标, 本文在 Visual Studio 中进行代码编程, 为各基础元素搭建联系, 并通过代码控制各模型, 实现虚拟场景互动教学。本研究采用了以下 4 个关键步骤。

1) 通过盾牌菜单的选择

学生可以自主选择要进行的实验项目。在接收工作任务的场景中, 学生能够在虚拟环境中接收调度中心的任务指令, 并进行口头确认, 增加了学生的实际参与感。在工器具选择环节, 学生可以通过手柄操作在虚拟场景中选择正确的工器具, 这增加了互动性和直观性。

2) 兆欧表检查环节

学生需要在虚拟环境中选择正确标签的兆欧表。如果选择错误, 系统会给予相应的提示, 以帮助学生纠正错误。在现场班前会场景中, 学生按照正确的顺序选择安全监护人和正确的待检测高压开关柜等, 以确保实验的安全性。

3) 停电场景中

学生需要按照正确的流程选择相关操作, 如安全监护人的选择和工作现场的安全围栏装设等。

4) 实验场景

学生能够进行实验操作, 如放电和测量绝缘电阻等。系统根据学生的操作给予实时反馈和提示。

通过以上关键步骤, 学生能够与实验进行互动, 并根据操作的准确性和完成度得到相应的反馈和评分。这种交互性设计提高了学生的参与度和实验教学的效果, 有助于培养他们的实际操作能力和问题解决能力。

2.4 实验教学

如图 5 和图 6 所示, 在虚拟平台上进行高压开关柜局部放电多参量测试实验, 首先要选择试验类型、接收试验场景、检查所选工具; 其次进行试验场景, 对被试品放电后对试验仪器可靠接地, 测量相关参量; 最后结束。



图 5 检测仪器及实验接线连接图

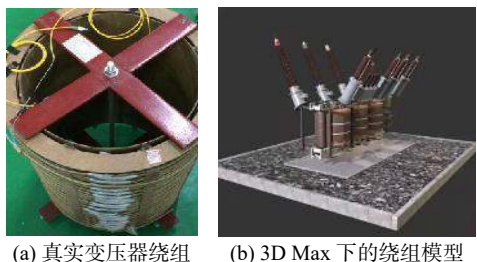


图 6 VR 展示及实验操作图

3 基于真实场景的变压器绕组变形测试虚拟实验研究

频率响应分析法是目前现场应用汇总最为实用、诊断效果最好、测量结果最准确的诊断方法^[24-25]。与高压开关柜类似，本文采用 3D Max、Unity 软件搭建变压器绕组变形测试虚拟实验平台，利用 C++语言完成实际实验操作步骤与虚拟实验平台的匹配和优化，完成该虚拟实验教学。

本虚拟现实电力实验模拟环境首先需要运用 3D Max 将变压器绕组、实验导线、接地导线、变压器绕组变形测试仪(型号 HR1000)构建完成，运用各种基本元素，通过搭建、合成构建整体结构，如图 7 所示。



(a) 真实变压器绕组 (b) 3D Max 下的绕组模型

图 7 变压器绕组变形测试实物接线

在 Visual Studio 中打开 3D 模型，通过代码编程，将各基础元素搭建联系，并通过代码控制各模型的关联和功能，为实验的交互性奠定基础，从而达到学生模拟电力实验的效果。将变压器绕组与变压器绕组测试仪相连，如图 8 所示。



图 8 变压器绕组与变压器绕组测试仪连接图

实验步骤如下：

- 1) 变压器绕组的尾端使用接地线进行接地；
- 2) 绕组变形测试仪先后连接计算机和试品；
- 3) 选取一个测试频率的范围并开始测试；
- 4) 打印绕组变形前后的频响曲线，如图 9 所示。

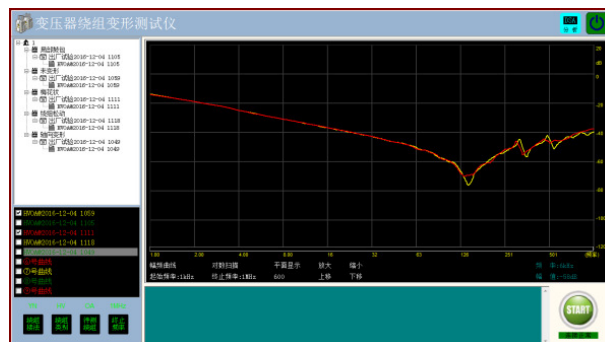


图 9 梅花状变形前后频率响应曲线对比图

随后利用 Visual Studio 软件在 C++语言环境下编写程序，使虚拟实验平台相应元素和操作步骤与实际实验相匹配，从而实现 VR 技术下的交互性实验教学。

4 实施成效

通过使用 VR 技术模拟真实的场景，学生可以在虚拟环境中进行高压开关柜局部放电多参量测试以及绕组变形测试，直观观察和分析开关柜放电过程中的各种参数变化以及变压器绕组不同变形情况下的电压传递和电流变化。这种虚拟实验教学方法具有以下 5 点优势。

- 1) 丰富的实验场景
虚拟环境可以模拟不同的高压开关柜场景，让学生接触到多样化的实验情况。

2) 安全性

使用虚拟实验可以避免学生接触到高压设备带来的潜在危险,提供更安全的实验环境。

3) 实验反复性

学生可以在虚拟环境中进行反复实验,调整不同的参数和条件,加深对实验现象和实验数据的理解。

4) 实时反馈

虚拟实验可以实时提供结果和反馈,帮助学生更准确地分析和解释数据变化。

5) 资源和成本节约

使用虚拟实验可以节约实验设备和材料的成本,同时减少实验室资源的使用压力。

基于VR技术的新增高压综合实验平台大幅提高了学生的动手能力、系统意识和创新意识,塑造了学生知识体系的立体化、全面化。

5 结束语

本文基于虚拟现实技术,提出了一种改善高校电力实验教学的方法,并成功地设计和实施了高压开关柜局部放电多参量测试和变压器绕组变形测试实验。通过在虚拟环境中开展高压实验教学,克服了传统高压实验教学面临的设备复杂、成本高昂和学习形式单一等问题。

虚拟试验平台的搭建使学生无需直接接触高压电气设备,仍能进行真实且安全的试验操作。通过内置的3D模型、仿真技术和交互功能,可以在虚拟环境中自由地观察和探索电力试验的各个细节,提高试验操作能力和理论知识的理解。学生可以随时随地进行实验,提高了实验教学的灵活性和效率;该平台能够记录学生的实验过程和结果,供教师进行评估和指导,提供个性化的学习支持。

参考文献

- [1] 刘宇雷,余明.“新工科”背景下高校实验教学体系建设探索[J].实验技术与管理,2019,36(11):19-21.
- [2] 傅苑,李欢欢.工科专业学生干部工作热情的影响因素及启示:以中国地质大学(武汉)为例[J].大学教育,2021(2):190-192.
- [3] 吴爱华,侯永峰,杨秋波,等.加快发展和建设新工科主动适应和引领新经济[J].高等工程教育研究,2017(1):1-9.
- [4] 崔贯勋,郜继红.基于OBE的网络工程专业实践体系研究[J].实验技术与管理,2018,35(8):160-170.

- [5] 张庆新,席剑辉,朱琳琳,等.面向工程教育的自动化专业实践教学体系的构建与实施[J].工业和信息化教育,2022(2):15-18.
- [6] 洪海涛.“新工科”背景下的视觉检测与机器人技术[J].大学教育,2019(7):74-76.
- [7] 崔崇雨.基于新工科背景的高电压技术课程改革探索[J].黑龙江科学,2019,10(21):46-50.
- [8] 江军,王凯,张潮海,等.新工科背景下电气专业“高电压技术+”课程群体系建设与探索[J].中国现代教育装备,2020(11):61-63.
- [9] 刘毅,贺恒鑫,李化,等.以学生为中心的高电压实验教学探讨[J].电气电子教学学报,2021,43(2):135-138.
- [10] 刘焱昌.电气工程及其自动化的建设与发展探讨[J].信息记录材料,2021,22(12):45-46.
- [11] 郭晓君,林亚君,陈学军.“高电压技术”课程混合式教学改革与实践[J].科技视界,2021(6):76-78.
- [12] 陈亭,薛楠,康守强,等.高电压与绝缘技术虚拟仿真实验教学项目实践[J].高师理科学刊,2021,41(1):71-74.
- [13] 姜文振.“范式”概念溯源及其与“知识型”的关系[J].河北师范大学学报(哲学社会科学版),2022,45(1):66-72.
- [14] 陈笑浪,刘革平,李姍泽.基于虚拟现实技术的教育美学实践变革:新情境教学模式创建[J].西南大学学报(社会科学版),2022,48(1):171-180.
- [15] 杨中亚,赵勇,刘娟鹏,等.基于虚拟现实的输电线路巡视仿真培训系统设计及实现[J].电子测量技术,2015,38(4):92-97.
- [16] MUKHOPADHYAY A, REDDY G S R, SALUJA K P S, et al. Virtual-reality-based digital twin of office spaces with social distance measurement feature[J]. Virtual Reality & Intelligent Hardware, 2022, 4(1): 55-75.
- [17] 漆晓霞.基于虚拟现实技术的变电站仿真培训系统的研究[D].北京:华北电力大学,2009.
- [18] 岳梅,张叶江.虚拟现实技术在远程医学教学中的应用场景[J].中国中医药现代远程教育,2020,18(21):43-45.
- [19] 黄超,田丰,褚灵伟.沉浸式VR在教育培训领域中的应用综述[J].电声技术,2017,41(11):99-105.
- [20] 牛增瑞.基于系统仿真与虚拟现实的军事体系对抗探究[J].无线互联科技,2019,16(7):15-20.
- [21] 裴育苗,李瑞鑫,常荧,等.VR在医学教学中的模拟应用[J].山西电子技术,2020,213(6):17-19.
- [22] 张绿萌,罗立宏.“VR+影视”模式下交叉叙事应用研究[J].卫星电视与宽带多媒体,2019,501(20):13-14.
- [23] 佟宇梁.基于热刺激电流的复合绝缘子老化特性研究[D].北京:华北电力大学,2011.
- [24] 杨名宇,范晓舟,徐永峰,等.基于BOTDR的变压器绕组变形检测实验研究[J].山东电力技术,2020,47(2):27-31.
- [25] 杨毅,刘石,张楚,等.基于振动分布特征的电力变压器绕组故障诊断[J].振动与冲击,2020,39(1):199-208.