

（1）高压变电站智能运检实验仿真模块（校企合作、科研成果转化）

功能与组成：

高压变电站智能运检虚拟仿真实验以典型高压变电站为基础，包含高压变电站运行场景认知虚拟仿真实验系统、变电站机器人智能巡检虚拟仿真实验系统、变电站运维操作虚拟仿真实验系统、变电站设备故障诊断和检修虚拟仿真实验系统四大系统，各系统内容相互独立，又彼此相关，整体实验项目内容设计遵循变电站设备故障设置、故障识别与分析、故障处理的主线，训练学生掌握变电站标准化操作技能，培养学生综合分析和设计能力，发掘自主创新能力，实现学生知识创新和工程实践能力的有机统一。

教学效果：

本实验平台设计科学合理、功能丰富、扩展性强，覆盖专业知识面广。实验平台采用 B/S 结构，支持网页界面操作方式。学生仅需通过浏览器即可登录教学平台。平台提供了实验指导书、实验指导视频等资料帮助学生无障碍开展实验。

平台采用 3D 虚拟建模技术，构建了高度还原的高压变电站三维环境。学生通过操作键盘、鼠标即可实现变电站全场景漫游、设备定位，全面了解变电站工作区域、电气一次系统、二次系统及机器人巡检系统的相关理论知识。通过设备解剖、自主装配等方式深入理解变电站关键电气设备和巡检机器人的组成结构，主要功能及工作原理。

机器人智能巡检项目，模拟了磁导航巡检机器人从传感器选择、路径规划、运动控制、常规和特殊巡检到巡检数据分析的全过程，学生通过平台掌握了机器人巡检等新技术、新方法，培养了学生的创新思维和创新设计能力。

变电站运维操作实验严格遵守国家电网相关规范，设定了“电气五防”措施，提供变电站手工和图形开具操作票的两种方式。学生可自主选择不同电压等级线路完成运维操作任务。

平台模拟了变电站 220kV 线路中 SF6 断路器运行异常的事故处理全过程。学生基于巡检反馈信息，依次完成线路就地停电操作、设备检修安全防护措施、维修器具准备、断路器解体检修标准化作业等实验流程。

平台设计了学习、练习和考试三种模式，提供了相关理论学习、实践练习、考核鉴定、实践评价一体化教学方案，强化了学生工程素养及严谨、科学、细致

的作风的培养。

实验项目：

表 2-2 高压变电站智能运检实验仿真模块实验课程及项目

序号	实验系统名称	实验课程	实验项目	实验类别
1	高压变电站运行场景认知虚拟仿真实验系统	发电厂电气部分、电气工程基础、电机学	变电站一次设备的认识虚拟仿真实验	综合设计型
			变电站二次设备的认识虚拟仿真实验	
			电气监控系统的认识虚拟仿真实验	
2	变电站机器人智能巡检虚拟仿真实验系统	自动控制原理、发电厂电气部分、电气工程基础	智能机器人结构和功能虚拟仿真实验	
			电气设备巡检标准虚拟仿真实验	
			智能机器人巡检操作虚拟仿真实验	
3	变电站运维操作虚拟仿真实验系统	发电厂电气部分、电气工程基础	智能机器人巡检结果分析、故障判断及运维任务下达虚拟仿真实验	
			倒闸操作虚拟仿真实验	
			事故异常处理虚拟仿真实验	
			带电检测标准化虚拟仿真实验	
4	变电站设备故障诊断和检修虚拟仿真实验系统	电力系统继电保护、高电压技术、发电厂电气部分、电气工程基础	一次设备故障分析与检修虚拟仿真实验	
			作业风险分析及作业规范认知虚拟仿真实验	
			设备检修规范化流程虚拟仿真实验	
			线路危险点辨识及控制措施选择虚拟仿真实验	
			电气二次回路绝缘检查、保护装置调试虚拟仿真实验	
			继电保护设计及校验虚拟仿真实验	

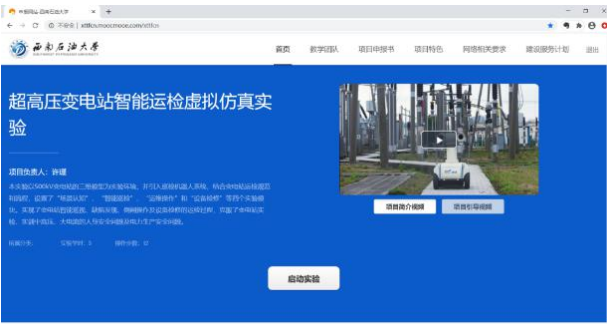




图 2-1 高压变电站智能运检实验仿真模块实验

(2) 高压交直流输电系统虚拟仿真实验系统（校企合作）

功能与组成：

高压交直流输电系统虚拟仿真实验平台以典型实际高压交直流输电系统为基础，构建了包含高压交直流输电系统、柔性输电技术、电网控制与保护和电能质量分析四个模块。平台涵盖交直流输电系统仿真中的所有电气设备，包含基于实际设备参数的可调电源库、电力电子模块库、传输线路模块库、控制与保护模块库、负载设备库。实验项目交叉融合了多门电气专业课程的理论知识，旨在培养学生应用理论知识综合分析和设计实际系统的能力，发掘自主创新能力，实现学生知识创新和工程实践能力的有机统一。

教学效果：

该平台通过仿真交直流输电系统中的各个模块及设备，为学生提供了逼真并能真实反映交直流输电系统的渲染环境。有助于学生深刻了解交直流输电整个系

统结构组成以及该系统中各部件的工作原理,有助于强化学生对系统的认识和理解;在提高了安全系数和降低劳动强度的条件下,学生的动手实践能力得到训练;并能模拟输电系统各种故障及事故,为将来学生进行实际系统搭建及操作时打下基础。平台设计了学习、练习和考试三种模式,提供了相关理论学习、实践练习、考核鉴定、实践评价一体化教学方案,强化了学生工程素养及严谨、科学、细致的作风的培养。

实验项目:

表 2-3 高压交直流输电系统虚拟仿真实验系统实验课程及项目

序号	实验课程	实验项目	实验类别
1	电力系统分析、电气工程基础、电力电子技术、电力系统继电保护原理、电能质量	高压交直流输电系统建模仿真实验	综合型
		高压交直流电网控制与保护	综合型
		柔性交直流输电技术	综合型
		高压交直流输电系统电能质量分析	综合型

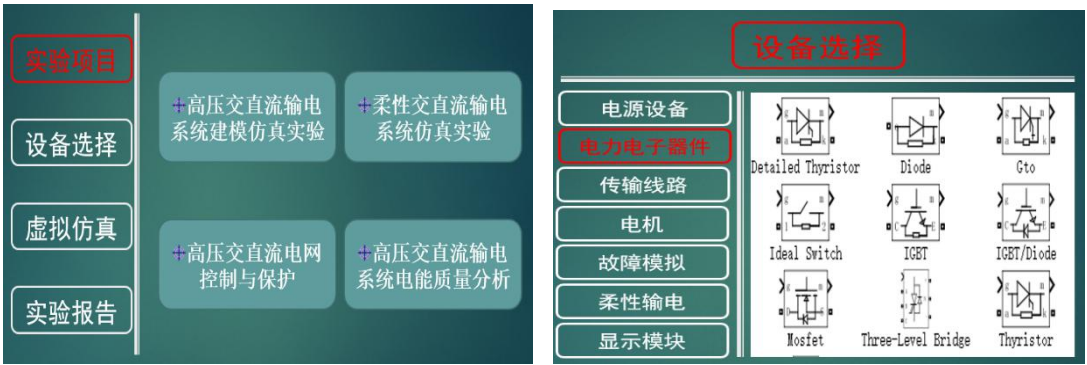


图 2-2 虚拟仿真实验项目选择电力设备选择

(3) 机车牵引电传动系统虚拟仿真实验系统（校企合作）

功能与组成:

机车牵引电传动系统虚拟仿真实验平台以韶山号、和谐号电力机车牵引电传动系统为基础，构建了包含电力电子变流技术、牵引电机控制技术、和电能质量分析三个模块。平台涵盖牵引电传动系统仿真中的所有电气设备，包含基于实际设备参数的可选牵引电机库、电力电子模块库、接触网供电模块库及控制模块库。实验项目交叉融合了多门电气专业课程的理论知识，旨在培养学生应用理论知识综合分析和设计实际系统的能力，发掘自主创新能力，实现学生知识创新和工程实践能力的有机统一。

教学效果：

该平台通过仿真机车牵引电传动系统中的各个模块及设备，为学生提供了逼真并能真实反映机车牵引电传动系统的渲染环境。有助于学生深刻了解整个传动系统结构组成以及该系统中各部件的工作原理，有助于强化学生对系统的认识和理解；在提高了安全系数和降低劳动强度的条件下，学生的动手实践能力得到训练，为将来学生进行实际系统搭建及操作时打下来基础。平台设计了学习、练习和考试三种模式，提供了相关理论学习、实践练习、考核鉴定、实践评价一体化教学方案，强化了学生工程素养及严谨、科学、细致的作风的培养。

实验项目：

表 2-4 机车牵引电传动系统虚拟仿真实验系统实验课程及项目

序号	实验课程	实验项目	实验类别
1	电力电子技术、电力拖动自动控制系统、电能质量、电机学、自动控制原理	交-直传动系统建模仿真实验	综合型
		交-直-交传动系统建模仿真实验	综合型
		机车电力电子变换谐波分析	综合型
		牵引电机控制系统仿真实验	综合型

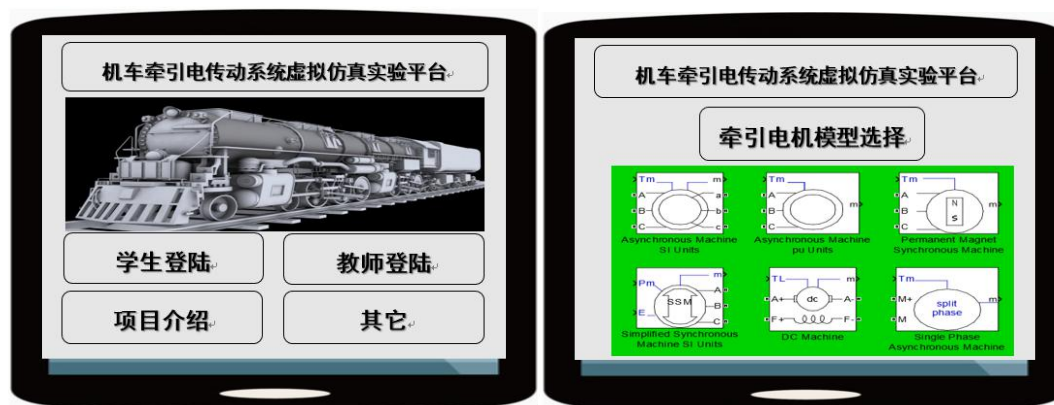


图 2-3 仿真实验平台及实验设备选择

(4) 电力电子及电机控制虚拟仿真实验系统（自主开发）

功能与组成：

该虚拟仿真系统由 SVPWM、磁链计算、转速估计、转速调节器、电流调节器等仿真模块组成，基于 MATLAB 软件的电力电子及电机控制虚拟仿真实验系统具有图形界面、仿真模型查看、参数设置、图形显示等功能。该虚拟仿真实验系统用以辅助实验教学，提高学生理论知识与实践相结合的能力。可以完成在物理实验条件下难以实现的极限实验，如电力电子故障条件下的实验；可以完成各种控制算法应用实验，如全阶自适应观测器法，模型参考自适应法，滑模控制，模糊控制等在电机控制中的应用。

教学效果：

通过矢量控制系统的仿真模型搭建、参数设置、动态分析，加深了学生对矢量控制系统的基本原理和系统结构，掌握矢量控制的各种控制算法、转速和磁链估计方法及关键参数设计，培养学生的动手能力，提高极端条件下的电气实验安全，为学生将来做能源变换器和电机控制设备的设计与开发以及今后从事电力电子与电力传动工作奠定一定理论分析和仿真设计基础。

实验项目：

表 2-5 电力电子及电机控制虚拟仿真实验系统实验课程及项目

序号	实验课程	实验项目	实验类别
1	电力拖动自动控制系统、电力电子系统建模与仿真	异步电机矢量控制系统仿真	综合型
		永磁同步电机无速度传感器控制系统仿真	综合型
		三相逆变器设计与仿真	设计型

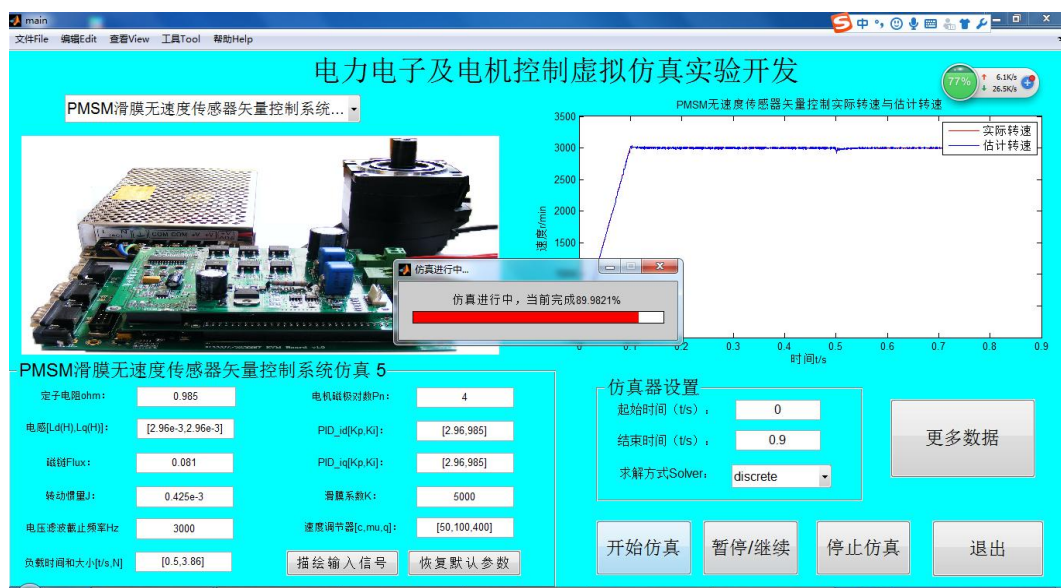


图 2-4 电力电子及电机控制虚拟仿真实验系统

(5) 基于有限元分析技术的高压电缆耦合物理场虚拟仿真系统（成果转化）

功能与组成：

该系统主要是针对高压电缆进行电磁仿真、传热学、流体力学等有限元仿真的需求所设置。该仿真实验系统主要由搭载有限元分析平台的高性能 PC 平台组成，达到能针对高压电气设备快速做一些简单的教学示范与仿真实例的要求，让学生能在有限的学时内学习并掌握高压电缆相关工作机理并利用有限元分析技术进行分析计算。

教学效果：

学生通过对高压电缆运行工作原理学习之后，利用有限元分析软件进行相关参数计算分析。通过一系列的学习，学生不仅能掌握高压电缆运行特性，还能基于此将分析解决思路运用于其他关键高压电气设备分析计算当中。此外，还能掌握有限元分析基本思路及解决步骤，通过有限元技术进行目标对象的模型建立或导入、网格划分、材料赋予、求解域设定等一系列的有限元仿真的专业技术。

实验项目：

表 2-6 基于有限元分析技术的高压电缆耦合物理场虚拟仿真系统实验课程及项目

序号	实验课程	实验项目	实验类别
1	高电压技术	电磁场分析	综合型
		热力学分析	综合型
		流体力学分析	综合型
		材料力学分析	综合型

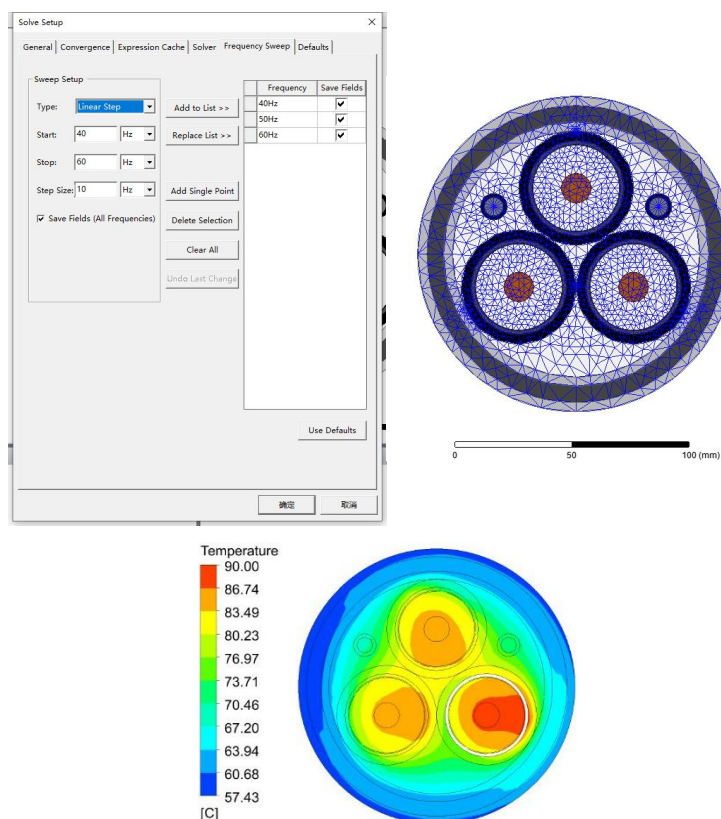


图 2-5 仿真参数设置、仿真模型处理及网格划分及高压电缆发热仿真结果

(6) 变压器在线故障诊断系统（成果转化）

功能与组成：

该平台主要为学生提供了一种变压器在线故障诊断系统，能够诊断出变压器运行过程中出现的各种故障，系统充分利用了 Qt 强大的动态链接库调用、数据库操作和图形显示能力实现了基于油色谱分析和超声波局部放电分析的变压器故障诊断，同时可通过 Navicat Premium 完成数据的录入、查询、修改和删除，同时它具有强大的数据可视化显示能力。

教学效果：

学生通过对相应高电压的理论学习之后，了解相应的故障实例以掌握相应的数据库操作基本技术。在老师的带领下，按照一定的课题要求，完成不同的监测数据分析。通过一系列的学习，学生能掌握变压器故障原理及系统开发的专业技术。对学生而言，该系统的学习不仅包含了课程安排的在线监测数据分析的学习，还涵盖了系统开发的核心理论思想与技术。

实验项目：

表 2-7 变压器在线故障诊断系统实验课程及项目

序号	实验课程	实验项目	实验类别
1	高电压技术 信号处理与分析	基于油色谱的故障分析	综合型
		基于超声波局部放电的故障分析	综合型

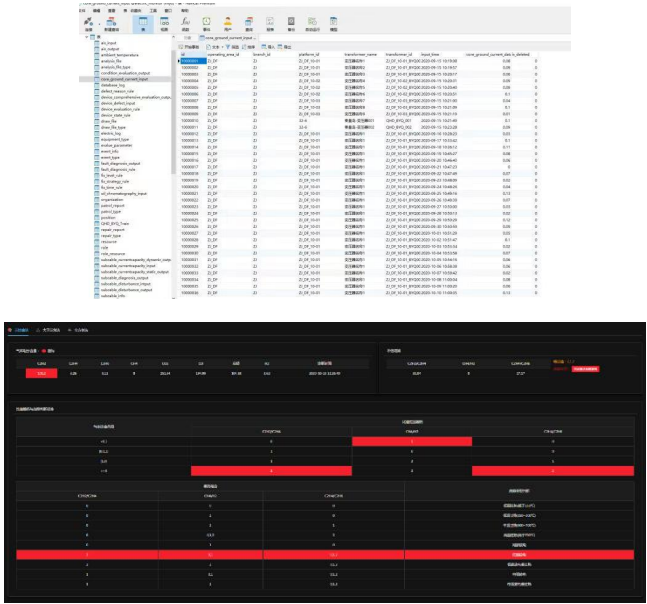


图 2-6 构建数据库表格及故障诊断结果图

(7) 变压器振动信号分析虚拟仿真系统（成果转化）

功能与组成：

该系统主要为学生提供了一种变压器振动信号分析系统，能够通过变压器振动信号的采集以及分解，诊断出变压器运行过程中出现的故障。系统充分利用 QT 强大的动态数据库调用以及图形显示能力，实现了基于变压器振动信号的变压器故障诊断。

教学效果：

学生通过对高电压的理论学习之后，了解相应的变压器结构以及故障实例来掌握变压器的功能。在学习信号分析与处理的课程之后，对变压器振动信号进行 FFT 变换，完成变压器的故障判别。在老师的带领下，按照一定的课题要求，完成不同的监测数据分析。通过一系列的学习，学生能掌握变压器振动信号分析及系统开发的专业技术。对学生而言，该系统的学习不仅包含了课程安排的在线监测数据分析的学习，还涵盖了系统开发的核心理论思想与技术。

实验项目:

表 2-8 变压器振动信号分析虚拟仿真系统实验课程及项目

序号	实验课程	实验项目	实验类别
1	高电压技术	变压器振动数据采集	综合型
	信号处理与分析	变压器 FFT 变换	综合型

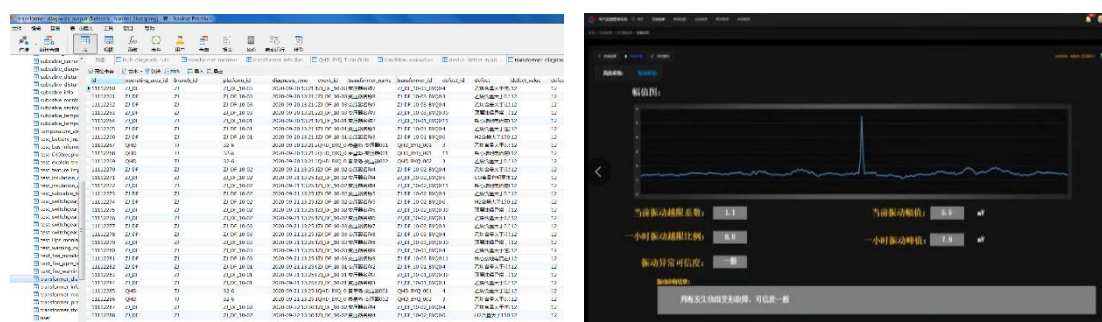


图 2-7 构建数据库表格及振动信号故障诊断结果图

(8) 高压电力电缆局部放电虚拟仿真系统 (成果转化)

功能与组成:

高压电力电缆局部放电检测试验平台主要由高压试验设备和局放检测仪器组成，其中高压试验设备主要包括：**KZTZ-10/0.25** 高压电动试验控制台、无晕高压试验变压器、隔离变压器、无晕耦合电容、**10K Ω** 保护电阻；局部放电检测仪器主要有：**Tektronix TDS7104** 数字荧光示波器、便携式局放检测仪、超高频脉冲电流传感器、超声波传感器、超高频传感器、地电波传感器。

教学效果:

通过在高压电力电缆局部放电虚拟仿真平台的演示及操作,让参与者学习高压试验的安全技术,熟悉高压实验的电源布置和实验线路,掌握交流耐压试验的试验接线和试验方法,掌握局部放电检测方法。

实验项目:

表 2-9 高压电力电缆局部放电虚拟仿真系统实验课程及项目

序号	实验课程	实验项目	实验类别
1	高电压技术	交流耐压实验	演示型

		局部放电实验	演示型
--	--	--------	-----



图 2-8 电缆终端局部放电检测试验平台