

3-1 名称

虚实结合-分布式发电与智能微电网虚拟仿真实训系统

3-2 有效链接网址

<https://dlxfz.zepc.edu.cn/stxfz/sxjxxm/sx104.htm>

3-3 实训目的

本实训项目按照分布式发电及智能微电网专业目标岗位要求,使得学生可以充分理解微电网的特点与结构;让学生在系统中进行系统的设计、安装、软件控制等多个专业的知识进行实训。开展微电网运行控制实验、光伏并网发电实验、微电网调度与能量管理实验、控制软件编程实验、光伏特性模拟、风电特性模拟、微电网建模、并网逆变控制策略、供电逻辑控制研究、分布式电源协调运行、电能质量研究(电压闪变、谐波抑制、频率波动、风电特性、光伏特性、综合分析)、继电保护研究等方面。

3-4 实训原理(或对应的知识点)

知识点数量: 9 (个)

- (1) 光伏并网发电
- (2) 光伏发电特性测试
- (3) 风力发电特性测试
- (4) 光伏并网逆变控制
- (5) 分布式电源协调运行
- (6) 电能质量分析
- (7) 微电网运行控制
- (9) 控制软件编程
- (10) 微电网调度与能量管理

3-5 实训仪器设备(装置或软件等)

序号	设备名称	规格参数	数量	单位	备注
----	------	------	----	----	----

可编程电阻负载箱(直流母线)

模拟风机网侧逆变柜(开放式)

RLC 可编程模拟负载

5kw 直驱模拟风机组

- (1) 单晶硅光伏发电系统(交流母线1)
- (2) 垂直风机发电系统(交流母线1)
- (3) 储能系统(交流母线1)
- (4) 负载系统(交流母线1)
- (5) 交流充电桩系统(交流母线1)
- (6) 多晶硅光伏发电系统(交流母线2)
- (7) 水平风机发电系统(交流母线2)
- (8) 储能系统(交流母线2)
- (9) 负载系统(交流母线2)
- (10) 模拟直驱式风机发电系统(交流母线2)
- (10) 薄膜光伏发电系统(直流母线)
- (12) 储能系统(直流母线)
- (13) 负载系统(直流母线)
- (14) 能源路由器

3-6 实训材料(或预设参数等)

万用表、各类电缆工具耗材。

3-7 实训教学方法（举例说明采用的教学方法的使用目的、实施过程与实施效果）

1. 虚实结合

(1) 使用目的

1) 构建基于 D5000 的平台的能源互联网主站系统，实现三个微电网的能量优化管理。

2) 通过网架、通信、设备、测控和调度主站环节的整体协同控制，实现三个微电网的灵活、安全、可靠运行。

3) 构建能效监测与分析系统，提高微电网设备利用率、降低线损及简化运维成本，实现电力设备资产的高效利用。

4) 构建面向电力市场改革的智能调度应用模块，支撑微电网运营管理、微电网和主网间电力交易、需求侧响应等业务的教学与实验。

5) 支持分布式清洁能源和微电网的平滑接入，促进清洁能源的发展和高效利用。

6) 实现微电网的电能质量监测与优质供电系统协同监控，保证校园的优质供电。

7) 构建能源互联网可视化教学仿真平台，提供直观生动的、丰富多样、内容详尽、友好互动的教学体验。

8) 建设校园能源互联网展示系统，通过能源互联网运行可视化和技术专题可视化主题实现综合可视化展示，展示能源互联网实验室建设成果。

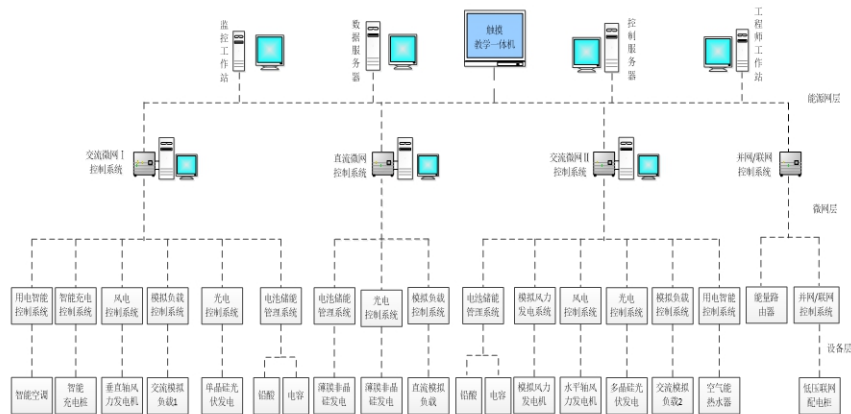


图1 系统主拓扑图

(2) 实施过程

监控工作站+触摸教学一体机：显示能源互联网总体及每个微电网、每个设备的运行状态，可做展示和讲解用。同时，运行能源互联网教学仿真系统，进行教学演示。

能量管理系统软件

- 1) . 基于 D5000 智能调度平台
- 2) . 潮流分析
- 3) . 优化调度
- 4) . 智能调度仿真
- 5) . 需求侧响应
- 6) . 评价指标 等

可视化教学仿真软件

- 1) . 基于 D5000 智能调度平台
- 2) . 能源互联网运行全景展示
- 3) . 能源设备技术仿真教学

4). 能效可视化分析

(3) 实施效果

采用本仿真系统解决了现场实训因缺乏贵重设备（如绝缘斗臂车 120 余万）而难以进行的问题，既节约了设备投资又节省了训练时间，还可以使学生反复练习直至掌握。仿真系统生成的虚拟设备和环境栩栩如生，具有很强的沉浸感，提高了学生的学习兴趣和学习自主性。

2. 交互式教学方法

(1) 使用目的

在现场勘查、带电工作票的办理、工器具的选取、现场检查及工作许可，工器具的检查等重要环节和节点，系统都设置有交互环节。学生必须回应正确才能继续后边的流程。通过这种互动式教学，可以让学生熟悉与掌握配电线路带电作业的全流程，强化学生的标准化作业水平和意识，培养学生的工匠精神和热爱劳动的意识。

(2) 实施过程

学生登录配网带电作业仿真培训系统，选择培训任务，进入学习模式。按照标准进行现场勘查并讨论后，办理带电作业工作票，进行工具准备和选择，若选择错误则无法进入下一操作环节……。依次类推，在操作过程中，需要严格按照标准化作业流程进行，顺序错误则无法操作。每一步操作都要到位，选中正确的操作部位和操作方法才能完成。在操作过程中还会将每一步重要操作对应的知识点显示在操作界面，并需完成测试题目，达到理论联系实际的目的。

(3) 实施效果

这种交互式教学方法使学生深刻掌握配电线路带电作业的要点及标准化作业流程，有效提升学生专业综合技能。通过这种交互，使学生标准化作业水平和意识得以强化、提高。

3. 角色扮演式教学方法

(1) 使用目的

角色扮演的教学方法使学生按照现场角色分工进行实训，得到真实的职业体会，将学习和工作融合一体，是一种浸润式学习体验。

(2) 实施过程

学生分好组后，由选举产生工作负责人，工作负责人指定主操作员和副操作员，分配好工作任务。各成员按照自己的角色分工，严格按照标准操作流程完成操作任务。之后再行角色轮换，保证每一位成员都能全面掌握作业流程和方法，且能熟练操作。

(3) 实施效果

角色扮演的分组形式具有学习、工作融合一体的特点，增强了学生的职业认同感和责任感，在仿真系统中营造工作场景，浸润式学习体验对提高教学效果有很大的促进作用。

3-8 实训方法与步骤要求（学生交互性操作步骤应不少于 10 步）

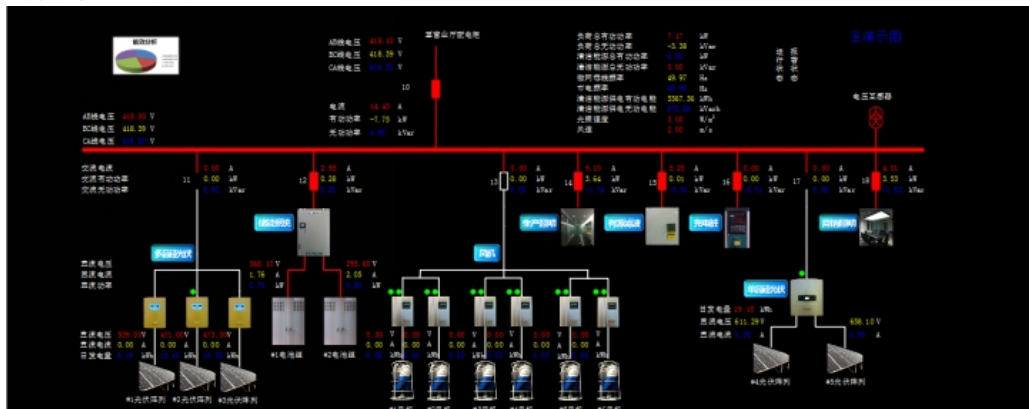
(1) 实训方法描述

能源互联网实验室软件系统采用展示和培训一体化设计，建立交互式培训仿真系统。结合能源互联网和微电网培训特点形成的视频展示和软件培训系统，包括展示支撑环境、培训环境、数据库管理及功能模块，为微电网可视化培训室的培训提供支撑。该系统采用虚拟仿真系统代替实物实训的方法。首先学生登录仿真系统后，按照需求选择实训项目。每个实训项目提供学习模式、练习模式。在学习模式下，学生可自主学习分布式发电及微电网的工作过程，学生可以在仿真系统中跟随作业流程练习如何操作。

(2) 学生进行机组启停操作步骤说明

步骤一：微电网与分布式电源操作

在虚拟的配电网场景中，采用互动图片、视频动画镜头、FLASH等形式，进行多媒体互动展示，深入讲解分布式电源和微电网技术的发展背景、系统构成、关键技术和应用前景。

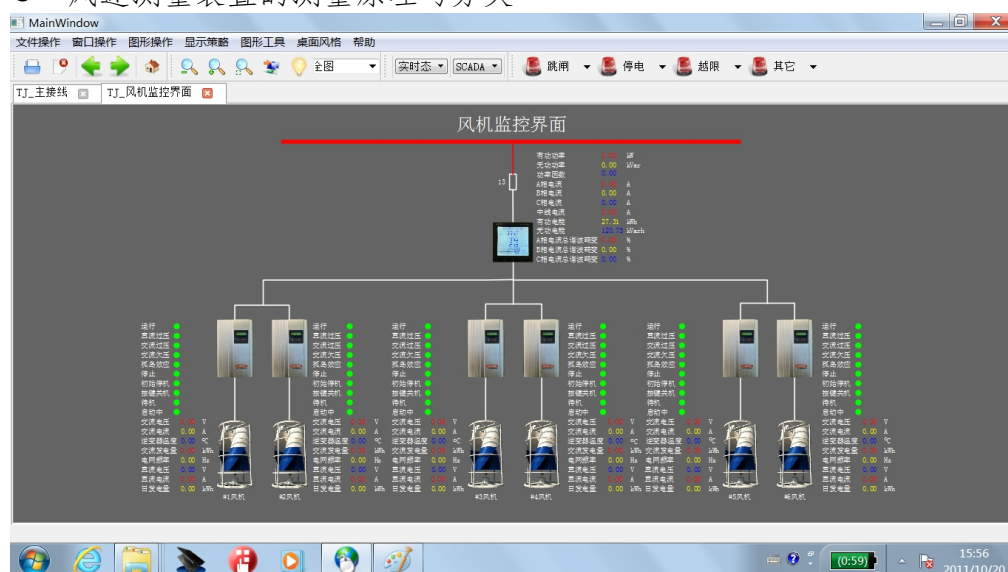


步骤二：交互式风力发电设备操作

交互式风力发电设备动画培训系统利用软硬件互动技术，操作简单方便、性能安全可靠的人机交互模式，将风力发电设备的基础知识进行综合讲解，主要包括风力发电设备基础知识动画培训，旨在快速使参观者从总体上把握风力发电设备的结构和特点等，形象的表现风力发电设备的组成。

互动培训内容具体包括：

- 风能及风能资源简介、电网接入规定
- 风力发电系统组成：风轮机、发电机、变流装置，风速测量装置等
- 风轮机的结构类型及分类、风能利用效率、风力发电设备安装场地选择
- 发电机的分类（直流发电机、同步发电机、异步发电机等）、发电机与风轮机的匹配
- 变流装置（整流器、逆变器）连接形式与工作原理
- 风速测量装置的测量原理与分类



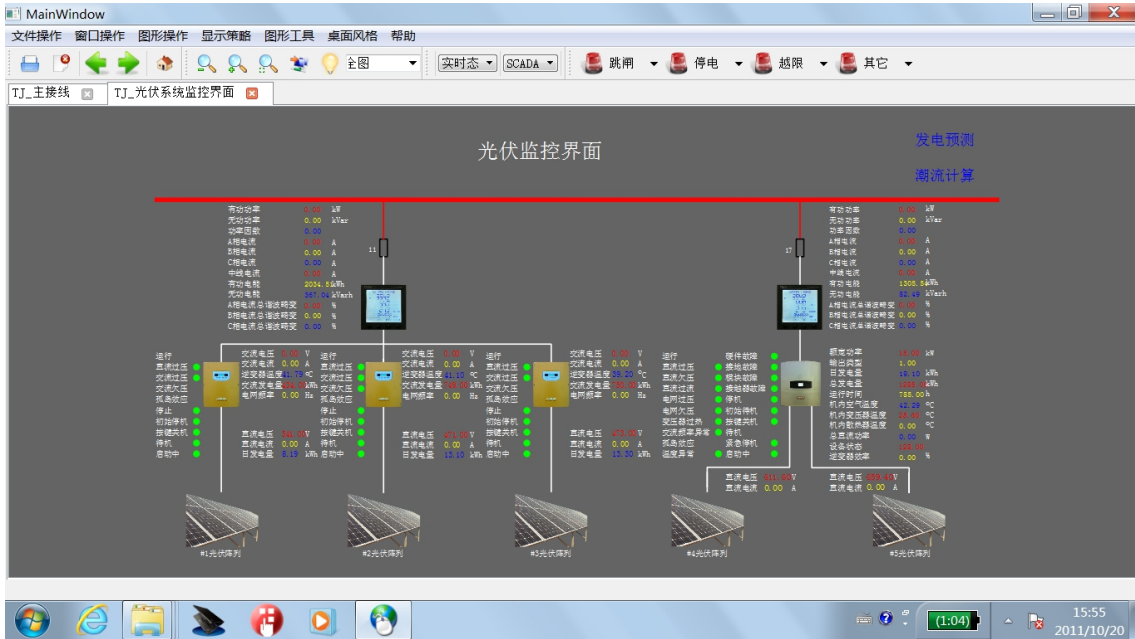
步骤三：交互式光伏发电设备操作

交互式光伏发电设备动画培训系统利用人机交互模式，将光伏发电设备的基础知

识进行综合讲解，主要包含光伏发电设备基础知识动画培训，旨在快速使参观者从总体上把握光伏发电设备的结构和特点等，形象的表现光伏发电设备的组成。

互动培训内容具体包括：

- 光能及光能资源简介
- 光伏发电系统组成：光伏电池板、逆变器、光照强度测量装置等
- 光伏电池板结构、分类及发电原理
- 光伏逆变器的工作原理、光伏逆变器与光伏电池组的匹配
- 光照强度测量装置的工作原理
- 光伏发电系统特点、能量转换效率及经济性分析



步骤四：交互式电力能量路由器操作

交互式能量路由器动画培训系统利用软硬件互动技术，操作简单方便、性能安全可靠的人机交互模式，采用虚拟三维模型，视频动画讲解电力能源路由器的基本原理、构成、功能特点，重点讲解它在智能配电网中的作用、应用场景和给智能配电网发展所带来的深远影响。旨在快速使参观者从总体上把握能量路由器的结构组成、工作原理、功能特点，以及未来发展趋势等。

步骤五：交互式电动汽车充电桩操作

采用虚拟三维模型，视频动画讲解交/直流电动汽车充电桩的基本原理、构成、功能特点、以及在智能电网中的多重作用；重点讲解直流充电技术、无线充电技术，最后讲解有序充电技术和与智能电网的互动技术及作用。

实现发电和负荷预测是能源互联网及微电网优化控制和经济调度的重要基础，主要包含以下几部分内容。

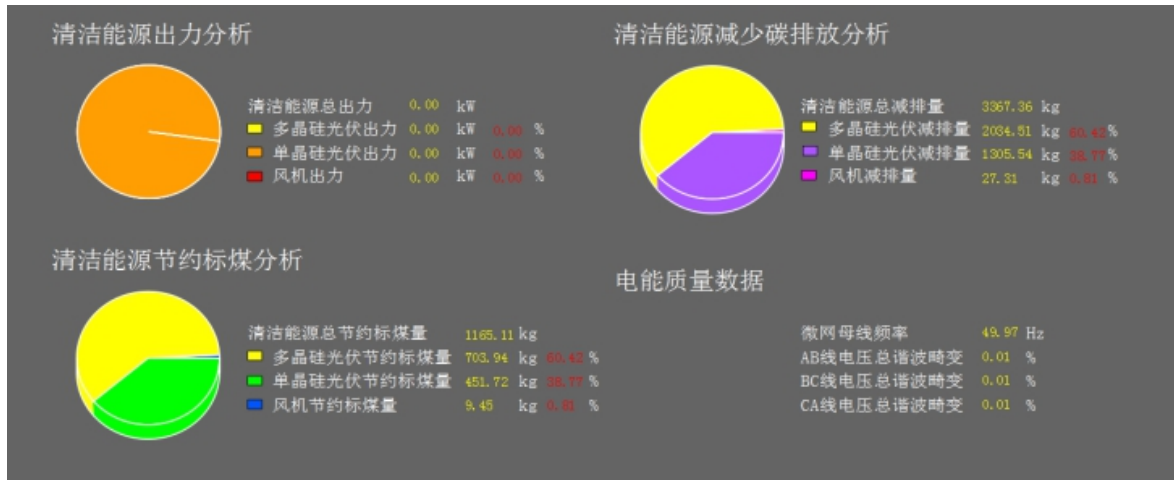
步骤六：发电预测

(1) 光伏发电预测：根据天气、温度等自然情况变化规律和运行时间段的历史数据，结合天气预报对光伏发电短期和超短期出力进行预测。

(2) 风机发电预测：根据天气、风力等自然情况变化规律和运行时间段的历史数据，结合天气预报对风机发电短期和超短期出力进行预测。

(3) 储能设备负荷/发电预测：根据储能设备并网和离网的不同工作模式，通过

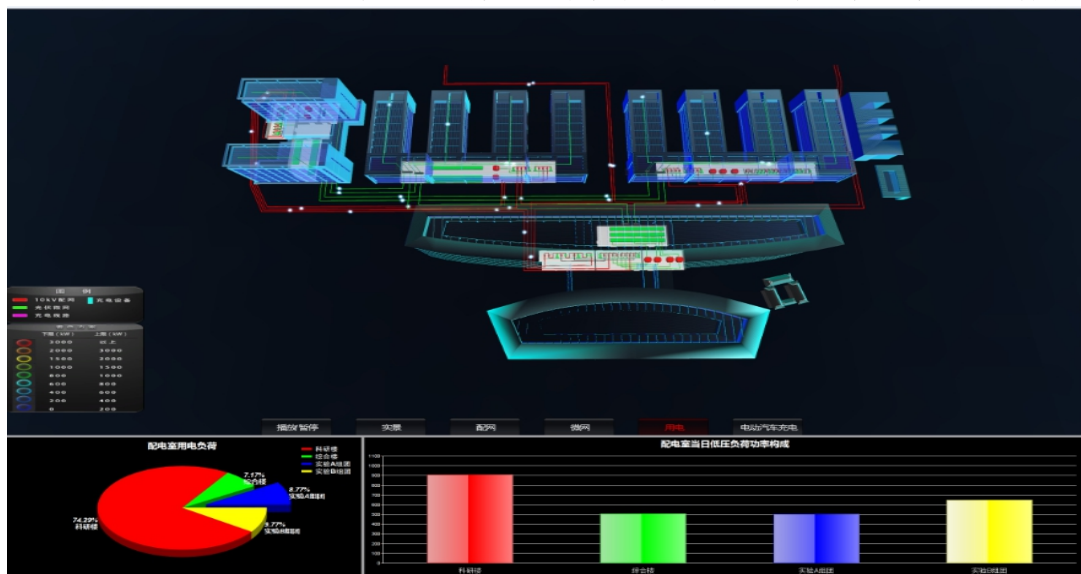
分析储能电池荷电状态，结合储能设备自身放电约束条件，对储能设备放电能力进行预测。



步骤七：负荷预测

(1) 对于可控的模拟负荷，以仿真实验的方式实现，即预先设置负荷运行的状态及时间，可编程交流负载预先设定的根据负荷曲线自动加载运行，模拟预测的负荷曲线。

(2) 储能设备负荷预测：根据储能设备并网和离网的不同工作模式，通过分析储能电池荷电状态，结合储能设备自身充电约束条件，对储能设备充电负荷进行预测。



步骤八：优化调度实验方法

本方案针对微电网能量交易调度算法开发了专门的实验模块，用于对调度算法的研究及实验效果的分析。

优化调度算法需要各微电网分布式发电设备信息、负荷曲线、分时电价信息等。本实验系统采用真实系统信息与仿真信息相结合的方式，即一部分信息用真实的信息，还有一部分用仿真信息，或实验前人工设定的方式，具体如下：

(1) 微电网的分布式发电设备信息使用三个微电网的真实信息，各个微电网内的风电和光伏运行在最大功率跟踪模式，发电预测信息使用系统真实的发电预测结果数据。

(2) 日负荷曲线采用人工设定信息，依据人工设定的日负荷曲线，通过调度指

令控制微电网中模拟负荷。

(3) 分时电价信息采用人工设定，如：实验中可设定成“峰、平、谷”购电电价和“峰、平、谷”售电电价。

(4) 外部配电系统服务费采用人工设定。

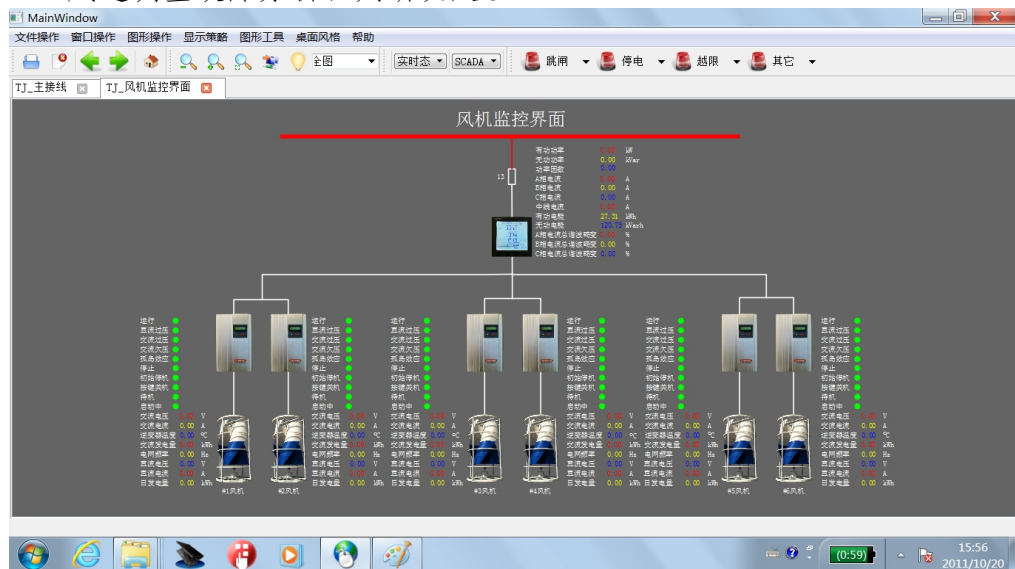
整个优化调度实验需在微电网监控系统和能源互联网调度系统上协同完成，产生的调度指令对微电网进行实时控制，实验结束后可对实验结果进行对比分析。如可分析不同分时电价政策下的各微电网交易量、微电网效益优化结果等。

步骤九：风力发电运维

该系统直接采用基于三维GIS的风力发电设备状态可视化分析管控系统，实现设备台帐、数据采集、操作票与工作票、缺陷管理等全部功能，建立应用数据仿真对象，完成设备状态管理及仿真培训标准化作业流程，保证仿真培训过程与实际生产过程完全一致。

具体内容如下：

- a) 风力发电设备的运维内容
 - 风轮机运转状况检查
 - 齿轮箱运转状况检查
 - 发电机运行状况检查
 - 变流装置设备巡检
 - 风速测量装置巡检
- b) 风力发电设备故障分析、判断及处理内容
 - 风轮机故障分析、判断及处理
 - 齿轮箱故障分析、判断及处理
 - 发电机故障分析、判断及处理
 - 变流装置故障分析、判断及处理
 - 风速测量故障分析、判断及处理

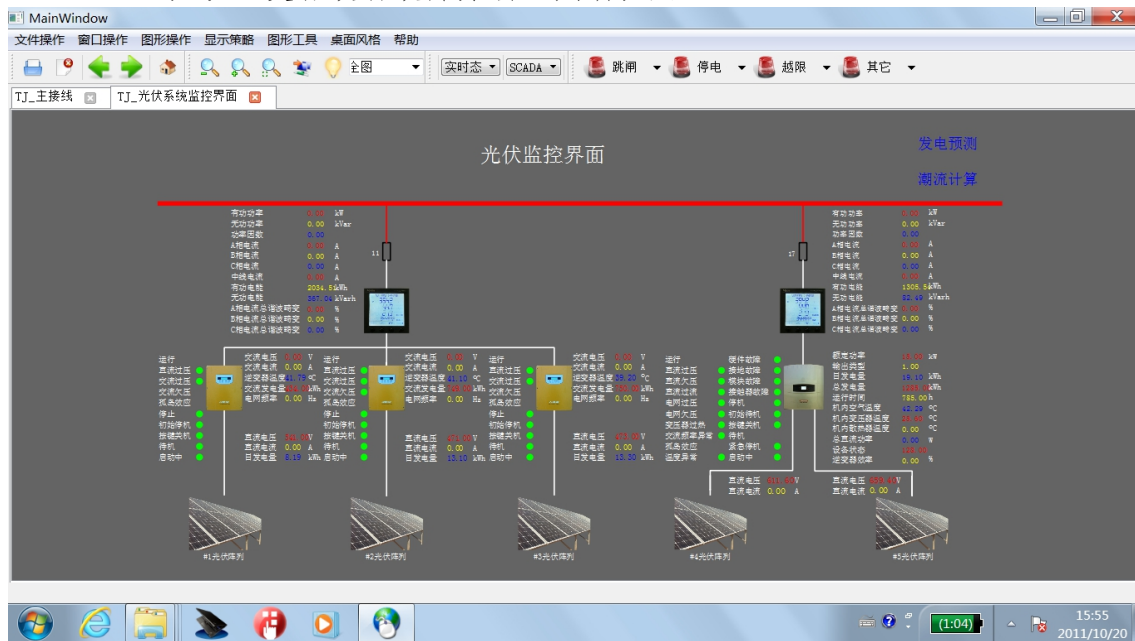


步骤十：光伏发电运维

该系统直接采用基于三维GIS的光伏发电设备状态可视化分析管控系统，实现光伏组件仿真、数据采集、操作票与工作票、缺陷管理等全部功能，建立应用数据仿真对象，完成设备状态管理及仿真培训标准化作业流程，保证仿真培训过程与实际生产过程完全一致。

具体内容如下：

- a) 光伏发电设备的运维
 - 光伏电池板检查
 - 电池出线盒检查
 - 汇流箱线路检查
 - 光伏逆变器设备巡检
- b) 光伏发电设备的故障分析、判断及处理
 - 光伏电池板故障分析、判断及处理
 - 电池出线盒故障分析、判断及处理
 - 汇流箱线路故障分析、判断及处理
 - 光伏逆变器设备故障分析、判断及处理



已掌握作业流程的小组可进入练习模式进行反复练习，直到能够熟练完成作业流程。

3-9 实训结果与结论要求

- (1) 是否记录每步实训结果： 是 否
- (2) 实训结果与结论要求： 实训报告 心得体会 其他_____
- (3) 其他描述： 实操考试结果

3-10 考核要求

学生完成本项目仿真训练后，要进入仿真培训系统的考试模式进行考试，系统将对学生的操作过程进行全程自动监控，同时还以考题的方式考察学生对运维知识的掌握程度，并对操作过程和考题答卷自动评分，给出考试结果。

本实训项目的最终成绩=考试结果（75%）+实现报告成绩（25%）

3-11 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

本实训项目适用于新能源发电类相关专业的二、三年级学生，包括风力发电工程技术专业、新能源装备技术专业、分布式发电及智能微电网专业、光伏工程技术专业、工业过程自动化技术专业等。

(2) 基本知识和能力要求等

要求学生已经学习过《电工基础》、《电力电子技术》、《新能源发电技术》、《电力职业安全》等前续课程，已经掌握电力安全基本知识，了解带电作业分类及工作特点，熟悉仿真操作工作流程。

已完成《电工技能综合实训》、《专业识图实训》、《PLC 应用实训》等相关实训环节，会使用安全工器具，掌握仿真操作流程等。能适应使用 VR 头盔和交互手柄进行操作。

3-12 实训项目应用情况

- (1) 上线时间： 半年
- (2) 开放时间： 工作日全天
- (3) 已服务过的学生人数： 150 人
- (4) 是否面向社会提供服务： 是 否