

实验指南填写说明

项目名称：新能源并网的电力系统调度虚拟仿真实验			
学校	东南大学	学院	电气工程学院
标题：新能源并网的电力系统调度虚拟仿真实验			
简介： <p>本项目以实际江苏电网为蓝本，融合国家“双碳目标”的关键元素，聚集于“新能源”和“电力系统调度”两个焦点，有力推进国家低碳发展。</p> <p>大规模电力系统中新能源并网处于高电压大电流的危险环境中，同时电网安全关系到国计民生，无法在实际系统中做故障实验或电网崩溃实验。</p> <p>本实验项目源于工程实际和科研前沿，经过精心设计，构建出“理论方法教学+虚拟实物仿真+工程实际操作”的实验体系，目的是让学生通过“理论方法教学”夯实调度知识，通过“虚拟实物仿真”加强系统感知和知识理解，最终在虚拟真实环境下进行“工程实际操作”提升操作技能和培养创新能力。基于“理论方法教学+虚拟实物仿真+工程实际操作”的实验体系，聚焦于潮流计算、电压调整、功率调整、故障处置等一系列核心问题，特别构思了“电力系统认知->正常状态电网调度->异常状态故障处置”递进式的实验环节，三个环节环环相扣，依次递进，共设置了 16 个实验步骤，学生通过对虚拟仿真项目各个实验模块的操作，掌握《电力系统稳态分析》、《电力系统暂态分析》等专业核心课程的关键知识点，提升实践创新能力。下图为虚拟仿真实验的主页面。</p>  <p>图 1 虚拟仿真实验主页面</p>			
交互性步骤详细说明： <p>操作共分 3 个阶段（整体认知->调度实验操作及分析->实验报告及归纳），共 16 个步骤。</p> <p>阶段一、整体认知</p> <p>步骤 1：调度大厅整体宏观认知。</p> <p>操作过程：学生首先会进入虚拟调度大厅，浏览真实的调度场景。调度大厅内部主要包含大屏、工位、虚拟电脑。大屏上上方展示系统的全局统计信息，并</p>			

且将根据实时电网调度结果动态变化。其中：调度发电是 风电场、火电厂、光伏电站的有功出力和电压幅值；调度用电是所有变电站节点的有功负荷和无功负荷；而实验调度操作将会通过虚拟电脑完成，模拟真实的调度过程。



(a) 调度大厅示意图



(b) 调度大厅大屏信息展示

图 2 调度大厅场景

步骤 2：实验目的及实验流程。

操作过程：正式开始实验后，学生依次进入新能源并网的电力系统调度虚拟仿真的实验背景、实验目的和实验流程三个环节。该模块旨在回顾《电力系统稳态分析》、《电力系统暂态分析》等专业课程的知识点，了解本虚拟仿真实验项目的背景、目的以及总体流程。

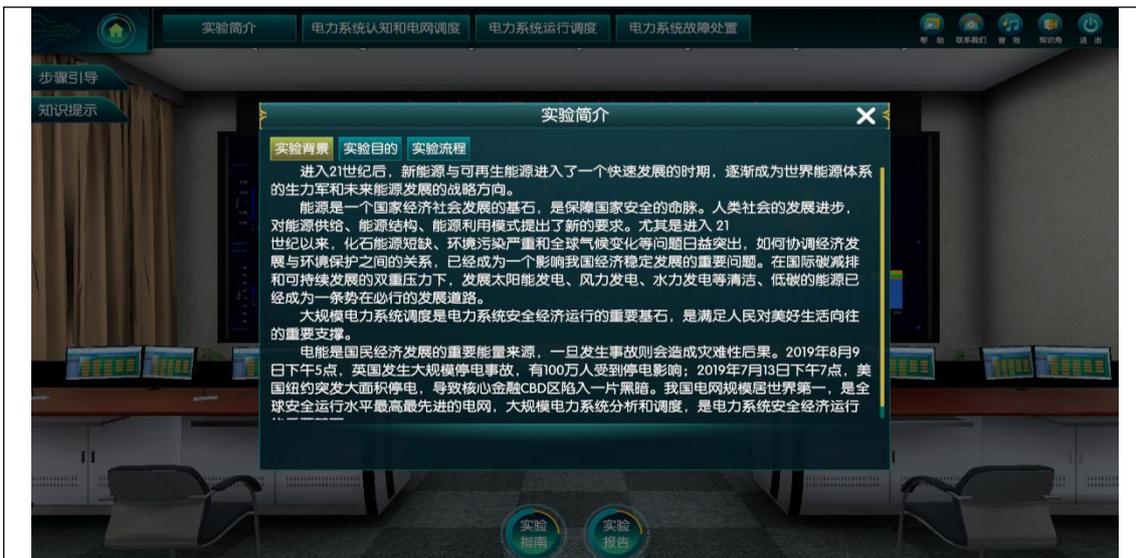


图 3 实验目的和知识准备

阶段二、调度实验操作及分析

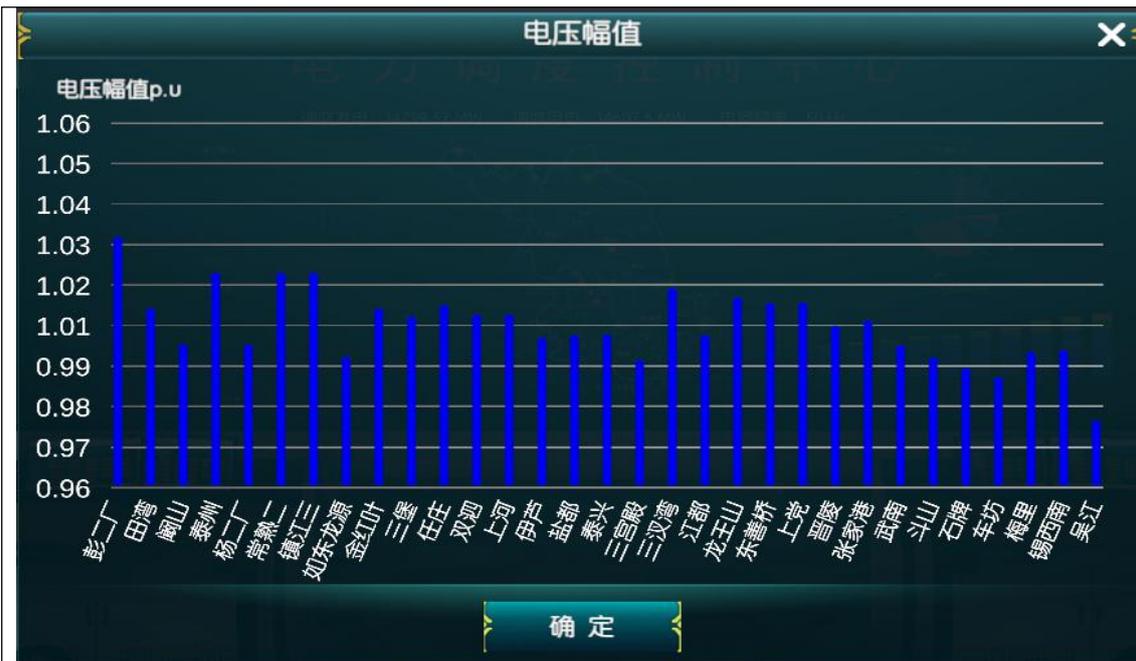
本阶段包括三个实验模块，通过“(A) 电力系统认知模块→(B) 正常状态电网调度模块→(C) 异常状态故障处置”三个递进式模块的实验操作，开展系列探究与电网调度仿真实验。

(A) 电力系统认知模块。

步骤 3：电力系统认知。

(a) 江苏电网整体认知

操作过程：学生点击“电力系统认知”，调度大厅中大屏上的各个模块闪烁，学生可以依次点击闪烁的模块进入子场景认知设备结构及运行原理。



(a) 系统节点电压幅值认知



(b) 系统发电和用电量认知



(c) 江苏电网各个地市用电量认知



(d) 江苏电网装机容量认知



(e) 江苏电网主要网络拓扑认知

图 4 江苏电网整体认知

(b) 电力系统一次设备及新能源出力规律认知

操作过程：在电力系统认知网络拓扑子界面，分别点击沙盘上闪烁的“火电厂”、“风电场”、“光伏电站”、“变电站”和“线路”，可以观察电气设备的相应实际模型，子界面会出现相应标签说明其组成部分。在不同设备子界面中可以点击显示其设备参数。其中，在风电场和光伏电站中，会计及天气状况的随机性，展现出新能源出力的特性曲线，并为后续实验做基础。



(a) 发电厂子界面



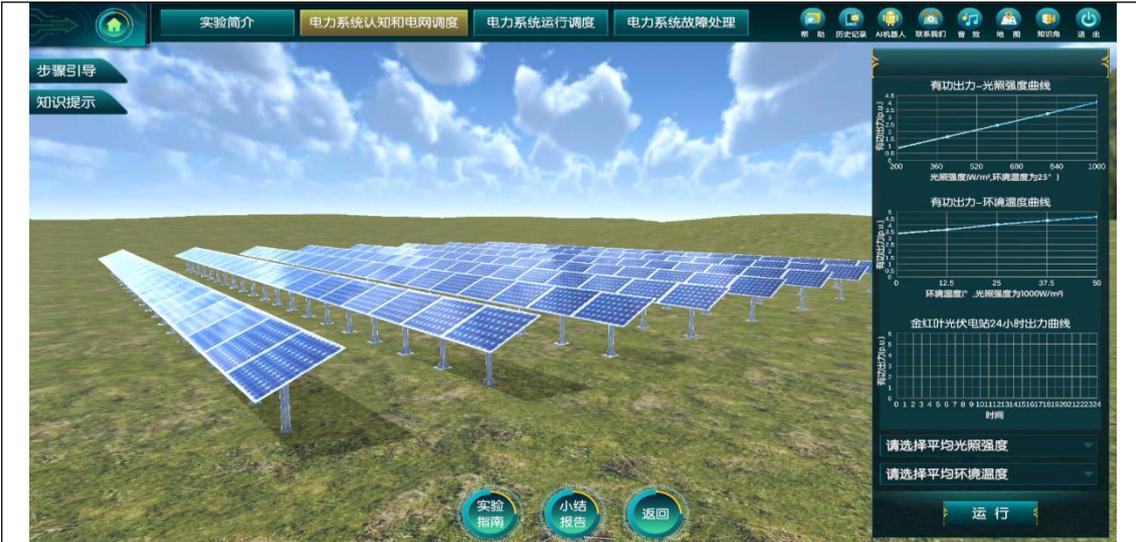
(b) 变电站子界面



(c) 线路子界面



(d) 风电场子界面



(e) 光伏电站子界面

图5 电网设备认知

步骤4：电力系统电网调度计算方法。

操作过程：学生点击“电力系统电网调度”，学生需依次点击沙盘上“变电站”、“发电厂”和“线路”，进入电气设备子界面查看相应的出厂铭牌参数，并根据公式转化为调度分析和实验的可用参数。点击“知识点”显示与潮流实验相关的节点导纳矩阵的知识和潮流实验方法。



(a) 变电站参数计算



(b) 线路参数计算



(c) 节点导纳矩阵元素计算



(d) 电网调度结果

图6 电力系统参数计算机初始电网调度结果

(B) 正常状态电网调度模块。

步骤5: 电网调度知识应用

操作过程:

① 学生点击“电网调度应用”按钮，切换场景并弹出界面如下;



图7 预测曲线

共展示3种曲线，分别为光伏曲线、风力曲线、负荷曲线，用户点击按钮，展示相应曲线，此处的曲线有系统认知环节随机生成，并不固定。

② 用户点击“确定次日新能源发电功率”按钮，退出该界面，进入确定次日新能源发电功率界面如下:

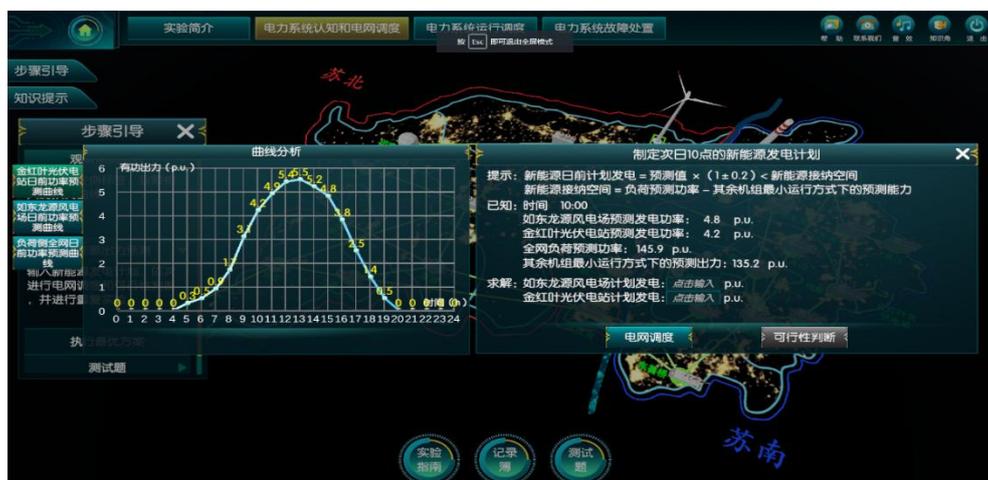


图8 制定发电计划操作界面

③ 当用户将数值输入正确时，“电网调度”按钮，进入可选中状态为绿色。

④ 用户点击“电网调度”按钮，“可行性判断”按钮，进入可选中状态，同时弹出提示框“电网调度已完成”;

⑤ 用户点击“可行性判断”按钮，若代码里潮流实验程序提示超限或者迭代不收敛，则弹出文字提示——潮流超限，请重新填写，并清空输入框，回到初始状态；若未超限，则“计划下发”按钮进入可选中状态；

⑥ 学生点击“计划下发”按钮，弹出文字提示——日前发电计划制定完成，已下发如东龙源风电场，及金红叶光伏电站，及各个发电厂，并切换场景至调度大厅，调度大厅的大屏上展现最新的电网调度结果。

步骤 6: 完成 电力系统认知和电网调度 的测试题

操作过程：点击页面下方的测试题，依次完成所有的测试题并提交。



图 9 电力系统认知和电网调度测试题

步骤 7: 电力系统调度—电压调整

操作过程：

① 用户点击“电压调整”按钮，弹出警告界面如下；



图 10 提示信息

② 用户点击“确定”按钮，退出该界面，并切换场景和播放动画如下所示：

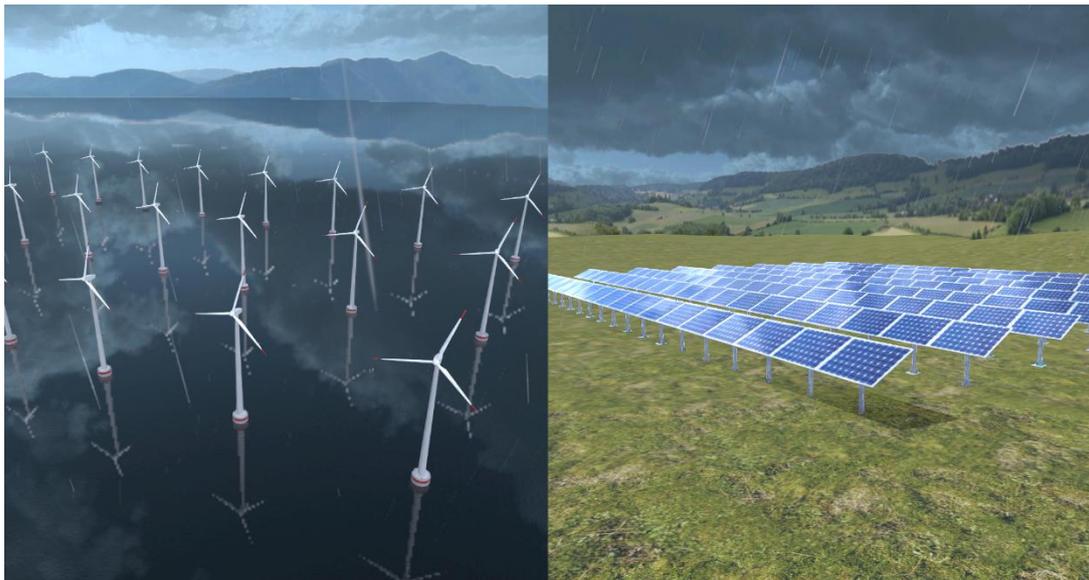


图 11 新能源出力变化动画

界面左侧展示光伏电站场景，界面右侧展示风力发电场景；界面左侧播放动画 1（动画 1：光伏电站上空出现阴云天气，太阳能电池板上亮度调暗一点），界面右侧播放动画 2（动画 2：阴云密布，台风袭来，风力发电机的风叶转速越来越慢，直至停下）。2 个动画同步播放，共持续时间 5s 左右；动画播放完毕，切换场景至调度大厅。

③ 调度大厅中的虚拟电脑闪烁提示，用户点击“虚拟电脑”，切换场景至网络拓扑沙盘，此时网络拓扑上“吴江”和“车坊”变电站闪烁，并出现

文字提示——电压过低，请进行电压调整。（持续 3s，半透明效果）

④ 用户点击“吴江”或“车坊”变电站，并弹出界面如下所示。



图 12 电压调整操作界面

初始默认遥控预置和遥控执行按钮为置灰状态，不可点击；分接头变比和无功补偿量为不可选择状态。用户点击“遥控取消”按钮，退出遥控操作界面，返回网络拓扑图场景，用户再次点击“吴江变电站”弹出遥控操作界面后，界面内容回复至初始状态。

若用户确认遥信名选择除“吴江”或“车坊”外其他选择，弹出文字提示——遥信名错误，当用户确认遥信名选择“吴江”或“车坊”后，遥控预置、分接头变比和无功补偿量解除置灰状态，学生可以选择常见的典型值。

⑤ 用户点击“遥控预置”按钮，弹出等待界面如下



(a) 遥控预置动画



(b) 遥控预置成功信息提示

图 13 遥控操作等待界面

初始为(a)等待界面，待加载条由0开始加载至完成（3s完成），出现(b)界面；用户点击“确定”按钮，退出该界面；之后预置、确认遥信名、分接头变比和无功补偿量进入不可选择状态，遥控执行解除置灰状态

⑥ 用户点击“遥控执行”按钮，退出遥控操作界面，并播放动画，学生学习变压器分接头动作过程和无功补偿装置的动作过程。动画播放完毕后，学生可以选择再次观看学习或者进行下一步实验。

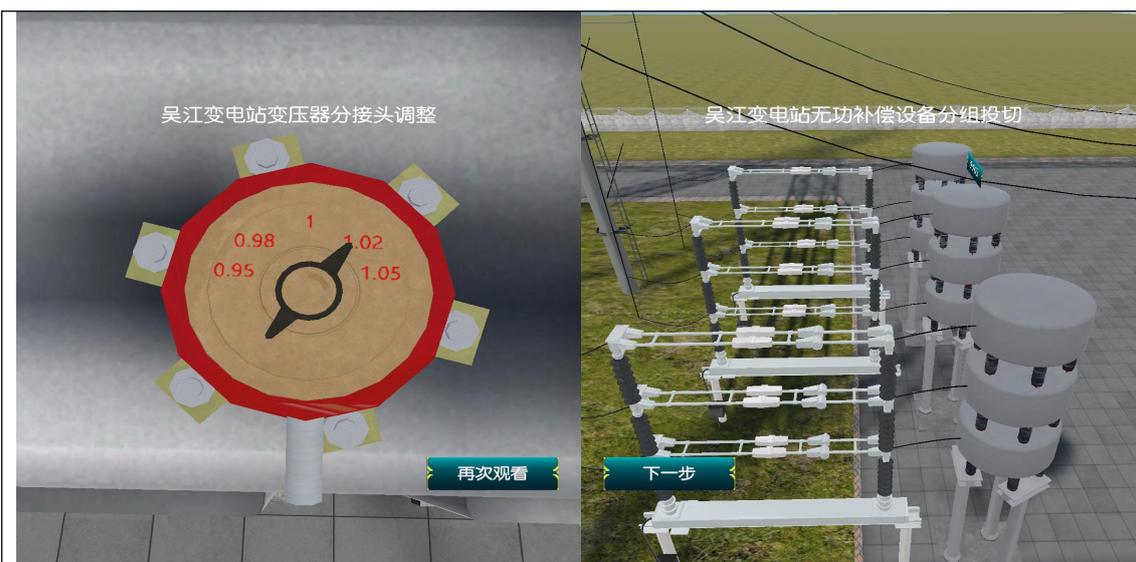


图 14 电压调整实验动画

⑦ 若学生选择进行下一步实验，切换场景至调度大厅，展现系统最新的运行方式。

⑧ 该实验可以重复操作，用户通过选择不同的变压器分接头和无功补偿量，进行重复性实验，根据重复性实验结果探索最优的无功补偿方式。

⑨ 用户每行一次实验，均会记录实验结果，实验结果记录如下图所示：



图 15 实验数据记录簿

⑩ 点击记录簿中的查看按钮，可以查看电力系统详细的运行状态。



图 16 电压调整后系统运行参数

⑪如果学生不再进行电压调整实验，则会进入最优电压调整实验方案选择，学生需要根据实验结果选择最优的电压调整实验。



图 17 最优实验方案选择

⑫执行完最优电压调整方案后，实验界面返回至主界面，报警信息消息，并弹出提示信息：系统恢复至正常运行状态。



图 18 系统恢复至正常运行状态提示信息

步骤 8 电力系统调度——一次调频

操作过程：

- ① 用户点击“频率调整”按钮，切换场景，并弹出界面如下的测试题：



图 19 提示信息

- ② 用户点击确定按钮，大厅中大屏上的频率数值变化并且闪烁提示，弹出如下界面：



图 20 警告信息

③ 用户点击“确定”按钮，判断用户输入的频率是否正确。若用户输入错误，弹出文字提示——正确答案为 49.9Hz；若用户输入正确，则退出该界面，并播放动画，学生可以通过动画直观地学习一次调频的原理及各个设备的动作次序。动画播放完成后，学生可以选择再次观看或者进行下一步实验；

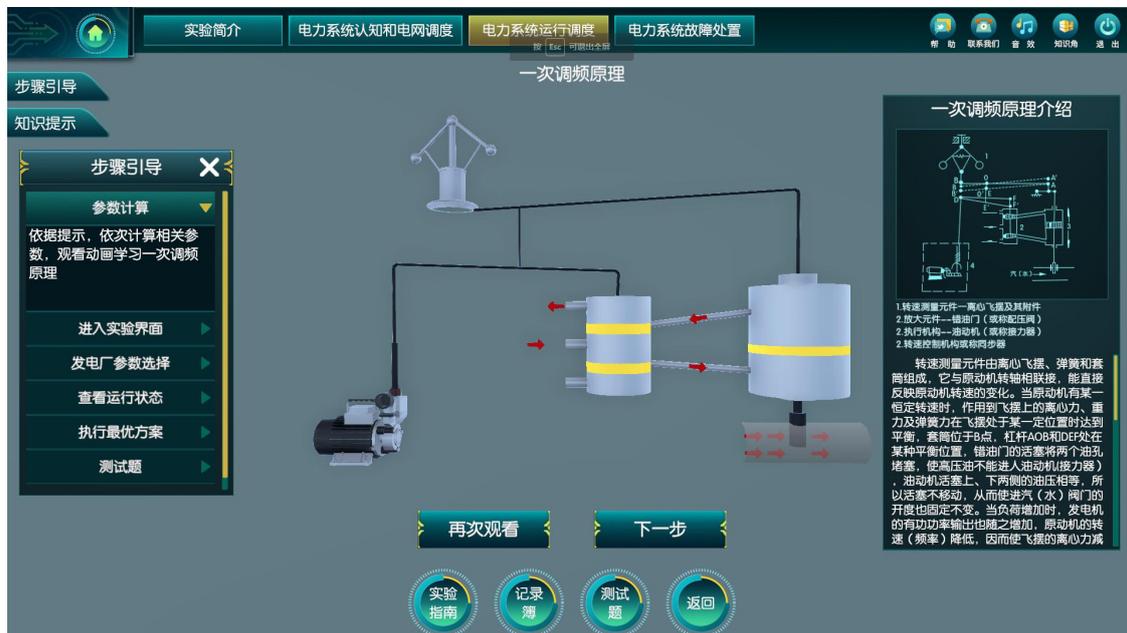


图 21 一次调频原理介绍界面

④ 若学生选择进行下一步实验，此时，调度大厅大屏上左右两侧的柱状图展现新的统计信息结果和系统频率，系统频率更改为 49.9Hz。

步骤 9 电力系统调度—二次调频

操作过程：

① 一次调频结束后，播放警报音效，并弹出界面如下所示的测试题：



图 22 警告信息

② 用户点击“确定”按钮，判断用户输入的出力值是否正确，若用户输入错误，弹出文字提示——正确答案为 700MW；若用户输入正确，则退出该界面，进行下一步实验；

③ 弹出提示：为使系统频率恢复至 50Hz，请选择电厂进行二次调频

④ 网络拓扑上的 彭二厂 常熟二 镇江三 阌山 泰州 杨二厂 六个发电厂闪烁，学生点击任意一个后，弹出下图界面；



图 23 二次调频操作界面

图中电厂名称：用户第④步在网络拓扑上点击的电厂名称。

初始默认遥控预置和遥控执行按钮为置灰状态，不可点击；初始默认有功调整量和操作状态为不可选择状态；用户点击“遥控取消”按钮，遥控操作界面内容回复至初始状态；

⑤ 用户“确认遥信名”选择后，并判断选择的遥信名是否与电厂名称一致，若一致，遥控预置、有功调整量和操作状态解除置灰状态，若不一致，则提示“遥信名错误”；



图 24 遥信名选择错误后的提示

⑥ 用户点击“遥控预置”按钮，判断用户是否输入正确，若错误，弹出文字提示——参数调节错误，请重新调节，若再次错误将会直接提示正确参数；若正确，则弹出等待界面如下；



图 25 遥控预置等待界面

初始为左侧等待界面，待加载条由 0 开始加载至完成（3s 完成），出现右侧界面；用户点击“确定”按钮，退出该界面；此时遥控预置、确认遥信名、有功调整量和操作状态进入不可选择状态，遥控执行解除置灰状态；

⑦ 用户点击“遥控执行”按钮，退出遥控操作界面，并播放动画学生可以通过动画直观地学习一次调频的原理及各个设备的动作次序。动画播放完成后，学生可以选择再次观看或者进行下一步实验；

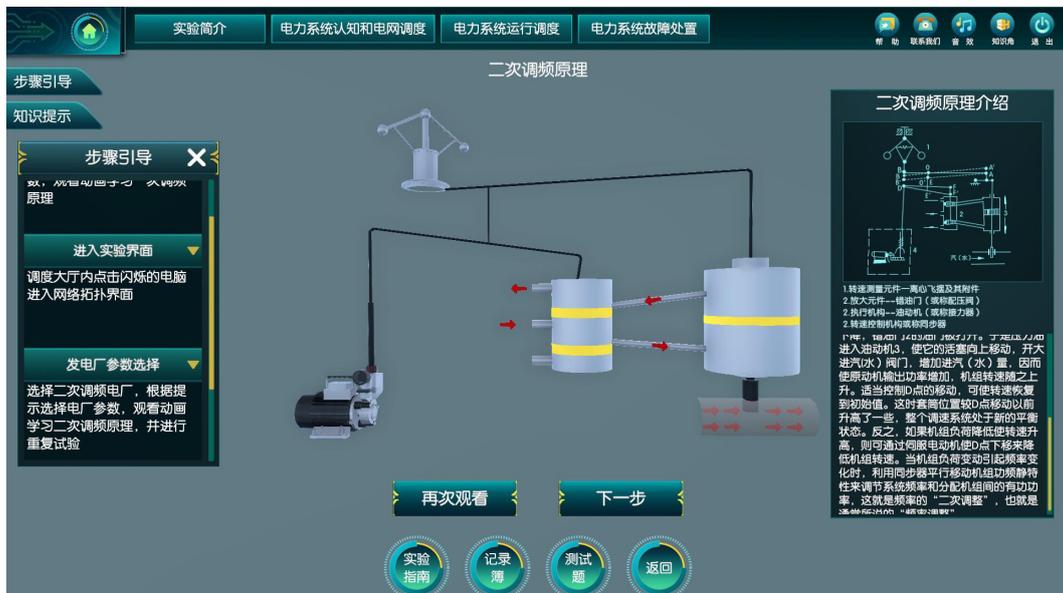


图 26 二次调频原理介绍动画

⑧ 动画播放完毕切换场景（场景：调度大厅大屏上部系统频率更改为“系统频率：50Hz”）。

⑨ 二次调频实验可以重复性实验，并且每次试验后均会记录实验结果。



图 27 频率调整实验记录簿

⑩ 点击记录簿中的查看按钮，可以查看电力系统详细的运行状态。



图 28 电压调整后系统运行参数

⑪ 如果学生不再进行频率调整实验，则会进入最优频率调整实验方案选择，学生需要根据实验结果选择最优的电压调整实验。



图 29 最优实验方案选择

⑫执行完最优频率调整方案后，实验界面返回至主界面，报警信息消息，并弹出提示信息：系统恢复至正常运行状态。



图 30 系统恢复至正常运行状态提示信息

步骤 10: 完成电网运行调度测试题

操作过程:

- ① 根据电压调整实验和频率调整实验的实验结果，对比分析出两者之间的相同点及差别。
- ② 完成相应的测试题，测试题如下图所示。



图 31 测试题

(C) 异常状态故障处置模块。

步骤 11：故障不处置。

操作过程：点击“故障不处置”，系统提示：江都-晋陵过江线遭受雷击发生跳闸事故。观察电网连锁故障展示，学习在电力系统在发生故障后，如不及时处置带来的严重后果；

操作展示：

① 子场景中江都-晋陵过江线上出现闪电标志，紧接着在变电站子场景中展示变压器的断路器跳闸动画；



图 32 过江线路遭受雷击动画



图 33 变电站内断路器跳闸动画

② 江苏省 13 个地级市按照常州、无锡、苏州、镇江、南通、南京、扬州、泰州、盐城、淮安、宿迁、连云港、徐州的顺序依次变黑，市周围的线路也随之同时变黑，同时在右下角展现故障发展过程中的报警信息。直至电网最后达到全黑状态，表示全省停电。



(a) 连锁故障过渡过程



(b) 连锁故障最终状态

图 34 江苏电网连锁故障展示

步骤 12: 电力系统故障处置。

操作过程:

- ① 子场景中江都-晋陵过江线上出现闪电标志,紧接着江都-晋陵过江线在沙盘上由绿色变为黑色;
- ② 在变电站子场景中展示变压器跳闸动画;
- ③ 武南-斗山,泰兴-斗山,三汉湾-东善桥,上党-晋陵这四条线路出现过载,线路上方存在标签,点击标签将会提示线路过载信息;



图 35 线路过载信息展示

④ 网络沙盘上，3 个发电厂（常熟二 阌山 杨二厂）和 3 个变电站节点（东善桥 晋凌 武南）均闪烁；

⑤ 用户为了协调电网的安全性与经济性，用综合指标来量化不同的调度策略，点击“知识点”，出现相关指标的计算公式。用户可以点击任何一个闪烁的节点，点击以后弹出遥控操作的界面如下进行电网调度操作：



图 36 操作界面

⑥ 用户可以重复性地选择多个设备进行参数的调节，并形成一种故障处置方案。然后进行电网调度，判断电网运行的安全性，并记录实验数据。

⑦ 如果用户设计的调度方案不能保证系统的正常安全运行，无法使系统恢复至正常安全运行状态，则会弹出提示，使用户继续进行探索故障处置的电网调度方案，并探索其中的规律。



图 37 继续进行实验的提示信息

⑧ 用户还可以多次进行实验，形成多个故障处置方案。并记录每一种运行方式的实验数据，数据记录如下图所示，通过记录可以查看每一次实验的调度方案及对应的系统运行状态。

方案序号	线路越限率	线路平均负载率	安全性指标	切机量 (MW)	切负荷量 (MW)	网损 (MW)	经济性指标	综合指标	调度方案	运行状态
4	0	0.6086	0.8174	410	900	125.0321	0.9844	0.8842	查看	查看
5	0	0.6093	0.8172	390	900	125.0108	0.9845	0.8842	查看	查看
3	0.0769	0.6197	0.7602	410	600	133.1267	0.9876	0.8512	查看	查看
2	0.1026	0.6549	0.7317	0	400	148.1623	0.9927	0.8361	查看	查看
1	0.1026	0.6549	0.7317	0	400	148.1623	0.9927	0.8361	查看	查看

图 38 数据记录表格

⑨ 当用户生成若干种故障处置方案后，点击“方案排序”按钮，故障处置方案将会按照“切机量”由小到大的顺序排列。

步骤 13: 查看故障处置策略表

操作过程:

① 用户自主制定处置方案，很难寻找到最优处置方案，因此给出不同故障所对应的最优处置方案。

② 用户点击“策略表”，将会弹出给出不同故障所对应的最优处置方案界面，用户需要根据实验中的故障，选择正确的初值方案。



图 39 策略表

③ 用户根据策略表的处置方案，再次更改系统的运行方式，操作过程同上一个步骤。

④ 运行方式更改完毕后，进行电网调度，并且保留新的实验数据。

⑤ 用户再次点击“方案排序”和“指标对比”，将会出现新的排序，并且最优的初值方案对应的综合指标将会最低

步骤 14: 发送最优故障处理方案。

操作过程:

①在“不同指标对比”图出现后，学生需要选择最优的运行方案，同时页面下方出现“执行最优方案”按钮;



图 40 最优故障处置方案选择界面

② 点击“执行最优方案”按钮后，江苏省调度中心将调度指令发送至相应的变电站和发电厂中。



图 41 调度中心发送最优调整方案

③在相对应的各个变电站和发电厂接收到调度大厅的调度指令，调整至目标值后，江苏电网进入故障处理的实践环节。



(a) 雷击故障



(b) 开关断开



(c) 最优方案实施效果

图 42 最优故障处理方案实践过程

而若不处置该故障所引发的电网连锁故障则如下图所示。



图 43 不处置故障所引发的电网大停电

通过对比可知，实施最优故障处置方案，不仅可以让电网重新恢复稳定运行状态，避免发生大停电事故，还可以在量化指标的指导下，让电网运行达到安全性与经济性的平衡。

步骤 15: 完成 电力系统故障处置 测试题。

操作过程:

根据电力系统故障处置实验结果，总结实验规律，完成相应的测试题，测试题如下图所示。



图 44 测试题

阶段三、实验报告及归纳

步骤 16: 完成整个实验, 并提升思考。

实验完成后, 根据新能源并网的电力系统调度虚拟仿真实验的实验现象和数据分析结果, 应有所思考, 并提交相应的实验报告。

电力系统认知和电网调度		
序号	内容	得分
1	发电厂认知	0
2	变电站认知	0
3	输电线路认知	0
4	生成风电厂出力曲线	0
5	生成光伏电站出力曲线	0
6	江都变电站变压器参数计算	0
7	晋陵变电站变压器参数计算	0
8	三汊湾-东善桥线路参数计算	0
9	江都-晋陵线路参数计算	0
10	泰州发电厂参数计算	0
11	进行电网调度	0

提交

图 45 系统认知和电网调度实验报告

电力系统运行调度		
序号	内容	得分
1	调压实验遥信名选择正确与否	0
2	是否进行电压调整实验	0
3	是否重复进行电压调整实验	0
4	电压调整实验中点击查看运行状态	0
5	调压实验时候进行方案排序及选择最优方案	0
6	一次调频调频后的系统频率是否填写正确	0
7	一次调频后的系统实际增加的出力时候填写正确	0
8	调频实验遥信名选择正确与否	0
9	是否进行二次调频实验	0
10	是否重复进行频率调整实验	0

提交

图 46 电力系统运行调度实验报告

电力系统故障处理		
序号	内容	得分
1	进行变电站参数调节	0
2	进行发电厂参数调节	0
3	是否进行电网调度	0
4	查看故障处置策略表	0
5	根据策略表进行电网调度	0
6	是否进行重复试验	0
7	查看记录簿	0
8	查看调度策略	0
9	查看运行状态	0
10	完成测试题	0

[提交](#)

图 47 电力系统故障处置实验报告

参考网址：

<http://aircraft-assembly.nuaa.edu.cn/course/expe-guide/257.html>

案例

1.平台编辑

蔡晓磊

考试系统 实验报告 实验指南 订单管理

您所在的位置: 编辑实验指南 [返回](#)

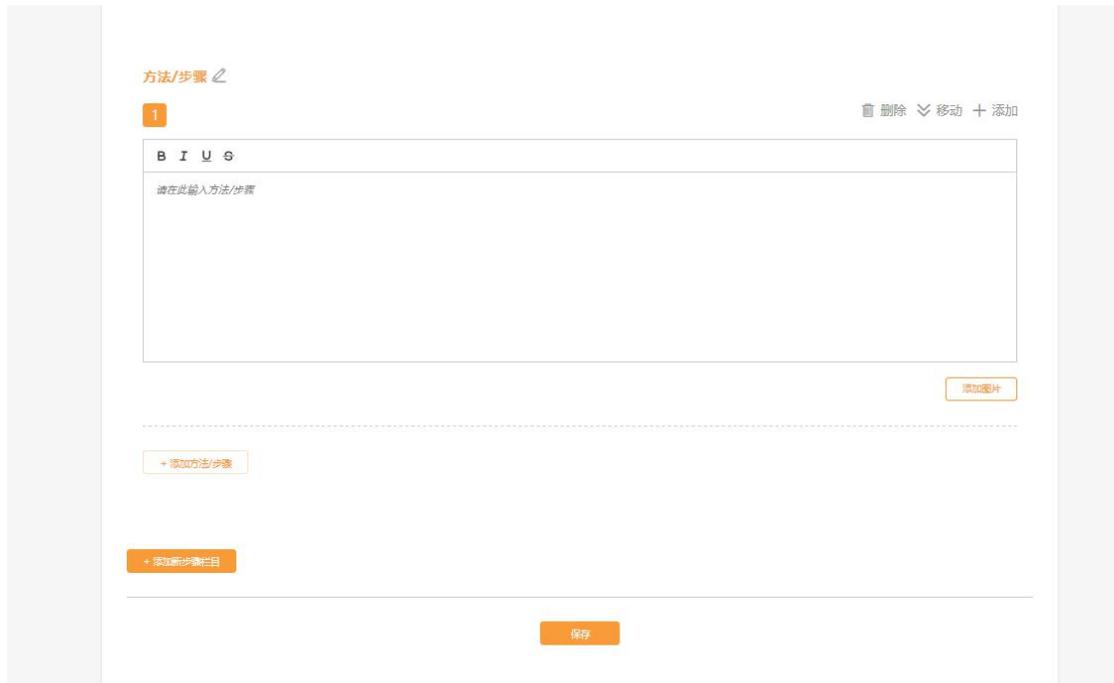
编辑实验操作说明

注:上传的单个图片控制在600kb以内, 图片类型为gif,jpg,jpeg,bmp,png

标题:

简介: **B I U S**

[添加图片](#)



2.成品展示

<http://aircraft-assembly.nuaa.edu.cn/course/expe-guide/257.html>

