建筑环境与能源应用工程虚拟仿真实验室建设内容、功能与需求

一、项目建设内容

为贯彻落实教育部办公厅关于2017-2020年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知，根据《教育信息化十年发展规划（2011-2020年）》和《2017年教育信息化工作要点》等相关要求，研究开发建筑环境与能源应用工程虚拟仿真实验。本虚拟仿真实验室建设重点解决真实实验项目条件不具备或实际运行困难，涉及高危或极端环境，高成本、高消耗、不可逆操作、大型综合训练等问题。

建筑环境与能源应用工程虚拟仿真实验室建设内容以暖通空调专业课程主要知识点为虚拟仿真实验对象，通过三维仿真及虚拟现实技术构造逼近真实的情景，动态模式演示建环专业暖通系统总体构成，即供热管网、冷热源、水系统、风系统等的工作原理和技术特点；通过人机交互虚拟操作，完成暖通空调系统及设备工作原理、设计计算方法、系统调节方法、操作运行方法方面重要知识点的学习和考核，熟悉并掌握系统的组成、设计原理、运行原理以及基本调节原理。

实验室建设虚拟仿真实验项目包括：

1）室外供热管网特性虚拟仿真实验系统；

2）地源热泵虚拟仿真实验系统；

3）热泵性能与空调机组性能仿真实验系统；

4）暖通空调系统虚拟仿真软件；

5）变风量空调系统调节虚拟仿真实验软件；

二、项目功能及需求

为了有效地保证实验室建设开发的质量，整个建设的全过程划分为项目启动阶段、需求调研确认阶段、软件开发阶段、软件功能测试阶段、软件培训阶段、软件安装测试及试运行阶段、总体验收阶段、软件交接阶段等八个阶段工作内容, 每个阶段下面有不同的工作事项, 各个阶段之间都是承上启下关系, 上一阶段的顺利完成是保证下一阶段的工作开展的基础。

1、硬件内容及需求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 设备名称 | 技术参数 | 数量 |
| 微型计算机 | （1）主机：  CPU：十代i5六核  显卡：GTX1650-4G  内存：8GB DDR4  硬盘：1T HDD + 256G SSD  （2）显示器：21.5英寸  （3）键盘：有线键盘  （4）鼠标：有线鼠标 | 40 |
| 打印机 | （1）类型：黑白激光打印机  （2）功能：打印、复印、扫描  （3）打印分辨率：1200\*1200dpi  （4）打印速度：不低于28页/分钟  （5）扫描分辨率：1200\*1200dpi  （6）连接方式：有限、USB、云打印  （7）支持自动双面打印  （8）支持ADF输稿 | 2 |
| 计算机桌 | （1）主体材质：实木 | 40 |
| 计算机椅 | （1）主体材质：实木 | 40 |
| 电源插排 | （1）插孔数量：8孔  （2）适用标准：国标  （3）支持防过载保护 | 20 |
| 配件柜 | （1）双节配件柜  （2）规格：1800\*850\*390  （3）材质：钢制铁皮 | 6 |
| 双侧实验台(桌) | （1）防静电实验台  （2）规格：1500\*800\*750 | 8 |

2、室外供热管网特性虚拟仿真实验软件

本项目以校园建筑为对象，采用三维虚拟仿真技术，探究室外供热管网特性。通过对整个系统的介绍、漫游、绘制管网特性曲线、调整水力平衡等方式学习了解供热管网的基础知识，帮助学生进一步熟悉专业基础知识、了解设备运行环境、培训基本动手能力，更好的学习和掌握本专业的知识。

本项目具有漫游模式、实验模式、考试模式三种模式。具有漫游认知、区域定位、建筑信息、设备信息学习、管网平面图、管网水力计算、管路平衡调节、管网阻抗计算、管网特性曲线绘制、水压图绘制、管路失调案例、实验考试和实验评价等功能。

（一）漫游模式

1）漫游认知

软件三维场景以大学校园外观布局为主，三维建筑物包括换热站、校医院、实验楼、浴室、学生宿舍、学院楼、教学楼等，三维场景中建筑物不少于15栋，不少于2个足球场、4个篮球场。

场景漫游需具备地面模式和飞行模式，可以第一人称的视角进行地面漫游和飞行漫游。使用者可以在软件场景中任意观看，就地三维场景可以360度巡视，可以像到达实际现场一样到处观看与学习。

场景漫游需具备小地图功能，实时显示当前漫游所处场景的位置，并能跟随人物方向转动小地图。

场景漫游需具备地下管道可视化功能，可使三维漫游场景中水泥地面、草地、建筑物墙壁透明或隐藏，展现埋在地下的供热管网。供热管网需展示管内工质流动方向及高低温差别。小地图功能需同时可透明或隐藏地面和草地，展现埋在地下的供热管网。

2）区域定位

在三维场景中，可对典型区域一键直达。通过区域定位窗口，选择某一典型建筑，人物可快速直达该建筑面前。包括：教学楼、学院楼、学生宿舍、浴室、实验楼、校医院等。

3）建筑信息

在三维场景中，通过鼠标选择建筑，可显示该建筑相关信息。包括建筑名称、建筑高度、建筑面积、建筑热指标、承载负荷等。

4）设备信息学习

在三维场景中可进入设备信息学习界面，将室外供热管网系统主要的设备列出，通过三维模型、实物图片、文字介绍的形式进行学习。包括板式换热器、除污器、储水箱、分集水器、软化器等。

（二）实验模式

系统以实时数学模型作为底层支撑，仿真系统数学模型方程遵循能量、质量和动量守恒定律。主要系统和被仿真设备按质量、能量和动量转换定律严格推导。数据计算过程由公式或查表方式计算，其精确度满足仿真全工况过程的稳态精度要求。

1）管网平面图

软件提供室外供热管网的管道平面图。平面图上的信息包括建筑类型、管道走向、管道长度、阀门位置、补偿器数量。

在管道平面图可查看每段管道的详情，详情包括：管路类型、管路设计负荷、管路设计流量、管路长度、管路供水温度、管路回水温度、管路公称直径、工质流速、比摩阻、管路闸阀数量、管路弯头数量、三通数量、补偿器数量、异径接头数量、管路总当量长度和管路折算长度等。其中管路公称直径、工质流速、比摩阻、管路闸阀数量、管路弯头数量、三通数量、补偿器数量、异径接头数量可自由选择或修改。

2）管网水力计算

管网水力计算流程包括：

1、进行主干路水力计算，在主干管管路详情窗口查看相关信息，包括管路类型、设计负荷、管长、设计流量、供回水温度等。

2、根据管路设计流量，在热水网路计算表中选择一组管道比摩阻、管径、流速值。

3、将管路上的闸阀数量、弯头数量、补偿器数量、三通数量、异径接头数量填写正确，软件自动计算管路总当量和折算长度。

4、主干路管道计算填表完成后，可在统计表查看各干管管路压力损失。

5、按照与干管类似步骤将支路管道的水力计算表填写完整。

3）管路平衡调节

水力计算表完成后，在管网图界面调节热用户入口处的阀门，将管路的富裕压差节流掉，同时在平衡率窗口随时查看管路平衡率。

4）管网阻抗计算

管网平衡调节完成后，通过速去水力计算表中的数据，自动填充到阻抗计算表中，在计算步骤窗口查看详细的计算过程

5）管网特性曲线绘制

管网总阻抗计算得出结果后，生成管网特性曲线。同时根据管路阻力，输入符合设计值的水泵扬程，生成水泵特性曲线。

6）水压图绘制

水压图绘制流程包括：

1、选定静水压线的位置

静水压线的高度必须满足下列的技术要求。

（1）与热水网路直接连接的供暖用户系统内，底层散热器所承受的静水压力应不超过散热器的承压能力。

（2）热水网路及与它直接连接的供暖用户系统内，不会出现汽化或倒空。

（3）该系统中用户全部为直接连接，静压线位置可取热用户最高点21m加上3~5m的富裕值。

2、选定回水管的动水压曲线的位置。

3、选定供水管的动水压曲线的位置。

4、设定分支线的管路长度，生成分支线

7）管路失调案例

用户自由选择一种失调案例，调节管路上的阀门。随后查看管路失调后的管路阻抗计算过程、管路特性曲线变化、管路工况变动情况表和变动后的水压图。

（三）考试模式

试模式以选择题进行考核，包括单项和多项选择。考试完成后提交试卷，完成实验。

实验完成后，在实验评价界面查看实验的操作、考试得分。同时可以自动生成实验报告，实验报告以Word文档形式保存在本地，实验报告内容包括：实验目的、实验要求、实验装置、实验步骤各计算及绘图界面截图、实验得分界面截图、实验结果讨论等。

3、地源热泵虚拟仿真实验软件

1）3D场景逼真。软件场景以真实别墅为模型基础，严格按照实际的场景设计图纸绘制，场景相关设备同样按照真实的设备选型，外形尺寸精准准确。

2）3D设备真实，与实际设备结构完全一致，学生可在其中进行学习热泵系统设备的详细结构、运作机理与知识点介绍。设备包括地源热泵机组、循环水泵、生活热水箱、风机盘管、地暖盘管、暖气片。

3）软件操作 操作功能包括场景漫游、设备定位、设备信息显示、建筑隐藏、后台运行数据、系统运行工况切换及调节阀门控制。

场景漫游：以第一人称的视角进行场景漫游；

设备定位：点击设备列表实现快速定位设备；

设备信息显示：点击设备学习设备信息介绍；

建筑隐藏：隐藏别墅模型，只保留设备、管道；

后台运行数据：界面提供数据查看功能，后台实时显示系统制冷量、制热量、地埋管供回水温度；

系统运行工况切换：能够进行热泵机组的冬夏季运行工况切换，同时后台运行数据分别对应各自季节工况；

调节阀门控制：模拟真实阀门开关操作，可以实现切断或联通管道介质流动。

4、热泵性能与空调机组性能仿真实验软件

1）3D场景逼真。软件场景以真实三层别墅为模型基础，严格按照实际的场景设计图纸绘制，场景相关设备同样按照真实的设备选型，外形尺寸精准准确。

2）3D设备真实，与实际设备结构完全一致，学生可在其中进行学习热泵系统设备的详细结构、运作机理与知识点介绍。设备包括热泵机组（包括地源热泵机组、水源热泵机组、空气源热泵机组）、循环水泵、生活热水箱、风机盘管、地暖盘管、暖气片。

3）系统分布。一层：全空气系统（一次回风系统）与地暖系统，二层：风机盘管 + 新风系统、暖气片，三层暖气片系统。

4）软件操作 操作功能包括场景漫游、设备定位、设备信息显示、建筑隐藏、机组类型切换、系统认知学习、热泵性能学习及数据监控系统。

场景漫游：以第一人称的视角进行场景漫游；

设备定位：点击设备列表实现快速定位设备；

设备信息显示：点击设备学习设备信息介绍，以图片、模型、文字形式为主；

建筑隐藏：隐藏别墅模型，只保留设备、管道；

机组类型切换：可以在三维场景中实现自由切换系统的组成形式，不同的冷热源以及不同形式的空调末端相组合。

系统认知学习：系统分为源侧和末端，分别利用交互、特效、文字等多为一体的手段，展现各个系统的工质循环机制、能量交换方向，以及各系统在本建筑中的作用；

热泵性能学习：通过改变热泵机组的冷凝器出水温度或蒸发器出水温度，实时显示冷凝器和蒸发器的进出水温度，同时界面会展示制冷量、耗功率及COP的时间曲线，然后记录当前的数据并生成COP的变化曲线，并解析曲线规律

数据监控系统：软件拥有实时工况显示功能，界面监控各设备的运行状态，包括流量、压力、运行温度、工况运行性能曲线和水泵运行特性曲线。

5、暖通空调系统虚拟仿真软件

暖通空调系统虚拟仿真软件通过3D仿真建模软件，以1：1比例还原某真实场景的场景布置、主要设备放置、系统连接形式、设备连接形式、管道连接方式等。通过在3D场景中漫游，帮助学生进一步熟悉专业基础知识、了解设备运行环境、系统整体设计，更好的学习和掌握本专业的知识，综合性的学习空调系统的工作环境和在生活中的应用。

软件基于某宾馆真实施工图纸搭建模型，共四层，客房部分采用风机盘管加新风系统和多联机系统，大堂采用集中式一次回风空调系统。地下一层包括：一次回风机房、换热站、锅炉房、客房新风机房、空调机房；一层包括：大堂、大堂吧、室外冷却设备、机械排烟系统；二、三、四层：客房。

系统包括：

(1)冷热源系统：系统组成，冷源：冷水机组；热源：热锅炉房。

(2)风机盘管+新风系统: 设备包括风机盘管、新风机组、风管。

(3)全空气系统：场景中主要在大堂中采用集中式一次回风空调系统。

(4)通风系统：系统组成，风管、风口、风阀、风机、静压箱、过滤器、除尘器。

(5)防排烟系统：主要由都是送排风管道、管井、防火阀、门开关设备、送、排风机等设备组成。

(6)水系统：水系统主要由要由冷冻水循环系统、冷却水循环系统及主机三部分组成，设备涉及冷水机组、冷却泵、冷却水管道、冷却塔、冷冻泵、风机、冷冻水管等组成。

软件包括知识介绍、水力平衡、场景漫游、考试题库四个模式。

（一）知识介绍

本模块主要从系统介绍、系统设计和维护保养三方面进行知识介绍。选择各知识点，查看相关知识点的介绍。系统介绍包括空调系统、通风系统、空调水系统、组合式空调机组；系统设计包括：大堂、锅炉房、客房和其他；维护保养包括：风机、风机盘管、水泵、中央空调机组和板式换热器。

相关知识点可由学生进行补充，以图片、文本、视频、flash等形式补充说明并保存。

（二）水力平衡

软件设置系统的水力平衡计算，分别将建筑系统中各管路系统图标示出来，同时可进行各个管段的管道阻力计算，通过改变管段的管径，找出最不利环路，控制各个管路环路的不平衡率，同时在不平衡率偏差较大的管路环路设置安装平衡阀。管路环路设置完成后，进行冷冻水泵的选型，根据系统总流量、最不利环路总阻力、设备局部阻力设置泵的数量、安装方式、设计流量及扬程。

水力平衡计算以实时数学模型作为底层支撑，仿真机数学模型应严格遵循能量守恒定律、质量守恒定律以及动量守恒定律。主要系统和被仿真设备按质量、能量和动量转换定律严格推导。建筑负荷计算及运行调节数据由公式或查表方式计算，其精确度应能满足仿真全工况过程的稳态精度要求。

计算对象包括：1#楼客房系统-风机盘管系统（X-FP），HL-FP-1至HL-FP-22系统；2#客房系统-风机盘管系统（X-FP），HL-FP-1至HL-FP-22系统；大堂及客房风系统。

管道阻力计算参数包括：管道编号、承载负荷、流量、水管管径、流速、管长、比摩阻、动压、局部系数、沿程阻力、局部阻力、设备水阻、总阻力等。

水力平衡计算参数包括：环路编号、最不利环路、总阻力、不平衡率、是否安装平衡阀等。

冷冻水泵选型参数包括：系统总流量、最不利环路总阻力、冷水机组自控阀水阻、设计台数、安装方式、设计流量、设计扬程等。

（三）场景漫游

软件提供以第一人称全场漫游的功能，学员可以自由选择观察的设备对象，通过鼠标菜单，可以学习设备介绍，并且可以触发设备信息、设备原理功能弹出窗口。3D中央空调系统虚拟仿真软件可以让学生在场景的任意位置和空间进行漫游行走、环视，让学生能够全面的了解各个设备间的布局和流程。

1）漫游认知

软件三维场景以某宾馆真实施工图纸搭建模型，具有负一楼到四楼。场景漫游需具备地面模式和飞行模式，可以第一人称的视角进行地面漫游和飞行漫游。使用者可以在软件场景中任意观看，就地三维场景可以360度巡视，可以像到达实际现场一样到处观看与学习。

场景漫游需具备小地图功能，以箭头的方式实时显示当前漫游所处场景的位置，并能跟随人物方向在小地图中转动箭头方向。小地图提供-1层、1层、2层、3层、4层一键直达功能；并提供地下层缩略图，可一键直达机组房、制冷机房和锅炉房。小地图可收缩隐藏。

在负一层制冷机房可以通过三维设备分水器、集水器手动操作，切换空调季节模式。

2）系统可视

可以将建筑所有墙体一键隐藏，仅保留暖通空调系统的设备及管路，自由飞行模式查看布局及连接，更加清晰的学习系统的组成。

3）设备实验室

通过设备列表，点击对应名称，镜头会立刻跳转到设备面前

对设备进行快速查询定位，实现维护数据、运行数据的可视化展示。实现设备、设施类资产的定位查询及检索功能，能够对设备、设施按各种条件进行组合检索，能够定位查询场景内各种设备、设施的空间位置及其基础信息。

三维设备包括：一次回风机组（大堂）、一次回风机组（大堂吧）、客房新风机组、板式换热器、分集水器、循环泵、定压补水装置、软化水箱、分气缸、锅炉、冷水机组、软化器、冷却塔、风机盘管、二次回风机组、排风机、多联室内机、多联室外机等。

设备介绍：鼠标在设备上右键，激发设备介绍。

设备原理：鼠标在设备上右键，弹出菜单激发设备原理教学。

系统原理：鼠标移动到最左侧，会有弹出框，激发系统原理教学。

4）故障检修

在“故障检修”菜单栏设置故障，系统会弹出提示窗口，根据提示找到故障异常点，进行故障处理操作。

鼠标移到屏幕上侧，选择相应的故障名称, 故障点有显目的“维修”按钮设置，点击“维修”按钮会弹出相关设备的故障列表以及解决办法。

5）数据监控

可通过二维系统图实时查看中央空调机组、冬季供热、风机盘管监控系统。系统中数据由底层数据实时计算显示。

空调机组监控系统数据包括：温度设定、湿度设定、季节模式、新风温度、回风温度、送风温度、新风湿度、回风湿度、送风湿度、新风量、回风量、送风量、混风温度、混风湿度、机组制冷（热）量等。

冬季供热监控系统数据包括：1#锅炉供水温度、1#锅炉回水温度、2#锅炉供水温度、2#锅炉回水温度、板式换热器一次侧供水温度、一次侧回水温度、二次侧供水温度、二次侧回水温度、分水器干管流量、集水器干管流量等。

风机盘管监控系统数据包括：风盘供水温度、盘管出水温度、风管送风温度等。

6、变风量空调系统调节虚拟仿真实验软件

1）选择设计地点。软件将城市地图分为五个热工分区，介绍相关知识，点击城市显示当地气象参数及对建筑的热工性能要求。

2）五个热工分区各提供一个典型城市：哈尔滨、济南、上海、昆明、广州五个城市以供选择。点击城市名称可以显示当地气象参数

3）选择建筑类型：选择设计地点后学生进行建筑类型选择，软件有办公楼与商场两类建筑可供选择，点击三维建筑模型后可显示相关楼层平面图。可在窗口设置建筑的窗墙比、体形系数、墙体厚度、外墙与外窗的传热系数。

4）负荷计算。计算建筑各区域的逐时冷负荷，区域冷负荷计算结果主要分为围护结构负荷（外墙、屋顶与外窗）、太阳辐射、新风负荷、人体负荷、照明负荷与设备负荷；采用稳态传热计算方法分别计算围护结构耗热量与新风负荷。

5）风系统水力计算。选择压损平均法、假定流速法、静压复得法中的一种对变风量系统进行水力计算（系统设置静压复得法优先）；水力计算完成之后可随风管走向生成风管内压力分布图，分布图上能够显示全压、动压和静压，清晰表达出三者之间的相互关系。

6）确定变风量末端装置形式。根据压力相关型、压力无关型；风机并联型、风机串联型等变风量末端装置的特点进行选型，了解相关知识。

7）负荷变化时的运行调节。设定室内人员变化引起负荷变化和设定室内灯光、设备负荷变化时分别对应的新风量的控制策略；

8）总送风量发生变化时，对应不同的负荷变化特点，学生可分析回风量与新风量之间占比的变化规律，并由此得出回风阀与新风阀开度的变化趋势；

9）评分系统。系统会根据完成实验任务的正确性、有效性进行评分。完成全部实验步骤后，系统给出实验操作得分，同时生成word实验报告。