

一、电力系统仿真实训室

1、新型电力系统全景认知仿真系统

概述：

一、本工程项目的设计与服务必须达到现行国家、行业及电网公司有关法规、规范、技术规程、通用制度的要求。

二、根据工程要求，本工程的设计与服务除必须达到以上标准外，还应满足下列标准要求：

1、总体要求：

1. 本技术规范书专为乌海职业技术学院新型电力系统全景认知仿真系统建设项目而制定，包括服务范围及内容、技术要求、验收标准及其它必备事项等。
2. 本技术规范书中提出的技术要求仅为最低限度的技术要求。投标人必须仔细阅读技术规范书的全部条款，并提供能完全满足要求的完整的技术服务方案。
3. 本技术规范书的解释权属于招标人，未经招标人同意，任何个人和单位不得做出任何修改。在未经双方商定作为服务合同技术附件之前，招标人保留修改技术规范书的权利。招投标双方签订合同之后，招标人有权提出因规范标准、规程和相关通用制度发生变化所产生的一些补充要求，投标人有责任接受这些补充要求。
4. 技术规范书经招投标双方确认后，作为合同的附件，与合同正文具有同等的法律效力。
5. 本规范书提出的是基础的技术要求，并未对一切技术细节做出规定，也未充分引述有关标准和规范的条文，投标人应提供符合最新版本标准和本规范书要求的成熟项目成果。

服务项目要求

2、项目整体需求

2.1、项目建设要求

本项目聚焦“能源互联网”产业发展方向，坚持“需求导向、虚实结合、强化辐射、共建共享”发展思路，充分利用学院既有教学实训的建设成果，面向新型电力系统知识技能教育加以设计、完善、扩充、深化和创新，遵循电力系统专业领域及教育培训科学的客观规律，紧扣《国务院国家职业教育改革实施方案》、《教育部关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见》等工作精神，全场景介绍新技术发展理念方向，全要素讲解新技术关键核心内容，全业务展示新技术示范应用成就，全方位突出新技术经济社会效益，形成新型电力系统全景教学的宣传窗口、展示中心、资源中心、教学中心，树立职业院校电力系统仿真实训的标杆引领作用，最终建设成为国内一流、国际先进的新型电力系统全景认知教学平台。投标人需提供开发企业针对本项目实施的授权委托书。

2.2、项目建设内容

本项目为乌海职业技术学院新型电力系统全景认知仿真系统开发、安装、调试、使用培训、技术支撑服务，具体如下：

- 1、新型电力系统全景认知仿真系统软硬件开发、安装、调试；
- 2、新型电力系统全景认知仿真系统操作使用、安装配置、系统后续维护现场培训；
- 3、供应商解答后续系统使用问题并及时提出解决建议及操作方法等技术支撑。

2.3、项目建设原则

(1) 规范性原则

遵循标准化和规范化原则，采用各种符合国际、国家相关标准的接口方式，方便与其他系统进行接口。

(2) 先进性原则

系统采用最新的数字孪生技术、分布式仿真技术、动态人机界面技术和多媒体技术，保证系统具备一定的先进性。

(3) 可靠性原则

系统的设计应将可靠性原则贯穿于系统设计、设备选型、软件配置到系统施工的全过程。

(4) 可扩展性原则

▲系统设计设计有充分的余地，以便日后比较方便地进行系统扩充。为此，设备应采用模块式结构，在需要时可进行随时补充。系统具有标准接口，易于第三方软硬件的接入，使系统具备灵活的扩展性。

(5) 经济性原则

系统在满足需求、保证系统功能完善、先进、可靠的、实时性高的基础上，尽量降低系统不必要的成本支出、减少维护费用。

(6) 易用性原则

系统功能强大、界面友好、软件设计人性化，易于被用户掌握、操作和使用。

(7) 易维护性原则

系统基本上可以处于免维护工作状态，且人工维护可在远程操作，维护简单，易于管理。

(8) 安全性原则

系统和互联网的接口安装防火墙，以保证系统的安全；整个系统采取安全措施以防止软件及各种文档资料被非法复制、修改等。

(9) 响应及时性原则

系统采用灵活的任务调度机制实现负载均衡，快速响应用户输入或系统产生的各种事件。

2.4、系统功能要求

1、全场景、全维度、全要素

构建“环境—设备—器具”全场景教学覆盖、“电网—厂站—设备”全维度教学支撑、“模型—数据—交互”全要素教学应用为特征的电力系统全景模型实验体系，实现教学内容的体系化、专业化、精细化，将传统的说教式、灌输式的被动学习改变为过关式、体验式的主动学习。

2、融媒体、沉浸化、交互式

围绕电力实验“看不到、进不去、成本高、危险性大”等传统教学难题，通过虚拟仿真硬件设备，构建融媒体、沉浸化、交互式的教育教学环境，使学生、教师等从视觉、听觉、触觉等方面获得逼真认知体验，加强互动学习与体验环节，突破现有教学手段的局限。

3、▲软件内容（需提供教学内容功能截图）

序号	开发内容	备注	备注
1	电力系统整体认知教学	1套	功能上根据国家电网

2	特高压技术认知教学	1 套	培训考核要求定制，满足职工和学生的技能考核要求
3	智能发电认知教学	1 套	
4	智能输电认知教学	1 套	
5	智能变电认知教学	1 套	
6	智能配电认知教学	1 套	
7	智能用电认知教学	1 套	
8	智能调度认知教学	1 套	

3.1、电力系统整体认知教学

采用图文、动画、视频等融媒体技术手段，对能源互联网各环节的概念、作用、原理进行讲解，并电力系统的新技术和发展方向进行介绍，使学生对智慧电力系统建立宏观认识。

编号	分类	内容	格式	说明
1	背景总述	能源供应面临的挑战介绍	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 3 个
2		能源环境面临的挑战介绍	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 6 个
3		能源配置面临的挑战介绍	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 2 个
4		能源效率面临的挑战介绍	多媒体文件	时长 3 分钟、图文 5 个
5	能源互联网基本内涵、核心内容和能源互联网战略框架	能源互联网的基本内涵介绍	多媒体文件	时长 5 分钟、图文 8 个
6		全球能源观的核心内容介绍	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 6 个
7		能源互联网的战略框架介绍	多媒体文件	时长 8 分钟、图文 10 个
8	能源互联网关键技术	电源技术讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 2 个
9		电网技术讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 1 个
10		储能技术讲解	多媒体文件	时长 5 分钟、图文 10 个
11		信息通信技术讲解	多媒体文件	时长 6 分钟、图文 10 个

12	能源互联网未来展望	能源互联网技术创新的方向和重点领域介绍	多媒体文件		时长 4 分钟、 图文 6 个
13		能源互联网发展重点领域	电源技术发展方向和前景介绍	多媒体文件	时长 15 分钟、 图文 15 个
14			电网技术发展方向和前景介绍	多媒体文件	时长 10 分钟、 图文 10 个
15			储能技术发展方向和前景介绍	多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 6 个
16			信息通信技术发展方向和前景介绍	多媒体文件	时长 6 分钟、 图文 5 个

3.2、特高压技术认知教学

1、采用图文、动画、视频等融媒体技术手段，对特高压整体、特高压直流输电、交流输电技术进行认知讲解，使学生掌握特高压相关概念、原理、作用等知识内容。

2、开发内容：

编号	分类	内容	格式	说明
1	特高压直流输电技术	直流输电发展的历程介绍	多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 11 个
2		直流输电技术的基本原理讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 2 个

3		特高压直流技术的应用与实践讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 4 个
4		直流输电技术发展趋势介绍	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 2 个
5		特高压直流过电压技术讲解	多媒体文件	时长 25 分钟、图文 20 个
6	绝缘配合技术	特高压直流换流站的绝缘配合技术讲解	多媒体文件	时长 22 分钟、图文 25 个
7		特高压直流输电线路外绝缘配合技术讲解	多媒体文件	时长 8 分钟、图文 12 个
8	电磁环境与噪声控制技术	特高压直流输电线路电磁环境问题讲解	多媒体文件	时长 10 分钟、图文 12 个
9		特高压直流输电线路电磁环境影响因素分析讲解	多媒体文件	时长 4 分钟、图文 1 个
10		改善直流输电线路电磁环境的措施讲解	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 2 个
11		特高压直流换流站的电磁环境讲解	多媒体文件	时长 4 分钟、图文 6 个
12		特高压直流关键设备	特高压换流阀讲解	多媒体文件
13		特高压换流变压器讲解	多媒体文件	时长 5 分钟、图文 5 个
14		特高压平波电抗器讲解	多媒体文件	时长 4 分钟、图文 5 个
15		特高压交直流滤波器讲解	多媒体文件	时长 5 分钟、图文 5 个
16		特高压直流避雷器讲解	多媒体文件	时长 3 分钟、图文 2 个
17		特高压直流开	多媒体文件	时长 3 分

			关设备讲解		钟、图文 5 个
18	特高压交流输电技术	特高压交流输电概况介绍		多媒体文件	时长 1 分钟、图文 2 个
19		特高压交流输电优点讲解		多媒体文件	时长 1 分钟、图文 2 个
20		特高压交流输电现状与发展介绍		多媒体文件	时长 3 分钟、图文 8 个
21		系统电压控制技术	特高压线路工频过电压技术讲解	多媒体文件	时长 15 分钟、图文 30 个
22			特高压线路操作过电压技术讲解	多媒体文件	时长 8 分钟、图文 20 个
23			特快速暂态过电压 (VFTO) 讲解	多媒体文件	时长 8 分钟、图文 20 个
24		潜供电流控制技术讲解		多媒体文件	时长 8 分钟、图文 16 个
25		绝缘配合技术	绝缘配合的基本概念与原则讲解	多媒体文件	时长 4 分钟、图文 8 个
26			特高压变电站绝缘配合讲解	多媒体文件	时长 3 分钟、图文 6 个
27			特高压交流输电线路绝缘配合讲解	多媒体文件	时长 4 分钟、图文 8 个
28		电磁环境技术	特高压交流输电线路电磁环境讲解	多媒体文件	时长 15 分钟、图文 50 个
29			特高压交流变电站电磁环境讲解	多媒体文件	时长 6 分钟、图文 15 个
30		特高压交流关键设备	特高压变压器讲解	多媒体文件	时长 5 分钟、图文 10 个
31			GIS 设备讲解	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 4 个

32			隔离开关讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 4 个
33			避雷器讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 5 个
34			无功补偿设备讲解	多媒体文件	时长 5 分钟、图文 12 个
35	VR 漫游认知	特高压线路 VR 漫游		exe	场景漫游、智能导航

3、采用业界主流的三维仿真引擎，画面展示逼真、平滑。

4、3D 场景采用异步加载，加载时间≤3 秒。

5、▲采用具备独立知识产权全数字输电培训仿真技术，提供全数字输电培训仿真系统相关的专利证书。（并加盖专利权人公章）。

6、▲采用具备独立的知识产权的沉浸式虚拟现实电力仿真培训技术，提供基于沉浸式虚拟现实的电力仿真培训相关软件著作权文件及电力相关多媒体远程培训系统软件著作权文件（并加盖著作权人公章）。

7、▲采用具备独立的知识产权的增强现实电力仿真培训技术，提供基于增强现实的电力仿真培训相关软件著作权文件及电力相关多媒体远程培训系统软件著作权文件（并加盖著作权人公章）。

8、▲基于沉浸式虚拟现实的电力仿真培训软件要求经过具备检测资质的第三方检测机构测试合格，提供相关软件测试报告和检测机构资质证明文件。

9、▲基于增强现实的电力仿真培训软件要求经过具备检测资质的第三方检测机构测试合格，提供相关软件测试报告和检测机构资质证明文件。

10、通过基于 HLA 交互式、分布式虚拟现实仿真支撑平台接口，由学院进行电力场景自主搭建的实施工作。

11、▲提供后台管理系统，可对学员的答题记录进行管理、统计、分析，便于人员培训评价，并实现与既有实训管理系统的数据对接。

3.3、智能发电认知教学

1、采用图文、动画、视频等融媒体技术手段，对清洁能源整体、风力发电、太阳能发电、其他新能源发电技术、储能技术进行认知讲解，使学生掌握清洁能源相关概念、原理、作用等知识内容。

2、开发内容：

编号	分类	内容	格式	说明
----	----	----	----	----

1	清洁能源总述	清洁能源的概念介绍		多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 3 个	
2		清洁能源发电类型及其特点讲解		多媒体文件	时长 6 分钟、 图文 8 个	
3	风力发电技术	风力发电的总体介绍		多媒体文件	时长 4 分钟、 图文 9 个	
4		风机基础知识	风电的发展介绍	多媒体文件	时长 5 分钟、 图文 12 个	
5			风机的类型讲解	多媒体文件	时长 4 分钟、 图文 10 个	
6		风机的结构和工作原理	风机的整体结构讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 10 个	
7			风机工作原理讲解	多媒体文件	时长 4 分钟、 图文 12 个	
8		大规模风电调度关键技术		多媒体文件	时长 5 分钟、 图文 10 个	
9		风电发展现状		多媒体文件	时长 2 分钟、 图文 5 个	
10		太阳能发电技术	太阳能发电概念介绍		多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 1 个
11			光伏发电	光伏发电的概念介绍	多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 2 个
12	光伏发电的结构及工作原理讲解			多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 10 个	
13	光伏发电的发展现状介绍			多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 8 个	
14	光伏发电的地位及作用讲解			多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 2 个	

15		太阳热发电	太阳能发电的概念介绍	多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 2 个
16			太阳热发电的结构及工作原理讲解	多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 10 个
17			太阳热发电的发展现状介绍	多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 5 个
18			太阳热发电的作用及其地位讲解	多媒体文件	时长 2 分钟、 图文 5 个
19	其他新能源发电技术	海洋能发电	海洋能发电总体介绍	多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 4 个
20			潮汐能发电基础知识及工作原理讲解	多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 8 个
21			潮汐能发电发展现状介绍	多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 5 个
22			海洋能发电的作用及其地位讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 4 个
23		生物质能发电	生物质能发电总体介绍	多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 3 个
24			生物质能发电基础知识及工作原理讲解	多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 10 个
25			生物质能发电发展现状介绍	多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 6 个
26			生物质能发电的作用及其地位讲解	多媒体文件	时长 2 分钟、 图文 6 个
27		地热发电	地热发电发电总体介绍	多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 3 个
28	地热发电基础知识及工作原理讲解		多媒体文件	时长 2 分钟、 图文 8 个	
29	地热能发电发展现状介绍		多媒体文件	时长 2 分钟、 图文 5 个	

			绍		
30			地热发电的作用及其地位讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 3 个
31	储能技术在智能发电中的应用	储能技术的总体介绍		多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 8 个
32		机械储能讲解		多媒体文件	时长 4 分钟、 图文 10 个
33		电磁储能讲解		多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 10 个
34		电化学储能讲解		多媒体文件	时长 5 分钟、 图文 10 个
35		相变储能讲解		多媒体文件	时长 1 分钟、 图文 3 个
36	清洁能源发电功率预测和运行监测技术	清洁能源	风电场发电功率预测讲解	多媒体文件	时长 4 分钟、 图文 5 个
37		清洁能源发电功率预测技术	光伏发电功率预测讲解	多媒体文件	时长 8 分钟、 图文 15 个
38		清洁能源发电运行监测技术讲解		多媒体文件	时长 3 分钟、 图文 5 个
39	VR 漫游认知	风力发电场 VR 漫游		exe	场景漫游、智能导航
40		光伏电站 VR 漫游		exe	场景漫游、智能导航

3、采用业界主流的三维仿真引擎，画面展示逼真、平滑。

4、3D 场景采用异步加载，加载时间≤3 秒。

5、▲采用具备独立的知识产权的沉浸式虚拟现实电力仿真培训技术，提供基于沉浸式虚拟现实的电力仿真培训相关软件著作权文件及电力相关多媒体远程培训系统软件著作权文件（并加盖著作权人公章）。

6、▲采用具备独立的知识产权的增强现实电力仿真培训技术，提供基于增

强现实的电力仿真培训相关软件著作权文件及电力相关多媒体远程培训系统软件著作权文件（并加盖著作权人公章）。

7、▲基于沉浸式虚拟现实的电力仿真培训软件要求经过具备检测资质的第三方检测机构测试合格，提供相关软件测试报告和检测机构资质证明文件。

8、▲基于增强现实的电力仿真培训软件要求经过具备检测资质的第三方检测机构测试合格，提供相关软件测试报告和检测机构资质证明文件。

9、通过基于 HLA 交互式、分布式虚拟现实仿真支撑平台接口，由学院进行电力场景自主搭建的实施工作。

10、▲提供后台管理系统，可对学员的答题记录进行管理、统计、分析，便于人员培训评价，并实现与既有实训管理系统的数据对接。

3.4、智能输电认知教学

定制开发采用图文、动画、视频等融媒体技术手段，对智能输电整体、智能输电新技术、输电线路状态检测、智能巡检等进行认知讲解，使学生掌握智能输电相关概念、原理、作用等知识内容。

3.5、智能变电认知教学

1、定制开发采用图文、动画、视频等融媒体技术手段，对智能变电整体、智能变电站系统组成、智能变电关键技术、未来展望等进行认知讲解，使学生掌握智能变电相关概念、原理、作用等知识内容。

2、开发内容：

编号	分类	内容		格式	说明
1	智能变电总述	智能变电站的总体介绍		多媒体文件	时长 1 分钟、图文 1 个
2		智能变电站的产生介绍		多媒体文件	时长 1 分钟、图文 2 个
3		智能变电站特征讲解		多媒体文件	时长 2 分钟、图文 3 个
4		智能变电站在智能电网中的地位介绍		多媒体文件	时长 1 分钟、图文 1 个
5	智能变电站系统组成	智能变电站的体系结构讲解		多媒体文件	时长 2 分钟、图文 5 个
6		智能变电相关设备总体介绍		多媒体文件	时长 2 分钟、图文 4 个
7		智能高压设备	智能高压设备的概念及组成讲解	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 5 个
8		智能高压设备	技术特征讲解	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 5 个
9		智能高压设备	状态监测与状态检修讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 2 个

10			智能断路器讲解	多媒体文件	时长 5 分钟、图文 6 个
11		智能变压器	智能变压器概念及组成讲解	多媒体文件	时长 12 分钟、图文 30 个
12	在线监测系统讲解		多媒体文件	时长 2 分钟、图文 2 个	
13		电子式互感器	有源非常规式互感器讲解	多媒体文件	时长 8 分钟、图文 10 个
14			无源电流式互感器讲解	多媒体文件	时长 5 分钟、图文 5 个
15			非常规互感器的数据接口—合并单元 MU 讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 2 个
16			非常规互感器的数据接口—扩展仪用传感器单元 ITU 讲解	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 2 个
17	智能变电的关键技术	电气设备智能化技术讲解	高压开关设备智能化技术	多媒体文件	时长 3 分钟、图文 3 个
18			电子式互感器技术	多媒体文件	时长 15 分钟、图文 15 个
19			智能变压器在线监测技术	多媒体文件	时长 3 分钟、图文 3 个
20			分析决策控制技术讲解	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 2 个
21			站内网络通信技术讲解	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 2 个
22		新型保护与控制技术	自适应继电保护技术	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 2 个
23			暂态保护技术	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 1 个
24			自协调区域继电保护控制技术	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 2 个
25			继电保护的智能整定和在线	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 4 个

		讲解	校核技术		
26			自适应重合闸技术	多媒体文件	时长 2 分钟、图文 2 个
27			机器人智能巡检技术讲解	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 3 个
28	智能变电未来展望		智能变电未来展望介绍	多媒体文件	时长 1 分钟、图文 1 个
29	VR 漫游认知		智能变电站 VR 漫游	exe	场景漫游、智能导航

3、采用业界主流的三维仿真引擎，画面展示逼真、平滑。

4、3D 场景采用异步加载，加载时间 ≤ 3 秒。

5、采用具备独立的知识产权的沉浸式虚拟现实电力仿真培训技术，提供基于沉浸式虚拟现实的电力仿真培训相关软件著作权文件及电力相关多媒体远程培训系统软件著作权文件（并加盖著作权人公章）。

6、采用具备独立的知识产权的增强现实电力仿真培训技术，提供基于增强现实的电力仿真培训相关软件著作权文件及电力相关多媒体远程培训系统软件著作权文件（并加盖著作权人公章）。

7、基于沉浸式虚拟现实的电力仿真培训软件要求经过具备检测资质的第三方检测机构测试合格，提供相关软件测试报告和检测机构资质证明文件。

8、基于增强现实的电力仿真培训软件要求经过具备检测资质的第三方检测机构测试合格，提供相关软件测试报告和检测机构资质证明文件。

9、通过基于 HLA 交互式、分布式虚拟现实仿真支撑平台接口，由学院进行电力场景自主搭建的实施工作。

10、提供后台管理系统，可对学员的答题记录进行管理、统计、分析，便于人员培训评价，并实现与既有实训管理系统的数据对接。

3.6、智能配电认知教学

定制开发采用图文、动画、视频等融媒体技术手段，对智能配电整体、智能配电关键技术、工程应用、未来展望等进行认知讲解，使学生掌握智能配电相关概念、原理、作用等知识内容。

3.7、智能用电认知教学

采用图文、动画、视频等融媒体技术手段，对智能用电整体、智能用电建设面临的形势、智能电表关键技术、用电信息采集、智能家居与智能小区、电动汽车服务等进行认知讲解，使学生掌握智能用电相关概念、原理、作用等知识内容。

3.8、智能调度认知教学

定制开发采用图文、动画、视频等融媒体技术手段，对智能调度整体、智能调度技术概述、智能调度技术成果及应用、智能调度工程应用及经济社会效益、智能调度未来展望等进行认知讲解，使学生掌握智能调度相关概念、原理、作用等知识内容。

4、硬件配置

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

1	仿真系统展示及控制终端设备	55寸*12 拼接大屏、控制系统，定制通讯接口，最大分辨率：3840×2160，输入/输出：复合视频输入 3 路 BNC (BNC*3) 输入，复合视频输出 2 路 BNC (BNC*2) 输出，可接录像设备等，YPbPr/YCbCr 输入 1 路 BNC (BNC*3) 输入，1 路 HDMI 输入，1 路 D-SUB VGA 输入，1 路 DVI 数字视频信号输入，4 路 RCA 音频输入，拼接控制接口 RS232-RJ45 输入输出，PAL/NTSC/自动识别彩色系统，支持画面漫游，兼容的 HDTV 输入 480P, 576P, 720P, 1080I, 1080P，拼缝：≤3.5mm	配套硬件设备为定制产品，需与软件系统兼容，不可拆分
2	触控一体机	43 寸红外式触摸屏	
3	电子沙盘	LED 背光源；尺寸 100 英寸；红外触控。	
4	实训专用计算机及相关配件	Intel Core i7；8G 内存；1TB 硬盘；独立显存 2G Nvidia 卡；千兆网口；键盘、鼠标；不小于 23.8 寸显示器；配套电脑桌椅	

4.1、仿真系统展示终端及控制设备

定制要求：55 寸*12 拼接大屏、控制系统，定制通讯接口，最大分辨率：3840×2160，输入/输出：复合视频输入 3 路 BNC (BNC*3) 输入，复合视频输出 2 路 BNC (BNC*2) 输出，可接录像设备等，YPbPr/YCbCr 输入 1 路 BNC (BNC*3) 输入，1 路 HDMI 输入，1 路 D-SUB VGA 输入，1 路 DVI 数字视频信号输入，4 路 RCA 音频输入，拼接控制接口 RS232-RJ45 输入输出，PAL/NTSC/自动识别彩色系统，支持画面漫游，兼容的 HDTV 输入 480P, 576P, 720P, 1080I, 1080P，拼缝：≤3.5mm

4.2、VR 一体机

虚拟现实（VR）仿真实训设备可构建全三维、高仿真、沉浸化、交互式的电力系统作业现场模拟环境，让使用者在现实极小的空间便可实现在虚拟世界中 360° 无限行动和操作交互，能够逼真模拟实际操作全过程，从视觉、听觉等方面获得几近真实的实操感受，实现安全、自由、深度沉浸式体验。定制要求：

序号	模块	参数
1	VR 眼镜	头戴式设备； 屏幕：2 个 3.5 英寸 AMOLED；分辨率：3K（2880*1600）； 刷新率：90HZ；视场角：110 度； 操控手柄； 传感器：SteamVR 追踪技术 1.0； 空间定位追踪设置； 空间规模：追踪范围为 3.5 米*3.5 米。
2	VR 主机	CPU：不低于 i7-7700；显卡：不低于 GeForce GTX1070； 内存：不低于 8GB；硬盘：不低于 256GB

3	VR 运动平台	支持与 VR 眼镜适配的无限空间行走功能； 适配体重：130KG 以下；适配身高：1.4m-1.95m；设备重量：101kg；尺寸：1535mm*1170mm*1476mm；额定功率：35w
---	---------	--

4.3 智慧触控操作终端

智慧触控操作终端主要应用于认知教学实施，配合仿真系统展示终端也可进行联动交互操作。智慧触控操作终端可识别使用者触摸屏幕的多个手指触点，并根据不同的触电位置同时控制屏幕上显示的多项内容，还支持用户多点触摸手势，如单手拖拽图片，双手旋转及缩放图片等，具有自然，直观的交互特性。

- 1、屏幕规格：43 寸
- 2、触屏方式：红外式触摸屏
- 3、机柜：金属烤漆机柜，含音响、以太网接口、USB、电源开关等
- 4、CPU：Intel i7
- 5、内存：32G
- 6、硬盘：512G 固态
- 7、显卡：8G 独显

4.4 电子沙盘

数字沙盘主要用于能源互联网整体介绍和全景展示，将声、光与电子信息技术融为一体。

4.5 实训运行服务终端及相关配件

- 1、CPU :Intel Core i5
- 2、内存:8G 内存
- 3、固态硬盘:1T 机械+256 固态
- 4、显卡:独立显存 2G Nvidia 卡
- 5、网卡:千兆网口;键盘、鼠标
- 6、显示器：≥19.5 寸显示器
- 7、终端数量：13 套
- 8、配套教学桌椅 13 套

验收标准

项目需要达到的目标

(1) 投标人所提供的仿真培训系统所有质量、功能、性能等均应经过试验，并经招标方认可才能交货。

(2) 投标人应在准备验收的前一个月提供所有工厂验收试验(FAT)及现场验收试验(SAT)的细则，细则中应明确规定试验项目以及所达到的性能要求，并经招标方认可。

试验和验收计划

(1) 投标人应提供一份详细的工厂试验和现场验收的计划(包括系统性能、功能及系统稳定运行的测试方法)，招标方对供货方提供的试验和验收计划具有修改的权力，并在设计联络会上经招标方确认后生效。

(2) 招标方应尽可能提供必要的方便以确保现场验收在规定的条件下进行。

工厂验收试验(FAT)

FAT 目的是为保证系统能够满足技术规范书功能要求，FAT 包括系统功能试验和稳定性试验。FAT 应在招标方对系统所有软件进行重新编译、连接后进行。

(1) 招标方派 2-5 人参加 FAT，时间为 1 周。供货方应提供必要的试验工具、

办公场所和通信设施等。

(2) 由于供货方责任，FAT 不能按计划完成而引起的一切额外费用，应由供货方承担。

现场验收试验 (SAT)

(1) SAT 由供货方负责，买卖双方人员共同配合完成。

(2) 该试验应在软件已装载、系统已成功运行一段时间后进行。在 SAT 中还必须包括与现场设备和外部系统的试验。在工厂条件下不能完成的试验应包括在 SAT 中。SAT 应按供货商准备的、得到用户确认的测试程序进行。

(3) 在 SAT 期间发现的系统缺陷和设计错误应由供货商更正，由此发生的费用由供货方承担。

(4) SAT 应完成 FAT 所作的全部系统功能试验和稳定性试验，但应在实际系统条件下带实时信息和实际通信通道进行试验，SAT 应分阶段进行。

(5) SAT 应包含合同规定的所有开发项目和 FAT 中偏差的改进。

(6) SAT 合格完成后，双方代表应在 SAT 验收报告上签字。

(7) 供货方应派合格的工程师到招标方现场提供技术服务，SAT 和现场服务所需的费用应包括在合同中并单列 (由供货方承担)。

开发建设目标

序号	系统模块	开发内容	单位	数量
1、软件部分				
1.1	电力系统整体认知教学	背景总述、能源互联网基本内涵、核心内容和能源互联网战略框架、能源互联网关键技术、能源互联网未来展望等	套	1
1.2	特高压技术认知教学	1、特高压直流输电技术、特高压交流输电技术等认知教学 2、特高压线路 VR 漫游	套	1

1.3	智能发电 认知教学	1、清洁能源总述、风力发电技术、太阳能发电技术、其他新能源发电技术、储能技术在智能发电中的应用、清洁能源发电功率预测和运行监测技术等认知教学 2、风力发电场 VR 漫游、光伏电站 VR 漫游	套	1
1.4	智能输电 认知教学	智能输电总述、先进输电网技术、输电线路状态检测、智能巡检等认知教学	套	1
1.5	智能变电 认知教学	1、智能变电总述、智能变电站系统组成、智能变电的关键技术、智能变电未来展望等认知教学 2、智能变电站 VR 漫游	套	1
1.6	智能配电 认知教学	智能配电总述、智能配电的关键技术、智能配电网新技术工程应用、智能配电的未来展望等认知教学	套	1
1.7	智能用电 认知教学	智能用电总述、智能用电建设面临的形势、智能用电关键技术等认知教学	套	1

1.8	智能调度 认知教学	智能调度总述、智能调度技术概述、智能调度新技术讲解、智能调度技术成果及应用、智能调度工程应用及经济社会效益、智能调度未来展望等认知教学	套	1
2、硬件部分				
序号	设备名称	规格型号	单位	数量
2.1	VR 一体机	VR 眼镜、VR 主机、VR 运动平台，用于部署 VR 仿真培训系统	套	2
2.2	仿真系统 展示终端 及控制设备	55 寸*12 拼接显示终端、控制系统，能够兼容仿真实训软件，具备通信接口	套	1
2.3	智慧触控 操作终端	智慧触控操作终端主要应用于认知教学实施，配合仿真系统展示终端也可进行联动交互操作。智慧触控操作终端可识别使用者触摸屏幕的多个手指触点，并根据不同的触电位置同时控制屏幕上显示的多项内容，还支持用户多点触摸手势，如单手拖拽图片，双手旋转及缩放图片等，具有自然，直观的交互特性。	套	5

		<p>1、屏幕规格：43 寸</p> <p>2、触屏方式：红外式触摸屏</p> <p>3、机柜：金属烤漆机柜，含音响、以太网接口、USB、电源开关等</p> <p>4、CPU: Intel i7</p> <p>5、内存：32G</p> <p>6、硬盘：512G 固态</p> <p>7、显卡：8G 独显</p>		
2.4	智慧全景 展示电子 沙盘	<p>1、智慧全景展示电子沙盘主要用于电力系统整体介绍和全景展示。设备采用全新的设计理念，将声、光与电子信息技术融为一体。</p> <p>2、显示类型：LED 背光源；尺寸 100 英寸；红外触控。</p> <p>3、分辨率：4k</p> <p>4、亮度：450cd/m²</p> <p>5、对比度：5000:1</p> <p>6、音频功率：功率 2×15W，喇叭口前置。</p> <p>7、主机配置；i5 内存 4G 128G 固态硬盘</p> <p>8、柜体颜色：黑色</p> <p>9、个数：1 台</p>	套	1

2.5	实训运行 服务终端 及相关配 件	1、CPU :Intel Core i5 2、内存:8G 内存 3、固态硬盘:1T 机械+256 固态 4、显卡:独立显存 2G Nvidia 卡 5、网卡:千兆网口;键盘、鼠标 6、显示器: ≥19.5 寸显示器 7、个数: 13 套 8、配套桌椅 13 套	套	13
2.6	全景认知 仿真系统 操作考核 终端及配 套实训室 改造和文 化建设	操作终端要求定制 Intel 酷睿 i5-12500(六核 3.0GHz) /B660 主板芯片组 /8GB-DDR4 内存 /256GB SSD+1TB 硬盘 , 兼容仿真软件操作系统, 配套电力实训文化建设, 包含展示区域文化装饰改造、综合布线, 系统集成网络实训环境搭建, 符合国网培训基地氛围。	套	10

2、500kV 变电站仿真培训系统

一、总则

1.1 前言

为确保“500kV 变电站仿真培训系统”项目的开发和研制质量，特编制本技术规范书。参与本项目的研制、开发工作的各方均应遵守本规范书的要求，逐步实现此技术规范书所明确的要求、功能、范围和技术指标。本规范书是仿真培训系统研制、开发的重要依据。

仿真培训系统验收时，应根据有关技术规程、运行规程、设备资料、电网计算资料、运行资料，结合参照变电站运行工程师及有关专家的经验 and 意见，全面考核本规范书中各项技术要求。

本规范书为最低限度要求，未涉及的技术要求，应根据现场实际要求，参照国内类似的、先进的变电仿真培训系统性能指标及有关技术规程和产品资料加以实现。

1.2 总体目标

- 1、本仿真培训系统将实现三维变电站仿真、基于物理机理的一体化实时仿真，动态变化趋势符合机电暂态过程的分析结果，不违反物理定律。
- 2、本仿真培训系统具有适应当前电力系统自动化技术发展的要求，在一定时期内保持技术发展的领先水平。
- 3、该仿真培训系统可以根据培训需要灵活、方便地添加和拆卸子模块；配置接口标准，能方便地修改、增加新的子模型和新类型的系统界面。
- 4、系统应具有灵活多样的运行模式（如独立、分组、联合等），以满足不同培训方式需要。
- 5、系统运行安全可靠、功能实用、使用方便、技术指标先进合理、结构标准规范、维护方便，易于修改、扩充。系统设计应遵循国际标准，采用目前国际先进的技术，确保软、硬平台在最近和未来一段时期的适应性、开放性、可扩展性和可维护性等；所有功能模块接口标准统一，能支持第三方硬件和软件的接入和系统升级，以满足远期规划要求，投标人需提供开发企业针对项目实施的授权委托书。
- 6、采用图模库一体化建模方式，具备方便、灵活的修改、扩充、升级功能，根据电网结构、规模、新建和改造变电站的具体实际情况，能对仿真培训系统的仿真范围和功能进行灵活、方便的修改和扩充，以随时跟踪变电站实际运行情况。
- 7、应具备完善的培训及培训管理、考核功能，向学员提供正常、异常和紧急状态的实际现场环境，经培训后能够按照现场相关规程熟练地掌握变电站运行的全部操作，学会处理异常、紧急事故的技能，训练应急能力，确保电网安全、经济运行。
- 8、提供智能的培训评价考核系统，满足调变电运行人员技能考核、比赛、鉴定要求。
- 9、系统培训的对象为变电运行人员、变电操作人员，也可对调度人员、继电保护人员等进行辅助培训。
- 10、具有高逼真度、高度的时空一致性和可靠性，能充分满足仿真培训系统运行的实时性要求。
- 11、系统应具备高效率的通信支持机制，保证网络传输的可靠性和安全性，具备系统互联的能力，
- 12、支持各种类型文件格式转换、存储、输出和调用。

二、仿真范围

2.1 仿真范围界定原则

- (1) 电网、变电站统一仿真。
- (2) 可以实现全网保护和自动装置的实时配合。
- (3) 进行全过程、全范围仿真，符合运行的实际生产过程，严格遵守调度、变电、继电保护、通讯等相关规程。
- (4) 满足供电公司变电运行人员、变电操作人员的培训，也可对调度监控人员等进行辅助培训。

2.2 电网仿真

本系统将以一虚拟地区电网主干网为基本电网框架、电源点和负荷点、外部

电网、联络线、保护和自动装置等为仿真对象，实现基于物理机理的一体化实时仿真。

2.3 变电站仿真

拟对虚拟电网 1 座 500kV 变电站进行详细仿真。

2.4 电源及负荷部分

(1) 电源和负荷是发输变配电的重要组成部分，本系统将全面仿真重要电源点，实现对发电厂升压站的主接线和发电机组运行特性的仿真。

(2) 对于网内负荷，系统将以等值负荷的形式按负荷性质进行仿真。

(3) 对于互联的外网电源点和负荷点进行简单仿真。

2.5 详细仿真和简单仿真的界定

详细仿真内容包括：

(1) 一次设备：变压器、开关、刀闸、互感器、电容器、电抗器、阻波器、母线、避雷器、耦合电容器、所变等一次设备及其操作控制机构。

(2) 二次设备：变电站内的控制屏、模拟屏、中央信号屏、保护及自动装置屏、远动屏、交直流屏、表计屏以及其它装置组屏等设备及其操作控制机构。

(3) 自动化设备：测控单元、前置机、后台监控、自动化系统工况运行等自动化设备仿真，能在自动化设备上进行巡检、操作和设置故障仿真，综自站监控系统所有功能和人机界面的仿真，并可根据需要增加新类型监控系统界面仿真。

(4) 变电站巡视内容包括变压器、开关、刀闸、母线、电容器、电抗器、互感器、避雷器、载波设备、交直流、蓄电池、控制保护及自动装置屏等一、二次设备及其操作控制机构、巡视所用的各种专业工具（具备检查和自动记录功能）和装备，并仿真各种气候下的巡视工况。

(5) 将以变电站所配置的保护和自动装置为仿真对象，在详细仿真屏上可以进行压板投退、把手及按钮操作、液晶屏和故障录波显示器菜单查看、操作、打印等操作，并可根据需要增加新的保护类型，并能够对定值进行修改，掉牌信号的复归。

(6) 五防系统、变电站操作票、工作票等系统的仿真，五防系统既能设置又能在仿真考试时拆除。

站内外一、二次设备、自动化设备、系统、环境影响等各种原因引起的各类故障仿真。

(7) 详细仿真以仿真对象现场的实际设备、功能和要求为准，上述未涉及部分根据实际仿真对象也将在仿真内容之列。

(8) 简单仿真内容包括：

包括一次接线、变压器、开关、刀闸、电容电抗器、避雷器、保护及其自动装置等对电网运行有影响的设备、操作及其故障，其他仿真内容按实际需要进行适当仿真。

三、系统功能

▲仿真培训系统的主要功能是培训和考核供电公司变电运行人员、地区电网调度人员，也可对继电保护人员等进行辅助培训。针对调度员、变电运行等人员培训、考核和鉴定的实际需要，在培训功能的设计方面，要充分考虑调度员的组织、指挥、指导、协调电网安全经济运行以及变电运行人员的监盘、常规操作、巡视和事故处理等工作。同时对一次设备、一二次回路、保护和自动装置动作原理、专业理论等方面，使用交互的、多媒体网络的方式进行互动培训，使得调度员、变电运行人员和管理人员得到从理论到操作全面详实的系统培训。

3.1 日常操作、监视培训

3.1.1 日常运行培训

定时手抄或自动打印运行表单，人工填写各种记录、日志、工作票、操作票、各种报文报表、台帐等。

3.1.2 监视培训

实现变电运行人员的监盘工作，包括对主控室的中央信号屏、控制屏、保护自动装置屏及自动化设备、站用交直流屏等的开关刀闸状态、电压、电流、有功、无功、频率（并列时的频差、压差、同步表）、变压器温度、分接开关档位、信号指示灯、光字牌、保护及自动装置的运行状态、压板、切换连片、报警等信号的监视工作。

3.1.3 操作培训

应涵盖变电站典型操作票中的所有操作，包括主接线图、虚拟现实系统中全部一次设备及保护和自动装置和自动化设备、站用电、直流系统等设备的各种操作、相关信号、表计、指示灯的实时变化等；二次部分小开关、保险的分合、电流端子；保护自动装置的投切、方式切换及其液晶面板的操作、打印、保护定值修改等；并包括验电，装、拆接地线，装、拆围栏和悬挂、取下标示牌等操作；各种操作的信号灯及位置指示器实时响应，对电网的影响与现场一致；代路时的保护定值调整，CT 电流回路的倒换等。

正常操作

包括正常所有模拟操作，开列操作票、模拟图预演操作、倒闸操作、遥控操作、分接头调节、运行监视等正常操作(含室内、外一、二次设备操作及检查)。

包括下列操作，但不仅限于此，具体根据实际现场要求：

(1) 开关、刀闸操作，在变电站监控后台仿真界面或现场就地控制屏上或自动化测控设备上的操作，包括现场的开关同期操作。

(2) 电压互感器的切换。

(3) 自动重合闸方式的切换。

(4) 绝缘监视电压表的切换。

(5) 事故录波器的操作。

(6) 保护及自动装置的投入、切除、方式切换等操作。

(7) 备自投装置投、退及装置本身操作。

(8) 变压器分接头的调整，冷却装置的切换。

(9) 电容器、电抗器的投停及调整。

(10) 消弧线圈投、退。

(11) 交、直流系统、UPS 系统操作。

(12) 其他安全自动装置的操作。

(13) 现场变电工作的安全措施（停电、验电、挂接地线、设置警示牌等）。

(14) 定期试验及切换：变压器、所用变、电容器、接地变、光字牌、电力电缆等等。

误操作：

(1) 在“五防”系统退出状态下，运行人员发生误操作（如：误拉合开关，带负荷误拉合隔离刀闸，带地线合闸，带电挂地线或合接地刀闸，误入带电间隔等），均将自然引发相应的事故，保护和自动装置将按不同的地点、保护状态、开关状态相应动作，与实际运行一致。

3.1.4 巡视培训

按规程所规定的项目和巡视周期的规定,利用虚拟现实系统进行一、二次、自动化设备的巡视,对设备运行的正常、异常、缺陷进行判别和提交处理意见。功能详见 3.4。

3.2 事故处理训练

事故的仿真分两种情况,一种是设置事故,如:线路故障、母线故障、变压器故障等;另一种是误操作事故,这种故障在模型中自然引发。另外还可设置开关拒动、保护拒动、误动来扩大事故范围。利用设置事故可进行各种事故演练、重演及记忆功能,提高学员对事故处理的能力,将严格按照整定书来判别故障,并考虑逻辑性。

事故分电力网络、线路、变压器、母线、断路器、互感器、电抗器、电容器、站用交流/直流系统、保护及自动装置、二次回路、自动化设备等方面。在设置事故中,其类型(如相间短路、接地短路、断线、二次回路的接地或断线)、性质(永久或瞬时)、地点(线路的近区或远区、变压器和电容器的内部或外部)可任意排列组合,同时还能与断路器、继电保护及自动装置误动、拒动任意组合。由于误操作和不当调整引起的故障由系统自然实时响应,不需要事先设置和人为干预,如同实际一样。

仿真系统可人为的在设置单个故障、复合故障、或复杂的多重故障,制造事故现场,让学员判断事故性质、类型、地点等并进行处理,由系统记录其处理过程并打印输出,可以对学员的事故处理能力和技巧进行智能评定,找出事故处理中的差错、疏漏,牢记正确的处理方法,提高技术水平。

“五防”系统培训按现场实际的功能仿真,但防护措施可以由教练员随时取消,使“五防”失灵,学员任何误操作引起的后果自然产生。

在本系统上可以进行调度员和变电运行人员的联合事故演习和考核,并能与市调、地、区调仿真系统接口,实现全网联合事故演习和考核。

变电站全站停电后的恢复操作处理。

3.2.1 异常、故障培训

设备异常仿真分两种情况,一种是在运行中自然发生的,如:变压器、线路过负荷、变压器油温、油位超过允许值等;另一种是需要设置的异常,如:变压器漏油、变压器匝间轻微短路、PT断线、油色异常、硅胶变色、交直流电源消失、引线接头发红发热、瓦斯继电器内有气体、压力降低(分闸闭锁、合闸闭锁、零压闭锁)、直流系统绝缘降低、接地引下线锈蚀断裂、瓷瓶污秽裂纹、泄漏电流异常、均压环倾斜、设备锈蚀、放电、导线散股、接头出现裂纹或断裂、冷却系统故障、控制回路断线、保险熔断、空气开关跳闸、电容器鼓肚喷油、电抗器漏油等。设备异常发生时,将引发相应告警信号,相应画面及监视仪表反应与现场一致。

3.2.2 缺陷设置培训

现场运行、检修、试验中经常发现设备缺陷,有些危及安全但尚未构成设备异常及事故,必须进行处理。在培训过程中,教练员可适时插入设备缺陷,以考核学员在设备巡视过程中,能否及时发现并作出相应的处理。(缺陷的设置应符合现场的实际情况,缺陷定性按国网公司缺陷管理的要求进行。)

3.2.3 事故处理培训

3.2.3.1 开关本体及其相关的故障

(1) 开关拒动。

- (2) 开关误动。
 - (3) 开关操作机构故障。
 - (4) 控制直流回路断线、短路、接地。
 - (4) 控制回路继电器、切换开关粘连、接触不良。
 - (5) SF6 开关气体轻微、严重泄漏。
 - (6) 油开关油轻微、严重泄漏。
 - (7) 开关操作机构空压、油压低、弹簧未储能。
 - (8) 非全相运行
 - (9) 开关合在有故障的线路或母线上。
- 3.2.3.2 刀闸本体及其相关的故障
- (1) 刀闸瓷瓶断裂、裂纹
 - (2) 带负荷拉、合刀闸。
 - (3) 带电合接地刀闸及其造成弧光短路。
 - (4) 用刀闸拉空载变压器励磁电流。
 - (5) 用刀闸拉高压长线空载电容电流。
 - (6) 在系统接地时拉合变压器的中性点刀闸。
 - (7) 在系统接地时拉合电压互感器和避雷器。
 - (8) 带地线合刀闸。
 - (9) 刀闸操作机构故障。
- 3.2.3.3 变压器本体及其相关故障
- (1) 变压器油箱内故障，包括相间短路、接地短路、匝间短路。
 - (2) 变压器油箱外故障，包括套管和引出线上相间短路，接地短路(中性点直接接地电网一侧)。
 - (3) 变压器套管裂纹、引线发热。
 - (4) 变压器漏油。
 - (5) 变压器着火、爆炸。
 - (6) 变压器过负荷。
 - (7) 变压器受潮。
 - (8) 变压器油温过高。
 - (9) 强油、风冷部分或全停。
 - (10) 有载调压开关故障。
- 3.2.3.4 母线故障
- (1) 母线设备短路。
 - (2) 母线设备接地。
- 3.2.3.5 线路故障
- (1) 相间短路。
 - (2) 接地短路。
 - (3) 断线。
 - (4) 其他的线路故障
- 3.2.3.6 互感器的故障
- (1) 内部相间短路。
 - (2) 内部匝间短路。
 - (3) 喷油
 - (4) 爆炸

- (5) 着火、冒烟
- (6) 接地
- 3.2.3.7 电容器、电抗器故障
 - (1) 内部故障。(鼓肚、喷油、过流、着火、爆炸)
 - (2) 外部故障。(套管裂纹、引线接地短路、接头发热发红)
- 3.2.3.8 继电保护及自动装置故障
 - (1) 保护装置拒动、误动。
 - (2) 保护装置异常。
 - (3) 定值异常。
 - (4) 重合闸装置异常。
 - (5) 低周减载拒动、误动。
 - (6) 高频切机拒动、误动。
 - (7) 其它自动装置故障。
- 3.2.3.9 自动化设备装置故障
 - (1) 自动化装置拒动、误动。
 - (2) 自动化装置异常。
 - (3) 自动化装置稳控设备的故障。
 - (4) 自动化装置系统工况异常
- 3.2.3.10 交、直流系统故障
 - (1) 整流装置故障。
 - (2) 蓄电池故障。
 - (3) 直流系统正负极接地故障。
 - (4) 直流系统绝缘降低。
 - (5) 交、直流失电。
 - (6) 站用电的故障
- 3.2.3.11 二次回路故障
 - (1) 二次回路熔丝熔断。
 - (2) 二次回路小开关误跳。
 - (3) TV 二次短路。
 - (4) 二次回路接地、断线。
- 3.2.3.12 其它故障及异常
 - (1) 由各种原因引起的系统振荡。
 - (2) 保护死区发生的故障。
 - (3) 保护重叠区发生的故障。
 - (4) 一次设备发生的各种异常。
 - (5) 二次设备发生的各种异常。
 - (6) 遥测系统故障。
 - (7) 遥信系统故障。
 - (8) 遥调系统故障。
 - (9) 遥控系统故障。
 - (10) 全所失电。

▲3.2.3.13 为证明投标方能够实现本项目要求的上述功能，针对故障：“变电站某 220kV 出线（出线断路器 SF6 气压低闭锁异常）发生近区相间故障，线路保护动作跳闸失败、启动母线失灵保护动作切除故障点”，投标文件应提供已有

仿真系统模拟此类故障的下述全部截图：

1) 故障前该变电站主接线监控画面截图，要求断路器位置、有功值、无功值、电压值、电流值正确；

2) 故障后该变电站主接线监控画面截图，要求断路器位置、有功值、无功值、电压值、电流值正确；

3) 故障后监控告警信息窗截图，要求断路器 SF6 气压低闭锁告警、线路保护装置、两套母线保护装置、相关断路器的动作时序正确。

3.3 巡视系统功能

按照部颁与现场制定的运行规程对站内外设备和回路进行巡视，包括巡视所用的所有专用工具（包括绝缘靴、绝缘手套、安全帽、望远镜、护目镜、防毒面具、测温仪、绝缘挡板、操作棒、各电压等级验电器、接地线、围栏、标示牌、绝缘棒。）采用虚拟现实（VR）技术、以三维方式展现变电站所有设备，包括变电站正常、异常、事故工况下的现象和声音等现场所有场景，在时间、空间上极其逼真地仿真设备的正常与异常状态，达到身临其境的效果。如变压器、电抗器的油温、油位、油色、吸潮颜色、高低压引线接头是否发热、冷却系统运行情况，电容器的外壳有无变形，熔丝、接头、套管是否完好，瓷瓶的破碎与闪络等，并可对现场设备进行相应操作和处理。

对学员巡视情况进行跟踪，出具学员详细巡视记录表。

所有可操作的设备和可观测的动态量都属巡视训练内容。

3.4 教练员台功能

教练员可灵活控制培训的模式、内容和进程，对培训进行控制、监视和管理。可在教练员台上根据培训需要自动生成教案、试题，设置、激发各种单个或复合故障，模拟调度员下达调度命令等。在教练员机上能直接方便地更改学员机上一次设备状态或保护状态和终止其处理过程，系统能同步根据更改的一次设备状态或保护状态进行参数计算，并能在更改后的一次设备状态或保护状态下，进行倒闸操作或设置故障。

除了按照事件表设定的事件触发事件外，还可通过条件来触发事件，这就需要编辑策略，编辑的策略即为触发事件的条件。可以作为触发事件的事件类型有故障异常事件、辅助系统事件、开关刀闸事件、二次设备事件、二次开关事件。

3.5 学员台功能

学员台为变电学员台。

学员台为通用终端，可按照需要运行不同的内容。变电站仿真系统、巡视系统、集控站监控系统、操作票工作票系统、培训评价考核系统、教练员台功能软件等所有软件均可按需在学员台上单独或同时运行。

变电学员台人机界面和监控功能与变电站实际监控系统相同，并可根据培训对象不同调用不同的监控、监视界面。变电学员可以在学员台上进行变电运行的一切日常活动，包括监视、操作、调整、巡视、事故处理和各种报表、报文的查看，填写工作票和操作票等一切工作内容和过程符合变电运行、保护、通讯等相关现场规程，与实际仿真变电站工作内容和过程相同。

3.6.1 变电站设备场景系统

为了更好的完成漫游、观察和操作，系统主窗口一共设置了 7 种功能选择，分别是运行模式、检查模式、异常处理、特殊操作、切换场景、选择工具、导航图。

3.6.2 变电站监控仿真系统

用户通过仿真监控系统的总控台，具有调出画面监视程序和告警监视程序、用户登录和注销、系统退出等功能。

3.6.3 告警信息窗

告警信息窗在有新信号产生时会自动弹出，也可通过总控台界面“告警”“实时告警”按钮，弹出告警信息窗。

选中某条报文，单击“单条确认”，可生成一条报文检查记录。

告警信息显示区域中所有信息按时间倒序排列，最新的告警信息在最上面。

3.6.4 后台监控遥控操作

- 1、在监控间隔图中，左键单击开关或刀闸，点击遥控。
- 2、输入操作员密码和监护员密码后，点击遥控执行，发出遥控命令。

3.6.5 后台监控检查操作

学员登入后，鼠标右键单击压板、遥信、遥测、开关、刀闸及地刀，都会实时形成学员的检查记录，并在画面底部提示。

3.6.6 运行控制终端

名称	技术指标	数量
运行控制终端	配备运行考核控制终端，多级联动综合展现真实的生产过程场景，操作终端要求 Intel 酷睿 i5-12500（六核 3.0GHz）/B660 主板芯片组 /8GB-DDR4 内存 /256GB SSD+1TB 硬盘，兼容仿真软件操作系统，配套操作实训桌椅，配套实训室文化建设改造及综合布线	10 套

4. 技术指标

4.1 稳态运行指标

- (1) 稳态运行时，仿真系统的计算稳定，潮流收敛精度(功率误差) $< 0.01\text{MW}$ 。
- (2) 仿真系统的仪表误差，不大于参考对象相应的仪表、变送器及有关仪表系统的误差；
- (3) 保证质量和能量守恒，不能违背物理定律和实际运行情况。

4.2 暂态运行指标

- (1) 暂态运行包括各种大小扰动、非正常运行、故障等工况，本仿真系统应能满足下述要求：
 - (2) 各参数的动态变化符合对有关暂态过程分析结果，不违反物理定律。
 - (3) 模型与算法应有良好的收敛性。
 - (4) 电力系统故障往往导致局部电网电压与频率不正常，所以电力系统模型应能用于相当宽的电压与频率范围。
 - (5) 全网保护和自动装置的动作与实际一致。
 - (6) 扰动和故障情况下设备现象、电网参数的变化、故障录波与现场一致。
 - (7) 仿真系统的报警与参考系统一致。

4.3 实时性指标

为保证网络算法、模型运算及对操作响应的实时性，选择的模型与算法应尽可能快，所有仿真软件应尽可能优化程序，占用资源少，有足够的实时响应速度。本仿真系统相应指标控制如下：

- 1、仪表、光字牌、监控系统反应顺序、速度与实际系统相同。
- 2、对学员台的操作，系统响应速度与实际系统相同；
- 3、快过程模型运算的周期 ≤ 0.01 秒；最大不大于 0.05 秒。

- 4、慢过程模型运算周期 ≤ 0.1 秒。
- 5、全系统数据刷新周期 ≤ 5 秒。
- 6、遥信变位时间 ≤ 2 秒。
- 7、开关变位告警响应时间 ≤ 2 秒。
- 8、画面调用响应时间 ≤ 2 秒。
- 9、多媒体调用响应时间 ≤ 5 秒。

5、技术实力要求

5.1 专利

具有电网及变电站仿真技术相关专利 10 项以上，并提供如下专利：

基于电网变电站一体化仿真的调控一体仿真培训系统

面向电力系统仿真的二次设备模型构建方法

面向电力系统仿真的实时分布式仿真平台系统

一种分布式区域电网变电站三维仿真培训系统

继电保护装置液晶屏仿真的实现方法

一种适用于变电运维一体化仿真的培训管理机器人系统

5.2 软著

具有电网及变电站仿真技术相关软著 10 项以上，并提供如下软著：

变电运维一体化仿真培训系统 V1.0

二次回路仿真培训软件

三维变电站仿真培训系统

变电站职场体验仿真培训系统

变电站综合仿真培训系统

二、发电集控运维1+X证书考核标准仿真实训系统

1、发电集控运维 1+X 证书考核标准仿真实训系统

本系统共包含两套机组分别为：**330MW 亚临界机组和 660MW 超超临界机组及配套运行操作服务终端**

一、330MW 亚临界机组

根据 1+X 发电集控运维职业技能等级证书培训与考核的需要，对现有 330MW 亚临界机组仿真系统进行改造，增加以下内容：

(1) 330MW 亚临界机组操作票演示教学系统

(2) 330MW 亚临界机组实操题库与考核系统

锅炉型式为亚临界参数、汽包自然循环、四角切圆燃烧、直吹式制粉系统、一次中间再热、摆动燃烧器调温、平衡通风、单炉膛“ π ”型布置、全钢架全悬吊结构、紧身封闭、炉顶带金属防雨罩、固态排渣煤粉炉。锅炉型号为 DG1080/17.4-II6 型。

锅炉为单炉膛，炉膛的四周是膜式水冷壁，在炉膛上部布置有壁式再热器和全大屏过热器，炉膛出口处布置有后屏过热器，炉内还布置了顶棚过热器和包墙过热器。水平烟道中沿烟气流向依次布置了中温再热器、高温再热器和高温过热器。在后竖井烟道中沿烟气流向依次布置了低温过热器和省煤器。锅炉的尾部烟道布置了二台三分仓空气预热器。

汽轮机为 CC330-16.67/3.5/1.0/538/538 型亚临界、中间再热、单轴、两缸两排汽、双抽汽凝汽式供热汽轮机，高、中压合缸，通流部分反向布置，高压缸为双层缸结构，中压部分为隔板套结构，低压缸为双缸双排汽对称分流，低压缸采用焊接双层缸结构。

本机组共设 8 级回热抽汽，分别供 3 台高压加热器，1 台除氧器，4 台低压加热器；机组配有两台 50%容量的汽动给水泵，配有 30%容量的电动给水泵作为机组启、停时向锅炉上水或备用。

发电机为 QFSN-330-2-20B 型三相、二极、隐极式转子同步交流发电机，由汽轮机直接驱动，其旋转方向从汽轮机头向发电机看为顺时针。

发电机采用“水氢氢”冷却方式，即：定子线圈及其引线、出线采用水内冷，转子绕组采用氢冷，定子铁芯及端部采用氢气表面冷却。机座内的氢气由转子两端的轴流式风扇进行闭式循环。发电机中性点经接地变接地。发电机励磁采用静止半导体自并励系统，主要由励磁变压器、微机励磁调节器组成。

330MW 机组的仿真范围如下：

1、锅炉模型

锅炉系统的仿真模型严格符合能量、质量、动量的守恒定律和热物理学原理，能正确反映变工况下的动态特性，如各层燃烧器切除、投入、调节风(包括一、二次风)、粉量、燃烧器内外二次风调整等操作对燃烧状态的影响，对锅炉燃烧及热效率的影响。

锅炉受热面的管壁损坏或泄漏考虑在仿真数学模型中，炉内传热过程按两个阶段考虑，第一阶段是在燃料和金属管之间传热，第二阶段是金属管和工作流体(水、汽水混合物、蒸汽)之间传热、对流及辐射换热应与所建立的数学模型符合。

锅炉模型从燃料到金属的传热率要考虑传热面的清洁度，从金属到工作流体之间的传热应考虑管子的内壁结垢的影响。金属管的热惯性，特别是在机组起停过渡状态中所起的作用，模型要真实地反映。积灰、结渣、吹灰、除焦等对换热效率的影响要在热传导模型中反映。

锅炉仿真范围主要包括：

- 汽水系统
- 燃烧系统
- 燃油系统
- 风烟系统
- 制粉系统
- 等离子点火系统
- 疏水排污系统
- 空气预热器系统
- 空压机系统
- 吹灰系统
- 炉管泄漏系统

2、汽机模型

本仿真系统的汽轮机模型是建立在热力学、传热学和流体力学基本原理的基础上，能反映仿真对象的物理过程。对快、慢两类不同的过程，快过程，如压力变化、流量变化和机械传动。慢过程，如温度变化、焓变化应真实地表现在模型中。

汽机模型对瞬时过程考虑了容积迟延的影响。如发电机甩负荷紧急停机时，汽轮机的调速油压、转速的变化过程和凝汽器内压力、温度和流量的变化过程。

汽机模型能够反映设备和系统之间的相互影响，设备和系统的模型，包括了由于误操作而引起的故障。手动门对设备和系统的影响在数学模型中反映能够。

汽机模型能精确仿真汽机与锅炉、电气相互关联的参数，能够仿真汽轮机各系统的联锁保护试验及其它有关试验。

汽机模型的仿真范围主要包括：

主蒸汽、再热蒸汽系统

抽汽系统

高压加热器系统

低压加热器系统

真空系统

凝结水系统

辅助蒸汽系统

汽机润滑油系统

汽机 EH 油系统

给水系统

发电机密封油系统

发电机氢气系统

发电机冷却水系统

循环水系统

工业水系统

供热系统

油净化系统

汽机安全监视系统

3、电气系统模型

本仿真系统的电气系统模型对凡运行人员能在计算机上操作的设备、画面均能在仿真机上实现，包括顺控和单操。凡运行人员在就地巡视、维护、操作及事故处理的设备和系统均能通过仿真机进行仿真。

能读取运行机组的各种参数数据，在仿真机上再现故障现象，使运行人员能在仿真机上对发生过事故或故障进行仿真培训。能随时修正仿真机的各种参数和故障现象，使其与实际设备的运行状态相一致。能记录运行、操作、试验、事故处理的各种资料并能按要求显示趋势曲线，反映电气回路各种故障情况下的瞬时变化。

电气系统模型的仿真范围主要包括：

发电机

励磁系统

主变压器

高厂变

起备变

6KV 母线

低厂变

400V 母线及就地专用盘等一次设备。

UPS 系统

直流系统

电气光字牌报警

二、660MW 超超临界机组

根据 1+X 发电集控运维职业技能等级证书培训与考核的需要，对现有 660MW 超超临界机组仿真系统进行改造，增加以下内容：

(1) 660MW 超超临界机组操作票演示教学系统

(2) 660MW 超超临界机组实操题库与考核系统

1. 锅炉：

锅炉采用了东方锅炉（集团）股份有限公司生产的 DG2060/28.25-II2 型锅炉，超超临界参数、变压直流炉、单炉膛、一次再热、平衡通风、露天岛式布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构、对冲燃烧方式，II 型锅炉。风烟系统按平衡通风方式设计，分为一次风、二次风和烟气三部分。空气预热器采用容克式三分仓空气预热器，每台炉设 2 台 50% 容量的静叶可调轴流式汽动引风机和一台 30% 容量电动引风机，2 台 50% 容量的动叶可调轴流式送风机，2 台 50% 容量的动叶可调轴流式一次风机。汽动引风机采用小汽轮机驱动，负荷在 50%THA 以下转速定速，利用入口导叶调节，当负荷超过 50%THA 时入口导叶调节大于 80% 开度，利用转速进行调节。两台炉合用一座高 240m，单管套筒式烟囱，烟气经过脱硝、脱硫后达标排放。制粉系统采用中速磨煤机冷一次风机正压直吹式系统。每台锅炉配置 6 台 HP—1003 型中速磨煤机及 6 台 HD-BSC 电子称重式给煤机，BMCR 工况下 5 台运行，一台备用。

2. 汽机

汽机配置东方汽轮机厂生产的超超临界、一次中间再热、单轴、四缸四排汽、双背压、抽汽凝汽式汽轮机。汽轮机型号为 C660/578-27/0.4/600/600 型，额定出力 660MW，最大连续出力 733MW，额定转速 3000rpm。机组采用复合变压运行方式，主蒸汽管道采用双-单-双连接方式，再热蒸汽采用双-单-双连接方式。高压汽缸为双层缸结构，内缸、外缸之间夹层仅接触高压排汽。中压汽缸为双层缸及隔板套结构。两个低压缸分别采用对称双分流结构，中部进汽，自中分面将汽缸分为上下两个半缸。低压缸采用三层缸，第一层为安装通流部分组件的内缸。第二层为隔热层。第三层为外缸，用以引导排汽和支撑内缸各组件。

3. 电气

发电机采用东方电机股份有限公司生产的型号为 QFSN-660-2-22B 三相同步汽轮发电机。额定功率 660MW，发电机额定容量 733.33MVA（扣除静态励磁功率），额定电压 22kV，额定功率因数 0.9，最大连续输出容量 776MVA。该发电机采用自并励静态励磁，励磁调节装置采用东电 OEM 组装的 UNITROL6800 励磁系统。

660MW 机组的仿真范围如下：

3.1、锅炉模型

锅炉系统具有完整、严格、精确的数学模型，过程数学模型遵守能量、质量及动量守恒定律，能正确反映受热面能量、质量贮存能力大小对过程模型的影响，特别是在机组启动、停机过渡状态中所反映的现象与实际相吻合。能正确反映不同热负荷下，水冷壁热水、蒸发段的动态变化以及由此引起的汽水阻力变化特性。

能正确反映模型应反映在不同工况下，受热面对辐射热和对流热吸收的变化，换热面布置等对热传导系数的影响。

锅炉燃料和燃烧系统以及燃烧物理过程建立完整、严格、精确的模型，能逼真反映出燃烧系统从点火、投油、投粉到正常燃烧、灭火的全过程。燃烧过程模型能正确反映不同工况下（如不同配风工况、燃料量变化、燃油工况等）对炉内换热的影响。应包括炉内的热化学反应过程，各种燃烧产物的成分含量要计算出来。特别是对飞灰可燃物含量计算要有精确计算模型，要反映出煤粉细度、风量、炉膛温度、配风情况变化时，该项的变化情况。

锅炉系统模拟的主要范围包括：

汽水系统
燃料燃烧系统
燃油系统
风烟系统
制粉系统
微油点火系统
疏水排污系统
空气预热器系统
空压机系统
吹灰系统
炉水循环系统

3.2、汽机模型

模型能正确反映汽轮机各级蒸汽压力与流量之间的关系，并能正确反映在多种负荷工况下机组效率的变化，主蒸汽参数、主蒸汽流量、凝汽器真空、各段抽汽等因素对汽轮机负荷的影响，提供汽轮机和各部分的流量、温度、压力和主汽门、调汽门的流动特性，包括开启排汽缸喷水等与汽轮机本体有关的操作对汽轮机的影响均能在模型中得到相应的反映。

汽轮机转矩和速度模型以输入汽轮机的能量与发电机负荷之间的能量平衡来计算，同时计入汽轮机转动惯量、转换效率、机械损失、电气损失等。以汽轮机级效率作为蒸汽参数和流量的函数。

汽轮机启动模型能仿真在各种状态下的启动及停机的全过程。各种启动过程、变动工况及异常工况对轴和轴承的影响。

金属温度模型能正确反映进汽阀、汽缸及转子金属温度随蒸汽流量、蒸汽温度的变化情况，以及各种工况下的缸体热膨胀及胀差的动态变化情况，仿真各种启、停和运行工况下金属温度和温差，该值是蒸汽温度、环境温度及蒸汽温度变化率的函数关系。汽轮机在各种运行工况和突然事故情况下的轴向位移变化情况。

汽机系统的仿真范围主要包括：

主蒸汽、再热蒸汽系统
抽汽系统
高压加热器系统
低压加热器系统
真空系统
凝结水系统
辅助蒸汽系统
轴封蒸汽

汽机润滑油系统
汽机 EH 油系统
给水系统
发电机密封油系统
发电机氢气系统
发电机冷却水系统
循环水系统
工业水系统
润滑油净化系统

3.3、电气系统模型

本仿真系统的电气系统模型能正确反映发电机各种运行方式，如启动到满负荷，失磁异步运行过程、非全相运行、非同期并列、进相运行、发电机振荡、谐振等。正确反映负荷变化、甩负荷、汽机超速、发电机与系统发生振荡、发电机误上电等。

在各种运行工况和不同负荷下，准确实时模拟发变组的动、静态行为，现象与参照机组一致。准确实时地模拟发变组的机电暂态过程、电磁暂态过程和长期动态过程，符合转矩和功率方程和转子动态方程。准确地模拟发变组的各特性曲线，包括空载、短路、外特性、调节特性、 $V=F(n)$ 特性和各种负载下不同功率因数时的负载特性。准确模拟发变组的所有保护，在机组故障或异常情况下，保护的状况、音响与光字报警等现象与参照机组一致。

准确模拟发变组的同期系统。手动准同期，自动准同期，同期装置的操作现象与参照机组一致。正确地模拟主变压器的冷却系统。冷却系统运行、辅助、备用冷却组的连锁保护关系，以及冷却组多寡对变压运行的影响，冷却系统异常时，能够正确地反映出主变油温的变化。

电气系统模型的仿真范围主要包括：

发电机励磁系统：主励磁机、副励磁机、励磁变压器等一次励磁主回路、备用回路、起励回路及其所有设备；整流柜、励磁调节器及二次励磁回路中的所有硬件和软件功能等

同期系统：自动准同期回路、手动准同期回路、同期系统与 DEH 通讯、同期回路中的 PT、刀闸、继电器、同期装置、同期系统开关等

6KV 厂用电系统：高压厂用变压器及其冷却系统、高压启动/备用变压器及其冷却系统、6KV 工作母线、6KV 厂用电系统 PT、CT、高厂变低压侧开关、启动/备用变压器高、低压侧开关、有载调压装置、6KV 厂用电系统保护、高压厂用负荷及开关等

400V 厂用电系统主要包括：低压厂用工作变、低压厂用公用变、其它变压器、低压厂用工作母线、低压厂用公用母线、低压厂用变高低压侧开关、低压厂用负荷等。

直流系统、UPS 系统、保安电源及柴油发电机组系统主要包括：直流系统、保安电源及柴油发电机组系统、UPS 母线、开关、刀闸等。

二、软件升级功能要求

1、操作票演示教学系统

操作票系统针对机组仿真操作训练，将仿真机组的启动、停止、各种状态运行、以及故障模拟操作分为若干个工作任务，对这些任务一一编写操作票，可对每一个操作票进行单独的操作培训。在培训过程中，采用演示、练习交替，任务

驱动，目标导向的培训模式。学员培训时，只需要在操作票上，点击右键，即可以弹出“演示模式”、“练习模式”的选项，实现培训的演示与练习相结合的培训模式，针对学员的个人需要不同选择不同的操作票进行练习，快速提高学员的技术水平和操作能力。

操作票的教学演示功能，即仿真系统在演示模式下工作，学员选定学习任务后，右键打开演示模式，系统会完成以下工作：

自动重置仿真机工况，系统自动调入规定任务所需要的初始工况，

自动打开所需要操作的界面，包括 DCS 操作画面和就地操作画面，

自动演示操作过程，

自动语音播报，介绍任务的操作过程和相关内容。

操作票具有自我练习功能，在练习模式下，学员可以自我练习，系统可以自动重置工况，设置操作环境。然后学员根据操作票说明，逐一进行操作，如按操作步骤打开操作界面，包括 DCS 操作界面和就地操作界面。通过练习，可达到选择任务后，不看操作步骤说明，也可以完成任务规定的操作。

操作票的管理功能，学员打开操作票题库，可以看到以下各类操作票：

启动操作票

停机操作票

事故处理操作票

2、实操考核系统

火电机组实操考评软件，由考题模板、模块化考题、自定义考题、试卷库四部分组成。在考评时，教师选择考卷可同时对多个学员进行考评，考评结束后直接得出成绩汇总表和含有学员信息的考评报告。考评报告的内容包括：

考试信息：包括考生的姓名、得分、考试开始时间、结束时间。

考题信息：包括考题的名称、得分、难度、判分的细则。

实操考核题库包括试题及其相对应的考核工况。针对仿真实训教学，可以对本考试系统软件进行二次开发。

3、培训功能

建设发电集控运维发电仿真实训系统，具有向受训人员提供参考机组的各种运行特性的能力，可以进行机组的正常工况操作，异常工况操作以及反事故演练。操作员的所有操作所产生的结果响应，都应该与参考机组的实际运行特性一致。

3.1 正常/异常工况培训

仿真实训系统必须能可连续、实时地仿真参考机组的正常/异常工况运行培训。仿真模型软件可根据具体的运行操作，模拟机组的运行特性。通过操作员站画面显示机组的运行状态和模拟量参数，提供机组的报警和保护。

3.2 反事故演练功能

仿真机需具备可实时地仿真参考机组设备故障、性能下降、装置损坏和自动控制功能失灵等异常和事故工况。能仿真程度不同和渐变的故障，程度可在 0-100 的范围内可调，如锅炉管道泄漏、真空下降、凝汽器管道结垢等。

所仿真的故障包括教练员设置的故障和由于操作不当而引起的故障，各种情况下均应与现场反应相一致。

3.3 学生、学员培训应能考察以下能力

发电机组生产过程的熟悉（通过熟悉 DCS 系统各画面，掌握机组的各系统生产过程）

发电机组技术参数、技术规范的熟悉。

培训学员机组集控运行巡检的能力,包括对系统与设备巡检,选择巡检工具,记录巡检设备运行的状态数据;以及对所管辖设备的进行维护操作等。

掌握发电机组主要控制系统的功能、工作原理及其工作方式。

熟悉发电机组的冷态、热态启动过程。

熟悉发电机组正常运行过程中各种参数的调整。

熟悉发电机组的停机过程。(包括额定参数停运和滑参数停运;故障停运和紧急故障停运)。

掌握发电机组实际运行过程中常见事故的分析判断及处理。

3.4 教练员站功能

仿真系统应提供以下教练员站的功能:

启动 / 停止

启动时间应不大于 3 分钟,模型运行的正常退出及事故停止操作命令不应超过两步。

运行 / 冻结

通过命令或功能键完成。当选择“冻结”时,操作员站的任何操作不起作用。选择“运行”时,仿真机将从冻结时的断点开始运行。重新选择初始状态或重新启动时,不受冻结限制。

快速与慢速

仿真机通常在实时状态下运行,通过键盘命令使仿真机离开实时状态而改变运算速度,速度选择的范围为 0.1~10 倍。

初始状态选择

仿真机提供标准培训工况 20 个,教练员可以使用任何一个进行初始条件的存储。

快存功能

在仿真机运行过程中任何时间点记录机组工况,将运行工况暂存或永久存储,每次快存时间应小于 300ms。

回退功能

培训过程中,教练员能停止训练并重新返回到已培训过程中的某一点,返回追踪时间至少为 240 分钟。

重演功能

重演功能用于重现过去某一时间段对仿真机的操作,可重演 4 小时训练过程。

超控功能

教练员通过输入某 I/O 参数值强行代替系统仿真值,使系统出现假报警,错误指示或指令从而形成随机故障,但不造成模型运行的改动。

事件记录

系统可实时记录教练员操作和学员的所有操作,包括 DCS 操作员站、就地操作台及抽点存储操作的相关信息,并能进行事故追忆和重演。

变量监视

运行过程中对运行变量在线监视,单个或成组显示在 LCD 窗口中。采用列表、曲线或棒状图形式显示。

故障加入

教练员能利用已有的单个故障,组合成组故障,教练员可以设置这些故障发生的时间先后或持续时间长短。成组故障至少应可设置 40 组,每组可组合 20 个单个故障。

边界参数

在任何工况下，教练员都可通过教练员站来改变当时的边界参数，引起工况的变化。如环境温度、大气压力、空气湿度、电网频率、循环冷却水温度等。

具备工程师终端功能

软件工程师可在线运行分析，并能实现系统软件的修改、扩充、二次开发。

在线修改被仿真设备的特性：

如各种阀门节流特性、漏流大小，管道的阻力特性，风机叶片的磨损等，并可随时恢复至修改前的状态。

趋势图功能

使用多种方式监视模型运行，应至少包括过程量列表、棒图监视、单窗口多曲线、多窗口多曲线等过程量监视方式，并可构置所要监视的过程量。

3.5 仿真平台的功能

仿真系统支撑平台应具有系统设计、调试、数据库管理、运行管理、网络通讯等功能，在仿真系统建模、仿真系统调试、运行管理功能上必须对采购方开放。平台应该是插件式架构，能够实现功能扩展，不使用服务器架构的软件，供应商应提供一套具有自主知识产权的仿真系统支撑平台，发电仿真实训系统应基于此仿真支撑平台而开发，便于实训系统的统一管理与维护与升级。

三、运行操作服务终端

名称	技术指标	数量
运行操作服务终端	配备运行考核控制终端，多级联动综合展现真实的生产过程场景，操作终端要求 Intel 酷睿 i5-12500（六核 3.0GHz） /B660 主板芯片组 /8GB-DDR4 内存 /256GB SSD+1TB 硬盘	30 套
实训室文化建设	配套网络综合布线和定制教学桌椅，展现小组教学文化氛围，配套教室文化建设和基础改造。	1 宗

三、可编程控制器系统应用综合实训室

1、可编程控制器系统应用实训装置（初中级）

一、设备概述

可编程控制器系统应用实训考核装置以模块化设计，符合可编程控制器系统应用编程职业技能等级标准要求。系统融入机械传动技术、电子电工技术、智能传感技术、可编程控制技术、机器视觉技术、计算机技术、串口通信技术、以太网通讯技术等先进制造技术，涵盖机械制造与自动化、电气自动化、机电一体化、机电设备维修与管理、物联网、智能传感、智能制造等多门学科的专业知识。

▲功能需完全满足可编程控制器系统应用编程职业技能等级标准的考核要求。

二、技能考核标准与功能模块要求

序号	名称	功能模块元器件	技能考核工作任务
1	基础实训模块	端子排、PLC 基础控制模块	<ol style="list-style-type: none"> 1. 输入回路连接 2. 输出回路连接 3. 外围设备的连接 4. 可编程控制器基本逻辑指令编程 5. 可编程控制器应用指令编程
2	电气安装模块	交流接触器、继电器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 输入回路连接 2. 输出回路连接 3. 外围设备的连接 4. 可编程控制器基本逻辑指令编程 5. 可编程控制器应用指令编程
3	外围控制器套件	PLC 及扩展模块、触摸屏、步进、伺服、变频器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 外围设备的连接 2. 可编程控制器参数配置 3. 人机界面参数配置 4. 扩展模块参数配置
4	桁架机械手模块	磁性开关、光电开关、气缸、电磁阀	<ol style="list-style-type: none"> 1. 输入回路连接 2. 输出回路连接 3. 外围设备的连接 4. 可编程控制器基本逻辑指令编程 5. 可编程控制器应用指令编程 6. 人机界面编程 7. I/O 口连接的调试 8. 人机界面的调试 9. 简单控制系统的调试
5	分拣模块	变频器、三相电机、编码器、光纤传感器、光电传感器、视觉系统	<ol style="list-style-type: none"> 1. 独立轴速度控制系统设计 2. 工业视觉系统设计 3. 独立轴速度控制系统编程 4. 可编程控制器参数配置 5. 独立轴运动控制系统参数配置

			6. 工业视觉系统配置 7. 独立轴速度控制系统调试
6	旋转供料模块	步进系统 减速器	1. 独立轴角度位置控制系统设计 2. 可编程控制器参数配置 3. 独立轴运动控制系统参数配置 4. 独立轴角度位置控制系统编程 5. 独立轴角度位置控制系统调试
7	输送模块	伺服系统 导杆气缸 气动手抓 直线模组	1. 独立轴直线位置控制系统设计 2. 可编程控制器参数配置 3. 独立轴运动控制系统参数配置 4. 独立轴直线位置控制系统编程 5. 独立轴直线位置控制系统调试
8	立体仓库模块	步进系统 无杆气缸 丝杆模组	1. 独立轴直线位置控制系统设计 2. 可编程控制器参数配置 3. 独立轴运动控制系统参数配置 4. 独立轴直线位置控制系统编程 5. 独立轴直线位置控制系统调试
9	龙门搬运模块	伺服系统 直线模组	1. 独立轴直线位置控制系统设计 2. 可编程控制器参数配置 3. 独立轴运动控制系统参数配置 4. 独立轴直线位置控制系统编程 5. 独立轴直线位置控制系统调试
10	温度控制模块	显示仪表, 控制电路板	1. 简单过程控制系统设计 2. 简单过程控制系统参数配置 3. 简单过程控制系统编程 4. 简单过程控制系统调试

三、技术参数

- 1、输入电源：AC380V±10% 50HZ
- 2、输入功率：≤3 kw
- 3、工作环境：1) 温度：-10℃~+40℃ 2) 相对湿度：≤90%(+20℃) 3) 海拔高度：≤4000m 4) 空气清洁，无腐蚀性及爆炸性气体，无导电及能破坏绝缘的尘埃
- 4、设备重量：单台设备约 400 kg
- 5、单台设备外形尺寸（长宽高）：≥1800mm×1200mm×2000mm

6、本质安全：具有接地保护、漏电保护功能，安全性符合相关的国家标准。采用高绝缘的安全型插座及带绝缘护套的高强度安全型实验导线。

四、模块功能要求

4.1 标准实训台

▲响应文件内提供实训台图片。

实训台承重主体为铝型材拼接而成，侧封板为钣金；为功能模块的安装提供标准的安装接口。保证稳定牢固。预留有标准气源和电气接口安装位置，根据模块的使用情况进行功能的扩展。为功能模块、功能套件提供稳定的电源。平台上可牢固安装多种多功能多应用模块。平台上可牢固安装多种多功能多应用模块。实现模块的自定义位置安装，实训台内部用于模块和工具存放。

4.2 工件套装

响应文件内提供至少六种工件图片。

工件套装主要由工件一、工件二组成。根据实训项目的不同可以单独或组合使用工件套装完成不同的作业流程。

4.3 电气接口套件

▲响应文件内提供套件图片。

适配机电一体化功能模块，为模块提供稳定的电源和控制器资源。

主要包含：电气接口模块、工业交换机、接线端子等。

接线端子包含通用接线端口和安全连接插座，适用于两种方式的接线

4.4 外围控制器套件

响应文件内提供套件图片。

通过组 IO 和以太网与机器人进行数据交互，辅助机器人对特殊功能模块进行控制。

主要包括：可编程控制器（PLC）、触摸屏、伺服系统、总线远程 I/O 模块等组成。

4.5 基础实训模块

▲响应文件内提供模块图片。

主要由基础 PLC 实训模块、网孔板、固定底板、快速电路连接器、接线端子、不锈钢拉手等组成。

用于 PLC 基础逻辑指令，应用指令的编程练习。掌握简单的 PLC 编程控制相关技能。

4.6 电气安装模块

▲响应文件内提供模块图片。

主要由接触器、继电器、网孔板、固定底板、快速电路连接器、接线端子、不锈钢拉手等组成。

用于电机控制系统的安装设计，通过 PLC 输入输出控制，完成三相电机的正

反转、星三角等控制。掌握简单的 PLC IO 控制相关技能。

4.7 旋转供料模块

▲响应文件内提供模块图片。

由步进旋转供料机构、旋转台、固定底板等组成。

模块适配外围控制器套件和标准电气接口套件。PLC 根据命令将料盘旋转到指定工位。学生可掌握步进控制系统在自动生产线中的应用和控制方法。

实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.8 ▲桁架机械手模块

响应文件内提供模块图片。

主要由气缸执行机构、固定底板、快速电路连接器、不锈钢拉手等组成。

用于搬运供料模块推出的原料瓶，通过伸缩气缸、气动夹爪进行夹料，并由气动滑台将物料搬运到下一单元模块，模块适配标准电气接口套件。PLC 通过数字量输入输出控制，完成零件的夹取与搬运控制。掌握简单的 PLC IO 控制相关技能。

可以与其他模块进行组合，实现不同的实训任务，实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.9 分拣模块

▲响应文件内提供模块图片。

主要由三相异步电机、编码器、视觉系统、传送机构、底板等组成。

通过独立轴速度控制可以用于原料瓶的分拣输送，根据视觉检测不同瓶体的颜色或形状，根据订单需求进行套件的分拣。

可以与其他模块进行组合，实现不同的实训任务，实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.10 输送模块

▲响应文件内提供模块图片。

主要由伺服电机、机械手、直线模组、底板等组成。

通过独立轴位置控制可满足原料瓶的多点位输送，将原料瓶输送至温控模块进行烘干，烘干完成后将原料瓶输送至立体仓库单元。

可以与其他模块进行组合，实现不同的实训任务，实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.11 ▲立体仓库模块

响应文件内提供模块图片。

主要由步进电机、机械手、气动滑台、底板等组成。

通过独立轴位置控制可满足原料瓶的出入库管理，根据订单要求进行出库，进行个性化产品的组装搭配。

可以与其他模块进行组合，实现不同的实训任务，实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.12 温度控制模块

▲响应文件内提供模块图片。

主要由控制电路板、仪表、底板等组成。

通过 PID 调节，为产品的烘干提供恒定的温度。

可以与其他模块进行组合，实现不同的实训任务，实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.13 仓储模块

▲响应文件内提供模块图片。

主要由固定底板、仓库、IO 信号采集、不锈钢拉手等组成。

立体仓库库位都有检测传感器，通过传感器检测物料，将数据传输给其它设备。输送模块机械手通过库位信息，进行样件的出入库。

出入库控制方式和顺序，应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.14 龙门搬运模块

▲响应文件内提供模块图片。

主要由龙门机构、仓储机构、固定底板、快速电路连接器、伺服系统、夹具等组成。

仓储用于储存工件套装，龙门机构用于联轴轴系统控制，可进行圆弧插补轨迹、涂胶等作业，与皮带传送模块组合可进行运动跟随装配作业。

可以与其他模块进行组合，实现不同的实训任务，实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.15 皮带传送模块

▲响应文件内提供模块图片。

主要由皮带输送机、编码器、固定底板、不锈钢拉手等组成。

皮带输送机由铝合金型材搭建而成，结构简单，美观大方。驱动方式采用单相交流调速电机驱动。

输送机上安装光电传感器与阻挡装置，用以检测与阻挡工件。调速电机驱动皮带，运输多种不同的零件。

实训任务设计可以参考教学资源提供的实训指导书里面的案例，用户亦可自主进行应用拓展。

4.16 工量具套件

主要包括：螺丝刀、斜口钳、尖嘴钳、剥线钳、内六角扳手、万用表等组成，主要用于设备维保检测。

4.17 智能登录系统

▲响应文件内提供登录界面、系统界面的截图、

该系统由指纹识别模块、以太网通讯模块、继电器控制模块、触摸屏人机交互模块组成。用户通过刷指纹来识别人员身份，验证通过后由服务器输出人员信息并在触摸屏上显示，用户确认无误后可以点击“确认”按钮进行设备上电，并生成二维码，可用于对接考核评价系统。

4.18 智能监控系统

响应文件内提供监控系统界面图片。

对用户实训及考核过程进行监控，与计算机通讯，具有录制存储功能，供后期查验，或为其他学生提供演示视频。

4.19 PLC 学习资源库

▲此部分学习资料全部是 PLC 学习，内容主要是讲解各品牌 PLC 的指令与功能、编程规则，在讲解过程中并有些针对性案例程序讲解。包含以下内容(需提供内容截图)：

- a) PLC 视频教程及软件类
- b) 松下 PLC 视频教程、软件及资料
- c) 欧姆龙 PLC 视频教程、软件及资料
- d) 西门子 S7-200/300/400、编程软件及资料
- e) 三菱 PLC 视频教程、编程软件/软件及资料
- f) AB PLC 视频教程及资料
- g) 施耐德 PLC 编程教学资料（文档）含软件
- h) 台达 PLC 培训教材含软件及资料
- i) 信捷 PLC 视频教程含软件资料

五、实训项目要求

1、可编程控制器系统连接

- (1) 可编程控制器输入输出回路的连接
- (2) PLC 和人机界面、变频器、步进、伺服等外围设备的连接

2、可编程控制器系统配置

- (1) PLC、HMI 与上位机通讯参数配置
- (2) PLC 输入输出模块、通讯模块的参数配置

3、可编程控制器系统编程

- (1) PLC 基本逻辑指令、应用指令的编程
- (2) 人机界面的编程及 PLC 变量的连接

4、可编程控制器系统调试

- (1) I/O 接口调试
- (2) 人机界面元器件的操控
- (3) 人机界面数据的输入输出操作
- (4) 人机界面的画面跳转及调试
- (5) PLC 程序的调试
- (6) PLC 与 HMI 联机程序的调试
- (7) PLC 与输入设备、执行机构的联机调试

5、可编程控制器系统设计

- (1) 独立轴速度控制系统（变频器）设计
- (2) 独立轴位置控制系统（步进、伺服）设计
- (3) 简单过程控制系统设计
- (4) 工业视觉系统设计

6、可编程控制器系统配置

- (1) 上位机的参数配置
- (2) PLC 的系统组态、脉冲及通讯参数配置
- (3) 变频器的参数配置
- (4) 步进系统的参数配置
- (5) 伺服系统的参数配置
- (6) 模拟量输入输出模块参数配置
- (7) PID 参数配置
- (8) 工业视觉系统配置

7、可编程控制器系统编程

- (1) 工程量与数字量之间转换
- (2) 变频器的数字量、模拟量、通讯控制编程
- (3) 伺服系统脉冲当量测试
- (4) 伺服控制系统原点回归、单段速多段速位置控制编程及数据通信
- (5) 调用 PID 指令完成温度 PID 参数设定
- (6) 过程控制中模拟量和工程量的转换
- (7) 过程控制程序的编写
- (8) 人机界面过程数据的图形化展示
- (9) 工业视觉系统编程

8、可编程控制器系统调试

- (1) PLC 程序的调试
- (2) PLC 与变频系统的调试
- (3) 速度控制系统（变频器）的参数调整及优化
- (4) PLC 与步进、伺服系统的调试
- (5) 位置控制系统（步进、伺服）的参数调整及优化
- (6) 温度 PID 的参数整定
- (7) PID 数据的图像化显示及优化
- (8) 工业视觉系统调试

六、 设备配置要求

序号	名称	主要技术要求	单位	数量
1	标准实训台	整体尺寸 $\geq 1800\text{mm} \times 1200\text{mm} \times 800\text{mm}$ 铝钢结构, 带滚轮 (滚轮带有刹车) 桌面: 至少由 12 条 (20*80*1800mm) mm 铝型材组搭而成; 底部空间: 用钣金隔成 AB2 个空间 A 面由一个电气安装网孔板用于灵活的布置、安装控制设备; B 面是一个储物空间用于存放模块设备。	套	1
2	工件套装	由 3 种绿、红、黄三种物料组成每种 2 个, 每种物料由瓶身和瓶盖组成	套	1
3	电气接口套件	主要包含: 电气接口模块、工业交换机、扩展模块、接线端子等。	套	1
4	外围控制器套件	见附表一 PLC 系统配置	套	1
5	PLC 基础实训模块	主要由基础 PLC 模块、、固定底板、快速电路连接器、不锈钢拉手等组成。	套	1
6	电气安装模块	主要由网孔板、继电器、接触器等组成	套	1
7	旋转供料模块	规格尺寸: $\geq 240\text{mm} \times 255\text{mm} \times 202\text{mm}$ 由步进旋转供料机构、蜗轮蜗杆减速机、原点检查传感器、端子单元等组成。 底板: 采用 $\geq (240*200*10)$ mm 的钢板, 保证了设备的稳定行和水平度; 底板上开	套	1

		有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。		
8	桁架机械手模块	规格尺寸： $\geq 397\text{mm} \times 200.8\text{mm} \times 467.5\text{mm}$ 主要由气缸执行机构、固定底板、快速电路连接器、不锈钢拉手等组成。 底板：采用 $\geq (260 \times 90 \times 10)$ mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。	套	1
9	分拣模块	规格尺寸： $\geq 500\text{mm} \times 416\text{mm} \times 483\text{mm}$ 主要由三相异步电机、编码器、视觉系统、传送机构、不锈钢拉手、底板等组成。 底板：采用 $\geq (500 \times 230 \times 10)$ mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。	套	1
10	输送模块	规格尺寸： $\geq 650\text{mm} \times 220\text{mm} \times 257.6\text{mm}$ 主要由伺服电机、机械手、直线模组、不锈钢拉手、快速电路连接器、底板等组成。 底板：采用 $\geq (650 \times 220 \times 10)$ mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。	套	1
11	立体仓库模块	规格尺寸： $\geq 370\text{mm} \times 290\text{mm} \times 585\text{mm}$ 主要由步进电机、机械手、气动滑台、不锈钢拉手、快速电路连接器、底板等组成。 底板：采用 $\geq (370 \times 290 \times 10)$ mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。	套	1

12	温度控制 模块	<p>规格尺寸：≥260mm×150mm×340mm</p> <p>主要由控制电路板、仪表、气缸、指示灯、不锈钢拉手、快速电路连接器、底板等组成。</p> <p>底板：采用≥(260*150*10) mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。</p>	套	1
13	仓储模块	<p>规格尺寸：≥340mm×115mm×191mm</p> <p>主要由固定底板、仓库、IO 信号采集、快速电路连接器、不锈钢拉手等组成。</p> <p>底板：采用≥(340*115*10) mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。</p>	套	1
14	龙门搬运 模块	<p>规格尺寸：≥730mm×650mm×800mm</p> <p>主要由龙门机构、仓储机构、固定底板、快速电路连接器、伺服系统、夹具等组成。</p> <p>支持撑架：有截面为(40*40) mm 方铝组搭建而成，由于方铝四面都有 U 型滑槽，提高了设备安装的灵活性。</p>	套	1
15	皮带传送 模块	<p>规格尺寸：≥456mm×200mm×195mm</p> <p>主要由皮带输送机、编码器、固定底板、快速电路连接器、不锈钢拉手等组成。</p> <p>底板：采用≥(240*200*10) mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。</p>	套	1
16	工量具套 件	<p>主要包括：螺丝刀、斜口钳、尖嘴钳、剥线钳、内六角扳手、万用表等组成。见附表二工具配置</p>	套	2

17	智能登录系统	该系统由指纹识别模块、以太网通讯模块、继电器控制模块、触摸屏人机交互模块组成。	套	1
18	智能监控系统		套	1
19	气泵	电 源：220V 额定功率：560W 排气量：58L/min 最高排气压力：0.8MPa 储气罐容量：23L 重 量：25KG	台	1
20	硬盘录像机	8 路	台	1
21	硬盘	1TB	个	1

附表一 PLC 系统配置

序号	名称	单位	数量
1	可编程控制器 PLC	台	1
2	模拟量输出模块	台	1
3	数字量输入输出模块	台	2
4	通讯模块	台	1
5	可编程控制器 PLC	台	1
6	触摸屏	台	1
7	变频器	台	1
8	变频器	台	1
9	步进驱动器	台	2
10	伺服驱动器	台	2
11	伺服驱动器	台	1

12	伺服驱动器	台	1
13	伺服电机	台	1
14	伺服电机	台	1
15	伺服电机	台	1
16	伺服电机	台	1
17	伺服编码器线缆	条	4
18	伺服电机线缆	条	4
19	抱闸线缆	条	1
20	工业视觉	套	1

附表二 工具配置

序号	名称	型号/规格	单位	数量
1	工具箱	430×230×200mm	1	只
2	内六角扳手	球头	1	套
3	尖嘴钳	160mm	1	只
4	剥线钳	适用电线范围 0.5mm - 6.0mm	1	只
5	压线钳	适用范围 0.25-6 平方	1	把
6	十字螺丝刀	3 寸	1	把
7	一字螺丝刀	3 寸	1	把
8	斜口钳	160mm	1	只
9	十字螺丝刀	3×75mm	1	把
10	一字螺丝刀	3×75mm	1	把
11	钟表螺丝刀	6 件套	1	套
12	万用表	便携式数显电工万能表 表电流表 3 位半	1	个

2、可编程控制器系统应用实训装置（高级）

一、设备概述

可编程控制器系统应用实训考核装置以模块化设计，符合可编程控制器系统应用编程职业技能等级标准要求。系统融入机械传动技术、电子电工技术、智能传感技术、可编程控制技术、机器视觉技术、计算机技术、串口通信技术、以太网通讯技术等先进制造技术，涵盖机械制造与自动化、电气自动化、机电一体化、机电设备维修与管理、物联网、智能传感、智能制造等多门学科的专业知识。

▲功能需完全满足可编程控制器系统应用编程职业技能等级标准的考核要求。

二、技能考核标准与功能模块要求

序号	名称	功能模块元器件	工作任务
1	基础实训模块	端子排、PLC基础控制模块	1. 输入回路连接 2. 输出回路连接 3. 外围设备的连接 4. 可编程控制器基本逻辑指令编程 5. 可编程控制器应用指令编程
2	电气安装模块	交流接触器、继电器	1. 输入回路连接 2. 输出回路连接 3. 外围设备的连接 4. 可编程控制器基本逻辑指令编程 5. 可编程控制器应用指令编程
3	外围控制器套件	PLC及扩展模块、触摸屏、步进、伺服、变频器	1. 外围设备的连接 2. 可编程控制器参数配置 3. 人机界面参数配置 4. 扩展模块参数配置
4	桁架机械手模块	磁性开关、光电开关、笔形气缸、电磁阀	1. 输入回路连接 2. 输出回路连接 3. 外围设备的连接 4. 可编程控制器基本逻辑指令编程

			<ul style="list-style-type: none"> 5. 可编程控制器应用指令编程 6. 人机界面编程 7. I/O 口连接的调试 8. 人机界面的调试 9. 简单控制系统的调试
5	分拣模块	变频器、三相电机、编码器、光纤传感器、光电传感器、视觉系统	<ul style="list-style-type: none"> 1. 独立轴速度控制系统设计 2. 工业视觉系统设计 3. 独立轴速度控制系统编程 4. 可编程控制器参数配置 5. 独立轴运动控制系统参数配置 6. 工业视觉系统配置 7. 独立轴速度控制系统调试
6	旋转送料模块	步进系统 减速器	<ul style="list-style-type: none"> 1. 独立轴角度位置控制系统设计 2. 可编程控制器参数配置 3. 独立轴运动控制系统参数配置 4. 独立轴角度位置控制系统编程 5. 独立轴角度位置控制系统调试
7	输送模块	伺服系统 导杆气缸 气动手抓 直线模组	<ul style="list-style-type: none"> 1. 独立轴直线位置控制系统设计 2. 可编程控制器参数配置 3. 独立轴运动控制系统参数配置 4. 独立轴直线位置控制系统编程 5. 独立轴直线位置控制系统调试
8	立体仓库模块	步进系统 无杆气缸	<ul style="list-style-type: none"> 1. 独立轴直线位置控制系统设计

		丝杆模组	<ol style="list-style-type: none"> 2. 可编程控制器参数配置 3. 独立轴运动控制系统参数配置 4. 独立轴直线位置控制系统编程 5. 独立轴直线位置控制系统调试
9	龙门搬运模块	伺服系统 直线模组	<ol style="list-style-type: none"> 1. 独立轴直线位置控制系统设计 2. 可编程控制器参数配置 3. 独立轴运动控制系统参数配置 4. 独立轴直线位置控制系统编程 5. 独立轴直线位置控制系统调试
10	温度控制模块	显示仪表, 控制电路板	<ol style="list-style-type: none"> 1. 简单过程控制系统设计 2. 简单过程控制系统参数配置 3. 简单过程控制系统编程 4. 简单过程控制系统调试
11	过程控制模块	水箱, 压力传感器、流量传感器、电动调节阀	<ol style="list-style-type: none"> 1. 复杂过程控制系统的设计 2. 复杂过程控制系统编程 3. 复杂过程控制系统调试
12	灌装模块	流量传感器、流量控制板、光电传感器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 输入回路连接 2. 输出回路连接 3. 外围设备的连接 4. 可编程控制器基本逻辑指令编程 5. 可编程控制器应用指令编程 6. 人机界面编程 7. I/O 口连接的调试 8. 简单控制系统的调试
13	可视化	摄像头、显示	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基于 PLC 的工业互联网系统

	模块	器、工控机	的设计 2. 网关配置 3. 云平台配置 4. 工业互联网云平台编程 5. 基于 PLC 的工业互联网系统调试
--	----	-------	---

三、技术参数

- 1、输入电源：AC380V±10% 50HZ
- 2、输入功率：≤3 kw
- 3、工作环境：1) 温度：-10℃~+40℃ 2) 相对湿度：≤90%(+20℃)
- 3) 海拔高度：≤4000m 4) 空气清洁，无腐蚀性及爆炸性气体，无导电及能破坏绝缘的尘埃
- 4、设备重量≤600 kg
- 5、单台设备外形尺寸（长宽高）：2600mm×1200mm×2000mm
- 6、电源安全：具有接地保护、漏电保护功能，安全性符合相关的国家标准。

采用高绝缘的安全型插座及带绝缘护套的高强度安全型实验导线。

四、模块功能要求

4.1 标准实训台

▲投标文件内提供实训台图片。

实训台承重主体为铝型材拼接而成，侧封板为钣金；为功能模块的安装提供标准的安装接口。保证稳定牢固。预留有标准气源和电气接口安装位置，根据模块的使用情况进行功能的扩展。为功能模块、功能套件提供稳定的电源。平台上可牢固安装多种多功能多应用模块。平台上可牢固安装多种多功能多应用模块。实现模块的自定义位置安装，实训台内部用于模块和工具存放。

4.2 工件套装

▲投标文件内提供至少六种工件图片。

工件套装主要由工件一、工件二组成。根据实训项目的不同可以单独或组合使用工件套装完成不同的作业流程。

4.3 电气接口套件

▲投标文件内提供套件图片。

适配机电一体化功能模块，为模块提供稳定的电源和控制器资源。

主要包含：电气接口模块、工业交换机、扩展模块、接线端子等。

接线端子包含通用接线端口和安全连接插座，适用于两种方式的接线

4.4 外围控制器套件

▲投标文件内提供套件图片。

通过组 IO 和以太网与机器人进行数据交互,辅助机器人对特殊功能模块进行控制。

主要包括:可编程控制器(PLC)、触摸屏、伺服系统、总线远程 I/O 模块等组成。

4.5 基础实训模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由基础 PLC 实训模块、网孔板、固定底板、快速电路连接器、接线端子、不锈钢拉手等组成。

用于 PLC 基础逻辑指令,应用指令的编程练习。掌握简单的 PLC 编程控制相关技能。

4.6 电气安装模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由接触器、继电器、网孔板、固定底板、快速电路连接器、接线端子、不锈钢拉手等组成。

用于电机控制系统的安装设计,通过 PLC 输入输出控制,完成三相电机的正反转、星三角等控制。掌握简单的 PLC IO 控制相关技能。

4.7 旋转供料模块

▲投标文件内提供模块图片。

由步进旋转供料机构、旋转台、固定底板等组成。

PLC 发出控制命令步控制步进电机将料盘旋转到指定工位。学生可掌握步进控制系统在自动生产线中的应用和控制方法。

实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例,能够自主进行应用拓展。

4.8 桁架机械手模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由气缸执行机构、固定底板、快速电路连接器、不锈钢拉手等组成。

用于搬运旋转供料模块供出的工件一,通过伸缩气缸、气动夹爪进行夹料,并由气动滑台将工件一搬运到下一单元模块。PLC 通过数字量输入输出控制,完成零件的夹取与搬运控制。掌握简单的 PLC IO 控制相关技能。

可以与其他模块进行组合,实现不同的实训任务,实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例,能够自主进行应用拓展。

4.9 分拣模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由三相异步电机、编码器、视觉系统、传送机构、底板等组成。

通过独立轴速度控制可以用于工件一的分拣输送,视觉系统检测工件一的颜色或形状,根据订单需求进行套件的分拣。

可以与其他模块进行组合,实现不同的实训任务,实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例,能够自主进行应用拓展。

4.10 输送模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由伺服电机、机械手、直线模组、底板等组成。

通过独立轴位置控制可满足工件一的多点位输送,例如将工件一输送至温控模块进行烘干,烘干完成后将工件一输送至立体仓库单元。

可以与其他模块进行组合,实现不同的实训任务,实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例,能够自主进行应用拓展。

4.11 立体仓库模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由步进电机、机械手、气动滑台、底板等组成。

通过独立轴位置控制可满足原料瓶的出入库管理,根据订单要求进行出库,进行个性化产品的组装搭配。

可以与其他模块进行组合,实现不同的实训任务,实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例,能够自主进行应用拓展。

4.12 温度控制模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由控制电路板、仪表、底板等组成。

模拟过程控制中的温度控制。通过 PLC 输出模拟量信号进行 PID 调节,为产品的烘干提供恒定的温度。

可以与其他模块进行组合,实现不同的实训任务,实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例,能够自主进行应用拓展。

4.13 仓储模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由固定底板、仓库、IO 信号采集、不锈钢拉手等组成。

仓库库位都有检测传感器,通过传感器检测物料,将数据传输给其它设备。输送模块机械手通过库位信息,进行样件的出入库。

出入库控制方式和顺序,应能参考教学资源中实训指导书里面的案例,能够自主进行应用拓展。

4.14 ▲龙门搬运模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由龙门机构、仓储机构、固定底板、快速电路连接器、伺服系统、夹具等组成。

仓储机构用于储存工件套装，龙门机构用于联动轴系统控制，可进行工件套装的装配、圆弧插补轨迹、涂胶等作业，与皮带传送模块组合可进行运动跟随装配作业。

可以与其他模块进行组合，实现不同的实训任务，实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.15 皮带传送模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由皮带输送机、编码器、固定底板、不锈钢拉手等组成。

皮带输送机由铝合金型材搭建而成，结构简单，美观大方。驱动方式采用三相交流调速电机驱动，使其具有启停和调速功能。

输送机上安装光电传感器与阻挡装置，用以检测与阻挡工件。调速电机驱动皮带，运输多种不同的零件。

实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.16 ▲过程控制模块

投标文件内提供模块图片、液体混合模块原理图。

主要由箱体、电动调节阀、压力变送器、水泵等组成。

水泵 P-101 工作时将存储罐 V-101 中液体抽出，流量大小由电动调节阀 FV01 进行调节，通过 PT101 压力传感器，保证存储罐 V-102 中的液位不变。FT101 流量传感器控制成品液体灌装。同时也可通过 XV01 将液体回流至存储罐 V-102。实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.17 灌装模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由灌装机构、流量传感器、流量控制板等组成。

工件在灌装区下方时，通过控制过程控制模块流量传感器，实现定量灌装，同时灌装指示灯依次点亮，模拟灌装量。

实训任务设计可以参考教学资源提供的实训指导书里面的案例，用户亦可自主进行应用拓展

4.18 可视化模块

▲投标文件内提供模块图片。

主要由摄像头、工控机、可视化大屏、固定支架等组成

用于考核设备的云平台编程配置、数据的可视化显示、分析及管理等功能。
实训任务设计应能参考教学资源中实训指导书里面的案例，能够自主进行应用拓展。

4.19 工量具套件

主要包括：螺丝刀、斜口钳、尖嘴钳、剥线钳、内六角扳手、万用表等组成，主要用于设备维保检测。

4.20 智能登录系统

▲投标文件内提供登录界面、系统界面的截图、

该系统由指纹识别模块、以太网通讯模块、继电器控制模块、触摸屏人机交互模块组成。用户通过刷指纹来识别人员身份，验证通过后由服务器输出人员信息并在触摸屏上显示，用户确认无误后可以点击“确认”按钮进行设备上电，并生成二维码，可用于对接考核评价系统。

4.21 智能监控系统

▲投标文件内提供监控系统界面图片。

对用户实训及考核过程进行监控，与计算机通讯，具有录制存储功能，供后期查验，或为其他学生提供演示视频。

4.22 在线教育平台

平台应能支持网页版登陆和手机公众号登录；具有随时上传或下载相应教学资源的功用；平台能提供的教学资源至少包括自动化、工业机器人、数控机床、数控机床装调与维修、电子、电工、电梯安装与维修保养、物联网、液压与气动、智能楼宇、制冷等相关的课程。

用户应能通过视频分类选择自己想要看的视频，平台也能推荐一些视频和教室的列表。并可以定期更新热门课程、视频、讲师等资料。

▲平台应至少分为六大应用模块：普通用户、企业用户、视频搜索模块、视频观看模块、直播模块、官方信息模块；普通用户至少包含个人主页、课程答疑、视频搜索模块、导航栏查找、直播课程、精品课程和热门课程、视频观看模块、官方信息、直播模块等，投标文件内提供各个模块的说明和截图；企业用户至少包含添加学员、开通课程、搜索学员功能、学生详情、做题记录等，投标文件内提供各个模块的说明和截图。

▲平台手机公众号的功能至少包含：轮播栏、直播课程、直播视频、精品课程、热门课程、免费课程、资讯、题库、问答、个人中心、我的会员、我的订单、

企业开通、我的题库、我的解答、我的提问、消息中心、设置、客服等，投标文件内提供各个模块的说明和截图。

▲为保证在线教育平台的质量与稳定性，应提供不少于 3 份职教组织或者人力资源和社会保障厅的推送证明，并提供在线教育平台 PC 版、Android 版、IOS 版的软件著作权登记证书。

五、实训项目要求

1、可编程控制器系统连接

- (1) 可编程控制器输入输出回路的连接
- (2) PLC和人机界面、变频器、步进、伺服等外围设备的连接

2、可编程控制器系统配置

- (1) PLC、HMI与上位机通讯参数配置
- (2) PLC输入输出模块、通讯模块的参数配置

3、可编程控制器系统编程

- (1) PLC基本逻辑指令、应用指令的编程
- (2) 人机界面的编程及PLC变量的连接

4、可编程控制器系统调试

- (1) I/O接口调试
- (2) 人机界面元器件的操控
- (3) 人机界面数据的输入输出操作
- (4) 人机界面的画面跳转及调试
- (5) PLC程序的调试
- (6) PLC与HMI联机程序的调试
- (7) PLC与输入设备、执行机构的联机调试

5、可编程控制器系统设计

- (1) 独立轴速度控制系统（变频器）设计
- (2) 独立轴位置控制系统（步进、伺服）设计
- (3) 简单过程控制系统设计
- (4) 工业视觉系统设计

6、可编程控制器系统配置

- (1) 上位机的参数配置
- (2) PLC的系统组态、脉冲及通讯参数配置
- (3) 变频器的参数配置
- (4) 步进系统的参数配置
- (5) 伺服系统的参数配置
- (6) 模拟量输入输出模块参数配置
- (7) PID参数配置
- (8) 工业视觉系统配置

7、可编程控制器系统编程

- (1) 工程量与数字量之间转换
- (2) 变频器的数字量、模拟量、通讯控制编程
- (3) 伺服系统脉冲当量测试
- (4) 伺服控制系统原点回归、单段速多段速位置控制编程及数据通信
- (5) 调用PID指令完成温度PID参数设定
- (6) 过程控制中模拟量和工程量的转换
- (7) 过程控制程序的编写
- (8) 人机界面过程数据的图形化展示
- (9) 工业视觉系统编程

8、可编程控制器系统调试

- (1) PLC程序的调试
- (2) PLC与变频系统的调试
- (3) 速度控制系统（变频器）的参数调整及优化
- (4) PLC与步进、伺服系统的调试
- (5) 位置控制系统（步进、伺服）的参数调整及优化
- (6) 温度PID的参数整定
- (7) PID数据的图像化显示及优化
- (8) 工业视觉系统调试

9、可编程控制器系统设计

- (1) 联动轴运动控制系统设计、选型
- (2) 联动轴运动控制系统原理图、接线图绘制
- (3) 复杂过程控制系统设计、选型
- (4) 复杂过程控制系统原理图、接线图绘制
- (5) 工业网络系统的方案设计
- (6) 智能网关的选型
- (7) 云平台的功能及可视化界面设计
- (8) 工业视觉系统设计、选型

10、可编程控制器系统配置

- (1) PLC之间的现场总线配置
- (2) PLC与伺服、变频器、上位机之间的的现场总线配置
- (3) 网关上网方式及系统配置
- (4) 网关数据采集、传送配置
- (5) 云平台云计算引擎、可视化大屏、工单系统配置
- (6) 工业视觉系统配置

11、可编程控制器系统编程

- (1) 联动轴软限位保护设置
- (2) 联动轴直线、圆弧、跟随等相关指令的程序编写
- (3) 使用高级语言编写合适的PID算法
- (4) 使用人机界面完成过程数据的图形化展示
- (5) 复杂过程控制系统的编程
- (6) 云平台元件的规划、编辑
- (7) PLC变量与与平台的链接
- (8) 云平台的程序编写
- (9) 工业视觉系统编程

12、可编程控制器系统调试

- (1) 基于PLC脉冲的联动轴运动控制系统调试

- (2) 基于运动控制总线的联动轴运动控制系统调试
- (3) 联动轴运动控制系统参数的调整及优化
- (4) 复杂过程控制系统PLC程序调试
- (5) PID算法的优化
- (6) 使用图形化数据优化PID参数
- (7) 基于现场总线的复杂过程控制系统调试
- (8) PLC程序的远程上下载及数据访问
- (9) 云平台与可编程控制系统的调试
- (10) 通过云平台完成数据的分析与管理
- (11) 工业视觉系统调试

六、设备配置要求

序号	名称	主要技术指标	单位	数量
1	标准实训台	整体尺寸：实训台 1: $\geq 1800\text{mm} \times 800\text{mm} \times 1200\text{mm}$, 实训台 2: $\geq 800\text{mm} \times 1200\text{mm} \times 800\text{mm}$ 铝钢结构, 带滚轮 (滚轮带有刹车) 桌面: 由 12 条 (20*80*1800mm) mm 铝型材组搭而成; 底部空间: 用钣金隔成 AB2 个空间 A 面由一个电气安装网孔板用于灵活的布置、安装控制设备; B 面是一个储物空间用于存放模块设备。	套	1
2	工件套装	由 3 种绿、红、黄三种物料组成每种 2 个, 每种物料由瓶身和瓶盖组成	套	1
3	电气接口套件	主要包含: 电气接口模块、工业交换机、扩展模块、接线端子等。	套	1

4	外围控制 器套件	见附表一配置	套	1
5	PLC 基础 实训模块	主要由基础 PLC 模块、固定底板、快速电路连接器、不锈钢拉手等组成。	套	1
6	电气安装 模块	主要由网孔板、继电器、接触器等组成	套	1
7	旋转供料 模块	规格尺寸： $\geq 240\text{mm} \times 255\text{mm} \times 202\text{mm}$ 由步进旋转供料机构、蜗轮蜗杆减速机、原点检查传感器、端子单元等组成。 底板：采用 $\geq (240 \times 200 \times 10)$ mm 的钢板，保证了设备的稳定行和水平度；底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。	套	1
8	桁架机械 手模块	规格尺寸： $\geq 397\text{mm} \times 200.8\text{mm} \times 467.5\text{mm}$ 主要由气缸执行机构、固定底板、快速电路连接器、不锈钢拉手等组成。 底板：采用 $\geq (260 \times 90 \times 10)$ mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。	套	1
9	分拣模块	规格尺寸： $\geq 500\text{mm} \times 416\text{mm} \times 483\text{mm}$ 主要由三相异步电机、编码器、视觉系统、传送机构、不锈钢拉手、底板等组成。	套	1

		<p>底板：采用$\geq (500*230*10)$ mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。</p>		
10	输送模块	<p>规格尺寸：$\geq 650\text{mm}\times 220\text{mm}\times 257.6\text{mm}$</p> <p>主要由伺服电机、机械手、直线模组、不锈钢拉手、快速电路连接器、底板等组成。</p> <p>底板：采用$\geq (650*220*10)$ mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。</p>	套	1
11	立体仓库模块	<p>规格尺寸：$\geq 370\text{mm}\times 290\text{mm}\times 585\text{mm}$</p> <p>主要由步进电机、机械手、气动滑台、不锈钢拉手、快速电路连接器、底板等组成。</p> <p>底板：采用$\geq (370*290*10)$ mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。</p>	套	1
12	温度控制模块	<p>规格尺寸：$\geq 260\text{mm}\times 150\text{mm}\times 340\text{mm}$</p> <p>主要由控制电路板、仪表、气缸、指示灯、不锈钢拉手、快速电路连接器、底板等组成。</p> <p>底板：采用$\geq (260*150*10)$ mm 的铝板，保证了</p>	套	1

		设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。		
13	仓储模块	规格尺寸： $\geq 340\text{mm} \times 115\text{mm} \times 191\text{mm}$ 主要由固定底板、仓库、IO 信号采集、快速电路连接器、不锈钢拉手等组成。 底板：采用 $\geq (340 \times 115 \times 10)$ mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保证了设备安装的牢固，稳定。	套	1
14	龙门搬运模块	规格尺寸： $730\text{mm} \times 650\text{mm} \times 800\text{mm}$ 主要由龙门机构、仓储机构、固定底板、快速电路连接器、伺服系统、夹具等组成。 支持撑架：有截面为 (40×40) mm 方铝组搭建而成，由于方铝四面都有 U 型滑槽，提高了设备安装的灵活性。	套	1
15	皮带传送模块	规格尺寸： $\geq 456\text{mm} \times 200\text{mm} \times 195\text{mm}$ 主要由皮带输送机、编码器、固定底板、快速电路连接器、不锈钢拉手等组成。 底板：采用 $\geq (240 \times 200 \times 10)$ mm 的铝板，保证了设备的稳定行和水平度，同时降低了设备本身的重量，底板上开有多个定位空，与桌面连接，保	套	1

		证了设备安装的牢固，稳定。		
16	过程控制模块	主要由水箱、压力传感器、流量传感器、水用电磁阀、底板等组成。	套	1
17	灌装模块	主要由光电传感器、流量传感器，流量控制板等组成。	套	1
18	可视化模块	主要由工控机、显示器等组成，用于考核设备的云平台编程配置、数据的可视化显示、分析及管理等功能。	套	1
19	工量具套件	主要包括：螺丝刀、斜口钳、尖嘴钳、剥线钳、内六角扳手、万用表等组成	套	1
20	智能登录系统	该系统由指纹识别模块、以太网通讯模块、继电器控制模块、触摸屏人机交互模块组成。	套	1
21	智能监控系统	对用户实训及考核过程进行监控，与计算机通讯，具有录制存储功能，供后期查验，或为其他学生提供演示视频。	套	1
22	气泵	电 源：220V 额定功率：560W 排气量：58L/min 最高排气压力：0.8MPa 储气罐容量：23L 重 量：25KG	台	1
23	硬盘录像机	8 路	台	1
24	硬盘	1TB	个	1

附表一 PLC 系统配置

序号	名称	单位	数量
1	可编程控制器 PLC	台	1
2	模拟量输出模块	台	1
3	数字量输入输出模块	台	2
4	通信模块	台	2
5	可编程控制器 PLC	台	1
6	模拟量输入输出模块	台	1
7	可编程控制器 PLC	台	1
8	触摸屏	台	2
9	变频器	台	2
10	变频器	台	1
11	步进驱动器	台	2
12	伺服驱动器	台	2
13	伺服驱动器	台	1
14	伺服驱动器	台	1
15	伺服电机	台	1
16	伺服电机	台	1
17	伺服电机	台	1
18	伺服电机	台	1
19	伺服编码器线缆	条	4
20	伺服电机线缆	条	4

21	抱闸线缆	条	1
22	工业视觉	套	1
23	工业视觉	套	1
24	远程通讯模块	台	1

附表二 工具配置

序号	名称	型号/规格	单位	数量
1	工具箱	430×230×200mm	1	只
2	内六角扳手	球头	1	套
3	尖嘴钳	160mm	1	只
4	剥线钳	适用电线范围 0.5mm - 6.0mm	1	只
5	压线钳	适用范围 0.25-6 平方	1	把
6	十字螺丝刀	3 寸	1	把
7	一字螺丝刀	3 寸	1	把
8	斜口钳	160mm	1	只
9	十字螺丝刀	3×75mm	1	把
10	一字螺丝刀	3×75mm	1	把
11	钟表螺丝刀	6 件套	1	套
12	万用表	便携式数显电工万能表电流表 3 位半	1	个

四、智慧新能源综合实训室

1、智慧新能源综合实训系统

一、方案概述

智慧新能源综合实训室结合智慧新能源实训系统 v2.0，形成涵盖分布式能源发电技术、传感技术、信息通信技术、能源管控技术和仿真规划模拟技术，具有学科递进式，集培训学习、理论验证、实操训练为一体的智慧新能源综合实训

室。可为应用电子技术、电子信息工程技术、移动通信技术、光伏发电工程技术等专业的提供实训。

智慧新能源综合实训室涵盖新能源技术、应用电子技术的综合实训体系，同时可以为光伏工程技术、应用电子技术及相关电子信息类专业提供公共实训场所，也可以作为以上专业从业人员岗前实训以及师资培训和职业院校技能训练、比赛使用。

实训室用途表

序号	应用需求	情况说明
1	学生实训	本校学生培训学习、理论验证、实操训练等需求
2	技能实训	光伏发电工程项目相关从业人员的岗前实训
3	师资培训	光伏发电技术及其应用、光伏电站运行与维护的师资培训需求
4	技能竞赛	职业院校技能大赛“光伏电子工程的设计与实施”竞赛需求

二、系统功能

智慧新能源实训系统是基于对新能源应用系统的实现原理、性能特性的深入研究，整合新能源发电技术、传感技术、信息通信技术、能源管控技术和仿真规划模拟技术而自主研发的具有学科递进式的光伏实训系统。能够实现从能源仿真规划、新能源的产能模拟、能源管控、到离并网发电和负载应用的全过程模拟。

系统设计源于国际新能源成熟应用系统，硬件平台由光伏电子中心管控平台（含智能微逆变系统软件 V1.3）、工程环境模拟平台组成；软件平台由智慧新能源仿真规划软件 V1.0 构成。

系统采用模块化积木式设计模式，可根据专业设置、课程设置情况自由组合或延展配置，满足电子信息类、通讯技术类、能源类专业建设需要，实现光伏工程的动态模型仿真、光伏工程的电能管控、光伏工程的全景仿真规划及光伏工程电子产品的创意设计等教学实验实训。

三、系统组成

▲智慧新能源实训系统 V2.0 由硬件平台和软件平台两部分组成。其中，硬件平台包括工程环境模拟平台及光伏电子中心管控平台（含智能微逆变系统软件 V1.3）两部分。软件平台包括智慧新能源仿真规划软件 V1.0。

3.1 工程环境模拟平台

模拟光源

光伏模拟光源采用 2 只 500W 投射灯模拟太阳辐射，太阳电池阵列由 4 块 18V、20W 光伏组件组成。传感器安装在太阳电池方阵上，与其同步运行。光线方向若发生细微改变，则传感器失衡，系统输出信号产生偏差，当偏差达到一定幅度时，传感器输出相应信号，执行机构开始纠偏，使传感器重新达到平衡。

模拟光源驱动装置

通过模拟光源支架与模拟光源相连接，可使模拟光源做东西方向的周期运动，以模拟太阳的东升西落。

光伏组件

采用四块单晶硅光伏组件完成对光伏系统的供能。

3.2 光伏电子中心管控平台

光伏并网工程实训模块

光伏并网工程实训模块由并网逆变器、隔离变压器、并网供能单元组成，该模块

器件组成本实训平台的核心学习内容之一。

并网逆变器

并网逆变器集多重保护功能、超高开关频率技术、IP65 户外保护、最大效率大于 97%、极低启动电压、精确 MPPT 算法、可控 PWM 逆变器技术等优势于一体，全自动追踪市电的电压、相位、频率，将电能转化为与电网同频、同相的正弦波电流，馈入电网，实现自主并网。运行信息、故障信息等数据采用 RS485、WiFi、GPRS 等多种通讯形式。

并网供能单元

并网供能单元采用当前国际先进的高频调制技术，将开关电源的电压和电流展宽，实现电压 0~100V 和电流 0~10A 的大范围调节。通过对直流稳压电源的调节输出不同的电压，实现对光伏并网实训模块中并网逆变器供

隔离变压器

通过隔离原副边绕线圈各自电流，实现与市电外网隔离。另外，利用其铁芯高频损耗大的特点，实现抑制高频杂波传入控制回路。

数据采集模块

智能电表

智能电表单元由 2 只交流电压电流组合表、2 只直流电压电流组合表、1 只单相电子式电能表和 1 只双向电能表组成。采集系统关键输入/输出电流、电压、电能数据。

光照度传感器

实现对环境的光照度的采集，采集信息后按差分信号正逻辑或其他所需形式的信息输出，满足用户需求。

温度湿度传感器

实现对环境的温度与湿度的采集，采集信息后 RS485 通讯传输的形式将信息输出，满足用户需求。

倾角传感器

单轴倾角监测，可实时监测单轴光伏逐日系统的倾斜角度。

集中控制模块

集中控制模块由 PLC、光伏控制器、触摸屏、继电器、接触器等元器件组成，实现对光伏直流系统、光伏离网交流系统、光伏并网系统的控制。

PLC、继电器、接触器

采用西门子 1200 系列 PLC 及多个扩展模块组成 PLC 系统；

通过对继电器、接触器的控制，实现对工程环境模拟平台、光伏并网工程实训模块、负载模块及光伏离网电子实训模块的控制功能和能源管理功能。

触摸屏

可实现对 PLC 的本地控制与人机交互，支持二次开发。

光伏离网电子实训模块

▲光伏离网电子实训模块包含智能离网微逆变系统、光伏控制器、储能模块等模块组成，可以使用嵌入式系统进行光伏电子设备的控制、数据采集、通讯等功能开发实训，实现对光伏离网发电系统设备的管理和控制。

光伏控制器

控制光伏组件对蓄电池充电以及蓄电池给后端用电设备供电。

储能单元

实现对电能的储存，并在离网系统中进行能源补偿。

▲智能离网微逆变系统（含智能微逆变系统软件 V1.3）

智能离网微逆变模块主要由逆变桥、控制逻辑和滤波电路组成，实现光伏组件的输出能量转换为 220V 交流电供给负载使用。

▲通过系统软件逆变控制界面对死区时间、基波频率、输出电压的设置更改，实现智能离网微逆变系统的输出电压与频率的设定，在串口屏同步显示返回的电压、电流、温度、频率等数据。系统采样显示界面实现系统输出电压、电流的波形与电压、电流、功率等数值的实时观测（提供软件功能截图）。系统主控板可对 4 路电路进行信号故障检测（提供软件功能截图），并在串口屏与主控板上实现故障指示灯的显示与报警。系统支持 RS485、RS232、WiFi、以太网等多种通讯手段。

通讯模块

交换机

分别为 PLC、触摸屏、计算机提供独享的电信号通路进行通讯。

LoRa 通讯模块

2 只 LoRa 通讯模块，分别用于发送采集端环境数据和接收采集端环境数据，建立一种基于扩频技术的超远距离无线传输方案。比如接收端以 485 通讯的方式接入到组态软件中，实现对数据的远程采集。

负载模块

负载单元由流负载和交流负载组成，涵盖光伏工程中常用的负载类型，真实还原光伏工程中负载使用情况。

3.3 ▲智慧新能源仿真规划软件 V1.0

▲作为新能源系统工程规划部署平台，可以导入各种现实或模拟的地形地貌，以网格形式进行部署和展示系统，具有地形、气候、产能、用能等功能模拟。通过对区域能耗的情况、地域特征及可再生能源产能的分析，对风能、光能、生物质能、浅层地热能及储能多能协同优化设计，以满足对特定区域能源供给的需求，达到区域电力产耗能平衡的效果。（提供功能截图）

▲通过模型设计功能进行实训或考核的试题设计；通过方案设计进行区域能源的规划与设计，可查询方案设计的后的能源利用情况；可通过方案汇总进行方案自动比较评分。

四、实训项目

（1）工程环境模拟平台实训

序号	实训名称	实训简介
1	光伏组件拆解实训	1、了解光伏组件构造、工作原理； 2、掌握光伏组件的安装方法。
2	光伏组件参数测试实训	1、了解光伏组件的 I—V 特性； 2、了解光伏组件的输出功率特性； 3、掌握测量工具的使用。

3	光伏组件串并联原理实训	1、掌握光伏组件方阵的安装方法； 2、了解光伏组件串并联对其输出的影响。
4	日照模拟装置实训	1、掌握日照模拟装置安装方法； 2、掌握不同日照强度对光伏组件输出的影响。
5	光伏转换效率测试实训	1、了解不同天气的光波对光伏转换率的影响； 2、了解不同日照角度对光伏组件输出的影响。
6	阵列汇流实训	1、了解光伏汇流工作原理； 2、掌握阵列汇流的连接方法； 3、了解防雷接地保护。

(2) 光伏电子中心管控平台

序号	实训名称	实训简介
1	光伏控制器实训	1、了解光伏控制器工作原理； 2、了解光伏控制器如何驱动 LED 灯； 3、了解光伏控制如何驱动蜂鸣器； 4、了解光伏控制器对蓄电池充放电功能；
2	智能离网微逆变系统实训	1、对智能离网微逆变系统工作原理的认知； 2、对智能离网微逆变系统基本结构的认知； 3、对智能离网微逆变系统单片机内容编写的实训； 4、对智能离网微逆变系统故障处理的实训。 5、对智能离网微逆变系统单片机通讯程序编写的实训；
3	并网逆变	1、对并网逆变器工作原理的认知；

	器实训	<p>2、对并网逆变器基本结构的认知;</p> <p>3、对并网逆变器防孤岛功能的认知;</p> <p>4、对并网逆变器故障处理的认知。</p>
4	蓄电池实训	<p>1、了解光伏发电系统中蓄电池容量设计计算;</p> <p>2、了解蓄电池串并联使用;</p> <p>3、了解光伏发电系统中蓄电池的作用。</p>
5	光伏工程实训	<p>对光伏供电系统原理的认知;</p> <p>2、掌握系统的安装及调试步骤;</p> <p>3、利用实验平台已有的智能仪表及工具测出直流负载电压及电流、交流负载的电压及电流。</p>
6	离网光伏发电系统调试实训	<p>对离网风光互补发电系统原理及结构的认知;</p> <p>2、掌握离网光伏发电系统发电系统的安装及调试步骤;</p> <p>3、掌握离网光伏发电系统的搭建;</p> <p>4、掌握前级输入过压欠压保护电路;</p> <p>5、掌握逆变器软件调频调压功能;</p> <p>6、掌握对逆变器输出波形数据分析。</p>
7	并网光伏发电系统调试实训	<p>1、了解并网风光互补发电系统的原理及结构;</p> <p>2、了解并网光伏发电系统的安装及调试步骤;</p> <p>3、掌握并网光伏发电系统的搭建。</p>
8	离并网光伏发电系统调试实训	<p>1、了解离并网风光互补发电系统的原理及结构;</p> <p>2、了解离并网光伏发电系统发电系统的安装及调试步骤;</p>

	训	3、掌握离并网光伏发电系统的搭建。
9	可编程控制器实训	<ol style="list-style-type: none"> 1、对可编程控制器工作原理的基本认知； 2、对可编程控制器的基本编程规则的认知； 3、掌握可编程控制器的安装调试方法； 4、对可编程控制器编程方法的认知与应用； 5、对可编程控制器点动控制的认知与应用； 6、对可编程控制器互锁控制的认知与应用； 7、对可编程控制器顺序控制的认知与应用； 8、对可编程控制器延时控制的认知与应用； 9、对可编程控制器单个触点启停控制的认知与应用； 10、对可编程控制器多个触点启停控制的认知与应用； 11、对可编程控制器与触摸屏通讯的认知与应用；
10	触摸屏实训	<ol style="list-style-type: none"> 1、对可触摸屏工作原理的基本认知； 2、对触摸屏的基本编程规则的认知； 3、掌握触摸屏的安装调试方法； 4、对触摸屏编程方法的认知与应用；
11	电气器件实训	<ol style="list-style-type: none"> 1、了解空气开关、熔断器、防浪涌保护器、按钮开关盒、继电器、负载等工作原理； 2、掌握空气开关、熔断器、防浪涌保护器、按钮开关盒、继电器、负载等安装及测试方法。
12	组态软件实训	<ol style="list-style-type: none"> 1、对组态软件工作原理的基本认知； 2、对组态软件构成及功能的基本认知与应用；

		<p>3、对组态软件按钮控件的基本认知与应用；</p> <p>对组态软件文本显示控件的基本认知与应用。</p> <p>5、对组态软件报表组件的基本认知与应用；</p> <p>6、对组态软件图库的基本认知与应用；</p> <p>7、对组态软件曲线控件的基本认知与应用；</p> <p>8、对组态软件简单脚本的基本认知与应用；</p> <p>9、对组态软件动画连接的基本认知与应用。</p>
13	光伏工程 系统调试 实训	<p>掌握可编程控制器对各电气器件的逻辑控制功能；</p> <p>2、掌握组态软件对可编程控制器相应的逻辑控制功能；</p> <p>3、掌握可编程控制器与组态软件的交互。</p>
14	数据采集 传感器实 训	<p>1、了解传感器的工作原理；</p> <p>2、掌握感知传感器的安装与调试。</p>
15	LORA 通讯 实训	<p>了解 LORA 通讯模块的工作原理；</p> <p>了解 LORA 通讯技术原理；</p> <p>3、掌握通讯模块的安装与调试。</p>

(3) 光伏工程功能开发实训

序号	实训名称	实训简介
1	基于管控平台 进行 PLC 编程 开发实训	<p>1、对 PLC 基于管控系统编程的认知与应用；</p> <p>2、对 PLC 基于管控系统工作环境的搭建；</p> <p>3、对 PLC 基于管控系统逻辑控制的认知与应用。</p>

2	组态软件应用 教学开发实训	1、对组态软件基于管控系统各项功能的认知与应用； 2、对组态软件基于管控系统基本操作的认知与应用。
3	光伏工程系统 控制单元线路 连接实训	1、现场控制线路施工接线； 2、对控制系统线路进行检测。
4	基于管控平台 进行触摸屏编 程开发实训	1、对触摸屏基于管控系统编程的认知与应用； 2、对触摸屏基于管控系统工作环境的搭建； 3、对触摸屏基于管控系统逻辑控制的认知与应用。
5	基于智能离网 微逆变系统的 编程开发实训	1、对智能离网微逆变系统基于智慧新能源设备的认知与应用； 2、对智能离网微逆变系统基于智慧新能源设备的工作环境的搭建； 3、对智能离网微逆变系统单片机内容的认知与实训。

(4) 光伏工程拓展实验功能实训

序号	实训名称	实训简介
1	485, 232 及自定义协议通讯实训	1、对 485, 232 等通讯协议工作原理的基本认知； 2、对 485, 232 相关协议功能码的基本认知；

2	上下位机通讯设计与实训	1、对各种常用通信协议的基本认知; 2、了解上位机及通讯协议的设定; 3、对上位机与各单元通信硬件连接的认知和应用。
3	基于西门子博图的延展实训	掌握对西门子设备编程软件的使用方法; 对西门子设备组态的基本认知。

(5) 光伏工程创新应用功能实训

序号	实训名称	实训简介
1	自主 DIY 负载设计实训	根据教材实训课程, DIY 创新研发元器件, 负载; 掌握基础器件设计。
2	光伏工程电子产品设计与测试实训	1、前瞻性光伏工程电子产品的开创性设计与制造; 2、光伏工程相关产品结合本系统进行功能测试。