

保 密

XX大学

YZXWW-III

分布式新能源发电及微电网实验室建设方案

项目计划书

湖南依中紫光电气科技有限公司

2018年5月

目 录

1. 背景介绍.....	4
2. 系统总体方案阐述.....	4
2.1 系统概述.....	4
2.1.1 系统功能与特点.....	5
2.2 系统架构.....	6
3. 系统主要部件技术说明及特点介绍.....	6
3.1 光伏发电系统（开放式）.....	6
3.1.1 PV 模拟源.....	7
3.1.2 光伏组件.....	7
3.1.3 光伏三相并网逆变器.....	8
3.1.4 光伏并/离网故障特性模拟系统.....	11
3.1.5 实验例程和项目.....	11
3.1.6 开源资料.....	错误!未定义书签。
3.2 模拟风力发电系统—直驱式&双馈式风力发电系统（开放式）.....	12
3.2.1 直驱风力发电实验仿真平台组成.....	12
3.2.2 直驱风力发电实验仿真平台工作原理.....	14
3.2.3 双馈风力发电实验仿真平台组成.....	15
3.2.4 双馈风力发电实验仿真平台工作原理.....	17
3.2.5 风力发电实验仿真平台实验.....	24
3.2.6 风力发电实验仿真平台开放资料.....	错误!未定义书签。
3.3 实际风力发电系统.....	26
水平轴风力发电机--风机特性.....	26
3.4 风电并/离网故障特性模拟系统.....	27
3.5 储能 DC-AC 双向变流器（PCS）.....	28
储能逆变器特点.....	29
PCS 设备参数.....	30
3.6 磷酸铁锂电池储能系统.....	32
产品特点.....	32
电池 BMS 管理系统.....	32
3.7 超级电容系统.....	34
性能参数.....	34
3.8 储能并网故障特性模拟系统.....	35
3.9 双向 DC-DC 变换器（开放式）.....	36
设备特点.....	36
3.10 可编程 RLC 负载.....	37
可编程 RLC 负载特点.....	37
可编程 RLC 负载参数.....	38
3.11 交流充电桩系统.....	39
功能特点.....	39
3.12 微电网主控柜（开放式）微电网中央控制器.....	41

4 微电网能源与管理系统.....	42
4.1 系统特点	43
4.2 SCADA 平台	43
1、数据采集与处理	43
2、 监视与报警	44
4.3 实时数据库.....	46
4.4 微电网运行策略.....	46
最大功率输出模式.....	47
自调度模式.....	47
4.5 软件开放资料.....	错误!未定义书签。
5 微电网配电系统.....	49
5.1 直/交流微源接入组合柜.....	50
5.2 并网接入柜.....	50
5.3 电网模拟器.....	52
5.4 分布式电源潮流仿真及配网保护影响分析系统.....	54

湖南依中紫光电气

湖南依中紫光电气

湖南依中紫光电气

湖南依中紫光电气

YZXWW-II 分布式新能源发电及微电网实验室建设方案



1. 背景介绍

随着光伏、风电等可再生能源发电技术的发展，分布式发电日渐成为满足负荷增长需求、提高能源综合利用效率、提高供电可靠性的一种有效途径，并在配电网中得到广泛的应用。但分布式发电的大规模渗透也产生了一些负面影响，如单机接入成本较高、控制复杂、对大系统的电压和频率存在冲击等。这限制了分布式发电的运行方式，削弱了其优势和潜能。微网技术为分布式发电技术及可再生能源发电技术的整合和利用提供了灵活、高效的平台。

微电网系统被视为未来智能电网的最重要一环，可以有效地实现电网侧电力的能量的转移，实现能量的削峰填谷。微网技术的应用是在传统电力系统生产模式基础上增加一个存储电能的环节，使得原来几乎完全刚性的系统变得柔性起来，可以让整个电网系统运行更加合理，在用电高峰期，微网系统可以为负载提供能量；在负荷低谷期，微网系统可以将电网中多余的能量存储起来。另外，在智能电网系统中，许多分布式电源会硬性的将产生的电能输送给电网，电网智能被动承受，因此分布式电源输出的电能质量很大程度影响着电网系统。增加微网系统，可以有效的调节系统中的有功、无功，对电网中电能质量改善起到一个调节器的作用。

2. 系统总体方案阐述

2.1 系统概述

本系统支持并网和孤网两种运行模式。在并网工作模式下，与中、低压配电网并网运行，互为支撑，实现能量的双向交换。在外部电网故障情况下，可转为

孤网运行模式，继续为微网内重要负荷供电，提高重要负荷的供电可靠性。通过采取先进的控制策略和控制手段，可保证微网高电能质量供电，也可以实现两种运行模式的无缝切换。

2.1.1 系统功能与特点

智能微电网微电网建设主要针对新能源专业的老师/学生而开发的微电网科研/教学设备。系统的核心在于中央控制与能量调配，本系统采用集中管理的方式对一次侧接入进行电能调度分配：

1、可实现实际光伏、模拟光伏，实际风电、模拟风电、蓄电池、超级电容、柴油机、模拟负载、燃料电池、充电桩等多种一次侧设备的互联，各个设备都单独可控，通过 IEC61850 规约，实现四遥数据的控制。

2、系统中既包含交流母线，又具备直流母线，两种母线混合在一起，可提供更多的研究实验和更灵活的能量管理策略。

3、可实现智能并网（并网与孤岛状态）切换，既可以并网运行，也可以孤岛运行，实现无缝切换，且多种运行模式相互自动或手动方式切换。各子系统可以独立完成相关的实验。

4、集成并网/离网切换、黑启动、功率平滑、时移、故障诊断、离网功率平衡控制、有功/无功功率控制、电压/频率响应特性控制、保护等功能。

5、实现微电网整体系统数据监控、数据采集、设备管理、功率控制、电能质量监测、能效评估、用电计划设定，经济性分析等。

6、将接入微电网的负荷进行分级管理实时监测、显示、记录微网系统的工作状态，具有本地监控和远程监控两种控制方式

7、配置分级保护和计量装置，在微电网内部故障、外部故障情况下，均保证

其准确、快速动作，使系统安全运行。

8、针对高校学生，充分考虑了学生的具体知识结构与层次，使得学生可以充分理解微电网的特点与结构；学生可以在本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。

9、针对做科研的老师，开放部分一次侧设备的软硬件资料，包括板级硬件图纸以及软件驱动源代码、算法源代码等，开放上位机软件的源代码程序。提供整体的系统的基础开发平台，方便用户二次开发，提供详细而丰富的培训课程，使用户可快速入门并掌握整体系统，大大提高科研实验的效率。10) 设备应用底层驱动与应用层分离，底层硬件驱动，各类数据库、通讯协议解析进行封装，与系统数据监控、设备管理等功能应用进行分离，保证用户在此平台上进行后台控制策略软件的二次开发。

2.2 系统架构

系统由发电侧系列设备、储能侧系列设备、用电侧系列设备、二次侧控制设备、配电保护及测量设备等几个部分组成，每个部分都可按照客户的需求进行灵活搭配。

3. 系统主要部件技术说明及特点介绍

3.1 光伏发电系统（开放式）

光伏发电系统部分主要包括：

- a) PV 模拟源
- b) 多晶硅光伏组件/单晶硅光伏组件

- c) 光伏并网逆变器
- d) 光伏实验例程
- e) 光伏逆变器开源软硬件资料

3.1.1 PV 模拟源

光伏电池阵列模拟电源，又称光伏方阵模拟器。其主要功能功能是直流输出具备模拟不同类型太阳能电池阵列，在不同辐照度、温度、云层遮挡下的输出的 I-V 及 P-V 变化特性。可有效的模拟光伏电池板的各类特性，方便进行科研实验。

技术特点：

- 1、5KW，直流电压 0-600V，电流 0-10A。
- 2、可模拟太阳能电池板输出特性
- 3、可模拟不同光照和温度下的 I-V 曲线
- 4、可测试静态和动态下的 MPPT 情况
- 5、MPPT 工作点实时显示于上位机软件上
- 6、具有恒功率模式
- 7、具有强大的图形化上位机软件
- 8、稳压精度高、纹波电压低
- 9、Matlab 仿真优化 10)采用高速 DSP 进行 PID 运算，直接输出 PWM。



3.1.2 光伏组件

光伏板系统由 20 块 250w 多晶硅光伏组件板和 20 块 250w 单晶硅光伏组件板组成，分为 2 组，每组 10 串 2 并，组成 10kw 系统。

- 1、电池片：采用高效的晶硅太阳能片封装，保证太阳能电池板发电功率充足。

2、玻璃：采用低铁钢化绒面玻璃(又称为白玻璃)，厚度 3.2mm，在太阳电池光谱响应的波长范围内(320-1100nm)透光率达 91%以上，对于大于 1200nm 的红外光有较高的反射率。此玻璃同时能耐太阳紫外光线的辐射，透光率不下降。

3、EVA：采用加有抗紫外剂、抗氧化剂和固化剂的厚度为 0.78mm 的优质 EVA 膜层作为太阳电池的密封剂和与玻璃、TPT 之间的连接剂。具有较高的透光率和抗老化能力。

4、TPT：太阳电池的背面覆盖物—氟塑料膜为白色，对阳光起反射作用，因此对组件的效率略有提高，并因其具有较高的红外发射率，还可降低组件的工作温度，也有利于提高组件的效率。当然，此氟塑料膜首先具有太阳电池封装材料所要求的耐老化、耐腐蚀、不透气等基本要求。

5、边框：高强度铝合金边框，抗机械冲击能力强。

3.1.3 光伏三相并网逆变器

光伏三相并网逆变器通过三相变压器隔离升压并网，实现光电池最大功率跟踪控制和并网电流控制。

光伏发电仿真平台主要由 IPM 逆变功率单元、DSP 主控单元、监控中心、电抗器、变压器等几部分组成。系统的核心为 DSP 主控单元，其主要功能是：

1、将直流电能转为与主网电压同频同相的交流电能，并馈送给主网，同时会监测各类故障信息，实时保证正常工作；

2、根据反馈值跟踪直流源（光伏组件或者光伏模拟源）的最大功率输出（MPPT）；

3、将系统工作的所有信息上传至监控中心。

其他特性：

<1>并网逆变器使用三菱 IPM，电流 150A，耐压 1200V，母线使用 500V 电解电容

<2>网侧并网升压三相变压器，变比 380/120，初级次级星形联结方式。

<3>并网逆变器采用 TI 浮点 DSP 进行控制，使用一套 TMS320F28335 的 DSP 控制板，并额外赠送一套核心开发板。

<4>采用一台 YZ—XDS100v3 仿真器完成系统控制算法的调试。

<5>配置电力故障录波及分析装置，可对并网点各状态波形进行记录并分析。通道采样频率 10-100 KHz 可选。故障回放模式下，可以存放 12 路 20 次录波数据，且每次录波时长大于等于 5 分钟。支持 12 路模拟量同步采集故障录波波形可以选择不同的播放频进行故障回放。

10kw 逆变器参数

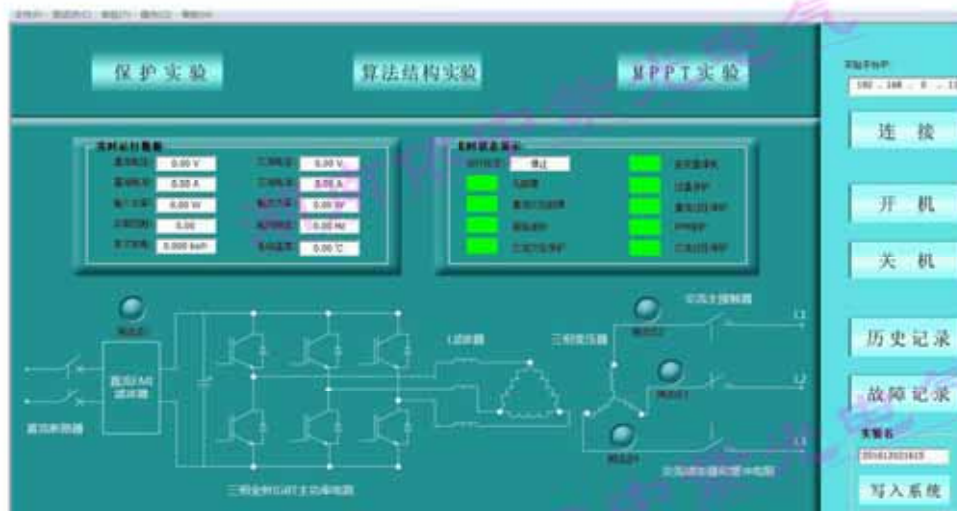
项目名称	10KW 并网逆变器
隔离方式	工频变压器
最大直流输入功率	10.5KWP
最大直流输入电压	600V
输入 MPPT 电压范围	250~600V
最大阵列输入电流	24A
额定交流输出功率	10KW
总电流波形畸变率	<2%(额定功率时)
功率因数	>0.99
最大效率	>95%
适配电网	三相 380V
允许电网电压范围	380±10%
使用环境温度	-22℃~+55℃
冷却	强制风冷
参考尺寸 mm(宽 x 高 x 深)	600×1800×800
参考重量	110kg
防孤岛效应	当电网失压时，防孤岛效应保护时间<2S
保护功能	电网保护、直/交流过压及欠压保护、交流过/欠频保护、极性反接保护、短路保护、孤岛效应保护、过热保护、过载保护、接地故障保护以及报警功能等

无人值守	全自动识别日照变化，自动运行与停机待命
安装方式	室内柜机

逆变器将直流电转换为与电网同步的三相交流电。通过电压传感器采集三相交流电的相电压值 U_A 、 U_B 、 U_C ，通过克拉克变换等效出两相交流电的电压值 U_α 、 U_β ，进而求出旋转磁链的位置角 γ 。通过电流传感器采集三相交流电的电流值 I_A 、 I_B 、 I_C ，同样通过克拉克变换等效出两相交流电的电流值 I_α 、 I_β 。由 γ 、 I_α 、 I_β 通过帕克变换等效出旋转直流的电流值 I_d 、 I_q ，从而得出内环的控制量 I_d 。外环电压控制量与内环电流控制量叠加后与 I_q 再经过帕克逆变换，等效出 U_α^* 、 U_β^* ，在经过空间矢量控制输出 PWM，控制功率管。

监控软件

监控前台上位机应用软件为用户提供了可视的操作界面，主要包括三大功能，分别为光伏 PV 模拟功能（需配套 PV 模拟器）、实时监控功能、历史保存功能。



监控软件中还具备算法研究界面，即电网定向矢量算法。通过所示界面用户可以非常清晰的了解算法的结构，同时可以获取每个步骤的计算结果值，以便仿真分析。

3.1.4 光伏并/离网故障特性模拟系统

1、利用功率硬件及仿真算法模拟光伏并网各种故障特性波形、以及离网故障波形。

2、采用 32 位高集成度微处理器仿真和控制。

3、输出波形适用性高，可支持示波器、电力故障录波及分析装置等观测和记录；

4、可供继电保护设备采集，可用于研究微电网继电保护配置。

5、可支持各种手持式设备检测和观察。

6、开放以太网和 RS485 通信接口，实现远程控制，接受分布式电源潮流仿真及配网保护影响分析系统统一调度。

3.1.5 实验例程和项目

基础实训实验

1) 光伏的 I-U 特性测试实验

2) 光伏的输出功率特性实验

3) 光伏监控中心软件操作实验

4) PWM 输出实验

5) 直流电压、电流采集实验

6) 交流电压、电流采集实验

7) 并网逆变器安全保护和设计实验

8) 并网逆变器通讯测量实验

9) 孤岛效应实验

10) 实验数据保存实验

进阶开放实验：

- 1) 光伏控制策略及编程实验
- 2) 最大功率跟踪 MPPT 原理及控制实验
- 3) 外环电压 PI 算法及控制原理实验
- 4) 内环电流 PI 算法及控制原理实验
- 5) SVPWM 算法原理实验

3.2 模拟风力发电系统—直驱式&双馈式风力发电系统(开放式)

直驱式风力发电系统主要包括：

- 1) 5.5kW 三相异步电机、5.5kw 三相永磁发电机、槽钢底座
- 2) 7.5kw ABB 矢量变频器
- 3) 5kW 风机背靠背整流逆变柜（开放式）
- 4) 实验例程和项目
- 5) 变流器开源软硬件资料

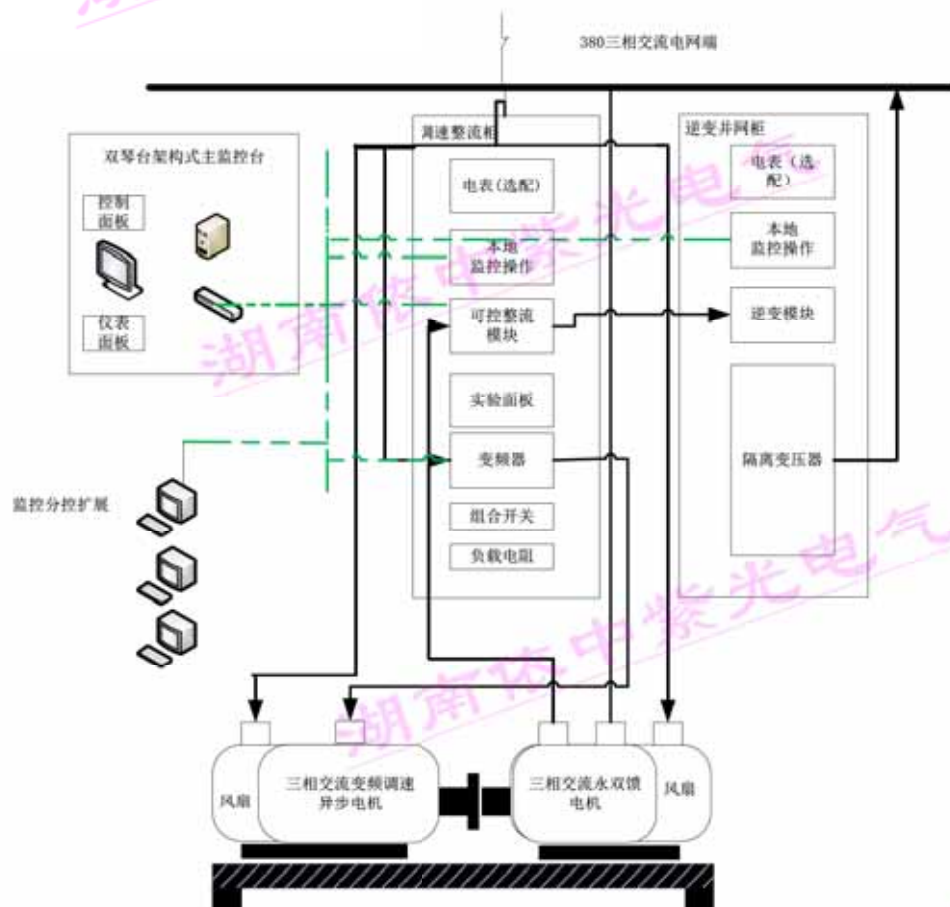
双馈式风力发电系统主要包括：

- 1) 7.5kW 三相异步电机、5.5kw 双馈发电机、槽钢底座
- 2) 7.5kw ABB 矢量变频器
- 3) 5kW 风机励磁变流柜
- 4) 实验例程和项目
- 5) 变流器开源软硬件资料

3.2.1 直驱风力发电实验仿真平台组成

直驱风力发电实验仿真平台主要由以下设备组成：

- 矢量变频器和三相异步调速电机来模拟实际的风力机；
- 三相异步调速电机通过联轴器带动永磁直驱发电机发电；
- 发电机定子输出连接可控整流器，将发电机发出的三相交流电整流成直流电；
- 并网逆变器直流输入连接可控整流器直流输出，将直流电逆变为符合并网要求的三相交流电，馈入主网；
- 监控前台，主要由工控机、显示器、上位机应用软件组成，实现对变频器、整流器、逆变器等设备的数据监控以及记录保存；
- 风速调速器设备，主要目的就是实现定桨距角变速恒频的最大发电功率追踪；



直驱风力发电平台系统设备示意图

3.2.2 直驱风力发电实验仿真平台工作原理

变频器

变频器带动三相异步电机，可以有两种模式，一种为标量控制，即 V/F 模式，此种模式无法实现发电功率最大追踪，只是当发电机转速越快，发电功率越大；另外一种为矢量控制，即转矩控制，此种模式变频器按照特定转矩送给电机，当电机运行至最佳速度时，发电功率可以达到最大值。当桨距角和叶片半径一定时，风能利用系数只与叶尖速比相关，根据上位机设定的风速值，可以获得最佳转速值和对应的转矩值。将转速值发给可控整流器，转矩值发给变频器，这样就实现了功率最大追踪，即 MPPT 功能。

对托机组

机组由三相异步调速电机、联轴器、永磁同步发电机组成。其中三相异步电机采用 2 对级，额定转速 1500r/min。永磁同步发电机为依中专门定制发电机，额定频率为 100HZ，4 对级，额定转速为 1500r/min。

背靠背变流器

类似于有刷双馈风力发电系统，连接发电机定子的 PWM 变换器称为定子 PWM 变换器，连接电网的 PWM 变换器称为并网 PWM 变换器。一般情况下定子 PWM 变换器工作在整流状态（因此又称之为 PWM 整流器，简称整流器），并网 PWM 变换器工作在逆变状态（因此又称之为 PWM 逆变器，简称逆变器）。PMSG 发出的电能经定子 PWM 变换器转换为直流电，中间直流母线并联大电容起稳压和能量储存缓冲的作用，最后经过并网 PWM 变换器转换为与电网同频的交流电馈入电网，并

网 PWM 变换器与定子 PWM 变换器本体结构上完全相同,控制方案如图 3-1 所示。

PWM 变换器可以根据需要工作在整流状态或逆变状态,能量可以双向流动(对双馈风力发电系统是必需的,但直驱式并网并不需要这种功能),定子侧电流和网侧电流的大小和功率因数都是可调的,整个双 PWM 变换器可以工作在四象限状态。

在具体运行中,两个 PWM 变换器各司其职,根据控制算法的不同其功能略有不同。无论哪种算法,定子 PWM 变换器一般是采用转子磁链定向,控制 PMSG 的定子电流呈正弦波形实现转速和功率因数调节;并网 PWM 变换器采用电网电压矢量定向,将直流电逆变为良好的正弦波形实现并网和

有功/无功解耦。直流母线电压可以由定子 PWM 变换器控制也可以由并网

PWM 变换器控制,保持为比电网幅值高的稳定值(这样才能保证能量流动的方向,PWM 整流可以升压)以便往电网输送能量。如果由定子 PWM 变换器控制直流母线电压,则并网 PWM 变换器要担负最大风能跟踪的任务,必须根据风速控制 PMSG 转速或根据转速控制并网电流;如果由并网 PWM 变换器控制直流母线电压,则定子 PWM 变换器要担负最大风能跟踪的任务,一般根据此时的风速控制 PMSG 转速到达最佳转速。能量流动一般是从 PMSG 流向电网,此时 PMSG 工作于正常的发电状态;但在 PMSG 起动时能量可以从电网流向 PMSG,使 PMSG 工作在电动状态快速起动。

3.2.3 双馈风力发电实验仿真平台组成

双馈风力发电实验仿真平台主要由以下设备组成:

矢量变频器和三相异步调速电机来模拟实际的风力机;

三相异步调速电机通过联轴器带动双馈发电机发电;

发电机转子连接交流励磁变频器，通过励磁变频器对转子的控制，实现定子的并网；

双向变流器与励磁变频器通过直流母线连接，实现能量双向流动的目的，即可为转子提供励磁电流，也可以吸收转子产生的转差功率；

监控前台，主要由工控机、显示器、上位机应用软件组成，实现对变频器、励磁变频器、双向变流器等设备的数据监控以及记录保存；

风速调速器设备，主要目的就是实现定桨距角变速恒频的最大发电功率追踪；

3.2.4 双馈风力发电实验仿真平台工作原理

变频器

变频器带动三相异步电机，可以有两种模式，一种为标量控制，即 V/F 模式，此种模式无法实现发电功率最大追踪，只是当发电机转速越快，发电功率越大；另外一种为矢量控制，即转矩控制，此种模式变频器按照特定转矩送给电机，当电机运行至最佳速度时，发电功率可以达到最大值。当桨距角和叶片半径一定时，风能利用系数只与叶尖速比相关，根据上位机设定的风速值，可以获得最佳转速值和对应的转矩值。将转速值发给可控整流器，转矩值发给变频器，这样就实现了功率最大追踪，即 MPPT 功能。矢量控制需要另外配备专门的调速器，本系统默认采用的是 VF 控制模式。

对托机组

机组由三相异步调速电机、联轴器、双馈发电机组成。其中三相异步电机采用 3 对级，额定转速 1000r/min。双馈发电机采用 3 对级，额定转速 1000r/min。

励磁变流器

励磁变流器由机侧 PWM 励磁变频器和网侧 PWM 双向变流器组成。

机侧 PWM 励磁变频器主要目的就是为转子绕组提供励磁电流，其内部采用 DSP 控制器，运行电网电压定向矢量控制模型。

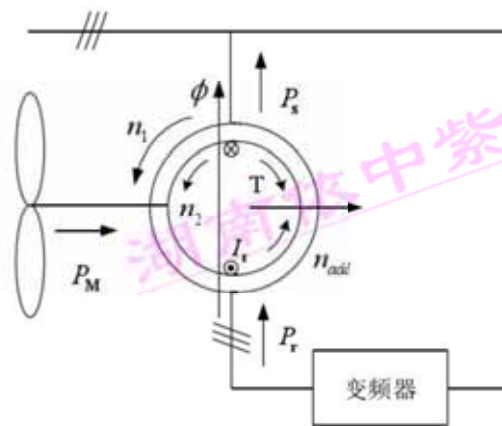
电网电压定向矢量控制 PWM 励磁变频器在系统中控制非常关键。

双馈电机的变速运行是通过 PWM 励磁变频器在电机转子绕组中施加三相低频交流电实现的。调节励磁电流频率，可以确保定子侧输出频率保持恒定；采用矢量控制技术，调节励磁电流的幅值和相位，可以确保定子侧有功功率以及无功功率

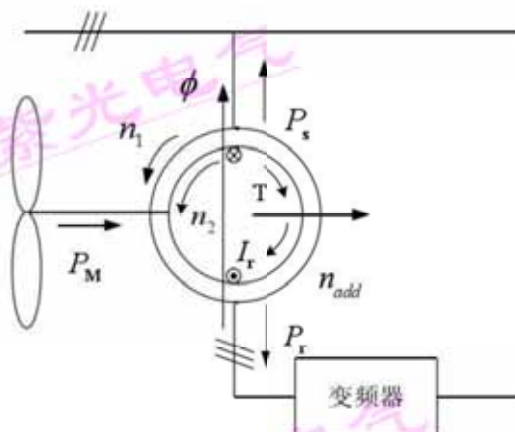
的控制互步干扰；当风速变化引起发电机的转速 n 变化时，应控制转子电流的频率 f_s 使得定子输出频率 f_1 保持恒定，其关系如下所示：

$$f_1 = \frac{n_p \omega_m}{2\pi} \pm f_s$$

当发电机的转速 n_2 低于定子磁场的同步旋转速度 n_1 时，发电机处于次同步速度运行，此时变频器应向发电机转子提供正序励磁电流。从功率角度来说，电机轴上功率 P_M 和转子输入功率 P_r 都以电磁功率的形式传递到定子侧，再回馈给电网 P_S 。当发电机转速 n_2 高于定子磁场的同步旋转速度 n_1 时，发电机处于超同步速度运行，此时变频器应向发电机转子提供负序励磁电流，保证定子磁场旋转速度与转子速度一致。从功率角度来说，就是电机轴上功率 P_M ，一部分转化为转差功率 P_r 通过转子侧变频器回馈到电网，另一部分转化为电磁功率，由定子回馈到电网上，定子输出功率为 P_S



发电机处于次同步运行



发电机处于超同步运行

网侧 PWM双向变流器实际就是一个双向电源，既可以将转子 PWM变频器的直流能量逆变为符合并网要求的交流电能，也可以将电网的交流能量整流成直流能量提供给转子 PWM变频器。电压空间矢量控制是目前的主流算法。

调速器

调速器配合上位机、整流器、变频器实现定桨距变速恒频发电机功率最大追踪。上位机给出桨距角、叶片半径、转动惯量等值后，调速器会根据最大风能利用系数推导出对应的发电机转速和变频器输出转矩，进而实现MPPT过程。

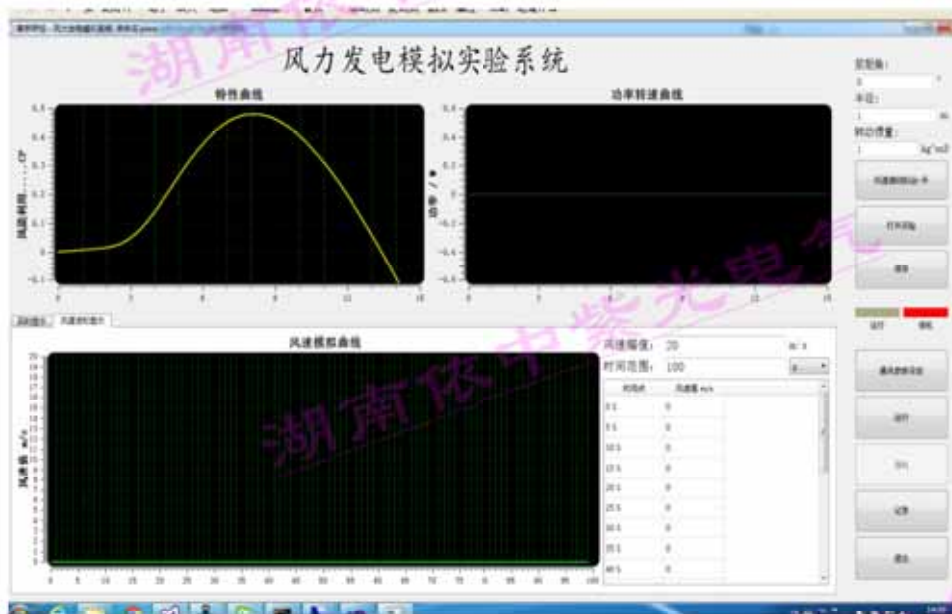
监控前台

监控前台上位机应用软件为用户提供了可视的操作界面，主要包括三大功能，分别为风速模拟功能、实时监控功能、历史保存功能。其主界面如下图所示：



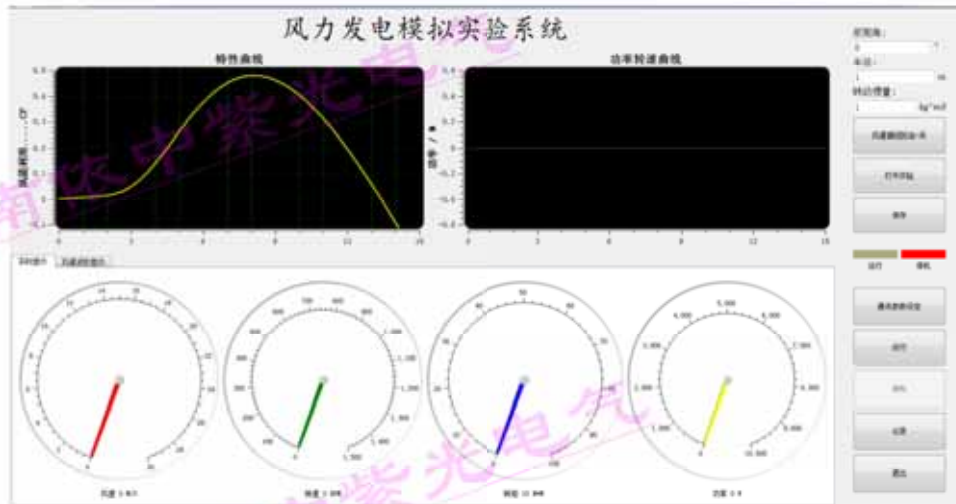
监控系统界面图

风速模拟功能



风力发电风速模拟界面图

风力发电风速模拟界面，见上图所示，用户可以设定桨距角、叶片半径、转动惯量等值。接下来设定风速曲线表，一共有 20 组数据，然后可以随便调整风速变化时间。最后可以通过拟合按钮，查看风速与功率的对应曲线关系图，见下图所示：



风速与功率的对应曲线关系图

风力发电风速模拟界面，用户可以通过表头方式查看风速、发电机的转速、转矩以及发电功率的变化情况。

实时监控功能



监控界面

监控界面可以查看励磁变频器、双向变流器以及双馈电机运行的各类瞬时参数，包括

- 直流母线电压；
- 直流母线电流；

- 电网电压；
- 网侧双向变流器交流电流；
- 直流功率；
- 网侧双向变流器的交流功率；
- 网侧双向变流器的功率因数；
- 电网频率；
- 机柜内部的温度；
- 电机的转速；
- 转子电流；
- 定子并网电流；
- 定子并网功率；
- 定子并网功率因数；

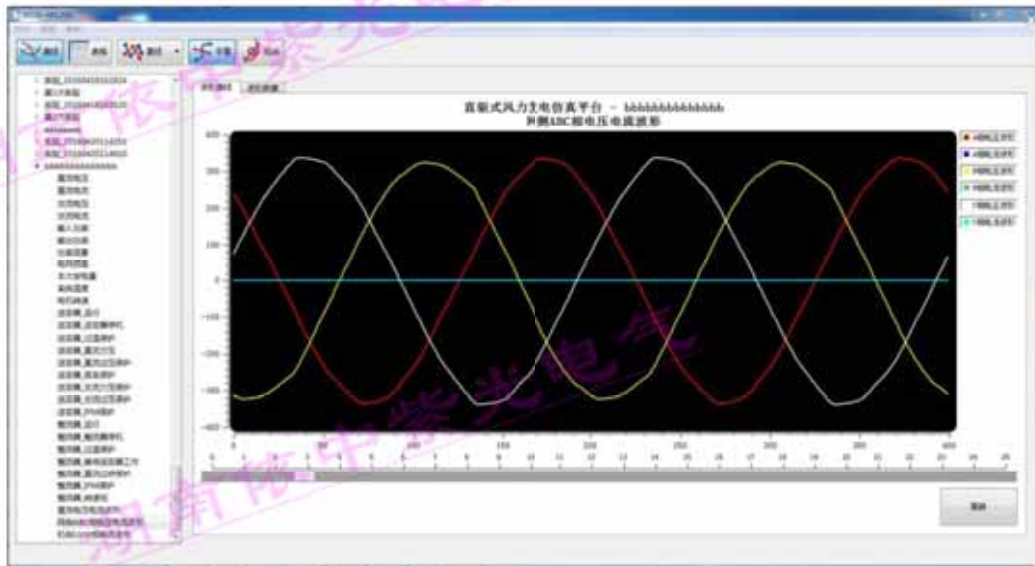
也可以通过波形按钮查看转子电流实时波形、直流母线电压、电流波形、电网电压、定子并网电流等波形。

监控软件中还具备算法研究界面，即电网定向矢量算法。通过以下图所示界面用户可以非常清晰的了解算法的结构，同时可以获取每个步骤的计算结果值，以便仿真分析。试验者可以在下面界面输入有功功率电流、无功电流的值，查看定子并网的实际情况。

历史保存功能

该应用软件采用 SQL 数据库对系统所有有效数据进行保存。这样用户就可以通过数据库访问到实验过程中所有数据的变化情况，以便分析实验结果。数据库可以通过联机方式进行访问，我们只需在本地主机安装数据库，在相同的网络中，

所有节点都可以访问此数据库。

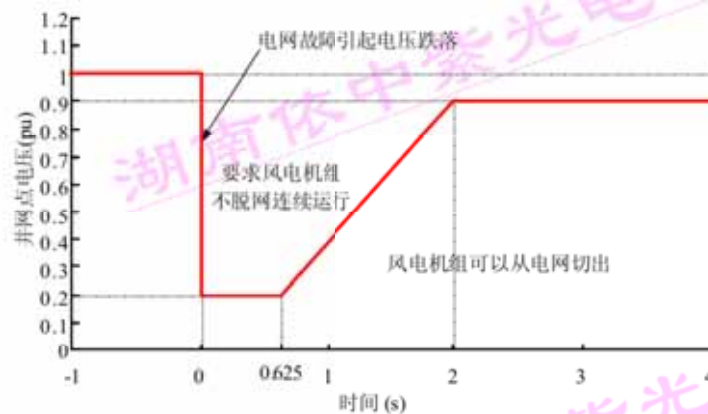


数据库界面

低电压穿越功能

双馈变流器配备有低电压穿越的功能，支持双馈风机的低电压穿越实验。

低电压穿越测试按照下图曲线进行测试，测试系统在每个测试点能够不脱网运行。



电力故障录波及分析装置

可对并网点各状态波形进行记录并分析。通道采样频率 10-100 KHz 可选。故障回放模式下，可以存放 12 路 20 次录波数据，且每次录波时长大于等于 5 分钟。支持 12 路模拟量同步采集故障录波波形可以选择不同的播放频进行故障回放。

3.2.5 风力发电实验仿真平台实验

- 1、**认知实验：**对整体系统组成拓扑和工作原理的熟知，为后面实验提供基础；
- 2、**三相交流负载实验：**验证三相交流电网特点，以及熟悉带载特性，另外就是熟悉整流器柜内部的接线；
- 3、**三相异步调速电机电动实验：**认知三相异步电机工作原理；
- 4、**变频器输出实验：**掌握变频器操作流程以及工作原理；
- 5、**自然风模拟实验：**了解变频器的操作方法，掌握上位机软件操作流程；
- 6、**永磁同步发电机带载实验：**了解永磁同步发电机原理与特性，了解永磁同步发电机转速与电压的对应关系；
- 7、**永磁直驱风力发电仿真平台并网实验：**了解永磁直驱发电机发电原理，发电过程；
- 8、**主从控制机制：**为了更加有效的配合教学，系统还支持主从机控制模式，即当教师机（主机）释放权利后，学生机（从机）才能获得控制权利。一旦教师机收回权利，那么学生机只能具有检测功能，而不具备控制功能。
- 9、**低压穿越实验：**当电网跌落后，发电机发电系统保证不能立刻脱网，要具备保持继续往电网输送能力的的能力。这个实验要求实验室具备电网模拟器设备。
- 10、**创造性实验：**通过对以上实验的熟知以及对原理的掌握，加入自己的优化控制策略或者算法，使系统按照用户的要求运行。如改进型 SVPWM、将 PID 控制模型换位滑模控制模型或模糊控制模型，等。

实验例程和项目

- 实验 1 风力发电仿真平台认知
- 实验 2 风力发电仿真平台软件认知
- 实验 3 三相交流负载实验
- 实验 4 三相异步电机电动实验
- 实验 5 三相交流变频输出实验
- 实验 6 自然风模拟控制实验
- 实验 7 永磁同步发电机空载特性实验
- 实验 8 模拟永磁风机离网实验
- 实验 9 永磁同步电动机 PMSM 电动实验
- 实验 10 模拟永磁风机离网直流系统实验
- 实验 11 模拟永磁风机三相交流并网实验
- 实验 12 交流并网馈能特性与防孤岛保护实验
- 实验 13 直驱开源平台控制器程序烧写实验
- 实验 14 直驱开源平台控制器 GPIO 控制实验
- 实验 15 直驱开源平台控制器 PIE 中断实验
- 实验 16 直驱开源平台控制器 AD 采集实验
- 实验 17 直驱开源平台控制器 PWM 输出实验
- 实验 18 直驱开源平台控制器 SCI 通信实验
- 实验 19 直驱开源平台控制器 eQEP 测速实验
- 实验 20 直驱开源平台控制器整流 SVPWM 算法实验
- 实验 21 直驱开源平台并网逆变器 SVPWM 算法实验
- 实验 22 直驱开源平台并网逆变器 PID 控制实验

实验 23 直驱开源平台并网逆变器电压、频率保护实验

实验 24 直驱开源平台本地监控程序编写实验

实验 25 直驱开源平台远程监控程序编写实验

3.3 实际风力发电系统

风力发电系统主要包括：

- 1、水平轴风力发电机
- 2、支架与拉杆配件等
- 3、风机控制器（含卸荷器）
- 4、风机并网逆变器



室外风力发电系统基本组成包括：1KW 水平轴风机，1KW 风机控制器，1KW 并网逆变器，风机塔架及风机塔架基础、辅助拉杆、电力线缆等附件。

水平轴风力发电机—风机特性

1. 发电使用专利技术的钕铁硼永磁转子交流发电机，特殊的定子设计，有效地降低发电机的阻转矩，同时使用风轮与发电机具有更为良好的匹配特性，机组运行的可靠性；

2. 电机定子选用圆铜包漆线绕组，大大提高了绝缘等级；

3. 尾舵采用自动偏航设计，抗台风能力更强，运行安全可靠；

4. 安装采用人性化设计，选用插接或法兰盘连接，方便设备安装、维护和检修；

5. 机组具有超强的防水、防腐蚀性，可隔绝风、雨或其他任何事物的侵蚀或

污染，确保本机达到 15-20 年的设计寿命，减少维护需求，降低维护成本；

6. 整机运行无需人员值守，过压、过放、过流，大风自动处理保护，各种运行指示明确易懂，同时也更加延长了使用寿命。

风机控制器（含泄荷器）

1) 并网控制器 PWM 恒压控制是风力发电机额定功率的 120%。当超出 PWM 恒压功率范围时，三相卸荷立即自动启动，运行 10-20 分钟三相卸荷停止卸荷，风力发电机重启，供电恢复输出，保证风力发电整套系统安全运行。

2) 控制器具有急停开关，遇紧急情况时，按下前面板急停按钮，控制器全部电源切断，风力发电机立即制动（泄荷）。

3) 控制器可以实现功率转换，将风力发电机组的交流输出转换为直流电；

4) 控制器可以智能检测风力发电机组的运行状态，在风机转速过快、输出电压过高或输出电流过大时，采用主动泄荷或者极限短路的方式，使风机工作在正常特性范围内。

5) 具有良好的电磁兼容性；

6) 全智能设计，可配置远程监控单元，具有“三遥”（遥测、遥信、遥控）功能；

3.4 风电并/离网故障特性模拟系统

1、利用功率硬件及仿真算法模拟风电并网各种故障特性波形、以及离网故障波形。

2、采用 32 位高集成度微处理器仿真和控制。

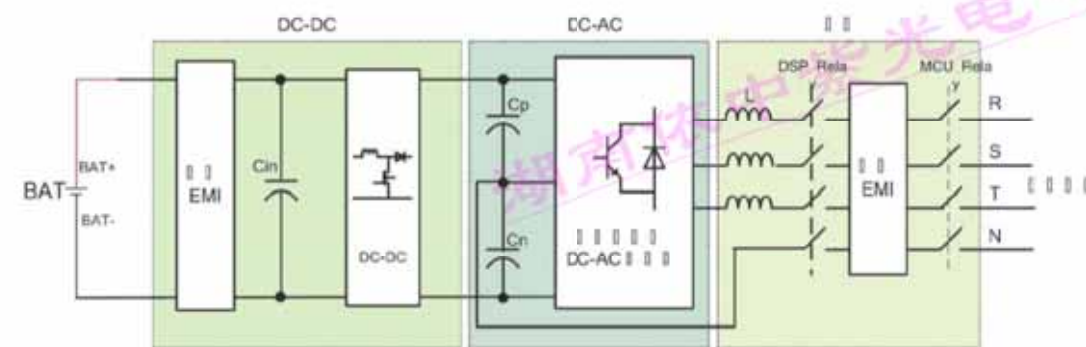
3、输出波形适用性高，可支持示波器、电力故障录波及分析装置等观测和记

录：

- 4、可供继电保护设备采集，可用于研究微电网继电保护配置。
- 5、可支持各种手持式设备检测和观察。
- 6、开放以太网和 RS485 通信接口，实现远程控制，接受分布式电源潮流仿真及配网保护影响分析系统统一调度。

3.5 储能 DC-AC 双向变流器 (PCS)

储能逆变器是整个微电网系统的核心设备，是应用在储能环节，以双向逆变为基本特点，具有一系列特殊性能、功能的并网逆变器。能有效调控电力资源，能很好地平衡昼夜及不同季节的用电差异，调剂余缺，保障电网安全。是可再生能源应用的重要前提和实现电网互动化管理的有效手段。



拓扑结构

储能逆变器特点

1、正常运行状态下的功率跟踪实现微电网正常运行状态下的功率跟踪，实现电池的充放电管理及指定的微电网与主网的功率交换。

2、孤岛运行方式下的标准源微电网由并网转为孤岛运行方式下，支撑系统能够提供参考电压和频率，实现各电源间的功率平衡分配，保证孤岛系统的稳定运行，提供抗短时冲击能力，平滑供电，储能，消峰填谷。支持不间断并网到孤网模式转换。

3、同期并网微电网由孤网转为并网时，支撑单元能够跟踪主网电压与频率，带动微电网系统无缝并入主电网

4、可根据当地负载对逆变器进行相应的时隙控制，直流软起功能，保证储能装置的稳定运行，恒功率放电和恒流、恒压充电策略。

5、可以工作在并网逆变运行模式，亦可工作在储能充电工作模式，能够根据微电网控制系统的指令输出有功和无功功率；

6、当公共电网恢复正常时且接到孤网转并网指令后，自身完成由孤网运行模式向并网运行模式的转换，转换过程造成的脱网时间 $\leq 20\text{ms}$ ；当公共电网掉电或者异常时，自动切换至孤网运行模式，完成由并网运行模式向孤网运行模式的转换，该模式转换时间 $\leq 20\text{ms}$ ；

7、工作模式可以通过有线通信、面板操作等方式设定正常运行模式，切换时间不大于 20ms；

8、能够与电池管理系统协同工作完成对电池的充放电管理功能。

9、具有大尺寸液晶屏幕，可以通过面板上的按键，查询显示微电网智能稳定

控制器工作情况、设定工作状态等；

10、具有 RS485、CAN以及以太网通讯接口；

11、具有完善的保护功能：电压保护、电流保护、电池保护、通讯故障保护等；

12、具有告警功能：出现故障时，能通过指示灯、接点信号、通讯方式输出告警信号；

PCS 设备参数

- 最大输入功率 22KW
- 最大交流电流 50A
- 最高转换效率 94%
- 欧洲效率 93.5%
- 最大开路电压 800V
- 最大直流输入电流 60A
- 交流输出电压范围 310-450VAC ($U_n=400$)
- 输出频率范围 47.5-51.5Hz ($F_n=50$)
- 功能并网离网自动切换
- 并网离网切换时间 20mS以内
- 放电方式：恒功率，恒压，恒流放电值可调
- 充电方式：恒功率，恒压，恒流放电值可调
- 充放电切换方式可根据电网调度调节
- 交流连接方式：三相四线
- 待机功耗/夜间功耗 <10W

- 输出电流总谐波畸变率 $< 3\%$
- 功率因数 > 0.99
- 自动投运条件
- 故障清除后 3Min
- 断电后自动切换成离网模式
- 隔离变压器（有/无）有
- 输出过载保护（有/无）有
- 直流过欠压保护（有/无）有
- 交流过欠压保护（有/无）有
- 过欠频保护（有/无）有
- 其它保护
- 反孤岛、限流、过流、过热等
- 工作环境温度范围 $-20^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$
- 离网输出额定参数
- 输出电压 400V
- 输出频率 50Hz
- 相对湿度 $0 \sim 95\%$ ，不结露
- 满功率运行的最高海拔高度 $\leq 2000\text{m}$
- 防护类型/防护等级 IP20
- 散热方式风冷
- 显示方式液晶屏
- 通讯接口

- RS485 (ModbusRTU)
- 机械尺寸 (宽×高×深) 800*1600*600

3.6 磷酸铁锂电池储能系统

磷酸铁锂电池由 128组 3.2v50AH锂电池模块组成，一共分为 1组，由 128个电池串联。共 20KWh，直流电压 400V。

产品特点

电池正极采用磷酸亚铁锂(LiFePO₄)材料制作，安全性能好、循环寿命长。系统采用高性能的专用 BMS电池管理模块，该 BMS具备电压、电监控单元自动测量电池的充放电电流、充放电电压、单体电芯表面温度和环境温度；

二次下电功能，电池电压低于告警值有告警信息，电压过低时自动下电，保护电池；

系统具有良好的电磁兼容性；

全智能设计，配置有集中监控模块，具有四要（遥测、遥信、遥控和遥调）功能，实现计算机管理，可以通过与远端中央监控中心通信；

电源控制技术与计算机结合，可以实时监测和控制各种参数及状态；

采用自冷方式，整个系统具有极低的噪音。

电池 BMS 管理系统

电池管理系统 (BMS) 主要就是为了能够提高电池的利用率，防止电池出现过度充电和过度放电，延长电池的使用寿命，监控电池的状态，同时将电池组的各种检测数据传输给 PCS，供 PCS策略调度时参考。

技术参数/指标

- 1、检测母线电压、母线电流，电池组电量等基本信息
- 2、模拟量测量功能：实时测量蓄电池模块电压、充放电电流、温度和单体电池端电压等参数，并计算给出蓄电池模块的 SOC 值；
- 3、均衡功能：保证储能电池的一致性，BMS 具有电池模块内部单节电池间的均衡
- 4、电池系统运行报警功能：在电池系统运行出现过压、欠压、过流、通信异常、异常等状态时，可上报告警信息
- 5、电池系统保护功能：在电池系统运行时，如果电池的电压，电流，出现超过安全保护门限的紧急情况时，可切断故障，保护电池。
- 6、与 PCS 通讯交互，通讯方式为 RS485。
7. 实时电压显示，配有 7 寸工控触摸屏，可以实时显示每块电池的电压，温度采集等参数。

8、蓄电池组的电气保护：过压保护、低压保护、过流保护、高温保护；

主要技术指标：

工作电源：AC220V \pm 10%；

功耗： \leq 10W；

单体电压采集范围：0~6V；

单体电压采集精度： \leq \pm 0.05%（2mV）；

组端电压采集范围：0~600V；

组端电压采集精度： \leq \pm 0.2%；

电流采集（传感器）范围： \leq \pm 100A；

电流采集（传感器）精度： \leq \pm 0.5%；

温度采集范围：-40~125℃；

温度采集精度：≤±0.5℃；

电压采样周期：≤10ms；

电流采样周期：≤10ms；

被动均衡电流：≥0.2A；

电压均衡平衡度：≤±50mV；

SOC估算精度：≤5%；

过充保护：过充保护电压可设；

过放保护：过放保护电压可设；

温度保护：温度报警数值可设；

充电过流保护：过充保护电流可设；

放电过流保护：过放保护电流可设；

短路保护电流：≤100A；

通讯方式：RS485

通讯规约：MODBUS

使用环境温度：-20℃~+85℃；

相对湿度：< 85%。

3.7 超级电容系统

超级电容组是由 4组 110V，7F电容模块组成，2串 2并。孤岛运行时，可为系统提供瞬间功率支撑；容量 5kW. 15s，额定输出直流电压 220V，电流 20A。

性能参数

充电特性：当 2 个模组并联时，充电电流限制在 2A。充电电压不能超过模组上限电压 140V。放电输出特性：每个模组的放电电流应外部限定在 10A，当 3 个模组并联时，放电电流应不超过 20A。因此，负载总电流应不超过 30A。

模组极限高电压：130V；

模组充电电压：122V；

模组的额定充电电流，充电限流 2A。

放电特性：正常电压从 122V 以 20A 放电 15S 钟时间，电压跌落不低于 100V；

项目		参数
容量	额定容量 (F)	7F
	容量公差	10%
电压	额定电压	150V DC
	浪涌电压	159V DC
	最高串联电压	220V DC
内阻	等效内阻, DC	1120mΩ
	内阻公差	最大值
温度	工作温度范围	-40~+65℃
	存储温度范围	-40~+70℃
温度特性	容量变化	初始测量值的+/-5%内
	内阻变化	初始测量值的+/-150%内
寿命 (耐久性)	65℃, 额定电压下, 工作1500h后	
	容量变化	初始指定值的20%内
	内阻变化	初始指定值的60%内
寿命测试	25℃, 额定电压下, 工作超过10年	
	容量变化	初始指定值的30%内
	内阻变化	初始指定值的150%内
循环测试	25℃, 恒定电流下, 在额定电压到1/2额定电压之间循环一百万次	
	容量变化	初始指定值的30%内
	内阻变化	初始指定值的150%内
电流	漏电流	1.2mA
	最大连续电流	10A

3.8 储能并网故障特性模拟系统

1、利用功率硬件及仿真算法模拟储能电并网各种故障特性波形。

2、采用32位高集成度微处理器仿真和控制。

3、输出波形适用性高，可支持示波器、电力故障录波及分析装置等观测和记录；

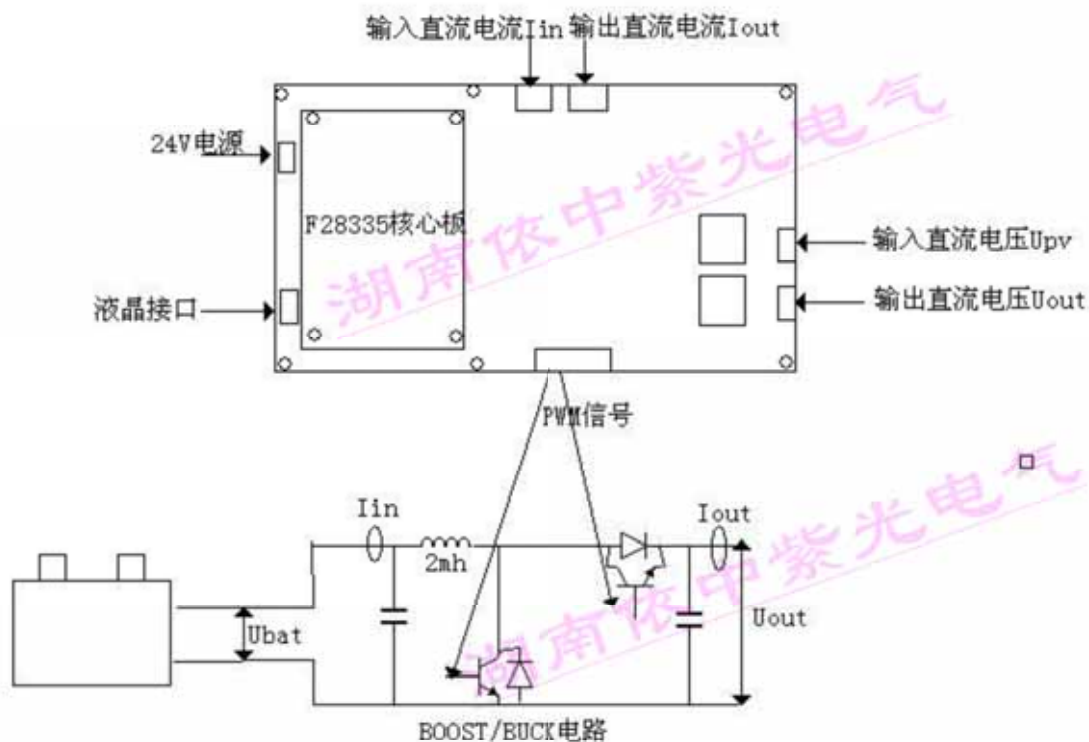
4、可供继电保护设备采集，可用于研究微电网继电保护配置。

5、可支持各种手持式设备检测和观察。

6、开放以太网和RS485通信接口，实现远程控制，接受分布式电源潮流仿真及配网保护影响分析系统统一调度。

3.9 双向 DC-DC 变换器（开放式）

双向 DC-DC变流器，是将磷酸铁锂电池组和超级电容组的直流电进行升/降压，使其接入到 400V直流母线上，可实现能量的双向流动，完成储能系统的充放电，同时可接受中央控制器的调度和监测。



设备特点

全数字化，各种参数及信号全部数字化处理运行。性能和可控性均远优于普通的模拟变换器。

能工作于恒流、恒压、MPPT和压控电流源等多种工作模式，并可在线快速频繁地切换工作模式。

模块带有液晶屏显示，可实时显示各种参数。

RS485串口通信功能，遵循 MODBUS-RTU协议，方便终端远程监控其工作状态和参数。

各种异常情况保护功能：带有过压，过流，过热，短路保护功能，故障撤销后自动恢复工作。

19英寸 4U机箱，具体尺寸 482mm（长）X 450mm（宽）X 176mm（高）。



3.10 可编程 RLC 负载

可编程 RLC 负载特点

1、RLC负载，是由连续可调电阻、电感、电容负载系统、电气参数测试系统、自动控制系统、软件分析编程系统组成。

2、可以模拟三相负载不平衡、负荷突加突卸、不同功率因素超前、滞后等各种电力工况。检验微网系统在各种复杂极端工况下的运行可靠性。

3、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。

- 4、可以用于测量微网逆变器或微网并网点防孤岛效应保护功能。
- 5、在微网试验平台与能量管理系统程序研发试验中，可以将本设备任意设定成一级负荷、二级负荷、三级负荷，通过软件远程控制功能实施可行性实验。
- 6、内置有多通道的电气参数采集模块，能够精确测量显示三相 RLC各个通道的电压、电流、有功功率、无功功率等电气参数。
- 7、内置的阻性负载、感性负载及容性负载最小标准功率为 0.1kVA，步进幅度 0.1kVA，负荷功率连续可调，可精确模拟交流谐振发生并满足逆变器防孤岛保护功能检测需要。
- 8、ABC三相阻性负载、感性负载、容性负载的功率，可以分相独立控制及调节，满足三相电压不平衡条件下仍可精确调节出交流谐振点的要求。
- 9、可以通过远程 PC机设置相应的功率，任意组合、设定加载 RLC功率，即可远程控制并调节 RLC功率，将测量数据上传到 PC机。

可编程 RLC 负载参数

阻性负载、感性负载、容性负载都可以连续可调，最小步进幅度 0.01 kVA；

R: 100W-3.33 kW单相、三相连续可调；

L: 100VA-3.33kVA单相、三相连续可调；

C: 100var-3.33kvar单相、三相连续可调；

各功率档位标称电压：三相 AC400V/50Hz；

相电压测量范围：0-300V，精度为 $\pm 0.2\%$ 、电压分辨率为 0.1V；

电流测量范围：0-100A，电流测量精度为 $\pm 0.2\%$ 、电流分辨率为 0.01A

适用环境温度范围：-20~+45℃；

设备工作电源：交流 220V/50Hz；

3.11 交流充电桩系统

功能特点

主控板采用具有嵌入式操作系统的单片机，充电模式分为自动充满、定时间、定金额、定电量四种，可预留 RS-485组网通讯接口。

采用 8寸 800x600分辨率彩色触摸屏显示，以触摸按键操作，可设定充电模式；

采用单相电子式电能表进行电度计量，通过 RS-485接口与主控板通讯；

采用非接触式智能读卡器，读取 IC卡相关信息，通过 RS-485接口与主控板通讯，由主控板后台程序进行充电者身份识别、用户信息记录、充电费用计算等；

进线开关采用具有漏电保护功能的开关，并安装急停按钮；

外形采用钣金和部分 ABS塑料结构。主要技术参数

额定输入电压：AC380V \pm 10%；

额定输出电压：AC380V \pm 10%；

额定功率：7kW；

最大输出电流：16A；

机械连接寿命：50000次；

电气寿命：10000次；

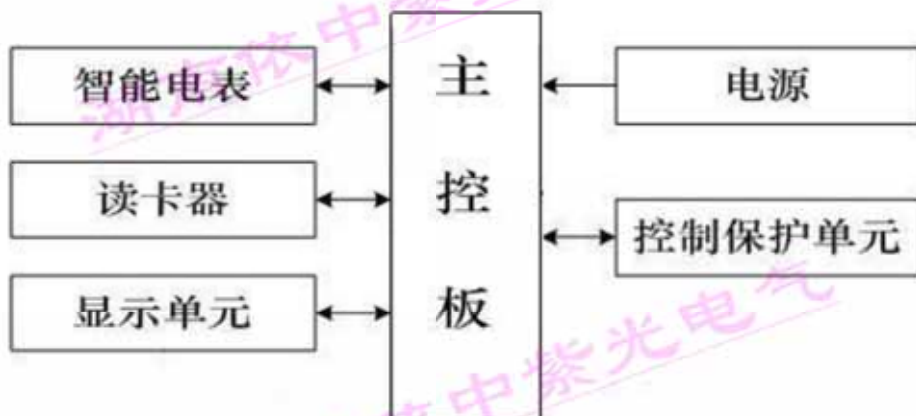
外形尺寸：桩体尺寸（高*宽*深）：1430*300*200

防护等级：IP54；

绝缘强度：2500V。



系统组成



电动汽车交流充电桩主要由人机交互部分及内部控制部分两大功能模块组成。人机交互部分由智能电表、读卡器、显示单元组成，用于设置充电、计费方式和设置充电过程参数、识别充电卡等。

内部控制模块由主控板、电源、控制保护单元、后台通讯组成，完成充电过程的启动、运行、实时监控以及停止，并可通过多种通讯方式将数据实时上送至后台。

3.12 微电网主控柜（开放式）微电网中央控制器

微电网中央控制系统，通过对微电网系统进行高速数据采集，收集全网电气参数，对全网运行状态进行采集和监视，并在此基础上进行逻辑运算，得出控制策略对微电网进行实施调节控制，实现微电网电源、储能、负荷的实时动态调节功能，保证微电网安全、稳定运行。

技术特点

1、数据采集中央控制器的测控模块，可实现对微电网系统进线、分布式电源、储能、负荷、母线等各回路电气量及开关位置等信号量的采集，并将采集数据通过高速网络快速传送到中央控制器的主控单元。

2、控制操作

通过中央控制器的测控模块，可实现对微电网各回路开关及设备的控制操作，实现微电网系统运行状态的调节。

3、分布式电源调节

中央控制器可以通过通信接口实现对微电网系统的分布式电源进行调节，根据需要控制各电源有功、无功出力。

4、储能单元调节

中央控制器可以通过通信接口控制储能系统的充放电功率，从而满足微电网运行方式的需要。

5、微电网运行模式实时控制

中央控制器的主控单元，可以根据调度指令、系统自动、手动进行微电网运行模式的控制。中央控制器内置微电网并网运行、孤网运行、并网转孤网、孤网转并网、全网停电等多种控制模式。根据不同的运行工况和控制目标实现微电网

的实时控制，保证微电网系统的安全、稳定运行。

6、通信功能中央控制器可以与微电网系统的各个智能控制单元进行通信，通过通信实现对各控制单元的控制和调节。

同时中央控制器还可以通过通信接口与微电网监控系统进行通信，接受监控系统的统一调度。

7、高速采集

中央控制器配置高速全电量采集模块，并能够高速传输，满足系统实时性要求。

8、实时模式控制

通过高速采集，快速控制，实现对微电网运行状态的实时调节与控制。

9、新型高速实时工业以太网

中央控制器采用新型高速实时工业以太网，实现采集数据的高速传输，从而满足对微电网系统实时控制的要求。

4 微电网能源与管理系统

微电网能源管理系统是微网系统的神经中枢和能量管理中心，系统利用物联网技术构建传感测控网络，对智能微网各种类设备运行、环境状态及人员管理进行综合的信息感知，监控 BMS 和 PCS 的运行信息，集成微网系统发电和储能监控、供电监控、计费管理等功能。同时接收电网调度中心下发的调度指令，并根据当前电池组和微网逆变器的运行信息合理的分配调度指令。

智能微网管理系统具备“智能感知、智能处理、智能判断”的特点，可以实现微网系统的智能化管理，实现智能运行管理，确保安全、可靠、经济运行。

4.1 系统特点

微电网能源管理系统覆盖微网发电、储能、能量转换、供配电及整体调度的各个环节，实现对微网全方位的监测监控管理，保障微网各环节安全可靠运行。

依中微电网监控系统是整个微电网软件系统的基础平台，通过对各回路智能设备的数据采集，实现对微电网系统运行状态的监视与控制。

依中微电网监控系统全面遵循国际标准，采用面向对象、组件化分层、分布设计思想。系统软件结构从逻辑上分为三层：

数据接口层：数据接口专门用于数据采集和协议转换。

数据处理层：包括实时数据库环境、事件服务器环境、计算环境、历史数据环境、校时服务器环境等。

数据应用层：包括数据展现功能，同时包含基于此数据开发的众多通用或扩展应用模块，比如负荷预测、功率分析等。

4.2 SCADA 平台

SCADA 平台实时对微电网系统的数据采集与控制，并为各应用模块提供数据基础。

1、数据采集与处理

系统包括各种信息量（量测量、状态量等）的采集：

- 量测量包括测量对象的三相电压、线电压、电流、零序电压，零序电流，直流电压，直流电流、有功功率、无功功率、功率因数、变压器温度等，以及有功电度、无功电度等电度量。
- 状态量可分为位置信号和保护信号：位置遥信包括各种开关、刀闸、接触器

的合、分状态，远方就地位、设备运行状态等；保护遥信包括各类保护跳闸动作的启动、出口、失败，各路开入、开出错误、采样错误、定值错误、压板状态，计算机运行及通信状态，设备告警信息，温度检测设备的过限与否等信息。

系统接收由通信处理机传送上来的数据信息，经过各种计算及逻辑处理后，数据结果存储到系统的实时数据库和历史数据库中。通过人机界面进行展现及交互，实现监控功能。同时系统并能检测出状态变位、模拟量越限、保护出口、装置异常等，生成事件及告警信息。

2、 监视与报警

系统能在计算机屏幕上对主要电气设备的运行参数和设备状态进行图形化监视，当所采集的模拟量发生越限、数字量变位及计算机系统自诊断故障时，系统会根据预先设定的处理策略立即处理这些报警信息。

实时报警系统针对微电网 SCADA 系统运行过程中出现的各种异常情况或需要调度和维护人员特别注意的事项进行声、光等方式的提示。系统对异常运行状态提供报警提示功能，报警提示将包括画面显示、文本信息和音响报警，并提供报警确认、打印、分类、归档、存储等管理手段。

● 遥控

SCADA 系统可以对微电网系统的任何一个可遥控对象进行遥控操作。可以实现微电网系统内的断路器、电动隔离开关等的“分”、“合”闸控制操作。对于开关等的遥控操作，采用“选择—确认—执行”模式以确保操作被安全地执行。整个操作过程将被完整记录到操作日志中以供以后查询。

为了防止发生违反电力操作规程的控制操作，在遥控操作时，系统判断被控

对象的遥控闭锁关系,当满足执行条件时,可以下发遥控命令;如果不满足软件闭锁条件时,不能进行遥控执行操作,同时给出闭锁的原因提示信息。

● 设定值遥调

通过对微电网系统中的分布式电源有功无功出力、储能系统的充放电功率等参数,实现对微电网运行状态的调整。SCADA 系统可以远程对微电网的各分布式电源的出力、储能系统的充放电功率等进行设置值调节,整个操作过程将被完整记录到操作日志中以供以后查询。

● 模式控制

支持并网启动、离网启动、并转孤、孤转并等多种微电网系统运行模式远方切换。

● 模拟置位

系统具有手动模拟置位操作功能,系统无法采集到某个设备(如开关、刀闸等)的状态或采集到的数据不可信时,或调试需要进行置数时,系统对具有权限的操作员,可以通过人工设置遥信点的状态和遥测点的数值。调试操作时可以通过人工置数的信息,在画面上用明显的符号设置相应的标志。

● 保护复归

系统可实现远方进行保护复归操作。在进行复归操作时,系统自动判断是否具有保护事故总信号,仅执行有保护事故总信号的开关设备的复归操作,没有事故总信号的保护不进行复归操作,确保没必要的复归操作,尽量减少复归操作的时间。

● 权限管理

为保证系统操作的安全性,系统对所有用户进行统一管理,登录的身份不

同，其操作的范围也不同。

系统可根据要求对系统的操作权限进行分级，定义不同的用户组，每个用户组被赋予特定的权限，属于同一用户组的用户拥有相同的权限。

● 日志管理

系统提供功能完备的日志管理工具，负责收集保存系统所有运行状况（各前置通道状态、系统各进程状态、系统各节点状态）、系统运行时的各种报警事件（系统自身产生的各种事件和报警、开关动作记录）、操作与维修记录等信息。用户可根据日志类型、分操作员、分等级按时间段进行查询与选择打印。

4.3 实时数据库

实时数据库管理建立在高效内存管理及索引机制之上，是面向对象的、开放的、分布式大容量实时关系数据库管理系统。通过共享内存、先进算法等多种技术，保证了数据库对实时性、一致性、可预见性、及大吞吐量等方面的要求

历史数据的保存与转储

系统采集的数据信息，经过各种算术及逻辑处理后，数据结果存储到系统的实时数据库中，MG1100-HIS 历史服务的功能是按照不同的存储周期和预先的设定的存储策略将实时数据写入商用关系数据库中，历史服务同时还负责日、月、年各统计量的统计工作。

系统报警和各种操作日志也通过历史数据库进行存储。

4.4 微电网运行策略

微网控制系统能统一管理其内部所有分布式电源和负荷。在配电网发生故障时，微网无缝切换至孤岛运行模式，在该模式下各分布电源不必退出运行而继续

发电，保持对微网内负荷的稳定供电。

主要分为两大模式：最大功率输出模式和自调度模式

最大功率输出模式

并网状态：当检测到电网正常时，晶闸管开关会自动恢复，系统进入微网并网运行状态，系统中的光伏并网单元与风机并网单元独立运转，按照最大功率来运转，有多少能源就吸收多少。储能双向逆变器检测蓄电池组的余量，以二分之一余量为限，不足则充电，超过则放电。此时，整个微网系统根据各个单元自身的特性独立运转，控制系统检测各个单元的实时功率，若光伏和风机发出的功率大于负载和蓄电池组充电的功率则向大电网输电，若不足，则从大电网借电。

孤岛状态：当大电网出现故障时，系统自动关断晶闸管快关，微网系统进入孤岛模式，由双向变流器作为电压源，组成一个电网。此时，光伏并网单元与风机并网单元依旧工作在最大功率点状态。控制系统检测各个单元的实时功率，若光伏和风机发出的功率大于负载的功率，则系统调度，双向逆变器向蓄电池里充电，或者通过加大负载功率来消耗多余的功率。若光伏和风机发出的功率小于负载的功率，双向逆变器则放电补充。

自调度模式

① 并网状态：各个单元完全受主控中心调度。PCS 首先将光伏电池当前最大功率值、风机当前最大功率值、负载在线功率值以及当前电网电压值、蓄电池电量存储值、系统出力上限值等参数集中送给主控中心。主控中心根据并入主网功率要求，将有功、无功值、负载调整值等信息发给 PCS，PCS 由此控制光伏、风机、蓄电池以及负载的运行。具体执行方式如下：

i、当光伏和风机发出的功率大于并入主网功率和在线负载功率时，若蓄电

池小于二分之一电量，通过双向逆变器为蓄电池充电，否则双向逆变器处于待机状态；与此同时按照以下两种优先策略执行：

负载优先策略：增大或者减小负载在线值来平衡系统功率；

功率优先策略，减小光伏和风机发出的功率值；

ii、当光伏和风机发出的功率小于并网主网功率和在线负载功率时，则可以按照以下几种优先策略执行：

按照当前功率馈送主网，系统不执行其他动作；

减小在线负载值，实现光伏和风机与负载的功率平衡，满足并入主网要求；

增加蓄电池发电，满足并入主网要求；

B 和 C 同时考虑，满足并入主网要求；

② 孤岛状态：当主网出现故障时（或计划控制晶闸管开关断开时），双向逆变器切换为离网工作模式，为系统提供一个孤立电网（同时将系统与主网切断）。光伏和风机并入孤立电网中。同样，各个单元受主控中心调度，PCS 首先将光伏当前最大功率值、风机当前最大功率值、负载在线值等参数集中送给控制中心。控制中心根据系统功率情况将交流电压给定值、负载调整值等信息发给 PCS，PCS 进而去决定光伏、风机、蓄电池以及负载的执行动作。具体执行方式如下：

i、当光伏和风机发出的功率大于在线负载功率时，若蓄电池小于二分之一电量，那么优先通过双向逆变器为蓄电池充电。蓄电池电量大于等于二分之一电量时按照以下两种优先策略执行：

A、负载优先策略：增大或者减小负载在线值来平衡系统功率；

B、功率优先策略：减小光伏和风机发出的功率值。

ii、当光伏和风机发出的功率小于在线负载功率时，那么可以按照以下两种

优先策略执行：

- A、负载优先策略：减小负载在线值来平衡系统功率；
- B、蓄电池发电策略：不改变负载在线值，蓄电池发电平衡系统功率。

5 微电网配电系统

微电网配电保护装置对微电网系统的发电、用电、储能设备提供必要的保护，接受微电网控制系统的统一控制以保证微电网的稳定、可靠运行。是电网控制系统的核心设备。

户内式微电网交流配电柜，微电网交流配电柜防护等级 IP32。

交流配电柜正面留有标识牌位置，可标识交流配电柜编号。

交流配电柜采用立式，安装方式采用落地固定安装方式；微电网交流配电柜接线为下进、下出线方式，并配有接地线引接电缆孔。

交流配电柜输入和输出接线端子满足相关控制设备接出的要求，并留用足够备用端子，接线端子设计能保证电缆线可靠连接，有防松动零件，对既导电又作紧固用的紧固件，采用铜质零件。

交流配电柜导线有不同色标，柜内元件位置编号、元件编号与图纸一致，并且所有可操作部件均用中文标明功能。

交流配电柜母线按 IEC431 等相关标准，采用高导电率的铜质母线，母线截面在整个长度内应均匀，确保承受连续的负荷电流，并能满足系统的动、热稳定技术要求。母线之间的连接保持有足够和持久的接触压力，且不使母线产生永久变形。

5.1 直/交流微源接入组合柜

直/交流微源接入组合柜，是将直/交流流母线接入电网、各类型分布式发电源、储能系统、各类型模拟负荷等设备的接入端口汇总到组态柜上，同时配备远控电操、接触器、电能参数采集模块等，实现中央控制器统一远程控制各设备，并实现自动切换实验拓扑结构功能。

微电网线路组态柜汇总了部分分布式发电源、模拟负荷的接入。

微电网直流组态柜主要应用于直流微电网系统，包含了各发电源直流接入，储能系统、直流负荷系统的接入。

微电网组态柜具有如下特点：

- Ø 具备灵活组态功能；
- Ø 方便改变微电网拓扑结构；
- Ø 灵活改变并网点结构；
- Ø 灵活改变负荷点位置；
- Ø 灵活改变微源位置；
- Ø 实现多组态研究。

5.2 并网接入柜

微电网并网接入柜对微电网系统的发电、用电、储能设备提供必要的保护，接受微电网控制系统的统一控制以保证微电网的稳定、可靠运行。是电网控制系统的关健设备。

微电网并网组态柜包含了 PCC 接入点，具备电能质量在线监控、并离网切换开关、各类电信号的采集、双向计量等功能。包含了部分分布式发电源、储能系

系统的接入。微电网并网组态柜是微网实验平台的配电装置，负责微网内各变流器与电网的连接，必要时可断开平台与电网的连接，形成孤网。柜内配有测量装置，双向智能电表，通信协议向外部开放。

系统供电电源：

动力电源供电 3 相 380 V AC, 50Hz N, PE; 三相

五线制：-照明系统 220 V, 50 Hz, N, PE; -控制电压 220 V, 50 Hz, N, PE;

-通讯系统 RS485; -采样精度 $\pm 1\%$; -隔离变压器 60KVA;

户内式微电网交流配电柜，微电网交流配电柜防护等级 IP32。

交流配电柜正面留有标识牌位置，可标识交流配电柜编号。

交流配电柜采用立式，安装方式采用落地固定安装方式；微电网交流配电柜接线为下进、下出线方式，并配有接地线引接电缆孔。

交流配电柜输入和输出接线端子满足相关控制设备接出的要求，并留用足够备用端子，接线端子设计能保证电缆线可靠连接，有防松动零件，对既导电又作紧固用的紧固件，采用铜质零件。

交流配电柜导线有不同色标，柜内元件位置编号、元件编号与图纸一致，并且所有可操作部件均用中文标明功能。

交流配电柜母线按 IEC431 等相关标准，采用高导电率的铜质母线，母线截面在整个长度内应均匀，确保承受连续的负荷电流，并能满足系统的动、热稳定技术要求。母线之间的连接保持有足够和持久的接触压力，且不使母线产生永久变形。

5.3 电网模拟器

60kVA 交流可回馈模拟电源通过先进 DDS 频率控制算法以及双环双极性的 SPWM 逆变控制技术实现光伏逆变器测试所需各种电网电压和频率变换, 模拟电网变化的各种工况, 达到真实模拟电网状态的目的, 满足各标准要求的测试项目任务; 同时整流端是四象限运行方式, 被测逆变器的能量可直接通过电网模拟源回馈到电网, 除防孤岛外的所有测试无需连接负载, 测试平台连线简单方便。

根据新能标 NB/T 2004-2013《并网发电光伏专用逆变器技术规范》以及《并网发电光伏专用逆变器技术条件》CGC/GF004:2009A 标准要求可知, 要完成 CQC 基本认证测试, 交流电网模拟源具备以下功能和技术要求:

输出电压要求: CGC/GF004:2009A 标准 5.3.4 和 NB/T2004-2013 标准 7.7.1.2 要求, 交流输出电压最高要达 $1.35U_n$, 对于 380V/220V 系统, 交流输出电压要求达 520V/300V, 电压分辨率要求 0.1V, 设定精度 0.5%以内, 根据用户技术要求, 交流输出电压范 $10\sim 500V$ (500kW 逆变器并网额定电压 315V);

(1) 输出频率要求: CGC/GF004:2009A 标准 5.3.5 和 NB/T 2004-2013 标准 7.7.2 要求, 交流输出频率范围要求 $45Hz\sim 52Hz$, 考虑到国外 60Hz 需求, 最好为 $45Hz\sim 65Hz$; 频率分辨率要求 0.01Hz, 设定精度 0.01Hz 以内;

(2) 输出电流要求/功率要求: NB/T 2004-2013 标准 7.7.4 要求支持 1.1 倍过载, 且做防孤岛测试时, 模拟电网系统短时间内要承受 1 倍的电感无功, 60kVA 电网模拟源功率等级符合要求;

(3) 零/低电压穿越功能: NB/T 2004-2013 标准 7.7.8 要求具备模拟零电压跌落功能, 每相均能跌落; 跌落时间可设, 设定步进 ms 级, 具体参考标准图要求;

(4) 电压、频率跳变响应时间：NB/T 2004-2013 标准 7.7.1.2 要求可得出电压、频率跳变时间需要一个周期(20ms)内完成；

(5) 模拟电网电压谐波畸变率：CGC/GF004:2009A 标准 5.1.2 要求电网模拟源总谐波畸变率小于 5%，奇次谐波含有率小于 4%，偶次谐波含有率小于 2%，三相电压不平衡度小于 2%，实际交流模拟源总谐波畸变率小于 2%，奇次谐波含有率小于 2%，偶次谐波含有率小于 1%，三相电压不平衡度小于 2%，以便满足电流谐波测试、三相不平衡度测试等；

(6) 单相独立可调：NB/T 2004-2013 标准 7.7.3.2 和 7.7.8 要求交流电网模拟源单相独立可调，相位可变；

(7) 电压、频率可编程功能；

(8) 具备全反灌功能可将输入交流源能量反馈电网，节约能源；

(9) 电压或者频率的每一次变化都会触发一次电平，在做过欠压、过欠频试验时，准确方便；

(10) 输入端采用 PWM 整流技术，具有高输入功率因数，对电网谐波影响小；

(11) 配置电力故障录波及分析装置，可对并网点各状态波形进行记录并分析。通道采样频率 10-100 KHz 可选。故障回放模式下，可以存放 12 路 20 次录波数据，且每次录波时长大于等于 5 分钟。支持 12 路模拟量同步采集故障录波波形可以选择不同的播放频进行故障回放。

根据实际需求，60kVA 能满足用户产品测试要求，由于大功率模拟源产品为定制产品，实际制作时我司根据实际用户使用情况基础上对功率器件上选型行适当考虑裕量，满足一定的过载能力。

5.4 分布式电源潮流仿真及配网保护影响分析系统

分布式电源潮流仿真及配网保护影响分析系统主要用于分布式电源接入电网后对系统潮流的影响和对配电网继电保护的影响分析。

其主要由以下几部分组成：

- 1、图形组态功能 用户可以自行编辑图形界面以适应电网主接线的变化，可以添加删除设备，修改线路、主变压器、电容器和电抗器等各个设备的参数。
- 2、计算分析功能 能根据图形组态形成的电网系统，自行形成电力网络拓扑图，便于进行计算分析。
- 3、潮流计算功能 根据仿真电力网络拓扑图，利用牛顿-拉夫逊方法计算分析系统的各点各线的正常潮流。
- 4、短路故障功能 根据仿真电力网络拓扑图上设定的故障类型，计算系统故障时的母线电压和各元件电流。
- 5、模拟量信号的同步输出功能，信号源仿真系统软件可连接多台功放单元，同步功能可使多台功放单元的模拟量输出同步。
- 6、通讯功能 信号源仿真系统软件通过以太网通讯功能将电流电压信号传输到功放单元。
- 7、能够对分布式电源的受电模式和送电模式 2 种情况下并网运行、孤岛运行以及联网后断开的潮流情况进行仿真分析。
- 8、分布式电源接入后对配网继电保护的影响分析