

# 大型移动式光伏电站防孤岛能力检测平台的研究与开发

胡文平<sup>1</sup>, 雷胜华<sup>2</sup>, 王雪<sup>2</sup>, 贾静然<sup>1</sup>

(1. 国网河北省电力公司电力科学研究院, 河北 石家庄 050021; 2. 华北电力大学  
新能源电力系统国家重点实验室, 河北 保定 071003)

**摘要:** 根据近年来我国光伏发电产业的发展现状以及光伏电站并网标准的相关规定, 针对开展防孤岛能力试验需要考虑的逆变器容量、并网点电压等级、负荷加载、地理环境等实际问题, 开发了一套具有 380 V/ 10 kV/35 kV 多电压等级接入、最大容量为 1.5 MW 的移动式光伏电站防孤岛能力检测平台。该平台能够满足不同类型光伏电站防孤岛能力试验的需要。选定曲阳县某光伏电站开展现场防孤岛能力检测试验。试验结果证明该检测平台能快速、准确地检测到并网逆变器是否具有防孤岛能力。

**关键词:** 光伏电站; 防孤岛能力; 孤岛检测; 移动检测平台; 多电压等级

## Design and development of the mobile platform to test the ability of anti-islanding for large-scale PV power station

HU Wenping<sup>1</sup>, LEI Shenghua<sup>2</sup>, WANG Xue<sup>2</sup>, JIA Jingran<sup>1</sup>

(1. Electric Power Research Institute, State Grid Electric Power Company of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;  
2. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources,  
North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:** According to the current development of photovoltaic industry and the relevant provisions of the standards for PV power station connected to power grid in recent years, a testing platform to detect the ability of anti-islanding is developed and designed. The mobile an-islanding detection platform can be accessed to a set of multi-voltage, such as 380 V, 10 kV, 35 kV, with the maximum capacity of PV power station being 1.5 MW, considering the capacity of the inverter, power grid's voltage level, load loaded, geographical environment and so on. Field tests have been conducted successfully on a PV power station in Quyang. The results show that whether the inverter connected to power grid owes the ability of an-islanding can be detected quickly and accurately by the test platform.

**Key words:** photovoltaic power station; ability of anti-islanding; islanding detection; mobile testing platform; multi-voltage rating

## 0 引言

世界经济的高速发展依靠能源的供给, 传统的化石能源不仅储量有限, 而且还会恶化生态环境, 大力发展可再生的清洁能源显得迫在眉睫。太阳能作为全球最丰富的清洁能源, 以其不受地域限制、便于采集、无须开采和运输等优点, 引起了世界各国的广泛关注。美国、德国、西班牙、丹麦、捷克等欧美发达国家开展光伏发电技术的研究较早, 在相关关键技术领域、行业标准的制定、检测机构的

建设等方面已经取得了较大的成功, 为其整个国家光伏产业的飞速发展提供了良好的技术支撑。我国光伏产业发展相对较晚, 制造技术参差不齐, 相关标准和检测机构还不完善。而随着我国光伏发电装机容量在地区电网的比重逐年增大, 其并网运行将给电力系统带来巨大的挑战。其中, 并网逆变器的并网适应性、低电压穿越能力、孤岛检测能力等成为了制约光伏发电技术发展的关键因素。相继颁布的 Q/GDW 617-2011《光伏电站接入电网技术规定》<sup>[1]</sup>、Q/GDW 618-2011《光伏电站接入电网测试规程》<sup>[2]</sup>和 GB/T 19964-2012《光伏发电站接入电力系统技术规定》<sup>[3]</sup>规定, 光伏电站应配置独立的防孤岛保

护装置。

即使光伏逆变器在投入运行之前已经通过了厂家严格的出厂试验和型式试验<sup>[4]</sup>, 但在实践工程中, 由于多台逆变器并联运行的稀释效应<sup>[5-6]</sup>或者周围的随机干扰<sup>[7]</sup>, 仍然可能造成逆变器的孤岛检测失败或者孤岛误动作。另外, 非计划的孤岛运行将会给电力设备和线路检修员工带来安全隐患。根据光伏并网测试相关标准, 国网河北省电力公司电力科学研究院研制开发了一套拥有自主知识产权的大型移动式多电压等级光伏电站防孤岛能力检测系统。该检测平台至多可以同时同时对 3 台并联运行的额定容量为 0.5 MW 的逆变器集群系统<sup>[8]</sup>进行防孤岛能力检测, 并网电压等级兼容 380 V/10 kV/35 kV。

## 1 防孤岛能力检测平台开发思路和整体框架设计

针对目前光伏电源接入系统的技术现状, 移动式光伏并网逆变器防孤岛检测系统的研制需要考虑以下因素<sup>[9-16]</sup>:

(1) 光伏电站并网点电压等级与其容量有关, 具体如表 1 所示。为了适应多电压等级测试的要求, 降低测试成本, 提高装置利用率, 防孤岛检测系统必须同时满足 400 V/10 kV/35 kV 光伏电站防孤岛检测的需求。

表 1 不同类型光伏电源的  $V_{PCC}$

Table 1  $V_{PCC}$  of different types' PV

光伏电源	并网点电压
200 kW 以下的电站	400 V
厂区光伏、自发自用型光伏电站	10 kV
大型光伏专用电站	35 kV

(2) 防孤岛检测系统必须具有可移动性, 能够方便运输和组装, 以便于对不同地理位置的光伏电站开展防孤岛检测试验。

(3) 防孤岛检测系统所含模拟负载的容量能适应光伏逆变器向兆瓦级容量发展的趋势。

(4) 在防孤岛试验中为了实现逆变器输出功率与虚拟本地 RLC 负载的精确匹配, 需要对 RLC 负载进行反复调节。为了避免手工接线带来的繁琐操作和人为误差, 测试系统应具备自动加载负载的功能。

因此, 遵循多电压等级、移动式、大容量、自动负荷控制的技术路线, 开展移动式光伏并网逆变器防孤岛检测系统的研制, 检测系统的框架如图 1 所示。整个系统由 RLC 孤岛负载集装箱和变压器/

集控室集装箱组成, 高度集成化, 方便运输和组装。检测系统主要包含 RLC 功率模块、变压器、散热系统、绝缘设计、保护系统、控制系统、人机界面、存储设备、控制电脑等功能模块。各个功能模块的功能作用分别如下。

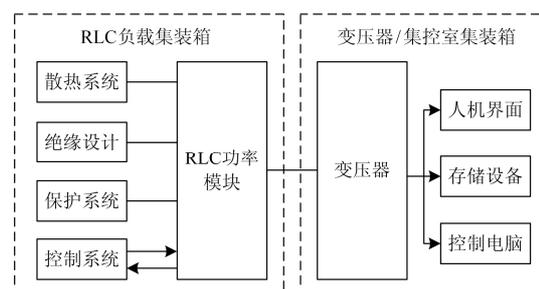


图 1 检测系统框架图

Fig. 1 Framework map of detection system

**RLC 功率模块:** 用以模拟与逆变器输出功率匹配的本地负载。

**变压器:** 实现 10 kV/35 kV 高压到 400 V 低压的转换, 满足多电压等级测试的要求, 同时低压负载技术相对成熟, 为以后扩容及其他性能测试奠定了基础。

**散热系统:** 由多个大型轴流式风机和自动保护装置组成, 可将功率模块转化出的热量迅速吹散, 保持箱体内部温度适宜。

**绝缘设计:** 包括防孤岛检测系统在制造过程中的中间试验、产品的定型及出厂试验, 在进行防孤岛检测试验现场的交接试验, 使用中为维护运行安全而进行的绝缘预防性试验等。

**保护系统:** 包括过流、过压、过温、烟雾、门禁、风机过载保护等。

**控制系统:** 通过内置试验条件的自动控制软件进行远程计算机控制, 控制模式分为手动加载和预置曲线加载, 可以精确模拟逆变器并网的孤岛工况。

设计方案中检测系统负载按低压 400 V 电压等级设计, 光伏电站 10 kV/35 kV 高压先经过变压器转变成 400 V 低压, 然后连接到 400 V 电压等级负载箱。RLC 负载消耗的最大有功功率为 1 593.3 kW, 最大无功功率为 1 593.3 kvar, 可以满足 3 台 500 kW 并联运行情况下的逆变器防孤岛检测试验。变压器/集控室集装箱中的变压器容量为 1 600 kVA, 该接线方式可以实现 10 kV/35 kV 电压等级光伏电站的防孤岛检测。另外, 400 V 光伏电站直接与负载箱连接则可实现 400 V 电压等级光伏电站防孤岛检测。

## 2 防孤岛检测系统的研制

### 2.1 变压器/集控室集装箱研制

由图 1 可知, 变压器/集控室集装箱由变压器箱体和集控室箱体两大部分组成。变压器箱体为一台额定容量为 1600 kVA, 高中低电压等级为 35 kV/10 kV/400 V 的三绕组变压器。根据 GB6450 及国际电工 IEC726 标准中对变压器的空载损耗、噪声、局部放电量、机械强度、电气强度、耐热强度等技术指标的规定, 选择符合各项指标的变压器型号。

为了能够分别采集高低压侧电压电流信号, 在变压器箱体支撑梁上分别安装了 PT 和 CT。高低压侧另外配备带 MC 计量标注的电量参数分析表, 用于测试高低压侧两端电压、电流、有功、无功、功率因素、三相电压不平衡等参数。

为了满足测试人员的操作需求, 集控室里必须具备: (1) 紧急停机按钮, 用以面对突发事件; (2) 逆变器高低压侧电压电流信号、断路器分断信号的采集接口; (3) 直接控制 RLC 负载自动精确加载的控制软件; (4) 为了适应全天候的试验任务, 集控室必须采用保温设计。为此, 可以在集控室内设置一个由各种采集信号接口、紧急按钮、指示灯等组成的控制台。控制台内嵌入一台控制电脑用以安装 RLC 负载控制软件, 控制台内安装一台 3 kVA UPS 不间断电源为控制电脑提供临时电源。此外, 集控室的保温设计可以通过加装一台空调来解决。

### 2.2 RLC 负载集装箱的设计

根据《防孤岛效应试验装置技术规范》(NB/T 42053-2015)对防孤岛检测装置的规定, RLC 负载必须具有以下功能<sup>[17]</sup>:

- (a) 具有高精度, 在 RLC 加载过程中不会发生漂移;
- (b) 具有分相独立控制功能, 保证在三相负载不平衡的情况下, 孤岛谐振试验时每一相的负载都能精确调整到位;
- (c) 具有寄生量补偿功能, 保证负载谐振频率能够稳定到基频, 而不至于触发过/欠频保护;
- (d) 远程自动加载功能, 避免手工接线带来的繁琐操作和人为误差, 提高检测效率;
- (e) 为了保证测量结果准确, 要求 RLC 负载本身的谐波量要小于 2%。

据此, 从以下几个方面对 RLC 负载的设计作具体介绍:

#### (1) RLC 元器件选型

电阻模块选用新型合金电阻功耗组件, 具有功率密度高、无红热现象的特点, 在防孤岛检测过程不会由于长时间加载引起阻抗值的热漂移, 配合温

度监控装置及智能风冷装置, 可以保证温度保持在 75℃ 以下。

容性负载模块采用 CBB 电容, 具有无极性、绝缘阻抗高、频率响应宽广、介质损失小等特点; 感性负载模块采用磁路式电感器件, 具有磁性强、材质优、精度高等特点。

#### (2) 三相 RLC 负载分相独立控制

在实际工程中, 可能出现三相负载不平衡的情况, 为了保证在孤岛谐振试验时每一相的负载都能精确调整到位, 因此, 用于防孤岛试验的 RLC 三相负载必须分相独立控制。分相独立控制的技术路线是: 负载低压侧回路按 AN、BN、CN 三个单相回路独立控制设计, 各相通过一个接触器控制 RLC 负载的加载过程, 如图 2 所示。

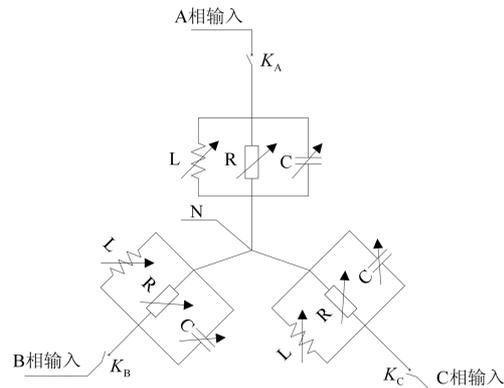


图 2 RLC 负载分相独立控制原理

Fig. 2 Independent control principle of RLC load

电感、电容、电阻阵列分别设计为两层, 第一层的元器件并联到线路中三相共同控制, 第二层元器件并联到线路中分相独立控制。

#### (3) 寄生量补偿算法

电阻、电感、电容等元器件由于其工艺的原因, 不可避免地存在寄生量。寄生量会影响 RLC 的谐振频率, 因此在加载过程中必须考虑补偿电阻、电感、电容的寄生量。通常情况下, 电阻元件存在寄生电感和寄生电容, 但在低频情况下, 寄生电容可以忽略, 所以低频时只考虑电阻的寄生电感; 电感元件存在寄生电阻和寄生电容, 但其本身的部分电感与寄生电容抵消, 对外表现为阻感特性, 所以认为电感只存在寄生电阻; 同理, 电容只存在寄生电阻。

基于上述原理, 寄生量补偿功能按照如下算法实现:

- 1) 测试并网点的输出有功功率  $P_{out}$ 、输出无功功率  $Q_{out}$ 。根据式  $Q_L = Q_f P_{out}$ 、 $Q_C = Q_{out} + Q_L$ 、 $P_R = P_{out}$  求得电感、电容、电阻应该分别加载的感

性无功  $Q_L$ 、容性无功  $Q_C$ 、有功  $P_R$ ，其中，品质因数  $Q_f = 1$ 。

2) 根据需要的  $Q_L$ 、 $Q_C$ 、 $P_R$  加载量设置 RLC 负载的参数，同时系统软件检测并网点的电压  $V_{PCC}$ 。

3) 依据  $L = V_{PCC}^2 / \omega Q_L$ ，得出需要加载的电感档位组合数量即  $L_{组合}$ ，软件给 CPU 发出加载命令，控制接触器闭合。

4) 测量得出  $Q_{L加载}$  和  $P_L$ ，重新发组合命令使  $Q_{L加载} = Q_L$ 。

5) 依据  $C = Q_C / \omega V_{PCC}^2$ ，得出需要加载的电容档位组合数量即  $C_{组合}$ ，软件给 CPU 发出加载命令，控制接触器闭合。

6) 测量得出  $Q_{C加载}$  和  $P_C$ ，重新发组合命令使  $Q_{C加载} = Q_C$ 。

7) 依据  $R = V_{PCC}^2 / P_R$ ，得出需要加载的电阻档位组合数量即  $R_{组合}$ ，软件给 CPU 发出加载命令，控制接触器闭合。

8) 测量得出  $P_{R加载}$  和  $Q_R$ ，重新发组合命令使  $P_{R加载} = P_R$ 。

9) 依据  $P_R$  与  $P_{R加载} + P_L + P_C$ 、 $Q_L$  与  $Q_{L加载} + Q_R$ 、 $Q_C$  与  $Q_{C加载}$ ，软件自动调整 RLC 加载量。

10) 测量寄生量功率，依据  $P_R$  与  $P_{R加载} + P_L + P_C$ 、 $Q_L$  与  $Q_{L加载} + Q_R$ 、 $Q_C$  与  $Q_{C加载}$ ，调整 RLC 加载量，重复上述步骤，直到  $P_R$  与  $P_{R加载} + P_L + P_C$ 、 $Q_L$  与  $Q_{L加载} + Q_R$ 、 $Q_C$  与  $Q_{C加载}$  差值小于规定限值，完成本次加载。

寄生量补偿算法具体流程如图 3 所示。

#### (4) 热设计

负载散热系统由多个大型轴流式风机和自动保护装置组成，可将功率模块转化出的热量迅速吹散，保持箱体内部温度适宜，具体如图 4 所示。RLC 负载集装箱中考虑到电阻元件的散热问题、电感的体积重量问题以及接线便捷、布局合理等问题，对元件的摆放位置进行规划，将电感元件安装在底部、电容安装在中部、电阻安装在顶部，中间留有维修通道，方便设备维护与元件散热。

风机配备了海上专用节能管道轴流风机及可调式耐腐蚀叶轮，通过多台风机的组合，可充分满足大功率负载的散热需求。风机配有风量检测传感器和电机过载保护器，异常状态下能自动切断负载并报警。负载部分与出风口位置还装有多个温度传感器，当温度达到警戒值时也能自动切断负载，保

证负载不会因温度过高而损坏。风道采用侧面进风，上出风的方式。

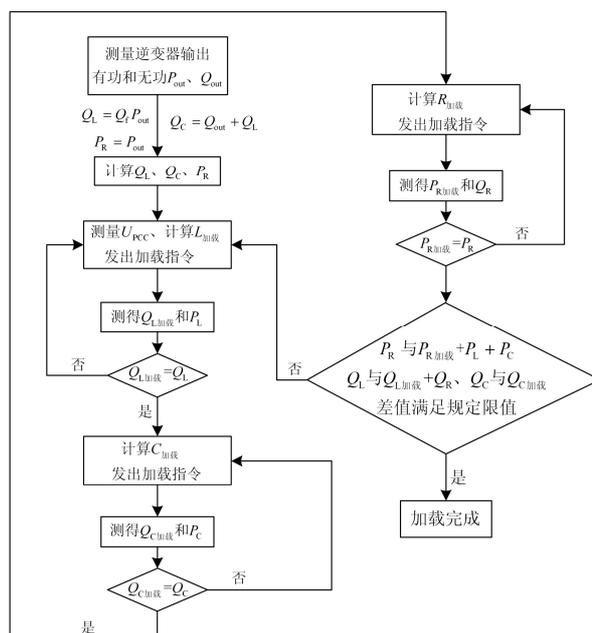


图 3 寄生量补偿算法流程图

Fig. 3 Flow chart of parasitic compensation algorithm

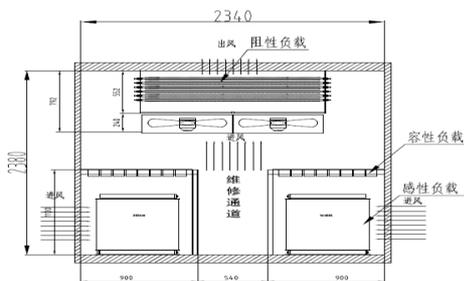


图 4 散热系统示意图

Fig. 4 Schematic diagram of cooling system

## 2.3 控制系统的设计

### (1) 通信连接

负载内部采用标准 CAN 总线接口通信方式，最高传输速率可达 1 Mbps。负载与工控机、参数采集模块通过 RS-485 通信方式实现，上位机软件通过 RJ45 实现控制，具体连接情况如图 5 所示。

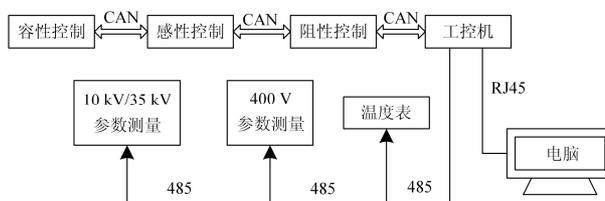


图 5 通信连接示意图

Fig. 5 Schematic diagram of communication connection

(2) 控制软件

设备远程计算机采用以太网通信, 系统响应时间 100 ms。系统配套的数据管理软件安装于控制电脑, 装置通信接口与控制电脑通信接口兼容, 在增加控制距离的同时, 满足实时显示和智能控制的要求, 配合功率分析仪和示波器完成光伏电站性能测试。软件可实现系统全部功能, 包括加载、数据采集、储存、管理。软件的主界面如图 6 所示。



图 6 软件主界面

Fig. 6 Software main interface

3 测试方案

光伏电站逆变器防孤岛检测电路图如图 7 所示, 防孤岛能力试验具体步骤<sup>[18]</sup>如下。

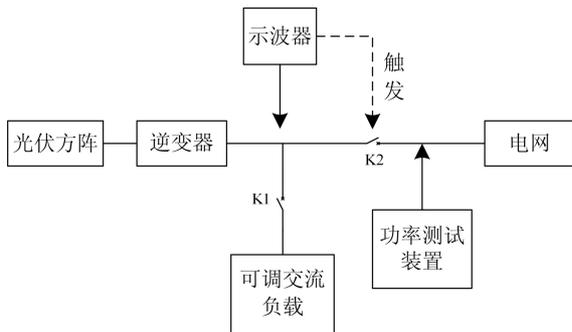


图 7 光伏电站逆变器防孤岛检测电路图

Fig. 7 Anti-islanding detection circuit diagrams for PV power station's inverter

(1) 防孤岛能力测试应选择辐照度达到标准辐照度 70% 及以上的良好时段进行。

(2) 在光伏电站或单元发电模块并网点处, 通过功率测试装置测量被测光伏电站的有功功率  $P_{out}$  和无功功率输出  $Q_{out}$ 。

(3) 依次投入防孤岛检测装置的电感 L、电容 C、电阻 R, 使得 RLC 上消耗的功率满足  $Q_{out} = Q_R + Q_L + Q_C$  和  $P_{out} = P_R + P_L + P_C$ ; RLC 谐振电路的品质因数  $Q_f$  为  $1 \pm 0.1$ ; 流过 K2 的基波电流小于被测光伏电站输出电流的 5%。

(4) 断开 K2, 即断开变压器/集控室集装箱断路器, 通过数字示波器查看分断信号, 记录被测光伏电站运行情况。读取数字示波器电流信号和功率测试装置数据进行分析。

测试过程中记录逆变器输出电流和逆变器并网电流, 断开并网开关时间和逆变器停止输出电流的时间差为测逆变器孤岛保护时间, 查看逆变器是否在 2 s 或电网企业规定的时间内停止运行。

4 现场测试及分析

光伏电站移动式防孤岛能力检测平台所有测量设备经第三方计量认证, 并于 2014 年 10 月~11 月对曲阳某光伏电站完成光伏并网逆变器防孤岛能力试验, 具体接线如图 8。试验分两次进行, 均在高压侧 35 kV 侧测试。为了验证防孤岛检测平台能够精确设置本地负载, 孤岛发生后孤岛保护在规定时间内动作, 而不是因为负载精度不够导致孤岛发生后并网点谐振频率超出过欠频保护的整定范围, 引起过欠频保护动作, 测试试验 1 中增加逆变器未投主动孤岛保护情况下的试验结果作对照。

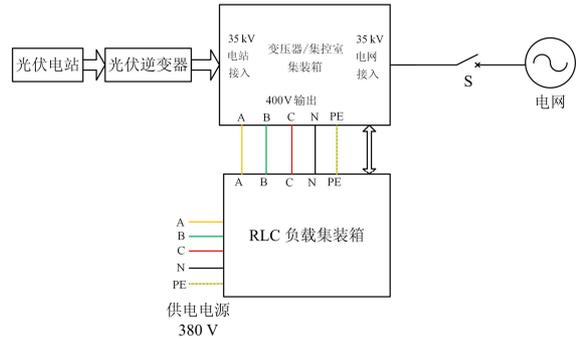


图 8 35 kV 光伏电站检测接线示意图

Fig. 8 Detecting wiring diagram for 35 kV PV power station

测试试验 1: 单台逆变器单独运行, 逆变器正常并网运行时, 其三相输出数据如表 2 所示, 加入模拟本地 RLC 负载装置, 负载处于谐振点时逆变器三相输出数据如表 3 所示。由表 2、表 3 中测量得到的 K2 点输出电流值可知, 加载 RLC 负载后, 流过 K2 点电流值略大于测试方案的要求, 由于大电网参数的影响<sup>[19]</sup>, K2 点输出的无功功率无法进一步减小, 此处可以认为已经满足测试方案中(3)的要求。其中, RLC 负载加载实时数据如表 4 所示。

断开集装箱断路器 K2, 孤岛发生, 防孤岛保护时间实测值如图 9 所示。图中 2 通道波形为逆变器输出端电流信号, 3 通道为逆变器并网开关断开信号, 由该图可知逆变器断网开关断开时间为 -35.6 ms, 逆变器输出电流截止时间为 232 ms, 两者时间

差为  $268 \text{ ms} < 2 \text{ s}$ , 满足测试标准规定的孤岛保护时间要求。

表 2 逆变器三相输出数据  
Table 2 Three-phase output of inverter

参数	A 相	B 相	C 相
$P_{\text{out}} / \text{kW}$	-153.29	-153.76	-153.13
$Q_{\text{out}} / \text{kvar}$	13.64	6.96	15.23
$V_{\text{PCC}} / \text{kV}$	38.95	39.01	39.13
$I_{\text{out}} / \text{A}$	6.82	6.82	6.75
$f_{\text{PCC}} / \text{Hz}$	49.96	49.96	49.96

表 3 谐振时 K2 点三相输出数据

Table 3 Three-phase output of point K2 during resonant state

参数	A 相	B 相	C 相
$P_{\text{out}} / \text{kW}$	-0.43	-2.10	1.53
$Q_{\text{out}} / \text{kvar}$	11.01	12.76	11.34
$V_{\text{PCC}} / \text{kV}$	39.05	39.12	39.24
$I_{\text{out}} / \text{A}$	0.48	0.57	0.50
$f_{\text{PCC}} / \text{Hz}$	49.99	49.99	49.99

表 4 RLC 负载加载实时数据

Table 4 RLC loaded in real-time

参数	A 相	B 相	C 相
$P_{\text{R}} / \text{kW}$	163.95	152.85	161.55
$P_{\text{L}} / \text{kW}$	1.050	8.70	10.65
$P_{\text{C}} / \text{kW}$	-0.150	-0.30	-0.45
$Q_{\text{R}} / \text{kvar}$	0.00	0.00	0.00
$Q_{\text{L}} / \text{kvar}$	133.35	143.40	141.90
$Q_{\text{C}} / \text{kvar}$	-153.90	-155.55	-154.05
$V_{\text{RLC}} / \text{V}$	244.8	246.25	244.75
$Q_{\text{f}}$	0.871	0.928	0.860

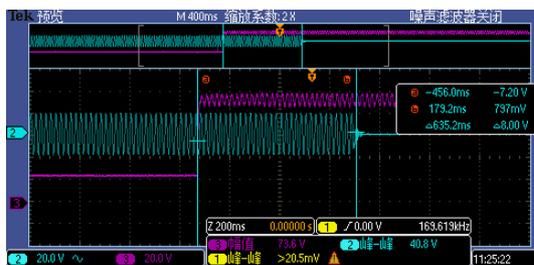


图 9 防孤岛保护信号

Fig. 9 Anti islanding protection signal

逆变器未投入主动孤岛保护时, 防孤岛试验结果如图 10 所示。图中 2 通道波形为逆变器输出端电流信号, 1 通道为逆变器并网开关开断信号, 由图可知逆变器并网开关断开时间为  $-3.92 \text{ s}$ , 逆变器输出电流截止时间为  $3.96 \text{ s}$ , 两者时间差为  $7.88 \text{ s} > 2 \text{ s}$ , 超过测试标准规定的孤岛保护时间  $2 \text{ s}$ 。由此可知, 孤岛发生后, 本地负载谐振频率在  $2 \text{ s}$  内一直处于

过欠频保护规定的范围内, 防孤岛检测系统中 RLC 负载精度满足防孤岛测试标准的规定。

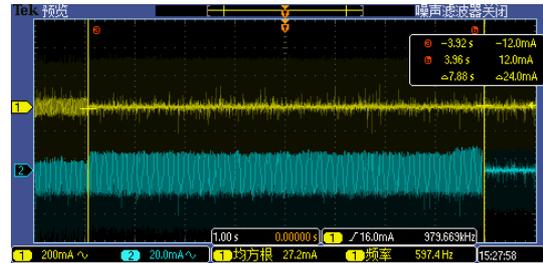


图 10 防孤岛保护信号

Fig. 10 Anti islanding protection signal

测试试验 2: 2 台逆变器并列运行, 逆变器正常并网运行时, 其三相输出数据如表 5 所示, 加入模拟本地 RLC 负载装置, 负载处于谐振点时逆变器三相输出数据如表 6 所示。由表 5、表 6 中测量得到的 K2 点输出电流值可知, 加载 RLC 负载后, 流过 K2 点的电流值满足测试方案的要求。

表 5 逆变器三相输出数据

Table 5 Three-phase output of inverter

参数	A 相	B 相	C 相
$P_{\text{out}} / \text{kW}$	-307.69	-310.03	-305.49
$Q_{\text{out}} / \text{kvar}$	15.28	9.59	24.97
$V_{\text{PCC}} / \text{kV}$	38.93	39.00	39.15
$I_{\text{out}} / \text{A}$	13.66	13.74	13.68
$f_{\text{PCC}} / \text{Hz}$	50.03	50.03	50.03

表 6 谐振时 K2 点三相输出数据

Table 6 Three-phase output of point K2 during resonant state

参数	A 相	B 相	C 相
$P_{\text{out}} / \text{kW}$	-0.96	1.55	-0.95
$Q_{\text{out}} / \text{kvar}$	11.06	12.70	11.26
$V_{\text{PCC}} / \text{kV}$	39.07	39.13	39.25
$I_{\text{out}} / \text{A}$	0.49	0.56	0.51
$f_{\text{PCC}} / \text{Hz}$	49.99	49.99	49.99

断开集装箱断路器 K2, 孤岛发生, 防孤岛保护时间实测值如图 11 所示。由图 11 可知, 逆变器并网开关断开时间为  $-456 \text{ ms}$ , 逆变器输出电流截止时间为  $179.2 \text{ ms}$ , 两者时间差为  $635.2 \text{ ms} < 2 \text{ s}$ , 满足测试标准规定的孤岛保护时间要求。

两次试验对比结果如表 7 所示, 两台逆变器并联运行时, 其输出的总的有功和无功功率是单台逆变器的两倍, 但孤岛检测时间增大, 虽然检测时间仍然小于  $2 \text{ s}$ , 但逆变器的孤岛检测能力因为受稀释效应<sup>[6-7]</sup>的影响而减弱。可以预见随着并联运行的逆变器台数增多, 当台数超过某一个定值时, 会导致孤岛检测失败。

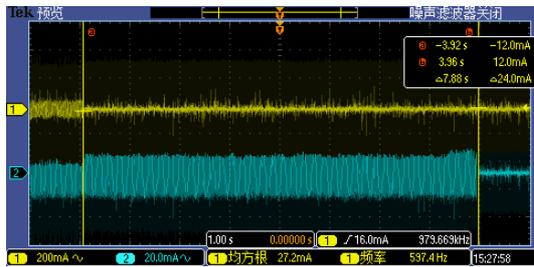


图 11 防孤岛保护信号

Fig. 11 Anti islanding protection signal

表 7 防孤岛检测结果对比

Table 7 Comparison of the anti-islanding detecting results

逆变器数量/台	1	2
额定功率/kW	500	1 000
$P_{out}$ /kW	455	918
$Q_{out}$ /kvar	35.7	49.8
保护时间/ms	268.0	635.2
结论	合格	合格

## 5 结论

开发的大型光伏电站移动式防孤岛能力检测平台具有移动性、大容量、多电压等级接入、自动负荷控制的特点，有利于开展光伏电站防孤岛能力检测，能够解决大规模并网运行的光伏电站给电力系统安全稳定运行带来的潜在威胁，保证并网机组满足相关标准的要求。通过现场试验，发现光伏电站的防孤岛能力受稀释效应的影响较大，随着光伏电站容量增大，并网运行逆变器台数增多，可能出现孤岛检测失败的风险，因此有必要开发出更大容量的防孤岛检测装置，确保受稀释效应影响的逆变器集群系统仍具有足够的防孤岛能力。

## 参考文献

[1] Q/GWD 617-2011 光伏电站接入电网技术规定[S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.

[2] Q/GWD 618-2011 光伏电站接入电网测试规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.

[3] GB/T 19964-2012 光伏发电站接入电力系统技术规定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.

[4] 郭放, 李大中. 光伏并网逆变器性能检测技术及智能检测平台系统研究[J]. 电力学报, 2012, 27(5): 498-501. GUO Fang, LI Dazhong. Photovoltaic Grid-connected inverter performance testing technology and smart detection system research[J]. Journal of Electric Power, 2012, 27(5): 498-501.

[5] 刘方锐, 段善旭, 康勇, 等. 多机光伏并网逆变器的孤

岛检测技术[J]. 电工技术学报, 2010, 25(1): 167-171.

LIU Fangrui, DUAN Shanxu, KANG Yong, et al. Islanding detection methods for multiple PV converters system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(1): 167-171.

[6] 谢东, 张兴. 主动移频式孤岛检测法产生稀释效应机理的分析[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(4): 84-90. XIE Dong, ZHANG Xing. Analysis of dilution phenomenon for active frequency shift islanding detection method[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(4): 84-90.

[7] 应展烽, 陈运运, 田亚生, 等. 基于抗干扰六点测频法的主动移频孤岛检测[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(4): 72-76. YING Zhanfeng, CHEN Yunyun, TIAN Yasheng, et al. Active frequency shift islanding detection based on anti-interference six-point frequency detection algorithm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(4): 72-76.

[8] 闫凯, 张保会, 瞿继平, 等. 光伏发电系统暂态建模与等值[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 1-8. YAN Kai, ZHANG Baohui, QU Jiping, et al. Photovoltaic power system transient modeling and equivalents[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 1-8.

[9] 冯炜, 林海涛, 张羽. 配电网低压反孤岛装置设计原理及参数计算[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(2): 85-90. FENG Wei, LIN Haitao, ZHANG Yu. Design principle and parameter calculation for distribution network low voltage anti-islanding devices[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(2): 85-90.

[10] 李红涛, 张军军, 包斯嘉, 等. 小型并网光伏电站移动检测平台设计与开发[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(19): 39-42. LI Hongtao, ZHANG Junjun, BAO Sijia, et al. Design and development of a mobile detection platform for grid connection of small photovoltaic power stations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(19): 39-42.

[11] 朱时雨, 郑涛, 罗美玲, 等. 基于滤波装置短路的孤岛检测法在分布式发电系统中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(19): 106-111. ZHU Shiyu, ZHENG Tao, LUO Meiling, et al. Islanding detection method based on short-filtering device for DG system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(19): 106-111.

[12] 李少林, 王瑞明, 孙勇, 等. 分散式风电孤岛运行特性与孤岛检测试验研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015,

- 43(21): 13-19.  
LI Shaolin, WANG Ruiming, SUN Yong, et al. Analysis and experiment research on islanding behaviors and detection strategy for dispersed wind power[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(21): 13-19.
- [13] 郑陆海, 郭鑫鑫, 李新强, 等. 分布式发电系统并网变流器防孤岛检测技术研究[J]. 电器与能效管理技术, 2014(17): 32-37.  
ZHENG Luhai, GUO Xinxin, LI Xinqiang, et al. Research on islanding detection technology for grid-connected converters of distributed generation power systems[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2014(17): 32-37.
- [14] 王弋飞, 张浩, 马西奎. 一种基于相位偏移的自抗扰孤岛检测法在光伏并网逆变系统中的应用[J]. 高压电器, 2015, 51(10): 13-18.  
WANG Yifei, ZHANG Hao, MA Xikui. Application of an active disturbance rejection islanding detection method in photovoltaic grid-connected converters[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(10): 13-18.
- [15] 许健, 赵春雷, 乔峰, 等. 针对多分布式电源的孤网继电保护[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(2): 78-82.  
XU Jian, ZHAO Chunlei, QIAO Feng, et al. Solitary network relay protection for multi-distributed generation[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(2): 78-82.
- [16] 彭家琦, 赵峰. 基于正反馈无功扰动的逆变器孤岛检测方法研究[J]. 电器与能效管理技术, 2014(23): 35-38.  
PENG Jiaqi, ZHAO Feng. Research on inverter islanding detection method based on positive feedback reactive power disturbance[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2014(23): 35-38.
- [17] 贺眉眉, 李华强, 甘立勇, 等. RLC 负荷模型分布式发电孤岛检测方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 7-11.  
HE Meimei, LI Huaqiang, GAN Liyong, et al. Islanding detection scheme evaluation for RLC load distributed generation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 7-11.
- [18] 崔剑, 王金梅, 陈杰, 等. 光伏并网逆变器性能指标检测与分析研究[J]. 自动化仪表, 2015, 36(9): 84-87.  
CUI Jian, WANG Jinmei, CHEN Jie, et al. Performance index detection and analysis research for PV grid-connected inverter[J]. Process Automation Instrumentation, 2015, 36(9): 84-87.
- [19] 唐伟, 武建文, 李鹏, 等. 考虑电网内阻影响的孤岛检测研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(增刊 1): 399-407.  
TANG Wei, WU Jianwen, LI Peng, et al. Research on islanding detection considering the effect of grid impedance[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(S1): 399-407.

收稿日期: 2015-08-20; 修回日期: 2016-04-07

作者简介:

胡文平(1968-), 男, 博士, 高工, 主要研究领域为电网分析与计算、电能质量和分布式能源;

雷胜华(1990-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护与控制; E-mail: leishenghua1014@qq.com

王雪(1978-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为电力系统继电保护与控制。

(编辑 葛艳娜)