

## 前 言

- 一．感谢您使用本公司的产品，您因此获得本公司全面的技术支持和服务。
- 二．本产品说明书适用于本系列超低频高压发生器。
- 三．在使用本产品之前，请您仔细阅读使用说明书，并妥善保管以备查阅。
- 四．本产品为高压电气设备测试仪器，使用时请按使用说明书要求步骤操作，并严格遵守国家相关规定。若使用不当，可能危及设备和人身安全。
- 五．在阅读使用说明书或使用仪器的过程中如有疑问，可向本公司咨询。

## 目 录

一. 概述	3
二. 0.1Hz 超低频耐压技术优点	3
三. 本系列产品技术参数	4
四. 产品特点	6
五. 仪器结构功能说明	7
六. 操作说明	8
七. 电力电缆耐压试验方法	17
八. 同步电机耐压试验方法	18
九. 注意事项	20
十. 随机附件	21
十一. 运输及保存	22
十二. 质量保证	22
十三. 打印机换纸方法	23

## 一. 概述

电气设备的高压耐压试验是《绝缘预防性试验》规定的最重要项目之一。耐压试验可分为交流耐压试验和直流耐压试验，交流耐压试验又可分为工频、变频和 0.1Hz 超低频测试技术，其中 0.1Hz 超低频技术是新技术，是当前国际电工委员会推荐的技术。我公司新一代本系列超低频高压发生器是采用美国技术自主开发的核心产品，采用 7 寸触摸屏、新款 ARM7 单片机、高速 AD 采集电路，并配有后台管理软件。它克服了国内同类产品的诸多缺点（见表 1），性价比远远高于同类进口产品，特别适用于绝缘等值电容较大的电气设备（例如：电力电缆、电力电容器、大中型发电机和电动机等）耐压试验，符合 2004 年国家新颁布电力行业标准《超低频高压发生器通用技术条件 DL/T849.4-2004》要求。

表 1 0.1Hz 耐压试验设备机械式与电子式的性能比较

0.1Hz耐压设备类型	高压控制方式	高压波形	节能	噪音	机械寿命	电寿命
机械式	高压机械开关切换极性	方波	不节能：将多余的能量用大功率电阻消耗	高	短	短
电子式	高压电子开关切换极性	正弦波	节能：将多余的电能回馈电网	轻微	无	长

## 二. 0.1Hz 超低频耐压技术优点

超低频绝缘耐压试验实际上是工频耐压试验的一种替代方法。在对大中型发电机、电动机、电力电缆等试品进行工频耐压试验时，由于它们的绝缘层呈现较大的电容量，所以需要很大容量的试验变压器或谐振变压器。这样一些巨大的设备，不但笨重，造价高，而且使用十分不便。为了解决这一矛盾，国际上普遍采用了降低试验频率，从而降低了试验电源容量的方法。从国内外多年的理论和实践证明，用 0.1Hz 超低频耐压试验替代工频耐压试验，不但能有同样的等效性，而且设备的体积大为缩小，重量大为减轻，理论上容量约为工频的五分之一，且操作简单。这就是为什么发达国家普遍采用这一方法的主要原因。

根据我国电力系统实际情况，国家发改委已制定了《35kV 及以下交联聚乙

烯绝缘电力电缆超低频（0.1Hz）耐压试验方法》行业标准，2004年颁布了电力行业标准《超低频高压发生器通用技术条件 DL/T 849.4—2004》，我国正在推广这一最新的试验方法。

虽然直流耐压试验设备具有体积小、重量轻和造价低等优点，但是直流耐压试验对被试品绝缘破坏性也是最大的。（见表2）所以国家最新颁布的电气设备预防性试验相关规程已经明文规定不再使用直流高压对电气设备进行耐压试验，推荐使用交流耐压试验。

本公司研制的新一代本系列 0.1Hz 超低频高压发生器”采用最新电力电子元件和最新 ARM7 单片机技术，进一步降低了设备的体积和重量，傻瓜式操作，性能更稳定，克服了第一代机械式升压器使用寿命短、故障率高、体积大的缺点。通过多年的实践，大量用户的反馈表明：本系列超低频高压技术在全国领先，性价比最高！

表 2 各种耐压试验设备的性能比较：

比较内容	工频耐压	变频耐压	0.1Hz耐压	直流耐压
等效性	好	好	好	差
绝缘破坏性	小	小	小	大
操作安全性	较低	较低	高	较低
试验接线	复杂	最复杂	最简单	复杂
设备体积	最大	较大	小	最小

### 三. 本系列产品技术参数

1. 输出额定电压：参见表 3
2. 输出频率：0.1Hz、0.05Hz、0.02Hz
3. 带载能力：
  - 0.1Hz- 1.1 $\mu$ F
  - 0.05Hz - 2.2 $\mu$ F
  - 0.02Hz - 5.5 $\mu$ F
4. 测量精度：3%
5. 电压正，负峰值误差： $\leq 3\%$

6. 电压波形失真度： $\leq 5\%$

7. 使用条件：户内、户外；温度： $-10^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ ；湿度： $\leq 85\%RH$

8. 电源保险管：参见表 3

9. 电源：电压  $220V\pm 5\%$ ， $50\pm 5\text{Hz}$

注意：若使用便携式发电机供电，要求发电机输出电压、频率稳定（一般要求功率大于  $3\text{kW}$ ，频率  $50\text{Hz}$ ，电压  $220V\pm 5\%$ ）

10. 被试品电容量不得超过仪器额定电容量最大值，数值大小见表 3；

型号	额定电压	带载能力	电源 保险管	产品结构、重量
30/1.1	30kV (峰值)	$0.1\text{Hz}, \leq 1.1\mu\text{F}$	10A	控制器：4 kg 升压器：20 kg
		$0.05\text{Hz}, \leq 2.2\mu\text{F}$		
		$0.02\text{Hz}, \leq 5.5\mu\text{F}$		
40/1.1	40kV (峰值)	$0.1\text{Hz}, \leq 1.1\mu\text{F}$	10A	控制器：4 kg 升压器：20 kg
		$0.05\text{Hz}, \leq 2.2\mu\text{F}$		
		$0.02\text{Hz}, \leq 5.5\mu\text{F}$		
50/1.1	50kV (峰值)	$0.1\text{Hz}, \leq 1.1\mu\text{F}$	15A	控制器：4 kg 升压器：40 kg
		$0.05\text{Hz}, \leq 2.2\mu\text{F}$		
		$0.02\text{Hz}, \leq 5.5\mu\text{F}$		
60/1.1	60kV (峰值)	$0.1\text{Hz}, \leq 1.1\mu\text{F}$	15A	控制器：4 kg 升压器：50 kg
		$0.05\text{Hz}, \leq 2.2\mu\text{F}$		
		$0.02\text{Hz}, \leq 5.5\mu\text{F}$		
80/1.1	80kV (峰值)	$0.1\text{Hz}, \leq 1.1\mu\text{F}$	15A	控制器：4 kg 升压器：50 kg
		$0.05\text{Hz}, \leq 2.2\mu\text{F}$		
		$0.02\text{Hz}, \leq 5.5\mu\text{F}$		
90/1.1	90kV (峰值)	$0.1\text{Hz}, \leq 1.1\mu\text{F}$	15A	控制器：4 kg 升压器：55 kg
		$0.05\text{Hz}, \leq 2.2\mu\text{F}$		
		$0.02\text{Hz}, \leq 5.5\mu\text{F}$		

### 11. 根据被试对象选择适当规格的产品

使用时，试品电容量不得超过仪器的额定电容量。试品电容量过小，会影响输出波形。若小于  $0.05\mu\text{F}$ ，仪器将不能正常输出，此时可并联  $0.05\mu\text{F}$  的电容器（由本公司提供）辅助输出。常用电气设备电容量的估算见表 4 和表 5

表 4 不同类型发电机的单相对地电容量

	汽轮发电机			水轮发电机			
发电机容量 (MW)	200	300	600	85	125-150	300	400
单相对地电容 ( $\mu\text{F}$ )	0.198	0.18-0.26	0.31-0.34	0.69	1.8-1.9	1.7-2.5	2.0-2.5

表 5 交联聚乙烯绝缘单芯电力电缆的电容量( $\mu\text{F}/\text{km}$ )

电容 ( $\mu\text{f}/\text{km}$ )	截面积 $\text{mm}^2$												
		16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	270	
电压(kV)													
10		0.15	0.17	0.18	0.19	0.21	0.24	0.26	0.28	0.32	0.38	—	
35		—	—	—	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	

### 12. 试品电流的估算方法:

计算公式:  $I = 2\pi fCU$

## 四. 产品特点

☆ 技术先进: 采用数字变频技术, 微电脑控制, 升压、降压、测量、保护等测试过程全自动化。

☆ 操作方便: 接线简单, 傻瓜式操作。

☆ 保护全面: 多重保护(过压保护、高低压侧过流保护), 动作迅速(动作时间 $\leq 10\text{ms}$ ), 仪器安全可靠。

- ☆ 安全可靠：控制器和高压发生器低压连接，光电控制，使用安全可靠。
- ☆ 采用了高低压闭环负反馈控制电路，输出无容升效应。
- ☆ 配置齐全：电容触摸屏，液晶汉字显示，自动存储，自动打印。
- ☆ 测试范围大：0.1Hz、0.05Hz 及 0.02Hz 多频率选择，测试范围大。
- ☆ 体积小、重量轻：十分利于户外作业。
- ☆ 中英文切换功能

## 五. 仪器结构功能说明

本仪器由两个部分组成：即控制器和升压器，两部分结构和功能如下：

1. 控制器面板各部件布置如图 1 所示，各部件功能说明如下：

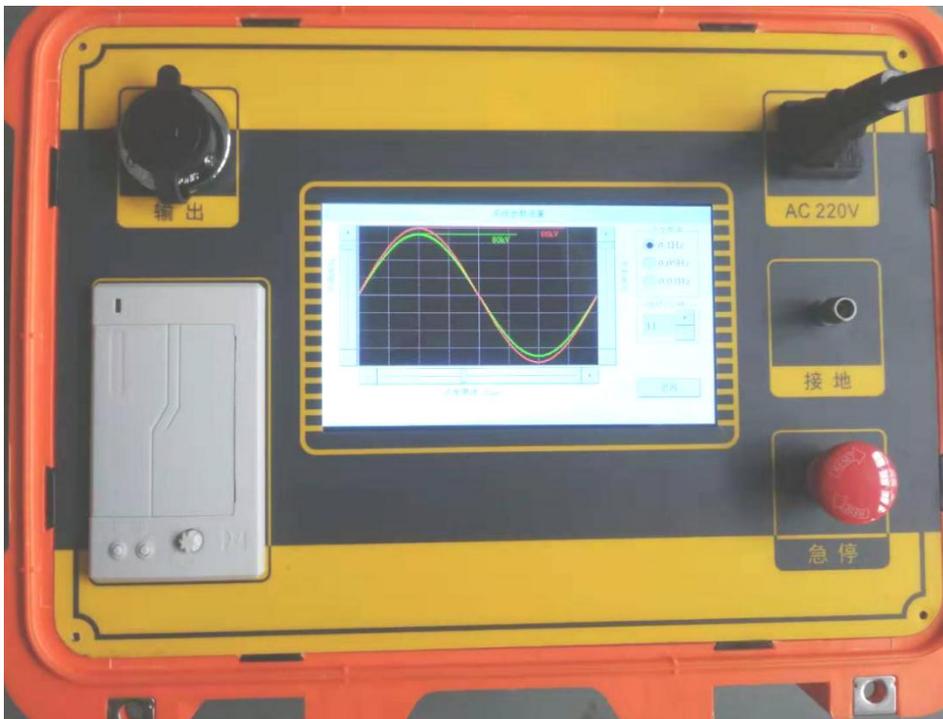


图 1 控制器面板示意图

“ $\perp$ ” — 接地端子：使用时与大地相连。

“开关” — 电源开关：内置指示灯，开时亮，关时熄“AC220V” — 电源输入插座，内置保险管。

“打印机” — 打印测试报告。

“电容触摸显示屏” — 显示测试数据以及输出波形，并可以直接在屏幕上用手操作。

“USB”-其功能用于与上位机通信连接。

“STOP”-用于紧急停止试验。

## 2. 升压器结构示意图

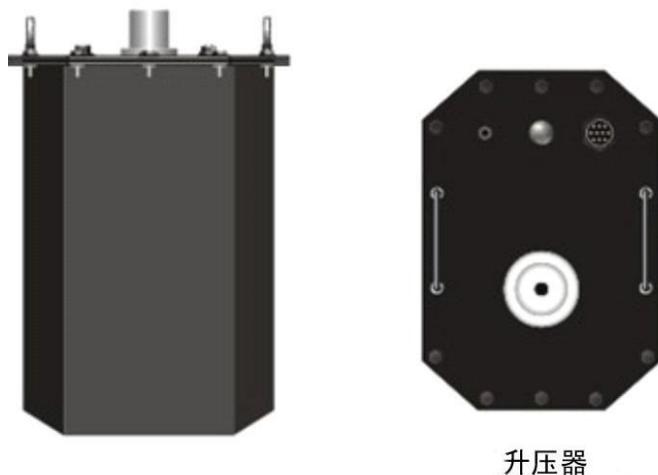


图 2 升压器结构示意图

## 六. 操作说明

### 1. 本系列 超低频输出接线方法

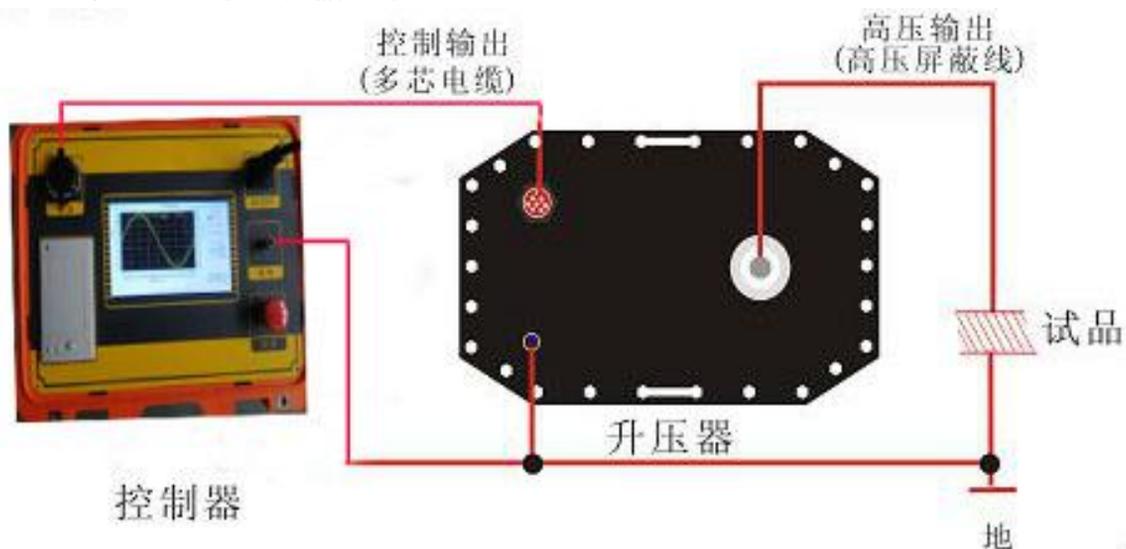


图 3 接线示意图

接线说明：用本产品随机配备的控制输出专用线、高压输出专用线和接地线按图 3 的方法

连接。电源插座用电源线连至 220V/50Hz 的交流电上。

## 2. 操作程序

### (1) 开机、关机、复位

按上述方法连好所有线路之后，就可以将电源开关打开。仪器在微机上电或复位后，自动进入如图 4 所示的界面。在进行连线、拆线、或暂不使用仪器时，应将电源关掉。电源插座上装有保险管。若开机屏幕无显示，应先检查保险管是否熔断，保险管大小应按表 3 提供的数据更换。

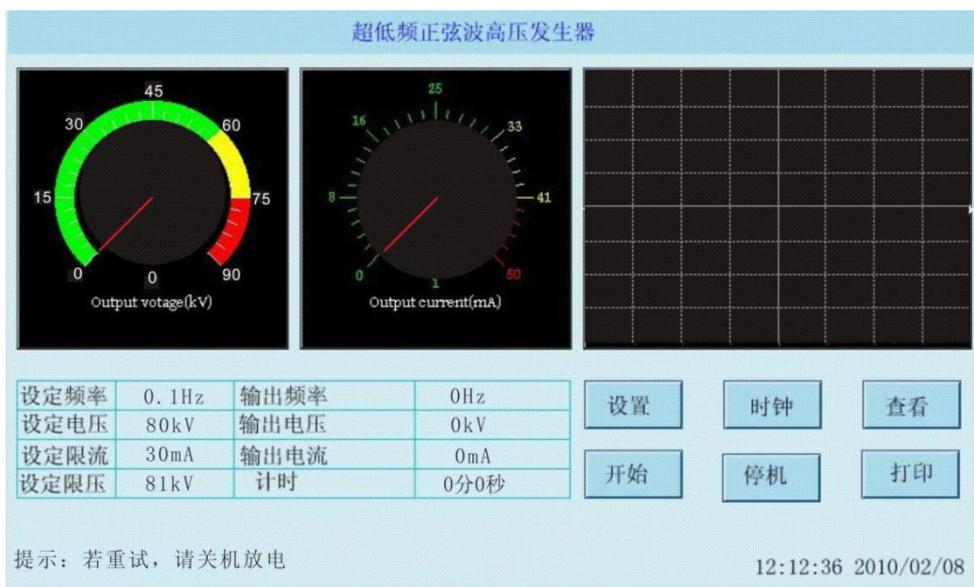


图 4 触摸屏示意图

### (2) 设置限定

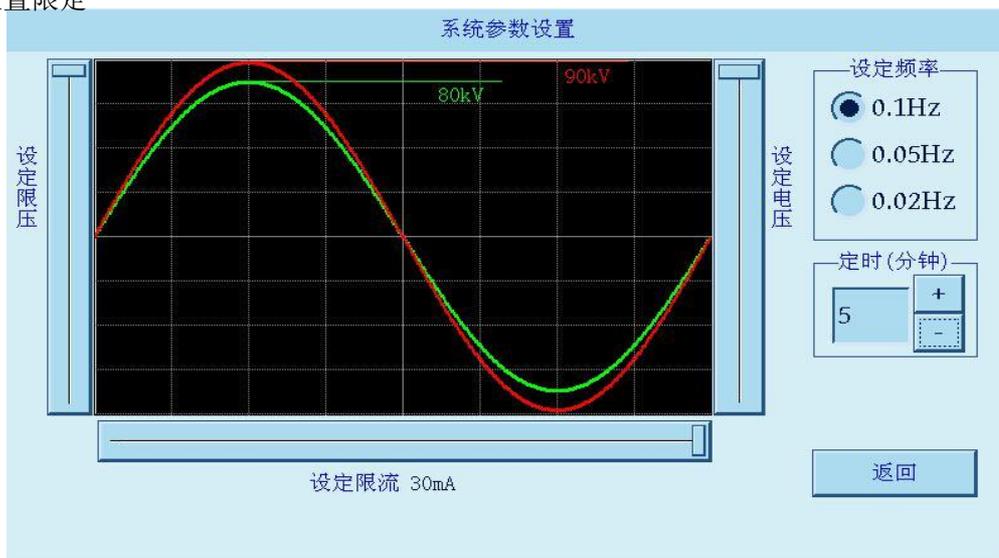


图 5 参数设置界面

首先在图 4 屏上点击“设置”按键会出现图 5 所示的设置参数界面，在图 5 上可根据试验的需要设定好输出频率、试验时间、试验电压、高压侧的过流保护值、过压保护值。修改方法如下：

- ★ 频率有三种选择：0.1、0.05、0.02，单位为 Hz。
- ★ 定时修改范围：0-99 分。它规定了试验时间的长短，单位为分钟。
- ★ 设定电压：范围为 0 至额定值，单位为 kV。它设置了我们所要升至的试验电压。仪器升至这个设定限压值时，就不再升压,并保持在这个峰值下进行等幅的正弦波输出。
- ★ 设定限压：电压保护值设定范围为 0 至额定值，单位为 kV。它规定了通过试品的电压上限值，当电压超过此设定时，仪器自动切断输出。
- ★ 设定限流：电流保护值设定范围为 0 至额定值，单位为 mA。它规定了通过试品的电流上限值，当电流超过此设定时，仪器自动切断输出。

（注意：以上电压、电流及仪器显示的测量数据均为峰值。）

### (3) 自动升压

按图 4 中的“开始”键后，仪器在电脑的控制下，按如下流程进行升压试验：

自检→升压→等幅输出→停机

具体过程如下：

#### ① 自检过程

控制器自动进入负载检测，若未检测到负载，则如图 6 状态栏中提示信息：“未接负载”，表示未接升压体或未接容性试品。



图 6 控制器提示未接负载

## ② 升压过程

自检成功后，仪器自动进入升压状态，则如图 7 所示，状态栏中提示信息：“正在升压”。与此同时，计时开始进行。

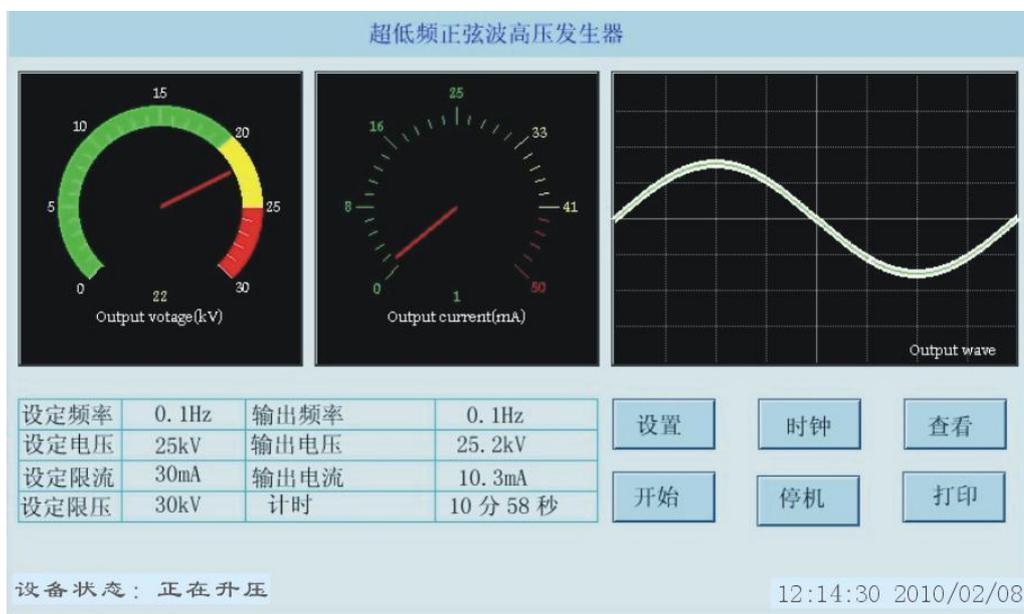


图 7 控制器提示正在升压

## ③ 等幅输出

控制器在若干个周期的时间内将电压升至设定值，仪器将进行等幅输出，则如图 8 所示，状态栏中提示信息：“等幅输出”



图 8 控制器提示等幅输出

## ④ 停机

当计时达到设定时间，仪器自动停机，则如图 9 所示，状态栏中提示信息：“停止试验”。



图 9 控制器提示停止试验

仪器停止高压输出，并对试品进行自动放电，则如图 10 所示，状态栏中提示信息：“正在放电”。

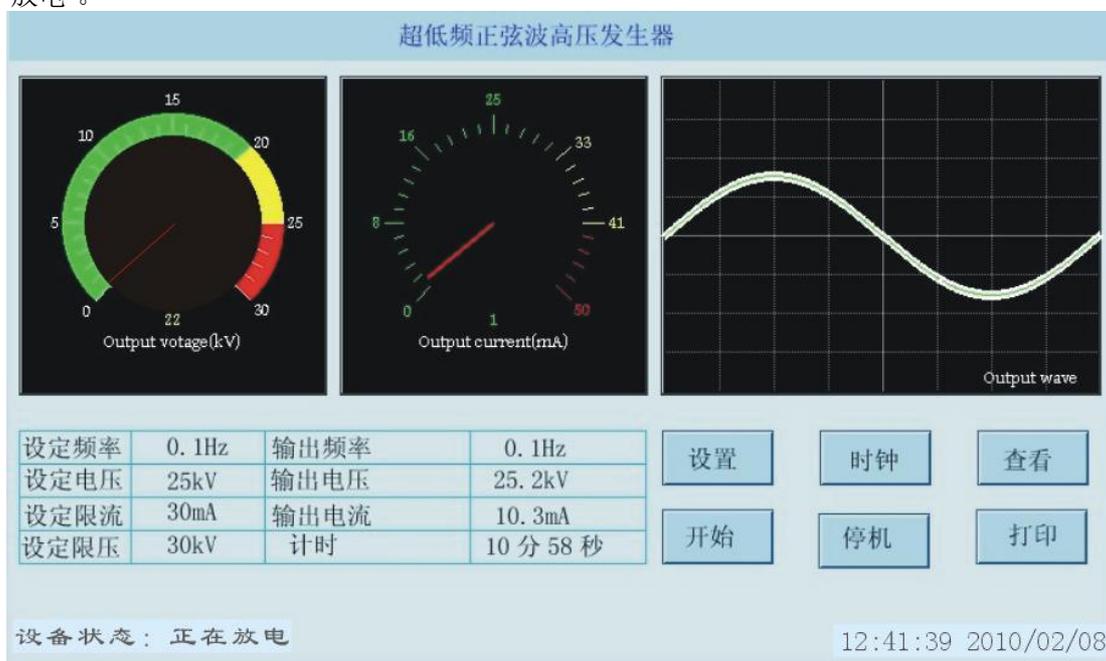


图 10 控制器提示正在放电

停机后如图 11 所示，状态栏中提示信息：“试验通过”并执行数据历史保存。

注：在试验过程中一般电压未出现异常情况、试品没有放电现象或出现过流保护，就可认为试验通过。



图 11 控制器提示试验通过

本仪器提供两种停机方式：

- ★ 定时停机：当计时达到设定时间，仪器自动停机
- ★ 手动停机：点击“停机”键可停机。

这两种停机方式为正常停机。

- ★ 另外还有两种非正常停机:过压保护停机、过流保护停机。
- ★ 过压保护停机

当在试验的过程中，输出高压超过设定限值，仪器启动停机指令后，自动切断输出，再执行数据历史保存，停机后如图 12 所示，状态栏中提示信息：“过压保护”并执行数据历史保存。



图 12 控制器提示过压保护

★ 过流保护停机

当在试验的过程中，输出电流超过设定限值，仪器启动停机指令后，自动切断输出，再执行数据历史保存，停机后如图 13 所示，状态栏中提示信息：“过流保护”并执行数据历史保存

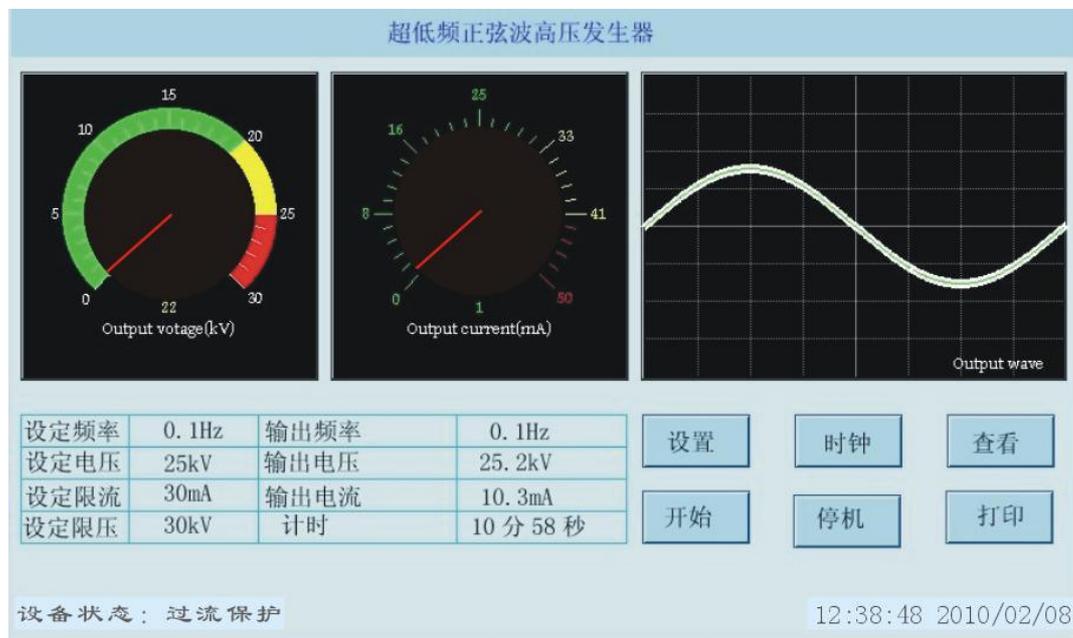


图 13 控制器提示过流保护

#### (4) 打印

点击图 3 的“打印”键，可将显示器上的本次数据打印成试验报告。

在查看历史数据状态下，点击“打印”键，可打印屏幕上当前显示的历史数据。

#### (5) 查看历史数据



图 14 历史数据界面

凡是通过了定时停机、点击“停机”键进行的停机、过压保护停机、以及过流保护停机的数据仪器自动将其保存为历史数据。最多能保存 64 次测量的数据，64 次以前的将自动删除。点击图 3 中的“查看”键，可出现图 13 界面,查看最近 64 次试验的历史数据。

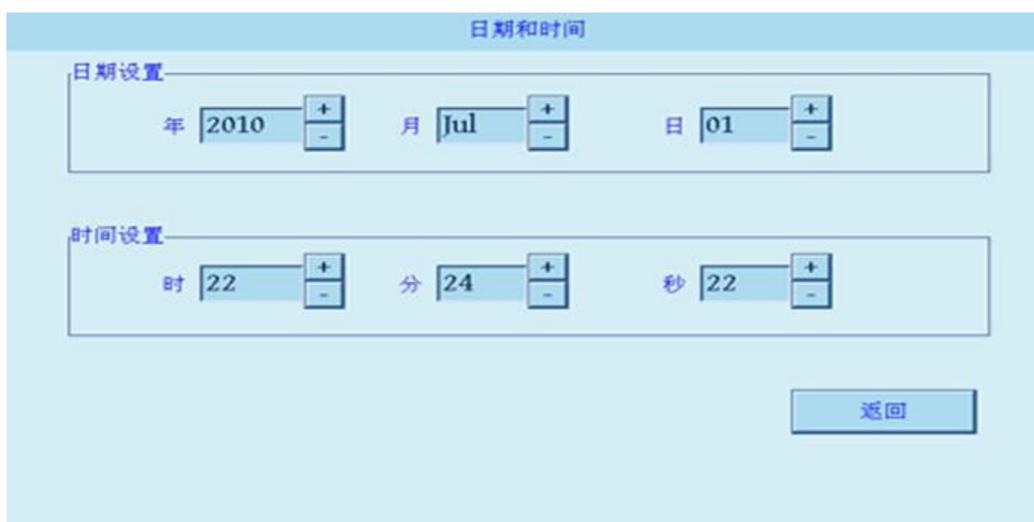


图 15 日期和时间设置界面

点击图 3 中的“时钟”按键,可出现图 15 的设置界面,用于设置系统的日期和时间。

## 七. 电力电缆耐压试验方法

1. 将与被测试电缆相连的电气设备全部断开。
2. 用兆欧表测试电缆各相绝缘参数，测试合格方可进行超低频耐压试验。
3. 整定试验电压值： $U_{max}=3U_0$ ，其中  $U_0$  为电缆的额定相电压值。

例 1：某电缆参数：额定线电压为 10kV、额定相电压  $U_0=6kV$ ，所以试验电压整定值为：

$$U_{max}=3U_0=18kV$$

各种型号橡塑绝缘电力电缆 0.1Hz 超低频试验电压值整定值如表 4。

表 4 各种型号橡塑绝缘电力电缆 0.1Hz 超低频试验电压和时间

额定电压 $U_0/U_N$ (kV)	交接试验			预防性试验		
	倍数	试验电压 (kV)	试验时间 (分钟)	倍数	试验电压 (kV)	试验时间 (分钟)
1.8/3	$3U_0$	5	60	$3U_0$	5	15
3.6/6	$3U_0$	11	60	$3U_0$	11	15
6/6	$3U_0$	18	60	$3U_0$	18	15
6/10	$3U_0$	18	60	$3U_0$	18	15
8.7/10	$3U_0$	26	60	$3U_0$	26	15
12/20	$3U_0$	36	60	$3U_0$	36	15
21/35	$3U_0$	63	60	$3U_0$	63	15
26/35	$3U_0$	78	60	$3U_0$	78	15

注： $U_N$  为电缆额定电压， $U_0$  为电缆相电压。

4. 试验时间：交接试验时试验时间为 60 分钟，预防性试验时间为 15 分钟。
5. 过流保护整定电流值：

超低频耐压试验品容性电流（或泄漏电流）的估算方法：

$$I_0=2\pi fCU=2\times 3.14\times 0.1CU(\text{mA})\dots\dots\dots(\text{公式 1})$$

其中：C 为电缆对地电容量，单位为  $\mu\text{F}$ ；U 为试验电压有效值，单位为 kV。

例 2：某型号 10kV( $U_N=10kV$ ， $U_0=8.7kV$ ) 电缆长 4km，单相对地电容  $0.21\mu\text{F}/\text{km}$ ，0.1Hz 超低频试验电压为 26kV（峰值），则泄漏电流近似为：

$$I_0=2\pi fCU=2\times 3.14\times 0.1CU=0.628\times 0.21\times 4\times 26/\sqrt{2}$$

$$=9.69(\text{mA})$$

过流保护整定电流值：

$$I=kI_0\text{.....(公式 2)}$$

其中：k 为过流保护可靠系数，显然  $k>1$

若 k 取 1.5，则过流保护整定电流值可取：14.5mA

6. 试验接线：用随机附带的专用连接将试验设备与试验电缆按图 13 所示的方法连接。仔细检查接线正确后合上电源，再次设定好试验频率，时间和电压以及高压侧的过流保护值、过压保护值，然后开始升压试验。

升压过程应密切监视高压回路，监听试品电缆是否有异常响声。升至试验电压时，仪器开始自动记录试验时间、显示试验电压值。

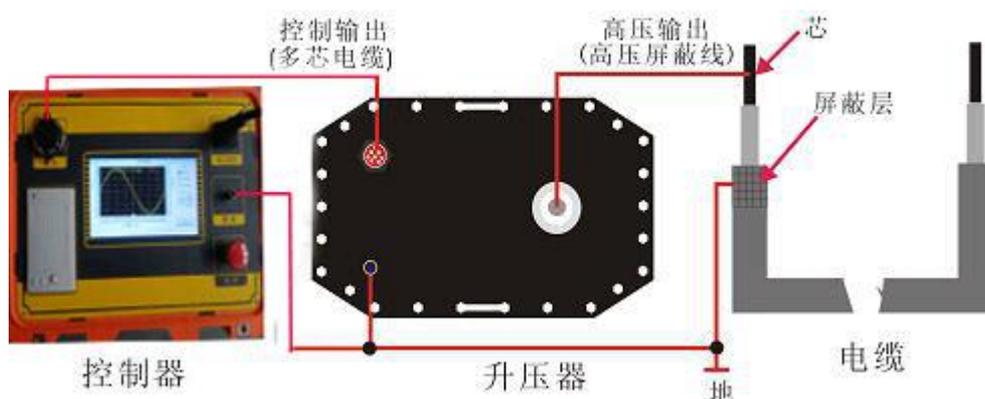


图 8 单相电缆耐压测试接线图

7. 试验时间到后，仪器自动停机。若试验中无破坏性放电发生，则认为通过耐压试验。
8. 在升压和耐压过程中，如发现输出波形异常畸变，而且电流异常增大，电压不稳，试品电缆发生异味、烟雾、异常响声或闪络等现象，应立即停止升压，停机后查明原因。这些现象如果是试品电缆绝缘部分薄弱引起的，则认为耐压试验不合格。如确定是试品电缆由于空气湿度或表面脏污等原因所致，应将试品电缆清洁干燥处理后，再进行试验。
9. 试验过程中，如果遇到非试品电缆绝缘缺陷使仪器出现过流保护，在查明原因后，应重新进行耐压试验。

## 八. 同步电机耐压试验方法

对同步电机的超低频耐压试验操作方法与以上对电缆的操作方法相似。下面就不同的地方作补充说明。

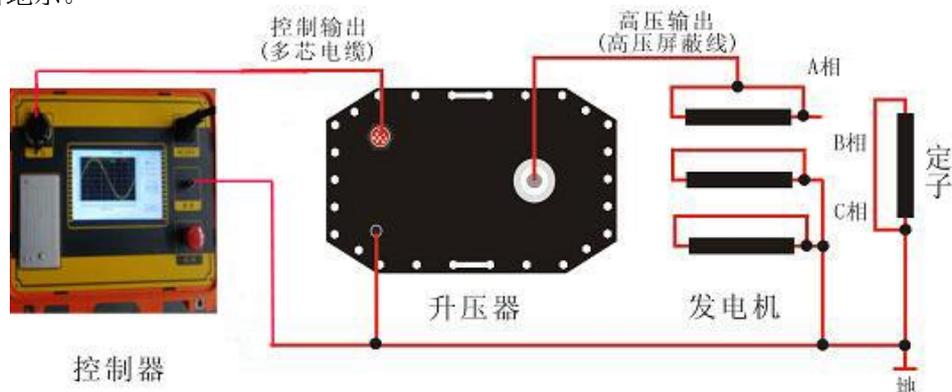
- 1、在交接、大修、局部更换绕组以及常规试验时，均可进行此项试验。用 0.1Hz 超低频对电机进行耐压试验，对发电机端部绝缘的缺陷比工频耐压试验更有效。其原因是在工频

电压下，由于从线棒流出的电容电流在流经绝缘外面的半导体防晕层时造成了较大的电

压降，因而使端部的线棒绝缘上承受的电压减小；而在超低频情况下，此电容电流大大减小了，半导体防晕层上的压降也大为减小，故端部绝缘上电压较高，便于发现缺陷。

- 2、接线方法：试验时应分相进行，给被试相加压，非被试相短接接地。试验接线如图 14 所示。

5



- 3、按照规程规定，试验电压峰值可按如下公式 3 确定：

$$U_{\max} = \sqrt{2} \beta K U_0 \dots \dots \dots \text{（公式 3）}$$

其中  $U_{\max}$ ：0.1Hz 试验电压的峰值（kV）；

$\beta$ ：0.1Hz 与 50Hz 电压的等效系数，按我国规程的要求， $\beta$  取 1.2；

$K$ ：整定系数，通常为 1.3~1.5，一般取 1.5

$U_0$ ：同步电机定子绕组额定电压（kV）

例如：额定电压为 10.5kV 的同步电机，超低频的试验电压峰值计算方法为：

$$U_{\max} = \sqrt{2} \times 1.2 \times 1.5 \times 10.5 \approx 26 \text{（kV）}$$

- 4、试验时间整定：与工频耐压的试验时间相同，一般为 1min。
- 5、过流保护动作电流整定值：整定方法与电缆相同。
- 6、在耐压过程中，若无异常声响、气味、冒烟以及数据显示不稳定等现象，可以认为绝缘耐受住了试验的考验。为了更好地了解绝缘情况，应尽可能全面监视绝缘的表面状态，特别是空冷机组。经验指出，外观监视能发现仪表所不能反映的同步电机绝缘不正常现象，如表面电晕、放电。

注：异步电机的结构与同步电机相比只是没有转子绕组，其试验接线与同步电机类似。

## 九. 注意事项

- 1、试验时请严格遵守高压试验的安全规范，由专业人员操作；
- 2、仪器如有故障，切勿自行拆机修理，应立即与我公司联系；
- 3、关机后应用放电棒对试品进行充分放电，确信放电完毕后，再拆线！

## 十. 随机附件

序号	名称	数量	单位
1	控制器	1	台
2	升压器	1	台
3	高压连接电缆	2	根
4	专用低压连接电缆	1	根
5	电源线	1	根
6	放电棒	1	根
7	接地线	1	根
8	补偿电容器	1	只
9	保险管	4	只
10	打印纸	2	卷
11	说明书	1	份
12	装箱清单	1	份
13	实验报告	1	份

## 十一. 运输及保存

### (1) 运输

本产品运输时必须进行包装，包装箱可用纸箱或木箱，包装箱内应垫有泡沫防震层。包装好的产品，应能经公路、铁路、航空运输。运输过程中不得置于露天车箱。仓库应注意防雨、防尘、防机械损伤。

### (2) 储存

仪器平时不用时，应储存在环境湿度在 $-20^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不超过 85%，通风，无腐蚀性气体的室内。存储时不应紧靠地面和墙壁。

### (3) 防潮

在气候潮湿的地区或潮湿的季节，本仪器如长期不用，要求每月开机通电一次（约二小时），以使潮气散发，保护元器件。

### (4) 防曝晒

仪器在室外使用时，尽可能避免或减少阳光的直接曝晒。仪器在室外使用时，尽可能避免或减少阳光的直接曝晒。

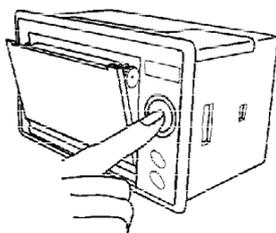
## 十二. 质量保证

- (1) 本仪器严格按照国家标准和企业标准制造，每一台仪器都经过严格的出厂检验。
- (2) 本仪器享有一年的保修期，在此期间由于制造厂的原因而使质量低于特性要求，本公司将免费予以保修。
- (3) 在仪器使用寿命内，本公司将终身提供仪器的维护、使用培训、软件升级等相关服务。
- (4) 如果在使用中发现问题，请及时与本公司联系，我们将在 24 小时（省内）或 48 小时（省外）为您服务解决问题。

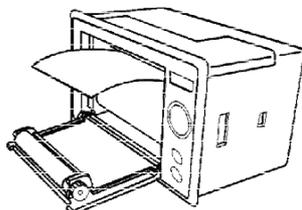
### 十三.打印机换纸方法

SP-EF 打印机更换纸卷操作非常简单，它不需要取出整个打印机，只需按动开门按钮即可打开前盖，按照图 A 打开前盖后把剩下的纸芯取出，然后按照图 B 的所示装上新纸卷，再按图 C 所示合上前盖即可。

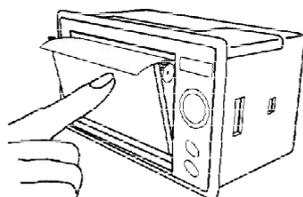
**注意：**合上前盖时要让打印纸从出纸口中伸出一段，放在居中位置，让胶轴将打印纸充分压住，否则无法打印。热敏式打印机上纸时，必须确认热敏印纸的热敏涂层在上面，再将热敏纸放入打印机纸仓。如果热敏涂层未在正确面上，则打印不出字迹。如果出现打印纸走偏现象,可以重新打开前盖，调整打印纸位置



A 打开前盖方法



B 打印机放入纸卷



C 打印机合上前盖