

LYYD2000-10560kVA/800kV 变频串联谐振耐压试验装置

（技术方案）

1、串联谐振基本原理：

1.1 谐振耐压试验是利用电抗器的电感与被试品电容组成 LC 串联回路，调节变频电源输出的电压频率，实现串并联谐振，在被试品上获得高电压，是当前高电压试验的一种新方法，深受专家好评，在国内外已经得到广泛的使用。

2、串联谐振试验装置特点：

2.1 串联谐振试验装置具有输出容量大，输出电压高、可任意组合电抗器针对不同试品的交流耐压试验。

2.2 串联谐振试验装置具有体积小、重量轻特别方便野外试验。

2.3 串联谐振试验装置具有保护功能好、有过压保护、过流保护、时间保护、闪络保护、过热保护、模块保护等功能。

2.4 串联谐振试验装置具有操作极具简单，并具有手动和自动两档。

2.5 串联谐振试验装置采用大屏幕、使试验数据一目了然，并可打印试验结果。

2.6 串联谐振试验装置具有试品击穿后无过电压之虞，对试品的损坏相当小。

2.7 串联谐振试验装置试验所需电源容量小，仅是工频变压器试验所需电源容量的几分之一，解决现场电源难找的问题。

3、适用范围：

3.1 满足 420kV 或 500kV GIS（20 个间隔）的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.04 μ F，最高试验电压不超过 750kV，试验频率 30~300Hz，全电压耐压时间 1min。

3.2 满足 420kV 主变中性点的交流耐压试验，试验电压不超过 200kV，试验频率 45~65Hz，耐压时间 1min。

3.3 满足 220kV/2500mm² 电缆长度 4 公里的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.928 μ F，试验电压 217kV，试验频率 30~300Hz，每相耐压时间 60min，连续试验 180min。

3.4 满足 400kV/2000mm² 电缆长度 1.0 公里的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.21 μ F，试验电压 393kV，试验频率 30~300Hz，每相耐压时间 60min，连续试验 180min。

4、使用环境条件：

4. 1 环境温度：-10℃～40℃
4. 2 相对湿度：不大于 90%
4. 3 海拔高度：2500 米以下

5、装置容量确定：

5. 1 计算

- a. 420kV 或 500kV GIS（20 个间隔）的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.04μF，最高试验电压不超过 750kV，试验频率 30～300Hz，全电压耐压时间 1min。

频率取 50Hz

$$\text{试验电流 } I=2\pi fCU_{\text{试}}=2\pi \times 50 \times 0.04 \times 10^{-6} \times 750 \times 10^3=9.42\text{A}$$

$$\text{对应电抗器电感量 } L=1/\omega^2C=253.5\text{H}$$

- b. 420kV 主变中性点的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.05μF，试验电压不超过 200kV，试验频率 45～65Hz，耐压时间 1min。

频率取 50Hz

$$\text{试验电流 } I=2\pi fCU_{\text{试}}=2\pi \times 50 \times 0.05 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^3=3.14\text{A}$$

$$\text{对应电抗器电感量 } L=1/\omega^2C=202.8\text{H}$$

- c. 220kV/2500mm² 电缆长度 4 公里的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.928μF，试验电压 217kV，试验频率 30～300Hz，每相耐压时间 60min，连续试验 180min。

频率取 35Hz

$$\text{试验电流 } I=2\pi fCU_{\text{试}}=2\pi \times 35 \times 0.928 \times 10^{-6} \times 217 \times 10^3=44.3\text{A}$$

$$\text{对应电抗器电感量 } L=1/\omega^2C=22.3\text{H}$$

- d. 400kV/2000mm² 电缆长度 1.0 公里的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.21μF，试验电压 393kV，试验频率 30～300Hz，每相耐压时间 60min，连续试验 180min。

频率取 35Hz

$$\text{试验电流 } I=2\pi fCU_{\text{试}}=2\pi \times 35 \times 0.21 \times 10^{-6} \times 393 \times 10^3=18.2\text{A}$$

$$\text{对应电抗器电感量 } L=1/\omega^2C=98.6\text{H}$$

※：根据以上试验电压、电流、频率、电感量及耐压时间 180min 即设计 4 台电抗器，使用 4 台电抗器串并联即可完成以上试验要求和目的，则单台电抗器为 220kV/12A/90H。

5. 2 验证：

a. 420kV 或 500kV GIS（20 个间隔）的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.04μF，最高试验电压不超过 750kV，试验频率 30~300Hz，全电压耐压时间 1min。

☆：使用 4 台电抗器串联，此时额定电感量 360H，额定电压 880kV，额定电流 12A，

$$\text{试验频率 } f=1/2 \pi \sqrt{LC}=1/(2 \times 3.14 \times \sqrt{360 \times 0.04 \times 10^{-6}})=\underline{41.9 \text{ Hz}}$$

$$\text{试验电流 } I=2 \pi fCU_{\text{试}}=2 \pi \times 41.9 \times 0.04 \times 10^{-6} \times 750 \times 10^3=\underline{7.9A}$$

b. 420kV 主变中性点的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.05μF，试验电压不超过 200kV，试验频率 45~65Hz，耐压时间 1min。

☆：使用 1 台电抗器串联，此时额定电感量 200H，额定电压 220kV，额定电流 12A。

$$\text{试验频率 } f=1/2 \pi \sqrt{LC}=1/(2 \times 3.14 \times \sqrt{200 \times 0.05 \times 10^{-6}})=\underline{50.3 \text{ Hz}}$$

$$\text{试验电流 } I=2 \pi fCU_{\text{试}}=2 \pi \times 50.3 \times 0.05 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^3=\underline{3.16A}$$

c. 220kV/2500mm² 电缆长度 4 公里的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.928μF，试验电压 217kV，试验频率 30~300Hz，每相耐压时间 60min，连续试验 180min。

☆：使用 4 台电抗器并联，此时额定电感量 22.5H，额定电压 220kV，额定电流 48A。

$$\text{试验频率 } f=1/2 \pi \sqrt{LC}=1/(2 \times 3.14 \times \sqrt{22.5 \times 0.928 \times 10^{-6}})=\underline{34.8 \text{ Hz}}$$

$$\text{试验电流 } I=2 \pi fCU_{\text{试}}=2 \pi \times 34.8 \times 0.928 \times 10^{-6} \times 216 \times 10^3=\underline{44.1A}$$

d. 400kV/2000mm² 电缆长度 1.0 公里的交流耐压试验，试品电容量不超过 0.21μF，试验电压 393kV，试验频率 30~300Hz，每相耐压时间 60min，连续试验 180min。

☆：使用 4 台电抗器 2 串 2 并，此时额定电感量 90H，额定电压 440kV，额定电流 24A。

$$\text{试验频率 } f=1/2 \pi \sqrt{LC}=1/(2 \times 3.14 \times \sqrt{90 \times 0.21 \times 10^{-6}})=\underline{36.6 \text{ Hz}}$$

$$\text{试验电流 } I=2 \pi fCU_{\text{试}}=2 \pi \times 36.6 \times 0.21 \times 10^{-6} \times 393 \times 10^3=\underline{19A}$$

总结:装置容量定为 10560kVA/800KV;分 4 台电抗器,电抗器单台为 2640kVA/220kV/12A

通过组合使用能满足上述被试品的试验要求。

6、设备配置一览表

6.1 主要部件设备一览表:

名称	规格型号	单位	数量	外形尺寸(mm)	重量(kg)
变频电源	400kVA	台	1	1150×700×1750	428
励磁变压器	400kVA/8kV×4	台	1	1250×850×1450	1625
高压电抗器	220kV/12A/90H	台	4	φ 1050×1700	1850/台

电容分压器	800kV/0.001uF	台	1	$\phi 250 \times 6500$	155
补偿电容器	200kV/0.01uF	台	1	$\phi 250 \times 1700$	35
附件及测试线		套	1		

6.2 设备附件一览表:

名称	规格型号	单位	数量	外形尺寸(mm)	重量(kg)
电抗器底座		台	4		42/台
电抗器绝缘支架		台	3		25/台
电抗器均压罩		只	1		35
分压器底座		套	1		45
分压器绝缘拉杆		套	1		12
分压器均压罩		只	1		48
线箱		套	1		35

7、主要功能及参数:

7.1 变频谐振试验装置系统参数:

- 7.1.1. 输入电压: 三相 380V \pm 10% 50Hz;
- 7.1.2. 最大试验容量: 10560kVA;
- 7.1.3. 额定输出电压调节范围: 0~220kV; 0~440kV; 0~800kV;
- 7.1.3. 输出电流: 48A; 24A; 12A;
- 7.1.4. 谐振电压波形: 正弦波、畸变率: $\leq 0.5\%$;
- 7.1.5. 输出电压不稳定性: $\leq 0.5\%$;
- 7.1.6. 输出频率范围: 25~320Hz;
- 7.1.7. 频率调节分辨率: 0.01Hz;
- 7.1.8. 品质因数 Q 值: 额定负载下不小于 50;
- 7.1.9. 绝缘水平: 1.2 倍额定电压耐压 1min;
- 7.1.10. 额定电流下连续运行时间不低于 30 min;
- 7.1.11. 电压测量精度: 1 级;
- 7.1.12. 噪声: $\leq 45\text{dB}$;
- 7.1.13. 该装置配备以下保护功能:

设备有手动试验、自动调谐及自动试验；

过电压保护、过电流保护、放电保护、断电保护、零启动保护。

试验数据大屏幕显示、中文菜单、可打印输出、打印机为嵌入式。

7. 2 变频电源主机：



7. 2. 1 技术参数

输入工作电源：三相 380V \pm 10% 50Hz

额定输出功率：400kVA

输出电压：0~400V

最大输出电流：1000A

输出频率：30~300Hz

频率调节细数：0.01 Hz

不稳定性：<0.05%

电压分辨率：0.01kV

电压测量精度：1.5%

运行时间：额定容量下连续 60min

额定容量下连续运行 60min 元器件最高温度 \leq 65K；

噪声水平： \leq 50dB

7. 2. 2 性能特点:

7. 2. 2. 1 试验模式: 手动模式、自动模式。

a. 手动试验模式: 具有调压、调频、分段加压, 分段计时、存取数值等功能。

b. 自动试验模式: 根据所设定的试验参数, 自动进行调频、找谐、升压、计时、降压、切断主回路并转到试验结果界面。

7. 2. 2. 2 参数显示: 可显示输出频率、电压、电流、时间、设置参数、试验结果、保护信息等。

7. 2. 2. 3 参数设置: 可对试验电压、加压时间、试验模式、频率模式、测量分压器量程等参数进行设置或选择, 有各类显示值的切换按钮, 在试验过程中可根据需要任意切换显示内容。

7. 2. 2. 4 保护功能及其信息提示: 具备高压过压(软、硬件双重保护) 低压过压、低压过流保护以及失谐保护、零位、超温、放电保护等多重保护功能, 信息提示内容包括: 故障报警提示, 保护动作提示、操作功能提示及辅助信息提示。

7. 2. 2. 5 数据存储功能: 试验结果保存、打印、回查等。

a. 试验结果: 手动或自动试验完毕后, 在试验结果界面中可显示出试验时的详细参数, 当试验发生中断时, 可提示中断原因, 可将参数保存在存储器中, 该存储器为非易失存储器, 可保存 50 次试验记录。

b. 数据查询: 可将已保存的试验结果数据显示到屏幕上, 可将数据输出打印。

7. 2. 2. 6 自动稳压功能: 系统根据设定的试验电压或手动升压结果, 自动跟踪并维持稳定的试验电压, 电压稳定度可达 1%。

7. 2. 2. 7 双重监控系统: 即有大屏幕多重界面及数据显示, 又加装指针式电压表、直观反映加压过程, 独有的双重监控系统, 特别符合高压试验的习惯要求。

7. 2. 2. 8 双重过压保护功能:

a. 过压保护自动整定功能: 软件过压保护值设置不当时, 系统自动修正为当次试验电压的 1.1 倍。

b. 独立的硬件过压保护: 通过面板上的编码开关整定保护值, 一目了然完全由硬件独立实现过压保护功能, 不受干扰, 安全可靠。

7. 2. 2. 9 分压器分节设置功能: 根据配用分压器情况, 正确设置分压器节数, 系统自动确定对应的分压比, 因此无须换算, 显示屏直接读取, 同时可对壹台以上不同分压器本

体进行对应设置，解决了变频电源只能一对一配套分压器的难题。

7. 2. 2. 10 **软件校表功能**：此为隐蔽式功能，必须可提供给用户，软件完成，无须变动硬件，方便设备检验时用户自行操作校准表计。

7. 3 励磁变压器（1）



7. 3. 1. 结构形式：单相、油浸式；

7. 3. 2. 额定容量：400kVA；

7. 3. 3. 输入电压：400V；

7. 3. 4. 输入电流：1000A；

7. 3. 5. 输出电压：8kV×4；四个绕组可串可并

7. 3. 6. 输出电流：50A/25A/12.5A；

7. 3. 7. 工作频率：30~300Hz；

7. 3. 8. 温升：额定容量下运行 60min 线圈对空气的温升不大于 60K；

7. 3. 11. 性能及特点：

a. 高压侧设有氧化锌避雷器保护。

b. 绝缘耐热等级为 A 级，风冷式。

c. 高、低压绕组及贴芯间设有静电屏蔽层，即作为励磁变压器，又是隔离变压器。

d. 接线端子有明显标志，接地端有明显接地符号或接地标志。

e. 铁壳式结构，外表面涂漆保护。

7. 5 单台高压电抗器（1）



7. 5. 1. 结构形式：空心、油浸式；

7. 5. 2. 额定容量：2640kVA；

7. 5. 3. 额定电压：220kV；

7. 5. 4. 额定电流：12A；

7. 5. 5. 额定电感量：90H；

7. 5. 6. 工作频率：30~300Hz；

7. 5. 7. 温升：额定电流下运行 60min 电抗器对空气的温升不大于 60K；

7. 5. 8. 性能及特点：

a. 电抗器设计采用单芯干式结构，漆包线绕组，电抗器可以自由方便叠装。环氧树脂绝缘筒外壳，具有足够的电气、机械强度，必要的散热能力以及热胀冷缩的

裕度。外壳上下盖板、上下法兰均采用不导磁材料。电抗器配备可靠的起吊专用设施，外壳为橘红色。

b. 电抗器配有均压环，均压环考虑高压电抗器叠装时的电压，采用铝合金材料，并采取防止在强磁场下短路环流时均压环发热。均压环尺寸保证在额定电压下不起晕。电抗器串联安装时上部的均压环采用双环结构。

c. 电抗器内部结构在经过正常的铁路、公路运输后相互位置不变，紧固件不松动。

7. 6 电容分压器



7. 6. 1. 结构形式：电容式；

7. 6. 2. 额定电压：800kV（267kV/节×3）；

7. 6. 3. 额定电容量：1000pF（3000pF/节）；

7. 6. 4. 工作频率：30~300Hz；

7. 6. 5. 测量精度：≤1.0%；

7. 6. 6. 性能及特点：

a. 额定电压下可连续运行 2 小时。

b. 在 30~300Hz 范围内，其精度和稳定度保持不变。

c. 在 20℃ 温度下电容分压器介质损耗值≤0.0025

d. 电容分压器配有支撑底架，具有足够的稳定性。

e. 电压测量通过专用测试引线引至调频电源进行测量。

7. 7 补偿电容器



- 7. 7. 1. 结构形式：电容式；
- 7. 7. 2. 额定电压：200kV（100kV/节×2）；
- 7. 7. 3. 额定电容量：10000pF（20000pF/节）；
- 7. 7. 4. 工作频率：30~300Hz；

8、设备制造引用和执行标准

DL/T849.6—2004	高压谐振试验装置；
GB 6450—1986	干式电力变压器；
DL/T848.2—2004	试验变压器；
GB/10229—1988	电抗器；
GB/T11920—1989	控制装置通用技术条件；
GB/T16927.1—1997	高电压试验技术；
IEC358—1990	耦合电容器和电容分压器。

上海来扬电气科技有限公司

电话：13801861238