

SVG 动态无功补偿在特殊领域的应用

梁艺超¹, 崔江丽², 郭晓敏¹, 赵卫锋¹, 汪洁莹¹

(1. 正泰电气股份有限公司, 陕西 咸阳 710200; 2. 合容电气股份有限公司, 西安 710200)

摘要: 静止无功发生器(SVG)是目前最先进的无功补偿装置,可在传统补偿装置无法有效治理的场合起到显著的补偿效果。本文以某检测中心试验站电压波动问题治理为例,简述该试验站在开展断路器通断能力和成套装置短路耐受强度试验时对电网电能质量带来的影响,详细叙述了 SVG 在本应用场合的选型、设计及应用效果验证。最终的研究结果对 SVG 在特殊应用场合下的设计具有一定的借鉴意义。

关键词: SVG; 电压波动; 短路; 冲击负荷

Application of SVG Dynamic Reactive Power Compensation in Special Field

LIANG Yichao¹, CUI Jiangli², GUO Xiaomin¹, ZHAO Weifeng¹, WANG Jieying¹

(1. Chint Electric Co., Ltd., Shaanxi Xianyang 710200, China;

2. HeRong Electric Co., Ltd., Xi'an 710200, China)

Abstract: Static var generator (SVG) is the most advanced reactive power compensation device at present, which can play a significant role in compensation effect on the occasion that the traditional compensation device has no way for effective treatment. In this paper, the treatment of voltage fluctuation in one test station is taken as an example, the impact of the test station on the power quality of the power grid when performing the making and breaking capacity test of the circuit breaker and the short-circuit withstand strength test of the complete set of devices is simply described, and the type selection, design and application effect verification of SVG in this application occasion are described in detail. The final research results have a definite reference in the design of SVG in special applications.

Keywords: SVG; voltage fluctuation; short circuit; impulse load

0 引言

随着科技发展与进步,各行各业越来越多地采用高新技术设备,这些设备本身包含大量的精密电路,对电压波动等电能质量问题十分敏感,一旦这些设备的非正常停机或损坏,或会给电力用户或企业带来巨大的损失^[1-3]。

某检测中心位于沿海发达城市,为提升试验服务能力,检测中心试验站新规划一套大负荷试验设备。试验专用变压器接自当地 220 kV 变电站 110 kV 出线,在试验站进行断路器通断能力或成套装置短路耐受强度时,因试验瞬间负荷陡增,试验时会对当地电网产生较大的冲击,造成电网电压波动超标^[4-5]。

1 检测中心试验项目对电网的影响

1.1 电网概况

检测中心新规划的大功率试验设备以 10 kV 电压线路接入 110 kV 试验专用变 10 kV 预留间隔,试验专用变以 110 kV 电压等级线路接入 220 kV 上级变电站。上级变电站拥有两台 180 MVA 主变,公共接入点 110 kV 母线大方式下(主变并列运行)短路容量为 2 200 MVA,小方式下(主变一用一备)短路容量为 1 100 MVA。

1.2 负荷概况

检测中心新增大负荷试验设备的最大试验能力见表 1。

表1 试验能力
Table 1 Test capacity

试验情况	断路器通断能力试验 MVA/s	成套装置短路	功率因数 $\cos\varphi$
		耐受强度试验 MVA/s	
多数	38/0.2	38/1.0	0.2
少数	76/0.2	60/1.0	0.2
偶尔	98/0.2	98/1.0	0.2

检测中心大负荷试验频次规定不超过 10 次/h, 每次的通电时间不大于 1 s; 98 MVA 最大负荷试验的最长通电时间为 1 s, 每天的试验频次不超过 20 次。

1.3 大容量短路试验的影响

根据公式^[6]:

$$d_{\max} = \Delta S_{\max} / S_{\text{sc}} \tag{1}$$

式中: $\Delta S_{\max}$ 为最大视在功率变化量; S_{sc} 为接入点短路容量, 可求得在系统大方式下和小方式下, 检测中心进行大功率试验时 220 kV 变电站 110 kV 接入点的电压波动估算值见表 2。

表2 试验时的无功功率
Table 2 Reactive power during test

试验负荷/ MVA	系统大方式 电压波动 /%	系统小方式 电压波动 /%	电压波动 限值 /%
38	1.73	3.45	2.5
60	2.73	5.45	2.5
76	3.45	6.91	2.5
98	4.45	8.91	2.5

2 补偿容量计算

2.1 试验无功功率计算

根据已知条件, 参考表 1 试验能力, 根据公式

$$Q = S \sin(\arccos \varphi) \tag{2}$$

可求得大功率试验时的无功功率, 结果见表 3。

表3 试验时的有功功率和无功功率
Table 3 Active and reactive power during test

试验项目	负荷视在功率/ MVA	有功功率/ MW	无功功率/ Mvar
1	38	7.61	37.23
2	60	11.99	58.79
3	76	15.22	74.46
4	98	19.60	96.02

2.2 电压波动限值的规定

国标 GB/T 12326—2008《电能质量 电压波动和闪变》规定, 见表 4。

表4 电压波动限值
Table 4 Voltage fluctuation limit

变动频度 r /(次/h)	d /%	
	LV、MV	HV
$r \leq 1$	4	3
$1 < r \leq 10$	3*	2.5*
$10 < r \leq 100$	2	1.5
$100 < r \leq 10\,000$	1.25	1

表 4 中: 1) 很少变动频度(每日少于 1 次), 电压变动限值 d 还可以放宽, 但不在本标准中规定; 2) 对于随机性不规则的电压波动, 如电弧炉引起的电压波动, 表中标有“*”的值为其限值; 3) 参照 GB/T 156—2007, 系统标称电压 U_n 等级按以下划分: 低压(LV) $U_n \leq 1\text{ kV}$, 中压(MV) $1\text{ kV} < U_n \leq 35\text{ kV}$, 高压(HV) $35\text{ kV} < U_n \leq 220\text{ kV}$, 对于 220 kV 以上超高压(EHV) 系统的电压波动限制可参照高压(HV) 系统执行。

结合检测中心的实际运行情况, 电网公司要求检测中心只能在系统大方式下进行大负荷短路电流试验, 并且采取必要措施, 在进行任何试验项目时, 对 110 kV 公共接入点造成的电压波动不得超过 2.5%。

2.3 需要补偿的无功功率

参考 2.1 计算结果, 通过安装无功补偿装置, 以期降低试验瞬间的无功功率, 从而有效减小试验负荷, 降低对系统电压带来的影响^[7-9]。

根据式(1)可得

$$\Delta S_{\max} = d_{\max} \times S_{\text{sc}} \tag{3}$$

计算可得在有效负荷 55 MVA 时, 会造成 110 kV 接入点 2.5% 的电压波动。以最大负荷考虑, 在做 98 MVA 短路试验时, 视有功功率 P 不变, 经无功补偿之后, 其视在功率 S' 不应大于 55 MVA。

根据式(4)

$$S^2 = P^2 + Q^2 \tag{4}$$

可求得视在功率 55 MVA 时的无功功率 $Q' = 51\text{ Mvar}$ 。则要使检测中心 98 MVA 试验时电压波动不超过 2.5%, 则需要补偿的无功功率最少为

$$Q_0 = Q - Q' = 45\text{ Mvar}$$

即安装补偿容量不小于 45 Mvar 的无功补偿装置, 为保证补偿效果, 取一定裕量, 最终补偿容量 Q_0 取 50 Mvar。

2.4 短路试验无功补偿仿真

用 Matlab 软件搭建简易模型进行仿真, 无功补偿装置型式为静止无功发生器(static var generator, SVG)。短路试验开始时电压 1.016 p.u., 98 MVA 短路时电网跌至 0.969 p.u., 电压波动幅度 4.64%, 超

过国标限制 3%。投入补偿后,SVG 发出容性功率 50 Mvar,电压抬升至 0.993,电压波动幅度 2.3%,满足国标要求,仿真结果见图 1。

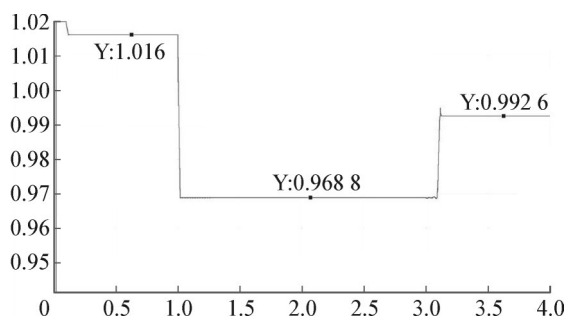


图1 补偿仿真结果
Fig. 1 Compensation simulation results

3 补偿设备选型

由于检测中心大负荷短路试验过程短暂,且试验时间随机,传统无功补偿设备无法满足瞬时补偿的要求,故决定在试验变压器 10 kV 母线侧安装基于现代电力电子技术的静止无功发生器 SVG,在无功骤升瞬间给予无功支撑,维持母线电压^[10-12]。

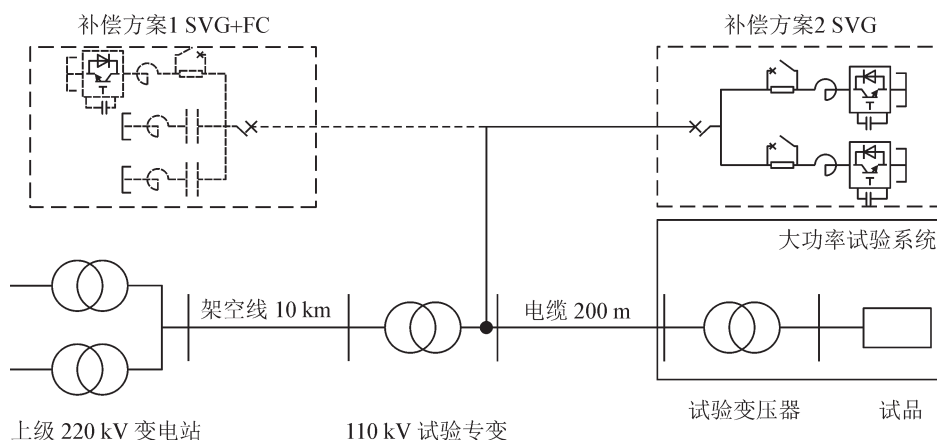


图2 补偿装置接入一次系统图
Fig. 2 Diagram of access of compensation device to primary system

3.2 方案论证

检测中心根据试验需要,在试验之前投入动态无功补偿装置,此时补偿装置相当于零无功状态,试验进行时,在无功冲击的瞬间补偿装置发出大量容性无功,冲击过后,补偿装置亦立即停止输出,又相当于零无功状态,待大功率短路试验结束后,补偿装置可切除退网。

如上所述,方案 2 的纯 SVG 装置可以在试验之前零无功并网。此时,SVG 不向电网输送无功功率,装置待机损耗较小^[16-19]。在装置满功率运行的 1 s 内,装置的损耗约占总损耗的 1% 左右。由于满容量输出的时间非常短,所以方案 2 的总损耗非常小。

3.1 方案选型

方案 1 拟采用 SVG 静止无功发生器+FC 固定电容器的混合补偿方式^[13-15]。其中 SVG 静止无功发生器 30 Mvar,FC 固定电容器可分多组,FC 总的基波输出容量为 20 Mvar。无功补偿系统的输出容量为 10 Mvar(感性)~ -50 Mvar(容性)连续可调。在 SVG+FC 方案中,SVG 容量应大于 FC 基波输出容量,避免系统电压较高情况下 SVG 无法完全抵消 FC 的容性无功而造成无功倒送。

方案 2 拟采用纯 SVG 静止无功发生器补偿方式。受限于目前 IGBT 器件特性、功率设计、经济性及 SVG 技术本身,目前尚无法很好地完成 10 kV 50 Mvar 的单套 SVG 装置设计。故方案 2 将采用 2 套静止无功发生器 SVG 并联的方式进行无功补偿。

由于试验专用变压器回路后接电路仅为试验系统专用设备,并无其他用电负荷,同时考虑工程实施简便,试验专用变压器本身的励磁无功予以忽略,两个方案的补偿目标均为试验专用变压器 10 kV 出线侧,无功补偿装置接入系统图见图 2。

而方案 1 的 SVG+FC 补偿方案,在试验前先后投入 SVG 和电容器组,待电容器并网后,SVG 随即输出用于平衡电容器组容性无功的无功功率,SVG+FC 无功补偿系统的总输出为零;在试验无功冲击下,SVG 装置由感性满发阶跃至容性满发,SVG+FC 无功补偿系统输出需要补偿无功功率;冲击过后,系统恢复试验前的状态。SVG+FC 方案从装置投入至装置退网,其损耗为 SVG 损耗与电容器装置损耗之和,损耗较大。

综上,最终确认补偿方式选择方案 2,即两套 10 kV 25 Mvar 的 SVG 装置并联接入试验专用变 10 kV 备用间隔的方案。

4 工程设计和组件选型

4.1 实际工况对设备选型的影响

检测中心试验专用变压器 10 kV 备用间隔开关柜作为 SVG 无功补偿系统接入开关柜,该开关柜型号为 UniGear ZS1 空气绝缘交流金属封闭开关柜。主断路器型号为 VD4-12 kV/2 000 A-50 kA,主母线规格 2 000 A(D 型 Cu)。

检测中心大负荷试验项目频次低,即使做 98 MVA 大负荷短路试验,其每天试验频次不超过 20 次,每次通电时间不超过 1 s,在不做大功率短路试验时,试验系统有功功率和无功功率很小,无需补偿。

SVG-25 Mvar/10 kV 装置的额定电流为 1 443 A,两套装置满发时最大电流约 2 900 A,但满发的时间不超过 1 s,频次较低。故在 SVG 设计及组部件选型方面,如开关、电缆、刀闸等部件选型,甚至是 SVG 换流阀内部的 IGBT、直流电容器等,都可根据

实际工况做针对性调整,以期降低用户投入奖金。

4.2 使用环境对设备型式的要求

1)检验中心地处沿海地带,设备选用集装箱户外布置^[20],水冷密封结构。SVG 阀体、水冷柜及控制柜布置于集装箱内部,和户外环境相对隔绝。同时控制系统板卡浸胶工艺处理,最大限度降低湿度及盐雾对设备控制系统的影响。

2)检测中心土地资源有限,要求设备的占地面积尽可能小,为节省布置空间,将水风换热器布置于集装箱顶部。

4.3 无功补偿系统的主接线设计

检测中心新建无功补偿系统采用 25 Mvar/10 kV SVG 装置两套并联的方式,以电缆直埋的方式接入 10 kV 备用间隔,为便于 SVG 系统的分合闸控制操作,设总断路器一台,考虑试验工况和工程成本,总断路器选用户外真空断路器,型号为 ZW32-12/1250-20 kA。无功补偿系统主接线图见图 3。

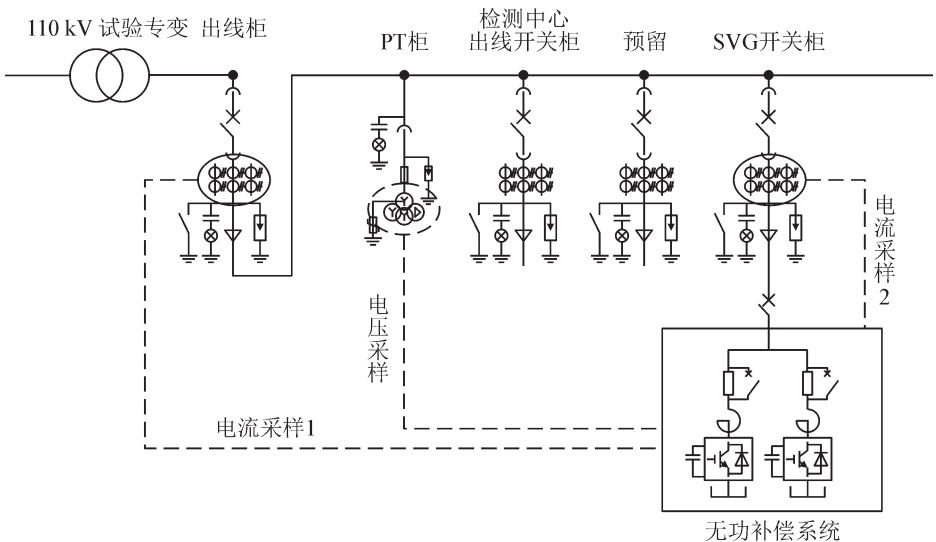


图3 无功补偿系统主接线
Fig. 3 Main wiring of reactive compensation system

4.4 无功补偿系统的采样及控制方式

检测中心新建无功补偿系统由两套 25 Mvar/10 kV 的 SVG 并联组成,两套 SVG 装置,接入点只有一个,且接入点和考核点均为检测中心试验专用变压器 10 kV 出线侧。如何让两套 SVG 装置良好协作,是设计阶段着重考虑的问题之一。

4.4.1 并联主从机结构及补偿方式

两套 SVG 装置采集 10 kV PT 柜的电压信号,采集试验专用变压器 10 kV 总出线柜内的电流信号,见图 3 电压采样及电流采样 1。两套 SVG 设置主从机结构,主从机之间采用光纤通信。

电流采样方式为系统侧 CT,此种方式适合单套

主机或主从机并机模式下的 SVG 补偿无功计算,接线见图 4。

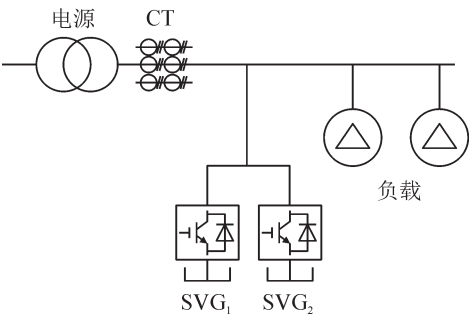


图4 系统侧电流采样
Fig. 4 Current sampling at system side

补偿方式:装置考核点恒无功模式,目标无功功率为0。主机计算试验时所需要的无功功率,并以通信的方式给从机下发无功指令,主机发所需无功的1/2,从机亦发所需无功的1/2。

4.4.2 并联双主机结构及补偿方式

两套 SVG 装置采集 10 kV PT 柜的电压信号,试验专用变压器 10 kV 总出线柜及 SVG 开关柜内的电流信号,见图 3 电压采样、电流采样 1 及电流采样 2。两套 SVG 不设置主从机结构,为独立的双主机。

电流采样方式为负载侧 CT,此种方式适合单套主机或多套主机并机模式下的 SVG 补偿无功计算,接线见图 5。

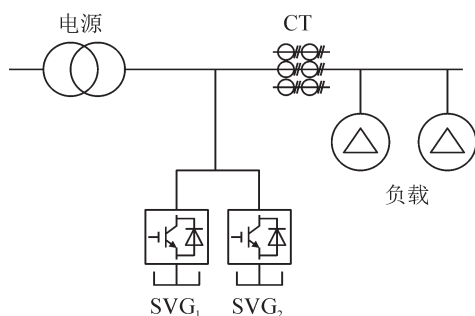


图5 负载侧电流采样
Fig. 5 Current sampling at load side

由于检测中心并无图 5 所示电流互感器,故采取系统电流减去 SVG 电流的方式得出负载侧电流,即 $CT = CT_1 - CT_2$,此时接线见图 6^[21]。

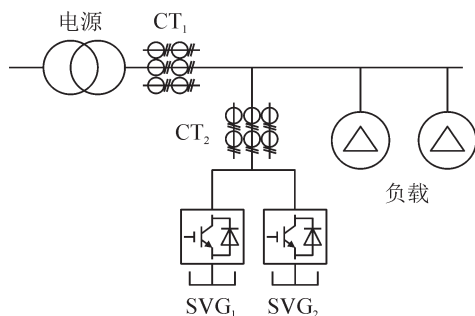


图6 等效负载侧电流采样
Fig. 6 Current sampling at equivalent load side

补偿方式:装置置于考核点恒无功模式,目标无功功率为0 Mvar。两套 SVG 各自计算试验时所需要的无功功率,但在输出无功的时候只需输出计算无功的1/2。

4.4.3 确认补偿方式

双主机结构和主从结构补偿方式的区别主要表现在响应速度上。由于主从机结构相较主机结构,多了主机指令下发到从机响应的通信闭环,响应速度较主机结构略慢。尽管这个闭环时间是很短暂,但考虑检测中心实际试验工况,SVG 系统越

短的全响应时间越有利于最终的电压波动治理效果。设计方案采用两套 SVG 并联、双主机、各出 1/2 无功功率的系统模式。

5 应用效果

5.1 补偿结果

容量为 50 Mvar,电压等级 10 kV 的 SVG 无功补偿系统在检测中心安装以后,通过 98 MVA 大负荷短路试验验证。试验过程中,SVG 从零无功至容性额定功率的全响应时间控制在 5 ms 以内,且上级 220 kV 变电站 110 kV 出线端的电压波动被有效控制,电网电流及电压波形见图 7。

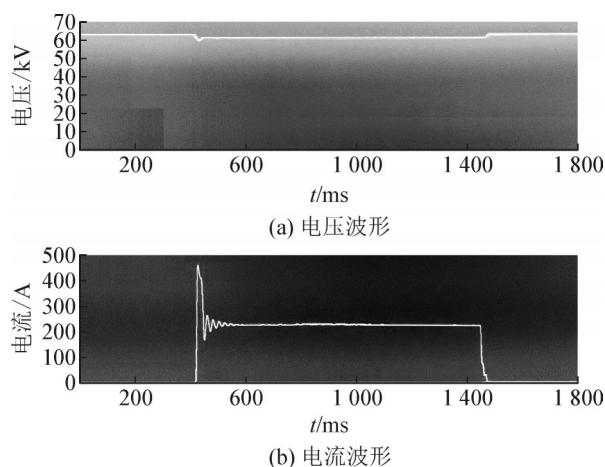


图7 补偿瞬间系统电压和电流波形
Fig. 7 Voltage and current waveforms of system at compensation transient

该波形图片来自上级变电站录波柜,显示的是 110 kV 侧电压电流的有效值。98 MVA 大负荷短路耐受试验时,110 kV 侧电流约 475 A,SVG 补偿之后总视在功率降至约 46 MVA,电流有效值降至约 240 A。

SVG 设置于恒考核点无功功率模式。控制器无功检测算法中,根据瞬时无功理论,先对考核点的电压和电流进行 Clarke 变换,再进行 PQ 计算。计算系统无功功率并与给定的系统无功目标值做差,然后通过 PI 调节器控制 SVG 输出的无功功率。PI 调节器根据给定值与实际输出值构成控制偏差^[22-24],将偏差的比例(P)和积分(I)通过线性组合构成控制量,对被控对象进行控制。图 7 电流波形的波头振荡,经分析是现场对 SVG 响应速度的极致追求,其 PI 调节器中比例作用相对较大造成超调,而 PI 调节器比对差值不断调整 SVG 装置输出从而引起振荡。SVG 装置实际补偿波形见图 8。

该波形图片来自补偿系统其中一台 SVG 控制柜触摸屏,试验中心进行 1 s 短路试验时,SVG 装置先后两次无功阶跃。因录波只记录最近一次阶跃

波形,故上图试验结束瞬间 SVG 装置从容性额定无功至零无功的阶跃波形。SVG 装置的调节速率与设定目标值和实际值之间的偏差有关,从零无功到容性额定输出与从容性额定到零无功输出都是基于负荷本身无功的突变。从波形可以看出,SVG 装置具备 ≤ 5 ms 的全响应补偿能力。

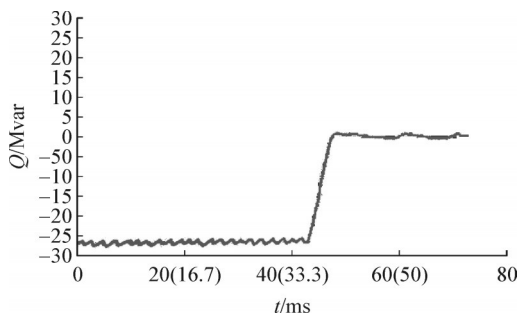


图8 SVG无功补偿波形

Fig. 8 Reactive compensation waveform of SVG

5.2 运行情况

检测中心的试验工况为低频次、短时、大负荷。在整个试验过程中,SVG 响应及时,电缆、开关、母排及各接线端子处通过红外测温仪监控,无发热和其他异常现象。

结合实际试验工况,为使补偿效果更佳,厂家放开 SVG 容量限值至 1.2 倍额定容量,充分利用 SVG 短时过载能力^[25],即 50 Mvar 的 SVG 无功补偿系统瞬间可以发出 60 Mvar 的无功功率。

6 结语

检测中心无功补偿系统项目成功实施并达最终的预期治理目标。本项目的产品和工程设计人员在熟知使用现场工况和应用产品特性及性能的情况下,对检验中心无功补偿系统进行科学评审,设计时做到有的放矢,避免设计冗余过大造成的资源浪费,让用户以较小的资金投入获得预期的使用效果。本项目的实施过程和结果对 SVG 甚至其它电力设备在特殊应用场合下的设计具有一定的参考和借鉴意义。

参考文献

- [1] 陈文联,黎贤钦,张龙波,等.一例变压器跳闸故障原因分析[J].变压器,2023,60(2): 74-75.
CHEN Wenlian, LI Xiantai, ZHANG Longbo, et al. Cause analysis of a case of transformer trip fault[J]. Transformer, 2023, 60(2): 74-75.
- [2] 吴旭涛,马云龙,何宁辉,等.基于多源数据融合的 GIS 机械故障检测技术[J].高压电器,2022,58(11): 191-196.
WU Xutao, MA Yunlong, HE Ninghui, et al. Mechanical

fault detection technology of GIS based on multi-source data fusion[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(11): 191-196.

- [3] 曹瑞峰,刘子华,袁婷,等.基于改进 SVM 的新能源电站故障诊断方法[J].浙江电力,2023,42(11): 11-20.
CAO Ruifeng, LIU Zihua, YUAN Ting, et al. A fault diagnosis method for new energy power plants based on an improved SVM[J]. Zhejiang Electric Power, 2023, 42(11): 11-20.
- [4] 黄博,李文亮,徐学帅,等.35 kV 中压配电网单相接地故障行波定位方法研究[J].电网与清洁能源,2023,39(1): 58-63.
HUANG Bo, LI Wenliang, XU Xueshuai, et al. A study on the traveling wave location method of single-phase grounding fault in 35 kV medium voltage distribution network[J]. Power System and Clean Energy, 2023, 39(1): 58-63.
- [5] 盖曜麟,葛丽娟,郭懿中,等.基于改进 SVM 算法的高压断路器故障诊断[J].高压电器,2022,58(12): 14-20.
GE Yaolin, GE Lijuan, GUO Yizhong, et al. Fault diagnosis of high voltage circuit breaker based on improved SVM algorithm[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(12): 14-20.
- [6] 电能质量 电压波动与闪变: GB/T 12326—2008 [S]. 2008.
Power quality voltage fluctuation and flicker: GB/T 12326—2008 [S]. 2008.
- [7] 庄文柳,张秀娟,刘文华.静止无功发生器 SVG 原理及工程应用的若干问题[J].华东电力,2009,37(8): 5-8.
ZHUANG Wenliu, ZHANG Xiujuan, LIU Wenhua. Several problems on the principle and engineering application of static var generator SVG [J]. East China Power, 2009, 37(8): 5-8.
- [8] 张舒,肖泽宇,刘宏超.多运行方式 SVG 的电压调节[J].电器与能效管理技术,2014(20): 47-51.
ZHANG Shu, XIAO Zeyu, LIU Hongchao. Voltage regulation based on varied working mode of SVG[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2014(20): 47-51.
- [9] 黄欣科,王环,王一波,等.光伏发电系统并网点电压升高调整原理及策略[J].电力系统自动化,2014,38(3): 112-117.
HUANG Xinke, WANG Huan, WANG Yibo, et al. Principle and strategies of voltage rise regulation for grid-connected photovoltaic generation system at point of common coupling[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(3): 112-117.
- [10] 李志新,吴限,苑婷,等.断路器短路关合过程数值分析模型及在选相关合中的应用[J].高压电器,2022,58(10): 180-187.
LI Zhixin, WU Xian, YUAN Ting, et al. Numerical Analysis model of short-circuit making process of circuit-breaker and its application in phase selection making[J]. High Volt-

- age Apparatus, 2022, 58(10): 180-187.
- [11] 郭成, 贯坤, 郭育华. SVG对直驱式机组风电场无功补偿的研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2017, 38(3): 67-70.
- GUO Cheng, GUAN Kun, GUO Yuhua. Study on reactive power compensation of SVG to wind farm with direct-drive units[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2017, 38(3): 67-70.
- [12] 翁利民, 张莉. 钢铁企业非线性负荷与无功补偿装置的应用分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2014, 35(5): 7-12.
- WENG Limin, ZHANG Li. Application analysis on non-linear load and reactive power compensation installation in steel & Iron enterprise[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2014, 35(5): 7-12.
- [13] 郑凯凯, 陈洁. 基于SVG+LC的混合无功补偿系统研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(3): 23-28.
- ZHENG Kaikai, CHEN Jie. Study on hybrid reactive power compensation system based on SVG+LC[J]. Power Capacitors & Reactive Power Compensation, 2021, 42(3): 23-28.
- [14] 陈凌斐, 邢宁, 李志新, 等. SVPWM逆变器供电时FSCW-PMSM损耗特性研究[J]. 电力工程技术, 2023, 42(4): 73-83.
- CHEN Zhenfei, XING Ning, LI Zhixin, et al. Loss characteristics investigation of FSCW-PMSM under SVPWM inverter supply[J]. Electric Power Engineering Technology, 2023, 42(4): 73-83.
- [15] 梁艺超, 王贺萍, 崔江丽, 等. 一起高压无源滤波工程的改造分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2016, 37(5): 21-25.
- LIANG Yichao, WANG Heping, CUI Jiangli, et al. Modification analysis of high voltage passive filter with engineering[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2016, 37(5): 21-25.
- [16] 孙永辉, 赵树野, 韩永强, 等. 提升区域电网电压稳定性的分布式储能协调运行策略[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(5): 221-227.
- SUN Yonghui, ZHAO Shuye, HAN Yongqiang, et al. Coordinated operation strategy on distributed energy storage for improving voltage stability of regional power grid[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2021, 42(5): 221-227.
- [17] 刘引弟, 刘会强, 邢华栋, 等. STATCOM抑制低频振荡及稳定电压在风电场中的应用研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(2): 18-25.
- LIU Yindi, LIU Huiqiang, XING Huadong, et al. Study on the application of suppressing low frequency oscillation and stabilizing voltage by STATCOM in wind farm[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(2): 18-25.
- [18] 唐一铭, 顾文, 蒋琛, 等. 大型并网光伏电站无功电压控制策略与现场试验[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018, 39(5): 142-148.
- TANG Yiming, GU Wen, JIANG Chen, et al. Reactive power voltage control strategy and field test on large scale grid-connected photovoltaic power station[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(5): 142-148.
- [19] 欧阳森, 苏为健, 马少华. 无功资源匮乏下的中压母线电压质量调控及评价方法[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018, 39(2): 78-83.
- OU YANG Sen, SU Weijian, MA Shaohua. Voltage quality regulation and evaluation method of medium voltage busbar under the lack of reactive power resources[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(2): 78-83.
- [20] 谭风雷, 朱超, 邓凯. 适用于多电平MMC-SVG的简化SVPWM方法研究[J]. 浙江电力, 2022, 41(1): 64-70.
- TAN Fenglei, ZHU Chao, DENG Kai. Research on simplified SVPWM for multilevel MMC-SVG[J]. Zhejiang Electric Power, 2022, 41(1): 64-70.
- [21] 陈凡, 徐浪, 赵美莲, 等. 考虑气象影响的电力系统运行可靠性评估[J]. 电力工程技术, 2023, 42(6): 130-140.
- CHEN Fan, XU Lang, ZHAO Meilian, et al. Operational reliability evaluation of power system considering meteorological impacts[J]. Electric Power Engineering Technology, 2023, 42(6): 130-140.
- [22] 邢宇婷, 苏宏升. 基于LCL的D-STATCOM配电网电压波动与闪变的抑制研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018, 39(2): 19-25.
- XING Yuting, SU Hongsheng. Study on voltage fluctuation and flicker suppression of D-STATCOM distribution grid based on LCL[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(2): 19-25.
- [23] 傅美平, 毛建容, 宋锐, 等. 大型新能源富集地区储能电站电压无功控制策略[J]. 电器与能效管理技术, 2022(2): 88-94.
- FU Meiping, MAO Jianrong, SONG Rui, et al. Voltage and reactive power control strategy of energy storage power stations in large new energy enriched areas[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2022(2): 88-94.
- [24] 粟世玮, 张谦, 熊炜, 等. 含高渗透可再生能源的动态网络重构与无功电压调整协同优化[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(1): 100-110.
- SU Shiwei, ZHANG Qian, XIONG Wei, et al. Coordination optimization of dynamic network reconfiguration and reactive power voltage regulation with high penetration renewable energy generation[J]. Power System and Clean Energy, 2023, 39(1): 100-110.
- [25] 配电网静止同步补偿装置技术规范: DL/T 1216—2013

[S]. 2013.
Technical regulation for distribution static synchronous compensator(DSTATCOM):DL/T 1216—2013[S]. 2013.

作者简介:

梁艺超(1984—),男,高级工程师,从事电能质量问题治理研究与补偿治理装置设计工作。E-mail:liangyichao416@163.com。
崔江丽(1983—),女,工程师,从事无功补偿成套装置设

计与制造工作。
郭晓敏(1964—),男,工程师,从事无功补偿装置设计制造、试验研究工作。
赵卫锋(1987—),男,工程师,从事无功补偿装置设计制造、电能质量问题研究工作。
汪洁莹(1994—),女,助理工程师,从事无功补偿成套装置设计与制造工作。

《电力电容器与无功补偿》2024 年 3 期广告单位

1 合容电气股份有限公司	封面	9 安徽广正电气科技有限公司	前插 5
2 上海思源电力电容器有限公司	封二	10 辽宁芯峻电气有限公司	前插 6
3 山东海源泰和电气有限公司	封三	11 温州市凯泰特种电器有限公司	前插 7
4 西安金叶电力科技有限公司	封底	12 山东哈大电气有限公司	前插 8
5 陕西凯瑞宏星电器有限公司	前插 1	13 陕西泰普瑞电工技术有限公司	前插 9
6 新程(辽宁)电力电容器科技有限公司	前插 2	14 桂林明富金属股份有限公司	前插 10
7 杭州精诚电力设备有限公司	前插 3	15 赛晶科技集团有限公司	前插 11
8 深圳市三和电力科技有限公司	前插 4	16 西安唯实输配电技术有限公司	前插 12