

[谐波治理]

低压配电室有源滤波器治理可行性分析

文/刘玉锋 屈勇
江铜集团贵溪冶炼厂

变频器等设备的广泛应用产生了大量谐波，造成电流畸变、电压畸变率增大，电能质量变差，出现“电网污染”。为了解决这一问题，低压配电室安装有源滤波器（APF）可以控制谐波污染，提高电网功率因数。消除谐波产生的危害是解决谐波危害、电网污染的有效方法。

贵溪冶炼厂倾动炉车间配电房两台1600 kV·A的变压器和630 kV·A的事故变压器（负载主要为变频器、加热炉、大功率整流设备等负载，这类非线性负载在工作中会存在大量的谐波电流），这些负载在生产过程中产生大量的5、7、11、13次等高次谐波并注入电网，影响供电系统的安全，对用电设备也造成一定的负面影响，如干扰通信，缩短电气设备使用寿命，致使低压配电室功率补偿柜普遍存在电容、熔断器、接触器和控制设备烧坏现象，维修成本高，达不到补偿效果，降低配电系统的安全性等危害。同时系统还存在大量的无功功率，原电容柜由于谐波问题经常损坏。需要加装有源电力滤波器进行谐波治理，提升现场的供配电电能质量和功率因数，原配电房空间有限，故考虑将每台电容补偿辅柜改造掏空放置，更换为有源滤波器模块，电容补偿主柜保留，节省空间，保持配电房整洁，也减少了新增机柜的投入成本。

现场改造的测试数据

1. 测试说明

测试点：倾动炉车间配电室变压器0.4 kV进线柜；测试仪器：CA8335电能质量分析仪；测试目的：测试0.4 kV母线电能质量状况。

2. 倾动炉车间配电室测试数据

测试数据如图1所示，测试期间电流261 A，总电流谐波畸变率17.99%，以5、7次谐波为主；测试期间负载未完全运行，据统计满载运行时本段有功功率700 kW，无功功率380 kvar；测试期间在开启电容柜的情况下功率因数0.99，已达标；测试期间三相电流不平衡度11.2%。

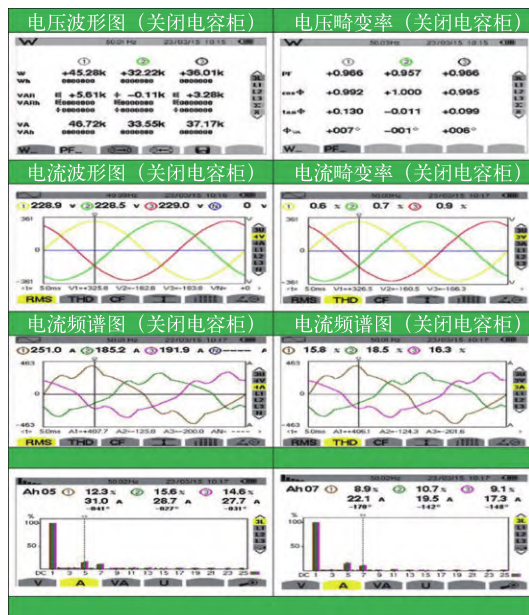


图1 测试结果分析

通过采用有源滤波器（APF）治理装置，可带来的好处主要包括以下几个方面。

- 1) 降低5、7、11、13次等特征次谐波含量，改善电能质量。
- 2) 消除谐波对生产和配电设备造成的危害，降低不合格率，提高产品品质。
- 3) 减少因谐波而引起的电气隐患和设备老化，为设备提供更长寿命和更低的维护费用。
- 4) 提高变压器使用效率，改善三相不平衡，增加有效容量，减少扩容投资。
- 5) 改善后功率因数可达0.95（额定补偿容量内），避免调电费罚款。

结论：谐波以5、7次为主，主要电能质量问题为三相不平衡，谐波电流偏高等问题，将一台192 kvar电容柜改造为APF柜，兼具三相不平衡治理、谐波治理和无功补偿的功能。

改造方案

由于当前运行条件下的电能质量问题对系统安全稳定运行具有很大隐患，且谐波会对电网造成污染，为了优化配电系统电能质量，将配电室变压器低压侧电容柜改造为APF柜，对无功、三相不平衡和谐波进行综合治理，使整个配电系统工作在安全稳定的环境中。

将原电容柜改造为APF柜时，需将原有的电容柜的元器件拆除，装入APF模块来补偿无功功率，提高功率因数，治理三相不平衡，主母线安装开口式电流互感器，采样负载电流，将电容改装成模块化的APF，单块容量100 kvar安装简单，维护方便。在功率补偿柜门安装触摸彩色液晶屏，控制操作简单直观，功率补偿柜保留电容柜隔离开关，改造后的设备容量不宜超过原有电容柜容量。电能质量治理装置柜内一二次元器件、APF和二次线的安装、敷设应符合GB 50171—2012《电气装置安装工程盘柜及二次回路结线施工及验收规范》的要求。改造方案见表1。

安装技术要点

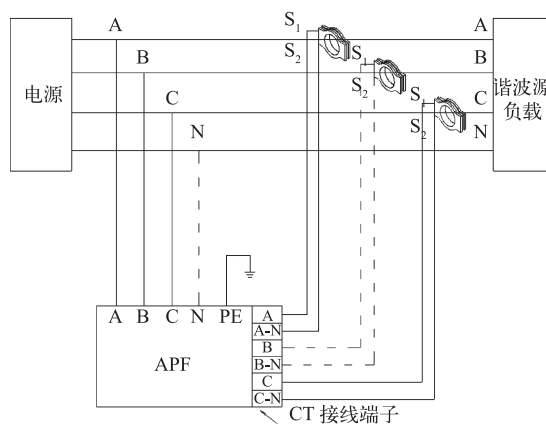
- 1) 母线连接应紧固，接触良好，外观整齐美观。采取防腐措施，不影响母线形状。
- 2) 母线和导线颜色符合国家标准，母线顺序遵

表1 改造方案

改造方案	方案一：将4台电容柜改为ASVG	方案二：将2台电容柜改为APF
每台变压器下的谐波治理容量/A	288	200
每台变压器下的无功谐波治理容量/kvar	400	325
每台变压器下的三相不平衡谐波治理容量/kvar	400	138
选择方案二：谐波补偿容量、无功补偿容量、三相不平衡治理容量都高于方案一，能够满足大负荷工况		

从规定。

- 3) 母线材料和支持件满足额定短路电流的要求。
 - 4) 辅助电路绝缘导线截面积要符合电流要求，采样回路的截面积应符合标准。
 - 5) 辅助电路布线整齐美观，避免贴近不同电位的部件或有尖角的边缘，导线稳固且支撑适当；有源滤波器设备功率接线端子只能连接一根导线。
 - 6) 连接至移动部件的导线应为铜芯绝缘导线，避免拉力和损坏。
 - 7) 导线只能固定在端子上进行接线，接线点牢固且良好接触。
 - 8) 连接到发热电器元件的绝缘导线需考虑对绝缘层的影响，必须采取适当措施。
 - 9) 绝缘导线额定电压不得低于额定工作电压。
- APF功率模块安装示意图如图2所示。



滤除各次谐波，并且2~50次任意次谐波的滤除率可调。

4) 有源滤波器采用直接控制方式，允许自由地选择谐波次数并进行滤除，滤波范围为2~50次谐波。

5) 控制算法。同时支持智能傅里叶、快速傅里叶(FFT)和瞬时无功三种算法。

6) 有源滤波器的快速响应时间 $\leq 50\ \mu\text{s}$ ，完全响应时间 $\leq 5\ \text{ms}$ 。

7) 有源滤波器自身的效率 $\geq 98\%$ 。

8) 滤波效果。在APF容量范围内，APF的总谐波补偿率 $\geq 98\%$ 。

9) 有源滤波器既能提供无级的感性无功，也能提供无级的容性无功，并且目标功率因数可调。在APF容量范围内，其基波无功补偿率应能 $\geq 99\%$ 。

10) 有源滤波器具有三相电流平衡的功能，补偿之后三相电流不平衡度 $\leq 1\%$ 。

改造后的实际效果

1) 改造前总电流谐波畸变率为17.99%，改造后电流谐波畸变率为5.2%，电压谐波畸变率3.5%。功率因数为 ≥ 0.95 。改造后的参数如图3所示。

测量	基本	谐波	功率	波形	I/O	系统	☐☐☐	
电网电流	有效值(A)	cosφ	THDI(%)		电压(V)	频率(Hz)	THDU(%)	
	L1	278.2	0.956	4.0	L1	232.2	49.9	3.5
	L2	239.4	0.958	5.2	L2	232.5	49.9	3.0
	L3	235.0	0.956	4.4	L3	228.4	49.9	2.5
	N	44.1						
负载电流	有效值(A)	cosφ	THDI(%)		有效值(A)	负载率(%)		
	L1	322.4	0.826	23.3	L1	117.0	39.03	
	L2	308.8	0.733	21.3	L2	150.8	50.29	
	L3	273.7	0.805	8.7	L3	94.1	31.39	
	N	11.8						

图3 改造后电流谐波畸变率

2) 改造后的电压波形图更加平滑，改造后的电压波形如图4所示。

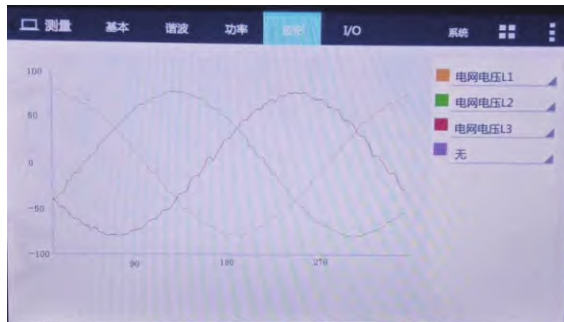


图4 改造后的电压波形图

3) 通过谐波治理，降低5、7、11和13次等特征次谐波含量，改善电能质量，达到国家标准GB/T 14549《电能质量公用电网谐波》的要求。改造后的电流频谱图如图5所示。



图5 改造后电流频谱图

结束语

通过改造，有效改善了供电系统电能质量，防止变压器、变频器及其他用电设备长期工作在高谐波环境中而出现重大安全隐患，极大提高了电网供电的稳定性与安全性，并大量降低无功损耗，从而节约能源。EA

(收稿日期：2023-04-25)

参考文献

- [1] 刘晓军, 赵芷莹, 马羽中, 等. 基于Pearson相关性的有源配电网故障定位与识别[J]. 电气应用, 2022, 41(10): 56-66.
- [2] 席晓林, 刘佳林, 张新一, 等. 加装电流互感器的DTU检测台体的有源补偿[J]. 电气应用, 2021, 40(8): 24-29.