

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2017.11.009

电能质量监测与治理案例分析^①

王超^{1,2}

1. 江苏电子产品装备制造工程技术研究开发中心, 江苏 淮安 223003;

2. 淮安信息职业技术学院 自动化学院, 江苏 淮安 223003

摘要: 该文以在线电能质量监测及治理为案例, 阐述了进行电能质量监测与治理的必要性. 实例通过在线电能质量监测系统及时发现电网中存在的电能质量问题并进行及时治理, 实现了电网电能质量状况实时监测和评估, 提高和改善了电网电能质量, 取得了良好的社会效益和经济效益.

关键词: 电能质量; 监测; 治理

中图分类号: TM92

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)11-0052-06

随着科学技术的发展, 人类的生产和生活方式已经发生深刻的变化. 电能作为一种便于利用的清洁、高效能源, 已经成为人类社会生活的一种基础能源形式. 电能质量的好坏直接影响着电力系统的经济、安全和可靠运行, 涉及供电部门、电力设备制造商和电力用户等多方面利益.

一方面, 为进一步提高用电效率, 各种整流、逆变和变频调速等电力电子装置的应用越来越广泛, 这些具有不对称、冲击性、非线性和丰富谐波特性的用电负荷成为影响电能质量的重要因素. 另一方面, 对电能质量的要求及敏感程度比较高的用电设备如芯片制造、精密加工、汽车生产线、数据中心等, 电网中的任何瞬态和暂态响应都易引起设备的运行异常甚至损坏, 从而影响生产的正常进行, 产生不必要的经济损失^[1-2]. 因此, 电能质量问题日益突出并受到各利益相关方的重视.

1 电能质量监测与治理

对电网电能质量状况进行监测评估是解决电能质量问题的基础. 传统的电能质量监测采用便携式仪器可对选定的监测点在一段时间内的电能质量各项稳态指标, 如频率偏差、电压偏差、谐波、闪变和电压不平衡等进行分析统计, 找出该段时间内电能质量指标变化的情况和变化规律. 此种监测方式虽可发现一些特定的电能质量问题, 但也存在着诸如实时性差、监测指标少、工作量大和测量误差大等局限性.

要对电网电能质量状况进行整体评估, 则需要进行在线电能质量监测. 结合电能质量监测点设置原则, 正确选择在线电能质量监测装置安装位置, 并基于通信网络实现与电能质量监测主站通信, 在线实时监测电网的电能质量指标, 对各个监测点的数据进行实时采集、分析、统计和展示. 在线监测方式不仅可以监测电能质量各项稳态指标, 还可以实时监测电压暂降、暂升和短时中断等电能质量暂态指标, 从而可以及时发现存在电能质量问题的站点, 通过相应的治理和改善措施提高电能质量.

在对电网电能质量状况进行系统评估的基础上, 可根据不同的负荷性质和干扰源性质, 本着“谁污染,

① 收稿日期: 2016-12-08

作者简介: 王超(1972-), 安徽肥东人, 硕士, 副教授, 主要从事电力传动新技术研究.

谁治理”的原则来划分电网内各主体的治理责任，相应的治理措施涉及电力生产、传输和消费的整个环节。常见的治理措施包括安装无功补偿装置、滤波装置或统一电能调节装置等。随着电力电子技术的不断发展，各种新型电能质量治理装置正在被不断研发并应用到电网中，但技术经济性能的综合考量仍然是制约此类装置广泛应用的瓶颈。

尽管对如何确定合理的电能质量治理方案并未有最优的方式，但可在电能质量监测评估并综合考虑技术经济的条件下，因地制宜地采取有针对性的电能质量治理措施，以达到改善电能质量的目的。本文以上海电能质量在线监测及治理为例进行分析，通过应用在线电能质量监测系统并采取适当的治理措施，可取得良好的社会和经济效益。

2 案例分析

2.1 电能质量在线监测系统

2.1.1 系统概述

电能质量在线监测系统由底层的监测装置、监测主站、客户端通过通信系统连接在一起，采集并显示监测装置获取的数据。在线监测系统通过对全网电能质量数据的采集、统计分析，提供监测的全部电能质量指标，实现为电力系统管理、运行监督部门和相关单位提供用户访问功能。具体结构如图 1 所示。

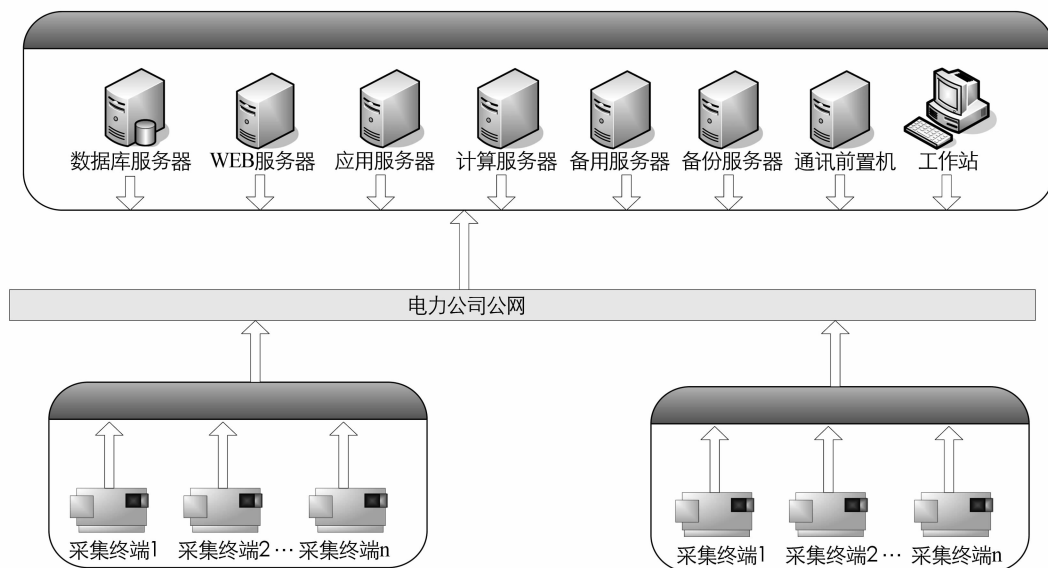


图 1 在线电能质量监测系统结构示意图

监测装置：按照相应的电能质量监测点设置原则安装在变电站里，采集相应监测点处的电压、电流信号，并按照要求进行计算、存储、展示及上传必要的电能质量监测数据。

通信系统：是连接监测装置与主站之间的通信线路，目前基本上采用光纤以太网通信方式。

监测主站：收集监测装置采集的电能质量数据，按规划的功能要求对数据进行处理、储存和发布。

用户可通过客户端浏览器，进入主站获取相关信息。

2.1.2 监测主站

监控中心主站包含通信前置机、各类服务器(数据库、应用、对外接口、Web、备用和备份)和管理工作站等。数据库服务器、应用服务器和 Web 服务器各一台，与监测装置的通信通过前置机通信。监测装置端的数据实时传到通信前置机中，应用服务器定时从通信前置机中获取数据放入数据库中。设置管理工作站、磁盘阵列、备份服务器和网络交换机等硬件设备，通过专用电能质量分析处理软件，实现主站的运行管理功能。

2.2 污染用户治理

通过电能质量在线监测系统的数据分析,发现泖港变电站 35 kV 电能质量监测点存在电压总谐波畸变率和 5 次谐波电压含有率超出国标限值的情况,同时 5 次、11 次和 13 次等谐波电流也都不同程度地存在超出国标限值的情况. 由于该监测点所监测供电线路负荷主要为一家电石厂,初步分析认为引起上述超标情况的原因应该与该电石厂有关.

2.2.1 原因分析及治理

该电石厂主要生产设备为电石炉,而电石炉是一种高耗能的冶炼设备^[3],在电石炉生产过程中,容易造成负荷的三相不平衡、畸变和大幅波动,从而产生大量谐波,经变压器注入电网^[4]. 同时电石炉是一种电弧型负荷,主要产生 11 次、13 次等谐波^[5],因此是电网中典型的谐波源.

为进一步确认该厂的谐波污染情况,采用便携式电能质量仪器对供电线路 PCC(Point of Common Coupling)点进行现场测试. 测试结果显示在该厂工作时段所监测的电能质量较差,各次谐波超标情况均与在线电能质量监测系统所监测情况相符且主导谐波电流均由负荷侧流向电网侧,故判定引起变电站供电线路电能质量超标的原因是电石厂大量采用非线性用电设备而未采取相应的治理措施.

为改善电能质量,并考虑到电石厂的实际情况,建议该用户采用在其 10 kV 负荷侧母线上安装滤波兼补偿的 FC(Fixed Capacitor)+TCR(Thyristor Controlled Reactor-TCR)型的 SVC(Switching Virtual Circuit)治理方式. 这样既可以吸收负荷产生的谐波电流避免其污染电网,又可以补偿感性无功从而提高功率因数.

2.2.2 SVC 总体设计

SVC 装置 TCR 及各滤波器支路全部直接挂载在 10 kV 母线侧. 根据负荷产生的谐波电流、无功情况,同时为了避免治理设备造成低次谐波放大,该治理装置配置 3,5,7,11 次 4 组滤波器支路. 所有滤波器支路同 TCR 均挂载在 10 kV 母线上,如图 2 所示. 3,5,7 次滤波器采用单调谐滤波器,11 次滤波器采用高通滤波器.

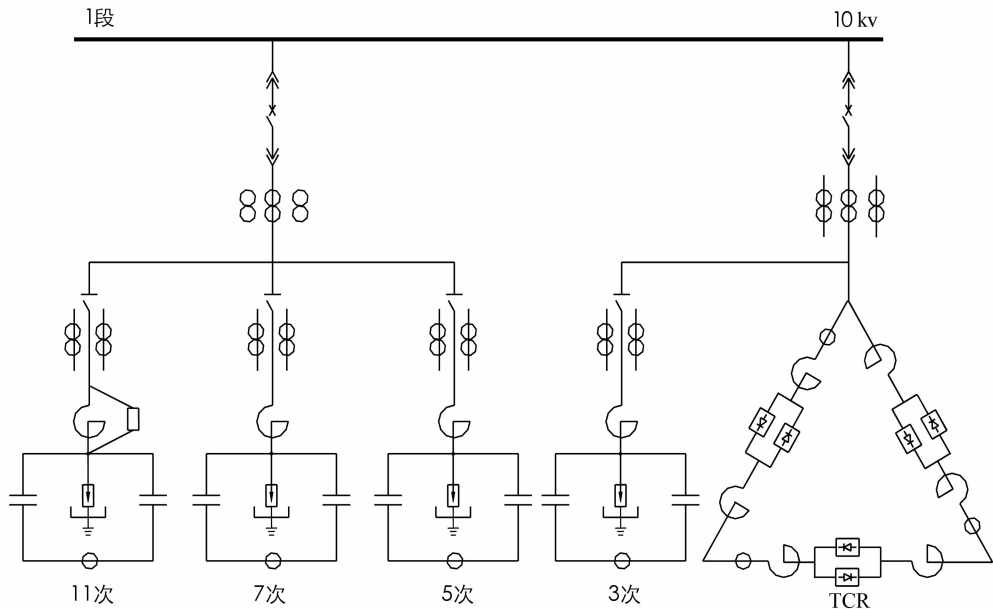


图 2 SVC 单线系统图

2.2.3 TCR 基本工作原理

当前普遍使用的 TCR 是静止型动态无功补偿装置,图 3 是其工作原理. 通过调节图 3 中晶闸管的控制角 α 改变回路电压和电流的相位差,调节回路电感大小. 电网补偿装置包含固定电容器、电抗器和晶闸管 3 个部分,当需要时可以根据电网需求在感性负荷和容性负荷间变化,通过 α 角的改变实现线路无功补偿,

改善电网质量. 在应用中, 将固定电容器分组来消除不同的高次谐波, 晶闸管控制电抗器线圈采用对地三角形连接, 使得每个支路互相独立控制, 也有益于高次谐波和负序抑制.

晶闸管阀采用交流调压功能的 2 个反并联的晶闸管, 以同步方式进行电抗器投入和切除. 当晶闸管承受正向电压时才会被触发导通, 电抗器接入. 在电压负半周期, 只要晶闸管通过的电流大于维持电流, 晶闸管就持续导通, 电抗器就仍接在电路中. 图 3 是单相电路的电压和电流波形.

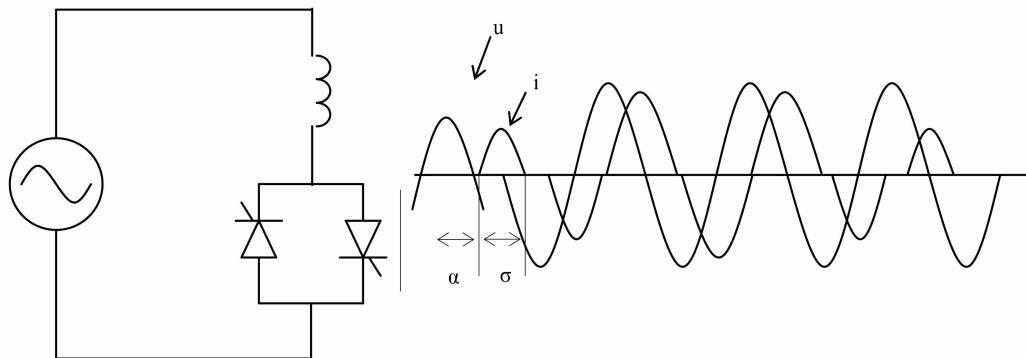


图 3 TCR 单相电路原理及波形图

电压过零点到触发点的电角度为 α , 其调节范围为 $0 \sim 180^\circ$. 每半周波电抗器导通角用 σ 表示. 当 α 为 0° 时, 电抗器投入运行; 当 α 为 90° 时, 电抗器电流达最大值; 当 α 为 180° 时, 电抗器拆除运行.

为了避免谐波谐振的危险, 在 SVC 的系统设计中, 滤波器系统应滤除负荷和 TCR 产生的主要谐波电流, 补偿装置的控制器也应具备各种谐波的抗干扰能力.

TCR 装置实现功能: ①实时采集工作状态, 获取跟踪严重冲击无功功率负荷工作状态, 经过数据处理, 发出与工作状态相对应的晶闸管阀触发脉冲. ②触发脉冲经电磁耦合方式去触发六相晶闸管阀, 实现对电抗器的控制. ③改变触发角, 改变回路的电压和电流相位角, 从而改变 TCR 回路的无功功率量. ④调节 TCR 回路, 实现电网无功功率趋于零. ⑤采用无触点电力电子器件, 实现动态、实时无功补偿. ⑥能有效抑制不对称负荷产生的负序分量.

2.2.4 治理装置主要参数

根据计算, 该治理装置 TCR 主电抗器的三相额定容量为 6 Mvar.

为了保证 SVC 投入运行后能达到考核点功率因数 0.9 以上的要求, 并且不会产生无功倒送, 滤波器的基波补偿容量取与 TCR 容量基本相等, 略小于 6 Mvar. 综合考虑谐波滤波的效果设置各个滤波器支路、选择安装容量和必需的各项安全性指标, 实现最优化配置.

确定滤波器方案的前提, 主要是明确补偿的无功容量和主导谐波电流, 选择滤波支路、确定其基波容量, 并计算出各滤波器支路的参数. 通过计算, 治理装置主要参数如表 1 和表 2 所示.

表 1 各滤波支路电容器额定电压安装容量

滤波器支路	3 th	5 th	7 th	11 th
滤波电容器额定电压/kV	7	7	7	6.5
安装容量(三相)/Mvar	1.5	1.5	1.5	2.4

表 2 各滤波支路电抗器参数

滤波器支路	3 th	5 th	7 th	11 th
额定电感/mH	36.84	13.26	6.77	1.45

2.2.5 效益分析

该电石厂在前期数据测试和方案设计的基础上, 安装了一套 FC+TCR 型 SVC 治理装置. 通过一段时

间的投入运行,并跟踪对比该电石厂在电能质量治理装置投运前后的测试数据,可以看出其电能质量状况已得到明显改善,且已取得良好的社会和经济效益。

在该电石厂夜间工作时段投运滤波装置后,根据电能质量在线监测系统监测及现场测试的数据分析,可以看出总谐波电压畸变率、5次谐波电压含有率均已符合国标限值(治理前后变化趋势如图4、图5所示)。

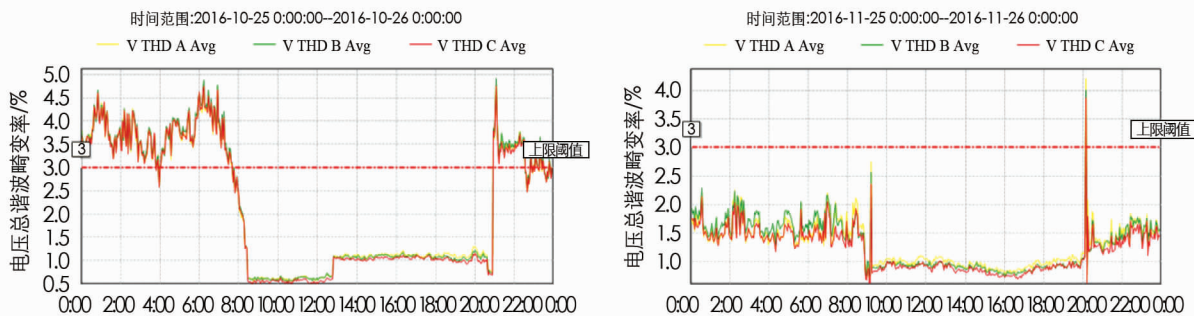


图4 治理前后电压总谐波畸变率变化趋势图

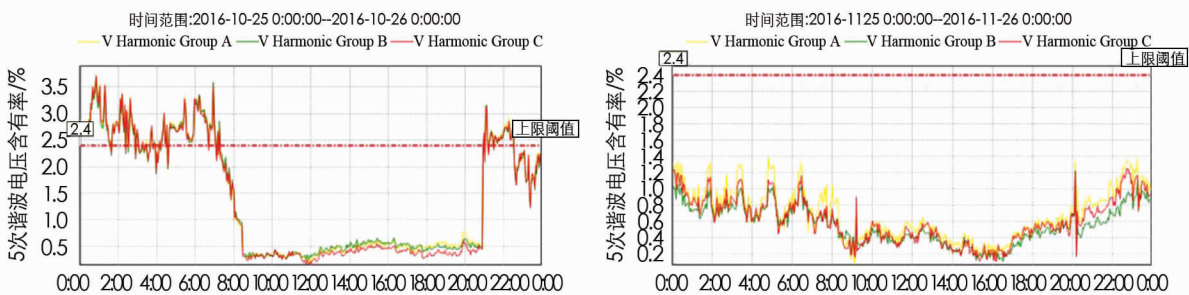


图5 治理前后5次谐波电压含有率变化趋势图

注入到35 kV系统PCC点的谐波电流在滤波后均符合国标限值。谐波电流的改善,使滤波效果十分明显,从而大大减小了谐波对电网的污染,提高了系统稳定性。

功率因数是考核用户的电能利用率、收取电费和加强用户侧管理的一项重要指标,功率因数的高低直接关系到用户用电成本的高低和电网的安全稳定运行。采取治理措施后,该电石厂生产中所需要的无功电流由低压侧的TCR直接提供,减少了电网向其输送的无功功率,从而使其平均功率因数达到0.9以上,这样可不用向供电公司缴纳额外的无功罚款,降低了用电成本。

安装电能质量治理装置后,一方面可以有效地改善劣质的电能质量,另一方面从节能减排的角度来看,则可以获得良好的节能效益。

采用滤波加无功补偿技术的电能质量治理措施,一方面通过滤波减少了因谐波电流在用电设备和输配电设备之间的传输而造成的发热,减小了有功功率的损耗,节约了电能;另一方面无功补偿则减少了电网中无功功率的传输,减轻了电网的负担,降低了因传输大量无功而造成的线损。

通过现场测试后发现,在相同生产条件下,该电石厂进线有功功率由治理前的9.66 MW降低到治理后的8.79 MW,无功功率由治理前的1.04 MVar降低到治理后的0.70 MVar,分别降低了11%和33%,节能效果明显。

3 结 论

本文在概述电能质量监测与治理必要性的基础上,以某电网电能质量监测及治理为例进行分析后认为,通过应用在线电能质量监测系统并采取合适的治理措施可取得良好的社会和经济效益。

参考文献：

- [1] 林海雪. 关于加强电能质量管理的几个问题 [J]. 电力设备, 2003, 4(1): 1—4.
- [2] 董其国. 电能质量技术问答 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [3] 赵增胜, 白 杰, 李郑刚. 电石炉无功补偿与谐波抑制 [J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 76—78.
- [4] 魏振洋. 非线性负荷对榆林电网的影响及治理 [J]. 陕西电力, 2008, 36(8): 74—77.
- [5] 夏占江, 刁桂平, 张宗有. 110 kV 供电电石炉负荷的无功补偿及谐波治理 [J]. 电气技术, 2006, 17(3): 31—35.

A Case Study of Monitoring and Improvement of Power Quality

WANG Chao^{1,2}

1. Jiangsu Engineering Technical R&D Center for Equipment Manufacturing of Electronic Products, Huaian Jiangsu 223003, China;

2. Automation College of Huaian Vocation College of Information and Technology, Huaian Jiangsu 223003, China

Abstract: A case of improvement of power quality of an on-line monitoring system was introduced in this paper. The necessity of monitoring and improvement of power quality was summarized. It is considered that power quality on-line monitoring system can be expected to have higher performance in evaluating power quality of the grid. For that power quality on-line monitoring system can find and improve power quality problems appeared in time. Finally the benefit analysis was implemented based on results of improvement of power quality. It is demonstrated that application of on-line monitoring of power quality system can gain good socioeconomic performance.

Key words: power quality; monitoring; improvement

责任编辑 夏 娟 崔玉洁