

[谐波处理]

净化水厂的谐波危害与整改治理措施

文/金城增 冯旦峰 阮少云 梁宁 邵泽岩
宁波市水务环境集团有限公司

介绍了谐波的由来，其对于设备及电力系统的危害情况，并简要归纳谐波对于净化水厂正常运行的不利影响。从净化水厂新建电力系统设计初期的考虑、电容补偿装置的设计与局限性等方面分析净化水厂谐波治理的现状。从谐波抑制与治理的基本原理、优化谐波管控方式的理论基础两个方面介绍谐波整改措施的理论基础，并根据理论基础提出谐波整改的实施措施。

净化水厂是城市污水处理终端，负责将城市污水管网收集的各种污水进行集中净化，是城市正常运行的重要民生设施。而随着我国净化水厂处理规模和出水水质指标的不断提升，净化水厂的电气设备正逐步朝着大规模、高功率进行转型，而随着节能减排、低碳行动的逐步推进，为进一步提升工艺运行调节的灵活性以及降低能耗，变频器的使用变得越来越多，但大量变频器的使用往往会产生更多的谐波，对净化水厂的运行产生不良影响。本文旨在讨论谐波对于净化水厂运行带来的危害，以及如何进行整改治理措施。

谐波的危害

谐波是指对周期性的非正弦电量进行傅里叶级数分解，所得到频率是基波频率大于1的整数倍分量。在电力系统中，频率是基波频率（通常为50 Hz或60 Hz）的整数倍的电信号成分。这些非基波频率的成分以基波频率的倍数存在，造成了电压或电流波形的失真。电网谐波主要来自发电源、输配电系统、用电设备三个方面。

谐波可导致电能质量问题，包括电压畸变、电流畸变等，对电力系统和设备产生不利影响。谐波

污染对电力系统的影响轻则降低系统运行效率，重则引发设备损害，威胁净化水厂的安全运行。

1. 引起电网谐振

在电网系统中，存在着许多的电感与电容元件，而当电容器与电感器之间的电流发生变化时，就会产生电网谐振。电网谐振往往会使得系统内的电流与电压发生异常波动，进而影响整个电网系统的正常运行。而且当电感元件与电容元件之间产生的谐振频率与电网中其他谐振的频率相近甚至相同时，还可能引起电网系统的共振，这会进一步加剧电网系统的不稳定性。

2. 影响旋转电动机

旋转电动机的电流往往会受到系统内谐波的影响而产生改变，旋转速度由于电动机产生了一定的振动转矩而发生周期性变化。这些改变在一定程度上会降低旋转电动机的运行效率，也会使电动机由于长时间在热量异常状态下运行而缩减使用寿命。

3. 影响变压器

当电网内存在谐波的时候，变压器的有功功率会随着谐波在变压器的线圈内形成环流而增大，同时在谐振作用下，变压器的铜耗与铁耗也会发生异

常增加的情况。谐波也会使得变压器工作时发热量大于正常工作状态而加剧绝缘介质的老化，进而影响变压器的正常工作。

4. 对断路器的影响

断路器的阻断能力是基于正常工况下工频电流电压所设计的，大量的谐波电流会使得热元件的发热动作电流变小，同时谐波也会使磁吹线圈处于非正常的工作状态，影响断路器的阻断能力，对系统的安全运行产生严重影响。

5. 影响通信线路

谐波对于通信线路也有一定影响，如通信线路与输电线路靠近时会发生环路感应，输电线与谐波产生的磁场与通信线路相交会产生纵向电磁感应。当谐波存在时，总线电压耦合到通信线路还会发生传导耦合，这些现象可能引起通信噪声增加、通信清晰度降低等问题。

6. 其他

我国标准的电能计量仪表是根据50 Hz的工频正弦波形来工作的，但由于谐波的存在，往往会干扰计量仪表的正常工作。对于感应式以及电子式的计量仪表干扰尤为明显，使得测量结果出现偏差。

如果将谐波对于净化水厂的影响进行归纳，主要可以分为短期影响和长期影响两种，见表1。

表1 谐波对净化水厂的危害

短期影响	长期影响
3次谐波严重，中性线电流过大，可能引发火灾隐患	使工艺生产设备使用寿命降低
保护装置发生误动作	电源装置产生过热（变压器、发电机），对其使用寿命及运行稳定性产生不利影响
谐波电压干扰电子系统内的控制装置（晶闸管、PLC、继电保护等）	机械应力（电动产生脉动转矩）
对弱电系统的干扰（远程控制、继电保护、通信系统和计算机等）	电气设备长期过热
异常的振动及噪声（低压盘柜、异步电机和变压器等）	由于集肤效应、磁滞效应产生附加损耗（如变压器、配电导线等）
电容器过载导致异常发热而损坏	金属部件的腐蚀
对电度量计及常用仪表指示的影响	电磁辐射产生干扰
感应式电度表对高次谐波有负的频率误差	净化水厂工艺停产的风险

净化水厂谐波治理现状

1. 净化水厂新建电力系统设计初期的考虑

（1）用电设备的类型和特性

在设计初期，根据净化水厂内各类用电设备的类型、功率需求以及对电能质量的敏感度，确定系统的容量以及配置。例如离心鼓风机与潜水泵都是功率较大且产生谐波较多的设备，需要着重考虑。

（2）电能质量标准

由于谐波对电网的影响不可忽视，出于规范性和安全性的考虑，国家也出台相关法规和标准来尽可能减小谐波对于电力用户以及电网系统的危害，例如《全国供用电规则》、GB/T 15543—2008《电能质量三相电压不平衡》、GB/T 14549—1993《电能质量公用电网谐波》和GB/T 24337—2009《电能质量 公用电网间谐波》等。

（3）系统的可靠性和稳定性

设计初期需要评估系统的可靠性和稳定性，确保其能够满足净化水厂的运行需求，预防电力突然中断对净化水厂正常运行带来的不利影响。

（4）功率因数的管理

考虑如何提高系统的功率因数，以提高电能利用效率，并减小对电网的影响。

（5）谐波抑制措施

通过在设计初期设置合适谐波抑制装置的方式，可以有效降低谐波水平，预防谐波对设备和电网的不良影响。

综合考虑，可以在电力系统设计初期考虑一个符合净化水厂运行需求，能够满足电能质量标准的可靠系统。而就目前净化水厂的运行情况而言，以上因素的实际落地往往由于净化水厂改扩建设备体量的不断增加、智能化的提升以及对净化水厂用电设备谐波产生状况预估不足等因素的影响，仍然存在对谐波的控制效果不佳的情况。

2. 电容补偿装置的设计与局限性

目前净化水厂使用较多的是LC电容补偿装置进行功率因数的调节，并附带谐波抑制的作用。该方法在抑制谐波的同时，还能够进行无功补偿与电网检测。该方式充分考虑了净化水厂用电设备的特性，包括功率因数、电流波形等，能够有效地补偿系统中的无功功率。电容补偿柜有助于稳定系统电压，防止电压波动对设备的不利影响。在净化水厂

中, 由于存在着大量的感性负载, 导致系统的功率因数较低, 而通过使用电容补偿柜的方式可以补偿感性负载所引起的无功功率, 提高系统整体的功率因数, 进而减少潜在的电网负担。

LC补偿由于在柜内设置了多个无功补偿控制器, 在日常运行过程中控制器之间由于调配方式的局限, 往往会出现柜内电容处于不断投切的状态。当负荷变化剧烈时, 由于电容器本身的限制而无法做出快速的响应。另外补偿装置中并联的电容器对于谐波电流还具有放大的作用, 并且对于谐振的放大效果更为明显。该方式所存在的局限性主要包括以下几点。

1) 电容补偿装置对于系统的补偿效果在特定频率范围之内表现较为明显, 但对于频率变化的情况则效果不明显, 尤其是对高频谐波的治理效果。

2) 如出现过度补偿则可能使得系统的电压失真, 因此电容补偿柜的设计以及控制方案因为这个因素而存在一定的局限性。

3) 电容器在长时间的运行中会产生损耗, 需要对其进行定期的检查与维护工作, 以确保其运行的有效性与安全性。

4) 电容器的运行性能对于温度变化较为敏感, 这就使得电容器在极端条件温度下运行效果不理想。

3. 净化水厂的扩、改建及设备老化对电能质量的影响

(1) 净水水厂改、扩建

净化水厂进行改、扩建往往会引入新设备, 而引入的非线性负载、变频器等设备又会产生电流、电压波形畸变, 导致设备过热运行加速损耗。同时, 由于新增设备后导致的用电负荷变化, 也会影响整体功率因数。

(2) 设备老化

随着净化水厂运行年限的增加, 设备老化的问题也必然会出现, 设备性能下降也同样会对电能质量产生影响。例如随着设备老化, 磁芯性能下降导致非线性特性增强, 从而导致电感和电容元件参数变化使阻抗发生改变, 而设备内部元件非线性特性的变化、电容老化以及频率漂移等问题都增加了谐波生成的可能性。同时, 老旧设备也更易发生过载与故障, 引发瞬时电压下降、电流波形失真等电能

质量问题。

谐波整改措施理论基础

1. 谐波抑制与治理的基本原理

(1) 被动式谐波治理

该方式将电容电抗相串联, 与非线性负载并联安装在特定次谐波下形成极低阻抗, 并通过无源滤波器吸收该特定次的谐波电流从而达到抑制谐波的作用, 该方式还能够提高系统的功率因数。

(2) 主动式谐波治理

该方式使用有源滤波器等主动元件, 通过检测系统中的谐波并注入与谐波幅值相同但方向相反的谐波, 从而形成标准正弦波形的电流波形, 以此来抵消或者减小谐波对系统的影响。

(3) 电容补偿

电容器可以通过提供无功功率的方式来抵消由于感性负载引起的功率因数下降, 并且也能够一定程度上抑制低次谐波对于系统的影响。

2. 优化谐波管控方式的理论基础

(1) 谐波的识别与控制

对于谐波源的识别与控制是谐波治理工作的关键。通过对净化水厂的电力设备与系统进行细致的分析, 寻找其中的主要谐波源, 并采取相应的抑制、控制措施来减少谐波的影响。

(2) 电力系统稳定性的分析

电力系统想要稳定运行就必须保持运行过程中电压以及电流的波形稳定。通过对净化水厂的电力系统进行稳定性分析能够评估谐波对于系统的影响程度; 通过分析电力系统阻抗与震荡特性从而得出谐波对于系统稳定性的影响, 根据分析结果采取相应的措施对谐波进行治理。

(3) 电力质量的评估

电力质量是衡量电力系统运行情况的重要指标, 对净化水厂的电力质量进行评估能够有效地了解到谐波对于系统运行的影响程度, 并通过评估电力系统的各项指标参数, 针对性地选择谐波治理方式。

(4) 智能监控与预测

通过对电力系统的实时监控以及数据收集, 能够获取系统运行以及谐波情况, 同时可以利用信息化技术手段与人工智能技术, 通过对现有参数

的分析建立预测模型，对未来可能发生的谐波情况进行预测，为谐波治理的优化布局提供可靠的决策依据。

整改措施

1. 设备选择

根据净化水厂设备的实际使用情况，可以按照设备特性来选择谐波治理方案。净化水厂大功率的设备主要是离心鼓风机和潜水泵，两者都是旋转式负载，又具有机械转矩和电动转矩周期性变化的特点，因此两者在运行过程中都会产生一定的谐波。

潜水泵和离心鼓风机的机械转矩波动会引起电动势的波动，从而产生谐波电流。此外如果潜水泵采用脉宽调制（PWM）控制方式、离心鼓风机采用变频控制方式，其控制信号为方波信号，这种方波信号中含有丰富的高次谐波成分，会加剧谐波问题。

为减少谐波对于净化水厂电力系统的影响，就需要对潜水泵和离心鼓风机等主要产生谐波的设备进行治理。常见的方法包括增加无功补偿装置、增加滤波器等方式。

2. 布局设计

对净化水厂电力设备和系统的合理布局，也有利于降低谐波对于系统的影响。主要包含以下几点：①合理安排设备的连接方式与线路走向，以减小谐波电流在系统中的传播和干扰；②针对存在的主要谐波源，可以采用隔离、滤波等措施，将其对系统的影响降到最低；③对于大功率设备，可以在设备附近设置专门的滤波装置，以减小其产生的谐波对其他设备的影响；④将电力设备及系统进行集成，以此实现对谐波的协同治理，同时通过设备与系统的集成，也能够统一管理和监控谐波，提高治理效果。

3. 冗余设计与后期升级

在设计过程中，应充分考虑冗余设计以及为后期谐波治理设备预留足够的安装空间。设备运行过程中会出现故障问题，考虑冗余设计能在设备发生故障时采取备份措施，确保系统的正常运行，提高谐波治理的可靠性与稳定性。预留谐波治理设备安装位置也方便设备后期进行维护与升级。

综合以上几种因素，设计初期谐波治理装置的选择与布局应该充分考虑设备性能、系统稳定性、能效管理与冗余设计等因素。通过对设备合理的选择、优化布局以及系统集成，提高谐波治理的有效性，同时也能够提高净化水厂电力系统的稳定性和电力质量。

结束语

一方面随着国家与地方政府对于污水排放标准的不断提升，净化水厂改扩建工程不断进行，厂内大型设备越来越多；另一方面随着国家“双碳战略”的不断推进，对于净化水厂节能减排的要求也愈发严格，导致变频器被越来越多地使用。而随着大型设备与变频器的使用不断增加，净化水厂内的谐波问题也愈发严重。本文结合净化水厂新建电力系统缺陷、常用电容补偿设计局限以及净化水厂改扩建工程及设备老化影响，提出以下优化建议。

1) 对净化水厂而言可以选择电力电子设备、变频器滤波器等具有高性能滤波功能的设备，同时对于厂里大功率设备也可以选择自带滤波功能的潜水泵和鼓风机等设备来有效降低谐波电流的产生。

2) 对净化水厂的电能质量进行实时监测以及数据分析。通过监测和数据分析，能够及时发现电能质量问题，并采取相应的治理措施。同时，通过对监测数据的分析，还可以进一步了解谐波的产生规律和变化趋势，为后续的谐波治理优化升级提供参考。

3) 可以采取优化污水处理厂的电力设备和系统的运行方式的措施，如合理安排设备的运行顺序及运行时间，避免高负荷设备的频繁启动和停止等。通过优化运行方式，能够有效降低设备在启停过程中产生的谐波，从而提高电力系统的稳定性。

4) 通过建立完善的电能质量管理流程，实现对电能质量全面管理与控制，提高电力系统运行的稳定性。通过定期的评估与预测工作，能够有效地发现电力系统中存在的潜在电能质量问题，并及时采取相应的应对措施来进行预防。**EA**

（收稿日期：2024-06-17）