

[电能质量]

# 论剧场、演艺中心电能质量改善的意义

文/长岭炼化岳阳工程设计有限公司 刘 强

简述了电力系统谐波的基础理论及其危害，并介绍了各国对谐波限定的一般标准和应用状况，通过对剧场、演艺中心中有源滤波器使用实例的分析，证明有源滤波器的使用可使系统内的谐波含量大大降低，提高电能利用率，保障现代化建筑的安全经济运行。最后通过类似项目的选型，提出合理的谐波治理方案。

随着现代电力电子技术的迅速发展，非线性元件被广泛应用在整流设备、交直流转换设备、变频设备、电子电压调整设备、家用电器、照明灯具、调光设备、办公自动化（OA）设备及各类非线性负荷上。这些设备容量越来越大，数量越来越多，产生的谐波电流对电力系统危害也越来越大。剧场、演艺中心由于大量采用非线性设备进行调光、调音等，对系统造成了很大的谐波干扰，引起设备发热、误动作等问题，故需进行谐波治理，保证系统的安全运行。

## 剧场配电系统的典型谐波源

1) 剧场灯光系统、调光设备：一般的灯光系统都采用晶闸管调光原理，通过导通角的控制来实现灯光的调节，这类设备会产生大量的高次谐波，且变化很大，当导通角小的时候，谐波电流畸变率甚至可以达到基波电流的100%以上，对系统影响很大。

2) 舞台机械设备：主要包括电影银幕架、舞台控制柜、舞台机械各型控制台、活动天花、电动吊杆机和伸缩舞台等设备，而舞台机械的各类产品由于自身特点，带有大量的变频系统、传动装置、牵引式机构、计算机综合控制系统和位置及速度检测系统等，会产生谐波，尤其是大量

的变频装置的应用，成为严重的谐波污染的主要来源。

3) 电视转播：可产生3、5、7、11、13与高次谐波，由于谐波随设备变动而有较大变化，谐波引起的电磁干扰造成音箱设备声音失真或者噪音较大；并严重影响设备工作，也是不可忽视的谐波源之一。

4) 带有UPS电源、开关电源的大型电子设备：分布于各类数据机房、控制室。单相供电的UPS电源以3次谐波为主；三相供电有六脉冲桥式可控硅整流器的UPS电源，其谐波频谱特征为 $6N \pm 1$ ， $N=1、2、3\cdots$ 。

5) 运用LED技术的大型设备：在剧场内需配置大面积室内、室外LED显示屏等。LED显示屏由发光二极管点阵组成，每个LED前端恒流驱动电源采用不可控单相整流电源。为了降低低压直流电流在各种输送环节耗损，显示屏配电一般采用大量上述小功率开关电源模块。开关电源为典型的谐波源，产生3、5、7、9、11次谐波，其谐波含量较高，且由于显示画面的变化，带来瞬时三相不平衡，故给系统带来不稳定因素。

## 谐波对剧场设备的危害与干扰

1) 对舞台灯光晶闸管调光系统的影响：电能

谐波超限将干扰晶闸管组件触发控制的同步，甚至导致同步失败，大大影响灯光系统的效果。

2) 对电声学系统的影响：电能高次谐波将严重干扰电声学系统的正常功能，特别是人体听力对17次以上高次谐波具有高敏感度，电声系统设备必须考虑对高次谐波干扰的消除，否则音响效果也会受到干扰。

3) 对电力电子、控制设备的影响：舞台机械电子控制设备、电视转播与通信设备等极易受到电能谐波的干扰，导致失灵、死机、声音与图像

严重失真等故障。

4) 对配电设备的影响：谐波易导致谐波谐振，引起相关设备损害，比如电容器组等；谐波易造成电机、变压器等铜损过大、发热抖动等，降低设备寿命。

5) 对电力电缆的影响：产生的3次及3N次谐波叠加在零线上引起零线电流较大（通常为相线电流的1.5~2.5倍，最大可达到相线电流的3倍），造成零线发热，甚至引起零序保护动作，变压器跳闸，造成停电。如图1所示。

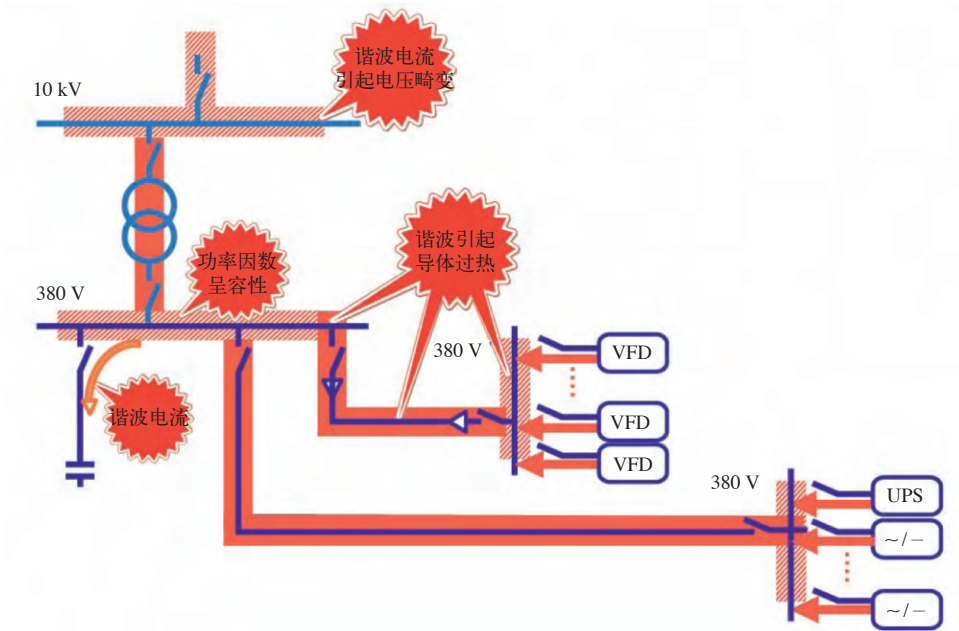


图1 谐波对电力电缆的干扰

表1 剧场配电系统电能谐波分析一览

| 编号 | 负载类别                  | 主要谐波频谱                                          | 谐波畸变变化特性                                                         | 对电源电能质量敏感度                                  |
|----|-----------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1  | 舞台灯光系统<br>(晶闸管调光系统设备) | 3、5、7、9、11、13、15、17、其他<br>畸变：20%~100%<br>更高次的谐波 | 总谐波含量随调光系统工作快速变化，谐波成分相对幅值高（谐波畸变：20%~100%）晶闸管导通角在5%时谐波畸变最大，高达114% | 大容量谐波会严重影响调光系统的安全。产生的3次及3N次谐波叠加在零线上引起零线电流较大 |
| 2  | 电声设备、控制与通信设备，舞台机械设备   | 3、5、7、11、13与高次谐波                                | 随设备变动                                                            | 电源质量严重影响设备工作。由于谐波引起的电磁干扰造成音箱设备声音失真或者噪声较大    |

剧场谐波分布情况

从表1可看出，演播大厅用电设备的主要特征谐波分别是3次、5次、7次、9次谐波，上述几类谐波占总谐波含量的90%~95%，总的谐波含量由于负载的变化也有较大的变化，一般在百分之几十至百分之一百多的范围内变化，特别是产生的3次及3N次谐波叠加在零线上引起零线电流较大，这

种较大的谐波会引起零序保护动作，变压器跳闸。

由于剧场内大量的现代化媒体设备都是非线性设备，在其配电系统中所占比重非常大，对系统的稳定性、安全性造成了很大的影响。近年来，通过有源滤波设备来进行谐波治理，已经得到了剧场建设的业内专家们的认可，在很多大型的项目中，得到很好的应用。

### 谐波评估标准

为了限制谐波污染,保障公用电网的安全运行,世界各国和国际权威电气机构都推出了相应的谐波标准。我国早于1993年7月31日颁布了GB/T 14549—1993《电能质量——公用电网谐波》国家标准,把电网中的电流、电压总谐波畸变率及各次谐波含有率控制在允许的范围内,保证供电质量,使接入电网中用户的各种用电器具免受谐波的危害,保持正常工作。

评估谐波电压是以电压总谐波畸变率是否超过上述标准为依据,谐波电压治理目标就是要小

于表2中的限值。

表2 剧场配电系统电能谐波分析一览表

| 电网<br>标称电压/kV | 电压总谐波<br>畸变率 (%) | 各次谐波电压<br>含有率 (%) |     |
|---------------|------------------|-------------------|-----|
|               |                  | 奇次                | 偶次  |
| 0.38          | 5.0              | 4.0               | 2.0 |
| 6             | 4.0              | 3.2               | 1.6 |
| 10            |                  |                   |     |

表3中的谐波电流限值规定了用户向供电系统公共连接点注入谐波电流分量(方均根值)的最大允许值。

表3 注入电网公共连接点的谐波电流允许值(引用于GB/T1454—1993)

| 标准电压/kV | 基准短路容量/(MV·A) | 谐波次数及谐波电流允许值/A |    |    |    |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|---------------|----------------|----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|         |               | 2              | 3  | 4  | 5  | 6   | 7  | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
| 0.38    | 10            | 78             | 62 | 39 | 62 | 26  | 44 | 19  | 21  | 16  | 28  | 13  | 24  | 11  | 12  | 9.7 | 18  | 8.6 | 16  | 7.8 |
| 6       | 100           | 43             | 34 | 21 | 34 | 14  | 24 | 11  | 11  | 8.5 | 16  | 7.1 | 13  | 6.1 | 6.8 | 5.3 | 10  | 4.7 | 9.0 | 4.3 |
| 10      | 100           | 26             | 20 | 13 | 20 | 8.5 | 15 | 6.4 | 6.8 | 5.1 | 9.3 | 4.3 | 7.9 | 3.7 | 4.1 | 3.2 | 6.0 | 2.8 | 5.4 | 2.6 |

由于谐波治理在发达国家已经有了相当成熟的规范要求和评价体系,因此目前国际上被广泛接受的标准是美国电气及电子工程师协会发布的IEEE519/1992(电力系统谐波标准),其对各种场所的谐波限值都有了很详细的规定,如针对诸如数据中心、机场和医院等重要负荷,规定奇次谐波电流畸变率不大于10%、谐波电压畸变率不大于3%等。

### 剧场谐波治理实例

某大剧院的灯光系统、调光设备和舞台机械设备等产生大量的谐波,同时该大剧院内布置有大量高级电子设备,需要在配电系统相关节点采取针对相应电能谐波的滤波措施,以减少电能谐波对电声学系统设备的干扰并改善有关电子设备运行的电磁环境。

#### 1. 治理情况简述

该大剧院舞台灯光供电系统由1台10/0.4 kV箱式变压器作为电源,并配置4台额定电流为630 A的塑壳开关作为配电输出回路。舞台灯光系统采用晶闸管调压调光(调光柜)。

根据现场测试情况:该调光柜谐波分布以3、5、7次谐波为主,其他各奇次谐波(从9~31次)含量相对较小,总体表现为谐波频谱较宽的现象;

对该回路又进行了晶闸管导通角在10%、20%、40%等不同情况时的测试:随着导通角的增大,电流有效值一直增大,但谐波电压畸变率和电流畸变率一直变小。当晶闸管导通为10%时,谐波电流畸变率最大,达到81.8%;当晶闸管导通角为40%时,谐波电流最大,谐波电流畸变率为60.2%;测试时谐波电压畸

变率最大可达到7.6%。严重超过了国家标准(《电能质量公用电网谐波》GB/T 14549—1993)的要求。

测试过程中,功率因数始终偏低:导通角为40%时,功率因数是最大,为0.65左右;导通角为10%时,功率因数仅为0.2左右。

#### 2. 综合分析结论

系统谐波含量较高,会产生如下影响和危害。

谐波畸变超过国家标准规定,将给供电系统带来严重的干扰,影响到其他设备正常运行。

严重谐波畸变将影响剧院的声学系统、弱电设施等的正常使用,特别是人体听力对17次以上的高次谐波具有高敏感度,声学系统设备必须考虑对高次谐波干扰的消除。

舞台机械的电子控制设备、电视转播与通信设备等极易受到谐波的干扰,导致设备失效、死机、声音与图像严重失真等情况。

系统中的谐波易导致谐波谐振,引起相关设备的损害(如电容器组)。

系统中产生的奇次谐波,叠加在低压系统零线上使得零线电流过大(通常为相线电流的1.5~2.5倍,最大可达到相线电流的3倍),造成零线过热,引起零序保护动作,配电回路跳闸。

严重谐波畸变将影响电能利用效率(如功率因数低),增大能源消耗。

综上所述,系统谐波含量较高时,可采用有源滤波器进行谐波抑制,保证系统稳定。EA

(收稿日期:2015.09.01)

(编辑:刘群点)