

doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.202101006

电动汽车充电站谐波治理方案的设计

李伟伟¹,夏咸琳¹,倪国林²

(1.南京宁镇电力科技有限公司,江苏 南京 210012;
2.南京师范大学 中北学院,江苏 丹阳 212300)

摘要:在电动车充电站给电动汽车蓄电池组充电过程中,充电机组产生了大量电力谐波,导致电能质量变差,对邻近的电力用户产生非常不利的影响,严重时会导致电力安全事故。运用滤波补偿装置对充电站进行谐波治理和无功补偿分析设计,得出如下结论:滤波装置投入运行后,公共连接点的各次谐波电压含有率和谐波电压总畸变率均在国标限值范围以内;负荷注入公共连接点的各次谐波电流均满足国标要求;功率因数均满足电网要求;滤波电容器的过流、过电压系数均保持在0.88以内,安全裕度大,可长期稳定运行。

关键词:充电机组;电力谐波;治理

中图分类号:TM502 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5322(2021)01-0026-05

某电动车充电站电源为10 kV进线,供电变压器参数为:额定容量2 500 kVA、短路阻抗5%、额定电压10/0.4 kV。该电站主要负载为充电机组,装机容量约2 000 kVA。自投运以来,变压器运行噪音大、温度高,无功补偿装置内电容器损坏严重,计量出的功率因数仅0.7左右,达不到供电部门的要求,还严重影响了其他负荷的运行,导致计算机损坏率高、视频监控摄像头经常出现故障等问题。

充电机组为典型的整流负荷^[1],工作时产生大量的谐波电流,容易引起母线电压畸变。谐波电流注入电网,导致电能质量变差,对邻近的电力用户产生非常不利的影响,严重时会导致电力安全事故,为此需要对该配电系统进行滤波治理。

充电机组及其他负荷在运行中需要大量的无功功率^[2],大量无功既增加了线路损耗,又需付出额外的电费。所以在治理谐波的同时,要考虑用户的无功补偿问题,使装置达到最大的效能。

1 滤波原理简介

滤波装置基本工作原理如图1所示。图中注入系统的谐波电流为^[3]:

$$I_{sn} = I_n \times X_{ln} \div (X_{ln} + X_{sn}) \quad (1)$$

式中: I_n 为谐波电流发生量,A; I_{sn} 为注入系统的谐波电流,A; X_{sn} 为系统的谐波阻抗, Ω ; X_{ln} 为滤波器的总谐波阻抗, Ω 。

滤波器的总谐波阻抗为:

$$X_{ln} = R_{ln} + j(2\pi fL - 1/(2\pi fC)) \quad (2)$$

式中: X_{ln} 为滤波器的总阻抗, Ω ; R_{ln} 为滤波器的总电阻, Ω ; f 为流过滤波器的电流频率,Hz; L 为电抗器的电感,H; C 为电容器的电容,F。

在基波电流(50 Hz)时,有 $2\pi fL < 1/(2\pi fC)$,即滤波器为容性负载,输出无功功率可进行功率因数补偿,此时滤波装置同时起两个作用:(1)滤除高次谐波电流,达到国家公用电网的谐波标准;(2)进行功率因数补偿,达到供用电规则对用户的力率要求。

当某次谐波下 $2\pi fL - 1/(2\pi fC) = 0$ 时, $I_{sn} = I_n \times R_{ln} / (R_{ln} + X_{sn})$ 。由于一般情况下, $R_{ln} \ll X_{sn}$,此时 $I_{sn} \ll I_n$,即谐波电流绝大部分流入滤波器,小部分流入系统。

2 设计依据

2.1 设计参数

滤波装置设计参数为:公共连接点(PCC点)的上级变电所母线电压为10 kV,公共连接点最

收稿日期:2020-03-26

作者简介:李伟伟(1985—),男,江苏建湖人,工程师,主要研究方向为电力系统谐波治理。

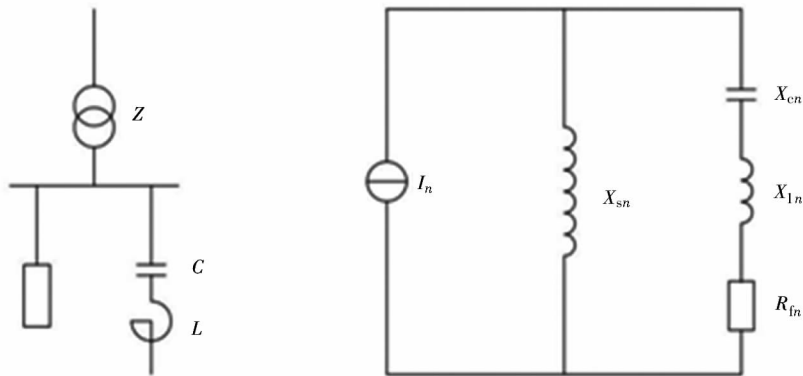


图 1 滤波装置基本原理图
Fig 1 Basic principle diagram of filter device

小短路容量为 181.14 MVA,上级变电站供电设备容量为 20 MVA,用户协议容量为 2.5 MVA。

2.2 负荷统计

根据现场对低压总线的谐波测试,变压器的运行负荷为:有功功率 1 800 kW,无功功率 1 735 kvar,功率因数 0.72。

2.3 谐波电流发生量

根据测试数据,变压器 0.4 kV 侧的主要特征

谐波发生量分别为:5 次 407 A、7 次 98 A、11 次 46 A、13 次 25 A。

2.4 谐波限值确定

谐波电流允许值规定如下^[4]:

(1) 公共连接点的全部用户向该点注入的谐波电流分量(均方根值)不应超过表 1 规定的允许值。

表 1 谐波电流允许值
Table 1 Allowable value of harmonic current 单位:A

谐波次数 h	公共连接点的全部用户注入 谐波电流标准 (电压等级 10 kV,基准短路容量 100 MVA)	充电站注入 10 kV 系统的 谐波电流标准	充电站 0.4 kV 系统的 谐波电流标准
5	20	6.40	160
7	15	6.15	153
11	9.3	5.31	133
13	7.9	4.79	120

(2)当电网公共连接点的最小短路容量不同于表 1 基准短路容量时,按下式修正表 1 中的谐波电流允许值:

$$I_h = S_{k1} \div S_{k2} \times I_{hp} \tag{3}$$

式中: S_{k1} 为公共接点的最小短路容量,MVA; S_{k2} 为基准短路容量,MVA; I_h 为短路容量为 S_{k1} 时的第 h 次谐波电流允许值,A; I_{hp} 为表 1 中第 h 次谐波电流允许值,A。

(3)公共连接点处第 i 个用户的第 h 次谐波电流允许值 I_{hi} 按下式计算。

$$I_{hi} = (S_i \div S_1)^{1/\alpha} \times I_h \tag{4}$$

式中: S_i 为第 i 个用户的用电协议容量,MVA; S_1 为公共连接点的供电设备容量,MVA; α 为相位叠加系数,按表 2 取值。

表 2 谐波叠加系数
Table 2 Harmonic superposition coefficient

谐波次数 h	5	7	11	13
α	1.2	1.4	1.8	1.9

2.5 治理目标

滤波装置治理目标如下^[5]:(1)经滤波装置治理后,充电站注入 10 kV 电网连接点的各次谐波电流均应低于表 1 中允许值的要求,且引起的电压畸变率满足国标要求;(2)计量点的平均功率因数均达到 0.92 以上,满足电网对力率的要求;(3)谐波滤波装置与供配电系统之间不产生危险谐振和过载问题,保证设备安全且可靠运行。

3 滤波装置设计

3.1 谐波治理方案

充电机是典型的带阻感性负载的三相六脉动整流设备^[3],根据测试结果可知主要谐波为 5、7、11、13 等次数,其中含量最大的是 5 次,其次是 7 次,然后是 11、13 次等,依次递减。因此,可设置 5、7 次单调谐滤波支路和 11 次高通滤波支路,分别吸收 5、7 次及 11 次以上的谐波。由于 5 次谐波含量较大,设置的 5 次滤波支路也应较大。为使无功投入基本均衡,将 5 次分成 2 个支路,共设置 5、5、7、11 四个滤波支路。各滤波支路采用控制器自动控制进行投切,因负荷变化速度不快,投切开关采用真空接触器。

3.2 主要滤波元件参数的确定

3.2.1 电容器容量选取

(1) 基波补偿容量估算

$$Q_c = P \div \cos \phi_1 \times \sqrt{1 - \cos^2 \phi_1} -$$

$$P \div \cos \phi_2 \times \sqrt{1 - \cos^2 \phi_2} = 968 \text{ kvar} \quad (5)$$

式中: Q_c 为基波补偿容量, kvar; P 为有功功率, kW, 取 1 800 kW; $\cos \phi_1$ 为自然功率因数, 取 0.72; $\cos \phi_2$ 为目标功率因数, 取 0.92。

(2) 谐波容量估算

$$I_{h1} = \sqrt{I_5^2 + I_6^2 + \cdots + I_{25}^2} = 427.2 \text{ A} \quad (6)$$

$$Q_h = I_h \times U \times \sqrt{3} = 296 \text{ kvar} \quad (7)$$

式中: I_{h1} 为滤除的谐波电流, A; $I_5 \sim I_{25}$ 分别为滤除的 5~25 次谐波电流, A; U 为低压线电压, kV, 取

0.4 kV; Q_h 为谐波容量, kvar。

(3) 总容量确定

$$Q_E = (Q_c + Q_h) \div K_I \div K_U = 1\,749 \text{ kvar} \quad (8)$$

式中: K_I 为电流安全系数, 取 0.85; K_U 为电压安全系数, 取 0.85; Q_E 为电容器总容量, kvar。

考虑电容器设计容量, 将总额定容量取整为 1 800 kvar, 共 4 个支路, 单支路额定容量为 450 kvar; 每相设置一台单相电容器, 电容器单台容量为 150 kvar。

3.2.2 电容器额定电压选取

$$U_E = U \times \sqrt{Q_E \div Q_C} = 0.545 \text{ kV} \quad (9)$$

3.2.3 电抗器选取

(1) 谐振频率的确定

因电容器容值偏差和电网频率允许存在 $\pm 0.5 \text{ Hz}$ 的偏差, 为保障滤波器运行于感性区域, 所有谐振频率下调 1% 后, 5、7、11 次谐振频率分别选取 247.5 Hz、346.5 Hz、544.5 Hz。

(2) 电感量计算

$$L = 1 \div (2 \times \pi \times f \times C) \div (2 \times \pi \times f) \quad (10)$$

式中: L 为各支路电感, H; f 为各支路谐振频率, Hz; C 为电容器容量, F。

经计算, 电抗器参数如下: 5 次支路电感 0.085 4 mH, 7 次支路电感 0.043 6 mH, 11 次支路电感 0.017 6 mH。

3.3 滤波补偿装置一次原理图

确定上述各参数后, 设计滤波装置如图 2 所示。

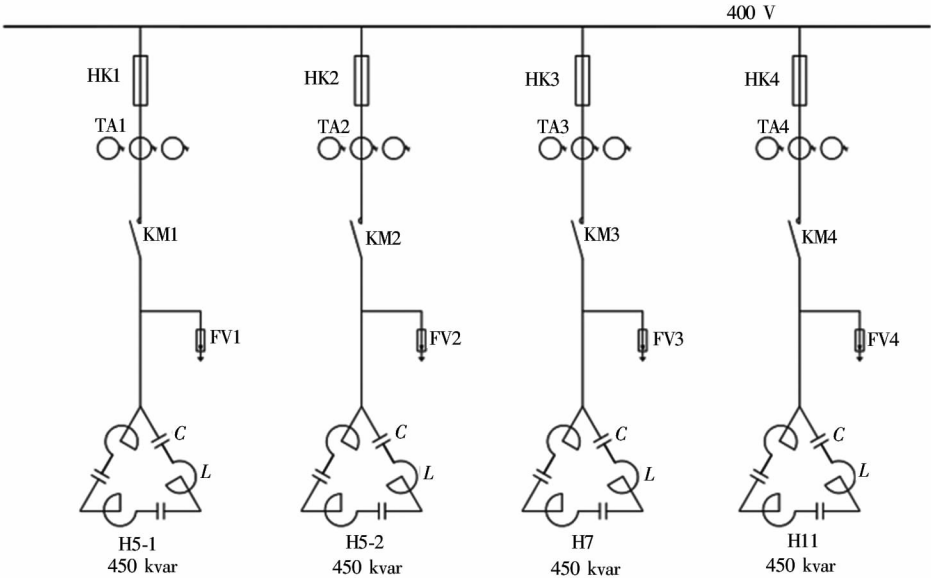


图 2 装置一次原理图
Fig 2 Primary schematic diagram of the device

3.4 仿真验证

用仿真软件 ETAP 对滤波装置投入运行后的电力系统进行仿真,主要查看滤波装置投入运行后是否会与供配电系统形成特征次谐波的并联谐振,并查验滤波补偿装置的安全裕度和滤波补偿效果。将供配电系统参数、滤波补偿装置参数、负荷参数填入电力系统仿真软件 ETAP 后,得到系统阻频特性曲线、系统谐波放大曲线,分别如图 3、图 4 所示;得到电容器实际运行电压和电流的数据,如表 3 所示;滤波装置投入前后谐波数据对比分别如表 4、表 5 所示;无功补偿效果如表 6 所示。

图 3 中,ZLBQ1 为滤波补偿装置在各频率下

的阻频曲线,Zbus1-s 为供配电系统在各频率下的阻频曲线,Zbus1 为滤波补偿装置投入运行后与供配电系统形成的总阻频曲线。由图 3 可以看出,滤波补偿装置投入运行后,在 4 次频率附近形成高阻抗特性。但 4 次谐波不是本系统的特征谐波,故 4 次非特征次谐波不会影响系统安全。

图 4 中, K_{sn} 为注入供配电系统各次谐波电流比例, K_{fn} 为注入滤波补偿装置各次谐波电流比例。由图 4 可知,滤波补偿装置投入运行后,5 次、7 次、11 次谐波电流大部分注入滤波补偿装置,少量注入供配电系统;4 次谐波放大了近 5 倍,但系统中 4 次谐波原始发生量接近于零,故不会对系统和滤波补偿装置产生不良影响。

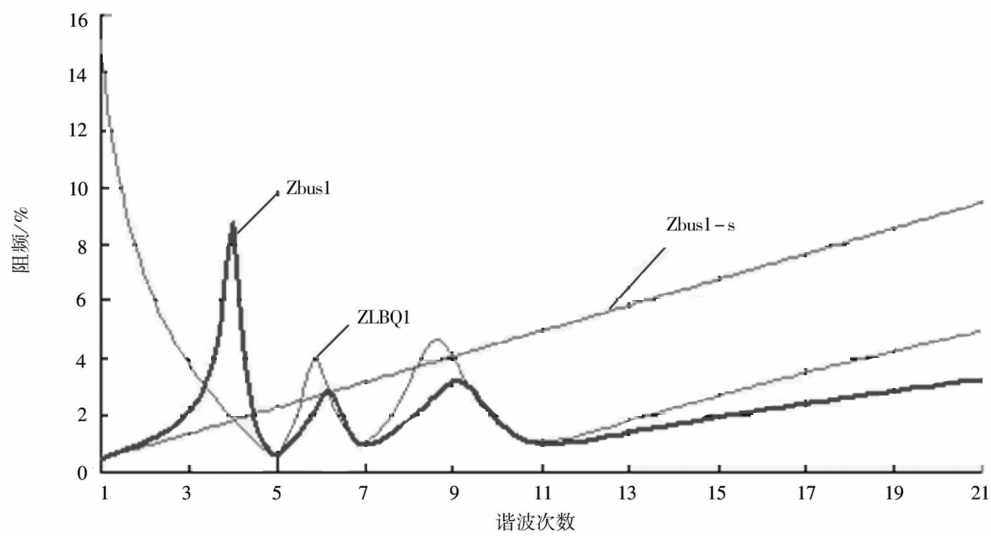


图 3 系统阻频特性曲线

Fig 3 Resistance frequency characteristic curve of the system

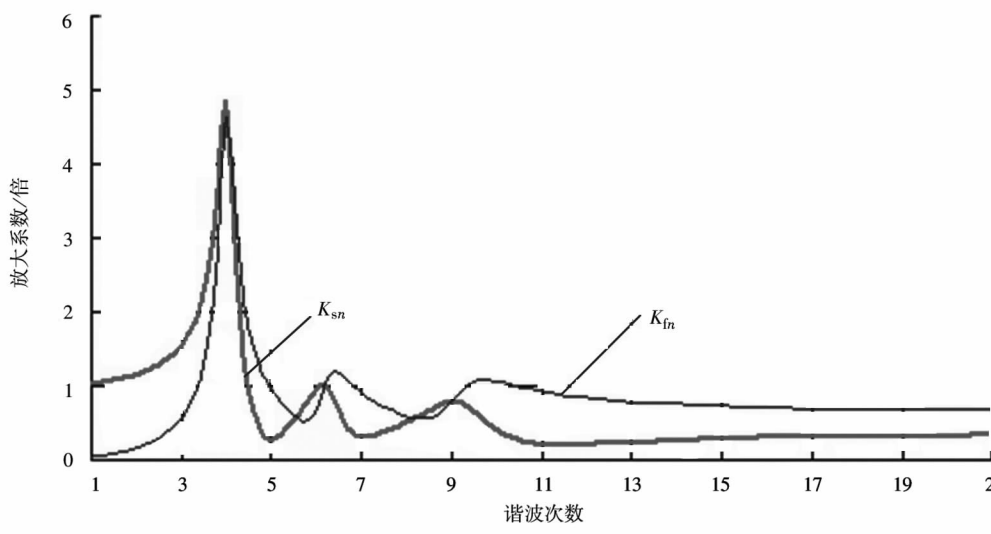


图 4 系统谐波放大曲线

Fig 4 System harmonic amplification curve

表 3 电容器运行裕度仿真参数
Table 3 Simulation parameters of capacitor operation margin

过载	H5-1	H5-2	H7	H11
额定电压/kV	0.545	0.545	0.545	0.545
实际电压/kV	0.480	0.480	0.450	0.433
过压系数	0.88	0.88	0.83	0.79
额定电流/A	477.71	477.71	477.71	477.71
实际电流/A	420.73	420.73	380.79	370.52
谐波比率(I_n/I_x)/%	44.14	44.14	23.83	16.88
过流系数	0.88	0.88	0.80	0.78

表 4 0.4 kV 侧滤波装置投入前后谐波数据对比
Table 4 Comparison of harmonic data before and after the filter device is put into operation

谐波次数 h	谐波电压畸变率/%			谐波电流/A	
	国标值	投入前	投入后	投入前	投入后
5	4.0	4.1	0.8	407	112.3
7	4.0	1.5	0.3	98	29.8
11	4.0	1.2	0.2	46	9.3
13	4.0	0.11	0.06	25	6.0

表 5 10 kV 侧滤波装置投入前后谐波数据对比
Table 5 Comparison of harmonic data before and after the filter device is put into operation

谐波次数 h	谐波电压畸变率/%			谐波电流/A		
	国标值	投入前	投入后	国标	投入前	投入后
5	3.2	1.0	0.61	6.4	16.31	4.49
7	3.2	0.37	0.25	6.15	3.92	1.19
11	3.2	0.28	0.2	5.31	1.85	0.37
13	3.2	0.18	0.12	4.79	1.02	0.24

表 6 无功补偿效果
Table 6 Effect of reactive power compensation

工况	有功功率/kW	无功功率/kvar	功率因数
投入前	1 800	1 735	0.720
投入后		742	0.925

显然,滤波补偿装置投入运行后,在 5 次、7 次、11 次特征频率处形成低阻抗通道,与供电系统并联的总阻抗亦呈现低阻抗状态,未形成特征次谐波引发的并联谐振。

由表 3 可知,滤波补偿装置投入运行后,电容器过电压系数为 0.79~0.88,过电流系数为 0.78~0.88,均未超出电容器的额定状态。由表 4、表 5 可知,滤波补偿装置投入运行后,特征次谐波吸收效果明显,各次谐波电压畸变率均在国标范围以内,10 kV 注入电网的谐波电流未超标;由表 6 可知,滤波补偿装置投入运行后,无功功率大幅度减

少,功率因数达到 0.92 以上。

4 结论

- 通过该电动车充电站充电机组电路的滤波设计,得出如下结论:
- (1)滤波装置投入运行后,公共连接点的各次谐波电压含有率和谐波电压总畸变率均在国标限值范围以内;
 - (2)滤波装置投入运行后,负荷注入公共连接点的各次谐波电流均满足国标要求;
 - (3)滤波装置投入运行后,功率因数均满足电网要求;
 - (4)滤波装置投入运行后,滤波电容器过流、过电压系数均保持在 0.88 以内,安全裕度大,可长期稳定运行。