

轨道交通供电系统中的谐波治理方案探析

曹凯

无锡地铁运营有限公司

摘要:在轨道交通系统的实际运作过程中,供电系统中包含较多的非线性负荷,主要是由数量较多的电机、UPS电源以及变频器等设备产生,可以通过致使电力系统出现正弦波形畸变的形式,为供电系统的电能质量带来较为不利的影 响,需要保持持续的跟进和重视,编制并执行有效的治理方案予以应对。为此,运营方首先需要更加深入地认识和把握轨道交通供电系统的系统构成以及电力谐波现象的内涵、类型、危害与成因,然后才可以为后续选取治理策略编制治理方案的过程提供理论性的有力支持,抑制可能出现的电力谐波现象,进而确保电力谐波现象不至于影响到轨道交通系统整体的运作状态。

关键词:轨道交通;供电系统;供电谐波;谐波治理

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2023.06.211

在社会主义市场经济持续不断的发展过程中,国内各地市的轨道交通建设运营随之取得了较为可观的发展成果。轨道交通在运量、安全性、舒适度以及运输速度等方面表现出众,可以在提供优质的出行体验之余,有效地缓解城市交通拥堵状况。当前,国内的轨道交通系统大多采用分散式、集中式以及混合式三种供电方式,而受限于较晚的起步时间,上述常见供电方式难免在实际的供电过程中遭遇各种问题。一般而言,国内的轨道交通的牵引供电系统利用整流设备为电动车组供给直流电源,而在此过程中产生的电力谐波现象也较为严重,在谐波量过大时将会对轨道交通的供电系统带来沉重的打击。

一、轨道交通供电系统的实际构成

在国内各地市的城市电网中,轨道交通系统属于电力消耗大户,直接接入城市电网获取所需电能。^[1]一般而言,轨道交通系统的供电系统主要由电源系统、动力照明系统以及牵引供电系统组成。其中,电源系统可以视为轨道交通系统与城市电网之间的接口,负责从城市电网中接引电能;动力照明系统主要为列车之外的所有用电负荷提供相应的电能,诸如通信、信号、事故照明以及计算机运行等一级负荷;而牵引供电系统负责为轨道交通系统全线运行中的列车提供相应的电能,一般由牵引网和牵引变电所两个部分构成。

二、轨道交通供电系统中的电力谐波现象简述

为求在轨道交通供电系统中治理可能出现的电力谐波现象,应当优先对其具体内涵进行和把握,以便明确符合实际需求的治理思路与方式。具体而言,应当分别从内涵、产生及类型、成因及危害等角度出发,深入地

认识和把握电力谐波现象的具体内涵,为后续的电力谐波治理实践提供理论性的科学指导。

(一) 电力谐波现象的内涵

在实际的运作过程中,轨道交通的供电系统需要数量较多的牵引整流装置提供必要的支持,而整流设备在运作时将会引发较多的电力谐波现象。除此之外,轨道交通系统内部的列车与车站各类设备同样会在实际的运作过程中引发电力谐波现象,诸如节能照明装置、变频空调、逆变设备以及计算机等设备。而电力谐波现象在轨道交通的供电系统运行过程中危害较大,在谐波含量超出阈值后将会严重威胁供电系统的运行,甚至为轨道交通系统的整体运作带来不利影响。因此,需要如实地把握电力谐波现象的危害及成因,以便相应地选取针对性策略实现有序治理。

(二) 电力谐波现象的产生及类型

除去各类电力设备之外,轨道交通供电系统中包含数量较多的非线性负荷,同样可以吸收基波并将其转化为谐波,进而构成谐波源。同时电力谐波现象可以分为不同类型,需要如实予以把握。一般而言,轨道交通供电系统中的常见电力谐波现象可以简单地划分为牵引供电系统谐波以及动力照明系统谐波两种类型。

首先是牵引供电系统谐波。在轨道交通的供电系统内部,牵引供电系统是主要的谐波来源之一,原因在于该系统所采用的牵引整流机组本质上属于非线性受电设备,实际的电压畸变程度受整流装置容量以及电网总容量的相对比值、供电系统的谐波频率阻抗表现影响较大。^[2]在非正弦电压施加于线性电路时,最终形成的电流也会是非正弦波,而这种非正弦波将会带来一定程度

的波形畸变。随着整流相数增多，整流电压将会趋于平稳，其纹波系数同样随之降低，带来更多的谐波次数，同时降低特征谐波及非特征谐波的含量。在实际的系统运作过程中，电网电压不对称或是牵引变压器的三项阻抗不对称等因素均会在所难免地引发非特征谐波。其次是动力照明系统谐波。除去主要的牵引供电系统谐波之外，轨道交通系统的动力照明系统内部各种设备均会产生一定的谐波，诸如变频设备、荧光灯、高压气体放电灯、软启动装置、电容器以及计算机，均是较为常见的电力谐波现象来源。

（三）电力谐波现象的成因及危害

电力谐波现象在轨道交通供电系统的运行过程中危害较大，需要在明确该现象的具体成因的基础上把握其危害，主要可以从整流装置脉动数不足、干扰通信系统的运行、诱发电力危害问题以及系统的供电损耗徒增等角度出发进行认识和把握。

1. 整流装置脉动数不足

在轨道交通的供电系统之中，牵引变电所内部的整流装置较为关键，该设备在实际工作过程中产生的电力谐波在系统整体的电力谐波中占比最大，可以视之为最为主要的电力谐波现象成因。^[3]一般而言，整流装置无法瞬间完成换相，同时在脉动数方面表现欠佳，以致于谐波产生过程中可能伴有接连不断的幅值频谱，也就相应地会为工作人员把握整流装置的脉动数的过程带来较大的阻碍。而在无法明确电力谐波现象是否产生的情况下，也就难以预防该现象可能带来的供电系统输出质量不足问题。

2. 干扰通信系统的运行

借由电器传导与电磁感应等多种形式，电力谐波将会为轨道交通的通信系统及其内部设备带来较为强烈的干扰，不仅会严重威胁通话清晰度，还会引发危害过电压问题。除去通信系统之外，电力谐波同样会对其他类型的设备产生不利的影 响。举例而言，电力谐波现象将会显著影响到断路器的开断路效果，为实际的断弧过程带来较大的难度；会延迟或阻碍消弧线圈实现灭弧功能的过程；还会通过引发谐振影响电压互感器的实际运作，甚至带来程度不一的损害。受此影响，各类数据设备的误动、误显示以及数据丢失也就会随之产生，为轨道交通的供电系统运作产生不利影响。

3. 诱发电力危害问题

在轨道交通的供电系统运作过程中，电力谐波现象将会额外消耗较多的无功储备，严重情况下甚至会直接带来系统无功不足的问题状况。^[4]与此同时，电力谐波现象也会为供电系统内部的输电线路带来影响，在实际的传输过程中额外增加线路损耗。对于旋转设备而言，电力谐波现象则会致使负载谐波耗损增多，使得设备在法人过程中折损使用寿命。此外，电力谐波现象还会引发谐振问题，以谐振过电压的形式威胁电气设备及其元器件当前的运作状态，同时还会使其在后续的运作过程中遭遇安全风险性因素。除去上述问题，电力谐波现象也会在电能测量中带来较为显著的误差。

4. 系统的供电损耗徒增

受供电过程中的大量电力谐波影响，供电设备将会额外产生不必要的损耗，同时还会致使设备出现机械振动问题。谐波电流一方面会在输电线路中带来谐波压降问题，另一方面也会相应地推动输电线路中实际的电流有效值增大，进而通过增加断路器断弧难度的形式引发额外的输电耗损。与此同时，轨道交通的供电系统输出过大，大量的电力谐波形成的谐波电流将会为供电系统带来较多的热量，致使电气设备的绝缘层老化速度加快，不仅会直接减少其使用寿命，还会引发供电系统整体的短路问题，影响到供电系统实际的供电质量与供电安全状况。

三、轨道交通供电系统中电力谐波的有效治理方案

在实际地针对轨道交通供电系统电力谐波现象进行治理时，应当根据供电系统当前的运作状况进行分析，以便选取科学的治理策略编制形成有效的治理方案，有效地控制电力谐波现象可能带来的危害。具体而言，可以综合选择包含结合整流装置现有脉动数相应地予以增加，在谐波发生源处安装滤波器实现源头治理，在供电系统中增强谐波回路以降低其频率，应用高精度电能表确保电力计量的精确性，结合现有的供电环境合理地调整供电方式在内的治理策略，更加科学地结合轨道交通供电系统实际情况编制有效的治理方案，确保供电系统处于有序的运行状态。

（一）结合整流装置现有脉动数相应地予以增加

鉴于整流装置在轨道交通供电系统电力谐波成因中占比较大的状况，在针对电力谐波现象进行治理时，运营方应当主要针对整流装置这一核心电力谐波源头进行治理，以便确保实际的治理效果。^[5]具体而言，运营方

主要可以通过增加整流装置实际脉动数的方式,有效地抑制该装置可能产生的电力谐波现象。在该装置脉动数有所增加之后,实际产生的谐波次数也就会随之增多,而谐波次数与谐波电流成反比例关系,谐波电流也就相应地降低。在这种情况下,不仅可以有效消除幅值增大的谐波,还可以减少谐波电流量。

(二) 在谐波发生源处安装滤波器实现源头治理

在整流装置实际的运作过程中,电流的实际流向有正反之分,正向流向由交流电流流向直流电,而反向流向则恰好相反。而考虑到其中的谐波含量较多,可以在靠近谐波源头的位置安装滤波器,针对自然产生的电力谐波进行吸收处理,通过吸收的形式实现源头治理。在这种源头吸收的治理模式下,电力谐波现象可能诱发的问题现象将会得到较为直观的抑制。一般而言,滤波器采用三相星形连接方式,可以布设于大型整流装置与电网的连接处。为求对无功进行补充,可以相应地采用有源电力滤波器进行滤波处理。此外,还可以相应地选择有载调压变压器,及时调节其母线电压,在预防过激磁之余减少电力谐波的产生量。

(三) 在供电系统中增强谐波回路以降低其频率

在轨道的供电系统运作个充足,高次谐波同样可以为供电系统的供电质量带来较为不利影响,需要相应地进行治理。^[6]高次谐波大多因电网内部的飞行洗衣机以及过量负载而起,还会相应地带来非特征次谐波。为此,运营方可以在电网内部增设谐波回路,预防可能出现的高次谐波。在针对包含非线性电气设备的电网进行无功功率补偿时,一方面需要配备电容器,另一方面也应在电容器前额外连接扼流线圈,以便在调整谐振电路的过程中降低实际的谐振频率。

(四) 应用高精度电能表确保电力计量的精确性

在实际地治理电力谐波现象时,还可以从确保电力计量精确性的角度出发进行,以便确保最终的治理效果可以达到预期。为此,运营方应当确保供电系统实际采用的电能计量设备可以符合规定的计量规程标准,以高精度和高稳定性为基准选取多功能电能表。与此同时,还应综合分析现有电能表的性能表现,结合电力谐波现象治理需求进行升级换代,以便确保电力计量的精确性表现可以为运营方治理电力谐波现象的过程提供支持。

(五) 结合现有的供电环境合理地调整供电方式

在一般情况下,当电网短路容量远高于谐波源头变压器容量时,实际的产生的高次谐波才不会为供电系统带来严重危害。^[7]不仅如此,这种情况下产生的电力谐波的电流值与电压值还均会低于可能产生危害的阈值。与此同时,运营方还应在电网的规划设计阶段充分考虑供电点容量等要素,以便从顶层设计出发预防后续可能出现的电力谐波现象及其危害。

四、结语

综上所述,对于不同地市轨道交通供电系统而言,电力谐波现象的成因存在一定的差异性,需要立足于轨道交通系统实际运作状况进行分析,以便参考具体的系统运行环境,科学地选取针对性治理策略编制治理方案,进而更加有效地抑制供电系统内部可能出现的电力谐波现象。在此过程中,运营方应当持续跟进后续的治理效果及状况,以便实事求是地在治理效果欠佳情况下及时做出调整和优化,确保最终的电力谐波治理效果可以达到预期。

参考文献

- [1]周文,戎士洋,曾四鸣等.基于制动能量回馈装置的城轨牵引供电系统谐波抑制方法[J].电工电能新技术,2021,41(10):20-32.
- [2]张丽艳,杨亮辉.基于模态分析的城轨交流牵引系统谐波谐振研究[J].电工技术,2020(15):21-25+28.
- [3]王丹阳.城市轨道交通牵引供电系统谐波分析[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2020(02):180-181.
- [4]金庆忍,郭敏,陈卫东等.基于分布特征参数的城市轨道交通负荷谐波电流迭加系数研究[J].广西电力,2018,41(03):1-5.
- [5]郭敏,金庆忍,陈卫东.谐波约束下轨道交通牵引供电电缆设计方法研究[J].电器与能效管理技术,2018(03):59-64.
- [6]刘福宁,撒奥洋,于立涛等.地铁轨道交通牵引供电系统谐波抑制方案研究[J].通信电源技术,2017,34(04):7-9+17.
- [7]黄静,刘晓华,宁雪姣等.基于多层功率计算的城市轨道交通系统谐波发射水平评估[J].科学技术与工程,2016,16(29):82-88.