

# 城市轨道交通供电系统的无功补偿方案研究

王春燕<sup>1</sup> 何瑞璐<sup>2</sup> 杨晓坤<sup>3</sup>

金华市金义东轨道交通有限公司 浙江省 金华市 321000

**摘要:** 在城市轨道交通系统的运行过程中,要高度重视其无功补偿问题。城市轨道交通供电系统的管理部门要充分了解所有电气设备运行时的实际功率因数,并结合城市轨道交通系统的实际运行情况进行综合性的分析研究,优化无功补偿方案。在无功补偿中要根据实际需要来选择相应容量的无功补偿装置,并确定无功补偿的有效方式,以提高无功补偿的效果,改善供电系统运行的经济性和可靠性,为城市轨道交通系统的安全运行提供稳定供电保障,从而促进我国城市轨道交通事业的现代化发展。

**关键词:** 城市轨道交通; 供电系统; 无功补偿

## 引言

轨道交通运营开始阶段,供电系统中的感性负荷比较小,导致系统中的容性无功功率无法被中和掉,最终输入至电力系统,造成电力系统电能质量下降。轨道交通供电系统无功补偿方式的选择,应当在环保与日常负荷曲线、负荷类型等因素上展开综合性研究,以选择最佳的补偿方式。

## 1 城市轨道交通供电系统组成概述

轨道交通供电系统的供电方式,主要以集中供电为主,各主变电所搭配两台110/35kV主变压器,通过两回专用线路,分别向两个主变压器供电。电压转换为35kV后,利用环网电缆,向各地铁车站的变电所供电。基于DC750/1500V供电方案的牵引供电系统,由牵引变电所的牵引整流机组处理经过的电流,通过降压与整流处理后,输出适用的750/1500V直流电。在此基础上,通过牵引网系统向牵引用电负荷供电。照明与动力供电系统运行,需要运用380/220V交流电压,需通过降压变电所的配电变压器施以降电压处理,从而向配电系统提供0.4kV低电压,以满足车站与区间用电需要。

## 2 城市轨道交通供电系统无功特性

在供电系统中,感性负荷产生感性无功,容性负荷产生容性无功。感性无功引起电压下降,容性无功导致电压升高,过高或过低的电压均会给设备埋下安全隐患,冲击性的无功功率负载还会使电压产生剧烈波动。用户应在提高用电自然功率因数的基础上,设计和安装无功补偿设备。无功补偿前后有功功率不变,只有补偿系统中的无功使总无功电度锐减,从而提高功率因数。

## 3 无功补偿方案分析

供电局考核点依据是选择补偿方案的重要参照指标,方案内容涉及系统组成、负荷构成研究等。无功特

征除有冲击性负荷外,还包括较大的电缆无功影响与无功波动,以及较低的夜间休车时段功率因数。从用户功率因数入手分析,需达到供电局的基本要求。针对110kV电缆的无功倒送情况,可通过电抗器方式处理,或是等负荷升高后抵消处理。针对中压网络无功平衡问题,需利用无功补偿装置处理,调整高压侧电源功率因数,提供降压处理后的电压,并对变压器无功损耗进行补偿。轨道交通供电系统内容与运营方式不同,可采取电抗器设备,或是运用静止无功补偿器、动态无功补偿装置实现无功补偿。

## 4 城市轨道交通供电系统的无功补偿方案

### 4.1 就地补偿

无功功率平衡与否直接影响电网电压的稳定性,宜采用就地补偿方式。就地补偿是将低压电容器组装设在需无功补偿的用电设备附近。就地补偿的运行方式是在用电设备运行时,补偿装置投入;用电设备停运时,补偿装置切除。这种方式既能提高供电回路的功率因数,又能改善电压质量。

### 4.2 磁控电抗器补偿

磁控电抗器的工作原理是直通过调节直流偏磁来进行的。通过改变变压器铁芯的磁导,使得电抗器输出平滑可调。磁控电抗器通过对系统进行动态的无功功率信号采集,调整晶闸管控制角,实现对磁控管电抗器芯磁导率的改变,最后输出适量的无功功率。

### 4.3 SVG补偿

SVG装置的补偿方式,主要通过电压源型变流器实现。无功能量的转变,主要通过器件高频开关操作完成。SVG装置的功能主要体现在以下几方面:(1)在电力系统不稳定的情况下,能够提供稳定电压支持;(2)能够增强输电系统的可靠性,动态与静态稳定性随之加

强；（3）暂态过电压不断下降；（4）对系统次同步振荡、低频振荡有一定的抑制作用；（5）规避了电流与电压失衡问题，防止不对称负荷现象出现；（6）受电压波动影响出现的闪变问题得以规避；（7）输电线路性能拓展，有功传输容量加大；（8）系统内部谐波电流有效滤除。

SVG装置属于双向补偿电源，基本原理为：电网并联三相并联变流器装置，其中并联装置主要由IGBT管构成。电流互感器对流入系统的电流敏感，并采集至补偿装置控制系统内，电流无功分量随之被实时控制电路分离处理。IGBT性能被PWM技术与DSP芯片触发后，随之对三相变流器进行控制，使其输出电压发生变化。在感性与容性模式的作用下，快速发出所需无功电流，最终连续补偿无功功率<sup>[1]</sup>。装置利用高阻抗连接变压器，实现电网并联自换相桥式电路，通过调整桥式电路电压输出的相位等，或是通过交流侧电流的控制，实现电路发出或吸收所需无功电流。

SVG装置打破了传统补偿产品的局限性，更新了无功补偿理念，装置功率单元柜与控制柜、启动柜等组成。尤其是对于半导体电力电子器件的运用，实现了逆变与整流电流的有效搭建，能够连续调整与双向补偿负荷，对容性无功电流有跟踪控制作用，从而进一步优化系统功率因数。

#### 4.4 SVG和电抗器的混合补偿

在地铁的正常运行期间，地铁供电系统的负载很重，并且系统的无功功率可以被感应负载部分或完全抵消。在高峰运行时间内，系统通常需要补充无功功率。因此，在地铁的正常运行期间，可以使用SVG的快速跟踪补偿和双向补偿功能，可以使供电系统在荷载动态变化的情况进行精确地补充无功功率。城市轨道交通停运期间，负载非常轻，负载变化很小。因此，在夜间停电期间，只需要通过并联入定电容组进行补偿，而不需要动用SVG系统。如果使用SVG，将导致浪费<sup>[2]</sup>。因此，可以使用SVG模式和电抗器混合补偿。

### 5 提高无功补偿效果的有效对策

#### 5.1 准确计算供电系统负荷

在无功补偿时要准确计算城市轨道交通系统在运行过程中供电系统的实际负荷，并结合城市轨道交通的特点来提高无功补偿的有效性。同时无功补偿中还要充分考虑供电系统可能出现的突发性事故，并制定相应的无功补偿预案，以确保城市轨道交通系统的运行安全。

#### 5.2 合理制定无功补偿方案

##### 5.2.1 不同无功补偿方案的适用条件

由于城市轨道交通在不同时段的运行方式存在一定

的差异，因此在制定无功补偿方案时也应充分考虑该因素，例如在运行高峰阶段应采取容性无功的补偿方式，而在运行低谷时段则应采用感性无功方式来进行补偿。

##### 5.2.2 通过并联电容或电抗设备

通过采取设置并联电容或电抗设备的方式进行无功补偿能够有效降低成本，并延长补偿装置的使用寿命，同时该方式对环境条件的要求相对较低，其运行的稳定性比较高。但是这种无功补偿方式只能输出固定容量，无法根据无功损耗的动态变化来进行相应的补偿，同时还存在谐振等问题，影响无功补偿的效果，该无功补偿方案也难以满足城市轨道交通供电系统无功呈容性、感性频繁变化的双向补偿实际需要。

##### 5.2.3 通过SVG设备进行无功补偿

相对于其他设备，SVG装置的优势更加明显。装置占地面积小，受城市用地紧张的因素影响，轨道变电站的建设成本随之增加，缩小装置占地面积，能够降低变电站的造价，土地使用费用随之降低<sup>[3]</sup>。装置范围相对较宽，一套装置即可满足补偿感性与容性无功的需要，电网电压几乎不受装置无功电流影响，功率补偿成效随之加强。最主要的是响应快与无谐波优势显著，装置采取正弦脉宽调制系统（SPWM），功率单元与调制技术接入后，供电系统不会流入过多谐波，污染率随之降低，更利于供电系统的稳定运行。

#### 5.2 合理选择无功补偿设备

由于城市轨道交通在交通高峰时段系统中的照明动力负荷以及牵引负荷较大，因此其供电系统功率也相对较大，这会导致供电系统中有感性无功功率产生，并进而与电缆中的容性无功产生中和效果，造成供电系统中的无功功率明显低于其有功功率。而城市轨道交通系统在夜间则基本处于停运状态，仅需维持少量设备的用电需求，此时供电系统功率以及无功功率都会相应地降低，且变压器负载也将降至约0.05，而电缆所产生的容性无功的变化并不明显，其功率因数应保持在0.5范围内<sup>[4]</sup>。这种情况会造成主变电所功率的平均值无法满足供电系统运行安全的要求，因此必须根据城市轨道交通系统的运行特点来进行无功补偿设备容量的选择，从而提高供电系统运行的平衡性，保证供电的可靠性和稳定性。

### 6 结束语

综上所述，城市轨道交通供电系统会产生感性与容性两种无功。重载时线路以感性无功功率为主，交通高峰时段与休车时段的牵引负荷、动力照明负荷等有较大差异。受电缆充电无功效应影响，会向电力系统倒送

大量容性无功功率,运营部门电力资源严重浪费。而轻载时线路产生的容性无功会影响电网安全运行与功率损耗。对此,根据实际运营情况合理选择无功补偿方式意义重大。

**参考文献:**

[1]程晋然,马天文,杨振宇,等.地铁再生能馈装置辅助无功补偿的可行性研究[J].电气技术,2019,20(3):118-121.

[2]陈玲,李志慧,李力鹏.城市轨道交通供电系统[M].北京:北京交通大学出版社,2019.

[3]郑勇峰.浅谈动态无功补偿(SVG)设计在城市轨道交通供电系统中的应用[J].科技创新与应用,2019(3):128-129.

[4]郑勇峰.浅谈动态无功补偿(SVG)设计在城市轨道交通供电系统中的应用[J].科技创新与应用,2019(3):128-129.