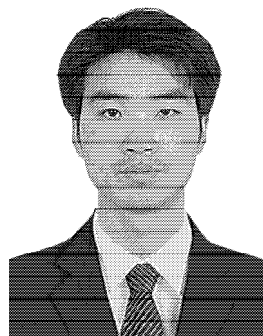


# 一种分布式无功补偿方案在地铁 供电中的可行性分析

王 猛

(中铁第四勘察设计院集团有限公司,湖北 武汉 430063)



作者简介:王 猛(1977-),男,硕士,主要从事城市轨道交通供电系统设计。

**摘 要:**通过对地铁供电系统无功功率的分析,提出了利用沿线车站变电所有源滤波装置进行分布式无功补偿的方案。通过实例分析表明,主变电所SVG安装容量可以减少80%以上,并可以减少SVG的发热量和噪声,节省了工程投资。

**关键词:**供电系统;有源滤波;分布式无功补偿;SVG;变电所;地铁供电

**中图分类号:** U231; U223.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2014)04-0070-03

**doi:** 10.13890/j.issn.1000-128x.2014.04.018

## Feasibility Analysis of Distributed Reactive Power Compensation for Subway Power Supply System

WANG Meng

(China Railway SIYUAN Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430063, China)

**Abstract:** By analyzing reactive power of subway power supply system, a project of distributed reactive power compensation with stations' substation APF was proposed. Example analysis showed that with the project, the capacity of main substation SVG could be reduced over 80%, and the heat productivity, noises and investment were also decreased.

**Keywords:** power supply system; APF; distributed reactive power compensation; SVG; substation; metro power supply

### 0 引言

国内大部分城市地铁采用110/35 kV(33 kV)主变电所集中供电方式。早期部分地铁线路110 kV主变电所没有安装无功补偿装置,运营初期平均功率因数不到0.9,需要支付大量功率因数调整电费。目前新建的110/35 kV主变电所基本上都采用SVG进行集中无功补偿,从已投运的SVG装置运行来看,功率因数补偿效果明显,基本上都能达到0.95以上,但多条线共享主变电所SVG,安装容量更大,发热量和噪声也更大。地铁主变电所一般都位于城市核心地区,周围一般都有居民区或商业,有些地铁主变电所甚至与控制中心合建,所以对SVG的发热量和噪声影响要求也越来越高。

目前地铁车站变电所0.4 kV侧一般都设有有源滤波装置,有源滤波装置可以产生感性和容性无功功率,白天和晚上低压负荷变化大,造成有源滤波装置补偿容量变化也大。本文首次提出利用车站变电所0.4 kV有

源滤波装置对该站下一供电区间环网电缆充电功率就地补偿的方案。

### 1 地铁供电系统无功功率分析

地铁供电系统的感性无功主要由各种电力变压器、电缆、整流机组和动力照明负荷等产生,容性无功主要由电缆和电容器产生。主变电所的功率因数主要由牵引负荷、动力照明负荷的负荷性质和环网电缆产生的容性功率所决定。

对于牵引负荷,由于采用24脉波整流方式,理论基波因数在0.989以上,不可调变流器的功率因数在0.95以上,因而其总功率因数可达0.96左右。产生的感性无功功率会随牵引负荷的大小不同而变化。

对于0.4 kV动力照明负荷,主要产生感性无功。早期地铁线路中,地铁变电所低压0.4 kV侧功率因数在0.7~0.8左右。为提高整个供电系统的供电质量,一般在低压侧设置并联电容器组,电容器组具有自动投切功能,且功率因数连续可调,调节范围一般在0.8~0.9

收稿日期:2014-04-14;收修改稿日期:2014-06-27

之间,使补偿后的功率因数不低于0.9。随着技术的发展和变频设备的大量采用,低压负荷功率因数也在逐步提高,大部分负荷的功率因数都在0.85~0.9以上,对于产生无功较大的动力设备,一般采用了就地补偿措施。由于35 kV电缆产生的容性无功过大,整个地铁供电系统功率因数呈容性,如果0.4 kV侧投入电容器补偿装置,会进一步降低地铁供电系统总功率因数。目前对于中压网络为35 kV的地铁线路,0.4 kV侧都不设电容器补偿装置,已设置的补偿装置都逐步退出运行。0.4 kV低压负荷产生的感性无功功率会随低压负荷的大小不同而变化。

影响主变电所功率因数超标的主要原因是35 kV中压环网产生的容性无功、电缆的充电无功与电压等级的平方成正比,35 kV电缆的大量使用产生大量的容性无功。根据一座主变电所的供电范围大小,35 kV电缆产生的容性无功一般在 $2 \times (1\,500 \sim 2\,500)$  kvar左右,且产生的容性无功功率基本不变。

在地铁运营期间,列车牵引负荷和0.4 kV低压负荷大量投入,主要产生有功功率,伴随产生一定比例的感性无功功率,会对35 kV环网电缆产生的容性无功功率进行中和,整个系统的有功功率数倍于无功功率,因此在主变电所反应的功率因数一般在0.9以上。在地铁夜间停运期间,列车牵引负荷为0,0.4 kV低压负荷绝大部分退出运行,仅有少量的应急照明负荷、部分设备房间的小系统空调负荷和维修用电负荷,低压配电变压器负载率在5%左右,整个系统的有功功率很小,系统产生的感性无功功率也很小,而35 kV环网电缆产生的容性无功功率基本上不变,处于容性无功倒送状态,因此在主变电所反映的功率因数一般在0.5以下,最终导致主变电所平均功率因数达不到电力部门的要求。如某城市地铁主变电所功率因数白天在0.9以上,夜间0.3以下,日平均0.78。一座110/35 kV主变电所对地铁线路正常供电长度在10~15 km,电力部门对地铁功率因数考核点在主变电所110 kV进线侧,因此目前基本上都在新建主变电所35 kV侧采用SVG进行集中无功补偿。

## 2 分布式无功补偿方案

0.4 kV有源滤波装置既能滤除谐波,同时还能补偿无功的双重功能。将有源滤波装置的作用按照地铁运营期间和停运期间进行划分:运营期间,地铁主变电所功率因数在0.9以上,0.4 kV有源滤波装置重点滤除低压系统谐波,多余的容量可用于补偿35 kV电缆充电容性无功;停运期间,低压负荷小,0.4 kV有源滤波装置重点进行无功补偿,补偿35 kV环网产生的容性无功(该无功量相对固

定),少量用于补偿低压系统谐波。在每个车站利用0.4 kV有源滤波装置就地集中对中压环网产生的容性无功进行分布式补偿。由于大部分无功已经在各个车站变电所就地进行了补偿,在主变电所仅需设小容量的SVG即可满足功率因数要求。

0.4 kV有源滤波装置的原理是通过测量点的电特性参数进行分析,确定测量点的谐波含量以及功率因数,然后对其进行滤波和无功补偿。以图1的一个供电分区为例,分区末端A变电所处有源滤波装置仅需利用滤波功能,通过检测B变电所35 kV进线处(来自电源)的功率因数确定B变电所有源滤波装置的无功补偿容量,主要补偿BA段环网电缆的容性功率,同理C、D变电所的有源滤波装置分别补偿CB段、DC段环网电缆的容性功率。由于检测点为变电所35 kV进线处,如果分区远端变电所(远离主变电所端)有源滤波装置容量不足以补偿对应段环网电缆容性功率,可以由分区近端变电所(靠近主变电所端)的有源滤波装置依次补偿。这样实现了0.4 kV有源滤波装置就地、定点补偿无功的功能。主变电所用小容量的SVG主要补偿ED段环网电缆的容性功率和DA段环网电缆未补偿完的容性无功,即可满足整个供电系统功率因数的要求,以解决在主变电所集中设置大容量SVG装置造成发热量大、噪声大的问题,并且节省了工程投资。

在D变电所,如果DE距离很短,可以通过检测该供电分区所在主变电所35 kV馈出线处的功率因数来确定其补偿容量,主要补偿ED段和DC段环网电缆的容性功率,或者在主变电所内所用变压器0.4 kV侧设有源滤波装置,控制整个供电系统功率因数在0.9以上,这样主变电所的SVG可以取消。

## 3 实例分析

实例:如图2所示的一座主变电所供电范围内的

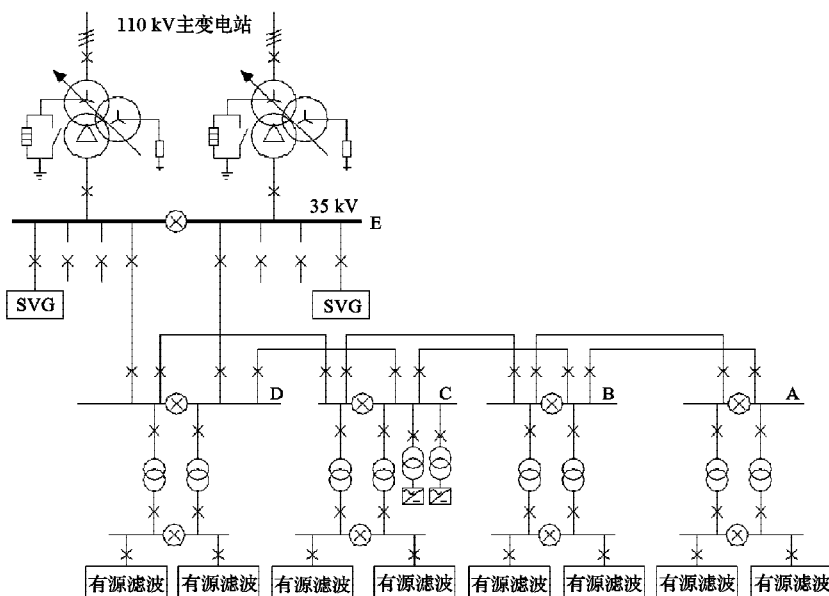


图1 分布式无功补偿示意图