

Regenerative Braking Energy Storage Control of Urban Rail Transit Traction Power Supply System

Sheng Pan Chunlong Song

Beijing Subway Operation Co., Ltd., Beijing, 100044, China

Abstract

With the development of the economy and the progress of the society, the congestion of urban rail transit is becoming more and more serious. The characteristics of low pollution, low energy consumption and high efficiency of urban rail transit play an important role in alleviating the tension of urban traffic and expanding urban space. The subway has the characteristics of fast speed, short station distance and frequent braking. Braking energy is generated when the train is frequently braked. Since the traction power supply system is set by a unidirectional diode, the energy generated by the braking cannot be returned to the side of the AC network, which causes the network voltage of the traction power supply system to increase, which affects the train operation. Reasonable absorption of braking energy can maximize economic benefits. Therefore, this paper analyzes the importance and absorption mode of regenerative braking energy storage control of urban rail transit traction power supply system.

Keywords

urban rail transit; regenerative braking; energy storage

城市轨道交通牵引供电系统再生制动储能控制

潘胜 宋春龙

北京地铁运营有限公司, 中国·北京 100044

摘 要

随着经济的发展社会的进步,城市轨道交通拥挤的状况越来越严重。城市轨道交通低污染、低能耗、高效率的特点在缓解城市交通的紧张状况和拓展城市空间等方面发挥着重要作用。地铁具有速度快、站距短、起制动频繁等特点,在列车频繁制动时产生制动能量,由于牵引供电系统是通过单向二极管整流,制动产生的能量无法回到交流网侧,导致牵引供电系统网压增高,对列车运行造成影响。合理的对制动能量进行吸收,实现经济效益最大化。由此,本文对城市轨道交通牵引供电系统再生制动储能控制的重要性、吸收方式等方面进行分析研究。

关键词

城市轨道交通;再生制动;储能

1 城市轨道交通牵引供电系统再生制动储能的重要性

在地铁、城轨给人们出行带来方便的同时,由于其运营成本居高不下的问题日显突出,而运营成本中有 50% 来自于地铁的运行能耗。目前城市轨道交通车辆普遍采用“再生制动+电阻制动+机械制动”的制动方式,制动能量可达到牵引能量的 30% 以上,部分再生制动的能量可以被线路上相邻车辆吸收,如不能被吸收则转换为电阻或空气制动,制动能量被白白消耗^[1]。有资料表明,当列车发车的间隔较大时,由于车辆距离较远,再生制动能量被吸收的概率很小。这样

就导致大部分再生制动能量被车载电阻吸收转变成热能,那么必将会引起隧道和地下车站升温的问题,同时也增加了地下车站内空调系统的负荷,造成大量的能源损失,增加运行费用。^[2]再生制动能量吸收装置将会降低隧道洞体和地下车站温度并改善隧道内空气质量。

因此,可靠、合适的再生制动能量吸收装置的配置有助于减少车载设备(车辆制动电阻),减少车辆的运营维护工作量,降低车辆成本,减少车辆自重,从而降低列车能耗。

2 牵引供电系统再生制动能量吸收方式

目前再生制动能量吸收装置一般可以分为两种类型:消耗类和再利用类。

2.1 消耗类

电阻型再生制动能量吸收装置,在车辆进站制动时,当处于再生制动工况下的车辆产生的制动电流不能完全被其他车辆和本车的用电设备吸收时,电阻型再生制动能量吸收装置立即投入工作,吸收多余的再生能量并变成热量,散发到外界空气中。该装置主要采用多相 IGBT 斩波器和吸收电阻配合的恒压吸收方式,根据再生制动时直流母线电压的变化状态调节斩波器的导通比,从而调整吸收功率,将直流电压恒定在某一设定值的范围内,并将制动能量消耗在吸收电阻上^[3]。

电阻型再生制动能量吸收装置的优点是控制简单,其主要缺点是车辆再生制动能量消耗在吸收电阻上,未加以利用;而且电阻散热也导致环境温度上升,若该装置设置在地下变电所内时,电阻柜需单独放置,而且该房间需要相应的通风动力装置,也增加了相应的二次能源消耗。因此,目前中国北京地铁大部分线路将电阻柜放置于地面单独房间内,有利于电阻散热。运行中,连续两个站的再生制动能量装置退出运行时会对电动列车的电制动距离产生影响。^[4]

2.2 再利用类

2.2.1 逆变回馈型

它是将车辆再生制动产生的直流能量转变成交流电能的转换装置,是与交流电能转变成直流电能的整流器相对应的。其主要采用电力电子器件大功率晶闸管构成三相逆变器,逆变器的直流侧与牵引变电所中的直流开关柜母线相连,其交流侧通过变压器接到城市轨道交通供电系统中压网络或低压网络。当车辆再生制动使直流电压超过规定值时,逆变器启动并从直流母线吸收电能,再将再生直流电能逆变成工频交流电回馈至变电所交流设备母线,考虑到中压网络或低压网络的容量,当逆变电能达到上限时,其余电能利用电阻吸收,确保车辆再生制动的安全稳定。从目前已经安装逆变回馈型的地铁线路上来看,中压网络或者低压网络的逆变电能很少能达到能量峰值,虽然辅以电阻来控制能量的溢出,但是利用率不高,所以逆变型再生制动能量吸收装置能量利用率高,节能效果较好,能量直接回馈到城市轨道交通内部电网,也不需要配置储能元件等原件,这种方案在中国北京地铁新建线路广泛使用。运行中,连续两个站的再生制动能量装置退出运行时会对电动列车的电制动距离产生影响^[5]。

目前北京地铁部分线路使用了电阻型再生制动能量吸收

系统,留出逆变-电阻混合型接入的条件。系统主要由隔离开关柜、斩波控制柜、电阻柜等构成。装置主电路由三部分组成,即开关及滤波单元、电阻吸收单元和逆变吸收单元;预留的逆变吸收的用电设备为各变电所的 400V 低压用电负载。10 号线二期部分站使用了逆变电阻混合型再生制动能量装置,将再生制动能量经逆变后回馈中压网络。运行中,连续两个站的再生制动能量装置退出运行时会对电动列车的电制动距离产生影响。

2.2.2 储能型

储能装置接于正线三轨与负极之间。工作模式有两种,一种是节能模式(也称储能模式),在车辆进站制动时,首先车辆进行再生电制动,车辆的再生制动装置将车辆的动能转变为电能反馈给牵引网,并使牵引网电压升高,超过储能装置设定的电压限值时,储能装置快速存储再生制动电能,当车辆出站启动或加速时,牵引网电压下降,当低于储能装置设定的电压值时,储能装置快速释放存储的能量,提供给需要能量的列车,在保证列车运行的情况下,降低牵引供电系统的能量消耗;另一种是稳压模式,由于储能装置能够在牵引网电压低于某一限定值时,向牵引网提供能源,因此对稳定牵引网电压具有一定作用^[6]。

3 再生制动储能方式及特点

3.1 电池储能

电池储能是通过在地铁用电低谷时吸收再生制动能量,在用电高峰时释放能量用于地铁的启动和加速,从而减轻地铁牵引供电系统的供电压力。但是由于目前电池的充放电循环寿命有限,养护难度大,并且化学电池在报废后难以降解,大量使用电池会对环境造成污染,所以电池作为储能元件应用在地铁这种频繁启停的城市轨道交通上受到诸多限制^[7]。

3.2 飞轮储能

飞轮储能是通过飞轮高速运转将再生制动能量转化为动能进行储存的,主要是由高强度复合材料组成,在工作中磁悬浮轴承起到支撑作用,并处于真空环境中,能量损耗极小。与电池储能相比,飞轮储能寿命很长,使用期间不用进行维护,一定情况下减少了资金和人力的投入,但是飞轮储能有一个缺点就是不能长时间的进行储能,能量损耗会随着时间的增长而增加,所以飞轮作为储能元件应用在地铁这种频繁启停

的城市轨道交通上也受到诸多限制。

3.3 超级电容储能

超级电容储能式再生能吸收装置是一种静态储能装置,其储能介质为大功率电容,是利用电容的充放电原理实现车辆再生制动能量的吸收和再利用^[8]。超级电容能直接以电势能的形式来储存,不需要能量转化,减少了能量转换过程中的损耗,而且超级电容器的电容值比较大,能储存的能量密度大,并且吸收再生制动能量所需要的时间比较短,最大程度的保证地铁供电系统的可靠性。超级电容储能系统应用于地铁、城轨直流牵引供电领域,在车辆运行过程中通过牵引网进行能量的吸收和释放,能够有效降低地铁运营能耗成本,节约能源,起到稳定牵引网压的作用。

节能作用: 列车进站制动时,首先列车进行再生电制动,列车的再生制动装置将列车的动能转变为电能反馈给牵引网,并使牵引网电压升高,超过电容储能系统设定的电压限值时,电容储能系统快速存储再生制动电能;当列车出站启动或加速时,牵引网电压下降,当低于电容储能系统设定的电压值时,电容储能系统快速释放存储的能量,提供给需要能量的列车。在保证列车运行的情况下,降低牵引供电系统的能量消耗。

稳压作用: 由于电容储能系统能够在牵引网电压低于某一限定值时,向牵引网提供能源,牵引网网压高于理论空载电压时,电容储能装置吸收能量并储存,当牵引网压接近牵引网电压要求的下限值时,电容储能装置向牵引网释放能量可以改善牵引供电系统的电压质量,使牵引网电压维持在所要求的范围内。因此装置也对稳定牵引网电压具有一定作用。

超级电容储能系统设置在牵引变电所内,本系统吸收再生制动能量,提高列车再生制动的有效利用,以减少运营电能、降低运营成本,同时减少大气污染,为实现地铁将来的“绿

色环保节能”运营奠定重要基础。

4 总结

通过对比牵引供电系统再生制动能量消耗类和再利用类这两种吸收方式,消耗类已经不符合可持续发展的大局观。再利用类有多重储能方式,均一一列举,其中逆变回馈型与超级电容储能型优势明显,随着科技进步及全社会环保节能意识的增强,在牵引变电所设置再生电能吸收系统,提高列车再生制动的有效利用,以减少运营电能、降低运营成本,同时减少大气污染的设计理念尽快找到大幅降低地铁运行能耗的方法,已成为保持中国地铁、城轨高速度可持续发展必须解决的重要问题之一。

参考文献

- [1] 李旭阳. 城轨交通超级电容储能系统在线优化控制策略研究 [D]. 北京交通大学, 2017.
- [2] 杨莹. 地铁牵引供电系统再生制动储能控制 [D]. 北京化工大学, 2016.
- [3] 毕文骏. 基于飞轮储能的地铁再生制动能量利用研究 [D]. 西南交通大学, 2016.
- [4] 8 号线供电设备培训教材. 北京地铁运营有限公司供电公司.
- [5] GBT 10411-2005 城市轨道交通直流牵引供电系统. 北京: 中国标准出版社.
- [6] 曾之煜. 地铁逆变回馈型再生制动能量吸收装置仿真研究 [D]. 西南交通大学, 2012.
- [7] 苏玉京. 基于储能技术的城轨交通再生制动能量利用方案研究 [D]. 华中科技大学, 2013.
- [8] 卫巍. 再生能馈装置在城市轨道交通供电系统中的优化配置研究 [D]. 北京交通大学, 2017.