

Application of Regenerative Braking Device of Subway Power Supply System

Jiahui Ma

Beijing Metro Operation Co., Ltd., Beijing, 100032, China

Abstract

With the progress of the Times and the development of the urbanization process, various countries in the world have different strategies for the development of urban transportation, but coincidentally, the vigorous development of the subway is the focus of these countries. The Beijing subway also pays more attention to the regenerative braking system of the subway power supply system. This paper introduces three types of regenerative energy consumption device and summarizes the advantages and disadvantages.

keywords

regeneration brake system; car braking; energy-saving and emission-reduction

地铁供电系统再生制动装置应用

马嘉辉

北京市地铁运营有限公司, 中国·北京 100032

摘要

随着时代的进步和城市化进程的发展,世界上各个国家对城市交通发展都有不同的策略,但不约而同的是大力发展地铁都是这些国家的重点。北京地铁对地铁供电系统的再生制动系统也更加重视。论文对北京地铁再生能耗装置三种型号装置进行了介绍,并对三种装置的优缺点进行了总结。

关键词

再生制动系统; 车辆制动; 节能减排

1 引言

随着中国大力开展节能环保工作,北京地铁也紧随其后,在装配再生能耗设备方面也更加重视,不光是在新建地铁线路中使用再生能耗装置,在既有线路改造计划中,也加入了再生能耗装置的安装工作。这在实现北京地铁公司努力建设节约型地铁合创新型地铁的道路上迈出坚实的一步。

在北京地铁的建设初期,一般采用在地铁列车上安装大容量吸收电阻的方法来吸收再生能,但在车上安装容量吸收电阻就会影响车内的空间,同时吸收电阻工作时会释放大热量,造成车辆和洞体的温度升高。如果北京地铁公司在每条线路使用再生能耗吸收装置的话,理论上可以节省12%~15%的电能。

2 再生能耗装置工作原理

不同类型的再生能耗装置是根据装置的工作方式区分的,目前北京地铁所使用的再生能装置分为三种。

【作者简介】马嘉辉(1993-),男,中国北京人,本科,工程师,从事轨道交通研究。

2.1 电阻型

电阻型能耗装置是将再生能引入电阻回路从而使电阻发热耗能的方式进行能量吸收。由于装置工作时会产生噪音和散发出大量热,一般将装置安装在地面。将电阻型能耗装置安装于直流牵引系统的正负母线之间,在地铁列车进行制动时,再生电流将会从直流牵引系统正母线流入到电阻型能耗装置的回路当中。回路是有二极管和电阻组成的回路,能有效单向导通,并采用多相IGBT斩波器(因普通开关动作时间较慢不能满足直流母线电压变化调节的要求)和吸收电阻配合的恒压吸收方式,根据直流母线电压的变化状态调节斩波器的导通比,改变吸收功率,将直流电压恒定在某一设定的范围内,通过吸收电阻将电能转化为热能耗散掉。

2.2 逆变型

逆变型再生能馈装置是将地铁列车电制动时产生的直流电通过逆变器后将交流电反馈到车站电网从而重复利用。逆变型再生能馈装置又分成两个类型:低压回馈型和中压回馈型。低压回馈型再生能馈装置是将地铁列车制动产生的再生能回馈到400V低压母线,供给车站内的其他低压母线所带设备使用。中压回馈型是将地铁列车制动产生的再生能回

馈到 10kV 中压母线中，从而使车站中的所有 10kV 中压系统所带设备都可以使用反馈电能。现在低压回馈型再生能量吸收装置在北京地铁 7 号线、9 号线投入使用，中压回馈型再生能量吸收装置在北京地铁线 10 号线投入使用。低压逆变型再生能量吸收装置，是将地铁列车制动产生的再生能逆变输出至 400V 母线的再生能量利用装置，因为收到 400V 电网容量的限制必须与电阻消耗型装置相结合才能够满足使用条件，所以大多采用逆变器 + 电阻吸收装置的形式。

为了解决低压回馈型再生制动装置在使用中对 400V 低压网络电压的影响，在装置中加装 400V 低压网络电压检测，在网络中的用电器消耗有限无法完全将返回的能量使用殆尽时，切入电阻吸收装置将多余电能进行消耗，从而保证 400V 低压网络的稳定。

中压回馈型再生制动装置连接在容量较大的 10kV 中压网络中，所以大多不用考虑反馈能量无法消耗，导致中压电网电压上升的问题。但是中压回馈型再生制动装置工作时，回馈的电能会影响到 10kV 中压系统所在电网的电压，所以在设计使用阶段，要提前与所在电力公司沟通设计方案，在满足条件的情况下进行使用。

2.3 电容储能型

在地铁列车进行制动过程中，电容储能型再生能装置会吸收直流牵引网中的再生能并存贮，当供电区间有其他地铁列车运行，存贮装置会释放电能供地铁列车运行使用。

在运行中的地铁列车进行电制动时，产生的再生能会使接触网网压升高，当电容储能再生能装置在系统中检测到网压升高，就会启动 IGBT 将再生能储存到电容储能元件中，这样就可以使接触网的网压处于正常范围内。当供电区间中有地铁列车启动运行时，装置将电容储能元件中存储的电能释放供车辆使用。这样既保证了供电系统的稳定运行，又能保证再生能的循环利用。

3 再生制动系统中存在的优缺点

3.1 电阻型

优点：技成熟，已经在北京地铁投入运行十余年，该装置原理简单，易于安装维护，操作便捷，装置稳定。因装置安装在直流牵引系统内部，与其他电压等级设备不连接，不会造成干扰。具有体积小、重量轻，施工简便的优点。

缺点：只能将再生能转化成热能进行消耗，不能达到节能目的。由于该装置在工作状态下产生大量热能，所以对设备的安装位置有严格的要求，并且在车辆密集的线路会有

设备元件超温跳闸退出运行的情况。吸收电阻在运行过程中噪声大，所以实际安装位置都在距离住宅或公共场所较远的地区。

3.2 逆变型

优点：有效减少电能的浪费，可将一部分机车再生能加以利用，在节能环保的同时也有利于车辆平稳运行，目前在地铁建设中被广泛使用。发热量相对小，不会因过热导致设备退出运行，所以装置运行可靠性较高。因散热少，噪音低所以对环境的影响较小。低压回馈型单套约 210 万，中压回馈型单套约 340 万，价格适中，装置体积与重量适中。

缺点：结构比纯电阻型复杂。因低压回馈型受 AC400V 电网容量限制，所以需要设计吸收电阻配合使用，降低了再生能源利用率，造成能源浪费同时也带来电阻消耗型的缺点。根据实际计量电能数据，因负载与再生制动能量会产生瞬时不平衡（其反馈能量仅仅是被本站站内设备利用，因此回馈容量受限）造成再生制动电能流入城市电网，地铁内部无法通过回馈型装置完全利用再生能源。

3.3 储能型（电容型）

优点：系统可在直流供电区间内无车，电网空载的状态下自行充电，在车辆通过时进行释放，从而达到稳定电网电压的作用。再生能量直接在直流系统内转换，与其它设备无接口，对地铁供电系统其它部分不会产生电压波动和谐波注入的影响。不需要逆变、变压等能源转换设备，从而更好的减少能耗，节能效果更好。

缺点：受技术条件的约束，要设置体积庞大的电容器组才能满足地铁设备的运行要求，设备运行时电容需频繁处于充放电状态所以导致使用寿命短，造价高，而且电容器对环境要求比较高，后期维护比较困难。电容储能元件存在噪声和温升问题。

4 总结

根据以上设备的实际运行数据和理论分析，不难看出不同类型再生制动能量利用装置都有着各自不同的优势与特点如表 1 所示。

电阻耗能虽然在地铁部分线路使用多年，但因不符合节能环保的特点，应尽早进行更新换代。中压逆变回馈型，需要考虑对交流系统谐波和电压波动的影响。储能型要继续提高储能电容或飞轮的能力密度，在减小尺寸和整体重量同时还要增加容量，但因较好的满足了节能环保的要求，所以储能型是未来再生能量利用装置的发展方向。

表 1 优势与特点

	电能利用效率	牵引网稳压效果	对供电系统的影响	体积和重量	造价
电阻耗能型	低	良	无	较小	较低
逆变回馈型	适中	良	有	较小	适中
储能型	较高	良	无	较大	较高

5 建议

①不应只根据理论结果衡量再生能量利用装置的效率,应运用合理的方法进行实际检测和计算,结合线路坡度、弯道、客运量、行车密度、电网容量等因素,合理配置线路再生能量利用装置容量,提高节能效率。

②储能型再生能量利用装置,目前因储能元件能量密度较低,占用空间大成本较高的原因,所以地铁现只安装有三套电容型再生制动装置和一套飞轮型再生制动装置,建议保留现四套储能型再生制动装置的同时,增加飞轮型再生制动装置在地铁的测试,积累数据,为今后大规模应用打下良好基础。

综上所述,经过多年的实际应用,再生能耗制动装置解决了车辆在制动时,向电网反输电能造成网压过高,危害设备的问题。列车不再使用车载制动电阻,减小了列车的负载,同时也降低了牵引网的负荷,在降低负荷的同时还能

对再生能加以利用,从某种意义上讲再生制动系统的使用,不但降低了能耗也节约了能源。在国家大力倡导节能减排,打造节约型社会的今天,储能型及反馈型再生能耗系统更加适应时代的发展需求。为节约能源并减少车辆机械制动带来的环境污染,在未来地铁轨道交通的建设中,如果能合理的解决储能型系统自身存在的技术和成本问题,储能型及反馈型再生能耗系统在打造节约型地铁的征程中将会发挥重要作用。

参考文献

- [1] 许爱国.城市轨道交通再生制动能量利用技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2009.
- [2] 武利斌,谭永东,李洁等.超级电容器储能装置在城市轨道交通中的应用[J].科技信息,2010(30):421-422.
- [3] 冯晶晶.基于超级电容的再生制动能量吸收利用技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2010.