

# 城市轨道交通中压回馈型再生制动吸收装置的研究

王振国 唐文清 杨超华

(上海申通轨道交通研究咨询有限公司, 200070, 上海//第一作者, 助理工程师)

**摘要** 基于城市轨道交通中压回馈型再生制动吸收装置的工作原理,分析了其在建设和运营时期的应用价值,以及列车制动与中压回馈型再生制动吸收装置匹配性的验证方法。结果表明,中压回馈型再生制动吸收装置在开通运营前有必要进行其与列车制动的匹配性测试,且需在运营初期行车密度较小时尽早投入使用。

**关键词** 城市轨道交通;再生制动吸收装置;中压回馈型

**中图分类号** U270.35

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.02.015

## Medium-voltage Feedback Type Regenerative Braking Absorption Device in Urban Rail Transit

WANG Zhenguo, TANG Wenqing, YANG Chaohua

**Abstract** Based on the working principle of urban rail transit medium-voltage feedback type regenerative braking absorption device, the application value of it during construction and operation period, and the method of verifying compatibility between train braking and the device are analyzed. Results show that it is necessary to carry out the compatibility test before official operation, and the device should be put into use as soon as possible when the operation frequency is less at the initial stage.

**Key words** urban rail transit; regenerative braking absorption device; medium-voltage feedback type

**Author's address** Shanghai Shentong Rail Transit Research & Consultancy Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

城市轨道交通车站间距较短,列车频繁制动产生的能量若可以被有效吸收会产生良好的经济价值。再生制动吸收装置主要分为电阻耗能型、电容储能型、飞轮储能型和逆变回馈型4种。中压回馈型再生制动吸收装置以其节能效果良好、性能稳定的优势逐渐取代传统的电阻耗能型装置,近年来在多条城市轨道交通线路中得以推广和应用。但当列车制动时产生的电能不能被及时有效地吸收时,在造成能源浪费的同时亦会造成接触网网压升高,

这对供电设备以及列车运行非常不利。因此,在城市轨道交通线路开通运营前列车制动与中压回馈型再生制动吸收装置的匹配性测试就显得尤为重要。本文以采用DC 1 500 V 接触网的城市轨道交通线路为例,基于中压回馈型再生制动吸收装置的工作原理,分析研究了该装置的应用价值,以及列车制动与该装置匹配性的验证方法。

## 1 中压回馈型再生制动吸收装置工作原理

### 1.1 中压回馈型再生制动吸收装置的组成

中压回馈型再生制动吸收装置包含35 kV GIS(气体绝缘开关柜)、35 kV 能馈变压器、DC 1 500 V 再生逆变柜及再生制动吸收装置。中压回馈型再生制动吸收装置的电气组成见图1。

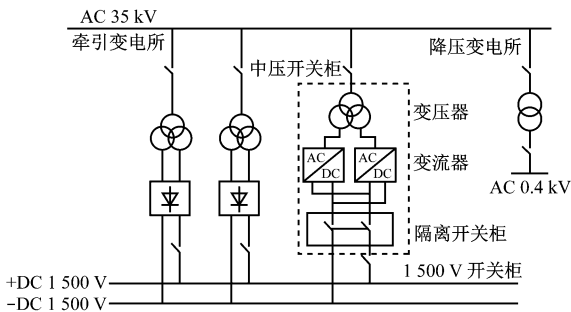


图1 中压回馈型再生制动吸收装置的电气组成

Fig. 1 Electric composition of medium-voltage feedback type regenerative braking absorption device

### 1.2 中压回馈型再生制动吸收装置的工作原理

当列车制动时,其动能转化为电能直接回馈至接触网,接触网网压升高,一部分能量被同供电臂的列车通过接触网吸收。当接触网网压达到再生制动吸收装置启动整定值(出厂启动整定值设计范围在1 600~1 950 V左右,实际投入的启动整定值一般在1 750 V左右,不同设备厂商会有差异)时,多余的能量通过接触网直流柜母排传向牵引变电所再生制动吸收装置,变流器自动启动进入逆变运行状态(此时整流机组停止工作),将直流电变为交

流电,通过能馈变压器回馈至 35 kV 中压环网母线,保持接触网网压正常。

当列车启动时,接触网网压降低,再生制动吸收装置停止逆变运行而转为整流状态,以保证接触网网压正常。

## 2 中压回馈型再生制动吸收装置应用价值

中压回馈型再生制动吸收装置产生的节能效益主要包括其在建设和运营时期产生的应用价值。

### 2.1 建设时期再生制动吸收装置产生的应用价值

建设时期中压回馈型再生制动吸收装置产生的应用价值主要表现在:采用中压回馈型再生制动吸收装置的线路,列车制动时不会产生大量的热量,因此对隧道通风系统的要求可适当降低。

### 2.2 运营时期再生制动吸收装置产生的应用价值

运营时期中压回馈型再生制动吸收装置产生的应用价值主要表现在:再生制动吸收装置吸收电量产生的直接价值。

据统计,某城市轨道交通线路(正线共 17 座车站,其中 10 座为牵引变电所)开通试运营一年,其中压回馈型再生制动吸收装置吸收的电量可达到 488 640.00 kWh。该线路月吸收电量见表 1。

表 1 某城市 2021 年轨道交通线路再生制动吸收装置吸收电量统计

Tab. 1 Statistics of the regenerative braking absorption device of an urban rail transit line in 2021

月份	月吸收电量/(kWh)	月份	月吸收电量/(kWh)
1	63 892.50	7	21 630.00
2	68 880.00	8	24 570.00
3	76 965.00	9	27 063.75
4	63 971.25	10	28 901.25
5	32 996.25	11	28 087.50
6	20 160.00	12	31 526.25

从表 1 可以看出,1 月—4 月中压回馈型再生制动吸收装置吸收的电量远高于 5 月—12 月,说明中压回馈型再生制动吸收装置在运营时期产生的收益与行车密度有较大关系。若要发挥中压回馈型再生制动吸收装置的最大回馈作用,需要在运营初期行车密度较小时尽早投入使用。

## 3 列车制动与中压回馈型再生制动吸收装置匹配性验证方法

### 3.1 验证标准

中压回馈型再生制动吸收装置主要依靠接触

网网压是否达到其设置的启动整定值来决定装置是否处于逆变运行状态。如果再生制动吸收装置设置的启动整定值过高,其变流器在列车制动时就无法及时启动,导致制动能量无法得到有效吸收,造成能源浪费的同时亦不能有效抑制网压的蹿升。如果网压超过列车 DCU(牵引控制单元)保护定值,则 DCU 保护启动,封锁列车逆变器脉冲。

因此,判断列车制动与中压回馈型再生制动吸收装置是否匹配的标准是列车在各种供电模式下运行时需满足以下条件:① 列车正常制动(电制动)不会造成变电所设备的保护跳闸;② 列车正常制动造成的接触网网压升高不足以影响正常运营。

列车与再生制动吸收装置的匹配性验证应以牵引供电系统设计原则为依据展开。列车制动时变电所再生吸收装置吸收的能量和列车的质量、列车制动前的运行速度,以及测试区间是否存在其他列车运行等有关。由于大部分城市轨道交通线路列车初期试运营时客流量较少,为使运营单位更好地了解设备情况,本项测试在极端工况状态下进行,即单列列车在 AW0(空载)工况、AW3(超员载荷,9 人/m<sup>2</sup>)工况、接触网单边供电模式、区间允许最高运行速度下进行验证。

### 3.2 测试步骤

#### 3.2.1 测试地点的选择

以正线上 2 个相邻的牵引变电所 A 和 B 作为测试区间,进行接触网单边供电模式下 AW0、AW3 时单列列车制动与再生吸收装置匹配性测试。

#### 3.2.2 测试仪器的安装

测试开展前需在牵引变电所 DC 1 500 V 再生逆变柜上安装示波器,以监测列车制动时回馈电流的变化情况。

#### 3.2.3 测试的开展

将测试区间的接触网调整为单边供电模式,测试列车到达指定位置(除测试列车外,测试区间不允许有其他列车)。

1) 变电所人员使示波器处于工作状态,观察并记录电流的实时变化曲线及变电所设备的状态。

2) 行调指挥列车由牵引站 A 向牵引站 B 开进,列车达到区间允许最高运行速度后正常制动,由司机记录列车制动时的速度、接触网最高网压,并记录列车是否产生故障及故障类型;由变电所测试人员记录列车制动时产生的电流波形以及变电所设备的运行状态。单边供电模式下列车行驶场

景如图2所示。

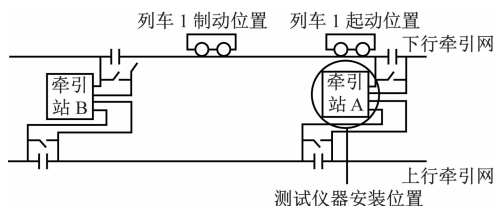


图2 接触网单边供电模式列车制动与再生制动吸收装置匹配性测试场景

Fig. 2 Compatibility test set-up of train braking and regenerative absorption device under catenary unilateral power supply mode

### 3.3 测试结果及分析

某城市轨道交通线路采用B型车,整流机组空载运行时接触网电压约为1 700 V,再生制动吸收装置启动整定值设定为1 750 V,封锁逆变器脉冲的电压值设定为2 000 V。

接触网单边供电模式下,AW0时单列列车制动与再生吸收装置匹配性测试数据如下:列车最高运行速度为79 km/h时,示波器在再生逆变柜测得的最大制动电流为1 116 A,列车制动时接触网最高网压为1 786 V。该模式下列车制动电流曲线见图3。

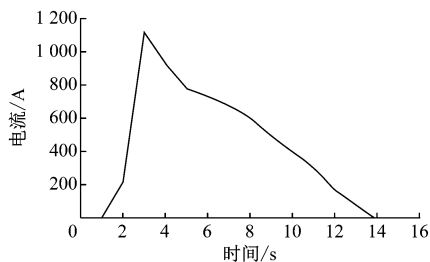


图3 接触网单边供电模式下单列列车制动电流变化曲线(AW0)

Fig. 3 Single train braking current variation curve (AW0) under catenary unilateral power supply mode

接触网单边供电模式下,AW3时单列列车制动与再生吸收装置匹配性测试数据如下:列车最高运行速度为79 km/h时,示波器在再生逆变柜测得的最大制动电流为2 957 A,列车制动时接触网最高网压为1 799 V。该模式下列车制动电流曲线见图4。

将单边供电模式下AW0、AW3工况时单列列车制动时的测试结果与设备的整定值进行对比,可以得知该极端工况下列车制动产生的电流远不足以使变电所设备产生保护动作,也未达到列车DCU

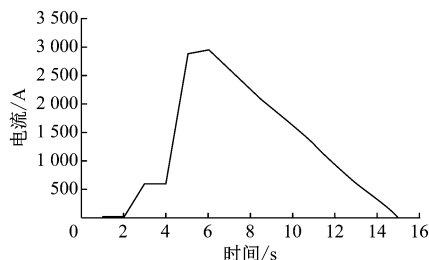


图4 接触网单边供电模式下单列列车制动电流变化曲线(AW3)

Fig. 4 Single train braking current variation curve (AW3) under catenary unilateral power supply mode

保护定值。因此,该城市轨道交通线路中压回馈型再生制动吸收装置可以满足运营需求。

如果因列车制动时产生接触网网压过高导致封锁列车逆变器脉冲的情况,可通过将再生制动吸收装置的定值(变流器启动的电压定值)调低,或通过适当降低接触网网压的方式来解决,然后再重新进行试验验证。需要注意的是,设置的变流器启动电压定值不得小于整流机组空载电压,目的是防止再生制动吸收装置与整流机组之间形成环流。

## 4 结语

城市轨道交通线路每日消耗的能量很大,在节能减排的必然趋势下,应不断完善技术产品,提高节能效率。中压回馈型再生制动吸收装置在开通运营前有必要进行其与列车制动的匹配性测试,且需在运营初期行车密度较小时尽早将该装置投入使用,这样可使列车制动能量更好地得到吸收,达到更好的节能效果。在城市轨道交通建设中,需从建设和运营两个阶段综合考虑是否使用中压回馈型再生制动吸收装置。

## 参考文献

- [1] 孙宏伟. 城市轨道交通回馈式再生能源吸收装置分析[J]. 价值工程, 2018, 37(13): 168.  
SUN Hongwei. Analysis of feedback-type renewable energy absorbing devices for urban rail transit[J]. Value Engineering, 2018, 37(13): 168.
- [2] 陈苏南, 李鹏. 再生制动能量吸收装置配置方案对比分析[J]. 中国新技术新产品, 2017(19): 78.  
CHEN Su'nan, LI Peng. Comparative analysis of configuration schemes of regenerative braking energy absorption device[J]. New Technology & New Products of China, 2017(19): 78.

(收稿日期:2022-09-16)