

浅谈再生制动能量回馈装置框架保护的配置应用

付 跃

北京市轨道交通运营管理有限公司, 中国·北京 100071

【摘 要】对中压逆变型地铁再生制动能量回馈装置并网方案进行了介绍。通过分析牵引供电系统既有框架保护配置, 提出了中压逆变型地铁再生制动能量回馈装置框架保护的独立配置方案, 对该方案下框架保护动作影响范围和框架保护与轨电位限值装置的配合进行了详细分析。

【关键词】再生制动; 逆变回馈; 框架保护

A Brief Discussion on the Configuration and Application of the Frame Protection of the Regenerative Braking Energy Feedback Device

Fu Yue

Beijing Rail Transit Operation and Management Co., Ltd., Beijing 100071, China

[Abstract] This paper introduces the grid connection scheme of the medium voltage inverter type subway regenerative braking energy feedback device. By analyzing the existing frame protection configuration of the traction power supply system, an independent configuration scheme of the frame protection of the medium-voltage inverter type subway regenerative braking energy feedback device is proposed. The cooperation is analyzed in detail.

[Key words] regenerative braking; inverter feedback; frame protection

从节能和抑制列车制动时引起的直流母线电压升高、辅助降低车轮磨损、改善列车运行环境等方面需求, 北京地铁自2008年之后新建线路均设置再生制动能量回馈装置。再生制动能量回馈装置主要分为电阻型、电容储能型、低压逆变型、中压逆变型及飞轮储能型等类型, 以上不同类型的装置在北京地铁先后应用。其中中压逆变型再生制动能量回馈装置由于节能效益好、性能稳定、价格适中, 最近两三年来在新线及在建线路均采用此类型的回馈装置。

逆变型再生制动能量回馈装置在应用中与牵引整流机组并联运行, 成为直流牵引供电系统的一部分。根据GB / T10411—2005《城市轨道交通直流牵引供电系统》标准要求, 需要考虑绝缘安装和框架保护配置问题, 目前尚无相关文献对逆变型再生制动能量回馈装置的框架保护配置问题开展研究。本文从直流牵引供电系统框架保护配置情况及回馈装置并网方案的特点入手, 对回馈装置的框架保护配置、联跳方案及与轨电位限值装置的配合问题进行了研究和分析。

1 中压逆变型回馈装置介绍

地铁制动分为空气制动和电制动两种方式。进行电制动时, 地铁车辆的动能通过VVVF变流器转化为电能反送到直流接触网上, 可以实现能量的再生利用。地铁再生制动时瞬时功率非常大, 空载荷载下, 列车以速度60km/h、减速度1m/s²进站制动时最大瞬时功率可达3MW, 回馈电能8.5kwh; 负载情况下瞬时功率和回馈电能更为可观。根据发车密度和区间距离的不同, 再生回馈能量的20%~80%可被线路上其它列车回馈利用^[1]。

为了最大程度实现制动能量的再生利用, 回馈装置大多采用10kV直接并网方式, 将直流形式的制动能量转换为交流电能, 再通过升压变压器和交流中压开关直接回馈到10kV母线, 供给整条线路再次利用。回馈装置的并网方案如图1所示。

整套回馈装置包括逆变器、1500V直流开关柜、负极隔离柜、升压变压器和中压交流开关柜, 如图2所示。其中逆变器、1500V直流开关柜和负极隔离柜属于直流牵引供电系统设备, 根

据GBT10411—2005《城市轨道交通直流牵引供电系统》标准规定, 需要进行绝缘安装和设置框架保护。

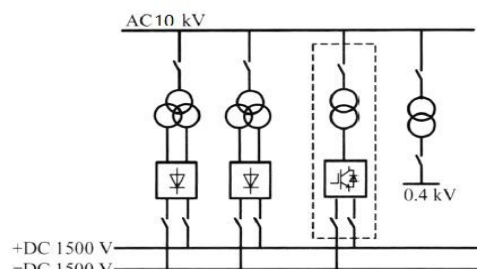
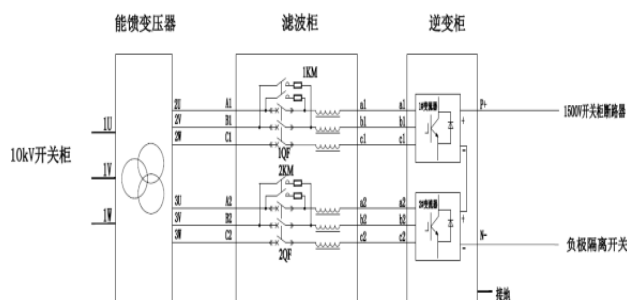


图1 回馈装置并网方案

2 牵引供电系统既有框架保护

北京地铁工程大多采用每个牵引变电所配置1套框架保护装置的形式, 整流柜、负极柜和所有的直流开关柜均绝缘安装, 框架通过电缆连接在一起, 然后通过分流器单点接地, 如图3所示。框架保护分为电流型框架保护和电压型框架保护。电流型框架保护检测框架对地电流, 电压型框架保护检测负极对地电压, 当直流设备发生正极对框架短路或者绝缘损坏时, 根据电流、电压检测结果发出相应的告警或者跳闸命令^[2]。



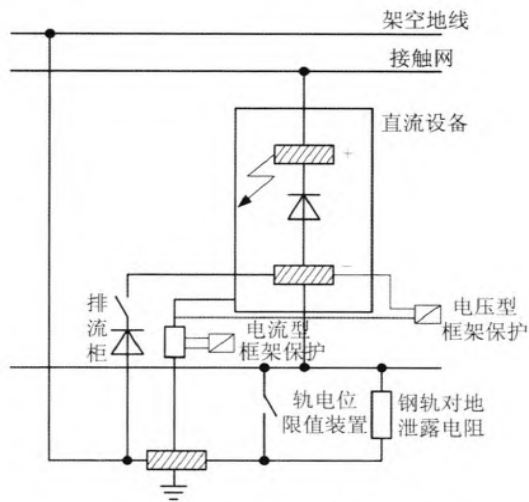


图3 牵引供电系统框架保护配置

牵引供电系统任一设备发生框架泄露时，本所的交流中压断路器及所有直流开关柜断开并闭锁，同时联跳邻所的直流馈线断路器，将造成故障所左右两个供电分区的上下行接触网同时断电。此时需要断开故障所的4个上网隔离开关，将故障所完全切除，闭合越区隔离开关和邻所直流馈线断路器，实现大双边供电。为了防止地铁运行时钢轨对地悬浮电位过高，危及设备和人身安全，在钢轨和大地之间安装了轨电位限制装置。该装置采用直流接触器和晶闸管元件，当钢轨对地电压过高时通过直流接触器或晶闸管将钢轨和大地短接，限制钢轨悬浮电压，保护设备和乘客的安全。通常轨电位限制装置的整定电压分为三级： $U > 90V$ 时，直流接触器延时800ms接通； $U > 120V$ 时直流接触器即时接通； $U > 600V$ 时晶闸管即时导通同时接触器闭锁。回馈装置框架保护设置由于框架保护影响范围大，保护动作后要联跳变电所的交流中压开关柜和1500V直流开关柜，造成接触网大面积断电，影响车辆的正常运行。同时考虑到回馈装置的主要作用是将实现制动能量再生利用、节能环保，发生故障时不能影响到牵引供电系统和车辆的正常运行，应将回馈装置框架保护的框架保护限制到最小范围。

3 回馈装置框架保护联跳方案

目前北京地铁10号线西钓鱼台和十里河变电站作为中压逆变型回馈装置试点站，将回馈装置的框架保护直接引入到供电系统既有框架保护内，保护动作后本所的交流中压开关柜和750V直流开关柜跳闸并闭锁，同时联跳邻所750V开关柜，造成接触网大面积断电，影响列车的正常运行；同时不利于迅速、准确确定故障位置，故障的检修和恢复时间长^[3]。

为了将回馈装置框架保护动作的影响限值到最小范围，建议回馈装置设置独立的框架保护，回馈逆变器配置1套框架保护，1500V直流开关柜和负极隔离柜与其它直流设备共用1套框架保护，如图4所示。

当回馈逆变器发生框架泄露时保护动作，立即封锁IGBT（绝缘栅双极晶体管）驱动脉冲，确保其安全关断，断开交直流开关，以及并联跳与回馈装置相连的AC10kV中压开关、DC750V开关柜、负极隔离柜，将回馈装置从牵引供电系统中撤除。该方案不影响本所其它全部设备的正常运行，不影响接触网供电，将故障范围限制到了最低。但是，地铁列车进站时必须以空气制动方式代替电制动，避免电制动的再生能量造成直流电压过高，损坏供电系统和地铁车辆设备。

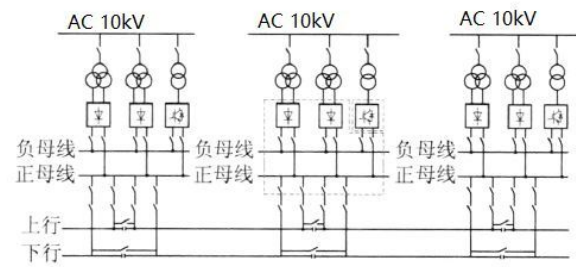


图4 回馈装置框架保护联跳方案

4 回馈装置框架保护配置方案

回馈装置的框架保护需要与供电系统既有保护配置保持一致，同时配置电流型和电压型框架保护。电流型框架保护对直流正极对框架绝缘损坏或者短路进行保护，发生框架泄漏后，泄漏电流将经由正极至框架至接地网~钢轨对地泄露电阻至负极形成电流通路，通过隔离变压器检测分流器两端电压可以测得泄漏电流的值，大于80A时，发出跳闸信号。电压型框架保护的動作值需要考虑与轨电位限制装置的配合情况进行设置。回馈装置的框架通过接地线接至回馈装置内部的接地排；分流器一端与接地排相接，另外一端与变电所的接地网相接；电压、电流隔离变压器分别检测回馈装置负母线与接地排、接地排与变电所接地网（即大地）的电压，控制系统根据检测结果发出告警或者跳闸信号。分流器选型需要考虑正极对框架短路时的冲击，建议短路电流选取为100kA。

电压框架保护与轨电位限值装置的配合轨电位限值装置和电压型框架保护都以负极对地的电压作为检测、判断的依据，但是两者的作用不同。轨电位限值装置的主要作用是限值钢轨对地的电压，避免对设备和人员造成人身伤害；电压型框架保护主要是直流框架泄漏时起到保护作用。实际应用中造成钢轨对地电压过高的原因可能是由于本所直流设备框架泄漏引起的抬升，还有可能是地铁列车加速、正极对架空地线短路或者相邻所框架泄漏导致。考虑到框架保护动作影响范围大，为了避免电压框架保护误动作，应将电压框架保护作为轨电位限值装置的后备保护使用^[4]。

同时，应该考虑到回馈装置的特殊工况，不能由于回馈装置框架泄漏或者框架保护误动作影响供电系统的正常工作，应优先保证轨电位限值装置动作，在轨电位限值装置仍然不能满足要求时，电压框架保护再发挥作用。因此电压框架保护的触发值应略大于轨电位限值装置动作值。建议电压框架保护框架对地电压 $\geq 95V$ 时延时1500ms发出报警信号， $\geq 120V$ 延时900ms发出跳闸信号。

5 结语

在既有牵引供电系统中增加逆变型再生制动能量回馈装置以后，回馈装置的安全、可靠直接关系到牵引供电系统和车辆的正常运行。本文在对回馈装置并网方式分析的基础上，提出了回馈装置设置独立框架保护的方案。该方案不影响接触网和地铁列车的正常运行，将框架保护动作的影响范围限制到了最小程度。

参考文献：

- [1] 曾建军, 林知明, 郭万岭. 地铁再生制动能量吸收装置. 电气化铁道. 2008 (6): 44-47.
- [2] 于松伟, 杨兴山等. 城市轨道交通供电系统设计原理与应用 [M]. 西南交通大学出版社, 2008: 10-215.
- [3] 杨俭, 李发扬, 宋瑞刚, 方宇. 城市轨道交通车辆制动能量回收技术现状及研究进展. 铁道学报. 2011 (02): 26-33.
- [4] 曾之煜, 陈衍, 敖娜娜. 逆变回馈型再生制动能量吸收装置系统的控制. 电气化铁道. 2011 (04): 31-33.