

[轨道交通]

超级电容再生能量吸收装置探讨

文/中铁华铁工程设计集团有限公司 王 昶

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能量吸收装置，提高地铁列车再生制动的有效利用，减少运行能耗，降低运营成本，减少大气污染。介绍了超级电容再生能量吸收装置工作原理、特点及现场实例分析，超级电容再生能量吸收装置是未来城市轨道交通的发展方向，具有良好经济效益和社会效益。

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能量吸收装置，提高地铁列车（简称列车）再生制动的有效利用，减少运行能耗，降低运营成本，减少大气污染，符合国家“绿色交通”的产业发展战略，因此，再生能量吸收装置是非常必要的。

再生能量吸收装置有电阻耗能型、逆变回馈型和超级电容储能型等方法。超级电容储能装置的变频调速系统可以实现将机械能转化为电能，即再生制动。列车制动时产生再生能量吸收到大容量电容中，在列车起动及加速需要从直流牵引网上获取电流时，该装置将电容中存储的能量放出去给列车进行再利用。超级电容储能装置工作原理如图1所示。如何解决超级电容储能装置的安全隐患，确保超级电容储能型安全运行，本文以北京地铁8号线四期工程超级电容系统为例来进行分析。

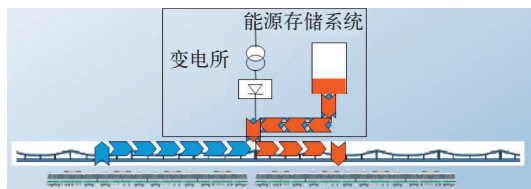


图1 超级电容储能装置工作原理

超级电容储能装置工作原理

1. 工作原理

列车进站制动时，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；当列车出站起动或加速时，牵引网电压下降，通过控制并接在直流侧的双向DC/DC变换器，对超级电容充电放电，能实现削峰平谷、平衡直流侧电压和能量回收再利用的作用。系统原理图如图2所示。

超级电容储能装置特点分析

DC 750 V超级电容储能系统应用于城市轨道交通直流牵引供电领域，主要有两大显著特点：节能作用和稳压作用。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。

1. 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；当列车出站起动或加速

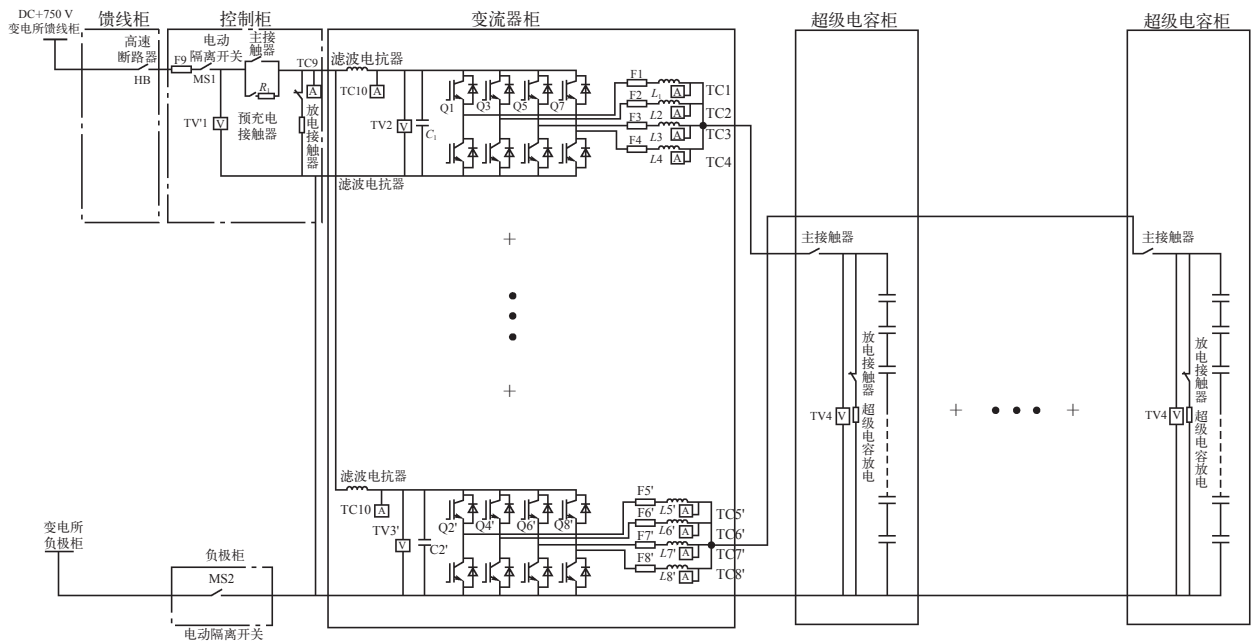


图2 系统原理图

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。系统工作流程如图3所示。

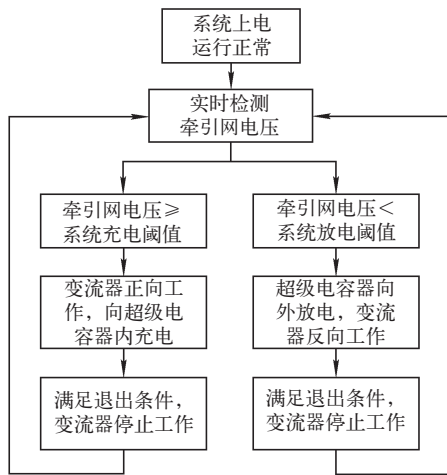


图3 系统工作流程

2. 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；牵引网电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。对稳定牵引网电压具有一定作用。

除上述两大主要特点之外，超级电容系统还具有自诊断和报警功能、故障自动保护、显示累计储能电量和故障查询记录等功能。

超级电容储能装置的分析

超级电容以其功率密度高、循环寿命长等优点，在轨道交通再生能量吸收储能装置得到了广泛应用。利用超级电容储能装置吸收剩余再生能量，可有效抑制直流母线电压升高。在列车加速时，超级电容向直流母线释放能量，不仅可有效利用再生能量，还可防止直流电压偏低，同时具备储能和稳压作用。

1. 剩余再生能量的基本容量配置

超级电容储能装置的初始容量配置主要依据剩余再生能量。控制主要目的是减少电压波动，同时还要限制充放电电流，避免过大电流损坏器件；另一方面要将电容控制在一个合理状态，既要提供一定功率输出，也要留有一定的吸收能量空间。

2. 评价体系的容量优化配置

超级电容配置优化目标是以尽可能少的经济成本实现最佳的节能稳压效果，实现对容量配置方案的量化参数评价。主要参数包括再生损失率、节能效率、经济效益和稳压效果等。

现场实例

以北京地铁8号线四期工程德茂、瀛海站为例。DC750 V超级电容储能系统（如图4所示）主要由馈线柜、控制柜、负载配电柜、变流器柜和超级电容柜组成。其中馈线柜主要由高速断路器和综合保护装置组成，在系统发生过电流和短路故障时切断变电所供电设备与储能设备之间的电气连接。控制柜内包含主接触器、隔离开关、预充电回路和系统的逻辑控制单元等，负责整套装置的逻辑动作、故障判断和电气隔离；变流器柜主要包括功率模块、斩波电抗器和滤波电抗器等，主要负责能量的双向流动。超级电容柜主要包括超级电容和能量管理系统，主要负责能量存储。

每台变流器柜和超级电容柜的额定功率为500 kW，1 MW系统主要由一台馈线柜、一台控制柜、一台负载配电柜、两台变流器柜和两台超级电容柜组成。

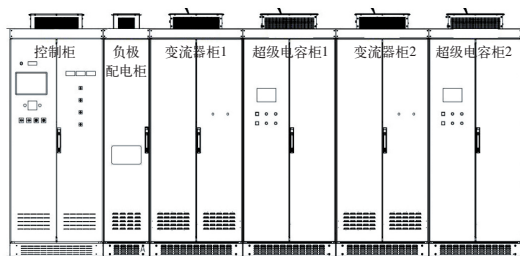


图4 超级电容储能系统组成图

电容柜组成。

1. 控制柜

控制柜由后门打开报警、电源指示灯、显示屏、电能表、系统故障/复位按钮、急停按钮、就地/远程转换开关、DS旋转开关、投入/退出旋转开关、后门报警切除转换开关、KM1分合指示灯、DS分合指示灯和KM4分合指示灯组成。

2. 变流器柜

变流器柜由故障指示灯和急停按钮组成。

3. 超容柜

超容柜由显示屏、故障指示灯、正常指示灯、KM3分合指示灯、开关机按钮、强制放电按钮和KM5分合指示灯组成。

4. 系统“投入/退出”操作

储能系统的操作分本地模式和远程模式两种，无论在何种模式下进行投入或退出操作，都需要首先确定所有柜子内的二次侧控制电开关处

于合闸上位，方可进行操作。

1) 本地模式系统投入：确定系统电源、控制面板、指示灯和测量仪表等工作正常，确认变电所直流进线柜断路器已合闸。

2) 系统切除（退出）。

3) 远程模式远程模式下操作，须预先将控制柜上的“就地/远程”手动旋转至“远程”位系统投入。

4) 系统切除。①远程发“退出”指令，并确认收到系统的退出状态，进行下一步；②远程分80馈线柜断路器，待PSCADA屏上显示80分闸后，进行下一步；③远程控制隔离开关正极隔刀86到分位，待PSCADA屏上显示正极隔刀86分闸后，进行下一步；④远程控制隔离开关负极隔刀到分位，待PSCADA屏上显示正极隔刀86分闸后，进行下一步。

设备放电说明：在“本地”“远程”模式下，设备退出后，如无检修或维护等任务，可不必对设备进行放电。如存在检修或维护任务，需要对储能装置柜内进行操作时，需提前确认在设备退出的情况下对设备进行放电，放电时按下两侧超级电容柜触摸屏上的“强制放电”按钮，待两个电容柜触摸屏上的“系统总线电压”显示为10 V以下后，再次按下“强制放电”按钮，停止放电，严禁在设备放电过程中，模组系统总线电压高于100 V时按下“强制放电”，停止放电。

5) 应急操作。当储能装置出现任何异响、打火、糊味和冒烟等非正常现象，或出现人员触电以及严重影响地铁运行等紧急状态时，可按下任意柜体的“紧急停止”按钮，停止系统运行。

结束语

通过以上的分析可以看出，超级电容再生能源吸收装置在地铁线路中发挥着重要作用，它的应用有利于地铁设备安全运行及节能降耗，因此对其进行相关研究具有重要的现实意义。

随着超级电容储能装置成本的下降及超级电容技术飞速提升与国产化，超级电能储能装置是未来城市轨道交通再生能源吸收应用领域的发展方向。EA

（收稿日期：2019.02.28）

（编辑：朱金凤）