



城市轨道交通站台门系统中隔离变压器应用研究

桂思平

沈阳地铁集团有限公司运营分公司，辽宁沈阳 110000

[摘要] 针对城市轨道交通站台门系统中交流供电模式中的隔离变压器在实际应用中存在的误动误跳、合闸困难、供电稳定性差等技术难题，结合城市轨道交通站台门系统对供电稳定性的特殊要求，对隔离变压器励磁涌流、空载合闸等特性深入理论分析研究，并结合现场测试数据，提出全新理念的安全、可靠、可行的解决方案，更好的满足城市轨道交通站台门系统的的要求，有实际的指导意义和可行性。

[关键词] 城市轨道交通；站台门系统；隔离变压器；励磁涌流；空载合闸

站台门系统作为一种安全、节能、美观的城市轨道交通车站设备设施，是安装于城市轨道交通沿线车站站台边缘，用以提升城市轨道交通运营安全系数，改善乘客候车环境，节约运营成本的一套机电一体化的机电设备系统。近些年，伴随着城市轨道交通的迅猛发展，站台门系统目前已经发展成为新建地铁系统中必不可少的系统之一，是城市轨道交通的主流配置，且为城市轨道交通中与乘客乘车密切相关的机电设备之一。

在交流供电模式的站台门系统中，隔离变压器作为供电设备，对站台门系统正常运行起着至关重要的作用。然而，在现有的站台门系统中，隔离变压器误动误跳、合闸困难、供电稳定性差普遍存在，且无根本解决方案，严重影响站台门系统的稳定、可靠运行，影响运营秩序。本文旨在从隔离变压器的性能特点、励磁涌流计算、理论研究、实测试验数据等方面，提出一种适合于城市轨道交通的站台门系统隔离变压器启动的解决方案，有实际的指导意义和可行性。

1 站台门系统中的隔离变压器应用中存在的问题

在站台门系统的低压电源中，隔离变压器的主要作用是使一、二次两个系统电气隔离，避免相互干扰，同时提供安全的维修电压。随着低压隔离变压器容量的不断增大，空载合闸励磁涌流的危害愈发严重，严重影响了大容量低压隔离变压器的应用。对于低压隔离变压器，空载合闸所产生的励磁涌流，其通常可以到达5-8倍的额定电流，在最不利的情况下励磁涌流可以达到数十倍。

如此大的励磁在城市轨道交通行业中众多的机电设备内部系统供电电源，尤其是站台门系统中存在大功率低压隔离变压器，在城市轨道交通的供电系统倒闸作业过程中，隔离变压器有一个掉电重合闸的过程，这一暂态过程使得隔离变压器一次测电流接近额定电流的20-30倍，对于一次测机电保护开关的选择造成很大的困扰如此大涌流的出现，势必会造成电网电压的不断波动，造成变压器的继电保护误动作，从而诱发操作过电压，进而给站台门系统稳定运行带来严重的安全隐患，造成的后果影响范围比较大的情况，供电电源切换过程中的机电类设备隔离变压器存在保护动作，不能平稳切换的状况急需改进措施，以便可靠的、安全的完成切换。

2 站台门系统中隔离变压器励磁涌流的目前解决方法的利弊分析

当变压器空载合闸或外部故障排除后电压恢复时，由于铁芯中的磁通不能突变，变压器的铁芯将严重饱和。此时在变压器线圈内将出现很大冲击电流，即励磁涌流。变压器励磁涌流的大小与变压器铁芯的饱和程度密切相关，铁芯越饱和涌流就越大。在低压电源中，大量使用低压隔离变压器，隔离变压器的主要作用是使一二次两个系统电气隔离，避免相互干扰。随着低压隔离变压器容量的不断增大，空载合闸励磁涌流的危害愈发严重，严重影响了大容量低压隔离变压器的应用。

过去对变压器励磁涌流的研究中，较多的是对励磁涌流进行识别，然后在通过一些识别原理和方法进行判定，但是随着研究的深入，开始采取一些技术策略去抑制励磁涌流，甚至可以完全消除励磁涌流的出现。

目前励磁涌流的抑制技术大概可分为两种：一种是在变压器的外部采取方法抑制励磁涌流，如串联合闸电阻法、内插电阻法、选相合闸法、变压器低压侧并联电容法；另外一种是在变压器内部通过采取方法抑制励磁涌流，如预充磁法、改变变压器绕组的分布。

下面简单介绍各种抑制变压器电磁涌流的方法的利弊：

(1) 串联合闸电阻法是在合闸时先将电阻串联到线路中来承受冲击电流，在冲击电流衰减到一定范围后再切除合闸电阻。中小容量的实际工程应用中通常采用串联合闸电阻或以之为基础的方法对变压器励磁涌流进行抑制，并且得到了较好的效果。当变压器空载合闸或外部故障切除时，将合闸电阻串联接入电路中，经过数个周期后，将合闸电阻从线路中切除。合闸电阻的串入增大了回路电阻，对涌流起到以下三个作用：

1) 减小了励磁涌流的稳态分量，进而抑制励磁涌流的峰值；

- 2) 加快了励磁涌流暂态分量的衰减速度，进而缩短了涌流尖峰的消失时间；
- 3) 因涌流的稳态分量在时取得最大值，而合闸电阻的串入减小了阻抗角，进而使得涌流峰值到来的时间提前。

(2) 预充磁法主要是通过改变合闸时变压器中铁芯磁通量来达到抑制励磁涌流目的。根据励磁涌流形成机理可知磁通滞后电压相位角 90 度，所以生电压达到最大值时合闸，磁通的瞬时值正好为零，直接进入了稳态。而当在电压值为零时合闸，会产生很多的瞬时磁通，出现较大的励磁涌流。预充磁法就是基于磁通和励磁涌流的这种关系，如果在合闸时在变压器的一次绕组进行预充磁，这样的就降低磁通的非周期分量幅值，这样就可以降低励磁涌流的大小了。这种方法确实从变压器内部出发，有效抑制了励磁涌流，但是这种方法在实际应用中存在不少问题，如充磁量的大小等。

(3) 内插电阻法是在三相变压器的中性点处联接一个接地电阻，以承受这种不平衡电流，从而使得变压器的励磁涌流得以衰减。这种方法作用类似于串联合闸法，但是这种只需要一个电阻即可。而单独使用这种方法后对励磁涌流的抑制效果并不是很好，在实际应用中通常和选相合闸法一起使用，这样也会降低对合闸时间的准确性要求。

(4) 主要是通过增加变压器合闸过程中自感来达到抑制励磁涌流的目的。在发生励磁涌流时，变压器铁芯达到饱和，磁导率会大幅度减少甚至接近真空磁导率，此时可以把变压器的一次绕组看成空心线圈。如果将一次绕组从内部移到外部，则一次绕组的截断面积将会增大，这就使得线圈中的电感也随之增大，这样励磁涌流就得到了抑制。这种方法需要改变变压器的结构，所以实际应用中难以得到广泛应用。

(5) 低压侧并联电容法通过抑制变压器磁通达到饱和从而抑制了励磁涌流。首先需要对变压器铁芯处于饱和状态时的励磁电感进行估算，通过得出的励磁电感大小来估算出用于涌流抑制的电容值，这样就相当于降低了变压器的感性阻抗，从而达到抑制励磁涌流的目的。这种方法的优点是可以任意时刻合闸时，都可以很有效的励磁涌流的幅值，但是缺点是并联电容的容值比较难选取。如果电容值选取偏大的话，将会降低由变压器与电容器组成系统的谐振频率，导致变压器难以被激磁；而如果电容值选取偏小的话，将无法达到削弱励磁涌流的效果。

3 站台门系统中隔离变压器的性能特点及励磁涌流理论计算

在投运隔离变压器时，其磁通变化可根据变压器的总磁通计算公式：

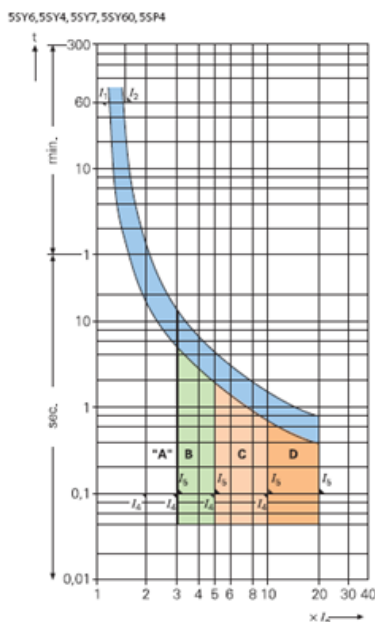
$$\Phi = \Phi_m [\cos\alpha_0 - \cos(\omega t + \alpha_0)]$$

说明变压器空载合闸时的磁通的变化与电压的相位角 α_0 有关，即当相位角不同时会引起变压器磁通的差异。当 $\alpha_0 = \pi/2$ 时，根据公式可以知道此时变压器已经建立起稳态磁通，变压器进入稳态运行，此时不会出现励磁涌流；当 $\alpha_0 = 0$ 时，根据公式可以知道，此时变压器不仅有稳态磁通，还存在暂态磁通，而且暂态磁通是随时间不同变化。由于变压器磁芯具有饱和磁化作用，因此变压器合闸瞬变过程中励磁涌流通常可以达到 5-8 倍的额定电流，在最不利的情况下励磁涌流可以达到数十倍。

4 适合于站台门系统隔离变压器启动的解决方案案例分析

结合站台门系统实际使用需求，为确保满足整个站台门系统运行可靠要求，避免出现隔离变压器误动，但又不增加新的故障点和隐患点的角度出发，参照沈阳地铁二号线，隔离变压器的解决方案如下：

1) 现针对沈阳地铁 2 号线的该类设备进线断路器及其上级短路器重新核算并调整其额定值。励磁涌流对变压器本身并无危险，因为这个冲击电流存在的时间很短，因此可通过理论计算，变压器合闸瞬变过程中励磁涌流通常可以达到 5-8 倍的额定电流，在最不利的情况下励磁涌流可以达到数十倍。因此适当加大断路器的整定值，同时根据断路器的脱扣曲线，如下图 1，但如果无限制的加大断路器的整定电流值，可能会造成断路器的部分保护功能缺失，危及设备安全。

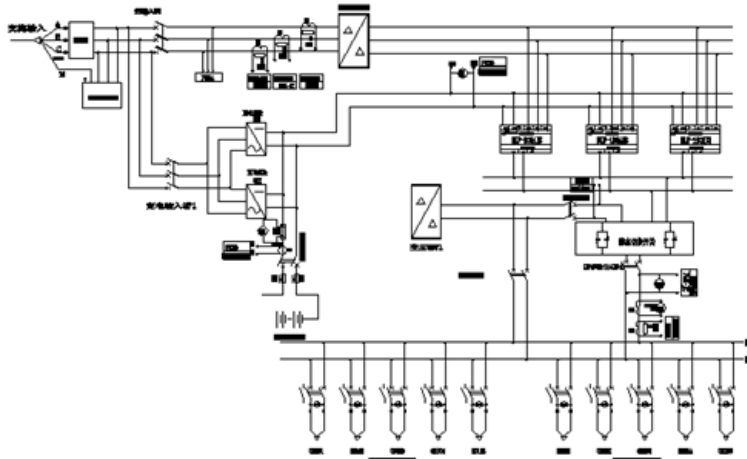


图一

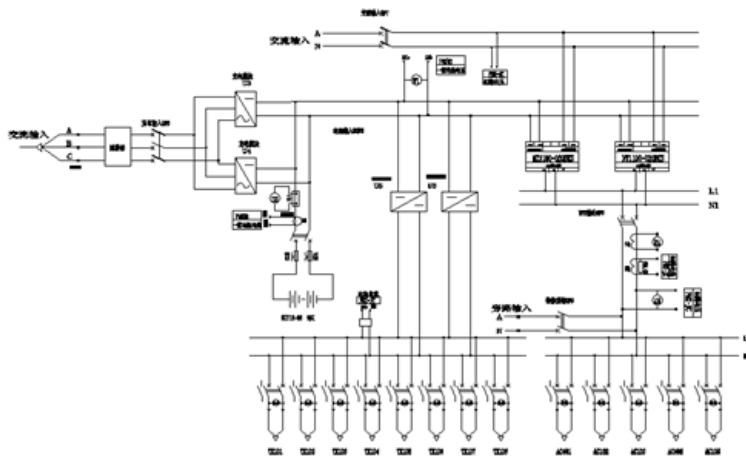
2) 对于站台门供电电源特点, 采取分级保护, 避开隔离变压器励磁涌流。为确保满足整个系统运行可靠, 避免出现类似的跳闸情况, 为了确保当出现进线断路器跳闸时站台门电源系统还能够正常运行, 而不会出现由于电池放空无法供电的情况, 对于输入电源采取双路供电原则, 同时将充电模块的交流取电单独引入, 从双切箱单独引出一路给充电模块用。

3) 双切箱内站台门回路断路器规格统一, 同时调整原有站台门电源系统进线断路器, 将充电模块供电回路取电位置调整为直接从双切箱取电, 变压器后部到 UPS 模块三相供电部分增加一级断路器保护。

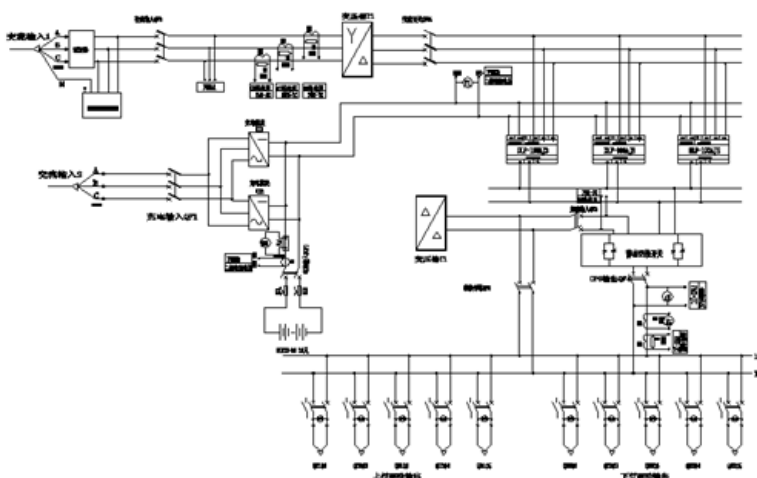
改造前后详细的站台门供电原理图对比如下:



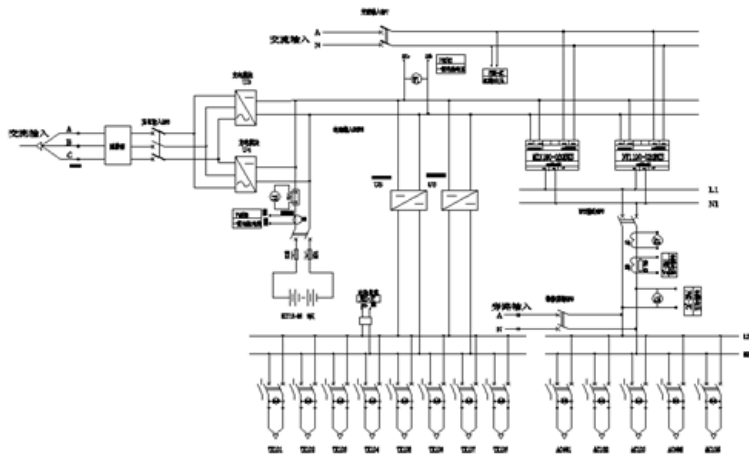
改造前驱动电源原理图



改造前控制电源原理图



改造后驱动电源原理图



改造后控制电源原理图

沈阳地铁 2 号线站台门 UPS 电源系统隔离变压器改造的具体实施方案如下：

- 1) 拆除原有双切箱内的断路器，更换新塑壳断路器。
- 2) 从双切箱单路引出一路三相电到屏蔽门电源柜，用于充电模块独立供电。在机柜内部变压器后端增加 UPS 模块交流供电断路器。

3) 进线断路器和充电断路器等重要位置断路器增加跳闸报警检测点，实时将数据上报。

通过上述改造后，确保了站台门系统 UPS 设备能够长期稳定可靠的运行，在地铁运营部门定期会对站台门电源系统进行输入供电的倒闸操作测试时，测试结果站台门电源均可正常切换供电，避免了站台门系统供电电源误动作造成的供电事故。

结束语

综上所述，由于城市轨道交通中站台门系统的特殊性，以及对供电稳定性的特殊要求，隔离变压器的启动解决方案，需保证不增加新的安全隐患的前提下，本文提出的新的隔离变压器启动的解决方案，完美解决了城市轨道交通的站台门系统中隔离变压器启动遇到的技术难题。

[参考文献]

- [1] GB50157-2013 地铁设计规范
- [2] CJ/T236-2006 城市轨道交通站台安全门
- [3] 蒋美珍、黄乐佳 浅谈轨道交通 UPS 中输入隔离变压器 《世界轨道交通》2017 年第 7 期
- [4] 徐凯 地铁信号系统电源开关选型分析 《铁道通信信号》2013 年第 8 期