

# Discussion on the Frame Insulation Installation Performance Improvement of Rail Transit DC Traction Power Supply System

Haifeng Mu

Chongqing Rail Transit Group, Chongqing, 401120, China

## Abstract

In order to improve the insulation level of DC equipment framework of rail transit traction power supply system, different technical framework protection solutions are proposed. By analyzing the insulation factors affecting the framework of DC system in the actual operation process and comparing the different technical characteristics, the optimal technical development direction of solving the insulation protection of DC system framework is pointed out.

## Keywords

insulation protection of DC switchgear frame; development direction; material application; installation structure improvement; performance improvement

# 轨道交通直流牵引供电系统框架绝缘安装性能提升探讨

穆海峰

重庆轨道交通集团, 中国·重庆 401120

## 摘要

为提高轨道交通牵引供电系统直流设备框架绝缘水平, 提出未来不同技术解决框架保护方案。通过分析实际运营过程中影响直流系统框架绝缘因素, 对比不同技术特点, 指出解决直流系统框架绝缘保护的最优技术发展方向。

## 关键词

直流开关设备框架绝缘保护; 发展方向; 材料应用; 安装结构改善; 性能提升

## 1 引言

城市轨道交通的牵引供电直流系统中, 直流系统设备采用不接地方式安装, 如直流 1500V 开关柜、整流机组正负级柜、再生制动设备柜等同设备基础是绝缘安装形式。同时, 为使直流系统工作可靠, 上述开关柜同变电所接地装置间设置了直流框架保护装置, 在实际应用中往往设置了电流型框架保护和电压型框架保护, 当直流设备开关发生电气故障, 出现漏电情况时, 相关的直流开关设备跳闸, 通过两种保护方式跳开相应直流开关设备, 以保护人身及设备安全。设备外壳框架绝缘安装利用绝缘材料将直流系统外壳框架与地面分离, 使其不再导通。直流设备绝缘安装的好坏, 直接决定了外壳框架保护的成败, 绝缘材料的选用、结构和安装方式是整个直流设备框架保护的关键, 如何提升直流系统绝缘安装的可靠性是以后轨道交通直流系统框架保持稳定

运行研究发展的重点。

## 2 直流系统框架绝缘保护原理

### 2.1 直流框架电流保护

直流框架电流保护是采用接在开关柜与变电所接地系统之间的电流继电器动作实现的。当直流开关设备发生对地故障出现泄漏电流, 并且泄漏电流大于继电器设定的启动定值时, 电流继电器动作, 跳开相应开关设备。原理如图 1 所示, 电流继电器采集接在直流开关的分流器的电流, 通过隔离放大器装置后, 判定启动条件, 再通过保护回路控制直流开关设备的分合。

### 2.2 直流框架电压保护

直流框架电压保护(原理如图 1 所示)是通过测量直流开关设备如整流器负极柜负极回路与设备外壳之间的电压, 当电压监测装置测量到其电压值大于保护单元设定的定值时, 保护单元视为直流开关设备外壳带电, 电气回路有漏电发生, 通过电压继电器动作, 跳开整流机组及相应直流开关设备, 进而设备和人身的安全。

【作者简介】穆海峰(1981-), 男, 中国山西大同人, 本科, 高级工程师, 从事供电系统专业技术研究。

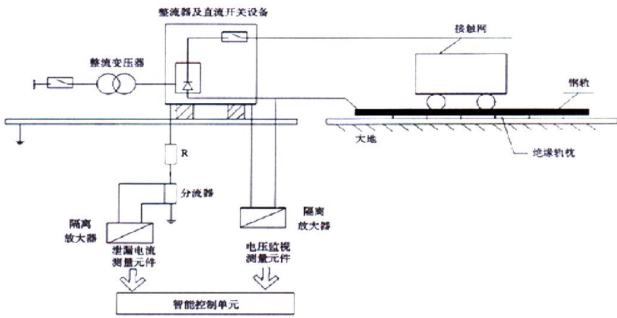


图1 框架绝缘保护原理图

### 3 框架绝缘下降带来的危害

轨道交通直流开关设备框架是采用绝缘安装，在实际运行中，由于绝缘安装电阻降低，会出现漏电现象，导致直流系统框架与地面之间发生电流流动，危及乘客和工作人员的安全。具体而言，该问题可能引起以下后果：

- ①电击事故：当乘客和工作人员接触到漏电的直流系统框架时，可能会引起电击事故，对人身安全造成威胁。
- ②设备故障：直流系统框架与地面之间的漏电也可能对设备造成损坏，增加设备的维护成本。
- ③停车事故：由于绝缘安装电阻低，导致直流系统框架与地面之间的泄漏电流增加，引起变电所直流开关跳闸，轻者本站变电所直流系统退出运行，重则引起其他变电所跳闸，进而引起轨道交通系统停车事故。

### 4 轨道交通直流系统框架绝缘性能现状及存在问题

现有轨道交通直流开关设备绝缘安装是采用一定厚度的绝缘板，如聚酯玻璃纤维模塑料板材，铺设在设备外壳与设备基础槽钢之间，通过自攻螺栓和绝缘垫片固定在设备基础之上，如图2所示（重庆地铁十号线直流开关柜）。



图2 现有直流系统柜体绝缘安装图

原有绝缘安装方式在实际建设、运营初期，直流开关设备框架绝缘水平能达到标准规范要求，一般绝缘阻值为2M欧以上。但随着时间推移，绝缘性能会逐渐降低，甚至

出现直接接地现象，如重庆地铁六号线、十号线在建设期间直流系统设备安装就位后，测得框架绝缘合格，在运营接管试运行期间部分站变电所直流系统框架绝缘大幅下降，甚至引起框架保护动作，引起变电所直流设备跳闸退出运行等事故。经过工作人员深入排查，共发现以下原因引起直流系统框架绝缘下降：

- ①直流设备柜体与基础槽钢的电气间隙在绝缘板搭接处电气间隙小，一般设备柜体安装稳定后电气间隙约5~10mm，在设备运行期间因车站活塞风效应及现场施工导致灰尘杂质不断堆积，在湿度高的条件或者变电所地面有积水条件下，逐渐造成柜体与槽钢间绝缘电阻下降，影响柜体的框架保护动作，造成框架保护不可靠性增加。
- ②柜体固定用绝缘套壁厚约3mm，在柜体螺栓安装固定过程中，发现部分车站变电所绝缘套破裂，破裂后未及时发现，造成柜体与槽钢间绝缘性能下降，造成框架保护不可靠性增加。
- ③聚酯玻璃纤维绝缘板平放在安装槽钢上，没有可靠的固定措施，在建设过程中，柜体安装时同绝缘板配合对位不准确，造成部分设备框架外壳接近基础槽钢，在灰尘及水汽影响下造成框架绝缘电阻降低。

在处置直流开关设备绝缘下降问题过程中，无论建设过程中还是运营过程中，都需要花费大量的作业时间点和投入大量技术人员去处理，如通过采用提吊既有直流设备、清洁设备底部及基础槽钢灰尘、烘烤绝缘板等方式解决。直流开关设备框架绝缘性能降低是实际建设生产和运营生产面临的最常见问题，如何解决因绝缘水平下降影响直流开关设备安全运行问题，值得广大技术人员去深入研究探讨。

追踪绝缘下降故障频繁原因进行如下分析：

- ①安装及运行环境因素，在变电所受电前期，虽然开关设备已安装到位，但车站及变电所周围机电设备、装饰装修工程较滞后于系统设备，尤其是装饰装修施工带来大量灰尘粉尘、施工垃圾等，车站整体通风排水未系统形成，变电所区域温度高、湿度大，使得变电所直流开关设备运行环境差。即使进入运营阶段，也会有积灰、积水等现象，使得直流开关设备绝缘板周边，出现各种污垢，影响框架绝缘性能，绝缘水平下降。
- ②绝缘体安装本身因素，现有绝缘安装方式采用一定厚度的绝缘板放置设备与基础之间，考虑到设备安装的稳固性，绝缘板一般在5mm左右，厚度较薄，绝缘距离较小。同时采用自攻螺栓同绝缘垫片结合安装，易出现绝缘垫片损坏现象，都会变相影响开关设备框架绝缘性能。

### 5 解决轨道交通直流系统框架绝缘性能技术方向

目前，随着轨道交通系统的不断发展和进步，对直流系统框架绝缘安装的要求也越来越高。为了解决直流系统框

架绝缘安装存在的问题，目前有许多新的技术被应用于轨道交通系统中解决方法包括采用新型绝缘材料、智能化实时监测技术、改进绝缘结构、材料同绝缘结构结合等。

### 5.1 采用新型材料提高绝缘体性能

采用新型绝缘材料是目前最为常见的解决方案之一，新型绝缘材料具有绝缘性能好、使用寿命长、阻燃性能好等优点，可以有效提高直流系统框架的绝缘性能。比如采用纳米材料技术、高分子材料技术、陶瓷材料技术等。这些材料有着表面积大、导电性能好、绝缘性能好多种性能，可以有效提高直流系统框架的绝缘性能，降低漏电率。

### 5.2 智能化实时监测技术

轨道交通变电所直流开关设备在正常运行工况下，设备外壳框架的泄漏电流很小，为了实现设备框架保护，需采集泄漏电流。现有的采集测量电流的方式一般采用磁调制电流传感器进行探测和采用霍尔电流传感器进行探测。现有框架保护模式实行泄漏故障中数据录波记录，故障后跳闸报警显示，属于被动保护。正常运行工况下，采集的泄漏电流数据不会实时上传监测，无法做到提前预警，提前处置的效果。

为了更准确和精确地实现直流开关设备框架保护，我们提出智能化监控理念，采用上述两种技术实施框架泄漏电流在线数据精确采集及监测，通过宽量程的模拟量采集，经过保护测控单元处理，实时上传到电力监控后台，在电力监控后台经过数据图文处理，实时上传到智能运维云平台，实现从原有专业故障后监视处理到运行全过程监测预警管理升级<sup>[1-4]</sup>。

直流设备框架绝缘智能监测设计原理见图3。

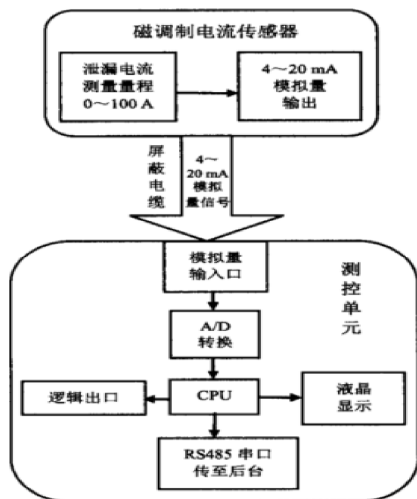


图3 直流设备框架绝缘智能监测设计原理

### 5.3 绝缘材料、改进结构技术

改变框架绝缘材料以及改进绝缘结构也是一种新的解决方案，通过对绝缘结构的优化设计和改进，可以有效提高直流系统框架的绝缘性能，降低漏电率，增加系统的稳定性和可靠性。

为提高直流系统框架绝缘的稳定性，考虑从以下方面进行提出改进：

- ①选用防水性能优良、耐污强材料。
- ②改进安装结构，加大绝缘距离，提升污物侵入性能。
- ③改善绝缘安装组件的紧固方式。

#### 5.3.1 选用新型绝缘件

目前多个城市轨道交通探索实施新的框架绝缘安装技术，如重庆地铁新线建设过程直流开关设备尝试采用阻燃性强、吸水性小的厚热固性树脂压板代替原采用的聚酯玻璃纤维绝缘板，作为设备底部与设备基础槽钢之间的绝缘件，新型绝缘件采用50mm左右厚度板材，绝缘距离大，称重性能强，不易变形，绝缘板之间通过错缝和定位孔方式搭接。

#### 5.3.2 采用安装绝缘子固定设备及基础

设备固定与基础槽钢之间的绝缘隔离采用高强度绝缘子（玻璃纤维陶瓷复合材料）连接安装。绝缘子嵌入在绝缘件中，通过金属螺栓固定在基础槽钢上。采用上述安装方式，绝缘子绝缘于设备和基础之间，一方面解决了设备同绝缘件固定的问题，同时也避免了设备固定螺栓同基础槽钢误搭接连接的可能性<sup>[5-6]</sup>。

改进安装结构的框架绝缘示意图4。

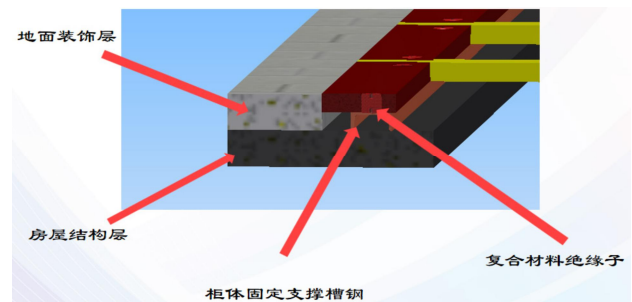


图4 改进安装结构的框架绝缘示意图

改进安装结构的框架绝缘现场安装图见图5。



图5 改进安装结构的框架绝缘现场安装图

通过以上改进，一方面采用新型复合绝缘件，由于其抗污染、防水的特点，提升了绝缘件本身绝缘水平，减少了因环境因素如粉尘、水垢物影响对绝缘性能的干扰；另一方面，解决了原有的设备固定安装方式（绝缘垫片易损坏）造成的螺栓同基础槽钢的接触，引起框架绝缘性能的下降甚至

失效。在实际观察使用中,建设期直流开关设备框架绝缘实测达到 100M 以上,在车站运营半年后,绝缘性能实测基本无变化。新型材料使用及安装结构的改善,增强了绝缘性能,减少了绝缘损坏的概率,减少了运营生产维护的频次。

综上所述,提高轨道交通直流框架绝缘能力有很多发展方向,论文通过当前直流框架绝缘能力存在的问题,从影响因素出发,阐述不同技术方向解决直流系统框架绝缘问题。目前,从建设投资到施工安装再到运营维护的经济、实用、可维护性角度看,采用新型材料及新型安装方式的技术是最优的发展方向。当然随着轨道交通装备技术的发展,会有更优更成熟的技术方案解决直流框架绝缘保护问题。

## 参考文献

- [1] 唐学林.地铁直流牵引供电系统框架泄漏保护的引入和运用[J].科技风,2010(4):270-271.
- [2] 赵勤,左均超,蔡登明,等.直流1500V牵引供电系统框架保护特性叨[J].城市轨道交通研究,2007,10(11):58-61.
- [3] 于松伟.城市轨道交通供电系统设计原理与应用[M].成都:西南交通大学出版社,2008.
- [4] 王术合.变电所综合自动化系统监测方案论证[J].铁道工程学报,2003,20(4):111-115.
- [5] GB/T10411-2005 城市轨道交通直流牵引供电系统[S].
- [6] 赵够平.地铁牵引供电框架保护及功能性改造[J].都市轨道交通,2007,20(6):76-78.