

动车组高压线缆屏蔽层接地分析

姜艳辉¹ 徐亚昆² 姜旭东¹

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心, 130062, 长春;

2. 中车永济电机有限公司, 710016, 西安//第一作者, 高级工程师)

摘要 高压屏蔽电缆在动车组电气系统的运行过程中会产生感应电压, 需要通过屏蔽层的合理接地来保证车辆运用安全和减少线缆对外电磁辐射。介绍了动车组的接地系统, 以变压器次边绕组电缆为例, 从屏蔽层感应电压的产生机理出发, 分析了高压线缆屏蔽层单端接地的原理, 提出了线缆屏蔽层的接地结构, 并通过试验对比了屏蔽层在可靠接地和接地不良条件下的感应电压值, 验证了接地结构的可靠性。

关键词 动车组; 高压线缆; 屏蔽层

中图分类号 U264.7⁺4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.02.019

Analysis of Shielding Layer Grounding of EMU High-voltage Cables

JIANG Yanhui, XU Yakun, JIANG Xudong

Abstract High-voltage shielded cables generate induced voltage during EMU electrical system operation. The shielding layer needs to be properly grounded to ensure vehicle safety and reduce external electromagnetic radiation from cables. Taking the transformer secondary winding cable as an example, the EMU grounding system is introduced. Starting from the mechanism of induced voltage on the shielding layer, the principle of single-ended grounding of high-voltage cables shielding layer is analyzed, and the grounding structure of the cable shielding layer is proposed. Induced voltage value of the shielding layer under reliable grounding and poor grounding conditions is compared through experiments, which verifies the reliability of the grounding structure.

Key words EMU; high-voltage cables; shielding layer

First-author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

动车组智能化的发展, 使得电气系统更加复杂, 这对电气系统的电磁兼容性能和安全性能提出了更高的要求。带屏蔽层的高压电缆和控制电缆大量运用在动车组上, 因此, 线缆屏蔽层接地结构的设计直接影响了动车组电气系统的稳定和

安全。

1 动车组接地系统

动车组的接地系统按照功能划分为运行接地和保护接地两种形式。其中, 运行接地设置在牵引变压器所在的车轴, 用于形成高压接地回路; 保护接地用于车体接地, 可以实现电气设备外壳、电缆屏蔽线等的可靠接地。在保护接地系统中, 往往需要串联一个接地电阻, 以抑制车体的电流回路。

运行接地用于动车组高压电路形成回路, 接触网、受电弓、牵引变压器及接地装置连接至铁轨, 形成高压回路。其中, 接地装置通过碳刷与动车轴连接, 实现可靠接地; 运行接地的接地点往往与牵引变压器布置的位置相关, 且运行接地的可靠性影响着雷电及操作过电压的泻放路径。

保护接地主要用于动车组装备的电气设备的外壳接地和带屏蔽层线缆的屏蔽接地。一方面为电气设备提供参考地, 一方面将电气设备外壳和电缆屏蔽层可能存在的感应电通过接地电阻最终导入钢轨, 避免因设备带电破坏绝缘继而影响设备和乘客安全的危险。保护接地的可靠性, 直接影响设备的电磁兼容性能和设备安全运行状态。

2 牵引变压器高压线缆接地

2.1 屏蔽电缆简介

动车组牵引系统选用的高压线缆一般至少包含4层结构, 从线缆的中心向外分别为线芯导体、绝缘层、屏蔽网层和橡胶保护层。线芯导体是电力电缆用于导电的部分, 根据不同的用途和电流的大小进行选取; 牵引导电电缆的绝缘层一般为硬质材料, 保证线芯和屏蔽层之间的电气绝缘, 实现电气隔离; 屏蔽层由单层金属丝编制网构成, 通过可靠接地可以抑制对外电磁干扰和实现电气保护功能, 提高设备的电磁兼容性能, 保证设备安全运行; 最

外层保护层为阻燃材料,用于保护电缆,同时起到电气绝缘的作用。

2.2 线缆屏蔽层感应电缆产生机理

动车组在运行过程中,由于高压电缆中的交变电流会产生向外的电磁场辐射,辐射场会通过耦合的方式影响到周围弱电设备的工作。为避免动车组运行过程中电缆中电流产生的电磁场对外部的辐射骚扰,以及电缆附近的辐射场耦合到电缆中,动车组多采用金属网屏屏蔽层包裹的单芯电缆,并将屏蔽层可靠接地。电缆屏蔽层的接地是通过车体接地系统实现,具体方式为电缆的屏蔽层在线缆的单端或双端通过车体接地点与车体可靠连接,车体最终通过安装在车轴上的接地电阻实现接地。

牵引系统电缆屏蔽层往往会存在感应电势,感应电势产生的机理一方面是正常工况下电缆中交流电荷在金属屏蔽层中感应产生的电势,另一方面是由于操作过电压、工频过电压等内部过电压感应的电势。在屏蔽层可靠接地的情况下,由于屏蔽层与参考地等电势,感应电压非常小。如果存在电缆屏蔽层接地不良的情况,电缆屏蔽层中的单端感应电势会很高甚至破坏电缆绝缘。因此,从安全的角度,需要保证电缆的金属屏蔽层与车体接地系统可靠连接,保证屏蔽层与车体等电压,避免高压电缆中的电压危及车内人员的人身安全。

2.3 屏蔽电缆单端接地的基本原理

以牵引变压器次边绕组的高压线缆为例,线缆从变压器输出后,通过分压箱,每一路电缆分为两根相同规格的电缆后进入牵引变流器,在牵引变流器内部通过铜排进行汇流短接。牵引变压器次边绕组的线缆走线路径相同,平行走线后进入牵引变流器。对同一次边绕组的两根线缆电路建模,如图1所示。其中, L_1 为牵引变压器次边绕组同名端引出线缆,即牵引变流器输入正极; L_2 为牵引变压器次边绕组异名端引出电缆,即牵引变流器输入负极。 R 代表电阻; D 代表两根线缆的间距; U 代表由电磁场 ϕ 引起的电缆的感应电势差; i 代表线缆双端接地时,由感应电势差引起的接地电流; I_{L_1} 代表通过线缆 L_1 的电流。

根据电流的磁效应相关理论,当带电导体 L_1 通过 I_{L_1} 时,通过的电流将在导体的周围产生一定大小的电磁场 ϕ 。带电导体 L_1 附近若有其他带电导体 L_2 时,根据电磁感应原理,带电导体 L_1 产生的变

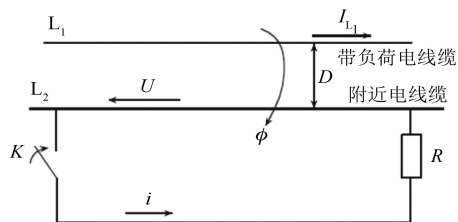


图1 电磁感应原理示意图

化电磁场对带电导体 L_1 的感应电压 U 为:

$$U = I_{L1} \omega M_n \lambda I_n \quad (1)$$

式中:

I_{L1} ——带电导体通过的电流;

λ ——屏蔽系数;

M_n ——平行导体互感系数;

ω ——交流电的角频率;

I_n ——导体平行长度。

由式(1)可知, U 的大小与 I_{L1} 、 ω 、 I_n 等成正比例关系^[1]。

3 电缆屏蔽层感应电测量试验

3.1 线缆屏蔽层接地结构

本文以连接牵引变压器次边绕组和牵引变流器的高压线缆为例,线缆在进入牵引变流器的位置,通过变流器箱体上接地不锈钢板与压接屏蔽层的格兰头充分接触实现接地,如图2和图3所示。



a) 与屏蔽层压接



b) 与电气设备箱体连接

图2 线缆屏蔽层压接处理

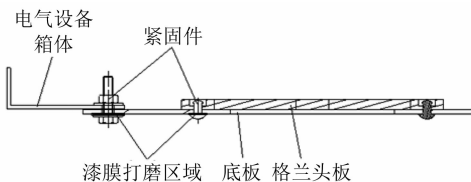


图3 牵引变流器输入线缆接地结构

牵引变压器次边绕组电缆采用单点接地的方式,接地位置为线缆格兰头与牵引变流器箱体接触部分。牵引变流器箱体一般在4个角处分别设计有接地点位,通过接地电缆连接车体,通过车体接地实现变流器箱体的接地。

在变流器启动运行后,连接变压器和牵引变流器的电缆中通过的电流,会在电缆中的屏蔽层感应出电压,屏蔽层均连接到车体,并以车体电压为参考地。若电缆为多点接地,不同的接地点处若存在车体电压偏差,车体和电缆屏蔽层则会构成一个回路,同时车体和电缆屏蔽层构成局部环流,回路中的电流会引起电缆温度的升高,影响电缆的绝缘性能,也会导致车体回路路径中的机械设备的电腐蚀,对行车安全构成潜在危害。因此,变压器次边至牵引变流器的电缆,通常选择单端接地的方式^[2]。

3.2 电缆屏蔽层感应电压试验测量

以某型号动车组为例,对高压线缆在正常接地和接地不良条件下线缆屏蔽层的电压进行了测量和对比。

电缆屏蔽层在充分接地的条件下,通过测量得到其感应电压的峰-峰值为 0.8 V,如图 4 所示。测量位置为变压器次边绕组电缆屏蔽层与牵引变流器接地位置。

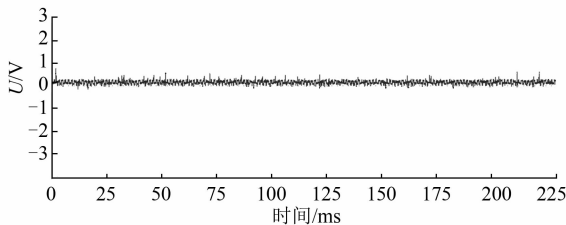


图4 电缆屏蔽层接地后屏蔽层的感应电压变化图

脱开牵引变流器输入电缆压接屏蔽层的格兰头,升弓合主断,启动牵引变流器,测量牵引变流器输入(及变压器次边绕组)电缆屏蔽层感应电压,如图5所示。由图5可知,电缆屏蔽层感应电压的峰-峰值大于 130 V。

在试验中,发现在屏蔽层累积电荷的情况下,

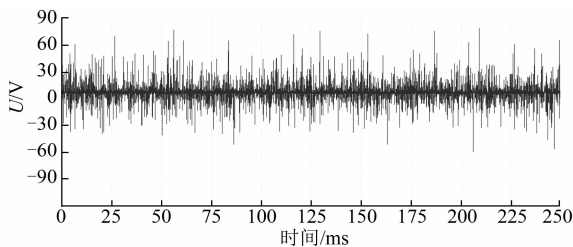


图5 脱开电缆后屏蔽层的感应电压变化图

遇到绝缘薄弱的环节,就会出现绝缘击穿,即表现为击穿空气放电的现象,经长期积累会对绝缘造成进一步伤害,严重影响线缆安全。且屏蔽层在接地不良的情况下,无法起到电磁屏蔽的作用。在动车组运行过程中,该电缆也会通过电磁辐射的方式影响线路附近的低压电气设备的正常工作。

经长期对电气系统运行进行观察,在电缆屏蔽层接地不良的情况下,牵引系统和整车系统无法检测到该故障。由此可判断,实际屏蔽层接地不良对牵引系统的正常运行无影响,但是在长期运行过程中,会导致绝缘损坏。

4 结语

为提高电气系统的电磁兼容性能,动车组的高压线缆必须采用屏蔽线缆。动车组工作时,线缆中的交变电流会导致线缆屏蔽层出现感应电压。为保证整车电气系统的电磁兼容性能和动车组设备安全运行,屏蔽层必须可靠接地。

参考文献

- [1] 刘广军. 高速铁路电力贯通线单芯电缆金属护套感应电压产生机理的研究[J]. 电气传动自动化, 2019(4): 22.
- [2] 闵建军, 杨德勇. 机车电缆屏蔽层接地分析与仿真[J]. 大功率变流技术, 2015(1): 39.

(收稿日期: 2020-09-05)

上海轨道交通 15 号线正式通车运营

1月23日,历经4年建设,国内首条一次性开通公里数最长、全自动驾驶等级最高的城市轨道交通线路——上海轨道交通15号线正式通车运营。15号线起自上海西南部的紫竹高新区站,止于西北部的顾村公园站,长达42 km;沿线经过5个行政区,连通了9所高校、4座公园和3个国家级科创园区,串联了上海铁路西站、南站枢纽,对完善上海综合交通枢纽交通配套具有重要作用。15号线采用地下线敷设方式,设地下车站30座,其中换乘站13座。专家认为,15号线自主研发的通信网络系统,帮助中国城市轨道交通协会完善了LTE-M(城市轨道交通车地综合通信系统)的标准。15号线工程沿线多次穿越大量管线、高铁咽喉区、敏感建筑物,设计建造采用了多项新技术。此外BIM(建筑信息模型)技术从初步设计阶段介入,建立了车站、区间、车辆基地、主变各工程的BIM竣工模型,最终形成以竣工BIM模型为中心的工程数字资产库,为今后基于BIM的运维管理奠定数据基础。

(摘自2021年1月23日《科技日报》,记者 矫阳报道)