

地铁主控系统防雷接地研究

赵 静,何正友,钱清泉

(西南交通大学 电气工程学院,四川 成都 610031)

摘要: 地铁主控系统的防雷接地保护能保证地铁主控系统的正常工作及地铁的稳定、高效及安全运营。在介绍地铁主控系统的基础上,针对实际系统中较典型的主控设备,给出了防雷的注意事项及建议,包括系统电源部分防雷、系统信号部分防雷和防止地电位反击;给出了接地防护的建议,包括工作接地及安全接地措施。建立了 Matlab 仿真模型,对雷电流击中建筑物的避雷系统时,电流在各线路与接地装置中的分配情况进行了仿真实验,并得出了引入无屏蔽电缆越长,对雷电流泄流越有利的结论。

关键词: 地铁; 主控系统; 防雷; 接地

中图分类号: TM 86

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)01-0104-04

1 地铁主控系统简介

地铁主控系统^[1]是指将各子系统集成为一个总的轨道交通综合控制、管理、调度系统。根据文献[1],其可以集成的子系统主要包括:变电所自动化系统(PSCADA)、火灾报警系统(FAS)、机电设备监控系统(EMCS)、屏蔽门系统(PSD)、防淹门系统(FG)、广播系统(PA)、闭路电视系统(CCTV)、车载信息系统(TIS)、车站信息系统(SIS)、自动售检票系统(AFC)、信号系统(SIG)和时钟系统(CLK)等。

主控系统因为是在地理上分散的数据采集与监控系统(SCADA)系统,所以各子系统的设备并不只是统一安置在地铁主控中心 OCC(Operating Control Center)大楼,地铁沿线均有放置,各子系统及设备,如计算机系统、网络设备、大屏幕、前端处理器、不间断电源(UPS)和综合后备盘等,应按其所处地理位置,进行相应的重点防护。如 PSCADA 和 EMCS 的监控设备,与强电装置处于同一环境中,所以需要重点做好接地措施,抑制强电对弱电的干扰。

2 地铁主控系统防雷设计

防雷一般分为防直击雷,防感应雷与地电位反击。位于 OCC 大楼中的硬件设备,包括中央计算机系统、网络设备、UPS、大屏幕等,它们的雷电防护可参照建筑物防雷标准及建筑物电子信息系统防雷技术规范设计^[2-4]。

因为主控系统中的设备并非直接暴露于外界,直接受到雷击的几率很小,所以将重点放在感应雷击与地电位反击的防护上。

经过对地铁主控系统结构和分布的分析,雷电入侵主控系统的途径主要有:由与电子设备连接的

电源线入侵;由计算机设备的通信线路入侵;地电位反击通过接地体入侵。无论监控设备的地理位置如何不同,阻隔雷电流的入侵途径都是它们防护雷电的一个行之有效的方法。下面分别给出系统防雷设计应注意的几个关键问题^[5-10]。

2.1 系统电源部分防雷

引入建筑物的电源线应在进建筑物至少 15 m 处理地引入,以防止将雷电流引入监控设备内部。监控设备的电源部分的防护应加装三级专用的电源避雷器,避雷器的最大冲击容量应根据实际需要选取,一般情况下,如果电流值无法确定,则第 1 级保护通路的冲击电流容量不能小于 20 kA^[11]。

2.2 系统信号部分防雷

主控系统的通信线路是连接各种信号设备的枢纽,一旦遭受雷击过电压,会导致地铁瘫痪,给运营商带来巨大的经济损失,更甚则会危害到乘客的生命安全。

通信线路包括连接服务器、工作站、交换机(端口)、路由器(端口)、RJ45 局域网数据接口、串行数据接口(RS-422 和 RS-485 类型)、并行口、视频接口、音频接口、硬线^[12](为实现监控相关设备进行报警、状态、命令等工作而进行的连线)接口、轨旁电话等的信号线路。通信线路首先应选择屏蔽线缆,屏蔽端就近连接等电位排,或使用穿金属管埋地引入,同时在其连接的电子设备前端安装专用的信号浪涌保护器,接地端就近接地。根据《建筑物电子信息系统防雷技术规范》,信号线路浪涌保护器的选择,应根据线路的工作频率、传输介质、传输速率、传输带宽、工作电压、接口形式、特性阻抗等参数,选用电压驻波比和插入损耗小的适配的浪涌保护器。

2.3 防止地电位反击

当雷电流由接地体进入大地,在入地点会出现高电压,等电位搭接^[5]是防雷措施中极为关键的一

项,可消除因地电位骤然升高而产生的“反击”。所以应将监控设备的金属外壳和屏蔽线缆外层等做良好的电气连接,并就近接地。

3 地铁主控系统接地技术

一个良好的接地可以很大程度减轻电子设备受到浪涌电压的侵害;还可以将监控设备工作时积累的大量静电荷泄放掉,保护设备的正常工作和人身安全。接地按目的^[13]可分为工作接地与保护接地(安全接地)。

3.1 工作接地

工作接地是指可以保证监控设备正常工作的接地,其职责是提供地铁主控系统设备正常工作所需的零电位,防止电位浮动造成控制信号的错误输出,以减少地铁运营的经济损失及事故。

工作接地又可分为直直接接地和交流接地。直直接接地是将监控设备的直流电源与等电位连接网络做良好的电气连接,以保证设备的直流零电位;交流接地是指将各种交流设备的电源中性线连接在一起,再单点接至接地网。

在地铁主控系统中,须将交流地与直流地严格分开敷设,不能有任何连接点,这样不至于形成交直流回路,烧毁监控设备。

尤其应注意的是:在 PSCADA 中的监控设备,主要是实时采集变电所设备的运行参数,而数据往往是经过自动化系统中的隔离变压器,由一次设备,如电压互感器、电流互感器采集得来,而这些隔离变压器一、二次侧间存在隔离层,将隔离层与二次侧接地点做良好的接地处理,可以使 PSCADA 中的弱电设备不受强电设备的影响,保证监控设备的正常运行,也为变电所的正常运行提供保障。

3.2 安全接地

安全接地的目的是保护设备自身的安全以及操作人员的人身安全。对于地铁综合监控系统中的监控设备的安全接地是将其金属外壳连接在一起,单点接至等电位网络,再连接至共用接地装置。

4 仿真分析

当雷电击中 OCC 大楼的避雷针时,雷电流会沿引下线流入接地装置,其中一部分通过通信线路和无屏蔽电力线路进入大楼内部及流往低压变压器。当通信线路设置有避雷器或使用屏蔽线缆时,流经的绝大部分雷电流将被泄放掉^[13],雷电流大致在大楼的接地装置、变压器的接地装置和电力线路中进行分配。下面重点讨论无屏蔽电缆的长度对雷电流泄放的影响。

4.1 雷电流模型

如图 1 所示,用冲击电压发生器^[14]模拟 10 kV、10/350 μs 的雷电流,模型的主要参数如下:直流源幅值 10 kV;理论波尾时间 350 μs(等于 0.7 R₁ C₁);理论波头时间 10 μs(等于 3 R₂ C₂);波尾电阻 R₁=

25 Ω,主电容 C₁=20 μF;波头电阻 R₂=16.7 Ω;波头电容 C₂=0.2 μF。

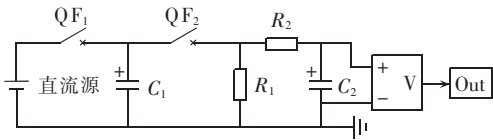


图 1 冲击电压发生器

Fig.1 Impulse voltage generator

冲击电压发生器的工作原理为:断路器 QF₁ 闭合、断路器 QF₂ 打开时,直流源对 C₁ 充电;一段时间后,打开 QF₁,闭合 QF₂,C₁ 通过 R₁、R₂ 对 C₂ 放电,C₂ 上的电压变化情况即可模拟出雷电流的波形。

由冲击电压发生器仿真出的雷电流波形如图 2 所示。

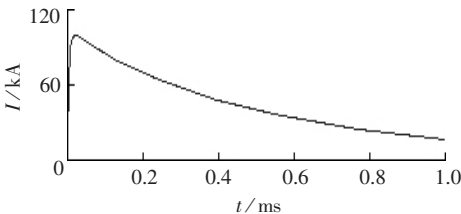


图 2 10/350 μs 雷电流波形仿真

Fig.2 Simulation waveform of 10/350 μs lightning current

4.2 仿真原理图

图 3 所示为仿真原理图。

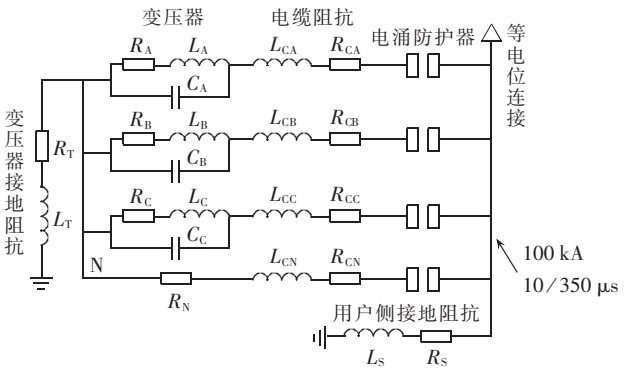


图 3 仿真原理图

Fig.3 Principle diagram of simulation

图中,电涌防护器均接至用户侧接地装置,使大部分雷电流可以通过用户侧接地装置流入大地,起到保护线路及变压器的作用。

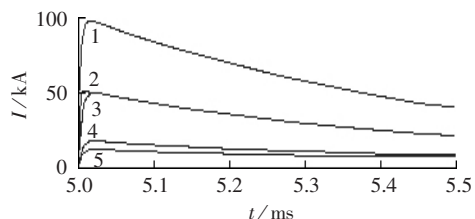
参考文献[15]变压器参数选择为 C=2 nF、L=50 μH、R=5 mΩ;参考文献[10]电缆参数为 R_C=1 mΩ/m、L_C=1 μH/m。

变压器接地装置的接地阻抗与用户侧接地阻抗参照实际工程中的数值为 R_T=10 Ω、L_T=5 μH、R_S=10 Ω、L_S=5 μH。

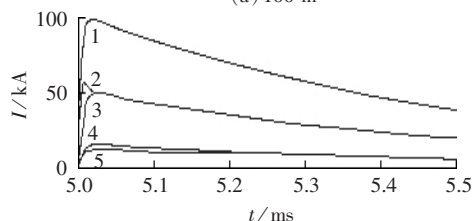
4.3 仿真结果分析

仿真结果如图 4~7 所示,图 4~5 中曲线 1、2、3、4、5 分别代表线路上总电流、流经用户侧接地装置(用 R_S 代表)的电流、流经变压器接地装置(用 R_T 代

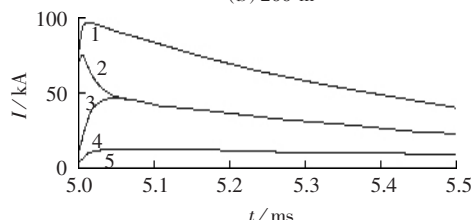
表)的电流、流经 N 线上的电流与流经 A、B、C 每一相上的电流。图 6~7 中曲线 1、2、3 分别表示电缆线长 100 m、200 m、1 000 m 的情况。



(a) 100 m



(b) 200 m



(c) 1000 m

图 4 电缆长为 100 m、200 m、1 000 m 时电流分配

Fig.4 Current distributions of 100 m、200 m、1 000 m cable

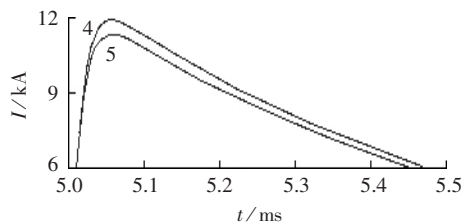


图 5 电缆长为 1 000 m 时 N 线与三相电流分配情况

Fig.5 Current distribution on neutral line and phase line of 1 000 m cable

在以上仿真模型基础上,分别考察不同电缆长度时,三相电流、N 线电流、流经变压器接地装置 R_T 电流的变化情况,及用户侧接地装置 R_S 上电流变化,得出 4 点结论。

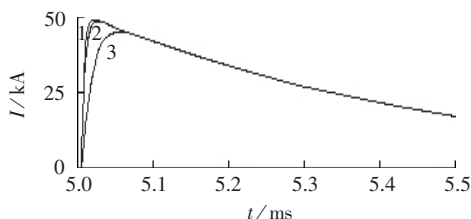
a. 电缆长度增加导致电力线路上的电流分配更加接近。图 4(a)中,A、B、C 三相上的峰值电流比 N 线上的小约 6 000 A,图 4(b)中,差距减小,约为 4 000 A,而图 4(c)中,两线基本重合,用示波器放大观察两线,峰值电流只相差约 500 V,见图 5 中放大的电流。因此,电缆长度的增加会使电力线路上的电流分配更加平均。

b. 随着电缆线长度的增加, R_T 的峰值电流缓慢减小,见图 6(a);而 R_S 的峰值电流呈上升趋势,且增长相对较快,电缆长度长更有利于雷电流的泄放,使大部分的雷电流从用户接地装置流走,在一定程度

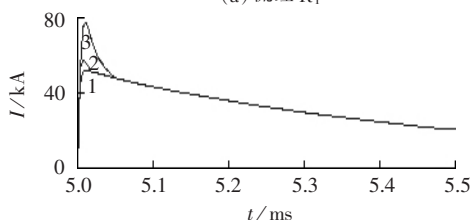
上可以起到保护电力线路的作用,见图 6(b)。

c. 见图 6(c),电缆线长度增加,N 线上的电流则会明显减少;见图 7,A、B、C 三相上的电流不太规则,电流是先增加后又减少的趋势。

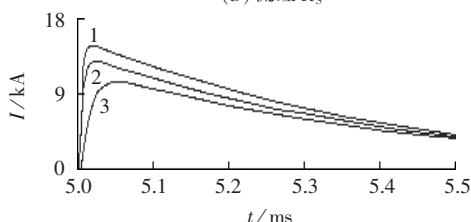
d. 如果在变压器上设置电涌防护器 SPD (Surge Protective Device),其通流量的选取可以参照本仿真中的基本模型与更接近实际的数据参数得出。



(a) 流经 R_T



(b) 流经 R_S



(c) 流经 N 线

图 6 流经 R_T 、 R_S 及 N 线电流变化

Fig.6 Current through R_T 、 R_S 、N line for different cable lengths

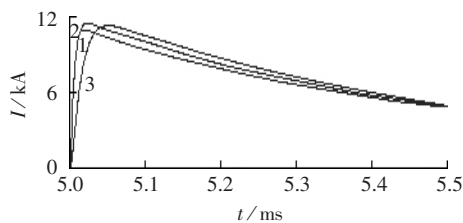


图 7 A、B、C 三相电流变化

Fig.7 Current through phase line for different cable lengths

5 结论

本文针对地铁主控系统的在地理位置上分散的特性,对其进行了防雷措施与接地技术的初步研究,给出了一个较为完整的防护方案建议,对雷电流击中建筑物的避雷系统时,电流在各线路与接地装置中的分配情况的仿真实验表明,引入无屏蔽电缆越长,对雷电流泄流越有利,这一结论对地铁主控系统防雷接地系统的设计中电力线路引入长度和避雷器通流量的选取提供了依据,对实际系统的建设具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 钱清泉,何正友,吴超. 地铁主控技术及其应用[J]. 世界轨道交通,2005(1):20-22.
QIAN Qing - quan,HE Zheng - you,WU Chao. The subway main control system and its application[J]. World Railway,2005(1):20-22.
- [2] 中华人民共和国机械工业部. GB 50057-94 建筑物防雷设计规范[S]. 2000 版. 北京:中国计划出版社,2000.
- [3] 中华人民共和国建设部. GB 50343-2004 建筑物电子信息系统防雷技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [4] 中华人民共和国建设部. GB 50174-93 标准电子计算机机房设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,1993.
- [5] 田卫东. 计算机联锁车站的综合防雷[J]. 铁道通信信号,2005,41(5):9-10.
TIAN Wei - dong. Synthetical lightning protection of computer interlock station[J]. Railway Signaling & Communication,2005,41(5):9-10.
- [6] 千涛. 微电子设备的防雷及过电压保护[J]. 电瓷避雷器,2003(6):27-29.
QIAN Tao. Lightning and over - voltage protection of microelec - tronic devices[J]. Insulators and Surge Arresters,2003(6):27-29.
- [7] 汪建宇,邱丽芳. 电子系统中感应雷的防护[J]. 电瓷避雷器,2000(2):42-44.
WANG Jian - yu, QIU Li - fang. Inductive lightning protection in electronic system[J]. Insulators and Surge Arresters,2000(2):42-44.
- [8] 董超,周嘉明. 铁路信号楼综合防雷系统方案设计[J]. 铁道通信信号,2005,41(7):3-5.
DONG Chao,ZHOU Jia - ming. Design of synthesized lightning protection plan in railway signal building[J]. Railway Signaling & Communication,2005,41(7):3-5.
- [9] 罗雄杰,贺陕斌,丘雪明. 大坝安全监测自动化系统的防雷抗干扰[J]. 韶关学院学报,2006,27(6):72-74.
LUO Xiong - jie,HE Shan - bin,QIU Xue - ming. Lightning - proof and anti - jamming measures for dam safety automation system[J]. Journal of Shaoguan University,2006,27(6):72-74.
- [10] 郑晓丹,罗云霞. 小型水电站计算机监控系统防雷击电磁脉冲对策[J]. 电站系统工程,2006,22(3):47-50.
ZHENG Xiao - dan,LUO Yun - xia. Lightning electromagnetic pulse prevention for computer monitoring system of hydropower station[J]. Power System Engineering,2006,22(3):47-50.
- [11] 马宏达. 学习和引用 IEC 建筑物防雷规范中值得商榷的几个问题[J]. 电工技术杂志,2004(2):11-13.
MA Hong - da. Some discussions about learning and utilizing IEC lightning protection standards of buildings[J]. Electrotechnical Journal,2004(2):11-13.
- [12] 郭晓蒙,裴华强,靳红. 地铁设备自动化现状及展望[J]. 都市轨道交通,2005,18(5):14-17.
GUO Xiao - meng,CHANG Hua - qiang,JIN Hong. The present situation and prospect of automatization of metro equipment[J]. Urban Rapid Rail Transit,2005,18(5):14-17.
- [13] 苏晓华,闻映红. 电子设备的接地技术[J]. 安全与电磁兼容,2004(1):39-42.
SU Xiao - hua,WEN Ying - hong. Grounding for electronic equipment[J]. Safety & Emc,2004(1):39-42.
- [14] 王昕伟,吕英华,于学萍,等. 实验室冲击电压法模拟感应雷的理论建模与应用[J]. 电波科学学报,2000,15(4):482-486.
WANG Xin - wei,LÜ Ying - hua,YU Xue - ping,et al. Studies on impulsive voltage method emulating lightning at laboratory[J]. Chinese Journal of Radio Science,2000,15(4):482-486.
- [15] 林维勇. 闪电击中建筑物防雷装置时雷电流在低压系统中的分配[J]. 电气与智能建筑,2004(6):9-15.
LIN Wei - yong. Surge current distribution in low - voltage system during lightning stroke on building's lightning devices[J]. Electric & Intelligent Building,2004(6):9-15.
- [16] 大泽靖治. 电力系统工程[M]. 张建华,译. 北京:科学出版社,2003.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:

赵 静(1982-),女,四川射洪人,硕士研究生,研究方向为城市轨道交通供电系统与自动化系统及其关键技术(E-mail: zhaoj1123@sina.com);

何正友(1970-),男,四川自贡人,教授,博士研究生导师,主要从事小波分析在电力系统故障分析中的应用、新型继电保护原理、配网综合自动化等方向的研究工作;

钱清泉(1936-),男,江苏丹阳人,教授,博士研究生导师,中国工程院院士,牵引动力国家重点实验室主任,研究领域为信息理论与信号处理、监控及综合自动化、轨道交通电气化与自动化。

Lightning - proof and grounding techniques for subway main control system

ZHAO Jing, HE Zheng - you, QIAN Qing - quan

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Lightning - proof and grounding protection ensures normal conditions of subway main control system as well as the stable, high efficient and safe operation of subway. Based on the introduction of subway main control system, notices and suggestions on lightning - proof measures are presented for main parts of control devices, such as power supply and system signal, as well as the prevention of earth potential retorting. Advices are given for grounding protection, including working grounding and safety grounding. With a Matlab simulation model, the surge current distribution in low - voltage system and grounding system during a lightning stroke on the lightning conductor of building is studied. Conclusion is that long unshielded cable is favorable for the lightning - stroke current discharge.

Key words: subway; main control system; lightning protection; grounding