网络出版时间：2015-09-15 10:43:36
网络出版地址：http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1043.N.20150915.1043.013.html
第 28 卷　第 3 期　　石家庄铁道大学学报(自然科学版)　　Vol. 28　No. 3
2015 年 9 月　JOURNAL OF SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE)　Sep. 2015

城市轨道交通线路杂散电流监测系统研究

刘佳佳，　李晓龙，　姚　笛

(同济大学 铁道与城市轨道交通研究院，上海　201804)

摘要：在城市轨道交通系统中，杂散电流对轨道以及轨道附近的埋地金属结构具有严重危害。本文基于同济大学轨道交通试验线的实际情况，从理论分析和系统实验两方面出发，设计了基于 ZigBee 无线传输的杂散电流监测系统，并分析研究了所设计系统的监测性能。

关键词：城市轨道交通系统；杂散电流；ZigBee；监测系统

中图分类号：U284.25　**文献标志码**：A　**文章编号**：2095-0373(2015)03-0067-05

0　引言

杂散电流经过走行轨流入大地，对隧道的结构钢筋以及轨道周围土壤的金属构件、电缆金属铠装和其他金属管线设施等有严重的电化学腐蚀作用，不仅会降低轨道交通中钢筋混凝土主体结构的强度，减少其耐久性，也会缩短沿线金属管线的寿命，甚至酿成灾难性的后果[1]，严重威胁着轨道交通系统安全可靠地运行。而轨道交通系统作为一项复杂的工程，其建筑结构，包括地下结构和高架系统，在施工结束后就很难更改，对主体结构进行维修或更换以减少杂散电流带来的腐蚀影响更是极为困难的。因此，如何准确地建立杂散电流模型，获取杂散电流腐蚀信号，并对其进行监测及防护，是当前杂散电流防治的重点。

Solomon、Ike[2]等研究了长线管道受杂散电流腐蚀的检测方法，使用了大存储量的数据采集装置，利用计算机进行数据采集和数据分析；Galimberti[3]研究了隧道钢筋混凝土受杂散电流腐蚀的检测方法，并开发出在线检测装置对钢筋的腐蚀进行检测，主要检测钢筋的腐蚀电位以及混凝土的电阻率，通过这两个参数反映钢筋受杂散电流腐蚀的情况。与国外相比，我国城市轨道交通设施建设起步相对较晚，相关研究也开展较少。庞原冰、李群湛[4]等人提出了基于电场的杂散电流模型并用 VC 程序对模型进行了仿真计算。李威[5]构建了轨道-金属-大地 3 层网络模型，采用计算机对该模型下的杂散电流分布进行了仿真，并提出了基于光纤传感的杂散电流系统监测方法；蔡文娟[6]研究了地铁杂散电流光纤传导系统数据采集和处理。而地铁一般运行在地下环境或高架环境中，传统方式的人工有限监测装置已不能满足这些工作场合的要求。随着测绘新仪器、新技术的不断应用，采用无线传输的监控系统给监测系统带来了极大便利。而 ZigBee 无线网络作为一种成熟的工业网络标准，已经运用到多个工业场合，在楼宇安全，智能监控等领域得到了使用者的认可，具有很高的可靠性。本文基于 ZigBee 无线传输技术设计杂散电流检测系统，大大提高了系统布点的灵活性，方便、快捷，数据传输实时性更强。

1　杂散电流监测系统设计

常用的杂散电流监测系统可分为集中式和分布式两种不同结构。集中式监测系统常用于线路较短或监测点较少的场合。在集中式监测系统中，所有传感器均经由通信线缆使用信号转换器直接与上位机监测系统联系。上位机监测系统接受并存储来自传感器的信息，并根据系统设定在信息超过一定范围时发出警报；分布式杂散电流监测系统则多在被监测线路较长，监测点较多的场合加以使用。在此种系统中，监测传感器根据其所在位置不同被分为几个区间，每个区间内的传感器并不直接与上位机相连接，而

收稿日期：2014-04-04　**责任编辑**：刘宪福　DOI：10.13319/j.cnki.sjztddxxbzrb.2015.03.13
作者简介：刘佳佳（1989-），男，硕士研究生，研究方向为牵引供电系统维护。E-mail：liumi1020@126.com
刘佳佳，李晓龙，姚笛. 城市轨道交通线路杂散电流监测系统研究[J]. 石家庄铁道大学学报：自然科学版，2015，28(3)：67-70.

是连接到智能监测装置。而同济大学轨道交通试验线长度有限,数据监测规模有限,故采用集中式监测系统结构。设置一台 PC 机作为系统的上位机,与线路的所有传感器进行通信,负责传感器的控制,数据的存储和处理,使用一台便携式笔记本作为实验系统调试终端。监测系统在进行数据传输时,设计可使用通信线缆或无线网络进行传输。其中通讯线缆传输主要用于实验仪器调试;在传感器布设点较多时,采用 ZigBee 无线网络进行数据传输。整个杂散电流监测系统分为数据采集、数据传输和数据处理 3 部分。整个系统的结构图如图 1 所示。

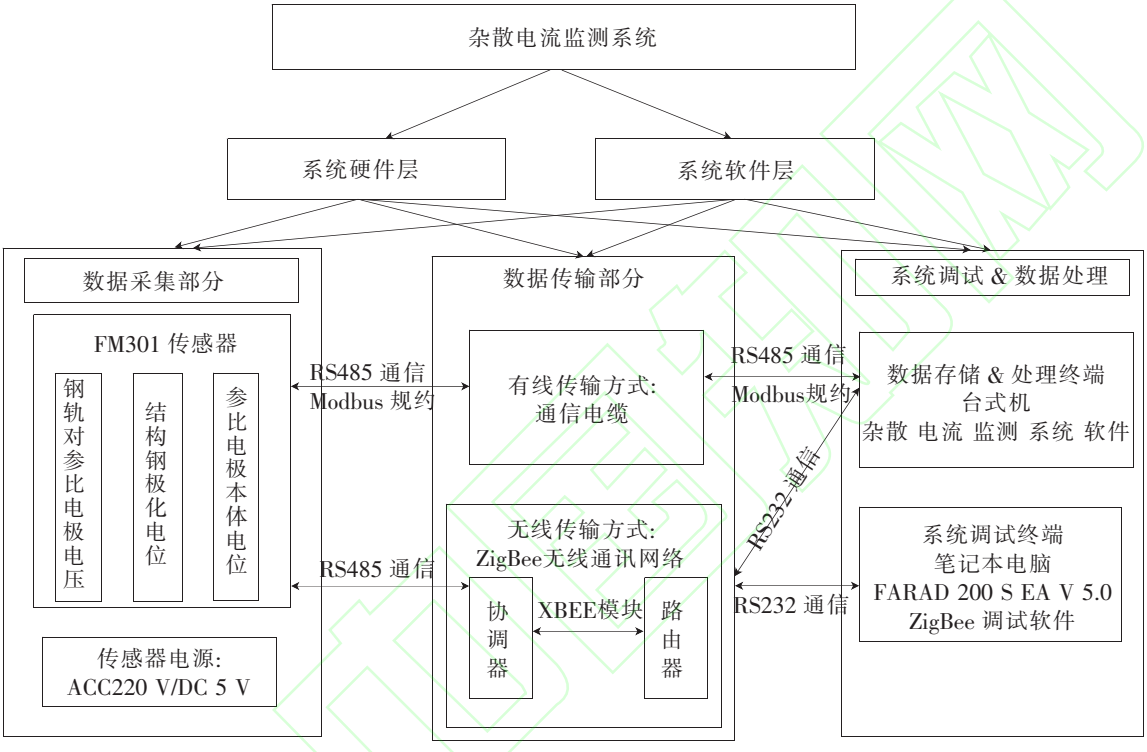

图 1 杂散电流监测系统结构

国内多年轨道交通运营经验表明,泄漏的杂散电流由于其回流路径杂乱而不固定,导致电流密度难以直接测得,因此对杂散电流的监测都是监测间接性指标,即不直接测量泄漏的杂散电流密度,而是通过测量泄漏杂散电流引起的金属结构电位变化来间接反应泄漏的杂散电流密度的大小,以此为判断杂散电流危险性的依据。当前杂散电流监测系统监测的电压数值包括:(1)轨道对地电压;(2)结构钢极化电压;(3)轨道自然电位。本系统则基于结构钢极化电位监测原理进行数据监测。智能传感器 3 个测量端子分别与参比电极、道床结构钢筋和钢轨相连接,采集参比电极对结构钢电压和钢轨对结构钢筋电压两路信号,通过无线传输网络将信号传输到上位机供软件进行数据存储和分析。系统的监测过程如图 2 所示。

2 杂散电流监测系统实验

2.1 监测点选取

在设计一个城市轨道交通系统的杂散电流监测系统时,杂散电流监测点应设置在地铁建筑的下列部位[7]。

(1)车站站台的两侧进出站信号附近;

(2)每一个回流点处及需要进行测试的走行轨分断点处;

(3)地铁桥梁的两端;地铁的尽头线及线路与车辆段的连接坡道处;

(4)对以直埋方式敷设在地中的水管和电缆等,应利用已有的可接触部位作监测点(如观察窗观测井

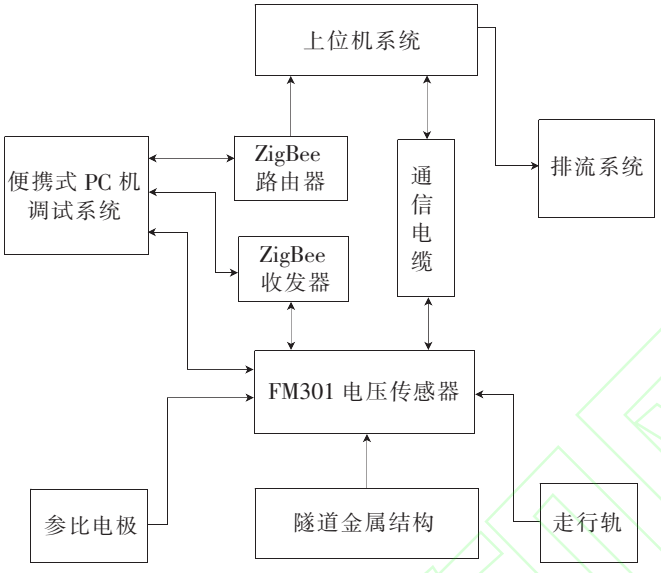

图 2　杂散电流监测系统工作流程

以及建筑物)或其它可利用的设施;

(5)对于距离较长的管线结构可参照通信部门的有关规定设置专用的监测点。

参照试验线线路状况,试验线所选取监测点位置及所需要的传感器数量如下:

(1)两段整体道床段各布置 1 个传感器,两根轨道共 4 个传感器;

(2)两段整体道床与碎石道床的过渡段各布置 1 个传感器,两根轨共 4 个传感器;

(3)接触网起点与线路回流点各 1 个传感器,两根轨共 4 个传感器;

(4)线路主线与支线的道岔连接处,两根轨共 2 个;

(5)碎石道床段,两根轨共 2 个。

综上所述,在试验线 9 个监测点处共布置智能传感器 18 个,分布于 678 m 长的试验线主线上。传感器在试验线的分布图如图 3 所示。

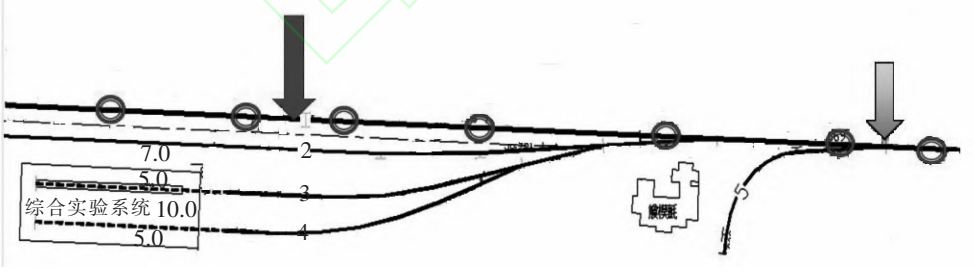

图 3　轨道交通试验线传感器布置图

2.2　实验概况

实验中,试验车的路径起点和终点分别为线路的回流点和主线终点处。试验车由行车起点行至终点,随后从终点返回至起点,设定为一个实验周期,约 10 min。在半个试验周期中,列车处于牵引状态的时间为 1 min,惰行状态为 2 min,静止状态为 2 min。在一个实验周期中,电压传感器每 2 s 读取一次轨道相关结构的电压信号,并传输到上位机系统。上位机系统在计算机上实时显示电压数据,如图 4、图 5 所示。

2.3　实验数据分析

(1)电压信号总体变化趋势。由于钢轨本身存在纵向电阻,当牵引电流通过钢轨回流至线路回流点时,钢轨相对大地(在此处为参比电极)的电位会变化。当机车处于牵引状态时,牵引电流处于最大状态,此时回流电流也较大,因此导致此时钢轨的电位较高;而当机车处于惰行和静止状态时,牵引电流处于较低状态,回流电流数值较小,因而钢轨电压也相对较小。如图 4、图 5 所示,走行轨电压的变化趋势基本与

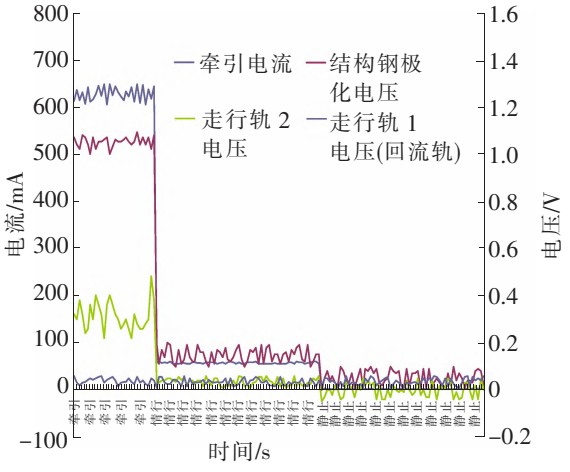

图 4 车辆出发阶段电信号波形图

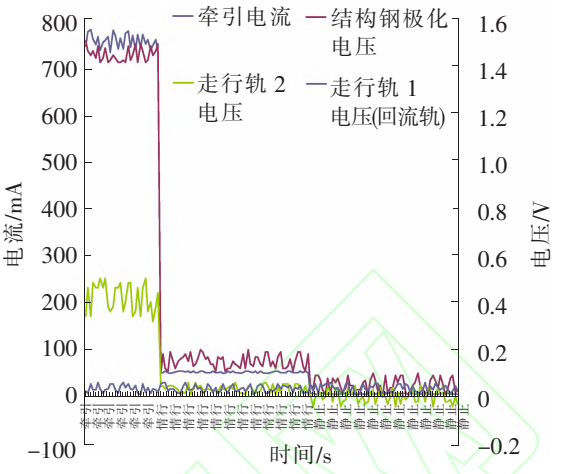

图 5 车辆返回阶段电信号波形图

牵引电流的变化趋势一致。

(2)结构钢极化电位变化趋势。在杂散电流监测系统中,结构钢极化电位是监测泄漏杂散电流大小的重要指标,极化电位的大小直接反应了泄漏的杂散电流数量的大小。图 4、图 5 中杂散电流数量一直在 0.05 V 左右波动,远远小于现行国标规定的 0.5 V 的标准,同时也小于欧洲规定的 0.1 V 的标准,说明结构钢的极化电位偏移很小。

(3)走行轨电压不均衡现象分析。在杂散电流的回流系统中,回流点应当与两根轨道同时进行电连接,以保证两根轨道的电流电压尽量处于平衡状态。而在本试验线中,回流点仅仅和一根轨道相连接,因而导致在回流过程中,两根轨道的轨道电压变化并不一样。

位于回流点一侧的轨道,电压变化比另外一侧轨道的变化要明显很多。当机车出发处于牵引状态时,回流点一侧的走行轨电压在 1.1 V 左右波动,而另外一侧的走行轨电压在 0.3 V 左右;当机车返回处于牵引状态时,由于牵引电流增大,回流点一侧走行轨电压达到 1.5 V 左右,而另外一侧轨道的电压在 0.5 V 左右。两根轨道的电位出现了明显差异。

事实上,由于回流点仅仅与一根走行轨连接,可认为另外一根走行轨上回流电流基本为零。同时两根轨道与整个线路是保持导通,则远离回流点的走行轨可以被认为在回流过程中充当了线路的排流网,即认为该轨道对地电压的变化是杂散电流导致的。由图 4、图 5 可知,走行轨 2 上的最大电压没有超过 0.5 V,符合国家标准的要求,说明泄漏的杂散电流数量在可接受的范围内。同时考虑到整个线路排流网的不完整性,走行轨 2 的电压变化只能作为参考。在后续实验中,需要在线路中挑选更多监测点进行监测,并尝试在整个实验线路中构建完整的结构钢排流网。

3 结语

本文通过对同济大学试验线实验条件的考察,对试验线的道床及枕轨条件进行了细致分析并挑选了杂散电流监测点,在杂散电流监测点进行了实验仪器的安装调试并在试验线进行了实地监测实验,通过对实验数据的分析,研究了杂散电流的分布规律,验证了杂散电流监测系统的有效性。

参 考 文 献

[1]王禹桥,李威,王爱兵. 基于嵌入式 TCP/IP 协议单片机的杂散电流监测系统[J]. 微计算机信息,2006,22(5-2):18-20.

[2]Ike Solomon. Monitoring corrosion risk for new reinforced concrete structures[J]. Corrosion & Materials,2001,26(4):16-0.

[3]Galimberti P,Gaddi F, Alberizzi M, et al. Corrosion monitoring system for a reinforced concrete transit tunnel[J]. Materials performance, 1999, 38(3): 26-31.

(下转第 75 页)

earSciences and Numerical Simulation，2005，6(2)：139-144.
[6] Yang S P，Shen Y J. Recent advances in dynamics and control of hysteretic nonlinear systems [J]. Chaos，Solito-ns and Fractals，2009，40(4)：1808-1822.
[7] 杨绍普，申永军. 滞后非线性系统的分岔与奇异性[M]. 北京：科学出版社，2003.
[8] 杨绍普，陈立群，李韶华. 车辆道路耦合系统动力学[M]. 北京：科学出版社，2012.
[9] 潘存治，杨绍普，邢海军，等. 磁流变阻尼器半主动隔振系统试验研究[J]. 石家庄铁道学院学报，2006，19(3)：36-39.
[10] 姚嘉凌. 车辆磁流变半主动悬架系统理论和试验研究[D]. 南京：南京林业大学，2009.
[11] 李锐，余淼，陈伟民，等. 基于磁流变减振器的汽车悬架振动控制[J]. 机械工程学报，2005，41(6)：128-132.
[12] 余淼. 汽车磁流变半主动悬架控制系统研究[D]. 重庆：重庆大学，2003.

Analysis of Viscous Damping Impact of Magnetorheological Suspension

Yang Mengmeng，　Yang Shaopu，　Xing Haijun

(School of Mechanical Engineering，Shijiazhuang Tiedao University，Shijiazhuang 050043，China)

Abstract：Based on a 1/4 vehicle model with magnetorheological semi-active suspension，a fuzzy control simulation model of semi-active suspension is built with the fuzzy control strategy. As one of the important parameters of magnetorheological damper，viscous damping has some impact on suspension performances. To prove that impact，the rms of sprung mass acceleration，suspension travel and tire load of semi-active suspension are emulated individually in the Simulink environment with assigning viscous damping repeatedly. The results show that the rms of sprung mass acceleration could reach the minimum by regulating viscous damping，and increasing viscous damping could reduce suspension travel and tire load. With a certain value of viscous damping，the performances of semi-active suspension and passive suspension are compared.

Key words：viscous damping；fuzzy control；semi-active suspension

(上接第 70 页)

[4]庞原冰，李群湛，刘炜，等. 基于电场的地铁杂散电流模型研究[J]. 铁道技术监督，2008，36(1)：32-35.
[5]李威. 地铁杂散电流腐蚀监测及防护技术[M]. 徐州：中国矿业大学出版社，2004：12-15.
[6]蔡文娟，李威，叶果，等. 地铁杂散电流光纤传感系统的信号采集与处理[J]. 仪表技术与传感器，2009(3)：107-108.
[7]王禹桥. 地铁杂散电流分布规律及腐蚀智能监测方法研究[D]. 徐州：中国矿业大学，2012.
[8]Charalambous C A，Cotton I，Aylott P. Modeling for Preliminary Stray Current Design Assessments [J]. The Effect of Crosstrack Regeneration Supply，2013，28(3)：1899-1908.

Research of Subway Stray Current Monitoring System

Liu Jiajia，　Li Xiaolong，　Yao Di

(Institute of Railway & Urban Rail Transit，Tongji University，Shanghai 201804，China)

Abstract：In the subway transportation system，stray currents cause a corrosion of metal loss. The main purpose of this paper is to design a wireless stray current monitoring system based on the rail line of Tongji University. Through the analysis of urban rail power system，this paper researches the causes of stray current and corrosion damage to metal structures and introduces the common stray current protection measures. .

Key words：urban transit；stray current；ZigBee；monitoring system