

城市轨道交通杂散电流动态监测分析及应用

陈 勇

(上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 200235, 上海//高级工程师)

摘 要 现有的轨道交通杂散电流监测手段单一,不能有效反应杂散电流监测系统回流安全状态。提出一种新型的杂散电流动态监测系统。介绍了该监测系统的解决措施、监测功能、监测方法、监测系统的架构,以及该系统的关键技术。提出以监测杂散电流泄漏值和钢轨对地过渡电阻值为主要手段的监测方案,供后续轨道交通线路建设参考。

关键词 城市轨道交通; 杂散电流; 动态监测

中图分类号 U223.6⁺2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.06.040

Dynamic Monitoring Analysis of Urban Rail Transit Stray Current and the Application

CHEN Yong

Abstract Due to the single means of rail transit stray current monitoring, it can not reflect the safety status of reflux system effectively. In the paper, a new stray current dynamic monitoring system is proposed, the solution measures like monitoring functions and methods, structural framework and key technologies of the system are introduced. In which the monitoring of the stray current leakage value and the rail to earth transition resistance is taken as the main monitoring scheme, to provide reference for the construction of subsequent rail transit lines.

Key words urban rail transit; stray current; dynamic monitoring

Author's address Shanghai Tunnel Engineering & Rail Transit Design and Research Institute, 200235, Shanghai, China

城市轨道交通列车运行基本上是采用走行轨回流的直流牵引供电方式。这种方式不可避免地产生杂散电流。杂散电流的腐蚀速度和强度比自然腐蚀大得多,如果防护不善,会严重侵蚀钢轨、结构钢筋及金属设施,危及城市轨道交通的主体结构,干扰行车信号,影响行车安全。杂散电流若泄漏至轨道交通外部,则可能危害城市的地下金属结构和管网设施。

目前,国内已有相关企业和研究机构对城市轨

道交通的回流系统开展了一定的研究,但仍未提出杂散电流有效的监测方案,其回流参数动态分布的解释也不尽合理,因而对杂散电流的治理效果不佳。

1 现有杂散电流监测存在的问题

从早期的分散式杂散电流监测系统到现今的集中式系统,城市轨道交通杂散电流的监测主要改变了监测数据的传输方式,并通过计算机集中处理、计算、存储数据。但是,杂散电流的监测核心内容并没有改进,仍是以监测钢筋极化电位不超过0.5 V 来反映杂散电流的泄漏程度。该监测方法及手段存在以下问题:

1) 结构钢筋极化电位为单点监测,仅反应参比电极埋设位置结构钢筋的杂散电流干扰情况。

2) 参比电极受周围环境影响较大,参比电极与被监测对象的距离、参比电极周围混凝土的潮湿度和酸碱度等参数均会对极化电位值造成很大的影响。

3) 当前监测系统监测参数单一,不能有效地反应系统回流安全状态。

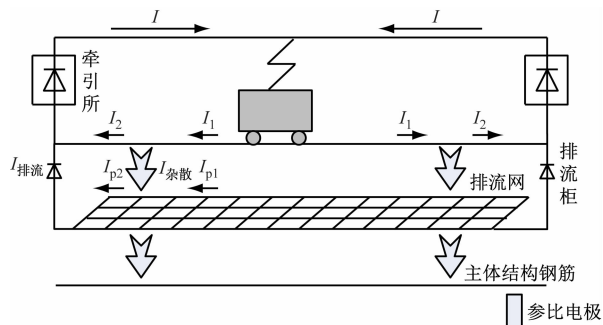
4) 对于直接影响杂散电流泄漏的轨地过渡电阻检测,由于全线钢轨采用无缝焊接的方式,且上下行4股钢轨在运行时由多根均流线、回流线可靠连接,难以对某一局部的钢轨电阻值和对地过渡电阻值进行实时在线测量。

2 新型杂散电流动态监测系统

为了提高杂散电流监测的准确性和实时性,解决监测参数单一、过渡电阻值在线分区段监测困难的问题,近几年,基于GB/T 28026.2—2011《轨道交通 地面装置 第2部分:直流牵引系统杂散电流防护措施》提出的测量、计算理论,设计单位与杂散电流监测产品供货商一起开发、研制出一种新型的动态杂散电流监测系统,并在国内几条城市轨道交通运营线路上进行课题研究和测试。

2.1 解决措施

结构钢筋极化电位为电化学量,其反应的指标为结构钢筋表面的泄漏电流密度。在进行杂散电流监测及控制时,应利用杂散电流的直接参数来定量反映杂散电流的泄漏情况。图1为杂散电流泄漏原理示意图。



注: I ——牵引变电所给列车供电的馈线电流; I_1 、 I_2 ——上、下股钢轨的回流电流; I_{p1} 、 I_{p2} ——上、下股钢轨泄漏到排流网的电流; $I_{排流}$ ——排流柜收集到的泄漏电流; $I_{杂散}$ ——钢轨的总泄漏电流

图1 杂散电流泄漏原理示意图

如图1所示,杂散电流是钢轨泄漏至大地的电流。将供电区间回流轨按均流线、回流线位置分为几个监测区段,令监测每个区段轨道的流入电流 $I_{入}$ 及流出电流 $I_{出}$,则泄漏电流为:

$$I_{泄漏} = |I_{入} - I_{出}| \quad (1)$$

监测每个区段的泄漏值,即可得到某一时刻该区段泄漏至大地的杂散电流值。

采用上述监测方法,利用式(2)可实现该供电区间过渡电阻 $R_{过渡}$ 的连续监测:

$$R_{过渡} = U_{轨-地} / I_{泄漏} \quad (2)$$

式中:

$U_{轨-地}$ ——钢轨对地的电位差。

此外,应保留现有主体结构钢筋的极化电位监测,用以作为杂散电流腐蚀情况的辅助评估。

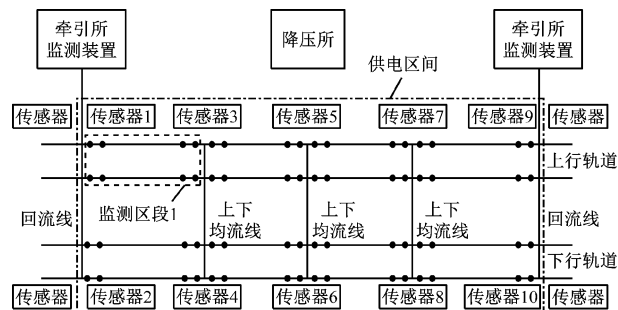
2.2 监测功能

在城市轨道交通线路正常运营过程中,新型杂散电流动态监测系统可在线测量回流系统的轨道电流、轨地电位、结构钢筋极化电位等数据,并对这些数据进行处理,从而得到不同区段泄漏电流大小、电流泄漏比例、过渡电阻连续变化、极化电位连续变化等杂散电流的相关参数,使运营人员能直观地掌握杂散电流的实际状况,为杂散电流的防护、泄漏严重区段的定位,以及进行有针对性的检查及整改提供了有效的数据支撑。

2.3 监测方法

2.3.1 钢轨泄漏电流在线监测

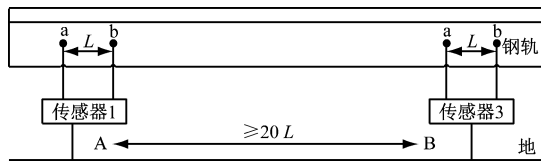
以一个供电区间为例,将一个供电区间分成几个监测区段(以均流线、回流线为分界点)。在分界点位置装设智能传感器,用以监测钢轨中流过的电流信号。钢轨泄漏电流在线监测点及传感器布置如图2所示。



注: · 为监测点,其间距为 10 m

图2 一个供电区间监测点及传感器布置

单根轨条每个监测区段的泄漏电流监测方法如图3所示。



注: 监测点 a、b 间距离 L 是钢轨电阻测量间距,一般取 $L = 10$ m

图3 一个监测区段单轨条的监测点及传感器布置

在钢轨上选取 A、B 两处同时进行轨道电流测试,则 A、B 间轨道泄漏电流为:

$$I_{泄漏} = |I_A - I_B| \quad (3)$$

式中:

I_A ——A 处的轨道电流;

I_B ——B 处的轨道电流。

在选定好测试位置后,需要对被监测区段(L)的钢轨进行阻值校准,以便于后续监测时的钢轨电流计算。

根据上述监测点及传感器的布置,可对全线所有供电区间内测试区段的泄漏电流进行监测,判断杂散电流泄漏情况及泄漏严重区段。

2.3.2 电流泄漏比例

根据该新型监测系统监测到流入被测区段回流电流、流出被测区段回流电流,可计算得到该区段泄漏的杂散电流值,进而可以计算得到该区段电流泄漏比例。每个时段牵引回流电流大小是由发

车对数决定的,所以泄漏电流比例可以更准确地反映运营过程中监测区段的绝缘状况。

2.3.3 钢轨对地过渡电阻的在线监测

钢轨对地过渡电阻在线监测原理如图 4 所示。

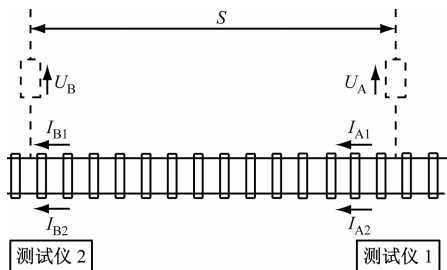


图 4 钢轨对地过渡电阻在线监测原理图

过渡电阻计算公式为:

$$R_{\text{过渡}} = \frac{S}{2} \times \frac{U_A + U_B}{(I_{A1} + I_{A2}) - (I_{B1} + I_{B2})} \quad (4)$$

式中:

S ——被监测区段的长度;

U_A 、 U_B ——A、B 两端钢轨与隧道间的电压;

I_{A1} 、 I_{A2} ——A 端钢轨中流入的电流;

I_{B1} 、 I_{B2} ——B 端钢轨中流出的电流。

该监测方法仅需在监测钢轨电流位置上监测钢轨电位,即可利用监测数据进行各监测区段的过渡电阻计算。

2.3.4 钢轨电位的在线监测

钢轨电位在线监测的主要目的是为实现钢轨对地过渡电阻在线监测计算。可在监测需要的位置增加钢轨对地电位的在线监测。

2.3.5 主体结构钢筋极化电位的在线监测

主体结构钢筋极化电位仅作为腐蚀情况判断的辅助依据。城市轨道交通线路中极化电压和管地电位的测试应同时进行,并同时记录数据。CJJ49-92《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》中规定,正电压 $U_{a,+}$ 和负电压 $U_{a,-}$ 的平均值或相应电流的平均值可按下列公式进行计算:

$$U_{a,+} = \sum_{i=1}^p U_{i,+} / n \quad (5)$$

$$U_{a,-} = \sum_{i=1}^m U_{i,-} / n \quad (6)$$

式中:

$\sum_{i=1}^p U_{i,+}$ ——被测物理量正极性瞬间实测值之和;

$\sum_{i=1}^m U_{i,-}$ ——被测物理量负极性瞬间实测值之和;

n ——试验中读取测量数据的总数;

p 、 m ——分别为试验中读取的正极性和负极性实测值的次数。

2.4 新型监测系统的架构

2.4.1 全线监测系统架构

线路杂散电流监测系统由传感器、监测装置、上位机等组成。以供电区间为单位,将全线分为若干个监测区段。每个供电区间设一台监测装置,下设若干个传感器。

传感器设置于区间和车站轨旁处,用以采集监测数据,并对监测数据进行分析、计算。监测装置设置于变电所内,用以收集本供电区间不同区段的泄漏电流参数。这些参数可在软件界面中显示,并具备统计、分析等功能。上位机设置于运营控制中心或供电车间内,用以实现全线所有回流系统数据的统计、显示、报表等功能。

2.4.2 供电区间监测系统的架构

单个供电区间内监测系统设备包括监测装置、传感器,其具体布置方式同图 2。

该供电区间只在上、下行均流线和回流线处装设传感器,共计需要 10 个传感器。每个传感器有 6 路输入信号,每个传感器与轨道有 8 个连接点,传感器有 6 路输入信号以及 1 个主体结构钢筋点和 1 个参比电极电位点。传感器输入信号如图 5 所示。

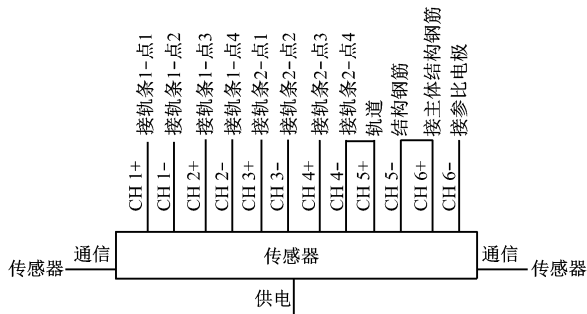


图 5 传感器输入信号示意图

2.4.3 监测区段

一个供电区间可分为若干个监测区段。监测区段中监测点和传感器的布置方式如图 6 所示。

两个传感器之间形成一个监测区段。利用两个传感器监测的数据,可计算被监测区段的过渡电阻、泄漏电流、泄漏比例等参数。两个传感器之间

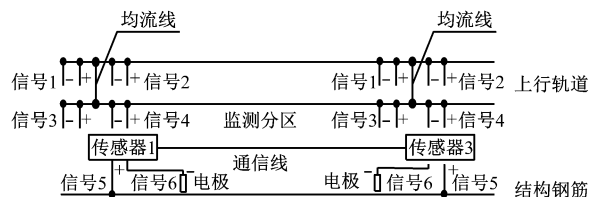


图6 一个监测区段的监测点及传感器布置

通过总线通信,计算、处理后的数据经总线上传至变电所内的监测装置中。

2.5 监测系统关键技术

2.5.1 监测装置的定时精度

传感器数据采集频率为 2.5 kHz。采集数据需多点取平均值滤波,两监测装置间的定时精度达到毫秒级。

如图2所示,根据系统配置需要,传感器1、3分别处于一个监测区段,它们需要进行时钟的同步。因此,将传感器1配置为时钟主机,传感器3则配置为时钟从机;传感器3、5处于一个监测区段,则传感器3为时钟主机,传感器5为时钟从机。此时传感器3同时担任从机和主机功能。

2.5.2 采样数据滤波还原算法

数据处理采用若干点取平均法,可以有效消除数据抖动,但在 U 接近 0,或者 I 接近 0 时,泄漏电流、泄漏比例及过渡电阻均会发生很大的改变。对这部分数据应设置 U 和 I 的限值,在大于一定电压和电流情况下再进行计算。数据处理首先应将该部分干扰去除。电流泄漏比例值 k 的计算如下:

$$k = I_{\text{泄漏}} / I_{\text{钢轨}} \quad (7)$$

式中:

$I_{\text{钢轨}}$ ——钢轨的回流电流。

当 $I_{\text{钢轨}} \rightarrow 0$ 时,电流泄漏比例值 k 不应进行计算。当 $U_{\text{轨-地}} \rightarrow 0$ 时, $R_{\text{过渡}}$ 不应进行计算。 $I_{\text{泄漏}} \rightarrow 0$

时, $R_{\text{过渡}}$ 和 k 不应进行计算。

2.6 绝缘损坏判断

新型监测系统根据每个监测区段的电流泄漏比例值、过渡电阻值,以及结构钢筋极化电位值来判断钢轨的绝缘状态。采用软件设置阈值,如区段的泄漏电流比例差大于某值,或者当前的泄漏电流比例与前几天相比之差大于某值,与此同时过渡电阻值下降,则系统将提醒该区段可能有绝缘损坏,应进行排查。

3 结语

本文所述的新型杂散电流监测系统以监测区段的电流泄漏比例和过渡电阻作为主要的判断依据,并保留主钢筋极化电位为辅助判断参数,在动态状态下可更准确地监测线路中杂散电流泄漏情况及钢轨对地的绝缘状态。而且,该系统可将监测区域缩小至每个牵引供电区间的若干个区段,便于运营人员查找钢轨绝缘的损坏点。目前,该监测系统尚处于科研和现场试用阶段,其技术及效果仍需在轨道交通线路的运营中进一步予以改进和完善。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部. 地铁杂散电流腐蚀防护技术规程: CJJ 49—1992 [S]. 北京:中华人民共和国建设部标准定额研究所,1993:30.
- [2] 中国国家标准化管理委员会. 轨道交通 地面装置 第2部分: 直流牵引系统杂散电流防护措施: GB/T 28026.2—2011 [S]. 北京:中国标准出版社,2012:10.
- [3] 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,2004:65.
- [4] 孙军溪,焦金红,徐东. 城市轨道交通杂散电流及轨道对地绝缘测试[J]. 城市轨道交通研究,2006(10):66.

(收稿日期:2018-08-06)

武汉地铁空调用紫外线进行消毒

天气渐热,武汉地铁空调已开。《长江日报》记者5月18日探访发现,地铁空调不仅清洗消毒,冷空气吹入车厢前,还会进行紫外线灯消毒,保障车厢内空气洁净。因为地铁空调位于地铁列车顶部,整个操作工作均在高处完成,工作人员做好相关防护后进行分工,有的拆卸空调过滤网,有的对设备进行清洗擦拭,有的将干净的过滤网安装到设备内。为了提高工作效率,地铁车辆部门还自主研发了便携式过滤网清洗设备,可以直接带至清洗现场。记者看到,取下的过滤网被放到操作台上,由两名工作人员配合机器完成洗刷工作后,交给机器自行风干,被清洗干净的过滤网再用84消毒水进行消毒。在空调设备口,检修工人方万宁指着打开的空调混合风舱告诉记者,室外的新风进入混合风舱后,这里的一套紫外线消毒装置会对它们进行紫外线消毒。也就是说,最终进入地铁车厢内的冷空气是经过层层“考验”的,乘客大可放心。据介绍,检修人员一天可完成144个空调过滤网的深度清洗工作,武汉地铁全线网每天可清洗空调过滤网千余个。

(摘自2020年5月19日《长江日报》微信公众号)