

快轨杂散电流腐蚀自动监测系统的研究

孙立娟¹, 王洪仁², 孙虎元¹, 李守本²

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 洛阳船舶材料研究所青岛分部, 山东 青岛 266071)

摘要: 针对在直流供电的地铁、轻轨运输系统中, 产生的杂散电流对铁轨周围土壤中的埋地金属管线、车站、区间隧道、高架桥梁等混凝土结构中的钢筋产生电化学腐蚀这一状况。论述了对城市快轨杂散电流实施腐蚀自动监测的意义, 阐述了自行研制开发的杂散电流腐蚀自动监测原理及系统组成, 通过模拟试验证明了杂散电流腐蚀自动系统的测量精度满足设计要求, 而且能灵敏地反映杂散电流的腐蚀程度。

关键词: 杂散电流腐蚀; 结构钢筋; 腐蚀自动监测系统

中图分类号: U283.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2005)07-0045-05

地下铁道及高架轻轨铁路因其没有废气的污染、运行速度快、安全、舒适等优点, 在世界发达国家已是重要的交通工具。如东京、纽约、莫斯科等发达的大城市均有数百公里、纵横交错的地铁及轻轨铁路。杨文彬等在 1997 年全国电磁兼容学术会议的报告中提到, 中国自改革开放以来, 随着国民经济的发展, 城市人口不断增加, 致使城市交通拥挤和乘车难的问题日趋严重。为解决大城市的公共交通问题, 国内的一些大城市积极地修建地下铁道及高架轻轨铁路。如北京、天津、上海、南京等地均修建了地铁及轻轨铁路, 其它城市也正在积极地修建地铁或轻轨铁路来缓解交通压力。地下铁道及高架轻轨铁路的直流供电方式是以走行钢轨为回流的, 当牵引电流经走行钢轨回流时, 由于走行轨本身存在电阻, 它对大地会产生电位差, 于是产生了由走行轨流入地中的漏失电流, 理论上称为杂散电流^[1]。周晓军等人在 2001 年的中国土木工程学会快速轨道交通委员会学术交流会的研究报告中指出, 杂散电流对铁轨周围土壤中的埋地金属管线、车站、区间隧道、高架桥梁等混凝土结构中的钢筋产生电化学腐蚀。以杂散电流对埋地金属管线的电腐蚀为例, 如图 1 所示。

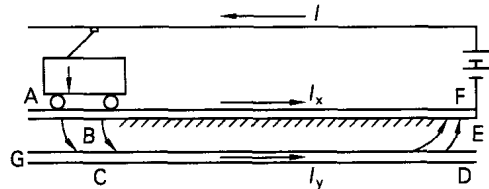


图 1 地铁直流牵引供电方式及杂散电流腐蚀示意

Fig.1 Power supply mode of direct traction current and the corrosion schematic drawing of stray current on subway

图中, I 为牵引电流, I_x , I_y 分别为走行轨回流和泄漏的杂散电流。当地铁迷流由图 1 中 A, D (阳极区) 的钢轨和金属管线部位流出时, 该部位的金属 Fe 便与其周围电解质发生阳极过程的电解作用, 此处的金属随即遭到腐蚀^[2]。由图 1 得地铁杂散电流所经过的路径可概括为两个串联的腐蚀电池, 即:

电池 I: A 钢轨 (阳极区) → B 道床、土壤 → C 金属管线 (阴极区)。

电池 II: D 金属管线 (阳极区) → E 土壤、道床

收稿日期: 2005-03-21; 修回日期: 2005-05-16

作者简介: 孙立娟 (1973-), 女, 天津人, 助理研究员, 工学学士, 研究方向: 海洋腐蚀与防护, 电话: 0532-2898732, E-mail: sunleejuan@msn.com

→F 钢轨（阴极区）。

在国外，如日本、德国、美国、俄罗斯等国的地铁也存在杂散电流腐蚀的问题^[3]；在国内，如香港曾因地铁杂散电流引起煤气管道腐蚀穿孔，北京、天津地铁则屡有水管被迅速蚀穿的情况发生。李守本等在全国腐蚀电化学进展与应用学术研讨会上提出，为了有效地防止地下铁道及高架轻轨铁路的运输系统、周围土壤中的埋地金属管线、邻近的建筑物及构筑物等免遭杂散电流的腐蚀破坏，必须采取杂散电流的防护措施，以及对杂散电流进行实时监测。地下铁道及高架轻轨铁路的防护原则以防为主、以排为辅、加强监测^[4]。对杂散电流实施监测，不仅是保证地下铁道及高架轻轨铁路系统进行正常运输、消除安全隐患、减少甚至杜绝事故的重要工作之一，而且也是研究分析杂散电流的大小及危害程度的重要依据。针对杂散电流的研究现状，作者研制开发了城市快轨杂散电流腐蚀自动监测系统。

2 杂散电流腐蚀监测原理

因杂散电流难以直接测定，故对杂散电流的腐蚀监测是高架桥道梁和整体道床的结构钢筋的电位测定为基础。史惟直在《地铁专业论文集》的研究表明，依据《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》CJJ49-92 中规定：受杂散电流腐蚀危害的控制指标是由泄露电流引起的结构电压偏离其自然电位数值，对于钢筋混凝土质轨道主体结构的钢筋，其极化电压的正向偏移平均值不应超过 500mV。通过在各站测定的结构钢筋的自然本体电位、结构钢筋极化电位同一采集周期的平均电位值、正向平均电位值、负向平均电位值、极化电位与自然本体电位的差值进行杂散电流趋势分析；通过极化电位与自然本体电位的差值，取其正向偏移平均值与规定的允许偏移值进行比较，判断杂散电流对金属结构的腐蚀程度。

2.1 参比电极

高架桥道梁和整体道床的结构钢筋的电位随时间、杂散电流等因素而变化。为测定结构钢筋的电位，首先必须确定参比电极，参比电极埋设高架桥道梁和整体道床上。我们采用了适用于较干燥混凝土结构的 MMO-1 参比电极。

2.2 结构钢筋自然本体电位及极化电位的

测定方法

测定结构钢筋自然本体电位，必须在直流供电的地铁、轻轨运输系统停电至少 0.5 h 后进行，电位连续测量一般不少于 30 min。

测定结构钢筋极化电位，在直流供电的地铁、轻轨运输系统正常运行期间进行，特别针对运行高峰时段进行测量，采用与测定结构钢筋自然本体电位同样的方法，连续测量一般不少于 30 min。

3 杂散电流腐蚀监测系统

3.1 杂散电流腐蚀监测系统组成

杂散电流腐蚀监测系统由参比电极端子、高架桥轨道梁测试端子、整体道床测试端子、信号接线盒（区间）、杂散电流测量信号电缆、信号测量端子箱和微机综合测试装置组成，如图 2 所示。微机综合测试装置由微机综合测试的数据采集装置和微机综合测试的数据处理装置组成。

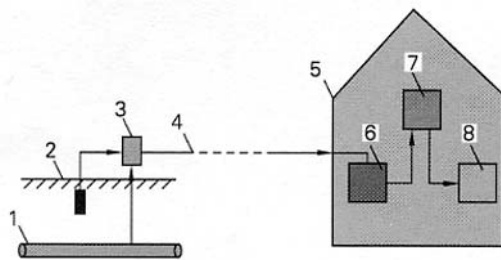


图 2 杂散电流腐蚀监测系统组成示意

Fig.2 Schematic drawing on stray current corrosion monitoring system

1、高架桥轨道梁测试端子或整体道床测试端子；2、参比电极端子；3、信号接线盒；4、杂散电流测量信号电缆；5、变电所；6、信号测量端子箱；7、微机综合测试的数据采集装置；8、微机综合测试的数据处理装置

1. the testing ports on the girder or bed of elevated railway; 2. the ports on the referenced electrode; 3. the junction boxes on signal; 4. the cables on the testing signal of stray current; 5. transformer substation; 6. the boxes of ports on signal testing; 7. the data collecting equipment on microcomputer all-testing; 8. the data processing equipment on microcomputer all-testing

3.1.1 测量信号电缆

测量信号电缆为连接变电所内测量端子箱与沿线各个测试点的信号电缆，它敷设在区间电缆支架上，并通过变电所的电缆通道进入变电所，测量信号电缆为阻燃双芯聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套带屏蔽双钢的铜芯控制电缆。

3.1.2 信号测量端子箱

信号测量端子箱主要用来将各车站测试点的参比电极端子、测试端子信号汇总到车站变电所,并提供统一的通讯接口,以便微机综合测试装置的数据采集装置进行现场测试,采用壁挂式安装。

3.1.3 微机综合测试的数据采集装置

数据采集装置是外置式 A/D 产品,它接于计算机的工业 485 接口工作,适用于笔记本微机或台式微机。数据采集装置的硬件主要采用进口的高精度数据采集模块、通讯模块、电源模块、容量为 8000mA·h 的高性能可充电锂离子电池及充电模块。

数据采集主要性能及指标: A. 通道数: 26(双端); B. 采样频率: 10 次/s(每个分区采样点全采样一遍为一次); C. 信号输入范围: 0 V ~ ±5V; D. 测量精度: ±0.1%; E. 供电电源: AC220V, 50Hz; F. 触发方式: 人工触发,或按一定时间间隔自动触发; G. 锂电池连续工作时间: 8~10 h。

3.1.4 微机综合测试的数据处理装置

数据处理装置采用了便携式计算机,该便携式计算机采用 Intel 最新的 P4-M 2.2GHz 专用处理器,256MB DDR 内存,30GB HDD 硬盘,10/100Mbps 网卡、56kbps Fax 调制解调器、DVD 光驱、USB 接口,满足现场对便携式计算机的要求。

在便携式计算机中安装了杂散电流腐蚀自动监测系统软件(见图 3),该软件系统在中文 Windows XP 操作系统下运行,全部采用 Windows 图形界面,系统对用户友好(对于错误操作给出提示,而自身不会崩溃),操作简单。有多种方式的查询、显示功能,查询结果可以随时打印输出。

杂散电流腐蚀自动监测系统功能主要包括:(1)数据采集,将数据采集装置中的数据收集到本系统中,并自动记录存盘;(2)数据查询,对已经采集到的历史数据进行多种形式的检索输出,并具有超限报警功能;(3)趋势分析,可按月或按日显示杂散电流的变化规律,可以打印及具有超限报警功能;(4)数据维护,可以根据用户要求删除不必要的的数据,删除能够被恢复。

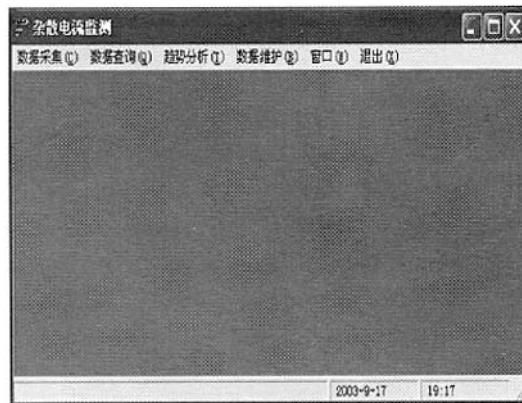


图 3 杂散电流腐蚀自动监测系统主界面

Fig.3 Main working face on tray current corrosion automatic monitoring system

4 测试结果与讨论

为了模拟现场工况条件,采用与现场实际应用相接近的内浇注钢筋、贵金属氧化物阳极的混凝土模拟测试块,将 MMO-1 参比电极安装于混凝土块中,连接好信号测量端子箱、数据采集装置、数据处理装置、恒电位仪及参比电极和钢筋间连线,杂散电流腐蚀自动监测系统试验见图 4。

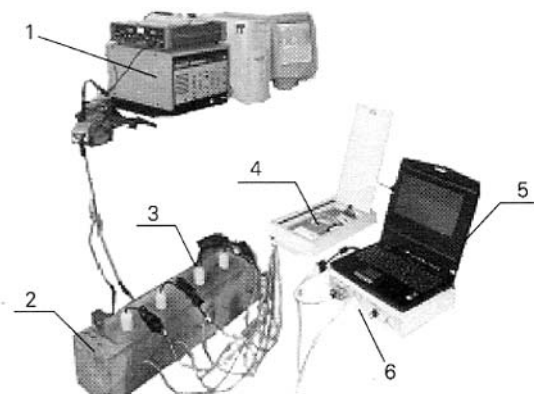


图 4 杂散电流腐蚀自动监测系统试验

Fig.4 Experimenting on tray current corrosion automatic monitoring system

1、M273 电化学测试系统; 2、混凝土模拟测试块; 3、MMO-1 参比电极; 4、信号测量端子箱; 5、微机综合测试的数据处理装置; 6、微机综合测试的数据采集装置。

the M273 electrochemistry testing system; 2. the concrete block on the simulate testing; 3. the MMO-1 referenced electrode; 4. the boxes of ports on signal testing; 5. the data processing equipment on microcomputer all-testing; 6. the data collecting equipment on microcomputer all-testing.

4.1 结构钢筋自然本体电位检测

表 1 结构钢筋自然本体电位测试结果

Tab.1 The results on nature noumenal potential of the structural reinforcing steel bars

MMO-1 参比电极	DTB400 数字万用表 (V)	数据采集装置 (V)
1	0.083	0.0835
2	0.105	0.1051
3	0.092	0.0928
4	0.055	0.0549

4.2 结构钢筋在施加杂散电流情况下的极化电位检测

表 2 结构钢筋在施加杂散电流情况下的极化电位测试结果

Tab.2 The results on polarization potential of the structural reinforcing steel bars with tray current

杂散电流	MMO-1 参比电极	DTB400 数字万用表 (V)	数据采集装置 (V)
10 μ A	1	0.081	0.0812
	2	0.107	0.1074
	3	0.094	0.0943
	4	0.056	0.0563
100 μ A	1	0.062	0.0618
	2	0.123	0.1231
	3	0.112	0.1119
	4	0.071	0.0716
1mA	1	0.132	0.1334
	2	0.275	0.2760
	3	0.288	0.2882
	4	0.223	0.2228
5mA	1	0.975	0.9743
	2	0.972	0.9720
	3	1.077	1.0779
	4	0.888	0.8877
10mA	1	2.06	2.0521
	2	1.83	1.8273
	3	2.08	2.0692
	4	1.75	1.7435

4.3 讨论

(1) 由表 1、表 2 可以看出杂散电流自动监测系统的数据采集装置的测量精度高于 DTB400 数字万用表的测量精度, 测量误差在允许的范围内。(2) 由表 2 的测试结果可以看出, 结构钢筋在施加杂散电流情况下的极化电位灵敏地随杂散电流的增加呈正向增加的趋势, 依据表 2 的测试结果绘制的曲线见图 5。(3) 由于结构钢筋极化电位与外加的杂散电流之间具有很好的相关性和可重现性, 通过监测结构钢筋极化电位的变化就可以推算杂散电流的大小。实验结果也证明, 极化电位能够随杂散电流的变化而灵敏地变化, 因此, 通过极化电位变化来判断杂散电流的泄露程度的方案是可行的。

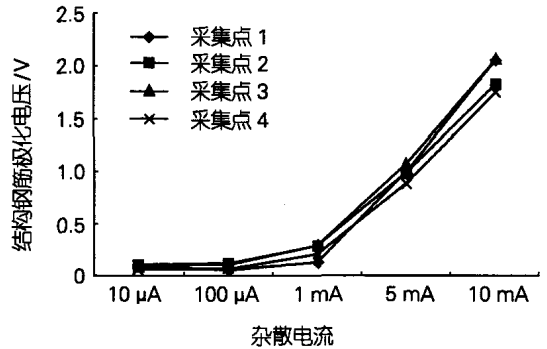


图 5 结构钢筋的极化电位随杂散电流试验变化曲线

Fig.5 Testing variational curve on polarization potential of structural reinforcing steel bars with tray current

5 结论

综上所述, 可得出如下结论: (1) 杂散电流自动监测系统的数据采集装置的测量精度满足设计要求, 测量误差在允许的范围内。(2) 结构钢筋极化电位与外加的杂散电流之间具有很好的相关性和可重现性, 极化电位能够随杂散电流的变化而灵敏地变化, 因此, 通过极化电位变化来判断杂散电流的泄露程度的方案是可行的。(3) 杂散电流自动监测系统测定的结构钢筋极化电位能灵敏地反映杂散电流的泄露程度, 不但保证地下铁道及高架轻轨铁路系统进行正常运输、消除安全隐患、减少甚至杜绝事故, 而且也为深入和研究分析杂散电流提供依据。

参考文献:

- [1] 高敬宇, 易凡. 地铁及轻轨杂散电流腐蚀的防护措施[J]. 天津理工学院学报, 1996, 12(1):32-36.
- [2] 周晓军, 高波. 地铁迷流对钢筋混凝土中钢筋腐蚀的试

验研究[J]. 铁道学报, 1999, 21(5):99-105.

- [3] 吴祥祖, 张庆贺, 高卫平. 地铁杂散电流产生机理及其防护措施[J]. 建筑安全, 2003, 5:28-30.
- [4] 黄钟. 新型地铁杂散电流自动监测系统[J]. 上海建设科技, 2002, 6:25-30.

Automatic monitoring system of stray current corrosion for urban express railway

SUN LI-juan¹, WANG Hong-ren², SUN Hu-yuan¹, LI Shou-ben²

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Qingdao Branch, Luoyang Ship Materials Research Institute, Qingdao 266071, China)

Received: Mar., 21, 2005

Key words: stray current corrosion; structural steel reinforces; corrosion automatic monitoring system

Abstract: Stray current caused electrochemical corrosion to the steels used in urban railway transportation system is very common. The authors developed an automatic monitoring system on the corrosion. In this paper, principles and composition of the system were introduced. The simulation test showed that the system can precisely reflect the corrosion.

(本文编辑: 刘珊珊)