

轨道交通受电弓 / 柔性接触网系统 受流特性的研究

李阿敏¹, 汪普义², 詹永瑞¹, 黄荣玖¹

(1. 广州市交通高级技工学校, 广东 广州 510540;

2. 广州地铁集团有限公司 运营事业总部, 广东 广州 510030)

摘 要: 为了不断改善受电弓 / 柔性接触网系统的受流质量, 主要采用半实物半虚拟相结合的方法, 建立受电弓 / 柔性接触网模拟试验台, 研究轨道交通柔性接触网参数对弓网接触压力的影响规律, 进而研究列车弓网受流特性。研究表明: 当柔性接触网的结构高度取 1.5 m, 柔性接触网跨距取 62 m, 承力索及接触线的张力取 15 kN, 承力索线密度取 0.8 kg/m, 接触线线密度取 1.5 kg/m, 接触线弛度取 45 mm, 对单个余弦波不平顺, 其波长应大于 3.2 m, 对正弦波不平顺, 其波长应大于 5.5 m 时受电弓 / 柔性接触网系统受流最佳。

关键词: 轨道交通; 受电弓; 柔性接触网; 受流特性; 数值模拟; 试验

中图分类号: U225.3 **文献标识码:** A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.03.011

Research on Rail Transit Current Receiving Characteristics of Pantograph/Flexible Catenary System

LI Amin¹, WANG Puyi², ZHAN Yongrui¹, HANG Rongjiu¹

(1. Guangzhou Communications Senior Technical School, Guangzhou, Guangdong 510540, China;

2. Operation Business Division, Guangzhou Metro Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510030, China)

Abstract: In order to improve the current receiving quality of pantograph/ flexible catenary system, the pantograph/flexible catenary operation simulation test rig was established to study the influence of rail transit catenary parameters on the contact force of pantograph/ flexible catenary by physical and virtual combination method, and then the current receiving characteristics of the pantograph/flexible catenary was studied. Researches showed that when flexible catenary structure height was 1.5 m, span was 62 m, the tension of carrier cable and contact wire was 15 kN, carrier cable line density was 0.8 kg/m, contact lines density was 1.5 kg/m, and contact wire sag was 45 mm, for single cosine wave was not smooth, the wavelength should be greater than 3.2 m, and the sine wave was not smooth, wavelength should be greater than 5.5 m, the current receiving was the best for pantograph/ flexible catenary system.

Keywords: rail transit; pantograph; flexible catenary; current receiving characteristics; numeric model; experiment

0 引言

随着我国轨道交通技术的迅速发展, 列车运行速度及可靠性的要求也越来越高。我国积极跟踪国内外轨道

交通技术并新建快速客运专线以提升列车的运行速度。但是, 轨道交通受电弓 / 柔性接触网系统相互作用加剧会导致受电弓 / 柔性接触网受流不稳定, 使列车的行车安全受到严重影响, 因而需要不断改进结构, 提高受流质量^[1]。在柔性接触网与弓头滑板之间存在一定的接触压力, 当接触压力过小时, 则接触电阻大会产生较高能

耗, 导致弓头脱落, 产生离线现象; 当接触压力过大时, 柔性接触网抬升高度增加, 易产生疲劳损伤, 甚至引发弓网事故^[2]。目前, 一般采用加大接触线张力和应力的方法提高受流质量及波动的传播速度, 但柔性接触网的可靠性会受到影响, 主要零部件易引起疲劳损伤。弓网系统是电力牵引的薄弱环节, 对列车的高速运行有一定的限制作用, 研究如何提高高速列车的弓网受流质量和可靠性问题, 显得十分迫切。

1 模拟原理

半实物半虚拟弓网模拟试验虽不可能完全模拟弓网实际工作环境, 但投资经费少、可重复性强, 不需要通过相似原理进行反推, 可以进行受电弓动态、静态特性及受电弓接触网参数测试, 受电弓 / 柔性接触网模拟试验台以其独特的优势正越来越多地应用于弓网特性的研究领域。

本文采用的受电弓 / 柔性接触网模拟试验台由3部分构成: 上部是柔性接触网动态模拟系统(数学模型存储于液压激振系统计算机), 中部是受电弓, 下部是受电弓基座振动激振系统。采用计算机模拟柔性接触网的虚拟系统如图1所示。在受电弓运行过程中, 测量 t 时刻弓网间的接触压力, 预测 $t+\Delta t$ 时刻弓网触点位置及实际位移, 信号经现场总线传输至伺服控制器, 经D/A转换, 放大器放大, 液压伺服作动器推动活塞移动, 得到的模拟信号被放大后, 经A/D转换, 送至伺服控制器, 经现场总线将接触压力传送到计算机, 如此不断循环, 直至仿真完成。

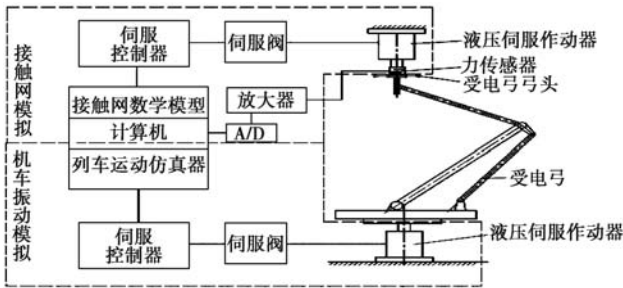


图1 混合模拟弓网试验台方案图

本文采用有限元法(FEM)建模^[3], 因FEM建模柔性接触网的网格划分比较密集, 比较容易获得柔性接触网振动模态, 但是振动模态中离散点的数值需要非常大的数值变量来储存, 占用大量的硬盘空间, 严重影响仿真运行速度。为了快速得到精确的计算结果, 柔性接触网建模主要采用有限元模态叠加法。试验中将接触线、承力索作为具有一定抗弯刚度、自重、轴向拉力的梁单元考虑, 限位器、支撑杆、吊弦作为弹簧单元考虑, 线夹作为集中质量单元考虑^[4]。

接触线的铰连接如图2所示, 柔性接触网的下锚点一般在锚段尾部, 接触线与承力索的垂直位移分别为 Z_a 和 Z_b 。约束刚度与位移均为零, 即

$$Z|_0 = Z|_L = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}|_0 = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}|_L = 0 \quad (2)$$

因此, 接触线和承力索的位移 Z_a 和 Z_b 可以用奇函数进行展开, 其正弦波(Fourier)的展开式为

$$Z_A(x, t) = \sum_{i=1}^n A_i(t) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \quad (3)$$

$$Z_B(x, t) = \sum_{i=1}^n B_i(t) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \quad (4)$$

式中: t 为时间变量; L 为锚段长度; x 为与下锚端点间的距离; n 为振动模态的阶次; $A_i(t)$ 、 $B_i(t)$ 分别为接触线、承力索的第 i 阶振动幅度。

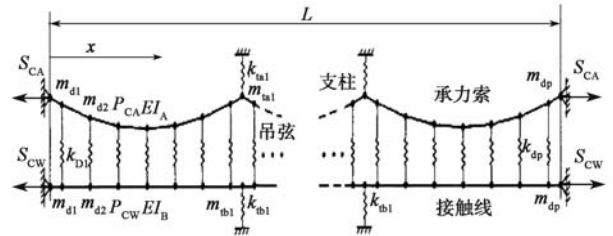


图2 柔性接触网有限元计算模型

3 柔性接触网参数

目前受电弓 / 柔性接触网受流质量的评价标准尚未统一, 本文受电弓 / 柔性接触网受流质量的好坏以接触压力的最小值、最大值以及均方根值来衡量。以德国DSA380型高速受电弓与国内简单链形悬挂柔性接触网为研究对象^[5], 系统分析结构高度、跨距、承力索及接触线的张力、密度、接触线弛度、接触线表面不平顺等参数对受电弓 / 柔性接触网接触压力的影响。柔性接触网参数: 结构高度为2.0 m, 跨距为80 m, 承力索号为GLJCL20/35, 弹性模量为 0.817×10^{11} Pa, 张力为17 kN, 截面积为153 mm², 线密度为0.602 kg/m, 接触线型号为RiSl20, 弹性模量为 1.3×10^{11} Pa, 张力为13 kN, 截面积为120 mm², 线密度为1.07 kg/m; 腕臂质量为9 kg、刚度为 2.5×10^7 N/m, 定位器质量为0.633 kg、刚度为130 N/m, 吊弦夹质量为0.1 kg。吊弦的长度及布置的算式^[6]如下:

$$l_i = h - \frac{\rho g x_i (1 - x_i)}{2S_{CA}} \quad (5)$$

$$x_i = 4 + \frac{l - 2 \times 4}{n - 1} \times (i - 1) \quad (6)$$

式中: h 为结构高度, m; l_i 为跨中第 i 根吊弦的长度, m; g 为重力加速度, m/s²; ρ 为单位长度悬挂质量, kg/m; x_i 为跨中第 i 根吊弦距定位器的距离, m; l 为跨距长度, m; n 为吊弦的根数。

3 试验结果

接触压力过小易引起弓头脱落, 产生离线现象;