

# 我国地铁接触网检测现状及发展趋势

马金芳<sup>1</sup> 于 龙<sup>2</sup>

(1. 广州地下铁道总公司 广州 510310; 2. 西南交通大学电气工程学院 成都 610031)

**摘 要** 论述目前我国地铁接触网检测的技术手段和方式,指出其中存在的问题。结合现有电客车的运营模式和接触网检测车的检测情况,展望地铁刚性接触网检测的趋势,提出打造接触网检测车与电客车一体化联合检测平台的新思路;充分利用已有检测和运营两方面的信息,建立接触网几何参数和弓网动态相互作用参数的综合指标,为指导我国地铁接触网维护打下理论基础并提供客观依据。

**关键词** 地铁;接触网检测;弓网系统;评价

**中图分类号** U225;U231.6 **文献标志码** A

**文章编号** 1672-6073(2013)02-0026-04

## 1 接触网检测概述

近年来,我国城市经济高速发展,同时伴随着城市人口数量剧增。地铁作为解决城市轨道交通的主要手段,在缓解城市交通压力方面发挥着巨大的作用。一直以来,地铁牵引供电系统设备的可靠性、运行过程的安全性和故障处理的及时性是整个地铁系统安全运行的重要保障。

接触网和牵引变电所是地铁牵引供电系统的重要组成部分,其中接触网是牵引供电系统向电客车提供电能的最直接环节。因此,接触网的状态直接影响着电客车的受流质量,接触网的检测也成为地铁公司最重要的日常检修维护工作之一。目前,我国各个城市的地铁公司都采取各自的接触网维修措施,但由于其技术起源不同、运营模式存在差异,使接触网参数的检测具有一定的片面性,无法为现场检修工作提供真实有力的客观依据。

收稿日期:2012-09-18

作者简介:马金芳,男,副总工程师,工程师,从事城市轨道交通技术工作,majinfang1106@126.com

为形成系统的接触网检测、维修、评价体系,笔者从技术层面上综述了我国地铁接触网检测的一些技术手段和方式,并指出其存在的问题,展望了地铁接触网检测的趋势,提出打造接触网检测车与电客车一体化联合检测平台的新思路,充分利用其所提供的检测和运营两方面信息,建立接触网几何参数和弓网动态相互作用参数的综合指标,为指导我国地铁接触网维护提供理论帮助和客观依据。

## 2 接触网检测方法

接触网检测是保证城市轨道交通安全运行的必要手段。目前,城市轨道交通接触网检测主要依靠人工现场测量和接触网检测车两种检测手段,由此获得接触网的几何参数和弓网相互作用的动态参数,从而为运营维修部门提供客观的检修依据。在我国地铁接触网人工现场测量中,主要采用山东蓝栋 DDJ-8 型和唐源电气 TDJ-6 型的手持式接触网参数检测仪。然而,人工现场测量的方式主要用于接触网维修复核,效率低,强度大,不适于全线的接触网检测。下面将论述目前采用的刚性接触网检测方法,这些方法主要是指车载式的动态检测方法。

### 2.1 接触网几何参数检测

接触网几何参数通常是指接触网导线高度,即导高、拉出值以及锚段关节两线间距等。我国最早的地铁接触网几何参数检测,是西南交通大学在广州地铁 1 号线采用的接触式检测方式<sup>[3]</sup>。拉出值的检测原理是:在受电弓上安装接近开关(见图 1),通过开关输出的开关信号,判断接触线的位置,从而计算拉出值。导高的检测原理是:通过在受电弓上安装反射板,利用电客车顶部的测距激光传感器,测量受电弓与电客车顶

部的距离,通过相应的标定和计算,便可以测量接触线动态导高。日本也采用类似的思想进行导高的测量<sup>[4]</sup>:在受电弓上安装具有图像标志的标签(见图2),通过线阵相机的高速扫描,从而记录受电弓的状态,再用标定换算成导高。但是,这种接触式的检测方法存在较大的缺陷:一是接近开关的可靠性较差,容易损坏,并且检测结果受安装方式的影响较大,精度不高;二是导高的测量是在默认受电弓与接触线良好接触的先决条件下进行的,但实际运行中,受电弓自身处于高频的振动中,因此导高的检测受到较大的噪声干扰,影响了测量精度。可见,这种接触式的方法无法测量锚段关节以及线岔等关键区域的几何参数(如两线水平间距和抬高等),因此有一定的局限性。

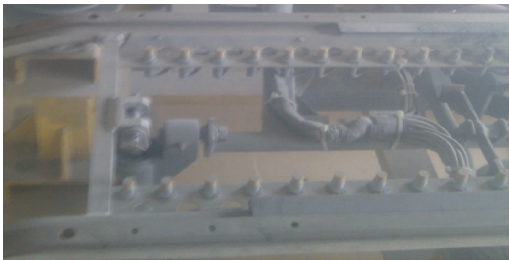


图1 接触式接触网检测方式

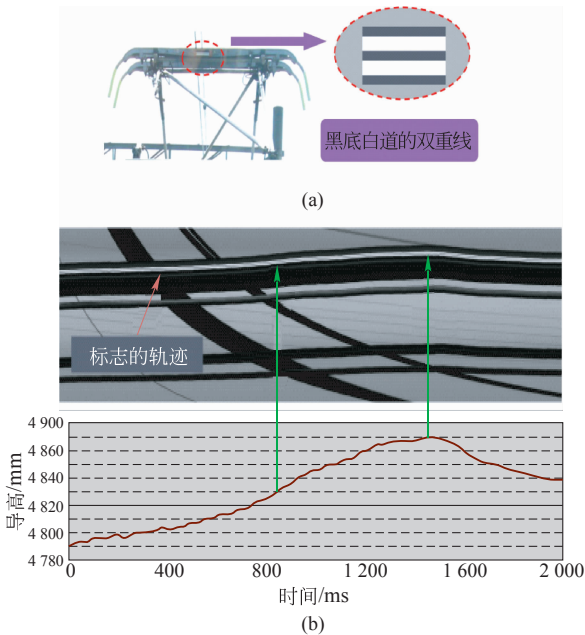
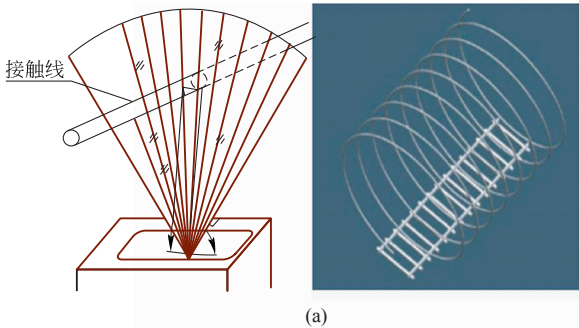


图2 日本利用标签方式检测导高

为克服上述检测方法存在的问题,国内国铁精工、唐源科技、弓网科技等公司采用了基于激光雷达的非接触式检测方式(见图3),曾应用于我国苏州地铁、西安地铁及上海地铁的接触网检测。该方法将激光雷达安装于检测车车顶中心,激光雷达通过连续发射激光

束的方式,对被测接触线进行二维平面测量,再通过三角几何原理换算接触网拉出值和导高的几何参数。由于利用了二维的平面测量手段,很好地解决了锚段关节以及线岔等关键区域的几何参数测量问题。但是,受激光雷达本身测量精度的影响(一般激光雷达的精度只能达到3~5 mm),这种接触网几何参数检测方式并未在地铁的刚性接触网检测中广泛应用。



(a)



(b)

图3 基于激光雷达的接触网检测方式

近年来,随着图像处理技术、计算机视觉技术的发展,基于计算机视觉的接触网检测方式被成功应用。弓网科技在国内率先采用了基于面阵相机的计算机视觉检测方式,成功应用于广州地铁2号线的刚性接触网检测,取得了较好的应用效果,导高的测量精度可以提高到5 mm,如图4所示。但是,由于受面阵相机本身CCD靶面的限制,使得该检测方法的测量范围有限,对于地铁柔性接触网的检测具有一定的局限性。此外,由于面阵相机本身的特性,其帧率无法做到很高,从而也使得接触网几何参数检测的密度不会很高,造成采样间隔较大。为克服这一缺陷,德国、日本及意大利采用了基于线阵相机的计算机视觉检测方式<sup>[4]</sup>,用于接触网的检测。该方法采用两台线阵相机,每台相机分别获取接触网位置状



图4 基于面阵相机的接触网检测方式

态,并以灰度值形态呈现;借助图像识别、分析、处理等技术,将相机获取的灰度值还原为目标成像所对应的位置坐标;通过三角测量法,计算接触网几何参数,实现接触网几何参数的高精度检测。线阵相机的扫描频率可达上千帧,并且不会受测量范围的限制。唐源电气公司采用了相似的技术,成功应用于我国上海地铁的接触网检测,如图5所示。

上述接触式或非接触式的接触网检测都是车载式的检测方式。由于机车在行驶过程中本身会产生振动,使检测所获得的接触网几何参数具有较大的不确定性,因此为提高几何参数的检测精度,必须对车体的振动进行补偿。唐源电气公司在国内率先引入了针对走行轨特征的补偿方式,如图6所示。利用计算机视觉原理,识别走行轨的特征,实时判断车体的振动状态;结合线阵相机的计算机视觉检测方式,将接触网几何参数归算到走行轨中心,大大降低

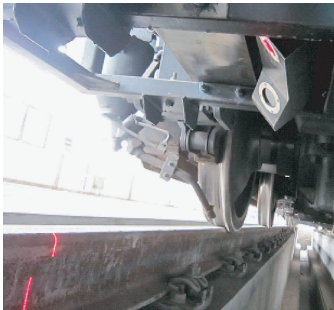


图6 接触网检测车振动补偿系统

了由于车体振动所造成的接触网几何参数的随机性。该检测方式成功应用于重庆地铁,取得了较好的效果,克服了车体振动以及测量范围等问题。实践表明:这种方法将成为我国地铁接触网几何参数检测的主要方法。

### 2.2 弓网相互作用动态参数检测

弓网动态受流性能是弓网系统运行服役性能的实质性体现,主要通过评价弓网动态受流性能的优劣来反映弓网系统的运行服役性能。弓网系统受到许多因素的影响,诸如接触悬挂类型、接触线材质、受电弓型号、弓网动态接触压力以及列车运行状态等。目前,我国地铁主要将弓网接触压力<sup>[2-3]</sup>作为弓网相互作用的动态参数,通过分析接触压力的均值、方差来评判弓网受流质量。

在弓头滑板的两端分别安装4个压力传感器来检测弓网接触压力(见图7),同时安装加速度传感器来

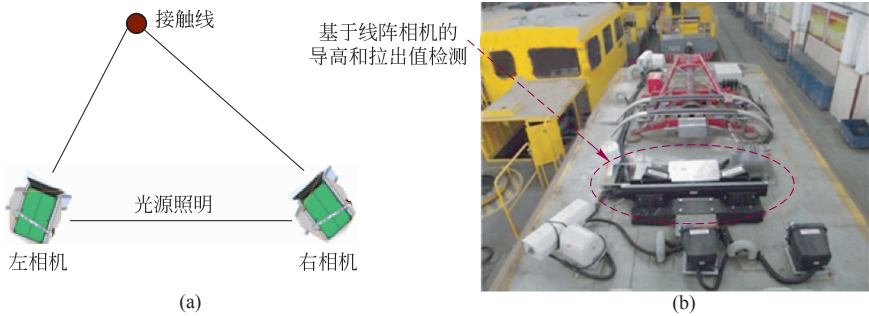


图5 上海地铁接触网综合检测车

测量受电弓的加速状态,应用牛顿第一和第二定律并考虑受电弓本身的质量,便可测量和计算弓网接触压力。德国、日本等国的地铁都采用与实际运营型号相同的电客车作为接触网检测车,通过在受电弓上安装传感器来测量弓网接触压力<sup>[4]</sup>。虽然,大部分压力传感器采用轻型合金材料,但其毕竟更改了受电弓的物理结构,弓网接触压力检测的数值并没有考虑这一部分所带来的影响。受经济条件的限制,国内地铁并无专门电客车形式的综合检测车;同时,考虑到运营安全,也没有在电客车受电弓上安装压力传感器。目前,检测地铁弓网接触压力,主要是利用我国襄樊金鹰、宝鸡南车时代等厂生产的综合检测车,利用检测受电弓来进行弓网接触压力检测。但是,弓网接触压力是相互作用动态参数,受列车类型、受电弓型号、列车速度等诸多因素的影响,因此基于综合检测车的这种检测方式所获得的接触压力不具有一定的客观性。



图7 电客车压力检测安装

日本将弓网燃弧作为弓网相互作用动态参数,通过非接触的检测方式,在运营的电客车上检测弓网燃弧(见图8)<sup>[7]</sup>,获取相应的指标,从而评价弓网受流质量,从根本上反映弓网的动态关系。在我国,唐源电气公司率先应用了这一技术,成功检测了广州地铁3号线运营电客车的弓网燃弧状态(见图9),为弓网受流质量的评价提供了一系列客观数据指标(如燃弧率、最大燃弧时间、燃弧强度等)<sup>[8]</sup>。



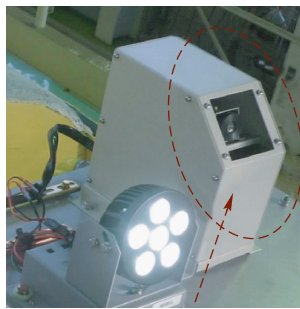


图8 日本电客车的  
弓网燃弧检测装置

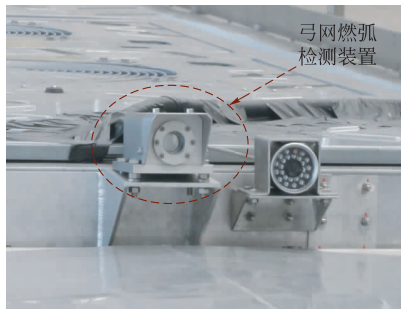


图9 唐源电气的电客车  
弓网燃弧检测装置

### 3 接触网检测新模式

接触网几何参数属于接触网的静态特性,可为提升接触网维修的精准度及质量提供客观依据;而弓网相互作用动态参数属于弓网的动态特性,可确保弓网系统的安全服役性能。因此,要坚持“预防为主、重检必修”的方针,必须有机地结合这两方面的检测信息,两者相辅相成,缺一不可,不全面或单一的检测方式很难为维修部门提供客观的维修依据。

从目前我国既有地铁接触网检测现状的分析可知,所有的接触网检测都是通过接触网检测车来实现的,这势必造成所检测的弓网相互作用动态参数不能反映实际弓网关系。因此,只有从电客车实际运营的角度出发,获取弓网相互作用动态参数,才能反映实际的弓网关系。基于这一点,应该充分利用电客车所提供的运营信息和接触网检测车提供的检测信息,通过从整体到局部、从粗检测到细检的高效率检测模式,打造接触网检测车与电客车的一体化联合检测平台,融合接触网几何参数和弓网相互作用动态参数,从上述两方面建立统一的接触网维修评价体系。

首先,利用在电客车上安装的弓网燃弧检测装置,获取全线路的燃弧信息,实时监控全线路的燃弧率及状态,重点关注燃弧变化较大的区段,使接触网维修部门的维修维护工作具有针对性;其次,结合车体振动补

偿技术,基于线阵相机的计算机视觉检测方式,利用接触网检测车,对所关心的区域进行接触网几何参数的反复检测,获取导高和拉出值数据,得到相应的参数曲线,验证曲线的重复性和异常情况;最后,结合接触网几何参数和弓网相互作用动态参数,针对异常数值进行人工复查维修。采用这种新型的检测维修模式,可以真正从电客车运行的安全性出发,做到从整体评价线路、从局部查找问题,大大提

高地铁接触网检修维护的效率,为我国地铁接触网的运营维护提供新的思路。

#### 参考文献

- [1] 毛保华. 城市轨道交通[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [2] 于万聚. 高速电气化铁路接触网[M]. 成都:西南交通大学出版社,2003.
- [3] 陈唐龙. 高速铁路接触网检测若干关键技术研究[D]. 成都:西南交通大学,2006.
- [4] 明电舍. 电铁技术部接触网检测装置的介绍[M]. 日本,2011.
- [5] 赵晓娜,吴兴军,徐根厚. 德国高速铁路接触网检测系统[J]. 中国铁路,2008(9):60-62.
- [6] Kießling, Puschmann, Schmieder. 电气化铁道接触网[M]. 中铁电气化局集团有限公司,译. 北京:中国电力出版社,2004.
- [7] Hayasaka Takamasa, Shimizu Masatoshi, Nuzu Kazuyoshi. Development of a contact-loss measuring system using ultraviolet ray detection[J]. Railway Technology Avalanche, 2009,50(3):131-136.
- [8] EN50317: Railway applications-current collection systems-requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contactline[S]. Brussels:CENELEC,2002.

(编辑:郭洁)

## Present Situation and Development Tendency of Metro Catenary Inspection in China

Ma Jinfang<sup>1</sup> Yu Long<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Metro Corporation, Guangzhou 510310;

2. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

**Abstract:** This paper reviews the technical measures of catenary inspection in China's metro and existing problems. Considering the operation modes of metro trains and the detecting situation of catenary inspection vehicles, the paper forecasts the trend of rigidity overhead wire-pantograph inspection of metro trains, and presents new ideas for the integrated testing platform of metro trains and catenary inspection vehicles. The comprehensive indices of catenary geometry and the dynamic interaction parameters of pantograph-catenary system should be established by making full use of the information of detection and operation, thereupon to offer theoretical basis to guide the maintenance of catenary inspection in China's metro.

**Key words:** metro; catenary inspection; pantograph-catenary system; evaluation