

# 电力机车受电弓控制方式优化方案

田茂华

新朔铁路

DOI:10.12238/jpm.v3i11.5441

**[摘要]** 针对受电弓与接触导线静态接触力、升弓时间和降弓时间的检测,设计一种受电弓性能测试装置。测试装置主要由测距传感器、操作台、测试机箱组成。介绍测试装置工作原理、技术参数。详细阐述测试装置测试静态接触力、升弓时间和降弓时间的方法。测试装置既可以测试受电弓一个完整升降周期的静态接触力、升弓时间和降弓时间,还可以连续记录一个完整升降周期内的升弓静态接触力、降弓静态接触力,以及升降弓静态接触力差,并生成以静态接触力为横坐标、升降高度为纵坐标的静态接触力曲线。测试装置具有集成化、自动化程度高,测试功能全面等优势,可大幅提升受电弓性能检测能力和效率。

**[关键词]** 电力机车;受电弓;静态接触力;升弓时间;降弓时间;测试装置

## Optimization scheme of pantograph control mode of electric locomotive

Tian Maohua

Unit: Xinshuo Railway

**[Abstract]** A pantograph performance test device is designed to detect the static contact force, arch lifting time and bow lowering time of the pantograph and the contact wire. The test device is mainly composed of ranging sensor, operating table and test chassis. The working principle and technical parameters of the test device are introduced. Explain the method of testing the static contact force, bow lifting time and bow lowering time. Test device can test the bow a complete lifting cycle of static contact, bow time and bow time, also can continuously record a complete lifting cycle of bow static contact, bow static contact force, and bow static contact difference, and generate the static contact force for the abscissa, lifting height for the ordinate static contact force curve. The test device has the advantages of integration, high degree of automation and comprehensive test function, which can greatly improve the ability and efficiency of pantograph performance detection.

**[Key words]** electric locomotive; pantograph; static contact force; bow time; bow time; test device

### 一、引言

近年来,我国的高速铁路事业快速发展,在新时代“交通强国”的战略要求下,从已实现的“四纵四横”战略目标基础上,我国进一步规划了“八纵八横”高铁建设宏伟蓝图,这代表着高速铁路将迎来新一轮的建设高潮。随着我国高速铁路运营里程的增加、铁路网规模的扩大和运输旅客数量的增加,这对高速铁路列车运行时的安全性和舒适性提出了更高的要求。

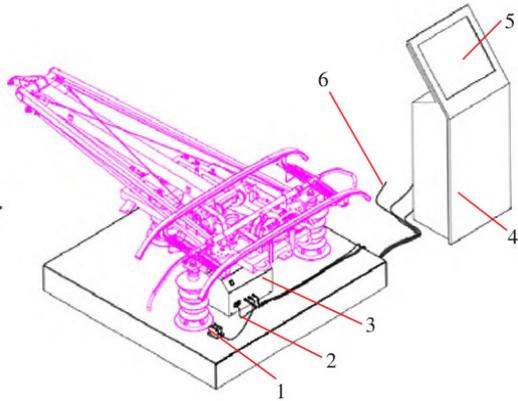
我国干线铁路机车车辆以及部分地铁、城轨车辆受流装置,通过受电弓从接触网获取列车运行所需用电。受电弓是电力机车的关键部件,其性能直接影响列车运行安全。在整个工作高度范围内,受电弓与接触导线的静态接触力(以下简称“静态接触力”)是受电弓的关键性能参数。静态接触力过大会导致受电弓滑板磨损速度增大,缩短其使用寿命。静态接触

力过小会导致接触质量下降,增大火花。严重时还会出现拉弧现象,损毁受电弓和接触网。受电弓升弓时的静态接触力与降弓时的静态接触力的差(以下简称“压力差”)过大,还会影响受电弓弓网跟随特性,严重影响列车运行安全。另外,受电弓的升弓时间和降弓时间也是考核受电弓性能的重要参数。升弓时间和降弓时间是衡量受电弓在升降范围内能否快速升起和落下的标志,也是保障行车安全的重要一环。既有受电弓性能试验台自动化程度不高,无法连续自动测量一个完整升降周期的静态接触力,操作方法复杂,设备集成度不高,故障率较高,维护工作量大。而且无法在同一试验台位测试升弓时间、降弓时间和静态接触力,功能单一,测试效率较低。针对上述问题,设计一种受电弓性能测试装置,用于测试机车车辆受电弓静态接触力、升弓时间和降弓时间。

## 二、受电弓性能测试装置组成、技术参数及工作原理

### (一) 组成

受电弓性能测试装置主要由测距传感器、操作台、测试机箱组成。其中，测试机箱包括可编程逻辑控制器 (PLC)、拉力传感器、电源转换器、电机驱动器、步进电机和绕线盘。操作台包括上位机及控制软件、触摸屏和打印机。受电弓性能测试装置组成如图 1 所示。



1—测距传感器；2—电源线及信号线；  
3—测试机箱；4—操作台；  
5—触摸屏；6—连接升降弓电磁阀线

图 1 受电弓性能测试装置组成

测距传感器外置于测试机箱，用于测量受电弓实时高度，并将信号发送给 PLC。测试机箱内置拉力传感器，用于测量受电弓实时静态接触力，并将信号发送给 PLC。PLC 将测距传感器和拉力传感器采集到的数据通过信号线发送给上位机，实时监测并记录受电弓高度和静态接触力。操作台内置的上位机及其控制软件，为 PLC 发送测试动作指令，并接收数据。通过触摸屏实现人机交互。测试结果包括静态接触力曲线和数据，并以统一模板格式生成，可以通过打印机打印。

### (二) 技术参数

受电弓性能测试装置主要技术参数见表 1

表 1 受电弓性能测试装置主要技术参数

最大测试高度	最大测试拉力	最长测试时间	测试功耗	供电方式
3 500 mm	3 00 N	30 s	<150 W	AC 220 V/50 Hz
高度测量最小分度值	拉力测量最小分度值	时间测量最小分度值	升降速度	
1 mm	0.1 N	0.01 s	0.05 m/s	

### (三) 工作原理

受电弓性能测试装置运行逻辑如图 2 所示。

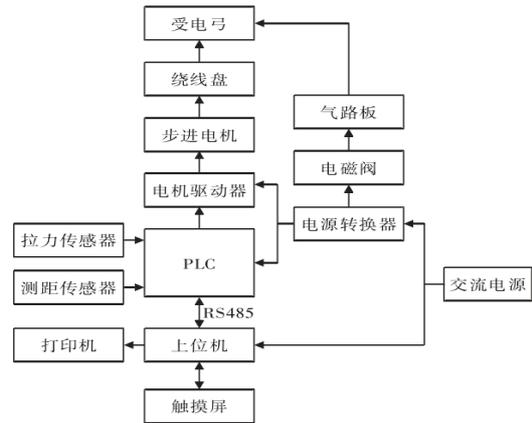


图 2 受电弓性能测试装置运行逻辑

PLC 输出端与电机驱动器相连，根据上位机输出的指令，控制电机驱动器。电机驱动器输出端与步进电机控制输入端相连。PLC 在接收到上位机指令后，使电机驱动器输出对应的控制信号，控制步进电机动作，包括电机转速及转向。在测试过程中，受电弓固定在测试平台上。施加额定工作气压后，在气囊作用下，受电弓处于张开状态，弓头处受到竖直向上的张力。

步进电机与缠有钢丝绳的绕线盘相连。电机转动，带动绕线盘转动。绕线盘上绕有钢丝绳，钢丝绳一端与步进电机相连，另一端固定在弓头处。电机带动绕线盘正转或反转，从而收紧或放开钢丝绳，实现受电弓升降动作。此外，步进电机具有刹车功能。当电机供电突然中断时会自动锁定电机转轴，避免受电弓向上的张力拉动钢丝绳，转动电机。这样，既可以避免受电弓受到有害冲击，也可以避免电机和测试装置损坏。

拉力传感器输出信号与 PLC 信号输入端相连，置于测试机箱内。测距传感器输出信号端与 PLC 信号输入端相连，置于测试机箱外。在测试过程中，拉力传感器将拉力信号传输给 PLC，再通过 PLC 传输给上位机，用于实时显示并记录静态接触力数据。测距传感器实时采集受电弓高度数据，并发送给 PLC。再通过 PLC 传输给上位机，用于实时显示并记录受电弓高度数据。测试机箱设置有 24 V 直流电压输出端口，可以连接并控制升降弓电磁阀，自动测量升弓时间和降弓时间。上位机通过控制软件中的电磁阀通断按钮，控制受电弓气源的通断、受电弓升弓和降弓状态。

电磁阀接通，受电弓从落弓位开始自由上升，测距传感器将落弓位高度信号发送给 PLC，升弓时间计时开始。受电弓升至最高工作高度时，测距传感器会识别到这个高度，并将高度信号发送给 PLC。升弓时间计时结束，电磁阀断开，受电弓从最高工作高度开始下降。测距传感器将到达最高工作高度数据发送给 PLC，降弓时间计时开始。

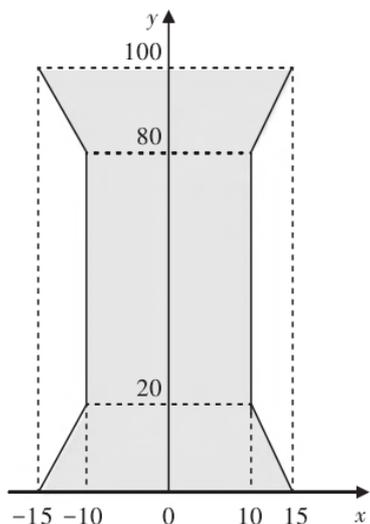
当受电弓降至落弓位，测距传感器会识别到这个高度，并将高度信号发送给 PLC，降弓时间计时结束。测试过程中，测距传感器实时采集受电弓高度数据并发送给 PLC，再通过 PLC 传入上位机，实时显示并记录升弓高度数据。PLC 通过 RS485 与上位机相连。上位机与触摸屏相连。控制软件通过触摸屏实

现人机交互,包括设置受电弓参数及动作指令、控制步进电机,完成相关测试等。

### 三、测试方法

#### (一) 测试依据

根据 GB/T 21561.1—2018《轨道交通机车车辆受电弓特性和试验第1部分:干线机车车辆受电弓》和 GB/T 21561.2—2018《轨道交通机车车辆受电弓特性和试验第2部分:地铁和轻轨车辆受电弓》规定的技术要求和试验方法,测试各类受电弓静态接触力、升弓时间和降弓时间。(1) 测量静态接触力。要求在工作位置连续测量1个升降周期的静态接触力。静态接触力允差如图3所示。升弓和降弓过程中,静态接触力允差应符合图3的要求,静态接触力曲线应落在规定区域范围内。(2) 测量升弓时间和降弓时间。要求从落弓高度升至最高工作高度的上升时间不超过10 s,从最高工作高度降到落弓位的下降时间不超过10 s。



x—静态接触力允差/N; y—工作范围/%

图3 静态接触力允差

#### (二) 测试静态接触力

测试静态接触力前,在受电弓弓头上表面设置反光板,并将测试机箱引出的钢丝绳末端与弓头部位可靠连接。受电弓连接气路板,施加额定工作气压。测距传感器置于反光板正下方受电弓安装平面上。连接测试机箱和操作台的电源线和通信线。静态接触力测试流程如图4所示。

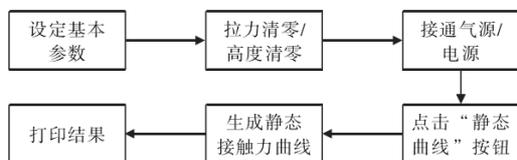


图4 静态接触力测试流程

#### 1 设定基本参数

通过控制软件初始化程序设定以下受电弓基本参数:落弓位高度、最低工作高度、最高工作高度、标称静态接触力。进

入软件主页面,根据受电弓基本参数生成静态接触力坐标系,显示对应静态接触力允差范围框图。

#### 2 传感器初始化

在自然状态下,对受电弓“拉力清零”,即拉力传感器将当前拉力定义为“0”。给受电弓施加额定工作气压,受电弓在气囊作用下具有向上的张力,即此时受电弓的静态接触力。手动控制测试机箱升降按钮,将受电弓调整至落弓位高度,进行“高度清零”,测距传感器定义当前高度为落弓位高度。

#### 3 测试过程

完成传感器校正后开始测试。点击软件中“静态曲线”按钮,电机开始正转。在向上张力作用下,受电弓从落弓位匀速上升,直至达到最大工作高度。此时,虽然钢丝绳依然处于放绳过程,但受电弓不再上升,拉力为0。

传感器将拉力为0的信号发送给PLC,PLC自动发送降弓信号给电机驱动器,电机开始反转,钢丝绳在绕线盘带动下开始收绳。受电弓从最大工作高度开始下降,直至落弓位。测距传感器识别到最大工作高度信号,并将高度信号发送给PLC。PLC自动发送停机信号给电机驱动器,电机停止运转,完成一个周期的静态接触力测试。

#### 4 生成测试结果

在测试过程中,拉力传感器和测距传感器实时记录数据,并在坐标系中生成一个完整升降周期的静态接触力曲线。静态接触力曲线如图5所示。

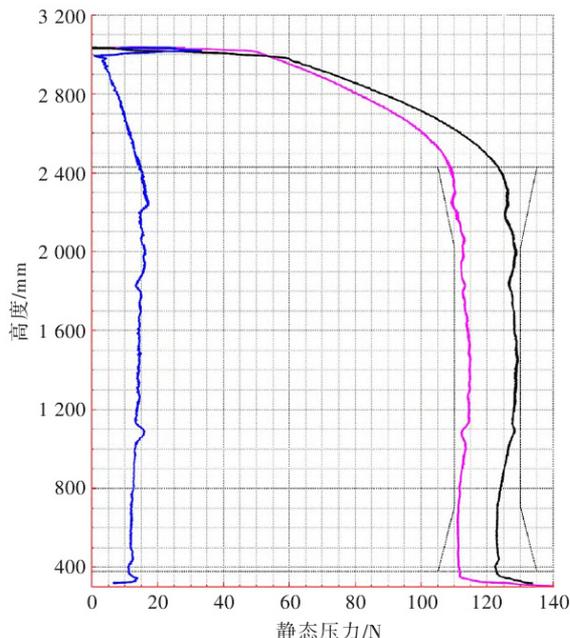


图5 静态接触力曲线

测试结束后,可将数据及曲线保存,打印生成测试记录。

#### (三) 测试升弓时间和降弓时间

受电弓会影响高速铁路牵引供电系统的受流质量,良好的受流质量能保证高速铁路列车快速、安全和舒适地运行。因此,需要对受电弓进行快速、准确和实时地检测,当受电弓出现异

常状况时能及时发现并进行检查维修。目前,针对受电弓的检测主要有人工检测、接触式检测和非接触式检测等方法。人工检测方式是传统受电弓检测的主要方式之一,其优点是检测精度高、方式灵活,但是检测效率低,需要在列车停运时作业,检测结果依赖检测人员的主观判断。接触式检测是将传感器安装在受电弓上进行检测,具有检测精度高、效率快、远距离检测等优点,但安装过多的传感器会影响受电弓的动态性能。基于测距技术的非接触式检测,其优点同样是检测效率高,但存在检测内容单一、检测精度不佳等缺点。基于图像处理技术的非接触式检测,可利用车载受电弓监控摄像机对受电弓进行实时监控,优点是对弓网影响小、检测内容丰富和智能化程度高等。但前期需要大量图像数据,对算法和设备性能要求高。测试前,先将电磁阀控制端口与测试机箱 24 V 直流输出电压端口相连,将电磁阀气路与受电弓气路板连接。升弓时间和降弓时间测试流程如图 6 所示。

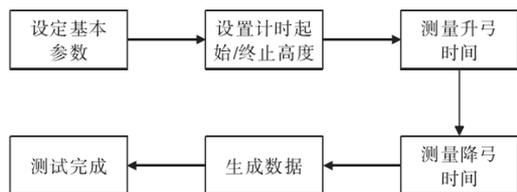


图 6 升弓时间和降弓时间测试流程

(1) 在控制软件中设置升弓最低位置和最高位置,分别对应升弓起始高度和终止高度。设置降弓最高位置和最低位置,分别对应降弓起始高度和终止高度。(2) 测量升弓时间时,电磁阀接通,受电弓气源接通,从落弓位开始自由上升。测距传感器将高度到达落弓位的信号发送给 PLC,升弓时间计时开始。当受电弓升至最高工作高度时,测距传感器识别到这个高度信号,并将这个高度信号发送给 PLC,升弓时间测量结束。

(3) 测量降弓时间时,电磁阀断开,受电弓气源断开,从最高工作高度开始自由下降。测距传感器将到达最高工作高度的信号发送给 PLC,降弓时间计时开始。当受电弓降至落弓位,测距传感器识别到这个高度信号,并将这个高度信号发送给 PLC,降弓时间测量结束。

#### 四、结语

在电气化铁路供电系统中,弓网系统是关键的部分,接触网是主要的供电设备,高速铁路列车通过受电弓从接触网获取电能。高速铁路列车失去电能会导致列车降速直至停车,同时列车的其他电气设备也会停止工作,因此受电弓作为高速铁路供电系统中重要的部件,一旦发生任何损伤或故障都将直接影响高速铁路列车的行车安全。受电弓作为机车车辆关键零部件,其性能关乎铁路运行安全。受电弓性能测试装置满足受电弓性能测试要求,可覆盖国内干线机车车辆、地铁和轻轨车辆等各类受电弓性能的测试。受电弓性能测试装置既可以测试受电弓一个完整升降周期静态接触力,又可以测量升弓时间和降弓时间。整个测试过程只需控制电磁阀通断便可完成全部测量工作。测试装置还可以连续记录一个完整升降周期内升弓时的静态接触力、降弓时的静态接触力,以及压力差;生成以横坐标为静态接触力、纵坐标为升降高度的静态接触力曲线,在坐标系中显示静态力允差范围,直观判定检测结果是否合格。测试装置自动化、集成化程度高,故障率低,易于维护,人机交互便捷,测试结果可视。

#### [参考文献]

- [1]曹雅丽.国家铁路局:“八纵八横”高铁网正形成[N].中国工业报,2021-08-27(001).
- [2]王万岗,吴广宁,高国强,等.高速铁路弓网电弧试验系统[J].铁道学报,2012,34(04):22-27.
- [3]隆超.高速铁路弓网燃弧检测系统研究[D].成都:西南交通大学,2010.
- [4]魏文斌,张婷婷,高国强,等.弓网电弧对牵引传动系统电气特性的影响[J].高电压技术,2018,44(05):1589-1597.
- [5]韩志伟,刘志刚,张桂南,等.非接触式弓网图像检测技术研究综述[J].铁道学报,2013,35(06):40-47.
- [6]刘建仁,刘卫,陈滔.高速铁路弓网动态图像检测技术研究综述[J].装备制造技术,2019(02):186-190.