

文章编号: 1674—8247(2023)02—0033—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.02.007

电气化铁路接触网电连接装置检测标准及方法研究

潘利科

(中国铁道科学研究院集团有限公司, 北京 100015)

摘 要:电连接装置是电气化铁路接触网的重要组成部分,对保障接触网的供电质量和供电稳定性具有重要作用。本文分析了电气化铁路接触网电连接装置的服役性能要求以及检测现状,系统对比了国内外电连接装置的检测技术方法。研究发现:国内外电连接装置的检测项目可分为几何、机械、电气、材料等 4 类性能,IEC 60913-2013 和 EN 50119-2020 与国内的电连接装置检测标准存在一定的关联性,机械性能和电气性能比较相近,而振动性能和疲劳性能的差异较大。本文的研究为更高速度等级电连接装置检测标准的制定提供了技术参考。

关键词:电连接装置;电气化铁路;机械性能;电气性能

中图分类号:U225

文献标识码:A

A Study on Inspection Standards and Methods for Electric Connection Device of Overhead Contact System of Electrified Railway

PAN Like

(China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100015, China)

Abstract: As a key part of the overhead contact system of an electrified railway, the electrical connection device plays an important role in ensuring the power supply quality and stability of this system. This paper analyzed the service performance requirements and testing status of the electrical connection device of the overhead contact system of electrified railway and systematically compared the applicable testing methods in and out of China. The study finds: The test items of electrical connection device in and out of China fall into 4 categories: geometric performance, mechanical performance, electrical performance, and material performance. IEC 60913-2013 and EN 50119-2020 are related to the test standards for electrical connection device to a certain extent in China, and the mechanical performances and electrical performances are relatively similar. However, the vibration performances and fatigue performances are quite different. The study in this paper provides a technical reference for the formulation of testing standards for electrical connection device at higher speed levels.

Key words: electrical connection device; electrified railway; mechanical performance; electrical performance

电连接装置通过电连接线夹安装在接触网的接触线和承力索之间,主要用于导通电流、消除接触悬

挂之间的电位差^[1-5]。

电连接装置服役中不仅承受接触网供电的大电

收稿日期:2022-03-10

作者简介:潘利科(1986-),男,高级工程师。

基金项目:中国国家铁路集团有限公司科研项目(P2021G053),中国铁道科学研究院集团有限公司科研项目(2021YJ128)

引文格式:潘利科.电气化铁路接触网电连接装置检测标准及方法研究[J].高速铁路技术,2023,14(2):33-37.

PAN Like. A Study on Inspection Standards and Methods for Electric Connection Device of Overhead Contact System of Electrified Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(2):33-37.

流、温升等电气载荷作用,还在与其他线索的连接以及列车运行时承受滑动荷载、振动疲劳等机械载荷作用^[6-7]。因此电连接装置要求具有较好的机械、电气等综合性能^[8],对电连接装置性能的检测技术提出较高的要求。

目前国外电连接装置检测检测技术方法依据为 EN 50119-2020《铁路应用固定装置-电力牵引架空接触网》^[9]和 IEC 60913-2013《轨道交通-固定设施-电力牵引架空接触网》^[10],国内的检测技术则主要包括国家标准和行业标准两大类,分别检测电连接线和电连接线夹。为了综合对比分析国内外电连接装置的检测技术,本文主要从电连接装置的机械和电气性能2个方面进行对比分析,研究结论可为电连接装置的检测技术的制定提供技术参考。

1 电连接装置服役工况

1.1 服役性能要求

电连接装置主要用于导通接触网线索电流、消除接触悬挂之间的电位差,由电连接线夹和电连接线组成。电连接装置在实际使用过程中,有用于同一支接触悬挂内承力索与接触线间电气连接的横向电连接装置,也有用于多股道接触悬挂间电气连接的股道电连接装置,或用于非绝缘锚段关节/道岔处两支接触悬挂之间的电气连接的锚段关节/线岔电连接装置,如图1所示。

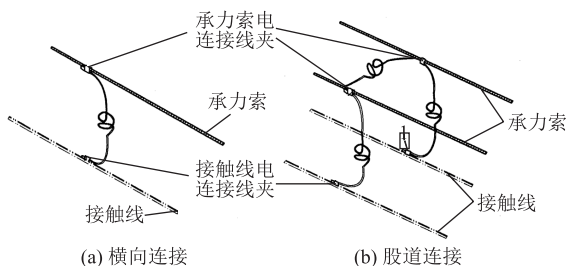


图1 电连接装置安装示意图

电连接装置通过电连接线夹压接或用螺栓固定在接触线或承力索上,当列车经过时,电连接装置随接触网上下振动及摆动。电连接线一般为C型或S型布置,电连接装置在振动或摆动过程中电连接线会随着一起摆动,列车每经过1次,电连接线则随着接触网摆动1次,承受振动疲劳载荷作用。此外,电连接线在摆动过程中,电连接线夹压接位置也在承受疲劳载荷作用。

因此,电连接装置在实际服役过程中应具备较好的机械、电气性能,以及高速列车通过时的抗振动疲

劳特性,对电连接装置的电连接线以及电连接线夹的材料也提出较高的要求。

1.2 应用现状

电连接装置主要由电连接线夹与电连接线压接或螺栓连接到接触网线索上。其中,电连接线主要由标称截面积为95 mm²、120 mm²或150 mm²等的软铜绞线制成,参照 GB/T 12970.2-2009《电工软铜绞线 第2部分:软铜绞线》^[11]进行检测,检测项目包括几何外观、机械性能和电学性能:外观及绞合质量、绞向、结合、节径比、单线直径、单线伸长率,绞线电阻等。

电连接线夹主要分为接触线电连接线夹、承力索电连接线夹和并沟型电连接线夹,按照结构又分为螺栓型、压接型、压接加螺栓型3种,如图2所示。线夹本体主要由T2铜或CuNi2Si制成,依据 TB/T 2073-2020《电气化铁路接触网零部件技术条件》^[12]、TB/T 2074-2020《电气化铁路接触网零部件试验方法》^[13]、TB/T 2075.11-2020《电气化铁路接触网零部件第11部分:电连接装置》^[14]进行检测。检测项目包括几何外观、机械性能和电学性能,主要有化学成分、标志检查、外观检查、尺寸检查、组装检查、滑板荷载、紧固力矩、振动试验、接触电阻、载流温升、电热循环等。其中滑动荷载、振动试验、载流温升、电热循环试验过程中是将电连接线夹与电连接线一起安装,检测整个电连接装置的性能。

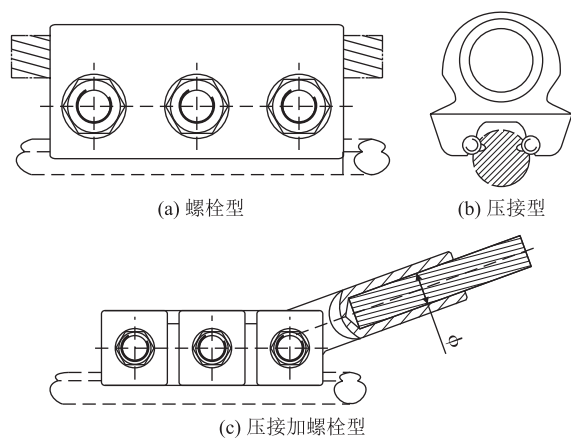


图2 电连接装置图

GB/T 32578-2016《轨道交通地面装置电力牵引架空接触网》^[15]、EN 50119-2020以及 IEC 60913-2013中规定电连接装置需进行机械试验、电气试验以及疲劳试验;其中机械试验、电气试验与国内现有检测方法类似,主要差异在振动试验与疲劳试验,国内外标准间关系如图3所示。

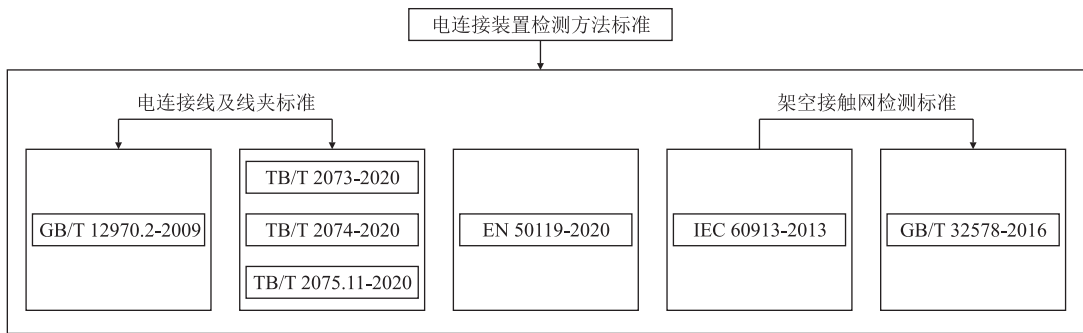


图 3 电连接装置检测方法标准图

2 电连接装置检测技术对比分析

电连接装置是电气化铁路接触网的重要电气连接部件,目前国内外针对其服役工况制定了相应的检测标准,检测电连接装置、电连接线夹、电连接线的相关性能,主要包括几何、机械、电气、材料等 4 大类性能,其中机械性能和电气性能对电连接装置的服役特性影响最为直接,又包括 7 小项,如图 4 所示。国内目前缺少针对电连接装置的明确的检测项目、检测方法的标准,现有的检测方法主要针对电连接线夹及电连接线。

电连接线作为电连接装置的重要组成部分,其检验过程中主要依据 GB/T 12970.2 – 2009《电工软铜绞线 第 2 部分:软铜绞线》的软铜绞线产品标准进行检验,相关性能检验包括外观及绞合质量、绞向、结合、节径比、单线直径、单线伸长率,绞线电阻等,未纳入电连接装置的检测项目中。

电连接装置及线夹的振动试验主要依据 TB/T 2073 – 2020《电气化铁路接触网零部件技术条件》、TB/T 2074 – 2020《电气化铁路接触网零部件试验方法》、TB/T 2075.11 – 2020《电气化铁路接触网零部件 第 11 部分:电连接装置》进行,其试验方法与 GB/T 32578 – 2016、EN 50119 – 2020、IEC 60913 – 2013 中的疲劳试验存在差异。为了更真实反应现场服役工况参数,需要对相关试验方法进行比对分析。

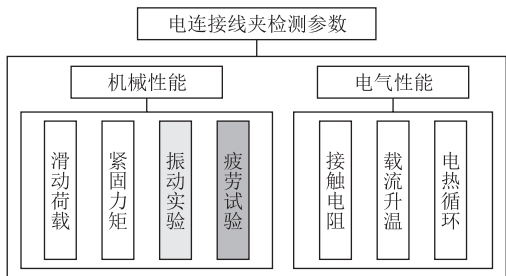


图 4 电连接线夹检测性能图

2.1 机械性能

机械性能主要检测电连接装置及线夹的滑动荷载、紧固力矩、振动或疲劳性能。

(1) 滑动荷载与紧固力矩

滑动荷载是检测电连接线夹将电连接线与承力索或与接触线连接在一起后的连接质量。接触线和承力索在实际服役过程中均是施加固定的张力,由于线索热胀冷缩或者振动作用时,电连接线夹及装置随被压接线索一起运动,滑动荷载的大小会影响电连接装置的服役性能。

电连接线夹包括螺栓型、压接型、压接加螺栓型 3 种,其连接过程也包括使用专用工具进行压接,或使用螺栓进行紧固,紧固时需使用扭矩扳手检测其紧固力矩的大小。

滑动荷载是电连接装置的重要力学指标,压接或紧固太紧会损伤被压接线索,太松则在振动过程中会出现线索脱出的现象。

试验过程中电连接线夹与被接线索按实际受力状态进行压接或紧固,线索露出线夹端部 30 mm 以上,试验荷载方向应沿接续线索的轴线方向,稍有偏移时则需使试验机夹头与试件之间保持 300 ~ 500 mm 的距离。滑动荷载以试验荷载不能继续上升或线夹与接续线索之间相对位移达到 1.5 mm 时的荷载值为滑动荷载值。

(2) 振动试验与疲劳试验

振动试验参照 TB/T 2073 – 2020《电气化铁路接触网零部件技术条件》、TB/T 2074 – 2020《电气化铁路接触网零部件试验方法》、TB/T 2075.11 – 2020《电气化铁路接触网零部件 第 11 部分:电连接装置》进行。将电连接装置安装在可模拟现场接触网安装状态的振动试验场上,通过电机等振源向接触网输入正弦波形的等幅振动,模拟现场接触网的振动,如图 5 所示。振幅设置 45 mm 左右,频率 1 ~ 3 Hz,200 万次

振动后检测电连接装置及线夹的损伤及紧固性能。

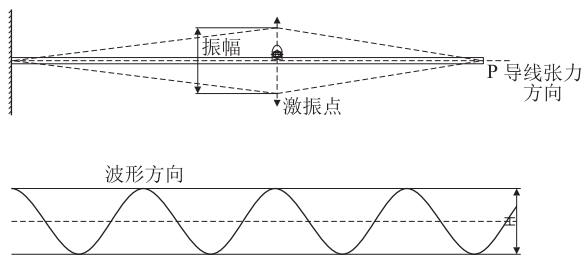


图5 电连接装置振动试验图

疲劳试验是 EN 50119 – 2020、IEC 60913 – 2013 等提出的电连接装置的检测方法,其采用如图 6 所示的方法开展疲劳试验。试验过程中电连接装置下端固定,上端进行等幅振动,振幅 100 mm,频率为 0.5 ~ 10 Hz,周期 200 万次,试验后电连接装置不应断裂破坏。

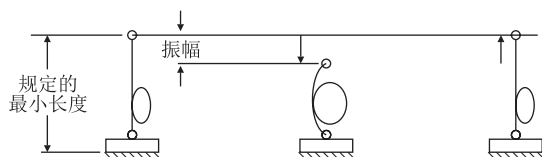


图6 电连接装置疲劳试验图

列车经过电连接装置时接触网中的接触线和承力索均发生振动,由于接触线和承力索振动过程中的位移速率有差异,电连接线也会发生一定的弯曲。振动过程中电连接线的摆动方向、幅值等均受到接触网系统弹性、列车运行速度等因素影响,电连接线摆动过程中自身承受疲劳载荷作用,其与电连接线夹连接位置也在不断承受疲劳载荷作用。

目前国内试验方法主要参照图 5 开展电连接线夹和电连接线的振动试验,即在振动试验场中输入振幅、频率等参数,模拟现场的振动工况开展振动试验。然而,该方法主要测试电连接线夹的性能,对于电连接线的弯曲幅度、疲劳载荷等未进行有效控制,与现场工况有一定出入。

国外主要参照图 6 开展电联连接装置的疲劳试验,将振动和疲劳试验结合在一起开展试验,该方法对电连接线的摆动、疲劳载荷如何与现场匹配还存在不足。

因此,如何综合考虑图 5 和图 6 的振动与疲劳试验方法,进而有效反映实际服役电连接装置(包括电连接线、电连接线夹)的振动疲劳工况是后续研究的重点。

2.2 电气性能

电气性能包括接触电阻、载流温升、电热循环试验 3 项,国内外试验项目和方法比较相似。

(1) 接触电阻

接触电阻也叫等长线电阻,是表征电连接线夹与被接线索压接或紧固后的电阻性能,电阻大小直接影响电连接装置的温升高低。

试验前线夹内表面及接续线索外表面需去除油污,并用细砂纸将氧化层打磨干净,然后使用专用工具进行压接或紧固。试验时一般采用双臂电桥或电流-电压法测量电阻,测量时在线夹两端向外 15 mm 处施加测量点,记录 2 个测量点的电阻值;测量与线夹被测量点等长度的被接线索的电阻,要求线夹的电阻不大于被接续线索的电阻。

(2) 载流温升

载流温升试验则是表征电连接装置在固定电流下的温升大小,模拟实际服役时接触网带电状态下电连接装置的温升特性,要求线夹的温升不大于被接续线索的温升。

载流温升试验安装过程与接触电阻试验类似,其需要模拟实际现场电流施加工况,所以在专用试验台上进行;试验台上模拟现场安装有接触线和承力索,电连接装置分别与其连接。其试验电流按照最小接续线索额定载流量选取。

载流温升试验在室内无日照的静止环境条件下进行,环境温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,测温热电偶采用铜箔紧密绑扎在线夹和线索外表面,绑扎长度以将热电偶头部全部盖住为宜,绑扎时用力大小以热电偶与线夹接触部位之间不产生空气间隙为宜。测温点包括线夹和接续线索。试验中每 30 min 测量 1 次温度,连续测量 3 次温差不超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的平均温度值作为该点的实测稳态温度。

(3) 电热循环

电热循环试验则是载流温升的 200 个周期的热循环试验,模拟现场服役时的循环热载荷过程。其与载流温升使用相同的设备,每次热循环后测量接触电阻,要求线夹的电阻要小于等长接续线索电阻。

电热循环的试验电流按最小接续线索的额定电流选取。试验过程中,以线夹最高温度达到稳定温度后,再降温至 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下作为 1 个循环周期。

试验过程中先进行 100 个周期电热循环,然后进行 3 次短路电流冲击,其中短路冲击电流为 5 000 A,冲击时间 0.5 s,两次短路电流冲击间隔 30 s;短路电流冲击后再进行 100 个周期电热循环。

3 结论

本文分析了电气化铁路接触网电连接装置的服役工况以及性能参数检测现状,系统对比了国内外电连接装置的检测标准和检测方法。国外接触线的主要检测技术标准包括 IEC 60913-2013 和 EN 50119-2020,国内电连接装置的主要检测方法标准包括 TB/T 2073-2020、TB/T 2074-2020、TB/T 2075. 11-2020、GB/T 12970. 2-2009 和 GB/T 32578-2016 等。

电连接装置的主要性能检测指标包括几何、机械、电气、材料等四大类性能,其中机械性能和电气性能又包括 7 小项。国内外检测项目中的振动性能与疲劳性能存在一定差异,与实际现场服役工况也存在一定差异,需深入研究。其余机械性能和电气性能国内外基本相近。后续需结合电连接装置现场服役工况调研以及仿真分析,研究不同速度下电连接装置的振动以及疲劳载荷参数,将振动试验和疲劳试验相结合,在试验过程中控制电连接线的摆动及受力等,并设计相应的试验装置。通过对国内外电连接装置检测技术方法的对比分析,可为更高速度等级高速铁路接触网电连接装置产品的检测技术方法和参数制定提供技术参考。

参考文献:

- [1] 李增勤,李裕智, Ahmed Raza, 等. 电连接组可靠性监测预警技术探讨[J]. 电气化铁道, 2019, 30(6): 46-49, 52.
LI Zengqin, LI Yuzhi, Ahmed Raza, et al. Discussion on Pre-alarmed Technology for Reliability Monitoring of Group of Electrical Connections [J]. Electric Railway, 2019, 30(6): 46-49, 52.
- [2] 王大洋. 高速铁路接触网横向电连接故障机理研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.
WANG Dayang. Research on Failure Mechanisms of Lateral Electrical Connectors of High-speed Railway Catenary [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2020.
- [3] 高仕斌,刘志刚,杨佳. 400 km/h 高速铁路接触网系统研究展望[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(2): 11-16.
GAO Shibin, LIU Zhigang, YANG Jia. Research Prospect for Overhead Contact System of 400 km/h High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(2): 11-16.
- [4] 张茂轩,孙善超,杨飞,等. 极端条件下铁路基础设施检测保障技术研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(4): 21-28.

- ZHANG Maoxuan, SUN Shanchao, YANG Fei, et al. Study on Inspection and Safeguard Technology for Railway Infrastructure under Extreme Conditions [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(4): 21-28.
- [5] 吴积钦. 受电弓与接触网系统[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.
WU Jiqin. Pantograph and Catenary System [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2010.
- [6] 韩晓峰,余颖. 高速铁路接触网[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2020.
HAN Xiaofeng, YU Hao. High-speed Railway Catenary [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2020.
- [7] 王根. 接触网电连接线夹温度监测系统的研究与实现[D]. 南昌: 华东交通大学, 2016.
WANG Gen. Research and Realization of Temperature Monitoring System for Catenary Electric Connecting Clamp [D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2016.
- [8] 陈学光. 电气化铁路接触悬挂吊弦和电连接的电气负荷计算[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(5): 85-89.
CHEN Xueguang. Load Calculation of Dropper and Electrical Connector in Overhead Contact Suspension of Electrical Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 31(5): 85-89.
- [9] EN 50119-2020 Railway Applications-fixed Installations-Electric Traction Overhead Contact Lines [S].
- [10] IEC 60913-2013 Railway Applications-fixed Installations-Electric Traction Overhead Contact Lines [S].
- [11] GB/T 12970. 2-2009 电工软铜绞线 第 2 部分: 软铜绞线[S].
GB/T 12970. 2-2009 Flexible Copper Stranded Conductors for Electrical Purposes-Part 2: Flexible Copper Stranded Conductors [S].
- [12] TB/T 2073-2020 电气化铁路接触网零部件技术条件[S].
TB/T 2073-2020 Technical Specification of Fittings for Overhead Contact System in Electrification Railway [S].
- [13] TB/T 2074-2020 电气化铁路接触网零部件试验方法[S].
TB/T 2074-2020 Test Method of Fittings for Overhead Contact System in Electrification Railway [S].
- [14] TB/T 2075. 11-2020 电气化铁路接触网零部件 第 11 部分: 电连接装置[S].
TB/T 2075. 11-2020 Fittings for Overhead System in Electrification Railway-Part 11: Electric Connection Device [S].
- [15] GB/T 32578-2016 轨道交通地面装置电力牵引架空接触网[S].
GB/T 32578-2016 Railway Application-Fixed Installations-Electric Traction Overhead Contact Lines [S].