

技术理论

地铁车辆受电弓常见故障与维护

张光莲

(南京地铁运营有限责任公司)

摘要: 受电弓是地铁车辆的关键部件, 故障影响严重。本文在对单臂电动受电弓组成结构和原理简单介绍基础上, 结合多条地铁线路车辆近 20 年的架大修和运营实际情况, 对地铁车辆架大修及运营中单臂电动受电弓常见故障进行梳理, 总结了碳滑板异常磨损、球铰轴承腐蚀、钢弹簧变形、钢丝绳断股等故障, 并根据受电弓各部件的故障率及故障发生时间给出受电弓维护方案建议。

关键词: 地铁车辆; 受电弓; 碳滑板; 轴承; 钢弹簧

1 引言

受电弓安装在列车车顶, 通过与轨道车辆上方接触网稳定接触为轨道车辆提供电能, 是接触网供电轨道车辆的关键部件。通过受电弓向接触网取电的供电方式也是轨道交通供电的主流供电方式。对受电弓进行充分研究, 对地铁车辆安全运营有重要意义; 对实际运用中受电弓常见故障及各部件实际使用寿命进行的统计分析, 是地铁车辆受电弓设计选型及运用维护的重要依据。轨道交通车辆使用的受电弓经过长期的运用和设计优化, 目前主要采用结构简单稳固、质量较轻的单臂型受电弓, 驱动方式为电动或气动。SBE920 型单臂电动受电弓在地铁车辆上得到了较广泛的使用, 本文结合该型号受电弓在南京地铁多条线路受电弓的实际运用情况进行分析, 对单臂电动受电弓常见故障进行了整理, 并给出了维护建议。

2 单臂电动受电弓结构组成

地铁车辆使用的单臂电动受电弓主要组成框架包括上支架、下支架和底架。上下支架及底架之间通过轴承连接, 可灵活地转动。上支架安装有包含碳滑板的平顶头(弓头), 底架安装有控制受电弓升降的钢弹簧和电机、以及进行升降弓控制并反馈信号的电气控制盒, 下支架则实现上支架和底架的连接。上下支架间连接有平行导杆直接对弓头动作进行调整, 下支架和底架间连接有耦合杆(连接杆)进行上支架的升降控制, 整个受电弓底架安装在车辆顶部的绝缘子上。

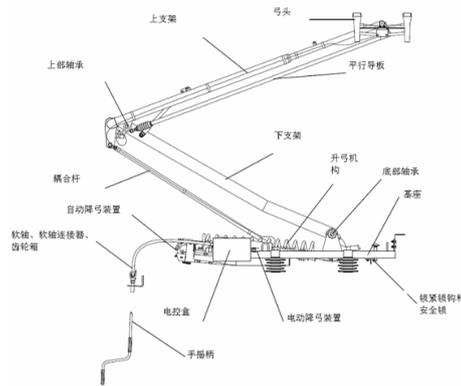


图 1SBE920 型受电弓结构

3 常见故障与维护

对南京地铁 1 号线、2 号线、10 号线等多条地铁线路车辆受电弓实际运用情况进行整理, 发现受电弓实际运用后主要故障有碳滑板磨损、耦合杆球铰轴承表面腐蚀等故障。

表 1 单臂电动受电弓常见故障及影响

部件名称	故障现象	故障影响
碳滑板	偏磨、磕碰、烧蚀、裂纹	影响弓网接触, 容易拉弧打火
耦合杆	球铰轴承表面腐蚀、耦合杆杆端开裂或螺纹损伤	升降弓卡滞、断开时受电弓会突然弹起
钢丝绳和钢弹簧	钢丝绳断丝或断股、钢弹簧变形	弓网接触不良、任一断开后受电弓无法升起
电机、软轴和电器控制	电机异响或异常抖动、软轴卡滞、电器控制盒内电	升降弓异常

制盒	气原件故障	
绝缘子	脏污、裂纹、烧蚀	绝缘性能下降，严重时引起高压对地短路
上下支架和底架	焊缝裂纹、变形	受电弓整体结构不稳固
平行导杆	变形或杆端螺纹损伤	弓网接触不良、严重可引起平顶头倾覆

3.1 碳滑板故障与维护

碳滑板是受电弓与接触网动态接触取电的部件，也是受电弓上故障率最高的部件。列车运行过程中，碳滑板和接触网动态接触必然导致接触网和碳滑板的磨损，为保证列车平稳获取电能，要求碳滑板材质电阻小、硬度适中、维护成本低。南京地铁 1 号线、2 号线、10 号线等多条线路地铁车辆受电弓均为 SBE920 型单臂电动受电弓，使用浸金属碳滑板。

理想情况下，受电弓碳滑板应是从上表面开始均匀磨损，磨损至一定厚度时进行更换。实际运用过程中，往往发现有碳滑板磕碰、偏磨、烧蚀、裂纹等情况。在地铁线路开通运营初期出现的受电弓碳滑板大量烧蚀、磕碰、偏磨等情况时，需重点考虑对接触网状态进行排查。南京地铁 4 号线开通运营初期出现的碳滑板大量偏磨的问题最终通过调整接触网节点拉出值得到解决。深圳地铁 11 号线^[1]、广州地铁 9 号线^[2]、天津地铁 6 号^[3]线开通初期受电弓碳滑板普遍故障也是接触网原因。开通运营一定时间后，接触网问题基本得到排查解决，此时碳滑板故障主要是个别故障，通常是受电弓组装时碳滑板平行度、自由度、弓网接触力调整不当或车辆自身故障导致。碳滑板磨耗与碳滑板材质、弓网接触压力等有关。受电弓厂家在受电弓维护手册中对弓网接触压力通常有明确要求。南京地铁车辆受电弓的弓网接触压力为 $120N \pm 10N$ ，受电弓工作范围内升降时弓网接触压力差不超过 35N。在日常检修和电客车各次架大修修程中均应对受电弓碳滑板进行检查。

3.2 耦合杆故障与维护

耦合杆连接受电弓的底架和下支架，直接影响受电弓的升降功能，对弓网接触压力也有一定影响，是受电弓上的关键部件，其长度可在一定范围内进行调整以实

现受电弓良好的升降弓状态。耦合杆由两端球铰轴承和中间空心金属管组成，两端轴承较重腐蚀或进入异物时会造成升降弓卡滞甚至卡死。地铁车辆运营中常出现球铰轴承腐蚀、球铰边缘缺块等问题，架大修修程中偶有发现金属杆件端部开裂和螺纹损伤的情况。耦合杆松动脱开将导致受电弓上下支架突然弹起，巨大的冲击力可能导致接触线变形或脱开，进而造成区间停电等严重影响。



图 2 耦合杆球铰故障

耦合杆轴承故障与受力较大、动作频繁、轴承润滑保护及外部密封盖防护效果有较大关系。对南京地铁使用的 ASKUBAL 型轴承运用情况统计，发现使用接近 5 年时大量轴承表面出现腐蚀情况。耦合杆故障影响严重且故障后在车顶更换困难，故建议在车辆架修时全部进行更换。

3.3 平行导杆故障与维护

平行导杆连接受电弓下支架和上支架上的平顶头，对平顶头的动作进行控制和调整。相对耦合杆而言，平行导杆受力较小，故障率也低通常无需进行批量更换，但故障影响同样严重。2021 年某地铁 2 号线受电弓平行导杆关节轴承疲劳断裂，导致弓头翻转，引起接触网汇流排脱落下垂。在受电弓各种修程中均应对平行导杆进行检查，但无需批量更新。

3.4 钢丝绳和钢弹簧故障

钢丝绳和钢弹簧是受电弓升起时的主要受力部件，故障后难以更换。对南京地铁 1 号线、2 号线、10 号线等多条线路受电弓架大修情况分析发现，钢丝绳运用过程中偶有少量断丝，使用至 5 年时普遍有断丝现象；钢弹簧使用至 5 年时状态良好，10 年左右时有一定拉长但未见其他明显故障，继续使用至 15 年左右普遍会有明显拉长、弯曲等严重故障现象。考虑钢丝绳和钢弹簧的重要作用 and 故障影响，以及无法在车顶更换的情况，建议

在车辆运用至 5 年架修时更新钢丝绳，在运用至 10 年大修时更新钢弹簧。



图 3 钢丝绳断丝、钢弹簧弯曲变形

3.5 电机、软轴和电气控制盒故障与维护

电机及其电气控制盒是受电弓的升降弓控制机构。

电机动作时尾部连接并安装在车顶的软轴会随电机一起转动。电机或软轴一旦出现卡死等故障不动作时，受电弓将无法进行升降操作，电气控制盒内部件故障则可能导致升降弓指令不能传达到电机或升降弓状态信号无法反馈。受电弓电机大多不能分解检修，故障后只能进行整体更换。根据架大修时对受电弓检查经验，受电弓电机在运用接近 15 年时开始升降弓时异响和抖动情况明显增多。软轴因为结构简单，故障率较低，在使用接近 20 年时故障率升高，主要表现为动作卡滞。故建议在车辆二轮架修时对受电弓电机进行全部更新，在车辆二轮大修时对受电弓软轴进行全部更新。电气控制盒寿命主要考虑内部接触器和继电器使用寿命，一般 10 年更新内部器件或 15 年进行电气控制盒整体更新。

3.6 绝缘子故障与维护

地铁接触网一般采用 1500V 直流供电，受电弓升起和带电接触网接触时，受电弓的整个构架均带有和接触网等电位的高电压，而车体和与车体相连的受电弓电机均是和轨道连接的零电位电压。为了避免短路等危险故障，受电弓电机通过 3 个绝缘子安装在受电弓底架上，受电弓整体则通过 4 个绝缘子安装在车顶。绝缘子严重脏污或开裂等情况将降低绝缘子绝缘性能，严重时可能导致受电弓和车顶短路。在车辆正常运营检修情况下，绝缘子脏污引起的故障较少，常见故障为绝缘子裂纹，通常与安装受力有较大关系。受电弓电机安装座的绝缘子较小，且因受电弓动作时受电弓电机抖动等出现裂纹的故障较多，一般在运行至 10 年左右时进行全部更新。

3.8 上下支架和底架故障与维护

南京地铁在受电弓运营近 10 年的车辆大修及后续架大修修程中均对受电弓焊缝进行探伤检查，发现上下支架或底架焊缝裂纹一般在受电弓运用至 10 年时偶尔出现个别故障，运用 15 年后故障稍有增多。如南京地铁 10 号线已大修 14 列车车辆均未发现受电弓焊缝裂纹，但运用了近 20 年的 1 号线车辆二轮大修 7 列已出现 3 个受电弓存在焊缝裂纹。建议在车辆运用至 10 年左右大修及后续架大修时对受电弓焊缝进行全面探伤检查。

3.9 其他部件故障与维护

受电弓除上述主要常见故障外，还有弓头弹簧座变形、锁舌磨损、橡胶件老化开裂、分流导线断股等故障，运营日检及架大修检查时出现故障并影响受电弓功能情况较少。但考虑部件使用寿命，结合受电弓厂家建议，避免后期故障突发，一般在受电弓运用 5 年左右车辆架修时对分流导线进行更新，受电弓运用 10 年左右车辆大修时对弓头弹簧座、锁系统、油压减震器和橡胶件进行更新。

4 结语

本文对地铁车辆单臂电动受电弓实际运用中的故障情况进行分析并给出了维护建议。各地铁公司还需根据各线路车辆受电弓实际运用情况制定合适的维护方案。随着技术进步和智能设备的应用，受电弓部件故障情况和维护方式也会有所改变。

参考文献：

- [1]朱伟鹏.深圳地铁 11 号线受电弓碳滑板磨耗率研究[J].铁道机车车辆,2018,38(04):121-126.
- [2]罗湘雄,林沛扬,陈名华.广州地铁 9 号线车辆受电弓碳滑板异常磨耗原因分析及改进措施[J].城市轨道交通研究,2023,26(07):256-259.
- [3]吴铁辉,徐文治,秦得才,等.天津地铁 6 号线弓网异常磨耗问题研究[J].现代城市轨道交通,2024,(03):50-56.