

# 普速铁路接触网大修技术方案研究与应用

裴志禹<sup>1</sup> 邵岩<sup>2</sup> 钟源<sup>3</sup>

中铁二院工程集团有限责任公司 四川成都 610031

DOI:10.32629/ems.v8i5.20120

**[摘要]** 普速铁路在我国交通运输体系中占据重要地位,随着早期普速电气化铁路接触网设备逐步进入服役末期,开展系统、高效的接触网大修已成为保障运营安全与提升供电可靠性的关键任务。本文分析了普速与高速铁路接触网在设计、材料、运维等方面的差异,梳理了常见缺陷及其成因,结合华东某干线铁路大修实例,提出了基于弓网仿真、设备状态评估与分级优先策略的技术方案。针对大修过程中面临的资金不足、外部环境影响及天窗时间紧张等挑战,提出了分级大修、灵活施工组织与适应性设计等应对措施。进一步展望了智能化监控、AI分析、自动化检测与政策管理完善在普速铁路接触网大修中的发展趋势。研究表明,建立全寿命周期评估机制、推广智能运维技术、优化大修流程,是提升普速铁路接触网大修质量与效率的关键路径,具有重要的工程应用价值和推广意义。

**[关键词]** 普速铁路; 接触网; 大修技术; 弓网仿真; 智能化运维

**[Abstract]** Conventional-speed railways play a significant role in China's transportation system. As the overhead contact system (OCS) of early electrified conventional-speed railways gradually reaches the end of its service life, conducting systematic and efficient overhaul has become a critical task to ensure operational safety and enhance power supply reliability. This paper analyzes the differences between conventional-speed and high-speed railway OCS in terms of design, materials, operation, and maintenance, and summarizes common defects and their causes. Based on an overhaul case study of a mainline railway in East China, a technical scheme incorporating catenary-pantograph simulation, equipment condition assessment, and a priority-based classification strategy is proposed. To address challenges such as insufficient funding, external environmental impacts, and limited maintenance window time during the overhaul process, corresponding countermeasures including graded overhaul, flexible construction organization, and adaptive design are put forward. Furthermore, future development trends such as intelligent monitoring, AI-based analysis, automated inspection, and policy and management improvements are discussed. Research results indicate that establishing a life-cycle assessment mechanism, promoting intelligent operation and maintenance technologies, and optimizing overhaul procedures are key pathways to improving the quality and efficiency of OCS overhaul for conventional-speed railways, offering significant engineering application value and potential for broader adoption.

**[Key words]** Conventional-speed railway; overhead contact system (OCS); overhaul technology; catenary-pantograph simulation; intelligent operation and maintenance

## 一、引言

普速铁路在我国交通体系中扮演着重要角色,主要承担着中短途客货运输任务。与高速铁路相比,普速铁路更为广

泛地覆盖了全国范围,连接了大多数城市和地区,是区域间交通的重要纽带。其建设成本较低、运营经济性较强,特别是在偏远地区和部分交通需求较小的线路中,普速铁路提供

了必要的交通支持。

自1975年起,新中国第一条电气化铁路宝成铁路建成运行,我国早期建设的普速电气化铁路接触网已经开始面临大规模维修与改建<sup>[1]</sup>。根据相关规范要求,接触网整体设备服役年限一般为20~25年<sup>[2]</sup>。接触网作为电气化铁路的能量输送管道,其大修改造具有重要意义。由于接触网设施设备长期暴露在自然环境,受风吹、日晒、雨淋、冰雪、工业污染等侵蚀,承力索和接触线、吊弦、附加导线等随着长时间运行出现锈蚀、磨损、断股等缺陷,影响电气性能和机械强度;绝缘子、开关、避雷器等也因频繁操作和过电压冲击而老化损坏,严重影响运行。大修改造能全面排查修复,消除隐患,确保接触网安全稳定,保障铁路运输秩序。

与新建电气化铁路相比,既有普速电气化铁路接触网在大修改造的设计、施工及运营等方面更加艰巨且复杂,系统关联性强,参数变化多,论证决策难,施工运营风险高,尚缺乏系统、标准的方法和思路。本文基于实际工程实例,紧紧围绕普速铁路与高速铁路接触网的差异、接触网大修常见缺陷、接触网大修的实施、接触网大修面临的挑战与解决方案、接触网大修的未来发展趋势六个方面,提出对普速铁路接触网大修改造的技术方案与应用实践,为普速电气化铁路大修工程建设、技术体系的完善等提供有一定参考价值的技术支持、思路。

## 二、普速与高速铁路接触网差异

普速铁路与高速铁路作为两种铁路运营形式,在接触网设计上存在诸多差异。这些差异不仅体现在运行速度、设计要求上,还反映在接触网的技术参数、结构强度以及运营维修要求等方面。下面将从普速铁路接触网的设计和技术要求和运营维修两个角度进行简述。

### (一) 普速铁路接触网设计和技术要求

#### 1. 线材张力组合

普速铁路列车的设计速度通常在200km/h及以下,供电电流较小,因此普速铁路接触网通常使用标准较低的线材张

力组合。如南昆铁路昆明供电段管内正线接触网线材张力组合为:承力索JTMH-120+接触线TCG-110(15kN+10kN)、沪昆铁路南昌供电段管内正线接触网线材张力组合为:承力索THJ-95+接触线CTHA-120(15kN+15kN)。尽管线材张力组合要求较低,但由于列车频次较高,接触网需要在长时间内稳定运行,因此对于承力索和接触线、吊弦的使用寿命是个很大的挑战。

#### 2. 腕臂支撑结构

普速铁路跨距较大,腕臂支撑装置通常采用重量较大、机械性能较差的钢质腕臂,接触导线摆动幅度较大。但随着长期运行,弓网通过频次高,普速铁路接触网腕臂支撑及定位装置可能出现锈蚀、结构松动等问题,影响接触网支撑结构稳定性。高速铁路由于设计速度较高,设计时对接触网的稳定性要求更高,腕臂支撑装置材料采用重量较轻,耐久性更高的铝合金,能有效应对高频次运行产生的动载荷和振动<sup>[3]</sup>。



图1 普速铁路拉杆腕臂



图2 腕臂锈蚀

### (二) 普速铁路接触网运营维修

#### 1. 维护管理

普速铁路接触网的维护管理相对困难, 由于大部分线路使用传统的支撑结构和材料, 维护过程依赖人工巡检, 故障处理速度慢, 影响整体效率。相比之下, 高速铁路通过智能监控和自动化检测, 能够实时诊断接触网的工作状态, 及时处理潜在问题, 确保系统的高效运行。

## 2. 维修成本与效率

普速铁路接触网的设备老化导致维修成本不断增加, 且大部分普速铁路未能广泛应用智能化技术。随着设备更新的滞后, 维修效率低, 且响应时间长。高速铁路由于设备较新且有较完善的智能化设施, 维修效率更高, 故障响应速度更快, 整体成本相对较低。

## 三、普速铁路接触网大修实施

华东某干线铁路于2006年9月开通运营, 至今已运行18年。作为繁忙干线之一, 自开通以来, 列车运行密度大、弓网通过频次高, 接触网设备老旧现象严重, 存在较多安全隐患, 影响运营安全。为彻底解决设备本身寿命周期性问题, 整体提升接触网供电能力, 已于2024年逐步开展接触网大修工程。

以该铁路为例, 在大修开始前应对对需大修技改线路进行现场踏勘, 并结合几年中全路出现的事故对各种需整治的缺陷问题进行研判, 确定需要进行大修的接触网既有设施设备。

### (一) 目标与计划

某干线铁路接触网设施设备运行情况详见下表。

表1 接触网既有设施运行情况表 (服役情况以2024年为参考)

| 序号 | 设备名称      | 既有设备类型  | 投运时间 | 服役年限  | 服役情况 |
|----|-----------|---|------|-------|------|
| 1  | 接触网支柱     | 支柱一般使用横腹式预应力混凝土支柱, 区间、车站钢柱及所有硬横跨、桥、下挡墙上支柱均采用热浸镀锌格构式钢柱           | 2006 | 20~25 | 18年  |
| 2  | 承力索、接触线   | 正线 THJ-95+ CTHA-120 (15kN+15kN); 站线 THJ-70+ CTHA-85 (15kN+10kN) | 2006 | 20~25 | 18年  |
| 3  | 滑轮补偿装置    |   | 2006 | 10~12 | 超期服役 |
| 4  | 复合绝缘子     |   | 2006 | 10~12 | 超期服役 |
| 5  | 吊弦        | 整体可调载流吊弦  | 2006 | 10~12 | 超期服役 |
| 6  | 腕臂支撑及定位装置 | 钢平斜腕臂支持装置、铝合金定位器  | 2006 | 20~25 | 18年  |
| 7  | 电连接       |   | 2006 | 20~25 | 18年  |
| 8  | 回流线       | LZGJ-185/30   | 2006 | 20~25 | 18年  |
| 9  | 隔离开关      |   | 2006 | 10~12 | 超期服役 |
| 10 | 避雷器       |   | 2006 | 10~12 | 超期服役 |
| 11 | 分段绝缘器     |   | 2006 | 5~8   | 超期服役 |
| 12 | 架空地线      | LZGJ-70/10  | 2006 | 20~25 | 超期服役 |

根据设施运行表可知大部分接触网设施设备已超期服役, 急需进行大修更换。其中承力索、接触线的线材张力组合, 影响弓网关系和行车安全; 接触网支柱和腕臂支撑及定位装置作为承受动、静态荷载的结构件, 对于接触网安全至

关重要; 下锚补偿装置作为接触导线张力的保持装置, 对接触网动、静态性能的保持也起到了关键的作用。剩余接触网零部件、附加导线与设备根据现有规范标准配合承力索、接触线、支柱、腕臂支撑及定位装置的大修工程一同整治更换。

1. 支柱

部分接触网混凝土支柱表面出现破损、露筋、裂纹等情况，部分接触网桥钢柱存在锈蚀情况，且支柱破损及锈蚀比例逐年上升。



图 3 破损的混凝土支柱 1



图 4 破损的混凝土支柱 2

2. 承力索、接触线

接触线、承力索已服役接近 20 年，接触线磨损严重，部分磨损面积已超《普速铁路接触网运行维修规则》（铁总运[2017]9 号）第 109 条“接触线磨损面积限界值为 20%”的规定存在接触线断线的风险；中心锚结所在跨距内接触线有接头，不符合《普速铁路接触网运行维修规则》第 116 条要求；部分承力索锚段断股经过多次补强，损耗较为严重，超过 4 次限界值，个别承力索锚段一跨内存在 2 处以上接头，均不符合《普速铁路接触网运行维修规则》要求。

3. 下锚补偿装置

既有滑轮下锚补偿装置，普遍存在销轴锈蚀、补偿绳断丝锈蚀、补偿滑轮轮缘磨损等问题。近年来陆续通过运营单位日常巡视、上网检查发现，部分下锚补偿装置存在滑轮滚动卡滞、补偿绳断丝断股等现象，存在影响列车行车安全的

风险。



图 5 测量接触线磨损



图 6 承力索段股



图 7 轮轴断裂的下锚装置



图 8 断裂轮轴断面



图 9 锈蚀的腕臂支撑装置



图 10 锈蚀的定位装置

4. 腕臂支撑及定位装置

根据《普速铁路接触网大修规则》要求，腕臂支撑及定位装置服役年限为 20-25 年，现已接近服役年限。经过运营单位日常检修发现腕臂支撑及定位装置普遍存在锈蚀，部分零部件失效问题。

(二) 技术方案

1. 弓网仿真

制约电气化铁路运行模式的三大关系是轮轨关系、车辆流固关系、弓网关系<sup>[4]</sup>。其中弓网关系的研究是接触网大修确定接触网系统方案的重中之重。

某干线铁路既有承力索和接触线已不满足现行规范要求，需在大修时更换。为满足既有行车状态，同时考虑可维护性和经济型，减少大修工作量和施工难度，承力索和接触线的线材及张力组合可选用 JTMH-95+CTA-120 (15kN+15kN) 和 JTMH-95+CTA-120 (15kN+18.5kN)。支撑悬挂及定位装置与其余接触网技术参数在满足现行规范和标准的前提下尽量和既有保持一致。

仿真情况如下：

原组合：200km/h THJ-95+CTHA-120 (15kN+15kN)

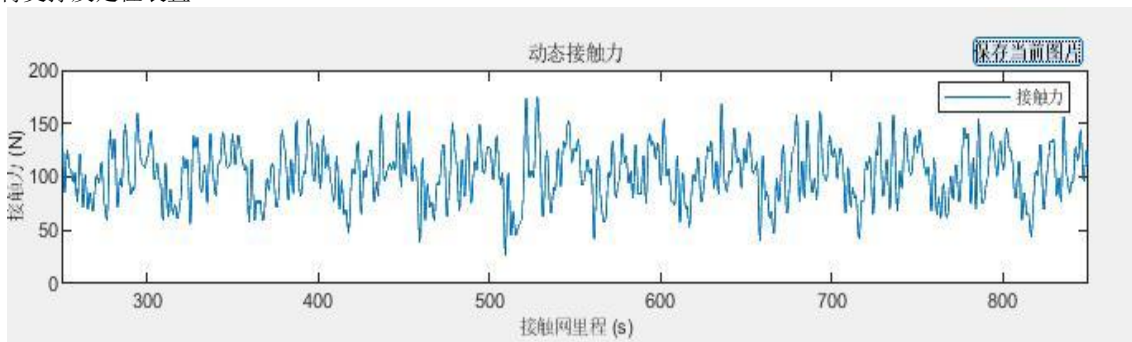


图 10 原组合动态接触力仿真数据

表 2 原组合动态接触力统计

| 编号 | 接触力      |          |        |       |             |
|----|----------|----------|--------|-------|-------------|
| 1  | 均值(Fm)/N | 标准差(σ)/N | 最大值/N  | 最小值/N | (0.3Fm-σ)/N |
|    | 102.97   | 24.71    | 174.96 | 27.6  | 6.181       |

工况 2: 200km/h JTMH-95+CTA-120 (15kN+15kN)

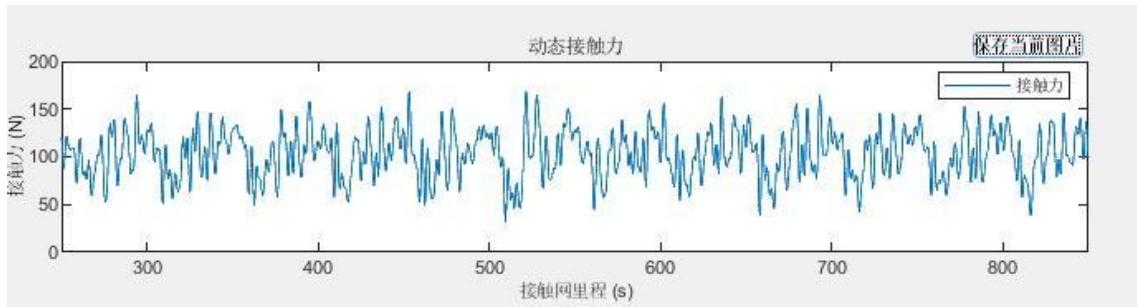


图 11 组合 1 动态接触力仿真数据

表 3 组合 1 动态接触力统计

| 编号 | 接触力            |                    |        |       |                        |
|----|----------------|--------------------|--------|-------|------------------------|
| 1  | 均值 ( $F_m$ )/N | 标准差 ( $\sigma$ )/N | 最大值/N  | 最小值/N | $(0.3F_m - \sigma)$ /N |
|    | 102.97         | 24.61              | 167.69 | 32.77 | 6.281                  |

组合 2: 200km/h JTMH-95+CTA-120 (15kN+18.5kN)

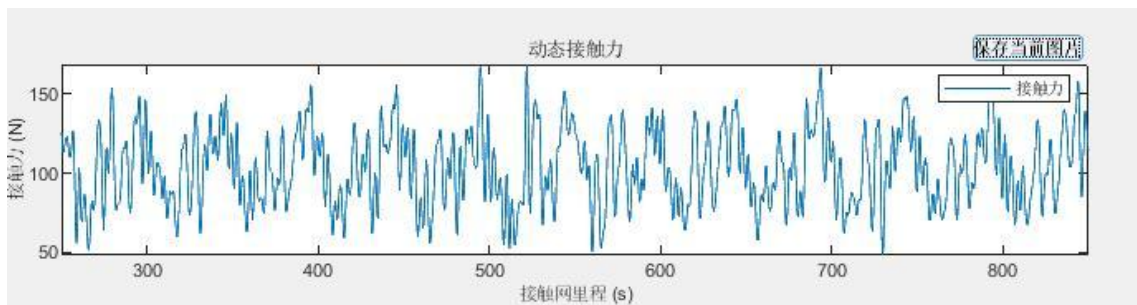


图 12 组合 2 动态接触力仿真数据

表 4 组合 2 动态接触力统计

| 编号 | 接触力            |                    |       |       |                        |
|----|----------------|--------------------|-------|-------|------------------------|
| 1  | 均值 ( $F_m$ )/N | 标准差 ( $\sigma$ )/N | 最大值/N | 最小值/N | $(0.3F_m - \sigma)$ /N |
|    | 103.55         | 23.41              | 168.7 | 48.28 | 7.655                  |

指标  $0.3F_m - \sigma$  能够反应接触网的波动情况, 该数值越大代表接触力越平稳, 可知组合 2 弓网平顺性最佳, 组合 1 优于原组合。

既有中间柱支柱容量为  $60\text{kN} \cdot \text{m}$ , 部分中间柱支柱采用 H60 横腹式预应力混凝土支柱, 虽然组合 2 弓网平顺性最佳, 但接触线张力从 15kN 增大到 18.5kN, 中间柱容量相应有所增加, 考虑经济性和结构安全性, 选择组合 1 JTMH-95+CTA-120 (15kN+15kN) 的线材张力组合更为合适。

## 2. 重点部位的检查与修复

承力索和接触线的线材及张力组合确定后, 大修整治的接触网设施设备技术方案如下:

### (1) 支柱

混凝土支柱破损不露筋者, 可以用水泥砂浆修补后使用。露筋超过 4 根或者露筋长度超过 400mm 应及时更换。支柱翼缘与横腹板结合处裂纹及横腹板裂纹宽度不超过 0.3mm 时及时修补, 大于 0.3mm 时应更换。更换的横腹杆

支柱中间柱、转换柱、锚柱均采用 H93 支柱，其性能指标应满足《电气化铁路接触网预应力混凝土支柱》(TB/T 2286) 的要求。

(2) 承力索、接触线更换

接触网采用全补偿简单链形悬挂。导线及张力组合为：正线 JTMM-95+CTA-120 (15kN+15kN)；站线 JTMM-95+CTA-120(15kN+10kN)；悬挂高度 6450mm，结构高度 1400mm。

(3) 下锚补偿装置

更换的滑轮补偿装置应满足《电气化铁路接触网零部件》第 12 部分：滑轮补偿装置 (TB/T2075) 的相关要求。

(4) 腕臂支撑及定位装置

接触网腕臂支撑及定位装置采用绝缘旋转平斜腕臂支持结构形式。

四、普速铁路接触网大修面临的挑战

(一) 资金问题

普速电气化铁路原设计标准较低，运行时间较长，接触网设备、器材等严重老化，运营安全压力大，需进行大修。在人力、物力和财力不能保证的前提下，为满足运营安全，由整线大修改为局部大修、专项大修。

前期对需大修技改线路进行现场踏勘，并结合几年中全路出现的事故对各种需大修、技改问题进行研判，根据发生事故后的严重程度确定出 A、B、C 三级。首先对影响行车安全、结构安全的如断线、塌网、主导电回路、供电线补强、非标及淘汰零部件等进行 A 级大修，其次在人力、物力、财力能满足的前提下对 B、C 级进行大修。大修级别划分详见下表。

表 2 接触网大修优先级划分表

| 序号 | 优先级    | A 级   |               | B 级        |                | C 级      |
|----|--------|-------|---------------|------------|----------------|----------|
|    |        | 影响类型  | 缺陷项目          | 影响类型       | 缺陷项目           | 缺陷项目     |
| 1  | 影响行车   |       | 不满足现行标准的承导线   | 接地回流<br>整治 | 回流系统补强         | 增加标识     |
| 2  |        |       | 接触线磨损超标、存在接头等 |            | 接地极整治          | 新产品和技术应用 |
| 3  |        |       | 承力索老化及烧损断股    |            | 增设架空地线         | 智能监测系统升级 |
| 4  | 结构安全   |       | 支柱容量及破损       | 设备更换       | 隔离开关、避雷器、分段绝缘器 | /        |
| 5  |        |       | 基础加固          | 附加导线整治     | 增设避雷线          |          |
| 6  |        |       | 腕臂更换          | 绝缘性能       | 回流线、架空地线更换     |          |
| 7  |        |       | 拉线锚板          |            | 绝缘子老化          |          |
| 8  | 支柱防腐   | 防护措施  | 防污闪改造         |            |                |          |
| 9  | 主导电回路  |       | 电连接线断股        | 防鸟、防猴      |                |          |
| 10 |        | 供电线补强 | 支柱防撞墩         |            |                |          |
| 11 | 接触网零部件 |       | 非标零部件         |            |                |          |
| 12 |        |       | 淘汰零部件         |            |                |          |

(二) 外部影响

1. 天气影响

在恶劣天气条件下，如浓雾、地震、六级及以上大风等，

必须暂停野外施工作业，并指派专门人员进行现场巡检。如果发现异常情况，应立即进行通报，并采取相应的防范措施。特别是在遇到大雨、暴雨或连续阴雨天气时，严禁进行杆坑

和电缆沟的开挖作业。对于杆坑开挖工作, 必须确保路基的稳定性, 避免对路基造成破坏或减弱其强度。开挖后的基坑必须按照相关规定设置警示标志, 并对土质松软、流沙或碎石地带的坑壁进行加固处理, 以防止由于行车震动引发坑壁坍塌。

此外, 开挖后的基坑应及时回填立杆; 若由于某些原因未能及时立杆, 则必须尽快进行回填, 并避免基坑长时间暴露或积水, 防止潜在的安全隐患。在夏季施工期间, 应特别注意雨水对路基稳定性的影响, 避免在雨中进行施工。基础开挖后应及时进行回填, 并做好防护措施, 以确保路基的稳定性。冬季施工则需要采取有效的防冻措施, 以保证路基在低温环境下的稳定性, 防止冻结对土壤和基础结构的损害。

## 2. 场地条件限制

西南地区普速铁路大多为山区铁路。以某山区铁路为例, 区段内隧道口存在部分悬崖路段, 施工难度很大。作为 1998 年开通的单线电气化铁路, 路基宽度较窄, 部分待更换的存在缺陷或支柱容量紧张的接触网支柱条件十分受限, 路基宽度也无法满足《铁路电力牵引供电设计规范》(TB 10009)有砟轨道区段不小于 3.1 米的限界要求, 路基为单边不具备换边条件。此时只能控制在原限界约 2.84 米, 在既有支柱附近寻找合适点位立杆; 若遇坚石坑, 开挖难度较大, 则需改为扩大基础。

此外既有隧道、棚洞净空较小, 原有非标的支撑悬挂形式需采用适合当期工况的技术方案, 如水平悬挂、简单悬挂等。同时既有隧道内衬、棚洞下部已老化较为严重, 用于固定悬挂装置底座的后置锚栓植入需尽量避开掉块区段, 并做好拉拔试验。

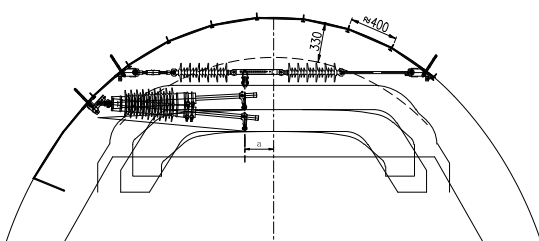


图 15 隧道内水平悬挂示意图



图 16 隧道内水平悬挂整治

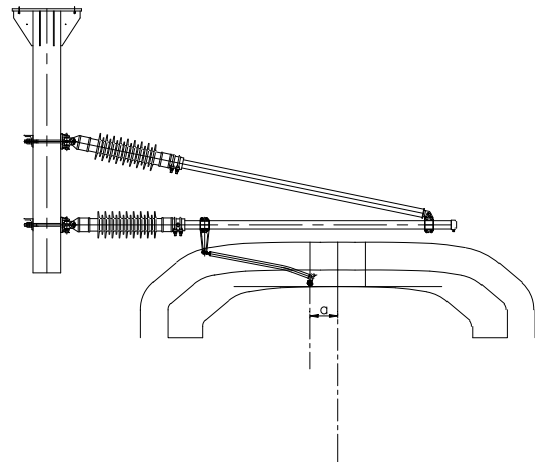


图 17 简单悬挂示意图

## 3. 天窗点

部分普速铁路大修区段位于多线并行区段, 如某西环线与某城际铁路存在四线并行段, 西环线下行与城际铁路线间共柱, 若需更换接触导线或其余上部安装, 必须在较短的天窗点内合理安排接触网大修施工。

首先明确任务优先级, 按重要性和紧急性分配工作。提前做好所需设备和材料, 确保施工现场及时到位。精确规划施工流程, 避免重复作业, 减少不必要的时间浪费。人员应根据施工内容进行合理分配, 确保每个环节协调配合。施工过程中可采取分段作业, 尽量在最短时间内完成重要环节, 如接触导线更换、腕臂支撑及定位装置更换、支柱更换等。安全措施必须优先考虑, 确保施工人员的安全。修复完成后, 进行必要的电气测试和质量检查, 确保接触网系统正常运行。通过精密的组织与管理, 最大限度提高天窗点利用效率, 确保大修施工高效、安全地完成。

## 五、普速铁路接触网大修的未来发展趋势

### (一) 智能化

#### 1. 智能监控与 AI 分析

随着信息技术的发展,未来普速铁路接触网的管理将更加依赖智能化系统。通过安装智能传感器和监测设备,实时采集接触网的运行数据,如电流、接触线振动等信息,并通过远程平台进行分析。这些数据通过 AI 智能分析系统进行实时监控,能够识别接触网的潜在问题并提前预警。例如, AI 可通过分析历史数据与当前数据对比,识别出接触网老化、损伤或磨损的趋势,进行预测性维护,从而大幅降低故障发生率。

#### 2. 自动化检测与修复

自动化检测技术的引入,将结合 AI 智能算法进行分析和判断。通过无人机巡检、激光扫描、红外成像等高精度设备获取数据, AI 系统可以对接触网进行全面的评估,自动识别潜在问题并根据预设的维修计划自动安排后续工作。这不仅提升了检测精度,也提高了修复效率。未来, AI 还可能在自动化修复技术中发挥更大作用,通过机器人等设备完成接触网的局部修复,减轻人工负担,保证高效、安全的施工过程。

### (二) 政策与管理的完善

#### 1. 政策支持

为保证铁路接触网的长期稳定运行,政府应加大政策支持,特别是资金投入和技术创新方面。政府应鼓励企业和科研机构加强人工智能技术的研发,推动 AI 技术在铁路电力系统中的应用。通过财政补贴、税收优惠等手段,促进普速铁路接触网智能化改造,提高大修工作的效率与质量,并引导技术的可持续发展。

#### 2. 监管与质量保证

随着智能化及 AI 技术的应用,接触网大修的监管和质量控制可实现更高的自动化水平。AI 可以实时监控施工过程中的每一环节,自动对接触网的维修质量进行检测,确保施工质量的可靠性。在监管方面, AI 可以利用大数据分析系统分析施工过程中的风险点,提前发出预警,确保大修工作符合规定标准,避免事故发生。

## 六、结语

接触网大修显著提高了设备的安全性与稳定性,通过更换老化设备和修复损坏部分,有效消除了安全隐患。今后将会有更多普速电气化铁路不可避免的进入接触网大修期,尽快建立普速电气化铁路接触网全寿命周期的评估机制和技术体系,同时加强智能监控和自动化技术的应用,实时监控接触网状态,提前预警潜在问题,并规范大修流程,确保高效运维,已经越来越刻不容缓。未来,应进一步结合大数据和人工智能进行预测性维护,提升系统稳定性,同时采用环保节能材料和设备,推动铁路牵引供电系统的绿色转型,确保其长期可持续发展。

## [参考文献]

[1]刘志兵. 普速铁路接触网简化大修改造施工技术浅析[J]. 电气化铁道, 2025, 36(4):102-107.

[2]中国国家铁路集团有限公司. 普速铁路接触网大修规则[M]. 北京:中国铁道出版社, 2019.

[3]陆璐. 浅谈铝合金腕臂在铁路接触网中的应用[J]. 西铁科技, 2015(1):3.

[4]关金发,陈俊卿,张家玮,等. 面向提质增速的高速铁路接触网数字技术[J]. 电气化铁道, 2022(S1):66-70.

作者简介:裴志禹(出生年—1990.12),男,汉族,籍贯:重庆,学历:硕士研究生,职称:工程师,研究方向:接触网,其他信息。