工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

接触网整体吊弦预制与安装精度控制方法研究

陶青
中国铁建电气化局集团第二工程有限公司　山西太原　030023

DOI：10.32629/ems.v8i10.22592

［**摘　要**］整体吊弦是电气化铁路接触网的主要受力和定位构件，预制精度和安装质量直接影响接触线平顺度、弓网匹配性能和列车运行安全。针对目前铁路接触网施工中普遍存在的吊弦长度偏差、安装点位偏移、受力不均、线型超标等精度缺陷，本文根据高速铁路和城轨接触网施工规范以及现场工程实践，对吊弦预制、现场安装全过程的精度影响因素进行分析。从工厂化预制工艺、精密测量定位、标准化安装作业、质量复核校验四个方面来建立全流程精度控制体系，优化预制参数校准、张力控制、点位定位等关键工艺。通过现场工程应用验证，该方法可以将吊弦预制长度偏差控制在±1mm 以内，安装点位偏差缩小到±30mm，大大提高接触网施工精度和运营稳定性，可以为电气化铁路接触网精细化施工提供技术参考。

［**关键词**］接触网；整体吊弦；预制工艺；安装精度；精度控制

伴随着我国高速铁路、城市轨道交通路网的不断完善，电气化铁路向高速度、高密度、高安全性运营方向发展，弓网系统动态匹配性能成了保证列车稳定受流的关键。整体吊弦是接触网弹性链型悬挂系统的重要组成，它起到悬吊接触线、传递荷载、调节导线高度和平顺度的作用，与传统的分体式吊弦相比，整体性强、免二次调整、受力均匀的优势，已经成为目前主流的施工形式。现场施工过程中，吊弦预制尺寸偏差、安装定位不准、压接工艺不规范、环境温湿度影响等问题，很容易造成接触线硬点、高差超标、拉出值偏移等病害，引起弓网接触不良、电弧烧蚀，严重时影响行车安全。本文根据标准化施工流程，分析精度偏差的原因，提出针对性、可落地的全流程精度控制技术方案，促进接触网施工精细化、标准化升级。

1 整体吊弦精度偏差危害分析

整体吊弦是接触网弹性悬挂的主要受力构件，其施工精度偏差具有典型的累积性、滞后性、隐蔽性，短期施工缺陷会在列车长期动态荷载、环境温变、风振作用下不断放大，造成一系列弓网病害，严重威胁铁路运营安全。从预制精度缺陷上看，吊弦预制长度正偏差会造成成品吊弦松弛冗余，安装后接触线跨中位置局部下沉，导线实际高度低于设计值，列车高速运行时受电弓与接触线接触压力持续波动，频繁出现离线现象，诱发电弧烧蚀，逐步磨损接触线导线截面和受电弓滑板，缩短设备服役周期。预制长度负偏差会造成吊弦张拉过紧，强行抬升局部接触线高度，形成固定式接触线硬点，列车通过时受电弓产生剧烈冲击振动，大幅提升弓网接触应力，加速吊弦、线夹、承力索的疲劳老化，长期运营易出现吊弦断裂、线夹脱落等安全隐患。吊弦安装点位偏移会完全破坏接触网设计的弹性分配规律，造成跨内导线刚度分布不均，局部区域刚度偏大、弹性不足，列车高速通过时弓网共振加剧，拉出值超限，极易引发脱弓、刮弓事故。多组吊弦安装精度不一致会造成跨内荷载分配失衡，部分吊弦长期受超额荷载影响，部分吊弦空载松弛，造成结构性受力缺陷，不但大大增加后期人工调整、设备更换的运维成本，还会降低线路运营稳定性及安全冗余。

2 整体吊弦预制精度影响因素及控制方法

2.1 预制精度主要影响因素

根据大量的现场预制试验和质量检测数据，整体吊弦预制精度偏差主要是由于设备、工艺、物料、操作这四个方面的因素造成的。设备精度衰减是系统性偏差的主要原因，长时间高频次作业后，预制设备的机架结构会轻微形变，激光测长传感器出现零点漂移、精度衰减，液压压接系统存在油压不稳定、压力闭环控制滞后等问题，直接造成吊弦有效长度测量误差、压接成型质量不达标。设备日常清洁不到位、定位卡槽磨损、防震结构失效，都会造成预制过程中物料轻微位移，从而加大尺寸偏差。工艺参数适配性不足是人为偏差的主要原因，大多数施工团队使用固定常温预制参数，没有根据施工现场四季温差、昼夜温差修正尺寸参数。铜绞线材质有明显的热胀冷缩特性，温度每变化 10℃，百米铜线长

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

度伸缩量可达 1.7㎜，预制和安装工况温差过大，会产生不可逆的温度尺寸偏差。物料性能的差别也会对预制精度造成影响，不同批次的铜绞线抗拉强度、弹性模量存在微小差别，部分线材存在生产残余应力，放线过程中张力控制不均，会造成吊弦成型后缓慢形变。另外，操作人员标准化意识差，线材未完全穿入压接孔根部、载流环角度随意调整、成品未逐根校核等不规范操作，是零散式精度缺陷的主要原因。

2.2 全流程预制精度控制技术

（1）搭建智能预制平台

建立高精度、标准化的智能预制平台，对设备状态进行常态化的管控，从源头上消除设备系统性偏差。预制设备选用高刚性一体式焊接机架，配专业防震地基和减震脚垫，可抵消设备运行振动、地面微形变造成的定位误差，保证预制基准稳定。设备核心控制系统采用工业 PLC 闭环控制系统，配高精度红外激光测长模块，设备静态重复定位精度稳定在≤0.1㎜，满足精细化预制标准。建立设备分级标定和养护制度，落实“日校验、周复核、月维保”管控机制，每日开工前对激光测长仪进行零点校准、对液压压接设备进行压力调试，每周开展全设备精度复核检测，每月对机架、卡槽、传感器等核心部件进行除尘、紧固和养护，及时修复精度衰减、压力波动、定位偏移等故障，保证设备全程处于标准工作状态，杜绝设备因素引起的批量精度偏差。

（2）优化预制工艺参数

动态调节预制工艺参数，消除由于环境温度、线材形变造成的精度误差。建立温度修正预制模型，实时采集施工现场环境温度，代入铜绞线线膨胀系数计算公式，精准修正吊弦理论预制长度，实现预制参数与现场安装工况精准匹配，彻底解决温差形变问题。针对铜绞线残余应力问题，所有线材预制前统一进行预张拉处理，按照额定拉力的 80%标准匀速张拉并持荷 30s，消除线材内部残余应力，防止吊弦成型后松弛、形变、尺寸偏移。规范放线作业标准，摒弃人工随意放线模式，采用恒张力放线机构，全程保持放线张力恒定，杜绝松紧不一造成的线材隐性形变。严格落实标准化预制流程，零配件安装前逐件核对规格、角度、外观质量，压接作业严格按“对位、穿线、稳压、保压”四步流程操作，保证线材完全贯穿压接孔底部，保证两端线鼻子反向对称，保证双载流环水平共面，杜绝构型偏差。

（3）构建三级校核体系

创建三级成品校核体系，对预制质量实行全过程闭环控制，杜绝不合格品进入现场使用。一级校核为操作人员自检，单根吊弦预制完成后，人工检查压接外观、载流环角度、线材完整性，排查显性缺陷；二级校核为质检专检，用高精度激光测距仪、角度检测仪逐根检测吊弦长度、同轴度、对称度，严格把控成品长度偏差≤±1㎜；三级校核为批量抽检，每批次预制产品随机抽取 10%样品进行全方位复检，同步检测压接密实度、线材抗拉性能，杜绝隐性质量缺陷。校核合格的成品吊弦按锚段、跨距分类编号、分区存放，用软性隔离防护装置防止运输、存放过程中磕碰、挤压变形。同时建立预制质量追溯台账，对每批次吊弦的预制参数、设备状态、环境温度、校核数据、操作人员信息进行详细的记录，实现预制质量全程可追溯、可复盘，从源头保证吊弦预制精度和成品质量的稳定性。

3 整体吊弦安装精度影响因素及控制方法

3.1 安装精度主要影响因素

点位测量定位误差是造成现场安装精度超标的首要原因，也是传统施工模式的致命缺陷。传统吊弦定位采用人工钢卷尺丈量、目视划线的作业方式，测量精度受操作人员视力、操作手法、卷尺拉伸力度影响很大，存在固定的人为系统误差。长跨距接触网测量作业中，单点微小误差会不断累积，造成跨中吊弦安装点位纵向偏移量大幅超标，部分工况下偏移量可达 60㎜ 以上。同时传统施工直接用设计理论坐标进行定位划线，没有考虑施工现场承力索弛度、结构高度、轨道标高的实际偏差，忽略了现场结构与设计模型的细微差异，造成理论定位参数与实际悬挂工况严重不匹配。高空作业基准定位不清、划线标识不清、测量基准随意更换等问题，又加大了点位定位偏差，给后续接触线线型失衡、受力不均埋下质量隐患。

安装作业工艺不规范、精细化操作缺失是精度偏差的主要人为因素。部分施工人员没有严格按照标准化作业流程进行安装，吊弦倾斜、线夹偏移，承力索与接触线线夹中心不垂直对正，造成吊弦受力偏心，改变接触线竖向高程，造成横向拉出值超标，破坏弓网横向匹配关系。吊弦张拉固定环节人工张拉力度控制没有统一标准，随意性大，同一跨距内各组吊弦张拉松紧不一，部分吊弦过度张拉压缩接触网弹性，

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

部分吊弦松弛失效,彻底破坏接触网原有弹性均匀分布特性。露天施工现场环境复杂，大风、温差突变、施工机具碰撞、高空作业晃动等外部扰动会造成吊弦安装瞬时偏移，形成隐性精度缺陷。传统施工模式大多采用“一次安装成型”的模式，缺少安装后即时复核、动态微调的工序，微小的精度偏差不能及时修正，在后续线路铺设、荷载叠加的作用下逐渐累积成结构性质量病害，影响接触网整体服役性能。

3.2 精细化安装精度控制技术

（1）引入数字化智能测量定位技术

摒弃钢卷尺人工测量模式,采用高精度激光间距测量仪、红外标线仪组合定位系统，以轨道基准线为参照，准确采集承力索悬挂点、跨距中心点等核心基准数据,结合接触网 BIM 三维模型，自动生成每一组吊弦的精准安装坐标、高程参数，实现定位数据数字化、可视化、精准化。现场定位作业严格按照“基准复核、逐点定位、标识固化、参数核对”四步进行，以锚段两端固定悬挂点为基准，向跨中逐点校准定位，准确标出吊弦安装中心位置，将纵向安装点位偏差控制在±30mm 以内。施工前对各跨距实际结构高度、承力索弛度参数进行实测，与设计参数进行对比，对偏差进行修正，动态调整吊弦安装位置和高程参数，彻底解决理论参数与现场工况不匹配的问题，保证定位精度符合现场施工条件。

（2）推行标准化、规范化高空安装作业流程

编制专项吊弦安装标准化作业指导书，明确线夹安装角度、紧固扭矩、吊弦垂直度、张拉力度等核心工艺参数，对施工人员进行岗前专项培训和实操考核，杜绝不规范操作。安装作业时，保证承力索、吊弦、接触线三线垂直对正，吊弦全程竖直无倾斜，线夹贴合导线紧密无偏移，采用扭矩扳手统一紧固力度，防止过紧压伤导线、过松松动滑脱。对吊弦张拉工艺采用匀速微张拉作业法，根据接触网自身弹性特性逐组调节张拉力，使同一跨距内所有吊弦受力均匀、形变一致，达到跨内荷载均衡分配的目的。优化施工时序和作业环境管控，选择无风无雨、温度恒定的时段进行精准安装作业，避开风振、温差突变造成的瞬时精度扰动，减少外部环境对安装质量的影响。

（3）单组吊弦安装完成后，立即用高精度激光测高仪、拉出值检测仪实时检测接触线悬挂高程、平顺度、横向拉出值等参数，对比设计标准及时修正毫米级微小偏差，杜绝偏差累积。整跨吊弦安装完成后，进行跨内整体线型复核和弹性协调性检测，逐段排查接触线硬点、高程突变、弹性不均等问题，保证各组吊弦振动同步、受力均衡，保证跨内接触线线型连续平滑、弹性分布均匀。针对复核出的微小精度偏差，采用动态微调工艺，在不破坏整体线型的基础上准确校正吊弦张拉力和安装位置，防止二次施工扰动。依靠多级复核机制，彻底解决传统施工精度失控、病害遗留等问题，保证安装成型质量完全满足高速弓网动态匹配的苛刻要求。

结束语

本文通过对接触网整体吊弦预制和安装全过程精度偏差原因的分析，有针对性地建立了设备标定、参数优化、标准化作业、动态复核的全流程精度控制体系，明确了预制尺寸、安装点位、压接质量、线型平顺度等关键参数的精准控制方法。工程实践证明，该体系可以很好地解决传统施工中精度偏差大、质量稳定性差、病害频发等问题，明显提高整体吊弦施工精度和弓网系统运营性能，完全满足高铁和城轨接触网精细化施工的要求。后续可以结合物联网、智能监测技术，建立吊弦施工精度实时监测和自动修正系统，进一步提高接触网施工智能化、精准化水平，为高速电气化铁路安全稳定运营提供坚实的技术保障。

[参考文献]

[1]陈志涛. 接触网架设施工中吊弦质量控制 [J]. 铁道技术监督, 2019, 47 (3): 28-31+36.

[2]贡保多杰. 电气化铁道接触网整体吊弦制作安装探讨 [J]. 甘肃科技, 2012, 28 (10): 53-55+74.

[3]陈永胜. 电气化铁路接触网整体吊弦安装技术 [J]. 科技资讯, 2012, (10): 118-119. DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2012.10.116.

[4]卫明博. 高速电气化铁路接触网施工技术研究——整体吊弦技术 [J]. 科技资讯, 2009, (36): 21-22. DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2009.36.034.

[5]黄飞鹏,刘国红. 电气化铁道接触网施工中整体吊弦应用的探讨 [J]. 电气化铁道, 2002, (4): 23-25.

作者简介：陶青，1983 年 2 月，男，汉族，籍贯：湖北钟祥，职称：高级工程师。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.