

# 接触网腕臂装配精度控制与施工质量控制要点研究

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.v8i8.21562

**[摘要]** 接触网是电气化铁道的主要供电设备，而腕臂是接触网的重要支承结构，担负着承载索和接触线的定位、固定和荷载转移等作用，其安装精度将直接影响接触网的几何尺寸，从而关系到弓网的受流品质和行车安全。受零件加工偏差、现场测量误差、施工工艺不规范、控制体系不健全等因素的制约，导致腕臂组装过程中容易产生平斜腕臂角度偏差、定位机构斜度超标和高度超标等质量问题，导致弓网磨损加剧、受流失稳，乃至脱弓断线。基于此，本文系统分析腕臂结构的装配特点与精度影响因素，从工厂化预配、现场测量定位、安装精细调整三个核心环节提出装配精度控制技术方案，并从原材料管控、人员作业管控、关键工序质控、验收追溯管理四个维度梳理施工质量控制要点，同时结合工程实例验证管控措施的应用效果。以期为行业内相关人员提供参考。

**[关键词]** 接触网；腕臂装配；精度控制；施工质量；质量管控；弓网受流

## 引言

作为接触网接触悬挂的关键连接部件，其组装精度是保证接触线空间线形和弓网耦合特性的前提。传统的腕臂组装方式主要依靠手工下料和安装，受限于工作环境、人员技能和检测手段，腕臂的装配精度离散度高，返工率高，质量控制困难。当腕臂安装误差超过允许值时，将直接造成弓网接触线高度和结构高度等指标不符合要求，从而加剧弓网磨损，甚至引起交通安全事故。基于此，本文围绕腕臂装配精度控制核心目标，拆解全流程施工关键控制点，构建系统化的精度与质量管控体系，为接触网工程高质量施工提供实践依据。

## 1 接触网腕臂装配技术特点与精度影响因素

### 1.1 腕臂装配技术特点

一是需要更高的精度，高铁腕臂组装高度误差在10mm以内，拉出值在±30 mm以内，这是一项高精密组装项目。二是在工件加工、车间备料、施工过程中，各工序造成的误差累积效应明显，最终体现在接触线的线形偏差上。三是施工约束性强，多数施工期为高原地区，受风、气温、立柱施工偏差等因素影响，施工难度较地表施工大。

### 1.2 装配精度偏差的主要工程危害

腕臂安装精度不合格不只是一种质量问题，还可能引起一系列的运行风险。首先，弓网受流品质劣化，在腕臂定位器倾斜角度等因素影响下，接触线上出现硬点、局部上抬或

下坠，弓网受流过程中会发生冲击振动，造成弓网受流失稳，在高速状态下，可能发生脱线，电弧烧伤接触导线和弓滑片。其次，接触网结构的疲劳破坏将进一步加剧，使得腕臂和定位承受更多的附加应力，在长时间的交变载荷下，容易产生连接件松动、焊缝开裂、杆件变形等缺陷，从而降低了结构的服役寿命。在极端情况下，定位器的提高不够充分，都会引起弓网刮碰和脱弓，从而引起接触网断线坍塌，直接中断铁路交通，造成巨大的经济损失和社会影响。

### 1.3 影响装配精度的核心因素

一是由于预先装配的工艺因素，如预配合精度不高，工装夹具磨损，装配力矩不一致，角度测量不一致，造成预制装配产品自身的系统误差，现场安装后，直接表现为参数超限。二是现场施工因素，如立柱倾斜率超标，腕臂基础安装高程偏差，现场测量定位误差，安装调试方法不合理，操作人员操作不当等，均导致现场安装精度不均匀。三是环境和运营因素，在施工过程中，由于气温的变化，管道的热胀冷缩，支撑基础的沉降，风力的作用，都会影响到高空作业的稳定，从而影响到装配的精度。

## 2 接触网腕臂装配精度控制核心技术要点

### 2.1 工厂化预配阶段的精度源头控制

在进行装配之前，需要搭建一个高精度的装配平台，将其平整度控制在±1mm之内，并配合专用的定位夹具、角度

测量仪、力矩扳手等标准化工装，保证装配基准的一致性。钢管下料采用 CNC 切割机，确保垂直度不超过 0.5 度，长度误差小于  $\pm 1\text{mm}$ ；在钻削过程中，利用 CNC 钻孔机进行定位，并对孔距和孔径公差进行了严格的控制，消除了手工钻削时的定位误差。在装配时，严格按照工艺要求进行，平腕臂和斜腕臂的连接节点用力矩扳手拧紧，力矩值满足设计，同一批螺栓的力矩误差不得大于  $\pm 5\%$ ；在装配好的腕臂后，对其上翘角度、斜腕臂角度、整体长度、绝缘子的安装位置进行逐个检查，并对其进行检验，并对其进行验收，并对其进行验收。同时，根据不同锚段和支柱类型，对其进行编号管理，并配以相应的安装说明，做到“一杆一配，确认无误”，以防止因施工现场混淆而引起的组装误差。

## 2.2 现场测量与定位的精度管控

在施工之前，用全站仪对立柱进行定位和地基高程检查，保证立柱的侧向位移、纵向位移和地基面高程都符合设计要求，并从基础水平上减小偏差。在安装腕臂底座之前，对其实际倾斜度、侧面限界、底座安装孔位高度进行逐一测量，以消除立柱施工误差对其造成的影响。在野外测量中，采用“双检复核”，即每一套腕臂的安装基准都是由两位测量员分别进行测量，若有 2mm 以上的误差，则需要再次进行检查，以消除人工测量带来的人为误差。对于一些有较高精度要求的路段，如曲线段和岔道段，应加大检测频率和控制点的密集度，以保证精确、可靠的定位基准。

## 2.3 腕臂安装与精细调整的精度控制

采用“初始定位，分级精细调整”的原理，在现场进行腕臂的安装，逐步靠近设计参数。吊装到位后，首先要做好初始调整，对腕臂底座和连接螺栓进行初步的紧固，保证总体定位误差不超过 20mm。在安装过程中，利用接触网激光测量仪对接触线的高度、拨出量和定位器斜率进行了实时的测量，直到所有的数据都符合规范的要求。对主要参数进行分层控制，同一跨距内的高差不得超过 15mm，标高误差不得超过 10mm；拉出值误差在  $\pm 30\text{mm}$  以内；为确保弓网提升过程中不会出现卡涩现象。调试完毕后，应立即将各连接部位拧紧，并作好防松标志，以防止因列车行驶而引起的螺栓松动和参数偏差。

## 2.4 装配参数的校验与闭环调整

采用接触网智能检测设备逐跨、逐组进行全覆盖检测，对各套腕臂的平腕臂倾角、斜腕臂倾角、接触线高度和拉出值进行详细的记录，并建立数据库。针对发现的不合格项目，分别对其原因进行了分析：属于预配错误的，替换相应部件；属于安装调整偏差的，再进行微调；属于支柱类的，采用可调节底座进行补偿。在所有的偏差校正工作结束后，再次检查，确保所有的参数都符合要求。针对锚段关节、中心锚结和交岔点等主要受力节点，在检验其几何参数的同时，也要检验腕臂的受力状况和连接件的紧密性，以保证结构的受力均匀，防止因局部应力集中而引起的后期变形，保证了各腕臂的安装精度符合设计和技术标准，避免了不合格的工艺进入到下一个施工阶段。

## 3 腕臂装配施工全过程质量控制要点

### 3.1 原材料与构配件进场质量管控

原料及构件的质量对项目的质量至关重要。外观检查主要是对管道的裂纹、变形、涂料剥落、金具砂眼、毛刺状、尺寸不符合要求、绝缘子瓷身裂纹、伞裙破裂、外观不合格等进行检测。对进入现场的零件，按一定比例抽样，对其力学性能、耐腐蚀性及尺寸误差进行检测，不符合要求的，予以淘汰。同时，要做好材料的储存与管理，将腕臂的管件、金具分类堆放，并采取防水、防潮、防磕碰的措施，避免其在存放期间出现锈蚀、变形、涂层破损等情况，确保结构件从进场到安装全过程的质量稳定。

### 3.2 施工人员技能与作业规范管控

在正式开工前，对所有的工作人员进行了技术交底，详细地解释了安装精度的标准、工作流程、关键控制点和安全要点，并且针对具体的部位和复杂的节点，制订了作业指导书，使每位工作人员都能够理解其自身的质量需求和工作流程。建立可追溯机制，各腕臂的预配、安装、调试均有清晰的负责人，并在施工日志中进行记录，一旦出现质量问题，可直接追溯到具体的操作者。定期开展技术比武、质量评比，表彰装配精度高、一次合格率高、质量问题的职工进行再培训，促进职工标准化作业，提升技术水平。

### 3.3 关键工序质量控制点设置

第一个控制点就是检查，检查原材料，检查预配好的产

品，然后再开始下一阶段的施工，最后由监理工程师进行验收。第二个控制点是观察，它包括下管，钻孔，测量，定位，腕臂吊装，有专业的质量检验员在旁边监督，并保存好施工记录和录像；第三个控制点是普通巡检，包括螺栓紧固，防松等，采用班组自检和质检员巡检相结合的方式。着重对预配和安装这两大关键工艺进行工艺控制，在预配车间实施第一件检查制度，每一批、每一种型号的腕臂第一个产品都要经过全部参数的测试才能量产；施工现场实施“三控制”，即班组自检、工序互检、质检人员专检等，前一道工序不合格，不准进行下一道工序的生产，从过程中堵住质量漏洞。

### 3.4 施工质量验收与追溯管理

要建立完善的工程质量验收体系，按批、分项项目进行分类验收。将装配参数、试验数据、整改记录、验收签字等数据导入数字化施工管理系统，形成完整的质量档案，实现项目全过程的追踪。在工程验收阶段，组织专项质量检测，剖析了问题的成因，优化了施工工艺及控制流程，提出了相应的纠偏及预防措施，以避免此类问题的重演。最后，通过本课题的研究，将装配质量档案和完整的完工数据进行集成，为后续的运行维护、故障诊断以及系统的升级改造等工作提供基础数据支撑。

## 4 工程应用实例与效果分析

### 4.1 项目概况

某城际铁路电气化工程，整条线路采用全补偿弹性链式悬挂，采用铝合金腕臂，共计 1286 套。该工程穿越了大量的桥梁、隧道和曲线段，对腕臂组装的精度提出了更高的要求。前期采用传统的现场下料安装方式，腕臂一次检验合格率只有 82%，存在着接触线高偏差大、返工成本高、施工进度滞后等问题。将所建立的精度和质量控制系统引入到项目中，实现了“工厂化预配+工地精细化调试+闭环验收”，大大提高了工程的质量和效率。

### 4.2 管控措施现场落地

建立标准化的腕臂预配生产车间，配备数控下料设备、高精度装配平台和特殊检测设备，对成品进行检测和编号；在施工过程中，采用了接触网激光测量仪进行检测；针对曲线段、岔道段等较难地段，制定专项施工计划，并由有经验

的施工团队在现场监督。

### 4.3 应用效果与效益分析

该方案实施后，通过第三方检测机构对整条线路进行了全面的检测，一次检测合格率为 98.7%，其中接触线高度的平均偏差在 5 mm 以内，拉出值的误差在 20 mm 以内，在安装倾斜度方面都符合规范，远超验收要求。与传统的建设方式比较，现场返工率可达 76%，建设周期可节省 12%，并可大大降低后期调试的工作量。从长远来看，高精密组装能有效降低弓网磨损率，预期可降低年运营费用 20% 左右，对提高接触网运营可靠性和全寿命经济水平具有重要意义，并对其工程应用价值进行验证。

## 5 结束语

综上所述，接触网腕臂组装精度是保证电气化铁道弓网受力质量和行车安全性的关键依据，其施工质量控制贯穿于原材料、预配、安装、验收等各个环节，是一项系统的技术和管理工作。本文针对腕臂装配精度影响因素，从源头控制、现场测量定位、安装精细化调试、闭环校验等四个方面，研究施工过程中的材料控制、人员控制、过程控制、验收可追溯等关键环节，建立“技术+管理”管控体系。通过项目实施，验证了所建立的控制系统，能有效提高腕臂的一次组装合格率，并能最大限度地降低关键尺寸的误差，实现产品质量和经济效益的统一。未来，可以将 3D 造型预制、智能传感实时监控、无人机巡检等数字技术应用于实际工程，不断提高腕臂装配精度控制的智能程度，为电气化铁道接触网的高品质建设和运营管理提供更加强大的技术支持。

### 【参考文献】

- [1] 费兆华. 高速电气化铁路接触网施工技术要点分析[J]. 中国设备工程, 2021(04):232-233.
- [2] 王同军. 中国智能高速铁路体系架构研究及应用[J]. 铁道学报, 2019, 41(11):1-9.
- [3] 褚海漫, 程银宝, 李亚茹. 基于激光扫描仪的接触网腕臂点云检测技术研究[J]. 计量学报, 2024, 45(03):433-439.

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。