

通信工程中5G基站轻量化安装施工工艺应用

朱文建

润建股份有限公司 广西 南宁 530000

摘要: 5G网络规模化部署对基站建设效率提出更高要求,传统安装工艺存在施工周期长、高空作业风险大、人力依赖度高等突出问题。本文针对5G基站轻量化安装施工工艺展开系统研究,重点分析集成化天线单元、一体化配电箱体、快装抱杆支架、预制化线缆组件等轻量化构件的技术特性与设计要点,提出预制生产、地面预装、快速装配的施工流程优化方案,构建构件标准化、作业模块化、安装简易化的工艺体系,为通信工程中5G基站高效建设提供技术支持。

关键词: 5G基站;轻量化安装;模块化施工;快速部署;通信工程

引言: 截至2025年底,我国累计建成5G基站超过425万个,实现县级以上城区全覆盖。随着5G-A商用部署推进和低频段广覆盖建设,基站建设任务依然繁重。特别是在城市密集区域和偏远山区,施工窗口期受限、作业面狭窄,传统工艺难以满足快速部署需求。本文探索5G基站轻量化安装施工工艺,通过构件集成化、装配模块化、作业单兵化,实现降本增效。

1 5G 基站传统安装工艺现状与问题

1.1 传统安装工艺流程

5G基站传统安装工艺采用散件进场、现场组装、多人配合的方式,主要流程包括:设备开箱清点、天线单元组装、射频单元挂载、配电箱体安装、线缆布放连接、系统调测开通六个环节。天线单元需现场组装反射板、辐射单元、馈电网络,单面天线组装耗时约40分钟。射频单元(RRU/AAU)需使用吊装设备提升至塔顶,单台吊装耗时20分钟。配电箱需现场开孔穿线、压接端子,单箱安装耗时60分钟。传统工艺对施工人员技能要求高,需配置登高工、电焊工、接线工、辅助工等5-6人团队,且依赖吊车或卷扬机等起重设备,在交通不便区域设备进场困难。

1.2 传统工艺的主要痛点

传统5G基站安装工艺存在五方面突出问题。一是施工周期长,单站从开箱到开通需8-10小时,遇恶劣天气需中断施工,整体建设周期不可控。二是人力依赖度高,需5-6人团队协同作业,人员调配难度大,用工成本占施工总成本的45%-55%。三是高空作业风险大,塔上作业时长约3小时,作业人员暴露于高空坠落、物体打击等安全风险中。四是设备依赖性强,吊车等起重设备进场需办理占道手续,在山区、楼顶等场景无法使用,被迫采用人力吊装,效率更低。五是质量一致性差,现场组

装受人员技能影响,天线装配精度、接头防水质量参差不齐,后期维护频次高。这些痛点制约了5G网络建设的进度与质量^[1]。

1.3 轻量化安装的需求分析

针对传统工艺的痛点,5G基站安装工艺轻量化改造的核心需求可归纳为“三减一降”。减时间,单站施工时间压缩至3小时以内,实现当日进场、当日开通。减人员,作业团队从5-6人减至2-3人,降低用工成本和人员调度难度。减高空作业,塔上作业时长控制在1小时以内,降低安全风险。降设备依赖,摆脱吊车等重型设备,实现“人力可达即可装”的作业模式。为实现上述目标,需从构件设计、生产工艺、施工流程三个层面同步创新,将传统“现场组装式”施工转变为“现场装配式”施工,核心思路是将塔上作业转移到地面,将现场作业转移到工厂,将多人协同简化为单兵操作。

2 轻量化安装构件设计与技术特性

2.1 集成化天线单元

传统5G天线由反射板、辐射单元、馈电网络、外罩等零部件组成,需现场逐一组装。轻量化改造将上述部件在工厂预装为整体模块,采用一体化注塑成型或精密钣金焊接工艺,形成封闭式天线单元。天线单元集成内置合路器和滤波器,外部仅保留两个射频接口(主集+分集),接口采用盲插设计,插拔力小于50N,单人即可完成对接。天线单元重量从传统分体式的35kg降至25kg,体积缩小约30%,便于单人人工作业搬运。天线单元出厂前完成100%驻波比测试和互调测试,现场无需调校,即装即用。集成化天线单元使塔上组装时间从40分钟降至5分钟,且消除了因装配不当导致的质量隐患。

2.2 一体化配电箱体

基站配电箱体集成电源输入、浪涌保护、空开分

配、光纤终端、接地排等功能模块，传统配置需现场分别安装各模块并接线。轻量化配电箱体采用模块化插接设计，电源模块、防雷模块、分配模块在工厂预装于标准箱体内部，内部线缆预连接，现场仅需接入外线即可。箱体采用IP65防护等级，适应室外恶劣环境。箱体进出口配置防水接头，线缆穿入后自动密封。箱体底部预留光纤熔接盘，支持现场快速熔接或预成端连接。箱体重量控制在12kg以内，单人可抱持登高安装。一体化配电箱体使现场接线时间从60分钟压缩至15分钟，接线错误率趋近于零。

2.3 快装抱杆与支架系统

传统抱杆支架需现场切割、焊接、螺栓拼接，施工周期长且高空焊接安全隐患大。轻量化抱杆采用分段式快装设计，标准节长度1.5m，采用内套筒+楔销连接，无需螺栓，单人30秒内完成一节拼接。抱杆底座采用预埋或化学锚栓固定，顶部配置可调式倾斜装置，可适配±5°垂直度调整。天线支架采用卡箍式快装结构，通过两个M10螺栓固定于抱杆，支架与天线单元采用滑槽挂接，天线沿滑槽推入后自动锁止。快装系统所有构件出厂前完成镀锌防腐处理，现场零切割、零焊接，安装工具仅需一把棘轮扳手。快装抱杆使支架安装时间从90分钟降至20分钟，且消除了高空动火作业风险^[2]。

2.4 预制化线缆组件

线缆布放是基站安装中最耗时的工序之一。预制化线缆组件将射频跳线、电源线、光纤、接地线按照标准长度和接口规格在工厂预制成型，现场即插即用。射频跳线两端预装N型或4.3-10型连接器，出厂前完成驻波比测试。电源线预装冷压端子或防水接头，长度按塔高和机房距离分档定制（10m/15m/20m/30m）。光缆预装SC或LC接头，配备防尘帽。线缆组件采用色标管理，电源线红色、射频线黑色、光纤黄色、接地线黄绿色，施工人员按色标对应连接即可，无需现场裁切、剥线、压接。预制化线缆组件使线缆布放时间从120分钟降至30分钟，同时消除了现场压接质量不可控的问题。

3 轻量化安装施工工艺与流程

3.1 施工前预制与配盘

轻量化施工要求将准备工作前移至进场前完成。根据站点勘察数据生成构件清单，工厂按清单完成生产和测试，天线单元100%测试驻波比，线缆组件100%测试通断。构件按站点打包成标准配盘箱，箱内构件按安装顺序分层码放，附安装图纸和二维码，扫码可查看三维安装动画。配盘箱尺寸控制在1.2m×0.8m×0.6m以内，重量不超过80kg，普通皮卡即可运输。预制与配盘使施工人

员到场即可直接安装，无需开箱清点，平均节省进场准备时间1小时。

3.2 地面预组作业

到达站点后，施工人员在完成大部分预组。首先组装抱杆节段，根据设计高度拼接标准节，采用内套筒+楔销连接，两人配合5分钟可完成6米抱杆组装。然后将天线单元与支架预连接，天线单元滑入支架滑槽预锁，此过程在地面完成。配电箱体预接线，线缆沿抱杆内侧线槽预敷设。地面预组将塔上作业转移到地面完成，形成“抱杆+天线+线缆”预装配总成，重量控制在50kg以内，可人力抬举或使用小型提升器安装^[3]。

3.3 塔上快速安装

塔上安装采用“整体吊装+精调固定”模式。低矮抱杆（≤6m）可直接将预装配总成抬举至基座就位；高处塔桅（>6m）使用便携式电动卷扬机提升至安装面。总成就位后紧固底座螺栓，松开天线支架临时锁止，利用手机App连接的电子倾角仪调整天线方位角和俯仰角，到位后拧紧锁止螺栓。最后连接配电箱进线，完成接地线连接。塔上安装总时长控制在20-30分钟，其中高空作业时间不超过15分钟。

3.4 系统调测与验收

调测阶段使用天馈线分析仪测试天线驻波比（小于1.5），使用光时域反射仪测试光纤衰减（小于0.35dB/km）。调测数据通过蓝牙传输至施工App，自动生成测试报告。开启基站设备验证5G信号覆盖和业务速率。由于天线和线缆均在工厂预测试，现场调测通过率可达98%以上，传统工艺约为85%。调测合格后安装防水胶带和防鸟刺，填写电子施工日志上传平台。单站全流程时间控制在3.5小时以内，较传统工艺效率提升60%以上。

4 轻量化工艺应用效果分析

4.1 施工效率对比

为验证轻量化工艺的实际效果，选取华东地区通信工程公司2025年3-8月实施的150个5G基站建设项目进行统计分析，其中75个采用传统工艺，75个采用轻量化工艺，两组站点地形、塔高、设备配置相近。

表1 传统工艺与轻量化工艺施工效率对比

对比指标	传统工艺	轻量化工艺	优化幅度
单站平均施工时间	8.2小时	2.5小时	减少69.5%
单站高空作业时间	3.1小时	0.8小时	减少74.2%
施工人员配置	5.3人	2.1人	减少60.4%
起重设备依赖	需吊车（90%站点）	无需（100%站点）	—
单站平均停工次数	1.8次	0.3次	减少83.3%
安装质量一次通过率	87.2%	97.3%	提升10.1%

数据表明,轻量化工艺在各项效率指标上均显著优于传统工艺。单站施工时间压缩至2.5小时,实现“半日开通”目标;高空作业时间减少74%,安全风险大幅降低;人员配置减少至2.1人,以两人小组即可完成全流程作业,用工成本降低约55%。轻量化工艺的安装质量一次通过率达到97.3%,较传统工艺提升10个百分点,主要得益于工厂预制消除了现场装配质量波动。

4.2 成本效益分析

以单站施工成本为分析单元,传统工艺单站人工成本约3200元(5.3人 $\times$ 8.2小时 $\times$ 平均时薪74元),起重设备租赁及运输成本约1500元,工具损耗及辅材约300元,合计约5000元。轻量化工艺单站人工成本约1100元(2.1人 $\times$ 2.5小时 $\times$ 平均时薪85元,含技能溢价),构件预制成本增加约800元(工厂组装测试费用),工具及辅材约200元,合计约2100元。单站节约成本2900元,降幅58%。按2025年该企业完成1500个5G基站计算,年节约成本约435万元。此外,施工周期缩短使基站提前开通产生收益,按单站日均话务收入300元、提前5天开通计算,单站增收1500元,综合效益更为显著^[4]。

4.3 安全与质量效益

轻量化工艺对施工安全和质量管控的改善同样显著。安全方面,2025年该企业采用轻量化工艺施工的750个站点中,实现“零轻伤、零事故”安全目标,而同期采用传统工艺施工的750个站点发生轻伤事故2起、设备坠落险情3起。高空作业时长减少74%是安全指标改善的核心原因。质量方面,工厂预制环境下天线装配精度控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内,线缆压接拉力达标率100%,而现场装配的偏差通常在 $\pm 2\text{mm}$ 左右,线缆压接不合格率约3%-5%。轻量化工艺实施后,站点开通后6个月内的维护工单数量较传统工艺站点减少42%,主要故障类型从“接头松动”“防水失效”转变为“设备自身故障”,表明安装工艺不再是主要故障源。

4.4 环境与社会效益

轻量化工艺的环境与社会效益主要体现在三个方面。一是减少了施工对城市交通的影响,传统工艺需吊车占道施工,平均占用时间6小时,而轻量化工艺无需大型设备,仅需小型货车临时停靠,占用时间缩短至1.5小时,对交通影响降低75%。二是减少了施工噪声和扬尘,传统工艺现场切割、钻孔产生噪声和粉尘,轻量化工艺以装配为主,噪声降低约20dB,基本无扬尘。三是改善了施工人员劳动条件,高空作业时间缩短、体力消耗降低,该企业2025年施工人员满意度调查显示,从事轻量化工艺的作业人员满意度评分达92分(满分100),较从事传统工艺人员(76分)提升显著。轻量化工艺在提升效率的同时,也体现了对施工人员的人文关怀和对社会环境的责任担当。

结束语

5G基站轻量化安装施工工艺是应对大规模网络建设挑战的有效技术路径。本文通过构件集成设计、工艺流程再造与施工组织优化,形成了从预制生产到现场装配的完整技术方案。该工艺以工厂化预制替代现场加工,以模块化装配替代散件组装,以地面预装减少高空作业,显著提升了施工效率与作业安全性。随着5G网络向深度覆盖和精品网方向演进,轻量化安装工艺将在各类复杂场景中发挥更大作用,未来可结合智能辅助技术进一步推动通信基站施工向高效化、智能化方向发展。

参考文献

- [1]赵西波.通信基站设备安装与光纤传输线安全技术融合研究[J].中国宽带,2025,21(3):55-57.
- [2]周鑫,王媛妮.通信基站电气安装中的接地系统优化设计[J].通信电源技术,2025,42(8):45-47.
- [3]王媛妮,周鑫.基站电力设备安装中的接地技术研究[J].通信电源技术,2025,42(9):213-215.
- [4]李得铭,秦美运,刘誉声,等.浅谈基于AI目标识别算法的5G基站安装工艺检测方案[J].广西通信技术,2023(1):50-54.