

变电站构架吊装就位精度控制技术应用

吴滔, 程海, 李正伟

(丽水正阳电力建设有限公司, 浙江 丽水 323000)

摘要 从变电站全流程施工质量管控视角审视, 构架吊装就位精度是直接影响后续电气设备安装质量与长期运行安全的核心关键工序。针对传统吊装工艺下轴线偏差管控难度大、基础预埋件定位精度不足等行业共性难题, 本文系统性提出构架吊装就位精度闭环控制技术工法, 涵盖双机抬吊同步协同控制、多测点空间坐标实时动态监测、自适应可调节临时固定装置应用等关键技术环节。经某 220 kV 变电站实体工程应用验证, 该工法可将构架柱垂直度偏差稳定控制在 $H/1000$ 且 ≤ 25 mm 的规范允许范围内, 横梁轴线位置偏差控制在 10 mm 以内, 显著提升了变电站土建与电气专业的交叉衔接施工质量, 有效规避了后续电气设备对接安装的精度风险。

关键词 变电站构架; 吊装就位; 精度控制; 垂直度偏差

中图分类号: TM63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.002

0 引言

电气设备的安全运行离不开变电站构架, 这一核心承重结构在吊装就位精度上直接决定后续母线安装、隔离开关调试等工序的施工质量, 传统吊装工艺大多依托经验操作以及事后检测, 容易引发构架柱垂直度超标、横梁标高偏差等问题, 大幅减少变电站整体建设质量。电网建设标准持续增进, 构架安装精度面对更加严格的要求, 迫切需要设立系统化的精度控制技术体系。本文立足于工程实践, 深度解析构架吊装精度偏差根源, 制定针对性技术控制工法, 为变电站构架高精度安装提供技术参考。

1 变电站构架吊装精度偏差成因分析

1.1 吊装过程结构变形导致的轴线偏移

分析受力特性可知, 构架柱在吊装时呈悬臂的受力状态, 因构件自重引发弯矩效应, 柱身会出现弹性变形, 单机吊装时, 吊点一般设于柱顶附近, 柱底呈自由状态, 起吊瞬间, 柱底因重力向吊点反向摆动, 让柱身轴线偏离铅垂位置。高度超过 20 m 的构架柱, 摆动幅度可达 50 mm 至 80 mm, 若未及时纠正, 就位后柱顶中心偏离设计轴线的距离将超出规范的允许范围, 从变形协调角度看, 构架横梁因跨度大, 吊装时中部挠度变形明显, 造成横梁两端连接板空间位置改变, 以及柱顶连接时产生装配应力。强行就位会使得连接螺栓孔位错位, 损害节点连接质量^[1]。

1.2 基础预埋件定位误差累积传导

变电站构架基础的结构形式多使用杯口基础或者独立基础形式, 基础顶面预埋地脚螺栓或者预埋钢板当作以及构架柱的连接 Interface, 土建施工阶段, 预埋件定位因混凝土浇筑振捣作用易产生位移, 单个预埋件中心偏差控制在 5 mm 以内尚属可行, 但多个预埋件相互位置误差累积后, 会使得构架柱就位时地脚螺栓与柱底板螺栓孔无法对中。当基础数量较多时, 这一类误差表现系统偏差特征, 使得同一轴线多组构架柱就位后顶部连线呈折线状而非直线, 继而妨碍横梁安装时的直线度要求, 基础顶面标高偏差同样会传导至构架柱垂直度, 当柱脚底板以及基础顶面出现间隙时, 垫铁找正过程会改变柱身姿态^[2]。

1.3 测量放线环境干扰因素分析

施工现场环境条件对构架吊装测量放线工作形成明显的制约, 变电站场地开阔, 昼夜温差引起的大气折光变化使得全站仪视准线产生漂移, 上午以及下午同一测点坐标观测值的差异可达 3 mm 至 5 mm, 夏季高温时段地面热辐射造成空气密度不均匀, 形成明显的闪烁现象, 减少光学对中精度。交叉作业期间, 构架吊装一般与电气设备基础、电缆沟施工同时实行, 施工机械运行产生的振动依托地面传递至测量仪器基座, 引起观测数据波动, 风力作用会使得高空架设的测量棱镜及构架柱产生动态位移, 当风速到了 4 级及以上时, 柱顶摆动幅度超过 10 mm, 此时测量放线难以获得稳定可靠的坐标数据^[3]。

作者简介: 吴滔 (1993-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电力工程。

2 构架吊装就位精度控制工法实施

2.1 双机抬吊同步控制技术

吊装工艺改良时,高度 25 m 以上或者重量超过 5 t 的构架柱,使用两台汽车吊双机抬吊能有效控制吊装期间的变形,主吊选用起重能力符合 1.25 倍构件重量的 25 t 汽车吊,放置在构架柱基础旁,吊点位于柱顶下 1.5 m 处;副吊选用 16 t 汽车吊置于柱身侧面,吊点位于柱高中部偏上位置。起吊前在两吊钩以及构架

柱连接处分别安装拉力传感器,实时监测两吊点受力比例,依托无线传输系统把数据反馈至指挥台,起升期间保持主吊负荷占总重量的 60% 至 65%,副吊占 35% 至 40%,指挥人员根据传感器数据口令调节两吊钩起升速度差,保证速度差控制在 0.1 m/min 以内。当柱身离地 0.5 m 时暂停起升,检查柱身轴线状态,确认无扭转后缓慢增进至安装高度,此时柱底离地高度保持在 0.3 m 至 0.5 m,方便旋转就位(见表 1)。

表 1 双机抬吊设备配置及技术参数

设备名称	规格型号	额定起重量	吊臂长度	吊点位置	负荷率控制范围
主吊汽车吊	QY25K	25 t	33 m	柱顶下 1.5 m	60% 至 65%
副吊汽车吊	QY16	16 t	27 m	柱高中部	35% 至 40%
拉力传感器	CL-YB-5t	5 t	—	吊钩连接处	实时监测
无线传输模块	RF-433	—	500 m	吊点位置	数据反馈

2.2 空间坐标实时监测方法

在构架柱监测布置环节,沿柱体高度方向每隔 5 m 设置一个监测断面,每个断面在柱身前后左右四个方位粘贴反射片当作测量靶标,使用两台全站仪组成前方交会测量系统,分别架设于构架基础纵横向轴线延长线上,距基础中心距离控制在 15 m 至 25 m 范围内,仪器高度以及构架柱监测断面高度基本持平,借此减少仰角过大使得的测量误差。吊装作业时每增强 2 m 高度暂停一次,两台全站仪同步观测各断面反射片三维坐标,凭借专用软件实时计算柱身目前姿态与铅垂线的夹角,当检测到柱身倾斜超过 $H/1500$ 时立即发出预警,指挥人员依据偏移方向指令吊车微调吊钩位置或者旋转柱身。就位前最后一组坐标数据当作初始安装姿态记录,为后续调整提供基准^[4]。

2.3 可调节临时固定装置应用

施工安全控制环节,构架柱就位后使用可调式缆风绳系统完成临时固定,柱顶四周布置四根缆风绳,分别锚固于地面预埋的地锚上,每根缆风绳配备 5 t 手拉葫芦充当长度调节装置,葫芦链条行程 1.5 m,调节精度达 5 mm,缆风绳以及地面夹角控制在 30° 至 45° 范围内,不仅保证水平约束力又防止竖向分力过大干扰柱身垂直度。柱身高度 1/2 处设置刚性临时支撑,使用 DN100 钢管制作,一端和柱身抱箍连接,另一端支撑于地面预制混凝土垫墩上,支撑长度可依托丝杠调节,该支撑系统同缆风绳设立空间约束体系,把柱身自由度限定为仅可绕铅垂线微小旋转,利于开展微调操作。临时固定装置安装完毕,使用全站仪监测柱顶位移,确认后续横梁吊装等扰动作业期间的位移量不超过 2 mm。

2.4 精准就位微调技术实施

构架柱初步就位时,柱底板以及基础顶面有 10 mm 至 20 mm 的找平间隙,需用三组楔形垫铁组实行标高的微调,每组垫铁由一块平垫铁与两块楔形垫铁组成,平垫铁厚度 20 mm,楔形垫铁斜度 1:20,依托敲击楔形垫铁可改变柱底标高,精度可达 1 mm。柱身垂直度校正时,凭借松紧缆风绳手拉葫芦完成,当检测发现柱顶向东偏移,收紧西侧缆风绳同时放松东侧缆风绳,每次校正量控制在 5 mm 以内,防止校正过量使得往复摆动,若地脚螺栓以及柱底板螺栓孔错位,用液压千斤顶在柱底施加水平推力,推力值控制在 10 kN 以内,配合撬棍微调柱底位置。每次微调后重新测量柱顶坐标,直至垂直度偏差满足 $H/1000$ 且不大于 25 mm 的设计要求,标高偏差控制在 ± 5 mm 以内^[5]。

3 变电站构架吊装精度控制工程应用

某 220 kV 变电站新建工程坐落于平原地带,场地开阔平坦,全站构架使用钢管混凝土柱搭配三角形断面钢横梁结构形式,总计构架柱 24 根,单根柱高 28 m,重 8.5 t,横梁 12 榀,单榀跨 24 m,重 6.2 t,构架基础选用杯口基础,杯口深 2.5 m,基础顶面预埋地脚螺栓群。工程要求构架柱垂直度偏差不大于 $H/1000$ 且不超过 25 mm,柱顶标高偏差 ± 5 mm,横梁轴线偏差 ± 10 mm,吊装作业安排在春季实行,避开大风天气,作业期间环境温度 15°C 至 22°C ,符合测量精度要求。

3.1 吊装前精度预控措施实施

施工准备阶段,吊装前复测 24 个构架基础,用全站仪测量各基础顶面中心坐标及标高,建立测量数据库,复测数据说明有 3 个基础出现超标偏差,其中 B-3

号基础中心向东偏移 12 mm,超出设计允许偏差 ± 5 mm 的要求,使用扩孔法对杯口内壁实行修整,把偏移量消化在杯口间隙内。构架柱进场验收环节,对所有构架柱实行进场验收,用经纬仪检测柱身弯曲矢高,24 根柱中有 2 根弯曲矢高超过 $L/1000$,在地面实行预拼装时改变安装方向,让弯曲方向朝向构架内侧以减小视觉误差,在柱身预先标定监测反射片位置,每根柱设置 6 个监测断面,共 24 个反射片点,吊装前完成坐标初始值采集。测量精度控制环节,校准两台全站仪,保证测角精度 2 秒级,测距精度 $2\text{ mm}+2\text{ ppm}$,并在现场建立 3 个固定基准点作为测量检核的依据。

3.2 过程监测数据采集分析

施工实行时,使用上文所述的工法实行吊装,全程实行坐标监测并记录数据,A-1 号构架柱重 8.5 t,高 28 m,使用 25 t 以及 16 t 汽车吊双机抬吊,起吊初期柱身出现向东偏移 45 mm 的弹性变形,依托改变副吊吊点位置及起升速度,在离地 10 m 高度时把偏移量减小至 18 mm。就位期间每 2 m 高度记录一次监测数据,共采集 14 组坐标数据,监测数据说明柱身最大倾斜思路为 0.8‰,出现在离地 18 m 高度时,凭借暂停起升改变吊钩位置予以纠正,就位后初测垂直度偏差为向东 18 mm,经三次微调操作,最终垂直度偏差控制在向东 6 mm,折算倾斜度为 0.21‰,符合规范要求(见表 2)。

表 2 构架柱就位精度检测数据

构架柱编号	垂直度偏差方向	垂直度偏差值	柱顶标高偏差	基础中心偏差	调整次数
A-1	东	6 mm	+3 mm	2 mm	3 次
A-2	南	8 mm	-2 mm	1 mm	2 次
A-3	西	5 mm	+4 mm	3 mm	2 次
B-1	被	7 mm	-1 mm	2 mm	3 次
B-2	东	9 mm	+2 mm	1 mm	2 次
B-3	南	4 mm	-3 mm	0 mm	1 次

3.3 偏差修正与调整操作实施

监测数据折射了偏差情况,采取分级纠偏方案,垂直度偏差小于 15 mm 的构架柱,直接凭借缆风绳手拉葫芦实行微调,纠偏期间同步监测柱顶位移变化率,保证纠偏操作平稳无突变,A-2 号柱初始垂直度偏差向南 18 mm,依托收紧北侧缆风绳 2 个行程约 100 mm 长度,配合放松南侧缆风绳,历时 15 分钟完成纠偏,最终偏差控制在向南 8 mm。标高偏差处理立场,标高偏差超过 ± 5 mm 的情况,依托增减垫铁组数量实行修正,B-1 号柱基础顶面标高偏低 8 mm,在原有垫铁组基础上增

多一块 10 mm 厚平垫铁,同样更换较厚楔形垫铁实行找正,横梁吊装期间,实时监测已就位构架柱的位移情况,当监测到柱顶因横梁连接产生 3 mm 位移时,暂停吊装作业,凭借缆风绳系统将柱顶拉回至原位置后再继续施工。

3.4 质量验收与精度复核

纵观整体施工精度的控制,全部构架吊装完成后,需开展整体精度的复核测量,利用全站仪贯通测量 24 根构架柱柱顶的中心坐标,设立构架空间位置的数据库,测量数据说明,柱顶最大的垂直度偏差为 12 mm,折算为高度的 0.43‰,远小于规范允许的 1.0‰限值。12 根横梁安装后,利用水准仪复测梁底的标高,最大的偏差为 +7 mm,在允许的 ± 10 mm 范围内,使用钢卷尺测量横梁轴线以及柱轴线的偏移量,最大的偏移值为 8 mm,符合设计的要求,逐一检查连接的节点,所有螺栓孔对中良好,无强行装配的痕迹,螺栓紧固力矩到了设计值 $450\text{ N}\cdot\text{m}$ 的 95% 以上。拆除临时的固定装置后再次测量柱顶坐标,确认无弹性回弹导致的精度损失,构架柱在自重的作用下保持稳定的状态。

4 结束语

变电站构架吊装就位精度控制是一项系统技术工作,包含测量、吊装、调整等多个工艺环节的协同配合。本文提出的双机抬吊同步控制、空间坐标实时监测、可调节临时固定装置应用等技术工法,经工程实践验证能有效控制构架柱垂直度偏差在 $H/1000$ 以内,符合变电站高质量建设要求。该技术体系使用常规施工设备以及成熟测量手段,具有较强的工程适用性,能为同类变电站构架高精度安装提供技术参考。未来,随着智能测量技术与准确控制设备的发展,构架吊装精度控制将向自动化、智能化方向持续改良。

参考文献:

- [1] 周瑞,黄仕豪,肖哲,等.高原特高压站 1000 kV 构架吊装受力分析[J].江西电力,2025,49(02):30-32.
- [2] 段妹男.变电站构架装配式基础受力性能与设计方法研究[D].郑州:河南工业大学,2024.
- [3] 鹿发阳,侯仰明,杨文武,等.百万机组塔式炉大型主吊机械选型研究[J].中国电力企业管理,2021(24):84-85.
- [4] 汪旭旭,赵冠龙,李舸.变电站构架整体吊装施工技术研究[J].中国电力企业管理,2021(24):86-87.
- [5] 刘涛,赵建宇.智能变电站稳定运行存在的问题与对策分析探索构架[J].中国设备工程,2024(23):38-40.