

石油化工项目钢结构工程地脚螺栓预埋定位研究

张建萍

天津滨海概念人力信息科技有限公司 天津 300000

摘要：石油化工项目钢结构工程具有大型化、工况复杂等特点，地脚螺栓预埋定位精度直接影响结构稳定性与设备安全运行。本文聚焦石油化工项目钢结构工程地脚螺栓预埋定位，分析其在结构承载、精度保障、安全防护及施工协同中的核心作用。探讨传统（模板固定、钢筋骨架固定等）与新型（BIM+全站仪协同、模块化预制等）定位方法的适用性，剖析定位偏差、固定失效等问题及成因。从测量放线优化、固定支架系统设计、BIM技术应用三方面提出精度控制与优化技术，形成涵盖前期设计到施工验收的全流程解决方案，为提升石油化工钢结构工程地脚螺栓预埋定位质量提供技术参考。

关键词：石油化工项目钢结构工程；地脚螺栓预埋定位；方法；优化技术

引言

当前传统定位方法存在精度不足问题，新型技术应用尚需规范。本文针对行业特殊性，结合现有技术瓶颈，系统研究地脚螺栓预埋定位的作用、方法、问题及优化技术。通过整合测量控制、结构设计与数字化技术，构建适配石油化工场景的精度保障体系，为解决多螺栓群协同定位、复杂环境干扰等难点提供实践指导。

1 地脚螺栓预埋定位在石油化工钢结构中的作用

在地脚螺栓预埋定位在石油化工钢结构中，其作用体现在以下方面：（1）从结构承载核心作用来看，地脚螺栓是连接钢结构与混凝土基础的“生命线”。石油化工项目中，钢结构常承受设备自重、介质压力、风荷载及地震作用等复杂荷载，地脚螺栓通过精准预埋定位，将上部结构荷载均匀传递至基础，避免局部应力集中导致的结构变形或开裂。尤其在大型塔器、反应器等重荷载设备的钢结构支撑体系中，螺栓群的协同受力依赖于预埋定位精度，一旦出现偏差，可能引发整体结构失稳风险。（2）在精度控制层面，地脚螺栓预埋定位为后续钢结构安装提供基准。石油化工钢结构多为模块化预制构件，安装时对螺栓孔与螺栓的对位精度要求极高（通常误差需控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内）。若预埋定位偏差超标，可能导致构件无法安装、强制矫正产生附加应力，或影响设备接口密封性能，进而引发介质泄漏等安全隐患。高精度定位可减少现场返工，显著提升施工效率。（3）从安全防护角度，地脚螺栓的可靠预埋是抵御极端工况的基础。石油化工装置长期处于高温、高压、腐蚀环境，螺栓与基础的连接强度直接影响结构抗疲劳性能。精准的预埋定位能确保螺栓与混凝土基础协同工作，避免因受力不均导致的螺栓松动、断裂，为设备在火灾、地震等

突发情况下的稳定性提供保障。（4）施工协同作用。地脚螺栓预埋定位需与钢筋绑扎、模板支护、混凝土浇筑等工序紧密配合，其合理的定位方案可减少交叉作业干扰，降低施工冲突概率^[1]。

2 石油化工项目钢结构地脚螺栓常用预埋定位方法

2.1 传统预埋定位方法

传统定位方法依托现场简易工装与人工操作，在中小型项目或精度要求较低的场景中仍广泛应用，其核心是通过机械固定实现螺栓位置控制，具体方法如下：

（1）模板固定法。原理是利用钢制或木质模板预设螺栓孔洞，将螺栓穿过模板后与基础钢筋焊接固定。操作流程包括：根据螺栓间距加工带孔模板，将模板水平固定在基础钢筋上，穿入螺栓后调整垂直度与高程，最后用钢筋斜撑加固模板。该方法成本低、易操作，但模板刚度不足时易在混凝土浇筑过程中变形，导致螺栓平面位置偏差（通常误差在 $\pm 5\text{mm} \sim \pm 10\text{mm}$ ），适用于单排螺栓或小螺栓群定位。（2）钢筋骨架固定法。通过焊接钢筋支架形成刚性固定体系，适用于多螺栓群定位。施工时先根据螺栓位置焊接纵横交错的钢筋骨架，将螺栓根部与骨架焊接，顶部用角钢或槽钢连成整体以保证平面平整度。此方法稳定性优于模板法，可控制误差在 $\pm 3\text{mm} \sim \pm 8\text{mm}$ ，但对焊工技术要求高，焊接变形可能引发二次偏差，且与混凝土浇筑的交叉作业中需避免碰撞骨架。（3）预埋套筒法。常用于需要后期调整的场景，通过在基础中预埋钢制套筒，待混凝土凝固后将螺栓拧入套筒。其优势是可通过套筒内螺纹微调螺栓位置，弥补前期定位误差，但套筒与混凝土的锚固强度需严格控制，在高温高压区域易因热胀冷缩导致连接松动，故多用于常温常压设备基础。

2.2 新型定位技术

随着石油化工项目大型化与高精度要求提升,新型定位技术结合数字化与模块化理念,显著提升了预埋精度与效率,具体技术如下:(1) BIM+全站仪协同定位技术。前期通过BIM模型建立螺栓三维坐标,生成定位数据表;施工时利用全站仪对螺栓中心坐标实时测量,将数据与模型比对后调整位置,精度可达 $\pm 1\text{mm}\sim\pm 3\text{mm}$ 。该技术尤其适用于大型螺栓群(如塔器基础的数十颗M60螺栓),能通过模型可视化避免螺栓与钢筋、管线的碰撞,减少现场返工。(2) 模块化预制定位系统。针对复杂工况的集成方案,通过工厂预制带螺栓的钢支架,现场整体吊装就位。支架采用型钢焊接而成,工厂内利用数控设备加工螺栓孔,精度控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 内,再通过全站仪校准螺栓位置后焊接固定。现场安装时只需将支架与基础预埋件连接,大幅缩短工期。在LNG储罐钢结构基础中,该技术解决了低温环境下混凝土浇筑与螺栓定位的交叉作业难题,将单罐预埋时间从15天压缩至7天。(3) 激光扫平仪辅助定位法。适用于大面积螺栓群的高程控制。通过激光扫平仪建立水平基准面,配合水准仪实时监测螺栓顶部高程,确保多螺栓顶部在同一水平面,误差可控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内。该方法在管廊钢结构基础中应用广泛,有效避免了因高程偏差导致的管廊安装应力集中。

2.3 不同方法的适用性对比与选择原则

传统方法在成本与操作便捷性上占优,但精度与稳定性有限,适合小型装置、临时结构或预算有限的项目;新型技术虽初期投入较高,但在大型化、高精度要求的石油化工项目中综合效益显著,尤其能降低后期维护成本。选择时需综合考虑:螺栓直径与数量(大直径、多螺栓群优先选BIM协同技术)、环境条件(高温高压区域避免套筒法)、施工周期(模块化技术可加速工期)。如在炼油厂催化裂化装置中,反应器基础的超大直径螺栓(M80以上)宜采用BIM+全站仪定位;而小型泵类设备基础则可选用模板固定法,平衡成本与精度需求。同时需结合施工队伍技术水平,传统方法对人员技能要求较低,新型技术需配备专业测量与BIM操作人员。地质条件也需考量,软土地基项目宜优先采用模块化系统,减少后期沉降对定位的影响,实现技术适配与工程需求的精准匹配^[2]。

3 地脚螺栓预埋定位常见问题及成因

3.1 定位精度偏差问题及成因

定位精度偏差是地脚螺栓预埋中最常见的问题,主要表现为平面位置偏移、高程误差和垂直度超标。平面

位置偏移多因测量放线环节基准点设置不规范,或测量仪器未按要求校准,导致螺栓中心坐标与设计值偏离;若施工中未及时复核,累积误差会进一步扩大。高程误差源于两个方面:一是前期标高控制时水准点传递失误,二是混凝土浇筑过程中螺栓受冲击发生沉降或上浮,而监测调整不及时。垂直度超标则与螺栓安装时的初始固定有关,若固定支架刚度不足,螺栓易在自重或外力作用下倾斜,尤其长螺杆更易因稳定性不足出现偏斜。

3.2 固定系统失效问题及成因

固定系统失效会导致螺栓在混凝土浇筑阶段发生位移或松动,主要原因包括支架设计不合理与施工操作不规范。支架设计方面,若支架选材强度不足或连接节点焊接不牢固,难以抵抗混凝土浇筑时的侧向冲击力和振捣作用,易引发整体变形;支架与基础钢筋的连接方式不当,也会降低固定可靠性。施工操作层面,螺栓与支架的固定工序缺失或不牢固,如仅简单绑扎未焊接,会导致螺栓在浇筑过程中松动;混凝土浇筑顺序不合理,局部冲击力过大冲击螺栓,或振捣棒直接接触螺栓,均可能破坏已校准的位置。环境因素也会间接影响固定效果,如高温环境下金属支架热胀冷缩,可能改变螺栓受力状态,进而引发微小位移^[3]。

4 石油化工项目地脚螺栓预埋定位精度控制与优化技术

4.1 测量放线精度控制与优化

测量放线是地脚螺栓预埋定位的基础环节,要通过系统性措施确保基准数据的准确性与传递稳定性,具体如下:(1) 基准点设置选取远离施工扰动区域的永久控制点。采用深埋式标桩并设置防护装置,避免碰撞或沉降影响。定位前需对基准点进行复核,使用高精度全站仪按二级导线测量标准进行闭合校验,确保平面位置误差不超过 2mm ,高程误差控制在 1mm 内。(2) 测量仪器的选型与校准。要匹配工程精度要求,优先选用带温度气压补偿功能的全站仪,其测角精度不应低于 $2''$,测距精度不低于 $2\text{mm}+2\text{ppm}$ 。每次使用前需进行轴系误差、视准轴误差校准,尤其是长期在高温或粉尘环境中作业的设备,应增加校准频次。放线过程中,螺栓中心坐标需采用极坐标法或直角坐标法双测回测量,两次测量结果偏差超过 1mm 时需重新复核。(3) 对于多螺栓群定位。应建立分区控制网,将大型螺栓群划分为若干独立单元,每个单元设置次级控制点,减少累积误差。高程控制采用精密水准仪按二等水准测量标准实施,螺栓顶部高程需结合混凝土浇筑厚度预留沉降量,预留值根据混凝土强度等级和螺栓荷载计算确定,通常控制在 $3\sim 5\text{mm}$ 。

测量数据需实时记录并形成电子台账,通过软件自动比对设计值,偏差超限时即时预警。

4.2 固定支架系统设计与优化

固定支架系统的刚度与稳定性直接决定螺栓在施工过程中的位置保持能力,需从以下结构设计、材料选择和连接方式三方面进行优化。(1)支架主体宜采用Q235B型钢。根据螺栓直径和间距确定截面尺寸,单根立杆截面惯性矩不小于 200cm^4 ,横杆与立杆连接采用满焊,焊缝高度不小于型钢厚度的0.7倍。对于直径大于50mm的螺栓,支架应设置斜向支撑,形成三角形稳定结构,支撑角度控制在 45° - 60° 之间。(2)可调节式支架设计。在螺栓顶部设置带螺纹的调节装置,通过螺母旋转实现高程微调,调节范围应覆盖 $\pm 10\text{mm}$ 。底部固定节点采用可拆卸式连接,与基础钢筋骨架通过U型卡或焊接固定,确保支架在混凝土浇筑前不发生位移。支架与螺栓的固定采用双螺母夹紧方式,上下螺母间距不小于50mm,中间设置平垫和弹簧垫圈防止松动。(3)支架安装完成后需进行刚度验算。采用百分表在螺栓顶部施加水平力,监测位移量,在100N荷载作用下最大位移不应超过1mm。对于大型螺栓群支架,应进行整体稳定性模拟,确保在混凝土侧压力作用下最大挠度不超过 $L/500$ (L 为支架跨度)。施工前需对支架进行预压试验,加载量为预计混凝土冲击力的1.2倍,持荷1小时后卸载,检查支架是否有残余变形。

4.3 基于BIM技术的预埋定位优化技术

BIM技术的应用可实现预埋定位全过程的可视化与数字化管控,优化技术如下:(1)建立包含螺栓、支架、基础钢筋和模板的三维模型。模型精度达到LOD400,明确各构件的空间位置关系。通过碰撞检测功能排查螺栓与钢筋、管线的冲突点,生成碰撞报告并调整螺栓位置,确保预埋空间合理。(2)定位模拟方面。在模型中设置施工阶段参数,模拟混凝土浇筑过程中螺栓可能受到的外力影响,预测位移趋势并提前调整支架加固方

案。利用模型导出螺栓定位坐标表,包含X、Y、Z三维坐标和垂直度偏差允许值,作为现场测量放线的依据。施工过程中,将全站仪测量的实时数据导入BIM模型,通过颜色预警功能直观显示偏差位置,偏差超过3mm时自动提示调整。(3)协同管理平台的搭建。将模型数据与施工进度计划关联,明确各工序的定位控制点和验收节点。质量验收时,通过三维激光扫描获取螺栓实际位置点云数据,与BIM模型比对生成偏差分析报告,统计合格率并分析偏差原因。平台还应包含材料信息库,记录螺栓的材质证明、力学性能参数和安装日期,为后期维护提供数据支持。可接入物联网传感器实时采集螺栓振动、温度数据,与BIM模型联动分析变形风险。通过模型轻量化处理,方便现场移动端查阅,实现数据即时共享,提升跨工序协同效率与决策及时性^[4]。

结束语

本文围绕石油化工项目钢结构地脚螺栓预埋定位展开研究,明确其关键作用,对比分析不同定位方法的优劣,揭示常见问题成因,并提出针对性的精度控制与优化技术。研究表明,通过科学的测量放线、合理的支架设计及BIM技术赋能,可有效提升预埋定位精度。未来需进一步探索智能化监测技术与长效稳定性研究,推动地脚螺栓预埋定位技术在石油化工领域的迭代升级,为工程安全与效率提升提供持续支撑。

参考文献

- [1]杜长森.石油化工项目钢结构工程地脚螺栓预埋定位研究[J].中国建筑金属结构,2023,22(10):40-42.
- [2]丛恺源.石油化工项目钢结构工程地脚螺栓预埋定位与施工技术[J].石油化工建设,2025,47(1):76-78.
- [3]李远,程攀,贾宏生.钢结构建筑地脚螺栓预埋定位技术分析[J].设备管理与维修,2024(20):175-178.
- [4]唐盛贇,杨汉平,张军.钢结构建筑地脚螺栓预埋定位研究[J].智能城市,2021,7(7):139-140.