

建筑工程钢筋混凝土预制桩基施工关键技术

马炳凯

(浙江富水建设有限公司, 浙江 杭州 311400)

摘 要 钢筋混凝土预制桩基凭借工厂标准化预制、现场装配化施工的优势, 已成为现代建筑基础工程核心工艺, 相较于传统现浇灌注桩, 具备质量可控、施工高效、绿色低碳等突出优势, 契合建筑工业化与绿色施工发展要求。本文分析预制桩基的技术应用优势, 阐述桩位定位、设备就位、沉桩施工、现场接桩四大核心工序, 并提出精细化沉桩管控、智能定位赋能、常见质量病害专项防治的优化策略, 以期同类建筑预制桩基工程提质增效、严控施工隐患提供参考。

关键词 建筑工程; 钢筋混凝土; 预制桩基; 桩位定位; 沉桩设备

中图分类号: TU753.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.018

0 引言

当前建筑工程逐步向高层化、大型化、复杂化方向发展, 地基基础的承载性能、成型质量与施工稳定性直接决定建筑整体安全耐久水平。钢筋混凝土预制桩基采用工厂封闭式规模化预制生产, 桩身结构强度与成型精度可控, 现场仅开展精准沉桩与拼接作业, 大幅缩减现场湿作业量, 有效提升施工效率与绿色施工水平, 是推动建筑行业转型升级的重要基础工艺。但受场地条件、沉桩工艺、人员操作熟练度影响, 部分项目仍存在桩位偏差、接桩缺陷、沉桩不达到设计要求等问题。为此, 引入精细化施工与智能化管控理念, 明确工序管控标准与病害防治措施, 对保障桩基施工质量、提升基础工程建设水平具有重要价值。

1 建筑工程钢筋混凝土预制桩基技术优势

1.1 质量可控

早期建筑工程多采用现浇灌注桩施工, 受施工现场复杂环境与工艺操作多重影响, 各施工工序易出现异常问题并形成质量隐患, 进而造成桩基整体服役性能下降, 还可能引发断桩、夹泥、塌孔、钢筋笼上浮等病害, 整体施工质量管控难度较大。相比之下, 钢筋混凝土预制桩基采取工业化生产模式, 委托专业工厂在封闭车间内批量化、自动化制作预制管桩, 桩身成型质量和设计方案基本一致, 几乎不存在尺寸误差和质量缺陷, 有效解决了错误操作和环境干扰问题。预制管桩运抵施工现场后, 直接把桩身插打就位, 仅

需测量调整桩身垂直度、桩顶标高, 运用超声波探测仪来检查桩身完整性, 即可确定桩基成型质量是否合格, 从而强化质量管控效果。

1.2 工效高

传统现浇桩基技术以“串行推进”作为施工逻辑, 按顺序逐一完成场地平整、桩位定位、桩孔开挖、钢筋笼下放和混凝土浇筑作业, 上道工序结束并通过质量验收后, 才能进入下道工序。在钢筋混凝土预制桩基施工模式下, 委托专业工厂批量化制作预制管桩, 施工现场完成桩位测放、桩机安装调试等准备工作, 两段工期局部重叠, 直至预制管桩运抵施工现场后, 立即开展沉桩作业。正常工况下, 现浇桩基施工效率为 2 根/d ~ 3 根/d, 预制管桩的施工效率达到 10 根/d ~ 20 根/d, 取决于沉桩工艺, 施工效率提升 5 倍 ~ 10 倍^[1]。

1.3 绿色环保

现代建筑工程大力推行绿色施工模式, 选用绿色环保材料, 更新施工技术, 主动采取扬尘控制、噪声控制等管理措施, 在满足基本施工需求的前提下, 保护周边生态环境免遭破坏。相比现浇桩基技术, 钢筋混凝土预制桩基取消了绝大多数现场湿作业, 如混凝土搅拌、混凝土浇灌, 天然契合绿色施工理念。根据现场施工情况来看, 钢筋混凝土预制桩基的粉尘排放浓度低于 10 mg/m³、建筑垃圾排放量相较现浇桩基减少 70% 以上, 材料实际利用率超过 95%, 如果采取静力压桩技术, 还能把施工噪声控制在 75 dB 以内。

作者简介: 马炳凯 (1991-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑工程。

2 建筑工程钢筋混凝土预制桩基施工关键技术

2.1 桩位定位

桩位定位环节,根据工程现场实际情况和设计要求来制定桩基方案,确认桩基坐标位置,架设全站仪,按照设计图纸逐一测量标记桩位中心点,撒布白灰或是打入木桩作为施工标识,标记标高位置线,再使用钢卷尺等辅助工具来复核确认桩位间距,以桩位误差和间距误差小于 $\pm 5\text{ mm}$ 、高程误差小于 $\pm 3\text{ mm}$ 作为合格标准。从实操角度来看,提前复核现场基准点和控制点,对全站仪进行校准处理,要求测角误差小于 $2''$ 。准备工作完成后,以“先整体后局部、先控制后细部”为准则,着手建立施工测量网,点位间距保持在 $50\text{ m}\sim 100\text{ m}$,架设全站仪,保持机身水平和气泡居中状态,基于控制网坐标来测放所有桩位中心点,后续采取对角线复核桩位间距与坐标偏差^[2]。如果施工场地空间狭窄,或是面临复杂地形条件,要求测量人员加密设置控制网,点位间距由 $50\text{ m}\sim 100\text{ m}$ 缩小至 50 m 以内,并在桩位周边铺设碎石垫层,避免因场地沉降而破坏桩位成果。

2.2 沉桩设备就位

沉桩设备就位环节,重点掌握设备选型、场地处理、精准就位三方面的技术要点,具体如下:第一,设备选型。钢筋混凝土预制桩基主要采取锤击沉桩、静力压桩两种工艺,按照工艺类型和桩型尺寸参数选择设备型号。锤击沉桩模式下,选用蒸汽锤或是柴油锤,桩径不足 500 mm 且桩长小于 20 m 时把桩锤重量控制在 $1.5\text{倍}\sim 2\text{倍}$ 桩体重量,反之则把桩锤重量增加到 $2\text{倍}\sim 2.5\text{倍}$ 桩体重量,确保锤击能量和桩身强度相互匹配。静力压桩模式下,则选用液压式压桩机,额定压桩力超过 1.5倍 单桩竖向抗压承载力。第二,场地处理。提前确认桩基安装位置,清理现场建筑垃圾和其他杂物,对施工场地进行平整压实处理,以平整度误差小于 50 mm/m 、承载力特征值超过 150 kPa 或 200 kPa 作为合格标准,如果场地缺乏足够承载能力,则额外铺设钢板或是碎石垫层,通过分散受力来强化承载效果,避免桩机倾斜失稳。第三,精准就位。桩机精准部署在首处桩位上,要求压桩头/桩锤中心点和桩位中心点完全重合,不存在单向偏移问题,并把中心线误差控制在 50 mm 内。继续调整桩机垂直度和水平度,要求垂直度误差小于 1% ,水平度误差小于 $\pm 0.5\%$,周边设置若干支撑点来固定桩机位置,支撑点间距控制在 1.5 m 内。

2.3 沉桩

沉桩施工主流工艺分为锤击沉桩与静力压桩两类,二者在工艺原理、技术标准及适用范围上差异显著,具体如下:第一,锤击沉桩。也被称为振动沉桩,桩顶部

署振动锤,反复捶打桩顶形成高频垂直激振力,实际频率达到 $50\text{ Hz}\sim 150\text{ Hz}$,振幅达到 $5\text{ mm}\sim 30\text{ mm}$,桩周土体颗粒出现液化现象,使得桩身快速插入地层,适用于饱和砂层、粉土层和松散地层。提前把桩尖部分插入地层,暂时固定桩体位置,桩顶上铺设橡胶垫与安装桩帽,把桩锤起吊悬停在桩顶上方,确认桩身垂直度、桩顶标高和桩锤起吊高度无误后,启动脱钩装置,桩锤自由下落捶打桩帽,引导锤击力均匀传递给桩身结构,实际落距保持在 $1\text{ m}\sim 1.5\text{ m}$,沉桩速度保持在 1 m/min 以内,如果施工现场分布软土层,则把沉桩速度增加至 $1\text{ m/min}\sim 1.5\text{ m/min}$ 。桩身周边架设经纬仪,跟踪监测桩身垂直度,每锤击 $3\text{次}\sim 5\text{次}$ 调整桩身,如果垂直度误差超标,使用千斤顶顶推桩身。反复捶打至桩身插入深度达到设计值,要求深度误差小于 $\pm 100\text{ mm}$,以桩端抵达设计持力层、最后 10锤 平均下沉量小于 5 mm 作为结束标准^[3]。第二,静力压桩。利用压桩机自身重量和额外配重重量,向桩体施加垂直静压力,强制克服桩端阻力和桩侧摩阻力,匀速向下压入桩身,适用于城市核心区域、学校/医院周边等环境敏感的施工场景。率先把桩尖部分插入土层,依靠桩身自重即可,要求桩身中心线和桩位中心线相互重合,且桩身垂直度误差小于 1% 。继续在桩顶上铺设橡胶材质缓冲垫,安装液压式压桩机,对称放置配重块。正式开展压桩作业,穿越软土层、硬土层时分别把压桩速度控制在 $1\text{ m/min}\sim 2\text{ m/min}$ 和 $1\text{ m/min}\sim 1.5\text{ m/min}$,速度误差必须限制在 $\pm 0.2\text{ mm}$ 以内,全程跟踪监控压桩力,如果压桩力骤然增大或是骤然减小,分别表明桩体遇到地下障碍物/硬土层和桩身断裂,暂停压桩过程,检查桩体结构完好性,必要时更换全新桩体。终压标准较为明确,满足桩端抵达设计持力层位置、实际压桩力超过 1.2倍 设计值并稳压 5 min 以上等任意一项条件,即可结束作业。

2.4 接桩

针对高层建筑和大跨度建筑,为满足上部结构承载需求,需持续增加桩基深度,如果桩身长度和桩基深度保持一致,将增加预制加工成本和现场施工难度。结合现场施工情况来看,建筑工程普遍选择将多节桩身相互拼接形成完整桩体,以焊接接桩作为主流接桩方式,彻底清理上下节桩头表面杂质,对准上下节桩体中心线,以桩头洁净平整、中心线误差小于 2 mm 、桩体垂直度误差小于 1% 作为合格标准,同步设置定位销和准备经过烘干处理的焊条。准备工作结束后,正式开展施焊操作,推荐采取双面焊工艺,焊缝高度等同钢筋直径,焊缝宽度超过 10 mm ,焊接电流始终保

持在 180 A ~ 220 A, 焊接速度则保持在 10 cm/min ~ 15 cm/min, 焊后清理焊缝与检查是否存在裂纹、气孔等缺陷, 补焊次数控制在 2 次以内。接桩施焊完成后必须严格执行间歇冷却管控, 严禁带温直接沉桩, 常温环境下自然冷却静置时长不得低于 10 min, 低温潮湿场地需延长至 15 min 以上, 防止焊缝高温遇水土体浸水产生收缩裂纹、脆化脱焊; 同时关键桩基需抽样开展焊缝超声波探伤检测, 锁定内部焊接缺陷, 从源头规避接桩断裂、渗泥夹渣等隐蔽质量隐患^[4]。

3 建筑工程钢筋混凝土预制桩基施工策略

3.1 精细化沉桩操作

建筑工程周边密集分布地下设施和建筑物, 施工场地较为狭窄, 缺乏足够空间来部署大型机械设备和转运/堆放材料, 对钢筋混凝土预制桩基施工造成限制。为此, 应以精细化操作为准则, 对现有沉桩工法进行改进。一方面, 配备小型化沉桩设备, 设备安装就位后, 还能保留足够操作空间, 具体选用重量不足 10 t 的小型柴油锤, 或是选用额定压桩力低于 1 000 kN 的小型静压桩, 无论是锤击沉桩设备还是静力压桩设备, 都要求设备宽度小于 3 m、高度小于 8 m, 狭窄场地内可以灵活移动。另一方面, 提高对压桩工艺参数的管控精度, 锤击压桩模式下, 要求桩锤落距保持在 0.5 m ~ 1 m 内, 锤击频率保持在 15 次/min ~ 20 次/min, 无论是锤击力度超标, 还是锤击频率过高, 都有可能致使周边建筑物基础沉降和破坏地下管线。静力压桩模式下, 压桩速度保持在 0.8 m/min ~ 1.5 m/min, 实际压桩力控制在 1.2 倍 ~ 1.3 倍设计承载力, 并将稳压时间延长至 5 min ~ 10 min。

3.2 智能定位

现代建筑工程引入智能定位技术, 依托先进的测量设备与配套软件系统, 协助人工高效、精准完成定位操作。具体来讲, 应用双模定位技术, 在现场部署高精度激光定位仪作为测量设备, 提前在智能定位系统内输入桩位坐标和高程数据, 利用 GPS 系统和北斗系统同时锁定桩位中心点, 再使用激光定位仪辅助校准, 同步记录桩位坐标、偏差值和定位时间等相关信息, 直接输出定位报告。根据一线施工反馈信息来看, 随着智能测量系统投入使用, 实际定位误差控制在 ± 3 mm 以内, 测量效率提升 3 倍 ~ 5 倍, 而人工测量模式下的定位误差仅能控制在 ± 5 cm 内, 还需要多轮次进行复核确认^[5]。

3.3 施工问题防治处理

钢筋混凝土预制桩基施工受到工艺操作、方案设计、设备故障、环境干扰等因素影响, 极易造成桩身

断裂等问题。因此, 施工人员必须提前掌握典型施工问题的防治处理方法, 针对性调整施工方案, 常见问题包括桩身倾斜、桩身断裂、沉桩深度不达标。例如: 桩身倾斜形成原因包括定位误差超标、桩基和桩身垂直度误差超标、沉桩作用力传递不均和现场分布软硬不均土层。为预防此项问题发生, 必须双重复核桩位定位误差, 使用经纬仪检查机身垂直度和桩体垂直度, 要求桩锤/压桩头和桩位中心误差小于 30 mm, 并在桩顶设置桩帽或是橡胶缓冲垫来分散作用力。压桩、接桩期间, 全程使用经纬仪双向监测桩身垂直度, 确认垂直度误差即将超标后, 暂停作业, 采取千斤顶顶推、调整桩机位置等方法, 纠正桩身位置。例如: 针对桩身断裂病害需在施工前严格检查桩体质量, 重点核查桩身外观、混凝土强度、钢筋配置及预制养护质量, 避免存在裂缝、缺角、强度不足的不合格桩体进入现场使用。在沉桩阶段, 需合理控制锤击力度、落距与压桩速率, 要杜绝猛锤、超压施工, 穿越硬夹层、孤石及不均匀土层时需放缓施工速度, 避免应力集中造成桩身开裂。如果发现出现桩身断裂, 要立即停止沉桩作业, 根据地质勘察资料检测断裂位置与破损程度, 浅部断裂可采用钢筋补强、外包混凝土加固处理, 深部断裂或严重破损桩体需作废处理, 结合设计方案补打替换桩, 保障桩基整体的承载性能和结构稳定性。

4 结束语

现代建筑工程呈现高层化发展趋势, 对基础结构承载性能提出严格要求, 钢筋混凝土预制桩基施工质量关系着建筑使用安全与耐久性。为顺利建成高品质建筑, 从源头消除安全隐患, 建筑企业与施工人员应树立质量意识, 严格把控所有工序环节技术标准, 规范施工操作行为, 并落实精细化沉桩、智能定位、施工问题防控三项策略, 最大限度地改善建筑桩基施工条件, 进一步推动我国建筑业的健康发展。

参考文献:

- [1] 张倩, 葛岗. 建筑工程钢筋混凝土预制桩基施工关键技术[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(16): 34-36.
- [2] 闫果浩. 高层住宅建筑钢筋混凝土预制桩基施工技术[J]. 江西建材, 2023(02): 300-301, 304.
- [3] 郭纪明. 钢筋混凝土预制桩工程施工技术与质量控制[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(17): 109-110, 168.
- [4] 谭文龙. 房屋建筑钢筋混凝土预制桩施工技术分析[J]. 居业, 2022(12): 178-180.
- [5] 成超. 房屋建筑钢筋混凝土预制桩施工技术研究[J]. 陶瓷, 2023(04): 144-146.