

预应力管桩施工过程中常见的问题分析及对策

丁亚峰 位少强 刘保建

机械工业第四设计研究院有限公司 河南 洛阳 471039

摘 要: 预应力混凝土管桩承载力高、施工速度快、桩身成型稳定、造价经济、绿色无污染, 现已广泛应用于房建、市政道路、工业厂房各类地基工程。相较于传统灌注桩, 管桩工厂化预制程度高、施工工艺成熟, 可适配黏土、粉土、砂土等多种地层。但现场施工阶段, 复杂地质、设备违规操作、工艺管控疏漏、现场管理不到位等多重因素叠加, 极易引发桩位偏移、桩顶破损、桩身断裂、沉桩受阻、接桩缺陷、挤土效应等质量病害, 不仅降低地基施工质量、延误项目工期, 还会大幅增加返工成本, 严重时直接威胁建筑主体结构安全。本文结合大量现场实操经验, 系统梳理管桩全流程质量通病, 从多维度剖析病害产生根源, 并依据现行地基基础规范提出成套可行防控方案, 为同类桩基工程施工质量管控提供参考依据。

关键词: 预应力管桩; 施工工艺; 质量问题; 成因分析; 防控对策

1 引言

国内高层住宅、大跨度厂房、城市综合商业体项目逐年增多, 行业对地基承载力、整体稳定性、沉降控制精度的要求持续提高^[1]。预应力管桩作为主流预制桩, 采用工厂标准化预制、现场沉桩作业模式, 从根源规避现浇桩蜂窝、麻面、缩径、断桩等固有缺陷, 施工效率较传统桩基提升 30% 以上, 桩身成型质量可控性强, 是当前工民建地基基础首选桩型。

现阶段行业相关研究大多仅针对单一病害处理或局部工艺优化, 缺少覆盖施工全流程的系统性梳理。基于工程实际需求, 本文全面归纳管桩施工全过程各类质量问题, 从地质、设备、人员、工艺、管理五大维度拆解病害成因, 配套一体化全过程防控措施, 对保障地基工程安全、减少施工隐患、节约项目造价具备重要工程实践价值。

2 预应力管桩施工工艺流程概述

常规静压、锤击预应力管桩标准化施工流程整体分为六大核心工序:

2.1 施工前期准备

平整并分层碾压作业场地, 清理场内大块建筑垃圾、孤石与软弱淤泥层, 保证桩机行走作业面均匀坚实; 核对地质勘察报告与施工图纸, 明确桩位坐标、桩径、桩长、终压控制值、单桩承载力设计指标; 完成全站仪、水准仪计量校准, 布设全场一级测量控制网, 精准放出全部桩位并做好保护标识。

2.2 桩机就位与吊桩对位

调平校正桩机机身水平度与导轨垂直度, 完成设备限位固定; 使用专用柔性吊具垂直起吊管桩, 严禁斜吊、拖拽磕碰桩身, 对准桩位中心点后初步校正桩身垂直度。

2.3 沉桩施工

按设计选用静压或锤击工艺施工, 沉桩初期低速轻压、轻锤, 反复校正垂直度, 待桩身入土稳定后正常加压、锤击; 全程同步记录沉桩压力、锤击数、入土深度, 实时观察桩身异响、偏移等异常状态^[2]。

2.4 接桩焊接

单节桩长度无法满足设计入土深度时实施焊接接桩, 彻底清理桩端钢板铁锈、泥浆并找平, 采用分层对称施焊, 焊缝完成防腐处理, 静置充分冷却后方可继续沉桩。

2.5 送桩与终孔控制

沉桩至距设计标高 1m 左右更换送桩器作业, 严格执行桩长、终压力、沉降量三重终孔控制标准, 完整留存每根桩沉桩原始记录。

2.6 桩基验收

全部桩基施工完毕后清理外露桩头、静置土体养护, 配合第三方检测单位开展低应变完整性检测、单桩竖向静载试验, 验收合格后方可开展垫层、基础底板后续施工。

3 预应力管桩施工常见质量问题及成因分析

3.1 桩位偏移、偏差超标

桩位偏移是现场最频发的轻微缺陷,表现为桩体平面坐标偏离设计点位,偏移量超出《建筑地基基础工程施工质量验收标准》允许限值,偏移过大会造成承台钢筋无法正常排布,必须采取补桩、调桩返工处理。

主要成因:测量管控存在漏洞,仪器未按期检定校准,桩位标记磨损模糊,放线人员操作失误形成初始偏差;场地地基承载力不足、表面凹凸不平,沉桩时桩机滑移倾斜带动管桩侧向位移;地层内部存在孤石、废弃旧基础、硬夹层等障碍物,桩身受力失衡被迫偏斜;施工顺序规划不合理,先期成桩产生挤土效应,持续扰动周边待施工桩位。

3.2 桩身垂直度超标

规范明确沉桩全过程桩身垂直度偏差不得大于0.5%,垂直度超标会造成桩身竖向受力严重不均,桩基承载力大幅折减,建筑长期服役阶段极易出现桩身断裂、基础不均匀沉降等重大隐患。

主要成因:桩机就位验收不严,机身未调平、导轨安装倾斜,沉桩过程设备姿态持续偏移牵拉桩身;吊桩采用斜吊斜压方式,初始微小偏斜未及时停机修正;土层软硬分布不均,沉桩受力持续失衡,桩身逐步倾斜;施工机械侧向碰撞、土体侧向挤压设备,改变桩身竖直状态。

3.3 桩顶破损、开裂

桩顶破损包含混凝土剥落、边角缺损、桩端钢板变形,锤击桩高发,静压桩超压施工同样会出现该病害,直接破坏桩身完整性,降低接桩连接可靠性,大幅削弱桩基整体承载能力。

主要成因:桩顶防护缺失,未配套合格钢桩帽与弹性缓冲垫,锤击冲击力集中作用于混凝土造成崩裂;终压阶段盲目加大锤击能量、超设计荷载施压;管桩出厂存在质量缺陷,桩顶混凝土振捣不实、强度偏低,运输吊装阶段已产生肉眼不可见微裂缝;接桩焊接未充分冷却立刻沉桩,高温焊缝受力收缩或遇水骤冷引发桩头开裂。

3.4 桩身断裂、裂缝缺陷

桩身断裂属于重大质量事故,分为表层细微裂缝与贯穿性断裂,病害出现后桩基基本报废,需截桩补桩,严重拖慢工期、增加工程造价。

主要成因:管桩转运、吊装、堆放作业不规范,垫木支点不符合规范,桩身产生附加弯曲应力形成内部暗裂,沉桩受力后裂缝贯通断裂;沉桩遭遇孤石、硬岩凸

起未停机排查,强行施压锤击造成局部应力超限;桩身垂直度长期超标,持续带偏沉使桩承受弯剪复合荷载;密集群桩挤土效应显著,土体侧向持续挤压扭曲桩身产生贯通裂缝。

3.5 沉桩困难、达不到设计标高

施工时常出现沉桩阻力异常偏大,无法沉至设计标高,终压力远超设计控制参数,桩基有效入土长度不足,竖向承载力无法满足设计要求。

主要成因:前期地质勘察精度不足,未探明硬夹层、孤石、风化岩凸起等不良地层,设计桩长与实际地质不匹配;施工区域地下水位偏低,土体长期固结密实,侧摩阻力、桩端阻力同步提升;施工设备吨位、冲击能量选型偏小,不足以克服土层阻力;先期施工桩挤密周边土体,土层密实度持续升高,加大后续沉桩难度。

3.6 接桩质量缺陷

接桩常见病害有焊缝夹渣、气孔、未焊透、上下节桩偏心、焊缝开裂,接桩是管桩受力薄弱节点,焊接缺陷会直接降低桩基竖向承载力,加大后期建筑沉降量。

主要成因:桩头预处理不到位,端板附着铁锈、泥浆、油污,焊缝融合不连续;焊工专业水平不足,未执行分层对称双面焊接,电流不稳、走枪过快形成内部缺陷;上下节桩对位偏差大,接桩后长期偏心受力;焊接完成未静置冷却直接施压,高温焊缝受震动、荷载作用开裂。

3.7 挤土效应引发的次生病害

预应力管桩属于挤土预制桩,沉桩挤压土体引发地面隆起、土体水平位移,造成相邻桩偏移上浮,同时挤压损坏周边既有建筑、地下管线,是密集群桩施工核心隐患。

主要成因:桩间距过小、桩位排布密集,土体挤压叠加效应突出;单向连续沉桩,土体应力无释放通道;软土渗透系数低,超孔隙水压力消散缓慢,土体隆起位移持续发展;未布设应力释放孔、排水竖井,缺少有效减压泄压措施。

4 预应力管桩施工质量问题防控对策

4.1 桩位偏移、偏差超标防控对策

强化测量全流程管控,开工前完成测量设备检定校准,建立稳固基准控制点,实行双人复核放线制度,施工期间定期复测桩位;提前对软弱场地换填加固,桩机就位后全面调平并加装限位装置,杜绝机身滑移;沉桩

初期低速作业,施工前探孔清除地下障碍物;严格遵循“由中间向四周、由密到疏、先长后短”施工顺序,弱化挤土带来的桩位扰动。

4.2 桩身垂直度偏差防控对策

施工前检测机身、导轨垂直度,沉桩全程实时监测设备姿态;采用两点垂直吊桩,初始垂直度控制在0.3%以内;不均匀地层低速匀速沉桩,一旦倾斜立即停机校正,禁止带偏施工;划定桩机作业保护区,禁止挖掘机、吊车碰撞施工桩体,规避侧向荷载造成倾斜。

4.3 桩顶破损、开裂防控对策

锤击施工配套合格桩帽与缓冲垫并定期更换,分散锤击集中应力;坚持轻锤慢打、分级加压,终孔阶段严禁超压重锤;进场管桩核验出厂资料,外观带裂缝、破损桩直接清场;运输吊装增设防护垫块,接桩焊缝自然冷却不少于8分钟,禁止冷水骤冷、焊后立即沉桩受力。

4.4 桩身断裂、裂缝防控对策

管桩堆放采用标准垫木,堆放层数不超过4层,吊装平稳无剧烈碰撞;遇硬夹层、孤石采用预引孔工艺破除后再沉桩,禁止强行施压锤击;施工中出现阻力突变、桩身异响立即停机排查;全程严控桩身垂直度,减少长期弯剪荷载,从源头降低断裂风险。

4.5 沉桩困难、标高不足问题对策

复杂场地补充超前钻探,精准探明不良地质并优化桩长设计;依据土层阻力匹配足够吨位、功率的施工设备;密实土层采用预钻孔辅助沉桩,施工采用间隔跳打避免土体连续挤密;现场无法达到设计标高时,第一时间联合勘察、设计现场核验调整方案,严禁私自终止沉桩作业。

4.6 接桩质量缺陷防控对策

接桩前彻底清理桩头铁锈、油污,校正变形端板保证贴合严密;持证焊工执行分层对称双面焊接,控制电流与走枪速度,保证焊缝饱满焊透;上下节桩中心线偏差 $\leq 2\text{mm}$,垂直度 $\leq 0.3\%$;焊后清理浮渣并涂刷防腐涂层,冷却达标后方可沉桩,按规范比例对接头开展探伤抽检,不合格接头必须返工重焊^[3]。

4.7 挤土效应病害防控对策

密集桩群适度加大桩间距,采用间隔跳打、分区分段施工,预留土体应力消散周期;场地布设应力释放孔、排水竖井,加速软土孔隙水压力消散;软土区域降低沉桩速率,减少土体扰动;全程监测地面隆起、邻桩上浮与周边建构筑物、管线变形,出现异常立即停工泄压处置。

5 工程质量全过程管理保障措施

5.1 原材料质量管控

建立完善管桩进场验收制度,逐批次核查管桩规格、混凝土强度、外观及出厂质保资料,开裂、破损、强度不达标桩体全部退场;从源头消除先天质量隐患。

5.2 人员与设备管理

测量、焊工、桩机操作人员均需持证上岗,开工前组织专项技术交底与岗前培训,明确各工序工艺标准、质量控制点及病害应急处置方法;定期对桩机、焊机、测量仪器开展检修保养与计量校准,保障设备持续稳定运行,规避设备故障诱发质量缺陷。

5.3 施工过程动态管控

搭建“事前交底、事中旁站、事后验收”三级质量管控体系,技术管理人员对沉桩、接桩、终孔等关键工序全程旁站,逐根记录沉桩压力、锤击数、垂直度、焊缝质量;严格执行隐蔽工程自检制度,单桩自检合格后方可进入下道工序,实现质量问题早发现、早整改。

5.4 成品保护管理

桩基完工后落实成品保护措施,禁止重型机械碾压、碰撞桩体,不得在桩顶堆放建材重物;避免后续施工破坏成型桩基。

6 结论与展望

预应力管桩施工质量直接决定建筑地基基础稳定与结构安全,本文系统梳理各类病害表现与内在成因,明确地质条件、施工工艺、设备精度、人员操作、现场管理五大核心影响要素,并配套针对性防控与整改方案。通过严格管控原材料准入、规范设备操作、优化施工工序、完善现场管理制度、落实全流程动态质量管控,能够显著降低桩基施工缺陷率,有效减少返工成本与结构安全隐患。

未来预应力管桩施工将持续向智能化、精细化、绿色化方向发展,自动化实时沉桩监测、BIM施工模拟、智能无损检测等新技术会逐步普及落地。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.《建筑地基基础工程施工质量验收标准》(GB 50202-2018)[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.《预应力混凝土管桩技术规程》(JGJ/T 406-2017)[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [3] 李刚.复杂地质条件下预应力管桩施工技术 with 质量控制[J].岩土工程技术,2021,35(03):189-193.