

# PHC 桩在水利工程软土地基处理中的应用

张 新

江苏省水利工程建设有限公司 江苏 扬州 225000

**摘要:** 在水利工程建设中,软土地基因高压缩性、低抗剪强度等特性,易引发工程沉降、失稳等问题。PHC桩凭借高强度、高耐久性等优势,成为处理该类地基的关键技术。本文阐述PHC桩的特性与软土地基特点,分析其在水利工程中的应用优势,详解施工准备、流程、过程控制等要点及质量检测方法,为水利工程软土地基处理提供专业技术参考,对保障工程稳定性意义重大。

**关键词:** PHC桩;水利工程;软土地基;施工技术;质量控制

## 引言

水利工程是重要基础设施,地基稳定性直接决定工程安全与寿命。软土地基在其建设区域分布广泛,因压缩性高、承载能力弱,处理不当易致建筑物沉降、开裂甚至坍塌,严重影响工程功能。PHC桩(预应力高强度混凝土管桩)凭借优异力学性能与可靠施工效果,在软土地基处理中渐趋普及。深入研究其应用,对提升工程质量、保障工程安全具有重要现实意义。

### 1 PHC桩与水利工程软土地基概述

PHC桩是采用先张法预应力工艺,经过离心成型、高压蒸汽养护制成的预应力高强度混凝土管桩,其桩身混凝土强度等级通常不低于C80,具有空心筒状结构,在抗弯、抗裂及抗冲击性能上表现突出。根据桩身直径、壁厚差异,可分为不同型号,以适配不同荷载与地质条件,满足水利工程多样化地基处理需求。

水利工程软土地基由淤泥、淤泥质土、泥炭等组成,具有显著特性。高压缩性使地基在工程荷载作用下易产生较大沉降,且沉降持续时间长;抗剪强度低导致地基承载能力有限,难以支撑上部结构重量;透水性低使得地基排水固结缓慢,进一步加剧沉降问题;同时,软土地基还存在触变性与流变性,在外力扰动下结构易破坏,长期荷载作用下变形持续发展,这些特性均对水利工程稳定性构成严重威胁<sup>[1]</sup>。

### 2 PHC桩在水利工程软土地基处理中的优势

PHC桩在水利工程软土地基处理中展现出多维度优势,其力学性能优势尤为关键,采用高强度混凝土与预应力技术,单桩竖向承载力显著高于普通混凝土桩,能有效应对软土地基承载能力不足问题,为上部结构提供稳定支撑,同时通过合理配筋设计与成型工艺,具备良好的水平抗剪性能,可抵御水流冲击、波浪荷载等水平作用力,减少地基侧向变形风险,且抗裂性能优良,能在

软土地基不均匀沉降中避免桩身开裂,保障桩基整体受力稳定,确保工程长期安全运行。

从施工特性来看,PHC桩可实现工厂化标准化生产,桩身质量易控且生产效率高,能契合水利工程施工进度需求,减少现场延误,其施工工艺成熟,采用锤击或静压沉桩方式,设备操作简便、工序简单,对施工人员技术要求易满足,可快速推进施工,同时沉桩过程噪音低、振动小,对周边环境影响小,尤其适用于临近水源、生态敏感区域,符合绿色施工理念。

在经济成本层面,PHC桩原材料为广泛易得的混凝土与预应力钢筋,价格稳定,且空心结构在保证强度的同时减少材料用量,降低原材料成本,施工速度快可缩短工期,减少人工、设备租赁等费用,加之施工故障发生率低,能减少额外成本投入,且耐久性强使得长期维护费用低,全生命周期成本优势显著,可有效降低水利工程总体建设成本。

在环境适应方面,PHC桩凭借特殊混凝土配比与养护工艺,具备优异抗渗性与耐腐蚀性,能抵御地下水、河水等腐蚀性介质侵蚀,避免桩身受损、延长使用寿命,面对深厚软土地层、夹砂层、含砾石地层等不同地质条件,通过调整桩型参数与沉桩工艺可实现有效沉桩,且在低温、高温等极端气候下性能稳定,无明显性能衰减,确保水利工程在各类环境下保持稳定<sup>[2]</sup>。

### 3 PHC桩在水利工程软土地基处理中的应用要点

#### 3.1 施工前准备工作

施工前准备工作是保障PHC桩在水利工程软土地基处理中应用效果的基础。第一,需开展详细的地质勘察工作,采用钻探、原位测试等手段,全面了解施工区域软土地层分布、厚度、物理力学性质,以及地下水位、承压水情况等。地质勘察数据需准确、全面,为后续桩型选择、桩长设计、沉桩工艺确定提供可靠依据,避免

因地质勘察不足导致施工方案不合理,引发工程问题。

第二,依据地质勘察结果进行桩型设计。结合水利工程上部结构荷载要求,计算单桩承载力需求,选择适配的PHC桩型号,确定桩径、壁厚等参数。桩长设计需考虑软土地层厚度,确保桩端进入稳定持力层,同时兼顾经济性,避免桩长过长造成成本浪费。此外,还需合理设计桩间距,根据地基承载力要求与桩的受力特性,确定最佳桩间距,确保桩基整体受力均匀,有效扩散上部荷载,减少软土地基沉降。

第三,施工前需做好现场准备工作。清理施工场地内的杂物、障碍物,平整场地,为施工设备进场与作业创造条件。检查施工设备性能,确保打桩机、起重机等设备运行正常,校准测量仪器,保证测量精度。同时,做好材料准备,核对PHC桩的规格、数量与质量,确保桩身无裂缝、破损等缺陷,满足施工要求。

### 3.2 施工工艺流程

测量放线是PHC桩施工的首要工序,直接影响桩位准确性。采用全站仪、水准仪等专业测量仪器,根据设计图纸确定桩位坐标,在施工现场进行标记。测量过程中需严格控制精度,桩位偏差应符合规范要求,同时设置控制桩与水准点,便于施工过程中复核。测量完成后,需经监理单位验收合格,方可进入后续施工环节。

竖桩与插桩环节需注重垂直度控制。利用起重机将PHC桩吊起,缓慢移动至桩位处,调整桩身垂直度,通过两台经纬仪在不同方向进行观测,确保桩身垂直度偏差不超过规范允许范围。插桩时,将桩尖对准桩位标记,缓慢下放桩身,使桩尖插入软土地层一定深度,初步固定桩位,为后续沉桩工序奠定基础。竖桩与插桩过程中,需避免桩身碰撞,防止桩身受损。

沉桩是将PHC桩打入设计深度的关键工序,根据地质条件与桩型特点,可选择锤击沉桩或静压沉桩方式。锤击沉桩时,需合理选择桩锤类型与重量,控制锤击力度与频率,避免锤击力过大导致桩身断裂,或锤击力不足无法将桩打入设计深度。静压沉桩则通过液压系统施加压力,将桩缓慢压入地层,需控制压桩速度与压力值,根据软土地层阻力变化调整压桩参数,确保桩身均匀下沉,达到设计标高。沉桩过程中,需实时记录桩身入土深度、锤击次数或压桩力等数据,作为质量控制依据。

接桩工序在桩长不足时进行,通常采用焊接接桩方式。接桩前,需清理桩头表面的杂物与铁锈,将上下两节桩对齐,确保桩身轴线一致,接头处缝隙均匀。焊接时,采用坡口焊工艺,选用与桩身钢材匹配的焊条,分层焊接,确保焊缝饱满、连续,无夹渣、气孔等缺陷。

焊接完成后,需对焊缝进行防腐处理,待焊缝冷却至常温后,方可继续沉桩<sup>[1]</sup>。

### 3.3 施工过程控制

打桩参数控制是施工过程质量控制的核心。锤击沉桩时,根据桩身混凝土强度、地质条件确定合理的锤重与落距,一般情况下,锤重选择应与桩身承载力相匹配,落距控制在1-3m范围内,避免落距过大产生过大冲击力损伤桩身。静压沉桩时,需根据桩端持力层性质与桩身强度,设定最大压桩力,压桩过程中实时监测压桩力变化,当压桩力达到设计值或桩身入土深度达到设计标高时,停止压桩。同时,控制沉桩速度,锤击沉桩每分钟锤击次数不宜过多,静压沉桩速度一般控制在1-3m/min,确保软土地层有足够时间排水固结,减少桩周土体扰动。

接桩质量控制直接影响桩基整体受力性能。除严格按照焊接工艺要求操作外,还需加强对接桩过程的检查。焊接前,检查上下桩节的平整度与垂直度,若存在偏差,需进行调整或处理;焊接过程中,检查焊缝高度、宽度是否符合设计要求,焊接质量是否达标;焊接完成后,采用无损检测方法对焊缝进行检测,确保焊缝无质量隐患。此外,接桩位置应避开桩身应力集中区域,一般设置在桩身弯矩较小的部位,减少接桩对桩身受力的影响。

桩位偏差控制贯穿施工全过程。沉桩前,复核桩位标记,确保桩位准确;沉桩过程中,实时监测桩身位置变化,若发现桩位偏差超过允许范围,应及时停止沉桩,分析偏差原因,采取调整沉桩参数、校正桩身等措施进行纠正。造成桩位偏差的原因主要包括地质不均匀、桩身倾斜、沉桩工艺不当等,针对不同原因采取相应措施,如地质不均匀时调整沉桩顺序,桩身倾斜时校正桩身垂直度等,确保桩位偏差控制在规范范围内。

### 3.4 特殊情况处理

施工过程中遇到障碍物是常见问题,若不及时处理,可能导致桩身倾斜、断裂,影响施工进度与质量。当遇到地下孤石、旧基础、管线等障碍物时,首先需通过地质雷达、钻探等手段确定障碍物的位置、大小与性质。对于浅层障碍物,可采用人工开挖或机械挖掘的方式清除;对于深层或大型障碍物,若清除难度较大,可调整桩位,避开障碍物,重新进行测量放线与桩位设计。在处理障碍物过程中,需注意避免对周边软土地层造成过大扰动,防止引发地基沉降或坍塌。

桩身倾斜是施工中易出现的质量问题,主要由地质条件复杂、桩身垂直度控制不当、沉桩参数不合理等原因导致。当发现桩身倾斜时,应立即停止沉桩,分析倾斜原因。若因桩身垂直度偏差引起,可利用千斤顶、钢

丝绳等工具校正桩身,调整至符合要求后继续沉桩;若因地质不均匀,如一侧为软土、一侧为硬土层,导致桩身受力和不均倾斜,可采用调整沉桩顺序、在倾斜一侧增加辅助措施等方法,平衡桩身受力和,纠正倾斜。同时,在后续施工中加强对桩身垂直度的监测,避免类似问题再次发生。

桩身断裂会严重影响桩基承载能力,需高度重视。桩身断裂多由桩身质量缺陷、沉桩力过大、地质坚硬不均等因素造成。一旦发现桩身断裂,应停止沉桩,对断裂位置与程度进行检测。若断裂位置较浅,可将断裂桩段拔出,重新插入新桩;若断裂位置较深,可采用接桩或其他加固措施进行处理,确保桩基满足承载要求。为预防桩身断裂,施工前需严格检查桩身质量,剔除不合格桩,施工中合理控制沉桩力,根据地质条件调整沉桩参数,避免盲目施打<sup>[5]</sup>。

### 3.5 质量检测与验收

低应变反射波法是检测PHC桩桩身完整性的常用方法,通过在桩顶施加瞬态激振,产生应力波沿桩身传播,当桩身存在缺陷时,应力波会发生反射,根据反射波的传播时间、幅值等参数,判断桩身是否存在断裂、夹泥、空洞等缺陷,并确定缺陷位置与程度。检测时,需清理桩顶表面,确保传感器与桩顶良好耦合,激振点选择在桩顶中心位置,避免偏心激振影响检测结果。检测数量应符合规范要求,对检测发现的缺陷桩,需进一步采用其他检测方法验证,并采取相应处理措施。

静载试验用于检测PHC桩单桩竖向承载力,通过在桩顶施加分级荷载,观测桩顶沉降量,根据荷载-沉降曲线判断单桩竖向承载力是否满足设计要求。静载试验加载方式可采用慢速维持荷载法,加载分级需合理,每级荷载施加后需稳定一定时间,记录桩顶沉降数据。试验过程中,若出现桩顶沉降量急剧增大、沉降量超过规范

允许值等情况,应停止加载,判断单桩竖向承载力是否达标。静载试验应选择有代表性的桩进行,试验结果作为桩基承载力验收的重要依据。

除上述检测方法外,还可采用高应变法检测桩身完整性与单桩竖向承载力,通过重锤冲击桩顶,产生较大能量的应力波,分析应力波在桩身的传播特性,评估桩身质量与承载能力。在质量验收环节,需依据相关规范与设计的要求,对PHC桩的桩位偏差、桩身垂直度、桩顶标高、桩身完整性、单桩承载力等指标进行全面检查。验收时,需查阅施工记录、检测报告等资料,对不符合要求的项目,责令施工单位整改,直至验收合格。验收合格后方可进行后续工程施工,确保水利工程软土地基处理质量。

### 结语

PHC桩凭借优异力学性能、高效施工特性、经济成本优势与良好环境适应性,成为水利工程软土地基处理的理想选择。严格把控施工各环节要点,能充分发挥其作用,显著提升地基稳定性,保障工程安全运行。随着材料与施工工艺持续创新,PHC桩在水利工程软土地基处理中的应用将更广泛,为水利工程建设高质量发展提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]万春发.小直径PHC管桩复合地基在变电站淤泥质粉质黏土软土地基处理中的应用[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(8):058-061.
- [2]孟范兵.PHC管桩在大型水闸厚层软弱土地基处理中的应用[J].广东水利水电,2025(3):77-84.
- [3]樊龙飞.水利工程施工中软土地基处理技术的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(2):118-121.
- [4]刘敬美.水利工程施工中软土地基处理关键技术研究[J].水上安全,2025(2):121-123.