预应力混凝土空心方桩沉桩施工工艺及质量控制研究

罗佳瑞
中冶南方城市建设工程技术有限公司，湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/ETQM.2026090011

摘　　要： 预应力混凝土空心方桩兼具承载力高与用料节省的优点，在软土及粉土层地基中应用广泛。结合某工程边长为400毫米的预应力混凝土空心方桩施工实践，系统阐述场地准备、测量放线、引孔、吊装插桩、压桩控制、焊接接桩、送桩及混凝土填芯等关键工艺。针对沉桩困难、桩体破损、桩位偏移等常见质量问题，分析成因并提出防治对策，建立从进场验收到过程控制的质量保证体系，为同类桩基工程提供参考。

关 键 词： 预应力混凝土空心方桩；沉桩施工工艺；质量控制

Research on Construction Technology and Quality Control of Prestressed Concrete Hollow Square Pile Sinking

Luo Jiarui
WISDRI ENGINEERING AND RESEARCH INCORPORATION LIMTED, Wuhan, Hubei 430000

Abstract: Prestressed concrete hollow square piles have the advantages of high bearing capacity and material saving, and are widely used in soft soil and silt foundation. Based on the construction practice of a prestressed concrete hollow square pile with a side length of 400 millimeters in a certain project, this article systematically elaborates on key processes such as site preparation, measurement and setting out, drilling, lifting and inserting piles, pile pressure control, welding and connecting piles, pile delivery, and concrete core filling. Analyze the causes and propose prevention and control measures for common quality problems such as pile sinking difficulties, pile damage, and pile displacement. Establish a quality assurance system from site acceptance to process control, and provide reference for similar pile foundation projects.

Keywords: prestressed concrete hollow square pile; pile sinking construction technology; quality control

引言

预应力混凝土空心方桩作为一种新型桩基材料，具有承载力高、施工速度快、造价经济等优势，在建筑工程中应用日益广泛。但在复杂地质条件下，沉桩施工面临桩身易损、垂直度控制困难、接桩质量不稳定等问题。某工程持力层及上层存在厚度较大且密实度较高的粉土层，沉桩困难风险突出，需采取引孔措施。结合该工程实践，系统梳理方桩沉桩施工工艺与控制要点，总结常见质量问题应对措施，对于提高桩基施工质量具有实际指导意义。

一、项目概述

（一）工程背景

该工程位于软土及粉土层分布区域，场地内持力层及持力层以上存在厚度较大、密实度较高的粉土层。这种地质条件下，预制桩打入或穿透粉土层时容易出现沉桩困难情况，须采取引孔措施。工程设计采用边长为400毫米的预应力混凝土空心方桩（PHS桩），桩身强度要求较高，对施工工艺及质量控制提出严格标准。

（二）工程地质特点

场地地质条件呈现三个显著特征。第一，粉土层厚度大且密实度高，若不预先引孔，沉桩阻力过大，可能导致桩身破损或无法达到设计标高。第二，场地内存在局部暗浜及浅层障碍物，影响桩位定位及垂直度控制。第三，地下水位较高，施工过程中需注意排水及桩孔防护。这些地质特点决定了沉桩工艺必须结合引孔、压桩及接桩等多道工序协同进行。

（三）施工要求与难点

该工程对施工质量提出较高要求。桩身垂直度偏差不得超过0.5%，桩位偏差须符合《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202规定。沉桩以桩端标高控制为主，最终压桩力作为参考。主要施工难点包括：引孔与压桩的连续性控制，接桩质量保障，以及大面积施工中的挤土效应管理。同时，场地平整度及承

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

载力须满足桩机行走要求，局部软弱区域需要回填砂石处理。

二、沉桩施工工艺要点

（一）工艺流程与场地准备

沉桩施工遵循以下工艺流程：人员设备进场－定位放线－桩机就位－引孔－吊桩－对位插桩－压桩－对桩接桩－压桩－成桩－转移桩机。施工前须完成场地平整及临时道路修筑。场内修建6米宽硬化道路，原状土夯实后铺设25厘米厚C25混凝土，满足运桩车辆通行。局部通行困难区域采用钢板铺设临时便道。压桩区域须做到三通一平，对承载力不足的场地区域回填砂石，确保钻机及桩机正常行走作业。

（二）测量放线与桩位控制

根据建设方提供的坐标控制点及高程水准点布设现场控制点。控制点测设后须经复核验收，合格后方可移交施工。控制点位置远离压桩区域，并采取固定保护措施。压桩过程中经常对控制点进行复核，利用全站仪及GPS反复校核，测量出桩的中心点，撒放灰线标记。场地较大时，定位中心点插彩旗，便于桩机移动定位。工程桩放线完成后，请监理单位验收复核。压桩过程中，记录人员对每个桩位进行再次复核，确保定位准确。

（三）方桩进场验收与堆放运输

方桩进场由专职人员配合监理实测验收。外观检查粘皮麻面（累计面积不大于总外表面积0.5%，深度不超5毫米）、合缝漏浆（深度不超10毫米，每处长度不超300毫米）、局部磕碰（深度不超10毫米，每处面积不超50平方厘米，需修补）。桩端混凝土及钢筋墩头不高出端板平面。桩长允许偏差+0.7%L、−0.5%L，端部倾斜不超0.5%D，边长偏差 ±1毫米，保护层厚度+10至0毫米。每批桩提供质保书并标识。问题桩经检测后书面报告相关单位。堆放场地坚实平整，采取防滚防滑措施。边长400毫米方桩堆放不超8层。装卸轻起轻放，严禁抛掷碰撞。运输支点距桩端0.21L，垫木在同一平面且上下对齐。进桩数量按打桩进度安排，避免二次翻倒[1]。

（四）引孔施工技术

针对粉土层厚度大、密实度高的地质条件，采取引孔措施降低沉桩阻力。孔位放线须精确，反复校核各桩位点。钻机钻杆垂直度控制在0.5%以内，确保引孔垂直度偏差小于0.5%。引孔作业和压桩作业应连续进行，间歇时间不得超过4小时。沉桩速率也须控制，以免沉桩过快导致桩尖阻力超高而降低引孔效果。引孔机施钻过程中，根据桩顶标高和工程地质资料准确控制引孔深度，不得超钻穿透桩端持力层。观察取土土壤状况和色泽，分辨土质并测量引孔深度是否达到要求。施工完成的引孔应用木板遮盖，防止人员或物体坠落[2]。

（五）吊装插桩与对中调直

桩就位前，施工员和班组须进行桩位复查，凡误差大于10毫米应重新检测矫正。确认无误后桩机对位就中，同时根据场地标高及桩顶标高要求明确打桩深度及送桩长度并做好记录。起吊时拴好吊装用钢丝绳及索具，索具捆绑住桩上部，启动桩机采用单点吊法起吊方桩。就位对中时，以桩位为中心挖出与桩同形的浅孔，便于成桩插入孔内就位。方桩放入桩机夹桩箱内扶正就位后，将桩插入土中0.5至1.0米。桩身稳定后调正，使桩身、桩帽、桩位的中心线重合。调直时用两台经纬仪呈直角设置在距离桩基15至20米处，观测桩身垂直度，使插入地面时桩身垂直度偏差不大于0.5%。

三、压桩与接桩关键技术

（一）压桩过程控制

首节桩下插时垂直度偏差不大于0.5%，且最大值不大于50毫米。每根桩宜一次连续压到位，接桩及送桩期间不宜停歇，避免桩端在接近设计持力层时接桩。压桩前在桩身标记以米为单位的标高标记，或采用压桩自动记录仪及时记录桩身入土深度及该深度时的压力值。预应力混凝土桩一般不宜截桩，施工前应核对设计桩顶标高，若设计桩顶标高高于现状地面，应提前联系设计调整桩长。若确需截桩，应有确保截桩后桩基质量的措施，宜采用锯桩机进行截桩。对于表层为软土的作业场地，设计桩顶标高应尽量低于现状地面，以免施工作业对已经完成施工的桩体造成影响。

终压标准综合考虑设计要求、沉桩工艺试验情况、桩端进入持力层情况及压桩动阻力等因素，并结合静载荷试验确定。采用压桩力和桩端标高双重控制，以桩端标高控制为主，最终压桩力作为参考。稳压压桩力不得小于终压力，稳定压桩时间宜为5至10秒。满足以下任一条件即可终止沉桩：桩未达到设计标高但压桩力已达到桩身极限承载力；桩已达到设计标高。桩身允许抱压压力须满足桩身强度要求，送桩时施压力可比桩身允许抱压力大10%。

沉桩过程中遇到压力表读数突变、桩身突然倾斜、混凝土桩顶破碎和主筋外露、贯入度剧变、桩身突然发生位移或有严重回弹、大风大雨大雷天气、无法压入土层等情况，应立即停止沉桩并及时与设计单位联系处理[3]。

（二）桩身垂直度动态控制

施工中持续监控垂直度。用桩机上的线锤校正桩机挺杆垂直度，并架设两台经纬仪正交观测。经纬仪设置在距桩机15至25米处成90°方向，观测桩身垂直度，保证偏差不超过0.5%。出现偏差时不得强行扳桩纠偏，以防桩身开裂。最下节方桩入土50至80厘米时停止压桩，调整垂直度后方可继续压桩，不允许一次送到位。夜间施工时购置大功率照明灯保证观测条件。

（三）接桩工艺要求

由于高强度粉土层的存在，在压桩施工时，容易出现压桩力过大的情况。针对此情况，该工程采用焊接接桩工艺，以避免桩头被压爆的情况。外露的接桩钢零件增加2毫米厚度和焊缝厚度的腐蚀裕量，并涂刷防腐蚀耐磨涂层500微米。接桩宜在桩尖穿过较硬土层后进行。接桩时上下段桩的中心线偏差不宜大于5毫米，节点弯曲矢高不得大于桩段的0.1%。接桩前清除接头处泥土及锈迹，确保焊接质量。焊接完成后须经隐蔽工程验收，合格后方可

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

继续压桩。合理选择桩的搭配，避免在砂质粉土、砂土等硬土层中接桩，尽量缩短接桩时间，使桩快速连续压入。

（四）送桩与桩孔处理

当最后一节桩施压后不能达到设计标高时，需进行送桩施工。为利于送桩，最后一节桩施压后露出地面高度控制在0.3至0.5米。送桩器采用优质厚壁钢材制成的方筒形，器身弯曲度小于1/1000。送桩器上下两端面平整且与送桩器中心轴线垂直。送桩器直径与方桩匹配，下端设置深度300毫米的套筒，内径比桩外径大20毫米。送桩器下端面设置排气孔，使桩内腔与外界相通。送桩时在送桩器上按照从上至下顺序标明长度，由桩机卷扬吊钩采用单点吊法将其喂入桩帽。送桩完成后及时将遗留孔洞回填密实，防止人员或物体坠入。送桩时考虑桩身回弹，可在原设计桩顶标高基础上超送2至3毫米[4]。

（五）混凝土填芯施工

根据《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008规定，桩端入遇水易软化的强风化岩、全风化岩和非饱和土的预应力混凝土空心桩，沉桩后应对桩端以上2米左右范围内采取有效的防渗措施。按照图纸设计要求，该工程PHS空心方桩采用比基础高一等级的微膨胀混凝土填芯3.5米。填芯施工前清理桩内壁杂物，浇筑时分层振捣密实，确保填芯混凝土与桩内壁紧密结合，形成有效防渗屏障。

四、质量控制与常见问题防治

（一）质量检测与验收

方桩按单位工程或检验批抽检。监理和施工单位逐条检查到场方桩的规格型号，抽检尺寸偏差及外观数量不少于桩节总数的2%。发现一节不合格则加倍抽检，再不合格则该检验批禁用。端板几何尺寸抽检不少于2%，厚度或电焊坡口不合格的桩不得使用。施工后检测单桩承载力与完整性：静载试验不少于总桩数1%且至少3根，低应变检测不少于总数20%且至少10根，每个承台至少抽检1根。

（二）沉桩困难的对策

沉桩困难的主要原因包括压桩设备选型不合理、中途停歇时间过长、设备故障或停电、忽略浅层障碍物及硬夹层、桩距过密形成封闭桩、桩身强度不足、桩就位倾斜过大、接头质量不好等。相应对策：配备合适压桩设备，保证足够压入能力；一根桩连续压入，严禁中途停歇；进场前对设备进行大修保养；详细分析地质资料，清除浅层障碍物，配足压重；制定合理压桩顺序，严禁形成封闭桩；严把制桩各环节质量关；桩就位倾斜过大时拔出桩，清除障碍物后重新插入；合理选择桩的搭配，避免在硬土层中接桩。

（三）桩体破损与偏移防治

桩体破损原因包括制桩质量差、支点或吊点不准、吊索过短、桩头强度弱、送桩杆不同心、压入力过大、桩尖强度低或障碍物冲撞。防治措施：桩身强度达七成方可起吊脱模，达十成才可施工。运桩支点正确，水平吊运用两点吊且吊点距桩端0.21倍桩长。使用同径送桩杆，保证压头、送桩杆、桩体同轴。桩头设钢帽，桩尖设钢靴。桩偏移倾斜因压桩机未调平、立柱不垂直、插入精度差、邻孔影响、障碍物、送桩杆不同轴或接桩不良。应对方法：用顶升油缸调平机大身，压桩前调垂直立柱。桩插入对中误差小于十毫米，及时回填送桩孔，提前清除障碍物，确保送桩杆与压头及桩同轴，提升接桩质量使上下节同轴[5]。

（四）质量保证体系运行

施工全过程建立由项目经理领导、技术负责人为主抓的质量管理机构，制定严格规章制度并贯穿到施工前及施工过程中。严格执行监理工程师决定，遵守工程质量检查签认制度，实行自检、互检、交接检制度，须检查的工序经签认后方可转入下道工序。技术交底以审定图纸、技术文件、施工规范、施工组织设计为依据，内容包括施工工艺、质量标准、技术要领、措施和操作要点，交底人和接受人签字确认。合理确定最佳施工流水路线，采用先长桩后短桩、先中心后外围或对称的施工顺序及区域跳打原则，根据施工实际情况调整打桩速率以减少挤土效应。

结束语：预应力混凝土空心方桩沉桩施工涉及场地准备、测量放线、引孔、吊装插桩、压桩控制、焊接接桩、送桩及混凝土填芯等多道工序，各环节紧密衔接。针对粉土层厚度大、密实度高的地质条件，引孔措施可有效降低沉桩阻力。施工中常见沉桩困难、桩体破损、桩位偏移等问题，需从设备选型、垂直度控制、接桩质量等方面加以防治。建立覆盖进场验收与过程控制的质量保证体系，能够显著提升沉桩质量，为类似地基条件下的桩基工程提供可行参考。

参考文献

[1] 邱振贵，冼景成．预应力混凝土空心方桩堆放层数判定条件的探讨[J]．广东建材，2023,39(1):34-36.

[2] 屈宝剑．房建工程项目预应力混凝土空心方桩施工技术要点探析[J]．中国房地产业，2025(9):202-205.

[3] 姚晨星．预应力混凝土空心方桩在工程中的应用和质量控制要点[J]．新材料·新装饰，2021,3(14):91-92.

[4] 王学超．预应力混凝土空心方桩在项目中的应用[J]．建筑，2014(5):60-61.

[5] 程正友．预应力混凝土空心方桩应用及施工技术分析[J]．工程建设与设计，2014(8):139-141.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.