

预应力管桩施工技术与质量控制研究

张乾涛

潜江市高新投建设有限公司, 湖北 潜江 433100

[摘要]预应力管桩是一种常用的桩型,在软土地质及特殊环境中应用十分广泛。研究预应力管桩的施工技术和质量管理方式对提升整个桩基础工程的质量有着非常重要的意义,在施工技术上,静压法、锤击法是两种主要的沉桩方法,其优点无振动、无噪声;静压法适合在硬塑黏性土层、全风化/强风化岩层或密实的砂层中穿过,锤击法则适用于穿透硬塑黏性土层、全风化/强风化岩层或密实的砂层,复合载体夯扩预应力管桩是一种新型的载体桩技术,预应力管桩作为桩身,结合了管桩与载体桩的优点,桩身具有质量可靠、承载能力强、沉降变形小等特点,能穿过浅部较厚的软弱土层,支承在深处比较密实的土层上等。对于工程来说,在工程检测上,桩身完整度检测以及单桩承载力检测是最为主流的质量检查方式,在实际施工当中经常会出现的问题有桩身折断、桩位偏离、难以打桩等问题,这些问题产生的因素主要有土壤特性、工法选择、材料选用等等。针对这一情况给出了一些针对性较强的预防方法,供相关项目借鉴。

[关键词]预应力管桩;质量控制;质量缺陷防治

DOI: 10.33142/ect.v4i5.19773

中图分类号: TU757.4

文献标识码: A

Research on Construction Technology and Quality Control of Prestressed Pipe Pile

ZHANG Qiantao

Qianjiang High-tech Investment Construction Co., Ltd., Qianjiang, Hubei, 433100, China

Abstract: Prestressed pipe pile is a commonly used pile type, which is widely used in soft soil geology and special environments. Studying the construction technology and quality management methods of prestressed pipe piles is of great significance for improving the quality of the entire pile foundation project. In terms of construction technology, static pressure method and hammering method are the two main pile sinking methods, which have the advantages of no vibration and no noise; The static pressure method is suitable for penetrating through hard plastic cohesive soil layers, fully weathered/strongly weathered rock layers, or dense sand layers, while the hammering method is suitable for penetrating hard plastic cohesive soil layers, fully weathered/strongly weathered rock layers, or dense sand layers. The composite carrier ramming expansion prestressed pipe pile is a new type of carrier pile technology. The prestressed pipe pile, as the pile body, combines the advantages of the pipe pile and the carrier pile, with reliable pile body quality, strong bearing capacity, and small settlement deformation. It can penetrate shallow and thick soft soil layers and support deep and dense soil layers. For engineering, pile integrity testing and single pile bearing capacity testing are the most mainstream quality inspection methods in engineering inspection. Common problems in actual construction include pile breakage, pile deviation, and difficulty in driving. The factors that cause these problems mainly include soil characteristics, construction method selection, material selection, and so on. Some targeted prevention methods have been provided for this situation, for reference by projects.

Keywords: prestressed pipe pile; quality control; quality defect prevention and control

引言

预应力混凝土管桩属于按照国家规范标准及相应程序制作出来的预制桩,其特点是桩体稳定可靠、强度大、施工工期短、成本较低,广泛应用于我国沿海软土地带以及内陆地区的多层、高层建筑的基础工程之中。近几年预应力管桩的应用越来越多,但是由于其桩基承载原理比较

复杂,影响因素较多,精确的工艺控制和技术检测显得特别重要。从施工的技术角度来说,预应力管桩的施工包括了静压法与锤击法这两个方法,静压则是用液压静力压桩机把管桩贯入地基土层,具有不产生振动、无噪声、无冲击等特点;锤击法则借助柴油锤或者液压锤锤击来打击桩进入土壤之中,适用于穿过较坚硬的夹层以及密实的砂土

层。两种方法各有所长,在实际操作过程中要依据地质情况、周边状况、工期因素等方面灵活选用。从质量管理来看,预应力管桩的质量问题与多个方面有关联。针对邢台一工程项目所使用的高强度预应力管桩静压施工情况,工程技术人员对该类型预应力管桩选用机具材料方式、施工工艺参数设定及质量保证等方面的关键技术进行了深入探讨,在深软土层中开展 PHC 预应力管桩施工时,必须解决淤泥质层高压缩性的流变效应给管桩带来的剪应力问题,通过对试验桩现场观测值及计算结果进行分析得出有效控制质量的办法。本文以预应力管桩施工技术和质量管理两条线为主线,对理论依据、施工前准备、关键技术、质量保证体系以及常见问题防治进行综合研究分析,旨在更好地应用于工程施工实践。

1 预应力管桩施工相关理论基础

预应力管桩是以混凝土强度等级划分,分为预应力混凝土管桩以及预应力高强混凝土管桩两种类型。根据桩体构造的不同又分为 A 型、AB 型、B 型和 C 型,对应的预应力值大小和抗弯能力也不同。而它的结构特点在于使用的是高强度混凝土配合预应力钢筋,采用离心法制备和高压蒸养工艺而成,能够达到较高的抗压强度与抗弯刚度;管桩截面呈圆形,惯性矩大,节省了材料;桩底可选做有孔或无孔式桩尖,以适应不同地质条件的需求。在管桩的受力分析上主要考虑的是桩侧摩阻力以及桩端阻力两个方面,管桩在打入地面的时候会使得周围的土壤被挤密,在桩边土壤受到的切削作用下变得越来越紧实,因此产生的摩擦阻力也就越来越大。对于开口管桩,桩周土体进入桩身产生土塞,土塞对桩端承载力发挥的影响较大,在竖向荷载的作用下,桩侧摩阻力早于端阻力出现,在其作用下桩下沉至土层破坏为止,在施工过程中要控制好施工质量。施工质量管理理论是以 PDCA 循环为主线,渗透整个施工过程,对于预应力管桩施工来说需要有事前预防、事中控制、事后检查的质量保证系统,事前需要做好原材料的检验、仪器仪表的检定、方案的论证等,事中需要对沉桩过程进行观察,接桩质量控制以及桩顶标高的控制,事后需要进行承载力检测、完整性检验及验收评定。

2 预应力管桩施工准备与施工工艺

2.1 管桩材料选择与质量检验

管桩材料选择需符合设计规定的桩型、桩径、壁厚、混凝土强度等级,以及抗裂性标准。普通桩径一般在 300mm~800mm 之间,壁厚按受力需要不同可选取不同规格,一般为 70mm~130mm。管桩进场验收需核对材质

证明书及质量检验单据,并做外观检查如桩身裂痕,桩头平面度、桩身挠曲度等。管桩产品质量检验主要有出厂检验与到货复试两个方面。出厂检验包括混凝土抗压试验,保护层厚度,桩径允许偏差,外观质量等。进场复试则要从每一批次中取一定量的产品做桩身强度抽芯检测、抗弯测试、外加压力检测。对一些大型建筑物还需检测桩芯混凝土里的氯离子含量,避免钢筋腐蚀。

2.2 预应力管桩施工工艺流程

预应力管桩施工工艺流程为:锤击沉桩法(确定桩位和沉桩顺序→桩机就位→吊桩喂桩→校正→锤击沉桩→接桩-再锤击沉桩→送桩→收锤→转移桩机)和静力压桩法(测量定位→桩机就位→吊桩、插桩→桩身对中调直→静压沉桩→接桩→再静压沉桩→送桩→终止压桩→转移桩机)。施工前应先做试桩,试桩不得少于 3 个,用来检验桩的长度、终压力(即终压值或者收锤标准)以及选择施工工艺参数等。在沉桩时应该连续作业,尽量不要间歇,静压法终压力要达到设计规定或者是试桩得出的控制值,稳压时间不少于 10 秒钟,而锤击法则以最后贯入度和桩底进入持力层的深度来决定收锤的标准。对预应力管桩工程而言可以应用 PDCA 循环管理法,在具体实施过程中通过对现场进行勘察以及分析相关数据来寻找重要影响因素桩身混凝土强度偏低、倾斜度超标、土质突然改变、入土速率过高、设计最终承载压力过大等问题并提出相应的解决措施。

3 预应力管桩施工关键技术研究

3.1 管桩静压施工技术

静压沉桩属于工程的主要部分,在此过程中对桩基的承载能力和稳定性具有很大的影响。在进行沉桩之前应注意对锤击顺序进行合理的布置,按先中间后四周、先施工紧靠建筑一侧再施工远处、先深层后浅层的方式进行锤击,从而降低对周围桩体及环境产生的挤压作用。锤击力度要保持一致、连续,不可以有大的变化或者猛烈地停止。对挤土效应的调节是沉桩过程中的困难环节。当桩间距小于 3.5 倍桩径时,建议采用跳打法,留设应力释放孔以及控制沉桩速率的方法来预防土丘现象与桩位偏移的问题。而在软土层中还需要注意超静孔隙水压力的消散,可增加排水砂井或者插设塑料排水板。

3.2 锤击法施工技术分析

锤击法是通过冲击动能使桩打入到土体里去,用于穿过砂层、砾石层等硬夹层,锤的型号需视桩径、桩长及地层情况来决定,常用的柴油锤型号有 D25-D80,锤击能量

要适当,能量低则不能把桩打入足够的深度,能量太大就会造成桩头破碎或者桩体断裂,收锤标准是锤击法施工的一个重要参数,一般是以最后三阵(每阵十击)的贯入度来进行判定的,在试桩过程中来确定收锤的标准,在贯入度满足要求并且桩尖进入预定持力层之后才能停止锤击。在锤击施工过程中应注意,如果遇到桩端土为密实粉土,则使用双桥静力探测试验结果来估算单桩竖向极限承载力是比较精确的,如果使用标准贯入试验结果来推算的话会低估 30%左右。

3.3 静压法施工技术分析

静压法用液压压桩机压桩,压入式压桩方法具有无震源、无噪声、无冲击力等特点,适用于城区及邻近重要建筑物区段。压桩机吨位按设计终压力来选配,约等于其设计承载力的 1.2~1.5 倍左右,则终压力值的选择成为静压法的关键问题所在,太低桩端就不能嵌入到预定的持力层内,达不到设计所需承载力的要求;而如果太大就有可能使桩体出现破裂或是桩顶损坏等现象。在静压法的施工过程中需要做到压力表数值和桩长两个方面的控制,以压力为主,桩长为辅,如果只是达到了压力但是桩长却没有达标的话,就需要对产生这一状况的原因进行查找,然后做出相应的复打或者是补桩处理措施。在进行静压预应力管桩施工的过程中,经 QC 专项小组攻关后,能明显增强施工质量水平。双控手段保证垂直度误差控制在 0.5% 以内,根据不同的地质情况灵活调节桩长,合理设置沉桩速度及终压力大小指标等方式均可使管桩一检合格率达到 98.5% 以上。

3.4 接桩施工技术控制

在一根桩不够长的时候要进行接桩,接桩的方式分为焊接式接桩以及机械快速接桩两种,其中焊接式接桩使用较为普遍,在焊接过程中必须要保证端板干净、坡口吻合,先用点焊固定然后再均匀焊接,保证焊缝的高度及宽度合格,待焊接完毕之后静置 5~8min 再继续打桩,避免由于焊接过快导致焊缝发生脆断问题;而机械快速接桩方式的优点是施工速度较快、质量有保障,适合于时间紧、低温天气下施工的情况,接桩配件要放置正确,螺栓拧紧力矩达到相应标准即可,做完接桩工序之后必须对其焊缝质量或者连接紧密度进行检验。

3.5 桩顶处理施工技术

桩头处理包括截桩、桩头修补两方面。截桩应在桩基础检验合格后进行,用专用切割机切割环切,不允许用大锤砸掉顶部,截桩完成后桩头要平齐,钢筋露出承台长度

符合图纸规定。桩顶标高低过设计标高时需对桩进行对接,对接高度不应超过 1.5m,超过应该间隔浇注并加密。根据软土层中的一些施工经验,预应力管桩施工质量应做到以下几点:管桩的质量要严格把关,选用合适的桩机及桩靴,合理确定打桩程序及打桩速度,沉桩工艺要严格把控,连续沉桩不能中断,控制好终压力等。

3.6 复杂地质条件下施工技术措施

复杂的地层有较深的软土层、硬夹层及有溶洞发育等。在深厚软土层中施工中容易导致管桩倾斜或者偏位的问题,可以采取加粗桩径或者是增加密度或者是使用导向架来解决这些问题,在遇到硬夹层难以打入桩的情况下可以采取冲击成孔或者是锤击打入的方式破除,冲击成孔孔径要小于管桩直径 20~40mm 左右;对于岩溶发育区要逐根超前钻探了解溶洞的位置,采取灌注水泥浆填堵或者改变桩位等方式解决。

4 预应力管桩施工质量控制研究

4.1 沉桩质量控制要点

沉桩质量控制包含三项主要的技术参数:桩位、垂直度以及桩顶标高。桩位偏差不应大于规范规定的允许范围(一般不大于 $1/3$ 桩径),垂直度偏差不允许大于 0.5%,桩顶标高偏差在 $\pm 50\text{mm}$ 之内。施工时应应对每根桩做好压桩力(或者锤击数)、桩长、终压值(或者贯入度)的记录,绘制沉桩曲线图,及时发现问题。遇到下述情况之一时应停机分析原因:压桩力突然变化;桩体发出异常声音;桩头破裂;桩身显著偏斜;贯入度不正常等等。

4.2 接桩质量控制措施

接桩之前要对端板斜坡处进行清理干净是否有油渍生锈现象,焊接时使用二氧化碳气体保护焊或者是手工电弧焊,焊条的选择要与所使用的钢板相适应。接头的焊缝应该平滑过渡没有凹凸高低不平的地方,还要达到焊接连续不断密实的效果,也不能出现气泡砂眼开裂的情况,每一层焊缝完成后要立即除掉飞溅物,多层焊接的时候不要让中间温度太高。

4.3 桩身完整性检测技术

桩身完整性检测是对桩身是否有缺陷的一种判别方式,低应变反射波法是目前比较常用的一种检测方法,在桩身中利用应力波的反射来鉴别桩身的完整度等级。检测桩的数量不应低于总桩数量的 20%,不少于 10 根,对重要的工程项目或者地基复杂的地区可以增加使用高应变法或者声波透射法复验。如果出现低应变成 II 类桩即轻微缺陷,则要依据现场具体条件判定其是否会影响承压能力;

表 1 单桩承载力主要检测方法对比

检测方法	测试原理	适用范围	优点	缺点
静载试验法	逐级施加竖向荷载至破坏	各种桩型	结果可靠，为设计依据	周期长、成本高、设备重
高应变法	重锤冲击产生应力波	PHC 管桩、钢管桩	快速、可测承载力与完整性	精度低于静载

如果为Ⅲ类即明显缺陷或者Ⅳ类即严重缺陷，则要采用高应变或者是钻芯法复核，在必需的情况下可以补桩或者是对桩进行加固等处理。

4.4 单桩承载力检测方法

单桩承载能力检测主要分为静载试验法和动测法两种方式。其中静载试验是最准确确认承载能力的方法，也是最可靠的检验方式；而高应变变量测定法是一种快捷的检测方式，适合大规模的检测。刘勇健等人通过佛山市禅城区工程桩的动、静荷载的测试比较研究表明：动、静荷载测试单桩竖向抗压承载力相对误差在 7.1%~25.2%之间。高应变变量测定由于其计算公式涉及桩土力学模型的不同、桩土相互作用系统、岩土抗力的发挥大小等诸多因素的影响，合理选择这些参数可以有效的增强此法的准确性。表 1 是两种主要的检测方法比较分析。

5 预应力管桩施工常见质量问题及防治措施

5.1 桩身断裂问题分析

桩身断裂为管桩出现横向或者斜向裂缝甚至桩体折断，主要是因为桩身的混凝土强度不够，吊运、堆放不合理造成的裂纹，沉桩碰到坚硬物体倾斜受力，焊接接桩未待冷却就沉桩，压桩力大于桩身最大允许压入阻力。预防办法：做好管桩进场检查，严禁用有裂纹的管桩，吊运使用专门吊具，堆放不超过两层并且放置垫木，在沉桩之前先清理地下障碍物，在焊接之后进行冷却处理，在最后压桩数值控制在桩身最大压入阻力之内。

5.2 桩位偏移问题分析

桩位偏斜是指桩头或者桩身偏离预定的位置，有水平位移及垂直倾斜两种情况。原因如下：地表高低不平、桩机定位误差、沉桩过程中碰到倾斜岩层、临近桩的挤逼作用、软土地基土体横向移动。预防办法：开工前做好地面平整夯实工作；桩机落位后校正垂直度；合理规划打桩次序，掌握好沉桩速度等。对于软土地基，可以采用钢板桩

或水泥土墙进行横向限制。在软土地上做预应力管桩时，管理不当很容易引起重大安全事故的发生，施工前要进行详细的交底，施工中要注意控制其垂直度以及沉桩指标等。

5.3 质量问题成因及防治对策

预应力管桩工程施工质量通病有三个大的原因类型，即桩体质量问题、施工方法及地质情况。预防质量通病的方法措施有以下几个方面：建立健全的质量保证体系、履行岗位责任制；做好技术培训以及上岗前准备；实施首件工程验收和样板指导；做好过程监控和信息传递，实行全面管理。

6 结语

预应力管桩施工技术和质量管理是一个全方位的过程，包括物料选择、施工工艺、质量检验及过程管理和控制等几个方面，静压法与锤击法是目前最常见的两种工艺方法，具有不同的特性以及适应条件，在实际施工过程中应该根据实际情况灵活选取，质量控制要以预防为主，过程监督为辅，最后用检测结果判断工程质量，对于常见的质量问题也要针对其产生的原因进行相应的处理，从而避免其发生；通过不断的实践经验和检测技术水平的提高，预应力管桩施工技术将会越来越成熟，可以给复杂地质情况下的桩基础工程带来更好的技术保障。

[参考文献]

- [1]聂鹏,邢晓东,夏永豪,等.深淤泥地质条件下 PHC 预应力管桩施工质量控制[J].建筑安全,2022,37(9):16-20.
- [2]刘勇健,傅杨攀,黄承泽,等.PHC 管桩承载力的动力和静力测试对比分析[J].水利与建筑工程学报,2022,20(5):90-95.
- [3]黄国新.软土地场砵预应力管桩基础施工管控要点探究[J].中国建筑装饰装修,2024,11(24):154-156.

作者简介：张乾涛，毕业于武汉理工大学土木工程专业，现就职于潜江市高新投建设有限公司，工程师。