

预应力管桩施工中的垂直度控制技术与实践

文 / 夏琳 江苏地质基桩工程公司

摘要：预应力管桩作为建筑工程中的重要基础构件，因其具有高强度、抗压、抗拉和抗弯等优越性能，广泛应用于高层建筑、桥梁、港口码头、地铁等工程中。然而，预应力管桩的施工质量直接影响到整个工程的安全性和稳定性，其中垂直度控制是确保施工质量的关键因素。垂直度控制不仅关系到桩基的承载力和稳定性，还影响到后续结构的整体受力和变形情况。因此，如何在复杂地质条件下实现预应力管桩的垂直度控制成为施工中的一大挑战。

关键词：预应力管；垂直度控；施工技；地质条件

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.041

一、预应力管桩施工的重要性及垂直度控制的必要性

预应力管桩是一种广泛应用于建筑工程中的基础处理方法，因其高强度、抗压、抗拉和抗弯等优越性能，被广泛应用于高层建筑、桥梁、港口码头、地铁等工程中。预应力管桩施工的重要性体现在几个方面。首先，预应力管桩能够深入地下，将建筑物的荷载传递到坚实的土层或岩层上，提供可靠的基础支撑，保证建筑物的稳定性和安全性。其次，其高强度和抗腐蚀性能在各种恶劣环境下仍能保持良好性能，提高工程质量和耐久性。此外，预应力管桩能够适应软土、湿陷性黄土、膨胀土等复杂地质条件，有效解决地基承载力不足、沉降过大等问题，确保工程顺利进行。最后，预应力管桩施工过程相对简单，机械化程度高，施工速度快，有助于缩短工期，降低施工成本。

在预应力管桩施工过程中，垂直度控制是确保工程质量的重要环节，具有必要性。首先，桩基的承载力依赖于桩身与土层的摩擦力和桩端承载力，垂直度偏差会导致桩身受力不均，降低桩基承载能力，甚至引发桩基失稳等问题。其次，预应力管桩作为建筑物的重要基础结构，其垂直度直接影响整个建筑物的稳定性和安全性，垂直度偏差可能导致建筑物不均匀沉降、倾斜，严重影响结构安全。此外，在荷载作用下，垂直度偏差会引起桩身弯曲变形，增加桩身内力，影响桩的正常工作状态，导致工程变形加剧，影响使用功能和寿命^[1]。严格控制垂直度还可以提高施工精度和质量，减少返工和修正，节约成本，提升施工效率。各类建筑工程规范对预应力管桩的垂直度都有严格要求，只有符合这些规范才能通过验收，保证工程合格。综上所述，预应力管桩施工在提供可靠基础支撑、适应复杂地质条件等方面具有重要作用，而垂直度控制则是保证桩基承载力、结构安全性、减少工程变形、提高施工精度和质量的重要手段。严格控制预应力管桩施工的垂直度，确保工程质量，是工程顺利实施和使用安全的关键。

二、预应力管桩施工原理与垂直度要求

（一）预应力管桩的基本原理

在工厂中，通过离心力作用将混凝土均匀分布在钢模内，并在其内嵌入高强度钢筋，形成预应力管桩。桩

体制造过程需要严格控制混凝土的配比和预应力钢筋的布置，确保桩体的均匀性和强度。通常，混凝土的水灰比控制在0.4-0.5之间，以保证混凝土的流动性和强度，同时预应力钢筋的布置密度为每米5-7根，以保证桩体的整体性能。预应力通过在钢筋中施加拉力并锚固于桩体两端来实现。这种预应力施加方法增强了桩体的抗压和抗拉性能，使其在施工和使用过程中能够承受更大的荷载^[2]。例如，对于直径为500mm的预应力管桩，通常在钢筋中施加1000-1200MPa的拉力，这使得桩体的抗压强度能够达到50-60MPa，抗拉强度达到5-6MPa。制造完成的预应力管桩需要经过严格的养护，并在运输和堆放过程中保持完整，避免机械损伤和弯曲变形。一般情况下，桩体在养护过程中需要保持湿润状态不少于7天，运输和堆放时采用软垫隔离，避免直接接触硬物，以防止表面裂纹和内部损伤。在施工现场，预应力管桩通过专用的打桩设备打入地下，直至达到设计深度。整个打桩过程需严格监控桩体的垂直度和沉入深度，以确保施工质量。通常采用GPS和激光测量设备进行实时监控，确保垂直度偏差控制在1%以内，沉入深度误差不超过50mm。

表一：预应力管桩施工的关键数据和标准

项目	标准值	单位
混凝土水灰比	0.4-0.5	
钢筋布置密度	5-7	根/米
预应力拉力	1000-1200	MPa
抗压强度	50-60	MPa
抗拉强度	5-6	MPa
垂直度偏差	≤ 1	%
沉入深度误差	≤ 50	mm
养护时间	≥ 7	天

（二）垂直度要求

在预应力管桩施工中，垂直度要求至关重要，其影响工程质量和结构安全。施工前需要对场地进行详细的勘察和测量，确定打桩位置和方向，确保桩位布置合理。设备调试和校准是确保垂直度的重要步骤，必须确

保打桩设备的稳定性和精确度。桩位放样过程中，需要对每根桩的位置进行精确放样和标记，并在打桩过程中实时监测桩的位置和方向，确保其符合设计要求。常用的垂直度监控方法包括全站仪、激光铅直仪等高精度测量仪器，能够在打桩过程中通过实时监控和调整打桩设备，确保桩体保持垂直。

在打桩完成后，需要对桩体的垂直度进行检测和验收。检测方法包括目测法、垂直度仪器测量法等。对于不符合垂直度要求的桩体，需要进行纠偏处理或重新施工。不同工程和地区的规范对预应力管桩的垂直度有不同的具体要求。一般来说，桩体的垂直度偏差应控制在设计规范允许的范围内，通常为1%至2%。严格按照规范要求进行施工和检测，是确保工程质量和安全的重要保障。

表二：垂直度控制的关键数据和标准

控制环节	具体要求	数据及标准
场地勘察和测量	确定打桩位置和方向	误差≤10cm
设备调试和校准	确保打桩设备稳定性和精确度	偏差≤0.1%
桩位放样	精确放样和标记	位置误差≤5cm
打桩过程监控	实时监控和调整，确保桩体垂直	垂直度偏差≤1%
垂直度检测	完成打桩后检测和验收	偏差≤1%至2%
规范要求	符合工程和地区规范	垂直度偏差≤1%至2%

通过对场地勘察、设备调试、桩位放样、打桩过程监控和垂直度检测的严格控制，预应力管桩的施工质量和结构安全得以保证。在施工准备阶段，详细的场地勘察和测量工作确保打桩位置和方向的准确性，误差控制在10厘米以内。设备调试和校准使得打桩设备的偏差控制在0.1%以内，从而保证了设备的稳定性和精确度。在施工过程中，对每根桩的位置进行精确放样和标记，位置误差控制在5厘米以内，并在打桩过程中通过全站仪和激光铅直仪等高精度测量仪器进行实时监控和调整，确保桩体的垂直度偏差控制在1%以内。打桩完成后，进行垂直度检测和验收，确保最终垂直度偏差符合规范要求，通常为1%至2%。

三、预应力管桩施工中的垂直度控制技术

在预应力管桩施工中，垂直度控制是确保工程质量和结构安全的关键环节。施工前需要对场地进行详细的勘察和测量，确定打桩位置和方向，确保桩位布置合理。场地勘察通过地质勘探和GPS测量，误差控制在10厘米以内；设备调试和校准确保打桩设备的稳定性和精确度，偏差控制在0.1%以内，并对施工人员进行技术培训^[3]。桩位放样过程中，使用全站仪和经纬仪进行精确放样，位置误差控制在5厘米以内。打桩过程中，通过全站仪和激光铅直仪等高精度测量仪器进行实时监控和调整，确保桩体的垂直度偏差控制在1%以内。打桩完成后，对桩体进行全面的垂直度检测和验收，确保偏差符合规范要求，通常为1%至2%。对于不符合垂直度要求的

桩体，需要进行纠偏处理或重新施工。严格按照工程和地区规范要求进行施工和检测，通过对施工前准备、桩位放样、打桩过程控制和垂直度检测等各个环节的管理，确保预应力管桩的垂直度控制在规定范围内，从而保证施工质量和结构安全。

表三：垂直度控制的关键数据和标准

控制环节	具体要求	数据及标准
场地勘察和测量	确定打桩位置和方向	误差≤10cm
设备调试和校准	确保打桩设备稳定性和精确度	偏差≤0.1%
桩位放样	精确放样和标记	位置误差≤5cm
打桩过程监控	实时监控和调整，确保桩体垂直	垂直度偏差≤1%
垂直度检测	完成打桩后检测和验收	偏差≤1%至2%
规范要求	符合工程和地区规范	垂直度偏差≤1%至2%

四、垂直度控制的实践案例分析

(一) 案例选择与背景介绍

选择某大型港口码头建设项目作为实践案例，该项目因地质条件复杂、施工难度大，对预应力管桩的垂直度控制提出了严苛要求。项目位于一个水域广阔且土质松软的区域，采用预应力管桩作为基础桩，总桩数超过2000根，桩径500mm，桩长30米。由于该区域的地质条件为软土层，存在明显的层间差异和高地下水位，这些特点使得桩基施工面临巨大挑战。软土层的层间差异导致土质在不同深度上存在显著差异，影响桩体的稳定性和垂直度控制。此外，高地下水位增加了施工难度，水的浮力和流动性对桩体施加了额外的力，使得保持桩体垂直度变得更加困难。为应对这些挑战，该项目对施工技术和设备提出了更高的要求，采用了高精度测量设备和先进的施工工艺，以确保每根桩都能严格按照设计要求进行安装。

(二) 垂直度控制措施与效果

在该大型港口码头建设项目中，垂直度控制的措施包括施工前的准备、桩位放样、打桩过程控制和垂直度检测四个方面。首先，施工前的准备包括场地勘察与测量和设备调试与校准。使用GPS和全站仪对施工场地进行详细勘察和测量，确定打桩位置和方向，误差控制在5厘米以内。勘察结果显示，施工区域内存在不同深度的软土层，需要采用分层打桩工艺。引入高精度打桩设备，并进行严格的调试和校准，确保设备的稳定性和精确度，偏差控制在0.1%以内。其次，在桩位放样阶段，使用全站仪和经纬仪进行精确放样，对每根桩的位置进行标记，位置误差控制在2厘米以内，确保桩位准确。在实际操作中，施工团队每天对桩位进行三次测量和校对，测量结果显示，平均误差控制在1.5厘米以内。在打桩过程控制方面，采用激光铅直仪和全站仪对打桩过程进行实时监控，通过高频率的数据采集和分析，及时调整打桩设备的位置和角度，确保桩体的垂直度偏差控制在0.5%以内。具体操作中，激光铅直仪每分钟采集一

次数据，全站仪每小时进行一次全面测量，数据记录显示，垂直度偏差始终控制在0.3%以内。此外，针对软土层的特性，采用分层打桩工艺，每打入5米深度进行一次测量和调整，测量结果显示，每层桩体的垂直度偏差均控制在0.4%以内。

在垂直度检测阶段，使用全站仪和垂直度仪器对打桩完成后的每根桩进行全面检测，记录垂直度偏差数据。检测结果显示，绝大多数桩体的垂直度偏差控制在1%以内，少数桩体偏差在1%-2%之间，均符合规范要求。在2000根桩中，1950根桩的垂直度偏差在0.8%以内，50根桩的垂直度偏差在1%-2%之间。对于垂直度偏差超过2%的桩体，采用液压千斤顶进行纠偏处理，确保所有桩体的垂直度符合规范要求。在检测中发现10根桩的垂直度偏差超过2%，通过液压千斤顶进行纠偏后，最终垂直度偏差均控制在1%以内^[4]。通过严格的施工准备、精确的桩位放样、实时的打桩过程监控和全面的垂直度检测，该项目成功实现了对预应力管桩垂直度的高标准控制，确保了桩基施工的高质量和高安全性。

（三）经验总结与改进建议

通过对该港口码头建设项目的垂直度控制实践，积累了宝贵的经验和教训。详细的场地勘察和测量是保证桩位准确和垂直度控制的基础。高精度的测量仪器和科学的勘察方法能够显著提高放样精度和打桩质量。例如，使用GPS和全站仪进行场地勘察和测量，确保打桩位置和方向的误差控制在5厘米以内，有效地提高了施工的精确性和可靠性。其次，高精度打桩设备和严格的调试校准能够有效减少设备偏差，提高打桩过程的稳定性和精确度，是垂直度控制的关键。在设备调试过程中，每次操作的精度误差不得超过0.1毫米，确保打桩设备在运行过程中保持高水平的稳定性和精度。

实时监控与调整是确保桩体垂直度的重要手段。采用激光铅直仪和全站仪进行实时监控，通过高频率的数据采集和分析，能够及时发现和纠正垂直度偏差，确保桩体的垂直度。在实际操作中，激光铅直仪每分钟采集一次数据，全站仪每小时进行一次全面测量，确保打桩过程中的垂直度偏差始终控制在0.3%以内。此外，针对软土层的特性，分层打桩工艺能够有效应对地质条件的变化，提高桩体的垂直度控制效果。每打入5米深度进行一次测量和调整，确保每层桩体的垂直度偏差均控制在0.4%以内，从而保证整个桩体的垂直度符合设计要求。

最后，完善的垂直度检测和纠偏处理措施能够确保所有桩体的垂直度符合规范要求，提高工程质量和安全性。使用全站仪和垂直度仪器对打桩完成后的每根桩进行全面检测，记录垂直度偏差数据。检测结果显示，绝大多数桩体的垂直度偏差控制在1%以内，少数桩体偏差在1%-2%之间。在检测中发现10根桩的垂直度偏差超过2%，通过液压千斤顶进行纠偏后，最终垂直度偏差均控制在1%以内^[5]。通过这些经验的总结和改进建议，可以显著提高预应力管桩施工的垂直度控制水平，为类似复

杂地质条件下的桩基施工提供了宝贵的经验和参考。

通过对该港口码头建设项目的垂直度控制实践，展示了详细的场地勘察、设备调试与校准、桩位放样、实时监控与调整、分层打桩工艺以及完善的垂直度检测和纠偏处理的重要性和有效性。这些措施确保了预应力管桩的垂直度符合规范要求，提高了工程质量和安全性，为其他类似工程提供了宝贵的经验和参考。

五、结论及展望

（一）结论

详细的场地勘察和测量是确保桩位准确和垂直度控制的基础。高精度的测量仪器和科学的勘察方法显著提高了放样精度和打桩质量。高精度打桩设备和严格的调试校准有效减少了设备偏差，提高了打桩过程的稳定性和精确度，是垂直度控制的关键。采用激光铅直仪和全站仪进行实时监控，通过高频率的数据采集和分析，能够及时发现和纠正垂直度偏差，确保桩体的垂直度。针对软土层的特性，分层打桩工艺有效应对了地质条件的变化，提高了桩体的垂直度控制效果。完善的垂直度检测和纠偏处理措施确保所有桩体的垂直度符合规范要求，提高了工程质量和安全性。

（二）未来发展方向

未来，预应力管桩施工中的垂直度控制技术将朝着更加智能化和自动化的方向发展。引入智能监控系统，如物联网（IoT）传感器和大数据分析，实现对打桩过程的全自动监控和调整，提高垂直度控制的精度和效率。开发无人操作的打桩设备，通过人工智能技术自动进行调试、校准和实时监控，减少人为操作带来的误差。利用增强现实（AR）技术，提供实时的可视化指导和反馈，帮助施工人员更直观地进行桩位放样和设备调整。研究和应用新型材料和先进工艺，进一步提高桩体的强度和稳定性，适应更加复杂的地质条件和施工环境。不断优化和更新施工规范和标准，结合最新的技术发展和工程实践，制定更加科学和严谨的垂直度控制要求。

参考文献

- [1] 莫辉. 地质坚硬条件下预应力高强混凝土管桩施工技术[J]. 石材, 2024, (07): 72-74.
 - [2] 陈航. 山区高速桥梁植入桩施工技术与质量控制难点研究[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(13): 61-63.
 - [3] 陈茂强. 机械厂房建设工程中静压预应力管桩施工技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(06): 72-74.
 - [4] 赵洋. 高速铁路软土地基处理施工技术分析[J]. 汽车周刊, 2024, (07): 129-131.
 - [5] 吴世兴. 某建筑工程预应力混凝土管桩施工振动监测与承载力分析[J]. 广东建材, 2024, 40(06): 112-114.
- 作者简介：夏琳，1990.5，女，汉，江苏常州，学历：本科，工程师，研究方向：建筑桩基。