

机械连接法在预应力混凝土竹节桩施工中的应用与效果分析

魏思雨

中国能源建设集团浙江火电建设有限公司，浙江杭州，311200；

摘要：预应力混凝土竹节桩因其独特的凹凸截面设计，在承载力和适用性方面具有显著优势，但传统焊接接桩方式存在效率低、质量波动大、耐久性不足等问题。本文结合市政供水一体化工程与海上风电集控中心项目的实践，探讨了机械连接法在竹节桩施工中的应用效果。研究表明，该方法通过螺纹端盘、螺母及环氧树脂密封的组合，实现了高效、可靠的连接，保证了桩基受力的连续性和耐久性。在施工效率、成本控制及环保性方面，机械连接法均表现出明显优势。实践经验表明，该工艺具有较高的推广价值，为类似工程提供了可借鉴的施工路径。

关键词：机械连接法；预应力；混凝土竹节桩施工；应用

DOI：10.69979/3029-2727.25.11.023

引言

桩基工程对于建筑物和基础设施安全运行起着重要作用保障作用，其中接桩工艺的好坏会直接影响到整体工程质量^[1]。传统焊接工艺虽然应用范围较为广泛，但由于受到人为操作水平与外部环境影响，常常出现施工周期长以及焊缝质量不稳定等问题，很难满足现代工程对效率和可靠的双重需求。机械连接法作为一种新型工艺，借助机械咬合和密封材料相互配合，形成了更加规范且可控的连接模式，该技术在提高承载力、延长使用寿命以及提升施工效率方面呈现出良好效果。

1 机械连接法的工艺原理与技术特点

预应力混凝土竹节桩凭借其独特的凹凸结构，在承载力和稳定性上优于常规管桩，桩段间高效连接是保证其性能的重要环节^[2]。机械连接法的基本原理是利用预制端盘和螺纹端盘机械咬合，通过高强度螺母锁紧作用将上下两节桩可靠结合成一体，这种方式能在轴向压力传递时有效承受弯矩和剪力，还能在一定程度上抵抗拉力，使桩基整体受力更均衡。通过这种连续受力体系，竹节桩能更充分发挥其结构优势，为基础工程提供稳定支撑。

与焊接工艺相比，机械连接避免了高温对混凝土和钢筋端部热损伤，减少了裂缝和强度衰减风险，连接过程仅依赖机械紧固和材料密封，不会产生光污染和烟尘，对施工环境和人员健康更加友好^[3]。在密封处理方面，常配合使用环氧树脂等材料对接口形成致密保护层，这一措施既阻止了地下水中盐分及有害离子对金属构件侵蚀，也提升了桩基在复杂地质环境中耐久性。长期运行条件下，接头部位防护性能直接关系到桩基寿命，机械连接加密封组合方式能显著延缓材料劣化。这一工艺在施工效率方面也有着突出的优势。传统焊接接头通常

需要花费较长时间冷却以及进行多层焊缝处理，而机械连接只需要完成螺母紧固和密封工作就能快速进入到下一工序，这就使得整体工期得到了有效压缩。在大规模群桩工程中，这一优势表现尤为明显，它不仅缩短了建设周期，还降低了人工与机械的投入成本。标准化的操作流程减少了施工对人员技能的高度依赖，使质量变得更加稳定可控。

综合来看，机械连接法在可靠性、耐久性、环保性和施工效率等方面展现出多重技术优势。其原理强调受力的连续性与密封的完整性，特点体现在质量控制可预期、工序简化和环境友好等多个层面。这一工艺为预应力混凝土竹节桩的推广提供了有力支撑，也为基础工程的安全与可持续建设奠定了坚实基础。

2 机械连接法的施工工艺流程与操作要点

2.1 测量与放样定位的控制要求

测量与放样是施工精度控制的起始点^[4]。借助全站仪或者激光定位设备，将设计坐标准确无误地投射到施工场地，并且在桩位中心的位置设置明显易见的标记，配合使用护桩措施保障后续施工的连续性。在操作的过程中，测量人员会按照仪器给出的角度和距离实时校正位置，让桩位中心和设计坐标始终保持一致。针对不同截面的竹节桩，采用环形或者方形线绳定位的方法，以此确保放样边界线能够清晰可见。通过这种方式，能够将累积误差控制在规范允许的范围之内，同时方便后续桩机就位以及垂直度复核。高精度的测量与放样不仅是保证桩基承载性能的前提条件，也是控制整体施工质量的重要环节。

2.2 桩机就位、垂直度调整与吊装工艺

桩机进场以后，要在坚实平整的场地上进行安装调

试工作，使用经纬仪或者激光设备对导杆进行复核操作，以此确保桩机在两个方向上的垂直度都能满足施工要求。吊装时竹节桩会用钢丝绳捆绑在特定的位置，依靠起重机逐步提升让其处于接近垂直的状态。为防止桩身出现摆动或者磕碰的情况，吊装速度需要保持均匀平稳，并配合地面人员调整位置。桩尖进入桩位中心时要再次检查垂直度并做微调，保证后续沉桩过程具备良好的稳定性。整个环节要求设备和人员密切配合，形成机械与人工共同进行控制的有效体系，最终让桩身能够顺利过渡到插桩这个阶段。

2.3 螺纹端盘、螺母与环氧树脂密封的安装工序

在连接工序中，端盘和螺母的紧固属于关键环节。施工之前要对接口部位进行清理，确保其表面没有锈蚀油污以及各类杂质，从而获得良好的贴合效果。在将螺母套入端盘连接螺栓之后，先进行人工预紧，接着使用电动扭矩扳手按规定扭矩完成紧固，让受力变得更加均匀。紧固完成以后，要在接口处均匀涂抹环氧树脂，以此填充缝隙并且形成密封层结构。树脂的性能不仅体现在防水和防腐方面，还能够增强接口部位的整体性能，密封完成的接头外观平整且没有明显间隙。同时，材料适量溢出接口标志着安装达到预期效果，这一环节保证了桩基在复杂环境下的耐久性和稳定性。

2.4 静压与锤击施工的差异与适用条件

沉桩方式直接关乎施工效率与地基稳定性。静压工艺借助液压系统缓慢施力将桩压入土中，适用于对振动与噪声敏感的场地，能保证垂直度且记录压桩力与贯入度数据判定持力层情况。锤击工艺利用桩锤冲击力分次击入适应较硬土层或有卵石层的地质环境，可在较短时间内完成沉桩作业。两种方法在操作方式和适用范围方面各有侧重，施工单位一般结合场地地质条件、工程设计要求以及环境约束来选择不同的方法。合理匹配沉桩方法有助于发挥机械连接竹节桩性能优势，并确保整体工期与工程质量。

2.5 质量控制标准及检测手段

为保证施工质量，需在全过程建立系统化检测机制^[5]。材料进场时要进行外观与力学性能检验，确保桩材螺母及密封材料符合设计标准。沉桩过程中要控制垂直度偏差在0.5%以内，并对桩顶标高与入土深度进行实时监测。接桩完成后要通过承载力试验低应变动力检测等手段验证桩体性能，对关键工序如螺母拧紧和环氧树脂涂抹采用专用检测工具，确认安装精度与密封效果。数据记录与过程复核贯穿施工全过程，形成质量追溯体系。通过严格控制与检测，确保机械连接法优势充分发挥，

为工程长期安全与耐久性提供保障。

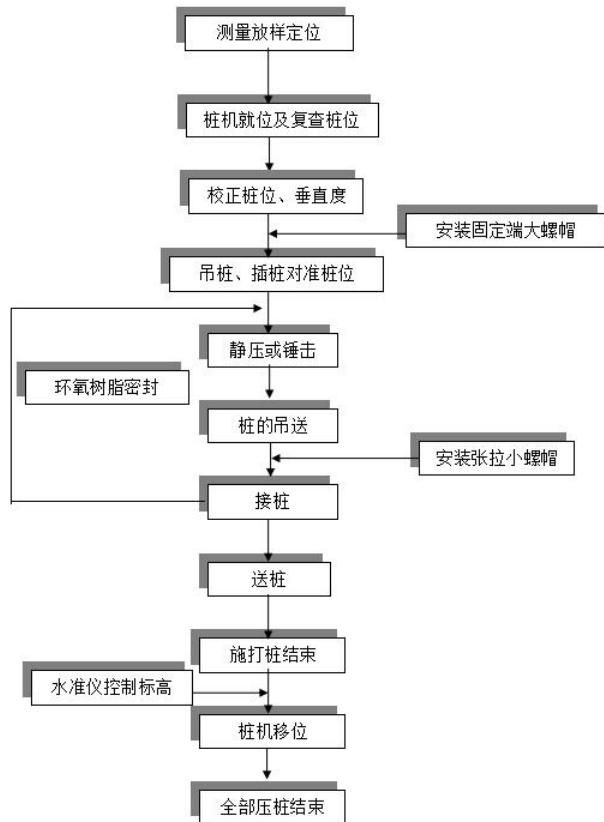


图1 工艺流程图

3 工程应用案例分析

3.1 工程一：市政供水一体化工程应用

3.1.1 工程概况

这一工程是大规模的市政基础设施建设项目，主要目标是提升农村饮用水供水能力与水质保障水平。设计方案中，大量基础构筑物用预应力混凝土竹节桩被作为主要承载构件。单桩承载力设计值较高，总桩数超过了1千根，桩长总计达到数万米，施工体量较为庞大。鉴于施工周期紧张、质量要求严格且地下水环境复杂，传统焊接工艺在效率和可靠性上难满足实际需求，因此项目团队决定全面采用机械连接法完成桩基施工。

3.1.2 工艺实施过程

在施工过程中，测量放样工作作为首要环节受到施工团队的高度重视。现场采用全站仪定位和护桩措施确保每根桩位的准确性。桩机进场以后，施工人员对设备进行严格调试，通过经纬仪双向复核保证导杆垂直度达规范要求。在桩身吊装过程当中，操作人员将吊点设置在最佳位置，起吊与下放都保持缓慢稳定避免桩体偏移碰撞。接桩环节中，施工团队严格依照机械连接工序操作，螺母安装采用电动扭矩扳手控制力矩，确保接口受力均匀。接口处涂抹环氧树脂，在起到密封作用同时增强整体性。完成接桩之后，桩体继续通过静压方式缓慢压入土层，过程中实时记录压桩力与贯入度作为入持力

层判断依据。沉桩完成之后，再次利用水准仪检测桩顶标高保证落实设计要求。

3.1.3 应用效果与质量评价

该工程采用机械连接法，应用结果显示，在施工效率方面，单根桩的接桩时间实现大幅缩短，整体工期比预期提前了一个多月，有效缓解市政工程中工期紧张问题。质量检测结果表明，桩身垂直度偏差始终控制在0.5%以内，承载力实测值满足且部分超过设计标准，环氧树脂密封的效果明显。在长期受地下水浸泡的条件下，接头部位未出现渗漏或锈蚀的迹象，耐久性得到了充分保障。

3.2 工程二：海上风电集控中心项目

3.2.1 工程概况

本工程是新能源配套基础设施建设项目，场址位置靠近海岸区域，地质条件相对较为复杂，地下水的含盐量较高，周边环境盐雾腐蚀情况严重。主要的建筑物涵盖集控楼、生产综合楼以及附属设施，桩基采用预应力混凝土竹节桩作为主要承载体系。单桩承载力的要求设定十分严格，总桩数超过一百根，总长度更是超过了六千多米。由于项目位于海边，桩基结构必须同时兼顾抗腐蚀性能与长期稳定性，因此，机械连接法加环氧树脂密封成了最优方案。

3.2.2 施工特点与难点

该项目的特殊之处在于施工环境给材料和工艺带来较大挑战。沿海地区空气湿度大且盐分含量高，普通焊接接头容易因焊缝缺陷和应力集中加速腐蚀，这会导致桩基的使用寿命缩短，机械连接法在这种环境下的优势能够得到充分发挥。施工时，连接件和螺母在安装之前都要进行严格检测，确保无锈蚀、无变形。螺纹加工精度必须达到相应要求，涂抹环氧树脂这一过程尤为关键，施工人员要在接口处进行均匀涂覆，保证材料能够充分填充，接口部分要略有溢出，保证密封完整性。在沉桩方式的选择方面，考虑到沿海软土层比较厚，部分区域还存在夹砂层，项目团队综合采用静压与锤击相结合的方式，在软土区域优先使用静压方式，减小振动和降低噪声，在硬土或者夹砂层部位，改用锤击完成贯入，两种工艺相结合既保证了施工进度，又确保了桩基贯入深度与承载力。

3.2.3 应用效果与耐久性体现

结果显示，单桩承载力不但符合设计数值，还具备一定的安全余量。低应变检测结果表明桩身完整性良好且接头部位未发现缺陷。在长期耐久性方面，环氧树脂密封有效阻隔盐分和地下水侵蚀，使桩端部件施工后无锈蚀迹象。与传统焊接方式可能产生的裂缝与气孔相比，机械连接法明显降低了质量风险。从施工效率角度看，接桩时间缩短让整体工期提前完成，保证项目如期交付。

在经济层面，机械连接工艺通过减少机械使用时间和人工投入降低总体施工成本。在社会效益层面，该方法避免焊接过程可能产生的烟尘和高温危害，改善施工环境，符合绿色施工和可持续发展要求。

对两个工程进行应用对比后能够看出，机械连接法在不同环境下都展现出良好的优越性。在市政供水工程中，其能够解决传统工艺效率低、质量波动大的问题；在沿海风电工程中，其在抗腐蚀和耐久性方面起到重要作用。两类项目实践表明该工艺具备普适性和适应性，既能满足大规模市政基础设施建设需求，也能应对复杂环境下新能源工程挑战。不管是缩短工期和降低成本，还是提升质量与增强耐久性，机械连接法都展现强大综合优势。

更重要的是，该方法应用推动施工工艺标准化和环保化，减少对施工人员经验的依赖，为行业提供可复制可推广的模式。这种模式在未来基础工程建设中有广泛应用前景，尤其适合工期紧质量要求高且环境条件复杂的项目。

4 结束语

机械连接法用在预应力混凝土竹节桩施工当中展现出效率高、质量稳、耐久性强以及环保友好的综合优势。经过典型工程案例的验证，该工艺不仅在工期和成本方面具备优势，还在复杂环境下表现出优异的适应性，尤其是在抗腐蚀和长期稳定性方面效果显著。与传统焊接工艺相比，其标准化和可控性更强，减少了人为因素带来的不确定性。在未来市政基础设施、港口水利以及新能源工程中，该工艺均具备较大的推广价值。随着技术不断完善以及应用范围逐渐扩大，机械连接法有希望成为预应力混凝土竹节桩施工的重要发展方向，为工程建设的高质量与可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 张能钦. 预应力混凝土竹节桩承载性能研究[D]. 合肥工业大学, 2016.
- [2] 廖立新. 浅析机械连接先张法预应力混凝土竹节桩的应用[J]. 信息化建设, 2015, No. 205 (09): 157. DOI: C NKI: SUN: XXJS. 0. 2015-09-121.
- [3] 李龙. 机械连接先张法预应力混凝土竹节桩生产工艺及技术分析[J]. 华东科技: 综合, 2020 (4): 2.
- [4] 马海超. 钢筋的机械连接与焊接技术研究[J]. 汽车博览, 2024 (10).
- [5] 鲁伟. 预应力混凝土方桩抗拔静载荷试验桩端连接方法探析[J]. 房地产世界, 2025 (8).

作者简介：魏思雨，1992年1月18日，男，汉族，中国能源建设集团浙江火电建设有限公司，大学本科，中级工程师，主要研究方向：地基与基础工程。