

弹卡式连接预应力混凝土方桩在地库基础中的应用

王磊

民航机场建设工程有限公司 天津 300456

【摘要】：随着建筑行业的快速发展，地基基础的施工技术不断革新。弹卡式连接预应力混凝土方桩作为一种新型桩基础形式，以其独特的连接技术和结构特点逐渐在工程实践中得到应用。本论文系统阐述了弹卡式连接预应力混凝土方桩的施工方法，通过对比弹卡式连接预应力混凝土方桩与先张法预应力混凝土管桩在地库基础中应用的优缺点，分析弹卡式连接预应力混凝土方桩在施工方法、经济效益、绿色环保等方面的优势。研究成果为桩系设计体系优化提供参考依据，具有重要的工程实践意义。

【关键词】：弹卡式连接预应力混凝土方桩；地库基础；施工方法；优势

DOI:10.12417/2811-0536.25.11.054

引言

在目前建筑施工领域中，工程桩基础是建筑物重要的组成部分之一，预制预应力混凝土管桩作为一种性能稳定、可靠度较高的成熟桩型被广泛应用到各类工业与民用建筑中，预制预应力混凝土管桩承压性能好，但是在抗拔性能方面，弹卡式连接预应力混凝土方桩比管桩有着更加明显的优势，对于相同的截面积，圆形截面的周长小于方桩截面，而抗拔桩主要靠周边摩擦阻力来抵抗拉力^[1]。因此，管桩提供的桩侧摩擦阻力小于相同截面的方桩。在地库基础中，采用弹卡式连接预应力混凝土方桩不仅能够提高抗拔力，而且施工效率高，其无需灌芯，在节约造价方面有很大的应用价值。本文旨在通过理论推导与实证案例分析相结合的方法，系统阐述弹卡式连接预应力混凝土方桩的施工工艺及其在地基中的应用效果。通过对该桩与先张法预应力混凝土管桩在地库施工中的对比分析，深入探讨其施工工艺与经济环保的优势。实践成果不仅能提供理论支持，还能为桩系设计体系优化提供重要参考依据。



图1 弹卡式连接预应力混凝土方桩施工图 图2 先张法预应力混凝土管桩施工

1 工程概况

南湖区政府重大民生项目之一，总规划用地面积约 61671m²，总建筑面积 160900.53m²。根据地勘情况以及项目设计策划，其工程桩设计等级为甲级，主楼下方区域的地库基础设计的是先张法预应力混凝土管桩，纯地库区域的基础设计的是弹卡式连接预应力混凝土方桩；方桩桩身边长均为 450mm，包括桩长 20m 的 1422 套、桩长 22m 的 321 套、桩长 25m 的 214 套、桩长 30m 的 184 套、桩长 36m 的 6 套、共计 2147 套，总长 46588m。

兴市南湖区政府重大民生项目之一，总规划用地面积约 61671m²，总建筑面积 160900.53m²。根据地勘情况以及项目设计策划，其工程桩设计等级为甲级，主楼下方区域的地库基础设计的是先张法预应力混凝土管桩，纯地库区域的基础设计的是弹卡式连接预应力混凝土方桩；方桩桩身边长均为 450mm，包括桩长 20m 的 1422 套、桩长 22m 的 321 套、桩长 25m 的 214 套、桩长 30m 的 184 套、桩长 36m 的 6 套、共计 2147 套，总长 46588m。

2 施工工艺

(1) 材料准备工作。①配置液压静力压桩机一台（设备型号 ZYC960B）、配重≥450t，专用电动扳手 1 个、专用手动扳手 2 个、铁刷子 1 个。②对进场的预制桩进行验收，预制桩验收时供货方需出具与预制桩标志相一致的合格证、砼抗压强度报告、钢材、水泥、砂、石料合格证及复试记录。

(2) 相关技术参数。

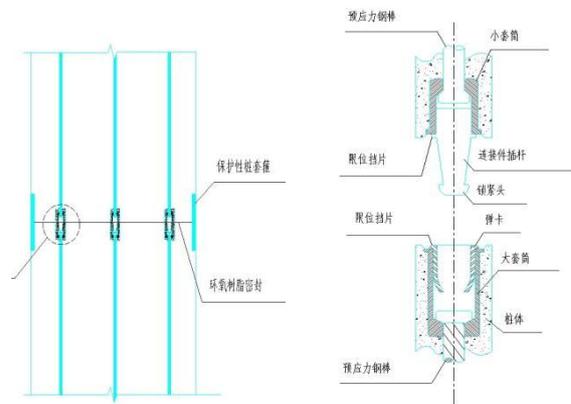


图3 弹卡式连接详图

作者简介：王磊，男（1993—），汉族，安徽淮南人，大学本科，工程师，建筑电气与智能化专业，现为民航机场建设工程有限公司第六总经理部主管施工员，研究方向是房建工程。

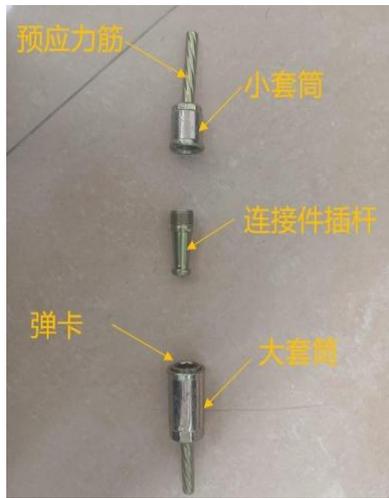


图4 弹卡式连接实物图

(3) 工艺流程。测量放线、定桩位→桩机就位→吊桩→对中、调直→第一节沉桩→安装弹卡连接件→涂抹防腐密封材料→对接→再沉桩→送桩器送桩→终止沉桩→移机进入下一桩位→桩孔回填。

(4) 施工方法及操作要点。

①施工测量及桩位控制：a.首先和甲方在现场交接定位点，然后根据各点的坐标进行校测并检查标高。校测完成后，需要利用全站仪等测量仪器放出各中心控制网，并进行严格的闭合复查。b.根据工程实际需要，在施工过程中利用建设单位提供的控制点对现场建立的测量控制网点进行不定期的检验校正，提高施工测量准确性。c.按图施测，精准放样，确保工程桩定位与设计一致，并且用石灰粉做好标记。

②桩机就位：ZYC960B 液压静力压桩机进行安装调试完成设备检查后，启动桩机行走装置，平稳移动桩机至目标桩位，行进过程中需保持底盘水平稳定；定位时使夹持钳口中心与地面石灰标记对齐，配合桩机 GPS 定位系统进行精确定位，允许偏差 $\leq 2\text{cm}$ ；通过水平气泡仪调平桩机底盘，完成定位后需进行复核确认；施工过程中须持续监测并确保桩机保持垂直稳定状态，严禁出现倾斜现象。

③吊桩：在预制桩的吊装施工过程中，操作必须严格按照规范执行，以保证施工的安全性和质量。根据桩身标识起吊，检查桩两端面制作的尺寸偏差，无损后方可起吊施工。对于桩长 $\leq 15\text{m}$ 的预制桩节，可采用压桩机自带工作吊机进行吊装喂桩，或配备专用吊机辅助作业。采用两支点法吊装时，吊点位置应距离桩端 0.207 倍桩长，确保吊运平稳。吊起桩节后，应缓慢移动，将桩端平稳送入夹桩钳口，人工辅助扶正定位，确保桩身垂直对中。

④对中、垂直：桩机就位后，由专人指挥操作人员将方桩缓慢下放至离地面约 10cm 处，夹持稳固，然后微调压桩机，确保桩位精准对正，随后将桩压入土层 0.5~1.0m。暂停压桩，采用两台经纬仪在桩身正交方向（X/Y 轴）同步监测垂直度，确保首节桩垂直度偏差 $\leq 0.3\%$ ，经复核确认垂直度符合要求后，方可继续压桩施工。

⑤沉桩：用经纬仪观测桩的垂直度，并指挥桩机进行反复多次调整，第一节桩插入地面 0.5~1.0m 时，应严格控制桩的垂直度，偏差不得大于 0.3%^[2]。启动压桩机，保持桩身垂直，匀速将桩压入土体，压桩速度应控制在 2~3m/min 范围内，避免速度过快影响成桩质量，压桩过程中，应使用水准仪实时监测桩顶标高，确保送桩高度符合设计要求，误差不得超过规范允许范围。

⑥安装弹卡连接件：待桩身入土部分达到稳定状态，且桩头高出地面 $\geq 1.0\text{m}$ 时，方可进行弹卡连接件安装作业，严禁在桩未就位或桩头未达到规定高度前提前安装弹卡连接件。

⑦涂抹防腐密封材料：在下节桩端面全截面涂抹专用防腐密封材料不得少于 810g。防腐密封材料由环氧树脂、T-31 环氧树脂固化剂按照 1: 0.2 的比例组成，涂刷时环境温度宜在 10℃~38℃，相对湿度不应大于 80%；当温度低于 10℃，环氧树脂、固化剂不能有效反应，可加热处理，加热温度宜控制在 30℃~50℃，并应立即使用^[2]。



图5 涂抹防腐密封材料

⑧对接：将连接件插杆缓慢、垂直插入下节桩弹卡内，依靠上节桩自重自然咬合到位。检查防腐密封材料填充情况，确保接口处密封胶均匀溢出，形成完整密封层，严禁通过桩机行走或强行调整方式校正拼接后的桩身垂直度，垂直度偏差应在拼接前完成修正。连接部位必须深入原状土层 $\geq 3\text{m}$ ，并确认桩身稳定后，方可解除起吊辅助装置。

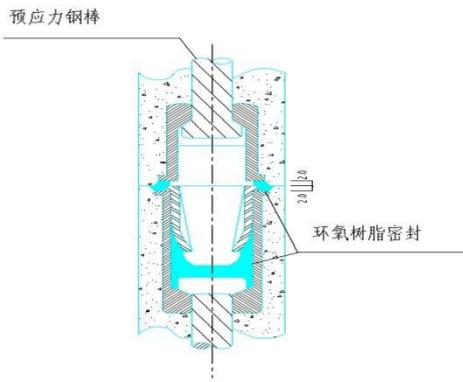


图6 弹卡对接完成构造图

⑨再沉桩：在检查接桩质量以及桩身垂直度后，继续沉桩。

⑩送桩器送桩：当桩顶设计标高低于自然地面时，需要采用送桩工艺完成终压作业。送桩器截面尺寸、形状需与工程桩完全匹配，确保压力传导均匀，送桩器应具有 ≥ 1.5 倍设计压桩力的强度和刚度，且长度需满足超深送桩需求。

在送桩器上每10cm间隔标注刻度，并重点标出最终1m位置线；进入最后1m时，采用 $\leq 0.5\text{m/min}$ 的慢速压入，并实时记录压力值变化。

⑪稳压：当同时满足以下两个条件时，应终止压桩作业：压桩力达到设计荷载值；桩端进入设计持力层深度符合要求。停止正常压桩后立即进行稳压，连续实施3次，每次稳压持续时间5~10秒，稳压压力不得低于最终压桩力。

⑫桩孔覆盖：桩机移开后，立即对桩孔用土进行覆盖。

(5) 质量控制措施。

①弹卡式连接方桩进场后应逐件对方桩质量进行检查，确保方桩质量合格。

②压桩过程中应经常观测桩身的垂直度，垂直度偏差不宜大于0.5%。当桩身垂直度偏差大于0.5%时，应找出原因并设法纠正^[3]。

③压桩过程中必须全程观察桩身混凝土状况，重点关注桩头、接桩部位及转角处的完整性，发现裂缝、掉角等损伤时要立即停止压桩作业，记录缺陷位置、形态及深度，分析原因并制定专项处理方案并经监理确认，采取加固措施后方可继续施工。

④弹卡连接件控制措施：a.核对弹卡连接件规格型号与设计文件一致性，检查套筒、插杆、密封件等组件的出厂合格证明并实测关键尺寸公差。b.拼桩作

业前，应拆除套筒端部的临时保护盖，并检查密封面是否完好。c.在上节桩的底部套筒中装入连接插杆，在下节桩的顶部套筒内安装弹卡部件。d.弹卡连接件安装完成后，需使用专用扳手拧紧，直至中间及尾部的限位挡片与套筒开口边缘对齐，方视为合格。e.防腐密封材料涂抹作业应在2min以内完成。防腐密封材料初凝时间 $\leq 6\text{h}$ ，终凝时间 $\leq 12\text{h}$ ，若因施工中断导致延迟，材料应在拌制后4h内用完，超时废弃处理。f.由专职指挥人员统一发令，缓慢调整上下节桩位置，确保两节桩轴线对正，偏差 $\leq 2\text{mm}$ 。g.严禁采用弹卡连接方桩代替送桩器，送桩作业必须使用符合设计要求的专用送桩设备。

3 弹卡式连接预应力混凝土方桩应用优势

在地库基础中使用弹卡式连接预应力混凝土方桩与使用预应力管桩相比，主要有经济环保、施工便捷、抗拔承载力高、节省工期等方面的优势。

3.1 节约成本方面的优势

根据实践研究发现，弹卡式连接预应力混凝土方桩与管桩相比，无需放置钢筋笼、无需灌芯、整体可节省造价371.76万元，见表1。

表1 南湖医院项目造价成本分析

工程桩类型	综合单价费用	灌芯混凝土费用	钢筋费用	费用合计	费用差值
预制钢筋混凝土管桩 (PHC600A B110)	270.26元 /m*4658 8m=125 9.09 万元	571.96元 /m ³ *0.113m ³ C 35微膨胀混凝土 /m*18m*214 7套=249.78 万元	6022元/t*(6根 *18m*2.98kg/m+112.8m*0.395kg/m)*21 47套=473.7 万元	1982.5 7万元	371.76 万元
弹卡式连接预应力混凝土方桩 (X-PRS-45 0)	340.97元 /m*4658 8m=158 8.51万 元.	0	6022元/t*12根*0.72(锚固长度)*2147套 *2kg/m=22.3 万元	1610.8 1万元	

3.2 抗拔单桩承载力方面的优势

相同截面尺寸的桩体中，弹卡式连接预应力混凝土方桩较传统管桩具有显著更高的抗拔承载力。这一优势主要源于两方面：其一，方桩的实心截面使其与土体的接触面积更大，桩土摩擦阻力更强；其二，弹卡式机械连接的抗拉强度优于焊接接头，能更充分发挥桩身材料的抗拔性能。在实际工程设计中，这一特性可降低对抗拔桩数量的需求，从而显著减小承台尺寸（约可缩减10%-15%投影面积）及配筋率（钢筋用

量可减少8%-12%)。

3.3 施工方面的优势

弹卡式连接技术通过标准化机械啮合实现接桩，相比传统管桩的焊接工艺具有两大突破性改进：(1) 工序简化：无需焊前清理、预热及焊后冷却，单次接桩时间由焊接工艺的25-30分钟缩短至5-8分钟，效率提升300%以上。南湖医院项目施工实测显示，30米长桩的接桩总耗时从90分钟降至20分钟。(2) 质量可控性增强：采用弹卡式连接接头，避免了焊接质量受作业环境(如潮湿、大风)及操作人员技术水平的影响，接头强度离散性由焊接接头的±15%降低至±5%。

采用弹卡式连接方式连接，是预制桩行业的技术革新，接桩时上下对接，接桩速度很快，相比管桩的焊接方式大大提高了施工效率。

3.4 绿色环保方面的优势

(1) 材料利用率高，减少资源浪费：方桩截面设计更优：方桩的截面形状(方形)比圆形管桩在堆放和运输时空间利用率更高，相同体积下可承载更多桩体，减少运输能耗。

减少混凝土用量：弹卡方桩通过优化配筋和预应力技术，在相同承载力下可比管桩节省约8%~12%的材料费用，减少不可再生资源消耗。

(2) 减少污染与噪音：无焊接烟尘：传统管桩焊接接头会产生有害气体(如CO₂、臭氧)，而弹卡方桩的机械连接完全避免此类污染。

噪音控制：方桩施工因连接速度快，整体噪音暴露时间短于管桩。

采用弹卡式连接预应力混凝土方桩能够符合低碳建筑理念，推动基础工程的绿色化与可持续发展。

4 弹卡式连接预应力混凝土方桩应用领域及不足

弹卡式连接预应力混凝土方桩是一种新型预制桩基础，主要适用于对抗拔性能要求较高的地下建筑工程^[4]。其核心应用领域包括：纯地下车库、地下管廊、

地铁车站等地下结构，以及需要承受较大上浮力的基坑支护工程。该桩型通过弹卡式机械连接实现快速接桩，具有施工速度快、连接可靠度高、抗拔性能优越等特点，尤其适合在工期紧张且对抗拔要求严格的项目中推广应用。然而，弹卡式连接预应力混凝土方桩在实际应用中也存在若干明显不足：

(1) 生产供应体系尚不完善。目前具备弹卡式连接方桩生产能力的企业数量有限，且地域分布不均，导致部分区域难以保证及时供货，增加了项目采购成本和工期风险。特别是在中西部地区，供应链不完善的问题更为突出。(2) 结构性能存在固有缺陷。相较于圆形管桩，方桩截面受力不均匀，在承受水平荷载时存在应力集中现象。同时，方形截面导致桩端阻力增大，在穿越密实砂层、砾石层等坚硬土层时表现出较差的穿透能力，容易引发沉桩困难或桩身损伤^[5]。

(3) 设计施工规范体系有待完善。目前针对该桩型的国家标准和地方规范尚不健全，在设计计算、施工质量控制等方面缺乏统一标准，影响了工程应用的可靠性。(4) 经济性存在局限。由于生产工艺复杂且产量有限，其单方造价通常高于传统预应力管桩，在一般民用建筑项目中性价比优势不明显。

未来需要通过扩大产业规模、优化截面设计、完善标准体系等措施，进一步提升该桩型的综合竞争力。特别是在沿海软土地区和地下空间开发重点区域，其抗拔性能优势仍有较大发展空间。

5 结语

弹卡式连接预应力混凝土方桩在南湖医院建设项目地库基础中的成功应用，充分展现了其显著的技术优势和经济环保方面的效益。该桩型大幅提升了施工效率，较传统焊接工艺节省约30%的工期，不仅提高了地下车库的抗浮性能还大大减少了工程造价，并且符合绿色建筑要求，实现了工程效益，随着工程效益的凸显，弹卡式连接预应力混凝土方桩在深基坑支护、地下空间开发等领域的推广应用将成为行业发展趋势。

参考文献：

- [1] 吴水根,康殿丙.先张抗法方桩应用研究及技术经济分析[D].上海:中同济大学建筑工程系,2009.
- [2] 王云飞,陈刚,等.弹卡式连接预应力混凝土方桩接头抗拉性能研究[J].防灾减灾工程学报,2018, 38(6):1003-1011.
- [3] 朱明.关于弹卡式连接预应力混凝土方桩的造价浅析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(12):362-363.
- [4] 樊华,蒋元海,等.预应力混凝土方桩弹卡连接方式及应用研究[J].混凝土与水泥制品,2020(4):33-36.
- [5] 刘帅,刘佰坤,韩磊.XC弹卡式连接预应力混凝土方桩施工技术[J].建筑,2022(5):94-96.