

气动潜孔锤在硬岩地层桩基施工中的应用

文 / 李德森 济南市交通工程质量与安全中心

袁 哲 济南市交通工程质量与安全中心

蔡馨茹 济南市交通工程质量与安全中心

冯 涛 济南市交通工程质量与安全中心

摘要: 桩基施工作为基础工程中的一种重要形式,广泛应用于建筑、桥梁等大型工程项目中。在硬岩地层中进行桩基施工面临着诸多挑战,如硬岩的高强度和低变形特性,使得传统的施工方法往往无法满足施工效率的要求。气动潜孔锤作为一种新型的打桩工具,凭借其独特的工作原理和优良的施工性能,逐渐在桩基施工中得到应用。文章立足于气动潜孔锤的优势,以济南城市轨道交通7号线一期土建工程项目为例探究气动潜孔锤在硬岩地层桩基施工中的实际应用。

关键词: 气动潜孔锤; 硬岩地层; 桩基施工; 应用

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.018

引言

气动潜孔锤主要通过压缩空气驱动锤头在岩石中进行冲击,从而实现岩石的破碎和钻孔,其结构主要包括锤头、冲击体、导向管等组成部分。在施工过程中,压缩空气通过导向管输送至锤头,推动冲击体进行快速上下运动,产生高频冲击力,能够有效地将硬岩击碎并排出。由于气动潜孔锤在工作时不需要外力的辅助,且冲击频率高,能够提升钻孔效率与质量。

一、气动潜孔锤的应用优势

气动潜孔锤钻进技术利用压缩空气驱动锤头内部的活塞进行高频冲击,并结合旋转钻头切削岩石,主要由钻头、冲击器和钻杆组成。气动系统提供的高压气流能够直接驱动潜孔锤头内的活塞进行往复运动,产生强大的冲击力,可以有效破碎固结性强的岩石。其优势主要体现在以下几个方面:(1)气动潜孔锤的高效钻进能力使其在面对坚硬和高度磨蚀性的地层时表现得尤为出色。气动潜孔锤凭借其强大的冲击力,能够迅速穿透硬质岩石,相较于传统的回转钻孔方法而言,显著提高了钻进效率,不仅能够缩短施工周期,还能够降低劳动力成本,从而为各类钻探项目带来更高的经济效益。

(2)气动潜孔锤的适应性较强,能够在各种复杂的地质条件下保持稳定的工作表现。无论是花岗岩、玄武岩等超硬岩层,还是较为软弱的土壤,气动潜孔锤都能应对自如,不仅体现在不同硬度的岩石上,甚至在面对不同的磨蚀性地层时,也能保持相对稳定的钻进速度,使得气动潜孔锤能够广泛应用于矿山开采、地下工程、地质勘探等多个领域,为各类项目提供了可靠的技术支持^[1]。(3)气动潜孔锤在钻进过程中能够有效保证孔壁质量的稳定。由于其锤击过程中产生的高频振动效应,有助于保持孔壁的稳定,即便在相对破碎的地层中,孔壁崩塌的风险也随着降低,提升了钻探作业的安全性,减少后续处理孔壁的不必要麻烦,从而进一步提

高了整体施工效率,使得气动潜孔锤在实际应用中,不仅能够满足各类工程项目对钻探速度和效率的要求,同时也能够确保施工质量和安全性,进而推动整个行业的持续发展。(4)气动潜孔锤更加适宜降噪处理,使施工环节产生出的噪声符合环保标准,尽量减少施工工作对周边环境及居民生活造成的不利影响。使用集束式反循环气动潜孔锤装置,不仅能够增强硬岩层成孔效果,且施工噪音可有效控制在70分贝范围内。配备叶片式、螺旋式与扩头式取土器,也能够将钻头中的渣土顺利取出,避免甩钻时产生强噪声。

二、气动潜孔锤在硬岩地层桩基施工中的实际应用

(一) 施工流程

潜孔锤干成孔施工是现代桩基施工中一种重要的方法,尤其适用于硬岩地层的桩基工程,其工艺流程包括多个步骤:桩位放线→探槽开挖→挖埋钢护筒→旋挖钻就位→旋挖钻机钻进至基岩面→潜孔锤就位→潜孔锤钻进至设计孔深→终孔检验→钢筋骨架吊装→安装导管、漏斗→灌注水下混凝土→拔出护筒、孔口回填。首先在施工开始之前,需要进行桩位放线。桩位放线是确保桩基位置精准的重要环节,施工人员根据设计图纸的要求,使用专业的测量工具,将桩位标定在地面上;探槽开挖通常是在桩位周围进行,旨在了解地质情况,通过探槽的方式可以获取地层的具体情况,如岩石的类型、分布、强度等,为后续的施工提供重要依据。钢护筒的主要功能是支撑周围的土体,防止坍塌,确保孔壁的稳定,钢护筒的埋设需要确保位置的准确性及其坚固性,以便为后续的旋挖钻作业提供可靠的环境。在确保钢护筒稳固之后,施工人员将旋挖钻机就位,并进行钻进准备工作,旋挖钻机是一种高效的钻进设备,能在硬岩地层中快速钻探,在钻进过程中,钻头需要均匀施加压力,以确保钻进的顺畅性。钻进至基岩面后,潜孔锤就位,在此过程中,潜孔锤将代替旋挖钻机进行更深层

次的钻探，潜孔锤的设计使其能在高压气体的驱动下，在硬岩中有效地进行冲击，快速破碎岩石，作为整个施工过程中技术要求最高的部分，施工人员需要密切监控潜孔锤的运行状态，以确保其正常工作。随后潜孔锤会不断进行冲击与钻探，直至达到设计的孔深，由于硬岩地层的复杂性，施工人员需要随时关注钻进的速度，并根据地质情况适时调整施工方案，确保完成任务。完成钻进后，进行终孔检验，其目的是为了确孔的质量达到设计标准，通常需要使用专业的仪器进行孔深、孔径等各项指标的检测。在终孔检验合格后，进行钢筋骨架吊装。钢筋骨架的安装工艺较为复杂，需要确保钢筋的搭接、绑扎符合规范，以提升桩基的抗拉、抗压能力，这一环节的质量直接关系到桩基的承载性能和整体稳定性。导管能够有效引导混凝土进入孔内，而漏斗则是确保混凝土顺利、高效灌注的重要设备，需要确保其牢固可靠，以避免施工过程中出现问题。随后进行水下混凝土的灌注，在此过程中，施工人员需要随时观察混凝土的流动状态，确保其均匀、顺畅地填充到孔内，水下混凝土的灌注需特别注意其水灰比与强度等级，以确保桩基的整体性能和耐久性。最后拔出护筒并进行孔口回填，在混凝土灌注完成后，施工人员会小心地拔出护筒，并进行孔口的回填工作，此过程不仅是为了美观，更是为了防止环境污染与确保地面的稳定^[2]。

（二）施工参数选择

在气动潜孔锤的桩基施工过程中，参数的选择对施工效果至关重要，主要包括：（1）气源压力：气源压力是影响气动潜孔锤工作效率的重要因素。通常情况下，气源压力应根据岩层的硬度及钻进的速度进行调整。对于硬岩地层，建议采用较高的气源压力，以确保锤头能够有效破碎岩石。（2）冲击频率：气动潜孔锤的冲击频率通常在300-600次/分钟之间。冲击频率过高可能导致能量的浪费，而过低则会降低施工效率。因此应根据岩石的性质和钻进的速度合理选择冲击频率。（3）钻进速度：钻进速度与桩基的施工效率密切相关。在硬岩地层中，钻进速度应适度控制，以避免因钻进速度过快而造成的设备损坏或钻具磨损过快^[3]。一般建议根据施工现场的具体地质条件进行调整，在本次项目工程中，使用气动潜孔锤的钻进参数为：风量40-80m³/min，风压1.0-2.5MPa，钻数5-13rpm，启动4台空压机共同为潜孔锤提供高压驱动，单机风量≥40m³/min，通过储气罐合并风压。（4）冷却与润滑：在基础施工过程中，气动潜孔锤的工作会产生大量热量，需做好冷却与润滑工作，以防止设备因高温而损坏。定期检查润滑油的情况，确保设备正常运转。

三、钻孔灌注桩技术原理及应用优势

（一）钻孔灌注桩技术原理

钻孔灌注桩就是于现场采用机械钻孔、钢管挤土、人工挖掘等方式，在地基中形成桩孔，孔内放入钢筋

笼、灌入大量混凝土，形成桩基结构。在钻孔灌注桩施工环节会快速灌入大量混凝土，排开孔底泥浆及水流，一次性将导管出料口包裹在混凝土上，使孔内泥浆、水流、后被灌注混凝土相互隔离，保障混凝土灌注的连续性。

我国在20世纪60年代就开始使用钻孔灌注桩施工技术。随施工材料及施工工艺日渐完善，钻孔灌注桩施工流程得到明显简化，不需要大面积开挖及支护，减少大型机械设备用量。现阶段钻孔灌注桩施工的成桩方式较多，如正循环回转钻、反循环回转钻、人工挖孔、旋挖孔、潜水钻等，需施工单位结合工程开展要求及施工现场特征，选择适宜的技术手段。

（二）钻孔灌注桩应用优势

适应性强。钻孔灌注桩施工技术能够被应用在多种施工现场环境中，受外界气候、温度的影响较小，对土体土质的要求也并不严格；

尺寸多样。钻孔灌注桩的成桩尺寸多样，承载力显著，可结合施工要求选择适宜的桩长度及桩直径，在方案修改及后续加固处理时也可使用钻孔灌注桩结构；

经济效益高。钻孔灌注桩施工流程短、不必进行大面积开挖。也没有大体量的模板施工及临时措施，施工期间的经济效益更为显著。

四、钻孔灌注桩施工程序

（一）施工准备

施工准备工作需由专业测量人员应与设计单位进行密切沟通，依照设计图纸内容在施工现场绘制轴线以及控制网，切实增强控制网精准度，测量各放线桩位点。作业平台需要比地面高出1米，使钻孔工作开展期间的孔内水压力能够被控制在合理范围之内。在平台上部布设钢板，进一步扩大受力面积，避免平台出现变形、位移或者钻机不均匀沉降问题。

严格遵照施工图纸具体要求定位桩线，测量环节可以使用全站仪、钢卷尺。在桩基础设置轴线，由轴线引出桩位线。利用小木桩或钢筋标定精准定位轴的中心坐标点，依照桩半径绘制半径画面。各种检查标记的装备轴线、桩位坐标点，及时修补破坏或缺损的装备标记。

（二）护筒埋设

在钻孔灌注桩基础施工过程中，钢护筒施工水平可直接影响到基础结构各项性能，应结合地质参考资料及图纸内容确定钢护筒埋设位置。使用电子全站仪合理设置钢护筒埋设长度。钢护筒使用8mm的钢板制作。为保障护筒结构强度，还应在护筒上、下、中端各焊接一道加劲肋。在护筒顶端设置进出浆口，焊接吊环。

使用全站仪放出桩位中心，根据中心桩引出数字桩，露出地面的高度不得小于35cm。洞顶露出地面30cm，倾斜度控制在1%范围内。

着重在护筒埋设过程中检验护筒结构尺寸，包括护筒结构顶部、纵横部位等，确保护筒结构的实质偏差

值、桩位差值与桩位置相符。结合钻孔灌注桩基础直径，增强护筒的防水性能。在两节护筒连接过程中使用电焊手段，对连接部位进行水密性测试，避免护筒处存在渗水情况。

（三）钻机就位

在钻口前需做好准备工作，例如机具设备检修，作业平台平整度、稳定性等。旋挖钻机定位需准确、水平、垂直并固定，要求钻杆导线中心线、回转盘中心线与护筒中心线保持同一直线。使用测量仪器将护桩点引到孔口护筒壁外，形成十字交叉钻机定位。将挖钻机占位区推平压实，不得存在局部软弱区域，在旋挖钻进后也不能够产生位移或沉陷情况。

（四）钻孔

设置好护筒结构后需就位钻机。就位时的钻头对准测量桩位，对中误差值应处于2cm范围内。在钻机安装前事先夯平安装位置，防止在钻进期间出现倾斜或下限问题。依照地质条件特征对护筒结构的施工参数进行严格设定。如果钻进过程中的护筒泥浆面高出地下水面2米，在钻进过程中需要在孔内进行及时定量的补浆，切实保障孔壁结构的稳定性。在钻进环节还需要对钻孔位置进行严格检验，避免对孔壁造成不利影响。

依照施工现场地质参考资料、钻孔灌注桩施工期间的设备性能，选择规格适宜的钻头种类。在施工地质结构复杂的情况下，可以将不同规格的钻孔混合在一起使用。为降低机械设备运行期间的能源消耗量，在岩体表面的孔壁较为规整，钻孔缝隙较小的情况下，还应当在钻头结构部位设置通气孔，防止在钻进工作开展期间发生卡钻等情况。

在砂砾层钻进环节容易出现钻具跳动、蹩车、钻孔倾斜等情况，应加大泵量、适当降低转速。在钻机上增设导向装置，避免钻孔的偏差值超过设定目标；在松散易坍塌的砂层钻进时，应当适当增加泥浆比重及黏度，控制孔内水头高度，尽量减少冲洗液冲刷孔壁；起伏不平岩面钻进时，应遵循轻压慢转原则，在岩层穿过后逐渐恢复钻进参数，保障钻进工作持续稳定开展。如同一桩孔须采用多种钻进方式，应全面分析孔内条件、确保选用的工艺方法相适宜。

（五）清孔

为有效控制孔底的沉淀层深度值，进一步提升桩底部的承载力水平，重视钻孔后的清理工作，在清孔工作开展期间，需要将孔内的泥浆清理干净，避免残渣等进入到桩体结构内，导致桩身整体的承载力与强度受到不利影响。泥浆生产需要首先清理桩底部沉浆，提升泥浆循环利用水平。具体而言，在清孔前期需要将泥浆泵管从平台上部接入到桩孔，清孔过程中需要确保钻头始终在孔底部做小冲程运动，避免出现钻渣沉底问题。在泥浆泵内部重新注入新泥浆或者清水，使孔内全部更换为

新鲜泥浆。

（六）钢筋笼的制作与吊装

在钢筋笼制作期间需要使用现场加工成型方式，主筋弯钩需要向外侧，避免对导管提升环节造成不利影响。钢筋笼的长度需要大于15米，两节井口应当分别对接。使用一次加工成型方箱。为有效避免吊装过程中的钢筋笼弯曲变形，还需要在主筋内侧设置加强箍筋。

在钢筋笼吊装就位过程中，应当由人工水平调运到指定位置，而后使用两台吊车吊装。吊装过程中的吊顶需要设置四处加强箍筋，在桩位上部扶正后脱钩，由主机缓慢垂直并下放到桩孔中心位置，不得碰撞孔壁，防止塌孔问题出现。

（七）混凝土灌注

首先依照配合比设计要求，将混凝土材料的坍落度控制在18~22cm、骨料直径控制在0.5~3cm。混凝土拌制前应称量所需砂石料、水量。搅拌工作应持续开展，如搅拌机停止30分钟，需彻底清洗后才能够拌制新混凝土。

连续不间断浇筑混凝土，不得中途停工。随时检测混凝土浇筑高度，及时拆除或提升导管。导管深度一般为2~4m，最大埋深量不得超过5m。禁止在混凝土浇筑期间出现导管漏水或导管底部进水问题。在混凝土浇筑完毕，桩上部混凝土开始初凝时，解除钢筋笼固定措施，避免钢筋笼的黏结力受损。

结束语

综上所述，气动潜孔锤以其高效的钻进能力、强大的适应性以及稳定的孔壁质量等优势使得它在复杂的地质条件下，能够有效提高作业效率，降低成本，并且提升工程的安全性。在硬岩地层桩基施工中，气动潜孔锤干成孔经过一系列严谨的工艺步骤，确保了施工的高效性与安全性。通过对每一个环节的精细管理与执行，可以有效地抵御硬岩地层带来的挑战，实现工程的顺利推进，对施工过程的每一个细节都需严格把控，以最终达到设计的要求，确保工程的质量与安全。随着技术的不断发展，气动潜孔锤的性能有望进一步提升，为未来的基础工程施工提供更强大的技术支持。未来相关研究者应持续关注气动潜孔锤的技术创新与应用拓展，以推动其在更广泛领域的应用。

参考文献

- [1] 李大鹏, 崔加林, 李荣年. 大直径集束式气动潜孔锤在桩基工程中的应用技术[J]. 建筑机械, 2024, (06): 48-51.
- [2] 段传山. 气动潜孔锤钻进工艺在矿山勘察中的应用[J]. 资源信息与工程, 2023, 38(02): 46-49.
- [3] 赵江鹏, 郝世俊. 气动潜孔锤技术在矿山事故钻孔救援中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2022, 50(11): 24-34.