

山区河床深基坑咬合桩施工工法要点

——以国道109高速公路深基坑支护工程为例

袁建胜

(中铁工程装备集团技术服务有限公司, 郑州 450000)

摘要: 传统的施工方法如围护桩、地下连续墙、钢板桩和沉井等存在一些限制和问题,如桩间隙导致止水效果下降、地下连续墙施工成本高且周期长,以及钢板桩和沉井受地质条件制约等。为了实现山区河床深基坑支护的止水性能并加快施工进度、节约成本,咬合桩施工工艺应运而生。以国道109高速公路工程项目中安家庄特大桥上跨丰沙铁路转体桥深基坑支护为例,详细介绍了咬合桩支护结构的应用和成效。该工程项目成功应用咬合桩施工工艺,取得了良好的成果,对今后类似工程的施工具有重要的借鉴意义。

关键词: 咬合桩; 深基坑; 施工工法; 山区河床

中图分类号: TU473.1⁺4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)24-0348-06

为保证深基坑支护的止水性能并加快施工进度、节约成本,各种施工工艺在深基坑的封闭止水施工中不断创新^[1-2]。在实践中,钢板桩围堰、钢套箱围堰护壁和水下混凝土封底等多种工艺被广泛应用,极大地提高了工程建设的质量和效率^[3-4]。然而,现实情况要求技术人员通过总结和融合现有技术,提出适用于复杂地质条件下的深基坑封闭止水施工的创新方法。在这方面,咬合维护桩与水下封底混凝土施工工艺应运而生,为进一步优化施工和确保安全奠定了基础^[5-8]。该工法不仅改进和完善了施工工艺,还促进了其在工程实践中的推广和应用。

1 山区河床深基坑咬合桩施工工法研究特点和适用范围

1.1 工法特点

(1)在砂卵石层的施工中,该工法采用旋挖钻机结合长护筒跟进施工工艺,有效防止了塌孔和扩孔等问题的发生。通过旋挖钻机钻进时使用长护筒,可以提供稳定的支撑,防止地层塌陷,并确保施工的连续性^[9]。

(2)在含有漂石地层及岩层的施工中,该工法利用具有切岩功能的筒型钻头,结合旋挖钻机进行钻进作业。首先使用直径为800 mm的钻头进行岩层的切削,直至达到设计深度,然后使用直径为

1 200 mm的钻头进行扩孔作业,最终达到预期的岩层钻进目标。

(3)该工法采用AB桩作为支护结构,其中包括素混凝土桩与钢筋混凝土桩的咬合形成。这种支护结构设计可以减少钢筋用量,节约施工成本,并提高施工效率。AB桩的咬合结构使得支护系统更加牢固,从而有效地增强了基坑的稳定性^[10-11]。

(4)该工法在施工方法上通过桩与桩之间的相互咬合,避免了桩间的渗水问题,有效地实现了止水效果,并提升了支护结构的密封性。这种施工方法不仅能够有效保证施工质量和安全性,还为后续施工提供了便利和可靠的基础。

1.2 适用范围

本工法适用于深基坑的止水支护,特别适用于地下水丰富、砂卵石层、漂石等复杂地质条件下的工程。在这些复杂地质情况下,该工法表现出更好的适应性和有效性。

地下水丰富、砂卵石层和漂石等地质条件对基坑施工的止水支护提出了严峻的挑战。该工法通过采用旋挖钻机结合长护筒跟进施工工艺,能够有效地防止塌孔、扩孔等问题的发生。在砂卵石层施工时,使用长护筒提供稳定支撑,确保施工的连续性。在含有漂石地层及岩层施工时,采用具有切岩功能的筒型钻头,结合旋挖钻机进行钻进作业,以

收稿日期: 2024-07-13

作者简介: 袁建胜(1998—),男,河北衡水人,助理工程师,研究方向为土木工程。

达到预期的岩层钻进目标。

此外,本工法采用 AB 桩作为支护结构,该结构由素混凝土桩与钢筋混凝土桩咬合形成。这种支护结构设计不仅能够减少钢筋用量、节约施工成本,还能提高施工效率。AB 桩的咬合结构能够增强基坑的稳定性,并通过桩与桩之间的相互咬合避免桩间渗水问题,从而有效实现止水效果和支护结构的密封性。

2 山区河床深基坑咬合桩施工的工艺原理

该工法采用旋挖钻机进行钻进,并采用长护筒跟进施工方法。这种基坑支护技术运用了相互嵌合的桩列结构。该结构由纯混凝土桩(A 桩)和钢筋混凝土桩(B 桩)交替设置而成。在施工顺序上,首先完成纯混凝土桩的浇筑,紧接着是钢筋混凝土桩的浇筑。A 桩混凝土达到终凝状态后,便开始 B 桩的施工工作,其间 B 桩的施工会部分深入到 A 桩的混凝土之中,实现两者的相互咬合。A 桩和 B 桩均采用旋挖钻机进行钻进,并通过长护筒跟进施工成孔的方式。具体而言,使用旋挖钻机的螺旋钻头在 A 桩的混凝土终凝并具有一定强度后,切割掉相邻 A 桩相交部分的混凝土,从而实现桩与桩之间的咬合。

通过采用旋挖钻机进行钻进和长护筒跟进施工方法,该工法能够有效实现基坑围护结构的施工。先施工 A 桩,后施工 B 桩,并在 A 桩混凝土终凝之后再施工 B 桩,确保了施工过程的连续性和稳定性。同时,采用旋挖钻机的螺旋钻头进行切割,能够实现桩与桩之间的咬合,进一步增强了基坑围护结构的稳定性。

3 山区河床深基坑咬合桩施工工艺流程及操作要点

3.1 施工工艺流程

山区河床深基坑咬合桩施工工艺的开展流程十分固定,主要经过施工前准备、钻机就位、钻机钻进、施工过程控制、钢筋笼制作、吊放(B 桩)、灌注混凝土、拔管成桩、成桩检查、AB 桩咬合施工等几道工序,具体流程和施工重点如图 1 所示,除了无需加工及吊装安放钢筋笼,A 型单桩缓凝素混凝土咬合围护桩施工工艺与 B 型桩相同。

3.2 操作要点

3.2.1 施工前准备

在执行咬合桩工艺前,需确保护筒的直线度和垂直度满足标准。首先,应对单个护筒节段的直线度进行检测和校正。随后,根据桩身所需长度,将

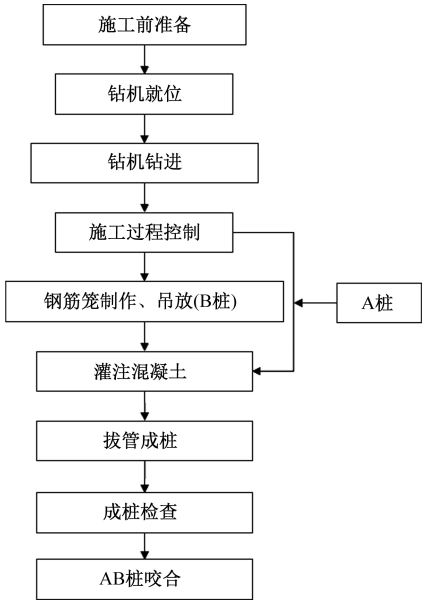


图 1 山区河床深基坑咬合桩施工工艺流程

所有护筒节段组装成一个连续的整体,并对其垂直度进行综合检查与调整。具体的检验操作包括,在平坦的地面上标出两条平行线,将护筒沿着这两条线放置,并利用吊线锤和钢尺对护筒是否与地面平行线保持一致进行测量和校验。

对于由两节组成的护筒(每节 4 m 长),其整体直线度的误差需控制在 4 mm 以内。至于组装成一根完整护筒的操作(长度为 15~25 m),其全长的直线度偏差应不超过 10 mm。通过进行顺直度的检查和校正,确保护筒的垂直度符合要求,是确保咬合桩施工质量的重要步骤。首先,对单节护筒进行顺直度检查和校正,以保证每个单节护筒本身的顺直度。然后,将所有按照桩长配置的护筒连接起来,在整根护筒的基础上进行顺直度的检查和校正,以确保整个咬合桩结构的垂直度。在检测过程中,通过放置相互平行的直线并将护筒置于其间,使用线锥和直尺进行测量,以获取准确的顺直度偏差数据。对于双节护筒,顺直度偏差应小于 4 mm,而对于拼装整根护筒,顺直度偏差应小于 10 mm。

3.2.2 钻机就位

在进行施工前的测量放样阶段,首先使用全站仪准确地放出各个桩位的中心点,并利用水准仪测量地面高度,以确定钻孔的深度。为了进行钻机的定位控制,需要在每个桩位周围砸入钢钉,并对钢钉周围进行喷漆标记。施工测量放样步骤如下:首先,使用全站仪精确定位各桩位中心点,确保位置和方向符合设计规范;其次,利用水准仪测量地面高程,确定钻孔深度及桩顶标高。此外,在各桩位

周边植入钢钉并喷漆标记,为钻机定位提供准确参考。

在钻机定位阶段,需要将旋挖钻机移动到正确的位置,使旋挖钻机的抱管器中心与定位控制点的中心相对应。通过准确的定位,可以确保旋挖钻机在施工过程中的位置和姿态与设计要求一致。

3.2.3 钻机钻进

考虑到现场地层主要由砂卵石层组成,其中部分进入岩层,为了适应这种地质条件,现场选择 YR550C-80M 旋挖钻机,并配备切割功能的筒状钻头进行钻进施工。

在现场施工中,采用单节长度为 4 m 的护筒进行长护筒的跟进施工。旋挖钻机每钻进 2~3 m 时,为了防止钻进深度过大导致钻孔塌方,需要将护筒进行下放以跟进钻进进度。为便于下一节段护筒的连接,每个护筒的顶面预留 1.2 m 的空间。该施工方案的主要特点是采用 YR550C-80M 旋挖钻机和带有切割功能的筒状钻头,以适应砂卵石层和部分岩层的地质条件。通过使用单节长度为 4 m 的护筒进行跟进施工,可以有效控制钻进深度,避免钻孔的塌方现象。为确保护筒连接顺畅,每节护筒顶部预留适当间隙。施工方案综合现场地质状况,选用合适措施与设备,保障施工安全与效率。通过科学合理的施工方法和设备选择,可以提高施工效率,降低施工风险,并为后续工程的顺利进行奠定基础^[12-14]。

3.2.4 施工过程控制

在现场使用 YR550C-80M 系列旋挖钻机进行施工时,该钻机能够自动保证垂直度在 3‰ 范围以内,以确保施工的垂直性和准确性。同时,在下放护筒的过程中,可以采用两个测斜仪贴附在护筒的外壁上,并使用经纬仪进行复核,以确保护筒的垂直度。对于护筒的垂直度,允许存在 3‰ 的偏差,如图 2 所示。

在桩成孔完成后,需要进行桩的质量检测^[15]。首先,采用超声波成孔质量检测仪对桩径和垂直度进行检测。这可以确保桩的直径符合设计要求,并且垂直度在允许的范围内。此外,还需要使用沉渣检测仪检测沉渣的厚度。只有在经过这些检测并合格后,才能进行下一步的施工工作。

3.2.5 钢筋笼制作、吊装

(1)对于 B 桩钢筋笼的制作,必须遵循《钢筋焊接及验收规程》的规范^[16]。钢筋笼的加工应在指定

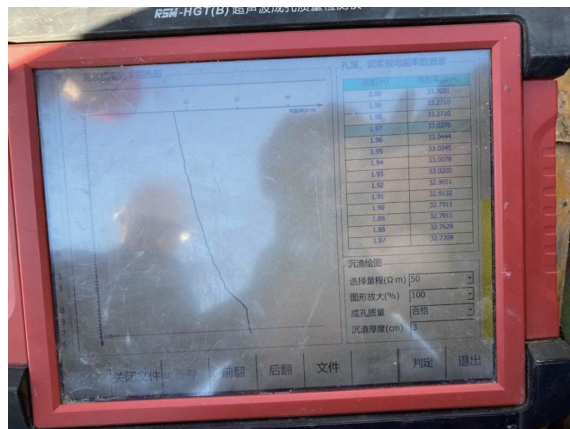


图2 检测桩基沉渣示意图

的加工区域进行,并严格按照设计图纸上的尺寸规范来制作,以确保钢筋笼的结构完整和连接牢固,如图 3 所示。

(2)安装钢筋笼时,应考虑以下几个关键点:钢筋笼的安装高度应依据护筒顶部的标高来确定,并在安装时保证达到预定的桩顶标高;主筋长度的误差应控制在 ± 100 mm 的范围内;下放钢筋笼时,需精确对中孔位,并以稳定的速度逐渐将其降至预定高度,待到达设计标高后立刻进行稳固。



图3 第二层基坑开挖断面示意图

3.2.6 灌注混凝土

在水下混凝土浇筑过程中,应使用导管法,并选用带有螺旋接头的钢管作为导管。确保导管在混凝土中的埋深维持在 2~6 m。必须避免导管完全提出混凝土或插入过深,且每次提升导管时,高度不应超过 4 m。

对于 A 桩的施工,每辆运送混凝土的车辆需抽取三组样本,用于检测混凝土的缓凝时间及坍落度。这种监测活动将持续进行,直到 A 桩两侧相邻的 B 桩施工全部结束。一旦发现任何异常情况,应

立即上报并采取必要的应对措施。

3.2.7 拔管成桩

在进行混凝土浇筑的同时拔管时,应始终确保护筒底部低于混凝土面,并且不小于 2 m 的高度。

3.2.8 成桩检查

灌注完成后的独立桩或连续桩可能面临一些质量问题,如局部收缩、连接不齐或承载能力不达标。因此,对成型的桩进行质量检验是一项不可或缺的步骤。

3.2.9 AB 桩咬合

AB 桩的直径均为 1.2 m,桩心间距为 0.9 m,相邻两桩的咬合距离为 0.3 m。在现场施工过程中,针对 A 桩采用 C20 缓凝混凝土,需要确定 A 桩的初凝时间和终凝时间,以确定 AB 桩的钻进顺序。

在实际工程施工中,采取了以下流程:首先钻进一根 A 桩,然后进行混凝土的灌注。按照这个流程完成四根 A 桩,此时第一根和第二根钻进的 A 桩的强度正好适合施工桩间的 B 桩。由于钻进 B 桩需要切割 A 桩两侧的素混凝土,因此成孔时间会比 A 桩长 2~3 h。此外,还需要下放钢筋笼,因此一根钢筋桩的完成时间比 A 桩要长 3~4 h。

当第一根钢筋桩的灌注完成后,即可进行下一根钢筋桩的施工。因此,实际的施工顺序为先进入 A1、A2、A3、A4 桩的施工,然后进行 B1、B2、B3 桩的施工,以达到咬合的目的,如图 4 所示。



图 4 咬合桩平面布置

3.3 质量控制

(1)桩偏位及垂直度控制:为确保桩咬合的质量,桩位允许的偏差值为纵向 ± 50 mm、横向 50 mm、垂直度偏差为 3‰。

(2)在 B 桩成孔过程中,需要与 A 桩咬合距离保持 0.3 m。为了确保施工进度,A 桩既需要具备一定的自稳能力,又不能过快地初凝,以免影响 B 桩的成孔。因此,控制 A 桩混凝土的初凝时间成为本工法的重要任务。B 桩混凝土的缓凝时间的计算公式为

$$T=3t+K \quad (1)$$

式中: T 为 B 桩混凝土的缓凝时间(即初凝时间); K 为储备时间,一般取 12 h; t 为单桩成桩所需的时间。

3.4 安全措施

施工现场安全规定要求所有特种作业人员,如电工、起重机操作员和焊工,必须完成专业安全技能培训并通过官方考核方可上岗。此外,每年需进行技能复审。新工人进场前,也需完成基础安全教育并通过相应考试。对于连续运行的旋挖钻机,要时刻监控机械状态和操作人员的健康,避免过劳,并定期对设备进行检查,确保一切正常。在灌注桩施工过程中,必须建立稳固的浇筑平台,禁止使用不安全的作业台。吊装作业时应有专人指挥和司索,并在大风天气加强防范,遇到六级以上大风应立即停工。焊接区域禁止存放易燃易爆物品,电焊机需正确接地,电源连接与断开须由专业电工执行,并应配备独立控制开关。焊钳和焊线必须具备良好的绝缘性能,连接必须牢固。施工现场电气使用必须遵守规范,确保每台机械配备独立断路器和漏电保护器。所有电气操作应严格遵循安全规范,严禁非专业人员参与电气作业。这些措施旨在提高现场安全,保护工人健康,并确保施工安全得到有效监控。

3.5 环保措施

为确保施工安全,应在现场设立专职安全员,负责巡视施工现场的安全情况。在选择施工机械时,应优先考虑低噪声设备以降低夜间对居民的噪音干扰。对于机械产生的废油和废水,应通过隔油池等有效措施进行处理。设备配置上,应优先选择环保型机械,并配备必要的空气净化设备。施工现场的临时建筑、材料和设备都应依据整体规划有序安置。施工垃圾不得随意处理,必须符合国家 and 地方环境保护相关规定进行垃圾处理。同时,应设置可移动泥浆箱,及时清理钻孔过程中产生的泥浆,以防止环境污染事件的发生。

4 应用实例

依托国道 109 新线高速公路工程安家庄特大桥上跨丰沙铁路转体桥 L3、R4、R5、R6 墩深基坑支护工程。安家庄特大桥丰沙铁路转体桥的 L3 墩承台尺寸为 23.2 m 长、18.2 m 宽、6 m 高,顶部埋深为 5 m,地下水位埋深为 2 m,使用 104 根直径为 1.2 m、21 m 长的咬合围护桩。R4 墩承台尺寸为 16.7 m 长、11.2 m 宽、5 m 高,顶部埋深 4.8 m,地下水位 0.3 m,使用 72 根直径为 1.2 m、18 m 长的桩。R5 墩承台为 14.5 m 长、10.5 m 宽、4 m 高,顶部埋深为 4.3 m,地下水位为 2 m,使用 66 根直径为 1.2 m、15 m 长的桩。R6 墩承台为 10 m 长、6.3 m

宽、4 m高,顶部埋深为1.3 m,地下水位为2 m,使用56根直径为1 m、17 m长的桩。所有墩基础位于永定河滩,上覆层为卵石土,基岩埋深约为38 m。基坑周边及附近无建筑物,因此基坑对变形不敏感,如图5所示。

L3、R4、R5墩的承台基坑采用直径为1 200 mm钢筋混凝土咬合围护桩(B桩)与直径为1 200 mm缓凝素混凝土咬合围护桩(A桩)进行围护。R6墩承台基坑采用直径为1 000 mm的钢筋混凝土咬合围护桩(B桩)和直径为1 000 mm的缓凝素混凝土咬合围护桩(A桩)进行围护,桩间距为900 mm,咬合长度为300 mm。桩的布置为钢筋砼桩与素砼桩交替,有效桩长分别为21、18、15、17 m。钢筋砼桩使用水下C30砼,素砼桩使用C20缓凝砼。施工周期分别为L3墩48 d、R4墩24 d、R5墩21 d、R6墩18 d。

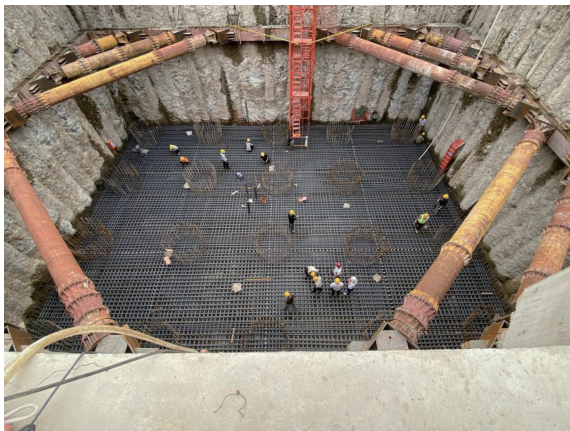


图5 钢筋混凝土咬合桩支护结构内进行施工效果

在本工程中,钢筋混凝土咬合桩用于L3、R4、R5和R6墩的深基坑支护,效果显著。开挖过程中咬合部位无漏水,封底混凝土浇筑后,基坑环境密闭、干燥且安全。在确保施工质量和安全的基础上,该工法有效减少了钢筋使用,节约施工成本约106万元。

与地下连续墙等支护结构相比,该工法不仅延续了钻孔灌注桩施工速度快的优点,还能大幅节约工期约15 d。该工程成功地首次将咬合桩技术应用于实践,并展现了出色的成果,为未来相似项目提供了重要的实践基础和参考依据。

5 结语

总而言之,咬合桩施工工艺在深基坑开挖及支护中的应用表现显著的经济性和高效性。相比传统的施工方法,咬合桩施工工艺能够有效解决

桩间隙导致的阻水效果下降、地下连续墙施工成本高且周期长等问题。本文通过一个具体的工程案例,深入阐述咬合桩支护技术的实际应用及其效果,为未来相似工程的施工提供宝贵的参考价值。

参考文献

- [1] 赵斌. 钢板桩与混凝土咬合桩组合基坑围护方案研究[J]. 建筑机械化, 2024, 45(6): 85-88.
- [2] 吴岑佳, 陈秋南, 陈正红, 等. 深基坑咬合桩力学性状影响因素及敏感性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2024, 20(1): 190-200.
- [3] 严融. 深基坑工程地下连续墙与咬合桩接头处施工关键技术[J]. 建筑施工, 2023, 45(12): 2396-2398.
- [4] 王金龙, 朱利民, 谢毅洋, 等. 钻孔桩咬合搅拌桩支护在超深基坑中的应用[J]. 建筑科学, 2020, 36(S1): 174-179.
- [5] 廖德武, 程娟, 张君恺, 等. 钻孔咬合桩在卵石层基坑支护设计中的应用[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(S2): 805-811.
- [6] 刘维庆, 姚克迁, 张浩. 基于二维云模型的地铁深基坑施工风险评价[J]. 科技和产业, 2022, 22(5): 164-169.
- [7] 王扩, 姚爱军, 张东, 等. 富水地层中暗挖地铁站洞内咬合桩力学性能及优化[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(S2): 779-787.
- [8] 牛东兴, 王延玲, 张晓林, 等. 某地铁深基坑咬合桩止水技术研究[J]. 科技和产业, 2023, 23(13): 202-206.
- [9] 李文杰, 赵杰. 基于HSS模型与分布式光纤监测的内支撑深基坑变形特性分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(18): 7913-7923.
- [10] 吴岑佳, 陈秋南, 陈正红, 等. 深基坑咬合桩力学性状影响因素及敏感性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2024, 20(1): 190-200.
- [11] 贺帅帅, 王方旭. 咬合桩围护结构在桥梁浅基加固中的应用——以陇海线坝河大桥加固工程为例[J]. 科技和产业, 2024, 24(3): 249-254.
- [12] 王小生, 李庚, 朱彦鹏, 等. 最小二乘法在基坑侧建筑物沉降监测中的应用[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(27): 283-288.
- [13] 唐福源, 衣利伟, 曹勇, 等. 填海地层深基坑支护参数优选与基坑变形分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(2): 707-714.
- [14] 谢广玉, 郑华斌, 黄尚克, 等. 某岩溶富水深基坑咬合排桩结构施工技术的应用[J]. 建筑结构, 2020, 50(S1): 1051-1055.
- [15] 朱琦, 李帅, 魏东旭, 等. 基坑支护结构的综合选型及受力与变形特性[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(32): 13369-13378.
- [16] 林宇亮, 程勇, 刘玮, 等. 深基坑桩-撑-土组合支护结构的受力特性与优化设计[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2024, 55(6): 2162-2174.

Main Points on Construction Method of Bite Piles for Deep Foundation Pits in Mountainous Riverbeds: Taking the Deep Foundation Pit Support Project of National Highway 109 as an Example

YUAN Jiansheng

(China railway engineering equipment group co. ltd. , Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Traditional construction methods such as diaphragm walls, underground continuous walls, sheet piles, and caissons have certain limitations and issues, which include reduced water resistance due to pile gaps, high cost and long construction period for underground continuous walls, and constraints on sheet piles and caissons due to geological conditions. In order to achieve effective water sealing performance in deep foundation pit support and expedite construction progress while saving costs, the bite pile construction technology has emerged. Taking the support of the deep foundation pit for the Fengsha Railway Rotating Bridge on the Anjiazhuang Super Bridge project of National Highway 109 as an example, a detailed introduction to the application and effectiveness of the bite pile support structure was provided. The bite pile construction technology was successfully applied in this project, achieving favorable results. It holds significant reference value for similar construction projects in the future.

Keywords: bite pile; deep foundation pit; construction method; mountainous riverbed