

桩基施工在有限空间作业施工中的应用

解行行¹ 刘大为²

1. 北京市地质工程勘察院有限责任公司 北京 100048

2. 北京市工程地质研究所 北京 100048

摘要: 桩基施工在有限空间作业中面临诸多挑战,包括空间限制、设备选型与适应性改造、施工工艺优化等。本文以地铁地下导洞打桩施工为例,探讨了有限空间作业中桩基施工的关键技术,如设备选型、施工工艺优化及安全与环保措施。通过技术创新和精细管理,成功克服了施工难题,确保了桩基施工的精准、高效和环保。文章为类似项目的施工提供了宝贵经验和启示。

关键词: 桩基施工;有限空间作业;应用

1 有限空间作业施工概述

1.1 有限空间定义

有限空间,亦称作受限空间、密闭空间或封闭空间,国际上对其定义尚未统一,但各国基于自身情况差异定义大同小异。根据应急管理部的规定,有限空间指的是封闭或部分封闭、未被设计为固定工作场所、人员可进入作业,且易造成有毒有害、易燃易爆物质积聚或氧含量不足的空间。这一定义凸显了有限空间的基本特性,并区分了其与普通作业空间的不同。

1.2 有限空间作业施工常见类型

有限空间作业施工涵盖地下工程、隧道工程、室内改造及工业设备安装等多种类型。(1)地下工程如地铁建设,地下导洞空间狭窄,施工设备和材料运输困难。小型反循环钻机虽能适应,但施工速度慢。混凝土浇筑需地泵协助,钢筋笼需分节吊装,施工协调工作至关重要。地下停车场修建也受场地限制,需合理规划设备停放和材料堆放。(2)隧道工程如山岭隧道施工,空间有限,通风照明条件差,对设备性能和操作人员技能要求高。需选用体积小、功率大的设备,并精心安排设备转场和材料运输。城市隧道施工还需考虑周边建筑物和地下管线安全,需高精度测量定位设备确保施工准确性。

(3)室内改造如老旧建筑内部改造和商场内部装修,空间布局复杂,桩基施工场地受限。可能需使用小型便携式设备,并考虑噪音、粉尘对周边环境影响。商场装修需尽量缩短施工周期,减少对营业影响。(4)工业设备安装如大型储罐、反应釜基础施工,也涉及有限空间作业。需考虑储罐位置和大小,合理安排施工。桩基施工质量控制关键,反应釜基础对稳定性和防腐蚀性有特殊要求^[1]。

1.3 有限空间作业施工的难点与挑战

有限空间作业施工面临诸多难点与挑战。首先,施

工空间狭窄,设备和材料运输、停放及人员活动空间受限。如地下管道施工,只能使用小型便携设备,影响施工效率。其次,设备操作受限。有限空间对设备性能和操作要求高,大型设备无法作业,需选用小型化、多功能化设备。但这些设备功率和作业能力相对较弱,难以满足高强度施工需求。操作空间有限,操作人员视野受限,易出现操作失误。再者,安全保障难度大。有限空间通风不良,易积聚有毒有害、易燃易爆物质或氧含量不足,对施工人员生命安全构成威胁。一旦发生泄漏或氧气不足,施工人员若未及时察觉并采取防护措施,易发生中毒、窒息事故。且有限空间内环境复杂,存在障碍物和危险因素,易导致施工人员受伤。救援难度也大,一旦发生事故,救援人员难以迅速进入现场。最后,施工协调困难。有限空间内施工设备和人员多,各施工环节相互影响,协调工作尤为重要。可能需同时进行多项作业,需密切配合,否则易出现施工顺序混乱、设备相互干扰等问题。且施工人员通讯困难,增加了协调难度。如地下工程施工中,信号屏蔽可能导致信息传递不及时,无法及时协调施工进度和解决问题。

2 有限空间对桩基施工的影响

2.1 工期影响

有限空间对桩基施工工期的影响主要体现在施工场地限制和多工序交叉作业两个方面。(1)施工场地限制导致设备进场与周转困难。在狭小的施工场地内,既要容纳大量的施工人员,又要堆放钢筋、水泥等施工材料,空间极为拥挤。以某电厂脱硝改造工程为例,大型旋挖钻机因场地狭窄难以找到合适的停放位置,只能远距停放后多次转运,这大大增加了设备进场的时间和成本。同时,在施工过程中,多台设备同时作业,作业空间狭小,相互干扰严重。旋挖钻机的提钻、卸土操作与

挖机、铲车的土方运输路线交叉,导致旋挖钻机频繁避让,工作效率大大降低。原本2-3小时可以完成的钻孔,在有限空间内可能需要5-6小时。此外,场地狭窄还使设备的维修保养变得困难,维修难度和时间增加,质量也难以保证。这些因素共同导致了桩基施工工期的延长。

(2) 多工序交叉作业增加施工协调难度与时间成本。在有限空间内,桩基施工往往与土方开挖、地下结构施工、管线铺设等多道工序交叉进行。以地铁施工为例,地下车站空间有限,桩基施工的钻机作业区与土方开挖的挖机、装载机作业区重叠,施工路线交叉。这不仅增加了施工协调的难度,还可能导致施工顺序的混乱和工序的延误。此外,桩基施工和地下结构施工紧密相关,桩基完成后需要及时进行地下结构施工,但有限空间内施工材料堆放和运输空间受限,桩基施工遗留物可能阻碍地下结构施工,且施工中要避免损坏已完成桩基。这些因素都增加了施工协调的难度和时间成本,可能导致工期的延长^[2]。

2.2 场地空间限制对设备布置与施工操作的影响

有限空间作业施工中,场地空间限制对设备布置与施工操作产生严重影响。

多台钻机及配套设备同时施工时,空间冲突严重。在城市立交桥桩基施工中,由于城市土地资源紧张,施工场地极为有限。多台钻机同时作业,但场地狭窄,设备作业区域重叠、施工路线交叉。旋挖钻机钻孔时作业半径受限,周边挖机、铲车频繁穿梭干扰其作业,设备安全距离难以保证。这不仅降低了设备的作业效率,还增加了施工的安全风险。在地铁导洞桩基施工中,导洞空间狭窄、环境复杂。施工人员在狭小空间内进行钻机操作、钢筋笼吊装、混凝土浇筑等作业极为困难。钻机摆放位置受限,施工人员活动与视线受阻,操作速度降低。钢筋笼吊装时,导洞空间限制使钢筋笼分节吊装拼接困难,人员协作难度大,易引发安全事故。混凝土浇筑时,地泵摆放和管道铺设受限,施工人员操作控制难度增大。同时,狭小空间通风差,粉尘热气影响施工人员健康,易导致疲劳和呼吸困难。一旦发生意外,施工人员难以迅速撤离,可能造成严重安全事故。

2.3 施工协调与管理难度增大

在有限空间作业中,施工协调与管理的难度显著增加。信息传递不畅和多参与方协同作业的复杂性是两大主要问题。有限空间内噪音大、信号干扰强,通讯受影响,导致指令传递困难、操作失误。同时,光线不足也阻碍了信息传递的准确性。多参与方协同作业方面,大型建筑工程涉及建设、施工、监理、设计等多方,协同

作业管理复杂。各方之间沟通不畅、意见分歧可能导致施工计划不合理、施工进度受阻、成本增加等问题。因此,在有限空间内进行桩基施工,需要加强施工协调与管理,确保施工顺利进行。

3 桩基施工在有限空间作业中的关键技术研究

3.1 设备选型与适应性改造

在有限空间作业中,设备的选型与适应性改造至关重要。首先,需根据土壤类型、桩型及施工环境等因素综合选择设备。例如,在硬土和砂砾土中,液压打桩机因其强大的冲击力而成为首选;在软土地区,则更适合使用震动打桩机。同时,考虑到有限空间的特殊性,设备尺寸和高度也需特别关注。在高压线下施工时,必须选择低高度的小型设备,并确保设备与高压线保持安全距离。为了适应有限空间作业的特殊要求,有时需要对设备进行改造。例如,对设备的传动系统、控制系统进行优化,以提高其稳定性和施工效率;或者对设备进行分节设计,使其能够在狭小的空间内进行组装和使用。另外,还可以增设绝缘防护罩、进行静电检测等特殊防护措施,以确保设备在有限空间内的安全运行。

3.2 施工工艺的优化与创新

在有限空间作业中,施工工艺的优化与创新是提高桩基施工效率和质量的关键。对于钻孔灌注桩施工,需要特别注意钻孔设备的选择和成孔工艺的优化。在高压线下或狭小空间内施工时,应选择低高度、小型化的钻孔设备,并采取特殊的防护措施以确保施工安全。同时,要严格控制泥浆的比重和性能指标,以确保孔壁的稳定性和施工的安全性。钢筋笼的制作和吊装也是桩基施工中的关键环节;在有限空间作业中,可以采用分节制作、机械连接等工艺来节约时间和提高效率。钢筋笼的吊装需采用专门的吊装工具和方法,确保吊装过程中的安全和稳定。此外,混凝土浇筑过程也需严格控制浇筑速度和浇筑高度,以防止混凝土离析和产生气泡等缺陷^[3]。为了进一步提高施工效率和质量,还可以采用一些创新的施工工艺。例如,使用高性能混凝土和智能化浇筑系统等技术手段,可以提高混凝土浇筑的速度和质量;采用预应力技术可以减少桩身的裂缝和变形,提高桩的承载能力。

3.3 安全与环保措施的强化

在有限空间作业中,安全与环保措施是桩基施工不可或缺的重要组成部分。为了确保施工过程中的安全,需要特别注意人员的安全防护和设备的稳定运行。对于高压线下的施工等特殊环境,还需采取额外的安全防护措施,如设置安全警示标志、警戒区域,并对施工人

员进行专门的安全培训和应急演练。同时,环保措施也是桩基施工中不可忽视的环节。在有限空间作业中,需要特别注意施工废水、废气、噪声等污染物的排放和控制。例如,施工废水应经过沉淀处理后排放;施工现场应设置噪声监测设备,确保噪声排放符合相关标准;还需采取防尘措施,如遮盖易产生粉尘的材料、设置挡风装置等。

4 地铁地下导洞打桩施工案例分析

4.1 工程概况

某地铁线路位于城市核心区,采用洞桩法施工。车站为地下双层岛式站台,主体结构为双层三跨钢筋混凝土框架,顶板覆土3.0-4.3m,长207.8m,宽22.7m(标准段),站台宽14m,设4个出入口和2组风亭,总面积13336.7m²。地层复杂,包含人工杂填土、粉土层、粉细砂层、圆砾卵石层等,车站顶部位于粉细砂层,底部位于卵石圆砾层,存在多种地下水,土层透水性好但开挖稳定性差。周边环境复杂,车站邻近长虹高架桥,桥桩距车站近,交通繁忙,且场地狭窄,大型设备作业受限。周边建筑密集,地下管线众多,部分管线距车站结构仅0.7m,桩基施工风险大。洞桩法适用于此地质差、断面大的情况,能有效控制沉降、减少环境影响,但施工工序多、技术复杂,管理要求高。

4.2 施工流程与技术要点

4.2.1 导洞开挖与支护

两侧边导洞用上下台阶法,先挖3-5m上台阶,小型挖掘机配合风镐,挖后及时用20-25cm厚喷射混凝土和15-20cm间距钢筋网支护,再挖下台阶,每循环进尺不超1m。上下中导洞用CD法,一侧上台阶挖3-5m后做初期支护和0.5-0.8m间距工字钢临时中隔壁,再挖另一侧上台阶,之后分两侧挖下台阶。施工关键是导洞支护快速封闭成环,喷射混凝土及时且保证厚度强度,钢筋网与工字钢连接牢固,上层导洞拱架里程同步,准确预埋扣拱钢筋^[4]。

4.2.2 桩基施工

边桩围护桩在岩层人工挖孔成桩,隔多桩施工,如先奇数桩后偶数桩。用吊锤法控垂直度,每挖1m检测,偏差控制在0.5%内,加强孔口防护与通风。结构中柱人工挖孔,钢管混凝土柱用全站仪控垂直度在0.3%内,冠梁扣拱预埋件按要求安装并检查。

4.2.3 混凝土浇筑

桩基混凝土用地泵浇筑,坍落度180-220mm防离析。桩身浇筑比设计桩顶标高高0.5-1.0m,浇筑后凿除多余部分,确保桩身混凝土质量。

4.3 设备选择与使用

4.3.1 小型反循环钻机应用

小型反循环钻机因体积小、占地少,适配地下导洞狭窄空间。依地质、桩径桩深选型,该工程穿越粉质粘土等多种地层,桩径800-1000mm、桩深20-30m,其靠反循环泥浆护壁钻孔,泥浆由孔外流入,真空泵吸钻渣,提高钻孔效率。操作时,钻孔前检查调试设备,钻孔中依不同地层控钻进速度与压力,关注泥浆性能,及时调整配合比。

4.3.2 设备运输与吊运

设备从竖井吊入,选电动葫芦或龙门吊,该工程用10t电动葫芦,吊运前检查制动、钢丝绳等部件,起吊时捆绑牢固、缓慢提升,专人指挥。设备吊运至导洞后,因空间窄,采用小型运输车辆或轨道运输,此工程用轨道运输,铺设轨道要保证平整稳定,平板车控速,井口设防护栏、导洞设警示标识、人员培训保安全。

结束语

桩基施工在有限空间作业中的应用是一项极具挑战性的任务。随着技术进步与经验积累,桩基施工在有限空间作业中的应用将更加成熟。未来,将继续探索和实践,以更高效的施工技术和更严格的管理标准,确保桩基施工在各类有限空间作业中的安全与质量,为城市建设贡献力量。

参考文献

- [1]宋一枫,孙一博,刘华鹏.筑牢有限空间作业安全屏障[N].绥化日报,2024-12-26(002).
- [2]董其彬,李岩,张臣.施工现场有限空间作业安全风险分析及管控[J].现代职业安全,2024,(11):53-54.
- [3]张军锋.建筑桩基施工中旋挖钻孔成桩施工技术的应用研究[J].中国房地产业,2019(10):168.DOI:10.3969/j.issn.1002-8536.2019.10.129.
- [4]罗非.高层建筑工程施工中桩基础施工技术研究[J].砖瓦世界,2025(3):43-45.DOI:10.3969/j.issn.1002-9885.2025.03.015.