

# 钻孔灌注桩施工对地层及既有管沟 振动影响规律研究<sup>\*</sup>

聂 鹏

(中铁十八局集团第三工程有限公司, 474250, 南阳)

**摘 要** [目的] 钻孔灌注桩旋挖成孔过程中会对地下既有建构筑物造成振动影响, 因此需对旋挖成孔过程中引起的地层和建构筑物振动响应进行研究。[方法] 以济南地铁 4 号线的车站基坑开挖工程为背景, 通过现场测试及基于三维有限元模型的数值模拟方法, 针对振源距离、埋深、开挖深度、电力管沟不同位置、同时施工桩数等因素对旋挖施工引起的土层和电力管沟振动影响规律进行了分析。[结果及结论] 距离振源越近处的土体和既有管沟受到的振动影响越大, 距离振源超过 6 m 之后的土体和既有管沟受到的振动影响可忽略; 随着埋深的增加, 土体受到的振动影响呈现减小趋势; 开挖深度至 12 m 后, 对浅层埋深管沟的振动影响可忽略不计; 测点与振源处于同一深度时, 测点处振动影响最大; 随着同时施工的两桩净距减小, 振动速度峰值呈现升高趋势, 当同时施工的两桩净距 10 m 时可忽略振动耦合效应。

**关键词** 地铁; 基坑; 钻孔灌注桩; 旋挖施工; 振动影响

**中图分类号** U231.3

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2025.01.019

## Study on the Vibration Influence Law of Bored Cast-in-place Pile Construction on Existing Strata and Pipe Trenches

NIE Peng

(The 3rd Engineering Co., Ltd. of China Railway 12th Bureau Group, 474250, Nanyang, China)

**Abstract** [Objective] The rotary drilling process of bored cast-in-place piles will cause vibration to the existing underground buildings and structures. Therefore, it is necessary to study the vibration response of the strata and structures caused by the rotary drilling process. [Method] Taking a station foundation pit excavation project of Jinan Metro Line 4 as the background, through field tests and numerical simulation methods based on three-dimensional finite element models, the influence of soil layers and power pipe trenches vibration caused by rotary drilling construction is analyzed considering factors such as vibration source distance, burial depth, excavation

depth, different power pipe trench positions, and the number of piles under simultaneous construction. [Result & Conclusion] The closer the soil and existing power pipe trench are to the vibration source, the greater the vibration effect they receive. The vibration effect on the soil and existing power pipe trenches can be ignored when the distance from the vibration source exceeds 6 m. The vibration effect on the soil shows a decreasing trend with the increase of burial depth. After the excavation depth reaches 12 m, the vibration impact on the shallow buried power pipe trench can be ignored. When the measuring point and the vibration source are at the same depth, the vibration impact at the measuring point is the greatest. With the decrease of the clearance between the two simultaneously-constructed piles, the vibration velocity peak value shows an increasing trend. When the net distance between two simultaneously-constructed piles is 10 m, the vibration coupling effect can be ignored.

**Key words** subway; foundation pit; bored cast-in-place pile; rotary drilling construction; vibration impact

我国地铁车站基坑施工多采用旋挖法成孔的钻孔灌注桩作为支护结构, 这种支护结构易引发周边建构筑物破坏。研究旋挖施工振动对既有结构的影响对城市轨道交通运营具有重要意义。

国内外学者针对施工振动对环境产生影响的问题进行了相关研究。文献[1]发现振源传递给土层的冲量是影响地下结构振动响应的主要因素。文献[2-3]分析了不同距离、深度、能量下施工桩对隧道结构位移和振动速度的影响规律。文献[4]研究了不同距离和桩径的桩基受到邻近地铁隧道开挖施工的影响情况。文献[5]总结了桩身参数、土体性质对结构振动特性的影响。文献[6]总结了旋挖钻施工过程中应力波在地层中传播的规律以及相关控制标准。文献[7]分析了邻近受荷桩对隧道

<sup>\*</sup> 山东省自然科学基金项目(ZR2020QE265)

变形和衬砌结构力的影响规律。上述研究结果表明,桩施工过程中产生的振动对周边环境具有重要影响,但已有研究集中于既有建筑和地层,对地下构筑物分析较少,且均忽略了多台机械设备同时工作的振动耦合效应。

本文以济南地铁 4 号线工程为例,采用现场测试和数值模拟方法分析旋挖施工对土层及既有管沟的振动影响,并探明两台机械设备共同施工的振动影响。本文研究结果可为桩基施工过程中地下构筑物的保护提供借鉴。

## 1 工程概况

拟建燕山立交桥东车站主体位置如图 1 所示。车站主体南侧存在东西方向布置埋深 2 m 的电缆沟,其尺寸为 2.0 m×2.1 m(宽×高),电缆沟顶、底板材料分别为 0.2 m、0.3 m 厚的钢筋混凝土,侧墙为 0.37 m 厚的烧结普通砖。基坑标准段及两端围护桩与电缆沟净距分别为 3.03 m 和 1.28 m。围护桩采用旋挖钻施工,桩径均为 1.0 m,桩长为 31.0 m。根据地质勘察,场地素填土厚度为 1.0 m,杂填土厚度为 3.6 m;土层下为全风化、强风化与中风化闪长岩层,深度在 35.0 m 以上。

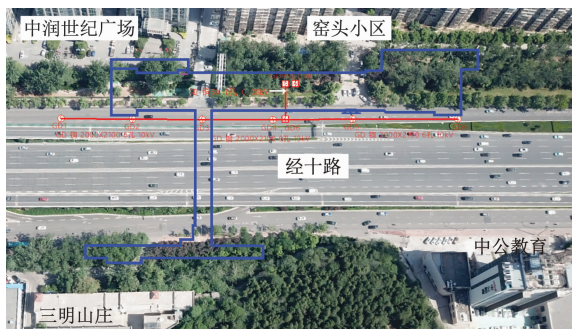


图 1 燕山立交桥东车站站位图

Fig. 1 Site map of Yanshan Overpass East Station

## 2 现场测试

### 2.1 振动监测试验设计

基坑围护结构采用旋挖钻机成孔。为研究基坑围护结构旋挖施工产生的振动对电力管廊的影响,开展旋挖施工振动监测。监测孔深为 4 m,加速度传感器置于地下 2 m 和 4 m 处,用于监测试验桩施工过程中产生的振动。试验桩振动监测点布置如图 2 所示。

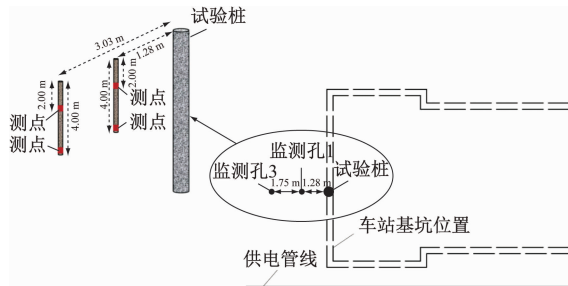


图 2 振动监测布点示意图

Fig. 2 Layout diagram of vibration monitoring points

### 2.2 振动监测结果

各测点振动加速度监测结果如图 3 所示。旋挖施工引起的土体振动加速度在  $0.20 \sim 3.75 \text{ m/s}^2$  之间;当开挖至与监测点相同深度时加速度峰值最大;开挖深度至 12 m 之后,振动对土层的影响极小,可忽略不计。

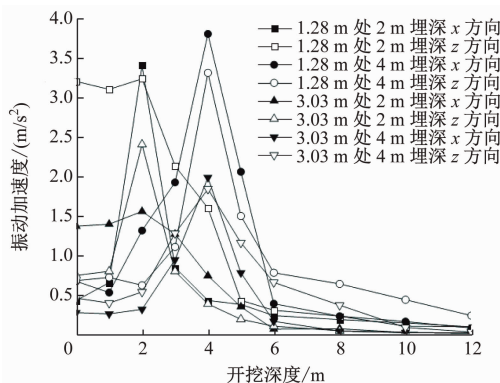


图 3 各测点振动加速度监测曲线

Fig. 3 Vibration acceleration monitoring curves of each measuring point

## 3 数值模拟

### 3.1 数值模型

采用 MIDAS GTS 软件建立数值模型,模型尺寸为 30 m(长)×20 m(宽)×30 m(高),岩土体采用摩尔库伦本构,电缆沟采用线弹性本构,在模型四周设置曲面弹簧约束,底面为固定约束。旋挖钻头扰动力简化为法向  $200 \text{ kN/m}^2$  的动力荷载。按照上述参数建立的有限元模型如图 4 所示。

电缆沟构件弹性模量为  $32\,500 \text{ MPa}$ ,泊松比为 0.2,重度为  $25 \text{ kN/m}^3$ 。根据《岩土工程勘察报告》可得岩土体参数,如表 1 所示。

### 3.2 地层振动特征

#### 3.2.1 开挖深度对土层的影响

施工中地下 2 m、4 m 测点处土层随开挖深度

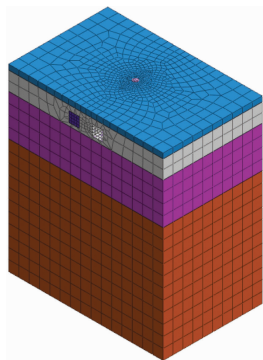


图4 有限元模型

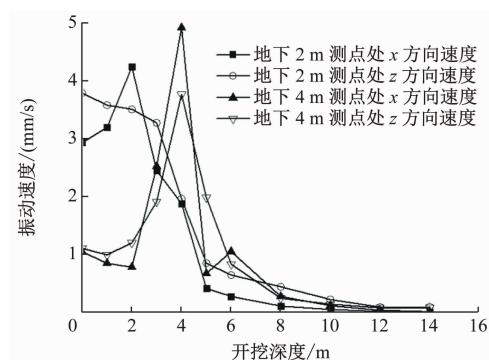
Fig. 4 Finite element model

表1 土层参数取值

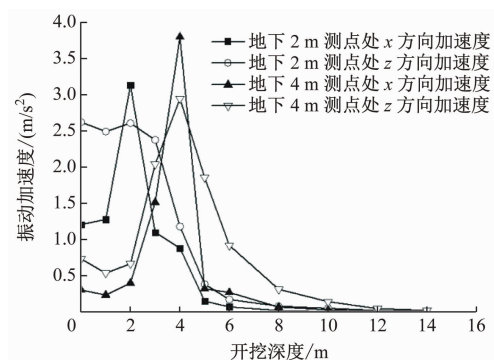
Tab. 1 Parameter values of soil layers

土层编号	名称	弹性模量/MPa	泊松比	重度/(kN/m <sup>3</sup> )	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	层厚/m
①-1	素填土	2.5 *	0.42	19.5 *	8.0 *	8 *	1.0
①-2	杂填土	2.5 *	0.42	19.5 *	8.0 *	10 *	3.6
⑨-1	全风化闪长岩	4.5	0.32	17.9	24.7	16	8.0
⑨-2	强风化闪长岩	35.0 *	0.25	23.6	60.0	42	

注: \* 为经验取值。



a) 振动速度曲线



b) 振动加速度曲线

图5 钻孔开挖深度对土层影响

Fig. 5 Effect of drilling excavation depth on soil layers

### 3.2.2 振源距离对土层影响

在0 m、2 m、4 m深度施工时,振源水平面振动

的振动影响如图5所示。数值计算结果中土体随施工深度增加的振动加速度曲线与现场实测的振动加速度曲线拟合度较好。因此,该数值模拟的计算结果具有较高的可靠性。

由图5可知:当振源和监测点在同一深度的土层时,测点处振动加速度最大。在开挖深度到达12 m后,监测点土层的振动影响可忽略。开挖深度对土层横向振动的影响更大。在地下2 m处,土层纵向振动影响在0~1 m范围内下降,说明埋深较浅时,埋深对竖向振动加速度会造成较大的影响。

变化规律如图6所示。由图6可知:竖向振动速度随着振源距离的增加减小更慢。随着埋深增加,同层土受到的振动影响越小。振动加速度随着振源距离增加而降低,且竖向振动加速度略大于横向振动加速度。当距离振源6 m以后,土体受到的振动影响很小,可忽略不计。

### 3.3 管沟振动特征

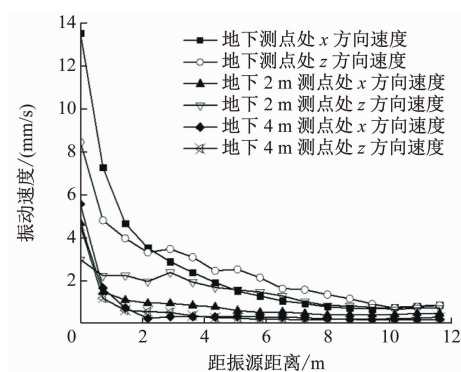
#### 3.3.1 开挖深度对管沟影响

钻孔开挖深度对管沟影响如图7所示。由图7可知:随着开挖深度的增加,电力管沟受到的振动影响总体上呈现递减趋势,且在电力管沟侧壁中心位置振动影响最大。随施工深度的增加,侧壁和底板处的横向振动速度在开挖2~3 m内出现了较大增幅,但是顶板的横向振动速度呈现一直下降的趋势。管沟整体受到的竖向振动影响在管沟各处的数值和变化规律基本一致,横向振动影响有较大差异。整体看,横向振动影响波动更大,侧壁高于顶板和底板。在开挖深度12 m之后,成孔过程中产生的振动对电力管沟的影响可以忽略不计。

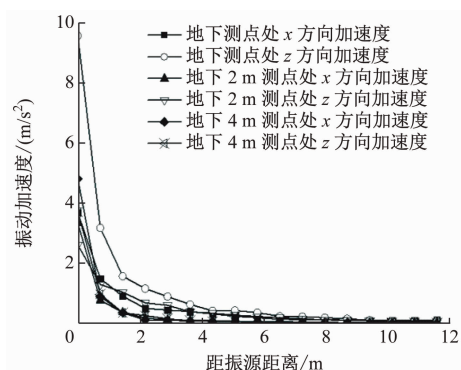
#### 3.3.2 沿管沟方向不同距离处振动影响

旋挖施工至地下3 m时对管沟侧壁中心位置的振动影响如图8所示。由图8可知:在对称位置处,数值几乎一致,对电力管沟的振动影响最大处在距离振源最近位置(0 m处),振动加速度曲线沿





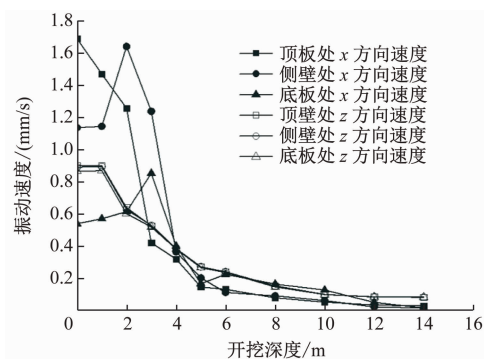
a) 振动速度曲线



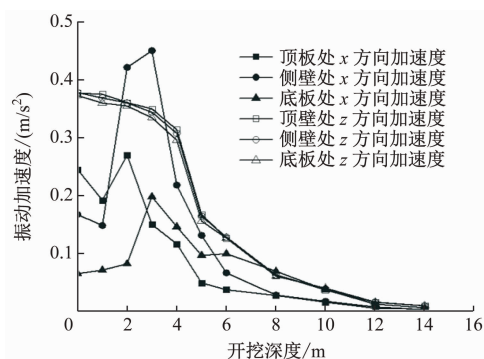
b) 振动加速度曲线

图 6 桩开挖对同层土影响

Fig. 6 Effect of pile excavation on the soil same layer



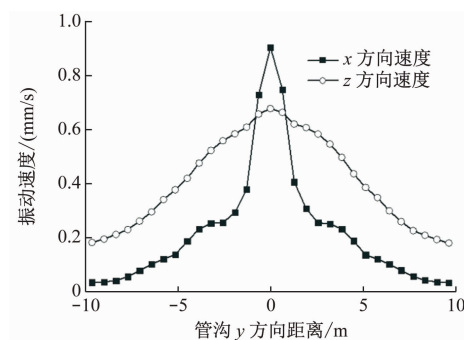
a) 振动速度曲线



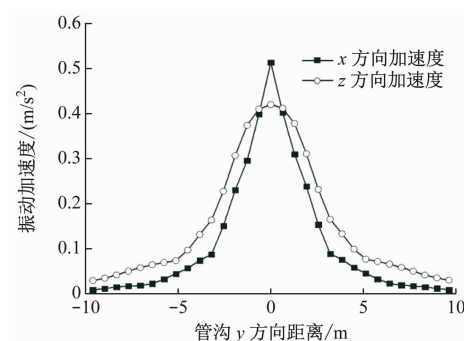
b) 振动加速度曲线

图 7 钻孔开挖深度对管沟影响

Fig. 7 Effect of drilling excavation depth on pipe trenches



a) 振动速度曲线



b) 振动加速度曲线

图 8 沿管沟方向不同距离处振动影响

Fig. 8 Vibration effects at different distances along the pipe trench direction

管沟侧壁呈倒“V”型分布,横向振动速度的变化幅度高于竖向振动速度变化。

#### 4 双桩施工振动

分别在管沟 y 方向 0 m 处及桩间距 5.0 m、7.5 m、10.0 m 处同时施工桩,提取当围护桩在地下 3 m 处施工时,两种工况分别对管沟顶板的影响,如图 9 所示。由图 9 可知:不同于单桩施工,双桩同时施工时出现了耦合效应,振动速度峰值随着桩间距的增加而减小,桩间距 10.0 m 后速度峰值和单桩施工时大致相同,并且峰值的数量会随着施工桩数的增加而增加,分别位于距离桩孔最近的管沟位置处。

#### 5 结论

1) 在旋挖施工中,与振源同深度土层中距离振源越近受到的振动影响越大,且在 0~2 m 范围内振动减小更快;竖向振动衰减速率小于横向振动;当距离振源在 6 m 之后,土层受到的影响可忽略不计;随着测点埋深的增加,振动影响减小。

2) 随着开挖深度的增加,土体和管沟受到的横向振动影响呈现先增加后减小的趋势,当测点与振

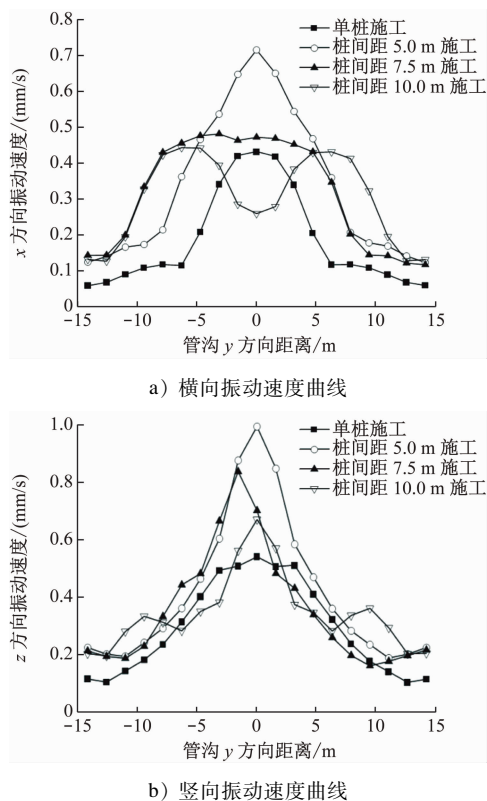


图9 单桩及双桩施工对管沟顶板影响

Fig. 9 Effects of single-pile and double-pile constructions on pipe trench top plate

源处于同一深度时受到的振动影响最大,当开挖深度到达12 m时,可认为无振动影响。

3) 靠近振源一侧的管沟侧壁受到横向振动影响最大,管沟底板影响最小,纵向振动影响相差不大。随振源沿管沟纵向距离的增大,振动影响减小。

4) 两桩同时施工时,随着桩间距的减小,振动耦合效应导致速度峰值增大。当桩间距达到10.0 m时,振动耦合效应基本消失。

## 参考文献

[1] BAZIAR M H, MOGHADAM M R, KIM D S, et al. Effect of underground tunnel on the ground surface acceleration[J]. Tunnel-

ling and Underground Space Technology, 2014, 44: 10.

[2] 徐云福,王立峰. 近邻桩基施工对城市地铁隧道的影响分析[J]. 岩土力学, 2015, 36(增刊2): 577.

XU Yunfu, WANG Lifeng. Analysis of effects on city metro tunnel due to adjacent pile foundation construction[J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, 36(S2): 577.

[3] 尹洪桦,尹洪冉,胡明华,等. 钢管桩施工对邻近既有隧道的动力响应分析[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2016, 29(1): 76.

YIN Honghua, YIN Hongran, HU Minghua, et al. Analysis of dynamic response of steel pipe piles construction on adjacent existing tunnel[J]. Journal of Sichuan University of Science & Engineering(Natural Science Edition), 2016, 29(1): 76.

[4] 丁智,张霄. 桩基施工对邻近既有地铁隧道影响的数值分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2019, 50(2): 390.

DING Zhi, ZHANG Xiao. Numerical analysis of influence of pile foundation construction on adjacent metro tunnel[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2019, 50(2): 390.

[5] 朱昂. 螺旋桩振动响应特性的模型试验研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2020.

ZHU Ang. Model test study on vibration response characteristics of spiral pile [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2020.

[6] 付佳奇. 旋挖钻施工扰动对下卧既有地铁隧道影响的数值模拟分析[D]. 焦作: 河南理工大学, 2021.

FU Jiaqi. Numerical simulation analysis of the influence of rotary drilling construction disturbance on the underlying existing subway tunnel[D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2021.

[7] NARUNATH, PORNKASEM J, PRATEEP L, et al. Comparative effects of adjacent loaded pile row on existing tunnel by 2D and 3D simulation models[J]. Geomechanics and Engineering, 2021, 27(2): 151.

· 收稿日期:2023-06-14 修回日期:2023-09-20 出版日期:2025-01-10

Received:2023-06-14 Revised:2023-09-20 Published:2025-01-10

· 通信作者:聂鹏,工程师,niepeng2023@163.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com