

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.12.057

综合管廊综合井地下连续墙施工振动对 周边建筑物的影响分析

李波,王 谭

(广州市市政集团有限公司,广东 广州 510060)

摘 要:以天河智慧城华观路段综合管廊 H8 综合井为研究对象,开展综合管廊综合井地下连续墙施工振动对周边建筑物的影响研究。利用岩土工程专用软件 MIDAS GTS,模拟综合管廊综合井地下连续墙冲击破岩对邻近变电站桩基的振动影响,通过对施工关键步骤的分析,总结变电站桩基振动速度峰值变化的规律,并对照振动安全允许标准,进行安全评价,相关研究成果对施工机械、施工工艺及施工振动防护措施的选择起到了指导作用,为今后类似工程的实施提供参考借鉴。

关键词:综合管廊;地下连续墙;振动;周边建筑物;有限元

中图分类号: TU745.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)12-0271-05

0 引 言

近年来,随着城市综合管廊工程的建设,进一步提高了城市地下空间的利用效率,最大限度地节约了地面空间,综合管廊已成为城市发展过程中的重要组成部分。地下连续墙是管廊综合井开挖常见的围护结构形式,其特点是墙体刚度大、防渗性能好、安全可靠,但是在施工过程中,当基底碰到硬岩、孤石等复杂地质,往往会影响施工质量和施工进度。特别是在岩层中采用机械破岩进行挖槽施工,其施工持续时间长,施工机械产生振动大,加上地下综合管廊施工多位于城市中心,现场施工环境复杂^[1],导致施工振动对周边敏感建筑物造成不同程度损伤的问题较为突出^[2]。因此,深入研究地下连续墙成槽机械施工振动对周边敏感建筑物的影响,特别是施工前进行有限元模拟分析,对选择合理的施工机械、施工工艺及施工振动防护措施起到很大的指导作用。

1 工程概况

天河智慧城华观路段综合管廊 H8 综合井位于科城变电站南侧,平面尺寸 37.7 m×13.5 m,基坑底板埋深约 18.0 m,围护结构采用 800 mm 厚地下连

续墙,共分 18 幅,采用 C30 水下混凝土浇筑。科城变电站平面尺寸 81 m×34 m,桩基础类型均为摩擦端承桩,共有桩 130 根,其中 Φ800 桩 24 根,Φ1000 桩 26 根,采用 C35 混凝土浇筑,桩端进入中风化岩层长度大于 0.5 m。

该区域地质条件复杂,场区发育有花岗岩孤石,孤石的分布具有不确定性,孤石和基地硬岩的强度较高,其抗压强度平均达到 93 MPa,因此 H8 综合井地连墙成槽需采用机械冲击破岩,势必会产生较大施工振动。且施工场地周边环境复杂,紧邻科城变电站,见图 1,待建地连墙与变电站围墙距离约为 12 m,变电站对施工振动要求高,施工前期开展地连墙施工振动对变电站的影响分析,分析振动冲击作用下地层及变电站桩基的动力响应。

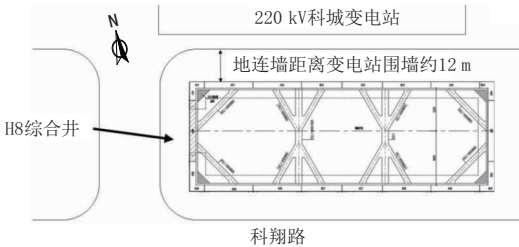


图 1 H8 综合井与科城变电站相对位置图

2 模型概况

2.1 模型建立

H8 综合井北侧地连墙离科城变电站最近,其中 A02 幅地连墙入岩深度最大,成槽施工冲击振动时间

收稿日期: 2024-01-18

基金项目: 广州市建筑集团有限公司项目(2021-KJ002)

作者简介: 李波(1985—),男,硕士,高级工程师,从事市政路桥施工技术研究工作。

最长、产生的影响最大。因此 A02 幅地连墙施工,是 H8 综合井地连墙施工对科城变电站振动影响的最不利工况,是此次有限元分析研究的重点对象。A02 幅地连墙墙高 28.95 m,槽段长 6 m,入微风化花岗岩 6.5 m。

采用有限元分析软件 MIDAS GTS 展开分析,根据 H8 综合井施工图纸及《天河智慧城地下综合管廊工程-科翔路 H8 盾构井岩土工程补充勘察报告》,建立有限元模型,见图 2~图 4。

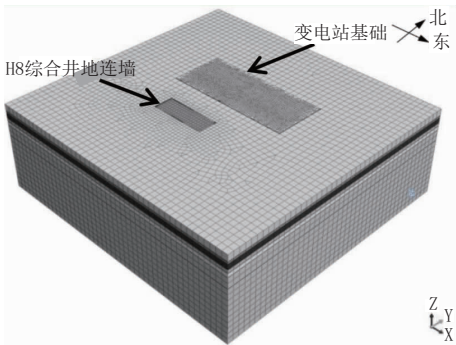


图 2 H8 综合井地连墙与变电站基础模型

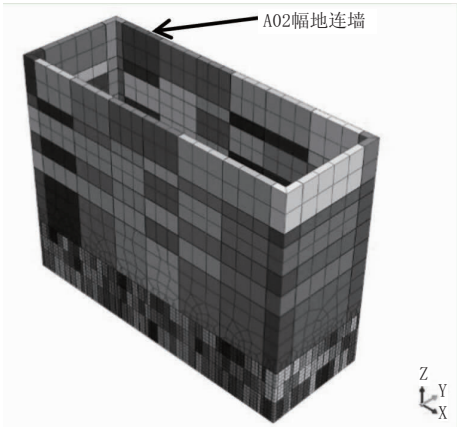


图 3 H8 综合井地连墙模型

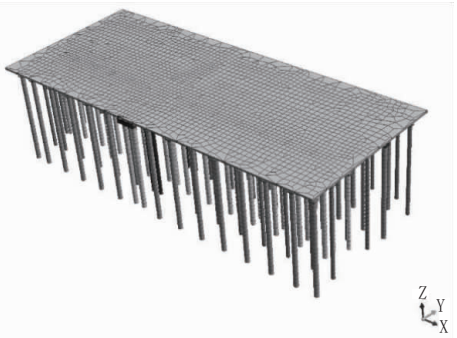


图 4 变电站基础模型

2.2 工况划分

H8 综合井基坑 A02 幅地连墙采用的施工流程为:旋挖钻钻孔;入岩段桩锤冲击引孔;方锤冲击修壁;清孔;吊装钢筋笼;浇筑混凝土。因此 A02 幅地连墙施工工况划分为静态分析工况和冲击振动分析工况两类,见表 1。其中冲击振动分析工况主要包括以

下研究内容:

表 1 模型计算工况

编号	工况	简述	备注
1	初始应力场计算	本工况为岩土工程分析第一步,分析只包含岩土体,位移清零	
2	修建既有建筑物-变电站	本工况不考虑建筑物多次施工步骤,一次性修建所有桩基、承台及底板,位移清零	静态分析工况
3	A02 幅地连墙开挖,并作泥浆护壁	本工况 A02 幅岩层上方土体完全清除	
4	桩锤冲击引孔	A02 段钻孔 6.5 m,模型分析时取 3 段钻进,本段长度为 2 m	
5	桩锤冲击引孔	A02 段钻孔 6.5 m,模型分析时取 3 段钻进,本段长度为 2 m	
6	桩锤冲击引孔	A02 段钻孔 6.5 m,模型分析时取 3 段钻进,本段长度为 2.5 m	冲击振动分析工况
7	方锤冲击修壁	对已成孔岩壁进行方锤修边,模型分析时取 3 段修边,本段长度为 2 m	
8	方锤冲击修壁	对已成孔岩壁进行方锤修边,模型分析时取 3 段修边,本段长度为 2 m	
9	方锤冲击修壁	对已成孔岩壁进行方锤修边,模型分析时取 3 段修边,本段长度为 2.5 m	

(1)采用 4.8 t 重 800 mm 直径桩锤,2.5 m 冲程下落冲击整块基岩,孔距 1 m。有限元分析模型中,将桩锤冲击引孔过程分为三段,每段长度为 2、2、2.5 m。

(2)采用 7.2 t 方锤,从 2.5 m 冲程高度冲击引孔后的岩面,方锤的尺寸为 2.5 m×2.3 m×0.78 m。有限元分析模型中,将方锤冲击修壁过程分为三段,每段长度为 2、2、2.5 m。

2.3 冲击振动模型

为实现落锤冲击过程的模拟,采用的方法为对岩面施加一定冲击动力荷载进行模拟。

对于桩锤冲击引孔,冲击力荷载的施加方法见图 5,在上部土体开挖后的基岩面上,施加冲击力荷载,其作用范围为直径为 800 mm 的圆,见图 5 阴影部分;对于 A02 幅地连墙,桩锤成孔深度为 6.5 m,本次有限元分析模型中,将冲击冲孔过程分为三段,每段长度为 2、2、2.5 m,见图 6。

对于方锤冲击修壁,冲击力荷载的施加方法见图 7,在已经冲击成孔的岩面上,施加冲击荷载,方锤尺寸为 2.5 m×2.3 m×0.78 m,荷载作用面积为图 7 所示阴影部分;对于 A02 幅地连墙,墙体嵌固深度为 6.5 m,需用方锤修壁的岩壁高度为 6.5 m,有限元



图5 A02幅地连墙基岩面桩锤冲击荷载示意图(单位:mm)

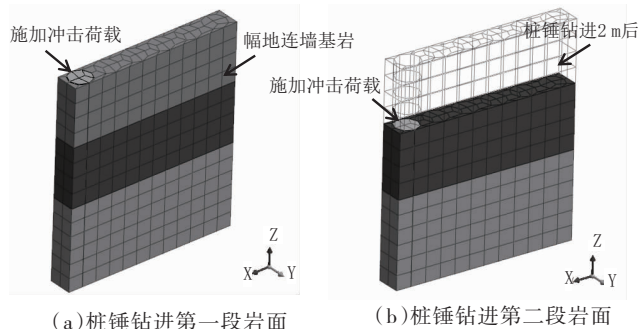


图6 桩锤钻孔模型图

分析模型中,将冲击岩壁过程分为三段,每段长度为2、2、2.5 m,见图8。

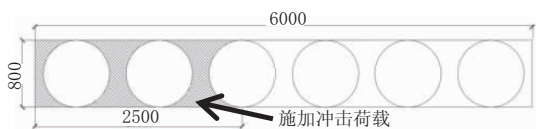


图7 A02幅地连墙方锤冲击荷载示意图(单位:mm)

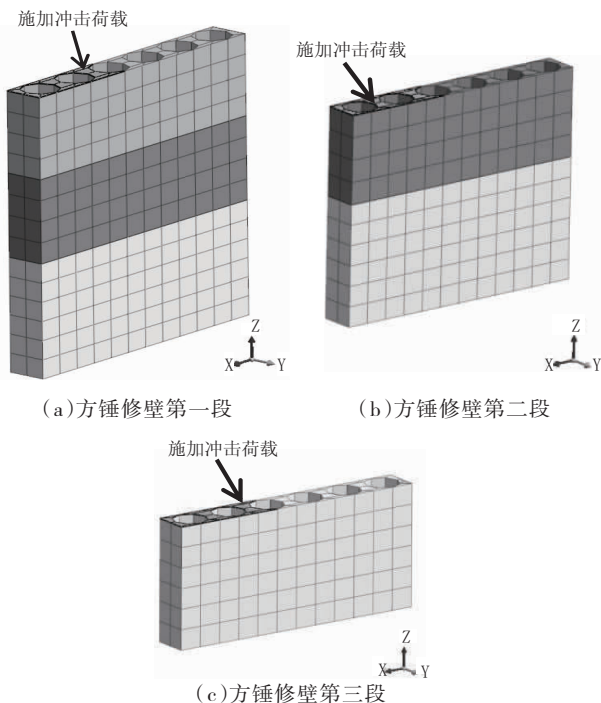


图8 方锤冲击荷载模型图

2.4 冲击力确定

根据落锤冲击碎岩的特点,落锤从一定高度冲击土体,是一个高速动力过程,在极短的时间内产生一个较大的冲击力,为了模拟该冲击的实际工况,在落锤冲击的岩面施加一个脉冲力来模拟冲击力^[3],冲击力的大小由锤重,落距和冲击时间决定^[4],根据室内落锤冲击混凝土试验,冲击力时程曲线呈图9所示分布形式,最大冲击力的脉冲波形持续时间与落锤高度及落锤质量无关,基本都在1.25 ms左右^[5]。工程分析时常简化为三角形荷载或者半正弦曲线荷载模型^[6-7],本次分析选择采用三角形分布荷载模型,见图10,峰值为最大冲击力荷载值,平稳值为落锤自重。

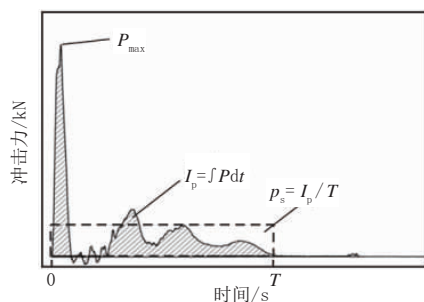


图9 实验室冲击荷载时程曲线

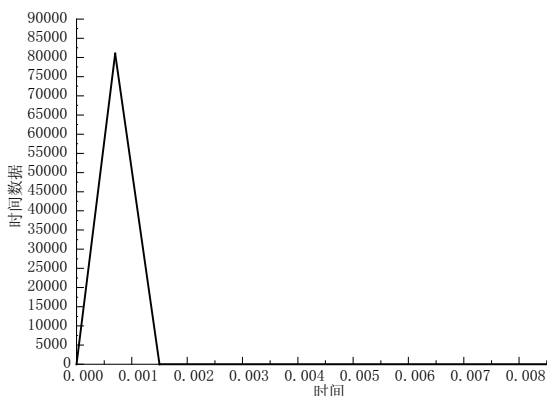


图10 模型冲击荷载时程曲线

根据动量守恒定理计算冲击力^[5],冲击力荷载峰值的计算公式如下:

$$I = \int F(t) dt = M_v \quad (1)$$

$$v = \sqrt{2gH} \quad (2)$$

式中: I 为冲击过程中冲击力的总冲量; $F(t)$ 是冲击力随时间变化的函数; M 为落锤的质量,桩锤为4.8 t,方锤为7.2 t; v 为落锤接触岩面时的速度; H 为冲程,最大冲程为2.5 m。得出桩锤、方锤最大冲击荷载分别为53 760、80 707 kN。

根据以上冲击荷载计算公式及荷载分布形式,对冲击振动工况桩锤及方锤的施加冲击荷载汇总于表2。

表2 桩锤及方锤施工各阶段冲击荷载值汇总

落锤形式	冲击阶段	工况编号	落距 / m	冲击时间 / ms	最大冲击力荷载值 / kN
4.8 t 直径 800 mm 桩锤	冲击引孔第一段,2 m	4	2.5	1.25	53 760
	冲击引孔第二段,2 m	5	2.5	1.25	53 760
	冲击引孔第三段,2.5 m	6	2.5	1.25	53 760
7.2 t 方锤	冲击修壁第一段,2 m	7	2.5	1.25	80 707
	冲击修壁第二段,2 m	8	2.5	1.25	80 707
	冲击修壁第三段,2.5 m	9	2.5	1.25	80 707

3 有限元结果分析

3.1 变电站桩基振动速度峰值

采用 MIDAS GTS 线性时程分析进行计算,得到 H8 综合井地连墙施工振动(工况 4~工况 9)对科城变电站桩基振动速度峰值云图。以工况 4 桩锤冲击引孔第一段 2 m 为示例,变电站桩基振动速度计算云图见图 11,其中 X 以东方向为正,Y 以北方向为正,Z 以竖直向上为正,以下结果云图均为速度绝对值峰值。其他工况计算过程类似,其变电站桩基振动速度计算云图不再罗列,将工况 4~工况 9 计算结果汇总到表 3。

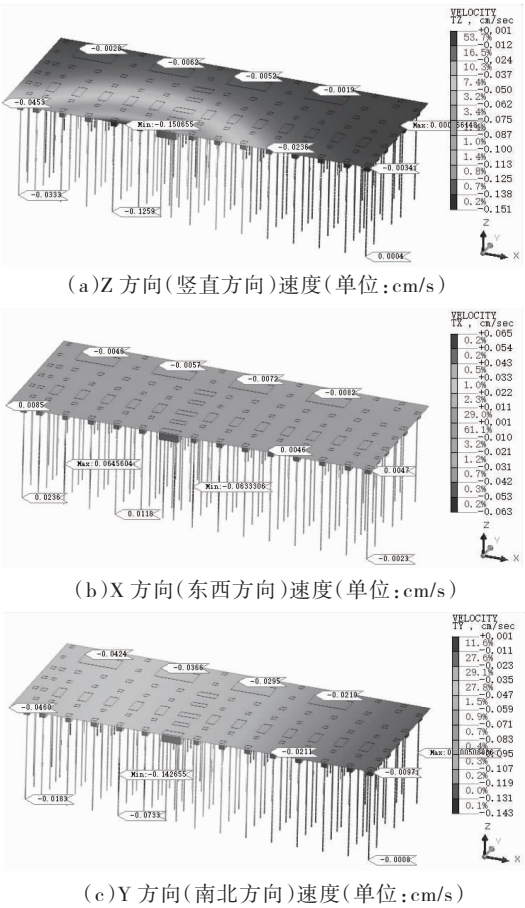


图 11 工况 4 变电站桩基振动速度计算结果

表 3 地连墙冲击施工计算结果汇总表

施工阶段	速度极值 (竖直方向)/(cm·s ⁻¹)	速度极值 (东西方向)/(cm·s ⁻¹)	速度极值 (南北方向)/(cm·s ⁻¹)	速度最大值位置
工况 4:桩锤冲击引孔第一段 2 m	0.151	0.065	0.143	靠近 A02 幅地连墙,变电站南侧
工况 5:桩锤冲击引孔第二段 2 m	0.132	0.06	0.128	靠近 A02 幅地连墙,变电站南侧
工况 6:桩锤冲击引孔第三段 2.5 m	0.129	0.059	0.125	靠近 A02 幅地连墙,变电站南侧
工况 7:方锤冲击修壁一段 2 m	0.179	0.078	0.177	靠近 A02 幅地连墙,变电站南侧
工况 8:方锤冲击修壁二段 2 m	0.158	0.075	0.179	靠近 A02 幅地连墙,变电站南侧
工况 9:方锤冲击修壁三段 2.5 m	0.156	0.076	0.177	靠近 A02 幅地连墙,变电站南侧
速度最大值	0.179	0.078	0.179	—

3.2 结果分析

(1)H8 井地连墙岩层冲击施工造成变电站桩基质点振动速度最大值分别是 0.179 cm/s(竖直方向)、0.078 cm/s(东西方向)、0.179 cm/s(南北方向)。H8 井地连墙岩层冲击施工造成变电站桩基质点振动速度极值的影响,其竖向方向速度极值与南北方向速度极值较大且数值较接近,东西方向速度极值较小。

(2)方锤冲击修壁引起的变电站桩基质点振动速度(竖直方向、东西方向、南北方向),都比桩锤冲击引孔引起的结果数值要大。在冲程一致的情况下,方

锤由于质量大冲击力大造成变电站桩基质点振动速度较大。

(3)桩基距振动发生点越近对其质点振动速度影响越大,振动发生点随深度增加对同一桩基的影响减弱。

3.3 安全评价

根据《爆破安全规程》(GB 6722—2014)规定:电站中心控制设备室振动安全允许标准值见表 4。

冲孔作业引起的地表振动频率分布在 12~51 Hz,随着距离增大,频率分布区域逐渐变窄,峰值频率保

表 4 振动安全允许标准			
保护对象类别	安全允许质点振动速度 $V/(cm\cdot s^{-1})$		
运行中的水电站 及发电厂中心控 制室设备	$f\leq 10\text{ Hz}$	$10\text{ Hz}<f\leq 50\text{ Hz}$	$f>50\text{ Hz}$
	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.9

持在 15 Hz 附近^[8]。因此本项目中变电站的安全允许质点振动速度取 0.6~0.7 cm/s。

由表 3 可以看出,H8 综合井地连墙冲击施工引起变电站桩基振动速度最大值分别是 0.179 cm/s(竖直方向)、0.078 cm/s(东西方向)、0.179 cm/s(南北方向),均未超过振动安全允许标准所要求的数值,其 H8 综合井地连墙振动施工时变电站桩基处于安全状态,所选用施工设备、施工方法合理。

4 结 论

本文以天河智慧城华观路段综合管廊 H8 综合井地连墙振动施工对邻近变电站的影响为例,当地连墙基底碰到硬岩、孤石等复杂地质,采用冲击破岩的方式成槽施工,在施工前对周边敏感建(构)筑物开展振动有限元模拟分析有一定的必要性,通过有限元分析软件分析地连墙冲击引孔、冲击修壁对变电站桩基振动速度峰值的模拟和分析,总结后得出以下结论。

(1)地连墙岩层冲击施工对变电站桩基质点振

动的竖向方向速度影响较大。
(2)桩基距振动发生点越近对其质点振动速度影响越大,振动发生点随深度增加对同一桩基的影响减弱。
(3)冲孔振动施工的最大冲击力荷载越大对桩基质点振动速度的影响越大。其冲孔振动施工的最大冲击力荷载与落锤质量和冲程有关,与其两者都成正比,因此在选择施工机械时,要根据冲程参数和落锤质量选择合理的施工设备。

参考文献:

[1] 陈元盛,党发宁.综合管廊施工对临近建筑沉降的影响分析[J].西安理工大学学报,2021,37(3):414-422.

[2] 康恒一,戴浩宇,沈碧辉.地下连续墙成槽施工振动对邻近古建筑的影响[J].工业建筑,2022,52(12):171-178.

[3] 谭凡教,陈洪泳,殷琨,等.受冲击荷载作用土体变形的有限元研究[J].岩土力学,2004(12):2013-2016.

[4] 韩冰,曹品鲁.冲击取样钻头与土体相互作用的有限元分析[J].岩土工程学报,2008(10):1560-1563.

[5] 许斌,曾翔.冲击荷载作用下钢筋混凝土梁性能试验研究[J].土木工程学报,2014,47(2):41-51,61.

[6] 陈华建.冲孔灌注桩施工对既有桥梁桩基的动力影响分析[J].上海应用技术学院学报(自然科学版),2013,13(1):1-5.

[7] 蒋鹏,李荣强,孔德坊.强夯大变形冲击碰撞数值分析[J].岩土工程学报,2000(2):222-226.

[8] 霍卫安.冲孔桩施工引起周围地表振动的测试研究[J].甘肃科技,2022,38(1):26-29.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿邮箱:cdq@smedi.com

电话:021-55008850

投稿网站:<http://www.csdqyf.com>