

挤土桩施工对邻近防汛墙安全影响分析

张 玥

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 黄浦江和苏州河防汛墙是上海市防洪挡潮的主要工程措施,在防御风、暴、潮、洪四大灾害,确保城市的正常运行和人民生命财产安全等方面发挥了重要作用。随着上海市在黄浦江及苏州河沿线堤防周边开展的施工项目日益增多,桩基施工对邻近防汛墙结构安全的影响已发展成为需要重点关注的工程问题。采用有限元软件 PLAXIS 模拟挤土桩施工对邻近防汛墙的影响,定量分析防汛墙结构在桩基施工影响下的位移规律,确定了关键影响参数,供黄浦江及苏州河沿线堤防管理使用。

关键词: 挤土桩施工;防汛墙;有限元分析;安全影响

中图分类号: TV87; TU998.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)01-0289-05

Analysis on Impact of Displacement Pile Construction on Adjacent Flood Control Walls

ZHANG Yue

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The flood control walls of Huangpu River and Suzhou River are the main engineering measures for flood control and tide prevention in Shanghai, which play an important role in ensuring the normal operation of the city and the safety of people's lives and properties in defending against the four major disasters of wind, storm, tide and flood. With the increasing number of construction projects carried out around the embankments along the Huangpu River and Suzhou River in Shanghai, the impact of pile foundation construction on the structural safety of the adjacent flood control wall has become an engineering problem needed for special attention. The finite element software PLAXIS is used to simulate the impact of displacement pile construction on the adjacent flood control walls, the displacement law of the flood control wall structure under the influence of pile foundation construction is quantitatively analyzed, and the key influence parameters are determined, which can be used for the embankment management along the Huangpu River and the Suzhou River.

Keywords: displacement pile construction; flood control wall; finite element analysis; safety impact

0 引 言

黄浦江和苏州河防汛墙是上海市防洪挡潮的主要工程措施,在防御风、暴、潮、洪四大灾害,确保城市的正常运行和人民生命财产安全等方面发挥了重要作用。

随着本市在黄浦江及苏州河沿线堤防周边开展的施工项目日益增多,桩基施工对邻近防汛墙结构安全的影响已发展成为需要重点关注的工程问题。当前部分学者就桩基施工对周边环境的影响进行了相关研究,研究方向主要聚焦于土体本身的变形机制或对特定工程条件下市政工程相关建(构)筑物的影响分析,缺少对防汛墙保护范围外桩基施工的相

关规定及系统研究内容^[1-4]。因此,开展黄浦江、苏州河沿线近岸桩基施工对邻近防汛墙安全影响的研究工作是十分必要的,这有利于对桩基施工过程中影响邻近防汛墙的关键因素提前采取措施,使黄浦江及苏州河沿线防汛墙周边桩基工程施工管理工作更具针对性及科学性。

本文基于前人研究基础上,通过理论分析方法的比选,最终确定使用有限元分析作为理论基础与分析方法,并结合工程实际建立有限元模型分析计算并总结规律,最终得出挤土桩施工对防汛墙影响规律及敏感因素,供黄浦江及苏州河沿线堤防管理使用。

1 模型建立

1.1 模型选取

桩基础是工程建设中常见的基础形式,其中预

收稿日期: 2025-03-13

作者简介: 张玥(1993—),女,硕士,工程师,从事水利工程设计工作。

制桩因其施工简便、效率高而被广泛应用,但由于挤土效应影响,打桩施工过程中,桩体贯入会导致周边地基土体产生位移效应,同时引发超静孔隙水压力上升,从而引起邻近土体在垂直方向抬升及水平方向移动^[5-6],当变形量过大时将邻近防汛墙产生不可逆的影响。

桩基施工时,工程与周围环境是一个相互作用的系统,采用连续介质有限元分析可有效模拟此类问题,该方法能够综合考虑地质分层特征、岩土参数、桩基挤土效应、施工流程及邻近结构物约束条件等复杂因素^[7-8]。近年来,数值计算方法、计算机运算能力及岩土本构理论的不完善,显著推动了有限元分析技术在工程领域的应用发展,从而为邻近建(构)筑物的桩基工程设计提供了重要的分析手段。本研究采用有限元分析软件 PLAXIS 建立模型分析挤土桩施工对邻近防汛墙的影响。

此外,在数值模拟中选择恰当的土体应力-应变关系模型是确保计算精度的核心要素。目前人们已意识到小应变范围内的应力-应变关系对预测土体的变形起着十分重要的作用,因此,本研究采用能反映土体小应变状态下变形特征 HSS 模型,该模型在桩基施工影响分析时具有更好的适用性^[9-11]。

1.2 边界条件

在进行本次研究时需明确关键边界条件,这对于准确、有效地模型建立及计算成果输出至关重要。本研究需明确的边界条件如下。

(1)防汛墙类型:根据黄浦江、苏州河防汛墙资料,沿线堤防结构型式主要为高桩承台结构,本研究对象典型防汛墙结构型式确定为高桩承台式防汛墙。

(2)桩基类型:防汛墙的安全受地层变形影响较大,根据桩的不同功能和分类,挤土预制桩基施工对地层变形影响较明显,挤土预制方桩施工在黄浦江及苏州河沿线区域具有典型代表性,因此本研究限定桩基的类型为挤土预制方桩。

(3)计算范围:基于现行技术标准与典型工程案例的分析,本研究邻近防汛墙范围定义为陆域侧 100 m 至水域侧 20 m。模型计算深度取地质勘察深度。

(4)研究参数:相关规范对防汛墙的垂直位移和水平位移已有明确要求,在确保防汛墙周边其它条件不变的前提下,仅在其附近进行挤土桩施工时,防汛墙的变形控制指标成为最关键的参数。因此

本研究将变形指标作为主要研究参数,具体涵盖防汛墙的垂直位移和墙前泥面的水平位移。

2 桩基施工对防汛墙安全影响分析

2.1 防汛墙结构型式的影响

为了分析防汛墙结构型式的影响,本文结合黄浦江及苏州河沿线堤防实际情况进行分类,构建了三种不同墙身结构型式的数值计算模型,见图 1。

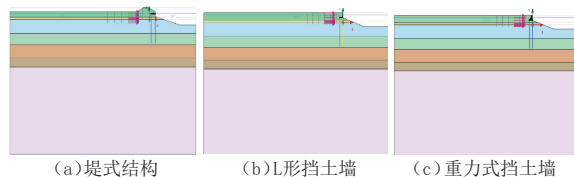


图1 不同防汛墙墙身结构型式有限元模型

图中(a)为堤式结构防汛墙,(b)为L形防汛墙,(c)为重力式防汛墙。通过统计桩基施工对邻近防汛墙的变形计算成果可知:堤式结构对垂直位移较为敏感,其水平位移数据与L形及重力式两种挡墙结构型式大致相同;L形防汛墙与重力式防汛墙的变形规律一致,变形量值也大致相同;主要计算成果见图 2。

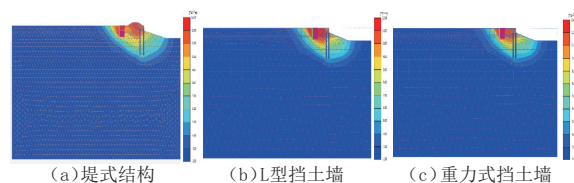


图2 不同防汛墙墙身结构型式总变形云图

根据数值模拟分析结果可以看出:

(1)三种防汛墙结构在基础桩周区域的变形特征呈现高度相似性,变形云图空间分布规律基本一致,仅在邻近防汛墙的局部范围内存在差异。

(2)总变形在桩基前后两侧及附近地表区域达到最大值,并呈辐射状递减;水平变形沿桩身轴线方向呈非线性分布,在桩体中部出现极值后向辐射状递减;垂直变形在打桩位置附近地表区域达到最大值,并呈辐射状递减。

(3)以距离防汛墙 16 m 位置施打桩径为 400 mm 方桩的计算成果为例,桩基施工造成的不同防汛墙结构型式位移为:a. 堤式结构防汛墙水平位移为 10.20 mm,垂直位移为-5.49 mm;b. L形防汛墙水平位移为 9.43 mm,垂直位移为-1.72 mm;c. 重力式防汛墙水平位移为 8.51 mm,垂直位移为-2.98 mm。

(4)通过对比各项变形数据,三种结构水平变形相差不大,但垂直变形有所差异。L形与重力式两种挡墙结构型式的垂直位移量较为接近,而堤式结构

在堤顶区域表现出更为显著的沉降现象,这一差异可能源于填土堤身的固结沉降特性。深入研究表明,三种结构型式在一级防汛墙承台位置的竖向位移基本相当(见图3)。由此可见,在抵抗基础开挖引起的沉降变形方面,堤式结构的适应性相对较差,其性能表现不及L形及重力式防汛墙结构。

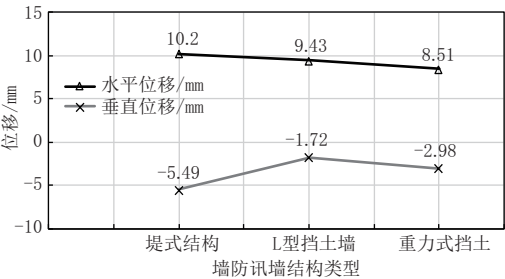


图3 不同防汛墙结构形式位移分析

2.2 不同桩基长度的影响

本节分析桩基长度的不同对防汛墙的影响,本次研究以桩径为400 mm的方桩为例,打桩位置按距离堤顶6、11、16、21、26、31 m分别计算,建立桩长为6、9、12、15 m的有限元模型。图4所示为打桩位置按距离堤顶31 m,不同桩基长度情况下的具体模型。

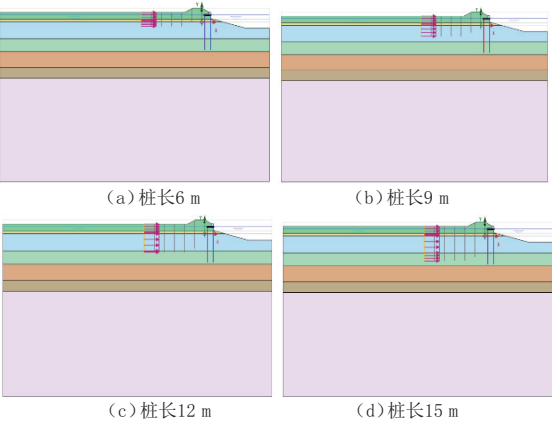


图4 不同桩长的有限元模型

图中桩基长度由6 m变化为15 m,各桩长对应计算结果图5。

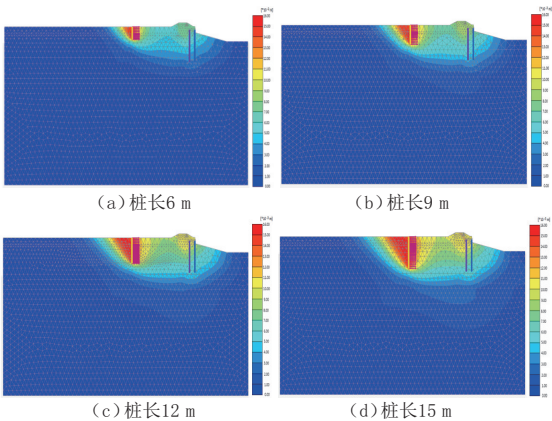


图5 不同桩长的总变形云图

根据数值模拟分析结果可以看出(见图6、图7):

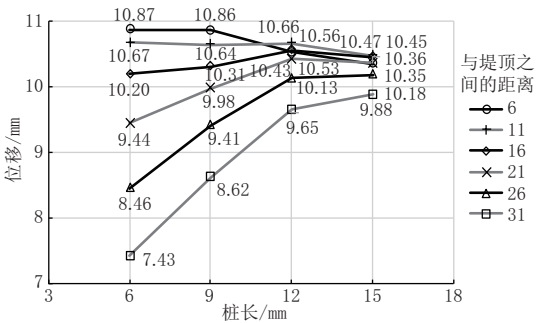


图6 四种桩长方桩的水平变形分析

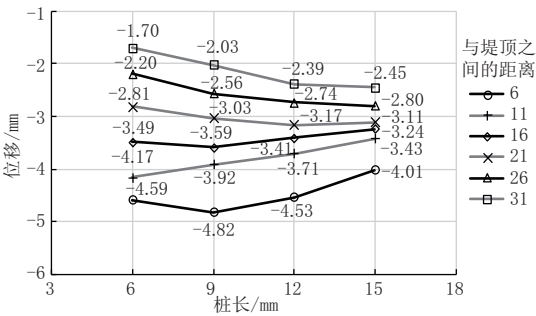


图7 四种桩长方桩的垂直变形分析

(1)在距离防汛墙较近位置(6、11、16 m处),防汛墙临水侧墙前泥面处水平位移的变形值较大,且与施打方桩的桩长相关性较小;而在距离防汛墙较远位置(21、26、31 m处),墙前泥面处水平位移的变形值与桩长相关,桩长越大,泥面处水平变形越大。

(2)施打方桩形成的墙顶垂直位移和桩长的相关性较弱,同一距离情况下,6~15 m不同桩长造成的墙顶垂直位移的变化幅度在20%~30%,所以认为堤顶位置的垂直位移主要与施打位置与防汛墙之间的距离相关,打桩的桩长非主要影响因素。

2.3 不同桩基直径的影响

本节分析施打桩基为不同直径方桩时对防汛墙的影响,本次研究以距离堤顶16 m远、施打6 m长的方桩为例,打桩直径分为200、300、400、500 mm建立的有限元模型,具体见图8。

根据数值模拟分析结果可以看出(见图9、图10):

(1)在堤防后方打桩的行为对堤防的变形是会产生显著影响的,从总位移来看,打桩的行为本身就对堤防变形产生了大幅影响,而随着打桩桩径的增大,堤防变形也随之增大,但增幅并不是非常大,可以看出施打桩基的行为本身对堤防的影响是最直接的。

(2)施打桩基桩径越大,堤防的水平变形和垂直

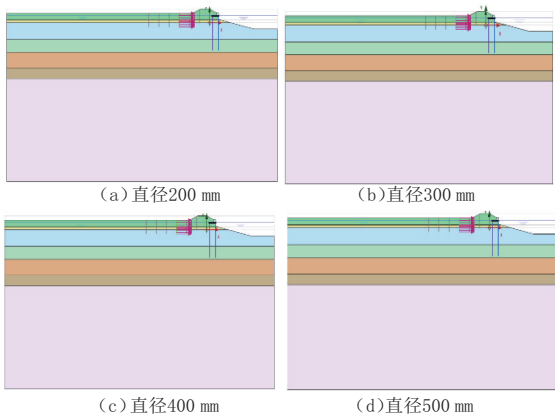


图8 不同桩径的有限元模型

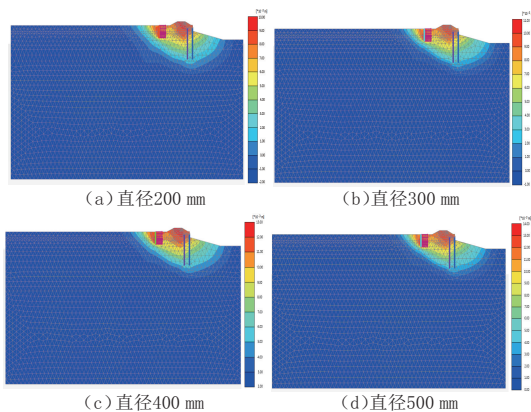


图9 不同桩径的总变形云图

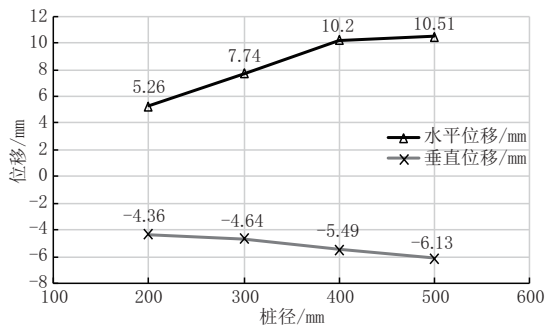


图10 不同桩径的变形分析

变形越大。其中水平位移的变幅更为明显,例如,200 mm 桩径形成的水平位移为 5.26 mm,而 500 mm 桩径形成的水平位移为 10.51 mm,增幅近一倍,说明打入预制桩对土体造成的横向挤压是造成防汛墙水平变形的主要原因,在堤防后方打入大直径预制桩时应该更为注意对防汛墙结构安全的影响。

2.4 不同桩基间距的影响

本节分析桩基施打间距不同对防汛墙的影响,本次研究采用 Plaxis 3D V20 软件进行计算,典型案例取距离防汛墙 16 m 处施打桩径为 400 mm、桩长为 6 m 的方桩为例,打桩间距分为 4 d、5 d 和 6 d 建立的有限元模型,具体见图 11。

根据数值模拟分析结果可以看出(见图 12、图 13):

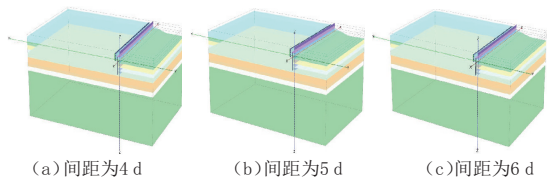


图11 不同桩基间距的有限元模型

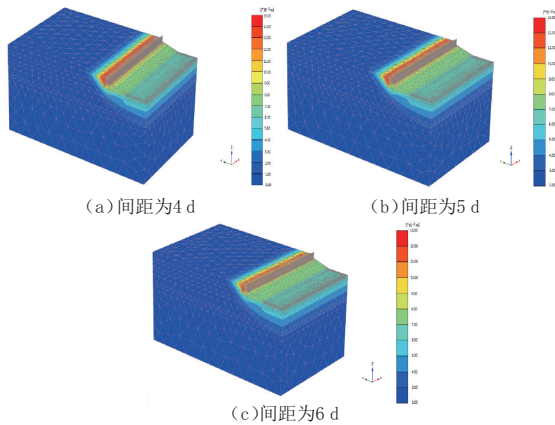


图12 不同桩基间距的总变形云图

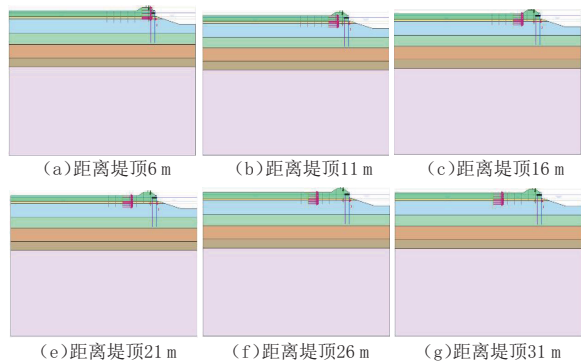


图13 不同桩基间距的变形分析

(1)总变形、水平变形、垂直变形主要表现为靠近打桩位置的两侧影响最大,因方桩为间隔施打的,故墙前泥面处水平位移呈现为波形,离打桩位置近处为波峰,离打桩位置远处为波谷。本次研究主要探讨打桩对防汛墙的影响,因此本文仅探讨桩基施打对防汛墙水平变形最大值的影响。

(2)施打桩基间距越大,防汛墙水平变形最大值逐渐变小,但变小的幅度很小,相对而言,可不作为评判施打桩基础对防汛墙影响大小的主要因素。

2.5 与防汛墙距离不同的影响

本节分析桩基施打位置距堤顶不同距离对防汛墙的影响,本次研究以桩径 400 mm 的方桩为例,打桩位置按距离堤顶 6、11、16、21、26、31 m 分别计算,建立桩长为 6、9、12、15 m 的有限元模型。图 14 所示为施打桩基桩长 6 m,与堤顶不同距离情况下的具体模型。

根据数值模拟分析结果可以看出(见图 15 至图 17):

(1)总变形、水平变形、垂直变形主要表现为靠

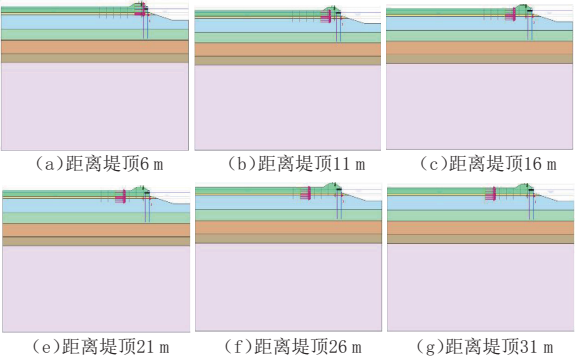


图 14 与堤顶不同距离的有限元模型

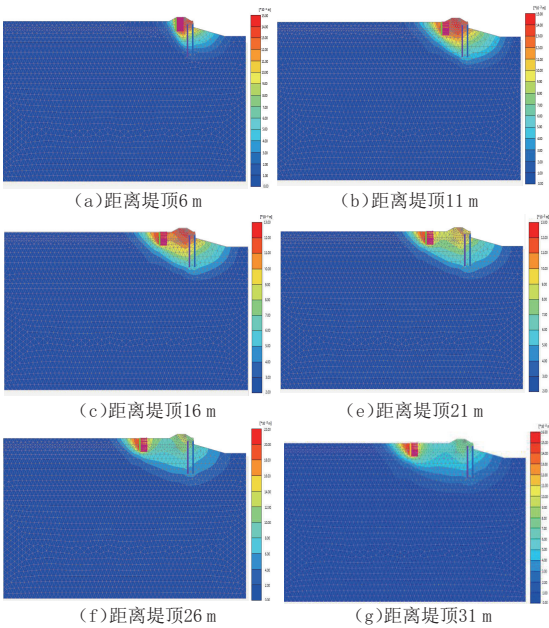


图 15 与堤顶不同距离的总变形云图

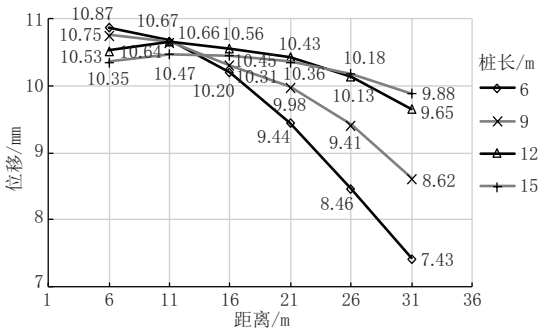


图 16 与堤顶不同距离的水平变形分析

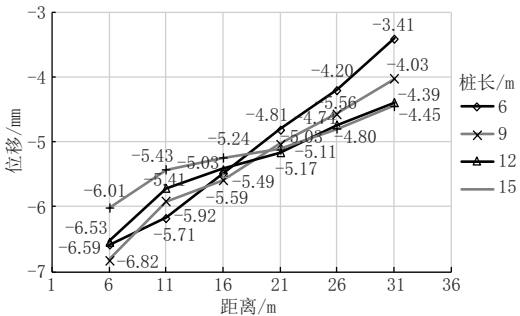


图 17 与堤顶不同距离的垂直变形分析

近打桩位置的两侧影响最大,因此变形最大处总是随着桩基位置的改变,并向四周扩散减小。

(2)对于同一桩长的方桩而言,施打位置距离防汛墙越远,对于墙前泥面位置的水平变形就越小,且桩长越短,水平变形的变化与距离的关系越敏感。例如,桩长为 6 m 的方桩在距离堤顶 31 m 的位置,所引起的水平位移仅为距离为 6 m 时的 68%,而桩长为 15 m 的方桩在距离堤顶 31 m 的位置,所引起的水平位移为距离为 6m 时的 95%。

堤顶位置的垂直变形随施打位置距离防汛墙越远而越小,且呈现出线性变化的趋势。相比较而言,垂直变形与打桩桩长的相关性较弱,也就是说垂直变形主要与施打位置与防汛墙之间的距离相关,与施打桩基长度没有显著关系。

3 结 语

本文在广泛调研的基础上确定符合本市实际并具有代表性的模型边界条件及具体指标参数,采用 PLAXIS 有限元模型,计算分析挤土桩施打对邻近防汛墙的影响。通过对成果数据的分析得出不同桩基因素对邻近防汛墙位移的变化规律,确定了关键影响参数,为黄浦江及苏州河沿线堤防运维保障工作,构建起可供依托的理论依据体系。

参考文献:

[1] 刘强,彭仕,杨燕伟,等.近岸工程中锤击沉桩施工对周边环境影
响分析[J].中国水运,2024(24):145-147.

[2] 张斌,杨文丰,任兴隆.栗木寨大桥桩基施工对麻杆寨明渠结构安
全影响分析[J].陕西水利,2023(1):146-147;150.

[3] 王洪德,全浩.桩基施工对邻近既有隧道扰动影响[J].辽宁工程技
术大学学报(自然科学版),2020,39(4):285-292.

[4] 王加俊.高铁桥梁桩基施工对邻近营业线的影响研究[D].南昌:华
东交通大学,2022.

[5] 孙永明,荣学亮,何晓东.提升挤土桩正面效应的挤土桩基施工技
术总结[J].四川水泥,2022(4):252-253;256.

[6] 刘振江.浅析桩与土体间的相互作用[J].山东工业技术,2018(15):
100-101.

[7] 史庆涛.长兴岛大堤保滩工程桩基承台变形分析研究[C]//第四届
全国地基基础与地下工程学术交流会议论文集.北京:中国水利水
电出版社,2015.

[8] 董联杰,刘龙,刘战峰,等.基于 PLAXIS 的软基地区市政排水管道
沉降数值模拟[C]//2020 年工业建筑学术交流会议论文集(下册).北
京:工业建筑杂志社,2020.

[9] 赵文杰,袁东喜,姜洪建.等体积原理在挤土桩施工中引起地基土
体变形的应用[J].山西建筑,2015,41(18):60-62.

[10] 吴逸,杨永保,田利勇.HSS 模型在软土地区水闸地基基础设计
中的研究[J].广东水利水电,2016(2):26-31.

[11] 王采扣,黄涛,常伟,等.基于 HSS 模型的新建墩台对邻近桥墩基
础的影响研究[J].岩土工程技术,2024,38(6):704-711.