

DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2016.06.06

PHC管桩复合地基承载力数值模拟及施工注意事项

彭月平¹,刘业伟¹,黄芬²

(1.江西省水利科学研究院,江西 南昌 330029;2.江西省水利规划设计研究院,江西 南昌 330029)

摘要:预应力高强混凝土管桩(PHC管桩)因其诸多优点被广泛应用.本文采用PHC管桩来加固某大型水闸软土地基,根据管桩长、直径和间距的不同提出了三种不同的布桩形式,分别建立了三维有限元模型且进行了计算,分析计算结果得出了一种最为合理的布桩形式,为该工程软土地基处理提供了一种可行的办法,也为其它存在类似情况的水工建筑物地基处理提供了一定的借鉴.文章末阐述了PHC管桩施工过程中的几点注意事项.

关键词:PHC管桩;地基处理;数值模拟;施工注意事项

中图分类号:TU473 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2016)05-0419-05

PHC管桩是采用先张法预应力和离心成型工艺制成的一种空心预制桩,所用混凝土强度等级不低于C80,具有穿透力强,单桩竖向承载力高,耐久性好,造价相对便宜,施工工期短等优点^[1-3].管桩作为一种新型的基础处理方式,在我国福建、广东等沿海地区的房地产、公路、铁路、港口码头等领域中应用广泛.2012年,PHC管桩在房地产建设领域比例占80%左右,在水利工程中PHC管桩复合地基应用所占比例较少^[4],但近年来PHC管桩在基坑支护^[5]、防洪堤^[6]、泵站挡土墙^[7]及水闸基础处理^[8,9]等中的成功应用,提高了PHC管桩的应用范围,拓宽了水利工程基础处理的设计方法与视野,文中重点分析PHC管桩在某大型水闸软土地基处理中承载力数值模拟及几点施工注意事项.

1 工程概况

某大型水利工程枢纽主体建筑物由泄水闸、船闸、鱼道和连接挡水建筑物组成,设计过闸流量11 679 m³/s,属于大(1)型水利工程,闸址轴线总长1 279 m.泄水闸共

15孔,从右至左依次为6孔30 m小孔闸、3孔62 m大孔闸及6孔30 m小孔闸.大孔闸闸室结构采用整体式结构,一孔一联,单孔孔口净宽62 m,闸墩厚7 m,底板厚7 m.闸底板高程为6.5 m,与地面齐平,闸顶高程25.0 m,闸室顺水流方向长45 m,闸室内设有升卧式翻板门,工程区地震基本设防烈度按7度设防.

枢纽闸址河床中广泛分布第四系全新统冲积层,覆盖层深厚,基岩面埋藏深(大孔闸钻孔地质资料见表1).以细砂为主的软弱覆盖层含水量高、压缩性大,建筑基础条件差,承载力不能满足上部结构稳定的要求,需要对其进行加固处理以保证其上部建筑物的安全使用.

2 PHC管桩复合地基数值模拟

2.1 管桩型号与布桩形式的选定

根据《预应力混凝土管桩(国家建筑标准设计图集10G409)》^[10]中管桩选用的要求,此处都选用AB型,根据桩长、桩径和桩间距的不同选定了3种不同的布桩形式,见表2,各方案管桩平面布置图见图1.

表1 大孔闸钻孔地质资料

桩的位置	桩所穿过的各土层厚度/m							
	粗砂层	细砂层	中砂层	细砂层	淤泥质粘土	细砂	砂卵(砾)层	泥质粉砂岩
ZK1	1.5	1.5	2.0	5.5	1.8	3.2	17.95	0.85
ZK2	1.5	1.8	1.2	6.2	1.4	3.0	18.35	0.85
ZK3	0.0	2.0	1.5	6.2	1.4	3.0	18.05	0.85

收稿日期:2016-08-18

作者简介:彭月平(1990-),男,硕士.

表2 三种布桩形式

方案	管桩型号	间距/m	桩长/m	总桩数(根)
方案一	PHC 700 AB 130-20	3.0×3.0	20	15×25=375
方案二	PHC 800 AB 130-18	3.0×3.0	18	15×25=375
方案三	PHC 1000 AB 130-18	4.0×4.0	18	11×19=209

2.2 有限元模型、计算假定及参数

2.2.1 模型建立

以大孔闸为研究对象,模型包括闸门、底板、管桩及土体。模型底部边界为管桩底部平面10 m以下位置处,水平边界为底板边缘上下游10 m位置处,考虑对称性,建模只选取了顺水流方向上的一排桩,且模型的宽度等于桩间距。

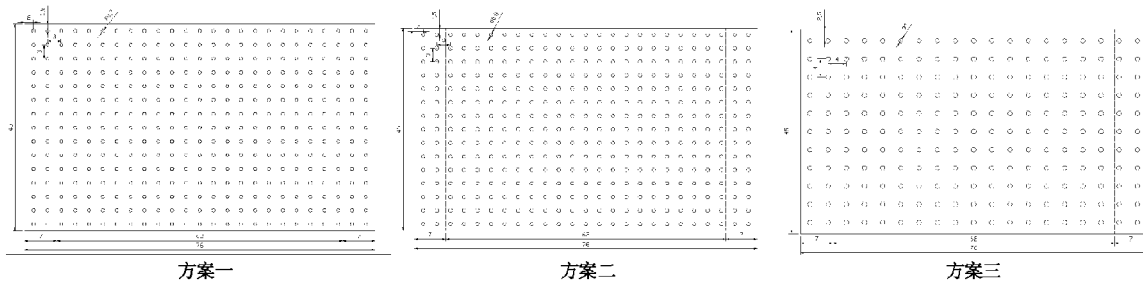


图1 三种方案PHC管桩平面布置图

闸门处不是分析的重点,建模过程中把升卧式翻板门简化为了平面闸门。由于三种方案有限元模型外形相似,此处只列出了方案一中的模型,见图2。

方案一中模型节点数为40 904,单元数37 368;方案二模型节点数为39 136,单元数37 368;方案三模型节点数为32 840,单元数30 000。

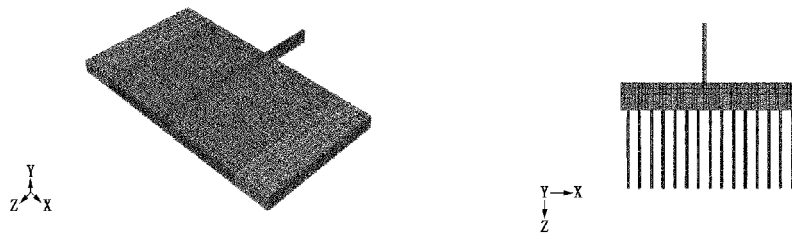


图2 有限元模型

2.2.2 相关假定及计算参数

ABAQUS是现在国际上最先进的大型通用有限元计算分析软件之一。它具有强大又广泛的模拟性能,其在岩土工程分析中极为有效^[11]。文中建立好的模型就是借助ABAQUS来计算,建模及计算过程中做了如下

假定:土层简化为细砂和砂卵(砾)石两层,细砂层厚16 m,砂卵(砾)石层厚19 m,其下全部为泥质粉砂岩,桩体和土体之间采用共节点的刚性连接。模型中各项材料计算参数见表3。

表3 材料参数

名称	E/MPa	μ	密度/(kg/m ³)	粘聚力c/kPa	内摩擦角 ψ /°	剪胀角/°	塑性应变	本构模型
细砂	40	0.29	2 100	0	24	18	0	摩尔-库伦
砂卵(砾)石	60	0.28	2 200	0	38	20	0	摩尔-库伦
C80混凝土	3.8×10^4	0.20	2 500	/	/	/	/	线弹性
C25混凝土	2.8×10^4	0.20	2 400	/	/	/	/	线弹性
钢闸门	200×10^4	0.25	7 850	/	/	/	/	线弹性

2.3 模型计算

2.3.1 初始地应力平衡

初始地应力状态是地下工程和地基岩体稳定性的重

要影响因素,是许多工程设计中必不可少的初始条件。

以下是各方案模型初始地应力竖直方向位移云图和应力云图,分别见图 3 和图 4。

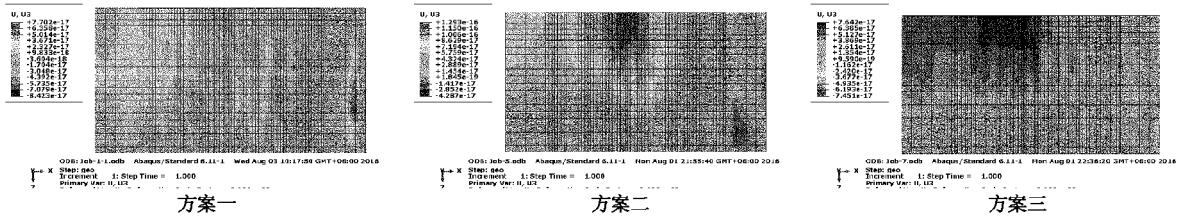


图 3 三种方案竖直方向位移云图(单位:m)

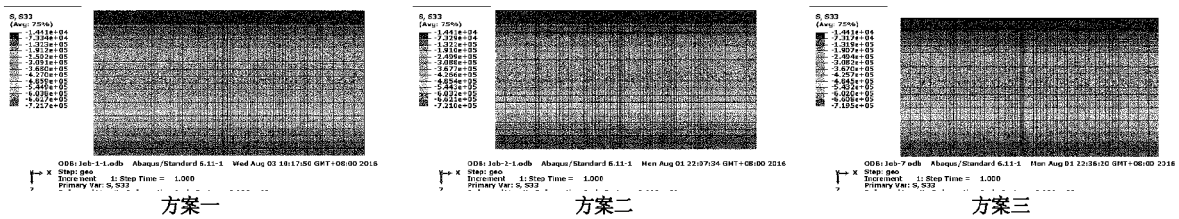


图 4 三种方案竖直方向应力云图(单位:Pa)

由图 3 和 4 可知计算得到的模型中各点竖直位移都在 $10^{-19} \sim 10^{-16}$ m 之间,三个模型的初始地应力分布情况几乎一致,都随着深度的增加逐渐增大,且基本与深度成正比例关系,计算结果满足初始地应力平衡要求。

经计算已知闸室完建期竖向荷载最大,正常挡水 + 地震工况(上游水位 16.00 m,下游水位 9.78 m)水平荷

载最大,因此只考虑这两种有代表性的工况。完建期每闸联闸室底板顶部受到的竖向总荷载 296 232.30 kN,水平荷载为 0,正常挡水 + 地震每闸联闸室底板顶部受到的竖向总荷载 31 530.56 kN,水平总荷载 73 120.30 kN。

2.3.2 完建期计算

完建期计算结果见图 6、图 7。

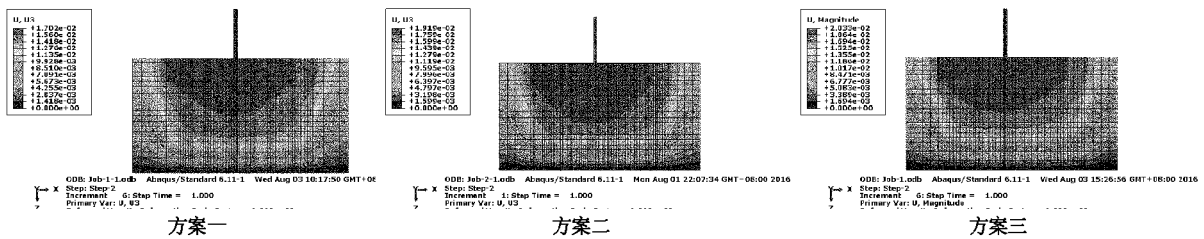


图 6 竖直方向上的沉降云图(单位:m)

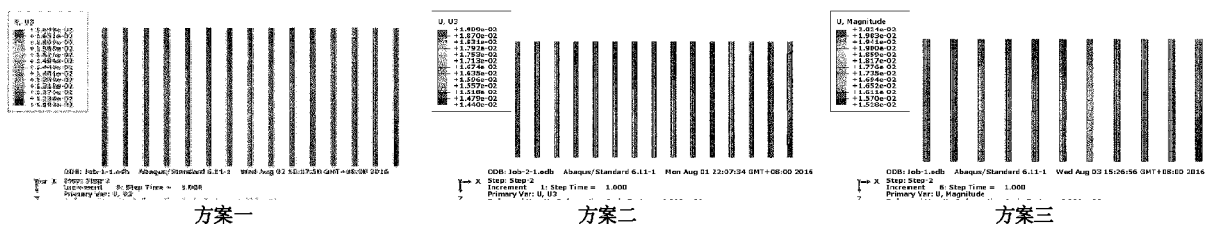


图 7 桩体沉降云图(单位:m)

由图 6 和图 7 可得模型最大沉降都发生在地面处,三种方案最大沉降值分别为 1.70 cm, 1.92 cm, 2.03

cm,桩体刚度较大,压缩量很小,桩体的下沉主要是土体压缩造成的。由于完建期竖向荷载最大,因此桩体最

大轴心受压承载力(P)为完建期底板及其上部建筑物重量与底板上荷载的总和除以每闸联桩体的数量,前期闸室稳定计算中已得到每闸联底板及其上部建筑物重527 696.5 kN,计算过程如下:

$$\text{方案一: } P = (527\ 696.5 + 296\ 232.3) / 375 = 2\ 197.14(\text{kN})$$

$$\text{方案二: } P = (527\ 696.5 + 296\ 232.3) / 375 = 2\ 197.14(\text{kN})$$

$$\text{方案三: } P = (527\ 696.5 + 296\ 232.3) / 209 = 3\ 942.24(\text{kN})$$

2.3.3 正常挡水+地震工况

正常挡水+地震工况桩顶水平位移见图8。

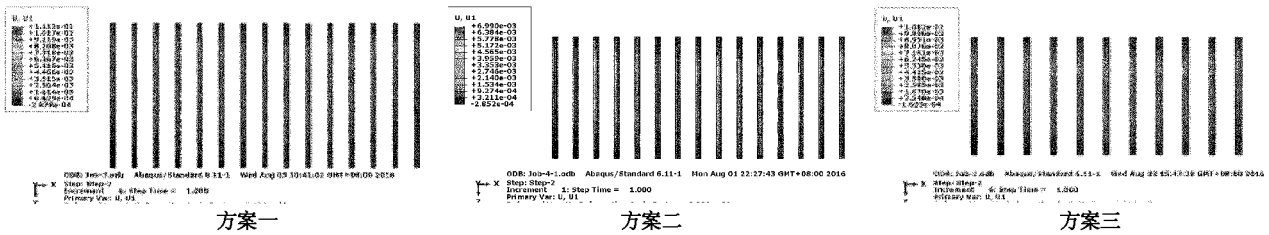


图8 桩顶水平位移云图(单位:mm)

由图8可得三种方案桩顶最大水平位移分别为11.10 mm、6.99 mm和10.80 mm。

3 结果分析

有限元计算结果统计见表4。

表4 有限元计算结果

方案	地面最大沉降/cm	桩体最大水平位移/mm	桩身轴心受压承载力计算值 [P]/kN	桩身轴心受压承载力设计值 [R]/kN
方案一	1.70	11.10	2 197.14	5 850
方案二	1.92	6.99	2 197.14	6 876
方案三	2.03	10.80	3 942.24	8 929

用经验公式法对以上三种布桩形式进行了相关计

算:用建筑桩基技术规范^[12]中的经验公式计算单桩竖向极限承载力和考虑群桩效应的水平极限承载力;用港口工程桩基规范^[13]中的m法计算桩身水平位移,计算结果见表5。

结果分析:两种方法桩体最大水平位移都发生在桩顶处,且都是方案二中的最小,有限元计算中方案一和方案三的桩体最大水平位移超过了水闸设计规范^[14]中规定的10 mm,经验公式法中方案一和方案三的桩顶水平位移虽然没超过10 mm,但接近10 mm,存在安全隐患;两种方法桩体竖向承载力都小于相应设计值或特征值,满足要求;对于水平承载力,经验公式法中方案一和方案三桩顶承受的水平荷载值大于桩体正常运行时桩顶水平承载力特征值,存在安全隐患。综上,只有方案二最满足要求,所以最终选择第二种布桩方案为工程的地基处理形式。

表5 经验公式法计算结果

方案	平均竖向承载力特征值/kN	桩身轴心受压承载力计算值 [P]/kN	水平承载力特征值/kN		桩顶承受水平荷载/kN	桩体最大水平位移/mm
			正常运行	非常运行		
方案一	5 567.03	2 197.14	1 49.99	259.79	199.99	9.85
方案二	6 789.81	2 197.14	231.09	369.26	199.99	5.28
方案三	8 180.33	3 942.24	322.60	576.35	349.86	8.88

4 管桩施工注意事项

PHC管桩目前有静压和锤击两种常用施工方法,考虑到施工场地的因素,工程中PHC管桩采用拖轮托运到现场及用打桩船拖打的形式沉桩。管桩设计及施工时要注意以下几点要求^[15]:

- (1)管桩吊运时,桩身混凝土强度应符合设计要求,各吊点同时受力,缓慢起落,减少震动,防止断桩。
- (2)打桩船将管桩吊起到适当高度后再立桩入龙口,打桩船就位时,应掌握水深情况,防止桩尖触及泥面,使桩身折裂。
- (3)锤击沉桩时,桩锤、替打和桩轴线应在同一轴线上,替打要保持平整,避免产生偏心锤击。

(4)如果出现贯入度反常,桩身突然下降,过大倾斜移位,桩身出现严重裂缝和破碎掉块等现象,要立即停止锤击,及时查明原因,采取有效处理措施。

(5)要严格控制终锤前贯入度,保证桩端进入坚硬土层足够深度,提高管桩摩擦力和抗弯能力。

(6)施工时要特别注意加强管桩与闸底板的连接,使其能成为一个整体共同受力^[16],提高管桩水平承载力。

(7)近底板处地基土的类别对管桩水平承载力的设计值影响极大。桩顶处土层越密实,水平承载力也越大。所以可对底板以下一定范围内的软弱土层进行浅层加固处理^[17]。

5 结论

(1)有限元分析方法不受几何形状不规则、边界条件多样性和材料不均匀性等的限制,可以分析变形与应力变化的过程,且是一种把破坏分析与变形分析相结合同时进行的方法,在岩土工程中应用十分有效,这些是传统分析方法所不具备的。

(2)经过计算对比分析,方案二的管桩布桩形式(型号:PHC 800 AB 130-18;间距:3.0×3.0;总数:15×25=375)最为满足要求,论文的成果可以为此工程水闸地基处理提供较好的可行办法,也可以为其它存在类似情况的建筑物设计提供一定的借鉴。

参考文献:

[1] 邢皓枫,赵红崑,叶观宝,等. PHC 管桩工程特性分析[J]. 岩土工程

学报,2009(01):36~39.

[2] 海晓凤. 预应力高强混凝土(PHC)管桩施工管理研究[J]. 江西建材,2016(21):92~93.

[3] 周林. PHC 桩在水利工程软土地基处理中的应用[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报,2006(04):32~34.

[4] 董海钊,王李平,田雨普,等. PHC 管桩复合地基在引黄闸基础处理中的应用[J]. 人民黄河,2015(02):127~129.

[5] 雷亮亮. PHC 管桩应用于基坑支护的模拟分析[D]. 合肥:合肥工业大学,2012.

[6] 陈焰明. PHC 管桩在温州防洪堤工程中的应用与研究[D]. 杭州:浙江大学,2012.

[7] 王娟. PHC 管桩在东风西沙水库取水泵站挡土墙中的应用[J]. 陕西水利,2013(04):93~94.

[8] 黄奎,李海涛,翁朝辉,等. PHC 桩在彭家湾泵站和水闸工程设计中的应用[J]. 水电与新能源,2014(07):41~43+70.

[9] 秦小桥,屈学平. PHC 管桩在裕溪闸工程中的运用[J]. 中国水能及电气化,2016(02):8~10+21.

[10] 10G4096. 预应力混凝土管桩[S]. 北京:中国计划出版社,2010.8.

[11] 张泉钰. 长短桩复合地基的 ABAQUS 分析及优化思路[D]. 西安:西安工业大学,2014.

[12] JGJ94-2008. 建筑桩基技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

[13] JTS167-4-2012,港口工程桩基规范[S]. 北京:人民交通出版社,2012.

[14] SL265-2001. 水闸设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2001.

[15] 吴鸿志. 大直径 PHC 管桩在软土地基工程中的应用[J]. 福建建筑,2015(07):122~123+126.

[16] 陈青. PHC 管桩水上沉桩质量控制分析[J]. 中国水运(下半月),2016(08):297~298.

[17] 朱立群. 提高桩基水平承载力的有效方法[J]. 安徽建筑,2000(06):100.

编辑:张绍付

Numerical simulation of the bearing capacity of PHC tube pile composite foundation and construction attentions

PENG Yueping¹, LIU Yewei¹, HUANG Fen²

(1. Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China;

2. Jiangxi Provincial Water Conservancy Planning and Designing Institute, Nanchang 330029, China)

Abstract: The pre-stressed high strength concrete pile (PHC) is widely used because of its multiple advantages. In this paper, PHC tube pile was utilized to reinforce soft soils in a large water gate. Three different piles forms were proposed according to different pile length, diameter and spacing and three-dimensional finite element models were established respectively, the calculated results of which were then analyzed to give a most reasonable pile form. The outcome provides a feasible method for soft soil ground treatment in this project, it's also of reference value for other similar situations. At the end of the paper several construction attentions of PHC tube pile were noticed.

Key words: PHC tube pile; Foundation treatment; Numerical simulation; Construction attentions

翻译:邹晨阳