

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2020.11.047

桩基础布置方案对闸室应力位移影响分析

曹睿哲

(上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海市 200061)

摘要: 针对桩基础水闸不同桩基布置方案, 建立三维有限元模型, 分析桩基布置对闸室应力位移的影响。研究表明: 把桩集中布置在闸墩底下对减小底板的应力, 特别是减小两闸墩间的底板应力具有明显作用; 当桩数相同时, 桩的布置方式对闸室位移影响较小; 对桩基础水闸的应力和位移进行计算时最好采用实际桩基与闸室结合整体模型, 这样计算结果才能反映实际情况, 但水闸结构尺寸较大、桩数量较多时可采用复合地基进行计算。

关键词: 水闸; 桩基础; 有限元; 应力; 位移

中图分类号: TU473

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2020)11-0172-04

0 引言

水闸作为一种常见的低水头水工建筑物, 具有挡水和引排水的作用。水闸的基础设计一般优先考虑天然地基基础。但是在长江下游地区, 地基条件较差, 需对地基进行处理。水闸常用的地基基础处理方法有垫层法、强夯法、高压喷射注浆法、深层搅拌桩基础、桩基础和沉井基础等^[1]。其中桩基础应用范围最为广泛, 特别是在沿海沿江地区, 水闸闸基多为厚度较深的淤泥、淤泥质土、软黏土等松软地基, 采用桩基础不仅能有效提高其承载能力, 还能显著减小建筑物的沉降。根据以往的设计经验, 采用传统方法计算桩基础水闸底板内力时往往忽略桩基的作用。传统计算闸室底板内力的方法有反力直线分布法、Winkler 理论^[2]和半无限深弹性地基模型 3 种^[3]。但是这 3 种计算方法无法计算桩基础对闸室底板内力的影响。三维有限元模型可以很好地模拟不同地基基础下水闸闸室底板内力情况^[4]。本文以软基上水闸为计算对象, 通过建立三维有限元模型, 对水闸闸室不同桩群布置方案下应力和位移的变化规律进行分析。

1 计算原理和方法

为了解水闸在不同桩群布置方案下的底板受力状态, 采用三维有限元软件对其整体强度和稳定性进行研究分析。

有限元法是单元体之间在节点处相互铰结, 形成离散结构, 将连续体用网格划分为有限数目个单元体, 从而用这些离散结构来代替原来的连

续体结构, 并将荷载移置作用于离散结构的节点上, 成为节点荷载, 以分析其应力和变形。应力(σ)—应变(ε)关系为^[5]:

$$[\sigma] = [D][\varepsilon] \quad (1)$$

式中: $[D]$ 为弹性矩阵。

由虚位移原理和应力—应变关系, 可建立节点荷载和节点位移之间的关系, 即:

$$[K][\delta] = [R] \quad (2)$$

式中: $[K]$ 、 $[\delta]$ 、 $[R]$ 分别为刚度矩阵、节点位移和节点荷载列阵。解上述方程可求得位移, 进而可推出应变 $[\varepsilon]$ 和应力 $[\sigma]$ 的分布。

水闸工程中桩的布置一般有 2 种情况: 一种是集中布置在闸墩底下, 另一种是在闸底板下均匀分布。本次三维有限元模型拟定 3 种桩基布置方案。方案一: 桩群集中布置在闸墩底下(灌注桩在顺水流方向, 中墩处集中布置 3 排, 边墩处集中布置 2 排, 每排 11 根); 方案二: 桩群在底板下均布(排数、根数与方案一相同); 方案三: 把桩群作为复合地基情况计算。在计算复合地基方案时, 需计算地基的复合模量 E_{cs} , 其计算式为:

$$E_{cs} = mE_{ps} + (1-m)E_{ss} \quad (3)$$

式中: E_{ps} 为桩体弹性模量; E_{ss} 为桩间土压缩模量; m 为复核地基置换率。

2 工程概况及计算模型

2.1 工程概况

张泾河泵闸位于上海市金山区张泾河出杭州湾入海口处, 主要功能为防洪排涝。泵闸采用其中“闸+泵”结构布置形式, 泵站靠河道东岸布置, 水闸靠河道西岸布置。其中水闸为 3 孔, 单孔净宽 10 m, 水闸设计流量 360 m³/s, 泵站总流量 90 m³/s。

收稿日期: 2020-03-25

作者简介: 曹睿哲(1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事水工结构设计工作。

水闸闸室采用胸墙式结构, 设1座直升式平面闸门, 闸门内外河侧各设1道检修门槽。闸室顺水流向长度40 m。闸室底板底高程为-3.80 m, 底板顶高程为-2.00 m。闸室上部空间形成5.20 m高程与10.10 m高程2层平台, 平台之间采用立柱支撑, 平台采用梁板结构。闸室地基处理采用 $\phi 800$ mm钻孔灌注桩, 桩长23 m。

2.2 计算模型

根据张泾河泵闸实际结构特征和受力特点, 将地基、底板、闸墩、桩基等一起建模。考虑它们之间的相互作用, 将各种结构离散成六面体单元等参单元, 单元之间通过有限个点连接起来。荷载按有关规范处理。

泵闸地基在顺水流方向取120.0 m, 垂直水流方向取106.5 m, 深度取至高程-53.7 m。为了提高网格的划分质量, 对所建模型作了一定的简化处理。由于地基模型尺寸范围的选择, 对地基采用全约束。

三维有限元计算模型见图1。

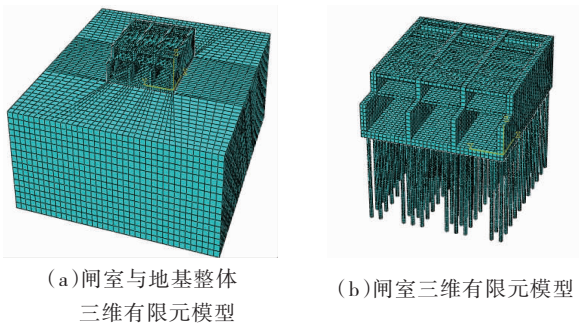


图1 三维有限元计算模型

2.3 材料性质及参数

水闸闸室结构采用线弹性材料模拟, 土体结构采用摩尔库伦模型模拟^[6]。水闸闸室的底板、闸墩、胸墙和顶平台等各个平台均采用C30混凝土, 其弹性模量为 3.0×10^4 MPa, 泊松比为0.167, 重度

为 25.00 kN/m^3 ^[7-8]。桩基混凝土材料与闸室材料相一致。地基土层物理力学性质见表1。

2.4 计算荷载及工况

本次三维有限元计算的主要荷载有结构自重、波浪力、水压力及边墩的墙后回填土荷载。本次计算工况及水位组合见表2。

表2 计算水位组合表

设计工况	内河水位 /m	外河水位 /m
正向设计工况	3.90	1.80
反向设计工况	2.50	6.87

3 计算结果分析

按照上述计算模型和参数, 分别对张泾河泵闸闸室结构进行空间有限元计算。求出了各种工况下闸身结构在荷载作用下的各点位移、应力。

3.1 应力分析

方案一的整体结构主拉应力云纹图见图2、图3。方案二的整体结构主拉应力云纹图见图4、图5。方案三的整体结构主拉应力云纹图见图6、图7。

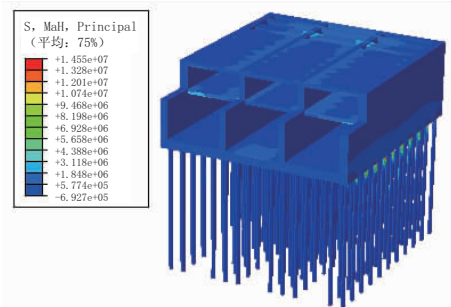


图2 方案一正向设计闸室应力分布图(单位:Pa)

以闸门为界, 分内、外河侧底板, 分别取内、外河侧底板中间的横截面作为分析对象, 分析底板上的应力。分别取4个闸墩处和3个闸孔中间共7个点进行分析, 应力计算结果见图8。

表1 土层物理力学性质

土层编号	土层名称	弹性模量 /MPa	土层厚度 /m	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /($^{\circ}$)	泊松比	方案三计算时复合地基置换率	方案三计算时复合模量 /MPa
② ₁	粉质黏土	3.17	1.20	19	19	0.35	0.038 9	1 170
③ ₁	黏土	3.02	8.20	13	16	0.35	0.038 9	1 170
⑤ ₁	砂质粉土	8.73	3.50	14	14	0.41	0.038 9	1 175
⑤ ₂	粉质黏土	3.89	6.20	6	31	0.41	0.038 9	1 171
⑥	粉质黏土	7.45	4.50	15	19	0.40	0.038 9	1 174
⑦ ₁	砂质粉土	11.79	4.00	40	19	0.42	0.038 9	1 178
⑦	粉砂	13.40	30.10	5	33	0.42	0.038 9	1 180

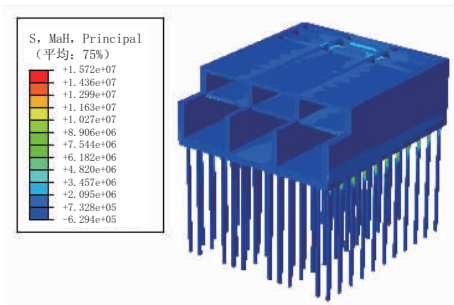


图3 方案一反向设计闸室应力分布图(单位:Pa)

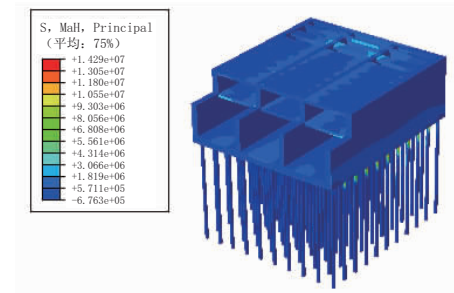


图4 方案二正向设计闸室应力分布图(单位:Pa)

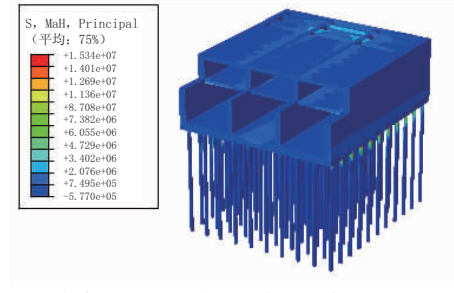


图5 方案二反向设计闸室应力分布图(单位:Pa)

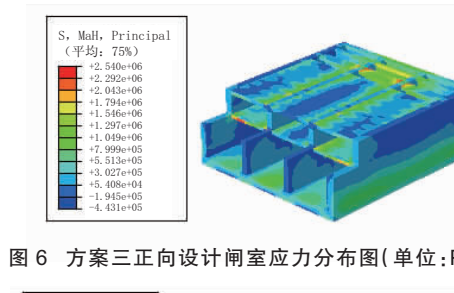


图6 方案三正向设计闸室应力分布图(单位:Pa)

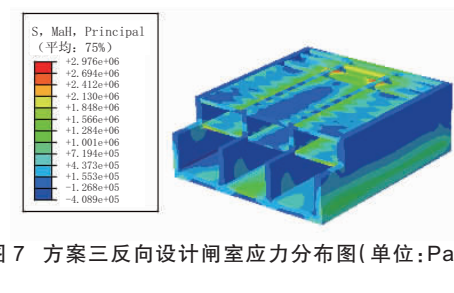
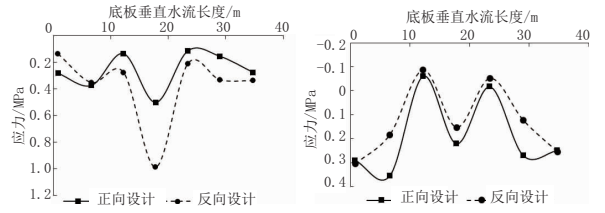


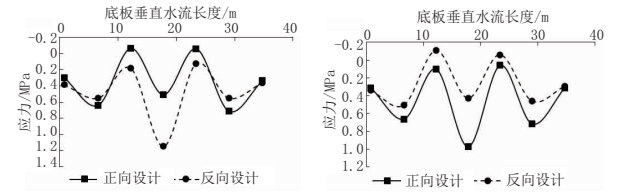
图7 方案三反向设计闸室应力分布图(单位:Pa)

不同工况下不同布置方案的应力计算结果见图9。

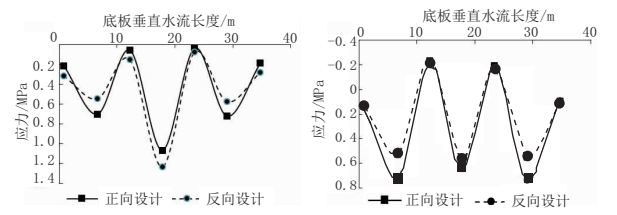
由图9可知,不同工况下不同布置方案的底板应力基本呈对称分布;桩群数量相同时,方案一在闸墩处集中布置桩群,相比于方案二桩群在底板下均布,方案一的底板在闸孔中间的应力要小很多。在底板中孔位置,上述4种情况中,方案二



(a)方案一内河侧底板应力 (b)方案一外河侧底板应力

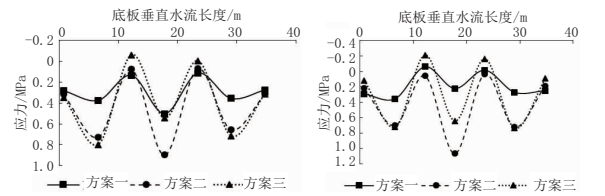


(c)方案二内河侧底板应力 (d)方案二外河侧底板应力

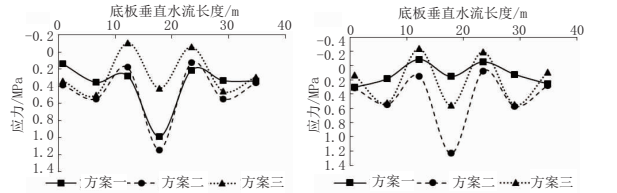


(e)方案三内河侧底板应力 (f)方案三外河侧底板应力

图8 底板应力计算结果



(a)正向设计内河侧底板应力 (b)正向设计外河侧底板应力



(c)反向设计内河侧底板应力 (d)反向设计外河侧底板应力

图9 不同工况不同布置方案的应力计算结果

的应力比方案一大0.393 6 MPa、0.844 2 MPa、0.156 4 MPa和1.077 1 MPa;方案二的应力分别为方案一应力的1.78、4.82、1.16和8.07倍。在底板边孔中间位置,上述4种情况中,方案二的应力比方案一大0.350 7 MPa、0.451 4 MPa、0.214 5 MPa和0.450 5 MPa,方案二的应力分别为方案一应力的1.93、2.67、1.64和4.66倍。在底板闸墩处这2种方案区别不明显。复合地基的计算参数主要与桩数和桩径有关,从计算结果看,复合地基的应力计算结果基本处于方案一和方案二之间。

3.2 位移分析

方案一的结构竖向位移云纹图见图10、图

11. 方案二的结构竖向位移云纹图见图 12、图 13。
方案三的结构竖向位移云纹图见图 14、图 15。

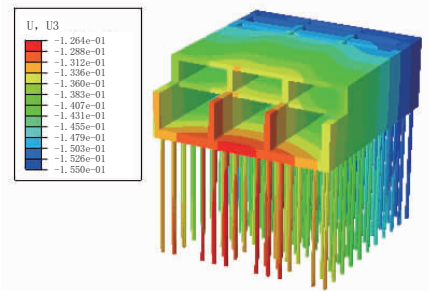


图 10 方案一正向设计闸室竖向位移分布(单位:m)

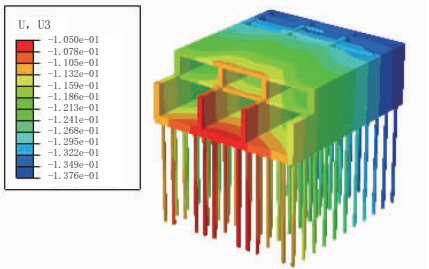


图 11 方案一反向设计闸室竖向位移分布(单位:m)

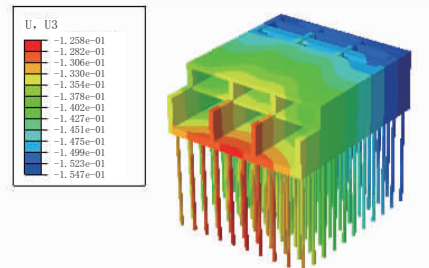


图 12 方案二正向设计闸室竖向位移分布(单位:m)

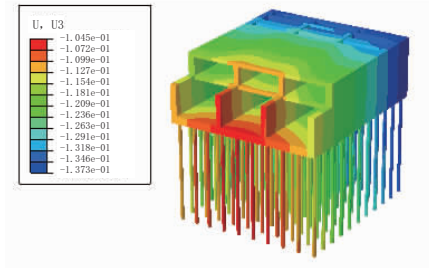


图 13 方案二反向设计闸室竖向位移分布(单位:m)

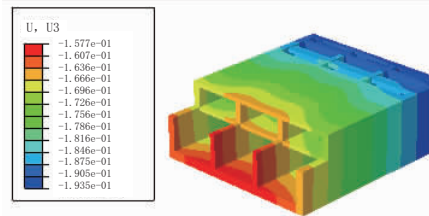


图 14 方案三正向设计闸室竖向位移分布(单位:m)

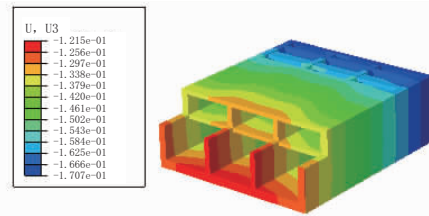


图 15 方案三反向设计闸室竖向位移分布(单位:m)

各工况下的位移最大值(即最大沉降量)和沉降差见图 16、图 17。

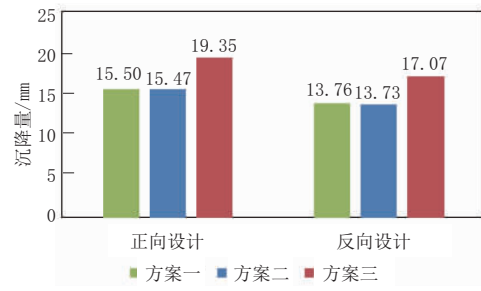


图 16 各工况最大沉降量

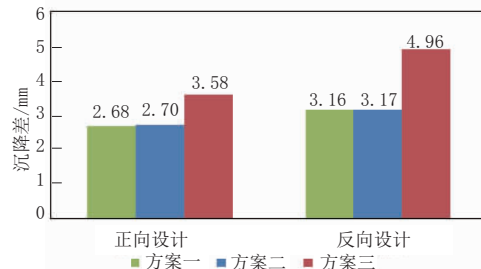


图 17 各工况沉降差

由图 16、图 17 可知,复合地基上面建筑物的最大沉降量和沉降差均比有桩地基建物的大,其最大沉降量分别比方案一和方案二大 3.85 mm 和 3.88 mm,约为 1.25 倍。复合地基的沉降差分别比方案一、方案二大 0.9 mm 和 0.88 mm,约为 1.33 倍。方案一、方案二的最大沉降量和沉降差差异不明显。

4 结 语

(1)底板应力基本呈对称分布。桩群数量相同时,在闸墩处集中布置桩群,相比于桩群在底板下均布时,其底板在闸孔中间的应力要小很多。在底板闸墩处这 2 种方案区别不明显。复合地基的计算参数主要与桩数和桩径有关,复合地基的应力计算结果处于上述 2 种方案之间。由此可知,把桩集中布置在闸墩底下对减小底板的应力,特别是两闸墩间的底板应力具有明显作用。将桩群作为复合地基来计算时,计算参数主要与桩径及其数量有关,而桩的布置方式对其影响较小。

(2)复合地基上面建筑物的最大沉降量和沉降差均比有桩地基建物的大,说明用复合地基来计算建筑物沉降量时的数值偏大。当桩数相同时,桩的布置方式对建筑物最大沉降量和沉降差影响较小,说明影响建筑物沉降的主要因素是桩数的多少。

(3)水闸桩基处理时,较理想的桩基布置方案为集中布置在闸墩下,均匀布置在底板下对闸室

(下转第 206 页)

的选择电缆截面是电气线路选型的节能优化的必要条件。

三是合理的线路布置,合理选择电缆敷设路由,尽量减少电缆敷设的距离,将有助于减少线损的产生,从而达到节能的目的。

4 照明系统的节能优化

污水处理厂照明系统设计的节能优化方案主要分为两方面:

(1)合理选择高效节能光源。随着社会的发展科技的进步,光源也在更新换代中,目前主流节能绿色光源为LED,LED光源具有以下特点:首先是高节能,节约能源无污染即为环保。直流驱动,超低功耗电光功率转换接近100%,相同照明效果比传统光源节能80%以上。其次是寿命长,LED光源有人称它为长寿灯,意为永不熄灭的灯。固体冷光源,环氧树脂封装,灯体内也没有松动的部分,不存在灯丝发光易烧、热沉积、光衰等缺点,使用寿命可达6万~10万h,比传统光源寿命长10倍以上。由此可见,选择绿色节能光源对于照明系统的节能优化尤为重要。

(2)合理的照明控制。大型车间灯具数量多,需采取区域灯具控制方式,既便于巡检人员控制车间的照明状况,又能节省人力资源和节约电能。办公室等工作空间可采用一灯一控,从开关上节约电能。公共场所,如楼梯间、走廊、卫生间可采用声光控制的开关形式,可实现无人自动关灯,有人自动开灯的节能效果。厂区照明可采用光控时控相结合控制方式,从而实现人力资源和电能的节约。

5 结 语

综上所述,在污水处理厂的电气设计阶段要在保证污水处理厂安全可靠运行和经济技术合理的前提下,一定要把节能优化方案做好,要从多方面多角度来实现节约电能的目的,其中包含供配电系统、电气设备选型、电气线路选型及照明系统设计等方面出发,在确保污水处理厂安全可靠运行的条件下实现降低电能损耗,实现全方位的节能目的,对减少污水处理厂的运行成本压力,提高经济效益起着举足轻重的作用。

~~~~~  
(上接第175页)

底板应力不利,对闸室位移影响不大。

(4)对桩基础水闸的应力和位移进行计算时,最好采用实际桩基与闸室结合整体模型,这样计算结果才能反映实际情况。但水闸结构尺寸较大和桩数量较多时,采用整体模型计算费时较长,容易出错,此时可采用复合地基进行计算。

#### 参考文献:

- [1] 陈锡林,沈长松.江苏水闸工程技术[M].北京:中国水利水电出版社,2013.  
[2] HARDEN C W, HUTCHINSON T C. Beam-on-nonlinear-Winkler-foundation modeling of shallow, rocking-dominated footings

[J].Earthquake Spectra,2009,25(2):277-300.

- [3] HUANG M H, THAMBIRATNAM D P. Deflection response of plate on Winkler foundation to moving accelerated loads[J].Engineering Structures,2001,23(9):1134-1141.  
[4] 崔朕铭,蔡新,樊志远,等.某水闸地基桩基础与沉井基础方案优化选择[J].水电能源科学,2015,33(11):126-128.  
[5] 王焕定,焦兆平.有限单元法基础[M].北京:高等教育出版社,2002.  
[6] 朱梅生.软土地基[M].北京:中国铁道出版社,1989.  
[7] 仇建春,王星梅,倪言波,等.上海某景观闸的动力有限元分析[J].南水北调与水利科技,2015,13(5):905-909.  
[8] 仇建春,时爱祥,夏友超,等.双排格形地下连续墙的空间变形三维有限元分析[J].水利水电技术,2014,45(8):78-82.