

上海某水闸地基处理方案研究

邓伟峰

长江勘测规划设计研究有限责任公司, 上海 200439

[摘要]地基加固的方法根据不同的地基地质条件, 采用的主要有换填法、预压法、深层搅拌法、高压喷射注浆法、桩基础等, 上海地区水利工程上又以深层搅拌法、桩基础法使用较多。基于上海某水闸位于长江沿岸, 施工受潮汐及汛情影响较大, 工期要求较紧等因素, 通过方案比选该水闸采用PHC管桩桩基础方案, 并介绍了该方案的优点。该水闸目前桩基础已施工完毕, 并经过检测, 各项指标均满足设计要求, 进一步验证了该方案的可靠性。

[关键词]地基加固; 水闸; PHC管桩; 桩基础

DOI: 10.33142/hst.v4i2.3778

中图分类号: TV663

文献标识码: A

Research on Foundation Treatment Schemes for a Sluice in Shanghai

DENG Weifeng

Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Shanghai, 200439, China

Abstract: According to different foundation geological conditions, the methods of foundation reinforcement mainly include replacement method, preloading method, deep mixing method, high-pressure jet grouting method, pile foundation, etc., while deep mixing method and pile foundation method are widely used in water conservancy projects in Shanghai. Based on the fact that a sluice in Shanghai is located along the Yangtze River, its construction is greatly affected by the tide and flood situation and the construction period is tight, the PHC pipe pile foundation scheme is selected through scheme comparison and the advantages of the scheme are introduced. At present, the pile foundation construction of the sluice has been completed and all indicators meet the design requirements after testing, which further verifies the reliability of the scheme.

Keywords: foundation reinforcement; sluice; PHC pipe pile; pile foundation

引言

水闸是修建在河道和渠道上利用闸门控制流量和调节水位的低水头水工建筑物, 具有挡水和过水的双重作用, 在天然地基上建闸, 当地基承载力不能满足规范规定的要求, 最大沉降量或最大沉降差达不到规定要求时, 必须采取措施进行地基加固处理, 本文介绍的上海某水闸闸基主要坐落在②₃灰色砂质粉土上, 承载力110kPa, 根据计算, 地基土层不能满足承载力要求, 因此需要对闸基进行加固处理。

1 闸基处理方法介绍

地基加固的方法根据不同的地基地质条件, 采用的主要有换填法、预压法、深层搅拌法、高压喷射注浆法、桩基础等, 上海地区水利工程上又以深层搅拌法、桩基础法使用居多。

1.1 换填法

挖除基础底面下一定范围内的软弱土层或不均匀土层, 回填其它性能稳定、无侵蚀性、强度较高的材料, 并夯压密实形成垫层。适用于浅层软弱土层或不均匀土层地基。

1.2 预压法

在地基上进行堆载预压或真空预压, 或联合使用堆载和真空预压, 形成固结压密后的地基。适用于淤泥质土、淤泥、冲填土、素填土等软弱地基。

1.3 深层搅拌桩法

以水泥作为固化剂的主要材料, 通过深层搅拌机械, 将固化剂和地基土强制拌和, 使固化剂和软土通过物理、化学反应硬结成为有一定强度的水泥桩, 形成竖向增强体的复合地基。该方法可用于各种软土地基加固及基坑围护。

1.4 高压旋喷法

以水泥为主要材料, 利用高压泵等装置, 使液流获得巨大的能量, 通过钻杆的旋转、提升, 高压水泥浆由水平方

向的喷嘴喷出，形成喷射流，直接冲击破坏土体，浆液与土料在紊流作用下自动拌混，经过一定时间便在地层中固化出有一定体形、体积和强度的固结体，从而使地基得到加固。加固后的土体质量提高、可靠性好，具有增加地基承载力，防止砂土液化和止水防渗等

1.5 桩基础

桩基础是一种较早使用的地基处理方法，实践经验较多，对闸基为厚度较深的淤泥、淤泥质土、软粘土、粉砂、极细砂和细砂等松软地基，当利用天然地基有困难时，采用桩基础不仅在提高承载力，减小沉降量方面作用显著，而且可减轻上部结构重量，工程量小、投资省。水闸的桩基础，最常用的是钢筋混凝土预制打入桩和钻孔灌注桩。钢筋混凝土预制桩和钻孔灌注桩根据受力特性可分为摩擦型桩和端承型桩两大类。按照桩侧摩阻力和桩端阻力的发挥程度和分担荷载的比例，摩擦型桩可分为摩擦桩和端承摩擦桩。

2 闸基地质条件分析

该水闸闸室总长（顺水流向）26m，总宽 25m，闸孔为三孔，净宽 4+12+4=20m。闸室采用整体式钢筋混凝土结构，闸底板采用平底板，闸槛高程-0.5m，底板厚度 1.6m，边墩厚 1.0m，中墩厚 1.75m。中孔为敞开式结构，净宽 12m，边孔采用胸墙式结构，净宽 4m，胸墙厚 0.6m，胸墙底高程为 4.5m，水闸闸室建基面高程-2.10m。

该水闸位于滩地港槽上，地基土为第四纪全新世 Q_4^0 ~晚更新世 Q_4^1 的沉积层，主要由粉性土、淤泥质土及粘性土组成。

表 1 闸基土物理力学指标及主要地质参数表

层号	图层名称	渗透系数 k (cm/s)	承载力 (kPa)	极限侧阻力 (kPa)	含水量 W%
② ₃	灰色砂质粉土	3.00E-04	110	35	27.3
② ₃ 类	灰色淤泥质粉质粘土	2.00E-06	60	25	39.4
③	灰色淤泥质粉质粘土	2.00E-06	60	15	38.8
④	灰色淤泥质粘土	2.00E-07	55	20	47.7
⑤ ₁	灰色粉质粘土夹粉土	2.00E-06	75	40	35.7

工程区属IV类场地，场地抗震设防烈度为7度。②₃层为可液化土层，单孔液化指数为0.06~6.04，平均液化指数为4.22，场地平均液化强度比为0.982，场地液化等级为轻微液化。

3 闸基处理方案设计

3.1 闸基处理方案比较

根据上文闸基处理方法的介绍可以看出，换填法、预压法、深层搅拌法、高压喷射注浆法等加固方法一般适用于软弱土层较薄、对地基承载力及变形要求不高的情况，而桩基础则更适用于软弱层较厚，对承载力及沉降变形要求较高的情况。目前实际工程中应用得较多的桩基型式一般多为打入预制方桩、PHC管桩和钻孔灌注桩。

由于该水闸位于长江沿岸，施工受潮汐及汛情影响较大，工期要求较紧，根据地质情况，综合考虑施工环境及工期等因素，该闸基处理选取复合地基和刚性桩进行技术经济对比分析。复合地基选取更适合上海地区的搅拌桩，刚性桩选取预制方桩、钻孔灌注桩及PHC管桩进行比较。

(1) 深层搅拌桩方案

搅拌桩按格栅式布置，互相搭接，既可增加搅拌桩的整体性，又可防渗。对于本工程，闸首底板下采用Φ850三轴搅拌桩，处理深度15m，水泥掺入比20%。地基置换率30%，复合地基承载力设计值经估算为150kPa。

(2) 钢筋混凝土预制桩方案

在闸首底板范围内，满堂布置400mm×400mm预制方桩，桩间距1600×1700mm，呈矩形布置，桩长采用15m，伸入第⑤₁层粉质粘土层约2m。

(3) 钻孔灌注桩方案

布置方式同钢筋砼预制方桩方案，选用桩径Φ800，间距为2800mm，呈正方形布置，桩长26m。

(4) PHC管桩

布置方式同钢筋砼预制方桩方案，选用桩径Φ800，间距为3000×3200mm，呈正方形布置，桩长26m。

以上四种方案的综合比较见表2。

表2 闸基处理方案比较表

处理方案	深层搅拌桩	钢筋砼预制桩	钻孔灌注桩	PHC管桩
桩径与桩长 (m)	φ0.85×15	0.40×0.4×15	φ0.8×26	φ0.8×26
投资 (万元)	76.7	102.0	107.5	81.0
优点	1.能互相搭接,既可承载又可防渗。2.造价较低。3.施工无振动,无噪音。4.对液化土层控制效果较好。	1.有丰富的施工经验及成熟的计算理论,质量可靠。2.施工简单、方便,工期短。	1.有丰富的施工经验及成熟的计算理论,质量可靠。2.桩径大,桩承载力高。	1.有丰富的施工经验及成熟的计算理论,质量可靠。2.桩径大,桩承载力高。3.桩基长度不受限,接桩方便。4.桩基可采用大直径,对液化土层震动影响可控。
缺点	1.对施工单位要求高,施工质量难以保证。2.桩身承受水平力及抗剪能力差,容易断桩。3.施工完毕后,要养护,工期最长。	1.造价较高。2.施工中振动大,噪声高。3.桩基长度受限,接桩质量难控制。4.处理桩基数量多,对液化土层震动影响大。	1.造价最高。2.施工较为复杂,施工中噪声高,污染高。	1.承受水平力不及钻孔灌注桩及预制方桩。2、施工中挤土震动强度大。

3.2 闸基处理方案选定

根据闸基处理方案比较表可以看出:深层搅拌桩可以直接处理深层地基土,加固时对周围土体无扰动,施工时也无振动,并可节约工程投资。但本工程需要考虑汛期的因素,对工期要求严格,而搅拌桩在施工完成后须要等待桩身达到设计强度后,才能进行上部结构施工。因此若采用深层搅拌法进行地基处理,施工工期定会延长,并且搅拌桩的质量与施工单位的技术水平密切相关,水泥掺入量、搅拌的均匀程度均对水泥土工程特性影响较大。

钻孔灌注桩施工相对复杂,造价较高,施工周期长。灌注桩施工需设置泥浆池,对周边环境和水体存在一定的污染隐患。

钢筋混凝土预制方桩单桩承载力较大、受力明确,施工也很方便快捷、质量易保证,造价较高。桩基处理深度受限,接桩质量难控制。对于液化土层,桩基数量太多不利于液化控制。

PHC管桩桩长不受限制,由于挤压作用,桩侧摩阻力可提高20%~40%,地基承载力高,施工速度快,桩身质量好,接桩质量控制效果较好,施工工艺简单,施工干扰小,造价合理,适应性强。对于液化土层,可采用大桩径的长桩,减少施工震动次数,有效控制震动液化的可能。PHC管桩承受水平力相对较差,但本水闸水平荷载总体要求不高。

综上分析结合工期要求该水闸闸基处理采用PHC管桩方案较合适。

另外根据地勘报告,工程场地液化等级为轻微液化,设计采用水泥搅拌桩防渗墙对水闸四周围封,并采用大直径长桩(PHC管桩)的地基处理方式,来减少地基震动,控制液化影响。另外,在计算分析过程中,定性考虑液化沉降及地基欠固结沉降,将沉降范围土层按负摩阻力计入计算。桩基础具体方案布置如图1所示。

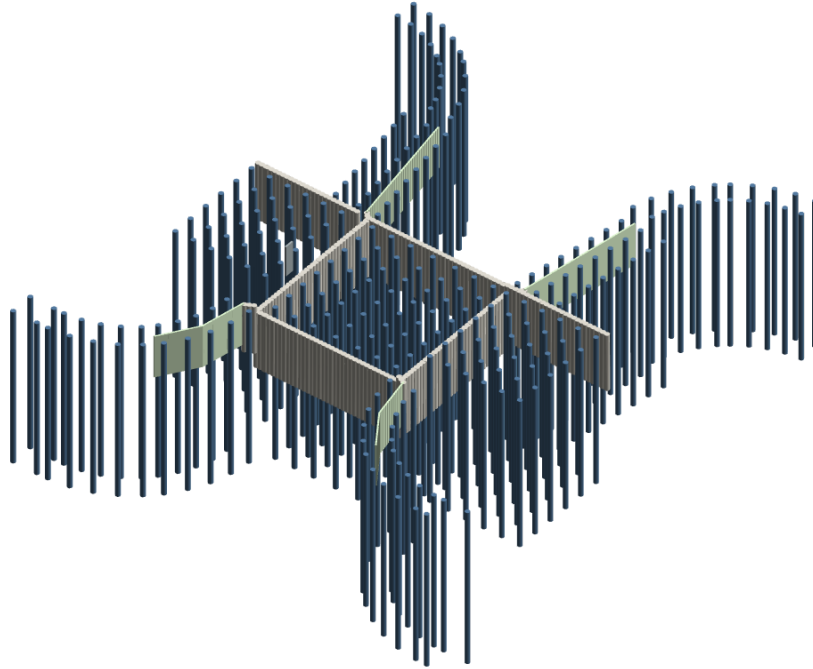


图 1 闸基处理示意图

3.3 桩基计算

3.3.1 承载力计算

桩基内力计算主要由完建期、正向挡潮期（设计工况）、反向挡水期（设计工况）控制，经计算最大轴力为 1430kN，平均轴力为 1290 kN。

单桩竖向承载力特征值 R_a 可依据地基土物理力学性质指标与承载力参数估算，公式为

$$R_a = Q_{uk} / K \tag{1}$$

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} (A_j + \lambda p A_{pl}) \tag{2}$$

当 $h_b/d_l < 5$ 时， $\lambda p = 0.16 h_b/d_l$

当 $h_b/d_l \geq 5$ 时， $\lambda p = 0.8$

式中各符号意义详见《建筑桩基技术规范》5.3.8 有关说明。

经计算，单桩承载力特征值 R_a 为 1350 kN

根据以上计算结果，桩顶平均轴力 $N_k \leq R_a$ ，桩顶最大轴力 $N_{max} \leq 1.2 R_a$ ，单桩竖向承载力满足设计要求。

根据对闸室范围内的三根管桩高应变法检测（CASE 法）分析结果：对应阻尼系数（Jc）下单桩承载力检测值如表 3 所示，满足设计值要求。

表 3 高应变法检测（CASE 法）分析结果表

序号	桩径 (mm)	测点下桩长 (cm/s)	设计单桩竖向抗压承载力特征值 (kN)	凯斯法阻尼系数取值 Jc	对应阻尼系数 (Jc) 下单桩承载力检测值 (kN)	桩身完整性
1	800	24.7	1350	0.40	2724	I
2	800	24.7	1350	0.40	2753	I
3	800	24.7	1350	0.40	2735	I

3.3.2 沉降计算

根据《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008) 对于桩中心距不大于 6 倍桩径的桩基，其最终沉降量计算采用等效作用分层总和法。等效作用面位于桩端平面，等效作用面积为桩承台投影面积，等效作用附加压力近似取承台底平均附加压力。等效作用面以下的应力分布采用各向同性均质直线变形体理论。根据规范中相关公式计算可得桩基最终沉降量约为 7.4cm，根据监测数据（如图 2 所示）目前大部分上部结构已完成，根据监测，沉降量最大值 5.24cm，最大沉降差 0.91cm，目前看各项数据满足规范要求。

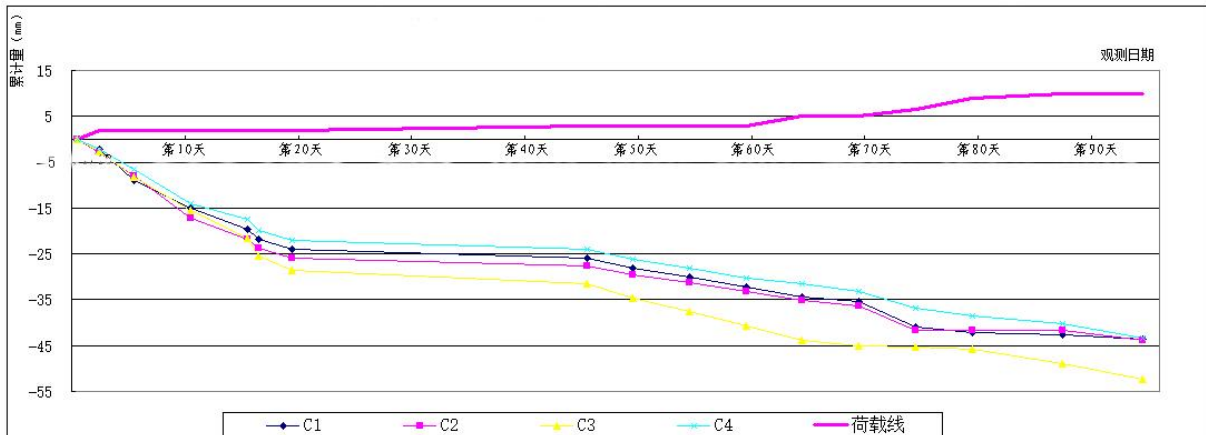


图2 沉降观测过程线

4 结语

目前国内 PHC 管桩主要应用于房地产建设领域,其次为公路建设领域,水利工程建设领域使用相对较少,但近年来随着 PHC 管桩行业的发展,根据 PHC 管桩的自身及施工优点,在水利行业中 PHC 管桩作为桩基础地基处理的方法,被不断推广使用,特别近几年在上海地区,新建水闸工程中也越来越多的使用该基础处理方法,目前作者所知的上海崇明地区的北沿及南沿海塘在建的 8 座水闸桩基础均使用的 PHC 管桩,本文介绍的水闸目前桩基础已施工完毕,并通过检测,各项指标均满足设计及规范要求,通过实践验证了 PHC 管桩的可靠性。随着应用的增多 PHC 管桩基础将成为上海地区水闸及泵站基础处理的主要方式。

[参考文献]

- [1]钟恒昌,孙勇,孙明霞,等.水闸桩基础的优化设计[J].人民黄河,2014,36(2):135-137.
- [2]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,2015,37(2):127-129.
- [3]上海现代建筑设计(集团)有限公司.DGJ08-11-2010地基基础设计规范[S].上海:上海市建筑建材业市场管理总站,2010.
- [4]江苏省水利勘测设计研究院 SL265-2016水闸设计规范[S].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [5]中国建筑科学研究院.JGJ79-2002建筑地基基础处理技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [6]中国建筑科学研究院.JGJ94-2008建筑桩基技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.

作者简介:邓伟峰(1984.7-),男,毕业院校:扬州大学;现就职单位:长江勘测规划设计研究有限责任公司。