

刚性桩复合地基联合围封墙在泵站中的应用

孙见锋, 房云杰, 唐洪根

(山东省水利勘测设计院有限公司, 山东 济南 250014)

【摘要】 本文根据济宁市引黄泵站工程的特点及实际情况, 提出了预制管桩(PHC)和水泥搅拌桩相结合的地基处理方案, 预制管桩(PHC)主要是提高地基承载力和减少地基沉降, 解决承载力不足和沉降过大问题; 水泥搅拌桩围封墙, 用来提高地基的抗振动液化能力, 该技术可为同类水利工程设计提供方案参考和思路借鉴。

【关键词】 地基液化; 刚性复合地基; 预制管桩(PHC); 水泥搅拌桩围封墙

【中图分类号】 TV675

【文献标志码】 A

【文章编号】 1009-6159(2025)-07-0013-03

Application of Rigid Pile Composite Foundation Combined with Cement Mixing Pile Sealing Wall in Pumping Station Project

SUN Jianfeng, FANG Yunjie, TANG Honggen

(Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy co., Ltd, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: According to the characteristics and actual situation of Yellow River pumping station project in Jining, a foundation treatment scheme combining precast pipe pile (PHC) and cement mixing pile is proposed in this paper. The precast pipe pile (PHC) is mainly to improve the bearing capacity of the foundation and reduce the settlement of the foundation, so as to solve the problem of insufficient bearing capacity and excessive settlement. Cement mixing pile enclosing wall is used to improve the anti-vibration liquefaction ability of foundation. The technology of this project can provide scheme reference and idea reference for similar water project design.

Key words: Ground liquefaction; Rigid composite foundation; Precast pipe pile (PHC); Cement mixing piles sealing wall

复合地基是指天然土体在地基处理过程中部分土体得到增强, 或被置换, 或在天然地基中设置加筋材料, 加固区是由天然地基土或改性地基土和增强体两部分组成的人工地基。复合地基的类型按照桩的类型可分为柔性桩复合地基、半刚性桩复合地基和刚性桩复合地基^[1-4]。刚性桩复合地基在施工速度、地质适应性、地基处理质量方面优势明显, 与灌注桩基础相比施工简单、费用低。本文根据济宁市引黄泵站工程的特点及实际情况, 采用刚性桩复合地基联合水泥搅拌桩围封解决承载力不足、沉降过大和地基液化问题, 并总结了一些工程设计应当重点关注的地方。

1 工程概况

济宁市引黄泵站主要由进水建筑物、主(副)

厂房及出水建筑物组成。主厂房内配置6台卧式单级双吸离心泵, 6台机组4用2备, 每台机组流量 $2.13\text{ m}^3/\text{s}$, 扬程 $56.16\sim 68.79\text{ m}$ 。

勘察场区地势因坑塘而起伏。场区中下部工程地质条件一般, 地层相对稳定, 局部上部土层软弱。场地地面以下 15 m 范围内分布的第②层砂壤土、第④层砂壤土、第⑥层砂壤土、第⑥-1层粉细砂均属可液化土层, 应采取抗液化措施处理地基。

2 地基处理方案比选及设计

2.1 地基处理方案比选

该泵站主厂房底板底高程为 $32.90\sim 37.65\text{ m}$,

收稿日期: 2025-03-26

作者简介: 孙见锋(1988—), 男, 高级工程师

主要坐卧于第②层砂壤土层上,局部坐卧于第③层黏土、④层砂壤土层上,主要下卧层有第④层砂壤土和第⑤层壤土;第②层砂壤土和第④层砂壤土为液化土层。计算结果表明,最不利工况下,主厂房底板基底应力平均值为 118 kPa,天然地基条件下沉降量为 132 mm,最大沉降差为 53 mm,天然地基下承载力不满足要求,沉降值偏大,需对地基进行处理。

常用的地基处理方式垫层法、复合地基法、桩基法等。垫层法仅限于浅层处理,一般不大于 3 m,本工程软弱层、液化层厚度达 6 m,换填法已经不适用。根据本工程特点,可选用水泥搅拌

桩复合地基法、刚性桩复合地基法和灌注桩注桩法。水泥土搅拌桩只承受竖向荷载,水平荷载由褥垫层与基础之间的摩擦力抵消^[6];刚性桩复合地基联合水泥搅拌桩围封法,即采用预制管桩刚性复合地基解决承载力和沉降问题,水泥搅拌桩围封处理地基液化问题。灌注桩能同时解决地基承载力不足、沉降偏大、地基土液化问题。桩顶深入主厂房底板与底板刚性连接,桩端穿过液化土层。三种方案技术优缺点比较见表 1。

2.2 方案设计

本工程工期十分紧张,施工进度和工程安全成为首要考虑的因素,经综合分析,采用方案二。

表 1 泵房地基处理方案比较表

方案	基本作用	优点	缺点
方案一:水泥土搅拌桩法	利用水泥作为固化剂,使水泥和土形成桩体,桩、桩间土和褥垫层共同发挥作用,形成具有整体性、弱透水性和一定强度的复合地基 ^[9]	提高地基承载力,减少沉降量,并提高地基抗振动液化的能力,投资最低	加固深度一般不超过 15m,处理后地基仍有一定后期沉降变形量
方案二:刚性桩复合地基联合水泥搅拌桩围封	水泥搅拌桩围封用来解决液化问题,预制管桩处理地基承载力不足和不均匀沉降问题	提高地基承载力,减小沉降量,施工速度快,施工质量有保证,对环境影响小,不扰民	费用比方案一多
方案三:钻孔灌注桩	摩擦桩或端承桩,上部荷载由基础传递至桩基础,可同时解决承载力、沉降、液化问题	大幅度提高地基承载力,减小沉降,机械化作业,施工相对简单	会产生泥浆垃圾,对环保要求高,投资最高

刚性桩复合地基承载力特征值和刚性桩单桩竖向承载力特征值分别按照公式(1)、公式(2)来计算^[6]:

$$f_{spk} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{sk} \quad (1)$$

$$R_a = U_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_{pi} + \alpha_p q_p A_p \quad (2)$$

公式中的相关符号、字母含义详见文献^[6]。

刚性桩复合地基沉降计算采用公式(3)计算^[7]:

$$S = \Psi_s S' = \Psi_s \sum_{i=1}^n \frac{P_0}{E_{Si}} (z_i a_i - z_{i-1} a_{i-1}) \quad (3)$$

公式中的相关符号、字母含义详见文献^[7]。复合地基土层的分层与天然地基相同,各复合土层的压缩模量为该层天然地基压缩模量的倍数,这个数值为加固后复合地基承载力与天然地基承载力的比值^[8]。刚性桩复合地基在设计过程中,要保证桩的承载力满足要求,桩间土的受力满足地基承载力要求,还要保证桩、桩间土、桩顶褥垫层的沉降协调^[9]。

经计算,预制管桩(PHC)桩径 500 mm,桩间距 2.0 m,桩长 10.0 m,矩形布置时,刚性复合地

基承载力特征值为 160 kPa,对应的单桩承载力特征值为 480 kN,满足泵站对地基承载力及沉降量的要求。水泥搅拌桩围封墙呈格栅状布置,为保证抗液化效果,格栅面积按照不大于 100 m² 控制,复合地基及围封桩平面布置图,如图 1 所示。

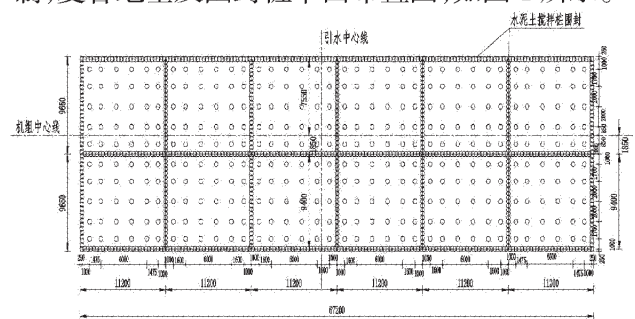


图 1 复合地基平面布置图

2.3 设计过程中几点思考

1) 刚性桩复合地基垫层材料选用。刚性桩复合地基也应设置褥垫层。在一定厚度范围内,垫层的调节作用会随着垫层厚度增加而增强。规范中褥垫层的厚度一般可取 100~300 mm。本工程采用 300 mm。垫层材料可选用中砂、粗砂以及级配良好的碎石;当基础有防渗要求时,褥垫层可采用素混凝土垫层或者有一定强度的水泥石。水

泥土采用的土料宜为黏土,水泥掺量不小于20%。

2)刚性桩复合地基桩间距。该工程桩间距为2.0 m,4倍桩径,施工过程进展顺利,地基承载力达到了设计要求。建议刚性桩复合地基的桩间距可选用3~4倍桩径。

3)刚性桩桩帽。刚性桩桩间距3~4倍桩径,桩间距比水泥土搅拌桩大得多,使得桩体承担基底应力过于集中、不均匀。因此,待刚性桩施工完成后,在桩顶增设桩帽。桩帽多为方形钢筋混凝土结构。桩帽的刚性作用明显,起到了均化桩顶应力的作用,使得垫层的整体分担效应、地基土的承载作用明显增强。

4)水泥搅拌桩围封墙进入非液化土层的深度。采用水泥搅拌桩围封法是将液化土层放到一个密闭的箱体之中,箱体之内的土体在透水也剪应变方面受到限制,从而保证地震发生时箱体内的土不产生剪应变。泵站底板作为箱体的盖子,不液化土层作为箱体的底,水泥搅拌桩围封墙作为密闭箱体的墙体。作为围封墙体的水泥土格栅墙必须穿透液化土层进入非液化土层一定深度。本工程设计为墙体进入非液化土层不小于0.50 m。

3 桩基检测

为检验地基处理方案的实际效果,在预制管桩和水泥搅拌围封桩施工完成,达到检测条件后,由具有相关资质的检测单位根据相关规范对预制管桩组成的刚性桩复合地基进行了单桩静载试验和复合地基静载试验^[9],同时对水泥搅拌围封桩成墙连续性和有效厚度进行了检测。

3.1 单桩静载荷试验

根据文献^[9]对受检桩进行了单桩静载试验。检测结果表明,单桩承载力特征值不小于设计提出的480 kN,满足设计要求。

3.2 复合地基承载力试验

根据文献^[9]对受检桩进行了复合地基静载试验。检测结果表明,复合地基承载力特征值不小于设计提出的160 kPa,满足设计要求。

3.3 水泥搅拌桩成墙连续性检测

水泥搅拌桩围封墙连续性成墙厚度通过GSSI探底雷达100 MHz+400 MHz天线进行了检

测,主要从分辨率、穿透力和稳定性3个方面综合衡量。检测结果表明:水泥搅拌桩连续较好,成墙厚度满足设计提出的不小于0.3 m的要求。

4 结论

1)检测结果表明,刚性复合地基中作为增强体的预制管桩(PHC)单桩静载和复合地基静载试验结果满足设计要求;地质雷达检测结果表明,水泥搅拌桩围封墙连续性较好,成墙厚度满足设计要求。

2)承载力弱、沉降大和地基振动液化是水利工程中经常遇到的问题,设计过程中应根据每个工程的特点和实际情况,结合工期、投资和环保等因素综合比较,采取合适的地基处理方案^[11]。

3)本工程采用的基础处理方案,从实际施工过程和处理效果方面来看,不仅提高了施工速度,而且有效保证了地基处理质量,可为同类水利工程设计提供方案参考和思路借鉴。

参考文献

- [1] 龚晓南.复合地基理论与工程应用(第2版).北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [2] 叶书麟.地基处理工程实例应用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [3] 李早.复合地基承载力可靠性分析与设计研究[D].西安建筑科技大学,2004.
- [4] 闫明礼,张东刚.CFG桩复合地基技术及工程实践[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [5] 复合地基技术规范:GB/T50783-2012[S].北京:中国计划出版社,2012年.
- [6] 党显敬,费兵兵.刚性桩复合地基沉降计算方法的分析探讨及研究应用[J].地基处理,2009,20(3):3-12.
- [7] 钮杰.水泥土搅拌桩优化设计探究[D].合肥:合肥工业大学出版社,2010.
- [8] 建筑地基处理技术规范:JGJ79-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [9] 建筑地基基础设计规范:GB50007-2002[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [10] 池跃君,宋二祥,陈肇元,等.刚性桩复合地基沉降计算方法探讨及应用[J].土木工程学报,2003(11):19-23.
- [11] 倪光乐,苏克之,张志允,等.刚性桩复合地基理论及其在广东地区的应用[J].岩石力学与工程学报,2006(z2):4160-4168.

(责任编辑 崔春梅)