

文安西滩泵站更新改造工程泵房及挡墙地基处理设计分析

支艳庆

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津市 300222

摘要:对于土基上的大型防洪排涝建筑物,地基承载力多数不能满足工程需要,需进行地基处理,地基处理设计需根据不同工程的边界条件,结合建筑自身的的功能和特点,通过方案的综合分析及比选,最终选择不同的地基处理方案,既可保证了工程安全,有可适当降低工程投资,依据以上原则,结合实际工程案例对地基处理设计进行分析研究,可为类似水利地基处理设计提供一定的参考。

关键词:泵站;更新改造;地基处理;分析

引言:河北省东南部地区为平原地区,建筑物多为土基,尤其廊坊文安洼地区防洪排涝建筑物非常多,地基承载力整体较低,多不能满足工程需要,需采取必要的地基处理措施,以保证工程运行安全,本文以文安西滩泵站更新改造工程为例,结合各建筑自身的的功能和特点,并通过相关计算和综合分析比选,以确定合理的地基处理措施。

1 工程概况

西滩泵站位于廊坊市文安县滩里镇西滩里村北,本次更新改造对排水区重新做了规划,更新改造的泵站排涝范围包括原西滩泵站、东滩泵站和毕家坊泵站的部分区域,总排涝面积为 987.8km^2 ,设计排涝流量为 $86.25\text{m}^3/\text{s}$,共安装6台大型立式轴流泵机组,总装机容量7500千瓦。项目主要建设内容包括:更换水机、电气及金属结构设备、对进水渠进行清淤、对局部护坡进行维修、对前池、进水池、泵房、出水池、出水闸、进场路进行拆除重建,对出水渠进行改建等^[1]。

文安西滩泵站为大二型的泵站,2级主要建筑物有泵房、前池、出水池、进水闸、出水闸及进、出水渠;其他次要建筑物级别为3级。设计洪水标准为50年一遇,设计地震烈度为7度^[1]。

泵房排水方向长25m,垂直排水方向长41.4m,上、下游分别为进水池和出水渠道,中间为加压泵房,泵房共分为2块,3孔一联。进水池布置于机组流道的上游

侧,共布置为6孔,单孔净宽为5.3m。泵房内部共安装6台直径2.0m的大型立式轴流泵,机组间距为6.3m,采用肘型流道进水。前池和出水池均通过两侧翼墙与进、出水渠岸坡相接,布置型式为八字圆弧形,翼墙采用悬臂式混凝土挡土墙^[1]。

2 地基处理设计方案

根据泵房及翼墙稳定计算,泵房及1#翼墙不满足地基承载力要求,泵房抗滑稳定安全系数不满足规范要求,最大基底应力不满足规范相关要求,5#翼墙基底应力不满足地基承载力要求,需要进行地基处理。

2.1 地质条件

建筑物基础自上而下分别为砂壤土、壤土、砂壤土等多层结构,基础均坐落在砂壤土层上,砂壤土及以下各层层厚均约3.5~5m。砂壤土天然含水率25.9%,干密度 $1.53\text{g}/\text{cm}^3$,饱和度97%;壤土天然含水率24.7%,干密度 $1.57\text{g}/\text{cm}^3$ 。

5#翼墙基础自上而下分别为砂壤土、细砂、壤土、细砂等多层结构,砂壤土层厚均约5~7m。砂壤土天然含水率25.4%,干密度 $1.51\text{g}/\text{cm}^3$,饱和度92%;细砂,中等密实,层厚3.0~3.4m^[1]。

2.2 地基处理措施选择

2.2.1 泵房及1#翼墙地基处理

土基承载力不足的情况极为常见,其处理措施有很多种,根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2012)^[2]和《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008)^[3],地基承载力不足问题可通过换填垫层法、强夯法、振冲法、水泥土搅拌桩以及桩基础等方法进行解决,其中一般不大于3m的软土地基可采用换填垫层法;强夯法适用于松软地基,透水性较好,特别是稍密的碎石土或松砂地基;水泥土搅拌桩

通讯作者:支艳庆,出生年月:1984,民族:汉,性别:男,籍贯:河北阜城县,单位:河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司,职称:高级工程师,学历:本科,邮编300222,研究方向:水利水电工程结构设计。

和振冲桩法都是复合地基。该项目原状土地基承载力约为110kPa,建筑物要求地基承载力不低于190kPa,根据工程经验并结合相关计算,复合地基承载力不能达到这个数值,另由于泵房抗滑不满足要求,复合地基振冲碎石桩和水泥搅拌桩抗剪能力差,不能明显提高泵房的抗滑稳定性,同时振冲碎石桩存在渗流问题,因此结合工程区地层情况、建筑物结构特点和施工条件,地基处理措施采用桩基础。桩基础进行地基处理实践经验多,应用广泛,本次桩基础设计主要考虑了混凝土预制桩和混凝土灌注桩。

(1) 混凝土预制桩

混凝土预制桩属于挤土桩,单位面积承载力较高,依靠桩打入地基后桩四周的土层被挤密,从而提高地基土的承载力。预制桩可以集中在工厂生产,也可以在工地周围就近生产,桩施工简便,施工工效高,桩身质量好,便于检验。由于预制桩的配筋是根据运输、装运和打桩时的荷载设计,荷载设计值大大增加,导致配筋面积加大,受桩自重吊装影响,单桩长度一般不超过10m,因此处理较深厚的地层时,还会产生一部分接桩费用,桩身接头处为桩基的薄弱环节,如不能保证整个桩身的垂直度,会降低桩身的承载能力,甚至在打桩时还会存在断桩风险。此外,由于施工震动较大,施工过程中易引起周围地面隆起或已就位桩身上浮。

(2) 混凝土灌注桩

混凝土灌注桩在地基土中采用机械打孔、钢管挤土等措施成孔,成孔后通过在内部放置钢筋骨架、灌注混凝土形成桩身,可以适用于不同土层,桩长也不受限制。灌注桩单桩承载力较大,如受偏心荷载作用,需配置受力钢筋时,可按工作荷载要求布置,配筋量可大大减少,因此在一般情况下,预制桩造价较高。但如遇灌注桩施工不当,易发生断桩、缩颈、露筋、夹泥等现象,桩身质量不容易控制。

混凝土灌注桩施工简便,工艺成熟,实践经验丰富,在水利工程中应用较为普遍,考虑西滩泵站为大型泵站,在整个文安洼区域乃至河北省都比較重要,因此综合考虑,确定将混凝土灌注桩方案用于泵房及1#翼墙的基础处理。

2.2.2 5#翼墙地基处理

根据工程特点,设计综合考虑三种基础处理措施,包括振冲法、水泥土搅拌法和钻孔灌注桩基础(桩型为摩擦桩)。经测算,复合地基承载力(或桩基承载力)经以上三种方法处理后,可满足设计承载力要求。

比较上述三种地基处理措施,采用振冲法和水泥土搅拌法处理后的人工地基同属复合地基范畴,桩土共同

作用承担上部荷载。采用振冲法进行地基加固,操作简单,施工进度快,但施工时使用高压水流会对场地造成污染,使已加固的土体增加含水量,尤其采用本法处理后桩顶碎石垫层和桩柱体本身会形成渗流通道,对建筑物抗渗稳定不利;采用深层搅拌法加固地基的优点是施工进度快、振动小、无噪音、基本无污染和工程造价较低,此法对施工质量要求较高;采用桩基础进行地基处理,实践经验多,应用广泛,特别是钻孔灌注桩对各种土基适用性强,不仅在提高承载力、减小沉降量方面作用显著,尤其钻孔灌注桩可作为挡墙基础的一部分,对挡墙整体抗滑稳定有利,但采用桩基础较之其它方法投资偏大。

综合考虑投资、施工工艺、处理效果等诸方面的因素,5#翼墙推荐采用投资较省,且环保无污染的深层搅拌法进行地基加固处理。

2.3 地基处理设计

2.3.1 桩基设计

(1) 桩型选择

桩型选择需从建筑物的结构形式、地基土质条件、工程区地下水位、施工条件、工程投资及桩的使用功能等各方面因素综合考虑确定,本工程地下水位较高,土质均为粘性土,渗透系数较小,因此结合其他工程经验,本次桩基采用泥浆护壁型式的钻孔灌注。根据《水闸设计规范》^[4](SL265-2016),灌注桩直径一般为0.8~1.2m,考虑到泵房承受水平力较大,暂取桩径为1.0m,1#翼墙桩径暂取为0.8m,桩径通过以下承载力计算进行复核。

(2) 灌注桩布置

灌注桩的平面布置依据结构基底面以上承担的总水平向荷载和《水闸设计规范》^[4]要求的钻孔灌注桩中心距不小于2.5倍桩径两方面进行综合确定。根据泵房和1#翼墙的地基应力计算相关成果,选取不同计算工况下产生的最大水平向合力作为基桩根数的控制荷载初步拟定基桩根数,然后按“最小的基桩中心距”要求,同时考虑使基桩承载力充分发挥,桩群的形心应与底板底面以上基本荷载组合的合力作用点相近等因素对基桩位置进行适当调整,选定合理的桩基平面布置。

(3) 桩基水平承载力计算

由于结构所受荷载较大且无单桩水平静载试验资料,因此桩的水平承载力特征值按水平位移进行控制。群桩基础的基桩水平承载力特征值应考虑由承台、桩群、土相互作用产生的群桩效应^[3]。

根据《水闸设计规范》^[4],钻孔灌注桩桩顶不可恢复

的水平位移最大值取为5mm；根据桩基规范要求，对于大直径桩，桩嵌入承台内长度不宜小于100mm，本次设计嵌入长度取为100mm；群桩基础的基桩水平承载力特征值按《建筑桩基技术规范》^[3]5.7.3节相关公式进行计算，基桩桩顶水平力及基桩水平承载力特征值见表1。

表1 桩顶水平力及水平承载力特征值计算表

位置	基桩最大桩顶水平力 (kN)	水平承载力特征值 (kN)
泵房	300	427
1#翼墙	203	219

由表1可以看出，泵房及翼墙基桩桩顶处的水平力均小于基桩的水平承载力特征值，满足规范要求。根据不同工况下基桩的水平承载力特征值，考虑基桩抗滑，经复核计算后泵房各工况抗滑稳定性均能满足规范要求。

(4) 桩的竖向承载力计算

① 单桩竖向承载力标准值 Q_{uk} 计算

按《建筑桩基技术规范》^[3] 5.3.5条:根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向极限承载力标准值，计算公式为: $Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p$

② 基桩竖向承载力特征值R计算

根据《建筑桩基技术规范》^[3]，对于桩数超过3根的摩擦型桩，当其上部结构整体刚度较好、建（构）筑物体型较为简单时，宜考虑承台效应确定其复合基桩的竖向承载力特征值，特征值应按规范公式（5.2.2和5.2.5）进行计算。

③ 桩顶作用效应计算

根据《建筑桩基技术规范》^[3] 5.1.1条:对于一般建筑物和受水平力（包括力矩和水平剪力）较小的高大建筑物桩径相同的群桩基础，应按公式（5.1.1-2）计算群桩中复合基桩或基桩的桩顶作用效应。

④ 桩基竖向承载力计算应符合下列要求^[3]:

$$N_k \leq R \text{ 且 } N_{k \max} \leq 1.2R \text{ (荷载效应标准组合)}$$

$$N_{Ek} \leq 1.25R \text{ 且 } N_{Ek \max} \leq 1.5R \text{ (地震作用效应和荷载效应标准组合)}$$

经计算，各工况下桩基竖向承载力均满足规范要求，结合水平承载力计算结果，泵房及检修间桩径1.0m，桩长14m，桩间距3.0m。1#翼墙桩径0.8m，桩长16m，桩间距2.5m。

2.3.2 5#翼墙搅拌桩复合地基设计

(1) 根据《建筑地基处理技术规范》^[2]，水泥土搅拌桩复合地基承载力特征值按下式进行计算。

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

(2) 单桩竖向承载力按下两式进行计算并取小值。

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p, R_a = \eta f_{cu} A_p$$

式中各符号含义详见《建筑地基处理技术规范》^[2]，其中桩间土承载力折减系数 β 取为0.75，桩身强度折减系数 η 取为0.30，桩端天然地基土的承载力折减系数 α 取为0.5。

经计算，在5#翼墙基础部位布置直径0.5m的深层搅拌水泥桩668根，单桩长12m；各桩采用正方形布置，桩距1.0m左右。

结束语：针对不同建筑物结合工程特点应采取不同的地基处理措施，本工程对泵房和进口1#翼墙基础采用混凝土灌注桩进行处理，对出口连接段翼墙采用造价低、施工简单而且环保无污染的深层搅拌法进行地基处理。由于泵房承受水平力较大，设计中通过大量分析计算以确定桩径、桩长、桩间距以及单桩的承载力特征值等，1.0m桩径灌注桩单桩水平承载力特征值（桩顶位移不大于0.5cm）按不小于300kN设计。水闸规范^[4]中1.0m桩径单桩允许水平向承载力（控制桩顶位移0.5cm）经验值为200~250KN，结合工程地质情况和3根试验桩水平静载试验，当桩顶水平承载力加载至设计值（300kN）时桩顶水平位移分别为2.96mm，2.87mm，和3.34mm，因此可以确定灌注桩水平承载力能够满足设计和相关规范要求。

合理的选择地基处理方案，即能保证工程安全，又可降低工程投资，本次地基处理设计分析可为类似水利地基处理设计提供一定的参考。

参考文献：

[1] 河北省水利水电勘测设计研究院. 廊坊市文安西滩泵站更新改造工程初步设计报告（报批稿）[R]. 2015.86-95
 [2] JGJ79-2012, 建筑地基处理技术规范[S].
 [3] JGJ94-2008, 建筑桩基技术规范[S].
 [4] SL265-2016, 水闸设计规范[S].