

高压旋喷桩结合预制砼管桩在闸站软弱地基处理中应用

郇 华¹ 张木云² 周建方³ 眭夕梅³ 曾丽慧³

1.丹阳市水利局陵口水利站 江苏丹阳 212300

2.丹阳市水利局延陵水利站 江苏丹阳 212300

3.丹阳市水利局 江苏丹阳 212300

摘 要: 太平港闸站地处长江夹江侧软弱地基上, 综合分析工程所在场地的工程水文地质特征, 基坑开挖对主体结构影响, 采用预制管桩与高压旋喷桩组合地基处理模式下相互作用机理及影响, 对软弱地基处理的安全性和工艺的适用性进行了初步探讨。

关键词: 太平港闸站; 预制管桩; 高压旋喷桩; 地基处理

Application of high pressure jet grouting pile combined with precast concrete pipe pile in soft foundation treatment of gate station

Hua Li¹ Muyun Zhang² Jianfang Zhou³ Ximei Sui³ Lihui Zeng³

1. Danyang Water Resources Bureau, Yanling District, Danyang212300,China;

2. Danyang Water Resources Bureau, Lingkou District, Danyang212300,China;

3. Danyang Water Resources Bureau,Danyang212300,China)

Abstract: The Taipinggang Lock and Dam Station is located on the weak foundation of the Jiajiang side of the Yangtze River. This paper comprehensively analyzes the hydrogeological characteristics of the site where the project is located, the impact of foundation excavation on the main structure, and the interaction mechanism and effects of the combined foundation treatment mode using prefabricated pipe piles and high-pressure jet grouting piles. The safety and applicability of the treatment process for weak foundations are preliminarily discussed.

Keywords: Taiping Port Gate Station; Precast pipe pile; High pressure rotary jet pile; Foundation treatment

太平港闸站位于丹阳市丹北镇长江段夹江南侧, 由节制闸和东、西两座排涝站组成, 是丹北镇新桥片区重要入江引排水枢纽, 原太平港闸站经过近五十年的运行, 老节制闸及原有两座排涝站机组电力设施老化严重, 涵闸防渗径长度严重不足, 两座排涝站经长期运行后, 机组效率不高, 均鉴定为四级排涝泵站, 汛期度汛存在极大安全隐患。同时因为原有泵站排涝能力不足, 近年来新桥片区由于工业化、集镇化快速扩张, 硬化地面占比急速上升, 地表径流增大, 汇流时间缩短, 加之排泄通道不畅, 导致居民区及工业区内涝严重, 社会面要求闸站改建呼声很高, 针对此种状况, 太平港闸站改建势在必行。

一、工程概况

新建太平港闸站为集排涝泵站、水闸一体的综合性水利枢纽工程, 设计排涝站为中型排涝泵站[1-2], 排涝站装机4台套立式轴流泵, 总排涝流量16m³/s, 装机功率1120KW; 泵站进水池净宽4×4.2m, 引排水闸宽6m, 闸站共5孔。闸中、边墩宽度分别为0.8m、1.15m。设计引、排涝流

量45 m³/s。新建闸站防洪标准为100年一遇。300年一校核, 排涝标准为20年一遇。长江堤防为二级堤防, 闸站主要建筑物等级为二级, 次要建筑物等级为三级。

二、闸站地基处理方式

沿江闸站水文、气象、土质情况复杂, 施工难度大, 施工技术及人员水平要求高, 只有充分考虑各个方面因素, 尽最大可能提前预判可能发生的突发情况, 统筹安排, 才能防患于未然, 做到事半功倍。如无前期全盘考虑, 有可能导致施工中步履维艰, 误工误时。

工程范围的地貌单元为长江冲积平原, 整体土层抗剪强度低, 渗透性较大, 土层压缩性大, 场地工程地质条件较差。针对工程场地的岩土工程特点分析, 对基坑稳定性进行详细的计算分析; 并对后续闸站基础开挖、基础选用灌注桩或是管桩进行了方案比选, 并经专家、设计单位多次分析论证, 结合工程基坑开挖方式, 闸站工程采用了预制管桩与高压旋喷桩相结合的针对性强、安全性高的地基处理方式。

三、地基结构布置及承载力计算

3.1 结构布置

沿江闸站工程最关键在于基础,基础施工质量关系到工程今后运行安全和工程效能发挥,也直接影响工程工期。根据周边环境情况分析,工程施工难度和复杂程度高。沿江闸站工程施工过程中,在周边高水位和大水量作用下,地下水对基础施工危害极大,基底软弱砂性土层翻浆及管涌是必然的,如未进行前期充足措施准备,还未开挖至基底,将出现地下水大量涌出,并导致基础施工无法正常进行的情况。

本闸站工程基础处理采用预制管桩与高压旋喷桩组合布置方案,闸站主体工程底板下承载力地基处理采用PHC600(130)-AB-C80预制管桩,桩长22m,横向间距2.25m,纵向间距2.5m。闸站底板外侧侧坎下设高压旋喷桩止水帷幕防渗,同时兼作基坑底部加固,防止基坑底部土体发生管涌与隆起,防渗墙具体布置详见图1。

高压旋喷桩采用高压喷射注浆机以高压旋转的喷嘴将水泥浆喷入土层与土体混合,形成连续搭接的水泥加固体。施工振动小、噪音较低,适用于处理淤泥、淤泥质土、流塑、软塑或可塑黏性土、粉土、砂土等地基。本工程高压喷射注浆采用42.5#强度等级的普通硅酸盐水泥,注浆所用水泥严格符合《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175—2007中的质量标准规定,同时严格防潮措施和控制水泥存放时间,施工过程中抽样检查,严禁使用过期的和受潮结块的水泥。搅拌用水符合《混凝土拌合用水标准》的规定。本工程高压旋喷桩设计成桩基本参数:水泥掺量不小于210kg/m,要求水泥浆压力不小于20Mpa,水灰比1.0,成桩后无侧限抗压强度不小于1.5 Mpa,桩身渗透系数K值小于 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。

同时根据加固土层要达到的防渗等级,并考虑增加泵送过程中浆液的和易性,同时由于施工期正值冬季,在气温较低的情况下,为缩短桩体成型时间,提高强度,督促施工单位在止水帷幕水泥浆液适当加入粉煤灰、早强剂、水玻璃等适量外加剂进行了补强和增强和易性的相关措施,成桩后桩基强度检测符合设计和规范要求。

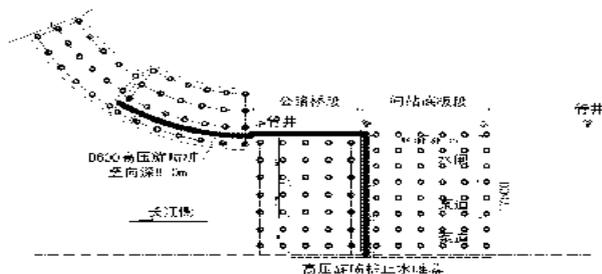


图1 高压旋喷桩防渗墙、预制管桩及管井平面布置图

3.2 地基承载力计算

(1) 桩土复合地基承载力

桩土复合地基中设计原则是桩、土能最大限度地发挥承载作用,桩土应力比是复合地基承载重要参数,是复合地基工作机理的重要反映。桩土应力比与地基土特性、桩长、水泥掺入比、面积置换率、荷载水平、时间、垫层情况等诸多因素有关。复合地基承载力计算公式:

$$f_{sp,k} = m \frac{R_a}{A_p} + b(1-m)f_{sk} \quad (1)$$

式中: m 为置换率; β 为桩间土折减系数,取值0.75~0.95; a 为桩承载力折减系数,取值0.4~0.6, U 为桩周长, f_{sk} 为桩间土承载力。

本工程取 $m=5.25\%$, $\beta=0.8$, $a=0.6$, $A_p=0.283$, 单桩设计承载力 R_a 为810KN, 底板所在土层承载力为70KN/m², 由(1)式得复合地基承载力理论值为196 KN。另经计算, 闸站完建期最不利工况下最大地基反力位于长江侧泵站底板, 为145.86Kpa, 内河侧为123.07 Kpa, 经桩基处理后地基承载力满足要求。地基反力不均匀系数 $\eta=1.19 < 1.5$, 也符合中型水闸地基反力不均匀系数的要求。

(2) 旋喷桩结构强度要求

旋喷桩不同的桩长在同一荷载作用下, 桩侧摩阻力与桩深方向有如下关系, 沿着桩深方向, 当桩的长度较小时, 由于上部较大的位移量在桩身上部产生较大的摩阻力, 会导致轴向力沿桩深方向降低很快, 而轴力的衰减又引起下部位移及摩阻力的衰减, 桩长的增长对搅拌桩承载特性的提高作用和贡献越来越小。虽本工程旋喷桩主要是起防渗作用, 但实际上随着上部荷载逐渐增加, 特别在极限工况下, 旋喷桩体本身也承担部分结构传导荷载, 因此桩身必须具备一定的结构强度。经大量工程实践和理论表明, 本项目所在沿江地区水泥类桩临界桩长一般在12~15m之间[3], 本设计防渗桩长8m, 设计桩长满足临界桩长结构强度要求。

四、复合地基施工方案

4.1 地基防渗计算

(1) 防渗设计水头

根据设计规范, 选取最不利工况最大水位差作为防渗控制工况, 运行最不利工况一外江历史最高水位▽6.07m

(85高程,下同),内河同期控制水位 $\nabla 2.10\text{m}$ 。防渗设计水头 $\Delta H=6.07-2.1=3.97\text{m}$ 。

(2) 防渗长度计算

底板底高程为 $\nabla -2.65\text{m}$,根据地勘报告,底板座落在③层淤泥质粉质粘土夹粉砂,按设计规范渗径系数 C 取值为11。根据《水闸设计规范》,防渗长度按勃莱直线法计算得 $L=C \times \Delta H=43.64\text{m}$ 。

闸站底板外部轮廓线实际渗流长度约57.6m,大于渗径长度计算值,满足设计防渗要求。

4.2 降水方式选择

考虑工程所在地质土层渗透系数大,水力坡降大,工程施工过程中降水措施必不可少。同时预制管桩能否顺利下沉、桩机压力配重、管桩上浮也与地下水水压息息相关,因此控制地下水孔隙水压和注浆工艺对旋喷桩身完整性和结构性就显得尤为重要。

根据工程地质特征,本工程采用了 $\phi 35\text{cm}$ 透水砼管管井降水方式为主、同时针对部分区域粘性土含量较高,增加了轻型井点的辅助降水方式。管井深度20m,平面间距15m,在垂直河道方向闸站底板外侧2m左右布置两排,共10根。通过现场施工降水情况观察,开挖基坑后施工面干燥,对桩机及后续工程施工均无太大影响和安全制约,降水方案实施后效果良好,达到了预期效果。

4.3 预制管桩桩机选择及止水帷幕稳定分析

(1) 预制管桩桩机选型

目前针对12m以上预制砼管桩的施工机械常用主要有静压桩机、柴油锤击桩机等方式,静压桩的优点是完全避免了锤击打桩所产生的振动、噪音和污染,因此施工时具有对桩无破坏、施工无噪音、无振动、在城区居民点施工方便无干扰,适用于大面积平整场地施工;缺点是桩机由于配重块因素导致自重过大,机动性不强、对施工场地承载要求高,软弱地基需铺设1m以上硬质层,完毕后铺装层需开挖撤场等不利因素;同时静压桩挤土效应明显,对临近建筑影响不可忽视。而柴油锤击桩施工具有简单便捷、施工质量易控制、工期短、在相同土层地质条件下施工的单桩承载力较高、对施工作业面适应性强、造价低、可多台桩机同时施工等优点。但同时具有振动大、噪声高、扰民严重、在锤击数 $N>30$ 的砂层中沉桩困难等缺点。综合考虑本工程地质条件,项目地较偏僻,最终通过比选,选用柴油锤击桩机进行预制砼管桩施工。

(2) 止水帷幕稳定分析

为进一步论证高压旋喷桩止水帷幕的合理性和在上下游高水头作用下的水泥加固体应力应变的稳定性,防止底板与旋喷桩相对变形过大,造成止水失效,需对底板最大应力应变进行分析。闸站底板应力应变分析计算有弹性地基梁法、倒置梁法、空间有限元法等,为使计算简明,本项目采用倒置梁法,利用Ansys软件对底板进行数值模拟计算,对底板最不利部位采用截条法进行计算,取闸站进水口段为最不利位置,利用Beam188单元模拟单宽1m底板梁,均布荷载为地基反力+浮托力+渗透水压力减去底板自重与上部水体重量,中墩视为简支座,边墩考虑为固接,从而得出板底的受力结构分析,最大负弯矩为955KN.M;水闸处最大负位移-0.25mm(如水闸按两边固接的均布荷载简单计算,最大位移为-0.56mm)。

通过对泵站进行三维应力分析,认为对底板弯矩平面分析和三维分析负弯矩基本相类似。对于相对位移,应用截条法平面分析更直观明了,操作性强,有一定的参考作用。本工程旋喷桩与砼底板交接处止水截面采用了旋喷桩包裹十字形10#沥青柱体,并由底板橡胶止水伸入沥青柱体进行防渗。考虑到底板与旋喷桩竖向相对位移产生后,主要依靠沥青与橡胶止水带粘接力抵制相对形变,止水效果有待运行后预埋孔隙水压力计观测结果而定,同时底板最大应力和变形相关计算改进方法也有待进一步优化完善。

五、结语

(1) 沿江中型闸站合成度高,水工、房建、市政、电器自动化等分部工程集成度高,对参建单位人员专业素质要求更高。对图纸设计意图领悟深浅直接影响工程能否顺利实施;同时各方沟通组织协调也相当重要,要杜绝参建单位各自为战和本位主义思想对工程带来的不利影响。

(2) 沿江闸站工程施工最大难点就是进度时间控制,争分夺秒,合理紧凑安排施工工序,优化方案布置是保证时间节点最主要的合理且可行的途径。方案的可行性和前瞻性又是促进保障时间的重要推手,因此工程前瞻性规划方案就显得尤为重要。

参考文献:

- [1]GB50265-2010泵站设计规范[S].中华人民共和国水利部,2010.
- [2]SL265-2016水闸设计规范[S].中华人民共和国水利部,2016.
- [3]睦夕梅,周建方.深层水泥搅拌桩软基加固作用机理及临界桩长分析[J].扬州大学学报,2007(7),54-57.