



高桩承台加预应力锚索结构 在长洲三线四线船闸中的应用

吴 信, 王大伟

(广西交通规划勘察设计研究院, 广西 南宁 530029)

摘要: 以长洲水利枢纽三线四线船闸为例, 介绍了一种适用于受场地条件限制的新型导航墙结构——高桩承台+预应力锚索的复合结构。该结构通过高桩承台和预应力锚索的联合作用, 有效地改善了桩基的内力条件, 控制了结构的变形。在场地条件受到限制、使用荷载大、常用结构不适宜时, 该结构具有较好的参考应用价值。

关键词: 高桩承台; 预应力锚索; 导航墙; 三线四线船闸; 长洲水利枢纽

中图分类号: U 641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)09-0126-05

Application of elevated pile caps and prestressed anchor structures in the third line and the fourth line ship lock of Changzhou hydro-junction

WU Xin, WANG Da-wei

(Guangxi Communications Planning Surveying and Designing Institute, Nanning 530029, China)

Abstract: Taking the third line and the fourth line ship locks of Changzhou hydro-junction for example, this article presents a new navigation wall structure suitable for site conditions limited, namely the composite structure of elevated pile caps and prestressed anchor. This structure improves effectively the condition of the pile foundation internal forces and controls the deformation of the structure through jointing actions of elevated pile caps with the prestressed anchor. When the site conditions are limited, using loads are large and common structures are not appropriate.

Keywords: elevated pile cap; prestressed anchor; navigation wall; the third line and the fourth line ship locks; Changzhou hydro-junction

近年来, 随着我国经济发展, 内河运输在国民经济中起的作用越来越大, 许多枢纽船闸的通过能力已不能满足经济发展的需求, 需在原有船闸基础上新建二线甚至多线船闸, 但受到场地条件制约, 许多基坑已无法采用传统放坡开挖的形式, 需采取基坑支护措施, 那么采用何种支护结构, 如何将支护结构与船闸水工建筑结合起来, 已成为一个急需研究的课题。

本文以长洲三线四线船闸上游导航墙结构为

例, 提出了一种新型导航墙结构——高桩承台+预应力锚索的复合结构, 并详细阐述了设计思路和计算方法。

1 工程概况

长洲水利枢纽位于西江水系浔江干流下游河段, 是广西境内的最后一个规划梯级。现有1[#]、2[#]船闸位于外江右岸台地, 新建三线四线船闸位于现有船闸的右侧。新建双线船闸均为

收稿日期: 2014-02-12

作者简介: 吴信 (1967—), 男, 高级工程师, 主要从事港航工程设计及技术管理工作。

I级船闸,按最大通过3 000吨级船舶设计。三线船闸左侧主导航墙长洲水利枢纽右岸接头坝由两段重力坝及土坝构成,两段重力坝兼具检修门存放的功能,第2段重力坝即1[#]检修门存放室段,距三线船闸左侧主导航墙前沿最近距离仅约17.5 m。

三线主导航墙除需具备导航功能外,还需具备挡水功能,建成后,最高挡土高度超过30 m。根据长洲水利枢纽运营管理要求,在主导航墙施工期间,1[#]检修门存放室不能拆除,仍需维持其挡洪及检修门存放的功能,因此附近主导航墙段不能采用大开挖的施工方法,需要采用支护结构,同时该结构又要作为上游导航墙基础的一部分。因此选用合理、可靠的支护结构方案是保证导航墙结构工程质量、安全、经济的关键。上游主导航墙布置见图1。

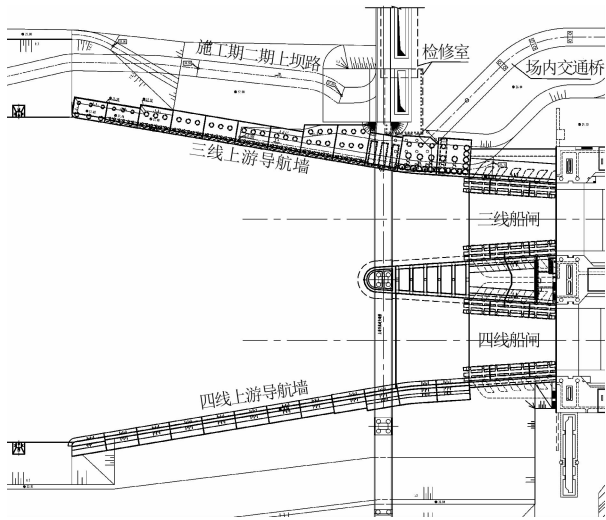


图1 上游导航墙结构布置

主导航墙周边环境主要有以下几个特点:

- 1) 距离导航墙17.5 m有1个闸检室,不得拆除,施工期不得影响其结构稳定。
- 2) 导航墙后侧有一交通道路,其高程为36 m,高出导航墙前沿约23 m,导航墙施工期挡土较高。
- 3) 场区地质主要为第四系地层,按其成因可分为人工堆积、冲积和残积;下伏基岩主要为燕山早期侵入的花岗岩,弱风化岩石坚硬,强度高。各土层力学参数见表1。

表1 工程地质条件

土层名称	土层 编号	密度/ (t·m ⁻³)	凝聚力 C/kPa	内摩擦角 φ/(°)	压缩模量 E _s /MPa	承载力 特征值 f _{ak} /kPa
素填土	①	2.0	12	18	3.5	100
黏土	⑧	1.9	33	10	6.3	140
粉质黏土	⑨	1.9	26	7	4.5	160
粉质黏土	⑩ ₋₁	1.9	27	6	5.0	110
弱风化花岗岩		2.6	36	24	5 600	

2 主导墙结构设计

2.1 主导墙结构形式的选择

根据场区的周边环境及地质条件,综合比较了地下连续墙、沉井、挖孔墙和高桩承台+预应力锚索结构等方案。

1) 地下连续墙方案:墙体刚度大,可承受较大的土压力,机械化施工。存在的主要问题是:墙底嵌入弱风化岩深5 m左右,弱风化花岗岩硬度大,对施工机具要求高,如挖岩需采用铣削式成槽机,施工难度大,工期较长,难以控制,同时地下连续墙在开挖过程中容易产生塌孔现象,塌孔容易导致1[#]检修门存放室产生沉降而倾斜或开裂。

2) 沉井方案:沉井埋深较大,具有较大的承载面积,能承受较大的垂直和水平荷载,整体性较好,人工沉井为主,施工工艺简单,技术成熟。存在的主要问题是:对粉细砂类土在井内抽水时易发生流砂现象,造成沉井倾斜;沉井下沉过程中遇到的大块石或井底岩层表面倾斜过大,均会给施工带来困难,沉井难以沉至弱风化岩面,需在沉井内侧进行地基处理,工期长且存在较大不确定性。

3) 挖孔墙方案:又称“矩形挖孔桩”,采用人工逐层挖掘成孔,墙体可以根据结构需要采用较大厚度,整体性好,承载能力高,人工逐层成孔的施工方法可较好控制塌孔,有利于维持1[#]检修门存放室的安全稳定,少变形。存在的主要问题是:以人工施工为主,工期相对较长,要求施工环境高,要解决供风、透水问题。

4) 高桩承台+预应力锚索结构方案:采用混

凝土灌注桩作为基础,用于承受后方土压力,上部承台用于承受上承台上部土重,同时承台高程适当降低,起到了卸荷作用,预应力锚索用于减小结构位移和桩基内力。该结构施工方便,机械化程度高,采用钻孔灌注桩后对周边已有结构影响较小。

在综合比较上述各方案后,最终采用高桩承台+预应力锚索结构方案。三线主导航墙全部采用此种结构,本文以 6[#] 段为例进行说明,沿垂直

水流方向布置 2 排桩,桩径为 2.0 m,其中前沿排布置 7 根桩,形成连续挡土墙面,桩基中心线距离主导航墙前沿线 1.60 m,3 根嵌岩桩,4 根端承桩,间隔布置;第 2 排布置 3 根嵌岩桩,中心线距离前沿排 5.50 m,桩距 4.40 m。卸荷平台上设 4 根 18- ϕ 15.24 预应力钢绞线锚索,与水平面夹角为 48°,锚索设计锚固力为 3 000 kN,进入弱风化花岗岩的锚固长度 ≥ 12 m。上游导航墙的断面和承台桩基的布置形式见图 2、3。

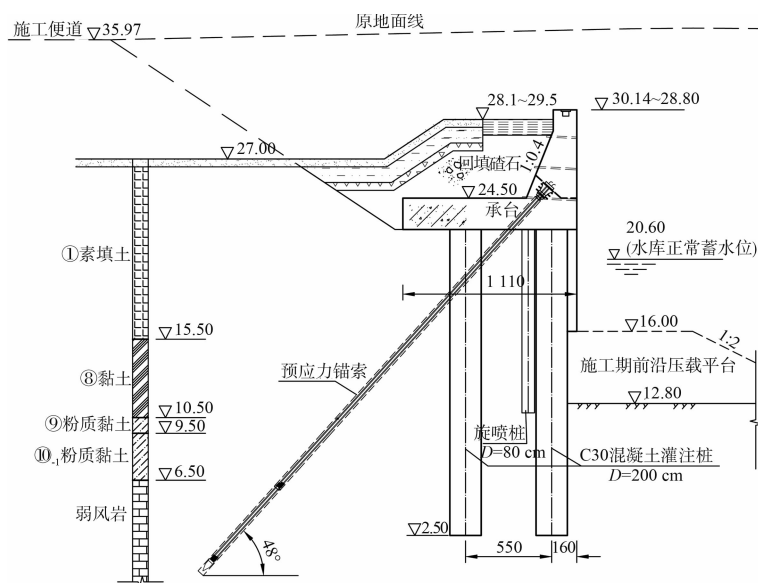


图 2 上游导航墙断面

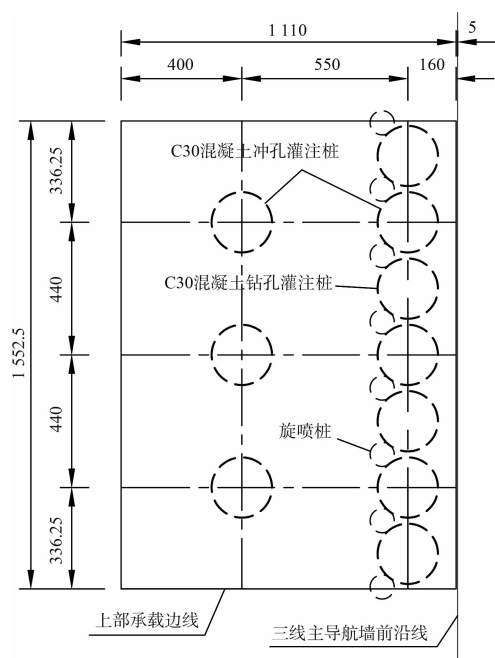


图 3 承台桩基平面

2.2 设计模型

在计算和分析该结构时,首先要确定土压力在前后排桩的分布情况以及桩顶端的连接和底端的嵌固情况,其次要分析桩间土对前后排桩的作用、土体滑裂面对土压力分布状况的影响及桩土之间的相互作用等因素。许多学者对此开展了大量研究,也建立了多种计算模型。这些计算模型主要分为 3 类^[2]:一类是基于经典土压力理论确定的计算模型,一类是基于 Winkle 假定的计算模型,一类是基于土拱理论建立的计算模型。

在总结这些研究成果的基础上建立了有限元模型,承台桩基采用梁单元进行模拟,上部承台及胸墙采用板单元进行模拟。

约束情况:灌注桩桩底铰结;前后排桩在土层以下按弹性地基梁计算,即 m 法计算;前后排

桩之间考虑弹性连接, 见图4。

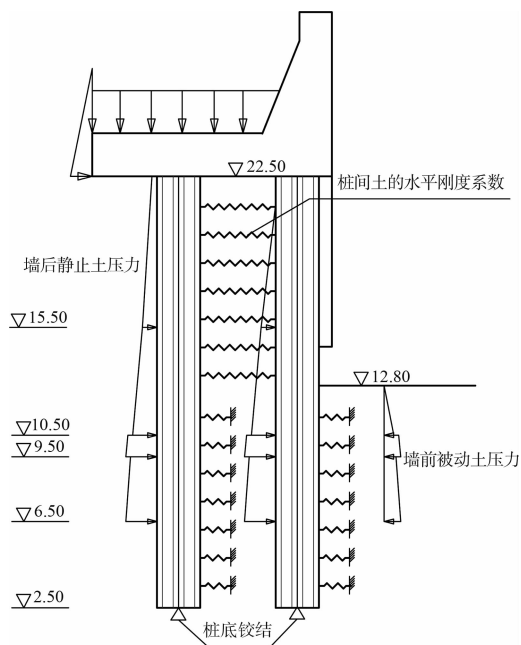


图4 计算简图

2.3 土压力计算

研究发现双排桩的排距对作用在前后排桩上的土压力有直接影响, 当排距在滑移面影响范围以内时, 可以按体积比例系数法^[3], 将土压力分配到前后排桩上, 当排距超出滑移面影响范围时, 后排桩类似拉锚结构, 不承担土压力。

本工程结构双排桩间距在滑移面影响范围以内, 按照体积比例系数法计算前后排桩土压力。同时由于预应力锚索的作用, 结构位移较小, 所以桩后土压力按静止土压力计算。

$$\text{前排桩土压力为 } e_{af} = \alpha e_a \quad (1)$$

$$\text{后排桩土压力为 } e_{ab} = (1 - \alpha) e_a \quad (2)$$

当 $L/L_0 \leq 1$ 时, 分担系数

$$\alpha = 2L/L_0 - (L/L_0)^2 \quad (3)$$

$$\text{其中 } L_0 = H \tan(45^\circ - \varphi/2) \quad (4)$$

2.4 计算工况

1) 施工期: 在承台顶回填至设计高程前, 墙前土体开挖高程不低于 16.0 m。

2) 完建期: 在二期上坝路拆除至 27.0 m 高程后, 再开挖预留墙前的反压土体。

3) 运行期: 考虑运行期锚索的徐变, 预应力损失了 25%。

2.5 桩身内力

表2列出了各工况条件下桩身内力的计算成果, 从计算成果可以看出, 桩身内力有以下几个特点:

表2 各工况桩身内力计算结果

工况	前排桩		后排桩	
	最大弯矩/ (kN·m)	最大弯矩处 轴力/kN	最大弯矩/ (kN·m)	最大弯矩处 轴力/kN
施工期	3 806	3 068	2 030	5 820
完建期	9 598	3 712	10 026	4 127
运行期	8 568	2 785	8 783	2 523

1) 完建期结构内力最大, 船闸通水运行以后, 结构内力有所减小, 完建期为控制工况, 该工况下桩身的弯矩和轴力见图5和6。

2) 前后排桩基的弯矩大小基本相等, 说明前后排桩基间距取值较为合理, 可采用统一直径的灌注桩, 桩基可以得到充分的发挥。

3) 桩身为偏心受压构件, 而非纯弯构件, 根据这个特点, 在有条件的情况下可以考虑降低承台高程, 增加承台上部结构质量和改变预应力锚索的角度, 从而起到增大桩身轴向压力的效果, 对结构是有利的。

4) 施工期设置反压预留压载平台, 大大改善了结构内力, 待导航墙后临时施工便道挖除以后再开挖前沿压载平台。

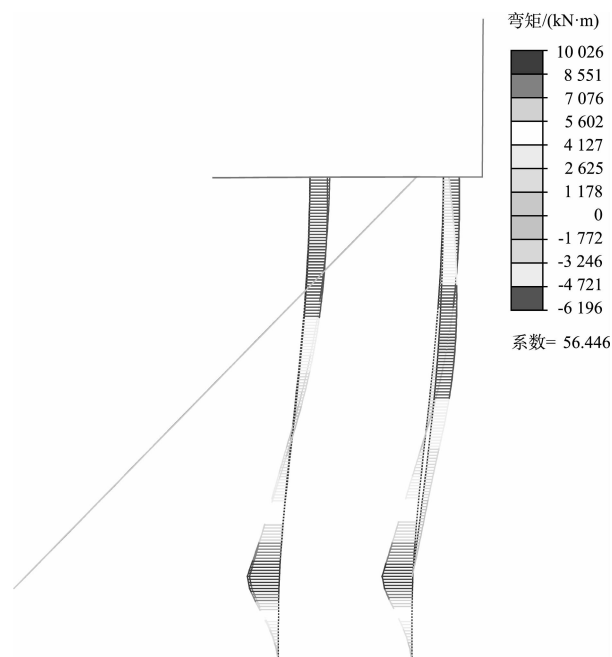


图5 桩身弯矩 (完建工况)

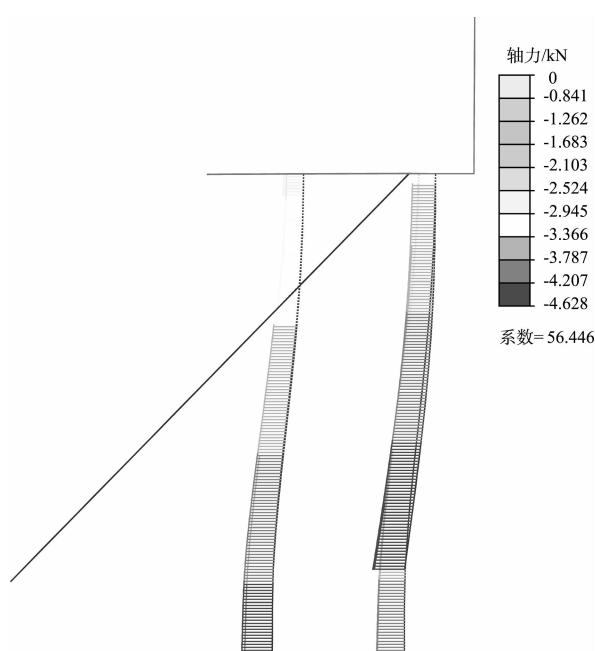


图6 桩身轴力(完工工况)

2.6 预应力锚索在结构中的作用

表3列出的是高桩承台结构设和不设预应力锚索桩身结构的内力和变形,通过对比可以看出,通过在高桩承台结构中增设预应力锚索,有效减小了桩身内力和结构变形,说明预应力锚索的设置对结构是十分有利的。

表3 内力及变形计算结果

预应力 锚索	前排桩		后排桩		结构 位移/ mm
	最大弯矩/ (kN·m)	最大轴力/ kN	最大弯矩/ (kN·m)	最大轴力/ kN	
有	9 598	3 712	10 026	4 127	23
无	13 433	5 083	13 394	1 206	40

2.7 施工处理措施

1) 施工期前沿预留压载平台,压载平台顶高程 16.00 m,顶宽 ≥ 8 m,后方陆域顶高程降至设计高程 27.00 m 且承台顶部回填至设计高程后,压载平台才可开挖。

2) 为了形成挡土面,前排桩基紧邻布置,同

时在前沿排桩基后方间隙处布置 $D=80$ cm 高压旋喷桩,桩顶高程为 22.60 m,桩底至引航道底高程以下 0.6 m。

3) 为了减小桩基施工之间的相互干扰,前沿排端承桩采用钻孔灌注桩,前沿排嵌岩桩和后排桩采用冲孔灌注桩。

3 结语

1) 高桩承台+预应力锚索的复合结构可有效限制结构的侧向变形,改善桩基的受力,在场地条件受到限制而无法采用传统重力式或衡重式结构时,采用这种支护结构具有较大的优势。

2) 采用本文介绍的计算方法能够比较方便地计算得到高桩承台+预应力锚索的复合结构的桩身内力及桩顶位移,通过多种方法计算验证,成果合理,具有较好的应用价值。

3) 高桩承台在增设预应力锚索之后不仅桩身内力大为减小,而且对限制支护结构变形也极为有利。

4) 由于目前对该类型支护结构的受力机理的理论和试验研究还比较滞后,对双排桩的土压力传递模式及计算方法还存在较大的分歧,所以在实际工程当中应加强现场的监测和测试,以确保工程安全。

参考文献:

- [1] 吴信. 长洲水利枢纽三线四线船闸工程施工图设计[R]. 南宁: 广西交通规划勘察设计研究院, 2012.
- [2] 聂庆科, 梁金国, 韩立军, 等. 深基坑双排桩支护结构设计理论与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 2-11.
- [3] 何颐华, 杨斌, 金宝森, 等. 双排护坡桩试验与计算的研究[J]. 建筑结构学报, 1996, 17(4): 58-67.

(本文编辑 武亚庆)