



联排桩结构在航道高边坡 直立式驳岸上的应用

李家俊¹, 沈保根²

(1. 安徽省港航建设投资集团有限公司, 安徽 合肥 230000; 2. 安徽省交通勘察设计院有限公司, 安徽 合肥 230011)

摘要: 针对岩层埋藏较浅的高边坡支挡结构, 基于荷载结构法, 根据弹性地基梁理论对模型进行合理的简化, 将阻滑桩基由分布式结构优化为联排桩结构, 充分发挥入岩段联排桩的固端作用, 减小单桩的内力和变形, 同时减少对周边建筑物的干扰, 降低入岩桩基施工难度。

关键词: 高边坡支挡; 荷载结构法; 联排桩驳岸结构

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0163-05

Application of row-pile structure in waterway high-slope upright revetment

LI Jia-jun¹, SHEN Bao-gen²

(1. Anhui Provincial Port & Shipping Construction Investment Group Co., Ltd., Hefei 230000, China;

2. Anhui Provincial Communication Survey & Design Institute Co., Ltd., Hefei 230011, China)

Abstract: For high-slope retaining structures buried in the shallow rock, based on the load structure method, the model was reasonably simplified according to the theory of elastic foundation beam. The anti-skid pile foundation will be optimized from the distributed structure to the double-row pile revetment structure, which can play fully the role of end-fixing of raw-pile in the rock section, reduce the pile internal force and deformation, and reduce the interference with neighboring buildings, so as to reduce the construction difficulty of the pile into the rock.

Keywords: high-slope retaining; load structure method; raw-pile revetment structure

随着桩基机械化施工的发展, 软弱地层的边坡设计^[1]引入了抗滑桩、双排桩、联排桩等支挡结构, 贾海莉等^[2]认为抗滑桩间存在土拱效应, 考虑土拱的高度及其自稳性能合理确定桩间距。曹均坚等^[3]认为圈梁在双排支护系统中起着不可忽略的作用, 并根据桩顶位移相同建立方程计算桩身变形和桩顶弯矩。毛晓光等^[4]认为在相同的滑坡条件下, 抗滑桩提供相同的抗滑力时, 无桩顶连梁时仅靠嵌固段岩土体横向承载力; 有桩顶刚接时, 一部分转化为竖向力, 嵌固段岩土体弹性抗力较小。

的高边坡支挡结构, 工程地质条件、水文地质条件、周边建筑环境条件较为复杂, 在边坡设计上既要充分考虑水流作用下的边坡稳定性, 又要考虑施工对周边道路、高层建筑物的影响。

本文对芜申运河航道城区段驳岸结构进行了多方案比选, 优化方案采用联排桩基础的结构形式, 通过持力在岩层上的联排桩达到挡土效果, 同时3排桩通过顶部防汛墙底板刚性连接形成门架式抗滑体。

1 工程概述

芜申运河安徽段是安徽省航道主骨架“两千

芜申运河城区段驳岸为典型深层软土地基上

三支”中的“一支”，也是安徽省“十二五”重点建设项目。其中芜湖市城区段自青弋江入江口至袁泽桥段 4.3 km，因河段断面较窄，为满足限制性 III 级航道宽度要求，需拓宽航道。

该段航道长约 4.3 km，河槽单一，无边滩，现状河底高程-2.4~-0.3 m，河槽底宽 20~25 m，北岸边坡坡度为 1:2，南岸为 1:3，地面高程 9.0 m，两岸均采用扶壁式钢筋混凝土驳岸作为堤防。设计航道底高程-1.8 m，该段设计洪水位 11.56 m。其中起点段约 500 m 现状防汛墙后 30 m 为城市高层住宅楼，为保证防汛通道的空间，驳岸后退距离不得大于 15 m。

该段驳岸位于主城区，防洪等级为 1 级，现状墙后为城市高层住宅楼，故工程基坑安全等级及周边环境等级均为 1 级，地基复杂程度为复杂，基坑监测等级为 1 级。

2 工程特点及复杂性

1) 工程地质条件复杂。施工区段的土层组成包括淤泥质黏土、粉质黏土、重粉质黏土、黏性土(粉质、淤泥质土厚 20 m)、夹薄层沙土、粉细砂等，呈流塑和硬塑状态，具弱-微透水性，且由长江口向上游呈由弱变强变化趋势，空间上具有变异性，局部有植物根茎碎石杂物，工程地质条件非常复杂。工程岩土设计参数见表 1。

表 1 工程段岩土设计参数

土层	土层 厚度/m	密度/ (t/m³)	内摩 擦角/(°)	粘聚力/ kPa
① ₁ 杂填土	5.00	1.80	8.40	10.00
③ 淤泥质重粉质壤土	9.50	1.86	8.40	10.00
⑥ 重粉质壤土	6.50	1.93	12.70	18.00
⑧ ₁ 强风化安山质角砾岩	2.10	2.35	35.00	9.00
⑧ ₂ 中风化安山质角砾岩	3.60	2.52	38.00	80.00

2) 水文地质条件复杂。在施工和运营期间，河道水位变动大，会在防汛边坡土体中产生渗透压力，并且在土层中含有粉质易产生滑坡，当岸坡长江水骤降时，地下水位变化滞后。水位的变动会在施工期围堰和运营期堤防边坡中产生很大的渗透压力，在过大的渗透压力作用下，有可能发生流沙，水力劈裂等工程地质灾害，影响围堰

边坡的稳定性和基坑安全。

3) 周围环境复杂。施工段周围有高层建筑(27~30 层)，尽管高层建筑的桩基础深入基岩，但是抗侧移能力差。基坑开挖很有可能引起周围土体的变形，土体的侧向变形过大就会威胁高层建筑的安全。

3 驳岸结构选择

3.1 坡面抗滑+扶壁式驳岸下设分布式桩基础形式(原设计方案)

采用直立式驳岸挡土和挡水，驳岸上部为钢筋混凝土悬臂式结构，墙底板底面高程 5.5 m，厚 1.5 m。墙底板宽 5.0 m，墙前河道边坡 1:1.5，墙前 7.0 m 高程设 3.0 m 宽平台、4.0 m 高程设 1.0 m 宽马道。坡面布设水泥搅拌桩，桩径 0.5 m，梅花型布置，间距 1.5 m，桩底进入⑥层重粉质壤土 1.0 m，坡底设 4 排连续的搅拌桩固脚。驳岸底板下设 2 排灌注桩，桩长 20.0 m，直径 1.0 m、排距 2.5 m、间距 2.5 m、矩形布置，桩底进入⑧₂ 中风化层；4.0 m 高程以下设两排灌注桩阻滑，桩长 18.5 m，排距 2.5 m、间距 2.5 m、三角形布置，桩底进入⑧₂ 中风化层(图 1)。

3.2 坡面固化+扶壁式驳岸下设联排桩基础形式(优化方案)

为进一步减少对后方现有高层建筑的影响，增加驳岸挡土高度，减少放坡占用航道宽度；抬高扶壁式挡墙底板高程，减少施工期临时基坑对后方道路高层建筑的影响。驳岸上部为钢筋混凝土悬臂式结构，墙底板底面高程 7.5 m，厚 1.5 m。墙底板宽 7 m，墙前河道边坡 1:1.5，不低于 4.0 m 高程以上采用直立面。全坡面及防洪墙基础范围内采用水泥搅拌桩固化淤泥质土层，桩径 0.6 m，坡脚设 4 排密布形成固脚，坡面及防洪墙底板下框格式布置、间距 3.0~4.0 m，桩底进入⑥层重粉质壤土 1.0 m。防洪墙下设 3 排直径 1.0 m 灌注桩，排距 3.0 m，其中前排桩桩间距 1.2 m，后 2 排桩间距 2.4 m、间隔布置，桩长 22.5 m，桩底进入⑧₁ 强风化层 2.5 m(图 2)。

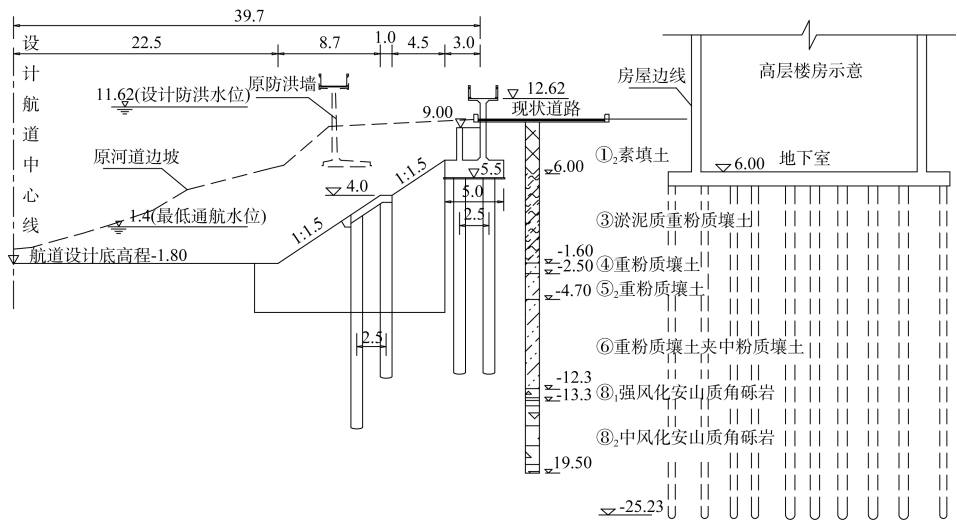


图 1 原设计方案驳岸断面 (单位: m)

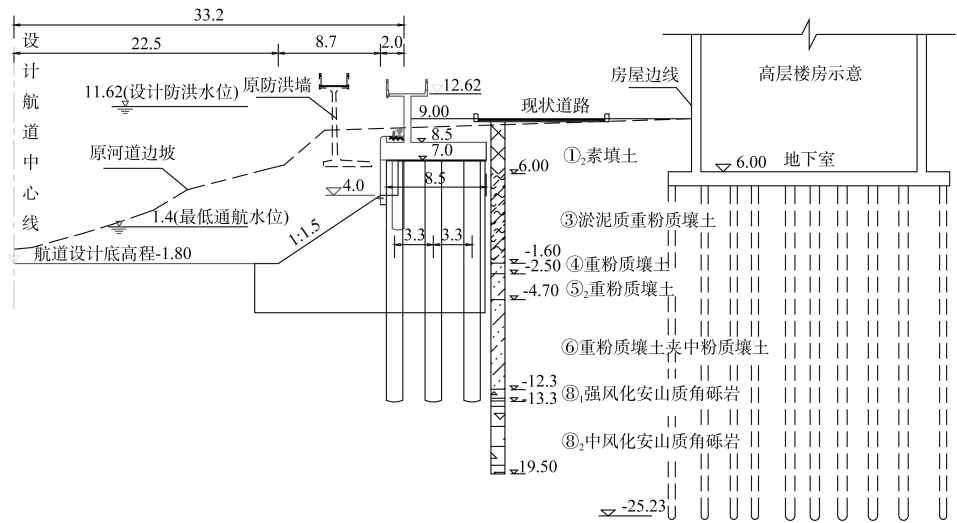


图 2 优化方案驳岸断面 (单位: m)

3.3 内力计算

系有限元计算变形和内力, 模型简化见图 3。

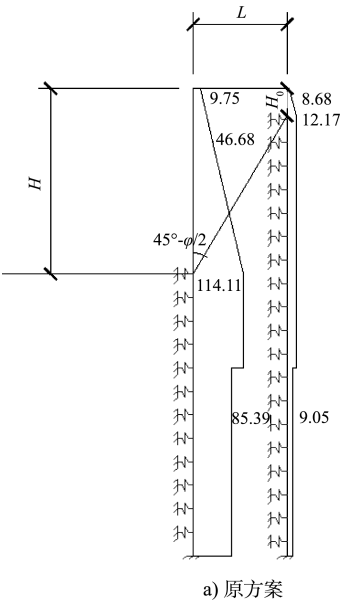
3.3.1 计算参数简化^[5]

假定 1: 设计方案中对边坡及承台下土体进行了加固, 驳岸底板前排桩前临河侧边坡由坡面抗滑桩或搅拌桩形成自身稳定, 且墙前三角形坡土体对抗滑桩有一定作用, 从底面按被动破裂角上延交至土坡, 坡高折减一半。

假定 2: 驳岸桩基础按双排桩或 3 排桩计算, 弹性模量均按照 C30 混凝土计算($E=30\text{ GPa}$), 按桩土间的面积计算桩的等效刚度, 考虑到混凝土的弹性模量远大于黏性土的弹性模量, 所以采用近似计算。

3.3.2 计算模型

初步计算采用荷载结构法, 根据弹性地基梁理论对模型进行合理的简化, 利用同济曙光



a) 原方案

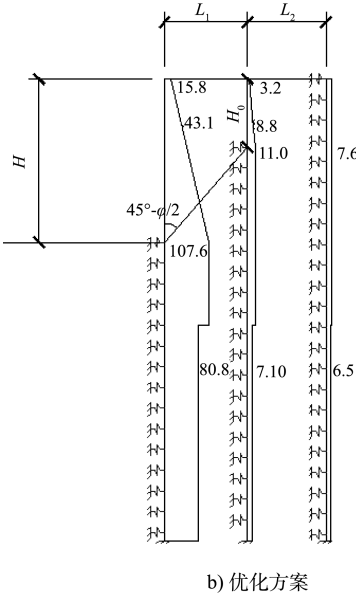


图 3 计算模型 (单位: kN)

1) 等效开挖面。

土体破坏时的滑动面与竖直方向的夹角按朗肯极限平衡理论估算。地表面上滑动面与前排桩桩顶的距离，原方案为 7.22 m，优化方案为 6.87 m；滑动面与后排桩相交处的深度(即后排桩的等效开挖面深度)，原方案为 2.55 m，优化方案为 3.3 m。

2) 土压力。

根据驳岸底板下桩的排距 L 与 L_0 的大小比较，前中后排桩所受土压力是不同的。这里， α_r 定义为前排桩的土压力分担系数，可按前排桩与后排桩之间滑动土体占整个滑动土体的体积比确定。

采用水土合算，桩身的土压力分布形式如下：假定前排桩在坑底以上桩间土作用在前排桩上的土压力呈三角形分布，坑底以下桩间土作用在前

排桩上的土压力呈矩形分布。三角形土压力计算公式为

$$P_A = \alpha_r (K_a \rho_d g z - 2c \sqrt{K_a}) \tag{1}$$

式中： z 为计算处到地面的距离； ρ_d 为土的密度； c 为土的粘聚力，水下按水上强度 0.95 计算； K_a 为主动土压力系数，其值为 $\tan^2 (45^\circ - \varphi/2)$ ； φ 为土的内摩擦角，水下按水上强度 0.95 计算。

假定后排桩后侧主动区土压力在 H_0 以上呈三角形分布， H_0 以下呈矩形分布，地面超载所引起的侧向土压力由最后一排桩承担，三角形土压力计算公式为

$$P_A = (1 - \alpha_r) (K_a \beta_d z - 2c \sqrt{K_a}) + K_a q \tag{2}$$

式中： q 为地面超载。

3) 土弹簧。

前排桩坑底以下基坑内侧土体视为土弹簧(受压弹簧)，将桩视为竖直放置的弹性地基梁，其中地基基床系数 K 按 m 法确定，即 $K = mz$ (m 为比例系数， z 为距离坑底的深度)。中、后排桩桩间土 H_0 深度以下至桩底对后排桩的土压力也采用土弹簧模拟，基床系数 K 按 m 法确定，即 $K = mz$ (m 为比例系数， z 为距离地表的深度)。

地基土水平抗力系数的比例系数 m 值按下述经验公式计算

$$m = \frac{1}{\Delta} (0.2\varphi^2 - \varphi + c) \tag{3}$$

式中： Δ 为基坑地面处的位移量(mm)，可按照地区经验取值，无经验时可取 10 mm。

3.3.3 计算结果

荷载结构法计算结果见表 2。

表 2 荷载结构法计算结果

方案	位置	桩顶水平位移/mm	坑内最大弯矩/(kN·m)	坑外最大弯矩/(kN·m)	最大剪力/kN	最大轴力/kN
原方案	前排桩	35.5	1 107.7	919.1	387.4	782.4
	后排桩	35.5	1 710.0	622.2	365.6	186.3
优化方案	前排桩	14.1	982.1	1 010.2	428.2	459.8
	中间排桩	14.0	848.3	276.3	182.9	608.4
	后排桩	14.0	882.7	283.2	251.4	133.7

注：以灌注桩顶位移指向坑内为正。

3.4 方案比较

原设计方案中退建驳岸距航道底边线 16.2 m, 基坑开挖较深, 在施工过程中存在需要提前拆除部分原有驳岸(临江桥段以上约 200 m); 同时施工基坑开挖破坏现有市政道路(临江桥—水木年华段), 或者占用部分规划市政道路宽度(水木年华—柏庄跨界段)。且扶壁式挡墙底板底高程较低、底板宽度大, 基坑开挖深度大、范围宽, 对周边建筑物影响较大。

主要优化位置为临江桥—水木年华段(K0+200~K0+770)和水木年华—柏庄跨界段(K0+770~K2+500)。主要优化措施是将墙前 4.0 m 平台以上坡面改为直立面, 以下维持原设计坡比, 即航道断面采用斜坡结合直立面; 为形成 4.0 m 以上的直立面, 将驳岸底板前排桩由分布式改为联排桩, 取消原 4.0 m 平台的 2 排抗滑桩; 同时挡墙底板高程进一步抬高。最终退建驳岸向河道侧前移, 达到减少基坑开挖对高层建筑及沿河道路的影响。

4 结语

1) 桩-弹簧计算模型中 3 排桩与双排桩内力和变形的计算结果相差不大。

2) 岩层埋藏较浅时, 抗滑桩分散布置, 坡面抗滑桩相对整体结构而言效果不明显, 仅参与坡面抗滑稳定。由于桩进入岩层的部分需按固端考虑, 增大桩长对于改善内力和变形效果并不明显。

3) 优化方案将驳岸底板下双排桩变为联排桩+双排桩, 取消坡面阻滑桩, 充分发挥联排桩的固端作用, 更有利于减小单桩的内力和变形。

参考文献:

[1] 赵明阶. 边坡工程处治技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

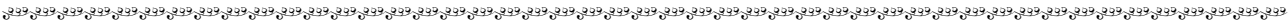
[2] 贾海莉, 王成华, 李江洪. 基于土拱效应的抗滑桩与护壁桩的桩间距分析[J]. 工程地质学报, 2004(1): 98-103.

[3] 曹均坚, 平扬, 朱长岐, 等. 考虑圈梁空间作用的深基坑双排桩支护计算方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(6): 709-712.

[4] 毛晓光, 王红梅. 桩顶有无连梁的双排抗滑桩数值模拟[J]. 水运工程, 2011(4): 19-23.

[5] 黄强. 建筑基坑支护技术规程应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.

(本文编辑 郭雪珍)



· 消 息 ·

首个碍航闸坝改建项目进入有水调试阶段

7 月 19 日, 中交第二航务工程局有限公司承建的浙江省富春江船闸扩建改造工程正式进入有水联调阶段。

项目自 2012 年 11 月作为全国首个碍航闸坝改建项目正式施工以来, 目前已建成包括闸室与引航道在内长达 1 954 m 的新船闸, 改建后的船闸上下游水位落差高达 20.21 m, 此前新船闸已经历了为期 3 周的无水联调。

据悉, 该项目在有水调试结束后, 即将试航成为一条千万吨级的水运通道, 富春江上卡了近 60 年的航运瓶颈就此打通, 将有效盘活浙西北三江两岸乃至浙赣皖闽的水运通道。

http://en.ccccltd.cn/pub/ccccltd/xwzx/zgsdt/201607/t20160726_49564.html (2016-07-26)