

双排灌注桩结构在河道护坡工程中的应用

江小辉

(浙江省水利水电勘测设计院, 浙江 杭州 310002)

摘要 鉴于集镇区河道整治是在狭窄场地内施工,故采用双排灌注桩新型支护结构。采用等效抗弯刚度方法计算出双排灌注桩的弯矩,并按弹性支点法计算桩顶变形,计算结果与实际情况较相符。认为在施工场地受限时,双排灌注桩结构是代替重力式挡墙结构、桩锚结构的一种较好的支护形式。
关键词 双排灌注桩;支护结构;等效抗弯刚度法;河道护坡整治
中图分类号 :TU753.3 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-764X(2010)S1-0067-02

1 工程概况

浙江省东部地区是一个经济发达而水资源紧缺的地区,曹娥江至慈溪引水工程的任务是通过曹娥江引水,解决慈溪、余姚、上虞环杭州湾产业带经济社会发展过程中工农业生产用水、环境用水和其他用水的需求。引水工程采用骨干河道输水,全长 85.85 km。工程穿越上虞、余姚、慈溪三市大量集镇区。为减少沿途房屋拆迁,集镇区河道整治采用矩形断面。

集镇区河道整治面临的是在狭窄场地内进行施工,对护岸结构形式及护岸开挖和支护等提出了很高的要求。双排灌注桩结构是近年来在建筑深基坑支护工程领域中应用较广泛的新型挡土结构形式。它是由 2 排平行的钢筋混凝土桩以及桩顶的压顶梁和联系梁等构成的空间门架式支护结构体系。双排灌注桩结构有较大的侧向刚度,可以有效地限制支护结构的侧向变形,同时具有施工方便、挡土结构受力好等优点。文中工程实例将这种结构形式应用到河道两岸高边坡治理中,较好地解决了场地狭窄情况下河道高边坡的整治问题。

2 工程概况及地质条件

双排灌注桩结构位于曹娥江至慈溪引水工程上虞境内,桩号为 3+976—4+424,该河段左岸沿河分布大量造价昂贵的别墅群,右岸有诚信伞业有限公司、胜杰钢球等大型企业,工程平面布置见图 1。

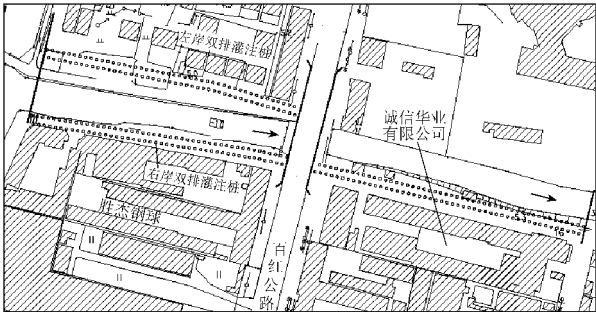


图 1 工程平面布置示意图

根据地质勘探,该河段开挖土层主要由 I₁ 层粉质黏土、II₁₋₁ 层淤泥质黏土、II₂₋₂ 层黏质粉土、II₃ 层淤泥质粉质黏土组成,各土层厚度及物理力学指标见表 1。

3 护坡结构设计

根据河道两岸的地形条件,对引水河道护岸结

表 1 土层物理力学指标

土层代号	土层名称	层厚/m	湿密度 $\rho/$ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	黏聚力 $c/$ kPa	摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$	垂直渗透系数 $k_v/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	水平渗透系数 $k_H/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	液性指数 I_L
I ₁	粉质黏土	1.5~2.0	1.84	11.9	7.9	3.21×10^{-5}	4.12×10^{-5}	0.91
II ₁₋₁	淤泥质黏土	6.5~8.5	1.73	9.3	3.4	4.89×10^{-5}	4.62×10^{-5}	1.29
II ₂₋₂	黏质粉土	5.5~6.0	1.90	8.9	20.8	1.78×10^{-4}	1.63×10^{-4}	
II ₃	淤泥质粉质黏土	30.0	1.78	9.3	6.7	2.17×10^{-5}	3.69×10^{-5}	1.60

构采用单排悬臂桩方案、单锚或多锚排桩结构方案、重力式挡墙结构方案、双排灌注桩方案等进行分析比较。如采用重力式挡墙结构方案,因挡墙高达6.0 m,其结构断面较大,挡墙底板开挖工作面放坡后将影响沿河房屋的结构安全。而单排悬臂桩方案桩顶侧向位移将超出180 mm,也将影响沿途房屋的结构安全。单锚或多锚排桩结构方案因锚定位置无法满足施工场地要求,因此无法采用。经各方案比较,决定河道护岸采用双排灌注桩结构形式。

双排灌注桩结构是一种新型的支护结构形式,它由2排平行的钢筋混凝土桩以及桩顶的帽梁连接而成。本工程前后排桩桩径均为0.8 m,桩净距为1.0 m,根据地形条件,布置排距为2.5 m,每排桩桩顶帽梁截面尺寸为1.0 m×0.7 m(宽×高),排桩之间采用截面尺寸为0.6 m×0.7 m(宽×高)的联系梁连接,联系梁间距为2 m。为保证前排桩临水侧的平整,在前排桩前侧设置厚度为0.25 cm的C25钢筋混凝土挡土薄墙。

根据工程所在区地质条件,先对护坡进行整体稳定验算和抗隆起稳定验算,拟定灌注桩桩底高程为-15.00 m。双排灌注桩平面、剖面示意图见图2。

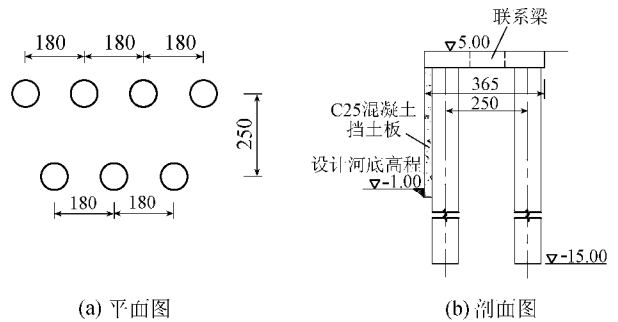


图2 双排灌注桩护岸平面、剖面示意图
(除高程单位为m外其他单位为cm)

根据有关资料^[1],当前后排桩距大于8倍桩径时双排灌注桩按锚拉结构计算;当前后排桩距在4~8倍桩径时双排灌注桩按框架结构计算;当前后排桩距小于4倍桩径时,可概化为由前排桩、桩间土体、后排桩3层连续墙组成的侧向挡土体系。

对于前后排桩距小于4倍桩径和桩顶设置帽梁的双排桩支护结构,根据抗弯刚度等效原理,采用弹性支点法的简化计算方法,该方法能有效模拟桩顶帽梁的横向支撑作用。如图2所示,前后排桩桩径均为80 cm,前后排桩距均为100 cm,前后排桩之间的距离为250 cm,根据刚度等效的原则,前后排桩可等效为厚度分别为 h_1 、 h_2 的连续墙,前后排桩之间的土体等效为厚度为 h_3 的连续墙, h_1 、 h_2 、 h_3 按式(1)~(3)计算:

$$h_1 = 0.838 d_1 \left(\frac{d_1}{d_1 + t_1} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$h_2 = 0.838 d_2 \left(\frac{d_2}{d_2 + t_2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

$$h_3 = t_3 - \frac{d_1}{2} - \frac{d_2}{2} \quad (3)$$

桩顶帽梁与桩之间是刚性联结,双排灌注桩结构就可等效为由厚度分别为 h_1 、 h_2 、 h_3 的板组成的侧向挡土体系。以1 m长的双排灌注桩为例,其整体抗弯刚度为

$$E_I = E_{I_1} + E_{I_2} + E_3 \frac{h_3^3}{12} = \frac{E_I [(2h_1 + h_3)^3 - h_3^3]}{24} + \frac{E_I [(2h_2 + h_3)^3 - h_3^3]}{24} + \frac{E_3 h_3^3}{12} \quad (4)$$

式中: E_I 为整体抗弯刚度, $\text{MN} \cdot \text{m}^2$; E_{I_1} 为前排桩抗弯刚度, $\text{MN} \cdot \text{m}^2$; E_{I_2} 为后排桩抗弯刚度, $\text{MN} \cdot \text{m}^2$; E_1 为前排桩弹性模量,MPa; E_2 为后排桩弹性模量,MPa; E_3 为前后排桩中间加固土体的弹性模量,MPa。

如果前、后排桩中间土体未进行加固,则在式(4)中可以忽略最后1项,本工程未进行加固,故可忽略。

钢筋混凝土灌注桩弹性模量取30 GPa,根据灌注桩布置,将有关数据代入式(1)~(4)得到: $h_1 = 512 \text{ mm}$, $h_2 = 512 \text{ mm}$, $h_3 = 1700 \text{ mm}$, $E_I = 38250 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$ 。

考虑到边坡的周围施工荷载,挖掘机、运输车等汽车荷载为 30 kN/m^2 ,以1 m为计算单元,采用弹性支点法计算,计算得到最大弯矩 $M_{\max} = 1963.8 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$,最大剪力 $Q_{\max} = 576 \text{ kN/m}$ 。将弯矩按桩的侧向刚度分配到前、后排桩上,得到前排桩单桩最大弯矩为 $982 \text{ kN} \cdot \text{m}$,后排桩单桩最大弯矩为 $982 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。将最大剪力按横截面积分配到前、后排桩上,得到前排桩单桩最大剪力为288 kN,后排桩单桩最大剪力为288 kN。

按照《水工混凝土结构设计规范》^[2]进行配筋计算,前、后排桩配置纵筋16 $\varnothing$ 22、箍筋 $\varnothing$ 8@200。

4 桩顶位移计算及监测分析

支护桩结构的基本挠曲方程为^[3-4]

$$E_I \frac{d^4 y}{dz^4} + mzy - p_a b_s = 0$$

式中: y 为支护结构的水平挠曲变形,m; z 为竖向坐标,m; m 为地基土水平抗力系数的比例系数, kN/m^4 ,本工程取 8000 kN/m^4 ; b 为支护结构计算宽度,m; b_s 为主动侧荷载计算宽度,m; p_a 为主动侧土压力强度,kPa。计算得桩顶最大(下转第118页)

式可使 3 kV 25 Hz 局部电网在开机建压及正常运行时电压稳定。

10 台同步发电机在正常运转后端电压为 3 000 V 25 Hz ,自同期站发电并网 ,增加变频同步电动机 4 300 kW ,电压 3 000 V ,频率 25 Hz ,同轴变频同步发电机 4 000 kW ,电压 6 000 V ,频率 50 Hz ,通过 WKZ-3 开关合闸开启同步电动机及同轴的发电机旋转至亚同步速投入励磁 ,很快牵入同步发电与扬州电网并网发电输送有功电力和无功电力 ,自动跟踪上下游水位 ,叶轮角度 ,励磁增减自动跟踪端电压恒定运行。

c. 电网频率设定。增加了“电网频率设定”参数项 ,允许用户选择定子侧电网频率为 50 Hz 或 25 Hz ,改变该参数时主、备用励磁调节器必须同时进行 ,并同时切断电源后重新上电才能生效。电网频率为 25 Hz $\pm$ 10% 时 ,定子三相电压、定子电流、有功功率、无功功率及功率因数的测量精度与电网频率为 50 Hz $\pm$ 10% 时相同。“电网频率设定”的应用状态设有明确的指示。“电网频率设定”配置为 25 Hz 时 ,修正了各类滑差定值 ,使其能准确对应 25 Hz 下的转差率的百分数定值。

2.2 保护装置用于发电运行

由于同一个电机运行于电动和发电 2 种状态下 ,它们保护的就不一样 ,但是如设 2 套相互独立的装置成本过高 ,江都三站短路电流计算依据江都站变电所短路电流计算成果 ,其保护整定值供江都三站保护装置调试时使用 ,具体各种保护整定值最终以现场试运行的情况进行调整。江都三站主机有抽水和发电 2 种工况 ,保护设有 2 套整定值 ,通过压板进行切换。江都三站进线保护整定值设 1 套 ,抽水和发电 2 种工况相同。

a. 正向抽水工况。正向抽水时设电流速断保护、过负荷保护、低电压保护、单相接地保护、主机超速等保护。

b. 反向发电工况。反向发电在正向抽水的基础上增加了过电压保护、超频保护。如图 1 所示 ,在发电状态下 ,主电机运行在 3 kV 额定电压下 ,超过 1.5 倍额定电压下作用于跳闸。因为 $f = np/60$ (f 为频率 , n 为转速 , p 为极对数) ,因为电机的极对数一定 ,即转速与频率成正比 ,频率高 ,这就显示转速高 ,设定当 f 大于 1.2 倍额定频率时 ,保护作用于跳闸。

3 结 语

充分利用水资源和已建成的泵站在上游有来水

时进行反向发电 ,或利用现有泵站进行抽水蓄能运行 ,是一项投资少而效益大的新能源工程。江都三站的改造工作已全部完成 ,并已投入试运行。2009 年 10 月在发电状态下对全站 10 台机组进行了流量的测量工作 ,数据经拟合后与同工况下的流量曲线对比 ,效率提高了 10% 左右 ,从实际运用上验证了此次改造方案是经济合理的 ,解决了同步电机用于抽水和发电 2 种工况下运行改造设计中的难题 ,为大型同类泵站的改造提供了可以借鉴的宝贵经验。

参考文献 :

- [1] 汤正军. 江都水利枢纽志[M]. 南京 : 河海大学出版社 , 2004.
- [2] 莫岳平. 轴流泵站反向发电运行方式选择的研究[J]. 扬州大学学报 ,1999 (2) :1-6.
- [3] 北京先锋科技有限公司. WKLF-102B 专用型微机控制同步电机励磁装置用户手册[R]. 北京先锋科技有限公司 , 2007.

(收稿日期 2010-04-23 编辑 高建群)

(上接第 68 页) 水平位移为 58 mm。

为保证施工过程中附近厂房及楼房的安全 ,在左岸排桩帽梁设置 2 个测点 ,在右岸排桩帽梁设置 4 个测点 ,对墙前河道土方开挖过程中桩顶变形进行观测 ,墙前边坡土方开挖至设计高程后 ,观测到的桩顶最大位移为 54 ~ 65 mm ,与上述理论计算成果基本相符 ,由此可知支护结构变形满足工程安全要求。

5 结 语

当施工技术或场地条件等受限制时 ,双排灌注桩结构是代替重力式挡墙结构、桩锚结构的一种较好的支护形式。该结构施工简单、速度快、投资省 ,特别适用于施工作业面狭窄、紧靠相邻建筑物条件下的河道护坡治理。

将双排灌注桩结构简化成等效抗弯刚度的计算方法 ,能较好地计算出灌注桩的弯矩 ,并能按弹性支点法计算桩顶变形 ,与实际较相符 ,为工程方案决策提供可靠依据。

参考文献 :

- [1] 熊巨华. 一类双排桩支护结构的简化计算方法[J]. 勘察科学技术 ,1999 (2) :32-33.
- [2] SL/T 191—96 水工混凝土结构设计规范[S].
- [3] 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.
- [4] GB 50330—2002 建筑边坡工程技术规范[S].

(收稿日期 2009-04-09 编辑 骆 超)