

顶端对撑钢板桩支护结构设计方法

聂耳清

(广东省水利电力勘测设计研究院, 广州 510635)

摘要: 钢板桩支护有施工速度快, 工期短, 造价低, 强度高, 水密性好、可重复利用等特点, 在工程建设中有广泛的应用。本研究结合广东某城市开发区河道整治工程中顶端对撑钢板桩支护结构在基坑支护中的应用, 简述等值梁法和数值模拟法两种不同设计计算方法, 并探讨两种计算方法的差异与适用性。

关键词: 基坑支护; 钢板桩支护; 顶端对撑

中图分类号: TV314

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2016) 08-0034-04

Design method of the top symmetrical steel sheet pile support structure

NIE Erqing

(Guangdong Water Power Investigation and Design Institute, Guangzhou 510635, Guangdong)

Abstract: Steel sheet pile support is widely used in construction project, because of its fast construction speed, low cost, high strength, good water tightness and reusable. Take foundation pit support of a channel improvement project in Guangdong province as an example, Equivalent Beam Method and Numerical Model Method used in the design of the top symmetrical steel sheet pile support structure are introduced. The applicability and difference of the two methods are discussed.

Key words: foundation pit support; steel sheet pile support; top symmetrical support

0 引言

钢板桩支护是一种常用的基坑支护方式, 有悬臂式、锚拉式和支撑式等不同支护型式。钢板桩支护有施工速度快, 工期短、造价低, 强度高, 水密性好, 可重复利用等特点。钢板桩的型式有 U 型、Z 型、一字型、H 型和组合型等, 还有直接采用型钢正反扣组成的简易型式, 较常用的为 U 型, 可用于深度 10 m 以下的基坑。本文结合广东某城市开发区河道疏通工程中顶端对撑^[1]钢板桩支护结构在基坑支护中的应用, 简述顶端对撑钢板桩支护结构等值梁计算方法^[2-3]和数值模拟法^[4]两种计算设计方法。

1 工程概况

广东某城市开发区规划建设过程中, 由于用地资源紧张, 对河道规划用地与河道规划水域宽度有较多限制, 河道采用直立式挡墙护岸结构。部分河道规划走向紧临市政道路, 没有条件进行大开挖施工, 采用钢板桩支护形成基坑。支护结构断面图见图 1。左侧路面高程为 8.00 m, 原河道高程为 5.00 m, 基坑底高程为 2.00 m, 基坑高度为 6 m; 为便于挡墙施工, 钢板桩对撑略高于挡墙顶高程, 为 6.30 m, 对撑间距初拟为 4m; 原状地面表层为 2 m 厚的杂填土, 以下均为淤泥质土, 土层物理力学参数见表 1。

收稿日期: 2016-06-03

作者简介: 聂耳清 (1985-), 男, 工程师, 硕士, 广东省水利电力勘测设计研究院。

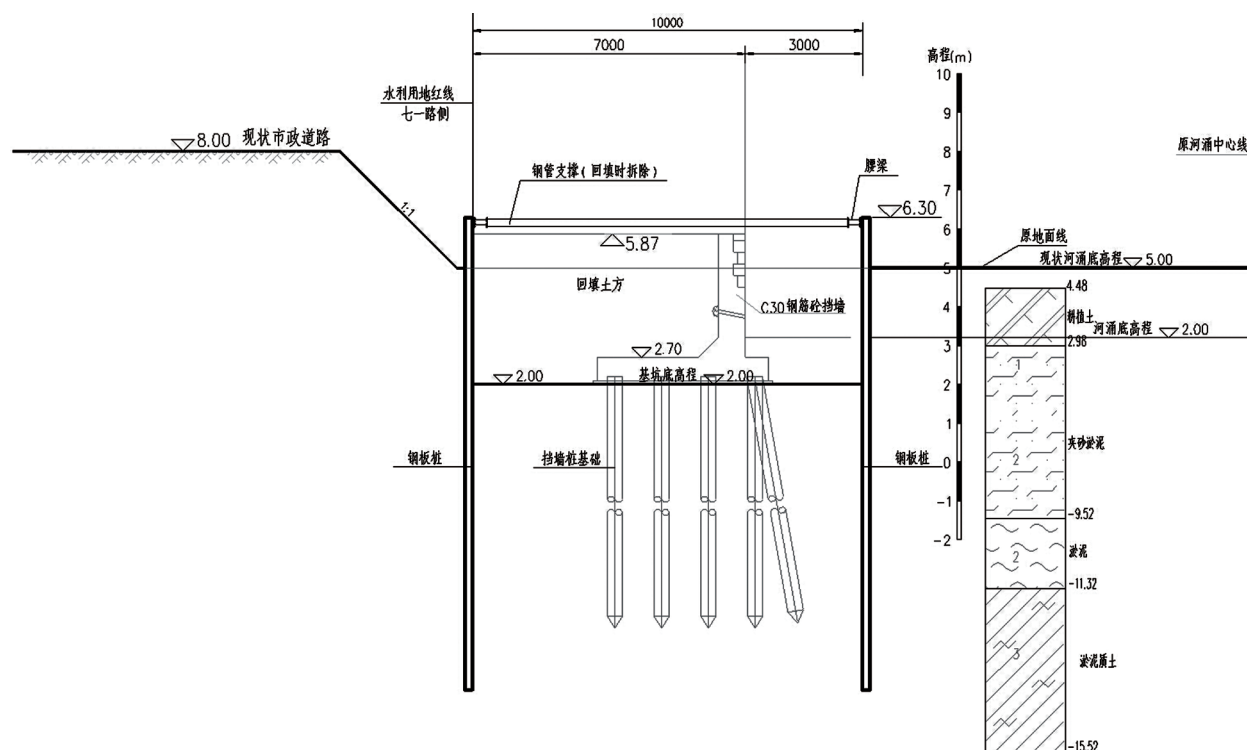


图 1 支护结构断面图

表 1 淤泥质土物理力学参数表

土层	压缩模量 E_{s1-2} (MPa)	饱和快剪强度	
		C_q (kPa)	ϕ_q (°)
杂填土	4.00	8.50	12.00
淤泥质土	2.22	7.00	8.50

2 计算分析

2.1 等值梁算法

支护桩的入土深度是支护结构稳定性的一个重要参数,假定平衡深度为 x ,对支护结构稳定进行计算,得出关于 x 的一元三次方程式,求解得到支护桩的平衡深度。根据计算的平衡深度,并考虑相应的安全系数确定支护桩的入土深度,进而选取支护桩的长度。

入土段假想支撑点的确定是等值梁法一个重要的假定。本文以到平衡深度为止的被动土压力合力作用点作为假想支撑点。支撑点到假想支撑点的这段梁视作简支梁来计算支撑点的反力及支护桩的内力及最大位移的计算方法即为等值梁法。

2.1.1 钢板桩内力计算

假定平衡深度为 x , 土压力计算采用摩尔-库

化公式计算,荷载计算结果见表2。

表 2 荷载计算表

j	水平力 S_j (kN/m)	力矩 L_j (m)	弯矩 (kN · m/m) $M_j = S_j \times L_j$
1	28.99	1.97	57.01
2	51.28	2.63	135.05
3	30.79	3.63	111.88
4	37.1	3.97	147.18
5	$49.73x$	$4.3+x/3$	$213.84x+16.58x^2$
6	$6.29x^2+37.11x$	$4.3+2x/3$	$4.19x^3+51.79x^2+159.58x$
7	$11.03x$	$4.3+x/3$	$3.68x^2+47.43x$
8	$11.50x^2+11.03x$	$4.3+2x/3$	$7.67x^3+56.8x^2+47.43x$

对支撑点取矩得平衡式:

$$S_7L_7 + S_8L_8 = \sum_{j=1}^6 S_jL_j$$

得到 $3.48x^3 - 8.99x^2 - 278.36x - 501.19 = 0$, 求解方程得到平衡深度 $x = 11.02$ m。取 1.2 倍的安全系数, 入土深度为 13.23 m, 钢板桩长取 18 m; 假想支撑点位置 $= (S_7 \cdot x/3 + S_8 \cdot 2x/3) / (S_7 + S_8) = 7.08$ m。

等值梁荷载简图、计算简图见图2、图3。

由图3可以计算出支撑点反力 $R_A = 147.55$ kN。根据结构力学理论, 剪力 $Q=0$ 处为弯矩最大的位置。由计算简图可知, 支撑点以下 6.69 m 处 $Q=0$, 求得最大弯矩 $M_{\max} = 398$ kN·m/m; $Q_{\max} = 147.55$ kN/m。选用拉森IV新型钢板桩 ($Z = 2200$ cm³; $A = 236$ cm²), 满足设计要求。

截面模量:

$$Z \geq \frac{M}{\sigma_a} = \frac{398 \times 10^3}{210 \times 10^6} = 1.89 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

截面积:

$$A \geq \frac{Q}{\tau_a} = \frac{147.55 \times 10^3}{120 \times 10^6} = 1.23 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

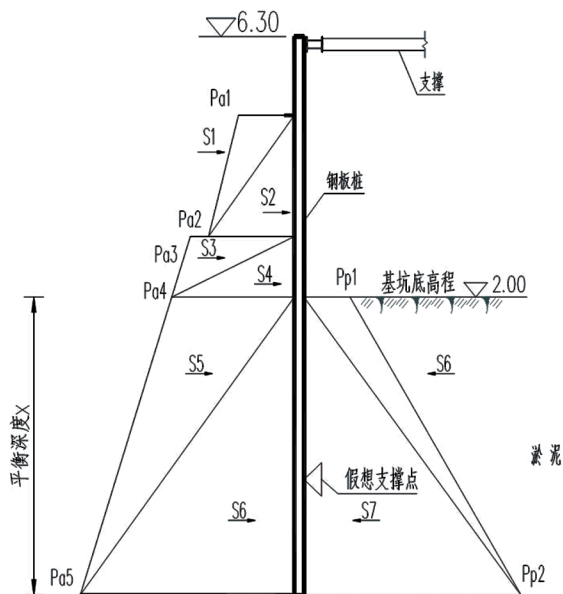


图2 荷载简图

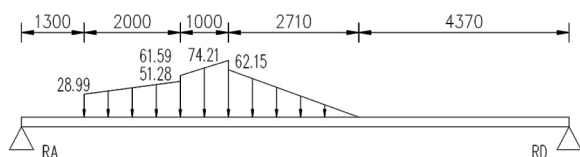


图3 等值梁法计算简图

2.1.2 计算钢板桩最大水平位移

将图3中的荷载分布成等价的均布荷载进行计算, 假定弹性支撑点位于平衡深度的中间位置进行位移计算, 计算简图见图4。

经计算, 等价均布荷载 $q=29.7$ kN/m·m, 梁跨度 $L=7.84$ m, 由结构力学可知, 简支梁的位移量计算式为:

$$\delta_1 = \frac{5qL^4}{385EI}$$

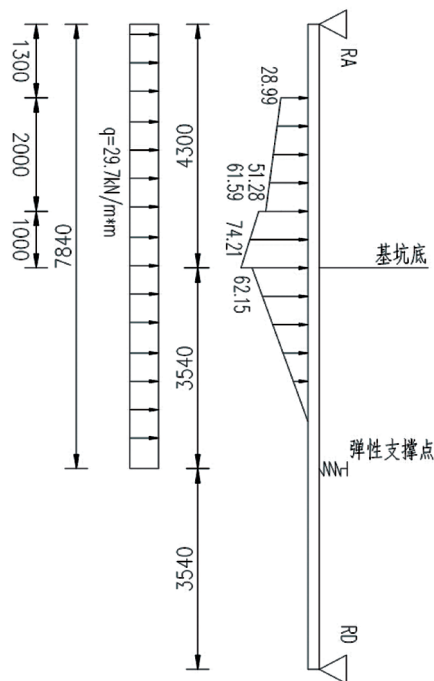


图4 位移计算荷载简图

式中:

E — 钢材的弹性模量 ($E = 2.1 \times 10^{11}$ Pa)

I — 钢板桩的截面惯性矩 (39600 cm⁴/m)

设计时考虑钢板桩截面刚度折减, 取 0.6 倍的全截面惯性矩 23780 cm⁴/m。计算得 $\delta_1 = 29.3$ mm
弹性支撑点的位移量计算式为:

$$\delta_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{K} = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{100h_1 \cdot K}$$

式中:

h_1 — 弹性支撑点的入土深度 (m)

K — 侧向地基反力系数 (取 $K = 3.0 \times 10^6$ N/m³)

计算可得 $\delta_2 = 5.5$ mm, 则支护钢板桩的最大位移 $\delta = \delta_1 + \delta_2 = 34.8$ mm。

2.1.3 围檩计算

将计算得到的支撑力作为荷载, 按照支撑作为支点的简支梁进行计算, 支撑的间距 $L=4$ m。

$$M = \frac{1}{8} R_A L^2 = \frac{1}{8} \cdot 147.55 \cdot 4^2 = 295.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q = R_A \cdot L = 590.2 \text{ kN}$$

截面模量:

$$Z \geq \frac{M}{\sigma_a} = \frac{295.1 \times 10^3}{210 \times 10^6} = 1.41 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

截面积:

$$A \geq \frac{Q}{\tau_a} = \frac{590.2 \times 10^3}{120 \times 10^6} = 4.92 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

选取两根 I40a 工字钢拼接作为腰梁。 ($A =$

$17.2\times10^{-3}\text{m}^2$; $Z=2.18\times10^{-3}\text{m}^3$) 满足设计要求。

2.1.4 支撑的计算

支撑的轴力 $R=R_A\times L=147.55\times4=590.2\text{ kN}$, 考虑到温度应力影响, 轴力增加 20%, 则支撑的轴力 $R=1.2R_A\times L=1.2\times147.55\times4=709\text{ kN}$; 由于支撑自重等荷载, 支撑属于压弯结构, 应验算压弯稳定性。对撑上考虑 $q=5\text{ kN/m}$ 的均布荷载 (包括自重), 则对撑最大弯矩 $M=q\times10^2/8=5\times10^2/8=62.5\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

选取 $\phi325\times10$ 钢管作为支撑, 经验算, 安全系数为 2.97, 满足设计要求。

2.2 数值模拟法

数值模拟法是基于弹性地基梁法理论基础之上, 将钢板桩对撑支护结构看成一个门式框架结构进行模拟分析, 用土弹簧来模拟桩间土的作用和受被动土压力侧土体的作用。计算简图见图 5。本文采用 ANSYS 软件进行模拟分析, 土弹簧采用 COMBIN14 单元模拟, 钢板桩采用 BEAM18 单元模拟, 支撑梁采用 Link1 单元模拟; 钢板桩截面断据及支撑截面数据采用等值梁法的计算结果。

主动土压力采用摩尔—库仑土压力公式进行计算, 基坑面以下土压力为超载产生的土压力。钢板桩桩间土体弹簧系数及桩后土体弹簧系数根据土体物理力学参数, 采用经验值 $K=3000\text{ kN/m}^3$ 。计算结果详见表 3。

数值模拟法弯矩及位移云图见图 6 和图 7, 计算结果进一步验证了支护结构设计的可靠性。由计算结果对比可知, 数值模拟法计算出的水平位

移计算值相对偏大, 最大弯矩和对撑轴力计算值相对偏小。数值模拟法的计算结果与参数取值关系较大, 合理的计算参数取值是数值模拟法的关键一步。

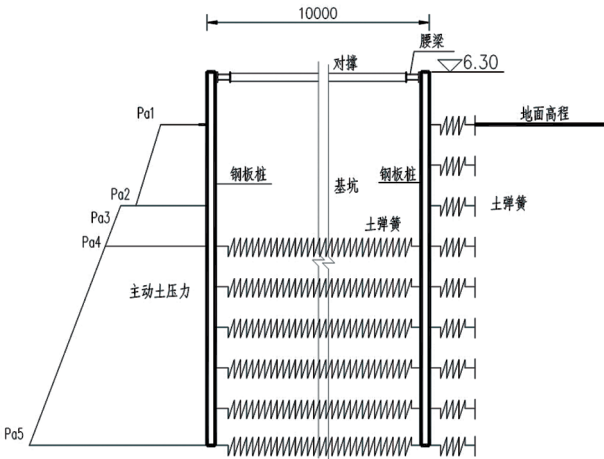


图 5 计算模型简图

表 3 数值模拟计算成果表

序号	水平最大位移 (cm)	最大弯矩 (kN/m)	对撑轴力 (kN)
1	5	207	94*4=376

3 结论

(1) 等值梁法概念明确, 基本假定合理, 计算简便快速, 工程上广泛采用^[5]。但由于土体相互作用及工程地质因素很复杂, 不能简单地用力学分析来加以概括, 且等值梁法没有考虑结构位移的影响, 因此该计算方法有一定的局限性。

(2) 基于弹性地基梁理论的数值模拟法能较

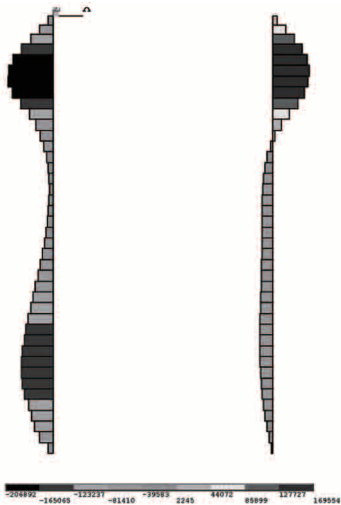


图 6 弯矩计算结果图

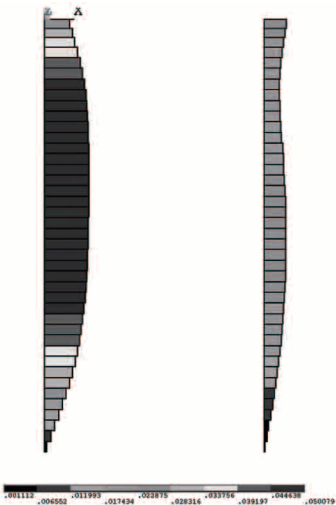


图 7 水平位移计算结果图

(注: ANSYS 中弯矩显示与结构力学习惯画法相法)

(下转第 41 页)

好的模拟桩土间相互作用,概念明确。能较好的模拟支护结构的整体作用机理,考虑了结构的整体位移协调。但模型参数特别是土弹簧参数的选取主观性较大,因些在参数选取上应经过充分的类比论证后方可采用。

(3) 工程设计过程,可采取两种方法进行设计计算相互论证,取长补短,确保设计安全合理。

参考文献:

- [1] 万少石,王战鹏.对撑支护形式在基坑工程中的应用研

究[J].山西建筑,2015(9):60-61.

- [2] 谢淦波. 深基坑工程钢板桩支护设计与探讨[J]. 城市建筑, 2013(14): 220-221.
- [3] 刘平. 小基坑钢板桩支护设计分析与程序编制[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.
- [4] 贺炜, 邹建房, 王泓华. 考虑桩土共同作用的钢板桩支护结构计算研究[J]. 山西建筑, 2008(34): 97-98.
- [5] 王美花. 钢板桩支护的稳定性分析及经济性研究[D]. 青岛: 中国石油大学, 2008.

(责任编辑:王宏伟)