



文章编号: 1009-6825(2006)18-0083-02

# 用 $p-y$ 曲线法计算高桩码头横向排架

周建国

**摘要:** 在高桩码头横向排架的计算中, 用  $p-y$  曲线法代替  $m$  法来考虑桩土的相互作用, 并编制了计算程序, 通过分析表明,  $p-y$  曲线法比  $m$  法更能真实反映桩土相互作用的非线性, 计算结果更符合工程实际。

**关键词:** 高桩, 排架, 有限元, 程序

**中图分类号:** TU473.1

**文献标识码:** A

## 引言

高桩码头的桩台大多属于柔性桩台, 目前比较精确的算法是: 假定桩顶与横梁固接, 桩底弹性嵌固于地基中, 用结构力学中的位移法计算, 并采用  $m$  法来考虑桩土的相互作用。近 20 年来随着高桩码头等级的迅速增大, 横向排架所受到的水平荷载越来越大, 此时仍用  $m$  法来考虑桩土之间的相互作用是不够准确的, 与  $m$  法相比,  $p-y$  曲线法属于非线性计算方法, 较好地考虑了桩土作用的非线性, 适应了桩基承受的荷载及产生的水平位移越来越大的需要。因此, 如果在高桩码头横向排架计算中采用  $p-y$  曲线法来描述桩土的相互作用, 应该比  $m$  法更合理, 计算结果也会更精确。下面就如何将  $p-y$  曲线法应用于排架计算进行了研究, 编制了有限元程序, 通过与  $m$  法比较, 说明了  $p-y$  曲线法的优点, 并就  $p-y$  曲线法今后的研究重点提出了建议。

## 1 程序设计

### 1.1 单元刚度矩阵的形成

文中根据文献 [1] 提出的一种柔性高桩承台有限元分析方法, 编制了采用  $p-y$  曲线法考虑桩土相互作用的高桩码头横向排架的计算程序。设有高桩码头横向排架, 由横梁及弹性桩基组成, 共有  $n$  跨, 其计算简图见图 1。选取左端带有支承桩的梁单

元, 如图 2 所示。采用图中直角坐标系,  $i, j$  为结点编码。桩的根数  $m \geq 1$ , 桩轴线与竖直线夹角为  $\alpha$ , 以顺时针为正。整体结构 (不含悬臂端) 划分为  $n$  个单元, 共有  $n+1$  个结点, 其中第  $n$  个单元为特殊单元,  $i, j$  端均带有支承桩。单元刚度为  $6 \times 6$  矩阵, 为

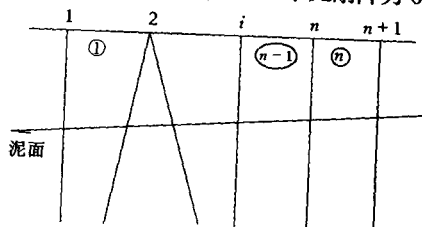


图 1 结构计算简图

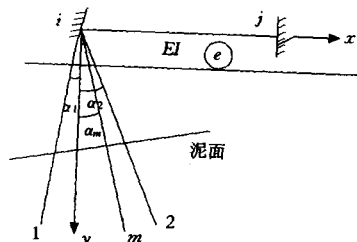


图 2 单元  $e$

元压实。

5) 施工中的排水措施。加筋体墙后设置的滤层是排水系统的重要组成部分, 为确保排水畅通, 应按照设计要求的粒径, 选用洁净的砂粒和碎石进行填筑, 并注意夯实。

## 结语

加筋土挡墙作为一种新型的支挡结构, 在施工过程中, 可以省放坡填方、造价低、施工简便, 工艺易于掌握。只要严格按照的方案施工, 确保加筋土挡墙这种新型支挡结构的施工质量, 其应用前景将更为广泛。

## 参考文献:

[1] 那焕兰. 加筋土挡墙的施工技术及其应用[J]. 山西建筑, 2004

(6): 39-41.

[2] 任灿伟. 加筋土挡墙的施工工艺[J]. 铁道建筑, 2005(4): 61-62.

[3] 张留成. 加筋土挡墙的施工工艺[J]. 建筑技术, 2005(2): 114-115.

[4] 彭振斌. 地基处理工程设计计算与施工[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1997. 71-73.

[5] 陈忠达, 王海林. 公路挡土墙施工[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004. 49-50.

[6] 铁道部第四勘测设计院研究所. 加筋土挡墙[M]. 北京: 人民交通出版社, 1985. 22-23.

## Construction technology of stiffened earth-retaining wall and points for attention in construction

JU Hai-yan YANG Wei-han GAO Gui-qing

**Abstract:** The structure and features of stiffened earth-retaining wall are briefly introduced. From foundation works, face plate fabrication and installation, laying of bar strip and other aspects construction technology of stiffened earth-retaining wall is elaborated. In the end points for attention in construction are summarized.

**Keywords:** stiffened earth-retaining wall, construction technology, bar strip, filler

收稿日期: 2006-03-17

作者简介: 周建国 (1970-), 男, 硕士, 工程师, 厦门安银建港集团有限公司福建厦门 361005



... 3 列元素, 令  $i$  结点分别沿 3 个坐标正方向发生单位位移(即  $u_i=1, v_i=1, \theta_i=1$ ), 单元刚阵的后 3 列元素与一般平面杆系单元相同。由此得出单元  $e$  的刚阵  $k$ :

$$k = \begin{bmatrix} k_{ii} & k_{ij} \\ k_{ji} & k_{jj} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $k_{ij}, k_{ji}, k_{jj}$  与平面杆系有限单元的单刚相同, 不再列出。

$$k_{ii} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} + \sum_{k=1}^m \left( \frac{\rho_{1k} \sin^2 \alpha_k}{\rho_{2k} \cos^2 \alpha_k} \right) & \sum_{k=1}^m (\rho_{2k} - \rho_{1k}) \cdot \sin \alpha_k \cos \alpha_k & \sum_{k=1}^m (-\rho_{3k} \cos \alpha_k) \\ \sum_{k=1}^m (\rho_{2k} - \rho_{1k}) \cdot \sin \alpha_k \cos \alpha_k & \frac{12EI}{L^3} + \sum_{k=1}^m \left( \frac{\rho_{1k} \cos^2 \alpha_k}{\rho_{2k} \sin^2 \alpha_k} \right) & \frac{6EI}{L^2} + \sum_{k=1}^m (-\rho_{3k} \sin \alpha_k) \\ \sum_{k=1}^m (-\rho_{3k} \cos \alpha_k) & \frac{6EI}{L^2} + \sum_{k=1}^m (-\rho_{3k} \sin \alpha_k) & \frac{4EI}{L} + \sum_{k=1}^m \rho_{4k} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式(2)中,  $\rho_1$  为梁  $i$  端仅沿某根桩桩轴线方向产生单位位移时, 所引起的该桩桩顶处的轴力;  $\rho_2$  为梁  $i$  端仅沿垂直某根桩桩轴线方向产生单位位移时, 所引起的该桩桩顶处的剪力;  $\rho_3$  为梁  $i$  端仅沿垂直某根桩桩轴线方向产生单位位移时, 所引起的该桩桩顶处的弯矩;  $\rho_4$  为梁  $i$  端产生单位角位移时, 所引起的该桩桩顶处的弯矩。  $\alpha_k$  以顺时针方向为正, 角标  $k$  为支承桩编号。

对于特殊单元  $\textcircled{n}$  的单元刚阵, 其子矩阵  $k_{ij}$  中应增加  $n+1$  号结点处支承桩的影响项, 修改后  $k_{23} = k_{32} = -\frac{6EI}{L^2} + \sum_{k=1}^m (-\rho_{3k} \sin \alpha_k)$ , 其他元素与上述一般元素中  $k_{ii}$  的对应元素相同。

### 1.2 桩的刚性系数的计算

当采用  $m$  法时, 桩的刚性系数  $\rho_2, \rho_3, \rho_4$  的计算见文献[2],  $\rho_1$  按港工规范中的公式计算, 即:

当采用  $p-y$  曲线法时,  $\rho_1$  仍按港工规范公式计算, 但  $\rho_2, \rho_3, \rho_4$  的值随外力的大小而变化, 具有非线性, 其计算方法如下:

1) 用有限差分方法编制  $p-y$  曲线法计算单桩水平承载力的子程序 PYP。

2) 用  $m$  法的公式计算出  $\rho_2, \rho_3, \rho_4$ , 作为初值代入式(2), 形成单刚, 再形成总刚、外荷载列阵, 解方程组, 求出各桩的桩顶弯矩  $M_0$ 、桩顶剪力  $Q_0$ 。

3) 将  $M_0, Q_0$  代入子程序 PYP:

$$\text{按桩顶边界条件: } \begin{cases} \theta = 0 \\ EI \frac{d^3 y}{dz^3} = Q_0 \end{cases} \text{ 及桩尖处弯矩、剪力为 0 的}$$

条件, 求出桩顶变位  $y$ , 取:  $\begin{cases} \rho_2 = \frac{Q_0}{y} \\ \rho_3 = \frac{M_0}{y} \end{cases}$ ; 按桩顶边界条件:

$$\begin{cases} y = 0 \\ EI \frac{d^2 y}{dz^2} = M_0 \end{cases} \text{ 及桩尖处弯矩、剪力为 0 的条件, 求出桩顶转角 } \theta,$$

取:  $\begin{cases} \rho_3 = \frac{Q_0}{\theta} \\ \rho_4 = \frac{M_0}{\theta} \end{cases}$  两次求出的  $\rho_3$  略有差异, 取其平均值。

4) 检验此次计算所得刚性系数与初值的差别是否满足精度要求, 满足则退出计算, 否则, 修改上次刚度系数数值, 再次计算得

出桩顶弯矩  $M_0$ 、桩顶剪力  $Q_0$ , 并求出新的刚性系数, 直到前后两次刚性系数的差别满足精度要求为止。

### 2 算例分析

某全直桩码头, 横梁高  $H=2.4$  m, 宽  $B=1.0$  m, 材料弹性模量为  $3.15 \times 10^4$  MPa。横梁计算跨长  $L=6.5$  m。桩基为 5 根外径 1.2 m 预应力混凝土大管桩, 材料弹性模量为  $3.81 \times 10^4$  MPa。桩的极限承载力  $R=7000$  kN。该处土层分布从上到下大致可分为三层: 第①层为淤泥质粘性土, 层底标高  $-3$  m, 水平地基系数的比例系数  $m=2200$  kN/m<sup>2</sup>, 不排水抗剪强度  $C_u=20$  kPa; 第②层为可塑粘性土, 层底标高  $-7$  m,  $m=6000$  kN/m<sup>2</sup>,  $C_u=50$  kPa; 第③层为粉细砂, 内摩擦角  $\varphi=30^\circ$ ,  $m=9000$  kN/m<sup>2</sup>。计算荷载分别取水平力  $H=100$  kN, 500 kN。计算结果分别见表 1~表 2。表中 A, B, C, D, E 分别为排架从前沿到后方的 5 个节点编码(计算简图略)。

表 1 横梁弯矩对比表 ( $H=100$  kN) kN·m

方法	$M_A$ 右	$M_B$ 左	$M_B$ 右	$M_C$ 左	$M_C$ 右	$M_D$ 左	$M_D$ 右	$M_E$ 左
m 法	92.5	29.2	90.4	71.1	83.4	149.4	50.2	257.8
$p-y$ 曲线法	96.2	31.5	93.9	73.9	85.8	149.8	52.4	252.6

表 2 横梁弯矩对比表 ( $H=500$  kN) kN·m

方法	$M_A$ 右	$M_B$ 左	$M_B$ 右	$M_C$ 左	$M_C$ 右	$M_D$ 左	$M_D$ 右	$M_E$ 左
m 法	462.4	145.8	451.8	355.6	417.0	746.8	251.2	1289.0
$p-y$ 曲线法	563.8	182.0	535.9	414.8	475.4	805.3	290.4	1326.0

### 3 结论及建议

1)  $p-y$  曲线法作为一种非线性的桩基水平承载力计算方法, 比  $m$  法更好地反映了桩土相互作用的非线性, 在水平力较小时,  $p-y$  曲线法与  $m$  法计算结果相差不大, 水平力较大时, 尤其是对于承受水平荷载较大的全直桩码头, 二者结果相差较大, 此时用  $p-y$  曲线法计算排架, 可使计算结果更符合工程实际。

2) 由于国内外对粘性土  $p-y$  曲线的争议比较多, 所以  $p-y$  曲线法今后的研究应该注重在各种不同的水下粘土中进行更多原型桩的现场试验。

#### 参考文献:

[1] 刘尔烈, 别社安, 汪克让. 柔性高桩承台与桩基的有限元分析[J]. 天津大学学报, 1996, 29(3): 50-52.  
[2] 胡人礼. 桥梁桩基基础设计[M]. 北京: 人民铁道出版社, 1976.

## Research on calculating transverse bent of wharf on high-piles by using $p-y$ curve method

ZHOU Jian-guo

**Abstract:** In the calculation of transverse bent of wharf on high-piles,  $p-y$  curve method is used instead of "m" method to consider the interaction between pile and soil, and the program is designed. Through the analysis, it is showed that  $p-y$  curve method can reflect the non-linearity of the interaction between pile and soil more actually than "m" method, and the calculation result is more actually.

**Key words:** high-pile, bent, FEM, program