

# 钢管推力桩桩土参数的确定方法

58-62

王 成

(重庆交通学院桥梁系 400074)

邓安福

(重庆建筑大学建筑工程学院 400045)

TU473.12

**摘 要** 运用计算推力桩的双参数法,并利用钢管推力桩在地面处的挠度、转角、桩身最大弯矩等实测资料对钢管推力桩桩土参数进行反分析。该方法经计算表明,所确定的桩土参数较为可靠,为工程设计提供参考。

**关键词** 钢管推力桩, 双参数法, 桩土参数

**中图法分类号** TU473.12

钢管推力桩在港口码头及近海工程中应用十分广泛,且在公路铁路桥基础及滑坡治理工程中也常常使用,对于推力桩的计算方法也较多,主要有地基反力系数法,弹性理论法,有限单元法和极限平衡法等。其中地基反力系数法在国内外最为流行。 $p \sim y$ 曲线法是它的一个典型代表,它的实质是由试验确定地基反力系数,它能够考虑桩侧土的弹塑性过程及土抗力的非线性行为,但是,用 $p \sim y$ 曲线法确定的曲线及参数往往是不甚可靠的,因而桩在地面处的挠度、转角,桩身最大弯矩及其位置等的计算值与实测值不能同时很好吻合,这必然会大大影响推力桩的设计水平。就其根本原因是没有弄清楚桩土共同作用的机理以及较好的计算模型和参数的准确确定方法。

值得注意的问题是用于工程设计计算的几乎所有方法,如张有龄法、 $m$ 法、 $k$ 法、 $c$ 法以及 $p \sim y$ 曲线法等,都是单一参数法,即用一个参数来调整或表达不同土质和桩土共同作用性状,显然不能很好的描述桩土共同工作的复杂情况。文[1][2]采用了计算推力桩的双参数法,它能将桩在地面处的挠度、转角,桩身最大弯矩及其位置的计算值与实测值同时很好吻合,并根据试桩实测资料确定出了较为可靠的桩土参数。但应当注意,钢管推力桩与混凝土推力桩在强度、变形以及容许极限点等方面都有很大的不同,因此本文对钢管推力桩的桩土参数进行分析。

## 1 基本理论

位于土中的桩受到横向推力作用时,推力与地面处的位移之间的关系是非线性的,而桩本身通常仍工作在线弹性范围内,根据梁的弯曲理论,桩的挠曲线微分方程是下列四阶变系

收稿日期:1997-01-30

王 成,男,1962年生,博士生

数的常微分方程: 
$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -K(x) y b_p \quad (1)$$

式中  $EI$  是桩的刚度,  $x$  是自地面算起的深度,  $y$  是桩的挠度,  $b_p$  为桩的直径或宽度,  $K(x)$  为地基反力系数, 一般表达为  $K(x) = mx^{\frac{1}{n}}$ , 对于不同的推力它具有随  $1/n$  取值不同的分布图式, 并且随着推力的增大,  $K(x)$  应是有规律的系列化的图式(见文献[2]中的图1所示)。因此目前常见的几种方法(如张有龄法、 $m$ 法、 $c$ 法和  $k$ 法等)都是它的特例。

微分方程(1)具有如下形式的解析解:

$$y = y_0 A(ax) + \frac{\varphi_0}{\alpha} B(ax) + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C(ax) + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D(ax) \quad (2)$$

其中  $y_0, \varphi_0, M_0, Q_0$  分别是桩在地面处的挠度、转角、弯矩和剪力,  $\alpha = \left(\frac{m b_p}{EI}\right)^{\frac{1}{4+\frac{1}{n}}}$  是桩土相对柔度系数,  $A(ax), B(ax), C(ax), D(ax)$  是关于  $ax$  的无穷幂级数形式[1]。由式(2)不难求得沿桩身各截面的转角、弯矩、剪力和土抗力集度。对于不同的土抗力模数  $K$ , 函数  $A, B, C, D$  及相对柔度系数  $\alpha$  的表达式是不同的。 $\alpha$  对它们的影响是通过无量纲坐标  $ax$  实现的, 也就是说,  $\alpha$  改变时只要  $ax$  不变, 则各函数及其导数的值就不变。容易看出, 当  $ax$  固定时,  $y$  与  $\alpha$  无关,  $\alpha$  对  $\varphi, M, Q, P$  的影响依次相差  $\alpha$  倍。当外荷载  $M_0$  和  $Q_0$  已知并按一定比例增长时, 因式(1)是线性齐次方程, 故  $y_0$  和  $\varphi_0$  在已知桩底条件的情况下亦应按同一比例增长。

## 2 桩土参数确定方法

桩土参数是推力桩设计计算的基本数据, 如何较好的确定这些数据是大家普遍关心的问题。本文利用钢管推力桩的实测数据在双参数法的基础上进行桩土参数的反分析。

### 2.1 桩底边界条件

我们知道四阶微分方程(1)式的通解是用四个初参数  $y_0, \varphi_0, M_0, Q_0$  表示的, 现在这四个初参数已知, 即推力桩在  $Q_0$  和  $M_0$  作用下  $y_0, \varphi_0$  可以通过测量得到, 如果式(1)中刚度  $EI$  仍为桩土共同作用的刚度, 即未知, 那么一共就有三个待定参数, 即  $1/n, \alpha, EI$ 。由于式(2)是推力桩微分方程的解, 因此确定该解中的待定参数应当首先利用桩的边界条件。桩底边界条件(如桩尖固定  $y_n = 0, \varphi_n = 0$  或桩尖自由  $M_n = 0, Q_n = 0$  等)可以确定两个参数, 值得注意的是, 只有短桩和中长桩才需要仔细考虑桩底条件的变化对计算结果的影响, 而对于长桩(即无量纲长度  $ah > 4.5$ )而言, 不管桩底条件如何均可按桩底为固定端处理, 这是因为桩底为两种极端的情况(桩底固定和桩底自由)时计算的桩在地面处受单位广义力作用产生的地面处对应位移  $\delta_{QQ}, \delta_{MQ} = \delta_{QM}, \delta_{MM}$  等各自的误差均不大于 2%。另外, 长桩还有这样一个规律, 即当土抗力  $K(x) = mx^{\frac{1}{n}}$  中的指数  $1/n$  确定时  $\delta_{QQ}, \delta_{MQ} = \delta_{QM}, \delta_{MM}$  均有确定的下列关系:

$$\delta_{QQ} = \frac{c_1}{\alpha^3 EI} \quad (3)$$

$$\delta_{MQ} = \delta_{QM} = \frac{c_2}{\alpha^2 EI} \quad (4)$$

$$\delta_{MM} = \frac{c_3}{\alpha EI} \quad (5)$$

其中  $c_1, c_2, c_3$  只与指数  $1/n$  有关。在  $\delta_{QQ}, \delta_{MQ}, \delta_{QM}, \delta_{MM}$  已知后, 桩在地面处同时受横向推力  $Q_0$  和  $M_0$  作用时, 桩在地面处的挠度  $y_0$  和转角  $\varphi_0$  容易用迭加法求得:

$$y_0 = Q_0 \frac{c_1}{\alpha^3 EI} + M_0 \frac{c_2}{\alpha^2 EI} \quad (6)$$

$$\varphi_0 = - \left( Q_0 \frac{c_2}{\alpha^2 EI} + M_0 \frac{c_3}{\alpha EI} \right) \quad (7)$$

由此可以确定  $\alpha$  和  $EI$  这两个待定参数, 即:

$$\alpha = \frac{-(f+e) \pm \sqrt{(f+e)^2 - 4c_1c_3fe}}{2c_3fe} \quad (8)$$

$$EI = Q_0 \frac{c_1}{\alpha^3 y_0} + M_0 \frac{c_2}{\alpha^2 y_0} \quad (9)$$

式中  $f = y_0/\varphi_0$ ,  $e = M_0/Q_0$ , 由式(8)和(9)计算出的  $\alpha$ ,  $EI$  已满足推力桩在地面处和桩底处的边界条件。但是应当注意以上式中  $c_1, c_2, c_3$  是待定参数  $1/n$  的函数。

## 2.2 推力桩土抗力分布图式的选择

我们知道计算和设计推力桩时最主要的三个指标是桩在地面处的挠度、转角、桩身最大弯矩及其位置, 并且所采用的计算理论或方法最好使得这三个指标的计算值同时与实测值符合, 若采用单一参数法(例如  $m$  法、 $c$  法、 $k$  法等)计算推力桩除偶然巧合外不可能做到这一点。若采用双参数或三个以上的参数则容易做到主要指标的计算值与实测值同时很好吻合, 但也不是参数越多越好, 所以本文用土抗力模数中的双参数就能使推力桩的上述三个主要指标的计算值与实测值同时很好吻合。因此, 为了使桩身最大弯矩及其位置与实测值符合, 在式(8)、(9)的基础上只需调整参数  $1/n$  的值。如果最大弯矩的计算值小于实测值, 则采用较大的  $1/n$  值计算, 反之则采用较小的  $1/n$  值计算, 直到计算值与实测值很接近为止。具体的计算程序步骤如下:

- (1) 输入  $y_0, \varphi_0, M_0, Q_0$  及桩长  $H$  等初始数据,
- (2) 假定  $1/n$  的初始值,
- (3) 计算式(2)中  $A, B, C, D$  及其它们的一、二、三阶导数,
- (4) 计算系数  $c_1, c_2, c_3$ ,
- (5) 按式(8)、(9)计算  $\alpha, EI$ ,
- (6) 按照实测弯矩位置的无量纲坐标值计算  $A, B, C, D$  的二阶导数,
- (7) 计算实测最大弯矩位置处的弯矩值,
- (8) 判断计算弯矩与实测弯矩是否很接近, 若接近则结束计算,
- (9) 如果计算弯矩值大于实测弯矩值, 则减小  $1/n$  值后回到第(3)步重新计算,
- (10) 如果计算弯矩值小于实测弯矩值, 则增大  $1/n$  值后回到第(3)步重新计算。

## 3 算例分析

### 3.1 算例 1

Mohan 和 Shrivastava (1971) 的钢管试桩资料[3]如下: 如图 1 所示, 钢管直径  $D = 10$  cm, 入土深度  $h = 525$  cm, 桩的刚度  $E_p I_p = 320$  kN/m<sup>2</sup>, 在荷载  $Q_0 = 4.9$  kN,  $M_0 = 0$  作用下桩在地

面处的挠度和转角分别为  $y_0 = 9 \times 10^{-3} \text{ m}$ ,  $\varphi_0 = -12 \times 10^{-3} \text{ rad}$  在  $x = 0.7 \text{ m}$  处有最大弯矩  $M_{\max} = 2.4 \text{ kNm}$ 。经本文方法及程序计算得出下列结果:

$$1/n = 2.0 \quad \alpha = 1.996 \text{ 1/m} \quad EI = 192.9 \text{ kNm}^2$$

### 3.2 算例 2

某室内模型试桩的试桩资料为: 桩材料为硬铝合金管, 直径  $D = 5.32 \text{ cm}$ , 厚度  $t = 0.65 \text{ cm}$ ,  $E_p I_p = 15.078 \text{ kNm}^2$ , 插入未浇水的干砂内, 入土长度  $h = 2.23 \text{ m}$ , 如图 2 所示。推力  $Q_0 = 0.7 \text{ kN}$  作用下桩在地面处的挠度和转角为  $y_0 = 5.36 \times 10^{-3} \text{ m}$ ,  $\varphi_0 = -18.035 \times 10^{-3} \text{ rad}$ , 在  $x = 0.3 \text{ m}$  处有最大弯矩  $M_{\max} = 497.7 \text{ Nm}$ 。用本文方法及程序计算得出:

$$1/n = 2.5 \quad \alpha = 3.94 \text{ 1/m} \quad EI = 14.324 \text{ kNm}^2$$

## 4 结 论

本文运用推力桩的双参数微分方程的解析解对钢管桩的桩土参数进行反分析, 它能够使推力桩的主要指标 ( $y_0$ ,  $\varphi_0$ ,  $M_{\max}$  等) 的计算值与实测值同时很好吻合的情况下确定出桩土参数。与其它方法相比, 本文方法确定出的桩土参数较为可靠, 为工程设计提供有价值的参考。该方法确定桩土参数具有下列几个特点:

- 1) 土抗力指数  $1/n$  的取值对桩身大弯矩的影响非常显著, 它与桩在地面处的挠度、转角及桩本身的强度紧密相关。桩身强度越高,  $1/n$  取值越大, 由于钢管强度较高, 因此通常  $1/n$  的取值大于 1.5 以上。
- 2) 由实测资料反算出的桩的刚度与桩的本身的刚度是不同的, 前者与桩土共同工作的状态有关, 多次计算表明, 对于同一根桩推力越大, 计算出的刚度越小。
- 3) 双参数方法能够将推力桩的三个主要指标同时控制到满意的程度, 而  $m$  法、 $k$  法及  $c$  法等只能控制其中之一。
- 4) 对于大型重要结构的钢管桩应做现场试桩分析, 以便较好的确定该地域的桩土参数。

### 参 考 文 献

- 1 吴恒立. 计算推力桩的综合刚度原理和双参数法. 北京: 人民交通出版社, 1990
- 2 王成等. 钻孔灌注推力桩桩土参数取值范围的研究. 岩土工程学报, 1993, 15(3): 101 - 105
- 3 H.C 波洛斯, E.H 戴维斯著. 铁天石等译. 桩基础的分析和设计. 中国建筑科学研究院科技资料交流部出版, 1992, 251 - 255

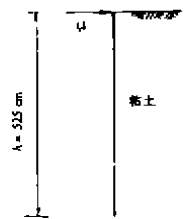


图 1 粘性土中的钢管试桩

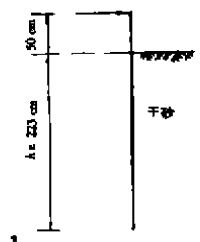


图 2 砂中的钢管桩

## Determination of Pile – Soil Parameters for Steel Pipe Pile Subjected to Lateral Load

*Wang Cheng*

(Department of Bridge Engineering, Chongqing Jiaotong Institute, 400074)

*Deng Anfu*

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045)

**Abstract** In this paper, in terms of the measured data (including the deflection and slope at the ground surface of the pile, the maximum bending moment and its position), the biparameter method is used to analyze the pile – soil parameters. Two examples show that the method in present paper is reasonable and reliable, and it provides the reference value for the engineering design.

**Key Words** laterally loaded steel pipe pile, biparameter method, pile – soil parameters

(编辑:袁 江)

---

(上接第 57 页)

## Development of Steel – Structured Highrise Buildings and New Thin – Walled and Cold – Formed Steel – Structured Buildings in China

*Xu Weiliang Long Lipin*

(Faculty of civil Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045)

**Abstract** In this paper, the authors introduce the recent application and development of steel – structured highrise buildings and thin – walled and cold – formed steel – structured buildings in Chinese building construction and analyze their technical features as well as comprehensive technical – economic profits.

**Key Words** steel structure, technical features, comprehensive economic profit, development

(编辑:袁 江)