

# 弹性地基梁理论在挑梁计算中的应用

张 保 善

提 要

(土建系)

本文把弹性地基梁理论运用到挑梁计算中,得到了挑梁的弯矩,剪力,梁下应力计算公式。通过进一步简化。提出了更为实用的挑梁计算公式。与实验结果相比吻合较好,可供设计挑梁时参考。

**关键词:** 挑梁, 弹性地基, 砌体

试验结果及分析表明,挑梁受荷后在砌体中的工作与桩的工作相似,当埋深较大,相对于砌体的刚度较小时,主要发生挠曲变形,梁尾掀起变形小;而埋深较小,相对刚度较大时,挑梁本身挠曲变形小,主要发生刚体转动变形,梁尾掀起变形大。根据这种变形特点,我们称以刚体转动为主的挑梁为刚性挑梁;以挠曲变形为主的挑梁为弹性挑梁。可以把挑梁看作以砌体为介质采用弹性地基梁理论进行理论分析。

## 一、刚、弹性挑梁的判定条件

首先我们将外荷简化到砌体边缘处。以 $M_0$ ,  $Q_0$ 表示。把上部砌体及其传递下来的荷载以 $q_0$ 表示。建立如图1所示计算简图。

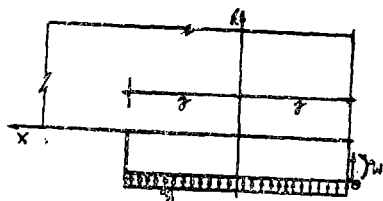


图 1

采用郭尔布诺夫——伯沙道夫的方法。假定梁下反力函数为十次多项式。利用梁的微分方程进行求解。可得到梁下反力函数各项系数均与参数 $t$ 有关, $t$ 称为挑梁的柔度系数,其表达式为:

$$t = \frac{1 - \mu_1^2}{1 - \mu_0^2} \cdot \frac{3\pi E_0 l^3}{Eh^3} \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $E_0$ 、 $E$ ——分别为砌体、混凝土的弹性模量;

$\mu_1$ 、 $\mu_0$ ——分别为混凝土、砌体的泊松比。

由于墙体和梁的平面尺寸较大,其厚度较小。可以看作是平面应力问题求解。这样, $t$ 的表达式可改写为:

$$t = \frac{\pi E_0 b l^3}{4EJ} \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $J$ 为挑梁的截面惯性矩。

郭氏分析表明,当 $t < 1$ 时,属刚性梁。当 $t > 10$ 时属无限长梁。因此,我们取 $t = 1$ 作为

刚性挑梁和弹性挑梁的界限。 $t=10$ 作为半无限梁和无限长梁的界限。在工程实际中,无限长梁将意味着挑梁埋深过大,梁尾部分作用甚微。参照工程中常用材料情况,当混凝土为200号,砖75号,砂浆25号时。 $E_0/E=0.06$ ,若混凝土标号改为150号,则 $E_0/E=0.067$ 。取其平均值 $E_0/E=0.063$ ,可得:

$$t = 0.63 \frac{l^3}{h^3} \quad \dots\dots\dots (3)$$

令 $t=1$ ,而且将 $l_m=2l$ 代入(3)式可得:

$$l_m = 2.3h \quad \dots\dots\dots (4)$$

令 $t=10$ ,由(3)式得:

$$l_m = 5.03h \quad \dots\dots\dots (5)$$

实际工程中往往以挑出长度 $l_0$ 和埋入长度 $l_m$ 之比作为设计参数,一般取 $h=(1/4 \sim 1/5)l_0$ 。于是:

$$l_m = (0.575 \sim 0.46)l_0 \quad \dots\dots\dots (4a)$$

$$\text{或} \quad l_m = (1.255 \sim 1.004)l_0 \quad \dots\dots\dots (5a)$$

取其平均值

$$l_m = 0.5l_0 \quad \dots\dots\dots (4b)$$

$$\text{和} \quad l_m = 1.1l_0 \quad \dots\dots\dots (5b)$$

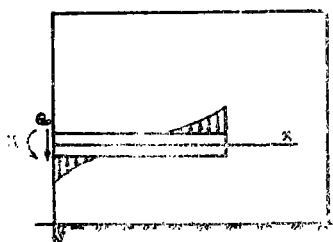


图 2

所以,我们得到刚性挑梁和弹性挑梁的判定条件为:

(1) 当 $l_m \leq 2.3h$ 或 $l_m \leq 0.5l_0$ 时,挑梁属刚性挑梁。

当 $l_m > 2.3h$ 或 $l_m > 0.5l_0$ 时,挑梁属弹性挑梁。其中当 $l_m > 5h$ 或 $l_m > 1.1l_0$ 时应视为无限长弹性挑梁,后边理论分析将表明,该类挑梁埋入深度太长且不经济,

只有在 $2.3h < l_m \leq 5h$ 或 $0.5l_0 < l_m \leq 1.1l_0$ 范围内的弹性挑梁才是最经济的。

## 二、弹性挑梁的理论分析

挑梁受力过程表明在破坏阶段之前,可以把挑梁看作为以砌体为地基的弹性地基梁,其计算简图如图2所示。

### 1. 基本假定

为便于分析,根据试验结果的分析,提出如下基本假定:

- (1) 将砌体看作为弹性变形介质,它具有的地基系数 $k$ 随砌体弹性模量不同而变化。
- (2) 不考虑挑梁与砌体界面之间存在的拉应力和剪力作用。
- (3) 认为挑梁尾部的竖向变形和转角为零。

### 2. 计算公式

根据上述假定,挑梁发生挠曲时,连续分布的反力与该点的竖向变形成正比,在这样的

条件下, 作用于梁单位长度上的反力为  $Kby$ ,  $y$  为竖向变形。 $b$  为挑梁宽度,  $k$  为地基系数, 表示发生单位变形时, 在梁宽  $b$  单位长度内的反力 (单位为吨/米<sup>3</sup>)。运用梁的微分方程式, 得到:

$$E_h I_z \frac{d^4 y}{dx^4} = -kby \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:  $E_h$ ——挑梁混凝土的弹性模量;

$I_z$ ——挑梁横截面的惯性矩。

$$\text{设方程的解为 } y = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i x^i \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{并令 } \alpha = 4\sqrt{\frac{Kb}{E_h I_z}} \quad \text{则 } \alpha^4 = \frac{Kb}{E_h I_z}$$

用梁端边界条件:

$$y(x=0) = y_0 \quad \frac{dy}{dx}(x=0) = \phi_0$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2}(x=0) = \frac{M_0}{E_h I_z} \quad \frac{d^3 y}{dx^3}(x=0) = \frac{Q_0}{E_h I_z}$$

$$\text{并令 } A_1 = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{(4n)!} (\alpha x)^{4n}$$

$$B_1 = \alpha x + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{4n+1!} (\alpha x)^{4n+1}$$

$$C_1 = \frac{(\alpha x)^2}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{2}{(4n+2)!} (\alpha x)^{4n+2}$$

$$D_1 = \frac{(\alpha x)^3}{6} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{3}{(4n+3)!} (\alpha x)^{4n+3}$$

可得挑梁挠曲方程为:

$$y = y_0 A_1 + \frac{\phi_0}{\alpha} B_1 + \frac{M_0}{\alpha^2 E_h I_z} C_1 + \frac{Q_0}{\alpha^3 E_h I_z} D_1 \quad \dots\dots\dots (8)$$

求导以后, 可分别得到  $\phi(x)$ 、 $M(x)$ 、 $Q(x)$  的方程为:

$$\frac{\phi(x)}{\alpha} = -y_0 D_1 + \frac{\phi_0}{\alpha} A_1 + \frac{M_0}{\alpha^2 E_h I_z} B_1 + \frac{Q_0}{\alpha^3 E_h I_z} C_1 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{M(x)}{\alpha^2 E_h I_z} = -y_0 C_1 - \frac{\phi_0}{\alpha} D_1 + \frac{M_0}{\alpha^2 E_h I_z} A_1 + \frac{Q_0}{\alpha^3 E_h I_z} B_1 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{Q(x)}{\alpha^3 E_h I_z} = -y_0 B_1 - \frac{\phi_0}{\alpha} C_1 - \frac{M_0}{\alpha^2 E_h I_z} D_1 + \frac{Q_0}{\alpha^3 E_h I_z} A_1 \quad \dots\dots\dots (11)$$

根据假定条件3, 有边界条件:

$$M_{(x-1)} = 0 \quad Q_{(x-1)} = 0 \quad \text{及设 } x = L \text{ 可得:}$$

$$y_0 = \frac{M_0}{\alpha^2 E_b I_z} \cdot \frac{A_1 C_1 + D_1^2}{C_1^2 - B_1 D_1} + \frac{Q_0}{\alpha^3 E_b I_z} \cdot \frac{B_1 C_1 - A_1 D_1}{C_1^2 - B_1 D_1} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\frac{\varphi_0}{\alpha} = \frac{M_0}{\alpha^2 E_b I_z} \left( -\frac{A_1 B_1 + C_1 D_1}{C_1^2 - B_1 D_1} \right) + \frac{Q_0}{\alpha^3 E_b I_z} \cdot \frac{A_1 C_1 - B_1^2}{C_1^2 - B_1 D_1} \quad \dots\dots\dots (13)$$

根据位移互等定理, 有

$$\frac{A_1 C_1 + D_1^2}{C_1^2 - B_1 D_1} = -\frac{A_1 C_1 - B_1^2}{C_1^2 - B_1 D_1}$$

$$\text{若令 } A = \frac{B_1 C_1 - A_1 D_1}{C_1^2 - B_1 D_1} \quad B = \frac{B_1^2 - A_1 C_1}{C_1^2 - B_1 D_1}$$

$$C = \frac{A_1 B_1 + C_1 D_1}{C_1^2 - B_1 D_1}$$

那么, 可得挠曲线方程及  $M_{(x)}$ ,  $\varphi_{(x)}$ ,  $Q_{(x)}$  的方程分别为:

$$y = \frac{Q_0}{\alpha^3 E_b I_z} (A_1 A - B_1 B + D_1) + \frac{M_0}{\alpha^2 E_b I_z} (A_1 B - B_1 C + C_1) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\frac{\varphi_{(x)}}{\alpha} = \frac{Q_0}{\alpha^3 E_b I_z} (C_1 - A D_1 - B A_1) + \frac{M_0}{\alpha^2 E_b I_z} (B_1 - B D_1 - C A_1) \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$M_{(x)} = \frac{Q_0}{\alpha} (B D_1 - A C_1 + B_1) + M_0 (C D_1 - B C_1 + A_1) \quad \dots\dots\dots (16)$$

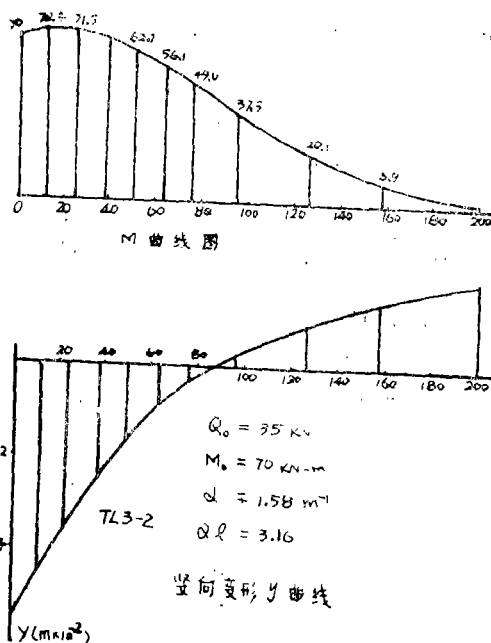
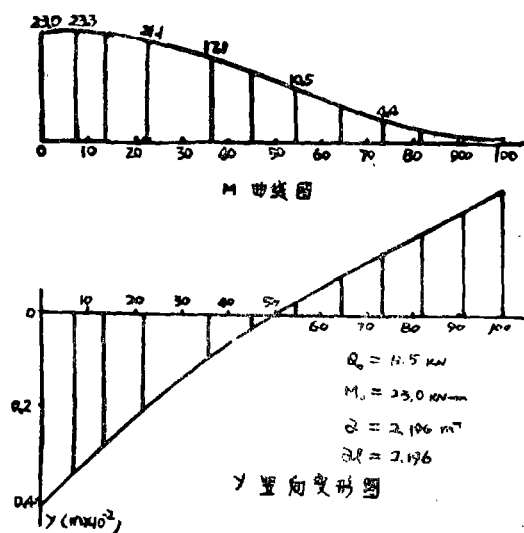
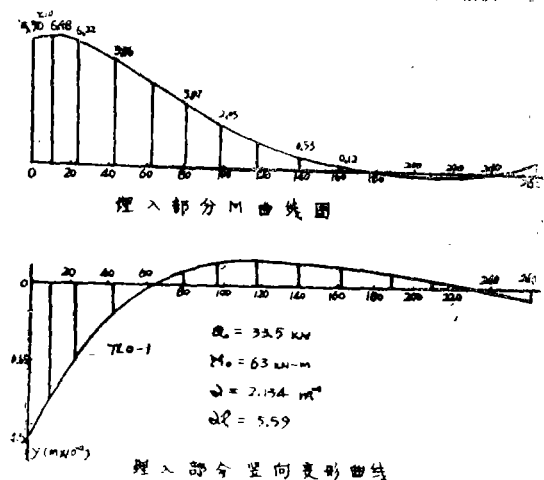
$$Q_{(x)} = Q_0 (A_1 - A B_1 + B C_1) + \alpha M_0 (C C_1 - B B_1 - D_1) \quad \dots\dots\dots (17)$$

应力  $\sigma_y$  的表达式为:

$$\sigma_y = \frac{\alpha Q_0}{b} (A A_1 + B B_1 + D_1) + \frac{\alpha^2 M_0}{b} (B A_1 + C B_1 + C_1) \quad \dots\dots\dots (18)$$

在上述公式中,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  是  $\alpha l$  的函数,  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ 、 $D_1$  是  $\alpha x$  的函数, 它们都与  $\alpha$  密切相关, 可见,  $\alpha$  是挑梁计算中的一项重要参数, 因此, 我们称它为柔度系数, 并称  $\alpha l$  为换算埋置深度。

图3、4、5分别是应用理论公式计算的三根试验挑梁 TL0—1、TL3—2、TL4—1 的弯矩、竖向变形的分布曲线, 可以看出, 在外荷作用下, 梁内最大弯矩截面在墙内某处, 其值大于  $M_0$ , 而且, 梁尾部的变形随  $\alpha l$  的增大而减小, 当  $\alpha l$  大于某个值后, 梁上弯矩出现反号, 梁的挠曲线出现反向, 可见这部分挑梁作用甚微。所以, 我们认为梁的埋深应有一个有效埋深的限值, 这就是半无限弹性挑梁和无限弹性挑梁的界限值, 比较图3、4、5 竖向变形曲线, 可以看出, 梁的挠曲随  $\alpha l$  的减小愈加接近直线变化, 当  $\alpha l$  较小时, 梁好象一个刚体在砌体内发生整体转动, 这样的挑梁不符合前面假定条件, 应按刚性挑梁考虑, 大量的分析结果表明, 可以



$\alpha l$  等于 4.5 作为弹性挑梁有效埋深的限值及半无限弹梁和无限弹性挑梁的限值，以  $\alpha l$  等于 2.2 作为刚，弹性挑梁的界限值。

### 三、刚性挑梁的分析

刚性挑梁在外荷作用下，其挠曲变形很小，主要产生绕某点的转动变形，此时，梁尾部向上的掀起变形不能忽略。且作用于梁尾部截面上的弯矩也较大，也不能忽略。因此，我们设挑梁绕 A 点转动，旋转角为  $\omega$ ，并忽略砌体灰缝抗拉、抗剪强度，可得计算简图如图 6 所示。

根据图 6 中所示坐标，假定离墙边缘的距离为  $x$  处的挑梁截面形心产生的竖向变形

为  $\Delta y$ ，那么：

$$\Delta y = (x_0 - x) \omega$$

该处的压应力为：

$$\sigma_y = k \cdot \Delta y = k \omega (x_0 - x)$$

梁端和尾部产生的竖向变形分别为：

$$y_0 = \omega x_0 \quad y_m = (x_0 - l) \omega$$

挑梁尾部产生的力矩  $M_m$  为：

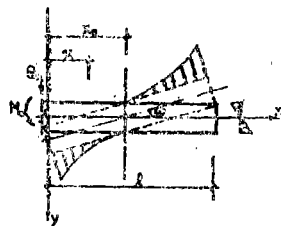


图 6

$$M_m = - \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \omega x^2 \cdot k dx = -k \omega I_z$$

根据静力平衡条件, 可求得:

$$\omega = \frac{12M_0 + 61Q_0}{kb(1^3 + h^3)} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$x_0 = \frac{61^2 M_0 + 41^3 Q_0 + h^3 Q_0}{121Q_0 + 61^2 Q_0} \quad \dots\dots\dots (20)$$

由图6可导出任意截面的弯矩 $M_x$ , 剪力 $Q_x$ 的表达式为:

$$M_x = M_0 + Q_0 x - kb\omega x^2 \left( \frac{x_0}{2} - \frac{x}{6} \right) \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$Q_x = Q_0 - kb\omega x_0 x + \frac{1}{3} kb\omega x^2 \quad \dots\dots\dots (22)$$

将 $\omega$ 、 $x_0$ 代入后可得:

$$M_x = M_0 + Q_0 x - \frac{61^2 M_0 + 41^3 Q_0 + h^3 Q_0}{21(1^3 + h^3)} x^2 + \frac{2M_0 + 11Q_0}{1^3 + h^3} x^2 \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$Q_x = Q_0 - \frac{61^2 M_0 + 41^3 Q_0 + h^3 Q_0}{1(1^3 + h^3)} x + \frac{6M_0 + 31Q_0}{(1^3 + h^3)} x^2 \quad \dots\dots\dots (24)$$

并可求得端部挑梁下砌体边缘处最大压应力和尾部梁上砌体最大压应力分别为:

$$\sigma_{y\max} = \frac{61^2 M_0 + 41^3 Q_0 + h^3 Q_0}{61(1^3 + h^3)} + \sigma_0$$

$$\sigma_{m\max} = \frac{61^2 M_0 + 21^2 Q_0 + h^3 Q_0}{61(1^3 + h^3)} + \sigma_0$$

由于 $h^3$ 项影响很小, 故略去不计, 于是上式简化为:

$$\sigma_{y\max} = \frac{6M_0}{b1^2} + \frac{4Q_0}{b1} + \sigma_0 \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$\sigma_{m\max} = \frac{6M_0}{b1^2} + \frac{2Q_0}{b1} + \sigma_0 \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中 $\sigma_0$ 为上部砌体及荷载产生的初始压应力。

#### 四、实用计算公式

##### 1、挑梁的倾复点位置

在外荷和砌体界面应力共同作用下, 挑梁剪力为零的截面上将产生最大弯矩, 该截面处就是挑梁倾复点处, 因此, 我们讨论如下。

(1) 弹性挑梁: 令(17)式等于零得到

$$\frac{Q_0}{\alpha M_0} = \frac{BB_1 - CC_1 + D_1}{A_1 - AB_1 + BC_1} = a_1 \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中  $a_1$  是  $\alpha l$  和  $\alpha x$  的函数制成表格由已知条件  $\frac{Q_0}{\alpha M_0}$  可查出  $\alpha x$ ,  $x_0 = -\frac{\alpha x}{\alpha}$ 。表1中列出了27根

挑梁的计算结果, 可以看出, 虽然  $\alpha l = 2 \sim 7$ , 但  $\alpha x_0$  的变化范围不大, 为简化计算, 假定  $\alpha x_0$  为试验挑梁的平均值, 那么有

$$x_0 = -\frac{1}{5\alpha} \quad \dots\dots\dots (28)$$

显然梁的相对刚度愈大,  $\alpha$  愈小,  $x_0$  值愈大, 这符合试验中得到的规律。参考工程中常用材料后, 可进一步简化为:

$$x_0 = 0.74\sqrt{h^3} \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中  $h$  为梁高, 单位为厘米。

并可得到挑梁的最大弯矩 (即倾复弯矩) 为:

$$M_{\max} = M_0 + Q_0 x_0 \quad \dots\dots\dots (30)$$

参考表1中27根挑梁的试验结果,  $M_{\max}/M_0$  的平均值为1.07, 标准差0.03, 离散系数0.028。考虑到挑梁倾复的突然性, 偏高些取值为:

$$M_{\max} = 1.1 M_0 \quad \dots\dots\dots (31)$$

(2) 刚性挑梁: 令(24)式等于零得到

$$x_0 = \frac{(1^3 + h^3) Q_0}{61 M_0 + 31^2 Q_0}$$

因此, 挑梁的最大弯矩为:

$$M_{\max} = M_0 + \frac{(1^3 + h^3) Q_0^2}{61 M_0 + 31^2 Q_0}$$

为简化计算, 参照常用挑梁情况, 取  $h = 1/4 l_0$ , 界限时  $l = 2.3h = 0.61 l_0$ , 对均布荷载

$$Q_0 = q l_0, M_0 = 0.5 q l_0^2 = 0.5 Q_0 l_0$$

代入上式后得:

$$x_0 = 0.1361 \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$M_{\max} = M_0 + 0.1361 Q_0 \quad \dots\dots\dots (33)$$

## 2、最大压应力 $\sigma_{y\max}$ 的计算

对弹性挑梁, 仍假定挑梁下砌体最大压应力发生在墙边缘处, 那么将  $x = 0$  代入(18)式, 得到:

$$\sigma_{y\max} = \frac{\alpha Q_0}{b} A_0 + \frac{\alpha^2 M_0}{b} B_M \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中  $A_0$ 、 $B_M$  是  $\alpha l$  的函数, 可列成表格备查。计算结果见表1。为简化计算, 对计算结果进

行回归处理后得到:

$$A_Q = 0.8 + \frac{2.5}{\alpha l} \geq 1.425$$

$$B_M = 0.31 + \frac{2.7}{\alpha l} \geq 1$$

该式与刚性挑梁计算公式是连续的。

### 3、梁端局部受压区长度 $a_c$

我们令 $\sigma_y$ 表达式(18)等于零,可以求出应力为零的点距墙边缘的距离 $a_c$ :

$$\frac{\alpha M_0}{Q_0} = \frac{D_1 - A A_1 - B B_1}{A_1 B - B_1 C + C_1} = a_3 \quad \dots\dots\dots (35)$$

可根据 $\alpha l$ 和 $\alpha x$ 编制表格,由 $\frac{\alpha M_0}{Q_0}$ 和 $\alpha l$ 查表确定 $\alpha x$ ,那么 $a = \frac{\alpha x}{\alpha}$ 。表1中列出了27根试验

挑梁的实测值(不全)和计算值。可见它们比较接近,为简化计算,我们将计算的 $\alpha a_c$ 值和 $Q_0$ 的关系绘在图27中,各试验点之间近似直线关系变化,回归分析后得到:

$$a_c = \frac{1.17}{\alpha} - \frac{1.5 Q_0}{\alpha^2 M_0} \quad \dots\dots\dots (36)$$

该式计算值也列在表1中。

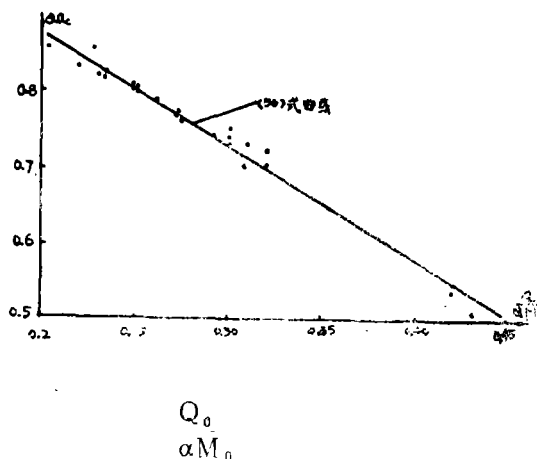


图7  $\alpha a_c \sim Q_0 / \alpha M_0$  关系图



计算与试验比较一览表

表1

	换算埋深 al	最大弯矩 $M_{\max}$		倾 复 点 位 置 $X_0$			受压区长度 $a_c$			$\delta y_{\max}$	
		$M_0$ KN—M	公式 (16) $M_{\max}$	$M_{\max}$ $M_0$	按公式 (27)	按公式 (28)	$a_c^s$	按公式 (35)	按公式 (36)	体强度 R	按公式 (34)
TL0-1	5.533	63.45	66.63	1.053	10.0	9.5	30	37.9	35.4	22	15.8
TL0-2	4.838	62.98	67.24	1.068	12.7	10.8	/	40.1	38.6	27	12.5
TL0-3	4.195	77.08	81.68	1.060	1.27	10.1	/	38.8	36.9	28	17.2
TL0-4	4.371	91.18	96.23	1.055	10.4	9.7	/	38.1	36.0	33.3	21.8
TL1-1	3.188	47.00	50.4	1.072	14.5	12.5	/	45.7	43.0	15	8.2
TL1-2	3.693	44.0	46.67	1.061	12.2	10.8	/	41.7	39.5	18	9.0
TL1-3	4.036	62.0	65.18	1.051	10.3	9.9	/	39.3	37.3	22	14.1
TL2-1	4.432	56.0	58.43	1.043	8.7	9.0	/	37.7	34.9	28	15.0
TL2-2	4.351	89.2	93.23	1.045	9.0	9.2	/	37.7	35.4	26	23.1
TL3-1	4.930	62.0	64.20	1.035	7.1	8.1	38.1	34.8	32.3	27	20.0
TL3-2	3.123	70.0	75.20	1.074	14.9	12.6	30.7	46.3	43.5	23	12.0
TL4-1	2.196	23.0	23.60	1.020	5.7	9.1	50.0	39.1	35.2	27	9.2
TL4-2	6.706	79.6	83.0	1.040	8.5	8.9	/	37.1	34.7	29	21.6
TL5-1	4.036	77.0	80.96	1.051	10.3	9.9	48	39.8	37.2	22	17.5
TL5-2	4.036	80.8	84.12	1.052	10.3	9.9	/	39.8	37.2	22	18.2
TL5-3	4.036	29.0	30.50	1.040	10.3	9.9	/	/	/	/	/
TL6-1	1.246	62.0	64.84	1.040	9.2	9.4	45.8	23.2	35.9	24	15.5
TL6-2	4.264	62.0	64.84	1.040	9.2	149	40.4	/	35.9	24	15.5
TL-1	3.223	57.0	61.20	1.074	14.0	44.2	36.5	46.4	43.5	13	10.3
TL-2	2.000	13.5	15.05	1.115	10.3	10.0	11.0	29.3	24.6	18	6.3
TL-3	3.523	52.3	55.90	1.070	13.3	11.4	4.0	41.5	39.8	22	10.3
TL-4	2.186	31.5	35.21	1.120	10.6	9.2	37.0	25.1	22.5	22	15.9
TL-5	3.834	76.0	80.96	1.060	12.4	10.4	/	37.8	36.0	27	16.6
TL-7	2.594	34.3	37.32	1.087	13.6	11.9	20.6	40.7	36.8	19.74	8.2
TL-8	2.090	22.5	25.17	1.119	10.7	9.6	18.8	25.5	22.4	19.74	10.9
TL-9	3.449	17.3	19.45	1.128	8.8	5.8	10.8	15.4	16.8	22.34	14.8
TL-10	4.255	14.6	19.65	1.144	7.0	4.3	27.5	10.7	12.0	22.34	21.3
TL-11	6.949	60.5	65.46	1.082	9.2	7.2	/	25.1	24.4	22.34	28.0

(下转51页)

## Abstract

The author deduces the maximum surge value calculating formulas of the simple cylindrical and the throttled surge tank by the energy conservation principle. Comparing with the other calculating formulas, we can prove that the maximum surge value calculating formulas advanced in this paper can completely meet the engineering preliminary design demand.

**Key Words** Simple cylindrical surge tank,  
Throttled surge tank,  
Maximum surge value,

(上接22页)

## 参 考 文 献

- [1] “砖石结构设计规范” GBJ3—73, 中国建筑工业出版社。
- [2] S.铁摩辛柯《材料力学》 科学出版社, 1979年。
- [3] 潘家铮《弹性地基上的梁和框架》 上海科学出版社, 1960年5月。
- [4] B·N·库茨涅佐夫《弹性地基》 建筑工程出版社1959年。
- [5] 柯列涅夫《弹性地基上的板和梁计算问题》 建筑工程出版社, 1958年。
- [6] 范文田《地下地柱静力计算》 人民铁道出版社, 1978年。

## THE APPLICATION OF THE THEORY OF BEAM ON ELASTIC FOUNDATION IN CALCULATING OVERHANGING BEAMS

(Zhang Bao shan)

(Civil Engineering and Architecture Department)

## Abstract

This paper has applied the theory of beam on elastic foundation to the calculating of overhanging beams, and has given a set of formulae in calculating moment, shear force and the stress under overhanging beam. After the formulae have been simplified, we have recommended more and practical formulae of calculating overhanging beams, which is in good accord with the experimental results and can be available for the design of overhanging beams as well.

**Key words:** overhanging beam, elastic foundation, masonry.