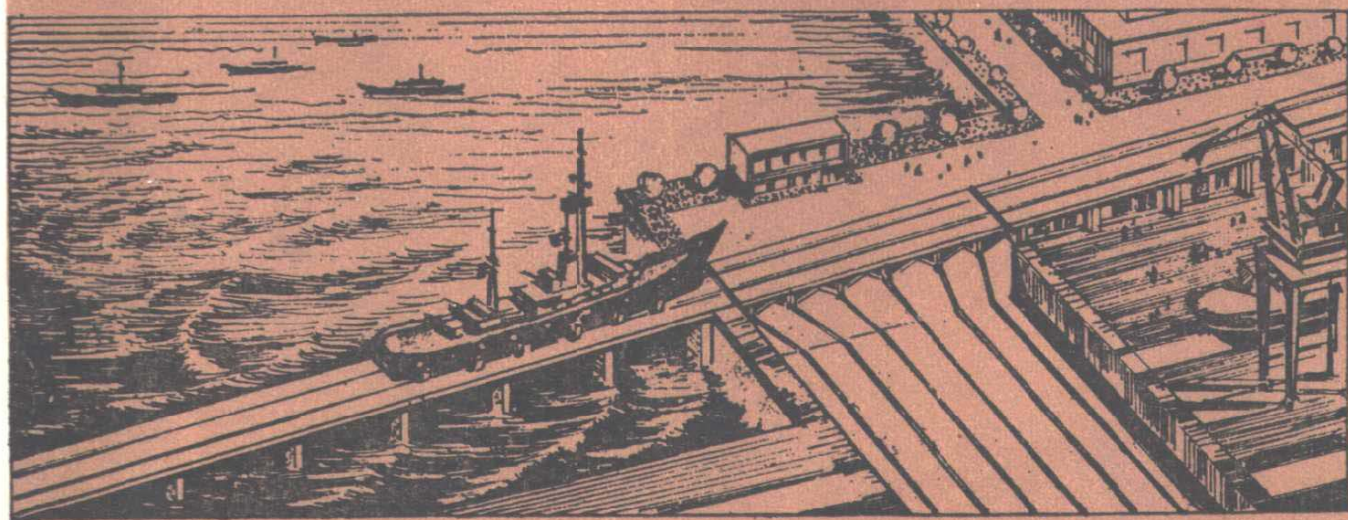


船 台 滑 道 设 计 用 书

弹性地基计算图表及公式

中国船舶工业总公司第九设计研究院 编



國 防 工 業 出 版 社

弹性地基计算图表及公式

(船台滑道设计用书)

中国船舶工业总公司

第九设计研究院

编



国防工业出版社

内 容 提 要

本书系“船台滑道设计用书”之一，根据文克尔弹性地基假定编制的。内容包括等截面弹性地基梁的集中荷载影响线、集中弯矩影响线、计算公式及一个附录，适用于计算等截面弹性地基梁、变截面梁以及端点为嵌固或铰结的等截面弹性地基梁。

本书可供船厂水工结构和一般土建专业设计人员以及有关大专院校师生使用。

弹性地基计算图表及公式

(船台滑道设计用书)

中国船舶工业总公司 编
第九设计研究院

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 13⁵/₈ 314 千字

1982年10月第一版 1982年10月第一次印刷 印数：0,001—4,200册

统一书号：15034·2398 定价：1.45元

前 言

船台滑道设计是港口和修造船厂设计的重要组成部份。为总结建国以来有关这方面的经验，我们编写一套“船台滑道设计用书”，分《船台滑道工艺设计》、《船台滑道结构设计》、《弹性地基梁及矩形板计算》、《弹性地基计算图表及公式》四个单行本出书。本书《弹性地基计算图表及公式》为其中之一，与《弹性地基梁及矩形板计算》先行出版，其余两册将陆续编写付印。

本书为计算弹性地基梁的一本实用工具书，内容与本套用书《弹性地基梁及矩形板计算》有连贯性，分使用说明、集中荷载影响线、集中弯矩影响线、弹性地基计算公式四部份，可用以计算等截面弹性地基梁、变截面弹性地基梁以及端点为嵌固或铰结的等截面弹性地基梁等构件。书中所有影响线及公式均基于文克尔 (E. Winkler) 弹性地基假定 (即基床系数假定)，影响线的数据是根据克雷洛夫 (А. Н. Крылов) 的初参数法求得的。

本书审校、编写人员名单：

审 定：陈达雄、吴国鑫、何根华、宣祥沃。

编 写：使用说明：赵安仁；影响线计算：梁修；计算公式：高秀理。

绘 图：肖本敬、丁根娣等。

此外，王友村同志校对了本书计算公式部分，董萼同志协助誊写，都做了不少工作。

由于我们的技术水平有限，更限于人力和时间，书中难免存在缺点和错误，敬请读者批评指正。

目 录

第一部分 使用说明	1
一、一般说明	1
二、编制依据	1
三、本书采用的符号与公式	3
四、计算步骤	5
五、计算例题	6
第二部分 集中荷载影响线	18
一、集中荷载短梁影响线 $\lambda_l = 1.0$	19
二、集中荷载短梁影响线 $\lambda_l = 1.5$	20
三、集中荷载短梁影响线 $\lambda_l = 2.0$	22
四、集中荷载短梁影响线 $\lambda_l = 2.5$	27
五、集中荷载短梁影响线 $\lambda_l = 3.0$	33
六、集中荷载短梁影响线 $\lambda_l = 3.5$	40
七、集中荷载短梁影响线 $\lambda_l = 4.0$	48
八、集中荷载短梁影响线 $\lambda_l = 4.5$	66
九、集中荷载长梁影响线	86
十、集中荷载短梁端转角及地基反力影响线内插曲线	121
第三部分 集中弯矩影响线	124
一、集中弯矩短梁影响线 $\lambda_l = 1.0$	125
二、集中弯矩短梁影响线 $\lambda_l = 1.50$	126
三、集中弯矩短梁影响线 $\lambda_l = 2.0$	128
四、集中弯矩短梁影响线 $\lambda_l = 2.5$	133
五、集中弯矩短梁影响线 $\lambda_l = 3.0$	139
六、集中弯矩短梁影响线 $\lambda_l = 3.50$	146
七、集中弯矩短梁影响线 $\lambda_l = 4.0$	154
八、集中弯矩短梁影响线 $\lambda_l = 4.5$	163
九、集中弯矩长梁影响线	173
十、集中弯矩短梁端转角及地基反力影响线内插曲线	189
第四部分 弹性地基梁计算公式	192
一、说明	192
二、无限长梁	193
三、半无限长梁	194
四、有限长梁	196
附录 计算T形截面惯性矩公式中系数 μ 数值	206

第一部分 使用说明

一、一般说明

(一) 适用范围:

本书适用于求解在集中荷载, 集中弯矩及均布荷载作用下, 弹性地基上各种不同梁的计算, 包括:

1. 两端自由等截面弹性地基梁;
2. 一端或两端为嵌固或铰接支座的等截面弹性地基梁;
3. 台阶形变截面弹性地基梁。

(二) 本书由以下几部分组成:

1. 集中荷载影响线;
2. 集中弯矩影响线;
3. 弹性地基梁计算公式。

在以上第 1、2 两项图表中, 各绘出了九种不同 λ_l 值 (含义见后) 的弹性地基梁的弯矩 (M), 剪力 (Q), 地基反力 (p) 及端转角 (θ) 的无量纲影响线。这九种 λ_l 值是:

短梁: $\lambda_l = 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5; 4.0; 4.5$ 。

长梁: $\lambda_l > 4.5$ 。

对于 $\lambda_l < 1.0$ 的梁, 可作为刚性梁, 按偏心受压公式计算, 此时地基反力为直线图形。

在第 3 项中, 给出了不同荷载图形, 不同端支承条件的弹性地基梁计算公式共 30 组。为了配合影响线及公式使用的需要, 列出了一个附录。

(三) 本书还可用来计算弹性地基板, 正交弹性地基格形梁 (即十字交叉梁), 有关计算原理及方法见《弹性地基梁及矩形板计算》(国防工业出版社出版)。

二、编制依据

本书系根据文克尔 (E. Winkler) 弹性地基梁假定 (简称基床系数法) 编制的。该假定是: 地基每单位面积上所承受的压力与地基沉降成正比, 用公式表示是:

$$p = ky \quad (1)$$

式中 y —— 沉降 (厘米或米);

k —— 基床系数, 与土壤弹性特征等因素有关 (公斤/厘米³ 或 吨/米³);

p —— 地基反力 (公斤/厘米² 或 吨/米²)。

此时, 弹性地基梁的弹性线基本方程式为

$$E_s J \frac{d^4 y}{dx^4} + bky = q(x) \quad (2)$$

式中 E_s —— 梁材料的弹性模量 (公斤/厘米² 或 吨/米²);

J ——梁截面的惯性矩 (厘米⁴ 或米⁴);

b ——梁的底宽 (厘米或米);

$q(x)$ ——梁上的荷载 (公斤/厘米 或 吨/米)。

在求解基本方程式 (2) 的过程中, 我们采用了克雷洛夫 (А. Н. Крылов) 的初始

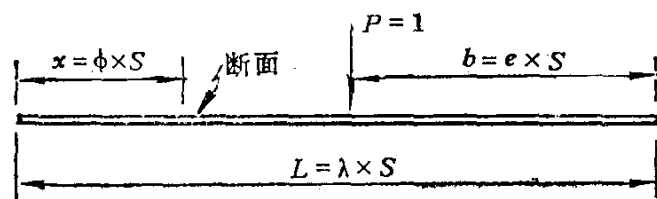


图 1

参数法。此时, 在集中荷载或集中弯矩作用下, 弹性地基梁的影响线系数的计算公式如下:

(一) 集中荷载影响线, 单位集中力向下:

设 $\rho = \phi + e - \lambda$,

$$\eta_0 = F_1(\phi) \frac{F_3(\lambda)F_1(e) - F_2(\lambda)F_2(e)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} - 4F_4(\varphi) \frac{F_2(e)F_3(\lambda) - F_1(e)F_4(\lambda)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} + 4F_3(\rho) \quad (3)$$

$$\eta_p = F_1(\varphi) \frac{F_2(e)F_3(\lambda) - F_1(e)F_4(\lambda)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} + F_2(\varphi) \frac{F_1(e)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_2(e)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} + 4F_4(\rho) \quad (4)$$

$$\eta_m = F_3(\varphi) \frac{F_2(e)F_3(\lambda) - F_1(e)F_4(\lambda)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} + F_4(\varphi) \frac{F_1(e)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_2(e)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} - F_2(\rho) \quad (5)$$

$$\eta_q = F_2(\varphi) \frac{F_2(e)F_3(\lambda) - F_1(e)F_4(\lambda)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} + F_3(\varphi) \frac{F_1(e)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_2(e)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} - F_1(\rho) \quad (6)$$

如 $\rho < 0$, 则 $F_1(\rho) = F_2(\rho) = F_3(\rho) = F_4(\rho) = 0$ 。

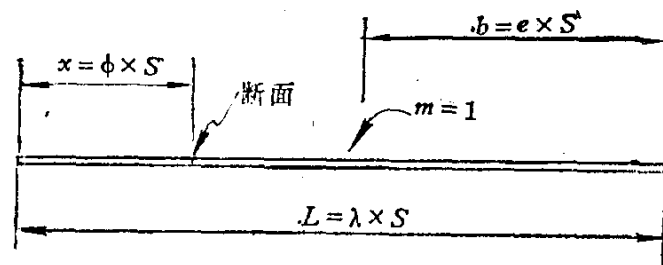


图 2

(二) 集中弯矩影响线, 单位弯矩为反时针方向:

设 $\rho = \varphi + e - \lambda$ 。

$$\eta_0 = 4F_2(\rho) - F_1(\varphi) \frac{4F_3(\lambda)F_4(e) + F_1(e)F_2(\lambda)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} - 4F_4(\varphi) \frac{F_1(e)F_3(\lambda) + 4F_4(\lambda)F_4(e)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} \quad (7)$$

$$\eta_p = 4F_3(\rho) - F_2(\varphi) \frac{4F_3(\lambda)F_4(e) + F_1(e)F_2(\lambda)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} + F_1(\varphi) \frac{F_1(e)F_3(\lambda) + 4F_4(\lambda)F_4(e)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} \quad (8)$$

$$\eta_m = -F_1(\rho) + F_3(\varphi) \frac{F_1(e)F_3(\lambda) + 4F_4(\lambda)F_4(e)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} - F_4(\varphi) \frac{4F_3(\lambda)F_4(e) + F_1(e)F_2(\lambda)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} \quad (9)$$

$$\eta_q = 4F_4(\rho) - F_3(\varphi) \frac{4F_3(\lambda)F_4(e) + F_1(e)F_2(\lambda)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} + F_2(\varphi) \frac{F_1(e)F_3(\lambda) + 4F_4(\lambda)F_4(e)}{F_3(\lambda)F_3(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} \quad (10)$$

当 $\rho < 0$ 时, $F_1(\rho) = F_2(\rho) = F_3(\rho) = F_4(\rho) = 0$ 。

在以上式 (3) 至式 (10) 中, $F_1(x)$, $F_2(x)$, $F_3(x)$, $F_4(x)$ 为克雷洛夫函数值, 见《弹性地基梁及矩形板计算》附录三, 其中:

$$\begin{aligned} F_1(x) &= \operatorname{ch} x \cdot \cos x; \\ F_2(x) &= -\frac{1}{2} (\operatorname{ch} x \cdot \sin x + \operatorname{sh} x \cdot \cos x); \\ F_3(x) &= -\frac{1}{2} \operatorname{sh} x \cdot \sin x; \\ F_4(x) &= -\frac{1}{4} (\operatorname{ch} x \cdot \sin x - \operatorname{sh} x \cdot \cos x)。 \end{aligned}$$

图 1 及图 2 中的 S 为梁的弹性特征长度见式 (11)。

三、本书采用的符号与公式

(一) 基本符号:

l —— 梁的实际长度 (米);

S —— 梁的弹性特征长度 (米)

$$S = \sqrt[4]{\frac{4E_b J}{bk}} \quad (11)$$

式中 符号意义同前。

$\lambda_l = \frac{l}{S}$ —— 全梁折算长度;

x —— 从计算截面到梁左端的距离 (米);

$\varphi = \frac{x}{S}$ —— 从计算截面到梁左端的折算距离;

η_m —— 弯矩影响线的无量纲纵坐标;

η_q —— 剪力影响线的无量纲纵坐标;

η_f —— 地基反力影响线的无量纲纵坐标;

η_θ —— 转角影响线的无量纲纵坐标。

在绘制图形时, 正的纵坐标画在下面, 负的画在上面。

正负号规则如下:

- (1) 当梁弯曲朝下凸使梁底受拉时, 弯矩为正, 见图 3(a)。
 (2) 当使梁的切口左侧受向下力, 右侧受向上力时, 剪力为正, 见图 3(b)。
 (3) 当挠度 y 向下, 地基反力向上时为正, 见图 3(c)。
 (4) 转角的正负号与相应的弯矩符号相同。

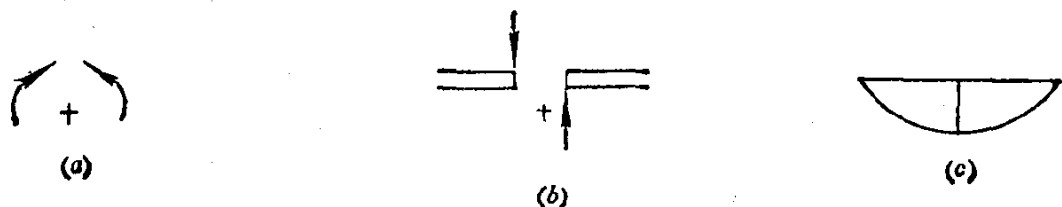


图 3

(二) 计算公式:

1. 集中荷载计算值:

$$\left. \begin{aligned} \text{转角} \quad \theta &= \frac{P}{bkS^2} \eta_\theta \text{ (弧度)} \\ \text{弯矩} \quad M &= P \cdot S \cdot \eta_m \text{ (吨} \cdot \text{米)} \\ \text{剪力} \quad Q &= P \eta_q \text{ (吨)} \\ \text{地基反力} \quad P &= \frac{P}{bS} \cdot \eta_p \text{ (吨/米}^2\text{)} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

2. 均布荷载计算值:

$$\left. \begin{aligned} \text{转角} \quad \theta &= \frac{q}{bkS} \omega_\theta \text{ (弧度)} \\ \text{弯矩} \quad M &= qS^2 \omega_m \text{ (吨} \cdot \text{米)} \\ \text{剪力} \quad Q &= qS \omega_q \text{ (吨)} \\ \text{地基反力} \quad p &= \frac{q}{b} \omega_p \text{ (吨/米}^2\text{)} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

式中 q ——沿梁长每延米均布荷载 (吨/米);
 ω_m ——均布荷载作用部分的弯矩影响线面积;
 ω_q ——均布荷载作用部分的剪力影响线面积;
 ω_p ——均布荷载作用部分的地基反力影响线面积;
 ω_θ ——均布荷载作用部分的转角影响线面积。

3. 集中弯矩计算值:

$$\left. \begin{aligned} \text{转角} \quad \theta &= \frac{m}{bkS^3} \eta_\theta \text{ (弧度)} \\ \text{弯矩} \quad M &= m \eta_m \text{ (吨} \cdot \text{米)} \\ \text{剪力} \quad Q &= \frac{m}{S} \eta_q \text{ (吨)} \\ \text{地基反力} \quad p &= \frac{m}{bS^2} \eta_p \text{ (吨/米}^2\text{)} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中 m 为集中弯矩荷载值 (吨·米)。

4. 应注意事项。本书的影响线, 系根据荷载作用于梁的左半部绘制的, 当荷载作用

在右半部梁时, 对于右半部梁的截面, 查用影响线时, 应将图形相对于梁的中点反转使用。这时, 对于集中荷载影响线 η_m 、 η_p 符号不变, 而 η_q 、 η_0 则符号相反。对于集中弯矩影响线 η_q 符号不变, 而 η_m 、 η_p 、 η_0 符号相反。

四、计算步骤

(一) 等截面弹性地基梁计算步骤:

1. 假定梁的尺寸 (长度与横截面)。材料弹性模量, 地基基床系数以及各种荷载组合均为已知。

2. 计算梁的弹性特征长度

$$S = \sqrt[4]{\frac{4E_b J}{bk}}$$

3. 计算梁的折算长度

$$\lambda_l = \frac{l}{S}$$

4. 选择与 λ_l 值相近似的梁的影响线进行计算, 最好取相近 η_m 、 η_p 、 η_q 、 η_0 , 较大的 λ_l 值的梁的影响线, 因为这时计算所得之内力 M 、 Q 值是偏于安全的。

5. 根据所选择的标准梁的影响线查出在各种荷载作用下相应的无量纲系数 η 值, 并利用公式 (12) 至 (14) 计算各截面的 M 、 Q 及 p 值。

6. 绘制全梁的弯矩 (M)、剪力 (Q) 与地基反力 (p) 的计算图形; 在动荷载作用时, 应绘制各计算截面在最不利的荷载组合条件下求出的最大与最小内力值的包络线图形。

7. 在查用影响线图表时, 对于墩木的间距, 吊车轮距, 房屋柱距或均布荷载的作用长度、均需用折算长度来表示, 即除以梁的弹性特征长度 S 值。

8. 凡集中荷载或集中弯矩的作用点不在影响线计算截面间距 $\varphi = 0.25$ 的倍数位置上时, 则对荷载作用点下的内力值, 应根据其所在位置相邻左右两截面的影响线坐标值进行内插求算。对于非荷载作用点截面的内力, 可由所求算截面的影响线按荷载作用点左右两相邻整数倍点 (0.25 的倍数) 的坐标值进行内插求算。例如图 4, 对于 A 点的内力, 用 $\lambda = 2.5$, $\varphi = 1.0$ 及 $\varphi = 1.25$ 两影响线值内插求算, 对于 B 点用 $\lambda = 2.5$, $\varphi = 0.5$ 影响线上的 $\lambda_A = 1.0$ 及 $\lambda_A = 1.25$ 二坐标值内插。

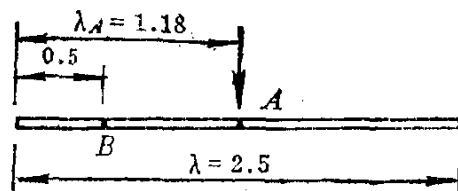


图 4

力, 可由所求算截面的影响线按荷载作用点左右两相邻整数倍点 (0.25 的倍数) 的坐标值进行内插求算。例如图 4, 对于 A 点的内力, 用 $\lambda = 2.5$, $\varphi = 1.0$ 及 $\varphi = 1.25$ 两影响线值内插求算, 对于 B 点用 $\lambda = 2.5$, $\varphi = 0.5$ 影响线上的 $\lambda_A = 1.0$ 及 $\lambda_A = 1.25$ 二坐标值内插。

(二) 变截面弹性地基梁的计算步骤:

1. 根据已知条件, 分别计算截面相同各梁段的弹性特征长度 S 与折算长度 λ_l 。

2. 将梁的截面突变处切开, 在每一切口处置以一对未知力 m_i 及 Q_i , 并绘出各段梁的计算草图。

3. 根据切开截面处结构变形的连续性条件, 写出表示各梁段相邻端、转角相等、方向相反与挠度相等的变形方程式。

4. 当折算长度 $\lambda < 2.5$ 时, 按照各梁段的实际折算长度 λ_l 值, 从“端转角与地基反力内插曲线”中查出相应于变形方程式各变位值的无量纲系数 η_0 与 η_p 诸值, 然后利用

公式 (12) 至 (14) 之有关式计算出变位值, 当 $\lambda > 2.5$ 时, η_θ 与 η_p 值可由相近的两影响线用直线内插法求得。

5. 将求出的各变位值及外荷载值代入变形方程式, 并整理得出一组多元一次方程组。

6. 解此方程组, 得出梁在各截面突变处的内力 m_i 及 Q_i 值。

7. 梁内其他各点的内力与地基反力, 可按一般等截面弹性地基梁的同样步骤, 利用与各梁段的折算长度最接近的标准梁的影响线进行计算。或在两相邻标准梁影响线之间内插取值。

8. 在计算变形方程式中由梁端未知力和外荷载产生的变位值时, 除利用影响线外, 为了获得较高的计算精确度, 还可按下列公式直接求出其变位值。

(1) 当集中荷载作用于梁上任意点时, 梁端的转角及地基反力系数如下:

$$\eta_\theta = \frac{1}{S^2} \frac{F_1(\lambda)F_1(e) - F_2(\lambda)F_2(e)}{F_3^2(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} \quad (15)$$

$$\eta_p = \frac{1}{S} \frac{F_1(\lambda)F_2(e) - F_4(\lambda)F_1(e)}{F_3^2(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} \quad (16)$$

(2) 当集中弯矩作用于梁上任意点时, 梁端的转角及地基反力系数如下:

$$\eta_\theta = \frac{1}{S^3} \frac{4F_3(\lambda)F_4(e) + F_2(\lambda)F_1(e)}{F_3^2(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} \quad (17)$$

$$\eta_p = \frac{1}{S^2} \frac{F_3(\lambda)F_1(e) + 4F_4(\lambda)F_3(e)}{F_3^2(\lambda) - F_2(\lambda)F_4(\lambda)} \quad (18)$$

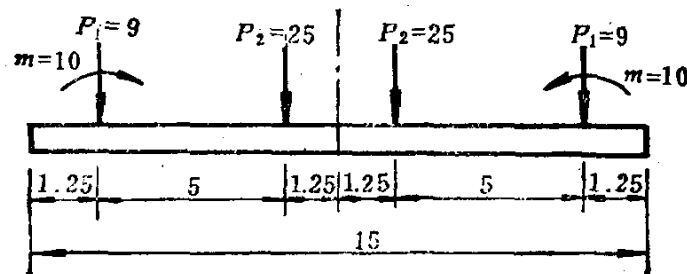
式中 λ 、 e 分别为梁长及荷载作用点距梁右端的折算距离, 见图 1 及图 2;

$F_1(x)$ 、 $F_2(x)$ 、 $F_3(x)$ 、 $F_4(x)$ 为克雷洛夫函数值。

五、计算例题

(一) 例题一

某一滑道工程的防汛闸门基础, 系钢筋混凝土结构, 现按弹性地基梁计算, 作用在单位宽度 ($b = 1$ 米) 底板上的荷载见图 5。



荷载单位为吨, 尺寸单位为米。

图 5

已知: 文克尔地基基床系数 $k = 0.4$ 公斤/厘米³ = 400 吨/米³; 基础底板厚 $h = 0.7$ 米; *300 混凝土弹性模量 $E_h = 2.1 \times 10^6$ 吨/米²;

$$J = \frac{1}{12} \times 1.0 \times 0.7^3 = 0.0286 \text{ 米}^4, \text{ 梁长 } l = 15.0 \text{ 米。}$$

计算: 梁的弹性特征长度

$$S = \sqrt[4]{\frac{4E_k J}{bk}} = \sqrt[4]{\frac{4 \times 2.1 \times 10^8 \times 0.0286}{1.0 \times 400}} = \sqrt[4]{600} = 4.93 \text{ 米}$$

取 $S = 5.0$ 米

$\lambda_l = \frac{l}{S} = \frac{15}{5} = 3.0 < 4.5$ 属于短梁, 选用 $\lambda_l = 3.0$ 影响线。

内力及地基反力计算见表 1、2、3, 计算成果绘于图 6 中。

表 1 弯矩计算

M 单位 吨·米

计算截面	由 P_1 产生			由 P_2 产生			由 m 产生			ΣM (4) + (7) + (10)
	$P_1 S$	$\Sigma \eta_m$	M_1 (2) × (3)	$P_2 S$	$\Sigma \eta_m$	M_2 (5) × (6)	m	$\Sigma \eta_m$	M_3 (8) × (9)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\varphi = 0.0$	$9 \times 5 = 45$	0	0	$25 \times 5 = 125$	0	0	10.0	0	0	0
$\varphi = 0.25$	45	$0.045 - 0.006 = 0.039$	1.75	125	$0.007 - 0.002 = 0.005$	0.63	10.0	$0.949 + 0.003 = 0.952$ $- 0.051 + 0.003 = - 0.048$	9.52 - 0.48	11.90 1.90
$\varphi = 0.5$	45	$- 0.083 - 0.024 = - 0.107$	- 4.81	125	$0.031 + 0 = 0.031$	3.88	10.0	$0.826 + 0.014 = 0.840$	8.40	7.47
$\varphi = 0.75$	45	$- 0.151 - 0.049 = - 0.200$	- 9.10	125	$0.079 + 0.010 = 0.089$	11.12	10.0	$0.671 + 0.040 = 0.711$	7.11	9.13
$\varphi = 1.00$	45	$- 0.175 - 0.081 = - 0.256$	- 11.51	125	$0.156 + 0.036 = 0.192$	24.00	10.0	$0.513 + 0.085 = 0.598$	5.98	18.47
$\varphi = 1.25$	45	$- 0.170 - 0.116 = - 0.286$	- 12.90	125	$0.265 + 0.083 = 0.348$	43.50	10.0	$0.369 + 0.153 = 0.522$	5.22	35.82
$\varphi = 1.50$	45	$- 0.147 - 0.147 = - 0.294$	- 13.25	125	$0.158 + 0.158 = 0.316$	39.50	10.0	$0.248 + 0.248 = 0.496$	4.96	31.21

表 2 剪力计算

Q 单位: 吨

计算截面	由 P_1 产生			由 P_2 产生			由 m 产生			ΣQ (4) + (7) + (10)
	P_1	$\Sigma \eta_q$	Q_1 (2) × (3)	P_2	$\Sigma \eta_q$	Q_2 (5) × (6)	$\frac{m}{S}$	$\Sigma \eta_q$	Q_3 (8) × (9)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\varphi = 0.0$	9.0	0	0	25.0	0	0	$\frac{10}{5} = 2$	0	0	0
$\varphi = 0.25$	9.0	$- 0.655 - 0.049 = - 0.704$ $0.345 - 0.049 = 0.296$	- 6.32 2.66	25.0	$0.059 - 0.004 = 0.055$	1.38	2.0	$- 0.379 + 0.025 = - 0.354$	- 0.71	- 5.65 3.33
$\varphi = 0.50$	9.0	$- 0.380 - 0.088 = - 0.468$	- 4.21	25.0	$0.141 + 0.018 = 0.159$	3.98	2.0	$- 0.577 + 0.071 = - 0.506$	- 1.01	- 1.24
$\varphi = 0.75$	9.0	$- 0.174 - 0.118 = - 0.292$	- 2.63	25.0	$0.248 + 0.066 = 0.314$	7.85	2.0	$- 0.640 + 0.138 = - 0.502$	- 1.00	4.22
$\varphi = 1.00$	9.0	$- 0.030 - 0.135 = - 0.165$	- 1.48	25.0	$0.372 + 0.142 = 0.514$	12.85	2.0	$- 0.613 + 0.224 = - 0.389$	- 0.78	10.59
$\varphi = 1.25$	9.0	$0.063 - 0.136 = - 0.073$	- 0.66	25.0	$- 0.496 + 0.242 = - 0.254$ $0.504 + 0.242 = 0.746$	- 6.35 18.62	2.0	$- 0.535 + 0.324 = - 0.211$	- 0.42	- 7.43 17.54
$\varphi = 1.50$	9.0	$0.115 - 0.115 = 0$	0	25.0	$0.362 - 0.362 = 0$	0	2.0	$- 0.432 + 0.432 = 0$	0	0

表3 地基反力计算

 p 单位 吨/米²

计算截面	由 P_1 产生			由 P_2 产生			由 m 产生			Σp (4) + (7) + (10)
	$\frac{P_1}{S \times b}$	$\Sigma \eta_p$	$\frac{p_1}{(2) \times (3)}$	$\frac{P_2}{S \times b}$	$\Sigma \eta_p$	$\frac{p_2}{(5) \times (6)}$	$\frac{m}{b \times S^2}$	$\Sigma \eta_p$	$\frac{p_3}{(8) \times (9)}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\varphi = 0.0$	$\frac{9.0}{5 \times 1}$ = 1.8	$1.522 - 0.212$ = 1.310	2.36	$\frac{25}{5 \times 1}$ = 5.0	$0.188 - 0.070$ = 0.118	0.59	$\frac{10}{1 \times 5^2}$ = 0.4	$-1.895 + 0.059$ = -1.836	-0.73	2.22
$\varphi = 0.25$	1.8	$1.241 - 0.176$ = 1.065	1.92	5.0	$0.282 + 0.036$ = 0.318	1.59	0.4	$-1.136 + 0.143$ = -0.993	-0.40	3.11
$\varphi = 0.50$	1.8	$0.957 - 0.139$ = 0.818	1.47	5.0	$0.375 + 0.142$ = 0.517	2.59	0.4	$-0.487 + 0.227$ = -0.260	-0.10	3.96
$\varphi = 0.75$	1.8	$0.693 - 0.096$ = 0.597	1.08	5.0	$0.462 + 0.246$ = 0.708	3.54	0.4	$-0.044 + 0.306$ = 0.262	0.10	4.72
$\varphi = 1.00$	1.8	$0.466 - 0.040$ = 0.426	0.77	5.0	$0.527 + 0.351$ = 0.878	4.39	0.4	$0.231 + 0.376$ = 0.607	0.24	5.40
$\varphi = 1.25$	1.8	$0.282 + 0.036$ = 0.318	0.57	5.0	$0.547 + 0.444$ = 0.991	4.96	0.4	$0.378 + 0.423$ = 0.801	0.32	5.85
$\varphi = 1.50$	1.8	$0.141 + 0.141$ = 0.282	0.51	5.0	$0.516 + 0.516$ = 1.032	5.16	0.4	$0.432 + 0.432$ = 0.864	0.35	6.02

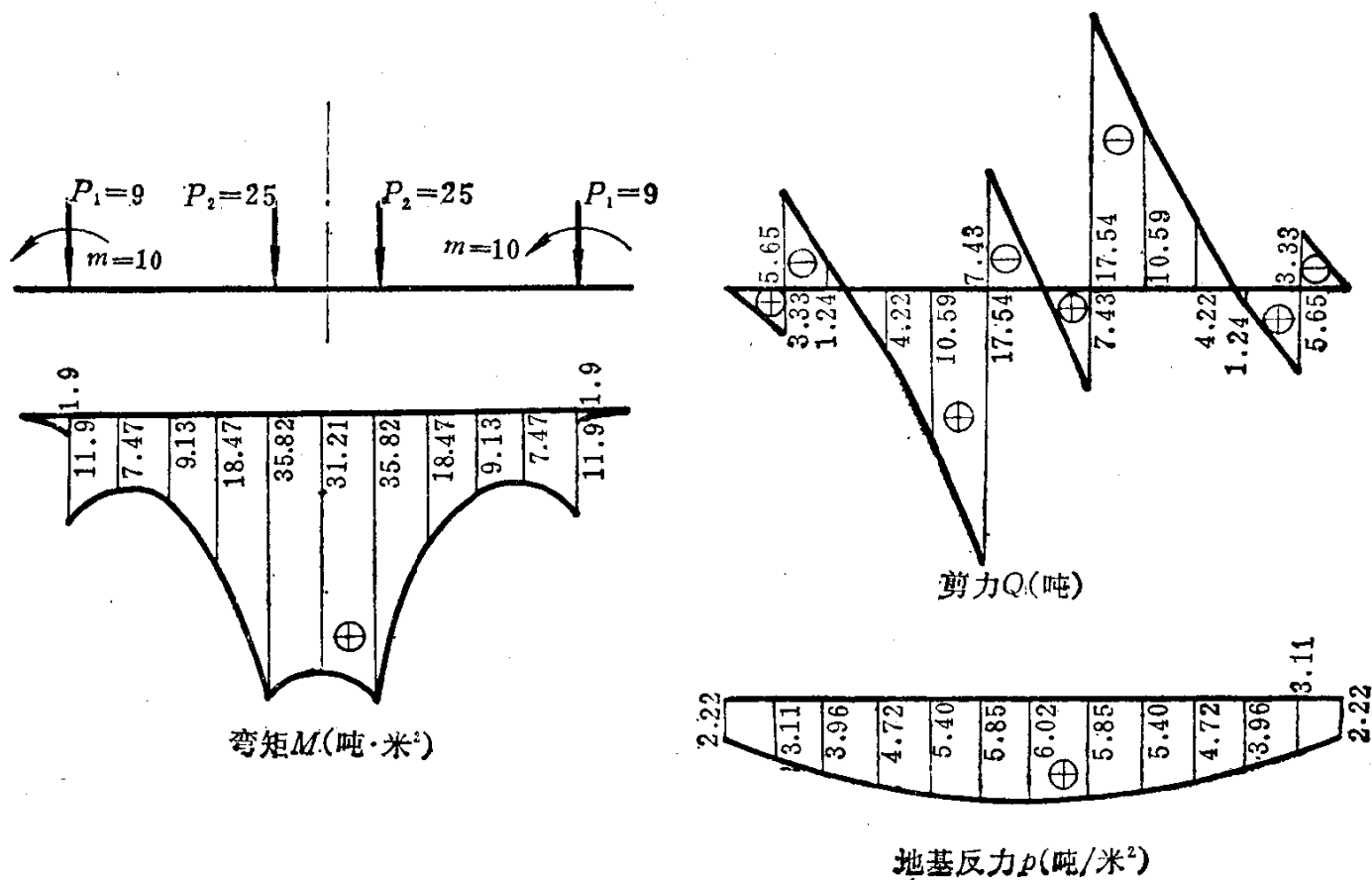
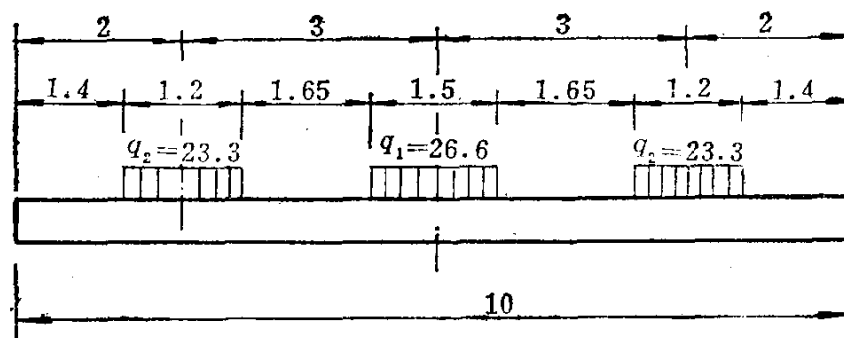


图 6

(二) 例题二

某工程船台板, 系钢筋混凝土结构, 现取横向单位宽度截条, 按弹性地基梁计算。作用在板上的荷载见图 7。



中墩负荷: $q_1 = \frac{40}{1.5} = 26.6$ 吨/米², 尺寸单位为米; 滑道负荷: (每条) $q_2 = \frac{28}{1.2} = 23.3$ 吨/米²。

图 7

已知: 文克尔地基基床系数 $k = 2.0$ 公斤/厘米³ = 2000 吨/米³;

船台板厚 $h = 0.5$ 米; *200 混凝土弹性模量 $E_h = 1.8 \times 10^6$ 吨/米²

$$J = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 1.0 \times 0.5^3 = 0.0104 \text{ 米}^4;$$

梁长 $l = 10.0$ 米。

计算: 梁的弹性特征长度

$$S = \sqrt[4]{\frac{4E_h J}{b k}} = \sqrt[4]{\frac{4 \times 1.8 \times 10^6 \times 0.0104}{1.0 \times 2000}} = \sqrt[4]{37.5} = 2.47 \text{ 米}$$

取 $S = 2.5$ 米

梁的折算长度

$$\lambda_l = \frac{10.0}{2.5} = 4.00 < 4.5 \text{ 属于短梁}$$

选取 $\lambda_l = 4.0$ 的影响线进行计算

中墩均布荷载 q_1 分布长度及作用点之折算距离

$$\lambda_{q_1} = \frac{1.5}{2.5} = 0.6$$

$$\lambda_1 = \frac{5 - 0.75}{2.5} = 1.7$$

$$\lambda_2 = \frac{5 + 0.75}{2.5} = 2.3$$

滑道均布荷载 q_2 分布长度及作用点之折算距离

$$\lambda_{q_2} = \frac{1.2}{2.5} = 0.48$$

$$\lambda_3 = \frac{1.4}{2.5} = 0.56$$

$$\lambda_4 = \frac{1.4 + 1.2}{2.5} = 1.04$$

$$\lambda_5 = \frac{5 + 0.75 + 1.65}{2.5} = 2.96$$

$$\lambda_6 = \frac{7.4 + 1.2}{2.5} = 3.44$$

为便于查表计算, 可将以上荷载折算距离按影响线图形同一比例画在透明纸上, 再进行查算 ω 值, 见图 8。

	λ_{q_2}		λ_{q_1}		λ_{q_2}	
0.56	0.48	0.66	0.6	0.66	0.48	0.56
	(1.2)		(1.5)		(1.2)	
			(10)			

括号内数字单位为米

图 8

表 4 弯矩计算

M 单位: 吨·米

计算截面	在中墩负荷 q_1 作用下			在滑道压力 q_2 作用下		
	$q_1 S^2$	$\Sigma \omega_m$	M (2) × (3)	$q_2 S^2$	$\Sigma \omega_m$	M (5) × (6)
1	2	3	4	5	6	7
$\varphi = 0.0$	26.6×2.5^2 $= 166.2$	0	0	23.3×2.5^2 $= 146$	0	0
$\varphi = 0.25$	166.2	$-0.003 \times 0.6 = -0.0018$	-0.30	146	$-\frac{1}{2}(0.032 + 0.013) \times 0.48$ $-\frac{1}{2}(0.02 + 0.003) \times 0.48 = 0.0096$	1.40
$\varphi = 0.50$	166.2	$-0.007 \times 0.6 = -0.0042$	-0.70	146	$-\frac{1}{2}(0.123 + 0.054) \times 0.48$ $-\frac{1}{2}(0.01 + 0.005) \times 0.48 = 0.039$	5.70
$\varphi = 0.75$	166.2	$-\frac{1}{2} \times 0.018 \times 0.41 +$ $\frac{1}{2} \times 0.016 \times 0.19$ $= 0.0022$	-0.37	146	$\frac{1}{2}(0.127 + 0.190) \times 0.25 + \frac{1}{2}$ $\times (0.19 + 0.015) \times 0.23 - \frac{1}{2}(0.021$ $+ 0.014) \times 0.48 = 0.0548$	8.0
$\varphi = 1.00$	166.2	$\frac{1}{2}(0.05 \times 0.3 - 0.02$ $\times 0.3) = 0.0045$	0.75	146	$\frac{1}{2} \times 0.233 \times 0.4 - \frac{1}{2} \times 0.05$ $\times 0.08 - \frac{1}{2}(0.032 + 0.025) \times 0.48$ $= 0.031$	4.52
$\varphi = 1.25$	166.2	$\frac{1}{2} \times 0.098 \times 0.5 - \frac{1}{2}$ $\times 0.1 \times 0.01 = 0.0195$	3.24	146	$\frac{1}{2} \times 0.124 \times 0.28 - \frac{1}{2} \times 0.088 \times$ $0.2 - \frac{1}{2}(0.042 + 0.039) \times 0.48$ $= -0.0109$	-1.55
$\varphi = 1.50$	166.2	$\frac{1}{2}(0.178 + 0.016) \times 0.6$ $= 0.058$	9.98	146	$-\frac{1}{2} \times 0.075 \times 0.28 + 0.05 \times \frac{1}{2}$ $\times 0.2 - \frac{1}{2} \times (0.048 + 0.054) \times$ $0.48 = -0.03$	-4.38
$\varphi = 2.00$	166.2	$\frac{1}{2}(0.263 + 0.15) \times 0.6$ $= 0.124$	20.60	146	$-2 \times \frac{1}{2} \times (0.087 + 0.034) \times 0.48$ $= -0.058$	-8.45

表5 剪力计算

Q 单位: 吨

计算截面	在中墩负荷 q_1 作用下			在滑道压力 q_2 作用下		
	$q_1 S$	$\Sigma \omega_q$	$Q(2) \times (3)$	$q_2 S$	$\Sigma \omega_q$	$Q(5) \times (6)$
1	2	3	4	5	6	7
$\varphi = 0.0$	$26.6 \times 2.5 = 66.5$	0	0	$23.3 \times 2.5 = 58.3$	0	0
$\varphi = 0.25$	66.5	$-0.018 \times 0.6 = -0.0108$	-0.72	58.3	$\frac{1}{2}(0.251 + 0.106) \times 0.48 - \frac{1}{2}(0.022 + 0.012) \times 0.48 = 0.078$	4.55
$\varphi = 0.50$	66.5	$-\frac{1}{2} \times 0.032 \times 0.4 + \frac{1}{2} \times 0.028 \times 0.2 = +0.0036$	-0.24	58.3	$\frac{1}{2}(0.529 + 0.226) \times 0.48 - \frac{1}{2}(0.037 + 0.025) \times 0.48 = 0.166$	9.65
$\varphi = 0.75$	66.5	$\frac{1}{2} \times 0.41 \times 0.081 - \frac{1}{2} \times 0.19 \times 0.02 = 0.0147$	0.98	58.3	$-\frac{1}{2}(0.344 + 0.5) \times 0.28 + \frac{1}{2}(0.5 + 0.357) \times 0.2 - \frac{1}{2}(0.048 + 0.03) \times 0.48 = -0.051$	-2.98
$\varphi = 1.00$	66.5	$\frac{1}{2} \times 0.16 \times 0.6 = 0.048$	3.20	58.3	$-\frac{1}{2}(0.505 + 0.200) \times 0.48 - \frac{1}{2}(0.045 + 0.05) \times 0.48 = -0.192$	-11.2
$\varphi = 1.25$	66.5	$\frac{1}{2}(0.268 + 0.066) \times 0.6 = 0.1$	6.65	58.3	$-\frac{1}{2}(0.372 + 0.091) \times 0.48 - \frac{1}{2}(0.034 + 0.06) \times 0.48 = -0.134$	-7.80
$\varphi = 1.50$	66.5	$\frac{1}{2}(0.383 + 0.141) \times 0.6 = 0.157$	10.45	58.3	$-\frac{1}{2}(0.016 + 0.254) \times 0.48 - \frac{1}{2}(0.012 + 0.067) \times 0.48 = -0.084$	-4.89
$\varphi = 1.75$	66.5	$\frac{1}{2}(0.49 + 0.22) \times 0.6 = 0.213$	14.20			
$\varphi = 2.00$	66.5	0	0	58.3	0	0

表 6 地基反力计算

p 单位: 吨/米²

计算截面	在中墩负荷 q_1 作用下			在滑道压力 q_2 作用下		
	$\frac{q_1}{b}$	$\Sigma \omega_p$	p (2) $\times$ (3)	$\frac{q_2}{b}$	$\Sigma \omega_p$	p (5) $\times$ (6)
1	2	3	4	5	6	7
$\varphi = 0.0$	$\frac{26.6}{1.0} = 26.6$	$-0.118 \times 0.6 = -0.0708$	-1.88	$\frac{23.3}{1.0} = 23.3$	$\frac{1}{2}(0.396 + 1.065) \times 0.48 - \frac{1}{2}(0.101 + 0.048) \times 0.48 = 0.315$	7.35
$\varphi = 0.25$	26.6	$-\frac{1}{2} \times 0.064 \times 0.41 + \frac{1}{2} \times 0.056 \times 0.19 = 0.0078$	-0.21	23.3	$-\frac{1}{2}(0.943 + 0.452) \times 0.48 - \frac{1}{2}(0.074 + 0.649) \times 0.48 = 0.306$	7.14
$\varphi = 0.50$	26.6	$\frac{1}{2}(0.162 + 0.01) \times 0.6 = 0.0516$	1.38	23.3	$\frac{1}{2}(0.813 + 0.505) \times 0.48 - \frac{1}{2}(0.046 + 0.051) \times 0.48 = 0.293$	6.84
$\varphi = 0.75$	26.6	$\frac{1}{2}(0.265 + 0.088) \times 0.6 = 0.106$	2.82	23.3	$\frac{1}{2}(0.661 + 0.544) \times 0.48 - \frac{1}{2}(0.016 + 0.05) \times 0.48 = 0.274$	6.37
$\varphi = 1.00$	26.6	$\frac{1}{2}(0.363 + 0.17) \times 0.6 = 0.16$	4.26	23.3	$\frac{1}{2}(0.505 + 0.55) \times 0.48 = 0.253$	5.90
$\varphi = 1.25$	26.6	$\frac{1}{2}(0.451 + 0.257) \times 0.6 = 0.212$	5.65	23.3	$\frac{1}{2}(0.361 + 0.507) \times 0.48 + \frac{1}{2} \times 0.07 \times 0.48 = 0.227$	5.30
$\varphi = 1.50$	26.6	$\frac{1}{2}(0.513 + 0.346) \times 0.6 = 0.257$	6.85	23.3	$\frac{1}{2}(0.239 + 0.433) \times 0.48 + \frac{1}{2} \times 0.14 \times 0.48 = 0.195$	4.54
$\varphi = 2.00$	26.6	$\frac{1}{2}(0.54 + 0.499) \times 0.6 = 0.312$	8.30	23.3	$\frac{1}{2}(0.069 + 0.261) \times 0.48 + \frac{1}{2}(0.069 + 0.262) \times 0.48 = 0.159$	3.70