

# U形薄壳渡槽的空间计算图及其使用方法

于 志 秋

(西北农学院水利系)

## 摘 要

本文根据“简化空间算法”<sup>[2]</sup>的基本原理,将U形柱壳用其内接27面棱壳代替,按此建立方程、编写程序、在电子计算机上进行一系列计算,按计算成果绘成曲线图,即为“空间计算图”。利用空间计算图,经简单换算,可对任何尺寸的筒支等厚U形薄壳渡槽进行空间分析。方法简单,精度亦可满足使用要求。

## 前 言

一九七四年,我们提出了“U形薄壳渡槽的空间算法”<sup>[1]</sup>,不久就在工程实践中获得应用和发展<sup>[4][5]</sup>。一九八零年十月召开的全国“U形薄壳渡槽会议”,在同原型观测、模型实验以及其它计算方法的成果充分比较的基础上,肯定了“U形薄壳渡槽的空间算法”(亦称折板法)是计算长壳和中长壳U形薄壳渡槽比较好的实用方法,建议尽量简化,尽快推广应用。根据会议精神,一九八一年,我们又提出了“U形薄壳渡槽的简化空间算法”<sup>[2]</sup>。本法虽将“空间算法”大为简化,但仍需求解一个十元一次联立方程组,而且由于划分的折板较宽,计算精度亦感不足。为了弥补这些缺点,我们又根据“简化空间计算方法”的基本原理,将U形柱壳用其内接27面棱壳(圆弧段每7.5°为一折板)代替,按此建立方程、编写程序,在“Apple I”型电子计算机上进行一系列计算,按计算成果绘成曲线图,即为“空间计算图”。利用空间计算图,经简单换算,可对任何尺寸的筒支等厚U形薄壳渡槽进行空间分析。方法简单,精度亦较“简化空间算法”高,便于推广应用。

## 空间计算图的制作原理

设 $\sigma_i$ 、 $M_i$ 为壳槽跨中截面*i*棱处的纵向正应力和横向弯矩,根据空间算法的基本原理<sup>[1][2][8]</sup>,可写出以 $\sigma_i$ 、 $M_i$ 为主元的法方程式:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\pi^2}{l^2} \sum_{i=k-1}^{i=k+1} \gamma_{k,i} \sigma_i + \sum_{i=k-2}^{i=k+2} S_{k,i} M_i + R_k &= 0 \\ \sum_{i=k-2}^{i=k+2} S_{k,i} \sigma_i + \frac{\pi^2}{l^2} \sum_{i=k-1}^{i=k+1} b_{k,i} M_i &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 $\gamma_{k,i}$ 、 $S_{k,i}$ 、 $b_{k,i}$ 为法方程式的主系数和付系数， $R_k$ 为自由项， $l$ 为壳槽的计算跨度。

$$\begin{aligned} \text{令 } A &= \frac{h}{R} \\ B &= -\frac{t}{R} \\ C &= \frac{\Delta F_0}{R^2} \\ D &= \frac{l}{R} \\ E &= \frac{t^3}{J_0} \\ F &= \frac{G_0}{\gamma R^2} \end{aligned}$$

(2)

式中(参看图一)：

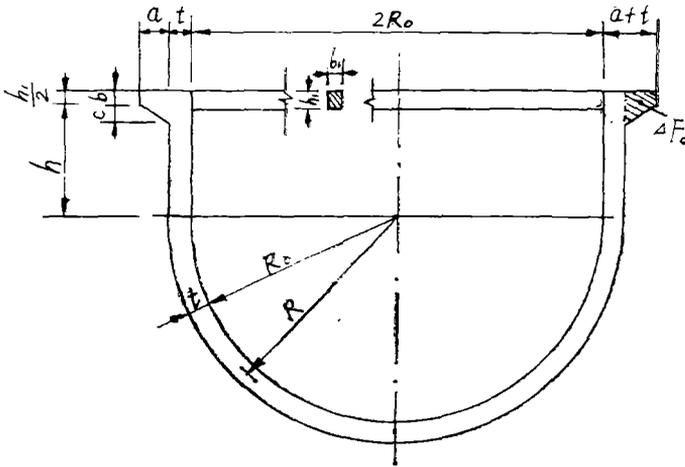


图 一

$R$ —壳槽的计算半径；

$h$ —壳槽的计算垂直段高度；

$t$ —壳槽壁厚；

$J_0 = \frac{b_1 h_1^3}{12S}$ —折算成每米跨长的横杆惯矩；

$b_1$ —横杆宽度；

$h_1$ —横杆高度；

$S$ —横杆间距；

$\Delta F_0$ —侧梁面积;

$G_0$ —单位跨长内的侧梁、便桥、横杆、栏杆、人群等重量简化到壳槽垂直段顶部的垂直集中力;

$\gamma$ —水的容重, 取为 $1t/m^3$ 。

将(2)式代入(1)式, 稍加整理后得:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\pi^2}{D^2} \sum_{i=k-1}^{i=k+1} \gamma'_{k,i} \bar{\sigma}_i + \sum_{i=k-2}^{i=k+2} S'_{k,i} \bar{M}_i + R'_k = 0 \\ \sum_{i=k-2}^{i=k+2} [S'_{k,i} \bar{\sigma}_i + \frac{\pi^2}{D^2} \sum_{i=k-1}^{i=k+1} b'_{k,i} \bar{M}_i] = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{式中 } \bar{\sigma}_i &= \frac{\sigma_i}{R} \\ \bar{M}_i &= \frac{M_i}{R^3} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \gamma'_{k,i} &= \gamma_{k,i} \\ S'_{k,i} &= S'_{k,i} \cdot R^2 \\ b'_{k,i} &= b_{k,i} \cdot R^4 \\ R'_k &= \frac{R_k}{R} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

比较[1][2][3]中的相应公式可知: (3)式中的主<sup>阵</sup>付系数 $\gamma'_{k,i}$ 、 $S'_{k,i}$ 、 $b'_{k,i}$ 和自由项 $R'_k$ , 只与A、B、C、D、E、F六个无量纲常数有关, 与壳槽的计算半径R无关。由此可以推知, (3)式中的主元 $\bar{\sigma}_i$ 、 $\bar{M}_i$ 亦与壳槽的计算半径R无关, 它等于槽壳计算半径为1米时, 跨中截面i棱处的纵向正应力和横向弯矩, 简称单位纵向正应力和单位横向弯矩。 $\bar{\sigma}_i$ 、 $\bar{M}_i$ 求到后, 对“计算半径”为任意值的壳槽, 只要A、B、C、D、E、F六个无量纲常数相同, 其跨中截面i棱处的纵向正应力和横向弯矩, 可由(4)式推出:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_i &= \bar{\sigma}_i \cdot R \\ M_i &= \bar{M}_i \cdot R^3 \end{aligned} \right\} \quad (4')$$

有了(4)'式, 就可在计算中暂不考虑计算半径R的影响(取 $R=1$ ), 先求解 $\bar{\sigma}_i$ 、 $\bar{M}_i$ 。这可使计算大为简化, 也使绘制空间计算图成为可能。

为绘制空间计算图, 先根据经验假定:

(1) 侧梁尺寸 $a=2t=2BR$ ,  $b=1.5t=1.5BR$ ,  $C=t=BR$ , 于是 $C=\Delta F_0/R^2=a(2b+c)/2R^2=4B^2$ ;

(2)  $E=t^3/J_0=80$ ;

(3)  $F=G_0/\gamma R^2=15B^2$ 。

再按表1给出的A、B、D组合, 分别上机电算。

为提高计算精度,我们按U形壳槽的内接27面棱柱壳(圆弧段每 $7.5^\circ$ 为一折板)推导公式进行计算。

表 1

B	A	D
0.04	0.3	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16
	0.4	
	0.5	
0.08	0.3	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16
	0.4	
	0.5	
0.12	0.3	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16
	0.4	
	0.5	

根据计算成果,分别绘出图1—1、图1—2,图2—1、图2—2,图3—1、图3—2六张图。图1—i,图2—i,图3—i分别对应于 $B=0.04, 0.08, 0.12$ 的情况;图i—1给出 $\overline{M}_k, \overline{\sigma}_k$ 与D的关系曲线;图i—2给出 $\overline{N}_k, \overline{\tau}_k, \overline{Z}$ 与D的关系曲线。这里:

$\overline{N}_k-R=1$ 米时,槽壳跨中截面K棱处的横向轴力,简称单位横向轴力;

$\overline{\tau}_k-R=1$ 米时,槽壳支座截面最大剪应力,简称单位最大剪应力;

$\overline{Z}-R=1$ 米时,槽壳跨中截面受拉区总拉力,简称单位总拉力。

不难证明(参看[2][3]中相应公式),当 $R \neq 1$ 米时,有:

$$\left. \begin{aligned} N_k &= \overline{N}_k \cdot R^2 \\ \tau_k &= \overline{\tau}_k \cdot R \\ Z &= \overline{Z} \cdot R^3 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

利用公式(4)'、(6)和图1~3,对计算半径R、壳槽厚t、计算垂直段高度h、计算跨度l为任意值的壳槽,只要C、E、F三个无量纲常数符合前述假定,经简单内插后,可方便的求得 $\sigma_k, M_k, N_k, \tau_k, Z$ 等在渡槽设计中需要的诸广义力。

## 当C、E、F与假定不同时对计算结果的修正

1. 当 $E \neq 80$ 时,对计算结果的修正(简称 $\Delta_k$ 修正)。

E是反映横杆抗弯能力的一个无量纲常数。当E在实际可能范围内变动时,只对单

位横向弯矩有影响,对其它单位广义力 $\bar{\sigma}_1$ 、 $\bar{N}_1$ 、 $\bar{Z}$ 、 $\bar{\tau}_x$ 等影响很小。计算指出,即使是单位横向弯矩,也只对靠近横杆的 $\bar{M}_0$ 、 $\bar{M}_1$ 影响较大,其余可忽略不计。以下只给出 $\bar{M}_0$ 、 $\bar{M}_1$ 的修正公式。

设

$$\Delta_x = (E - 80) \frac{\pi^2}{D^2 B^3} \times 10^{-3} \quad (7)$$

则根据求解对称方程组(3)的高斯消元过程(参看[2]、表4),经简单推导可知 $\bar{M}_0$ 、 $\bar{M}_1$ 的增量公式为:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \bar{M}_{0x} &= -\bar{M}_0 \frac{\Delta_x}{A_{0x} + \Delta_x} \\ \Delta \bar{M}_{1x} &= -\Delta \bar{M}_{0x} \cdot A_{1x} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$\Delta_x$ 修正后的单位横向弯矩 $\bar{M}_{0x}$ 、 $\bar{M}_{1x}$ 为:

$$\left. \begin{aligned} \bar{M}_{0x} &= \bar{M}_0 + \Delta \bar{M}_{0x} \\ \bar{M}_{1x} &= \bar{M}_1 + \Delta \bar{M}_{1x} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

(8)式中的 $A_{0x}$ 、 $A_{1x}$ ,为按高斯消元法求解对称方程组(3)时,回代计算 $\bar{M}_0$ 、 $\bar{M}_1$ 时的相应系数,在上机电算时顺便打出,可按相应的A、B、D由图7查取。

2.当 $C \neq 4B^2$ 时,对计算结果的修正(简称 $\Delta_c$ 修正)。

C是反映侧梁面积的一个无量纲常数。它主要对纵向压应力影响较大,对其它单位广义力也有一定影响。一般讲,在拟定侧梁尺寸时,应使 $C = \Delta F_0 / R^2$ 值尽量接近 $4B^2$ 。如果偏差不大于10%,可认为只对 $\bar{\sigma}_0$ 、 $\bar{\sigma}_1$ 的影响较大,对其它起控制作用的单位广义力影响不大,不再修正。以下只给出对 $\bar{\sigma}_0$ 、 $\bar{\sigma}_1$ 的修正公式。

设

$$\Delta_c = - \left( C - 4B^2 \right) \frac{\pi^2}{D^2} \quad (10)$$

则根据 $\Delta_x$ 修正时的同样理由,可得 $\bar{\sigma}_0$ 、 $\bar{\sigma}_1$ 的增量为:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \bar{\sigma}_{..} &= -\bar{\sigma}_{..} \frac{\Delta_c}{A_{..} + \Delta_c} \\ \Delta \bar{\sigma}_{1.} &= -\Delta \bar{\sigma}_{..} \cdot A_{1.} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$\Delta_c$ 修正后的单位纵向压应力为:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_{..} &= \bar{\sigma}_{..} + \Delta \bar{\sigma}_{..} \\ \bar{\sigma}_{1.} &= \bar{\sigma}_{1.} + \Delta \bar{\sigma}_{1.} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

同样,(11)式中的 $A_{..}$ 、 $A_{1.}$ 可按相应的A、B、D值由图8查取。

3.当 $F \neq 15B^2$ 时,对计算结果的修正(简称 $\Delta_f$ 修正)。

F是反映壳槽垂直段顶部垂直集中力 $G_v$ 大小的一个无量纲常数。它的变化影响到整个壳槽的应力场。不可能用几个简单的修正公式来解决这个问题。我们对 $F = 1.0$ 、 $C =$

4B<sup>2</sup>、E = 80，自重和水重皆不考虑的情况，重新对表1给出的A、B、D组合，分别上机计算。按计算成果绘成图4-1、图4-2，图5-1、图5-2，图6-1、图6-2六张图。图4-i、5-i、6-i分别对应于B = 0.04、0.08、0.12的情况。图i-1给出单位广义力 $\overline{\sigma}_{kF}$ 、 $\overline{M}_{kF}$ 与D的关系曲线。图i-2给出单位广义力 $\overline{N}_{kF}$ 、 $\overline{Z}$ 、 $\overline{\tau}_{mF}$ 与D的关系曲线。根据力的独立作用原理，可以给出 $\Delta_r$ 修正的公式为：

$$\text{设 } \Delta_r = F - 15B^2 \tag{13}$$

$$\text{则 } \left. \begin{aligned} \Delta \overline{\sigma}_{kF} &= \Delta_r \cdot \overline{\sigma}_{kF}' \\ \Delta \overline{M}_{kF} &= \Delta_r \cdot \overline{M}_{kF}' \\ \Delta \overline{N}_{kF} &= \Delta_r \cdot \overline{N}_{kF}' \\ \Delta \overline{\tau}_{mF} &= \Delta_r \cdot \overline{\tau}_{mF}' \\ \Delta \overline{Z} &= \Delta_r \cdot \overline{Z}' \end{aligned} \right\} \tag{14}$$

$\Delta_r$ 修正后的单位广义力为：

$$\left. \begin{aligned} \overline{\sigma}_{kF} &= \overline{\sigma}_k + \Delta \overline{\sigma}_{kF} \\ \overline{M}_{kF} &= \overline{M}_k + \Delta \overline{M}_{kF} \\ \overline{N}_{kF} &= \overline{N}_k + \Delta \overline{N}_{kF} \\ \overline{\tau}_{mF} &= \overline{\tau}_m + \Delta \overline{\tau}_{mF} \\ \overline{Z} &= \overline{Z} + \Delta \overline{Z} \end{aligned} \right\} \tag{15}$$

需要指出：(15)式中的后两式，从理论上讲是不够严密的。但因增量一项占的比重很小，而且在相加的二种情况下，相加二广义力的作用域，只是在D很小时才稍有偏差，其余情况则基本吻合。因此，这样直接相加，多数情况是精确的，只有在个别情况下，才出现与实际偏差不大的结果。

### 应用空间计算图时应注意的几个问题

1.按空间计算图查取各单位广义力时，D不需插值，A可直线插值，至于B，根据我们的经验，在查取 $\overline{M}_k$ 、 $\overline{Z}$ 、 $\overline{N}_k$ 或 $\overline{M}_{kF}$ 、 $\overline{Z}'$ 、 $\overline{N}_{kF}$ 时，可按直线插值；在查取 $\overline{\sigma}_k$ 、 $\overline{\tau}_m$ 或 $\overline{\sigma}_{kF}$ 、 $\overline{\tau}_{mF}$ 以及 $A_{0E}$ 、 $A_{1E}$ 、 $A_{00}$ 、 $A_{10}$ 时，可按下列式插值：

$$y_B = k_1 y_{0.04} + k_2 y_{0.08} + k_3 y_{0.12} \tag{16}^*$$

$$\text{式中 } \left. \begin{aligned} k_1 &= 0.5 - \frac{0.1}{B} + \frac{0.0048}{B^2} \\ k_2 &= -4 + \frac{0.64}{B} - \frac{0.0192}{B^2} \\ k_3 &= 4.5 - \frac{0.54}{B} + \frac{0.0144}{B^2} \end{aligned} \right\} \tag{17}$$

\*与本式相应的插值曲线为  $Y = a_0 + \frac{a_1}{B} + \frac{a_2}{B^2}$ 。用本式插值，在所给情况下，比拉氏插值公式精度高。

B—计算壳槽的 $t/R$ 值;

$y_{0.04}$ ,  $y_{0.08}$ ,  $y_{0.12}$ —分别为 $B=0.04, 0.08, 0.12$ 时, 按空间计算图查得的相应单位广义力。

计算指出, 按上述方法插值, 偏差多不超过2%。

2. 因计算 $\overline{\sigma}_k'$ 、 $\overline{M}_k'$ 时的C、E值与计算 $\sigma_k$ 、 $M_k$ 时相同, 这就可能将完成 $\Delta_f$ 修正后的结果, 一次进行 $\Delta_c$ 或 $\Delta_e$ 修正。这时公式(8)、(9)中的 $\overline{M}_0$ 、 $\overline{M}_1$ 和公式(11)、(12)中的 $\overline{\sigma}_0$ 、 $\overline{\sigma}_1$ 等应换为(15)式中的 $\overline{\sigma}_{kf}$ 、 $\overline{M}_{kf}$ 。这比分别进行 $\Delta_e$ 、 $\Delta_c$ 修正后, 再进行 $\Delta_f$ 修正, 更为简便。

3. 在空间计算图中, 各单位广义力的注脚为将壳槽按内接27面棱柱壳计算时, 该力所在棱的序号, 即: 0号棱在垂直段的计算顶点, 1号棱在 $0^\circ$ , 3号棱在 $15^\circ$ , 5号棱在 $30^\circ$ , 9号棱在 $60^\circ$ , 13号棱在 $90^\circ$ , 亦即槽壳底部中点,  $N_c$ 为横杆轴力。

〔例题〕

已知某U形薄壳渡槽 $R=1.55\text{m}$ ,  $A=0.45$ ,  $B=0.0645$ ,  $C=0.018$ ,  $D=7.0$ ,  $E=50$ ,  $F=0.20$ ; 试用空间计算图求解 $\sigma_0$ 、 $\sigma_1$ 、 $\sigma_{13}$ ,  $M_0$ 、 $M_1$ 、 $M_{13}$ ,  $N_0$ ,  $N_{13}$ ,  $Z$ ,  $\tau_k$ 。

解:

1. 按 $A=0.45$ ,  $D=7.0$ ,  $B=0.04, 0.08, 0.12$ , 由空间计算图1~3查取各单位广义力 $\overline{X}$ , 填入表2相应栏。

2. 按 $B=0.45$ ,  $D=7.0$ ,  $B=0.04, 0.08, 0.12$ , 由空间计算图4~6查取各单位广义力 $\overline{X}'$ 填入表2相应栏。

3. 进行 $\Delta_f$ 修正。

由公式(13)得:

$$\Delta_f = F - 15B^2 = 0.20 - 15B^2 = \begin{cases} 0.176 & B=0.04 \\ 0.104 & B=0.08 \\ -0.016 & B=0.12 \end{cases}$$

将 $\Delta_f$ 代入公式(14)算得各单位广义力的增量 $\Delta \overline{X}_f$ , 填入表2相应栏。

由公式(15)计算 $\Delta_f$ 修正后的各单位广义力 $\overline{X}_f$ , 填入表2相应栏。

4. 按公式(16)内插 $\overline{\sigma}_{kf}$ 、 $\overline{\tau}_{kf}$ , 按直线内插 $\overline{M}_{kf}$ 、 $\overline{N}_{kf}$ 、 $\overline{Z}_f$ , 得相应于 $B=0.0645$ 时的 $\overline{X}_f$ , 填于表2相应栏。

按(16)式插值时, 由(17)式算得 $K_1=0.1034$ 、 $K_2=1.3074$ 、 $K_3=-0.4108$ 。

5. 进行 $\Delta_e$ 修正。

按 $A=0.45$ ,  $D=7.0$ ,  $B=0.04, 0.08, 0.12$ , 由图7查得相应的 $A_{0e}$ 、 $A_{1e}$ , 再按(10)式内插, 得相应于 $B=0.0645$ 时的 $A_{0e}=67.3$ ,  $A_{1e}=-0.57$ 。

由公式(7)得:

$$\Delta_e = (E - 80) \frac{\pi^2}{D^2 B^3} \times 10^{-8} = (50 - 80) \frac{\pi^2 \times 10^{-8}}{7^2 \times (0.0645)^3} = -22.5$$

由公式(8)得:

$$\Delta \overline{M}_{0e} = -\overline{M}_{0f} \frac{\Delta_e}{A_{0e} + \Delta_e} = -(-0.00363) \frac{-22.5}{67.3 - 22.5} = -0.00182 \text{ t-m/M}^3$$

计算内容	B	项目	广 义 力										
			$\sigma_0$	$\sigma_1$	$\sigma_{13}$	$M_0$	$M_1$	$M_{13}$	$N_0$	$N_{13}$	Z	$\tau_M$	
0.04		$\bar{X}$	-395	-150	230	-0.0028	0.0420	-0.0316	-0.024	1.686	16.6	93.0	
		$\bar{X}'$	-321	-78	103	-0.0052	0.0710	-0.0735	-1.00	0.354	11.7	66.1	
		$\Delta\bar{X}_F$	-56.5	-13.7	18.1	-0.0009	0.0125	-0.0129	-0.176	0.062	2.06	11.6	
		$\bar{X}_F$	-451.5	-163.7	248.1	-0.0037	0.0545	-0.0445	-0.200	1.748	18.7	104.6	
0.08		$\bar{X}$	-169	-67	139	-0.0030	0.0450	-0.0355	-0.096	1.815	18.8	52.8	
		$\bar{X}'$	-104	-34	73	-0.0056	0.0751	-0.0815	-1.00	0.41	11.0	30.5	
		$\Delta\bar{X}_F$	-10.8	-3.5	7.6	-0.00058	0.0078	-0.0085	-0.104	0.043	1.14	3.17	
		$\bar{X}_F$	-179.8	-70.5	146.6	-0.00358	0.0528	-0.0440	-0.200	1.858	19.9	56.0	
0.12		$\bar{X}$	-108.5	-40	107	-	-	-	-	-	-	40.7	
		$\bar{X}'$	-54.5	-17.7	49.0	-	-	-	-	-	-	19.9	
		$\Delta\bar{X}_F$	0.87	0.28	-0.78	-	-	-	-	-	-	-0.3	
		$\bar{X}_F$	-107.6	-39.7	106.2	-	-	-	-	-	-	40.4	
插 值	0.0645			-237.5	-92.8	173.7	-0.00363	0.0535	-0.0442	-0.200	1.815	19.4	67.4
$\Delta_F$ 修正	0.0645			-	-	-	-0.00182	-0.00104	-	-	-	-	-
$\Delta_C$ 修正	0.0645			9.7	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-
修正后单位力	0.0645			-227.8	-87.3	173.7	-0.00545	0.0525	-0.0442	-0.200	1.815	19.4	67.4
按R折算后广义力		$\bar{X}_S$	-353.1	-135.3	269.2	-0.0203	0.196	-0.165	-0.481	4.36	72.2	104.2	
直接电算广义力		$\bar{X}_S'$	-359.1	-137.4	267.7	-0.0203	0.194	-0.164	-0.481	4.34	71.7	100.3	
偏 差		-	-1.6%	-1.6%	+0.6%	0%	+1%	-0.7%	0%	+0.5%	+0.7%	+3.9%	

$$\Delta \bar{M}_{1E} = -\Delta \bar{M}_{0E} \cdot A_{1E} = -(-0.00182) \cdot (-0.57) = -0.00104 \text{ t} \cdot \text{m}/\text{M}^3$$

6. 进行  $\Delta_c$  修正。

$$\text{因 } \frac{C-4B^2}{C} = \frac{0.018-4 \times 0.0645^2}{0.018} = 7.56\% < 10\%, \text{ 所以, 可以只对 } \bar{\sigma}_0, \bar{\sigma}_1 \text{ 进行}$$

$\Delta_c$  修正。

按同样方法由图 8 查取, 并按式 (16) 内插的  $A_{0c} = -0.0064$ 、 $A_{1c} = -0.563$ 。

由 (10) 式得:

$$\Delta_c = -(C-4B^2) \frac{\pi^2}{D^2} = -(0.018-4 \times 0.0645^2) \times \frac{\pi^2}{7^2} = -0.0002737$$

由 (11) 式得:

$$\Delta \bar{\sigma}_{0c} = -\bar{\sigma}_{0E} \frac{\Delta_c}{A_{0c} + \Delta_c} = -(-237.5) \cdot \frac{-0.0002737}{-0.0064-0.0002737} = 9.7 \frac{\text{t}/\text{m}^2}{\text{M}};$$

$$\Delta \bar{\sigma}_{1c} = -\Delta \bar{\sigma}_{0c} \cdot A_{1c} = -9.7 \cdot (-0.563) = 5.5 \frac{\text{t}/\text{m}^2}{\text{M}}。$$

7. 将  $\Delta \bar{X}_E$ 、 $\Delta \bar{X}_c$  填入表 2 相应栏, 并与  $B=0.0645$  时的  $\bar{X}_E$  相加, 得全部修正后的单位广义力  $\bar{X}_s$ , 填入表 2 相应栏。

8. 将单位广义力  $\bar{X}_s$  按 (4)' 和 (6) 式换算成  $R=1.55$  时的广义力  $X_s$ , 并与本壳槽直接电算值  $X_s'$  比较, 可见除  $\tau_M$  偏差较大 (+3.9%) 外, 其余偏差都不超过  $\pm 2\%$ 。这种偏差一般是可允许的。

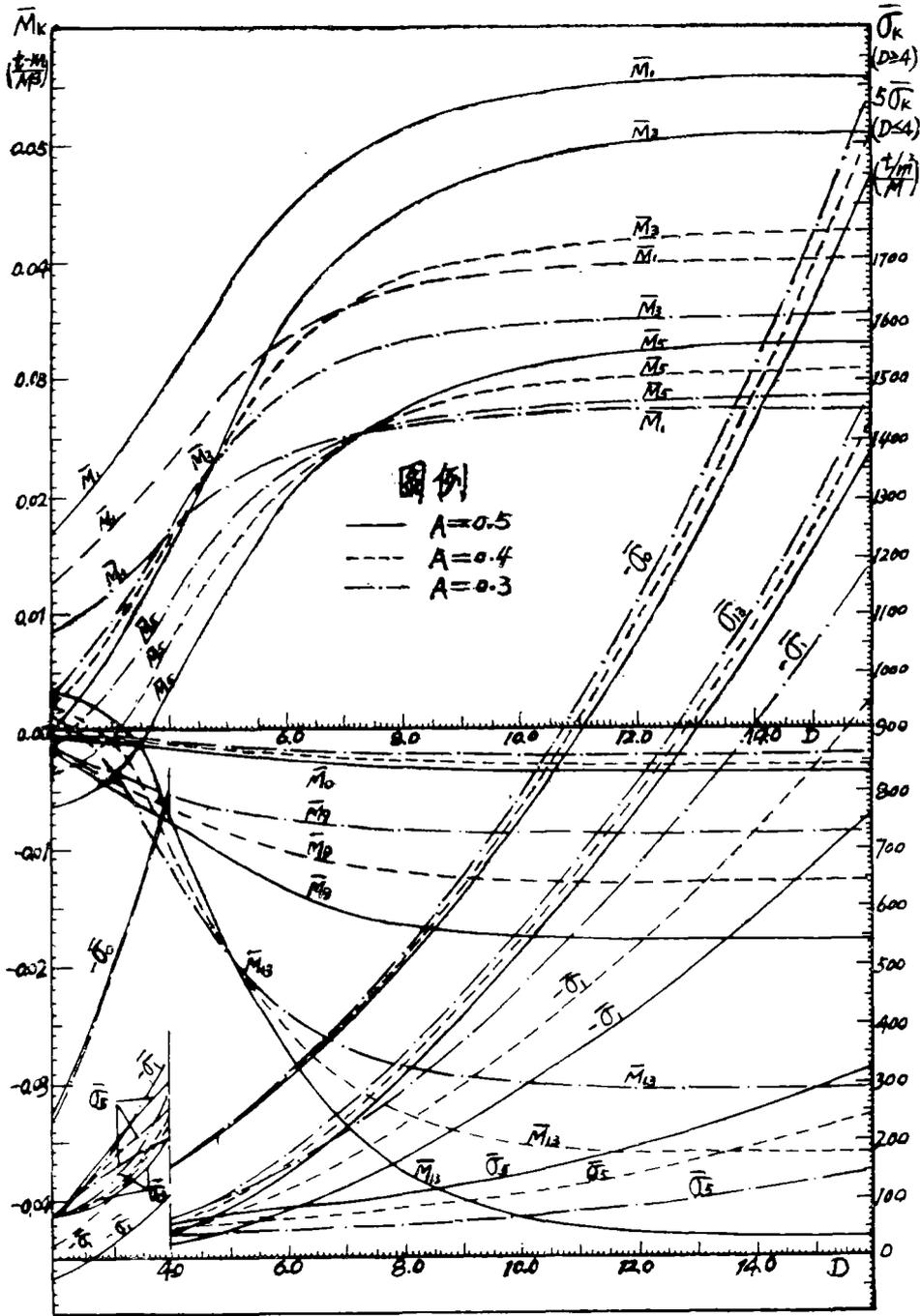


图1-1  $\bar{M}_k, \bar{\sigma}_k-D$ 关系图 (B = 0.04)

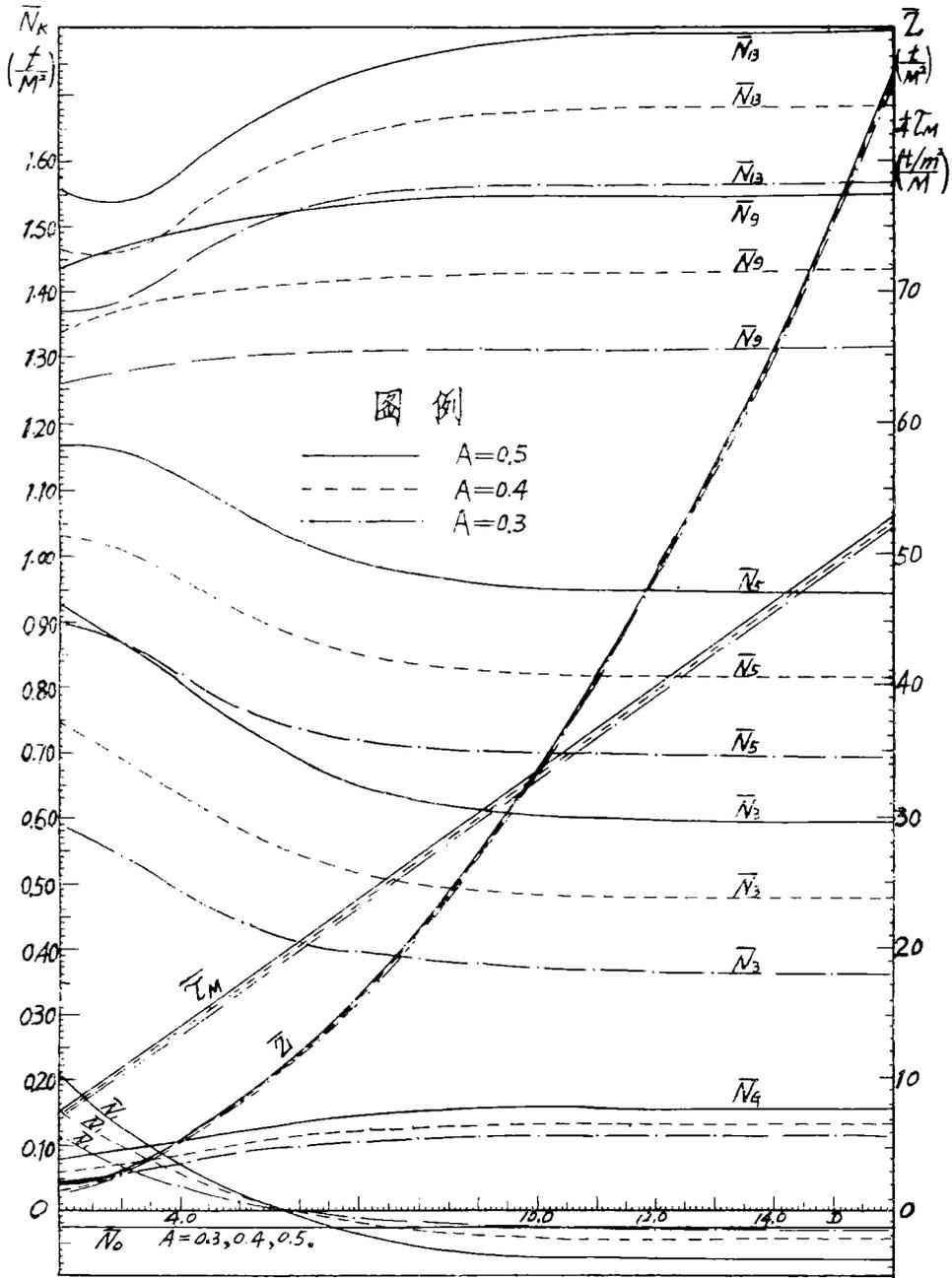


图1-2  $\bar{N}_K$ 、 $\bar{Z}$ 、 $\bar{\tau}_M$ - $\bar{D}$ 关系图 (B = 0.04)

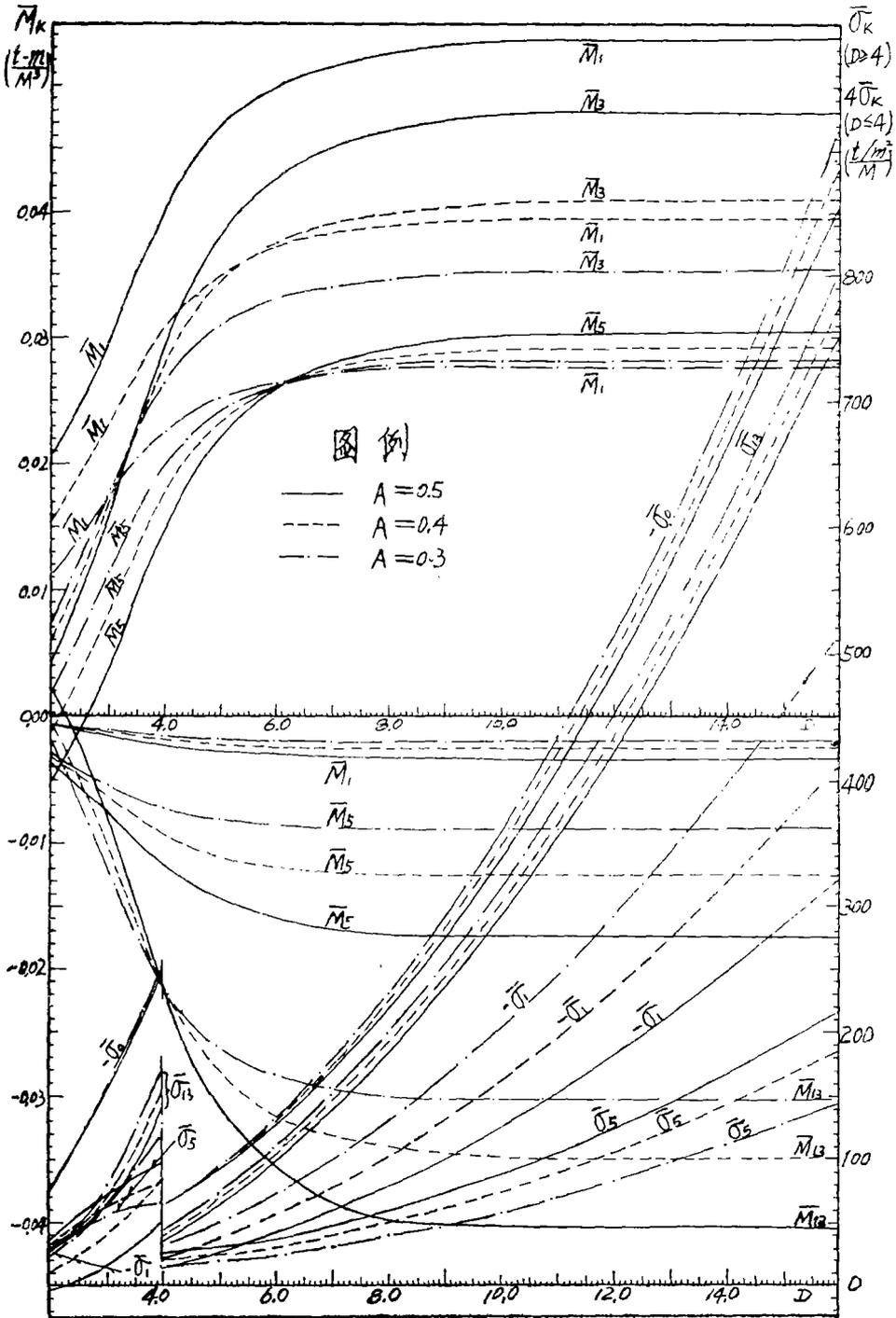


图2-1  $\bar{M}_K, \bar{\sigma}_K-D$ 关系图 (B=0.08)

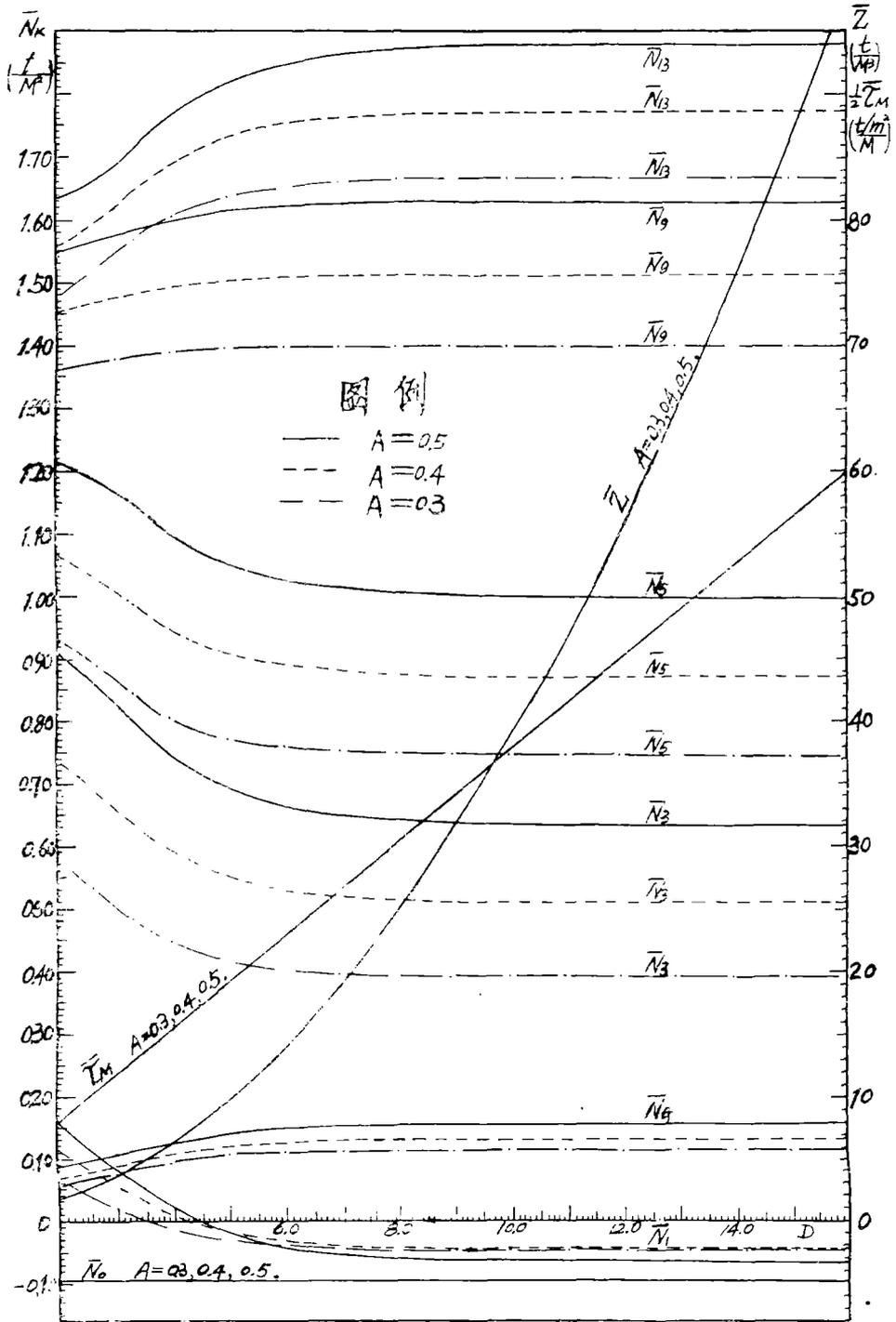


图2-2  $\bar{N}_k, \bar{Z}, \bar{\tau}_M-D$ 关系图 (B=0.08)

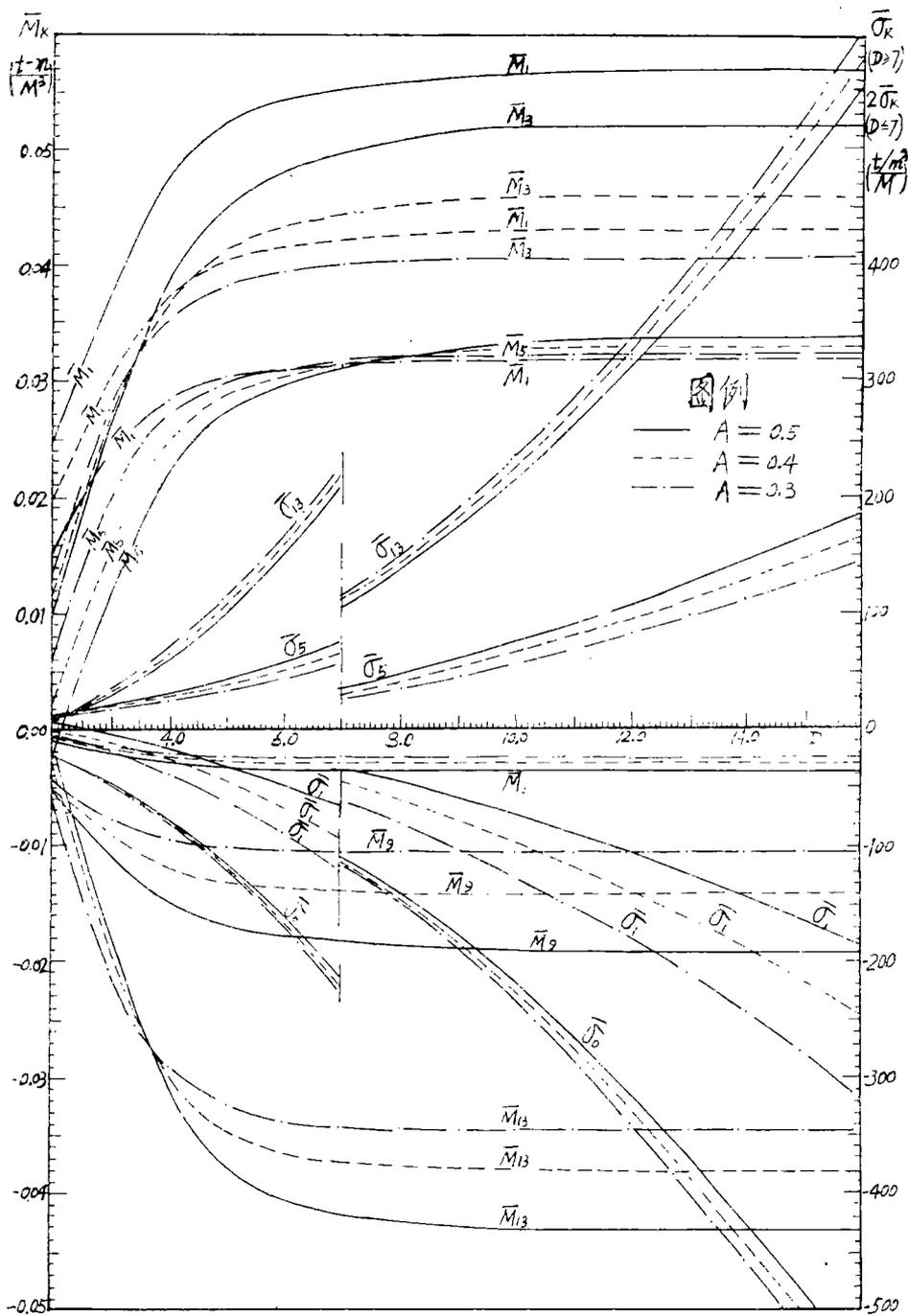


图3-1  $\bar{M}_k, \bar{\sigma}_k - D$ 关系图 (B = 0.12)

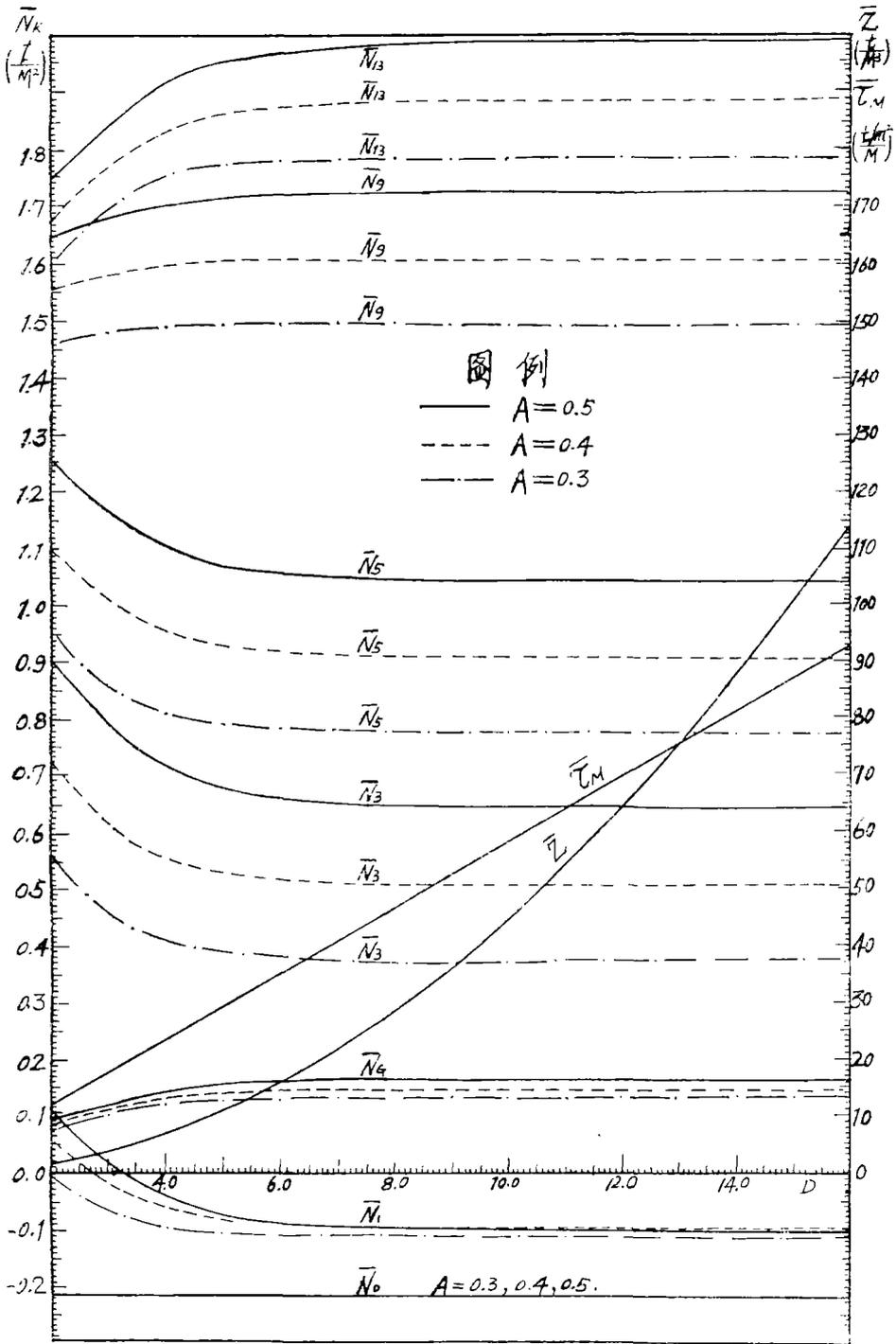


图3-2  $\bar{N}_k$ 、 $\bar{Z}$ 、 $\bar{\tau}_M$ -D关系图 (B = 0.12)

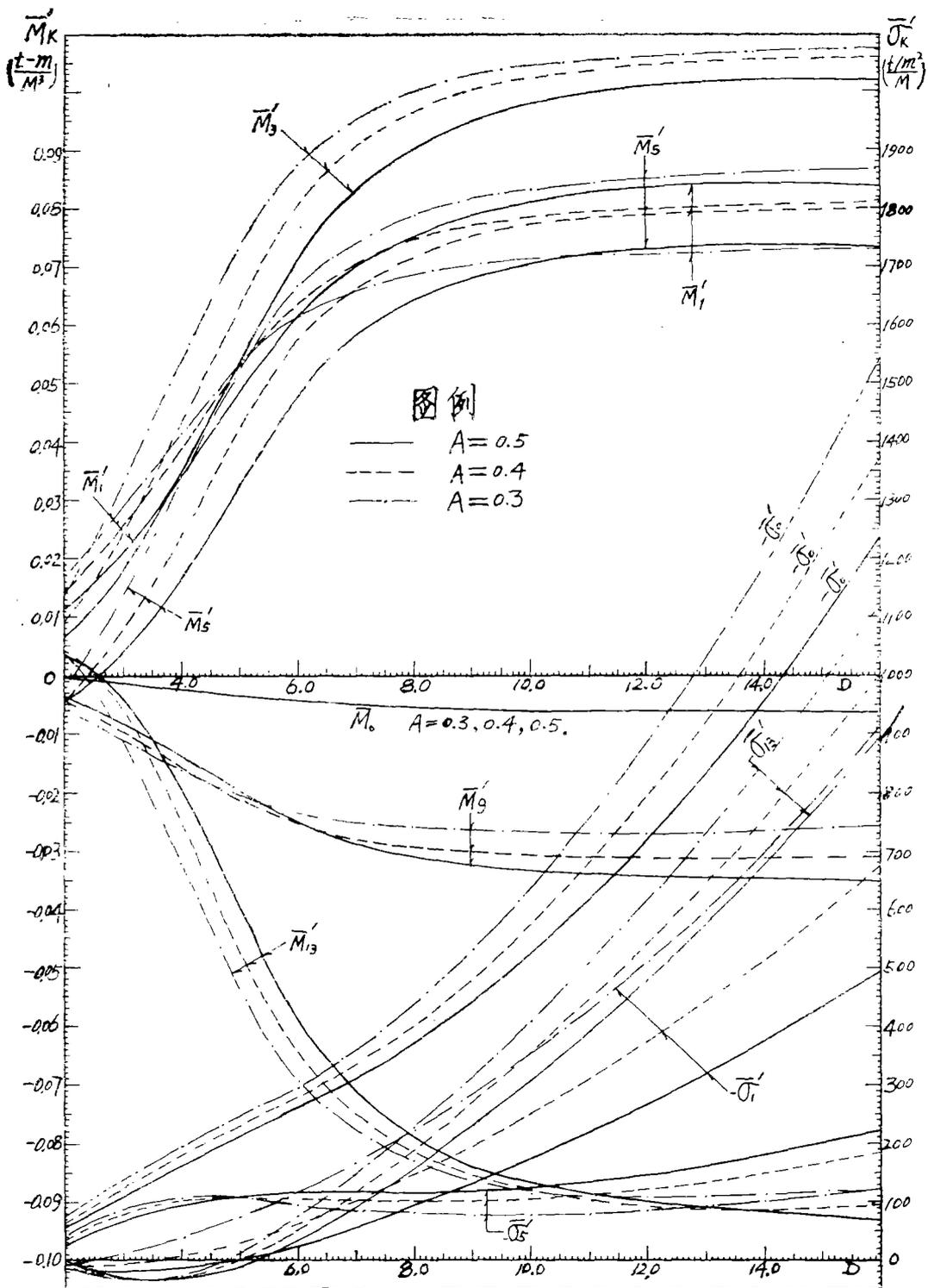


图4-1  $\bar{M}'_K, \bar{\sigma}'_K - D$ 关系图 ( $B = 0.04$ )



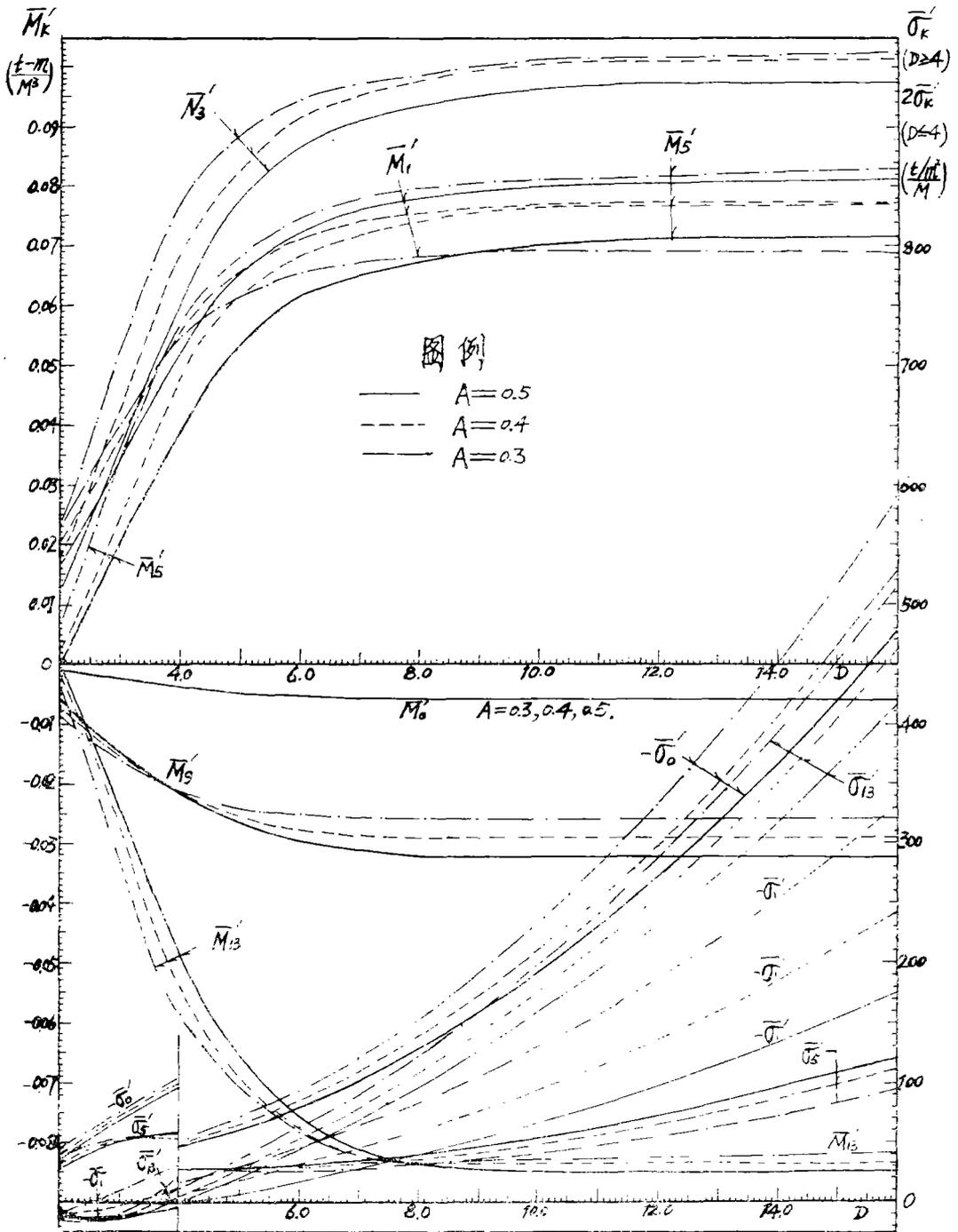


图5-1  $\bar{M}'_k$ 、 $\bar{\sigma}'_k$ -D关系图 (B=0.08)

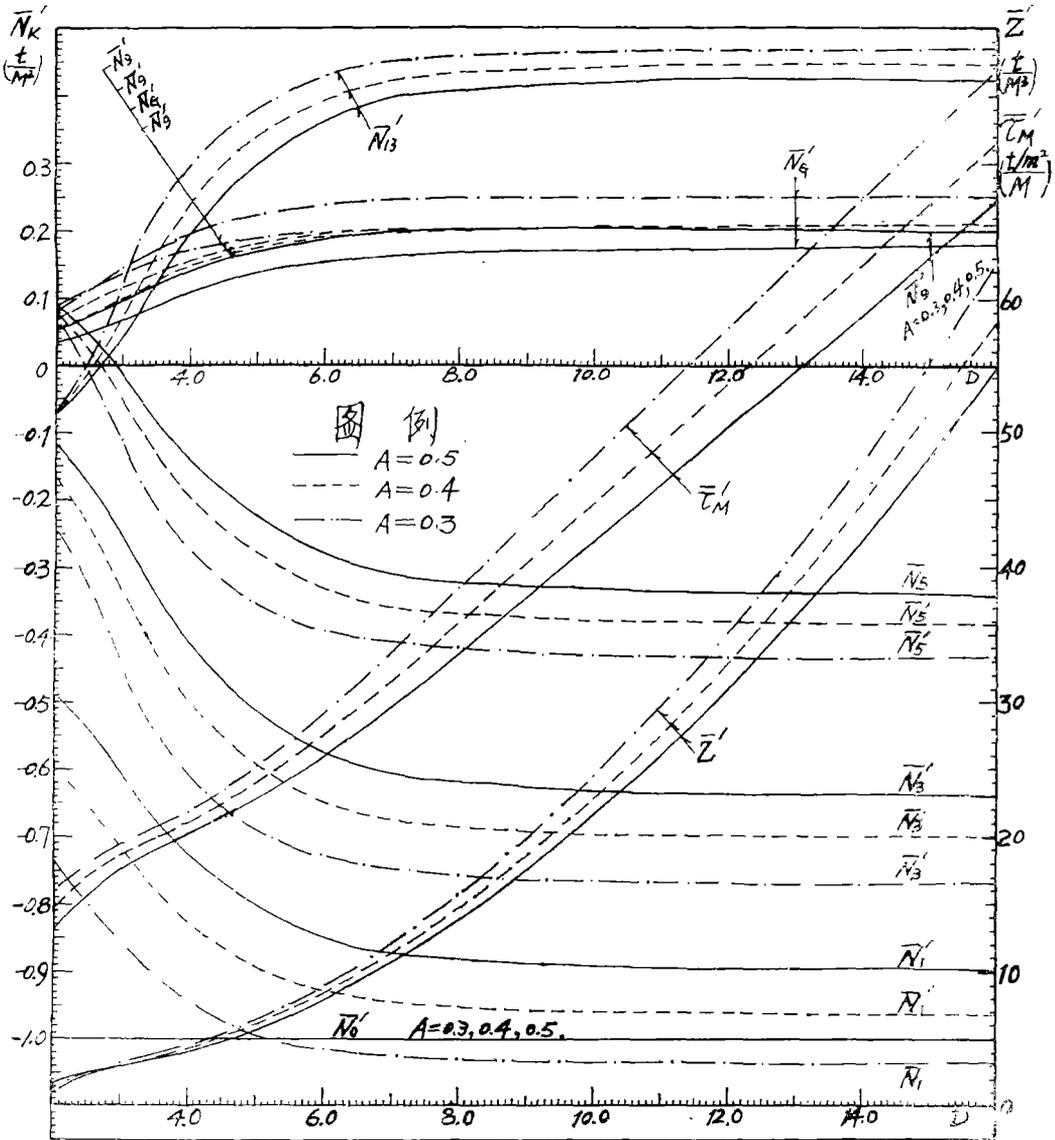


图5-2  $\bar{N}_k'$ 、 $\bar{Z}'$ 、 $\bar{\tau}_M'$ - $D$ 关系图 (B = 0.08)

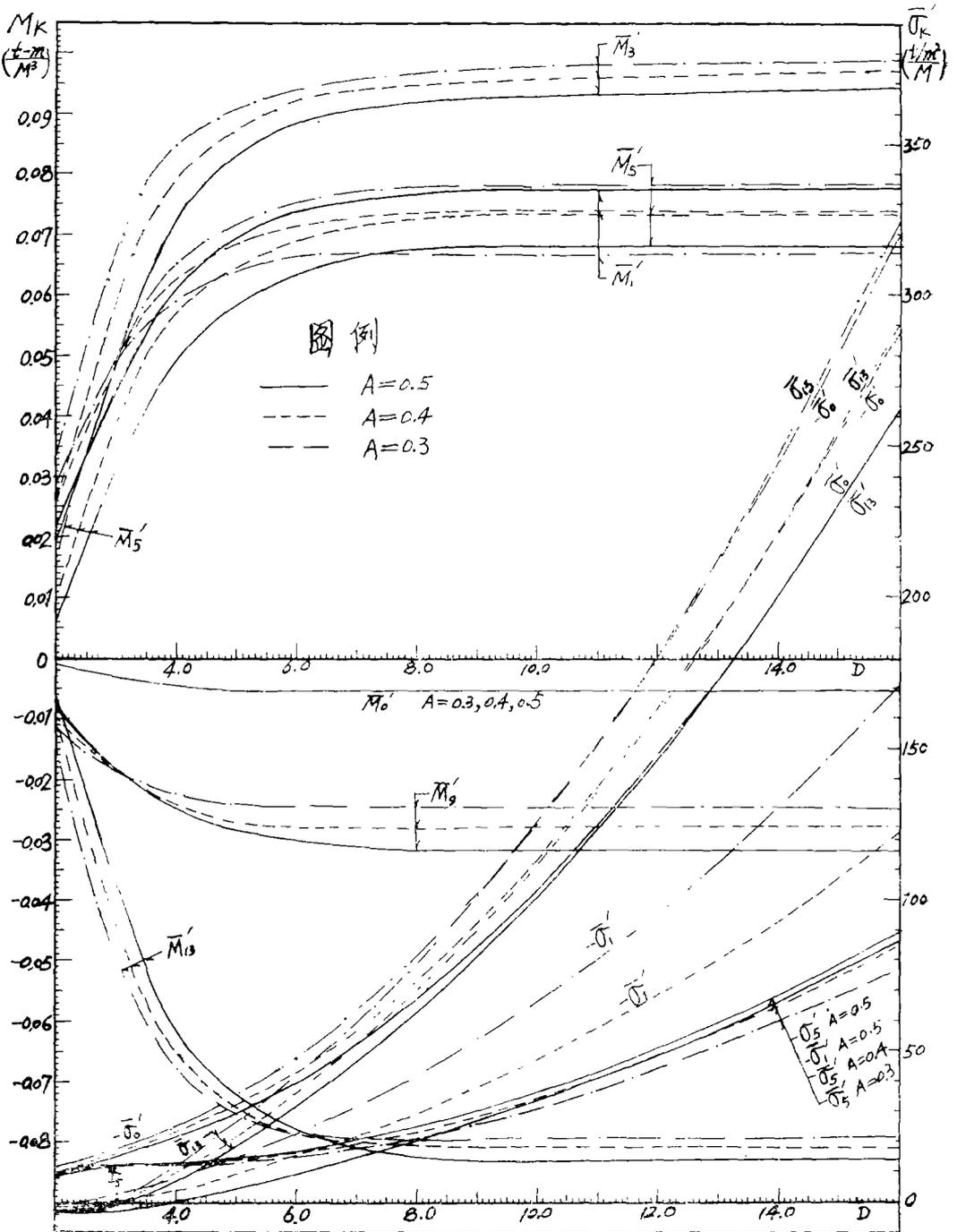


图6-1  $\bar{M}_x'$ 、 $\bar{\sigma}_x'$ -D关系图 (B=0.12)



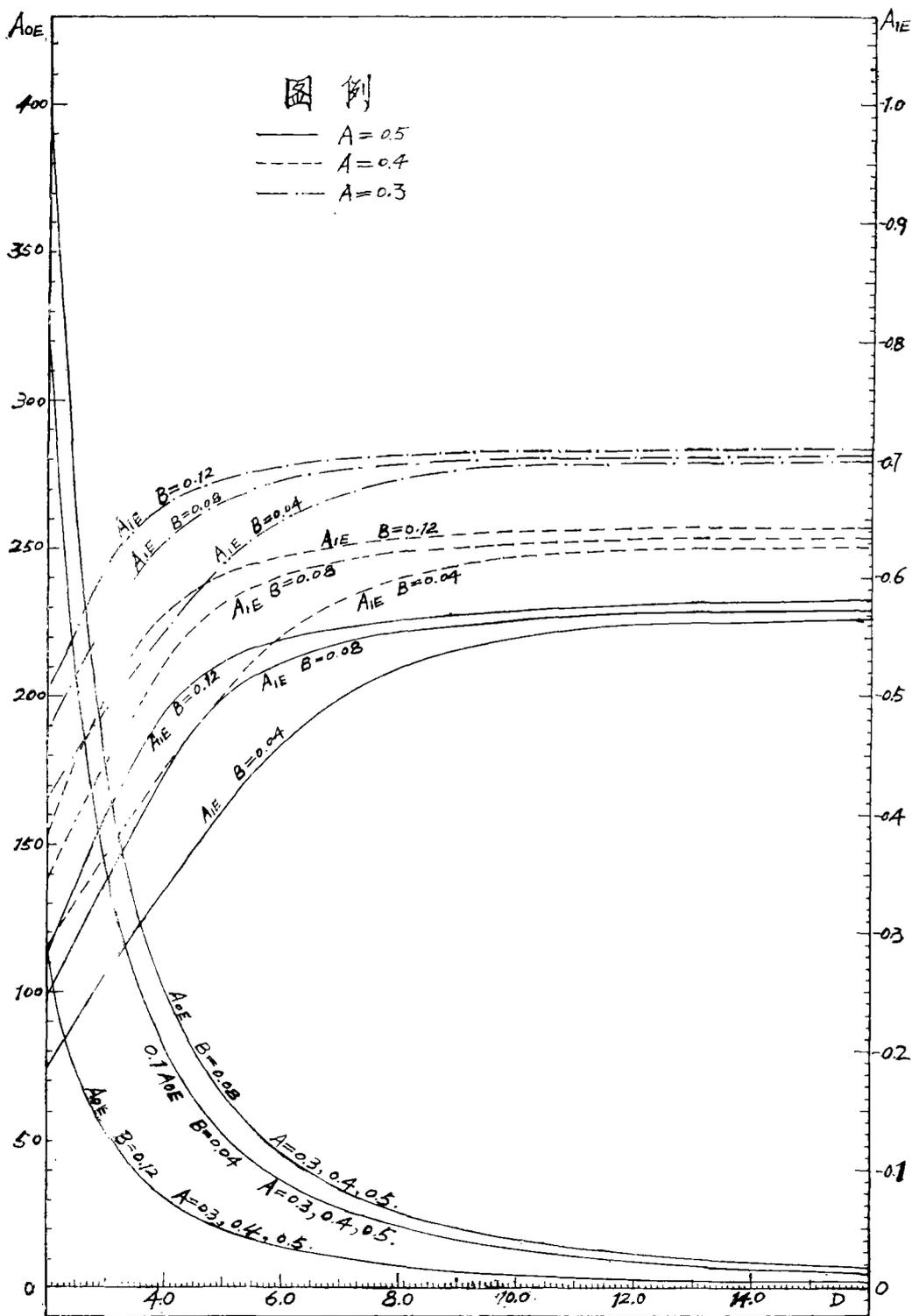
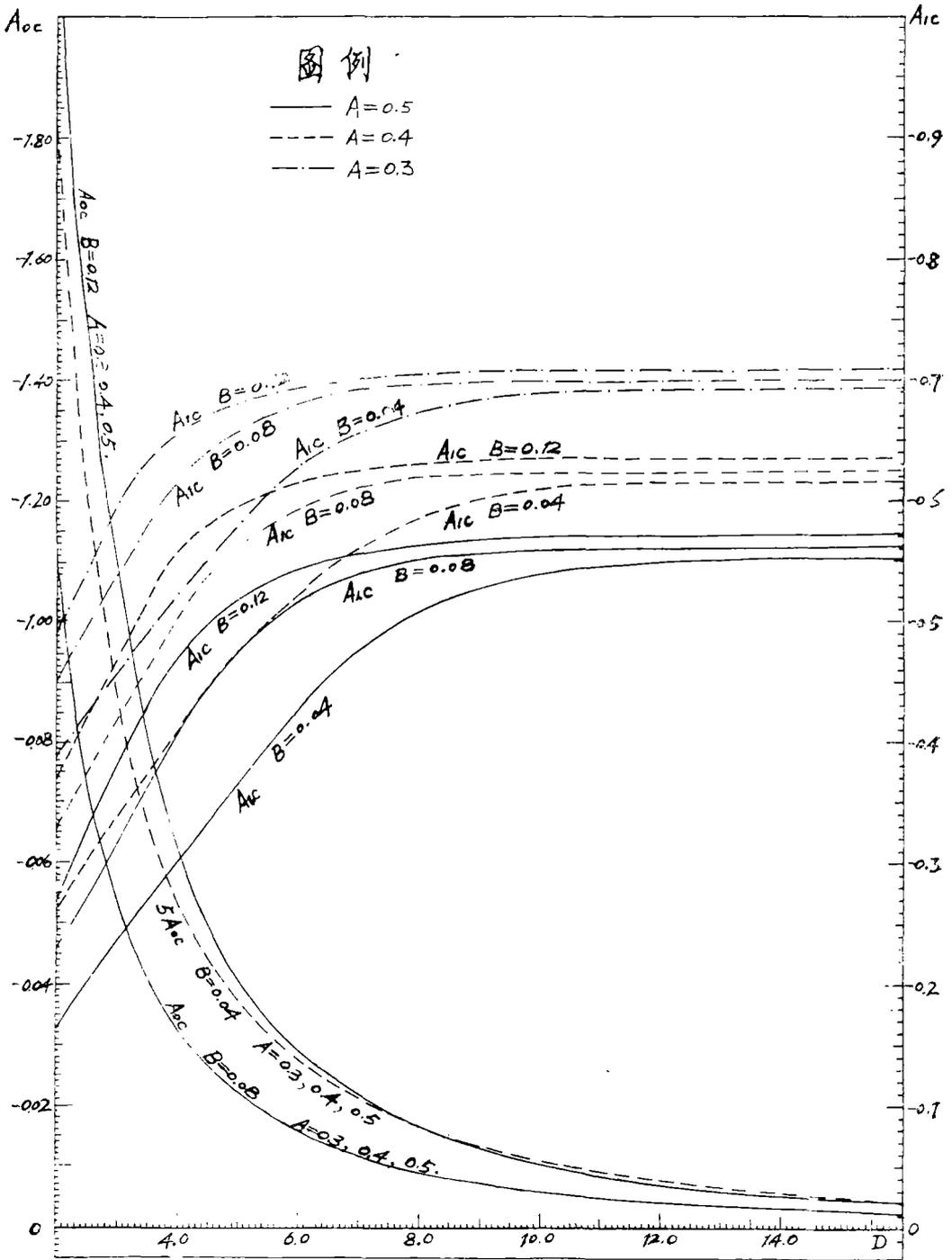


图7  $A_{0E}$ 、 $A_{1E}$ — $D$ 关系图



### 参考文献

- [1] 于志秋: “U型薄壳渡槽的空间算法”, 西北农学院水利系, 1974年, (内部资料)。
- [2] 于志秋: “U型薄壳渡槽的简化空间算法”, 《西北农学院学报》, 1981年, 第2期。
- [3] 于志秋: “U形薄壳渡槽的空间算法及其简化”, 《灌溉渠系建筑物科研设计论文集》(第一集), 1982年。
- [4] 武汉水利电力学院、河南陆浑灌区洛阳地区工程指挥部: “U形渡槽壳体理论算法”, 1978年, (内部资料)。
- [5] 武汉水利电力学院农水系: “简支式U形槽身壳体理论算法”, 1979年, (内部材料)。

## Space-calculating Chart for U-shaped Thin Shell Aqueduct and Its Method of Application

Yu Zhiqiu

(Hydraulic Engineering Department, Northwestern  
College of Agriculture)

### Abstract

In accordance with the basic principle of “a simplified method of space calculation”<sup>[2]</sup>, the U-shaped cylindrical shell was replaced by the incrimed prism shell with 27 sides on the basis of which equations were established and the computer program was also worked out. A series of calculations were done by the computer. Thus, the curve family was drawn in the terms of calculated results, i. e. “Space-calculating chart”. In this way, any kind of simply-supported U-shaped thin shell aqueducts with different sizes can be easily analysed by means of the “space-calculating chart” through simple conversion. The method is so simple and accurate that it can meet the needs of practical use.