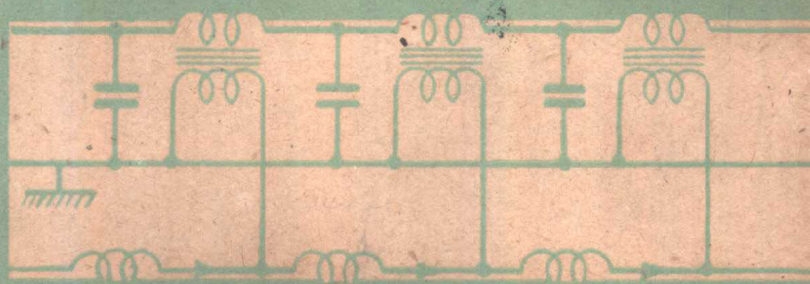


86.2/083  
SQD

第

# 杆件体系的电模拟

苏联高等教育部顿河罗斯托夫建筑工程学院



建筑工程出版社

苏联高等教育部  
顿河罗斯托夫建筑工程学院  
学院论文集

第十一册

杆件体系的电模拟

沈阳铝镁设计研究院 译

建筑工程出版社出版

本书系论文集，主要阐述用电模拟计算杆件体系的理论研究  
和試驗情况。

书中探讨了模拟的方法，并举出了说明梁和框架以电比拟形  
式模拟主要计算参数的例子。

本书供设计人员、科学工作者及研究人员应用。

本书由沈阳铝镁设计研究院专家工作集体翻译，楊友义工  
程师等校訂。

Министерство высшего образования ссср  
Ростовский-на-Дону инженерно-строительный институт  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ  
Госстройиздат  
Москва—1958

## 杆件体系的电模拟

沈阳铝镁设计研究院 译

\*

---

|            |              |        |
|------------|--------------|--------|
| 1961年4月第1版 | 1961年4月第1次印刷 | 3,055册 |
|------------|--------------|--------|

850×1168 1/32 • 110千字 • 印张4<sup>6</sup>/16 • 定价(10)0.69元

建筑工程出版社印刷厂印刷·建筑工程出版社发行部发行·书号:15040·2090

---

建筑工程出版社出版(北京市西郊百万庄)

(北京市书刊出版业营业許可証出字第052号)

## 序 言

众所周知，在解决許多迫切的結構力学問題上需要花費大量的劳动力和時間。目前，特别是在平面框架和空間多层框架的計算方面，出版了一些內容丰富的文献，闡述简化这些課題的分析方法。

但是，現有的計算方法在极大程度上并不能把設計師和結構師从繁重的計算中解放出来。

近几年来，由于計算技术有了发展，解决这些問題有了新的途徑：在解决結構力学上的一些复杂問題时，完全能把設計師从計算工作中解放出来。在这方面，电模拟已开始用来解决結構力学的问题。近十年来，电模拟已在科学和技术各部門广泛使用。

苏联的科学家們正在竭尽全力研究电模拟的理論原理，以便大大簡化和加速解决結構力学上复杂的靜力和动力問題。这一理論的某些部分系頓河罗斯托夫建筑工程学院 (РИСИ) 和塔干罗格无綫电工程学院 (ТРТН) 的全体科学工作者分別在技术科学博士 К. К. 克罗皮亞和 Г. Е. 普霍夫教授领导下进行的。

兩組研究人員的主要工作方向是确定某些說明受弯杆件状态的結構力学方程式和包括电抗及有效电阻电路的欧姆定律，以及克希荷夫定律方程式間的相似点。特别是过去已經証明，在电工学中大家所熟悉的 T 形等效电路是弯曲杆件的电模拟，因为它们所描述的方程式是相似的。这种情况使得塔干罗格无綫电工程学院的全体科学工作者能够制造成計算平面杆件体系的电模拟计算机 (ЭМСС-1)。测量出我們所研究的杆件体系的电路中通过的电流和电压后，根据它們的数值，再利用比例系数就可分別求出杆件体系結点中的弯曲力矩和轉角。研究結果一部分发表在为

“梁和框架电模拟”的論文集中（塔干罗格，1956年）。

在本論文集中登載有上述两个單位的工作人員的文章，这些文章发展和丰富了上述論文集中的观念。一部分文章是說明靜力学方面的問題，而另一部分則是闡述結構物动力学方面的問題。

在К.К.克罗皮亞所写的“用电模拟法解决薄壁杆件約束扭轉的靜力学問題”一文中指出：三极T形等效电路可能是在約束扭轉条件下工作的开口截面和閉合截面薄壁杆件的模拟。这样就可以利用Г.Е.普霍夫和О.В.伊里因科根据三极等效电路的原理，为解决弯曲問題而制造的电模拟计算机，来解决約束扭轉方面很多的問題。

在К.К.克罗皮亞的第二篇“某些平面杆件体系的电模拟计算机”的文章中，研究了求不变剛度和可变剛度的受弯杆件任意截面上的橫向力、弯矩和变形用的电模拟机的电路图。

在这位作者的第三篇“平面靜定桁架的电模拟计算机”文章中，提供了靜定桁架新的等效电路，可根据其电路中的电流值，求出桁架构件中的內力。

С.Я.薩德托夫在其“起始参数的双力矩公式”文章中，提出一种新形式的起始参数双力矩公式。用模拟法或一般的方法来解决开口截面薄壁杆件的約束扭轉問題时，都可利用此公式。

О.В.伊里因科和В.И.烏塞宁在“ЭМСС-1 型梁和框架电模拟计算机”的文章中，介紹了塔干罗格无綫电工程学院試驗室为頓河罗斯托夫建筑工程学院制造的电模拟计算机的构造。

在В.И.烏塞宁“用四极电路模拟框架时迭次法的应用”論文中，証明了用Г.Е.普霍夫和О.В.伊里因科的模拟计算机来解决結構力学上的一系列的問題时，可以使用迭次法。于是，用上述模拟计算机就能够計算出有位移結点的框架。

О.В.伊里因科在“利用电模拟系統計算受溫度作用的梁和平面框架”一文中指出：可以用电模拟的方法去研究經受溫度作用的梁和平面框架。

在П.М.契戈林的“复杂弯曲錐形梁的等效电路”一文中，

載有弯曲梁在压力和拉力作用下的四极等效电路图。

П.М.契戈林在其第二篇关于“結構物动力学方法和电路計算理論的比較”一文中指出：彈性体系在动力作用下的某些計算方法和綫性电路計算方法間有类似之处。

在其第三篇关于“弯曲杆件有限差数方程式的电模拟”一文中，研究了模拟弯曲梁有限差数方程式系統的等效电路。用模拟計算机可以解决各种动力問題：多諧波强迫振蕩和弯扭振动等。

在Г.Е.普霍夫和О.В.伊里因科合写的“电模拟框架时支柱基础迴轉的計算”一文中，提出了求模拟彈性嵌固件的电阻值的公式。

在其另一篇关于“位于連續彈性地基和剛性支柱上的梁与框架的电模拟”文章中，对梁和框架的等效电路作了研究，并提出了求等效电路参数的公式。

Г.Е.普霍夫和П.М.契戈林在“变截面梁的电模拟”一文中，叙述了根据作者們所制定的振动杆件四极等效电路图，而編制变截面弯曲梁的模拟电路的方法。

在А.М.伊里耶夫斯基的“研究建筑問題时的物理和数学模拟”一文中，对作者所制定的混凝土制件热处理过程的模拟方法进行了探討。

Г.Е.普霍夫在“論科尔別特和卡利維尔特提出的受弯杆件的电模拟系統”一文中，对这两位美国作者所提出的受弯杆件电路图-电流模拟作了批判性的分析。

上述文章中所叙述的理論研究的主要結果，作者均用模拟計算机作了檢算，得出了良好的結果。因此，無論在从事試驗室的研究或实际解决結構力学問題方面，都有根据建議使用电模拟計算机的电路图。

本論文集集中的資料对从事結構物靜力計算和动力計算的工程技術人員、科学工作者以及研究生都有裨益，同时对于高等学校建筑和电工專業的大學生、科学研究試驗室以及計算試驗室的工作人員也有很大帮助。

# 目 录

## 序 言

### 用电模拟法解决薄壁杆件约束扭转的静力学问题

..... К. К. 克罗皮亚 ( 1 )

起始参数的双力矩公式 ..... С. Я. 薩德托夫 ( 10 )

某些平面杆件体系的电模拟计算机 ..... К. К. 克罗皮亚 ( 20 )

### ЭМСС-1型梁和框架电模拟计算机

..... О. В. 伊里因科, В. И. 烏塞宁 ( 39 )

用四极电路模拟框架时迭次法的应用 ..... В. И. 烏塞宁 ( 44 )

平面静定桁架的电模拟计算机 ..... К. К. 克罗皮亚 ( 49 )

### 利用电模拟系统计算受温度作用的梁和平面框架

..... О. В. 伊里因科 ( 58 )

复杂弯曲锥形梁的等效电路 ..... П. М. 契戈林 ( 63 )

### 电模拟框架时支柱基础迴轉的计算

..... Г. Е. 普霍夫, О. В. 伊里因科 ( 67 )

### 结构物的动力学方法和电路计算理論的比較

..... П. М. 契戈林 ( 71 )

### 研究建筑問題时的物理和数学模拟

..... А. М. 伊里耶夫斯基 ( 76 )

变截面梁的电模拟 ..... Г. Е. 普霍夫, П. М. 契戈林 ( 87 )

弯曲杆件有限差数方程式的电模拟 ..... П. М. 契戈林 ( 99 )

### 論科尔別特和卡里維尔特提出的受弯杆件的电模拟系統

..... Г. Е. 普霍夫 ( 120 )

### 位于連續彈性地基和剛性支柱上的框架和梁的电模拟

..... Г. Е. 普霍夫, О. В. 伊里因科 ( 127 )

# 用电模拟法解决薄壁杆件約束

## 扭轉的靜力学問題<sup>①</sup>

技术科学博士 K. K. 克罗皮亚

(罗斯托夫建筑工程学院)

目前, 电模拟的方法已用来解决結構力学上的各种問題。自 1952 年公布 Г. Е. 普霍夫教授(1)<sup>②</sup> 的文章后, 电模拟特別迅速地发展起来了。在該文章中为受弯杆件提出了用簡單的三极等效电路来代替复杂的八极等效电路。从那时起, 在暫短的时间內, 很多研究人員(1, 2, 5) 根据此等效电路解决了彈性体系靜力学和动力学方面很多迫切需要解决的問題。

但是, 尚有許多材料力学和結構力学上的問題需用电模拟法来解决; 其中包括开口截面和閉口截面薄壁杆件的約束扭轉問題。

本文将指出: 采用 Г. Е. 普霍夫教授所提出的受弯杆件三极等效电路, 就可解决材料力学領域中这一极重要的問題。

### 把开口截面的扭轉薄壁杆件化成三极等效电路

現研究开口截面鉸接支承的薄壁杆件(图 1), 在杆件两端附加有弯扭双力矩, 在跨度中作用的是集中扭矩  $L_i$ 、集中双力矩  $LM_i$  以及集度为  $m_i$  的、均匀分布的力矩荷載(公斤)。

① 1957 年 4 月 9 日在頓河罗斯托夫建筑工程学院材料力学和結構力学教研室联合會議上作的报告。

② 此处括弧內的数字系指文章后面参考文献的順序号, 以下同。

从约束扭转的理论得知: 杆件支座上扭转角的导数(4)按下式求得:

$$\left. \begin{aligned} \theta_n^{(n)} &= \frac{B_{n-1} l_n}{E J_{\omega, n}} r_n + \frac{B_n l_n}{E J_{\omega, n}} s_n + \theta_{n, p}^{(n)}, \\ -\theta_n^{(np)} &= \frac{B_{n-1} l_n}{E J_{\omega, n}} s_n + \frac{B_n l_n}{E J_{\omega, n}} r_n - \theta_{n, p}^{(np)}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中:  $r_n$  和  $s_n$  —— 参数  $u = k_n l_n$  的函数;

$$k_t = \sqrt{\frac{GJ_{k,n}}{EJ_{\omega,n}}} \text{——彈性彎扭特征。}$$

函数 $r_n$ 和 $s_n$ 按下式求出〔4〕:

$$\left. \begin{aligned} r_n &= \frac{u_n \operatorname{ch} u_n - \operatorname{sh} u_n}{u_n^2 \operatorname{sh} u_n}, \\ s_n &= \frac{\operatorname{sh} u_n - u_n}{u_n^2 \operatorname{sh} u_n}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

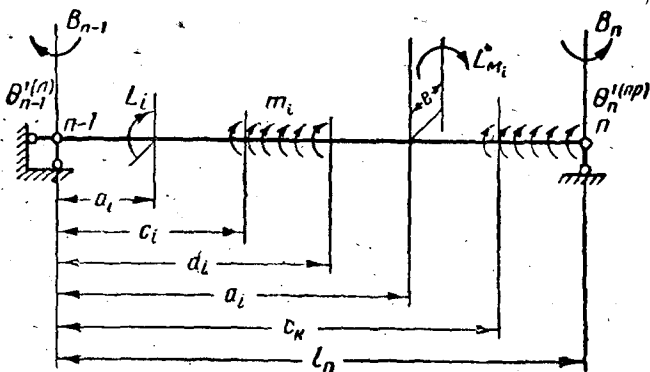


图 1

式中  $\theta_{n, \rho}^{(a)}$ 、 $\theta_{n, \rho}^{(np)}$ ——由跨度荷载引起的杆件左边和右边支座上扭转角的导数，但这些导数应预先求出。为求出导数，我们利用比较方便的起始参数双力矩的公式，此公式是С.Я. 萨德托夫在“起始参数双力矩”一文中提出的（见本论文集）。公式

如下:

$$B_k = B_0 \operatorname{ch} k_n x + \frac{M_\omega^0}{k_n} \operatorname{sh} k_n x + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{L_i}{k_n} \operatorname{sh} k_n (x - a_i) + \\ + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{m_k}{k_n^2} [\operatorname{ch} k_n (x - c_i) - \operatorname{ch} k_n (x - d_i)] + \\ + \frac{m_k}{k_n^2} [\operatorname{ch} k_n (x - c_k) - 1] - \sum_{i=1}^{k-1} L M_i \operatorname{ch} k_n (x - a_i). \quad (3)$$

式中:  $B_0$ ——坐标原点上的双力矩;

$L_i$ ——集中扭矩;

$m$ ——分配的力矩荷载的集度;

$LM_i$ ——集中双力矩;

$x$ ——所研究的截面的横坐标;

$a_i$ ——荷载作用点  $i$  的横坐标。

必須注意:

$$M_\omega^0 = L_n^{(s)} - G J_{k,n} \theta_{n,p}^{(s)}, \quad (4)$$

式中:  $M_\omega^0$ ——因跨度荷载而引起的坐标原点上的弯曲扭矩;

$L_n^{(s)}$ ——左边支座上因第  $n$  跨的跨度荷重而引起的坐标原点上的扭矩;

$G J_{k,n}$ ——扭转非圆截面杆件时的刚度。

由下列条件可求出  $\theta_{n,p}^{(s)}$ 。

当  $x=0$  时,  $B_k = B_0 = 0$  (自由翘曲)。当  $x=l$  时,  $B_k = 0$ 。

经过简单的换算后,即可实现这些条件,结果导出下列公式:

$$\left. \begin{aligned} \theta_{n,p}^{(s)} &= \frac{L_n^{(s)} \operatorname{sh} u_n + k_n q_n^{(s)}}{G J_{k,n} \operatorname{sh} u_n}; \\ \theta_{n,p}^{(np)} &= \frac{L_n^{(np)} \operatorname{sh} u_n - k_n q_n^{(np)}}{G J_{k,n} \operatorname{sh} u_n} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中  $L_n^{(s)}$ ,  $L_n^{(np)}$ ——左边和右边支座上因跨度荷重而引起的扭矩。

$$\begin{aligned} \varphi_n^{(a)} = & \sum_{i=1}^{k-1} \frac{L_i}{k_n} \operatorname{sh} k_n (l_n - a_i) + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{m_i}{k_n^2} [\operatorname{ch} k_n (l_n - c_i) - \\ & - \operatorname{ch} k_n (l_n - d_i)] + \frac{m_k}{k_n^2} [\operatorname{ch} k_n (l_n - c_k) - 1] - \\ & - \sum_{i=1}^{k-1} L M_i \operatorname{ch} k_n (l_n - a_i). \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \varphi_n^{(np)} = & \sum_{i=1}^{k-1} \frac{L_i}{k_n} \operatorname{sh} k_n a_i + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{m_i}{k_n^2} [\operatorname{ch} k_n d_i - \operatorname{ch} k_n c_i] + \\ & + \frac{m_k}{k_n^2} [\operatorname{ch} k_n l_n - \operatorname{ch} k_n c_k] - \sum_{i=1}^{k-1} L M_i \operatorname{ch} k_n a_i. \end{aligned} \quad (7)$$

薄壁杆件的等效电路繪于图 2。

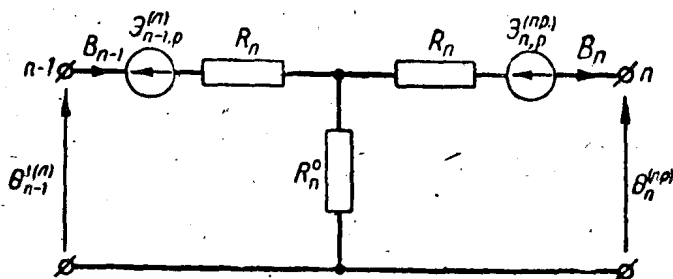


图 2

把扭轉角的导数看成电动势，而把双力矩視為系統电路中的电流，运用迴路电流的方法，导出下列方程式：

$$\left. \begin{aligned} \hat{\theta}_n^{(a)} &= B_{n-1} (R_n + R_n^0) - B_n R_n^0 + \mathcal{E}_{n,p}^{(a)}; \\ \theta_n^{(np)} &= B_{n-1} R_n^0 - B_n (R_n + R_n^0) + \mathcal{I}_{n,p}^{(np)}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{設把} \quad R_n &= \frac{r_n + s_n}{E J_{\omega, n}} l_n; \\ R_n^0 &= \frac{s_n}{E J_{\omega, n}} l_n; \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{J}_{n,p}^{(\pi)} &= \theta_{n,p}^{(\pi)}, \\ \mathcal{J}_{n,p}^{(\pi p)} &= \theta_{n,p}^{(\pi p)}, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

作为三极網路的参数，那么，我們确信，考虑到方程式 (9) 和 (10)，便可把方程式 (8) 改变成 (1)。

### 論連續梁的計算

利用三双力矩公式即可計算开口横截面的薄壁截面梁。这种梁是在約束扭轉下工作的。現研究具有各种不同扇形剛度的連續梁的两个相邻跨度 (图 3 a)。根据参考文献 [4]，三双力矩方程式如下：

$$\begin{aligned} B_{n-1} \frac{l_n}{J_{\omega,n}} s_n + B_n \left( \frac{l_n}{J_{\omega,n}} r_n + \frac{l_{n+1}}{J_{\omega,n+1}} r_{n+1} \right) + B_{n+1} \frac{l_{n+1}}{J_{\omega,n+1}} s_{n+1} \\ = E [\theta_{n,p}^{(\pi p)} - \theta_{n+1,p}^{(\pi)}], \end{aligned} \quad (11)$$

式中  $r_n$  和  $s_n$ ——用公式 (2) 所求出的参数  $u$  的函数。

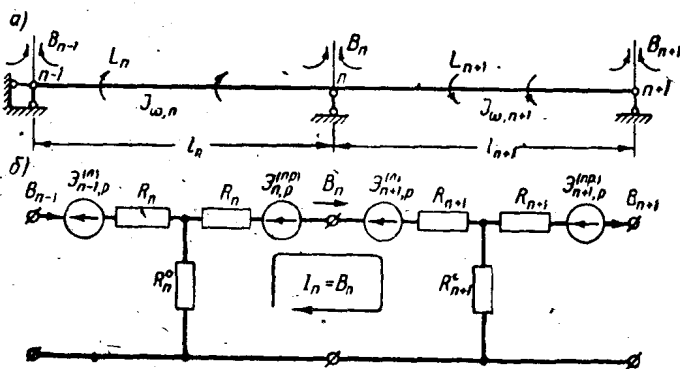


图 3

梁的等效电路示于图 3 b。同时我們拟出等效电路  $n$  个区間的迴路电流方程式：

$$\begin{aligned} (B_n - B_{n-1}) R_n^0 + B_n (R_n + R_{n+1}) + (B_n - B_{n+1}) R_{n+1}^0 \\ = \mathcal{J}_{n,p}^{(\pi p)} - \mathcal{J}_{n+1,p}^{(\pi)}, \end{aligned}$$

或改变后得：

$$-B_{n-1}R_n^0 + B_n(R_n + R_n^0 + R_{n+1} + R_{n+1}^0) - B_{n+1}R_{n+1}^0 = \mathcal{J}_{n,p}^{(np)} - \mathcal{J}_{n,p}^{(x)} \quad (12)$$

根据式(9)和(10), 取等效电路的参数, 得出

$$\left. \begin{aligned} R_n^0 &= -\frac{3_n l_n}{E J_{\omega, n}}; \\ R_n &= -\frac{(S_n + r_n) l_n}{E J_{\omega, n}}; \\ R_{n+1}^0 &= -\frac{S_{n+1} l_{n+1}}{E J_{\omega, n+1}}; \\ R_{n+1} &= -\frac{(S_{n+1} + r_{n+1}) l_{n+1}}{E J_{\omega, n+1}} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{J}_{n,p}^{(np)} &= \theta_{n,p}'^{(np)}, \\ \mathcal{J}_{n+1,p}^{(x)} &= \theta_{n+1,p}'^{(x)} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

确信, 把公式(13)和(14)代入(12)内, 便可得出三双力矩的方程式(11)。

### 閉合截面的薄壁杆件的約束扭轉

我們知道, 在計算閉合截面的时候, 需全部重复計算具有任意型式支座开口截面的梁以及开口截面的連續梁(4)理論中所使用的程序。因此, 影响函数公式和起始微分方程式对閉合截面來說都是正确的。根据文献(4)所述, 在計算开口截面和閉合截面时, 其区别可归納如下:

1) 弯曲扭轉特征按下式計算:

$$k = \sqrt{\frac{G J_{k,n}}{E J_{\omega, n}}} \mu, \quad (15)$$

式中  $\mu$  —— 截面翘曲的畸变率。

2) 求扇形特征的方法不同, 这种方法是只限于用来求閉合截面和綜合扇形面积的特征的。

3) 在求閉合截面中切向应力的公式中包含有开口截面公式所

沒有的补充常数項。

上述两种計算情况的区别并不改变問題的本質。因为主要方程式(1)的构造仍然有效,我們可以这样認為:在計算具有闭合截面的薄壁杆件的約束扭轉时,同样可以用三极等效电路模拟。

## 实 驗 部 分

为解决結構力学和材料力学上的問題,塔干罗格无綫电工程学院計算装置試驗室为頓河罗斯托夫建筑工程学院設計并制造了一台ЭМСС-1型电模拟计算机<sup>①</sup>。該計算机的运算原理就以三极等效电路为基础。下面援引用此模拟計算机并根据上述理論解約束扭轉課題的結果。

例 設有三跨連續梁,跨度相等  $l = 4$  米,在两边跨上,承受有作用在两跨中心的集中扭矩  $M_{kp} = 20,000$  公斤厘米。在中間跨,整个长度上承受有集度  $m = 100$  公斤的分布力矩荷载。需求出中間支座上的双力矩  $B_2, B_3$ 。梁的截面——№20工字型鋼;  $k = 0.0207$  厘米<sup>-1</sup>;

$$J_{\omega} = 13121 \text{ 厘米}^6; \quad E = 2 \times 10^6 \text{ 公斤/厘米}^2。$$

解: 当  $kl = 0.0207 \times 400 = 8.28$  时, 根据表[4]求出  $r_n$  和  $s_n$  的函数值;

$$r_1 = r_2 = r_3 = 0.1; \quad s_1 = s_2 = s_3 = 0.014。$$

按公式(5)求出因跨度荷载而引起的扭轉角的导数:

$$\begin{aligned} \theta'_1(n) &= \theta'_3(n) = 0.26 \times 10^{-3}; \quad \theta'_2(n) = 0.4 \times 10^{-3}; \\ \theta'_1(np) &= \theta'_3(np) = -0.26 \times 10^{-3}; \quad \theta'_2(np) = -0.4 \times 10^{-3}。 \end{aligned}$$

用三双力矩方程式(11)求出:

$$B_2 = B_3 = -20200 \text{ 公斤厘米}^2。$$

按公式(13)和(14)計算等效电路的参数:

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{0.1 \times 0.014}{2 \times 10^6 \times 13121} 400 = 174 \times 10^{-11};$$

① ЭМСС-1型模拟计算机詳述于本論文集 О. В. 伊里因科和 В. И. 烏塞宁的文章中。

$$R_1^0 = R_2^0 = R_3^0 = -\frac{0.014 \times 400}{2 \times 10^6 \times 13121} = -21.3 \times 10^{-11};$$

$$\mathcal{R}_1^{(A)} = \mathcal{R}_3^{(A)} = 0.25 \times 10^{-3}; \quad \mathcal{R}_2^{(A)} = 0.4 \times 10^{-3};$$

$$\mathcal{R}_1^{(np)} = \mathcal{R}_3^{(np)} = -0.26 \times 10^{-3}; \quad \mathcal{R}_2^{(np)} = -0.4 \times 10^{-3}.$$

設电阻  $m_R$  和电动势  $m_{\mathcal{R}}$  的比例如下:

$$m_R = 5.00 \times 10^{11}; \quad m_{\mathcal{R}} = 0.77 \times 10^5.$$

电流的比例:

$$m_E = \frac{m_{\mathcal{R}}}{m_R} = \frac{0.77 \times 10^5}{5.00 \times 10^{11}} = 0.154 \times 10^{-6}.$$

考虑所采取的比例, 等效电路的参数将为:

$$\hat{R}_1 = \hat{R}_2 = \hat{R}_3 = m_R R_1 = 5.00 \times 10^{11} \times 174 \times 10^{-11} = 870 \text{ 欧姆};$$

$$\hat{R}_1^0 = \hat{R}_2^0 = \hat{R}_3^0 = m_R R_1^0 = -5.00 \times 10^{11} \times 21.3 \times 10^{-11} = -107 \text{ 欧姆};$$

$$\hat{\mathcal{R}}_1^{(A)} = \hat{\mathcal{R}}_3^{(A)} = m_{\mathcal{R}} \mathcal{R}_1^{(A)} = 0.77 \times 10^5 \times 0.25 \times 10^{-3} = 20 \text{ 伏};$$

$$\hat{\mathcal{R}}_1^{(np)} = \hat{\mathcal{R}}_3^{(np)} = m_{\mathcal{R}} \mathcal{R}_1^{(np)} = -0.77 \times 10^5 \times 0.26 \times 10^{-3} = -20 \text{ 伏};$$

$$\hat{\mathcal{R}}_2^{(A)} = \hat{\mathcal{R}}_2^{(A)} m_{\mathcal{R}} = 0.4 \times 10^{-3} \times 0.77 \times 10^5 = 31 \text{ 伏};$$

$$\hat{\mathcal{R}}_2^{(np)} = \hat{\mathcal{R}}_2^{(np)} m_{\mathcal{R}} = -0.4 \times 10^{-3} \times 0.77 \times 10^5 = -31 \text{ 伏}.$$

求出比例系数值:

$$k_x = \frac{1}{r_x m_R} = \frac{1}{870 \times 0.154 \times 10^{-6}} = 7500,$$

因为在該情況下  $r_x = R_1$ 。

按接等效电路 (安在普霍夫和伊里因科的电模拟计算机上), 并测量端钮上的电压  $R_1 = R_2 = R_3$ :

$$E = -25.4 \text{ 伏}.$$

$$\text{双力矩 } B_2 \leq k_x E = -25.4 \times 7500 = -190500 \text{ 公斤厘米}^2.$$

误差

$$\delta = \frac{202000 - 190500}{202000} = 5.7\%.$$

## 結 論

由以上所述可以得出結論: Г. Е. 普霍夫和 О. В. 伊里因科教授提出的三极等效电路可用来計算受弯杆件, 也可計算开口和閉合截面薄壁杆件的約束扭轉。这就可利用 ЭМСС-1 型电模拟计算机計算受約束扭轉作用的平面框架。

## 参 考 文 献

1. Г.Е.Пухов, К вопросу применения методов исследования электрических цепей к решению задач изгиба плоских стержневых систем, изд-во Томского политехнического института, т. 72, Томск, 1952.

2. П.М.Чеголин, Сравнение методов динамики сооружений и теории расчета электрических цепей (настоящий сборник).

3. С.Я.Садэтов, Формулы бимоментов в начальных параметрах (настоящий сборник).

4. И.В.Урбан, Теория расчета стержневых тонкостенных конструкций, Трансжелдориздат, 1955.

5. О.В.Ильенко и В.И.Усынин, Электрическая модель ЭМСС-1 для расчета балок и рам (настоящий сборник).

# 起始参数的双力矩公式<sup>①</sup>

技术科学副博士 С. Я. 薩德托夫副教授

(罗斯托夫建筑工程学院)

自结构力学的电模拟计算理论在頓河罗斯托夫建筑工程学院和塔干罗格无线电工程学院展开研究以来, 研究内容越来越包括更多的工程技术计算的实际问题, 如求建筑结构的变形和内力等<sup>②</sup>。

受弯扭双力矩  $B$ 、弯扭力矩  $M_{\omega}$  和纯扭转力矩  $M_k$  作用的薄壁杆件, 在约束扭转的情况下求力的因素是实际计算中最繁重的一项工作。一般是解下列约束扭转的微分方程式来求这些值:

$$\theta'' - k^2 \theta'' = -\frac{m}{EJ_{\omega}}, \quad (1)$$

式中:  $\theta$  ——杆件的扭转角;

$k$  ——弯扭特征;

$m$  ——分布扭转荷载的集度;

$E$  ——第一弹性模数;

$J_{\omega}$  ——杆件截面的扇形惯性矩。

当杆件只承受集中扭矩, 且又没有分布扭矩荷载的情况下, 方程式 (1) 变成齐次方程式:

$$\theta'' - k^2 \theta'' = 0. \quad (2)$$

解方程式 (1) 和 (2) 一般能求出起始参数, 且共有四个起始参数 (积分常数)。解这种方程式在电模拟的理论和实际中

① 1956年11月1日在頓河罗斯托夫建筑工程学院结构力学和材料力学教研室联合会议上的报告。

② 見本論文集前一篇文章。