

全國工業交通展覽會

技術資料

水利電力出版社出版

國內首創土建 框架結構計算台的介紹

水利電力部北京電力設計院著

內 容 提 要

框架計算台系用模擬電路的原理來分析矩形框架、連續梁和解決其它超靜定結構力學的問題。將複雜的結構計算工作化為簡單的機械操作，可以提高效率，減少誤差。

本計算台是針對火力發電廠主厂房框架計算而設計的，亦可推廣以解決其它多跨多層結構的分析問題。

本書讀者對象是土建結構人員。

國內首創土建框架結構計算台的介紹

水利電力部北京電力設計院著

*

1398D399

水利電力出版社出版(北京朝陽門外學路二號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第106號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092¹/₃₂開本 * 3/8印張 * 6千字

1958年9月北京第1版

1958年9月北京第1次印刷(0001—5,100冊)

統一書號: 15143·1114 定價(第9類)0.73元

一、前 言

， 框架分析在土建的結構計算中是一件比較繁重的工作，近二三十年来，國內外專家對框架分析紛紛提出了各種不同的計算方法，正說明分析方法有簡化的必要。但是無論用何種方法，計算工作仍很繁重，水平較低的工作人員不易掌握，且容易發生錯誤。在電廠的設計中，框架計算工作的緩慢，就成為影響工期的主要原因。針對這種情況，水利電力部北京電力設計院的設計人員在總路線的光輝照耀下，敢想、敢干地參照外國雜誌上所介紹的原理，利用電氣上直流計算台的元件，大膽創制了國內第一部“土建框架結構計算台”。經過驗算證明，效果合乎一般人工計算的要求。這一創制，使一向依靠繁瑣腦力勞動的電廠廠房框架結構計算工作，能夠電氣化和機械化。解放了結構設計中的大量勞動力，大大地提高了設計效率，縮短了整個工期；這是土建結構計算方法上的一次技術革命。它可以進行連續梁、矩形框架的計算，適用於等截面和變截面的杆件，又能夠考慮框架側移和支座沉陷的影響，還可用於解決其他超靜定結構的問題，因而具有普遍推廣的價值。

目前這部框架計算台，可進行單跨三層或三層以下框架分析和七跨以下的連續梁分析，製造上考慮以後增添電氣設備與原料之後，還可以計算雙跨五層或五層以下的框架，這樣可以完全滿足火力發電廠主廠房框架分析的要求。計算台按彎矩的變化在1:1,000之內，杆件剛度的變化在1:10以內而進行設計的，設計的誤差為 $\pm 2\%$ ，經過初步試驗，計算效率可以提高七、八倍，而實際誤差則在設計範圍的 $\pm 2\%$ 以內，這種誤差對土建設計是完全允許的。

二、原 理

当一个等截面杆件在荷载之下，其杆端弯矩与角变及侧移之关系可以用下面的倾角位移公式来表示：

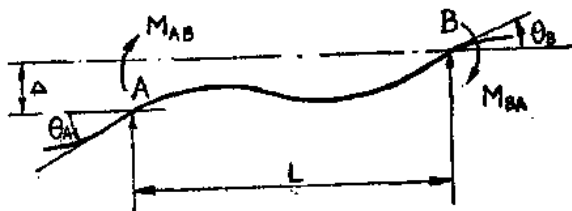


图 1

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} &= M_{FAB} - \frac{2EI}{L} \left(2\theta_A + \theta_B + 3\frac{\Delta}{L} \right) \\ M_{BA} &= M_{FBA} - \frac{2EI}{L} \left(\theta_A + 2\theta_B + 3\frac{\Delta}{L} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

上式中 M_{AB} 与 M_{FAB} 分别为杆 AB ，在 A 端的弯矩与固端弯矩，以顺时针为正。

θ_A 与 θ_B 分别为 AB 杆在 A 端与 B 端的角变，以逆时针为正。

Δ 为 A 端与 B 端之相对位移。

这可用下列电气网络来比喻。

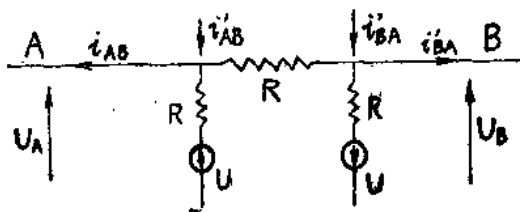


图 2

其相应的电流

$$\left. \begin{aligned} i_{AB} &= i'_{AB} - \frac{1}{R}(2U_A - U_B - U) \\ i_{BA} &= i'_{BA} - \frac{1}{R}(2U_B - U_A + U) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

由上式可以看出电气与土建参数有下列的对应的关系:

$$\begin{aligned} i_{AB} &= +P \cdot M_{AB} & i_{BA} &= -P \cdot M_{BA} \\ i'_{AB} &= +P \cdot M_{FAB} & i'_{BA} &= -P \cdot M_{FBA} \\ U_A &= +q \cdot \theta_A & U_B &= -q \cdot \theta_B \\ R &= \frac{q}{p} \cdot \frac{L}{2EI} & U &= q \cdot 3 \frac{\Delta}{L} \end{aligned}$$

因此可以看出在 B 点电气参数均与土建者差一符号, P 与 q 为两个常数。

当将两个土建構件结合成刚体时, 其节点应有下列关系, 如图 3a 所示:

$$\begin{aligned} M_{BA} + M_{BC} &= 0 \\ \theta_{BA} &= \theta_{BC} \end{aligned}$$

而电气方面其接点之关系为

$$\begin{aligned} i_{BA} + i_{BC} &= 0 \\ U_{BA} &= U_{BC} \end{aligned}$$

如图 3b 所示。

由此可以将土建的方格形框架表成一个电气网络, 但是必须使结点正负相间隔。

电气与土建的参数间符号关系如下:

1. 对于任何正接点, 如图 1 的 A 点

正弯矩 (顺时针) $\longleftrightarrow$ 流向接点的电流
正角移 (反时针) $\longleftrightarrow$ 电位高于零

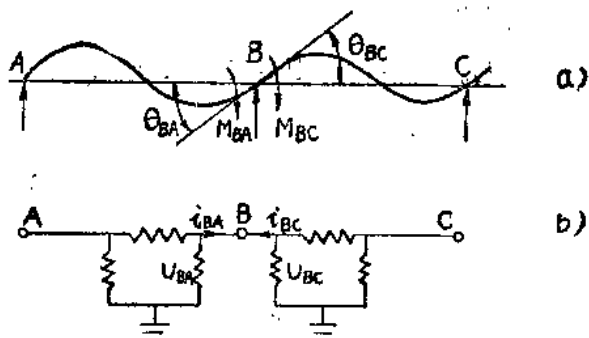


图 3

对于任何负接点则对电气量都带负号。

在本台设计中为了便于使用，已将全部负接点的电流方向反接，因此对所有接点测量时可按相同方法来计正负号。

对于变截面的构件其比喻电路如下：

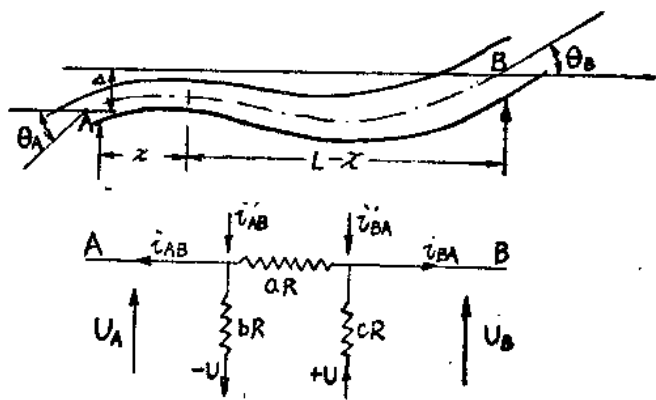


图 4

$$\alpha = \frac{I_0}{L^3} \int_0^L \frac{x^3}{2} dx, \quad \beta = \frac{I_0}{L^3} \int_0^L \frac{x(L-x)}{L} dx, \quad \gamma = \frac{I_0}{L^3} \int_0^L \frac{(L-x)^2}{2} dx$$

$$M_{AB} = M'_{AB} - \frac{EI_0}{L} \left\{ C_2 \theta_A + C_1 \theta_B + (C_1 + C_2) \frac{\Delta}{L} \right\}$$

$$M_{BA} = M'_{BA} - \frac{EI_0}{L} \left\{ C_1 \theta_A + C_2 \theta_B + (C_1 + C_2) \frac{\Delta}{L} \right\}$$

式中 $C_1 = \frac{\alpha}{\alpha\gamma - \beta^2}, \quad C_2 = \frac{\beta}{\alpha\gamma - \beta^2},$

$$C_3 = \frac{\gamma}{\alpha\gamma - \beta^2},$$

均为杆件常数（見参考文献2）。

$$i_{AB} = i'_{AB} - \frac{1}{R} \left\{ \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) U_A - \frac{1}{a} U_B - \frac{1}{b} U \right\}$$

$$i_{BA} = i'_{BA} - \frac{1}{R} \left\{ \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{c} \right) U_B - \frac{1}{a} U_A + \frac{1}{c} U \right\}$$

則 $a = \frac{2}{c_1}, \quad b = \frac{2}{c_2 - c_1}, \quad c = \frac{2}{c_3 - c_1}.$

$$u = \frac{c_2 + c_1}{c_3 - c_1} \cdot g \frac{\Delta}{L}, \quad U = \frac{c_3 + c_1}{c_3 - c_1} \cdot g \frac{\Delta}{L}.$$

三、本台之构造如所附插图所示

1. 电源——对于所有的固端弯矩，以 220 伏直流电机供电（在其他地方也可以用 220 伏整流器来供电），对于侧移中的楼层弯矩则用交流整流器供电。

2. 电阻元件，利用直流台者，为了保证准确性，其值应为 500~5000 欧，准确等级应大于 99.5%。

3. 固端弯矩调整电阻用 4 级，保证由 1000 欧到 1 兆欧间平滑变动，电流由 0.1 毫安~0.1 安。

4. 剪力网络用自耦变压器来调整，本台中对不等截面柱的侧移弯矩未加考虑，因为其接线方式尚待进一步研究。

5. 仪表用 0.5 級者，为了便于調整应采用差电流表为佳。

四、使用方法

1. 按已知荷重計算固定端弯矩，按杆件刚度之倒数选择与确定各杆之电阻（电阻之大小应在 500~5000 欧范围之内）。

2. 配置电阻，每个杆件以 4 个电阻代表之（如不考虑侧移则仅需三个电阻）。如为等截面杆件则电阻均相等。如为变截面杆件则电阻不等，須按杆件常数确定电阻值。

3. 接通电源。

4. 按固定端弯矩之大小与符号饋入电流，如果杆端有固定端弯矩，即將饋入电流之插头插該处，并將电流表插头插入，然后調整旋鈕以使电流大小相当于該固端弯矩之大小。

5. 如无水平力作用或不考虑侧移，則將各杆端之电流量出，即为各杆端之弯矩。

6. 如有水平力作用或在垂直荷重作用之下，框架可能发生侧移，則調整控制侧移之旋鈕，以使其符合于荷重之情况，目前侧移系用两个电流表控制。两个电流表讀数之差代表 $\frac{SL}{3}$ （ SL 为楼层弯矩，即为作用于該层水平力与楼层高度之乘积），如无水平力作用則調整使兩表讀数相等，如有水平力作用則調整使其讀数之差等于三分之一楼层弯矩。以后考虑使用一个差电流表直接讀出差数。然后再算出各样之电流，即为已考虑了侧移与水平力的杆端弯矩。

現举例如下：

設有如图 5 的单跨单层不对称框架承受 10 吨的集中荷重，

做法如下：

1. 求固定端弯矩

$$M_{FBC} = -\frac{Pab^2}{L^3}$$

$$= -\frac{10 \times 2 \times 4^2}{6^3}$$

$$= -8.89 \text{ 吨-公尺}$$

$$M_{FCB} = +4.44 \text{ 吨-公尺}$$

按刚度倒数选择电阻如下

杆 AB 为 3,000 欧

杆 BC 为 1,000 欧

杆 CD 为 1,500 欧

2. 将电阻配好，电源接通后在 BC 端输入电流为 -8.89 毫安，在 CB 端输入电流为 +4.44 毫安，此时如量出 AB、BA、CD、DC 各杆端之弯矩，将发现其总和不等于 0，亦即未考虑侧移的影响。

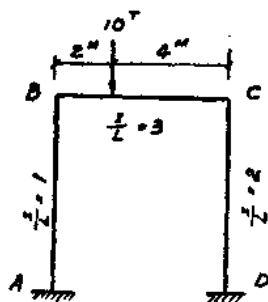


图 5

3. 将控制侧移之旋钮调整，使控制侧移在两电流表读数相等，亦即使框架发生侧移，而侧移之大小应使各柱端弯矩之代数和等于零，因为该框架并无水平荷重作用，此时量出各杆端之弯矩，如用弯矩分配法计算结果比较如下：

杆 件	AB	BA	BC	CB	CD	DC
正确答案	+1.62	+3.15	-3.15	+3.34	-3.34	-1.42
计算台答案	+1.62	+3.04①	-3.14	+3.24②	+3.24	-1.42

① 可能是读表时读错的误差。

五、优 缺 点

本計算台的优点如下:

1. 可提高效率 4 ~ 8 倍, 例如分析一个三层單跨計算好固定端弯矩后, 如不考虑側移仅需 15 ~ 20 分钟, 考虑側移約需 20 ~ 30 分钟, 而用人工計算約需 2 ~ 4 小时。

2. 操作簡便, 任何同志經過一兩天之訓練即可操作。人力計算框架必須技术較高的同志才能操作。

3. 誤差在 $\pm 2\%$ 以下, 足以滿足設計要求, 不易因計算繁瑣容易产生誤差, 尤其正負号更容易发生。

4. 可以計算各类框架連梁及解决各种超靜結構之缺点及发展方向:

1. 造价較高。目前在尽量利用原有直流計算台的设备与发动义务劳动自己制造的条件下, 造价約为 1, 000 元, 單跨三层全部新制則造价可能为 1 万元左右。

2. 目前对有側移或水平力作用的剛構, 調整还不制成差电流表后当可解决。

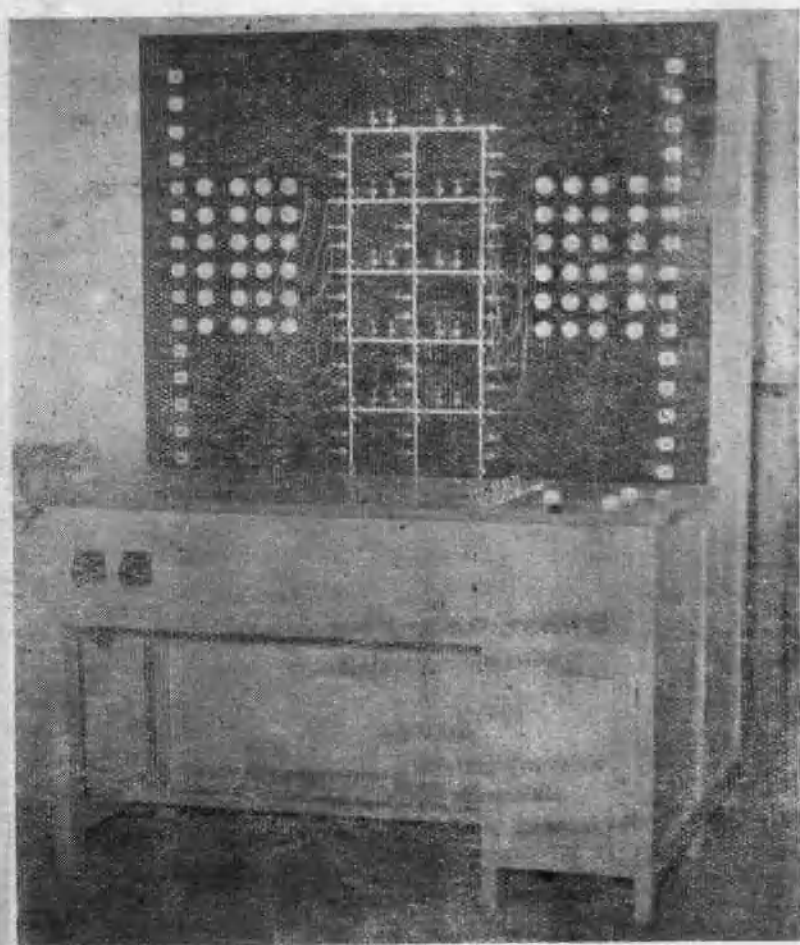
3. 对有变剖面柱承受水平荷重的剛構, 尚需进一步解决。

参 考 文 献

1. J. W. Bray: An analyser for Rigid Framed Structures. Structural Engineer, August, 1957.

(英国皇家結構学会出版——結構工程师)

2. 蔡方蔭: 变截面剛構分析。



附圖：框架結構計算合外型圖