

用正交梁系法计算整体折线型重力坝

西北农学院水利系 王克成 杨菊 陈才旺

提 要

参照拱坝计算的试载法的概念,将整体折线型重力坝划分为水平及垂直正交梁系,根据其共轭点“径向”变位连续条件,确定了水平及垂直梁系的荷载分配。编制了适用于DJS—21型电子计算机程序。为工程计算提供了较简单实用的方法。

一、概 述

我国某些大型水电站的大坝,由于地形、地质,泄洪及施工等具体条件,拟采用整体折线型重力坝。其结构性能基本上仍属重力坝,但若能与拱坝相比拟,通过水平折梁系起到“拱”的作用,将水压力部分地传到两岸,从而使坝断面减小,提高其稳定性而同时又保留了重力坝施工及泄洪方便等优点,则它不失为兼有二者之长的一种良好坝型。因此,研究其整体空间作用,决定其荷载分配规律是采用和评价该坝型的主要依据。

鉴于目前尚未见到计算这种坝型的有关文献,我们受水电部第十五工程局勘测设计院委托,对某大型水电站枢纽采用的整体折线型重力坝的计算方法进行了研究。参照拱坝计算的多拱梁法的概念,将坝划分为水平折梁及垂直梁系,按照梁系共轭点变位连续条件,建立变位谐调方程,以决定两类梁系的荷载分配。当此主要目的达到后,其稳定及应力分析即可按常规进行。

根据计算任务、坝型特点及计算机容量的限制,我们只考虑了“径向”变位连续条件。计算是在DJS—21型电子计算机上完成的。为了节省内存,尽可能地适应各种河谷形状,增加共轭点数,编制了使用机器语言的手编程序。

程序功能及主要计算条件如下:

- 1、允许划分7条水平梁,13条垂直梁。水平梁可为由14段等断面直梁组成的折梁,各段断面可不相同。垂直梁厚度按直线变化。为了梁系划分的合理性及适应各种河谷形状,允许水平梁及垂直梁系在基础面上不相交〔图1—1〕

- 2、梁基均为弹性支座,地基变位采用Vogt假定及公式计算,各支座地基弹模可不相同。

- 3、计算荷载仅考虑了水压力(水平及上游坝面的水重),泥沙压力,均匀温变及上下游温差,未考虑下游水位及渗透压力作用。地震荷载可按当量静荷载计入。

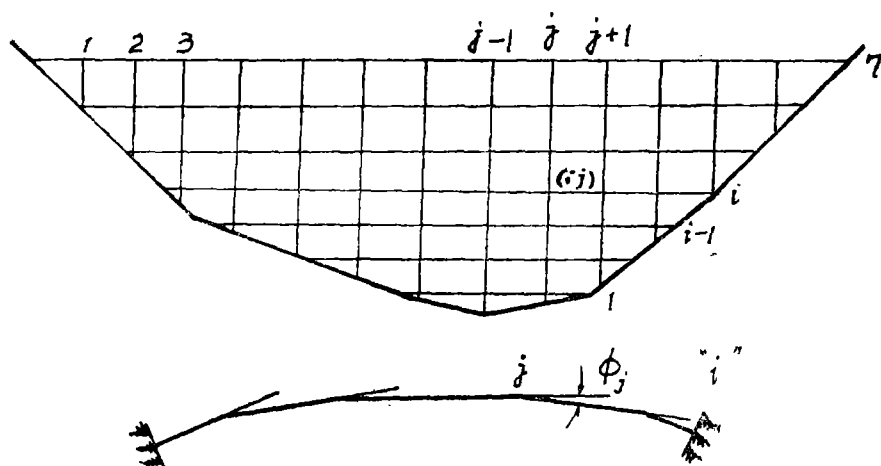


图 1-1

4、库水位可适用于空库、半库、满库及超于坝顶各种水位变化情况。

5、垂直梁自重引起的变位不参加变位调整。

二、水平折梁计算

(一) 坐标计算

1、整体坐标

如图 2—1，对某水平折梁，取左支座A为整体坐标原点，以第一段轴线为X轴，而选定直角坐标XOY。

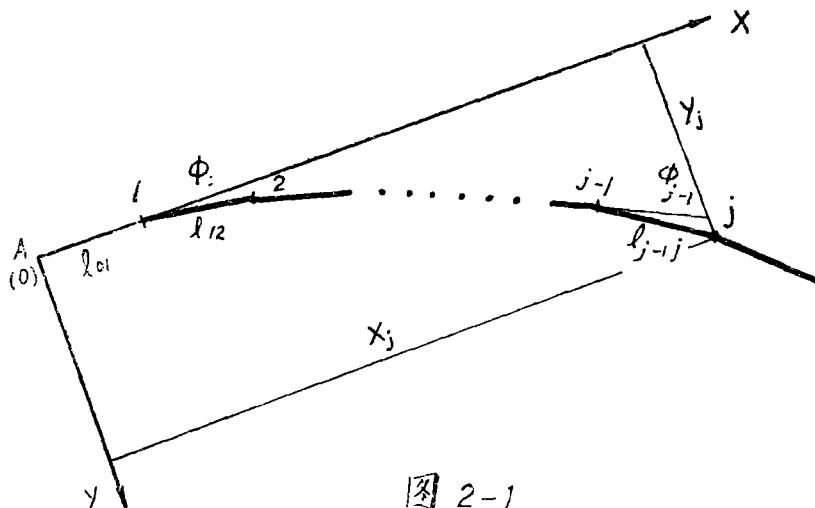


图 2-1

若已知各分段长度 $l_{01}, l_{12}, \dots, l_{j-1,j}$ 及各节点转折角 $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_j$ [$\varphi_0 = 0$] 等，则易求得各节点的坐标：

$$\left. \begin{aligned} X_j &= \sum_{k=0}^{j-1} l_{k, k+1} \cos \theta_k \\ y_j &= \sum_{k=0}^{j-1} l_{k, k+1} \sin \theta_k \end{aligned} \right\} \quad (2 \cdot 1)$$

其中:

$$\theta_k = \sum_{S=0}^k \varphi_s \quad (2 \cdot 2)$$

2、局部坐标

若取任意节点 k 为局部坐标原点,以 $k, k+1$ 分段轴线为 X_k 轴选定局部直角坐标系 X_k, Y_k ,如图2-2, X_k 与整体坐标 X 之夹角即为 θ_k ,若任意节点 k 及 j 的整体坐标已知:经坐标变换,即可得 j 节点局部坐标:

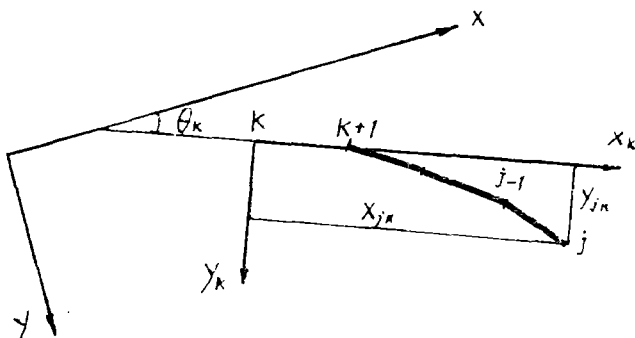


图 2-2

$$\begin{Bmatrix} X_{jk} \\ Y_{jk} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_k & \sin \theta_k \\ -\sin \theta_k & \cos \theta_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta X_{jk} \\ \Delta Y_{jk} \end{Bmatrix} \quad (2 \cdot 3)$$

其中: $\Delta X_{jk} = X_j - X_k$,
 $\Delta Y_{jk} = Y_j - Y_k$.

(二) 静定水平折梁变位计算

1、“径向”及内力定义

对于水平折梁,其径向及内力定义如图2-3。所谓径向系指两相邻分段内角平分线,内力亦指沿径向或垂直径向的集中内力及弯矩,一般与结构力学所定义的杆端剪力,轴力方向并不相符。其正向如图2-3(b)。

2、内力传递矩阵及变位传递矩阵

将右支座断面截断,得左端支座A弹性固定的悬臂折梁为基本结构(图2-6),若任意断面 j 作用有内力:

$$\{F_j\} = \{V_j \ H_j \ M_j\}^T,$$

由此,于 k 断面将产生内力:

$$\begin{aligned} \{F_k, j\} &= \{V_{kj} \ H_{kj} \ M_{kj}\}^T \\ &= [F_k, j] \{F_j\} \end{aligned} \quad (2 \cdot 4)$$

式(2·4)中 $[F_k, j]$ 定义为由断面 k 至 j 的内力传递矩阵,其阵元显系 j 断面局部坐标的函数,对所取定的基本结构而言必应遵守如下条件:

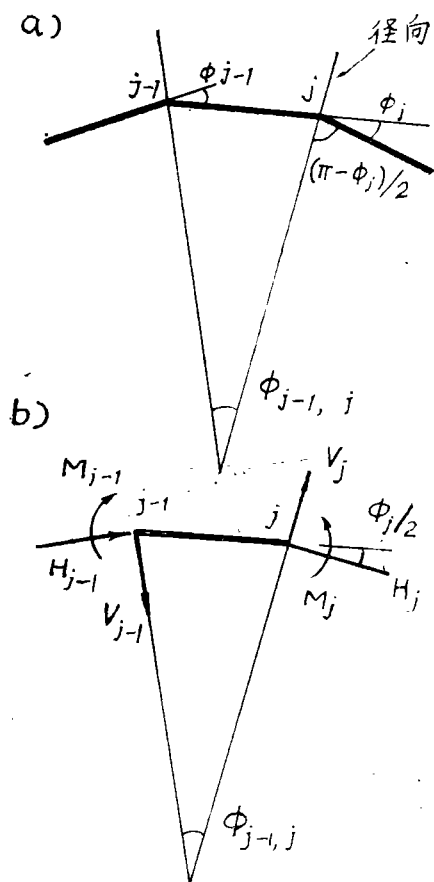


图 2-3

3、变位系数矩阵

(1) 杆件变位系数矩阵

如图 2—4 (a) 典型单元 $j-1 \sim j$, j 端作用有 $\{F_j\}$, 可求得 j 端的变位为:

$$\{\delta \alpha_j\} = [u_j, v_j, w_j]^T$$

$$\{\delta \alpha_j\} = [\Delta \bar{\alpha}_j] \{F_j\}$$

$$(2.8)$$

$[\Delta \bar{\alpha}_j]$ 为 3×3 对称矩阵, 称为变位系数矩阵, 其阵元可由变位积分公式求得, 计算时考虑了弯矩、剪力、轴力对变位的影响。于此不再赘述。

$$[Fk, j] = \begin{cases} [1] & (k=j) \\ [0] & (k>j) \end{cases} \quad (2.5)$$

同理, 若断面 k 产生有变位:

$$\{\delta \alpha_k\} = [u_k, v_k, w_k]^T,$$

u, v, w 分别指径向切向线变位及转角变位, 并规定 u 向上游, v 向左, w 逆时针方向为正 (图 2—4), 则由此引起任意断面 j 的变位可写成:

$$\begin{aligned} \{\delta \alpha_{j,k}\} &= [u_{j,k}, v_{j,k}, w_{j,k}]^T \\ &= [\delta \alpha_{j,k}] \{\delta \alpha_k\} \end{aligned} \quad (2.6)$$

其中 $[\delta \alpha_{j,k}]$ 称为变位传递矩阵, 由弹性系统互等定理可知:

$$[\delta \alpha_{j,k}] = [Fk, j]^T \quad (2.7)$$

于此, 有与 (2.5) 相应的条件。

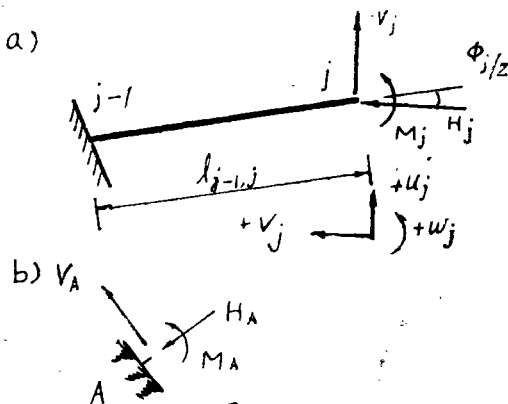


图 2-4

(2) 地基变位系数矩阵

已如前述, 弹性地基变位按Vogt公式计算。如图2-4(b), 如支座A作用有内力 $\{F_A\}$ 则弹性支座A的变位可写成

$$\{\delta \alpha_A\} = [\Delta \bar{\alpha}_{f,A}] \{F_A\}$$

$$[\Delta \bar{\alpha}_{f,A}] = \begin{bmatrix} I_A & 0 & \alpha_{2A} \\ 0 & \beta_A & 0 \\ \alpha_{2,A} & 0 & \alpha_A \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$[\Delta \bar{\alpha}_{f,A}]$ 称为地基变位系数矩阵, 其阵元意义及计算见^[4]、同理可得支座B的地基变位系数矩阵 $[\Delta \bar{\alpha}_{f,B}]$

4、荷载作用下的变位

(1) 单位三角形荷载作用下典型单元的变位增量

如图2-5(a), 当k断面作用有单位三角形荷载时, 将它区分为 ΓI_k 及 ΓII_k 型, 则很容易求出两个典型单元悬臂端的变位增量, 分别表示为:

$$\left\{ \delta \bar{\alpha}_{k+1}^{\Gamma I} \right\} = \left[\bar{u}_{k+1}^{\Gamma I}, \bar{v}_{k+1}^{\Gamma I}, \bar{w}_{k+1}^{\Gamma I} \right]^T$$

$$\left\{ \delta \bar{\alpha}_k^{\Gamma II} \right\} = \left[\bar{u}_k^{\Gamma II}, \bar{v}_k^{\Gamma II}, \bar{w}_k^{\Gamma II} \right]^T \quad (2.10)$$

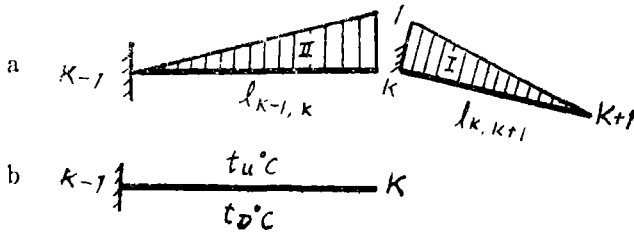


图 2-5

(2) 温度变化引起的断面变位

首先, 如图2-5(b), 对一典型单元 $k-1 \sim k$, 若坝体上下游温度变化各为 $t_u^\circ\text{C}$, $t_D^\circ\text{C}$; 並规定温升为正, 令:

$$t = \frac{t_u + t_D}{2} \quad (2.11)$$

$$\Delta t = t_D - t_u$$

则不难求得k断面由于温度化而引起的变位增量:

$$\left\{ \delta \alpha_k^t \right\} = \left[\begin{matrix} u_k^t & v_k^t & w_k^t \end{matrix} \right]^T \quad (2.12)$$

例如: $u_k^t = t \cdot \bar{u}_k^t + \Delta t \cdot \bar{u}_k^{\Delta t}$

其中 $\bar{u}_k^t, \bar{u}_k^{\Delta t}$ 分别表示k断面由于单位均匀温升及温差而产生的变位增量, 余同。

则任意断面j的温度变位为:

$$\left\{ \delta \alpha_j^t \right\} = \sum_{k=A+1}^j [F_{kj}]^T \left\{ \delta \alpha_k^t \right\} \quad (2.13)$$

$k = A+1$

5、k号单位三角形荷载作用下任意断面j的变位。

如图2—5(a), 在k号单位三角形荷载作用下典型单元的固端k, 及k-1的内力各为:

$$\left\{ \bar{f}_k^{\Gamma I} \right\} = \left[\begin{matrix} V_k^{\Gamma I} & H_k^{\Gamma I} & M_k^{\Gamma I} \end{matrix} \right]^T$$

$$\left\{ \bar{f}_{k-1}^{\Gamma II} \right\} = \left[\begin{matrix} \bar{V}_{k-1}^{\Gamma II} & \bar{H}_{k-1}^{\Gamma II} & \bar{M}_{k-1}^{\Gamma II} \end{matrix} \right]^T$$

则利用如上所定义的各矩阵, 可以方便地得到任意断面j的变位:

$$\begin{aligned} \left\{ \delta \bar{\alpha}_{jk}^{\Gamma} \right\} &= [F_{A,j}]^T [\Delta \alpha_{A,j}] \left([F_{A,k}] \left\{ \bar{f}_k^{\Gamma I} \right\} \right. \\ &\quad \left. + [F_{A,k-1}] \left\{ \bar{f}_{k-1}^{\Gamma II} \right\} \right) + \sum_{m=A+1}^k [F_{m,j}]^T [\Delta \alpha_m] \\ &\quad \cdot \left([F_{m,k}] \left\{ \bar{f}_k^{\Gamma I} \right\} + [F_{m,k-1}] \left\{ \bar{f}_{k-1}^{\Gamma II} \right\} \right) \\ &\quad + [F_{k+1,j}]^T \left\{ \delta \bar{\alpha}_{k+1}^{\Gamma I} \right\} \\ &\quad + [F_{k,j}]^T \left\{ \delta \bar{\alpha}_k^{\Gamma II} \right\} \end{aligned}$$

(2.14)

(三) 两端弹性固定水平折梁的变位计算

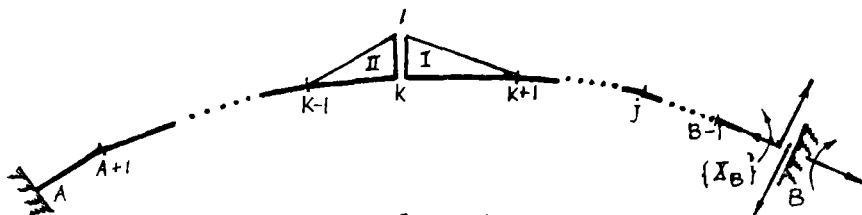


图 2-6

令 超静定未知力 $\{X_B\} = \{1\}$ ，则切口B的相对变位为：

$$\left\{ \delta \bar{\alpha}_B^X \right\} = \left(\{F_{AB}\}^T [\Delta \alpha_{iA}] \{F_{AB}\} + \sum_{m=A+1}^B \{F_{mB}\}^T \cdot [\Delta \alpha_m] \{F_{mB}\} - [\Delta \alpha_{i, B}] \right) \{1\} \\ = \left(\{L_B\} - [\Delta \alpha_{i, B}] \right) \{1\} \quad (2 \cdot 15)$$

其中 $\{L_B\} = \{F_{AB}\}^T [\Delta \alpha_{iA}] \{F_{AB}\} + \sum_{m=A+1}^B \{F_{mB}\}^T [\Delta \alpha_m] \{F_{mB}\}$

分别令 (2·13)、(2·14) 中 $j=B$ ，可得由于温度变化及 k 号单位三角形角荷载作用下 B 断面的变位

$\left\{ \delta \alpha_B^t \right\}$ 及 $\left\{ \delta \bar{\alpha}_{B,k}^\Gamma \right\}$ ，则可建立力法方程：

$$\left([\Delta \alpha_{i, B}] - \{L_B\} \right) \left\{ X_B^t \right\} = \left\{ \delta \alpha_B^t \right\} \\ \left([\Delta \bar{\alpha}_{i, B}] - \{L_B\} \right) \left\{ \bar{X}_{B,k}^\Gamma \right\} = \left\{ \delta \bar{\alpha}_{B,k}^\Gamma \right\} \quad (2 \cdot 16)$$

由此即可解出两组超静定未知力 $\left\{ X_B^t \right\}$ ， $\left\{ \bar{X}_{B,k}^\Gamma \right\}$ ，按叠加原理即不难求出两端弹性支承的水平折梁任意断面 j 的变位。

三、变断面弹性支承悬臂梁的计算

(一) 计算简图及几何参数

如图 3-1 (a) 所示坝断面, 取各断面重心 G 的连线表示梁轴线如图 3-1 (c), 坝横断面为图 3-1 (b)。

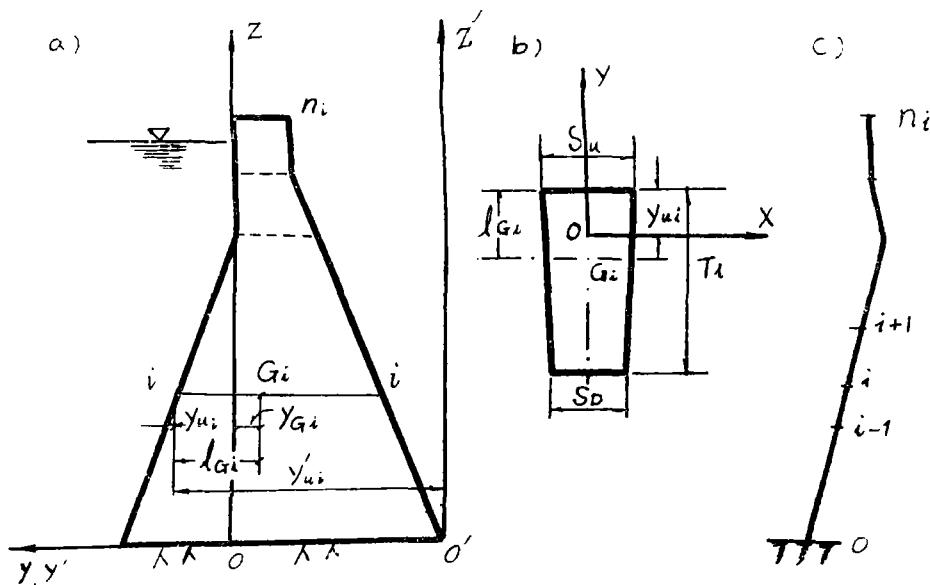


图 3-1

取参考坐标系 yoz 及 $y'oz'$ 若 y'_{u0} 已知, ($i = 0, 1, 2, \dots, n_i$) $i = 0$ 为坝底 $i = n_i$ 为坝顶断面, 下同), 对于梯形断面, 取 $\xi_i = S_{u0}/S_{ui}$ (通常取 $S_{u0} = 1$), 则其主要几何参数可求之如下:

$$y_{u0} = y'_{u0} - y'_{ui}$$

$$l_{ci} = (1 + 2\xi_i) T_i / 3 (1 + \xi_i)$$

$$y_{ci} = y_{ui} - l_{ci}$$

$$A_i = \frac{1}{2} (1 + \xi_i) T_i$$

$$J_i = -\frac{1}{12} T_i^2 A_i \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1 - \xi_i}{1 + \xi_i} \right)^2 \right]$$

(3 · 1)

式中 A_i 及 J_i 分别表示 i 断面面积及其对面积形心轴的惯矩。

(二) 水平荷载作用下的内力及变位计算

对于悬臂梁的计算,完全可以仿效前述静定悬臂折梁的计算程序。如图3-2(c),

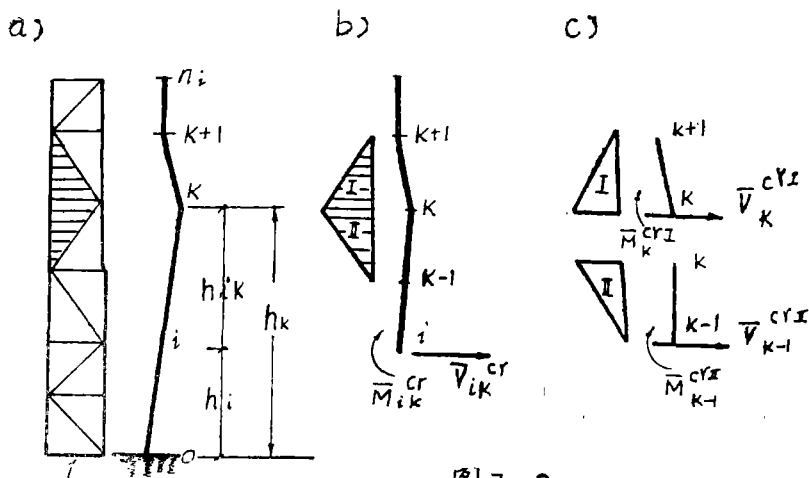


图3-2

仍将k号单位三角形荷载区分为 I、II 型,则极易求得两典型单元k及k-1断面的内力分量:

$$\left\{ \bar{f}_k^c \right\}^{\Gamma I} = \left[\bar{V}_k^c, \bar{m}_k^c \right]_k^{\Gamma I}$$

$$\left\{ f_{k-1}^c \right\}^{\Gamma II} = \left[\bar{V}_k^c, \bar{m}_k^c \right]_k^{\Gamma II}$$

则任意断面i的内力可表示为:

$$\left\{ f_{i,k}^c \right\}^{\Gamma} = \left[F_{ik}^c \right] \left\{ \bar{f}_k^c \right\}^{\Gamma I} + \left[F_{i,k-1}^c \right] \left\{ \bar{f}_{k-1}^c \right\}^{\Gamma II} \quad (3.2)$$

其中 $\left[F_{ik}^c \right]$ 即为适用于垂直悬臂梁的内力传递矩阵

$$\left[F_{ik}^c \right] = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} & (k < i) \\ \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} & (k = i) \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ h_{ik} & 1 \end{bmatrix} & (k > i) \end{cases} \quad (3.3)$$

式中 $h_{ik} = h_k - h_i$ 为两断面间高度(下同),很显然 $\left[F_{ik}^c \right]^T$ 即为由i至k断面的变位传递矩阵。

如前述,同样可以定义如下矩阵:

典型单元 $k \sim k+1$ 分段, k 断面作用有单位集中剪力及弯矩时, k 断面的变位系数矩阵:

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{\alpha}^c_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{r}^v & \bar{r}^m \\ \bar{\theta}^v & \bar{\theta}^m \end{bmatrix}_k^c$$

r, θ 分别表示径向变位及转角,上角标表示产生变位的因素。其阵元可用结构力学方法求出,为了简化计算,于此我们采用了段间 $\frac{M}{EJ}$ 及 $\frac{V}{GA}$ 呈直线变化来反映断面变化。

地基变位系数矩阵:

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{\alpha}^c_{f,o} \end{bmatrix} = \frac{1}{S_o} \begin{bmatrix} r & \alpha_2 \\ \alpha'_2 & \alpha \end{bmatrix}$$

其中阵元为Vogt系数, S_o 为梁基断面中线长。

以及 $k+1 \sim k$ 及 $k \sim k-1$ 分段分别作用 ΓI 、 ΓII 型荷载时,段顶的变位增量列阵:

$$\begin{aligned} \left\{ \delta \bar{\alpha}^c \right\}_{k+1}^{\Gamma I} &= \begin{bmatrix} \bar{r}^c & \bar{\theta}^c \end{bmatrix}_{k+1}^{\Gamma I T} \\ \left\{ \delta \bar{\alpha}^c \right\}_k^{\Gamma II} &= \begin{bmatrix} \bar{r}^c & \bar{\theta}^c \end{bmatrix}_k^{\Gamma II T} \end{aligned}$$

则垂直悬臂梁当 k 断面作用有单位三角形荷载时,任意断面 i 的径向变位为:

$$\begin{aligned} \Delta \Gamma_{ik} &= \begin{bmatrix} 1 & h_{o,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{\alpha}^c_{f,o} \end{bmatrix} \left\{ \bar{f}^c_{o,k} \right\}^{\Gamma} \\ &+ \sum_{s=1}^i \begin{bmatrix} 1 & h_{s,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{\alpha}^c_s \end{bmatrix} \left\{ \bar{f}^c_{s,k} \right\}^{\Gamma} \\ &+ \begin{bmatrix} 1 & h_{k+1,i} \end{bmatrix} \left\{ \delta \bar{\alpha}^c \right\}_{k+1}^{\Gamma I} \\ &+ \begin{bmatrix} 1 & h_{k,i} \end{bmatrix} \left\{ \delta \bar{\alpha}^c \right\}_k^{\Gamma II} \end{aligned} \quad (3 \cdot 4)$$

(三) 垂直荷载作用下的内力及变位计算

1、水重作用下的内力

因为库水位可于任何高程,不与计算断面相重合(图3—3),如处于任意 $m \sim m+1$ 段之

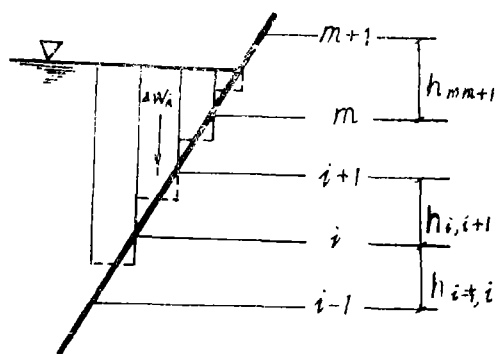


图 3-3

间，各计算断面以上的水体重 ΔW^* 及其对计算断面的弯矩可采取总和法计算，如图 3-3。

$$W_i^w = \gamma_w \sum_{k=i}^m \left\{ \left(\bar{h}_{k,m+1} - \frac{1}{2} h_{k,k+1} \right) \cdot [(yu)_k - (yu)_{k+1}] \right\} \quad (3 \cdot 5)$$

$$\begin{aligned} M_i^w &= \gamma_w y_{g,i} \sum_{k=i}^m \left\{ \left(\bar{h}_{k,m+1} - \frac{1}{2} h_{k,k+1} \right) \cdot [(yu)_k - (yu)_{k+1}] \right\} \\ &\quad - \gamma_w \sum_{k=i}^m \left\{ \left(h_{k,m+1} - \frac{1}{2} h_{k,k+1} \right) \cdot [(yu)_k (yu)_{k+1}] (yu)_k \right\} \\ &\quad + \gamma_w \sum_{k=i}^m \left\{ \frac{1}{2} \bar{h}_{k,m+1} - \frac{1}{3} h_{k,k+1} \right\} \cdot [(yu)_k - (yu)_{k+1}]^2 \end{aligned} \quad (3 \cdot 6)$$

其中 γ_w 为库水容重

$$\bar{h}_{k,m+1} = h_{k,m} + h_{m,m+1}$$

$$\bar{h}_{m,m+1} = \begin{cases} 0 & (i = ni) \\ h_{i,i+1} & (i = m) \end{cases}$$

且 $i > m$; $W_i^w = 0$, $M_i^w = 0$ 。

2、坝体自重作用下的内力

对于任意分段 $k \sim k+1$, 取其中间断面面积为 $A_{k,k+1}$, 按抛物线插值公式求出其自重, 再以总和法即可求出断面 i 的轴向力及弯矩:

$$W_i^G = \sum_{k=i}^{n_i-1} \gamma_c \left[\frac{1}{6} h_{k,k+1} (A_k + 4A_{k,k+1} + A_{k+1}) \right] \quad (3 \cdot 7)$$

$$M_i^G = (y_{c,i}) W_i^G - \sum_{k=i}^{n_i-1} \gamma_c h_{k,k+1} \left[\frac{1}{6} (y_c)_k (A_k + 2A_{k,k+1}) + \frac{1}{6} (y_c)_{k+1} (2A_{k,k+1} + A_{k+1}) \right] \quad (3 \cdot 8)$$

其中 γ_c 为坝体材料容重。

3、垂直荷载下的变位计算

假定坝体自重不参与变位调整, 故仅需计算由于水重弯矩产生的径向变位, 当断面内力已知, 此时仍可应用 (3·4) 式来计算变位, 于此不再赘述。

四、变位谐调方程

显然, 由于河谷形状、坝体结构及计算要求不同, 梁系划分及共轭点数也将不同。如图 4—1, 计算程序应该方便地适应于各种情况。

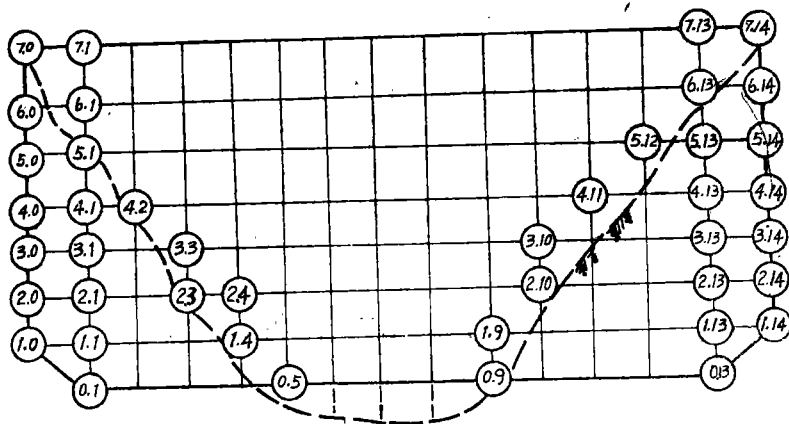


图 4—1

假如, 对U形河谷, 可能形成 7×13 个内共轭点, 如图中实线所示, 称之为标准共轭点网, 否则称为非标准共轭点网, 如图中虚线所示, 对于实际河谷形式当多为此型。

对于标准共轭点网, 共轭点以 (水平·垂直) 梁排列, 基础点分别以 $(i, 0)$ ($i, 14$) 及 $(0, j)$ 标注。取出 i 号水平梁 j 号垂直梁, 如图 4—2, 以 X_{nj} 表示共轭点 $(n,$

j)处垂直梁分配的荷载强度, p_i 表示 i 号水平梁高程的水平荷载强度, 並以 u 及 Δr 分别表示水平及垂直梁在单位三角形荷载作用下所产生的水平径向变位。

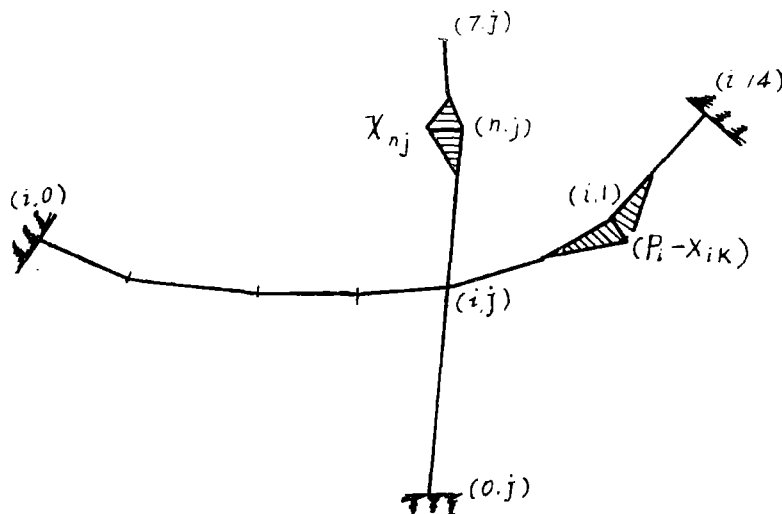


图 4-2

则根据共联点 (i, j) 的变位连续条件可得:

$$\sum_{k=0}^{14} u_{jk}^i (p_i - x_{ik}) + \Delta u_j^i = \sum_{n=0}^7 \Delta r_{in}^i x_{nj} + \Delta R_i^j \quad (4 \cdot 1)$$

式中 u_{jk}^i : i 号水平梁上由于 k 号单位三角形荷载作用, 于 j 断面产生的水平径向变位;

Δu_j^i : i 号水平梁, 由于其他原因(如温度变化, 支座变位相互影响等)引起的 j

断面的水平径向变位;

$\Delta r_{in}^j, \Delta R_j^i$: 分别表示 j 号梁由于 n 号单位三角形荷载及其他原因(如上游坝面水

重等)引起的 i 断面的水平径向变位。

(4 · 1)又可写成

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=0}^{14} u_{jk}^i x_{ik} + \sum_{n=0}^7 \Delta r_{in}^i x_{nj} &= A_{ij} \\ A_{ij} &= p_i \sum_{k=0}^{14} u_{jk}^i + \Delta u_j^i - \Delta R_i^j \end{aligned} \right\} \quad (4 \cdot 2)$$

$$(i = 1, 2 \dots 7)$$

$$(j = 1, 2 \dots 13)$$

由于地基点不能列出如上方程,即未知数多于方程数,故应建立补充方程,于此,我们近似地将折梁展为直梁,按直线外插法决定基础点荷载的办法来建立补充方程。

对于非标准共轭点网,可将其展开比拟为标准网,办法是令缺号共轭点与相邻实共轭点重合,如图4—1中以 $i = 3$ 为例,左端缺 $(3 \cdot 1)(3 \cdot 2)$ 右端缺 $(3 \cdot 11)$,如左端,可令 $(3 \cdot 1)(3 \cdot 2)$ 与 $(3 \cdot 3)$ 重合,按水平梁给出虚拟变位系数,而其他变位系数皆为零即可。

此外,已如前述,由于我们允许水平梁与垂直梁端在地基面不相交,因此尚需处理不相交梁基变位的相互影响,这是相当复杂的,我们采取内插梁系法作近似处理,例如, S 及 $S+1$ 号水平梁之间有一基础点不相交的 k 号垂直梁,则可按内插法插入。一条水平梁与 k 梁相交,此内插水平梁基变位由 $S, S+1$ 号水平梁基变位用内插法得到,即此作为 k 号垂直梁地基的附加变位来修正其他共轭点的变位。由于计算机容量限制,其求解过程可采用逐次调整法进行。由于篇幅所限于此不再详述。

总之,经过如上处理,最终可通过 $(4 \cdot 2)$ 式解出梁系荷载分配值。

五、程序设计概要及操作说明

(一) 框图设计

由于DJ5—21机的内存容量(16384单元)及两台磁鼓容量的限制,为满足标准共轭点网的计算要求(求解118阶线性方程组,占用内存13242个单元)。为了实现计算并缩短计算时间,故采用了机器语言的手编程序。

首先计算全部水平折梁,然后再计算全部垂直梁,并将梁系变位结果记鼓,最后读鼓组成118阶方程的系数矩阵及常数项,用高斯主元消去法直接解垂直悬臂梁的分配荷载,继而求得水平折梁所承担的荷载。

由于篇幅所限,本文仅给出总框图〔如附表1〕

(二) 基本数据及信息

对于标准共轭点网,每一条水平折梁上需有十三条垂直悬臂梁及两个支座断面(共十四段);每一垂直悬臂梁上需有七条水平折梁及一个支座断面(共七段)。对于非标准共轭点网,有缺号共轭点存在,则相应的水平梁及垂直梁的分段跨度 l_{j-1}, j 及段高 h_{i-1}, i 应填零,并以此作为梁系实际共轭点的信息及组成并疏散为标准方阵的依据。需填写的基本数据(按浮点十进制规格化数)及信息详见^[5]。

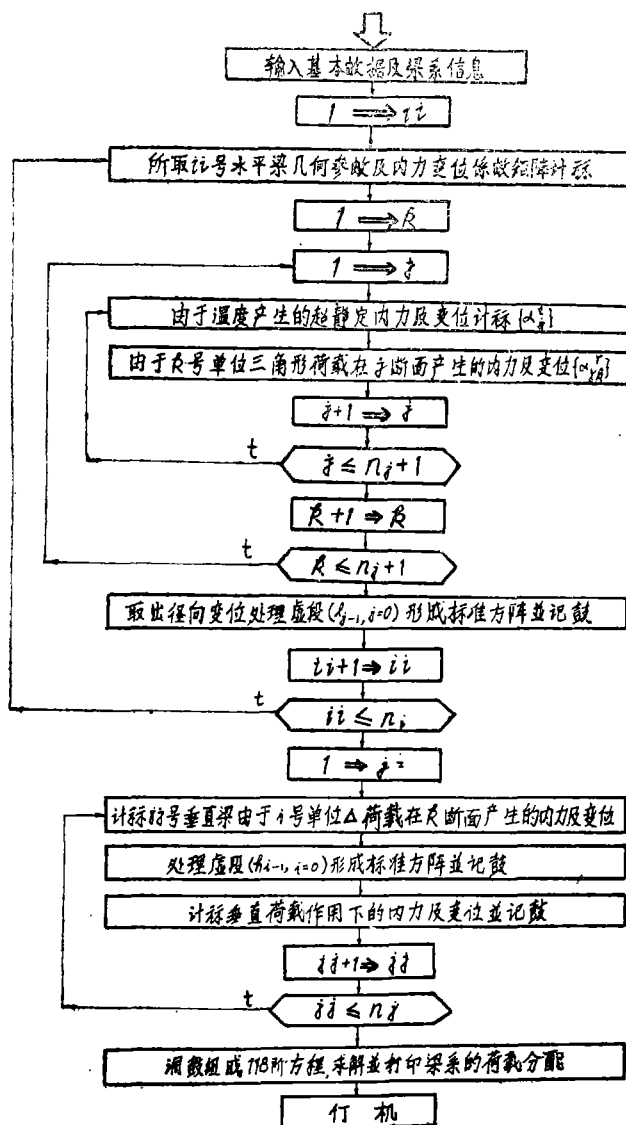
(三) 程序操作及说明

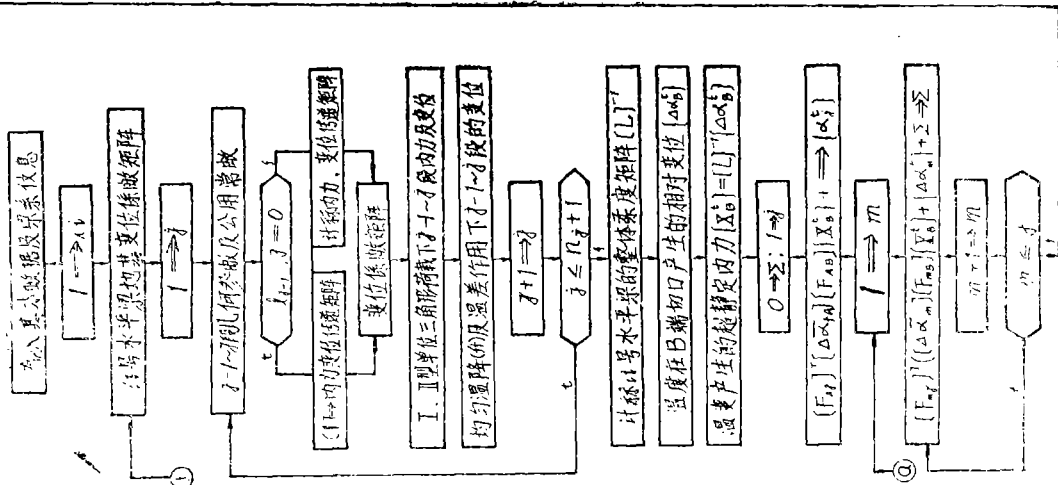
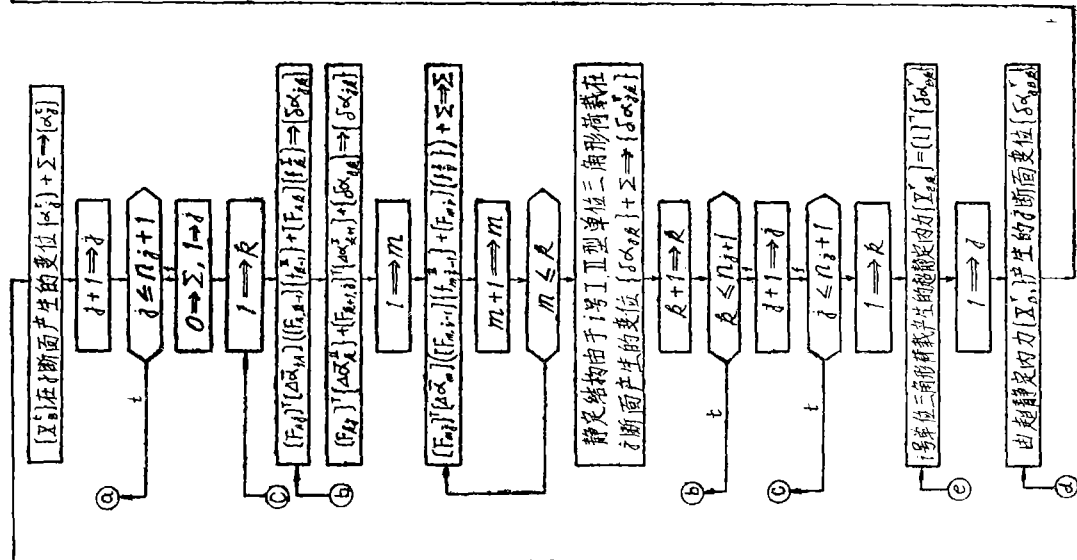
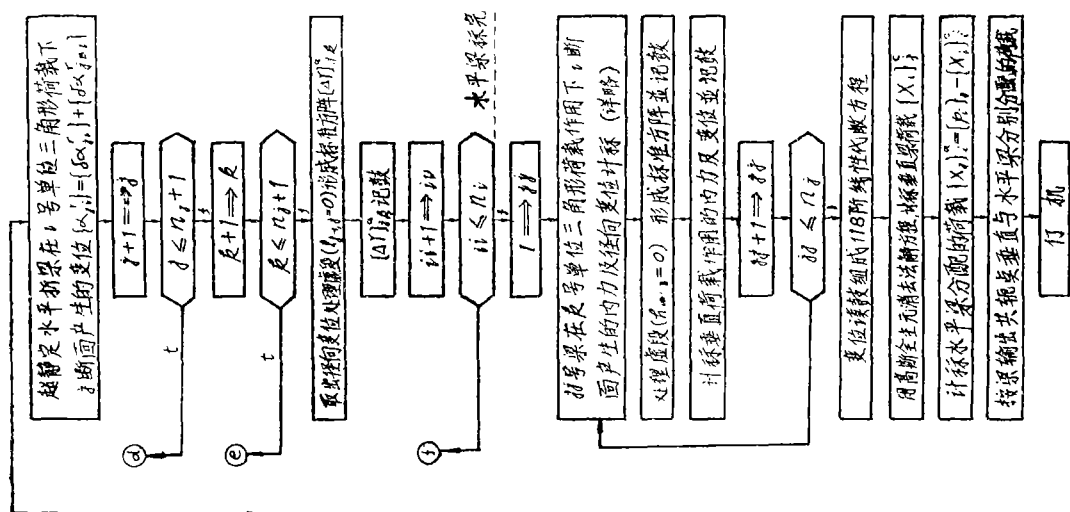
- 1、输入标准子程序、计算程序;
- 2、启动1000, 停机0021; 数据区冲零;
- 3、输入基本数据及信息;
- 4、计算;

- (1) 启动0100, 停机0101: 数十翻二 ($k_2 = 1$ 时打印数据) 並记鼓;
- (2) 启动0101, 停机0102: 计算水平折梁内力及变位並记鼓;
- (3) 启动0102, 停机0103: 计算垂直悬臂梁内力及变位並记鼓;
- (4) 启动0103, 停机0104: 读鼓组成系数矩阵及常数项;
- (5) 启动0104, 停机0105: 解线性代数方程並按垂直梁系打印荷载分配成果。

以上计算共需30分钟。组成线性方程后, 计算程序即遭破坏, 如需计算另题, 应重新输入计算程序並重复如上步骤。

附表 1





六、算 例

某单曲拱坝,每层水平拱厚度为常数,划分为七拱十三梁,用水电部东北勘测设计院试载法程序作一次径向变位调整,分别计算拱梁荷载分配。然后,将该例圆拱改为水平折梁,其他条件全同,使用本程序求出该正交梁系的荷载分配,其成果比较见图6—1,及6—2。

计算结果表明,整体折线型重力坝可以将部分水平荷载传递到两岸上,从而改善了重力坝的结构性能,但就其荷载传递的数值来说则不及拱坝。

当然,对于这种坝型用空间有限元法分析可以得到较精确的结果,随着我国计算技术及计算机的发展,必将产生其他的更好的分析方法,但就当前的情况而言,用这种荷载分配的方法能给出一个较直观的结果。当荷载分配已知后再配合诸如平面有限元法或其他常规计算方法计算梁系的应力及变形,仍不失为一种解决这类坝型计算的较为现实而合理的方法。

最后,向水电部第十五工程局勘测设计院给予的支持表示感谢。

参 改 文 献

- [1] Boulder Canyon project final reports part V——
Technical investigation bulletin; Trial Load
method of analyzing arch dams.
- [2] C. C. Ahtohob 等,关于拱坝的承载能力 《拱坝技术》
水利水电拱坝技术情报网 1977 · 2 ·
- [3] K. V. Swaminatham, 弹性基础上拱坝的结构性能 《水电技术情报》
水利电力部成都勘测设计院技术情报组 1977 · 7 ·
- [4] 汪景琦,拱坝的设计与计算 《水利电力出版社》。
- [5] 西北农学院大坝应力研究组 用正交梁系法计算整体折线型重力坝程序数据及
信息填写说明(内部资料) 1978 · 6 ·
- [6] 水电部第十五工程局勘测设计院 某水电站整体式重力坝试载法计算(内部资料)
1976 · 11 ·
- [7] 陕西省水电勘测设计院、西北农学院水利系,拱坝计算中的拱冠梁法及其在
DJ S—21机中的应用,《电子计算机在水利水电中的应用》
《水利电力出版社》,1975 ·

