

组合拱式管桥计算机模拟设计

宋文利* 姚安林

(西北石油管道建设指挥部) (西南石油学院)

摘 要 本文在已有成果资料的基础上,为组合拱式管桥的设计建立了常规设计表达式,并研制出组合拱式管桥计算机模拟设计的程序软件 CAPBD。该软件具有以下计算功能:(1)计算组合管拱的几何特征参数;(2)计算组合管拱自重和组合拱式管桥的竖向荷载及其材料费用;(3)分析和计算各种载荷作用下组合拱式管桥的内力;(4)组合拱式管桥各控制截面强度校核、稳定性验算以及拱支墩稳定性验算和地基承载力强度校核。使用结果表明,该软件运算迅速、操作简便、结果准确可靠,对减轻设计人员的劳动强度具有一定的工程实用价值。

主题词 管道跨越 设计计算 计算机程序设计

前 言

在油气长输管线中,跨越管桥起着使油气管线越过江河、峡谷等自然障碍的关键性连接作用。在众多跨越管桥结构型式,圆弧形组合拱式管桥(如图1所示)以其刚度大,跨越能力较圆弧形单管拱桥强,且施工及检修方便,造形美观,还可兼作通行人的便桥等优点,在油气管道建设中得到了较为广泛的应用。

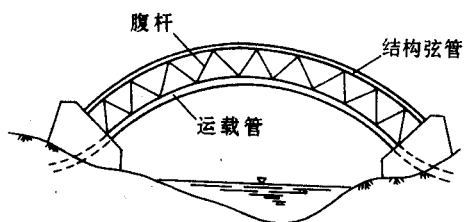


图1 组合拱式管桥立面图

由静力分析可知,组合拱式管桥设计计算公式繁琐,较复杂。人工手算设计,不仅计算工作量很大,而且修改设计时,重复计算工作多,无疑增加了设计人员劳动强度,降低了工作效率,并且还难以保证较高的计算精度。因此,为了克服上述各种麻烦,本文借助于电子计算机技术,用 FORTRAN 语言编制了组合拱式管桥常规设计的计算机模拟软件 CAPBD,在微机上运行 CAPBD 软件,即可灵活、方便、迅速地处理组合拱式管桥常规设计的各种计算问题。

组合拱式管桥静态特性分析

图1所示组合拱式管桥是由一根运载管和两根结构弦管通过腹杆连结在一起的桁拱结构,其横截面通常为等边三角形。

组合拱式管桥的静力分析主要应用圆弧形无铰拱结构理论的一般原理。有关静力计算

* 宋文利,工程师,1969年生,1991年毕业于西南石油学院储运专业,1994年获储运专业硕士学位,主要从事跨越管桥结构的分析研究,1993年曾在“天然气工业”刊物上发表《提篮半穿式管桥的模糊优化设计》文章。地址:(710032)陕西省西安市长缨东路37号。电话:(029)3245200—2187。

公式的推导请参见文献[1~4],在这里,本文仅归纳列举出有关计算公式。

1. 组合管拱的几何特性

(1) 拱轴线的几何尺寸

跨度: L

矢跨比: $n = \frac{f}{L}$

矢高: $f = n \cdot L$

圆弧拱半圆心角: $\varphi_0 = \sin^{-1} \left(\frac{4n}{4n^2 + 1} \right)$

拱轴圆弧半径: $R = \frac{4n^2 + 1}{8n} \cdot L$

圆弧拱轴线长: $S_a = 2 \cdot \varphi_0 \cdot R$

(2) 运载管、结构弦管和腹杆的几何特性
运载管的横截面积:

$$F_{\mu} = \frac{\pi}{4} [D_{\mu}^2 - (D_{\mu} - 2 \cdot \delta_{\mu})^2]$$

结构弦管的横截面积:

$$F_s = \frac{\pi}{4} [D_s^2 - (D_s - 2 \cdot \delta_s)^2]$$

腹杆的横截面积:

$$F_f = \frac{\pi}{4} [D_f^2 - (D_f - 2 \cdot \delta_f)^2]$$

腹杆的形心轴惯性矩:

$$I_f = \frac{\pi}{64} [D_f^4 - (D_f - 2 \cdot \delta_f)^4]$$

腹杆的长度: $l_f = \sqrt{a^2 + \frac{l_0^2}{4}}$

(3) 组合管拱横截面的几何特性

横截面面积: $F_a = F_{\mu} + 2 \cdot F_s$

组合管拱的厚度: $h = a \cdot \sin \frac{\pi}{3}$

截面形心到运载管中心的距离:

$$h_1 = \frac{2 \cdot h \cdot F_s}{F_a}$$

水平抗剪刚度:

$$K_x = \xi \cdot E \cdot F_f \cdot \sin^2 \theta \cdot \cos \theta$$

其中 $\xi = \frac{\eta \cdot h^2 \cdot \sin 30^\circ}{h_1^2 \cdot \sin 30^\circ + (h - h_1)^2 \cdot \eta}$;

$$\eta = 1 / (1 + \sin^3 \theta); \theta = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{2a}{l_0} \right)$$

竖向抗剪刚度:

$$K_y = 2 \cdot E \cdot F_f \cdot \sin^2 \theta \cdot \cos \theta \cdot \cos^2 30^\circ$$

水平面桁架片的抗剪刚度:

$$K_1 = \eta \cdot E \cdot F_f \cdot \sin^2 \theta \cdot \cos \theta$$

斜面桁架片的抗剪刚度:

$$K = E \cdot F_f \cdot \sin^2 \theta \cdot \cos \theta$$

抗扭刚度: $C = \frac{3 \cdot a^2 \cdot K \cdot K_1}{4(K + 2K_1)}$

水平抗弯刚度: $B_y = \mu_y \cdot B_y^0$

其中 B_y^0 ——不计腹杆剪切变形影响时的水平抗弯刚度,由下式计算:

$$B_y^0 = \frac{1}{2} E \cdot a^2 \cdot F_s$$

μ_y ——水平抗弯刚度折减系数,按文献[1]中所述方法及公式经试算求得。

竖向抗弯刚度: $B_x = \mu_x \cdot B_x^0$

其中 B_x^0 ——不计腹杆剪切变形影响时的截面竖向抗弯刚度,由下式计算:

$$B_x^0 = E \cdot [F_{\mu} \cdot h_1^2 + 2F_s \cdot (h - h_1)^2]$$

μ_x ——竖向抗弯刚度折减系数,计算式为: $\mu_x = 1 / (1 + \frac{B_x^0}{C_1 \cdot R \cdot K_x})$; $C_1 = 1 -$

$$\frac{\sin \varphi_0}{\varphi_0}$$

组合管拱截面惯性矩:

拱平面内: $I_x = F_{\mu} \cdot h_1^2 + 2F_s \cdot (h - h_1)^2$

拱平面外: $I_y = \frac{1}{2} a^2 \cdot F_s$

组合管拱截面模量:

竖向抗弯截面模量: $W_y = \frac{2 \cdot I_y}{a}$

水平抗弯截面模量: $W_x = \frac{I_x}{h - h_1}$

2. 组合拱式管桥的荷载计算

(1) 运载管及输送介质重力荷载(包括保温层及管上附件重)

$$\text{输油: } q_1 = \gamma_s \cdot g \cdot F_{\mu} + \gamma_y \cdot g \cdot \frac{\pi}{4} (D_{\mu} - 2 \cdot \delta_{\mu})^2 + \gamma_b \cdot g \cdot \frac{\pi}{4} [(D_{\mu} + 2 \cdot \delta_b)^2 - D_{\mu}^2] + \zeta_1$$

$$\text{输气: } q_1 = \gamma_s \cdot g \cdot F_{\mu} + \zeta_1 + \zeta_2$$

(2) 结构弦管重力荷载

$$q_2 = \zeta \cdot \gamma_s \cdot g \cdot F_s$$

(3) 结构腹杆重力荷载

$$q_3 = \frac{E \cdot F_f \cdot l_0 \cdot a \cdot \gamma_s \cdot g}{3G}$$

$$\left[\frac{1}{a^3 + (a^2 + l_0^2)^{3/2}} + \frac{2}{(a^2 + l_0^2/4)^{3/2}} \right]$$

(4)沿拱轴线均匀分布的竖向荷载

$$q_v = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

其中 q_4 表示行人及一般情况检修荷重。

(5)水平风荷载

水平风荷载的计算公式为:

$$\omega = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_z$$

$$[\mu_{s1} \cdot (D_{pi} + D_s) \cdot \omega_0 + \mu_{s2} \cdot A_{in} \cdot \omega_0 / S_a]$$

其中 μ_1 ——与大风方向一致的谷口调整系数,按[7]取 $\mu_1 = 1.3$;

μ_2 ——重要结构调整系数,按[7]取 $\mu_2 = 1.2$;

μ_3 ——荷载系数,按[5]有关规定取 $\mu_3 = 1.3$;

μ_z ——风压高度变化系数,其值的确定参见文献[4];

μ_{s1} ——上、下两层不同管径管子对应的风载体型系数在拱轴上的平均风载体型系数,其值的确定详见文献[4]。

3. 组合拱式管桥的内力计算

(1)竖向荷载引起的结构内力

水平推力: $H_{qv} = X_2 - E_v$

轴向力:

$$N_{qv} = (X_2 - E_v) \cdot \cos\varphi + N_v - X_3 \cdot \sin\varphi$$

剪力:

$$Q_{qv} = -(X_2 - E_v) \cdot \sin\varphi + Q_v - X_3 \cdot \cos\varphi$$

弯矩: $M_{qv} = X_1 + (X_2 - E_v)$

$$\left(\frac{\sin\varphi_0}{\varphi_0} - \cos\varphi \right) \cdot R + M_v - R \cdot X_3 \cdot \sin\varphi$$

其中 X_1 、 X_2 、 X_3 ——分别为不考虑拱轴弹性压缩影响时竖向荷载在拱轴弹性中心处产生的赘余弯矩、水平推力和剪力,计算公式见文献[4];

N_v 、 Q_v 、 M_v ——分别为竖向荷载作用在基本结构上产生的轴向力、剪力和弯矩,计算公式参见文献[4];

E_v ——竖向荷载作用下拱轴弹性压缩在弹性中心处产生的附加水平拉力,其计算

公式详见文献[2]。

(2)输送介质内压引起的结构内力*

$$\text{水平推力: } H_p = \frac{C_2}{5C_3}$$

$$\text{其中 } C_2 = \frac{(h-h_1) \cdot (D_{pi} - 2\delta_{pi}) \cdot B_z \cdot P}{h \cdot E \cdot R^2 \cdot \delta_{pi}};$$

$$C_3 = \frac{\varphi_0 \cdot \cos\varphi_0}{\sin\varphi_0} - \frac{2\sin\varphi_0}{\varphi_0}$$

轴向力: $N_p = H_p \cdot \cos\varphi$

剪力: $Q_p = H_p \cdot \sin\varphi$

$$\text{弯矩: } M_p = \frac{P \cdot B_z \cdot (D_{pi} - 2\delta_{pi})}{h \cdot E \cdot \delta_{pi}}$$

$$\left[-0.1 + \frac{h-h_1}{R} \cdot \frac{\sin\varphi_0 - \cos\varphi}{5C_3} \right]$$

(3)温度变化引起的结构内力

分别考虑输油、输气两种不同介质,在环境最高、最低气温下温度变化引起的结构内力。

①输油:

A. 环境最高气温:

$$\text{水平推力: } H_t = \frac{2.6 \cdot \alpha_t \cdot B_z \cdot t_{ou}}{C_3 \cdot R^2}$$

其中 t_{ou} ——输油时在环境最高气温下,截面形心(拱轴线)的平均温度,按下式计算:

$$t_{ou} = \frac{1}{h} [(h-h_1) \cdot (t_n - \bar{t}) + h_1 \cdot (t_n - \bar{t})]$$

轴向力: $N_t = H_t \cdot \cos\varphi$

剪力: $Q_t = -H_t \cdot \sin\varphi$

$$\text{弯矩: } M_t = H_t \cdot R \cdot \left(\frac{\sin\varphi_0}{\varphi_0} - \cos\varphi \right) + \frac{1}{h} \cdot \alpha_t \cdot B_z \cdot \Delta t_{ou}$$

其中 Δt_{ou} ——输油时在环境最高气温下,组合管拱截面中运载管与结构弦管的相对温差,按下式计算:

$$\Delta t_{ou} = (t_n - \bar{t}) - (t_n - \bar{t})$$

B. 环境最低气温:

$$\text{水平推力: } H_t = \frac{2.6 \cdot \alpha_t \cdot B_z \cdot t_{ol}}{C_3 \cdot R^2}$$

其中 t_{ol} ——输油时在环境最低气温下,截面形心(拱轴线)的平均温度,按下式计算:

* 邹永维,圆弧形无铰组合管拱静力计算,四川石油管理局勘察设计院,1981,3

$$t_{oi} = \frac{1}{h} [(h-h_1) \cdot (t_n - \bar{t}) + h_1 \cdot (t_i - \bar{t})]$$

$$\text{轴向力: } N_i = H_i \cdot \cos\varphi$$

$$\text{剪力: } Q_i = -H_i \cdot \sin\varphi$$

$$\text{弯矩: } M_i = H_i \cdot R \cdot \left(\frac{\sin\varphi_0}{\varphi_0} - \cos\varphi \right) + \frac{1}{h} \cdot a_i \cdot B_x \cdot \Delta t_{oi}$$

其中 Δt_{oi} ——输油时在环境最低气温下,组合管拱截面中运载管与结构弦管的相对温差,按下式计算:

$$\Delta t_{oi} = (t_i - \bar{t}) - (t_n - \bar{t})$$

②输气:

$$\text{水平推力: } H_i = \frac{2.6 \cdot a_i \cdot B_x \cdot t_o}{C_3 \cdot R^2}$$

其中 t_o ——截面形心(拱轴线)的平均温差,计算如下:

$$\text{环境最高气温下: } t_o = t_n - \bar{t}$$

$$\text{环境最低气温下: } t_o = t_i - \bar{t}$$

$$\text{轴向力: } N_i = H_i \cdot \cos\varphi$$

$$\text{剪力: } Q_i = -H_i \cdot \sin\varphi$$

$$\text{弯矩: } M_i = H_i \cdot R \cdot \left(\frac{\sin\varphi_0}{\varphi_0} - \cos\varphi \right)$$

(4)水平风荷载引起的结构内力

$$\text{剪力: } Q_w = \omega \cdot R \cdot \varphi$$

$$\text{弯矩: } M_w = X \cdot \cos\varphi - \omega \cdot R^2 (1 - \cos\varphi)$$

$$\text{扭矩: } L_w = X \cdot \sin\varphi - \omega \cdot R^2 \cdot (\varphi - \sin\varphi)$$

其中 $X = \frac{\omega \cdot R^2}{\Delta_1} \left[\frac{1}{\xi_f} (K_1 + K_2 + K_3) + K_1 - K_2 \right]$,式中各符号意义参见文献[1]。

(5)内力组合

在各种荷载共同作用下,组合拱式管桥任意截面处产生的结构内力为:

$$\text{水平推力: } H = H_w + H_i + H_s$$

$$\text{轴向力: } N = N_w + N_i + N_s$$

$$\text{横向剪力: } Q_x = Q_w$$

$$\text{竖向剪力: } Q_y = Q_w + Q_i + Q_s$$

$$\text{横向弯矩: } M_x = M_w$$

$$\text{竖向弯矩: } M_y = M_w + M_i + M_s$$

$$\text{扭矩: } L_B = L_w$$

(6)拱支墩的结构内力计算

组合拱式管桥拱支墩选用普通混凝土重力式结构型式,如图 2 所示。

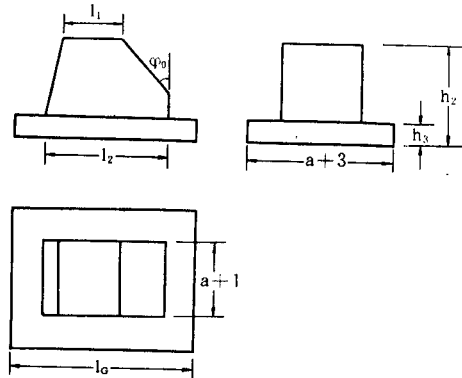


图 2 重力式拱支墩结构示意图

①拱支墩的几何特性

A. 拱支墩截面形心坐标的确定

拱支墩截面形状计算简图如图 3 所示。根据理论力学有关知识,可求得拱支墩截面形心 O' 的坐标为:

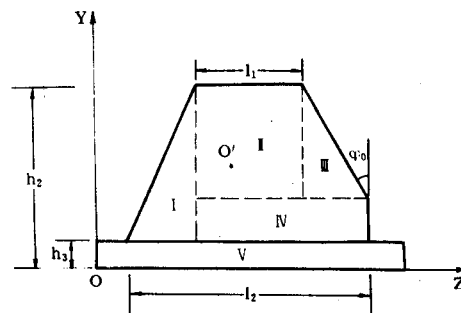


图 3 拱支墩截面形状简图

$$Z_o = \frac{1}{S_g} (S_I \cdot Z_I + S_{II} \cdot Z_{II} + S_{III} \cdot Z_{III} + S_{IV} \cdot Z_{IV} + S_V \cdot Z_V)$$

$$y_o = \frac{1}{S_g} (S_I \cdot y_I + S_{II} \cdot y_{II} + S_{III} \cdot y_{III} + S_{IV} \cdot y_{IV} + S_V \cdot y_V)$$

其中 $Z_I, Z_{II}, Z_{III}, Z_{IV}, Z_V$ ——分别为相应规则图形形心的横坐标,计算式参见文献[1];

$y_I, y_{II}, y_{III}, y_{IV}, y_V$ ——分别为相应规

其中 $[R]_2$ ——结构管钢材的许用应力,

$$[R]_2 = m_1 \cdot m_2 \cdot K_t \cdot R_{sj}$$

S_s ——结构弦管的计算应力, 计算式为:

$$S_s = \max \left\{ \left| \frac{N}{F_a} - \frac{E \cdot M_y \cdot (h-h_1)}{B_x} + \frac{a \cdot E \cdot M_x}{2B_y} \right|, \left| \frac{N}{F_a} - \frac{E \cdot M_y \cdot (h-h_1)}{B_x} - \frac{a \cdot E \cdot M_x}{2B_y} \right| \right\}$$

(3) 腹杆的强度校核表达式:

$$\frac{N_f}{F_f} \leq [R]_2$$

其中 N_f ——腹杆受到的最大轴向力^[12,13]。且

$$N_f = \max \{ |N_{f1}|, |N_{f2}|, |N_{f3}| \}$$

$$N_{f1} = \frac{1}{\sin \theta} \left[\frac{h_1}{h} |Q_x| + \frac{1}{h} |L_B| \right]$$

$$N_{f2} = \frac{1}{2 \sin \theta} \left[\frac{h-h_1}{h} |Q_x| + \frac{1}{\sqrt{3}} |Q_y| - \frac{1}{h} |L_B| \right]$$

$$N_{f3} = \frac{1}{2 \sin \theta} \left[-\frac{h-h_1}{h} |Q_x| + \frac{1}{\sqrt{3}} |Q_y| + \frac{1}{h} |L_B| \right]$$

(4) 拱支墩地基承载力校核表达式:

$$1.2 S_o \leq R_o$$

其中 R_o ——地基土的承载力, 按下式计算:

$$R_o = M_b \cdot \gamma_t \cdot b + M_d \cdot \gamma_t \cdot d + M_c \cdot C_N$$

式中各符号意义参见文献[8];

S_o ——地基土的计算压应力, 计算式为:

$$S_o = \frac{Q_o + V_o}{(l_2 + 2)(a + 3)} + \frac{|M_{xo}|}{W_{xo}} + \frac{|M_{zo}|}{W_{zo}}$$

3. 结构稳定性验算

(1) 组合管拱面内稳定性验算表达式:

$$\frac{N}{K_p \cdot F_a} \leq [R]_2$$

其中 K_p ——压杆稳定系数, 根据拱轴压杆长细比 $\lambda \left(\lambda = \frac{S_o}{\sqrt{I_x/F_a}} \right)$ 的值查《规范》^[9] 而得到式中的 S_o 为拱轴侧倾计算长度, 按下式计算^[1]:

$$S_o = \frac{R \cdot \varphi_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{B_x}{C} (\varphi_0/\pi)^2}}{1 - (\varphi_0/\pi)^2}$$

(2) 组合管拱面外稳定性验算表达式:

$$2.6 \cdot \omega \leq \omega_k$$

其中 ω_k ——组合管拱临界侧向水平风荷载, 按下式计算^[1]:

$$\omega_k = \frac{3R_{sj} \cdot W_z}{2K_m \cdot R^2} \left[1 - \left(\frac{S_{cy}}{R_{sj}} \right)^2 - \left(\frac{S_{cy}}{S_c} \right)^{2/3} \right]$$

式中 S_{cy} ——拱轴截面的压应力, $S_{cy} = \frac{N}{F_a}$;

$$S_c = S_e = \frac{\pi^2 \cdot a^2 \cdot E}{4S_o^2}$$

(3) 腹杆稳定性验算表达式:

$$N_f \leq N_{fk}$$

其中 N_{fk} ——腹杆压稳的临界压力, 计算式为:

$$N_{fk} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_f}{L_f^2}$$

(4) 拱支墩抗滑移稳定性验算表达式:

$$1.3 H_o \leq R_m$$

其中 H_o ——拱支墩受到的水平推力, 即滑移力;

R_m ——拱支墩自身的抗滑移力, 按下式计算:

$$R_m = F_o \cdot (a + 1) + P_t + T_o$$

(5) 拱支墩抗倾覆稳定性验算表达式:

$$1.5 P_A \leq P_R$$

其中 P_A ——拱支墩的倾覆力矩, 按下式计算:

$$P_A = H_o \cdot [h_2 - (0.5 + h - h_1) \cdot \cos \varphi_0] + M_{xo}$$

P_R ——拱支墩的抗倾覆力矩, 计算式为:

$$P_R = Q_o \cdot Z_o + V_o \cdot [y_o + (0.5 + h - h_1) \cdot \sin \varphi_0 + \frac{1}{3} h_2 \cdot F_o \cdot (a + 1)]$$

需说明的是, 强度校核是针对拱脚截面, 因而有关表达式中的各项内力相应地为拱脚截面的内力; 组合管拱面内、面外稳定性验算是针对拱顶截面, 因此相应地, 有关表达式中的各项内力均为拱顶截面的内力; 腹杆及拱支墩稳定性验算, 其表达式中的各项内力均为拱脚截面的内力。

计算机模拟设计软件 CAPBD

根据前述计算公式,笔者用 FORTRAN-77 语言编制了组合拱式管桥常规设计计算问题的结构化模拟程序软件 CAPBD。该电算程序软件的基本结构及其功能如下:

1. CAPBD 程序的基本功能

本程序的基本结构包括:计算功能选择

控制、键盘输入基本设计参数、按选定功能进行计算和打印所需的计算结果等几部分。CAPBD 软件由一个主程序、二十三个子程序、三个数据块子程序和一个数据文件组成,其组成结构见图 5。

2. CAPBD 程序的计算功能及程序框图

本程序在计算功能选择、操作功能和基本设计参数输入等方面,均采用汉字屏幕提示,这将给使用本程序的设计人员带来极大

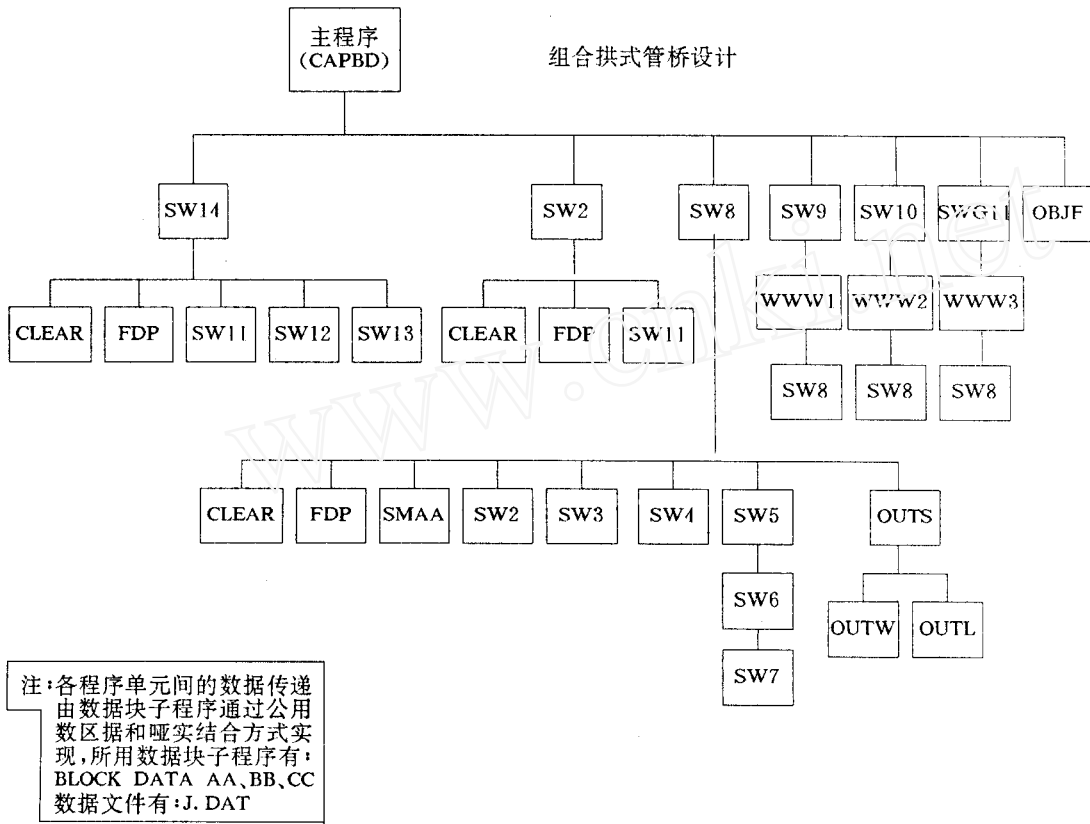


图5 常规设计计算机模拟程序CAPBD结构框图

的方便。CAPBD 程序的计算功能包括:①计算组合管拱的几何特性参数;②计算组合管拱自重和组合拱式管桥的竖向荷载及其材料费用;③分析和计算各种荷载作用下组合拱式管桥的内力;④组合拱式管桥各控制截面强度校核、稳定性验算以及拱支墩稳定性验

算和地基承载力强度校核。当执行计算功能③时,不仅能够得到组合拱式管桥在拱顶、拱脚截面处的各项内力值,而且还可根据使用者的需要打印出是否考虑拱轴弹性压缩影响时,半跨拱轴八等分点上各项内力值以及拱顶、拱脚截面在这两种情况下相应的内力对

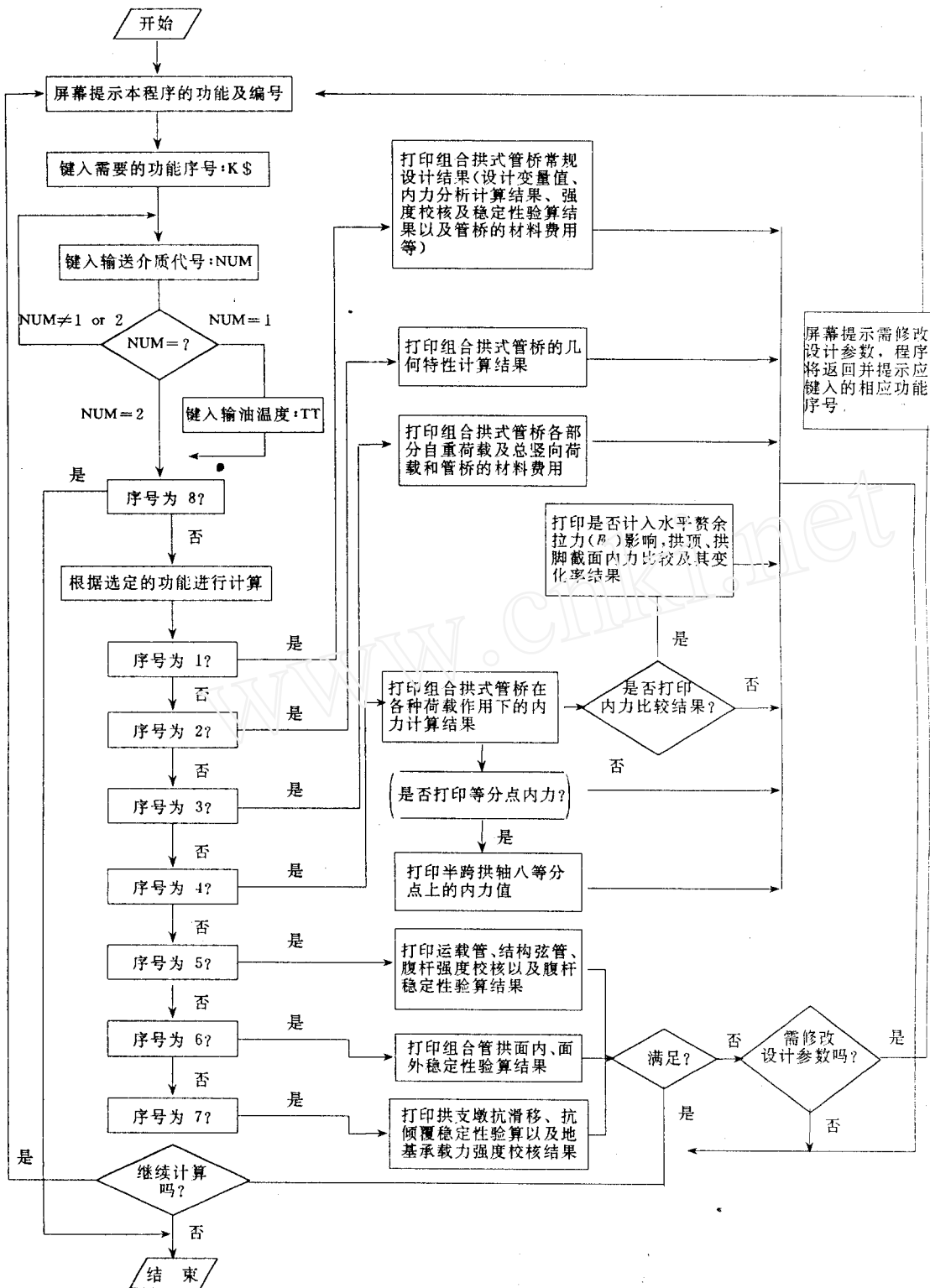


图6 常规设计计算机模拟程序 CAPBD 计算框图

比变化率。这些八等分点上各项内力值,可以帮助设计人员更清楚地了解所设计的组合拱式管拱在各种荷载作用下的内力分布规律。

CAPBD 程序的计算框图,如图 6 所示。

3. CAPBD 源程序使用说明

CAPBD 程序软件适用于普通微机,其所有操作均采用汉字屏幕提示,使用极为方便。

(1) 主要标识符说明

K\$—计算功能序号, $K\$ = 1, 2, \dots, 8$;

NUM—输送介质代号, $NUM = 1$, 表示输送油品; $NUM = 2$, 表示输送天然气;

(X~U)\$、T\$—控制符。当其等于 Y 时,表示程序完成某项计算功能后,要继续计算,程序自动返回到开始状态;当其等于 N 时,表示程序完成某项计算功能后,不需继续计算,程序即结束运行;

(A~C)\$、CH\$—控制符。当其等于 Y 时,表示对强度不足或稳定性不够的设计,需进行设计参数的修改,按下回车键后,屏幕提示应选择的计算功能序号,并返回到开始状态;当其等于 N 时,表示上述设计不需进行设计参数的修改,程序结束对该项计算功能的计算。

(2) 子程序说明

①CLEAR—清洗屏幕子程序;

②SMAA—计算水平风荷载子程序;

③SW14—计算并打印组合拱式管桥几何特性子程序;

④SW11—计算组合拱式管桥构件面积子程序;

⑤SW12—计算组合拱式管桥形体几何尺寸、截面惯性矩子程序;

⑥SW13—计算组合管拱截面抗剪、抗弯和抗扭刚度子程序;

⑦SW2—计算组合拱式管拱各部自重及总竖向荷载和管桥的材料费用;

⑧SW3—计算竖向荷载、输送介质内压各自引起结构内力的子程序;

⑨SW4—计算温差内力子程序;

⑩SW5—计算水平风荷载产生的内力子程序;

⑪SW6—计算组合管拱风载体型系数子程序;

⑫SW7—计算风压高度变化系数子程序;

⑬SW8—组合拱式管桥内力分析计算及结果打印子程序;

⑭SW9—运载管、结构弦管、腹杆强度校核及腹杆稳定性验算子程序;

⑮SW10—组合管拱面内、面外稳定性验算子程序;

⑯SWG11—拱支墩抗滑移、抗倾覆稳定性验算及地基承载力强度子程序;

⑰OUTS—设计计算结果输出子程序;

⑱OUTL—打印组合拱式管桥半跨拱轴八等分点各项内力值子程序;

⑲GUTW—打印组合拱式管桥拱顶、拱脚截面是否考虑拱轴弹性压缩产生赘余水平拉力影响时的内力值及相应的内力变化率子程序;

⑳WWW1—运载管、结构弦管、腹杆强度校核及腹杆稳定性验算结果打印子程序;

㉑WWW2—组合管拱面内、面外稳定性验算结果打印子程序;

㉒WWW3—拱支墩抗滑移、抗倾覆稳定性验算及地基承载力强度校核结果打印子程序;

㉓BLOCK DATD AA—设计基本已知参数数据块子程序;

㉔BLOCK DATD BB—稳定系数表数据块子程序;

㉕BLOCK DATD CC—风载体型系数数据块子程序;

㉖OBJF—计算并打印组合拱式管桥材料费用子程序;

㉗J. DAT—材料价格(单价)数据文件。

应用举例

为了检验本模拟设计程序的有效性,下面结合一个算例来说明其使用方法。

今欲拟建一座组合拱式管桥,有关设计数据见表 1 和表 2^[3,5,10,11]。

在编制程序时,已将表 2 中的数据放入了数据块子程序 BLOCK DATA AA 中。

在微机上运行模拟设计程序 CAPBD,屏幕立即显示程序的前述七种计算功能,并等待输入。作为举例,从键盘输入序号“3”,按回车键后屏幕提示输入输送介质代号。在这里,键入代号“1”,表示输入介质为油品,按回车键后,采用人机对话方式输入表 1 中管桥结构形体设计参数值,再按一下回车键,程序则

自动进行相应功能的计算,并迅速输出计算结果,见表 3、表 4。

表 1 组合拱式管桥结构形体设计参数

管桥的总跨度(L)	70m
管桥的矢跨比(n)	0.14285
组合管拱截面等边三角形边长(a)	3.0m
桁架片腹杆的节间距(l_0)	3.0m
运载管规格(D_m, δ_m)	$\Phi 630 \times 10$
结构弦管规格(D_s, δ_s)	$\Phi 325 \times 8$
结构腹杆规格(D_f, δ_f)	$\Phi 108 \times 4$
保温层厚度(δ_b)	7cm
拱支墩的埋深(h_2)	5.0m
拱支墩基础高度(h_3)	0.5m
拱支墩梯形断面上、下底长度(l_1, l_2)	$l_1 = 1.0m, l_2 = 3.5m$

表 2 与设计有关的基本已知参数

钢材密度(γ_s)	7800kg/m ³	钢材的线膨胀系数(α_s)	$1.18 \times 10^{-5} / ^\circ C$
油品密度(γ_o)	884kg/m ³	运载管钢材的屈服极限(R_{sp})	$4.13 \times 10^5 kPa$
水的密度(γ_w)	1000kg/m ³	结构管钢材的屈服极限(R_{sj})	$2.485 \times 10^5 kPa$
土壤的密度(γ_t)	1873kg/m ³	钢材的温度折减系数(k_t)	1.0
混凝土密度(γ_c)	2450kg/m ³	土壤的内摩擦角(ϕ)	0.25(弧度)
保温材料密度(γ_b)	450kg/m ³	土壤的内聚力(C_N)	14.8kN/m ²
输送介质内力(P)	2.36MPa	土壤与混凝土表面之间的摩擦系数(μ_s)	0.4
基本风压(ω_0)	300N/m ²	重要结构调整系数(μ_2)	1.2
管桥的封拱温度(\bar{t})	20°C	与大风方向一致的谷口调整系数(μ_1)	1.3
环境年平均最高气温(t_n)	37.5°C	荷载系数(μ_3)	1.3
环境年平均最低气温(t_l)	-3.5°C	工作条件系数(m_1)	0.9
钢材的拉压弹性模量(E)	$2.0 \times 10^8 kPa$	管材均质系数(m_2)	0.85
钢材的剪切弹性模量(G)	$8.24 \times 10^7 kPa$		

表 3 最高环境气温下,拱顶、拱脚截面的内力

内力	拱顶截面	拱脚截面	单位
水平推力	0.92856E+03	0.92856E+03	kN
轴向力	0.92856E+03	0.94719E+03	kN
横向剪力	0.00000E+00	0.97652E+01	kN
竖向剪力	0.00000E+00	-0.20428E+03	kN
横向弯矩	0.38299E+02	-0.14293E+03	kN.m
竖向弯矩	-0.27470E+04	0.14205E+04	kN.m
扭矩	0.00000E+00	-0.12662E+02	kN.m

表 4 最低环境气温下,拱顶、拱脚截面的内力

内力	拱顶截面	拱脚截面	单位
水平推力	0.58572E+03	0.58572E+03	kN
轴向力	0.58572E+03	0.65613E+03	kN
横向剪力	0.00000E+00	0.97652E+01	kN
竖向剪力	0.00000E+00	-0.23113E+02	kN
横向弯矩	0.38299E+02	-0.14293E+03	kN.m
竖向弯矩	-0.32426E+04	0.25046E+04	kN.m
扭矩	0.00000E+00	-0.12662E+02	kN.m

结束语

本文用所编制的 CAPBD 程序软件对组合拱式管桥进行了模拟设计计算,通过算例,表明该程序运行迅速,处理设计问题灵活、方便、准确,避免了修改设计的大量繁琐重复工作,这无疑减轻了设计人员的劳动强度,并提高了计算精确性,进而提高了工作效率。用编程来模拟组合拱式管桥的内力变化情况,有助于设计人员更清楚地掌握该结构的内力分布规律,更好地指导设计的改进,设计出更合理、更完美的油气跨越管桥结构。

参考文献

- 1 汤国栋. 大跨径管道组合拱式跨越结构的侧倾稳定性及刚度分析. 油气管道技术, 1981 年 No2、3
- 2 姚安林. 拱轴弹性压缩对提篮桁拱的内力影响. 石油学报, 1987 年 No4
- 3 宋文利, 姚安林. 提篮半穿式管桥的模糊优化设计. 天然气工业, 1993. 13(4)

- 4 宋文利. 组合拱式管桥可靠性设计. 西南石油学院, 硕士论文. 1994. 4
- 5 建筑设计手册——管道支架. 中国建筑工业出版社, 1973
- 6 工程建设标准规范汇编(四) 建筑结构设计规范部分. 中国计划出版社, 1990. 12
- 7 工业与民用建筑结构荷载规范(TJ9—74). 中国建筑工业出版社, 1974
- 8 丁金粟, 李锦坤等. 土力学及基础工程(清华大学土木工程系按新规范编写专业用书). 地震出版社, 1992. 6
- 9 钢结构设计规范(TJ17—74). 中国建筑工业出版社, 1975
- 10 姚安林, 雍歧卫. 提篮半穿式管桥静态特性计算机分析. 石油工程建设, 1990 年 No2
- 11 万国朝, 李杨海等译. 地基工程学——可靠性设计的理论和实际([日]松尾 谕著). 人民交通出版社, 1990. 2
- 12 李国豪. 桥梁桥的扭转、稳定和振动(桁扭理论). 人民交通出版社, 1975. 3
- 13 李国豪. 桥梁与结构理论研究. 上海科学技术文献出版社, 1983. 3

(收稿日期 1995—07—11)

欢迎订购《燃气供应技术手册》

为了更好地发展我国城市煤气事业,我院翻译了联邦德国的《燃气供应技术手册——燃气输配》。

本手册根据该书 1990 年新版本译出。全书共 12 章,译文约 70 万字。主要内容为:燃气输送的理论基础;燃气供应系统的设计与计算;管子、管材及其性能;管线建设与运行调度管理;燃气增压装置;燃气调压与计量装置;燃气加味;燃气贮存(贮罐、地下贮气库);输配气中的工作安全和劳动保护;燃气供应中的经济性以及燃气供应范围内的法律和技术规程。本手册适用范围:长距离输气管线和城市配气管网及其所属装置(压气站、门站、调压计量站、燃气加味装置)以及调峰用城市贮气设备(贮罐、地下贮气库)的设计、建设和运行管理。本手册适用于天然气、煤气和液化石油气,对从事燃气输配的设计、科研、施工和运行管理的工程技术人员有着极重要的参考价值。

《燃气供应技术手册》工本费每册 45 元(含邮费),需要订购的单位或个人请来函与我编辑部联系。

地 址:(610017)四川省成都市小关庙后街 28 号

电报挂号:5028

电 话:6747700 转 311

《天然气与石油》编辑部

bore diameter of gas throttling orifice plate. However, a number of problems worth to be discussed occurred. This paper analyzes these problems and puts forward a calculation method for insulation factor of combined gas.

SUBJECT HEADINGS: Choke, Formula, Analysis.

MACHINERY & EQUIPMENT

Reliability Study on Variable Diameter Structure of Radial Reactor

Dong Jiamei, Chen Lin. NGO, 1995, 13(4): 21~26

ABSTRACT: In this article, reliability of variable diameter structure of radial reactor in Pt-Re reforming plant with capacity of 15×10^4 t/a designed according to GB 150-89《Steel Pressure Vessel》is studied, using Monte Carlo finite element method, and a design basis is provided for improvement of the variable diameter structure.

SUBJECT HEADINGS: Platforming unit, Reactor, Reliability, Finite element method.

CIVIL ENGINEERING

Simulation Design of Combined-Arch Pipeline Bridge By Computer

Song Wenli, Yao Anlin. NGO, 1995, 13(4): 27~37

ABSTRACT: In order to improve the design level of Combined-Arch Pipe Bridge (CAPB), this thesis established more detail expression formula of conventional design on the basis of the existing achievements on CAPB, and developed a computer simulating design software, named CAPBD. The software has the following calculating functions: ① calculating the parameters of geometric characteristic on combined pipe-arch; ② calculating the selfweight of combined pipe-arch, vertical load and material costs of CAPB; ③ analyzing and calculating the internal force of CAPB under various kinds of load; ④ strength and stability checking at all control sections of CAPB, stability verification of buttress and checking of ground bearing capability. The result shows that the software is rapid in calculation, convenient in operation, accurate and reliable. It has practical value in engineering for relieving the labour strength of designer.

SUBJECT HEADINGS: Pipeline aerial crossing, Design, Computer programming.

INSTRUMENTATION & AUTOMATION

The Safety System of the Oil Field Automation and the Application of PLC

Wang Jie, Fan Min. NGO, 1995, 13(4): 41~43

ABSTRACT: For the oil field automation, the safety system is a important part to ensure production and management at safe condition. It can avoid and limit the damagement caused by the process failure and the other accidents. It can also protect the operation personnel, environment and process system from being injured and damaged. This paper gives the detail description of the safe system structure and its function in the oil field automation. Also, it gives the basic steps for safety system design by using PLC.

SUBJECT HEADINGS: Oil field automation, Safety, System, Program control.