

平面翻板闸杆件系统的计算机辅助设计

傅 强

(东北农业大学)

摘 要 四联杆双悬臂平面翻板闸是一种新型水工建筑物。目前其设计仍然采用传统的设计方法, 为便于该种水闸的推广应用, 对其四联杆杆件系统的运动轨迹及受力情况进行了研究, 建立起数学模型, 利用计算机进行处理, 实现了该种型式水闸设计的现代化。

关键词 平面翻板闸 杆件系统 CAD

四联杆双悬臂平面翻板闸是齐齐哈尔市水利勘测设计研究院设计的一种新型水闸。由于其结构合理、简化施工工艺、缩短工期、节省投资, 因此极具推广价值。但是, 目前该种型式的水闸仍然采用传统的设计方法, 工作效率低。尤其是四联杆杆件系统运动轨迹及其受力分析采用人工图解法, 计算速度与精度均较低。为此, 通过推求出杆件系统的数学模型, 利用计算机辅助设计(CAD), 实现其设计的自动化, 促进该种新型水闸的推广与应用, 具有显著的经济效益和社会效益。

1 四联杆杆件系统运动轨迹数学模型^[1]

四联杆系统如图 1 所示, EFO 杆为翻板闸门, DE, AD 为铰接杆件, BC 为伸缩杆件, E, D, C 为活动铰接点, A, B, F 为固定铰接点。闸门开启翻转角度为 α_1 时, 各杆的状态如图 $A'C'D'E'F'$ 所示。

固定铰 F, A 的坐标值 $(u_1, v_1), (u_2, v_2)$ 为已知, 各杆长度见图 1。设活铰 E', D' 的坐标为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 。

1.1 α_1 的推求

从图 1 中可得出四联杆如下几何关系

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= c \cdot \sin \alpha_1 \\ y_1 &= v_1 + c \cos \alpha_1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= u_2 - 2R_1 \cos \alpha_2 \\ y_2 &= v_2 - 2R_1 \sin \alpha_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 = a^2 \quad (3)$$

将(2)代入(3)有

$$(u_2 - 2R_1 \cos \alpha_2 - x_1)^2 + (v_2 - 2R_1 \sin \alpha_2 - y_1)^2 = a^2$$

设 $p = u_2 - x_1, q = v_2 - y_1$

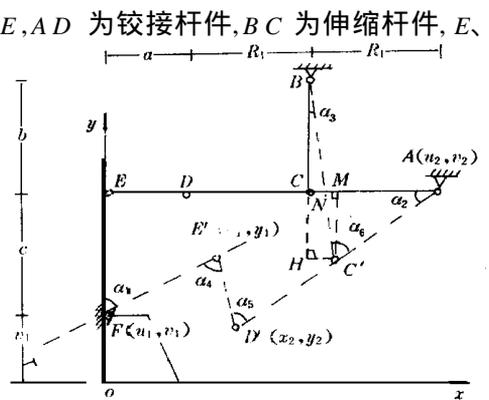


图 1 四联杆系统

Fig 1 Four-bar linkage system

$$\text{则 } (p - 2R_1 \cos \alpha) ^2 + (q - 2R_1 \sin \alpha) ^2 = a^2$$

可将前式化为: $q \sin \alpha + p \cos \alpha = s$

其中 $s = \frac{t}{4R_1} \quad t = p^2 + q^2 + 4R_1^2 - a^2$

$$\sqrt{p^2 + q^2} \left[\left(\frac{q}{\sqrt{p^2 + q^2}} \right) \sin \alpha + \left(\frac{p}{\sqrt{p^2 + q^2}} \right) \cos \alpha \right] = s \tag{4}$$

若有一直角三角形两直角边分别为 p 和 q, 其一锐角为 β 则有:

$$\sqrt{p^2 + q^2} \sin(\alpha + \beta) = s$$

$\alpha = \arcsin \left(\frac{s}{\sqrt{p^2 + q^2}} \right) - \beta$, 为确保 α 为锐角, 可将上式改写为:

$$\alpha = 180^\circ - \arcsin \left(\frac{s}{\sqrt{p^2 + q^2}} \right) - \beta \tag{5}$$

其中

$$\beta = \arctg \left(\frac{p}{q} \right) \tag{6}$$

1.2 α_6 及 BC 杆伸长量

已知: $AM = R_1 \cos \alpha \quad CM = R_1 \sin \alpha$

$$\sin \alpha_6 = \frac{(R_1 - R_1 \cos \alpha)}{BC'} \quad \cos \alpha_6 = \frac{(b + R_1 \sin \alpha)}{BC'} \quad \text{tg} \alpha_6 = \frac{1 - \cos \alpha}{\frac{b}{R_1} + \sin \alpha}$$

$$\alpha_6 = \arctg \frac{1 - \cos \alpha}{\frac{b}{R_1} + \sin \alpha} \tag{7}$$

BC 杆的伸长量为:

$$\Delta L = BC' - BC = \frac{b + R_1 \sin \alpha}{\cos \alpha_6} - b \tag{8}$$

1.3 $\alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ 的推求

如图 1 中可得

杆 FE' 斜率: $k_1 = \frac{y_1 - y_1}{x_1}$ 杆 D'E' 斜率: $k_2 = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$ 杆 AD' 斜率: $k_3 = \frac{y_2 - y_2}{u_2 - x_2}$

故: $\alpha_4 = \arctg \frac{k_2 - k_1}{1 + k_1 k_2} \tag{9}$

$$\alpha_5 = \arctg \frac{k_2 - k_3}{1 + k_2 k_3} \tag{10}$$

$$\alpha_6 = 90^\circ - \alpha_4 + \alpha_5 \tag{11}$$

2 四联杆杆件尺寸的确定^[2]

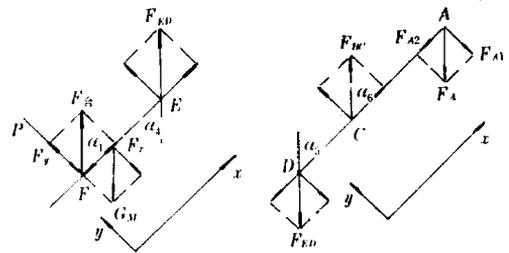
如图 1 所示, b 为启闭机丝杆长度, 由用户来输入。c, R₁, a 的确定仍然沿用原设计推求出的经验公式:

$$c = \frac{2}{3}H - 0.28 \quad R_1 = 0.76 \times c$$

$$a = \frac{2R_1}{3.2} \quad H \text{ —— 闸门高度.}$$

3 四联杆杆件系统受力分析^[2]

1) EF 杆受力分析 (见图 2a)



a. EF 杆受力分析图 b. DA 杆受力分析图
图 2 杆件受力分析图

Fig 2 Analysis of the forces acting on the linkage

对 F 点取矩(顺为正, 逆为负)

$$M_F = 0$$

$$F_{ED} = \frac{G_M \sin \alpha H}{(4H - 0.28 \times 6) \sin \alpha_4}$$

$$Y = 0$$

$$F_y = P + G_M \sin \alpha_1 - F_{ED} \sin \alpha_4$$

$$X = 0$$

$$F_x = G_M \cos \alpha_1 - F_{ED} \cos \alpha_4$$

$$F_{\text{合}} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

2) DA 杆受力分析(见图 2b)

对 A 点取矩

$$M_A = 0$$

$$F_{BC} = 2F_{ED} \sin \alpha_5 / \sin \alpha_6$$

$$Y = 0$$

$$F_{A1} = F_{BC} \sin \alpha_6 - F_{ED} \sin \alpha_5$$

$$X = 0$$

$$F_{A2} = F_{BC} \cos \alpha_6 - F_{ED} \cos \alpha_5$$

$$F_A = \sqrt{F_{A1}^2 + F_{A2}^2}$$

长杆 AD 所受的弯矩

$$M_{AD} = F_{ED} \cdot 2R_1 \sin \alpha_5$$

式中 $F_{\text{合}}$ ——铰支座 F 点受力; G_M ——闸门自重; P ——水压力的合力, 作用于 F 铰支座处(式中推导按最不利条件, 即 P 为闸门关闭时所受水压力合力); F_{ED} ——短杆 ED 所受的力; F_{BC} ——丝杆受力; F_A ——铰支座 A 受力; M_{AD} ——长杆 AD 所受弯矩。

式中 α_4 、 α_5 、 α_6 均为锐角, 在闸门启闭过程中, α_4 、 α_5 变为钝角时, 公式中 α_4 、 α_5 相应变为 $180^\circ - \alpha_4$ 、 $180^\circ - \alpha_5$, 公式不变。

4 四联杆杆件系统计算软件

计算软件采用 Borland C++ 2.0 编辑。计算流程见图 3。

流程图说明:

1) 用户输入参数:

H ——闸门高度; B ——闸门宽度; d ——闸门面板厚度; n ——闸门布置方案; k ——工字钢规格。

2) 以闸门转过的角度为控制条件, 求解出相应状态下各杆件的转角和受力;

3) 为了直观地看出闸门开启过程中各杆件之间的位置(夹角)关系, 绘制出控制角 α_1 与各杆件转角、 α_1 与各杆件受力间的关系曲线。用户可以从曲线上一目了然地看到闸门开启到什么位置处, 各个杆件有最大受力值, 即最不利条件(见图 4)。

4) 各杆件的转角与受力列表输出。

5) 软件计算结果为用户提供四联杆系统各个参变量的关系及数值。

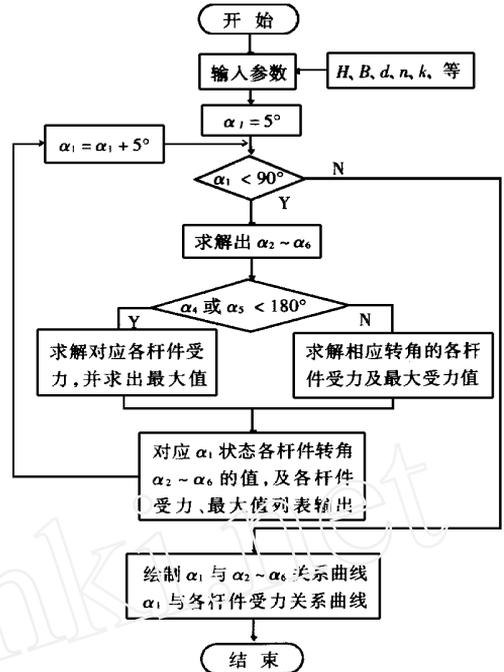


图 3 四联杆系统计算流程图

Fig 3 Flow chart for computing the forces acting on four-bar linkage

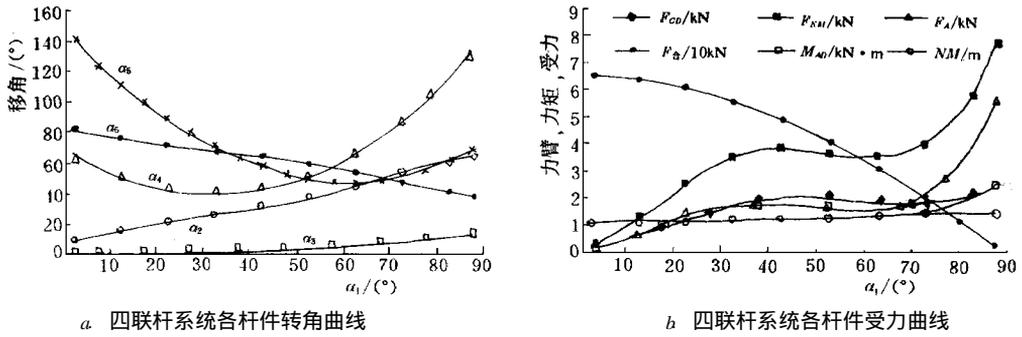


图 4 四联杆杆件系统参数曲线

Fig. 4 Parameters graphs of four-bar linkage system

5 结束语

目前, 四联杆杆件系统计算软件作为“四联杆双悬臂平面翻板闸计算机辅助设计软件包”中的主要部分已经被应用到工程实际中。对齐齐哈尔江东灌区六干渠节制闸工程进行了校核, 数据准确可靠, 速度与精度在原基础上得到很大提高, 同时应用该计算软件进行了齐齐哈尔卫星灌区渠首进水闸、渠道冲砂闸、干渠退水闸的设计, 均达到了满意效果(图 4 为干渠退水闸实际设计计算成果)。

参 考 文 献

- 1 傅 强 . 四联杆双悬臂平面翻板闸计算机辅助设计软件 SLGCAD. 水利学报, 1998(11): 63~ 68
- 2 傅 强 . 四联杆双悬臂平面翻板闸计算机辅助设计软件开发研究: [硕士学位论文], 哈尔滨: 东北农业大学, 1998 6, 36~ 40

Linkage System CAD on Flat Flap-Gate

Fu Q iang

(N ortheast A gricultural University, H arbin, 150030)

Abstract Four-bar linkage & double-cantilever flat flap-gate is a new type of structure on water conservancy project. In order to promote the application and popularize of the sluice, the difficult points on linkage design were studied. Through researching the motion locus & forces acting on four-bar linkage system the mathematical model was developed and used on computers. Thus, the CAD system for solving the design problem of four-bar linkage can be realized.

Key words flat flap-gate, linkage system, CAD