

学术讨论

对“对弧形钢闸门支臂 计算长度系数的确定一文”的几点商榷

一文的几点商榷

何 运 林

(西北农学院水利系)

“弧形钢闸门支臂计算长度系数的确定”(以下简称“确定”)一文,曾经原水电部《水利水电工程钢闸门设计规范》修订组审定,并请华东水利学院、武汉水利电力学院、长江流域规划办公室、水电部成都勘测设计院等全国12个单位进行过审查,同时还经教研组有关同志的审查,然后修改定稿的。现就章继光同志的关于“对弧形钢闸门支臂计算长度系数的确定一文”的几点商榷(简称“商榷”,见《西北农学院学报》1981年第1期)一文的三个问题,谈几点看法,与“商榷”一文的作者商榷。

一、弧门支臂的上端及下端按弹性支承考虑,导得了稳定方程通式。支臂下端的弹性抗转刚度如何确定,是一个很重要的问题。“确定”一文按一般工程力学原理导得了

$R_1 = 4 i_{\text{轴}}$, $i_{\text{轴}}$ 的含意在“确定”一文中明确解释并附有公式,即为铰轴

的单位刚度 ($i_{\text{轴}} = \frac{EI_{\text{轴}}}{L_{\text{轴}}}$)。“商榷”一文提出对构造复杂的铰轴而言, $i_{\text{轴}}$ 如何定

义?这个问题很不明确也并非“确定”一文所讨论的内容,在“确定”一文中已明确交待,讨论对象为一般园柱铰(图1),因据调查⁽¹⁾我国的园柱铰弧门占弧门总数的90%以上,在“确定”一文结语中所推荐的成果,也明确使用范围为园柱铰,球铰属理想铰接那是无可非议的。

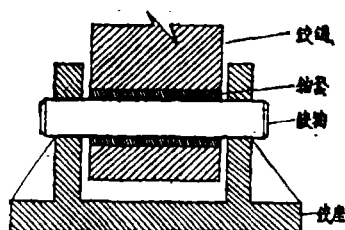


图
1

正如“商榷”一文认为的那样,要取得符合实际的 μ 值,应对 R_1 作详尽的分析。然而“确定”一文并未到此终结,而是在后面又进一步按园柱铰的实际构造特征,对所调查的全国15扇弧门进行了分析和计算。按园柱铰的构造特点,铰轴与轴套之间的配合有一定间隙,按规定⁽²⁾铰轴与轴套的配合公差为 $\frac{D_1}{d_0}$,按此规定算出的配合间隙,就使支臂在框架平面内侧移时产生了非弹性角变位,从而引起支臂上端产生侧移值 δ_1 ,如按其他配合公差,同样由于非弹性角变位使支臂上端产生相应的侧移值 δ_2 。当 δ_1 或 δ_2 等于或大于弧门实际安装允许侧移值 $[\delta]$ 时($[\delta]$ ——指安装的侧轮与侧墙 的间隙”

或侧止水压板与侧墙的间隙,两者取小值),则支臂下端圆柱铰就相当于铰接。从调查国内15扇弧门分析计算的成果(表1)发现:有8扇弧门的 $\delta_2 > [\delta]$,有12扇弧门的 $\delta_1 > [\delta]$,说明这些弧门支臂在框架平面内侧移时的转动为非弹性角变位,虽然有转角 θ_1 但 $R_1 = 0$,故 $R_1\theta_1 = 0$ 。这就是“确定”一文结语中,取支臂下端为铰接的理由,当然,当 δ_1 或 $\delta_2 > [\delta]$ 时,仍为弹性支承,但在设计时,设计者很难事先准确计算或控制使 δ_1 或 $\delta_2 < [\delta]$,为安全或便于设计起见,一般可按最不利情况的铰接进行计算,是比较符合实际的(见表1),同时也与结构设计时的铰接假定相符合。

二、关于侧墙对支臂的弹性反力 t 的处理,主要取决于计算简图和假定。一般说来,所谓弧门框架失稳,就是框架中支臂的失稳,因此实际计算中,总是寻求一种简单的近似法来确定框架支臂的计算长度,并将框架支臂作为独立柱的稳定来分析。故“确定”一文所取计算简图为一单根压杆,该简图有两条基本假定:

(1) 假定钢材处于弹性阶段,则压弯杆的临界荷载值渐近于轴心压杆的临界荷载值,即他们的计算长度取法相同,也就是说计算长度系数仅与杆端支承情况有关⁽³⁾;

(2) 按约束侧移反对称变形来推导基本稳定方程式,此时认为相邻支臂相互间无弹性支承作用。从图2中明确看出,支臂上端直接承受 t ,如果按“商榷”一文的见解,要考虑通过横梁将 t 传一半到另一侧支臂上,这就意味着按正体 $\square$ 型框架来计算稳定,也就是说考虑了相邻支臂相互间的弹性支承作用(因为允许通过横梁传递作用力),根据钢结构规范组的研究,考虑相邻柱间的支承作用,就必然降低 μ 值,这是无疑的,也是偏于危险的。同时也与所取计算简图不相符合。

三、“确定”一文中的基本稳定方程式(22)的推导成果,经查对原稿其推导过程及理论方程均无误。但在发表的文中(22)式倒数第二项“ $r_1 r_2 R$ ”的前面掉了一个2。即(22)式应为:

$$\{ (\alpha L)^5 - (R + r_1 r_2)(\alpha L)^3 + [r_1 r_2 - (r_1 + r_2)] R \alpha L \} \sin \alpha L - [(r_1 + r_2)(\alpha L)^4 - (r_1 + r_2) R (\alpha L)^2 - 2 r_1 r_2 R] \cos \alpha L - 2 r_1 r_2 R = 0$$

在公式(31)及(32)中的相应位置上亦掉了此2。而对其他各式均无误。基本稳定方程式(22)的正确性,还可从(22)式导得的(26)式来判别,假定下端铰接上端弹性支承并产生自由侧移的压杆,在“确定”一文中已由(22)式导得(26)式为:

$$\frac{\pi}{\mu} \tan\left(\frac{\pi}{\mu}\right) = 6 \frac{i_{\text{横}}}{i_{\text{支}}}$$

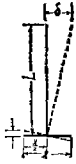
上式即为铰接基础自由侧移门式刚架的稳定方程式,它与著名的铁摩辛柯的经典解答⁽⁴⁾完全一致,同时也说明铁摩辛柯的解答仅为(22)式的一个特例。

如果按(31)式倒数第二项前少了一个2的情况计算,其影响误差有多大呢?经核算,按由(31)式算得的表5中露顶门及潜孔门中的最大 μ 值计算,引起的误差为1%~2%,即0.01~0.02左右。参考美国CRC对钢压杆计算长度系数 μ 的理论值和推荐值的规定⁽⁵⁾,均取至小数后一位,这就是说: μ 值的误差为0.01~0.02是完全可以忽略不计的。而“确定”一文中的推荐 μ 值亦为小数后一位(即1.2~1.5)。

关于“确定”一文中(22)、(31)、(32)三式的倒数第二项掉了一个2,已在上期西北农学院学报上提出更正。

弧门支臂在框架平面内 非弹性角变位的侧移值与允许侧移值

表 1

工程名称 弧门形式	支臂长 L(mm)	铰轴直径 d(mm)	轴套		规范规定 $\frac{D_4}{dc_0}$ (mm)	轴与轴套配合的最大间隙 S(mm)	转角示意图	按规范计算角变位允许侧移值 δ_1 (mm)	设计安装允许侧移值 δ_2 (mm)	设计采用的轴与轴套的公差配合及相应的角变位侧移值 δ_2 (mm)
D(mm)	l(mm)									
三门峡潜孔	15,350	730	730	1,270	$\begin{matrix} +0.12 \\ +0 \\ -0.19 \\ -0.57 \end{matrix}$	0.69/2	$S = 0.345$ 	8.3	15	$\frac{D_4}{dc_4} = \begin{matrix} +0.12 \\ -0.25 \\ -0.44 \end{matrix}$ $\delta_2 = 6.8$
330 二江潜孔	19,050	700	700	1,200	$\begin{matrix} +0.12 \\ -0.19 \\ -0.57 \end{matrix}$	0.69/2	$S = 0.345$ 图同上	11.0	10	$\frac{D_4}{dc_4} = \begin{matrix} +0.38 \\ -0.19 \\ -0.57 \end{matrix}$ $\delta_2 = 15.1$
330 三江潜孔	14,800	570	570	1,010	$\begin{matrix} +0.12 \\ -0.19 \\ -0.57 \end{matrix}$	0.69/2	$S = 0.345$ 图同上	10.1	10	$\frac{D_4}{dc_4} = \begin{matrix} +0.12 \\ -0.25 \\ -0.44 \end{matrix}$ $\delta_2 = 8.2$
新立电顶	12,500	230	230	338	$\begin{matrix} +0.09 \\ -0.15 \\ -0.45 \end{matrix}$	0.54/2	$S = 0.27$ 图同上	20	3	$\begin{matrix} +0.09 \\ -0.075 \\ -0.195 \end{matrix}$ $\delta_2 = 11$
马山闸顶	5,800	120	120	220	$\begin{matrix} +0.07 \\ -0.12 \\ -0.35 \end{matrix}$	0.42/2	$S = 0.21$ 图同上	11.1	10	$\begin{matrix} +0.07 \\ -0.05 \\ -0.14 \end{matrix}$ $\delta_2 = 5.5$
陶盆孔	11,300	400	400	750	$\begin{matrix} +0.12 \\ -0.19 \\ -0.57 \end{matrix}$	0.69/2	$S = 0.345$ 图同上	10.4	15	$\frac{D_4}{dc_4} = \begin{matrix} 0.12 \\ -0.25 \\ -0.44 \end{matrix}$ $\delta_2 = 8.4$
颍石水库潜孔	5,480	310	310	500	$\begin{matrix} +0.100 \\ -0.170 \\ -0.500 \end{matrix}$	0.6/2	$S = 0.3$ 图同上	6.6	4	$\begin{matrix} +0.100 \\ -0.090 \\ -0.225 \end{matrix}$ $\delta_2 = 3.6$
雅渝一级电站露顶	4,522	100	100	200	$\begin{matrix} +0.070 \\ -0.120 \\ -0.350 \end{matrix}$	0.42/2	$S = 0.21$ 图同上	9.5	4	$\begin{matrix} +0.070 \\ -0.050 \\ -0.140 \end{matrix}$ $\delta_2 = 4.8$
横山水库潜孔	2,498	240	240	480	$\begin{matrix} +0.090 \\ -0.150 \\ -0.450 \end{matrix}$	0.54/2	$S = 0.27$ 图同上	2.8	4	$\begin{matrix} +0.090 \\ -0.075 \\ -0.195 \end{matrix}$ $\delta_2 = 1.5$
横山水库露顶	5,435	120	125	220	$\begin{matrix} +0.070 \\ -0.120 \\ -0.350 \end{matrix}$	0.42/2	$S = 0.21$ 图同上	10.4	4	$\begin{matrix} +0.070 \\ -0.050 \\ -0.140 \end{matrix}$ $\delta_2 = 5.2$
岭脚水库露顶	6,126	120	120	220	$\begin{matrix} +0.070 \\ -0.120 \\ -0.350 \end{matrix}$	0.42/2	$S = 0.21$ 图同上	11.7	10	$\begin{matrix} +0.070 \\ -0.050 \\ -0.140 \end{matrix}$ $\delta_2 = 5.9$
冯家山水库潜孔	17,000	450	450	540	$\begin{matrix} +0.12 \\ +0 \\ -0.19 \\ -0.57 \end{matrix}$	0.69/2	$S = 0.345$ 图同上	21.7	5	$\frac{D_4}{dc_4} = \begin{matrix} +0.12 \\ -0.105 \\ -0.255 \end{matrix}$ $\delta_2 = 11.8$
冯家山水库潜孔	9,800	500	500	320	$\begin{matrix} +0.12 \\ +0 \\ -0.19 \\ -0.57 \end{matrix}$	0.69/2	$S = 0.345$ 图同上	21.1	5	$\frac{D_4}{dc_4} = \begin{matrix} +0.12 \\ -0.105 \\ -0.255 \end{matrix}$ $\delta_2 = 11.5$
石头河水库潜孔	9,200	520	520	580	$\begin{matrix} +0.12 \\ +0 \\ -0.19 \\ -0.57 \end{matrix}$	0.69/2	$S = 0.345$ 图同上	10.9	4	$\frac{D_4}{dc_4} = \begin{matrix} +0.12 \\ -0.105 \\ -0.255 \end{matrix}$ $\delta_2 = 6$
石头河水库露顶	20,000	450	450	650	$\begin{matrix} +0.12 \\ +0 \\ -0.19 \\ -0.57 \end{matrix}$	0.69/2	$S = 0.345$ 图同上	21.2	4	$\frac{D_4}{dc_4} = \begin{matrix} +0.12 \\ -0.105 \\ -0.255 \end{matrix}$ $\delta_2 = 11.5$

注：允许侧移值 (δ) 系指侧轮与侧墙的间隙或侧止水压板与侧墙的间隙，两者取小值。

参 考 文 献

- (1) 水工闸门技术特性汇编表(机密), 水利电力部东北勘测设计院。
- (2) 水利水电工程钢闸门设计规范(SDJ13-78), 水利电力出版社。
- (3) 结构稳定, 中国建筑工业出版社。
- (4) 弹性稳定理论, 铁摩辛柯, 科学出版社。
- (5) Steel Structures Design and Behavior Charles G. Salmon, John E. Johnson.