

弧形闸门主框架主横梁与支臂单位刚度比常用取值范围研究

李宗利¹, 徐永田², 王正中¹

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 水利部建设与管理司, 北京 100761)

摘要:在分析弧形闸门主框架主横梁与支臂单位刚度比的基础上, 运用结构优化设计理论, 分别对规范推荐的 π 形、斜支臂及门形三种门型的主框架进行优化设计, 并对各门型的单位刚度比常用取值范围随闸门宽度与面板曲率半径之比、宽高比、横梁截面高度与支臂截面高度之比三者间的变化规律进行分析。结果表明: 三种门型主框架单位刚度比的常用取值范围为: 潜孔式 π 形主框架为6~12; 露顶式 π 形框架为3~9; 斜支臂框架为3~7; 门形框架为2~12。弧形闸门跨度与面板曲率半径之比或跨高比较大时, 单位刚度比取小值; 反之取大值。

关键词:弧形闸门; 主框架; 单位刚度比; 优化设计

中图分类号: TV314

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2002)01-0025-03

弧形闸门在水利水电工程中应用十分广泛, 实腹主横梁式弧形闸门中, 由主横梁和支臂构成的主框架是弧形闸门的主要承重结构, 主横梁与支臂的单位刚度比是弧形闸门设计的重要参数, 它协调着框架内力的分配, 其取值合理与否直接影响着整个弧形闸门的安全性和经济性。对于文献[1]推荐的三种框架(图1), 文献[2~4]已分别进行了系统优化研究, 得到各自单位刚度比常用取值范围。本文在此基础上, 对这三种框架的单位刚度比常用取值范围进一步比较分析, 探讨其合理取值, 供工程设计参考。

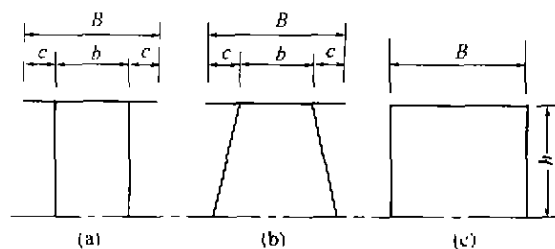


图1 三种主横梁式弧形闸门主框架

1 单位刚度比合理取值初步分析

1.1 影响单位刚度比的因素

文献[1]推荐的三种主框架(图1), 其计算简图可按下端铰接、承受均布荷载处理, 主横梁与支臂单

位刚度比的定义式为

$$K_0 = \frac{I_L/b}{I_h/s} \quad (1)$$

式中: I_L 为主横梁截面惯性矩; b 为主横梁两支承间跨度; I_h 为支臂截面惯性矩; s 为支臂长度。

从式(1)可以看出, 影响单位刚度比的因素是主横梁和支臂的截面惯性矩、主横梁跨度及支臂长度。主横梁和支臂截面惯性矩又决定于主框架内力, 也就是说单位刚度比决定于主框架内力和框架几何尺寸。而单位刚度比却协调着主框架的内力分配, 单位刚度比与主框架内力相互影响, 但这些影响因素均取决于弧形闸门的孔口尺寸、设计水头和面板曲率半径及它们之间的相对比例关系等。

1.2 单位刚度比与主框架经济性的关系

单从支臂经济性来分析, 支臂属于偏心受压构件, 在孔口尺寸、框架布置型式和水头一定的情况下, 斜支臂框架支臂轴力随水平侧推力的增大而稍增大, 其余两种直支臂框架的支臂轴力均是恒值, 而最大弯矩则与主框架水平侧推力成正比。要使支臂截面比较小, 最有效的方法是减小主框架水平侧推力, 对直支臂框架减小主框架水平侧推力是惟一的方法, 且减小主框架水平侧推力也能降低闸墩的造价。对于 π 形及斜支臂框架, 若取悬臂段长度为 $0.2B$ (B 为主梁跨度), 斜支臂支铰中心至框架刚结

作者简介: 李宗利(1967—), 男, 陕西凤翔人, 副教授, 硕士, 从事水工结构教学及研究。

点的水平距离为 $0.15B$, 则三种框架水平侧推力随单位刚度比的变化规律见图 2。

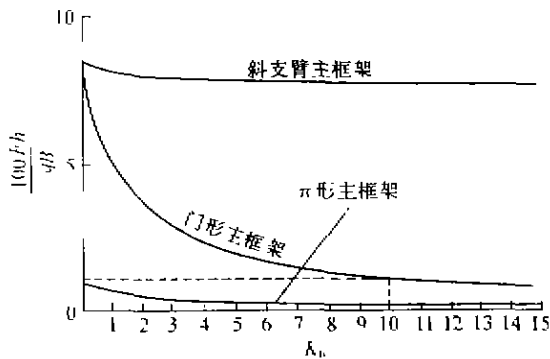


图 2 主框架水平侧推力与单位刚度比的关系
(F 为框架水平侧推力)

从图 2 可以看出, 对于门形框架, 单位刚度比对主框架的水平侧推力影响最显著, 单位刚度比较小时, 水平侧推力随单位刚度比增大下降很快, 但单位刚度比大于 10 以后, 水平侧推力变化趋于平缓, 而其它两种型式框架, 单位刚度比对主框架水平侧推力影响不显著, 也就是说对框架内力影响并不显著。

从主横梁经济性来分析, 体现主横梁经济性的一个重要参数是其正、负弯矩比值正好相等。由分析可知, 对 π 形和斜支臂框架单位刚度比取 4.5 时正好满足此条件, 且随单位刚度比的增大主横梁正、负弯矩之比也增大; 对门形框架单位刚度比取 0.5 时, 满足主横梁经济性, 且主横梁正、负弯矩之比随单位刚度比增大而显著地增大, 这说明过大的单位刚度比将使主横梁很不经济。

由以上分析可得, 对于 π 形及斜支臂主框架, 单位刚度比近似取 4.5 时, 主框架较为经济, 对于门形框架则难以确定体现框架整体经济性的单位刚度比。

但以上分析孤立了支臂和主横梁之间的协调关系, 即使 π 形及斜支臂主框架单位刚度比取 4.5 也未必能达到整个框架的经济性, 合理的单位刚度比应使主框架内力分配合理, 主框架整体安全经济。

2 系统优化研究成果

合理的单位刚度比应使主框架整体最经济, 为此, 以弧形闸门主框架重量最小为目标^[5], 运用结构优化理论求得在满足强度、稳定、刚度等条件下的最优单位刚度比。

为了使得到的单位刚度比具有广泛的代表性, 拟从国内外已建工程中选取有代表性的实例作为优化设计对象, 对其主框架结构进行优化设计。鉴于门形主框架及斜支臂主框架大多用于露顶式弧形闸门中, 故仅从露顶式弧形闸门中分别选取了 64 扇和 76 扇作为典型弧形闸门, 而 π 形框架既用在潜孔式弧

形闸门中, 又用在露顶式弧形闸门中, 而实际运用中, 这两种情况的水头、孔口尺寸相对比例和运行工况等因素不完全相同, 故对这种框架分别从潜孔式弧形闸门中选取 60 扇, 再从露顶式弧形闸门中选取 50 扇, 作为典型弧形闸门。典型弧形闸门孔口尺寸、半径、水头分布见表 1。

表 1 典型弧形闸门孔口尺寸、半径、水头分布范围

框架形式	门数 扇	孔口尺寸			半径 R/m	水头 H_s/m
		跨度 B/m	高度 H/m	面积 A/m^2		
π 形潜孔式	60	2.0~	2.0~	4.0~	2.5~	4.0~
		12.2	12.8	156.2	16.0	97.0
π 形露顶式	50	3.0~	2.5~	7.5~	3.2~	2.3~
		18.0	13.5	225.0	15.0	13.0
斜支臂露顶式	76	5.5~	3.0~	22.8~	5.0~	3.0~
		18.0	17.2	181.5	20.0	17.2
门形露顶式	64	4.0~	3.0~	12.0~	4.5~	3.0~
		8.0	17.2	232.2	20.0	17.2

对所选的典型弧形闸门逐个进行主框架优化设计, 得到单位刚度比分布规律如图 3 所示。图 3(a) 主要分布在 2~12 之间, 占 91.7%, 分布频率最高区间是 6~12, 占 75%; 图 3(b) 主要分布在 2~9 之间, 占 96%, 分布频率最高的区间是 3~7, 占 64%; 图 3(c) 主要分布在 3~8 之间, 占 93.4%, 分布频率最高区间是 3~7, 占 86.8%; 图 3(d) 主要分布在 2~12 之间, 占 81.5%, 分布频率最高区间是 4~10, 占 55.4%。

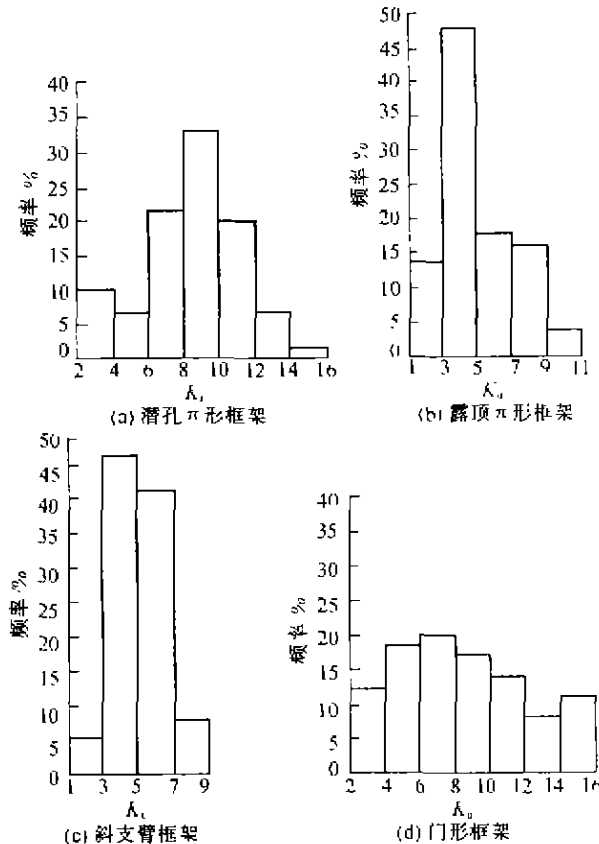


图 3 单位刚度比分布

从图3还可看出,这四种框架常用单位刚度比分布范围是不同的.露顶式 π 形框架和斜支臂框架单位刚度比分布较为相近,主要分布在3~7之间,最高分布频率在单位刚度比取4.5左右,与前述分析基本吻合.而潜孔式 π 形框架却与露顶式 π 形框架单位刚度比分布不同,潜孔式主要分布范围大于露顶式.对于门形框架因其主横梁无悬臂段,其受力方式不完全同于其它框架,因而其单位刚度比分布与其它三种差异较大.

综上所述,对于潜孔式弧形闸门 π 形主框架单位刚度比合理取值范围应为6~12;露顶式 π 形主框架则为3~9;斜支臂主框架为3~7;而门形主框架单位刚度比取值范围最大,为2~12.对于露顶式 π 形和斜支臂框架单位刚度比宜在4.5左右取值.

3 单位刚度比合理取值的进一步分析

以上分析得到的单位刚度比取值范围仍然比较大,下面进一步分析其合理取值,以减小设计中取值的盲目性.分析中以门形框架为主,其它形式框架规律性与门形框架完全相似,这里不再赘述.

对于门形主框架,主横梁支承间跨度 b 近似取闸门跨度 B ,支臂长度近似取面板曲率半径 R ,则由式(1)可知单位刚度比与 B/R 比值成反比.由此,应用优化结果进一步可得到单位刚度比与 B/R 的关系(图4).单位刚度比随弧形闸门跨度与面板曲率半径比值增大而减小.在选取单位刚度比时,弧形闸门跨度与面板曲率半径比值较小时,取大值,反之取小值.同样也可得到单位刚度比与弧形闸门跨度与高度比值(B/H)的关系曲线完全类似于图4,这是因为在工程设计中采用弧形闸门面板曲率半径与门高成正比的缘故.

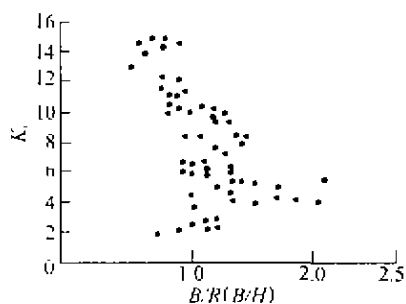


图4 单位刚度比与 B/R 关系

单位刚度比是主框架超静定结构中主横梁与支臂之间线刚度的比值,具体反映在构件截面惯性矩和各自跨度的比值上,对于弧形闸门主横梁与支臂大多是I字形或箱形截面,关于强轴的惯性矩主要

决定于其截面高度,因而式(1)近似写成如下函数形式:

$$\frac{K_0 B}{R} = f\left(\frac{H_b}{H_h}\right) \quad (2)$$

式中: H_b 为主框架主横梁截面高度; H_h 为主框架支臂截面高度.

应用优化结果可得式(2)的关系,见图5.可以看出, $K_0 B/R$ 与主横梁与支臂截面高度比值近似成线性关系, $K_0 B/R$ 随主横梁与支臂截面高度比值的增大而增大.这样在设计中参考类似工程初步拟定主梁和支臂截面高度后,结合 B/H 的取值也可选取单位刚度比.

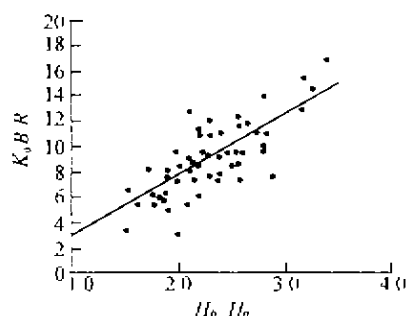


图5 $K_0 B/R$ 与 H_b/H_h 的关系

4 结 语

文献[1]推荐的弧形闸门的三种框架的主横梁与支臂单位刚度比常用取值范围是不同的,即使同一种形式的框架,潜孔式与露顶式其取值范围也不同.运用优化设计理论得到这三种主框架单位刚度比常用取值范围:潜孔式 π 形主框架为6~12;露顶式 π 形框架为3~9;斜支臂框架为3~7;门形框架为2~12.弧形闸门跨度与面板曲率半径之比或跨高比较大时,单位刚度比取小值,反之取大值.

参考文献:

- [1] SL74-75, 水利水电工程钢闸门设计规范[S].
- [2] 何运林,李宗利,徐永田.弧形钢闸门主横梁与支臂的单位刚度比[A].全国第五届MPMH学术会议论文集[C].四川:西南交通大学出版社,1994.235~247.
- [3] 李宗利,王亚红.弧门 π 形框架主横梁与支臂单位刚度比的优化设计[J].人民长江,1997(6):24~25.
- [4] 李宗利,王亚红,王正中.弧门门形框架主横梁与支臂单位刚度比合理取值范围的研究[J].水利水运科学研究,1999(1):50~56.
- [5] 李宗利,何运林.弧形闸门主框架优化设计[J].西北水资源与水工程,1993(4):35~40.

(收稿日期:2000-08-29 编辑:张志琴)