

平原区水闸闸下消能防冲与闸门控制运行

李占松 高双聚 杨玲霞

(郑州大学水利与环境学院 ,河南 郑州 450001)

摘要 :针对平原区水闸闸下消能防冲与闸门控制运行的特点 ,基于水力学理论分析 ,导出了消力池最大深度的计算公式。以沙颍河郑埠口水利枢纽工程为例 ,确定消力池的设计方案。根据消能防冲应满足的水流条件 ,由系列模型试验资料绘制了闸门控制运行曲线图 ,继而依据该图制定了满足消能防冲要求的闸门控制运行方式。应用结果表明 ,采用该消力池方案设计并按此闸门控制方式运行 ,能很好地满足消能防冲要求。

关键词 :水力学 ;平原区水闸 ;消力池 ;消能防冲 ;闸门调度

中图分类号 :TV135.2⁺1

文献标识码 :B

文章编号 :1006-7647(2011)05-0046-03

Energy dissipation and scour prevention and control operation of sluice gates in plain regions/LI Zhan-song ,GAO Shuang-ju ,YANG Ling-xia(*School of Water Conservancy and Environmental Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450001 , China*)

Abstract : With regard to the characteristics of energy dissipation and scour prevention and control operation of sluice gates in plain regions , a formula for calculating the maximum depth of stilling basin was derived based on the theoretical analysis of hydraulics . For the case of Zhengbukou Water Project on Shaying River , the design scheme for the stilling basin was determined . Under the flow conditions required by energy dissipation and scour prevention , a control curve for the sluice gate operation was plotted based on the data of model tests , and further ; according to the curve , the control mode for the gate operation to meet the requirements of energy dissipation and scour prevention was achieved . The results show that the proposed design method for the stilling basin and the relevant control mode for the gate operation lead to satisfactory requirements of energy dissipation and scour prevention downstream the gates .

Key words : hydraulics ; sluice gate in plain region ; sluice ; energy dissipation and scour prevention ; gate scheduling

平原区水闸常是多孔的 ,运用时多为部分局部开启 ,影响闸下消能防冲的因素众多。若消能工设计不当或控制运行方式不合理 ,则将存在较大的安全隐患^[1]。众多研究者在此方面进行了研究。文献[2]系统描述了平原区水闸局部开启情况下的水流状态及其转化过程 ;文献[3]给出了闸下各种空间水跃的形式并进行了分析 ;文献[4]也对这种水流状态和空间水跃形式进行了阐述和研究 ;文献[5]还通过试验资料对折冲水流的产生因素进行分析 ,并给出了判别折冲水流产生的简单数学模型 ;文献[6-8]都针对具体工程水闸存在的消能防冲问题提出了相应的解决措施 ;文献[9]和文献[10]针对具体工程结合平原区水闸的特点对消力池设计进行了研究 ,后者还拟定了水闸调度运行方案 ;文献[11]通过分析、探讨水闸下游冲刷破坏的原因 ,提出如何通过设计与运行管理紧密结合 ,有效防止水闸下游冲刷破坏的

具体意见。但这些研究成果尚不系统和深入。如何结合工程设计制定闸门既安全又方便的控制运行方式 ,是有待进一步解决的问题。本文首先明确了水闸满足消能防冲的条件 ,然后导出了低尾水降低护坦式消力池池深的计算公式 ,接下来介绍控制运行关系曲线制定的方法 ,最后结合具体工程实例说明了该曲线运用的过程。

1 水闸运行满足消能防冲的条件

平原河道地质情况大多为黏土、亚黏土甚至壤土 ,其抗冲能力很小。所以水闸运行过程中 ,除使消力池满足常规的消能要求之外 ,还要考虑到折冲水流、回流区强弱、下游河道中的断面平均流速等因素。综上所述 ,水闸满足消能防冲的条件如下 :①消力池内不发生远驱水跃 ,池后不发生二次水跃 ;②在部分闸门开启的情况下不产生明显的折冲水流 ;

③在闸门大开度运行时不产生不稳定水跃 ;④防冲槽后基本不存在强回流区 ;⑤防冲槽后流速不大于不冲允许流速 ,消力池及海漫段流速均小于其不冲允许流速。由于平原区水闸水头不太大 ,这些条件在绝大多数情况下均可满足。

2 低尾水降低护坦式消力池池深计算

低尾水情况对应下游水位时水流状态为急流 ,出池流态为缓流向急流的跌水。水面跌落大 ,在这种情况下存在最大池深的问题。以最大池深进行设计 ,在任意尾水位情况下池内均不会发生远驱水跃状态。若设计池深大于最大池深 ,水跃淹没度增加 ,消能效果降低 ,同时造成工程量的浪费。近似地 ,最大池深对应于下游水深为临界水深的情况。

池尾水流水力计算与一般分析方法相同 ,在此仅作简要分析 :

d = \sigma_j h''_{cl} - (h_t + \Delta z) \tag{1}

其中 \Delta z = \frac{q^2}{2g} \left[\frac{1}{(\varphi' h_t)^3} - \frac{1}{(\sigma_j h''_{cl})^3} \right]

式中 :d 为池深 ;\sigma_j 为池内水跃的淹没度 ,通常取 1.05 ~ 1.10 ;h''_{cl} 为对应于池深 d 闸下收缩断面水深相应的共轭水深 ;h_t 为池后河道中水深 ;\Delta z 为水流出池产生的水面跌落 ;q 为池内单宽流量 ;\varphi' 为出池流速系数 ,通常可取 0.95。

由式 1 得

\frac{d(d)}{d(h_t)} = \sigma_j \frac{d(h''_{cl})}{d(d)} \frac{d(d)}{d(h_t)} \left[1 - \frac{q^2}{g(\sigma_j h''_{cl})^3} \right] - 1 + \frac{q^2}{g \varphi'^2 h_t^3} \tag{2}

其中 \frac{d(h''_{cl})}{d(d)} 总是大于零。

若令式 2 中 \frac{d(d)}{d(h_t)} = 0 ,则对应于池深 d 取最大值的下游水深由式 3 决定 :

h_t = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g \varphi'^{2/3}}} = \frac{1}{\varphi'^{2/3}} h_k \approx h_k \tag{3}

式中 :h_k 为临界水深。

粗略计算时 ,h''_{cl} 近似取 h''_c ,忽略 \Delta z 计算公式中的第 2 项 ,h_t \approx h_k ,则

d = \sigma_j h''_c - \frac{3}{2} h_k \tag{4}

3 各种条件下最低允许下游控制水位的选取

在绘制闸门控制运行图时 ,闸上水位选取设计水位 ,一般的节制闸闸上水位大多在设计水位附近 ,并且设计水位对消能来讲为最危险水位。闸上水位

比设计水位低时运行偏于安全。而闸下水位变化比较大 ,特别是梯级水闸 ,其闸下水位与下一级水闸的运行状态及闸的出流量有着密切的关系。尤其当施放小流量时 ,下游水闸不蓄水 ,下游河道近似于枯水情况 ,情况最危险。闸的出流量由上游来水情况或下游蓄水情况等控制。所以 ,闸门控制运用要解决的关键问题就是当需要水闸放出某一流量时 ,确定所选择的闸门开启方式和下游所对应的最低允许下游水位。低于此水位不能运行 ,因为会存在不允许的闸下水流状态或产生冲刷 ,高于此水位可以运行。

由于水流现象复杂 ,影响因素众多 ,根据满足消能防冲的 5 个条件 ,最低允许下游水位一般由水工模型试验来确定。文献 [12-13] 曾结合具体工程实例对该方面的问题做过一些研究。

4 控制运行关系曲线的制定

以河南省沙颍河郑埠口水利枢纽为例。此为节制闸工程 ,有 11 孔弧形闸门 ,每孔净宽为 12 m ,闸净宽为 132 m ,总宽为 144 m ,设计水位为 46.00 m ,设计流量为 3 500 m^3/s ,闸上下游河道底部高程为 35.00 m。闸底板与上游河底齐平 ,经试验及计算分析 ,选取闸下消力池池深为 1.5 m ,池长为 26.0 m。水工模型试验长度比尺 \lambda_L = 80。

按照对称开启且尽量多开孔的一般原则进行试验 ,可得表 1 结果。

表 1 各种情况下闸门开启孔数 n、开度 e 及下游允许最低水位 z_{下 min} 对应关系

n/个	e/m	z_{下 min}/m	n/个	e/m	z_{下 min}/m
2	0.5	36.69	4	1.5	38.28
2	0.2	35.72	6	0.5	36.98
4	0.5	36.72	6	1.0	38.18
4	0.75	37.12	6	1.5	39.48
4	1.0	37.46	6	2.0	40.56

开启 2 孔运行时 ,通过对比试验认为以开 3 号、9 号孔为宜 ;开启 4 孔运行时 ,以开 3 号、5 号、7 号、9 号孔为宜 ;开启 6 孔运行时 ,应开 1 号、3 号、5 号、7 号、9 号、11 号孔。

设计工况为 :开启孔数为 2 个 ,开度为 0.5 m ;开启孔数为 4 个 ,开度分别为 0.5 m ,0.75 m ,1.0 m ,1.5 m ;开启孔数为 6 个 ,开度分别为 0.5 m ,1.0 m。在此 3 种情况下 z_{下 min} 取决于消力池内水跃状态 ,为消力池内发生小淹没度水跃对应值。开启孔数为 2 个、开度为 1.0 m 及开启孔数为 4 个、开度为 2.0 m 时 ,水流折冲明显 ,所以建议禁止开启孔数为 2 个、开度超过 0.5 m 及开启孔数为 4 个、开度超过 1.5 m 运行。开启孔数为 6 个、开度为 1.5 m 时 z_{下 min} 取决于下游河道流速 ;开度为 2.0 m 时为不出现不稳定

水跃对应值,开度大于2.0m时单宽流量大,出池后波动明显,流速分布不易调整,流速大。所以建议开启孔数为6个时,避免开度大于2.0m运行。开启孔数为11个时, $z_{\text{下min}}$ 主要取决于下游河道流速。

综上所述,以闸门开度为纵坐标,以下游水位为横坐标,即可绘出开启孔数分别为2、4、6及11个、上游水位为设计水位时的闸门控制运行曲线,如图1所示。每条曲线左侧为禁开区,右侧为可开区。

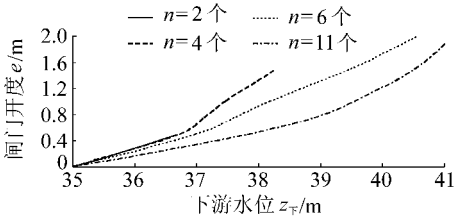


图1 闸门控制运行曲线

5 闸门控制运行曲线应用举例

一般平原区水闸上游来流均比较平顺,各孔泄流能力基本相等。为了便于闸门控制运行曲线的运用,通过试验,绘制上游设计水位时流量、开度及下游水位关系曲线如图2所示。

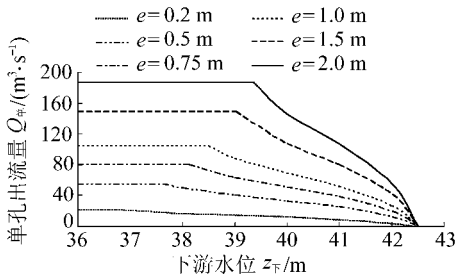


图2 $z_{\text{下}} \sim e \sim Q_{\text{单}}$ 关系曲线

例 要求泄流量 $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$,求下游水位分别为36.00m、37.00m及39.00m时的开启孔数 n 及闸门开度 e 。

解 查图2可知,自由出流泄流量为 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,闸门开启孔数为2个、4个、6个及11个分别需要的闸门开度为2.2m、0.90m、0.64m及0.33m。

a. $z_{\text{下}} = 36.00 \text{ m}$ 情况。查图1可知:①开启2孔时仅能在0.5m开度以下运行,所以泄 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量不能仅开启2孔运行(含 $z_{\text{下}} = 37.00 \text{ m}$ 及 $z_{\text{下}} = 39.00 \text{ m}$ 的情况)。②开4孔、闸门开度为0.90m,开6孔、闸门开度为0.64m及开11孔、闸门开度为0.33m,在 $z_{\text{下}} = 36.00 \text{ m}$ 时的坐标点均在图1曲线的左侧(禁开区),不能直接开启运行。③4孔运行可按如下方式分级实现: $e = 0.20 \text{ m} \rightarrow 0.35 \text{ m} \rightarrow 0.50 \text{ m} \rightarrow 0.75 \text{ m} \rightarrow 0.90 \text{ m}$; 6孔运行可采用如下方式分级实现: $e = 0.20 \text{ m} \rightarrow 0.35 \text{ m} \rightarrow 0.50 \text{ m} \rightarrow 0.64 \text{ m}$; 11孔运行可采用如下方式分级实现: $e = 6 \times 0.20 \text{ m} \rightarrow 6 \times$

$0.33 \text{ m} \rightarrow 11 \times 0.33 \text{ m}$ 。上述分级是以下游为均匀流时对应的水位-流量关系为依据,属最保守状态。当上一级下游水位基本稳定后再实现下一级开启,即上一级下游水位与下一级开启孔数、闸门开度查图1,应在可开区。实际运行时可根据实测下游水位把级差相应放宽,此不再详述。

b. $z_{\text{下}} = 37.00 \text{ m}$ 情况。查图1知:①开4孔、闸门开度为0.9m及开6孔、闸门开度为0.64m,在 $z_{\text{下}} = 37.00 \text{ m}$ 时的坐标点均在对应曲线左侧(禁开区),不能直接开启运行;开11孔、闸门开度为0.33m,在 $z_{\text{下}} = 37.00 \text{ m}$ 时的坐标点在对应曲线右侧(可开区),可直接开启运行。②4孔开启可采用的分级方式如下: $e = 0.65 \text{ m} \rightarrow 0.9 \text{ m}$; 6孔开启可采用的分级方式如下: $e = 0.50 \text{ m} \rightarrow 0.64 \text{ m}$ 。

c. $z_{\text{下}} = 39.00 \text{ m}$ 情况。①查图1知:开4孔、闸门开度为0.9m,开6孔、闸门开度为0.6m及开11孔、闸门开度为0.33m,在 $z_{\text{下}} = 39.00 \text{ m}$ 时的坐标点均在对应曲线右侧(可开区),可直接开启运行。②查图2知:开4孔、闸门开度为1.13m,在 $z_{\text{下}} = 39.00 \text{ m}$ 时泄流量为 $400 \text{ m}^3/\text{s}$,在可开区,故可直接逐渐开启至1.13m,然后观测下游水位,结合图2逐渐提高闸门开度直至放出 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量。③6孔可直接逐渐开启至0.78m,其他同上。④11孔可直接逐渐开启至0.44m,其他同上。

本例仅是为了说明图1和图2联合运用的方法,结果在不同情况下均有多种开启方式供选择。实际运行中,以多开孔、小开度为宜,即最好11孔开启。4孔开启放出 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量的情况应尽量避免。

在泄流量小于 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 且下游起始水位较低(如 $z_{\text{下}} = 36.00 \text{ m}$)时,为了便于闸门运用管理,并能满足消能防冲要求,最简单的闸门控制开启方案依下述步骤进行:① $n = 2$ 个, $e = 0.2 \text{ m}$, $Q = 45.70 \text{ m}^3/\text{s}$; ② $n = 4$ 个, $e = 0.2 \text{ m}$, $Q = 91.41 \text{ m}^3/\text{s}$; ③ $n = 6$ 个, $e = 0.2 \text{ m}$, $Q = 137.11 \text{ m}^3/\text{s}$; ④ $n = 6$ 个, $e = 0.35 \text{ m}$, $Q = 243.00 \text{ m}^3/\text{s}$; ⑤ $n = 6$ 个, $e = 0.5 \text{ m}$, $Q = 331.73 \text{ m}^3/\text{s}$ 。接下来,对其余5孔还需进行的步骤是:① $n = 5$ 个, $e = 0.35 \text{ m}$, $Q = 573.77 \text{ m}^3/\text{s}$; ② $n = 5$ 个, $e = 0.5 \text{ m}$, $Q = 607.09 \text{ m}^3/\text{s}$ 。此时11孔全部局部开启,均已达到 $e = 0.5 \text{ m}$ 。接下来的开启方式有2种方案可选择:① $n = 5$ 个与 $n = 6$ 个交替开启,每次增加开度 0.25 m 。② $n = 11$ 个同时开启,每次增加开度 0.2 m 。

6 结 语

明确了满足平原区水闸闸下消能(下转第63页)

色理论和 Jusselme 距离函数,并将这些理论引入大坝安全监控中,建立了大坝安全定性指标的定量综合分析方法。利用该方法对某混凝土重力坝的定性指标进行了分析评价,可以得到如下结论:①区间评分法和集值统计理论可以很好地将定性指标进行综合量化,量化的结果可靠度较高。②灰色理论可以将专家评分的综合量化值进行模糊化并使其模糊化的结果与评价等级相对应,即可以对综合量化值进行评价等级的量化。对综合量化值进行评价等级的量化可以使定性指标的综合评价更加合理。③Jusselme 距离函数可以从证据出发确定各证据的权重,从而确定各定性指标的权重,这种确定权重的方法降低了人为因素的影响,确定的权重相对较客观。④利用模糊综合评价方法对各定性指标的证据和权重值进行融合,并最终确定定性指标对某混凝土重力坝的影响程度为一般且偏于中等。

笔者提出的定性指标定量综合评价方法能够对定性指标对大坝安全的影响程度作出合理的判断,是可行的。该方法同样适用于大坝安全其他定性指标的分析评价,并为工程领域定性指标的评价提供参考。

参考文献:

[1] 肖泽云,田斌. 基于 GIS 平台的大坝安全监控系统研究与应用[J]. 水利水电科技进展, 2010, 30(5): 48-52.

(上接第 48 页)

防冲要求闸门控制运行方式所需要遵循的 5 个条件,并对低尾水降低护坦式消力池提出了最大池深的概念和计算方法,闸门控制运行曲线的制定和运用方法具有普遍意义,可直接运用于闸门运行或作为制定闸门控制运行操作规程的依据。

参考文献:

[1] 郑琪. 水闸运行风险对策探讨[J]. 安全与环境工程, 2010, 17(6): 62-65.
[2] 李占松. 平原闸闸下水流状态研究[D]. 郑州: 郑州工学院, 1988.
[3] 李占松, 厉良辅. 空间水跃共轭水深公式综合分析[J]. 郑州工学院学报, 1990, 11(4): 54-59.
[4] 龚彦奎, 蔡报智. 平原多孔水闸少数孔开启的消能问题[J]. 海河水利, 1992(6): 17-21.
[5] 厉良辅, 李占松. 折冲水流的实验及理论分析[J]. 郑州工学院学报, 1992, 13(4): 33-38.

[2] 李永江. 土石坝安全监测技术及安全监控理论研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(5): 73-77.
[3] 何金平, 李珍照, 万福军. 大坝结构实测性态综合评价中定性指标分析方法[J]. 水电能源科学, 2000, 18(1): 5-8.
[4] 宋小刚, 李德仁, 华锡生, 等. 基于数据仓库技术的大坝资料分析与安全决策系统研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006, 34(3): 280-284.
[5] 吴正佳, 杜义贤. 基于熵权的施工机械选型研究[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2006, 28(2): 137-140.
[6] 路振广, 曹祥华. 节水灌溉工程综合评价指标体系与定性指标量化方法[J]. 灌溉排水, 2001, 20(1): 55-59.
[7] 汪培庄. 模糊集与随机集落影集[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1985: 39-72.
[8] 刘思峰, 郭天榜. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 111-143.
[9] 邓勇, 施文康, 朱振福. 一种有效处理冲突证据的组合方法[J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(1): 27-32.
[10] 杜红兵. 建筑火灾风险评价中定性指标的模糊灰色评价方法研究[J]. 太原理工大学学报, 2007, 38(5): 441-444.
[11] 郭汉丁, 刘英宗, 郝海. 政府质量监督机构绩效考核灰色评价方法[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2005, 29(2): 288-291.
[12] 何金平, 李珍照, 施玉群. 大坝结构实测性态综合评价方法研究[J]. 水力发电学报, 2001(2): 36-42.
[13] 马福恒, 吴中如, 顾冲时, 等. 模糊综合评判法在大坝安全监控中的应用[J]. 水电能源科学, 2001, 19(1): 59-62.
(收稿日期: 2011-02-15 编辑: 高建群)

[6] 林建洪. 北溪水闸枢纽下游消能防冲设施除险加固研究[J]. 东北水利水电, 2011(1): 63-66.
[7] 黄智敏, 罗岸, 陈卓英, 等. 潮州供水枢纽东溪拦河闸消能工除险改造试验研究[J]. 广东水利水电, 2010(12): 1-3.
[8] 刘珊珊. 拦潮闸消能设计探讨与研究[J]. 广东水利水电, 2010(11): 81-82, 92.
[9] 施景裕. 水闸消能防冲设计探讨[J]. 浙江水利科技, 1999(3): 1-2.
[10] 朱春阳, 胡正福, 徐威. 修山水闸消能防冲试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2010(11): 104-106, 110.
[11] 胡海泓, 罗少彤. 关于如何有效防止水闸下游冲刷破坏的探讨[J]. 广东水利水电, 2007(5): 4-7.
[12] 文恒, 智泓, 牟献友. 水闸消能防冲条件的确定[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(6): 17-20.
[13] 陈阳生, 兰跃东, 马万明, 等. 蓄水闸闸门突然开启时的下游消能问题[J]. 河北水利专科学校学报, 1991(1): 13-19.
(收稿日期: 2010-11-19 编辑: 高建群)