

浅谈水闸工程中的消能防冲计算

陈杰

(上海嘉定水务工程设计有限公司, 上海市 201800)

摘要: 消能防冲计算是水闸工程设计中的重要环节,消力池、海漫段、防冲槽等消能防冲设施的结构尺寸都需要通过计算确定。水闸设计规范给出了相应的消能防冲计算公式。结合工程实例,从计算水位组合的选取、河道不冲流速及允许流量的计算、闸门开度及过闸流量的确定、消能防冲计算过程、消能防冲设施布置等几个方面对水闸工程中的消能防冲计算及消能防冲设施设计进行了简要介绍。

关键词: 水位组合; 不冲流速; 过闸流量; 消能防冲计算

中图分类号: TV66

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)05-0160-03

0 引言

水闸是一种调节水位、控制流量,既挡水又泄水的低水头水利建筑物。水闸主要依靠闸门控制水流,具有挡水和泄(引)水的双重功能,在防洪、治涝、灌溉、供水、航运、发电等方面有着广泛的应用。

为保护水闸下游河床免受冲刷,需采取必要的消能防冲措施。水闸的消能方式,一般采用底流式水跃消能。其主要消能结构为消力池,在池中利用水跃消能。海漫段紧接在消力池之后,继续消除水流余能,使水流扩散并调整流速分布,减少底部流速,保护下游河床免受冲刷。防冲槽设置在海漫段末端,主要作用是保护海漫段的安全。

消力池、海漫段、防冲槽等消能防冲设施的设计离不开消能防冲计算。现以“嘉定蕰藻浜以南地区近期引水调度工程”中的盐铁塘泵闸为例,对水闸消能防冲计算的内容作简要介绍。

1 项目概况

上海嘉定蕰藻浜以南地区,位于嘉定区的最南端,西北以蕰藻浜为界,南依苏州河,东临中槎浦和新槎浦,区域总面积约 100.36 km²。“嘉定蕰藻浜以南地区近期引水调度工程”共新建控制工程 21 座,其中泵闸 8 座,节制闸 13 座。工程建成后,该区域可形成独立的水资源调度系统,近期采用“北排蕰藻浜,南引苏州河”的引水调水模式,形成南北向定向

流动,增加河网水动力,提高河道自净能力。中远期,还可以通过流域综合调度,利用该工程引入长江水,进一步提升蕰藻浜以南地区河道水质,并为苏州河提供清水源。此外,引调度区工程可有效提高整个蕰藻浜以南地区防汛除涝能力。该区建成后,汛期可通过泵闸工程调度,有效控制内河水位,达到挡洪除涝的目的,确保该区域的水安全。

盐铁塘泵闸位于蕰藻浜一线,泵站设计流量 30 m³/s,水闸净宽 8 m。水闸主要功能为防洪挡水、引水及排水。闸门为升卧式平板钢闸门,采用卷扬式启闭机。水闸底坎高程 -1.00 m,消力池首端及末端宽度均为 8 m。泵闸所在河道河口宽 55 m,河底高程 -1.00 m。

2 基础资料

2.1 特征水位

嘉定蕰藻浜以南地区属上海市水利分片中的“嘉宝北片”。根据《嘉定蕰藻浜以南地区近期引水调度规划》,盐铁塘泵闸内外河特征水位如下:

2.1.1 内河(引调度区)水位

防洪高水位 3.87 m,最高控制水位 3.50 m,常水位 2.60 ~ 2.80 m,排涝预降水位 2.00 m。

2.1.2 外河(蕰藻浜)水位

控制最高水位 3.87 m,常水位 2.60 ~ 2.80 m,控制最低水位 2.00 m。

2.2 地质概况

盐铁塘泵闸位于嘉定区安亭镇,根据地勘资料,其勘察 35.00 m 深度范围内所揭露的土层为全新世 Q₄ 的滨海 ~ 河口、滨海 ~ 浅海、滨海、沼泽、潮谷,晚

收稿日期: 2020-08-25

作者简介: 陈杰(1990—),男,本科,工程师,从事水利工程设计工作。

更新世 Q₃ 河口~湖泽、河口~滨海、滨海~浅海相沉积物,根据地基土的成因、成分、结构分层。该工程共分出 8 个主要工程地质层及分属不同工程地质层的亚层。

该工程河道岸坡位于②₁ 层灰黄色粉质黏土、③₁ 层灰色淤泥质粉质黏土,其土层特征如下:

②₁ 层灰黄色粉质黏土,可塑,含氧化铁斑点、夹铁锰质结核,摇振反应无,韧性中等、干强度中等、稍有光泽,由上至下逐渐变软。层位稳定,厚填土区缺失。

③₁ 层灰色淤泥质粉质黏土,流塑,含云母、夹粉砂,摇振反应无,韧性中等、干强度中等,稍有光泽。层位稳定,全场地分布。

3 消能防冲计算

3.1 水位组合

根据水闸功能定位,按正向(排水)及反向(引水)划分,选取四个工况进行消能防冲计算,详见表 1 所列。

表 1 盐铁塘泵闸消能防冲计算水位组合表

正向/反向	工况	内河水位/m	外河水位/m
正向(排水)	工况一	设计高水位 3.50	常水位下限 2.60
	工况二	常水位上限 2.80	设计低水位 2.00
反向(引水)	工况三	常水位下限 2.60	设计最高引水位 3.60
	工况四	设计低水位 2.00	常水位上限 2.80

3.2 河道不冲流速及允许流量

根据勘察报告,该工程河道岸坡位于②₁ 层灰黄色粉质黏土、③₁ 层灰色淤泥质粉质黏土。根据《灌溉与排水工程设计标准》(GB 50288—2018)附录 F^[1],当水力半径 R=1 时,取河道的不冲流速 V_{不冲}=0.75 m/s。当河道水力半径 R 不等于 1 时,V_{不冲}=V_{不冲}×R^α,α 取 1/4。经计算,不同工况下河道的计算不冲流速和允许流量见表 2 所列。

3.3 闸门开度及过闸流量

根据河道的计算不冲流速和允许流量确定各工况下闸门开度及过闸流量,计算方法参照《水闸设计规范》(SL265—2016)附录 A^[2],计算结果见表 3 所

列。由计算结果可知,若闸门开度按 3 m 控制,各工况下水闸的最大过闸流量均小于河道的允许流量,过闸流量可以满足下游河道的防冲要求。

表 3 闸门开度及过闸流量计算成果表

正向/反向	工况	闸门开度/m	过闸流量/(m ³ ·s ⁻¹)
正向(排水)	工况一	3.0	122.24
	工况二	3.0	92.17
反向(引水)	工况三	3.0	124.21
	工况四	3.0	92.17

3.4 消能防冲计算

以工况一为例简述消能防冲计算过程,计算原理,以及式中各代表符号参照《水闸设计规范》(SL 265—2016)附录 B。

3.4.1 计算原理

(1)消力池深度计算公式:

$$d = \sigma_0 h_c'' - h_s' - \Delta Z$$
$$h_c'' = \frac{h_c}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{gh_c^3}} - 1 \right) \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{0.25}$$
$$h_c^3 - T_0 h_c^2 + \frac{\alpha q^2}{2g\varphi^2} = 0$$

(2)消力池长度计算公式:

$$L_{sj} = L_s + \beta L_j$$
$$L_j = 6.9(h_c'' - h_c)$$

(3)消力池底板厚度计算公式:

由于消力池内设有冒水孔,厚度可根据抗冲要求确定。

$$t = k_1 \sqrt{q \sqrt{q \Delta H'}}$$

(4)海漫长度计算公式:

当 $\sqrt{q_s \sqrt{\Delta H'}} = 1 \sim 9$,且消能扩散良好时,海漫长度计算公式:

$$L_p = K_s \sqrt{q_s \sqrt{\Delta H'}}$$

(5)海漫末端的河床冲刷深度计算公式:

$$d_m = 1.1 \frac{q_m}{[v_0]} - h_m$$

3.4.2 消力池计算

(1)判别是否设置消力池。

上游水深 H=3.5+1.0=4.5(m)下游水深 h'_s=2.6+

表 2 河道不冲流速及允许流量计算成果表

工况	下游水位/m	河道过水面积/m ²	湿周χ/m	水力半径 R/m	R ^α	V _{不冲} /(m·s ⁻¹)	允许流量/(m ³ ·s ⁻¹)
工况一/工况三	2.60	135	57.17	2.36	1.24	0.93	125.55
工况二/工况四	2.00	102	43.97	2.32	1.23	0.92	93.84

1.0=3.6(m)。假设 $d=0$, 由此计算收缩水深 $h_c=2.01$ m, 跃后水深 $h_c''=4.08$ m > 3.60 m, 需设置消力池。

(2) 池深试算。

出池落差 $\Delta Z=0.32$ m, 令 $\sigma_0=1.05$, 消力池池深 $d=\sigma_0 h_c''-h_s'\Delta Z=0.37$ m, 取池深 $d=0.4$ m, $T_0=4.50+0.40=4.90$ m, 同上计算得 $h_c=2.31$ m, $h_c''=3.63$ m, $\Delta Z=0.12$ m, $1.05 < \sigma_0 = \frac{d+h_s'+\Delta Z}{h_c} = 1.09 < 1.10$, 满足要求, 故消力池深 $d=0.4$ m。

(3) 池长计算。

水跃长度 $L_j = 6.9(h_c''-h_c)=9.10$ (m), 消力池长度 $L_{sj} = L_s + \beta L_j = 0.4 + 0.8 \times 9.10 = 7.78$ (m)

(4) 池厚计算。

水闸闸孔泄水时的上、下游水位差 $\Delta H'=3.5-2.6=0.9$ (m), 消力池底板计算系数 k_1 取 0.15, 抗冲厚度 $t=k_1\sqrt{q\sqrt{\Delta H'}}=0.57$ (m)。

3.4.3 海漫段长度计算

消力池末端单宽流量 $q_s=15.28$ m³/s, $\Delta H'=0.9$ m, 经计算 $1 < \sqrt{q_s\sqrt{\Delta H'}} = 3.81 < 9$, 满足要求。

根据地质勘察报告, 河床土质为③₁ 层灰色淤泥质粉质粘土, 取海漫段长度计算系数 $K_s=10$, 计算得海漫长度 $L_p = K_s\sqrt{q_s\sqrt{\Delta H'}} = 38.07$ (m)。

3.4.4 河床冲刷深度计算

海漫段末端单宽流量 $q_m=2.22$ m³/s, 河床土质允许不冲流速 $[v_0]=0.50$ m/s, 海漫末端河床水深 $h_m=3.60$ m, 计算得海漫末端河床冲刷深度 $d_m=$

$$1.1 \frac{q_m}{[v_0]} - h_m = 1.28 \text{ (m)}。$$

3.4.5 计算结果

同理, 对工况二、工况三、工况四进行计算, 消能防冲计算结果见表 4 所列。

表 4 消能防冲计算成果表

正向 / 反向	工况	消力池 深度 /m	消力池 长度 /m	消力池 厚度 /m	海漫 长度 /m	冲刷 深度 /m
正向(排水)	工况一	0.40	7.78	0.57	38.07	1.28
	工况二	0.20	6.54	0.48	32.71	1.15
反向(引水)	工况三	0.40	8.12	0.63	38.18	1.31
	工况四	0.20	6.14	0.44	32.54	1.19

3.4.6 消能防冲设施布置

根据消能防冲计算结果, 盐铁塘泵闸内外河消力池深度均取为 0.40 m, 消力池长度均取为 10 m, 消力池厚度均取为 0.8 m。内外河海漫段长度均取为 40 m, 内外河防冲槽深度均取为 1.50 m。

4 结 语

消能防冲设施作为水闸工程的重要组成部分, 本文结合工程实例简要介绍了水闸的消能防冲计算。计算时, 应首先分析可能出现的开闸工况; 其次分析各工况下水闸所在河道的允许过流能力, 根据河道允许过流能力确定闸门最大开度及最大过闸流量; 最后, 再进行消能防冲计算并依据计算结果确定消力池、海漫段、防冲槽的结构尺寸。

参考文献:

- [1] GB 50288—2018,《灌溉与排水工程设计标准》[S].
- [2] SL 265—2016, 水闸设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com