

鹅浦排涝闸冲刷计算及水工模型试验

田小平¹ 汪志新²

(1.温州市水利电力勘测设计院 浙江 温州 325011; 2.永嘉县水利局 浙江 永嘉 325000)

摘要 鹅浦排涝闸下游紧接江道,无法按常规设计要求布置消力池等消能设施,设计采用了合金网石箱的抗冲措施。通过采用经验公式对水闸下游的防冲计算,结合设计抗冲设施的水工模型试验,验证和优化了设计抗冲布置,并得出防冲石箱应多个串接、叠状布置、石箱铺设长度不宜小于 18 m 的结论,以确保工程运行安全。

关键词 冲刷计算 水工模型试验 石箱 鹅浦排涝闸

中图分类号 TV66 **文献标识码** A **文章编号** 1006-7647(2006)S1-0080-03

鹅浦排涝闸位于浙江省永嘉县县城,承担着该县城的防洪和排涝任务。由于受地形条件的限制,水闸下游紧靠江道而无法按常规设计要求布置消力池等消能设施,这种情况在国内的水闸工程中是很少见的,因此设计时提出了在闸室下游采用合金网石箱进行防冲的措施。由于该工程的特殊性,对该水闸进行了冲刷计算及水工模型试验,以验证和优化设计,确保工程运行安全。

1 工程概况

鹅浦排涝闸所处河道全长 13.3 km,集水面积 40.3 km²,河道平均坡降 1.52%,溪流源短流急,洪水暴涨暴落,属山溪性河流。根据县城防洪工程设计^[1],闸址选在溪流出口与主江道汇合处,闸址处为深厚淤泥质软土地基。

设计排涝闸为 4 孔,每孔净宽 5.0 m,设计流量 258 m³/s,上游正常水位 4.0 m。闸室长 12 m,闸槛高程 -2.0 m,与河床高程齐平,闸室底板布置钻孔灌注桩。受水闸下游地形限制,无法布置消能设施,设计提出防护方案为:闸室下游 8 m 范围为钢筋混凝土护坦,其后平铺 8~10 m 长的合金网石箱,单个石箱体积为 6 m³,尺寸为 3 m×2 m×1 m(长×宽×深),石箱后接抛石体,顺水流方向长 15 m,厚 1 m。图 1 为水闸平面布置图。

2 试验内容及模型设计

模型试验内容^[2]主要包括闸下流速分布及冲

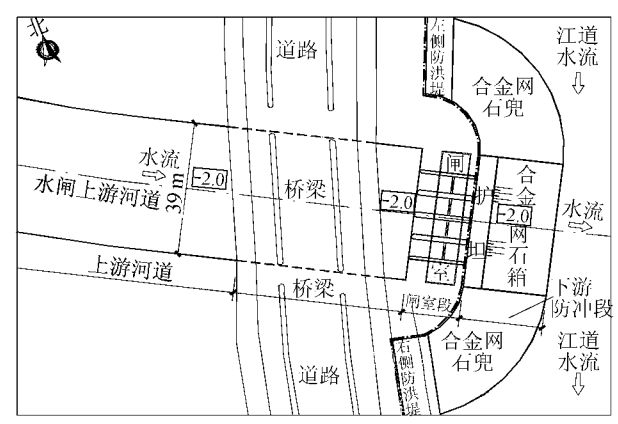


图 1 水闸平面布置

刷。模型取用范为闸上、下游各约 200 m,地形用水泥砂浆抹制,水闸采用有机玻璃精制。在水闸下游冲刷动床试验时,由于缺乏闸下淤泥土的级配曲线及淤泥土的成分,冲刷情况拟作定性研究,即在护坦后宽 70 m、长 120 m 范围内做成动床,用 0.06~0.5 mm 之间的天然细砂作模型沙。

模型试验在水闸上游 155 m 处、闸前及闸下游共布置 4 个水位测点,水位采用常规测针观测,模型流量由矩形薄壁堰监测,流速采用智能流速仪施测。

3 闸下冲刷深度估算

3.1 水闸下游冲刷机理

水流流经水闸流向下流时,具有较大的上下游水位差,同时闸宽一般小于上、下游河宽,使过闸流量比较集中,单宽流量加大。因此,过闸水流具有较大的动能,一般需采取适当的消能防冲措施,保护下

作者简介:田小平(1974—),男,浙江温州人,工程师,从事水利工程咨询及设计工作。E-mail:txp999-ren@163.com

游河道。

根据平原河网地区建闸经验,水闸水头一般相对较低,河道土质抗冲能力较弱,下游水位变化幅度又较大,一般采用底流式消能方式,通常为消力池,可以消杀水流全部动能的40%~70%。出消力池的水流紊动现象仍很严重,单宽流量及流速较大,对河床仍有较强的冲刷能力,因此,紧接消力池一般设置海漫和防冲槽护底,以免引起严重冲刷。海漫一般布置长度在20~30 m以上,防冲槽深度1~2 m。

就该水闸工程而言,闸下无法布置消能设施,防冲安全是决定工程成功与否的关键。

3.2 水闸下游冲刷计算

目前,最大冲刷深度估算公式很多,设计人员难以选用。结合试验中得出的流量和流速,选用SL265—2001《水闸设计规范》^[3]公式(式(1))和毛昶熙公式(式(2))^[4]分别估算水闸下游冲刷深度:

$$d_m = 1.1 \times \left[\frac{q_m}{v_o} \right] - h_m \tag{1}$$

式中: d_m 为河床冲刷深度; q_m 为单宽流量 $[v_o]$ 为河床土质允许不冲流速,河床为淤泥夹沙,参照文献^[5]取0.8 m/s。

$$t_p = \frac{0.66q \sqrt{2\partial - \gamma/h}}{\sqrt{(s-1)gd(h/d)^6}} - h \tag{2}$$

式中: t_p 为河床冲刷深度; q 为单宽流量; ∂ 为流速分布不均匀性的动量修正系数,取1.1; d 为河床土粒直径,取0.06 mm; s 为土与水的密度比,取1.6; g 为重力加速度; h 为水深; $\sqrt{2\partial - \gamma/h}$ 为进入冲刷河床前固定断面上的水流参数,取1.5,其中 γ 为最大流速的位置高度。

最大冲刷坑深度计算结果见表1。

表1 最大冲刷坑深度估算

工况	水位组合		实测流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	实测最大流速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	抗冲流速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	冲刷坑深度/m	
	上游水位/m	下游水位/m				式(1)	式(2)
1	4.0	3.8	258	2.1	0.8	10.7	5.0
2	4.0	3.5	440	3.7	0.8	21.2	11.7
3	4.0	3.0	490	4.5	0.8	24.5	14.4
4	4.0	2.5	504	6.1	0.8	25.8	15.9

从表1计算结果可知:

- a. 闸上游水位相同情况下,下游水位对冲刷深度的影响非常大,从水闸的冲刷安全角度而言,有必要控制闸下运行水位。
- b. 相同运行水位组合时,采用不同计算公式得出的冲刷值差异较大,表中计算冲刷坑深度达5.0~25.8 m。笔者认为,在实际工程中,冲刷坑的形成是一个动态过程,随着冲刷坑的加深,水流流速变小,河床抗冲流速将加大,实际冲刷坑深度将小于表

中计算深度。式(1)计算出的冲刷坑深度偏安全,式(2)则考虑了河床土质、水流扩散、水深等因素,计算结果更趋合理。

4 局部动床试验

4.1 无防护设施试验

在水闸下游护坦后没有采取防护措施的情况下,进行了3组工况的动床试验,冲刷历时约16 h。试验结果表明,混凝土护坦及左右岸导墙基脚均冲刷成陡坎,冲坑深度达10 m以上,严重威胁到水闸建筑物的安全。因此,水闸下游护坦后必须采取可靠的防冲保护措施。

4.2 设计防护方案试验

设计防护方案为:闸下顺水流向8 m为混凝土护坦,护坦后平铺8~10 m长的合金网石箱,单个石箱尺寸为3 m×2 m×1 m,石箱后再接15 m长的抛石,厚度为1 m。

冲刷试验工况:上游水位为4.0 m,下游水位2.5 m,4孔闸门全开。试验结果表明:先冲刷抛石后的模型沙及抛石层,然后逐步向上游掏刷,进一步冲毁抛石及合金网石箱。整个过程时间约30 min,结果闸下抛石、合金网石笼全部冲毁,形成深度为10.5 m的大冲坑,冲坑紧靠护坦形成,抛石冲至冲坑底及冲坑下游边坡。

设计防护方案冲刷试验表明,该防护方案不能满足防冲要求,需提高石箱防冲能力。

4.3 石箱平铺和层叠布置的比较试验

试验对合金网石箱的不同布置形式及布置长度进行了对比试验。该试验中的水闸下游护坦布置、石箱的尺寸大小、布置长度及石箱后抛石布置均同前述设计防护方案,但石箱的布置形式不同,对应左岸2个闸孔布置1层石箱,紧密平铺排列,对应右岸2个闸孔布置2层石箱,层叠状排列,上、下层之间错缝叠置。

试验水位组合工况仍为上游水位4.0 m、下游水位2.5 m。冲刷历时为16.4 h,试验结果:对应左岸2个闸孔的平铺1层石箱被冲毁,排列稀疏,石箱下沙料流失较多,护坦末端形成冲刷陡坎,深度达5 m以上;对应右岸2个闸孔的层叠石箱下沉明显,但排列仍较密实,整体性较好,石箱下沙料无出露现象,石箱末端抛石被冲毁形成一定的斜坡面。石箱布置形式比较试验表明:石箱层叠布置的抗冲性能明显比平铺一层强,层叠布置较为合理。

4.4 石箱布置长度的比较试验

设计护坦后的石箱采用层叠状布置,布置长度分别为10 m和18 m,冲刷历时均为2.7 h,比较试验

表 2 石箱布置长度比较试验情况

工况	水位组合		合金网石箱长 10m	合金网石箱长 18m
	上游水位/m	下游水位/m		
1	4.0	3.8	泥沙有少许冲动,合金网石箱基本无冲动。	泥沙有少许冲动,合金网石箱基本无冲动。
2	4.0	3.5	冲坑深 4.8m。冲刷过程中石箱尾部有下倾现象并出现错位,石箱稍有凹陷,最大约 0.9m(说明石箱下模型沙有被吸走现象)。	冲坑形态同情况一,冲坑深 3.8m,石箱尾部有少许位移。
3	4.0	3.0	冲坑深 8.1m。中间闸孔下石箱有部分冲毁,其他孔后石箱基本完好,石箱面有所下陷。	中间闸孔石箱尾部被冲毁,坡度较陡,冲坑深 7.4m。
4	4.0	2.5	闸下冲刷严重,冲坑已冲到底。中间孔后石箱下陷较多,且有个别石箱被冲向坑底。	石箱尾部被冲毁,冲坑已冲到模型底。

结果见表 2,可见石箱布置长度 18m 的防冲效果比 10m 要好,有利于水闸运行安全。

4.5 试验结论

a. 排涝闸在闸下外江水位较低时开闸运行,水面波动较大,水闸下游出现波状水跌,对水闸下游冲刷破坏能力较强,因此,水闸不宜在闸下低水位运行,而且闸下必须采取防护措施。

b. 通过对有无防护措施的对比、石箱布置形式和布置长度的对比试验表明:在水闸混凝土护坦后采用石箱防护是必要的,石箱应多个串接、层叠状布置,石箱铺设长度不宜小于 18m,且最好以 1:10~1:15 的坡度与下游连接,有利于水流垂直扩散和石箱的稳定。

5 冲刷计算与试验成果对比分析

通过对排涝闸冲刷计算和水工模型试验成果对比,得出以下结论:

a. 采用冲刷公式得出的冲刷坑深度为 5.0~25.8m,由无防护设施试验得出的冲刷深度也在 10m 以上,两者的结论基本一致,表明水闸下游冲刷程度很严重,必须采取可靠的防冲保护措施。

b. 水闸护坦下游采用石箱多个串接、层叠状布置 18m 后,冲刷位置均出现在石箱尾部,冲坑深已明显低于冲刷公式计算值,防冲效果显著。同时,试验也表明,石箱的破坏是从末端开始的,石箱尾部在冲坑前坡起到一定的护坡作用,应加强末端的防护。

6 结 语

受地形限制,闸下无法布置消能设施,设计仅采用合金网石箱以改善水闸下游的防冲能力是一种新的尝试,在该工程的运行过程中应加强观测并逐步积累经验。

通过防冲水工模型试验,达到了优化、改进设计防冲措施的目的,对类似水闸工程的设计、建设均有较好的参考价值。本模型试验过程中还存在以下一

些问题:试验模型保持水闸上游水位为正常水位 4.0m 不变,与水闸运行有一定出入;冲刷试验中的时间不相同,模型试验中忽略了外江道洪水及外江道与水闸泄洪共同作用对闸下防冲设施的影响。

参考文献:

[1] 吴蕾,王广,裘骅勇.永嘉县县城城市防洪工程初步设计[R].杭州:浙江省水利水电勘测设计院,2001.
[2] 史斌.永嘉鹅浦排涝闸水工模型试验研究报告[R].杭州:浙江省水利水电河口海岸研究设计院,2001.
[3] SL265—2001 水闸设计规范[S].
[4] 毛昶熙.水工建筑物下游局部冲刷综合研究[M].北京:水利电力出版社,1959.
[5] 陈宝华,张世儒.水闸[M].北京:中国水利水电出版社,2003.

(收稿日期 2006-02-19 编辑 熊水斌)

· 简讯 ·

首届全国水工抗震防灾学术会议在南京召开

首届全国水工抗震防灾学术会议于 2006 年 10 月 28~30 日在南京召开。这既是本世纪第一次全国水工抗震防灾领域的学术盛会,也是为 2008 年首次在我国召开的第 14 届世界地震工程大会作前期准备。世界地震工程大会是地震工程界全球性规模最大的学术盛会,有“地震工程奥运会”之称,近几届世界地震工程大会都有两个专门有关大坝抗震的专题,由国际大坝委员会地震专业委员会主持。本届水工抗震防灾学术会议就水工建筑物与地基材料动态特性、水工建筑物抗震分析与设计、水工结构现场检测与监测、健康诊断与鉴定、水工建筑物抗震防灾与加固改造及水工结构工程振动、爆炸与冲击等专题,结合国内外近年来的发展和研究工作进行了广泛的学术交流,并将向第 14 届世界地震工程大会推荐优秀学术论文。

(编辑部供稿)