

某水闸底板损坏成因分析

朱亚东

(镇江市长江河道管理处,江苏 镇江 212006)

摘要 针对某闸水下检查发现底板损坏情况,结合该闸工程运行管理实际,分析了该闸底板损坏的原因以及造成该闸损坏底板分布、底板损坏特征等存在异常的原因,并从工程设计、施工、运行管理等角度提出了延缓底板冲蚀损坏、避免因底板冲蚀破坏造成工程失事的预防措施。

关键词 水闸底板 冲蚀 机理

中图分类号 :TV698.1+1 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2010)S1-0081-04

某水闸位于长江南岸苏南大运河入口处,1959 年 8 月建成投入运行。全闸共 15 孔,每孔净宽 3.8 m,闸墩厚 1 m,钢筋混凝土平板底顺水流方向长 15 m,平面布置情况见图 1。

该闸设计最大引水流量为 500 m³/s、最大排水流量为 980 m³/s,钢质平面直升门。

1 底板损坏现状

15 孔闸底板都存在不同程度的损坏,主要表现为底板混凝土表面大面积磨蚀,石子大量外露,或呈非常严重的蜂窝状,有较大冲蚀坑,面层钢筋局部外露,沉降缝内膨胀橡皮止水损坏、填料淘空等,损坏部位主要集中在门槛及其上下游 2 m 范围内。该闸损坏底板平面分布、底板损坏特征等均存在异常,如闸东边的 8 号、9 号、11 号、12 号和 13 号闸孔底板损坏非常严重,15 号闸孔底板门槛前呈大面积流畅光滑的凹弧形冲刷坑等。

2 底板损坏成因

2.1 内因

- a. 底板混凝土设计强度较低。该闸建于 50 年代,闸底板混凝土设计强度为 140 级,面层钢筋混凝土保护层厚 50 mm,依据现行规范^[1],底板混凝土强度明显偏低很多。
- b. 底板混凝土施工质量存在偏差。限于当时施工工艺及技术水平,底板混凝土浇筑质量偏差较大。1997 年对闸底板进行钻芯取样时就发现底板混凝土中存在明显孔洞,并有水不断从中冒出。
- c. 底板结构布置不合理。该闸横向两孔一联,底板与闸墩呈倒置的Ⅱ型,单号孔底板中间顺水流方向设置有沉降缝,底板整体性差。
- d. 以前损坏部位修复施工不可靠。1996 年检查时发现单号孔闸门门槛南面距闸门 10~40 cm 处底板沉降缝内填料被淘空 15~50 cm,当时水下应急

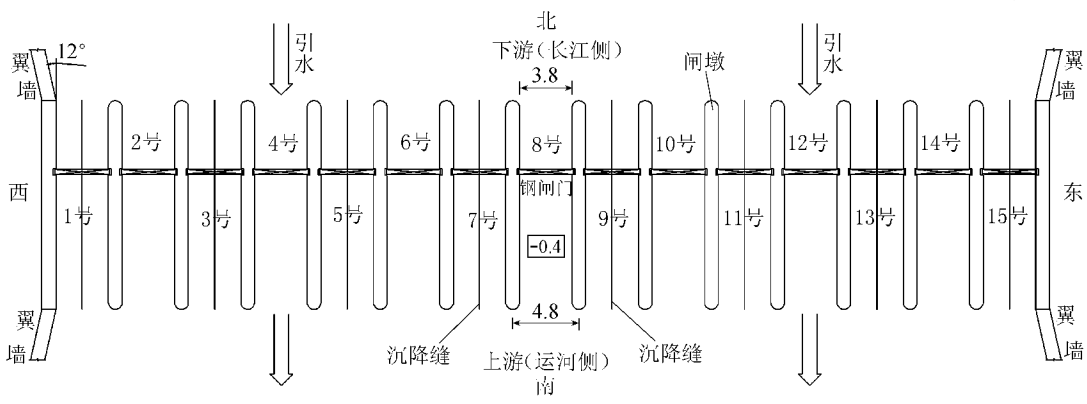


图 1 闸底板、闸墩、门槽平面布置示意图(单位:m)

修复。本次检查发现,除 1 号和 15 号闸孔底板外,上述部位沉降缝及底板混凝土均发生损坏。

2.2 外因

a. 过闸水流的冲蚀。一方面,过闸水流流速较快,本身就会冲刷底板混凝土;而且,汛期长江泥沙含量也较大,引长江潮水时水流中的悬移质泥沙颗粒在快速水流的紊动作用下与水流一起运动,磨损、切削和冲撞过流面底板混凝土。随着磨损剥离程度的增加,过流面底板混凝土表面会产生凹凸不平的磨损坑,快速水流受到磨损坑的扰动会在过流面形成各种类型的漩涡流,从而进一步加剧冲磨破坏的进程,并伴随产生空蚀破坏。而磨蚀坑的加深又会进一步恶化水流条件,形成恶性循环^[2]。另一方面,从实际控制运用情况看,该闸主要以闸孔出流引水为主。闸孔出流时自由水面受到闸门(或胸墙)的阻挡、控制,过闸水流流线会在闸门后 $(0.5 \sim 1)e$ (e 为闸门开度)的地方发生垂直收缩^[3],因此钢闸门上下游一定范围内的水流流向骤变,流速剧增,冲蚀破坏能力会明显增强。现场检查发现该闸底板混凝土损坏主要表现为冲蚀破坏,位置基本上都在闸门门槛及其以北 0.5 m、以南 1.5 m 范围内。

b. 引水频繁。该闸自建成投入运行至今已 50 年,累计引水逾 145.0 亿 m^3 、排水近 11.5 亿 m^3 。1997 ~ 2008 年累计引水近 54 亿 m^3 、排水约 1 亿 m^3 ,统计数据表明该闸以引水为主且最近 12 年引水量相对增长较多。该闸近 12 年平均每年开闸引长江潮水逾 125 潮次,最多的一年开闸引水 191 潮次,最大年引水量达 9.1 亿 m^3 。常年如此频繁引水,且引水又以闸孔出流为主,会加快底板的冲蚀损坏。

c. 化工污水侵蚀。该闸上游有纸浆厂,下游有化工厂,2008 年前两厂通过临近闸体的排污口长年向该闸引河大量排放超标污水,闸附近水域水质长年劣于 V 类。1999 ~ 2008 年水质监测表明,该闸邻近水域硫酸盐、氯化物、硝酸盐、氨氮等的含量均严重超标,闸长江侧水域 pH 值最小为 5.4,最大为 8.7,闸运河侧水域 pH 值最小为 6.8,最大为 9。普通混凝土本身就是多孔的材料,常年饱受化工污水侵蚀后,混凝土结构疏松、性能劣化、强度降低^[2,4],抗冲耐磨性能大大降低。

d. 沉降缝使得单号孔闸底板存在明显“软肋”。检查发现,单号闸孔(除 1 号、15 号 2 个边孔外)底板在沉降缝与闸门门槛交汇处附近均存在大小不一的冲蚀破坏,面层钢筋外露。沉降缝使得单号孔闸底板存在明显“软肋”,同等条件下更易被过闸水流冲蚀破坏。

e. 引水时进闸主流大多偏东边。该闸长江侧

引河两岸陆续兴建了挡土墙,河道被人为缩窄且挡土墙与引河中心线不平行;长江侧引河东岸 0 + 240 ~ 0 + 760(长江口门处)段建有多多个吊机码头,为满足枯水期重载船舶停靠装卸作业需要,码头前沿河底常常被开挖得较深(与码头对面相比至少要深 1 m 以上);长江侧西岸翼墙外有 100 m 长挡土墙斜着伸向引河,与引河中心线夹角约 5° 。以上这些工况造成长江侧引河进闸水流主流大多偏向东边。2005 年 9 月测绘的该闸长江侧引河水下地形图显示,近闸段 200 m 与闸室同宽范围内引河西半底边高程比东半底边高程普遍高 0.50 ~ 2.40 m,也有力佐证了以上分析。因此,同等条件下该闸东边闸孔实际过闸流量比西边闸孔多,东边闸孔底板遭受的过闸水流冲蚀自然要比西边大,该次检查发现的底板损坏情况也证明了这一点。

f. 长期严重不对称运用。2007 年主汛期该闸 2 号、3 号、5 号、6 号、7 号、10 号和 15 号等 7 孔钢闸门长期处于关闭挡水状态,实际仅启闭运行剩余的 8 孔,此工况下不但无法实现对称启闭操作,而且当这 8 孔闸门全部开启到位后,水流在平面上的分布也极为不均。2008 年汛期上述工况虽有所改变,但因各孔闸门仍然不同程度超标准下滑,15 孔闸门实际开度并不相等且不对称。如此严重不对称运用极易形成折冲水流、回流、集中水流、漩涡等恶性流态,加之进闸水流主流又偏东边,长此以往必然会加剧相关底板的冲蚀破坏,该次检查就发现上述 8 孔中东边的几孔(如 8 号、9 号、11 号、12 号、13 号)底板的损坏程度就远比其他孔严重。

g. 长期大流量或超标准运用。根据水文统计分析,该闸 1998 ~ 2007 年年度最大引水流量的平均值是 1997 年前的 1.20 倍,平均年引水量是 1997 年前的 2.57 倍。2007 年主汛期该闸实际开闸孔数仅为 8 孔,该运行工况下水文测量得实际最大引水流量为 280 m^3/s ,相应的闸孔计算单宽流量为 9.211 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$,超过引水设计最大单宽流量 5%。在实际控制运用中,考虑到正常情况下中间闸孔实际过闸单宽流量一般比边孔大以及理论计算与工程实际之间存在偏差,一般应控制最大过闸流量不要超过设计值的 90%。以上粗略分析还未考虑实际过闸流量有可能与其对应的闸下(运河侧)水位并不相适应的不利因素。空蚀强度与水流流速的 5 ~ 7 次方成正比^[2],长期较大流量、甚至超标准控制运用水闸,显然会加剧闸孔底板的冲蚀破坏。据此不难理解仅运用了 12 个汛期(1997 ~ 2008 年)的单号孔底板的损坏程度为什么会远比运用了 38 个汛期(1959 ~ 1996 年)的严重,而且双号孔底板也存在比较严重的损坏

(1997 年检查时没有明显损坏)。如前所述,近年来引水极为频繁、底板混凝土进一步老化并长期饱受化学侵蚀等也是客观存在的极为不利因素。

h. 钢闸门底止水损坏。汛期,长江侧水位高于运河侧,一年中闸上下游水位差也是汛期最大。在大水位差作用下,底止水大多缺损的闸门底部必然有快速潜流通过,冲蚀闸门门槛及其前面一定范围内的底板,该闸 15 号闸孔底板的损坏就是最典型的例证。15 号钢闸门底止水破损(仅存零星的几小段),而且沉降缝西边底板比东边底板要高 1 cm,东边的一半钢闸门根本无法关闭到底板,2007 年主汛期 15 号钢闸门又长期关闭挡水,该次检查发现 15 号闸孔底板在门槛部位及其以南 0.8 m 范围内几乎全部呈明显的冲刷弧形坑,且表面光滑如水磨石、沉降缝东边闸底板损坏程度也比西边的严重,钢闸门底部中间以东部位的钢板严重锈蚀,工程遭受破坏严重的位置也与钢闸门底止水缺失的位置相应。

i. 其他。正常情况下相对中间闸孔而言边孔实际过闸单宽流量会小一些,因此同等条件下 1 号、2 号、14 号和 15 号闸孔底板的损坏程度会相对轻一些,门槽附近水流流态较复杂,该区域底板也容易发生冲蚀损坏(如 15 号闸孔底板在临近东门槽的门槛处有 40 cm × 30 cm、深约 10 cm 的冲蚀坑,7 号闸孔底板在临近西门槽的门槛处有 50 cm × 50 cm、深约 10 cm 的冲蚀坑)。

3 预防措施

通过以上分析可知,该闸底板损坏如此严重且分布不一是诸多不利因素长期共同作用形成的。当底板冲蚀破坏发展到一定程度时就会诱发大面积的水力冲刷破坏,严重危及整个闸工程安全,为此应该积极采取措施延缓闸底板冲蚀损坏。

3.1 重视底板混凝土的耐久性

基于闸底板的重要性,笔者建议底板采用高性能抗冲耐磨混凝土,且强度等级应比其他部位有所提高。采用抗冲耐磨混凝土的部位既可以是整个底板,也可以是局部底板,如闸门门槛前后一定范围内(具体可通过水工试验确定),或者底板面层 20 ~ 50 cm 范围内。另外,底板面层钢筋保护层厚度应不小于 10 cm,同时还应根据实际情况充分考虑底板混凝土抗渗、抗侵蚀等其他耐久性要求^[1,5]。水闸安全鉴定时也不能仅凭底板混凝土实测抗压强度来评估底板的安全性能,1996 年该闸底板混凝土钻芯取样抗压强度为 24.8 ~ 17.8 MPa,但从这次底板损坏情况推测该闸底板抗冲耐磨等耐久性能很差,已不能满足工程可靠、安全运行要求。

3.2 科学设置沉降缝

沉降缝被设置在底板中间,一旦沉降缝两侧底板真的发生较大不均匀沉降,闸门根本无法整体关闭到闸底板,而且开闸过流时沉降缝处底板最易被冲蚀破坏。因此沉降缝宜设置在闸墩中间,这样不但结构整体性好,而且对地基不均匀沉降的适应性强,具有较好的抗震性能^[1]。

3.3 合理布置工程结构

由于设置在该闸运河侧的胸墙、公路桥等的自然遮挡,日常巡查时根本无法看到闸门运河侧附近水面异常波动(如沉降缝损坏后上下游串水引起的水面波动)。因此,水闸设计时应全面优化工程结构布置,方便工程日常运行巡查,在实际运行管理中,必要时应该在闸室内安装自动监控装置,以便能够及时发现工程异常情况。

合理布置工程结构还应包括尽可能避免在闸引河两岸兴建各种影响引河平顺过流的建筑物、构筑物,避免在闸引河内设置化工排污口,设计时应考虑在闸上、下游各设置 1 道检修门以满足管理单位定期检修闸底板的实际需求等。

3.4 确保底板混凝土施工质量

高性能抗冲耐磨底板混凝土原材料应该选用 42.5 强度等级以上的中热硅酸盐水泥、硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,选用质地坚硬的粗骨料并尽可能多地加入密实的粗骨料,掺用低收缩的聚羧酸盐等高效减水剂,掺用硅粉等活性掺和料,并严格按照规定进行试配。浇筑时应严格按照规定分层、分段施工,做到搅拌充分、振捣密实、表面平整、保温保湿、防止裂缝^[5]。

3.5 科学控制运用

该闸底板损坏速度之快和损坏程度之重与该闸长期控制运用不当有关。因此要严格执行既定的各项运行管理制度,彻底改变过去落后的粗放的工程管理模式,还要加强水闸控制运用方面的技术研究和推广,不断提高水闸控制运用的科技含量(如建立、完善、整合防汛防旱决策、运行调度与监测自动化系统),不断提高运行管理人员的技术水平,真正做到科学控制运用。

3.6 及时修复损毁工程

2007 年汛期该闸 7 孔闸门因无法正常运用而长期关闭挡水,钢闸门底止水也有缺损,这在一定程度上加剧了相关闸底板的损坏。因此,应区分轻重缓急、及时修复相关损毁工程,防止引发严重的次生灾害。

另一方面,底板混凝土一旦发生局部损坏,相关区域的水流条件会进一步恶化,极易诱发空蚀破坏,

底板混凝土被破坏的范围和程度必将明显加剧,因此应及时检查发现并修复已经损坏的混凝土底板^[5]。

3.7 定期认真检查底板

正常运用中的水闸底板具有水下隐蔽性,日常工程巡查无法检查闸底板状况。因此必须定期进行水下检查,《江苏省水闸技术管理办法》(苏水管[2004]152号)规定“一般每两年进行一次”水下检查,笔者建议最好每年汛后潜水摸查1次,在通过较大流量或超标准过流后应该及时组织水下检查。

另外,该闸2009年5月水下检查发现闸底板实际损坏程度远比2008年12月潜水摸查发现的严重,事实上该闸2008年12月后基本没有开闸过流。据此笔者建议每5年或当怀疑底板损坏时应该采取

比较直观、准确可靠的方式(如水下摄影检查、利用气压沉柜检查)对底板进行1次全面细致的检查。

参考文献:

- [1] SL265—2001 水闸设计规范[S].
- [2] 黄国兴,陈改新. 水工混凝土建筑物修补技术及应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
- [3] 郑文康,刘翰湘. 水力学[M]. 北京:水利电力出版社,1991.
- [4] 秦鸿根,贺永芳,曹鹏飞,等. 腐蚀性环境对混凝土长期力学性能的影响及改善措施[C]//中国硅酸盐学会. 第十届全国水泥和混凝土化学及应用技术会议文集. 北京:中国硅酸盐学会,2007:53-56.
- [5] DL/T5207—2005 水工建筑物抗冲耐磨防空蚀混凝土技术规范[S].

(收稿日期 2009-06-11 编辑 方字形)

(上接第49页)

基准年假定选在电站正式运行的2011年初,经济使用年限 T 取45年,经济效益报酬率 r 取8%^[6]。

4.2 效益计算

为简化计算,假设全部投资都在施工第1年初一次性投入,可得工程投资折算现值 K_0 施桥船闸为128.8万元、淮安船闸为516.2万元。

年运行费折算现值 C_0 计算公式为

$$C_0 = C_1 \frac{(1+r)^T - 1}{r(1+r)^T} \quad (5)$$

经计算,施桥船闸年运行费折算现值为24万元,淮安船闸年运行费用折算现值为60万元。

工程效益折算现值 B_0 计算公式为

$$B_0 = B_1 \frac{(1+r)^T - 1}{r(1+r)^T} \quad (6)$$

电价按0.6元/(kW·h)计算^[5]。 B_1 为年售电收益,计算得施桥船闸 $B_1 = 17.64$ 万元,淮安船闸 $B_1 = 70.56$ 万元;工程效益折算现值施桥船闸为213.6万元、淮安船闸为854.4万元。

经济回收年限一般为12~17年^[5]。当电站总装机容量小于1万kW时,投资回收年限 T 用下式简化计算:

$$T = \frac{-\ln\left(1 - \frac{K_0 r}{B_1 - C_1}\right)}{\ln(1+r)} \quad (7)$$

计算可得施桥船闸投资回收年限为14.0年,淮安船闸投资回收年限为13.0年。

效益费用比 R_0 计算公式为

$$R_0 = \frac{B_0}{K_0 + C_0} \quad (8)$$

经计算,可得施桥船闸效益费用比为1.40,淮安船闸效益费用比为1.48。由此可见,从费用效益比考虑,淮安船闸和施桥船闸的经济效益均比较明显。

5 结 语

迄今为止,尚未见与船闸输水廊道水头利用方面相关的研究成果报道,为充分利用水资源,减少能量耗散,笔者从经济分析角度对该方面做出了初步研究。经初步经济可行性论证并分析淮安船闸和施桥船闸各项经济技术指标,发现淮安船闸和施桥船闸均可考虑利用其上下游水头进行水力发电,并具有一定的开发潜力。

参考文献:

- [1] 刘晓平,陶桂兰,蔡志长. 渠化工程[M]. 北京:人民交通出版社,2009:27-28.
- [2] 廖鹏. 京杭运河苏北段船闸通过能力研究[D]. 南京:河海大学,2003.
- [3] 江苏省交通厅. 江苏省船闸管理实施细则[R]. 南京:江苏省交通厅,1991.
- [4] 丁行蕊,续庆琪,白宝生,等. 全国船闸图集[R]. 北京:交通部水运规划设计院,1983:5-24.
- [5] 水电部农电司. 小水电经济评价暂行条例[R]. 北京:水电部农电司,1985.
- [6] 王丽萍,高仕春. 水利工程经济[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002:48-62.

(收稿日期 2010-05-21 编辑 高建群)