太浦闸底板除险加固方案比选

孙琪琦,邓昌铁

(河海大学水利水电工程学院,江苏 南京　210098)

摘要:太浦闸是太浦河上已运行 40 余年的老闸,经检测鉴定,其安全类别为三类.针对该闸底板混凝土标号偏低、强度不均衡、耐久性差、透水性大的特点,提出两种除险加固方案:底板灌浆附加喷浆修补方案与底板灌浆附加增设上游铺盖和底板表面混凝土方案.比选认为,底板灌浆附加增设上游铺盖和底板表面混凝土的方案较优.底板强度与渗透稳定的复核结果表明,按照此方案加固后闸底板的强度和渗透稳定性完全满足规范要求.

关键词:水闸;闸底板;除险加固;太浦闸

中图分类号:TV662　　文献标识码:B　　文章编号:1006-7647(2005)S1-0087-03

太浦闸位于江苏省吴江市境内的太浦河进口,西距东太湖约 2 km,是太湖东部主要泄洪及环太湖大堤重要口门的控制建筑物,对太湖流域防洪及向下游地区、上海市供水发挥着重要作用.

太浦闸于 1958 年 11 月动工兴建,1959 年 10 月竣工验收.太浦闸为二级水工建筑物,设计流量 580 m^3/s,校核流量 864 m^3/s,闸身总长 145.6 m,闸孔总净宽 116 m,共 29 孔,单孔净宽 4 m,底板高程 0.5 m(吴淞基面,下同),闸顶高程 7.2 m,胸墙底高程 5.3 m.1990 年以前,由于太浦河下游未疏通,一直处于关闸挡水状态.1991 年太湖流域大水,国务院决定加快太湖治理.1997 年太浦河全线贯通,太浦闸在流域防洪、供水,特别是在抵御 1999 年流域特大洪水中,发挥了重要作用.

迄今太浦闸建成已有 40 多年,由于当时不恰当地强调节省钢筋、水泥等材料使用量,致使闸墩、底板混凝土结构的标号偏低,强度不均衡,耐久性差;再加上 1990 年以前工程很少运行,维修保养经费不足,管理措施跟不上,致使工程老化,混凝土碳化严重,工程留下许多质量隐患.随着 2002 年以来引江济太调水试验工程的进行,太浦闸运行频率大大提高,其运行安全令人堪忧.2003 年太浦河泵站试运行期间,太浦闸曾出现过险情.

本文结合太浦闸安全检测与分析结果,针对其底板破坏现状,提出相关除险加固措施[1,2],并比选出最佳方案,然后对其强度与渗透稳定进行复核计算,论证其可行性.

1　安全检测与分析

2000 年 11 月,水利部太湖流域管理局组织了太浦闸工程安全鉴定工作.鉴定结论如下:太浦闸防洪标准不满足规划的防洪标准要求,整体稳定性和过水能力满足现行标准,抗渗稳定性不满足抗渗要求,消能防冲不能满足安全运行要求;工程损坏严重;部分结构的混凝土强度低于规范要求,不满足耐久性设计要求;局部混凝土保护层厚度严重不足,导致部分钢筋锈胀,混凝土开裂.综合分析表明,水闸安全类别为三类(属病闸).

2002 年 10~11 月,水利部上海勘测设计研究院工程检测中心对太浦闸部分构件进行了工程安全抽检,发现所查构件存在不少问题,底板问题尤为突出.混凝土抗压强度方面,底板混凝土存在骨料粒径较大、骨料分布不均匀、骨料种类混乱、水泥用量偏少、骨料与水泥砂浆粘结不好等现象,所钻取的芯样也较为破碎.对较完整的芯样,采用钻芯法检测所得的底板混凝土强度值在 12.8~51.9 MPa 之间,而破碎芯样强度值相对来说要低得多,混凝土强度等级低于 C15.渗透性方面,底板下游侧渗透系数的检测结果基本在 $(1.05\sim2.27)\times10^{-3}$ cm/s 之间,有些部位甚至大于 3.0×10^{-3} cm/s,抗渗等级低于 W4.内部缺陷方面,底板混凝土裂缝、蜂窝及空洞现象较严重,存在明显的缺陷,且分布较广.底板以下土体中

作者简介:孙琪琦(1980—),男,上海人,硕士研究生,从事水工结构研究.

存在软弱体或掏空现象.底止水座板部分出现不同程度的凹凸不平现象.因此,底板混凝土的整体强度、渗透性、耐久性等方面都不能满足 SL 265-2001《水闸设计规范》的要求.

根据上述鉴定结论,有必要对闸底板进行彻底的加固改造,对底板下土体进行加固处理.

2 除险加固方案

鉴于太浦闸底板混凝土设计标号偏低(埋石率20%的 C10 混凝土结构)、强度和耐久性差、透水性大的特点,为彻底、全面地加固处理,拟定了两个加固方案:①底板灌浆附加喷浆修补措施;②底板灌浆附加增设上游铺盖和底板表面混凝土措施[3].并对两个方案进行了比选.

a. 底板灌浆附加喷浆修补方案.该方案将底板侧面用黄浦泥封闭,在底板上钻孔.从钻孔中灌水泥浆,将底板下局部掏空部分及底板裂隙和空洞等全部填塞.钻孔呈梅花形布置,孔底深度至底板底面以下 30 cm.灌浆孔在灌浆前应进行孔壁冲洗,冲洗压力不大于灌浆压力的 80%.从钻孔中灌水泥浆(空洞较大时可灌水泥砂浆).当发生相互窜浆时,可采用群孔并联灌浆,孔数不宜多于 3 个.凿除底板表面裂缝部位的混凝土,挂网喷浆,喷射一层密实而强度高的水泥砂浆保护层,以达到封闭裂缝、防渗漏和提高混凝土表面抗冲刷能力的目的.

b. 底板灌浆附加增设上游铺盖和底板表面混凝土方案.该方案的底板灌浆部分同方案 a.待灌注的水泥浆经一定龄期凝固后,先凿除 1.0 m 厚的面层混凝土,铺设钢筋网后再浇 C25 混凝土以恢复底板至原标高.新、老混凝土结合面须进行凿毛、清洗处理,并安装锚固剂及锚筋,在锚筋孔内安放药卷式锚固剂,并插入 20 根长 40 cm 的螺纹钢筋,注意控制好锚杆与底板表面的垂直度,以使新、老混凝土紧密结合.考虑到采用灌浆办法加固的闸底板还不能保证其防渗性能,需在上游增设 10 m 的混凝土防渗铺盖,与加固后的闸底板共同构成闸室的防渗系统.

c. 方案比选.综合考虑除险加固效果、经济性和技术难易程度三方面的因素,对上述两方案进行比选.从效果上看,方案 a 虽可以通过加密灌浆来填充混凝土中灌浆孔附近的空洞,但由于闸底板蜂窝及空洞分布范围大,有些空洞与外界连通,灌浆时容易窜浆和漏浆,难于将所有的空隙填满,不能保证底板结构的整体性和防渗性能.与方案 a 相比,方案 b 具有安全可靠的优点.从现行的角度看,方案 a 虽然解决了强度、稳定性和防渗性问题,但随着今后治太骨干工程的陆续完成,太浦河承担太湖防洪、泄洪及向下游供水的任务将更加繁重,按方案 a 加固的闸底板可能难以承担.而方案 b 则可以更为彻底的对水闸底板予以除险加固,从长远经济利益上看,方案 b 更为优越.从技术角度来说,两种方案都相对比较成熟,技术难度基本相近,但方案 a 中所采用的喷浆修补技术易受人为因素影响.

综合考虑各种因素,推荐采用方案 b,即底板灌浆附加增设上游铺盖和底板表面混凝土方案.

为了提高太浦闸底板加固工程的施工质量和加固效果,在工程的施工中拟采用一些已被实践证明是行之有效的新材料和新工艺,包括改性灌浆水泥和药卷式锚固剂.

a. 改性灌浆水泥.水利工程施工中常用的灌浆材料主要有普通水泥灌浆材料、化学灌浆材料和改性灌浆水泥.普通水泥灌浆材料的优点在于使用方便、强度高、耐久性好、无公害、成本低、来源广等,但其颗粒较粗,对于微细岩体裂缝和较大的集中渗流的防渗处理,容易产生失水变浓和溶蚀不良现象,影响灌浆质量.化学灌浆材料的优点在于颗粒细、强度高、黏度低,以及具有良好的流动性、稳定性、可灌性,但其缺点是成本高、运输储藏不便、施工工艺复杂,特别是化学灌浆材料大多具有不同程度的毒性,易引起环境污染.改性灌浆水泥[4]是一种由普通硅酸盐水泥掺入特殊的灌浆剂细磨而成的灌浆新材料.其颗粒较细,对于 0.1 mm 以下的微细岩体裂隙,其可灌性、流动性、稳定性均较好,结石结构致密,对提高结石力学性能、抗透性和耐久性很有利.通过对这 3 种材料的技术、施工以及经济性比较,拟选择改性灌浆水泥材料进行底板灌浆.

b. 药卷式锚固剂.锚固技术在底板加固中是提高新老混凝土结合强度必不可少的施工技术,而目前常用的注浆式锚杆充填密度差、固化速度慢、锚固强度低.中国水利水电科学研究院研制的药卷式锚固剂[5],锚固力强,使用方便而且价格低廉,用配重法进行拉拔试验,每根锚杆在承受 9.8 ~ 11.8 kN 的拉力时,无任何松动现象.经计算,在每块底板上使用 180 根锚杆,完全可以保证新老混凝土结合强度达到设计要求.

3 闸底板除险加固后的强度与渗透稳定复核

3.1 强度复核

闸室为倒 Π 型结构.闸底板顺水流向长 16 m,顶面高程 0.50 m.闸底板为素混凝土结构,厚度 2.0 m.对中孔底板和边孔底板分别进行底板内力计算.在底板上游段和下游段分别取单宽 1 m,按弹性地基梁法进行内力计算,地基的变形模量取 10 MPa.

经计算，底板内力在基本组合时 $M_{max}=186\,kN\cdot m$，特殊组合时 $M_{max}=272\,kN\cdot m$.

根据 SDJ20—78《水工钢筋混凝土结构设计规范》，素混凝土受弯构件的计算公式为

$$KM \leqslant \gamma R_1 bh^2/6 \qquad (1)$$

式中：K 为混凝土抗拉强度安全系数，对于一级建筑物，基本组合 $K=2.8$，特殊组合 $K=2.3$；M 为弯矩；γ 为受弯混凝土构件受拉区塑性影响系数，对于矩形截面，$\gamma=1.55$；R_1 为混凝土抗拉设计强度，对于除险加固后的新老混凝土取均值 $R_1=1.05\times10^6\,Pa$（C10 混凝土抗拉强度 $R_1=0.82\times10^6\,Pa$，C25 混凝土抗拉强度 $R_1=1.27\times10^6\,Pa$）；b 为截面宽度，$b=100\,cm$；h 为截面高度，$h=200\,cm$.

经计算，$KM_{max}=625.6\,kN\cdot m$，小于 $\gamma R_1 bh^2/6=1\,085\,kN\cdot m$，所以闸底板强度满足要求. 相对于除险加固之前的底板（埋石率 20% 的 C10 混凝土结构），其强度有了明显提高.

3.2 渗透稳定复核

对太浦闸除险加固后闸底板进行渗透稳定复核时，分为两种工况，见表 1.

表 1 渗透稳定复核计算

工况	闸上水位/m	闸下水位/m	上下游水头差/m
1	14.80	3.30	1.50
2	5.50	3.54	1.96

闸基土为粉质黏土，其允许渗径系数 C 取 5. 根据闸基防渗长度的基本公式 $L\geqslant C\Delta H$，经计算，工况 1 的 $C\Delta H$ 值为 7.50 m，工况 2 的 $C\Delta H$ 值为 9.80 m，均小于实际闸基渗透长度 16 m.

采用改进阻力系数法[6]进行的闸基出口段渗透稳定复核计算表明，工况 1 和工况 2 出口段渗流坡降值分别为 0.312 和 0.407，均小于允许渗流坡降值（0.5～0.6）.

上述底板的强度与渗透稳定的复核结果表明，按照方案 b 加固后的闸底板的强度和渗透稳定性完全满足规范要求.

4 结 语

根据太浦闸目前的结构性态表现，初定两种加固方案，即底板灌浆附加喷浆修补方案（方案 a）和底板灌浆附加增设上游铺盖和底板表面混凝土方案（方案 b）. 两种方案的比选结果表明，方案 b 优于方案 a. 底板的强度与渗透稳定复核结果表明，按照方案 b 加固后的闸底板完全满足规范要求. 但根据新一轮的防洪规划对太浦闸的要求，对太浦闸实施加固还是改建尚需从工程功能、技术、经济、安全性、运行管理和水利现代化及环境协调性等各方面作进一步比较.

参考文献：

[1] 张丽明. 水闸破坏症状与除险加固措施简述[J]. 大坝观测与土工测试，2001(4)：40.

[2] 李长城. 水闸的破坏与修复及法泗闸的整险加固[J]. 中国农村水利水电，2000(6)：35-38.

[3] 张艳茹，刘兵正. 三盛公水利枢纽拦河闸进水闸闸底板补强灌浆方法的探讨[J]. 内蒙古水利，2005(2)：84-85.

[4] 陈伟业. 改性灌溉水泥的性能与应用[J]. 水利水电科技进展，1999，19(3)：19.

[5] 余解民，蔡洪卿. 黄沙港闸反拱底板水下修补加固技术[J]. 水利水电科技进展，2002，22(6)：41-43.

[6] 左东启. 水工建筑物[M]. 南京：河海大学出版社，1995：429-491.

（收稿日期：2005-09-29 编辑：马敏峰）

（上接第 49 页）

b. 动剪应力最大值出现在坝基，最大为 114.5 kPa. 动剪应变最大值出现在坝体顶部，量值不大，对坝体安全不构成威胁.

c. 坝体断面在动力情况下是稳定的.

参考文献：

[1] 华东水利学院. 弹性力学问题的有限单元法[M]. 北京：水利电力出版社，1978.

[2] 顾淦臣. 土石坝地震工程[M]. 南京：河海大学出版社，1989.

[3] 谢定义. 土动力学[M]. 西安：西安交大出版社，1988.

[4] 刘祖德. 土石坝变形计算的若干问题[J]. 水利学报，1983(1)：1-13.

[5] 周健，吴世明，曾国熙. 土石坝三维二相动力分析[J]. 岩土工程学报，1991，13(5)：64-69.

[6] SL203—1997，水工建筑物抗震设计规范[S].

[7] GB5001—2001，建筑抗震设计规范[S].

[8] 徐志英，沈珠江. 尾矿高堆坝地震反应的综合分析与液化计算[J]. 水利学报，1983(5)：18-23.

[9] 高艳平，王余庆，辛鸿博. 尾矿坝地震液化简化判别法[J]. 岩土工程学报，1995，17(5)：72-79.

[10] 潘恕，沈风生. 小浪底斜心墙堆石坝的地震反应分析[J]. 人民长江，1994，25(8)：36-42.

[11] 黄文熙. 土的工程性质[M]. 北京：水利电力出版社，1983.

（收稿日期：2004-12-25 编辑：骆超）