

# 太浦闸混凝土结构现场检测及方法探讨

曹 剑, 包伟力, 陈 刚

(上海勘测设计研究院, 上海 200434)

**摘 要:**现场检测是水闸安全鉴定的重要组成部分,混凝土结构检测又是其中关键。目前,混凝土构件内部和下水部分缺陷的检测越来越引起各方的重视。该文通过太浦闸工程混凝土结构现场检测情况实例的介绍,对检测方法,特别是混凝土内部及下水部分的检测手段进行了讨论,为今后类似项目的实施提供了一些值得借鉴的经验。

**关键词:**水闸; 混凝土结构; 检测

**中图分类号:**TV698.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)03-0044-03

## 1 概述

对于早期建成、运行年限较长的水闸,由于施工期条件所限,以及运行期各种不良因素的作用,大多存在不同程度的病害,须进行安全鉴定,而现场检测直观反映了病害水闸的现状,是其它一切工作的前提条件,在水闸安全鉴定中占有非常重要的地位。2002年,上海勘测设计研究院工程检测中心对江苏省太浦闸工程进行了现场安全检测,本文结合检测情况,以及对检测成果的分析,对其中混凝土结构质量,特别是混凝土结构内部及底板下卧层的缺陷的现场检测方法进行了一些探讨。

太浦闸位于江苏省苏州吴江市境内的太浦河进口,于1958年动工兴建,1959年竣工验收。此闸为2级水工建筑物,闸身总长145.6m,闸孔总净宽116m,共29孔,底板面高程0.5m(镇江吴淞基面,下同),闸顶高程7.2m。

太浦闸建成已40多年,建筑物老化现象严重,期间有关单位分别对其水上混凝土结构以及下水部分水工构件进行了现场检测,并由多家单位进行了数次检修、大修及加固改造,但对闸墩、底板等下水部分未作详细检测,也未作检修和加固改造。本次检测是为了全面了解太浦闸工程的现状,同时也为该闸除险加固或拆除重建方案设计提供更加全面的依据。

## 2 检测项目及采用的技术手段

根据有关规程规范要求并结合先前的检测情况,确定对闸墩、排架、胸墙、底板等主要混凝土构件进行混凝土强度、钢筋锈蚀情况、钢筋保护层、碳化深度、外观及层面高程等常规检测,并对闸墩及底板的内部缺陷,以及底板下卧层淘空情况进行重点检测。

(1)外观质量检查:混凝土外观质量检查主要依靠有实际检测经验的工程技术人员通过外观质量描述,直接量测和照相等方法对各个构件进行外观质量检测。主要检测内容是检查混凝土表面风化、冲蚀、蜂窝、麻面、剥落等;混凝土结构裂缝、错位、倾斜等;以及与现行设计规范相比,原结构是否存在设计缺陷等。

(2)层面高程的检测:对混凝土结构层面高程采用精密水准仪进行水准闭合测量。主要检测是否存在沉降或不均匀沉降等问题。

(3)混凝土强度检测:混凝土强度检测采用钻芯法及超声回弹综合法进行,主要检测目前状态下水闸主要部位混凝土构件的实际强度,检验其是否满足设计标准。

(4)钢筋保护层厚度、钢筋分布及钢筋直径检测:利用电磁波的原理,采用钢筋测试仪在构件上移动探头探出钢筋分

布位置、钢筋直径并直接测试出保护层厚度。

(5)混凝土碳化深度检测:检测采用酚酞酒精试剂法进行,检测出混凝土因外界影响所产生的碳化深度,并与钢筋保护层厚度相比较,判断钢筋锈蚀的可能性。

(6)钢筋锈蚀检测:钢筋锈蚀状态的无损检测采用半电池电位法,检测混凝土内部钢筋的锈蚀程度以及分布情况。检测部位选择在排架、闸墩等主要受力构件,以及混凝土表面破损,或有可见裂缝等缺陷部位。

(7)闸墩、底板混凝土内部缺陷情况检测:闸墩和底板等部位混凝土内部质量检测通常是水闸检测中的难点,但弄清其内部缺陷对水闸质量的评定能起到重要作用。本次利用钻孔勘探、压水试验、超声波CT成像等技术手段对闸墩、底板混凝土质量及缺陷情况进行了综合性检测,通过相互比较验证,取得了较好的成果。

(8)闸底板下卧层缺陷情况检测:闸底板下卧层存在的缺陷,对水闸的整体稳定性有很大影响。本次在利用潜水员对底板进行探摸的同时,采用探地雷达等物探技术对闸底板以下部分的缺陷情况进行探测,取得了一定的成果,并且对物探新技术在混凝土结构质量检测上的应用进行了一些探索。

## 3 现场检测主要成果汇总

### 3.1 外观及层面高程

由于水闸混凝土结构大部分表面喷涂H52-S4环氧厚浆,无法直接评价其外观质量,仅发现检修闸门止水不良,漏水严重;工作桥板与闸墩之间无牢固连接;公路桥面铺装层存在多条横向裂缝,宽度在5~40mm之间等问题。

层面高程检测成果表明,水闸主要结构高程与设计值差别不大,无明显的沉降和不均匀沉降。

### 3.2 混凝土强度

混凝土强度检测主要位于闸墩、底板、排架和闸室胸墙等部位,检测成果见表1。

表1 混凝土强度检测成果汇总表

检测部位	混凝土强度值(MPa)
闸墩	10.6~23.7
底板	12.8~31.4
闸室胸墙	25.7~30.5
排架	34.4~45.9

由表1可以看出,水闸闸墩和底板部分混凝土强度较低,而排架、胸墙等为1994年重建,故强度较高。结合钻孔勘探所获取的芯样来看,闸墩和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、骨料和水泥砂浆胶结不好等现象,所钻取的芯样也较破碎,故除排架、胸墙等结构外,闸墩和底板混凝土强度不能满足要求。

### 3.3 混凝土碳化深度、保护层厚度以及钢筋锈蚀情况

对混凝土进行碳化深度、保护层厚度检测,并比较其检测

收稿日期:2006-02-22

作者简介:曹剑(1972-),男,上海人,助理工程师,从事工程质量检测、水工建筑物安全鉴定等方面工作。

成果, 同时在一部位检测钢筋因锈蚀产生的化学反应引起的电位变化, 即可评价所测部位的钢筋锈蚀状态。本次检测主要为闸墩和排架部位, 因排架处的碳化深度较小 (仅 3~5mm), 故表 2 中仅列出闸墩部位的检测成果。

表 2 混凝土碳化深度、保护层厚度以及钢筋锈蚀检测成果表

检测部位	检测项目		
	保护层平均厚度 (mm)	碳化平均深度 (mm)	电位平均值 (mV)
5# 闸墩	54.9	47.4	-212.1
6# 闸墩	48.6	50.9	-204.3
10# 闸墩	51.7	52.8	-221.2
11# 闸墩	54.9	52.4	/
16# 闸墩	57.3	66.6	-198.6
17# 闸墩	57.4	45.5	-154.6

由表 2 可以看出, 所测部位的碳化深度均已接近或超过保护层厚度, 内部钢筋处于已经锈蚀或临近锈蚀状态。同时结合电位值检测成果, 根据有关规范和以往实践经验判定, 闸墩部位的钢筋基本处于局部锈蚀状态, 局部处于全面锈蚀状态, 长此以往, 会引起闸墩表面混凝土的胀裂、脱落, 从而影响闸墩混凝土的质量

3.4 闸墩、底板混凝土内部缺陷情况

混凝土内部质量检查是水闸检测的重点和难点, 为了使检测成果更加全面可靠, 确定采用钻孔勘察、压水试验和超声波 CT 层析成像等技术实施, 并对各项成果进行综合对比分析。本次检测的部位为 3#、4#、10#、11# 闸墩和相应部位的底板。

3.4.1 钻孔勘察

钻孔由闸墩顶部直至底板下部, 每个闸墩钻孔 2 个, 共计 8 孔, 孔位布置见图 1。

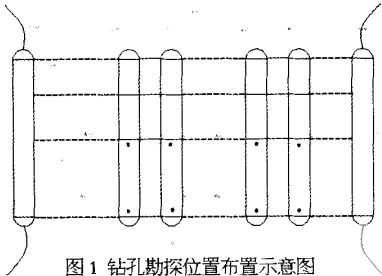


图 1 钻孔勘察位置布置示意图

通过钻探发现, 闸墩部分芯样较完整, 但普遍存在混凝土胶结差, 部分呈蜂窝状, 且存在空洞, 最大达 20mm; 骨料品种杂乱, 大小不均匀。底板部分芯样较破碎, 混凝土胶结差, 多处存在较大裂隙, 钻进时无回水; 骨料不均且较杂。

3.4.2 压水试验

在上述已钻探孔内进行原位渗透试验, 共 8 孔, 主要目的是测定混凝土的透水性。试验随钻孔的加深自上而下用单栓塞分段进行, 三级压力分别为 0.1MPa、0.2MPa、0.3MPa, 测出流量值, 计算单位吸水量和渗透系数, 并根据表 3 判断混凝土的完整性。

表 3 混凝土完整性分析判断标准

单位吸水量 (L/min·m²)	完整性评价
< 0.001	很完整
0.001 ~ 0.01	完整
0.01 ~ 0.1	裂隙较小
0.1 ~ 0.5	裂隙较大
> 0.5	破碎

试验成果表明, 所钻 8 个孔底板部位混凝土单位吸水量较大, 在 1.2676~2.6667L/min.m² 之间, 渗透系数在 1.05 × 10<sup>-3</sup>cm/s ~ 2.27 × 10<sup>-3</sup>cm/s 之间, 闸墩部位混凝土渗透系数相

对底板而言较小, 但也在 3.06 × 10<sup>-6</sup>cm/s ~ 9.03 × 10<sup>-4</sup>cm/s 的范围内。从混凝土完整性评价结果看, 底板部位混凝土均为“破碎”; 而闸墩部位混凝土基本上都为“裂隙较大”或“裂隙较小”状态, 其中 ZK4-1 和 ZK11-1 两孔闸墩局部为“破碎”, 仅 ZK3-1、ZK3-2 局部为“完整”。

从现场试验情况看, 8 个钻孔成孔后连续注水孔口未见回水。ZK11-1、ZK11-2 孔压水试验时, 发现 ZK10-2 孔有约 50~100L/min 流量的水从孔口冒出桥面, 同时也说明该闸孔底板内的裂隙及空洞呈贯通状态。

可以认为: 该闸底板部分混凝土裂隙及空洞现象较普遍, 存在明显的缺陷, 闸墩部位混凝土基本都存在不同程度的裂隙。

3.4.3 超声波 CT 层析成像检测

采用超声波 CT 层析成像检测混凝土缺陷的基本依据是, 利用弹性波在条件基本相同 (指混凝土的原料比、配合比和龄期等基本一致) 的混凝土中传播的时间 (或速度)、振幅、频率和相位等弹性动力学参数的相对变化进行综合分析, 即可推断解释混凝土内部是否存在质量缺陷, 或进行疑点提示及质量区划。

从检测结果可以看出:

(1) 3# 闸墩在 0.9~1.3m 高程、靠近 ZK3-1 孔 (上游侧) 处存在低速区, 波速仅为 1500~2000m/s, 说明有明显缺陷; 其余除少数部位有轻微缺陷以外, 大部分良好。

(2) 4# 闸墩在 1.3~1.7m 高程、靠近 ZK4-1 孔 (上游侧) 处存在明显缺陷, 同时钻孔勘察表明, 在孔口以下 2.7m 处存在较大空洞, 有漏水现象, 其余部位相对较好。

(3) 10# 闸墩在 0.2~0.6m 及 1.0~2.8m 高程、靠近 ZK10-2 孔 (下游侧) 处存在明显缺陷, 从勘探资料分析, 此处芯样较破碎, 胶结较差, 存在细小空洞 (见图 2)。

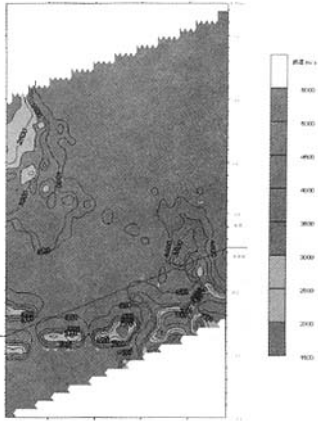


图 2 10# 闸墩 CT 检测成果图

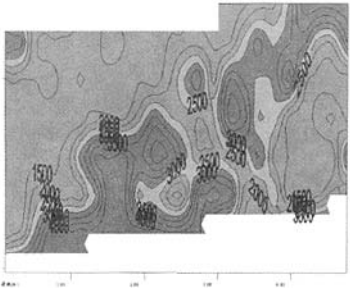


图 3 4# 闸室上游侧 (ZK3-1~ZK4-1) 底板 CT 检测成果图

(4)4# 闸室底板部位缺陷较多,且分布较广,大部集中在中间部位,以及底板底部(见图3)。

(5)11# 闸室底板部位混凝土 CT 成像反演图反映,10# 闸室底板顶面靠近 ZK10-1 和 ZK11-2 孔处 2m 范围内存在较明显缺陷,底板底面与 10# 闸墩交接处存在较明显低速区,波速仅为 1500m/s 左右,说明该处混凝土存在较严重缺陷,底板存在空洞或裂隙。

(6)综上所述,通过对 CT 成像检测,说明该闸闸底板混凝土存在缺陷,且分布较广,相对而言,闸墩的混凝土质量稍好,但也有空洞或裂隙存在。

通过对三种方法检测成果的综合分析,可以较直观地获得混凝土内部缺陷的分布情况,同时可以分析出缺陷的性质以及程度,对水闸安全性的确定起到至关重要的作用。

### 3.5 闸底板下卧层损坏情况

为探明闸底板下卧层损坏情况,本次采用探地雷达进行探测,天线中心频率为 400MHZ,采用共偏移距反射测量方式进行。在两个闸室共布置 12 条测线(六横六纵)。探地雷达典型检测成果表明,4# 闸室范围内,在 0.25m 水深和 2.0m 底板混凝土以下的土层中存在着软弱体,深度范围在 2m 左右,可能该区域的土体较周围土体松散,或可能存在掏空现象。

通过采用多种手段进行检测,使我们对太浦闸混凝土结构现状有了全面的了解,即闸墩、底板等构筑物,特别是其水下部分存在着重大的安全隐患,有利于有关部门对水闸如何处理提出有针对性的方案,目前各种方案正处于比选阶段。

## 4 结论

通过对太浦闸混凝土结构检测工作的介绍,可以得出以下结论:

(1)常规性的检测手段一般仅能判断混凝土表面,或混凝土结构水上部分的状况,而混凝土结构内部或水下部分的质量,往往是评价水闸安全性的关键,对于建造年限较长的老旧水闸来说更是如此。随着新仪器、新技术的不断发展,特别是计算机处理技术的飞速发展和普及,许多新方法,如工程物探

方法也逐步应用到混凝土质量检测中来,如本次检测中所应用的 CT 层析成像技术和探地雷达技术。这些新方法一般具有检测范围大、采集信息丰富、反演成果直观、对混凝土结构无损坏等优点,有很好的应用前景。

(2)物探技术在混凝土质量检测中的应用越来越广泛,主要包括浅层地震影像法、CT 层析成像法、瑞雷波法、探地雷达等。这些方法各有优缺点,应根据具体工况作出最优选择。但是,其在定量分析精度方面存在不足,具体工作中,应根据情况进行一些常规试验进行综合分析。如在太浦闸闸墩和底板混凝土内部质量检测中,应用 CT 层析成像技术的同时,辅以钻孔勘探和压水试验等方法,不仅掌握了缺陷的分布情况,而且对缺陷的性质、大小、程度等有了全面了解,不仅对本水闸的安全评价起到了重要作用,也为今后类似工程提供了经验和数据积累。

(3)由于条件所限,本次对水闸底板及下卧层检测范围较小,但此部位的缺陷,对水闸整体稳定性有着至关重要的影响,故强化这方面的检测手段是很有意义的。根据资料,有关单位在上海市某泵闸底板检测中采用水中高密度多波列地震影像法,检查了底板裂缝、变形、原修复处破损、基础不均匀沉降以及下卧层掏空等情况,取得了较好的成果。

(4)对于混凝土表面有可见裂缝,或结构构件表面发生锈胀或剥蚀、磨损、保护层破坏较严重的,应检测钢筋的锈蚀程度,锈蚀的原因应根据保护层厚度、碳化深度等进行。锈蚀程度现在一般都采用半电池电位法检测,但此只能得出定性的成果,为安全鉴定复核计算带来一定的困难,所以应采用局部剖开等方法测量钢筋的蚀余率,同时积累数据,以便进行相关规律的总结。

### 参考文献

- [1] SL214-98,水闸安全鉴定规定.
- [2] 包伟力,曹剑.太浦闸工程安全检测综合分析报告[R].上海勘测设计研究院工程检测中心,2003.3.
- [3] 金初阳,等.水闸病害检测与评估分析[J].水利水运科学研究,2000(3).

