

# 苏州河河口水闸闸门轴变形监测系统

夏一强<sup>1</sup>, 王小荣<sup>2</sup>, 吕永宁<sup>2</sup>

(1. 长春市朝阳监测技术有限公司, 吉林 长春 130061; 2. 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014)

**摘要** :上海市苏州河河口水闸闸门轴变形监测系统采用真空激光准直系统, 监测闸门轴变形时只考虑径向变形, 在垂直于闸门轴轴线方向选择 7 个典型断面, 监测各断面中心在平行和垂直于门叶方向上相对于两轴端的变形。真空激光准直系统和闸门同时安装, 可自动化监控。监测结果表明, 各项功能及技术指标达到设计要求。

**关键词** :闸门轴; 变形监测; 真空激光准直; 苏州河河口水闸

**中图分类号** :TV66      **文献标识码** :B      **文章编号** :1006-7647(2007)S1-0091-02

## 1 工程概况

苏州河河口水闸位于上海市苏州河入黄浦江的河口, 水闸的挡水结构为一扇底轴驱动单宽 100 m、高 9.76 m 的翻板闸门, 双向挡水, 动水启闭。最大设计挡潮水水位差 3.46 m, 最大设计挡河水水位差 3.26 m, 最大设计总水压力 31 039 kN。

闸门沿孔口宽度方向由 18 节门叶组成挡水面, 总质量约 330 t。其中, 左右两端为 3.0 m 宽带侧水封结构的门叶, 其余 16 节门叶单宽 6.0 m。相邻门叶节间用螺栓连接, 并设平板橡皮止水。门叶与底轴采用螺栓连接, 将门叶固定在底轴上。

底轴作为门叶纵向悬臂梁的固端和闸门启闭驱动轴是本水闸最重要的构件之一。底轴采用中空结构, 外径 2.0 m, 全长共 10 段, 段间采用法兰铰制螺栓连接, 每段为 Q345C 钢板卷制的焊接结构, 总成长 110 m, 总质量约 600 t。底轴在孔口净宽 100 m 的范围内共设 10 个支点, 伸入两边墩段各设 2 个支点, 用以承受径向荷载。底轴左右两端处设液压启闭机, 通过固定于底轴端部的拐臂驱动翻板闸门, 闸门工作转动角度为 90°。

鉴于闸门轴的重要性, 为了掌握闸门轴的工作状态、验证设计, 确定对闸门轴变形情况进行实时监测。

## 2 闸门轴变形监测设计

根据该水闸结构特点, 闸门轴的变形包含了自身结构受力变形及支座变形影响。闸门轴轴向无荷

载, 支座的轴向变形对闸门轴无影响, 闸门轴的径向受力情况复杂, 在不同工况下荷载的大小及相对方向不同, 闸门轴各段及不同方向上的强度及刚度不同, 支座径向变形将直接引起闸门轴的径向变形。因此, 在监测闸门轴变形时, 只考虑其径向变形。为此, 在垂直于闸门轴轴线方向选择了 7 个典型断面, 监测各断面中心在平行和垂直于门叶方向上相对于两轴端的变形。

闸门轴变形监测采用真空激光准直系统。真空激光准直是目前最先进的准直技术之一, 其功能强、精度高, 可监测准直线上多测点双向变形, 精度可达到  $0.1\text{ mm} + 2 \times 10^{-7} L$  ( $L$  为准直线长度), 可实现完全的自动控制监测, 在技术指标及功能上满足闸门轴的变形监测要求。

真空激光准直系统以往应用于直线型混凝土坝的变形监测, 在本工程中, 首次将该系统应用于金属结构的变形监测。与大坝相比, 本工程闸门轴在运行时要进行旋转, 同时闸门轴要承受扭矩, 各断面间有较大的角变形。因此, 要求真空激光准直系统的设备结构能够适应闸门轴的运行特点, 在闸门轴运行的各种工况下, 其内所有设备稳固, 端点及测点设备的物理测量中心在相应各断面几何中心上, 且设备结构能够适应闸门轴各断面间的相对扭转。

## 3 真空激光准直系统

真空激光准直系统是将波带板激光准直和真空系统结合起来, 使激光束在真空中传输的变形监测系统。

作者简介: 夏一强(1977—), 男, 高级工程师, 硕士, 从事水利水电工程观测研究。E-mail: xcyjc@mail.jl.cn

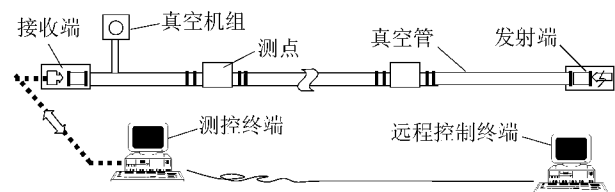
$$\delta = (U/L)\Delta = K\Delta \quad (1)$$

常态下的波带板激光准直将受大气扰动的影响,由于气体中存在折射率梯度,引起光束偏折,使像点变形,产生折光差。折光差是波带板激光准直测量中重要的误差因素,为系统误差。折光差按式(2)计算:

式中:  $\epsilon$  为折光差;  $P$  为气体压强;  $T$  为绝对温度;  $\delta_t$  为温度梯度。

在波带板激光准直系统中设置真空管道,使激光束在真空中传输,减小准直线上的气体压强,以减小折光差。另一方面,系统设备在真空环境下,隔绝了外界环境的干扰和影响,有利于系统长期稳定运行。在实际应用中,可按测量精度的要求,确定折光差的允许值,再根据系统的布置及环境温度、温度梯度,计算准直线上气体压强指标,即系统的工作真空度。

真空激光准直系统由激光发射端设备、接收端设备、测点设备、真空管道和真空抽测设备、测控终端等部分组成,一般结构布置见图2。



### 闸门轴的变形监测

真空激光准直系统布置在

## 5 系统主要技术参数确定

### 5.1 真空管道通光口径及测点量程

对于一套真空激光准直系统,各测点变形的量程不同。由式(1),像点变形 $\Delta$ 的测量范围一定,由于测点的位置不同,其量程不同,越靠近发射端的越小。像点变形的测量范围受到接收端探测仪量程及真空管道通光口径的限制,一般在系统的设计中,应按被测结构的具体情况确定各测点变形量程,计算相应像点变形,以像点变形最大值确定真空管道通光口径及接收端探测仪器。根据本工程的具体情况,真空管道的通光口径为200 mm,接收端探测仪器量程为200 mm $\times$ 200 mm,由发射端至接收端各测点量程分别为19 mm,44 mm,73 mm,98 mm,127 mm,156 mm,181 mm。

## 5.2 系统工作真空度

工作真空度是在监测过程中为了保证监测精度,真空系统需要达到的真空度。合理地确定系统工作真空度指标,不但可满足系统综合监测精度的要求,而且可以降低设备成本,缩短监测前的抽气时间,提高系统的工作效率。在本工程中,闸门轴长期处于水下,轴内径向平均温度梯度小于  $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ,最低温度大于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,按式(2),如要求各测点折光差最大值小于  $0.1\text{ mm}$ ,系统工作真空度应小于  $3\text{ }300\text{ Pa}$ 。

### 5.3 真空机组及其抽速

真空机组的抽速决定系统监测时为达到工作真空度所需的抽气时间。一般情况下,抽气时间可按式(3)计算。

式中:  $t$  为抽气时间;  $V$  为真空系统容积;  $S$  为真空机组抽速;  $P_i$  为起始压强;  $P$  为终止压强。

监测系统一般按照一定的频次进行监测 相邻两次监测间由于泄漏使真空系统内 (下转第 96 页)

苏州河河口段含沙量检测数据如下:平均涨潮含沙量为 $0.205\text{ kg/m}^3$ ,平均落潮含沙量为 $0.17\text{ kg/m}^3$ ,悬沙粒径 $D_{50}$ 在 $0.006\sim 0.0195\text{ mm}$ 范围,床沙粒径 $D_{50}$ 在 $0.0232\sim 0.032\text{ mm}$ 范围。黄河段含沙量检测检测结果为 $D_{50}$ 在 $0.0220\sim 0.0317\text{ mm}$ 范围。

以上含沙量检测数据表明,苏州河悬沙粒径远小于黄河,床沙粒径与黄河相近,而苏州河的含沙量远小于黄河,因此,可以认为“华一”材料的抗泥沙性能是能够适应苏州河泥沙特征条件的。

#### 4 结 语

苏州河河口水闸的闸门形式为国内首创的单跨100 m底轴驱动式翻板闸门,该工程在设计上采用了

(上接第24页)经计算,钢壳空腔内灌满混凝土后,不计上部围堰重,以沉井自重即可下沉。为限制沉井突沉,在沉井内设置搁置梁,在沉井距准确标高2.0 m时停止沉井下沉施工,施打钢管桩,再放置搁置梁,然后继续下沉钢壳沉井,直至就位。根据监测,实际沉井下沉满足结构和功能要求<sup>[3]</sup>。

#### 5 结 语

以浮式钢壳沉井解决不断航、不断流、受力大的基础结构问题不失为一种较好的方案。浮式钢壳沉井设计需要进行钢壳结构设计、受力井设计和围堰设计等几部分,沉井结构尺寸的拟定除考虑结构布置与总体受力稳定情况外,还需要考虑施工期的水文条件、浮运稳定和受力问题,计算分析需考虑钢壳浮运的结构受力与浮运稳定、施工期的受力和永久受力,以及施工期的抗浮稳定等多种工况。计算分

(上接第92页)压强升高,这时为达到系统工作真空度所需的抽气时间,称为系统的工作抽气时间。工作抽气时间影响监测系统的整体工作效率,在本项目中,真空机组采用2台抽速为 $4\text{ L/s}$ 直连式旋片真空泵,当监测系统每10天监测1次、真空系统升压速率为 $10\text{ Pa/h}$ 时,系统工作抽气时间小于5 min。

#### 6 系统运行

真空激光准直系统的安装与闸门的现场安装同步进行,并在闸门整体调试前投入运行。监测系统实现了设备控制和数据采集的自动化,可自动监测系统真空度,根据要求启动或关闭真空机组,可进行全自动巡测、多点选测、单点连续监测、定时监测,综合监测误差小于 $0.2\text{ mm}$ ,单点监测时间小于20 s,全部测点巡测时间小于3 min,真空系统泄露升压速率

很多新技术、新的安装方式及新材料。该项目的顺利建成和投入运行,不仅实现了工程建设的功能要求,同时也为我国此类新型闸门的设计、施工积累了经验,为工作在水下的大型球面轴承支承结构积累了使用方法和经验,由于该球面轴承的直径突破了我国的使用记录,标志着我国在抗泥沙磨损、防腐、免维修材料研制上达到了一个新的高度。

#### 参考文献:

[1] 陈文伟,汪云祥,季永兴,等.苏州河河口水闸工程综述[J].水利水电科技进展,2007,27(S1):1-4.  
[2] 区英鸿.塑料手册[M].北京:兵器工业出版社,1991.  
(收稿日期 2007-01-15 编辑 高建群)

析时,在未进行空间结构分析的条件下可以根据规范进行简化计算,计算结果基本满足功能要求,但计算需仔细分析不同受力工况和简化模型。

浮式钢壳沉井的施工是工程成功与否的关键环节,钢壳焊接需进行水密性试验才能下水浮运,就位的沙岛厚度需满足上部沉井受力要求,沙岛高程需满足高水位沉井就位的要求,沉井下沉需对称挖土以免偏位,还要考虑防止沉井突沉的限位措施及沉井偏位的纠偏措施。

#### 参考文献:

[1] 季永兴,卢永金,陈文伟,等.苏州河河口水闸工程设计特色[J].上海水务,2006(2):3-5.  
[2] 江祖铭,王崇礼.墩台与基础[M].北京:人民交通出版社,2000.  
[3] 季永兴,卢永金,张永宝,等.苏州河水闸边墩沉井沉放影响分析与对策[J].城市道桥与防洪,2005(2):87-90.  
(收稿日期 2007-01-15 编辑 高建群)

小于 $100\text{ Pa/h}$ ,系统工作抽气时间小于5 min。在闸门的调试及试运行中,监测系统对闸门各种开度下闸门轴的变形进行了监测,及时、准确地掌握了闸门轴的运行状态及变形规律。

#### 7 结 语

苏州河河口水闸是目前国内最大的底轴驱动翻板闸门,为保证其安全运行、掌握闸门运行状态,建立了闸门轴变形监测系统,并将真空激光准直技术首次应用于金属结构的变形监测。系统实现了完全的自动化控制监测,各项功能及技术指标达到设计要求。系统对各种工况下闸门轴的变形进行了监测,取得了大量监测数据,为水闸的安全运行管理、验证结构设计提供了宝贵的基础资料。

(收稿日期 2007-01-15 编辑 熊水斌)