

船闸横拉闸门门头运行轨迹检测 系统组成与工作原理

何保渠

(扬州市港航事业发展中心, 江苏 扬州 225200)

摘要: 通过观测激光照射横拉闸门门头靶标的光斑运行轨迹的方式, 间接的测算出横拉闸门门头的运行轨迹, 进而判断横拉闸门运行状态及底台车和轨道磨损情况。

关键词: 横拉闸门; 运行轨迹; 激光

中图分类号: U641 文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 11-0113-04

船闸横拉闸门运转件较多, 由于横拉闸门结构的特殊性, 导致底台车等构件的运行工况差, 易磨损, 一旦其运转件磨损程度过大将严重影响横拉闸门的运行稳定性, 因此需要设法做好横拉闸门的观测。

1 概述

芒稻船闸位于江苏省扬州市江都区, 尺度为 $180 \times 23 \times 4$ (m) (闸室长 \times 口门宽 \times 槛上水深), 船闸承受双向水头作用, 最大正向设计水头为 8.50m, 最大反向设计水头 -1.31m。工作闸门采用横拉门型式, 闸门启闭机采用齿轮齿条式机械传动。上闸首闸门尺寸为 $23.65 \times 3.854 \times 8.6$ m (门长 \times 门厚

\times 面板高度), 结构件重 137.8t, 下闸首闸门尺寸为 $23.65 \times 3.854 \times 13.7$ m, 结构件重 213.9t。芒稻船闸横拉闸门, 在运行过程中主要暴露出了闸门底台车运转件易磨损导致闸门运行状态不稳定等横拉闸门通病。在船闸养护中, 人字门、三角门依据《水运工程质量检验标准》可以通过测量门头跳动量来了解门体结构变形情况, 而横拉闸门的“顶桁架四角高差”和“每对支承块中心线相对偏移”项目不满足日常养护工作中经常性的检测要求, 导致横拉闸门运行状态的好坏基本凭借养护工作人员的经验判断, 做不到量化。

2 系统研制目的

根据表 2 的计算成果, 在枯水期, 桥区航道宽度按 93m 设计; 在洪水期, 桥区航道宽度按 116m 设计。在洪水期水位上涨, 水深远远大于航道水深, 若按 116m 宽度进行整治, 意义不大, 因此航道整治宽度按枯水期航道设计宽度 93m 进行整治。

9 结论

在枯水期, 桥区航道宽度为 93m 设计, 航道右边线距离右墩柱边缘为 28.5m, 航道左边线距离左墩柱边缘为 59.5m; 在洪水期, 桥区航道宽度为 116m, 航道右边线距离右墩柱边缘为 28.5m, 航道左边线距离左墩柱边缘为 36.5m。

经水流参数计算得紊流加宽值为 12.18m, 则最大紊流单边宽度为 6.09m。

综上所述, 航道边线距离墩柱边缘最小距离均大于最大紊流单边宽度 6.09m, 满足安全要求。

本文结合工程实例, 从保证船舶在桥区安全通航的

角度, 提出了桥区航道宽度的设计过程, 结合国内相关规范给出了公式及各参数的确定方法, 可供桥梁设计参考。

参考文献:

- [1] GB50139—2014, 内河通航标准 [S].
- [2] JTJ312—2003, 航道整治工程技术规范 [S].
- [3] JTS141—2011, 水运工程设计通则 [S].
- [4] JTS145—1—2011, 内河航运工程水文规范 [S].
- [5] JTS181—5—2012, 疏浚与吹填工程设计规范 [S].
- [6] JTJ287—2005, 内河航道维护技术规范 [S].
- [7] 庄元, 刘祖源. 桥墩紊流宽度的实验研究 [J]. 中国航海. 2007, (3): 5—9.
- [8] 陈明栋, 王多银. 探讨跨江桥梁通航净空尺度和通航安全保障措施 [J]. 水运工程. 2001, (4): 42—43.
- [9] 沈小雄, 程永舟, 等. 航道边线与桥墩之间安全距离的研究 [J]. 水运工程. 2004, (11): 85—87.

基于上述情况设计了这套“横拉闸门门头运行轨迹检测系统”，该系统能获得横拉闸门在运动全行程的门头运动轨迹，分析门头的上下跳动、左右偏移等数据，用于研判闸门底平车和轨道的工作状态，有利于发现闸门遇到的水下突发情况，并将闸门底平车的磨损情况通过数据的形式反映出来，供技术与管理人员分析闸门磨损随时间的变化规律、及时采取措施排除安全隐患等。

3 系统总体方案

3.1 系统组成

该系统主要包括三部分：(1)测控部分，包括运动检测装置、工控机、控制箱等；(2)激光成像部分，包括点激光器、投影标靶、工业相机；(3)软件部分，包括图像处理和分析、数据库及人机交互等功能。

3.2 系统布置

工控机安装于闸首机房内。闸门运动检测装置安装于门库内，靶标与工业相机之间固连，激光器与固连的靶标和工业相机之间相对运动，布置方式如图1所示：

本系统采用两只绿色点激光器固定安装在门库内，两只靶标和工业相机安装于门头的布置方式。当门头上下、左右运动时，靶标上的光斑也产生相应的位移，通过相机获取靶标上的光斑图像。

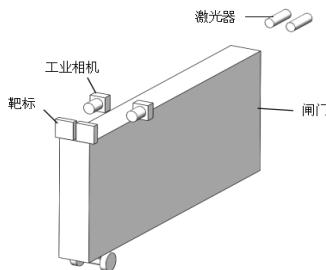


图1 系统布置示意图

3.3 闸门运动检测方法

通过在门库内闸门开启与关闭位置分别安装常开限位开关，通过开关量采集模块的返回值可以得到限位开关的工作状态，从而进行判断闸门的启停，达到对整个检测系统自动控制的目的。其原理是：在初始状态下两个限位开关的返回值一个为0，一个为1。开启位置的限位开关的返回值为1时，说明闸门此时正处在开启位置；若关闭位置的限位开关的返回值为1时，说明闸门此时正处在关闭位置。当返回1的限位开关的返回值变为0时，即此时两个限位开关的返回值都为0时，说明闸门开始运动。当两侧的限位开关有一个的返回值由0变为1时，即两个限位开关的返回值由都为0变为一

个为0一个为1，说明闸门停止运动。

3.4 系统工作流程

系统的工作流程如图2所示：

(1) 闸门运动状态检测。初始状态下，点激光器处于断电状态，通过运动检测装置及数据分析算法实时监控闸门的状态。

(2) 系统启动。当闸门启动时，工控机控制点激光器电源和相机电源的接通，在靶标上形成光斑，相机开始采集光斑图像。

(3) 光斑图像分析。工控机对光斑图像进行预处理、光斑分割、中心坐标提取和计算偏移量等操作，计算得到门头上下跳动、左右偏移，将该数据存储于数据库中。

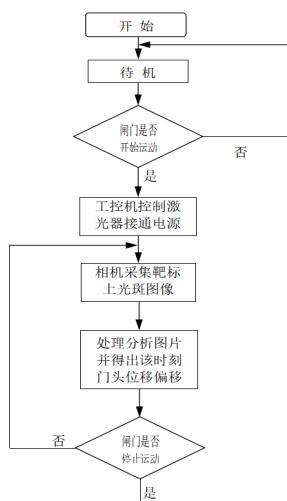


图2 系统工作流程图

(4) 系统暂停。当运动传感器检测到闸门停止运动时，工控机控制点激光器电源的切断。

(5) 判断信号输出。根据对数据的分析，给出闸门的运动状况数据，如上下、左右偏移量等，与设定值比较，给出相应的判断信号。

4 光斑中心坐标提取方法

光斑中心坐标提取是系统的最重要的部分，点激光器投射的光斑图像中心坐标提取的准确性是保证系统检测结果的准确性的关键点。保证中心坐标提取精准，才可以准确分析门头的运动轨迹。光斑中心坐标提取步骤，如图3所示。

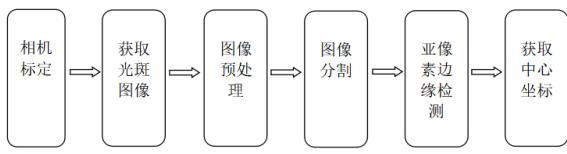


图 3 光斑中心坐标提取流程

4.1 相机标定

在系统开始工作、相机取图之前，需要先对相机进行标定，获得所用相机的内参、外参与畸变系数。其标定结果的精度及算法的稳定性直接影响相机工作产生结果的准确性，影响整个系统的测量结果。

本系统采用张正友相机标定法。借助一个标准的棋盘格，首先使用相机从各个角度拍摄这幅棋盘格对象，然后提取图像中棋盘格的角点，通过图像中角点的坐标以及世界坐标系下角点坐标的映射关系，从而计算出相机的内参、外参与畸变系数。最后将标定得到的结果通过畸变矫正函数对相机后续采集的图像进行畸变矫正。

本系统选用 8 行 6 列的棋盘格进行相机标定，每个格子为 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 。用相机拍摄标定图片如图 4（取两张做例子），利用 OPENCV 编程进行标定，可以得到相机的内参、畸变系数与图像的对应外参。

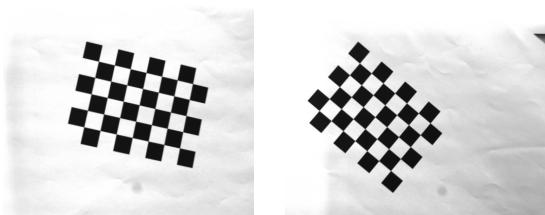


图 4 相机标定取图

本系统所用为单目相机标定，所以会用到相机的内参与畸变系数。将标定得到的结果用 `undistort()` 函数对相机之后采集的图像进行矫正，可以得到无畸变的图像。

4.2 图像预处理

图像预处理即对原始图像去除噪声并突出感兴趣特征。主要目的是消除图像中无关的信息，恢复有用的真实信息，增强有关信息的可检测性、最大限度地简化数据，从而改进特征提取、图像分割、匹配和识别的可靠性。预处理常用的方法有滤波、图像增强等。这里用矫正后的图像为原始图像。

对原始图像进行滤波，去除图像中的噪声影响。本系统运用中值滤波和 LOG 算子的方法对图像进行预处理。中值滤波可以剔除对光斑图像有干扰的噪声点，实现图像的平滑，滤波矩阵选取 5×5 的模板矩阵。为了找到光斑图像边缘，突出光斑图像边缘特征信息，本系

统利用 LOG 算子对图像进行滤波，增强图像的边沿与细节，使得图像分割所得感兴趣区域的边界更加清晰，结果如图 5 所示。

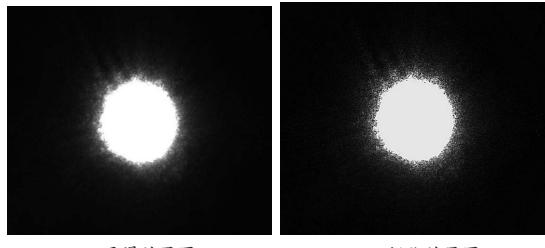


图 5 (a) 为平滑后结果，(b) 为锐化后结果

4.3 图像分割

图像分割技术是指遵循一定的相似度准则，利用图像中的某些特征信息，将图像划分为若干内部一致而彼此特征各异的同质连通区域，而不同区域各像素点间在这些特征上差异较大。其目的是通过对图像进行区域划分可有效简化图像的表达方式，减少冗余信息并提出感兴趣目标，它是由图像处理到图像分析的关键步骤。

系统采用阈值分割的方法进行图像分割并采用形态学闭运算对分割图像进行二次处理。阈值分割方法是对目标与背景占据不同灰度级范围的图像进行图像分割常用的方法。利用形态学闭运算可以用来填充物体内细小空洞、连接邻近物体、平滑边缘的同时并不明显改变其面积。

本系统中点激光的光斑投射于固定背景靶标之上，固定靶标可以根据需求选取深色的亚光材料，故图像的背景情况能够保证。锐化后的图像中光斑边缘清晰、特征突出，且光斑处有过曝现象，边缘与背景都没有过曝现象，可以将锐化后图像利用阈值分割的方法将光斑从背景中分割出来。分割后的图像边缘有较多孤立小区域且不平滑，通过形态学开运算与闭运算搭配使用可以解决这个问题。

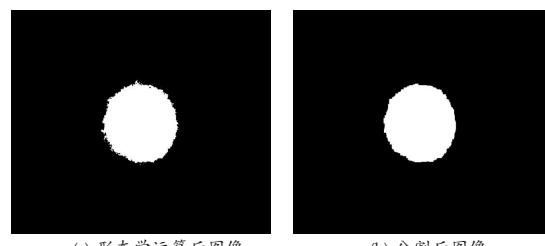


图 6(a) 形态学运算后图像、(b) 分割后图像

4.4 光斑边缘亚像素检测及光斑中心坐标提取

亚像素是将像素再进行细分，是比像素还小的单位，提高图像分辨率。通常情况下，亚像素边缘点存在

于图像中逐渐发生过度变化的区域，我们可以利用多项式拟合等多种方法获得边缘点的亚像素位置。本系统采用 Canny 边缘检测与 Zernike 矩提取光斑亚像素边缘，再求质心得到光斑中心坐标。对经过二次处理的光斑图像进行 Canny 边缘检测可以得到像素级光斑边缘，结果见图 7。

为了得到更高精度的光斑边缘，需要对 Canny 检测得到的像素级边缘再进行亚像素边缘检测。具体为根据 Zernike 矩的推导求出 7 个模板系数，将 Zernike 矩模板分别与像素级边缘图形进行卷积，得到 7 个 Zernike 矩，再分别乘以每个矩的校正系数。最后计算距离参数 l 与灰度参数 k ，根据 l 和 k 判断该点是否为边缘点。由于亚像素边缘点的坐标都是 float 型数据而非整数，故不在图像中显示，只记录下亚像素边缘点集。

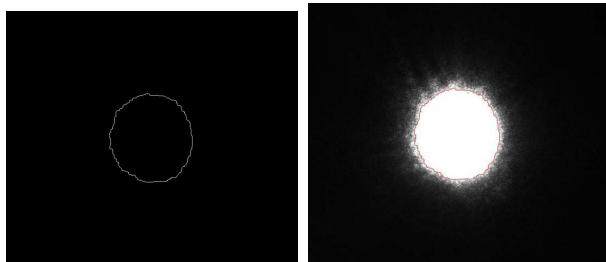


图 7(a)Canny 边缘检测结果、(b) 边缘检测与原图融合结果

得到了亚像素边缘点集，利用求质心操作，便可以得到亚像素级的光斑中心坐标。

5 运动数据的存储、操作与分析

系统在工作过程中会产生大量的数据，为方便储存与后续的查询，系统通过建立数据库的方式实现功能。建立数据库的过程如下：

(1) 根据所需要存储的数据种类、数量等，确定所要创建的数据库要包含的种类数。本系统需要储存在数据库中的数据种类包括：工业相机获取光斑图像的时间及其对应的闸门所在位置坐标；图像处理后所得光斑中心实际的横坐标与纵坐标；光斑中心实际横、纵坐标与标准坐标的偏移量等。

(2) 创建访问数据库驱动。本系统采用 QT 平台完成数据库的建立与管理。QT 平台自带数据库的相关库，`QSqlDatabase` 代表一个数据库连接，该类提供了访问数据库的接口，该类的实例代表着一个数据库的连接，而这个连接通过支持的数据库驱动程序进行访问。

(3) 数据库驱动创建完成，需要将数据插入到数据库中，并按照数据种类对应储存在数据库。这里可以用到 `QSqlQuery` 库。`QSqlQuery` 包括了所有的功能，像在一个 `QSqlDatabase` 上执行 SQL 查询、创建、导航和索取数据等等。它可以执行 DML（数据操作语言）语句，比如 `SELECT, INSERT, UPDATE` 和 `DELETE`，还可以执行 DDL（数据定义语言）语句，比如：`CREATE TABLE`。不仅如此，它还可以用于执行特定数据库而不是标准 SQL 语句的指令。

(4) 数据完成储存后，为将所需数据显示出来并完成对数据的操作，需要通过界面实现人机交互。通过 QT 编写需要的界面，界面上有对应功能的按键与输入输出窗口，实现想要的操作。并在数据库操作界面将数据库中的数据显示在界面中，既能够通过鼠标直接进行查看，也可以根据时间范围查看数据。

(5) 创建图表显示查询结果。为更直观表示出数据变化情况，通过 QWT 图表将所查询范围内的坐标分布、偏差变化等数据显示在图表中，便于使用者分析数据变化。

6 结语

该系统通过观测激光照射光斑移动的方法计算出横拉闸门门头运行轨迹进而为判断横拉闸门的运行情况提供判断，提供了一种量化观测横拉闸门运行状态的途径。

