

三峡河段船舶过闸限高检测技术研究

赵蒙, 胡志芳, 胡朔

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 三峡水利枢纽是国之重器, 实施船舶过闸安检是大国重器安全保卫工作的重要一环。本文针对长江三峡河段船舶过闸实施 100% 安检, 过闸安检中船舶限高属最薄弱环节, 误差较大, 需要靠安检人员爬到船顶人工测量, 通过对船舶限高检测技术研究, 找出优化安检的对策, 进一步提高过闸安检效率。

关键词: 三峡河段; 船舶过闸; 限高检测

中图分类号: U698

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 02—0070—03

1 三峡河段船舶安检现状分析

自 2018 年 6 月 1 日长江三峡通航管理局开始对所有过闸的船舶实施 100% 安检以来, 三峡通航管理局专设 3 个海巡执法大队, 对船舶、在船人员、所载货物从 6 个大项逐项检查 (承运危险物品船舶另加 3 项)。截止 2020 年 5 月 31 日, 共检查船舶 10.4 万艘次, 日均检查船舶约 150 艘次。合格船舶 95915 艘次, 不合格船舶 8 千多艘次。其中船闸过闸高度申报与实际不符、船舶实际高度超过 18 米等违规行为, 不合格率占到了 11.14%。

对过闸船舶实施 100% 安全检查, 国内外并无现成的方式可以借鉴。在 100% 过闸安检工作实施过程中, 高强度的工作和艰苦的现场工作环境, 一直是困扰现场安检工作的难题。三峡通航管理部门在提高安全检查效率方面, 投入了大量的人力、物力以及资金。通过现代信息技术手段, 对现有的船舶过闸安全检查模式进行了升级改造, 基本解决了船舶在船人员的登船身份查证问题以及船舶的吃水检测问题。保障了航道的顺畅通行及船闸安全, 在一定程度上提升了安全检查的效率。

但对于船舶水面以上净空高度的核查尚无有效的方法, 仍是过闸安检中的痛点和难点。还是需要安检人员爬到船顶, 从最高处人工测量, 针对船舶实际高度, 人工核查耗时长, 危险系数高, 误差大等状况。研究并建设多套的船舶限高自动检测系统迫在眉睫, 建成后可以满足上、下行船舶过闸前通过限高检测设施自动地进行船舶核查检测, 不仅极大地提高了安检工作的效率, 还可以有效识别船舶超高等违规现象, 保证了安检工作的高效率和高质量。有效保障了船舶的过坝安全和三峡、葛洲坝枢纽水域的畅通。

2 国内外限高技术分析

目前全球应用较为广泛的主要是: 卫星测高、雷达测高、卫星雷达混合测高、激光测高、光电测高等。经

过分析卫星测高、雷达测高、卫星雷达混合测高都不太适用于船舶限高核查: 卫星测高、雷达测高、卫星雷达混合测高主要是应用于海平面测量, 不太适合用于内河船舶限高核查; 受天气和浪涌的影响较大, 对单船测量精度较低; 协调难度大, 投入成本较高, 开发难度大。下面主要对激光测高、光电测高进行研究分析对比。

(1) 激光对射遮挡式检测船舶超高, 是在待检测点两岸树立立杆。在立杆上预警高度安装激光发射器及激光接收器, 根据激光接收器是否被遮挡检测船舶是否超高, 这种方法的优点是灵敏度高、精准度高、可靠性高, 缺点是当收发端宽度大于 1 千米时, 受到天气影响的因素增加。

(2) 激光测距传感器扫描测距方式, 是在建筑物的预警高度安放一台扫描式激光测距仪对航道的预警高度平面进行扫描测距, 根据返回测量的数据判断是否有超高物体, 这种检测方法优点是安装简便, 缺点是容易受振动等外界的影响, 易造成漏报, 多台使用成本高也是一项需要慎重考虑的因素。

(3) 三维激光测量方式, 是在检测点两侧安装 2 台激光检测仪, 可以针对过往船舶进行三维扫描, 同时将被检测物体通过返回的多束激光信号进行成像, 进而判断被检测物体当前高度, 缺点是被检测物体要保持相对固定姿态, 否则产生的拖影将影响系统精度的判断, 且目前国内该种技术并不成熟, 需引进国外技术, 在系统对接上存在较大差异。

(4) 全天时全天候远距动目标高清光电测量系统 (测高、测长, 简称“光电测高仪”), 该种测量方式通过固定在岸边的光电限高仪, 可以对 3—4 公里范围内的船舶进行探测, 通过内置的激光探测器进行透雾及补盲, 并在超低照度下高清全彩视频, 并通过光电限高仪进行不同细节放大调节以及坐标轴内标定高度, 实现限高目的, 该种技术优点是安装维护方便, 效果可视, 精度较高, 缺点是浓雾天气下影响成像清晰度, 因航道浓雾情

况下封航，一般能见度下该设备具有透雾功能，受影响程度较小。对于使用技术的技术比对如表 1 所示。

3 船舶限高技术解决方案

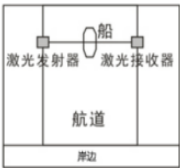
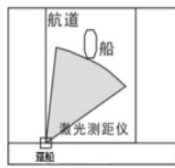
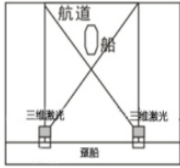
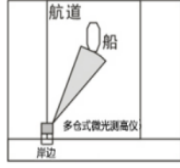
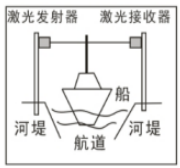
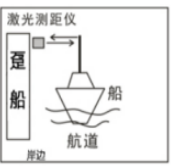
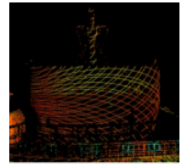
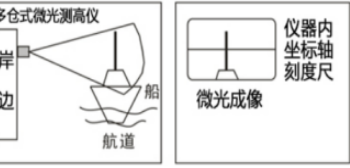
根据现有技术研究出以下几种限高核查方案进行模拟分析。

方案一：该方案在待检测区域的两侧纵向安装多束遮挡式激光传感器，成网状布置，分别在三峡坝下 68

米水位处、升降机 173 米水位处、葛洲坝坝上 66 米水位处设置遮挡式激光，这种方式使用成熟稳定的遮挡式激光检测船舶超高、超宽，而且激光光束的长度在适用范围内，并且一旦有超过高度船舶经过检测区域时可以超前预警，对上述三点实施限高保护。

方案二：该方案是在两岸向航道中间架设两道到交差测距激光，对所有航道实施全方位的保护，该方案测距距离斜向超过 3 千米，需要使用超长距离的激光测距

表 1 应用技术对比

	激光对射式	激光扫描交叉测距方式	3维激光	全天候全天候远距离目标高清光电测量
实现原理	激光束被遮挡测量	扫描式测距	3D扫描	图像识别
水平检测示意图				
垂直检测示意图				
安放位置	岸边	趸船	趸船	岸边
是否需要支撑塔	是	是	是	是
灵敏度准确性	传输路径唯一，光斑唯一，不会产生折射/反射而引发漏报警；同时有多光束产品，可以精准测量小物体不易漏报。	三峡大坝环境下设备易受到振动干扰，无法实现精准测量	需相对被测物体静止状态下测量，测量距离不超过400米，振动状态下不满足10CM误差测量精度要求	不受光线影响，基本上不受雨雾天气影响。计算机图像处理算法识别，精度和灵敏度高。
受环境影响	小	小。	小	小
河道宽度适应范围	小于1000米	不限	小于500米	3-4000米
有效预警距离	1000米以内	1500米以内	500米以内	4000米以内
传感器成本	低	高	高	高
传感器寿命	连续工作2-3年	连续工作2-3年	连续工作2-3年	连续工作2-3年
使用的传感器	激光对射传感器	反射式激光测距仪	3维激光成像技术	摄像机
传感器功能	激光是否被遮挡	测距	测距	光学高精度测量
精度	可以检测直径5厘米左右的超高物体，精度高	可以检测直径10厘米左右的超高物体，精度高	可以检测直径10厘米左右的超高物体，精度高	可以检测直径5-10厘米左右的超高物体，精度高
优点	优点：传感器费用低，精度高	安装在建筑物上，不需要建造支撑塔。	可以通过三维激光成像，预警信息直观。	全天候工作，精度高，传感器寿命长，总造价低
缺点	/	安装位置不允许存在晃动等情况	安装位置不允许存在晃动等情况	/
是否推荐	推荐使用	不推荐	不推荐	推荐使用

仪, 超远距离测量情况下精度会受到一定影响, 建议作为补充方案使用。

方案三: 该方案在三峡坝上双浮处、三峡坝下 68 米高水位处, 趸船及岸边分别架设 2 台三维激光器, 在满足精度条件下该种方式可在 400 米范围内针对被测船舶成像, 比较直观地显示出船舶高度及宽度, 缺点在于三维激光在测量过程中不能晃动, 否则将产生拖影影响测量结果, 同时该种技术国内并未成熟, 多要依靠国外技术支撑, 存在协调难、造价高、开发难等问题。

方案四: 该方案在三峡坝上双浮处、三峡坝下 68 米高水位处, 岸边位置分别架设 2 台光电测光仪, 其中: “全天时”表示该系统可以实现昼夜工作, “全天候”表示该系统可以应用于温度、湿度、气象条件恶劣的环境, “远距离”表示该系统观看和测量的距离远, “动目标”表示该系统可以对运动中的目标进行精确测量, “高清”表示该系统可以高清成像, “细节观看”表示该系统可以实现目标的桅杆、舷号、突出物等细节观看, “测量”表示该系统可以通过视频技术实现目标物尺寸信息的高精度测量, 该技术成熟可靠, 可以清晰记录过往船舶特征, 同时通过内置传感器使用寿命长。

通过四种限高技术四种方案模拟分析, 最终“激光对射式限高检测方案”较为适合三峡库区船舶限高核查, 可大大减少安检员逐条登轮核查。

4 激光对射限高检测仪检测误差分析

激光测量系统会受到多种误差的影响, 有系统误差和偶然误差, 系统误差会给点云坐标带来系统偏差。在本次研究中, 激光测量的系统误差按其产生来源可分为三类: 姿态误差、测量误差、集成误差。

4.1 姿态误差

姿态误差是影响测量精度的最主要原因。主要包括设备的安置误差、水流天气影响误差、测量噪声等。安置误差在系统安置的过程中产生, 如把测量激光架安置在趸船上, 而趸船会随着水流等上下或者左右摇晃, 所以在安装过程中会存在一些姿态误差。安装激光测量系统要求激光扫描仪参考坐标系统惯性平台参考坐标系的坐标轴相互平行, 即三个欧拉角 $\alpha = \beta = \gamma = 0$, 但是系统安装时不能完全保证他们互相平行, 这就是所谓的系统安置误差。系统安置误差一般需要检校, 假设检校得到的安置旋转矩阵 ΔR_M ($\Delta\alpha$, $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$ 为一个很小的角度)。

$$\Delta R_M = R(\Delta\alpha)R(\Delta\beta)R(\Delta\gamma) = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta\gamma & \Delta\beta \\ \Delta\gamma & 1 & -\Delta\alpha \\ -\Delta\beta & \Delta\alpha & 1 \end{bmatrix}$$

虽然在后来会对设备进行标准、校订等工作, 但由于趸船的水上浮体的性质, 会出现现实点和之前校准点的二次误差的产生。所以在实施过程中, 要特别注意解决系统姿态误差问题。

4.2 测量误差

激光测量系统的每一个工作过程都会带来一定的误差, 但起主要作用的是电子光学电路对经过物体面散射和空间传播后的不规则激光回波信号进行处理来确定时间延迟带来的误差, 分别为时延估计误差和时间测量误差两类。激光脉冲信号照射物体时, 由于通行船舶的制高点物理特征的不同而产生不同的反射, 当信号发生漫反射时, 出现大量反射信号被接收, 会形成较大的接收噪声, 这在实际测量过程中会给结果造成一定的影响。

另外, 如果在测量的过程中, 受水流、风速等影响, 被测船舶可能会出现上下或者左右的颠簸, 而颠簸的幅度和对测量的结果无法计算。因此, 要在实际测量的过程中不断地收集数据, 对误差数据建立回归数据模型, 进行分析预测, 从而根据模型的预测值结合实际值给出正确的测量结果。

4.3 系统集成误差

在实际的系统集成过程中可能会对采集来的数据进行传输、处理、集成时产生的误差。这种误差相对容易处理, 可在软件集成时处理。

5 结论

船舶限高技术在三峡整个安检过程中意义重大, 因此采用比较成熟稳定的“激光对射式方案一”进行施工比较合适, 可大大减少安检员登轮核查, 为免打扰船舶过闸安检智能一体化奠定基础。本方案选用激光对射限高检测仪检测经过检测点的船舶与现有其他检测方法相比, 具有透雾性强、不受天气的影响、灵敏度高的特点, 并且可以穿透雨、雾以及烟瘴等, 1000 米范围内反射率 70% 以上可以检测到 0.5-10CM 障碍物。在三峡坝下 68 米水位处、升降机 173 米水位处、葛洲坝坝上 66 米水位处, 水平观测航道比较合适。通过对三峡河段防超高船撞主动预警系统的建立可以达到如下目的:

(1) 对三峡大坝过往船舶安检人员的安全提供保障。

(2) 对过往船舶的高度及航迹进行监控, 如发生违章超高及偏航事件, 发出声光报警信号, 有效控制超高撞击的发生, 有效地保护设施的安全。

(3) 有效预防运营期升船机及大坝被船撞, 延长升船机的使用年限, 保障三峡大坝、葛洲坝的安全。