

浅谈多波束扫描技术在土石坝中的应用

卢飞;朱伟玺

华能澜沧江水电股份有限公司糯扎渡电厂, 云南 普洱 665005

摘要: 针对土石坝的外观变形监测技术, 一般采用自动化或人工观测方法进行对比分析判定大坝的变形, 还可通过 GNSS 做辅助观测。虽然该方法数据直观、可靠, 但均需有确定的观测墩和观测点, 通过全站仪观测分析水面以上大坝的整体变形量。对于土石坝的迎水面的水下部分, 仍无有效的监测手段, 不利于大坝整体的变形监测分析, 本文通过水下多波束扫描技术, 对水下部分的坝体变形进行水下检测, 在结合坝体水上部分变形, 对大坝整体进行综合分析。

关键词: 变形监测; 多波束扫描; 水下检测

1. 项目概述

某土石坝坝顶高程为 EL. 821. 500m, 心墙基础最低建基面高程为 EL. 560. 000m, 最大坝高 261. 50m, 坝顶宽度为 18m。正常蓄水位为 EL. 812. 000m, 死水位为 EL. 765. 000m。水位涨落变化范围一般在 EL. 765. 20m~EL. 811. 20 之间, 变幅为 46m 左右, 变幅范围内淹没在水下部分的坝体变形将是大坝变形观测的重点和难点, 常规的观测设备已无法满足观测精度和范围的要求, 急需采用更先进的设备和检测技术对水下部分观测分析。

2. 水下部分检测技术

根据库水水位变化规律, 在迎水面一侧的水下部分, 可以通过一个蓄水周期内, 分别在低水位和高水位时, 进行多波束扫描观测, 并对两期数据进行对比分析, 在不同工况下, 确定大坝的水下部分的变形。

1 作者简介: 卢飞 (1985-), 男, 云南昭通, 工程师, 本科, 现主要从事大坝安全监测工作, 415921739@qq. com。

水下部分检测，主要采用美国 R2SONIC 公司生产的 SONIC2024 多波束测深系统，该系统是当前最为先进的第五代多波束测深系统，具有观测精度高，测深范围大等优点。



图1 SONIC2024 多波束测深图

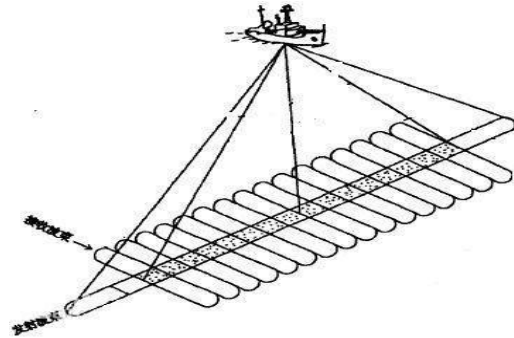


图2 多波束测深系统测深原理图

在点云数据采集时，选取离测区最近的变形观测基点作为控制点，架设 RTK 基准站作为水下扫描基准点。在水下点云数据的扫描过程中，测线布置及数据采集流程遵循以下原则：

(1) 最大水深时波束开角 20° ，此时单测线点间距小于 0.34m ，每移动一条测线，波束开角适当增加，以确保有足够的重叠度。

(2) 由于水下地形为角度较大的坡面，采用多波束施测检测线，检测线与主测深线垂直，测线间距 20m 。

(3) 运用罗经的数据输出到实时采集系统中，实时记录船只的位置和运动姿态；

(4) 采用声速剖面测量技术，排除不同声速测绘出的水深值差异较大问题；

(5) 在后期数据处理过程中，进行必要的姿态改正修正技术，分别选择平坦的水下地形区域以及有起伏的区域，进行重复多次往返测量；

(6) 根据实时数据采集工作站系统，对数据采集过程进行监控，并按布置的测线引导船只运行，保证水库环境变化。

3. 数据采集与分析

以左岸上游坝面 DB-JQR-JD01S 观测房顶基点作为 RTK 工作基点，平均采集测线间距 20m，条带间覆盖率 $\geq 60\%$ 。水下数据的采集过程中，严格控制船速和航线，以保证水下多波束数据满足设计精度要求。

水位	测量项目	完成面积	点云数目	基点数	数据量	平均密度
高水位	水下多波束测深系统点云	70 万 m ²	1.26 亿	2	1.72G	180p/m ²
低水位	水下多波束测深系统点云	55 万 m ²	1.08 亿	2	1.63G	196p/m ²

原始的数据需对其进行坐标配准、噪点剔除、重叠部分删减、不可靠站点剔除、数据合并和导出 txt 文件。

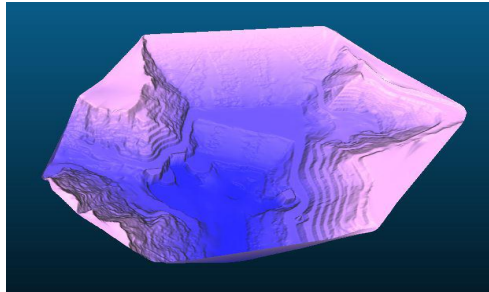


图 3 水下多波束点云

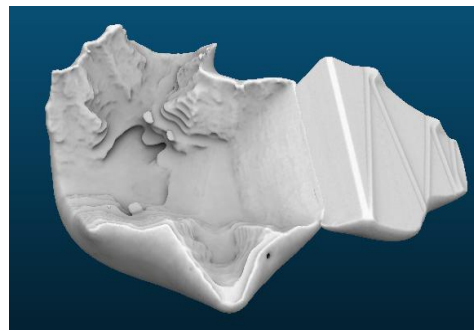


图 4 大坝及水下点云三维重建示意图

根据水下检测技术要求，为保证检测的质量和精度，对于多波束扫描系统的精度主要分析 RTK 精度、惯导精度、测距精度。

(1) RTK 精度

RTK 基站架设于 1 号观测房顶部基点，Trimble R7 GNSS 系统的测量精度为平面 $\pm 2\text{cm}$ ，高程 $\pm 3\text{cm}$ 。

(2) 惯性导航系统

该系统主要用于纠正多波束测深系统在测量过程中的行船姿态，以此实时改正不同深度的观测数据。为保证观测范围，水下最低水面高程约为 EL. 600.00m，最高水面高程约为 EL. 777.00m，观测水深变幅范围约为 177m，在该深度条件下，惯性导航系统精度约为 $\pm 2\sim 3\text{cm}$ 。

(3) 声纳精度

在不同的测量水深下，经过多次观测对比分析，在一定观测深度条件下，声纳精度约为 $\pm 2\sim 3\text{cm}$ 。

综上所述，在多种误差的综合因素影响下，经过对原始数据处理分析，水下多波束测深点云数据的精度 $\leq 10\text{cm}$ 。

4. 分析结果

通过本项目的前期设计、中期观测、后期数据处理及资料分析等环节，对于多波速水下检测成果综合比对分析：

(1) 大坝表面变形多波束扫描工作点位选择合理，通过高密度的点云扫描方式，在保证扫描距离的同时兼顾坝面最大覆盖。

(2) 使用 R2SONIC 2024 多波束测深系统、全站仪自动观测机器人等先进设备联合观测，大大提高了变形监测的精度和数据可靠性。

(3) 使用专业点云数据处理软件，对大坝表面点云进行建模分析，通过不同观测期的点云 mesh 构面成果叠加比较分析，排除噪点干扰影响，通过多期数据对比，得出大坝表面不同区域的变形规律及变形区间量值。

(4) 通过大坝扫描数据处理以及历史数据对比分析，建立大坝变形色带图层，可以很清晰的看到在大坝上游侧迎水面的水下部分变形情况。

(5) 沿着大坝中轴线两侧延伸，在中轴线处的下沉变形明显，靠坝肩两侧处下沉变化量在 10-25cm 间。从坝体整形变形来看，水下部分变形符合大坝所受的上游水压力作用，整体向下下沉的趋势。呈现坝肩处变化量低、坝中部变化量较大的趋势。

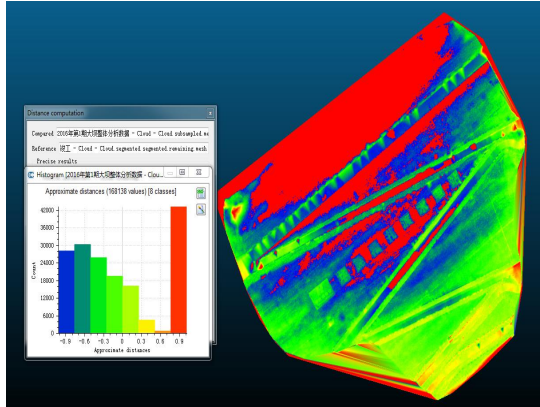


图 5 大坝变形分析成果图



图 6 全站仪联合观测

5. 结束语

通过多波束联合全站仪对土石坝水下部分的扫描，可以解决了外观变形监测中，不能采用自动化、人工观测及 GNSS 辅助观测部位。从而更精确的判定大坝的整体变形及稳定，在水工建筑物的整体分析检测中起到至关重要的作用，该项检测技术应用广泛。

参考文献

- [1]何民华. 多波束测深仪在航道测量的应用分析[J]. 山西建筑, 2020, 46(01):167-168.
- [2]闫晓峰, 蒋冬婷. 多波束发射机干扰信息有效反馈设计建议[J]. 现代导航, 2019, 10(06):463-465.
- [3]孙新轩, 佟杰, 李磊. 多波束水深数据不确定度研究[J]. 测绘地理信息, 2019, 44(06):48-50.
- [4]王瀛勇, 张宁, 燕樟林. 关于多波束水下坝面平整度检测方法的研究[J]. 大坝与安全, 2008(03):60-62.
- [5]刘嘉炘. 行业标准《土石坝安全监测技术规范》编制情况[J]. 水利水电标准化与计量, 1993(04):36.

第一作者：卢飞，2009年7月毕业于昆明理工大学电力工程学院水利水电工程专业，就职于华能澜沧江水电股份有限公司糯扎渡电厂，地址：云南省普洱市思茅区思茅港镇思澜公路83公里处糯扎渡电厂营地，电话：0879-2868523, 15125135350，邮箱：415921739@qq.com