

1. 水库大坝深水环境检测修补载人潜水器 与加固平台

该技术成果基于国家计划项目,由水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院牵头,并联合中船重工 702 研究所、杭州华能工程安全科技股份有限公司等组成研究团队。

◆ 技术原理

针对大坝深水环境探测、修补加固等特殊需求,形成面向大坝检测的潜水器技术解决方案,重点解决载人潜水器作业固定、水下定位、作业工具搭载、低能见度探测、安全防护、宽视野观察窗研制等,集成一台功能完备、性能达标的具有自主知识产权的大坝检测专用载人潜水器,并基于智能化辅助平台搭载适用于不同水环境和检测需求的设备。成果主要服务于水库大坝应急管理和高坝大库安全运行管理,提高溃坝灾害防控能力。



■ 水下载人潜水器（Human Occupied Vehicle）

◆ 技术特点

(1) 特性。300m 级轻型载人潜水器, 以观察和探测为主, 以精细作业为辅。与无人潜水器相比, 能够将领域内专家带至水下作业现场, 最大限度发挥坝工专家主观能动性, 提高判断准确率及工作效率; 同时能够进行更精细作业, 比潜水员作业深度大、时间长, 并规避减压病。

(2) 关键技术。①作业固定: 基于潜水器自身固有设备实现水下固定, 解决由于潜水器本体能源储备有限, 无法为水下吸盘之类的大功率电动水下固定设备供电, 且潜器有效负载低无法胜任如锚定设备之类的重物型固定设备的问题。②水下定位: 针对高坝水库特殊环境, 采用声学超短基线装置、浮标、惯性定位与物理标定相结合的方式进行。③作业工具搭载: 研发了潜水器搭载机械手用于水下作业, 以及水下示踪、水下清洗(附着物清理)及水下射钉等修补机具。④宽视野观察窗: 能够为水下检修人员提供足够的视野观察角度, 窗玻璃设计厚度 90mm, 球冠内半径 755mm, 开角 90°。

(3) 组成部分。①总体系统: 总布置包括总体布置、载人舱舱内布置和总体性能; 总体性能包括浮性和稳性; 流体性能包括阻力性能和操纵性。②结构系统: 载人舱球壳、观察窗、主压载水箱及可调压载水舱。③机械系统: 主压载排水系统、可调压载注排水系统, 并针对实际需求, 形成了冲洗、示踪一体的专用作业工具。④电气系统: 潜水器供配电分配设计、电缆连接布局, 潜水器用水下灯、摄像机、DVL 等选型。⑤控制系统: 主要由综合信息显

控子系统、航行控制子系统和水面监控子系统三部分组成。

◆ 技术指标

（1）最大工作深度 300m；主尺度 $4.5\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2.2\text{m}$ （长 $\times$ 宽 $\times$ 高）；载人耐压球壳为不锈钢材料，内径 1.6m； 90° 玻璃球冠作为观察窗；空气中重量约 6.6 吨；有效负载 50 公斤。

（2）动力源 38 千瓦时（锂电池）；巡航速度 1 节，最大速度 2 节；载员 2 人；生命支持时间为 2×8 人时（正常）， 2×72 人时（应急）；水下作业时间 8h；探测速度 $600\text{m}^2/\text{h}$ 。

（3）推进系统含主推力器 2 个、垂向推力器 4 个、侧向推力器 2 个；作业系统含机械手 2 只（5 功能开关+6 功能主从）、工具篮 1 套；通信系统含水声电话、VHF 无线电通讯；观察系统含前视多波束成像声呐 1 台、云台 1 台、水下高清摄像机 2 台、水下普通摄像机 1 台、水下照明灯 6 只（4 只 LED 灯+2 只灯阵）。

（4）导航定位为 USBL 主动定位、GPS+浮标辅助定位、流速计+避碰声呐应急安全装置（应急电池、应急抛载、应急浮标）。



■ 水下载人潜水器下潜

◆ 应用范围及前景

适用于载人潜水器，应用在水利工程中，尤其是高坝水库领域，以观察和探测为主，以精细作业为辅。

载人潜水器样机已在某高坝水电站深水环境水下裂缝修补工程中取得试验应用，实现了专家实时诊断大坝复杂病害的目标，为高坝大库安全维护与处置决策提供了装备技术保障。项目研发的大坝检测修补专用工具成功应用于该水电站大坝坝前裂缝水下处理工程，该施工方法所用的设备具有工作效率高、可靠性强的特点。

技术名称：水库大坝深水环境检测修补载人潜水器与加固平台

持有单位：南京水利科学研究院

联系人：向衍

电话：025-85828145、13813992366

2. 水利水电工程渗漏无损综合探测技术

该技术获得发明专利“用于测试岩体地震横波的剪切板”（ZL201120158467.0），实用新型专利“用于标定工程地震仪测试时精度的标定装置”（ZL201110128670.8）。

◆ 技术原理

水利水电工程渗漏无损综合探测技术属于多方法综合性技术，建立了以综合物探为主、钻探及土工试验为辅验证、评价手段的综合技术思路。该技术基于渗漏结构与正常介质间电性、电磁性、波动性物理场物性差异，分析渗漏结构的典型物性特征，将渗漏问题分类并匹配使用适宜的电法、电磁法及弹性波法等无损综合探测方法，按序次进行有针对性“联合”无损探测与分析，并可结合钻探、土工试验综合初步验证、评价探测结果，从而对渗漏结构结合地质情况进行深入分析，为设计、施工处理相关渗漏或隐患部位提供科学依据。

◆ 技术特点

（1）将渗漏探测重点定为“渗漏入口”、“渗漏通道”探测两部分，不同部分基于其典型环境及物性特征选择适宜探测方法组。

（2）明确了渗漏结构探测的基本原则。当可确定渗漏结构渗漏出口时，首先进行渗漏入口探测，再进行渗漏通道探测；当不确定渗漏出口时，首先进行渗漏通道探测，再追踪渗漏出口位置，进而进行渗漏入口探测。

（3）通过多方法联动探测，进而充分将点、面资料结合分析，以期查明渗漏结构的空間位置及可能性影响范

围,从而系统分析渗漏原因并地质及施工资料提出可行性处理意见。

◆ 技术指标

(1) 该技术基于渗漏结构与正常介质间物理场物性差异,将复杂渗漏问题分类匹配适用性探测方法组对渗漏进行探测。

(2) 将渗漏探测分为“渗漏入口”、“渗漏通道”探测两部分,并选择适宜探测方法组进行分类探测。

(3) 采用综合物探为主、钻探及土工试验为辅助验证、评价的综合技术思路,其成果更具科学性和准确性。

◆ 应用范围及前景

适用于探测水利水电工程相关的渗漏渗流、水毁及隐患问题,分析判断渗漏入口及渗漏通道空间位置。

研究成果已推广应用于南水北调中线工程渗漏探测、黄河海勃湾水利枢纽工程右岸安全评价专题检测、黄河万家寨水利枢纽工程护坦检测、黄河龙口水利枢纽底孔一级消力池底板物探检测、山西省万家寨引黄工程联接段调蓄池坝副坝渗漏探测、宁夏抗旱应急水源工程金庄子水库裂缝探测、宁夏中部干旱带水库建设工程马家塘水库渗漏分析及处理等 10 多个工程项目,查明了各类堤坝体及基础渗漏渗流、水毁及隐患问题。

技术名称: 水利水电工程渗漏无损综合探测技术

持有单位: 中水北方勘测设计研究有限责任公司

联系人: 王志豪

电话: 022-28702281、13389991928

3. 水利水电工程安全监测智能化数据管理 分析及决策支持系统

该技术成果已获得 2 项发明专利, 4 项实用新型专利, 13 项计算机软件著作权; 先后荣获 2013 年吉林省优秀勘察设计一等奖, 2013 年全国勘察设计行业优秀计算机软件一等奖, 2014 年吉林省科技进步二等奖, 2015 年吉林省优秀勘察设计一等奖, 2017 年吉林省优秀勘察设计二等奖, 2017 年全国勘察设计行业优秀计算机软件二等奖。

◆ 技术原理

该系统由“自动化数据采集系统”、“设备状态智慧在线监控预警系统”、“综合管理分析系统”、“模型管理分析系统”、“综合分析推理系统”和“web 信息发布系统”子系统组成。可实时精确监测和馈控工程安全运行状况, 为使用单位及上级管理部门在水利应急事件处理方面占得先机, 为工程安全状况做出准确高效的评判和决策提供可靠依据, 解决现代企业管理需要, 达到“无人值班、少人值守”的要求。充分发挥了工程的发电效益、防洪效益、灌溉效益及民生效益, 推进了水利工程运行管理高质量发展。

◆ 技术特点

(1) 该系统是集数理统计、计算机工程、信号处理、模式识别、人工智能等多学科于一体的智能化安全监测决策支持系统。

(2) 采用“知识推理机”和“决策树”进行多方法综合

评判。

(3)采用客户机/服务器(C/S)和浏览器/服务器(B/S)结构相结合的方式,通过 C#、ASP.Net、Java 等高级语言进行开发,数据库采用分布式数据库。

(4)主控系统基于 Android 采用 Java 高级语言开发,数据库采用 SQLite 数据库。

(5)采集装置基于 ARM 嵌入式系统研发,核心控制器采用 Exynos4412SCP 芯片,显示采用高分辨率全彩液晶触摸屏,通讯具有 EIA-RS-485/422-A、以太网、移动通信网、Wi-Fi 等符合国际标准的接口,数据存储具有 USB 及 Micro SD 卡扩展。采集装置既可采集模拟量传感器,还可管理数字量监测设备。

◆ 技术指标

(1) DB4000i 型多功能数据采集装置:核心控制器 Exynos4412SCP 芯片,控制系统 Android4.0 以上。

(2)DB2220A 型 CCD 双金属标仪:量程 50mm,精度 $\pm 0.05\text{mm}$,分辨率 0.01mm。

(3) DB1220A 型 CCD 垂线坐标仪:量程两向均为 48mm,分辨率两向均为 0.01mm。

(4) 软件系统:关系型数据库 SQL Server 20 (10) SQL Server 2012,采集时间 ≤ 8 分钟(多台 MCU),系统平均无故障时间 $\geq 6300\text{h}$,粗差处理方式为删除/平滑/调整,模型方法为统计模型、分布模型、混合模型、灰色模型,模型指标为 2/3/4 倍标准差,综合推理时间 ≤ 10 秒。

◆ 应用范围及前景

适用于水利水电行业安全监测领域，以及水利水电工程的施工阶段和运行阶段。

该系统自研发至今，依照研发-应用-升级-推广的技术路线，已在尼尔基水利枢纽、哈达山水利枢纽、吉林松江河梯级、国电大渡河流域梯级（铜街子、龚嘴、深溪沟、吉牛）、大连市英那河水库等十多个工程中得到成功应用。

典型案例：尼尔基水利枢纽。位于嫩江干流中游，工程规模属大(1)型，由主坝、左副坝、右副坝、溢洪道、左右岸灌溉管（洞）及发电系统等组成，枢纽极端温度为 $-35\sim+40^{\circ}\text{C}$ 。尼尔基水利枢纽安全监测自动化系统由 28 台 DB4000i 型分离式智能数据采集装置、2 条真空激光组成。通过 7 年以上运行，已成功掌握枢纽运行规律，发现并解决了一系列工程问题及安全隐患，为枢纽安全运行提供了可靠保障及决策依据。并在 2013 年迎战嫩江洪水过程中，快速及时地对高水位条件下工程安全监测资料进行实时分析，对工程安全状况做出准确高效评判，为应急决策提供了可靠依据，为水情预测报及水库科学调度赢得了宝贵时间，实现了水库防洪效益最大化，减少了灾害损失。

技术名称：水利水电工程安全监测智能化数据管理分析及决策支持系统

持有单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

联系人：陈立秋

电话：0431-85092083、15526898695

4. 土石坝激光静力水准垂直变位监测技术

该技术获得实用新型专利“一种基于激光测量的自动静力水准垂直位移测量装置”（ZL201920714540.4）。

◆ 技术原理

采用静力水准原理，利用高精度激光测量技术，研发生产的土石坝激光静力水准垂直变位监测设备，实现对坝体、水闸等水利基础设施垂直位移的远程高精度测量，测量精度 $\pm 1\text{mm}$ 。

◆ 技术特点

（1）测量原理可靠，使用寿命长，运行稳定，是激光测量技术在水利基础设施安全监测领域的创新应用。

（2）通过对水库闸坝变位实时监测数据的“智能分析”，得出坝体和溢洪闸的变位趋势，对其稳定性、应力和变形进行实时验算，得出其变位趋势，并对其所处的安全状态做出评估和预警。

（3）利用无线通信技术，将分布式多点位的监测点组成“无线局域网”，并通过“物联网”将信息传输到数据库存储、分析、发布。

◆ 技术指标

- （1）垂直变位测量精度 $\pm 1\text{mm}$ ；
- （2）垂直变位测量分辨率 $\pm 0.1\text{mm}$ ；
- （3）连续无故障运行时间 25000 小时；
- （4）工作电源 DC12V1A，支持太阳能供电，电压自动监测报警；
- （5）工作环境 $-40\sim+50^{\circ}\text{C}$ 。

◆ 应用范围及前景

适用于各级水库及流域管理部门在日常运行及应急条件下的工程安全、防洪调度安全监测与评价，数据档案管理。

该系统已在济南市章丘区垛庄水库、青岛市泉心河水库、青岛市大河东水库、青州市黑虎山水库、宁津县大柳水库围坝、枣庄市市中区周村水库等项目进行了推广，实现水利信息感知、采集、传输、汇总、分析、预警及应用的网络化、自动化、智能化和可视化，以及水利信息实时共享，大大提升了水库工程运行管理的效率和效能。

技术名称：土石坝激光静力水准垂直变位监测技术

持有单位：山东省水利科学研究院

联系人：孙雪琦

电话：0531-55765698、13506401417

5. 土石坝测压管激光跟踪水位监测技术

该技术获得实用新型专利“一种基于激光测量的自动静力水准垂直位移测量装置”（ZL201920714540.4）。

◆ 技术原理

水库坝体、坝基的渗透压力以及水闸的扬压力是影响设施安全的关键因素，对坝体、水闸的渗压实施有效的高精度实时监测与分析，是安全监测不可缺少的关键内容，亦是衡量水利设施安全的重要指标。为适应水库坝体、溢洪闸和河道节制闸的渗压监测需要，尤其是对已建渗压监测系统的设备升级实际要求，研发了土石坝测压管激光跟踪水位监测技术。可充分利用现有测压井，实现对坝体、闸底板等设施的渗压水位非接触式测量，自动跟踪渗压水位变化。克服了因渗压管倾斜弯曲使激光束无法测量的技术弊端，避免了传统接触式水位传感器因水质腐蚀、淤积、结垢和微生物等导致失灵的现象，测量精度高，使用寿命长，运行稳定可靠。

◆ 技术特点

（1）利用无线通信技术，将分布式多点位的监测点组成无线局域网，并通过物联网将监测信息传输到数据库进行存储、分析、发布。

（2）设备稳定性和环境适应性强，使用寿命较长，平台稳定，信息化建设及运维成本较低，可推广应用于单一或全流域水利工程的安全监测与灾害防控工作中，为水管部门提供优质、高效、实用、安全的信息化服务。

◆ 技术指标

- (1) 测量变幅 0~100m（量程可定制）；
- (2) 水位测量精度 $\pm 1\text{mm}$ ；
- (3) 水位测量重复性误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ；
- (4) 适应渗压管径 $\geq \phi 50\text{mm}$ ；
- (5) 连续无故障运行时间 25000 小时；
- (6) 工作电源 DC12V1A，支持太阳能供电，电压自动监测报警；
- (7) 工作环境 $-40\sim+50^{\circ}\text{C}$ 。

◆ 应用范围及前景

适用于各级水库及流域管理部门在日常运行及应急条件下的工程安全、防洪调度安全监测与评价，数据档案管理。

该系统已在济南市章丘区垛庄水库、青岛市泉心河水库、青岛市大河东水库、青州市黑虎山水库、宁津县大柳水库围坝、枣庄市市中区周村水库等项目进行了推广，实现水利信息感知、采集、传输、汇总、分析、预警及应用的网络化、自动化、智能化和可视化，提高了水库工程运行管理水平。

技术名称：土石坝测压管激光跟踪水位监测技术

持有单位：山东省水利科学研究院

联系人：孙雪琦

电话：0531-55765698、13506401417