

1.LDZ-1 无人机测流系统

该技术核心成果已获得发明专利 1 项：基于运动估计和视觉跟踪的云台自动锁定系统和方法。

◆ 技术原理

该系统通过无人机平台搭载雷达测速仪在河道断面指定位置开展非接触式测流，将测得的表面流速数据回传至测流软件中，计算断面流量数据的新型测流系统。系统主要由无人机平台、雷达测速仪与测距仪、高清摄像机、便携式计算机、便携式打印机五部分组成。通过无人机平台便于工作人员实时观察水情及周边环境。

◆ 技术特点

（1）针对水文测站点多面广，部分测站自然条件所限，灾后人员设备受阻，无法开展常规水文测验等现状，利用无人机监测，形成一种快速应急的监测路径，构建起空中测验报汛平台或支点。

（2）通过远程遥控方式开展测流工作，既可节省人力成本，又可适用于不同地理条件，有利于推动中小河流站点和无人值守站点的建设，有效扩大水文资料的收集范围，并广泛运用于灾后水文调查。

◆ 技术指标

测流范围：0.3~20m/s；流速分辨率：1mm/s；机型：六旋翼无人机；最大巡航半径：20km；定位精度：厘米级；最大续航时间：2h（载荷 2kg）；最大抗风速度：6

级；最大水平飞行速度：12m/s；最大载荷：5kg；防护等级：IP43；无人机轴距：1520mm；云台：三轴测流专用云台。

◆ 应用范围及前景

适用于在风速小于 7 级且小雨的环境下，顺直无回流河道中。

无人机测流系统已在江苏省水文水资源勘测局、福建省水文水资源勘测局尤溪水文站和长江水利委员会上游局横江水文站、向家坝水文站进行测流运行，有效提高了水文应急监测及无常规测流条件下的测验水平。



■ 无人机测流系统对泰州引江河开水文应急监测

技术名称： LDZ-1 无人机测流系统

持有单位： 水利部南京水利水文自动化研究所
中航金城无人系统有限公司

联系人： 郭丽丽

电话： 025-52898408、15295512335

2.水文测验设备的联控装置

该技术成已获得发明专利 1 项：一种水文测验设备的联控装置。

◆ 技术原理

该装置属水文测验的辅助技术装备，它一端可与不同类型船只甲板实现固定连接，另一端可与不同水文测验设备的探头实现定向连接；两端固定连接后，其主轴可任意旋转、起落且旋转角度、起落高度精准可控。整个装置采用模块化、机械化设计，增强了装置的适用性及通用性。

◆ 技术特点

（1）稳定性好。该装置与测船、水文测验设备连接稳固，在航行中（即使是变轨变速条件下）水下测验设备均不产生明显的摇摆、晃动和跳动，抗水流性强，可有效消除测验/测量系统误差，提高水文测验/河道勘测成果质量。

（2）通用性强。不受船体限制，在新旧测船上均可装配，占有甲板面积小；而且万向节是规格孔径，能直接连接多种水下测验/测量设备，很好解决了水下探测设备安装、定向连接技术难题。

（3）机械化程度高。采用 360 度旋转轴结构、垂直起落结构及 1:1 配重块、万向节连接设计，一名测验人员即可轻松完成各种操作，可大大缩短水文测验设备的安装和拆卸时间，减轻了劳动强度，提高了生产效率。

◆ 技术指标

(1) 该装置的建造、安装均符合《水文基础设施建设及技术装备标准》(SL415-2007)、《水文测船测验规范》(SL338-2006)等相关规范。

(2)设计自重为:100~180kg;提升重量为:0~100kg;起落往返时间:8~14s;提升离船甲板的最大高度 1.2m;允许最大船速 6m/s;主轴承受水平最大冲击力 691kg。

◆ 应用范围及前景

适用于近海及内陆河流、水库、湖泊等水体中,有关水文测验、河道勘测等水下测验/测量设备与测船的固定、定向安装。

该装置已成功用于长江干流(含近海、水库、湖泊等),以及湖南省、江西省中小河流的水文测验、河道勘测等项目工作,并在长江三峡工程水文泥沙观测、三峡工程重点河段河势变化及治理对策研究等 30 多个项目中得到使用,装置安全性能好、工效高,具有较强的推广应用价值。



■ 水文测验设备的联控装置实物图

技术名称：水文测验设备的联控装置

持有单位：长江水利委员会水文局荆江水文水资源勘测局

联系人：周儒夫

电话：0716-8521064、13593897586

3.多要素无人船综合测量系统

◆ 技术原理

多要素无人船测量系统硬件以上海华测集团的华微 5 号无人测量船作为主载体，通过搭载北斗全星座 GNSS-RTK 定位测量系统、声呐地形扫描系统、单波束测深系统、多普勒流速仪 ACDP 以及光学后向散射浊度仪 OBS 等多种高精度测量传感设备。利用导航、通讯和自动控制等软件和相关设备进行集成开发，实现水深、流速、流量、含沙量、颗粒级配、床面地形与图像等水文泥沙地形参数的测量。多要素无人船测量系统软件主要由 Mission Planner、VCOMM、Hydro Sounder、Hydro Survey、泛际测流大师、Deep View 组成。

◆ 技术特点

(1) 将多种设备集成到一个载体上，一次性实现水动力、水环境、泥沙、地形等河流多要素同步测量。无人船船体轻巧，方便移动，既可用于野外观测，也可用于实验室内测量，提高了科研和工程技术人员获取监测数据便利性。

(2) 该系统可以填补载人船无法到达或者不易到达的危险水域，同时实现高精度、智能化的高效工作模式，对研究资料缺乏的区域，特别是测量条件恶劣的浅滩及山区河流具有重要意义。

(3) 实现对水库水下地形的快速测量和大坝水下形态的实时监测，并能及时对库区存在淤积明显部位及坝体水下形态存在明显异常部位等问题提示预警；实现对河道

或渠道重点引水河段流速、流量、含沙量的实时监测，并能及时对出现引水流量偏小及含沙量偏大等不利引水安全等情形提示预警。

（4）采集数据后台多维度精准分析，对照工程实测数据判别测量数据是否符合要求，判断误差过大行为并提示预警；根据不同应用场景需要，可以及时生成不同测量工况参数数据表格和相应的基础图形提供给监测单位和业主单位参考决策。

◆ 技术指标

（1）精度指标：测深精度为 $\pm 1\text{cm} + 0.1\% \times h$ ，流速精度为 $\pm 0.25\% + 2\text{mm/s}$ ，侧扫声呐图像分辨率为 1cm，扫描深度最大为 100m，浊度测量范围 0~4000NTU。

（2）频率指标：流量、水深、含沙量、流速等原始数据采集频率为统一为每秒 5 次，满足自动测控和分析的要求。

（3）实时性指标：实时监控数据取数每 5 秒一次，满足试验监控的需要；流量、水深、含沙量、流速监控原始数据为实时传输，无滞后；水深或流速过程线分析数据为每 5 分钟生成。

◆ 应用范围及前景

适用于水库库区、河道、河口等野外水沙多要素测量，以及地貌测绘、航道测量、水下地质勘探等领域。已在怀柔水库、京密引水渠、小清河济南城区段生态清淤工程、朝阳区北小河河道断面测量等工程建设和运行管理中成功应用。

案例 1：怀柔水库位于北京市怀柔县城四侧，总库容 1 亿立方米，是北京市重要的水源地和调蓄地，也是南水北调的节点工程。通过实施多要素无人船综合测量技术，实现了对怀柔水库水下地形的快速测量和大坝水下形态的实时监测，能够及时发现库区淤积明显的部位及坝体水下形态明显异常部位等问题，有效保障了水库的库容维持和坝体安全。

案例 2：京密引水渠是将密云水库的水引进首都的重点工程，引水干渠长达 110 公里，经过 5 个县区，在玉渊潭上游与永定河引水会合。通过实施多要素无人船综合测量技术，实现了对京密引水渠重点引水口渠段流速、流量的实时监测，可及时掌握引水渠内流速分布、引水流量等基本情况，能够实现工程管理单位的监管和预警，有效保障了工程的引水安全和引水效率。

案例 3：小清河济南城区段生态清淤工程属于河道治理工程，全长 30.472km，设计工程清淤量约 197.98 万 m^3 。通过多要素无人船综合测量系统搭载便携式单频测深仪和双频测深声呐，实现了对河道水下地形断面的快速准确测量和重点底部区域的实时侧扫成像，能对工程河段范围内的水下地形和泥沙淤积分布情况进行较好地系统测量和监控预警。



■多要素无人船综合测量系统

技术名称： 多要素无人船综合测量系统

持有单位： 中国三峡建设管理有限公司

中国水利水电科学研究院

联系人： 董先勇

电话： 028-85933656、18602829117

4.大坝内部变形监测智能机器人系统

该技术核心成果已获得 1 项发明专利：一种管道测量机器人的标定方法、装置及系统。

◆ 技术原理

该技术是一种基于管道机器人的堆石体内部变形监测的新方法，其预先在坝体内部进行管道埋设，通过机器人对管道的三维曲线进行测量，估计出管道变形，通过管道中心线的变形推测出坝体内部的位移。该监测方法具有分布式特点，可沿管道连续测量，实现堆石体内部变形的更加精细的监测，并通过一套系统可同时解决水平位移和竖直沉降监测问题。

◆ 技术特点

(1) 过去监测水坝是采用水管式沉降仪测垂直位移、引张线式水平位移计测水平位移，但是当供水线路较长时，水管式沉降仪容易造成管路堵塞，而引张线式水平位移计的钢丝绳容易断裂造成回弹，并且这两种传感器采用的是点式测量，而不是连续观测，无法得到内部的整体变形结果。大坝内部变形监测智能机器人系统，从根本上解决引张线式水平位移计、水管式沉降仪测量的缺陷与不足。

(2) 大坝内部变形监测的实质就是精确测量并比对不同时期的变形监测管道的三维曲线。大坝内部管道布设完成后，可利用测量机器人定期对管道的三维曲线进行测量。测量机器人的行走轨迹即变形监测管道的三维几何曲

线。该项目设计了一种新型的高精度管道测量机器人系统，集成高精度惯导和多个里程计，通过对多源观测数据进行最优融合，估计管道机器人的三维运动轨迹，进而得到变形监测管道的三维曲线。最后通过不同时期的三维曲线比对，计算大坝内部的水平、垂直和挠度变形指标。

（3）变形监测机器人硬件系统设计。针对毫米级的管道三维曲线的测量需求，设计了一种全新的管道测量机器人。管道测量机器人的包括车架、测量单元和动力装置。其中车架采用强制对中设计，保证测量机器人的中轴线与管道中轴线一致。机器人的核心模块为高精度时间同步的测量单元，其是包括高精度惯导和里程计的集成系统。此外，还设计了一种实用的测量机器人标定装置，利用该装置可以对车体和惯导之间的安装角误差进行精确标定。

（4）综合 GIS、BIM、数据挖掘、组合导航等技术优势，形成水利水电工程三维安全监测可视化平台，测量机器人作为一种集自动目标识别、自动照准、自动测角与测距、自动目标跟踪、自动记录于一体的测量平台。从数据采集、存储、管理、分析等角度出发，创造性地提出堆石坝内部变形监测新的方法与技术体系，形成硬软件自主研发的堆石坝内部变形监测机器人。

◆ 技术指标

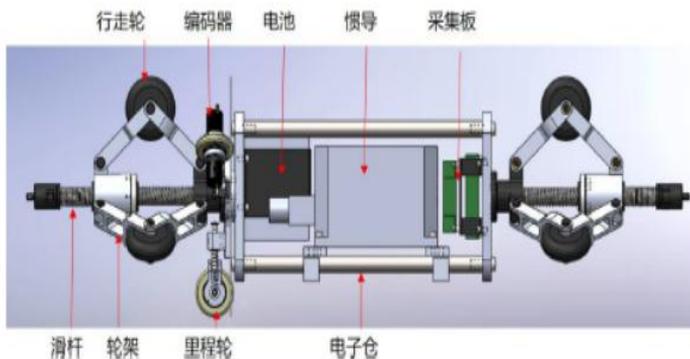
现有系统具有应用于 150 米长度变形监测管道的性能。通过提高惯导的精度，可以进一步将管道监测长度提

高至 400~600 米。

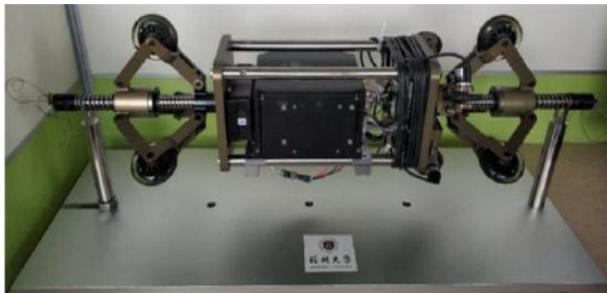
◆ 应用范围及前景

适用于心墙堆石坝内部变形监测工作。

案例：大坝内部变形监测智能机器人系统目前已经在贵州夹岩水利枢纽工程的大坝内部形变监测项目中投入运行。监测系统在运行过程中得到了较好的监测效果和一致好评。该设备相比于传统监测方法，监测精度更高，操作难度更小，运行成本更低，为大坝的正常运行提供了精确的数据支撑。在未来的发展过程中，监测系统将朝着减小设备体积，提高监测精度的方向发展。



■ 管道测量机器人设计



■测量机器人机械结构实物

技术名称： 大坝内部变形监测智能机器人系统

持有单位： 贵州省水利水电勘测设计研究院有限公司

深圳大学

江河水利水电咨询中心

联系人：章彭

电话：0851-85922152、17610929327

5.基于 ROV 的引水隧洞综合检测技术

该技术已获得实用新型专利 1 项：一种应用三维图像声呐的有缆水下机器人配置方法。

◆ 技术原理

无人有缆潜水器（Remotely Operated Vehicle—ROV）又称水下机器人，可在水下环境中长时间作业。使用 ROV 进行电站水下结构检测相对于潜水员下水检测作业，具有明显的优势。该技术的水下机器人主要包括 ROV 主机、地面控制系统和脐带缆三部分：ROV 主机标准配置包括深度计、姿态传感器、高清水下摄像头、水下照明、推进器等部件；地面控制系统包括控制系统、电源控制箱等。

◆ 技术特点

（1）原创性：基于近年海洋探测技术，以采用水下机器人（ROV）为主设备，引入 VR 技术辅助 ROV 操控及模拟作业。

（2）先进性：该技术实现检测单元模块化。实现水下机器人长距离供电，同时达成模块小型化，实现隧洞内衬砌表面缺陷的全覆盖检测与定量分析。

（3）前瞻性：该技术引入 VR 技术，将水工隧洞三维模型导入水下检测装备的操控及模拟系统。

◆ 技术指标

- （1）适用水深：0~500 米；
- （2）隧洞长度：2000 米以上；

(3) 适用检测范围：引水隧洞（长隧洞）；

(4) 隧洞三维声呐成像：实现快速长距离隧洞内部结构点云数据采集成像，精细的水下点云数据；

(5) 光学成像系统：光源可调、多自由度可控的云台。

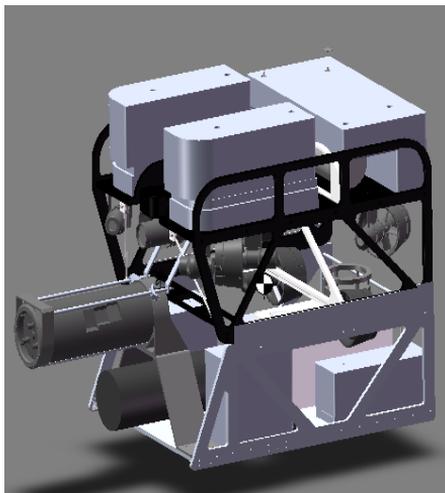
◆ 应用范围及前景

适用于长距离输水隧洞水下工程检测，包括水利水电工程引水隧洞，调水工程引水隧洞、箱涵等，以及其他长距离水下隧洞。

案例 1：四川雅砻江二滩水电站引水隧洞检查，检测三条“Z”型高水头、多弯段引水隧洞总长 591.1m，最大水深 100m。

案例 2：四川雅砻江二滩引水洞、尾水洞水下检测作业，检测 1#、4#两条引水隧洞，检查隧洞总长度为 534.1m，检查最大水深约 200m。

案例 3：四川雅砻江锦屏二级水电站引水隧洞末端水下机器人检测作业，检测 1#、2#、3#、4#四条引水隧洞自上游调压室井筒靠上游侧阻抗孔，向引水隧洞进水口方向 2km 长范围。



■水下机器人系统

技术名称： 基于 ROV 的引水隧洞综合检测技术

持有单位： 上海遨拓深水装备技术开发有限公司

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

联系人： 胡臻臻

电话： 021-20903012、13052397617