

深圳市东江水源工程智慧巡检系统

项目建议书

华科优建（武汉）工程信息发展有限公司

2019年3月27日

目录

一、项目概况.....	1
二、技术方案.....	3
2.1 智能巡检机器人.....	4
2.2 隧洞裂缝及变形智能监测预警系统.....	6
2.1.1 隧洞裂缝图像采集与检测.....	6
2.1.2 图像识别与处理.....	8
2.1.3 隧洞本体及支护变形检测.....	9
2.3 示范段可视化集控平台.....	11
2.3.1 地上现状数据采集.....	12
2.3.2 示范段现状数据采集.....	13
2.3.3 可视化 BIM 模型搭建	14
2.3.4 全要素可视化数据融合.....	15
2.3.5 可视化集控平台开发实现.....	15
2.4 云端数据中心建设.....	21
三、相关技术说明.....	22
3.1 高清图像识别.....	22
3.2 倾斜摄影全自动建模.....	23
3.3 城市全要素三维可视化.....	24
四、企业简介.....	27

一、项目概况

东江水源工程自惠州市水口街道东江和马安镇西枝江分别取水，最大取水流量 30 立方米/秒。输水主干线全长 106 公里，经两级泵站提升，跨越惠州两区 6 个镇（街道）和深圳 7 区 12 个街道，在深圳经松子坑、西丽、铁岗、石岩四大水库调蓄后形成一个“长藤结瓜”、覆盖深圳全市的供水网络。工程线路沿山脉自然走势布置，采用全线封闭结构输水，主要具有取水口选址理想水质优、供水成本低投资优、布局合理效益优、工程技术含量高、运行模式优等特点。

工程主要建筑物有 5 座泵站、1 座中型水库、17 条隧洞、6 座箱涵、4 段压力管道、7 座渡槽、一段倒虹吸管以及沿线分水建筑物、检修闸、检查井等附属建筑物。

本项目示范段建设范围：深圳水库渡槽（530 米）及沙湾隧洞（3590 米）。



深圳市东江水源工程线路图

项目建设内容: 围绕东江水源工程运维场景，结合当前最先进的人工智能、无人机及 BIM 等相关技术，打造全国第一个大型输水工程无人智能巡检及损伤智能预警系统，建立全国第一个输水隧洞裂纹监测数据中心，建设全国第一个大型输水工程人工智能应用示范基地，大幅提高本工程运维效率及准确性。

二、技术方案

智慧巡检系统是东江水源工程智慧化建设（智慧水务）的其中一部分，主要围绕巡检过程，利用高新技术手段提升巡检效率，提升隧洞损伤判定及预警能力，优化巡检过程体系。

整个项目拟采用分批建设模式：

一期：完成智能巡检机器人定制、裂纹变形缺陷识别定位、全景三维可视化集控平台、全景三维可视化场景建模；

二期：完成巡检机器人改装升级、图像识别算法升级、自动判定裂纹生长尺寸、基于人工智能的裂纹变形分析；

三期：智慧水务其他功能模块开发实现；

通过调研与分析，了解本项目需要解决的核心需求如下：

1. 提高东江水源工程巡检自动化程度，减少人力投入，调高检测精度和作业效率；
2. 查明缺陷或潜在缺陷及损伤的性质、所在部位、严重程度及发展趋势，并为原因分析、缺陷评价以及承载力影响评估，提供技术支撑；
3. 巡检内容包含：外观检查、隧洞裂纹识别及变化程度评估、隧洞内部护板变形；
4. 建立地上、地下全景三维数字化模型，通过三维可视化平台及信息化应用，提高整体运维能力和危险预警智能化水平；

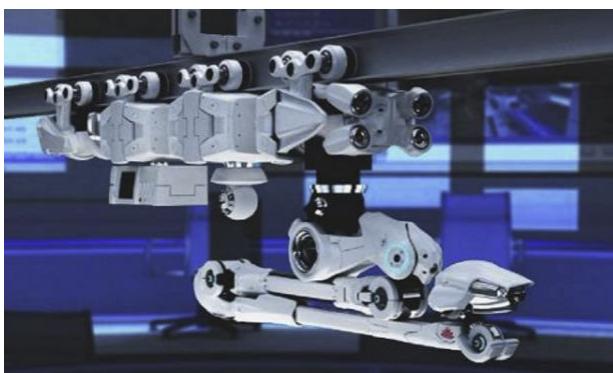
另外本项目中隧洞为输水通道，高度 4.2 米，宽度 4.2 米，全年一次定期排空进行巡检检查，排空时长为 20 天，隧洞内无照明及实时监测装置。东江水源工程担负着深圳市近二分之一供水重要任务，设计供水保证率达 97%，年供水量达 7.2 亿 m³，混凝土经长期水中浸泡

已出现不同程度的损伤。

综上分析，为了满足本工程实际巡检场景，拟定制一台搭载高清图像采集及环境检测装置的智能巡检机器人，开发一套全景三维可视化集控软件平台，实现对示范段工程裂纹与变形的有效监控、环境的实时监控以及动态提醒通知推送等智慧化升级。

2.1 智能巡检机器人

智能巡检机器人是提高自动化程度、提高检测精度的必要手段。目前工程用特种机器人主要为两种形式：吊挂轨道式和地面行走式。



吊挂轨道式



地面行走式

吊挂轨道式机器人巡检更为灵活、检测面积大并且定位精确性和巡检效率更高，但是该型式需要在隧洞本体上铺设轨道，施工周期长且对原有隧洞结构受力情况存在较大影响。由于本工程中隧洞本体已出现不同程度损伤，且不适合长时间停水施工作业，所以不选择此吊挂轨道式。

在本项目，将引入地面形式机器人，该机器人外观型式根据东江水源工程实际地质条件与周边环境进行定制，满足以下功能要求：

1. 自带 GPS 或北斗导航定位系统、自带陀螺仪水平倾角系统，能实时精确返回机器人位置、摄像头角度、机器人姿态等信息；

2. 携带线阵高精度相机及激光照明装置，在非可见光条件下，可完成对隧洞内场景的高清图像采集、固定检查点实时视频查看；
3. 携带激光扫描设备、可实时获取隧洞内距离、尺寸，为变形量计算提供数据基础；
4. 携带气体探测传感器、温湿度探测传感器、远程语音播放器以及智能避障系统；

本项目中采用前转后驱底盘，该底盘尺寸：1440mm*830mm*580mm，设计时速 20km/h，使用时速为 5km/h，可自动和手动控制。车身喷塑处理，外观美观，表面坚固、耐腐蚀。选用四轮双横臂独立悬架系统及前桥阿克曼转向系统，底盘的操控稳定性得以大幅提升，并搭载 4 组刚度可调节的减震器，底盘最大负载能力达到 300KG。

车身预留多种协议的通讯接口，及多种电压的供电接口，实现即插即用，满足市面常见的激光雷达、摄像头、云台、工控机的供电及通讯需求。



前转后驱底盘 FR-05

智能巡检机器人携带有毒气体探测器、温湿度传感器、远程语音播报、激光照明、云台、无线传输设备、GPS、陀螺仪、机械手臂、高清相机、激光扫描仪等硬件集成系统。所有检测设备通过定制基座与底盘连接，数据通过无线网络与服务器中心实时交换。由于隧洞内无网络覆盖，可利用检修口设置无线中继器实现网络覆盖。

巡检机器人可携带的检测设备如下：



有毒气体探测器



温湿度传感器



远程语音播报



激光照明



全景相机



CCD 相机



云台



机械臂

为了实现纵向截面的图像同步采集，可采用高清全景 12k 相机或多台线阵 CCD 工业相机两种方式进行图像采集。全景相机方案内置 720 图像自动拼接能力，可生成一张完整的纵截面全景图片用于图像识别。多台 CCD 高清工业相机为定角度拍摄，拍摄后在服务端经算法进行整体分析识别。

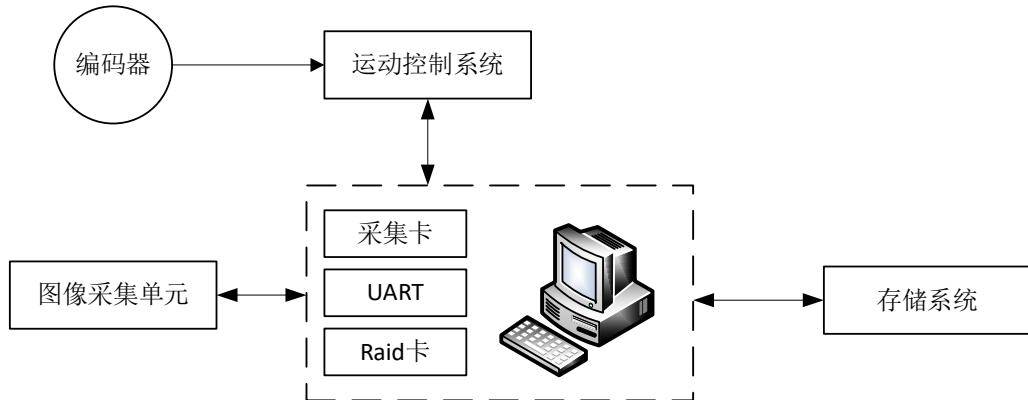
2.2 隧洞裂缝及变形智能监测预警系统

该系统主要利用携带高清摄像机的巡检机器人对示范段进行图像采集，并利用图像识别技术对采集图像进行差异识别，获取裂缝变化程度、隧洞变形并及时通过平台向用户客户端推送预警消息。客户端用户可在平台上查看预警信息，并可快速定位到预警点，调取该位置近一周的图像采集素材进行综合判断。用户还可以通过远程操控巡检机器人到达预警点进行远程查看视频影像信息。

2.1.1 隧洞裂缝图像采集与检测

隧洞裂缝图像采集与检测部分使用巡检机器人携带高清工业相机进行作业。巡检机器人所携带编码器除了控制机器人运动外，还要实时计算摄像头的姿态，包含空间位置坐标及相

机倾斜角度。通过高速拍摄高清图片进行图像采集，该图像将被车载电脑进行快速存储及裂纹识别，并通过低延迟网络传输到控制中心，实现对同位置不同期图像间的变化识别。



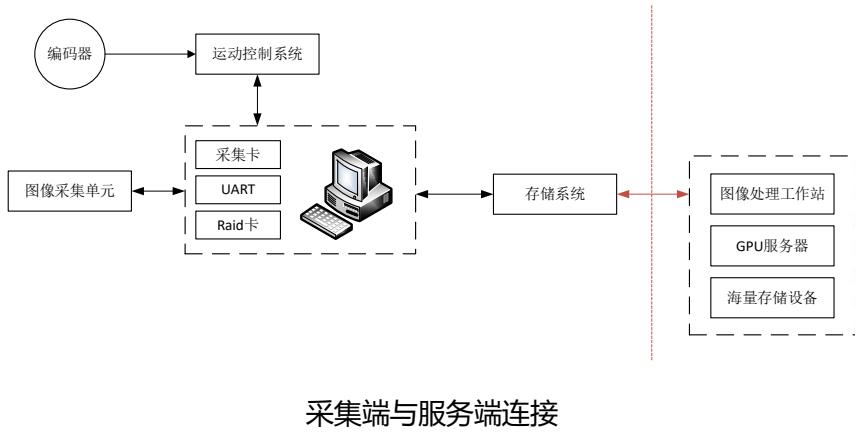
图像采集端原理

为了能匹配隧洞裂缝、变形尺寸精度，巡检机器人携带先进高速 CCD 数字线阵工业相机，该相机基于 On Semiconductor 的新 $5.5 \mu\text{m}$ 4-Tap CCD 传感器技术的 VA 系列相机，是一款逐行扫描方式的高性能数码相机。

Cameralink接口					
型号	分辨率	全幅帧率(fps)	感光芯片规格	感光芯片	像素尺寸(μm)
VA-16MC-M/C 8	4896×3264	8	32mm	On Semiconductor KAI-16050	5.5
VA-29MC-M/C 5	6576×4384	4.8	35mm	On Semiconductor KAI-29050	
VA-29MC2-M/C 6	6576×4384	6.1	35mm	On Semiconductor KAI-29050	
VA-47MC-M/C 7	8856×5280	7	56.7mm	On Semiconductor KAI-47051	
GigE 千兆网接口					
VA-16MG2-M/C 4	4896×3264	4.3	32mm	On Semiconductor KAI-16050	5.5
VA-29MG2-M/C 2	6576×4384	2.3	35mm	On Semiconductor KAI-29050	

CCD 数字线阵工业相机

控制中心接收实时图像数据后，利用海量存储设备进行存储，然后调用图像识别算法，将同位置上次采集图像与本次数据进行比对分析，找到差一点并标记。信息化平台将标记点位置和图片信息形成一条审核记录以消息的形式推送给平台相关用户。



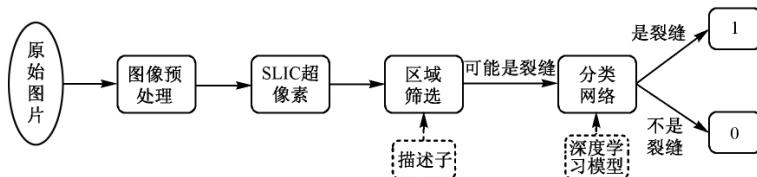
采集端与服务端连接

用户可提取标记点信息进行人工审核，确定该位置信息准确性。对于图像信息表达不完整情况，用户可手动远程操控巡检机器人到达指定位置，通过该摄像头进行远程查看，直到确认完毕。平台将按设定日期范围对采集数据进行保存和标记点统计，形成可视化图表显示在信息化平台首页。

2.1.2 图像识别与处理

在巡检机器人控制中心采用基于深度学习的隧洞裂缝识别算法，首先对一部分含有裂缝图像的数据进行切分与人工标注，建立训练与测试模型所需的数据集，而后采用深度卷积神经网络提取图片特征，最终训练分类网络并对其效果进行试验分析。

隧道裂缝识别算法的流程包括超像素分割、数据集建立、分类网络设计与训练、模型测试与分析。首先对原始图片进行预处理，消除图像中明显的噪声，消除光照不均匀的影响，增强对比度，提高图像质量。由于直接获取的原始图片尺寸过于庞大，为了方便处理，采用超像素分割方式对其进行切分。超像素分割方式可以有效避免裂缝出现在切分图像的边缘。然后构建专用数据集，涵盖不同路段、不同光照和不同的隧道类型，不同背景因素正负样本比例为 2:1。对这些图像进行 SLIC 超像素分割，最终每张图像获得尺寸相近的 100 张左右分割图片，这些构成了数据集的原始图片。

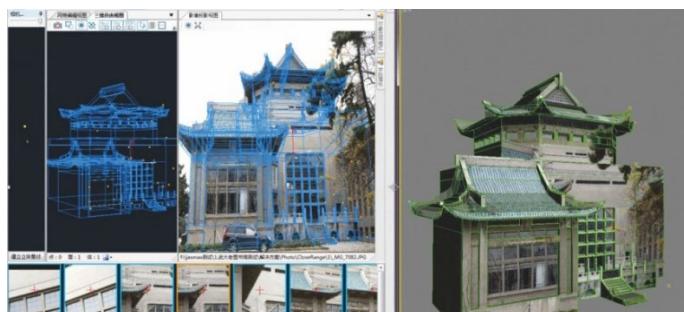


图像识别算法流程

在本项目中，除了事前对图像识别系统进行大数据学习以外，每次计算后结果由用户进行标记点确认的过程也将对图像识别系统进行考核，实现不断的自我学习和升级。

信息化系统通过图片中记录的相机位置和姿态信息进行判断比对目标图片，读取位置信息，快速找到相应图片由专门的系统操作完成。该系统利用倾斜摄影技术中空三计算实现示范段内空间位置定位，并利用 BIM 模型几何形体进行定位参照，将机器人的运行轨迹与世界坐标系进行统一。

用户通过系统不仅可以快速找到过往多期同位置的对比图像，还可以实现将最新采集图片像素化形成几何模型贴图，动态更新三维模型上的贴图信息，从而保证用户通过信息化平台观察的虚拟模型能更真实的反映当前隧洞基础设施的实际状态。



基于位置的图像快速筛选及贴图处理

2.1.3 隧洞本体及支护变形检测

巡检机器人搭载激光扫描装置，可在巡检过程对隧洞内结构及隧洞支护进行实时扫描，从而获取隧洞内部激光点云数据。该设备使用彩色激光原理，隧洞本体形状与激光射线的接

触点与发射点距离为当前被扫描物体尺寸轮廓信息，通过返回的激光点像素 RGB，绘制隧道内部截面彩色成像。



法如手持激光点云扫描仪

通过对比不同批次扫描获取的彩色点云构建的三维空间尺寸信息进行同位置、同坐标点的尺寸数值，从而计算出被扫描位置的变形量。平台记录每次扫描的点云空间数据、实时计算变形点坐标信息、扫描截面彩色点云图像三类数据，通过软件平台进行空间计算和快速标识定位，并将结果数据用于变形预警及可视化预览等应用中。



激光点云三维模型

基于点到点的 C2C 变形分析方法，将不同时相同一坐标系下的点云数据直接求差来提取监测对象的变形量。该方法是通过计算两组点云数据中邻近点的距离来进行变形分析。

基于邻近点的直接 C2C 方法，对于待比较点云的每个点，可以在参考点云里定义一个

邻近点，这个邻近点类似于同名点。表面变化可以近似估计为最邻近点的距离。如图 1 中，在参考点云中为待比较点云中的每一个点找出最近点并计算这两点间的距离。距离的准确度依赖于两期点云的粗糙度和点密度。当局部区域点云密度较小或者存在点云缺失时，为了提高精度，通过对局部区域进行建模来提高监测精度，常用的方法有局部最小二乘平面拟合或者二次高程函数拟合的方法。

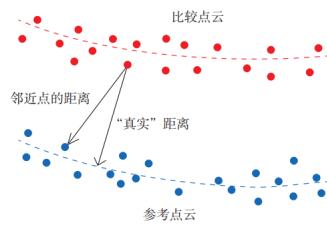


图 1 点云到点云比较 (C2C)

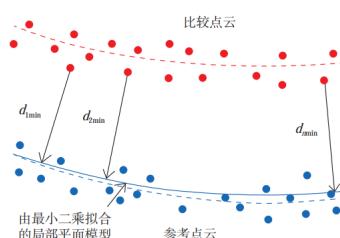


图 2 点云到局部 LSP 模型 (LSP)

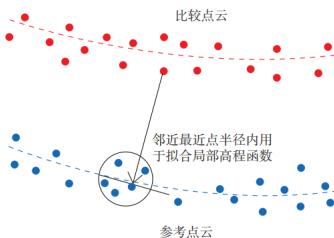


图 3 点云到局部 Quadric 模型 (QUA)

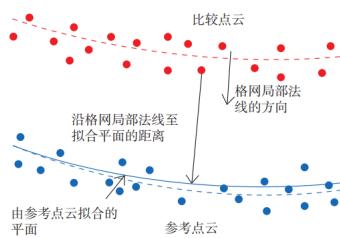
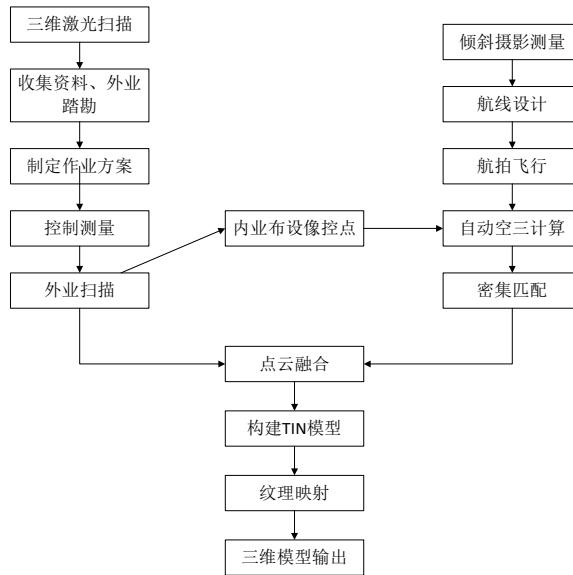


图 4 点云到模型 (C2M)

点云数据对比

2.3 示范段可视化集控平台

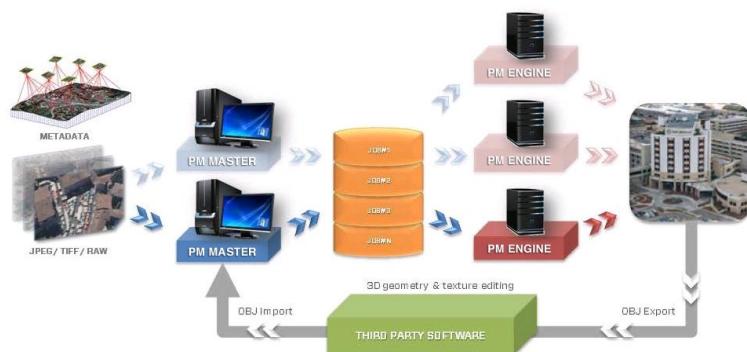
该平台着力打造以用户为中心的主动信息推送、预警、可视化分析的智慧化应用平台，融合 BIM、GIS、IOT 等多维度业务数据，实现综合显示及控制。平台可链接微信、APP、短信、邮件等系统，多渠道打通数据推送通道。



三维模型成果制作流程

2.3.1 地上现状数据采集

地上部分数据采取倾斜摄影扫描来获取实景三维模型，本项目区域采用多旋翼无人机进行航测作业。多旋翼无人机适合低空飞行、多次起降、控制灵活，在建筑物间穿行方便。由于倾斜摄影属于室外作业，对天气状态敏感，光线太强或太暗、恶劣气候现象等均会影响成像质量和建模精度，作业前需要专业人员进行现场勘测并定制作业方案，作业过程尽量在同一时段环境下完成。



倾斜摄影作业流程

数据拍摄完成后，将数据导入运算服务器中进行自动空三计算及坐标图像匹配，生成中间数据模型。利用该模型可对拍摄场景局部进行调整和干预，调整完毕后则可以自动生成三

维模型。通过软件自动运算后可生成倾斜摄影三维模型，该模型具备高度还原的特点，贴图与模型重叠度较高。



倾斜摄影数据成果文件

2.3.2 示范段现状数据采集

针对现有三维实物在没有技术文档的情况下，可快速测得物体的轮廓集合数据，并加以建构，编辑，修改生成通用输出格式的曲面数字化模型。这样一来可以高效地对真实世界进行三维建模和虚拟重现。



点云采集设备



点云模型

本项目将点云模型作为建模、运维文档管理的参照文件，在点云模型的基础上进行模型修改与完善，在最大程度上提高建模速率，保证建模真实度，加强数据精确度。本项目中计划扫描得到的点云模型误差保持在 1mm 以内，导入 Revit 后建立模型的误差在 1cm 内，完全可满足运维需要。

在利用点云进行激光扫描意外，还需要利用高清相机实现现状贴图数据获取，以方便内模型搭建完成后进行贴图回帖，保证可视化三维模型能准确的反映现实场景。

2.3.3 可视化 BIM 模型搭建

- **建模范围：**示范段隧洞及泵站机房等设施。
- **建模专业：**场地与环境、土建结构、管理处泵站及附属设施等。
- **实景照片：**



现状实景图

专业	建模内容
场地与环境	路面道路、周边建筑、绿化带、花坛、路灯等
土建结构	工程结构基础、主体，设备间、通风口、逃生口、爬梯、支柱、集水坑、盖板、护栏、吊钩等；工程周边支撑柱体、河道绿化带、地面构筑物等消息。

附属设施	<p>消防系统：手报、声光报警、超细干粉灭火罐等。</p> <p>通风系统：通风管道、设备、阀门、风道末端等。</p> <p>监控与报警系统：安防线槽、红外摄像头枪机、红外摄像头半球、电子井盖、门禁设备、红外对射、NVR 存储器、门禁控制器、视频服务器等。</p> <p>分控室中心：室内设备（包含网络机柜、UPS 机柜、火灾报警机柜、桌椅、工作站等）。</p> <p>标识系统：标识、各类系统标识。</p>
------	--

2.3.4 全要素可视化数据融合

汇集各种途径获取到的数据信息，对该示范段的数据实现全要素可视化融合，并建立两份档案，一份用于集控平台可视化显示，一份用于虚拟现实平台使用。

最终版本全要素数据与大地世界坐标体系重合，与现实世界成等比例还原。可视化监控平台使用 3DGIS 引擎做基础引擎，数据按细节层次生成多分后存储与服务器中。

2.3.5 可视化集控平台开发实现

该平台主要功能如下列表：

序号	一级功能	二级功能	描述
1	基础交互功能	模型浏览查看	完成三维模型基本的用户交互操作
		视角控制功能	完成对查看视角的增删改查等功能
		数据查询功能	完成对与三维模型关联的数据文件的查看
		用户管理功能	完成用户管理及权限管理功能
		安全管理功能	平台的安全验证
2	硬件交互控制	实时数据查看	实时查询机器人各硬件返回数据及视频
		远程设备操控	实现对巡检机器人的远程控制功能
		设备安全预警	设备损坏即时预警

3	裂纹损伤管理	裂纹损伤识别评价	完成裂纹识别标记及评价相关功能
		裂纹关联查看	同位置不同期裂纹图像关联查看
4	巡检业务系统	任务列表跟踪	代办任务及系统推送提醒
		大数据可视化 BI	统计数据的可视化集中显示
		手机 APP	手机端相关功能

根据巡检业务和本工程目前示范段的核心需求，将整体平台研发时序分为三期建设完成，各阶段完成主要功能描述如下：

- 一期：**完成示范段全景三维模型可视化浏览查看，隧洞裂纹图像识别与标记，关联图片采集数据查看，用户注册及权限管理，项目资料文件夹式查看与管理。
- 二期：**完成平台内标记标注、图像定位、文件关联查看，隧洞裂纹生长识别及预警，隧洞变形检测及预警，巡检任务列表跟踪、大数据可视化 BI、手机 APP 推送等业务功能。
- 三期：**完成自主式隧洞裂纹及变形量评估评价，无人值守智能机器人巡检及远程控制，各功能模块数据互通及关联，标准化三维构件库，巡检系统接口封装，大数据统计分析，虚拟现实场景建设及应用开发等。

2.3.5.1 平台基础功能

通过平台可对上传的 BIM 模型进行浏览和现实，选择 3D 构件可查看该构件的设计参数、图形属性等内容，通过平台关联施工、运维数据后，可在属性面板同步显示所有关联数据，实现属性查看功能。图形引擎具备的模型控制功能有：显示隐藏、高亮模型、移动、旋转、选择、漫游等。显示隐藏实现当前选中模型构件的显示和隐藏操作。高亮、移动、旋转如字面意思实现选中构件中心的操作功能。



模型查看



模型控制

- 视角控制功能

图形引擎具备的视角控制功能有：视角新建、保存、删除、视角切换、快速定位。视角的新建、保存、删除主要实现观察者不同位置观察的功能。视角切换可实现在多个视角状态切换显示的功能。快速定位主要实现在构件选中、搜索选中、功能定位、快速缩放的状态下当前构件快速居中显示在视角中心的功能。



视角定位



视图控制

- 数据查询功能

通过平台可对上传的 BIM 模型进行浏览和现实,选择 3D 构件可查看该构件的设计参数、图形属性等内容,通过平台关联施工、运维数据后,可在属性面板同步显示所有关联数据,实现属性查看功能。

同样可以以搜索的方式实现模糊搜索和精确搜索功能。模糊搜索可根据任意输入内容对平台数据库匹配字段进行搜索和显示的功能。精确搜索可按照指定公式或规则对平台数据库匹配字段进行搜索和显示的功能。



模糊搜索



模型管理

- 用户管理功能

平台设定了项目创建者、项目成员、各方代表等角色，以便项目管理人员对项目管理人员进行添加、删除以及权限设定。

- 加密安全及数据备份

本产品利用 Token 机制实现数据加密，因为本产品使用云架构，数据访问均需要对云端数据库进行安全验证，利用含有用户信息、登陆时间等信息的 Token 可有效的控制访问用户的时长、权限和数据等级，有效的控制项目数据的安全性。云端服务器采用磁盘阵列，数据存储相互备份，有效保证数据安全。

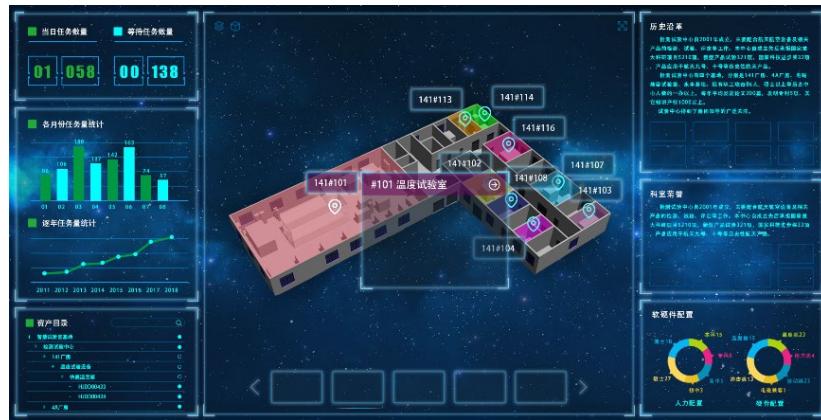
2.3.5.2 可视化大数据分析及动态关联显示

- 巡检机器人监控及控制集成

该组件需要独立的屏幕进行管控，由于巡检机器人的所有监测传感器和摄像探头都由本项目集成，具备一级管理权限，利用该组件可以实现对巡检机器人的全面管控。

利用该组件可实现巡检机器人自带传感器数据的查询、巡检机器人姿态查询、监控摄像头实时数据查询、机器人位置及姿态操控。

该组件还将与三维可视化部分关联，用户在手动查看关键部位时，三维可视化窗口将定位到监测部位，并返回该部位历史拍照记录。



三维可视化交互示意

● 实时动态交互数据集成

该组件主要以列表形式显示与集控中心平台交互的所有消息记录，该组件可以分为人员、事务、预警三个板块进行信息展示。

人员板块主要围绕不同客户端用户获取平台数据、登陆平台时间、离开平台时间、用户语音及文字交互等信息。

事务板块主要围绕操控设备及数据请求记录、权限调整记录、用户发起流程及附件预览、固定巡检事务提醒、事件处理进度等信息。

预警板块主要集中实现对预设阈值事件的预警提醒，在事件被处理之前将长期留在屏幕上，并以闪烁等动态效果提醒用户进行操作。



动态任务列表数据

- 大数据统计及可视化 BI

该组件提供集控中心数据分析并以可视化图表形式显示，数据组织以方便用户深度查询的链式结构关联，用户可从图访问到表，从表访问到当个记录，从记录可以查看到具体附件文档。在首页将以可视化 BI 界面形式对工程运营数据进行统一显示。



BI 首页

2.3.5.3 手持终端数据连接与推送

手持终端的覆盖是实现主动服务的关键因素，将工程所有动态数据实时状态变化推送到相应用户的手持客户端，让用户及时掌握关键信息，以提高突发事件处理及时性。动态数据包含物联网监控传感器的真实值、监控摄像头的实时图片及视频数据、平台推送的固定任务列表及预警推送消息。手持端设备包含手机、平板电脑、智能手表等。

本项目将开发“东江水源智慧巡检系统”APP。该APP可以实现与集控中心数据实时动态交换，在手机端应用场景下重新组织信息瀑布流呈现方式，用户可以使用微信、小程序、APP任意客户端接收推动信息，并可以从推送消息直接进入对应信息查询界面，信息关联方式根据集控中心大数据分析结果进行组织，并且定期更新信息组成类别。

利用APP用户还可以正向实现数据查询，通过菜单交互实现图纸、模型、运营记录、操

作记录、图片、视频、文档等数据的查看。



手机 APP 界面示意

2.4 云端数据中心建设

本项目采用本地服务器的私有云数据中心建设模式，通过搭建本地服务器对本项目的巡检图像、物联网实时数据、巡检业务系统数据进行采集、存储及相关管理。此外图像识别算法程序及数据分析结果也将在本地保存及备份。通过网关将该数据中心与广域网连接，从而发布到各移动端接收设备中。

本项目数据中心与原智能化集成控制系统相对独立，互不干扰。各级别功能使用模块化思想开发实现，最大限度的降低耦合程度，提升各功能模块的健壮性。由于本项目智慧巡检系统为智慧水务的一部分，产品设计过程要充分考虑到与其他业务系统的数据对接，留出关键接口并使用统一标准形成文件。

三、相关技术说明

3.1 高清图像识别

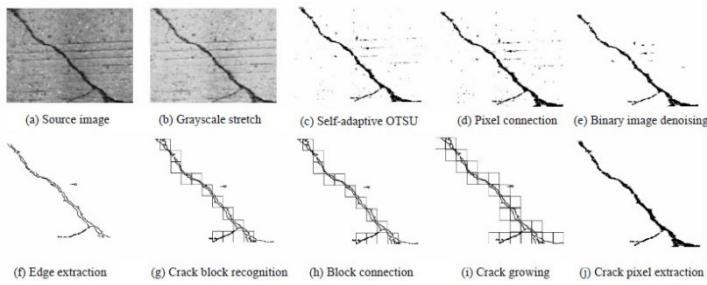
图像识别作为一种非接触式采集手段随着高清相机的不断发展也逐渐成为更行业广泛应用的技术，特别是当人工智能发展的现在，利用图像识别算法快速分析判断，发现目标并关联查询的能力让该技术有了广阔的市场空间。人脸识别、车牌识别、指纹识别、火灾识别等都是图像识别技术的应用案例。



图像识别

图像识别的过程主要分为两大步骤：图像预处理和图像分割。图像预处理是指将原始图像进行一系列的数字图像处理如增强图像亮度、增强对比度、灰度化、去噪等，使图像更加简洁明了，方便提取所需信息。图像分割是指将所需信息通过分割、提取成功从其他不重要的图像结构中分离出来。

岩体裂纹一般分为原生裂纹、构造裂纹和次生裂纹，形成机理也有所不同。岩体裂纹参数一般包括宽度、迹长和倾角。利用高清相机获取裂纹长周期的图像，再对图像的变化进行图像识别，不仅可有效的判断裂纹的变化，还可以还原裂纹变化的过程，对分析影响裂纹的因素有巨大的科研价值。



裂纹图像识别

图像识别的精度取决于原始图像的精度和图像识别算法两个方面。当前普通手机的摄像头都可以具备 2000 万以上像素，单反级别相机超过 1 亿像素，在原始图像精度控制方面已经没有硬件障碍。影响图像识别精度的两个因素同时也影响了图像识别的效率，约高像素的图像处理难度和时间就越大，效率也越低。

3.2 倾斜摄影全自动建模

倾斜摄影技术是利用倾斜拍照所获取的高清图像经过空三计算而自动生成物体三维模型及纹理贴图拟合的技术。该技术不限于拍照设备，无人机、监控视频、手持设备等具备拍摄功能的设备均可以实现原始数据的获取。获取的图像数据经过数据中心进行计算加工，根据图片记录的相机姿态和位置信息，重构出物体各要素轮廓空间位置信息，并将图片进行像素化调整，然后利用建模技术对物体轮廓进行绘制，最终贴图回帖后生成实景三维模型。



无人机倾斜摄影扫描

倾斜摄影模型可高精度还原被拍摄对象的特征，广泛应用于各城市现状基础数据获取领

域，是智慧城市建设的关键一环。目前倾斜摄影根据拍摄载体不同分为城市空间大飞机航测、区域范围多旋翼无人机航测、手持终端拍摄等类别。该技术已逐步取代传统地质人员现场测绘模式，精度覆盖 1: 500、1: 1000、1: 2000 的测绘需求，部分项目相对精度低于 1cm，已完全适用于小空间数据获取。



倾斜摄影实景三维模型

利用全自动建模软件可直接在倾斜影像上进行交互式单体化建模，对任意表面进行推拉、编辑、调整，快速完成模型的构建；自动检索多角度影像，一键式纹理自动映射。该技术不仅可以实现对模型部件的快速定位，还可以将定位点的原始拍摄图像快速关联显示，在本项目图像定位、筛选和图像比对识别过程中起到关键作用。

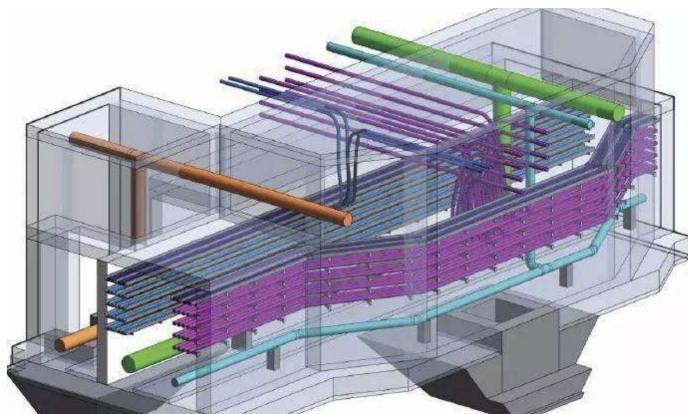
3.3 城市全要素三维可视化

城市全要素是指构成现实世界的地上空间、地下空间、隐蔽空间和虚拟空间的组成要素。地上空间为地面以上可见的城市基础设施、建筑景观等实体，地下空间为地面以下可见的管网、隧道、线缆、轨道、基础设施及配套，隐蔽空间为在工程实体生成过程中被掩埋的不可见的实体，虚拟空间为可动实体运动轨迹可触碰范围。

实现城市全要素的三维可视化需要结合建筑信息模型（BIM）、三维地理信息系统（3DGIS）、实景建模技术（倾斜+点云）等，通过不同空间尺度的表达内容和深度，按细节层

次 (LOD) 调度模型进行可视化显示。

建筑信息模型 (BIM) 是包含工程全生命周期数据的三维可视化模型，该模型通过平台可将工程设计、施工、运营全过程的数据通过模型进行链接，包含图纸、报表、审批、权责、合同、记录等数据信息。BIM 模型本身就是工程的完整数据库，并非单一的可视化三维模型。通过 BIM 模型可可视化的查看隐蔽工程的空间以及快速查询相对位置关系，同时精细化的三维表达也是 VR 以及业务数据操作的数据基础。



BIM 模型

三维地理信息系统 (3DGIS) 是以地理空间尺度下城市空间要素实现三维可视化表达的系统。通过该系统可将城市道路、管网、建筑、景观及构筑物、基础设施等数据实现三维可视化表达。于此同时该三维系统兼具传统二维系统的符号表达功能，可同时实现基于矢量栅格数据的网格化、路径导航、卫星定位等功能。



城市 3DGIS 模型

由于 BIM 与 3DGIS 面向不同的尺度范围，在城市全要素数据整合上，需要针对性的进行技术融合，而不是简单的实现三维模型的位置叠加。整合后的城市信息模型即 CIM 模型，可用于城市数据分析、可视化查看、物联网数据关联等领域。

四、企业简介

华科优建工程信息发展有限公司(Advanced Construction Information Development Limited.)是全球化背景下数字工程科技 (Digital Engineering) 的领跑者，公司凝聚了涵盖行业各领域的海内外尖端人才、权威建筑师和工程师、资深地产开发精英和 IT 研发团队，公司整合了多维度的数字工程技术，致力于将先进的数字信息技术和工程行业无缝融合，为客户提供一站式工程技术解决方案。

华科优建工程信息发展有限公司是国家高新技术企业并通过双软认证，目前拥有香港、深圳、上海、武汉、前海、北京、加拿大等七家分公司，技术服务范围涵盖了规划、建筑、景观设计 (A&U Design)、BIM 服务和开发(Smart BIM)、智慧城市模型信息化应用(Smart CIM) 和教育培训 (Education& Training)。

华科优建工程信息发展有限公司是 Building SMART 中国分部理事单位，科技部装配式建筑专业委员会、中国数字建筑设计专业委员会 (DADA)、香港建筑信息模拟协会(HKIBIIM)联合发起单位，香港公司为香港房屋署及香港建筑署的 BIM 技术管理顾问及培训导师团队，ACID 同时也是中国首批国家 BIM 标准 (《建筑工程设计信息模型交付标准》、《建筑工程设计信息模型分类和编码标准》、《建筑工程设计信息模型出图标准》) 参编单位。