

煤矿探放水智能监测系统的研究与应用

周杰

为解决煤矿水害防治中存在的问题，有效减少煤矿突（透）水事故的发生，为采掘工作提供可靠的地质保障，精英数智科技股份有限公司（以下简称精英数智）深入研究煤矿井下探放水作业场景，研发出煤矿探放水视频监控系统，真正实现了“一钻一孔一视频”，在地面通过视频对打钻现场的钻进、退杆进行实时监督。

精英数智将人工智能赋能煤炭生产，利用人工智能、大数据技术对探放水作业场景进行智能化改造，智能识别钻机运动轨迹、钻孔数量、钻孔位置、钻孔角度、钻孔深度、终孔位置、钻杆钻进速度等钻探数据，通过钻孔测斜技术分析钻孔运动轨迹、终孔位置的水平和垂直偏差，判断钻孔是否满足设计要求。煤矿探放水视频监控系统实现了煤矿防治水过程中物探、钻探设计、计划、执行、验收、分析等环节全流程信息化管理。

煤矿探放水智能监测系统三大关键技术

人工智能计算机视觉技术

精英数智将人工智能赋能煤炭生产，通过对安全生产过程进行智能识别，实现自动化、高精度、无人值守过程的分析和管理工作。人工智能现场识别场景如图1所示。相比较于传统视觉技术，人工智能赋能计算机视觉技术，使其初步具备了类似人类对图像特征分级识别的视觉感知与认知机理，具有速度快、精度高、准确性高等优点。从人工智能发展历程来看，深度学习技术推动了本轮人工智能的发展，本质上是多层次的人工神经网络算法，即

结构上模拟人脑的运行机制，从最基本的单元上模拟了人类大脑的运行机制。

云-边-端技术

目前的智能识别系统常见的中心计算架构问题日趋严重，主要是网络传输带宽、及时性问题得不到有效解决。边缘计算的出现有效缓解了上述问题。云计算聚焦非实时、长周期数据以及业务决策场景，而边缘计算在实时性、短周期数据以及本地决策等场景方面发挥着不可替代的作用。这使得云端结合成为未来新趋势，一些需要集中式处理的计算继续由大型云计算中心完成（如大数据挖掘、大规模学习），大量实时且需要交互的计算和分析在边缘节点完成。此外，边缘计算也是云端所需高价值数据的采集终端，可以更好地支撑云端应用的大数据分析，而云端通过大数据分析得出的一些业务规则也可以下发至边缘端，优化边缘端的业务决策。云计算与边缘计算分工协作，可满足智能时代爆发式的计算需求。云-边-端技术架构如图2所示。

煤矿探放水视频监控系统采用云-边-端一体架构设计。依据《国家煤矿安监局信息化总体架构》要求，采用边缘计算模式实现智能识别机制下沉，形成高度数字化、自动化、感知化的智能物联网。云-边-端架构解决了集中式云计算架构以下3个主要问题。

（1）给到云端的数据都是边缘智能产品过滤之后的图片、结构化信息，相较于原始视频，带宽压力大幅降低。



图1 人工智能现场识别场景
图2 云-边-端技术架构



(2) 汇聚到云端的数据量少，云端计算和存储性能需求可大幅降低。IDC 数据统计显示，云计算和边缘计算结合，成本仅占单独使用云计算的39%。

(3) 由于边缘计算距离用户更近，在边缘智能产品处实现了对数据的过滤和分析，海量的设备数据无需上传云端后再反馈至终端执行，边缘智能产品可以实时分析并给出结果，本地业务快速响应。

钻孔测斜技术

高精度钻孔轨迹测量是钻孔轨迹准确控制的前提，在钻孔轨迹测量方面，目前主要存在煤矿钻孔空间狭小、通信传输方式受限、钻柱振动、电磁

干扰和变化的温度场给轨迹测量带来的干扰等应用问题。此外，存在存储点数少、实时性较差、无法全姿态测量、精度低、人机界面功能少以及操作步骤繁琐等技术问题。针对目前钻孔轨迹测量面临的诸多问题，随着微惯性传感技术的发展，钻孔测斜技术可以很好地满足工况对钻进姿态测量系统小型化、低成本、低功耗、高精度和空间全姿态测量的要求。

目前被广泛应用的钻孔轨迹测斜技术主要有3种：①全方位钻孔测斜技术，只适用于已成孔的轨迹测量；②随钻轨迹测量技术，可以对正在进行钻探的孔实现边打边测量，钻杆退出之后即可看到钻孔轨迹；③无线随钻测斜技术，相比较于前2种技

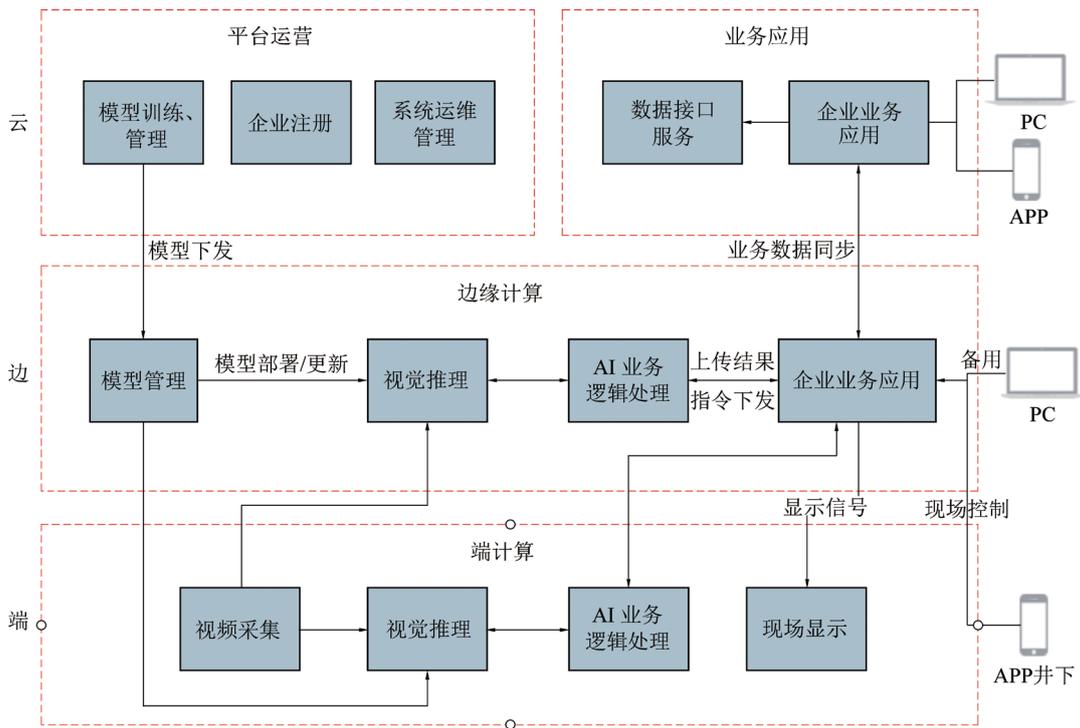


图3 “煤矿大脑” 技术平台

术更为先进，在边打钻边测量的同时还可以实现实时数据传输。

治水工作提供了技术保障。

煤矿探放水智能监测系统四大功能

探放水作业全流程信息化管理

自20世纪80年代开始实施探放水工作以来，提交并保存停止掘进单、探水通知单、钻探工程验收表、安全确认移交表、允许掘进通知单是探放水作业不断摸索出来的管理方式，表单里展现出的专业数据是行业数字化场景创新的核心驱动，要研发出科学实用的探放水管理系统必须深入了解探放水工作场景，熟悉掌握各个数据含义。通过现场不断验证完善，以及防治水行业专家的精心指导，精英数智研发出一套适用于所有煤矿的探放水作业流程，实现了探水设计、探水计划、探水作业、探水验收、探水分析、探水台账、探水报表全流程的信息化管理。该探放水作业流程与“预测预报、探掘分离、有掘必探、先探后掘、先治后采”的基本原则相互对应，确保防治水措施真正落实，为煤矿防

基于“煤矿大脑” 技术平台的生命周期管理

“煤矿大脑” 技术平台是由精英数智与华为技术有限公司、煤炭科学技术研究院有限公司通过先进的云-边-端架构，共同打造煤矿安全态势感知与信息共享体系化协同的大脑，在煤矿探放水智能监测系统中，“煤矿大脑” 技术平台提供了坚实的技术基础（图3）。

“煤矿大脑” 云平台为边端的探水AI模型提供了完整生命周期管理，在云平台完成模型的增量学习，提供AI模型发布、更新、下发、推送等服务，形成完整闭环。为“煤矿大脑” 边平台和智能终端设备提供生命周期管理、运维监控、数据接入、在线升级等服务。

“煤矿大脑” 边平台对视频终端采集设备资源进行统一管理，用户通过可视化平台可以便捷地将云端下发的AI模型与边侧视频资源进行配置绑定，并将模型下发至端侧并基于实时视频进行识别。通过安全可靠的边云数据通道，将增量视频数

据同步到云端，为云端AI模型提供增量学习数据基础。

“煤矿大脑”端平台提供智能硬件终端的统一调度、统一管理、统一运维；提供可视化运维、配置、运行状态监测、日志跟踪服务；为“煤矿大脑”的AI模型提供安全、可控、可靠的执行环境。

基于机器视觉的探水作业场景智能识别

人工智能研究的目的是探寻智能本质，研制出具有类似人类智力的智能机器和系统。计算机视觉的目的是建立能够从图像或者多维数据中获取信息的人工智能系统。人脑智力得益于人的知觉系统获取大量信息，而知觉80%来自于视觉，计算机视觉是人工智能的主要研究领域，计算机视觉是用机器代替人眼来对图像进行测量和判断，主要应用领域有人脸识别、产品质量检测、人体步态分析、行为动作分析、影像诊断、人群分析、车流分析等。

煤矿已有大量工业视频信息，工业视频往往仅起到监视作用，并未深入地分析研究，而探放水作业是煤矿安全生产的前提条件，探放水工程质量直接影响采掘作业能否顺利进行。煤矿探放水智能监测系统采用人工智能机器视觉技术对探水作业场景进行实时识别，图像标注是计算机视觉的1个子集，也是计算机视觉的重要任务之一。图像标注就是将标签附加到图像上的过程，图像标注的输出物就是人工智能识别模型，人工智能识别模型需要大量的探水视频进行学习训练，客户使用探水系统的频率越多，模型对现场环境越熟悉，识别偏差就越小。现场应用中通过对实时视频数据进行解析、编解码、识别、分析、直播、存储，实现钻孔数据与视频信息关联，最终达到对探放水作业过程的钻孔数量、钻孔位置、钻孔角度、钻孔深度、终孔位置、钻杆钻进速度等钻孔数据的智能感知和分析；保证钻孔数量、钻孔深度、钻孔角度严格按照设计施工，杜绝施工人员不探、假探，以及少探多报等行为，避免了煤矿因钻探不到位而造成的突（透）水事故。

钻孔轨迹实时测量

探放水作为煤矿水害防治、地质勘探的一种手段，能够准确地探测到采空积水区、物探异常区域是探放水作业的主要目的，为了更好地保证打钻的准确性，减少作业过程中钻孔实际轨迹与设计轨迹的偏差并明确终孔的位置，钻孔轨迹测量仪的应用显得尤为重要。

煤矿探放水智能监测系统中应用随钻钻孔轨迹测量技术，随钻钻孔轨迹测量仪器主要是由煤矿水害防治工业移动应用APP、探管、无磁钻杆3部分组成，通过对APP和仪器进行连接，来实现两者之间实际的同步和数据的传输。通过无磁钻杆和普通钻杆的连接，可以实现边打钻边测量。

在打钻开始前探放水作业人员通过煤矿水害防治工业移动应用APP进行仪器自检，自检合格后启动设备，将相应的设备装在钻头后面，钻探过程中设备就会对轨迹进行实时测量记录，钻探完成后退出钻杆就可以对测量数据进行提取，并将数据实时传输到地面服务器，生成的三维GIS图可真实地展现钻孔轨迹、水平、垂直与终孔的偏差（图4）。这种技术在钻探作业中不会影响钻进速度，且有助于提高工作效率，保证钻探工程质量。测量数据显示，实际钻孔轨迹与设计钻孔轨迹会存在偏离，偏离的大小会受到探测距离和地质构造等因素的影响，如果没有对钻孔进行测量，则出现偏差是人为无法预知的。

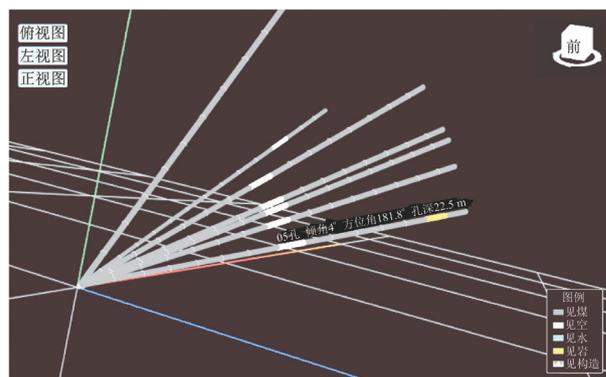


图4 钻孔轨迹实时测量



图5 定制化移动应用APP

探放水管理定制化移动应用 APP

由于煤矿探放水智能监测系统采用当前最先进云-边-端技术架构，在边缘端实现了对数据的过滤和分析，云和边实时数据同步，用户可随时随地通过手机APP（图5）访问系统，快速便捷地查看煤矿实时探水作业情况及探水台帐信息，在手机端完成各项业务审批操作并实现地面移动验收，可高效满足移动应用，针对异常情况可发出报警推送提醒。“煤矿大脑——人工智能煤矿探放水管理APP应用解决方案”2020年荣获工信部2019年工业互联网APP优秀解决方案。

子化管理真实地应用到煤矿探放水作业中，该系统满足煤矿生产需求且性能稳定，目前该系统已在晋中、长治、吕梁、晋城、晋能集团、山西焦煤等矿井成功应用，保障了矿井安全生产，社会效益显著。

精英数智自主研发的煤矿探放水智能监测系统在煤矿防治水管理服务方面虽已取得初步成效，但仍有很大的完善和提升空间，公司将根据该系统在使用过程中发现的问题和不断出现的煤矿防治水管理技术重点和难点进行逐步升级优化，提供更加精准的服务，加快智能矿山的转型升级，做煤矿安全生产的贴身卫士。

■ 责任编辑：李金松

实践应用

煤矿探放水智能监测系统于2019年在山西长治王庄煤业进行了工业性试验，针对井下探放水作业场景，人工智能识别效果良好，探放水全流程电

作者简介：

周杰，现任精英数智科技股份有限公司智能矿山BU产品经理，主要从事矿井地质及矿井防治水方面的研究工作。E-mail: zhoujie@jylind.com

作者单位：精英数智科技股份有限公司