科学技术与教育 2026年第10期
ISSN: 3079-4455

金属矿山井下智能视频监控系统研究

宋楠*
北京北矿智能科技有限公司，北京，中国
*通讯作者

【摘要】我国现在正把金属矿山的开采重点放到较深的地层上，所遇井下作业条件比以前更差，若要使矿山运行安全，对视频监控的各项要求就应有所增长，传统人眼监控已不能完全胜任。本文针对金属矿山井下情况提出智能视频监控思路及相应系统设计，把井下图像因低照度而退化的现象予以解决，将人员、机器与环境三者不安全状况都纳入智能识别范围，分析结果证明所提系统有助于矿山本质安全的实现，有利于资源节约，是金属矿山走向绿色、高效、智能的良好技术方案。

【关键词】智能矿山；智能视频监控；机器视觉；综合资源利用
【基金项目】矿冶科技集团有限公司科研基金项目（项目编号：02-2602，垂类大模型驱动的矿冶过程智能优化制造技术）

1.引言

矿产资源是国民经济发展的重要物质基础。我国金属矿山经过多年的高强度开采，浅部资源已逐渐枯竭，矿山开采全面向深部迈进。深部开采面临着高地应力、高地温、高岩溶水压等更加恶劣的自然条件，井下作业空间狭小、光线昏暗、环境极为复杂。在这样的背景下，保障井下作业人员生命安全、提高设备运转效率、最大限度地提取和利用矿产资源，成为金属矿山企业亟待解决的核心问题。

我国金属矿山逐渐迈向深部资源开采，面临着高地应力、高低温、巷道狭窄等恶劣的井下作业环境，井下对人员、设备、环境安全的管控需求日益增加。随着科技发展的进步，人工智能、大模型、机器人等先进技术正在全面的渗透到各行各业，而矿山的高速发展离不开先进技术的融入。视频监控是智能矿山建设对于安全管控的一种强有力手段，当前通过人工肉眼在调度室内进行视频的监管，

焦家金矿的邱俊刚团队[1]针对视频监控维护成本高等问题，提出针对性技术方案，采用新型OFDM技术破解作业迎头监控线路维修难题，开展有轨、无轨作业车辆装载视频实时分析，构建矿山风险智能预警系统。应用效果表明，新型OFDM技术显著降低监控线路运维成本与难度；无轨车辆智能风险预警模块有效减少安全事故发生率及设备维修费用；矿山风险智能预警系统实现井下安全的快速高效管控。

邵智强[2]从煤矿视频监控系统实际运用中所遇的困难出发，把现有煤矿视频监控系统的缺陷同其改造需要结合起来，给出煤矿视频监控系统智能化改造的思路，对按此思路进行的升级改造及其效果作一定分析。

金属矿山所涉的安全生产对于高效利用资源来说是必要的。若出现事故，人员及设备都可能遭损害，而工作面本身也易停用、矿体被压住或丢弃，结果必然是资源的很大浪费。就目前采矿状况而言，缺少周密监管的放矿方法往往使高品位矿石和废石混杂、或有好矿未被及时采出，这明显妨碍了有关矿产的充分利用与合理开发。所以应把信息化、智能化引入井下作业，以较细的方式对生产各环节加以控制和调节。

传统的井下视频监控[3]只是覆盖了井下作业区域，依然需要调度室值班人员进行肉眼轮巡盯盘。面对井下众多线路的视频显示，人工轮巡时极易产生疲劳，并且事故只能是事后预防，无法进行提前预警，且往往只能在事故发生后进行录像溯源。随着大模型、边缘计算等先进技术的快速发展，人工智能赋能视频监控的智能化也进一步升级。因此，本文提出并设计了一套适用于金属矿山井下的智能视频监控系统，旨在推动矿山管理由“人防”向“技防”转变，在筑牢安全防线的同时，深度赋能矿产资源的高效、综合利用。

2.智能视频监控系统总体架构

针对金属矿山井下环境恶劣、网络传输等实际情况，本系统采用“云边端协同”[3]的分布式架构设计，包含感知层、传输层、边缘计算层和云端平台层四个层级，如图1所示，以保障视频流的高效处理与系统的高可用性。

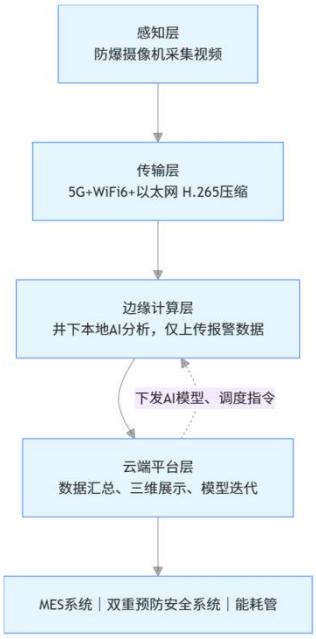


图1.智能视频监控系统总体架构

2.1 感知层

所称的感知层即用于数据采集，要按井下各主要区域的巷道情况配置工业用防爆式高清摄像机一类的传感器，考虑到井下多为弱光环境而对部分点位做红外双光谱摄像机设计，所用摄像机可以同时得到高清晰视频、进行基本的视频编码及多播信息处理，由此达到对原始数据及时、可靠地传送的目的（即源头信号不缺、不乱、不断）。

2.2 传输层

传输层所要完成的任务是把大量来自井下的监控视频送回控制中心，要特别注意利用安全、低延时的方式来传输，系统依矿井既有的万兆级以太网环状结构而建，用5G或WiFi6做混合设计，使有线和无线结合得更紧密。有关视频的数据按H.265方法加以优化压缩，和旧式H.264相比，在相同图像质量下所占带宽大致只有其一半。对于网络设备本身也规定了服务质量准则，即遇到流量高峰时不干扰智能告警或主要区域的视频对带宽的使用优先权。

2.3 边缘计算层

边缘计算层的任务就是把井下所见的视频作即时处理，是解决网络瓶颈、实现实时响应的基本环节。如果把井下所有的高清视频都上传到地面云端加以统一的智能分析，主干网络就要承受很大负担，而且延迟不能保证毫秒级的精度。针对这种情况，应以防爆方式在井下各主要中段配置边缘计算节点。所用的边缘芯片属于轻量型AI构造，可以对附近视频做即地解码及当前状态的智能判断。报警类信息或必要截图、经过压缩的视频部分才被传往云上，因而网络负载大为减轻。

2.4 云端平台层

所称的云端平台即以地面调度指挥中心为依托，对全矿井各类视频作集中处理和深度利用。它本身包含有关设备、视频流、录像、AI模型（训练或下发）、三维GIS的各项基本功能或应用模块。平台所用数据接口是统一标准的，可对接目前矿山已有的一些运行系统（如生产、安全、能耗类）而无须改造，能按业务需要把相关数据串联起来，形成完整、自动的管理闭环。

3.核心智能算法与模型构建

金属矿山井下的恶劣环境对机器视觉算法提出了严苛挑战。本系统在算法层面进行了针对性的优化与创新，以保障智能识别的准确率与鲁棒性。

3.1 井下低照度与多尘环境图像增强

井下所用巷道本来照明不足，又因凿岩或运输一类的工作而有较多粉尘，摄像设备所见的图像一般不能很好地表现对比、细节或颜色（即有失真现象）。若不作处理就将视频送入AI模型，所得到的漏报、误报比例都可能很大。

所讨论的系统在预处理时已经运用了有关深度学习的图像增强方法。从光照的角度出发，以改进的Zero-DCE网络作为工具，用不依赖配对参照物的方式对图像做自适应分析，把原本偏暗的部分加以提亮、对强光部分作过曝抑制，使整体照明更合理。又就粉尘所造成的画面“雾化”来考虑问题，把暗通道先验及透射率思想用于视频分析，按实际物理规律即时去除尘雾干扰，把原景的客观状态尽可能恢复清楚，由此为所要检测的对象提供可靠的基础信息。

3.2 人员行为与环境异常目标检测

所用的系统核心推理部分是以最新形式的YOLO目标检测方法为基础的，同时又将注意力机制纳入考虑，用以改善对小目标及重叠目标的表征状况。系统就下列情形作了

专用模型的训练：

(1)有关劳动防护用品的检测是实时性的：对到生产区工作的人员所戴的安全帽或反光背心一类的劳保品作检查。当有未按规定穿戴的情形时，由系统拍照记录，同时用井下声光报警发出语音提示信息。

(1)有关电子围栏和危险区域入侵的说明[4,5]：将盲天井、溜井口、高压变电所以及现时做爆破工作的地区划为虚拟的电子围栏区域。对所发现的人员或不合法车辆进入禁区要马上处理（即停用有关设备），同时把红色最高警报传达到调度室相应岗位。

(1)有关运输皮带及大设备运行的监控方法：以井下主用皮带[6]为例，文中所提模型可以对皮带跑偏或表面破损、大块物料卡住、托辊有烟等情况做即时判断，不把传感器的物理接触当作唯一手段，而是用非接触法来完成对多种状况的、整体性的设备分析。

4.智能监控的深度应用

将智能视频监控单纯视为一种安全保卫工具，是对其价值的低估[7,8]。在本文的研究范畴中，该系统被深度融入金属矿山的采矿工艺与能源管理中，成为促进资源综合利用的关键技术支撑。

4.1 智能放矿监控与降低损失贫化率

放矿作业本身是根据所用采矿方法来确定矿石回收率及品位的要点。按传统方式操作时，工人对放矿时机的判断多凭经验，若太早停放就会使高品位部分流失，而放矿太多又易把大量围岩带入，引起矿石贫化。出现贫化的矿石在后续处理中要消耗较多的运输、提升资源，而且对选矿的浮选过程是妨碍，所得到的精矿回收率也较低。

文中所提系统以溜井及出矿进路为对象安装防爆摄像机，运用机器视觉方法对实际出矿情况作实时的粒度、品位分析。所用的图像分割模型是经过训练的，可以随时指出放矿口处的矿石块度构成，又可根据矿石或废石的表面细节（颜色、纹理）大致估计废石比例。若废石混入已达到所定的临界值，系统即告诫操作者应中止放矿。按此思路进行的智能化出矿控制有利于限制矿石的贫化、损失，对金属类非再生资源形成较完整的保护，因而能明显地增大资源利用的经济效益。

4.2 废石不出井与充填工艺协同监控

现在所称的现代绿色矿山要实行“废石不出井”的原则，即把井下开掘得到的废石就地用于采空区的充填，借以节省能源、避免地表污染。智能视频监控可对井下废石运输（分流）全过程做完整追踪，因而能清楚地给出废石所经路线及充填数量的信息。对于实际充填区域来说，摄像机所见的液面、浓度、管路状况都是质量控制的要点，不能有疏漏。优良充填所达到的地压缓解效果有助于防止塌陷，又利于邻近矿柱被安全利用，客观上使矿区整体资源回采的效率有较大提升。

4.3 视联动能耗优化与节能减排

金属矿山所用的通风和照明都属于井下耗能较多的项目[9,10]。从节能角度出发，文中所述系统已把视频监控同环控的底层协议加以整合。所采用的AI方法对人员、车辆的轨迹作实时分析，因而知悉巷道或作业区的占用状态。按此逻辑设计“人车到，灯明风足；人车去，灯暗风微”的供能方式。将视觉信息引入控制流程所形成的按需通风、按需照明，每年即可使大中型金属矿山少用上百万度的电能，是矿山行业落实节能、达到绿色资源利用目的的可行而有效的手段。

5.结论与展望

所讨论的内容是有关金属矿山安全、资源使用两项现实需要的课题，文中已提出并分析一种以云边协同为思路的井下视频监控方案。所提系统把井下各种不利条件对视觉的妨碍予以消解，能迅速（毫秒级）指出人或设备的异常状态，因而可以彻底更新目前矿山中对安全作事后处理的习惯做法。

同时，文中所论的智能视频监控技术被当作对采矿作法加以改进、减少矿石损失及实现节能降耗的很有希望的方案。如能将它用于放矿或充填的实际操作，有关成果就可清楚地表现为资源利用的生产力。

从现在起看将来，若多模态大模型所代表的技术能较完整地进入各垂直工业领域，井下智能视频监控就可有较高级别的场景认知及逻辑分析。所用系统不必只做简单对象识别，而应能掌握有关采矿的详细规范，使整个生产流程得到高度自动化的配合与协调。由此出发，我国金属矿山正被引导至一个以全面感知、即时通信、自主判断、资源最优利用为特征的无人化智能时代。

参考文献

[1] 邱俊刚，陈学辉，邱心怡等.某黄金矿山

井下移动视频与智能分析综合技术研究[J].现代矿业，2026，42（01）.
[2] 邵智强.矿用视频监控系统智能化改造及应用分析[J].矿业装备，2026（04）.
[3] 吴昊天.地下金属矿山智能视频监控系统研究[J].现代矿业，2025，41（09）.
[4] 孙宇.煤矿井下应急救援定位及视频监测系统研究与应用[J].现代矿业，2026，42（06）
[5] 陈生凯，明平田，申明.青海某金矿安全监管视频 AI 智能系统建设[J].黄金，2025，46（01）.
[6] 朱明鎏，煤矿基于 AI 智能视频的带式输送机监测保护系统[J].中国储运，2024（09）.
[7] 王国昌，潘冰冰，李琦.基于视频分析的露天矿生产安全监测系统[J].煤炭技术，2023，42（11）.
[8] 肖辉勇，基于矿山工控系统安全分析及集中监视实现[J].工业控制计算机，2022，35（11）.
[9] 付启刚，安全视频监控智能分析系统在矿山领域的应用[J].今日制造与升级.2022（04）.
[10] 王伟，杨声声.露天矿山智能视频监控系统的应用[J].世界有色金属.2021（21）.