

文章编号: 1671-251X(2025)05-0155-08

DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.18245

煤矿工业视频监控系统通用技术条件标准研究制定

常琳, 李宗伟

(安标国家矿用产品安全标志中心有限公司, 北京 100013)

摘要: 为提升煤矿工业视频监控系统在现代化矿井复杂应用场景下的环境适应性、智能分析可靠性, 除图像监视功能外, 系统应增加: ① 视频图像质量自诊断机制, 对视频图像质量和云台镜头远程控制的有效性进行自动检测和诊断。② 多层次智能视频分析(IVA)体系, 包括目标检测、目标识别、行为识别、事件检测等。③ 可配置 IVA 框架, 支持根据需求选择和配置 IVA 功能。④ 结构化视频描述与索引, 支持对 IVA 结果进行自动描述, 以及基于 IVA 结果等信息建立索引。⑤ 跨系统报警联动, 具备报警联动数据交互接口, 发送 IVA 结果等信息至其他设备或系统。系统主要 IVA 功能应通过最大误差、误报率、漏报率、IVA 延迟等指标进行量化, 其中最大误报率不高于 5%, 漏报率不高于 10%, IVA 延迟不大于 2 s。设计多场景模拟试验综合验证系统性能, 主要包括: ① 采用视频质量干扰模拟与主观评价机制验证视频图像质量自诊断功能和系统图像质量。② 构建测试视频导入、测试视频翻拍、场景模拟三重测试体系评估 IVA 功能。③ 采用总带宽占用量计算或最大数量视频信号接入测试方式验证系统最大容量。

关键词: 煤矿工业视频监控; 智能视频分析; 视频图像质量自诊断; 结构化视频描述; 报警联动
中图分类号: TD655 文献标志码: A

Research and development of general technical specifications for video surveillance systems in the coal mining industry

CHANG Lin, LI Zongwei

(China Mining Products Safety Approval and Certification Center Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: To enhance the environmental adaptability and reliability of intelligent analysis of video surveillance systems in the coal mining industry under complex modern mine scenarios, in addition to image monitoring functions, the system should include: ① a video image quality self-diagnosis mechanism that automatically detects and diagnoses the quality of video images and the effectiveness of remote control of the PTZ lens. ② a multi-level Intelligent Video Analysis (IVA) system, including target detection, target recognition, behavior recognition, and event detection. ③ a configurable IVA framework that supports selecting and configuring IVA functions according to needs. ④ structured video description and indexing, supporting automatic description of IVA results and the establishment of indexes based on IVA results and related information. ⑤ cross-system alarm linkage, equipped with data interaction interfaces for alarm linkage, sending IVA results and other information to other devices or systems. The main IVA functions of the system should be quantitatively evaluated by indicators such as maximum error, false alarm rate, missed detection rate, and IVA latency, with the maximum false alarm rate not exceeding 5%, missed detection rate not exceeding 10%, and IVA latency not exceeding 2 seconds. Design multi-scenario simulation tests to comprehensively verify system performance,

收稿日期: 2025-04-29; 修回日期: 2025-05-28; 责任编辑: 盛男。

基金项目: 国家矿山安全监察局矿山安全生产科研攻关项目(矿安〔2023〕19号); 中国煤炭科工集团有限公司科技创新创业资金专项项目(2022-2-QN006)。

作者简介: 常琳(1982—), 男, 安徽安庆人, 研究员, 硕士, 从事矿用设备安全准入及信息与智能化研究工作, E-mail: 13230420@qq.com。通信作者: 李宗伟(1987—), 男, 河北迁安人, 副研究员, 硕士, 从事矿山目标定位、安全监控等技术研究与安全管理工作, E-mail: 715333101@qq.com。

引用格式: 常琳, 李宗伟. 煤矿工业视频监控系统通用技术条件标准研究制定[J]. 工矿自动化, 2025, 51(5): 155-162.

CHANG Lin, LI Zongwei. Research and development of general technical specifications for video surveillance systems in the coal mining industry[J]. Journal of Mine Automation, 2025, 51(5): 155-162.



扫码移动阅读

mainly including: ① verification of video image quality self-diagnosis function and system image quality through video quality interference simulation and subjective evaluation mechanisms. ② evaluation of IVA functions by establishing a triple test system including test video import, test video re-shooting, and scenario simulation. ③ verification of system maximum capacity by total bandwidth occupancy calculation or maximum number of video signal access tests.

Key words: coal mining industry video surveillance; intelligent video analysis; video image quality self-diagnosis; structured video description; alarm linkage

0 引言

智能化是安全高效现代化矿井的必然选择^[1],也是煤炭高质量发展核心技术支撑^[2]。随着我国煤矿智能化建设深入推进,煤矿工业视频监控系统(以下简称系统)作为保障煤矿安全生产的重要技术手段,正逐步从传统的图像采集向高环境适应性和智能化方向转型^[3]。煤矿井下环境复杂多变,具有高粉尘、低照度等特点,对环境适应性及智能视频分析(Intelligent Video Analytics, IVA)^[4]能力提出了严峻挑战。近年来,基于人工智能等技术的视频监控系统在工业领域得到广泛应用,其功能主要包括目标检测、目标识别、行为识别、事件检测等智能化应用,为煤矿安全管理提供了重要技术参考。

系统需与煤矿安全生产实际需求相结合,对相关系统和设备的运行工况、周边环境、人员操作、事故隐患等进行实时监测,快速识别异常情况并及时报警,还需与其他安全监测系统(如瓦斯监控系统^[8]、人员定位系统^[9]等)实现联动,以提升煤矿安全管理的效率和决策能力。在此背景下,系统的标准化研究显得尤为重要,标准化不仅能够规范系统的设计、安装及运维流程,还能确保系统在不同矿井环境中的适应性和稳定性,同时为系统之间的互联互通提供技术依据。2022年,国家矿山安全监察局综合司下达了“煤矿工业视频监控系统通用技术条件”煤炭行业标准研究制定项目(项目编号 2022-MT-02)。标准起草工作组通过多种途径广泛收集与系统有关的技术资料,全面掌握现有系统有关应用和技术情况,确定了系统的组成、功能和指标要求、试验方法等内容,形成了《煤矿工业视频监控系统通用技术条件》(征求意见稿)。本文将《煤矿工业视频监控系统通用技术条件》(征求意见稿)与现行标准 MT/T 1112—2011《煤矿图像监视系统通用技术条件》^[10]进行对比,对重要变化内容进行整理。

1 系统组成和分类

1.1 系统组成

系统一般由前端部分、传输部分、监控中心及其他部分组成,可以是多个设备组成的整体架构,也可

以是不同组成单元构成的单个物理装置。系统组成可根据具体应用场景进行灵活配置,一般包括但不限于以下的组成设备或单元:①前端部分。负责视频采集、环境感知和初步处理,通常包括摄像机、边缘 IVA 服务器、云台、解码器、防护罩、报警设备、补光设备和其他辅助传感设备。②传输部分。负责视频及相关数据传输,通常包括 IP 网络设备(如交换机、路由器、防火墙)、工业互联网设备(如工业以太网交换机)、无线传输设备(如 WiFi 接入点、5G 基站)、传输介质(如光纤、电缆、同轴电缆)、其他通信保障设备(如信号放大器、抗干扰设备)。③监控中心。负责视频数据的存储、处理、管理和展示,可部署于地面或井下,通常包括存储设备、视频管理服务器、IVA 处理器或服务器(如具备 IVA 功能的设备处理器、地面 IVA 服务器、视频图像拼接处理器、数据备份一体机和云端 IVA 服务器)、显示设备等。④其他部分。用于实现功能扩展或与其他系统集成,如云平台(用于数据的云端存储、分析和管理)、上级具备权限的终端设备(如远程监控终端、移动监控终端等)、系统集成接口设备(如用于与煤矿安全监控、人员定位等系统交互的接口模块)、网络实体(如通过互联网与地面监控中心进行信息交互的所有设备和节点)。

1.2 系统分类

系统按监控范围可分为单一场景系统和多场景系统。单一场景系统应用于井下某一独立场景(如钻场、胶带运输等),主要用于对单个物理区域或特定功能场景进行实时监控,其监控中心的位置可根据实际需求设置于地面或井下,拓扑方式如图 1 所示。多场景系统可覆盖多个物理区域或功能场景(如煤矿地面工业广场、大型机电设备及操作间、大门、库房、井下主要机电设备硐室、重要作业场所生产运输设备等),监控中心一般位于地面,拓扑方式如图 2 所示。

系统可独立部署,用于场景视频监控,也可作为子系统部署于其他主系统或装置内,用于增强可视化和智能分析能力。系统作为其他主系统或装置子系统的拓扑方式如图 3 所示,其中监控中心可与主系统或装置控制单元作为一体。



图1 单一场景系统拓扑方式

Fig. 1 Topology of a single scene system

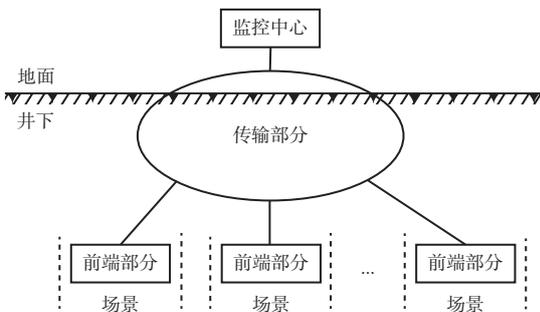


图2 多场景系统拓扑方式

Fig. 2 Topology of multiple scene systems



图3 系统作为其他主系统或装置子系统的拓扑方式

Fig. 3 Topology of a system functioning as a subsystem within a main system or device

2 一般要求

系统应满足煤矿生产系统智能化要求。系统视频压缩应采用 H.264^[11], H.265^[12], MJPEG^[13], SVAC^[14] 等通用视频编码标准。接入公网的系统视频信息及信令信息安全保护宜符合 GB 35114—2017《公共安全视频监控联网信息安全技术要求》^[15] 相关要求。监控中心应能够使用标准协议对接摄像机和上级平台(需要时), 实现监控现场视频图像接入和上级平台随时预览查看视频图像, 标准协议应采用 GB/T 28181—2022《公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求》^[16]、ONVIF^[17] 等通用标准协议。

3 主要功能

3.1 视频图像质量自诊断机制

系统应能对视频图像质量、云台和镜头远程控制有效性进行自动检测和诊断。应具备视频图像质量诊断事件报警功能, 支持按监控点位通道统计和查看视频图像质量诊断结果。应支持视频图像模糊、视频遮挡、信号丢失、视频抖动、视频丢帧、视频图像偏色、过暗、过亮、场景变换、对比度、条纹干扰、噪声干扰、黑白视频图像等视频图像质量自

诊断功能。

3.2 多层次 IVA 体系

根据监控目标类型和特点, 系统应(或宜)具备多层次的目标检测、目标识别、行为识别或事件检测等 IVA 功能。

目标检测是指对画面中目标位置和范围进行确定的过程, 用于确定目标存在与否、位置和数量等信息, 主要包括以下功能: 掘进工作面、采煤工作面、主运输系统相关巷道和煤仓内人员计数, 钻场钻杆动态计数, 采煤工作面刮板输送机大块煤、断链检测, 主运输系统胶带空载、堆煤、跑偏、纵向撕裂、烟雾、明火检测, 主运输系统胶带煤流量测算、胶带表面损伤检测, 辅助运输车辆速度检测, 经过路口辅助运输车辆计数, 轨道车车厢计数, 无轨胶轮车车身高度和宽度检测, 提升系统井底积煤、箕斗煤残留检测, 选煤厂胶带煤流撒料、介质桶篦子堆料、循环水池水位检测, 水仓水位测量, 环境参数感知监测仪表示数读取。

目标识别是指对画面中目标的属性、类别或状态进行分类和判断的过程, 通常基于目标检测结果进行处理, 主要包括以下功能: 掘进工作面关键工序识别, 采煤工作面综采设备运行状态、液压支架支护状态、出口障碍物识别, 辅助运输信号灯状态识别, 人员、车辆状态、人车相对状态识别, 防跑车装置状态、插销状态识别, 斜巷绞车、无级绳绞车掉绳检测, 车辆前方人员、物体、设备等障碍物检测, 轨道运输车辆掉轨、掉绳检测, 车辆驾驶员不安全行为识别和人脸识别。

行为识别是指对画面中目标的动作或行为特征进行分析和判断的过程, 适用于动态场景中目标的行为特征分析, 主要包括以下功能: 人员闯入警戒区域监测, 人员接近警戒区域时的提示和报警, 人员吸烟, 班中脱岗、睡岗、未佩戴安全帽、口罩、自救器、矿灯等检测, 人员乘坐架空乘人装置时携带大件物品检测, 人员在轨道上逗留徘徊、多人并行检测, 人员跨越胶带、乘坐胶带行为识别, 车辆驾驶员不安全行为识别, 登高作业人员未佩戴安全绳检测, 人员违规作业识别, 电工穿戴不合规识别。

事件检测是指对画面中特定事件或异常状态(如设备故障、环境异常等)进行识别和判定的过程, 主要包括以下功能: 提升系统钢丝绳外观缺陷检测, 井筒渗水、螺栓脱落、电缆卡子脱落检测, 风门状态识别, 巡检识别。

3.3 可配置 IVA 框架

系统应采用可配置 IVA 框架, 具备 IVA 功能配

置和迭代功能;支持用户根据需求选择和配置 IVA 功能,能够对单路视频资源的多个 IVA 应用种类和规则进行设置;支持同时实现系统所具备的全部种类的 IVA 应用,且各 IVA 功能的技术指标符合要求;能对 IVA 应用结果输出和报警方式进行配置。

系统 IVA 功能实现虽需要一定的计算和带宽资源,但应保证不影响视频图像质量及数据传输的实时性、稳定性。系统应自动保存 IVA 功能生成的数据,并生成报表。

系统应具备 IVA 功能编排功能,并满足下列要求:① 支持按照业务场景对多个模型进行灵活组合。② 应支持报警收敛,在特定场景下,为实现主动过滤误报和减少重复报警次数,在一定时间内对 IVA 多次报警结果按设定逻辑进行主动分析,实现将多次报警收敛为 1 次报警,但不会漏报。③ 应支持生成合规报告,展示系统 IVA 功能执行情况,包含节点名称、通道名称、IVA 名称、执行状态、合规状态、作业抓图等信息。

系统应支持对 IVA 模型进行迭代升级,以适应新场景、新需求或提高现有功能的检测精度和响应速度。IVA 模型的迭代升级应满足以下要求:① 在线升级能力。支持通过远程或本地方式对 IVA 模型进行在线升级,升级过程中不影响系统的正常运行。② 兼容性。新版本模型与现有系统架构兼容,确保升级后系统功能正常运行。③ 回滚机制。具备模型升级失败时的回滚功能,能够快速恢复至升级前的稳定版本。④ 可配置性。允许用户根据实际需求选择是否启用新版本模型,并支持对模型参数进行优化配置。⑤ 升级日志记录。能够记录升级时间、版本号、升级结果及相关操作信息,以便运维人员进行追溯和管理。⑥ 性能验证。支持对升级后的 IVA 模型进行验证,确保其在目标场景中的准确性和稳定性,达到预期要求。

3.4 结构化视频描述与索引

系统应具备结构化视频描述与索引功能,符合下列要求:① 支持对 IVA 结果进行自动描述,包含监控区域、目标位置、目标信息、异常状态描述等。② 能够根据视频图像的特征、类型、IVA 结果建立索引,并实现快速检索定位。

3.5 视频图像增强与复原

系统应具备强光抑制、低照度增强、去模糊、去抖动、去噪声等视频图像增强与复原功能,宜具有对比度增强、宽动态增强、超分辨率重建、几何畸变校正、偏色校正等视频图像增强与复原功能,且功能符合下列要求:① 强光抑制。能够在强光环境下清晰

呈现监控画面。② 对比度增强。能够对对比度较低或较高、细节不易分辨的视频图像进行处理。③ 低照度增强。应能够对亮度偏暗、细节不易分辨的低照度视频图像进行处理,使输出视频图像的平均亮度有所提升。④ 宽动态增强。能够对视频图像暗区过暗、亮区过曝等细节不易分辨的视频图像进行处理,使输出视频图像暗区亮度提高、亮区过曝抑制,且视频图像不存在颜色或亮度明显失真。⑤ 去模糊。能对运动或镜头失焦引起模糊的视频图像进行处理,使输出视频图像清晰度优于输入视频图像。⑥ 超分辨率重建。能对单帧或多帧低分辨率视频图像进行处理,使输出视频图像辨识度优于输入视频图像。⑦ 几何畸变校正。能对几何失真的视频图像进行处理,使输出视频图像几何失真得到校正。⑧ 去抖动。能在摄像机因振动、晃动或其他外界干扰导致画面不稳定的情况下,自动对画面进行稳定处理。⑨ 偏色校正。能对整体色调有偏差的视频图像进行处理,使输出视频图像的色彩更接近于真实视频图像。⑩ 噪声抑制。具有视频图像噪声去除功能,噪声类型包括随机噪声、周期性噪声(网格、条纹噪声等)、编码压缩噪声,噪声处理后输出图像辨识度不会明显下降。

3.6 跨系统报警联动

系统应具备跨系统报警联动数据交互的软硬件接口,支持无源/有源开路或闭路信号接入,能够实时响应并启动记录、输出联动信号,将 IVA 结果、设备上下线状态、设备状态、报警信息等发送至其他设备或系统,辅助其完成相应功能。系统的响应时间、启动延时等应符合相关标准规定,并在产品技术文件中明示。例如将行人、行车检测和越界、入侵检测结果发送至煤矿行车管理或辅助运输系统,实现行车不行人;将设备状态识别和仪器仪表示数读取结果发送至煤矿安全监控系统、顶板动态监测系统、机电设备故障监测系统,实现系统性能提升和设备及时维护。

4 主要技术指标

4.1 IVA 功能技术指标

采用最大误差、误报率(False Positive Rate, FPR)、漏报率(False Negative Rate, FNR)、IVA 延迟 $T_{latency}$ 等指标对系统 IVA 功能进行量化。其中 $T_{latency}$ 指从视频中 IVA 目标或目标事件帧被完整采集到 IVA 结果输出所需的时间间隔,包括视频采集、传输、处理及结果输出的全过程,计算公式为

$$T_{latency} = T_{output} - T_{capture} \quad (1)$$

式中： T_{output} 为IVA目标或目标事件被采集到的时间戳； $T_{capture}$ 为IVA结果生成并输出的时间戳。

目标检测、目标识别、行为识别和事件检测功能的主要技术指标分别见表1—表4。

表1 目标检测功能主要技术指标

Table 1 Key technical indicators of object detection function

功能	技术指标
掘进工作面、采煤工作面、主运输系统巷道和煤仓内人员计数	最大误差 $\leq\pm 1$ 人(当画面中同时出现人数不超过15人时), $T_{latency} \leq 1$ s
钻杆动态计数	最大误差 $\leq\pm 1$ 根(钻杆数量少于50根时)或 $\leq\pm 2$ 根(钻杆数量超过50根时), $T_{latency} \leq 1$ s
刮板输送机大块煤检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 10\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
胶带目标状态检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 10\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
辅助运输车辆速度检测	最大误差 $\leq\pm 10\%$, $T_{latency} \leq 0.5$ s
经过路口辅助运输车辆计数	最大误差 $\leq\pm 1$ 辆(每经过100辆), $T_{latency} \leq 1$ s
井底积煤检测	最大误差 ≤ 5 cm, 覆盖井底的积煤区域 $\geq 95\%$, $FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 10\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
箕斗煤残留检测	最大误差 ≤ 5 cm, 覆盖箕斗区域 $\geq 95\%$, $FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 10\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
选煤厂胶带撒料检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 10\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
选煤厂刮板输送机断链检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 10\%$, $T_{latency} \leq 0.5$ s

表2 目标识别功能主要技术指标

Table 2 Key technical indicators of target recognition function

功能	技术指标
关键工序识别	$FNR \leq 5\%$, $FPR \leq 10\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
设备运行状态识别	$FNR \leq 3\%$, $FPR \leq 10\%$, $T_{latency} \leq 2$ s
信号灯、人员状态、车辆状态、人车相对状态识别	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 5\%$, $T_{latency} \leq 0.5$ s
防跑车装置状态识别	$FNR \leq 1\%$, $FPR \leq 5\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
钢丝绳外绳缺陷检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 8\%$, $T_{latency} \leq 2$ s
井筒渗水、螺栓脱落、电缆卡子脱落检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 8\%$, $T_{latency} \leq 2$ s
风门状态识别	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 5\%$, $T_{latency} \leq 2$ s

4.2 抗干扰性能

系统地面设备宜能通过 GB/T 17626.2—2018《电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验》^[18]规定的严酷等级为3级的静电放电抗扰度试验,试验中和试验后,受试设备均能正常工作。

系统应能通过 GB/T 17626.3—2023《电磁兼容 试验和测量技术 第3部分:射频电磁场辐射抗扰度试验》^[19]规定的严酷等级不低于1级的射频电磁场辐射抗扰度试验,宜能通过严酷等级不低于2级的射频电磁场辐射抗扰度试验,试验中和试验后,受试设备均能正常工作。

系统应能通过 GB/T 17626.4—2018《电磁兼容

表3 行为识别功能主要技术指标

Table 3 Key technical indicators of behavior recognition function

功能	技术指标
人员闯入警戒区域监测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 5\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
人员吸烟检测	$FNR \leq 5\%$, $FPR \leq 10\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
人员班中脱岗、睡岗检测	$FNR \leq 3\%$, $FPR \leq 8\%$, $T_{latency} \leq 5$ s
人员未佩戴安全帽检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 5\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
人员未佩戴口罩检测	$FNR \leq 4\%$, $FPR \leq 8\%$, $T_{latency} \leq 2$ s
人员乘坐架空乘人装置时携带大件物品检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 6\%$, $T_{latency} \leq 2$ s
人员在轨道上逗留徘徊、多人并行检测	$FNR \leq 3\%$, $FPR \leq 8\%$, $T_{latency} \leq 2$ s
人员未佩戴自救器、矿灯及跨越胶带、乘坐胶带检测,登高作业人员未佩戴安全绳检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 5\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
人员违规作业识别	$FNR \leq 3\%$, $FPR \leq 8\%$, $T_{latency} \leq 2$ s
电工穿戴不合规识别	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 5\%$, $T_{latency} \leq 1$ s

表4 事件检测功能主要技术指标

Table 4 Key technical metrics for event detection

功能	技术指标
工作面或选煤厂刮板输送机故障检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 5\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
提升机尾绳异常检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 6\%$, $T_{latency} \leq 1$ s
辅助运输车辆顶撞风门检测	$FNR \leq 2\%$, $FPR \leq 5\%$, $T_{latency} \leq 1$ s

试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》^[20]规定的严酷等级不低于1级的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验,宜能通过严酷等级不低于2级的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验,试验中和试验后,受试设备均能正常工作。

系统应能通过 GB/T 17626.5—2019《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验》^[21]规定的严酷等级不低于1级的浪涌(冲击)抗扰度试验。系统交流电源端口宜能通过严酷等级为3级的浪涌(冲击)抗扰度试验,试验中,受试设备功能或性能暂时降低或丧失,试验后,受试设备能自行恢复并正常工作;系统直流电源端口和信号端口应能通过严酷等级为2级的浪涌(冲击)抗扰度试验,试验中,受试设备功能或性能暂时降低或丧失,试验后,受试设备能自行恢复并正常工作。

5 主要试验

5.1 视频图像质量自诊断功能试验

通过控制摄像机、调整实验室灯光照度、更换场景、导入测试视频等方式,模拟云镜控制失效,视频

图像模糊,镜头遮挡,视频信号丢失,视频抖动,视频丢帧,视频图像偏色、过暗、过亮、场景变换、对比度变化、条纹干扰、噪声干扰,黑白视频图像等情况,判断系统能否实现视频图像质量自诊断和报警。

5.2 IVA 功能试验

采用测试视频导入、测试视频翻拍、场景模拟 3 种测试方式之一或组合方式进行 IVA 功能试验。试验报告应全面细致地体现测试的方式、条件和所能达到的效果,以便准确界定受试系统 IVA 功能的实现情况和技术指标,现场检验的报告应准确记载测试现场的信息。

1) 测试视频导入测试。针对每种 IVA 功能,从测试视频库(样本库)中随机抽取不少于 30 条包含目标或目标事件的测试视频,导入受试系统,验证系统的 IVA 功能实现及其相关技术指标的符合性。通过将系统 IVA 结果与实际样本进行比对,统计比对输出结果,以核实系统 IVA 功能的技术指标是否满足要求。

2) 测试视频翻拍测试。针对每种 IVA 功能,从测试视频库中随机抽取不少于 30 条包含目标或目标事件的测试视频,使用专用的视频翻拍监视器播放测试视频,受试系统通过摄像机采集监视器播放的测试视频画面,通过将系统 IVA 结果与实际样本进行比对,统计比对输出结果。

3) 场景模拟测试。对于不涉及复杂工况或特定设备的 IVA 功能,如人员计数、静态或动态目标检测(包括钻杆计数、大块煤检测、胶带空载检测、烟雾和明火检测)、信号灯状态识别、人员行为识别(如未佩戴安全帽、跨越胶带)等,可通过在实验室搭建模拟场景进行验证。实验室模拟场景测试需确保测试过程的可重复性和一致性。模拟多种变化的目标或目标事件,变化内容应至少包括光照强度、粉尘条件、摄像机振动、目标特征,通过将系统 IVA 结果与实际样本进行比对,统计比对输出结果。

5.3 视频图像内容描述功能试验

向系统导入任意 10 段测试视频,观察系统能否对任意一段测试视频片段进行准确描述,根据视频图像特征、类型和 IVA 结果对测试视频片段进行检索,查看能否正确检索出所有目标视频片段。

5.4 视频图像增强与复原功能试验

向系统导入任意 10 段测试视频,利用测试视频进行系统图像增强与复原功能验证,检查视频图像辨识度是否优于测试视频,采用主观评价原则,具体要求如下:① 主观评价通过辨识度对处理效果进行打分,并以其平均值作为综合得分。② 测试人员至少 3 人,采用单个测试人员轮流观看打分的方式对

处理后的图像进行打分。③ 各功能项的评价内容和评价指标见表 5。④ 综合得分 3 分及以上判定为合格。

表 5 主观评价指标评分

Table 5 Subjective evaluation indicators rating scale

得分	5	4	3	2	1
目标 辨识度	目标清晰, 完全可辨识	目标清晰, 可辨识	目标部分清晰, 但仍可辨识	目标 不清晰	目标 不可辨识

5.5 系统图像质量测试

按照 GB/T 16697—2017《单传感器应用电视摄像机通用技术要求及测量方法》^[22]的有关规定进行测试。

5.6 系统容量试验

根据系统每路视频的设计带宽,计算总的带宽占用量。若计算的总带宽占用量低于系统传输部分总带宽的 70%,则判定系统容量符合要求;若计算的总带宽占用量高于系统传输部分总带宽的 70%但不超过 85%,则采用系统最大支持数量的摄像机或视频信号模拟设备接入系统传输部分,测试系统运行情况。测试过程中,若系统运行情况满足规定的功能及技术指标要求,则判定系统容量符合要求。

5.7 IVA 功能试验

按照 5.2 节的试验方法进行 IVA 功能试验,针对每个场景下多种影响因素,采用正交试验或全因子试验方法,将不同测试影响因素下的试验结果记录在试验报告中,以体现系统 IVA 功能在不同影响因素下的运行情况,进而实现对系统 IVA 功能的分级。

IVA 延迟采用下列方法进行测试:① 对于测试视频导入测试方式和测试视频翻拍测试方式,以受试系统显示器上播放的测试视频(采用原速播放模式)中 IVA 目标或 IVA 目标事件完整展现的时间戳作为 T_{output} ,以系统输出正确的 IVA 结果的时间戳作为 $T_{capture}$,以记录视频画面中的相应时间标记的方式来计时,根据式(1)计算 IVA 延迟 $T_{latency}$ 。② 对于实验室模拟场景测试方式,采用计时器抓取 IVA 目标或 IVA 目标事件完整展现的时间戳作为 T_{output} 和系统输出正确的 IVA 结果的时间戳作为 $T_{capture}$,根据式(1)计算 IVA 延迟 $T_{latency}$ 。

6 结论

1) 为满足现代化矿井对系统在煤矿复杂应用场景下的环境适应性、智能分析可靠性方面的需求,系统除监视等常见功能外,还应(或宜)具备视频图像质量自诊断机制、多层次 IVA 体系、可配置 IVA 框

架、结构化视频描述与索引、视频图像增强与复原、跨系统报警联动等功能。

2) IVA 功能主要包括目标检测、目标识别、行为识别和事件检测。目标检测可确定目标存在与否、位置和数量等信息;目标识别对画面中目标的属性、类别或状态进行分类和判断;行为识别对画面中目标的动作或行为特征进行分析和判断;事件检测对画面中特定事件或异常状态进行识别和判定。IVA 功能覆盖掘进工作面、钻场、采煤工作面等作业场景,以及主运输、辅助运输、矿井提升等作业环节。

3) 采用最大误差、FPR、FNR、IVA 延迟等指标对系统 IVA 功能进行量化。

4) 通过制定和推广系统标准化技术规范,可有效提升系统在复杂矿井环境中的适应性和可靠性,降低系统的设计与运维成本,同时为煤矿安全生产提供更加可靠的技术保障。随着煤矿智能化建设的不断深入,系统的标准化工作将进一步向智能分析算法、边缘计算及 5G 通信等前沿技术方向拓展,为煤矿工业高质量发展提供强有力的支撑。

参考文献(References):

- [1] 孙继平. 煤矿信息化与智能化要求与关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(9): 22-25, 71.
SUN Jiping. Requirement and key technology on mine informatization and intelligent technology[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9): 22-25, 71.
- [2] 付翔, 秦一凡, 李浩杰, 等. 新一代智能煤矿人工智能赋能技术研究综述[J]. 工矿自动化, 2023, 49(9): 122-131, 139.
FU Xiang, QIN Yifan, LI Haojie, et al. Summary of research on artificial intelligence empowerment technology for new generation intelligent coal mine[J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49(9): 122-131, 139.
- [3] 许志, 李敬兆, 张传江, 等. 轻量化 CNN 及其在煤矿智能视频监控中的应用[J]. 工矿自动化, 2020, 46(12): 13-19.
XU Zhi, LI Jingzhao, ZHANG Chuanjiang, et al. Lightweight CNN and its application in coal mine intelligent video surveillance[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(12): 13-19.
- [4] 党王聪, 董博, 乔佳妮, 等. 基于千眼视频智能分析的综合安全管理系统[J]. 煤矿安全, 2024, 55(12): 236-242.
DANG Wangcong, DONG Bo, QIAO Jiani, et al. Integrated safety management system based on intelligent analysis of thousand eyes video[J]. Safety in Coal Mines, 2024, 55(12): 236-242.
- [5] 毛清华, 翟姣, 胡鑫, 等. 煤矿综采工作面人员入侵危险区域智能识别方法[J]. 煤炭学报, 2025, 50(2): 1347-1361.
MAO Qinghua, ZHAI Jiao, HU Xin, et al. Intelligent recognition method for personnel intrusion hazardous area in fully mechanized mining face[J]. Journal of China Coal Society, 2025, 50(2): 1347-1361.
- [6] 程德强, 钱建生, 郭星歌, 等. 煤矿安全生产视频 AI 识别关键技术研究综述[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(2): 349-365.
CHENG Deqiang, QIAN Jiansheng, GUO Xingge, et al. Review on key technologies of AI recognition for videos in coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(2): 349-365.
- [7] 程健, 李昊, 马昆, 等. 矿井视觉计算体系架构与关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(9): 202-218.
CHENG Jian, LI Hao, MA Kun, et al. Architecture and key technologies of coalmine underground vision computing[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(9): 202-218.
- [8] AQ 6201—2019 煤矿安全监控系统通用技术要求[S]. AQ 6201-2019 General technical requirements of coal mine safety supervision[S].
- [9] AQ 6210—2007 煤矿井下作业人员管理系统通用技术条件[S]. AQ 6210-2007 General technical conditions of the system for the management of the underground personnel in a coal mine[S].
- [10] MT/T 1112—2011 煤矿图像监视系统通用技术条件[S]. MT/T 1112-2011 General specifications of the video surveillance system in the coal mine[S].
- [11] 郝洋, 周骅, 王代强. 基于国密 SM2 的 H. 264 视频加密方案设计[J/OL]. 电子测量技术: 1-8[2025-05-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2175.TN.20250509.1759.080.html>.
HAO Yang, ZHOU Hua, WANG Daiqiang. Design of H. 264 video encryption scheme based on national security SM2 algorithm[J/OL]. Electronic Measurement Technology: 1-8[2025-05-25]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2175.TN.20250509.1759.080.html>.
- [12] 马振华, 贾华宇, 罗飏. 基于 H. 265/HEVC 的快速帧内编码研究[J]. 现代电子技术, 2025, 48(8): 51-55.
MA Zhenhua, JIA Huayu, LUO Biao. Research on fast intraframe coding based on H. 265/HEVC[J]. Modern Electronics Technique, 2025, 48(8): 51-55.
- [13] 包宋建, 孟杨, 许艳英, 等. 基于 XC2S600E 的 MJPEG 编码器研究与实现[J]. 重庆文理学院学报(自然科学版), 2011, 30(4): 42-45.
BAO Songjian, MENG Yang, XU Yanying, et al. The

- research and implementation of the MJPEG encoder based on XC2S600E[J]. *Journal of Chongqing University of Arts and Sciences(Natural Science Edition)*, 2011, 30(4):42-45.
- [14] GB/T 25724—2010 安全防范监控数字视音频编解码技术要求[S].
GB/T 25724-2010 Technical specification of surveillance video and audio coding[S].
- [15] GB 35114—2017 公共安全视频监控联网信息安全技术要求[S].
GB 35114-2017 Technical requirements for information security of video surveillance network system for public security[S].
- [16] GB/T 28181—2022 公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求[S].
GB/T 28181-2022 Technical requirements for information transmission, switch and control in video surveillance networking system for public security[S].
- [17] 李文峰, 高原. 基于 ONVIF 的本安型手持式信息记录仪[J]. *煤矿安全*, 2019, 50(1):92-95.
LI Wengfeng, GAO Yuan. Intrinsically safe handheld information recorder based on ONVIF[J]. *Safety in Coal Mines*, 2019, 50(1):92-95.
- [18] GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验[S].
GB/T 17626.2-2018 Electromagnetic compatibility-Testing and measurement techniques-Electrostatic discharge immunity test[S].
- [19] GB/T 17626.3—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第 3 部分: 射频电磁场辐射抗扰度试验[S].
GB/T 17626.3-2023 Electromagnetic compatibility-Testing and measurement techniques-Part 3: Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test[S].
- [20] GB/T 17626.4—2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验[S].
GB/T 17626.4-2018 Electromagnetic compatibility-Testing and measurement techniques-Electrical fast transient/burst-immunity test[S].
- [21] GB/T 17626.5—2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验[S].
GB/T 17626.5-2019 Electromagnetic compatibility-Testing and measurement techniques-Surge immunity test[S].
- [22] GB/T 16697—2017 单传感器应用电视摄像机通用技术要求及测量方法[S].
GB/T 16697-2017 General technical requirement and measurement method for non-broadcast camera of single sensor[S].

(上接第 146 页)

- [12] DE JESUS PACHECO D A, JUNG C F, DE AZAMBUJA M C. Towards industry 4.0 in practice: a novel RFID-based intelligent system for monitoring and optimisation of production systems[J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2023, 34(3):1165-1181.
- [13] LIU Xuan, YIN Jiangjin, ZHANG Shigeng, et al. Time-efficient target tags information collection in large-scale RFID systems[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2021, 20(9):2891-2905.
- [14] LIU Jia, YU Xi, LIU Xuan, et al. Time-efficient range detection in commodity RFID systems[J]. *ACM Transactions on Networking*, 2020(3):1118-1131.
- [15] 陈军. 无线通信网络井下拥堵问题及对策[J]. *工矿自动化*, 2024, 50(增刊 2):132-134, 141.
CHEN Jun. Underground congestion problems and countermeasures of wireless communication networks[J]. *Journal of Mine Automation*, 2024, 50(S2):132-134, 141.
- [16] 张航溥. 井下 5G 网络覆盖策略研究[J]. *信息与电脑(理论版)*, 2024, 36(13):136-139.
ZHANG Hangpu. Research on underground 5G network coverage strategy[J]. *Information & Computer*, 2024, 36(13):136-139.
- [17] WOHWE SAMBO D, FÖRSTER A. Wireless underground sensor networks: a comprehensive survey and tutorial[J]. *ACM Computing Surveys*, 2024, 56(4):1-44.
- [18] KNAPP H, ROMAGNOLI G. RFID systems optimisation through the use of a new RFID network planning algorithm to support the design of receiving gates[J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2023, 34(3):1389-1407.
- [19] 陆宝铃. 开放数据的内在价值评估研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2024.
LU Baoling. Research on the evaluation of the intrinsic value of open data[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2024.
- [20] 杨亚琦, 李博雄, 杨东霞, 等. 基于信息熵的异常数据判别方法[J]. *科学技术创新*, 2023(24):194-199.
YANG Yaqi, LI Boxiong, YANG Dongxia, et al. A method of discriminating abnormal data based on information entropy[J]. *Scientific and Technological Innovation*, 2023(24):194-199.
- [21] 金坚, 赵玲. 大数据时代信息熵的价值意义[J]. *科学技术哲学研究*, 2018, 35(3):117-121.
JIN Jian, ZHAO Ling. The value significance of information entropy in the era of big data[J]. *Studies in Philosophy of Science and Technology*, 2018, 35(3):117-121.