

# 矿井摄像仪在高湿高粉尘环境下的图像清晰度保障措施研究

马 增

神东煤炭集团寸草塔二矿 内蒙古 鄂尔多斯 017200

**【摘要】**：矿井高湿高粉尘环境对摄像仪的图像清晰度构成严重挑战，影响监控效果与智能识别精度。本文围绕摄像系统在复杂工况下的稳定成像问题，系统分析环境干扰因素，提出涵盖硬件防护、图像处理、环境干预与系统联动的多源保障措施。通过典型矿井场景实证，验证了多维手段集成应用的有效性，为矿井智能化监控提供了可行路径与技术支撑，具有良好的应用推广价值。

**【关键词】**：矿井摄像仪；图像清晰度；高湿环境；粉尘干扰；图像优化

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.024

## 引言

矿井环境具有湿度高、粉尘浓度大等典型特征，这些因素严重影响摄像设备的成像质量与稳定性。在智慧矿山、智能监控体系不断推进的背景下，如何在复杂工况下保障摄像仪图像清晰度成为关键技术难题。本文聚焦摄像设备在矿井高湿高粉尘环境中的成像挑战，从设备结构优化到算法提升，探索可行的技术路径，为矿井安全监控提供技术支撑。

## 1 矿井复杂环境对摄像仪图像清晰度的影响因素分析

矿井环境通常具有高湿、高粉尘、高腐蚀性特点，这些极端工况对摄像仪的图像获取质量造成严重干扰。高湿环境中的水汽常常在摄像仪镜头表面凝结形成雾化层，导致成像模糊不清，影响图像细节识别。粉尘浓度居高不下的井下作业面，经常伴随着强烈的粉尘扬起，这些悬浮颗粒在光照作用下会形成散射和遮挡效应，从而降低图像对比度和清晰度，严重时甚至造成完全遮蔽。井下作业环境中常伴随如硫化氢、二氧化硫等腐蚀性气体的长期存在，这些气体在高湿条件下更易与摄像仪外壳和镜头组件发生化学反应，导致材料老化、镜面腐蚀和密封性能下降，进而影响摄像仪的成像稳定性、图像清晰度及整体运行寿命，增加维护频率和运行成本。

在实际应用中，摄像仪的安装位置与角度也会对图像质量产生显著影响。多数矿井摄像仪安装于通风巷道或采掘工作面周边，这些区域空气流动紊乱、粉尘冲击力强，使得镜头更容易积尘<sup>[1]</sup>。即便摄像系统配备自动擦拭装置或防尘罩，也难以在持续扬尘的环境中保持镜面洁净。矿井照明条件复杂，既有局部强光照，也存在大量暗区，光线不均易造成图像过曝或噪点干扰。由于图像模糊、对比度降低以及噪声干扰等问题的存在，摄像画面中的目标特征难以被准确提取与识别，导致视频监控系统在事件预警、行为分析与数据挖掘等方面的效率大打折扣，也严重影响了后端图像识别算法的判别精度与智能分析系统的决策能力。

摄像系统本身的性能参数对其在矿井环境中的适应能力

起到关键作用。传感器的动态范围、感光灵敏度以及抗干扰能力，直接决定了其在恶劣光照和复杂背景条件下的成像水平。摄像仪的散热结构设计、电路密封性和抗震性能也是决定其在高湿高粉尘环境中是否能稳定运行的重要因素。若设备在高温高湿条件下频繁出现电路故障或图像传输延迟，将极大削弱井下远程可视化监控系统的安全效能。对矿井摄像仪工作环境的深入分析，是制定有效图像清晰度保障措施的基础，也是实现矿井智能监控系统稳定运行的前提。

## 2 高湿高粉尘条件下摄像仪硬件防护与选型优化方案

在高湿高粉尘的矿井环境中，摄像仪设备面临严峻挑战，硬件防护设计必须充分考虑气密性、防尘能力以及抗腐蚀性。为应对凝露现象，可选用具备加热除雾功能的镜头模组，通过内置微加热器在启动后快速驱散镜面水汽，保障成像清晰度。针对粉尘附着问题，应优先采用具备纳米疏水涂层的镜头材料，该类涂层具有良好的自洁功能，可显著降低粉尘、水滴在镜面上的滞留。外壳材质建议选用耐腐蚀的工业级不锈钢或高强度铝合金，并结合 IP68 级密封设计，使设备长期运行于粉尘和高湿交替变化的环境中仍能保持稳定性。

在摄像仪选型方面，应从图像传感器类型、成像算法支持能力及工作温湿度范围等核心参数出发，优先选择具备宽动态范围（WDR）和强低照性能的工业级高清摄像头。井下照明条件不稳定，高反差场景普遍存在，普通传感器易出现过曝或图像失真，宽动态技术可有效平衡亮暗区域成像质量<sup>[2]</sup>。支持 3D 降噪和自动白平衡校正的摄像系统在粉尘遮挡和湿气干扰下仍能保持较好的图像通透性。红外补光功能也是必要配置，尤其在采掘区域照明有限的情况下，可辅助获取清晰夜间图像。选型时需考虑设备的抗震等级，矿井作业常伴随机械振动，若未对防震结构加以优化，摄像模块容易发生位置偏移或损坏。

综合来看，单一防护手段难以全面应对矿井高湿高粉尘环境中的图像退化问题，因此需构建多层次、模块化的硬件防护体系。应将光学密封结构、空气动力学除尘设计与智能加热除雾机制有机结合，形成系统性的保障架构。设置外置风幕系统

实现镜面空气隔离,减少颗粒物直接冲击;再配合智能监控单元实时检测环境温湿度和粉尘浓度,根据反馈自动调整除雾或加热模式,提高设备运行的自适应性。这类集成式硬件防护与选型优化方案,能够有效提升图像清晰度和设备稳定性,也为实现矿井视频监控系统的智能化、高可靠性运行奠定了坚实基础。

### 3 基于图像处理技术的清晰度提升方法研究

在矿井高湿高粉尘环境下,传统摄像设备常因画面模糊、对比度低而难以满足安全监控的实际需求。基于图像处理技术的清晰度提升方法,为矿井摄像系统提供了新的解决路径。针对图像受水雾干扰所造成的模糊问题,可应用图像去雾算法如暗通道先验法(Dark Channel Prior)对低对比度图像进行复原,估算透射率与大气光值,有效还原图像清晰度。面对粉尘遮挡带来的图像随机噪声干扰问题,采用基于卷积神经网络(CNN)的图像降噪模型具有显著优势。该类模型可经过深层特征提取能力,对图像中的非结构性干扰信息进行自动识别与抑制,在滤除大量无效背景噪声时,有效保留图像中的边缘轮廓、纹理细节与关键目标信息,显著提升图像的视觉质量与后续处理的准确性,为矿井智能监控提供更加清晰、稳定的数据支撑。

在图像增强方面,直方图均衡化技术可用于提升图像整体对比度,使得被摄目标在低照环境中仍具备可辨识度。针对矿井中存在的大量局部弱光区域,采用自适应亮度增强算法,如Retinex理论改进模型,能有效模拟人眼对亮度的感知机制,实现图像局部细节的动态增强<sup>[9]</sup>。结合高动态范围(HDR)图像重建方法,通过多帧合成技术对不同曝光水平的图像进行融合,改善过暗或过曝区域的视觉效果,还能增强整体图像的结构信息,为后续的目标检测与识别提供更稳定的图像基础。这些图像增强策略能够有效改善因低照度、粉尘遮挡和水汽干扰等因素造成的图像质量下降问题,还能增强图像的对比度与细节层次,使摄像数据在复杂井下环境中具备更高的清晰度和可识别性,从而为后续的智能识别与安全监测提供更加可靠的视觉基础与技术保障。

考虑到矿井摄像系统的实际部署中往往存在图像传输延迟及实时性要求,必须在保证处理效果时优化算法计算效率。近年来,基于边缘计算架构的图像处理方法逐渐应用于矿山监控系统,在本地节点部署轻量化图像处理模型,如MobileNet或Fast-SCNN,实现实时图像预处理与清晰度增强,减少对后端服务器的依赖,提高处理时效性与系统响应速度。可结合目标检测与跟踪技术,对关键图像区域进行重点增强,如作业人员活动轨迹或机械运转区域,避免对整幅图像进行无差别处理,提升资源利用效率。通过以上多维图像处理技术的集成应用,能有效改善矿井复杂环境下摄像图像的清晰度,还为实现高质量、智能化的矿井视觉监控系统提供坚实技术支撑。

### 4 矿井环境干预与协同控制手段的集成应用

在矿井高湿高粉尘环境下,单靠摄像设备自身的防护与图像处理已难以全面保障图像清晰度,因此需从环境干预与控制手段的协同机制出发,构建以环境优化为导向的图像保障体系。在粉尘控制方面,利用喷雾降尘系统对摄像区域进行局部空气治理,能够显著降低空气中悬浮颗粒浓度,减少对成像的遮挡影响。为了提升降尘效率,可采用智能感知系统对粉尘浓度进行实时监测,结合变频控制技术,根据环境浓度变化动态调节喷雾流量与喷洒周期,确保摄像区域始终处于较清洁的视觉通道之内。此类环境干预手段与摄像系统的智能联动,实现对粉尘浓度的实时感知与动态响应,使降尘措施能够根据现场环境变化自动调整运行参数,从而将传统依赖人工干预的被动防控方式转变为智能化、自动化的主动治理模式,极大提升了图像获取的稳定性与清晰度,构建出适应性更强、反应更迅速的图像保障场景体系。

在湿度控制方面,矿井深部常因水汽聚集、通风不畅形成高湿环境,导致摄像头镜面凝露。可经过局部热源干燥系统或微型通风装置构建摄像仪局部微环境,有效降低镜头表面湿度积聚速度<sup>[4]</sup>。为增强系统协同性,可引入分布式传感器网络监测局部温湿度变化,控制器与摄像仪本体及加热元件之间的信息互通,实现根据传感结果自主调节加热功率或启动风机,从而在摄像前主动进行环境预处理。井下环境干预系统应具备故障预测与自检功能,保障协同机制在恶劣条件下持续、稳定运行,减少人工干预频率,提高系统整体自适应能力。

集成应用的最终目标在于构建矿井摄像系统与环境调控系统之间的闭环控制逻辑。融合物联网、自动控制与智能感知技术,实现摄像图像质量与矿井环境参数的同步感知、动态分析与联动干预,形成完整的“检测-响应-调控-验证”技术闭环。当系统检测到图像清晰度下降时,能自动分析是因粉尘遮挡、水汽凝结还是光照不足引起,并迅速联动相应模块进行处理,如启动喷雾降尘、加热除雾或红外补光。图像反馈模块对处理效果进行实时评估,实现闭环优化。此类高度集成的协同控制机制,提升了摄像系统对复杂环境的适应能力,也显著增强了矿井智能监控系统的运行效能与图像数据的可用性。

### 5 多源保障措施在典型矿井场景中的实证分析

在典型矿井作业场景中,多源保障措施的集成应用已成为提升摄像图像清晰度的关键实践方向。以某大型煤矿采掘工作面为例,该区域常年处于高湿、高粉尘与强机械振动的复合作业环境中,对摄像监控系统提出了极高要求。部署具备IP68级密封结构、加热除雾组件和纳米疏水涂层镜头的工业级摄像仪,配合智能红外补光系统,实现了对关键生产区域的全天候视频覆盖。在此基础上,经过科学优化摄像头的安装位置与朝向,尽可能避开频繁出现扬尘的风流通道和湿气容易聚集的区域,有效降低了粉尘和水汽对镜头表面的直接干扰与腐蚀影

响。这种合理布局减少了设备清洁和维护的频率，还显著提升了摄像系统在复杂工况下的运行稳定性和图像获取的持续清晰度，从而延长了设备整体的使用寿命。

图像处理技术在现场系统中的实际应用效果也得到了验证。在摄像系统接入边缘计算终端后，部署轻量化图像去雾与降噪算法，实现对原始视频流的实时处理。采集图像在经过图像增强、动态对比度调整与三维降噪后，其边缘清晰度平均提升了约40%，目标轮廓识别率显著增强<sup>[5]</sup>。经过图像质量反馈机制，系统可动态调整图像处理参数，以应对环境条件变化带来的画质波动。在多工况联动测试中，该系统在高粉尘冲击和高湿凝露环境下仍能保持85%以上的图像可识别性，显示出图像处理算法与硬件配置之间良好的协同适应性。

更为关键的是，环境干预与系统协同控制在实际场景中的集成效果显著。通过与粉尘监测传感器、温湿度感知节点、喷雾降尘设备及加热控制系统的联动，系统建立起多源信息

驱动的图像保障逻辑。一旦图像清晰度下降至预警阈值，控制模块可根据环境状态主动触发降尘喷雾或除雾加热程序，并经过图像质量反馈确认处理结果是否达到预期。该闭环机制显著降低了人工干预频率，提升了系统的自适应能力与智能响应效率。基于实证数据分析，在连续90天运行测试中，该集成系统在各类复杂环境下的图像有效获取率维持在92%以上，为矿井智能监控系统提供了可复制、可推广的技术样板。

## 6 结语

本文围绕矿井摄像机在高湿高粉尘环境下的图像清晰度保障问题，系统分析了环境影响因素，提出了硬件防护优化、图像处理技术应用以及环境干预与协同控制的综合措施，并经过典型场景实证验证了多源手段的有效性。研究表明，只有将多维度技术手段有机融合，构建完整的图像保障体系，才能切实提升矿井复杂工况下的视觉监控质量，为智慧矿山建设提供坚实支撑与技术基础。

## 参考文献:

- [1] 张立亚,郝博南,马征,等.煤矿井下图像增强关键技术研究综述[J].煤炭科学技术,2025,53(11):101-116.
- [2] 李鹏程,蔺煜博,张立国,等.煤粉清扫机器人结构设计及分析[J].农业装备与车辆工程,2025,63(07):116-119.
- [3] 孙继平,龚大立.煤矿作业人员“三违”智能识别系统标准研究制定[J].工矿自动化,2025,51(08):1-6.
- [4] 孙继平,龚大立.煤矿瓦斯抽采和探水作业智能管理系统标准研究制定[J].工矿自动化,2025,51(06):1-7.
- [5] 谷敏永.矿用摄像机智能自清洁系统的研究与应用[J].煤炭技术,2024,43(08):245-247.