

红外成像技术在城市地下空间防灾监测与应急搜救中的应用发展对策

王新赛¹, 周丰俊², 郑磊², 贺菁¹

(1. 陆军炮兵防空兵学院, 郑州 450052; 2. 中央军委后勤保障部科研四所, 北京 100850)

摘要: 城市地下空间已经成为全球发展最快的工程建设和商业运营市场, 我国城市地下工程建设水平和规模也达到了世界先进水平, 但随之而来的城市地下空间的安全事故也明显增加, 而相应的安全监控和应急救援却严重滞后, 本文针对我国城市地下空间反恐、防爆、防核生化袭击等安全保障问题, 分析红外成像技术在地下空间防灾监测与应急搜救中面临的挑战, 提出了短波红外成像、多尺度红外成像预处理、图像自适应增强、环境自适应红外成像、灾情定位及报警等关键技术及其系统应用, 探讨了红外成像技术在地下空间灾场的应用, 可为我国城市地下空间安全立法和战略规划制定提供参考。

关键词: 红外成像; 防灾监测; 应急搜救; 对策; 城市地下空间

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A

Application of Infrared Imaging Technology and Development of Countermeasures in Disaster Monitoring and Emergency Search or Rescue in Urban Underground Spaces

Wang Xinsai¹, Zhou Fengjun², Zheng Lei², He Jing¹

(1. Army Academy of Artillery and Air Defense Force, Zhengzhou 450052, China; 2. CMC Logistics Support Department's No.4 Researching Institute, Beijing 100850, China)

Abstract: Urban underground space has become the fastest growing area in global engineering construction and commercial operation. The scale and level of China's urban underground engineering have reached considerably advanced, but ensuing security accidents in urban underground spaces have also significantly increased, and the necessary security monitoring and emergency rescue measures are seriously lacking. This paper focuses on the security issues pertaining to terrorism, explosions, and nuclear biological or chemical attacks in urban underground spaces and analyses the challenges faced by infrared imaging technology when implemented in disaster monitoring and emergency search and rescue. The key technologies and applications presented include shortwave infrared imaging, multi-scale infrared imaging preprocessing, adaptive image enhancement, adaptive infrared environment imaging, and disaster location and alarm. This paper discusses the applications of infrared imaging technology in underground space emergencies such as fires. The research presented here can provide references for security legislation and the strategic planning of urban underground space in China.

Keywords: infrared imaging; disaster monitoring; emergency search and rescue; countermeasure; urban underground space

收稿日期: 2017-11-16; 修回日期: 2017-12-12

通讯作者: 王新赛, 陆军炮兵防空兵学院, 教授, 研究方向为光电成像、模式识别与智能系统; E-mail: xinswang@126.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“交通基础设施重大结构安全保障战略研究”(2015-XZ-28)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

城市地下空间的公共安全事关国家战略全局,是国家安全的重要任务之一。地下空间特有的空间封闭性、人流密集性,使得其安全事故具有更大的突发性、破坏性和恶劣的国际影响 [1]。因此,无论是防控平时的恐怖爆炸,还是应对非常时期的核生化袭击,防灾监控和应急搜救都是保障城市地下空间安全亟待解决的问题。

红外成像技术因其在军用和民用两个领域的广泛应用,得到世界发达国家的高度关注,成为国家科技发展水平和技术实力的重要标志之一。红外成像设备可利用目标间的温差成像,无需照明,且可以探知视场内所有物体的温度变化 [2],特别适用于地下空间实时监控,以及在爆炸火灾应急搜救时进行有效的观测。因此,迫切需要加强红外成像技术在地下空间安全保障中的应用研究。

二、城市地下空间的安全现状

城市地下空间由于其自身特点,使其一方面对很多灾害的防御能力远远高于地面建筑,如地震灾害;另一方面,当地下空间内部发生某些灾害时,其所造成的危害又将远远超过地面同类灾害,如火灾、爆炸等 [3]。这就要求我们一方面要充分利用地下空间良好的防灾功能,使之成为城市居民抵御自然灾害和战争灾害的重要场所;另一方面要重视城市地下空间的火灾、爆炸等防灾减灾技术的研究,防止灾害的发生,或将灾害的损失降低到最低限度。

目前,城市地下空间已经成为全球发展最快的工程建设和商业运营市场,我国城市地下工程建设技术总体上已达到世界先进水平,但随之而来的城市地下空间的安全事故也明显增加,而相应的安全监控和应急救援设备却非常落后,需要引起高度关注。

在日常监管方面,虽然大城市地下空间已有较为完善的监控系统,配备了一些智能化的监控中心和监控平台,同时在部分重要区域采用了可见光视频监控,但使用的前端探头仅有可见光电荷耦合元件 (CCD),而且日常管控缺乏对人流监测的具体数据,所以当灾害发生时,在停电无照明条件

下,视频监控系统会完全失效,对于爆炸火灾更是无法辨识其源头并告警。

一旦灾害发生,通过各种渠道获取现场信息就成为首要任务。但是,当城市地下空间发生爆炸火灾时,现场的低照度、浓烟和高温会使应急救援设备失效。如消防员头盔上面的一个照明手电筒、火场内部侦察用的点源红外线火源探测仪等,在烟雾和低照度下因无法辨识人员、物品,造成不少消防人员伤亡。由于大型救援设备在地下空间使用受限,对救援力量单体探察能力要求高,但目前单体探察能力明显不足,缺乏针对性的成像热感知装备。

三、红外成像技术应用领域及面临的挑战

针对城市地下空间监测面广、管理养护维修困难、安全保障任务重、失事后果严重的问题,利用先进红外成像技术优势,以解决在特殊环境中红外成像技术应用面临的问题。

(一) 红外成像技术应用领域

相对于普通可见光成像,红外成像技术对于提升城市地下空间安全保障水平具有独特的优势,这是由红外成像技术特点决定的。红外成像设备无需光照条件,能精确反映场景的热差图像,可以准确测量场景的目标温度,且具有穿透烟雾、粉尘环境成像的能力,同时功耗低、体积小,便于携带使用,支持网络化监控和实时图像传输扩展,属于本安型产品。

红外成像技术在城市地下空间安全中的应用领域包括:城市地铁/隧道交通安全监测预警;地下人防工事、停车场、交通枢纽等地下大空间低照度下群体目标行为的安全监控;地下石油天然气管线漏油漏气检测,地下水暖管道泄露、供电电缆的短路断路检测;爆炸火灾及烟雾现场抢险救援设备;地下空间防火防爆实时监控;地下公共场所重点区域人流情况监测。

(二) 特殊环境应用亟待解决的问题

目前对于红外成像技术的研究,国内外研究者往往比较关注仪器自身的内部因素,如焦平面阵列探测器、算法设计、光学镀膜镜头等技术对仪器成像性能的影响,而外部环境因素对仪器成像性能的

影响研究较少，特别是实际灾害现场的高温、浓烟、黑暗环境和群体恐慌行为等。

1. 城市地下空间低照度的影响

监控系统在地下空间的开发和防灾救灾全过程中都会起着非常重要的作用。地下空间的特殊性给自然采光型监控带来障碍，在照明和监控设计选择上必须有特殊要求。当火灾爆炸或核生化袭击出现时，通常电力设施会遭到破坏，封闭空间常规配备的应急照明灯即使没有损害，也在燃烧爆炸以及救援灭火的烟雾、粉尘等作用下，使得地下空间呈现低照度状态，无法满足可见光 CCD 监控所需的照度要求，现场对可见光敏感的监控设备就会失效。以红外成像探头为前端的监控系统，在这种恶劣地下空间环境中使用，必然要对穿烟透雾、低功耗等提出更高要求。

2. 空间封闭、爆炸火灾高温灼烧的影响

地下空间相对封闭，当火灾或核生化爆炸发生时，浓烟很难扩散，特别是再生爆炸引发的破坏性加剧，使滞留以及救援人员生命受到威胁，而且现场高温灼烧对于各类应急救援设备的可靠使用也需重点考量。这对红外成像探测设备的环境温度适应性提出了特别高的要求。

3. 灾害突发初期高温浓烟噪声环境的影响

灾害突发初期往往伴随高温浓烟，使得整个空间形成热障，此时长波红外成像监控设备难以清晰观察现场灾情，特别是火灾的原始燃点以及爆炸点附近，会被浓烟雾掩盖，探测设备无法定位感知。需要开发能够不受高温浓烟影响，且能穿透烟雾的特殊的短波红外成像探测设备。

4. 人流密集、布点分散、缺乏管控

城市地下空间仅有为数不多的出入口，如果人员和车辆集中于地下空间时，疏散会受到许多限制。特别是在地下空间的出入口，当灾害或事故发生时，会出现急剧拥堵，堵塞出入通道，造成人员伤亡。而在地面以上出现灾害或事故时，救援力量可以比较方便地到达灾害或事故的现场，例如，消防车、救护车、直升机等可以直接到达灾害或事故现场执行救援。但在地下空间发生灾害时，就会出现救援设备、人员不能及时到位的情况，如一些消防设备难以进入地下空间灾害的现场，因此救援力量单体能力就显得尤为重要。可见在城市地下空间安全保障中，使用红外成像监控系统，可以有效提升防灾

监控效果，同时，高灵敏度的红外探测便携设备在应对爆炸火灾等突发事件中，可以增强武警消防人员的个体应急搜救能力，保护人民的生命财产安全，减少灾害损失，同时也能增强救援人员的防护能力。

四、红外成像的关键技术

建筑材料燃烧产生的热烟气是一个复杂的体系，包含数十种成分。主要分为无机类有毒气体、有机类有毒气体、细微固体颗粒物、凝缩液滴以及剩余空气。其中，细微固体颗粒物是可燃物不完全燃烧的产物，其粒径在 $0.01\sim 10\ \mu\text{m}$ ，是遮蔽可见光、影响火场能见度的最主要因素。

经过近十年的发展，相关红外成像技术已经取得了以下几个方向性的突破，为解决地下空间爆炸火灾中的场景探测提供行之有效的技术支撑。

（一）短波红外成像技术

短波红外成像在雾霾、灰尘、浓烟和低能见度环境下，具有非常好的目标成像探测能力。短波红外 ($0.9\sim 1.7\ \mu\text{m}$) 是重要的大气透射窗口，可以提供可见光，中波、长波红外不能提供的信息，有利于实现 $1\sim 2.5\ \mu\text{m}$ 、 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 和 $8\sim 14\ \mu\text{m}$ 三个大气红外透射窗口的“无缝隙探测”，对在红外波段全面获取目标信息具有重要意义，在交通安全、气候观测、农林普查、国土资源探测、环境监测、深空探测和天文观测等领域具有重大作用。

短波红外成像能探测目标红外反射信息，形成可见视频，图像在分辨率和细节方面可以和可见光图像相媲美，物体更容易被识别，与中长波红外一样能昼夜成像，且具有较强的透雾、霾、烟成像探测能力，还可以透过玻璃成像探测。借助于该波段辅助照射，特别适用于重要区域地下空间安全监控、便携式火灾应急搜救设备。

短波红外成像设备是集光学、半导体材料、微电子学、精密机械、显示器等技术为一体的高新技术产品，研制难度较大，技术复杂；国外对我国此类高端产品封锁严重；经过近年的跟踪研究，具有自主知识产权的国产化产品已经有所突破 [4]，其主要组成包括焦平面探测器、信息读出及成像处理电路、显控等部分。机芯产品具有数字图像细节增

强, 数字图像放大, 黑热/白热图像极性, 对比度、亮度可调, 自适应非均匀性校正, 数字图像采集等功能。

在建筑物火灾浓烟环境下, 细微固体颗粒物悬浮于空气中, 遮蔽了可见光。而在光学成像原理中, 光的波长越长, 其穿过浓烟的能力越强。短波红外成像恰恰是利用了 $0.9\sim 1.7\ \mu\text{m}$ 这段波长大于可见光的波段, 一方面人肉眼对其无法识别, 另一方面, 它具有较好的透烟能力。在建筑物火灾中, 遮蔽可见光的细微固体颗粒物是可燃物不完全燃烧的产物。当氧气浓度低于燃烧材料的氧指数范围时, 氧气浓度越小, 燃烧就越不充分, 越容易产生细微固体颗粒物。

利用灭火救援公安部重点实验室实验平台 [5], 分别在木材阴燃火、棉绳阴燃火、柴油明火与聚氨酯明火四种烟气环境下, 对短波红外摄像机观测发光与不发光疏散指示标志的成像效果进行研究。为了模拟地下空间能够在短时间内得到足够浓度的烟气, 产烟系统不宜设计成外部燃烧式, 本实验燃烧产烟作业全部在集烟箱内部中心处完成。烟气浓度-图像清晰度关系曲线的实验结果如图 1 所示, 其中, 图像清晰度用绝对中心距 (ACM) 表示。实验证明短波红外成像仪在烟雾浓度较大时表现出良好的探测稳定性。

(二) 多尺度红外成像预处理技术

多尺度红外成像的预处理主要解决两个问题: 一是提高图像的温度分辨率和空间分辨率; 二是调整不同通道获取图像的动态范围。采用多尺度 Retinex (MSR) 算法和双边滤波器 (BF) 相结合

的技术 [6], 实现火灾发生时穿透火场热障, 能对火场重点目标清晰成像。

在 MSR 算法中, 小尺度 Retinex (SSR) 分量的主要作用就是图像细节增强以及动态范围压缩, 这与双边滤波器的图像细节增强的特性是十分相似的。可以使用 BF 输出替代 MSR 算法中的 SSR, 以避免由于细节信息缺乏带来的对光照的错误估计, 从而引发“光晕”现象。本质上 BF 是一个带有边缘保护功能的高通滤波器, 通过 BF 获得的细节分量的主要作用是有选择的提取图像中的细节信息, 以实现图像细节增强; 同时消除具有局部高对比度的空间高频分量, 以优化 MSR 算法动态范围压缩的效果。特别是在高温高热的火灾爆炸现场, 具有透过火场对目标清晰成像的突出效果。

利用灭火救援公安部重点实验室实验平台 [5] 对 $0.4\sim 0.76\ \mu\text{m}$ 、 $0.4\sim 1\ \mu\text{m}$ 、 $7\sim 14\ \mu\text{m}$ 三种谱段成像仪进行模拟火灾现场探测图像成像清晰度比较实验, 结果如图 2 所示, 其中, 图像清晰度用 ACM 表示。实验结果表明, 被观测物是否发光、烟气颗粒大小与烟气浓度对红外成像的观测效果均无明显影响, 唯一影响成像效果的因素是被观测物与周围环境的温度对比度。在实际火场高温浓烟环境中, 观测环境比较复杂, 不同物体均由多种材料组成, 不同材料的比热容也不尽相同, 再加上燃烧物质的热释放速率不同、消防力量到场时火焰与烟气对周围环境的热作用时间不同等多方面因素, 导致红外成像没有一个固定的、标准的失效温度。在实际火场环境中, 当高浓度阴燃火烟气导致短波与普通可见光成像均失效时, 只有红外成像有较好的观测效果, 如图 2 所示。当火灾发展到一定阶段, 被观测

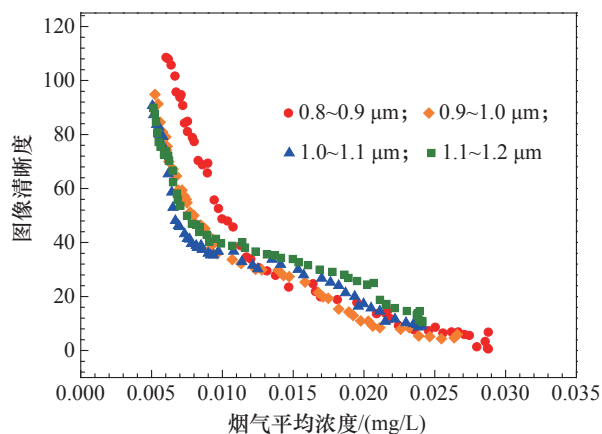


图 1 烟气浓度-图像清晰度关系曲线

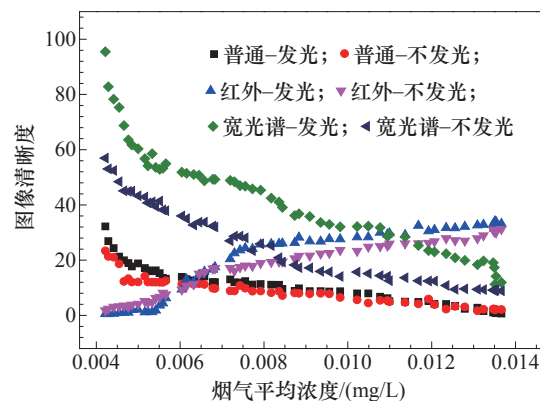


图 2 三种谱段成像仪探测不同浓度烟气中目标图像清晰度对比

物体及周围环境经过火焰或高温烟气一定时间的热作用后，温度对比度极低，红外成像与普通可见光成像均失效，只有短波红外成像有较好的观测效果。因此，将短波红外成像与长波红外成像设备融合使用能够互相取长补短，并适用于更多、更复杂的消防实际火场环境，有效辅助消防部队到场后迅速完成火情探察任务。

（三）先进红外图像自适应增强技术

为了有效地改善和提高红外图像的质量，提高对比度、清晰物体边缘、获得更好的图像信息，红外图像增强算法是一种重要的方法。而增强算法的处理结果直接影响增强后红外图像的质量，尤其在实时性要求较高的情况下，既要保证算法对图像的增强效果，又要保证算法的实时性要求。

通常采用直方图均衡化的图像增强算法。红外图像的特点是接收目标和背景的热辐射，由于背景与目标之间的温度差很低，使他们之间的灰度差较小，而有的高温目标与背景之间的温度差又很高，所以又会出现灰度差很大的情况；因此，采用直方图均衡化方法增强的红外图像，要么背景图像的增强效果不好，要么高温目标又被饱和，并不适合红外图像的特点。为了克服传统直方图均衡化算法的这些不足，后期又出现了平台直方图算法，其算法的关键是平台值的选择，可以有效增强背景的对比度，但是其运算复杂，影响实时性，而且图像边缘依然模糊，没有增强边缘的效果。采用结合自适应平台直方图与边缘增强叠加融合的红外图像增强算法，达到平台直方图阈值的自适应选取、边缘增强、实时性好，能满足复杂的地下空间环境自适应成像探测要求 [7]。

（四）环境自适应红外成像技术

地下空间相对封闭，当火灾或核生化爆炸发生时，其浓烟很难扩散，特别是再生爆炸引发的破坏性加剧，同时现场局部高温灼烧使得环境温度变化剧烈。红外成像在环境温度变化剧烈时，焦平面像素感应温度的非均匀性变化较大，严重影响成像质量；另外，环境温度过高，影响红外成像的灵敏度，导致红外成像探测设备无法探测场景，这对红外成像探测设备的环境适应性提出较高的要求。红外成像探测设备的核心部件是红外焦平面成像机芯（也

称组件），根据环境温度实时监测结果改变红外焦平面非均匀校正模型从而达到背景自适应校正，并通过设计红外成像组件的硬件可重构方法来具体实现。设置红外成像组件的环境精密温度传感器，组件处理器实时读取温度值，并根据温度值选择不同的焦平面非均匀校正系数以适应环境温度变化；红外成像焦平面可以通过改变其偏置电压来调整其输出信号的动态范围，由此进一步改变灵敏度。在设计红外成像组件的硬件电路时，对焦平面的偏置电压采用高精度可编程模式即可以达到目的，实验证明上述方法行之有效 [8]。

（五）基于红外成像的灾情定位及报警技术

地下空间火灾现场面临的难题之一是火源的定位，由于地下建筑物及路径复杂和空间有限，加上火灾发生时在浓烟条件下无法辨别火源位置，出现贻误搜救时机的问题。利用预先构建的地下空间地理信息系统，在地下空间布控带有电子定位标签的红外成像终端，分布式组网红外成像终端能够覆盖所有空间区域。由于红外终端是固定安装，将其作为基站（预先知道位置坐标），其所观察区域中的所有目标位置都可以在地理信息系统上得到确认。

为了实时获得现场的异常情况，采用在前端红外成像终端中嵌入目标识别及热源追踪等图像处理技术，以有效获得红外成像场景中的热点目标，并利用红外成像的测温功能对热点目标进行实时温度测量，判断热点目标的绝对温度值是否大于所设定的门限值，或者热点目标的温度上升速率是否高于所设定的阈值。如果出现异常情况，红外成像终端利用内嵌低功耗无线网格（Mesh）网络模块，能够有效地进行自组织通信，经过多跳传输在非均匀电离的媒质空间找到与外界通信的通道。由于 Mesh 网络模块与火灾报警系统同步安装，其密度足够在火灾区域构建起可靠的通信系统，自动通过无线自主网络或者有线网络向监控指挥中心传送目标的视频、位置坐标、目标的温度及温升速率等信息，并同时发出声光报警信息。

五、红外成像技术在特定领域的应用

在城市地下空间领域，红外成像技术主要用于

地下空间灾害防控系统的研发,在系统的稳定可靠方面取得了重大进展。其中在超短波红外成像组件、多功能小型手持式红外成像仪、红外消防头盔等方面取得了进展。

(一) 多功能小型手持式红外成像仪

城市地下管线经常需要安全检查员定时巡视,以防止渗漏、火灾、各种管道及电缆破裂等灾害发生。同时在灾害发生时需要寻找根源,尤其在断电和烟雾灰尘较浓情况下实施救护,需要在能见度不好的情况下也能对现场进行有效的观察。运用红外成像技术研发的多功能小型手持式红外成像仪对现场进行观测,为后续救援修复工作的开展提供基本支持。

多功能小型手持式红外成像仪能够对各类目标进行实时红外成像探测,可以实时记录(拍照、录像)现场场景,并回放红外视频图像。该产品采用电池供电,连续工作时间长,具有体积小、重量轻、携带方便、可单手操作等特点 [9]。

(二) 消防头盔式红外成像系统

当城市地下空间发生爆炸火灾险情时,由于没有电力,照明系统开始失效,浓烟严重影响常规消防头盔的使用效能,无法看清现场情况,不能有效地实施救护,甚至威胁到消防人员的生命安全,采用红外成像头盔使得消防人员能清晰观察火场火情,容易发现进出火场的路径,减少人员伤亡。

该系统采用了基于特征分解的红外焦平面非均匀性自适应校正方法 [10]、连续帧图像的成像参数优化技术、基于局部线性嵌入(LLE)算法的红外伪彩色图像增强算法 [11],提升了观测图像的清晰度和层次感,有助于消防人员在运动中通过头盔观察镜对目标进行高清晰、高分辨率的探测和识别,实时记录(拍照、录像)现场场景,同时采用红外图像无线传输功能可与指挥中心取得联系。该系统采用电池供电,连续工作时间长,具有重量轻、抗震性强、操作方便等特点,与普通制式的消防头盔结构相似。

(三) 烟雾下短波红外成像救援设备

现代战争是核威胁下的高技术战争,在城市地下空间的安全保障中需要大力加强对核生化袭击的

军事防御准备。在处于核生化袭击的城市地下空间,通道环境相对恶劣,通常有大量防护(雾消)的烟雾释放,特殊的救援设备对通行空间要求较高,交通量相对较大,可以使用先进的短波红外成像透雾装置进行观察、识别,以方便救助。

(四) 管控区域人员统计红外成像终端

相对封闭的地下空间通常由许多区域构成,一旦发生人员踩踏事故,就特别需要知道该区域内的人员数量。为此,需要设计基于红外成像的管控区域人员统计红外成像终端,能 24 h 统计地下空间各个区域的人员流动情况,运用红外成像以及相应的视频流图像分析技术,在视频监控范围内进行人员进出流量分析和计数,同时存储并发送至指挥中心,形成人员进出实时报表,统计准确率可达 98%。

(五) 网络化测温型红外成像监控系统

城市地下空间各区域小而分散,由于各区域性质、功能不同,监控的目的也不同。对于突发火灾爆炸的安全防范,人工巡视比较困难或者达不到效果,可以通过构建网络化测温型红外成像监控系统,及时发现隐情,防患于未然。这种探测与测温一体化的红外成像设备终端,可以随时观察到现场图像,同时又能监测观察目标的温度变化状态,当探测到目标温度异常时会自动识别告警。该设备采用高速并行数据流传递技术,将图像信息上传到综合集成管理器,进行多点分布式联网监测,形成网络化红外成像监控系统,及时获得监控区域的现场情况。

(六) 分布式红外成像安全监控系统

针对大型城市地下空间反恐监测的需求,即在低照度条件下,发现并识别监控点周边可疑人员和爆炸物品入侵,进行声光或小范围预警,同时进行目标测距、测速并进行追踪报警,根据设定目标及靠近速度,监控中心和报警装置进行联动。采用红外光、可见光双光谱的视频监控,综合运用多波段成像融合处理 [12]、红外图像背景自适应增强、红外焦平面自适应校正等技术,有效增强了低照度下红外图像的质量和可靠性。红外成像视频监控终端具有结构紧凑、功耗低等特点。该系统通过微波无线视频传输,采用综合集成管理下的分布式终端监

控技术,结合目标静态与动态特征识别方法,建立了典型目标特征库,具备实时的目标识别和异常行为提示功能,实现了观察图像数据的高速处理,实时录像、拍照和回放功能,大大提高了地下空间在无照明、浓烟、高温状态下的监控和搜救指挥能力。

六、发展对策

(一) 加强灾害防控保障的立法

由于地下空间的特殊环境,灾害发生后的损失非常严重,有时是毁灭性的灾难,基于此,应重点研究地下空间的火情灾情预警的防控[13]。防火防灾以防为主,遏制事故高发态势,就需要以市政部门(建设、交通、铁道、消防)以及行业部门强有力的法规作指导和规范,提出针对地下空间安全防控的管理法规。虽然我国针对地下空间建筑工程施工期的安全防控有一些相关法规,但还不健全,在灾害防控方面还亟待加强。如完善地下防火安全性措施的基本方法,强制实施具有穿透烟雾功能的红外视频监控技术,制定救助、援助的消防政策等。

(二) 加快红外成像应用研究立项

鉴于地下空间安全防控是一项系统工程,不可预见的安全因素多,对环境、社会影响大,防治技术难度高,建议国家科学技术部将《多波段红外成像融合技术在城市地下空间中的智能防灾监测应用研究》列为“十三五”技术支撑研究重大专项,尽快开展研究。同时加大项目倾斜力度,对低成本红外成像模组和系统规模化生产给予更多关注,以利于其普及推广。

(三) 构建多级智能红外监控网络

对于城市地下空间的防灾监测,利用固定式红外成像网络化监控系统进行低照度实时监控,在灾情发生时实施提前预警显得尤其重要。如发展地下空间安全监控和预报技术、建立地下工程信息系统,结合人类群体行为心理学专家的经验,把灾害发生时的场景实时记录下来,作为应急处理时的决策支持或用于灾后损失评估[14]。同时,建立安全远程监测系统,通过传感器获取信息后及时反馈到指挥

部,实时进行大数据分析,及时发出警报并采取预先制定的应急预案。

(四) 加强人员搜救设备的保障

当地下空间出现灾情时,可能伴随空间环境污染,而且供电系统通常不能正常运行,但是在爆炸火灾现场的抢险救援中,及时有效的施救又是非常有必要的,所以一方面要加强对救援人员的个人装备(红外头盔、手持红外成像仪等)的研究,这些装备也是救援人员发现危情、撤离现场、寻找撤离路线的必要装置;另一方面也要针对地下空间的狭窄性、发生灾害时的高危险性,有必要加强对相关具有红外视觉救援机器人(自主救援机器人)的研究。

(五) 关注地下空间的图像传输

关注红外成像技术的研究技术水平和信息传输技术发展进度,将多光谱成像融合技术与地波通信技术结合,加快研制分布式可定位前端红外成像探头,并应用于地下空间实时监控系统的图像传输。同时,将现代物联网技术引入地下空间的实时灾情监控系统,地下空间的灾情发生情况是复杂多变的,所以除了成像传感器以外,还需要多类传感器(生化、气味、震动、烟雾等)进行实时探测定位,这些传感器的结合就可以全面监视地下空间情况。另外,要整体规划地下空间的多层次视频监管监控网络系统,加大对相关地下空间监管监控的专有技术和设备的研究,便于实时了解地下空间的整体情况。

综上所述,红外成像技术在城市地下空间安全保障领域中具有广阔的应用前景。作为国家战略新兴产业重点发展的技术之一,红外成像技术倍受瞩目;非制冷红外成像技术经过数十年的发展,其核心探测器件的国产化水平进一步提升,且成像质量稳定、应用场景广泛,规模化成本已经具备产业化条件,为城市地下空间爆炸和核生化袭击防护提供了有效的视频成像安全监控和应急搜救的基础保障。

参考文献

- [1] 钱七虎. 地下工程建设安全面临的挑战与对策[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(10): 1945-1956.
Qian Q H. Challenges faced by underground projects construction safety and countermeasures [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(10): 1945-1956.

- [2] 刘雨. 红外序列图像处理关键算法研究 (博士学位论文) [D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
Liu Y. Research of key algorithm for the sequential infrared images (Doctoral dissertation) [D]. Hang Zhou: Zhejiang University, 2015.
- [3] 周丰峻, 郑磊, 周丽, 等. 城市大跨度地下空间工程技术研究 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2011, 30 (S2): 1146–1151.
Zhou F J, Zheng L, Zhou L, et al. Research on city large-span underground space engineering [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Nature Science), 2011, 30 (S2): 1146–1151.
- [4] 王新赛, 崔洛鸿, 路建方. 超短波望远镜: CN201420847180.2 [P]. 2015-11-25.
Wang X S, Cui L H, Lu J F. Super short wave telescope: CN201420847180.2 [P]. 2015-11-25.
- [5] 康青春, 于大鹏, 李伟平, 等. 《便携式火场侦检宽光谱摄像机研制》研究报告 [R]. 廊坊: 灭火救援技术公安部重点实验室, 2017.
Kang Q C, Yu D P, Li W P, et al. Research reports “Development of a portable fire detection wide spectrum camera” [R]. Langfang: Key laboratory of fire fighting and Rescue technology Ministry of Public Security, 2017.
- [6] 郝宇, 王新赛, 张彦波, 等. 基于自适应尺度因子的Retinex 红外图像增强算法 [J]. 红外技术, 2016, 38(10): 855–859.
Hao Y, Wang X S, Zhang Y B, et al. The infrared image enhancement algorithm based on adapted scale factor Retinex [J]. Infrared Technology, 2016, 38 (10): 855–859.
- [7] 贺明, 王亚弟, 王新赛, 等. 极值温差红外图像的自适应双局部增强算法 [J]. 强激光与粒子束, 2014, 26 (8): 29–33.
He M, Wang Y D, Wang X S, et al. Adaptive bilocal enhancement algorithm for infrared image with extreme temperature difference [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2014, 26(8): 29–33.
- [8] 王新赛, 李明明, 张宏州, 等. 超小型无挡板自适应红外成像组件 [R]. 郑州: 防空兵学院, 2016.
Wang X S, Li M M, Zhang H Z, et al. Ultra small adaptive infrared imaging component without baffle [R]. Zhengzhou: Air Defense Forces Academy, 2016.
- [9] 赵广州, 张天序, 王新赛, 等. 基于DSP和FPGA模块化实时图像处理系统 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2004, 32 (10): 4–6.
Zhao G Z, Zhang T X, Wang X S, et al. Modularized real-time image processing system based on DSP and FPGA [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition), 2004, 32 (10): 4–6.
- [10] 贺明, 王新赛, 路建方, 等. 基于特征分解的红外焦平面非校正算法 [J]. 强激光与粒子束, 2013, 25(3): 603–606.
He M, Wang X S, Lu J F, et al. Non-uniformity correction algorithm based on image decomposition [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2013, 25 (3): 603–606.
- [11] 吴强, 王新赛, 王卫平, 等. 基于LLE的红外成像彩色化处理算法研究 [J]. 应用光学, 2012, 33 (4): 733–737.
Wu Q, Wang X S, Wang W P, et al. Infrared imaging colorizing method based on local linear embedding [J]. Journal of Applied Optics, 2012, 33 (4): 733–737.
- [12] 王新赛, 张俊奇, 贺菁. 宽光谱多波段自适应成像系统: CN201510067397.0 [P]. 2016-10-05.
Wang X S, Zhang J Q, He J. The wide spectrum multi-waveband adapted imaging system: CN201510067397.0 [P]. 2016-10-05.
- [13] 马绥华. 火灾烟雾颗粒粒径分布的测量与计算模拟 (博士学位论文) [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2006.
Ma S H. Measurement and computational simulation of the fire disaster smoke particles size distribution (Doctoral dissertation) [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2006.
- [14] 周丰峻, 郑磊, 王培涛, 等. 城市地铁工程公共安全评估和对策研究 [C]. 2010 中国城市轨道交通工程技术论坛论文集. 北京: 中国工程院, 2010: 17–21.
Zhou F J, Zheng L, Wang P T, et al. Study on public safety technology evaluation and countermeasure of urban subway engineering [C]. Proceedings of Forum on 2010 China urban rail engineering technology. Beijing: Chinese Academy of Engineering, 2010: 17–21.