

热释粒子在仓储设施、IDC数据中心极早期火灾探测中的应用研究

高大明

上海琳辉建设发展有限公司 上海

摘要: 国内的仓储设施、IDC数据中心随着电商经济的发展呈现井喷之势,仓储设施的高大空间和IDC数据中心设备的高价值都对消防设施的探测和灭火能力提出更高要求。普通的烟雾探测系统只能被动等待烟雾达到报警阈值才输出报警信号,对仓储和IDC数据中心而言,如此滞后的探测系统的时效性已经不适用此类项目,一旦失火会带来巨大损失。热释粒子是可燃物在达到热损值时便会释出的带电粒子,远早于燃烧产生烟雾的时间,采用探测热释粒子发现火灾,可以在烟雾产生前的极早期给出报警信号,为值守人员和灭火系统提供预警,争取了灭火时间,防患于未“燃”,将火灾损失降低到极低,本文系统地阐述了热释粒子的概念,热释粒子探测器的设计理念、相比现有探测器的功能差异、工作原理等,论述热释粒子探测系统目前的应用及未来应用趋势。

关键词: 仓储; IDC数据中心; 热释粒子; 电池热失控管理

Research on the application of pyroparticles in very early fire detection in storage facilities and IDC data centers

Daming Gao

Shanghai Linhui Construction Development Co., LTD. Shanghai

Abstract: In the wake of the rapid development of the e-commerce economy, domestic warehousing facilities and IDC (Internet Data Center) data centers are experiencing a surge in growth. Both the vast spaces of warehousing facilities and the high-value equipment in IDC data centers place higher demands on fire detection and extinguishing capabilities. Conventional smoke detection systems passively wait for smoke to reach the alarm threshold before outputting an alarm signal. For warehousing and IDC data centers, the timeliness of such lagging detection systems is no longer suitable, as a delayed response to a fire could result in significant losses. Heat-releasing particles are charged particles emitted by combustible materials when they reach their ignition temperature. These particles are released well before the generation of smoke during a fire. Detecting fires using heat-releasing particles can provide an early warning signal well before the formation of smoke, enabling personnel and firefighting systems to respond in a timely manner, thereby minimizing firefighting time and reducing fire losses to a minimum. This paper systematically elaborates on the concept of heat-releasing particles, the design principles of heat-releasing particle detectors, their functional differences compared to existing detectors, and their working principles. It also discusses the current applications of heat-releasing particle detection systems and future trends in their utilization.

Keywords: Storage; IDC Data Center; Pyrogenic Particles; Battery Thermal Runaway Management

引言:

国内的仓储设施、IDC数据中心随着电商经济的繁荣而快速发展,仓储设施、IDC数据中心近10年以来迅猛增加。但这两类场所的特殊性也导致一旦发生火灾,不仅造成巨大直接损失,还会造成不可估量的间接损失。仓储设施的高大空间会使火灾迅速蔓延, IDC数据中心的服

务器不仅硬件成本巨大而且存储的数据价值不可估量,这两类场所都对发现火灾的时效性提出了极高要求。热释粒子探测系统能够有效地解决这一问题,本文重点阐述这方面的问题、现阶段解决的方案以及对未来的展望。

一、火灾探测系统的现状和发展

1. 火的本质

二十世纪初前苏联科学家H·H·谢苗诺夫创立的燃烧链式反应理论得到了公认，链式反应理论认为物质的燃烧是由可燃物（助燃物）先吸取能量而离解为自由基与其他分子相互作用形成连锁反应，将燃烧热释放出来。燃烧过程会释放光和热的物理现象，自由基与其他物质分子反应生成新的自由基或者自行结合成稳定的分子则是燃烧的化学属性，链式反应理论认为，燃烧不是两个分子之间直接起作用，而是它们的分裂物即自由基这种中间产物进行的链式反应。依据国家标准GB/T5907.1-2014《消防词汇 第1部分：通用术语》得知火的本质

是以释放热量并伴有烟或火焰或两者兼有为特征的燃烧现场，燃烧是可燃物与氧化剂作用发生的放热反应，通常伴有火焰、发光和烟气的现象。（见图1）

2.火灾探测系统的现状

目前的火灾探测系统大多是针对燃烧连锁反应的产物设计的，燃烧产物包括热、光和氧化产物。常见的点型烟感、温感探测器，红线型光束感烟探测器，极早期烟雾探测器、火焰探测器等都是针对燃烧氧化反应的产物而设计的，都只能在燃烧的第2、3、4阶段发现火灾。（见图2）

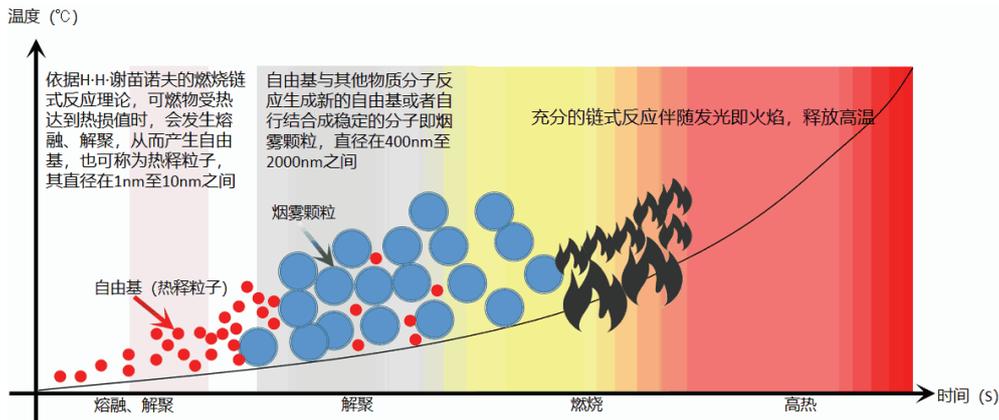


图1 燃烧的四个阶段

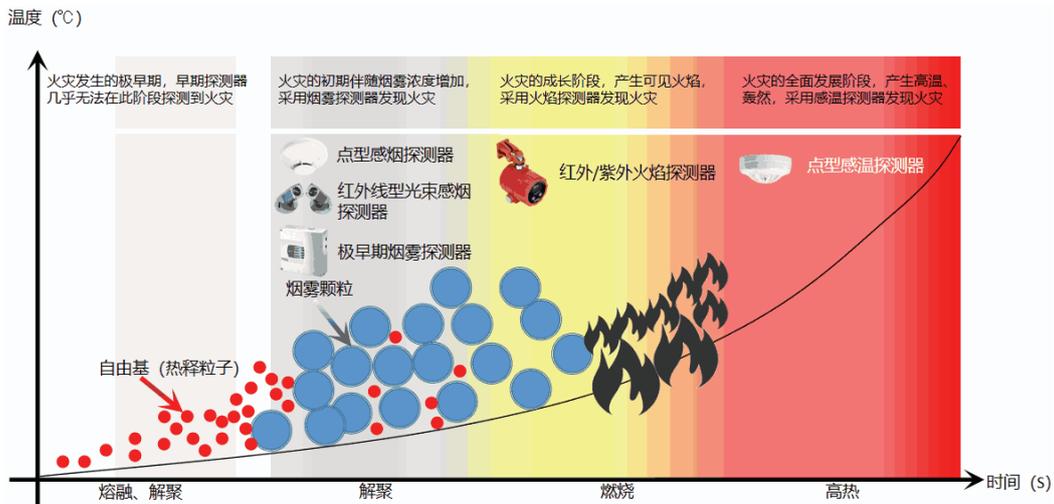


图2 燃烧各阶段对应的火灾探测系统

二、仓储及IDC数据中心火灾危险性分析

根据国家消防救援局统计数据 displays, 2022年, 全国接报物资仓储场所火灾5069起, 比2021年上升15.9%, 仓库火灾一般引燃时间较长, 不易发现, 具有烧大火的条件, 一旦发生火灾扑救难度极大, 灭火用水量大, 过火面积大, 作战时间长, 电气线路老化发生短路故障造成电弧和点火这一类电气线路故障是引发火灾一大原因。

IDC数据中心能耗高, 其主要动力设施有冷冻站、柴油发电机、服务器、UPS电池等大量用电设施, 电气

火灾概率是普通场所的4-5倍, 也占该类项目火灾原因的较大比例, 因数据中心设备价值高, 扑救火灾时一般使用气体灭火系统, 灭火成本巨大, 如使用七氟丙烷等灭火剂, 通常一个800 m²机房的药剂成本在30万元, 另外灭火剂释放后还需人工拆卸灭火剂储存钢瓶二次充装, 使用危险品运输专用车辆等, 全部成本将达到40-45万元, 最重要的是, 灭火系统启动时会联动切断所有非消防电源, 造成服务器宕机引起间接损失, 安全提供商赛门铁克公司对2400多名IT专业人士做了相关调查, 在过

去一年中,平均每个数据中心发生停机事故高达16次。根据波洛蒙研究所发布的“数据中心中断成本”报告显示,数据中心宕机总成本在持续上升。自2010年以来,停机时间的平均成本上升了38%,平均每起事件成本为740,357.00美元,相当于每分钟损失成本近9,000.00美元(其损失从每分钟926美元到17,244.00美元不等)。

因此,对于近几年大幅新增的仓储设施和IDC数据中心,在更早的时间及时准确发现火灾,联动灭火系统将火灾消灭在萌芽状态就变得十分急迫,为此在燃烧的第1阶段实现火灾探测便成为新的研究方向。

三、热释粒子的探测原理和应用

1. 热释粒子的探测原理

可燃物在受热达到热损值上限状态下会释放出微小的带电微粒(也可称为自由基或热释粒子,下文称热释

粒子),热释粒子数量相比烟雾颗粒数量更多,粒子直径大多在1nm至10nm之间,并伴随燃烧的全过程。而烟雾颗粒直径则会达到100nm至2μm之间。

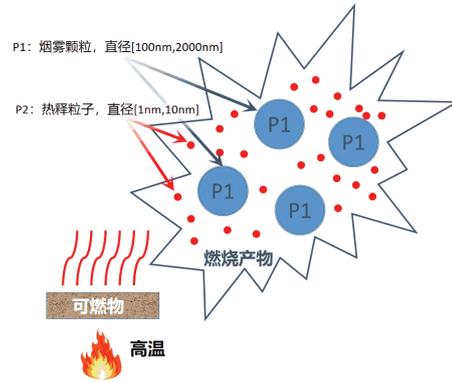


图3 燃烧产生热释粒子和烟雾颗粒

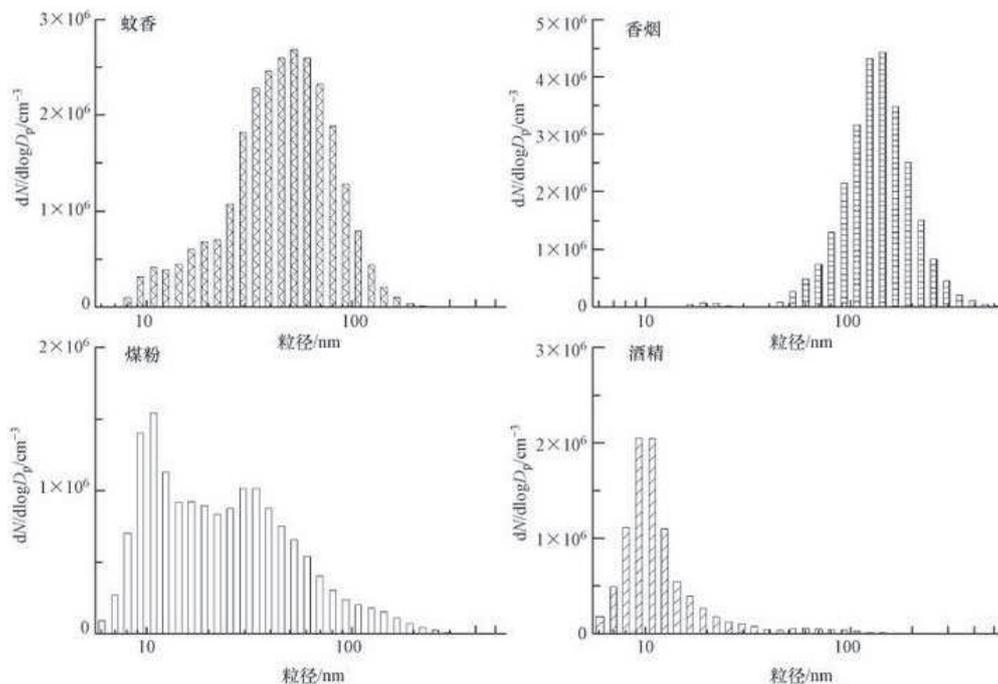


图4 不同燃烧物释放颗粒物粒径分布特征受燃烧源的化学成分影响产生的颗粒物数浓度谱分布

图4是不同燃烧源释放颗粒物粒径谱分布与燃烧源的化学成分关联图,可燃物温度达到热损点时释放出大量的热释粒子。当可燃物温度超过热损点后,才会出现阴燃阻燃等现象。此时烟雾颗粒才会出现。从可燃物开始受热到可燃物发生阴燃,这个过程最长可为数小时。因此,在燃烧初期,可以通过采集环境中的热释离子浓度进行燃烧判断,提前数小时消除火灾隐患。

普通的报警设备只能在燃烧达到激烈程度后才能报警,现有感烟系统也只能检测到物质燃烧产生的烟雾。

由图4可见,燃烧颗粒物粒径分布特征均呈相似的双峰分布,可通过检测此类粒径物质作为火灾判断依据。

由于空气中粉尘粒径在200nm以上,会对检测结果产生一定干扰。如果采用烟感报警器,极有可能被空

气中的粉尘颗粒干扰,造成误报。

所以选择20nm以下的微粒作为探测结果判据,可以实现精准预报。避免了采样环境的环境干扰,使得检测结果更为准确。

而热释离子的粒径大小多为1nm—10nm,符合第一谷峰的检测要求,因此能够更为准确地察觉出燃烧征兆。

2. 热释粒子探测的应用

针对仓储及IDC数据中心,现存的电气火灾探测原理是采用互感器探测电缆、母线的剩余电流和温度判断是否有短路、过载等电气异常,弊端非常明显,如非电因素导致的火灾剩余电流探测方式无法报警,而直接反映燃烧温度变化的测温式电气火灾监控探测器是通过热传导器件探测电缆接头处的温升,因为这种探测器是接

触式安装, 所以当探测器过多时, 配电柜内空间有限, 此类接触式探测变得不适用。

目前能够相对在燃烧较早阶段报警的烟雾探测器包括离子烟感、光电烟感、红外线型光束烟感以及灵敏度更高一些的吸气式感烟火灾探测器(极早期烟雾探测器), 这些感烟探测器探测阶段均是燃烧第2阶段产生的烟雾粒子, 而空气中的粉尘粒径也恰好在烟雾粒子粒径区间内, 此类探测器非常容易受到灰尘的干扰, 常常会误报。

在“字节跳动大数据临港三期项目”中, 针对大量中低压配电柜的电气火灾采用热释粒子复合光电感烟探测器来监控被保护区域可燃物变化, 电器和线缆的临界热解温度是150℃~220℃, 低于该温度热解产生的烟气量极低, 分解出极小直径1nm~10nm热释粒子, 超过临界温度后, 烟气开始加剧析出, 较大颗粒400nm~1200nm占比会较多。根据Miler光学散射原理, 普通的光电探测器对较大直径粒径相应好, 但是对极小直径的热释粒子响应会较差。



图5 热释粒子复合光电感烟探测器外观

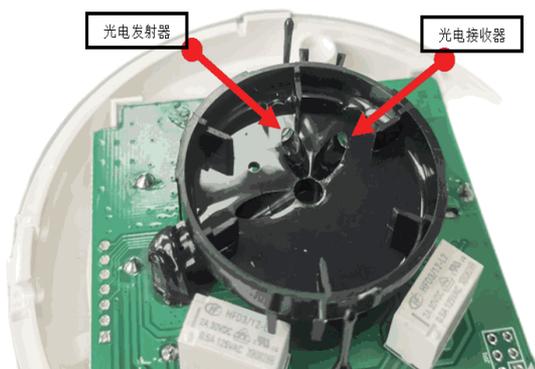


图6 探测器内部构造——光电感烟探测器

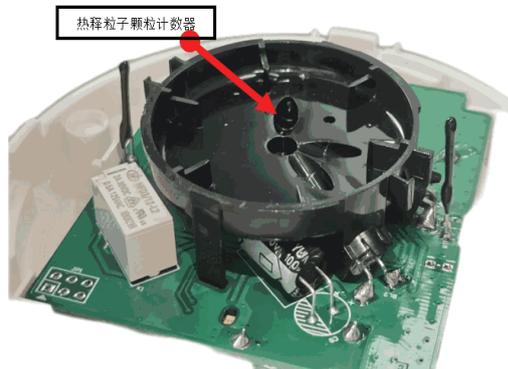


图7 探测器内部构造——热释粒子颗粒计数器



图8 热释粒子复合光电感烟探测器监控区域
四、结论与展望

综上所述, 检测火灾早期热释粒子这一最危险的特征探测火灾, 弥补了现有火灾探测产品的诸多不足, 实现了无烟、无火、无热的状态下的极早期火灾报警, 做到了第一时间察觉火灾隐患, 真正做到了防患于未然。

我国新能源行业处于高速发展时期, 大量新能源汽车、光伏发电和分布式储能产生了对各类电池的大量需求, 目前常用的铅酸电池, 钠硫电池, 液流电池和锂电池, 锂电池因能量密度高而被广泛采用, 但锂电池的燃烧也是链式反应, 普通灭火剂无法灭锂电池火灾, 只能通过全氟己酮采用冷却方式控制锂电池火灾的蔓延, 因此在锂电池达到热损点时探测到其释放的热释粒子, 并采取控制打破其进入链式反应便尤为重要。热释粒子探测也是目前电池热失控管理的有效补充。

参考文献:

[1]姚松经, 屈励, 毕少颖, 程晓舫, 唐晓亮等.消防词汇 第1部分: 通用术语(GB/T5907.1-2014)中国标准出版社, 2014.

[2]吕建焱, 李定凯, 吕子安.燃烧过程颗粒物的形成及我国燃烧源分析[J].环境污染治理技术与设备, 2006, 7(5): 43-47.

[3]孙在, 谢小芳, 杨文俊, 陈秋方等.煤燃烧超细颗粒物的粒径分布及数浓度排放特征试验,《环境科学学报》, 2014-12-30.

[4]张永亮^{1, 2}, 赵立欣¹, 姚宗路¹, 田宜水¹, 孟海波¹, 张学敏².生物质固体成型燃料燃烧颗粒物排放分布特性 1.农业部规划设计研究院, 农业部农业废弃物资源化利用重点实验室, 北京 100125, 2.中国农业大学工学院, 北京 100083.

[5]Morawska L, Zhang J J. 2002. Combustion sources of particles 1: Health relevance and source signatures[J]. Chemosphere, 49(9): 1045-1058.

[6]李宁宁.低压配电柜电气火灾监控新技术研究,《建筑电气》, 2014-04-22.