

煤场自燃预防与控制的研究与应用现状分析

赵欢欢 李艳群 赵宁宁

(北京物资学院 信息学院 北京 101149)

摘要: 准确可靠、及时有效的预警信息与控制措施是煤场预防自燃的关键。通过文献分析,本文总结了煤场自燃预防与控制的传统方法及现代预警方法的优缺点,阐述了针对煤场自燃不同阶段检测参数变化(如温度、气体)及对应控制措施;分析了目前应用存在的问题及无线传感器网络的应用前景。基于无线传感器网络的应用,做到预防控制一体化、自动化,实现全天候多参数监测。

关键词: 煤场; 自燃; 防控; 物联网-无线传感网络

中图分类号: TD75

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research and Application of Prevention and Control of Spontaneous Combustion in Coal Yard

ZHAO Huanhuan, LI Yanqun, ZHAO Ningning

(School of Information, Beijing Wuzi University, Beijing 101149, China)

Abstract: It is essential to have accurate, reliable, timely, and effective early warning information and control measures in prevention and control of spontaneous combustion in coal yards. Through literature analysis, the advantages and disadvantages of the traditional spontaneous combustion prevention and control in coal yards and modern early warning are summarized, and the changes of detection parameter (such as temperature and gas) and corresponding control measures at different stages of spontaneous combustion are expounded. In addition, it analyzes the existing problems and the prospect of wireless sensor network. The application of the wireless sensor network is conducive to the realization of integrated prevention and control, automation, and all-weather multi-parameter monitoring.

Key words: coal yard; spontaneous combustion; prevention and control; internet of things-wireless sensor network

煤炭在我国的能源结构中占有举足轻重的地位。煤炭在长期储存过程中有可能会发生自燃,煤场自燃可能引发爆炸事故与火灾事故,不仅影响企业的正常生产给企业造成经济损失,还会污染环境^[1]。所以,不断研究和总结煤场自燃预防与控制措施具有重要的意义。

构成煤炭有机质的元素主要有碳、氢、氧、氮和硫等。在实际生产中,煤长期与空气中的氧接触,发

生物理、化学变化。由于煤炭在氧化过程中会产生大量热,热量如果不能及时散发,那么煤堆温度将会逐渐升高,煤的氧化也随之加快,从而释放出更多热量及小分子气体,当二者达到一定程度后便会发生自燃。

煤场中煤堆自燃是一个复杂的物理、化学作用过程,除受内部因素影响外,还与外部因素有关。煤场中煤堆自燃的内部因素主要是煤炭中的可燃物

* 收稿日期: 2020-09-11

基金项目: 北京高校物流技术工程中心项目(BJLE2010)

作者简介: 赵欢欢(1998-),女,山西临汾人,在读硕士研究生,从事智能物流系统研究, E-mail: 1908524126@bwu.edu.cn

质,如有机质;引起煤场自燃的外部因素有风速、堆放参数、孔隙率、空气湿度等。煤的变质程度、煤岩显微组分、水分和黄铁矿含量等与煤堆内温度的升高密切相关。煤堆高度、煤堆坡面迎风倾角、煤的含水量、风向和风力等都对煤堆与空气接触情况及煤堆温度升高有影响^[2]。

1 煤场预警方法研究与应用现状

为达到更好的煤场自燃实时监测效果,针对不同的应用场景,研究学者们均做出了相应的预警措施,如表1所示。

1.1 传统检测方法

温度是重要的自燃检测指标,对于煤场自燃预警传统上多采用人工观测及测温法进行。

1.1.1 人工观测

人工定期使用手持测温杆进行煤堆内部温度的测量,需要依靠工人长期积累的工作经验。这种方法存在时效性差、效率低、可重复性小、人员安全隐患等问题,目前基本已被淘汰。

1.1.2 测温法

温度传感器测温法、光纤测温技术及红外测温法是应用较成功的测温技术。

1) 温度传感器测温法。温度传感测温法预测可靠、直观、准确性高,应用时需要将传感器布置在测温点。赵琳娜^[3]研究并设计了基于 ZigBee 的储煤场无线传感器温度监测网络系统,由于 ZigBee 传输距离短且速率低,需要对采集温度进行多级无线传输,因此传输时间较长,且很难准确地选择测温点位置。

2) 光纤测温技术。光纤测温技术大多应用于圆形煤场,主要分层安装在挡煤墙内部,维护及更换不够方便。光纤不仅可以作为传感媒介,还可以作为传输介质,具有敏捷性高、分布性好等特点。

3) 红外测温法。不同于前面两种测温方法,红外测温技术具有检测快、安装维护容易、操作简单等优点,而且监测范围广。王艳春^[4]等人通过在封闭式圆形煤场设置中心位置内圈导轨、棚顶外圈导轨以及红外测温仪水平导轨三条导轨,实现封闭式圆形煤场无死角红外测温,预防火灾事故的发生。韩子彬^[5]在选煤厂煤温监测方法的研究中,开发了一套基于红外热成像技术的煤温监控系统,实现对煤温的实时监测控制。尽管红外测温法是非接触式测

温,但容易受到测温范围内大气污染物等影响,检测的准确性仍会有一些偏差。

1.1.3 气体检测系统

光纤检测气体作为一种预警方式,大多应用于采空区煤自燃预警系统中。Liang Ruiguang 等^[6]开发了一种基于气体传感器信息融合技术的火灾监测系统,可以有效地完成存在问题领域的气体探测并提供可靠的数据保障煤矿灾害的预报。Qiu Xuan-bing^[7]设计了一种微型激光传感器系统,用于对温度范围为 85 ~ 200 °C 的煤样进行实时现场调查。

1.2 现代预警技术

传统预警方法由于自身的局限性,检测功能比较单一,预警存在延迟、不精确等问题。不少学者在研究与实际应用中,为避免温度误差或外界因素对检测结果的影响,利用现代化网络技术手段对煤场进行多参数全天候监测并采取有效的预防措施。

1.2.1 综合监测系统平台

综合监测预警平台由多个子系统组成,能够满足全方位、多参数监测。蔡文霞^[8]从煤堆表面温度、可燃气体、烟雾浓度等几方面进行安全监测,针对具体的工程设计了圆形贮煤场安全动态监测系统。王艳春^[9]提出一种封闭煤场综合安全监控系统,每个煤场可以根据自身的实际情况选择不同子系统的组合。王玉婷^[10]结合某条形封闭煤场安全监测系统的设计与应用,实现了对煤场内的气体监测、粉尘监测、温度监测并给出早期预警。尽管综合监测系统功能齐全,但其结构复杂需要通过数据端口与各个子系统进行命令交互、数据交换。因此,决策和存储需要更好的处理器和服务器等软硬件。

1.2.2 无线传感器网络检测

无线传感器网络依赖设备自身的智能,具有覆盖范围大、监测信息可靠性高、成本低、能耗低等特点。王建军^[11]开发了煤仓自燃特征信息无线监测系统。王圣齐^[12]采集温度和气体(CO 和 CH₄)参数,结合试验和 BP 神经网络自燃点预测,开发了储煤筒仓智能安全监控系统。王敏等^[13]搭建了一种基于云网络的地面储煤场所煤自燃在线监测预警管控平台系统,主要由矿用本安型多参数传感器、矿用监测基站及监测预警软件三部分构成。当温度超过设定阈值时,就会对指标气体进行分析,同时预警,实现多参数全方位监测,有利于及时了解和处理安全隐患,切实保障安全生产工作安全。

表1 煤场自燃预警方法比较
Table 1 Comparison of warning methods of spontaneous combustion in coal yards

煤场预警方法	优势	不足
人工观测	简单	单凭经验
温度传感器测温法	预测可靠、直观，准确性高	需要安装
光纤测温技术	具有敏捷性高、分布性广等特点	需要安装
红外测温法	检测快、安装维护容易、操作简单	易受环境影响
光纤检测气体	具有敏捷性高、分布性广等特点	较多用于采空区
综合监测系统平台	监测功能较多	软硬件要求高
无线传感器网络	依赖自身的智能	对网络稳定性要求高

2 煤场控制手段研究与应用现状

防止煤场自燃要做到预防为主、防治结合。针对煤场自燃不同阶段,采用温度和气体参数检测预警,并选择相应的控制手段,如表2所示。

2.1 堆煤前煤场控制手段

1) 合理的选址与设计。煤场应选择地势高、宽敞平整的硬质地面,且合理设置煤堆形式;

2) 煤场存煤应遵守“分堆存放,分层压实”原则,按品种或煤质分类分堆存放、压实煤层,减少煤粒之间的空隙;

3) 加强煤场管理,建立健全煤场煤质管理制度等。

2.2 煤场储煤控制手段

煤场自燃通常情况下会经过三个阶段,分别是水分蒸发、氧化及自燃。检测的参数主要是煤的温度和指标气体,通过对温度和气体的检测来实现其预警功能,针对煤场自燃的不同阶段,采取相应措施,有效地控制自燃发生。叶正亮^[14]认为不同堆放方式煤堆温升过程均具有分段特性,不同测点均显示出以40℃左右为反应拐点:当温度 $t \leq 40$ ℃时,煤堆处于安全时期;当温度 $t \geq 70$ ℃时,煤堆处于随时自燃状态。王建儒^[15]提出温度升高至80℃左右时,若热量无法及时释放到外界,氧化反应速度就会急速升高,其中煤矸石会由自热状态变为自燃状态。张士金^[16]认为当达到煤的自热临界温度60~80℃时,生成可燃物如CO、CH₄及其他烷烃,此阶段为煤的自热期。韩子彬^[5]将报警阈值设置为50℃,在30~60℃以及60~100℃的温度区间内都选用CO作为指标气体,且监测C₂H₄及C₂H₆浓度变化。由于煤种、煤场环境、季节等因素的不同,采取控制措施还需由实际情况确定。

2.2.1 水分蒸发阶段

水分蒸发阶段温度大致在 $t \leq 30$ ℃时,为安全

期,可以采用喷淋降温、风障联合压实等措施。

1) 喷淋。水分在一定条件下可以抑制煤的自燃氧化,水分的存在使煤堆在自燃中期升温速率放缓,水分含量越高,水分蒸发所需时间越长,煤堆安全保存期越长。喷淋装置可以使煤堆内水分高于7%的时段保持较长时间,延缓煤堆发生自燃。但是在煤炭自燃初始阶段,水分对煤的氧化有极为重要的催化作用,当煤中水分处于引起自燃的临界范围内时,它可以加速煤中各种放热反应的进行,进而加速自燃。

2) 风障联合压实。风障联合煤堆压实防止煤堆自燃,可以保证煤堆最高温度降低量显著增加,且其风障与煤堆之间的距离选取灵活,既能扩大煤堆压实的适用范围又能降低风障高度,节约经济成本,提高现场施工的可操作性。

2.2.2 低温氧化阶段

低温氧化阶段温度大致在30~70℃,通过检测CO等气体浓度可以进行早期预防。建议采用重力热管移热、离子液体、液态CO₂等措施。

1) 重力热管移热。重力热管能够有效提取插入区域的热量,将煤场内部热量及时转移出,使煤场内部热源逐渐消失。

2) 离子液体。离子液体对煤氧化过程和氧化放热有明显的减弱作用,且离子液体的阻化作用不是全过程的,而是某些温度段作用明显,如[BMIM][BF₄]在40~70℃的阻化效果较好。

3) 液态CO₂。粒径越小的煤体降温效果越好。

2.2.3 自燃阶段

自燃阶段反应温度大约为70~230℃,伴随温度升高会释放大量CO₂、SO₂等气体,F-500微胞囊技术与消防水炮是应用较多的灭火手段。

1) F-500微胞囊技术的灭火机理是通过微胞囊包裹,中断自由基链式反应,以达到快速降温、快速灭火及阻止复燃的目的。

2) 消防水炮是一种水流强度大、喷射距离远的灭火设施,可与火灾自动报警系统联动,不仅可远程控制,也可现场手动操作。

表2 自燃不同阶段控制手段

Table 2 Controlling methods of spontaneous combustion in different stages

阶段	温度、气体参数检测	控制措施
水分蒸发	$t \leq 30$ ℃,CO等	喷淋、风障联合压实等
低温氧化	$30 \leq t \leq 70$ ℃,C _x H _y	重力热管移热、离子液体、液态CO ₂ 等
自燃	$t \geq 70$ ℃,CO ₂ 、SO ₂ 等	F-500微胞囊技术、固定消防水炮等

3 目前应用存在问题

煤场自燃预防和控制,尽管目前在生产实践中发挥了很大作用,但存在一些不足之处,如检测的准确性低、网络可靠性低以及防控及时性差等问题。

3.1 检测准确性较差

煤场作为一个动态环境,其检测预警手段需要具备较高的灵活性及良好的精确性。在实际应用中,传统预警方法只能依靠单一的参数进行检测,综合预警平台尽管可以对多参数进行检测,但灵活性较差。

3.2 网络可靠性较差

数据传输依赖网络的可靠性,若网络可靠性差,则数据传输会发生延迟。有线网络相比无线网络较稳定,但是需要进行布线等工作;综合预警平台由于传输过程复杂、传输节点多,该类技术也存在安装调试困难、网络传输过程延迟等问题。

3.3 防控不够及时

1) 预警延迟。预警过程会采集大量数据,但是准确和可靠的数据才具有价值。大量数据传输给服务器,会加大网络负载,网络可能拥堵;再者服务器接收到数据后,需要进行判断和决策再显示出需要

处理的危险区域的具体位置,这就会增加数据处理响应时间,导致处理能力降低。

2) 控制延迟。预警信息决定采取哪种控制措施。一方面,预警延迟会导致控制措施的选用不当;另一方面,实施控制手段不及时,也会存在安全隐患。

4 总结

煤场中的煤堆易受环境影响,表征其安全的参数是动态变化的。传统预警技术由于检测参数单一等问题,不能满足煤场安全要求。在实际应用中,综合监测系统平台较多,每个煤场可以根据自身的实际情况选择不同子系统的组合,但在及时性、准确性和可靠性等方面存在一些问题。

基于无线传感器网络的预警系统具有一定优势:

1) 有利于获得准确的监测数据。传感设备具有高精度性、高稳定性和测点密集等特点,可以在复杂多变的环境中,正常高效地工作。

2) 利用感知节点做必要的的数据预处理,减少数据传输量。

3) 无线传感器网络利用云计算、边缘计算等技术,有助于完成自动检测、判断和防火控制。

参考文献:

- [1] 刘星魁,屈丽娜,常绪华.堆放方式对煤堆自燃升温过程的影响分析[J].西安科技大学学报,2017,37(1):38-44.
Liu Xingkui, Qu Lina, Chang Xuhua. Numerical simulation for safe storage time in spontaneous combustion process of coal pile containing water[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2017, 37(1): 38-44.
- [2] 刘洪魁.煤堆自燃原因分析与防治措施[J].中小企业管理与科技,2019(01):69-70.
Liu Hongkui. Analysis and prevention of spontaneous combustion of coal pile[J]. Management and Technology of Small and Medium-sized Enterprises, 2019(01): 69-70.
- [3] 赵琳娜,宝力高,孙可,等.基于 ZigBee 的火电厂储煤自燃监控系统的设计[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2015,30(04):287-291.
Zhao Linna, Bao Ligao, Sun Ke, et al. Study and design thermal power plant temperature monitoring network system for spontaneous combustion of coal based on ZigBee[J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Science Edition), 2015, 30(04): 287-291.
- [4] 王艳春,尹新伟,陈婷.一种圆形封闭煤场无死角红外测温技术的应用[J].科技资讯,2016,14(35):60-62.
- [5] 韩子彬.选煤厂煤温监测方法的研究[J].陕西煤炭,2018,37(S1):70-73.
Han Zibin. Study on the monitoring method of coal temperature in coal preparation plant[J]. Shaanxi Coal, 2018, 37(S1): 70-73.
- [6] Liang Ruiguang, Zhu Guangyu, Liu Shizhong, et al. Online fire protection technology based on fiber optic gas sensor[J]. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, 2018, 21(6): 1443-1448.
- [7] Qiu Xuanbing, Li Jie, Wei Yongbo, et al. Study on the oxidation and release of gases in spontaneous coal combustion using a dual-species sensor employing laser absorption spectroscopy[J]. Infrared Physics and Technology, 2019, 102, 103042.
- [8] 蔡文霞,杨丽.火力发电厂封闭式圆形贮煤场安全动态监测系统研究[J].河北省科报,2018,35(01):23-27.
CAI Wenxia, Yang Li. Study on safety dynamic monitoring system of closed circle coal storage in thermal power plant[J]. Journal of Hebei Academy of Sciences, 2018, 35(01): 23-27.
- [9] 王艳春.封闭煤场安全综合监测系统的研究[J].科技视界,2016(27):405.
- [10] 王玉婷,齐朋.条形封闭煤场安全监测系统的设计与应用[J].包钢科技,2019,45(03):88-91.
WANG yuting, QI peng. Design and applications of safety monitoring system in sealed strip-type coal yard[J]. Baotou steel technolo-

- gy 2019 45(03):88-91.
- [11] 王建军,张晋亮.煤仓自燃特征信息无线监测及预控技术[J].煤矿现代化 2016(01):33-36.
- [12] 王圣齐.储煤筒仓温度监测与自燃点预测研究[D].华北电力大学 2019.
WANG Shengqi. Experimental research of temperature monitoring and prediction of spontaneous ignition of coal silo [D]. North China Electric Power University 2019.
- [13] 王敏,张磊鑫,姜伟.上海庙西部矿区储煤自燃监测预警及防控技术[J].山东煤炭科技 2019(12):78-79.
WANG Min,ZHANG Leixin,JIANG Wei. Monitoring early warning and prevention and control technology of coal spontaneous combustion in west mining area of Shanghaimiao [J]. Shandong Coal and Carbon Technology 2019(12):78-79.
- [14] 叶正亮.基于煤堆氧化升温规律的翻烧预警平台研究[J].煤炭科学技术 2018 46(11):82-87.
YE Zhengliang. Study on early warning platform of turned over combustion based on oxidation and temperature rising law of coal pile [J]. Coal Science and Technology 2018 46(11):82-87.
- [15] 王建儒.浅谈阳泉煤业集团煤矸石自燃防治经验[J].能源技术与管理 2018 43(02):84-85.
- [16] 张士金,刘娟,李庆盛.白音华褐煤自燃规律与仓储周期研究[J].东北电力技术 2017 38(11):40-43.
ZHANG Shijin,LIU Juan,LI Qingsheng. The study on the spontaneous combustion law and storage cycle of baiyinhua lignite coal [J]. Northeast China electric power technology 2017 38(11):40-43.

(编辑:单 婕)

(上接第13页)

参考文献:

- [1] 郝海金,吴健,张勇.大采高开采上位岩层平衡结构及其对采场矿压的影响[J].煤炭学报,2004 29(2):137-141.
HAO Haijin,WU Jian,ZHANG Yong. The balance structure of main roof and its action to immediate roof in large cutting height work-face [J]. Journal of China Coal Society 2004 29(2):137-141.
- [2] 潘立友,王彦龙.采场支架围岩关系及应用[M].徐州:中国矿业大学出版社 2008.
- [3] 弓培林.大采高采场围岩控制理论及应运研究[M].北京:煤炭工业出版社 2006.
- [4] WANG Chuangye,JI Hongguang,CHEN Shijiang. Analysis of the initial fracture characteristics for main roof overlying fully mechanized face with large mining height [J]. Geotechnical and Geological Engineering 2019 37(5):3817-3829.
- [5] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等.岩层控制的关键层理论[M].徐州:中国矿业大学出版社 2003.
- [6] 茅献彪,缪协兴,钱鸣高.采动覆岩中复合关键层的断裂跨距计算[J].岩土力学,1999 20(2):1-4.
MAO Xianbiao,MIAO Xiexing,QIAN Minggao. Calculation for fracture span of compound key strata in mining rocks [J]. Journal of China Coal Society 1999 20(2):1-4.

(编辑:樊 敏)