

事故分析与预防

过程异常工况巡检预警系统研究

魏 聪, 刘春瑞, 王 峰

(北京化工大学机电工程学院, 北京 102202)

摘 要: 频发的安全生产事故给国家造成了巨大的经济损失和环境危害。基于传感网络的过程状态监控是预防事故发生的重要手段。受传感器布局、环境以及传感器故障等因素影响, 导致传感器测量结果的不可靠、异常工况信息发现不及时甚至遗漏。为提高传感器监测信息的可靠性, 改善传感器的布局, 提出了一种针对石化装备异常工况的巡检系统设计方法。

关键词: 安全 巡检 异常工况 传感器 六氟化硫

在过程装置中使用和产生了大量不同种类的危化品, 且相关的设备常常在高温高压等极端环境中运行, 一旦出现异常情况, 如飞温、超压等, 造成泄漏、着火和爆炸事故, 就会给企业和国家带来严重的事故后果。仅 2017 年 1—10 月份中国发生的火灾、爆炸和中毒事故共计 165 起, 占总事故的 22.76%。^[1]

2005 年, 英国 BP 石油公司异构化装置淹塔后造成可燃液体泄漏蒸发后, 周围形成可燃气体蒸汽云, 在距离放空罐 7.6 m 处, 有 1 辆未熄火的卡车, 火花引燃了蒸汽云, 导致爆炸事故, 造成 15 名人员死亡。2018 年九江石化循环氢压缩机因润滑油压力低而停机, 加氢进料泵联锁停, 但因泵出口未设置紧急切断阀且单向阀功能失效, 操作员未能第一时间关闭泵出口手阀, 反应系统内高压介质通过原料泵出入口倒窜入原料油缓冲罐, 导致缓冲罐超压爆炸着火。由此可见, 过程装置生产过程中的异常工况需要严格执行巡检、在线监测和泄漏预警相结合的事故防控机制, 一旦发现过程参数超限、周边易燃、易爆和毒性气体浓度超标, 及时预警和采取有效措施, 避免事故发生。数据采集和分析计算、在线监测预警等关键执行元件是传感器。若监测系统中传感器的选择、设置、分布不合理, 可能会导致漏检、误检等, 错过第一时间采取措施避免事故的时机。

经分析总结发现, 传感器的应用存在以下问题: 装置区易出现泄漏区域只设置 1 个传感器

可靠性系数不高; 传感器的布局不合理无法覆盖所有需监测区域; 长时间受环境情况影响, 传感器监测性能下降、传感器利用率低、存在监测盲区。国内外众多研究机构和学者做了大量的前期研究工作, 优化传感器布局, 提供传感器可靠性等, 但在及时性和布局方面, 还有很多工作需要进一步开展。

针对上述传感器应用过程中存在的不足, 本文提出了用巡检小车搭载传感器采集数据和通讯模块回传数据, 结合固定位置传感器进行监测和预警的策略。

移动巡检预警系统主要由传感器、移动车、行驶轨道、路由器、服务器和数据库组成。应用和工作流程为: 1) 应用危险与可操作性分析方法, 辨识系统中存在的潜在隐患; 2) 确定需要检测的点 and 区域; 3) 确定巡检车的移动路径; 4) 确定选用传感器; 5) 检测数据实时反馈服务器; 6) 数据分析和显示。本系统的应用, 将提升泄漏区域的可检测报警范围, 减少装置检测盲区, 提升巡检频率, 为第一时间采取有效措施进行故

收稿日期: 2018-05-30

基金项目: 国家自然科学基金项目面上项目 (51775029); 大学生创新基金项目重点项目 (X20181008101000)。

作者简介: 魏聪, 男, 北京化工大学安全工程专业本科在读, 研究方向为安全科学与工程。E-mail: cevier@163.com

障和事故应急救援防控提供技术依据。

1 过程异常工况巡检预警系统

异常工况巡检预警系统由巡检预警车、巡检路径、信息传递系统、服务器和控制台5部分组成。1) 巡检预警车上携带WiFi通讯模块和监测所需要的浓度、温度等传感器; 2) 巡检路径是根据对被监测对象的风险分析和数值模拟后确定得出的。3) 信息传递系统主要由网络和路由器组成, 基于IC卡标记位置, 现场安装好IC卡后, 同时将其位置信息存储到数据库; 路由器产生无线局域网支持小车与服务器数据传输; 4) 服务器的功能是接受控制台的命令, 指导巡检预警车运动和处理反馈回来的巡检结果数据; 5) 控制台部分功能为巡检结果显示和控制巡检预警车。

工作原理: 巡检预警车沿着巡检路径进行巡检, 通过读取IC卡的信息获取当前位置信息, 然后通过WiFi与服务器通讯获得需要去向的下一点的坐标信息并移动到该处, 在巡检预警车运动的同时, 传感器会一直采集环境信息并反馈给服务器, 通过数据处理, 集中显示监测曲线和报警异常工况。

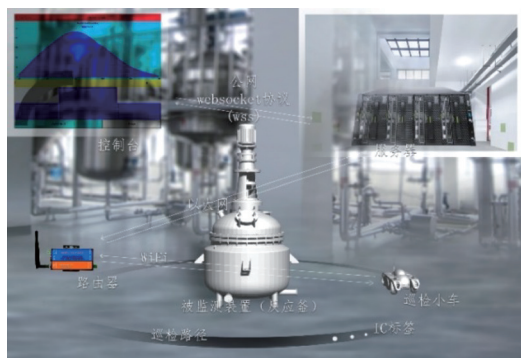


图1 巡检系统示意

2 过程异常工况巡检预警系统设计方法

2.1 系统风险辨识

为使巡检小车的监测区域更合理、监测数据更可靠, 需要对被监测区域的过程进行系统风险辨识。目前对系统进行风险辨识的方法有多种, 如安全检查表(SCL)、故障树(FTA)、事件树(ETA)、危险与可操作性分析(HAZOP)等^[2], HAZOP分析法^[3]对于流程性系统具有分析逻辑

清晰、能够系统全面辨识潜在风险等优势。本文在巡检预警系统中采用HAZOP进行系统危险源辨识。HAZOP分析出系统中可能存在的导致安全或操作问题的原因、产生的后果、设计中已经采取的安全措施, 进而评估是否需要采取进一步的安全措施, 并给出改进建议。

2.2 确定需要检测的点和区域

基于HAZOP分析得到的节点中容易发生泄漏且后果严重的节点, 确定fluent模拟的关键区域。基于数值模拟结果, 确定最能代表特定区域浓度、温度等参数值的区域, 用于巡检预警车巡检区域的确定。此外, 巡检预警车的巡检路径应不干扰日常生产操作, 尽可能避开员工的工作活动区域。

2.3 巡检预警车的移动控制方法

运动控制是由L298N驱动模块^[4]和直流电机实现的, 单片机输出PWM波^[5]给L298N, 通过PWM的输入控制L298N上的2个使能端的高低电平, 进而改变电机的转动方向和转动速度, 实现预警车的前进、后退、左转、右转、停止, 同时还能使预警车加速和减速。

控制预警车的信号来源于服务器。WebAPP可以控制预警车的前进、后退、左转、右转、停止。单片机内预设MFRC-522驱动程序, 可读取IC标签卡确定预警车的位置, 利用陀螺仪确定预警车的方向, 预警车可以根据服务器端的指令沿指定路线运动^[6-7]。

2.4 传感器的选用

针对每个不同的监测区域需求可以选择不同的传感器。传感器的作用是要及时探测到异常工况征兆, 尽可能遵循功率小、体积小和敏感性高的传感器选择原则。

对于一般的监测, 通常需要使用温度湿度传感器、氧气传感器和摄像头。传感器通常情况下反馈的是模拟信号, 需要通过模数转换器将信号变为单片机可识别的数字信号。温湿度传感器可选择SHT30温湿度传感器; 模数转换器选择六路十位的MCP3008; 氧气传感器选择MG822氧气固体电解质传感器; 摄像头选择树莓派摄像头模块。

2.5 传感器检测数据实时反馈服务器

传感器的数据采集由预先编好的程序控制,由单片机执行具体采集命令。数据的采集有定点采集和持续监测 2 种方案:若安全分析确定某一片区域需要持续监测时,便采用连续监测方案;若安全分析时确定在某监测区,只需要监测某些点时便采用定点监测。完成数据采集后,单片机内置程序将数据打包,再通过 WiFi 模块^[8-9]使数据通过无线局域网传输到数据库中。

2.6 数据分析、显示与预警

数据处理程序由 Java 编写在 linux 服务器运行,数据库用的是 MySQL 数据库。数据库存有各种可能出现的监测现场异常情况和处理意见。数据处理程序将接收到的传感器报文和预警车状态信息解析备份后直接存入存储数据库。程序读取异常事件数据库中的数据,根据这些数据分析预警车上传的数据,然后将结果通过 https 和 WebSockets 协议^[10]发送到设备管理者终端。对于紧急情况服务器端发出 SMS 短信。

数据的显示端是 WebApps,开发语言为 JavaScript。WebApp 的优势是对设备的兼容性强,任何终端设备接入网络后,利用浏览器就可访问服务器端加工好的数据。在 WebApp 中各类被检测物理量以曲线图的形式显示,时间为横轴,被测物理量为纵轴。服务器上程序会分析每一次上传的数据,并根据分析结果发出相应预警信息。例如,当发现氧气浓度存在波动且呈下降趋势时,服务器程序先查询数据库中存在的对应事故处理建议,然后请求并发出含异常数据和处理意见的 SMS 短信给变电器管理员;当氧浓度小于 18% 时,服务器除了请求并发送含异常数据和处理意见的 SMS 短信外,还下发报警指令给巡检预警车触发报警系统。

3 六氟化硫变电站异常工况移动巡检预警系统

3.1 六氟化硫变电站

六氟化硫用于电气输送、配电电气设备的灭弧。六氟化硫气体密度大于空气,所以易在较低的地方沉积,当沉积浓度大于 1 000 mg/L 时会导致人窒息^[11]。为避免人员窒息,需要在六氟化硫装置设置浓度传感器,当有区域超过一定阈值时,如当氧气浓度低于 18% 或者 SF6 气体浓度高于 1 000 mg/L 时需要报警,启动报警装置和抽空排气装置^[12]。



图 2 六氟化硫变压器

3.2 六氟化硫装置风险辨识

为确定巡检小车的巡检路径,首先对变电站内的六氟化硫变压器进行 HAZOP 分析,分析结果如表 1 所示。可能导致 SF6 泄漏的主要原因有变压器密封失效、变压器散热不良等。

3.3 数值模拟及巡检预警车路径设置

对被监测的变电站进行三维建模,然后利用模型进行 fluent 模拟分析。进行六氟化硫泄漏的 fluent 模拟的目的是确定危险区域,确定危险区域是确定路径的重要依据。将 HAZOP 分析得到的可能的泄漏原因作为 fluent 模拟的条件,并对六氟化硫变压器六氟化硫泄漏进行模拟。图 3 是

表 1 六氟化硫变压器 HAZOP 分析

引导词	要素	偏差	可能原因	后果	安全措施	注释
少	六氟化硫	六氟化硫泄漏	1) 变压器温度过高; 2) 气体充装过量; 3) 密封零件失效; 4) 焊接不良; 5) 加入气体含水量超标; 6) 电路老化; 7) 绕组短路; 8) 接线不良; 9) 内部过压	1) 变压器内六氟化硫气体泄漏; 2) 变压器着火; 3) 变压器爆炸	1) 安装六氟化硫监测报警装置; 2) 定期检查六氟化硫气体含水量; 3) 定期检查线路; 4) 安装温度检测报警装置	

变电站模型的截面图,红色区域表示SF₆浓度大于1 000 mg/L区域,该区域为危险区域;图4是fluent模拟中被选中模拟点的SF₆浓度随时间变化的曲线。模拟得出的结论为:在变压器的散热装置和管道附近存在泄漏气体的可能性最大。

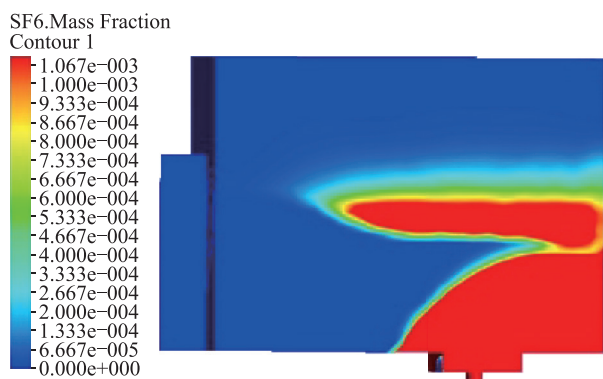


图3 fluent 泄漏模拟

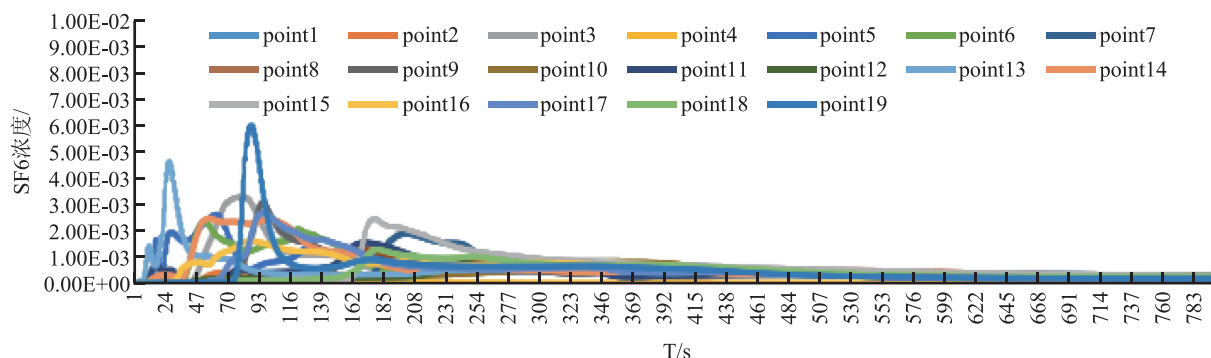


图4 模拟实验中各监测点SF₆浓度

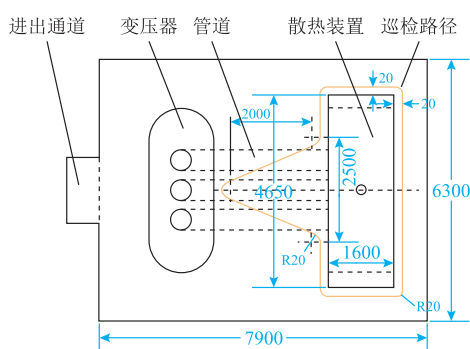


图5 巡检小车巡检路径

数据,同时在巡检系统设置设备应急管理员的一些信息,如姓名、手机号等,用于异常情况下接受来自于服务器的预警和指导意见。

4 结 语

针对传感器可靠性系数不高、传感器布局不合理、无法覆盖所需监测区域、受环境情况长时

通过模拟实验中设定点的浓度检测,可以找到最容易到达浓度阈值报警点的区域和点,由此设置出巡检预警车的轨迹。

3.4 巡检预警数据传输、处理、显示及预警

在确定的路径上安放标签卡,并用读写设备为每个标签卡编码,同时将编码结果存入数据库。在巡检预警车上安装温湿度传感器、氧浓度传感器和六氟化硫传感器,然后启动预警车并连接到无线局域网,登入管理系统,对预警车下发自动巡检命令。预警车开始运动后,沿着指定轨迹不间断采集环境空气中被检测物的浓度,并将数据发送到服务器,在巡检系统网站上查看巡检预警车的检测结果,检测结果以曲线形式显示。数据来源于服务器处理过后的巡检预警车上传的

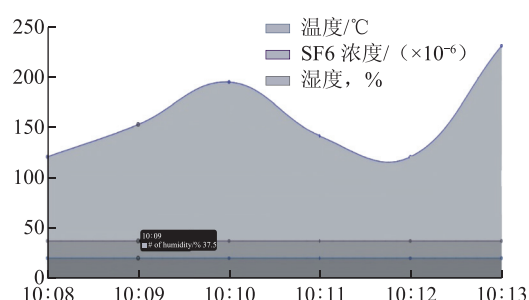


图6 SF₆浓度随时间和路径变化的监测结果

间影响传感器监测性能下降、传感器利用率低、存在监测盲区等问题,提出了过程异常工况巡检预警系统的设计方法,并在六氟化硫变电站中进行了应用。利用巡检预警车搭载浓度、温度和湿度等监测传感器采集的环境数据,可以实现对温度、有害气体浓度等环境数据的移动采集与不间断监测。将移动监测和固定监测相结合,可以

(下转第41页)

表 1 光纤测温系统测量温度对比 $^{\circ}\text{C}$

储罐编号	光纤测温系统所测数值	温度计验证数值	误差
111	23.26	22	1.26
121	26.43	26	0.43
123	21.78	23	1.22
131	25.91	26	0.09

5 结 语

光纤测温技术与以电为基础的温度传感技术有本质的区别,也与以光栅作为温度传感器的测温技术有很大的不同。此技术具有连续分布、本质安全、测温精确、耐高压、耐腐蚀、抗电磁干扰等优点。近年来分布式光纤测温系统的研究工作不断取得突破,已被广泛应用于电力工程、石油化工、地铁和隧道等诸多领域,其工程应用呈现快速增长的趋势^[8]。

参考文献:

- [1] 刘艳刚·分布式光纤在全容式低温储罐泄漏检测中的应用[J]·仪器仪表用户,2012,19(5):40-42.

- [2] 雷小月·分布式光纤测温技术在电力电缆故障检测中的应用[J]·中国高科技,2017(12):40-42.
- [3] 杨洋·基于拉曼散射的分布式光纤测温系统的研究与实现[J]·电子技术应用,2017,43(12):59-60+64.
- [4] 曹宏,童根,谷尚震,等·分布式光纤传感技术在集油系统工程中的应用[J]·中国石油和化工标准与质量,2017,37(20):164-165.
- [5] 陈流安·分布式光纤传感系统在石油管道监测中的应用研究[J]·自动化应用,2017(1):77-79+81.
- [6] 徐延亮,魏念波,刘占·分布式光纤测温预警系统在储油罐上的应用[J]·光电技术应用,2016,31(5):17-21.
- [7] 姚伟,王志凤·分布式光纤在线测温技术的应用[J]·电世界,2013,54(10):14-15.
- [8] 于广年,王崇志·分布式光纤测温预警系统的应用[J]·中国设备工程,2015(6):45-48.

(上接第 38 页)

克服传统固定式检测仪器的局限性,监测范围更广,检测结果更可靠。

参考文献:

- [1] 李生才,笑蕾·2017 年 11—12 月国内生产安全事故统计分析[J]·安全与环境学报,2018,18(1):404-405.
- [2] 吴昊·系统安全评价方法对比研究[J]·中国安全生产科学技术,2009,5(6):209-213.
- [3] Bogdanovská G, Pavlí •ková M·Hazard and operability study[C]//Carpathian Control Conference·IEEE,2016:82-85.
- [4] 张森炜·基于 Wi-Fi 的环境监测与危险场所作业的智能小车:中国通信学会信息通信网络技术委员会 2015 年年会论文集[C]·2015:8.

- [5] 李柠,张殿富·基于单片机的智能小车速度控制设计[J]·科技视界,2012(28):454+456.
- [6] 李丽娜,马俊,徐攀峰,等·RFID 室内定位技术研究综述[J]·计算机应用与软件,2015,32(9):1-3+96.
- [7] X Gao, S Geng, X Zhu et al·Design and realization of underground pipeline location system based on RFID technology[C]//IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments·IEEE,2017:242-246.
- [8] 尚伟,胡或·基于 WiFi 的矿用移动定位服务终端设计[J]·工矿自动化,2012,38(10):37-42.
- [9] 赵励,廉王龙,陈辉·基于 WiFi 的矿井无线通信网络结构研究[J]·能源技术与管理,2012(6):152-154.

and eliminated. Thus the overhaul work can be done smoothly.

Key words: barrel theory; overhaul; safety management

FIRE SAFETY ASSESSMENT ON THE LUBRICANT MANUFACTURERS BASED ON ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS[16]

Zhang Zhidan, Liu Jun. (Tianjin Pulinsirui Technology Development Co., Ltd., Tianjin, 300350)

Abstract: According to the characteristics of lubricant manufacturers, a semi-quantitative fire safety assessment on typical privately-owned lubricant manufacturers is conducted by using the analytical hierarchy process. The use of YAAHP software during the analyzing process greatly improves the analyzing efficiency and ensures the accuracy of the results. Finally, according to the assessment results, this paper gives advices on fire safety management.

Key words: lubricant manufacturer; analytic hierarchy process/ AHP; YAAHP software; fire safety assessment

RESEARCH ON COMPREHENSIVE EVALUATION OF SAFETY IN CONSTRUCTION SITE BASED ON CLOUD MODEL[20]

Li Xinghua, Li Weiming. (Suqian Cosmos Chemical Co., Ltd., Suqian, Jiangsu, 223800)

Abstract: Construction operations are generally three-dimensional intersecting and continuous operation. There are many types of operations and complex processes. These characteristics lead to occurrence of many dangerous and harmful factors in construction operations. A slight negligence will result in an accident. Combining with the engineering examples, the sources of dangers are identified and analyzed firstly and the causes of accidents at the construction sites are classified into four categories: people, construction equipment, management and operating environment. Then based on cloud model, safety evaluation system for construction sites containing 4 primary and 18 secondary evaluation indexes are established.

Key words: cloud model; safety; comprehensive evaluation

DISCUSSION ON THE NEW IDEAS ABOUT ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT FOR PETROCHEMICAL PROJECT BASED ON THE NEWLY ISSUED HJ 169-2018[26]

Rao Weixin. (SINOPEC Engineering Incorporation, Beijing, 100101)

Abstract: Through in-depth analysis on the differences between HJ/T 169-2004 and Technical Guidelines for Environmental Risk Assessment on Projects (HJ 169-2018) issued in October, 2018, this paper proposes new ideas about how to improve the technical level of environmental risk assessment and enhance

its pertinence, practicability and effectiveness from such aspects as new notion and definition; determination of assessment level and scope; accidental scene setting and accident sources analysis; environmental risk forecast, assessment and management with the combination of years of environmental management experience. In addition, the paper also provides specific methods for how to implement the new requirements of HJ/T 169-2018 in practical work.

Key words: environmental risk assessment; acceptable risk level; environmental risk potential; maximum credible event; air toxic endpoint; on-line quantity

ANALYSIS ON BASIC DESIGN FOR THE SAFETY OF PETROCHEMICAL PLANTS[32]

Zhang Jun. (CNPC Safety and Environmental Protection Technology Research Institute Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116033)

Abstract: Aiming at the actual conditions of safety design for petrochemical plants, this paper presents the basic principle for safety design, focusing on the safety design analysis of design and planning stage, basic design stage and detailed design stage. It illustrates how to apply design standard to improve the safety of the installation design and summarizes the key elements of the layout planning, safety system design, device process stability, common equipment and facilities and safety coefficient selection. The paper also sums up the basic safety thoughts in equipment pipeline design, instrument design and power design and points out the importance of sharing design information with related parties concerning engineering construction.

Key words: petrochemical plant; safety design; basic principle

RESEARCH ON ROUTING INSPECTION AND EARLY WARNING SYSTEM OF PROCESS ABNORMAL WORKING CONDITIONS[35]

Wei Cong, Liu Chunrui, Wang Feng. (Beijing University of Chemical Technology, College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing, 102202)

Abstract: Frequent production safety accidents have caused huge economic losses and environmental hazards to the country. Process state monitoring based on sensor network is an important means to prevent accidents. Affected by such factors as sensor layout, environment, and sensor failure, the sensor measurement results may be unreliable, and abnormal working condition information may not be discovered timely or even be missed. In order to improve the reliability of sensor monitoring information and sensors layout, this paper presents a design method for routing inspection system aiming at abnormal working conditions of petrochemical equipment.

Key words: safety; routing inspection; abnormal working conditions; sensor; sulfur hexafluoride