

浅谈气体检测方法及泄漏检测方案

侯宪法^{1*}, 赵宇¹, 杨兆星¹, 张新森¹, 王赫¹, 游骏标², 林孝宝²

¹国网山东省电力公司聊城供电公司 山东聊城

²厦门加华电力科技有限公司 福建厦门

【摘要】气体的检测方法多种,如:电化学方法、半导体方法、红外方法、红外成像方法、激光方法等等。不同的方法均有不同的优点及缺点,不同的精度等级,以及不同的使用环境。在许多工业过程中,压力容器被广泛使用,例如化工、石油、食品加工等行业。压力容器的内部压力和气体密度是重要的参数,直接影响到生产过程的安全和效率。然而,需监测的压力容器在阀门处安装机械压力表,需人工按时巡查压力,压力数据无法实时获取,从而导致气体泄漏或无法及时更换补充气源等现象,或由于环境温度升高而使钢瓶超压并发生爆炸事故等。在压力容器内的气体纯度不高,或是充装气体为混合气体时,由于气体密度的计算与气体摩尔质量数据、气体常数相关,还与压力容器所在环境的温度相关,在此场景下,现有的监测系统往往不能实时准确监测气体密度,对压力容器的稳定运行存在一定的风险。在线气体监控系统可以更加实时高效的发现这些泄漏风险。

【关键词】气体检测; 气体泄漏检测系统; 红外成像气体检漏法

【收稿日期】2023 年 10 月 20 日 **【出刊日期】**2023 年 12 月 12 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20230029

Gas detection method and leakage detection scheme are discussed

Xianfa Hou^{1*}, Yu Zhao¹, Zhaoxing Yang¹, Xinsen Zhang¹, He Wang¹, Junbiao You², Xiaobao Ling²

¹State Grid Shandong Electric Power Company Liaocheng Power Supply Company Co., Ltd., Liaocheng, Shandong

²Xiamen Jiahua Electrical Technology Co., Ltd., Xiamen, Fujian

【Abstract】There are many detection methods of gas, such as: electrochemical method, semiconductor method, infrared method, infrared imaging method, laser method and so on. Different methods have different advantages and disadvantages, different accuracy levels, and different use environments. Pressure vessels are widely used in many industrial processes, such as chemical, petroleum, food processing and other industries. The internal pressure and gas density of the pressure vessel are important parameters, which directly affect the safety and efficiency of the production process. However, the pressure vessel to be monitored is installed with a mechanical pressure gauge at the valve, which requires manual inspection of the pressure on time, and the pressure data cannot be obtained in real time, resulting in gas leakage or failure to replace the supplementary air source in time, or overpressure of the cylinder and explosion accidents due to rising ambient temperature. When the gas purity in the pressure vessel is not high, or when the gas is filled with mixed gas, the calculation of gas density is related to the gas molar mass data and gas constant, as well as the temperature of the environment where the pressure vessel is located. In this scenario, the existing monitoring system often cannot accurately monitor the gas density in real time, which poses certain risks to the stable operation of the pressure vessel. Online gas monitoring systems can detect these leakage risks more efficiently and in real time.

作者简介: 赵宇(1988-)男,高级工程师,主要研究方向为高压试验;杨兆星(1993-)男,主要研究方向为高压试验;张新森(1996-)男,助理工程师,主要研究方向为高压试验;王赫(1992-)男,中级工程师,主要研究方向为高压试验;游骏标(1967-)男,中级工程师,主要研究方向为变电站油气设备故障检测技术,压力检测, SF₆配气灌充回收分离净化技术研究等;林孝宝(1988-)男,主要研究方向 SF₆气体检测、压力检测等试验;

*通讯作者: 侯宪法(1974-)男,高级工程师,主要研究方向为高压试验。

【Keywords】 Gas detection; Gas leak detection system; Infrared imaging gas leak detection method

引言

在现代化工业生产领域当中, 压力容器是一种最常用的储存有毒有害、易燃易爆、高压气液体的仪器设备, 具有结构多样化制作工艺复杂等特点。由于其使用的特殊性, 国家专门制定了一系列强制性技术规范 and 标准, 用以加强压力容器制作质量的控制^[1]。压力容器的实时安全状态评估, 一直困扰着特种设备检验及设备管理人员, 尤其是超设计年限压力容器等风险系数较高的设备。依据行业标准与检验经验, 选取腐蚀作为在线监测的关键参数, 利用超声波反射测量技术, 集成采集模块、物联网平台模块等成功开发设备常态化监测平台, 并在某制冷系统设备安装应用^[2]。

传统压力容器特种设备管理方法管理时间较长, 管理效果随之下降, 设计基于全生命周期理论的压力容器特种设备管理方法分析压力容器特种设备检验周期, 确定特种设备的安全性能; 基于全生命周期理论辨识设备安全风险, 提取影响设备安全管理的因素, 构建压力容器特种设备管理数据库, 进而实现压力容器特种设备的安全管理^[3]。利用 PDCA 循环管理对压力容器类进行精细化管理能够有效地降低安全隐患^[4]。由于管体防腐层出现老化破损和管体腐蚀等多种问题, 造成管道穿孔等多种事故的发生严重影响相关企业的发展。所以要用不同的检测技术对这一情况进行真实检测与记录, 发现其中存在的问题, 预防事故的发生^[5]。六氟化硫 (SF_6) 气体是一种无色、无味、无毒、不可燃的惰性气体。由于这种气体的化学性能稳定, 并具有优良的灭弧和绝缘性能, 已被广泛应用于电力设备中。但它是一种温室气体, 被联合国要求严禁将其排放到大气中。因此, 对开发不同技术路线来实现更高效的 SF_6 气体泄漏技术已成为一种必然的趋势。

采用离子迁移法设计 SF_6 检测技术, 利用扫描窗口提供的 SF_6 浓度分析离子波谱, 能够提高最佳气体填充范围寻优能力, 有力地保证变电站 GIS 设备运行安全能力, 能够根据不同环境通过自适应调节的方式改善 GIS 设备运行能力, 提高变电站 GIS 设备中 SF_6 气体敏感度分析能力, 进而更加精准地判断气体泄漏规律^[6]。使用的智能气体探测仪能够对易燃易爆、有毒有害气体进行现场快速检测, 也

可对事故现场的温度、气压进行实时侦测。其还集成了全球定位系统 (GPS), 能够准确判断和定位危险气体泄漏的位置^[7]。一种瓶组压力远程监控系统, 采用嵌入式技术、通信技术及软件技术, 实现既能现场直接观测瓶组压力状态, 又能在远程上位机软件或移动客户端实时监控, 及时发现、排除气瓶泄漏问题, 提高气体灭火系统在工程应用中的安全可靠^[8]。利用气体红外成像技术, 在红外图像的基础上引入可见光图像。利用该类气体只在红外条件下可见的视觉差异性, 在异源图像配准的基础上, 对红外与可见光下同时存在的运动干扰进行初步排除, 得到更为准确的疑似泄漏区域。最后对疑似泄漏区域进行气体特征分析, 判断是否存在气体泄漏^[9]。采取有效的方法对含有 SF_6 的电力设备进行泄漏检测十分必要。因此, 国家电网公司对 SF_6 气体泄漏检测技术的要求不断提高, 研制一种可快速有效检测 SF_6 气体泄漏状态的检测系统对促进安全生产以及电网的正常运转均具有重要意义^[10]。

1 浅谈气体检测方法

气体浓度的检测方法繁多, 例如常见的几种方法:

1.1 电化学检测方法

电化学传感器, 结构主要包含: 电解液、电极、过滤器和透气膜 (疏水膜) 等, 根据被测气体的化学性质, 传感器内置与被测气体相反应的电解液。被测气体先渗透通过防冷凝隔膜, 气体分子通过毛细管扩散, 再通过疏水膜进入感测电极的表面, 氧化或还原, 进而产生或消耗电子, 产生电流, 一般为微安级电流。通过此电流的大小来标定浓度值大小。目前电化学传感器是检测各类气体常见的成熟的检测方法。常作为 H_2 、 HF 、 CO 、 SO_2 、 H_2S 、 O_2 、 O_3 、 NO 、 NO_2 、 N_2O 、 NH_3 、 Cl_2 、 HCHO 等气体的检测传感器, 行业中传感器的体积规格最常见的为 NE4 和 NE7 两种尺寸。传感器简易结构图如图 (1) 所示。

优点: 精度高、可检测微量气体 (ppm 级别或 ppb 级别), 响应值线性特性好, 重复性好, 功耗小, 高灵敏度。

缺点: 寿命短, 易衰老; 通气检测需要微量 O_2 进行反应; 部分类型气体的传感器易受其他气体交

叉干扰;不可长时间超量程使用;响应时间和归零时间较长;使用环境温度范围不高(一般 $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$)。

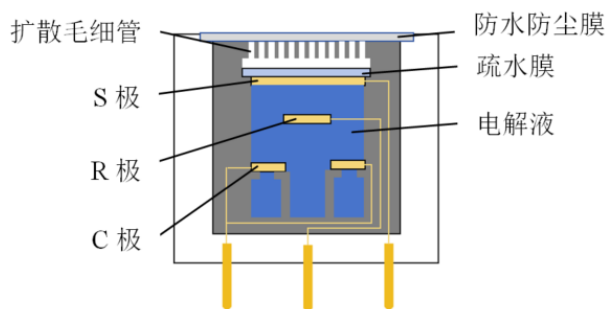


图1 传感器简易结构图

1.2 半导体检测方法

半导体检测原理在气体检测中广泛使用,其利用被测气体的吸附作用来改变半导体的电导率,通过电流(电压)的变化数值来标定对应的气体浓度值。半导体传感器受环境的影响较大;若使用要求低,无需修正可直接使用;若使用精度要求较高,则宜在系统中增加温湿度传感器,检测当前的温湿度数值,对其在软件上做温湿度补偿算法。半导体传感器对小浓度反应灵敏,最小检测值较低。可广泛用于微量气体漏气现象,可适用的气体种类也较多。

优点:价格较低,稳定性好,寿命较长,应用便捷,响应时间短,适用环境温度范围较好($-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$)。

缺点:受环境因素影响大,部分类型气体的传感器易受其他气体交叉干扰。

1.3 红外检测方法

红外传感器一般采用非色散红外气体分析NDIR(non-dispersive infrared)原理。主要有信号处理电路、光道、红外光电探测器和红外光源等组成。不同气体对不同波长的红外线吸收的强度不同,正是基于此特性,试验测试中,选择某一气体,通过调节红外线的波长,找出此气体最敏感的波长。吸收的强度与该气体的浓度成正比。红外光源发射的红外线强度和探测器测量红外线强度进行对比,从而推算出气体浓度。

红外传感器主要适用于测量 CO 、 CO_2 、 N_2O 、 CF_4 、 NF_3 、 CH_4 、 SF_6 、 SO_2F_2 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_6H_{14} 、 CHCl_3 、 COS 、 CH_2F_2 、 $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$ 、 CHClF_2 、

CH_2OH 、 $\text{C}_4\text{F}_7\text{N}$ 等。还可以检测绝大多数有机物(HC),有机挥发性混合物(VOC)等气体。红外传感器测量范围较广。可以作ppm级别的测量或 $0\sim 100\%\text{VOL}$ 量程的测量。

在增加光道数量或光道距离或其它精细化处理后,可达到ppb级别的气体测量。红外检测方法结构简易图如图(2)。

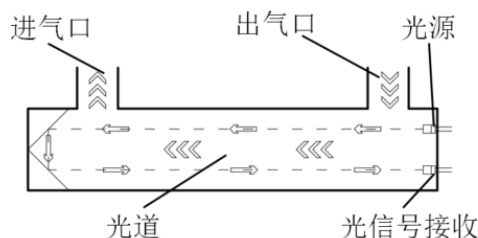


图2 红外检测方法结构简易图

优点:红外线气体检测仪具有很高的监测灵敏度,ppm级(ppb级)气体浓度有微小变化都能分辨出来。它测量范围宽:量程从1ppm至 $100\%\text{VOL}$ 均可以定制;寿命长,精度高,可靠性好,抗干扰能力强,反应速度快。

缺点:造价较贵,零位波动较大。

1.4 PID技术

光离子PID气体检测原理,它是通过产生一个紫外光源,将被测气体激发产生正离子和负离子,将电离过程中产生的微小电流进行放大,从而得到ppm级别的信号值。这些离子通过电极后很快就重新组合到一同变成原来的有机分子。在此过程中分子不会有任何损坏。

优点:光离子PID气体检测仪具有很高的灵敏度,它可以测量ppb水平的VOC,具有快速响应和快速响应时间。它可以测量大多数VOC和TVOC气体。

缺点:价格昂贵,一般用于试验室检测。

1.5 比色管

比色管测试方法,现场使用较多,多作为检验检测数据是否准确的一种复核方法。被测气体以一定流量流过比色管一定体积气体,被测气体与比色管内试剂成分发生化学反应,产生色变。以观察色变的量来判定被测气体的浓度。一般比色管检测装置需要控制气体的流速和通气时间。如图(3)所示某种比色管装置,可检测ppm级别的气体。

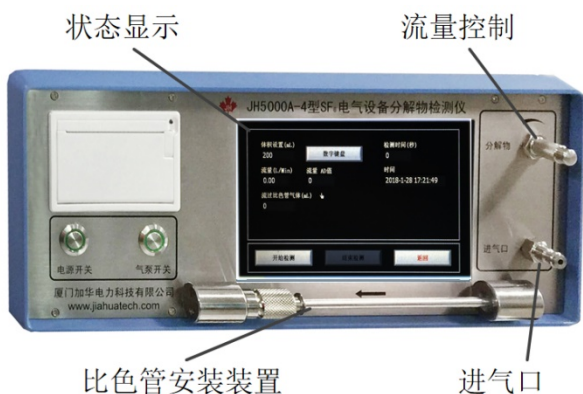


图3 一般比色管检测装置

优点: 单次检测费用低, 精度高, 检测稳定, 检测失误率低, 不易受干扰。

缺点: 一次性消耗品, 批量检测成本高, 宜作为核对校验测试。

1.6 激光技术原理

气体检测激光法原理, 是基于可调谐半导体激光吸收光谱技术的光谱学, 也称为 TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy 的缩写) 的检测原理, 通过测量被测气体分子对一定波长光线的吸收强度差异来标定其气体的浓度值。

优点: 远距离检测、非侵入式检测, 检测精度高, 灵敏度高。

缺点: 成本高, 技术复杂, 受温度、压力影响大。

1.7 热传导技术原理

热传导检测法是一种较为新型的气体检测方法, 它是通过检测气体的热导率变化, 其变化量的大小来标定被测气体的浓度值大小。

采用热敏电阻加热丝将气体加热到一定温度, 把被测气体热导率的变化转化为热敏电阻的阻值变化, 对电阻值得变化量采用电桥测量法进行精准的测量, 得到信号值。简易的热导电桥检测电路图如图(4)所示。

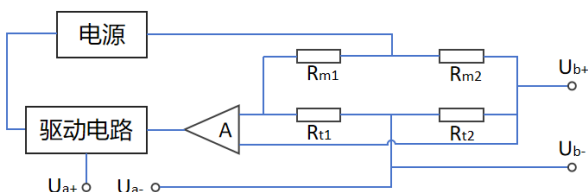


图4 简易的热导电桥检测电路图

优点: 检测量程范围广, 可用于检测可燃易爆性有毒有害气体, 稳定性高, 可靠性高, 使用寿命长。缺点: 受环境温度影响大, 所以一般热导传感器会进行保温措施。

2 在线压力监控系统

为安全有效的监测储气瓶压力, 确保压力容器的安全, 工业容器均配有压力监测系统。同时为了更高效的对容器进行监测, 在线压力监控系统也在不断的开发与更新, 来更好的满足安全使用要求。

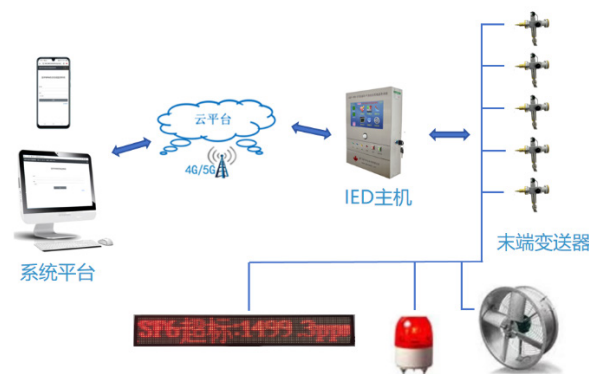


图5 常规的在线压力监控系统模式

常规的在线压力监控系统模式如图(5)所示的构造: 其系统通常分为三个层次, 底层为压力变送器、显示屏、报警灯、风机、温湿度变送器、电控阀门等; 中间层为 IED 主机系统, 负责终端信号汇总及上传通讯、现场控制等功能; 顶层为系统平台, 此平台可为独立平台也可与消防或其他在线监测系统合并。平台主要实现远程实施监控、人机交互、多系统联动等功能。

压力变送器的选型主要参考被测气瓶最大压力值, 一般量程选择为气瓶最大压力值的 1.3~1.5 倍; 如果被测气体为特殊气体, 压力变送器精度宜选择较高精度, 可选择 0.2 级或 0.5 级。若被测气体为普通气体或无毒的惰性气体, 精度可选择 1.0 级或 2.5 级。

气瓶如果是室内存放, 应安装排风系统, 风机应与主机及平台联动, 存放气瓶的气体质量比空气轻, 风机应安装在室内顶部, 存放气瓶的气体质量比空气重, 风机应安装在底部。风机风量参数根据室内空间大小和换气次数要求进行选定。例如: 某气瓶室面积 50m², 层高 6m; 要求通风时, 每小时应进行 4~6 次完全通风, 气瓶房内存放的是 SF₆ 气体;

经过计算,排风系统采用两台风量 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 的风机,安装离地高度 20cm 。风机一般会配置风机控制器,可采用 $\text{DC}24\text{V}$ 或 $\text{DC}12\text{V}$ 进行控制 $\text{AC}220\text{V}$ 风机通断。

温湿度变送器安装高度一般为距地面高为 $1.2\sim 1.5\text{m}$ 处。变送器精度应根据现场环境要求进行选型,例如某一气瓶储存室,选型如下:温度测量范围: $-50\sim 80^\circ\text{C}$,测试精度: $\pm 2^\circ\text{C}$,湿度测量范围: $0\sim 99\%\text{RH}$,测试精度: $\pm 3\%\text{RH}$ 。

显示屏可配置 LED 点阵显示屏或 LCD 显示屏等。LED 点阵显示屏价格低廉,性能稳定可靠,受干扰小,缺点就是显示内容有限(仅显示少量文字),LCD 显示屏价格昂贵,显示内容丰富。显示屏通常放在入门顶上等显眼位置,便于观察。

报警灯需选择带有声音报警的报警灯,实现紧急情况下的声光报警功能。报警器可采用 $\text{AC}220\text{V}$ 或 $\text{DC}24\text{V}$ 供电。声音大小应达到规范的分贝值。

IED 主机应安装在气瓶储存室外,宜安装在气瓶储存室门口外显眼位置。IED 主机功能应具有遥测或遥控压力变送器的压力值及状态、温湿度变送器、风机、声光报警器、显示屏、电控阀门等设备状态。将采集的数据进行汇总、显示和上传平台。主机宜具有压力实时监测,压力变化趋势曲线,历史数据查询等功能。实现气瓶压力长时间微小量变化的观察。IED 主机与末端变送器通讯可采用 $\text{RS}485$ 通讯或无线通讯等方式。实际环境布线较为困难的,可采用无源无线终端变送器。若实际现场便于供电及布线的,可采用有源有线终端变送器。

系统平台可采用 web、上位机软件系统等。例如:某气体监测系统平台,如图(6)所示,系统中包含了设备数据、联网分布、在线监测、告警信息、设备列表等功能板块。不仅实现常规的系统参数设置功能,还实现现场各监测点的位置定位(系统中导入三维气瓶储存室图形,并在图中设置压力变送器安装位置,监测对应编号的气瓶,使得在系统上可直观的观察现场三维机构及异常报警部位)。采用 3 层次的三维模拟模型,构建储气室模式、气瓶模型、压力监测变送器模型及数显和指针同时模拟显示。特色功能:对应每个编号的气瓶每 1 分钟记录其压力值,并将数据拟成曲线,可实现监测用气量及长时下的微小漏气情况的分析。对各气瓶储气

室及各气瓶明细做成台账,便于查询。



图 6 某气体监测系统平台

在气体泄漏检测方案中,未来可能会采用红外成像仪进行在线监测,其具有更直观的查找到气体泄漏部位。其中红外成像仪设备需采用非制冷型设备(目前手持式红外成像检漏仪市场中,制冷型不适合长时间在线工作,所以需选择非制冷型,通常情况下制冷型精度会更好些,但随着非制冷型的不断研究,个别非制冷型设备的检测精度也足于媲美制冷型设备),红外成像系统在不考虑成本的情况下,精度宜选择更高精度。一般的气瓶储存室可安装 2~3 台红外成像仪,从不同角度进行成像,成像设定过程中可将静止的背景图像进行虚化,着重捕捉气体流动的动态图像;同时结合可见光镜头成像来判定泄漏部位。例如:某红外成像系统采用 $640*480$ 像素摄像头,检漏气流灵敏度为 1 微升/秒,采用铁红色调色板叠加可见光成像显示,摄像头固定安装后,调为高灵敏度模式,现场模拟放气现象,对成像系统进行调试与学习。此系统成本较高,但随着红外成像技术发展,则系统成本会急剧下降。犹如当前在消防系统中使用的红外热成像报警系统。早期红外热成像消防灭火系统造价昂贵,难于现场布局。但随着技术发展,现在商场、影院等人员密集的特殊场所,常有布置红外热成像消防灭火系统。目前红外成像检漏在线系统还处于研发及试运行中,也希望在未来此系统可成为主流的在线检漏系统之一,可更好的服务于有毒有害气体的监测与使用。

3 结语

本文首先阐述了工业中气体检测的重要性。再介绍了多种气体检测方法,不同的方法有不同的优点和缺点,以及使用条件。对于工业中被测气体的类型不同、浓度不同、环境不同,检测的方式也有所不同。本文对气瓶压力的监测做了大致的方案介绍。

介绍了 SF₆ 气体监测的结构图及系统内容的选型。最后介绍了采用红外成像方法进行在线检测测试系统, 其系统具有前瞻性, 在此分享其意见及思路。

参考文献

- [1] 王寅吉,冯杰,张朝阳. 浅谈压力容器制造的特征、常见问题及对策[J]. 中国石油和化工标准与质量 2023(16): 49-51.
- [2] Wang Yinji, Feng Jie, Zhang Chaoyang. Briefly discuss the characteristics, common problems and countermeasures of pressure vessel manufacturing [J]. China Petroleum and chemical standards and quality, 2023(16):49-51.
- [3] 周浩青,周国庆,秦政,等. 基于腐蚀泄漏的储罐常态化监测研究与应用[J]. 设备管理与维修,2023(07):139-141.
- [4] Zhou Haoqing, Zhou Qingguo, Qin Zheng, et al. Research and application of normalized monitoring of storage tank based on corrosion leakage[J]. Plant Maintenance Engineering, 2023(07):139-141.
- [5] 房将, 基于全生命周期理论的压力容器特种设备管理[J]. 化学工程与装备,2022(10):189-190+188.
- [6] Fang Jiang, Pressure vessel special equipment management based on the whole life cycle theory [J]. Chemical Engineering & Equipment ,2022(10):189-190+188.
- [7] 陈凯,单嘉琦,王侃. PDCA 循环管理在压力容器类特种设备精细化管理中的实践与探索[J]. 医疗装备,2023(04): 60-63.
- [8] Chen Kai, Shan Jiaqi, Wang Kan. Practice and exploration of PDCA cycle management in fine management of pressure vessel type special equipment[J]. Chinese Journal of Medical Device, 2023(04):60-63.
- [9] 卢文文,马小弟,上官振国, 压力管道内检测技术研究[J]. 化工管理,2018(03):91-92.
- [10] Lu Wenwen, Ma Xiaodi, Shanguan Zhenguo, Research on detection technology in pressure pipeline[J]. Chemical Enterprise Management, 2018(03):91-92.
- [11] 田忠,常敏,金海勇,等,电力系统智能化运维中 GIS 设备 SF₆ 气体泄漏检测方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2022. 10.005:27-32.
- [12] Tian Zhong, Chang Min, Jin Haiyong, et al. Research on SF₆ gas leakage detection method of GIS equipment in intelligent operation and maintenance of power system [J]. Comput Measur Contrl, 2022.10.005:27-32.
- [13] 中仪,无人机搭载智能气体探测仪用于气体泄漏检测[J]. 军民两用技术与产品,2016.19.084:40.
- [14] Zhong Yi, The drone is equipped with an intelligent gas detector for gas leak detection[J]. Dual Use Technologies & Products, 2016.19.084:40.
- [15] 俞颖飞,王江陵,陈武,气体灭火系统瓶组压力远程监控系统设计[J]. 消防科学与技术,2016(09):1264-1266.
- [16] Yu yingfei, wang jiangling, chen wu, Design of remote monitoring system for cylinder group pressure of gas fire extinguishing system[J]. Fire Science and Technology, 2016(09):1264-1266.
- [17] 洪少壮,基于视觉的红外气体泄漏检测算法研究[J]. 安全科学与灾害防治,2020(01):73.
- [18] Hong Shaozhuang, Research on infrared gas leak detection algorithm based on vision[J]. Safety Science and Disaster Prevention and Control, 2020(01):73.
- [19] 孙雷,SF₆ 气体泄漏检测系统设计[J]. 电力信息与通信技术,2015.13(6):106-109.
- [20] Sun Lei, Design of sulfur hexafluoride gas leakage detection system[J]. Power Information and Communication Technology, 2015.13(6):106-109.

版权声明: ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS