

doi: 10.11731/j.issn.1673-493x.2021.S1.002

基于新一代信息技术的化工园区气体泄漏监测预警系统^{*}

李兴华¹, 王媛媛^{2,3}, 袁子龙¹

(1. 北京伟瑞迪科技有限公司, 北京 100094; 2. 中国安全生产科学研究院, 北京 100012;
3. 重大危险源与化工园区系统安全应急管理部重点实验室, 北京 100012)

摘要: 为解决目前化工园区气体泄漏风险的问题, 提出化工园区气体泄漏扩散监测和预警系统的架构和功能设计, 该系统融合虚拟现实技术、三维空间 GIS 技术、物联网技术、视频 AI 技术等新一代信息技术。结果表明: 该系统实现园区立体自动监测和泄漏风险预警管理等功能, 从而为预警和应急提供科学依据, 有助于确保泄漏风险可控, 保障园区和企业的安全运行和周边区域公共安全。所提的技术方法和系统已在某化工园区进行示范应用, 取得良好运行效果。

关键词: 物联网; 视频 AI 技术; 化工园区; 危险化学品; 气体泄漏; 监测预警系统

中图分类号: X937 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-493X(2021)-S1-0010-05

Safety monitoring and early-warning system for chemical park based on new generation of information technology

LI Xinghua¹, WANG Yuanyuan^{2,3}, YUAN Zilong¹

(1. Beijing Viready Technology Co., Ltd., Beijing 100094, China;

2. China Academy of Safety Science and Technology, Beijing 100012, China;

3. Key Laboratory of Major Hazard and Chemical Industry Park System Safety, Ministry of Emergency Management, Beijing 100012, China)

Abstract: In order to solve the current problem of gas leakage risks in chemical parks, the architecture and functional design of the gas leakage diffusion monitoring and early-warning system in chemical parks is proposed based on the virtual reality technology, three-dimensional spatial GIS technology, internet of things technology, video AI technology and other new-generation information technologies. The system realizes three-dimensional automatic monitoring of the park and leakage risk early warning management and provides scientific basis for early-warning and emergency response, which is of important practical significance to prevent or reduce the accident damage. The proposed technical methods and systems have been utilized in a chemical park in China, and have achieved good operating results.

Key words: internet of things; video AI technology; chemical park; hazardous chemicals; gas leakage; safety monitoring and early-warning system

0 引言

随着经济的发展, 化工园区近年来在国内蓬勃发展, 但化工园区的危险化学品一旦泄漏会造成安全问题, 比如含硫化氢的有毒气体泄漏易造成人员中毒等安全事故^[1], 带来巨大的人员伤亡、经济和财产损失, 对人民群众的生命、健康带来严重威胁同时, 有毒有害气体泄漏的环境问题也日益突出, 引起全社会的广泛关注, 成为政府和化工园区亟待解决的重大现实问题。国内多数化工园区气体泄漏监测预警系统都停留在系统设置阈值, 然后基于监测数据情况触发超限报警的单点位

泄漏报警模式, 无法表征园区整体层面的泄漏气体浓度及变化情况, 也缺乏应急联动指挥和泄漏影响区域评价。国内有学者从环境影响角度对化工园区有毒有害气体风险预警体系和检测方法进行初步研究^[2-3], 潘旭海等^[4]对事故泄漏源模型进行研究, 主要基于泄漏量等定量化信息描述事故泄漏发展动态过程, 但仅适用于事故后果分析计算, 无法对泄漏扩散进行模拟和溯源。本文从安全与环境的角度进行有机结合, 基于 CALPUFF 扩散模型和 SLAB 泄漏模型, 结合高斯溯源算法, 研究建立化工园区气体泄漏风险预警系统^[5-6], 对化工园区泄漏气体污染浓度分布和污染扩散进行模拟, 并可以对

收稿日期: 2021-10-31

^{*} 基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFC3001200); 国家自然科学基金重点项目(72034004)

作者简介: 李兴华, 博士, 教授, 主要研究方向为信息化技术。

通信作者: 王媛媛, 硕士, 工程师, 主要研究方向为危险化学品安全技术。

园区周边敏感点进行实时动态溯源,实现事故影响的定量分析,打造事前日常防控、事中应急响应、事后评估的全过程响应流程,切实增强园区和企业的联防联控、联管联动能力,为安全生产和环境保护保驾护航,促进化工园区“绿色、安全”高质量发展。

1 系统构成及架构设计

按照“常态与非常态相结合,预防与处置并重”的原则,基于国内现有安全和环保相关标准要求^[7-11],得出化工园区气体泄漏风险监测预警系统,如图1所示,

该系统基于园区风险分析、事故情景模拟、园区风险敏感点等因素,筛选有毒有害气体预警因子,构建“四位一体”覆盖园区企业重点风险源、企业厂界、园区边界、区域大尺度等的监测预警网络,通过研究科学的预警阈值和算法模型,建立动态高效的预警体系,对数据进行数据汇聚及科学分析,面向日常监管监察工作推送隐患型数据,面向应急管理工作推送警情事故型数据,面向污染防治工作推送规律型数据,提升园区风险管控水平,多维度解决园区安全和环境管理重点难点问题。

平台架构自底向上分为基础设施、数据采集、数据

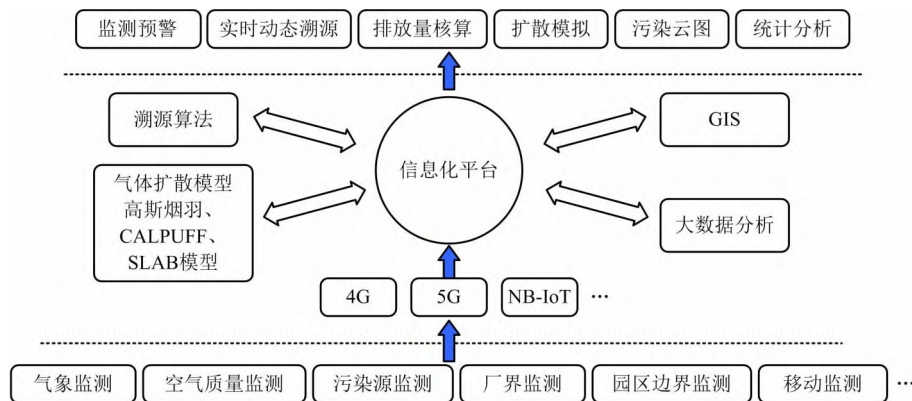


图1 气体泄漏监测预警系统架构

Fig.1 Architecture of gas leakage monitoring and early-warning system

建设、应用支撑、系统应用和信息资源服务6个层级,并建设信息标准规范、信息安全保障和信息运行管理3大体系,共同形成化工园区气体泄漏风险预警系统,总体框架设计情况如图2所示。系统采用先进的计算机、网络、数据库、GIS等技术,在集成或对接现有空气质量管

理、数据管理等业务系统基础上,建立1个具备实时数据采集和传输、数据分析与展示、网络质量控制与质量保证等能力的预警监控平台,包括子站软件开发、通讯网络构建、中心站软件开发等,构建园区实景三维模型,实现预警监控站点数据采集与传输的实时化和自动化,

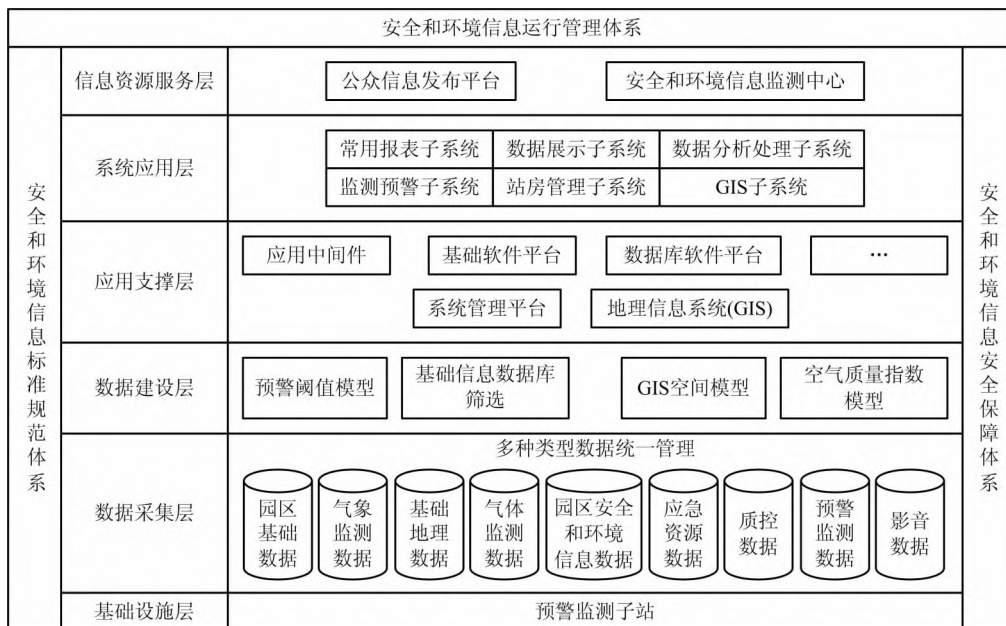


图2 平台架构设计

Fig.2 Platform architecture design

对有毒有害气体信息进行快速查询和多方位的时空展示,实现有毒有害气体预警信息的综合发布,以及有毒有害气体预警系统质量控制与质量保证的网络化和远程化。

2 系统核心功能

2.1 泄漏扩散模拟

系统实现 CALPUFF 法规模型的在线应用,对污染排放的扩散进行实时动态模拟,为空气污染成因分析、污染溯源验证提供数据参考。对企业排放可按有组织

排放、无组织排放、整体排放等不同维度进行污染扩散的分析。可实现 0 ~ 2 200 m 垂直高度范围内不同水平面的分层模拟,为污染物的垂直扩散和立体分布提供数据。污染扩散模拟分析技术,可直观地体现企业污染排放对环境空气质量和周边环境敏感点的影响,帮助园区实现精准管控,同时有效提升空气质量。气体泄漏扩散模拟示意图如图 3 所示。

2.2 高时空分辨率的实时动态溯源

系统自主研发微尺度溯源算法,解决 SMOKE 模型空间分辨率偏低(3 km × 3 km)的难题,溯源空间分辨率



图 3 气体泄漏扩散模拟示意

Fig. 3 Gas leakage and diffusion simulation

最大可达 50 m。基于实时的浓度监测数据和气象数据进行溯源分析,溯源的时间分辨率达到分钟级。系统不仅可实现即时溯源分析,还可对历史时段进行回顾性溯源分析,为异常排放的快速处理和责任界定提供依据。实时动态溯源功能可实现化工园区及时、准确地分析突发性污染事件等的成因,为突发事件的及时处理提供可能。气体泄漏动态溯源模拟示意图如图 4 所示。

2.3 扩散云图

系统基于气象数据、污染监测数据,利用大气扩散模型,计算和展示区域内污染浓度的空间分布,对指定时段内各种污染因子的浓度场演变提供可视化的动态展示,对空气质量变化和污染事件成因进行回顾分析。气体泄漏扩散云图示意图如图 5 所示。污染云图功能,可以直观地展示园区辖区内各种污染物的浓度分布以及



图 4 气体泄漏动态溯源模拟示意

Fig. 4 Dynamic traceability simulation of gas leakage



图5 气体泄漏扩散云图示意

Fig.5 Gas leakage diffusion cloud

在历史时段内的演变过程,协助园区管委会对区域空气质量做出真实、准确的评估。

2.4 预警因子确定

系统根据自动监控的适用性,从初筛和复筛名单中确定预警因子。自动监控的适用性优先考虑使用传感器、开放式长光程、傅里叶变换红外光谱等方法的仪器;毒性较大的、无机的有毒有害气体优先考虑是否可采用传感器方法;挥发性有机物优先考虑是否可采用开放式长光程监控方法;能够被多种仪器检出的有毒有害气体可在不同监控点采用区别的监控方式。

3 示范应用

以山东某化工园区为例,入园企业主要以炼化一体化、精细化工、化工新材料、特种油产业及危险废物处置企业为主,园区总企业数量 58 家。充分利用已有监测设备,兼顾园区安全环境的监管和风险预警 2 项需求,选择其中 14 家有有毒有害气体的重点排放企业作为监控对象,开发实现“实用、先进、便捷、管用、好用”的有毒有害气体泄漏风险预警系统,到目前为止该系统应用情况良好。

此次园区点位布设,共布设 36 个监测站,包括 28 个厂界站、2 个扩散途径站、5 个敏感目标站、1 个高空瞭望站。基于从风险单元、厂界预警、扩散途径、环境敏感多级预警的思路,该园区的监测站点包括风险单元站、厂界预警站 28 套、交通干线站 12 套(已建),扩散途径站 2 套(组分分析站+质控站)、敏感点站 5 套,总体实现从源-传播路径-受体的多级预警网,其中厂界站布设综合考虑企业风险等级、预警因子和园区主导风向,在各企业的边界布设,扩散路径站结合风险单元对周边敏感点的扩散情况采取合理的布点方式,敏感站则主要结合园区周边敏感点位置、重点监管企业情况等选点,

从而实现多级预警,有效管控有毒有害气体的逸散和泄漏事件的扩大。园区企业现有的所有气体报警器,将在完成 DCS 改造后接入本文建设站网。园区现有自建 12 套传感器方法的有毒有害气体报警器,将通过现场标定、线路改造、数据串流方式,接入本文建设站网。

通过园区建设范围的倾斜摄影测量工作,建立园区实景三维网格模型,采用 SOA 体系架构,通过服务总线技术实现数据交换以及实现与安全生产、环保系统之间的信息共享和集成,构建三维模型数据库子系统和泄漏风险一张图子系统,可实现监测、预警、预案、应急、指挥一体化展示。建设预警子系统,对园区泄漏气体进行预警因子筛选,并根据泄漏气体浓度值及变化趋势、异常状况、风险可接受程度设定预警阈值,综合利用园区各类监控预警数据、气象数据,建设园区、企业特征因子库,对园区监测数据进行实时跟踪溯源,可实现小尺度、多分辨率、高精度实时动态溯源,多模型(GAUSS、CALPUFF)扩散轨迹能够实现未来 3 d 的泄漏扩散轨迹预测。应急响应子系统,在园区发送突发事件并采取应急措施时,管理平台应启动场景模拟和应急标绘,系统平均响应时间 ≤ 2 s,系统最大响应时间 ≤ 5 s。此外,系统还可实现园区、企业实时动态核算和手动、自动风险单元泄漏模拟、分析,通过全域数据收集并基于大数据模型进行风险分析,实现应急资源库、应急信息库专家决策支持,具有丰富的报表系统和多维度数据分析系统,支持站端的视频监控,可实时查看和历史回顾站端情况,同时支持超标报警视频自动调用等多项其他功能。

4 结论

1) 实现 CALPUFF 扩散模型和 SLAB 泄漏模型的实时在线化应用,系统将 2 个模型做了模块化嵌入,实现高时空分辨率实时动态溯源算法。

2) 实现污染浓度分布和污染扩散模拟,并可以对园区及周边范围内及敏感点进行实时动态溯源,定量分析园区企业对监测敏感点的浓度占比贡献值。

3) 实现风险单元发生泄漏后,自动关联园区可用应急资源、应急队伍、应急预案、可用疏散点等信息,评估受影响人群,启动关联视频信号,调用应急预案,并进行逃生路径规划,真正意义上实现风险单元的泄漏应急指挥与模拟。

4) 实现园区泄漏物质预警体系由以系统为中心向以数据为中心转变,由面向地图处理向面向客观空间实体及其关系的处理转变,由单纯的二维处理向多维处理转变,由管理型向分析决策型转变。

参考文献

- [1] 朱红亚,王青松,李一帆,等. 有毒气体在不同泄漏模式下的事故后果分析[J]. 安全与环境学报,2012,12(6): 216-222.
ZHU Hongya, WANG Qingsong, LI Yifan, et al. Accident consequence analysis of toxic gas leak in different release modes [J]. Journal of Safety and Environment, 2012(6): 216-222.
- [2] 刘志强,陈旭东. 化工园区有毒有害气体环境风险预警体系研究[J]. 资源节约与环保,2021(9): 145-146.
LIU Zhiqiang, CHEN Xudong. Research on environmental risk early warning system of toxic and harmful gas in chemical Industry park [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2021(9): 145-146.
- [3] 接强,李少元,王芳琳,等. 环境损害中有毒有害气体检测方法概述[J]. 刑事技术,2020,45(5): 448-453.
JIE Qiang, LI Shaoyuan, WANG Fanglin, et al. Overview on methods for detecting the gases toxic and/or harmful to environment [J]. Forensic Science and Technology, 2020, 45(5): 448-453.
- [4] 潘旭海,蒋军成. 事故泄漏源模型研究与分析[J]. 南京工业大学学报(自然科学版),2002(1): 105-110.
PAN Xuhai, JIANG Juncheng. Progress of accidental release source and mechanism models [J]. Journal of Nanjing Tech University (Natural Science Edition), 2002(1): 105-110.
- [5] 罗刚,蒋学彬,涂熹薇,等. 油气田有毒气体泄漏预警与监测系统研究[J]. 钻采工艺,2013,36(6): 116-118.
LUO Gang, JIANG Xuebin, TU Xiwei. Research on early warning and monitoring system of toxic gas leakage in oil and gas fields [J]. Drilling & Production Technology, 2013, 36(6): 116-118.
- [6] 林桔,黄增威,康世洋. 移动监测在化工园区有毒有害气体预警监测布点中的应用[J]. 广州化工,2020,20: 104-106.
LIN Ju, HUANG Zengwei, KANG Shiyang. Application of mobile monitoring in early warning and monitoring point arrangement of toxic and harmful gases in chemical industrial park [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2020, 20: 104-106.
- [7] 中华人民共和国应急管理部. 危险化学品重大危险源辨识: GB 18218—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社,2018.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计规范: GB 50493—2019 [S]. 北京: 中国标准出版社,2019.
- [9] 国家环境保护总局. 大气污染物无组织排放监测技术导则: HJ/T 55—2000 [S]. 北京: 中国环境科学出版社,2001.
- [10] 工业和信息化部. 工业和信息化部关于促进化工园区规范发展的指导意见(工信部原(2015)433号) [EB/OL]. (2015-11-25) [2021-08-09]. <http://www.mofcom.gov.cn/article/b/g/201603/20160301271523.shtml>.
- [11] 环境保护部. 环境空气质量标准: GB 3095—2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社,2012.