物联网赋能危化企业分级安全评价实施策略

杨杰卿
苏州科信安全评价有限公司　江苏 苏州　215006

摘　要　针对危化企业传统安全评价“重现场节点、轻运行过程”“重合规判定、轻持续校准”的缺陷，以风险单元为评价对象，提出物联网赋能分级安全评价的实施框架。该框架把静态固有风险、动态运行偏离以及管理响应能力整合到一个评价链条当中，用感知终端、边缘网关、分级模型和闭环处置来创建可以追溯的动态评价体系。研究认为，物联网不是简单地增加监测设备，而是在评价依据上由抽样核验扩展为证据采集、风险计算、分级预警、整改复核的连续服务。对易制爆危化品、加油站、储罐充装等场景，根据关键危险源的不同来配置不同的指标，设置数据质量规则以及人工复核的阈值，防止模型出现误判的情况。该策略可以提高评价结论的时效性、可解释性以及整改闭环的质量，为安全评价机构提供数字化技术服务的参考。

关键词　安全工程；安全评价；危化企业；物联网；分级管控；加油站；易制爆危化品

Implementation Strategies for IoT-Empowered Tiered Safety Evaluation in Hazardous Chemical Enterprises

Yang Jieqing
Suzhou Kexin Safety Evaluation Co., Ltd., Suzhou 215006, Jiangsu Province, China

Abstract　To address the shortcomings of traditional safety evaluation in hazardous chemical enterprises, which “emphasizes on-site nodes while neglecting operational processes” and “focuses on compliance determination while neglecting continuous calibration”, this paper proposes an implementation framework for IoT-empowered tiered safety evaluation with risk units as evaluation objects. The framework integrates static inherent risk, dynamic operational deviation, and management response capability into a single evaluation chain, and establishes a traceable dynamic evaluation system through sensing terminals, edge gateways, tiered models, and closed-loop disposal. The study argues that IoT is not simply about adding monitoring devices, but rather about expanding the evaluation basis from sampling verification to a continuous service encompassing evidence collection, risk calculation, tiered warning, and rectification review. For scenarios such as explosive-precursor hazardous chemicals, gas stations, and tank filling, different indicators are configured according to different critical hazard sources, and data quality rules and manual review thresholds are set to prevent model misjudgment. This strategy can improve the timeliness, interpretability, and rectification closed-loop quality of evaluation conclusions, providing a reference for digital technical services of safety evaluation institutions.

Key words　Safety engineering; Safety evaluation; Hazardous chemical enterprises; Internet of Things; Tiered control; Gas stations; Explosive-precursor hazardous chemicals

危化企业风险状态不是一成不变的。储存量变化、装卸作业、设备老化、人员违章、极端天气、外部施工等都会使同一个风险单元在不同的时候出现不同的危险程度[1]。传统的安全评价主要是依靠现场勘查、资料审查、周期性报告等方式来进行，不能够及时发现运行的偏离情况以及整改的效果。因此被评价对象越复杂就越需要把静态评价结论转化为动态风险证据[2]。

物联网技术的价值不在于把所有的设备接入平台，而在于围绕评价问题采集必要的、可信的、可复核的数据。对于安全评价机构来说，物联网应该服务于3个目的，一是提高风险识别的颗粒度，把装置、储罐、仓库、加油岛、卸油口等划分为可以计算的风险单元；二是提高分级判定的时效性，使异常波动可以进入评价模型；三是提高整改闭环的证据强度，避免报告建议停留在文字层面。

1　分级安全评价的动态化逻辑

危化企业分级安全评价分为基准分级和动态修正两个层次。基准分级以物料危险性、储量规模、工艺条件、周边敏感目标、防火防爆设施、历史事故隐患为依据，形成风险单元的初始等级；动态修正根据温度、压力、液位、可燃有毒气体浓度、静电接地、门禁出入、作业票状态、报警响应时长等运行

数据，对初始等级进行上调、维持或者恢复[3-4]。

为了提高可解释性，评价模型应该使用“固有风险I、运行偏离D、管理响应M”这样的组合结构。固有风险I体现的是事故后果以及危险源的属性，运行偏离D体现的是实时参数偏离正常工况的程度，管理响应M体现的是报警确认、现场处置、隐患整改和复查销项的能力。综合分值用R=0.45I+0.35D+0.20M的方式来初算，再根据重大异常触发规则来修正。例如，可燃气体浓度连续上升、卸油静电接地失效且处于作业状态时，不能只按照平均分值降权，应该触发等级上调和人工复核。

动态分级不是追求完全的自动化，而应该建立机器先发现、人员再确认、模型可追溯的机制。每一个等级的调整都要留下触发数据、判定规则、处置人员、处置时限、复核结果等评价证据链。既可以防止传感器误报警影响评价结论，又可以防止现场风险长期无人确认。

2 物联网赋能的实施架构

其构成可以归纳为感知采集、边缘校验、模型分级、应用闭环这4个部分，如图1所示。

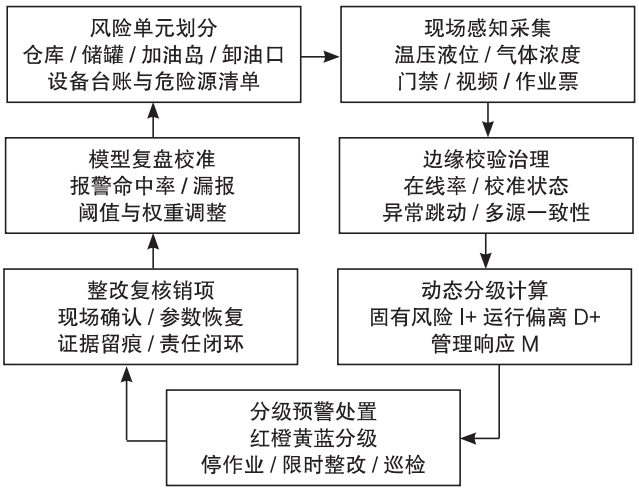


图1 物联网赋能危化企业动态分级安全评价闭环

感知采集环节要遵照“风险点位优先、关键参数优先、联锁证据优先”的准则，不能搞无差别铺设。易制爆危化品库房重点采集库存台账、温湿度、出入库称重、门禁双人双锁、视频联动信息；加油站重点采集卸油口液位、防溢流、油气浓度、静电接地、紧急切断、加油岛异常停车信息；储罐充装场景重点采集压力、液位、温度、阀位、泄漏报警、装卸臂状态。

边缘校验部分承担数据清洗、初步判断功能。危化场所网络环境复杂，单个传感器的数据会受到漂移、断链、误触发等的影响，所以需要设置数据质量标签，即设备在线率、校准状态、连续缺失时间、异常跳变、多源一致性。对有可能造成重大后果的参数，可以采用传感器数据和视频、门禁、作业票等多源交叉验证的方式进行，减少单一数据源造成的误判[5-6]。

模型分级环节要将指标库和场景库分开建立。通用指标是对消防设施、人员资质、隐患闭环、应急资源等共性因素的评价指标；场景指标是对易制爆危化品流向、加油站卸油作业、储罐超限运行等专属风险的评价指标。权重不能一次确定后固定不变，要根据评价项目的复盘、报警准确率、隐患整改情况以及事故险情案例等进行季度校准。

应用闭环环节将分级结果转换成岗位动作，红色风险立即停止作业并启动应急处理，橙色风险限时整改并加密巡检，黄色风险列入计划治理，蓝色风险保持常态化检查。

3 典型场景的指标配置

危化企业类型差别大，分级评价不能使用同一个传感器清单。表1给出了3种常见的场景的配置思路，核心是把可能发生的事故类型、预警数据源、由谁来处置、怎样复核连成一条链。安全评价机构在项目开始前，首先要对危险源进行分解，并对数据的可获得情况进行审查，然后确定终端类型、采集频率以及预警阈值。

表1 典型危化场景物联网分级评价要点

场景	重点风险	物联网采集要点	分级评价输出
易制爆危化品库房	非法取用、超量储存、温湿度异常、账物不符	门禁双人复核、称重 / 库存台账、温湿度、视频联动、出入库时间戳	库存偏差预警、库房风险等级、出入库异常清单、整改复查记录
加油站卸油与加油作业	油气泄漏、静电火花、冒油、车辆误入、紧急切断失效	液位与防溢流、油气浓度、静电接地、卸油作业票、紧急切断状态	卸油作业风险等级、停作业触发条件、巡检频次和岗位处置指令
储罐充装及压力管道	超压超温、液位超限、阀门误操作、泄漏扩散	压力、温度、液位、阀位、泄漏报警、装卸臂连接和连锁状态	储罐单元等级、参数偏离趋势、限时整改和复核销项要求

4 评价服务的落地路径

第一，创建项目级的数据底座。评价机构进场前要收集企业总平面布置、物料清单、重大危险源辨识资料、设备台账、作业票制度、隐患台账，形成风险单元编码。所有的物联网数据都要和风险单元绑定起来，防止平台有数据但是不能用的情况。同时，应统一数据接入标准与接口规范，明确各类感知终端的采集频率、数据格式与传输协议，确保不同厂商、不同批次的设备数据能够顺利接入并保持一致。对历史纸质资料，应

进行结构化整理与数字化录入，形成完整、可查询的静态数据档案，为后续动态评价提供可靠基础。

第二，实行线上监测和现场核验相结合的混合评价。线上数据用来发现异常趋势并挑选重点点位，现场核验用来证实防爆等级、设备是否完好、人员操作是否合规、管理制度是否落实。对加油站卸油、易制爆危化品出入库等高风险作业，应在作业前进行确认、作业中进行监测、作业后进行复核。现场核验结果应及时回传至评价平台，与线上监测数据相互印证，形成“线上发现—线下核实—结果反馈”的闭环流程，避免线上数据与现场实际脱节。

第三，可以追踪的整改闭环。评价报告不能只是泛泛地提出建议，应该对风险单元、问题证据、等级变化、整改责任、整改时限、复查方式做出明确的规定。整改完成之后，系统应该把参数恢复、现场照片、复查结果以及模型等级恢复状况记入。对反复出现的重复报警、反复不改的隐患单元，在下一轮评价时提高其管理响应扣分的权重。同时，应建立整改台账的动态更新机制，对超期未整改项自动提醒并升级预警，确保每一项问题都能落实到人、追踪到底。

第四，确定数据安全与责任的界限。危化企业运行数据属于敏感信息，评价机构要依照最小必要原则去取得数据，并且对数据进行账号分级、传输加密、日志留痕以及脱敏导出。物联网评价不能代替企业的主体责任，也不能代替评价人员的专业判断；平台输出是评价的证据和风险提示，最终结论还要经过专业人员的审核。此外，应明确数据使用范围与保存期限，防止数据被超范围使用或泄露，并在服务协议中约定双方的数据安全责任与保密义务，保障企业信息安全与评价服务的合规性。

5 保障措施

推进物联网分级评价要同步解决标准、人才、运维问题。从标准上统一风险单元编码、数据接口、报警分级、报告附录格式，使不同企业、不同设备的数据可以进入同一个评价逻辑。安全评价人员要对危化品危险特性及评价方法有深刻认识，并且还要具备传感器误差、数据缺失以及模型校准方面的基本知识。运维上要将终端校准、网络在线率、数据备份、应急切换等纳入到企业的安全管理制度当中，否则平台运行的时间越长，数据失真的风险就越高。

同时应该建立模型复盘制度。每季度对报警命中率、漏报情况、整改逾期率、人工复核意见进行统计，分析有无阈值过高、权重失衡或者场景指标缺失。只有把模型复盘作为评价服务的一部分，物联网系统才有可能由“设备工程”变成“安全评价能力”。

6 结束语

物联网赋能危化企业分级安全评价，本质上就是用连续的数据来提高评价的证据质量，用场景模型来提高分级的精度，用闭环的记录来提高整改的实效。对易制爆危化品、加油站、储罐充装等典型场景来说，不能泛化部署、单纯平台展示，而应该转向风险单元化、指标场景化、数据可信化、处置闭环化。安全评价机构如果把专业判断和数字化证据结合起来，那么它的评价报告就由原来的一次性交付变成持续的安全技术服务。

参考文献

[1]王艳,刘沛仪,张延斌.危险化学品行业安全生产标准验证体系优化路径研究[J].中国安全生产科学技术,2025,21(S1):77-80.

[2]王浩水.我国化工(危险化学品)企业安全生产解决方案[J].中国安全科学学报,2025,35(5):16-22.

[3]郑盛朋.危化企业安全管理存在的问题与改进策略[J].四川劳动保障,2023(6):21-22.

[4]魏山峰.安全生产双重预防机制相互关系研究[J].中国安全科学学报,2023,33(S1):64-68.

[5]刘晋,程彦斌,齐东川,等.基于支持向量机的化工工艺安全评价模型构建及优化研究[J].中国安全生产科学技术,2022,18(12):154-161.

[6]覃伟中,冯玉仲,陈定江,等.面向智能工厂的炼化企业生产运营信息化集成模式研究[J].清华大学学报(自然科学版),2015,55(4):373-377,469.

（本文编辑 吴文博）

