

安全生产管理智能化 石油化工行业解决方案 白皮书

—— 聚焦重大危险源 · 特殊作业 · 工艺安全全流程管控 ——

版本号 v1.0

编写团队 精诺数据 · 智能安环产品线

一、前言

1.1 编写目的

本白皮书旨在面向石油化工行业的生产经营单位、行业主管部门及相关合作伙伴，系统阐述"安全生产管理智能化"平台在石油化工行业的定位、核心能力、场景化解决方案与落地路径，帮助行业用户清晰理解产品价值，加速安全生产管理的数字化、智能化转型升级。

1.2 行业概览

石油化工行业涉及原油炼制、基础化工原料、精细化工、化肥、合成材料等众多细分领域，生产过程具有高温、高压、易燃、易爆、有毒、有害、强腐蚀等典型特征，是国家应急管理部明确的重点监管高危行业之一。近年来响水"3·21"、天津港"8·12"等重特大事故警示全行业：工艺安全管理一旦失控，往往引发人员重大伤亡、财产重大损失与严重环境污染，对企业生存与区域社会稳定均构成严重挑战。

1.3 政策与合规趋势

近年来，新《安全生产法》、《工贸企业重大事故隐患判定标准》、《危险化学品安全管理办法》、《职业病防治法》等法律法规密集修订出台，企业主体责任、全过程留痕、信息化接入、风险分级管控要求持续强化；各级应急管理部门通过"四不两直"检查、数字化监管平台接入、企业安全信用评级等方式，持续加码全过程、全链条监督。企业若未能有效落实法定安全义务，不仅面临高额罚款、停产整顿等行政处罚，还可能承担刑事责任。

传统粗放式安全管理已难以为继，依托数字化、智能化手段构建覆盖风险辨识、动态监控、流程闭环、合规自检的现代化安全管理体系，已成为行业的必然选择。

1.4 适用读者

本白皮书适用于石油化工行业企业的主要负责人、安全总监 / EHS 负责人、生产与设备负责人、信息化负责人、车间主任 / 班组长，以及对本行业安全智能化感兴趣的行业协会、研究机构、监管部门与合作伙伴。

二、行业现状与挑战

2.1 行业现状

在“双碳”战略与产业转型升级背景下，石化企业正面临生产规模持续扩大、工艺复杂度不断提升、人员结构老龄化与新员工快速上岗并存等多重压力。传统以制度文本、纸质台账、人工巡检为主的安全管理模式，已难以有效管控日益复杂的工艺安全风险。

2.2 主要挑战

- **重大危险源密集：**储罐区、装置区、码头、管廊等区域普遍构成一级、二级重大危险源，需满足《危险化学品重大危险源监督管理暂行规定》的持续在线监测与分级管控要求。
- **特殊作业风险突出：**动火、受限空间、高处、吊装、盲板抽堵、动土、临时用电、断路等八大作业频次高、交叉多，任一环节失控都可能引发连锁事故。
- **工艺参数复杂耦合：**温度、压力、液位、流量、组分浓度动态联动，人工判断存在盲区，传统阈值报警提前度不足。
- **承包商管理难度大：**大修、技改项目中承包商人员数量远超业主，素质参差，是违章与事故的高发主体。
- **合规压力持续加码：**GB 30871、GB 18218、AQ/T 3034（化工过程安全管理导则）、“两重点一重大”要求持续升级，监管部门“四不两直”检查常态化。

2.3 智能化转型的迫切性

石化行业工艺复杂、装置规模大、人员密度相对低、数据基础较好，是最适合率先开展深度智能化转型的行业之一。通过引入工艺安全偏离预测、特殊作业电子票证、智能视频识别、重大危险源联动监测等手段，可显著提升行业本质安全水平。

三、产品概述

3.1 产品定位

本产品是一款面向政府监管部门与企业用户的安全生产管理智能化平台，集"感知、分析、预警、处置、评估、优化"于一体，针对石油化工行业的工艺特征与风险特点进行了深度裁剪与强化，帮助企业实现风险动态监测、隐患智能排查、应急高效处置、监管精准化与决策科学化。

3.2 核心理念

我司秉承"精于数据，诺重千斤"的核心理念，致力于与客户共同构建更安全、健康、环保的生产环境。

- **以人为本，安全第一：**通过智能感知、行为识别与风险干预主动降低人为风险，全面提升一线作业人员的安全防护能力。
- **数据驱动，智能决策：**融合设备、环境、人员、流程四类多源异构数据构建统一数据底座，依托 AI 算法实现风险动态评估与辅助决策，让安全管理从"经验判断"迈向"数据说话"。
- **预防为主，关口前移：**基于实时监测与边缘计算对异常状态和潜在隐患进行毫秒级识别与分级预警，推动管理从"事后响应"向"事前预测、事中控制"转变。
- **全程覆盖，闭环管理：**贯穿"辨识—上报—整改—验收—复盘"全链路，打通"发现—处置—验证—优化"管理链条，确保每一项风险可追踪、可闭环、可追溯。
- **开放互联，协同共治：**微服务架构支持与企业 ERP、EHS、IoT、MES 等既有系统无缝对接；面向政府、企业、第三方提供标准化协同接口。

3.3 核心价值

- 从"被动应对"到"主动预防"，显著降低事故发生率。
- 打破数据孤岛，构建统一、可信的安全管理数字底座。
- 提升管理效率，将安全团队从重复性事务中解放，聚焦高价值的风险研判与策略优化。
- 满足合规要求，强化企业安全履责能力，从容应对监管检查与第三方审核。

- 开放可扩展，适配单厂、多厂、集团级多规模多场景部署需求。

四、技术架构

4.1 总体架构

本产品采用“云-边-端”一体化架构，构建多层次、全方位的安全生产智能化管理体系：

- **感知层：**部署各类传感器（温湿度、气体、振动、位移、视频、智能穿戴等），实现对人员、设备、环境、作业行为等关键要素的全面感知和数据采集。
- **边缘计算层：**在靠近数据源的边缘节点完成预处理、实时分析与本地决策，降低带宽压力、实现毫秒级响应。
- **网络层：**依托 5G、工业以太网、LoRa、NB-IoT 等多种网络构建稳定、可靠、安全的数据传输通道。
- **平台层（云端）：**包括业务中台、数据中台、AI 能力中台，沉淀通用业务能力、统一数据底座与行业算法模型。
- **用户层：**支持 PC 端、移动端（APP/小程序）、大屏展示多渠道接入。

4.2 关键技术

- **物联网（IoT）：**实现对生产环境、设备状态、人员行为的实时感知与数据采集。
- **人工智能（AI）：**包括计算机视觉、机器学习/深度学习、自然语言处理，用于违章识别、风险预测、法规问答、预案匹配等。
- **知识图谱：**整合法规、案例、参数、风险因素，支撑智能推理与辅助决策。
- **大数据：**对海量、多源、异构安全生产数据进行存储、清洗、融合、分析与挖掘。
- **云计算：**提供弹性计算、存储和服务能力，支撑平台稳定运行与快速扩展。
- **数字孪生（可选）：**构建生产场景的数字孪生体，支持模拟仿真、虚拟巡检、预案推演。
- **区块链（可选）：**用于关键安全数据（如整改记录、培训记录）的存证。

4.3 数据安全与隐私保护

- **数据加密：**传输与存储全程加密。
- **访问控制：**基于角色的访问控制（RBAC）。
- **脱敏处理：**涉及个人隐私与商业秘密的数据脱敏后再分析展示。

- 安全审计：操作全程留痕、可追溯。
- 合规性保障：严格遵守《网络安全法》《数据安全法》《个人信息保护法》等法律法规要求。

五、核心功能模块 —— 石油化工行业化方案

本章结合石化行业特点，对平台九大核心模块进行场景化裁剪与增强，形成行业专属能力体系。

5.1 行业特色风险地图

平台内置石化行业专属风险库与隐患对标库，形成覆盖"人-机-料-法-环-管"六大维度的立体风险图谱，重点锁定以下高危场景：

风险区域	典型风险情景	管控重点
罐区 / 罐组	静电放电、呼吸阀失效、液位超限、可燃气体泄漏	液位/温度/压力在线监测 + 可燃气体 LEL 监测 + 防雷防静电检查
反应装置区	超温超压飞温、物料错配、换热器内漏、联锁切除	DCS/SIS 数据联动、联锁投用率监控、异常工况 AI 预测
装卸栈台	跑冒滴漏、静电、违规进出、车辆超时	GIS 定位 + 静电接地确认 + 装卸时序管控
管廊与工艺管线	法兰泄漏、腐蚀穿孔、第三方破坏	红外热成像巡检 + 视频巡线 + 完整性管理
公用工程区	循环水停运、蒸汽中断、仪表风失压	关键公用工程指标在线监测与分级预警
危化品仓库	禁配储存、超量储存、通风失效	RFID 出入库 + 温湿度/气体监测 + 库存红线预警

5.2 工艺安全驱动的双重预防体系

- 按"装置—单元—节点—设备"四级结构划分风险单元，并与 HAZOP、LOPA 分析成果直接对接，实现工艺安全分析（PHA）成果的数字化沉淀。
- 支持 LEC、LS、JHA、SCL、风险矩阵（ $R=L \times S$ ）等多种方法并行评估，风险四色图在园区 GIS 图与装置三维模型上双维度可视化。
- 将风险管控措施逐条转化为岗位级隐患排查项，工艺、设备、电气、仪表、安全五类排查清单自动下发至岗位。

- 重大风险与重大危险源"一档", 实时接入罐区液位、反应器压力、可燃/有毒气体浓度等关键工艺参数, 超限自动升级风险等级并联动应急预案。

5.3 八大特殊作业全过程电子票证管控

- 严格对标 GB 30871 《化学品生产单位特殊作业安全规范》, 内置动火 (一级/二级/特级)、受限空间、高处、吊装、盲板抽堵、动土、临时用电、断路作业电子模板。
- 作业申请自动挂载作业位置的风险画像, 涉及重大危险源时强制提升审批层级; 动火作业需同步上传可燃气体检测值。
- 作业票与固定式 LEL/H₂ S/O₂ 监测点、移动式四合一检测仪数据实时联动, 浓度超限自动声光报警并冻结作业票。
- 监护人、作业人电子签到 + 人脸识别, 杜绝"无监护作业""替岗作业"等典型违章。
- 作业票关闭后自动归档, 所有检测数据、监控视频片段、签字记录一并入档, 满足应急部"一单一档"审计要求。

5.4 重大危险源在线监测与智能预警

- 对接 DCS、SIS、GDS、视频监控、周界报警等系统, 构建重大危险源"一张图"总览, 实现温度、压力、液位、流量、浓度、视频、联锁七要素一屏展示。
- 基于历史数据训练的工艺偏离预测模型, 可提前 5-30 分钟预警异常工况, 较传统阈值报警提前度显著提升。
- 按照《危险化学品重大危险源安全监控通用技术规范》(AQ 3035) 标准接入地方应急管理部门监管平台, 实现监管端"一键可查"。
- 重大危险源应急预案、周边敏感点、消防设施位置一体化展示, 事故发生时可快速生成处置建议。

5.5 石化专属智能视频识别

- 罐区智能周界: 翻越、闯入、徘徊、车辆违规驶入自动抓拍报警。
- 火焰/烟雾初期识别: 结合红外与可见光双光谱分析, 秒级发现初起火情。
- 违章行为识别: 禁烟区吸烟、未戴安全帽、未穿防静电服、使用非防爆手机等。
- 装卸现场识别: 静电接地夹未连接、装卸超时、无人值守等异常场景自动告警。

- 泄漏识别（可选）：基于光学气体成像（OGI）或 AI 视频分析识别气体云团扩散趋势。

5.6 承包商全生命周期安全管控

- 覆盖"资质准入—入厂三级教育—作业票协同—现场监管—绩效评估—红黄牌退出"全过程。
- 承包商人员信息、特种作业证、保险信息一人一档，证件到期自动预警，过期人员一键锁库。
- 入厂教育强制通过率 $\geq 90\%$ 方可开通作业权限，考试全过程防作弊监控。
- 违章行为扣分制，累积达到阈值自动触发黄牌警告、红牌清退，评估结果联动采购系统。

5.7 应急管理与指挥调度

- 预案结构化录入，按事故类型（火灾、爆炸、泄漏、中毒等）与等级自动匹配处置步骤。
- 应急物资（消防水、泡沫液、空呼器、堵漏器材、吸附材料）电子台账，效期与库存双预警。
- 事故发生时自动叠加厂区风向、重大危险源位置、消防站距离、周边敏感点，辅助指挥员决策。
- 支持 AR 单兵、布控球、无人机接入，实现现场图传与远程指挥。

六、典型应用场景

6.1 储罐区动火作业全要素联动管控

某炼厂原油罐区需进行罐顶浮盘修复焊接作业。作业人员通过移动端发起一级动火申请，系统自动挂接该罐当前液位、内浮顶状态、历史清洗记录、周边 50 米内其他正在执行的作业票。审批流自动路由至工艺工程师、设备工程师、消防主管、分管副厂长。作业开工前，固定式 LEL 检测仪、移动四合一检测仪数据实时同步至作业票，任一超限自动冻结。作业过程中，塔顶球机对准火花点位置持续录像，AI 自动识别监护人离岗、灭火器未就位等异常。作业完成后，所有证据链自动归档至“一张票”档案。

6.2 重大危险源异常工况分级预警

某液化烃球罐压力在 20 分钟内持续微幅上升，虽未触发硬报警阈值，但 AI 工艺偏离模型基于历史同工况数据识别出偏离趋势，提前 15 分钟推送“黄色预警”至值班长与装置长。现场确认夏季环温升高叠加外输泵异常，及时投用喷淋冷却，避免了罐压进一步攀升触发安全阀起跳。

6.3 承包商检维修项目协同管控

某石化企业年度大修期间，同时开工作业票达 300+ 张。平台以“项目—装置—作业票”三级结构统一管理，管理层通过大屏实时掌握全厂作业分布、风险叠加情况。系统自动识别同一装置区内动火与受限空间作业时间/空间冲突，自动提示协调；违章承包商 AI 识别后扣分并实时推送安全总监，整体大修事故零发生。

6.4 预期价值成效

- 重大危险源在线监测覆盖率 100%，异常工况平均预警提前度 ≥ 10 分钟。
- 特殊作业电子票证使用率 100%，票证审批平均时长缩短 50% 以上。
- 作业违章抓拍量提升 5~10 倍，同类违章重复发生率下降 $\geq 50\%$ 。
- 承包商违规事件下降 $\geq 40\%$ ，承包商导致的事故起数显著减少。
- 全面支撑化工过程安全管理（PSM）合规审查，从容对应应急管理部“四不两直”检查。

六、实施路径与保障

6.1 四阶段实施方法

阶段	主要工作	交付物
一、需求调研与规划（4~6周）	行业诊断、痛点梳理、模块选型、架构设计、ROI 测算	《需求规格书》《实施蓝图》
二、部署实施与集成（8~12周）	基础环境搭建、核心模块上线、现场硬件部署、系统对接	可用系统环境 + 集成接口文档
三、试点运行与优化（4~8周）	试点车间/装置运行、数据校准、算法优化、培训赋能	《试点运行报告》 《优化建议书》
四、全面推广与持续运营	全厂推广、数据运营、模型迭代、二期规划	年度运营报告、持续优化

6.2 石油化工有限公司模块优先级建议

结合石油化工有限公司生产特点与主要风险，建议按以下优先级分期实施，逐步扩展：

- **一期核心模块：**双重预防管控、危险作业管理、智能视频监控、重大危险源监测联动、应急管理系统。
- **二期扩展模块：**承包商（相关方）安全管理、事故事件管理、教育培训管理、合规性评估、职业健康管理。

6.3 服务保障体系

- 7×24 小时客户服务热线与在线工单支持。
- 行业解决方案专家 + 实施顾问 + 算法工程师组成专项服务团队。
- 每季度算法模型更新与法规库更新服务，保障平台持续符合最新要求。
- 年度客户联席会议与最佳实践分享，构建行业生态圈。

—— 全文完 ——

精诺数据 · 智能安环产品线

精于数据 诺重千斤