

Exploration and Practice of Digitalization Empowering the Full-process Refined Management of Hazardous Waste

Falin Ren

Cnooc Huizhou Petrochemical Co., Ltd. Health, Safety and Environmental Protection Center, Huizhou, Guangdong, 516086, China

Abstract

Against the backdrop of ecological civilization and the “dual carbon” goals, the new Solid Waste Law and other regulations have put forward higher requirements for the control of hazardous waste, and the traditional manual and extensive management model has become difficult to adapt to. In response to the pain points of hazardous waste such as diverse types, long chains, difficult coordination and high risks, a large-scale refining and chemical enterprise has built a full-process intelligent management system for hazardous waste that integrates Internet of Things and big data technologies. With “one waste, one code” as the main line, it realizes the digital, visual and intelligent management of the entire life cycle of hazardous waste from generation to disposal. Practice has shown that the system has significantly enhanced management efficiency and compliance levels, reduced costs and environmental risks, and promoted the transformation of environmental protection management from a “cost center” to a “value creation” model. It provides a replicable and scalable practical model for the digital transformation of hazardous waste management in process industries and the construction of “waste-free enterprises”.

Keywords

Hazardous Waste management Digital transformation Full-process control “One waste, one code” Compliance management

数字化赋能危险废物全流程精细化管控的探索与实践

任发林

中海油惠州石化有限公司健康安全环保中心，中国·广东 惠州 516086

摘要

在生态文明与“双碳”目标背景下，新《固废法》等法规对危险废物管控提出更高要求，传统人工粗放管理模式已难适应。某特大型炼化企业针对危废种类多、链条长、协同难、风险高等痛点，构建了融合物联网、大数据等技术的危废全流程智慧管控系统，以“一废一码”为主线，实现危废从产生到处置的全生命周期数字化、可视化与智能化管理。实践证明，系统显著提升了管理效率与合规水平，降低了成本与环境风险，推动环保管理由“成本中心”向“价值创造”转变，为流程工业危废管理数字化转型及“无废企业”建设提供了可复制、可推广的实践范本。

关键词

危险废物管理；数字化转型；全流程管控；“一废一码”；合规管理

1 引言

在生态文明建设与“双碳”目标背景下，危险废物环境风险管理已成为工业企业绿色发展的核心议题。中国作为工业大国，危险废物产生量大、种类多、环境风险高。2020年9月新《固体废物污染环境防治法》实施后，产废单位全生命周期管理责任进一步强化，对信息化、台账及转移联单提出更高要求；《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）等规范的出台，标志着中国危险废物管理进入“全过程、精细化、信息化、系统化”的严格监管新阶段。

传统手工记录、纸质单据和分散沟通的管理模式，存在数据不准、信息不畅、追溯困难、协同低效和合规风险高等问题，难以满足当前内外部监管要求。石油化工行业作为危废重点来源，生产过程复杂，危废种类多、点位分散、管

理链条长，涉及多方协同，是一项复杂系统工程，当前主要面临：①合规风险高，任一环节疏漏均可能引发处罚；②管理效率低，重复手工操作耗时且易出错；③信息孤岛严重，数据分散导致问题溯源难；④成本控制粗放，缺乏数据支撑减量化与处置决策；⑤安全环保风险高，缺乏库存和超期贮存等实时预警机制。

数字化转型为解决上述问题提供了关键路径。将物联网、大数据等技术应用于危废管理，构建“智慧固废”体系，具有重要意义。本文以某大型石化企业危险废物全流程管理系统建设项目为案例，梳理其数字化转型实践路径，剖析数字技术与业务场景的深度融合，评估在提效、合规、降本、控险方面的应用成效，提炼可复制的管理与技术模型，为流程工业及产废行业危废管理现代化、智能化转型提供参考，服务“无废城市”建设与生态文明战略。

2 案例企业概况与管理现状

2.1 企业基本情况

某公司位于广东省惠州市，是国有独资大型现代化炼厂，分两期建设，炼油能力2200万吨/年，配套乙烯、芳烃等装置，工艺装置多、产业链长、技术复杂，是华南地区重要的能源和化工原料基地。企业地处环境敏感区域，将安全环保视为生命线，积极践行绿色发展理念。

2.2 危险废物管理初始状态与核心痛点

系统建设前，企业虽已建立基本危废管理制度，但主要依靠人工管理，在规模扩张和监管趋严下暴露出明显短板：

①管理对象复杂：年危废产生量约4.5万吨，涵盖《国家危险废物名录》中多个大类，包括罐底油泥、油渣(HW08)、废催化剂(HW50)、废有机溶剂(HW06)、“三泥”(HW08)、废吸附剂(HW49)等，不同类别贮存条件、包装要求和处置方式差异大。

②流程链条长且割裂：从产生到最终处置涉及计划申报、分类收集、包装贴标、内部转运、暂存、处置商遴选、转移报批、电子联单、运输、签收、结算等十余个环节，横跨生产、设备、HSE、仓储、财务及外部单位，信息传递依赖邮件、电话和纸质单据，协同效率低。

③信息化基础薄弱：财务、生产等领域已有ERP、MES，但危废管理信息化几乎空白，台账以Excel和纸质记录为主，数据分散、格式不一、更新滞后，形成“数据孤岛”，无法实现库存和流转的实时监控。

④合规风险高度集中：管理计划、年度申报、转移联单等完全依赖人工填报，跨部门核对易出错，现场贮存、标识和记录也难以及时核查。

⑤成本与效益不透明：缺乏对产生源头、种类、数量的精细化统计，难以追溯高成本废物来源和制定减量化方案，对不同处置商的服务和价格缺乏系统对比。

3 系统建设目标与顶层设计

3.1 总体建设目标

公司确立“业务驱动、技术赋能、顶层设计、分步实施”原则，建设“全覆盖、全过程、智能化、可视化、可追溯、强合规”的危废全流程信息化管控平台，具体目标包括：

①合规管控刚性化：将法规标准内嵌于系统流程，自动生成符合规范的台账、报表和电子联单，实现操作全程可溯，满足“即产生、即包装、即称重、即打码、即入库”等监管要求。

②业务流程线上化与协同化：打通部门和数据壁垒，实现计划、申请、审批、执行、确认、结算全流程在线闭环，提升内外部协同效率。

③管理过程可视化与透明化：构建企业级“危险废物数字地图”，实时展示产废点、危废库存及运输轨迹。

④决策支持数据化与智能化：汇聚数据形成数据资产，通过分析为减量化、处置方案优化和绩效考核提供支撑。

3.2 顶层设计原则

①全生命周期覆盖：覆盖从产生到处置的所有环节，

消除管理盲区。

②“一物一码”为核心：为每一包(桶、袋)危废赋予唯一编码，作为全流程追溯基础。

③移动化与现场化：通过移动终端将系统延伸至一线，实现源头数据采集。

④内外协同与互联：支持与运输商、处置商及政府监管平台对接。

⑤灵活可扩展：采用微服务等架构，适应业务与法规变化。

4 系统解决方案与核心功能模块

4.1 智能化物联采集层

系统采用微服务架构，融合物联网、移动互联网和大数据技术，实现“感、传、知、用”一体化。

①智能称重终端：在产废车间和危废库部署蓝牙地磅、热敏打印机和工业平板。现场装袋/桶后，重量自动上传至APP，与废物种类、装置、部门等信息关联，确认后打印含二维码及关键信息的标签，源头杜绝手工记录和数据篡改。

②RFID/二维码标识：对吨袋等大型包装同时使用RFID和二维码，实现批量快速读取和通用设备扫码，标签作为危废“数字身份证”。

4.2 全流程业务管理层

①计划与台账管理：支持月度/年度产废与处置计划申报，对比实际与计划并预警，自动生成符合规范的电子台账，实现“一部门一档、一物一档”。

②入库与贮存管理：库管员扫码入库，系统自动调取预录入信息并更新库存和三维货位图，可设置贮存周期预警，对临期、超期库存自动提醒。

③出库与转移管理：根据处置需求生成内部转移单，运输人员扫码出库；系统支持电子联单全流程线上化，并与省固废平台对接，实现“一键上报”。

④运输轨迹监控：通过GPS或APP定位，实时查看车辆轨迹，对偏离路线、长时间停留等异常预警。

⑤经营单位协同：为运输和处置单位开通小程序账号，实现转移信息接收、签收、凭证上传等功能，实现内外数据无缝对接。

4.3 移动化现场应用层

开发面向不同角色的APP/企业微信小程序：

①产废人员：用于现场登记、打印标签、发起转运申请；

②仓管员：用于扫码入库、移库、出库、盘点和库存查询；

③司乘人员：用于任务领取、装车确认、轨迹上报和签收；

④管理人员：用于审批、库存总览、预警查看和报表查阅。

4.4 可视化监控预警层

基于WebGL或GIS构建三维可视化“一张图”：

①库存可视化：以三维仓库形式展示各库房库容、危废位置、数量和贮存时间，用颜色标识临期/超期；

②流程可视化:以流程图展示各批次危废当前环节状态;

③运输可视化:在地图上实时显示车辆位置、速度和方向,并支持轨迹回放;

④预警中心:集中展示库存超限、贮存超期、产废异常波动等预警。

4.5 智能化数据分析层

建立危废数据仓库,支持多维度分析:

①合规报表中心:自动生成各类统计报表和申报表格,支持一键导出和上报;

②成本分析:归集处置、运输和仓储费用,按单位、种类和时间维度分析,追溯高成本源头;

③趋势分析与预测:结合历史数据和生产计划预测产生量,为减量化和处置安排提供依据;

④绩效考评:设定减量化指标,基于系统数据自动考核评分。

5 项目实施与关键过程管理

项目采用“总体规划、分步实施、试点先行、全面推广”策略:

①第一阶段:顶层设计与详细规划。成立由分管领导牵头,HSE、信息化、生产、仓储、财务及关键用户组成的联合项目组,开展现场调研和多轮访谈,绘制现状与目标业务流程图,明确合规要求、功能需求、权限设计与与省平台的接口标准,形成《业务需求技术协议书》和《系统建设方案》。

②第二阶段:系统开发与集成测试。与环保信息化经验丰富的供应商合作,采用敏捷开发,分迭代交付后端微服务、PC门户、移动端及硬件/省平台接口。建立单元测试、集成测试和UAT体系,邀请业务人员在真实场景中测试,确保系统易用、稳定且贴合业务。

③第三阶段:试点运行与优化。选择危废种类较全、管理基础较好的生产部门和危废库作为试点,制定运行方案和应急预案,开展分层培训和现场实操指导。项目组驻点支持,快速响应问题并迭代优化,重点验证“现场称重贴标—入库—出库转移”核心流程的线上贯通。

④第四阶段:全面推广与深化应用。基于试点经验完善培训教材和操作手册,在公司范围内分批次推广,将主要运输和处置单位纳入系统。通过应用竞赛等方式提升用户积极性,推动使用习惯转变,确保系统在各相关单位和环节全面落地。

⑤第五阶段:持续运维与价值挖掘。建立专职运维团队,处理日常问题并定期收集需求,进行小版本优化。同时基于积累的数据开展废物源头解析、成本结构优化和库存周转率分析,推动管理从“流程线上化”向“决策智能化”升级。

6 项目成效、价值与综合效益分析

系统建成后,企业危废管理在效率、合规、成本、安

全和决策等方面实现了系统性提升。报表编制由原来数天甚至一周缩短至几分钟内自动生成,准确率接近100%;数据录入、单据传递等人工工作量平均减少60%以上,事务处理周期缩短50%以上,线上审批和消息驱动显著提升了内外部协同效率。通过“一物一码”实现了危废从产生到处置的全程电子化追溯,操作被流程刚性约束,与省固废平台无缝对接,合规风险大幅降低。精细化库存与运输管理降低了物流与资金占用成本,人力与差错风险成本下降,数据分析为资源化利用和废物交换提供了依据,带来潜在经济效益。管理层通过管理驾驶舱实时掌握危废总量、结构、成本及趋势,为制定减量化目标、评估环保投入和优化管理策略提供了科学依据。

7 案例启示与推广价值

本项目为行业危废管理数字化转型提供了可复制的实践样本。成功关键在于高层战略认同与资源支持、业务(HSE)与IT的深度融合、“一废一码”的全流程标识、移动化现场采集以及“试点先行、分步推广”的实施路径。该方案可为石化、化工、能源、冶金等产废企业提供建设蓝图和技术参考,降低探索成本,助力“无废企业”和“工业互联网+安全生产”落地,推动废物减量化与资源化。同时,企业端系统的完善也为政府实现“技防+精准监管”提供了可靠数据支撑。未来,系统将进一步与MES、DCS等生产系统集成,引入AI图像识别和预测算法,并向一般固废、生活垃圾管理延伸,构建企业级“全域废物智慧管理平台”,并探索与区域产业链及监管部门互联,形成固体废物资源化协同与监管生态。

8 结论

某公司危险废物全流程管理系统的建设与运行,实现了危废管理由分散人工向集中智能的根本转变。实践表明,以物联网、大数据和移动互联为核心的数字化转型,是大型流程工业企业提升危废管理效率、巩固合规基础、降低成本与风险、服务绿色发展的关键路径。其“业务主导、技术赋能、码为核心、流程贯通、数据驱动”的建设模式,为工业固废治理现代化提供了可借鉴的范本,对推动行业绿色低碳转型与高质量发展具有重要示范与引领价值。

参考文献

- [1] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国固体废物污染环境防治法[Z]. 2020.
- [2] 生态环境部. 危险废物贮存污染控制标准: GB 18597-2023[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2023.
- [3] 国务院办公厅. 关于印发“无废城市”建设试点工作方案的通知[Z]. 2018.
- [4] 工业和信息化部, 应急管理部. 关于印发“工业互联网+安全生产”行动计划(2021-2023年)的通知[Z]. 2020.
- [5] 刘建国, 李金惠, 李倩. 基于物联网的危险废物全过程监管系统设计[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(S1): 268-273.