

化工企业设备全生命周期管理的信息化系统设计与应用

于广军¹ 刘鑫² 王文斌¹

1.宁波金发新材料有限公司 浙江 宁波 315000

2.宁波中金石化有限公司 浙江 宁波 315000

【摘要】：文章围绕化工企业设备全生命周期管理信息化系统展开研究，在系统设计层面，明确保障安全、提效降本的目标与适配化工场景的原则，构建“感知-网络-平台-应用”四层架构，选型关键技术支撑系统运行。在系统应用层面，通过低功耗广域网与资产溯源协同技术解决偏远设备数据采集及资产追溯难题，依托设备健康度导向的数据分析技术实现故障预判与主动维护，借助设备三维可视化技术提升故障定位与维修效率，全方位优化化工设备全生命周期管理流程，减少停机损失，保障生产稳定。

【关键词】：化工企业；设备全生命周期管理；信息化系统设计

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.045

化工设备多处于高温高压、强腐蚀工况，全生命周期管理中存在数据割裂、故障难预判、维修效率低等痛点，制约生产安全与效益。在此背景下，构建设备全生命周期管理信息化系统成为关键。本文聚焦该系统的设计与应用，先明确设计目标、架构及技术选型，再阐述核心技术的实际应用，旨在为化工企业优化设备管理、保障生产稳定提供可行路径。

1 化工企业设备全生命周期管理信息化系统设计

（1）系统设计目标与原则

化工企业设备全生命周期管理信息化系统的设计，始终以破解行业设备管理过程中的核心痛点为根本导向，紧密围绕化工生产场景中设备运行的特殊性与管理的复杂性展开。在目标设定上，首要聚焦保障设备安全运行，鉴于化工设备常处于高温、高压、强腐蚀的严苛工况，系统需通过实时采集设备运行状态信息，动态监测关键参数变化，及时识别潜在安全隐患并发出预警信号，从技术层面为设备安全筑牢防线，避免因设备故障引发安全事故，切实符合化工行业对安全生产的严格要求。其次，以提升管理效率为重要目标，传统设备管理模式，数据分散存储于不同部门的人工台账中，信息流通存在壁垒，不仅易产生数据误差，还会导致故障响应滞后，系统设计需打破这种分散状态，实现设备从规划、采购、安装、运行、维护到报废全流程数据的整合与共享，减少人工干预带来的失误，让设备管理各环节衔接更顺畅，大幅缩短故障发现与处理的时间，提升整体管理效能。此外，降低综合成本也是核心目标之一，通过对设备运行数据的分析，制定精准的维护计划，避免过度维护造成的资源浪费，同时优化备件库存管理，减少备件积压与短缺情况，降低非计划停机带来的生产损失，从设备全生命周期维度实现成本的有效控制。在设计原则方面，专业性是首要遵循的原则，化工设备如反应釜、换热器等具有独特的结构与运行要求，系统需充分适配这些设备的特殊工况，无论是数据采集的指标设定，还是功能模块的开发，都要贴合化工设备管理的专业需求，确保系统能够真正服务于实际管理工作。可靠性同样至关重要，设备管理数据关乎生产安全与企业

运营，系统需采用冗余设计思路，在数据存储与传输环节建立多重保障机制，防止因单点故障导致数据丢失或系统瘫痪，确保长期稳定运行。可扩展性原则要求系统在架构设计与功能开发时预留充足空间，随着企业发展规模扩大、设备数量增加以及管理需求升级，能够便捷地与后续引入的MES、ERP等其他管理系统实现对接，无需大规模重构即可完成功能拓展与性能提升。易用性原则则需充分考虑不同使用角色的操作习惯，运维人员更关注设备故障处理与维护操作，管理人员侧重数据统计与决策分析，系统需简化操作界面，根据角色需求优化功能入口，降低操作复杂度，让不同岗位人员都能快速上手使用，充分发挥系统的管理价值。

（2）系统架构设计

化工企业设备全生命周期管理信息化系统架构，以设备管理数据流与业务逻辑为依据，构建“感知层-网络层-平台层-应用层”四层协同框架，保障层级衔接顺畅，适配化工行业特殊需求。感知层作为信息获取首环节，针对化工车间易燃易爆、腐蚀性强的危险环境，选用防爆物联网设备，既能精准采集设备运行动态参数，也能记录基础信息、安装位置等静态数据，兼顾数据全面性与复杂工况下的稳定性，为后续管理分析提供可靠原始数据。网络层负责数据传输，考虑到化工企业生产与办公区域物理分离，且对传输实时性、安全性要求高，采用“工业以太网+5G”混合组网。工业以太网满足生产区设备数据高速稳定传输，5G则以广覆盖、低时延优势，解决偏远区域布线难题，实现两区数据无缝互通；同时部署多重安全防护，保障传输链路安全^[1]。平台层是数据处理与存储核心，结合化工企业多厂区、设备多、处理需求复杂的特点，搭建云边协同算力平台。边缘端预处理海量数据，筛选无效信息、快速响应设备异常并预警，减轻云端压力；云端负责数据长期存储与深度分析，支持单厂区集中管理及多厂区数据汇总对比，为决策提供支撑。应用层聚焦用户交互，依据运维人员、管理人员等不同角色的职责差异定制功能。为运维人员提供故障报修、维护计划查看等入口，方便开展工作；为管理人员提供运行状态统

计、成本分析等功能,助力掌握管理情况,提升系统使用效率,满足差异化需求。

(3) 关键技术选型

在化工企业设备全生命周期管理信息化系统设计中,关键技术选型始终紧密围绕化工设备管理的实际需求,通过四项核心技术的协同应用,为系统稳定运行与管理效能提升提供有力支撑。其中,针对化工企业厂区范围广、部分设备所处区域较为偏远且布线难度大的特点,选用的低功耗广域网技术能够突破地理限制,高效采集这些偏远区域设备的运行数据,同时搭配的资产溯源技术可对设备及备件从采购入库到报废处置的全流程进行精准追踪,有效避免资产流失或信息混乱,确保每一项设备资产都能处于可控管理范围内。考虑到化工设备运行工况复杂,故障突发可能引发严重安全事故与生产损失,引入的数据分析技术着重构建贴合化工设备特性的健康度评估体系。该技术通过对设备长期运行积累的历史数据进行深度挖掘与分析,能够精准识别设备运行中的异常趋势,提前预测可能出现的故障,并自动触发相应的维护计划,将被动维修转变为主动预防,大幅降低设备故障发生率,保障生产连续稳定^[2]。对于结构复杂、内部组件精密的化工核心设备,传统的二维图纸难以直观呈现设备状态与故障位置,因此选用的三维可视化技术通过构建设备的立体模型,将设备的内部结构、管线连接及运行参数以直观的方式呈现。在设备出现故障时,管理人员与运维人员可通过三维模型快速定位故障部位,结合模型中的维修指导信息制定科学维修方案,显著缩短故障排查与维修时间,提升维修效率与准确性。鉴于化工行业对数据安全性与合规性的严格要求,数据安全技术的选型尤为关键。通过构建多层次的安全防护体系,对系统数据进行区域划分隔离,防止不同模块数据交叉泄露;同时根据用户角色与职责设定不同的数据访问权限,确保数据仅被授权人员查看与操作。

2 化工企业设备全生命周期管理的信息化系统应用

(1) 低功耗广域网与资产溯源协同技术

在化工企业设备管理场景中,厂区布局往往覆盖广阔区域,部分关键设备(如户外储罐、偏远区域的泵房或输油管道监测装置)因远离核心生产区,传统有线数据采集方式面临布线成本高、施工难度大且易受恶劣环境(如露天雨水侵蚀、化工腐蚀性气体影响)损坏的问题,这一管理痛点直接导致偏远设备数据采集不及时、不完整,给设备状态监控与风险预警带来阻碍。针对这一现状,低功耗广域网技术凭借其无需复杂布线、覆盖范围广且能耗低的核心优势,能够有效突破地理环境限制,在无需大规模改造现场基础设施的前提下,稳定采集偏远区域设备的运行数据——无论是储罐的液位、压力变化,还是偏远泵房电机的运行温度、转速等关键信息,都能通过该技术实现长期、连续的监测,完美适配化工企业户外、偏远等特殊场景下的设备数据采集需求,避免因数据断层影响设备管理

决策^[3]。

与此同时,化工设备及备件的流转涉及采购、入库、领用、安装、维修、报废等多个环节,且部分关键设备(如特种阀门、精密传感器)因规格特殊、价值较高,在多厂区调配或跨部门使用过程中,易出现台账记录与实际位置不符、资产流失或信息混乱等问题,给设备全生命周期追溯带来困难。资产溯源技术的引入恰好解决了这一难题,通过为每一台设备、每一件核心备件赋予唯一的标识,实现从采购入库到最终报废处置全流程的轨迹记录——管理人员可实时查询设备当前所处位置、使用状态、历史维修记录及流转路径,即便面对频繁的资产调配,也能清晰掌握每一项资产的动态,有效避免因信息不对称导致的资产流失或管理盲区,确保化工企业每一项设备资产都处于全流程可追溯、可管控的状态,为设备全生命周期管理提供精准的资产信息支撑。

(2) 设备健康度导向的数据分析技术

以提高设备管理效率和管控能力为主,将设备管理与信息化有机融合,化工设备的运行环境具有显著特殊性,多数核心设备长期处于高温、高压的工况下,且接触的介质多带有强腐蚀性,这种严苛的运行条件使得设备部件老化速度加快,故障突发的概率远高于其他行业设备。一旦设备出现突发故障,不仅可能造成生产线的紧急停机,导致巨大的经济损失,更可能因介质泄漏、设备损坏等引发火灾、爆炸等安全事故,威胁人员生命安全与厂区周边环境,因此对化工设备故障的提前预判与及时干预至关重要。正是基于这一核心需求,以设备健康度评估为核心的数据分析技术被引入系统设计,成为保障化工设备安全稳定运行的关键支撑^[4]。

该技术并非简单对设备数据进行收集与存储,而是聚焦“健康度评估”这一核心目标,构建一套贴合化工设备特性的完整分析体系。在数据基础层面,它会全面整合设备长期运行过程中产生的各类关键数据,这些数据既包括设备实时的运行参数,也涵盖了历年积累的历史运行记录,同时还会结合设备自身的材质特性——比如不同材质耐受高温、腐蚀的极限参数,以及设备所处的工艺要求——比如不同生产环节对设备运行精度、压力范围的特定标准,确保健康度评估的依据足够全面且精准。在数据分析环节,技术通过专业的算法模型对海量数据进行深度挖掘,不仅能识别出数据表面的异常波动,更能捕捉到隐藏在数据趋势中的潜在风险信号,比如设备某个部件的振动频率虽未超出当前预警值,但已呈现出持续上升的趋势,这往往是部件磨损加剧的早期迹象。

(3) 设备三维可视化技术

化工生产中的精馏塔、压缩机等核心设备,结构复杂且内部组件精密、管线阀门交错,不同组件连接方式与功能差异大。传统依赖的二维图纸虽能呈现平面结构,却无法直观展示组件

空间位置与内部嵌套逻辑。查看设备内部管线走向、装配细节时,管理人员与运维人员需反复对照图纸并进行空间想象,既耗时耗力,还易因理解偏差出错。设备故障时,二维图纸更难快速定位故障部位,像内部隐蔽管线堵塞、特定组件磨损导致的阀门卡涩,其故障点及周边结构无法清晰呈现,严重影响故障排查效率^[5]。

针对此痛点,设备三维可视化技术通过构建与实体设备1:1的立体模型,突破二维图纸局限。模型精准复刻设备细节,从内部塔板分布、管线走向到微小阀门与传感器装配位置,均能完整呈现。管理人员无需空间想象,通过旋转、缩放模型,可从任意角度观察设备内外结构,清晰掌握组件连接关系。该技术还能将介质流量、温度分布等运行参数,以颜色标注、动态曲线形式实时叠加在模型对应位置,如温度异常区域会高亮显示,方便管理人员实时掌握设备健康状况。设备突发故障时,三维可视化技术作用关键。管理人员与运维人员无需拆解设备或凭经验排查,结合压力异常、流量骤降等故障现象,在模型

中锁定相关组件与管线,通过分层查看、内部透视功能,快速定位故障部位,还能观察故障点周边组件状态以分析原因。模型嵌入维修步骤指导与备件适配信息,运维人员可直接查看维修流程、工具型号及注意事项,快速查询备件规格与库存,无需单独查阅手册或台账。这种一体化服务大幅缩短故障处理时间,避免二次问题,提升维修准确性与效率,减少停机损失。

3 结语

文章围绕化工企业设备全生命周期管理信息化系统,从设计与应用两方面展开研究。设计上,明确科学目标与原则,搭建四层协同架构,选定适配化工场景的关键技术;应用中,三项核心技术分别解决了偏远设备数据采集、故障预判、维修效率低等痛点。系统的落地有效打通设备管理数据壁垒,降低故障风险,提升管理效能,为化工企业安全生产与成本优化提供有力支撑。未来可进一步融合新兴技术,持续迭代系统功能,更好适配化工行业发展需求。

参考文献:

- [1] 加快企业数字化转型智能化升级化工企业设备全生命周期数智化管理[J].中国盐业,2023,(24):26-28.
- [2] 吴阿敏,陈随海.基于全生命周期管理的化工设备管理系统设计和研究[J].中国设备工程,2023,(18):59-61.
- [3] 路昊,熊佳琪,汤骥.化工企业电气设备安全全生命周期管理研究[J].工业安全与环保,2022,48(08):62-65.
- [4] 王子兴,宋民航,杨美娥.石油化工设备数字化全生命周期管理研究[J].山东化工,2022,51(08):197-199.
- [5] 李晓峰.设备全生命周期管理在化工企业中的应用[J].河南化工,2018,35(01):62-63.