

基于 Java 微服务架构设计石油罐区 智能管理系统模块划分

王 晶 曹旦夫 戴群雄 潘武平 杨洪波(国家管网集团东部原油储运有限公司科技研发中心,
江苏 徐州 221008)

摘 要: 基于 Java 微服务架构设计的智能管理系统, 能够有效提升石油罐区管理系统的可扩展性、灵活性和容错能力。本文围绕石油罐区管理的核心需求, 深入分析微服务架构的优势及设计原则, 提出系统的整体架构框架及关键业务模块划分方案, 重点探讨监测数据采集、告警管理和系统运维支持模块的实现策略。通过服务间高效通信和数据一致性保证, 确保管理系统的高可用性与安全性。

关键词: 石油罐区管理; 微服务架构; Java; 智能管理系统; 高可用性

中图分类号: TE972 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 025-0017-03

The module division of the intelligent management system for oil tank farms is designed based on the Java microservice architecture

Wang Jing, Cao Danfu, Dai Qunxiong, Pan Wuping, Yang Hongbo(National Pipeline Network Group Eastern Crude Oil Storage and Transportation Co., LTD, Technology Research and Development Center, Xuzhou Jiangsu 221008, China)

Abstract: The intelligent management system designed based on the Java microservice architecture can effectively enhance the scalability, flexibility and fault tolerance of the system. This paper focuses on the core demands of oil tank farm management, deeply analyzes the advantages and design principles of the microservice architecture, proposes the overall architecture framework of the system and the division plan of key business modules, and mainly discusses the implementation strategies of monitoring data collection, alarm management and system operation and maintenance support modules. Ensure the high availability and security of the system through efficient communication among services and data consistency guarantees.

Key words: Management of Oil Tank farms; Microservice architecture; Java; Intelligent management system

在石油化工行业数字化转型的背景下, 石油罐区作为关键储运设施, 其管理系统需向智能化、高效化方向升级。传统单体架构存在部署复杂、扩展困难、容错能力弱等问题, 难以满足实时监测、动态预警和多系统联动的业务需求。Java 微服务架构以其灵活的服务拆分能力、良好的技术生态和高并发处理优势, 成为构建复杂工业监测、预警与控制系统的理想选择。基于微服务架构设计石油罐区智能管理系统, 可以实现业务模块的高度解耦和弹性部署, 还能显著提升系统的可维护性与响应效率, 可以保障储运安全、提升运维智能化水平。

1 石油罐区管理系统需求分析与设计原则

1.1 石油罐区管理的核心业务需求解析

石油罐区管理系统需适应复杂工业现场环境, 全面支持液位、压力、温度、泄漏等关键参数的实时监测与高频率数据采集, 确保运行状态可视化。系统应具备智能报警联动机制, 支持多级告警响应和自动化处置流程, 及时应对突发状况、防范安全风险。同时,

为应对大规模时序数据的持续生成, 系统需具备高性能存储与历史分析能力, 支撑风险评估与管理决策。出于安全考虑, 还需建立完善的权限管理与数据保护机制, 防止数据被非法访问或篡改。作为关键生产设施, 系统应具备高可用性与容错能力, 实现 7×24h 稳定运行和快速故障恢复, 保障业务连续性和操作可靠性。

1.2 微服务架构在智能管理系统中的优势

微服务架构通过将复杂系统拆分为多个独立且自治的服务, 实现业务功能的细粒度解耦, 极大提升了系统的灵活性和可维护性。在智能管理系统中, 基于 Java 的微服务利用 Spring Boot 和 Spring Cloud 等成熟框架, 支持服务的独立部署和弹性扩展, 有效应对石油罐区传感器数据高并发和多样化处理需求。微服务间通过轻量级的 RESTful API 或消息队列实现异步通信, 降低了服务耦合度, 提升了系统容错能力。此外, 微服务架构便于引入容器化技术 (如 Docker、Kubernetes) 进行自动化部署和弹性伸缩, 保障系统

的高可用性和快速恢复能力。

1.3 系统设计中的安全性与高可用性要求

石油罐区智能管理系统作为关系到生产安全和环境保护的关键应用，必须在设计阶段高度重视安全性与高可用性。安全性方面，系统需实现多层次的身份认证与权限管理，采用加密传输技术保障数据在网络中的机密性和完整性，防止未经授权的访问和数据篡改；也应具备完善的日志审计与异常检测功能，支持安全事件的快速响应与溯源。高可用性方面，系统需设计冗余部署和负载均衡机制，确保关键服务在节点故障时能自动切换和恢复，保证 7×24h 不间断运行；通过引入熔断器、限流等容错措施提升系统抗压能力，避免单点故障引发连锁反应，保障石油罐区管理连续、稳定运行。

2 基于 Java 微服务的系统架构设计与模块划分

2.1 微服务架构整体设计框架

在罐区智能监测一体化平台的建设中，系统后端基于 Java 语言与 Spring Cloud 微服务框架开发，并构建于 JECloud 低代码平台之上。该平台以 JECloud 为基础，延续低代码平台高效开发、快速迭代的优势，还在底层实现中融合 Spring Cloud 的微服务架构体系，形成灵活、可扩展、适用于工业场景的技术基础架构。通过低代码方式对罐区业务需求进行快速建模和服务组件配置，显著缩短开发周期并增强系统的响应与适配能力。

JECloud 平台自身作为新一代 aPaaS 低代码平台，底层采用微服务 + 微应用架构，构建涵盖网关服务、工作流服务、权限管理（RBAC）、元数据服务等在内的核心能力模块。模块在罐区平台中被深度整合，确保平台具备灵活的业务编排能力、完善的权限控制体系及良好的用户体验。在工业级数据流密集场景下，通过 Spring Cloud 集成的服务注册与发现、配置中心、熔断限流与智能路由机制，系统可实现服务的自动扩容与故障自恢复，有效保障监测任务的连续性和平台运行的高可用性。

平台的可视化开发与部署能力亦对罐区监测场景形成支撑：通过 JECloud 的图形化工具，开发人员可通过拖拽方式快速构建微服务应用并配置至目标服务器，实现 PC 端与移动端（含 H5、App、小程序）的多端协同。这种快速建模与统一服务发布能力，配合 Spring Cloud 的分布式链路追踪与日志集中管理机制（如 Sleuth+Zipkin、ELK 集成），构建一个既面向高并发实时处理，又便于后期维护升级的罐区智能监测微服务系统框架，充分体现低代码平台与工业智能监测需求的融合与协同发展优势。

2.2 关键业务模块划分及职责定义

关键业务模块划分应基于系统功能需求和业务流程，确保模块职责清晰、边界明确。数据采集模块主要负责与多种传感器、自动化设备接口通信，实时获取温度、压力、液位等关键参数，保障数据的准确采集。该模块支持多种工业协议（如 Modbus、OPC、Profibus），实现对异构设备的标准化数据接入，并具备初步数据预处理功能，如信号转换、数据清洗与格式统一。

数据处理与分析模块负责对采集到的原始数据进行深度处理与挖掘，包含数据清洗、格式转换、异常检测和智能预警生成等功能。该模块利用机器学习和统计分析算法，对历史数据进行趋势分析和风险评估，提升预警的准确性和响应速度。用户界面模块则将分析结果以可视化形式呈现，支持自定义配置和交互式操作，满足不同角色用户的业务需求。系统管理模块负责权限控制、配置管理及服务监控，确保整体系统安全稳定运行。

2.3 服务间通信与数据管理策略

在罐区智能监测系统的服务间通信与数据管理策略中，数据的高效流转、可视化展示与灵活管理构成系统性能和用户体验的关键支撑。系统通过服务化设计将数据采集、处理、存储、可视化等功能模块解耦，各模块之间通过轻量级通信协议（如 HTTP REST、gRPC 或消息中间件 Kafka 等）实现高效交互。实时监测数据首先在采集服务中完成初步预处理后，通过统一的数据总线推送至分析与可视化模块。该机制确保数据传输的低延迟和高并发处理能力，并允许服务在故障情况下进行降级处理和消息重试，提升系统整体的鲁棒性与通信可靠性。

在数据管理方面，系统设计采用多模型存储策略：将结构化数据（如设备运行日志、报警记录）存储于关系型数据库（如 MySQL 或 PostgreSQL），而将高频时序数据（如压力、液位变化）存储于专门的时序数据库（如 InfluxDB 或 TimescaleDB），满足不同数据的读取效率与写入性能需求。

此外，通过引入中间层的数据访问服务统一封装数据访问接口，使得上层应用无需关注底层数据结构即可完成复杂的数据查询、过滤与聚合操作。同时，支持多格式数据导出（CSV、Excel、PDF 等）和 API 调用，便于运维人员生成报表或与第三方系统对接，实现跨系统的数据协同。

在可视化与交互方面，系统借助微前端架构将不同功能模块（如实时仪表盘、GIS 地图、三维数字孪生界面）进行组件化部署，并通过统一的网关服务对外暴露统一入口。前端通过 WebSocket 与后端建立实

时双向通信通道,确保界面数据刷新及时、反馈迅速。三维数字孪生模块将实时监测数据与虚拟模型绑定,基于 WebGL 引擎或 Unity 插件提供沉浸式操作体验,极大提升对复杂设备状态的理解与预判能力。配合用户自定义视图、指标筛选与多角色访问控制等功能,系统在服务通信与数据管理策略上实现稳定、高效、安全与可定制性的全面融合,显著提升了罐区数字化运维与协同管理能力。

3 智能管理系统关键模块功能实现与集成

3.1 监测数据采集与实时分析模块设计

监测数据采集模块是罐区智能监测平台的基础核心,承担着实时、稳定、高效获取现场设备与传感器数据的关键职责。该模块通过实现对多种工业协议(如 Modbus、OPC、MQTT 等)的无缝适配,保障了异构设备间的数据互联互通,支持温度、压力、液位等多维度传感数据的统一接入与标准化处理。

毫秒级响应机制符合实时监控需求,还通过数据预处理(包括异常值过滤、单位转换、格式标准化)确保上传数据的同步和准确,奠定了上层智能分析的坚实基础。此外,模块设计强调高可用性,采用本地持久化缓存与断点续传机制,有效避免网络波动或系统异常导致的数据丢失问题,极大提升数据采集的连续性和完整性。

实时分析部分构建了高效的数据流处理架构,通过实时流数据的快速处理与多层次数据聚合,实现对关键指标的动态监控与早期预警,模块能够即时捕捉温度、压力等关键参数的异常突变,还通过时序模式识别与智能算法预测设备状态变化趋势,实现对潜在故障的预警和维护决策支持。双模分析架构(实时分析与批量历史数据挖掘)有效平衡系统的实时响应能力与深度数据价值挖掘,确保监测系统既能保障现场安全,为长期运营优化提供科学依据。

3.2 告警管理与事件处理模块实现

告警管理模块基于动态规则引擎,融合行业安全标准与设备历史运行数据,构建多层次、多维度的智能预警体系。系统支持阈值告警与趋势预警双重机制,实时检测关键参数是否超限,还能通过时序分析捕捉异常波动的趋势变化,提前识别潜在风险。三级告警分类(低、中、高)有效区分风险严重程度,指导运维人员针对不同级别事件采取差异化响应措施,显著提升风险处置的时效性与精准性。告警信息通过多渠道同步推送(短信、邮件、桌面弹窗及现场声光报警),形成立体化告警网络,确保应急响应的多点触达与快速联动。

事件处理模块则实现告警事件的全流程闭环管

理,从事件产生、通知、确认到处置均留有详细日志记录,保障数据的可追溯性和知识积累。系统定期对历史告警数据进行深度挖掘与规则优化,形成自适应预警机制,持续提高告警准确率和减少误报率。同时,结合智能分析结果,支持预警事件的自动化分级和任务派发,减少人工干预,提高响应效率。模块设计注重与运维管理系统的集成,实现预警信息与设备维护计划、应急预案的无缝对接,推动从被动监测向主动防御的转变。

3.3 系统集成与运维支持模块建设

系统集成模块聚焦于多子系统之间的高效协同与数据共享,构建统一的监控大屏与控制中心,实现罐区各类设备状态、告警信息和操作日志的集中展示与统一管理。集成语音交互系统提升了人机协作体验,采用抗噪声处理和声纹认证技术,确保在复杂工业环境下语音指令的准确识别和安全授权,极大提高操作效率和安全性。

运维支持模块构建了完善的故障诊断与维护管理体系,依托全链路日志和实时监控数据,辅助运维人员快速定位故障根源。系统支持热部署与动态扩展,保证在设备或协议升级时系统无缝运行,满足业务连续性和可扩展性需求。结合智能预警和历史数据分析结果,运维支持模块能够制定科学的预防性维护策略,降低设备故障率和运维成本。该模块还实现运维知识库的动态更新与共享,促进经验沉淀与技术积累,推动智能监测平台的持续优化与演进。

4 结束语

基于 Java 微服务架构设计的石油罐区智能管理系统,充分发挥了微服务的解耦性和灵活性,满足了石油罐区复杂多变的业务需求和高实时性要求。通过合理的模块划分和关键技术应用,系统提升了数据采集与处理效率,增强了告警响应的准确性和系统的可维护性,助力石油罐区实现高水平的安全管理和智能运营。

参考文献:

- [1] 张士霞. 基于微服务架构的软件工程过程改进研究[J]. 电脑编程技巧与维护, 2025, (04): 66-68+144.
- [2] 李兵元, 张文哲, 赵春雪, 等. 微服务在石油化工企业多平台整合中的应用[J]. 中国管理信息化, 2020, 23(09): 80-81.
- [3] 丁昕炜, 刘沛鑫, 郑骏伟, 等. 油气仪表智能管理系统的建设探索[J]. 中国设备工程, 2025, (06): 38-39.

作者简介:

王晶(1974—), 女, 汉族, 山东禹城人, 硕士, 高级工程师, 职务: 科长, 研究方向: 电气及自动化。