

基于微服务架构的油气管道设备设施失效分析 智慧系统设计与开发

罗 懿, 宋志强

(中海油(天津)管道工程技术有限公司, 天津 300452)

摘 要: 基于微服务架构的开发框架基础, 采用 B/S 架构的服务器模式设计并开发了中海油首个油气管道设备设施失效分析智慧系统。该系统包含失效分析案例库、失效分析智能诊断、分析助手等七大模块, 可提供失效案例结构化数据检索、多维度失效案例统计分析、腐蚀及断裂失效常见原因智能诊断、在线微课学习等功能, 不但能够便于管理人员和技术人员及时掌握产品的失效原因和失效规律, 而且加速了失效分析业务的数字化转型。

关键词: 油气管道; 失效分析; 数据库; 系统开发

中图分类号: TP315

文献标识码: B

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2022.01.007

Design and Development of Intelligent System for Failure Analysis of Oil and Gas Pipeline Equipment and Facilities based on Microservice Architecture

LUO Yi, SONG Zhiqiang

(CNOOC(TianJin)Pipeline Engineering Technology Co., Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: Based on the development framework of microservice architecture and the server mode of B/S architecture, CNOOC's first intelligent system for failure analysis of oil and gas pipeline equipment and facilities is designed and developed. The system includes seven modules: failure analysis case base, failure analysis intelligent diagnosis and analysis assistant. It can provide functions such as structured data retrieval of failure cases, multi-dimensional failure case statistical analysis, intelligent diagnosis of common causes of corrosion and fracture failure, online micro class learning, etc. It can not only facilitate managers and technicians to grasp the failure causes and failure laws of products in time, it also accelerates the digital transformation of failure analysis business.

Key words: oil and gas pipeline; failure analysis; database; system development

在复杂载荷和复杂环境的共同作用下, 服役油气管道设备设施会逐渐产生腐蚀、疲劳、断裂、磨损等各种模式或多模式共存的失效事故, 从而造成严重的经济损失和不良社会影响^[1-3]。对失效件的分析是一个复杂的过程, 不但涉及宏观及微观分析、理化性能分析、工况分析等多种分析测试技术, 而且从大量测试数据中分析、归纳和推断事故主要和次要原因又较大程度依赖于分析者的知识和经验积累。因此, 对以往案例数据和失

效分析领域的经验知识的积累就显得尤为重要。

近年来, 许多企事业单位先后针对各自的业务领域开发了相应的失效分析数据库。例如, 航空材料院、机械科学研究院以及铁道研究院等形成了机械产品、铁轨的事故案例库^[3-4]; 中国石油天然气集团管材研究所建立了“油井钻杆材料失效安全事故案例库”^[5]; 基于科技部科技基础条件平台项目“全国分析测试中心协作平台及应急分析测试系统的建立”开发的金属材料失效引发重

大事故案例的数据库^[6]。国内现有的失效案例库多以全文浏览为主,或结构化数据信息量不够,且围绕失效分析业务扩展的应用功能不足。此外,开发的软件系统可拓展性欠缺,无法满足后期快速维护或开发新功能的需求。为了加强对油气管道设备设施领域失效案例的统计查询、分析管理,同时让技术分析人员做到知识共享及分析诊断经验标准化,开发了基于微服务架构的油气管道设备设施失效分析智慧系统^[7-8]。

1 系统结构的设计

为确保系统具有良好的延伸性、扩展性、安全性和先进性,依据“顶层设计、统一规划、整合共享”原则,本系统架构设计参考主流云技术、微服务开发、DevOps 理念等前沿技术,实现传统集中式架构应用系统向分布式转型,打造大规模、高可用、体验聚合的云应用,实现应用轻松上云、业务快速创新。总体架构分为四层结构加双中台,

其中四层结构包括 IaaS 层、PaaS 层、应用层和访问层,双中台即数据中台和业务中台。数据中台旨在通过大数据平台,开发大数据通用业务组件,实现数据存储服务、数据分析预测服务、数据治理服务等 6 大服务能力,为系统提供数据分析和智能预测能力,打造业务数据集成共享中心。业务中台旨在通过多种接口集成的方式使业务功能聚集,将系统的通用业务功能进行整合和拆分,形成公共组件服务,不仅能够支撑本系统的业务应用,并且在今后的系统建设中实现组件复用,减少重复建设,实现各业务应用系统的上层集成管理。

2 系统功能的设计

油气管道设备设施失效分析智慧系统主要由 7 大功能模块组成:用户管理模块、失效分析案例库模块、失效分析智能诊断模块、分析助手模块、技能提升模块、解决措施库模块和报告编写助手模块,如图 1 所示。

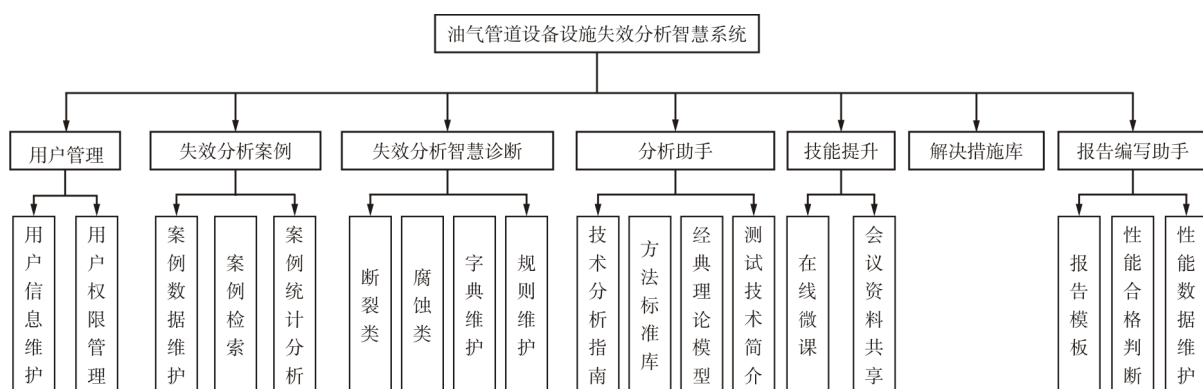


图 1 系统功能模块示意图

用户管理模块主要实现对系统用户的管理,包括对用户的增加、删除、修改以及对用户权限的管理。系统用户分为管理员、内部用户和外部用户,各类用户拥有不同的权限。

失效分析案例库模块主要实现案例检索阅读和案例统计分析两大功能,案例来源为公开文献、技术资料以及中海油油气管道设备设施失效分析项目。为了提高用户的查询信息的效率,满足案例统计分析对条件的细分,对本系统中针对每个失效案例进行了数据结构化,形成了包括失效件类别、服役起止时间、失效位置、数据来源

等 35 个关键字段的案例精华^[9-10],案例结构化数据示例见表 1。案例检索支持快速检索和高级检索,所有案例根据用户权限可实现全文浏览。此外,案例统计分析针对不同的数据来源进行了差异化设计,对于公开文献、技术资料的数据,支持按失效类别、材质类型进行失效原因的统计;对于中海油油气管道设备设施失效分析项目的数据,以作业公司为单位,支持失效类别、材质类型、失效位置、失效原因、服役时间等 5 个维度的统计分析,便于管理者的精细化管理,为辅助决策提供数据支撑。基于生产项目的数据统计如图 2 所示。

表 1 失效案例结构化数据示例（腐蚀失效案例）

属性（字段名称）	属性示例	属性（字段名称）	属性示例
案例名称	接头断裂原因分析	CO ₂ 分压	0.6 MPa
数据来源	生产项目	H ₂ S 含量	1.0×10 ⁻⁶
委托单位	海油内部单位，与统一认证中心组织一致	Cl-含量	2 500 mg/L
失效件类别	井下管柱	流体流速	1.4 m/s
失效形式	外腐蚀（穿孔）	使用药剂	阻垢剂
服役起始时间	2008-08 至 2010-10	理化性能不合格项	化学成分
使用时间	100 个月	理化性能不合格描述	Si 含量高
失效位置	6 点钟方向	腐蚀产物成分	FeCO ₃
失效件规格	3 $\frac{1}{2}$ in	腐蚀宏观及微观形貌特征	小而深的坑，麻点状腐蚀坑
材质类型	碳钢	腐蚀分布特点	周向分布
材料牌号	N80	细菌情况	SRB
涂层材质	表面镀锌	结垢预测	CaCO ₃ 、FeCO ₃
异常情况说明	焊缝内余高偏高	腐蚀试验结果	腐蚀速率为 0.025 mm/a
运行压力	10 MPa	失效原因分类	垢下腐蚀、细菌腐蚀
介质	生产水	失效原因简述	涂层施工工艺质量存在缺陷、SRB 腐蚀可以与垢下腐蚀发生协同作用、陶瓷涂层不致密
服役温度	50℃	改进措施	确认防垢剂和生产水系统加注的化学药剂配伍性
含水率	50%	图片	允许上传多张图片，格式为 jpg/png
pH	7.2	上传附件	允许上传一个附件，格式为 pdf/word

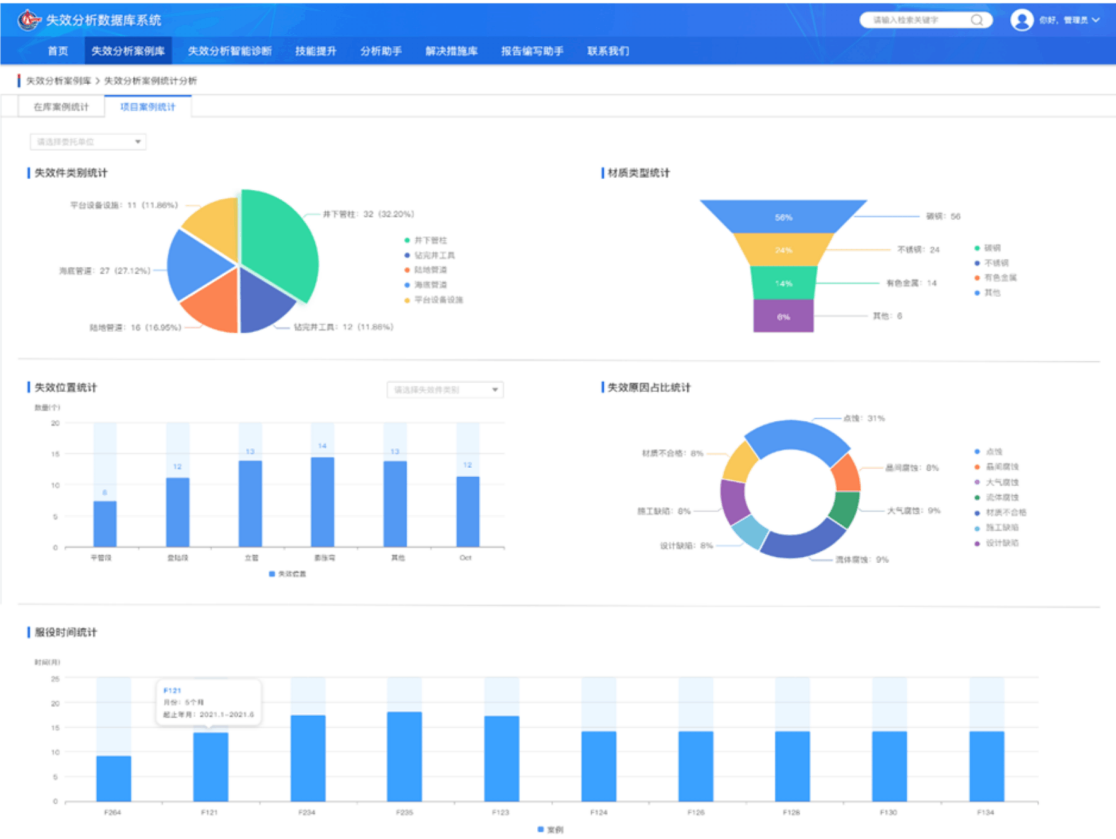


图 2 基于生产项目的数据统计示意图

失效分析智能诊断模块主要实现对油气管道设备设施腐蚀失效和断裂失效原因的初步判断。失效分析诊断字典类别设置及失效分析判定规则示例见表 2~表 3。通过对专业知识的深入研究,同时结合失效分析专家的经验,形成了失效分析诊断字典(19 类, 226 条)和失效分析 if-then 判定规则(65 条),并基于层次分析法设定失效规则判定因素的权重。考虑到知识和经验的不断

表 2 失效分析诊断字典类别设置及示例

类别	示例
失效件类别	井下管柱、紧固件、陆地管道等
材料类别	碳钢、不锈钢、有色金属等
宏观特征	疲劳弧线/贝纹线、气泡状凹坑群、颜色改变等
位置特征	改变流体方向或速度、应力集中部位等
微观特征	韧窝、晶界变粗或变黑、二次裂纹等
微区成分特征	晶间贫 Cr、含 S、含 Cl 等
腐蚀产物特征	泥纹状/龟裂、表面有密麻小孔、分层等
裂纹特征	分叉、两侧氧化、两侧耦合性好等
裂纹扩展路径	沿晶、穿晶
载荷特征	交变载荷、接触疲劳载荷、拉应力等
服役环境	腐蚀性介质、有结垢趋势、高温等
金相	大量马氏体、晶粒大小不均匀、魏氏组织等
硬度	合格、偏高、偏低
化学成分	合格、Cr 偏低、C 偏高等
拉伸性能	合格、偏高、偏低
冲击性能	合格、偏高、偏低
细菌情况	SRB、TGB、FB 等
腐蚀产物成分	FeCO ₃ 、FexSy、Fe ₃ O ₄ 等
失效原因	应力腐蚀开裂、交变载荷疲劳、氢脆等

表 3 失效分析判定规则及示例

类别	示例
腐蚀失效	if (材料类别) 不锈钢 ($w_1=0.211$) and (服役环境) 含有卤素 ($w_2=0.549$) and (宏观特征) 小而深的坑 ($w_3=0.24$) Then (失效原因) 卤素离子腐蚀 ($\lambda>=0.7$)
断裂失效	if (宏观特征) 疲劳弧线/贝纹线 ($w_1=0.312$) and (宏观特征) 无明显塑性变形 ($w_2=0.067$) and (微观特征) 疲劳条带 ($w_3=0.355$) and (载荷特征) 交变载荷 ($w_4=0.266$) Then (失效原因) 疲劳断裂 1 ($\lambda>=0.355$)

更新,失效分析智能诊断模块支持对判定规则的增加、删除、修改。

分析助手模块下设四个子模块:技术分析指南、方法标准库、经典理论模型和测试技术简介,可为用户提供失效分析领域相关技术知识、全文在线阅读功能。

技能提升模块可实现基于失效分析领域相关技术知识微课精讲在线学习,同时提供失效分析、腐蚀防护等行业大会资料,供用户学习参考。

解决措施库模块收录了丰富的常见腐蚀失效、断裂失效的解决措施,支持关键字搜索。提供讨论留言功能,供用户进行经验交流和问题探讨。

报告编写助手模块提供了多种报告模板,此外通过整理不同标准中材料性能的判定指标项(如图 3 所示),形成了性能合格判断,大幅提升了技术人员的工作效率。

失效分析数据库系统

你好, 失效管理站

首页失效分析案例库失效分析智能诊断分析助手技能提升解决措施库报告编写助手近期新闻联系我们

报告编写助手> 常见材料性能数据维护> 新增

* 材料类型: 请输入材料类型

化学成分

C

Mn

P

S

V

Nb

Ti

Si

Cr

Ni

Mo

Cu

参考标准

拉伸性能

屈服强度R_e0.5(Mpa)

屈服强度R_e0.2(Mpa)

抗拉强度R_m(Mpa)

延伸率A(%)

断面收缩率R_a0.5(R_m)(%)

参考标准

冲击性能

冲击吸收能量KV(J)<规格: 5*10*55mm>

参考标准

硬度

HRC

HBW

参考标准

保存取消

图 3 材料性能维护模板

3 系统软件的开发

系统采用 Java 开发编程语言，在基于微服务架构的开发框架基础上，选用 Spring Cloud 微服务架构技术开发，用微服务拆分技术对业务进行拆分，并且根据敏捷开发交付、统一系统开发运维、融合架构应用管理等先进建设理念，形成可持续交付的软件产品，实现软件系统的高性能、高可靠要求。

在本系统中，整体采用 B/S 架构的服务器模式，浏览器可通过 Web Server 同数据库进行数据交互，并运用分工更加明确的前后端完全分离的模式进行系统开发。前端开发的框架为 Vue+，UI 框架采用 Element-UI，进行客户端开发，可通过浏览器进行访问；后端开发框架为基于 Spring Cloud 的自研框架，采用 Java 语言开发，可通过独立服务进行部署。

与此同时，后端可以通过 RESTful 风格的 Web Services 为主接口的方式与前端进行交互，

从而可以降低系统的耦合度，达到功能即插即用的效果，并且能全面支持业内标准，支持 J2EE、SOA、WebServices、XML 等开放标准，提供标准接口和部署应用组件，通过 WebServices 等技术与其他业务系统进行数据交换与集成。除此之外，系统支持 IE10、IE11、Fire Fox、Chrome、360、WEB 应用服务器访问数据库服务器，但数据库服务器对外部不可见。

本项目的技术架构中，基于 SpringCloud 的微服务平台框架中内置了完整的 Spring Cloud Open Service Broker 框架，该内置框架允许开发人员为云原生平台中运行的应用程序提供服务，可以将开发的微服务程序交付给云原生平台中运行和管理。同时 Spring Cloud Open Service Broker 也提供了一个框架，允许在支持 Open Service Broker API 的平台上为自己管理的服务快速创建服务代理。从而完美的实现 OpenShift 云部署和微服务技术结合的实现方案。根据微服务拆分原则，系统拆分为以下服务，如图 4 所示。

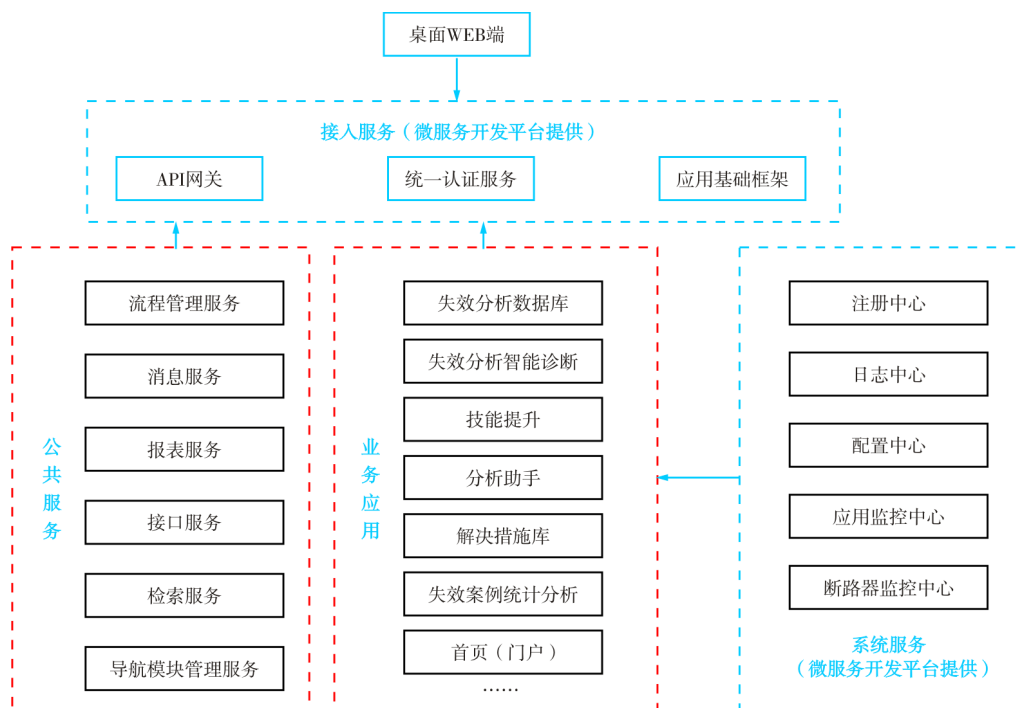


图 4 系统服务框架示意图

4 结束语

本研究采用 B/S 架构的服务器模式，在基于微服务架构的开发框架基础上，设计开发出中海

油首个油气管道设备设施失效分析智慧系统。该系统包含大量结构化失效案例和失效分析领域的知识及经验，同时具备常见失效原因的智能诊断

（下转第 50 页）