

工业设备可靠性评估系统

V2.0 · 重构策划方案

技术选型: Vue 3 · FastAPI · PostgreSQL

2025 年

一、重构总体概述

1.1 重构目标与原则

本次重构在保留原系统全部数据采集、存储、分析功能的基础上，以用户实际操作流程为核心重新设计信息架构，消除模块割裂感，提升操作效率。核心目标如下：

- 工作流导向:按照「紧急录入 → 日常监测 → 数据管理 → 深度分析」的真实操作流组织模块
- 信息整合:将同类功能(故障录入、退化录入)统一入口，减少切换层级
- 设备台账视角:以单台设备为分析单元，将三类数据(故障/退化/制品)集中呈现
- 配置集中:所有基础字典、参数配置统一至系统配置模块，降低维护成本
- 原有数据完整保留:所有录入字段、分析算法(威布尔分析等)不裁减

1.2 新旧功能映射总览

下表展示原系统各模块在新架构中的归属位置，所有功能均已保留。

原模块(旧)	新归属模块	变更说明
设备信息(现场跟踪)	设备台账	统一管理，卡片式展示
整机设备信息(模拟实验)	设备台账	与现场模式共用设备台账
故障数据录入(现场)	故障录入 → 现场跟踪	统一入口，按场景分流
整机/部件试验测试数据(模拟)	故障录入 → 模拟实验	统一入口，按场景分流
退化数据录入	数据采集 → 退化数据	合并至数据采集模块
制品数据录入	数据采集 → 制品数据	合并至数据采集模块
故障数据管理	设备台账 → 数据详情	在设备详情内查看，支持全局搜索
退化数据管理	设备台账 → 数据详情	同上

原模块(旧)	新归属模块	变更说明
制品数据管理	设备台账 → 数据详情	同上
故障数据统计分析	数据分析 → 故障分析	独立分析模块
退化数据统计分析	数据分析 → 退化分析	独立分析模块
制品数据统计分析	数据分析 → 制品分析	独立分析模块
可靠性分析	数据分析 → 可靠性分析	完整保留威布尔分析
综合分析(空)	数据分析 → 综合看板	预留, 建议填充内容
故障基础数据管理	系统配置 → 故障配置	统一至配置模块
退化基础数据管理	系统配置 → 退化配置	统一至配置模块
制品基础数据管理	系统配置 → 制品配置	统一至配置模块
整机/部件试验基础数据	系统配置 → 实验配置	统一至配置模块
数据分析(模拟实验, 空)	数据分析(预留接入)	后续扩展

二、新版导航与页面结构

2.1 顶层导航架构

新版采用左侧固定侧边栏导航，共设置 7 个一级模块，外加顶栏全局功能区。顶栏固定展示系统名称、消息通知、当前用户信息。

序号	一级模块	图标建议	功能定位
1	系统主页	 Dashboard	核心 KPI、公告、快捷入口
2	故障录入	 快捷录入	紧急录入，两种场景统一入口
3	数据采集	 日常监测	退化数据 + 制品数据录入
4	设备台账	 台账管理	设备全景视图，三类数据整合
5	数据分析	 分析中心	故障/退化/制品/可靠性/综合分析
6	系统配置	 配置中心	所有基础数据字典集中管理
7	系统管理	 用户管理	用户、权限、操作日志(扩展)

2.2 完整页面树

模块一：系统主页

- 仪表盘 (Dashboard)
 - 设备状态总览卡片 (运行 / 故障 / 维修 / 预警 数量)
 - 近 30 天故障趋势折线图
 - 近期故障告警列表 (最新 10 条, 可跳转)
 - 系统公告栏 (可发布/查看公告)

- 快捷操作区(快速故障录入、快速数据采集)
- 设备可用率环形图(按设备类型)

模块二:故障录入

- 场景选择页(现场跟踪 / 模拟实验)
 - 现场跟踪 → 故障信息录入
 - 模拟实验 → 整机实验测试数据录入
 - 模拟实验 → 部件实验测试数据录入

模块三:数据采集

- 退化数据录入
- 制品数据录入

模块四:设备台账

- 设备列表页(卡片视图 + 列表视图切换)
 - 设备详情页(点击卡片进入)

顶部:设备基本信息、当前状态标签、维护建议

Tab 1 — 设备概览:关键指标、近期故障数量、数据健康度

Tab 2 — 故障分析:故障统计图表、故障记录列表

Tab 3 — 退化趋势:退化曲线图、退化参数健康度

Tab 4 — 制品质量:批次质量趋势、合格率看板

Tab 5 — 数据详情:三类原始数据列表, 支持查询/删除/导出

模块五:数据分析

- 故障分析(原故障数据统计分析)
- 退化分析(原退化数据统计分析)
- 制品分析(原制品数据统计分析)
- 可靠性分析(威布尔分析, 原样保留)
- 综合看板(预留)

模块六:系统配置

- 故障配置
 - 子系统管理
 - 部件管理
 - 故障溯源管理
 - 故障模式管理
 - 故障原因管理
- 退化配置
 - 设备退化参数管理(设备 → 退化指标映射)
- 制品配置
 - 参数信息管理
 - 产品信息管理(含参数与阈值配置)
 - 生产信息管理(设备 × 产品 × 批次计划)
- 实验配置(模拟实验模式专用)
 - 整机实验基础数据
 - 部件信息管理
 - 部件实验基础数据

三、各模块页面详细规格

3.1 系统主页(Dashboard)

3.1.1 设备状态总览区

页面顶部横向排列 4 个状态统计卡片，实时查询数据库：

卡片名称	统计逻辑	颜色方案
设备总数	equipment 表记录总数	主色蓝 #1A56DB
运行中	status = 'running' 的设备数	绿色 #0E9F6E
预警设备	存在未处理预警的设备数(退化参数超阈值)	橙色 #E3A008
故障设备	status = 'fault' 的设备数	红色 #E02424

3.1.2 公告栏

支持管理员发布公告(标题、内容、类型:通知/预警/故障)，首页展示最新 5 条，按时间倒序。

3.1.3 近期故障告警

展示最近发生的故障列表:故障编号、设备名称、故障现象(截断 20 字)、故障时间、状态标签。点击跳转至设备台账对应设备详情页故障 Tab。

3.1.4 快捷操作

「立即录入故障」按钮跳转至故障录入;「采集数据」按钮跳转至数据采集;「查看设备台账」按钮跳转至台账列表。

3.2 故障录入模块

3.2.1 场景选择

进入故障录入模块首先展示两个大型场景卡片:「现场跟踪测试」和「模拟实验」，点击后进入对应录入流程，场景标识在整个录入过程保持显示。

3.2.2 现场跟踪 — 故障录入字段

完整保留原故障数据录入模块所有字段：

字段名称	输入类型	说明
故障编号	自动生成	系统自动生成，格式 FLT-YYYYMMDD-NNN
企业名称	文本输入	
设备编号	下拉选择	从设备台账加载，联动显示设备名称
设备名称	自动显示	根据设备编号自动填充
故障开始/结束时间	日期时间选择器	精确到分钟
维修开始/结束时间	日期时间选择器	精确到分钟
故障现象描述	多行文本	
故障子系统	级联下拉	从系统配置加载，联动部件
故障部件	级联下拉	根据子系统过滤
故障溯源	下拉选择	从系统配置加载
故障模式	下拉选择	从系统配置加载
故障原因	下拉选择	从系统配置加载
故障原因描述	多行文本	
维修操作描述	多行文本	
是否更换元器件	单选按钮	是/否，选「是」展开以下三字段
更换元器件名称/型号/ 数量	条件显示	选更换后出现
维修人员	文本	

字段名称	输入类型	说明
设备负责人	文本	
上传者/上传时间	自动填充	当前登录用户 + 系统时间

3.2.3 模拟实验 — 整机/部件实验录入

选择整机或部件后，依次选择：设备编号（整机）或部件编号（部件）→ 选择实验名称（从实验基础数据加载）→ 输入实验编号、故障编号、故障时间、备注。

3.3 数据采集模块

3.3.1 退化数据录入

保留原退化数据录入全部字段：选择设备编号（联动显示设备名称、设备类型），选择提交日期，根据系统配置中该设备的退化参数定义，动态渲染对应数量的参数输入行，每行显示参数名称与输入框。支持批量保存。

3.3.2 制品数据录入

保留原制品数据录入全部逻辑：选择设备编号 → 选择生产的产品 → 自动显示产品总数 → 选择生产批次 → 自动显示批次数量 → 输入抽样数量 → 为每个抽样样品录入编号及各待测参数值 → 记录时间自动填充。

3.4 设备台账模块

3.4.1 设备列表页

默认卡片视图, 每张卡片展示:设备编号、设备名称、设备类型、使用单位、状态标签(颜色区分:运行/故障/维修/离线)、近 30 天故障次数、最近数据采集时间。支持按设备类型、使用单位、状态筛选;支持搜索;支持切换列表视图。提供「新增设备」按钮, 支持单条录入和 Excel 批量导入。

3.4.2 设备详情页

● 顶部信息栏

- 设备基本信息:编号、名称、类型、制造单位、使用单位
- 当前状态标签 + 最后更新时间
- 维护建议:基于最近可靠性分析结果自动生成提示(如:当前 MTBF 约 XXX 小时, 建议 XX 天内进行预防性维护)
- 操作按钮:编辑设备信息、录入故障(跳转录入模块并预填设备)、采集数据

● Tab 1 — 设备概览

- 关键统计:总故障次数、平均故障间隔(MTBF)、近 90 天故障数、退化参数健康度(超阈值参数数量)
- 近 30 天故障日历热力图
- 退化参数健康状态汇总(绿/黄/红指示)

● Tab 2 — 故障分析

- 时间范围筛选器
- 故障分布柱状图(可切换:按子系统 / 部件 / 故障模式 / 故障原因 / 故障溯源)
- 故障记录列表(可搜索、按时间排序)

● Tab 3 — 退化趋势

- 退化指标选择器(多选)
- 时间范围选择
- 各指标退化曲线折线图(参考线标注阈值)

- **Tab 4 — 制品质量**

- 产品选择器
- 单批次详情: 指标名称、阈值范围、理想值、均值、方差、一致性、合格率
- 跨批次趋势折线图(均值、方差)

- **Tab 5 — 数据详情**

- 三个子 Tab: 故障数据 / 退化数据 / 制品数据
- 每个子 Tab 以表格列出全部原始记录, 支持搜索、时间筛选、删除、Excel 导出

3.5 数据分析模块

3.5.1 故障分析(原故障数据统计分析)

功能完整保留:选择设备类型 → 选择设备编号(可选「全部」)→ 选择统计维度(故障子系统 / 故障部件 / 故障溯源 / 故障原因 / 故障模式)→ 选择时间范围 → 生成柱状图,展示各分类出现次数并按降序排列。增强:额外提供趋势折线图(按月统计)。

3.5.2 退化分析(原退化数据统计分析)

功能完整保留:选择设备编号(自动显示设备名称和设备类型)→ 选择退化指标(可多选) → 选择时间范围 → 生成各指标退化曲线图(折线图,含阈值参考线)。

3.5.3 制品分析(原制品数据统计分析)

功能完整保留:选择设备编号 → 选择产品 → 单批次视图(均值、方差、一致性、合格率、阈值对比)→ 跨批次趋势视图(均值折线图、方差折线图)。

3.5.4 可靠性分析(威布尔分析)

完整保留原算法:选择设备类型 → 选择设备编号(全部或单一)→ 设定截止时间 → 设定每日工作时间(开始-结束)→ 系统计算故障间隔时间(小时) → 从小到大排序 → 威布尔分布拟合 → 生成四张图表:

- 累计故障概率图(CDF)
- 概率密度图(PDF)
- 可靠度曲线 $R(t)$
- 失效率曲线 $\lambda(t)$

同时展示拟合参数:形状参数 β 、尺度参数 η 、拟合优度 R^2 。

3.5.5 综合看板(扩展建议)

建议填充内容:设备群体可靠性对比雷达图、各设备类型故障率排名、近期预警汇总、数据完整性监控(哪些设备长期未录入数据)。

3.6 系统配置模块

所有配置项统一于此模块, 采用左侧二级导航 + 右侧表单/列表的经典配置页布局。所有配置均支持增删改查和 Excel 导入/导出。

配置分组	子项	关键字段
故障配置	子系统管理	子系统编号、设备类型、子系统名称
故障配置	部件管理	部件编号、设备类型、所属子系统、 部件名称
故障配置	故障溯源管理	溯源编号、溯源名称
故障配置	故障模式管理	模式编号、模式名称
故障配置	故障原因管理	原因编号、原因名称
退化配置	退化参数管理	设备编号(关联设备名称/类型)、参数序号、参数名称、参数上限值、 参数备注
制品配置	参数信息	参数编号、参数名称、参数类型
制品配置	产品信息	产品ID、产品名称、产品详情、待测参数配置(含阈值类型: 上限/下限/区间)
制品配置	生产信息	设备编号、产品名称、生产总数量、批次计划(批次数 → 每批数量)
实验配置	整机实验基础数据	设备编号、实验名称、实验备注
实验配置	部件信息	部件编号、部件名称、部件类型、制造单位、使用单位
实验配置	部件实验基础数据	部件编号、实验名称、实验备注

四、界面设计规范

4.1 整体风格定位

工业级精密管理系统风格: 冷静、专业、信息密度适中。主色调以深蓝为核心传递可靠性与技术感, 配合白色主体背景保持清晰可读。整体遵循「功能优先, 美观其次」原则, 避免过多装饰。

4.2 色彩体系

用途	色值	应用场景
主色(Primary)	#1A56DB	导航激活、主要按钮、链接、标题强调
成功/运行(Success)	#0E9F6E	设备运行状态、合格指标、成功提示
警告/预警(Warning)	#E3A008	预警设备、接近阈值、警告提示
危险/故障(Danger)	#E02424	故障设备、超出阈值、错误提示
次要信息(Gray)	#64748B	辅助文字、空状态、次要按钮
页面背景(Background)	#F1F5F9	整体背景
卡片背景(Surface)	#FFFFFF	卡片、弹窗、表单背景
边框(Border)	#E2E8F0	分隔线、输入框、表格边框
导航背景	#1E293B	左侧导航栏背景
导航文字	#94A3B8	非激活导航项

4.3 字体规范

层级	字号	字重	场景
页面大标题	24px	Bold 700	页面 H1 标题
模块标题	18px	SemiBold 600	卡片标题、区块标题

层级	字号	字重	场景
正文主体	14px	Regular 400	表格内容、表单标签、描述文本
辅助说明	12px	Regular 400	提示文字、标签、时间戳
数字大展示	32px	Bold 700	仪表盘统计数字

中文字体优先使用 PingFang SC (macOS) / Microsoft YaHei (Windows), 英文数字使用 Tabular Nums 等宽数字字体以保证对齐。

4.4 布局规范

- 整体: 左侧固定导航栏 240px + 右侧内容区自适应
- 内容区内边距: 顶部 24px, 左右 32px, 底部 32px
- 卡片间距: 16px
- 表单标签宽度: 统一 120px (用于对齐)
- 表格行高: 48px (普通行) / 56px (含操作按钮行)
- 响应式断点: $\geq 1280\text{px}$ 正常展示, 1024-1279px 导航收缩为图标

4.5 组件规范(基于 Element Plus)

- 首选使用 Element Plus 组件库, 保持风格一致
- 图表库: ECharts 5.x (折线图、柱状图、环形图、散点图/威布尔图)
- 表格: el-table, 支持固定表头、列排序、斑马纹 (stripe)
- 表单: el-form + el-form-item, 统一 label-width, 必填字段标红星号
- 弹窗录入: el-dialog (录入/编辑操作), 宽度 600-800px
- 状态标签: el-tag (不同 type 对应不同设备状态颜色)
- 分页: 统一 el-pagination, 每页默认 20 条

五、数据库结构设计

5.1 连接配置

数据库连接信息(生产配置, 通过环境变量注入, 不硬编码到代码)：

参数	值
POSTGRES_HOST	localhost
POSTGRES_PORT	5432
POSTGRES_DB	cnc_relia_eval_db
POSTGRES_USER	postgres
POSTGRES_PASSWORD	200201(建议生产环境使用环境变量)

5.2 数据库表设计(DDL)

以下表结构覆盖全部功能模块, 字段类型均针对 PostgreSQL 优化, 建议在生产环境对高频查询字段添加索引。

5.2.1 基础设备类表

表名	用途	关键字段(部分)
equipment	设备台账(核心)	id, equipment_no, equipment_name, equipment_type, manufacturer, user_unit, status, created_at
components	部件信息(模拟实验)	id, component_no, component_name, component_type, manufacturer, user_unit, created_at
sub_systems	子系统配置	id, sys_code, equipment_type, sys_name
parts	部件配置(关联子系统)	id, part_code, equipment_type, sub_system_id, part_name

表名	用途	关键字段(部分)
fault_sources	故障溯源字典	id, source_code, source_name
fault_modes	故障模式字典	id, mode_code, mode_name
fault_causes	故障原因字典	id, cause_code, cause_name

5.2.2 故障数据类表

表名	用途	关键字段(部分)
fault_records	现场跟踪故障数据	id, fault_no, enterprise_name, equipment_id, fault_start, fault_end, repair_start, repair_end, phenomenon, sub_system_id, part_id, source_id, mode_id, cause_id, cause_desc, repair_desc, replaced_parts(jsonb), repair_person, equipment_owner, uploader, upload_time
experiment_setups_machine	整机实验基础数据	id, equipment_id, exp_name, exp_remark, created_at
experiment_setups_component	部件实验基础数据	id, component_id, exp_name, exp_remark, created_at
experiment_records_machine	整机实验测试数据	id, equipment_id, exp_setup_id, exp_no, fault_no, fault_time, remark, created_at
experiment_records_component	部件实验测试数据	id, component_id, exp_setup_id, exp_no, fault_no, fault_time, remark, created_at

5.2.3 退化数据类表

表名	用途	关键字段(部分)
degradation_params	退化参数定义(设备×参数)	id, equipment_id, param_seq, param_name, upper_limit, remark

表名	用途	关键字段(部分)
degradation_records	退化数据录入记录	id, equipment_id, submit_date, created_at
degradation_values	退化参数值明细	id, record_id, param_id, value

5.2.4 制品数据类表

表名	用途	关键字段(部分)
product_params	制品参数类型定义	id, param_code, param_name, param_type
products	产品信息定义	id, product_name, product_detail, created_at
product_param_config	产品×参数配置(含阈值)	id, product_id, param_id, threshold_type(upper/lower/range), upper_val, lower_val
production_plans	生产信息(设备×产品×批次)	id, equipment_id, product_id, total_quantity, batches(jsonb: [{batch_no, quantity}]), created_at
product_records	制品数据录入批次	id, equipment_id, product_id, production_plan_id, batch_no, sample_count, record_time, created_at
product_sample_values	制品抽样参数值明细	id, record_id, sample_no, param_id, value

5.2.5 系统辅助类表

表名	用途	关键字段(部分)
announcements	系统公告	id, title, content, type(notice/warning/fault), publisher, created_at, is_active
equipment_status_log	设备状态变更日志	id, equipment_id, old_status, new_status, changed_by, changed_at, remark

表名	用途	关键字段(部分)
sys_users	系统用户(可选, 按需扩展)	id, username, password_hash, role, created_at, is_active

5.3 关键索引建议

表名	索引列	原因
fault_records	equipment_id, fault_start	故障分析、可靠性分析高频查询
fault_records	fault_no	唯一约束 + 快速查询
degradation_records	equipment_id, submit_date	退化趋势查询
degradation_values	record_id, param_id	参数值聚合查询
product_records	equipment_id, product_id, batch_no	制品分析查询
product_sample_values	record_id, param_id	质量统计查询
equipment	equipment_type, status	设备台账筛选

六、后端 API 设计规范

6.1 技术栈与项目结构

- 运行时: Python 3.11 + FastAPI 0.110+
- ORM: SQLAlchemy 2.x(async)+ asyncpg 驱动
- 数据验证: Pydantic v2
- 数据库迁移: Alembic
- 认证(可选): JWT Bearer Token

推荐项目结构

app/ main.py # FastAPI 实例、路由注册 core/ config.py # 数据库连接、环境变量
database.py # 异步引擎、会话 models/ # SQLAlchemy ORM 模型 schemas/ #
Pydantic 请求/响应模型 routers/ # 按模块分文件的路由 equipment.py fault.py
degradation.py product.py analysis.py config.py services/ # 业务逻辑(分析计算等)
weibull.py # 威布尔分析算法

6.2 API 端点总览

模块	前缀	主要端点(示例)
设备台账	/api/equipment	GET /(列表)、POST /(新增)、GET /{id}(详情)、PUT /{id}、DELETE /{id}、POST /import-excel
故障录入	/api/fault	POST /record(新增现场故障)、GET /records(列表, 含筛选)、DELETE /record/{id}
实验数据	/api/experiment	POST /machine、POST /component、GET /machine(列表)、GET /component(列表)

模块	前缀	主要端点(示例)
退化数据	/api/degradation	POST /record(录入)、GET /records(列表)、DELETE /record/{id}、GET /params/{equipment_id}
制品数据	/api/product	POST /record(录入)、GET /records(列表)、DELETE /record/{id}
系统配置	/api/config	CRUD for subsystems, parts, fault_sources, modes, causes, deg_params, products, production_plans
数据分析	/api/analysis	POST /fault-stats、POST /degradation-trend、POST /product-quality、POST /reliability(威布尔)
公告	/api/announcement	GET /(列表)、POST /(新增)、DELETE /{id}
仪表盘	/api/dashboard	GET /summary(设备状态汇总)、GET /recent-faults

6.3 威布尔分析 API 规格

POST /api/analysis/reliability — 请求体：

参数	类型	说明
equipment_type	string null	设备类型, null 表示全部
equipment_ids	list[int] null	指定设备 ID 列表, null 表示全部
cutoff_date	date	统计截止日期
work_start	time	每日工作开始时间, 格式 HH:MM
work_end	time	每日工作结束时间, 格式 HH:MM

返回体包含: ttf_hours(故障间隔时间数组)、beta(形状参数)、eta(尺度参数)、r_squared(拟合优度)、cdf_data、pdf_data、reliability_data、failure_rate_data(各含 x、y 数组用于前端绘图)。

七、前端架构设计

7.1 技术栈

类别	选型	说明
框架	Vue 3.4 + Composition API	全面使用 <script setup> 语法
构建工具	Vite 5.x	快速热更新, 生产 tree-shaking
状态管理	Pinia 2.x	替代 Vuex, 更轻量
路由	Vue Router 4.x	懒加载路由, 权限守卫
UI 组件库	Element Plus 2.x	完整工业级组件, 中文友好
图表	ECharts 5.x (vue-echarts)	威布尔图、趋势图、统计图
HTTP 请求	Axios + 封装拦截器	统一错误处理、loading 状态
CSS	SCSS + CSS Variables	主题变量集中管理
代码规范	ESLint + Prettier	

7.2 前端项目结构

src/ assets/ # 静态资源、图标 components/ # 全局通用组件 common/ # 通用（EchartsWrapper、StatusTag、ExcellImport...） layout/ # AppLayout、Sidebar、TopBar views/ # 页面组件（对应路由） dashboard/ fault-entry/ data-collection/ equipment-ledger/ data-analysis/ system-config/ stores/ # Pinia 状态 equipment.js config.js # 字典数据（子系统/故障模式等，启动时预加载） api/ # axios 封装的 API 方法 utils/ # 工具函数 router/ # 路由配置 styles/ # 全局样式、主题变量

7.3 ECharts 威布尔图实现要点

- 四张图表使用 2×2 Grid 布局, 响应式
- 散点图(CDF 原始点)+ 折线图(拟合曲线) 叠加实现威布尔概率图
- x 轴(时间 t/小时) 使用 log 对数轴以更好展示威布尔分布
- 每张图标注 β 、 η 参数值(使用 ECharts graphic 组件)
- 支持导出图片(调用 `chart.getDataURL()`)

八、Docker 部署方案

8.1 服务组成

服务	镜像	端口	说明
frontend	node:20-alpine (构建) → nginx:alpine	80	Nginx 托管 Vue 构建产物
backend	python:3.11-slim	8000	FastAPI + uvicorn
db	postgres:16-alpine	5432	PostgreSQL, 数据持久化挂载
nginx(可选)	nginx:alpine	443	反向代理, 统一域名/SSL

8.2 docker-compose.yml 关键配置要点

- db 服务挂载 `postgres_data` volume 持久化数据
- backend 通过环境变量接收数据库连接信息, 不硬编码
- backend `depends_on` db (健康检查 `healthcheck` 确保数据库就绪)
- frontend Nginx 配置 `proxy_pass` 转发 `/api/*` 请求至 `backend:8000`
- 添加 `.env` 文件管理所有敏感配置, `gitignore` 排除

九、开发交付清单与验收标准

9.1 功能验收项

模块	验收要点
系统主页	4 个设备状态数字正确;公告可发布/展示;近期故障列表实时更新;快捷按钮跳转正常
故障录入	两种场景可切换;现场故障录入所有字段可保存;更换元器件条件显示逻辑正确;数据库正确写入
数据采集	退化参数动态渲染正确;制品批次联动逻辑正确;数据保存后可在设备台账查到
设备台账	卡片列表渲染;新增/编辑/删除设备;Excel 导入;详情页 5 个 Tab 均可展示正确数据
数据分析-故障	按类型/编号/维度/时间筛选;柱状图正确渲染
数据分析-退化	退化曲线多指标叠加;阈值参考线显示
数据分析-制品	单批次指标统计正确;跨批次趋势折线图
可靠性分析	威布尔拟合计算正确;4 张图表均正常渲染; β 、 η 参数显示
系统配置	所有 12 个配置子项增删改查功能正常;Excel 导入功能正常

9.2 非功能验收项

- 页面初始加载时间 < 3 秒(本地环境)
- 表格数据 > 1000 条时使用后端分页, 前端不卡顿
- ECharts 图表在 1280×800 分辨率下完整显示无裁切
- Excel 导入异常行有明确错误提示(行号 + 原因)
- 删除操作均有二次确认弹窗

- 所有表单必填项有前端验证, 不符合则提示不提交
- API 错误(4xx/5xx)前端统一 Toast 提示, 不白屏崩溃