

科研仪器设备开放共享的实施路径与方法

朱家缔 唐永辉 常健 吴海龙 姬鑫萃

中国运载火箭技术研究院, 北京 100076

[摘要] 科研仪器设备开放共享对提高国家创新体系效能具有重要意义, 构建专业化共享平台能高效整合资源、实现服务数字化。文章以某国企试验检测能力共享服务平台为例, 说明了科研仪器开放共享信息化平台的建设路径、核心功能模块和技术架构, 并明确了平台的总体设计思路、应用架构、数据架构、安全设计与运维保障措施。

[关键词] 科研仪器; 共享平台; 平台架构; 试验测试

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17623

中图分类号: G482

文献标识码: A

Implementation Path and Method of Open Sharing of Scientific Research Instruments and Equipment

ZHU Jiadi, TANG Yonghui, CHANG Jian, WU Hailong, JI Xincui

China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing, 100076, China

Abstract: Open sharing of scientific research instruments and equipment is of great significance for improving the efficiency of the national innovation system. Building a specialized sharing platform can efficiently integrate resources and achieve digitalization of services. The article takes the shared service platform for testing and inspection capabilities of a state-owned enterprise as an example to illustrate the construction path, core functional modules, and technical architecture of the open sharing information platform for scientific research instruments. It also clarifies the overall design concept, application architecture, data architecture, security design, and operation and maintenance measures of the platform.

Keywords: scientific research instruments; sharing platform; platform architecture; experimental testing

1 平台架构与技术实现

共享服务平台系统的架构设计决定了系统的稳定性、扩展性和运维成本。某国企试验检测能力共享服务平台系统建设遵循四项总体思路: 一是以标准规范为基本, 制定安全、稳定、可扩展的系统规范; 二是以总体规划为指导, 统筹资源配置, 确保建设有序推进; 三是以业务流程为主线, 打破信息孤岛, 推进协同管理; 四是以用户需求为导向, 持续优化界面与操作体验^[1]。平台系统采用四层分离架构, 包括用户交互层、业务逻辑层、数据服务层与设备接入层。系统前端采用 Vue.js 3.0 框架构建单页面应用, 结合 Webpack 打包和 Axios 异步通信实现组件化开发, 前端部署在 Nginx 上, 启用 Gzip 压缩与 HTTP/2 协议, 实测首屏渲染时间低于 1.2s。系统后端基于 Spring Cloud 套件构建微服务集群, 拆分为 12 个独立服务模块, 包括服务注册、账号管理、设备管理、预约响应、系统介绍和数据分析等。数据库层采用混合存储模式: 核心数据使用 MySQL 8.0 主从集群与 ShardingSphere 分库分表; 设备实时数据使用 InfluxDB 时序数据库; 检索服务使用 Elasticsearch 7.17 集群。系统底层基础设施运行于某单位专有云环境, 采用 Kubernetes 容器编排, 节点配置为 32 核 128GB 内存, 网络通过 VPC 隔离和 SLB 负载均衡, 支持 5Gbps 峰值带宽, 并部署同城双活灾备方案, 恢复点目标低于 15s, 恢复时间目标 (RTO) 低于 3min。系统

在 JMeter 模拟 10 万并发压力测试下的可用性达到 99.95%。此外, 平台确立了“以规范化标准化为守则、以业务需求为中心、以数据准确安全为基础、满足国产化支持要求”的四项原则, 为平台长期稳定运行奠定制度基础。

2 核心功能模块设计

2.1 智能资源检索系统

该平台的智能检索系统把多维索引和语义解析融合起来, 可支持多达 12 个检索维度, 像设备类型、技术参数以及设备、设施所在地点等等都在其中。该系统还集成了自然语言处理模块, 对于诸如“耐高温真空环境试验舱”这样复杂的语句也能够加以解析, 进而达成检索语义和设备能力参数的对齐效果。借助 Elasticsearch 的倒排索引以及实时标签机制, 平台能够在毫秒级的时间内完成那些较为复杂的条件查询操作。系统还实现了基于 WebGL 来渲染设备模型的 3D 可视化设备展示功能, 方便用户能够全方位地浏览设备。在智能推荐板块, 系统运用协同过滤方式, 同时结合依据历史使用数据所训练出来的 GBDT 模型, 以此来计算设备的匹配程度, 最终实现在检索结果当中优先呈现出能够满足用户需求的设备, 进而提升从检索一直到下单环节的转化比率^[2]。

2.2 全流程在线协作系统

该平台的全流程在线协作系统把试验前的沟通环节、合同反馈流程、试验执行过程以及结果归档工作串联起来,

形成了一套闭环管理模式。平台整合了基于 WebRTC 的试验过程监控功能,运用 AES-256 加密方式来保障安全;试验结束后,试验报告能够直接导出成为 PDF 格式的规范文档。在合同反馈方面,利用合同信息上传功能模块限制关键字段,验证合同编号和合同额,以此确保所生成的合同具备法律追溯方面的特性。对于试验执行任务的管理,采用的是可视化的任务看板形式,依据敏捷工单机制对任务阶段加以拆解,并且借助 OPC UA 协议以及 PLC 接口来实时同步设备的状态情况,进而达成对整个过程进行在线化监管的目的。

2.3 数据化运营监控系统

该平台的统计分析模块从资源效能、服务效能以及经济效能这三个维度着手来构建“数据驾驶舱”。在资源效能方面,系统依据 ARIMA 模型来预测设备的利用率,以此辅助资源调度工作。就服务效能而言,系统会跟踪平均响应时长以及履约率这两项指标,同时结合六西格玛以及控制图相关方法来分析其稳定性情况^[3]。在经济效能方面,平台凭借平准化成本模型对收益以及成本分摊加以量化处理。系统还设有预警机制,比如说当设备在 15d 内的利用率低于 10% 的时候便会触发闲置预警,或者预约响应时间超出 24h 就会触发超时告警,并且会通过可视化面板展示各项优先级情况。

2.4 用户需求适配系统

如果系统内现有设备仪器无法满足用户需求,该平台的“需求对接”模块针对这一情况设计出了协议转换矩阵还有虚拟仪器集成机制。协议转换矩阵借助规则引擎把厂商特有的协议转变成统一控制接口,以此来简化接入流程,降低其复杂程度。虚拟仪器集成机制会把 LabVIEW 程序打包成 Docker 容器,再依靠 gRPC 提供远程调用服务,使得 legacy 软件能够在容器化的环境当中按照标准的方式去运行,进而达成让用户需求可以反馈给相关专业设备提供方的目的。

3 系统集成与扩展能力

3.1 跨系统互联架构

跨系统互联依靠标准化 API 以及身份互认机制来确保数据交换具备一致性与安全性。该系统已达成和航天电子采购平台等系统的双向字段同步,并且拥有向国家大型仪器网络管理平台上报元数据的能力。就区域互通来讲,平台凭借 OAuth2.0 单点登录以及互认机制,与航资网实现了用户无缝登录以及设备互可见;与此借助 API Gateway 调用策略以及服务治理能力,与哈尔滨工业大学设备仪器共享网站搭建起应急服务通道,以此支持跨区域科研需求能够快速做出响应。

3.2 可扩展接口体系

该系统构建了开放的 API 网关,借助 Swagger 来对 142 个 RESTful API 加以管理,这些 API 包含了设备元数

据查询、预约单创建以及试验数据下载等一系列核心功能。为了方便第三方进行扩展操作,平台特意设计了插件式的框架以及动态加载的相关机制,还支持 Java SPI 服务提供机制,同时给科研人员提供了针对 Python 和 Matlab 的设备接入 SDK,以此来降低二次开发的难度门槛,鼓励相关平台系统基于该平台去开展各类创新活动。

3.3 未来兼容性设计

该系统在架构设计上预留了量子通信接口以及数字孪生的能力空间。就量子通信而言,该系统预设了 SM9 算法硬件加速卡插槽,同时还有量子密钥分发光口模块,这便为后续抵御量子威胁的加密工作打下了相应的基础。在数字孪生方面,平台依靠 Unity 引擎来构建设备的数字模型,并且结合物理引擎达成实验环节的仿真效果,进而为远程操作以及由 AI 驱动的自动化实验营造出虚拟化的环境^[4]。

4 安全认证与权限管理

4.1 立体化认证机制

该系统运用三级身份核验机制来区分企业用户、个人用户以及操作员的相应权限。企业用户借助工商信息接口来核验统一社会信用代码;个人用户采用的是将公安部实名认证、手机号以及人脸识别相结合的方式;而操作员需要运用 OTP 动态口令加上生物识别的多因子认证方式。其权限管理是依据细粒度 RBAC 模型来进行的,会划分出 ADMIN、PROVIDER 还有 USER 这三类角色。比如说,ADMIN 能够执行像 userban 这类高风险操作;PROVIDER 可以开展设备更新以及订单确认等工作;USER 则仅仅限定在设备查询以及下单这样的范围之内,以此达成最小权限原则并且保证审计可追溯。平台在认证环节还引入了行为识别以及动态风控机制。系统会对用户的登录位置、访问时段以及操作频率加以建模,要是察觉到与历史行为模式存在明显差异的时候,就会触发二次验证或者限制操作。这样一种智能化的风控举措,切实有效地降低了账号被他人盗用或者遭到恶意操控的风险。与此平台还支持基于 PKI 的证书登录方式,从而为那些安全等级较高的用户赋予更强的身份可信度,确保不同层级的认证策略和业务敏感度能够相互匹配起来。

4.2 数据安全防护体系

数据安全在传输层以及存储层都采用了加密防护措施。传输层运用的是 SSL/TLS 1.3 协议,而且还能和国密 SM2 双证书体系实现兼容。存储层针对敏感字段会实施 AES-GCM 加密操作,另外还会借助 LUKS 来对磁盘展开全盘加密处理,以此防止出现物理方面的泄露情况。该系统还集成了 QRNG 量子随机数发生器,其主要用于密钥的初始化工作,从而保证未来能够实现平滑的升级操作。在数据生命周期管理这块,平台构建起了从“产生”到“传输”再到“使用”以及“存储”最后到“销毁”这样一个

完整的闭环流程,针对不同的各个阶段都会去设定相应的安全策略。比如说在数据销毁这个环节当中,会采用 DoD 5220.22-M 三遍覆盖算法,以此来确保敏感数据可以彻底地无法被恢复。系统还会同时部署日志审计以及实时入侵检测功能,一旦发现有异常流量或者数据出现越权访问的情况时,便能够自动触发阻断的相关措施并且生成安全告警报表,方便安全管理员去进行追溯以及整改方面的操作。

4.3 保密分级控制策略

该系统会根据设备的不同敏感程度来设定三个等级的保密控制措施,分别是红色等级、黄色等级以及蓝色等级。其中,红色等级主要针对国防专利设备,仅仅展示其基础信息,并且在数据导出的时候需要有专人来进行监控;黄色等级针对的是军工敏感设备,其参数会被模糊化处理,同时还需要借助 VPN 以及带有水印的 PDF 格式来导出;蓝色等级则适用于民用设备,可以将参数直接公开并且允许下载。这样的策略在满足合规要求的基础上尽可能地提升了设备的利用率。平台还会结合动态水印技术以及区块链溯源技术,在数据导出的时候自动嵌入使用者的身份信息以及时间戳,如果出现泄漏情况,能够迅速定位到责任主体。通过把分级以及可追溯机制结合起来,平台一方面兼顾了安全以及合规的要求,另一方面也保障了科研设备实际的利用效率。

5 用户界面与交互工程

5.1 门户界面设计规范

该系统门户界面运用了响应式设计方式,是依据 Bootstrap 5 网格体系来达成的,可实现 PC 端、平板以及移动端的自适应展示效果。系统严格遵循 WCAG 2.1 AA 无障碍标准,以此确保能与屏幕阅读器、键盘导航相兼容。在设备详情页还有预约流程当中,引入了可视化图表以及交互提示,目的是降低用户的学习成本,提高操作效率。就界面风格而言,平台着重于信息分层以及视觉引导方面。首页展示模块被划分成“实时设备状态”“热门资源”“新闻动态”与“服务指南”这四个部分,以此保证关键信息能够让人一目了然。为了满足科研人员高效操作的需求,系统设置了快捷入口以及个性化工作台,用户可以依据自身所从事的研究领域来定制常用设备面板,进而减少二次检索的成本。

5.2 核心交互流程优化

系统针对设备预约流程展开漏斗式分析并加以优化,其中在检索阶段要确保有 70%的详情点击率,而在合同上传阶段依靠智能合同和电子签名,实现了 92%的合同完成率以及 89%的上传成功率。更进一步来讲,平台引入了用户路径分析以及热力图追踪手段,凭借大数据建模去发现用户在预约、下载报告等各个环节的高频点击区域以及停留时长,从而对页面布局进行动态优化。比如说,当数据表明多数用户在“合同签署”这个环节停留的时间

比较长的时候,平台通过设置引导提示并且优化模板的方式,把操作时间缩短了 30%,这些依据行为数据驱动所开展的持续优化举措,大幅度地降低了用户的流失率。

5.3 体验量化评估体系

平台构建起一套评估体系,其核心围绕任务完成率、搜索平均时长以及用户满意度这几方面展开,所设定的目标分别是任务完成率达到或超过 95%,搜索时长控制在 8 秒以内,CSAT 不低于 4.5 分。平台借助 ELK 日志以及埋点分析来对用户行为加以监控,同时结合 AB 测试和自动化测试调度来验证优化效果,以此保证改进具备统计学意义上的显著性。除此之外,平台还设置了用户分级体验调研这一环节,针对新用户、活跃用户以及高频科研团队分别去设计问卷,并且结合 NPS 展开长期的跟踪调查。经由界面迭代以及功能优化之后,科研团队的 NPS 值提高了 18%。在此期间,平台逐步推进跨平台适配测试工作,以确保在国产浏览器、移动端轻应用环境之下都能够顺畅运行,进而为后续的国产化迁移给予可靠的用户体验方面的保障。

6 结语

借助某国企试验检测能力共享服务平台开展建设的实际实践活动来看,微服务架构切实有效地对高并发以及高可靠性的需求给予了有力支撑,其模块化功能设计也明显地将系统的耦合度降了下来,而开放的 API 以及标准接口则给生态扩展开拓出了一条较为稳健的路径。立体化的安全防护措施为设备实现上云与共享提供了符合规定的保障。该平台已经与国管局公物仓等诸多系统成功实现了互联互通,充分展现出了技术方案所具备的通用特性。展望未来的发展情况,平台需要持续不断地推进区块链确权治理相关工作,以此来进一步对设备以及数据的权益加以切实保障,并且还要在量子安全以及数字孪生等处于前沿领域的方向上展开更为深入细致的探索,从而为科研仪器的开放共享去构建起一套更为安全、更加高效且更为智能的数字基础设施。

[参考文献]

- [1]廉静静.大型科研仪器设备开放共享的实施路径与方法[J].设备管理与维修,2023(12):15-17.
 - [2]李昕,赵辉,孙文慧,等.科研院所科学仪器国产化研发管控模式研究[J].产业与科技论坛,2025,24(12):227-229.
 - [3]朱亚娟.高校大型仪器设备开放共享机制的优化路径研究[J].实验室检测,2025,3(12):91-94.
 - [4]刘津彤,刘继明,吴文征,等.大型精密检测设备“三维度”开放共享模式研究[J].实验室科学,2025,28(3):143-147.
- 作者简介:朱家缔(1996—),男,民族:汉族,吉林省长春市人,现职称(职务):工程师,2021年7月毕业于中国运载火箭技术研究院材料科学与工程专业,最高学历:硕士研究生,现主要从事的工作或研究的方向:资产能效效益管理。