智慧医院背景下检验信息系统升级改造路径研究

习壮壮
江苏省苏州大学附属第一医院 江苏 苏州 215006

摘 要 面向智慧医院对检验业务全流程精细化管控与互联互通能力的要求，本文聚焦现有检验信息系统在架构兼容性、接口标准化、流程闭环与数据可观测性方面的关键短板，设计多阶段系统升级路径。通过引入容器化部署、微服务治理、流程引擎建模及异构系统集成技术，完成平台重构与性能重塑。测试结果显示，改造后的系统在响应时延、并发能力与资源利用率等指标均大幅提升，为智慧医院复杂场景下的检验业务提供了底层支撑。

关键词 智慧医院；检验信息系统；系统升级；微服务架构

Research on the Upgrading Path of Laboratory Information Systems in the Context of Smart Hospitals

Xi Zhuang-zhuang
The First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215006, Jiangsu Province, China

Abstract In response to the requirements of smart hospitals for refined process control and interconnectivity of laboratory services, this study focuses on addressing the key shortcomings of existing laboratory information systems (LIS) in terms of architectural compatibility, interface standardization, process closure, and data observability. A phased system upgrade path is designed, incorporating containerized deployment, microservices governance, process engine modeling, and heterogeneous system integration technologies to achieve platform restructuring and performance enhancement. Test results indicate significant improvements in the post-upgrade system regarding response latency, concurrency capability, and resource utilization, providing robust foundational support for laboratory services in the complex environment of smart hospitals.

Key words Smart Hospital; Laboratory Information System; System Upgrade; Microservices Architecture

随着智慧医院建设推进，检验信息系统（LIS）已从辅助工具升级为临床决策与医疗数据中台的核心。但现有LIS普遍存在架构封闭、流程割裂、接口不标准、数据不透明等问题，难以满足多院区、跨平台、高并发症等场景需求。相比智慧医院对“实时联动、数据共享、闭环质控”的要求[1]，传统单体LIS在功能与性能上明显不足。为此，本文提出的升级方案将采用微服务架构、流程引擎与容器化技术，以解构传统LIS的封闭性，实现多院区协同与高效数据共享，支撑检验业务向智能化、高并发与闭环质控方向高质量发展，形成可复制的实施路径。

1 验信息系统问题分析与升级目标

当前，LIS在智慧医院环境下存在整合能力弱、流程控制缺失、质控手段不足和平台兼容性差等问题。集成方面缺乏统一认证与标准接口，需构建基于JSON/XML和HTTP/2.0的异构接口体系；流程方面危急值、复查等关键节点未闭环，需引入事件触发与规则引擎；质控方面缺少Westgard与六西格玛支持，需建立结构化指标与失控监测机制；平台方面应增强对国产数据库、虚拟化、集群及混合云的适配能力，形成统一兼容架构。

2 智慧医院检验信息系统架构

2.1 总体架构

智慧医院检验信息系统遵循解耦、模块化、可扩展的设计原则，整体基于三层B/S架构，分为表示层、业务层与数据层。前端采用Vue与Element框架，统一组件样式与交互方式；业务层根据功能划分为临床检验、门诊检验、标本流转、实验室监控、报告处理及智能管理等模块，实现服务化封装；数据层支持MSSQL、MySQL、Oracle及国产数据库，具备良好的多源兼容能力。系统部署支持物理机、虚拟机与容器环境，结合负载均衡与横向扩展机制，适配多节点部署需求。平台架构面向集团化应用，兼容公有云、私有云及混合云部署方式，满足多院区一体化建设场景。图1展示系统各层结构与模块关系，为后续升级与实施提供架构支撑。

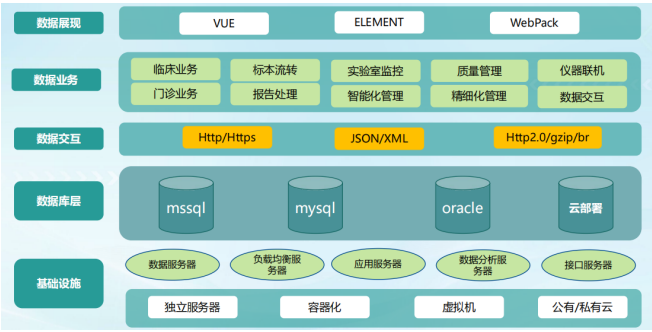

图1 智慧医院检验系统架构

2.2 技术选型

数据交换层支持HTTP/2.0协议，兼容JSON与XML格式，适配HIS、EMR和区域平台标准接口。微服务通信采用gRPC提高传输效率，接口文档统一遵循OpenAPI规范，便于开发测试集成。中间件方面，引入Redis作为缓存组件，Kafka处理异步消息流转，提升系统响应与解耦能力。前端选型Vue+TypeScript，后端采用Spring Boot构建微服务模块，支持容器化部署与持续集成。数据库层支持主流商用及国产数据库，适配多环境部署与数据一致性需求。整体选型注重性能、兼容性与可维护性，为系统迭代与智能化扩展提供坚实基础。

3 检验系统升级改造实施路径

3.1 升级策略

1.环境部署。采用双路10G链路接入核心网络，构建主备通道。物理资源层部署2台H3C UniServer R5300 G5高密度服务器，配置Intel Xeon Silver 4314处理器（16核，2.4 GHz）、256 GB DDR4-3200内存、2TB NVMe系统盘与4块4 TB 7200RPM企业级SATA盘[2]。虚拟化平台基于VMware vSphere 7.0，启用分布式资源调度（DRS）与高可用性（HA）集群。数据库环境预装MySQL 8.0与Oracle 19c，内核参数经NUMA分区与I/O优先级优化，操作系统采用CentOS Stream 9稳定版，配置SELinux加固策略。

2.模块部署。业务服务模块采用Docker容器封装，通过Kubernetes集群调度，控制平面由3节点etcd与2节点API Server构成，保障高可用性。服务暴露方式采用Nginx Ingress双实例+Keepalived主备切换，维持访问连续性。中间件组件包括Redis 7.0用于缓存、Kafka用于异步日志流转。接口微服务基于Spring Boot构建，采用统一OpenAPI规范，消息格式兼容JSON与XML，传输协议支持Http2.0与gRPC双通道。

3.灰度验证。模拟切换期间导入近30 d真实历史数据，模拟最大并发请求为500线程，持续压测72 h，监测TPS、响应延迟、队列积压等指标。灰度方案采用蓝绿发布策略，旧系统与新系统并行运行，基于业务日志与数据校验脚本进行报文逐项对照，确认数据一致性与结构完整性。最终由调度控制器触发正式切换信号，完成系统主控指向迁移。

3.2 技术实现

1.平台内核。初始化阶段优先构建统一认证与日志追踪体系。认证模块基于Keycloak 21.0，支持OAuth2与OpenID Connect协议栈，容器部署于Kubernetes独立命名空间，启用3副本Pod水平扩展[3]。日志系统采用EFK栈，Fluentd接收日志量上限配置为10MB/s，ElasticSearch 8.11设定索引副本数为1，分片数为3，确保写入效率与搜索性能均衡。

2.流程引擎。检验主流程模块包括申请接收、条码生成、标本流转、自动审核、报告签发等任务，采用Spring Boot 3.1构建服务，每模块设定为独立部署单元，接口层使用OpenAPI 3.0规范自动生成测试用例。核心任务调度采用Quartz 2.3.2内嵌至服务模块。缓存组件Redis 7.0配置最大连接数2000，响应TTL控制在600 s内。

3.集成服务。与外部平台接口开发位于第6开发周期，支持WebService与REST双协议混合调用。CA签章模块支持SM2加密与国密SSL双通道，独立部署至隔离VLAN，数据交互通过HTTPS双向认证，证书管理引入中间CA签发链。

4.可观测体系。第9周期引入Prometheus 2.48与Grafana 10.0，构建监控可视化平台，以500 ms采集周期覆盖节点维度的85项关键指标。基于这些指标建立健康度评分模型，综合任务稳定性、接口可用性、响应时效和资源余量等维度，加权量化服务质量，将其作为部署阶段动态调度与智能运维的核心依据。

3.3 实施保障

1.组织架构。实施组织结构采用扁平化技术驱动模式，划分管理、开发、集成、测试、运维5个核心单元。项目总协调由PMO设立，基于RACI（Responsible-Accountable-Consulted-Informed）矩阵定义跨域职责关系，配套版本控制、进度评估、质量门禁机制。

2.开发分工。前端组采用Vue 3.3+TypeScript框架，组件以单元粒度划分任务分支，代码仓管理使用GitLab，分支模型采用Git Flow策略[4]。后端组基于Spring Boot 3.1，模块按业务域划分，服务接口文档以OpenAPI 3.0规范自动生成，接口测试与断言集成Postman与Newman流水线。接口组使用Apache Camel 3.20进行异构系统接入规则建模，实现HIS与LIS间的消息协议映射与格式转换。

3.测试与运维。测试组独立部署Allure TestOps平台，JMeter配置压测线程数为500，最大持续压测时长为72 h，接口响应验证纳入CI流程自动评估环节。运维组负责Prometheus指标建模、Kubernetes资源编排与Kong服务网关策略发布。Kong配置WAF规则36项，限流策略RPS设定为1 000。安全组部署SM2加密引擎，独立签章系统运行于国产化操作系统麒麟V10，配置内存32 GB，使用硬件加密卡YHSM-3000，提供国密CA兼容服务[5]。

4.数据迁移。迁移阶段采用冷热数据分离策略，冷数据脱敏后离线导入，热数据采用CDC机制实时同步，并结合增量补偿防止遗漏。迁移任务按表粒度分批调度，主表优先处理，避免外键异常。执行节点部署于HP DL380 Gen10服务器，最大并发迁移线程数为64，数据库从MySQL 5.7迁移至MySQL 8.0，使用Shell与Dump工具链，数据中间格式为CSV，结构统一定义为YAML Schema。网络带宽1 Gbps，配置QoS限速以保障业务网络不受影响。数据校验采用主键匹配与字段哈希双重机制，关键字段使用MD5验证完整性，一致性比率要求不低于99.99%。最终切换窗口设于0：00—3：00低峰时段，前一日22：00起冻结热数据写入，由调度器触发主从切换并锁定源库，日志与状态写入Kafka通道保留7 d，用于回溯与排查。

4 改造性能分析

系统升级完成后，在等效业务压力条件下，对核心模块开展了性能对比测试，重点评估接口响应效率、并发承载能力、事务处理能力及资源使用效率。测试环境基于生产级部署架构，采用JMeter 5.5工具进行压测模拟，测试路径主要覆盖样本接收、报告查询与日志写入等高频操作模块。表1展示了系统改造前后的关键性能指标对比结果。

表1 系统改造前后关键性能指标对比

性能指标	改造前数值	改造后数值	提升幅度
接口平均响应时间（ms）	960	260	↓72.9%
最大并发用户数（人）	180	520	↑188.9%
查询事务处理速率（TPS）	210	640	↑204.8%
样本处理耗时（s）	3.2	0.9	↓71.9%
CPU使用率（%）	84	61	↓27.4%
内存占用峰值（GB）	221	176	↓20.4%
日志写入延迟（ms）	420	80	↓80.9%
接口异常率（%）	0.47	0.02	↓95.7%

从表1结果可见，系统在响应速度、并发能力与资源利用方面均有显著提升，事务处理速率提升超两倍，日志延迟与异常率明显下降，整体稳定性与鲁棒性大幅增强，为高并发、高可用场景提供了有力支撑。

性能优化主要得益于微服务解耦与容器化部署带来的资源弹性，以及Redis和Kafka提升了缓存与异步处理效率；统一采用OpenAPI与gRPC协议，增强了接口一致性与通信效率；Prometheus与Grafana构建的可观测性体系，实现了关键指标的实时监控与动态调优。

但仍存在部分局限：容器平台和集群调度对运维要求较高，自动化工具链需加强；国产数据库在复杂场景下性能仍待优化；灰度验证周期长、资源占用高，测试自动化覆盖不足；部分流程尚未完全实现事件驱动与闭环控制。

总体来看，本次升级在显著提升系统性能的同时，为智能质控、弹性调度与多平台协同奠定了坚实基础，具备良好的推广与扩展价值。

5 结束语

针对智慧医院对检验系统的建设要求，本文分析了现有LIS在系统集成、流程协同、质控能力及平台兼容等方面的不足，提出了基于微服务、流程引擎与容器化的整体升级方案。通过采用Kubernetes、消息中间件与CDC等关键技术，构建了高可用、可扩展、支持高并发的新一代系统架构。测试结果表明，升级后系统在响应速度、并发支持与资源利用率上均显著提升，有效解决了原有瓶颈，支撑了多院区协同、多系统联动的业务场景。未来，可进一步融合大模型能力，实现智能质控与辅助决策，推动检验信息系统向更智能、数据驱动的方向发展。

参考文献

[1]申刚磊,李岚,张科红,等.智慧医院“互联网+健康教育”服务模式探析[J].现代医院管理,2025,23(5):5-8,13.

[2]庞怡真.智慧医院运营中数据分析驱动的决策支持[J].数字技术与应用,2025,43(9):198-200.

[3]陈琼,黄巍,陶文锐.智慧医院背景下公立三甲医院固定资产全生命周期管理探讨[J].中国卫生产业,2025,22(18):81-84,92.

[4]田剑波.“互联网+医疗健康”视域下智慧医院诊疗管理的研究进展[J].山西医药杂志,2025,54(17):1332-1335.

[5]梁国洪.智慧医院管理背景下的医院信息化建设措施[J].数字通信世界,2025(8):160-162.

（本文编辑 王 冬）