

基于自律分散系统的智能运维平台的架构设计

刘仕兵, 张晨晖

(华东交通大学 电气与自动化工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:针对城市轨道交通智能运维管理信息化系统集成困难、后期维护困难等问题,在系统集成层面,构建基于自律分散系统理论的平台设计方案——以数据驱动机制为核心的智能运维平台;在软件系统架构层面,提出分层架构设计,将软件架构分为 4 层,进行各层次的功能设计,实现软件系统的“高内聚、低耦合”特性;在业务层面,平台基于基础数据与业务数据相互之间循环卡控的业务逻辑过程实现了自动更新设备履历、自动生成设备差异化维修计划,针对设备故障自动匹配近似预案。以中铁电气化局的智能运维平台项目作为研究对象,将 3 个层面结合,实现了智能运维平台的在线可扩展性、在线可维护性、智能化等特点。

关键词:自律分散系统;数据驱动;智能运维;分层架构;卡控

中图分类号:TP399 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2021)01-0108-08

0 引言

我国城市地下铁道的发展起步相比于发达国家晚了 100 a,“互联网+城市轨道交通”的概念还处于萌芽阶段。尽管少数一线城市在这方面走在了前列,信息化建设覆盖到了多个专业,部分专业的管理通过信息化手段取得了显著的成果,但是多专业之间的业务关联与闭环并没有实现。在数据分析领域也只是停留在多专业数据汇总的阶段,并没有实现通过自动采集到的数据自动校正业务管理过程,即数据驱动业务闭环,实现智能化管理。而针对城市轨道交通运维管理信息系统这一重要交叉学科的调查研究本就不多,实际建设更是少有涉及。总体来讲,伴随各城市线路规模的激增,各专业信息化手段的增加,智能化已然成为信息系统发展的必然趋势。现以中铁电气化局集团第一工程有限公司智能运维平台项目为研究对象进行探究。

1 城市轨道交通管理信息系统智能运维平台

1.1 发展现状分析

目前,城市轨道交通智能运维管理信息平台(以下简称智能运维平台)在国内城市中应用较为鲜见,需求和功能也不成熟,难以适应现代化管理的需要。上海地铁根据实际业务需求,在“十五”期间初步搭建出了地铁管理信息系统,因为数据采集困难、业务逻辑未形成闭环,该系统发挥的作用较小。在“十一五”期间,建立了新型的检修、维修制度,并基于此对原有系统进行更新换代,对于各类设备的运营维护有了较大的帮助。在“十二五”期间颁布了一系列的信息化政策应用于制订数据架构的技术框架标准与制度,对设备采购、备件、系统安全等进行了重点攻克^[1-2]。

香港地铁(以下简称港铁)的信息化建设进度在全国名列前茅,港铁根据多年的运营管理经验不断升级管理信息系统。针对突发危机状况,港铁建立了快速反应应对系统;针对人事管理、财务管理等建立了公司资源计划管理系统;针对故障维修、施工计划管理、人员作业等建立了工程维护管理信息系统等。港

收稿日期:2019-12-05 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxzb.20190208

基金项目:江西省教育厅科技项目(GJJ150530、GJJ160488);江西省科技厅重点研发计划一般项目(20192BBH80005)

作者简介:刘仕兵(1970—),男,教授,研究方向为电气化轨道交通接触网技术,供电信息化管理技术、监控技术。E-mail:liucyier@163.com

刘仕兵,张晨晖.基于自律分散系统的智能运维平台的架构设计[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2021,34(1):108-114,119.

©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

铁能成为国内唯一一家不依靠政府资助还能盈利的地铁公司,管理信息系统的建设当居首功^[3]。

1.2 构建系统所面临的挑战及解决方案

智能运维平台涉及到各种不同的软件或者设备在平台中集成,不同的软件/设备架构不同、功能不同,且集成多个软件/设备意味着数据量十分庞大,智能运维平台携带的多样性、异构性是平台信息集成路上的绊脚石^[4]。一个优秀的智能运维平台所必备的特质之一是在线可扩展性^[5],这一特性确保智能运维平台可以随时根据业务需求集成所需要的各类子系统,而且当任意数量的外来子系统加入处于运转状态的智能运维平台上时,或者当子系统有更新的需求或需要修订系统功能时,平台依然可以保持正常运转并及时获取新加入的子系统发布的全部信息内容。

为解决搭建智能运维平台所遇到的困难,从软件系统架构入手,辅以数据交互机制作为支撑技术,再加上合理的业务架构的闭环设计,让智能运维平台拥有高效实时的数据交互机制,高度解耦、高度内聚的软件架构,智能的业务闭环卡控体系。(1)高内聚低耦合的软件架构可以将架构层次足够抽象化,让各子系统之间可以高速有效地进行数据交互,是实现可维护、可扩展的智能运维平台的枢纽^[6]。(2)高效实时的数据交互机制可以在线分析、挖掘外界环境、设备或业务流程产生的数据,最大程度地排除无效数据,降低无效的交互操作量,在提升通信效率的同时提高工作效率,降低对通信基础设施的技术要求。(3)合理的业务逻辑流转体系使得信息化管理过程无需人工分析,为智能运维平台真正实现智能化奠定基础。

在前文思路的基础上,提出基于自律分散系统(autonomous decentralized system, ADS)理论的平台构建方案——以分层架构为核心的智能运维平台。该平台构建方案以自律分散系统理论作为基础理论,以分层架构作为设计思路,把数据驱动作为核心机制,三位一体,以此为基础来实现智能运维平台在线可扩展性。

智能运维平台通过数据驱动机制^[7]的 4 个关键步骤——“感知、分析、决策、执行”来实现智能运维平台数据自主流转的闭环卡控体系,可以使数据从物质世界的抽象状态经过处理后变为人类可以读懂的具象化信息,最后优化为标准数据并储存在系统中,形成标准知识库。感知是指通过传感器感知物理世界的运行状态,如环境监测、线路监测、接触网状态检测等;分析是指利用各种软件使抽象数据变为具象数据,再向标准数据转化的过程;决策是指利用大数据处理技术实现不同系统之间的数据自主流转与共享,并生成指导性数据作为决策依据;执行是指相关系统接收到指导性数据后利用硬件设备做出对决策的实时反馈。在数据驱动机制中感知的目标是数据,分析的结果是数据,决策的依据是数据,执行的输出依然是数据。显而易见,数据成为智能运维平台的灵魂^[8]。

2 自律分散系统

20 世纪 80 年代,传统的计算机系统均为集中式系统,其信息资源集中,管理方便,规范统一。但集中式系统是一个主机带多个终端的模式,终端没有处理数据的功能,这带来 2 个问题,一是如果主机出现故障,整个系统将无法正常运转;二是由于系统功能的不断扩展,系统在升级扩展以及维护的同时需要中断整个系统的运行。自律分散系统很好地解决了这些问题^[9]。

2.1 自律分散系统的特性

区别于传统系统,ADS 提出了 2 个新的系统观点——“异常就是正常”、“系统由子系统集成”。

(1)异常就是正常。如图 1(a)所示,对于传统系统来说,“正常”代表着系统 C 中的 12 个子系统全面完成建设,且 12 个子系统功能完好,反之系统为“异常”状态。一般来说,传统的子系统之间都互相依赖,缺一不可,导致传统系统“异常”时是不可以正常运转的。而自律分散系统理论摒弃了传统系统的劣势,提出系统应该始终处于持续维护或升级的状态,也就不会出现“系统全面建设完善并功能完备才可运转”、“系统升级或发生故障时系统无法正常运转”的情况。如图 1(b)所示,B 中有 3 个子系统处于故障或升级状态,但并不会对另外 9 个子系统造成影响,系统 A 仍能独立完成工作。图 1(b)所示系统一直处在“异常”状态的情况在 ADS 中才是常态,即“异常就是正常”。

(2)系统由子系统集成。传统系统认为“先有整体系统再有子系统”,也就是说子系统的运行完全依

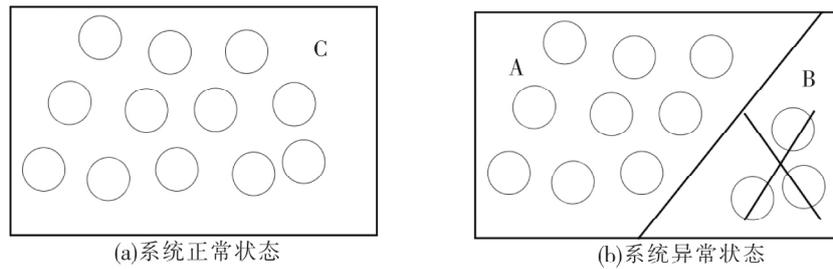


图 1 自律分散系统概念图

赖于整体系统这个平台,是不可以独立运行的。这一特性导致当整体系统的架构、性能、服务对象等需求不清晰的时候,无法构建系统。在这个大数据时代,系统规模越来越大,加上客户需求的不断变更,一旦需要添加新的子系统,原有的系统架构便无法满足需求,需要重新设计架构。显然,传统系统的绝对论系统观已然不适应这个时代的发展,ADS 应运而生,它认为“系统由子系统集成”,就是说不再用整体系统来限制内部子系统的存在,而是把整体系统重新定义成多个子系统的集合。

ADS 弥补了传统的 C/S 架构的劣势,完全做到了在线扩展、在线维护以及在线容错,即在不停止系统运转的情况下,可以对子系统进行增删改查、故障修复等操作。ADS 逐渐应用在越来越多的专业,其中包括电力系统^[10]、航空监管^[11],近些年在交通调度^[12]领域也得到了青睐。

2.2 自律分散系统的结构模型

最基本的 ADS 由 2 个部分组成,原子节点 (Atom)和数据域(Data Field, DF)^[13]。从物理概念上讲,原子节点相当于电脑、智能化设备或其他硬件。数据域是 ADS 中用来传播信息的逻辑空间,它对应的物理实体为网络或存储器等。结构模型如图 2 所示。

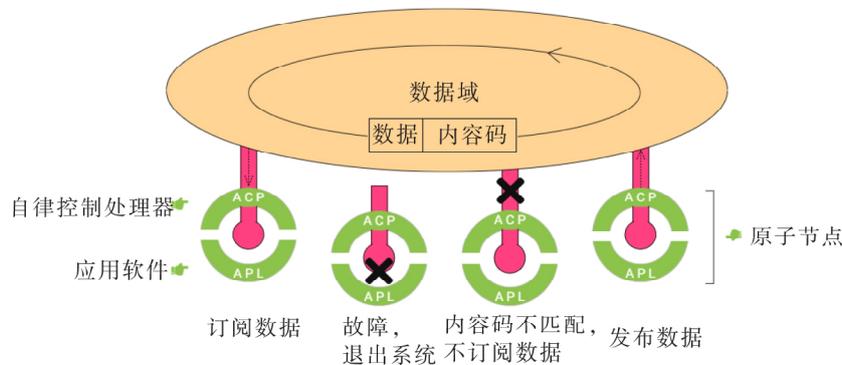


图 2 基于 ADS 的数据驱动系统结构

2.2.1 数据域

数据域是一个能使各模块共享数据的逻辑空间,原子节点之间的数据交互只能在数据域中通过广播的形式来实现,数据均在数据域中循环流动。从数据域中延伸了一部分进入原子节点中,这部分叫做原子数据域 (Atom Data Field, ADF),原子节点订阅的数据则进入到原子数据域内循环流动。

2.2.2 原子节点

所有原子节点均向数据域中发布数据,与此同时所有原子节点也从数据域中订阅数据。原子节点之间是不会有直接联系的,它们均为独立的单元,只需要辨别数据域中的数据内容是否为自己需要的,而不需要知道此数据的发布者是谁,因此实现了原子节点的局部性,即每个原子节点都是平等的。所有的原子节点中均含有自律控制处理器 (autonomous control processor, ACP),发布在数据域中的数据都涵盖一个定义其自身属性的内容码 (Content Code, CC),原子节点正是利用 ACP 来识别该内容码继而判断是否需要订阅该数据。以内容码识别为基础的数据交互机制确保了原子节点能准确高效地发送、接收信息。

3 智能运维平台案例

以本次研究对象中铁电气化局第一工程有限公司的智能运维平台为例来说明。智能运维平台是以各专业日常巡视、检修任务、故障处理为信息基础,将其他管理模块综合一体化的全自动运行系统。实现各维保项目的人员管理、培训考核、巡视检修、故障处理等工作任务自动运行。通过智能运维平台的实施对维保项目一体化业务进行全要素、全流程管理,建立多业务之间的关联规则^[14],实现业务生成数据、数据辅助业务的闭环管控体系。智能运维平台拟定为 13 大功能模块,包括信息平台模块、维修中心模块、标准中心模块、系统管理模块等,其建设目标以接触网、变电、信号等专业的实际需求为中心,引入自律分散系统理念,并对软件系统进行分层架构^[15-18]设计。

智能运维平台由硬件系统和软件系统组成。为满足软件架构高内聚、低耦合的需求,把软件系统架构设计为分层架构,该设计突破了传统的 3 层架构,即用户界面层、业务逻辑层、数据访问层,该架构将数据访问层改为基础设施层,并在此基础上做了微调,在用户界面层和业务逻辑层中新加一层,即业务应用层。分层架构如图 3 所示,将系统架构分为 4 层:基础设施层 (Infrastructure Layer)、业务逻辑层 (Business Logic Layer)、业务应用层 (Business Application Layer)、用户界面层 (User Interface Layer),并对每一层进行功能设计,用户界面层面向用户,业务应用层面向应用,业务逻辑层面向业务,基础设施层面向外部资源/设备。

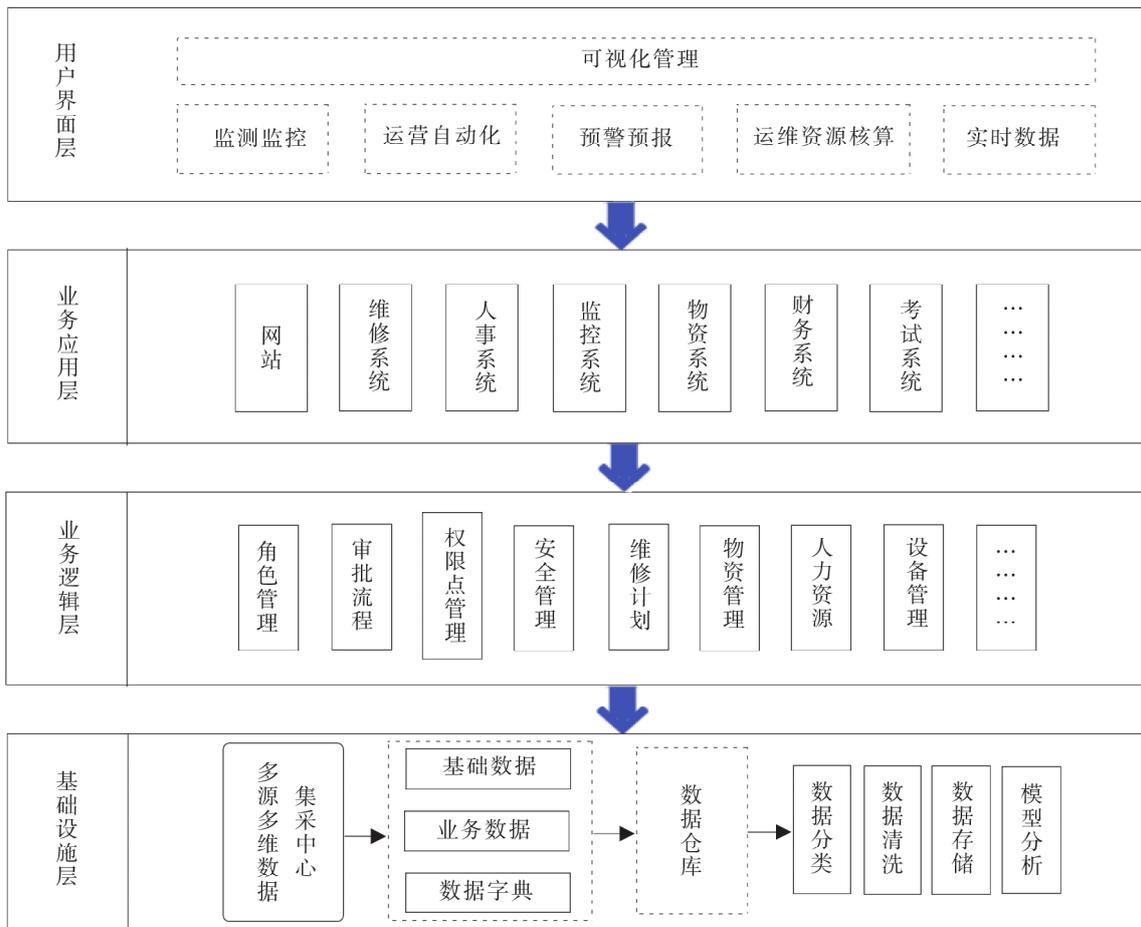


图 3 分层架构示意图

体情况,系统会匹配近似预案生成作业指派来卡控开作业票。

(2)根据作业人员持有作业证书、安全等级的不同来指派不同的人员进行作业进而卡控开作业票。

(3)根据考勤与交接班管理来指派不同人员进行作业进而卡控开作业票。

(4)根据现有库存的物资和工器具的领取、归还记录来卡控维修作业指派。根据设备履历以及维修概况,系统会自动生成差异化维修年计划并自动分解为月计划、周计划以及日计划,各班组人员根据计划开作业票,生成单据,录入台账,而台账又会自动更新设备履历以及生成维修概况,进而更新维修年计划,周而复始,整个维修业务形成了闭环,实现了业务生成数据、数据辅助业务的闭环卡控体系。

智能运维平台基于基础数据与业务数据相互之间循环卡控的业务逻辑过程,实现了自动更新设备履历、物资库存及工时统计的功能,能够对故障统计与日常生产计划进行智能分析,自动生成设备差异化维修计划,并自动分解计划落实到个人。基于标准化数据结果分析,平台可以针对设备故障自动匹配近似预案,同时对故障类型、专业、设备维护方案自动生成专家数据库,为维修决策提供指导性依据。

3.3 业务应用层

业务应用层是很薄的一层,用来协调应用的活动,不包含业务逻辑,负责决定软件系统能做什么,不负责如何做。它不保留业务对象的状态,但保有应用任务的进度状态,例如事务审批、日志管理、安全访问控制等应用。

以智能巡检仪、智能库门 2 个应用为例,其拓扑结构如图 5、图 6 所示。



图 5 应用场景——智能巡检仪



图 6 应用场景——智能库门

3.4 用户界面层

用户界面层负责接收以及解释用户的输入指令,向用户展示输出结果,并向业务应用层或者业务逻辑层发送用户指令。该层负责确保接收的数据信息的正确性、有效性以及界面样式,应呈现用户所需的各类实时数据,包括故障信息、统计结果、运维分析结果等。

3.5 实施方案

智能运维平台前端开发采用 LayUI 框架,后端语言采用 PHP 语言,使用 thinkPHP5.0 框架,数据库采用 MySQL。综合分析智能运维平台的 13 大模块,为提供高性能的数据快速访问,对常用基本不变的数据采用文件缓存技术,将标准中心模块、人员管理模块、系统管理模块内的数据存储成 cache 文件,通过程序脚本定时存储、定时更新,保证数据的完整性。其他模块的数据则使用内存缓存技术,主要使用 Redis、Mwmcached 缓存系统,用于动态 Web 应用以减轻数据库负载。平台运行环境采用 LINUX 操作系统搭建,相对 Windows 操作系统性能更佳,安全性能更好。

4 结语

通过对最新的中铁电气化局第一工程有限公司智能运维平台项目的调研实践,详细阐述了构建智能运维平台遇到的难点、解决思路及实施方案,构建了基于自律分散系统理论的智能运维平台,采用分层架构设计,降低了层与层之间的耦合、代码之间的耦合,针对未来客户的需求变更,只需付出最小的代价对代码进行修改,为平台的实现做好了准备,同时也为未来平台交互采集与数据分享打下了坚实的基础。

参 考 文 献

- [1]王生华,殷培强.上海地铁智能运维系统建设情况[J].城市轨道交通,2019(5):17-19.
- [2]吴胡俊实.地铁车辆检修管理信息系统的涉及与开发[D].成都:西南交通大学,2012.
- [3]陈建伟.信息系统在香港地铁运营管理中的应用[J].城市轨道交通研究,2007(9):1-5.
- [4]Derler P, Lee E A, Vincentelli A S. Modeling cyber-physical systems [J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(1): 13-28.
- [5]王兴举,刘佳,周杨,等.基于 GIS 铁路网络运营管理和分析系统[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2015,28(3): 99-104.
- [6]Kim K D, Kumar P R. Cyber-physical systems: a perspective at the centennial [J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100: 1287-1308.
- [7]郝琨琪,王治华,范帅,等.电网信息物理系统的数据驱动架构设计及应用[J].电网技术,2018,42(10):3116-3127.
- [8]郭楠,贾超.《信息物理系统白皮书(2017)》解读(上)[J].信息技术与标准化,2017(4):36-40.
- [9]赵晔.基于自律分散的城市轨道交通信号研究[J].都市快轨交通,2015,28(1):121-124.
- [10]代贤忠,沈沉,陈颖,等.自律分散的多维度电网薄弱环节跟踪及分析系统设计与实现[J].电力系统自动化,2015,39(4):82-88.
- [11]Koga T, Lu X, Mori K. Autonomous decentralized high-assurance surveillance system for air traffic control [C]// IEEE International Symposium on High-assurance. [S. l.]: IEEE, 2014: 154-157.
- [12]李小琳.铁路分散自律调度集中系统的仿真实现与集成[D].成都:西南交通大学,2015.
- [13]赵朔雪.基于自律分散技术的城市轨道交通 ATIS 子系统优化分析与设计[D].兰州:兰州交通大学,2012.
- [14]顾建华,张芳芳,刘鹏.客运专线基础设施维修管理体系信息化建设方案探讨[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2011, 24(1): 91-99.
- [15]段海清.基于 NET 平台的分层架构与设计模式的设计与实现[D].成都:电子科技大学,2013.
- [16]陈佳铭,王凤立,邓君湘,等. Lua 脚本与 C++ 交互流程及在其 HSTPN 仿真软件的应用[J].计算机应用与软件, 2018, 35(10): 13-16.
- [17]刘仕兵,刘欢,王小艺,等.面向阿里云的铁路供电信息系统迁移研究[J].华东交通大学学报,2018,35(1):123-129.
- [18]张兆锋.贵广铁路建设项目管理信息系统研究与应用[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2014,27(S1): 169-172.

- [5]王继亮. CPⅢ控制网自由测站三角高程测量技术在城市轨道交通工程中的应用[J]. 城市建筑, 2015(36): 104-104.
[6]张慧慧. 测量平差基础[M]. 2版. 武汉:武汉理工大学出版社, 2017.

Application and Discussion of Free Station Control Network in Urban Rail Transit

Zhang Liyong

(Hohhot Urban Rail Transit Construction Management Co. Ltd., Hohhot 010010, China)

Abstract: Based on Hohhot City Rail Transit Line 1 project, free station control network measurement technology was applied to the station to contact measurement, the establishment of underground traverse control network, the establishment of the CPⅢ net according its characteristic. The measurement accuracy was analyzed and the reliability of the free station control network in the new measurement mode was verified. At the same time, through the analysis of the extended application in other surveying process of urban rail transit construction with free station control network, this paper expounded the application of free station control network in the whole process of rail transit, and it was feasible to realize the multi-purpose of one network.

Key words: free station control network; contact measurement; wire control network; CPⅢ network; accuracy of measurement

~~~~~  
(上接第 114 页)

## Architecture Design of Intelligent Operation Platform Based on Autonomous Decentralized System

Liu Shibing, Zhang Chenhui

(School of Electrical and Automation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** The paper aimed at the problems such as the difficulty in integration of urban rail transit intelligent operation and maintenance management information system and difficulty in later maintenance. At the system integration level, a platform design solution based on the theory of autonomous decentralized system was built an intelligent operation and maintenance platform with a data-driven mechanism as the core; at the software system architecture level, a layered architecture design was proposed, and the software architecture was divided into four layers realizing functional design at all levels to achieve the “high cohesion and low coupling” characteristics of software systems. At the business level, the platform based on the business logic process of circular can realize control between basic data and business data implements automatic updating of equipment history, automatic generation of equipment differential maintenance plans, and automatic matching of approximate plans for equipment failures. Taking the intelligent operation and maintenance platform project of China Railway Electrification Bureau as the research object, the three levels were combined to realize the online scalability, online maintainability, intelligence of the intelligent operation and maintenance platform.

**Key words:** autonomous decentralized system; data-driven; intelligent operation and maintenance; layer architecture; control