智能轨道快运系统综合运营一体化平台研究

吴俊亮，彭　勤，邹　斌，张洪彬
（中车株洲电力机车研究所有限公司，湖南 株洲　412001）

摘　要：现代轨道交通系统种类繁多、各子系统组成复杂，而传统的轨道交通运营和调度管理系统采用分立系统独立部署运行模式，其设备界面繁多、操作繁琐，已经越来越难以满足高效运营的要求；但系统业务仍然想保持各自的独立性，以方便故障排查可定位。为了保证智能轨道快运系统运行的安全有序，提高运营调度效率，研发了一种统一的智能轨道快运系统综合运营一体化平台，其通过统一的用户界面和人机接口集成各个子系统功能，从而简化工作人员的操作，节省运营人力成本。系统采用前置机作为中间层，负责不同业务的子系统功能与后台处理的接口。该系统的使用，大大降低了运营管理人员的工作量和工作强度，提高了运营调度效率，同时降低了运营的人力成本。

关键词：智能轨道快运系统；调度管理；通信信号；一体化平台；人机接口
中图分类号：U292　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**2096–5427(2020)01–0066–06
doi:10.13889/j.issn.2096–5427.2020.01.012

Research on the Integrated Operation Platform for Autonomous-rail Rapid Transit

WU Junliang，PENG Qin，ZOU Bin，ZHANG Hongbin
(CRRC Zhuzhou Institute Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: There are many kinds of modern rail transit systems, and the composition of each subsystem is complicated. Traditional rail transit operation and dispatch management system adopts separate system structure, which deploys and operates independently. It has many interfaces and complicated operation requirement. It is more and more difficult to meet the requirements of efficient operation. However, from operation's point of view, it is still favorable to maintain the independence of each subsystem so as to facilitate troubleshooting. Therefore, traditional solution is difficult to meet the independence requirements. In order to ensure the safe and orderly operation of ART and improve the operation and scheduling efficiency, a set of unified ART integrated operation platform is developed, which integrates the functions of each subsystem through an unified user interface and human-computer interface, so as to simplify the operation of the staff and save labor cost. The system uses FEP as middle layer, which works as the interface between subsystem functions of different services and background process. The realization of this system greatly reduces the workload and labor intensity of operation manager, and reduces labor cost.

Keywords: autonomous-rail rapid transit (ART); operation management; communication & signal; integrated platform; human machine interface

0　引言

地铁、有轨电车等传统制式轨道交通一般都具备运营调度管理、车辆信息、信号、通信、站台门、电力监控及自动售检票等系统和调度指挥系统[1-2]，以保证轨道交通系统运行的安全性和有序性。智能轨道快运系统（autonomous-rail rapid transit，ART）具备轻量化、集成化、低成本化等特点，与传统轨道交通相比较，需要在运营管理模式、软硬件资源配置等方面进行更具高度的集成化和统一化设计。建立 ART 综合运营一体化[3]平台，通过统一的用户界面和人机接口来集成各子系统功能，能够大大简化工作人员的操作，提高运营调度的效率。本文利用前置处理机（front-end processor，FEP）作为中间层，将各子系统的业务接口

收稿日期：2019–08–20
作者简介：吴俊亮（1980— ），男，高级工程师，主要从事轨道交通信息化技术研究工作。
基金项目：湖南省科技重大专项（2017GK1010）

进行适配及统一，建立了一套综合运营一体化管理平台方案，从而实现一体化管理 [4-5]。

1　ART 综合运营一体化平台系统需求及功能

ART 运行控制和调度指挥系统 [6-7] 包括调度管理、车辆信息、信号、通信、站台门、电力监控及自动售检票等子系统。各个子系统相对独立，配置有各自的服务器及工作站，子系统之间的信息交互通过以太网接口，采用应用层协议的方式来完成。这样的模式虽然保证了各个子系统业务的独立性，但是对运营管理部门而言，需要配置大量的人力资源来保障运营。此外，由于各子系统的数据独立，容易产生数据孤岛，也非常不利于后期智能运维等功能的提升。因此，亟需开发 ART 综合运营一体化平台（简称“一体化平台”），将各子系统的业务及数据接口进行适配及统一，从而实现一体化管理。

一体化平台的系统目标是建立一个综合性的监控系统平台来集成调度管理 [8-9]、车辆信息、信号、通信、站台门、电力监控及自动售检票等子系统，一方面提供对各子系统的集中监督和便捷控制；另一方面向各子系统提供统一的数据通道，以实现子系统间的互联互通，从而消除不同子系统的数据孤岛，提高运营管理的效率 [10-11]。由于一体化平台集成了信号和通信的各类子系统，整个平台需要实现满足各类厂家不同类型的数据接口，同时整个平台需要处理的数据吞吐量也将大幅提高，所以需要为一体化平台建立一个统一的数据通信协议处理层，将各子系统的业务处理和协议进行分离，以提高一体化平台的通用性。此外，在数据的处理与存储方面，必须采用性能更加优越的实时数据库等方式来提高平台的处理效率，不仅使运营调度过程中各专业子系统可以高效联动，而且使调度人员可以站在更高的层面来实时了解运营过程中各种状态；同时当发生突发情况时，又可以保证调度人员可以第一时间了解，并进行应急指挥，从而提高运营的自动化水平和应急处理能力。图 1 示出 ART 一体化平台系统的功能。

一体化平台具备统一的集成框架和接口协议，可实现不同业务模块的便捷接入。不同模块间数据互通，可实现各子系统间联动；具备统一风格的用户界面，用户界面具备公共组件，可根据不同子系统应用进行配置；具备统一的联动功能，子系统内部可使用统一联动触发机制来进行联动的动作触发与响应。

一体化平台集成了信号系统调度管理功能，包括车辆状态监测、运行图编制管理、站场监视、运行调整、

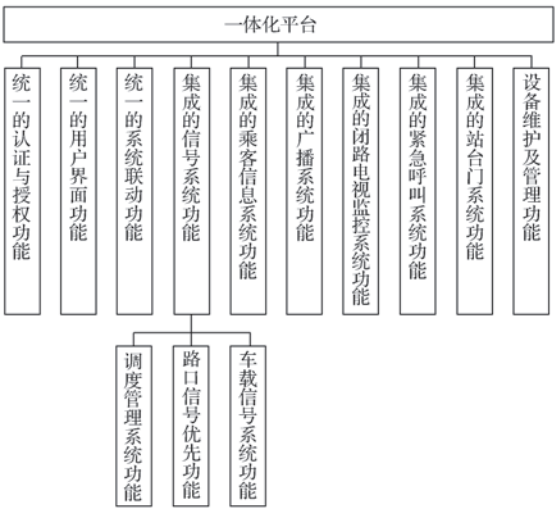

图 1　一体化平台系统功能框图

Fig.1　Block diagram of system functions for the integrated platform

故障监测报警、历史记录回放、仿真培训、资源控制及时钟同步等；集成了广播系统（PA）的人机界面（human machine interface, HMI），能够以地面设备、车载设备等多种拓扑方式显示设备位置与状态信息，可以进行广播的信息编辑、发布及监听等，并可对信息进行优先级控制；集成了乘客信息系统（passenger information system, PIS）的 HMI 界面，能够以地面设备、车载设备等多种拓扑方式显示设备位置与状态信息，并可对设备进行选择与控制，可以查看子系统内各设备详细信息，可以进行 PIS 系统的远程管理、信息编辑、信息查看及信息发送等功能；集成了闭路电视系统的 HMI 界面，能够以地面设备、车载设备等多种拓扑方式显示设备位置与状态，并可对设备的选择与控制，可以查看子系统内各设备详细信息，具备实时监控、摄像机控制、标记与回放、系列管理及电视墙管理等功能；集成了紧急呼叫电话（emergency help phone, EHP）系统的 HMI 界面，能够以地面设备、车载设备等多种拓扑方式显示设备位置与状态，并可对设备进行选择与控制，可以查看子系统内各设备详细信息，具备乘客呼叫、信息显示、视频监视、视频存储及回放、报警提示等功能；集成了安全门系统的 HMI 界面，能够以多种拓扑方式显示设备位置与状态信息，并可对设备进行选择与控制，当发生故障时，平台主动触发报警界面以提示操作员。此外，一体化化平台还具备系统设备状态监视、定期维护、报警提示、日志记录、报表统计、车辆管理、人员管理及资产设备管理等功能。

2　一体化平台系统结构设计

基于一体化平台的功能要求，通过设置前置处理机

FEP 的方式，与前端的各个子系统建立双向数据通信，并通过数据接口调用 / 执行各个子系统的业务模块；此外，前置处理机 FEP 还将获取各个子系统的相关历史数据并存储到实时数据库（relational database，RDB）和历史数据库中，以作为大数据分析的数据源。综合运营一体化平台的总体结构如图 2 所示。

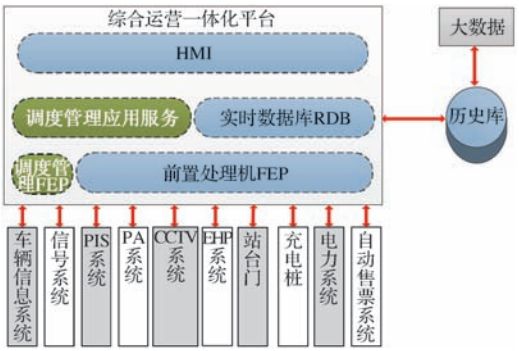

图 2　一体化平台系统结构框图

Fig.2　Block diagram of the integrated platform system

2.1　硬件结构

系统硬件包括行调工作站、设调工作站、时刻表 / 运行图编辑工作站、前置处理机 FEP 、调度管理 FEP、RDB 服务器、调度管理系统应用服务器、历史库服务器及复视工作站，见图 3。

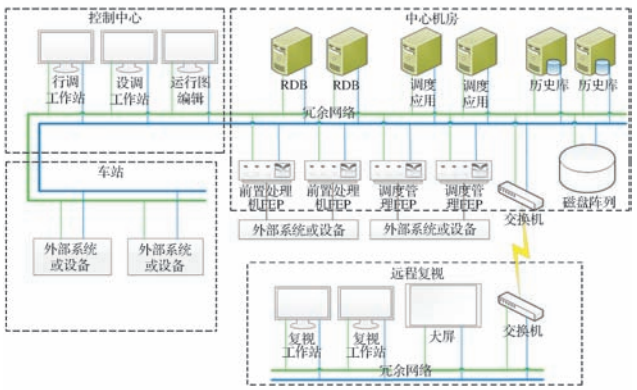

图 3　硬件结构

Fig.3　Hardware structure

行调工作站主要用于对全线的运营列车的跟踪、设备监视、时刻表 / 运行图监视、报警 管理、统计与报表等，具体可根据用户的需求对角色进行功能分配；根据登录用户的权限，工作站会实时展现不同的功能。

设调工作站用于对全线信号、通信设备及各类 IT 设备的集中监控管理，包括状态监控、远程控制、报警处理、故障分析及定期维护等。

时刻表 / 运行图编辑工作站用于对时刻表 / 运行图的管理与维护，包括时刻表 / 运行图的生成、编辑、打印、上传数据库及从数据库下载等。

前置处理机 FEP 用于连接其他系统或设备并进行数据格式和协议的转换，实现数据在多个前置机、网络和设备之间的冗余。

调度管理 FEP 用于实时接收车辆和信号设备的状态协议数据并进行数据处理和协议转换，实现数据在多个前置机、网络和设备之间的冗余。

RDB 服务器用于接收 FEP 采集的其他系统或设备数据并进行数据加工和逻辑处理，同时将数据提供给 HMI 界面展示并记录历史库存储；接收 HMI 发送的命令，在进行逻辑处理后，将相关命令或数据通过 FEP 发送到其他系统或设备，以实现数据在多个服务器和网络之间的冗余。

调度管理系统应用服务器实时接收经调度管理 FEP 处理后的车辆和信号设备的运行数据并进行业务处理，最后将业务处理结果发送至 RDB 服务器以进行数据处理和展示。

历史库服务器用于接收实时库产生的历史数据，并将其存储到磁盘阵列上，以对外提供历史数据查询服务。

复视工作站的功能与指挥中心的相同。

2.2　软件结构

一体化平台软件由 HMI 软件、RDB 软件、FEP 和历史数据库 4 部分组成（图 4）。

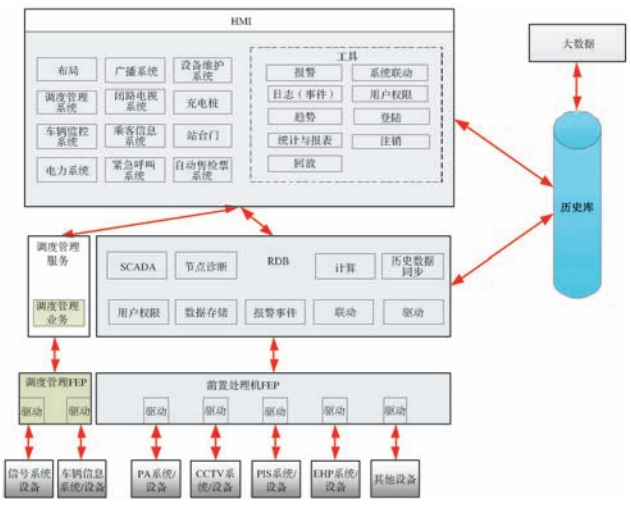

图 4　软件结构图

Fig.4　Software structure diagram

HMI 软件包括组态层和运行层 2 部分（图 5），其中组态层用于图形、脚本、报表等信息的编辑及视频等各类信息的配置，运行层用于图形、脚本、报表等信息的显示及视频等各类信息的控制。

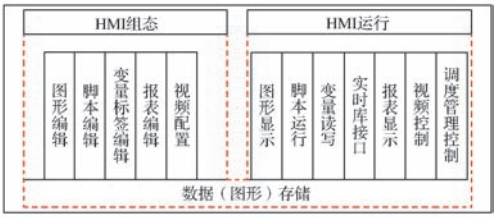

图 5　HMI 结构

Fig.5　HMI structure diagram

RDB 软件分为 3 层，即数据的接口层、存储层和处理层（图 6）。数据接口层用于对外提供各种接口，涉及上行数据和下行数据，接口包括 CORBA 接口、WebService 接口、Tcl 接口、.Net 接口及 SQL 接口等。数据存储层负责数据的存储和加载，涉及实时数据和历史数据。数据处理层负责数据的内部运算和逻辑处理，分为基础功能和应用功能，其中基础功能包括索引的维护，数据的增加、删除、修改和查询，触发器的管理以及数据的同步等；应用功能是基于基础功能、根据不同的应用需求进行扩展开发而实现。

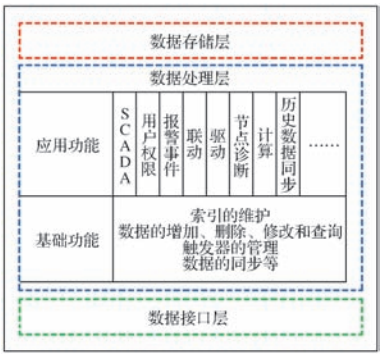

图 6　实时库结构
Fig.6　RDB structure

前置处理机 FEP 软件用于实现与前端各类子系统的连接及驱动，连接车辆和信号系统设备进行数据格式和协议转换，实现数据在多个前置机、网络和设备之间的冗余。前置处理机 FEP 一般为一对或多对冗余工控机，具体根据车辆编组和信号设备数量而确定。

历史数据库为一体化平台各模块应用提供数据存储。历史库服务器部署于机房，一般为一对冗余服务器，共享磁盘阵列。

2.3　接口设计策略

系统的各个服务器、FEP 和工作站之间均通过通信网络系统连接。为提高系统可靠性和可用性，通信网络都采用两路冗余方式。

RDB，HMI 和 FEP 之间采用 CORBA 数据总线，接口统一。RDB 和 FEP 之间接口采用双向主动变位传输，即 FEP 采集数据若发生变化，则主动将变化数据传输到 RDB，RDB 将需要输出到 FEP 的数据立即传输到 FEP。为避免因网络中断而造成的采集数据丢失，RDB 会定期从 FEP 召唤全部数据。HMI 和 RDB 之间接口采用变化召唤传输机制，即 HMI 周期地从 RDB 获取变化的数据。调度管理系统将车辆信息写入 Modbus 服务（TCP 通信方式），RDB 通过采集 Modbus 服务数据来获取车辆信息。HMI 通过插入浏览器插件方式调用调度管理系统。一体化平台将用户信息传递给调度管理系统，调度管理系统返回一个 token 信号，通过此 token 信号访问调度管理系统。

3　系统实现

3.1　软件系统

一体化平台软件系统由成熟的 SCADA 平台软件和基于该平台软件而进行二次开发的应用软件构成。应用软件用于实现对接入的子系统 / 设备（如供电、行车、车辆、PA, PIS, CCTV，EHP 及站台门等系统设备）的运行信息进行集中监控和运行调度。

系统的逻辑架构分为数据接口（FEP）、数据处理（RDB）和数据展现（HMI）3 层。

数据接口层通过通信协议解析从接入子系统 / 设备采集其各类运行信息并输出各类调度指令，平台提供若干标准通信协议库，通过参数配置实现与特定子系统进行数据交互。针对私有专用通信协议，平台提供开放接口并通过 SDK 开发包方式支持通信驱动应用软件的开发与挂载。

数据处理层把运行信息进行存储和运算，对复杂业务逻辑（如顺控、联动）进行后台处理。平台提供各种形式的标准数据访问接口和程序应用接口，并通过 SDK 开发包形式支持后台应用软件的开发与挂载。

数据展现层将设备运行信息以图形、表格和文字等形式进行综合显示。其中，设备运行信息以图形化形式展现，并通过不同颜色或动画等形式，显示设备的不同运行状态；图形化界面采用专用绘图工具以所见即所得的组态方式生成，通过脚本、控件等方式实现人机交互及相对复杂的客户端应用软件开发与业务处理功能。

3.2　对外接口

FEP 是整个软件系统对外的接口部分，包括 FEP 平台和具体的通信驱动应用软件。软件平台为各驱动应用提供配置数据的读取、采集数据的缓存、下行命令的触发等功能。各驱动应用实现与外部设备或接入子系统的连接、各自驱动协议的逻辑、原始数据的转换等。图 7 示出 FEP 组件图，表 1 示出各个组件的功能描述。

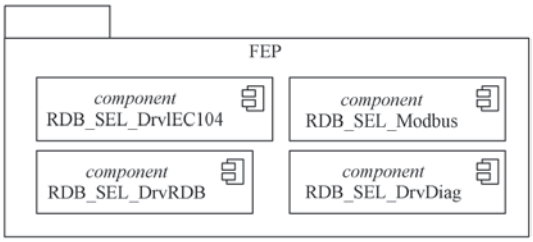

图 7　FEP 组件图
Fig.7　FEP component diagram

表 1 FEP 组件表
Tab.1 FEP component table

序号	名称	功能简述
1	RDB_SEL_DrvIEC104	IEC104 规约的实现，负责与电力设备的通信和控制
2	RDB_SEL_Modbus	Modbus 协议的实现
3	RDB_SEL_DrvRDB	访问实时库，驱动模块
4	RDB_SEL_DrvDiag	诊断驱动模块

FEP 驱动原理如下：

（1）读取驱动配置信息并驱动初始化程序。

（2）数据发生变化时，将所接收的数据输出至外部设备或系统。

（3）采集数据。有两种采集方式，一种是周期性采集，其通过周期性查询外部设备 / 系统提供的数据接口，获取数据；另一种是服务接收，其以服务的形式接收外部设备 / 系统主动发送的数据。

（4）驱动冗余。支持基于表 1 的冗余切换。

3.3 数据处理

RDB 是整个软件系统的数据处理部分，涉及 RDB 平台和 RDB 应用功能模块。设计组件时，遵循功能优先原则：对于执行类功能的组件，集中并独立成组件；对于提供多组件访问的组件，进行接口封装并减少组件间的耦合。图 8 和图 9 分别示出组件设计图和组件依赖关系。

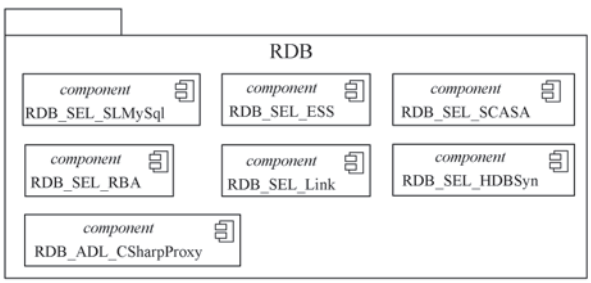

图 8 RDB 组件图
Fig.8 RDB component diagram

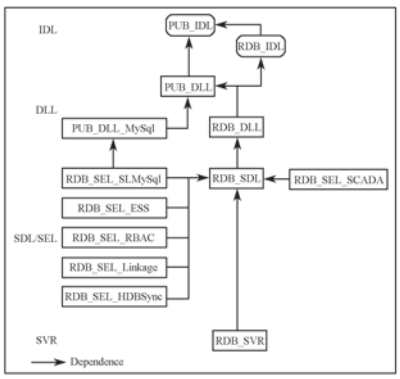

图 9 RDB 组件依赖关系
Fig.9 RDB component dependency

3.4 数据展示

HMI 是整个软件系统的数据展示部分，分为 HMI 平台和 HMI 应用。HMI 平台指 HMI 开发、运行的环境，HMI 应用指具体的 HMI 工程。

HMI 使用的软件功能部分包括变量数据库、人机界面、报表及编程，从应用开发角度，其可被分为以下 5 部分：（1）布局，其可以将屏幕划分为指定大小的区域；（2）画面和图形，画面是信息显示的容器和载体，图形放置在画面里，通过拖拽等所见即所得的方式设置图形的属性、动画效果，编写 C# 脚本以响应用户对图形的控制操作；（3）变量，系统动态数据的显示需要绑定到变量上，变量通过 RDB_ADL_CSharpProxy 和服务端交互；（4）编程脚本，支持使用 C# 脚本编程的方式对图形、画面、布局、变量进行控制，支持和服务端的交互；（5）控件，实现复杂的业务功能和控制逻辑。表 2 示出使用控件列表。

表 2 使用控件列表
Tab.2 List of controls

序号	名称	类名	说明
1	MySQL 表格控件	HMI_OCX.IS_MysqlGridView	显示表格类型的信息，可以配置要显示的列和样式
2	报警表格控件	HMI_OCX.IS_AlarmGridView	显示报警、事件信息，继承自 MySQL 表格控件
3	遥控控件	HMI_OCX.IS_RC_APP	显示设备的详细信息面板和遥控面板，支持对设备的遥控操作
4	顺控控件	顺控管理控件 HMI_OCX.IS_SOC_APP，顺控执行控件 HMI_OCX.IS_SOCEXEC	按指定顺序对设备进行遥控操作
5	预案（联动）控件	HMI_OCX.IS_LKG_APP	即联动控件
6	视频控件	HMI_OCX_Video.ControlVideo	显示和控制闭路电视的监视画面

3.5 一体化平台与外部系统接口

综合运营一体化平台通过以太网、串口等方式与 PIS、PA、CCTV、EHP、站台门以及 UPS 等系统进行接口 [12]。具体的外部系统接口如表 3 所示。

表 3 系统接口表
Tab.3 System interface table

序号	系统名称	接口方式
1	车辆系统	以太网接口，采用基于以太网的 Modbus TCP/IP 通信协议
2	信号系统	以太网接口，采用基于以太网的 Modbus TCP/IP 通信协议
3	乘客信息	以太网接口，采用基于以太网的 Modbus TCP/IP 通信协议
4	广播	串行接口，采用基于串行接口的 Modbus RTU 通信协议
5	视频监控	串行接口，采用基于串行接口的 Modbus RTU 通信协议
6	电力监控 PSCADA	以太网接口，采用标准 IEC870-5-104 通信协议
7	站台门	以太网接口，采用基于以太网的 Modbus TCP/IP 通信协议
8	UPS	串行接口，采用基于串行接口的 Modbus RTU 通信协议

4　实现效果

一体化平台的设计实现，搭建了一套整合了信号、PIS、PA、CCTV、EHP 及站台门等子系统的 ART 综合运营管理应用平台。平台集成了原有各个子系统的核心功能，并进行了 HMI 界面的统一，原有控制中心调度大厅的各个专业工位的操作都被集成到一个统一的平台界面上完成，极大地方便了用户操作和运营管理。系统界面如图 10 所示。

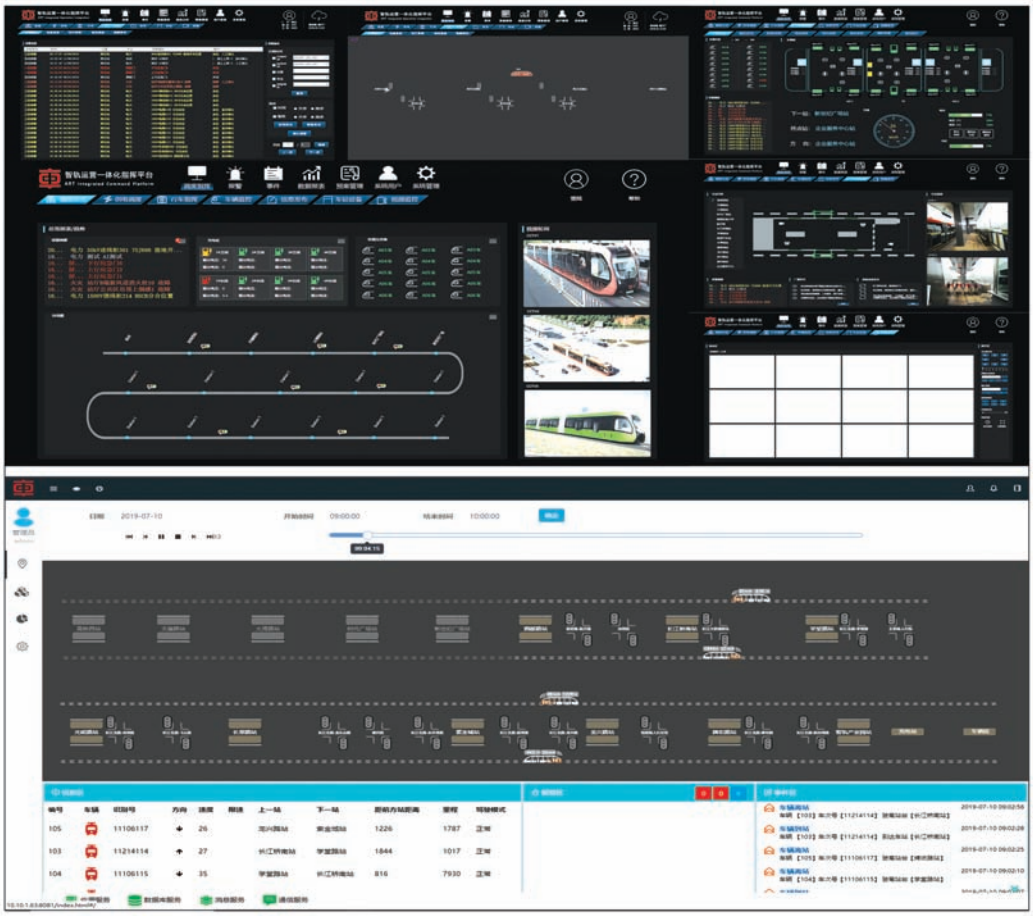

图 10　系统界面图

Fig.10　Interface diagram of the system

5　结语

本文设计了一种 ART 综合运营一体化平台，其提供了统一的用户界面和人机接口；并预留了后续增加智能站台系统设备的接口，通过这些接口的扩展，后续可将一些智能化站台系统设备也纳入到一体化管理平台中。该一体化平台已应用于株洲智轨 A1 线上。使用该平台后，日班调度人员由原来的 6 人减少至 2 人，人力成本降低 67%，其效果显著，得到业主的好评。目前正计划将系统界面等功能继续优化，并推广至其他智轨系统市场项目中应用。此外，一体化平台的研发，已完成了大数据的数据采集、数据存储过程，后期将根据不同的业务需求再进行数据挖掘和应用，从而实现 ART 的智能运行维护工作，以进一步提升 ART 的品质。

参考文献：

[1]　马永刚 . 有轨电车综合运营调度系统分析 [J]. 铁路通信信号工程技术 , 2018, 15(12): 53-57, 72.

[2]　娄栋乾 . 城市轨道交通线网运营施工调度管理系统的建设与实践 [J]. 城市轨道交通研究 , 2018, 21(S2): 55-57,72.

[3]　田茂 . 城市轨道交通设备系统建设一体化关键技术研究 [D]. 北京：中国铁道科学研究院 , 2019.

[4]　李嘉懿 .《城市轨道交通运营管理 (第 3 版)》正式出版 [J]. 铁道通信信号 , 2017, 53(7):88.

[5]　张莉 . 城市公交车辆调度优化研究 [D]. 西安 : 长安大学 , 2018.

[6]　刘晓庆 . 广州现代有轨电车综合运营调度系统建设方案研究 [J]. 都市快轨交通 , 2018, 31(3): 133-138.

[7]　余骥 . 智能公交调度管理系统的设计与实现 [D]. 济南：山东大学 , 2017.

[8]　鲁工圆 , 张杏蔓 , 潘明轩 , 等 . 轨道交通快线运营管理与调度指挥模式研究——以重庆市为例 [J]. 综合运输 , 2019, 41(7): 121-126.

[9]　赵萌迪 . 城市公交调度策略与方案优化研究 [D]. 兰州：兰州交通大学 , 2017.

[10]　徐鼎 , 张静 . 现代有轨电车行车控制方案设计 [J]. 都市快轨交通 , 2013, 26(6): 167-170.

[11]　唐贾言 . 现代有轨电车的运营控制系统 [J] . 自动化应用 , 2010(12): 61-63, 65.

[12]　刘增祥 , 庄威 . 城市轨道交通通信系统项目建设中的接口管理研究 [J]. 城市轨道交通研究 , 2018, 21(5): 158-160.