

智能轨道快运系统乘客信息系统设计

陈 杨, 张 恒, 李 缘, 张 楠, 邹 斌

(湖南中车时代通信信号有限公司, 湖南 长沙 410005)

摘 要: 智能轨道快运系统的乘客信息系统(PIS)以车站及车载的显示终端向乘客提供信息服务,广播系统(PA)通过车站扬声器向乘客进行实时及语音预录等广播,二者在系统架构和功能上类似。根据两者的共同点,文章提出了乘客信息系统和广播系统融合的PIS系统方案,在人机界面、接口、业务功能等方面实现深度融合,并就系统架构、功能及特点进行了介绍。该方案可减少硬件的投入,降低运营成本,实现数据融合,提高系统自动化程度。

关键词: 乘客信息系统; 广播系统; 智能轨道快运系统

中图分类号: U121; U239.5

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2020)01-0087-06

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2020.01.016

Design of the Passenger Information System for Autonomous-rail Rapid Transit

CHEN Yang, ZHANG Heng, LI Yuan, ZHANG Nan, ZOU Bin

(Hunan CRRC Times Signal & Communication Co., Ltd., Changsha, Hunan 410005, China)

Abstract: Passenger information system (PIS) of autonomous-rail rapid transit provides information services to passengers through station and on-board display terminals. The public address (PA) system broadcasts realtime and pre-recording voice to passengers through station loudspeakers, which is similar in system architecture and function to PIS. According to the common points of the two systems, a fusion scheme of passenger information system and broadcasting system was proposed in this paper, which mainly realizes the integration in UI, interface and function, etc. The paper also introduced the system architecture, function and characteristics. This scheme could reduce the hardware investment and the operation cost, realize the data fusion, and enhance the automation level of ART.

Keywords: passenger information system (PIS); public address (PA); autonomous-rail rapid transit(ART)

0 引言

智能轨道快运系统(autonomous-rail rapid transit, ART)是一种新型的中低运量轨道交通制式,既可作为地铁、轻轨等轨道交通的补充,也可作为地面客运主体,与城市现有的公共交通系统完美结合,作为一个全新的解决方案来解决现代城市的交通运输难题^[1]。

乘客信息系统(passenger information system, PIS)与广播系统(public address, PA)是重要的运营生产服务系统。PIS系统可向乘客提供动态的候车、换

乘及到站等乘车信息,以及管理公告、媒体新闻及广告等实时的多媒体信息;在火灾等紧急情况下,可迅速、直观、优先播放紧急疏散和防灾等文本和图像信息,以便预先告知和引导乘客,起到辅助防灾、救灾的作用。PA系统用于向乘客播报列车运行以及安全、向导等服务信息,向工作人员发布作业命令和通知,并在火灾、阻塞等非正常情况下进行紧急疏散提示。二者为保证乘客便捷乘车、提高运营效率起着重要的作用。

现有的轨道交通方式中,PIS和PA系统通常被独立部署,存在资源利用率和运维管理效率低下、扩容周期长、系统间数据无法共享及设备重叠等弊端,无法满足ART建设快、投资少的要求^[2]。因此,探讨并研究

收稿日期: 2019-09-30

作者简介: 陈杨(1982—),男,高级工程师,从事有轨电车及智能轨道快运系统通信信号系统研究工作。

基金项目: 湖南省科技重大专项(2017GK1010)

两个系统的资源优化有着重要的现实意义。

本文为适应 ART 的运营特点，提出了一种融合 PIS 和 PA 系统的智能轨道快运系统 PIS 系统方案，通过 PIS 与 PA 业务的深度融合，优化了系统架构，实现资源共享，提供统一的数据接口，缩短了部署及调试时间^[3]。

1 PIS 系统拓扑

通常的 PIS 及 PA 系统的系统架构及功能对比如表 1 所示。

表 1 系统架构及功能
Tab. 1 System architecture and functions

	类型	PIS	PA	相似度
架 构	机房	服务器	广播控制主机	基本一致
	大厅	工作站	工作站	一致
		N/A	广播控制盒	特有设备
	站台	播控器	广播控制器	基本一致
		LCD 屏 /LCD 屏	N/A	特有设备
		N/A	扬声器	特有设备
功 能	中心端功能	集中管理、信息采编、播放管理、运营信息播放等	集中管理、话筒广播、预置语音广播等	基本一致
	站台功能	接收、解析中心下发的播放计划	接收、解析中心下发的任务并行播放	基本一致
接 口		调度管理系统	调度管理系统	一致
		时钟系统	时钟系统	
		有线传输系统	有线传输系统	
				

由表 1 可以看出，PIS 与 PA 系统除去几个特定设备及功能外，其系统结构、系统接口及系统功能大部分一致。因此，本文提出一种 PIS 与 PA 融合的智能轨道快运系统 PIS 系统。该系统由中心子系统、车站子系统、车载子系统、有线传输系统和综合无线通信系统组成（图 1）。其中，有线传输系统提供中心至车站的有线传输通道，综合无线通信系统提供车 - 地无线传输通道，二者为整个 ART 提供信息传输通道。

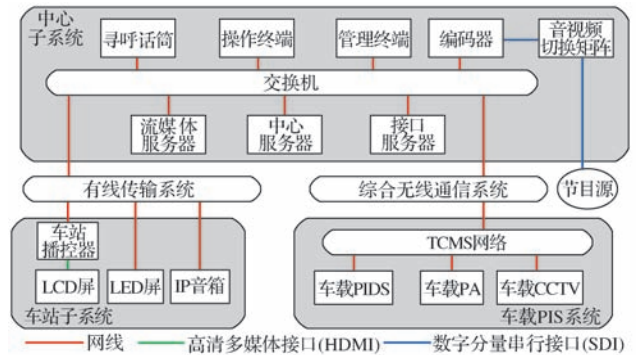


图 1 PIS 系统结构

Fig. 1 Structure of the PIS system

1.1 中心子系统

中心子系统实现信息发布、数据处理和视频编播，

其采用全数字架构，主要设备包括中心服务器、接口服务器、流媒体服务器、操作终端、管理终端、直播数字电视编码器、音视频切换矩阵和寻呼话筒。

中心服务器提供乘客信息服务，集中管理 PIS 与 PA 业务，并对系统设备进行管理和实时监控。中心服务器上运行 PIS 系统融合平台软件，其采用 B/S 架构，由融合模块提供 Web 服务，工作站通过 HTTP 协议访问该 Web 服务，实现了原有 PIS 和 PA 的业务功能。

接口服务器提供对外系统接口，包括调度管理及时钟等外部系统，也包括车载子系统等内部系统。

流媒体服务器以流式协议（RTP/RTSP，MMS 和 RTMP 等）对外提供流媒体服务。

操作终端用于多媒体编辑、预览、发布 / 控制及调看等业务，同时用于对车站各个广播区的广播进行选区、编组等操作。

编码器用于对接收的数字信号进行编码处理。

音视频切换矩阵用于节目源的切换选择。

网络寻呼话筒对指定车站的广播区进行广播喊话并监测音箱在线状态。

1.2 车站子系统

车站子系统可接收控制中心下发的各种多媒体信息与控制指令，实现各类乘客服务信息的终端发布和对车站设备的控制。系统采用全数字架构，设备主要包括车站播控器、LCD 屏、LED 屏和 IP 音箱。

车站播控器为站级控制设备，负责站台 LCD 屏、LED 屏、IP 音箱的管理与控制。可根据控制中心命令执行信息的显示及语音的播报。

LCD 屏主要用于发布媒体广告、文本信息、车站应急信息及车站信息等的显示，支持远程开关机。

LED 屏主要用于发布车站信息、文本信息及车站应急消息等信息显示，支持远程开关机。

IP 音箱为语音播报设备，可根据环境音量或时间段进行音量调节。

1.3 车载子系统

车载子系统实时接收控制中心的视音频信息、控制信息及车辆运行信息，通过车载控制器进行混编和合成，并在本列车的所有列车终端显示屏上实时播放。车载子系统由车载 PA 系统、车载乘客信息显示系统（passenger information display system，PIDS）和车载闭路电视系统（closed circuit television，CCTV）组成：

（1）车载 PA 系统包含车内扬声器、紧急报警器、车外扬声器及广播控制盒等，为乘客及司机提供语音

服务。

(2) 车载 PIDS 系统包含动态地图、客室 LCD、车外侧 LED 和车内 LED 等设备, 为乘客提供导乘信息及多媒体播报服务。

(3) 车载 CCTV 系统包含客室摄像机、司机室摄像机、后视摄像机、后视屏、视频存储器和监控触摸屏等, 为司机及运营人员提供及时的视频信息。

车载子系统采用全数字方案, 所有设备的数据通过列车控制与管理系统 (train control and management system, TCMS) 以太网传输, 减少了全车布线量, 提升了抗干扰能力^[4]; 采用冗余配置, 两端控制器互为热备份, 当一端出问题后, 另外一端会自动升为主控而进行工作, 不会影响整个 PIS 系统的正常工作; 采用满足 UIC 568-1996 通信协议的音频总线作为备用总线, 保证了紧急情况下语音的正常播报。

1.4 有线传输系统

有线传输系统由交换机 (中心级与站台级) 以及网络管理设备组成, 是通信系统的重要子系统, 为自动控制管理系统提供信息通道。

1.5 综合无线通信系统

ART 选用 LTE (long term evolution) 或 LTE-M (LTE-Metro, 用于地铁的 LTE) 方案作为车地间综合业务承载方案^[5]。其中, LTE 方案结构简单、维护方便且节省投资、无需申请频段、无需建设基站, 但网络可靠性相对较差; 自建 LTE-M 方案通信质量较高, 可提供多样化服务种类, 但建设投资较高, 且需考虑后期的运营维护及需要申请频段等问题。

智轨综合无线通信系统由车载子系统和地面子系统组成。地面子系统包括核心网 (选用 LTE 方案时由运营商提供)、基站 (选用 LTE 方案时由运营商提供)、网管系统、调度台、调度服务器、录音系统、网络交换机和路由器等。车载子系统由列车无线接入单元 (train access unit, TAU)、车载天线、车载台和合路器等设备组成。

智轨综合无线通信系统的特点在于车载端仅需更换车载台及 TAU 即可适用于 LTE-M 或 LTE 网络, 满足不同项目的需求。

2 PIS 系统功能

PIS 系统根据业务功能可分为系统通用功能、PIS 模块、PA 模块和车载子系统 4 个部分。

2.1 系统通用功能

2.1.1 系统管理

PIS 系统具备分级权限管理功能, 实现用户账户和

权限的分离管理。针对每个普通操作员 ID, 配备相应的等级及权限, 分配到各调度岗位和各区间站进行使用。

PIS 系统终端设备可以接收中心的参数配置及软件更新数据等, 并可根据车站应急指令下发紧急信息。获得授权的操作员可以查看、修改设备参数, 监控设备运行状态。

日志功能包含操作员日志、媒体播控日志、广播日志和视频监控日志。

2.1.2 网络管理

PIS 系统可以对中心设备、车站设备和站台终端进行监控, 包括运行模式、设备状态及报警等信息。

系统采用集中告警管理方式:

- (1) 可以对告警级别进行分类设置;
- (2) 可以对告警进行屏蔽, 可以选择按告警码、地址、设备、管理员以及持续时长等条件进行屏蔽设置;
- (3) 可以对告警进行恢复。

2.1.3 预案及联动

针对某些异常或特殊场景, PIS 系统提供预案管理功能, 可以对预案进行创建、修改、删除、查询及发布操作。

PIS 系统提供了完整的应急信息管理功能。通过实时下发如火灾、交通拥挤及列车意外停运等应急信息来引导用户进行规避风险。

2.2 PIS 模块

2.2.1 中心编播管理

PIS 系统可对整条线路的 PIS 业务设备进行独立、完整的管理控制, 提供优先级设置、模板管理、播放计划管理等功能。

PIS 业务的运行模式包括正常、录播、降级和单点故障 4 种^[6]。

(1) 正常模式。由控制中心直接组织信息播放并控制终端显示设备, 车站设备在接收同步播放列表和节目内容的同时处于热备份状态, 即车站设备在接收控制中心信息时随时监测系统状态, 与控制中心保持同步。

(2) 录播模式。当有线传输系统出现带宽受限或拥堵, 利用晚上停止运营后的时间进行传送或通过移动存储媒介导入节目, 可预先将停运时间设置好, 到达停运时间后自动触发该操作。

(3) 降级模式 (应急模式)。当中心故障或网络通信中断以及系统检测到非法入侵时, 受到影响的车站设备迅速自动转入降级模式, 按已接收到的播放列表和节目内容自行组织播放。

(4) 单点故障模式。当个别终端显示设备与系统

通信中断时,通信中断的终端设备按照无输入显示方式运行,其余设备按照原有模式运行。

信息管理包括信息分类、信息接收和处理、信息安全。信息优先级管理中设置了以下5级:

- (1) 1级(最高级),为最高级别的紧急事件信息;
- (2) 2级(高级),经操作员触发的插播信息;
- (3) 3级(普通级),列车运营组织相关的信息;
- (4) 4级(低级),与列车运营组织无关的服务信息;
- (5) 5级(最低级),为填补播出节目不足而组织播放的临时信息。

平台模板功能中,可以按照多种板式将整个车站显示终端屏幕划分成多个逻辑区域,每个区域可以展示不同媒体内容。操作员可以任意定制模板以满足实际运营需要。

播表功能中定义了在某段时间播放媒体的列表,由中心服务器下发给车站播控器,车站播控器解析播表并按照其指令来执行播放媒体文件。

PIS系统中可定义模板、制定播放计划并下发给车站播控器,由车站播控器解析播放计划并按照其指令来执行播放工作,该系统还支持播放计划的预览功能。

2.2.2 车站播放控制

车站设备可接收中心子系统下发的播放计划及运营信息,输出给显示终端播放,同时具备文件断点续传功能。车站设备可保存中心子系统下发的播放计划及运营信息,在中心子系统故障时,按照保存的播放计划在本站显示终端上自动播放并进行日志记录。还支持同车站上下行方向显示屏显示不同的内容,不同车站播放不同的内容。

信息显示支持以下触发方式:

- (1) 在指定位置始终显示,可在部分屏幕上固定位置上显示的内容;
- (2) 按照节目表安排显示,可按照单独的播放列表在不同屏幕的不同区域进行显示;
- (3) 由操作员触发显示,可由操作员编辑或选定预定义信息在指定位置显示;
- (4) 由其他系统触发显示,系统还可根据其他系统的信息显示相关内容;
- (5) 降级显示,当系统故障时自主显示预定义信息。

由中心子系统的工作站预先定义各车站需要发布的紧急信息以及播放规则,同时保存在车站播控器中进行存储。

2.2.3 车载 PIDS 控制

PIS系统借助综合无线通信系统的高数据速率通道对车载PIDS系统进行管理,实现以下功能:

- (1) 媒体文件远程更新、播放计划、紧急消息下发;
- (2) 告警收集、设备状态收集;
- (3) 实时监看播放界面;
- (4) 开关屏及音量调节^[7]。

2.3 PA 模块

PIS系统对各个站台、停车场等进行业务上的信息广播,发生紧急情况时能进行应急广播通知,空闲时能播放背景音乐等。

2.3.1 广播选区

PIS系统可根据运营需求对车站设备进行灵活的控制:

(1) 编组广播模式。PIS系统能实现全线任意车站和任意广播区的组合,并向已设定的固定组合广播区域进行广播。

(2) 单选广播模式。PIS系统能向任意车站内的任一区域、多个区域、全部区域进行广播。

2.3.2 广播播放模式

广播播放设置有自动广播、话筒广播、预录制语音广播和应急广播4种模式。

(1) 自动广播。PIS系统可接收信号系统发送的到站信息数据包,自动启动预录制语音信息,在相应车站播出列车预到站、到站、发车等信息。

(2) 话筒广播。中心调度人员在操作终端选择话筒广播后,可使用对应配置的音频话筒进行广播。

(3) 预录制语音广播。PIS系统具有预录制语音的功能,当操作员选取预录制语句作广播时,系统可自动使用相应的录音语句进行广播。

(4) 应急广播。在紧急情况下,如火灾、车辆事故等情况时,PIS系统可自动或由中心调度人员手动启动应急广播组织指挥、疏导乘客安全撤离。

广播优先权顺序一般为人工广播、应急广播、自动广播及预录制广播。

2.3.3 通用功能

PIS系统具备编辑语音文件及播放计划、监视站台广播设备状态等功能。

编程模式,可实现控制中心人工对车站广播的编组、语音合成信息键位与内容设定等。

监控模式,可显示全线各车站及广播区的工作、空闲及故障状态。

监听模式，可选择监听全线车站的任一广播区的广播内容，监听音量可调。

任一区域自动直播/广播：通过控制中心软件的设定，可单独或区域选择等任意组合控制广播的前端设备，播放不同的内容，不同组合之间互不干涉。

2.4 车载子系统

2.4.1 车载 PA 系统

车载子系统通过实时接收信号系统传输给 TCMS 系统终点站 ID、下一站 ID、起点站 ID、速度、距离等“车辆运行”信息，实现车辆预存储数字语音全自动广播。

司机通过 TCMS 系统 HMI 触摸屏选择起始站，车载子系统结合 TCMS 发送的起始站 ID、终点站 ID、当前站 ID、实时速度、时间和开关门信息，实现半自动报站广播；通过激活端司机台上 TCMS 显示屏上的按钮，实现报站广播；可通过激活端广播控制盒上的麦克风对客室内/外进行人工广播。

车载子系统自动接收综合无线通信系统车载台的控制激活信号，将从控制中心接收的音频信息通过车载广播系统对乘客进行广播，无须司机授权或干预^[8]。

当遇到紧急情况时，如发生火灾、严重故障等，司机可以通过 TCMS 系统的 HMI 选择相应的紧急广播信息进行播报，PIS 控制主机将预先录制好的信息内容通过客室扬声器播放。

两个司机室之间可实现半双工通话。乘客可通过车辆客室内乘客紧急对讲装置实现与司机通话，同时监控触摸屏将监视画面切换到报警的客室对应的摄像机画面。司机在驾驶室可通过客室扬声器进行监听，当乘客紧急对讲或者司机室对讲功能被激活时，该监听扬声器优先播放对讲的声音；当对讲结束时，恢复对客室广播的监听。

车载子系统还支持数字语音本地存储功能。

2.4.2 车载 PIDS 系统

车载 PIDS 系统为司机及乘客提供必要的旅行信息。

车载 PIDS 系统设有前端目的地 LED 显示器，用于指示线路号和终点站；设有动态地图用于显示目的地、到站站名、下一站站名、开门侧（左或右）及其他宣传文字；设有车外侧 LED 显示器用于服务车外乘客，显示车辆的线路号和终点站等信息。

车载 PIDS 系统通过客室动态地图显示线路信息及提示乘客到站信息。

车载 PIDS 系统通过客室 LCD 显示屏播放实时媒体文件，也可预先存储媒体播放节目。系统可接收紧急情况触发指令，使车辆所有客室 LCD 显示屏全屏显示

相应预案处理信息，同时停止播放所有的商务广告、娱乐节目。

2.4.3 车载 CCTV 系统

司机通过监控触摸屏选择查看各车厢的监控情况（包括司机室）。当检测到操作客室门紧急解锁时，监控触摸屏自动跳转到解锁所在车厢的监控画面；当检测到司机台开门动作时，监控触摸屏自动跳转到开门车厢对应的监控画面；当客室内乘客紧急对讲装置触发时，监控触摸屏切换到报警的客室对应的摄像机画面。

车载 CCTV 系统对司机室摄像机及客室摄像机所拍摄到的画面进行全程录像，并将影音文件进行本地存储。

车载 CCTV 系统车载视频可通过综合无线通信系统实时上传至控制中心的视频监控系统终端。

车载 CCTV 系统在两端司机室左右外侧各安装 1 个后视摄像机，在两端司机室内 A 柱上各安装一个后视屏，便于司机在路口转弯时观察路况显示。4 个后视摄像机代替了常规 4 个后视镜，从而实现对车辆侧面和所有车门状态的监视。

3 PIS 系统特点

智能轨道快运系统 PIS 系统具备如下特点：

（1）实现中心、站台设备的配置优化，实现对原有 PIS 及 PA 系统的统一监控、集中运维，减少了硬件投资，降低了运维成本。表 2 示出以最小化控制中心和 1 个车站设备融合前后设备数量的对比。参照既有项目配置，采用本方案成本降幅可达 15%~25%。

表 2 节约设备对比
Tab. 2 Comparison of equipment cost saving

序号	名称	原有数量	融合方案数量	说明
1	中心服务器	2	1	节约 50% 服务器设备
2	操作员工作站	2	1	节约 50% 工作站设备
3	PIS 播控器	2	1	车站播控器融合，节约播控器数量
4	PA 播控器	1		
5	LCD 显示屏	2	2	前端设备保持一致
6	LED 显示屏	2	2	前端设备保持一致
7	IP 音箱	2	2	前端设备保持一致

（2）实现原本独立的 PIS 系统、PA 系统及车载子系统的数据的集中存储和管理，更大程度地实现业务数据的融合，为后续对数据的分析等功能提供基础。

（3）车载子系统与信号、综合无线通信系统基于 TCMS 网络进行数据传输，实现了多专业数据通信共用一套网络，减少了设备数量及安装空间；同时，由综合无线通信系统 TAU 实现网络地址转换（net address translation, NAT）功能^[9]，将每列车内网 IP 地址一对一转换为外网 IP 地址，整合了车载三层网络交换机的

功能，精简了系统架构。

（4）车载 CCTV 系统的后视设备基于模拟视频信号，相比数字信号传输，延迟更小，可辅助驾驶员应对更复杂的路面情况。

（5）车载 CCTV 系统基于全高清 1080P 数字信号，能更好地辅助司机及调度人员观察运营情况。

4 结语

本文对智能轨道快运系统 PIS 系统方案进行了详细描述，并从系统结构、功能及其特点等方面进行了说明，为相关项目的建设提供了参考。

随着 ART 的逐步推广以及信息化的不断深化，项目对 PIS 系统的功能需求趋于多样化、复杂化。后续将持续升级相关产品及技术，实现 ART 的安全运营、智能化运营：

（1）智能运营。在车载端对车载 CCTV 系统实时视频进行智能化边缘计算，实现对车辆人员密度过高、异常行为、异常物品等的识别，通过人机交互单元提示司机，并由 PIS 系统向站台乘客提供是否换乘其他车次的建议，以提供更加舒适的乘车体验^[10]。

（2）系统可靠性。车载 CCTV 存储的视频信号对于发生交通事故等异常情况的后续追查极为重要，但目前采用的 SATA 硬盘及 SSD 固态硬盘均有各自的优缺点。由于智轨电车直接运行在城市路面，与快速公交系统（bus rapid transit, BRT）的运行环境类似，后

续可采用“SSD 固态硬盘+SATA 硬盘”结合的存储方案，结合两种存储方案的优点，以保障关键监控数据的安全可靠。

（3）系统可用性。后视摄像机及后视屏选用分辨率不低于 720P 的模拟高清产品，提升后视系统分辨率及司机驾驶感受。

参考文献：

[1] 陈楠桦. ART：中运量城市轨道交通的新解决方案[J]. 交通建设与管理, 2017(11): 72-75.

[2] 张恒. 浅析城市智能轨道快运系统设计要点[J]. 智能城市, 2018(4): 106-107.

[3] 何华. 轨道交通 PIS 与 PA 资源共享设计[J]. 中国科技信息, 2017(24): 88-90.

[4] 温晋锋, 尹琛. 低地板有轨电车乘客信息系统设计[J]. 铁路技术创新, 2013(6): 82-84.

[5] 张钦洋, 陈永生. 基于 LTE-M 的地铁 PIS 的媒体系统[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(5): 223-225.

[6] 张昕. 城市轨道交通乘客信息系统更新改造及关键技术研究[D]. 天津：天津大学, 2018.

[7] 汪晓臣. 轨道交通车载乘客信息系统技术方案设计与研究[C]// 第十一届中国智能交通年会学术委员会. 第十一届中国智能交通年会论文集. 北京：电子工业出版社, 2016: 1153-1159.

[8] 张弓升, 郭秀清, 陈永生. 基于 LTE-M 的地铁车载乘客信息系统研究与设计[J]. 微型机与应用 2017, 36(11): 102-105.

[9] 檀森林, 张永跃. 城市轨道交通乘客信息系统车载局域网组网方案探讨[J]. 通讯世界, 2019, 26(3): 45-46.

[10] 王慧, 郭玉臣, 钱双龙. 智能车载乘客信息系统设计[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(5): 174-178.

（上接第 86 页）通过引入语音交互技术，为调度人员、司机提供便捷的信息交互手段，提高工作效率。

（4）互联互通^[13]。智轨电车作为城市道路交通的一种方式，需要加强与道路交通管理部门、公交或地铁、道路基础设施的对接，加强信息共享，提高联动效率，进而提高城市交通整体运输能力。

参考文献：

[1] 张恒. 浅析城市智能轨道快运系统设计要点[J]. 智能城市, 2018, 4(4): 106-107.

[2] 喻智宏, 孙吉良, 申大川. 有轨电车通信信号技术与智能交通系统[J]. 城市交通, 2013(4): 44-51.

[3] 闫利栋. 现代有轨电车站组合定位关键技术研究[D]. 兰州：兰州交通大学, 2016.

[4] 李博睿. 轨道交通通信业务及承载方案分析[J]. 中国新通信,

2019(6): 12-13.

[5] 巢国平, 刘玉刚, 卞春. 面向中运量公交的信号优先方案设计及应用[J]. 科技经济导刊, 2018, 26(21): 9-12.

[6] 黄辉. 基于 TDD-LTE 技术的城市轨道交通车地无线通信网络技术[J]. 城市轨道交通研究, 2016(4): 29-33.

[7] 张其强, 钱晓予, 孙蕾, 等. 有轨电车信号优先控制策略——以松江为例[J]. 交通与港航, 2017(3): 27-30.

[8] 章瑀. 有轨电车交叉路口信号优先策略研究及其 VISSIM 仿真实现[D]. 成都：西南交通大学, 2017.

[9] PARK S S, CHO H R, KIM Y, et al. Signal Timing Calculation Model of Transit Signal Priority using Shockwave Theory[J]. Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 2015, 35(4): 897-905.

[10] 张杨杨. 现代有轨电车交通信号优先控制技术[D]. 北京：北方工业大学, 2017.

[11] 金久强, 王浩. 北京地铁 6 号线行车综合自动化系统设计与实现[J]. 铁路计算机应用, 2015(8): 56-60.

[12] 钟章队, 黄靖茹, 李斌, 等. 智能通号技术在城市轨道交通中的应用[J]. 都市快轨交通, 2016(3): 5-12.

[13] 程世东. 京津冀交通一体化[J]. 综合运输, 2015(1): 38-41.