

有轨电车通信信号技术与智能交通系统

Signal Communication System and Intelligent Transportation System of the Tram

喻智宏¹, 孙吉良², 申大川²

(1.北京城建设计研究总院有限责任公司,北京 100037;2.北京全路通信信号研究设计院有限公司,北京 100073)

Yu Zhihong¹, Sun Jiliang², Shen Dachuan²

(1. Beijing Urban Engineering Design & Research Institute CO., LTD., Beijing 100037, China; 2. Beijing National Railway Research & Design Institute of Signal & Communication CO., LTD., Beijing 100073, China)

摘要: 通信信号系统是指指挥轨道交通行车、保证列车运行安全、提高运输效率、传递交通信息的重要设施。首先研究了有轨电车的运营基础,并结合通信信号系统归纳有轨电车的主要特点及通信信号系统关键技术。总结了国内外有轨电车通信信号系统的主要构成,重点介绍沈阳市浑南新区有轨电车通信信号系统概况。最后提出有轨电车智能交通系统的概念,并阐述其主要功能及系统构成。

Abstract: The signal-communication system commands the vehicles of rail transit, ensures the security of operation of vehicles, improves the efficiency of transportation and sends traffic information. This paper discusses the tram's foundation of operation and summarizes the main characteristics and the core technologies of the signal-communication system. Then the paper describes the components of the signal-communication systems both at home and abroad, focusing on the signal-communication system of Huainan New Area in Shenyang. Finally, the paper proposes the concept of Intelligent Transportation System of the tram, and elaborates its principal functions and components.

关键词: 有轨电车; 通信信号; 运营基础; 应用案例; 有轨电车智能交通系统

Keywords: tram; signal communication; operational foundation; application case; Intelligent Transportation System of the tram

中图分类号: U482.1 文献标识码: A

收稿日期: 2013-06-06

作者简介: 喻智宏(1964—), 女, 湖北武汉人, 大学本科, 高级工程师, 主要研究方向: 通信信号。

E-mail: yuzh@buedri.com

0 引言

有轨电车曾是北京、上海等城市重要的公共交通工具。大连、长春等城市至今仍保留有轨电车线路, 大连是中国保留有轨电车线路最多、经营最完善的城市, 有轨电车已经成为大连的特色旅游资源。新建的天津市滨海新区、上海市浦东张江开发区有轨电车项目采用胶轮导轨电车。沈阳市浑南新区正在建设中国规模最大的有轨电车网络, 并将采用中国北车长春轨道客车股份有限公司生产的100%低地板车辆, 该型车辆的出现为中国有轨电车车辆的自主研发打开了大门。目前, 北京、上海、天津、深圳、广州、南京、沈阳、重庆、成都、苏州、宜春、泉州、三亚、六盘水、遵义、烟台、平顶山、泰州等城市均在建设有轨电车系统, 预计至2020年, 中国将建设2 000 km的有轨电车线路。在世界范围内, 很多城市也正在改建或新建有轨电车线路, 例如法国斯特拉斯堡市、瑞士日内瓦市、西班牙巴塞罗那市等, 均以发展有轨电车作为城市的新型绿色事业, 并完成了有轨电车系统技术的更新换代。

通信信号系统是指指挥轨道交通行车、保证列车运行安全、提高运输效率、传递交通信息的重要设施, 是轨道交通最为重要的机电系统之一。通信信号技术水平是轨道交通现代化的重要标志。有轨电车交通的通信信号系统, 既秉承传统通信信号系统的作用, 也被赋予了特殊的运用需求和适用的技术条件。本文试图分析有轨电车的运营基础, 研究有轨电车通信信号系统的关键技术, 并以较大的视野研究基于通信信号技术的有轨电车智能交通系统的构成梗概。

1 有轨电车运营基础

中国地铁与轻轨交通发展迅速，技术先进。其先进的建设理念、技术及各种经验的积累，一定有益于有轨电车交通的发展。也正因为如此，有轨电车的建设，尤其是机电系统的建设，往往也容易带有地铁与轻轨技术的印记。因此，研究有轨电车通信信号技术时，可以充分利用地铁与轻轨的有关技术，但其立足点应基于低运量、共享路权及人工驾驶模式。

独立路权下的城市轨道交通在中国具有成熟的建设与运营经验，行车安全通过列车自动防护系统保证，列车运行管理由列车自动监控系统完成，并可具有列车自动运行及无人驾驶系统；通信系统由传输、无线、公务与专用电话、视频监控、广播、时钟、乘客信息等系统以及各种配套系统设备组成。该种线路平均站间距约1 km，列车最高运行速度可达 $80\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ，平均旅行速度可达 $35\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上，行车间隔可达80~90 s，甚至60 s。

遵守道路行车规定是有轨电车安全行车的主要运营基础，并决定着有轨电车的行车管理方式以及通信信号构成、信号显示及控制模式。有轨电车的运行模式是基于人工驾驶、目视线路状态行车。由于有轨电车与行人、其他交通方式混行，时而穿越道路平面交叉口，致使其最高运行速度通常不超过 $70\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ，平均旅行速度为 $20\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ，甚至更低。因此，有轨电车通信信号系统实现的功能及系统的复杂程度均低于地铁与轻轨系统。由于有轨电车共享路权的运行模式，其运行环境的各种不确定因素又远多于地铁与轻轨系统。

有轨电车站规模小而且简单，又多为无人值守，站台的主要功能是乘客上下车及发布方便乘客出行的向导信息。保障有轨电车运行的机电设施，包括通信信号设备，应避免设于站台及运行线路上。

2 通信信号系统关键技术

有轨电车主要属性为轮轨交通，采用人工驾驶、共享路权的运行模式，安全技术、道岔控

制、信号优先控制及信号显示是有轨电车通信信号系统的关键技术。

2.1 安全技术

有轨电车自诞生以来，运行事故时有发生，使得驾驶人、乘客、行人以及其他道路使用者受到很大伤害。近10年，仅欧洲6家有轨电车运营商即报告1.9万起事故，造成3 050人伤亡^[1]。文献[1]同时指出低地板车辆与一辆卡车相撞使车内人员每乘客公里数的受伤风险为 10^{-9} 。另外，由于有轨电车紧急制动减速度约为 $2.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ^[2]，约为地铁车辆的1倍，紧急制动造成的受伤风险为 10^{-7} 。可见，关注紧急制动造成的潜在风险是十分必要的。然而，在当前技术水平条件下，如何减轻驾驶人的劳动强度，监督有轨电车的运行速度、追踪间隔，给予驾驶人意义明确的信号显示及安全通过道路交叉口的指示，协同驾驶人安全行车是有轨电车通信信号系统的主要功能。换言之，通信信号的设计理念应不托辞于驾驶人负责行车安全，而应主动减轻驾驶人对于行车安全的压力。在这种情况下研究有轨电车的运行安全以及通信信号系统的安全等级，是通信信号系统应关注的焦点，属于有轨电车通信信号系统的关键技术。

2.2 道岔控制

有轨电车的道岔控制^[3]方式与地铁、轻轨相比具有明显不同。其中，正线道岔控制包括集中控制、驾驶人遥控以及利用弹簧式道岔三种方式，通过列车运行的挤压力进行道岔位置转换。

1) 正线道岔控制。

正线道岔控制基本可分为三种方式：

① 集中控制^[4]。有轨电车接近道岔区域时，轨道占用检测设备检测出有轨电车的位置，通过车地无线通信将有轨电车的信息发送至地面控制设备，地面控制设备控制转辙机自动办理相应进路，道岔集中控制有利于降低驾驶人的劳动强度、提高列车运行效率。

② 驾驶人遥控。有轨电车进入道岔控制区域后，并自动取得控制权后，驾驶人通过操作车载设备，遥控道岔转换至需要的位置，道岔自动锁闭、信号开放；车辆驶出道岔控制区域后自动失去对道岔的控制权。

③ 弹簧道岔。道岔控制单元提供道岔状态监视功能,并通过数据传输网络传送至调度中心。旧式有轨电车的弹簧式道岔不具备道岔状态监视功能,在运力较小时,采用弹簧道岔不失为一种较经济的方式。

2) 车辆段/停车场道岔控制。

根据车辆段的规模、有轨电车出入基地的频率,确定车辆段/停车场道岔采用计算机联锁集中控制、驾驶人遥控、弹簧道岔等不同的控制方式。由于有轨电车在车辆段/停车场的运行速度一般低于 $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,且多属于空车行驶,需认真研究其联锁设备的功能、安全等级以及设备的冗余度。但是,安全准则包括正线涉及行车的设备安全完整性等级,均不得无端降低。

2.3 信号优先控制

有轨电车的客运能力通常优于公共汽车,其行驶路线多为城市主干路。因此,有轨电车在道路平面交叉口的运行模式及控制方式对于交通安全、各种车辆的快速与均衡运行非常重要。有轨电车在道路平面交叉口优先通过是通信信号系统的重要功能之一,其设备主要包括:轨旁道口优先权单元、车地无线通信单元和列车定位单元。有轨电车线路与城市道路交叉口的运行模式可分为:

1) 主干路与主干路的道路平面交叉口,即城市道路交通量与有轨电车所在道路交通量相当的道路平面交叉口。

该类型交叉口的控制原则是在确定有轨电车按规定速度通过交叉口的最小绿灯时间的前提下,采用常规信号控制并保证有轨电车顺利通过交叉口,简称最小绿灯原则;换言之,主干路与主干路的交叉口宜采用均衡通过策略。由于有轨电车要求有足够的行车间隔以及较强的运行规律、预计到达交叉口时间的可预见性以及具有较大运行惯性的特点,该类型交叉口在采用均衡通过策略的同时,给予有轨电车必要的信号优先或适度优先通过交叉口的权利。

2) 主干路与次干路道路平面交叉口,即城市道路交通量稍低于有轨电车所在道路交通量。

该类型交叉口的控制需要协调主干路与次干

路的地面交通关系,允许有轨电车相对优先通行。即有轨电车运行前方的交叉口交通信号已亮红灯或黄灯时,维持道路原有交通信号控制方式不变。若有轨电车到达交叉口时,对应的信号为绿灯,可延长绿灯显示时间,直到有轨电车通过交叉口。实施相对优先时,应考虑有轨电车与公共汽车运行的动态环境,以取得较好的交叉口控制效果。

3) 主干路与支路道路平面交叉口,即城市支路交通量明显低于有轨电车所在线路交通量。

对主干路采用绝对优先的控制方式,即交叉口信号控制持续或较长时间对主干路有轨电车保持通行,支路保持禁止通行,当支路检测到一定范围内的机动车到达时,交叉口信号控制才允许支路车辆通行,在支路放行期间检测到有轨电车到达时,即控制信号灯进行转换操作。

2.4 信号显示

有轨电车以人工驾驶为主,驾驶人通过目视行车是确定有轨电车信号显示制度的基础。信号灯显示形式多种多样,大致是红、黄、绿三色,附以箭头、秒计时等显示方式,可基本满足有轨电车的运营需求。

由于有轨电车运行在不同等级的道路上,可能会出现未设道路交通信号的现象。特别是在道岔区域,有轨电车驾驶人按道岔指示器显示行车,其显示距离及显示方式具有较大的特殊性,为便于驾驶人识别和有效操作,有轨电车设置独立的信号显示体系,有助于驾驶人的规范操作和运行秩序的保持。因此,在遵从道路交通信号显示行车的基础上,设置与道路交通信号联锁的有轨电车专用信号显示体系。由于信号显示涉及行车安全,所以信号显示体系也纳入关键技术范畴。

目前,中国尚无有轨电车专用信号显示的规定。图1为阿尔斯通公司有轨电车专用信号显示在欧洲的使用实例,其中,信号机“|”表示进路开通,有轨电车放行;“—”表示禁止有轨电车通行;三角形灯显示闪光信号、其下方横向指示灯亮时表示列车在车站停车;当调度中心同意列车出站后,三角形灯显示稳定灯光,横向灯光变成纵向灯光,允许列车发车。

3 通信信号系统应用案例

3.1 国外

国外有轨电车在欧洲发展较早，技术水平较高。其中，阿尔斯通 (ALSTOM) 和 西 门 子 (SIEMENS)公司提供的系统较具有代表性。

1) ALSTOM。

与有轨电车系统配套的通信及监控系统主要包括数据传输、无线、视频监视、广播及乘客信息等子系统。其通信信号系统(见图2)主要包括：①列车位置自动检测系统。用以完成列车的定位；②列车自动监控系统 ATS(Automatic Train Supervision)。主要完成行车指挥及车站、车辆段/停车场的列车到达管理。ALSTOM 公司ATS系统的重要特点之一是结合有轨电车与其他公交车辆混行的特点，实现有轨电车及公共汽车调度的资源共享和调度共管；③联锁设备及基础设施的控制管理。ALSTOM 公司将有轨电车系统采用的联锁及轨旁设备，均定义为安全设备；④道路交叉口监控与优先设备等。ALSTOM公司将通信信号系统也称为信息系统。

2) SIEMENS。

SIEMENS公司提出了有轨电车系统模块化设计原则。该原则基于信号、通信和运行控制技术提出，以适应不同运营及技术等级等级的需求。为实现列车自动设置进路、检测列车位置，

预告道路交叉口、车站以及获取道路交叉口优先信号、更新车站旅客信息等功能需求，SIEMENS 公司有轨电车通信信号系统包括4个互相独立的子系统：①运行控制和行车调度系统；②乘客信息系统；③信号系统；④通信系统。

在借鉴国外技术研究中国有轨电车系统时，应注意国外有轨电车的路权与中国有轨电车混合路权的概念不同^[5]。如德国，将有轨电车系统与轻轨系统分为四级，各级之间没有明确的界限，存在有轨电车可以运行在全封闭或部分封闭的轻轨线路上，也可以运行于共享路权的有轨电车线路上的情况。当列车运行在轻轨线路上时，正线信号系统采用闭塞行车，具有 ATP 超速防护功能，进路办理均由调度中心完成。当列车运行在共享路权的线路上时，则切除 ATP 功能，由驾驶人目视行车。

3.2 中国

中国有轨电车的发展速度异常迅猛，对其系统功能与构成的理解虽各有千秋，但对于通信信号系统构成的认识基本一致。本文以沈阳市浑南新区有轨电车工程所采用的通信信号系统^[6]为例进行简要说明(见图3)。

3.2.1 通信系统

浑南新区有轨电车通信系统以满足运营需求为主体，可实现运营监视、车辆段/停车场广播及



图1 有轨电车专用信号显示
Fig.1 Special signal of tram

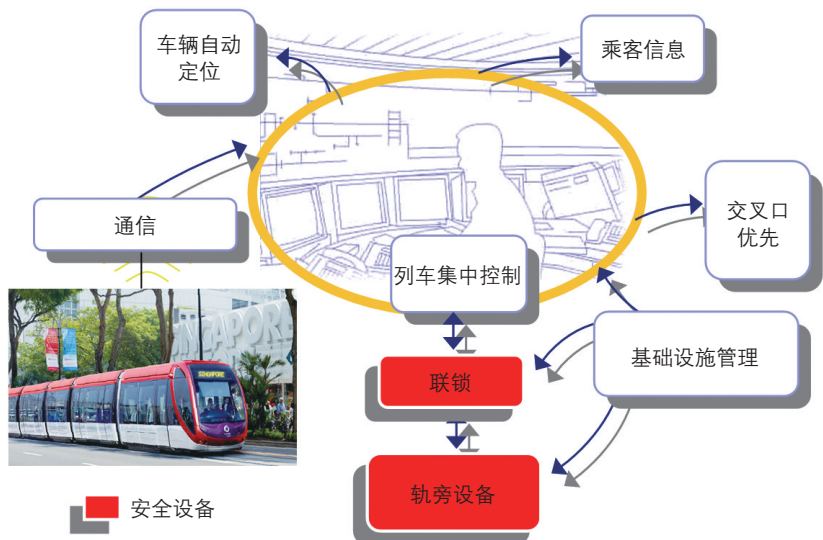


图2 ALSTOM公司有轨电车通信信号系统
Fig.2 Signal communication system of ALSTOM

时间统一等功能。其中,传输、公务电话、专用电话、闭路电视、无线调度等是运营必备的子系统。考虑到车辆段/停车场及综合交通枢纽行车值班员、停车列检库运转值班员向室外或库内流动生产人员发布作业命令的需要,设置了车辆段/停车场及综合交通枢纽广播系统。设置时钟系统为各系统设备提供统一的时间信号,为中心调度员、车辆段/停车场及综合交通枢纽值班员及乘客提供统一标准时间。

3.2.2 信号系统

浑南新区有轨电车信号系统主要包括正线道岔控制系统、运营调度指挥系统、正线信号显示系统、车辆段/停车场计算机联锁系统、道路平面交叉口控制系统、调度中心系统和车载设备。

1) 正线道岔控制系统。

正线采用驾驶人通过车载设备遥控道岔的方式。系统不具备列车追踪、车载设备防护等功能,驾驶人按照地面道岔表示器显示,驾驶列车通过道岔。正线道岔区段采用电子标签、感应环的方式实现空闲检查。

2) 运营调度指挥系统。

调度中心通过正线道岔控制系统、车载定位跟踪系统、车载智能终端以及无线设备实现有轨电车运营调度管理。主要作用是实现调度营运计划及配车计划管理,包括车辆调度、运行监视以及司乘考勤、统计报表等功能。

3) 正线信号显示系统。

正向运行道岔表示器采用红、绿、黄三种颜色显示,红色横杠显示表示禁止信号;绿色竖杠显示表示道岔开通直向并锁闭;黄色斜杠显示表示道岔开通侧向并锁闭,其中,左倾45°表示道岔开通左侧,右倾45°表示道岔开通右侧。反向运行道岔表示器采用红白显示,红色横杠显示表示禁止信号;白色竖杠显示表示道岔已经锁闭,列车处于反向运行状态。

4) 车辆段/停车场计算机联锁系统。

车辆段/停车场采用二乘二取二计算机联锁系统,车辆可对车辆段/停车场内调车作业进行集中控制,实现车辆段/停车场内进路上的道岔、信号机和轨道区段的联锁,保证调车作业及出入车辆

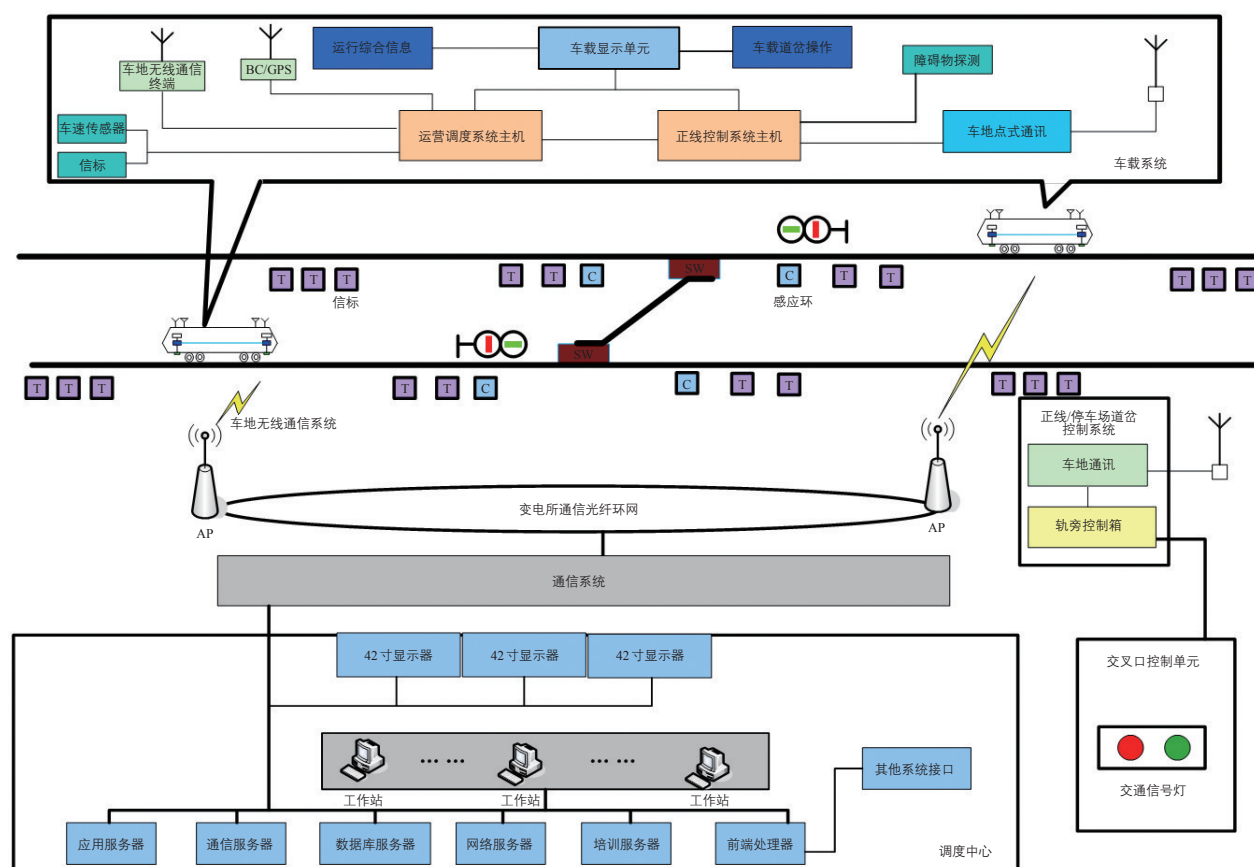


图3 沈阳市浑南新区有轨电车通信信号系统构成

Fig.3 The component of signal-communication system of Huainan New Area in Shenyang

段/停车场作业的安全，并能向调度中心发送各种表示信息。

5) 道路平面交叉口控制系统。

浑南新区有轨电车线路经过多处道路平面交叉口，既与社会车辆交叉，也存在有轨电车自身的交叉线路。系统主要实现有轨电车与社会车辆道路平面交叉口运行控制，并与交通管理部门共同完成道路平面交叉口信号系统的功能扩充，实现各种交通方式有序、高效通过交叉口。道路平面交叉口控制方式分为两种：①有轨电车依据道路平面交叉口交通信号相位行车；②通过有轨电车信号系统与交通信号接口，交通信号为有轨电车开放专用相位，避免有轨电车与社会车辆冲突。

6) 调度中心系统。

调度中心系统包括主机及调度员、时刻表编辑、培训与维修等工作站与综合显示屏以及运营调度终端等设备。

① 综合显示屏。用于显示全线列车运行、道岔及进路表示器等设备状态，由DLP(数字光处理)显示屏和工作站组成。

② 调度员及时刻表编辑工作站。分别用以显示行车细景信息及时刻表编辑、显示等功能。运营调度终端设于交通枢纽的行车调度室，实现本线调度营运计划管理、车辆运行监视、司乘考勤、安全管理、服务管理以及统计报表等功能。

7) 车载系统。

车载设备由车载道岔操作盘、车载控制主机及信标识别单元等组成。

① 车载道岔操作盘。安装于车辆两端驾驶室，是人机交互接口，主要用于驾驶人办理前方进路。

② 车载控制主机。包括运营调度主机及正线控制系统主机，是车载设备的核心单元，为双机冗余结构，用以处理各单元模块数据，并将处理结果反馈到相关单元模块或行车作业人员。

③ 信标识别单元。用于读出安装在地面道岔区域的无源电子标签，实现关键区域冗余定位。

4 有轨电车智能交通系统的设想

中国有关有轨电车信息化、自动化的系统尚无合适的名称可用，传统、分专业的称谓方式，

如通信、信号等，虽然具有便于理解系统的构成及功能的优点，但也存在不能反映新技术或新系统构成模式及内涵的缺点。全世界范围内广泛推出的智能交通系统是将信息技术、数据通讯传输技术、电子控制技术、传感器技术以及计算机处理技术等有效地综合运用用于交通体系，构成实时、高效的交通综合管理系统，其发展的方向与有轨电车交通技术的发展方向一致。为此，本文借用智能交通系统的概念与名称，将有轨电车信息自动化系统称为有轨电车智能交通系统(ITS-T)。

有轨电车系统与地铁、轻轨系统相比，具有站间距较短、旅行速度低，线路布设于城市道路、与机动车及行人混行的特点。因此，有轨电车行车规律性较差、行车组织较为困难，客运能力相对较低。而构建ITS-T的目标是实现有轨电车正常运行、提高行车组织效率、保障列车运行安全，并建立与相关外系统的链接，构成信息化、自动化的城市综合交通系统。

4.1 主要功能

有轨电车与地铁、轻轨差异较大，设计ITS-T系统时，应基于人工驾驶模式、灵活的运营组织方式，定制符合有轨电车特点的ITS-T系统。经归纳，较为完善的ITS-T系统应具有以下功能：

1) 列车定位功能。有轨电车的定位可以利用GPS/北斗卫星、无线、地面应答器、速度传感器、地面信息环路、计轴器以及铁路传统的轨道电路等多种方式实现列车的定位。为克服环境的干扰，实现实时及精确定位，宜综合利用多种定位手段。

2) 道岔控制功能。系统应有完善的道岔控制逻辑，保证列车对使用的道岔具有唯一的控制权，并具备安全有效的道岔区域列车占用出清检测功能及列车闯红灯报警提示功能，以实现列车安全、有序的通过道岔。

3) 道路平面交叉口优先通过功能。赋予有轨电车一定的优先权，提高道路平面交叉口的利用率，力求实现道路平面交叉口的障碍物检测，保证列车在交叉口的运行安全。

4) 运营调度与列车追踪管理功能。通过车辆定位实现跟踪运行，并通过调度中心及车载智能终端实现运营调度管理。保证有轨电车安全、正

点运行及与其他车辆的协同运行。

5) 乘客信息管理功能。通过调度中心协调,以车站、车辆显示终端为媒介,向乘客提供全方位的信息服务。主要功能是为站台、车上乘客提供实时的线路和车辆运行信息以及与其他城市道路公共交通、地铁、轻轨线路的换乘信息。

6) 售检票管理功能。包括车上/车下售检票统计、分类及不同卡类(公交一卡通、银行卡)进入有轨电车系统的管理范畴。

7) 通信功能。包括有线/无线传输、有线/无线电话、视频监视以及时钟等功能。

8) 应急事件安全与管理功能^[7]。主要指管理人员通过视频监视系统获知应急事件,并通知驾驶人;通过无线通信系统实现有轨电车对其他有轨电车、有轨电车与基础设施的通信,向驾驶人提出建议或发出危险事件的警告,提高驾驶人预警能力,减少事故发生概率。

9) ITS-T拓展功能。主要涉及与通信信号相关的系统,包括乘客信息、供电及售检票等系统接入ITS-T而设置的功能。

10) 资源管理与运营维修功能。包括有轨电车系统的人力资源、物业资产、财务会计、商业合同等各种业务以及运营维修管理等功能。

11) 随着系统集成能力的提升,以某一线路的ITS-T系统为基础,立足有轨电车线网需求,综合利用信息传输网络,实现不同线路有轨电车的跨线运行,并实现与其他ITS系统的信息联通与协同运行。

4.2 系统构成

为实现上述功能,ITS-T系统构成如图4所示。系统主要由系统平台、定位、运营调度与列车追踪、综合客运、通信、功能拓展、应急事件与安全、资源管理与维修管理、网络管理等子系统构成。

系统平台主要实现所有子系统的协调与信息共享管理。综合客运子系统主要用于与其他公共交通方式的信息交换处理。网络管理子系统包括地面有线、无线传输及车地无线传输系统,用于实现运营调度中心与车站、车辆段/停车场间及车地之间的语音、数据及图像信息的传输及网络管理。随着通信技术的发展,无线传输技术将在ITS-T系统中发挥越来越大的作用。其他各子系统功能如前文所述。

5 结语

本文根据有轨电车控制系统的特点及需求,总结有轨电车通信信号系统的关键技术。由于有轨电车通信信号系统不具备列车自动防护和自动驾驶功能,且与其他道路交通车辆混行,因此提出通信信号的设计理念不应托辞于驾驶人负责行车安全,而应主动减轻驾驶人行车安全压力的系统设计理念,有助于提高通信信号系统构成的完整性和运营的安全性。

本文提及的某些功能,如应急事件管理与安全功能,虽然是必备功能,但目前尚无切实可行的方案,有待ITS-T研究者进一步优化、完善。

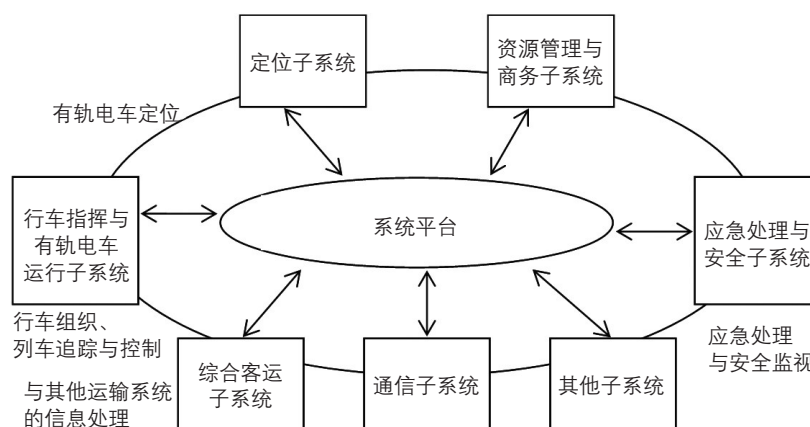


Fig.4 ITS-T system

参考文献:

References:

- [1] Markus Hecht, 祝华. 有轨电车和轻轨车辆的防碰撞性[J]. 国外铁道车辆, 2005(5): 39-41.
Markus Hecht, Zhu Hua. The Crashworthiness of Tramcar and LRV[J]. Foreign Rolling Stock, 2005 (5): 39-41.
- [2] 北京市基础设施投资有限公司, 北京城建设计研究总院有限责任公司. 北京市现代有轨电车技术标准[Z]. 北京: 北京市基础设施投资有限公司, 北京城建设计研究总院有限责任公司, 2010.
- [3] 唐贾言. 现代有轨电车的运营控制系统[J]. 自动化应用, 2010(12): 1-7.

- [4] 铁道第三勘察设计院集团有限公司. 佛山市南海区新型公共交通系统试验段初步设计[R]. 天津: 铁道第三勘察设计院集团有限公司, 2013.
- [5] 卫超, 顾保南. 欧洲现代有轨电车的发展及其启示[J]. 城市轨道交通研究, 2008(1): 11-14.
- [6] 北京城建设计研究总院有限责任公司. 沈阳市浑南新区现代有轨电车一期工程1、2、3、5号线初步设计[R]. 北京: 北京城建设计研究总院有限责任公司, 2012.
- [7] 田大新, 李斌. 美国 IntelliDriveSM[C]//中国智能交通协会. 中国智能交通行业发展年会鉴. 北京: 电子工业出版社, 2011.

(上接第57页)

- [2] Campbell B J, Zegeer C V, Huang H H, Cynecki M J. A Review of Pedestrian Safety Research in the United States and Abroad[R]. FHWA-RD-03-042, Washington DC: Federal Highway Administration (FHWA), 2004.
- [3] Geoplan Urban & Traffic Planning. Evaluation of Pedestrian Road Safety Facilities[R]. Sydney: Road Safety Bureau, Roads & Traffic Authority, 1993.
- [4] NZ Transport Agency. Pedestrian Planning and Design Guide[R]. Wellington: NZ Transport Agency, 2009.
- [5] Nicholson A, Koorey G. Planning and Design of Sustainable Transport Lecture Notes (Part I: Walking) [M]. Christchurch: Department of Civil & Natural Resources Engineering, University of Canterbury, 2010.
- [6] GB 5768.3—2009 道路交通标志和标线 第3部分: 道路交通标线[S].
- [7] Dixon M A, Jacko J A. An Investigation of Tactile and Visual Stimuli in the Roadway Environment[J]. Perceptual and Motor Skills, 1998, 87(2): 387-394.
- [8] 何勇, 唐琤琤, 张铁军, 等. 道路交通安全技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [9] Institute of Transportation Engineers. Design and Safety of Pedestrian Facilities: A Recommended Practice of the Institute of Transportation Engineers [R]. Washington DC: Institute of Transportation

Engineers, 1998.

- [10] 杨晓光, 孙明正, 张海军, 等. 城市道路交通设计指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
Yang Xiaoguang, Sun Mingzheng, Zhang Haijun, et al. Manual of Urban Traffic Design[M]. Beijing: China Communications Press, 2003.
- [11] Federal Highway Administration. Dutch Pedestrian Research Review[R]. FHWA-RD-99-092, Washington DC: Federal Highway Administration, 1999.
- [12] Cairney P. Pedestrian Safety in Australia[R]. FHWA-RD-99-093, Washington DC: Federal Highway Administration (FHWA), 2004.
- [13] Institute of Transportation Engineers. Designing Walkable Urban Thoroughfares: A Context Sensitive Approach[M]. Washington DC: Institute of Transportation Engineers, 2010.
- [14] Land Transport Safety Authority. Crash Reduction Monitoring Reports: Install Pedestrian Refuge and/or Bulbous Kerbs[R]. Wellington: Land Transport Safety Authority, 1994.
- [15] CJJ 37—2012 城市道路工程设计规范[S].
- [16] GB 50688—2011 城市道路交通设施设计规范[S].
- [17] 焦蕾稚. 关注行人过街设施[J]. 交通与运输, 2004(5): 24-25.
- [18] GB 50220—1995 城市道路交通规划设计规范 [S].