

现代有轨电车系列丛书

现代有轨电车 运行安全控制系统

中车唐山机车车辆有限公司 组编
曹源 张天白 杨雪峰 刘威伟 等编著



- ◎ 现代有轨电车项目决策参考
- ◎ 现代有轨电车系统解决方案
- ◎ 现代有轨电车工程建设实施指导



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

——系列丛书

现代有轨电车 运行安全控制系统

中车唐山机车车辆有限公司 组编

曹 源 张天白 杨雪峰 刘威伟 金春日
刘 霞 马连川 谢恩强 李 鹏

编著



机械工业出版社

本书从现代有轨电车的信号系统、信号优先控制及通信和相关弱电系统三个方面,就信号系统中的调度指挥中心子系统、正线岔道控制子系统、平交道口优先控制子系统、车载控制子系统、车辆段控制子系统和维护检测子系统的结构、组成和功能,以及通信系统中的通信传输系统、无线通信系统、语音服务与控制系统、乘客安全信息系统和弱电系统等方面进行了较为详细的介绍,以帮助读者了解和掌握现代有轨电车运行安全控制系统的基础知识,确保有轨电车的安全运行,提高运输效率。

本书可供学习和开发现代有轨电车运行安全控制系统的人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代有轨电车运行安全控制系统/中车唐山机车车辆有限公司组编;曹源等编著. —北京:机械工业出版社, 2017. 10

(现代有轨电车系列丛书)

ISBN 978-7-111-58083-6

I. ①现… II. ①中… ②曹… III. ①有轨电车—交通运输安全—研究 IV. ①U482.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第234774号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:何月秋 责任编辑:何月秋

责任校对:佟瑞鑫 封面设计:马精明

责任印制:张博

三河市国英印务有限公司印刷

2018年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·9.5印张·220千字

标准书号:ISBN 978-7-111-58083-6

定价:59.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

“现代有轨电车系列丛书” 编写委员会

主 任 吴胜权

副主任 黄振晖 王贵国

委 员 (排名不分先后, 按拼音排序)

曹 源 常胜利 董伟力 付稳超 杲晓锋

赫宏联 黎冬平 李 虎 刘威伟 孙桐林

王冬卫 王艳荣 王兆家 杨雪峰 臧晓艳

张 华 张建华 张天白 赵 云 周福林

“现代有轨电车系列丛书” 审查委员会

主 任 侯志刚

委 员 周军年 尹叶红 陈 亮 黄烈威 周新远

王文平 郭良金 李 娇 叶 彬 王洪奇

杨 光 甄大伟 张晓海



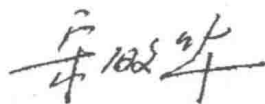
序

当前，我国城镇化进程正在不断推进，随着城市数量和规模的不断扩大，交通拥堵、环境污染及能源短缺等问题也日益突出，大力发展城市轨道交通已成为大多数城市的共识。现代有轨电车作为一种现代化交通方式，已在欧洲成功实现复兴，并逐渐成为当前国内关注的热点，许多城市都开始积极规划和建设有轨电车，天津泰达、上海浦东、沈阳浑南新区和苏州高新区等已相继开通了现代有轨电车系统。

《国务院关于城市优先发展公共交通的指导意见》中明确的总体发展目标是：科学研究确定城市公共交通模式，根据城市实际需要合理规划建设以公共汽（电）车为主体的地面公共交通系统，包括快速公共汽车、现代有轨电车等大容量地面公共交通系统，有条件的特大城市、大城市有序推进轨道交通系统建设。有别于传统有轨电车，现代有轨电车在控制、牵引供电和车辆技术上进行了更新，其载客量适中、安全舒适、快速便捷、节能降噪特点更加凸显，是城市轨道交通中低运量的典型制式，适合于大城市城市轨道交通网络的补充，中小城市和新规划城市的城市公共交通的骨干交通。因此，现代有轨电车将在我国迎来更大的发展。

现代有轨电车已被证明是一种成熟、安全的技术，但与所有交通制式一样，现代有轨电车自有其适用范围，过度夸大它的作用和放大它的缺点都不是科学的做法，唯有扎实做好基础工作才能保障现代有轨电车的持续健康发展。但我国现代有轨电车的相关工作还比较薄弱，存在着缺少建设实施标准、缺乏规划建设统筹和功能定位界定不清等问题，迫切需要更多的研究来推动相应产业和技术的发展。

本系列丛书是对2016年出版的《城市现代有轨电车工程基础》的进一步完善，更加深入地介绍了现代有轨电车工程的理论体系，包括前期规划设计、商务合作模式、建设施工、通信信号工程、机电工程、车辆制造和运营管理等内容。书中内容更加翔实，对人们全面系统地了解现代有轨电车系统及其配套工程具有较高的参考价值。



中国城市轨道交通协会副会长兼秘书长
中国城市轨道交通协会现代有轨电车分会会长

我国地铁与轻轨的迅速发展,使得与之相应的信号和通信技术也趋于先进、实用,这些先进的技术、理念和各种经验的积累有益于有轨电车交通的发展,正因为如此,有轨电车的运行控制系统也往往带有地铁和轻轨技术的印记。具有混合路权、低运营成本等一系列优点的现代有轨电车的信号、通信系统也有其独有的特点。

现代有轨电车的信号系统由正线/车辆段道岔控制信号联锁、平交道口控制子系统、行车指挥子系统及车载控制子系统等组成。现代有轨电车的通信系统由通信传输系统、语音服务与控制系统、无线通信系统、乘客安全信息系统、管理系统和支持系统等共同组成,构成传送语音、数据、图像和多媒体等各种信息的综合业务通信网。

现代有轨电车的信号系统有两个目标:一是确保有轨电车运行安全,二是提高运输效率。其主要功能需求如下:

- 1) 更好地发挥和提升现代有轨电车项目在公共交通体系中的重要作用,提高有轨电车综合效能。
- 2) 提高有轨电车运行速度,提出合理、实用、便于实施的有轨电车信号优先设计方案。
- 3) 有效地指导驾驶员驾驶,减少有轨电车的延误。
- 4) 在关键路段保证有轨电车具有较高的安全水平。

现代有轨电车通信系统的目标:一是满足多平台的信息传输,二是具备较高的服务质量(QoS)。其主要功能需求如下:

- 1) 紧密联系有轨电车系统内部的各个子系统,提高整个系统的运行效率。
- 2) 为运行控制、运营管理、指挥和监控等提供信息传输的平台。
- 3) 在突发情况下,有效实现应急处理、抢险救灾和反恐的需求。
- 4) 尽可能地为乘客提供有效的信息服务。

现代有轨电车的信号与通信系统的功能需求也决定了系统的组成和结构,因此本书就信号系统、有轨电车信号优先控制、通信和相关弱电系统等3个方面进行了较为详细的介绍。

本书共分为3篇14章,各章内容及具体编写分工为:第1篇 现代有轨电车信号系统。其中,第1章:信号系统功能,由曹源编写;第2章:信号系统架构和子系统简介,由张天白编写;第3章:信号系统相关设备及其功能,由张天白编写;第4章:有轨电车信号核心子系统详解,由张天白编写。

第2篇 现代有轨电车信号优先控制。其中,第5章:信号优先的研究背景,由曹源编写;第6章:交通信号控制的发展现状,由杨雪峰编写;第7章:有轨电车和城市道路平交道口分析,由杨雪峰编写;第8章:有轨电车信号优先设计,由刘威伟编写;第9章:实际

案例，由刘威伟编写。

第3篇 现代有轨电车通信和相关弱电系统。其中，第10章：通信系统结构，由金春日编写；第11章：通信关键技术，由刘霞编写；第12章：通信传输网，由谢恩强编写；第13章：通信子系统，由张天白编写；第14章：相关弱电系统，由李鹏、马连川编写。

在编写本书时，参考了国内外发表的部分文章、资料和书籍，编者在此对有关作者表示诚挚的谢意。同时，对所有给予本书的指导、支持和帮助的同志们表示感谢！由于编者水平所限，遗漏、不足之处在所难免，欢迎广大读者批评指正，谨表谢意。

编者



目 录

序
前言

第1篇 现代有轨电车信号系统

第1章	信号系统功能	2
1.1	基本结构和功能	2
1.2	高级结构和功能	5
第2章	信号系统架构和子系统简介	8
2.1	调度指挥中心子系统简介	8
2.2	正线道岔控制子系统简介	9
2.3	平交道口优先控制子系统简介	10
2.4	车载控制子系统简介	10
2.5	车辆段控制子系统简介	11
2.6	维护监测子系统简介	11
第3章	信号系统相关设备及其功能	12
3.1	信号系统设备综述	12
3.2	信号系统相关设备	12
3.3	信号系统相关设备的功能分析	16
第4章	有轨电车信号核心子系统详解	19
4.1	调度指挥中心子系统	19
4.2	车辆段控制子系统	26
4.3	正线地面信号子系统	34
4.4	车载控制子系统	40
4.5	维护监测子系统	46

第2篇 现代有轨电车信号优先控制

第5章	信号优先的研究背景	54
5.1	平交道口信号控制的必要性	54

5.2	平交道口信号控制的作用	55
5.3	优先的研究思路	56
第6章	交通信号控制的发展现状	58
6.1	交通信号的控制方式	58
6.2	单交叉口信号控制理论	61
6.3	多交叉口信号控制理论	64
第7章	有轨电车和城市道路平交道口分析	68
7.1	平交道口交通流量分类	68
7.2	有轨电车路权形式分析	70
第8章	有轨电车信号优先设计	72
8.1	概述	72
8.2	有轨电车信号优先设计与研究技术路线	74
8.3	有轨电车信号优先评估指标	76
第9章	实际案例	77
9.1	有轨电车信号优先设计思路	77
9.2	各类型平交道口设备布置及路口相位	81

第3篇 现代有轨电车通信和相关弱电系统

第10章	通信系统结构	94
第11章	通信关键技术	100
11.1	概述	100
11.2	传输系统介绍及对比分析	101
11.3	接入技术	110
11.4	其他通信系统的实现	112
第12章	通信传输网	114
12.1	拓扑结构	114
12.2	传输设备	117
12.3	有轨电车传输模式选择	126
第13章	通信子系统	130
13.1	电话系统	130
13.2	无线对讲系统	131
13.3	闭路电视监控系统	131
13.4	广播系统	131
13.5	时钟系统	132
13.6	乘客信息系统 (PIS)	132

13.7	通信电源与防雷接地	133
第 14 章	相关弱电系统	134
14.1	火灾自动报警系统 (FAS)	134
14.2	环境与设备监控系统 (BAS)	134
14.3	门禁系统	135
14.4	停车场管理系统	135
14.5	售检票系统	136
14.6	运营控制中心	136
14.7	办公自动化系统	137
	参考文献	138

第 1 篇

现代有轨电车信号系统

第 1 章

信号系统功能

与地铁、轻轨相比，有轨电车具有运量小、重量轻、制动距离短等特点，它在不封闭的路面上行车，与市政道路在同一平面上且路口较多。有轨电车的信号系统包括正线信号系统、行车指挥系统、车载信号系统以及车辆段信号控制系统四个部分。结合系统功能的区别，这里给出方案 A 和方案 B 两种方案。其中方案 A 采用基本结构，方案 B 采用高级结构，下面分别予以介绍。

1.1 基本结构和功能

方案 A 的系统结构如图 1-1 所示。

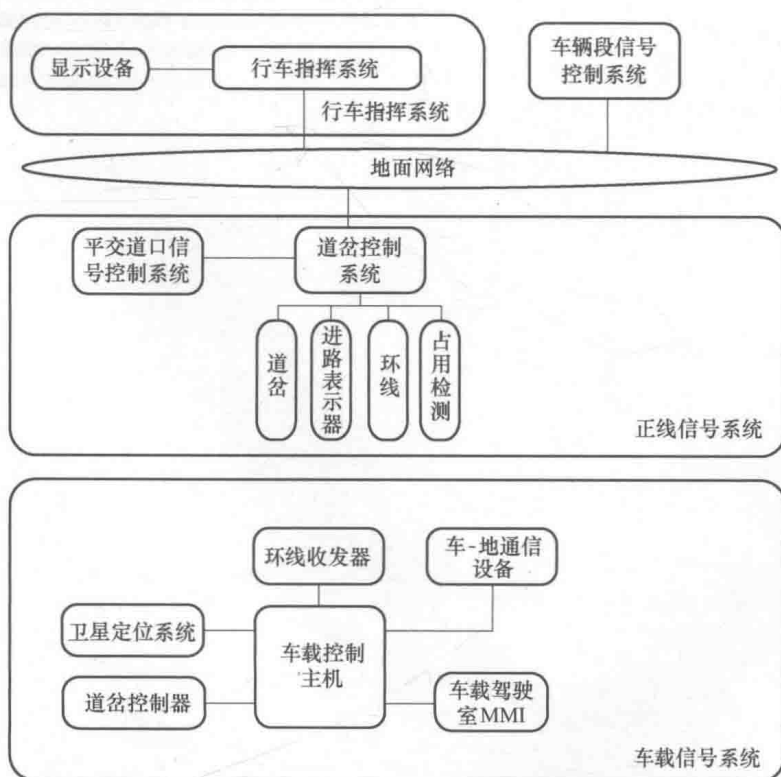


图 1-1 方案 A 的系统结构

方案 A 的系统结构具备以下功能：

(1) 行车信息显示 安装在有轨电车上的车载控制主机通过车-地无线通信设备将有轨电车的位置、速度等信息传递至行车指挥系统；同时，道岔控制系统也将全线的道岔状态信息、进路表示器信息传递至行车指挥系统，这些信息将通过行车指挥系统中心的显示设备清晰地展现给调度人员，以便能够及时掌握全线的线路情况及有轨电车的运行信息。

(2) 故障报警 在车-地通信正常的情况下，车载控制主机可以将自身的故障诊断信息及车辆系统的故障诊断信息（需车载控制主机与车辆系统进行接口）发送至行车指挥系统，并在发生故障时给出提示，以便调度人员能够及时发现车载设备或车辆系统的故障，并进行排除。

(3) 有轨电车到站信息预告 在车-地通信正常的情况下，行车指挥系统可通过车载信号系统获取有轨电车当前的位置，并根据有轨电车的位置向车站乘客信息系统发出有轨电车到站信息预告。通过此项功能，可以使站台上候车的乘客及时获知有轨电车是否已接近站台等运营信息，方便乘客出行。

(4) 运行数据记录 行车指挥系统可通过运行数据记录系统，将系统运行过程中由车载信号系统和道岔控制系统所发送的有轨电车运行信息及道岔位置、进路表示器信息进行全面的记录，并在需要时进行回放，以满足故障分析等需求。

(5) 与其他系统接口 有轨电车信号系统可通过行车指挥系统与综合监控、乘客信息系统等其他系统进行接口，完成信息交互。

(6) 道岔控制 道岔控制器用于控制线路上所布置的道岔。驾驶员可通过设置在车载面板上的道岔控制按钮，对前方道岔位置进行控制。当由于设备故障或其他原因导致不能进行遥控操作时，驾驶员须下车通过道岔控制器终端盒内的现场控制按钮对道岔位置进行选择。

(7) 道岔区域联锁 道岔控制系统负责对道岔区域进行联锁运算。道岔控制系统通过空闲检测设备（如计轴器、轨道电路等）对道岔区域的占用/出清情况进行实时检测，如果道岔区域有车辆占用，则道岔控制器将不响应对当前道岔的转动命令，直至道岔区域出清。

在多组道岔组合布置的区域，道岔控制系统还将对道岔间的联锁关系进行运算，并在判断将出现敌对、抵触道岔的情况时，禁止当前道岔转动到可能导致车辆碰撞、侧冲的位置，保证车辆的安全运行。

(8) 进路表示 道岔控制系统将根据道岔的位置及锁闭情况，控制进路表示器，显示不同的灯位，指导驾驶员行车。

进路表示器采用黄、绿、红三灯位信号机构，其显示及意义如下：

- 1) 绿色灯光——表示道岔已锁闭，并开通直向，准许有轨电车按规定速度运行。
- 2) 黄色灯光——表示道岔已锁闭，并开通侧向，准许有轨电车按规定的限制速度运行。
- 3) 红色灯光——不准有轨电车越过信号机，有轨电车在信号机前停车。

(9) 路口路权控制 在有轨电车与社会车辆交汇的平交道口处，设置平交道口信号控制系统。该系统将通过车-地通信环线获得有轨电车接近平交道口的信息，并与交通管理系统进行接口。

平交道口信号控制系统可实现多种不同的优先权方案：

1) 有轨电车不优先。路口信号控制系统仅向交通管理系统发出有轨电车接近信号, 不对交通管理系统进行任何控制, 有轨电车驾驶员根据行进方向信号灯的情况驾驶列车驶过路口, 或在路口停车等待路灯。

2) 有轨电车优先。路口信号控制系统在收到有轨电车接近路口信息后, 向交通管理系统发出将平交道口处有轨电车方向路权独占的命令, 保证有轨电车第一时间通过路口。当获得有轨电车已完全通过路口的信息后, 平交道口信号控制系统将路口信号机的控制权交回交通管理系统。

3) 部分优先模式。根据线路实际情况及运营需求, 对不同的路口分别进行配置, 即部分路口为有轨电车优先, 部分路口为有轨电车不优先。

(10) 驾驶信息显示及报警 通过安装在驾驶室中的人机界面 (MMI), 信号系统可向驾驶员显示前方道岔状态、有轨电车当前车速及限制速度等信息。当出现超速、前方道岔状态不明等情况时, MMI 会发出声光报警, 提示驾驶员对当前发生的不正常状况给予重视, 并进行处理。

(11) 有轨电车定位 车载控制主机可通过北斗卫星定位系统 (或 GPS) 对有轨电车进行定位, 并将定位信息通过车-地通信设备传递到行车指挥系统中心, 并在中心显示设备上显示。

(12) 有轨电车速度测量 通过北斗卫星定位系统, 信号系统可获取有轨电车的实际运行速度, 并在 MMI 上进行显示, 辅助驾驶员进行有轨电车的驾驶。同时, 从北斗卫星定位系统获得的有轨电车速度值也将发送至行车指挥中心, 方便调度人员了解车辆的实际情况。

根据北斗卫星定位系统提供的位置、速度信息, 车载信号系统还可以对列车是否正在退行做出判断, 并在 MMI 显示出退行信息, 提醒驾驶员注意列车驾驶状态。

有轨电车速度测量及退行提醒功能均需要北斗卫星定位系统及其车载模块通信正常, 如果由于天气等其他原因导致无法获取北斗信息, 则无法给出速度信息及退行提示。

(13) 车载运行数据记录 车载信号系统可通过自身的记录系统记录车辆运行过程中的相关信息, 以备出现故障或进行设备维护时使用。记录的信息包括: 有轨电车运行速度、前方道岔状态、维护诊断信息等。

(14) 车辆段信号控制系统 车辆段信号控制系统主要包括车辆段控制子系统和计算机监测设备。车辆段信号控制系统能对车辆段内的调车作业进行集中控制, 实现车辆段内进路上道岔、信号机和轨道区段间正确的联锁关系, 保证车辆段调车作业及出入段作业的安全。

1) 车辆段控制子系统。车辆段控制子系统的设备主要包括联锁计算机、操作表示机 (即监控工作站)、电务维修终端、应急盘、防雷设备, 以及联锁单元控制台、接口设备等。

车辆段控制子系统可在规定的联锁条件和规定的时序下对进路、信号和道岔实行控制, 确保进路上轨道区段、道岔、信号机之间的安全联锁。对于涉及安全的操作采取安全保证措施, 对于来自操作设备的错误操作具备有效的防护能力。

车辆段控制子系统的功能包括:

- ① 进路建立。
- ② 进路锁闭。
- ③ 进路解锁。

- ④ 信号机监控。
- ⑤ 道岔监控。
- ⑥ 信号设备检测报警。
- ⑦ 系统远程诊断。

2) 计算机监测设备。计算机监测设备通过与站场信息维护机的通信, 获取站场实时信息, 并保存数据。对站场进行实时跟踪和运行回放, 既可以动态跟踪当前的站场信息, 也可以查看过去的作业情况, 并支持手动输入具体时间查询, 支持对回放过程进行人工控制(如暂停、后退等)。

计算机监测设备的功能包括:

- ① 对轨道区段进行全天候地电压检测并记录。
- ② 转辙机的检测, 包括转辙机全程动作电流、动作时间和动作次数等。
- ③ 电缆全程对地绝缘电阻的检测。
- ④ 电源屏监控主机将电源屏的模拟信息和报警信息通过以太网接口传给监测站机。
- ⑤ 电源屏对地漏泄电流监测。
- ⑥ 通过数据接口对 LED 灯丝报警仪传送的监测信息进行显示。

1.2 高级结构和功能

方案 B 的系统结构如图 1-2 所示。

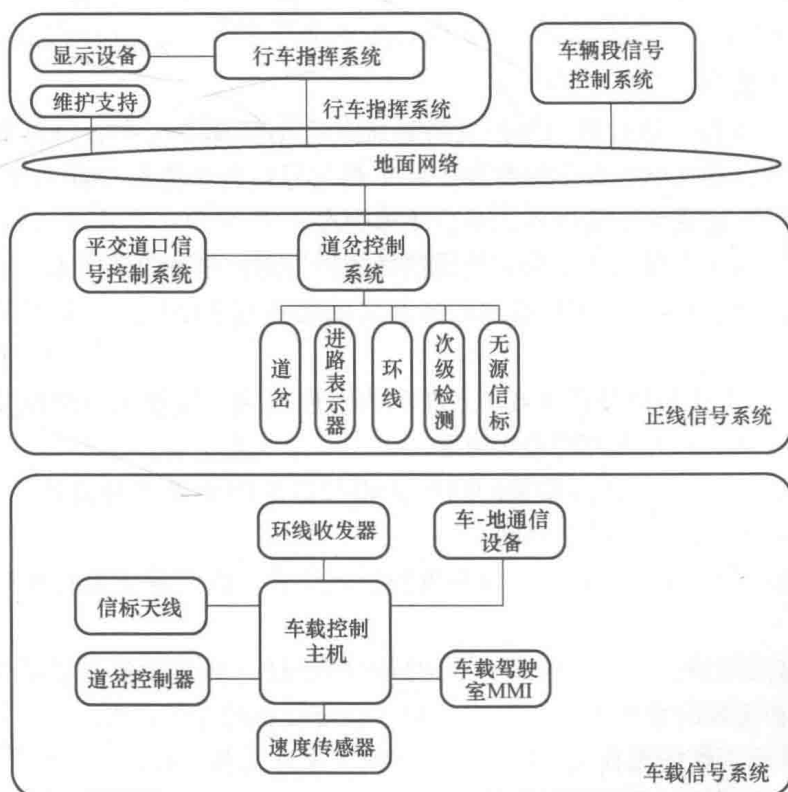


图 1-2 方案 B 的系统结构

方案 B 的系统结构除具备方案 A 的全部功能外, 还具备以下功能:

(1) 行车调度管理 在方案 B 中, 行车指挥系统的功能得到全面加强, 除可对有轨电车运行状态、道岔位置及进路表示器状态进行显示外, 还可以实现运行计划管理、运行图制定、实际运行图绘制、派班管理和有轨电车正点晚点信息管理等诸多功能, 加强了行车指挥系统对有轨电车运营的控制力度。

行车指挥系统以基本运行图/时刻表作为系统指挥有轨电车运行的原始数据。编图人员输入基本运行图/时刻表的基本数据, 如车站数据、站间数据、车辆段数据、交路数据、运行间隔、时间段及可用车辆数等, 系统在计算机辅助下自动完成有轨电车基本运行图/时刻表的编制。运行图将按不同种类存入数据库内, 以备调度员随时调用。基本运行图/时刻表分为平日、节假日、不同季节及每天不同运营时段、临时事件等。

加强后的行车指挥系统所增加的主要功能如下 (但不限于):

- 1) 行车信息显示。
- 2) 有轨电车运行追踪。
- 3) 运行图/时刻表的管理。
- 4) 有轨电车运行查询。
- 5) 站台信息显示与查询。
- 6) 有轨电车运行统计。
- 7) 出入库预告。
- 8) 故障报警。
- 9) 系统管理。
- 10) 历史回放。
- 11) 通信状态监测。

(2) 系统维护支持 通过增加维护支持系统, 行车指挥系统中心可以对全线的道岔控制器、进路表示器、有轨电车占用检测设备及车载信号设备等进行全面的维护、信息管理, 及时发现需要进行维护或维修的设备, 减少故障隐患。

维护支持系统为用户提供了一套完整的信号维护管理的电子解决方案, 具备如下优点:

- 1) 移动交换系统 (MSS) 维护监测服务器采用热备冗余结构, 使得维修支持子系统具备高安全性和可靠性。
- 2) 通过维护网络连接信号系统各子系统的自诊断模块, 提供实时的故障报告, 帮助快速地发现故障, 提高了故障维护的响应速度。
- 3) 迅速定位故障, 并在故障报警的同时提供故障原因的参考和各种技术资料的链接, 快速处理故障, 缩短了故障的排除时间。
- 4) 强大的统计分析结果, 为用户改善维护管理作业, 以及修正制订预防性维护计划提供参考。
- 5) 提供丰富的维护指导, 包括关于维护操作的信息 (异常设备或子系统定位、异常处理的方式、时间和需要的维护人员总数等) 和各系统设备的详细资料。
- 6) 校正性维护工作的流程实现网络化, 规范了工作流程, 提高了工作效率。
- 7) 无纸化工作环境, 实现电子化的资产管理。

(3) 有轨电车精确测速、测距 通过在线路上布置无源信标和在有轨电车上加装信标

接收天线，信号系统可通过自身电子地图信息进行车辆的精确定位，使向行车指挥系统所发送的自身位置更加精确。

在方案 B 中，系统采用了速度传感器作为列车运行速度、方向的测量工具。与北斗卫星定位系统相比，速度传感器所获得的车辆位置更加直接、更加精确，能够对有轨电车的速度变化及运行方向变化做出快速准确的判断。

(4) 分段限速提醒及退行提醒 有轨电车通过无源信标获得自身在线路中的精确位置后，信号系统即可支持对线路的不同区段设置不同限速值的功能。根据线路的坡度、曲率、站台区域及路口区域机的运营要求，可分别设置不同的限速。信号系统车载设备将根据自身所处的位置，及时更新当前限速值，并在 MMI 上进行显示，提示驾驶员以低于限速值的速度进行驾驶，保证有轨电车安全运行。

通过速度传感器，车载信号系统可准确、快速地判断有轨电车是否处于退行状态，当有轨电车发生退行时，可在 MMI 上给出退行提醒。车载信号系统也可以实现在当前车速超过限制速度或进行退行时实施制动的功能，具体的防护策略可根据需求进行定制。

(5) 有轨电车运行信息播报 通过当前使用的计划运行图，行车指挥系统可告知有轨电车即将到达的站台是哪一个，车载信号系统可以与车载广播系统进行接口，并根据行车指挥系统所发送的下一站信息，自动向乘客进行此信息的广播。

(6) 闯红灯防护 为保证前方道岔没有锁闭在正确位置时，有轨电车不会侵入道岔区段，信号系统可通过在进路表示器前方指定的位置增加环线的方式，向接近进路表示器所防护道岔的车辆发送信息。如果有轨电车到达防护用环线时，前方道岔区段仍未正常锁闭并开放，车载信号系统将通过与车辆系统的接口实施紧急制动，防止车辆进入道岔区段，保护车辆安全。防护用环线的位置将根据有轨电车的性能参数、所在线路坡度和曲率等信息进行综合计算。

为实现此项功能，车载信号系统需与列车制动系统进行接口。

(7) 路口路权控制 在方案 B 中，由于行车指挥系统功能的加强，对于有轨电车运行的计划性和正点晚点的要求大幅提高，为保证有轨电车实际运行情况与计划运行图尽可能相符，方案 B 在平交道口处需采用有轨电车优先的路权控制方式。