



城市轨道交通网络 列车运行组织与管理

江志彬 主编
徐瑞华 主审

城市轨道交通网络列车 运行组织与管理

江志彬 主编

徐瑞华 主审



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

轨道交通网络列车运行是以乘客服务为对象,以移动和固定设备为依托,以运营组织技术和方法为手段,以管理方法为保障,实现系统安全、可靠以及高效的运转。本教材在吸取其他编者的精华成果基础上,增加了作者 10 余年课堂教学和科研成果的总结与归纳等内容,有很多原理与方法来源于现场运营经验的提炼与总结。本教材包括轨道交通设施设备、客流、行车计划、列车运行图、能力和列车运行调度等内容,可以作为相关专业的本科生、研究生的教材或教学参考资料,同时,对轨道交通系统相关的政府决策者、工程规划与设计者、运营单位的管理人员都有很好的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通网络列车运行组织与管理 / 江志彬

主编. —上海:同济大学出版社,2018.8

ISBN 978-7-5608-8081-5

I. ①城… II. ①江… III. ①城市铁路—铁路行
车—列车组织 ②城市铁路—轨道交通—铁路运输管理
IV. ①U239.5 ②U292.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 185317 号

城市轨道交通网络列车运行组织与管理

江志彬 主编 徐瑞华 主审

责任编辑 陆克丽霞 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店
排 版 南京新翰博图文制作有限公司
印 刷 常熟市大宏印刷有限公司
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 13
字 数 324 000
版 次 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-8081-5

定 价 45.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

建设城市轨道交通已经成为解决大城市交通拥堵问题的首要选择,我国在经历多年的城市轨道交通快速发展后,越来越多的城市(如上海、北京、广州、深圳等)已经进入了网络化运营的新阶段,针对城市轨道交通系统的列车运行组织和管理理论与方法也需要适应网络化发展的需求。

轨道交通列车运行是以乘客服务为对象,以移动和固定设备为依托,以运营组织技术和方法为手段,以管理方法为保障,实现系统安全、可靠以及高效的运转。列车运行组织过程涉及设施设备管理、客流管理、网络计划、列车开行计划、列车运行图编制、网络能力分析和运营调度指挥等多方面。目前,我国城市轨道交通的网络与客流规模已经处于世界领先,伴随着规模的继续扩展、客流的高速增长、新技术的不断涌现,网络列车的运行组织也一直在不断优化调整,新的问题也不断出现。

教材的更新速度永远也跟不上新的技术与管理方式的变化速度,因此本教材编写的核心思想更多地是想给读者提供解决问题的思路、原理和方法,而不是一味地传授知识。本教材除了吸取其他编者的成果精华外,还有很多内容是作者10余年课堂教学和科研成果的总结与归纳,有很多原理与方法源于现场运营经验的提炼与总结。本书可以作为相关专业的本科生、研究生的教材或教学参考资料,同时,对轨道交通系统相关的政府决策者、工程规划与设计者、运营单位的管理人员都有很好的参考价值。

本书第二章的客流分析部分由邹晓磊老师参与编写,第三章的乘务计划部分由周峰老师参与编写,其他内容均由作者编写整理并完成统稿,最后由徐瑞华教授统一审核。洪玲老师、孙延硕老师以及研究生廖沈美慧、武嘉萌、谷金晶、周旻、饶娅参与了本书部分章节的资料整理、编写和校核工作。本书的编写也得到了上海申通地铁集团有限公司的陈菁菁、周明、苗秋云、张知青以及上海电气泰雷兹交通自动化系统有限公司的胡海虹等业内专家的指导。同时,本书引用了大量国内外作者发表的相关文献以及

国内部分城市(如上海、北京等)轨道交通运营单位的相关运营资料及相关文献。本书的出版得到了同济大学出版社的大力支持。作者在此向他们表示最诚挚的谢意。

由于编者业务视野和学术水平的局限性,本书的内容安排、学术观点难免存在不当或疏漏之处,恳请各位同行、读者批评指正。

为了更好地服务读者,本书同步开通微信服务公众号,有关本书的彩色配图、习题答案、勘误信息将公布在该公众号上。扫描二维码(见封底)即可关注。

江志彬

2018年3月于同济大学

目 录

前言

第 1 章 城市轨道交通网络运营概述	1
1.1 系统构成	1
1.1.1 线路与车站	1
1.1.2 车辆与车辆基地	4
1.1.3 信号系统	6
1.1.4 列车自动控制系统	13
1.1.5 控制中心	17
1.1.6 自动售检票系统	19
1.1.7 乘客信息导乘系统	20
1.1.8 视频监视系统	20
1.1.9 通信系统	20
1.1.10 牵引供电系统	21
1.1.11 环境与设备监控系统	22
1.1.12 防灾报警系统	23
1.1.13 综合监控系统	23
1.2 网络化运营特征	24
1.3 网络列车运行组织和管理	26
1.3.1 网络运营管理概述	26
1.3.2 网络列车运行组织的特性	27
1.3.3 网络列车运行组织与管理的主要内容	29
复习思考题	29
参考文献	30

第 2 章 客流	32
2.1 客流概念	32
2.1.1 客流的定义	32
2.1.2 客流的分类	32
2.2 客流指标	32
2.3 客流计算	39
2.3.1 断面客流计算	39
2.3.2 单线客流计算	40
2.3.3 简单网络客流计算	42
2.3.4 复杂网络客流计算	45
2.3.5 带时间窗的客流计算	46
2.4 客流分析	48
2.4.1 网络客流分析	48
2.4.2 OD 客流分析	50
2.4.3 进出站客流分析	53
2.4.4 换乘客流分析	55
2.4.5 断面客流分析	56
复习思考题	59
参考文献	61
第 3 章 网络行车计划	62
3.1 全日行车计划	62
3.1.1 编制资料	62
3.1.2 编制步骤	64
3.1.3 编制实例	64
3.2 列车开行方案	65
3.2.1 列车编组方案	66
3.2.2 列车交路方案	67
3.2.3 列车停站方案	71
3.3 车辆运用计划	72
3.3.1 车辆运用分类	72
3.3.2 车底运用数量计算	73
3.3.3 车底运用计划	75
3.4 乘务计划	76
3.4.1 乘务计划概述	77

3.4.2	乘务计划编制	79
3.4.3	乘务值乘管理	87
3.4.4	乘务绩效统计与分析	88
3.4.5	网络化运营条件下的乘务计划编制	90
3.5	网络行车计划	91
3.5.1	网络能力配置计划	91
3.5.2	换乘节点协调计划	92
3.5.3	首末班车衔接计划	93
	复习思考题	95
	参考文献	96
第4章	列车运行图	97
4.1	列车运行图概述	97
4.1.1	列车运行图概念	97
4.1.2	列车运行图的图形表示方法	98
4.1.3	列车运行图的类型	99
4.2	列车运行图要素	99
4.2.1	区间运行时分	99
4.2.2	停站时间	101
4.2.3	折返时间	104
4.2.4	换乘走行时间	104
4.2.5	追踪列车间隔时间	105
4.3	列车运行图编制	105
4.3.1	编制要求	105
4.3.2	列车运行图编图资料准备	105
4.3.3	列车运行图编制流程	106
4.3.4	列车运行图指标	106
4.3.5	列车运行图有关规定	108
4.3.6	列车运行图发布与实施	108
4.3.7	列车运行图评估	110
4.3.8	网络列车运行图编制	111
4.4	列车运行图编制理论与方法	111
4.4.1	单一交路运行图编制	111
4.4.2	共线交路运行图编制	115
4.4.3	环形交路运行图编制	118

4.4.4	快慢车运行图编制	120
4.4.5	规格化周期运行图编制	122
4.4.6	有轨电车运行图编制	124
4.5	列车运行图计算机编制	127
4.5.1	需求分析	127
4.5.2	关键问题	128
4.5.3	系统架构	128
4.5.4	发展趋势	128
	复习思考题	129
	参考文献	130
第5章	能力	132
5.1	能力概述	132
5.1.1	通过能力	132
5.1.2	输送能力	133
5.1.3	通过能力与输送能力的关系	133
5.2	线路通过能力	134
5.2.1	线路通过能力的计算原理	134
5.2.2	不同闭塞方式下的通过能力计算方法	135
5.3	折返能力	138
5.3.1	折返能力的计算原理	138
5.3.2	折返能力的影响因素	139
5.3.3	折返能力计算方法	143
5.4	运输能力加强	149
5.4.1	运能运量适应性分析	150
5.4.2	线路通过能力加强措施	150
5.4.3	折返能力加强措施	151
5.4.4	输送能力加强措施	154
	复习思考题	154
	参考文献	155
第6章	列车运行调度	157
6.1	调度指挥体系	157
6.1.1	调度指挥任务	157
6.1.2	调度指挥架构	158

6.1.3	行车规章体系	161
6.2	日常行车调度指挥	163
6.2.1	正常情况下的行车组织	163
6.2.2	非正常情况下的列车运行组织	165
6.2.3	非运营列车作业	168
6.2.4	突发情况下的行车组织	169
6.2.5	行车作业标准和标准用语	170
6.3	延误条件下列车运行调整策略	170
6.3.1	运行延误分类	171
6.3.2	列车运行延误传播特点	173
6.3.3	列车运行延误的影响	174
6.3.4	减缓列车运行延误的措施	174
6.3.5	列车运行调整策略	176
6.4	突发事件应急处置	181
6.4.1	应急管理	181
6.4.2	突发事件	182
6.4.3	应急预案	184
6.4.4	应急处置的基础工作	186
6.4.5	突发事件应急处置流程	187
	复习思考题	189
	参考文献	189
	附录:专业词汇英汉双解	191

第 1 章

城市轨道交通网络运营概述

城市轨道交通(Urban Rail Transit, URT)是指采用专用轨道导向运行的城市公共客运交通系统,包括地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统、自动导向轨道系统、市域快速轨道系统^[1]。城市轨道交通的安全高效运营离不开可靠的设备和相关支持系统,也需要高效的运营管理手段来支撑。

1.1 系统构成

城市轨道交通系统主要由设施设备和运营管理人员两部分组成。其中,设施设备又包括三个部分:一是由线路、区间、车站、车辆基地、供电以及通信信号等组成的固定设备;二是由若干车辆固定编组而成的车组组成的移动设备;三是支持系统安全高效运营的各类控制与管理系统。

1.1.1 线路与车站

1.1.1.1 线路

城市轨道交通线路由路基、桥隧建筑物和轨道组成,是专供列车行驶用的特殊道路。它除了承受列车的重量外,还要引导列车运行方向。城市轨道交通的轨道和传统铁路有诸多相同之处,但也出现了一些由轨道梁组成的新型城市轨道交通的轨道形式,如低速磁浮轨道、跨座式或悬挂式单轨等。轨道主要包括钢轨、道岔、钢轨扣件、轨枕和道床等。

线路由平面技术参数(如最小圆曲线半径、圆曲线长度、缓和曲线、夹直线等)和纵断面技术参数(如坡度、坡段长度、坡度连接等)组成。按照功能,线路可以分为正线、配线和车场线三类^[2]。典型的城市轨道交通线路配线示意图如图 1-1 所示。

1. 正线

正线为载客运营并贯通车站的线路^[2],当线路分叉时,可细分为干线和支线。一般情况下,在正线上分岔以侧向运行的线路为支线,直向运行的线路为干线。支线通过配线连

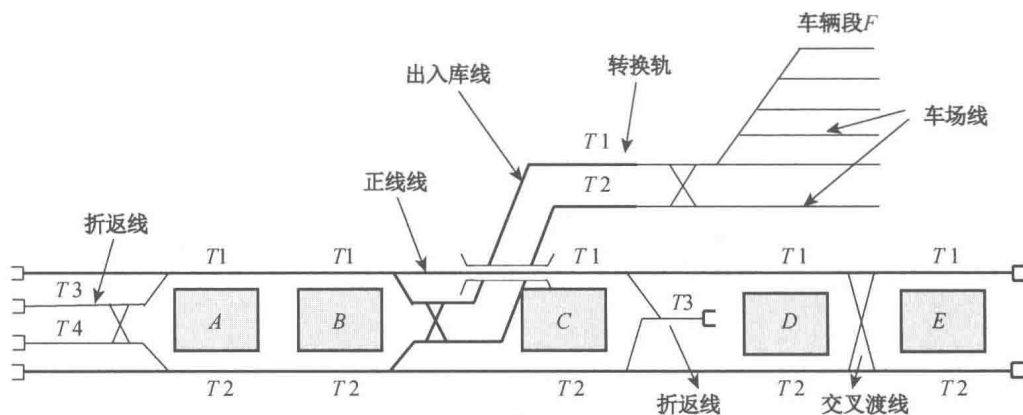


图 1-1 典型的城市轨道交通线路配线示意图

接干线,可混合运行,也可独立运行。为了提高通过能力与保障安全运营,城市轨道交通的正线一般为全封闭线路,按双线设计,分上下行。

2. 配线

配线原称“辅助线”,是指线路中除正线外,在运行过程中为列车提供收发车、折返、联络、安全保障、临时停车等功能服务,通过道岔与正线或配线间相互联络的轨道线路。配线包括车辆基地出入线、联络线、折返线、停车线、渡线和安全线,各种类型的配线及功能见表 1-1。

表 1-1 配线的类型及功能^[2]

配线类型	功能	说明
车辆基地出入线	简称为“出入线”,从正线上分岔引出至车辆基地的线路	出入段的转换轨设置在出入段线上
联络线	设置在两条不同正线之间,为各种车辆过渡运行的线路	可用作车辆送修、车辆调运、运送设备、临时运营服务等
折返线	为列车折返运行的线路	可兼作存车线功能
停车线	为故障列车待避、临时折返、临时停放或夜间停放列车的线路	可用作备用车存放,列车夜间存放等,也可兼作折返线功能
渡线	设置在正线线路左右线之间,为车辆过渡运行的线路。或在平行换乘站内,为相邻正线线路之间联络的渡线	有些渡线可用于列车折返
安全线	对某些配线的尽头线,或在正线上的接轨点前,根据列车运行条件,在设计停车点以外,具有必要的安全距离的线路,以避免停车不准确发生冒进的安全问题	通常在车辆基地出入线或折返线上设置

3. 车场线

车场线是指设在车辆基地(或停车场)内,提供列车停、检、修的线路,或各种维修车辆停放的线路^[2]。车场线以出入段线及其延伸线为基线,以库房功能划分线群。车场线包括检修线、试验线或试车线、洗车线、牵出线等。

运营单位应明确车辆基地线路与正线的分界点和管辖范围,明确正线、配线和车辆基地线路的信号布置、小曲线半径、线路坡度、线路允许速度、道岔、平交道口、高架、桥梁、隧道及联络通道等相关配置及参数^[3]。

1.1.1.2 车站

车站是乘客上下车、换乘的场所,也是列车到发、通过、折返或临时停车的地点^[4]。

车站按运营功能的不同分为终点站、中间站(图 1-1 中的 B、D 站)、折返站(图 1-1 中的 A、C、E 站)和换乘站;按是否具有站控功能分为集中控制站和非集中控制站;按站台形式分为岛式站台车站、侧式站台车站和岛侧混合式站台车站;按客流量大小分为特大型车站、大型车站、中型车站和小型车站(不同城市制定的标准有所不同);按是否有人管理分为有人管理站和无人管理站;按线路敷设方式分为地下站、高架站和地面站。

车站一般由出入口、站厅、站台和生产用房等组成,经由通道、楼梯和自动扶梯将出入口、站厅与站台连接起来。

站台供列车停靠和乘客候车、上下车使用。只有一个站台,且位于上、下行车站正线中间称为岛式站台;有两个站台,且分别位于上、下行车站正线外侧称为侧式站台;同时设置岛式站台与侧式站台,如二岛两侧或一岛一侧称为混合式站台(图 1-2)。

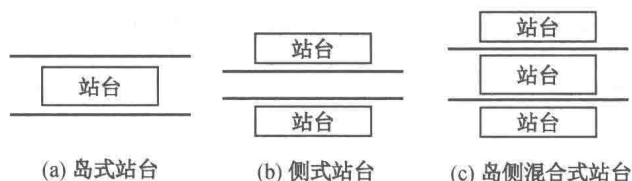


图 1-2 站台的类型

车站生产用房主要分为作业用房、管理用房和设备用房三类。行车、客运作业用房包括车站控制室、售票室、广播室、问询处和休息室等。车站管理用房包括站长室、站务室、票务室、警务室和储存室等。各种设备用房包括通信、信号、自动售检票、变电、环控、屏蔽门、防灾和给排水等设备的用房。

接轨站是一类特殊的车站,其基本特征是将主线与支线进行连通。事实上,从车场连接正线的车站也属于接轨站的一种类型。接轨站在连通型(如 Y 形)线路中具有重要的地位,其配线设计方案对于列车开行以及运营调整方案影响较大。由于列车需要通过接轨站跨线运行,因此接轨站站型设计也相对复杂。

根据车站是否具有折返功能,接轨站可分为无折返功能的接轨站和有折返功能的接轨站(图 1-3)。有折返功能的接轨站,不仅具备开行跨线列车的条件,还具备列车折返的

条件,因此此类接轨站配线数量和道岔等设备较多,车站的作业进路也较复杂。

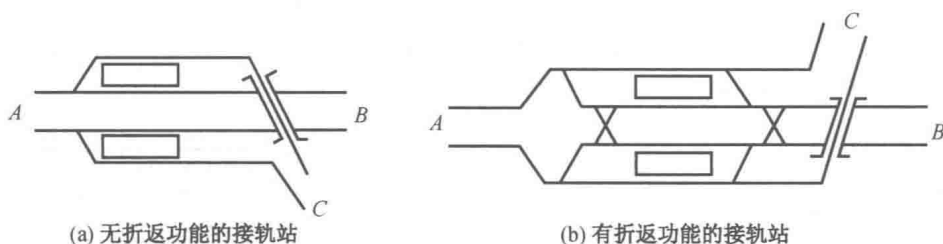


图 1-3 接轨站常用站型图^[5]

运营单位应明确车站与区间的分界点、车辆基地线路与正线分界点和行车管辖范围;设计、建设单位应考虑后期运营管理的需要,配置与运营需求和行车作业相适应的行车设备设施^[3]。

1.1.1.3 限界

限界是指为了确保车辆在轨道上运行的安全,防止车辆撞击邻近线路的建筑物和设备,而对车辆和接近线路的建筑物、设备所规定的不允许超越的轮廓尺寸线。城市轨道交通限界的功能是保障车辆安全运行、限制车辆断面尺寸、限制沿线设备安装尺寸以及确定建筑结构有效净空尺寸,它是构成城市轨道交通安全运输的基本保证之一。限界包括建筑限界、设备限界、车辆限界三种,运营单位需要执行如下规定^[3]:

- (1) 任何情况下建筑物不得侵入城市轨道交通建筑限界;
- (2) 任何情况下设备不得侵入城市轨道交通设备限界;
- (3) 机车、车辆无论空、重状态,均不得超过机车、车辆限界。

1.1.2 车辆与车辆基地

1.1.2.1 车辆

车辆是输送乘客的运载工具,轨道交通车辆不但应具有安全、快速、大容量、节能等功能,还应具有良好、舒适的乘车环境,并在外观设计方面有助于美化城市景观和环境^[4]。

我国城市轨道交通车辆按容量的不同可分为 A 型和 B 型(B 型又细分为 B₁ 型和 B₂ 型)车,不同车型的主要技术规格如表 1-2 所列。

表 1-2 城市轨道交通车辆的主要技术规格^[2]

名称		A 型车	B 型车	
			B ₁ 型车	B ₂ 型车
车辆轴数		4	4	4
车体基本长度 /mm	单司机室车辆	22 000	19 000	19 000
	无司机室车辆	23 600	19 600	19 600

(续表)

名称		A型车	B型车		
			B ₁ 型车	B ₂ 型车	
车钩连接中心点 间距离/mm	单司机室车辆	22 800	19 520	19 520	
	无司机室车辆	24 400	20 120	20 120	
车体基本宽度/mm		3 000	2 800	2 800	
每侧车门数/对		5	4	4	
车门宽度/mm		1 300~1 400	1 300~1 400	1 300~1 400	
车门高度/mm		≥1 800	≥1 800	≥1 800	
载员/人	座席	单司机室车辆	56	36	36
		无司机室车辆	56	46	46
	定员	单司机室车辆	310	230	230
		无司机室车辆	310	250	250
	超员	单司机室车辆	432	327	327
		无司机室车辆	432	352	352
车辆最高运行速度/(km·h ⁻¹)		80, 100	80, 100	80, 100	

注:每平方米有效空余地板面积站立的人数,定员按6人计,超员按9人计。

运营单位应明确车辆设备的基本属性,宜包括车辆选型、编组方式、构造速度、最高运行速度、车门设置、载荷配置、应急疏散及通道门等设置情况。运营车辆保有量应按客运量规模配置。预测客运量规模超过设计预期,运营单位应提前购置所需车辆投入运营,并补充完善相应配套设施^[3]。

1.1.2.2 车组与车底

城市轨道交通车辆通常是编组成列车运行,并且大多采用动拖组合、全列贯通的编组形式。由一定数量的车辆连挂成列、带动力并且有唯一识别号的车辆组合称为车组,实际工作中也称车底^[6]。在运行过程中车组一般不进行解体,一列车组中车辆的节数称为编组辆数。

1.1.2.3 列车

列车是指以正线运行为目的、按规定辆数编成并具有列车标志(车次)的车列,一般配置司乘人员。列车运行主要是指列车在正线上的运行^[4]。在双线行车时,我国地铁列车都是按右侧单向运行(出入库作业过程有可能双向行车),而市郊列车与传统铁路的运行规则相同,按左侧单向运行。

列车按用途分类,可分为载客列车、空驶列车、轧道(巡道)列车、调试列车、救援列车和施工列车等。

在行车组织工作中,根据列车运行图上列车车次号、运行线的颜色或线型显示来识别

运行在轨道交通线路上的各类列车。受不同城市行车管理规则以及不同线路信号制式的差异影响,不同线路的列车车次号使用规定也不尽相同。

1.1.2.4 车辆基地

车辆基地是保证城市轨道交通正常运营的后勤基地,是系统正常运营所必需的设备和设施^[2]。车辆基地包括车辆段(或停车场)、综合维修中心(或维修工区)、物资总库(或材料库)、培训中心和必要的生活设施等。其中,车辆段包括停车、列检、双周检、三月检和车辆清洁洗刷等日常运用维修设施,以及大架修、定修和临修等各修程的定期检。停车场只承担车辆的运用整备和日常维修保养工作,必要时还承担双周检和三月检任务,有时还配备临修设备和设施。与车辆段不同,停车场是不做定期检修的。图 1-4 为某车辆基地的功能区划分图。

车辆基地与正线由出入线连接,车辆段和停车场出入线是确保列车进入正线正常运行的首要条件,它还担负着工程车辆夜间进出正线为沿线维修作业、运送机具材料和工作人员的任务。为了提高出入库的能力和减少对正线运营的干扰,出入线一般按双线、双向运行设计,并且避免切割正线。

车辆基地配属的数量以及设计规模通常以服务线路远期客流量为依据,综合分析列车配属数量及维修能力。在一些长线路上,除了配属车辆段,还应配属停车场,停车场的位置应充分考虑开行交路和服务间隔的要求,尽量减少两终点站首末班车时间差异,减少空驶里程以及提高运营调整的灵活程度。

1.1.3 信号系统

广义的信号设备是信号、联锁和闭塞设备的总称。信号设备在保障行车安全、提高作业效率等方面具有重要的意义^[4]。

1.1.3.1 信号设备

狭义的信号设备分为视觉信号和听觉信号两大类。视觉信号设备包括车载信号设备、色灯信号机、信号灯和信号旗等。

1. 车载信号设备

车载信号设备是安装在车辆上的信号设备,通过轨道电路等接收来自地面的信息,控制列车安全地追踪运行。车载信号显示在列车操作显示屏幕上,显示列车的速度信号和目标距离信号。

2. 色灯信号机

色灯信号机被固定设置在正线、车站和车辆基础的特定位置,信号显示是指示列车运行或车辆调移的命令。常用的色灯信号机有出站信号机、防护信号机、进场信号机、出场信号机和阻挡信号机等。

(1) 出站信号机设置在列车由车站向区间发车地点的前方,指示列车能否进入区间。

