

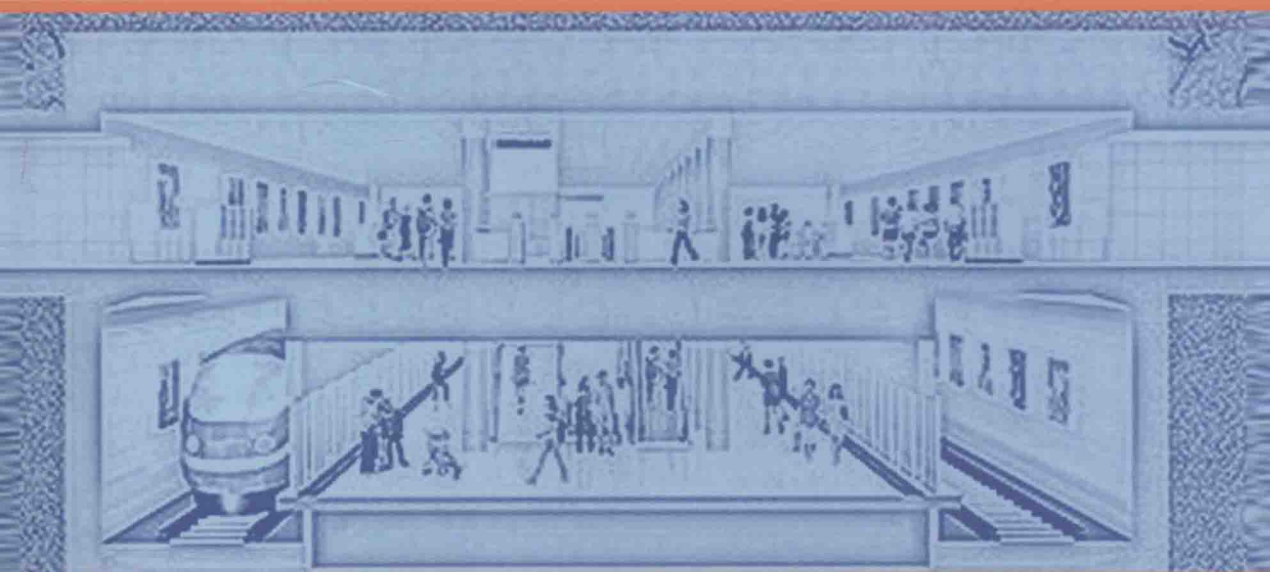


土木工程实验系列教材
TUMU GONGCHENG SHIYAN XILIE JIAOCAI

轨道交通综合实验

GUIDAO JIAOTONG ZONGHE SHIYAN

郑亚晶 编著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

土木工程实验系列教材

轨道交通综合实验

郑亚晶 编著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

轨道交通综合实验/郑亚晶编著. —广州: 华南理工大学出版社, 2016. 8
土木工程实验系列教材
ISBN 978 - 7 - 5623 - 4984 - 6

I. ①轨… II. ①郑… III. ①轨道交通 - 车辆试验 - 高等学校 - 教材
IV. ①U270.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 133812 号

轨道交通综合实验

郑亚晶 编著

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scute13@scut.edu.cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 赖淑华

责任编辑: 骆 婷 庄 彦

印 刷 者: 虎彩印艺股份有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 4.75 字数: 116 千

版 次: 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 15.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

土木工程实验系列教材

编辑委员会

主 任：苏 成

副主任：王 湛

编 委：（按姓氏笔画排序）

巴凌真 邓 晖 杨医博

时丽珉 张汉平 郑亚晶

郑国梁 黄文通 程香菊

前 言

交通运输类专业是一个具有大行业背景的专业，随着我国城市化的逐步深入和交通出行机动化的比例提高，轨道交通方面的知识在整个交通运输类专业培养过程中占据越来越重要的地位。笔者在教学中发现：学生在专业领域普遍存在实践训练不足的问题，毕业生的动手能力很弱，完全无法满足轨道交通设计与运营部门的要求。有鉴于此，笔者根据所在华南理工大学交通运输专业的培养目标和学生特点，总结这几年在相关实验课程教学中的经验，编写了《轨道交通综合实验》一书，希望本书作为轨道交通方面的综合实验指导类书籍，能够帮助学生掌握相关知识，并提升学生的实践能力。

根据华南理工大学交通运输专业开设的与轨道相关的课程的特点，本书共设计了13个实验，这些实验以开放性实验为主，尽量扩大学生在实验过程中的自主度，而不仅仅是验证类实验。本书共分为四个部分，除第一部分轨道交通基础知识外，其他三个章节分别对应“列车运行计算与设计”“轨道交通系统运营与管理”和“轨道交通规划与设计”三门课程的技能训练。

本书第一部分及各实验的基础知识储备部分，直接或间接地来源于笔者近年参与研究的科研项目，甚至部分内容就是笔者相关研究的出发点。本书在编写过程中，得到了华南理工大学土木与交通学院的大力支持，此外，华南理工大学土木与交通学院的靳文舟教授、温惠英教授、胡郁葱副教授、俞礼军副教授等给予了大量的帮助与指导，华南理工大学出版社对本书的出版给予了大力支持，笔者在此一并表示感谢。

本书虽针对华南理工大学土木与交通学院交通运输类学生的培养要求而编写，但也适用于其他高校城市轨道交通方向的学生选用或参考使用。

限于笔者水平，本书如有疏漏之处，恳请读者不吝批评指正。

编 者
2016年4月

目 录

第1章 轨道交通基础知识	1
1.1 轨道交通网络基础知识	1
1.1.1 网络结构	1
1.1.2 并线、共线结构	3
1.1.3 环线结构	5
1.2 城市轨道交通车辆基础知识	6
1.2.1 城市轨道交通车辆型号	6
1.2.2 车辆基本结构构成	6
1.3 城市轨道交通色灯信号基础知识	8
1.3.1 城市轨道交通色灯信号与国铁色灯信号的区别	8
1.3.2 三显示与四显示色灯信号	10
1.4 实验使用系统的基本介绍	10
1.4.1 路网数据模块	11
1.4.2 牵引计算模块	12
1.4.3 客流分析模块	15
1.4.4 运行图模块	18
第2章 列车运行计算与分析实验	23
2.1 线路曲线对列车运行的影响及确定实验	23
2.1.1 实验基础理论知识储备	23
2.1.2 实验内容	25
2.1.3 实验步骤说明	25
2.1.4 实验要求	26
2.2 线路限制速度对列车运行的影响及确定实验	27
2.2.1 实验基础知识储备	27
2.2.2 实验内容	28
2.2.3 实验步骤说明	28
2.2.4 实验要求	29
2.3 节能坡设计实验	30
2.3.1 实验基础知识储备	30
2.3.2 实验内容	31
2.3.3 实验步骤说明	31

2.3.4 实验要求	32
2.4 车站站距对列车全线运行时间的影响分析实验	33
2.4.1 实验基础知识储备	33
2.4.2 实验内容	34
2.4.3 实验步骤说明	34
2.4.4 实验要求	35
第3章 列车运行计划编制实验	36
3.1 列车区间运行时间及追踪间隔时间取值实验	36
3.1.1 实验基础知识储备	36
3.1.2 实验内容	38
3.1.3 实验步骤说明	38
3.1.4 实验要求	39
3.2 客流管理与开行方案编制实验	39
3.2.1 实验基础知识储备	40
3.2.2 实验内容	42
3.2.3 实验步骤	43
3.2.4 实验要求	43
3.3 列车运行图编制(单线、双线)	43
3.3.1 实验基础知识储备	43
3.3.2 实验内容	46
3.3.3 实验步骤	47
3.3.4 实验要求	47
3.4 列车周转计划编制	48
3.4.1 实验基础知识储备	48
3.4.2 实验内容	50
3.4.3 实验步骤	50
3.4.4 实验要求	51
3.5 乘务周转计划编制	53
3.5.1 实验基础知识储备	53
3.5.2 实验内容	53
3.5.3 实验步骤	54
3.5.4 实验要求	54
第4章 系统设计实验	55
4.1 线路设计实验	55
4.1.1 实验基础知识储备	55
4.1.2 实验内容	55
4.1.3 实验要求	57
4.2 地铁车站客流流线设计	57

4.2.1	实验基础知识储备	57
4.2.2	实验内容	58
4.2.3	实验步骤	58
4.2.4	实验要求	58
4.3	车站相关设备配置规划设计	59
4.3.1	实验基础知识储备	59
4.3.2	实验内容	62
4.3.3	实验步骤	62
4.3.4	实验要求	62
4.4	车站站台设计	63
4.4.1	实验基础知识储备	63
4.4.2	实验内容	64
4.4.3	实验步骤说明	64
4.4.4	实验要求	65
参考文献		66

第1章 轨道交通基础知识

1.1 轨道交通网络基础知识

1.1.1 网络结构

城市轨道交通^①网络一般可看作由车站和区间线路组成，车站是轨道网络上供乘客上下列车的场所，区间线路是两个车站之间的车行轨道。因此轨道交通网络在拓扑结构上可以类比为图论的点线网络结构。轨道交通的点线网络结构目前有多种分类和解读方式。

依苏联学者的观点，轨道交通网络可视为由两类单元结构构成：圈层和肢段。其中圈层是指若干线路由于交叉和交汇形成的几何意义上的一个闭合层，如图1-1所示，由四条地铁线路围成的不规则四边形就是一个圈层结构。在圈层结构中，有一种特殊的圈层结构就是环线，环线是这一结构上任一点都不用换乘即可到达环上另一点的特殊圈层，目前我国的北京地铁2号线、10号线，上海地铁4号线均为环线。肢段是圈层之外的线路，在图1-2中，该轨道网络就完全由肢段构成。

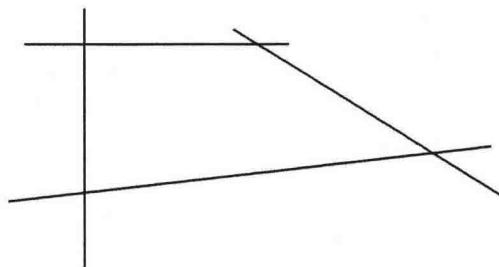


图1-1 圈层示意图

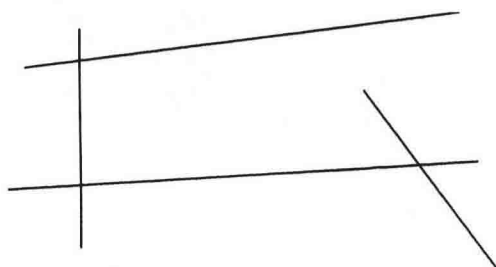


图1-2 肢段示意图

圈层的作用主要是吸引本线客流，完成客流换乘并负担转线客流；肢段的作用是吸引本线客流并负担转线客流通过。圈层的形态在某种意义上可以对地铁的功能实现起决定性作用。

而日本学者曾经总结了18种不同类型的城市轨道交通网络模式，如图1-3所示，这些网络模式针对不同城市的特点，和城市规划与城市发展相互促进。例如图1-3h和

^① 本书中的“城市轨道交通”一般指轮轨方式的地铁或轻轨系统。

图 1-3i 就较有利于城市形成卫星城镇；图 1-3j 则利于中心城市发展并往外延伸的发展形态，较类似于目前我国北京的地铁网络形态；图 1-3o 则是典型的受地形限制而形成的线网结构。

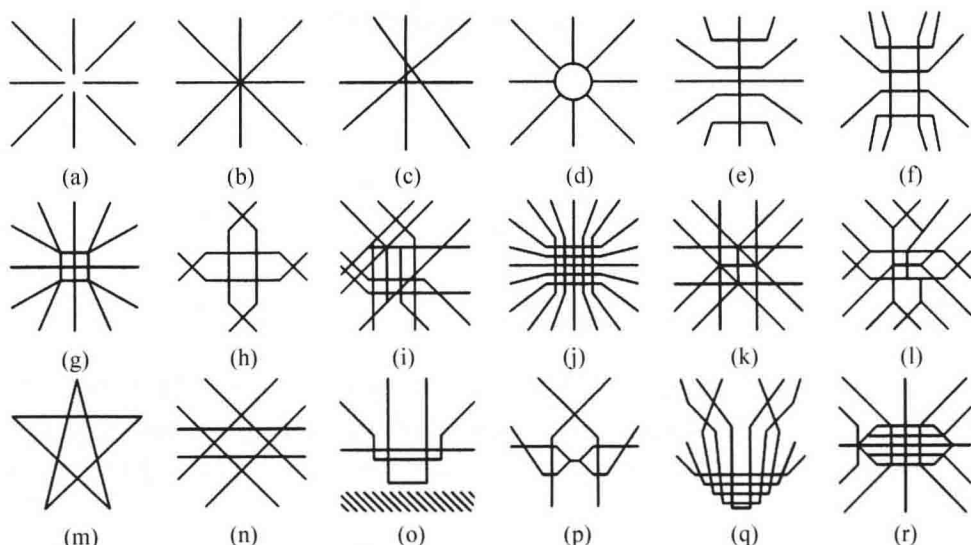


图 1-3 轨道交通线网类型

目前我国主要将地铁网络分为网格型和放射型两种结构，在这两种结构上考虑环线结构，形成“网格型”“放射型”“环线+网格型”和“环线+放射型”四种基本形态(如图 1-4 所示)。

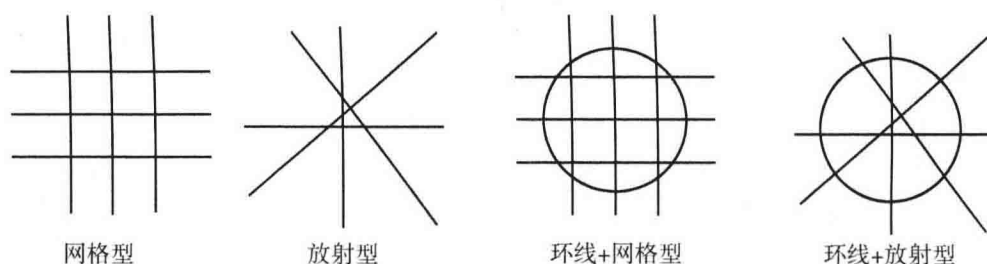


图 1-4 四种基本轨道交通线网类型

网格型线网的特点是由“井”字形结构组成，平行线间的点需要两次换乘到达，垂直线之间的点仅需一次换乘即可到达，即在网格型路网上，任意两点间的点最多也只需两次换乘即可到达。

放射型线网的特点是线间站点的换乘仅需一次即可到达，但换乘站点都集中在中心区，中心点换乘压力较大。这一线网形态对于远中心端的 OD(original destination, 交通起止点)客流来说并不友好，该客流往往需长距离的迂回才能完成出行。

环线+网格型线网一般只在起讫点都在环线上的客流达到一定规模后才予以考虑，否则其相对于网格型线网的优势并不明显。

环线+放射型线网中的环线主要是解决任意两条线路远中心端 OD 客流的出行问题，一般来说出现于线网建设的中后期。

1.1.2 并线、共线结构

1. 并线

由于地铁在运营过程中为满足所有乘客的要求，一般都采取站站停的开行模式，但这也势必会导致部分客流的乘行时间过长，如果这部分客流的客流量比较大，势必会导致轨道交通在与地面交通方式的竞争过程中处于劣势。因此通过修建并线，满足两种不同性质的客流，是并线出现的根本原因。

如图 1-5 所示，在香港地铁线网中，由中环至香港国际机场就有两条地铁线路并线：一条机场快线全线共 5 个站点（香港站、九龙站、青衣站、机场站和博物馆站），另一条东涌线全线共 8 个站（香港站、九龙站、奥运站、南昌站、荔景站、青衣站、欣澳站和东涌站）。由机场快线去满足机场客流对少乘行时间的要求，由东涌线去满足这一线路沿途客流的日常出行需求。

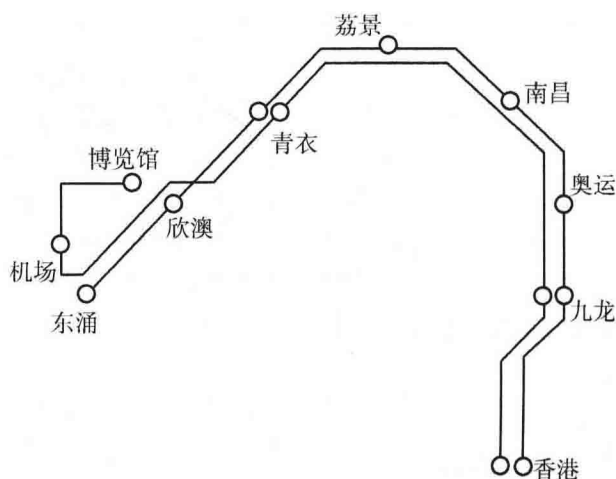


图 1-5 香港地铁并线结构示意图

2. 共线

共线是指由于城市轨道交通的强连通性，两条或多条线路共用某一段轨道的线网形式，一般来说共线可分为支线和非支线两种形式。支线和非支线形式一般可由在共线结构上运行的列车交路来区分：支线形式上的两个列车交路一般由一个共同起始点、一个分岔站点和两个（或一个）终点构成，如图 1-6a 所示；非支线形式上的两个列车交路没有共同的起始点，一般由两个起点、两个分岔站点和两个终点构成，如图 1-6b 所示。

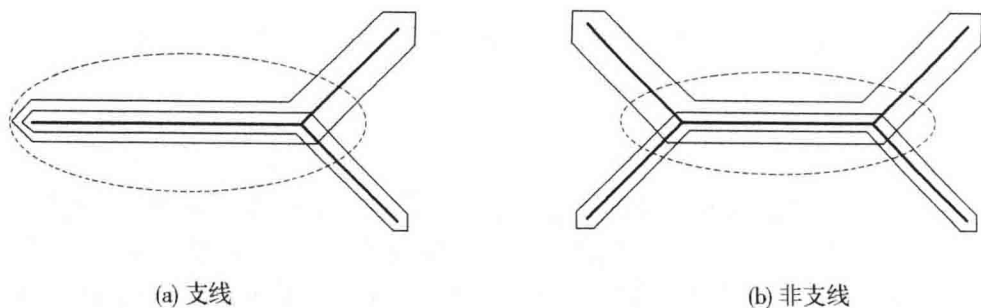


图 1-6 城市轨道交通共线结构示意图

到目前为止，从支线与主线的依托关系上，可将支线形式的共线形态分为以下两种：

(1) 支线在干线中岔出且不形成环路。

此种共线情况主要是为减少乘客换乘次数，进一步实现路网中部分车站之间连通而建造的支线，在路网中以 Y 形线路呈现，如图 1-7 所示。

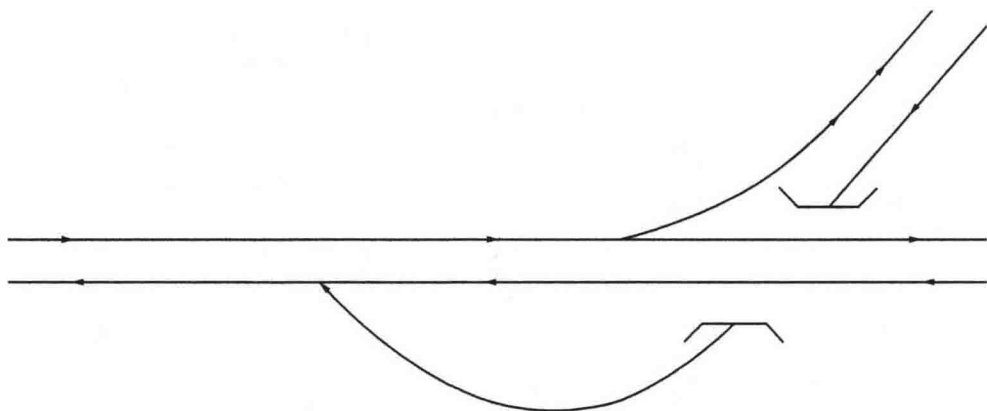


图 1-7 共线运营方式一

(2) 支线在干线中岔出且形成环路。

此种情况一方面可以把路网中更多的车站连接起来，从而达到减少乘客换乘次数的目的；另一方面，由于形成了环路，跨环路的客流出行需求可由两个交路来满足，如图 1-8 所示。客观上，这一结构令车站的连通性要好于图 1-7 中的结构。

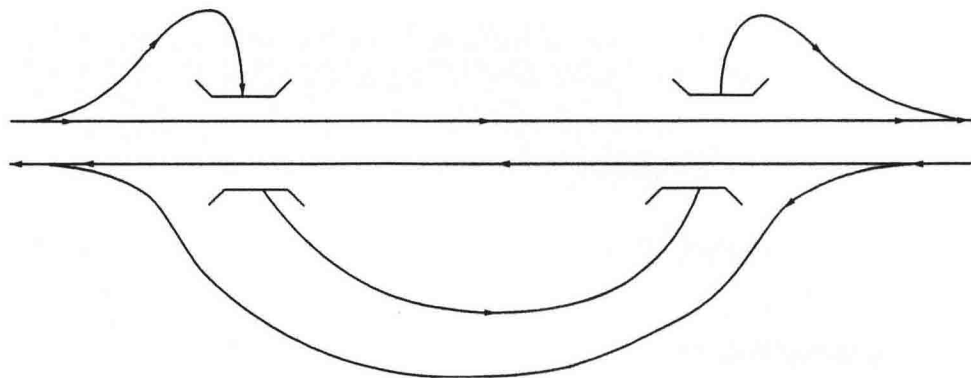


图 1-8 共线运营方式二

1.1.3 环线结构

环线是目前世界各个城市地铁系统中较为特殊的一种线路结构，对于客流来说，地铁的环线结构和道路结构中的环线结构有共同点，但也有非常大的差别。

一般认为，道路环线建设在我国始于北京 20 世纪 80 年代提出并建设的二环路，此后上海、广州等多个城市都将道路环线作为城市道路建设的主要内容。在路面交通中，环线建设的根本目的是减少进入市中心区的交通量和各方向间的交通流转换。虽然通过环线会增加城市过境客流的出行距离，但由于城区中心的交通较为拥堵，因此从时间上看环路会使得车辆沿环线出行的时间要少于走市中心区的时间，这也是环路往往在某一时期能达到修建目的的原因。但随着环路对城市中心交通的疏解，城市中心将会吸引更多流量，因此环路在建成一段时间后，往往会在环路上出现大量的客流而城市中心又重新变得拥堵。这也是相当多城市不断修建新环线的原因所在。

对于轨道交通来说，由于该运输方式本身的特点，乘客的路径选择与路面交通来说会有较大的差异。例如图 1-9 中，乘客要从 1 号线的 A 站到 B 站，乘客不会因为 1 号线在城市中心段拥堵而选择两次换乘绕行环线。虽然目前在轨道交通规划中有部分学者认为环线能改善轨道交通网络的换乘效率，但对于轨道交通客流来说，大部分人对于换乘的容忍度都低于对距离和时间的容忍度（例如图 1-9 中，乘客要从 A 站出行到 C 站的话，有两条出行路径 A—O—C 和 A—E—D—C，即便 A—O—C 在距离上与 A—E—D—C 相比处于劣势，但因其换乘次数较少，依然会有大部分的乘客会选择路径 A—O—C 出行）。而从环线的效果来看，若乘客想通过环线到达一条线再换乘另一条线的话，至少需要两次换乘，换句话说，若想通过环线改善路网的换乘效率，说明之前的

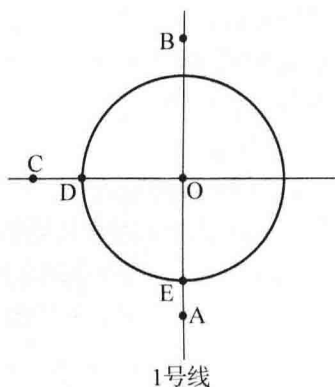


图 1-9 环线结构

路网规划较为不合理,有较多的客流需要两次以上的换乘才能实现出行目的。因此,笔者认为,轨道交通是否修建环线要慎重考虑,可以以C形线或U形线来代替环线;而另一方面,由于通过环线到达一条线再换乘另一条线需要换乘两次,因此换乘客流并不足以抵消环线的建设和运营成本,因此只有在环线周围用地得到充分开发,有足够的客流量绕环线方向出行时,环线在城市轨道交通中的建设才有实际意义。

1.2 城市轨道交通车辆基础知识

1.2.1 城市轨道交通车辆型号

由于城市轨道交通有市郊铁路、地铁、轻轨、有轨电车、缆车、磁悬浮等多种形式,而这些不同形式的城市轨道交通系统使用的车辆都不相同,因此轨道交通的车辆型号从类型上来说非常复杂。本书主要介绍目前大量用于地铁或轻轨的车辆。但对于这一类型车辆来说,目前世界上也没有统一的标准,在我国,地铁车型一般被分为A、B、C三种型号以及L型。这几种车型在车体宽度、车体长度等多个方面都存在着显著区别,但一般最主要是以车体宽度来区分(指普通的侧面垂直的列车)。

(1) A型车

A型车车辆基本宽度为3m,长度为21~24m,一节车厢每侧5个车门(上海16号线所用车型为3个车门),车门宽度为1.4m以上。

目前在广州地铁中,1号线、2号线、8号线使用这一车型。

(2) B型车

B型车车辆基本宽度为2.8m,长度为19m,一节车厢每侧4个车门(北京地铁曾使用过每侧3个车门的老式B型车,不过现已全部退出了运营),车门宽度为1.3m以上。

目前在广州地铁中,3号线(含机场段)使用这一车型。

(3) C型车

C型车车辆基本宽度为2.6m,长度为19m,一节车厢每侧4个车门(北京地铁曾使用过每侧3个车门的老式C型车,不过现已全部退出了运营),车门宽度为1.3m以上。

(4) L型车

L型车即直线电机列车,一般不分长宽尺寸和每节车厢的车门数。

广州地铁目前使用的L型车车辆基本宽度为2.8m,长度约为17.8m,一节车厢每侧3个车门(北京机场线所用车型为每侧2个车门)。

目前在广州地铁中,4号线、5号线、6号线使用这一车型。

1.2.2 车辆基本结构构成

一般来说,城轨的车辆由车体、转向架、牵引缓冲连接装置、制动系统、受流装置、车辆内部设备、车辆电气系统七个部分构成,如图1-10所示。

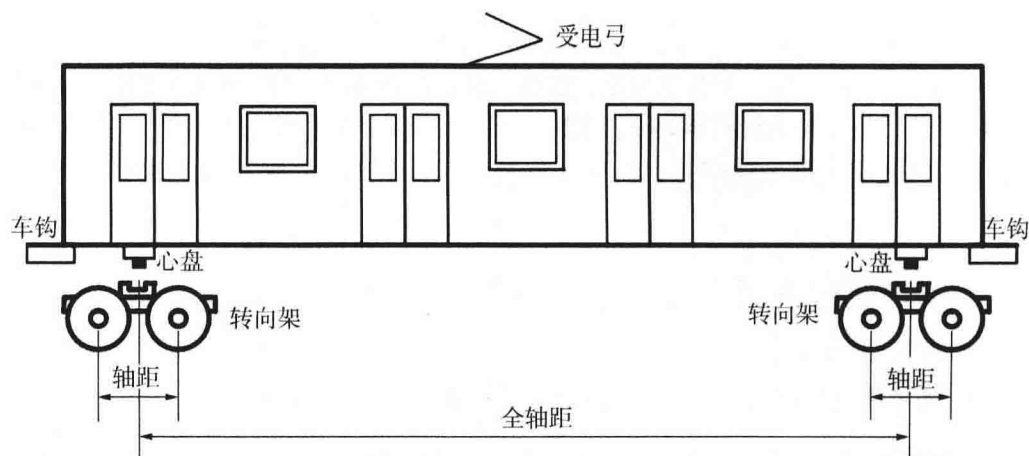


图 1-10 车辆基本结构

(1) 车体

车体一般可以分为有司机室的车体和无司机室的车体两种，车体的主要作用是容纳乘客以及乘务员驾驶。现代城轨列车一般都采用整体承载的钢结构或轻金属结构一次挤压成型，可分为底架、端墙和车顶等几个部分。

(2) 转向架

转向架位于车体和轨道之间，既承载来自车体的各种荷载，也用来牵引和引导车辆沿轨道方向行驶，是车辆实现运行的关键部件。城轨交通的转向架一般采用二轴转向架，铁路中也有三轴甚至多轴转向架运用。城轨车辆一节车厢一般采用两个转向架（通常我们称之为四轴车），铁路中也有一节车辆有三个转向架的运用。

(3) 牵引缓冲连接装置

牵引缓冲连接装置即车钩，为了改善车辆的纵向平稳性，一般在车钩的后部（与车厢相连的部位）装有缓冲装置，可缓和列车的撞击和牵拉行为。另外，某些类型车辆的车钩上还会设有电路及气路的自动连接设备。

(4) 制动系统

制动系统直接关系到列车运行的安全，它确保列车能在规定的距离内停车。一般来说，列车制动方式可分为摩擦制动和动力制动两种。这两种制动在城市轨道交通系统中均有运用。

(5) 受流装置

受流装置的作用是从接触网或导电轨将电流引入动车，也叫受流器，一般可分为接触网受流器和第三轨受流器两类。接触网受流器即受电弓，一般可分为双臂式、单臂式、垂直式和石津式四类；第三轨受流器也即集电靴，一般安装在转向架上。

(6) 车辆内部设备

车辆内部设备包括服务于乘客的固定附属装置和服务于车辆运行的动力设备。前者有座椅、扶手、照明、空调、通风、取暖等，后者包括蓄电池、继电器、主控制器、电

动空压机、牵引箱、电阻箱等。

(7) 车辆电气系统

车辆电气系统一般可分为主电路、控制与信息监控电路、辅助电路和门控电路四个分系统。主电路主要控制列车的动力牵引，控制与信息监控电路主要负责监控设备的正常运行，辅助电路供车辆除牵引外的其他动力设备使用，门控电路主要控制车门的开关。

1.3 城市轨道交通色灯信号基础知识

1.3.1 城市轨道交通色灯信号与国铁色灯信号的区别

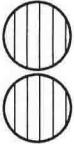
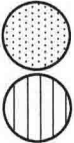
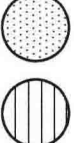
由于城市轨道交通在运营范围、运行速度、服务对象、道岔型号、车站到发线数量上与铁路都存在着显著差别，因此也导致其色灯信号与铁路有一定的差异：①一般来说，铁路以地面信号机的色灯信号显示为主体信号，车上的机载信号为辅助信号；而城市轨道交通则刚好相反，以车载信号为主，地面信号为辅。②城市轨道交通一般实行右侧行车制，信号机设置在运行方向的右侧；而铁路实行左侧行车制，信号机设置在运行方向的左侧。③一般情况下城市轨道交通正线区间不设通过信号机，而铁路一般在区间都会设置通过信号机。④铁路一般车站都是有岔站，为防护道岔和实现连锁关系会设置地面矮柱信号机；而城市轨道交通车站一般都是无岔站，不用设置这一信号机。⑤在铁路车站中，进站信号机和出站信号机均为高柱信号机；而城市轨道交通则可根据需要选择高柱或者矮柱。

而在色灯信号的颜色含义上，城市轨道交通与铁路也有着一定的区别。对于铁路来说，主要的色灯信号颜色有红、绿、黄、白、蓝五种，其中红、绿、黄三种颜色主要用于行车信号，白、蓝两种颜色主要用于调车信号，表 1-1 为主要的铁路色灯信号示例（均为自动闭塞条件下的信号显示方式）。

表 1-1 铁路色灯信号示例

色灯位置	色灯形式	含 义
运行信号		
进站信号机		禁止列车进站，列车必须在该信号机前停车原地待命
		允许列车按规定速度经正线通过车站
		允许列车经道岔直向位置进入车站内正线准备停车，此时要求注意运行速度

续表 1-1

色灯位置	色灯形式	含 义
运行信号		
进站信号机		侧线进站信号，允许列车经道岔侧向位置进入车站内准备停车，此时要注意运行速度
		允许列车经道岔直向位置进入站内准备停车，表示接车进路信号机在开放状态
出站信号机		禁止列车出站，一般指前方区间有列车占用，禁止列车越过该信号机
		允许列车由车站出发，表示前方有两个线路闭塞分区空闲（没有列车）
		允许列车由车站出发（旅客列车除外），表示前方有一个线路闭塞分区空闲。列车必须在指定速度范围内出站，并以较低速度接近前方闭塞区间
通过信号机		列车必须在该信号机前停车，表示前方为闭塞区间，区间内有列车作业，禁止通行
		允许列车按规定速度范围内运行，表示运行前方至少有两个闭塞分区空闲
		要求列车减速并注意运行速度，表示运行前方只有一个闭塞分区空闲
		列车必须在指定的较低速度范围内通过该信号机。预示下一个区间为黄灯信号，并预示前方两个区间后，有一个闭塞区间（即是红灯）
调度信号		
调车信号机		允许越过该信号机调车
		不允许越过该信号机调车

注：表中表示红色色灯、表示黄色色灯、表示绿色色灯、表示月白色色灯、表示蓝色色灯。