

职业教育 **城市轨道交通** 专业教材

# 城市轨道交通 运输设备

吴 晓 主 编 施俊庆 卢德培 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

职业教育城市轨道交通专业教材

# 城市轨道交通运输设备

吴 晓 主 编

施俊庆 卢德培 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

## 内 容 简 介

本书是“职业教育城市轨道交通专业教材”之一。通过全部5个项目下的21个任务,比较全面地概括了城市轨道交通线路与站场设备,城市轨道交通车辆与牵引系统,城市轨道交通信号与通信设备,城市轨道交通客运设备的基本组成、作用和主要技术性能,以及部分设备的操作运用案例;同时,还介绍了目前国内外新型城市轨道交通设备的状况。

本书可作为职业院校城市轨道交通专业及相关专业的教学用书,也可以作为从事城市轨道交通行业职工的参考资料和培训用书。

本书还配有电子教学参考资料包(包括电子教案、教学指南及习题答案),详见前言。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通设备 / 吴晓主编. —北京: 电子工业出版社, 2011.9

职业教育城市轨道交通专业教材

ISBN 978-7-121-14685-5

I. ①城… II. ①吴… III. ①城市铁路—交通运输工具—高等职业教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第196329号

策划编辑: 徐 玲

责任编辑: 刘 凡

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16.5 字数: 422千字

印 次: 2011年9月第1次印刷

印 数: 3000册 定价: 28.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

# 总序

# P r e f a c e

随着国民经济持续快速发展,人流、物流、信息流以前所未有的密度涌向大城市并向周边辐射。城市化进程加快,城镇人口迅速增长,我国市区常住 100 万人口以上的大城市已达 40 多个,超过 200 万人口的特大城市已有 14 个。目前,我国城镇人口比例已经达到 45% 左右,城市规模的扩大、城市人口的增长,带来了城市交通需求的高速增长。为解决大中城市交通紧张问题,我国已有越来越多的城市把发展城市轨道交通列入城市发展计划。截至 2010 年,北京、天津、上海、广州、深圳、南京、重庆、武汉、大连、长春 10 个城市已经开通运营的城市轨道交通线路总长已近 1000 千米,加上正在建设的沈阳、成都、杭州、西安、苏州等城市在建线路总长也超过 1200 多千米。此外,还有青岛、宁波、郑州、厦门、东莞、昆明、长沙、乌鲁木齐、南宁、济南、兰州、太原、福州、厦门、合肥、无锡、贵阳、烟台、石家庄、温州等诸多城市都在进行轨道交通规划或建设工作。中国城市轨道交通建设正在进入快速有序的发展阶段。预计在 2015 年前后,我国将建设 79 条城市轨道交通线路,长达 2260 千米,到 2020 年中国城市轨道交通规模有望突破 3000 千米。城市轨道交通的快速发展,各类城市轨道交通人才需求量急剧增加,从城市轨道交通的专业人才用工需求看,城市轨道交通每公里需要 50~60 人。对于这个技术密集型行业来说,各城市的轨道交通都需要大批应用性人才,才能保证正常的运营和管理。因此,城市轨道交通行业具有广阔的人才需求空间。

城市轨道交通发展给职业教育的人才培养带来良好契机,为适应城市轨道交通人才培养需求,更好地服务国民经济建设,2010 年 5 月,电子工业出版社在武汉组织召开了“职业教育城市轨道交通专业教学研讨会”,成立了“职业教育城市轨道交通专业项目式教材”编审委员会,确定了“职业教育城市轨道交通专业项目式教材”编写方案。根据专业教学研讨会议精神,经过主编、参编老师的共同努力,“职业教育城市轨道交通专业教材”终于与大家见面了。本套教材基本涵盖了“城市轨道交通专业”的主要课程和内容,满足了专业建设与教学需要;为适应职业教育的改革与发展,教材力求体现当代职业教育新理念、新思路;为紧跟城市轨道交通行业发展,尽量使教材保持一定的知识与技术领先。本套教材编写以职业能力为主线,以职业生涯为背景,以工作结构为框架,以岗位能力为依据,以工作情境为支撑,以工作过程为基础。教材体系结构力求从学科结构向职业工种技能结构转变;教材内容组织力求根据城市轨道交通专业学生今后从事职业工作岗位要求及标准

出发,突出典型岗位的工作过程,满足职业标准要求,贯穿主要规章和作业标准。本套教材具有以下特点:

1) 教材体例符合职业教育教学改革和发展方向

教材内容选择以《国家职业标准》规定的岗位(群)需求和职业能力为依据,以工作任务为中心,以理论知识为基础,以实践技能为依托,以工作情景为支撑,以案例呈现为特点,以拓展知识为延伸,充分考虑城市轨道交通典型岗位的工作任务的工作过程特点和教学过程特点的有机结合,体现教材的职业性特点。

2) 教材内容凸显城市轨道交通专业领域主流应用技术和关键技能

教材内容凸显城市轨道交通运营、行车组织、客运组织、机车车辆等设备运用与检修及作业组织方法等主体工种的专业知识和技术,包括车站站长、行车调度、车辆维修、客运服务等典型岗位的主流应用技术和关键技能。

3) 教材内容涵盖城市轨道交通行业和专业发展的“四新”内容

教材内容组织保持一定的前瞻性,反映行业与专业最新知识、工艺、装备和技术。教材编写从现代教学理念和教学模式出发,体现城市轨道交通前沿的创新成果和经验。

4) 教材注重实践性,重视案例和实际动手场景的呈现

教材组织通俗实用,融入和结合了轨道交通专业骨干教师多年的教学经验和体会,合理地取舍和反映城市轨道交通的基本专业知识和基本技能;通过具体模拟训练和情景实操,使学生加深对专业知识和技能的理解以及基本技能和基本方法的掌握,从而可以缩短学生到企业后的上岗时间。

本套教材不仅适用于职业教育各层次教学,也适用于城市轨道交通行业相关人员在职进修提高和培训教学用书。

本套教材由浙江师范大学交通运输系吴晓主任担任主编,西安铁路职业技术学院赵岚、湖南铁道职业技术学院张莹担任副主编。吴晓负责本系列教材编写工作的整体策划与体例结构设计。教材在编写过程中得到了许多城市轨道交通行业专家、电子工业出版社等领导和同仁的大力支持,在此表示衷心感谢!

在本套教材的编写过程中,编者参考了大量的书籍、文献、论文等,也引用了许多专家学者的资料,编者已尽可能地在参考文献中详细列出,谨在此对他们表示衷心的感谢!同时,可能我们因为疏忽,有些资料引用了而没有指出资料出处,若有此类情况发生,深表歉意!由于城市轨道交通正处于快速发展期,资料收集很难达到齐全和最新,再加上编者水平所限,书中错误和疏漏在所难免,敬请大家见谅,也恳请读者在阅读后及时批评指正,我们将十分感谢。

吴 晓

2011年6月于浙江师范大学

## 前言

## Introduction

城市轨道交通是现代城市公共交通的主要形式。城市轨道交通不仅安全、快捷、正点,可以满足日益增长的城市居民出行需求,而且具有节能、省地、少污染等特点,更是一种节约资源、保护环境的城市公交系统,符合城市可持续发展原则。城市轨道交通种类繁多,有城市地下铁道、轻轨交通、有轨电车、单轨交通、市郊铁路、磁悬浮线路、机场联络铁路、全自动旅客捷运系统等。城市轨道交通设备是保障城市轨道交通正常运行的必需的物质基础和技术基础。城市轨道交通设备包括城市轨道交通线路与站场设备、车辆、牵引供电系统、信号设备、通信设备和客运设备等。

本书为“职业教育城市轨道交通专业教材”之一。教材结合城市轨道交通专业人才培养方案和职业教育教材现状编写,涵盖城市轨道交通设备的主要内容。为适应职业教育的需要,编者力求体现当代职业教育新理念;为紧跟城市轨道交通行业发展,尽量使教材保持一定的知识与技术领先。

本书共分五个项目:项目一 城市轨道交通线路与站场设备;项目二 城市轨道交通车辆与牵引设备;项目三 城市轨道交通信号与通信设备;项目四 城市轨道交通客运设备;项目五 新型城市轨道交通设备。五个项目下共分 21 个任务,全面介绍城市轨道交通线路、车场设备与车站建筑;车辆、电力牵引系统与供电系统;信号基础设备、联锁设备、列车自动控制设备和通信设备、自动检售票系统、电梯与自动扶梯和屏蔽门系统等设备的基本组成、作用和主要技术性能以及部分设备的操作运用案例。同时还介绍了目前国内外新型城市轨道交通设备,包括单轨交通、磁浮交通、自动导轨交通和直线电机轨道交通等设备。

本书在体例设计上突破了传统教材的编写模式,理论与实际动手相结合,突出职业教育的实践性。项目中的每个任务下设有“学习目标”、“学习任务”、“工具设备”、“学习环境”、“基础知识”、“相关案例”、“拓展知识”等模块,并配置操作运用案例和思考练习题。教材注重实用,案例多、观念新,教材内容组织通俗,融入和结合了轨道交通专业骨干教师多年的教学经验和体会;为教师方便教学,特别增加教师教学工作活页,寓专业能力、方法能力和社会能力培养于情景教学;内容编排重点突出,反映城市轨道交通的基本专业知识和基本技能;为了使学生能学以致用,特别增加学生学习实操活页,让学生学习模拟城市轨道交通专业设备的具体运用,通过具体知识认知模拟训练、情景实操以及教学评价等环节,使学生加深对专业知识和技能的理解、基本技能和基本方法的掌握,从而使学生



增强对城市轨道交通设备的认知,为学生学习本专业的其他专业后续课程打下坚实的基础。本书适合作为职业院校的城市轨道交通专业及相关专业的教学用书,或作为从事城市轨道交通行业技术人员的参考资料和员工培训用书,力求能为我国城市轨道交通事业的发展尽绵薄之力。

为了方便教师教学,本书还配有电子教案、教学指南及习题答案(电子版),请有此需要的教师登录华信教育资源网([www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn))下载或与电子工业出版社联系,我们将免费提供(E-mail:[hxedu@phei.com.cn](mailto:hxedu@phei.com.cn))。

本书由浙江师范大学吴晓任主编,施俊庆(浙江师范大学)、卢德培(杭州万向职业技术学院)任副主编,参加编写还有郑丽娟、王瑞萍(浙江师范大学)、刘婷婷(西安铁路职业技术学院)。具体编写分工为:郑丽娟(项目一中的任务一、任务二、任务三、任务四)、刘婷婷(项目二中的任务一)、吴晓(项目二中的任务二、任务三、任务四、项目三中的任务五)、卢德培(项目三中的任务一、任务二、任务三、任务四)、施俊庆(项目四中的任务一、任务二、任务三、任务四)、王瑞萍(项目五中的任务一、任务二、任务三、任务四)。全书由吴晓负责编写体例设计,吴晓、施俊庆负责统稿。教材在编写过程中得到了许多城市轨道交通行业专家和电子工业出版社等领导和同仁的大力支持,在此表示衷心感谢!

在本书的编写中,我们参考了许多专家学者有关城市轨道交通的书籍、文献、论文等资料,也引用了城市轨道交通设备制造企业和部分城市轨道交通企业的技术数据和图片,我们已尽可能地在参考文献中详细列出,谨在此对他们表示衷心的感谢!同时,也可能由于我们疏忽,有些资料引用了而没有指出资料出处,若有此类情况发生,深表歉意。

由于城市轨道交通正处于快速发展期,技术装备日新月异,各城市城市轨道交通运输设备也都有各自的特点,资料收集很难达到齐全和最新,再加上作者、编者水平所限,书中技术资料和数据肯定存在不足和差异,错误和疏漏在所难免,在此敬请大家见谅,也恳请大家多提宝贵意见和批评指正,我们将十分感谢。

编 者

2011年4月

## 职业教育城市轨道交通专业教材编审委员会

主任委员：吴 晓 浙江师范大学工学院系主任

副主任委员：赵 岚 西安铁路职业技术学院

张 莹 湖南铁道职业技术学院系主任

常务委员：（排名不分先后）

施俊庆 浙江师范大学工学院

王瑞萍 浙江师范大学工学院

郑丽娟 浙江师范大学行知学院

李一龙 湖南铁路科技职业技术学院系主任

程 钢 湖南铁路科技职业技术学院教研室主任

吴 冰 湖南铁道职业技术学院教研室主任

唐春林 湖南铁道职业技术学院专业负责人

刘 奇 西安铁路职业技术学院交通运输系教研室副主任

王 敏 西安铁路职业技术学院

魏仁辉 西安铁路职业技术学院

申 红 西安铁路职业技术学院

刘婷婷 西安铁路职业技术学院

奉 毅 柳州铁道职业技术学院系副主任

蓝志江 柳州铁道职业技术学院教研室主任

马成正 柳州铁道职业技术学院

王丽娟 柳州铁道职业技术学院

卢德培 杭州万向职业技术学院教研室主任

李殿勋 沈阳铁路机械学校

丁洪东 沈阳铁路机械学校教研室主任

李显川 沈阳铁路机械学校

姬立中 北京铁路电气化学校副校长

王建立 北京铁路电气化学校科长

尹爱华 江苏省无锡交通高等职业技术学校系副主任

陈 波 无锡汽车工程学校专业负责人

谭 恒 广州市交通运输职业学校

余鹏程 广州市交通运输职业学校

宋 锐 武汉市教育科学研究院教研员

蔡海云 武汉铁路司机学校系主任

欧阳宁 武汉市交通学校系主任

行业委员：（排名不分先后）

吴维彪 浙江省杭州市地铁集团有限责任公司高级工程师

牟振英 上海申通集团运营四公司总工程师

娄树蓉 南京地铁有限责任公司客运部部长

吕春娟 浙江省杭州市地铁集团运营分公司高级工程师

秘书长：徐 玲 电子工业出版社

# 目录

# Contents

## 项目一 城市轨道交通线路与站场设备 1

- 任务一 认知城市轨道交通线路 ..... 1
- 任务二 认知城市轨道交通车场 ..... 24
- 任务三 认知城市轨道交通车站 ..... 32
- 任务四 城市轨道交通线路与车场设备的操作运用案例 ..... 49

## 项目二 城市轨道交通车辆与牵引设备 57

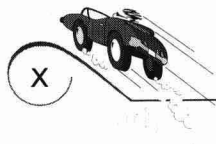
- 任务一 认知城市轨道交通车辆 ..... 57
- 任务二 认知城市轨道交通电力牵引系统 ..... 89
- 任务三 认知城市轨道交通供电系统 ..... 102
- 任务四 城市轨道交通车辆与牵引设备的操作运用案例 ..... 118

## 项目三 城市轨道交通信号与通信设备 129

- 任务一 认知城市轨道交通信号基础设备 ..... 129
- 任务二 认知轨道交通连锁设备 ..... 138
- 任务三 认知轨道交通列车自动控制设备 ..... 147
- 任务四 认知轨道交通通信设备 ..... 155
- 任务五 城市轨道交通信号与通信设备操作运用案例 ..... 167

## 项目四 城市轨道交通客运设备 177

- 任务一 认知自动售检票系统 ..... 177
- 任务二 认知电梯与自动扶梯 ..... 198
- 任务三 认知屏蔽门系统 ..... 205
- 任务四 城市轨道交通客运设备的操作运用案例 ..... 210



项目五

新型城市轨道交通设备

220

|     |                   |     |
|-----|-------------------|-----|
| 任务一 | 认知单轨交通 .....      | 220 |
| 任务二 | 认知自动导向交通 .....    | 227 |
| 任务三 | 认知磁浮交通 .....      | 235 |
| 任务四 | 认知直线电动机轨道交通 ..... | 248 |

参考文献

253

## 项目一

# 城市轨道交通线路与站场设备

城市轨道交通线路是城市轨道交通车辆运行的基础，是重要的行车设备，从事运营管理人员必须认识相关的设备和实施，掌握设备和设施对运营工作的影响。线路平纵断面和线路标志、高架结构和地下隧道、轨道、限界等知识是从事轨道交通运营管理人员必须掌握的基础知识。而车站是城市轨道交通线的重要组成部分，又是集散客流、为旅客服务的基本设施。车站的选址、站场布置与规模不仅影响运营效益，而且影响城市建设。

## 任务一 认知城市轨道交通线路



### 学习目标

- (1) 了解城市轨道交通线路的平面和纵断面；
- (2) 了解城市轨道交通线路系统的组成及各部分的作用；
- (3) 了解轨道线路标志与限界，学习限界的概念、分类和限界图；
- (4) 了解区间隧道和高架结构工程。



### 学习任务

认知城市轨道交通线路，主要包括城市轨道线路的平面和纵断面、城市轨道线路的系统组成与设备、轨道线路标志与限界、区间隧道和高架工程等设备。



### 工具设备

城市轨道交通线路标志模型、轨道结构模型、盾构模型、高架槽形梁模型、多媒体设备课件、图片、示教板、计算机多媒体设备等。



### 教学环境

线路设备综合仿真实验室或线路设备维修基地现场。



### 基础知识

城市轨道交通线路是列车所行驶的轨道式通道，按其空间设置位置，有地下、地面和高架三种形式。上部建筑沿用传统铁路方式，由钢轨、轨枕、联结零件等组成。线路下部基础由路基、道床等组成，现多采用整体道床结构。跨座式单轨铁路的车体重心在轨道梁的上方，运行时车体跨坐在轨道梁上。



## 一、城市轨道线路的平面和纵断面

实际的轨道交通线路是一条长长的交通走廊，它是立体的，需要用三维图画才能准确描述。用立体表现很不方便，不仅费时费力，而且细部尺寸难以标注。因此，工程中一般采用平面、纵断面、横断面三种二维图画结合起来表现。平面图是线路轨道中（心）线在水平面上的投影；纵断面是把线路中心线展直后投影到垂直面上；横断面是线路实体及运营所需空间在线路中线法平面上的投影。

### （一）城市轨道线路的平面

轨道交通线路中心线在水平面上的投影称为线路平面。它表明线路的直、曲变化状态。线路中心线是两根钢轨间距的中心连线（单轨交通为轨道梁的中心线）。

线路平面由直线、圆曲线以及连接直线与圆曲线的缓和曲线组成。在线路平面设计时，为缩短线路长度和改善运营条件，应尽可能设计较长的直线。但为了满足线路选线要求、适应地形变化（地面布置方式）、避让障碍物（地面、地下、高架方式）等，应设置曲线。

为了使城市轨道线路平面圆顺且符合运营要求，设计时需要遵循一定的技术要求。线路平面设计的主要技术要素包括：最小圆曲线半径、缓和曲线线形和长度、最小夹直线长度、最小圆曲线长度等。

#### 1. 圆曲线

线路在转向处所设的曲线通常为圆曲线。其半径的大小反映了曲线弯曲度的大小。圆曲线半径越小，弯曲度越大。一般情况下，曲线半径越大，行车速度可以越高，但工程费用越高。曲线半径宜按标准半径从大到小合理选用。实际工作中，最大半径一般很少超过 3000 m。400 m 以下的小半径曲线具有限制车速、养护比较困难、钢轨侧面磨耗严重以及噪声大等缺点，特别是在轨道交通运量大、密度高的情况下，上述缺点更加突出。因此，小半径圆曲线应尽量少用，并应有一定限制。

城市轨道交通系统应根据其运行特征及车辆性能等要素选择一个统一适合的  $R_{\min}$  值，以便于设计与施工。

城市轨道交通的正线  $R_{\min}$  常用 300m，困难地段不小于 250m；联络线  $R_{\min}$  常用 150m，车辆段根据作业情况及布局需要， $R_{\min}$  还可适当取较小的值（最小  $R$  值仅有 100 m 左右）。单轨铁路（跨坐式）：正线  $R_{\min}=60\text{m}$ ；其他  $R_{\min}=30\text{m}$ 。目前，在我国轨道交通正线设计中，最小曲线半径标准为：A 型车 300~350m，B 型车 250~300m，具体见表 1.1。

表 1.1 城市轨道交通最小曲线半径

| 线 路     |                                         | 一般情况 (m) |      | 困难情况 (m) |      |
|---------|-----------------------------------------|----------|------|----------|------|
|         |                                         | A 型车     | B 型车 | A 型车     | B 型车 |
| 正线      | $v \leq 80\text{km/h}$                  | 350      | 300  | 300      | 250  |
|         | $80\text{km/h} < v \leq 100\text{km/h}$ | 550      | 500  | 450      | 400  |
| 联络线、出入线 |                                         | 250      | 200  | 150      |      |
| 车场线     |                                         | 150      | 110  | 110      |      |

注：除同心圆曲线外，曲线半径应以 10m 的倍数取值



对于最小圆曲线长度,城市轨道交通线路设计时也有要求。城市轨道交通圆曲线长度短,对改善行车条件、减少行车阻力和养护维修有利。但当圆曲线长度小于车辆的全轴距时,车辆将同时跨越在三种不同的线形上,会危及行车安全,降低列车的稳定性和乘客的舒适度。因此,我国地铁设计规范规定,正线及辅助线的圆曲线的最小长度,A型车不得小于25m,B型车不得小于20m,在困难情况下不得小于车辆的全轴距。

## 2. 缓和曲线

圆曲线与直线相连时,存在两个问题:一是ZY(直圆点)处的平面曲率有突变;二是ZY(直圆点)处的外轨超高有突变。设置缓和曲线的目的就是要解决这两个问题,即实现平面曲率的渐变及外轨超高的渐变。

缓和曲线的技术要素有线型及长度两项。

在城市轨道交通中,由于列车速度只有70~120km/h,缓和曲线线型一般采用三次抛物线,长度则根据圆曲线半径及列车行车速度不同而变化,具体见表1.2。

表 1.2 缓和曲线长度

| $\begin{matrix} L \\ v \\ R \end{matrix}$ | 100 | 95 | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 |
|-------------------------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 3000                                      | 30  | 25 | 20 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| 2500                                      | 35  | 30 | 25 | 20 | 20 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| 2000                                      | 40  | 35 | 30 | 25 | 20 | 20 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| 1500                                      | 55  | 50 | 45 | 35 | 30 | 25 | 20 | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| 1200                                      | 70  | 60 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 20 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| 1000                                      | 85  | 70 | 60 | 50 | 45 | 35 | 30 | 25 | 25 | 20 | —  | —  | —  | —  | —  |
| 800                                       | 85  | 80 | 75 | 65 | 55 | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | —  | —  | —  | —  |
| 700                                       | 85  | 80 | 75 | 70 | 60 | 50 | 45 | 35 | 35 | 25 | 20 | 20 | —  | —  | —  |
| 650                                       | 85  | 80 | 75 | 70 | 60 | 55 | 45 | 40 | 35 | 30 | 20 | 20 | —  | —  | —  |
| 600                                       |     | 80 | 75 | 70 | 70 | 60 | 50 | 45 | 40 | 30 | 20 | 20 | 20 | —  | —  |
| 550                                       |     |    | 75 | 70 | 70 | 65 | 55 | 45 | 45 | 35 | 20 | 20 | 20 | —  | —  |
| 500                                       |     |    |    | 70 | 70 | 65 | 60 | 50 | 50 | 35 | 20 | 20 | 20 | 20 | —  |
| 450                                       |     |    |    |    | 70 | 65 | 60 | 55 | 55 | 40 | 25 | 20 | 20 | 20 | —  |
| 400                                       |     |    |    |    |    | 65 | 60 | 60 | 55 | 45 | 25 | 20 | 20 | 20 | —  |
| 350                                       |     |    |    |    |    |    | 60 | 60 | 60 | 50 | 30 | 25 | 20 | 20 | 20 |
| 300                                       |     |    |    |    |    |    |    | 60 | 60 | 60 | 35 | 30 | 25 | 20 | 20 |
| 250                                       |     |    |    |    |    |    |    |    | 60 | 60 | 40 | 35 | 30 | 20 | 20 |
| 200                                       |     |    |    |    |    |    |    |    |    | 60 | 40 | 40 | 35 | 25 | 20 |
| 150                                       |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 40 | 40 | 35 | 25 |

注:表中 $R$ 为曲线半径(m); $v$ 为设计速度(km/h); $L$ 为缓和曲线长度(m)。

## 3. 夹直线

两相邻曲线转向相同,称为同向曲线;若转向相反则称为反向曲线。

线路上两条相邻的曲线不应该直接相连,而应在两条相邻的曲线间设置一定长度的直



线,以保证列车运行的平稳,这条直线称为夹直线。

车辆运行在同向曲线上,因为相邻曲线半径不同,超高高度不同,车体向内的倾斜度也不同;车辆运行在反向曲线上,因为相邻曲线超高方向不同,车体时而向左倾斜,时而向右倾斜。这两种情况都会造成车体摇晃震动,夹直线长度越短,摇晃震动越剧烈。夹直线太短,也不易保持夹直线的方向,会增加养护困难。因此,我国地铁设计规范规定:正线及辅助线上相邻曲线的夹直线长度(不含超高顺坡及轨距递减段的长度),A型车不宜小于25m,B型车不宜小于20m,在困难情况下不得小于一个车辆的全轴距;车场线上的夹直线长度不得小于3m。

#### 4. 曲线附加阻力

列车在通过曲线段时,除了克服基本阻力(即直线段也存在的阻力如列车运行过程中需要克服的轮轨阻力)外,还需克服曲线附加阻力。这是因为曲线段内轨与外轨之间长度不相等,列车在通过曲线段时,会发生外侧车轮滚动、内侧车轮滑动的情况;同时,会因为离心力产生车轮与钢轨之间的挤压力等。

曲线阻力与曲线半径成反比,即曲线半径越大,曲线阻力越小,对运行有利;但曲线半径越小,线路适应地形、避让障碍物的能力越强。

#### 5. 其他

(1)道岔应设置在直线上。在困难情况下,道岔也可设在曲线上,但道岔端部至曲线端部的距离不宜小于5m,车场线可减少到3m。道岔宜靠近车站位置,但道岔基本轨端部至车站站台端部的距离不小于5m。

(2)不同号数道岔的导曲线半径和长度也不同,会影响线路线间距和线路长度。正线和辅助线上为保证必要的侧向过岔速度,宜采用9号道岔;车场线因过岔速度要求低,可采用不大于7号的道岔,以缩短线路长度,节省造价。设置交叉渡线两平行线的线间距宜按规定采用:12号道岔采用5.0m;9号道岔采用4.6m或5.0m,6号、7号道岔采用4.5m或5.0m。

(3)城市轨道交通线路不宜采用复曲线。在困难地段,有充分技术依据时可采用复曲线。当两圆曲线的曲率差大于 $1/2500$ 时,应设置中间缓和曲线,其长度应根据计算确定,在困难情况下不得小于20m。

(4)折返线的有效长度,宜为远期列车长度加40m(不含车挡长度)。

### (二) 城市轨道交通线路的纵断面

线路中心线在垂直平面上的投影称为线路纵断面(单轨铁路以轨道梁中心线为准),它表明线路的坡度变化。

线路纵断面由平道、坡道及设在变坡点处的竖曲线的组成。

#### 1. 坡道

坡道是由于选线及避让障碍物需要及适应运行需要而设置的路段,坡道的特征用坡段长度和坡度值来表示。

##### 1) 坡段长度

两个坡段的连接点,即坡度变化点,称为变坡点。一个坡段两端变坡点之间的水平距



离称为坡段长度。如果坡段长度小于列车长度,那么列车就会同时跨越2个或2个以上的变坡点,各个变坡点所产生的附加应力和局部加速度会因叠加而加剧,影响列车平稳运行和旅客的舒适。因此,线路坡段长度不宜小于远期列车计算长度。按每节车19.11m计算,当列车编组为8节车厢时,约为150m;列车6节编组时,约为115m。与干线铁路不同,城市轨道交通线路不要求坡段长度取整为50m的整数倍。

## 2) 坡度

坡度是一段坡道两端点的高差  $H$  与水平距离  $L$  之比,用  $i\%$  表示,如图 1.1 所示。

$$i\% = H/L = \tan \alpha$$

式中  $\alpha$ ——坡道夹角;

$H$ ——坡道高差,单位为 m;

$L$ ——坡道水平距离,单位为 m。

## 2. 竖曲线

在线路纵断面上,若各坡段直接相连则形成一条折线,列车通过变坡点时,产生的车辆振动和局部竖向加速度增大,乘客舒适度降低。同时车辆处在最不利位置时,可能导致车轮脱轨或相邻车辆脱钩,影响行车安全。因此,必须在变坡点处用竖曲线把折线断面平顺地连接起来,以保证行车安全、平顺和乘客乘坐的舒适度。

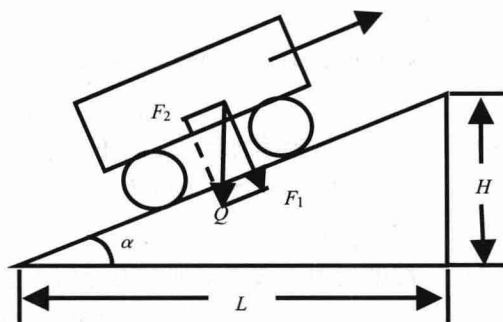


图 1.1 坡道与坡道阻力示意图

## 1) 竖曲线设置规定

(1) 当两相邻坡段的坡度差等于或大于  $2\%$  时,应在变坡点处设置圆曲线型竖曲线连接。

(2) 车站站台计算长度内和道岔范围内不得设置竖曲线,竖曲线离开道岔端部的距离不应小于 5m。

(3) 碎石道床线路竖曲线不得与平面缓和曲线重叠;不设平面缓和曲线时,竖曲线不得与超高顺坡重叠,否则立面轨顶超高顺坡与平面缓和曲线率渐变将形成复杂的空间曲线,施工中很难做成设计形状,运营中碎石道床也难以保持。

## 2) 竖曲线半径

竖曲线半径大小与速度有关,速度越高,要求半径越大。我国地铁设计规范规定城市轨道交通竖曲线半径应符合表 1.3 所示的要求。

表 1.3 城市轨道交通竖曲线半径

| 线 别     |      | 一般情况 (m) | 困难情况 (m) |
|---------|------|----------|----------|
| 正线      | 区间   | 5000     | 3000     |
|         | 车站端部 | 3000     | 2000     |
| 联络线、出入线 |      | 2000     |          |
| 车场线     |      | 2000     |          |

单轨铁路竖曲线半径不小于 1000m。

车站站台和道岔范围不得设竖曲线，竖曲线离开道岔端部距离不应小于 5m。渡线应设在 5‰ 以内的坡度上，而且竖曲线不应伸入道岔范围之内。竖曲线起点至道岔基本轨起点的距离，或距离辙叉跟端以外短轨端点的距离，均不应小于 5m。

### 3. 坡道阻力 ( $W_i$ )

坡道阻力是列车通过坡道时因坡度存在而产生的附加阻力。

车辆在坡道上运行，重力分解为对轨道的正压力  $F_1$  与沿坡道的下滑力  $F_2$  两个分力，如图 1.1 所示， $F_2$  即为坡道的坡度引起的坡道附加阻力  $W_i$ ，上坡时， $W_i$  为正值；下坡时， $W_i$  为负值。

当  $\alpha$  很小时，有  $\sin\alpha \approx \tan\alpha$ ，并取  $g=10\text{m/s}^2$ ，因此

$$W_i = Q \sin\alpha \approx Q \tan\alpha (k) = Q_i (\text{N})$$

式中  $W_i$ ——坡道附加阻力，单位为 kN；

$Q$ ——车辆重力，单位为 kN；

$i$ ——坡度。

单位坡度阻力为坡道附加阻力与列车重量之比，用  $\omega_i$  表示。

$$\omega_i = W_i / Q = Q \cdot i / Q = i (\text{N/kN})$$

由此可见， $\omega_i$  与  $i$  成正比，即  $i$  越大， $\omega_i$  越大，对列车运行速度制约越大。城市轨道交通线路的坡度在满足排水及标高控制要求的前提下应尽可能平缓，其坡度的取值规定如下：

(1) 正线的最大坡度不宜大于 30‰，困难地段可采用 35‰，联络线、出入线的最大坡度不宜大于 40‰（均不考虑各种坡度折减值）。但随着各种城市轨道交通车辆的改进，允许的最大坡度值也正在增大。

(2) 车站坡度。地下车站站台计算长度段线路坡度宜采用 2‰，以防止车辆溜动，也便于站内线路排水；困难条件下不大于 3‰。

地面和高架桥上的车站宜设在平道上，以利于列车在车站停车平稳；困难地段不大于 3‰，便于停车和启动。

车站站台计算长度段线路应设在一个坡道上，以简化设计、施工，也便于排水处理；有条件时车站宜设置在纵断面的凸形部位上，并设置合理的进、出站坡度，即进站上坡，出站下坡，这样有利于节省列车制动和启动时的能耗。

车场线宜设在平道上，困难时库外线不大于 1.5‰，以防止溜车。

(3) 道岔宜设在不大于 5‰ 的坡道上，困难地段不大于 10‰。

(4) 折返线和停车线宜布置在面向车挡的下坡道上，隧道内的坡道宜为 2‰，地面和高架线上的折返线、停车线，其坡度不宜大于 1.5‰，以防止溜车，确保停车安全，同时又保证必要的最小排水坡度。

### 4. 城市轨道交通线路的合理纵断面

城市轨道交通由于部分线路设在地下隧道或设置在高架结构上，又因为车站和区间的埋深和高差不尽一样，在设计地下隧道线路纵断面时，须注意保持合理纵断面。



合理纵断面应既满足有利于列车运行、提高效率、降低消耗、安全可靠的要求,又能满足兼顾降低施工量、减少施工难度、提高施工进度的需要。

如图 1.2 所示,由于区间隧道轨道面标高低于车站轨道面标高,所以列车在运行过程中处于出站下坡与进站上坡的有利状态,有利于列车启动加速与进站减速制动。

图 1.3 所示纵断面往往会出现在地下隧道且采用明挖法施工建设的系统中,由于片面强调减少挖掘土方,而未先明确列车运行特征及运营后的成本费用问题以及受地质条件、地下结构等原因的影响,导致出现不合理纵断面。并且因地下线路无法改造调整,只能成为永久性遗憾。



图 1.2 合理纵断面示意图



图 1.3 不合理纵断面示意图

地下盾构等施工方式比较容易解决线路走向选择,并且没有施工量多少的问题,一般不会出现上述不合理纵断面。

同样,高架结构线路车站也应选择合理纵断面位置。

## 二、城市轨道交通线路系统的组成

城市轨道交通线路是城市轨道交通车辆运行的基础。线路是列车所行驶的轨道式通道,由轨道结构及支撑它的路基、涵洞或桥梁、隧道等建筑物组成。

### (一) 线路空间设置

城市轨道交通线路空间设置有地下、地面和高架三种方式。

#### 1. 地下

这种方式常用于地下铁道系统,线路置于地下隧道中。其优点是与地面交通完全分离,且不占城市地面与空间,基本不受气候影响;其不足之处在于需要较大投资,较高的施工技术,较先进的管理,完善的环控、防灾措施与设备。在建设过程中仍会影响地面交通,运营成本较高,改造调整与线路维护均较困难。

#### 2. 地面

这种方式一般采用独立路基的方式,减少与地面道路交通的互相干扰。其优点是造价最低,施工简便,运营成本低,线路调整与维护较容易;其不足之处是运营速度难以提高(有部分信号控制的平面交叉点),占地面积较多,破坏城市道路路面,使城市道路交叉口复杂化,容易受气候影响(如雨水、雾、台风等),乘车环境难以改善,有一定的污染负效应(如噪声、景观等)。

#### 3. 高架

这种方式线路设在高架工程结构物上,与地面交通无干扰,造价介于地下与地面之间。施工、维护、管理、环控及防灾诸方面都比地下线路方便;但要占用一定的城市用地,并且有光照、景观、噪声等负效应,也受气候变化的影响。在同一条轨道交通路线上,上述