



21世纪职业教育立体化精品教材  
“互联网+”新形态教材

# 城市轨道交通 运输设备

主 编 孙晓梅 杨君鹏  
副主编 李金明 代 兵 董利军  
参 编 李 威 隋 爽 李 彤

● 江苏凤凰教育出版社

凤凰职教

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通运输设备/孙晓梅, 杨君鹏主编. —  
南京: 江苏凤凰教育出版社, 2020. 12

ISBN 978-7-5499-8972-0

I. ①城… II. ①孙… ②杨… III. ①城市铁路—交  
通运输工具—高等教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 202604 号

### 书 名 城市轨道交通运输设备

---

主 编 孙晓梅 杨君鹏  
责任编辑 汪立亮  
出版发行 江苏凤凰教育出版社  
地 址 南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009  
出 品 江苏凤凰职业教育图书有限公司  
网 址 <http://www.fhmooc.com>  
印 刷 天津市蓟县宏图印务有限公司  
厂 址 天津市蓟县天津专用汽车产业园福山大道 14 号  
电 话 022-29140509  
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16  
印 张 17  
版 次 2020 年 12 月第 1 版 2020 年 12 月第 1 次印刷  
标准书号 ISBN 978-7-5499-8972-0  
定 价 56.00 元  
批发电话 025-83658831  
盗版举报 025-83658873

---

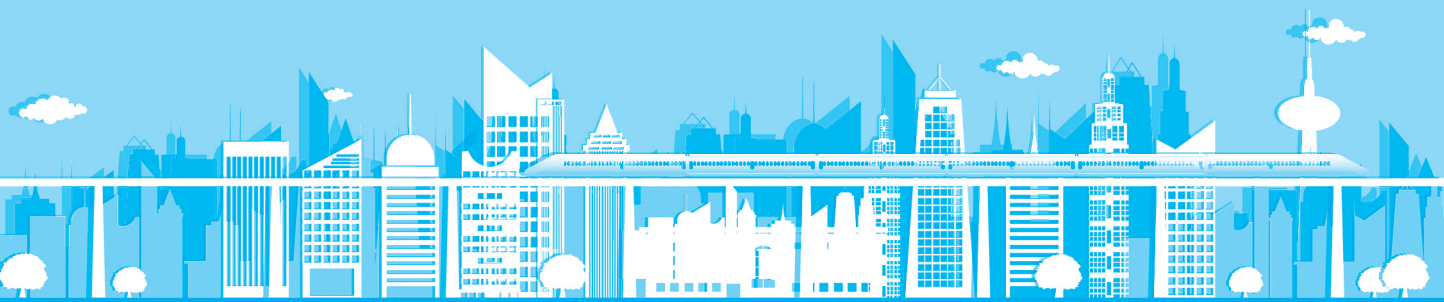
图书若有印装错误可向当地经销商申请调换  
提供盗版线索者给予重奖

# 前言

城市轨道交通作为一种大容量、中短途客运基础设施，具有便捷高效、安全环保、社会效益显著等优势。建设城市轨道交通已成为世界各大城市缓解交通压力、优化城区布局、促进社会发展的重要举措。中国城市轨道交通协会发布的数据显示，截至2019年底，我国大陆地区(以下文中涉及全国数据均指我国大陆地区，不含港澳台)已有40座城市开通了城市轨道交通，先后建成并开通运营城市轨道交通线路208条，总里程达6736.2 km。我国城市轨道交通已进入高速发展阶段，城市轨道交通专业技术人才需求巨大，学校和企业同时面临着大量的城市轨道交通运营专业人员的培养和培训工作。

城市轨道交通运输设备是城市轨道交通赖以正常运营的物质和技术基础，主要包括列车运行基础设备(包括线路、车站、车辆、车辆检修基地、供电设备)、列车运行安全设备(包括信号与通信系统、联锁设备、闭塞设备)和为乘客服务设备(车站机电设备)三大类。本书主要对城市轨道交通运输设备的结构和工作原理进行了详细讲解。本书以培养学生能力为重点，共设计9个教学项目，分别是城市轨道交通线路、车站、车辆、车辆检修基地、供电设备、信号与通信系统、联锁设备、闭塞设备、车站机电设备。

作为新形态立体化教材，本书突出以学生为中心，以项目教学与课题引领为特点，注重理论联系实际，重点体现城市轨道交通运输设备的实训操作技能。在关键知识点后均通过二维码嵌入城市轨道交通运输设备的实训操作视频或动画，学生可以通过扫描二维码进行自主学习，同时每个项目还配有思考与练习，通过“教学做”一体化模式，循序渐进地培养学生的动手能力、岗位技能和职业素养。



本书由长春职业技术学院具有多年一线教学工作经验的教师和长春市轨道交通集团有限公司关键技术岗位的学徒工程师联合编写，孙晓梅、杨君鹏任主编，李金明、代兵、董利军(长春市轨道交通集团有限公司)任副主编，李威(长春市轨道交通集团有限公司)、隋爽、李彤(吉林省教育学院)参与编写。具体编写分工如下：孙晓梅编写项目七、项目八，杨君鹏、李彤编写项目一、项目二，李金明编写项目九，代兵编写项目四、项目五，李威编写项目六，隋爽编写项目三；董利军为本书编写提供了相关的行业数据和参考资料，并对本书的体例设计和编写思路提出了重要意见。

本书在编写过程中得到了长春市轨道交通集团有限公司、广州地铁集团有限公司、深圳市地铁集团有限公司、北京市地铁运营有限公司、成都轨道交通集团有限公司、沈阳地铁集团有限公司、天津轨道交通集团有限公司等的大力支持，还参考、引用了许多国内外专家发表的有关城市轨道交通的文献，在此谨向有关部门及专家致以衷心的感谢。

本书是城市轨道交通专业的核心教材，可供职业院校相关专业教学选用，也可供城市轨道交通行业岗位培训和技术人员学习参考。

鉴于编写人员技术水平及实践经验的局限性，书中难免存在不足之处，敬请读者反馈，以便今后修订和完善。我们真诚期待广大读者多提宝贵意见。

编者

# 目录

## 项目一 城市轨道交通线路



课题一 城市轨道交通线路概述 .....	2
课题二 道岔 .....	13
拓展阅读 .....	20
项目小结 .....	22
思考与练习 .....	23

## 项目二 城市轨道交通车站



课题一 城市轨道交通车站概述 .....	26
课题二 车站主要建筑 .....	35
课题三 乘客导向标识系统和乘客信息系统 .....	40
拓展阅读 .....	48
项目小结 .....	49
思考与练习 .....	49

## 项目三 城市轨道交通车辆



课题一 城市轨道交通车辆概述 .....	52
课题二 车体及其设备 .....	57

课题三 车门 .....	67
拓展阅读 .....	73
项目小结 .....	75
思考与练习 .....	75

#### 项目四 城市轨道交通车辆检修基地



课题一 城市轨道交通车辆检修基地概述 .....	78
课题二 车辆段的主要线路及信号设备 .....	86
拓展阅读 .....	91
项目小结 .....	94
思考与练习 .....	94

#### 项目五 城市轨道交通供电设备



课题一 城市轨道交通供电系统 .....	96
课题二 城市轨道交通牵引供电系统 .....	102
拓展阅读 .....	110
项目小结 .....	112
思考与练习 .....	112

#### 项目六 城市轨道交通信号与通信系统



课题一 城市轨道交通信号系统 .....	116
课题二 城市轨道交通通信系统 .....	122
拓展阅读 .....	128
项目小结 .....	130
思考与练习 .....	130

#### 项目七 城市轨道交通联锁设备



课题一 联锁基础设备 .....	133
课题二 车站联锁图表 .....	139
课题三 6502 电气集中联锁系统 .....	146

课题四 6502 电气集中联锁控制台操作 .....	151
课题五 正线计算机联锁系统 .....	158
课题六 计算机联锁系统 LOW 操作 .....	165
拓展阅读 .....	175
项目小结 .....	176
思考与练习 .....	176

## 项目八 城市轨道交通闭塞设备



课题一 自动闭塞设备 .....	183
课题二 准移动闭塞设备 .....	187
课题三 移动闭塞设备 .....	188
课题四 电话闭塞法行车作业 .....	194
拓展阅读 .....	199
项目小结 .....	203
思考与练习 .....	204

## 项目九 城市轨道交通车站机电设备



课题一 车站电梯系统 .....	206
课题二 车站屏蔽门 .....	217
课题三 车站自动售检票设备 .....	227
课题四 车站消防设备 .....	239
课题五 环境与设备监控系统 .....	247
课题六 低压配电及照明系统 .....	253
课题七 车控室综合后备盘 .....	255
拓展阅读 .....	261
项目小结 .....	262
思考与练习 .....	262

## 参考文献







# 项目一

# 城市轨道交通线路

## ●知识目标

1. 掌握线路的结构和不同种类线路的技术特点。
2. 掌握线路平面的概念、组成、作用，曲线要素的计算及与行车速度的关系。
3. 掌握线路纵断面的概念、组成要素，以及不同线路及其平面、纵断面对行车作用的影响。
4. 掌握道岔的定义、组成，道岔的中心线表示法，道岔的几何要素。
5. 熟悉道岔的选用方法、道岔对行车速度的影响。

## ●重点难点

1. 线路的组成、结构及技术特点。
2. 曲线对行车作业的影响。
3. 线路纵断面的组成、特点及对行车作业的影响。
4. 道岔的组成及对行车作业的影响。

## ●能力目标

1. 能画出线路横断面示意图。
2. 能用线路中心线法画出普通单开道岔的示意图。
3. 能按照作业标准现场手摇道岔。



## 案例引入

### 案例叙述：

2005年4月25日日本标准时间上午9:18,在日本兵库县尼崎市福知山线冢口到尼崎车站间的一处弯道处(曲线半径300 m,限速70 km/h),一列西日本旅客铁道(JR西日本)的快速电车脱轨,冲入距脱轨点60 m远的一栋九层楼公寓,两节车厢严重扭曲变形,造成107人死亡、562人受伤的重大事故。

当时,事故列车共有七节车厢,其中五节脱轨,第一节车厢冲入大楼的一楼停车场,第二节车厢紧贴大楼边缘并严重扭曲变形,挤压成正常宽度的一半,损失惨重。

日本福知山线列车脱轨事故现场如图1-1所示。

### 案例分析：

①事故发生现场为轨道线路的弯道段,曲线半径300 m,而且未设置预防脱轨的内护轨。

②弯道处限速70 km/h,事故列车当时的行驶速度达100 km/h,事故列车信号控制系统属于比较旧的形式,列车超速行驶不会刹车保护。

③列车司机驾驶经验只有11个月,驾驶技术和工作方式仍不成熟,为赶点超速行驶,最终造成事故的发生。



图 1-1 日本福知山线列车脱轨事故现场

城市轨道交通线路是完成城市乘客运输的主要设备,是机车车辆和列车运行的基础。线路状态对城市轨道交通运营组织和完成城市客运任务具有决定性的影响。从事运营管理工作的人员必须认知与线路相关的设备和设施,掌握它们对运营工作的影响。

## 课题一 城市轨道交通线路概述

### 一、线路的结构

城市轨道交通线路是由路基和轨道组成的一个整体工程结构,如图1-2所示。为了使列车能按规定速度安全、平稳和不间断地运行,线路各部件必须保持完好状态,以确保高质量地完成乘客运输任务。

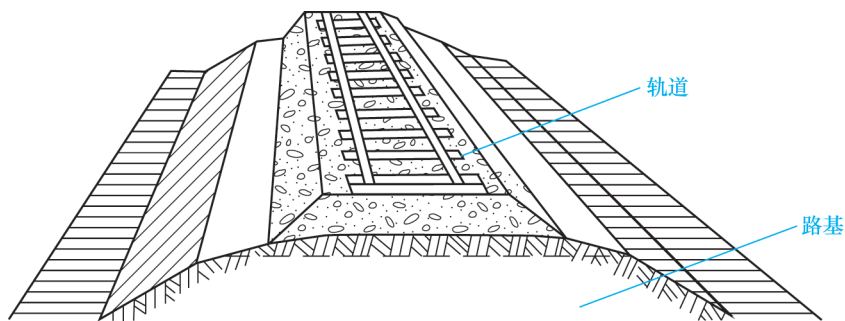


图 1-2 线路的组成

### 1. 路基

路基是轨道的基础，也称为下部建筑，它是城市轨道交通的基础。路基的形式有路堤式、路堑式、半路堤式、半路堑式、不填不挖式、半堤半堑式 6 种。常见的路基形式为路堤式和路堑式。

### 2. 轨道

轨道是由钢轨、轨枕、连接零件、道床、道岔和其他附属设备等不同力学性质的材料组成的构筑物。现代的轨道通常用两根专门轧制的“工”字形截面的钢轨固定在轨枕上而形成。轨道是一个整体性工程结构，经常处于列车运行的动力作用下，其直接承受车轮传来的巨大压力，并把它传给路基及桥隧建筑物，起着机车车辆运行的导向作用。轨枕一般横向敷设，由木材、钢筋混凝土或钢材制成，通过道床将荷载传递给路基。

#### (1) 钢轨

钢轨由轨头、轨腰和轨底三部分组成，如图 1-3 所示。钢轨的作用是支承和引导机车车辆的车轮运行，把车轮传来的压力传给轨枕，并为车轮滚动提供阻力最小的表面。钢轨还有为供电、信号电路提供回路的作用。常用的钢轨是宽底式钢轨，其截面为“工”字形。

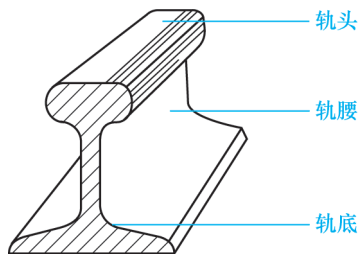


图 1-3 钢轨的组成

从钢轨的质量和强度上分，城市轨道交通所使用的钢轨有如下五种(钢轨的强度以  $\text{kg/m}$  表示，数值越大表明其所能承受的重量也越大)：38  $\text{kg/m}$ 、43  $\text{kg/m}$ 、50  $\text{kg/m}$ 、

60  $\text{kg/m}$ 和 75  $\text{kg/m}$ 。我国城市轨道交通线路上主要使用的钢轨类型：正线 60  $\text{kg/m}$  或 50  $\text{kg/m}$ ，车场线 50  $\text{kg/m}$  或 43  $\text{kg/m}$ 。我国钢轨的标准长度有 25.0 m 和 12.5 m 两种。

传统的钢轨连接安装法是把一节钢轨固定在轨枕之上，各节钢轨之间的接头(称为钢轨接头，也称接缝)，通常使用鱼尾板和螺栓接合。目前较新的连接安装法是持续焊接钢轨，使原本一节一节的钢轨经焊接后成为无缝钢轨或长钢轨。

#### (2) 轨枕

轨枕直接支承钢轨，并通过扣件与钢轨牢固相连。轨枕按材质分为木枕和钢筋混凝土轨枕，按敷设位置分为普通轨枕、道岔区岔枕和桥枕。我国城市轨道交通线路上普遍使用

的轨枕长度为 2.50 m，道岔用的轨枕和桥梁用的轨枕长度为 2.60~4.85 m。

### (3) 道床

道床的作用是支承轨枕，把从轨枕传来的压力均匀地传给路基，它还有缓冲车轮对钢轨的冲击、固定轨枕的作用。它在地面线路还能起到排除轨道中雨水的作用。

① 地铁隧道普遍采用整体道床。整体道床无须补充石碴或更换轨枕，而且整体性强、稳定性好、轨道几何尺寸易于保持、养护维修工作量小，不足的是工程造价高、施工难度大，一旦形成无法纠偏，出现病害难以整治，且道床弹性差。

② 隧道内的道床可分为有碴道床和无碴道床两种。

有碴(有碎石)道床：施工简单，防噪声性能好，但需要增加隧道的开挖量，而且维修工作量较大，如图 1-4 所示。



图 1-4 有碴道床

无碴(无碎石)道床：最为普遍的是混凝土整体道床，如图 1-5 所示，这种结构利用扣件把钢轨和混凝土基础直接连接在一起。



图 1-5 混凝土整体道床

③ 高架桥上的道床与隧道内相似，分为碎石道床和混凝土整体道床。桥上整体道床结构也称为无碴无枕梁结构，是通过扣件直接把钢轨和混凝土连接起来的。

④ 减振垫层与扣件。由于整体道床结构没有碎石提供必要的弹性，因而一般要配用弹性较好的扣件以减小振动和降低噪声。

a. 减振垫层。减振垫层为压缩型橡胶垫板，放在钢轨与承轨台之间，能显著减小车辆振动，降低噪声。

b. 扣件。扣件又称为中间连接零件，它将钢轨牢牢地固定在轨枕之上，以防止钢轨

相对轨枕有纵向或横向的移动。钢筋混凝土轨枕的扣件可以分为扣板式、弹片式和弹条式 3 种。

## 二、线路的分类

### 1. 按线路与地面的关系分类

城市轨道交通线路按线路与地面的关系可分为地下线路、地面线路和高架线路。

#### (1) 地下线路

地下线路常用于地铁系统，即线路置于地下隧道中。其优点是与地面交通完全分离，不占城市地面与空间，且不受气候影响。其缺点是需要较大的一次性投资，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；建设过程会影响地面交通，运营成本较高，线路调整与维护均较困难。

#### (2) 地面线路

地面线路设置于地面。其优点是造价低，施工简便，运营成本低，线路调整与维护方便；缺点是运营速度难以提高(有部分信号控制的平面交叉点)，占地面积较大，破坏城市道路路面，使城市道路交叉口复杂化，容易受气候(如雨水、雾、台风等)影响，乘车环境难以改善，有一定的负效应(如噪声、景观不协调等)。

#### (3) 高架线路

高架线路设置于高架工程上。其与地面交通无干扰，造价介于地下和地面之间，施工、维护、管理、环控、防灾等方面都比地下线路方便；但要占用城市用地，并有影响光照、景观不协调、噪声等负效应，也受气候影响。

3 种类型线路的优缺点比较如表 1-1 所示。

表 1-1 3 种类型线路的优缺点比较

序号	项目	特点		
		地下线路	地面线路	高架线路
1	土建难度	大	小	较小
2	相关设备复杂程度	复杂	简单	较简单
3	大	投资	小	较大
4	自然环境对运营的影响	小	较大	大
5	对城市土地的阻隔作用	无	强	较弱
6	对城市环境的影响	小	较大	大

### 2. 按线路在运营中的作用分类

城市轨道交通线路按线路在运营中的作用分为正线、辅助线和车场线等。立体交叉的线路布置图如图 1-6 所示。

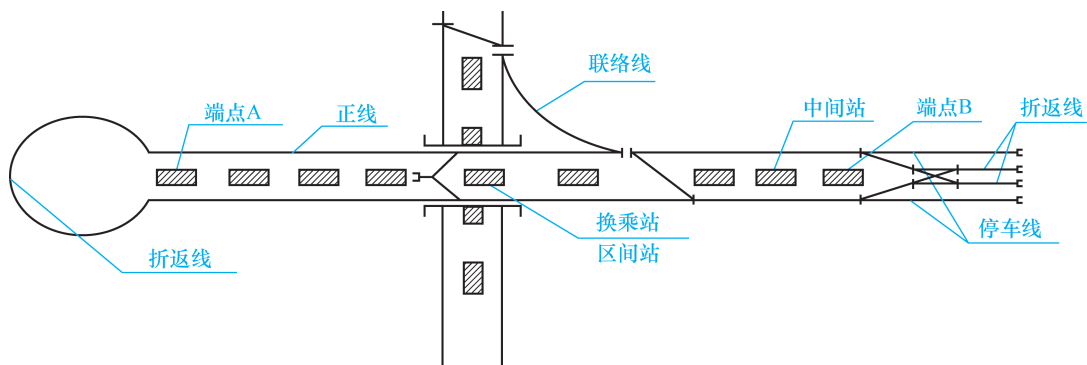


图 1-6 立体交叉的线路布置图

### (1) 正线

正线是指连接所有车站，贯穿运营线路始、终点，供车辆载客运营的线路。城市轨道交通正线是独立运行的线路，大多数线路为全封闭，一般按双线设计，采用上、下行分行，实行右侧行车制，以便与地面交通的行车规则吻合。

正线行车速度快、密度大，且要保证行车安全和乘坐舒适，因此，线路标准要求高。线路与其他交通线路相交处，一般采用立体交叉。在特殊条件下(如运营初期)，两条线路或交通方式的运量均较小，且经过计算通过能力满足要求时，也可考虑采用平面交叉。

### (2) 辅助线

辅助线是指为列车进行折返、停放、检查、转线及出入段作业所设置的线路。根据作业需要的不同，辅助线又分为车辆段出入线、停车场出入线、车站配线(存车线、渡线、折返线)及两线路之间的联络线。

辅助线是城市轨道交通系统的重要组成部分，直接关系到系统运营组织的效率。例如，列车在正线上运行时，倘若突然出现故障，而上下行线路没有道岔时，列车既不能改变方向，也不能超越，否则有可能造成全线瘫痪。为了运营时段意外事故发生后能迅速进行抢修，每隔 2~3 个车站应选择一处设置渡线和临时停车线等辅助线，便于特殊情况下应急使用。

### (3) 车场线

车辆段、停车场等都是由许多线路相互连接而组成的，这些相互连接而组成车场的线路就是车场线。车场线因其功能的不同又分为停车线、检修线等。停车线是车场内专门用于停放列车的线路；检修线是专门用于检修列车的线路。

## 三、线路的平面

线路在空间的位置是用它的中心线来表示的。线路中心线在水平面上的投影叫作线路的平面，它表明线路的曲直变化状态和走向。

线路的平面由直线、圆曲线以及连接直线与圆曲线的缓和曲线组成。

## 1. 直线

### (1) 直线的基本要求

我国规定的直线地段轨道的标准轨距为 1 435 mm，用道尺测量轨距的允许误差为  $-2\sim 6$  mm，轨距变化率不得大于 3‰。轮对宽度要略小于轨距，使轮缘与钢轨轮对内侧保持必要的间隙，在轨道上行驶的车辆轮对能顺利通过。轮对左右两车轮内侧面之间的距离加上两个轮缘厚度为轮对宽度。

直线地段两股钢轨顶面应保持同一高度，使两根钢轨负荷均匀，也允许有一定误差，可根据线路等级不同，分别不大于  $4\sim 6$  mm。轨道在一段不太长的距离内不允许左右两轨高差交替变化，以免形成三角坑，引起列车剧烈摇晃，甚至引起脱轨事故。

轨道纵向的平顺情况称为高低，若高低不平，将增大列车通过时的冲击力，对轨道的破坏力增大。根据有关规程规定，经过维修或大修的正线或到发线轨道，前后高低差用 10 m 弦量表示，不得超过 4 mm。

轨道方向应远视顺直，若直线不直，方向不良，则会造成列车蛇行运动，在无缝线路地段，还会诱发胀轨跑道。

### (2) 夹直线的设置

两相邻曲线转向相同，称为同向曲线；转向相反，称为反向曲线。两条相邻曲线间应设置一段长度的直线，以保证列车平稳运行。车辆运行在同向曲线上，因相邻曲线半径不同，超高不同，车体内倾斜度不同；车辆运行在反向曲线上，因两曲线超高方向不同，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振动。为了保证运营安全，提供平稳的行车条件，线路不宜连续设置多个曲线，在曲线之间必须保证足够长度的夹直线。

《地铁设计规范》(GB 50157—2013)规定：在正线与辅助线上夹直线长度不应小于 20 m，在车场线上夹直线长度不应小于 3 m。

## 2. 圆曲线

### (1) 圆曲线要素及计算

线路在转向处所设的曲线为圆曲线，其基本组成要素为曲线半径  $R$ 、曲线转角  $\alpha$ 、曲线长度  $L$ 、切线长度  $T$ ，如图 1-7 所示。

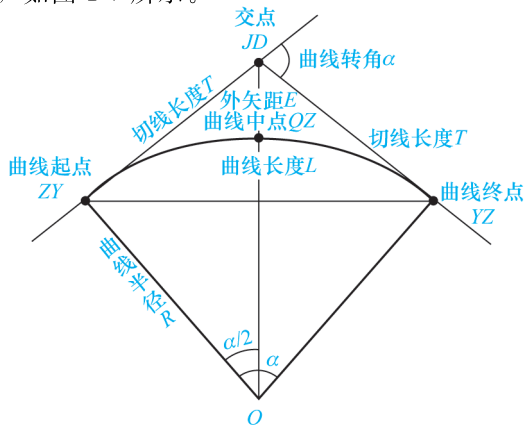


图 1-7 线路圆曲线及其组成要素

在设计线路时，一般先设计出  $\alpha$  和  $R$ ，再按照式(1-1)和式(1-2)分别计算出  $T$  和  $L$ 。

$$T=R \times \tan \frac{\alpha}{2} \quad (1-1)$$

$$L=\frac{\pi}{180} \times R \times \alpha \quad (1-2)$$

曲线半径越大，行车速度越高，但工程量越大，工程费用越高。

小半径曲线地段需要适当限速运行，当列车通过曲线时，为了提高运营的安全性与乘车的舒适性，在圆曲线地段应根据曲线半径和实测行车速度，在曲线外股钢轨合理设置超高。

线路直线与圆曲线往往不是直线连接的，中间要加一段缓和曲线。地铁或轻轨曲线半径应从大到小选择，最大不超过 3 000 m。当曲线半径小于 400 m 时，轮轨磨损大、噪声大，应尽量少用。为了使列车按规定速度安全、平稳运行，需要根据行车速度、车辆轮对有关尺寸等因素规定线路曲线的最小半径。线路曲线半径最小值是地铁主要技术标准之一，根据《地铁设计规范》(GB 50157—2013)的规定，线路平面最小曲线半径应符合表 1-2 的要求。

表 1-2 线路平面最小曲线半径

(单位：m)

线路		一般情况		困难情况	
正线	行车速度 $\leq 80$ km/h	350	300	300	250
	80 km/h $<$ 行车速度 $\leq 100$ km/h	550	500	450	400
联络线、出入线		250	200	150	
车场线		150	110	110	

## (2) 曲线段的特点

① 曲线外轨超高。列车在曲线上行驶将产生惯性离心力，为了平衡离心力，使内外两股钢轨受力均匀，垂直磨耗均匀，乘客不因离心加速度而感到不适，需将外轨抬高到一定程度，使曲线地段轨道的内、外股钢轨的顶面保持一定的高差，利用车体内倾产生的重力水平力来平衡离心力。外轨抬高的量称为超高  $H$ ，用式(1-3)估算。

$$H=\frac{7.6 v_{\max }^2}{R} \quad (1-3)$$

式中： $v_{\max}$ ——列车设计最高运行速度，km/h；

$R$ ——曲线半径，m。

式(1-3)虽以列车最高运行速度表示，实际是代表列车平均运行速度的一种近似估算式。所以当列车运行速度大于平均运行速度时，为满足乘客的舒适度，由于超高不足(欠超高)而产生未被平衡的离心加速度为  $0.4 \sim 0.5 \text{ m/s}^2$ ，对应的欠超高一般为  $60 \sim 75 \text{ mm}$ ，在特殊困难情况下可达  $90 \text{ mm}$ 。

② 曲线轨距加宽。车辆进入曲线轨道时，因惯性作用，仍然要保持原来的行驶方向，当前轴外轮碰到外轨，受到外轨引导时，才沿着曲线轨道行驶。这时车辆的转向架与曲线



在平面上保持一定的位置和角度。车辆运行在曲线上可能会出现三种情况：第一种情况是当轨距足够宽时，只有前轴外轮的轮缘受到外轨的挤压力(导向力)，后轴则居于曲线半径方向，两侧轮缘与钢轨间有一定的间隙，行车阻力最小；第二种情况是当轨距不够宽时，后轴的内轮轮缘也将受到内轨的挤压，产生第二导向力，行车阻力较前者大为增加；第三种情况是轨距更小时，前后轴同时受内外轨挤压，车轮被楔在两轨之间，不仅行车阻力大，甚至可能把轨道挤开。车轮与曲线段轨道的相互作用关系如图 1-8 所示。

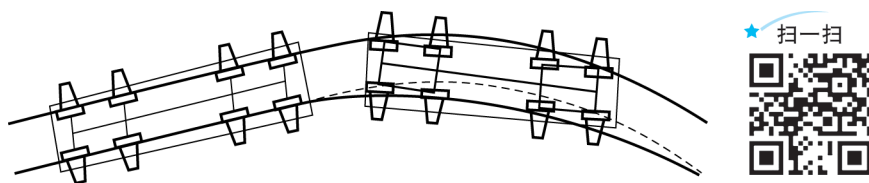


图 1-8 车轮与曲线段轨道的相互作用关系

因此，在小半径曲线上的轨距必须加宽，确定轨距加宽的原则是保证最常用的车辆转向架能以第一种情况自由通过曲线，并保证轴距较长的多轴列车能以第二种情况通过，而不致出现第三种情况。

直线与圆曲线间要设置曲率渐变的缓和曲线，使圆曲线的轨距加宽及外轨超高在缓和曲线范围内逐渐完成。缓和曲线的曲率从零变至与圆曲线的曲率相等时，是一个渐变的过程，相应的超高也是渐变的，车体在缓和曲线内所受到的离心力和向心力也是渐变的。

### 3. 缓和曲线

为保证列车安全，使线路平顺地由直线过渡到圆曲线或由圆曲线过渡到直线，以避免离心力的突然产生和消除，需在直线与圆曲线之间设置一个曲率半径变化的曲线，这个曲线称为缓和曲线。

缓和曲线的特征：从缓和曲线所衔接的直线一端起，它的曲率半径  $\rho$  由无穷大逐渐减小到它所衔接的圆曲线半径  $R$ 。它可以使离心力逐渐增加或减小，以免造成列车强烈的横向摇摆，这对改善运营条件、保证行车安全和平顺都有很大的作用。缓和曲线半径变化如图 1-9 所示。

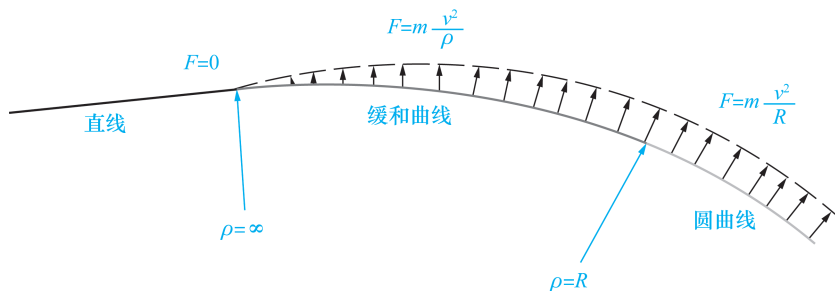


图 1-9 缓和曲线半径变化

《地铁设计规范》(GB 50157—2013)规定，缓和曲线长度为 20~75 m，即不短于一节

车辆全轴距长。

## 四、线路的纵断面

线路中心线展直后在铅垂面上的投影，叫作线路的纵断面，它表明线路的坡度变化。线路的纵断面由平道、坡道及设于变坡点处的曲线组成。

### 1. 坡道的坡度

坡度是一段坡道及设于两端点的高差  $H$  与水平距离  $L$  之比，用  $i\%$  表示，计算公式如下。

$$i\% = \frac{H}{L} = \tan \alpha \quad (1-4)$$

式中： $i$ ——坡度值；

$\alpha$ ——坡道段线路中心线与水平线的夹角，°。

坡道坡度及坡道附加阻力示意图如图 1-10 所示。

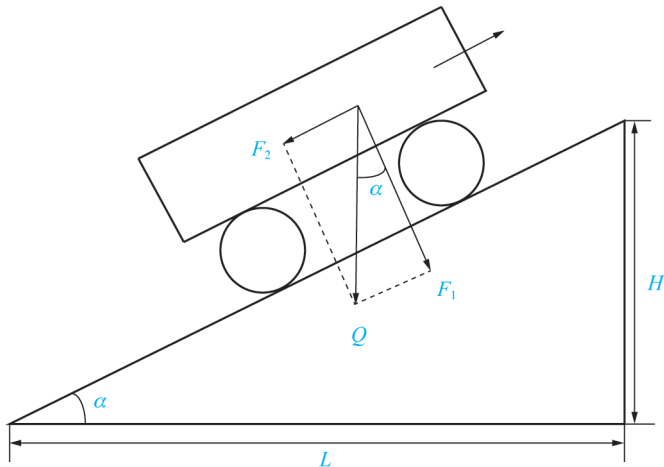


图 1-10 坡道坡度及坡道附加阻力示意图

线路根据地形的变化，有上坡、下坡和平道。上坡、下坡是按照列车运行方向来区分的，通常用“+”表示上坡，用“-”表示下坡，用“0”表示平道。例如，+4‰表示线路每 1 000 m 的水平距离升高 4 m；-4‰则表示线路每 1 000 m 的水平距离降低 4 m。

线路纵断面上坡度的变化点，叫作变坡点。相邻变坡点间的距离，叫作坡段长度。城市轨道交通线路坡段长度应不小于远期列车长度，还应满足两相邻竖曲线间的夹直线坡段长度不小于 50 m。

同时，地铁线路应尽可能采用较平缓的坡度。一条线路最大坡度的确定，必须考虑各类车辆在最大坡道上停车时的启动与防溜，同时考虑必要的安全系数。

最大坡度也是地铁主要技术标准之一，《地铁设计规范》(GB 50157—2013)规定：正线的最大坡度宜采用 30‰，困难地段可采用 35‰，辅助线的最大坡度宜采用 40‰。

地铁隧道线路考虑排水需要，正线最小坡度应不小于 3‰，困难地段在确保排水的条件

下,可采用小于 3‰的坡度。车站站台线路由于停车及站台面平缓要求宜设置在 3‰的坡道上,困难条件下可设置在 2‰或者不大于 5‰的坡道上,但是要确保排水坡度不小于 3‰,以利于排水畅通。隧道内的折返线与存车线,应设置在面向车挡的下坡道上,其坡度宜为 2‰。

地面及高架桥上的车站站台线路不受排水影响,宜设置在平坡上,车场线可设在不大于 1.5‰的坡道上。

## 2. 竖曲线

车辆经过变坡点时,将产生振动和竖向加速度,使乘客感到不舒适,同时由于坡度变化,车钩会产生一种附加应力。车辆经过凹凸点时,相邻车辆处在不同坡道上,易产生车钩上下错移。为保证车辆运行平稳,防止脱钩、断钩,应在相邻坡段间用一圆顺曲线连接,使列车顺利地由一个坡段过渡到另一个坡段,这个纵断面上变坡点处所设的曲线,叫作竖曲线。城市轨道交通线路中竖曲线有凸形和凹形两种,如图 1-11 所示。

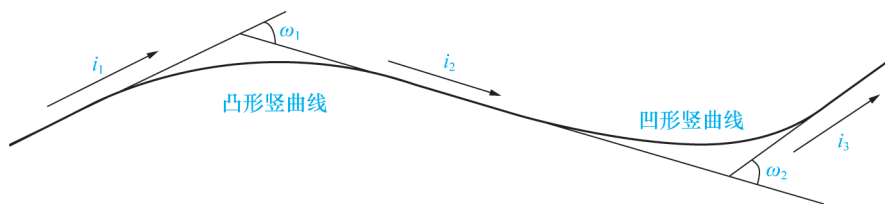


图 1-11 竖曲线

城市轨道交通线路中,两相邻坡段的坡度代数差等于或大于 2‰时,应设竖曲线。竖曲线就是纵断面上的圆曲线,竖曲线半径的取值如表 1-3 所示。

表 1-3 竖曲线半径的取值

(单位: m)

线路		一般情况	困难情况
正线	区间	5 000	3 000
	车站端部	3 000	2 000
辅助线		2 000	—
车场线		2 000	—

《地铁设计规范》(GB 50157—2013)中还规定:车站站台和道岔范围不得设置竖曲线,竖曲线与道岔端部的距离应不小于 5 m。

## 五、线路横断面示意图

根据线路的结构组成,可以画出线路横断面示意图,如图 1-12 所示,进一步明确线路各组成结构间的相互关系。城市轨道交通线路横断面示意图的画法如下。

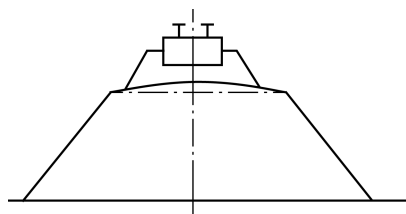


图 1-12 线路横断面示意图

第一步：画出路基横断面。

第二步：在路基横断面上画出道床横断面。

第三步：在道床横断面上画出轨枕纵断面。

第四步：在轨枕纵断面上画出两钢轨横断面。

## 六、限界与线间距

### 1. 限界

限界是为确保列车在线路上安全运行，防止列车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、设备所规定不允许超越的轮廓尺寸线。限界包括车辆限界、设备限界和建筑限界等，如图 1-13 所示。

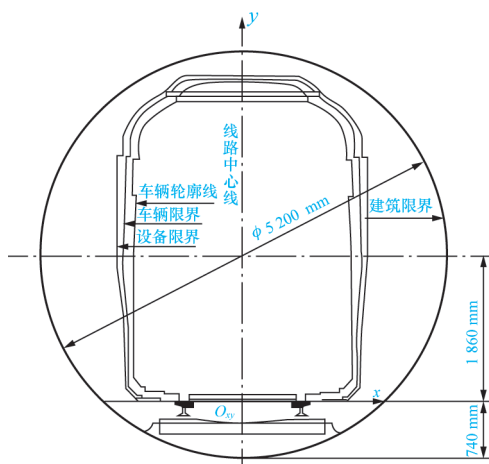


图 1-13 车辆限界、设备限界和建筑限界

#### (1) 车辆限界

车辆限界根据车辆主要尺寸等有关参数，并考虑在静态和动态情况下所达到的横向和竖向偏移量及偏转角度，按可能产生最不利情况进行组合计算确定。

#### (2) 设备限界

设备限界为保证城市轨道交通系统的列车等移动设备在运营过程中的安全所需要的限界。设备限界要在车辆限界的基础上，考虑轨道出现状态不良而引起的车辆偏移和倾斜，此外，还要考虑适当的安全预留量。

### (3) 建筑限界

建筑限界是指在行车隧道和高架桥等结构物的最小横断面所形成的有效内轮廓线基础上，再考虑其施工误差、测量误差、结构变形等因素，为满足固定设备和管线安装的需要而必需的限界。

## 2. 线间距

相邻线路中心线间的距离，称为线间距。线间距应保证行车和各项作业的安全，满足设置各项设备的需要。

线间距的影响因素包括车辆限界、设备限界、建筑限界、线间设备计算宽度和线间办理作业性质需要的安全量。

## 课题二 道岔

道岔是在线路上大量使用的基础设备，是一种能使机车车辆从一股道转入另一股道的线路连接设备。道岔构造复杂，零件较多，过车频繁，技术标准要求高，是轨道设备的薄弱环节之一。道岔对城市轨道交通运输有较大的影响。

掌握道岔的基本工作原理、现有类型、操作技能、故障处理、合理选用等知识点对运营管理人员具有重要意义。

### 一、道岔的定义、主要形式及组成

#### 1. 道岔的定义

在城市轨道交通中，能使车辆从一股轨道转向或越过另一股轨道的设备称为道岔。

#### 2. 道岔的主要形式

道岔有线路连接、线路交叉及线路连接与交叉三种形式。常见的线路连接有普通的单开道岔、单式对称道岔及三开道岔。线路交叉有直角交叉及菱形交叉。

#### 3. 道岔的组成

单开道岔是道岔的主要形式，应用最为普遍。单开道岔主线为直线，侧线由主线向左侧或右侧岔出，分为左开及右开两种形式，如图 1-14 所示。单开道岔由转辙器部分、连接部分、辙叉及护轨部分组成，如图 1-15 所示。

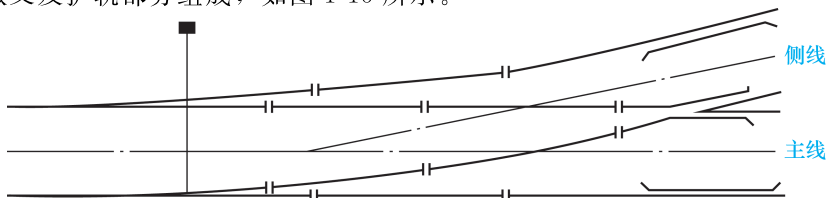


图 1-14 单开道岔

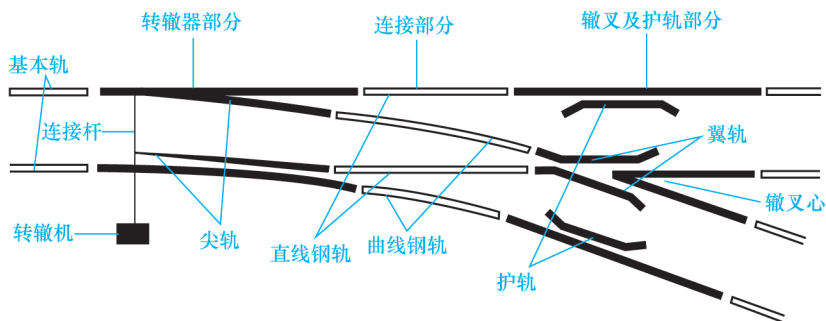


图 1-15 单开道岔的组成

### (1) 转辙器部分

转辙器部分由两根基本轨、两根尖轨、各种连接零件及转辙机组成。通过将尖轨扳动到不同的位置引导机车车辆进入道岔的不同方向。

### (2) 连接部分

连接部分指连接转辙器部分与辙叉及护轨部分的轨道部分，使其成为一副完整的道岔，包括四股钢轨，即两股直线钢轨和两股曲线钢轨重叠。钢轨长度是根据道岔号数及导曲线半径大小经过计算确定的，其最短长度不应小于 4.5 m。

### (3) 辙叉及护轨部分

辙叉及护轨部分由主轨、护轨、翼轨、辙叉心四个部件构成。其中，翼轨和辙叉心是辙叉的主要构成部分。辙叉与护轨组成一个整体，共同配合发挥作用。辙叉按其构造分为锰钢整铸式和钢轨组成式；按翼轨与心轨的相对关系分为固定式和可动心轨式；按平面形状分为直线式和曲线式以及钝角辙叉与锐角辙叉等。

护轨必须与辙叉配合使用。护轨能够正确地引导机车车辆轮对的走向，防止其撞击辙叉心，使列车平顺、安全地通过有害空间。

从两翼轨最窄处到辙叉心实际尖端之间，存在着一段轨线中断的空隙，叫作辙叉的有害空间。当机车车辆通过辙叉的有害空间时，轮缘有走错辙叉槽而引起脱轨的可能。因此，辙叉的有害空间是限制列车过岔速度的一个重要因素。为消除辙叉的有害空间，适应列车高速运行的要求，可采用可动心轨道岔，如图 1-16 所示。辙叉心轨和尖轨可以同时扳动，当要开通某一方向股道时，可动心轨的辙叉心轨就与开通方向一致的翼轨密贴，与另一翼轨分开，这样普通辙叉的有害空间就不存在了。



★ 扫一扫



图 1-16 可动心轨道岔

★ 扫一扫



## 二、道岔的中心线表示法

实际应用过程中,在已知道岔两线路中心线的交点、辙叉号数和道岔类型时,可按选定的比例尺,用道岔处的两线路中心线及其交点表示道岔。这种方法可以简化绘图过程,而且能够满足设计和施工的需要,在道岔施工设计中已被广泛采用。

为了进一步明确道岔的中心线表示法,必须首先明确道岔的几何要素。

### 1. 道岔的几何要素

单开道岔的主要几何要素如图 1-17 所示。图中  $O$  表示道岔中心(直线线路中心线与侧线线路中心线的交点); $a$  表示道岔前部实际长度(从道岔始端轨缝中心至道岔中心的水平距离); $b$  表示道岔后部实际长度(从道岔终端轨缝中心至道岔中心的水平距离); $L$  表示道岔全长(道岔始端至道岔终端的水平投影长度); $q$  表示尖轨尖端前的基本轨长度; $m$  表示辙叉跟长; $n$  表示辙叉趾长。

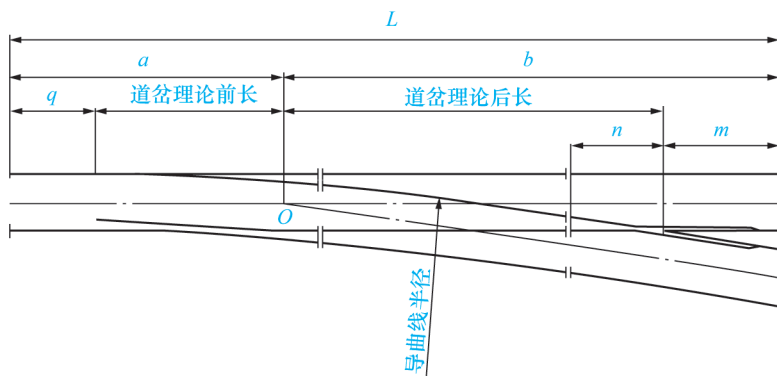


图 1-17 单开道岔的主要几何要素

### 2. 辙叉号数(辙叉角 $\alpha$ )

辙叉号数也称道岔号数,是表示辙叉角大小的一种方式。因为辙叉角是以度( $^{\circ}$ )、分( $'$ )、秒( $''$ )表示的,运用很不方便,所以在实际工作中都以辙叉号数  $N$  表示。

道岔因其辙叉角的不同,有不同的道岔号数  $N$ ,道岔号数表明了道岔各部分的主要尺寸。对于道岔号数,习惯用辙叉角  $\alpha$  的余切值来表示,如图 1-18 所示,道岔号数  $N$  可用如下公式求得。

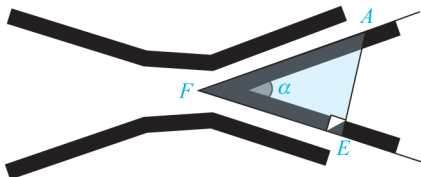


图 1-18 道岔号数计算示意图

$$N = \cot \alpha = \frac{FE}{AE} \quad (1-5)$$

式中：N——道岔号数；

FE——辙叉跟端长，m；

AE——辙叉跟端支距，m。

辙叉角  $\alpha$  越小，N 就越大，导曲线半径也越大，列车侧线通过道岔时就越平稳，允许过岔速度也就越高。所以采用大号道岔对于列车运行是有利的。不过，道岔号数越大，道岔越长，造价自然就高，占地也要多得多。因此，采用什么号数的道岔要因地制宜，因线而异，不可一概而论。

常用道岔有关尺寸及侧向允许通过速度如表 1-4 所示。

表 1-4 常用道岔有关尺寸及侧向允许通过速度

道岔号数	辙叉角	导曲线半径/m	道岔全长/m	侧向允许通过速度/(km/h)
9	6°20'25"	180	28.848	30
12	4°45'49"	330	36.815	45
18	3°10'12.5"	800	54.000	80

### 3. 其他类型的道岔与交叉设备

#### (1) 双开道岔

双开道岔衔接的两条线路各自向两侧分岔，如图 1-19 所示。

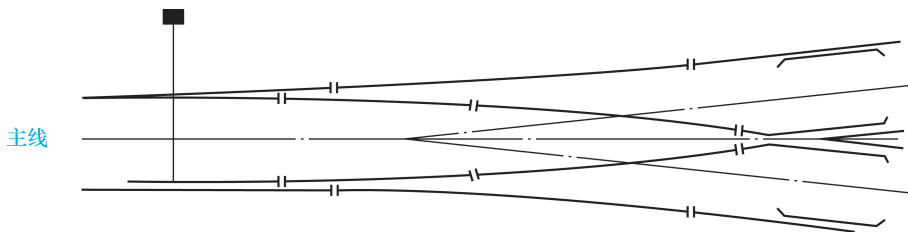


图 1-19 双开道岔

#### (2) 三开道岔

三开道岔可以同时衔接三条线路，如图 1-20 所示。

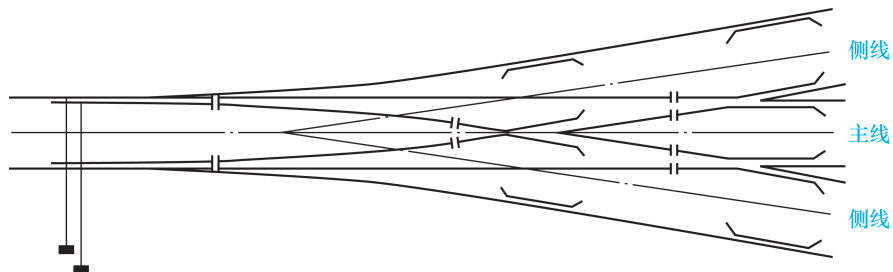


图 1-20 三开道岔



### (3) 交分道岔

交分道岔为四组单开道岔和一副菱形交叉设备的结合体，如图 1-21 所示。

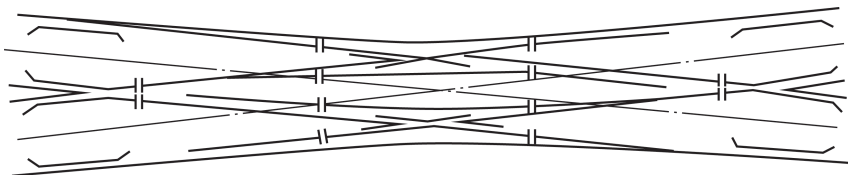


图 1-21 交分道岔

### (4) 交叉设备

交叉设备只有辙叉而无转辙器部分，如图 1-22 所示。机车车辆通过交叉设备时，只能沿着原来的线路继续运行而不能转线。

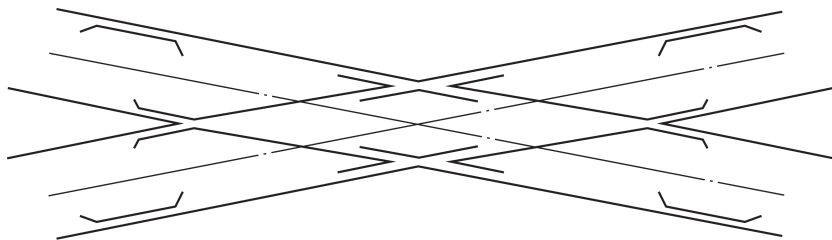


图 1-22 交叉设备

### (5) 交叉渡线

交叉渡线由四副单开道岔和一组菱形交叉设备组合而成，如图 1-23 所示。

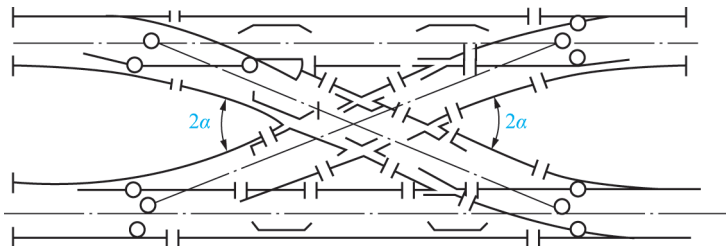


图 1-23 交叉渡线

## 4. 道岔的选用

城市轨道交通车辆在市區运行，常遇到小半径曲线，而且中间站通常不设配线。在设有渡线和折返线的车站，必须设置道岔来实现车辆的转线；在车场内，股道则通过道岔逐级与走行线连接。车辆的运行条件规定其最小通行半径为 25 m，考虑运行速度及节约用地要求，应在不同场合选用不同的辙叉号数和道岔结构。

城市轨道交通道岔辙叉号数的确定要遵循以下 3 个原则。

### (1) 道岔的直股设计速度

当列车最大运行速度为 80 km/h 时，道岔直股结构应满足 80 km/h 通过的要求，如留有安全储备，道岔的直股设计速度为 100 km/h。如用于车场道岔，由于无较高的速度

要求，故道岔的直股设计速度为 40 km/h。

#### (2) 道岔侧股的允许通过速度

道岔侧股的允许通过速度主要取决于列车通过道岔侧股的运行速度要求。在折返站，列车在出发前由邻线转入，以改变运行方向，属于调车性质，最高运行速度可定为 25 km/h。用于车场的道岔，列车通过道岔侧股均为调车，考虑节约用地，最高运行速度可定为 15 km/h。

#### (3) 列车以最高运行速度通过道岔侧股时

列车以最高运行速度通过道岔侧股时，最大允许的未被平衡超高值(欠超高)比照区间线路定为 90 mm。

目前，我国城市轨道交通所使用的道岔主要为 7 号和 9 号。正线多为 9 号，车辆段等多为 7 号。

### 5. 用线路中心线法画普通单开道岔示意图

**【例 1-1】** 用线路中心线法画 9 号普通单开左开道岔示意图。

绘制过程如图 1-24 所示。具体步骤如下。

- ①画一条水平直线作为主线。
- ②在主线中心线上确定两线路中心线交点位置  $O$ 。
- ③从交点沿主线线路中心线画等于辙叉号数的 9 个等分线段。
- ④在最后一线段末端画一等分线段，使其垂直于主线的线路中心线。
- ⑤将垂直线段的终点与道岔中心连接。

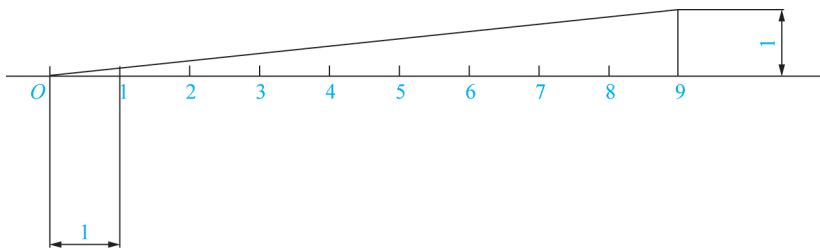


图 1-24 用线路中心线法绘制 9 号普通单开左开道岔示意图

## 三、人工手摇道岔

城市轨道交通系统中，道岔的扳动方式有两种，即电动扳动和手动扳动两种。电动扳动是依靠电动机的动力来推动转辙拉杆，从而扳动尖轨的扳动方式；手动扳动是利用人力借杠杆去扳动尖轨的扳动方式。

当道岔发生故障，不能通过现场操作员工作站(LOW)进行遥控操作时，需要车站工作人员进入轨行区人工手摇道岔、办理进路并人工锁闭道岔。

### 1. 人工手摇道岔的准备工作

在进入轨行区进行人工手摇道岔前，须向行调申请，待行调允许后方可进入线路。进

入线路前必须在作业区域设置红闪灯进行防护。手摇道岔前需要携带的物品如图 1-25 所示。



图 1-25 手摇道岔前需要携带的物品

## 2. 人工手摇道岔操作步骤

### (1) 看

看道岔开通位置是否正确，是否需要改变位置。

操作要点如下：

- ① 到达现场后遵循“从远到近”的原则，两人一起到离列车最远的道岔区段。
- ② 两人确认该副道岔的位置是否开通到需要的方向，“是”则到进路中的下一副道岔，“否”则进行摇动道岔的操作。确认时手指道岔尖轨处确认该副道岔开通位置，口呼道岔位置“××道岔开通×位”。

### (2) 开

打开盖孔板。如果有钩锁器，则需打开钩锁器的锁，拆下钩锁器。

操作要点如下：

- ① 找到转辙机正面(或后面)的手摇把插孔盖板。
- ② 将蝶形钥匙方孔一端插入盖板。
- ③ 顺时针旋转蝶形钥匙，旋转 90°后向上打开盖板。

### (3) 摇

摇道岔转向到所需的位置，在听到“咔嚓”的落槽声后停止。

操作要点如下：

- ① 双手水平握住手摇把旋杆，水平插入转辙孔同时左右转动手摇把杆，直到手摇把杆前端的方孔与转辙孔内的方柱套牢。
- ② 插入手摇把，旋转手摇把时要始终向里施力。
- ③ 顺时针旋转手摇把时尖轨向离开转辙机方向运动；逆时针旋转手摇把时尖轨向转辙

★ 扫一扫



机方向运动。

④不断旋转手摇把，直至听到“嗒”的一声落槽声才停止。

(4)确认

手指尖轨，“尖轨密贴开通×位”，并和另一人共同确认。

操作要点如下：

①确认开通方向的人员在听到“嗒”的一声落槽声，和摇动道岔的人员汇报道岔摇动完毕后开始确认工作。

②确认尖轨密贴后大声确认“道岔开通右(左)位，尖轨密贴”。

③手摇道岔人员复诵“道岔开通右(左)位，尖轨密贴”。

(5)加锁

双人确认道岔位置开通正确后，用钩锁器锁定道岔尖轨。

操作要点如下：

①确认人员使用钩锁器在道岔的两个连接杆之间钩锁住密贴位置(如果此位置不能加锁，则在车站选定的加锁处加锁)。

②拧紧钩锁器后左右摇动钩锁器，若能摇动则再次拧紧，直到无法摇动时加锁。

(6)汇报

向车控室汇报道岔开通位置正确。

操作要点如下：

确认道岔加锁完毕后，摇道岔人员使用对讲机或隧道电话向车控室报告该道岔现在开通的位置。汇报时必须说清楚该道岔的标号、道岔位置和是否加锁完毕。



## 拓展阅读

### 线路阻力相关计算

#### 一、基本阻力和附加阻力

##### 1. 基本阻力

基本阻力是列车在空旷地段沿平直轨道运行时所受到的阻力，包括车轴与轴承之间的阻力、轮轨之间的阻力以及钢轨接头对车轮的撞击阻力等。基本阻力在列车运行时总是存在的。

##### 2. 附加阻力

附加阻力是列车在线路上运行时受到的额外阻力，如曲线附加阻力、坡道附加阻力、启动阻力等。附加阻力随列车运行条件或线路平面、纵断面情况而定，阻力方向与列车运行方向相反。

#### 二、曲线附加阻力

当列车通过曲线时，由于惯性力的作用，外侧车轮轮缘紧压外轨，使其磨耗增大。又由于曲线外轨长于内轨，外轮在外轨上的滑行等原因，运行中的列车所受阻力比在直线上



所受阻力大，两者之差称为曲线附加阻力。

曲线附加阻力与列车重力之比，称为单位曲线附加阻力，用  $w_r$  来表示，单位为 N/kN，它的大小通常用实验公式求得。

①当曲线长度大于或等于列车长度，列车整列运行在曲线上时，如图 1-26(a)所示，单位曲线附加阻力计算公式如下。

$$w_r = \frac{600}{R} \text{ 或 } w_r = \frac{10.5\alpha}{L} \quad (1-6)$$

②当曲线长度小于列车长度，列车只有一部分运行在曲线上时，如图 1-26(b)所示，单位曲线附加阻力计算公式如下。

$$w_r = \frac{600}{R} \times \frac{L}{l} \text{ 或 } w_r = \frac{10.5\alpha}{l} \quad (1-7)$$

式中：600——实验常数；

$L$ ——曲线长度，m；

$R$ ——曲线半径，m；

$l$ ——列车长度，m。

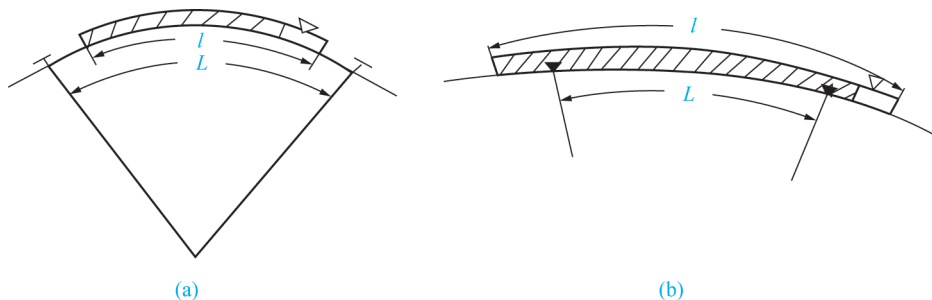


图 1-26 列车位于曲线上

同理，列车同时运行在几段曲线上时，单位曲线附加阻力计算公式如下。

$$w_r = \frac{600}{R_1} \times \frac{L_1}{l} + \frac{600}{R_2} \times \frac{L_2}{l} + \dots \quad (1-8)$$

由式(1-8)可知，曲线阻力与曲线半径成反比。曲线半径越小，曲线阻力越大，运营条件就越差，说明采用大半径曲线对列车运行的影响较小。而小半径曲线也具有容易适应地形困难的优点，对工程条件有利。

### 三、坡道附加阻力

列车在坡道上行驶时，其重力  $Q$  可以分解为  $F_1$  和  $F_2$  两个分力，如图 1-10 所示， $F_2$  平行于坡面，即为坡道的坡度引起的坡道附加阻力，此时  $F_2$  的大小可通过式(1-9)计算。

$$F_2 = Q \cdot \sin \alpha \approx Q \cdot \tan \alpha = Q \cdot i\% \quad (1-9)$$

坡道附加阻力与列车重力之比，叫作单位坡道附加阻力，用  $w_i$  来表示。

①当列车整列位于坡道上时，单位坡道附加阻力计算方法如式(1-10)所示。

$$w_i = \frac{Q \cdot i\%}{Q} = i\% \quad (1-10)$$

②当列车一部分位于坡道上,而另一部分位于平道上时,单位坡道附加阻力计算方法如式(1-11)所示。

$$\omega_i = \pm i\% \times \frac{L_i}{L} \quad (1-11)$$

列车在线路上运行,有时上坡,有时下坡,所以坡道附加阻力也有正、负。上坡时,坡道附加阻力与列车运行方向相反,坡道附加阻力为正;下坡时,坡道附加阻力与列车运行方向相同,坡道附加阻力为负,负阻力也就是加速力。

#### 四、换算坡度

如果在坡道上有曲线,列车在坡道上运行时所遇到的单位附加阻力应为单位曲线附加阻力与单位坡道附加阻力之和。由于单位曲线附加阻力无负值,而单位坡道附加阻力有正、负之分,因此总单位附加阻力的计算如式(1-12)所示。

$$\omega_{\text{总}} = \omega_r + \omega_i \quad (1-12)$$

根据前述的  $\omega_i = \pm i\%$  的对应关系,将总单位附加阻力换算为坡度,则有如下公式。

$$i_{\text{换}}\% = i_r\% \pm i\% \quad (1-13)$$

如此求得的坡度,称为换算坡度,又称加算坡度。由此可知,当坡道上有曲线时,列车上坡运行时坡道就显得更陡;而下坡运行时,坡道则显得更缓。

**【例 1-2】** 试按照图 1-27 所示资料,求列车运行在 BC 段时的换算坡度。

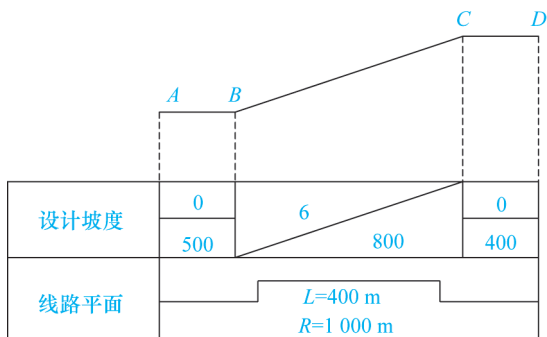


图 1-27 例 1-2 图

解答:(1)列车上坡运行时的换算坡度为

$$i_{\text{换}}\% = i_r\% + i\% = \frac{600}{1\ 000} \times \frac{400}{800}\% + 6\% = 6.3\%$$

(2)列车下坡运行时的换算坡度为

$$i_{\text{换}}\% = i_r\% - i\% = \frac{600}{1\ 000} \times \frac{400}{800}\% - 6\% = -5.7\%$$

### 项目小结

本项目主要介绍了线路的结构、分类、平面及纵断面,线路横断面示意图,限界与线间距,道岔的定义、主要形式及组成,道岔的中心线表示法,人工手摇道岔。线路是行车

的基础，是重要的行车设备，线路的结构、平面、纵断面以及道岔的组成等知识，是城市轨道交通运营管理人员必须掌握的基础知识，人工手摇道岔也是城市轨道交通运营管理人员必须掌握的关键岗位技能之一。

### 思考与练习

1. 简述线路的结构与分类。
2. 画出线路横断面示意图。
3. 简述道岔的定义及组成。
4. 用线路中心线法画出 12 号普通右开单开道岔示意图。
5. 简述人工手摇道岔操作步骤。

6. 某地铁线路正线坡道示意图如图 1-28 所示，其中  $H=2\text{ m}$ ， $L=500\text{ m}$ ，试计算该坡道的坡度值  $i$ 。

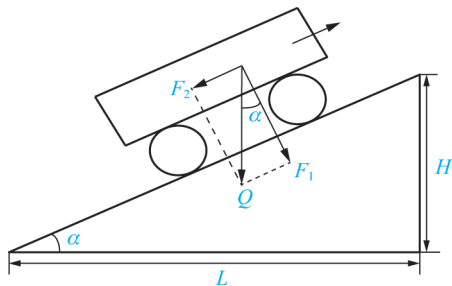


图 1-28 某地铁线路正线坡道示意图

7. 有一列车长 1 500 m，在坡度为  $6\text{‰}$  的下坡运行，坡内有一半半径为 500 m、曲线长度为 600 m 的曲线，求其换算坡度。

