

城市轨道交通职业教育系列教材——城市轨道交通运营管理

# 城市轨道交通运输设备

(第3版)

主 编 刘婉玲

副主编 鲁宝安 吴明华

主 审 翟士述

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 ( C I P ) 数据

城市轨道交通设备 / 刘婉玲主编. —3 版. —  
成都: 西南交通大学出版社, 2020.12  
ISBN 978-7-5643-7886-8

城... . 刘... . 城市铁路 - 交通运输工  
具 - 高等职业教育 - 教材 . U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 ( 2020 ) 第 244576 号

---

Chengshi Guidao Jiaotong Yunshu Shebei

城市轨道交通设备

( 第 3 版 )

主编 刘婉玲

责任编辑 孟苏成

封面设计 何东琳设计工作室

---

出版发行 西南交通大学出版社  
( 四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号  
西南交通大学创新大厦 21 楼 )

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

---

印 刷 成都蓉军广告印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印 张 13

字 数 326 千

版 次 2020 年 12 月第 3 版

印 次 2020 年 12 月第 8 次

书 号 ISBN 978-7-5643-7886-8

定 价 39.00 元

---

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

## 第 3 版前言

城市轨道交通是城市建设史上最大的公益性基础设施，它的建设可以带动城市沿轨道交通廓道的发展，促进城市繁荣，形成郊区卫星城和多个副中心，从而缓解城市中心人口密集、住房紧张、绿化面积小、空气污染严重等城市通病，对城市的布局和发展模式将产生深远的影响。城市轨道交通的建设与发展有利于提高市民出行的效率，节省时间，改善生活质量。

城市轨道交通具有运输能力大、运行速度和正点率高、舒适性和安全性好、能充分利用地下和地上空间、运营费用较低、对环境污染小的优势。因此，随着城市化进程的加快和经济的发展，我国城市轨道交通发展迅速。公开资料显示，至 2013 年末，我国共有 36 座城市获准修建城市轨道交通线路，其中 19 座城市的 87 条线路已经开通运营，总运营里程达 2 539 km。其中，地铁 2 074 km，占 81.7%；轻轨 192 km，占 7.6%；单轨 75 km，占 3.0%；现代有轨电车 100 km，占 3.9%。根据我国《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》，结合当前各地城市轨道交通建设现状，到 2020 年，全国城市轨道运营里程比 2015 年增长近 1 倍。行业发展带来相应的人才需求，目前我国城市轨道交通行业在设计、施工、运营管理领域，存在大量的人才缺口，因此也带来了高等院校相关专业的蓬勃发展，各高职院校近几年相继开设了城市轨道交通运营管理专业，并有更多院校在相关专业中开设了城市轨道交通类课程。同时，高职教育改革正在逐步深化，专业建设、课程建设、教材建设、培养模式面临较大变化。为全面加强高职城市轨道交通运营管理专业建设及教材建设，切合深化职业教育教学改革、提高高职院校办学水平和办学质量的需要以及高职院校的实际需求，从而推动该专业的教育水平提升，培养出适应新时期企业需求的新型人才，2009 年 5 月中国职业技术教育学会轨道交通委员会在西南交通大学出版社组织召开了“21 世纪高等职业技术教育规划教材——城市轨道交通运营管理”编写研讨会，本教材就是根据这次会议精神编写的。第二版教材仍保留了第一版教材的基本结构，对第一版中的部分内容进行了适当的修订，增加了近几年来国内部分城市轨道交通在运输设备方面的新技术，内容更加新颖。

城市轨道交通系统一般包括地铁和轻轨，以及现代有轨电车，通常由轨道线路、车站（场）、车辆、供变电、信号及其他设备组成，这些设备是城市轨道交通正常运营的物质基础和技术基础。本教材主要介绍以上各种设备的作用、组成、基本原理和使用方法，其中信号设备单独成书。

本教材由辽宁铁道职业技术学院刘婉玲任主编，鲁宝安、吴明华任副主编，由辽宁铁道职业技术学院翟士述主审。全书分为城市轨道交通线路及站场、城市轨道交通车辆、城市轨道交通牵引供电系统、城市轨道交通车站设备和城市轨道交通其他设备共5章。编写分工如下：第一章第一～第五节由辽宁铁道职业技术学院刘婉玲编写，第六、第七节由西安铁路职业技术学院王静编写；第二章由辽宁铁道职业技术学院吴明华编写；第三章由辽宁铁道职业技术学院鲁宝安编写；第四章第一、第三节由广州铁路职业技术学院张治文编写，第二节由广州铁路职业技术学院吴静编写；第五章第一、第二节由湖南铁路科技职业技术学院朱文浩编写，第三节由湖南交通工程职业技术学院高双喜编写。

由于我国城市轨道交通正处于迅速发展阶段，设备制式纷杂，而且新设备不断推出，很难将所有资料搜集齐全；另外，也受编者水平所限，教材中难免有不当和疏漏之处，敬请各位同行及读者批评指正，我们将努力改进，使教材水平不断提高，为我国城市轨道交通职业教育事业的发展尽绵薄之力。

编者

2020年11月

# 目 录

第一章 城市轨道交通线路及站场 .....	1
第一节 路 基 .....	1
第二节 轨道结构 .....	6
第三节 道 岔 .....	19
第四节 线路的平面和纵断面 .....	32
第五节 站 场 .....	38
第六节 桥隧建筑 .....	51
第七节 车站建筑 .....	62
复习思考题 .....	68
第二章 城市轨道交通车辆 .....	69
第一节 城市轨道交通车辆概述 .....	69
第二节 城市轨道交通车辆的机械部分 .....	77
第三节 城市轨道交通车辆的电气牵引传动系统 .....	110
第四节 直线电机车辆 .....	116
第五节 跨座式单轨铁路车辆 .....	117
复习思考题 .....	119
第三章 城市轨道交通牵引供电系统 .....	120
第一节 概 述 .....	120
第二节 变电所的电气主接线及运行方式 .....	125
第三节 牵引网及供电方式 .....	129
第四节 电力监控系统和杂散电流监控系统 .....	144
复习思考题 .....	149
第四章 城市轨道交通车站设备 .....	151
第一节 自动售检票设备 .....	151

第二节 屏蔽门系统及紧急停车按钮 .....	173
第三节 电、扶梯系统 .....	178
复习思考题 .....	187
第五章 城市轨道交通其他设备 .....	189
第一节 环控系统 .....	189
第二节 灾害防护系统 .....	191
第三节 给排水及照明系统 .....	198
复习思考题 .....	201
参考文献 .....	202

# 第一章 城市轨道交通线路及站场

具有大运量、快捷、准时、舒适、低污染特点的地铁、轻轨交通，是国内外广泛采用的城市轨道交通形式。近年来我国大城市的地铁、轻轨建设快速发展，对解决城市地面交通拥挤、堵塞问题和促进城市建设可持续发展起到了重要作用。

城市轨道交通线路的铺设方式可分为地下、地面（含路堑、路堤）和高架3种。地铁、轻轨正线应为右侧行车的双线线路。

## 一、地下线

这种方式的线路置于地下隧道中，与地面交通完全分离，且不占城市地面与地上空间，是在交通繁忙路段和市区内繁华地段主要采用的线路铺设形式，也是对城市环境影响最小的一种线路铺设方式。

地下线埋置深度应根据地质情况和地下构筑物情况而定，选线时要探明地下市政管线，合理确定线位和站位，尽量减少管线拆迁改移；当线路经过有桩基的建筑物时，要探明桩基类型和深度，以确定采用的施工方法和安全距离，并根据建筑物性质采用合理的加固保护措施，确保工程安全。另外，隧道体不要侵入道路两侧的地块，避免影响两侧土地的开发利用。

## 二、高架线

这种方式的线路设在高架桥梁上，对地面交通无干扰，桥梁净空一般由沿线所跨越的道路通车高度及河流的通航高度的要求来确定。

高架线的突出特点是运营噪声大，在线路距离楼房较近的地段，可考虑设置隔声屏，并采用减振效果好的道床。

## 三、地面线

这种方式的线路采用与普通铁路相似的路基作为轨道基础，也是造价最低的一种铺设方式。地面线一般设计成封闭线路，防止行人与车辆进入，与城市道路相交时一般应采用立交的形式。

地面线的缺点是隔断线路两侧的交通，使线路两侧难以沟通，不利于两侧土地的商业开发利用，同时运营时噪声较大。此外，地面线的沉降变化较大，多采用碎石道床，运营后的养护维修工作量较大，因此不宜设置在市区内，多在偏远市郊路段采用这种形式。

## 第一节 路基

地铁及轻轨线路一般由上部建筑和下部基础组成，下部基础主要指路基、桥梁及隧道，上部建筑则是指轨道部分。

路基是铺设轨道的基础，直接承受轨道和列车的荷载，并将其传递至地基，它的状态如何直接关系到线路的质量，并会直接影响列车运行的速度和行车安全。路基必须具备足够的强度、稳定性和耐久性。

### 一、路基横断面形式

垂直于线路中心线的路基断面，称为路基横断面。路基主要有路堤和路堑两种形式，如图 1-1 和图 1-2 所示。

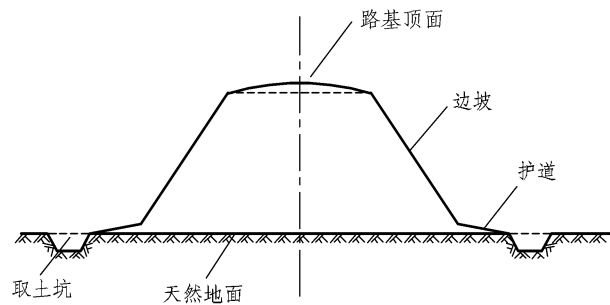


图 1-1 路堤

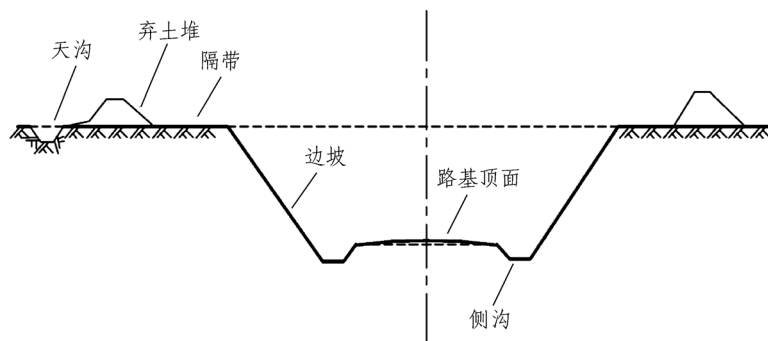


图 1-2 路堑

地铁和轻轨的路基以路堤更为常见。

### 二、路 肩

路肩是指路基顶面两侧无道砟覆盖的部分，其作用是增强路基的稳定性，防止道砟滚落至路基面外，设置有关设备，便于人员避车，暂放维修材料和机具等。《地铁设计规范》(以下简称《设规》)规定：当路肩埋有设备时，路堤及路堑的路肩宽度不得小于 0.6 m，无埋设设备时不得小于 0.4 m。

当线路通过地下水位高或常年有地面积水的地区，路堤过低容易引起基床翻浆冒泥等危害，路肩设计高程应高出线路通过地段的最高地下水位和最高地面积水水位，并应加毛细水强烈上升高度和有害冻胀深度或蒸发强烈影响深度，再加 0.5 m。若采取降低水位、设置毛细水隔断层等措施，可不受此限制。

滨河、河滩、水库路堤路肩设计高程应高出设计水位(洪水频率标准 1/100)加波浪侵袭高加壅水高，再加 0.5 m，并符合《铁路路基设计规范》有关规定。



### 三、路基顶面形状

路基顶面即铺设轨道的工作面，按形状可分为有路拱和无路拱两种形式。路拱的作用是迅速排除道床下的积水，以保持路基顶面的干燥。

路基顶面应根据基床填料的种类确定是否需要设置路拱。不易渗水的填料必须设置路拱，路拱的形状为三角形，由中心向两侧按大约 4% 的排水坡确定，单线路拱高 0.15 m，双线路拱高 0.2 m，底宽等于路基面宽度。渗水性好的填料能较快地向下渗水，故不需要设置路拱，即渗水土和岩石（年平均降水量大于 400 mm 地区的易风化泥质岩石除外）的路基面为平面。

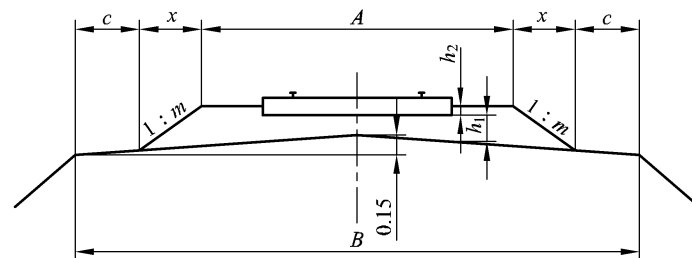
### 四、路基顶面宽度

路基顶面宽度应根据正线数目、配线情况、线间距、轨道结构尺寸、路基面形状、曲线加宽、路肩宽度等计算确定。《设规》规定区间曲线地段的路基面宽度，单线应在曲线外侧、双线应在外股曲线外侧按表 1-1 的数值加宽，加宽值在缓和曲线范围内应线性递减。

表 1-1 曲线地段路基面加宽值

曲线半径/m	路基面外侧加宽值/m
$R \leq 600$	0.5
$600 < R \leq 800$	0.4
$800 < R \leq 1000$	0.3
$1000 < R \leq 2000$	0.2
$2000 < R \leq 5000$	0.1

#### 1. 单线非渗水土路基顶面宽度（见图 1-3）



$B$ —路基顶面宽度； $A$ —道床顶面宽度； $c$ —路肩宽度； $m$ —道床边坡坡率；  
 $h_1$ —钢轨处轨枕下道床厚度； $h_2$ —轨枕埋入道床深度。

图 1-3 单线非渗水土路基顶面宽度

当采用混凝土枕碎石道床（厚度 0.45 m，路肩宽 0.6 m，砟顶面宽按无缝线路 3.3 m 计算）时，路基顶面宽度为 7.0 m。

非无缝线路地段，由于其道床顶面宽度减小 0.2 m，故路基顶面宽度可相应减小。

整体道床地段的单线路基顶面宽度根据整体道床断面宽度（一般为 2.4 m）加两侧路肩宽度计算确定，双线地段再加线间距。

2. 单线岩石、渗水土路基顶面宽度（见图 1-4）

图中各符号含义同图 1-3 所示。

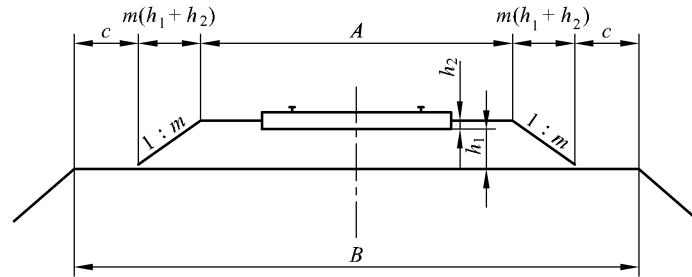
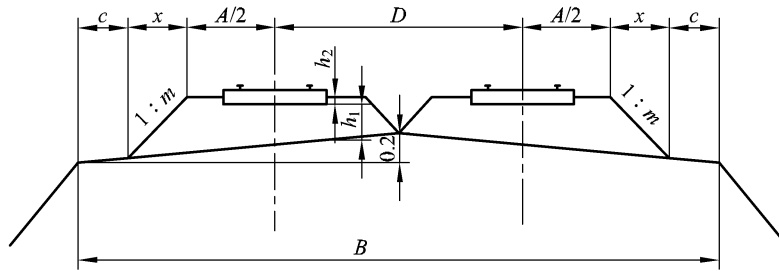


图 1-4 单线岩石、渗水土路基顶面宽度

当采用混凝土枕碎石道床（厚度 0.3 m，路肩宽 0.6 m，砟顶面宽按无缝线路 3.3 m 计算）时，路基顶面宽度为 6.2 m。

3. 双线非渗水土路基顶面宽度（见图 1-5）

地铁正线多为双线，其线间距常因布置道岔需要有所不同。常用线间距的直线地段双线路基顶面宽度如表 1-2 所示。



$D$ —双线的线间距，其值不应小于 3.6 m； $h_1$ —靠路基中心的钢轨处轨枕下道床厚度。

图 1-5 双线非渗水土路基顶面宽度

表 1-2 直线地段双线路基顶面宽度

轨道类型	线间距/m	道床厚度/m	非渗水路基	道床厚度/m	岩石、渗水土路基/m
混凝土碎石道床 无缝线路	3.6	0.45	10.8	0.30	9.8
	3.8		11.0		10.0
	4.0		11.2		10.2
	4.3		11.4		10.5
	4.6		11.7		10.8
	4.8		11.9		11.0
	5.0		12.1		11.2

双线岩石、渗水土路基顶面宽度为单线岩石、渗水土路基顶面宽度加  $D$ 。

## 五、路基边坡

路基边坡即路肩边缘外两侧的斜坡，其作用是增强路基的稳定性。路基边坡的坡度应根据填料或土质的物理力学性质、边坡高度、列车荷载和地基工程地质条件确定。地铁地面线路一般为低路堤，其边坡坡度一般取 1/1.5。

## 六、路堤护道

护道是指路堤坡脚与取土坑（或排水沟）之间的部分，其作用是保持路基边坡的稳定，防止雨水冲刷坡脚造成边坡塌方。地铁路堤护道宽度不小于 1.0 m，并应向外做成规定坡度的排水坡。

## 七、路基排水

地铁全线应有完善的排水系统，并宜利用市政排水设施。排水设施应布置合理，当与桥涵、隧道、车站等排水设施衔接时，应保证排水畅通。地面线路基排水必须使降水能顺利排走，同时阻止路基范围外的地表水流入路基，确保路基干燥稳固。

路堤应在护道外设置单侧或双侧排水沟。路堑应于路肩两侧设置侧沟，堑顶外应设单侧或双侧天沟，天沟内侧边缘至堑顶距离不宜小于 5 m。

排水沟的横断面应按流量及用地情况确定，并确保边坡稳定。排水沟断面形式一般采用梯形，两侧边坡根据土质及边坡高度确定，黏性土一般采用 1/1 ~ 1/1.5 的坡度，底宽采用 0.4 m 或 0.6 m，深度采用 0.6 m。地铁路基的纵向排水坡不应小于 2‰，单面排水坡段长度不宜大于 400 m。

对路基有危害的地下水，应根据地下水类型、含水层的埋藏深度、地层的渗透性等条件，设置暗沟（管）、渗沟、检查井等地下排水设施。

## 八、路基防护

对受自然因素作用易产生损坏的路基边坡坡面，应根据边坡的土质、岩性、水文地质条件、边坡坡度与高度以及周围景观等，选用适宜的防护措施。

地铁地面线路地处城市外围、郊区，大多地形平坦，线路路基一般为 2~5 m 的土质低路堤，坡面防护可选用铁路路基常用的一般防护措施。

一般地段，在适宜于植物生长的土质边坡上应优先选用植物防护，如采取种草或喷植草、铺草皮、种植灌木等防护方式，同时也可绿化环境、美化路容。

沿河地段路堤的坡面防护工程常用类型有植物防护，如铺草皮、种防护林，干砌片石护坡，浆砌片石护坡，混凝土护坡。线路穿过郊区水塘、鱼塘的常年浸水路堤，一般采用浆砌片石护坡。

## 第二节 轨道结构

轨道结构是地铁和轻轨交通的重要组成部分，一般由钢轨、轨枕、连接零件、道床、道岔及其他附属设备组成。

### 一、钢 轨

#### 1. 基本要求

不管城市轨道交通采用何种类型、何种形式的轨道结构，钢轨都是其重要的组成部分。钢轨与机车车辆的车轮直接接触，钢轨质量的好坏直接影响行车的安全性和稳定性。为了使线路能按照设计速度保证列车运行，钢轨必须具备以下几方面的功能：

(1) 为车轮提供连续、平顺及阻力最小的滚动面，引导机车车辆前进。

车辆要求钢轨表面光滑，以减小轮轨阻力；而机车要求轮轨之间有较强的摩擦力，以发挥机车的牵引力。

(2) 钢轨要承受来自车轮的巨大垂向压力，并以分散的形式传给轨枕，在轨面要承受极大的接触应力，即除垂向压力外，钢轨还要承受横向力和纵向力。在这些力的作用下，钢轨要产生弯曲、扭转、爬行等变形，轨头的钢材还要产生塑性流动、磨损等。因此，要求钢轨有足够的强度、韧性及耐磨性。

(3) 兼作轨道电路，为轨道电路提供导体。

如上所述，钢轨既要有足够的强度，以延长其使用寿命，又要具有一定的塑性，以防脆性折断；钢轨需要有一定的硬度以增加其耐磨性，又要有适当的韧性；要有相当的刚度，抵抗挠曲，又要有可挠性，以减轻轮轨冲击；钢轨踏面应粗糙，以增加轮轨间的黏着力，又要光滑，以减少行车阻力。以上矛盾使钢轨的设计及制造成为一个非常复杂的问题。

通常可以把钢轨视为弹性地基上的连续梁，作用于其上的力主要为垂直力，其结果是使钢轨挠曲，而抵抗挠曲的最佳截面为工字形。因此，一般将钢轨截面设计成工字形，由轨头、轨腰和轨底三部分组成。我国的钢轨标准断面如图 1-6 所示。

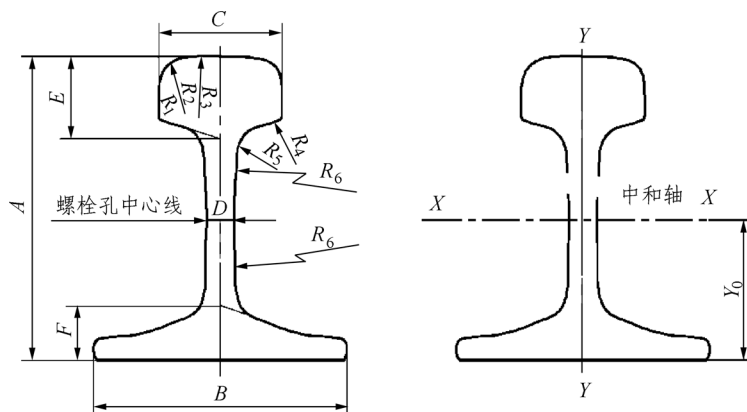


图 1-6 钢轨断面

轨头宜大而厚，并具有与车轮踏面相适应的外形，以改善轮轨接触条件，提高抵抗压陷的能力，同时具有足够的支撑面积，以备磨耗。

轨腰必须有足够的厚度和高度，具有较大的承载能力和抗弯能力。

轨底直接支承在轨枕顶面上，为保持钢轨稳定，应有足够的宽度和厚度，并具有必要的刚度和抗锈蚀能力。

## 2. 钢轨类型

钢轨的类型是按每延米大致质量来区分的。我国现行主要钢轨类型有 38 kg/m、43 kg/m、50 kg/m、60 kg/m、70 kg/m 等，60 kg/m 以上为重型钢轨。钢轨的标准长度为 25 m 和 12.5 m。钢轨的主要形式尺寸见表 1-3 所示。

表 1-3 钢轨的主要形式尺寸

单位：mm

钢轨类型/ (kg/m)	75	60	50	43	38
钢轨高度 $A$	192	176	152	140	134
轨底宽度 $B$	150	150	132	114	114
轨头宽度 $C$	75	73	70	70	68
轨腰厚度 $D$	20	16.5	15.5	14.5	13.0
轨头高度 $E$	55.3	48.5	42	42	39
轨底厚度 $F$	32.3	30.5	27	27	24
轨头侧坡	1 20	1 20	—	—	—
$R_4-R_5$	7-17	8-25	5-12	5-10	7-7
$R_6$	450	400	350	350	350

## 3. 钢轨的选型

目前在国内尚无城市轨道交通的钢轨选型标准，现行城市轨道交通系统的设计一般可参考国家铁路的钢轨选型标准，即“年通过总质量在 15 ~ 30 Mt 时，采用 50 kg/m 钢轨；在 30 ~ 60 Mt 时，采用 60 kg/m 钢轨（Mt 为百万吨）”。

国内外城市轨道交通有选用重型钢轨的趋势，从技术性能上分析，60 kg/m 钢轨质量只比 50 kg/m 钢轨增加 17.7%，而允许通过的总质量可增加 50%。重型钢轨不仅能增加轨道的稳定性，减少养护维修工作量，而且能增加回流断面，减少杂散电流。

表 1-4 是根据有关资料整理的 60 kg/m 钢轨与 50 kg/m 钢轨的性能比较。

表 1-4 60 kg/m 钢轨的性能

性能指标	与 50 kg/m 钢轨比较
钢轨抗弯强度	+ 34%
弯曲应力	- 28 %
使用年限	+ 50% ~ 200%
疲劳破坏造成的更换率	- 83.3%
列车冲击振动	- 10%

综上所述，城市轨道交通在经济条件允许时，无论地面线、地下线或高架线，运营正线都宜选用重型钢轨。对车场线来说，由于主要是供空车运行且速度又低，考虑到经济性，选用 50 kg/m 或 43 kg/m 钢轨均是可行的。《设规》规定：正线及配线钢轨宜采用 60 kg/m 钢轨，车场线宜采用 50 kg/m 钢轨。

道岔是轨道的薄弱环节，其钢轨强度不应低于一般轨道的标准，《设规》规定：正线上道岔的钢轨类型应与相邻区间的钢轨类型一致，并不得低于相邻区间钢轨的强度等级及材质要求。

## 二、轨 枕

轨枕是轨下基础的部件之一。它的功能是支承钢轨，保持轨距和方向，并将钢轨对它的各向压力传递到道床上。因此，轨枕除要有一定的坚固性、弹性和耐久性外，应便于固定钢轨，抵抗轨道框架结构的纵向和横向位移，还应具有价格低廉、制造简单、易于铺设养护的特点。

轨枕依其构造及铺设方法分为：横向轨枕、纵向轨枕、短轨枕和宽轨枕。横向轨枕与钢轨垂直间隔铺设；纵向轨枕沿钢轨方向铺设；短轨枕是在左右两股钢轨下分开铺设，常用于混凝土整体道床上；宽轨枕底面积比横向轨枕大，减少了对道床的压力和道床的永久变形。

轨枕按其使用部位可分为：用于区间线路的普通轨枕、用于道岔上的岔枕及用于无砟桥上的桥枕。

轨枕按材质不同可分为：木枕、预应力钢筋混凝土轨枕（简称混凝土枕）及钢枕等。

轨枕类型随轨距、道床种类、使用处所不同而异。地铁正线隧道内线路一般采用短轨枕或无轨枕的整体钢筋混凝土道床；车场线采用普通预应力钢筋混凝土轨枕，在道岔范围内少数区段采用木枕；高架轻轨线适合采用新型轨下基础，这种新型的轨枕结构不同于传统的道砟道床上铺设木枕或混凝土的轨下基础，而是以混凝土道床为主的构造形式。如上海明珠轻轨高架线，采用的是承轨台、支撑块整体式道床。

## 三、连接零件

连接零件分为接头连接零件和中间连接零件两种。

### （一）接头连接零件

接头连接零件由夹板、螺栓和垫圈等组成，如图 1-7 所示，通过它们把钢轨连接起来，使钢轨接头部分具有与钢轨一样的整体性，以抵抗弯曲和移位，并满足热胀冷缩的要求。

夹板是用来夹紧钢轨的。目前，我国标准钢轨采用斜坡支承双头对称型夹板（简称双头式夹板），如图 1-8 所示。

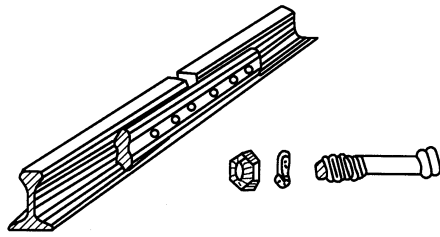


图 1-7 接头连接零件



图 1-8 双头式夹板

这种夹板的优点，是在竖直荷载作用下具有较大的抵抗弯曲和横向位移的能力。夹板上、下两面的斜坡能楔入轨腰空间，但又不贴住轨腰，当夹板稍有磨损连接松弛时，可以重新拧紧螺栓，保持钢轨连接的牢固。每块夹板都要用 4 枚或 6 枚螺栓上紧，且为防止车轮在接头部位脱轨时，车轮轮缘将所有的螺栓剪断，螺栓帽的位置在钢轨的内外侧相互交错。

在城市轨道交通中已基本采用了无缝线路结构，接头连接零件的数量大大减少，但在无缝线路的缓冲区、轨道电路的绝缘区、有道岔的线路区段中，接头连接零件还是不能缺少的。

钢轨接头按其在一股钢轨上的相互位置分为对接和错接，如图 1-9 所示；按其于轨枕的位置分为悬接和垫接，如图 1-10 所示。目前我国铁路上均采用悬接又对接的形式，这种形式可减少列车对钢轨的冲击次数，改善运营条件，受力条件较好，又便于维修。城市轨道交通正线、辅助线的钢轨接头常采用对接，而辅助线和车场线半径等于及小于 200 m 的曲线地段的钢轨接头应采用错接，错接的距离不应小于 3 m。

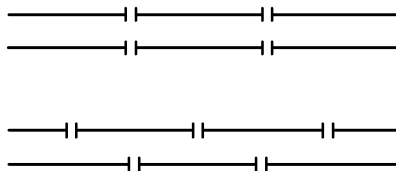


图 1-9 对接、错接

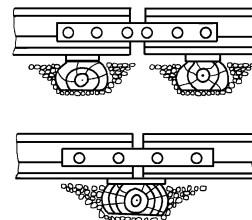


图 1-10 悬接、垫接

当前后两根钢轨的类型不同时，应采用异型接头。异型接头使用的是异型夹板，异型夹板的一半应与该端钢轨断面吻合，另一半应与另一端钢轨断面吻合，且应使两钢轨作用边及顶面相互对齐，如图 1-11 所示。

在自动闭塞区段及电力牵引区段的钢轨接头处，为了传导信号电流或作为牵引电流的回路，应采用导电接头。钢轨接头处的轨间导电装置为两根直径为 5 mm 左右的镀锌铁丝，如图 1-12 所示。

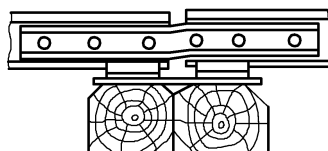


图 1-11 异型夹板

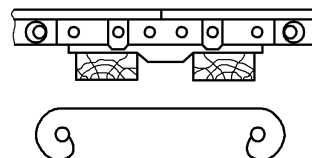


图 1-12 钢轨导电接头

在自动闭塞分区两端的钢轨接头处，为保证轨道电流不能从这一闭塞分区传到另一闭塞分区，应采用钢轨绝缘接头。图 1-13 所示为绝缘接头断面，在夹板与螺栓间、钢轨螺栓孔四周及两根钢轨的接缝处，均使用绝缘材料隔断电流。

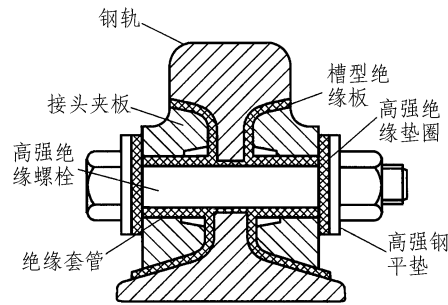


图 1-13 钢轨绝缘接头

## (二) 中间连接零件

中间连接零件又称轨枕扣件。扣件是钢轨与轨枕或其他轨下基础连接的重要连接件，它的作用是把钢轨与轨枕或其他类型的轨下基础连接在一起，固定钢轨的正确位置，阻止钢轨纵向和横向位移，防止钢轨倾覆，还能提供适当的弹性，起到缓冲和减振作用，并将钢轨承受的力传给轨枕或道床承轨台。

### 1. 对扣件性能的要求

(1) 扣件应具有足够的强度和扣压力。

(2) 扣件应具有良好的弹性，以减小列车荷载的冲击，使钢轨承受的荷载能均匀地传递到道床上。特别是整体道床因其刚度大更需要高弹性扣件，以求更好地减振降噪，使减振性能相当于或超过有砟轨道。

(3) 扣件应具有适量的轨距、高低调整量。高架桥上整体道床的扣件需较大的调整量，以适应预应力梁的徐变和桥墩的不均匀下沉。

(4) 扣件应具有良好的绝缘性能，以减少杂散电流，其绝缘部件工作电阻应大于  $10^8 \Omega$ 。

(5) 扣件结构力求简单，尽量标准化，通用性好且造价低，便于安装和拆卸，养护维修量小。

(6) 扣件金属部件应作防腐处理。

### 2. 扣件的类型

扣件按不同的分类方式可有不同的形式，如按其与钢轨、轨枕的连接方式，可分为不分开式和分开式两种：不分开式扣件是用道钉将钢轨、垫板同时连接于轨枕上，分开式扣件是把钢轨与垫板、垫板与轨枕分别连接。

按扣件的弹性性能分为：全弹性扣件（垂直和水平方向都具有一定弹性），半弹性扣件（仅考虑垂直方向的弹性）。

按混凝土枕有无挡肩又可分为有挡肩扣件和无挡肩扣件。

按轨枕的类型可分为木枕扣件和混凝土枕扣件。



下面对其中的几种进行介绍。

### (1) 木枕扣件。

木枕扣件主要由道钉、垫板组成，如图 1-14 所示。

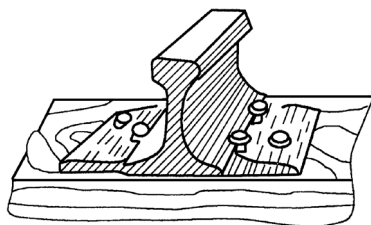


图 1-14 木枕扣件

垫板为钢轨与木枕间插入的钢板，它可将钢轨传来的压力传递给较大的木枕支撑面，减少对木枕的压力，从而有效地防止轨底切入木枕的支撑面而引起的机械磨损，延长木枕的使用寿命。同时，垫板的双肩抵住轨底侧面，可以使钢轨两侧道钉共同起抵抗横向力的作用，确保轨距稳定和防止钢轨向外侧倾斜。垫板上设有向线路中心倾斜的坡度，使钢轨形成 1:40 的轨底坡，以保持钢轨中部受力。

道钉扣件的缺点是扣压力不足，也易于松动。

### (2) 预应力混凝土枕（简称 PC 轨枕）扣件与无砟轨道道床扣件。

PC 轨枕扣件经历了扣板式扣件、拱形弹片式扣件、型弹条扣件、型弹条扣件及型弹条扣件的发展阶段。

扣板式扣件由螺纹道钉、螺母、平垫圈、弹簧垫圈、扣板、铁座、橡胶垫板（绝缘缓冲垫板）、垫片及衬垫等零件组成。用硫磺锚固法把螺旋道钉固定在轨枕上预留的孔内，再装上扣板，拧上螺帽，使扣板压紧轨底。轨底与轨枕之间设有绝缘缓冲垫板，用以增加轨道弹性和作为绝缘垫层，如图 1-15 所示。

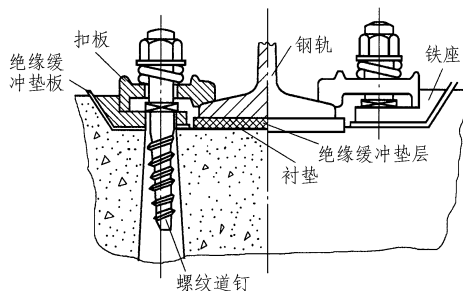


图 1-15 扣板式扣件

螺纹道钉用硫磺水泥浆锚固在 PC 轨枕预留的孔中，这是我国独创的一种工艺流程，螺纹道钉的抗拔力可达 588 kN，耐久性也很好。

扣板式扣件与弹条型扣件的不同之处在于扣板是刚性的，所以又称为刚性扣件。这种扣件因弹性较差，故只适用于 50 kg/m 及以下的钢轨。

弹条式扣件与扣板式扣件基本相同，只是用弹条代替了扣板，改善了钢轨与混凝土枕连接的弹性，增强了扣压力，如图 1-16 所示。

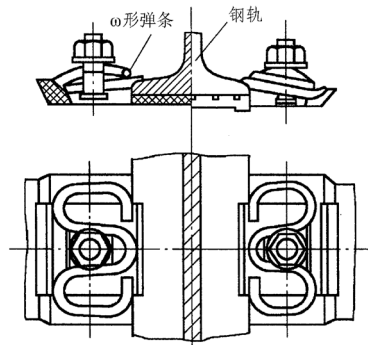


图 1-16 弹条式扣件

随着运量和速度的提高，扣板式扣件和拱形弹片式扣件已不能满足使用要求，正在逐渐被淘汰。

弹条型扣件由o形弹条、螺旋道钉、轨距挡板、挡板座及弹性橡胶垫板组成：弹条是用来弹性地扣压钢轨，应具有足够的扣压力。轨距挡板用来调整轨距和传递钢轨承受的横向水平力；挡板座用来支撑轨距挡板，保持和调整轨距并将轨距挡板承受的横向水平力传递至轨枕的挡肩上，它应具有足够的强度，此外，还应具有一定的绝缘性能以防止漏电。橡胶垫板是缓冲轮轨间的振动冲击作用和提供垂直弹性的主要零件，垫板的弹性靠压缩变形而获得。

型弹条分 A、B 两种，A 型用于 50 kg/m 钢轨，B 型用于 60 kg/m 钢轨。轨距挡板的作用是传递横向力和调整轨距，所以也有多种号码，以满足轨距调整的需要。

弹条型扣件除采用新材料重新设计外，其余部件与型弹条扣件通用。弹条型扣件具有扣压力大、强度安全储备大、残余变形小等优点，适用于型和型混凝土枕的 60 kg/m 钢轨线路。

弹条型扣件为无挡肩扣件，适合于重载大运量、高密度的运输条件。弹条型弹条扣件由弹条、预埋铁件、绝缘轨距块及橡胶垫组成，具有扣压力大、弹性好等优点，特别是取消了混凝土挡肩，消除了轨底在横向力作用下发生横向位移导致轨距扩大的可能性，因此具有较强的保持轨距的能力。又由于该扣件采用无螺栓连接，大大减小了扣件的维修养护工作量。

我国已建和在建的城市轨道交通线路上，使用的扣件类型较多，除天津地铁 1 号线既有段原铺设刚性扣板式扣件外，其余均铺设弹性扣件，基本上是在国铁弹条扣件的基础上设计的。地铁扣件的选型按《设规》应符合表 1-5 的规定。

表 1-5 扣件类型

道床形式	扣件形式	扣压件	与轨枕连接方式
一般整体道床	弹性分开式	有螺栓弹条、无螺栓弹条	在轨枕预埋套管
高架桥上整体道床		有螺栓弹条、小阻力	
混凝土枕碎石道床	弹性不分开式	有螺栓弹条、无螺栓弹条	轨枕内预埋螺栓或铁座
木枕碎石道床	弹性分开式	有螺栓弹条、无螺栓弹条	采用螺纹道钉
车场库内整体道床、检查坑			在轨枕或立柱内预埋套管

道岔上应采用弹性分开式扣件，以增强道岔的稳定性和弹性，增加轨距、水平调整量，有利于道岔的养护维修。

地铁扣件铺设数量应符合表 1-6 的规定：

表 1-6 扣件铺设数量（对/km）

道床形式	正线、试车线、出入线		其他配线	车场线 (不含试车线)
	直线及 $R > 400\text{ m}$ 、 坡度 $i < 20\text{‰}$	$R \leq 400\text{ m}$ 或坡度 $i \geq 20\text{‰}$		
无砟道床	1 600 ~ 1 680	1 680	1 600	1 440
混凝土枕有砟道床	1 600 ~ 1 680	1 680 ~ 1 760	1 600 ~ 1 680	1 440
无缝线路混凝土枕 有砟道床	1 680 ~ 1 760	1 760 ~ 1 840	—	—
木枕有砟道床	1 680 ~ 1 760	1 760 ~ 1 840	1 680	1 440

#### 四、道 床

##### (一) 道床的功能

道床是轨道框架的基础，它的主要功能是：

(1) 机车车辆的荷载通过钢轨、轨枕传递给道床，道床将荷载扩散，然后传给路基，从而减小路基面上的荷载压强，起到保护路基顶面的作用。

(2) 提供抵抗轨道框架纵、横向位移的阻力，保持轨道稳定和正确的几何形位，保证行车安全。

(3) 具有良好的排水作用，减少轨道的冻害和提高路基的承载能力。

(4) 提供轨道弹性，起到缓冲、减振、降噪的作用。

(5) 调节轨道框架的水平方向和方向，保持良好的线路平纵断面，为轨道几何尺寸超限的维修保养提供便利条件。

道床一般有碎石道床（有砟）和整体道床（无砟）两种类型。地下线、高架线、地面车站宜采用无砟道床，地面线、车场库内线宜采用有砟道床。

##### (二) 碎石道床

为了满足道床功能，道砟应质地坚硬、有弹性、不易压碎和捣碎、排水性能良好、吸水性差、不易风化、不易被风吹走或被水冲走。

###### 1. 碎石道砟标准

道砟材料有碎石（花岗岩、大理石、石灰岩）、筛选级配卵石、天然级配卵石、粗砂、中砂及熔炉渣等。目前，我国铁路的道砟分为面砟和底砟。

面砟的材料一般为级配碎石。我国《铁路碎石道砟》标准中将道砟质量划分为一级和二级（见表 1-7），并规定在特重型、重型轨道地段应优先采用一级道砟。

表 1-7 碎石道砟标准

性能	参数	特级道砟	一级道砟	二级道砟	评价方法	道砟的最终等级以中的最低等级为准。并满足三项的性能要求
抗磨损、抗冲击性能	洛杉矶磨耗率 LAA/%	20	27	27 LAA < 32	若 3 个指标分属 2 个等级，则以 2 个指标为准；若 3 个指标分属 3 个等级，则划分为中间等级	
	标准集料冲击韧度 IP	100	95	80 < IP 95		
	石料耐磨硬度系数 K	>18	>18	17 ~ 18		
抗压碎性能	标准集料压碎率 CA/%	<9	<9	9 ~ 14	若两个指标分属 2 个等级，则定为低等级	
	道砟集料压碎率 CB/%	<18	<18	18 ~ 22		
渗水性能	渗透系数/( $10^{-6}$ cm/s)	>4.5	>4.5	3 ~ 4.5	4 个指标中，以其中 2 个指标最高的等级为准，若这 2 个指标的等级不在同一级别，则定为低一级	
	石粉试磨件抗压强度 $\sigma$ /MPa	<0.4	<0.4	0.4 ~ 0.55		
	石粉液限/%	>20	>20	16 ~ 20		
	石粉塑限/%	>11	>11	9 ~ 11		
抗大气压腐蚀破坏	硫酸钠溶液浸泡损失率/%	<10	<10	<10		
稳定性能	密度/(g/cm <sup>3</sup> )	>2.55	>2.55	>2.55		
	干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	>2.50	>2.50	>2.50		
软弱颗粒	饱和单轴抗压强度/MPa	20	20	20	含量少于 10% (质量比)	

## 2. 道砟级配标准

碎石道砟属于散粒体，其级配是指道砟中不同大小粒径颗粒的分布。道砟级配对道床的物理力学性能、养护维修工作量有重要的影响。现有的道砟级配标准如表 1-8 所示。

表 1-8 道砟级配标准

方孔筛边长/mm	16	25	35.5	45	56	63
过筛质量百分率/%	0 ~ 5	5 ~ 15	25 ~ 40	55 ~ 75	92 ~ 97	97 ~ 100

道砟颗粒形状对道床质量也有较大的影响，一般要求道砟颗粒棱角分明，近于立方体。针状、片状颗粒容易破碎，使道床强度和稳定性下降。颗粒长度大于平均粒径 1.8 倍的称为针状，厚度小于平均粒径 0.6 倍的称为片状。我国道砟标准规定针状和片状指数均不大于 50%。道砟中的黏土团或其他杂质、粉末都直接影响道砟的排水、板结等，要求黏土团或其他杂质的含量不超过 0.5%，粒径 0.1 mm 以下粉末的含量不超过 1%。

底砟的功能是隔离面砟层的颗粒与路基面直接接触，截断地下水的毛细管作用，并降低地面水的下渗速度，防止雨水对路基面的侵蚀。我国《铁路碎石道床底砟》规定：“底砟材料可取自天然砂、砾材料，也可由开山石或天然卵石、砾石经破碎、筛选而成。”底砟材料的粒径级配应符合表 1-9 的规定，且 0.5 mm 以下的细集料中通过 0.075 mm 筛的颗粒含量应小于或等于 66%。

表 1-9 底砟颗粒级配

方孔筛边长/mm	0.075	0.1	0.5	1.7	7.1	16	25	45
过筛质量百分率/%	0~7	0~11	7~32	13~46	41~75	67~91	82~100	100

3. 碎石道床铺设规定

(1) 铺设地段。地面正线宜采用混凝土枕碎石道床。地面的出入线、试车线和库外线宜采用混凝土枕碎石道床或木枕碎石道床。

(2) 道床厚度。碎石道床厚度应符合表 1-10 的要求。

表 1-10 碎石道床厚度

路基类型	道床厚度/mm	
	正线、配线	车场线
非渗水土路基	双层	道砟 250
		底砟 200
岩石、渗水土路基、混凝土结构	单层道砟 300	

桥梁上道砟槽内碎石道床厚度不应小于 250 mm，与两端的道床厚度差应在桥台外不小于 10 m 范围内递减。

(3) 道砟材质。

正线、辅助线、出入线和试车线应采用一级道砟，车场线可采用二级道砟。

碎石道床材料应符合现行铁路标准中有关铁路碎石道砟和铁路碎石底砟的规定。

(4) 道床肩宽及边坡。

道床宽出轨枕两端的部分称为道床肩宽，适当的肩宽及边坡可保持道床的稳定，并提供一定的横向阻力。

正线无缝线路地段有砟道床的肩宽不应小于 400 mm，有缝线路地段道床肩宽不应小于 300 mm。无缝线路曲线半径小于 800 m、有缝线路曲线半径小于 600 m 的地段，曲线外侧道床肩宽应增加 100 mm。道床边坡均为 1 : 1.75。

车场线有砟道床肩宽不应小于 200 mm；半径小于 300 m 的曲线地段，曲线外侧道床肩宽应增加 100 mm，砟肩应堆高 150 mm。道床边坡均应为 1 : 1.5。

无缝线路砟肩应在碎石道砟上堆高 150 mm，堆高道砟的坡度为 1 : 1.75。

(5) 道床顶面高度。

混凝土枕碎石道床顶面应与轨枕中部顶面平齐，木枕碎石道床顶面应低于木枕顶面 30 mm。

(6) 道床过渡段。

正线、出入线和试车线的无砟道床与有砟道床间应设轨道弹性过渡段，长度不宜短于车辆的全轴距。

同一曲线地段宜采用同一种道床形式，使同一曲线轨道弹性一致，有利于行车，保持轨道的稳定性，减少维修工作量。

有砟道床的优点是结构简单，减振、降噪性能较好，造价低，是一般铁路最常用的道床。

但因其轨道建筑高度较高，需要增加隧道的开挖量，增加结构投资，同时轨道维修量大，隧道内捣固道砟粉尘影响作业人员健康，所以新建地铁和轻轨交通隧道内不宜采用有砟道床，应采用整体道床。

### (三) 整体道床

整体道床一般分无枕式和轨枕式两种。

#### 1. 无枕式整体道床

无枕式整体道床亦称整体灌注式道床，用施工机具把连接扣件的玻璃钢套管按设计位置预埋在道床内，上面做成承轨台，然后再安装钢轨和扣件。此种道床施工方法烦琐，机具复杂，进度也慢，承轨台抹面精度不易保证，难以达到设计要求，国内很少采用。

#### 2. 轨枕式整体道床

这种整体道床又可分为短枕式和长枕式两种。

##### (1) 短枕式整体道床。

这种道床轨道建筑高度为 550 mm 左右，轨枕下道床厚度一般不小于 160 mm，常设中心排水沟，见图 1-17。短轨枕在工厂预制，内布钢筋，底部外露钢筋钩，以加强与道床混凝土的连接。

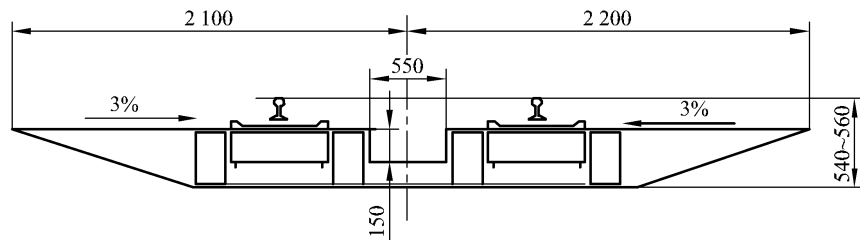


图 1-17 短枕式整体道床

这种道床稳定、耐久，结构比较简单，造价较低，施工方法简单，进度较快，是地铁和轻轨交通最常采用的道床形式。

##### (2) 长枕式整体道床。

这种道床如图 1-18 所示，设侧向排水沟。一般长轨枕预留圆孔，让道床纵筋穿过，加强了与道床的连接，使道床更坚固、稳定和整洁美观。这种道床适合于软土地基隧道，可采用轨排法施工，进度快，施工精度也容易保证。

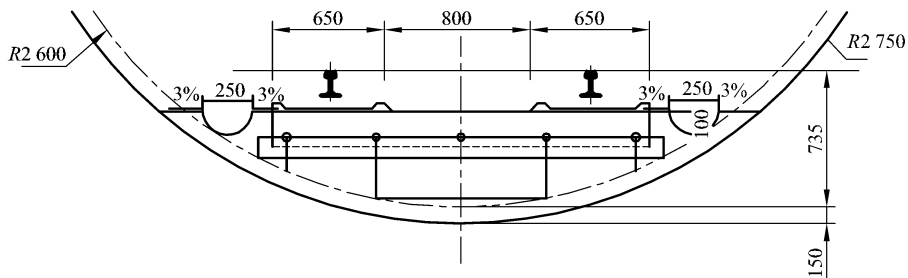


图 1-18 长枕式整体道床

### (3) 其他形式整体道床。

为减少振动和噪声，整体道床还有几种形式，如弹性短枕式、塑料短枕式、短木枕式、浮置板式、纵向浮置板式、弹性整体道床等，都具有较好的减振降噪效果，对防振、防噪有严格要求的地段可选铺这几种形式的整体道床。

隧道内和高架桥上的道岔区宜采用短枕式整体道床，以使轨道弹性一致并增强道岔区轨道的强度。车场线因行驶空车，速度也低，其道岔区宜采用碎石道床，以节省工程投资。

整体道床的优点是道床整体性好，坚固稳定、耐久；轨道建筑高度小，减小隧道净空，节省投资；轨道维修量小，适应地铁和轻轨交通运营时间长、维修时间短的特点。

## 五、轨道的几何形位

轨道的几何形位是指轨道各部分的几何形状、相对位置及基本尺寸，是保证列车按规定速度安全平稳运行的重要条件之一。

轨道的几何形位要素主要有轨距、水平、高低、方向及轨底坡。各种轨道的几何形位都存在一定的偏差，但不得超过其容许值，即轨道几何尺寸的容许偏差。

### (一) 轨 距

#### 1. 直线地段轨距

轨距为两股钢轨头部内侧与轨道中线相垂直的距离。因为钢轨头部外形由不同半径的复曲线组成，钢轨底面设有轨底坡，钢轨向内倾斜，车轮轮缘与钢轨侧面接触点在钢轨顶面下 10~16 mm 处，所以我国《铁路技术管理规程》(简称《技规》)规定轨距测量部位在钢轨顶面下 16 mm 处。

我国城市轨道交通线路直线地段的轨距均采用 1 435 mm。《技规》规定线路、道岔轨距的静态允许最大偏差为 +6 mm 和 -2 mm。

轨距用道尺或轨检车进行测量。前者测得的是静态的轨距，后者则可以测得列车通过时轨距的动态变化。

为使轨道交通车辆能顺利通过轨道，轨道的轨距必须略大于轮对宽度。当轮对的一个车轮轮缘与钢轨贴紧时，另一车轮轮缘与钢轨之间应留有一定的空隙，此空隙称为游间( $\delta$ )，如图 1-19 所示。

游间的计算方法：

$$\delta = S - q$$

式中  $S$ ——轨距，mm；

$q$ ——轮对宽度，mm。

若  $S_0$  为标准轨距， $q_0$  为正常轮对宽度，则正常轮轨游间  $\delta_0$  为：

$$\delta_0 = S_0 - q_0$$

轨距和轮对宽度均规定有容许的最大值和最小值。若轨距最大值和最小值为  $S_{\max}$ 、 $S_{\min}$ ，而轮对宽度的最大值和最小值为  $q_{\max}$ 、 $q_{\min}$ ，则游间最大值和最小值分别为：

$$\delta_{\max} = S_{\max} - q_{\min}$$

$$\delta_{\min} = S_{\min} - q_{\max}$$

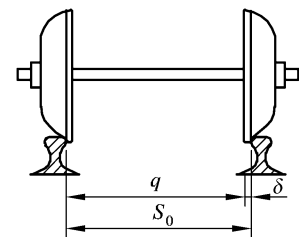


图 1-19 游间

游间的大小对列车运行的平稳性和轨道的稳定性有重要的影响。如果游间太大，则列车运行时的蛇行幅度加大，作用于钢轨上的横向力也增大，会加剧轮轨磨耗和轨道变形，严重时将引起列车脱轨；如果游间太小，则增加行车阻力和轮轨磨耗，严重时还可能卡住轮对，挤翻钢轨或导致爬轨事故。

## 2. 曲线地段轨距

当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 3 种情况：当轨距足够宽时，只有前轴外轮的轮缘受到外轨的挤压力或导向力，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；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；轨距更小，前后轴均同时受到内外轨挤压，车轮被楔在两轨之间，不仅行车阻力大，甚至可能把钢轨挤开。

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，而不至于出现第三种情况。

根据国产地铁和轻轨车辆的资料，当曲线半径  $< 250 \text{ m}$  时，应按表 1-11 规定的数值对轨距进行加宽。

表 1-11 曲线地段轨距加宽值

曲线半径 $R/\text{m}$	加宽值/mm	
	A 型车	B 型车
$250 > R \quad 200$	5	—
$200 > R \quad 150$	10	5
$150 > R \quad 100$	15	10

轨距加宽值应在缓和曲线范围内递减，无缓和曲线或其长度不足时，在直线地段递减率不宜大于  $2\text{‰}$ ，困难地段不应大于  $3\text{‰}$ 。

## (二) 水平

水平是指线路左右两股钢轨顶面的相对高差。为保证列车运行平稳，并使两股钢轨均匀受力，在直线地段上两股钢轨顶面应保持在同一水平面上。

水平可用道尺或轨检车进行测量。直线地段正线的水平容许误差按《技规》规定为  $4 \text{ mm}$ 。

## (三) 前后高低

前后高低是指轨道沿线路纵向的竖向平顺情况，即轨面的上下起伏。

轨道前后高低不平顺，会引起轮轨间的振动和冲击，加速道床变形，进而扩大不平顺，进一步加剧轮轨的动力作用，形成恶性循环。

经过维修或大修的轨道，要求目视平顺，一股钢轨前后高低偏差用  $10 \text{ m}$  弦测量最大矢度值，按《铁路线路维修规则》规定正线不应超过  $4 \text{ mm}$ 。



#### (四) 方 向

轨道的方向是指轨道中心线在水平面上的平顺性，又称轨向。

按照行车平稳与安全的要求，直线应当笔直，曲线应当圆顺，否则会引起列车蛇行运动。相对轨距来说，轨道方向往往是行车平稳性的控制因素。按《铁路线路维修规则》规定正线上的正矢不应超过 4 mm。

#### (五) 轨底坡

因车轮踏面的主要部分为 1:20 的斜坡，为使轮轨接触集中于轨顶中部，提高钢轨的横向稳定性，避免或减小钢轨偏载，减小轨腰的弯曲应力，减轻轨头不均匀磨耗，延长钢轨的使用寿命，在直线上，钢轨不应竖直铺设，而要适当地向内倾斜。钢轨的这种内倾度称为轨底坡，也叫内倾度，即钢轨底面对轨枕顶面的倾斜度。

《设规》规定：正线、辅助线和车场线上的钢轨，应设置 1/40 或 1/30 的轨底坡，但在无轨底坡的两道岔间不足 50 m 的地段不应设置轨底坡。

在曲线地段，由于超高的存在，内股钢轨的轨底坡要适当调整才能保证其不向轨道外方倾斜。

轨底坡设置得是否正确，可根据钢轨顶面由车轮踏面碾磨形成的光带位置判断，一般情况下要求光带宽度一致，并稍偏向轨头中心内侧。如光带偏向钢轨中心内侧较多，则说明轨底坡不足；如偏向外侧过多，则说明轨底坡过大。

北京、上海地铁运营实践表明，小半径曲线地段钢轨磨耗较严重，光带偏离轨顶中心向内，说明 1/40 轨底坡偏小，设置 1/30 或 1/20 轨底坡较为适宜。

### 第三节 道 岔

道岔是机车车辆从一股道转入或越过另一股道时必不可少的线路设备，是轨道的一个重要组成部分。

根据道岔的用途及几何形式，道岔可有多种类型，常见的有普通单开道岔、对称道岔、三开道岔、交分道岔、交叉设备等。近年来，地铁、轻轨还设计和铺设了部分专用道岔。

城市轨道交通布设在城市内，基本采用双线线路，线路中间站通常不设配线，两个方向线路在区段内也很少有交叉存在。在城市轨道交通线路中，道岔设备的主要作用是：设有渡线和折返线的车站，通过设置道岔来实现车辆的转线；在车场、车辆段内，股道通过道岔将停车线、检车线等与走行线连接。

#### 一、单开道岔

在所有类型的道岔中，用得最多的是单开道岔。

单开道岔是将一条铁路线分为两条，主线为直线，侧线由主线的左侧或右侧岔出。站在道岔前部面向尖轨尖端，凡侧线由主线左侧岔出的称为左开道岔，侧线由右侧岔出的称为右开道岔。

单开道岔主要由转辙器部分、连接部分、辙叉及护轨部分组成，如图 1-20 所示。

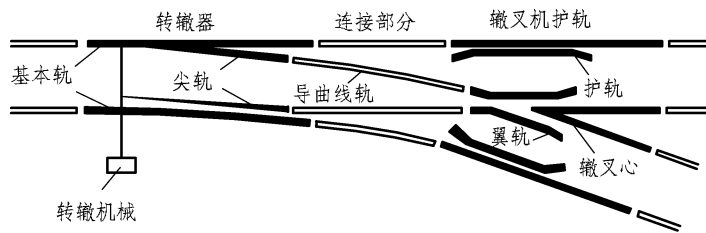
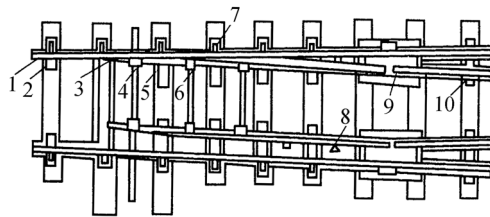


图 1-20 单开道岔的组成

### 1. 转辙器部分

转辙器部分是由一对基本轨、一对尖轨、各种连接零件（拉杆、连接杆、顶铁、滑床板、轨撑、辙前垫板、辙后垫板）及转辙机械等组成，如图 1-21 所示。

基本轨位于尖轨外侧，其作用除承受车轮的垂直压力并经垫板将其传递于岔枕上外，还与尖轨共同承受车轮的横向水平推力，并保持尖轨位置的稳定。基本轨一般用 12.5 m 或 25 m 标准长度的钢轨制成。由于尖轨与基本轨密贴时，产生一个转辙角，因此转辙器部分的轨距必须加宽，以满足机车车辆固定轴距和车轮与钢轨良好接触的需要。



1—基本轨；2—辙前垫板；3—尖轨；4—拉杆；5—滑床板；6—连接杆；  
7—轨撑；8—顶铁；9—尖轨跟部；10—辙后垫板。

图 1-21 转辙器部分的组成

尖轨是用与基本轨同类型的标准钢轨或特种断面钢轨（AT 型钢轨）刨制而成的，目前我国地铁和轻轨上铺设的道岔几乎都是 AT 型尖轨。

对尖轨的要求是当一根尖轨与邻近基本轨密贴时，另一根尖轨必须与邻近的基本轨分开规定的距离，两根尖轨分别被称为密贴尖轨和斥离尖轨。通过尖轨与基本轨的密贴和分离达到引导车轮按不同线路运行的目的。

尖轨按其平面状态分为直线型尖轨和曲线型尖轨两种，如图 1-22 所示。直线型尖轨左右开道岔可通用，加工制造简单，尖轨尖端刨削部分短，横向刚度大，尖轨动程与跟端轮缘槽小。曲线型尖轨左右开道岔不能通用，加工较复杂，但与同号直线型尖轨道岔相比，可缩短道岔长度，增大导曲线半径，提高列车侧向过岔速度。目前我国地铁和轻轨上铺设的尖轨既有直线型也有曲线型。

为了保证尖轨能够在平面上左右摆动，与基本轨密贴或分离，尖轨跟端结构要求以跟部为轴，保证尖轨由一个位置扳动至另一个位置时摆动灵活。常见的有间隔铁式尖轨跟端结构与弹性可弯式尖轨跟端结构。

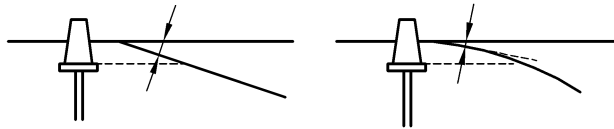


图 1-22 直线型、曲线型尖轨

(1) 间隔铁式尖轨跟端结构，如图 1-23 所示。

它由间隔铁、夹板、辙跟轨撑以及用于连接的套管、螺栓等组成。间隔铁可保持尖轨跟端处与基本轨有固定的间隔宽度，保证车轮能够正常通过。夹板与螺栓相配合可保证跟端连接牢固和尖轨摆动灵活。辙跟轨撑可固定跟端结构的位置。

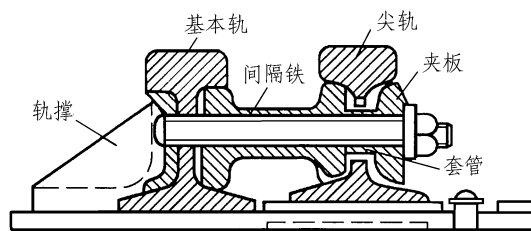


图 1-23 尖轨跟端结构

这种跟端结构简单、零件少、尖轨转动灵活，但稳定性较差、易发生病害，一般用在辙岔号数较小的道岔上。

(2) 弹性可弯式尖轨跟端结构是在尖轨跟端前 1.5~2.0 m 处，把尖轨轨底两侧边缘切掉，使之与钢轨头部宽度相同，形成柔性点，尖轨可绕该处弹性弯曲，如图 1-24 所示。

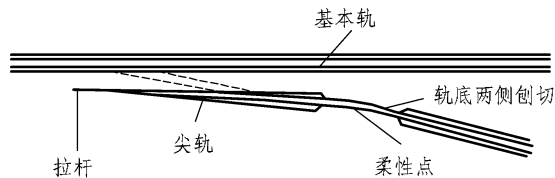


图 1-24 弹性可弯式尖轨

这种跟端结构坚固、稳定、简单，易于保养，我国很多地铁和轻轨线路上的道岔都采用了这种尖轨。

连接杆是将两根尖轨连接成一个框架式整体一起摆动，同时保持两尖轨在平面上的相对位置，一般设 2~3 根。安装在尖轨最前面与转辙机械相连的一根为拉杆，用以转换尖轨位置。随着列车速度的提高，道岔的号数越来越大，尖轨的长度越来越长，为保证尖轨与基本轨的密贴，一些道岔的尖轨需要由多台转辙机械共同完成尖轨的转换，而且两根尖轨需要分别扳动，这样的道岔被称为分动道岔。分动道岔的两根尖轨不再需要连接杆。

由于尖轨经过了刨切，横断面面积减小，强度被削弱，设于尖轨轨腰处顶铁的作用就是将尖轨与邻近基本轨连成一个整体，使基本轨与尖轨共同承受车轮的横向作用力。顶铁的长度应按安装顶铁处的尖轨与邻近基本轨工作边的支距计算确定，保证尖轨尖端与邻近基本轨

密贴时，顶铁正好顶在邻近基本轨的轨腰上。

滑床板设在尖轨长度范围内的轨枕上，其作用是支承尖轨和基本轨，保证尖轨在滑床板顶部的滑床台上能左右平滑摆动。为此，对滑床台要经常清扫并涂抹润滑剂。

轨撑设于基本轨外侧，以阻止基本轨横向移动并保持基本轨与尖轨之间的轨距。通常基本轨始端第二根岔枕至跟端前一根岔枕范围内每根岔枕上的基本轨外侧都安设轨撑。

辙前垫板又称轨撑垫板，设于尖轨尖端前部一段基本轨下面，用以固定轨撑的位置，并与轨撑共同防止基本轨向外横向移动。辙后垫板设于尖轨跟后一段长度内，用以保持尖轨跟后导曲线支距的准确。

转辙机械用于扳动尖轨到不同的位置，使道岔能准确地开通直线或侧线。常用的转辙机械有手动和电动两大类：手动转辙机械多用于非集中操纵的道岔上，电动转辙机械用于集中操纵的道岔上。

## 2. 辙叉及护轨

辙叉设于道岔中两根钢轨相交处，由翼轨和心轨及连接零件等组成，如图 1-25 所示。

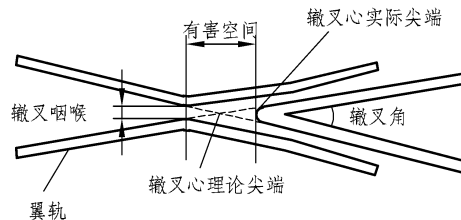


图 1-25 辙叉示意图

辙叉心轨两工作边所成的夹角称为辙叉角  $\alpha$ ，其交点称为辙叉理论尖端。由于制造工艺的缘故，实际上的辙叉尖端有 6~8 mm 的顶面宽度，叫辙叉实际尖端。

两翼轨相距最近处，称为辙叉咽喉。从辙叉咽喉至辙叉实际尖端之间有一段轨线中断地带，车轮有失去引导误入异线而发生脱轨事故的可能，所以此处被称为有害空间。为保证车轮在有害空间处进入正确的翼轨轮缘槽，防止进入异线，通常在辙叉两侧相对应位置的基本轨内侧设置护轨。护轨用普通钢轨经过刨切弯折而成，并用间隔铁、螺栓等零件与基本轨连接。

我国单开道岔上常用的辙叉有锰钢整铸式辙叉、钢轨组合式辙叉和可动心轨辙叉。

锰钢整铸式辙叉是用含锰量 10%~14% 的高锰钢把心轨和翼轨铸成整体的辙叉，如图 1-26 所示。此种辙叉整体性、稳定性好，而且使用寿命长，维修工作量小，得到了广泛的使用。

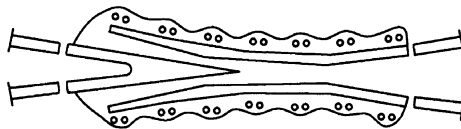


图 1-26 整铸式辙叉

钢轨组合式辙叉是将长心轨、短心轨以及用普通钢轨经弯折、刨切加工而成的翼轨，用不同尺寸的间隔铁和螺栓连接拼装紧固而成的辙叉。这种辙叉由于零件数量多，容易松动，维修量较大，所以在主要线路上很少用到。

可动心轨辙叉是由长心轨、短心轨拼装成的可动心轨和翼轨、叉跟基本轨、帮轨等组合而成的，如图 1-27 所示。这种辙叉利用心轨可摆动与翼轨密贴的特征，消除了有害空间，不仅避免了车轮对心轨和翼轨的冲击，而且提高了列车直向过岔速度，广泛用于高速行车的线路上。

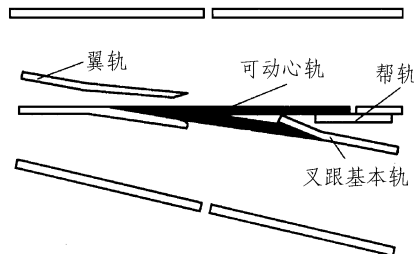


图 1-27 可动心轨辙叉

### 3. 连接部分

连接部分的作用是将转辙器部分与辙叉及护轨部分连接起来构成一组完整的道岔。连接部分主要由主线上的两根直线钢轨和侧线上的两根曲线钢轨组成，两根曲线轨称为道岔导曲线。导曲线一般采用圆曲线，其半径的大小取决于道岔号数的大小及列车侧向过岔速度的要求。单开道岔的导曲线，一般不设外轨超高和轨底坡，而且为保持导曲线的位置和圆顺，在导曲线部分大多铺设垫板、轨距杆、轨撑及防爬设备。

### 二、对称道岔

对称道岔是单开道岔的一种特殊形式，它的结构和单开道岔基本相同，只是连接部分没有直轨，而只有导曲线轨，如图 1-28 所示。

当对称道岔的辙叉号数与单开道岔的相同时，其导曲线半径将比单开道岔的约大一倍；当对称道岔的导曲线半径与单开道岔的相同时，对称道岔比单开道岔的长度要短。

### 三、三开道岔

图 1-29 所示为对称三开道岔。这种道岔有两对尖轨（一长一短为一对），其连接部分有两根直轨，两对导曲线轨；辙叉及护轨部分有三副辙叉、四根护轨，后辙叉无法在主线内设护轨，因此主线行车速度受到限制。

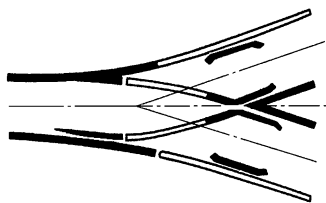


图 1-28 对称道岔

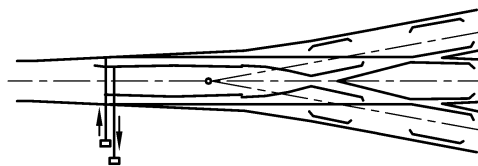


图 1-29 对称三开道岔

### 四、菱形交叉

当一条线路与另一条线路平面相交时，为了使机车车辆能由一条线跨越另一条线运行，所设置的连接设备称为菱形交叉。菱形交叉由两组相同角度的锐角辙叉和两组相同角度的钝

角辙叉组成，如图 1-30 所示。

锐角辙叉的结构与单开道岔基本相同。钝角辙叉分为固定型和可动心轨型两种，如图 1-31 和图 1-32 所示。

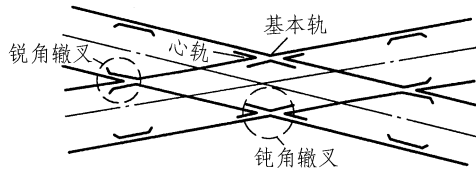


图 1-30 菱形交叉

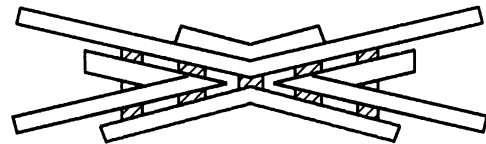


图 1-31 固定型钝角辙叉

### 五、交叉渡线

交叉渡线是由四组类型及号数相同的单开道岔、一副菱形交叉和连接钢轨组成，用于平行股道之间的连接，如图 1-33 所示。

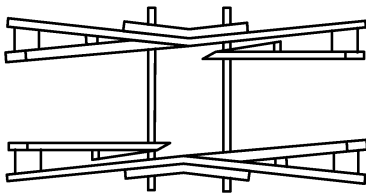


图 1-32 活动型钝角辙叉

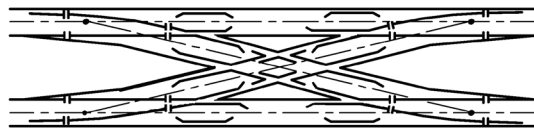


图 1-33 交叉渡线

地铁常用终端站的站前和站后正线折返，用交叉渡线连接上、下行正线。也常在地铁区段折返站或端部折返站的双折返线上，用交叉渡线连接两股折返线（或其中一股用作列车停留线）。

### 六、交分道岔

在菱形交叉一侧增添两副转辙器和一对连接曲线，即构成单式交分道岔；在菱形交叉两侧各增添一对连接曲线和转辙器，则构成复式交分道岔。一组复式交分道岔相当于两组对向铺设的单开道岔，可以开通 4 个方向 8 条通路。复式交分道岔又可分为固定式和活动式两种，如图 1-34 和图 1-35 所示。

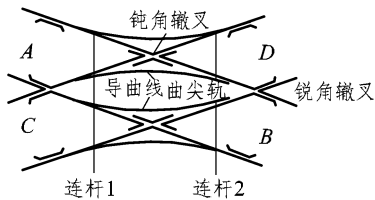


图 1-34 固定式交分道岔

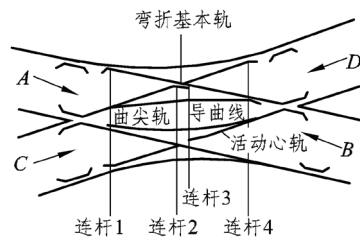


图 1-35 活动式交分道岔

### 七、道岔辙叉号数

辙叉号数  $N$  也称为道岔号数，我国规定以辙叉角  $\alpha$  的余切值来表示，如图 1-36 所示。

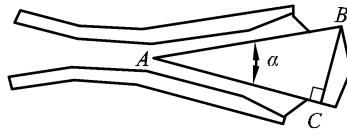


图 1-36 辙叉号数表示图

辙叉号数  $N$  和辙叉角的关系如下：

$$N = \frac{AC}{BC} = \cot \alpha$$

正线道岔是控制行车速度的关键设备，道岔铺设后再变更改造难度很大，道岔整体道床改造难度更大，并影响地铁正常运营，故道岔型号应满足远期运营的需要。《设规》规定：正线、辅助线和试车线应采用不小于 9 号的各类道岔，车场咽喉区应采用不大于 7 号的各类道岔，并宜采用 AT 尖轨、高锰钢辙叉和可调试护轨，以增强道岔的稳定性和减少道岔的维护工作量。地铁常用道岔号数为 12、9、7 号。

#### 八、道岔的几何要素及中心线表示法

如图 1-37 所示， $O$  表示道岔中心； $a$  表示道岔前部实际长度（基本轨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（道岔中心至辙叉后跟轨缝中心的距离）； $L_q$  表示道岔全长（道岔基本轨始端轨缝中心至辙叉后跟轨缝中心的距离）； $a_0$  表示道岔前部理论长度（尖轨始端至道岔中心的距离）； $b_0$  表示道岔后部理论长度（道岔中心至辙叉心理论尖端的距离）； $q$  表示尖轨前基本轨长（道岔基本轨始端轨缝中心至尖轨始端的距离）； $m$  表示辙叉跟长（辙叉心理论尖端至辙叉后跟轨缝中心的距离）。

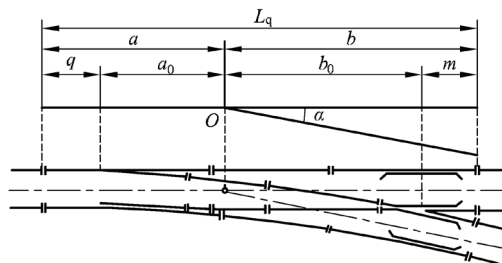


图 1-37 道岔几何要素

在已知道岔两线路中心线的交叉点和辙叉号数、道岔类型时，可按选定的比例尺用单线把道岔表示出来。

例如，画 9 号左开单开道岔时，可在主线的中心线上，先确定两线路中心线交点的位置，然后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，并在最后一个线段末端画一等分线段，使其垂直于主线的线路中心线，将垂直线段的终点与道岔中心连接，即得支线方向，如图 1-38 所示。

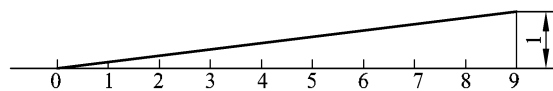


图 1-38 9 号单开道岔的中心线表示法

如画对称道岔，只需将垂直于主线线路中心线的线段平分于中心线两侧，然后把线段两端的终点与道岔中心相连接即可。图 1-39 表示的是 6 号对称道岔。

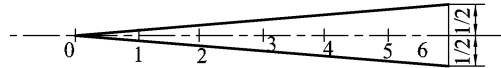


图 1-39 6 号对称道岔的中心线表示法

## 九、道岔限速

道岔是轨道的薄弱环节，列车通过道岔的容许速度按道岔的侧向及直向分别考虑。

列车侧向通过道岔时，由于导曲线半径较小，且一般不设超高和缓和曲线，列车未被平衡的离心作用大，同时机车车辆由直线进入道岔侧线时，在开始迫使车辆改变运行方向的瞬间，必然发生车轮与钢轨的撞击，从而影响乘客舒适度和道岔结构的稳定性，故必须将列车侧向过岔速度限制在容许范围之内。

### 1. 侧向过岔速度

《铁路过岔的容许通过速度》(TB/T 2477—2006)规定，导曲线为单圆曲线时，由外轨超高控制的导曲线通过速度应满足下式：

$$v = 2.75\sqrt{R}$$

式中  $v$ ——旅客列车通过速度，km/h；

$R$ ——导曲线半径，m。

国内已建成、在建的部分地铁（轻轨）线路铺设道岔采用的限制过岔速度如表 1-12 所示。

表 1-12 地铁轻轨道岔限速

铺设线路	深圳地铁 广州地铁	天津 津滨 轻轨	深圳地铁 广州地铁	上海 明珠 轻轨	南京地铁 北京地铁八通线 天津地铁	上海 地铁	上海 轻轨	北京地铁八通线 南京地铁 天津地铁 深圳地铁
轨型	60	60	60	60	60	60	50	50
道岔号数	12	12	9	9	9	9	7	7
导曲线 半径/m	350	350	180	180	180	200	150	150
尖轨特征	60AT 弹曲	60AT 弹曲	60AT 直尖	60AT 弹曲	60AT 直尖	60AT 弹曲	50AT 曲尖	50AT 曲尖
道岔限速 /(km/h)	正向	80	100	80	80	80	80	80
	侧向	50	45	30	30	30	35	25

### 2. 直向过岔速度

关于直向过岔速度，目前尚无简便而成熟的统一计算方法，只是根据道岔类型、道岔结构、道岔号数、道岔尖轨锁闭的可靠性综合分析确定。根据我国运营实践，结合一定的理论分析，直向过岔速度一般可限制为同等级区间线路允许速度的 80%~90%。我国《铁路线路维修规则》规定了道岔直向允许过岔速度，如表 1-13 所示。



表 1-13 直向允许通过速度

14 钢轨/ (kg/m)	尖轨类型	辙叉类型	道岔号数				
			9	12	18	30	38
43	普通钢轨尖轨	固定型	85	95			
50	普通钢轨尖轨	固定型	90	110	120		
50	AT 弹性可弯尖轨	固定型		120			
50	AT 弹性可弯尖轨	可动心轨		160			
60	普通钢轨尖轨	固定型	100	110			
60	AT 弹性可弯尖轨	固定型		120			
60	AT 弹性可弯尖轨	固定型(提速道岔)	140	160			
60	AT 弹性可弯尖轨	可动心轨		160/200	160/200	160/200	200

## 十、新型轨道交道岔

### 1. 跨座式单轨道交道岔

跨座式单轨道交道岔区的轨道梁同时也是道岔的部件，称道岔梁。道岔主要由道岔梁、梁间回转轴、移动台车、驱动装置、锁定装置、控制系统等组成。

跨座式单轨道交通的道岔从结构上可分为关节型道岔和关节可挠型道岔两大类型。

关节型道岔为几节钢制轨道梁铰接组成的折线形道岔，如图 1-40 所示。由于车辆通过折线部位时冲击力较大，故一般只用于车辆低速运行的车场线路和辅助线。

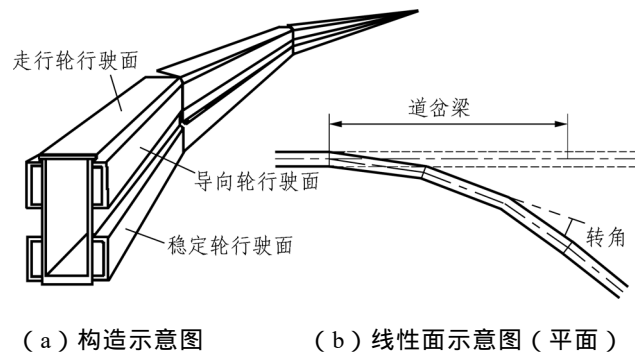


图 1-40 关节型道岔构造

关节可挠型道岔是由几节钢制短轨道梁、并在梁两侧的导向轮和稳定轮走行面配一套曲线装置铰接组成的曲线形道岔，如图 1-41 所示。这种道岔构造相对复杂，但车辆可在较圆滑的曲线上通过，运行平稳、舒适性好，适用于车辆载客行驶的正线。

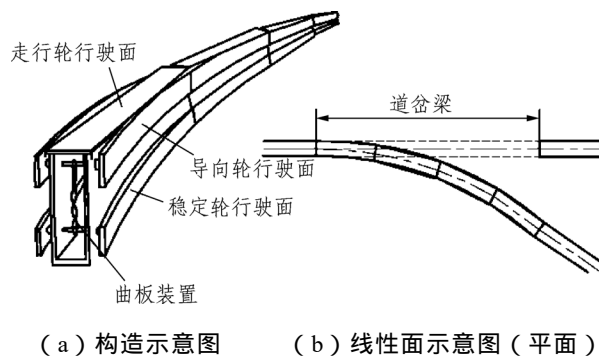


图 1-41 关节可挠型道岔构造

跨座式单轨交通道岔的基本形式有单开、双开、三开及五开等几种，根据需要组合成单渡线、交叉渡线等多种不同的形式，如图 1-42 ~ 图 1-45 所示。

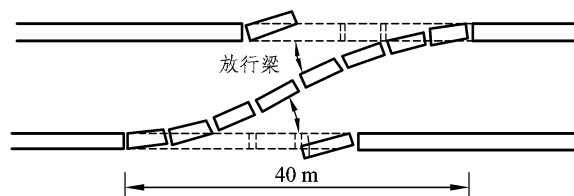


图 1-42 单渡线道岔

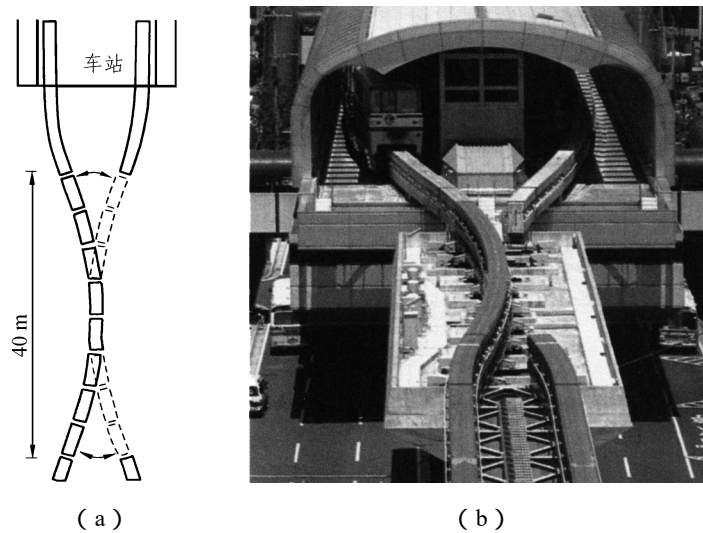
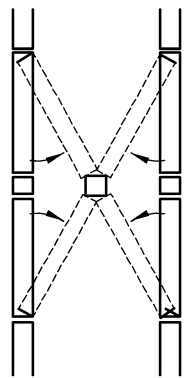
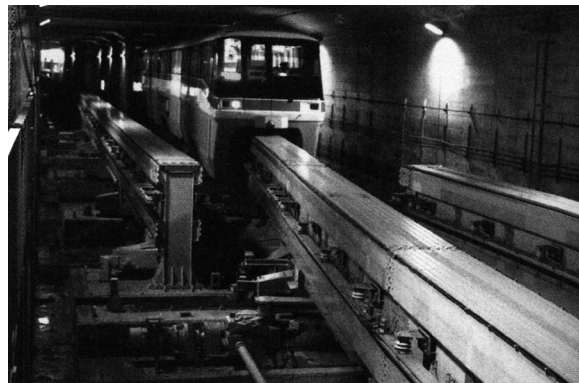


图 1-43 交叉渡线（一）

交叉渡线道岔（见图 1-43）用于上下行交叉渡线处，中间两节短道岔梁为固定式，另有两组活动道岔梁，通过不同组合连接，可构成 4 条通路。道岔区长约 40 m，列车通过速度为 25 km/h。



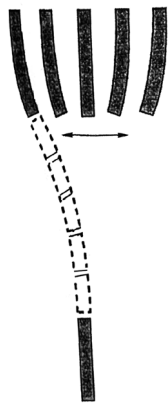
(a)



(b)

图 1-44 交叉渡线(二)

图 1-44 所示交叉渡线道岔用于上下行线交叉渡线处，在上下行线及线间中部为固定梁，另有 4 组活动道岔梁，通过不同连接可构成 4 条通路。道岔区长约 72 m，列车通过速度可达 35 km/h。



(a)



(b)

图 1-45 五开道岔

多开道岔（见图 1-45）用于车场内行车线与多条停车线的连接，根据连接线路的多少，采用单开、双开、三开或五开形式，道岔区长度一般为 20 ~ 30 m。

## 2. 自动轨道交通道岔

自动轨道交通道岔主要有垂直沉浮式、平面移动式和第二导向系统几种形式。平面移动式由于水平移动的方式和构造不同又可分为几种不同的形式。

垂直沉浮式道岔的导向方法是当车辆需要转行至另一条轨道线路上时，道岔区的直线导轨沉落入地，曲线导轨由地下浮出衔接另一线路，反之直线导轨浮出地面，曲线导轨落入地下，如图 1-46 所示。由于这种立体型道岔比水平转换的平面道岔构造更复杂，后期建设的自动轨道交通很少采用。

水平移动道岔的导向方法是当车辆行驶至道岔区前时，拨岔机根据控制指令拨动导向板，使车辆导向轮沿拨动后的导向板直行或弯转至另一条轨道线路运行，如图 1-47 所示。

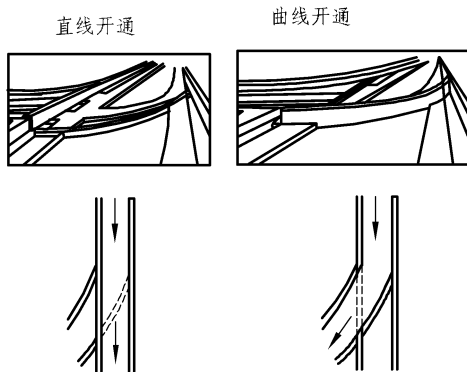


图 1-46 沉浮式道岔

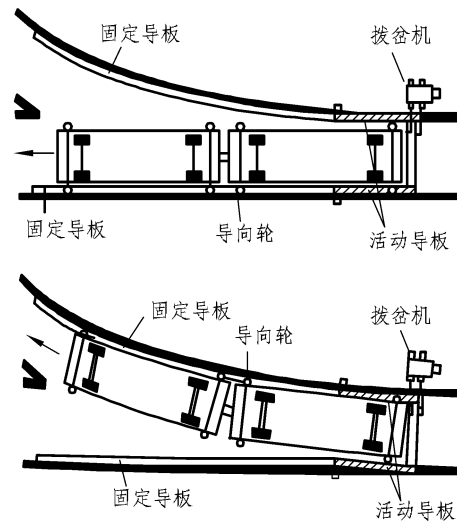


图 1-47 水平移动道岔

整体回转式道岔是拨岔时导轨与轨道一端整体原地转动，另一端整体移动接至列车要驶入的线路，如图 1-48 所示。

因为在道岔区位于轨道侧面的导轨被中断，车辆的导向将由装置在转向架中央底部的一个导向滚轮（转辙轮）完成。两钢轨头部的间距约为 5 cm，钢轨的轨面与轨道面为同一水平面。车辆转换行车线路时，由控制系统按指令水平移动可动的导向轨使车辆沿原线路直行或转至另一条线路行驶。这就是第二导向系统，如图 1-49 所示。

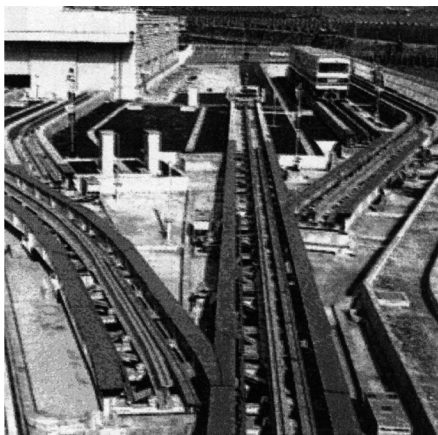


图 1-48 整体回转式道岔



图 1-49 道岔区中央导轨

### 3. 索轨道交通道岔

索轨道交通道岔一般采用硬轨制成特定的弯曲形式，通过分开和对接，使行驶的车辆改变运行的线路。道岔形式按其分开和对接的转换方式分为摆动、平移和旋转式等几种。道岔主要由硬轨、传动机构、导向机构、驱动装置、锁定装置、控制系统、电力系统组成。

摆动式道岔结构紧凑，传动和驱动机构比较简单，可用于站后折返线上，如图 1-50 所示。

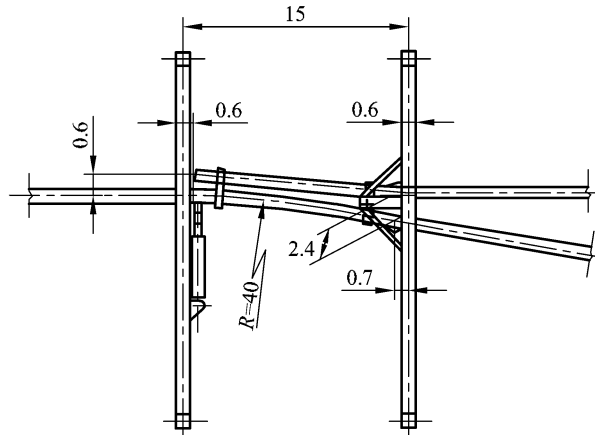


图 1-50 摆动式道岔

平移式道岔采用道岔硬轨平行移动，实现运行线路转换，但占地较多，宜用于折返线和车场中，如图 1-51 所示。

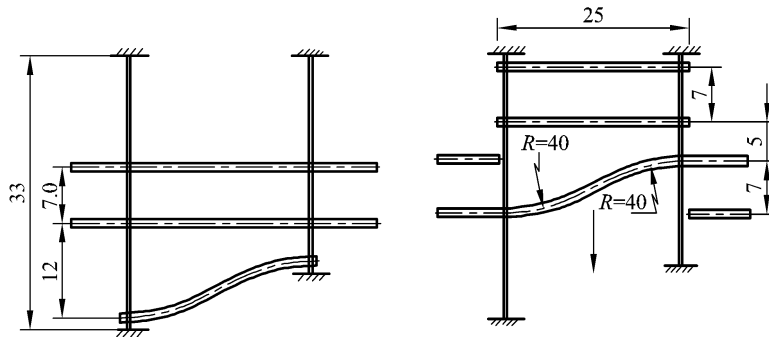


图 1-51 平移式道岔

旋转式道岔比较复杂，各段道岔以同心圆旋转，实现运行线路转换。这种道岔占地较少，如图 1-52 所示。

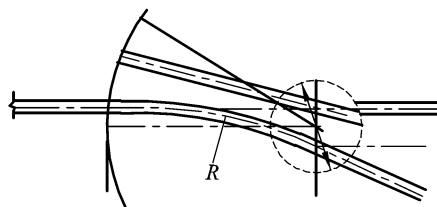


图 1-52 旋转式道岔