

模块 1 轨道线路基础知识

本模块主要讲述普通线路的基础知识,重点讲述铁路轨道线路的连接方式、曲线要素、钢轨、钢轨接头、道砟、轨枕、道床边坡、道床厚度、路基面尺寸、线路标识等轨道线路养护维修的基础内容,根据内容阐述的需要将《普速铁路线路修理规则》(2019年版)、《铁路技术管理规程》(2014年版)、《普速铁路工务安全规则》(2014年版)中的技术和标准引入其中,引导学生掌握新的铁路技术规则 and 标准,为日后从事轨道线路养护维修工作打下基础。

教学目标



知识目标

- (1) 轨道线路在平面和纵断面上的连接方法及规定。
- (2) 钢轨、轨枕、道床、路基的养护维修标准及相互关系。
- (3) 线路的常用标志标识。



能力与素质目标

通过学习,学生能够掌握钢轨、钢轨接头、道砟、轨枕、道床边坡、道床厚度、路基面尺寸、线路标识等线路设备的使用标准及构成特点;能够对铁路轨道线路的整体组成有一个全面的了解和认识;能够认识到轨道线路养护维修在列车运行安全中的重要性。



专业思政素养

通过学习,学生能够认识到铁路轨道线路大多数铺设在山区,因此在养护维修工作中要做到尊重大自然、了解大自然,在提高轨道线路养护维修水平的同时,提高自身的素质,培养高尚的爱国主义、奉献精神、职业道德和顽强的意志,热爱自然、保护环境,为祖国的铁路养护维修建设做出应有的贡献。



1.1 线路的组成

本节主要介绍铁路线路的基本组成及其附属设备,主要包括轨道框架、接头夹板(无缝线路无接头夹板)、道砟、道岔等,同时结合高速铁路(客运专线)的发展介绍了轨道线路下的路基概况,勾画出了铁路路基的全貌。

1.1.1 线路总体的基本组成

铁路线路(图 1-1)主要由轨道线路和路基(图 1-2)两部分组成。其中,路基面以上的部分为轨道线路,主要由轨道框架和道床构成。

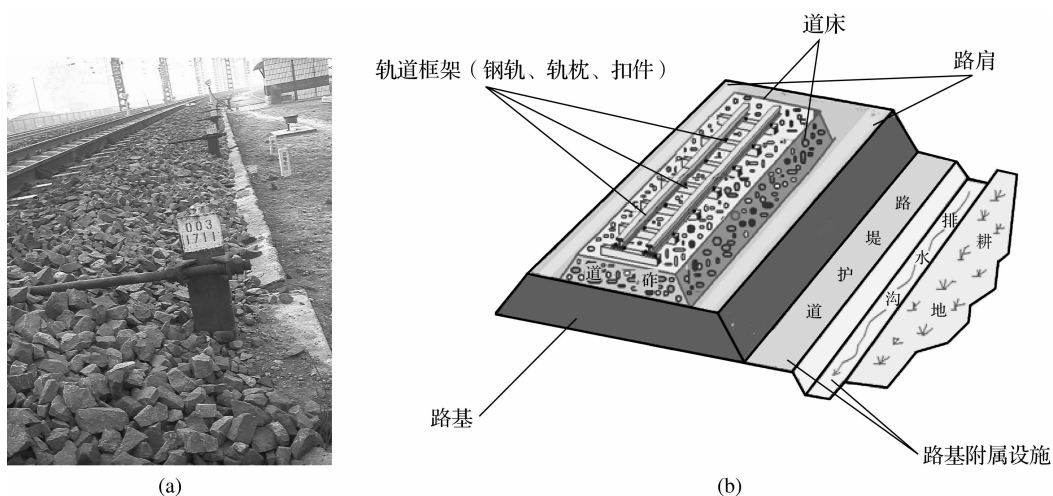
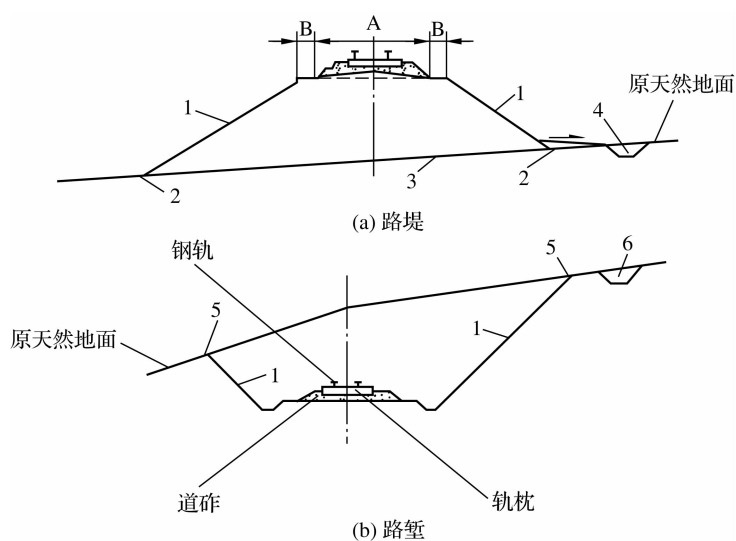


图 1-1 铁路线路的基本组成



A—道床; B—路肩; 1—边坡; 2—坡脚; 3—基底; 4—排水沟; 5—堑顶; 6—天沟。

图 1-2 路基的组成

1.1.2 轨道框架的基本组成

轨道框架主要由钢轨和轨枕组成。钢轨和轨枕通过扣件、接头夹板(无缝线路无接头夹板)连接而成,联结零件包括螺栓、弹条扣件、轨距挡板、挡板座等。

用联结零件将钢轨、轨枕和橡胶垫板组合在一起,就形成轨道框架,如图 1-3 所示。轨道框架将钢轨和轨枕连成一个整体,极大地提高了单根钢轨和轨枕的抗弯变形能力,为列车的平稳运行提供了稳定的基础。

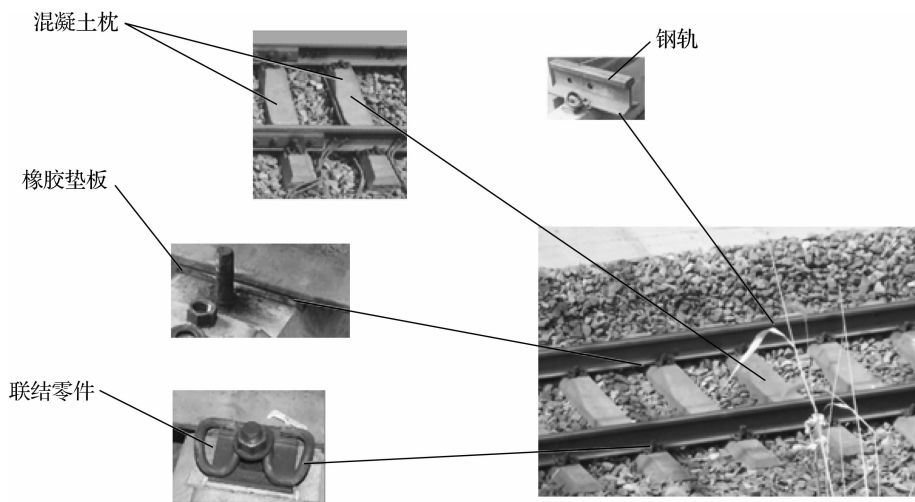


图 1-3 轨道框架的组成

路基面以下的部分为路基主体,本来它不属于轨道线路部分,但由于它本身的状况是否完好,对轨道线路的稳定与安全有着重要的影响,因此本模块将对路基部分进行简要介绍。

1.2 线路在平面上的连接

由于线路在设计时,要考虑沿途的城市、矿产、军事要塞等的分布,还要考虑沿途的不良地质,如大型水库、湖泊、滑坡地带、地震断裂带、火山等,因此线路在平面上不可能全为直线,而是由直线和曲线的相互衔接构成的。

线路的走向与地下条件、人口密度、经济、矿山、军事设施等因素有关。例如,宝鸡到西安的陇海铁路。两点之间直线最短,那为什么不在这两个城市之间直接修建直线铁路呢?这样既省钱又方便维修!这个就涉及铁路选线的知识了。尽管陇海铁路在八百里秦川的关中平原上,但是为了照顾眉县、武功县、咸阳市旅客的出行,轨道线路蜿蜒穿过了(连接)各个城市,而不是宝鸡到西安间的一条直线。如果宝鸡和西安之间是直线,则咸阳市、武功县、眉县等人口密集的城市就会距离轨道线路比较远,人们自然认为乘坐汽车会更方便,因此必然造成铁路客流的损失。所以,铁路采用曲线是为了更好地服务旅客和运输货物。

曲线在我们国家已经运营的轨道线路中,占比达 60%以上,因此,曲线的养护维修是铁路日常工作的一个主要部分。



在直线和曲线的衔接上,一般分为直线和曲线的直接连接与直线和曲线的间接连接两种。

1.2.1 直线和圆曲线的直接连接与间接连接

1. 直线和圆曲线的直接连接(无缓和曲线)

直线和圆曲线的直接连接(无缓和曲线)是直线和圆曲线的直接相切连接,如图 1-4(a)所示。在我国早期已建成的线路中,规定当曲线的半径 $R > 2\,000\text{ m}$ 时可以采用这种直线和圆曲线直接相切的连接形式。

2. 直线和圆曲线的间接连接(有缓和曲线)

直线和圆曲线的间接连接(有缓和曲线)是在直线和圆曲线直接相切连接的基础上,在直线和圆曲线之间插入一段缓和曲线,即曲线半径由无穷大逐渐变化到圆曲线半径 R 的曲线,缓和曲线的长度从直圆(ZY)点开始向直线和圆曲线方向各变化 $\frac{1}{2}$,这就使原来圆曲线的平面位置向圆心方向移动了一定的距离,如图 1-4(b)所示。

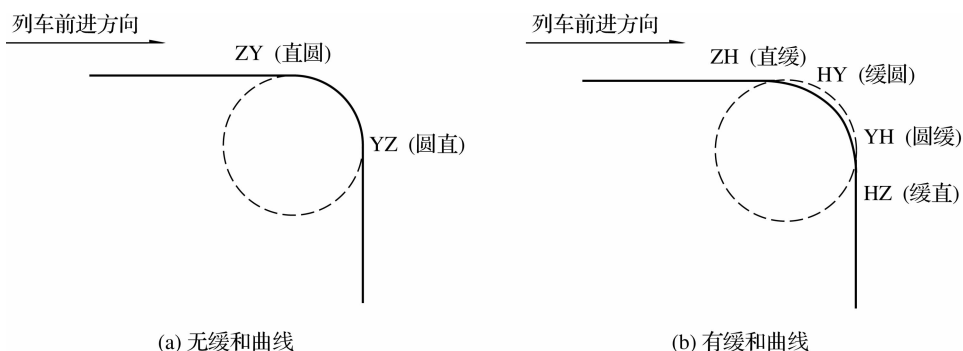


图 1-4 直线和圆曲线在平面上的连接

直线和圆曲线直接连接(无缓和曲线)的形式对于列车速度的提高有较大的限制,因此,在新修建的高速客运专线上,无论曲线半径多大,均采用直线和圆曲线间接连接的形式。在将原有有缝线路改造成无缝线路的过程中,也将无缓和曲线的直线和圆曲线的直接连接形式变为有缓和曲线的直线和圆曲线的间接连接形式,以利于列车速度的提高。

1.2.2 圆曲线和圆曲线连接的规定

1. 夹直线最小长度的规定

夹直线是线路两条相邻曲线之间的直线,其长度(图 1-5)的大小对于列车平稳安全通过曲线具有重要的影响。

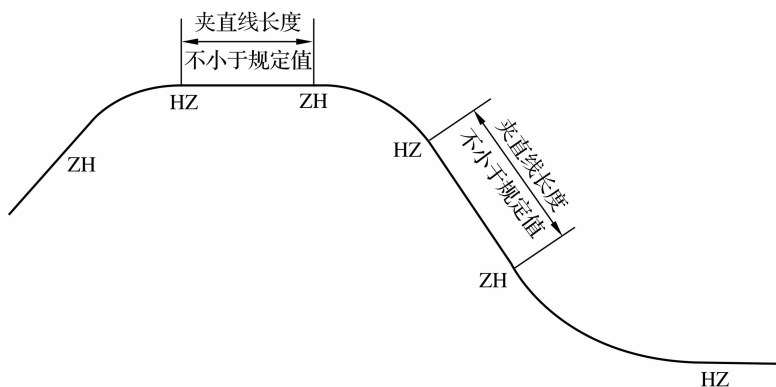


图 1-5 夹直线长度

圆曲线和圆曲线连接时,主要保证两个曲线之间的头尾尽可能不重叠,并且前一曲线的尾部缓直(HZ)点和后一曲线的前部直缓(ZH)点之间要留有足够的直线段(夹直线长度)。夹直线长度与设计通过的列车速度有关。这是因为一节列车车厢下最远的两个车轮轮轴之间的距离大约为 18 m。为了避免最远的两个车轮轮轴落在不同的曲线上(图 1-6),造成车轮和钢轨脱离悬空(因为曲线地段线路上左右两股钢轨因设置曲线超高而产生高低差),从而引发列车脱轨或翻车,《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)规定同向曲线两超高顺坡终点间的夹直线长度应满足表 1-1 的要求,允许速度不大于 160 km/h 的特殊困难地段不应短于 25 m;允许速度不大于 120 km/h 的线路在极个别情况下不足 25 m 时,可在直线部分设置不短于 25 m 的相等超高段。如果设置相等超高段困难,可在直线部分从较大超高向较小超高均匀顺坡。

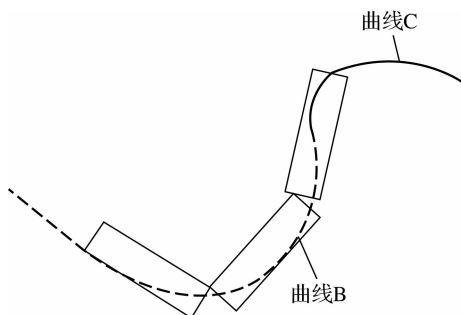


图 1-6 一节列车车厢跨越两条曲线

表 1-1 曲线间夹直线最小长度

线路允许速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)		200	160	140	120	100	80
圆曲线或夹直线 最小长度/m	一般	140	130	110	80	60	50
	困难	100	80	70	50	40	30

2. 铁路区间线路最小曲线半径的规定

当曲线半径设置较小时,列车也很容易脱轨或翻车。为保证列车顺利通过曲线、改善行车条件、提高列车速度、保护线路和列车的设备,《铁路技术管理规程》(2014 年版,普速铁路



部分)规定 I、II 级铁路区间线路的最小曲线半径应满足表 1-2 的要求。

表 1-2 铁路区间线路的最小曲线半径

铁路等级		I			II	
路段设计行车速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)		200	160	120	120	80
最小曲线半径/m	一般	3 500	2 800	1 200	1 200	600
	困难	2 800	1 600	800	800	500

爱国加油站

结合本周国内外的相关新闻及自己的学习和了解,请同学们说一说:我国在轨道交通领域或其他领域所取得的成就。(根据发言,由班级同学现场投票打分,评选出本周“前三强”)

1.3 线路在纵断面上的连接

在设计线路时,不但要考虑平面上的连接问题,还要考虑地形地貌的高差问题,而且列车机车的牵引力和制动力是有限的。因此,对任何交通运输工具而言,其爬坡和下坡的坡度都必须有一个范围限制,这样不但可以保证运输的安全,而且可以在很大程度上提升运输效率。我国地形地貌的大体走向是西高东低,北高南低,因此,线路在纵断面上必然有上坡地段、下坡地段、平直地段,以及由上坡地段与下坡地段之间连接的竖向曲线组成的混合线路。线路在纵断面上的连接如图 1-7 所示。



视频
钢轨的认知

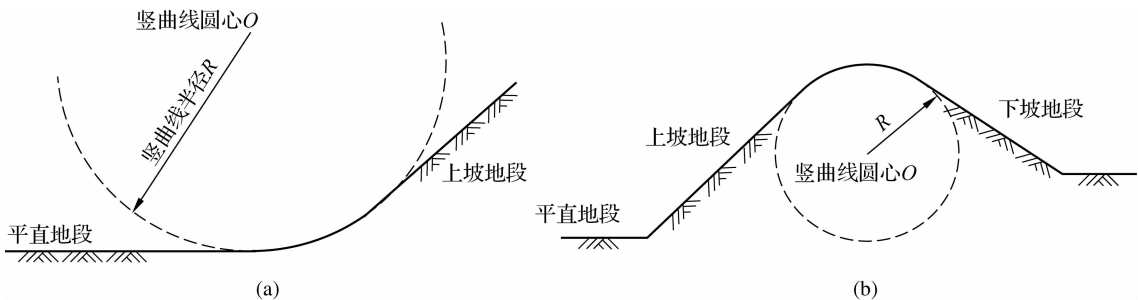


图 1-7 线路在纵断面上的连接

1.3.1 区间线路最大限制坡度的规定

当线路坡度较大、列车牵引力不足时,列车很容易发生爬坡失败、脱轨翻车的危险。为使列车顺利通过坡道(上坡、下坡)、改善行车条件、提高列车速度、保护线路和列车的设备,《铁路技术管理规程》(2014 年版,普速铁路部分)规定铁路区间线路的最大限制坡度应满足表 1-3 的要求。

表 1-3 铁路区间线路的最大限制坡度

单位:‰

铁路等级		I		II	
		一般	困难	一般	困难
牵引种类	电 力	6.0	15.0	6.0	20.0
	内 燃	6.0	12.0	6.0	15.0

各级铁路的加力牵引坡度,内燃牵引的机车可用至 25‰,电力牵引的机车可用至 30‰。

客运专线铁路的最大坡度应根据地形条件、列车牵引性能和运输要求经比选确定。不符合上述规定时,须经国家铁路局批准。

对于高速铁路,因为很多国家实行的是客运专线(客货分离),列车的牵引质量相对较小,且又受到在平面中使用大曲线半径及山区地形的影响,所以采用的最大限制坡度比较宽松。表 1-4 为国外几个主要国家高速铁路的最大限制坡度。

表 1-4 国外几个主要国家高速铁路的最大限制坡度

国 家	法国		德国	意大利	日本			
高速铁路线路	TGV 东南线(巴黎—里昂)	TGV 大西洋线(巴黎—图尔)	汉诺威—维尔茨堡	罗马—佛罗伦萨	东海道(东京—大阪)	山阳(新大阪—博多)	东北(上野—盛冈)	上越(大宫—新潟)
最大限制坡度/‰	35	25	12.5	8.5	20	15	15	15

1.3.2 轨道线路的竖曲线

竖曲线一般采用圆曲线的形式。竖曲线半径的大小,除应保证列车经过变坡点时车钩不脱钩、车轮不脱轨外,还应考虑在竖曲线上产生的竖向离心加速度和离心力对旅客的影响。理论分析认为,在一定机车车辆构造等条件下,竖曲线半径与行车速度有关,行车速度越快,竖曲线半径越大。我国既有轨道线路常用的竖曲线半径为 10 000 m。

1. 无竖曲线时可能产生的事故

20 多米长的列车车厢是一个刚体,不能弯曲,如果线路的变坡点处是直线与直线连接(图 1-8),那么列车行至坡顶即将下坡时会因为突然下落而脱轨翻车。

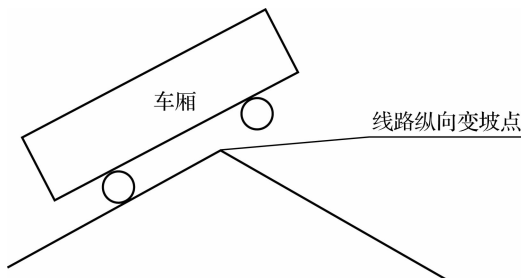


图 1-8 列车通过直线与直线连接的变坡点

2.《普速铁路线路修理规则》(2019年版)对竖曲线的相关规定

(1)线路大修时,应改善线路坡度。当既有线路坡度超过限制坡度且改善困难时,可保持原状。线路大修纵断面设计应符合下列规定:

①应设计长坡段。允许速度大于 160 km/h 的线路最小坡段长度不应小于 600 m,困难条件下最小坡段长度不应小于 400 m;其他线路坡段长度不应小于该区段到发线有效长度的 1/2,个别困难地段也不应小于 200 m。

②相邻坡段的连接应按原线路标准设计为抛物线形或圆曲线形竖曲线(图 1-9)。

a. 当允许速度不大于 160 km/h 的线路采用抛物线形竖曲线时,若相邻坡段的坡度代数差大于 2‰,应设置竖曲线。20 m 范围内竖曲线的变坡率,凸形不应大于 1‰,凹形不应大于 0.5‰。当采用圆曲线形竖曲线时,若相邻坡段的坡度代数差大于 3‰,应设置竖曲线,竖曲线半径不得小于 10 000 m,困难地段不得小于 5 000 m。

b. 当允许速度大于 160 km/h 的线路的坡度代数差不小于 1‰时,应设置圆曲线形竖曲线,竖曲线半径不应小于 15 000 m,且长度不应小于 25 m。

竖曲线不得与竖曲线、缓和曲线重叠,不得侵入道岔、调节器及明桥面。

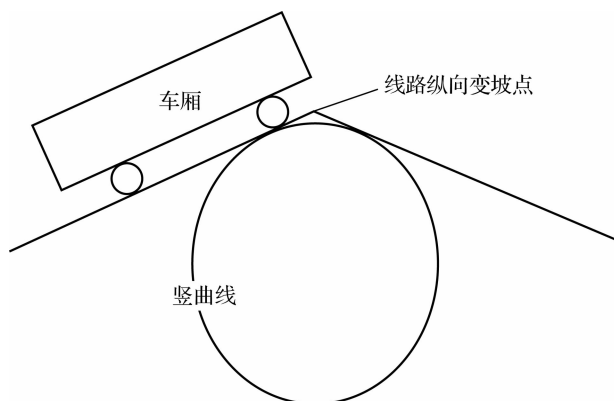


图 1-9 相邻坡段的连接设计为竖曲线

(2)当两线路中心距不大于 5 m 时,其轨面标高应设计为同一水平,困难地段高度差可不大于 300 mm,但易被雪埋地段的轨面标高差不应大于 150 mm,道口处不应大于 100 mm。

(3)大修地段与非大修地段的连接顺坡,应设在大修地段以外。其顺坡率为:允许速度不大于 120 km/h 的线路不应大于 2.0‰,允许速度为 120(不含)~160 km/h 的线路不应大于 1.0‰,允许速度大于 160 km/h 的线路不应大于 0.8‰。

3. 国外高速铁路线路使用的竖曲线半径

对于高速铁路,因行车速度很快,列车在通过竖曲线时会产生很大的离心力,容易造成列车脱轨和轨道框架变形,影响列车安全。因此,高速铁路对于竖曲线的要求比较高,表 1-5 为国外几个主要国家高速铁路所采用的竖曲线半径。

表 1-5 国外几个主要国家高速铁路所采用的竖曲线半径

国 家	法国		德国	意大利	日本			
高速铁路 线路	TGV 东南 线(巴黎— 里昂)	TGV 大西 洋线(巴 黎—图尔)	汉 诺 威— 维尔茨堡	罗 马—佛 罗 伦 萨	东海道(东 京—大阪)	山 阳(新 大 阪—博多)	东 北(上 野—盛冈)	上 越(大 宫—新潟)
竖曲线 半径/m	25 000	16 000	25 000	20 000	10 000	15 000	15 000	15 000

1.4 道床与道砟

1.4.1 道床的类型与功用

道床是保证轨道线路框架稳定的基础,位于轨枕的底部,由上部的碎石和下部的细砂组成,是线路组成的主要部分,如图 1-10 所示。道床应保持饱满、均匀和整齐,并应根据道床不洁程度有计划地进行清筛,保持道床弹性和排水良好。道床应按规定保持密实,防止轨枕空吊、道床翻浆。



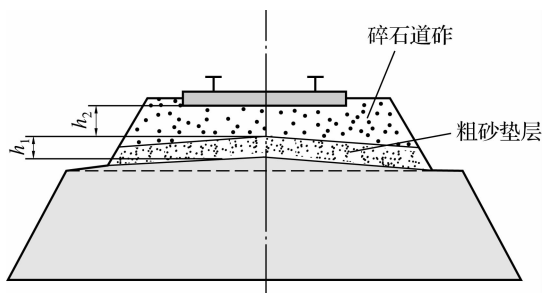
视频
轮轨游间简介



图 1-10 道床

1. 道床的类型

道床分为有垫层道床和无垫层道床,如图 1-11 和图 1-12 所示。垫层一般由粗砂组成。



h_1 —粗砂垫层厚度; h_2 —碎石道砟厚度。

图 1-11 有垫层道床

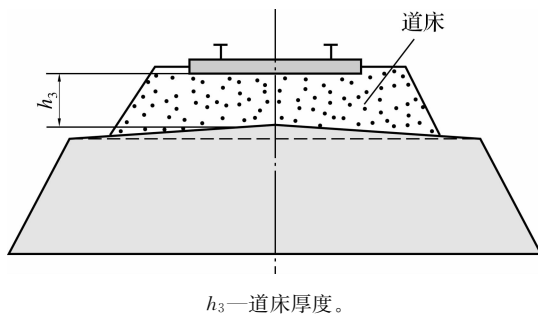


图 1-12 无垫层道床

2. 道床的功用

- (1) 将轨枕传递的荷载均匀地分布于较大的路基面上。
- (2) 阻止轨道框架在列车作用下发生纵(横)向位移,保持轨道稳定。
- (3) 便于排水,使路基面和轨道保持干燥。
- (4) 使轨道具有更大的弹性和缓冲性能。
- (5) 便于校正轨道的平面和纵断面。

1.4.2 道砟的标准与生产加工要求

我国铁路上常用的道床材料是符合一定尺寸和颗粒级配的碎石,统称道砟。一般常见的道砟有碎石道砟、天然级配卵石道砟、筛选卵石道砟、砂子道砟和熔炉矿渣道砟。

1. 道砟的标准

作为道床的组成部分,道砟应具有以下一些性能:质地坚韧,有弹性,不易压碎和捣碎;排水性好,吸水性差;不易风化,不易被风吹动或被水冲走。

用作道砟的材料有碎石、天然级配卵石、筛选卵石、粗砂、中砂及熔炉矿渣等,应根据铁路运量、机车车辆轴重、行车速度,并结合成本和就地取材等条件来决定选用何种道砟材料。

碎石道砟的技术参数有:反映道砟材质的材质参数,如抗磨耗、抗冲击、抗压碎、渗水、抗风化、抗大气腐蚀等材料指标和参数,它们为道砟材质的分级提供了法定依据;反映道砟加工质量的参数,如道砟粒径、级配、颗粒形状、表面状态、清洁度等加工指标。道砟根据性能参数可分一级道砟和二级道砟,特重型轨道、隧道内轨道及宽轨枕轨道应使用一级道砟,其他轨道可使用二级道砟。

长期的研究和运用实践表明,花岗岩、玄武岩、片麻岩等火成岩和变质岩具有较好的抗磨耗、抗冲击、抗压碎、抗风化、抗大气腐蚀的能力。岩石破碎粉化后,黏性小,具有较好的渗水性,因此,道床的养护维修工作量小,清筛周期长,不易出现道床翻浆、板结等病害,这类道砟大多属于一级道砟。而石灰岩、白云岩等碳酸盐沉积岩的情况则相反,大部分属于二级道砟,甚至有些是等外级道砟。采用一级道砟可获得最佳的技术、经济效益,这早已被国内外的研究和经验所证实。因此,运输繁忙、轨道设备标准高的线路使用一级道砟,才能充分发挥重型轨道设备的作用。实行道砟分级,有利于把资源有限的好道砟用在运输最繁忙的干线上,迅速改变道床的不良状态。

另外,用卵石做道砟材料时,最好采用粉碎后的破口卵石,而不宜采用天然浑圆的卵石。

因为浑圆的卵石不利于道床边坡的整体稳定性。

2. 道砟的生产加工要求

铁路道砟应尽可能使用强度和颗粒级配符合要求且具有一定清洁度的花岗石,如图 1-13 所示。道砟一般在中国铁路总公司指定的采石场内进行生产加工。

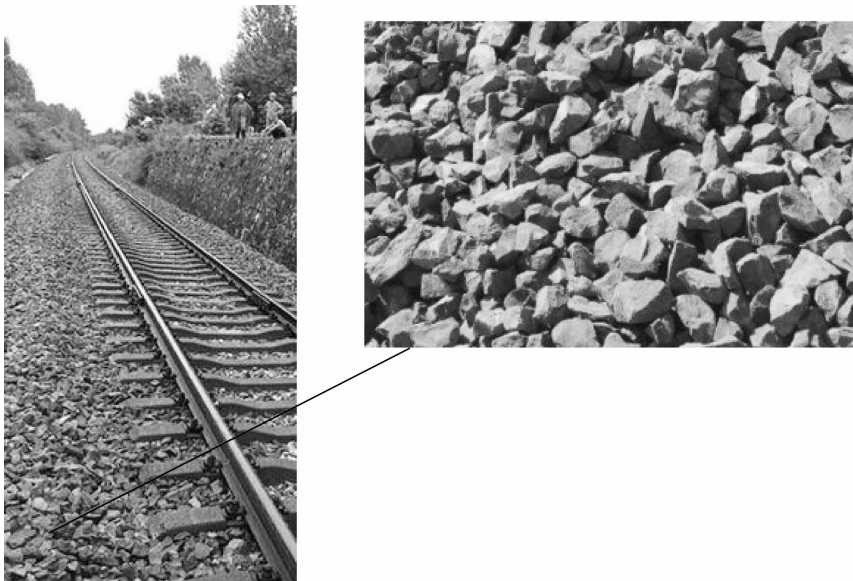


图 1-13 铁路道砟

1.4.3 标准碎石道砟的颗粒级配

道砟必须由不同粒径大小的碎石组成,这样才能保持一定的断面稳定性和道床弹性。道砟必须有“碎石道砟产品合格证”,作为竣工验收和评定道床质量的依据。道床大修、维修补充的道砟应使用一级碎石道砟,其颗粒级配应符合表 1-6 的规定。

表 1-6 一级碎石道砟的颗粒级配

方孔筛的筛孔边长/mm	25	35.5	45	56	63
过筛质量百分率/%	0~5	25~40	55~75	92~97	97~100

标准碎石道砟的粒径为 16~63 mm,用于新建铁路、大修和维修。

为了防止碎石道砟在列车荷载的压力下陷进路基面,一般要在路基面和碎石道砟之间铺设一层底砟(也叫垫层),底砟的摊铺厚度宜为 150~250 mm。底砟的粒径为 0.075~45 mm,其颗粒级配如表 1-7 所示。

表 1-7 底砟的颗粒级配

方孔筛的筛孔边长/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

注:表中数据源自《铁路碎石道床底砟》(TB/T 2897—1998)。

1.4.4 道床厚度及其规定

1. 影响道床厚度的因素

道床断面一般采用等腰梯形,包括道床厚度、顶面宽度及边坡坡度三个主要特征。道床厚度是指钢轨下(曲线为内股钢轨下),轨枕底面与路基面之间的道砟厚度。根据轨道类型的不同,规定道床厚度为30~50 cm,其厚度应满足轨枕底传递的压应力不大于路基面上容许最大压力的要求。道床断面如图1-14所示。道床过厚既有碍作业,也不经济。在运量较小、行车速度较慢的线路上,以及在隧道、车站范围内,可以酌情减小道床厚度,木枕地段不得小于20~25 cm;混凝土枕地段不得小于30 cm;站线上不得小于20 cm;桥梁上道砟槽内不得小于25 cm,如有困难可减至20 cm;隧道内不应小于20 cm。

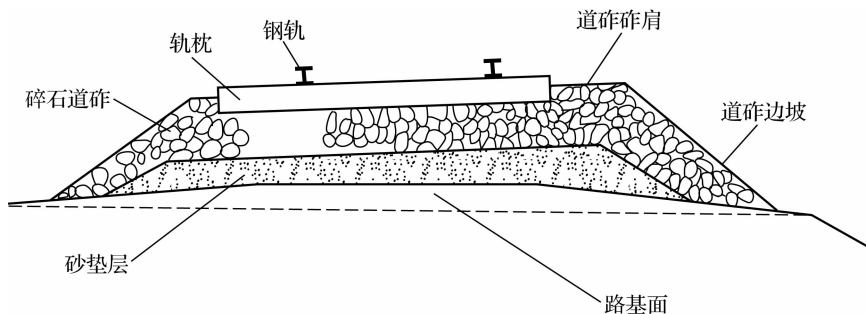


图 1-14 道床断面

道床厚度主要由以下几个因素确定:道床弹性、道床脏污增长率、垫砟层的承载能力、路基面的承载能力。道床弹性是由相互接触的道砟颗粒之间的弹性形变引起的。通常情况下,道床弹性与道床厚度成正比,并随着道砟颗粒粒径的增大、道床空隙比的增加而增加。但是,松散状态下的道床在荷载作用下所产生的变形主要是结构变形,卸载后结构变形不能恢复,故新铺设、清筛或作业后尚未密实的道床,尽管在列车荷载的作用下变形很大,但是也不能说明这种道砟有良好的弹性。因为新铺设或清筛后的道床,在未捣固密实之前,其道砟之间空隙较大,通过捣固或者列车荷载震动后变形(外观紧缩移动)比较大。因此,应该在道床捣固密实、列车运行几个月后,再对道床弹性进行评判。在石质路基上,尽管路基面的承载能力大,但是由于路基的弹性差反而要求有较厚的道床来保证轨道的整体弹性。道床厚度减小,必然导致道床的弹性变差,减振吸振的性能也变差,在相同的运营条件下,道床更易粉碎、脏污加速,从而导致日常维修工作量加大、清筛周期缩短。因此,足够的道床厚度是控制道床脏污增长率,维持一定的维修工作量和道床清筛周期所必需的。

当道床厚度较小时,会在碎石与砂垫层的接触面上形成类似枕底的凹形滞水槽,这是由于碎石层薄,轨枕荷载没有得到充分扩散,致使分布在垫砟层表面的压应力超过了垫砟层的承载能力,枕下部分垫砟层的表面应力最大,因而逐渐下沉,并形成排水能力差的滞水层。

不同的运输、轨道设备,道砟及垫砟材料,路基面条件对道床厚度起着控制作用。我国规定快速线路上道床面砟厚度不小于30 cm,垫砟厚度不小于20 cm。

2. 《普速铁路线路修理规则》(2019年版)对道床厚度的规定

《普速铁路线路修理规则》(2019年版)对道床厚度的规定如表1-8所示。

表 1-8 道床厚度标准

单位: mm

五年内年计划通过总重 $W_{\text{年}}/\text{Mt}$		$W_{\text{年}} \geq 50$	$50 > W_{\text{年}} \geq 25$	$25 > W_{\text{年}} \geq 15$	$W_{\text{年}} < 15$
无垫层的碎石道床	一般路基	450	450	400	350
	不易风化的岩石、碎石路基	350	350	300	300
有垫层的碎石道床(碎石/垫层)		300/200	300/200	250/200	250/200
有砟桥面上的碎石道床	$v_{\text{max}} \leq 120 \text{ km/h}$	250			
	$v_{\text{max}} > 120 \text{ km/h}$	300			

注:允许速度大于 120 km/h 的线路,无垫层时碎石道床厚度不得小于 450 mm;有垫层时碎石道床厚度不得小于 300 mm,垫层厚度不得小于 200 mm。

道床大修后,无垫层的碎石道床,枕下清砟厚度不得小于 300 mm;特殊困难条件下道床厚度不足 300 mm 时,应清筛至路基面,并做好排水坡。

对于运量小、允许速度低的线路或在隧道内、桥梁上和车站内受建筑物限制时,可酌情降低道床厚度。但正线木枕地段碎石道床厚度不得小于 200 mm,混凝土枕地段不得小于 250 mm,站线不得小于 200 mm。

3. 国外高速铁路的道床厚度

由于道床厚度对于传递到路基面上的应力有一定的影响,故道床厚度是线路等级的一个主要指标。表 1-9 给出了国外几个主要国家高速铁路的道床厚度。

表 1-9 国外几个主要国家高速铁路的道床厚度

国 家	法国		德国	意大利	日本			
高速铁路 线路	TGV 东南 线(巴黎— 里昂)	TGV 大西 洋线(巴 黎—图尔)	汉诺威— 维尔茨堡	罗马—佛 罗伦萨	东海道(东 京—大阪)	山阳(新大 阪—博多)	东北(上 野—盛冈)	上越(大 宫—新潟)
道床厚度 /mm	碎石 350	碎石 300	碎石 300	碎石 350	碎石 250	轨枕板 300	轨枕板 300	轨枕板 300

1.4.5 道床顶面宽度及边坡坡度的相关规定

1. 道床顶面宽度及边坡坡度

道床顶面宽度等于轨枕长度及其两端道床肩宽之和。道床伸出轨枕两端的的部分称为道床肩宽。为了保证道床有足够的横向阻力,并阻止道砟自轨枕端部下方挤出,道床必须有一定的肩宽。设道床肩宽为 a ,轨枕长度为 L ,则道床顶面宽度为 $b=L+2a$,如图 1-15 所示。

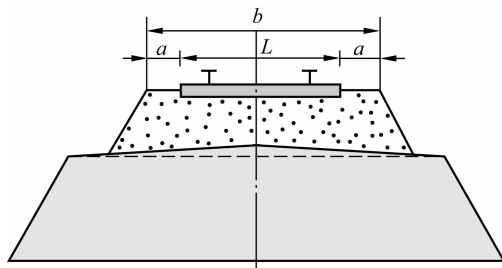


图 1-15 道床顶面宽度



一般木枕轨道的道床顶面应低于轨枕顶面 3 cm,混凝土枕地段的道床中部 60 cm 范围内,其道床顶面还应下凹,并低于轨枕底面 3 cm。S-2 型、J-2 型混凝土道床可不掏空,但应保持疏松,以防混凝土轨枕顶面在列车荷载的弯矩作用下开裂。

自道床顶面引向路基顶面的斜边称为道床边坡。道床边坡的大小应保证道床坚固稳定,在列车动力荷载作用下不发生坍塌。国内外的运营经验表明,道床边坡坡度不能陡于 1 : 1.5,因而一般正线的边坡坡度为 1 : 1.75。

通常认为,道床肩宽主要由保证枕轨的横向阻力和保持轨道的横向稳定性条件来决定。枕轨的横向阻力由轨枕底面、侧面、端面三部分提供,依据英国的试验结果,当道床肩宽为 30 cm,坡度为 1 : 1.2 时,轨枕底面提供的阻力占 67%,侧面提供的阻力占 28%,端面提供的阻力仅占 5%,可见,砟肩提供的横向阻力在整个轨枕横向阻力中所占比例不大。在道床边坡和轨枕端面尺寸不变的情况下,道床肩宽的增加对轨枕横向阻力的影响不大,当轨枕横向位移时,道砟在离枕头 43 cm 处隆起,43 cm 以外的道砟几乎不参与抵制轨枕横移的活动。因而,道床肩宽为 40~50 cm 已足够。

道床肩部堆高才是提高轨枕横向阻力最经济有效的手段。在肩部承载能力相同的情况下,一般趋于采用较大的肩宽和较陡的边坡,但过陡的边坡是不适宜的,因为边坡坡角受到散粒体自然坡角的限制和振动的影响。

2.《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)对道床顶面宽度及边坡坡度的规定

《普速铁路线路修理规则》(2019 年版)规定,道床顶面宽度及边坡坡度应符合表 1-10 的要求。对于曲线地段的路基,还应该考虑曲线外侧道床的加宽。

表 1-10 道床顶面宽度及边坡坡度

线路类别		顶面宽度/m	曲线外侧加宽		砟肩堆高/m	边坡坡度	
			半径/m	加宽/m			
正线	无缝线路	$v_{\max} > 160$ km/h	3.5	—	—	0.15	1 : 1.75
		$v_{\max} \leq 160$ km/h	3.4	≤ 800	0.10	0.15	1 : 1.75
	普通线路	$100 < v_{\max} \leq 120$ km/h	3.1	≤ 600	0.10	—	1 : 1.75
		$v_{\max} \leq 100$ km/h	3.0	≤ 600	0.10	—	1 : 1.75
站线	无缝线路	Ⅲ型混凝土枕	3.4	≤ 600	0.10	0.15	1 : 1.75
		其他轨枕	3.3				
	普通线路	Ⅲ型混凝土枕	3.0	—	—	—	1 : 1.5
		其他轨枕	2.9				

轨底处道床顶面应低于轨枕顶面 20~30 mm,如图 1-16 所示。I 型混凝土枕中部道床应掏空,其顶面低于枕底不得小于 20 mm,长度应为 20~400 mm; II 型和 III 型混凝土枕中部道床应填平,并不高于轨枕顶面。图 1-17 为混凝土轨枕埋深和砟肩堆高示意图。

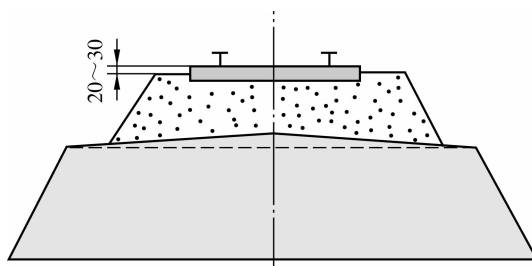


图 1-16 轨底处道床顶面的位置(单位:mm)

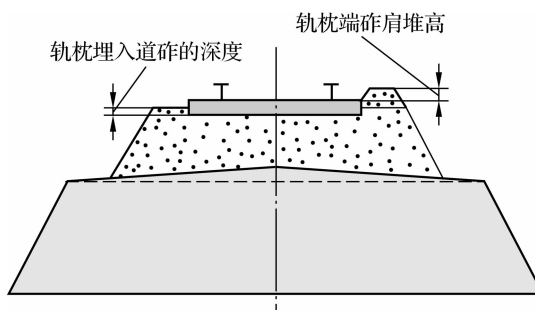


图 1-17 混凝土轨枕埋深和砟肩堆高示意图

有砟桥上应设挡砟墙(块),无缝线路地段应满足砟肩堆高的要求。曲线地段路基和道床的加宽如图 1-18 所示。混凝土宽枕线路的道床由面砟带和底层组成,均采用一级道砟。有垫层时道床厚度不得小于 250 mm,无垫层时不得小于 350 mm;在岩石、渗水土路基上,隧道内及有砟桥面上,不得小于 200 mm。道床顶面宽度不得小于 2.9 m,允许速度大于 120 km/h 的线路,道床顶面应与宽枕顶面平齐,其他线路枕端埋入道床的深度不得小于 80 mm。

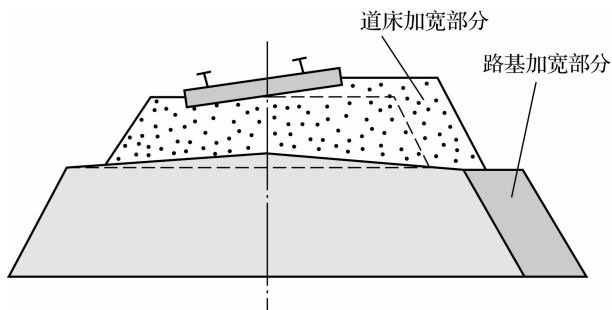


图 1-18 曲线地段路基和道床的加宽

1.4.6 评定道床工况的参数

评定道床工况的参数主要有道床脏污率(分为重量脏污率和体积脏污率)、道床密度、道床空隙率、道床弹性、轨枕横向阻力和轨枕垂向振动加速度。

1. 道床脏污率

在运营中,由于颗粒破碎及粉尘的渗入,道床中会含有小于上述规定的最小粒径成分,这就是道床的脏污成分。脏污成分与道床总重的百分比为道床的重量脏污率,脏污成分与道床



体积的百分比为道床的体积脏污率。道床脏污率的检测方法是清筛道床,工作烦琐,工作量大。

2. 道床密度或道床空隙率

道床密度是指道床单位体积的质量,道床空隙率是指道砟颗粒之间的空隙所占的体积与道床总体积之比。道床从新铺经密实、稳定到脏污、板结的过程,是一个道床密度逐渐增大、道床空隙率逐渐减小、道床脏污率逐渐增加的过程,三者间存在定量关系。道床密度和道床空隙率检测方便,检测结果精度高。

3. 道床弹性

道床弹性是轨道整体弹性的重要组成部分,随着道床的脏污和板结,道床的弹性逐渐丧失,影响道床正常职能的发挥。表征道床弹性的物理量有道床弹性模量和轨枕支承刚度等。

4. 轨枕横向阻力和轨枕垂向振动加速度

轨枕横向阻力是阻止轨枕横向移动,保持轨道稳定的重要条件。列车通过时的轨枕垂向振动加速度是由机车车辆、轨道结构和道床基础共同决定的一种动力效应,在机车、行车速度和轨道设备一定的条件下,轨枕垂向振动加速度的差异主要反映在道床状态的变化上。这种测试简单易行,易于推广。

1.4.7 道床应力与道床的磨损及脏污

1. 道床应力

轨枕底面下道床应力的分布情况,迄今尚未被完全掌握,其主要原因是道床是由许多相当大的颗粒组成的,道床具有结构物的性质而不具有连续体的性质。试验表明,道床压力分布的规律性不强,但道床内部的应力却随道床深度的增加而减少。道床压力传布规律的计算方法主要有两种:理论解法与经验方法。

其中,理论解法包括将荷载均匀分布在圆形面积上的方法(如 Boussinesq 弹性理论)和将轨枕看作无限长受载体的计算方法。前者假设道床和路基形成一个半无限的、弹性的、匀质的和各向同性的半空间体,由钢轨传来的荷载均匀地分布在一个圆形面积上。该方法得到的结论是:当道床厚度达 60 cm 以上时,路基面上的垂直应力分布趋于均匀;当轨枕间距为 63~79 cm 时,轨枕所受单位荷载对路基面垂直应力大小的影响是微不足道的。后者是把轨枕看作无限长带状受载面。

所有的经验方法均可确定某一深度处最大垂直压力与轨枕全长范围内均布接触压力的关系。

目前道床力学的研究正从连续介质理论向散粒介质理论发展,借助散粒介质理论来研究道床的传力特性、弹塑性变化规律等。

2. 道床的磨损及脏污

道床的磨损及脏污会导致道床病害的发生,如道床翻浆冒泥、道床下沉或线路不平顺等。引起磨损及脏污的原因如下:

(1)道床的机械磨耗。捣固时捣头的打击和列车频繁的动力冲击作用,使得道砟不断被粉碎成末。

(2)外界松散物质和尘土等的侵入。道砟的机械磨耗和外界松散物质(如矿石、煤和灰

砂)的侵入,都直接与货运量的大小有关,尤其是位于煤、灰砂、矿石产区的线路更为严重。道床的脏污程度在其断面上的分布并不是均匀的,一般在轨枕底下 10 cm 范围内甚大,其结果是使道床丧失排水性能及应有的弹性,承载力迅速降低,从而引起翻浆冒泥、道床下沉和线路不平顺等病害。所以应定期清筛和补充石砟,以保持道床良好的弹性和排水性能。但清筛次数过多,又会增加线路维修费用且干扰列车的正常运行。

1.4.8 新型道床

1. 混凝土整体道床

混凝土整体道床(图 1-19),又称无砟轨道,是一种用混凝土取代道砟层的刚性轨下基础,常用于铁路隧道、地下铁道、无砟桥梁,以及有特殊需要、基础又经过适当处理的土质路基。

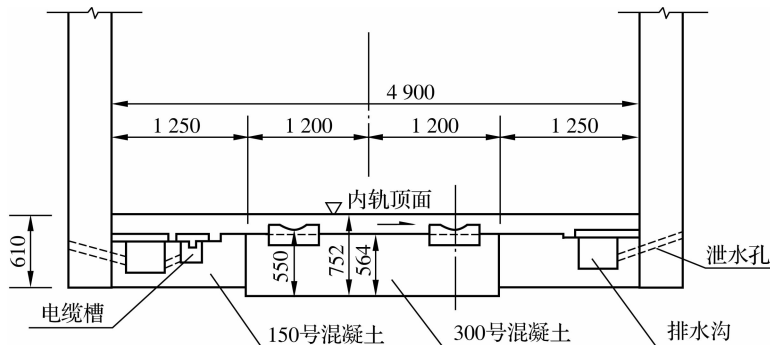


图 1-19 混凝土整体道床(单位:mm)

(1)混凝土整体道床的优缺点。

①优点。

a. 道床由混凝土浇筑成型,线路位置完全固定,因而线路稳定、平顺,有利于铺设无缝线路和实现高速行驶。

b. 维修工作量小,改善了工人的劳动条件,减轻了工人的劳动强度,特别是对于通风照明不够完善的长大隧道,其优越性更为突出。

c. 坚固耐久、整洁美观、使用寿命长。

d. 在隧道、地下铁道内修筑混凝土整体道床,可减少开挖面积,增加净空高度。

②缺点。道床一旦损坏,整修非常困难,要求扣件和垫层具有较好的弹性。

(2)混凝土整体道床的结构形式。隧道内整体道床的结构形式按钢轨支撑方式分为支撑块式、短木枕式和直接联结式。

①支撑块式。支撑块式整体道床由钢筋混凝土支撑块、混凝土道床、隧道底部结构及排水沟等组成,其两侧有水沟排水。对有地下水的隧道,一定要采用两侧水沟式整体道床,侧沟沟底低于整体道床底面以排除道床积水,使基底经常处于干燥状态。寒冷地区的有水隧道应采用单侧或双侧防寒水沟。混凝土道床顶面应有向水沟方向 3% 的横坡,边墙及靠道床一侧水沟的边墙上均须预留泄水孔。支撑块顶面宽度至少为 300 mm,并有 1:40 的轨底坡,承轨槽上预留有硫磺锚固螺栓孔或预埋螺栓套管。