

# 绪 论

现代化交通运输主要包括铁路、水路、公路、航空和管道五种方式，它们有各自不同的经济技术特征和适用范围。与其他运输方式相比，铁路运输具有运量大、成本低、速度快、安全可靠、能全天候运输等众多优势。2017 年交通运输行业发展统计公报统计数据表明，铁路承担我国客货总周转量的 55% 以上，这种状况在今后相当长的时期内不会有太大的变化，铁路仍将是我国交通系统中的骨干力量。铁路客货运量的特征和优势决定了铁路运输在国民经济中的重要地位。

在当今铁路运输系统中，铁路信号肩负着指挥列车运行和调车作业，向行车有关人员指示运行条件；对列车运行方向、运行间隔、运行进路以及运行速度进行控制的重要任务。铁路信号设备包括信号基础设施和信号系统两方面，按信号设置的处所可分为车站信号、区间信号、驼峰信号、道口信号等；按其作用可分为指挥列车运行的行车信号和指挥调车作业的调车信号。

铁路信号设备具有投资少、见效快、效益高、贡献大等显著特点，是组织指挥列车运行、保证行车安全、提高运输效率、传递信息、改善劳动条件的关键设施。铁路信号设备是铁路主要技术装备之一，铁路信号的装备水平和技术水准是铁路现代化的重要标志。信号设备包括继电器、信号机、轨道电路、转辙装置、控制台、电源屏、应答器、计轴器等。

信号继电器是用于铁路信号中的各类继电器的统称，它无论是作为继电式信号系统的核心部件，还是作为电子式或计算机式信号系统的接口部件，都发挥着重要的作用，是各类信号控制系统不可缺少的重要器件。安全型继电器是信号继电器的主要定型产品，是直流 24 V 系列的重弹式电磁继电器。以无极继电器为基础，派生出偏极继电器、有极继电器、整流式继电器和加强接点型继电器，以满足不同电路的需要。时间继电器是一种缓吸继电器，借助电子电路或单片微机能获得所需的延时。电源屏用继电器包括直流继电器和交流继电器，是为信号电源屏专门设计的继电器。交流二元继电器具有可靠的频率选择性和相位选择性，对于轨端绝缘破损和不平衡造成的 50 Hz 干扰能可靠地防护，在 25 Hz 相敏轨道电路中作为轨道继电器。动态继电器必须在序列脉冲作用下才能动作，用于双机热备计算机联锁的接口电路。

信号机和信号表示器构成信号显示，用来指挥列车运行和调车作业命令，是各种信号系统的重要组成部分。我国铁路主要采用透镜式色灯信号机，臂板式和探照式色灯信号机已经淘汰。组合式色灯信号机是新型的信号机，它解决了曲线段信号连续显示的问题。LED 色灯

信号机是最新型的信号机，它具有很多优点。各种用途的信号机和信号显示器在满足设置原则的基础上，根据需要进行设置，以完成各自的功能。信号显示是行车和调车的命令，信号显示制度是表达信号显示意义的基本体系，通常分为进路制和速差制两种，我国现行的信号显示制度基本上属于简易速差制，速度意义表示尚不完善，须进一步完善和改革。在列车提速的情况下，迫切需要机车信号主体化。

道岔转换和锁闭设备是将道岔的可动部分从一个位置改变到另一个位置并可可靠锁住的设备。以前道岔是通过人力进行转换，现在道岔是通过动力转换设备进行转换，主要利用各种动力转辙机来完成道岔的转换和锁闭，并正确反映道岔位置和尖轨的密贴程度。ZD6 系列电动转辙机是使用较多的转辙机，它采用直流电动机作为动力源，用行星传动式减速器减速，是内锁闭方式，按不同需要有 A、D、E、F、G、J、H、K 等派生型号，以及用于驼峰分路道岔的快动型 ZD7 型转辙机。由于列车提速，ZD6 型电动转辙机不能满足需要，必须采用外锁闭方式，即由转辙机以外的锁闭装置来实现道岔的锁闭。外锁闭装置分为燕尾式和钩式两种。燕尾式外锁闭装置属于平面锁闭，现场应用证明这种锁闭方式不适合我国铁路现状，已被钩式所取代。钩式外锁闭装置为垂直锁闭方式，锁闭更可靠，安装调整方便，配合 S700K、ZYJ7、ZD (J) 9 型转辙机多用于高速铁路中。S700K 型电动转辙机采用三相交流电动机，用滚珠丝杠作为驱动装置，结构先进、工艺精良、故障率低。ZD (J) 9 型电动转辙机结构借鉴 S700K 型，有交流、直流两种供电方式。ZYJ7 型电液转辙机采用交流电动机，液压传动，机械转换和锁闭道岔。ZK 系列电空转辙机主要用于驼峰调车场，用压缩空气作为动力，锁闭可靠，转换时间短，目前主要使用 ZK3、ZK3-A、ZK4-A70 型。

轨道电路是重要的信号基础设施，用来监督线路的占用情况和向列车传递行车信息。轨道电路是以钢轨作为导体，两端加以机械绝缘（或电气绝缘），配以发送和接收设备构成的电路。当有列车占用时，电流被分路，接收设备（一般是继电器）不工作，即可反映轨道电路被占用。工频交流连续式轨道电路（JZXC-480）是非电气化站内最常用的轨道电路，钢轨中传输连续的 50 Hz 交流电，轨道继电器采用整流式，结构简单，但性能上存在较多问题。25 Hz 相敏轨道电路，采用交流二元继电器作为轨道继电器，要求其局部电源电压的相位必须超前线路电源电压相位  $90^\circ$ ，轨道继电器才吸起，因此具有安全、可靠性高的优点，主要应用在电气化区段的站内。移频轨道电路是移频自动闭塞的基础，可以向列车发送各种行车信息，分为有绝缘移频和无绝缘移频两种。ZPW-2000 系列的无绝缘移频轨道电路主要采用谐振方式，引入单片微机和数字信号处理技术，实现轨道电路全程断轨检查，延长了传输长度，提高了轨道电路的抗干扰能力，在我国得到了广泛应用。驼峰轨道电路是为了满足驼峰溜放的特殊要求而设计的，采用双区段轨道电路和高灵敏度轨道电路来防止轻车跳动和提高轨道电路的灵敏度。

除了轨道电路，近年来诞生的计轴设备利用记录进入、出清指定线路的轮对数量，也能实现自动检查线路空闲的功能，在我国主要用于半自动闭塞区间，可与 64D 继电半自动闭塞系统相结合构成站间自动闭塞。另外，查询应答器和轨道感应环线也由于具有列车定位与向

列车传输信息的能力，在现代铁路信号系统中得到广泛应用。

信号设备是铁路的主要技术装备，在保证行车安全、提高运输效率等方面起着不可替代的作用，信号设备大体上可分为区间闭塞设备、机车信号和列车运行控制系统、车站联锁设备、行车调度指挥系统和调度集中设备、驼峰信号设备和道口设备。

铁路信号系统以继电器、信号机、轨道电路、转辙机等信号设备为基础，利用计算机、通信、控制等高科技技术来完成铁路运营需求。信号系统包括车站联锁、区间闭塞、列车运行控制、驼峰调车控制、行车调度指挥控制、道口信号、信号微机监测等系统。

车站联锁用来控制、监督车站的道岔、进路和信号机，并实现它们之间的联锁关系，操纵道岔和信号机。目前，车站联锁系统主要有继电集中联锁和计算机联锁。电气（继电）集中联锁是指用继电的方法集中控制、监督全站的道岔、进路和信号机，并实现它们之间联锁关系，系统中所用继电器数量多、故障率高，难以实现网络化，所以逐步为计算机联锁所代替。计算机联锁系统以计算机技术、控制技术和通信技术为基础，全部联锁关系都是通过计算机程序实现的。它与继电集中联锁相比，具有十分明显的技术经济优势和更高的可靠性，是车站联锁设备的发展方向。

区间闭塞系统是保证区间行车安全，提高运输效率的系统。按闭塞方式的不同，闭塞系统主要有半自动闭塞、自动站间闭塞和自动闭塞系统。半自动闭塞主要用于单线铁路，自动闭塞主要用于双线铁路。目前，我国大量采用和发展的是 ZPW-2000 型无绝缘移频自动闭塞。

列车运行控制系统包括机车信号、列车运行监控记录装置和列车运行超速防护系统。列车运行控制系统自动控制列车运行，用来保证行车安全，并以最佳运行速度驾驶列车。在列车速度不断提高和密度加大的情况下，机车信号不仅用于改善司机的瞭望条件，而且要求主体化，同时必须发展列车超速防护系统。目前，我国铁路主要使用 CTCS-2 级列控系统和 CTCS-3 级列控系统。

行车调度指挥自动化是随着微电子技术、现代通信技术的发展而发展起来的，是铁路信号发展的关键技术。它提高了行车指挥的技术水平，改善了调度人员的工作环境和条件，我国目前是以列车调度指挥系统 TDCS 为平台，重点发展分散自律调度集中 FZ-CTC。FZ-CTC 是利用遥控遥信等远程技术对铁路车站信号设备、区间信号设备等进行远程控制和监测，在车站联锁、区间闭塞、调度集中等设备的基础上，广泛引入计算机技术，实现调度集中的控制与监督功能，目前推广的是分散自律、智能化、高安全、高可靠的新一代调度集中。

驼峰调车控制及编组站综合自动化系统装备，是提高编组站（以及区段站）解编能力的最有效手段。驼峰调车自动化主要包括驼峰推峰机车速度自动控制、溜放车辆进路自动控制和溜放车辆速度自动控制。我国目前使用的两大主流编组站调车自动化系统是 SAM 和 CIPS。

道口信号是保证道口安全的重要设备，用于指示道路上的车辆、行人通过或禁止通过道路道口的听觉和视觉信号。在无人看守道口，其显示的信号向道路方面表示能否通过道口的信息；在有人看守的道口，自动通知看守人员列车接近。

信号微机监测（集中监测）系统是保证行车安全、加强信号设备结合部管理、监测铁路

信号设备运用质量的重要行车设备。

随着铁路运输产业的不断发展和无数次的经验交流与总结，铁路信号设备的研发与生产逐步发展成为有别于其他控制设备的特殊行业，具有特殊的设计原则，即“故障-安全”原则，也叫“故障导向安全”原则。“故障-安全”原则是铁路信号设备和系统设计必须遵守的原则。

在信号设计中，一般把前接点对应危险侧，如信号开放；把后接点对应安全侧，如信号关闭。当继电器输入回路或继电器本身发生故障时，继电器由于重力效应，会导向后接点吸合，指示列车停止前进，满足故障导向安全原则。

向高速、高密、重载发展的铁路运输需要现代化的信号设备，随着计算机技术(computer)、通信技术(communication)和控制技术(control)的飞速发展，计算机网络技术、现代控制与通信技术、数字信号处理技术等高科技手段的融入为铁路信号实现现代化奠定了基础，铁路信号现代化越来越成为铁路现代化的重要标志和主要内容。

铁路信号现代化的方向是数字化、网络化、智能化和综合化。网络化是铁路运输综合调度指挥的基础。在网络化的基础上实现信息化，从而实现集中、智能管理；智能化包括系统的智能化与控制设备的智能化。系统智能化是指上层管理部门根据铁路系统的实际情况，借助先进的计算机技术来合理规划列车的运行。使整个铁路系统达到最优化。控制设备的智能化则是指采用智能化的执行机构，来准确、快速地获得指挥者所需的信息，并根据指令来指挥、控制列车的运行；综合化是指多系统或技术的集成与融合。随着当代铁路的发展，铁路通信信号技术发生了重大变化，车站、区间和列车控制的一体化，铁路通信信号技术的相互融合，以及行车调度指挥自动化等技术，冲破了功能单一、控制分散、通信信号相对独立的传统技术理念，逐步向数字化、智能化、网络化和一体化的方向发展。比如，基于通信的列车运行控制系统(Communication Based Train Control, CBTC)就是综合利用(Computer, Communication, Control, 3C)技术代替轨道电路技术构成的新型列车控制系统。

# 第一章 铁路信号运营基础知识

铁路运输是以机车车辆等移动设备和铁路线路、桥梁、隧道、站场等固定设备为基本设备，以车站为运输生产基地的实现旅客和货物运输的庞大系统。线路状态不同，铁路信号的设置与显示也有所不同，且发出信号显示的地面信号机在线路旁（轨旁）安装时还要满足一定的限界要求。为了保证机车车辆的运行安全，信号工作人员必须对车站内外的铁路线路及相关知识有一定的了解。

## 第一节 铁路线路的组成

机车车辆走行的通路叫铁路线路，它是机车车辆运行的基础，是由轨道、路基和桥隧建筑物组成的一个整体工程结构。

### 一、铁路线路概述

除了有砟轨道线路，随着铁路运量的增加以及机车车辆轴重和行驶速度的提高，相继出现了许多新型线路，如无缝线路、宽轨枕线路、整体道床线路和板式轨道线路等。

#### 1. 有砟轨道线路

有砟轨道指轨下基础为石质散粒道床的轨道，通常也称为碎石道床轨道，是轨道结构的主要形式之一。有砟轨道线路由有砟轨道和下部建筑两部分组成，如图 1-1 所示。

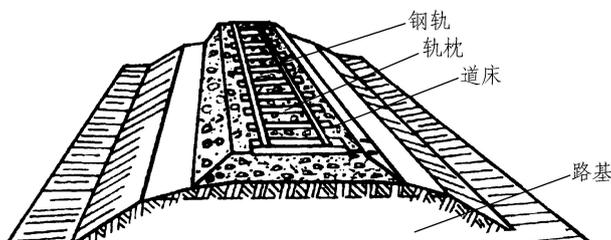


图 1-1 有砟轨道线路构成示意图

有砟轨道具有铺设简便、弹性良好、综合造价低廉、更换与维修方便、吸噪特性好等优点。但其线路平面几何形状不易保持，容易变形，使用寿命短，养护维修工作量大，维修费用高。

## 2. 无缝线路

无缝线路又称焊接长轨线路，是一种把普通钢轨焊接起来不留轨缝的线路。焊接钢轨每根长不少于 200 m，实际应用的一般为 800~1 000 m 或更长一些。无缝线路大量减少了钢轨接头，减少了车轮通过接头时对钢轨的冲击，有利于节约线路维修费用，延长钢轨使用寿命，减弱机车车辆噪声等，因此发展较快。

无缝长轨是在规定温度范围内铺设并固定在轨枕上的，长轨端部有轨缝，中间部分不能随温度升降而伸缩。因此，随着气温变化，钢轨中段夏季将产生很大的压力，冬季将产生很大的拉力。钢轨内的最大压力和拉力可根据钢轨铺设地的年最高气温和最低气温计算，要求钢轨所受最大压力应不至于造成轨道鼓曲，所受最大拉力应不至于造成钢轨断裂。

## 3. 宽轨枕线路

宽轨枕线路又称轨枕板线路。是用预应力混凝土轨枕板，密排铺设在经过压实的道床上，板缝间用沥青或其他材料填封。预应力混凝土轨枕板宽 55 cm，比普通预应力混凝土轨枕底宽两倍，其长度和厚度同普通预应力混凝土轨枕相同。因此，宽轨枕和道床间的接触面积比普通轨枕和道床间接触面积增大一倍，从而减少了对道床的压力。

宽轨枕线路适用于繁忙干线，也可铺设在维修困难的隧道和站场内。不论石质或土质路基均可铺设，但在具有翻浆冒泥病害的路基上铺设必须先将路基病害经过整治。宽轨枕线路的主要优点有：

(1) 轨道下沉量小。振动加速度比混凝土轨枕线路小，铺设后下沉速度逐渐减慢和停止。所以线路维修工作量大大降低，约为普通混凝土轨枕线路的三分之一。

(2) 轨道易保持整洁。脏污不易侵入道床，延长了线路大修中修周期。

(3) 线路平顺、稳定，有利于高速运行及铺设无缝线路。

其缺点是造价较高，在繁忙干线上换铺也较困难。

## 4. 整体道床线路

整体道床线路是用混凝土（一般配有钢筋）直接灌注在稳定坚实路基上，不使用普通轨枕及碎石道床的新型线路。就是用某些胶合材料（如沥青砂浆、快硬水泥砂浆、某些黏性的聚合物等）和碎石道砟浇灌在一起，形成整体化道床。

这种线路外观整洁，承载能力高，适用于运量大、维修困难的地段，特别适用于隧道、地下铁道、港口码头及石质路基上铺用。道床的下沉量比普通道床减小约 90%，而且可使线路的纵向、横向阻力增加约 0.7~4 倍，排水性能也大大得到改善，具有防脏、防冻、不长草的特点，颇受国内外铁路工程界的青睐，我国在隧道内铺设的整体道床线路总长超过 300 多

千米。但它的修建投资大，如因施工草率或基底不稳造成混凝土层断裂，整治也比较困难。

## 5. 板式轨道线路

板式轨道线路是一种新型无砟轨道线路，是用钢筋混凝土大板构成的轨道线路，大板下先用乳化沥青水泥砂浆作为调整层或加铺一层高分子弹性材料作垫层。这种轨道线路适用于石质路基或无砟桥面上。铺在土质路基上则须另设压实的沥青混凝土承重层。这种轨道线路整体性好，线路稳定，维修工作量小，但成本高，施工期长。日本铁路在新干线上已推广使用。

CRTS II型板式无砟轨道系统是经过改进的博格板式无砟轨道系统，是我国高速铁路引进、消化、吸收、再创新的成果之一。它是通过水泥乳化沥青砂浆调整层将预制轨道板铺设在现场摊铺的混凝土支承层或现浇柱的钢筋混凝土底座上，并适应 ZPW-2000 轨道电路要求的纵连板式无砟轨道结构形式，如图 1-2 所示。



图 1-2 CRTS II型板式无砟轨道线路

## 二、有砟轨道

轨道，也称上部建筑，由钢轨、轨枕、道床、道岔和联结零件、防爬设备（防爬器、防爬撑）等组成，如图 1-3 所示。

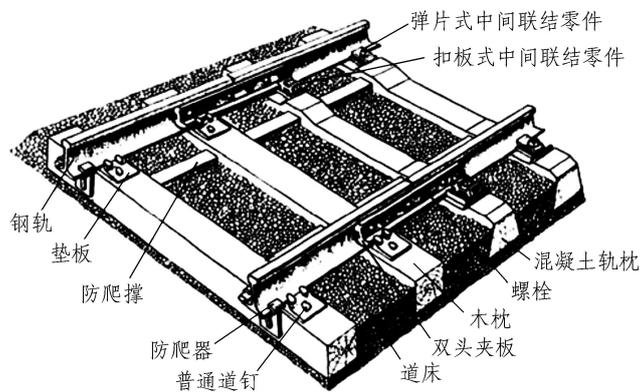


图 1-3 有砟轨道构成示意图

## 1. 钢轨

钢轨承受列车车轮传来的力，并把此力传给轨枕，引导列车按一定方向运行。因而它应具备足够的强度、稳定性和耐磨性。我国和多数国家一样，采用稳定性良好的宽底式钢轨，它的断面为“工字形”，由轨头、轨腰、轨底三个部分组成。

钢轨类型是以每米钢轨质量来表示，如 75 kg/m、60 kg/m、50 kg/m、43 kg/m 等，对应称为 75 轨、60 轨、50 轨、43 轨。钢轨越重越能承受较大的冲击力。在车辆的载重不断加大，列车速度不断提高的情况下，今后将广泛使用重型钢轨。

目前我国钢轨的标准长度有 12.5 m 和 25 m 两种，75 轨的长度只有 25 m 一种。在铺设时，为了消除车轮通过轨缝处所引起的冲击力，可把钢轨焊接成几百米或几千米一段，即所谓长钢轨。钢轨越长，接缝越少，可节省联结零件，也可减少行车阻力和节省线路及机车车辆的维修费用。长钢轨对轨道电路也有利，因为可以节省在钢轨接缝处用的导接线，可以使钢轨阻抗更加稳定。

## 2. 联结零件

钢轨接缝处必须保持的缝隙叫作轨缝，当温度变化使钢轨产生伸缩时，它可以起调节作用。钢轨接缝处的联结零件包括鱼尾板（又称夹板）、螺栓、螺帽和弹性垫圈等部分。在装有轨道电路的区段，轨道电路的两端要在钢轨接缝处装上电气绝缘，叫作钢轨绝缘；在轨道电路中间的钢轨接缝处，要用导接线把接缝两边的钢轨连接起来，以便使钢轨阻抗稳定不变，更好地导通信号电流。由此可见，钢轨接缝越少，对轨道电路越有利。在轨缝处安装的钢轨绝缘与钢轨类型有关，如有 50 kg/m 钢轨用的钢轨绝缘、60 kg/m 钢轨用的钢轨绝缘等。

## 3. 防爬设备

列车运行时，常常产生作用在钢轨上的纵向力，使钢轨作纵向移动，有时甚至带动轨枕一起移动，叫作爬行。线路爬行不仅能引起轨缝不均、轨枕歪斜等威胁行车安全的事情发生，还可能使得道岔不能转换。为此，在容易产生爬行的线段，例如在列车经常实行制动的线段或单向运行的线段，都需要安装防爬设备，如安装防爬器和防爬撑等。

## 4. 道床

道床是铺设在路基面上的道砟（碎石或砂子）层，其作用是将轨枕传下来的压力均匀地传给路基，排除轨道中的雨水，阻止轨枕移动和缓和车轮对钢轨的冲击，使轨道具有足够的弹性。由于我国用钢轨传输信号电流构成轨道电路，道床的状态对轨道电路影响很大，所以对道床材料有一定要求。为了提高线路阻力，保持轨道稳定，对于不同线路条件有不同的道床断面尺寸。自动闭塞区段，为了避免传失轨道电流，道床顶面应比轨枕顶面低 20~30 mm。

## 5. 轨枕

轨枕是钢轨的支座，并用它保持钢轨的位置、方向及轨距。轨枕按制造材料分有木枕和钢筋混凝土枕两种，不论采用哪一种轨枕，对轨道电路来说，都要求它对钢轨有较好的电气绝缘。在曲线处除用轨枕保持轨距外，还加装有轨距杆，使调整好的轨距不变。设有轨道电路时，轨距杆要实行电气绝缘。我国普通轨枕的长度为 2.5 m，道岔用的岔枕和桥梁上用的桥枕，其长度有 2.6~4.85 m 多种。每千米线路上铺设轨枕的数量，由运量、行车速度、线路等级条件决定。力求在最经济条件下，保证轨道具有足够的强度与稳定性。一般木枕轨道，每千米轨枕数最多为 1 920 根，最少为 1 440 根；混凝土枕轨道，每千米轨枕数最多为 1 840 根，最少为 1 440 根。

关于道岔的内容将在第四章第一节中作详细介绍。

### 三、路基与桥隧建筑物

下部建筑由路基、桥梁、隧道、涵洞等设备组成。在实际管理中，除路基之外，其他设备不属于“线路”范围。

#### 1. 路基

路基是铁路线路的重要组成部分，是轨道的基础，承受并传递轨道的重量及列车的动载荷，在整个铁道工程中占有很大比重。铁路路基采用天然土、石构筑，暴露于大自然中，不断受到侵蚀、破坏。

按路基填挖的情况，可分为路堤、路堑、半填半挖等类型。路基是由路基本体和路基附属设施两部分组成，路基本体又包括路基顶面、路肩和路基边坡。

与铁路信号相关的为路肩部分，位于轨道的两侧，比轨面低一些，指的是路基顶面两侧无道床覆盖的部分，如图 1-4 所示。

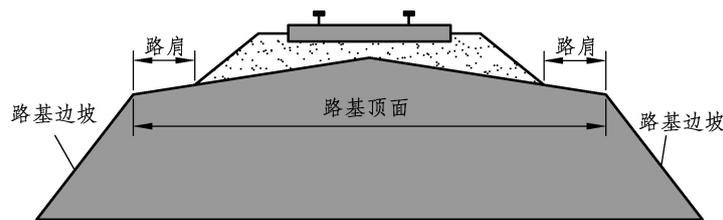


图 1-4 铁路路基的组成

路肩的作用包括：

- (1) 抵抗路基核心部分在受压力时向外发生挤动、变形，加强路基的稳定性。
- (2) 防止道砟滚落于路基坡面，保持道床完整。
- (3) 便于设置必要的线路、信号标志。
- (4) 供铁路现场作业人员行走，便于进行工作。

#### 2. 桥隧建筑物

桥梁是供铁路线路跨越水流、山谷或其他建筑物的设施，在铁路架空的部分承托轨道。根据桥梁所跨越的对象不同，主要分为跨河桥、跨谷桥、跨线桥和旱桥四类。

隧道是为铁路穿越山岭所开凿的地下通道，其底部承托着轨道，四周承受着围岩的压力。隧道也可以代替桥梁，从河道、海峡下穿过，即水下隧道。与信号工作人员相关的隧道设施是避车洞，隧道两侧，每隔 60 m 设置一小洞，每隔 300 m 设置一大洞，如图 1-5 所示。小避车洞用于保证隧道内维修人员的安全，大避车洞用来存放工具材料。

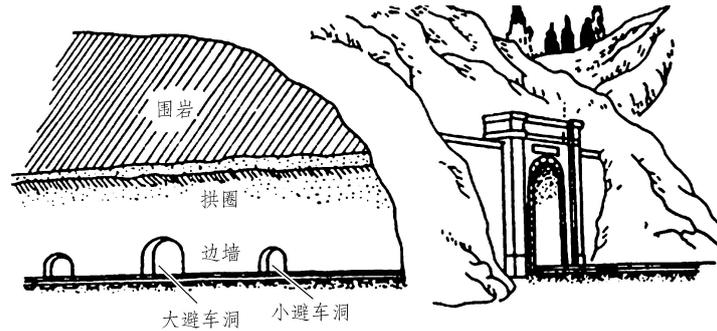


图 1-5 避车洞设置示意图

涵洞设在路堤下面的填土中，是用以通过水流等的一种建筑物。