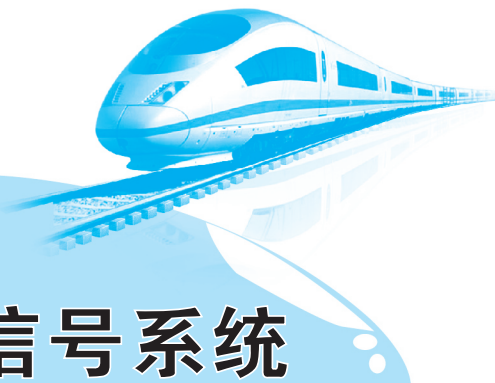




21世纪高等院校精品教材



# 城市轨道交通通信与信号系统

主编 彭涛

西北工业大学出版社  
西安

【内容简介】 本书是根据城市轨道交通培养方案编写的项目式教材，依据教学需要，设置了6个项目，全面介绍了当前城市轨道交通通信与信号系统的发展现状。本书主要内容包括城市轨道交通通信与信号系统概述、城市轨道交通信号基础设备、城市轨道交通通信系统、联锁系统、闭塞设备以及列车自动控制系统等。

本书是高等院校城市轨道交通专业核心教材，也可作为城市轨道交通行业岗位培训或自学用书，还可供城市轨道交通行业从业人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通通信与信号系统 / 彭涛主编. — 西安 : 西北工业大学出版社, 2021.8

ISBN 978 - 7 - 5612 - 7925 - 0

I. ①城… II. ①彭… III. ①城市铁路-交通信号-信号系统 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第169977号

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG TONGXIN YU XINHAO XITONG

### 城市轨道交通通信与信号系统

---

责任编辑：付高明 杨丽云

装帧设计：易 帅

责任校对：卢颖慧

出版发行：西北工业大学出版社

通信地址：西安市友谊西路127号

邮编：710072

电 话：(029) 88491757, 88493844

网 址：www.nwpup.com

印刷者：河北铄柠印刷有限责任公司

开 本：787 mm × 1 092 mm

1/16

印 张：16.5

字 数：360千字

版 次：2021年8月第1版

2021年8月第1次印刷

定 价：46.00元

---

如有印装问题请与出版社联系调换

# 前

# 言

城市轨道交通通信与信号是轨道交通重要的基础设施之一。自1956年北京地下铁道筹建处成立至今，中国地铁已走过60多年的发展历程。从2014年起，中国的城市轨道交通投资进入了高速增长期。2018年，城市轨道交通投资规模大幅增长至国家铁路投资规模的80%左右。受此影响，整个城市轨道交通产业链，包括基建、信号控制系统、通信系统、车辆等，均先后进入新一轮的高速发展期。

2009年，中国已成为世界上最大的轨道交通市场。“十三五”期间我国新增城轨里程达到5 640 km。轨道交通的迅速发展，带动了对轨道交通人才的需求。目前轨道交通领域人才缺口非常大，特别是从事施工、维修养护、通信信号系统、运营管理、监理等专业的人才。为了满足城市轨道交通专业高等教育的需要，笔者紧紧围绕应用型人才培养目标作了大量的调研，并结合多年教学经验编写了本书。

本书以培养学生岗位技能为出发点，理论联系实际，图文并茂，便于阅读理解，并在项目前设置了项目导读、知识目标、能力目标，在项目后设置了项目小结、学习检测。本书旨在将职业知识与职业意识教育相结合，使其具有职业教育的特色以及针对性和操作性，突出学生技能的培养，注重学生职业能力的提高，努力让学生通过学习做到“学以致用，学以专用，学以常用”。

在编写本书过程中，笔者参阅了相关文献、资料，在此对其作者表示衷心的感谢！

由于我国城市轨道交通发展迅速，技术更新超前，本书在资料和相关数据引用上不够全面，虽然笔者做了大量工作，付出了很大努力，但限于水平，书中难免有疏漏或不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者  
2021年4月



# 目录



<b>项目一</b>	<b>城市轨道交通通信与信号系统概述</b>	1
任务一	城市轨道交通通信系统模型	1
任务二	城市轨道交通通信技术的主要特征	8
任务三	城市轨道交通通信系统的应用	17
任务四	城市轨道交通信号系统概述	19
<b>项目二</b>	<b>城市轨道交通信号基础设备</b>	30
任务一	信号继电器	31
任务二	信号机	50
任务三	转辙机	61
任务四	轨道电路	72
任务五	计轴器和应答器	84
<b>项目三</b>	<b>城市轨道交通通信系统</b>	97
任务一	通信传输系统	98
任务二	电话系统	109
任务三	无线通信系统	119
任务四	视频监视系统	128
任务五	广播电视系统	134
任务六	乘客信息系统	144
任务七	时钟系统	149
<b>项目四</b>	<b>联锁系统</b>	153
任务一	联锁	154
任务二	计算机联锁	173

**项目五 闭塞设备** 205

任务一 闭塞 ..... 205

任务二 闭塞设备的发展及应用 ..... 219

**项目六 列车自动控制系统** 224

任务一 列车自动防护子系统 ..... 224

任务二 列车自动监控子系统 ..... 236

任务三 列车自动运行子系统 ..... 244

**参考文献** 257

## 项目导读

城市轨道交通通信与信号系统是保证列车安全、准时、有序运行的重要机电设备。本项目主要从系统特点、作用、组成等方面展开阐述，使学生对通信与信号系统的作用、组成及发展有一个全面的了解，为后续工作任务的掌握奠定基础。

## 知识目标

- (1) 了解通信的一般概念。
- (2) 了解通信系统的基本理论。
- (3) 了解城市轨道交通通信系统的基本应用。
- (4) 了解城市轨道交通信号与通信系统的作用。

## 能力目标

- (1) 认知城市轨道交通信号与通信系统的组成。
- (2) 明确城市轨道交通信号与通信系统的发展。
- (3) 掌握两种系统的特点和系统组成。
- (4) 认知城市轨道交通列车运行原理。

## 任务一 城市轨道交通通信系统模型

古往今来，人类的社会活动与消息密切相关，消息的传递和交换是人类活动的重要标志。例如，古代的消息树、烽火台、驿站以及现代社会的文字、书信、电报、电话、广播、电视、遥控、遥测等，都是消息传递的方式或信息交流的手段。人们可以用语言、文字、数据或图像等不同的形式来传达信息。

基于这种认识，“通信”就是“信息传输”或“消息传输”。实现通信的方式很多，随着社会的需求、生产力的发展和科学技术的进步，目前的通信越来越依赖利用“电”来传递消息，就是电通信方式。由于电通信迅速、准确、可靠，且不受时间、地点、距

离的限制，因而近百年来得到了迅速的发展和广泛的应用。当今，在自然科学领域涉及“通信”这一术语时，一般均是指“电通信”。光通信也属于电通信，因为光也是一种电磁波。

## 一、通信的基本概念

### 1. 消息与信号

消息 (Message) 是通信系统要传送的对象，它由信源产生，如语音、图像、文字或某些物理参数等，所以通常也把语音和图像的编码称为信源编码。

信号 (Signal) 是指为了传送消息而对消息进行变换后在通信系统中传输的某种物理量，如电信号、声信号或光信号等。另外与其相近的名词是信令 (Signalling)，它是通信系统进行控制操作或为用户服务的一类控制信号。信息 (Information) 是消息所含内容的量度，单位为比特。

### 2. 通信

通信是指由一地向另一地进行消息的有效传递。通信的目的是传递消息。通信的书面定义是利用电子等技术手段，借助电信号 (含光信号) 实现从一地向另一地消息的有效传递。

通信系统是指通信中所需要的一切技术设备和传输媒质构成的总体。

## 二、通信系统的一般模型

描述一个系统，通常要利用框图建立一个模型，以便讨论模型中的每一部分。电话、电视、广播、微波通信、卫星通信等系统有着成熟的技术与应用，可以认为它们是一类经典的通信系统。一个通信系统通常包括下述六部分，如图1-1所示。

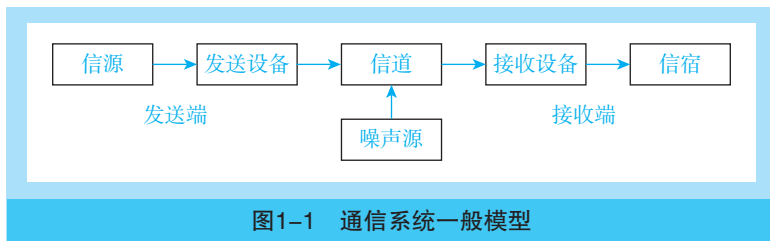


图1-1 通信系统一般模型

### 1. 信源 (信息源, 也称发送端)

信源是消息的来源，它能将待传输的消息转换成原始电信号，如电话系统中电话机可看成信源。

### 2. 发送设备

发送设备将信源和信道匹配起来，即将信源产生的原始电信号 (基带信号) 变换成适合在信道中传输的信号。



### 3. 信道

信道是信号传输的通道，可以是有线的，也可以是无线的，甚至还可以包含某些设备。

### 4. 接收设备

接收设备的任务是从带有干扰的接收信号中恢复出相应的原始电信号。

### 5. 信宿

信宿是传输信息的归宿点，将复原的原始电信号转换成相应的消息。

### 6. 噪声源

噪声源不是人为加入的设备，而是通信系统中各种设备以及信道中所固有的，并且是人们所不希望的。噪声的来源是多样的，它可分为内部噪声和外部噪声，而且外部噪声往往是从信道引入的，因此，为了分析方便，把噪声源视为各处噪声的集中表现而抽象加入信道。

## 三、模拟通信和数字通信

信源发出的消息虽然有多种形式，但可分为连续信息源和离散信息源两种。连续消息是指消息的状态连续变化或是不可数的，如语音、活动图片等。离散消息则是指消息的状态是可数的或离散的，如符号、数据等。

### 小贴士

信息安全主要包括以下几方面的内容，即保证信息的保密性、真实性、完整性，未授权拷贝和所寄生系统的安全性。

消息的传递是通过它的物质载体——电信号来实现的，即把消息寄托在电信号的某一参量上，如连续波的幅度、频率或相位，脉冲波的幅度、宽度或位置等。按信号参量的取值方式不同可把信号分为两类，即模拟信号和数字信号。因此，按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号，可相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。模拟通信和数字通信如图1-2所示。

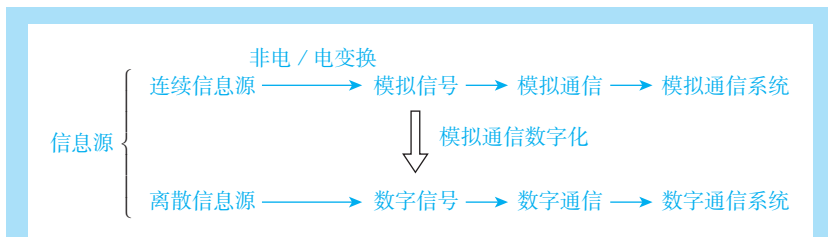


图1-2 模拟通信和数字通信

由图1-2可以看出，将模拟信号进行数字化处理以后可以按照数字通信系统进行传输，这也是当今应用最为普遍的通信系统。

### 1. 模拟通信系统

模拟通信系统是利用模拟信号来传递信息的通信系统，模拟信号是幅度在某一范围内可以连续取值的信号，如图1-3所示。我们知道，信源发出的原始电信号是基带信号，基带的含义是指信号的频谱从零频附近开始，如语音信号为300~3 400 Hz，图像信号为0~6 MHz。由于这种信号具有频率很低的频谱分量，一般不宜直接传输，这就需要把基带信号变换成频带适合在信道中传输的信号，并可在接收端进行反变换。完成这种变换和反变换作用的设备通常是调制器和解调器。经过调制以后的信号称为已调信号。已调信号有三个基本特征：

- (1) 携带有消息。
- (2) 适合在信道中传输。
- (3) 频谱具有带通形式，且中心频率远离零频。

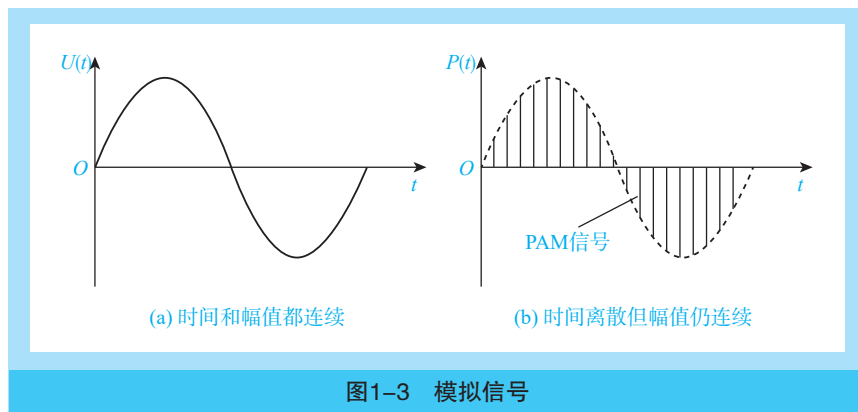


图1-3 模拟信号

模拟通信系统的模型与通信系统的一般模型相比较，它是由调制器表示发送设备，由解调器表示接收设备，也就是说，在模拟通信系统中，利用调制解调器来实现信号的发送和接收。模拟通信系统的模型如图1-4所示。

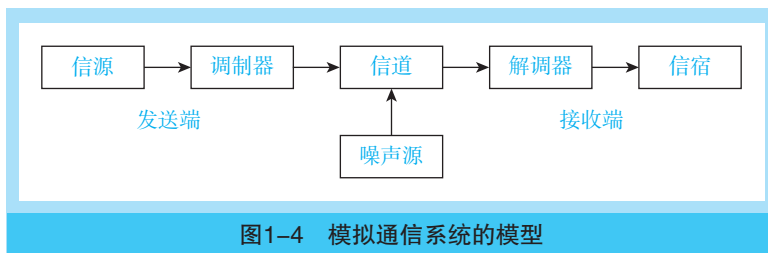


图1-4 模拟通信系统的模型

模拟通信系统中有两种重要变换：

- (1) 连续消息到电信号的相互变换。
- (2) 基带信号到调制信号的变换。

## 2. 数字通信系统

数字信号是指幅度仅能够取有限个离散值的信号，如图1-5所示。信道中传输的是数字信号，包括将基带数字信号直接送往信道传输的数字基带传输和经载波调制后再送往信道传输的数字载波传输。对应的通信系统称为数字通信系统。数字通信的另一个方面是模拟信号的数字化传输。数字通信系统的模型如图1-6所示。

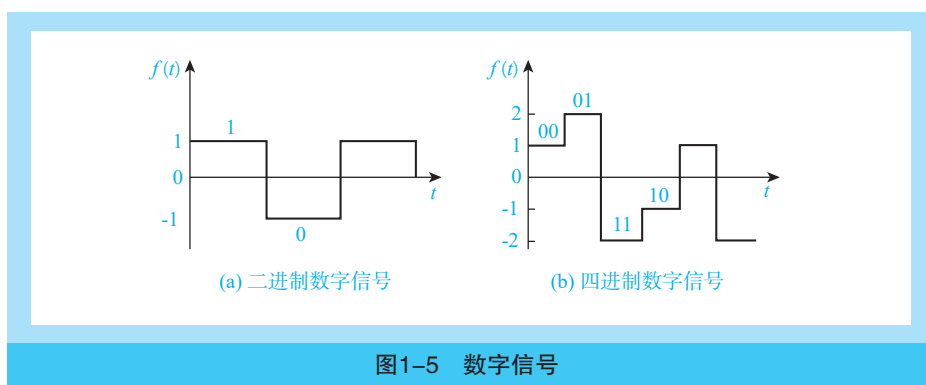


图1-5 数字信号

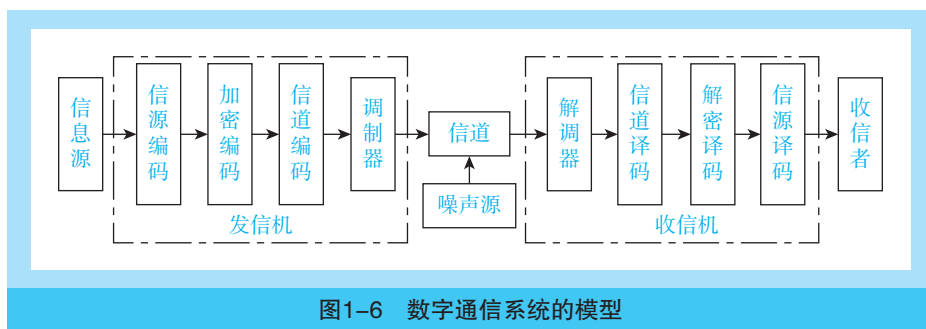


图1-6 数字通信系统的模型

应该指出的是，模拟信号经过数字编码后可以在数字通信系统中传输，数字电话系统就是以数字方式传输模拟语音信号的例子。

需要说明的是，图1-6所示为数字通信系统的一般化模型，实际的数字通信系统不一定包括图中的所有环节。如在某些有线信道中，若传输距离不太远且通信容量不太大，数字基带信号无须调制，可以直接传送，称为数字信号的基带传输，其模型中不包括调制与解调环节。

- (1) 信息源。信息源也称发送端，是消息的来源，它能将待传输的消息转换成原始信号，如移动通信系统中的手机终端可看成信息源。
- (2) 信源编码。信源编码作用示意图如图1-7所示。其作用主要介绍如下：

1) 当信息源给出的是模拟语音信号时, 信源编码器将其转换成数字信号, 以实现模拟信号的数字化传输。这时要进行两步变换: 第一步是非电信号到电信号的变换; 第二步是模拟信号到数字信号的变换。

2) 设法减少码元数目和降低码元速率, 即通常所说的数据压缩。码元速率将直接影响传输所占的带宽, 而传输带宽又直接反映了通信的有效性。数据压缩要尽量忠实于原始的信息。数据压缩技术已经成为当代通信领域中一个非常重要的课题, 既要节省码元数目, 又要保证压缩质量。

(3) 加密编码。加密编码指针对已经完成的信源编码, 按照特定的规则对码元进行变换(加密), 使信息不易被破解, 在接收端利用相同的规则再进行解密译码。

(4) 信道编码。为了减少传输差错, 信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入保护成分(监督码元), 组成所谓的“抗干扰编码”即为信道编码。接收端信道译码器按一定规则进行解码, 从解码过程中发现错误或纠正错误, 从而提高通信系统的抗干扰能力, 实现可靠通信。

(5) 数字调制与解调。经过三次编码后的信号依然不能在信道中有效传输, 在较低的频率下, 这种传输的距离非常有限, 信号的强度迅速衰落。要实现远距离传输, 就要对信号进行调制。例如, 语音频率是300~3400 Hz, 而信道频带在10~100 kHz, 利用频率为11 kHz的载波将语音频率调制到11.3~14.4 kHz, 就可通过信道进行传输。

数字调制就是把数字基带信号的频谱搬移到高频处, 形成适合在信道中传输的频带信号, 也就是用更高的频率来“承载”已经编码后的信号, 来实现有效传输。基本的数字调制方式有振幅键控(ASK)、频移键控(FSK)、绝对相移键控(PSK)和相对(差分)相移键控(DPSK)等多种类型。可根据所要传输的信号不同, 以及传输信道的差异, 来选择适当的调制方式。

在接收端, 对这些信号可以采用相干解调或非相干解调还原出数字基带信号, 再进行进一步的解码以得到原始的信号, 完成整个通信过程。

(6) 信道。信道是信号传输的通道, 其传输特性描述的是不同频率的信号通过信道后能量幅度和相位变化的情况。信道可以有线的, 也可以是无线的, 甚至还可以包含某些设备。信道带宽用以衡量一个信道的传输能力, 带宽越大表明传输能力越强。

(7) 噪声源。叠加在有用信号之上并对其产生有害影响的成分, 称为噪声。经过传输后的信号, 由于受到各种因素的影响可能会发生畸变, 称为信号失真。噪声叠加导致数

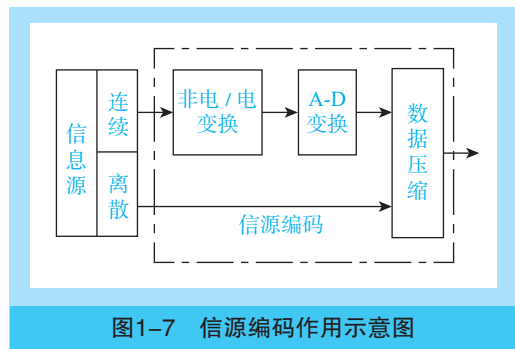


图1-7 信源编码作用示意图

字信号幅度失真的示意图如图1-8所示。

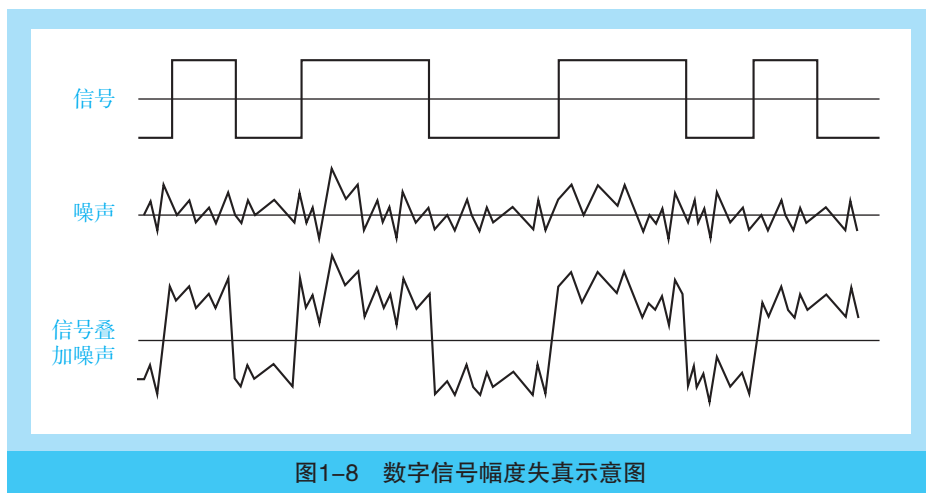


图1-8 数字信号幅度失真示意图

### 3. 数字通信的主要特点

数字通信已经在很多领域成功地取代了模拟通信，其主要有以下优势：

- (1) 抗干扰能力强。
- (2) 可消除噪声累积现象，适用于远距离传输。
- (3) 可实现差错控制编码。
- (4) 易于集成化，从而使通信设备微型化。
- (5) 易加密，对数字信号加密容易处理。
- (6) 技术较复杂，易与现代各种技术相结合。

尽管如此，数字通信仍然有一些问题，比如：同步控制技术复杂、频带利用率不高、数字通信设备成本居高不下等。不过，随着新的宽带传输信道（如光导纤维）的采用、窄带调制技术和超大规模集成电路的发展，数字通信的这些缺点已经弱化。随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用，数字通信在今后的通信方式中必将逐步取代模拟通信而占主导地位。

#### 小贴士

**频谱：**频率谱密度的简称，是频率的分布曲线。复杂振荡分解为振幅不同和频率不同的谐振荡，这些谐振荡的幅值按频率排列的图形叫作频谱。

## 任务二 城市轨道交通通信技术的主要特征

通信的目的是有效地传递信息，衡量信息大小的指标称为信息量。信息量可以度量信息，它和消息的种类以及消息的重要程度无关。信息量是一个具体的指标，信息量的计算可以反映消息中所含信息量与消息出现的概率之间的关系。概率是一个数学概念，简单地说，就是一件事情发生的可能性。概率通常写作一个百分数，若事件肯定发生，则称该事件发生的概率为100%；若事件肯定不发生，则称该事件发生的概率为0。信息量就是这样一个消息出现概率的函数。消息出现的概率越小，它所包含的信息量越大；消息出现的概率越大，它所包含的信息量越小。若干个互相独立事件构成的消息，所含的信息量等于各独立事件信息量的和。

### 一、通信的工作方式

通信系统按照通信的工作方式来分，可以分为单工方式、半双工方式和全双工方式三种类型。

#### 1. 单工方式

单工方式是指通信的双方同时只能有一方发送信号，而另一方接收信号，如图1-9所示。单工方式又分为同频单工和双频单工两种。同频单工指基地站和移动台均使用相同的工作频率，双频单工指通信双方使用两个频率。

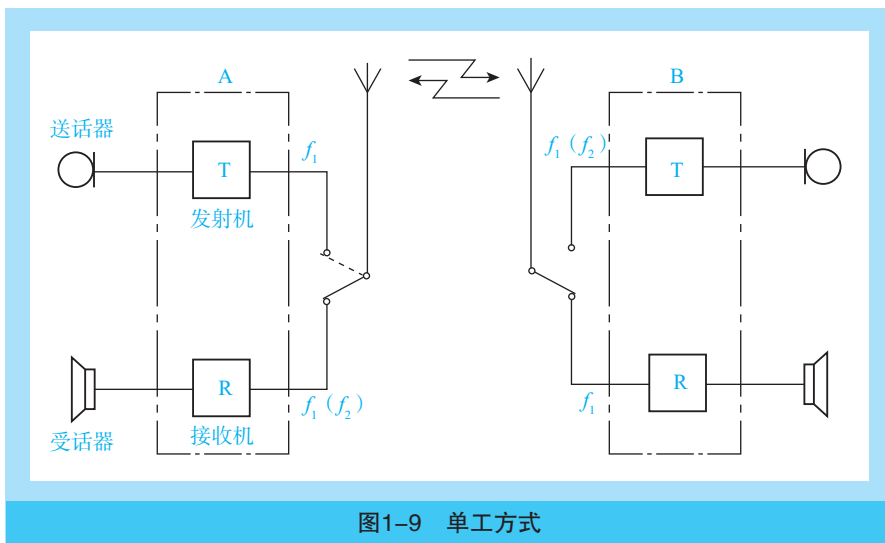


图1-9 单工方式

单工方式的主要代表就是对讲机，两部对讲机之间只用同一个信道进行通信，主叫按下通话键可以发话，松开后发话结束，对讲机进入“守听”状态，等待接收对方的通话，即所谓“按一讲”状态。

## 2. 半双工方式

半双工方式是指通信的双方有一方在通信的过程中既能发射信号也能接收信号，而另一方只能是单工工作，如图1-10所示。

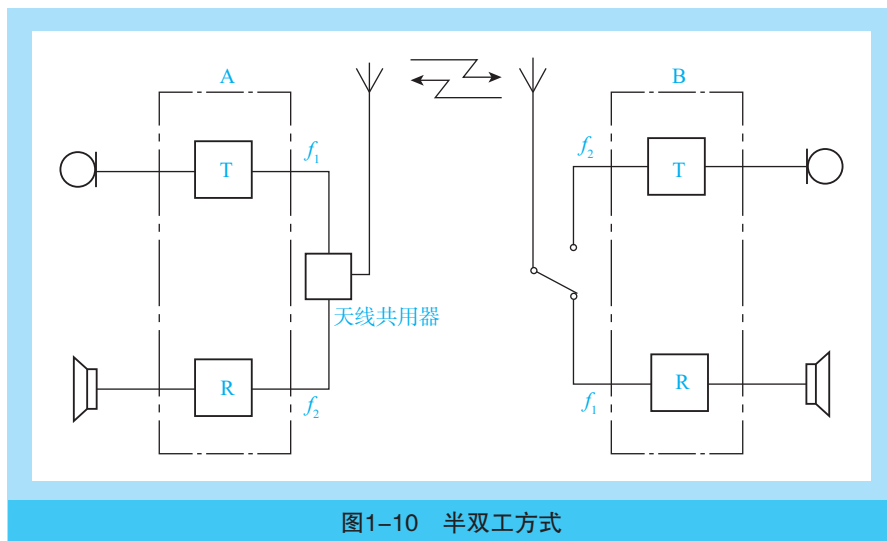


图1-10 半双工方式

半双工方式的主要代表是集群通信系统，它类似于对讲机，但指挥中心的主调度机在任何时候都可以进行发话和接听，而不受“按一讲”的限制。而其他终端依然是单工方式，平时处于守听状态，按照“按一讲”方式工作。

图1-10所示A方使用双工方式，即收发信机同时工作，且使用两个不同的频率 $f_1$ 和 $f_2$ ；而另一方B则采用双频单工方式，即收发信机交替工作。平时，B方处于守听状态，仅在发话时才按压“按一讲”开关，切断收信机，使发信机工作。半双工方式的优点是设备简单，功耗小，克服了通话断断续续的现象。

## 3. 全双工方式

全双工方式是指任何一方在发话的同时也能收听到对方讲话，而且不需采用“按一讲”的方式，这就是手机的通信方式，如图1-11所示。

但是采用这种方式，在使用过程中，不管是否发话，发射机总是工作的，故电能消耗大。这一点对以电池为能源的移动台是很不利的。为此，在某些系统中，移动台的发射机仅在发话时才工作，而移动台接收机总是工作的，通常称这种系统为准双工系统，它可以和双工系统相兼容。目前，这种工作方式在移动通信系统中获得了广泛的应用。

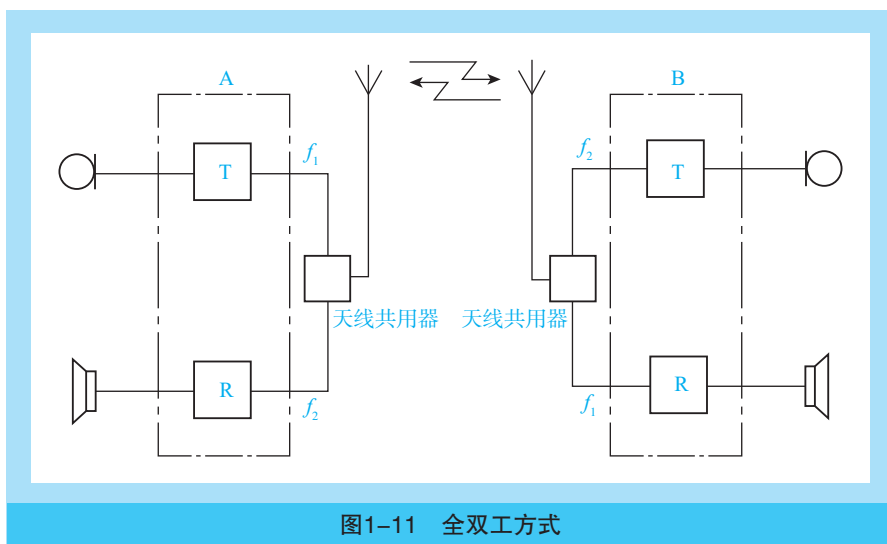


图1-11 全双工方式

## 二、通信的多址方式

在无线通信环境的电波覆盖区内，如何建立用户之间的无线信道的连接，是多址接入方式内的问题。因为无线通信具有大面积无线电波覆盖和广播信道的特点，网内一个用户发射的信号其他用户均可接收，所以网内用户如何能从播发的信号中识别出发送给本用户地址的信号就成为建立连接的首要问题。

多址接入方式的数学基础是信号的正交分割原理。无线电信号可以表达为时间、频率和码型的函数，即

$$S(c, f, t) = C(t) S(f, t)$$

式中， $C(t)$  为码型函数； $S(f, t)$  为时间 ( $t$ ) 和频率 ( $f$ ) 的函数。

当以传输信号的载波频率的不同划分来建立多址接入时，称为频分多址方式 (Frequency Division Multiple Access, FDMA)；当以传输信号存在时间的不同划分来建立多址接入时，称为时分多址方式 (Time Division Multiple Access, TDMA)；当以传输信号码型的不同划分来建立多址接入时，称为码分多址方式 (Code Division Multiple Access, CDMA)。图1-12分别给出了FDMA, TDMA和CDMA的示意图。

蜂窝结构的通信系统特点是通信资源的重用。频分多址系统是频率资源的重用；时分多址系统是时隙资源的多用；码分多址系统是码型资源的重用。频分多址系统是以频道来分离用户地址的，所以它是频道受限和干扰受限的系统；时分多址系统是以时隙来分离的，所以它是时隙受限和干扰受限的系统，但一般来说，它只是干扰受限的系统。

### 1. 频分多址 (FDMA)

在频分多址系统中，把可以使用的总频段划分为若干占用较小带宽的频道，这些频道



在频域上互不重叠，每个频道就是一个通信信道，分配给一个用户。在接收设备中使用带通滤波器允许指定频道里的能量通过，但滤除其他频率的信号，从而限制临近信道之间的相互干扰。

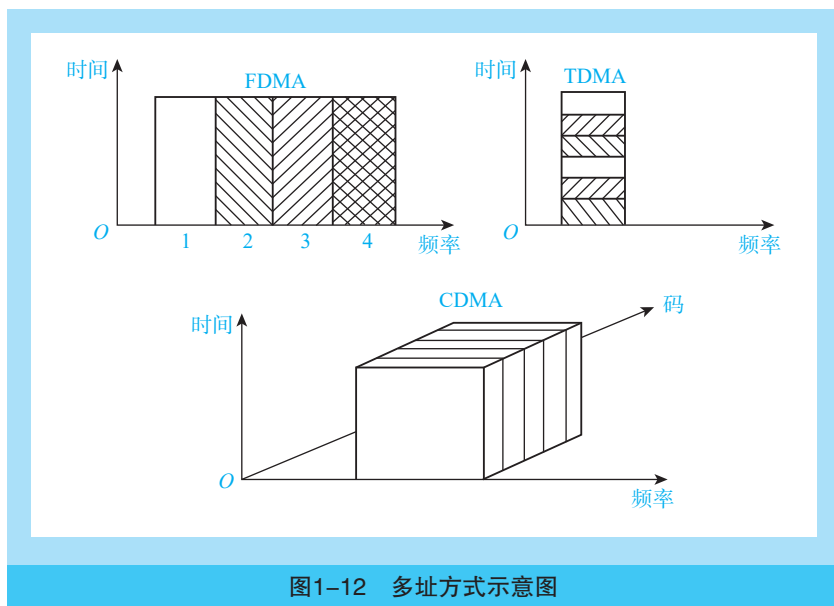


图1-12 多址方式示意图

这种方式的特点是技术成熟，易于与模拟系统兼容，对信号功率控制要求不严格。但是在系统设计中需要周密的频率规划，基站需要多部不同载波频率发射机同时工作，设备多且容易产生信道间的互调干扰。

## 2. 时分多址 (TDMA)

在时分多址系统中，把时间分成周期性的帧，每一帧再分割成若干时隙（无论帧或时隙都是互不重叠的），每一个时隙就是一个通信信道，配给一个用户，然后根据一定的时隙分配原则，使各个移动台在每帧内只能按指定的时隙向基站发射信号。在满足定时和同步的条件下，基站可以在各时隙中接收到各移动台的信号而互不干扰。同时，基站发向各个移动台的信号都按顺序安排在预定的时隙中传输，各移动台只要在指定的时隙内接收，就能在合路的信号中把发给它的信号区分出来。

TDMA 系统不存在频率分配问题，对时隙的管理和分配通常要比对频率的管理与分配容易而经济，便于动态分配信道；如果采用语音检查技术，实现有语音时分配时隙，无语音时不分配时隙，有利于提高系统容量。

TDMA系统设备必须有精确的定时和同步，保证各移动台发送的信号不会在基站发生重叠或混淆，并且能准确地指定的时隙中接收基站发给它的信号。同步技术是TDMA系统正常工作的重要保证，往往也是比较复杂的技术难题。

### 3. 码分多址 (CDMA)

在码分多址系统中,不同用户传输信息所用的信号不是靠频率不同或时隙不同来区分的,而是用各自不同的编码序列来区分的,或者说,是靠信号的不同波形来区分的。如果从频域或时域来观察,多个CDMA信号是互相重叠的。接收机用相关器可以在多个CDMA信号中选出使用预定码型的信号。其他使用不同码型的信号因为和接收机本地产生的码型不同而不能被解调。它们的存在类似于在信道中引入了噪声或干扰,通常称之为多址干扰。

码分多址在日常生活中最为经典的例子是由许多来自世界不同国家的人参与的聚会。在聚会中,大家谈话的频率和时间都是相同的,可是由于语言的不同(识别码的不同),人们可以听懂与自己交谈者的谈话,而不会受到别人的影响。



#### 视野拓展

### 我国城市轨道交通通信系统的发展

我国城市轨道交通通信系统的建设始于北京地铁一期工程。1965年7月1日,北京地下铁道一期工程在玉泉路以西的一棵白果树下举行了开工奠基典礼,当时70%以上的设备属于试验性产品。经过工期为6年的建设,1971年1月15日,一期工程公主坟站—北京站的线路全线基本建成通车。这条线路长23.6 km,采用明挖填埋法施工,从西山公主坟站到北京站,共有17座车站,这条线路是中国大陆最早的地铁线路。当时由于受到自然条件和技术装备的限制,在通信的业务上只考虑了单一模拟制,一律是话音实线传输,设备统一为机电式,设备组网上基本上分散多址、封闭型状态,通信手段只有有线一种方式。虽然1981年建成150 MHz调频、三话路、数话兼容、异频、双工电台,但是面对巨大沉重的运输任务,已不适应联动、协调的要求。

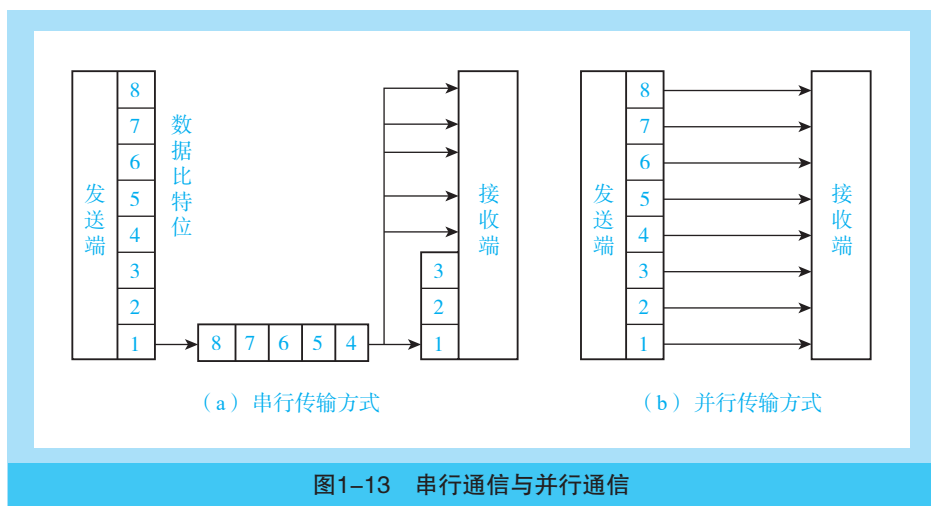
20世纪90年代初,为了满足地铁运营安全、大容量、快捷的要求,必须要更换陈旧、损耗严重、质量低劣、故障频繁的设备,增加通信设备容量,扩大通信能力,提高通信的安全保障,建立光纤传输系统,光电复用,电视图像与文字、数据和传真兼容,有线和无线立体通信的多种业务的一体化网络。但是,这个阶段的设备仍然存在故障多、性能不稳定、设备功能不完善的状况。

进入21世纪,随着现代通信技术的快速发展和城市轨道交通的大规模兴建,通信系统已经成为由传输系统、电话系统、无线集群调度系统、录音系统、广播系统、闭路电视监控系统、时钟系统、旅客向导系统和商用通信系统等组成的一个功能强大的、一体化的集语音、文字、图像等多种媒体于一身的综合通信网系统。

### 三、通信的传输

#### 1. 串行与并行

串行传输方式和并行传输方式是两种常见的通信传输方式。串行传输方式如图1-13 (a) 所示, 数据在单条1位宽的传输线上, 一比特接一比特地按顺序传送; 并行传输方式如图1-13 (b) 所示, 一个字节(8位)数据是在8条并行传输线上同时由源传到目的地。而在串行通信中, 数据是在单条1位宽的传输线上一位接一位地顺序传送。这样一个字节的数据要分8次由低位到高位按顺序一位一位地传送。



从图1-13可以看出: 串行通信节省通信线路, 但传输效率较低, 适合于单一性质或远距离传输; 并行通信需要大量传输线路, 但通信效率高。

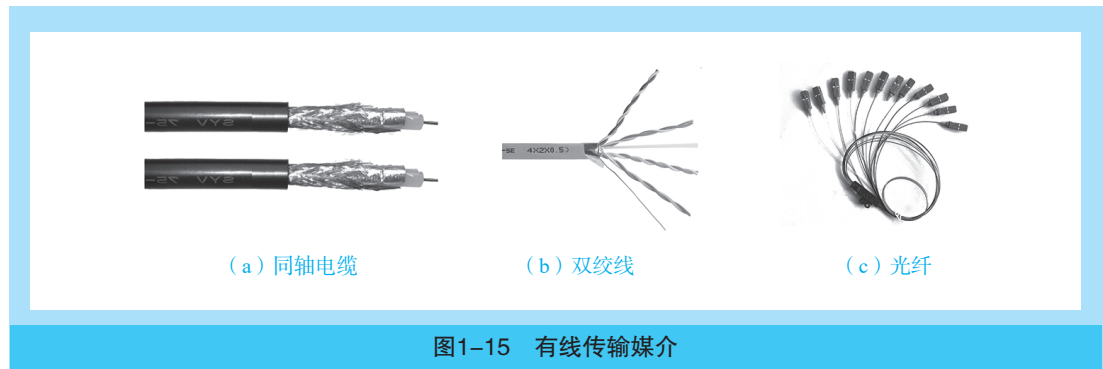
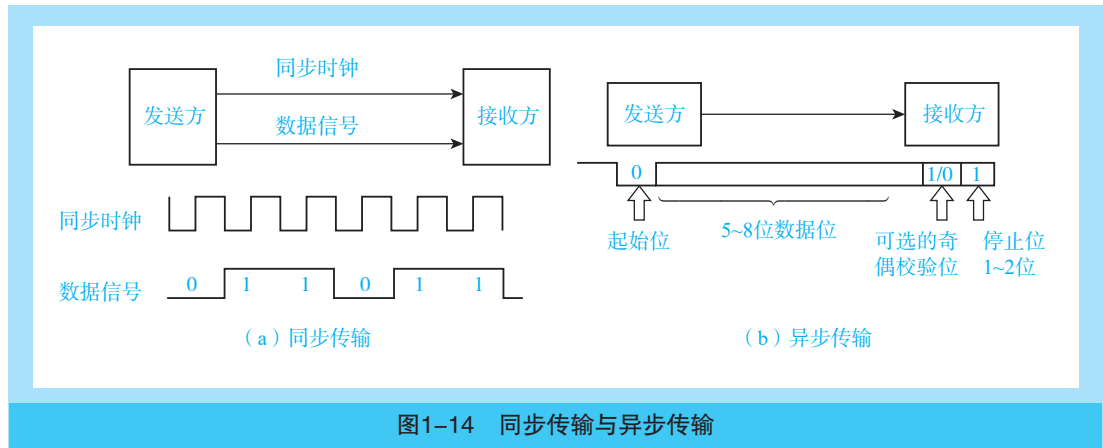
#### 2. 同步和异步

是否“同步”对于现代通信系统而言非常重要。仅仅从字面上也可以清晰地理解同步和异步这两种传输方式的区别。同步传输如图1-14 (a) 所示, 要求双方时钟严格一致, 为求时钟严格一致, 发送方的编码中隐含着供接收方提取的同步时钟频率; 收发以数据帧为单位, 帧头包含帧同步码, 中间是信息码, 帧尾是帧结束码。异步传输如图1-14 (b) 所示, 要求收发双方的时钟节拍各自独立并允许有一定的误差。为了达到双方同步的目的, 需要在每个字符的头、尾各附加一个比特的起始位和终止位, 用来指示一个字符的开始和结束。

#### 3. 传输媒介

按照信号传输媒介可以将通信系统分为有线通信系统和无线通信系统。有线通信利用导体对信号进行导向性传输, 有较强的封闭性和安全性, 信号传输质量好, 容量可以无限制地增大, 但敷设、维护成本较高。有线传输媒介主要有同轴电缆、双绞线和光纤三种,

如图1-15所示。



不同的介质传输的信号也不相同，双绞线适用于较低频率的信号传输，同轴电缆传输信号的频率更高，光纤适合传输可见光频段的电磁波。

双绞线芯一般是铜质的，能提供良好的传导率。双绞线既可以用于传输模拟信号，也可以用于传输数字信号，普遍用于点到点的连接，也可以用于多点的连接。在低频传输时，双绞线的抗干扰性相当于或高于同轴电缆，但在10~100 kHz范围时，同轴电缆就比双绞线明显优越。双绞线可以在数十米或更大范围内提供数据传输。

单根同轴电缆的直径为1.02~2.54 cm，可在较宽的频率范围内工作。同轴电缆适用于点到点和多点连接。传输距离取决于传输的信号形式和传输的速率，典型基带电缆的最大距离限制在几千米。在同样数据速率条件下，粗缆的传输距离较细缆的远。同轴电缆寿命长、通信容量大、质量稳定、抗干扰性能比双绞线强，在有线通信中占有很大比重。

无线通信利用非导向性传输媒体在自由空间传播信号，具有优良的可移动性和低廉的扩张成本，但易受到外界的干扰，由于频率资源有限，传输速率也受限。

## 小贴士

自由空间：在导向传输媒体中，电磁波被导向沿着固体媒体（铜线或光纤）传播，而非导向传输媒体就是指自由空间。

无线通信的频率划分和用途见表1-1。

表1-1 无线通信的频率划分和用途

频段 / 波段	频率范围	波长范围	主要用途	主要传播方式
极低频 (ELF) / 极长波	3 ~ 30 Hz	10 ~ 100 Mm	远程通信、海上潜艇 远程导航	地波
甚低频 (VLF) / 超长波	3 ~ 30 Hz	10 ~ 100 km		
低频 (LF) / 长波	30 ~ 300 kHz	1 ~ 10 km	中远程通信、地下通信、无线导航	地波或天波
中频 (MF) / 中波	0.3 ~ 3 MHz	100 ~ 1 000 m	中波广播、业余无线电	地波或天波
高频 (HF) / 短波	3 ~ 30 MHz	10 ~ 100 m	短波通信、短波电台、航海通信	天波
甚高频 (VHF) / 超短波	30 ~ 300 MHz	1 ~ 10 m	电视、调频广播、电离层下散射	视距波、散射波
特高频 (UHF) / 分米波	0.3 ~ 3 GHz	1 ~ 10 dm	移动通信、遥测、雷达导航、蓝牙	视距波、散射波
超高频 (SHF) / 厘米波	3 ~ 30 GHz	1 ~ 10 cm	微波、卫星通信、雷达探测	视距波
极高频 (EHF) / 毫米波	30 ~ 300 GHz	1 ~ 10 mm	雷达、微波、射电天文通信	视距波
光波 (近红外线)	$10^5 \sim 10^7$ GHz	$3 \times 10^{-6} \sim 0.3$ cm	光纤通信	光导纤维

## 4. 传输损耗

信号在传输过程中若输出端功率小于输入端功率，则称信号受到了损耗，同样信号经过功率分配器等也要受到损耗。损耗的定义是 $d=10 \lg \frac{P_{out}}{P_{in}}$ ，单位是dB（分贝）。比如将信号强度为10 mW的信号经过二分配器，在分配器出口得到两个5 mW的信号，对每个出口而言，损耗是3 dB。

自由空间电波传播是无线电波最基本、最简单的传播方式。自由空间是一个理想化的概念，实际上电波是不可能在真空中传播的，自由空间为人们研究电波传播提供了一个简化的计算环境。

自由空间传播损耗 $L_p$ 的定义为

$$L_p = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi d f}{c} \right)^2$$

式中,  $d$ 为传播距离;  $\lambda$ 为工作波长;  $c$ 为光速;  $f$ 为工作电渡频率。

自由空间传播损耗 $L_p$ 是传播损耗中最基本的损耗, 接收天线接收的信号功率仅仅是发射天线辐射功率的一小部分, 大部分能量都向其他方向扩散了。工作距离越远, 球面积越大, 接收点截获的功率越小, 即传播损耗加大。电波在大气层以外的空间传播时, 可以近似看成在自由空间传播。

#### 四、通信系统指标

作为一个系统, 在对其进行定性的分析以后, 必然要进行定量分析, 也就是衡量一个系统的性能指标。对于通信系统而言, 重点强调两个指标, 即有效性指标和可靠性指标。这两个指标也就是人们对于通信最原始的要求——快速和准确。

有效性是指在给定信道内所传输的信息内容的多少, 或者说是传输的“速度”问题; 而可靠性是指接收信息的准确程度, 也就是传输的“质量”问题。这两个问题相互矛盾而又相对统一, 通常还可以进行互换。一般情况下, 要增加系统的有效性, 就得降低可靠性, 反之亦然。在实际中, 常常依据实际系统要求采取相对统一的办法, 即在满足一定可靠性指标下, 尽量提高信息的传输速率, 即在维持一定有效性条件下, 尽可能提高系统的可靠性。

对于数字通信系统而言, 系统的可靠性和有效性可用误码率和传输速率来衡量。

##### 1. 误码率

误码率(码元差错率) $P_e$ 是指发生差错的码元数在传输总码元数中所占的比例, 更确切地说, 误码率是码元在传输系统中被传错的概率, 即

$$P_e = \frac{\text{错误的码元数}}{\text{总传输的码元数}}$$

##### 2. 传输速率

码元传输速率 $R_B$ 简称传码率, 又称符号速率等。它表示单位时间内传输码元的数目, 单位是波特(Baud), 记为B。

信息传输速率 $R_b$ 简称传信率, 又称比特率等。它表示单位时间内传递的平均信息量或比特数, 单位是比特/秒, 记为bit/s。

##### 3. 频带利用率

数字通信系统占据一定的频带宽度, 衡量系统能否充分发挥所占用频带的作用, 用频带利用率来判断。频带利用率是指系统最大传输速率与占用带宽的比值, 即

$$\text{频带利用率} = \frac{\text{系统最大传输比特率}}{\text{系统拥有的频带宽度}}$$

## 五、调制与解调

调制与解调是通信技术最重要的概念之一。“携带”消息的信号称为载波信号，而被“携带”的消息称为调制信号，调制就是让消息被载波信号“携带”，解调就是从载波信号中检测出消息。正弦周期信号和脉冲周期信号常被用作载波信号。

用模拟信号对正弦载波信号进行调制称为模拟调制，根据调制参数的不同分别有振幅调制（AM）、频率调制（FM）和相位调制（PM）三种形式。

振幅调制和频率调制波形示意图如图1-16所示。

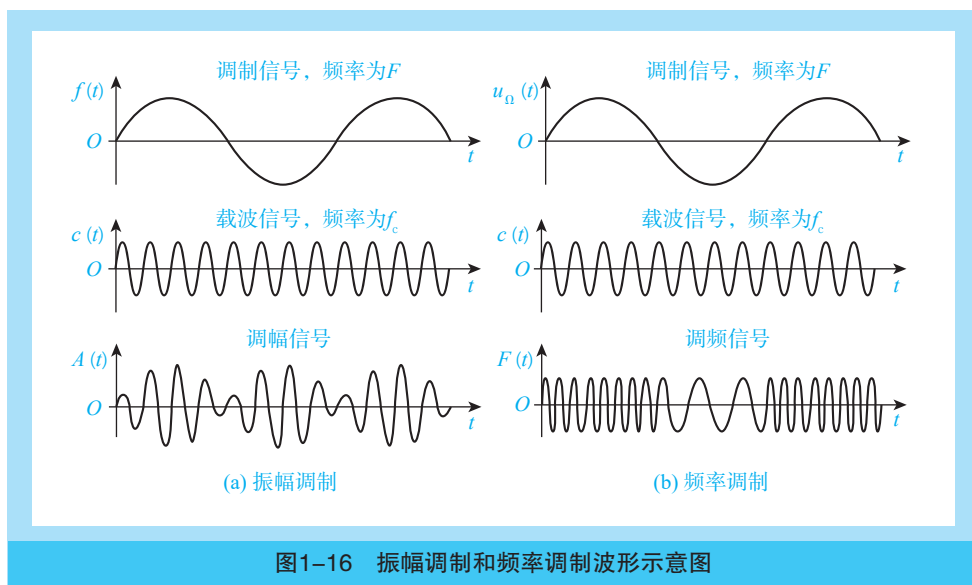


图1-16 振幅调制和频率调制波形示意图

### 小贴士

**脉冲信号：**一种离散信号，形状多种多样。与普通模拟信号（如正弦波）相比，波形之间在时间轴不连续（波形与波形之间有明显的间隔）但具有一定的周期性是它的特点。

## 任务三 城市轨道交通通信系统的应用

城市轨道交通专用通信系统一般由传输、公务电话、有线调度电话、无线调度电话、闭路电视监控、广播电视、环境监测、时钟、不间断电源（UPS）等系统组成。

## 一、通信各子系统功能

轨道交通通信系统的服务范围包括运营控制中心、车站、车辆段、停车场、维修中心等运营服务区域。通信系统不是单一的子系统的叠加，而是多个既相对独立又有效合作的子系统的组合。这些子系统在不同的运营环境下协调工作，对各自的故障进行检测和报警，从而确保整个通信系统的可靠性。

### 1. 传输系统功能

传输系统是整个通信网络的纽带，它给通信各子系统以及电力系统、信号系统、自动售检票（Auto Fare Collection, AFC）系统、消防报警系统、办公网络等提供传输通道，将各车站、车辆段、停车场的设备与控制中心的设备连接起来。

### 2. 公务电话系统功能

公务电话系统为轨道交通运营提供办公电话、传真等业务，同时在控制中心、车站、段场等也设置公务电话，既可作为办公电话使用，也可以作为有线调度电话的备份，一旦调度电话发生故障，公务电话临时应急投入使用。

### 3. 专用有线调度系统功能

专用有线调度电话是为行车指挥、维修、抢险等设置的专用通信系统，一般设置四种调度电话系统：行车调度、电力调度、防灾调度和维修调度电话系统。

### 4. 无线列车调度系统功能

无线列车调度系统主要用于解决固定人员（如调度员、值班员）与流动人员（如车辆司机、维修人员与列检人员等）之间的通话。

### 5. 闭路电视监控系统功能

闭路电视监控系统为控制中心调度管理人员、车站值班员、列车司机及站台监视亭值班员等对车站的站厅、站台、出入口等主要区域提供有关列车运行、旅客疏导、防灾救火、突发事件等情况下的现场视频信息。控制中心的行车调度员实时监视全线各车站的情况，车站值班员能够实时监视本站情况，列车司机能在驾驶室看到乘客上下车的情况（站台与列车间用无线传送视频信号）。

### 6. 广播电视系统功能

广播电视系统为乘客提供列车到发时间、安全提示信息的同时，还能在紧急情况或突发事件时为乘客提供疏散信息，同时为旅客提供关于行车时刻表、安全提示、视频等的文字或多媒体视频信息。

### 7. 环境监测系统功能

防雷系统为其他通信子系统提供防雷保护，当设备遭到雷击或强电干扰后防雷系统通



过隔离保护、均压、屏蔽、分流、接地等方法减少雷电对设备的损害。光纤在线监测系统主要为光缆传输通道提供实时在线监测，维护人员可以通过网管监控设备监测光缆状态，并能在故障时判断故障点。动力环境监测系统对通信机房的温湿度、烟雾、空调等工作环境进行监测以及对通信系统UPS设备的工作参数进行监控，通过传输设备将车站通信机房的信息传至控制中心网络管理终端，以便维护工作人员能够实时监测车站。

### 8. 电源系统功能

电源系统必须是供电设备独立并具有集中监控管理功能的系统。电源系统应保证对通信设备不间断、无瞬变供电。直流供电系统可由直流配电盘、高频开关型整流模块、直流变换器、逆变器、阀控式密闭铅蓄电池组等组成，并应具有遥信、遥测、遥控性能和标准的接口及通信协议。对要求交流不间断供电的通信设备，可根据负荷容量确定采用逆变器供电或交流不间断电源（UPS）供电方式。

## 二、通信传输系统组网

传输系统是整个城市轨道交通通信网络的纽带，通过它可将通信各子系统、各车站的信息传送到控制中心，同时为电力系统、信号系统、自动售检票系统、消防系统和办公网络等提供传输通道。

## 任务四 城市轨道交通信号系统概述

城市轨道交通信号系统保障着列车运行的安全，担负着指挥列车运行、提高运输效率、保证服务质量的重要任务，是城市轨道交通的重要机电设备。城市轨道交通安全、快捷、准时、速达的特性要求城市轨道交通信号系统具有智能化、数字化、现代化等特点。

### 一、城市轨道交通信号系统的特点

城市轨道交通的信号系统沿袭铁路的制式，但由于其自身的特点，与铁路的信号系统又有一定的区别。城市轨道交通信号系统的特点有以下几点。

#### 1. 具有完善的列车速度监控功能

城市轨道交通所承担的客运量巨大，对行车间隔的要求远高于铁路，最小行车间隔为90 s甚至更小，因此对列车运行速度监控的要求极高。

#### 2. 速度传输速率较低

城市轨道交通的列车运行速度远低于铁路干线的列车运行速度，最高运行速度通常为

80 km/h，所以信号系统可以采用速率较低的数据传输系统。但是，随着城市轨道交通信号自动化技术的不断发展，对信息需求越来越多，信号系统也逐步采用速率较高且独立的数据传输系统。

### 3. 联锁关系较简单但技术要求高

城市轨道交通的大多数车站没有配线，不设道岔，甚至也不设地面信号机，仅在少数有岔联锁站及车辆段才设置道岔和地面信号机，故联锁设备的监控对象远少于铁路车站的监控对象，联锁关系远没有铁路复杂。除折返站外，全部作业仅为旅客乘降，非常简单。通常一个控制中心即可实现全线的联锁功能。

城市轨道交通信号自动控制的最大特点是把联锁关系和ATP编/发码功能结合在一起，且包含一些特殊的功能，如自动折返、自动进路、紧急关闭、扣车等，增加了技术难度。

### 4. 车辆段独立采用联锁设备

城市轨道交通的车辆段类似于铁路区段站的功能，包括列车编解、接发列车和频繁的调车作业，且线路较多、道岔较多、信号设备较多，一般独立采用一套联锁设备。

### 5. 自动化水平高

由于城市轨道交通的线路长度短，站间距离短，列车种类较少，行车规律性很高，因此它的信号系统中通常包括自动排列进路和运行自动调整的功能，自动化程度高，人工介入极少。

## 二、城市轨道交通信号系统组成

城市轨道交通信号系统是城市轨道交通最基础的控制系统，不仅影响着轨道交通的行车速度及列车运行间隔，而且影响列车通过能力及输送能力，同时信号系统也是安全行车的重要保证。根据城市轨道交通高密度、短间隔的特点，城市轨道交通信号系统已经发展成一个具有列车自动防护（Automatic Train Protection,ATP）、列车自动驾驶（Automatic Train Operation,ATO）和列车自动监控（Automatic Train Supervision,ATS）等功能的综合自动化系统。

城市轨道交通信号系统通常由列车自动控制系统（Automatic Train Control,ATC）和车辆段信号控制系统两大部分组成，用于实现列车进路控制、列车间隔控制、调度指挥、信息管理、设备工况检测及维护管理等。城市轨道交通信号系统的基本组成，如图1-17所示。

### 1. 列车自动控制系统（ATC）

城市轨道交通具有行车密度大、站间距离短的特点，这对其信号系统提出了很高

的要求。目前修建的大部分城市轨道交通，往往都提出了2 min（甚至90 s）的列车间隔要求。为了安全可靠地指挥行车，城市轨道交通主要通过先进的计算机控制系统实现速度控制、追踪间隔调整和定位停车等。实现这一功能的系统就是列车自动控制系统（ATC）。

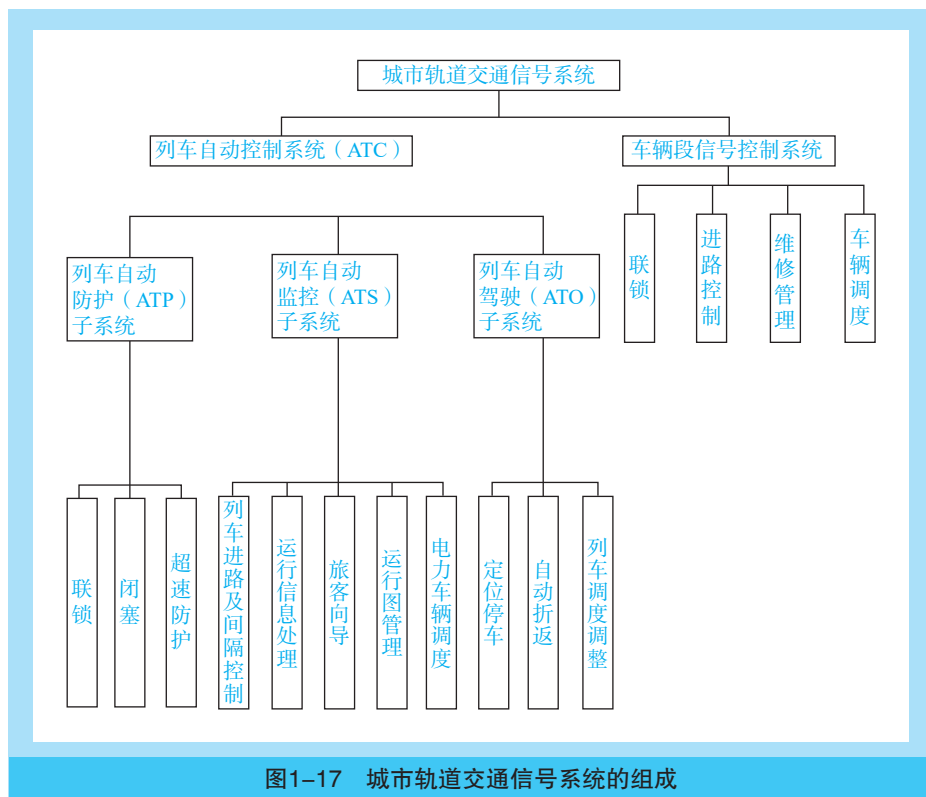


图1-17 城市轨道交通信号系统的组成

列车自动控制系统（ATC）包括列车自动防护（以下简称ATP系统）、列车自动驾驶（以下简称ATO系统）和列车自动监控（以下简称ATS系统）三个子系统，简称“3A”。这三个子系统既相互独立又相互联系。

（1）ATP系统的主要功能是列车的速度监控和超速防护，通过实时的测速和测距，保证列车在安全的速度下行驶，必要时给出各种信号的提醒，甚至自动启动紧急制动；同时还能对列车进行安全性停车点防护和列车车门的控制，在列车不能停稳时不允许列车运动等。

（2）ATO系统的主要功能是完成站间自动运行，进行列车速度调节和进站定点停车，对车门和屏蔽门控制，接收控制中心（Operation Control Centre,OCC）的运行调度命令，实现站台扣车、站台跳停等。ATO系统帮助列车处于一个最佳的运行状态，提高列车的正点率和乘客的舒适度。

（3）ATS系统是整个城市轨道交通系统的运营核心，在ATP系统、ATO系统的支持下完成对列车状态的监督和控制。其主要功能有：运行图的管理、运行调整、仿真培训、旅

客向导等。

### 2. 车辆段联锁设备

车辆段信号控制系统有一套联锁设备，用以实现车辆段的进路控制，并通过ATS系统车辆段分机与行车指挥中心交换信息。大部分的城市轨道交通系统的车辆段联锁设备在前期多采用6502电气集中联锁，近年来均采用计算机联锁。

先进的车辆段信号控制系统的特点是信号一体化，包括联锁系统、进路控制设备、接近通知、终端过走防护和车次号传输设备等。这些设备由局域网连接并经过光缆与调度中心相通。列车的整备、维修与运行相互衔接成一个整体，保证了城市轨道交通的高效率和低成本。

车辆段内试车线与正线设置相同的ATP系统轨旁设备和ATO系统地面设备，用于对车载列车自动控制系统设备进行静、动态试验。



## 视野拓展

### 我国城市轨道交通信号系统的发展

我国城市轨道交通信号系统的发展大致分为三个阶段。

#### 1. 自主研发的初创阶段

我国的地铁信号系统是随着北京地铁的兴建而起步的。1965年7月1日，我国第一条地下铁道——北京地铁一期工程动工兴建，1971年通车。根据当时的国情，决定全部设备由国内自己研制，同时要求设备必须具有较高的技术水平。信号项目主要为自动闭塞（包括机车信号和自动停车）、调度集中、列车自动驾驶和继电联锁。通过这几项技术实现行车集中调度、集中监控和列车运行自动化。在20世纪70年代，结合北京地铁二期工程，我国又相继研发了ATP和ATO等列车自动控制系统，以实现列车行车指挥和运行的自动化，虽然系统的研制在当时接近国际先进水平，但由于当时我国的电子工业整体水平比较落后，调度集中设备在1984年进行了大修后使用到1996年。

#### 2. 早期设备改造和ATP的研制过渡阶段

20世纪80年代，我国对北京地铁一期（北京地铁1号线）苹果园到复兴门段进行了技术改造。1990年对环线调度集中设备进行了改造，研制微机调度集中系统。1998年对北京地铁环线的车载设备进行了改造，自主研发了ATP车载系统，该设备极大地提高了列车运行的安全性，也在一定程度上减小了操作人员的工作强度。

#### 3. 引进与发展阶段

进入21世纪以来，随着我国改革开放的深入、经济的快速发展、城市人口的膨胀，开始进入了建设城市轨道交通的高潮阶段。通过引进国外先进的地铁信号设

备,信号系统得到了快速发展。北京、上海、广州、深圳、重庆和南京等新建的城市轨道交通项目相继引进阿尔卡特公司、美国USSI公司、德国西门子公司、法国阿尔斯通公司和日本信号公司等各具特色的先进的信号系统设备。这些设备的引入,大大缩短了行车间隔,提高了运输的效率,提高了安全程度和通过能力,但也带来了诸多的问题,如造价昂贵、设备更新维护费用高、返修渠道不畅、备件不能保证、维修十分困难、制式混乱、给线网的扩张带来不便等。

从1999年起,我国开始推行引进吸收国产化策略,近几年有了较快发展。如在通信信号一体化系统——基于通信的列车运行控制(Communication Based Train Control,CBTC)系统方面,在借鉴世界各国经验的基础上,结合中国国情和地域情况,我国部分轨道交通发达的城市已着手制定中国版的CBTC技术标准和规范。目前,除采用引进的西门子、阿尔卡特、阿尔斯通、USSI、庞巴迪等公司的CBTC系统外,北京交通大学研制开发了国产的LCF-300型CBTC系统,并在北京地铁亦庄线投入使用。

### 三、城市轨道交通信号系统的设备分布

城市轨道交通信号设备按所在地域可划分为控制中心设备、车站及轨旁设备、车载设备、车辆段设备、停车场设备、试车线设备、维修和培训中心设备等。

#### 1. 控制中心设备

控制中心设备为ATS系统的中央设备,其设备组成及功能应满足全线运营组织的功能需求。ATS系统应有网络安全防范功能,并应与整个地铁系统的时钟同步。

控制中心设备是信号系统监控的核心部分。其设备主要包括:ATS系统中心设备、培训设备、维护设备及电源设备等。其主要设备的描述如下:

(1) 应用服务器。应用服务器为ATS系统的数据处理中枢,它获得全线车站、停车场以及外部系统的数据后,将站场图显示、告警、列车状态等各种信息发往各车站ATS系统工作站和表示屏显示。应用服务器满足中心自动控制、调度员人工控制以及车站控制的要求;满足地铁行车指挥及运营管理的需要;系统处理能力及处理方式满足可靠性、实时性和可维护性的要求;系统能力具有可扩展性,可与其他自动化控制系统(如综合监控系统)接口。服务器为双机热备设计,备机实时从主机获得同步的各种数据,可以实现无扰切换。

(2) 通信服务器。通信服务器提供ATS系统与其他CBTC系统和外部系统间的接口和协议转换。这些外部系统接口包括无线通信系统、PIS(乘客信息系统)、综合监控、FAS(火灾自动报警系统)、BAS(环境设备监控系统)和广播系统等。其他CBTC系统接口

包括ATP、ATO、计算机联锁等。

(3) 数据库服务器和磁盘阵列。控制中心的两台数据库服务器为双机冗余，在数据库服务器上运行并行数据库例程，数据库例程接受数据库访问。数据库数据如计划数据、列车运行数据、列车编组信息等存放在磁盘阵列上，以便系统调用和查看。

(4) 大屏接口计算机。它用于实现信号系统与大屏幕显示系统的接口，实现在大屏幕上显示全线线路配线情况、列车位置和车次号、列车进路、轨道区段、道岔和信号机的状态、信号系统设备的工作状态等信息。

(5) 调度员及调度长工作站。控制中心设多台调度员工作站和一台调度长工作站，通过操作口令，所有调度员（长）工作站可分台工作也可并台工作。各个调度工作站在硬件和软件上具有相同的结构，根据登录用户角色和控制区域的不同来完成不同的功能，如果一台调度员工作站故障，另一台调度员工作站可以接管其控制区域。

(6) 运行图工作站。时刻表编辑工作站用于运行计划人员编制及修改列车运行图和时刻表。系统通过人机对话可以实现对运行图、时刻表的编辑、修改及管理。

运行图显示工作站主要用于显示计划运行图和实绩运行图，提供与运行图相关的操作，如运行图修改、打印等。

(7) 培训 / 模拟工作站。培训 / 模拟工作站含有模拟服务器和培训工作站，内配有各种系统编辑、装配、连接和系统构成工具以及列车运行仿真的软件，并可与调度员工作站具有相同的显示内容和相同的控制内容，但不参与在线列车的控制。该工作站还能模拟仿真列车在线运行及各种异常情况，实习操作员可通过此站模拟实际操作。

(8) 培训服务器。它存储培训所需的相关数据，包括车站、停车场以及外部系统的相关数据，将站场图显示、列车状态等各种信息发往培训工作站用于培训。

(9) 维护工作站。它主要用于ATS系统维护、ATC系统故障报警处理，和车站、车辆段、停车场信号设备的监测；用于显示全线站场图、系统设备状态、故障报警、重要事件等，并进行数据存储管理、ATS系统管理和网络管理等。

(10) 通信前置机。它作为控制中心ATS系统的通信枢纽，负责为控制中心的外部系统（无线、广播、PIS、时钟、综合监控等）提供接入ATS的接口。

(11) 打印机。控制中心配备激光网络打印机，用于输出运行图及各种报表。

(12) 电源设备。在控制中心配备一套智能电源屏及UPS设备，将全线电源系统工作状态及故障报警信息纳入维修监测系统统一管理。

## 2. 车站及轨旁设备

车站分为集中联锁站和非集中联锁站。集中联锁站一般为有道岔车站，但也可能是无道岔车站。非集中联锁站一般为无道岔车站，但有道岔车站根据需要也可以由邻近车站控制，而成为非集中联锁站。

## 小贴士

**道岔：**一种使机车车辆从一股道转入另一股道的线路连接设备，也是轨道的薄弱环节之一，通常在车站、编组站大量铺设。有了道岔，可以充分发挥线路的通过能力。

以CBTC系统为例，正线车站及轨旁设备主要包括：ATS车站设备、ATP / ATO设备、联锁设备、数据通信设备、维护监测设备、计轴设备及电源设备等。其主要设备描述如下。

### （1）ATS车站设备。

1) ATS分机。在集中联锁站设置车站ATS分机，用于采集车站的各种表示信息、传送中心的控制命令及存储由中心下载的时刻表或根据列车识别号和目的地号进行控制，并实现车站进路自动控制的功能。

ATS分机与控制中心、车站联锁系统之间进行数据传输，能根据运行图或目的地自动触发列车进路；当列车到达站台后，ATS分机将正确驱动发车计时器的显示。

ATS分机采用双机热备结构，备机实时从主机获得同步的各种数据，可实现无缝切换。

2) 现地控制工作站。在设备集中站和联锁站设置现地控制工作站（ATS与联锁合用）。现地控制工作站用于显示系统设备状态、站场图、车次号，用来显示和操作联锁单元，控制操作列车自动进路排列，列车监视和追踪，进行相关控制操作。它还能进行职责交接和授权等操作，界面与控制中心基本一致。

现地控制工作站还具有运行图显示功能，主要用于显示计划运行图和实绩运行图，提供与运行图相关的查询操作。

3) ATS监视工作站。在非联锁站设置ATS监视工作站。它用于监视相应区域的列车运行信息，可显示系统管辖区域内的设备状态、站场图，显示车次号等。

（2）ATP / ATO设备。ATP系统是地铁列车控制系统中保障列车运行安全的关键设备。轨旁ATP / ATO计算机是ATP系统的轨旁控制设备，用于实时处理以下重要的安全相关功能：

1) 列车移动授权的计算。

2) 与联锁接口，实现轨旁设备状态和列车位置相关数据的交互。

3) 与ATS接口，实现列车运行信息（列车状态、准备模式、调整、扣车和折返等）的交互。

4) 通过无线系统，实现与列车车载设备的通信。

（3）计算机联锁设备。在设备集中站、联锁站各设置一套计算机区域联锁设备和现地操作工作站（正线车站的ATS和联锁操作员工作站合二为一），用以实现管辖车站的进路控制功能，控制室外设备如道岔、轨道空闲检测、信号机等。

车站计算机联锁设备能接受车站值班员和ATS子系统的控制，并与ATP / ATO车站计算机接口。

(4) 数据通信设备。数据通信子系统主要由骨干网、无线网络组成，均按照冗余网络配置。骨干网络由交换机或专用传输设备构建；无线网络由无线接入交换机、轨旁AP与车载AP组成，均为冗余配置，轨旁AP接入无线接入交换机。轨旁无线通信设备主要包括无线控制器和AP设备。

1) 无线控制器。设置冗余的无线控制器用于对全线无线AP设备进行管理、认证以及监控，并提供本地维护、远程维护、集中维护等多种维护手段，以及完备的告警、测试、诊断、跟踪、日志等功能，方便用户的日常维护管理。

2) 无线AP设备。它用于实现轨旁的无线覆盖。无线AP的设置原则是：列车在轨道上的任何一点都能至少检测到冗余网络AP发送的信号。根据经验沿线大约每隔200 m安装一个无线AP。

同时，为全线配置骨干网网络管理平台、无线网络管理平台，确保对数据通信子系统各层设备进行网络管理。

(5) 信号集中监测子系统设备。信号集中监测子系统，作为信号系统的设备状态监测和维护辅助工具，主要用于维护信息的采集，帮助维修调度人员对故障设备进行定位，管理维修作业。调度员可借助信号集中监测子系统制订计划与安排维修工作，达到比传统人工方式更加有效的效果。

集中监测子系统的车站设备为维护工作站。维护工作站设置在设备集中站的设备室。ATS维护工作站与集中监测子系统的维护工作站共用同一设备。

(6) 计轴设备。在设备集中站集中设置计轴室内设备，在室外轨旁设置辅助的列车位置检测设备，实现ATP / ATO无法正常工作时后备的列车位置检测功能。

(7) 站台紧急停车按钮。在车站的上、下行站台的适当位置和车站综合控制室内，分别设置站台紧急停车按钮。在紧急情况下，乘客按压该侧站台处或车站值班员按压综控室的紧急停车按钮，使进入或驶出该站台的列车紧急停车，并可通过综控室IBP（综合后备盘）上的紧急停车取消按钮进行取消，如图1-18所示。



图1-18 紧急停车按钮图

(8) 现地控制盘。在正线各车站综合控制室内设置现地控制盘。该盘可与综合监控系统设置的控制盘合并，由综合监控系统统一设置。通过操作盘上按钮，可实现ATS扣车与扣车解除等功能；还可以通过设置紧急关闭按钮等，实现相应的辅助功能。

(9) 正线地面信号机。正线地面信号机应根据各信号系统的制式和特点来设置，原



则上正线地面信号机的设置如下：在道岔区段设置道岔防护信号机；在每个车站出站方向设置出站信号机，若出站外方设有道岔，则出站信号机兼做道岔防护信号机；长区间降级模式下为满足必要的追踪间隔设置区间分隔信号机、折返阻挡信号机、出场（入正线）信号机；线路尽头、折返进路终端设置阻挡信号机。

## 小贴士

### 出站信号机

一个绿灯：准许发车。黄灯：准许列车由车站出发，表示运行前方至少有一个闭塞分区空闲。红灯：不许越过。两个绿灯：自动闭塞区段表示去往非自动闭塞区段，半自动闭塞区间表示开往次要线路。在兼作调车信号机时，一个月白色灯光：准许越过该信号机调车。

（10）发车计时器。每个车站正向出站方向的站台侧列车停车位置前方适当地点各设一个发车计时器，用于显示发车时机。发车计时器采用发光二极管LED作为光源全屏显示。ATS系统可以采集发车计时器的状态信息，并可根据需要在中心和车站的模拟表示屏及各工作站上显示，如图1-19所示。

（11）电动转辙机。转辙机用于转换道岔，使车站的列车进路得以建立。

转辙机分为直流电动转辙机、交流电动转辙机和交流电液转辙机等类型。直流电动转辙机

由于采用直流驱动以及受本身结构和加工工艺水平的影响，经国家铁路多年使用表明，存在着日常维修工作量较大、大修周期短等缺陷。交流电动转辙机由于采用交流三相电机作为动力，具有动作可靠、电机故障率低、维修工作量小的特点，现国内已有成熟、可靠且适合地铁安装和运营的交流转辙机产品。电液转辙机在轨道交通应用较少。

（12）电源设备。正线车站各设置一套UPS及智能电源屏设备。UPS的供电范围为所有信号室内外信号设备，UPS电池的后备持续时间为30 min。电源监测信息纳入维修监测系统统一管理。

### 3. 车载设备

在每列列车的头、尾车各设一套车载设备，包括ATP/ATO计算机、操作和显示单元、车载无线设备（包括交换机及天线）、测速装置和应答器天线等。车载设备用来接收轨旁设备传送的ATP/ATO信息，计算列车运行曲线，测量列车运行速度和走行距离，实现列车运行超速防护以及列车自动运行，来保证行车安全和为列车提供最佳运行方式。另外，为保证列车折返功



图1-19 发车计时器

能和驾驶模式建立的连续性，需要敷设一定数量的列车线，以满足车载ATP相关信息的传输。

#### 4. 车辆段 / 停车场设备

车辆段 / 停车场信号设备，包括计算机联锁及微机监测设备、ATS设备、DCS（数据通信）设备、轨道占用检测设备、信号机、转辙机、电源设备等。

（1）计算机联锁及微机监测设备：

1）车辆段 / 停车场设置一套计算机联锁设备（含联锁现地控制工作站），用于实现段内的进路控制，通过ATS分机与控制中心系统交换信息。

2）车辆段 / 停车场设置一套计算机监测系统设备，采用信号微机监测设备，用于实现对停车场室内外信号基础设备状态的监督与检测。

（2）ATS设备。车辆段 / 停车场纳入ATS的监视，在车辆段 / 停车场内设一台ATS分机，用于采集车辆段 / 停车场内列车运行占用信息、信号机的状态信息等，实现车辆段 / 停车场内列车车组号的跟踪功能。控制中心表示屏及调度员工作站均可以显示车辆段 / 停车场进路办理、轨道占用等详细显示信息。

车辆段 / 停车场派班室内和信号楼控制台室内分别设ATS工作站，与车辆段 / 停车场ATS分机相连。其主要实现功能如下：

1）每日由车辆段 / 停车场派班室值班员根据当日的列车时刻表，将当天的列车编组情况、车辆识别号由终端设备输入，产生列车运用表传至控制中心和信号楼；车辆维修周期等情况也可由此终端机输入，送至控制中心，生成车辆维修统计报告。

2）信号楼接到派班室列车运用表之后，在每列列车进入运营线之前的一定时间内（暂定15 min），提醒值班员提前办理列车出车辆段 / 停车场进路。

3）显示停车库线内列车的车组号。

（3）数据通信设备。车辆段 / 停车场有线骨干传输纳入正线网络，相应设置与正线一致的通信设备，并与正线设置的节点连接在一起，形成全线的自愈环网络结构，实现全线骨干节点之间的数据传输。

（4）信号机。车辆段入口处设进段信号机，出口处设出段信号机，存车库线中间进段方向设列车阻挡信号机，段内其他地点根据需要设调车信号机。

（5）电动转辙机。车辆段 / 停车场内每组道岔用转辙机来扳动道岔。

（6）列车占用检测设备。采用计轴设备或者轨道电路，用于检查列车的占用和空闲情况。

（7）日检设备。在车辆段 / 停车场的停车列检库内设置车载信号设备的日检设备，对每天投入运行列车的车载ATP / ATO设备进行全功能静态测试，并将测试检查的数据及结果传至维修中心及控制中心。为此在停车列检库内设置无线通信室内外设备。同时，为使列车在到达转换轨之前提前建立车地通信，在库外亦设置无线通信室外设备。

(8) 电源设备。车辆段 / 停车场信号楼及停车列检库内各配备一套智能电源系统设备及UPS设备, UPS的供电范围为所有信号室内外信号设备; UPS电池的持续时间为30 min。派班室ATS工作站及车载维护部的供电由停车列检库电源设备提供。

### 5. 试车线设备

在试车线设置与正线相同的ATP / ATO、联锁等室内及室外设备, 并适应双向试车的需要, 用于对车载设备进行静、动态试验; 试车线控制室内设置控制台。试车线联锁与车辆段信号楼联锁之间按照非进路调车设计, 试车前后必须与车辆段联锁进行授权作业。

## 项目小结

本项目简单介绍了通信的基本概念, 包括通信系统模型, 特别讲述了数字通信系统模型各个模块的功能; 然后讲述了通信技术的主要特征, 包括通信的工作方式、通信的多址方式、通信的传输、通信的主要指标和调制与解调的概念; 讲述了轨道交通通信系统的典型应用和通信传输设备的基本组网模式; 最后讲述了城市轨道交通信号系统的特点、组成与分布。

## 学习检测

### 一、判断题

1. 噪声源是人为加入的设备。( )
2. 同步传输要求双方时钟严格一致。( )
3. 自由空间中传播无线电波的距离越远, 其损耗越大。( )
4. 有效性是指接收信息的准确程度, 也就是传输的“质量”问题。( )
5. 数字通信可消除噪声累积现象, 适于远距离传输。( )

### 二、问答题

1. 通信的基本概念主要包括哪些内容?
2. 描述通信系统的一般模型。
3. 数字通信系统主要包括哪些模块?
4. 通信系统重点强调哪两个指标?
5. 城市轨道交通通信系统由哪些系统组成?
6. 城市轨道交通信号系统的特点有哪些?
7. 车辆段的主要功能有哪些?
8. 城市轨道交通信号系统主要由哪两大部分组成?
9. 城市轨道交通信号系统主要包括哪些设备?